

编号: GDHP-2020-018

核技术利用建设项目

中山大学附属第一医院核技术利用 扩建项目环境影响报告表

(送审稿)



环境保护部监制

核技术利用建设项目

中山大学附属第一医院核技术利用 扩建项目环境影响报告表

(送审稿)

建设单位名称：中山大学附属第一医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：广东省广州市中山二路58号

邮政编码：510080

联系人：王敏

电子邮箱：

联系电话：



持证人签名:
Signature of the Bearer

杨秀英

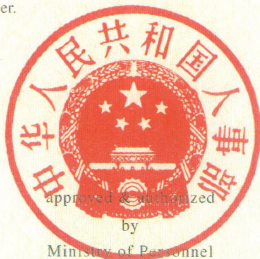
管理号:
File No.: 07352143503210332

姓名:
Full Name 杨秀英
性别:
Sex 女
出生年月:
Date of Birth 1967. 10. 24
专业类别:
Professional Type
批准日期:
Approval Date 2007. 05

签发单位盖章:
Issued by
签发日期:
Issued on 2007 年 10 月 日

本证书由中华人民共和国人事部和国家环境保护总局批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



The People's Republic of China



编号:
No.: 0006541

编制单位和编制人员情况表

项目编号	4c568k		
建设项目名称	中山大学附属第一医院核技术利用扩建项目		
建设项目类别	50 191核技术利用建设项目 (不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置)		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	中山大学附属第一医院		
统一社会信用代码	12100000455416029H		
法定代表人 (签章)	肖海鹏		
主要负责人 (签字)	王敏		
直接负责的主管人员 (签字)	王敏		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	核工业二四〇研究所		
统一社会信用代码	121000004630045772		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
杨秀英	07352143506210362	BH011003	杨秀英
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
杨秀英	报告表	BH011003	杨秀英

目 录

表 1 基本项目情况.....	1
表 2 放射源.....	30
表 3 非密封放射性物质.....	31
表 4 射线装置.....	33
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	35
表 6 评价依据.....	36
表 7 保护目标与评价标准.....	39
表 8 环境质量和辐射现状.....	66
表 9 放疗科项目辐射环境影响评价.....	78
表 10 回旋加速器与放射性药物制备项目辐射环境影响评价.....	114
表 11 医学综合楼核医学科项目辐射环境影响评价.....	158
表 12 何善衡楼核医学科项目辐射环境影响评价.....	192
表 13 DSA 介入手术项目辐射环境影响评价.....	222
表 14 辐射安全管理.....	246
表 15 结论与建议.....	252
表 16 审批.....	256
附件 1 辐射安全许可证.....	257
附件 2 辐射工作人员的培训情况表.....	268
附件 3 拟建项目环境辐射本底检测报告.....	277
附件 4 辐射安全管理相关制度.....	293
附件 5 可研批复.....	339
附件 6 资产处置的批复.....	341
附件 7 类比 DSA 项目机房检测报告.....	342
附图一 医院总平面图.....	349
附图二 放疗科射线装置机房布置图.....	350
附图三 直线加速器机房平面图、剖面图.....	351
附图四 直线加速器机房通风图.....	352
附图五 医学综合楼核医学科平面图.....	353
附图六 医学综合楼地面一层平面图.....	354
附图七 医学综合楼地下一层平面图.....	355
附图八 医学综合楼地下二层平面图.....	356
附图九 医学综合楼地下三层平面图.....	357

附图十 医学综合楼地下四层平面图.....	358
附图十一 何善衡楼负一层平面布局图.....	359
附图十二 何善衡楼一层平面布局图.....	360
附图十三：何善衡楼核医学科排风图设计图.....	361
附图十四：何善衡楼核医学科废液收集储存衰变系统示意图.....	362
附表：建设项目环评审批基础信息表.....	364

表 1 基本项目情况

建设项目名称		中山大学附属第一医院核技术利用扩建项目			
建设单位		中山大学附属第一医院			
法人代表	肖海鹏	联系人	王敏	联系电话	
注册地址		广州市中山二路 1 号；黄埔东路 183 号；中山二路 58 号；番禺区小谷围岛大学城中大校区明德园 4 号			
项目建设地点		广东省广州市中山二路 58 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）			项目环保投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封性放射性物质	☒ 生产	☒ 制作 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
		☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
	射线装置	☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
		其他			

1.1 项目概况

1.1.1 单位概况

中山大学附属第一医院是国家重点大学中山大学附属医院中规模最大、综合实力最强的附属医院。医院始建于 1910 年，前身为广东公医医学专门学校附设公医院，2001 年更名为中山大学附属第一医院，现为国家三级甲等医院和国家爱婴医院。医院注册地址为广州市中山二路 1 号（东山院区）；黄埔东路 183 号（黄埔院区）；中山二路 58 号（院本部）；番禺区小谷围岛大学城中大校区明德园 4 号。

医院现有职工 5869 人，正高职称 277 人，副高职称 513 人、中级职称 1158 人；年门急诊量突破 490 万人次，开放病床 2850 张，病床使用率达 95%以上。医院设有 31 个大科，100 个专科。医院拥有如正电子发射断层扫描系统（PET-CT）、医用回旋加速器、64 排螺旋 CT、3.0T 核磁共振成像仪（MR）、全数字平板探测器血管造影系统（DSA）、双探头放射性计算机断层系统（SPECT）、数字化 X 线胸片摄影系统（DR）、2 微米激光手术系统、电子彩色超声内镜系统、彩色多普勒超声诊断仪、乳管内视镜、全自动生化分析仪、全自动免疫分析仪等大批先进的医疗设备，在临床诊断和治疗上发挥着重要的作用。

1.1.2 项目目的和任务

为了适应中山大学附属第一医院近年来的业务发展情况，满足不断增长的医疗卫生需求，医院计划拆除院本部 3 号楼、4 号楼，并在其地址上新建医学综合楼，该楼除临床用途外，另兼备科研与教学功能。新建医学综合楼项目划分为两期，一期主要为医学综合楼单体建筑的建设，二期主要为周边地下建筑工程和地面绿化、道路及广场建设。工程规模：总建筑面积：75768.6 m²，其中学校占面积：21668.6 m²，医院医学综合楼面积：54100 m²；地上建筑面积：55420.7 m²，地下建筑面积：20347.9 m²。规划总床位：435 床；地上最高 25 层，总建筑高度 99.00m，使用功能包含包括门诊、手术室、产房、儿科病房、产科病房、部分医技科室、后勤服务等。地下 4 层，地下室最低点相对标高-20.90m，使用功能包含地下一层的核医学科，地下四层的放疗科，地下二、三层设机动车车库、设备用房、医疗物资库等。目前准备建设一期工程。

同时，医院计划将何善衡楼负一层西侧空置区域建成核医科；拟将院本部门急诊大楼首层急诊科急诊抢救区、手术室改建成 1 间 DSA 机房及相关功能用房。

新建医学综合楼项目于 2017 年 3 月 3 日取得《国家卫生计生委关于中山大学附属第一医院医学综合楼工程可行性研究报告》（代项目建议书）的批复（国卫规划函〔2017〕101 号），总投资约 4.7 亿，由中央财政预算内投资与医院自筹共同解决，见附件 5；2019 年 8 月 26 日取得《国家卫生健康委关于同意中山大学附属第一医院资产处置的批复》（国卫财务函〔2019〕193 号），批复中同意《关于申请拆除报废 3 号楼和 4 号楼的请示》，见附件 6。

根据《关于发布<射线装置>分类的公告》（环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）对射线装置的分类，本评价项目的 3 台医用直线加速器、1 台回旋加速器和 6 台 DSA 属于 II 类射线装置；1 台 CT（复合手术室）、2 台 CT 模拟定位机、2 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT 属于 III 类射线装置；根据《国家电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，本评价项目的非密封放射性工作场所均为乙级；根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），拟使用的 ⁶⁸Ge 放射源属于 V 类放射源。

本次项目拟在新建的医学综合楼开展放疗科、核医学科和介入手术室项目，在何善衡楼负一层西侧开展核医学科，在门急诊大楼首层东侧开展 DSA 手术室项目。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（中华人民共和国生态环境

部令第16号，2021年1月1日起施行），本评价项目应该编制环境影响报告表，建设单位委托核工业二四〇研究所进行环境影响评价。核工业二四〇研究所接受委托后，组织了工程技术人员现场踏勘与调查，充分收集相关资料，依照有关法律法规编制完成了该项目环境影响报告表，呈报广东省生态环境厅审批。

1.1.3 项目建设规模

本次评价项目具体的建设内容及规模如下：

（1）放疗科项目：

①拟在医学综合楼地下四层放疗科建设3个直线加速器机房，使用医用电子直线加速器3台（最大电子线能量 $\leq 22\text{MeV}$ ，最大X射线能量 $\leq 15\text{MV}$ ，属于II类射线装置）；

②拟在医学综合楼地下四层放疗科建设2个模拟定位机房，使用2台CT模拟定位机（属于III类射线装置）；

综上，放疗科项目拟购3台II类射线装置，2台III类射线装置；放疗科项目全部位于新建的医学综合楼地下四层。

（2）核医学科项目

①医院拟在医学综合楼负一层建设核医学工作场所，该场所分为核素生产区和核素使用区，由于2个区共用1个衰变池，因此两个区合为一个乙级非密封源工作场所，日等效最大操作量为 $1.34 \times 10^9\text{Bq}$ 。核素生产区设置1间回旋加速器机房，以及合成热室、质控间等配套功能房间。在回旋加速器机房安装使用1台带自屏蔽的回旋加速器（最大能量 $\leq 19\text{MeV}$ ，最大束流 $\leq 150\mu\text{A}$ ，属于II类射线装置），用于制备放射性药物（ ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu ）。制备的放射性药物用于核医学科工作场所正电子显像检查；拟在核素使用区设置PET/CT机房、注射室、PET等候室、留观室等功能房间。在2间PET/CT机房中分别安装使用1台PET/CT（属于III类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 开展正电子显像诊断，拟新购4枚 ^{68}Ge 校准源（属于V类放射源），用于图像质控校正。拟在核医学科开展使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{188}Re 核素治疗骨转移癌项目。

②医院拟在何善衡楼负一层西侧空置区域改造成核医科，建设项目所在何善衡楼地上共9层，地下共一层。拟新购1台PET/MR、1台SPECT/CT（属III类射线装置）开展核素显像检查项目，使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；同时使用核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 开展骨转移癌项目，该核医学场所非密封放射性核素日最大操作量为 $2.74 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最

大操作量为 $3.12 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封源工作场所。

(3) 介入手术项目

医院拟在新建医学综合楼的二层建设 4 间 DSA 介入手术室和 1 间 DSA-CT-MRI 复合手术室，在每间手术室分别安装 1 台数字减影血管造影装置（简称“DSA”，型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属于 II 类射线装置），在 DSA-CT-MRI 复合手术室安装 1 台 DSA（型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属于 II 类射线装置）和 1 台 CT（型号待定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属于 III 类射线装置）；拟将门诊急诊大楼首层急诊科急诊抢救区、手术室改建成 1 间 DSA 机房及相关功能用房，在手术室内安装 1 台数字减影血管造影装置（型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属于 II 类射线装置）用于放射诊疗。

中山大学附属第一医院本次环评情况详见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

表 1-1 本项目密封放射源应用情况

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	使用场所	备注
1	^{68}Ge	$5.5\text{E}+07 \times 1$ 枚, $3.5\text{E}+06 \times 1$ 枚 $1.11\text{E}+08 \times 1$ 枚, $4.6\text{E}+07 \times 1$	V	医学综合楼负一层 建设核医学科	PET/CT 校准源
2	^{68}Ge	$1.11 \times 10^8 \times 1$ 枚 + $5.55 \times 10^7 \times 4$ 枚	V	何善衡楼负一层核 医学科	图像质控校正

表 1-2 本项目射线装置应用情况

序号	射线装置名称	型号	数量 (台)	额定参数	工作场所 名称	射线装 置类别
放疗科						
1	电子直线加速器	待定	3	电子线能量≤22MeV X 射线能量≤15MV 最高输出剂量率： ≤2400cGy/min	医学综合楼负 四层放疗科	II
2	CT 模拟定位机	待定	2	最大管电压：150kV 最大管电流：1000mA		III
核医学科						
3	回旋加速器	待定	1	最大能量≤19MeV 最大束流≤150μA	医学综合楼负 一层核医学科	II
4	PET/CT	西门子 Biograph Vision	1	140KV，666mA		III
5	PET/CT	GE Discovery MI	1	140KV，600mA		III

6	SPECT/ CT	待定	1	130kV, 345mA	何善衡楼负一层核医学科	III
介入手术						
7	DSA	待定	1	125kV, 1250mA	门急诊大楼一层	II
8	DSA	待定	4	125kV, 1250mA	医学综合楼二层介入中心 DSA1-DSA4 室	II
9	DSA	待定	1	125kV, 1250mA	医学综合楼二层介入中心	II
	CT	待定	1	140kV, 1000mA	DSA-CT-MRI 复合手术室	III

表 1-3 本项目非密封放射性物质应用情况

序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类	工作场所等级	工作场所名称	备注		
1	¹⁸ F	3.33E+08	生产	最大日等效 操作活度为 1.34×10 ⁹ Bq， 乙级	医学综合楼负 一层核医学科	PET 显像		
2	¹³ N	4.44E+07						
3	¹¹ C	3.7E+07						
4	¹⁵ O	3.7E+07						
5	⁶⁸ Ga	7.4E+06						
6	⁶⁴ Cu	2.59E+06						
7	¹⁸ F	2.886E+07	使用					
8	¹³ N	1.11E+06						
9	¹¹ C	1.85E+06						
10	¹⁵ O	7.4E+05						
11	⁶⁸ Ga	5.55E+05						
12	⁶⁴ Cu	2.22E+05						
13	⁸⁹ Sr	7.4E+07						骨转移瘤
14	²²³ Ra	3.7E+08						骨转移瘤
15	¹⁸⁸ Re	2.96E+07						骨转移瘤
16	²²⁵ Ac	3.7E+08					骨转移瘤	
17	¹⁸ F	5.18 E+06	使用	最大日等效 操作活度为 3.12×10 ⁹ Bq， 乙级	何善衡 楼负一 层核医 学科	PET 显像		
18	¹¹ C	7.5 E+05						
19	⁶⁸ Ga	1.67 E+06						
20	^{99m} Tc	1.85 E+07				SPECT 显像		
21	⁸⁹ Sr	7.4 E+07						
22	²²³ Ra	2.96 E+07						
23	¹⁸⁸ Re	2.96 E+09				骨转移瘤		

注：场所日等效最大操作量计算过程详见表 10、表 11、表 12 章节场所等级核算相关内容。

1.2 项目周边环境概述以及选址合理性分析

本项目位于广东省广州市中山二路 58 号（院本部），医院北侧为执信南路和中山大学北校区，东侧为商业居民混合区，南侧为中山二路，西侧与中山大学北校区相邻。项目地区域图见图 1-1。本次评价项目的放疗科、核医学科和介入中心辐射工作场所主要集中于医院拟建医学综合楼负一层、负四层和二层、何善衡楼负一层，本次评价的门急诊大楼 1 间介入手术室位于医院门急诊大楼一层东侧。

根据建设单位提供的资料，本项目新建医学综合楼位于医院院本部门急诊大楼以北，曾宪梓楼以西，中山大学医学科技综合楼以南的地块。项目用地为中山大学与中山大学附属第一医院的合建用地，其中中山大学用地占 19.12%，建设单位用地占比为 80.88%。医学综合楼东侧为医院道路，道路对面为曾宪梓楼和外科住院大楼，距离曾宪梓楼约 44m，距离外科住院大楼约 68m；南侧与门急诊大楼相邻；北侧为中山大学医学科技综合楼，相距约 41m，西侧为中山大学同位素楼，相距约 47m，本项目医学综合楼项目周边环境示意图见图 1-2。

医院北侧何善衡楼负一层西侧的核医学辐射工作场北侧约 30m 为中山大学游泳场、西侧约 30m 为中山大学医学科技综合楼、东侧约 60m 为住宅、南侧约 50m 为手术科大，本项目何善衡楼核医学科周边环境示意图见图 1-3。

门急诊大楼 1 间 DSA 手术室位于医院院本部门急诊大楼首层东侧位置，本次改建计划将原来的急诊科急诊抢救区和普通手术室改建为 DSA 手术室及其配套的功能房间。项目北面约 33m 为医院曾宪梓楼，西边约 65m 为门急诊大楼边界，南边约 91m 为广州市第十六中学，东边约 21m 为汇隆大厦，DSA 手术室项目周边环境示意图见图 1-4。医院总平面图见附图一。

综合楼的核医学科项目位于拟建医学综合楼负一层西侧，核医学科工作场所东侧约 6 米为地下停车场，南侧、西侧和北侧均为土层，楼下为低压配电房、变压器房和消防水池，楼上方为消防控制中心、消防排风机房、学校大堂、空调机房、值班室、卫生间和教室。地下一层核医学科四至关系图见图 1-5。

何善衡的核医学场所拟设在何善衡楼负一层西侧，北侧与通道相邻，东侧与影像中心二区相邻，南侧与空调机房、配电房相邻，西侧与排风机房、排烟机房相邻，正下方为土层，正上方对应体检中心。配套衰变池位于本项目核医学场所北侧，为下沉式，与用药后患者出口相距约 10m，衰变池周围为电梯井及土层。何善衡楼核医学场所四至环境平面图

见图 1-15。

放疗科项目位于医院新建医学综合楼负四层西侧，放疗科东侧为地下停车场，南侧、西侧和北侧均为土层，无地下室，顶棚上方为车库。地下四层放疗科四至关系图见图 1-6。

介入中心项目位于医院新建医学综合楼二层，整层为介入中心，机房楼上为硬镜室、洁净通道、耳鼻喉科候诊厅、诊室、软镜室、走廊等，机房楼下为大堂、消防排风机房、消防控制中心、安保中心、开关站、空调机房、MRI 机房、护理站、茶水间、设备间等。二层介入中心四至关系图见图 1-7。

门急诊大楼 DSA 手术室项目位于医院门急诊大楼首层，手术室东侧为医院道路，南侧为电梯间和自行车库入口，西侧为导管室和操作间，北侧为清洁走廊、患者更衣室和设备间，楼上为普内科，楼下为地下车库。DSA 手术室室内四至关系图见图 1-8。

综上所述，中山大学附属第一医院本部位于广东省广州市中山二路 58 号。本次评价医学综合楼项目辐射工作场所集中于医院用地西部位置拟建医学综合楼的负四层、负一层和二层，何善衡楼项目辐射工作场所为负一层。上述辐射工作场所周围 50 米范围无居民区、中小学等敏感目标。放疗机房和核医学工作场所位尽可能的利用天然土层条件减少对周围周围环境的辐射影响。门急诊大楼 DSA 机房周围 50 米范围内，无居民区和中小学等环境敏感目标，DSA 机房及其配套的功能房间齐全，周边主要为操作间、楼梯间、设备间、配电房、走廊等，属人员很少逗留区域。因此该项目选址基本符合辐射工作场所的选址原则，选址合理。



图 1-1 医院地理位置图

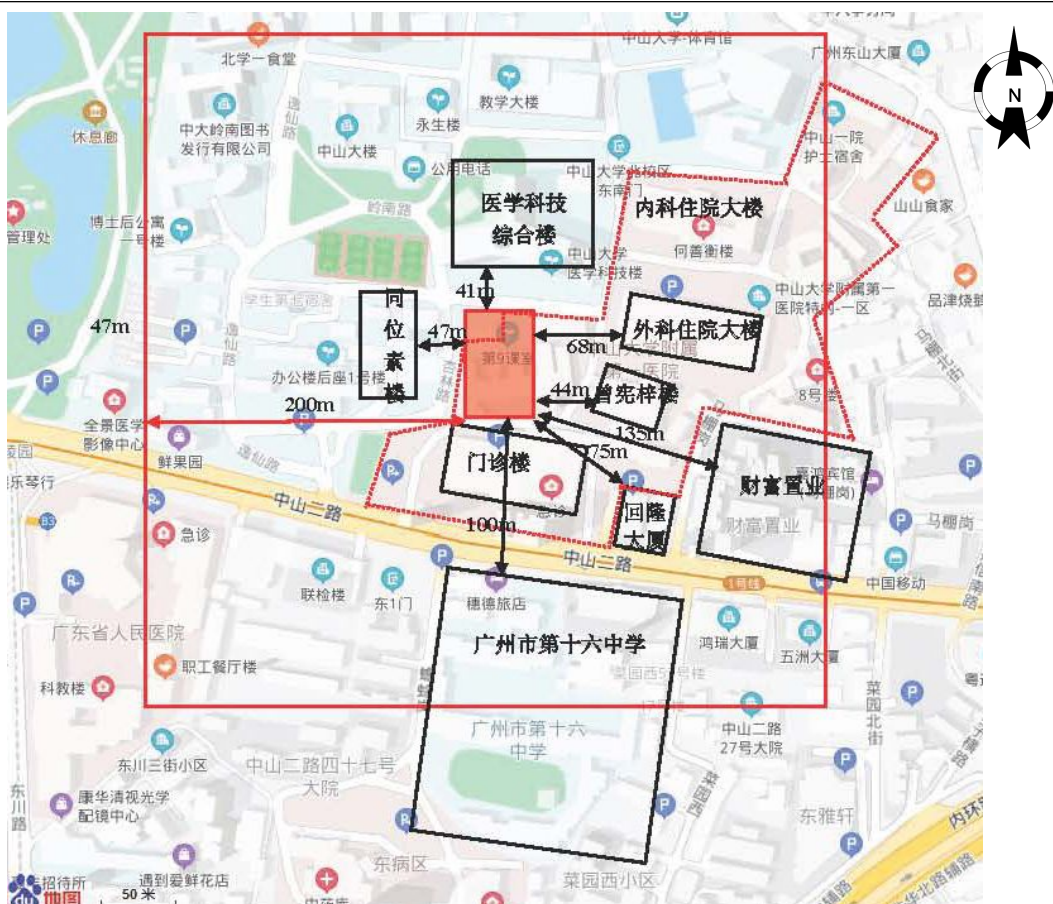


图 1-2 医学综合楼项目周边外环境示意图及工作场所边界外 200 米范围的环境示意图

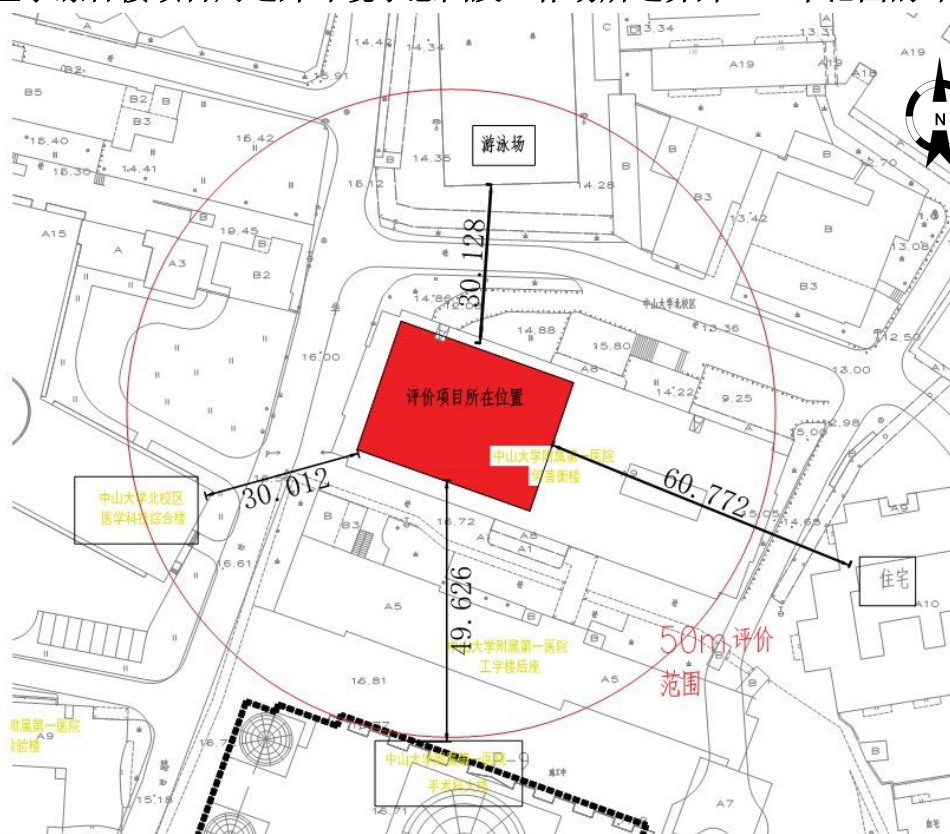


图 1-3 本项目何善衡楼核医学科 50 米范围的环境示意图

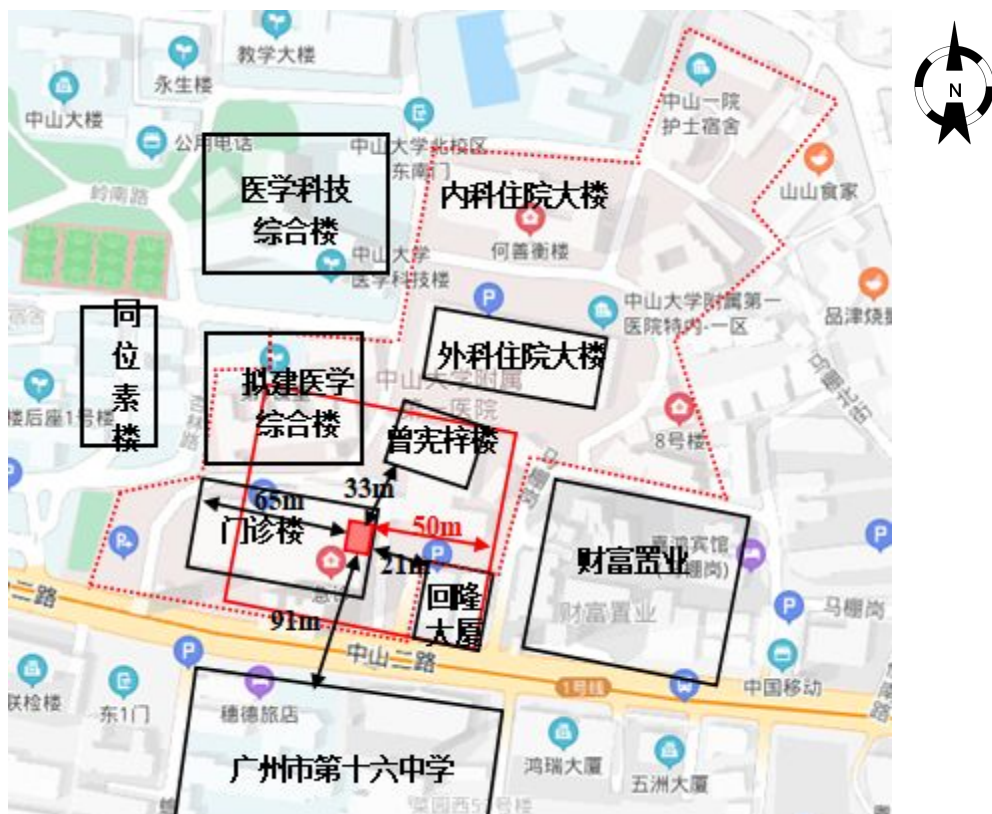


图 1-4 DSA 手术室项目周边外环境示意图及工作场所边界外 50 米范围的环境示意图

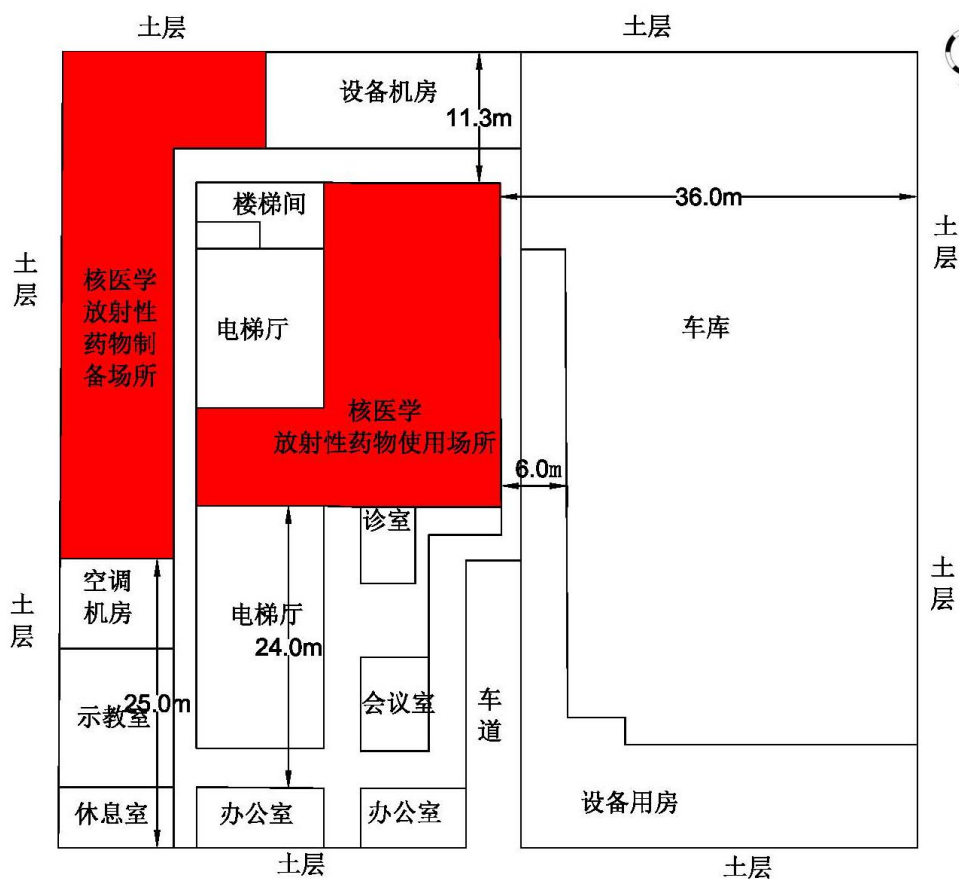


图 1-5 医学综合楼地下一层核医学工作场所四至环境图

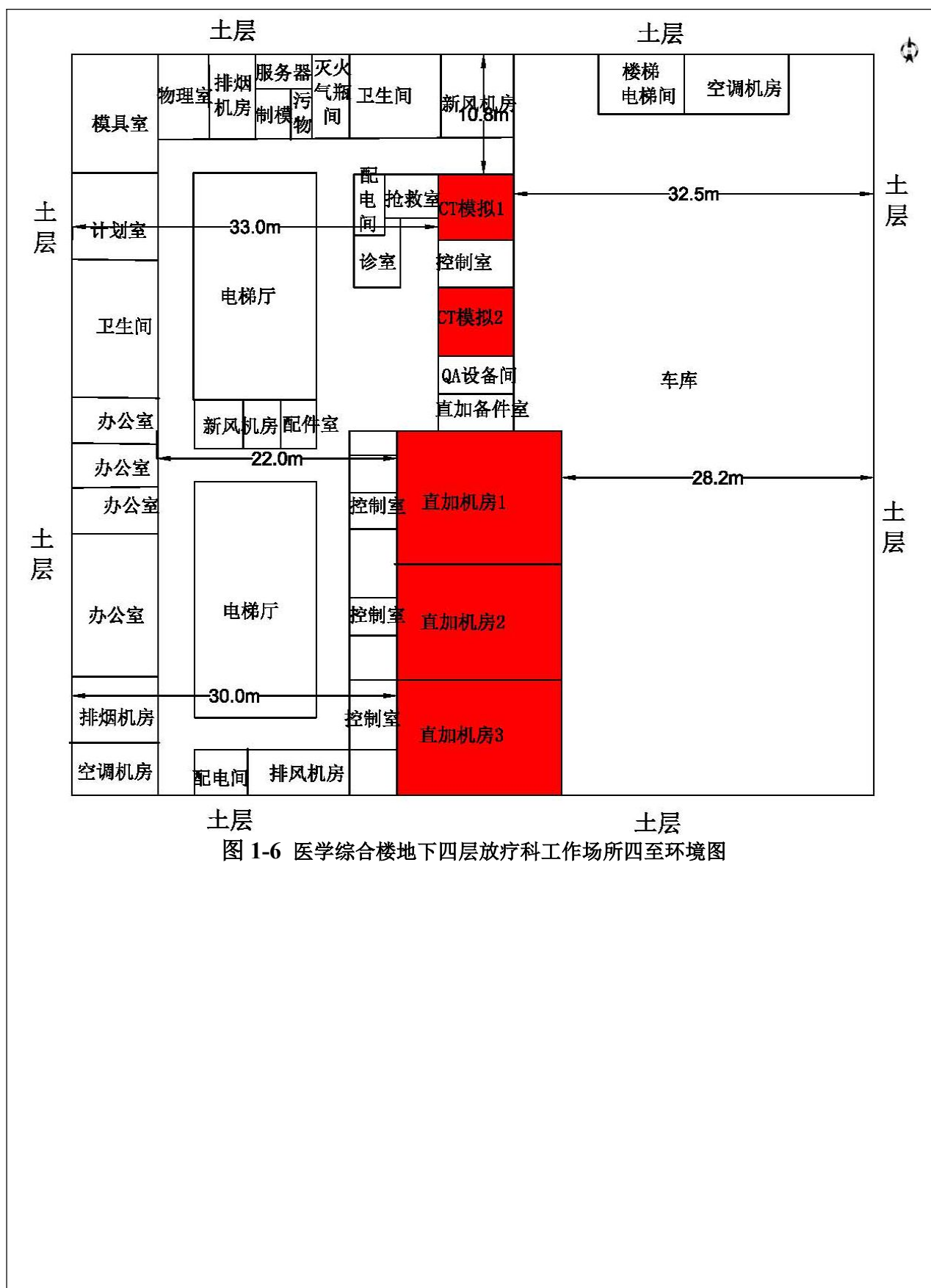


图 1-6 医学综合楼地下四层放疗科工作场所四至环境图

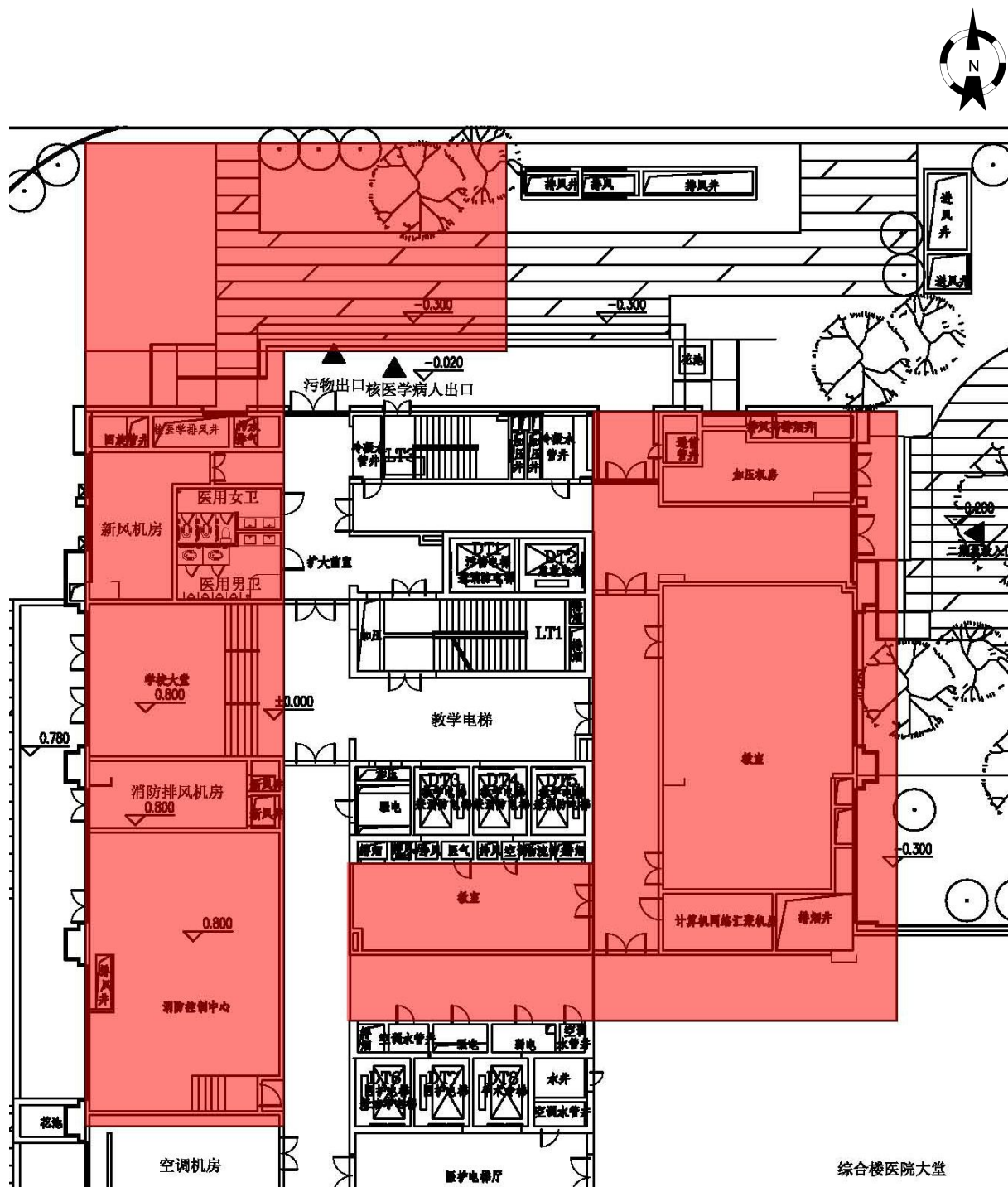


图 1-9 医学综合楼核医学科楼上布局图

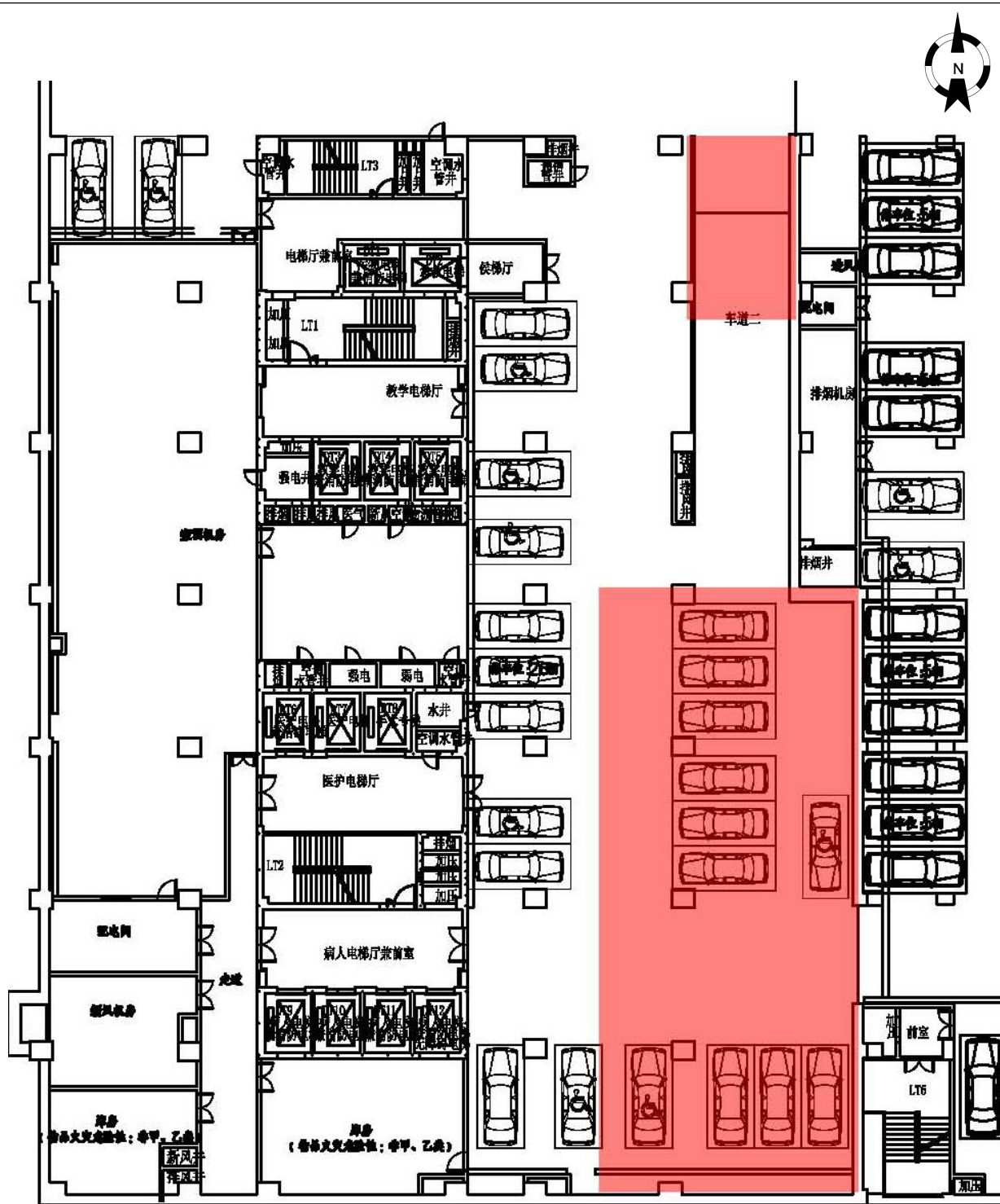


图 1-11 医学综合楼放疗科楼上布局图

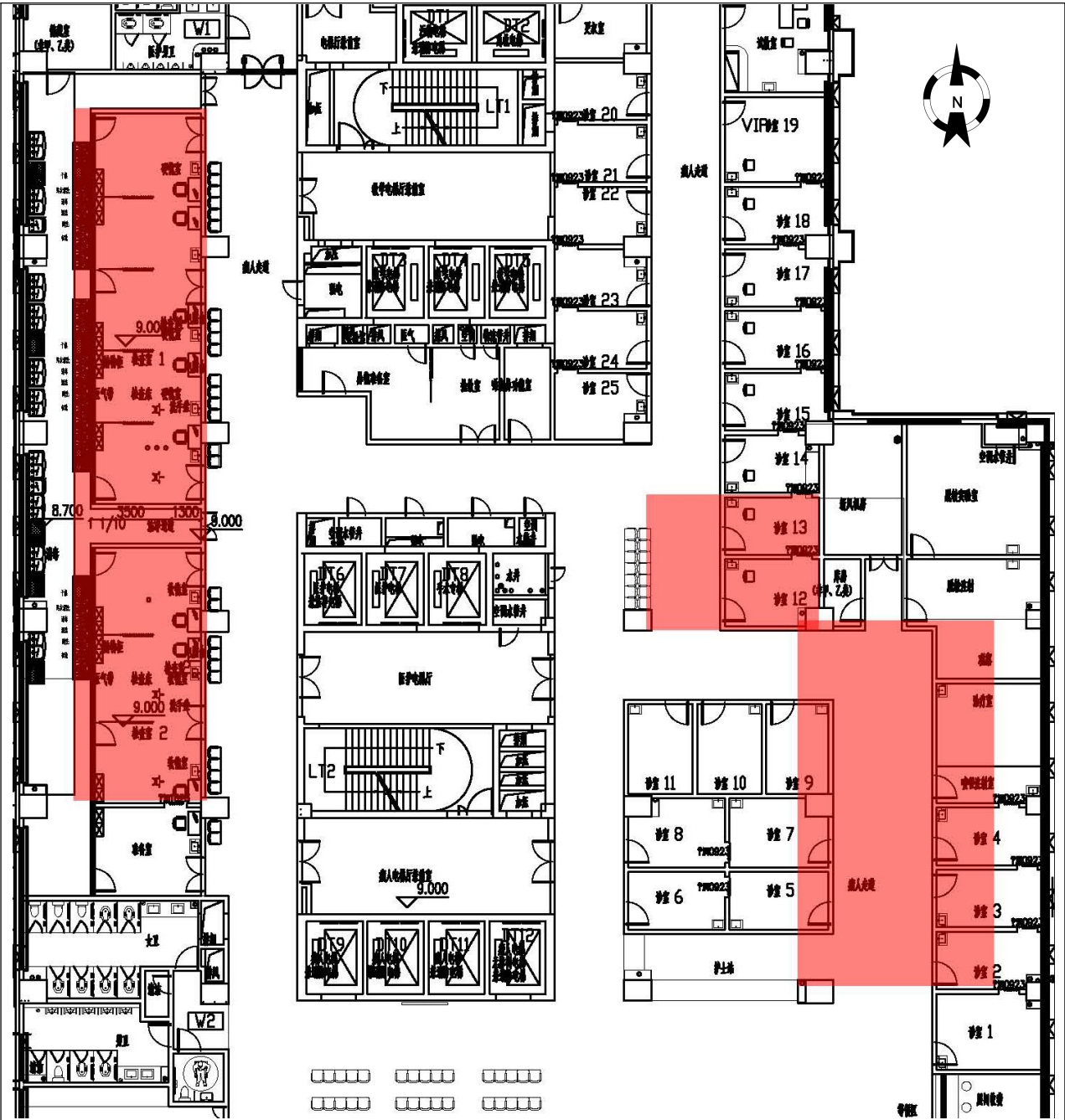


图 1-12 医学综合楼介入中心楼上布局图

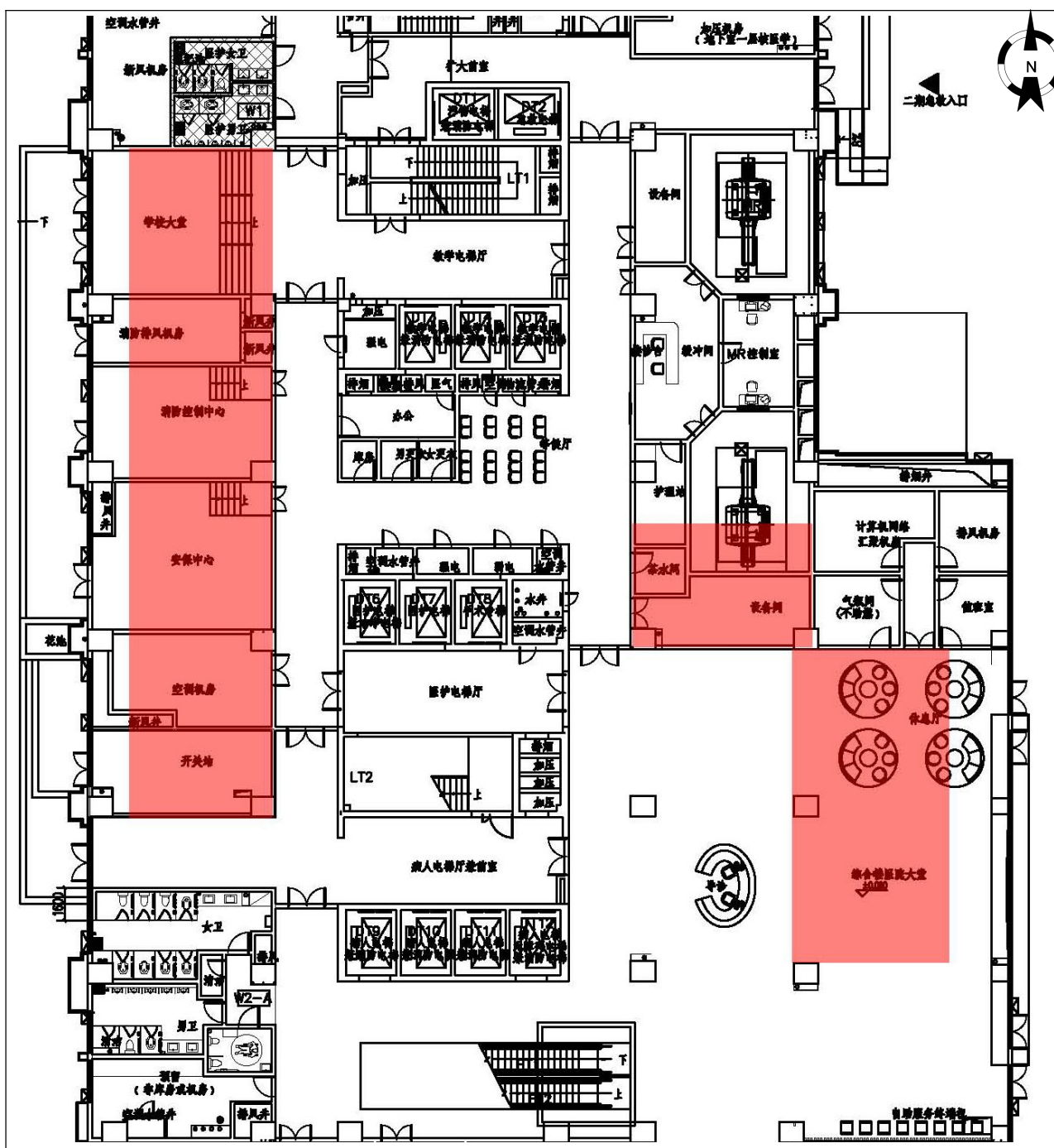


图 1-13 医学综合楼介入中心楼下布局图

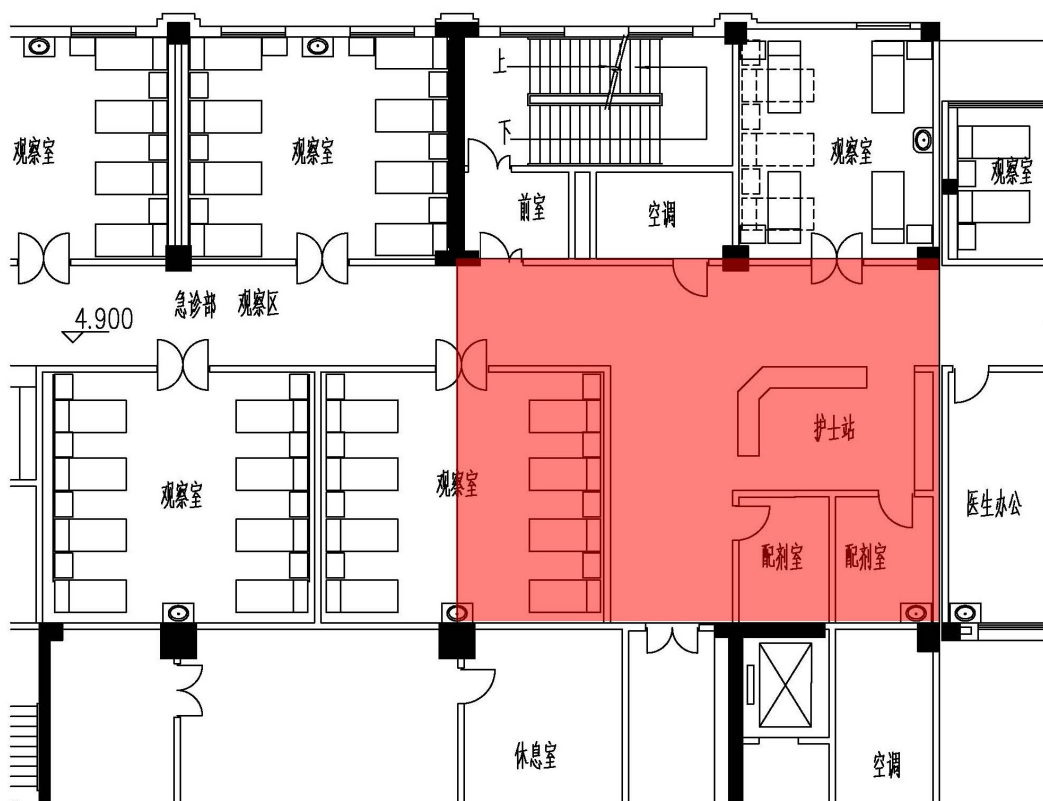


图 1-14 门急诊大楼 DSA 项目楼上布局图

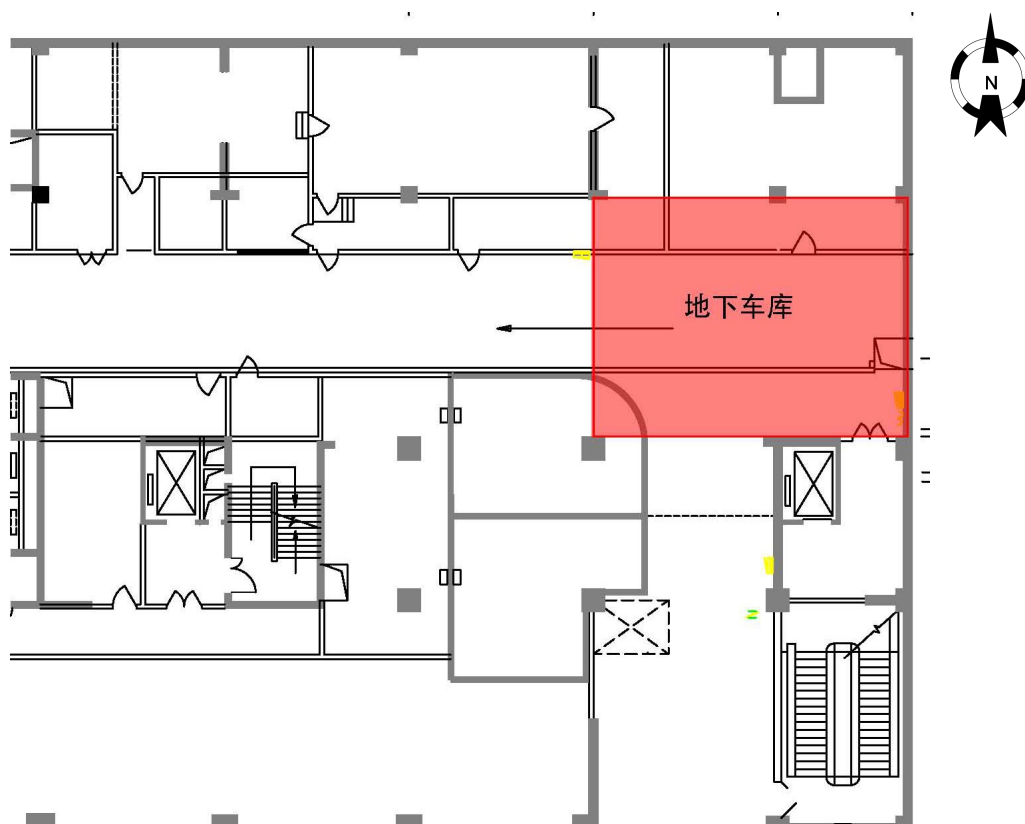


图 1-15 门急诊大楼 DSA 项目楼下布局图

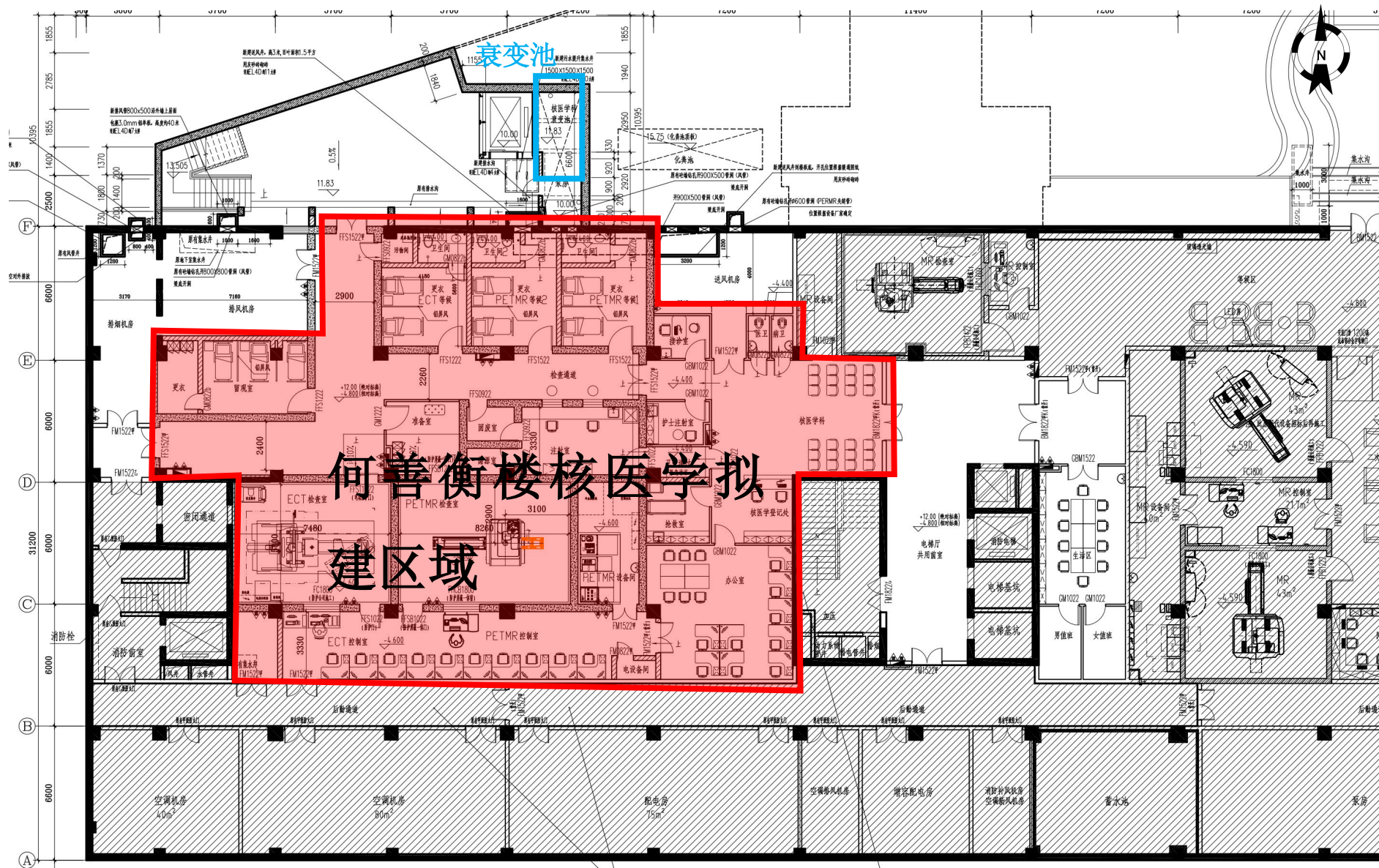


图 1-16 何善衡楼核医学四至环境布局图

1.3 原有核技术利用项目许可情况

中山大学附属第一医院持有广东省生态环境厅审批的辐射安全许可证，证书编号为粤环辐证【01308】。种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。有效期至2024年06月11日。辐射安全许可证登记许可使用的有医用Ⅱ类射线装置11台，Ⅲ类射线装置45台；密封放射源13枚，其中⁹⁰Sr密封放射源（敷贴器）3枚、²²Na校准源7枚、⁶⁸Ge校准源2枚，¹⁹²Ir密封放射源（后装治疗）1枚；乙级非密封放射性工作场所一处，丙级非密封放射性工作场所2处，允许使用¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、^{99m}Tc、¹³¹I、²⁰¹Tl、⁶⁸Ga、³²P、¹²⁵I、¹⁷⁷Lu共11种放射性核素。

中山大学附属第一医院辐射安全许可证许可的所有项目均按要求办理环评及验收手续，医院环评及验收情况见下表1-4。

表 1-4 医院原有射线装置环保手续统计情况

序号	装置名称	类别	数量	位置	状态	环评	验收	辐安证
1	飞利浦 ALLURA XPERFD20 DSA	Ⅱ	1	院本部2号楼5楼1号室	使用	粤环审【2009】204号	粤环审[2014]67号	粤环辐证【01308】
2	GE Innova 2100-IQ DSA	Ⅱ	1	院本部8号楼1楼1号室	使用	穗环核【2008】5号	粤环审[2014]67号	
3	GE Innova 2100-IQ DSA	Ⅱ	1	院本部8号楼1楼2号室	使用	穗环核【2008】5号	粤环审[2014]67号	
4	IBA Cyclone 10/5 回旋加速器	Ⅱ	1	院本部4号楼负1楼	使用	穗环核【2006】60号	粤环审[2014]67号	
5	飞利浦 ALLURA XPERFD20 DSA	Ⅱ	1	院本部2号楼5楼1号室	使用	粤环审【2009】204号	粤环审[2014]67号	
6	瓦里安 Novalis TX 直线加速器	Ⅱ	1	院本部手术科大楼负3楼	使用	穗环核【2006】60号	2018.3 自主验收	
7	医科达 Elekta synergy 直线加速器	Ⅱ	1	院本部手术科大楼负3楼	使用	穗环核【2006】60号	2019.5 自主验收	
8	西门子 Artis Zeego DSA 机	Ⅱ	1	院本部手术科大楼4楼复合手术室	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收	

9	飞利浦 Digital Diagnost DR 机	III	1	院本部2号楼2楼1号房	使用	粤环审【2009】204号	粤环审[2014]67号
10	西门子 Axiom AristosTX DR 机	III	1	院本部2号楼2楼4号房	使用	穗环核【2008】5号	粤环审[2014]67号
11	飞利浦 Digital Diagnost DR 机	III	1	院本部2号楼2楼8号房	使用	穗环核【2008】5号	粤环审[2014]67号
12	飞利浦 Digital Diagnost DR 机	III	1	院本部5号楼1楼	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
13	东芝 Aquilion64 TSX-101A64 排 CT	III	1	院本部6号楼1楼体检中心CT室	使用	备案号201944010400000908	3类备案不需要验收
14	东芝 RADREX 5 DR 机	III	1	院本部6号楼1楼体检中心DR室	使用	备案号201944010400000908	3类备案不需要验收
15	GE DR-F DR 机	III	1	院本部2号楼2楼6号房	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
16	西门子 Artis zee floor DSA 机	II	1	东院心导管室	使用	粤环审【2015】443号	2018.8 自主验收
17	蔡司 INTRABEAM PRS 500 术中放疗系统	II	1	院本部手术科大楼手术室	使用	粤环审[2016]505号	2019.5 自主验收
18	西门子 Siemena DR YSIO DR 机	III	1	院本部2号楼2楼5号房	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
19	西门子 ARCADIS Orbic 3D 移动式 C 臂机	III	1	院本部手术科大楼5楼	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
20	飞利浦 BVLIBRA 移动式 C 臂机	III	1	院本部手术科大楼5楼	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
21	飞利浦 BVLIBRA 移动式 C 臂机	III	1	院本部1号楼8楼	使用	粤环审[2015]14号	2018.3 自主验收
22	GE Lunar iDXA 骨密度仪	III	1	院本部2号楼4楼	使用	备案号201944010400000908	3类备案不需要验收

粤环辐证【01308】

23	飞利浦 Digital Diagnost DR 机	III	1	东院一号住院楼放射科 1 号室	使用	粤环审【2015】443 号	2018.8 自主验收	粤环辐证【01308】
24	飞利浦 Brilliance CT BigBore 大孔径 CT 机	III	1	院本部手术科大楼负 3 楼	使用	穗环核【2006】60 号	2018.3 自主验收	
25	东芝 Aquilion One TSX-301C CT 机	III	1	院本部 2 号楼 3 楼 3 号室	使用	粤环审 [2015]14 号	2018.3 自主验收	
26	东芝 Aquilion PRIME TSX-302A CT 机	III	1	院本部 2 号楼 3 楼 4 号室	使用	粤环审 [2015]14 号	2018.3 自主验收	
27	西门子 MAMMOMAT Inspiration 乳腺机	III	1	院本部 2 号楼 4 楼	使用	备案号 201944010400000908	3 类备案不需要验收	
28	飞利浦 Gemini GXL 16PET-CT 机	III	1	院本部 4 号楼 1 楼	使用	穗环核【2006】60 号	粤环审 [2014]67 号	
29	日立 DHF-105CX C 臂机	III	1	东院二号住院楼手术麻醉中心 7 号室	使用	粤环审【2015】443 号	2018.8 自主验收	
30	岛津 SHIMADZU WHA-200 C 臂机	III	1	东院二号住院楼手术麻醉中心 2 号室	使用	粤环审【2015】443 号	2018.8 自主验收	
31	普爱医疗 PLX2200 普通 X 射线机	III	1	北校区门诊部透视室	使用	粤环审 [2016]505 号	2019.5 自主验收	
32	西门子 ARCADIS Varic 移动式 C 臂机	III	1	院本部手术科大楼手术室	使用	粤环审 [2016]505 号	2019.5 自主验收	
33	奇目 Visio 移动 C 臂机	III	1	手术科大楼手术室	使用	粤环审 [2016]505 号	2019.5 自主验收	
34	奇目 Visio 移动 C 臂机	III	1	手术科大楼手术室	使用	粤环审 [2016]505 号	2019.5 自主验收	
35	柯尼卡美能达 AeroDR C50 DR 机	III	1	东院放射科	使用	粤环核备 [2016]76	3 类备案不做验收	
36	西门子 Symbia T2 SPECT/CT 机	III	1	院本部同位素楼 1 楼	使用	备案号 201744010400000231	2019.5 自主验收	

37	岛津 RAD speed Plus DR 机	III	1	院本部2号楼2楼2号房	使用	备案号 201744010400000231	3类备案不需要验收	粤环辐证【01308】
38	东芝 IME-100L 床边机	III	5	院本部放射科	使用	备案号 201744010400000231	3类备案不需要验收	
39	GE Discovery MI 型 PET/CT	III	1	院本部4号楼1楼	使用	粤环审【2017】587号	2020.11自主验收	
40	医科达 Infinity 医用电子直线加速器	II	1	院本部5号楼负三层直加3室	使用	粤环审【2019】424号	3类备案不需要验收	
41	西门子 SOMATOM Force CT	III	1	5号楼负一层	使用	备案号 201844010400001057	3类备案不需要验收	
42	万东 TURBOTOM 1600	III	1	2号楼5层介入3室	使用	备案号 201944010400000908	3类备案不需要验收	
43	日立 EXAVISTA 胃肠机	III	1	2号楼4层	使用		3类备案不需要验收	
44	卡瓦 i-CAT FLX CBCT	III	1	1号楼7层	使用		3类备案不需要验收	
45	卡瓦 OC200D 口腔全景机	III	1	1号楼7层	使用		3类备案不需要验收	
46	卡瓦 FOCUS	III	1	1号楼7层	使用		3类备案不需要验收	
47	佳能 Aquilion64 TSX-101A CT 机	III	1	6号楼1层体检中心	使用		3类备案不需要验收	
48	飞利浦 Easy Diagnost Eleva 胃肠机	III	1	2号楼6层	使用		3类备案不需要验收	
49	飞利浦 IQon spectral CT	III	2	2号楼3楼	使用		3类备案不需要验收	
50	安健科技 DTP570A DR 机	III	1	妇产生殖医学中心	使用		3类备案不需要验收	
51	爱克发 DX-D 600 DR 机	III	1	2号楼2层3号房	使用		3类备案不需要验收	
52	DSA	II	1	8号楼一层	闲置	粤环审（2020）90号	待验收	待增项

53	DSA	II	1	1 号楼 8 层 6 号手术室	闲置	粤环审（2020）90 号	待验收	待增项
----	-----	----	---	-----------------	----	---------------	-----	-----

表 1-5 医院使用放射性核素落实环保手续统计情况

核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级	工作场所	环评批文	验收批文
¹⁸ F	1.4E+09	乙级	院本部 PET-CT 中心	穗环核【2006】60 号	粤环审[2014]67 号
¹¹ C	1.0E+09	乙级		穗环核【2006】60 号	粤环审[2014]67 号
¹³ N	2.22E+09	乙级		穗环核【2006】60 号	粤环审[2014]67 号
¹⁵ O	1.85E+09	乙级		穗环核【2006】60 号	粤环审[2014]67 号
⁶⁸ Ga	7.4E+07	乙级		粤环审[2015]14 号	2018.3 年自主验收
^{99m} Tc	7.4E+08	乙级	院本部 ECT 中心	省厅 2005.10.19	粤环审[2014]67 号
¹³¹ I	3.7E+08	乙级		省厅 2005.10.19	粤环审[2014]67 号
²⁰¹ Tl	7.4E+06	乙级		省厅 2005.10.19	粤环审[2014]67 号
³² P	3.7E+06	乙级		粤环审[2015]14 号	2018.3 年自主验收
¹³¹ I	7.4E+08 (增量)	乙级		粤环审[2015]14 号	增量自行验收
¹²⁵ I	2.96E+06	丙级	院本部内分泌实验室	粤环审【2009】204 号	粤环审[2014]67 号
¹²⁵ I	5.18E+06	丙级	院本部肿瘤介入科	粤环审[2016]505 号	2019.5 自主验收
¹⁷⁷ Lu	7.4E+07	乙级	院本部 PET-CT 中心	已于 2020 年 12 月编制辐射安全分析报告	

表 1-6 医院放射源落实环保手续统计情况

核素名称	类别	放射性活度/枚数	工作场所	环评批复	验收验收
Sr-90	V类	9.2E+8Bq/3	院本部核医学科	省厅 2005.10.19	粤环审[2014]67 号
Na-22	V类	9.2E+5Bq		粤环审[2015]14 号	2019.5 自主验收
Na-22	V类	9.2E+4Bq/6		粤环审[2015]14 号	2018.3 自主验收
Ir-192	III 类	3.7E+11Bq	院本部 5 号楼负三楼室	粤环审[2019]424 号	2020.11 自主验收

1.4 原有核技术利用项目的回顾性评价

(1) 医院针对原有的核技术应用项目，已制定了《中山大学附属第一医院放射/辐射安全与防护管理规定（试行）》、《关于印发<中山大学附属第一医院辐射事故处理应急预案>的通知》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《核医学科工作制度》、《放射性废物处理制度》、《放射性污染去污操作规程》、《ELEKTA Synergy 直线加速器操作规程》、《VARIAN NovalisTX 直线加速器操作规程》等一系列基本规章制度，并严格按照规章制度执行，并定期进行应急演练，至今未出现过辐射事故。

(2) 为加强对辐射安全与防护管理工作，医院成立了辐射安全管理小组，明确辐射防护责任，并加强对射线装置的监督和管理，同时医院积极落实原有核技术利用项目的环保手续，规范申报。

(3) 医院配备辐射防护管理员和辐射安全监督小组，医院现有 326 名辐射工作人员，所有工作人员均已参加辐射安全与防护知识培训，该医院原有辐射工作人员培训情况表见附件 2。

(4) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，所有辐射工作人员接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档，个人剂量计每三个月送检一次，严格按照辐射监测计划对原有核技术利用项目场所进行常规检查，以保护工作人员和控制对周围环境的影响。医院最近 4 个季度所有辐射工作人员均参加了剂量监测，由监测报告可知部分辐射工作人员的存在数据缺失和佩戴不规范的情况，医院应该加强个人剂量监测管理，确保每位辐射工作人员正确佩戴个人剂量计，按时参加个人剂量监测并建立个人剂量监测档案。

(5) 医院制定了设备定期保养维护制度，每年由设备厂家进行定期预防性保养。所有设备质控协议，每天、每周、每月检测设备状况，记录设备日常运行和异常情况。

除此之外，医院每年委托有相关资质的辐射监测机构对辐射工作场所进行监测。并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院原有核技术利用项目的辐射安全管理满足相关要求。

1.5 本项目与原有项目的依托关系

1.5.1 医学综合楼项目与原有项目依托关系

(1) 主体工程（建筑）依托关系

本项目医学综合楼一期工程完成后，医院将院本部现有的 3 号楼和 4 号楼拆除，本项目医学综合楼配套的污水处理等所有环保设施均为新建，不存在依托原有环保工程的情况。为了不影响医院正常开展医务诊疗工作，院本部现有 3 号楼和 4 号楼将在新建医学综合楼能够满足全部医务诊疗工作后拆除。

（2）辐射设备（设施）依托关系

本项目除了核医学科 2 台 PET/CT 利旧之外其他的所有放射性同位素、密封放射源和射线装置均为新购。新建医学综合楼完成之后，医院将 4 号楼 PET 中心的 2 台 PET/CT 搬迁至新建医学综合楼负一层核医学科 PET/CT 机房使用，同时医院对 4 号楼原有的 PET 中心核医学工作场所实施退役。4 号楼原有的核技术利用项目退役环评非本次环评内容，待医院医学综合楼建设完成后，医院将根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2016 年 12 月 27 日中华人民共和国环境保护部令第 44 号公布，根据 2018 年 4 月 28 日公布的《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》修正）相关规定，对需要办理退役的辐射工作场所另行环评。

（3）辐射工作人员依托关系

医学综合楼项目完成后，医院 4 号楼核医学原有的工作人员将根据医院安排，逐步转到新场所工作，直至原有核技术利用项目完全退役后，原辐射工作人员将全部转移至新场所工作。据医院介绍，医院现有放疗科人员能够满足医学综合楼项目建成后对放疗工作人员的需求，后续医院将根据工作需要逐步增加核医学和放疗相关专业的辐射工作人员。

本项目辐射工作人员将全部依托现有辐射工作人员，在之后的工作中医院会根据需要逐步新增辐射工作人员。原有辐射工作人员在医学综合楼建设完成后将陆续停止原有的辐射工作并转移至新场所相应的辐射岗位工作。因此，本项目辐射工作人员受照剂量预测分析时不考虑叠加原有场所工作受到的剂量。

（4）辐射安全管理依托关系说明

医院现有核医学科和放疗科项目已经稳定运营多年，医院已经成立了辐射防护工作委员会，落实了机构的成员及其职责，已经制定了一系列基本规章制度和操作规程。本项目将依托原有的辐射防护领导机构，在医院已制定的制度基础上进一步完善了放疗科与核医学科相关制度。

本次评价项目运行前，医院将根据相应法规要求办理辐射安全许可证，由于本次扩建

的核技术利用项目在办理辐射安全许可证后还须通过环保竣工验收才能正式投入使用，而此时，医院仍然要在原4号楼辐射工作场所开展辐射安全许可证中的相关核技术利用项目。因此，医院在对本次扩建核技术利用项目办理上证手续时，原辐射安全许可证中的原有项目仍然保留，原证仍需继续使用，本项目相关核技术利用项目将在原许可证中新增，待原有辐射安全许可证中所有项目都能在新辐射工作场所运行后，医院将4号楼原有核医学场所实施退役，之后对原证上的相应项目办理终止手续。

1.5.2 门急诊大楼 DSA 手术室项目与原有项目依托关系

本项目 DSA 手术室项目将门急诊大楼首层急诊科急诊抢救区、手术室改建成 1 间 DSA 机房及相关功能用房，在手术室内安装 1 台数字减影血管造影装置。场所改建前布局见图 1-18，改建后布局见图 1-19。

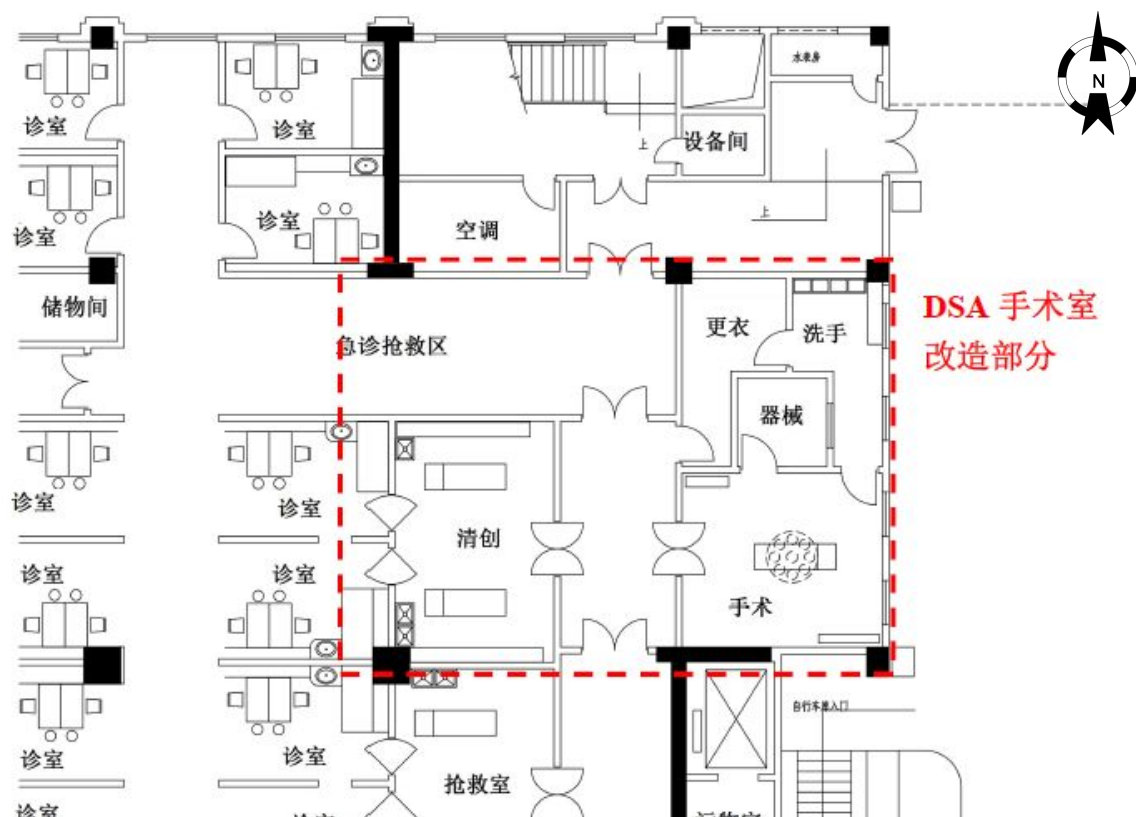


图 1-18 DSA 手术室改建前平面布局图

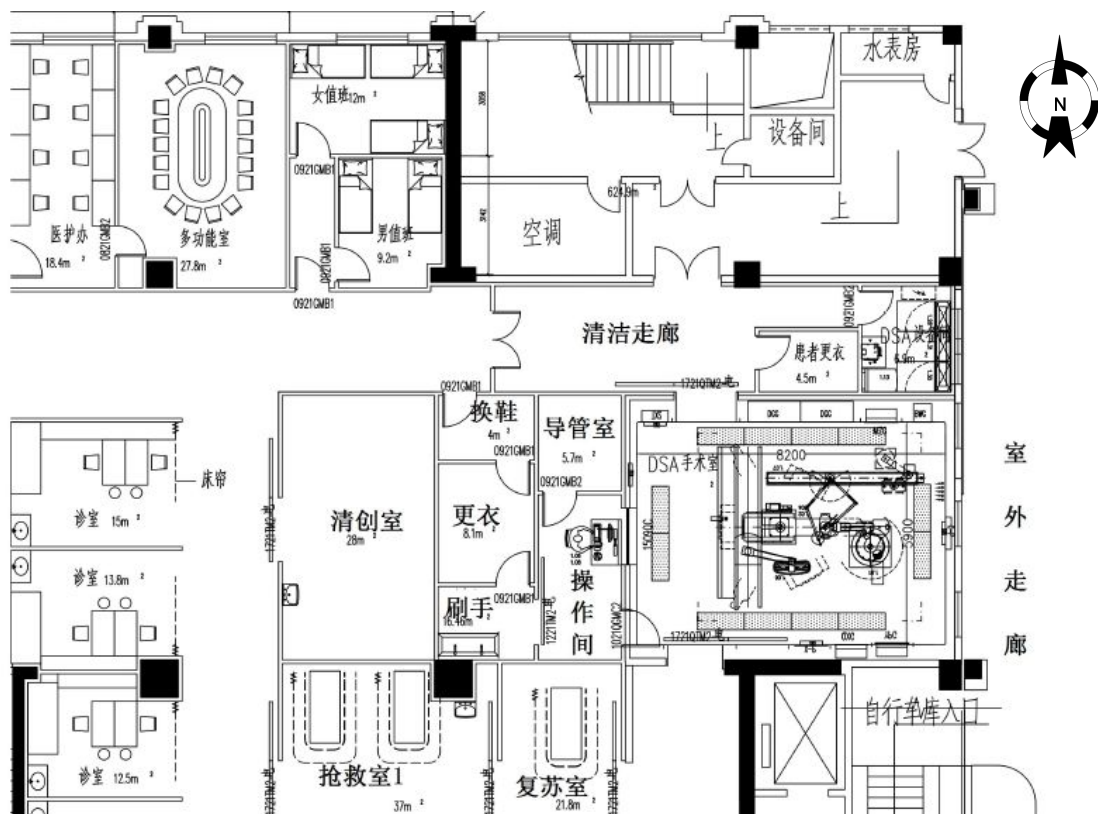


图 1-19 DSA 手术室改建后平面布局图

本次项目 DSA 手术室建成后所需的辐射工作人员在原有辐射工作人员内部进行调配。本次项目所需的防护用品为新配置。辐射安全管理制度方面，医院有用核技术利用项目已制定了辐射安全相关制度，原有制度符合医院实际情况内容全面，辐射事故应急措施针对性强，可行性强。本次评价项目在医院已制定的制度基础上进一步完善了相关制度。投入运行后，建设单位应进一步完善辐射安全管理制度、辐射事故应急预案等相关制度。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq/) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	5.5E+07×1 枚 3.5E+06×1 枚 1.11E+08×1 枚 4.6E+07×1 枚	V类	使用	图像质控 校正	医学综合楼负一层核 医学科	医学综合楼核医学 科	PET/CT 校准源
2	⁶⁸ Ge	1.11E+08×1 枚 5.5E+07×4 枚	V类	使用	图像质控 校正	何善衡楼负一层核医学 科	储源室、PET/MR 检查 室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态/低毒/ $T_{1/2}=109.7\text{min}$	生产	$3.33\text{E}+10$	$3.33\text{E}+08$	$8.33\text{E}+12$	PET 显像诊断	简单操作	医学综合 楼负一层 核医学科 回旋加速 器制药区	暂存在分 装铅罐内
2	^{13}N	液态/低毒/ $T_{1/2}=10\text{min}$	生产	$4.44\text{E}+09$	$4.44\text{E}+07$	$1.11\text{E}+12$	PET 显像诊断	简单操作		
3	^{11}C	液态/低毒/ $T_{1/2}=20.48\text{min}$	生产	$3.7\text{E}+09$	$3.7\text{E}+07$	$9.25\text{E}+11$	PET 显像诊断	简单操作		
4	^{15}O	液态/低毒/ $T_{1/2}=2.05\text{min}$	生产	$3.7\text{E}+09$	$3.7\text{E}+07$	$9.25\text{E}+11$	PET 显像诊断	简单操作		
5	^{68}Ga	液态/低毒/ $T_{1/2}=68.3\text{min}$	生产	$7.4\text{E}+08$	$7.4\text{E}+06$	$1.85\text{E}+11$	PET 显像诊断	简单操作		
6	^{64}Cu	液态/低毒/ $T_{1/2}=12.7\text{h}$	生产	$2.59\text{E}+08$	$2.59\text{E}+06$	$6.48\text{E}+10$	PET 显像诊断	简单操作		
7	^{18}F	液态/低毒/ $T_{1/2}=109.7\text{min}$	使用	$2.886\text{E}+10$	$2.886\text{E}+07$	$7.22\text{E}+12$	PET 显像诊断	很简单的操作	医学综合 楼负一层 核医学科 放射性药 物使用区	暂存储源 室
8	^{13}N	液态/低毒/ $T_{1/2}=10\text{min}$	使用	$1.11\text{E}+09$	$1.11\text{E}+06$	$2.78\text{E}+11$	PET 显像诊断	很简单的操作		
9	^{11}C	液态/低毒/ $T_{1/2}=20.48\text{min}$	使用	$1.85\text{E}+09$	$1.85\text{E}+06$	$4.63\text{E}+11$	PET 显像诊断	很简单的操作		
10	^{15}O	液态/低毒/ $T_{1/2}=2.05\text{min}$	使用	$7.4\text{E}+08$	$7.4\text{E}+05$	$1.85\text{E}+11$	PET 显像诊断	很简单的操作		
11	^{68}Ga	液态/低毒/ $T_{1/2}=68.3\text{min}$	使用	$5.55\text{E}+08$	$5.55\text{E}+05$	$1.39\text{E}+11$	PET 显像诊断	很简单的操作		
12	^{64}Cu	液态/低毒/ $T_{1/2}=12.7\text{h}$	使用	$2.22\text{E}+08$	$2.22\text{E}+05$	$5.55\text{E}+10$	PET 显像诊断	很简单的操作		

13	⁸⁹ Sr	液态/中毒/ T _{1/2} =50.5d	使用	7.4E+08	7.4E+07	3.70E+10	骨转移瘤	简单操作		
14	²²³ Ra	液态/极毒/ T _{1/2} =11.434d	使用	3.7E+07	3.7E+08	9.25E+09	骨转移瘤	简单操作		
15	¹⁸⁸ Re	液态/中毒/ T _{1/2} =16.98h	使用	2.96E+08	2.96E+07	1.48E+10	骨转移瘤	简单操作		
16	²²⁵ Ac	液态/极毒/ T _{1/2} =10d	使用	3.7E+07	3.7E+08	1.85E+09	骨转移瘤	简单操作		
17	¹⁸ F	液态/低毒/ T _{1/2} =109.7min	使用	5.18E+9	5.18E+06	1.3E+12	PET 显像诊断	很简单的操作	何善衡楼 负一层核 医学科	暂存储源 室
18	¹¹ C	液态/低毒/ T _{1/2} =20.48min	使用	7.5E+08	7.5E+05	7.5E+10	PET 显像诊断	很简单的操作		
19	⁶⁸ Ga	液态/低毒/ T _{1/2} =68.3min	使用	1.67E+09	1.67E+06	2.51E+11	PET 显像诊断	很简单的操作		
20	^{99m} Tc	液态, 低毒, 半 衰期 6.02h	使用	1.85 E+10	1.85 E+07	4.63 E+12	SPECT 显像	很简单的操作		
21	⁸⁹ Sr	液态/中毒/ T _{1/2} =50.5d	使用	7.4E+08	7.4E+07	3.70E+10	骨转移瘤	简单操作		
22	²²³ Ra	液态/极毒/ T _{1/2} =11.434d	使用	2.96E+08	2.96E+07	7.4E+10	骨转移瘤	简单操作		
23	¹⁸⁸ Re	液态/中毒/ T _{1/2} =16.98h	使用	2.96E+08	2.96E+09	7.4E+10	骨转移瘤	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量	额度电流 (mA) / 剂量率 (cGy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用直线 加速器	II类	3	待定	电子	最大电子线能量： $\leq 22\text{MeV}$ 最大 X 射线能量 $\leq 15\text{MV}$	$\leq 2400\text{cGy/min}$	放射治疗	医学综合楼负四层 放疗科	
2	回旋加速 器	II类	1	待定	质子	19MeV	最大束流 $\leq 150\mu\text{A}$	制备放射 性药物	医学综合楼负一层 核医学科	

(二) X 射线机、包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	CT 模拟定位机	III	2	待定	150	1000	放射诊断	医学综合楼负四层放疗科	
2	PET/CT	III	1	西门子 Biograph Vision	140	666	放射诊断	医学综合楼负一层核医学科	
3	PET/CT	III	1	GE Discovery MI	140	600	放射诊断	医学综合楼负一层核医学科	
4	SPECT/CT	III类	1	待定	130	345	放射诊断	何善衡楼负一层核医学科	
5	DSA	II	1	待定	125	1250	介入治疗	门急诊大楼一层	
6	DSA	II	4	待定	125	1250	介入治疗	医学综合楼二层介入中心 DSA1-DSA4 室	
7	DSA	II	1	待定	125	1250	介入治疗	医学综合楼二层介入中心 DSA-CT-MRI 复合手术室	
8	CT	III	1	待定	140	1000	介入治疗		

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (uA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
									活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-	-	总 $\alpha < 1.6\text{E}+5\text{Bq}$ 总 $\beta < 1.6\text{E}+6\text{Bq}$	总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	衰变池	满足 GB18871 规定的限值后，排入医院污水处理站
放射性固体废物	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-	-	$< 500\text{kg}$	-	暂存在废物间、储源室	经检测，满足清洁解控水平后，按一般医疗废物处理
放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-	-	-	-	不暂存	经排气口高效吸附过滤排放
臭氧、氮氧化物	气态	-	-	0.18g	2.16g	$< 0.002\text{mg/m}^3$	-	设置通风系统。以保证工作场所良好通风
废靶和废树脂	固态	-	-	-	-	-	不暂存	厂家回收
废气吸附剂	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-	-	-	-	暂存在废物间	经检测，满足清洁解控水平后，按一般医疗废物处理
废 ^{68}Ge 、 ^{22}Na 源	固态	-	-	-	-	-	不暂存	厂家回收

注：1、常规废物物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固态为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；年排放总量用 kg 。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（ Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3 ）和活度（ Bq ）

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日通过。2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行） (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改<中华人民共和国劳动法>等七部法律的决定》修正) (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 6 月 28 日通过，2003 年 10 月 1 日起施行） (4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院第 682 号令，2017 年 6 月 21 日通过，2017 年 10 月 1 日施行） (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日中华人民共和国国务院令第 449 号公布，根据 2014 年 7 月 29 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第一次修订，根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订） (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令 18 号，2011 年 3 月 24 日公布，2011 年 4 月 18 日公布，2011 年 5 月 1 日施行） (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布；根据 2008 年 12 月 6 日环境保护部令第 3 号修改；根据 2017 年 12 月 20 日环境保护部令第 47 号修改；根据 2019 年 7 月 11 日由生态环境部令第 7 号修改） (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行） (9) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号） (10) 《关于发布《射线装置分类》的公告》（环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日公布实施） (11) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部
------	--

	令第9号，于2019年9月20日公布，自2019年11月1日起施行） （12）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部2019年第57号公告） （13）《生态环境部令 部令第9号 建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（部令第9号）
技术标准	1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； 2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 3）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； 4）《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）； 5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020） 7）《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）； 8）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； 9）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； 10）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）； 11）《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）； 12）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 13）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）； 14）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； 15）《医疗机构污水排放标准》（GB 18466-2005）； 16）《水污染物排放限值》（DB4426-2001），广东省地方标准。 17）《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T34127-2017） 15）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） 16）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

其他	(1) 《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年） (2) 《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护，1991. 第 1 期） (3) 委托书 (4) 业主提供的相关资料
----	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定，并结合项目特点，确定本次核技术利用扩建项目的评价范围为放疗科射线装置机房、核医学工作场所实体屏蔽物和 DSA 机房边界外 50m 的区域。

7.2 保护目标

本项目地理位置位于广东省广州市中山二路 58 号，拟建医学综合楼位于医院西侧，医学综合楼东侧为医院道路，道路对面为曾宪梓楼，南侧为门急诊大楼，北侧为中山大学医学科技综合楼，西侧为中山大学同位素楼。项目四至图见图 1-2。建设项目所在的医学综合楼包括地上 24 层，地下 4 层，本项目放疗科位于地下 4 层，核医学科位于地下 1 层。医院北侧何善衡楼负一层西侧拟设置核医学科，辐射工作场北侧约 30m 为中山大学游泳场、西侧约 30m 为中山大学医学科技综合楼、东侧约 60m 为住宅、南侧约 50m 为手术科大楼。拟建 DSA 手术室位于门急诊大楼一层东侧，手术室东侧为医院道路，南侧为电梯间和自行车库入口，西侧为导管室和操作间，北侧为清洁走廊、患者更衣室和设备间，项目评价范围示意图见图 7-1。该建设项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

评价项目	方位	距离	保护目标	保护要求	备注
放疗科项目	直加机房北侧	相邻	直加备件室、候诊区	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	直加机房西侧	相邻	控制室、辅助机房	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	直加机房东侧	相邻	车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	直加机房楼上	相邻	车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	CT 模拟定位机房 1 室北侧	相邻	走廊	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	CT 模拟定位机房西侧	相邻	抢救兼注射室、走廊	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	CT 模拟定位机房 2 室南侧	相邻	QA 质控室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	CT 模拟定位机	相邻	配电间、车库	年有效剂量不	公众

	房东侧			超过 0.25mSv	
	CT 模拟定位机房 1 室南侧/CT 模拟定位机房 2 室北侧	相邻	控制室	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	CT 模拟定位机房楼上	相邻	车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放疗科北侧	≤50 米	卫生间、新风机房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放疗科西侧	≤50 米	电梯厅、楼梯间、配电室、办公室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放疗科东侧	≤50 米	车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
核医学科回旋加速器放射性药物制备场所	回旋加速器放射性药物制备场所内	-	热室、回旋加速器操作室、质控室等	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	回旋加速器放射性药物制备场所南侧	相邻	空调机房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	回旋加速器放射性药物制备场所东侧	相邻	核医学科放射性药物使用场所	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
			电梯厅、排风机房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	回旋加速器放射性药物制备场所上方	相邻	室外草坪	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	回旋加速器放射性药物制备场所楼下	相邻	低压配电房、变压器房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
核医学科放射性药物使用场所	放射性药物使用场所内	-	分源标记室、PET/CT 控制室等	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	放射性药物使用场所北侧	相邻	走廊	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放射性药物使用场所西侧	相邻	回旋加速器放射性药物制备场所	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
			电梯厅	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放射性药物使用场所南侧	相邻	候诊区	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放射性药物使用场所东侧	相邻	车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	放射性药物使用场所下	相邻	消防水池	-	人员无法到达

	放射性药物使用场所上	相邻	保安值班室、教室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	核医学科北侧	≤50 米	新风机房、排风机房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	核医学科南侧	≤50 米	医生办公室、会议室、诊室、护士站	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	核医学科东侧	≤50 米	车道、车库	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
介入中心	DSA 机房内	-	医生、护士	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	DSA 机房四周	相邻	控制室	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
			候诊区	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	DSA 楼上	相邻	耳鼻喉科候诊厅、诊室、硬镜室、软镜室等	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	DSA 楼下	相邻	大堂、消防控制中心、安保中心、MRI 机房、护理站、茶水间、设备间等	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
医学综合楼	北侧	约 41 米	中山大学医学科技综合楼	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	西侧	约 47 米	中山大学同位素楼	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	南侧	相邻	门急诊大楼	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	东侧	约 44 米	曾宪梓楼	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
门急诊大楼 DSA 手术室	DSA 机房内	/	医生、护士	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	东面	相邻	道路	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	南面	相邻	楼梯间、电梯间	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	西面	相邻	导管室、操作间	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	北面	相邻	清洁走廊、患者更衣室、设备间	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	楼上	相邻	配剂室、护士站和观察室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	楼下	相邻	车库	年有效剂量不	公众

				超过 0.25mSv	
	东面	约 21 米	汇隆大厦	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	南面	≤50 米	急诊候诊区、污物室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	西面	≤50 米	诊室、医护办公室	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	北面	≤50 米	曾宪梓楼、拟建医学综合楼	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
何善衡楼核医学科工作场所	场所内	-	注射室、控制室	年有效剂量不超过 5mSv	辐射工作人员
	东侧	相邻	楼梯、电梯厅、MR 设备间	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	南侧	相邻	后勤通道	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	西侧	相邻	电梯、楼梯、通道、排风机房	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	北侧	相邻	通道	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众
	楼上	相邻	体检中心	年有效剂量不超过 0.25mSv	公众

表 7-2 本项目周围调查环境描述

周围环境现状调查		方位、距离	环境保护描述人群/人数
医学综合楼周围调查分布情况	中山大学	西侧、北侧相邻	大学学生
	外科住院大楼	东侧约 68 米	流动人群
	财富置业	东南侧约 135 米	商住人群
	汇隆大厦	东南侧约 75 米	商住人群
	中山二路	南侧约 70 米	流动人群
	广州市第十六中学	南侧约 100 米	中学学生
何善衡楼核医学科周围调查分布情况	手术科大楼	南侧约 50 米	流动人群
	中山大学医学科技综合楼	西侧约 30 米	大学学生
	中山大学游泳场	北侧约 30 米	大学学生

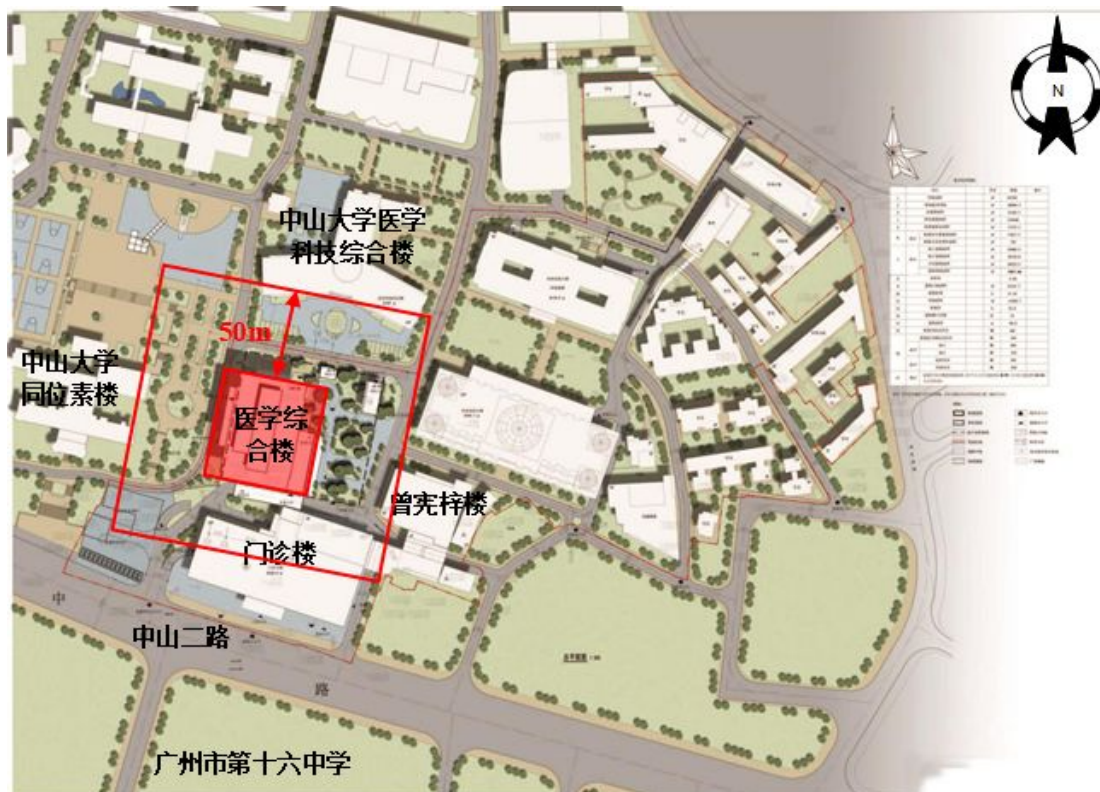


图 7-1 新建医学综合楼项目评价范围示意图

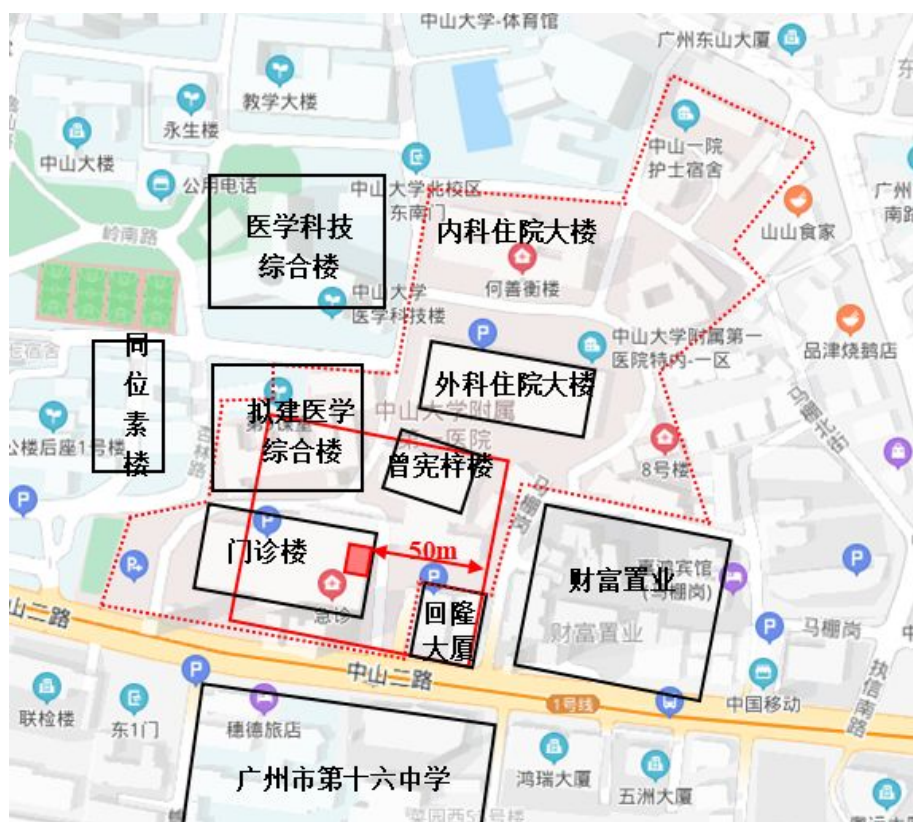


图 7-2 DSA 手术室项目评价范围示意图

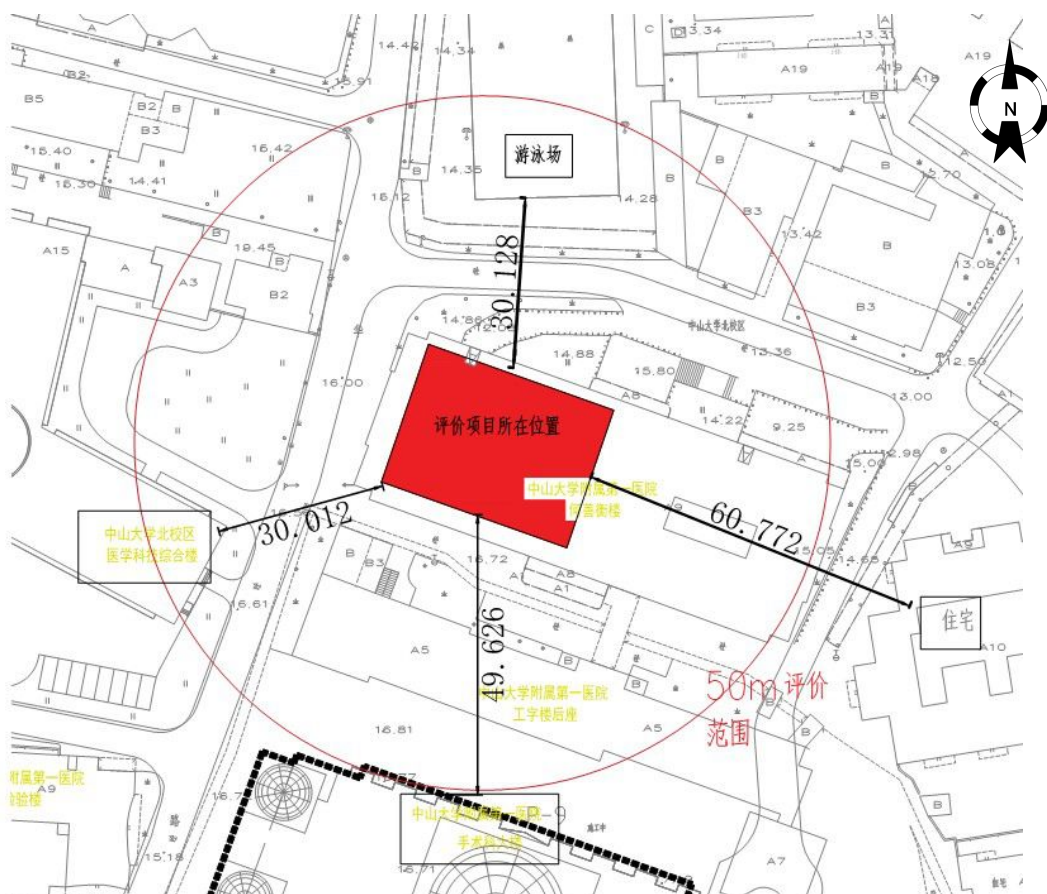


图 7-3 何善衡楼核医学项目评价范围示意图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7-3 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B 1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a)由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv d)四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值： a) 年有效剂量，1mSv

本项目剂量约束值：按防护与安全的最优化要求，结合本项目实际情况，取职业照射年平均有效剂量的四分之一作为职业工作人员的年有效剂量剂量约束值，即不超过

5mSv；取公众照射年有效剂量的四分之一作为公众成员的年有效剂量剂量约束值，即不超过 0.25mSv。手部和皮肤年有效剂量剂量约束值为 500mSv。

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.3 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-4 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量（Bq）
甲	$>4\times10^9$
乙	$2\times10^7\sim4\times10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim2\times10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-5 和表 7-6。

表 7-5 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污 染的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

7.3.4 工作场所辐射剂量率控制水平

(1) 直线加速器机房

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T 201.2—2011）第 4.2 款治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑：

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b)、c)所确定的剂量率参考控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

a) 由周剂量参考控制水平（ H_c ）和相应放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子求得各关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的工作人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）和 b)中的最高剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ），选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平。

② 根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）6.1.3：在加速器迷宫门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

因此对于加速器机房，结合上述①和②，选择其中较小者作为关注点的辐射剂量率最终控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

(2) 模拟 CT 机房、核医学科 PET/CT 机房

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 5.4 款：X 射线设备机房屏蔽体外表面 0.3m 处的辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，确定本评价项目的 PET/CT 机房的屏蔽墙、

防护门、及顶棚外 30cm 处的辐射剂量率控制水平为不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.5 非密封放射性物质工作场所表面放射性污染的控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）：工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

根据其第 B2.1 款对工作场所的表面污染控制水平的相关规定，确定本评价项目中非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染控制水平如表 7-7 所列。

表 7-7 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位： Bq/cm^2

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、批复、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}
1) 该区内的高污染子区除外				

7.3.6 核医学工作场所内部及设备的表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B2.2 规定，工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-7 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经主管部门确认同意后，可当作普通物品使用。即控制区内表面污染 $\leq 0.8 \text{ Bq/cm}^2$ 。

7.3.7 放射性三废排放要求（标准）

（1）放射性废水排放标准

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10ALImin （ ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）；

b) 每一次排放的活度不超过 1ALImin ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水 进行冲洗。

由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值：

$$\text{ALI} = I_{j,L} = \text{DL}/e_j$$

式中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值；

e_j ——放射性核素 j 的年摄入量限值所致的待积有效剂量的相应值。

（2）放射性固体废物清洁解控水平

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009），经审管部门确认或批准，放射性废物中核素的活度浓度不大于附录 A 表 A1 所示豁免水平的废物，按解控废物（医疗垃圾）处理。核医学科常用核素的清洁解控水平见表 7-8。

表 7-8 核医学常用核素的清洁解控水平

解控水平（Bq/g）	放射性核素
1×10^4	^{14}C
1×10^3	^{32}P 、 ^{51}Cr 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{125}I 、 ^{133}Xe
1×10^2	^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{90}Sr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{124}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{201}Tl 、 ^{208}Pb
1×10^1	^{18}F 、 ^{60}Co

不能按解控废物处理的固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以整备、收集，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平 $\alpha < 0.04 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。

（3）放射性废气排放标准

根据《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中 B1.3.4，可导出放射废气中核素的导出浓度限值（DAC 值），核医学科常用的几种核素的 DAC 值见表 7-9。

表 7-9 核医学科常用的几种核素的公众 DAC 值

核素名称	工作场所		公众（排风口或环境敏感点）	
	浓度限值（Bq/m ³ ）	吸入总活度（Bq）	浓度限值（Bq/m ³ ）	吸入总活度（Bq）
C-11	1.45E+5	4.18E+8	5.28E+3	5.56E+7
F-18	3.73E+4	1.08E+8	1.63E+3	1.69E+7
Cu-64	2.31E+04	6.67E+07	8.04E+02	8.33E+06
Ga-68	3.47E+4	1.00E+8	1.94E+4	2.04E+7
Sr-89	4.63E+2	1.33E+6	1.22E+1	1.27E+5
Re-188	4.69E+3	1.35E+7	1.79E+2	1.85E+6
Ra-223	5.03E-01	1.45E+03	1.11E-02	1.15E+02
Ac-225	3.99E+00	1.15E+04	1.13E-02	1.18E+02

计算过程说明：计算时职业照射剂量限值取 10mSv/a（内、外照射各占 50%），公众取 1mSv/a；职业工作人员年工作 2400h（年工作 300d、每天工作 8h），呼吸量为 1.2m³/h，取 F、M、S 三种状态下不同气溶胶粒径 $e(g)1\mu\text{m}$ 、 $e(g)5\mu\text{m}$ 中的最大值；公众取年龄大于 17 岁 F、M、S 三种状态下的最大值。

7.3.8 模拟 CT 机房、核医学科 PET/CT 机房、DSA 机房辐射安全防护要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

第 6.1 款 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-10 的规定。

表 7-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个球管各安装在 1 个机房内。		

第 6.2 款 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-11 要求。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中的表 C.4~表 C.7。

表 7-11 介入 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
C 形臂 X 射线设备机房	2	2
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-11 的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100 cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μSv/h 时且 X 射

线设备表面与机房墙体距离不小于 100 cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

第 6.3 款 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25 mSv；

第 6.4 款 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

第 6.5 款 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-12 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5

mmPb；移动铅防护屏风铅当量 应不小于 2 mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5 mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查 类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层 摄影（隔 室）	/	/	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套； 选配：铅橡胶帽子	/
介入放射 学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/ 床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	/
注：“/”表示不要求。				

第 7.8 款 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ 128 的规定。

7.8.5 移动式 C 形臂 X 射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于影像增强器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。

按照《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）：

本标准适用于 CT 使用中的防护。

（1）CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设在建筑物

的一端。

(2) CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30m²，单边长度不小于 4m。机房内不应堆放无关杂物。

(3) CT 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

(4) CT 机房应保持良好的通风。

7.3.9 直线加速器机房辐射安全防护要求

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；

第 4 款 治疗机房一般屏蔽要求

第 4.1 款 屏蔽所考虑的环境条件

第 4.1.1 款 治疗机房一般设于供于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件所需要的屏蔽。

第 4.2 款 治疗机房布局要求

第 4.2.1 款 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

第 4.2.2 款 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用线束可直接照射到的区域。

第 4.6 款 缝隙、管孔和可能的薄弱环节的屏蔽考虑因素

第 4.6.1 款 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔。

第 4.6.2 款 当治疗机房预留治疗装置安装口或主、次屏蔽墙采用不同密度的混凝土时，交接处应采用阶梯式衔接。

第 4.6.5 款 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避开控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄露。

第 4.8 款 其他辐射相关的考虑因素

第 4.8.8 款 迷路的防护门结构应考虑门因自身重量而发生形变、频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等问题。防护门应尽可能减小缝隙泄漏辐射，通常防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；

第 5.3.4 款 终止照射后感生放射性的防护

第 5.3.4.1 款 此要求仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备。

第 5.3.4.2 款 在规定的最大周围剂量当量率下，进行 4Gy 照射，以间隙 10min 的方式连续运行 4h 后，在最后一次照射终止的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量 $H^*(d)$ ，且应满足下列要求：

a) 累计测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $10 \mu\text{Sv}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 $1 \mu\text{Sv}$ ；

b) 在不超过 3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $200 \mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 $20 \mu\text{Sv/h}$ 。

第 6.1.3 款 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

第 6.1.4 款 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

第 6.1.5 款 X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

第 6.1.6 款 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

第 6.1.7 款 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

第 6.1.8 款 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

第 6.1.9 款 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的指示灯及辐射标志。

第 6.1.10 款 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

根据《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）；

3.3 款 辐射安全系统

3.3.1 款 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2 款 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3 款 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4 款 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊、出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 款 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 款 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计、可携式监测仪、气体监测仪等。

3.3.7 款 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.1.7 使用移动式电子加速器的手术室应设在医院手术区的一端，并和相关工作用房（如控制室或专用于加速器调试、维修的储存室）形成一个相对独立区域，移动式电子加速器的控制台应与移动式电子加速器机房分离，实行隔室操作。

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30cm 处（关注点）的周围剂量率应不大于下述 a)、b)、c)所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ，见下式：

$$\dot{H}_c \leq H_c / (t \times U \times T)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考水平，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_c ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的工作人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见 GBZ121-2020 附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ：

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,\max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a)中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 和 b)中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

6.3.1.2 对移动式电子加速器治疗机房墙和入口门外 30 cm 处，当居留因子 $T \geq 1/2$ 时，其周围剂量当量率参考控制水平为 $\dot{H}_c \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ，当 $T < 1/2$ 时， $\dot{H}_c \leq 20 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30 cm 处，或在

该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.4.2 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以治疗房内墙面各设置一个急停开关。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.1 对于高于 10 MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。

7.2 后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源应急处理措施。

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

9 应急处理要求

9.1 应急预案的编制及要求

应制定放射治疗事件或事故应急预案。

7.3.10 核医学科工作场所辐射安全防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

1、工作场所平面布局和分区要求

（1）在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

（2）核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

（3）核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、

病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

（4）核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

（5）核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

（6）通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

（7）应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

2、放射防护措施要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

（1）核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

（2）应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类（见表 7-13）。不同类别核医学工作场所用

房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-16，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-13 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	> 50000
II	50—50000
III	< 50

加权活度计算方法见下式：

加权活度 = $\frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$

核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表表 7-14，不同操作性质的修正因子取值见表 7-15。

表 7-14 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ge、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	³ H、 ¹⁴ C、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 7-15 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理	
闪烁法计数和显像	10
候诊区及诊断病床区	
配药、分装及施给药	
简单放射性药物制备	1
治疗病床区	
复杂放射性药物制备	0.1

表 7-16 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
机构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不需要
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道

盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
^a 下水道宜短，下水流管道应有标记以便维修检测。 ^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			
(3) 核医学工作场所的通风按表 7-16 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。 (4) 分装药物操作宜采用自动分装方式，¹³¹I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。 (5) 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水道应做好防护设计。 (6) 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。 (7) 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。 (8) 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。 (9) 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。 (10) 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。			
3、工作场所的防护水平要求 根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） (1) 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。 (2) 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工			

作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-17。

表 7-17 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ^a	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、批复、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
a 该区内的高污染子区除外				

4、个人防护用品、辅助用品及去污用品配备要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

（1）开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ⁶⁸Ga、¹⁸F 等正电子放射性药物和 ¹³¹I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

表 7-18 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	-
正电子放射性药物和 ¹³¹ I 的场所	放射性污染防护服	-	-
敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等
粒籽源植入	铅橡胶衣、铅玻璃眼镜、铅橡胶围裙或三角裤	铅橡胶手套、铅橡胶围脖、0.25 mm 铅当量防护的三角裤或三角巾	植入部位对应的体表进行适当的辐射屏蔽
注：“—”表示不要求,宜使用非铅防护用品。			

应急去污用品主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防

水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

（2）根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。

5、放射性药物操作的放射防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

（1）操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

（2）装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

（3）操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

（4）操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

（5）控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

（6）操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。

（7）从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6、患者出院的管理要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

（1）接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 或距离患者体表 1 m 处的周围剂量当量率不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录 L 中 L.2 要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录 L 中 L.3 推荐的方法进行。

（2）对甲亢和甲状腺癌患者,出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

7.3.11 放射性废物管理要求

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)

5.1.1 款 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.3 款 经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

5.2.1 款 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位，应为住院治疗患者提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理。规定患者住院期间不得使用其他厕所。

5.2.2 款 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

5.2.3 款 专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理后再排入下水道系统。

5.2.7 款 对同时含有病原体的患者排泄物应使用专用容器单独收集，在贮存衰变、杀菌和消毒处理后，经审管部门批准可排入下水道系统。

6.1.1 款 按 4.2 放射性废物分类和废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。

6.1.2 款 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

6.1.3 款 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

6.1.4 款 包装材料中对注射器和破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他，然后再装入专用塑料袋内。

6.1.5 款 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg。

6.2 款 废物临时贮存

6.2.1 款 产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位，经审管部门批准可以

将其废物临时贮存在许可的场所和专门容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限制要求。

6.2.2 款 贮存室建筑结构应符合放射卫生防护要求,且具有自然通风或安装通风设备,出入口设电离辐射警示标志。

6.2.3 款 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠,并应在显著位置标有废物类型、核素种类,比活度水平和存放日期等说明。

6.2.4 款 废物包装体外表面的污染控制水平: $\alpha < 0.04 \text{Bq/cm}^2$; $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$

7.1 款 操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时,应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类,应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等,将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

8.2 设废物储存登记表,记录废物主要特性和处理过程,并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局,池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性,并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构,应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所,专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件,而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物,装满后的废物袋应密封,不破漏,及时转送存储室,放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物,应先装入利器盒中,然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ,质量不超过 20kg 。

8.9 储存场所应具有通风设施,出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠,并在显著位置标有废物类型、

核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

7.3.12 臭氧排放标准

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）的相关要求：工作场所空气中 O_3 容许浓度 $\leq 0.3\text{mg/m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理

中山大学附属第一医院位于广东省广州市中山二路 58 号，医学综合楼位于医院西侧用地，门急诊大楼北侧，何善衡楼位于医院北侧，DSA 机房位于门急诊大楼东侧。项目周边环境见图 8-1。



医学综合楼项目用地现状



医学综合楼项目用地现状



医学综合楼项目用地东面现状（5 号楼）



医学综合楼项目用地南面现状(门急诊大楼)



医学综合楼项目用地西面（同位素楼）



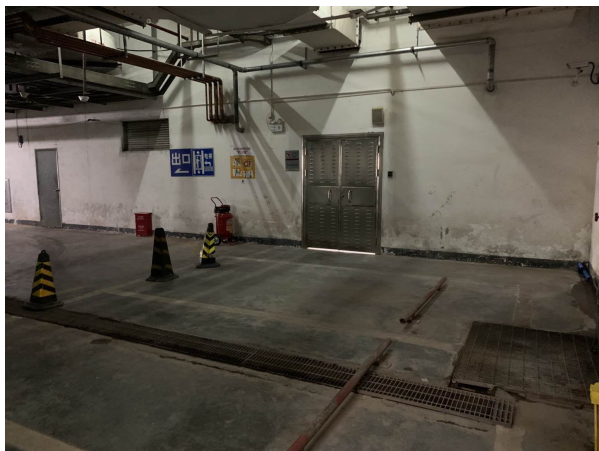
医学综合楼项目用地北面（医学科技综合楼）



DSA 手术室拟建场所



DSA 手术室拟建场所楼上



DSA 手术室拟建场所楼下



门急诊大楼东侧



门急诊大楼南侧



门急诊大楼西侧



门急诊大楼北侧



何善衡楼拟建项目位置现状



何善衡楼拟建项目楼上



何善衡楼拟建项目南侧



何善衡楼拟建项目东侧



何善衡楼拟建项目西侧



何善衡楼拟建项目北侧

图 8-1 环境现状图

8.2 环境质量和辐射现状

为掌握项目周围辐射环境现状，2020 年 2 月 25 日核工业东北分析测试中心监测人员对该医学综合楼项目周围 γ 辐射环境进行了监测，2020 年 12 月 10 日对该医学综合楼项目周围中子辐射环境进行了监测，监测报告见附件 3，2020 年 8 月 13 日广州达盛检测技术服务有限公司监测人员对该 DSA 手术室项目周围环境进行了监测，2020 年 10 月 26 日广州达盛检测技术服务有限公司对何善衡楼核医学项目拟建区域及周边场所进行环境 γ 辐射剂量率检测，监测报告见附件 3。

8.2.1 监测因子

本项目环境现状监测因子为： γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率。

8.2.2 监测内容

对项目场所及周围辐射水平进行现状调查。

8.2.3 监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ-T61-2001）中的方法布设监测点，结合本评价

项目的评价范围确定本次环境现状监测布点，监测布点图见图 8-2、图 8-3、图 8-4 所示。

8.2.4 监测仪器

表 8-1 辐射环境测量仪器主要技术参数一览表

医学综合楼 项目	仪器名称	剂量率仪
	仪器型号	6150 AD
	仪器编号	127070+126336
	生产厂家	德国 AUTOMESS
	能量响应	20keV-7MeV
	测量范围	1nSv/h-99.99 μ Sv/h
	检定单位	辽宁省计量科学研究院东北国家计量测试中心
	检定日期	2019 年 3 月 15 日
	检定证书编号	辽计 19051209173
	有效日期	2019 年 3 月 15 日-2020 年 3 月 14 日
医学综合楼 项目	仪器名称	中子周围剂量当量（率）仪
	仪器型号	FH40G-X/FHT762
	仪器编号	022902/0279
	生产厂家	Thermo
	能量响应	0.025 eV~5 GeV
	测量范围	10 nSv/h~100 m Sv/h
	检定单位	中国计量科学研究院
	检定日期	2020 年 3 月 26 日

	检定证书编号	DLjs2020-00268
	有效日期	2020 年 3 月 26 日-2021 年 3 月 25 日
门急诊大楼 DSA 手术室 项目	仪器名称	辐射检测仪
	仪器型号	AT 1123
	仪器编号	55658
	生产厂家	ATOMTEX
	能量响应	15keV-3MeV
	测量范围	50nSv/h—10Sv/h
	检定单位	湖北省计量测试技术研究院
	检定日期	2020 年 07 月 13 日
	检定证书编号	2020YD03920078
	有效日期	2020 年 07 月 13 日-2021 年 07 月 12 日
何善衡楼核 医学项目	仪器名称	辐射检测仪
	仪器型号	AT1123
	仪器编号	54635
	生产厂家	ATOMTEX
	能量响应	15keV-3MeV
	测量范围	50nSv/h—10Sv/h
	检定单位	中国计量科学研究院
	检定日期	2020 年 09 月 27 日

	检定证书编号	DI.j12020-07467
	有效日期	2020 年 09 月 27 日-2021 年 09 月 26 日

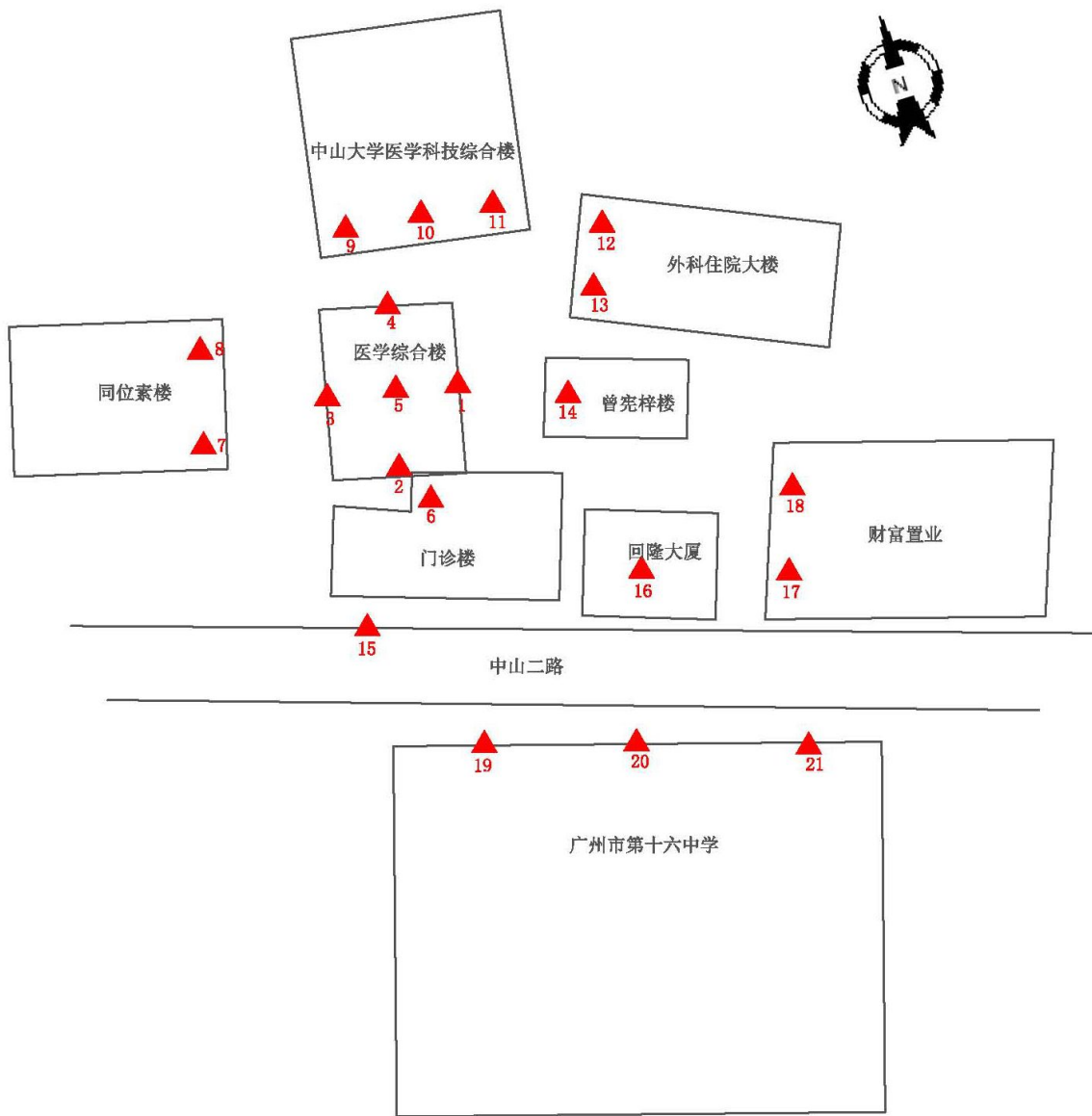
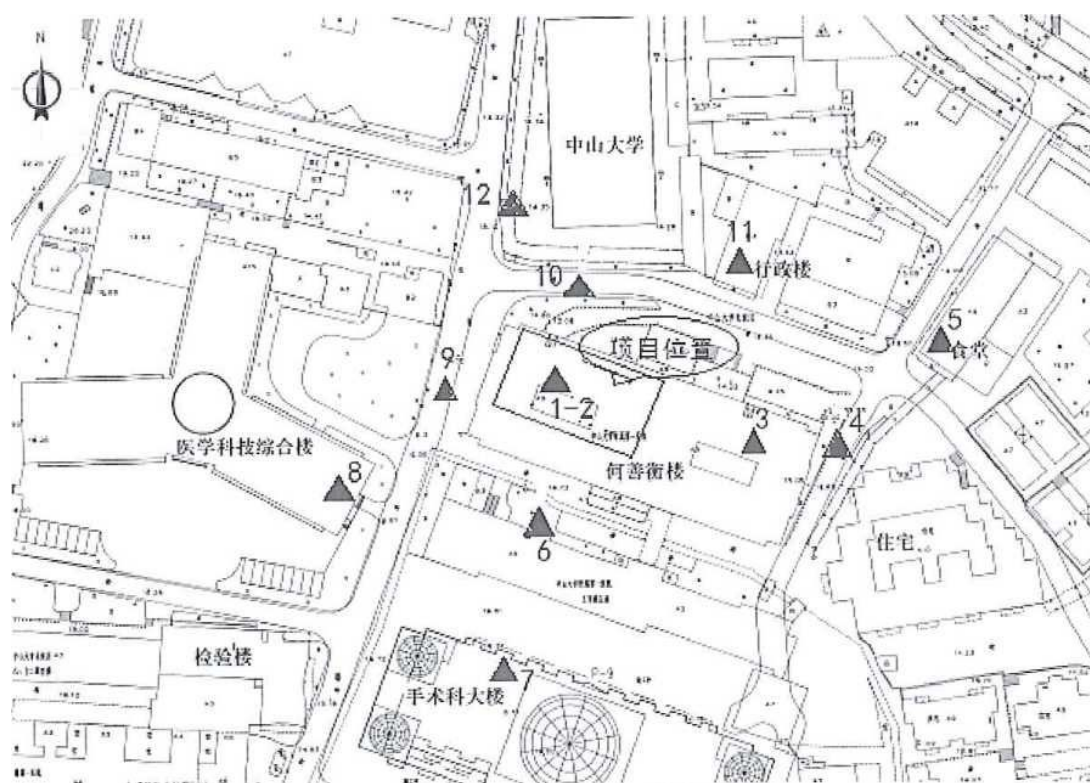


图 8-2 医学综合楼项目现场监测布点示意图



8.2.5 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年按规定定期经计量部门检定。检定合格后方可使用。
- (4) 对监测仪器进行各种比对。
- (5) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好。
- (6) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (7) 监测报告严格实行三级审核制度。

8.2.6 监测结果与评价

表 8-2 医学综合楼项目环境 X— γ 辐射剂量率监测结果

测点 编号	测点位置	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)		环境中子辐射 剂量率 (nGy/h)
		范围	均值	
1	拟建医学综合楼西南角（室外）	144-152	147	未检出
2	拟建医学综合楼东南角（室外）	153-157	155	未检出
3	拟建医学综合楼东北角（室外）	152-161	158	未检出
4	拟建医学综合楼西北角（室外）	160-167	163	未检出
5	拟建医学综合楼中部（室外）	156-162	159	未检出
6	拟建医学综合楼南侧相邻门诊大楼一层（室内）	155-162	159	未检出
7	拟建医学综合楼西侧约 47m 同位素楼一层南部（室内）	159-165	163	未检出
8	拟建医学综合楼西侧约 47m 同位素楼一层北部（室内）	151-168	156	未检出
9	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科技综合楼一层西部（室内）	155-163	159	未检出
10	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科技综合楼一层中部（室内）	162-173	167	未检出
11	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科技综合楼一层东部（室内）	162-171	166	未检出
12	拟建医学综合楼东部约 68 米外科住院大楼一层北侧（室内）	163-166	165	未检出
13	拟建医学综合楼东部约 68 米外科住院大楼一层南侧（室内）	156-162	161	未检出

14	拟建医学综合楼东侧约 44m 曾宪梓楼一层（室内）	146-152	149	未检出
15	拟建医学综合楼南侧约 70m 中山二路北侧	156-158	156	未检出
16	拟建医学综合楼东南侧约 75 米 汇隆大厦一层（室内）	158-164	162	未检出
17	财富置业一层宝芝林大药房北侧（室内）	152-168	164	未检出
18	财富置业一层宝芝林大药房南侧（室内）	165-174	168	未检出
19	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州市第 16 中学校北墙外西侧（室外）	147-152	149	未检出
20	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州市第 16 中学校门口（室外）	149-159	153	未检出
21	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州市第 16 中学校北墙外东侧（室外）	147-154	152	未检出
注：1、测量时仪器探头垂直向下，距离地面约 1m 高，每个测量点测量 10 个读数。 2、以上数据均未扣除宇宙射线的贡献。 3、中子周围剂量当量（率）仪的探测下限为：10 nSv/h				

表 8-3 门急诊大楼 DSA 手术室项目环境 X— γ 辐射剂量率监测结果

测点 编号	测点位置	环境 γ 辐射剂量率（nGy/h）		
		范围	均值	标准差
1	1 号楼拟建 DSA 场所内（室内）	125-132	129	2.0
2	1 号楼拟建 DSA 场所楼上（室内）	238-252	244	5.0
3	1 号楼拟建 DSA 场所楼下（室内）	147-159	156	3.6
4	1 号楼西侧院内道路（室外）	148-154	152	2.1
5	1 号楼南侧院内道路（室外）	184-195	191	3.2
6	1 号楼东侧院内道路（室外）	200-214	208	4.4
7	1 号楼东侧汇隆大厦一层门口（约 18m）（室外）	173-178	176	1.5
8	1 号楼北侧院内道路（室外）	168-180	173	3.9
9	1 号楼东北侧磁共振检查室一楼大厅（室内）	188-202	193	4.4
10	1 号楼北侧发热门诊一楼大厅（室内）	174-179	176	1.5
11	1 号楼南侧中山二路北边（室外）	150-155	154	1.7
12	1 号楼南侧广州市第十六中学大门处（约 58m）	150-162	156	3.5

	(室外)			
--	------	--	--	--

注：1、测量时仪器探头垂直向下，距离地面约 1m 高，每个测量点测量 10 个读数。
2、以上数据均未扣除宇宙射线的贡献。

表 8-4 何善衡楼核医学项目环境 X— γ 辐射剂量率监测结果

测点 编号	测点位置	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)		
		范围	均值	标准差
1	何善衡楼拟建核医学场所内	209~223	216	4.0
2	何善衡楼拟建核医学场所楼上	181~200	192	6.4
3	何善衡楼拟建核医学场所东侧影像中心二区	180 ~195	187	5.1
4	何善衡楼拟建核医学场所东侧院内道路	141 ~160	151	5.2
5	何善衡楼拟建核医学场所东侧食堂	143 ~159	152	5.7
6	何善衡楼拟建核医学场所南侧院内道路	152 ~162	157	3.2
7	何善衡楼拟建核医学场所南侧手术室大楼一楼 大厅	162 ~175	168	4.0
8	何善衡楼拟建核医学场所西侧中山大学医学科 技综合楼一楼	152 ~168	159	4.8
9	何善衡楼拟建核医学场所西侧院内道路	143 ~160	151	5.5
10	何善衡楼拟建核医学场所北侧院内道路	141 ~151	146	3.6
11	何善衡楼拟建核医学场所东北侧行政楼一楼通 道	146 ~162	152	4.6
12	何善衡楼拟建核医学场所北侧中山大学北校区 东南门	143 ~154	148	3.4

注：1、测量时仪器探头垂直向下，距离地面约 1m 高，每个测量点测量 10 个读数。
2、以上数据均未扣除宇宙射线的贡献。

由监测结果表明，拟建项目位置周围室内环境 γ 辐射监测值在 0.129~0.244 μ Gy/h 之间，周围室外环境 γ 辐射监测值在 0.147~0.208 μ Gy/h，对照《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年）对广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究结果：广州地区的室内 γ 辐射剂量率水平为 0.05~0.17 μ Gy/h，广州地区的道路 γ 辐射剂量率水平为 0.10~0.26 μ Gy/h。本评价项目建设区域周边的环境 γ 辐射空气比释动能率与本底相当。拟建项目位置周围环境均未检出中子辐射，扩建区域环境质量状况未见异常。

表 9 放疗科项目辐射环境影响评价

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期工程设备工艺分析

(1) 土建、改造、装修施工的工艺分析

此次评价项目工作场所的建设需建设放疗科功能房间，建成后装修施工、设备安装，最后进行竣工验收后运行使用，进行工艺流程及产污环节如图 9-1 所示：

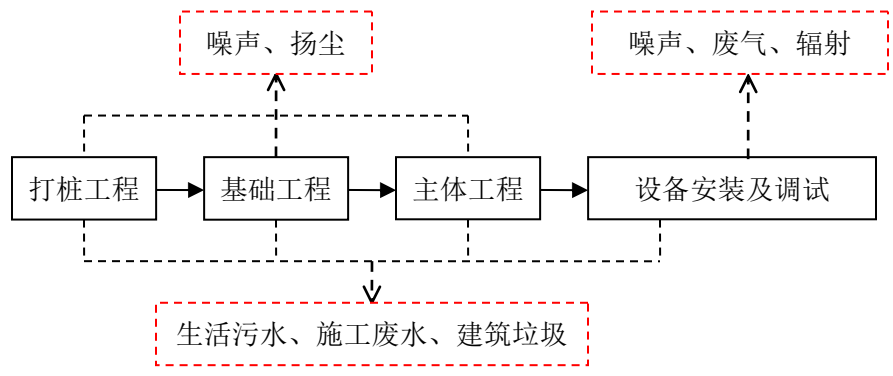


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

(2) 设备安装调试期间的工艺分析

本项目的射线装置在安装调试阶段，会产生 X 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

9.1.2 营运期工程设备工艺分析

1、医用直线加速器

(1) 工作原理

直线加速器主要是根据加速器的被加速高能电子轰击重金属材料的靶而产生射线的原理，利用加速器产生的不同能量的电子线和X射线，根据肿瘤的生物特性、部位和深度，选择适当能量、适当剂量的射线对病灶进行照射治疗。

该项目拟购医用直线加速器靶材料为重金属钨，在开机状态下产生电子线和 X 射线，电子线大能量可达 22MeV，X 射线的最大能量可达 15MV，这两种射线与生物组织作用的机理是不同的。电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗表浅部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在 35~45MeV 以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤灶有较大的破坏

作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害；X 射线，主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程中损失能量，X 射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

（2）设备组成

直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，后到达患者病灶实现治疗目的。医用直线加速器内部结构见图 9-2。

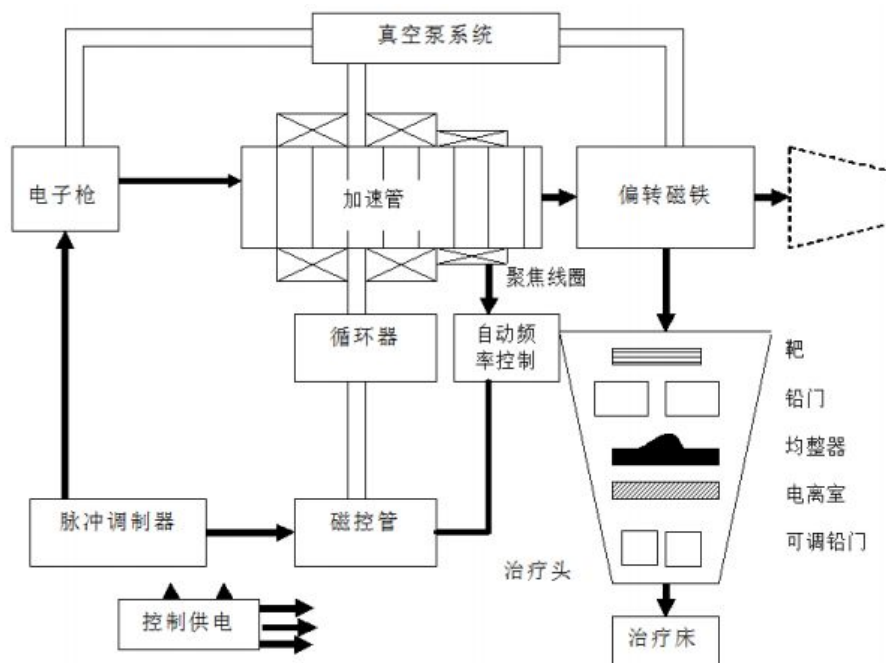


图 9-2 典型的医用电子直线加速器结构系统图

（3）操作流程

①模拟定位：借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

②治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。加速器剂量率是可调的，根据治疗需要一般在 2~5Gy/分之间变化，高能时的剂量率平均大于低能的。每次治疗剂量约 2~3Gy。

③治疗计划的确认：做好患者治疗计划，需要对患者治疗计划进行剂量验证。剂量验证是指将患者治疗计划移植到标准模体上并进行剂量计算，将模体放在加速器治疗床上，调用治疗计划进行照射，利用电离室对模体的等中心和周围剂量进行测量，然后与模体计划中的计算值相比较得出剂量偏差。该过程涉及到加速器出束，照射剂量为 2Gy 左右。

④治疗计划的执行：1) 设置治疗机的物理、几何参数。2) 护理人员将病人送入治疗室，放射工作人员进行摆位。3) 固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。4) 除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。5) 加速器出束，进行治疗。6) 治疗完毕，加速器停止出束，方可打开迷路防护门，护理人员将病人送出治疗室。

医用直线加速器操作流程及产污位置图见 9-3。

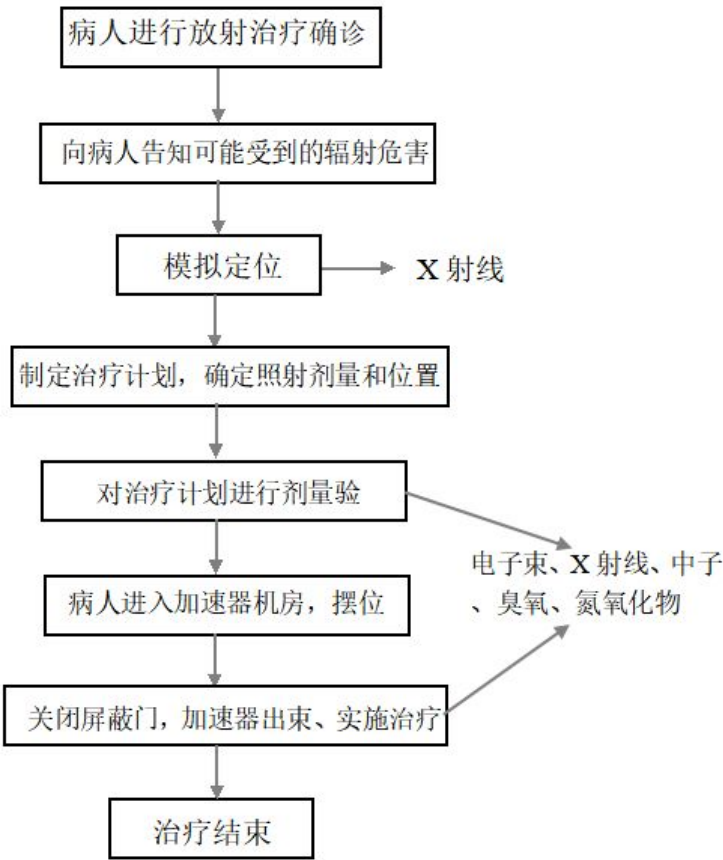


图 9-3 直线加速器营运期工艺流程及产污环节

(4) 设备参数

表 9-1 加速器主要设备参数

型号	待定
加速粒子	电子
最大电子能量 MeV	≤22MeV

最大 X 射线能量 MV	$\leq 15\text{MV}$
最大方形照射野	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$
最大输出剂量率	$\leq 2400\text{cGy/min}$
源轴距	100cm
泄漏辐射率	$\leq 0.1\%$

2、CT 模拟定位机

(1) 设备组成

CT 模拟定位机、模拟定位机主要由扫描系统、计算机系统、图像显示和存储系统三个部分组成，其中扫描系统由 X 射线管、探测器和扫描架组成。

(2) 工作原理

CT 模拟定位机利用 X 射线对人体不同组织的穿透力不同的原理，寻找病灶部位、形状及体积并给予定位、摄影。经过加速器控制系统的数字化仪表，将影响数据输入计算机，精确定位靶区位置及范围，以供制定治疗方案时使用。产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

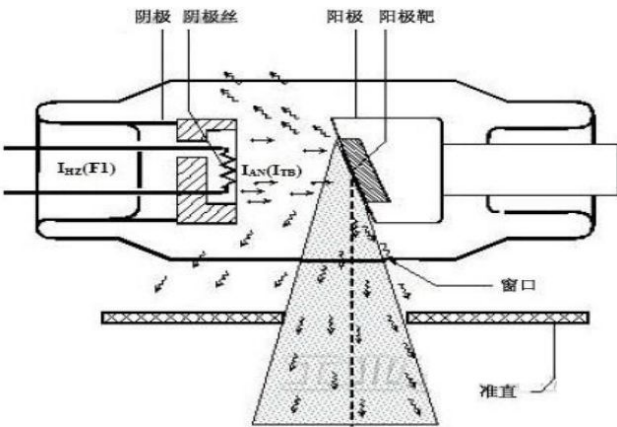


图 9-4 典型 X 射线管结构图

(3) 工作流程产污环节

工作流程如下：

- 1) 预约登记；
- 2) 受检者按约定时间在候诊区准备和等待；
- 3) 检查室内在医生的指导下正确摆位；

- 4) 医生进行隔室操作，利用各种 X 射线影像诊断设备进行拍片/透视；
- 5) 检查结束后离开检查室。

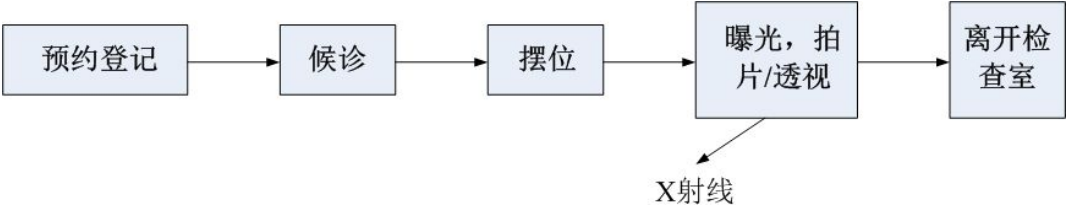


图 9-5 普通放射诊断 X 射线装置工作流程及产污环节示意图

9.2 放疗科辐射工作人员配备情况及工作负荷

目前项目相关工作尚在筹备阶段，项目建成后所需的辐射工作人员在原有辐射工作人员内部进行调配，调配人员在本项目投入运行之后停止其原有辐射工作内容，因此不涉及叠加剂量。建设单位暂拟为本次评价放疗科项目配备放射肿瘤医师、病理学专业技术人员、放射治疗技师、物理师、医学影像学专业技术人员等岗位，各岗位工作人员数量根据今后实际工作需求进行相应配置。工作人员配备计划及工作量见表 9-2、表 9-3。

表 9-2 工作人员配备计划表

科室	人员岗位	拟配备人员数	工作内容
放疗科	放射肿瘤医师	9	制定放射治疗方案和 CT 诊断
	病理学专业技术人员	2	病理分析
	放射治疗技师	4	操作技师
	物理师	2	制定治疗计划，设备定期维护
	医学影像学专业技术人员	11	治疗和操作

表 9-3 人员工作量

工作类别	工作岗位	日治疗检查患者人数	周工作时间	年工作 时间	出束时间/ 受照时间	备注
直线加速器治疗	技师	90 人	5 天	50 周	5min	4/5 调强治疗
					2min	1/5 常规治疗
CT 模拟定位机	技师	40 人	5 天	50 周	30s	每台设备每年约扫描 1125 位患者，每位患者按平均做模拟定位扫描 2 次，每次扫描时间约为 30s，则年出束时间约为 18.75h

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况

(1) 医用直线加速器

① X 射线

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

② 电子线

加速器产生高能电子线，随机器的开、关而产生和消失，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

③ 中子

医用电子直线加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，有可能产生中子。因绝大多数天然放射性核素的 (γ , n) 反应阈能在 10MV 以上，低于 10MV 的医用电子直线加速器可忽略感生放射性问题。本项目需评价的直线加速器产生的 X 射线最大能量为 15MV，所以本项目污染因子应考虑中子。加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，它来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质互相作用发生光核反应所产生的中子。直接光中子平均能量不超过 1MeV。直接光中子与加速器墙体作用发生弹性散射和非弹性散射，散射中子的能量约为 0.24MeV。直接光中子和散射中子的平均能量约为 0.34MeV。

④ 感生放射性物质

当直线加速器工作在 10MV 以上时，无论是 X 射线状态还是电子束状态，都会产生光核反应，从而产生感生放射性。主要包括两方面：①加速器机头结构材料的固态感生放射性核素。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性核素不会危害到屏蔽体外的人员。②气态感生放射性核素。15MeV 加速器运行时产生中子，中子可与空气作用产生放射性核素。电子能量超过反应阈能时，与空气中的 C、O、N、Ar 等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成明显的危害。

⑤ 臭氧、氮氧化物

加速器在运行过程中，射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧、氮氧化物，通过排风系统排入大气。医用直线加速器配备的一体化成像设备：由 X 射线装置

使用工作原理可知，该设备在非出线状态下不产生射线，只有在开机出线状态下才会有 X 射线产生，由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题，该设备配合直线加速器一同使用。综上，开机期间，X 射线、中子、感生放射性物质成为高能电子直线加速器污染环境的主要因子。

⑥放射性固体废物

加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂，可吸附循环水中的放射性感生核素。另外，靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶和废树脂为放射性固体废物。另外废树脂为危险废物，危废类别为 HW13，危废代码为 900-015-13。

(2) CT 模拟定位机

在采取隔室操作的情况下，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，X 射线机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

9.3.2 事故工况

对于医用直线加速器等射线装置的使用，当关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素，最大可能的事故主要有三种：

- ①射线装置在不停机，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射；
- ②在防护屏蔽达到要求、报警系统发生故障的情况下，公众、辐射工作人员误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射；
- ③因管理不善，人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

9.4 辐射安全与防护

9.4.1 项目安全设施

9.4.1.1 直线加速器

1、直线加速器工作场所布局

建设项目工作场所主要包括医学综合楼地下四层的办公区和放射治疗区域及附属用房，具体布局如下：

- (1) 加速器治疗区域：3 间加速器机房及其控制室、水冷机房均拟设在地下四层的南侧中间位置，3 间机房呈南北镜面设计，有用线束朝向的南墙、北墙和室顶部分均按主屏

蔽墙设计，有用线束不朝向迷路和人员全居留场所，L 型迷路设在治疗机房西侧，控制室和水冷机房设在加速器机房的西侧，其东墙与加速器机房西墙共用。

（2）其他用房

直加备件室、候诊区、QA 设备间、诊室、抢救室（兼注射）、护士站、模拟 CT 机房及其控制室等附属用房设治疗区域北侧；模具间、物理计划治疗室、医护办公室、卫生间设在治疗区西侧。模拟 CT 机的主射线朝向东墙、西墙和楼顶，有用线束不朝向控制室和人员全居留场所。

（3）楼上、楼下相邻用房

加速器所在区域上层对应车库，下层为土层；模拟 CT 所在区域上层对应车库，下层为土层。

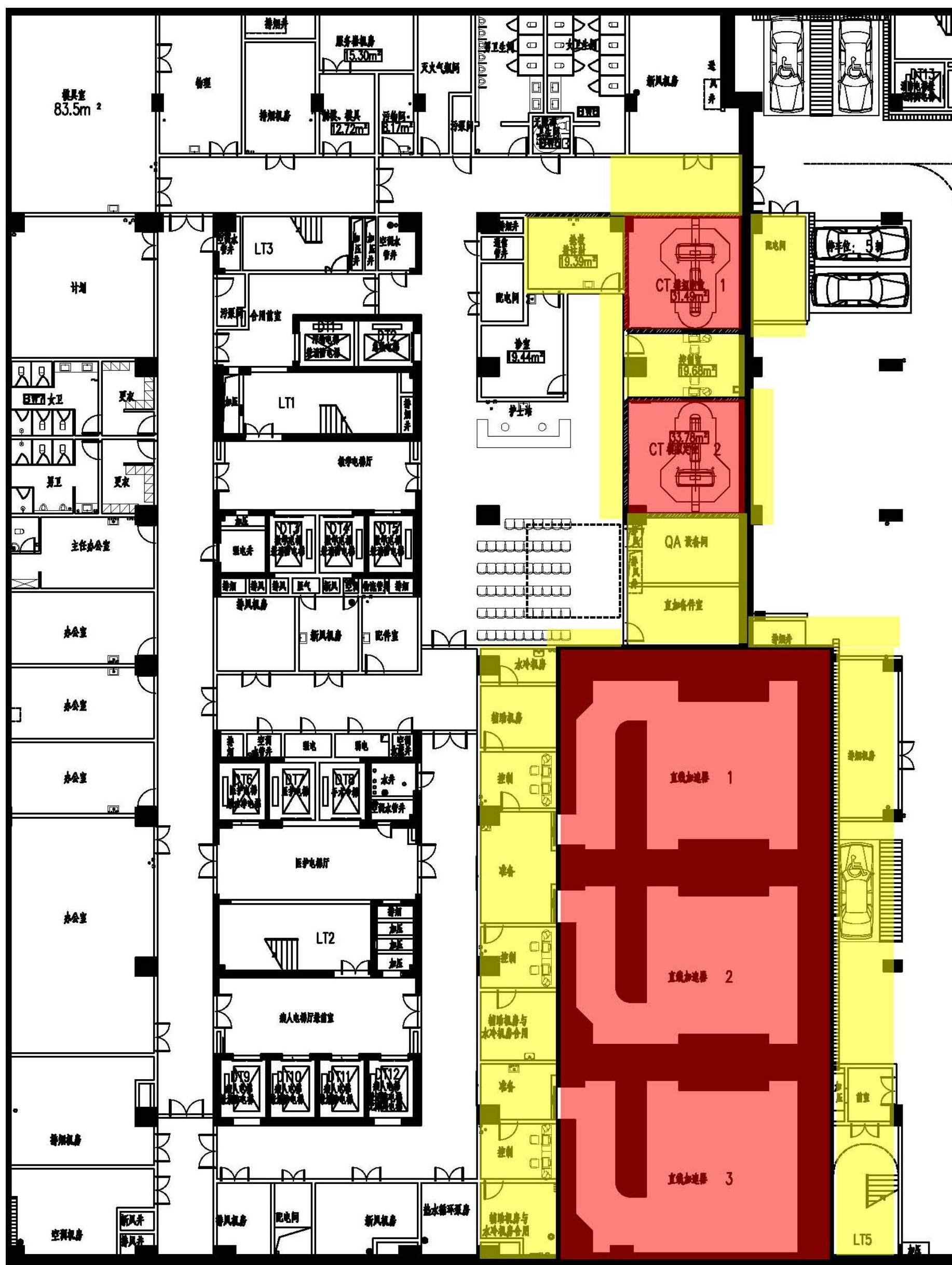
放疗科射线装置机房布置图见附图二。

2、直线加速器工作场所分区管理

医院按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。以防护门为界，机房内确定为控制区，控制室、辅助机房及防护门外区域为监督区，分区图见图 9-6。

控制区：以防护门为界，机房内确定为控制区，在控制区的进出口及其他适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，并设置防护门的门锁和联锁装置。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常治疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。

监督区：控制室、准备间、辅助机房、候诊区和机房外 30cm 范围内人员可到达区域。对该区不采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射剂量。



86

3、加速器机房的屏蔽设计

本次新建的 3 个直线加速器机房并排对称布置，加速器机房主体结构均采用普通混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的结构设计，加速器机房房顶采用重晶石（密度 $\geq 3.5\text{t/m}^3$ ）屏蔽。防护门均做了辐射防护设计，具体设计方案见表 9-4，直线加速器机房平面图、剖面图见附图三。

表 9-4 直线加速器机房设计参数

机房	项目		设计参数
加速器机 房 1	东墙	副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	南墙	主屏蔽墙	3000mm 混凝土，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	北墙	主屏蔽墙	3000mm 混凝土，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	2200mm 重晶石，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1500mm 重晶石
	迷道		宽 2200mm，迷路内墙厚 1600mm，迷路外墙厚 1000~1900mm，混凝土结构
	地坪		无地下室
	高		3.6m
加速器机 房 2	治疗室有效面积		61.5m ² （7.5m×8.2m）
	东墙	副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	南墙	主屏蔽墙	3000mm 混凝土，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	北墙	主屏蔽墙	3000mm 混凝土，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	2200mm 重晶石，宽 4800mm
		副屏蔽墙	1500mm 重晶石
	迷道		宽 2200mm，迷路内墙厚 1600mm，迷路外墙厚 1000~1900mm，混凝土结构
	地坪		无地下室
	高		3.6m

		治疗室有效面积	61.5m ² (7.5m×8.2m)
加速器机房 3	东墙	副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	南墙	主屏蔽墙	1100mm 混凝土+土层
		副屏蔽墙	1100mm 混凝土+土层
	北墙	主屏蔽墙	3000mm 混凝土, 宽 4800mm
		副屏蔽墙	1900mm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	2200mm 重晶石, 宽 4800mm
		副屏蔽墙	1500mm 重晶石
	迷道		宽 2200mm, 迷路内墙厚 1600mm, 迷路外墙厚 1000~1900mm, 混凝土结构
	地坪		无地下室
	高		3.6m
		治疗室有效面积	72.2m ² (8.8m×8.2m)
注: 混凝土密度≥2.35t/m ³ , 重晶石混凝土密度≥3.5t/m ³			

4、防护门屏蔽设计

直线加速器机房均设计安装电动平开门,屏蔽设计均为 140mm 含硼聚乙烯(5%)+18mmPb 铅板,加速器机房的电动防护门与加速器装置联锁,一旦防护门被打开,联锁装置将立即切断加速器治疗机的出束开关,使加速器立即停止出束。防护门框上方拟设有电离辐射标志和工作指示灯。

5、加速器机房通风设计

3 间直线加速器机房拟各自设置通风系统,进风口拟设在机房装修室顶,排风口拟在治疗室东北角、西南角各设置一个距地面 30cm 处,风口设计大小均为 500mm×400mm;风量 3000m³/h;通风管道(500mm×400mm)呈“S”型从机房门上方穿过屏蔽墙,通过折叠设计,增加管道中的射线的散射次数,尽可能减弱对屏蔽体的屏蔽效果的影响。直加机房送风口位于机房迷道内墙两端顶部位置(距地面 3m),送风口与排风收集口形成对角分布,通风设计基本满足“高进低出、对角设置”的要求。直线加速器机房通风图见附图四,图 9-7 为直线加速器机房通风管道穿墙剖面图。根据建设单位提供的资料,排风机额定风量为 3000m³/h,在不考虑排风功率损失的情况下,面积较大的治疗室的有效容积为 221.4m³,通风换气次数可达 13 次/h,能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“治疗室通风换

气次数应不小于 4 次/h” 的要求。

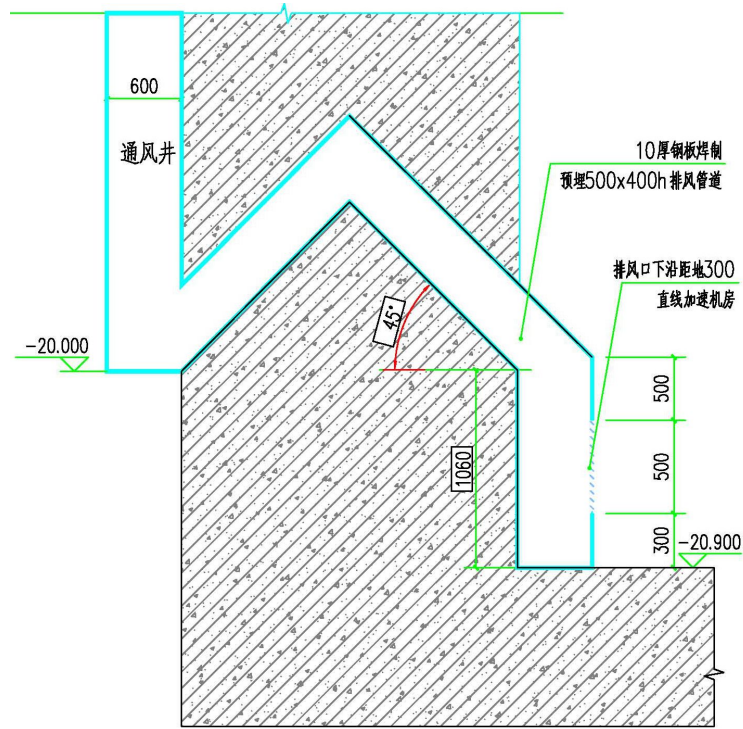


图 9-7 直线加速器机房通风管道穿墙剖面图

6、电缆管线穿墙设计

设备电缆穿墙方式拟采用倒梯形设计，电缆沟宽 500mm，深 350mm，以保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，电缆管线穿墙剖面图见图 9-8。

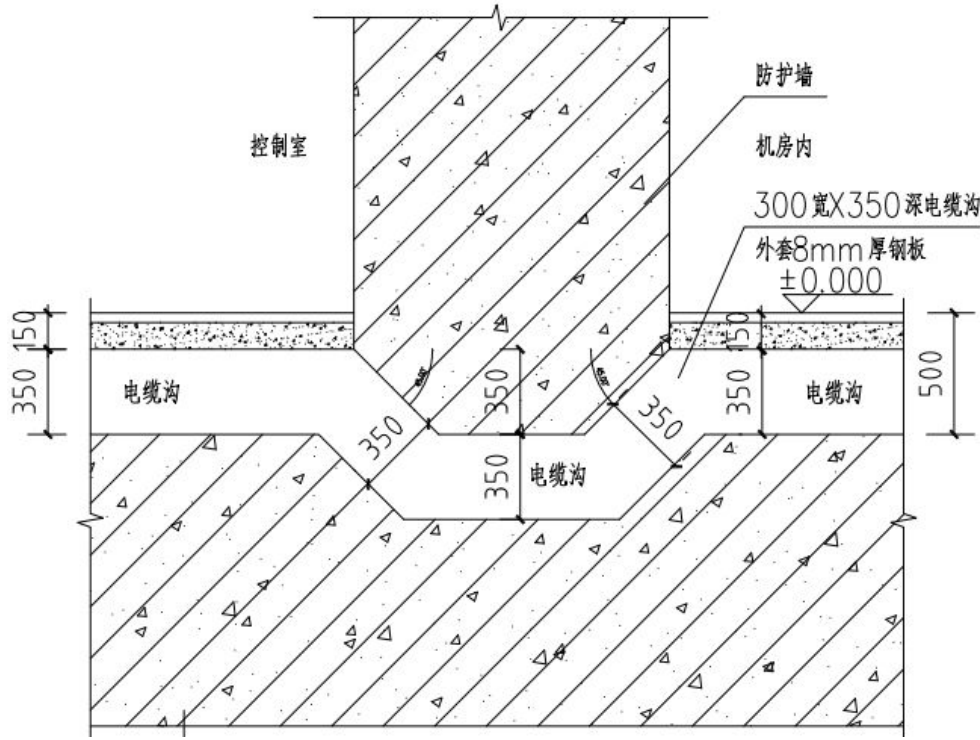


图 9-8 电缆管线穿墙剖面图

7、防护安全装置

(1) 紧急停机开关：每间加速器工作场所拟设置急停开关 7 个（控制室 1 个、迷路入口处 1 个、治疗室内 5 个），紧急停机开关有明显的标志，供应急停止使用，事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。

(2) 影像监控装置：每个机房内设置 2 个监控摄像头，实时监视机房内部情况。

(3) 对讲系统：在治疗室内中央顶部处设置对讲装置。

(4) 双道剂量监测系统：加速器自身自带 2 台双道剂量监测系统。

(5) 紧急开门按钮：在迷路内墙靠近防护门处设置 1 个紧急开门按钮。

(6) 辐射安全警示措施：在防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防护门粘贴放射防护注意事项，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。图 9-9 为安全联锁逻辑关系图，直线加速器机房辐射安全设施布局示意图见图 9-10。

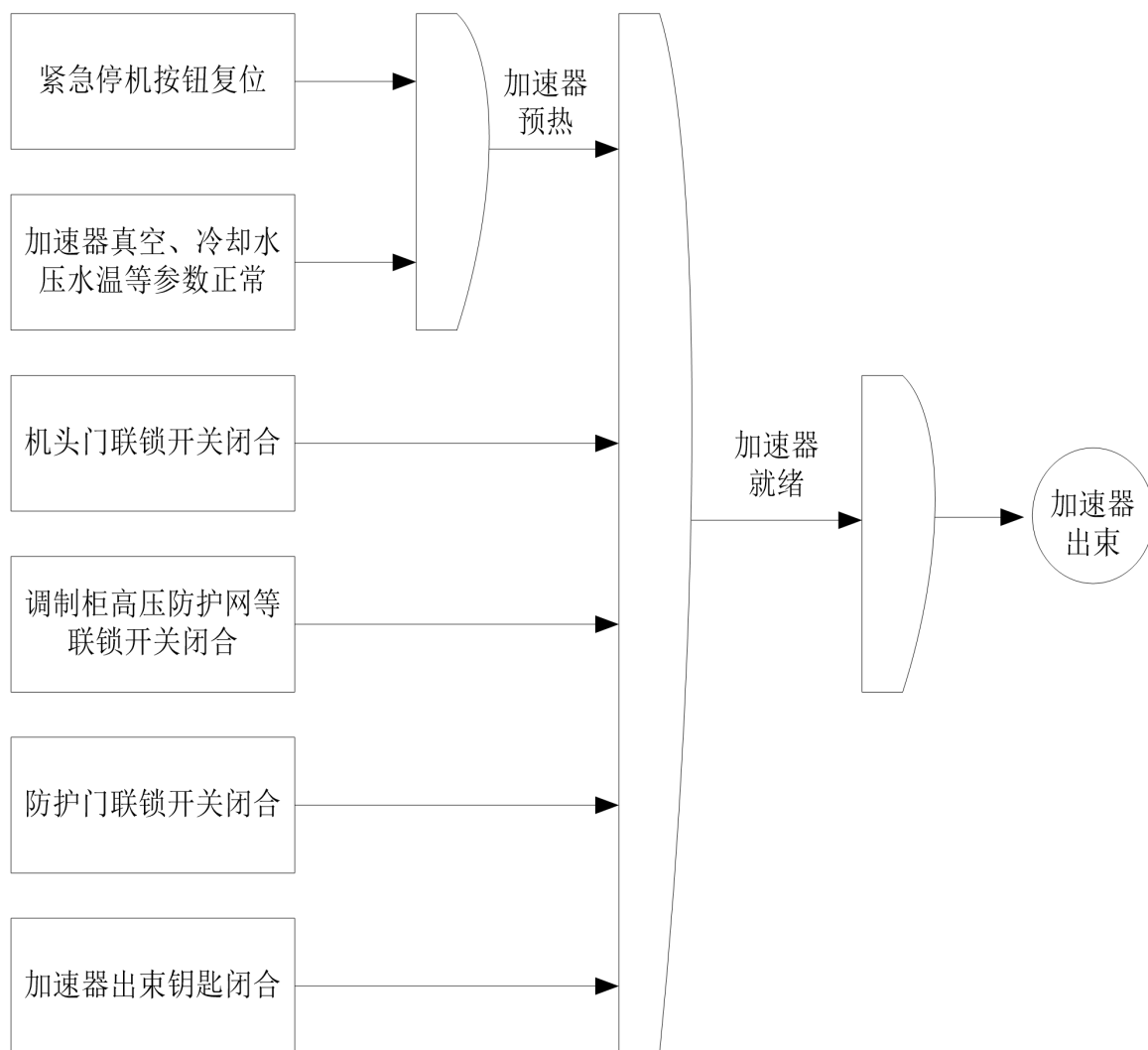


图 9-9 加速器安全联锁逻辑关系图

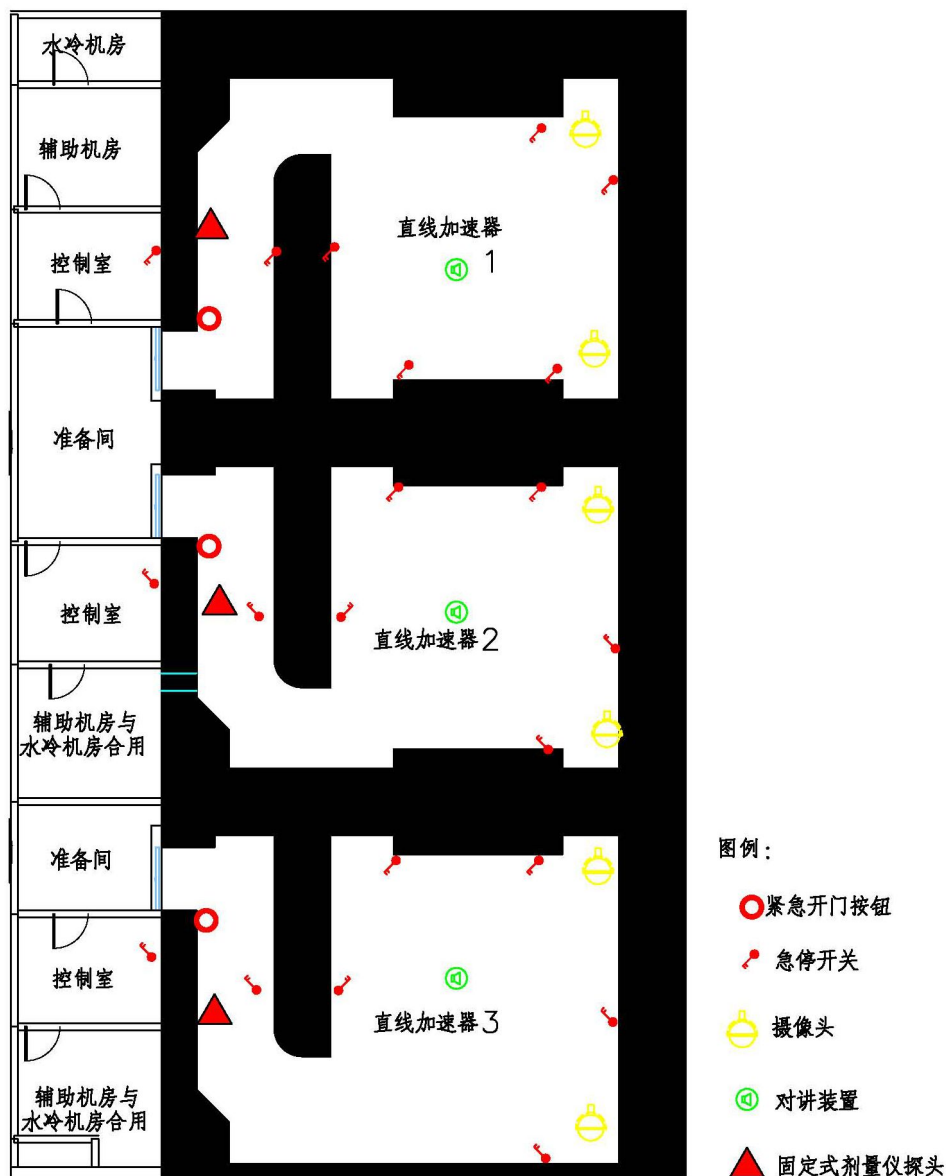


图 9-10 机房辐射安全措施安装示意图

8、监测设备配备

医院应为直线加速器项目配置相应的放疗监测设备，见下表 9-5。

表 9-5 放疗项目应配备的监测设备一览表

X、 γ 辐射巡测仪	厂家：____ 待定 ____，型号：____ 待定 ____，数量：1 台
中子剂量监测仪	厂家：____ 待定 ____，型号：____ 待定 ____，数量：1 台

9、直线加速器机房拟采取的防护和安全措施评价

直线加速器治疗工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020 ）的符合情况见表9-6。

表9-6 拟采取的安全防护措施和设施与标准符合情况表

分类	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
机房布局要求	治疗室选址、场所布局和防护设计应符合GB1887-2002的要求，保障职业场所和周围环境安全。放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	项目选址于医学综合楼负四层，属于建筑最底层，辐射防护设计可满足职业场所和周围环境安全。	符合
	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目医院按照相关标准要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制，直线加速器分区图见图 9-6。	符合
	有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐封屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合GBZ/T201.1的要求	治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽满足漏射线及散射线的屏蔽要求。辐射屏蔽设计应符合GBZ/T201.1的要求。	符合
	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目直加机房与控制室分开设置，辅助机械、电器、水冷设备均设置在治疗机房外的辅助机房内，与治疗设备分离。	符合
	应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目直加机房布置满足有用线束避开控制室和其他居留因子较大的用室，设计合理	符合
空间通风要求	治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于45m ² 。	本项目直加机房的有效使用面积均符合面积要求，满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合
	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4 次/h。		
联锁装置	放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	直线加速器拟设置门机联锁装置，迷道出口处设置有紧急开门按钮，防护门拟设置防挤压装置	符合
警示标志	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工	在防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，放防护门粘贴射防护注意事项，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。	符合

	作状态指示灯。		
急停开关	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	每间加速器工作场所拟设置急停开关7个（控制室1个、迷路入口处1个、治疗室内5个），紧急停机开关有明显的标志，供应急停止使用，事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。	符合
视频监控、对讲交流系统	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	机房内设置监控摄像头，实时监视机房内部观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；在治疗室内设置对讲装置。	符合

综上，该项目3间加速器治疗机房防护安全设施设计符合国家相关标准要求。

9.4.1.2 CT 模拟定位机

1、CT 模拟定位机工作场所分区管理

对辐射工作场所进行分区管理，设立监督区和控制区，分区管理示意图见附图二。以防护门为界，机房内确定为控制区，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。控制室和机房四周边界及防护门外 30cm 区域为监督区。对该区不采取专门的防护手段，监督区区域需用黄色警戒线画出，提醒无关人员勿入，并定期检查其辐射水平。

2、辐射防护屏蔽设计

依据设计单位提供的设计方案，现将机房的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度要求对本次评价项目的设计方案对照分析，结果见表 9-7。

表 9-7 射线装置机房的防护设计分析

屏蔽设施		设计情况	标准要求	评价
模拟 CT 机房 1	有效使用面积	34.5 m ²	不小于 30m ²	符合
	最小单边长度	东西宽 5.75 m，南北长 6.0 m	不小于 4.5m	符合
	南墙、西墙和北墙	24cm 实心砖+20mm 防护涂料（3.6mmPb）	较大工作量时机房屏蔽：不小于 20cm 混凝土（密度 2.35g/cm ³ ）或 2.5mm 铅当量	符合
	东墙	70cm 混凝土		符合
	观察窗	3mmpb		符合
	机房门	3mmpb		符合
	室顶	20cm 混凝土		符合
	地面	25cm 混凝土		符合

模拟 CT 机房 2	有效使用面积	33.6m ²	不小于 30m ²	符合
	最小单边长度	东西长 6.0m，南北宽 5.6m	不小于 4.5m	符合
	南墙、西墙和北墙	24cm 实心砖+20mm 防护涂料（3.6mmPb）	较大工作量时机房屏蔽：不小于 20cm 混凝土（密度 2.35g/cm ³ ）或 2.5mm 铅当量	符合
	东墙	70cm 混凝土		符合
	观察窗	3mmpb		符合
	机房门	3mmpb		符合
	室顶	20cm 混凝土		符合
	地面	25cm 混凝土		符合
注：模拟 CT 机房东墙为承重墙。				

注：混凝土密度≥2.35t/m³，实心砖密度≥1.65t/m³

3、其他防护措施

建设单位拟为 CT 模拟定位机房配备相应的个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等，详见表 9-8。在辐射工作中应做好个人的放射防护，以达到辐射防护的目的。

表 9-8 拟配的个人防护用品清单

机房	使用人群或类别		配备情况		
			防护用品	铅当量 mmPb	数量
CT 模拟定位 机房 1、2	患者或 受检者	儿童	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾	0.5	各 1 件
			铅橡胶帽子	0.5	各 1 件
			铅橡胶颈套	0.5	各 1 件
		成人	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾	0.5	各 1 件
			铅橡胶帽子	0.35	各 1 件
			铅橡胶颈套	0.35	各 1 件
	陪检者	成人	铅防护衣	0.35	各 1 套
	患者或 受检者	-	铅床单	0.5	各 1 件

4、CT 模拟定位机房拟采取的防护和安全措施评价

表 9-7 和表 9-8 可知，CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的有关要求。

9.5 三废的治理

9.5.1 废气

射线装置机房内的空气受到 X 线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。本次项目 CT 模拟定位机房拟设置动力排风装置，以保证机房良好通风；加速器机房设置通风系统，排风量达每小时通风换气次数不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内、外环境影响较小。

9.5.2 废水

本项目加速器装置均采用水冷却方式，正常工况下冷却水是在封闭的系统中循环利用，不外排，因此不涉及废水排放，维修时只需要更换循环水系统中的离子交换树脂即可。

9.5.3 固废

本项目加速器项目产生固体废物是加速器的废靶，只在加速器装置需要更换金属钨靶时才产生，更换下来的废靶和废弃离子交换树脂均由加速器设备供应商回收。

9.6 环境影响分析

9.6.1 建设阶段对环境的影响

本次评价项目涉及到新墙体的砌筑、建筑装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

1.声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，其在现有建筑物内部完成，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

2.环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

3.水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废

水进行妥善处理，对施工废水进行澄清处理，清水排放至医院污水处理站；淤泥妥善堆放后运至弃渣场。

4.固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

9.6.2 运行阶段对环境的影响分析

9.6.2.1 医用直线加速器

1、辐射屏蔽的计算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中的相关计算公式，如下

（1）直线加速器主屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列式计算：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \dots\dots\dots \text{公式 (9-1)}$$

式中：

SAD—源轴距，1m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），14°；

α —内凸为等中心至内墙的距离，m。外凸则为等中心点到内墙的距离加内凸厚度。

（2）有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）计算公式见式（9-2）

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (9-2)}$$

式中：

H_c ：周治疗剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ）

t：治疗装置周治疗照射时间，h

U: 有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子。

T: 人员在相关关注点的驻留因子。

(3) 漏射辐射在关注点的到处导出剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$) 计算公式见式 (9-3)

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (9-3)}$$

式中:

H_c: 周治疗剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)

t: 治疗装置周治疗照射时间, h

N: 调强治疗时用于漏射辐射的调强因子, 取 N=5

T: 人员在相关关注点的驻留因子。

(4) 屏蔽体的有效屏蔽厚度 X_e 的计算公式:

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots \text{公式 (9-4)}$$

式中:

X: 屏蔽体的厚度

θ: 斜射角, 即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

N: 调强治疗时用于漏射辐射的调强因子, 取 N=5

(5) 给定屏蔽物质的有效屏蔽厚度计算屏蔽透射因子的公式:

$$B = 10^{-\frac{(X_e + TVL - TVL_1)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{公式 (9-5)}$$

式中: TVL₁ 和 TVL 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明 TVL₁ 时, TVL₁=TVL。具体数值可参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 附录 B 表 B.1

(6) 屏蔽体外关注点的剂量率计算公式:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{公式 (9-6)}$$

式中:

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用高剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

R —靶点至参考点的距离, m。

f—对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 一般取 1‰。

(7) 患者一次散射辐射的剂量率计算公式:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{公式 (9-7)}$$

式中:

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶)1m 处的常用高剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例, 又称 400cm² 面积上的散射因子。

F—治疗装置有用束在等中心处的大治疗野面积, cm²。

R_s —患者(位于等中心点)至关注点的距离, m。

B—屏蔽透射因子。

(8) 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率计算公式:

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \quad \dots\dots\dots \text{公式 9-8}$$

式中:

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子, Sv/(中子数/m²);

ϕ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;

d_2 —B 点至机房入口(g)的距离, m;

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离(称为什值距离), 对于 15MV 加速器为 3.9m;

$\dot{H}_0$ —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, 等中心点处治疗 X 射线剂量率($\mu\text{Gy/h}$), 依 GBZ/T20.1.1 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

(9) 迷道入口处的总中子注量计算公式:

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad \dots\dots\dots \text{式 (9-9)}$$

式中的三项分别是加速器机外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中:

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 s_1 处的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/Gy。应向产品供

应商获取 Q_n 指标, NCRP No.151 的表 B.9 中列出了一些型号的加速器 Q_n 值可参考使用, 取 $0.76 \times 10^{12} \text{n/Gy}$;

d_1 —等中心点 O 至 s_1 点的距离, m;

S—治疗机房的总内表面积 (m^2), 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积。

(11) 机房入口的中子剂量率计算公式:

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率 $H_n(\mu\text{Sv/h})$ 见下式:

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-\left(\frac{d_2}{1.9}\right)} + 10^{-\left(\frac{d_2}{T_n}\right)}] \cdot \dot{H}_0 \quad \dots \text{式 (9-10)}$$

式中:

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, Sv/(中子数/ m^2);

S_0 —迷路内口的面积, m^2 ;

S_1 —迷路横截面积, m^2 ;

d_2 — s_1 点到迷路入口的距离, m;

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 T_n 是一个经验值, 与迷路横截面积有关, T_n 按下式(9-12)计算:

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad \dots \text{式 (9-11)}$$

(9) 给定防护门的屏蔽厚度时, 防护门外的辐射剂量率计算公式:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \quad \dots \text{式 (9-12)}$$

式中:

X_γ 和 X_n —分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度, cm;

TVL_γ 和 TVL_n —分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, cm;

B_{og} —防护门对 B_{og} 的屏蔽透射因子, 在 B_{og} 相对 g 处的总剂量率较小时, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项。

迷道口处 X 射线散射辐射的剂量率计算公式:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \dots \text{式 (9-13)}$$

式中：

$\dot{H}_g$ —迷道口处散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{hp} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向)处的剂量比例，
又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 —患者散射辐射的散射因子，取值 22×10^{-3}

R_1 —等中心点至散射墙面的距离， m ；

R_2 —迷道散射墙面至入口处的距离， m ；

A—自入口和等中心位置 o 共同可见见的区域的面积， m^2 ；

$\dot{H}_o$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$

2、直线加速器机房辐射防护分析

根据建设单位提供资料，本次项目直线加速器的技术参数如下：

表 9-9 加速器机房安装设备的技术参数

X 射线最大 能量	电子线最大 能量	X 射线剂量率	源轴距	等中心距地 面高度	最大照射野
$\leq 15\text{MV}$	$\leq 22\text{MeV}$	$\leq 2400\text{cGy/min}$	100cm	130cm	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$

(1) 直线加速器机房主屏蔽墙的宽度分析

按公式 9-1 核算直线加速器机房主屏蔽的宽度是否符合要求，计算参数及结果见表 9-10。

表 9-10 主屏蔽区宽度核算

主屏蔽区位置	$\alpha + \text{SAD}$ (m)	所需宽度(m)	设计宽度 (m)	是否符合要求
1 号机房北主屏蔽墙	5.85	3.52	4.8	符合
1 号机房南主屏蔽墙	5.30	3.24	4.8	符合
1 号机房顶棚主屏蔽墙	4.02	2.60	4.8	符合，偏保守
2 号机房北主屏蔽墙	5.30	3.24	4.8	符合
2 号机房南主屏蔽墙	5.30	3.24	4.8	符合
2 号机房顶棚主屏蔽墙	4.02	2.60	4.8	符合，偏保守
3 号机房北主屏蔽墙	5.30	3.24	4.8	符合
3 号机房南主屏蔽墙	-	-	-	-
3 号机房顶棚主屏蔽墙	4.02	2.60	4.8	符合，偏保守

(2) 直线加速器机房外关注点剂量率控制水平

由于本项目拟建设的医用直线加速器最大 X 射线能量 $\leq 15\text{MV}$ ，X 射线输出率 $\leq 2400\text{cGy/min}$ ，3 台直加的技术参数一样，直加机房呈并排布置，机房的结构设计具有对称性。3 个机房屏蔽厚度设计一致，1 号和 2 号机房尺寸、面积相同，3 号机房机房南北长度比其他机房长，宽度和其他两间机房一致。因此本次评价选取 1 号直加机房作为周围辐射剂量率估算对象，若 1 号、2 号机房满足的辐射屏蔽设计方案可以满足相关标准要求，则 3 号加速器机房的辐射屏蔽设计方案亦可满足相关标准要求。

由于直线加速器机房地面下方无地下室,因此不对加速器机房地面进行屏蔽计算,1号机房的各预测目标点见图 9-11 和图 9-12 所示。

根据建设单位提供的资料，直线加速器 X 射线最高出束剂量率为 2400cGy/min，直线加速器放射治疗最大工作量 90 人/天，每周工作 5 天，常规治疗比例为 1/5，调强治疗比例为 4/5，常规治疗出束时间为 2min，调强治疗出束时间约为 5min，所以照射时间最大约为 33 h/周。

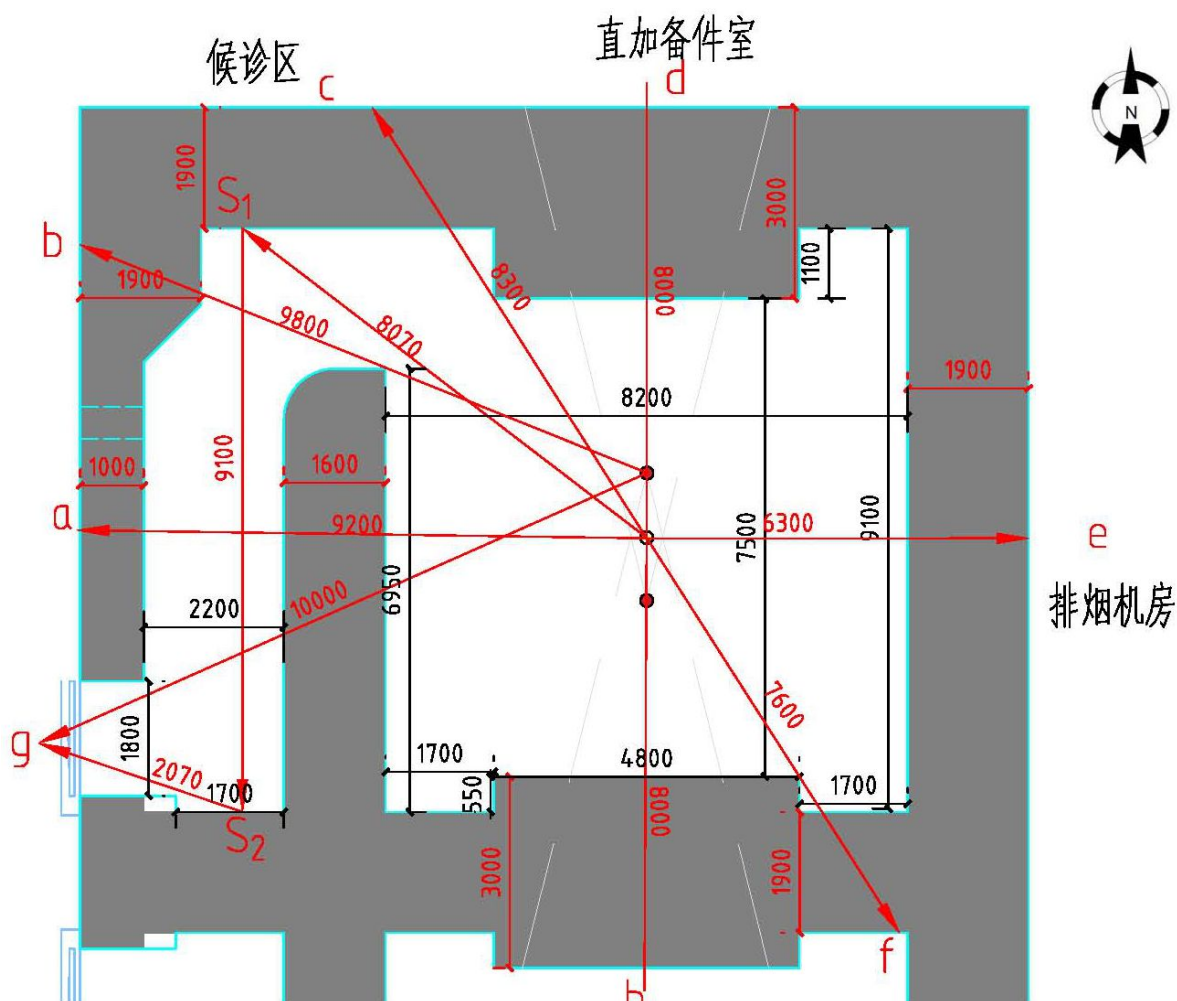


图 9-11 1 号直线加速器机房的预测点和其主要照射路径示意图 (平面)

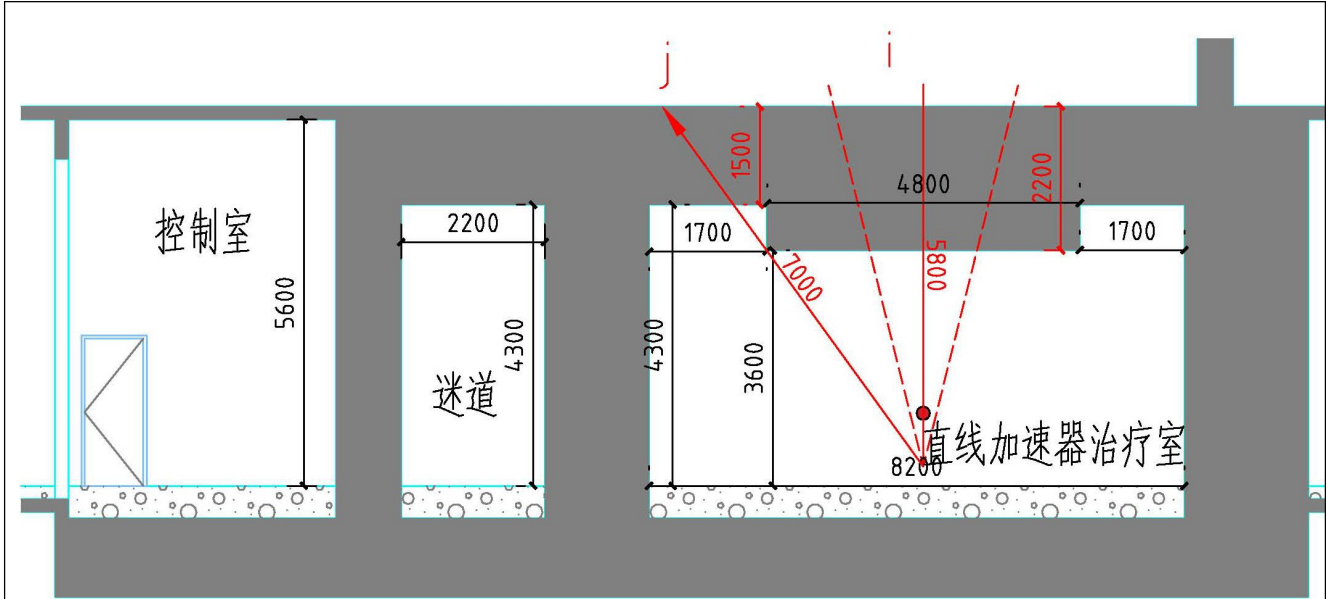


图 9-12 1 号、2 号直线加速器机房顶面预测点和其主要照射路径示意图（剖面）

根据各关注点所在环境性质，利用公式 9-2 计算导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ，相关计算参数和结果详见表 9-11、9-12。

表 9-11 1 号直加机房预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数

目标 点位	与机房 关系	环境性质	Hc ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	U	N	T	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	西墙外	控制室	≤ 100	-	5	1	0.61
b	西墙外	水冷机房	≤ 5	-	5	1/16	0.48
c	北墙外	候诊区	≤ 5	-	5	1/16	0.48
d	北墙外	直加备件室	≤ 5	1/4	-	1/16	9.70
e	东墙外	排烟机房	≤ 5	-	5	1/16	0.48
f	南墙外	2 号加速器机房	≤ 5	-	5	1/16	0.48
h	南墙外	2 号加速器机房	≤ 5	1/4	-	1/16	9.70
g	防护门外	准备室	≤ 5	-	5	1/16	0.48
i	顶棚上方	车库	≤ 5	1/4	-	1/16	9.70
j	顶棚上方	车库	≤ 5	-	5	1/16	0.48

注：1.参考 GBZ126——2011 附录 A，各目标点距机房屏蔽体外表面 30cm

2.周参考剂量率控制水平参照（GBZ-T 201.2——2011）中的 4.2.1.a

根据《电子直线加速器放射治疗机房放射防护要求》（GBZ126——2011）6.1.3：在直线

加速器迷道门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。结合以上分析，选择其中较小者作为关注点的辐射剂量率最终控制水平。

表 9-12 1 号直加机房预测目标点的最终剂量率参考控制水平

目标点位	与机房的关系	环境性质	$\dot{H}_{c,d}$ (μGy/h)
a	西墙外	控制室	0.61
b	西墙外	水冷机房	0.48
c	北墙外	候诊区	0.48
d	北墙外	直加备件室	2.50
e	东墙外	排烟机房	0.48
f	南墙外	2 号加速器机房	0.48
h	南墙外	2 号加速器机房	2.50
g	防护门外	准备室	0.48
i	顶棚上方	车库	2.50
j	顶棚上方	车库	0.48

(3) 直线加速器机房屏蔽体的有用线束和泄漏辐射屏蔽分析

根据拟使用加速器的技术参数及加速器机房的设计方案，利用公式 9-4、公式 9-5、公式 9-6 预测加速器以最高能量运行时，有用线束和漏射辐射引起的加速器机房外各关注点的辐射剂量率水平，计算因子见表 9-13，计算结果见表 9-14。

表 9-13 1 号直线加速器机房预测目标点有用线束和泄漏辐射剂量率的计算因子

目标点	射线束	屏蔽体厚度	距离 (m)	f	TVL1 (cm)	TVL (cm)
a	漏线束	2600mm 混凝土	9.2	0.005	36	33
b	漏线束	1900mm 混凝土	9.8	0.005	36	33
c	漏线束	1900mm 混凝土	8.3	0.005	36	33
d	主线束	3000mm 混凝土	8.0	1	44	41
e	漏线束	1900mm 混凝土	6.3	0.005	36	33
f	漏线束	1900mm 混凝土	7.6	0.005	36	33
g	漏线束	1600mm 混凝土	10.0	0.005	36	33
h	主线束	3000mm 混凝土	8.0	1	44	41

i	主线束	3277mm 混凝土 (2200mm 重晶石)	5.8	1	44	41
j	漏线束	2829mm 混凝土 (1900mm 重晶石)	7.0	0.005	36	33

注：室顶为重晶石混凝土（密度 $\geq 3.5\text{t/m}^3$ ）设计，计算过程按照密度比换算成普通混凝土厚度（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）计算。

表 9-14 1 号直线加速器机房预测目标点有用线束和泄漏辐射剂量率预测结果

目标点位	与机房的关系	场所性质	射线束	剂量率预测值 ($\mu\text{Gy/h}$)
a	西墙外	控制室	漏线束	1.39E-03
b	西墙外	水冷机房	漏线束	1.62E-01
c	北墙外	候诊区	漏线束	2.25E-01
d	北墙外	直加备件室	主线束	1.28E+00
e	东墙外	排烟机房	漏线束	3.91E-01
f	南墙外	2 号加速器机房	漏线束	2.69E-01
g	防护门外	准备室	漏线束	1.26E+00
h	南墙外	2 号加速器机房	主线束	1.28E+00
i	顶棚上方	车库	主线束	5.07E-01
j	顶棚上方	车库	漏线束	4.81E-04

(4) 直线加速器机房屏蔽体的散射辐射屏蔽分析

主射墙中与主屏蔽区相连的次屏蔽区还需考虑有用线束水平照射或者向顶棚照射时，人体的散射辐射剂量率贡献，利用公式 9-4、公式 9-5、公式 9-7 预测散射辐射剂量率，计算因子及结果见表 9-15。

表 9-15 1 号直线加速器机房预测目标点散射辐射剂量率预测结果

目标点位	屏蔽厚度	R_s (m)	散射因子 α_{ph}	F (cm^2)	TVL (cm)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
a	2600mm 混凝土	9.2	3.18E-3	1600	31	5.27E-05
c	1900mm 混凝土	8.3	3.18E-3	1600	31	1.17E-02
f	1900mm 混凝土	7.6	3.18E-3	1600	31	1.40E-02
j	2829mm 混凝土	7.0	3.18E-3	1600	31	1.65E-05

注：室顶为重晶石混凝土（密度 $\geq 3.5\text{t/m}^3$ ）设计，计算过程按照密度比换算成普通混凝土厚度（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）计算。

将表 9-14 与表 9-15 预测结果叠加，可得 1 号直线加速器机房预测目标点总辐射剂量率预测结果，见表 9-16。

表 9-16 1 号直线加速器机房预测目标点总辐射剂量率预测结果

目标点位	与机房关系	场所性质	总辐射剂量率 预测值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	剂量率控制水 平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
a	西墙外	控制室	1.44E-03	0.61
b	西墙外	水冷机房	1.62E-01	0.48
c	北墙外	候诊区	2.37E-01	0.48
d	北墙外	直加备件室	1.28E+00	2.50
e	东墙外	排烟机房	3.91E-01	0.48
f	南墙外	2 号加速器机房	2.83E-01	0.48
h	南墙外	2 号加速器机房	1.26E+00	2.50
g	防护门外	准备室	1.28E+00	0.48
i	顶棚上方	车库	5.07E-01	2.50
j	顶棚上方	车库	4.98E-04	0.48

由以上理论计算结果可看出，直线加速器机房外各关注点（除防护门外，该关注点后面继续计算）的辐射剂量率水平均能满足《电子直线加速器放射治疗机房放射防护要求》

（GBZ126-2011）6.1.3：在直线加速器迷道门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（5）直线加速器机房防护门辐射屏蔽分析

对于机房迷路口，需考虑加速器机头外的杂散中子在治疗室内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子）在迷路内的散射中子和中子俘获 γ 射线在 g 点处的辐射，还需考虑泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在 g 点处的辐射剂量。利用公式 9-8、9-9、9-10、9-11、9-12 预测，计算因子及预测结果见表 9-17、9-18、9-19。

表 9-17 直加机房迷路入口处的总中子注量计算结果

	Q_n	$d_1(m)$	$S(m^2)$	ϕ_B
1 号直加机房	0.76×10^{12}	8.5	236.04	4.25×10^9

表 9-18 直加机房迷路入口的中子俘获 γ 射线的剂量率计算结果

	ϕ_B	TVD(m)	$d_2(m)$	$\dot{H}_0$ ($\mu Sv/h$)	$\dot{H}_y$ ($\mu Sv/h$)
1 号直加机房	4.25×10^9	3.9	9.15	1.44×10^9	19.04

表 9-19 直加机房迷路入口的中子剂量率计算结果

	ϕ_B	S_0 (m^2)	S_1 (m^2)	$d_2(m)$	$T_n(m)$	$\dot{H}_0$ ($\mu Sv/h$)	$\dot{H}_n$ ($\mu Sv/h$)
1 号直加 机房	4.25×10^9	7.92	7.92	9.15	5.797	1.44×10^9	388.41

根据计算可知，在未经防护门屏蔽的情况，1 号直加机房迷路入口的中子俘获 γ 射线的剂量率为 $19.04\mu Sv/h$ ，1 号直加机房迷路入口的中子剂量率为 $388.41\mu Sv/h$ 。由表 9-14 可知泄漏辐射穿过 1 号直加机房迷路内墙到达迷路入口处辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ 为 $1.28\mu Sv/h$ 。

对于机房迷路口，除了前面预测的中子俘获、中子等辐射外，还有来自经迷道多次反射 X 射线散射辐射。利用公式 9-13 预测，计算因子及预测结果见表 9-20。

表 9-20 直线加速器机房迷道口处散射辐射剂量率预测结果

$\dot{H}_0$ ($\mu Sv/h$)	α_{ph}	F (cm^2)	α_2	A (m^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ ($\mu Sv/h$)
1.44×10^9	1.89×10^{-4}	1600	5.1×10^{-3}	6.4	8.07	11.17	4.373

根据建设单位提供的机房屏蔽设计方案，防护门的屏蔽设计为 140mm 含硼聚乙烯（5%）+18mmPb 铅板。根据公式 9-12 计算防护门外的辐射剂量率，计算参数和结果见表 9-21。

表 9-21 1 号直线加速器机房防护门外辐射剂量率预测结果

$\dot{H}_x$ ($\mu Sv/h$)	X_x (cm)	TV x (cm)	$\dot{H}_y$ ($\mu Sv/h$)	X_y (cm)	TVL y (cm)	$\dot{H}_n$ ($\mu Sv/h$)	X_n (cm)	TVL n (cm)	$\dot{H}_{og}$	B $_{og}$	$\dot{H}$ ($\mu Sv/h$)
4.373	14	5	19.04	1.8	0.6	388.41	14	4.5	1.28	6.3×10^{-4}	0.33

由计算结果可知，通过防护门屏蔽后，1 号直线加速器机房防护门外的辐射剂量率水平降

至 0.33μSv/h，满足根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）确定的机房门口的最终剂量率参考控制水平。

3、直线加速器项目个人剂量估算

根据建设单位提供的资料，直线加速器放射治疗最大工作量 90 人/天，每周工作 5 天，每人出束时间为 5min（保守按照调强治疗计算），所以照射时间最大约为 37.5 h/周，则年照射时间为 1875 h/年。

根据上述预测加速器机房外各评价点的辐射剂量率以及所在环境选取的居留因子，结合工作时间进行估算职业工作人员和公众人员的年有效剂量，计算因子及估算结果见表 9-22。

年有效剂量估算公式： $H = \dot{H} \times t \times T \times u \times 10^{-3}$

H —年有效剂量，mSv；

$\dot{H}$ —周围剂量当量率，μSv/h；

T —居留因子；

t —年照射时间，h/a；

u —使用因子，主屏蔽墙 u 取 1/4，其余取 1。

表 9-22 直线加速器机房外人员的年有效剂量估算结果

目标 点位	场所性质	剂量率预测值 (μSv/h)	受影响人员	居留 因子	使用 因子	年有效剂量 (mSv)
a	西墙外	1.44E-03	辐射工作人员	1	1	2.70E-03
b	西墙外	1.62E-01	公众人员	1/16	1	1.89E-02
c	北墙外	2.37E-01	公众人员	1/16	1	2.78E-02
d	北墙外	1.28E+00	公众人员	1/16	1/4	3.76E-02
e	东墙外	3.91E-01	公众人员	1/16	1	4.58E-02
f	南墙外	2.83E-01	公众人员	1/16	1	3.31E-02
h	南墙外	1.26E+00	公众人员	1/16	1/4	3.69E-02
g	防护门外	3.23E-01	公众人员	1/16	1	3.84E-02
i	顶棚上方	5.07E-01	公众人员	1/16	1/4	1.48E-02
j	顶棚上方	4.98E-04	公众人员	1/16	1	5.83E-05

由估算结果可知 1 号直线加速器机房外职业工作人员年有效剂量估算值为 2.70E-03 mSv, 机房外公众人员年有效剂量最大估算值为 4.58E-02 mSv, 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。

本项目 2、3 机房防护设计参数与 1 号一致, 拟安装的医用电子直线加速器的技术参数一致, 类比可知, 2、3 号加速器机房的辐射屏蔽设计方案亦可满足相关标准要求。

4、辐解废气对环境的影响分析

加速器运行过程, 辐射会与空气发生电离作用, 产生臭氧和氮氧化物等有害气体, 相比之下臭氧的危害较氮氧化物大, 其产额高, 毒性大, 氮氧化物 NO_x 产额为 O₃ 的 1/3。因此主要考虑臭氧的影响。

辐射所致有害气体以 O₃ 为主, 在考虑通风情况下, 空气中 O₃ 的平衡浓度由式 (9-14) 估算:

$$Q = \frac{Q_0 \times T}{V} \dots\dots \text{公式 (9-14)}$$

式中: Q— 加速器治疗室内 O₃ 平衡浓度, mg/m³;

Q₀— O₃ 的辐射化学产额, mg/h;

T— 有效清洗时间, h;

V— 治疗室体积, m³。

加速器治疗室内的 O₃ 产额由式 (9-15) 估算:

$$Q_0 = 0.39D_0SRG \dots\dots \text{公式 (9-15)}$$

式中: D₀— 距靶 1m 处的比释动能率; 24Gy×m²/min

S— 照射野面积, 0.16m²;

R— 靶距屏蔽室壁的距离 (距主屏蔽墙);

G— 每吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 一般为 6~10, 为留有安全系数, 取 10。

有效清洗时间 T 由式 (9-16) 计算:

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \dots\dots \text{公式 (9-16)}$$

式中:

T_v— 换气一次所需时间, h;

T_d — O_3 有效分解时间，取 0.83h。

1 号直线加速器治疗室容积约为 221.4m³，通风系统通风量为 3000m³/h，换一次气需要 0.074h，有效清洗时间为 0.068h。根据公式(9-11)得出不同换气次数时的 O_3 平衡浓度 $Q=0.002$ mg/m³，满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准中“工作场所空气中 O_3 容许浓度 ≤ 0.3 mg/m³”的要求。

同理可推得 2、3 号直线加速器机房的 O_3 平衡浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准中“工作场所空气中 O_3 容许浓度 ≤ 0.3 mg/m³”的要求。

氮氧化物产生量仅是臭氧产额的十分之一，且工作场所容许浓度比臭氧容许浓度高，所以直线加速器治疗室辐解产生的氮氧化物影响也较小。

5、感生放射性影响分析

钨靶发生光核反应(γ -n)的阈值为 8.0MeV。本项目选用直线加速器产生的最大电子线能量为 22MeV，其运行时能够产生一定量的中子。加速器的结构材料、冷却水以及加速器机房的空气被中子和 γ 射线照射后，产生感生放射性。其辐射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。

医用直线加速器感生放射性包括：加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。

(1) 加速器结构材料的感生放射性

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）第 5.3.4 款规定，不超过 3min 时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 200 μ Sv/h，离外壳表面 1m 处不超过 20 μ Sv/h。根据广州达盛检测技术服务有限公司对某医院类似直线加速器的感生放射性测量结果见 9-23，检测报告编号为 FS202000137。

表 9-23 某医院加速器机房感生放射性水平监测结果

检测点位	剂量率检测结果（ μ Sv/h）
距机头 5cm 处	0.38
距机头 1m 处	0.20
加速器型号：Elekta Infinity	
检测条件：15MeV，10cm×10cm 照射野	
注：直加出束完成不超过 3min 时间内检测的数据	

加速器工作人员每天约对病人进行摆位 90 次，每个病人需时 2 分钟。假设所有的加速器病人摆位均由同一个医生完成则年摆位时间约为（年工作 250 天）750 小时。保守取距机头 5cm 处的辐射剂量率估算加速器摆位工作人员的年有效剂量，计算结为 0.29mSv/a。

所以为了减少工作人员所受剂量，每次治疗后停机一段时间后再进行下一次治疗是必须的。本文建议每次停机后，至少 5 分钟后再进行下一次治疗。

(2) 空气活化产生的放射性气体

医用加速器在治疗中发出的电离辐射通过空气时，当辐射的能量达到或超过产生（ γ -n）反应的阈值时，会产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其中核反应 $^{14}\text{N}(\gamma\text{-n})^{13}\text{N}$ 的阈能为 10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为 10min；核反应 $^{16}\text{O}(\gamma\text{-n})^{15}\text{O}$ 的阈能为 15.7MeV，产生的核素 ^{15}O 的半衰期为 124s；核反应 $^{12}\text{C}(\gamma\text{-n})^{11}\text{C}$ 的阈能为 18.7MeV， ^{11}C 的半衰期为 20.5min。本项目加速器电子能量最大为 15MV，加速器运行时可能产生 ^{13}N 和 ^{15}O 放射性气体。加速器运营中产生的 ^{13}N 和 ^{15}O 两种放射性气体，均为正电子(β^+)核素。 ^{13}N 的 β^+ 最大能量为 1.190MeV，在空气中的射程为 3.52m。而 ^{15}O 的 β^+ 最大能量为 1.723MeV，在空气中的射程为 5.86m。它们均能与 β -发生“湮灭”反应而产生能量为 0.511MeV 的 γ 辐射。 ^{13}N 和 ^{15}O 的 β^+ 湮灭反应产生的 γ 辐射所致辐射效应属于随机性效应。加速器产生的 ^{13}N 和 ^{15}O 弥散于治疗室内，可能使职业人员的皮肤受到 β^+ 的浸没外照射；而职业人员全身还可能受由湮灭反应而产生的 γ 辐射的浸没外照射；吸入 ^{13}N 和 ^{15}O 后，也会对职业人员形成内照射。上述三种照射途径中，由于 β^+ 单独存在的时间很短，为千分之毫秒级，对环境产生的影响很小，下文只对内照射进行预测和分析。

本报告参考《辐射防护手册》（第一分册）第 3 章中的相关参数对加速器每次开机运行产生 ^{13}N 和 ^{15}O 的量进行估算，22MeV 电子束下，钨靶发射的 X 射线在空气中感生放射性核素 ^{13}N 和 ^{15}O 的生成率见表 9-24。

表 9-24 钨靶 X 射线在空气中感生的 ^{13}N 和 ^{15}O 生成率

电子束能量(MeV)	^{13}N 生成速率 ($\mu\text{Ci/s}\cdot\text{mA}\cdot\text{MeV}$)	^{15}O 生成速率 ($\mu\text{Ci/s}\cdot\text{mA}\cdot\text{MeV}$)
22	4100	5160

由表 9-24 可知，对于 22MeV 电子束， ^{13}N 和 ^{15}O 的生成速率分别为 4.1mCi/s·mA·MeV 和 5.16mCi/s·mA·MeV。据此，加速器运行 2 分钟时 ^{13}N 和 ^{15}O 的产生量为：

$$^{13}\text{N}=4.1(\text{mCi/s}\cdot\text{mA}\cdot\text{MeV}) \times 120(\text{s}) \times 0.1(\text{mA}) \times 22(\text{MeV}) \times 10\% \times 3.7 \times 10^7(\text{Bq/mCi}) \times 78\%$$

(氮的百分比) = $3.12 \times 10^9 \text{Bq}$;

$^{15}\text{O}=5.16(\text{mCi/s}\cdot\text{mA}\cdot\text{MeV})\times 120(\text{s})\times 0.1(\text{mA})\times 22(\text{MeV})\times 10\%\times 3.7\times 10^7(\text{Bq/mCi})\times 21\%$
(氧的百分比) $=3.93\times 10^9\text{Bq}$ 。

经过 5 分钟后, 工作人员进入机房对病人进行摆位, 机房通风量为 $3000\text{m}^3/\text{h}$, 则通风 5 分钟时通风量为 250m^3 。

$N(t)=N_0\cdot e^{(-t/T)}$, 经过 5 分钟的衰减后:

$$^{13}\text{N}=3.12\times 10^9\text{Bq}\times e^{(-5/10)}=1.87\times 10^9\text{Bq}$$

$$^{15}\text{O}=3.93\times 10^9\text{Bq}\times e^{(-300/124)}=3.49\times 10^8\text{Bq}$$

$$\text{此时机房内 } ^{13}\text{N}(\text{浓度})=1.87\times 10^9\text{Bq}/250\text{m}^3=7.48\times 10^6\text{Bq/m}^3$$

$$^{15}\text{O}(\text{浓度})=3.49\times 10^9\text{Bq}/250\text{m}^3=1.39\times 10^7\text{Bq/m}^3$$

则工作人员摆位时, 停留 2 分钟内受到的照射剂量为(保守估算, 不考虑这 2 分钟内 ^{13}N 和 ^{15}O 的衰变): $^{13}\text{N}=7.48\times 10^6(\text{Bq/m}^3)\times 4.3\times 10^{-14}\text{mSv}/(\text{Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^3)$ (照射剂量转换因子) $\times 120(\text{s})=3.86\times 10^{-5}\text{mSv}/\text{次}$, 每年摆位 22500 次(加速器工作人员每天约对病人进行摆位 90 次, 年工作 250 天), 年使用最大能量治疗几率占 1/3, 则摆位人员受到的年剂量 $H_n=3.86\times 10^{-5}\text{mSv}\times 22500\times 1/3=0.29\text{mSv/a}$ 。

$^{15}\text{O}=1.39\times 10^7(\text{Bq/m}^3)\times 4.3\times 10^{-14}\text{mSv}/(\text{Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^3)$ (照射剂量转换因子) $\times 120(\text{s})=7.17\times 10^{-5}\text{mSv}/\text{次}$, 每年摆位 22500 次, 年使用最大能量治疗几率占 1/3, 则摆位人员受到的年剂量 $H_o=7.17\times 10^{-5}\text{mSv}\times 22500\times 1/3=0.54\text{mSv/a}$ 。综上所述, 由于气态感生放射性对加速器机房工作人员造成的 ^{13}N 和 ^{15}O 的总照射不超过 0.83mSv/a , 叠加表 9-22 中估算的职业工作人员年有效剂量后, 工作人员总的年有效剂量为 0.833mSv/a 。

(3) 冷却水的感生放射性

冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{16}N , 它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s, 只需放置较短的时间, 其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的。

9.6.2.2 CT 模拟定位机

1、机房防护屏蔽分析

本次评价 CT 模拟定位机属于 III 类射线装置, 以《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 的相关要求为准。对机房的设计方案与标准进行对比分析, 具体见表 9-7。通过表 9-7 可知本次评价项目的 CT 模拟定位机机房充分考虑了邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全, 设有单独的机房, 机房设有观察窗, 其设置的位置便于观察到患者和受检者状态。机

房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；机房设置机械排风扇，能保持良好的通风。机房门外设有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯和设警示语句；机房门设有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

机房符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165—2012）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求，因此可推断，本项目 CT 模拟定位机机房防护屏蔽能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求（机房屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5μGy/h）。

2、工作人员和公众的照射所受剂量估算

工作人员的辐射剂量率在最不利情况下取《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求的 X 射线设备机房屏蔽体外表面 0.3m 处的辐射剂量率不大于 2.5μGy/h 的限值。结合表 9-3 工作负荷（年出束时间 18.75h）及机房周围环境的居留因子。计算因子及结果见表 9-25：

表 9-25 年有效剂量估算结果

机房	目标点	场所性质	受影响人员	居留因子 (h)	辐射剂量率 (μSv/h)	年有效剂量 (mSv)
CT 模拟定位 1 室	东墙外	配电间	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	南墙外	控制室	辐射工作人员	1	2.5	4.69E-02
	西墙外	抢救兼注射室	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	北墙外	走廊	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	楼上	车库	公众	1/16	2.5	2.93E-03
CT 模拟定位 2 室	东墙外	车库	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	南墙外	QA 质控室	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	西墙外	走廊	公众	1/16	2.5	2.93E-03
	北墙外	控制室	辐射工作人员	1	2.5	4.69E-02
	楼上	车库	公众	1/16	2.5	2.93E-03

由估算结果可知，CT 模拟定位机机房外职业工作人员最大年有效剂量估算值为 0.0469mSv/a，公众的最大年有效剂量估算值为 0.00293mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值（即职业工作人员的年有效剂量不超过 5 mSv，公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv）。

9.6.2.3 放疗科项目周围环境保护目标的辐射影响分析

综上放疗科项目环境影响分析可知，本次评价的放疗科项目机房 30cm 处的辐射剂量率及受照剂量满足国家标准要求，因此该放疗科项目的辐射屏蔽设计能满足辐射防护与安全要求。根据剂量率与距离成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此在项目机房周围周围环境保护目标的剂量率更低，因此可预测项目周围环境保护目标的受照剂量均能够满足国家对相关职业人员和公众照射剂量的控制要求。

9.7 事故影响分析

9.7.1 可能的辐射风险事故

(1) 安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的机房而造成 X 射线误照射。

(2) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

(3) 工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

(4) 加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

(5) 维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

9.7.2 风险事故防范措施

(1) 制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

(3) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

(4) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(5) 医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修 X 射线装置。

9.7.3 事故应急措施

一旦发生辐射事故时，立刻启动辐射事故应急预案。当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取相应救助措施，妥善处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告（发生人员超剂量照射时报告）。

表 10 回旋加速器与放射性药物制备项目辐射环境影响评价

10.1 项目工程分析与源项

10.1.1 回旋加速器的工作原理

回旋加速器是“粒子加速器”的一种，其设计、制造的理论基础是拉摩尔定律和劳伦斯回旋加速理论。现代回旋加速器则结合了托马斯提出的磁场强度随方位角变化的 AVF 原理，采用规律变化的磁场系统，修正粒子加速过程中的相位移、相对速度减慢和粒子回旋频率变化等，提高粒子加速效率和聚焦度。现代医用回旋加速器多采用分离扇形磁铁调变磁场技术，属等时性回旋加速器范畴。

医用回旋加速器是生产 PET 检查用放射性核素的主要设备,其主要生产工艺原理是回旋加速器系统可产生加速质子和氦核，进行靶照射。离子源阴极产生的阴离子通过电磁体产生的高频交变电场，在磁场中以螺旋形轨道加速。阴离子通过一个很薄的碳膜(称之为剥离碳膜)发生电荷改变成为阳离子然后照射到靶上产生放射性核素。离子在一个具有高真空度的真空腔内加速。放射性核素通过气动自动传送装置传输到化学合成器进行合成、检测、标定。在加速器运行过程中，通过改变靶物质可获得不同的放射性核素供临床应用。

回旋加速器工作原理机构图如图 10-1、10-2 所示。

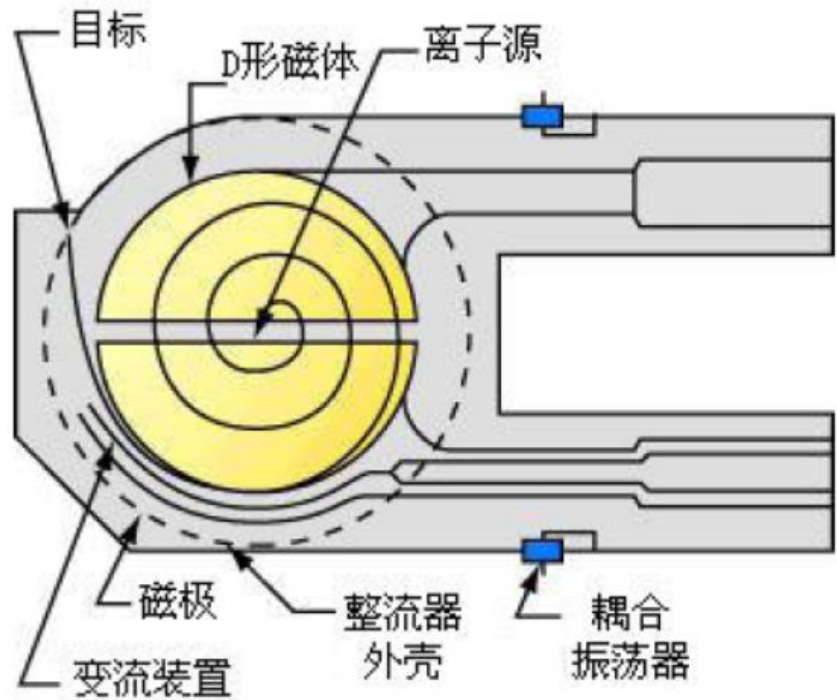


图 10-1 回旋加速器的结构原理图

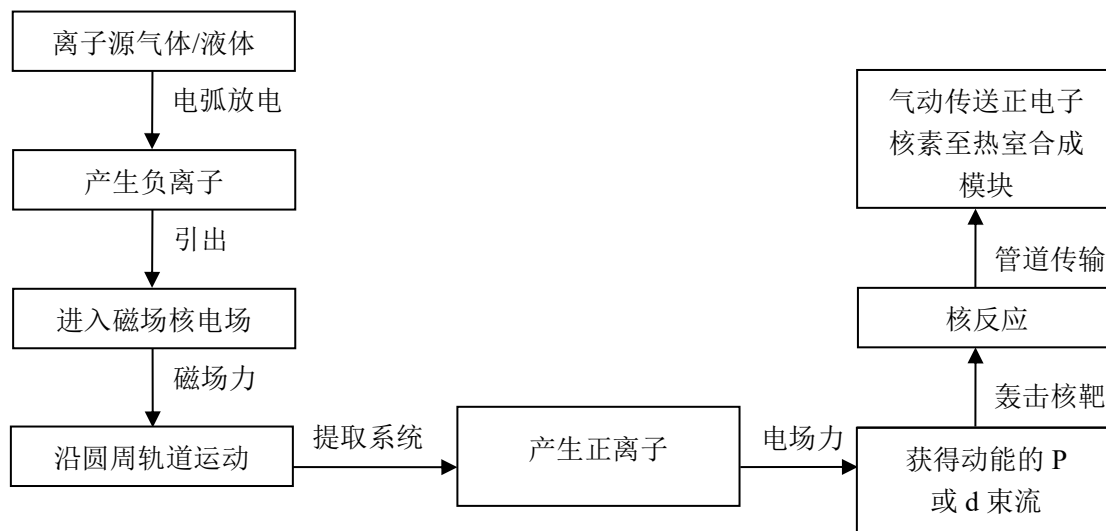


图 10-2 回旋加速器工作原理简图

10.1.2 医用回旋加速器设备组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至 H⁺ 离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 电源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H⁺ 离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或 ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器。其作用就是当 H^- 通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型。中气体靶是由气瓶间通过管道自动输送到加速器，更换气体罐的操作是在气瓶间完成。固体靶是装在靶面板上，可重复使用。对于液态靶，需要工作人员定期进入加速器机房添加靶水，通常每月一次。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

10.1.3 化学合成系统

该系统包括合成柜、分装柜以及相应的仪器设备，用于合成和分装核素的药物。回旋加速器打靶产生的放射性靶子由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的合成柜中，由自动合成装置进行药物合成。合成柜和分装柜带自屏蔽设施（6cm~7.5cm 铅屏蔽），内设有负压并带高效过滤器的通风系统，在计算机控制下自动化地完成药物的合成和分装。

10.1.4 性能参数

医院拟购置带自屏蔽的回旋加速器 1 台，设备加速粒子为质子，最大能量不超过 19MeV，引出质子束流强度最大为 150 μ A；生产核素： ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 。

10.1.5 回旋加速器生产正电子药物工艺流程及产污环节

工作流程可分为回旋加速器制备放射性核素，放射性药物合成与质控，药物分装及转运几个步骤，工作流程图见图 10-3，产物环节图见图 10-4。具体步骤如下：

（1）放射性核素制备

核素制备前对回旋加速器进行调试，根据需要生产的放射性核素种类设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器室内，仅在回旋加速器控制室操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理。然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定的时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过核素传输管道（此管道设置在地沟内，地沟用铅砖屏蔽，铅当量为 50mm）自动传输到热室的合成柜中。

（2）放射性药物合成及质控

放射性药物的合成由计算机控制的自动化程序完成。药物合成完毕，操作人员分装少量药物，传送至放质控室内进行质控操作。

（3）分装及药物转运

放射性药物物质控合格后，在热室内的分装柜中进行分装，利用自动分装系统分装药物至于专用钨合金防护罐中，经传递窗口传至核医学科注射室。

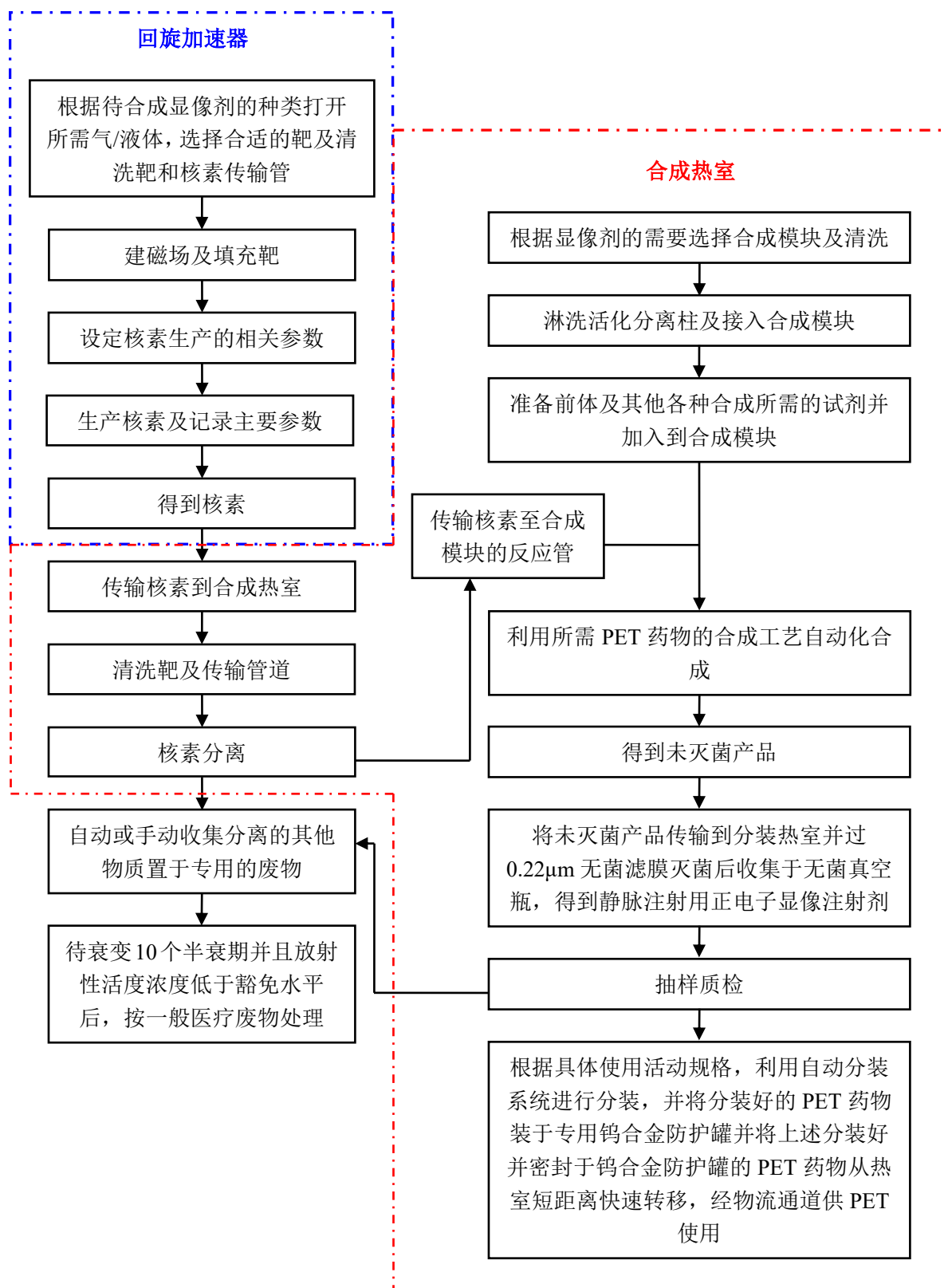


图 10-3 回旋加速器生产正电子药物工艺流程图

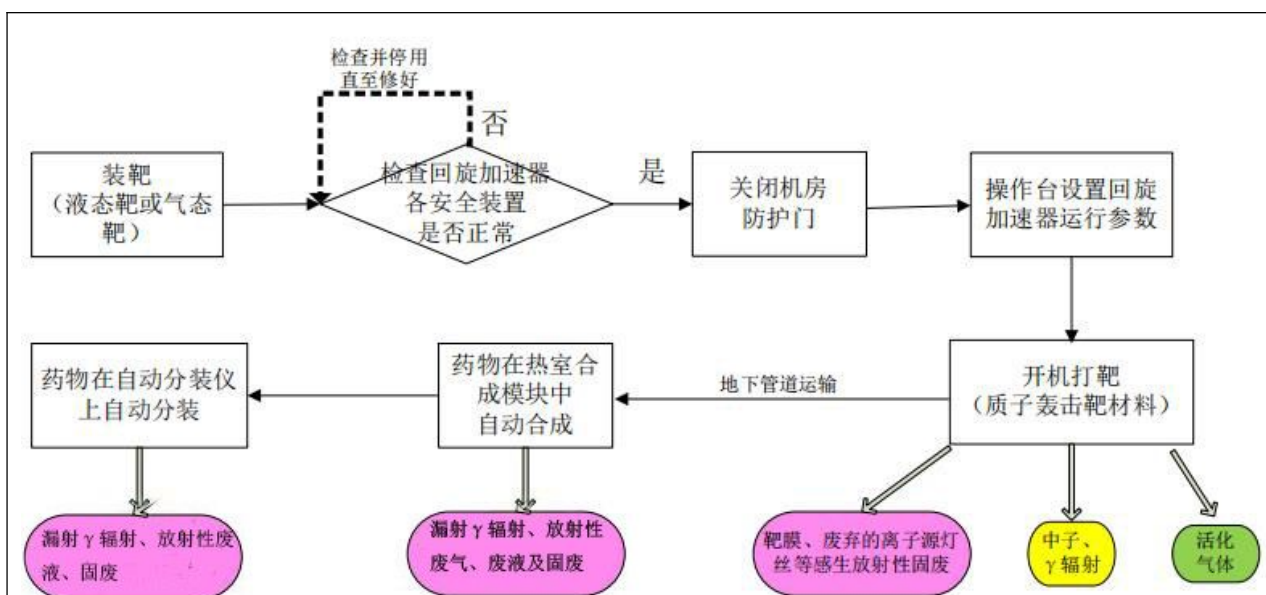


图 10-4 回旋加速器生产正电子药物产污环节示意图

从目前我国核医学科正电子核素应用情况显示， ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 这三种核素应用较多，尤以 ^{18}F 使用最为广泛。本项目以生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 正电子药物的合成工艺为例做介绍。

^{18}F -FDG 示踪剂生产工艺流程：

目前用 H_2^{18}O 靶材料通过 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ 核反应生产 ^{18}F 的方法为主。在回旋加速器中以高能质子束流轰击靶（丰度 95% 的 H_2^{18}O ）可得到 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 。 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 需从轰击后的靶水中进行富集捕获，用阴离子交换柱捕获法，从加速器传过来的含 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 的靶水经过 QMA 柱，其中氟 [^{18}F] 离子被附着在柱子上，废水及其中的杂质离子流到废水瓶中收集。用乙腈溶液淋洗 QMA 柱，将上面的氟 [^{18}F] 离子带入反应管。淋洗结束后加热反应管使乙腈与水共沸进行除水。待冷却完毕后向反应管中加入三氟甘露糖溶液，混合液发生亲核反应， ^{18}F 取代三氟甘露糖上的一个羟基。亲核反应结束后加热反应管除去过量乙腈。向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解。最好经过分离提纯和无菌滤膜过滤获得最终 ^{18}F -FDG 示踪剂。

^{11}C -MET 示踪剂生产工艺流程：

^{11}C 可采用不同的核反应在不同的类型的靶中生产，其中最常见的核反应是 $^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$ ，通常使用高纯 H_2 （99.5%）+ O_2 （0.5%）混合气体作为靶材料，经过质子照射后得到 $^{11}\text{CO}_2$ （气态）。 $^{11}\text{CO}_2$ 经过核素传输管道传送至自动化合成模块中， $^{11}\text{CO}_2$ 经过氢氧化铝还原转化为 $^{11}\text{CH}_3\text{OH}$ ，再经过氢碘酸（HI）碘代法生产出 $^{11}\text{CH}_3\text{I}$ 示踪剂（液态）。为了防止 CO_2 的污染，可在 N_2 进入靶室的管线间连接一个捕获器，捕获器内可以装载氢化铝锂、烧碱石棉剂、分子筛或聚苯乙烯固定剂，同时应注意捕获剂所带来的污染。为了防止外界

渗透污染，应选用不锈钢材料的传送管道，并且在保证气体流量的前提下，管道的内径应尽可能细。

¹³N-NH₃ 示踪剂生产工艺流程：

目前主要以 ¹⁶O (p,α) ¹³N 核反应，用 H₂¹⁶O 和乙醇混合液体作为靶材料，经过质子照射得到 ¹³N-NH₃·H₂O（液态），¹³N-NH₃·H₂O 进入收集瓶之前，经过阴离子交换柱（吸附阴离子）、透气过滤器、灭菌过滤器等步骤过滤纯化处理后即可得到 ¹³N-NH₃ 示踪剂（液态）。

10.1.6 核素物理特性

本项目拟生产的核素包括 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu，均属于正电子核素，核素物理特性见表 10-1。

表 10-1 合成的正电子核素的衰变参数

核素	半衰期	物理状态	平均γ 射线能量（MeV）
¹⁸ F	109.7min	液态	0.511
¹³ N	10.0min	液态	0.511
¹¹ C	20.4min	液态	0.511
¹⁵ O	2.05min	液态	0.511
⁶⁸ Ga	68min	液态	0.511
⁶⁴ Cu	12.7h	液态	0.511

10.1.7 正电子药物的制备量

回旋加速器生产的放射性药物用于核医学科临床治疗，回旋加速器当天制备核素量是根据核医学科临床用量需求确定，回旋加速器于早上开机一次。

表 10-2 核医学科拟使用的正电子核素一览表

核素种类	来源	用途	使用场所	单人最大用量/次	日最大诊疗人数（人次）
¹⁸ F	回旋加速器生产	PET 显像	医学综合楼 地下一层核医学科	10mCi	40
¹³ N		PET 显像		10mCi	3
¹¹ C		PET 显像		10mCi	5
¹⁵ O		PET 显像		10mCi	2
⁶⁸ Ga		PET 显像		3mCi	5
⁶⁴ Cu		PET 显像		2mCi	3

核医学科工作场所使用核素的日实际最大操作用量需考虑到药物正常衰减量，核医学科常规 PET/CT 的扫描时间为 10min，假设满工作负荷运行，即前两位病人离开候诊室

到扫描室去扫描时，下两位病人即接受注射并进入候诊室候诊。在这种工作安排下，可以近似地将 PET/CT 流程简化为每 10 分钟注射两位病人。

根据放射性物质衰减规律，即 $N = N_0 e^{-\lambda T}$ ， $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ 。

即可推出：

$$N_{15} = (N_{14} - 10) e^{-\lambda T}$$
$$N_{14} = (N_{13} - 10) e^{-\lambda T}$$

.....

$$N_2 = (N_1 - 10) e^{-\lambda T}$$

回旋加速器生产出的药物早上开机一次，对于 ¹⁸F，PET/CT 每天计划最多做 40 个病人，分 20 批注射，每批次 2 人。每次给病人注射的最大用量 10mCi，N₂₀ 为最后一批病人注射时剩余药量，为 10mCi。

每次间隔衰减时间 T 取 10min，则可依次反推得到最初的活度 N₁ 为 389mCi，保守取 390mCi，因此实际一天 PET/CT 显像需要 ¹⁸F 的量为 780mCi，日实际最大操作量为 780mCi。其余放射性药物（¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu）临床使用量较少，日最大诊疗人数不超过 5 人，因此医院一般集中安排在某天的上午最早一批注射药物，该批次患者注射不用等候，因此该部分药物的日实际最大操作量为该核素的实际临床注射量。

回旋加速器制备核素的日最大制备量是在临床使用核素的日实际最大操作量基础上多生产出一些裕量（即为核素制备完成后质检、药物运输时间内的衰减量），核素质检、药物运输时间在 20 分钟内完成，则根据核素衰减公式反推即可得出各核素制备量，¹⁸F 的日最大制备量为 885.03mCi，保守取 900mCi；¹¹C 的日最大制备量为 98.65mCi，保守取 100mCi；¹³N 的日最大制备量为 120mCi；⁶⁸Ga 的日最大制备量为 18.38mCi，保守取 20mCi。¹⁵O 半衰期仅有 2.05min，据了解国家目前暂无质控要求，一般生产完成后需立即运输至核医学科进行使用，因此 ¹⁵O 的日最大制备量取 100mCi；⁶⁴Cu 的日最大制备量为 6.11mCi，保守取 7mCi。详见表 10-3。

表 10-3 回旋加速器生产核素制备量

核素种类	用途	人均最大用量/次(Bq)	最大诊疗人数	核素日最大制备量(Bq)
¹⁸ F	PET 显像	3.70E+08	40 人/天	3.33E+10

¹³ N	PET 显像	3.70E+08	3 人/天	4.44E+09
¹¹ C	PET 显像	3.70E+08	5 人/天	3.7E+09
¹⁵ O	PET 显像	3.70E+08	2 人/天	3.7E+09
⁶⁸ Ga	PET 显像	1.11E+08	5 人/天	7.4E+08
⁶⁴ Cu	PET 显像	7.4E+07	3 人/天	2.59E+08

10.1.8 人员配备计划及工作负荷

目前医院项目相关工作尚在筹备阶段，工作人员尚未落实，因此建设单位暂拟为本次评价回旋加速器项目配备 2 名核医学技师、2 名化学师岗位，2 名药品质量员，各岗位工作人员数量根据今后实际工作进行相应调整。

工作负荷：回旋加速器平均年工作最多 300 天，每天开机工作约 2h，回旋加速器年照射时间最大为 600h。

10.1.9 工作场所分级及分类

1、工作场所分级

由于本项目放射性药物核素生产区和放射性药物使用区共用 1 个衰变池，因此放射性药物核素生产区和放射性药物使用区为一个非密封源工作场所。

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”，医疗机构使用 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹²⁵I 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ¹³¹I 核素相关活动视为“简单操作”，又因 ¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 的实际使用方式与 ¹⁸F 完全相同，因此本次评价将使用 ¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、¹⁸F 使用过程的操作方式视为“很简单的操作”。⁸⁹Sr、²²³Ra、¹⁸⁸Re、²²⁵Ac 的实际使用方式与 ¹³¹I 相似，因此本次评价将 ⁸⁹Sr、²²³Ra、¹⁸⁸Re、²²⁵Ac 使用过程的操作方式视为“简单操作”。根据国家电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，本评价项目的非密封源工作场所使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见表 10-4，

表 10-4 此次生产非密封放射性物质一览表

项目	核素种类	毒性分组	组别修正因子	药物状态	操作修正因子	操作方式	日实际最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)
放射性药	¹⁸ F	低毒	0.01	液态	1	简单操作	3.33E+10	3.33E+08
	¹³ N	低毒	0.01	液态	1	简单操作	4.44E+09	4.44E+07

核素生产区	¹¹ C	低毒	0.01	液态	1	简单操作	3.7E+09	3.7E+07
	¹⁵ O	低毒	0.01	液态	1	简单操作	3.7E+09	3.7E+07
	⁶⁸ Ga	低毒	0.01	液态	1	简单操作	7.4E+08	7.4E+06
	⁶⁴ Cu	低毒	0.01	液态	1	简单操作	2.59E+08	2.59E+06
放射性药物使用区	¹⁸ F	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	2.886E+10	2.886E+07
	¹³ N	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	1.11E+09	1.11E+06
	¹¹ C	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	1.85E+09	1.85E+06
	¹⁵ O	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	7.4E+08	7.4E+05
	⁶⁸ Ga	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	5.55E+08	5.55E+05
	⁶⁴ Cu	低毒	0.01	液态	10	很简单操作	2.22E+08	2.22E+05
	⁸⁹ Sr	中毒	0.1	液态	1	简单操作	7.4E+08	7.4E+07
	²²³ Ra	极毒	10	液态	1	简单操作	3.7E+07	3.7E+08
	¹⁸⁸ Re	中毒	0.1	液态	1	简单操作	2.96E+08	2.96E+07
	²²⁵ Ac	极毒	10	液态	1	简单操作	3.7E+07	3.7E+08
合计								1.34E+09

由上表可知本次评价核医学工作场所的日等效最大操作量为 1.34E+09Bq, 属于乙级非密封放射性物质工作场所。

2、工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，本评价项目的非密封源工作场所使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见表 10-5。

表 10-5 此次生产非密封放射性物质的加权活度

工作场所	核素种类	核素毒性权重因子	操作性质修正因子	日实际最大操作量(Bq)	放射性核素的加权活度(Bq)	总加权活度(MBq)	场所分类
核素生产区							
热室、回旋加速器室	¹⁸ F	1	1	3.33E+10	3.33E+10	4.61E+4	II类
	¹³ N	1	1	4.44E+09	4.44E+09		
	¹¹ C	1	1	3.7E+09	3.7E+09		
	¹⁵ O	1	1	3.7E+09	3.7E+09		
	⁶⁸ Ga	1	1	7.4E+08	7.4E+08		
	⁶⁴ Cu	1	1	2.59E+08	2.59E+08		
核素显像区							
注射室	¹⁸ F	1	1	2.886E+10	2.886E+10	1.44E+5	I类

	¹³ N	1	1	1.11E+09	1.11E+09		
	¹¹ C	1	1	1.85E+09	1.85E+09		
	¹⁵ O	1	1	7.4E+08	7.4E+08		
	⁶⁸ Ga	1	1	5.55E+08	5.55E+08		
	⁶⁴ Cu	1	1	2.22E+08	2.22E+08		
	⁸⁹ Sr	100	1	7.4E+08	7.4E+10		
	²²³ Ra	100	1	3.7E+07	3.7E+09		
	¹⁸⁸ Re	100	1	2.96E+08	2.96E+10		
	²²⁵ Ac	100	1	3.7E+07	3.7E+09		
PET 机房、 PET 休息室	¹⁸ F	1	10	2.886E+10	2.886E+09	3.33E+03	Ⅱ类
	¹³ N	1	10	1.11E+09	1.11E+08		
	¹¹ C	1	10	1.85E+09	1.85E+08		
	¹⁵ O	1	10	7.4E+08	7.4E+07		
	⁶⁸ Ga	1	10	5.55E+08	5.55E+07		
	⁶⁴ Cu	1	10	2.22E+08	2.22E+07		
留观室	¹⁸ F	1	10	2.886E+10	2.886E+09	3.33E+3	Ⅱ类
	¹³ N	1	10	1.11E+09	1.11E+08		
	¹¹ C	1	10	1.85E+09	1.85E+08		
	¹⁵ O	1	10	7.4E+08	7.4E+07		
	⁶⁸ Ga	1	10	5.55E+08	5.55E+07		
	⁶⁴ Cu	1	10	2.22E+08	2.22E+07		
储源室	¹⁸ F	1	100	2.886E+10	2.886E+08	1.44E+3	Ⅱ类
	¹³ N	1	100	1.11E+09	1.11E+07		
	¹¹ C	1	100	1.85E+09	1.85E+07		
	¹⁵ O	1	100	7.4E+08	7.4E+06		
	⁶⁸ Ga	1	100	5.55E+08	5.55E+06		
	⁶⁴ Cu	1	100	2.22E+08	2.22E+06		
	⁸⁹ Sr	100	100	7.4E+08	7.4E+08		
	²²³ Ra	100	100	3.7E+07	3.7E+07		
	¹⁸⁸ Re	100	100	2.96E+08	2.96E+08		
	²²⁵ Ac	100	100	3.7E+07	3.7E+07		
放射性污染 物室、患者 走廊	¹⁸ F	1	10	2.886E+10	2.886E+09	1.61E+4	Ⅱ类
	¹³ N	1	10	1.11E+09	1.11E+08		
	¹¹ C	1	10	1.85E+09	1.85E+09		
	¹⁵ O	1	10	7.4E+08	7.4E+07		
	⁶⁸ Ga	1	10	5.55E+08	5.55E+07		
	⁶⁴ Cu	1	10	2.22E+08	2.22E+07		
	⁸⁹ Sr	100	10	7.4E+08	7.4E+09		
	²²³ Ra	100	10	3.7E+07	3.7E+08		
	¹⁸⁸ Re	100	10	2.96E+08	2.96E+09		
	²²⁵ Ac	100	10	3.7E+07	3.7E+08		
注：1、加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修改因子							

本次评价的核医学科工作场所含有I类、II类核医学工作场所，需按照《临床核医学放射卫生防护标准》（ GBZ120-2020）中关于不同类别工作场所室内表面和装备的要求装修，见下表 10-6。

表 10-6 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道*	清洗及去污设备
I类	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要
II类	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III类	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备
*注:下水道宜短，下水流管道应有标记以便维修检测。						

10.2 污染源项描述

表 10-7 药品合成过程污染因素和产污环节

序号	产污环节	污染因素						
		贯穿辐射		表面污染	放射性固体废物	放射性液体废物	放射性气体废物	其它有害气体
		n	γ					
正常工况	药品合成		√	√	废手套、口罩、吸水纸以及废包装瓶等。	剩余药液、冲洗及工作人员沐浴废水	⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O和 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu气溶胶	O ₃
	药品质控检验		√	√	不合格药物			
	药品分装		√	√	废包装材料			
	退役		√	√	含感生放射加速器部件和其它场地清污废物			
事故工况	安全连锁失效	√	√		废手套、口罩、吸水纸以及废包装瓶、废包装材料、不合格药物等。			O ₃
	突然断电扩散泵回流		√				⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O和 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu气溶胶	
	通风系统故障		√				⁶⁴ Cu气溶胶	
	熔靶和靶水吸附事故		√				/	
	反应器倾翻或破裂		√	√			⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O和 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu气溶胶	

10.2.1 正常工况

在回旋加速器区主要的环境影响为制备核素、化学分离与合成、质量控制、药物分装过程中对工作人员产生外照射；质量控制、药物分装过程中对工作台面、地面等造成的表

面污染；生产过程产生的含放射性的滤膜、靶材料等；操作过程产生的放射性固体废物，如使用可能沾染放射性药物的手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水。

其中回旋加速器营运过程中产生的电离辐射主要为 γ 射线和中子，此外尚有质子、 β^+ 等。在生产中，除产生电离辐射（ β^+ 、 γ ）之外，还可能产生含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 和 ^{64}Cu 的废气、废液和固体废物，此外尚有少量的活化气体和其它非放射性污染，下面分别叙述：

1) 贯穿辐射

回旋加速器运行时产生的贯穿辐射有中子、 γ 射线，产生的初级伽玛射线大约是中子产生剂量的1%。在药物进行化学合成时和分装时产生 γ 射线。中子和 γ 射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门和屋顶对工作人员和公众会产生一定辐射危害。

2) 活化气体

加速器机房中的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C ， ^{13}N ， ^{15}O 、 ^{68}Ga 和 ^{64}Cu ，它们的半衰期在7.3s~1.83h，只要有相应的通风管道就可以避免机房内活化气体的存在。

3) 放射性废物

i 放射性气体：在放射性药物制取、质检、分装时，部分未被高效过滤器净化的含 ^{18}F 等的放射性气体经通风管道排入大气，会对环境产生污染；

ii 放射性液体废物：放射性药物制取工艺流程中加入的反应介质乙腈溶液和乙醚洗涤液，在同位素交换反应和洗涤完成后，每天产生约40ml放射性废液，由热室专用瓶自动收集，热室在当天运行结束后只能等到第二天才能打开，废液在热室贮存。

加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{16}N ，半衰期分别是2.1min和7.3s，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。该项目回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。

iii 放射性固体废物：定期更换的回旋加速器废靶膜、废靶片、加速器活化部件等，一年产生约10cm³，此部分放射性固废作为长半衰期固废收集暂存在污物室专用铅桶内，并在铅桶的显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等，待收集一定量后送有资质单位处理；放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤

膜和废活性炭等，每年产生约 150kg，操作药物时主要产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，年产生量约 20kg，废物中主要核素为 ^{18}F 等短寿命放射性核素，此部分放射性固废收集暂存在相应核素专用铅桶内，在铅桶的显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等。然后贮存在污物室内衰变，满足清洁解控水平后作为一般医疗废物处理。

4) 非放射性污染物

i 由空气电离产生的有毒气体臭氧 (O_3)，臭氧是加速器产生的电离与空气中的氧相互作用的结果，它对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害。高浓度的臭氧还可以使易燃材料的活性增强，降低臭氧浓度的主要措施是加速器机房要有良好的通风系统。

ii 水冷机、通风系统等产生的噪声，水冷机正常工作噪声水平在 70~75dB (A)，通风机组噪声不大于 70dB (A)，所以对周围环境不会有明显影响。

10.2.2 事故工况

① 熔靶和靶水吸附事故

在加速器打靶时，由于冷却水失效（冷却水断流或流量减少），束流将局部靶片加热超过熔点，靶窗被打穿，靶水进入加速器真空系统，靶物质冷凝于真空管壁上，造成污染。另外，打靶完成后，靶水从靶室送到热室，如果 N_2 压力太大，输导太快，靶水有可能完全附着在聚四氟乙烯管壁内，不能进入工作箱。

② 人员在防护门关闭前尚未撤离加速器机房，加速器运行可能产生误照射。

③ 安全联锁装置或报警系统发生故障的状况下，人员误入正运行的回旋加速器机房内。

10.3 辐射安全与防护

10.3.1 项目安全设施

1、放射性药物核素生产区域工作场所布局及合理性分析

拟建回旋加速器机房及其正电子药物生产区域位于医学综合楼负一层西侧回旋加速器放射性药物核素制备中心，整个区域包括回旋加速器机房及其控制室、热室及其准备间、缓冲区（淋浴、换鞋、一更、二更、缓冲）、质控区（质控室、成品核对室）、废物库、库房、拆包间、洗衣间及其他辅助用房（设备机房、配电房）等组成。该区域东侧为核医学科放射性药物使用区域，西侧和北侧为土层，南侧为空调机房，楼上对应为室外草坪、学校大堂、卫生间、消防控制中心、空调机房等，楼下对应低压配电房、变压器房。回旋加速器机房设在该区域的西北角，回旋加速器机房设计迷路，操作间在机房东侧，热室设

在机房南侧。该区域与控制区相邻的监督区域为放射人员工作区域，无辐射敏感人群常驻区域。核医学科平面图见附图五。

回旋加速器放射性药物核素生产区设置了用于连接洁净区与普通区的缓冲间，满足 GMP 对放射性药品生产区域要求；该场所配套的功能房间基本能够满足有助于实施工作程序的要求，场所布局能保证放射性药物、药物合成操作人员、回旋加速器操作人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射；场所设置了更衣间、淋浴间、洗衣间等，满足工作人员衣物更换、淋洗去污功能，同时也满足衣物及器具冲洗去污的功能；场所设置了质控室，满足放射性药物质控需求；场所设置了污物间和库房，满足放射性废物存储处理需求。

环评建议，控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或肘式开关，以减少场所内的设备污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

综上所述，落实环评建议后，从辐射防护及环境保护方面考虑，该场所布局合理。

2、工作场所分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB 18871-2002）中的要求，对工作场所进行分区管理。拟将回旋加速器机房、污物间、热室、质控室、成品核对室划分为控制区。操作室、设备间、库房、更衣间、准备间、人员进出的缓冲区域和控制区边界外 30cm 区域等划分为监督区。回旋加速器放射性药物制备中心控制区及监督区划分情况如详细见图 10-5。

控制区管理：在控制区的进出口及其他适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志，回旋加速器机房还需设置工作状态指示灯和联锁装置。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区。

监督区管理：监督区区域需用黄色警戒线画出，提醒无关人员进入，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，定期检查监督区辐射水平。

3、人流、物流路线管理

回旋加速器操作工作人员的行走路线规划：工作人员从南侧医护电梯进入负一楼核医学工作场所，经南北方向走廊进入回旋加速器操作间操作回旋加速器，完成后原路返回。

放化合成工作人员（化学师）的行走路线规划：工作人员从南侧医护电梯进入负一层；走进拆包间将合成所需耗材放置在物品传送窗口，进入脱鞋间脱鞋，进入一更衣脱掉身上衣物，然后在二更穿上无菌工作服、手套、帽子；穿戴洁净衣物后通过进入缓冲间进入洁净走廊，进入热室把合成所需耗材取出，放进合成柜内进行药物自动合成；药物合成过程中，化学师退出热室门外等候，合成完毕后再次进入热室内，抽取微量放射性药物通过热室缓冲间药物传送窗口传送到质控室内进行质控检测；检测合格后，再次进入热室通过控制分装柜内的自动分装装置进行药物分装，分装好的药物盛装在防护铅罐内，放置热室缓冲间传送窗口内；化学师退出热室；然后通过退出缓冲间退出控制区，在洗衣间进行表污检测，如发现沾污需进入去污淋洗间进行去污直至检测合格后后方可通过一更离开场所，如无沾污，则直接脱掉工作服，进入一更穿上衣物离开。

放射性药物运输路线规划：热室合成的放射性药物将通过热室缓冲间药物传送窗口传送到走廊，再通过注射室西侧门进入注射室，存放至储源室，核素运输过程中将对该场所进行管控，禁止无关人员进入该场所。

污物运输路线：污物外表面辐射剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.04 Bq/cm^2 和 0.4 Bq/cm^2 后作为医疗废物处置，污物通过污物专用电梯运出核医学科。

人员流动路线及放射性药物运输路线图见图 10-6，该路线规划能保证正电子药品及操作人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员受到不必要的外照射，路线规划合理。

4、回旋加速器机房及放射性药物制备区域辐射屏蔽设计

本次项目拟购带自屏蔽的回旋加速器，因此机房辐射屏蔽按照此类型设备进行设计。加速器机房整体结构采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的结构设计，北墙 800mm 混凝土、西墙 900 混凝土、南墙 600mm 混凝土；东面为迷道，迷道内墙和外墙均为 600mm 混凝土，迷道宽 1.0 m、外入口宽度 1.0 m、污物间宽 1.4 m、内入口宽度 1.6 m；顶棚为 600mm 混凝土+300mm 覆土层，地板为 2200mm 混凝土。

机房门采用推拉式电动辐射防护门，设计了 10mmPb+100mm 含硼聚乙烯进行辐射防护。

除了加速器机房外，其余涉及到放射性核素操作的功能房间（包含热室、质控室）均进行了辐射屏蔽设计，详细的辐射屏蔽设计参数见表 10-8

表 10-8 核医学科放射性药物制备区域主要工作场所屏蔽设计参数

项目		辐射防护情况
回旋加速器机房	机房有效使用面积	48.00m ² （8.0m×6.0m）
	迷路	内墙为 600mm混凝土，外墙为 600mm混凝土，宽度 1000mm、外入口宽度 1.0 m、污物间 1.4 m、内入口宽度 1.6 m
	墙体	北墙 800mm 混凝土、西墙 900 混凝土、南墙 600mm 混凝土
	顶棚	600mm 混凝土+300mm 覆土层
	地面	2200mm 混凝土
	防护门	10mmPb+100mm含硼聚乙烯（两扇）
热室	房间面积	159.28m ² （18.1m×8.8m）
	墙体	西墙（南侧部分 400mm、北侧部分 600mm）混凝土；北墙：（回加机房部分 600mm、污物间部分 370mm）混凝土，东墙和南墙：370mm 实心砖
	顶棚	20cm 混凝土
	地面	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb当量，数量：3 扇
合成柜	前面	70mmPb
	其余面	60mmPb
分装柜	前面	70mmPb

	其余面	60mmPb
质控室	墙体	24cm 实心砖
	顶棚	20cm 混凝土
	地面	25cm 混凝土
	传递窗	5mmPb
	防护门	6mmPb
成品核对室	墙体	24cm 实心砖
	顶棚	20cm 混凝土
	地面	25cm 混凝土
	传递窗	5mmPb
	防护门	6mmPb
标志、警示灯		回旋加速器机房防护门上安装醒目的电离辐射标志和报警灯，其他工作场所进出口设置电离辐射警示标志。
注：机房采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的结构设计，机房一次性浇筑完成，混凝土的含水量不低于 5%。实心砖密度 $\geq 1.65\text{t/m}^3$ ，铅密度 $\geq 11.34\text{t/m}^3$		
5、核素传输管道的辐射安全设计		
回旋加速器生产的核素是通过专用的特氟龙管传输到热室的合成柜内，特氟龙管敷设在预留的靶线地沟内，靶线地沟通过下沉地面设计穿过回旋加速器机房到达热室，靶线地沟顶面 50mmpb 铅板或者铅砖覆盖。		
6、加速器机房穿墙管道的辐射安全设计		
加速器机房所有连接机房内外的电缆管道均设计为下沉地面穿越屏蔽墙，呈“U”字形，通风管道则设计在机房防护门洞上方呈“Z”字形穿过屏蔽墙。通过多次折返的设计，增加泄漏射线的散射次数来减弱漏射线的辐射，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。		
7、加速器钥匙开关		
加速器本身具有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器。		
8、门机连锁		
防护门与回旋加速器同步联锁，机房的防护门如果没有完全关闭，回旋加速器将无法启动；如果在加速器运行过程中防护门被意外打开，防护门联锁机构自动断开，回旋加速器将自动停止出束。		
8、辐射安全警示措施		

防护门上方有报警灯安装，当防护门关闭，上方的报警灯红色闪烁，当回旋加速器关机时，防护门打开，上方的报警灯红色熄灭。

辐射工作场所的进出口大门处设置醒目的电离辐射警示标识和相关警示文字，通过安全警示设施，防止无关的公众人员进入辐射工作场所。

9、紧急停机装置和紧急开门按键

回旋加速器机房和控制室内均设置有紧急停机开关，紧急停机开关供应急停止使用。事故处理完后，再复位才能重新启动加速器系统。回旋加速器机房门口内设置紧急开门按键。

10、清场按钮

在回旋加速器机房东侧墙壁、西侧墙壁和迷道入口处设有清场按钮，在开机之前必须按照巡行路线在规定时间内完成进行清场，完成清场后，才能关闭屏蔽门，关闭屏蔽门后才能进行供束操作。

11、监视对讲装置

机房内部均拟安装 4 个摄像头，每个角落按照一个，确保机房内无死角，便于工作人员实时监控机房内的状况。

12、实时辐射水平监测系统

加速器机房内设置了辐射剂量率监测系统，监测探头设置在加速器机房内，工作人员可在控制室显示屏上观察机房内的辐射剂量率水平，当超过报警限值时会发出警报鸣声。图 10-7 为安全联锁逻辑关系示图，回旋加速器机房辐射安全设施布局示意图见图 10-8。

13、热室的辐射安全设施

热室内安装一组带自屏蔽的合成柜和一组分装柜，一组合成柜内含 5 套药物自动合成装置，分装柜内含 1 套自动分装仪，分别用于放射性化学自动合成及药物分装。合成柜和分装柜的自屏蔽体前挡板的辐射屏蔽厚度设计为 70mmPb 当量，其余面挡板为 60mmPb。

14、拟配备的防护用品及辐射监测仪器

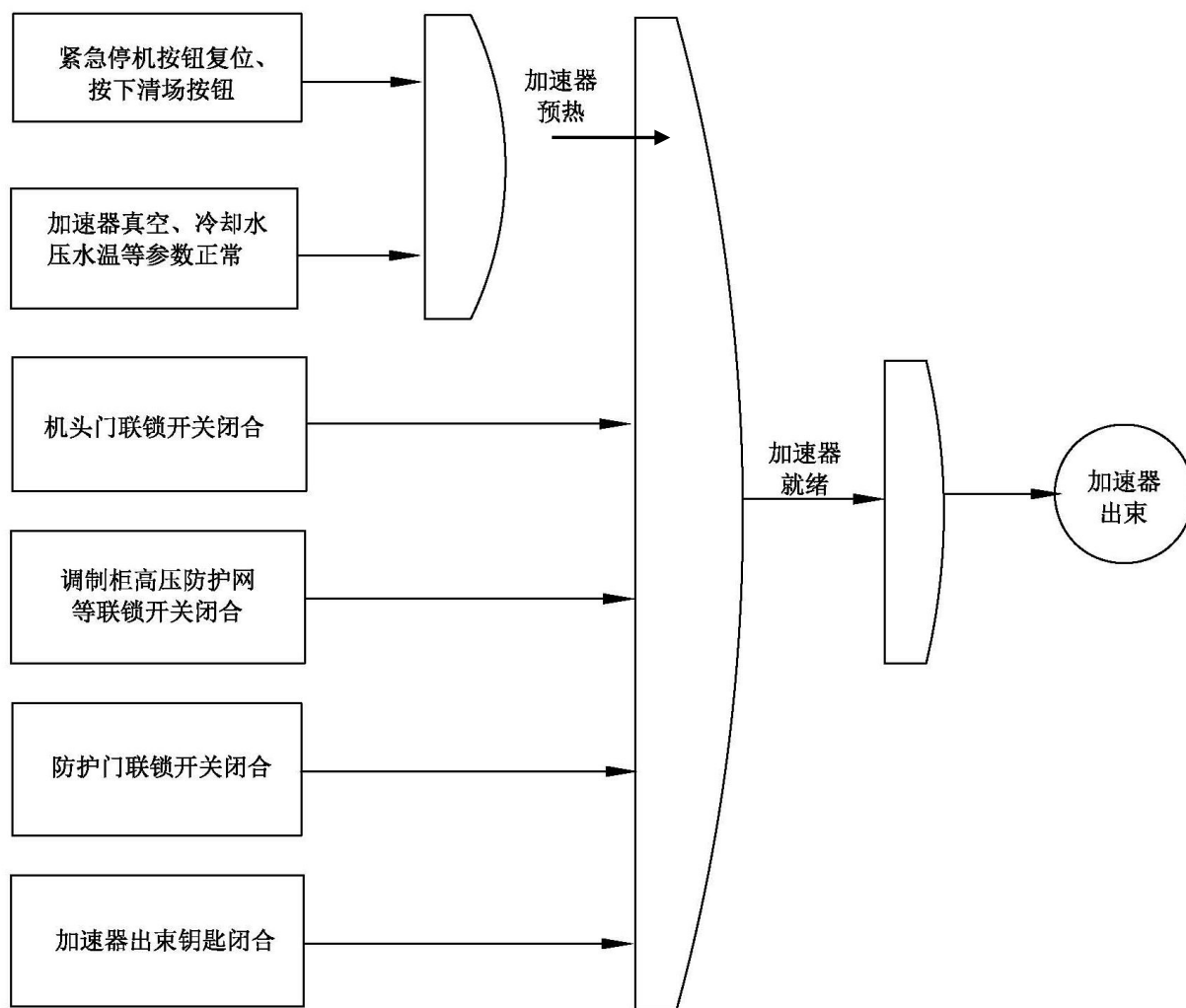
根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，使用非密封放射性物质的单位，应“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、固定式和便携式辐射监测、表面污染监测、流出物监测等设备。对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院拟配备了 1 套数字化区域辐射剂量监控系统，系统设定有报警阈值，拥有实时显示报警系统状态及报警通道实测数据并自动存档的功能用于监测机房及工作场所内环境辐射水平。除此外，还配备 1 台便携式X-γ电离室巡测仪、1 台数字式表面沾污仪，6 台个人剂量监测报警仪、1 台中子监测仪器、一套数字化区域辐射剂量监控系统。

医院拟为工作人员等配备铅衣、铅眼镜、铅帽、铅围脖等个人防护用品，并要求辐射工作人员必须佩戴个人剂量计，定期（不少于 1 次/季度）送有资质部门进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。开展放射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检。拟配备以下防护用品及监测仪器清单见表 10-9。

表 10-9 回旋加速器及药物生产区域防护设施配备计划

种类	性能指标	数量
储源铅罐	40mmPb，可放置 10ml/20ml/30ml 药瓶。	若干
除污工具组	大桶、小桶各一个；锥桶 1 个；拖把一个；刷子大、小、中各一个；铁夹子 1 个；喷壶一个；防辐射牌大、小各两个；八四消毒液一桶；一次性手套一副、去污溶剂。	1 套
放射性废物桶	30mmPb	若干
高剂量屏蔽钨合金罐	35mm 厚钨合金（50mmPb）	2 个
铅围裙	0.5mmPb	2 件
铅帽子	0.5mmPb	2 顶
铅围脖	0.5mmPb	2 个
铅眼镜	0.5mmPb	2 副
个人剂量报警仪	液晶显示、发声报警，可测量 X、γ射线。	6 台
数字化区域辐射剂量监控系统（4 探头）	系统由一台主机工作站控制，配有 4 个区域辐射监测仪，分别安装在回旋加速器室、回旋加速器控制室、热室、质控室，组成环境辐射监测局域网络。系统设定有报警阈值，具有同步声视报警，实时显示报警系统状态及报警通道实测数据并自动存档的功能。	1 套
数字式表面沾污仪	4 位液晶 LCD cpm : 0-300,000 窗直径: 45mm 灵敏度: 0.02 μCi	1 台
便携式X-γ电离室巡测仪	量程: 1μSv/h~ 1 Sv/h 能量: 20kev-2Mev 电离室容积: 350 cm ³	1 台
中子监测仪	-	1 台



束流阻挡器与束流联锁

图 10-7 回旋加速器辐射安全联锁逻辑图

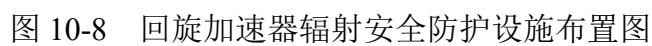


表10-10 拟采取的安全防护措施和设施与GBZ120-2020标准符合情况表

序号	GBZ120-2020标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。	回旋加速器机房内已经设置监视对讲装置	符合
2	回旋加速器机房内、药物制备室应安装固定式剂量率报警仪	已经在回旋加速器机房内、药物制备室安装固定式剂量率报警仪	符合
3	回旋加速器机房应设置门机联锁装置，机房内应设置紧急停机开关和紧急开门按键	已经在回旋加速器机房设置门机联锁装置，机房内设置紧急停机开关和紧急开门按键	符合
4	回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料。	回旋加速器机房未采用富含铁矿物质的混凝土，混凝土中未采用重晶石或铁作为骨料	符合
5	回旋加速器机房电缆、管道等应采用S型或折型穿过墙壁；在地沟中水沟和电缆沟应分开	加速器机房所有连接机房内外的电缆管道均设计为下沉地面穿越屏蔽墙，呈“U”字形，通风管道则设计在机房防护门洞上方呈“Z”字形穿过屏蔽墙；在地沟中水沟和电缆沟分开	符合

10.4 三废的治理

1、放射性废水处理

根据 10.2 章节源项描述，回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。循环冷却水产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{16}N ，半衰期分别是 2.1min 和 7.3s，事故应急情况下，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平再进行处理。

在放射性药物合成工艺流程中由同位素置换反应和洗涤产生的放射性废液大约有 40ml，将用专用贮存容器自动收集，贮存在热室中，衰变一定时间后进行监测，监测合格后当做普通废液排放。对于长半衰期废液（靶水）先进行收集，收集后进行固化处理后送城市放射性废物库。

除此之外，工作场所淋洗间、器具清洗间、洗衣间、放射性质控间内辐射工作人员消洗去污产生的含放射性核素的废水，总废水产生量约为 100L/天，应急情况下长生的废水约 100L/天，废水拟通过放射性废水专用管道收集排放至衰变池进行衰变，衰变至少 10 个半衰期后经检测满足排放标准后排放至医院污水处理站，最后排放至市政管网。衰变池设计将在后面表 11 章节重点论述。

2、放射性废气

放射性药物制备区域设置了 4 条独立的排风管道，1 条为回旋加速器机房内排风管道，1 条为合成热室专用排风管道；1 条为库房、准备间、质控室、成品核对室、更衣室等区域的排风；1 条为标志室的排风，该区域通风设计图见图 10-9。

回旋加速器机房：根据 10.2 章节源项描述，回旋加速器机房会产生射性活化气体和臭氧，回旋加速器自屏蔽体内安装一个热气排风扇用于通风，气体排出到加速器室，因此回旋加速器机房设计独立的通风系统，采用机械强制排风，排风量为 $2500\text{m}^3/\text{h}$ ，风机效率 85%，机房体积为 144m^3 ，保证每小时通风换气次数不小于 14 次。机房拟采用上送风下排风的方式进行通风，新风口设在机房北墙顶部距地面 3m 处，新风管道（ $32\text{cm}\times 32\text{cm}$ ）拟从机房东墙吊顶上方呈 S 型穿墙，排风口设在机房南墙底部距地面 0.3 米处，排风管道（ $32\text{cm}\times 32\text{cm}$ ）拟从机房南墙吊顶上方呈 S 型穿墙，通风设计满足“高进低处，对角设计”原则。放射性废气经过高效活性炭过滤器吸附过滤后通至机房南侧热室的核医学排风井，由核医学排风井直接引至医学综合楼屋面，最终排风口位置位于医学综合楼屋面高出屋面 3m 处。排放口位置为不上人屋面，离地高 102 米，高于周围建筑且公众人员无法达到。

热室：热室合成柜以及分装柜内在放射性药物合成与分装过程中，由于药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素。因此热室设计了独立的通风系统，采用机械强制排风，以保证场所处于负压状态下。根据设计单位提供的通风设计方案，热室区域已经预留了独立的排风管道，该房间通风需专业公司或者厂家进行深化设计。深化设计后，热室排放系统需设置 2 个废气过滤装置，在合成模块以及分装模块柜处配专用高效空气过滤器（前置高效空气过滤器的作用主要是用于去除空气中的灰尘、气溶胶以及细菌等，过滤效率不低于 99.5%），在最排风口前设置活性炭高效过滤器（后端活性炭过滤器主要是用于去除放射性气溶胶颗粒，过滤效率不低于 99.5%）。放射性废气经合成分装热室的过滤器过滤后，经排风管道收集，在排放口位置再次经活性炭过滤器过滤净化后排放。核医学场所的排风经净化后高出屋脊 3m 排放。

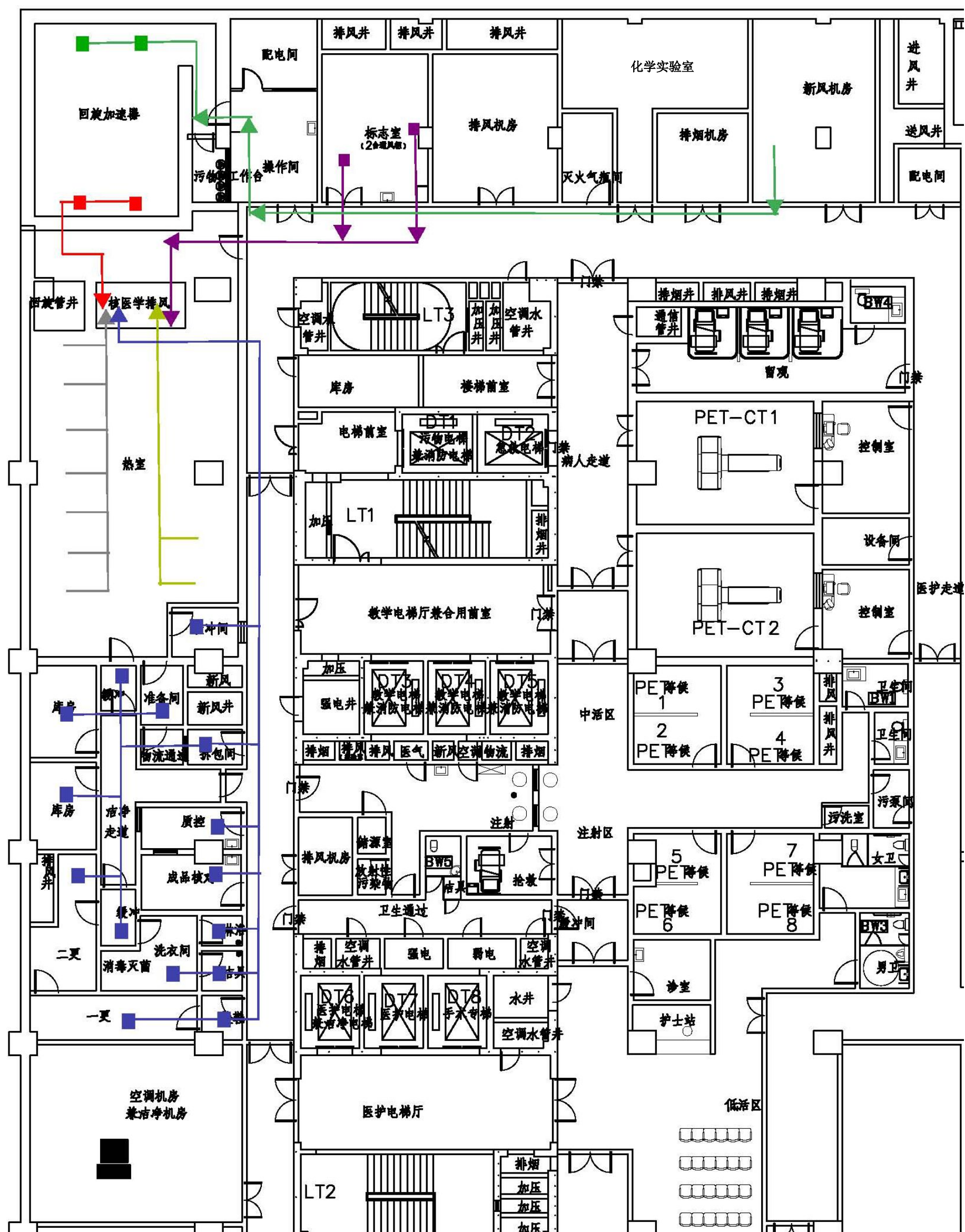
库房、准备间、质控室、成品核对室、更衣室等区域：此区域均设置了排风口，排风量 $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，风机效率 85%，汇集后的排风管道沿着该区域东侧走廊进入热室北侧的核医学排风井，排放前经过高效活性炭过滤器吸附过滤。

标志室：标志室设有 2 个排风口，汇集后的排风管道沿着标志室南侧走廊进入热室北侧的核医学排风井，排放前经过高效活性炭过滤器吸附过滤。

通风系统设置止回阀，防止有害气体逆向回流；排风系统排风口处设计防鸟、防虫、防

雨措施。通风管道内配备活性炭过滤器和高效过滤器，过滤效率不低于 99.9%，活性炭过滤装置更换应根据不同季节和气候、温湿度条件下的吸附效率不同的特点，找出适时更换的频率，更换下的活性炭吸附材料应作为放射性固废处理，活性炭过滤装置每季度至少更换一次。建议在排风管道内设计有压差计，可根据管道内的压差情况判断活性炭过滤装置是否需要换过。

综上所述，医院放射性药物制备区排风设计能满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的相关要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。



注 “——” “——” “——” “——” “——” 为排风系统；
“——” 为新风系统。

图 10-9 核医学科回旋加速器放射性药物制备区域通风示意图

3、放射性固体废物

回旋加速器制药产生的放射性固体废物分为长半衰期和短半衰期两类。

回旋加速器日常维护保养定期更换的废靶部件、剥离膜、靶膜、限束光栏、偏转磁铁一年产生约 10cm^3 ，此部分固体废物为长半衰期放射性固体废弃物，收集暂存在回旋加速器东面污物室中专用铅桶内，并在铅桶的显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等，待收集一定量后送有资质单位处理。

放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭\老化的核素传输管道等，每年产生约 150kg 。操作放射性药物产生的手套、口罩和清洁去污时用过的抹布、托布等含短半衰期核素的废物，年产生量约 20kg 。本项目在各产污场所均设有短半衰期铅废物桶，短半衰期放射性固体废物在产生后先存放于短半衰期铅废物桶中，当废物桶装满后，废物桶转移至回旋加速器机房东面的污物室中进行暂存，在铅桶的显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等。然后贮存在污物间内衰变，满足清洁解控水平后作为一般医疗废物处理。

每次转移放射性废物桶时，需先进行辐射剂量率和表面污染水平检测：①废物桶外 30cm 处的辐射剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；②废物桶外表面的 β 表面污染水平 $\leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ ，只有检测结果满足上述标准的废物桶才会进行转移。在废物桶转移时，运营机构对废物桶的转移路径临时进行管控，在确保转移路径上没有人员后，方可进行废物桶的转移操作。放射性废物桶转移路径见图 10-6。

综上所述，回旋加速器与放射性药物制备项目制定的放射性三废处理措施，且经过处理后的三废排放能满足标准要求，处理方案可行。

10.5 环境影响分析

10.5.1 建设阶段对环境的影响

本次评价项目涉及到新墙体的彻筑、建筑装饰、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

1.声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，其在现有建筑物内部完成，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

2.环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

3.水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，对施工废水进行澄清处理，清水排放至医院污水处理站；淤泥妥善堆放后运至弃渣场。

4.固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

10.6 运行阶段对环境的影响

10.6.1 回旋加速器机房辐射屏蔽分析

该加速器机房外的各关注目标点见图 10-10。

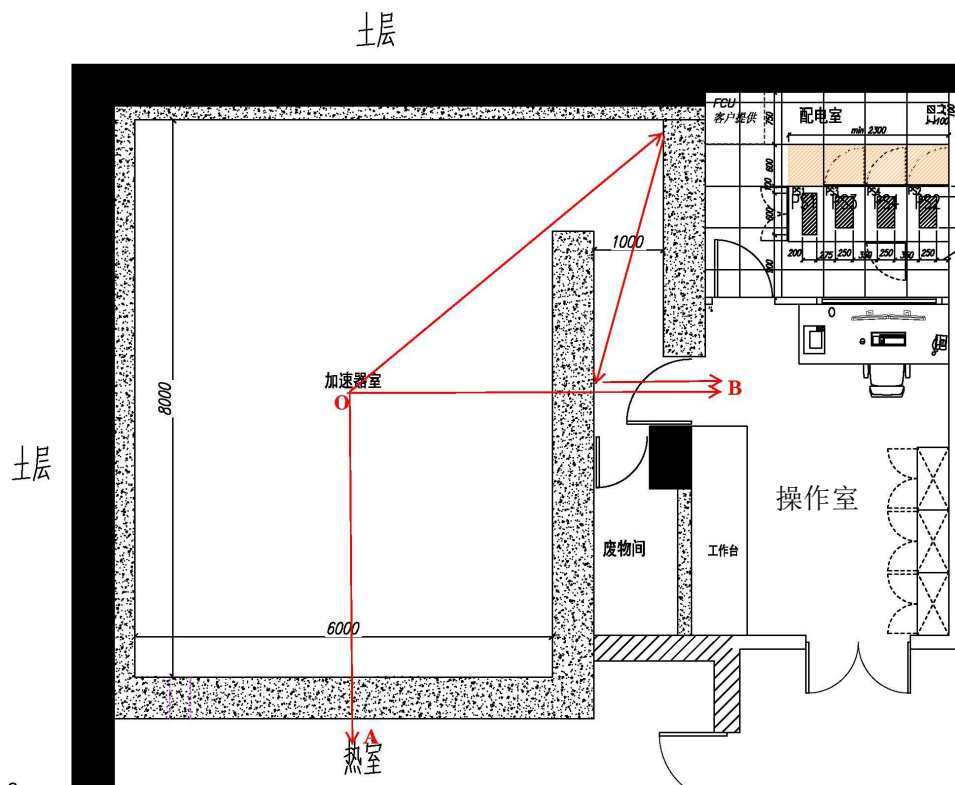


图 10-10 (a) 关注目标点平面图

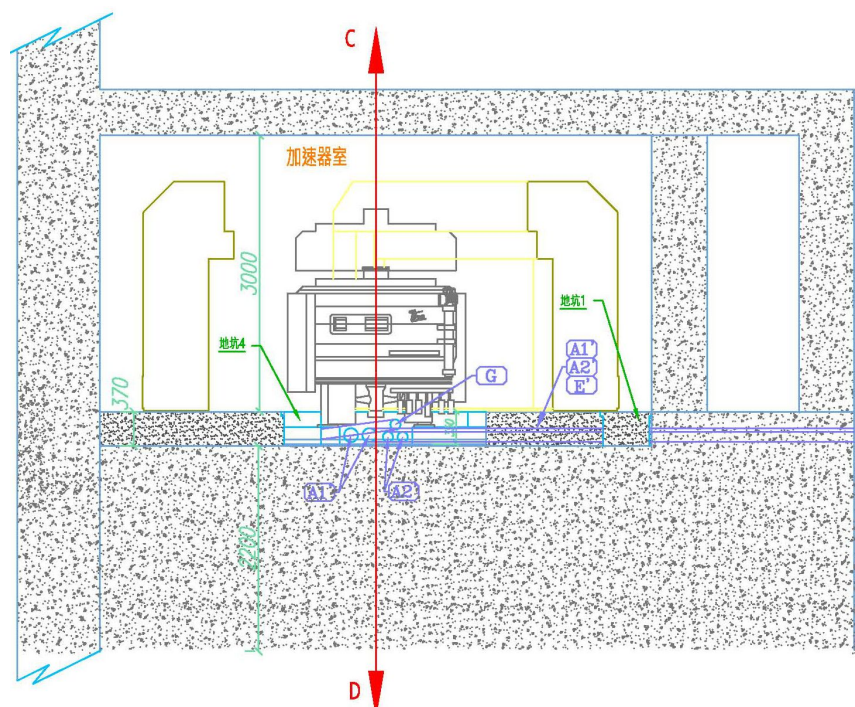


图 10-10 (b) 关注目标点剖面图

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）I.3，已知某参考点 r_0 处的中子和 γ 射

线剂量率 H_n 、 H_γ ，以及机房屏蔽材料的厚度为 S ，机房外评价点 R 处的中子和 γ 射线剂量率的总和 H_R 可按公式（10-1）计算：

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times (H_n \times 10^{-S/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-S/TVL_\gamma}) \quad \cdots\cdots \text{式 10-1}$$

式中：

H_R -机房外评价点 R 处的中子和 γ 射线剂量率的总和， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r_0 -参考点处距辐射源距离， m ，计算中将参考点距源距离设为 1m ；

R -关注点距辐射源距离， m ；

H_n -自屏蔽表面外 r_0 处的中子剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_γ -自屏蔽表面外 r_0 处的 γ 射线剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

S -机房的屏蔽厚度， mm ；

TVL_n 、 TVL_γ -分别为中子的十值层、 γ 射线的十值层。对 11MeV 回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为 8MeV ，中子的能量约为 5MeV ；对于普通混凝土来说， TVL_n 为 430mm ， TVL_γ 为 380mm 。

建设单位提供了 IBA 公司、GE 公司、加拿大 ACSI 公司三家设备厂商提供的几种型号的自屏蔽回旋加速器的资料，不同设备厂家不同型号的设备参数详细见表 10-11。本次评价选取 GE 公司 PETtrace 带自屏蔽加速器、IBA 公司 Cyclone® KIUBE 150 型加速器和加拿大 ACSI 公司 TR-19 型加速器三种型号设备自屏蔽体外的剂量率分布参数，分别对本次加速器机房的进行屏蔽计算分析。

表 10-11 不同设备厂家不同型号的设备参数一览表

设备厂家	设备型号	参数
GE公司	PETtrace带自屏蔽	质子能量为 16.5MeV ，束流 $\leq 130\mu\text{A}$
	Qilin	质子能量为 9.6MeV ，束流 $\leq 70\mu\text{A}$
IBA公司	Cyclone® KIUBE 100	质子能量为 18MeV ，束流 $\leq 100\mu\text{A}$
	Cyclone® KIUBE 150	质子能量为 18MeV ，束流 $\leq 150\mu\text{A}$
加拿大ACSI公司	TR-19	质子能量为 19MeV ，束流 $\leq 100\mu\text{A}$

1、以 GE 公司生产的 PETtrace 带自屏蔽回旋加速器为例

（1）机房四周墙体及顶棚屏蔽计算

GE PETtrace 型自屏蔽回旋加速器的自屏蔽体外的剂量率分布见图 10-11、图 10-12。根据剂量率等高线可知自屏蔽表面外 1m 处的 γ 射线剂量率见表 10-12，预测加速器运行过

程中，加速器室外各评价点位的辐射水平，计算因子见表 10-13，预测计算结果见表 10-14。

表 10-12 PETtrace 自屏蔽体外 1m 处的剂量率

方位	中子	$\gamma(\mu\text{Sv/h})$
设备正、背面	$\leq 41\mu\text{Sv/h}$	$\leq 82\mu\text{Sv/h}$
设备左、右侧面	$\leq 41\mu\text{Sv/h}$	$\leq 41\mu\text{Sv/h}$
设备上方	$\leq 41\mu\text{Sv/h}$	$\leq 82\mu\text{Sv/h}$

表 10-13 计算因子

目标点位	H_n ($\mu\text{Sv/h}$)	H_γ ($\mu\text{Sv/h}$)	r_0 (m)	R (m)	S (mm)	TVL_n (mm)	TVL_γ (mm)
A(南侧墙外)	41	41	1	4.8	600	430	380
B(东侧墙外)	41	82	1	5.3	600	430	380
C(顶棚上方)	41	82	1	3.6	600	430	380

注：关注点为屏蔽墙外 30cm 处。

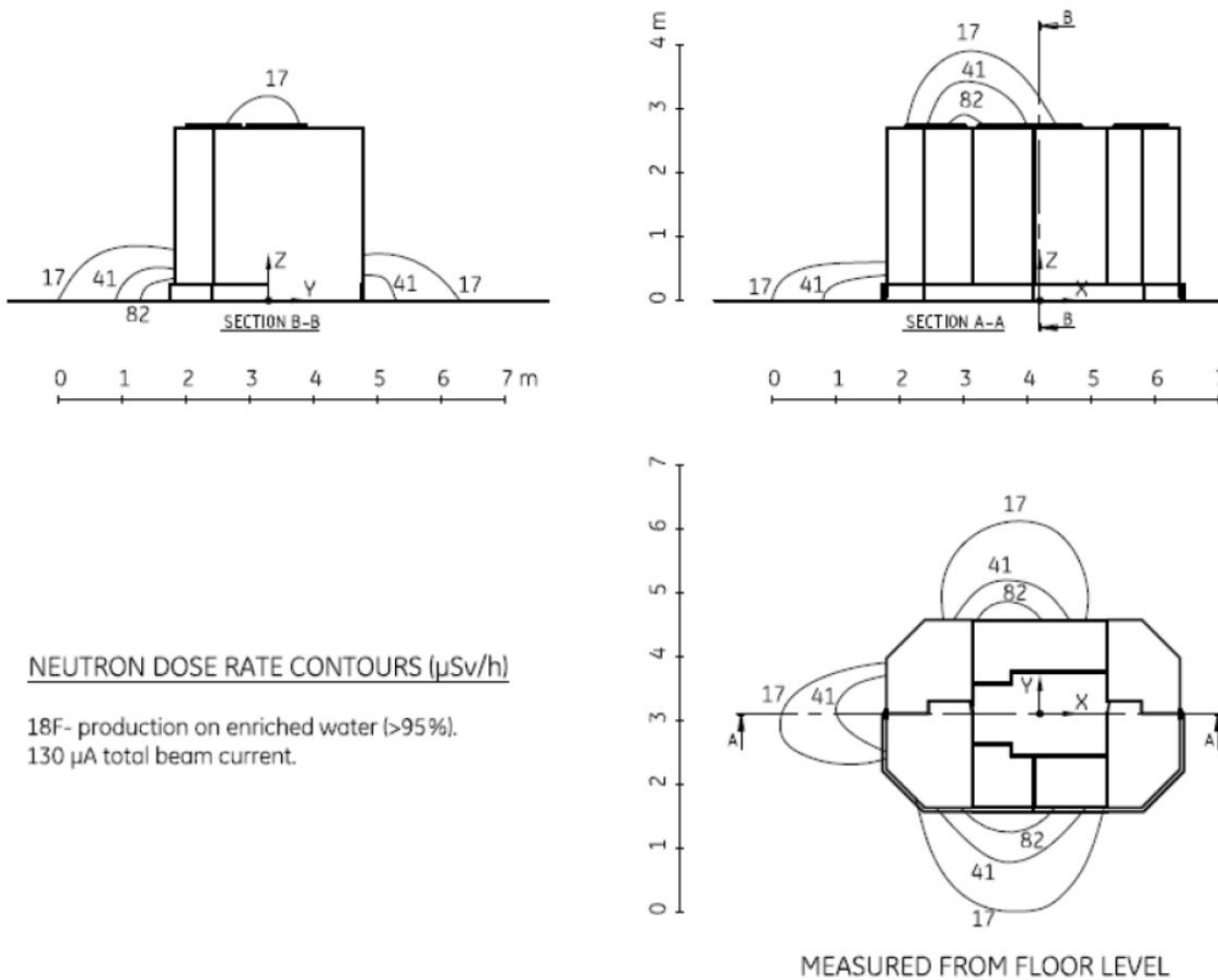


图 10-11 GE 公司 PETtrace 中子剂量率等高分布图

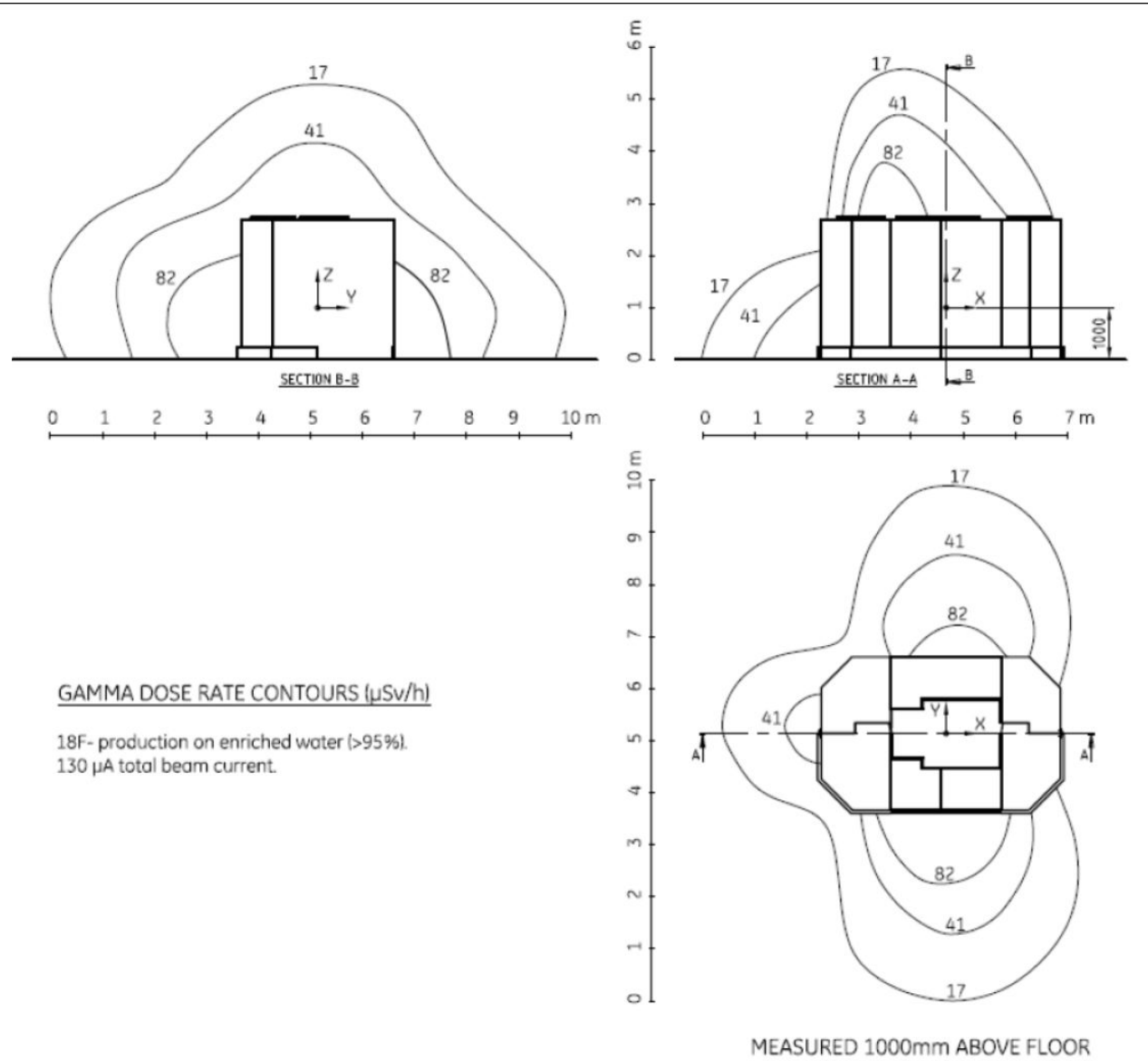


图 10-12 GE 公司 PETtracey剂量率等高分布图

表 10-14 核医学科回旋加速器机房关注目标点辐射剂量率预测结果

目标 点位	与机房关系	环境性质	中子剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	南侧墙外	热室	0.072	0.047	0.119
B	东侧墙外	操作室	0.059	0.077	0.136
C	顶棚上方	草坪	0.108	0.142	0.251

(2) 机房防护门屏蔽计算:

防护门外剂量率主要考虑中子、 γ 射线穿过迷道内到达防护门处的辐射剂量率和中子、 γ 射线经迷道内散射后穿过防护门的剂量率。在防护门处，中子经过散射后，能量下降至热中子水平，根据 NCRP151， γ 射线散射至防护门内的射线能量的计算公式如下：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos\theta_s)} \dots\dots \text{公式 10-2}$$

式中：

E_0 ：入射能量，厂家资料显示，产生的 γ 射线能量范围在 0~10MeV 之间，保守取 10MeV；

θ_s ：散射线与入射方向的夹角，取 90° 。

计算得防护门内一次散射 γ 射线能量为 0.62MeV，根据 NCRP151，对于铅的什值层厚度约为 6mm。

根据 NCRP79 号报告，中子射线散射至防护门内的射线能量的计算公式如下：

$$E_{sc} = 0.24E_{dir} \dots\dots \text{公式 10-3}$$

E_{dir} ：产生的中子能量，厂家资料显示，产生中子最高能量为 15MeV，峰值能量为 2.0MeV。

计算得出防护门内一次散射中子射线能量为 3.6MeV，射聚乙烯对热中子的什值层参考《辐射防护手册》，TVL 选取为 65mm。

根据 NCRP151，防护门外散射剂量率的计算公式如下：

$$H = \frac{H_n \cdot \alpha_n \cdot S}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL_n}} + \frac{H_\gamma \cdot \alpha_\gamma \cdot S}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL_\gamma}} \dots\dots \text{公式 10-4}$$

式中：

H_n ：参考点 r_0 处的中子剂量率；

H_γ ：参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率；

α_n ：混凝土对于中子的散射系数，取 NCRP79 号报告中推荐的中子在混凝土上的散射系数 0.11；

α_γ ：混凝土对 γ 光子的散射因子，其取值参考 NCRP151 号报告表 B.8b 相关内容，保守取 6MeV γ 光子 30° 入射，为 0.0052；

S：散射面积，假设站在靶点和防护门处同时能够看到的北墙面积；

R_1 ：靶点至散射点的距离；

R_2 ：散射点至防护门外 30cm 的距离；

X：防护门的屏蔽，10mmpb+100mm 含硼聚乙烯（5%硼）

TVL_n、TVL _{γ} -分别为中子的十值层、 γ 射线的十值层。

防护门屏蔽算因子见表 10-15。

表 10-15 防护门屏蔽算因子计算因子

H_n ($\mu\text{Sv/h}$)	H_γ ($\mu\text{Sv/h}$)	α_n	α_γ	S (m^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	TVL_n (mm)	TVL_γ (mm)
41	82	0.11	0.0052	3	5.4	3.7	65	6

根据公式 10-4 计算得出，经过 10mmpb+100mm 含硼聚乙烯（5%硼）防护门屏蔽后，门外中子的散射剂量率为 0.024 $\mu\text{Sv/h}$ ， γ 射线的散射剂量率为 0.149 $\mu\text{Sv/h}$ ，总散射剂量率为 0.173 $\mu\text{Sv/h}$ 。表 10-14 中关注点 B 处中子和 γ 射线穿过迷倒内墙的辐射剂量率为 0.051 $\mu\text{Sv/h}$ ，叠加得，防护门外总的剂量率为 0.224 $\mu\text{Sv/h}$ 。

2、以 IBA 公司 Cyclone® KIUBE 150 型自屏蔽回旋加速器为例

根据设备厂家提供的由 Los Alamos 国家实验室采用蒙特卡罗代码为 MCNPX2.7.0 的运行版本对 KIUBE 150 回旋加速器自屏蔽及机房屏蔽设计的研究结果，研究模型的平面示意图见图 10-13，设备运行条件为双 ^{18}F 靶，150 μA 束流。设备屏蔽体外 1m 处剂量率水平见图 10-14 、图 10-15，不同混凝土厚度（40cm、60cm、80cm）外剂量率水平见图 10-16。

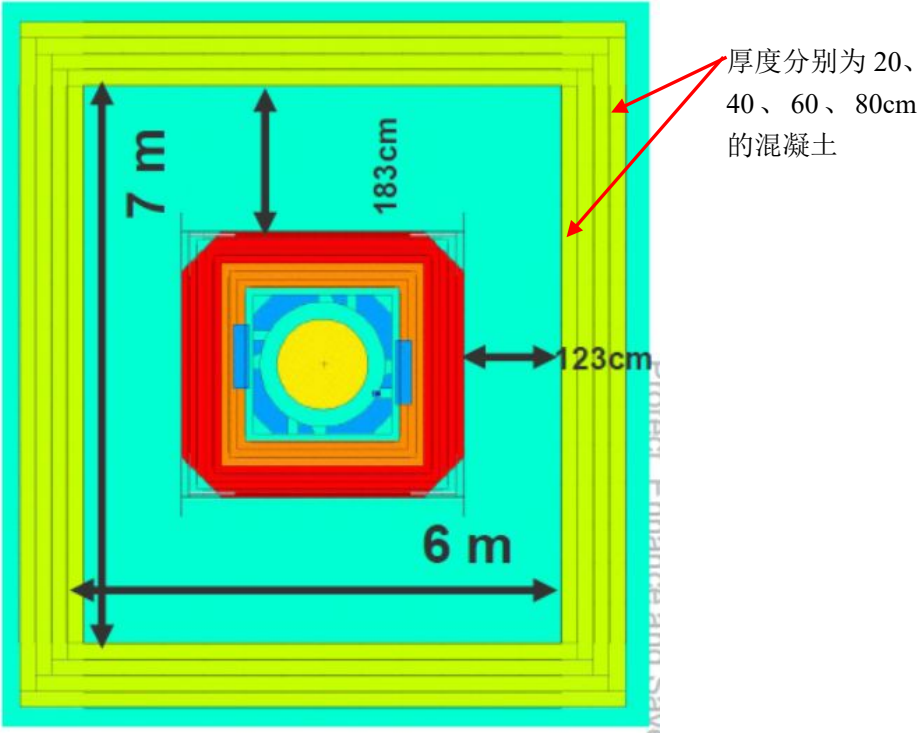
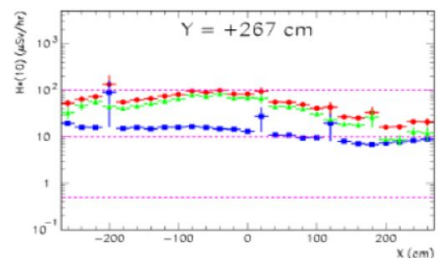
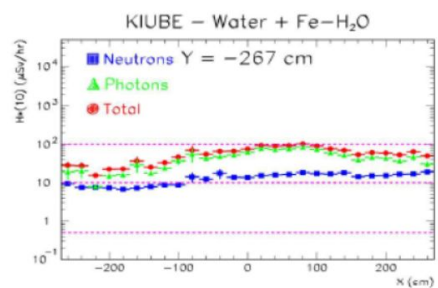
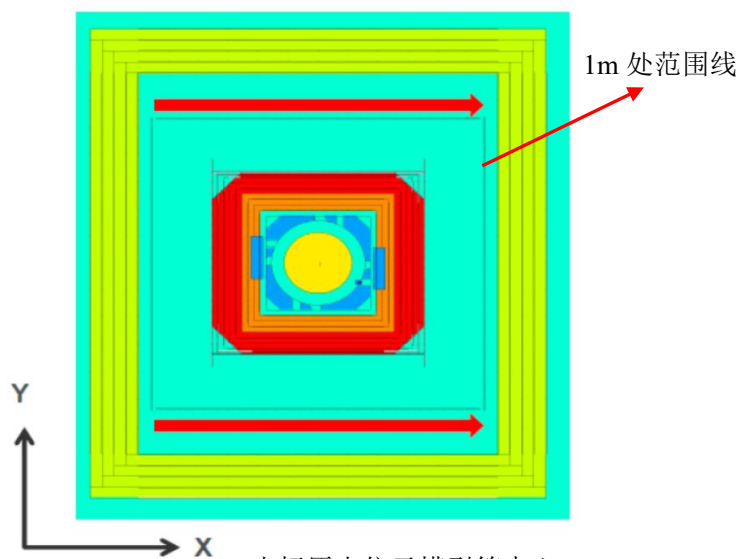
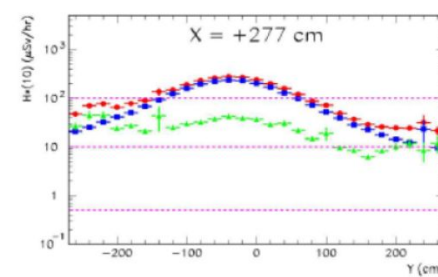
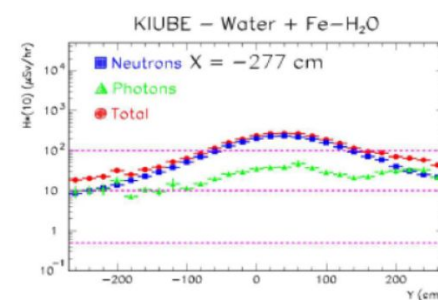
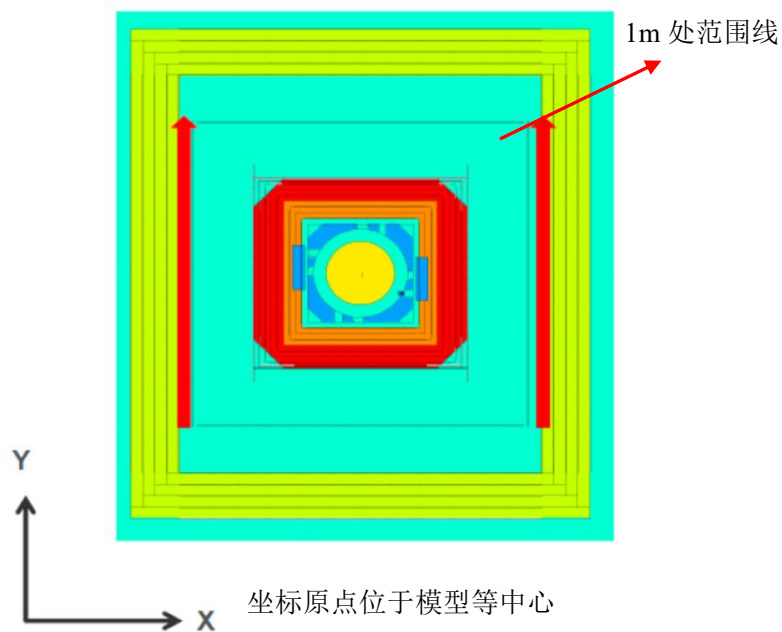


图 10-13 研究模型的平面示意图



Maximal $H^*(10) = 134.4 \mu\text{Sv/h}$

图 10-14 Cyclone® KIUBE 150 自屏蔽体正、背面 1m 处剂量率图



Maximal $H^*(10) = 277.4 \mu\text{Sv/h}$

图 10-15 Cyclone® KIUBE 150 自屏蔽体两侧 1m 处剂量率图

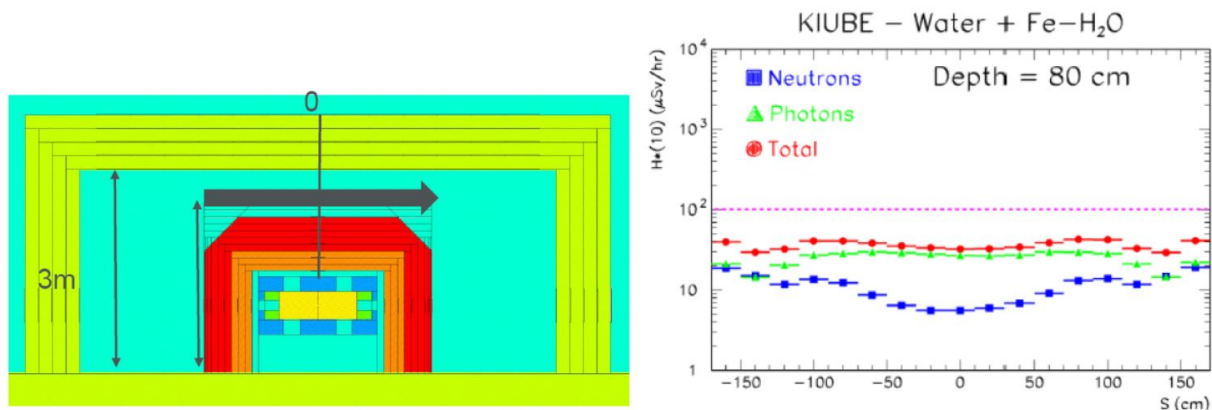


图 10-16 Cyclone® KIUBE 150 自屏蔽体顶面 1m 处剂量率图

Dose rate measured at 1 meter below the self-shielding assuming no shielding below the cyclotron.
Targets ¹⁸F #1 + #5 with 2 x 75 μA beam current

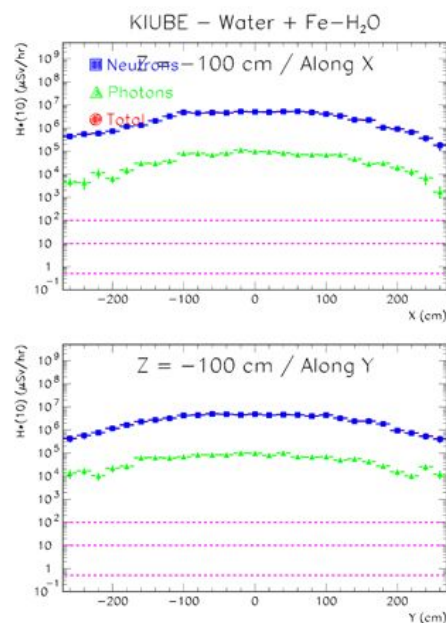
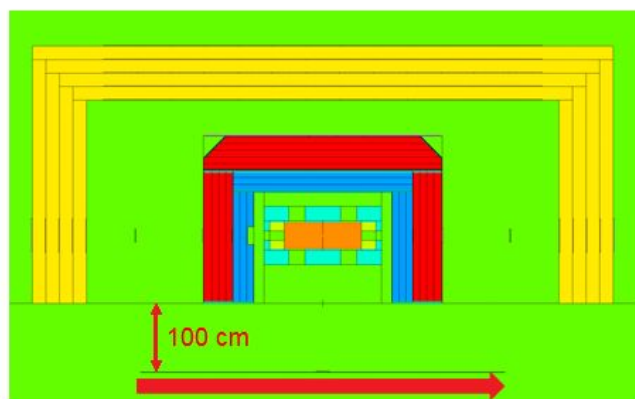


图 10-17 Cyclone® KIUBE 150 自屏蔽体底部 1m 处剂量率图

根据研究结果，KIUBE 150 自屏蔽体正、背面 1m 处中子剂量率 $\leq 90 \mu\text{Sv/h}$ 、 γ 射线剂量率 $\leq 44.4 \mu\text{Sv/h}$ ，两侧面 1m 处中子剂量率 $\leq 237.4 \mu\text{Sv/h}$ 、 γ 射线剂量率 $\leq 40 \mu\text{Sv/h}$ ，上面 1m 处中子剂量率 $\leq 13.1 \mu\text{Sv/h}$ 、 γ 射线剂量率 $\leq 29.6 \mu\text{Sv/h}$ ，下面 1m 处中子剂量率 $\leq 5.0 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$ 、 γ 射线剂量率 $\leq 1.0 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据以上研究结果，结合本次项目机房的屏蔽设计，根据公式 10-1，可计算得出本次项目机房外关注的剂量率水平，计算因子见表 10-16，预测计算结果见表 10-17。

表 10-16 计算因子

目标点位	H_n ($\mu\text{Sv/h}$)	H_γ ($\mu\text{Sv/h}$)	r_0 (m)	R (m)	S (mm)	TVL_n (mm)	TVL_γ (mm)
A(南侧墙外)	237.4	40	1	4.8	600	430	380
B(东侧墙外)	90	44.4	1	5.3	600	430	380
C(顶棚上方)	13.1	29.6	1	3.6	600	430	380
D(地面下方)	5.0E+06	1.0E+05	1	3.0	2200	430	380

表 10-17 关注目标点辐射剂量率预测结果

目标 点位	与机房关系	环境性质	中子剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	南侧墙外	热室	0.451	0.050	0.501
B	东侧墙外	加速器前室	0.120	0.039	0.158
C	顶棚上方	室外草坪	0.013	0.030	0.043
D	地板下方	配电房	0.120	0.001	0.120

再根据公式 10-2、10-3、10-4 计算得出经过 10mmpb+100mm 含硼聚乙烯（5%硼）防护门屏蔽后，门外中子的散射剂量率为 $0.052\mu\text{Sv/h}$ ， γ 射线的散射剂量率为 $0.081\mu\text{Sv/h}$ ，总散射剂量率为 $0.133\mu\text{Sv/h}$ 。表 10-17 中关注点 B 处中子和 γ 射线穿过迷倒内墙的辐射剂量率为 0.065，叠加得，防护门外总的剂量率为 $0.198\mu\text{Sv/h}$ 。

3、加拿大 ACSI 公司 TR-19 型自屏蔽回旋加速器为例

TR-19 型自屏蔽回旋加速器的自屏蔽体外的剂量率分布见图 10-18、图 10-19。根据剂量率等高线可知自屏蔽表面外 1 处的 γ 射线剂量率见表 10-18。

表 10-18 TR-19 型加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率

	中子 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ ($\mu\text{Sv/h}$)
自屏蔽体外 1m	$\leq 25\mu\text{Sv/h}$	$\leq 10\mu\text{Sv/h}$

NEUTRON DOSE RATE CONTOURS
¹⁸F- PRODUCTION ON ENRICHED WATER (~93%)
 70 μ A TOTAL BEAM CURRENT

Distance from the shield surface	Dose rate
10 cm	100 μ Sv
50 cm	50 μ Sv
100 cm	25 μ Sv

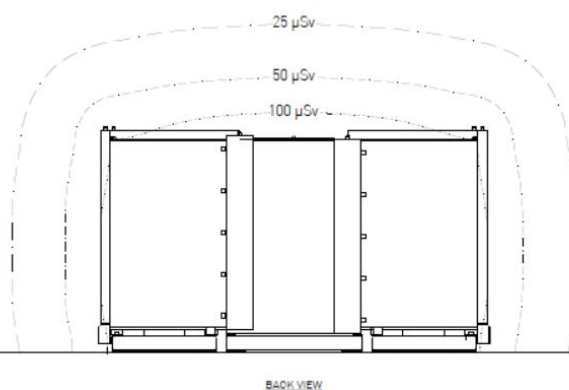
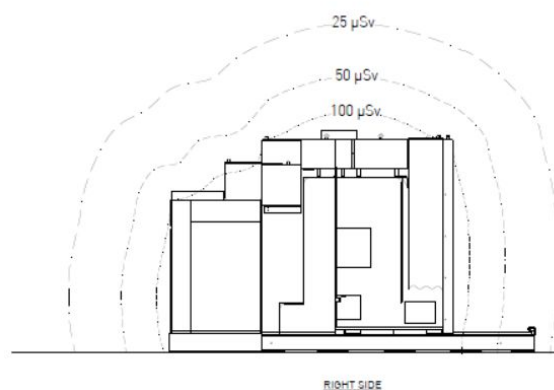
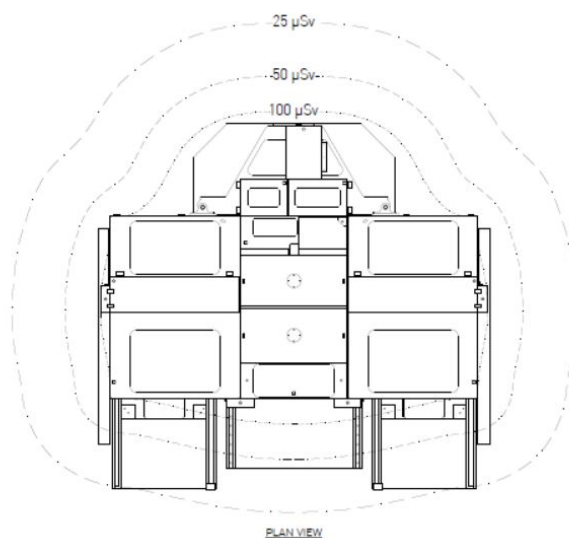


图 10-18 加拿大 ACSI 公司 TR-19 型加速器中子剂量率等高分布图

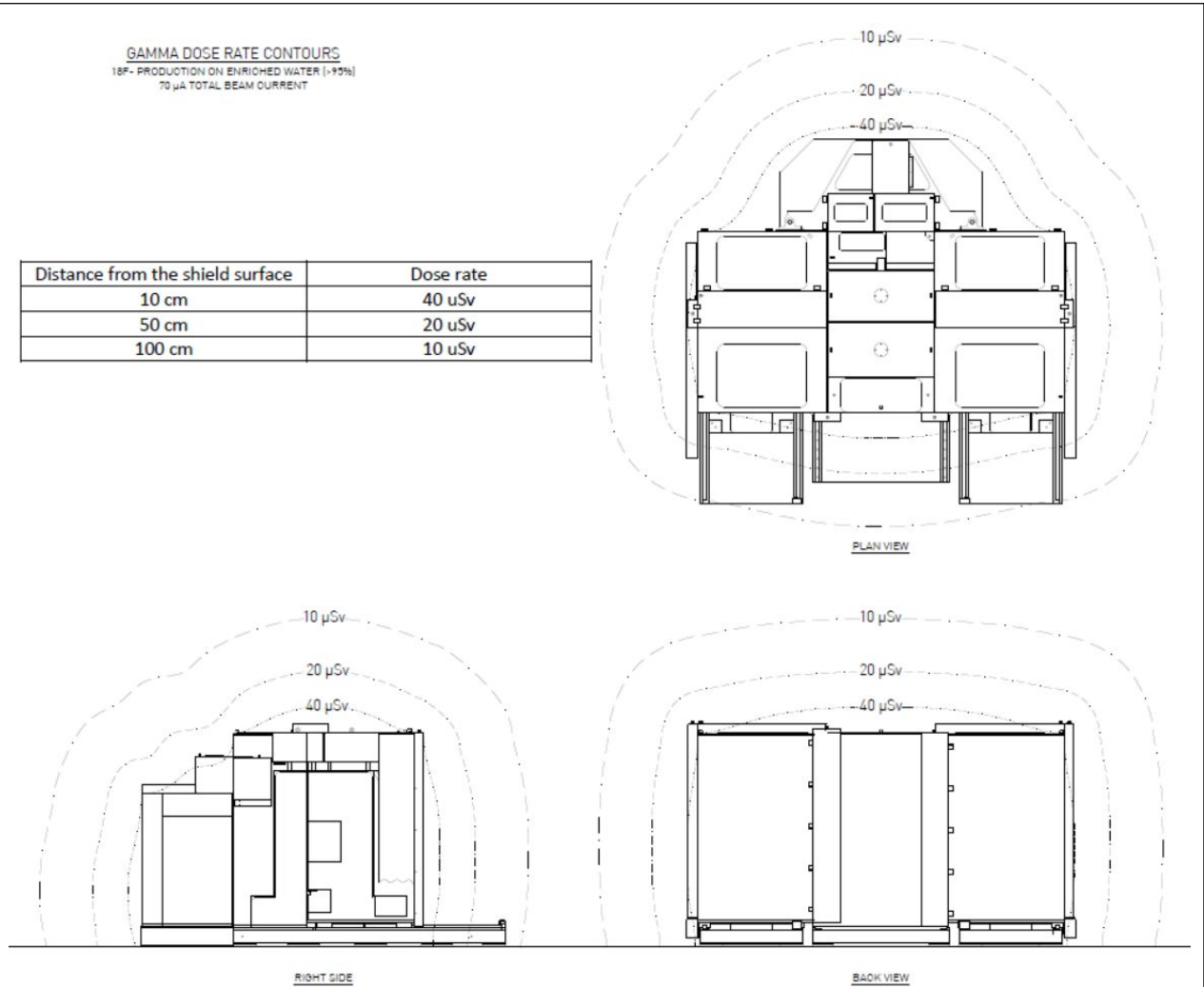


图 10-19 加拿大 ACSI 公司 TR-19 型加速器 γ 剂量率等高分布图

由 TR-19 型回旋加速器的自屏蔽体外的剂量率分布及自屏蔽表面外 1 处的中子、 γ 射线剂量率可知，对比 GE 公司 PETtrace 型加速器、IBA 公司 Cyclone® KIUBE 150 型加速器，TR-19 型加速器的自屏蔽体外 1m 处的剂量率水平低于后两者，以此可类比得出本项目加速器机房屏蔽设计方案也符合 TR-19 型加速器得辐射屏蔽要求。

综上所述，本次项目回旋加速器机房屏蔽设计满足 IBA 公司、GE 公司、加拿大 ACSI 公司三家设备厂商生产的自屏蔽加速器相关型号的辐射屏蔽要求。且经过计算预测的机房外关注的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T34127-2017）中“回旋加速器场所辐射剂量率限制 a) 监督区： $1\mu\text{Sv/h}$ ；b) 控制区： $10\mu\text{Sv/h}$ ”剂量限值要求。

建设单位尚未确定购买设备的型号，环评仅按照建设单位提供的三家意向购买设备厂商的设备参数进行评价估算，因此，后期如建设单位更改了购买设备的厂商及设备型号，

且设备的自屏蔽效果低于本次评价的三种型号设备，需重新进行环境影响评价。

10.6.2 热室及核素操作区域辐射水平分析

回旋加速器合成的核素有 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga，各种正电子放射性核素产生的γ射线能量、照射量常数接近，但是合成 ¹⁸F 放射性药物量相对较多，因此，本报告以 ¹⁸F 进行分析评价，满足对 ¹⁸F 的辐射防护要求，即可同时满足对其余核素的辐射辐射防护要求。¹⁸F 的周围剂量当量率常数及什值取值见表 10-19。

表 10-19 核素相关参数一览表

核素	周围剂量当量率常数 (μSv·m ² ·h ⁻¹ ·MBq ⁻¹)	什值层（mm）	
		铅	混凝土
¹⁸ F	注射前：0.143 患者体内：0.092	16.6	176

本项目采用按照点源模式进行估算，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫主编）给出的计算公式，点源活度按照 ¹⁸F 每次生产量最大值（2.22×10¹⁰Bq），进行核算估算结果见表 10-20。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \quad (\text{公式 10-6})$$

- A——药物的放射性活度，MBq；
- f——核素的剂量率常数，μSv·m²·h⁻¹·MBq⁻¹；
- R——关注点到辐射源的距离，m；
- X——屏蔽材料的屏蔽厚度
- TVL——γ射线在相应屏蔽材料中的什值层，mm

表 10-20 核医学科放射性药物制备区域辐射屏蔽计算参数及计算结果

屏蔽体		屏蔽厚度	距离 (m)	TVL (mm)	剂量率预 测值 (μSv/h)
防护设施	合成柜表面	前面：70mmPb	0.5	铅：16.6 混凝土:176	0.771
		其余面：60mmPb	0.5		3.085
	分装柜表面	前面：70mmPb	0.5		0.771
		其余面：60mmPb	0.5		3.085
热室	东侧墙体外	70mmPb+37cm 实心砖墙	5.1		1.46E-04
	南侧墙体外	60mmPb+37cm 实心砖墙	9.6		3.82E-04

	北侧墙体外	60mmPb+600mm 混凝土	9.6		3.26E-06
	防护门外	70mmPb+6mmPb 铅版	5.1		0.003
	顶棚外	60mmPb+200mm 混凝土	3.6		0.004
	地板	60mmPb+250mm 混凝土	1.0		0.029
注：混凝土密度≥2.35t/m ³ ，实心砖密度≥1.65t/m ³ ，铅密度≥11.34t/m ³					

由表 10-20 可知，正常工作状态下，合成柜、分装柜表面 0.5m 处的剂量率不超过 3.085μSv/h，热室屏蔽墙外剂量率不超过 0.029μSv/h。

10.6.3 核素生产区职业工作人员及公众个人剂量估算

个人有效剂量估算公式如下：

$$H=\dot{H}\times t\times T\times 10^3\cdots\cdots\text{公式 10-5}$$

式中：H—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

$\dot{H}$ —辐射剂量率，Gy/h；

t—年工作时间，h；

T—居留因子

根据建设单位提供的工作负荷，回旋加速器平均年工作 300 天，每天开机工作 2h，回旋加速器年照射时间最大为 600h。热室工作人员平均年工作 300 天，每天约 2h，根据公式 10-5 计算，预测结果见表 10-21。

表 10-21 核素生产区工作人员和公众最大年有效剂量结果

对象	最大辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	每年受照（工 作）时间(h)	最大年有效剂量 (mSv/a)
回旋加速器 操作人员	回旋加速器机房东 侧机房门外：0.224	1	600	0.134
热室药物合 成与分装人 员	合成、分装柜外表 面：3.085	1	600	1.851
核素生产区 外公众人员	加速器顶棚：0.251	1/16	600	0.009

表 11-21 表明，正常生产工作中，回旋加速器正常运行时对操作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.134mSv，热室工作人员职业照射的年有效剂量估算值为 0.93mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 5mSv/a。公众照射的年有效剂量估算值为 0.009mSv，符

合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于剂量管理目标值 0.25mSv/a。根据剂量率与距离成反比的关系，距离辐射源越远，辐射剂量率越低，因此在核素生产区工作场所周围环境保护目标的剂量率更低，因此可预测项目周围环境保护目标的受照剂量均能够满足国家对相关职业人员和公众照射剂量的控制要求。

10.6.5 工作人员内照射剂量估算

造成内照射的原因通常是因为吸入被放射性物质污染的空气，饮用被放射性物质污染的水，食入被放射性物质污染的食物或者在发生事故的情况下放射性物质从皮肤、伤口进入体内。工作人员在进行操作时，通风橱气流速度不小于 1m/s，挥发的少量药物能及时通过通风橱排到室外，放射性气溶胶导致工作人员的内照射剂量非常小。

10.7 事故影响分析

10.7.1 回旋加速器可能的辐射事故

- （1）回旋加速器机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射；
- （2）回旋加速器生产过程中，由于设备故障导致放射性气体可能会发生泄漏。
- （3）由于管理不善，放射性药物或放射源被盗、丢失。
- （4）在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染。
- （5）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外照射剂量。
- （6）放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

10.7.2 回旋加速器辐射事故防范措施

- （1）定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。
- （2）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。
- （3）制定并落实放射性核素与放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素与放射源的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。
- （4）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

（5）加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）及存放位置，

（6）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

（7）放射性性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

10.7.3 事故应急措施

一旦发生辐射事故时，立刻启动辐射事故应急预案。当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取相应救助措施，妥善处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告（发生人员超剂量照射时报告）。

表 11 医学综合楼核医学科项目辐射环境影响评价

11.1 项目工程分析与源项

11.1.1 工程设备和工艺分析

1、 PET/CT 显像检查项目

(1) PET/CT 设备组成

PET 是正电子发射计算机断层成像的英文 Positron Emission Tomography 的缩写,是反映病变基因、分子、代谢及功能状态的显像设备,利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂,通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化,从而为进行临床提供疾病的生物代谢信息诊断。CT 是计算机 X 射线断层扫描的英文 Computed Tomography 的缩写,利用射线进行临床疾病的诊断对人体进行检查。PET 扫描系统主要由扫描仪(scanner)、显像(imaging table)、电子橱(electronics cabinet)、操作工作站(operator,sworkstation, OWS)、分析工作站(analysis workstation, AWS)和影像硬拷贝等组成。PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架(gantry),扫描视野位于支架的中央,由探测器、射线屏蔽装置等组成。

PET/CT 由正电子发射断层成像(PET)和 X 射线断层成像扫描(CT)组成,使用同一个检查床和 PET 图像与 CT 图像融合对位工作站,同时具有 PET 与 CT 功能,同时利用 PET 和 CT 进行临床疾病的诊断。

该项目装置配套有 4 枚 ^{68}Ge 放射源用于 PET/CT 校准,校准源配置情况见表 11-1。

表 11-1 该项目校准源配置情况

核素名称	活度及数量	半衰期	类别	用途
^{68}Ge	5.5E+07×1 枚, 3.5E+06×1 枚 1.11E+08×1 枚, 4.6E+07×1 枚	288d	V类	PET/CT 校准

注:放射源分类根据《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 第 62 号)

(2) PET/CT 工作原理

PET 的工作原理是将 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 和 ^{64}Cu 等放射性药物作为示踪剂注射到人体后,对受检者进行 PET 扫描成像。其临床显像过程为:将发射正电子的放射性核素(如 ^{18}F 等)标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物(如脂肪酸、脱氧葡萄糖、氨基酸、核苷等)上,将标有带正电子放射性核素的化合物注射到受检者体内,让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射核素发射出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭辐射,产生两个能量相等(511keV)、方向相反的 γ 光子。由于两个光

子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为 5~15μs），探头系统探测到两个互成 180 度（±0.25 度）的光子时，即为一个符合事件，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

CT 依据 X 射线穿过人体不同组织吸收程度的不同，反映人体各部密度分布的信息，因而在荧光屏上显示出不同密度的阴影，再根据阴影浓淡的对比，结合临床表现、化验结果等进行临床诊断。

（3）工作流程及产污环节

PET/CT 核素显像一般安排在工作日进行，核医学科所需正电子药物由医院自行制备，医院根据患者预约情况，提前做好药物生产计划，在回旋加速器放射性药物制备中心生产并分装好的放射性药物通过缓冲室传递窗口传至注射室，暂存在储源室中。

工作人员手持带钨合金屏蔽套的注射器，在注射室注射窗口铅注射屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后的一次性注射器，放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后休息室内等候（一般注射后需等待约 40min），待药物充分代谢后，进入 PET/CT 扫描室进行扫描，PET/CT 的扫描时间约 10 分钟。扫描完成后，病人离开扫描室，在留观室内留观 10min 后离开。工作流程及产污环节分析见图 11-1。

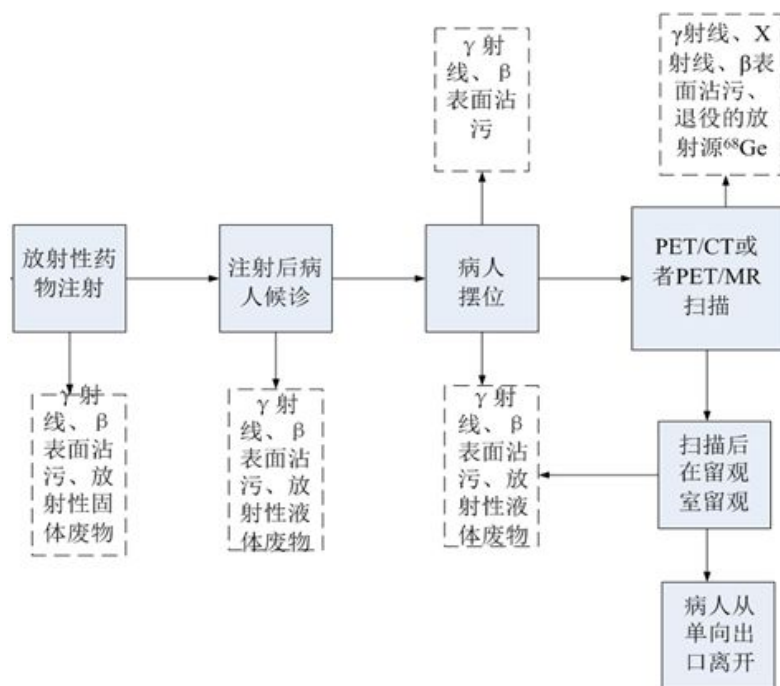


图 11-1 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

(4) 正电子核素使用量

表 11-2 PET 显像项目使用核素情况

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	最大诊疗人次	最大年接诊人次	主要用途	来源
1	^{18}F	3.7×10^8	40 人/天	10000	PET 显像	医院生产
2	^{11}C	3.7×10^8	5 人/天	250	PET 显像	医院生产
3	^{13}N	3.7×10^8	3 人/天	150	PET 显像	医院生产
4	^{15}O	3.7×10^8	2 人/天	100	PET 显像	医院生产
5	^{68}Ga	1.11×10^8	5 人/天	500	PET 显像	医院生产
6	^{64}Cu	7.4×10^7	3 人/天	90	PET 显像	医院生产

2、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{188}Re 开展骨转移癌治疗

(1) 工作原理

^{89}Sr 是纯 β 射线体，不伴 γ 射线，其发射的 β 射线能量较高，其半衰期为 50.5 天，在骨组织内的射程为 3mm。用于治疗的 $^{89}\text{SrCl}_2$ 是直接进行静脉注射，一般用量 2.5mCi-4.0mCi/人，每份用于治疗的放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗。

Ra-223 (α 放射性核素)在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小(α 粒子的射程仅 43 微米)，并能够模拟钙的作用，并与羟基磷灰石形成复合物以加快一些部位骨质更新，例如骨转移灶部位。这种强有力的药物的 α 粒子的穿透范围短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。对工作人员和患者周围公众外照射影响轻。

锕-225 是纯 α 射线体，其半衰期为 9.92 天， Ac-225 是一个十分有潜力、可应用于靶向 α 粒子疗法的放射性同位素：它的半衰期为 10 天，每次衰变时可同时释放 4 个 α 粒子，然后变成稳定的铋 (Bi) 元素。要想将 Ac-225 开发成可行的疗法，则需要找到合适的靶向载体，将这一具有高强度放射性的同位素螯合起来，以免其在递送过程中“开溜”而伤及健康组织。

Re-188 发射的 β 射线能量为 2.12Mev，在软组织中的射程为 3mm，对周围组织损伤小，半衰期为 16.9h。同时还发射能量为 155kev 的 γ 射线，适宜于显像以及追踪其在组织内的分布变化。

^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 均为亲骨性放射性核素，与骨组织有很高亲和力，进入体内后浓聚在骨代谢活跃部位，恶性肿瘤骨转移病灶对其摄取率远大于正常骨组织，利用放射

性核素发射的β射线或α射线的电离辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

(2) 源项分析

⁸⁹Sr、²²³Ra、²²⁵Ac、¹⁸⁸Re 开展骨转移癌治疗，此项目一般在周末单独安排一天，与核素显像项目时间错开。拟使用核素的放射性属性参数见表 11-3：

表 11-3 核素的放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式
⁸⁹ Sr	液态	50.5d	中毒	β
²²³ Ra	液态	11.43d	极毒	α
¹⁸⁸ Re	液态	16.98h	中毒	β 、 γ
²²⁵ Ac	液态	10d	极毒	α

(3) 产污流程

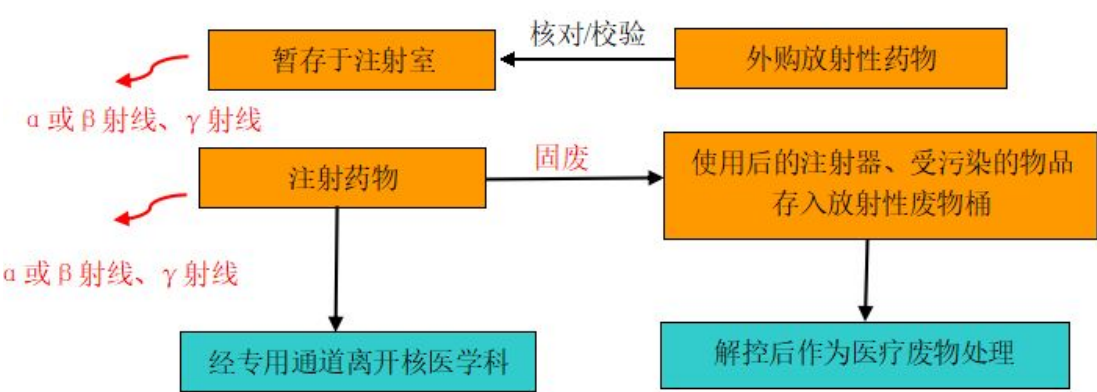


图 11-2 ⁸⁹Sr 、²²³Ra、²²⁵Ac 和 ¹⁸⁸Re 治疗工艺流程及产污环节

骨转移癌治疗流程：患者确诊后预约登记，根据病情确定放射性核素种类及用量，厂家按照约定时间将放射性核素分装好送至核医学科。患者按照约定时间到核医学科注射室通过静脉注射方式给药，给药注射时使用注射器防护套，给药完成后自行离开。

(4) 核素使用量

表 11-4 骨转移癌治疗项目使用核素相关门诊量

序号	核素	单人单次平均使用量	日最大诊疗人数	主要用途
1	⁸⁹ Sr	4mCi	5 人	骨转移瘤
2	²²³ Ra	1mCi	1 人	骨转移瘤
3	¹⁸⁸ Re	4mCi	2 人	骨转移瘤
4	²²⁵ Ac	1mCi	1 人	骨转移瘤

11.2 核医学科工作场所分级及分类

1、工作场所分级

本次项目核医学科工作场所位于医学综合楼负一层，核医学科工作场所使用核素的日实际最大操作量需考虑到药物正常衰减量，前面“回旋加速器与放射性药物制备”章节已经详细介绍了正电子药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 等核素的日实际最大操作量，详见表 10-3，此处将不再重复论述。

该项目核医学科放射性药物使用场所日等效最大操作量核算见表 10-4。由表 10-4 可知本次评价核医学工作场所的日等效最大操作量为 $1.34\text{E}+09\text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所。

2、工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，本次评价核医学工作场所使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子，操作性质修正因子及加权活度见表 10-5。

11.3 核医学科辐射工作人员配备及工作负荷

目前该项目相关工作尚在筹备阶段，工作人员尚未落实，因此建设单位暂拟为本次评价核医学科放射性核素使用项目配备核医学医师、核医学技师、核医学物理师、护士等岗位及人数，各岗位人员数量根据今后实际工作需求进行相应配置。工作人员配备计划及工作量见表 11-5。

表 11-5 项目人员配置表

岗位设置	配置人数	年工作负荷	工作职责
核医学医师	2	/	负责病理分析、诊断、治疗
核医学技师	3	每年最多扫描 11090 人次	负责核医学诊断设备操作、摆位
护士	2	每年最多注射 11690 次，每次注射时间约为 1min	注射
核医学物理师	2	/	质量控制、设备检定、人员培训及健康管理

11.4 污染源项描述

11.4.1 正常工况

（1）放射性药物的注射过程中，操作人员将受到放射性药物的外照射。

（2）接受核素诊疗的病人注射或服用放射性药物后，短时间内人体便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响。

(3) 进行 PET/CT 扫描时, 将有来自受诊病人身体中的放射性药物的 γ 射线和射线装置发射的 X 射线, 经过机房的屏蔽, 射线可能仍有一定的泄漏, 环境影响途径为外照射。

(4) 表面污染: 工作人员在操作非密封放射性药物时, 不可避免的会引起工作台、地面等放射性沾污, 造成 β 放射性表面污染。

(5) 放射性固体废物: 主要为放射性药物操作中沾染核素的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸、一次性纸杯等。

(6) 放射性废水: 患者注射或服用放射性药物后, 所产生的的排泄物、呕吐物及冲洗水等含有放射性核素, 另外, 清洗去污可产生放射性废液。

11.4.2 事故工况

1、由于误操作, 导致发生较大放射性剂量给药的情况。

2、由于管理不善, 发生放射性物品失窃, 造成放射性污染事故。

3、操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件, 可能污染工作台、地面、墙壁、设备等, 甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气, 擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

11.5 辐射安全与防护

11.5.1 项目安全设施

1、放射性药物使用区域工作场所布局及合理性分析

核医学科放射性药物使用区域选址位于医学综合楼负一层中部, 该区域设置有注射室、PET 等候室、卫生通过间、PET/CT 扫描室、留观室、污物间、抢救室、厕所等。该区域北侧为走廊、新风机房、排烟机房、灭火气瓶间、排风机房, 东侧为地下车库、风井、排烟机房, 南侧为电梯井、车道, 西侧为放射性药物制备区, 楼上对应为大堂及教室, 楼下对应水泵房、消防水池、及值班室。注射室与扫描室分开设置, PET 等候室及留观室设置有注射后病人专用厕所, 该场所不涉及药物分装, 卫生通过间设置设有表污监测仪, 核医学科场所平面布局见附图五。

核医学科放射性药物使用区相关配套功能房间布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展, 有助于实施工作程序; 医生和病人双通道分开, 尽量减少辐射工作人员的受照射剂量及交叉辐射; 医生和病人通道分开, 有效减少了交叉辐射风险; 注射室与扫描室分开; PET 等候室及留观室设有独立的卫生间; 场所设置了工作人员卫生通过间和卫生间, 卫生间中设置有洗手池、淋浴装置和表污检测装置, 能满足工作人员表污检测、洗手、淋浴去

污的功能需求；场所设有污物间和储源室，满足污物存放以及场所清洁去污的功能需求。该场所布局基本遵循高低活性区不交叉的原则，能够满足医务人员及病人均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，该场所相关配套功能房间齐全，布局合理。

2、工作场所分区

为了便于加强管理，做好辐射安全防护工作，按《电离辐射防护与辐射源安全基标准》（GB 18871-2002）中要求在辐射工作场所内划分控制区以及监督区，结合该项目辐射防护以及环境情况等特点，医院拟将 PET/CT 扫描室、注射室、储源室、放射性污染室、PET 等候室、病人走道、抢救室、留观室等划分为控制区，控制区的边界均设计了辐射防护实体屏蔽，严格限制进出控制区。其余房间，如控制室、卫生通过间等区域设置为监督区，不采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射剂量。核医学放射性药物使用区工作场所控制区及监督区划分情况见图 11-3。

3、路线规划

为了加强辐射安全管理，结合项目的工作流程及工作场所布局设计，医院拟规划出工作场所人流及物流路线，核医学科放射性药物使用区人员流动路线图、放射性药物运输路线示意图见图 11-4，核医学科工作场所人流及物流图见附图五。

核素显像检查患者行走路线（工作日开展）：病人专用楼梯到达负一楼核医学科候诊大厅→由候诊大厅沿走道向北通过控制区大门进入辐射区→在相应的注射窗口接受注射→注射完成进入相应的 PET 等候室候诊→候诊完成进入 PET/CT 扫描室进行扫描→扫描完成进入留观室留观→最终从核医学科控制区出口门通过专用楼梯到达医学综合楼北侧室外。

^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 治疗患者行走路线（周末开展）：病人专用楼梯到达负一楼核医学科候诊大厅→由候诊大厅沿走道向北通过控制区大门进入辐射区→在相应的注射窗口接受注射→注射完成后最终从核医学科控制区出口门通过专用楼梯到达医学综合楼北侧室外。

病人出口有两个，应急电梯主要用于通往楼顶停机坪作为应急通道，也可用于无障碍患者离开核医学科，设置刷卡门禁进行管理本次核医学科项目能满足人员路线与放射性药物运输路线不交叉，人员路线规划合理。

注射工作人员的行走路线：由医护电梯来到负一层，通过卫生通过间进入注射室在注

射窗口给患者注射→注射完成后通过卫生通过间，进行表污检测、去污后离开核医学科。

PET/CT 操作人员行走路线：沿核医学科东侧医护通道向北进入工作场所→在控制室里对患者进行扫描→扫描完成后原路离开工作场所。

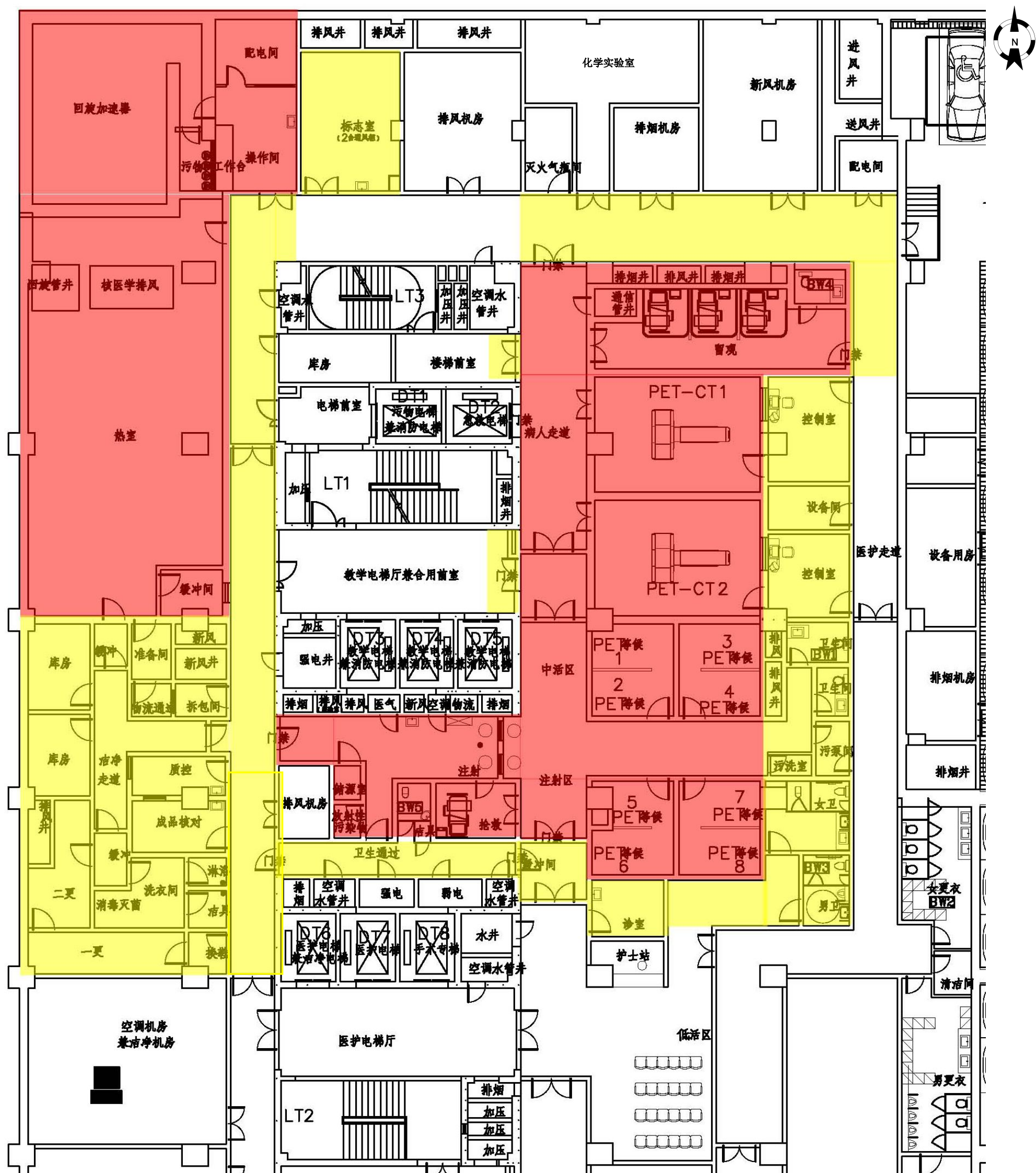
回旋加速器生产放射性药物运输路线：回旋加速器放射性药物生产是按每日病人所需量进行当天早上现场开机生产制备，制备好的药物在热室自动分装并打包密封装入钨合金防护罐中，然后经热室缓冲间的传递窗口取出，从注射室西侧墙的门口进入储源室暂存，核素运输过程中将对该场所进行管控，禁止无关人员进入该场所。

外购核素运输路线：该项目 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{225}Ac 核素为外购核素，医院根据临床所需药物的使用量提前订购，订购的放射性药物一般由供药公司分装好在早上工作人员上班前提前送达核医学科，避开工作人员。外购药物通过污物专用电梯到达医学综合楼负一层核医学科，通过核医学科走廊从注射室西侧的门运至注射室，质检人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司工作人员办理交接手续并存档，质检人员将药物暂存在储源室内。

污物运输路线：污物从污物室到注射室，由注射室西侧的门再通过走廊往北到达污物电梯，通过污物电梯运出核医学科。

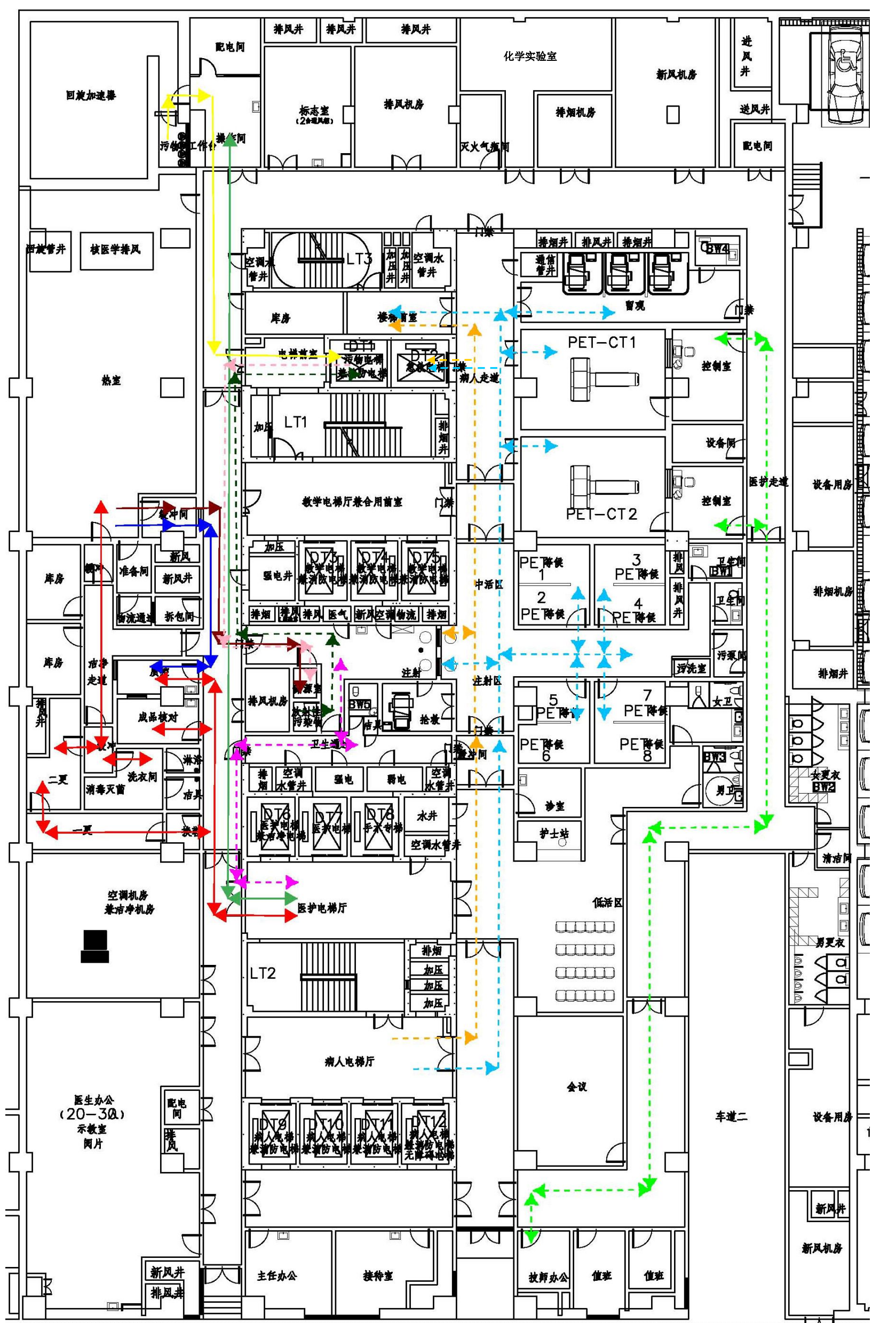
患者路径管控措施：由于医学综合楼 16 层以上涉及妇儿科，医院对患者的路径严格管控，给患者设置了专用的核医学入口与出口；患者就诊过程中，工作人员将告知其注意事项以及咨询电话，避免离开的病人再次返回核医学科；在患者出口设置流向标志，并在负一层病人电梯出口处设置说明，防止无关患者误入核医学科。患者路径管控措施能有效避免能有效避免孕妇、婴儿等无关人员受到照射。

由上述核医学人员及药物运输路线可知，本次核医学科项目患者人员路线基本能够保证沿工作程序的相关功能房间单向流动，且能够满足医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止医护人员和患者交叉辐射，避免工作人员受到不必要的外照射。本次核医学科项目能满足人员路线与放射性药物运输路线不交叉，人员路线规划合理。



注：红色区域为控制区，黄色区域为监督区

图 11-3 核医学科工作场所两区划分示意图



-  药物合成、质检工作人员路线
  放射性药物运输路线
  微量物质控运输路线
  回旋加速器操作人员路线
-  注射工作人员路线
  PET/CT 操作人员路线
  核素显像区污物运输路线
  核素生产区污物运输路线
- PET/CT 扫描患者路线
 骨转移癌治疗患者路线
 外购核素运输路线

图 11-4 核医学科放射性药物使用工作场所人员路线、药物运输路线示意图

4、工作场所的屏蔽设计

为了保障核医学科工作所周围公众及工作人员的辐射安全，对核医学工作场所进行专门辐射防护设计，建设单位提供的设计方案，核医学科放射性药物使用工作场所的辐射屏蔽设计见下表。

表 11-6 核医学科主要工作场所防护设计参数表

房间名称	屏蔽设计情况	
PET/CT 机房 1、2	机房尺寸	南北宽：5.25m、东西长：6.7m 有效使用面积：35.2m ²
	四周墙体	东墙：24cm 实心砖墙+2mmpb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	10mmPb
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
注射室	四周墙体	西墙：24cm 实心砖墙+2mmpb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
	注射窗	40mmPb
储源室	四周墙体	24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
放射性 污染物 暂存室	四周墙体	24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
污洗室	四周墙体	24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土

	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
留观室	四周墙体	北墙、南墙与控制室相邻部分：24cm 实心砖墙+10mmpb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心砖墙
	防护门	6mmPb
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
留观卫生间	四周墙体	北墙、东墙：24cm 实心砖墙+10mmpb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心砖墙；
	防护门	6mmPb
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
抢救室	四周墙体	24cm 实心砖墙+2mmpb 防护涂料
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
PET 等候区	四周墙体	东墙、南墙：24cm 实心砖墙+10mmpb 防护涂料； 西墙、北墙 24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb（4 扇）
PET 等候区卫生间	四周墙体	北墙和东墙：240cm 实心砖墙+10mmpb 防护涂料 南墙和西墙：24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
病人走道	四周墙体	西侧与电梯厅、楼梯前室、空调水管井相邻：400mm 混凝土墙 其余墙体：24cm 实心砖墙
	顶棚	20cm 混凝土
	地板	25cm 混凝土
	防护门	6mmPb
注：混凝土密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ，实心砖密度 $\geq 1.6\text{t/m}^3$ ，铅密度 $\geq 11.34\text{t/m}^3$ ，钡水泥密度 $\geq 2.8\text{t/m}^3$ 。		

5、辐射安全警示设施及辐射防护用品配备

①核医学科放射性药物使用区拟配备防护设备及用品，见表 11-7，拟为医生及护士拟配备个人防护用品，包括铅围裙、铅眼镜、铅围脖等，详细清单见表 11-8。

②工作场所室内表面为易清洗、防护性能好的墙面、地面等，地面铺设 PVC 底板，墙面为油漆，地面与墙体之间接缝为无缝设计。拟配置清洗及去污设备。医院拟为该核医学显像检查项目的 PET/CT 注射后休息室之间、留观室内的病床与病床之间增配铅屏风。

③拟在辐射工作场所控制区出、入口的防护门和受检者出口防护门均设置门禁系统，并拟在走廊位置设置路线指引标志，拟在该区域内设置视频监控和语音通话系统，避免注射药物后的受检者进入非放射性工作区。控制区出、入口均设计张贴电离辐射警告标志。

④拟配备辐射监测仪器、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪器、表面污染监测仪器等辐射防护仪器及设备，详细清单见表 11-9。

表 11-7 放射性药物使用场所拟配备的防护设备和用品

场所名称	装置名称	数量	铅当量
核医学科放射性药物使用区	储源铅罐	待定	40 mmPb
	注射窗口注射台	2	20mmPb
	放射性废物桶	若干	10mmPb
	注射器防护套	2	10mmPb
	铅屏风	4	8mmPb

表 11-8 拟配备的个人防护用品

场所	名称	数量	铅当量（mmPb）
核医学科放射性药物使用区	铅围裙	4	0.5
	铅围脖	4	0.5
	铅帽子	4	0.5
	铅眼镜	4	0.5

表 11-9 拟配备的辐射监测仪器

场所名称	装置名称	数量	参数
核医学科放射性药物使用区	表面污染监测仪	2	待定
	个人剂量报警仪	6	待定
	辐射监测仪器	2	待定

6、内照射辐射防护的措施

内照射防护的基本原则是：积极采取各种有效措施，切断放射性物质进入体内的各种途径，尽可能的减少或避免放射性核素进入体内的一切机会，以使进入体内的放射性物质不超过国家规定的放射性核素年摄入量限制，减少或防止体内收到内照射危害。为此医院制定以下防护的基本措施如下：

（1）围封隔离：对于工作场所，采取两区划分管理，严密而有效的围封隔离控制区，以限制可能被污染的体积和表面，防止放射性物质向周围环境扩散，防止由于人员或物体的移动而将污染带到相邻房间等措施。内照射以吸入途径可能性最大，所以工作场所拟设置通风系统，以降低空气中的放射性浓度。放射性药物整个注射过程均在屏蔽容器中，基本不会有放射性物质的散布，辐射工作人员均不直接接触核素，放射性药物都处于良好的屏蔽状态。

（2）保洁去污：操作者必须遵守安全操作规定，防止或减少污染的发生，保持工作场所内的清洁卫生，对受到污染的表面应及时去污。

（3）个人卫生防护：操作开放型放射性核素的人员，应根据工作性质正确穿戴相应的防护衣具如工作服、工作帽、靴鞋、手套和口罩，必要时可穿戴隔绝式或活性炭过滤面具或特殊防护口罩。限制暴露于污染环境中的时间。遵守个人卫生规定，不得在开放型放射工作场所或污染区进食或吸烟等。

11.6 三废的治理

11.6.1 放射性废水处理措施

核医学科拟设置 2 套衰变池，1 备 1 用，衰变池用于储存衰变 PET/CT 显像检查项目以及回旋加速器生产放射性核素区产生的放射性废水（ ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu ）。

1、衰变池选址

该项目衰变池位于在医学综合楼南侧车库入口旁边，具体位置见附图一，衰变池周围环境图见图 11-6。衰变池东侧和西侧为绿地，南侧为地下车库入口，北侧为拟建医学综合楼，上面覆盖草皮，下面为土层。衰变池选址在医学综合楼南侧绿化带，且埋在地下，周围主要土层，该选址属于人员较少居留或经过位置，因此从辐射防护考虑，选址合理。环评建议衰变池上方区域可设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入。



图 11-6 衰变池周围环境图

2、衰变池设计

衰变池为埋地设计，整体结构采用钢筋混凝土结构，池体壁、顶板厚 40cm 混凝土，地板为 30cm 厚混凝土，井盖采用 5mmPb 铅板覆盖，衰变池上方覆土 0.3 米。

2 套衰变池均设计 2 格，每格长 2.0m，宽 1.5m，高 3.6m，容积为 10.8m^3 ，2 格总容积为 20.16m^3 ，每格有效容积 8m^3 ，两个总有效容积 16m^3 。衰变池均为自动化并联式设计，废水处理流程为：放射性废水先由电动阀门控制排进第一格衰变池进行暂存，当第一格衰变池格蓄满废水时关闭第一格进水阀门并打开第二格进水阀门，放射性废水流入第二格水池进行暂存，当第 2 格衰变池格蓄满废水前，对第一格衰变池的放射性废水进行检测，达到排放标准后，作为普通医疗废水排放至医院污水处理站。衰变池平面图、剖面图见图 11-7、图 11-8。

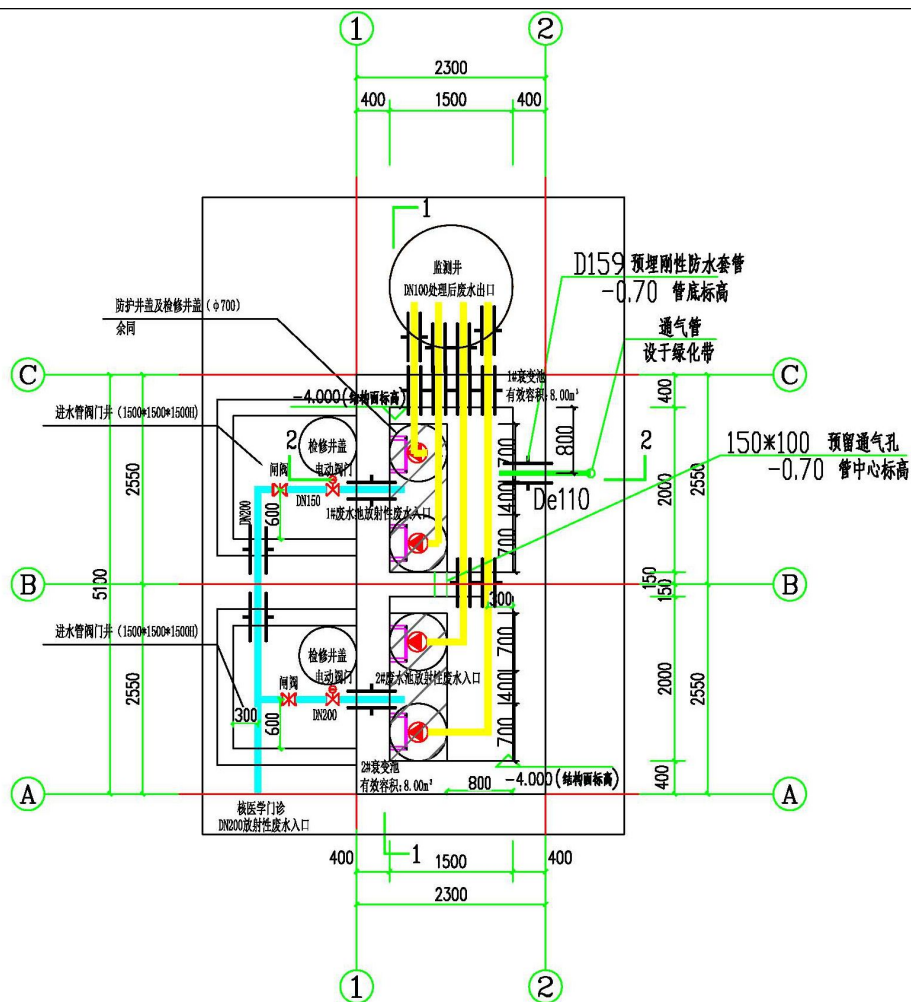


图 11-7 核医学科 1 号衰变池平面示意图

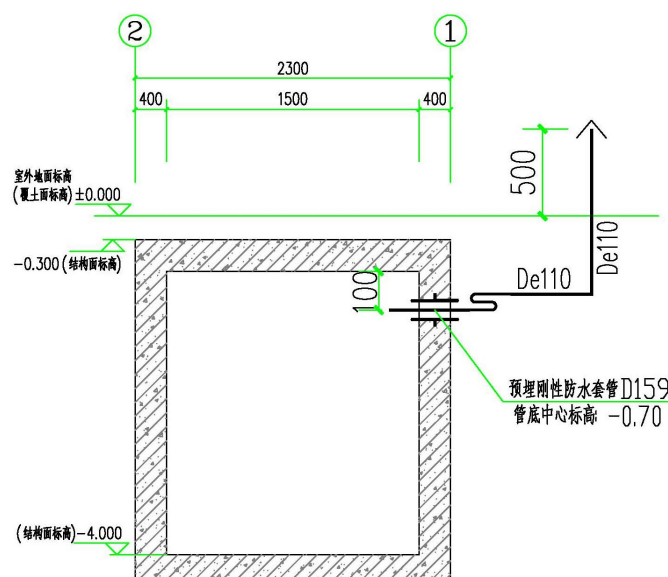


图 11-8 核医学科 1 号衰变池剖面示意图

3、放射性废水管道敷设及防护措施

放射性废水管道敷设负一层地面下方，管道包 3mmPb 铅皮，管道上方有 100mm 钢筋混凝土覆盖，管道敷设大样示意图见图 11-9。室外放射性管道深埋地下 1 米。

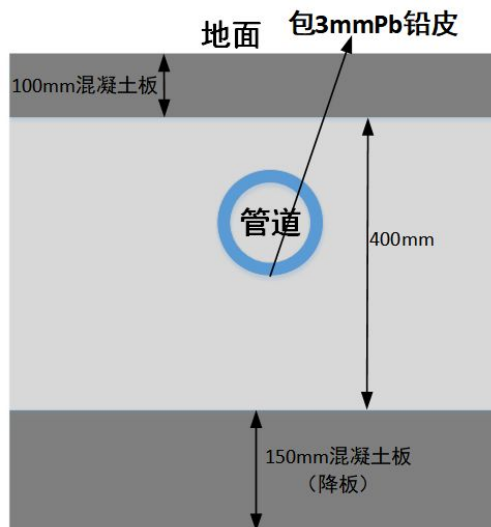
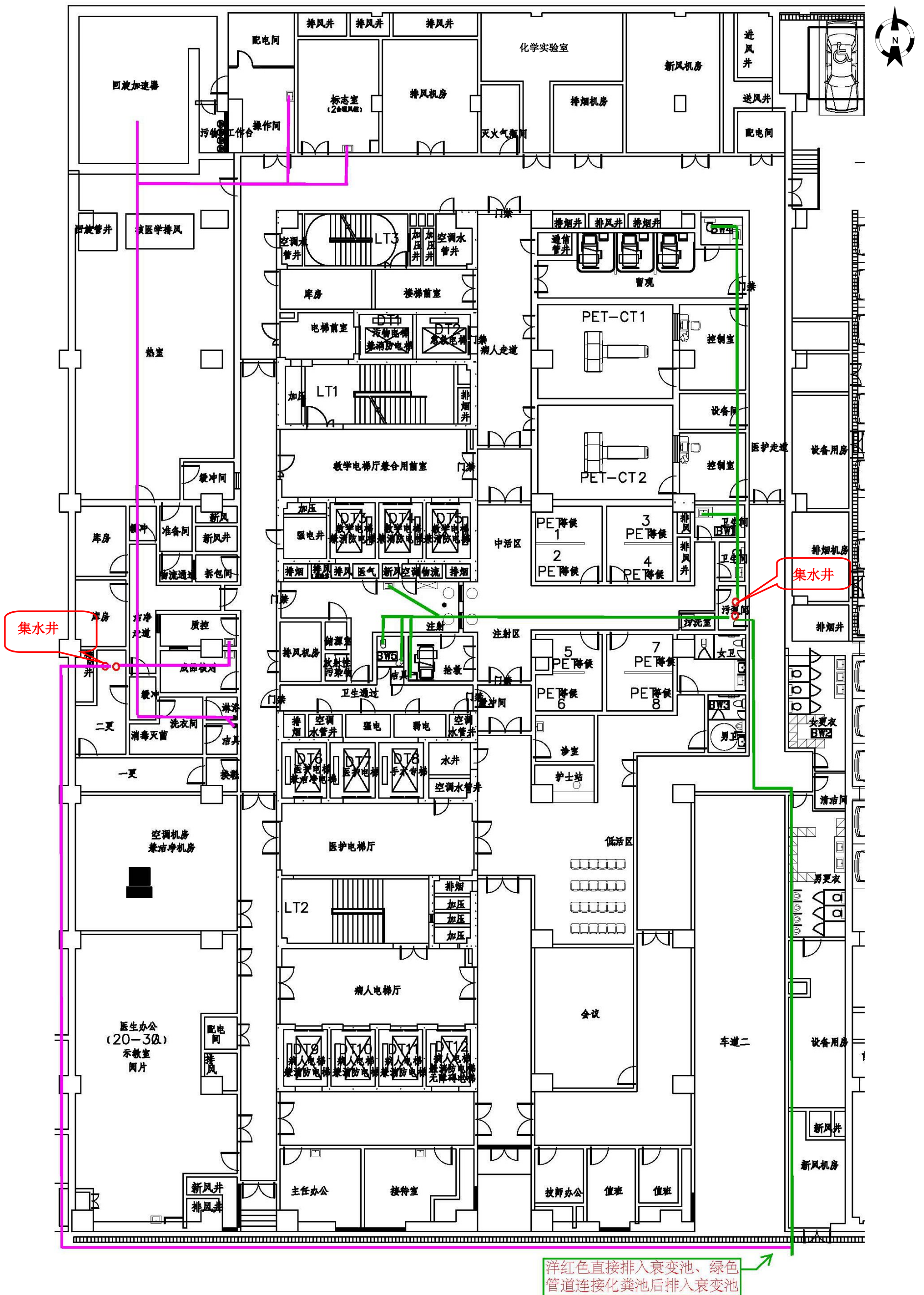


图 11-9 室内放射性废水管道敷设大样示意图

4、放射性废水管道走向布置

医学综合楼负一层核医学科的放射性废水管道布置图见 11-10。由图可知，回旋加速器去污淋浴间、更衣间、洗衣间、热室的放射性废水由废水管道收集后排放至西侧集水井，最终由污水提升泵排放至衰变池衰变。PET 等候室的卫生间、留观室的卫生间、注射室、淋浴间等产生的放射性废水由废水管道收集后排放至 PET 等候室东侧集水井，最终经过化粪池沉积后排放至衰变池衰变。放射性废水管道垂直布置的管道设置专门的管井，废水管道通过管井直通一层。一层的放射性废水管道预埋地下 35cm，管道沿建筑边缘铺设，避免了从办公区、公共走廊等人员居留较多的场所通过，集水管井为 24cm 砖墙彻筑。综上所述，该管道设计合理。环评建议放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。



5、衰变池废水产生量估算：

衰变池的放射性废水中主要含有放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 和 ^{64}Cu ，每天接受 PET 显像检查的病人最大为 40 人，其中 ^{18}F 显像检查最多为 40 人/天、 ^{11}C 显像检查最多为 5 人/天、 ^{68}Ga 显像检查最多为 5 人/天、 ^{13}N 显像检查最多为 3 人/天、 ^{15}O 显像检查最多为 2 人/天、 ^{64}Cu 显像检查最多为 3 人/天。设核素显像病人注射后休息期间病人上厕所一次，每次上厕所产生废水 6L。考虑到工作场所及工作人员清洗、去污每天用水量约为 100L，每次应急用水约 100L，则衰变池每天排入废水量最多约为 $0.44\text{m}^3/\text{天}$ 。回旋加速器工作场所放射性清洗、固体靶清洗和工作人员洗手、应急淋浴产生废水按 200L/天。核素治疗病人注射药物后直接离开核医学，不会在核医学卫生间产生放射性废水，工作人员在工作中产生的少量废液将采取固化处理后作为放射性固体废物处理。因此流进衰变池废水量约为 $0.64\text{m}^3/\text{天}$ 。

该项目衰变池均设计 2 格，每格长 2.0m，宽 1.5m，高 3.6m，容积为 10.8m^3 ，2 格总容积为 21.6m^3 ；每格衰变池设计的有效容积为 8m^3 ，2 格总有效容积为 16m^3 。衰变池为自动化并联式设计，废水处理流程为：放射性废水先由电动阀门控制流入第一格衰变池进行暂存，当第一格衰变池格蓄满废水时关闭第一格进水阀门并打开第二格进水阀门，放射性废水流入第二格水池进行暂存，当第二格衰变池格蓄满废水前，对第一格衰变池的放射性废水进行检测，达到排放标准后，作为普通医疗废水排放至医院污水处理站。

每天流进衰变池废水量约为 0.64m^3 ，则当第 2 格衰变池蓄满废水时，第一格衰变池放射性废水至少已暂存 12.5 天。排放到衰变池的废水中的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu ，保守采用半衰期相对较长的核素 ^{64}Cu （半衰期为 12.7h）估算， ^{64}Cu 的 10 个半衰期时间约为 5.3d，因此 2 套衰变池的设置均可满足放射性废水在废水衰变池停留十个半衰期以上的要求。

核医学科放射性药物使用区放射性废水流进衰变池前先流进化粪池进行沉淀，化粪池位置见附图一。衰变池与化粪池安装搅拌装置进行搅拌并进行酸化处理防止沉渣影响衰变池容积。

6、衰变池排放活度分析：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）8.6.2，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸收 ALI 值中较小者, 其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得);

b) 每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$, 并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。每次排放后应做记录并存档。

查 GB18871-2002 的 B1.3.4: 表 B3 和表 B6、表 B7 得工作人员吸入或食入该项目核素的待积有效剂量的最大值为 $1.5E-10Sv/Bq$ 。

因此: $ALI_{min}=5mSv/(1.5E-10 Sv/Bq)=3.33E+07Bq$ 。

灌满衰变池的第 2 格衰变池时, 第一格衰变池的放射性废水至少暂存了 12.5 天。在注满第一格衰变池期间 (12.5 天), 接受 ^{64}Cu 显像检查病人最多为 39 人, 注射 ^{64}Cu 总量 $39 \times 2mCi=78mCi$ 。参考《AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements》, 显像诊断核素在前 2h 时内随人体排出的活度约为使用量的 15%~20%, 保守以候诊期间注射后病人体内的 20%的 ^{64}Cu 排入到衰变池估算, 且不考虑衰变影响, 则排泄进第一格衰变池中的 ^{64}Cu 总量为 $15.6mCi$ 。经过 12.5 天暂存后, 排出的活度为:

$$5.77E+08Bq \times (1/2)^{300/12.7} \approx 4.47E+01 Bq < 3.33E+07Bq$$

衰变池废水排放周期为 13 天, 单次排放的活度低于 $1ALI_{min}$ ($3.33E+07Bq$), 单月排放活度低于 $10ALI_{min}$ ($3.33E+08Bq$) 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

排放浓度为: $4.47E+01 Bq/8.0E+03L=0.01Bq/L$

综上所述, 衰变池排放口水污染物排放浓度可以满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中要求的综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值: 总 $\alpha < 1Bq/L$, 总 $\beta < 10Bq/L$ 。

11.6.2 放射性废气处理措施

核医学科放射性药物使用区域设置有 3 套独立的核排风管道系统, 分别连接高活区、中活区和低活区, 如图 11-11 所示。其中高活区独立排风管道连接注射室排风口、储源室和放射性污物室, 放射性废气由排风管道集中后经过高效活性炭过滤器吸附过滤排放至热室北侧的核医学排风井内。中活区放射性排风系统连接 PET/CT 扫描室、PET 等候区, 留观室、病人走廊等区域, 放射性废气由排风管道集中后经过高效活性炭过滤器吸附过滤排放至热室北侧的核医学排风井 (排风井设计 240mm 实心砖防护) 内。高活区与中活区放射性废气在核医学排风井内分别通过核医学排风井内的排风管道直接排放至大楼顶层屋

面，核医学科核排风管道的最终排风口位于医学综合楼屋面，高出屋面 3m 处（距地面 102 米），设计有防鸟、防虫、防雨措施。核排风系统在末端（屋面风机位置）设置高效活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 99.5\%$ ），能有效地吸附废气中的放射性气溶胶。放射性废气经过高效活性炭过滤器吸附过滤后排放至外环境中，每套排风系统的设置 2 台风机（一备一用），当一台风机出现故障需维修或者是需更换风机的过滤装置时，通过转换阀切换风机。活性炭过滤器的更换时间需根据不同季节、不同温度及湿度条件确定更换频率。更换下来的过滤吸附装置暂存至少 10 个半衰期后经检测合格可重复利用或者按照放射性固废进行处理

低活区排风系统连接控制室的排风口，低活区不产生放射性废气。废气由排风管道收集后通过北侧楼梯间东边的废气管道统一排放至大楼顶层屋面。

该项目核医学科放射性药物使用工作区域设置有独立的放射性排风系统，核医学科控制区内放射性排风管道设计遵循气流由低活度区向高活度区的流向的原则，放射性废气排风系统设置有高效的活性炭过滤吸附装置，能有效地吸附废气中的放射性气溶胶，符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的相关要求。

本次核医学科使用的放射性药物均为非挥发性液体物质，且该项目在排风口处和进入核医学排风井处安装高效活性炭过滤器，能有效吸附放射性气溶胶，可以过滤直径 0.3 μm 以上的气溶胶颗粒物，使用的滤料包括高分子材料、玻璃纤维、煤基活性碳，以保证排入大气环境前对放射性气溶胶的吸附。核医学科排风系统的排风口位于医学综合楼屋面，排风口距地面高度约 102 米。医学综合楼周围建筑高度见表 11-10，由下表可知核医学排风口位置高于周围建筑高度，经过过滤的废气排放到大气环境中，再经过稀释扩散作用，浓度会更低，对周围环境的影响非常小，医学综合楼天面排风见图 11-12。

表 11-10 医学综合楼周边建筑高度统计表

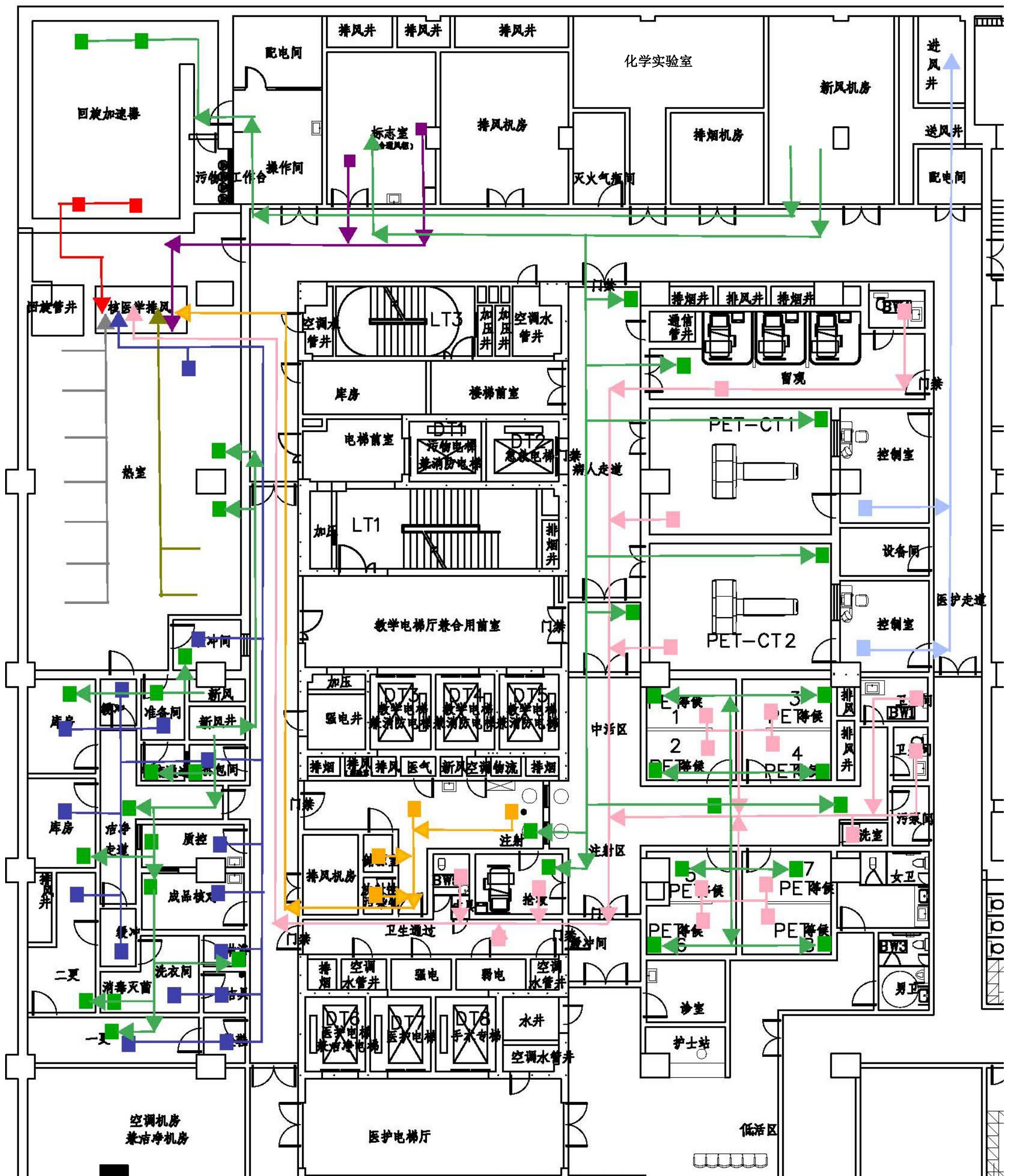
方位	建筑名称	建筑高度	医学综合楼排风口高度
医学综合楼东侧	曾宪梓楼	27m	102m
医学综合楼东北侧	外科住院大楼	95.4m	
医学综合楼南侧	门急诊大楼	66.9m	
医学综合楼西侧	同位素楼	共 5 层约 20m	
医学综合楼北侧	医学科技综合楼	50m	

3、放射性固体废物

核医学工作场所设计了放射性污染物间，在各注射后等候区、留观区配备专用的放射

性废物桶，内套专用塑料袋直接受纳废物；注射区配备收集针头铅罐，集中收储到专用容器中。装满后的废物袋密封，每袋废物重量不超过 20kg，标注废物类型、核素种类、活度水平、暂存起始日期、收集人等，存放于相应的放射性污染物间中。核医学科放射性废物主要是一次性注射器、棉签、滤纸等，常规放射性固废日产生量约 1kg，年产生量约 300kg。

放射性污染物间按照控制区管理，入口处应配置电离辐射警示标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏的措施，放射性污染物间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。放射性污染物间内设置专门容器用于盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放，合理有序，易于取放。盛放废物的容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。放射性固体废物最终集中放置在放射性污染物间中暂存至少十个半衰期，使用监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.04 Bq/cm^2 和 0.4 Bq/cm^2 ，可对废物解控作为医疗废物处置。只有检测结果满足上述标准的废物袋才会进行转移。在废物袋转移时，对废物袋的转移路径临时进行管控，在确保转移路径上没有人员后，方可进行废物袋的转移操作。放射性废物桶转移路径见图 11-4。退役的 ^{68}Ge 、 ^{22}Na 校准源由放射源供应单位回收。



注 “——” “——” “——” “——” “——” “——” “——” “——” 为排风系统；
“——” 为新风系统。

图 11-11 核医学科回旋加速器放射性药物制备区域通风示意图

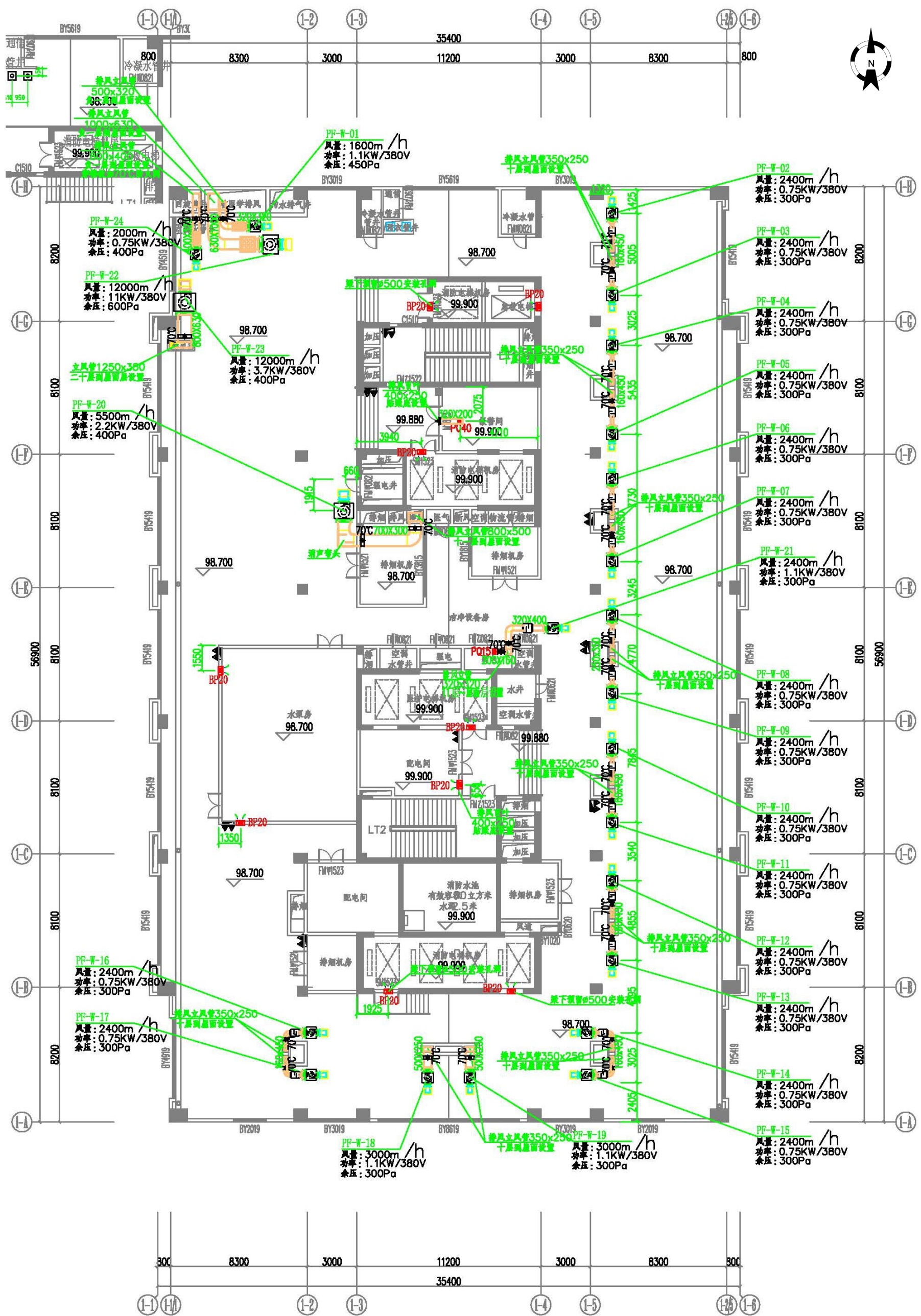


图 11-12 医学综合楼屋面排风示意图

11.7 运行阶段对环境的影响分析

11.7.1 射线装置机房辐射防护屏蔽分析

从对 X 射线屏蔽的角度考虑，本次评价的 PET/CT 属于Ⅲ类射线装置，以《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求为准，对设备机房与标准进行对比分析，具体见表 11-11。

表 11-11 防护设施分析对比

机房名称	设计情况		(GBZ130-2020) 标准要求	是否满足要求	备注
PET/CT 机房 1、2	机房大小	南北宽：5.25m、东西长：6.7m、有效使用面积：35.2m ²	机房最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边应不小于 4.5m。	是	-
	四周墙体	370mm 实心砖墙	一般工作量 2mmPb 较大工作量：2.5mmPb； 机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度	是	-
	顶棚	20cm 混凝土		是	-
	地板	25cm 混凝土		是	-
	防护门	10 mmPb 铅板		是	考虑注射药物后患造成的影响，经过计算后此处防护门的观察窗的防护厚度合理
	观察窗	10mmPb 铅玻璃		是	
	标志、警示灯	机房门上安装电离辐射警告标志，设有工作状态指示灯，门灯能有效联动，机房门拟安装闭门装置	机房门外上应有电离辐射警示标志，醒目的工作状态指示灯，机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和机房相通的门能有效联动	是	-
	机房通风	设置由通风系统，能保持良好的通风	机房应设置动力排风装置，并能保持良好的通风。	是	-
	机房通风	设置由通风系统，能保持良好的通风	机房应设置动力排风装置，并能保持良好的通风。	是	-

混凝土密度≥2.35t/m³，实心砖密度≥1.6t/m³，铅密度≥11.34t/m³

通过以上对照分析，本次评价核医学科项目的射线装置机房面积、最小单边长度均大于标准要求，本次评价项目的四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏

蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的各机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h”的要求。

11.7.2 核医学影像检查项目辐射工作场所辐射防护屏蔽分析

本次核医学科影像检查项目拟使用核素的用量情况和相关参数见表 11-12。¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga 和 ⁶⁴Cu 的周围剂量当量率常数相近，本次 PET 显像项目主要使用 ¹⁸F，其他五种核素应用较少。因此，该项目主要以 ¹⁸F 进行分析评价，满足对 ¹⁸F 的辐射安全防护要求，即可同时满足对其余核素的辐射辐射防护要求

表 11-12 拟使用核素的用量及相关参数

项目	核素	周围剂量当量率常数 (μSv·m ² ·h ⁻¹ ·MBq ⁻¹)	最大用量 (mCi/次)
PET 显像	¹⁸ F	注射前：0.143 患者体内：0.092	10
	¹¹ C	0.148	10
	¹³ N	0.148	10
	¹⁵ O	0.148	10
	⁶⁸ Ga	0.134	3
	⁶⁴ Cu	0.029	2

参考《辐射安全手册》（潘自强主编）提供的资料，查图“屏蔽材料的平均半值层和十分之一值层”（资料来源：NCRP151，2005），可知本项目 ¹⁸F 核素的 TVL 取值见表 11-13。

表 11-13 项目使用核素的 TVL 值取值表

核素	什值层 (mm)		
	铅	混凝土	实心砖
¹⁸ F	16.6	176	263

本项目采用按照点源模式进行估算，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫主编）给出的计算公式，估算结果见表 11-14。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \quad (\text{公式 11-1})$$

A——药物的放射性活度，MBq；
f——核素的剂量率常数，μSv·m²·h⁻¹·MBq⁻¹；

R——关注点到辐射源的距离，m；

X——屏蔽材料的屏蔽厚度

TVL—— γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层，cm

表 11-14 ^{18}F 所致关注点处辐射水平估算结果一览表

序号	关注点	估算条件	屏蔽措施	距离 (m)	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	注射位	手持含 $10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 的注射器	铅玻璃注射屏 40mm 铅当量+10mmPb 注射器铅套+0.5mm 铅当量铅橡胶围裙（注射前）	0.3	0.533
		注射 $10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 后的病人	铅玻璃注射屏 40mm 铅当量+0.5mm 铅当量铅橡胶围裙（注射后）	0.3	1.374
2	注射室楼上一地面 1m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$	10mmPb 注射器铅套+200mm 混凝土	4.7	0.028
3	注射室楼下地面 1.8m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$	10mmPb 注射器铅套+250mm 混凝土	4.65	0.015
4	注射室西墙外 30cm	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$	10mmPb 注射器铅套+24cm 实心砖墙+2mmPb 防护涂料	1.1	0.651
5	PET 候诊室墙外 30cm	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	东墙：240mm 实心砖+10mmPb 防护涂料	1.5	0.462
			南墙：240mm 实心砖+10mmPb 防护涂料	2.5	0.166
6	PET 候诊室楼上一地面 1m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	200mm 混凝土	4.7	0.113
7	PET 候诊室楼下地面 1.8m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	250mm 混凝土	4.65	0.060
8	PET 候诊卫生间墙外 30cm	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	北墙：240mm 实心砖墙+10mmPb 防护涂料	2.4	0.181
			东墙：240mm 实心砖墙+10mmPb 防护涂料	1.1	0.860
9	PET 候诊卫生间楼上一地面 1m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	200mm 混凝土	4.7	0.113
10	PET 候诊卫生间楼下地面 1.8m	$10\text{mCi}^{18}\text{F}$ 药物的病人	250mm 混凝土	4.65	0.060

11	PET/CT 机房 东墙外 30cm	7.6mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min)	240mm 实心砖墙 +2mmpb 防护涂料	4.85	0.102
12	PET/CT 机房 观察窗外 30cm	7.6mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min)	10mmpb	4.85	0.275
13	PET/CT 机房 楼上地面 1m	7.6mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min)	200mm 混凝土	4.7	0.086
14	PET/CT 机房 楼下地面 1.8m	7.6mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min)	250mm 混凝土	4.65	0.045
15	PET/CT 摆位 点	7.6mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min)	铅橡胶围裙 0.5mm 铅	1.0	24.137
16	留观室墙外 30cm	2 位 7.2mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min,扫描 10min)	北墙: 240mm 实心砖墙 +10mmpb 防护涂料	2.6	0.222
			南墙: 240mm 实心砖墙 +10mmpb 防护涂料	3.2	0.146
17	留观室楼上 地面 1m	2 位 7.2mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min,扫描 10min)	200mm 混凝土	4.7	0.162
18	留观室楼下 地面 1.8m	2 位 7.2mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min,扫描 10min)	250mm 混凝土	4.65	0.086
19	留观卫生间 北墙和东墙 外 30cm	1 位 7.2mCi ¹⁸ F 药物的病人 (经过注射后休息 40min,扫描 10min)	240mm 实心砖墙 +10mmpb 防护涂料	1.3	0.443
注: 1、负一楼层高 4.5m, 负二楼层高 5.2m。					

混凝土密度≥2.35t/m³, 实心砖密度≥1.6t/m³, 铅密度≥11.34t/m³

11.7.3 个人剂量分析

关注点人员的年有效剂量估算采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式:

$$D = k \cdot t \cdot T \cdot F \cdot f \dots\dots \text{(公式 11-3)}$$

式中: D—年有效剂量, mSv;

k—辐射剂量率, Gy/h;

t—年工作时间, h;

T—居留因子;

f—Gy 转换 Sv，简化估算，f 取 1；

根据上述核医学科放射性药物使用工作场所关注点的剂量估算结果，结合本项目工作人员配备及工作负荷介绍，按照公式 11-3 对本项目辐射工作人员及公众的年受照剂量进行估算，估算结果见表 11-15。

表 11-15 本项目公众及辐射工作人员年有效剂量估算

关注对象	所受照射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年附加有效剂量(mSv)	
注射人员	PET 注射位剂量率： 1.374	1	每人每天约注射 40 次，每次约 1min，一年工作 300 天	0.27	
摆位人员	PET/CT 摆位剂量率： 24.14	1	每人每天最多摆位 20 人，每次约摆位 1min，一年 300 天	2.41	3.01
设备操作人员	PET/CT 操作位剂量率： 0.275	1	每人每天最多扫描 20 位病人，每位病人扫描 10min，年工作 300 天	0.27	
	PET 候诊室卫生间北墙外：0.181	1	(控制室) 保守估计每名患者每次上卫生间 1 次，每次 5min，年接触时间约 1000h	0.18	
	留观室南墙外：0.146	1	(控制室) 一天留观 20 批，每批留观约 10min，一年工作 300 天	0.15	
公众人员	注射室楼上：0.028	1/4	(教室) 每天约注射 40 次，每次约 1min，一年工作 300 天	0.001	
	注射室楼下：0.015	1	(消防水池) 每天约注射 40 次，每次约 1min，一年工作 300 天	0.003	
	PET 候诊室南墙外：0.166	1	(诊室) 每间候诊室每天约候诊 5 人，每人候诊约 40min，一年工作 300 天	0.15	
	PET 候诊室东墙外：0.462	1/8	(卫生间) 每间候诊室每天约候诊 5 人，每人候诊约 40min，一年工作 300 天	0.06	
	PET 候诊室卫生间东墙外：0.86	1/16	(走廊) 保守估计每名患者每次上卫生间 1 次，每次 5min，年接触时间约 750h	0.04	
	PET 候诊室楼上：0.113	1/4	(教室) 每间候诊室每天约候诊 5 人，每人候诊约 40min，一年工作 300 天	0.03	
	PET 候诊室楼下：0.060	1/16	(消防水池) 每间候诊室每天约候诊 5 人，每人候诊约 40min，一年工作 300 天	0.004	
	PET/CT 机房楼上：0.086	1/4	(教室) 1 间机房一天扫描约 20 人，每人扫描 10min，一年工作 300 天	0.02	
	PET/CT 机房楼下：0.045	1/16	(消防水池) 1 间机房一天扫描约	0.003	

			20 人，每人扫描 10min，一年工作 300 天	
	留观室北墙外：0.222	1/16	（走廊）一天留观 20 批，每批留观约 10min，一年工作 300 天	0.028
	留观室楼上：0.162	1/16	（库房）一天留观 20 批，每批留观约 10min，一年工作 300 天	0.041
	留观室楼下：0.086	1/16	（消防水池）一天留观 20 批，每批留观约 10min，一年工作 300 天	0.022
	留观卫生间墙外：0.443	1/16	（走廊）保守估计每名患者每次上卫生间 1 次，每次 5min，年接触时间约 750h	0.02

根据上述结果可知：核医学科项目辐射工作人员的年有效剂量的最大值为 3.01mSv，核医学科项目对工作场所周围公众的年有效剂量最大值为 0.15mSv。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值和公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有限剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求。建议医院在核医学运行后采用轮班制，合理安排辐射工作人员的工作负荷，尽可能减少工作人员的受照剂量。

11.7.4 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{188}Re 治疗项目辐射屏蔽估算

核医学科治疗用核素有 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{188}Re ，接受核素治疗的病人在用药正常后就离开。给药期间病人会对周围环境有短暂辐射影响，给药后病人通常不会产生排泄物等废水和固体废物，病人呼出气可能含有的少量放射性物质。 Re-188 发射能量为 2.12MeV 的 β 射线，同时还发射能量为 155keV 的 γ 射线， Sr-89 为 β 核素， Ra-223 、 Ac-225 为 α 核素，由于每天核素治疗病人较少，该项目对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。 α 、 β 源衰变后发射 α 、 β 射线，相对于 X、 γ 射线穿透力较弱，核医学科普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其它夹具操作，手不接触 α 、 β 源，就能达到防护要求。

β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射（本质为 X 射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对韧致辐射的防护。屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料以减少韧致辐射，外面用高原子序数的材料屏蔽韧致辐射。

根据《辐射防护手册 第一分册》（李德平 潘自强，1987，原子能出版社）和《辐射防护手册 第三分册》（李德平 潘自强，1987，原子能出版社）对于韧致辐射的屏蔽可用公式 11-4 计算。

韧致辐射所致 γ 辐射剂量率估算如下：

$$X=1.71\times10^{-4}AZ(E/r)^2f\qquad\text{(式 11-4)}$$

式中：X—距离轫致辐射源 r 米处的空气比释动能率，Gy/h；

A—放射源活度，Ci；

Z—电子屏蔽材料玻璃的有效原子序数 3；

E—β射线的最大能量，MeV；

r—参考点与轫致辐射源的距离，m。

f—转换系数 8.73×10⁻³Gy/R。

①无屏蔽状态下距放射源不同距离处辐射剂量率

Sr-89 最大活度 1.48E+08Bq（4mCi），β射线的最大能量为 1.46MeV，Re-188 最大活度为 1.48E+08Bq（4mCi），β射线的最大能量为 2.12MeV。根据估算，得到无屏蔽状态下不同距离放射源轫致辐射产生的γ辐射剂量率。

表 11-16 距 Sr-89、Re-188 裸源不同距离处轫致辐射产生的γ辐射剂量率

距离（m） 放射源	0.05m	0.5m	1m	2m	3m
Sr-89 剂量率μGy/h	15.27	0.15	0.04	0.01	0.004
Re-188 剂量率μGy/h	32.21	0.32	0.08	0.02	0.01

由上表可知，按放射核素最大活度计算，在裸源状态下，距离放射源 1m 处γ辐射剂量率为 0.08μGy/h，3m 处γ辐射剂量率降至 0.01μGy/h。

②室外产生的γ辐射剂量率

在无防护状态下，4mCi Sr-89、4mCi Re-188 裸源周围 1m 处的γ辐射剂量率为 0.08μGy/h，注射过程中，注射室窗口防护为 40mmPb，因此，注射室外 30cm 处γ辐射剂量率均低于 0.08μGy/h。

③工作人员的γ辐射剂量率

工作人员身体距药物按 0.5m 计，注射时经过 40mmpb 注射铅玻璃和 10mmPb 注射器防护及 0.5mmPb 铅衣，则工作人员身体部位剂量率低于 0.32μGy/h。

④工作人员的公众及辐射工作人员年有效剂量估算

工作人员一年诊疗不超过 450 人次，每次注射时间约 1min，因此核素治疗辐射工作人员年有效剂量为 0.0024mSv，叠加表 11-15 中注射人员年有效剂量后为 3.0124mSv；公众的居留因子区 1/16，则年有效剂量为 0.0002mSv，叠加表 11-15 中公众年有效剂量后为

0.1502mSv，因此职业人员及公众年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

⑤注射后患者对公众的影响分析

由表 11-6 可知，无屏蔽状态裸源 1 米处的剂量率最高为 0.08μGy/h，药物注射到患者体内后，对周围产生的剂量率将远远小于 0.08μGy/h，患者注射后无需采取特殊的防护措施，因此，Sr-89、Re-188 治疗项目可以在门诊进行。

11.7.5 核医学科项目周围环境保护目标的辐射影响分析

综上核医学项目环境影响分析可知，本次评价的核医学科工作场所实体屏蔽墙外 30cm 处的辐射剂量率及受照剂量满足国家标准要求，因此该核医学科项目的辐射屏蔽设计能满足辐射防护与安全要求。根据剂量率与距离成反比的关系，距离辐射源越远，辐射剂量率越低，因此在核医学科工作场所周围环境保护目标的剂量率更低，因此可预测项目周围环境保护目标的受照剂量均能够满足国家对相关职业人员和公众照射剂量的控制要求。

11.7.6 工作人员内照射剂量估算

造成内照射的原因通常是因为吸入被放射性物质污染的空气，饮用被放射性物质污染的水，食入被放射性物质污染的食物或者在发生事故的情况下放射性物质从皮肤、伤口进入体内。放射性核素所处环境状态、物理化学性质、进入人体内的途径、个人代谢特点、所采用的计算模式等都与内照射剂量估算有关，因此很难进行精确估算。

由于本项目禁止工作人员在放射工作场所进食、禁止在有伤口的情况下进行放射性核素操作，食入及伤口进入体内情况很少。本次核医学科使用的放射性药物中没有挥发性液体物质，且工作人员在分装柜内进行分装操作，分装柜设置有独立的通风系统，分装柜处排风速度不小于 1m/s，可有效的减少内照射影响。

11.8 事故影响分析

11.8.1 核医学科可能的辐射事故

（1）由于管理不善，放射性药物或放射源被盗、丢失。

（2）在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染。

（3）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

(4) 射线装置等控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

(5) 核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊室或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射。

(6) 放射性废水或放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行处理。

11.8.2 核医学科辐射事故防范措施

(1) 定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

(2) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(3) 制定并落实放射性核素与放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素与放射源的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

(5) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）及存放位置，

(6) 做好射线装置等设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(7) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面对指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，经核实达到离开条件方可允许患者离开。

(8) 放射性性固体废物垃圾桶外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

11.8.3 核医学科辐射事故应急措施：

一旦发生辐射事故时，立刻启动辐射事故应急预案。当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取相应救助措施，妥善处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告（发生人员超剂量照射时报告）。

表 12 何善衡楼核医学科项目辐射环境影响评价

12.1 项目工程分析与源项分析

12.1.1 设备组成

PET/MR 把 PET 与 MR 整合在同一个机架内，共用同一个检测台。PET/MR 是整合了 PET 和 MR 最先进技术的功能分子影像设备，PET/MR 探头是由分离的 PET 探头和 MR 探头组成，PET/MR 工作时，先进行 MR 扫描，然后检查床自动移动至 PET 视野，进行 PET 扫描得到的图像通过特殊的软件融合在一起，最终得到 PET/MR 图像。

SPECT/CT 主要由探头、电子学线路、计算机影像处理系统和显示记录装置四个部分组成。

12.1.2 工作原理

（1）PET/MR 工作原理

PET 的工作原理是将 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 等放射性药物作为示踪剂注射到机体靶器官后，对机体进行 PET 扫描成像。放射核素放射出的正电子在体内移动大约 2~3mm 后和负电子结合发生湮灭现象，正负电子消失并同时产生两个能量相等、方向相反的光子。PET 探头系统内有数个探测器环，湮灭产生的两个方向相反的光子被 PET 探头内的两个探测器分别探测到。根据两个探测器探测到光子确定体内有放射性药物分布投影，然后进行图象重建确定体内不同脏器的核素分布。通过计算机对采集数据重建处理，可获取示踪剂在机体器官的代谢分布图像，并得到机体全身三维断层图像，从而反映机体组织功能、代谢信息，再根据机体组织功能、代谢信息进行临床诊断。PET/MR 是将 PET 的分子成像功能与 MR（核磁共振成像）的软组织对比功能结合起来的一种新技术。它可以对在组织中扩散的疾病细胞进行成像。它使病患能够在各个模式下进行扫描，该系统还可以分别收集 PET 和 MR 影像。建设项目 PET/MR 检查拟应用的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 。

（2）SPECT/CT 工作原理

SPECT 影像检查是将放射性同位素标志药物后注射到人体内，所标识化合物与机体内生理、生化反应的分子交互利用后，使用 SPECT 探测器对该放射标识化合物的分布进行探测，检测注入机体内的放射性核素发射出的光子，以组织器官吸收放射性核素浓度的高低和变化作为重建图像的参数，根据放射性药物在组织器官内的分布重建图像。利用同位素在不同脏器或组织中代谢速度的不同，取得病理变化的功能影像，甚至能进一步了解其病变的良恶性质，属于“功能性”医学影像检查。CT 则是利用 X 线穿透人体而获得多种

影像，影像数据经过数字处理，便可以显示身体任何断层面甚至是立体构造的影像，为“结构性”影像检查。

SPECT/CT 图像融合影像，将 SPECT 的功能影像与多层诊断 CT 的丰富解剖细节进行了充分的结合，能对患者身体任何部位的疾病的位置、大小、性质和范围做出准确判断，既可以了解病变的功能状态，又可确定病变的部位，得到的诊断资料克服了两种影像技术单独应用的局限性，最大限度地发挥核医学功能显像和放射学解剖显像的优势，使两种影像“强强联合”，诊断信息互补，为临床医生提供更加全面、准确的早期诊断疾病的依据。建设项目 SPECT/CT 检查拟应用的放射性核素为 ^{99m}Tc 。

（3） ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 治疗骨转移癌原理

^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 均为亲骨性放射性核素，与骨组织有很高亲和力，进入体内后浓聚在骨代谢活跃部位，恶性肿瘤骨转移病灶对其摄取率远大于正常骨组织，利用放射性核素发射出的 β 射线或 α 射线的电离辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

12.1.3 工作流程及产污环节

（1）PET/MR 诊断

该项目 PET 诊断项目使用的正电子放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 均为医院自产药物，医院根据病人预约情况，确定诊断所需药物量，提前生产。根据每个病人的注射时间在分装热室按时、按量分装至带屏蔽套的注射器中，由专门转运人员送至何善衡楼负一层核医学科注射室，做好人员、药物信息标记。

受检者先在核医学科登记处登记，在候诊大厅候诊，用药前在护士注射室做好注射前静脉留置针。注射时，受检者通过受检者专用通道到达注射室 PET 注射窗口接受注射。注射护士通过卫生通过间进入注射室，在注射室注射位处内通过注射窗口对受检者注射放射性药物。注射药物的受检者在候诊后（PET 受检者一般 30~50min），由工作人员在控制室通过语音通话及视屏监控系统引导，从受检者专用通道进入 PET/MR 检查室。工作人员通过语音通话系统进入机房指导受检者摆体位后，再进入 PET/MR 检查室近距离指导受检者摆位（与受检者近距离接触的时间约 30 s）。摆位结束工作人员在控制室内通过操作台控制完成自动诊断扫描检查程序（PET 操作时间约 20 min）。检查完毕后，受检者在留观室留观约 1~5min 后，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由核医学科北侧受检者通道离开，离开位置设有上下步梯及专用电梯通往北侧室外车道。

（2）SPECT/CT 诊断

该项目 SPECT/CT 诊断拟采用放射性药物 ^{99m}Tc 。 ^{99m}Tc 拟直接从外采购。根据受检者预约情况，确定诊断所需药物量，提前订购。受检者由步梯或乘电梯到达负一层核医学科时，先在核医学科登记处登记，用药前在护士注射室做好注射前静脉留置针、测血糖、体重等。注射时，受检者通过受检者专用通道到达注射室 ECT 注射窗口接受注射。注射护士通过卫生通过间进入注射室，在注射室注射位处内通过注射窗口对受检者注射放射性药物。注射后，进入 ECT 等候室候诊。工作人员在控制室通过传呼通话系统告知候诊的受检者到 SPECT/CT 检查室内接受检查。工作人员在控制室内通过传呼通话系统指导受检者摆位后，再进入 SPECT/CT 检查室近距离指导受检者摆位。摆位结束工作人员在控制室内通过操作台控制完成自动诊断扫描检查程序。检查完毕后，受检者在留观室留观约 1~5min 后，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由核医学科北侧受检者通道离开，离开位置设有上下步梯及专用电梯通往北侧室外车道。

该项目 PET/MR 和 SPECT/CT 诊断工作流程与产污环节见图 12-1。

（3）骨转移癌

该项目骨转移癌拟使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re ，均为外购。经院方确认骨转移病人给药时间计划安排工作日 8:30 至 9:30，在此时间段内不接诊核素显像检查病人，建设单位在此项目开展前应将该制度落实到位。患者确诊后预约登记，根据病情确定放射性核素种类及用量，厂家按照约定时间将放射性核素送至核医学科储源室。按照约定时间患者到核医学科注射室对应窗口通过静脉注射方式给药，给药注射时使用注射器防护套，给药完成后自行离开。骨转移癌工作流程与产污环节见图 12-2。

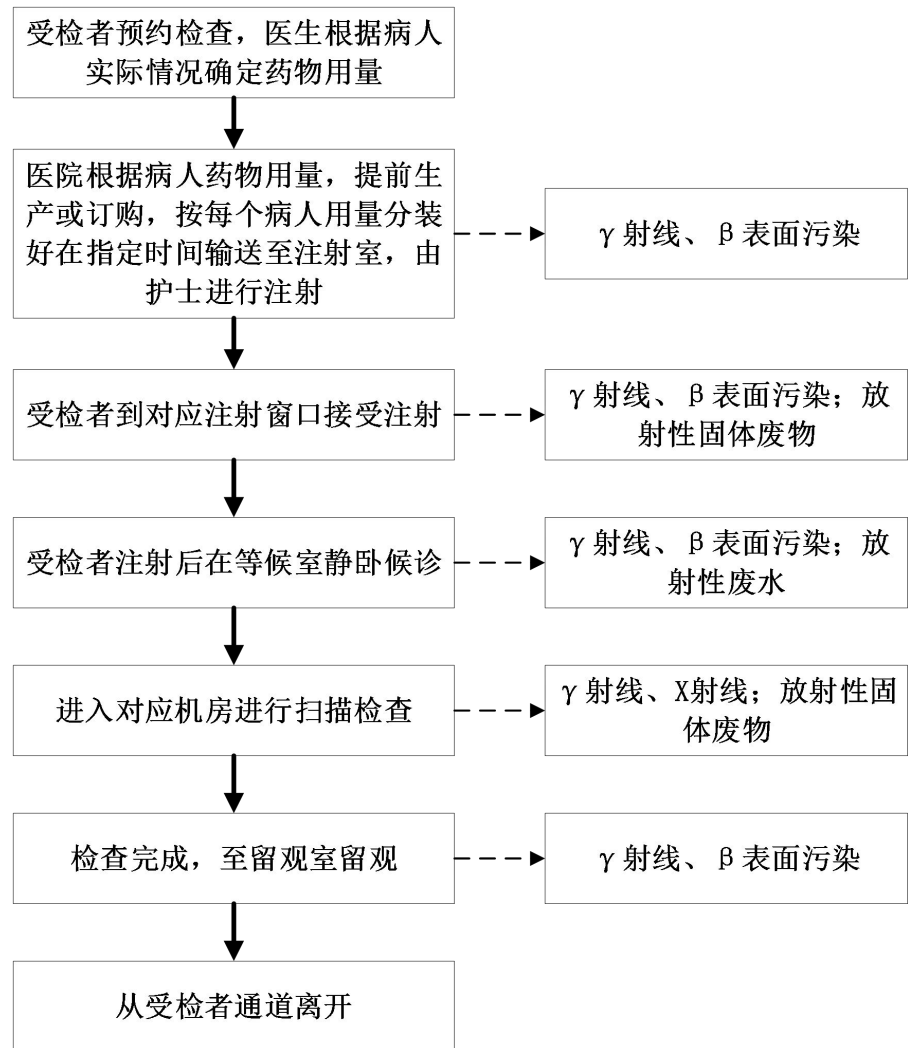


图 12-1 PET/MR 和 SPECT/CT 诊断工作流程与产污环节示意图

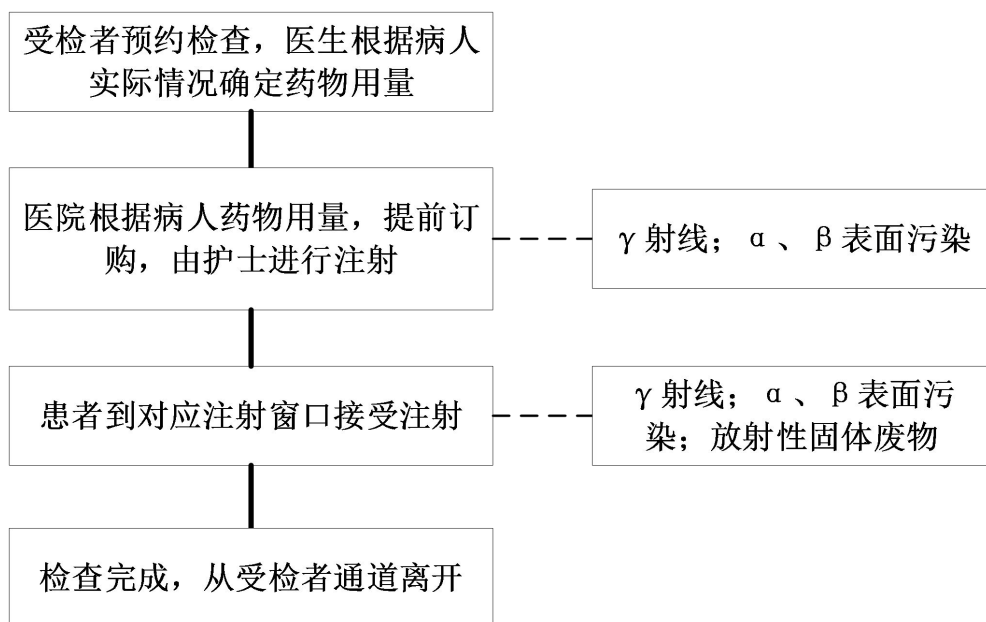


图 12-2 骨转移癌工作流程与产污环节示意图

12.1.4 工作负荷及人员配置情况

(1) 工作负荷

何善衡楼核医学科项目涉及核素情况及使用量见表 12-1。

表 12-1 何善衡楼核医学科项目使用核素情况

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	日最大诊疗人次	最大年接诊人次	主要用途	来源
1	^{18}F	3.7×10^8	14 人	250	PET 显像	医院生产
2	^{68}Ga	2.5×10^8	3 人	100		医院生产
3	^{11}C	5.55×10^8	3 人	150		医院生产
4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^8	20 人	250	SPECT 显像	外购
5	^{89}Sr	1.48×10^8	5 人	50	骨转移癌	外购
6	^{223}Ra	1.48×10^8	2 人	250		外购
7	^{188}Re	1.48×10^8	2 人	250		外购

(2) 人员配置

何善衡楼核医学科项目各岗位及辐射工作人员配备情况见表 12-2。

表 12-2 何善衡楼核医学科项目各岗位涉及辐射工作人员配置情况

工作场所	岗位	工作内容	预计操作时间	人员数量
注射室	注射人员	药物注射	30s/次	2 人
PET/MR 机房	PET/MR 设备操作人员	指导、帮助患者摆位	30s/次	2 人
PET/MR 控制室		PET/MR 设备操作	20min/次	
SPECT/CT 机房	SPECT/CT 设备操作人员	指导、帮助患者摆位	30s/次	1 人
SPECT/CT 控制室		PET/MR 设备操作	20min/次	

注：该项目注射室不设置分装柜，不涉及分装操作放射性核素由厂家分装或由建设单位在回旋加速器区域分装。

12.1.5 源项分析

(1) 非密封放射性核素

该项目拟使用非密封放射性核素的有关参数见表 12-3。

表 12-3 何善衡楼核医学科项目非密封放射性核素的放射性属性

核素种类	半衰期	衰变方式	射线能量 (MeV)	使用状态	来源
^{18}F	110min	β^+ 、EC	β : 0.633、 γ : 0.511	液态 (注射)	建设单位回旋加速器生产
^{68}Ga	68min	β^+ 、EC	β : 1.90、 γ : 0.511	液态 (注射)	
^{11}C	20.3min	β^+ 、EC	β : 0.960、 γ : 0.511	液态 (注射)	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	γ : 0.141	液态 (注射)	外购
^{89}Sr	50.5d	β^-	β : 0.585	液态 (注射)	
^{223}Ra	11.43d	α	α : 5.87、 β : 0.012	液态 (注射)	
^{188}Re	16.98h	β^-	β : 2.12	液态 (注射)	

(2) 射线装置

本评价项目的 SPECT/CT 是将 SPECT 与 CT 联合在一起, 通过 SPECT 和 CT 扫描重叠联合扫描, 使两者的硬件和软件结合在一起。这样就可以采用 CT 图像对 SPECT 功能图像进行解剖定位, 同时又可以采用人体 X 射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部/国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 6 号)对射线装置的分类, 本评价项目 SPECT/CT (主要参数 130kV,345mA) 属于III类射线装置。

(3) 放射源

PET/MR 图像采集进行空白扫描时, 自动使用扫描仪内配备的封闭性放射性核素固体点源进行探测器的监测, 一般采用 ^{68}Ge 固体点源。PET 设备的校正源 ^{68}Ge , 根据科室需求订购, 由专业有资质的运输公司用专用铅罐直接运送到核医学科储源室。该项目拟使用的密封放射源基本情况见表 12-4。

表 12-4 何善衡楼核医学科项目密封源的基本情况

核素种类	活度(Bq)	数量 (枚)	射线能量 (MeV)	半衰期	物理状态	存放场所
^{68}Ge	1.11×10^8	1	γ : 0.093	288d	固态	储源室
	5.55×10^7	4				PET/MR 机房

12.2 污染源项描述

12.2.1 正常工况

(1) 正常工况下的辐射

PET、SPECT、MR 本身不产生辐射。CT 在扫描工作时，有来自其球管发出的有用 X 射线，机头组件的泄漏 X 射线以及来自设备、设备周围物体以及受检者身体的散射 X 射线。CT 机所用 X 射线质硬，穿透性大，能量高。建设项目提供的 SPECT/CT 最大管电压为 130kV。

密封性放射性核素 ^{68}Ge 固体点源：PET/MR 图像采集进行空白扫描时，自动使用扫描仪内配备的密封性放射性核素 ^{68}Ge 固体点源进行探测器的监测，不用时扫描仪自动将其收入探头外的铅屏蔽容器内，正常情况下不会造成放射性污染。

PET 设备的校正源 ^{68}Ge ：运行中需使用 ^{68}Ge 放射源对 PET/MR 进行校准，该源为密封源，正常情况下不会造成放射性污染。

(2) 放射性药物应用过程中产生的辐射

放射性药物 (^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re) 在衰变过程中产生的辐射主要包括 γ 辐射、 β 辐射、 α 射线。

在放射性药物注射、摆位过程中，放射工作人员、患者会处在该辐射场中，受到来自放射性药物的内照射及外照射。这种内、外照射剂量的大小与放射性药物种类、活度、辐射源距离、停留时间及屏蔽效果和进入人体途径有关。若运输及应用过程中操作不当造成外洒、外溢，从而使工作人员手、工作服、工作台面、地面等处产生污染。污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

(3) 放射性废气：在放射性药物使用过程中，有些操作可产生放射性废气，如放射性药物注射过程中生产的微量放射性挥发气体和用药后患者等候、检查、留观期间通过呼吸产生的放射性废气。

(4) 放射性废水：放射性药物使用过程中会产生放射性液体，如剩余药液、用药后患者的尿液、呕吐物、洗消废水等。

(5) 放射性固体废物：放射性药物注射或给药时产生的一次性注射器、手套、棉签等医用废物以及放射性沾污物品；⁶⁸Ge 密封源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

(6) 注射药物后的受检者：注射过药物的患者，其身体就形成了辐射源，此外，患者的分泌物、排泄物及呕吐物均具有放射性，会对工作人员、相关公众及周围环境造成放射性污染。

12.2.2 事故工况

(1) 放射性药物和校准源若保管不善，可能发生丢失或被盗，从而导致辐射事故的发生，对社会和公众造成危害。

(2) 运输或操作放射性药物时，意外洒落、泄露，造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，造成环境污染及工作人员超剂量照射。

(3) 放射性“三废”管理不善、核素操作防护设施不能正常使用或管理不善、用药后受检者失禁、呕吐等造成污染、用药后患者管理不善等原因，造成工作人员超出年有效剂量约束值。

12.3 辐射安全与防护

12.3.1 非密封放射性物质工作场所布局

(1) 核素显像检查区域：该项目拟设在何善衡楼负一层西侧，北侧与室外通道相邻，东侧与影像中心二区相邻，南侧与空调机房、配电房相邻，西侧与排风机房、排烟机房相邻，负一层地下层为土层，地上一层对应体检中心。

受检者用药前停留区（候诊大厅、核医学科登记处、护士注射室、抢救室、接诊室、卫生间）设置在该区域最东侧；放射性核素操作区（注射室、固废室、储源室）位于受检者用药前停留区西侧相邻位置、受检者用药后停留区（ECT 等候室及卫生间、PET/MR 等候室 1-2 及卫生间、留观室、用药后患者通道）位于核医学科控制区内北侧；核素显像检查区（SPECT/CT 检查室、PET/MR 检查室及其控制廊）及核医学科办公室位于该区域南侧。

(2) 衰变池：拟设室外，为下沉式，位于建设项目北侧，与用药后患者出口相距约 10m。衰变池周围为电梯井及土层。

(3) 用药后患者出口：建设项目核医学科用药后患者出口位于建设项目北侧，患者可通过步梯及核医学科电梯到达何善衡楼北侧车道。

该项目核医学科工作场所布局见图 12-3。

12.3.2 非密封放射性物质工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）中相关规定“有相对独立、明确的监督区和控制区划分的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算”。建设项目共 1 个核医学工作场所，即负一层核医学科。医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”，又因 ^{11}C 、 ^{68}Ga 的实际使用方式与 ^{18}F 完全相同，因此本次评价将使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 使用过程的操作方式视为“很简单的操作”。 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 的实际使用方式与 ^{131}I 相似，因此本次评价将 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 使用过程的操作方式视为“简单操作”。放射性核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 均为低毒组； ^{89}Sr 、 ^{188}Re 为中毒组； ^{223}Ra 为极毒组进行相关的计算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 中对非密封放射性物质工作场所分级原则及计算方法。日等效最大操作量计算方法：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子。该项目放射性核素日等效最大操作量计算结果见表 12-5。

表 12-5 放射性核素日等效最大操作量

场所	核素种类	毒性分组	组别修正因子	操作修正因子	操作方式	日实际最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）
何善衡楼负一层核医学科	¹⁸ F	低毒	0.01	10	很简单的操作	5.18×10 ⁹	5.18×10 ⁶
	⁶⁸ Ga	低毒		10		7.5×10 ⁸	7.5×10 ⁵
	¹¹ C	低毒		10		1.67×10 ⁹	1.67×10 ⁶
	^{99m} Tc	低毒		10		1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷
	⁸⁹ Sr	中毒	0.1	1	简单操作	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷
	¹⁸⁸ Re	中毒		1		2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷
	²²³ Ra	极毒	10	1		2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁹
合计							3.12×10 ⁹

据上表可知，该项目核医学科工作场所日等效最大操作量为 $3.12 \times 10^9 \text{Bq}$ 介于 $2.0 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 之间，为乙级非密封源工作场所。

12.3.3 非密封放射性物质工作场所分类

该项目工作场所涉及的放射性核素包括： ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra ，以 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 为例进行放射性药物工作场所的分类相关计算。建设项目放射性工作场所分类见表 12-6。

表 12-6 放射性工作场所分类

区域 各功能室		放 射 性核素 种类	核素的 毒性权 重因子	操作性 质修正 因子	核素计划 的日操作 最大活度 (MBq)	加权活度 (MBq) [1]	工作场 所分类 [2]
何善 衡楼 负一 层核 医学 科	注射室	^{18}F	1	1	7.595×10^3	1.6×10^5	I 类
		^{89}Sr	100	1	1.332×10^3		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	1.85×10^4		
	ECT 等候 室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	1.85×10^4	1.85×10^3	II 类
	PET/MR 等 候室(2 间)	^{18}F	1	10	3.8×10^3	3.8×10^2	II 类
	SPECT/CT 检查室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	1.85×10^4	1.85×10^4	II 类
	PET/MR 检 查室	^{18}F	1	10	7.595×10^3	7.595×10^2	II 类
	留观室	^{18}F	1	10	7.595×10^3	1.6×10^4	II 类
		^{89}Sr	100	10	1.332×10^3		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	1.85×10^4		
	储源室	^{18}F	1	100	7.595×10^3	1.6×10^3	II 类
		^{89}Sr	100	100	1.332×10^3		
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	1.85×10^4		

注：[1] 加权活度=计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子/不同操作性质的修正因子；

[2] 根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求依据计划操作最大量放射性核素的加权活度进行分类；

该项目核医学科工作场所含有I、II类核医学工作场所。建设单位应依据《核医学放射防护要求》GBZ120-2020 的规定对核医学科工作场所室内进行装修。I类核医学放射性工作场所要求地板与墙壁接缝无缝隙，表面易清洗，实验室需设通风橱，室内应设抽风机，配备清洗及去污设备，下水管道宜短，大水流管道应有标记以便维修；II类核医学工作场所要求地面易清洗且不易渗透，表面易清洗，实验室需设通风橱，室内应有较好通风，配备清洗及去污设备。

12.3.4 非密封放射性物质工作场所分区

根据《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制。根据该规定要求，该项目将工作场所各房间划分为“控制区”和“监督区”两区管理。

（1）控制区（红色区域）：建设项目的卫生通过区、注射室、ECT 等候室、PET/MR 等候室 1-2、ECT 和 PET/MR 检查室、留观室、污洗间用药后患者卫生间、通道等划为控制区。

控制区内防护及管理措施如下：a、非有关职业人员严禁入内；b、在控制区入口及其他适当位置处设置电离辐射警告标志，并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示；c、对职业工作人员配备个人防护用品、个人衣物贮存柜、被污染衣物贮存柜，机房与操作间的防护门处配备辐射防护监测仪、表面污染仪；d、工作场所严格按照 GB18871-2002 附录 B 中“表 B11 表面放射性物质污染控制水平”的有关规定执行；e、及时清理放射性固废，放射性固体废物入专用收集容器。

（2）监督区（黄色区域）：与控制区相邻区域划分为监督区。监督区防护及管理措施如下：a、其他无关公众人员严禁入内；b、在监督区入口处设立表明监督区的标牌。

该项目工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。控制区及监督区划分情况见图 12-3。

12.3.5 非密封放射性物质工作场所人员、放射性核素流向

（1）工作人员流向

PET/MR、SPECT/CT 操作人员从工作场所东侧候诊大厅经办公室进入控制室，工作完毕后原路离开；放射性核素操作人员从工作场所东侧候诊大厅经卫生通过进入注射室，

工作完毕后原路离开；护士从候诊大厅进入核医学科登记处或护士注射室，工作完毕后原路离开。

（2）患者流向

核素显像患者流向为：患者在登记处登记，在护士注射室进行留置针设置等，候诊大厅等候，问诊做好给药前准备，经候诊大厅西侧入口沿走道进入病人通道，PET 受检者依次往后经注射位、PET/MR 等候室（1-2）、PET/MR 检查室、留观室，经医护人员确认后从工作场所北侧患者通道离开；SPECT 受检者依次往后经注射位、ECT 等候室、SPECT/CT 检查室、留观室，经医护人员确认后从工作场所北侧患者通道离开。

骨转移癌患者流向为：患者在登记处登记，在护士注射室进行留置针设置等，候诊大厅等候，问诊做好给药前准备，经候诊大厅西侧入口沿走道进入病人通道，骨转移癌患者依次往后经注射位、从工作场所北侧患者通道离开。

病人出口共一处，患者可离开工作场所控制区后可通过步梯及核医学科专用电梯至北侧室外车道。

（3）放射性核素流向

按约定时间由建设单位或厂家将放射性核素送至核医学科储源室，到时间后由放射工作人员进行注射，产生的放射性废物在固废室衰变至安全水平后按普通医用废物处理。

工作过程中产生的放射性废物（棉签、注射器、吸水纸等）存放在放射性废物铅桶中，收集后在放射性废物间铅桶内存放，待 10 个半衰期以上经检测符合标准要求后按普通废物处理。核素操作人员清洗去污产生的放射性废水通过专用管道排放至衰变池中，待 10 个半衰期以上经检测符合标准要求后排至市政管道或医院污水处理系统。剩余药液存放在铅罐中，待 10 个半衰期后按一般医疗废物处理。

该项目核医学科工作场所的人员流向图见图 12-4。

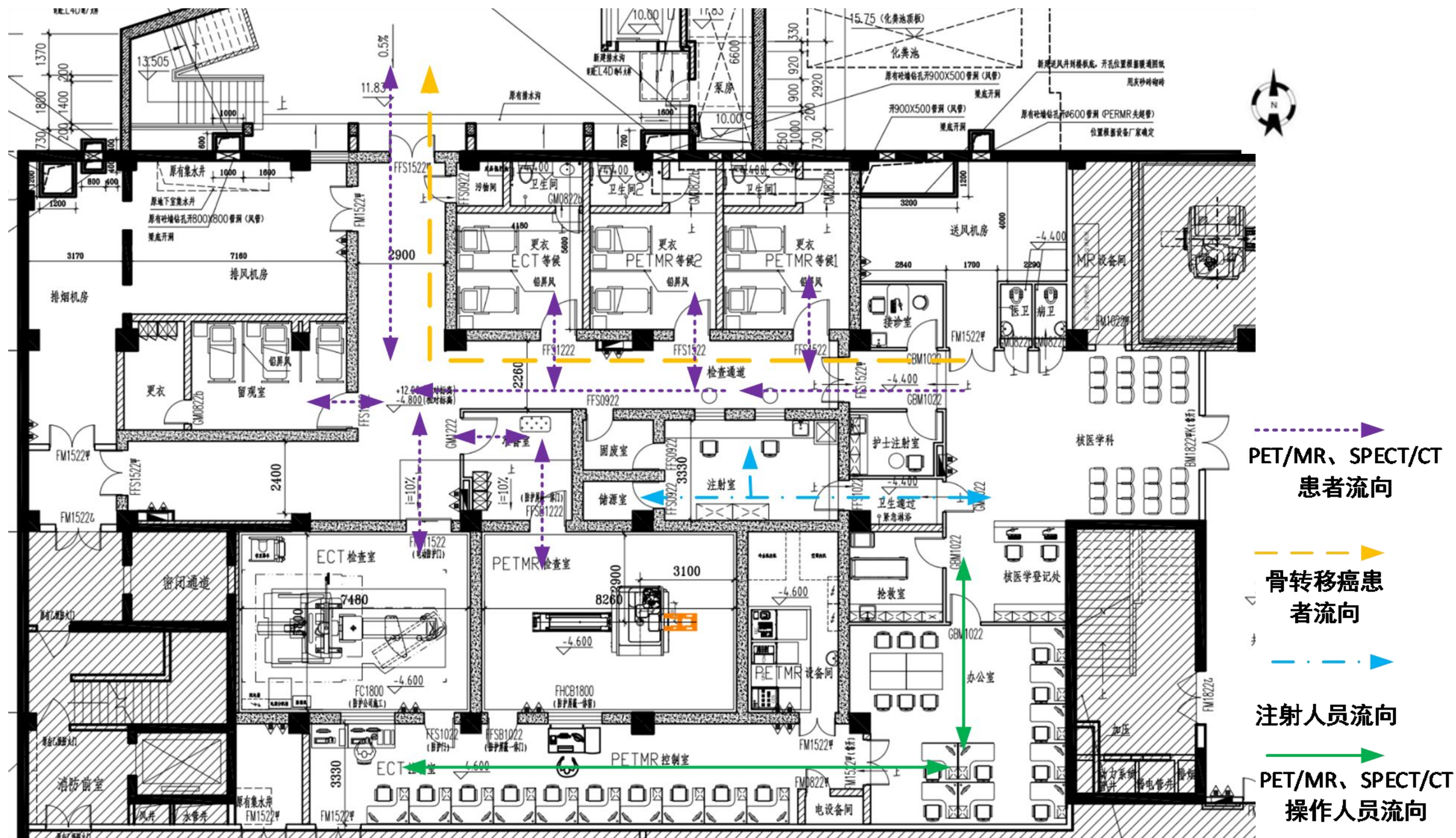


图 12-5 非密封源工作场所人员流向示意图

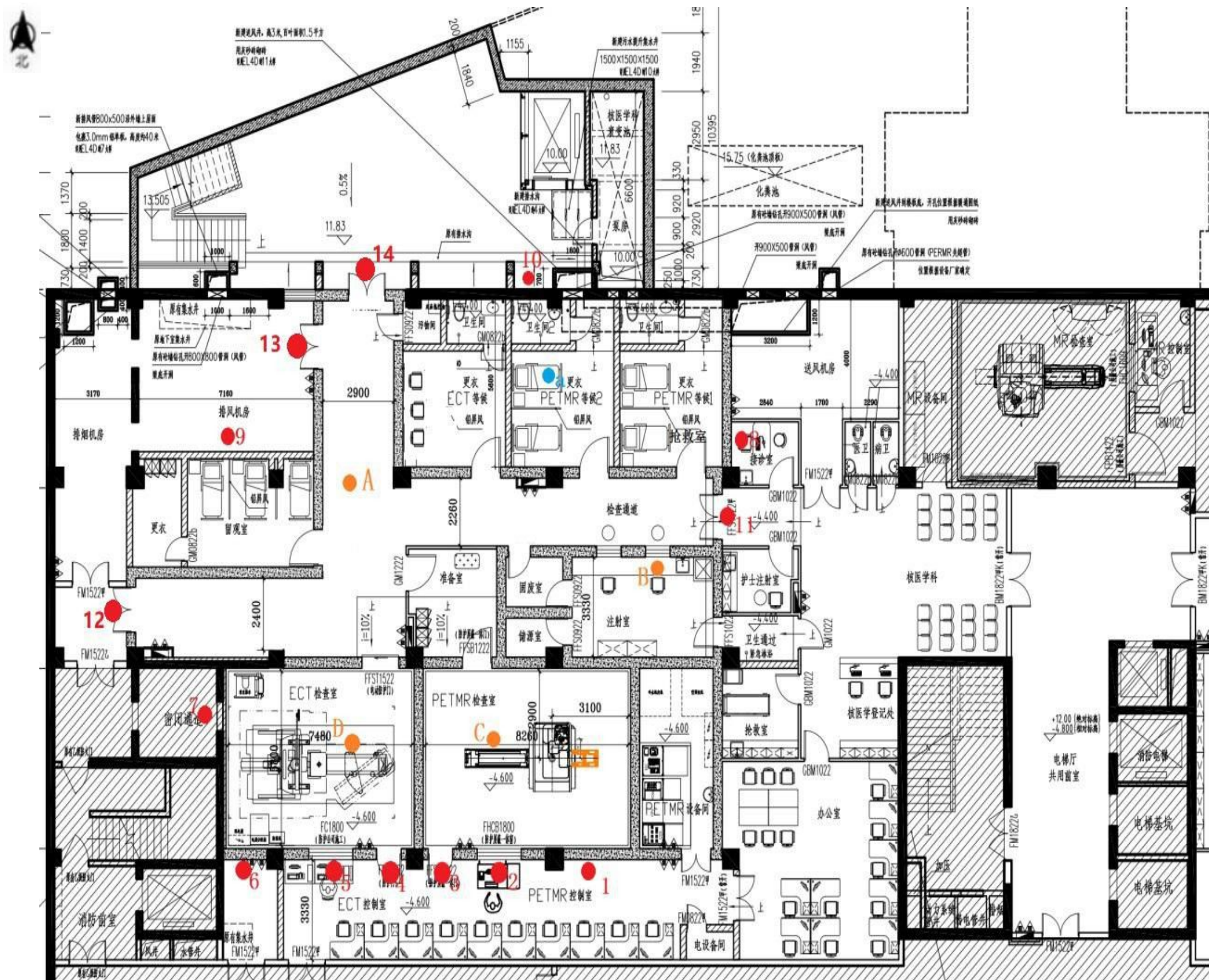


图 12-6 何善衡楼核医学科工作场所辐射关注点示意图

12.3.6 核医学科辐射防护屏蔽设计

何善衡楼 he 医学科项目非密封放射性工作场所的屏蔽防护设计见表 12-7。

表 12-7 非密封放射性工作场所防护屏蔽设计一览表

房间	屏蔽设计情况	
PET-MR 检查室	机房尺寸	南北宽：6.0m、东西长：8.46m；有效使用面积：50.76m ²
	四周墙体	37cm 实心砖+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	12mmPb、手动平开（2 樘）
	观察窗	12mmPb（1 套）
SPECT/CT 检查室	机房尺寸	南北宽：6.0m、东西长：7.8m；有效使用面积：46.8m ²
	北墙东侧、南墙	37cm 实心砖+4mmPb 防护涂料
	西墙、北墙西侧	24cm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	西墙门洞	24cm 实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+2mmPb 铅板
	地板	土层
	机房大门	8mmPb、电动推拉（1 樘）
	控制室门	8mmPb、手动平开（1 樘）
	观察窗	8mmPb（1 套）
储源室 固废室	房间尺寸	储源室：约 3.03m ² （南北宽：1.3m、东西长：2.33m） 固废室：约 3.87m ² （南北宽 1.66m×东西长 2.33m）
	四周墙体	37cm 实心砖+5mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+4mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	储源室：10mmPb、手动平开（1 樘） 固废室：10mmPb、手动平开（2 樘）
注射室	房间尺寸	约 19.2m ² （东西长 5.76m×南北宽 3.33m）
	四周墙体	37cm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+4mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	15mmPb、手动平开（1 樘）

	注射窗	40mmPb（2套）
PET/MR 等候室 1 兼抢救室	房间尺寸	约 16.2m ² （东西长 4.2m×南北宽 3.86m）
	东墙、南墙	37cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	西墙	24cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	北墙	30cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	10mmPb、手动平开（1 樘）
PET/MR 等候室 2	房间尺寸	约 16.2m ² （东西长 4.2m×南北宽 3.86m）
	东墙、西墙	24cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	南墙	37cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	北墙	30cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	10mmPb、手动平开（1 樘）
ECT 等候室	房间尺寸	约 16.2m ² （东西长 4.2m×南北宽 3.86m）
	西墙、南墙	37cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	东墙	24cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	北墙	30cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	10mmPb、手动平开（1 樘）
留观室	房间尺寸	约 18.5m ² （东西长 5.15m×南北宽 3.6m）
	东墙、南墙	37cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	西墙、北墙	24cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层
	防护门	10mmPb、手动平开（1 樘）
污洗间	房间尺寸	约 2.7m ² （东西长 1.8m×南北宽 1.5m）
	北墙	30cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	南墙、东墙	24cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	西墙	37cm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板

	地板	土层
	防护门	10mmPb、手动平开（1 樘）
患者通道	防护门	8mmPb、手动双开（4 樘）
	顶棚	15cm 混凝土+6mmPb 铅板
	地板	土层

12.3.7 其它辐射安全措施

（1）电离辐射警告标志

控制区的出入口处，包括注射室、储源室、检查室、等候室、留观室等拟张贴符合GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

（2）闭门装置

为保证含铅防护门的屏蔽效果，控制区内的含铅防护门设置闭门器，确保防护门保持常闭状态，保证良好的防护效果。

（3）单向门禁及管理系统

单向门禁管理：医院拟在核医学工作场所的出入口设置视频监控系统和门禁系统。

（4）应急洗消和出入检测

该项目核医学工作场所设置了卫生通过间，内有紧急淋浴洗消区，出口处配备了专用的表面污染监测仪。

（5）建设单位拟给该项目配备监测仪器及防护用品，防护用品配备计划详见表 12-8，拟配备的监测仪器清单详见表 12-9。

表 12-8 工作场所防护用品配备计划

装置名称	数量	铅当量
钨合金防护罐	满足使用	50mmPb
防护运输盒	满足使用	20 mmPb 、 50 mmPb
PET 猫	满足使用	30 mmPb
PET 药剂运送箱	满足使用	--
注射防护窗	2	40mmPb
放射性废物桶	满足使用	5mmPb 、 20mmPb
钨合金注射器防护套	满足使用	>15 mmPb
铅注射器防护套	满足使用	5mmPb

储源铅罐	满足使用	40mmPb
铅屏风	4	6mmPb
个人防护用品	铅围裙、铅围脖、铅帽等	

表 12-9 配备的检测仪器一览表

名称	型号	数量
X-γ辐射监测仪	/	1
表面沾污监测仪	/	1
个人剂量报警仪	/	1
活度计	/	1
个人剂量计	/	根据实际辐射工作人员数量配备

12.4 环境影响分析

12.4.1 建设阶段对环境的影像

本次评价项目涉及到对原有建筑新墙体的彻筑、建筑装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对建设单位及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

（1）声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，其在现有建筑物内部完成，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

（2）环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

（3）水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施

工废水进行妥善处理，在工地适当位置设置简易沉砂池对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

（4）固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于研究院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使该项目施工对周围环境的影响降低到最小。

12.4.2 运行阶段对环境的影响分析

（1）运营期非密封放射性物质工作场所环境影响分析

建设项目拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 多种放射性核素开展放射诊疗项目。 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 产生的 β 射线和 ^{223}Ra 产生的 α 射线穿透能力弱易屏蔽，对其功能房间和防护门无特殊屏蔽要求，且注射 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 的患者没有在场所内停留，其余放射性核素均产生 γ 射线，SPECT/CT 运行时产生 X 射线，故本评价报告书对建设项目的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用场所及 SPECT/CT 屏蔽设施屏蔽效果进行评价。

因建设项目在进行运送、给药、储源等过程中均设计有辅助屏蔽设施，如注射防护装置、钨合金注射器防护套、防护运输盒、储源铅罐等，因此不再对注射室、固废室、储源室等功能用房进行屏蔽计算。

① 关注点的确定

综合考虑确保安全和人员可到达等因素，确定关注点位置。确定关注点的距离，关注点均为从辐射源到墙或门外表面 30cm 处、室顶外表面 30cm 处、下层 170cm 高的距离。因建设项目大多数辐射源为活动的，考虑到辐射防护最优化，患者活动区域取患者常居留位置作为辐射源位置。关注点示意图见图 12-6，其中红色标注关注点为同层控制区外位置，橙色标注关注点为同层控制区内位置，蓝色标注关注点为楼上控制区外对应区域。

PET/MR 检查室、SPECT/CT 检查室根据屏蔽材料、周围剂量当量率控制水平的不同，设置距辐射源较近的屏蔽体外的关注点（关注点 1、2、3、4、5、6、7）。

考虑等候室、留观室、注射位对周围环境的辐射影响，设置关注点（关注点 8、9、10、11、12、13、14、a）。

考虑患者在留观室留观与 ECT 等候室等候时，工作人员在注射为给患者注射药物时、工作人员为患者摆位时，放射性核素及用药后患者对周围环境的辐射影响，设置关注点（关注点 A、B、C、D）。

②屏蔽防护厚度计算公式及方法

因建设项目大多数辐射源为注射后患者，为非固定可移动的辐射源，考虑到辐射防护最优化，取患者常居留位置作为辐射源位置计算。按照《放射防护使用手册》（赵兰才，张丹枫）等资料计算公式：

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL} \quad \text{公式 12-1}$$

公式中：

H_R — 经屏蔽材料屏蔽后，关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A — 药物的放射性活度，MBq；

f — 核素的有效剂量率常数；

R — 关注点距辐射源距离，m；

x — 拟采用的屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层，mm。

辐射源活度参数取值

a.辐射源活度取值(A_0): PET 显像检查施用核素的活度(A_0): 建设项目 PET 显像检查拟使用多种正电子放射性核素，但各种正电子放射性核素产生的 γ 射线能量接近，综合考虑核素用量及半衰期影响，本评价报告书进行屏蔽评价时按照 ^{18}F 来进行计算。按照建设单位提供资料显示单个患者的 ^{18}F -FDG 最大用药量取 370MBq， ^{11}C 最大用量为 555MBq。考虑 ^{18}F 、 ^{11}C 时间衰变，计算时对其活度进行修正，检查区域取 0.83（偏保守估计，以候诊 30min 计算），留观室衰变修正因子取 0.73（偏保守估计，以检查 20min 计算）；PET/MR 等候室按 2 个 ^{11}C 受检者、PET/MR 检查室按 1 个 ^{18}F 受检者、留观室按 3 个 ^{18}F 受检者计算。

b.患者施用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度(A_0):SPECT/CT 检查室相关计算按单个患者的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大服药

量 925MBq/人考虑。

核素的有效剂量率常数见表 12-10， γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层见表 12-11。

表 12-10 核素的有效剂量率常数

核素名称	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq}$)	核素名称	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq}$)
$^{18}\text{F}/^{11}\text{C}$	注射前 0.143	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	患者体内 0.021
	患者体内：0.092		

表 12-11 放射性核素产生的 γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层

核素名称	什值层 (mm)		
	混凝土	铅	实心砖
$^{18}\text{F}/^{11}\text{C}$	176	16.6	263
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	110	1	160

③ 关注点剂量率计算结果

表 12-12 关注点处辐射水平估算结果一览表

关注点	辐射源项活度 (MBq)	屏蔽设施	屏蔽设计厚度	距离 (m)	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1 (控制室)	^{18}F : 307	PET/MR 检查室南墙	370mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	$d=3.7\text{m}$	0.03
2 (控制室)	^{18}F : 307	PET/CT 检查室观察窗	12mmPb 铅玻璃	$d=3.7\text{m}$	0.39
3 (控制室)	^{18}F : 307	PET/MR 检查室防护门	10mmPb 铅防护门	$d=3.7\text{m}$	0.39
4 (控制室)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	SPECT/CT 检查室防护门	8mmPb 铅防护门	$d=3.7\text{m}$	<0.01
5 (控制室)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	SPECT/CT 检查室观察窗	8mmPb 铅玻璃	$d=3.7\text{m}$	<0.01
6 (控制室)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	SPECT/CT 检查室南墙	370mm 实心砖+4mmPb 防护涂料	$d=3.7\text{m}$	<0.01
7 (步梯)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	SPECT/CT 检查室西墙	240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料	$d=4.5\text{m}$	<0.01
8 (接诊室)	^{11}C : 1110	PET/MR 等候室 1 东墙	370mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	$d=2.8\text{m}$	0.17

9（排风机房）	^{18}F : 810	留观室北墙	240mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	$d=1.7\text{m}$	1.04
10（室外过道）	^{18}F : 740	PET/MR 等候室 2 北墙	300mm 混凝土+8mmPb 防护涂料	$d=3.4\text{m}$	0.04
11（患者入口）	^{18}F : 740	患者入口 防护门	8mmPb	$d=3.7\text{m}$	1.64
12（通道）	^{18}F : 270	通道防护门	8mmPb	$d=4.5\text{m}$	0.41
13（排风机房）	^{18}F : 270	排风机房防护 门	10mmPb	$d=3.0\text{m}$	0.69
14（患者出口）	^{18}F : 270	患者出口防护 门	8mmPb	$d=2.0\text{m}$	2.05
a（体检中心 B 超检查室）	^{11}C : 1110	PET/MR 等候室 2 室顶	150mm 实心砖+6mmPb 铅板	$d=3.7\text{m}$	0.46
A（患者通道）	^{18}F : 810	留观室东墙	370mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	$d=4.2\text{m}$	0.05
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 1850	ECT 等候室	370mm 实心砖+8mmPb 防护涂料	$d=3.6\text{m}$	<0.01
B 注射位	^{18}F : 370	钨合金注射套+ 注射窗	60 mmPb	$d=0.5\text{m}$	0.05
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	铅注射器防护 套+ 注射窗	45 mmPb	$d=0.5\text{m}$	<0.01
C（PET/MR 诊断 床旁）	^{18}F : 307	/	/	$d=0.7\text{m}$	89.6
D（SPECT/CT 诊断床旁）	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	铅衣	0.5 mmPb	$d=0.7\text{m}$	12.5

由上表估算结果可知，实验室辐射工作场所控制区实体屏蔽体外关注点周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

④ CT 的屏蔽防护设计分析

建设项目 SPECT/CT 包含 CT 功能，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.2.2 要求“CT 机房屏蔽应不小于 2.5 mmPb ”。SPECT/CT 中的 CT 屏蔽防护评价见表 4-6。建设项目中 SPECT/CT 检查室满足 CT 对 X 射线防护的要求，本报告不考虑 X 射线在关注点的剂量贡献。该项目 SPECT/CT 的屏蔽防护情况详见表 12-13。

表 12-13 SPECT/CT 的屏蔽防护情况

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	标准要求	评价
SPECT/CT 检查室	北墙东侧、南墙	37cm 实心砖+4mmPb 防护涂料	不小于 2.5 mmPb	符合
	西墙、北墙西侧	24cm 混凝土+4mmPb 防护涂料		符合
	西墙门洞	24cm 实心砖+4mmPb 防护涂料		符合
	顶棚	15cm 混凝土+2mmPb 铅板		符合
	地板	土层		符合
	机房大门	8mmPb、电动推拉（1 樘）		符合
	控制室门	8mmPb、手动平开（1 樘）		符合
	观察窗	8mmPb（1 套）		符合

建设项目 SPECT/CT 检查室有效使用面积（46.8m²）及最小单边长度（6.0m）符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 CT 机房的相关要求（有效使用面积不小于 30m²，最小单边长度不小于 4.5m）。

⑤ 年有效剂量估算

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff} = \dot{k}_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \dots\dots\dots \text{公式 11-3}$$

式中： D_{Eff} —年有效剂量，Sv；

$\dot{k}_{\alpha}$ —辐射剂量率，Sv/h；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，全部居留 $T=1$ ，部分居留 $T=1/4$ ，偶尔居留 $T=1/16$ ；

U —使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取 1；

简化估算：1mGy 近似为 1mSv。

该项目不涉及核素的分装，偏保守考虑，放射性药物在医院核医学科会有存放、质检等简单操作流程，因此在此对可能涉及的细节均进行全面的考虑和分析。该项目医务人员可以借助辐射防护设施和个人防护用具屏蔽，达到降低受照剂量的目的。建设单位拟配备注射防护窗、注射器防护套、铅围裙等个人防护设施。

该项目 PET/MR 显像使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga ，综合考虑这几种核素的 γ 射线能量、患者数量及最大用量后，保守考虑以 ^{18}F 为代表进行计算。全年 PET 检查人数总量为 4250 人。每次注射用时 30s,身体与注射器的距离为 0.5m。患者在接受药物注射后进入等候室候诊约 30min，再进入 PET/MR 检查室进行检查，由摆位技师穿戴个人防护用品进行辅助摆位用时约 30s，PET 扫描约 20min,检查过程中，操作人员通过观察窗监控机房内患者情况。

SPECT/CT 显像检查每年患者数量为 5000 人，每次注射用时 30s,身体与注射器的距离为 0.5m。患者在接受药物注射后进入等候室候诊约 30min，再进入 SPECT/CT 检查室进行检查，由摆位技师穿戴个人防护用品进行辅助摆位用时约 30s，PET 扫描约 20min,检查过程中，操作人员通过观察窗监控机房内患者情况。

该项目人员个人剂量估算见表 12-14。

表 12-14 何善衡楼人员剂量估算表

关注对象			年工作时间（h）/人	辐射剂量率 （μGy/h）	居留 因子	年有效 剂量(mSv)	
辐射工 作人员	PET 注射工 作人员		17.7h（每次 30s，每年 4250 次，由两人轮岗）	0.05	1	<0.01	
	ECT 注射工 作人员		20.83h（每次 30s，每年 5000 次，由两人轮岗）	<0.01	1	<0.01	
	PET 操 作摆 位人 员	操作	708.33h（每次 20min， 每年 4250 次，由两人轮 岗）	0.39	1	0.28	1.87
		摆位	17.71h（每次 30s，每年 4250 次，由两人轮岗）	89.6	1	1.59	
	ECT 操作 及摆 位人 员	操作	1666.66h（每次 20min， 每年 5000 次）	<0.01	1	0.02	0.54
		摆位	41.66h（每次 30s，每年 5000 次）	12.5	1	0.52	
公众人员			2000h(每日工作 8h， 一年工作 250 天)	2.05（患者出口）	1/40	0.1	

根据表 12-14 的估算结果可知，该项目建成后拟由 5 名辐射工作人员操作，则辐射工

作人员年有效剂量最大值为 1.87mSv，公众年有效剂量最大值为 0.1mSv。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值和公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足该项目提出的对职业人员年有限剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求。

建设单位在项目正式开展时可，根据工作需要可增加辐射工作人员的数量，通过轮换操作减少个人的工作负荷达到进一步降低个人有效剂量的目的。

⑥ 校准源环境影像分析

用于图片质量校准和系统质控的放射源均属于V类源，一般情况下放射源储存在储源室的 4cm 厚的铅罐内，仅校正或质控时，从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源一般两年左右更换一次，退役后交由原生产厂家回收，使用场所在 PET/MR 机房内。 ^{68}Ge 的半衰期为 277 天，衰变时发出的 γ 射线主要能量为 0.511MeV。处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的设备机房内，且校准时，放射源需放置在设备自带屏蔽内部，对周围环境影响可忽略不计。

12.4.3 放射性废物环境影响分析

（1）放射性废气

为实现辐射工作场所良好的通风环境，医院对场所设计了给排风系统。控制区内设有 2 条与监督区相独立的排风管道。排风管道包括：1 条核素显像区控制内高活区管道（注射室、固废室、储源室）；1 条为 SPECT/CT 检查室、PET/MR 检查室及设备间、PET/MR 等候室 1-2、ECT 等候室、留观室及卫生间、污物室、准备室等功能用房管道，其中 PET/MR 设备间装有空调内机，因此接入控制区管道且设计了止回阀。各排风口处拟设置止回阀，保持一定负压，风向从低活性区→高活性区→排出，首层上屋面接口处设计有活性炭。监督区设有 1 条排风管道，包括：后勤通道、控制室、办公室、治疗室、接诊室、护士注射室、MR 机房及控制室、医患卫生间。3 条排风管道立管沿外墙上屋面高空排放。符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的相关要求。非密封源工作区域的放射性废气排放管道设计详见附图十三。

（2）放射性固体废物

① 该项目运行过程中产生废弃的 ^{68}Ge 密封源由供货单位直接更换回收，建设单位拟在购入密封源时，与供应商签订废旧源回收协议。

② 根据建设单位提供的资料，该项目 PET 显像检查每年接诊 4250 人次，SPECT 显像检查每年接诊 5000 人次，骨转移癌治疗每年接诊 1250 人次，因此该项目核医学科计划每年共接诊 10500 人次。放射性固废量以 0.02kg/人次计，故该项目每年最多产生放射性固体废物 210kg。放射性药物注射过程中将产生少量受放射性污染的固体废物，如一次性注射器、留置针、一次性手套、吸水纸、棉签等带微量放射性同位素的固体废弃物。针对该部分污染物，建设单位设置了固废室，并配备放射性废物桶，明确了屏蔽厚度、用途及数量满足使用需求的 20mmPb 放射性废物桶、5mmPb 放射性废物桶，用于存放建设项目产生的固态放射性废物。产生的放射性固体废物先置于专用铅制放射性废物桶内，容器内放置塑料袋，对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。产生的废物在废物间的废物桶内静置衰变，注明核素种类、转入时间；放射性固废的产生日期、存放日期和去向应做好记录并对记录做好保存。放射性废物储存 10 个以上半衰期经监测符合清洁解控水平后按非放射性废物处理。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg，且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.04 Bq/cm² 和 0.4Bq/cm²。经分析，上述措施能够满足相关标准要求和项目运行期放射性废物的处理需求。

（3）放射性废水

建设项目使用核素包括： ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re ，骨转移癌注射 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 患者均是门诊式，完成注射即离开核医学科，骨转移癌患者不产生废水，PET 显像且 PET 显像的每日最大给药活度为 $0.76 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，最长半衰期为 ^{18}F ：1.83h，SPECT 显像每日最大给药活度为 $1.85 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，半衰期为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ：6.02h，因此以 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 作为放射性废水排放计算依据。根据建设单位提供的资料，该项目 PET 显像检查每年接诊 4250 人次，SPECT 显像检查每年接诊 5000 人次，放射性废水产生量以 10L/人次计，考虑到放射性核素操作人员的洗消用水每年预计产生 5000L，则每年预计产生 97500L(97.5 m³)。

衰变池位置：衰变池为下沉式设计，设在建设项目北侧，与用药后患者出口相距约 10m。衰变池周围为电梯井、泵房及土层。衰变池结构：设有 3 个串联衰变池。衰变池

每格容积分别约为 4.1m³（A 池）、4.1m³（B 池）、6.2m³（C 池），容积共约 14.4m³，每格衰变池配有铸铁检修盖，衰变池为钢筋混凝土结构（池顶壁厚 250mm、四周池壁为 300mm），内部共用池壁厚度为 120mm 实心砖，衰变池四周池壁和池底坚固、耐酸碱耐腐蚀和无渗透性，有防泄漏措施。衰变池剖面图、平面图见图 12-7、图 12-8。

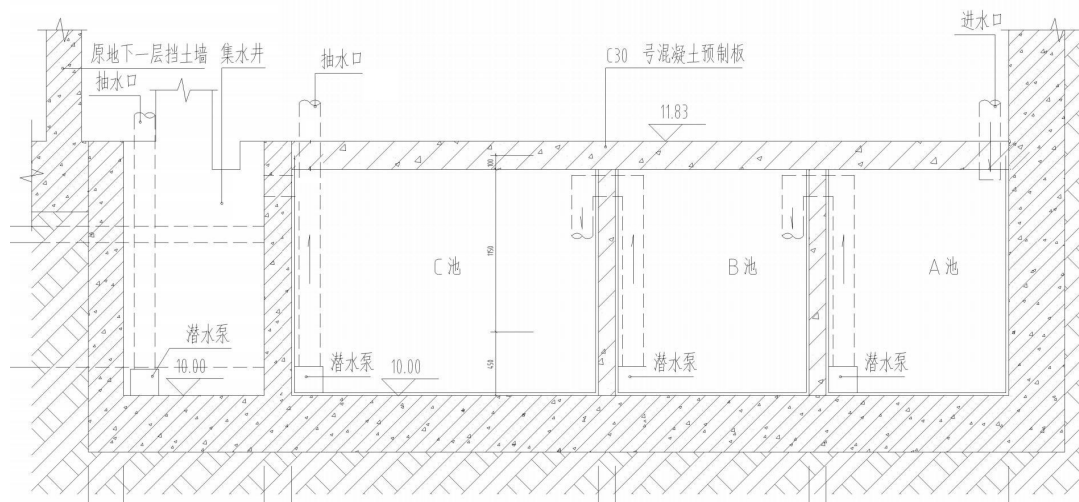


图 12-7 该项目衰变池剖面图

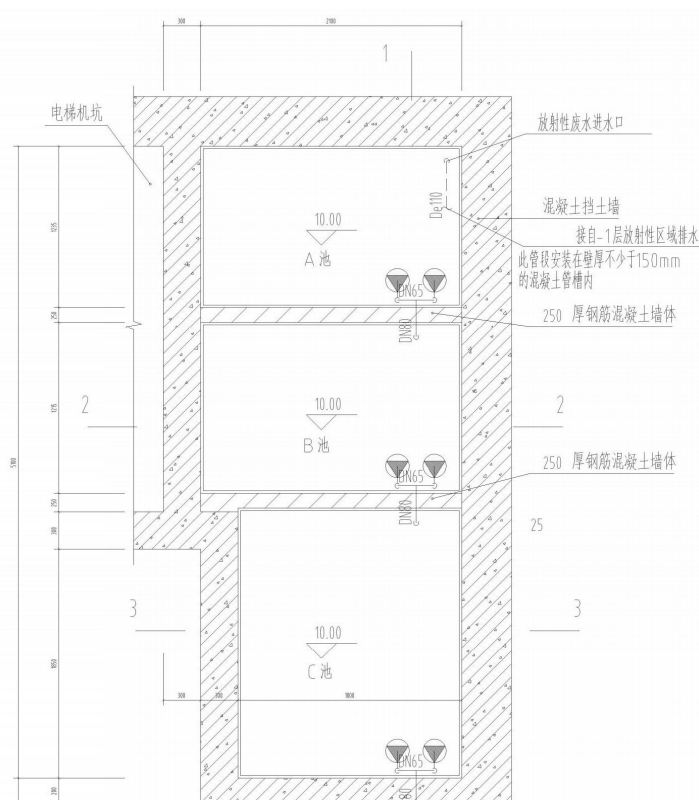


图 12-8 该项目衰变池平面图

衰变池工作原理：衰变池为三级串联衰变池，为电脑自动控制抽水，核医学科将放射

性废水排至 A 池，待 A 池达到高液位，放射性废物抽至 B 池，待 B 池达到高液位，放射性废水抽至 C 池，待 A 池再次达到高液位后由潜水泵将 C 池的废水抽至东侧化粪池，如此往复循环。

放射性废水收集途径包括：淋浴、注射室洗手盆、PET/MR 等候室卫生间、污物间。放射性废水经废水管道采用 150mm 混凝土管道通过工作场所北侧接入衰变池集水井。该项目核医学科放射性废水管道走详见附图十四。

根据建设单位提供的资料，按照核素显像检查最多每天 40 人，每天 2 名核素注射人员，每人用水 10L； ^{99m}Tc 半衰期 6.02h，则放射性废水需存放约 3 天（10 个半衰期）后方可排出衰变池作为计算周期，则每个计算周期放射性废水排放量约为 1.26m^3 。由以上分析可知，建设项目衰变池为三级串联衰变池，满足建设项目放射性废水储存 10 个半衰期的需求。

注满单个衰变池至少需要 3.3 天，三个衰变池注满情况下，C 池将要排放的放射性废水保守储存了 6.5 天，该项目核医学科 ^{99m}Tc ，每日最多 20 人，每日最大给药活度为 $9.25 \times 10^8 \times 20 \text{ Bq} = 1.85 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ，保守估算，放射性废水储存 6.5 天后，单次排放衰变池的放射性活度为 $1.85 \times 10^{10} \times 3.3 \times e^{-(0.693 \times 6.5 \times 24 / 6.02)} \text{ Bq} = 969.47 \text{ Bq}$ ；排放时的浓度为 $969.47 / (42 \times 10 \times 6.5) \text{ Bq/L} = 0.36 \text{ Bq/L}$ 。

查《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B1.3.1 的表 B3 可知，对于 ^{18}F 、 ^{99m}Tc ，辐射工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值为 $7.8 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$ ，建设单位辐射工作人员的年剂量限值为 5mSv，则建设单位的年摄入量限值：

$$ALI_{min} = 5\text{mSv} / 7.8 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq} = 6.41 \times 10^7 \text{ Bq}。$$

由上述计算结果可知单次放量低于 $1ALI_{min}$ （ $6.41 \times 10^7 \text{ Bq}$ ），月排放量低于 $10ALI_{min}$ （ $6.41 \times 10^8 \text{ Bq}$ ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。单次排放的浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中要求的综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值：总 $\alpha < 1 \text{ Bq/L}$ ，总 $\beta < 10 \text{ Bq/L}$ 。

12.4.4 事故影响分析

该项目新建非密封放射性工作场所级别为乙级，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触放射性同位素造成永久性损伤。在意外情况下，也

有可能出现辐射事故。主要事故风险为：

（1）在取放射性药物及注射等过程中，由于职业人员违规操作、误操作，引起放射性药物倾洒，造成的放射性表面污染。

（2）由于管理不善，发生放射性药物或者放射源失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

（3）放射性固体废物未经足够的时间衰变进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（4）职业人员未按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。

针对以上可能发生的事故风险，应分别做出以下防范措施：

（1）医院须制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生，发生事故后，应及时用棉布或者吸水纸等擦拭，擦拭物收集放到放射性废物衰变箱中。

（2）医院须制定完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素及放射源的领取、使用登记工作，确保放射源和放射性药物的安全。

（3）医院须加强放射性废物的管理，做好登记记录，对于分装标记室、等房间储存的放射性固废在其衰变箱外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录，经充分衰变达到解控水平后方可按照免管固废处置。

（4）医院须要求职业人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前，在进行配制和注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩，必要时佩戴防护眼镜，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

表 13 DSA 介入手术项目辐射环境影响评价

13.1 项目工程分析与源项

13.1.1 工程设备和工艺分析

1、DSA 工作原理及设备组成

DSA 装置主要是利用影像增强器将透过已衰减的未造影图像的 X 线信号增强，再用高分辨率的摄像机对增强后的图像作一系列扫描，得到的各种不同的信息经模拟/数字转换器转换成不同值的数字储存于记忆盘中，称作蒙片。然后将注入造影剂后的造影区的透视影像也转换成数字，并减去蒙片的数字，将剩余的数字经数/模转换成各种不同的灰度级，在显示器上构成图像，即成为除去了注射造影剂前透视图像上所见到的骨骼和软组织影像，剩下的只是清晰的含有造影剂的纯血管影像。主要用于心脏和大血管检查，对全身各部位血管畸形、血管瘤、血管狭窄、闭塞或发育异常以及肿瘤的血供和染色情况的诊断有独特作用，另外还被广泛应用于介入放射领域，并为介入放射学的飞快发展提供了广阔的前景。

DSA 主要由机架、导管床、高压发生器、X 线球管、影像增强器、电视摄像系统、影像数字处理系统、图像显示和外部数据存储等部分组成。产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高电压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚焦成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击，高电压加在 X 射线球管的两极之间，供电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。常见 DSA 的设备外观图见图 13-1、DSA 装置工作原理流程见图 13-2。

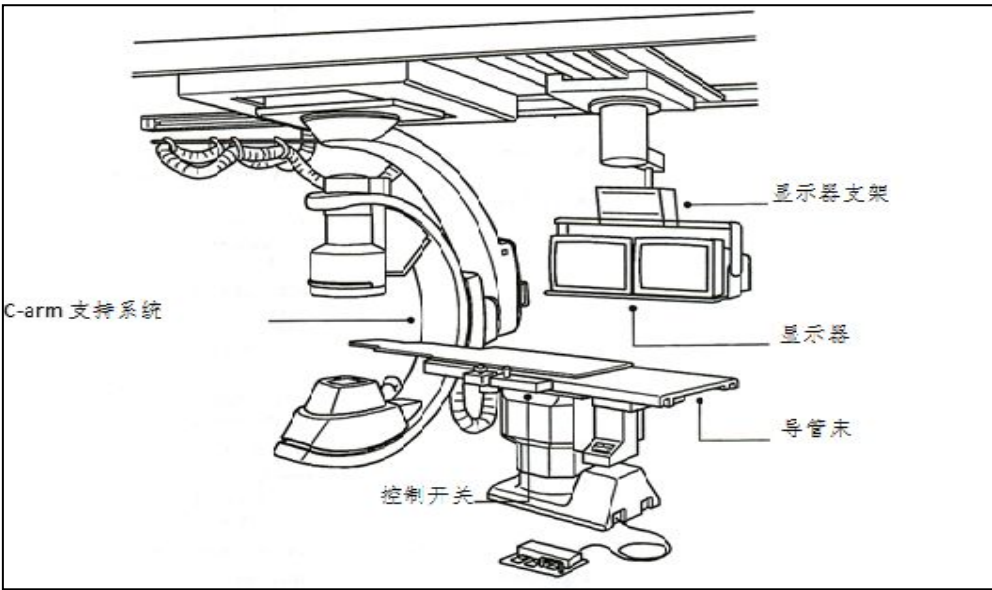


图 13-1 常见 DSA 装置整体外观示意图

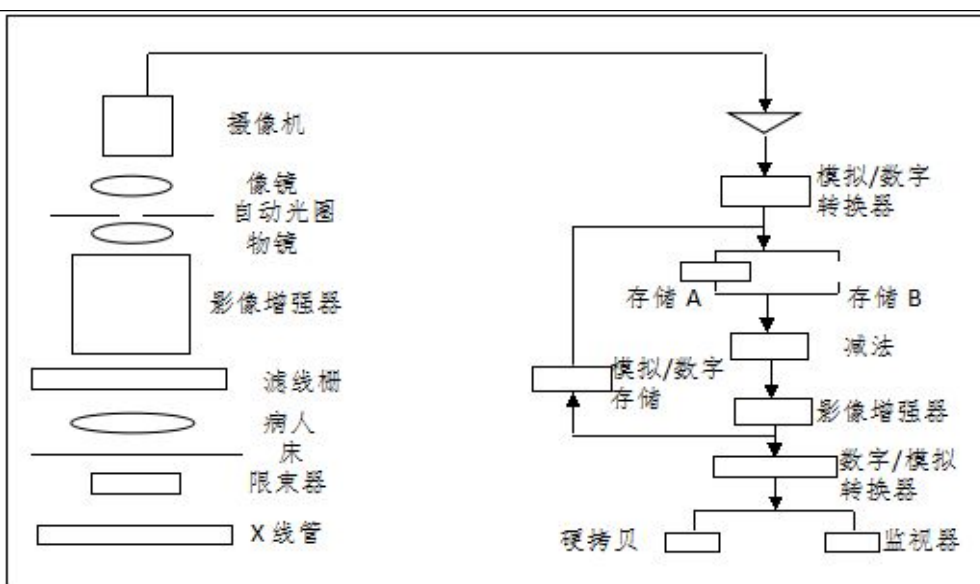


图 13-2 DSA 工作原理示意图

本次项目 DSA 主要用于介入手术治疗，包含心血管介入、外周介入和神经介入三大手术类，心血管介入手术的透视平均时间比其他类型介入手术时间长。DSA 介入手术特点是同时具备透射和摄影两种曝光模式。

透射模式：进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作，属于同室操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

摄影模式：操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

2、DSA 介入手术操作流程及产污环节

（1）操作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

（2）产物环节

DSA 曝光时，主要污染因子为 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。DSA 介入手术的工作流程及产污环节示意图见图 13-3。

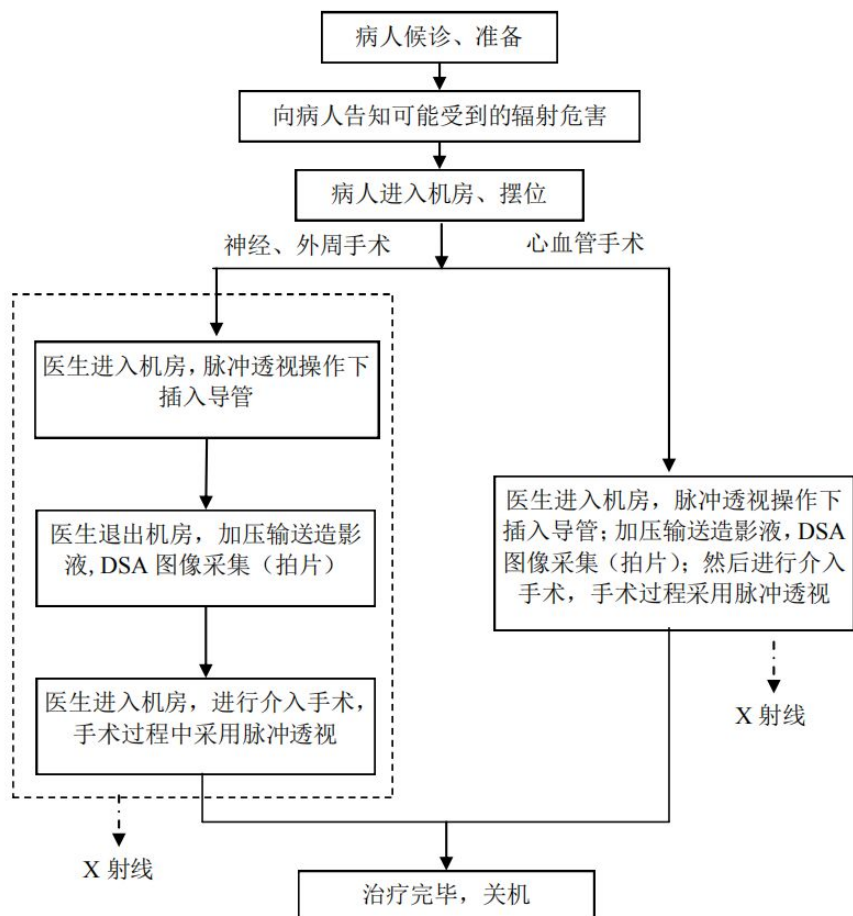


图 13-3 DSA 介入手术工作流程及产污环节示意图

3、DSA-CT-MRI 复合手术工作原理简介

该项目拟在医学综合楼二层手术中心建设 1 间 DSA-CT-MRI 复合手术室。复合手术主要是针对跨学科手术，在 DSA-CT-MRI 复合手术室内完成 CT 检查、MRI 检查和介入手术。在这间手术室里，CT 机通过轨道可自由滑行至手术床旁，待患者 CT 检查完成之后，CT 马上通过轨道滑走；当患者需要术中 MRI 成像时，具备多角度复杂摆位功能的移动手术床，迅速将患者精确-卡位至固定的 MRI 旁边；完成 CT、MRI、手术床的移动仅不足一分钟时间，能为重症手术患者的抢救争取宝贵的黄金窗时间。手术中如果有需要运用 CT、MRI 检查定位的，影像设备将优先供应手术室，如果手术室空置或者进行简单的手术操作时，CT 和 MRI 检查间则可单独隔开，开放给急诊患者做检查。在复合手术期间 DSA 与 CT 不同时出束。

4、DSA-CT-MRI 复合手术的操作流程及产污环节

DSA-CT-MRI 复合手术时，MRI 不属于射线装置，当运用 DSA 和 CT 时有两种情况，两种情况的操作流程如下：

(1) 先进行介入手术，后进行 CT 扫描

病人准备，确定介入治疗方法，病人先进入 DSA 手术室，DSA 开机进行介入手术（透射和摄影两种模式，透射模式时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作，摄影模式时操作人员采取隔室操作的方式）。完成介入手术后 DSA 关机，打开 DSA 手术室与 CT 机房间的移动隔断门，把 CT 机房中 CT 通过导轨移动至 DSA 手术室内进行消融手术或者使用 CT 确定治疗效果，将移动隔断门关闭，CT 开机，录入信息，病人摆位，进行曝光，然后关机。工作流程及产污环节示意图见图 13-4。

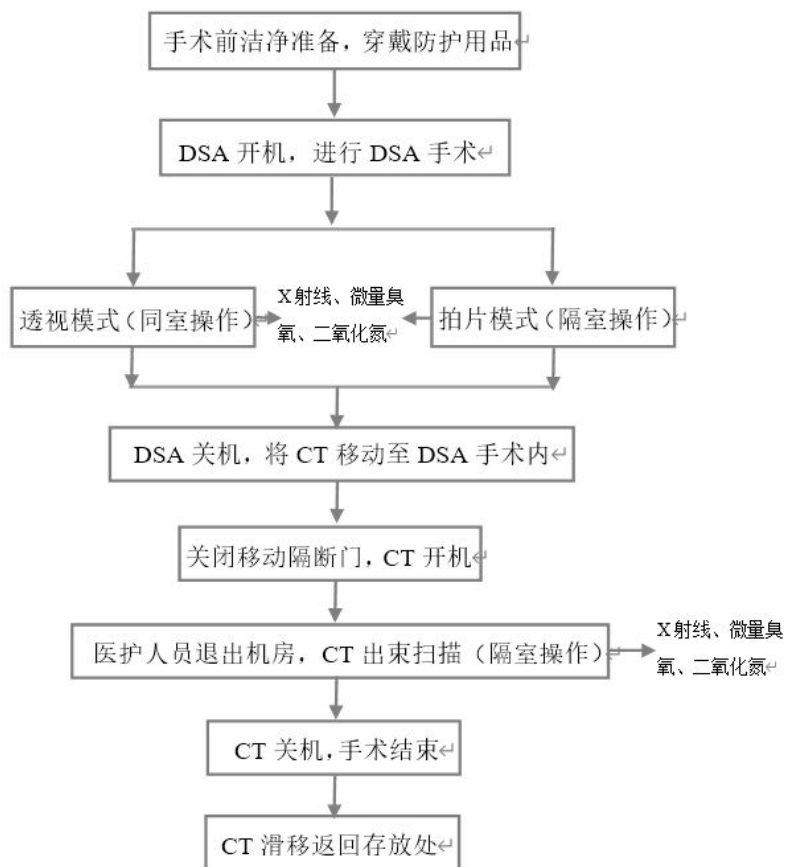


图 13-4 DSA-CT 复合手术工作流程及产污环节示意图（方法 1）

(2) 先进行 CT 扫描定位，在进行介入手术

病人准备，确定介入治疗方法，把 CT 机房中 CT 通过导轨移动至 DSA 手术室内，将移动隔断门关闭，CT 开机，录入信息，病人摆位，进行曝光，然后 CT 关机。DSA 开机进行介入手术 DSA 开机进行介入手术（透射和摄影两种模式，透射模式时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作，摄影模式时操作人员采取隔室操作的方式）。工作流程及产污环节示意图见图 13-5。

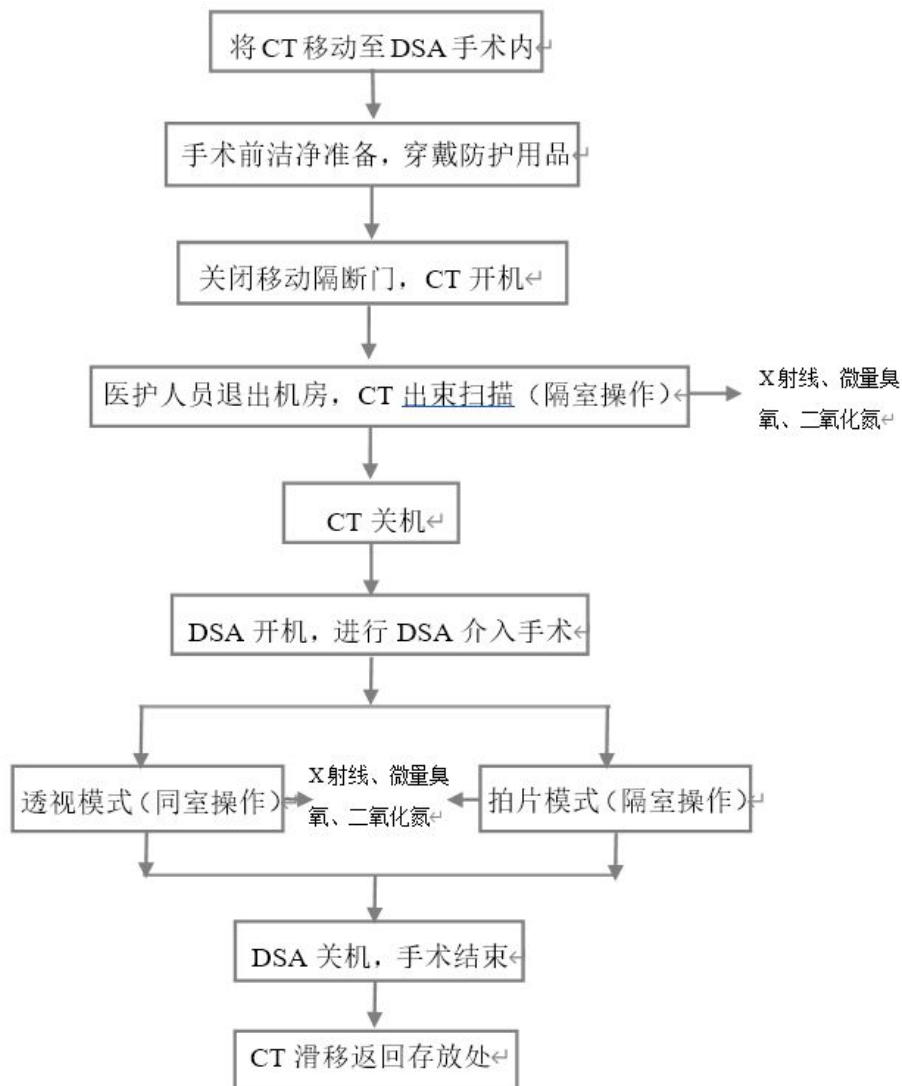


图 13-5 DSA-CT 复合手术工作流程及产污环节示意图（方法 2）

3、工作负荷及人员配置计划

医院开展介入治疗工作多年，医院现有介入手术室的辐射工作人员一百多人。建设项目今后将由医院相关科室现有放射工作人员操作管理，原有辐射工作人员在医学综合楼建设完成后将陆续停止原有的辐射工作并转移至新场所相应的辐射岗位工作，在之后的工作中医院会根据需要逐步新增辐射工作人员，因此，该项目辐射工作人员受照剂量预测分析时不考虑叠加原有场所工作受到的剂量。

13.1.2 污染源项描述

1、正常工况

DSA 装置正常运行时产生的主要污染源项为 X 射线，X 射线随着射线装置的开关而产生和消失。X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的

有用射线；有 X 射线管防护套泄漏出来的漏射射线；从 X 射线管窗口射出的有用射线经过散射体（探测器、受检者体表、机房墙体、摆放的器具等）后产生的散射线。

除此之外，DSA 装置运行中可能产生非放射性有害气体二氧化氮（NO₂）和臭氧（O₃）等非辐射有害因素。在 X 射线辐射源的照射下，空气吸收辐射能量并通过电离离子的作用可产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，机房设置排风装置，可以最大限度降低有害气体的浓度。

2、事故工况

在使用 X 射线装置进行放射诊断时，人员误入机房引起误照射；工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离诊断机房，X 射线装置运行可能产生误照射。

13.2 辐射安全与防护

13.2.1 项目安全设施

1、工作场所分区管理

对辐射工作场所进行分区管理，设立监督区和控制区。如图 13-6 和图 13-7 所示，DSA 机房为控制区，机房四周边界及防护门外 30cm 区域为监督区。

控制区管理：除了手术患者以及进行手术操作的医生和助手，禁止其他的任何人进入此区域。

监督区管理：监督区区域需用黄色警戒线画出，提醒无关人员进入，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，定期检查监督区辐射水平。

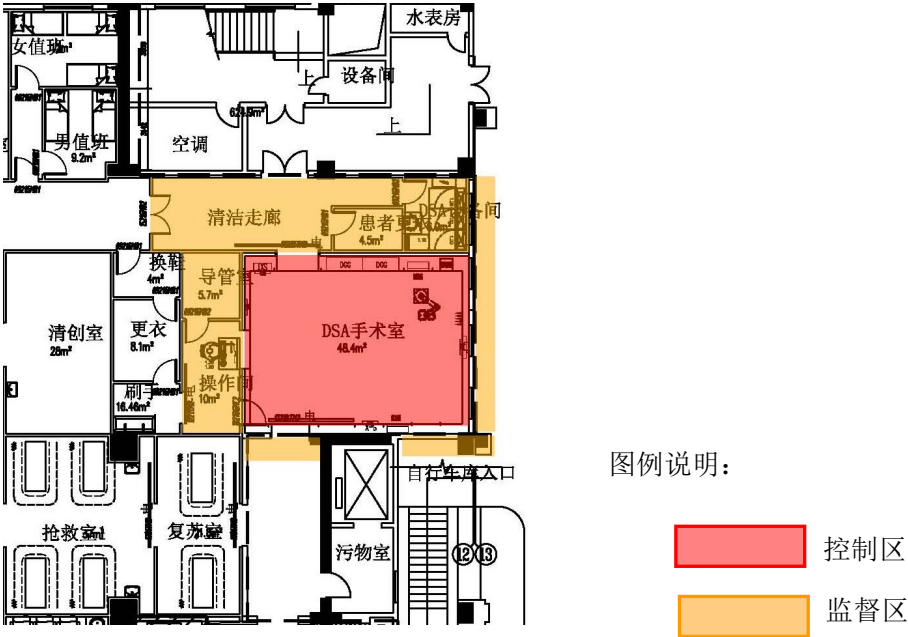


图 13-6 门急诊大楼一层 DSA 手术室两区划分图



图例说明： 控制区 监督区

图 13-7 医学综合楼二层介入中心两区划分图

2、辐射防护措施

依据建设单位提供的设计方案，现将 DSA 机房的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度要求对本次评价项目的实际施工规格对照分析，结果见表 13-1、表 13-2。

表 13-1 医学综合楼介入中心 DSA 机房拟屏蔽厚度及评价表

机房名称	屏蔽体	拟设屏蔽厚度	等效屏蔽厚度	标准要求	评价
DSA1 室 -DSA4 室	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料	4mmPb	不小于 2.0mmPb	符合
	上楼板	20cm 混凝土+2mmPb 铅板	4mmPb		符合
	下楼板	20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料	4mmPb		符合
	铅玻璃窗	3mmPb 铅玻璃	3mmPb		符合
	机房大门（电动） 控制室门（手动）	3mmPb 铅防护门	3mmPb		符合
DSA-CT-MRI 复合 手术室	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料	4mmPb	不小于 2.5mmPb	符合
	上楼板	20cm 混凝土+2mmPb 铅板	4mmPb		符合
	下楼板	20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料	4mmPb		符合
	铅玻璃窗（2 樘）	3mmPb 铅玻璃	3mmPb		符合
	机房大门（电动 3 樘）控制室门（手 动 3 樘）	3mmPb 铅防护门	3mmPb		符合

备注：1、DSA-CT-MRI 复合手术室防护只涉及 DSA、CT 所在区域；

2、DSA 机房屏蔽防护要求 $\geq 2.0\text{mmPb}$ 、CT 机房屏蔽防护要求 $\geq 2.5\text{mmPb}$ ，因此以机房屏蔽防护 $\geq 2.5\text{mmPb}$ 要求 DSA-CT-MRI 复合手术室。

表 13-2 门急诊大楼 DSA 机房拟屏蔽厚度及评价表

机房名称	屏蔽防护体	原有屏蔽	屏蔽防护设计厚度	等效铅当量	标准要求	评价
DSA 机房	北墙、西墙	/	方钢龙骨+4mmPb 铅板	4mmPb	2mmPb	符合
	东墙	大楼外墙	方钢龙骨+3mmPb 铅板	3mmPb	2mmPb	符合
	南墙	电梯及楼梯间隔墙	方钢龙骨+3mmPb 铅板	3mmPb	2mmPb	符合
	下楼板	12cm 混凝土	3mmPb 铅板	3mmPb	2mmPb	符合
	上楼板	12cm 混凝土	3mmPb 防护涂料	3mmPb	2mmPb	符合
	防护门（3 扇）	3mmPb	3mmPb	3mmPb	2mmPb	符合
	观察窗	3mmPb	3mmPb	3mmPb	2mmPb	符合

注：1、由于原有屏蔽施体施工年代较早，无法保证其防护效果，屏蔽防护设计时不考虑原有屏蔽体的防护作用。

2、铅密度 $\geq 11.34\text{t/m}^3$

表 13-3 DSA 机房规格与标准要求对照表

机房名称	规格	最小有效使用面积/最小单边长度	标准要求		评价
			最小有效使用面积	最小单边长	
门急诊大楼一层 DSA 手术室	8.2m×5.9m	48.4m ² /5.9m	20m ²	3.5m	符合
医学综合楼介入中心 DSA1 室	7.1m×6.22m	44.2m ² /6.22m	20m ²	3.5m	符合
医学综合楼介入中心 DSA2 室	7.6m×6.22m	47.3m ² /6.22m	20m ²	3.5m	符合
医学综合楼介入中心 DSA3 室	7.2m×6.22m	44.8m ² /6.22m	20m ²	3.5m	符合
医学综合楼介入中心 DSA4 室	8.62m×5.36m	46.2m ² /5.36m	20m ²	3.5m	符合
DSA-CT-MRI 复合手术室(CT 机房)	6.66m×5.4m	36m ² /5.4m	30m ²	4.5m	符合
DSA-CT-MRI 复合手术 (DSA 机房)	6.66m×9.7m	64.6m ² /6.66m	30m ²	4.5m	符合
注：DSA 机房最小有效使用面积要求为 20m ² ，最小单边长度要求 3.5m；CT 机房最小有效使用面积要求为 30m ² ，最小单边变长度要求 4.5m，因此要求 DSA-CT-MRI 复合手术室最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m。					

通过以上对照分析，本次评价项目的 DSA 机房和 CT 机房的面积、最小单边长度均大于标准要求，本次评价项目的四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上、楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的各机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

3、其他防护措施

（1）机房防护门上设置电离辐射警示标识；防护门设置闭门装置，上方均设置工作状态指示灯，防护门与工作状态指示灯能有效联动；

（2）工作场所张贴辐射防护注意事项；

（3）机房大门设置闭门装置（电动闭门装置、手动闭门装置）；

（4）电动门拟设置防夹装置；

（3）本项目各机房均拟设排风装置，各机房排风口位置见图 13-8 和图 13-9，排风管道穿墙位置，采用铅皮包裹。本项目拟采用的动力排风系统能够保证机房内良好通风，符

合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

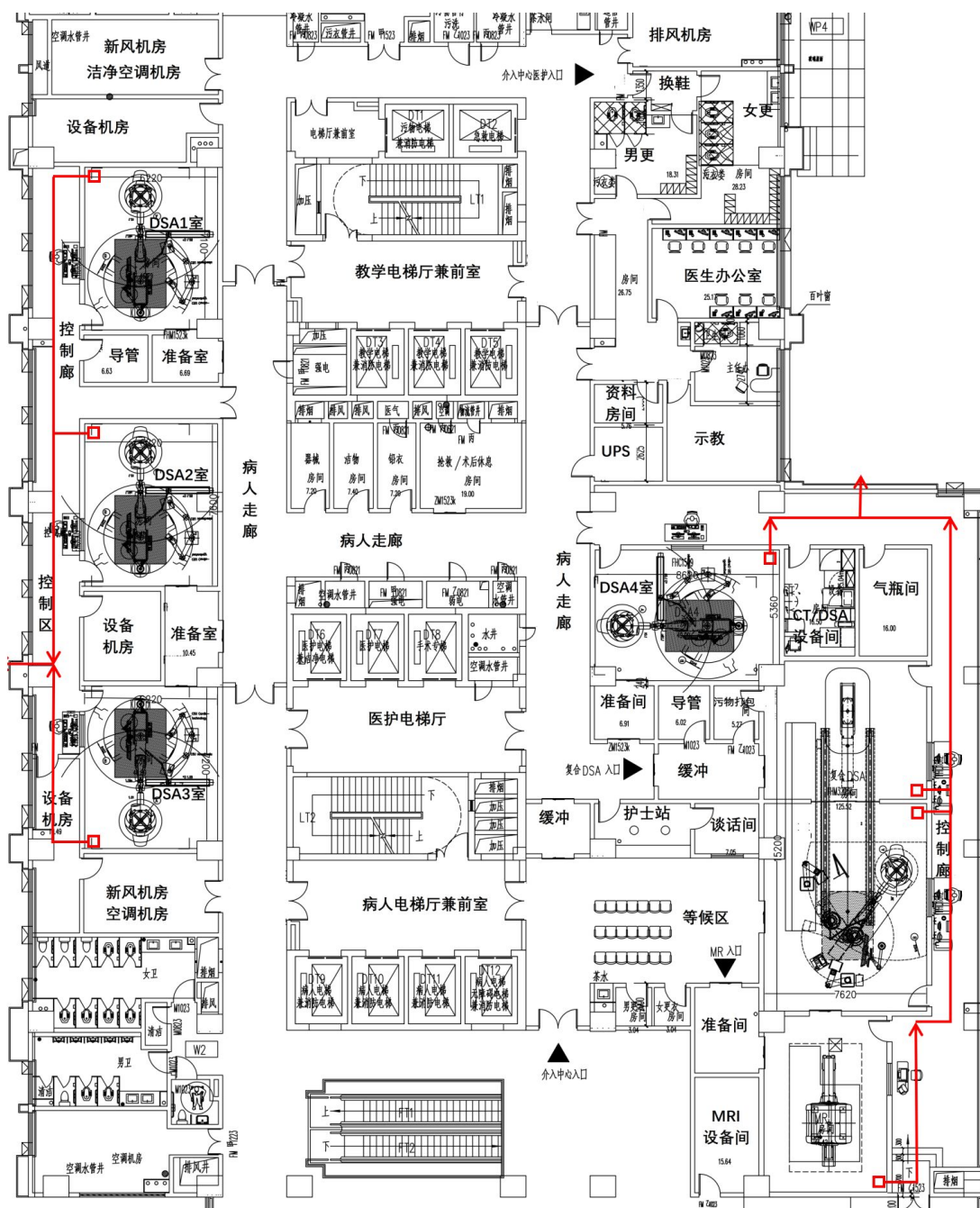


图 13-8 医学综合楼二层介入中心机房排风图

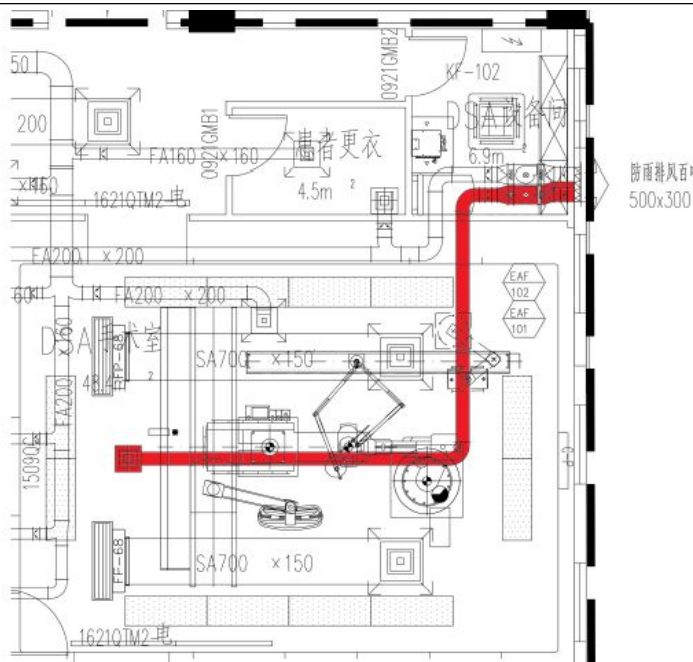


图 13-9 门急诊大楼一层 DSA 机房排风管道布置

（4）电缆管线屏蔽补偿措施：DSA 机房的地沟线槽为埋地设计，尺寸为 290mm 宽、350mm 深，穿墙设计为地下直穿，洞口采用 8mm 的可活动钢盖板进行覆盖。

4、个人防护措施

建设单位拟为本项目 DSA 介入手术室项目配备了个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜以及铅橡胶手套等（详见表 13-4）。在辐射工作中应做好个人的放射防护，以达到辐射防护的目的。

表 13-4 拟配备的个人防护用品及辅助设施与标准要求对照一览表

机房	标准要求			拟配备情况		评价
	防护用品/辅助设施	适用人群	铅当量 mmPb	铅当量 mmPb	数量 件/套	
每间 DSA 机房(含 DSA-CT-MRI 复合 手术室)	成人铅橡胶颈套	患者	≥0.25	0.35	1	符合
	成人铅橡胶帽子			0.35	1	
	成人性腺防护方巾		≥0.5	0.5	1	
	儿童铅橡胶颈套			0.5	1	
	儿童铅橡胶帽子			0.5	1	
	儿童性腺防护方巾			0.5	1	
	成人铅橡胶帽子	工作人员	≥0.25	0.5	≥3	符合
	成人铅橡胶颈套			0.5	≥3	
	成人铅衣			0.5	≥3	
	铅橡胶手套（选配）			0.35	≥3	
	铅防护眼镜			0.5	≥3	

	铅悬挂防护屏			0.5	≥3	
	铅防护吊帘			0.5	≥3	
	床侧防护帘			0.5	1	
	床侧防护屏			0.5	1	
	移动铅屏风（选配）			0.5	1	
	介入防护手套			0.025	≥3	

13.2.2三废的治理

本次评价项目的辐射源均是 X 射线发生装置，接通电源时，X 射线发生装置产生 X 射线；断开电源时，X 射线消失。DSA 运行时无其它放射性废气、废水和固体废弃物产生。DSA 是在显示屏上观察显像结果或采用数字化打印显像诊断结果，不会产生含有重金属银的废显影水、废定影水。在 X 射线辐射源的照射下，空气吸收辐射能量并通过电离离子的作用可能会产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。建设单位拟在 DSA 机房配备一台排风装置，机房内微量臭氧通过排风装置排出机房，以保持良好通风，可以最大限度降低有害气体的浓度。

13.3 建设阶段对环境的影响

本次评价 DSA 手术室项目涉及到新墙体的彻筑、建筑装修、设备安装等，在建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

1.声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，其在现有建筑物内部完成，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

2.环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运和装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土施工结束后即可恢复。

3.水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

4.固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

13.4 运行阶段对环境的影响

1.DSA 机房防护屏蔽分析

本次评价的 DSA 属于II类射线装置，以《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求为准，对机房与标准进行对比分析，具体见表 13-1、表 13-2。机房四面墙体、顶棚、观察窗、防护门等防护参数均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对相应 X 射线机房的防护设施技术要求。由此推断，本项目各 DSA 机房屏蔽体外 30cm 处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求（在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。

2.个人剂量分析

DSA 机房外人员剂量分析

为进一步估计 DSA 机房建成后对机房周围的影响，从结合实际出发，本项目采用类比的方法进行分析，选择佛山市禅城区中心医院使用的一台 DSA 的相关数据进行类比分析。

佛山市禅城区中心医院使用的 DSA，1 年总手术量约为 1000 台，介入手术医生年最大工作量为 300 台。本项目共使用 6 台 DSA，项目投入使用后，预计每台 DSA 介入手术工作量为 500 台，介入手术医生年最大工作量为 300 台。DSA-CT-MRI 复合手术年手术量不超过 300 台。DSA 的基本参数、机房的屏蔽设计和 DSA 技术参数对比见表 13-5。

表 13-5 评价项目与类比项目机房的防护设施参数类比分析一览表

	设备型号	设备参数	机房面积	年工作 量(台)	个人最 大年手 术量(台)	机房辐射防护屏蔽	个人防 护措施
类比项目	西门子 Artis zee III ceiling DSA	125kV 1000mA	34.8m ²	1000	300	四周墙体：180mm 砖墙+2mmpb 的防护涂料（约 3.5mmpn） 地板：无地下室 顶棚：100mm 混凝土+2mmpb 硫酸钡护涂料（约 3mmpb） 防护门：3mmPb 观察窗：3mmPb	穿戴 0.5mmPb 的铅衣、铅帽等防护用品
医学综合楼介入中心 DSA 机房	待定	125kV 1250mA	DSA1： 44.2 m ² DSA2： 47.3 m ² DSA3： 44.8m ² DSA4： 46.2m ²	500	300	四周墙体：24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料（约 4.0mmp） 地板：20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 4mmpb） 顶棚：20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 4mmpb） 防护门：3mmPb 观察窗：3mmPb	穿戴 0.5 mmPb 的铅衣、铅帽等防护用品
医学综合楼介入中心 DSA-CT-MRI 复合手术室	待定	125kV 1250mA	DSA-CT-MRI 复合手术室	300	300	四周墙体：24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料（约 4.0mmp） 地板：20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 4mmpb） 顶棚：20cm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 4mmpb） 防护门：3mmPb 观察窗：3mmPb	穿戴 0.5 mmPb 的铅衣、铅帽等防护用品
门急诊大楼 DSA 机房	待定	125kV 1250mA	48.4m ²	500	300	四周墙体：3mmPb 铅板 地板：150mm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 3.8mmpb） 顶棚：150mm 混凝土+2mmPb 防护涂料（约 3.8mmpb） 防护门：3mmPb 观察窗：3mmPb	穿戴 0.5 mmPb 的铅衣、铅帽等防护用品

从表 13-5 可看出，（1）评价项目的最大管电压和类比项目相同，最大管电流略高于类比项目；（2）本项目机房的面积比类比项目大；（3）本项目机房四周墙体、防护门和防护窗的防护屏蔽与类比项目相当；（4）评价项目 DSA 预估手术量比类比项目低，手术医生个人最大年手术量与类比项目相当。综合机房的屏蔽防护措施，以及手术类型考虑以佛山市禅城区中心医院的 DSA 的相关数据进行类比分析是可行的。

广州南方医大医疗设备综合检测有限责任于 2018 年 8 月 27 日对佛山市禅城区中心医

院的DSA手术室进行监测,辐射环境现场监测数据如下,报告编号 181002-BGDSAR18033,见附件 6。

类比项目 DSA 运行时现场检测的测量结果见表 13-6，类比项目检测报告见附件 7。

表 13-6 类比项目 DSA 运行时机房外 X-γ辐射剂量率测量结果

三、机房外辐射水平检测结果

- 1. 检测仪器：DM-01 型 X-γ 剂量率仪
- 2. 检测时间：2018 年 8 月 27 日
- 3、 检测因子：X-γ 辐射剂量率

检测点	检测位置	检测结果（μGy/h）	
		摄影状态 100kV； 200mA； 300ms	透视状态 81kV； 43.9mA
1	控制室防护门（上）	0.140	0.054
2	控制室防护门（下）	0.131	0.044
3	控制室防护门（左）	0.306	0.122
4	控制室防护门（中）	0.121	0.086
5	控制室防护门（右）	0.218	0.102
6	电缆沟 1	0.030	0.029
7	控制室防护墙（左）	0.036	0.030
8	控制室操作位	0.009	0.007
9	观察窗（上）	0.095	0.039
10	观察窗（下）	0.076	0.026
11	观察窗（左）	0.055	0.015
12	观察窗（中）	0.048	0.026
13	观察窗（右）	0.046	0.020
14	控制室防护墙右	0.047	0.031
15	手术室大门（上）	0.062	0.049
16	手术室大门（下）	0.045	0.027

17	手术室大门（左）	0.050	0.032
18	手术室大门（中）	0.047	0.010
19	手术室大门（右）	0.068	0.031
20	洁净走廊 1	0.074	0.044
21	侧门（上）	0.062	0.034
22	侧门（下）	0.073	0.026
23	侧门（左）	0.051	0.019
24	侧门（中）	0.043	0.036
25	侧门（右）	0.095	0.055
26	走廊（1）（左）	0.158	0.059
27	走廊（1）（右）	0.166	0.064
28	走廊（2）（左）	0.142	0.046
29	走廊（2）（右）	0.131	0.041
30	配电箱 1	0.116	0.090
31	配电箱 2	0.073	0.066
32	设备间	0.064	0.024
33	电缆沟 2	0.242	0.117
34	洁净走廊 2	0.052	0.047
35	2 楼	0.210	0.014

注：以上剂量率检测结果均已扣除本底 0.198μGy/h。

从类比项目现场测数据可见，DSA 手术室在实际使用过程中，机房外周围剂量当量率最大值为 0.306μGy/h，对于该项目本底监测主要辐射因子为 γ 射线和 X 射线，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），光子的辐射权重因子 WR=1，当量剂量跟吸收剂量在数值上是相等的，即 1Sv 数值上等于 1Gy。此测量数据与环境本底相当，因此可以判断在保证评价项目的设计方案正常实施的情况下，机房的周围剂量当量率应与类比项目相当，也不超过 GBZ130-2020 “周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h”的要求。

由于评价项目 DSA 机房防护屏蔽情况整体优于类比项目，因此可进一步预测评价项目 DSA 正常运行时机房各处防护性能满足机房屏蔽体外表面 0.3m 处的辐射剂量率不大于 2.5μSv /h。

根据医院提供的实际工作负荷，DSA 运行后每年工作量约为 500 台手术，手术医生单人最大年工作量不超过 300 台。具体情况如表 13-7。

表 13-7 本建设项目 DSA 不同工作模式下的年工作时间情况

工作模式	每台手术曝光时间	设备年最大工作时间
DSA 摄影	按 3min 计算	25h
DSA 透视	约 30min	250h

根据上表中的工作负荷情况，结合类比 DSA 机房外防护监测数据（取最大测量值 0.306μSv/h 作为估算依据），机房外公众人员的时间居留因子取 1/4，控制室的职业工作人员的时间居留因子取 1。机房外人员辐射剂量按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式计算：

$$H = D_R \ T \ t \ 10^{-3} \dots\dots\dots (13-1)$$

式中：

H—X 射线外照射人均有效剂量当量，mSv；

D_r—X 射线辐射剂量率，μSv/h；

T—居留因子；

t—X 射线年照射时间，h/a；

经上式计算可得 DSA 机房外职业工作人员（技师）年有效剂量为 0.08mSv，DSA 机房外公众人员年有效剂量为 0.02mSv，由此可知 DSA 机房外职业工作人员以及公众人员所受年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量限值的要求，也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值（即职业工作人员的年有效剂量不超过 5 mSv，公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv）。

机房内介入手术人员个人剂量分析

由于医生需要在机房内进行手术，离辐射源最近，受照剂量最大，因此将医生的工作岗位作为关注的重点。为综合预测 DSA 在摄影工作模式和透视模式下对介入手术操作人员的辐射影响，本评价项目选取本医院心导管室介入手术医生的个人剂量监测数据进行类比分析。医院心导管室的 DSA 额定条件与本项目相当，每年每个医生手术量，介入医生

手术时佩戴铅衣、铅围裙等个人防护用品与本项目相当，因此类比可行。类比医院心导管室 DSA 介入手术医生最近 4 个季度个人剂量监测数据见表 13-8。

表 13-8 类比项目 DSA 介入手术医生个人剂量监测数据（mSv）

序号	姓名		第 1 季度	第 2 季度	第 3 季度	第 4 季度	年剂量
1		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
2		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
3		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
4		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
5		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
6		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
7		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
8		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
9		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
10		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
11		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
12		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
13		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
14		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
15	内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	

		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
16		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
17		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
18		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
19		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
20		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
21		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
22		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
23		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
24		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
25		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
26		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
27		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
28		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
29		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
30		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
31		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	
32		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	

		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
33		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
34		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
35		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
36		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
37		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
38		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
39		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
40		内	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12
		外	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12

由表 13-8 可知，该院介入手术医生护士中年最大铅衣内受照剂量为 0.12mSv/a，年最大铅衣外受照剂量为 0.12mSv/a。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于工作人员穿戴铅围裙的情况，按照以下公式进行估算有效剂量：

$$E=\alpha H_u+\beta H_o$$

E--有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）；

α--系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u--铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 Hp(10)，单位为毫希沃特（mSv）；

β--系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_o--铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 Hp(10)，单位为毫希沃特（mSv）。

因此该类比项目介入手术工作人员年最大有效剂量为 0.101mSv，因此可推断：本项目运行期间，DSA 介入手术工作人员只要在严格按照设备操作规程操作，正确穿戴防护用品的情况下，是能够本项目提出的工作人员剂量约束值（5mSv/a）的要求。

辐射工作人员手部皮肤当量剂量估算

考虑到 DSA 介入手术时,医生手术时一般无法佩戴手套,因此在进行个人剂量估算 之外,本次评价还对 DSA 工作人员皮肤当量剂量进行理论计算估算。医生介入手术过程,手部受照剂量主要来源于病人体表散射和设备漏射辐射。

病人体表散射屏蔽估算采用《辐射防护手册》(第一分册) P437 中的公式计算:

$$X_{ws} = \frac{X_0}{(d_0)^2(d_r)^2} WUT\alpha s f$$

式中:

X_{ws} —散射照射量, R/周;

X_0 —距离 X 射线球管 1m 处的照射量率, R/mA·min; 查《辐射防护手册》(第一分册)图 4.4c,X 射线过滤材料为 0.5mm 铜,管电流 70kV 时, $X_0=0.06R/mA \cdot min$;

W—周工作负荷, mA·min/周; 本项目手术医生每人每周约 10 例, 每例曝光时间为 30min, 透视管电压为 70kV, 管电流为 7mA; 则 $W=2100mA \cdot min/周$;

U—利用因子, 保守取 1;

T—居留因子, 取 1;

α —患者对 X 射线的散射比; 根据《辐射防护手册》(第一分册)表 10.1 查表取 $\alpha=0.0013$, $\alpha=0.0013/400$;

s—散射面积, cm^2 , 取 $100cm^2$;

d_0 —X 射线球管与病人的距离, 取 1m;

d_r —病人与预测点的距离, 取 0.5m;

f—减弱因子, 手部无防护, 取 1。

根据上述参数计算可得 $X_{ws}=0.164R/周$, 每年工作 50 周, 则年散射照射量为 8.2R, 因此散射辐射剂量约等于 71.4mGy/a。

泄漏辐射剂量估算:

根据《辐射防护手册》(第一分册), 只需知道泄漏辐射量即可利用点源辐射 进行计算, 各预测点的泄漏辐射剂量率可用下式进行计算。

$$X_{ws} = \frac{X_0}{(d_r)^2} WUTf$$

式中:

X_{ws} —漏射辐照射量，R/周；

X_0 —距离 X 射线球管 1m 处的照射量率，R/mA·min；取距离 X 射线球管 1m 处的有用线束剂量的 0.1%；则 $X_0=6\times 10^{-5}R/mA\cdot min$ ；

W—周工作负荷，mA·min/周；本项目手术医生每人每周约 10 例，每例曝光时间为 30min，透视管电压为 70kV，管电流为 7mA；则 $W=2100mA\cdot min/周$ ；

U—利用因子，保守取 1；

T—居留因子，取 1

d_r —病人与预测点的距离，取 0.5m；

f—减弱因子，手部无防护，取 1。

根据上述参数计算可得 $X_{ws}=0.5R/周$ ，每年工作 50 周，则年散射照射量为 25R，因此散射辐射剂量约等于 218mGy/a。

因此，手部受照剂量合计为 289.4mGy/a，保守估算（转换因子取 1），工作人员手部的年有效剂量为 289.4mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002）标准中关于工作人员手部年当量剂量限值要求（不超过 500mSv）。

13.5 DSA 手术防护管理要求

（1）提高辐射防护和诊疗技术水平，全面掌握辐射防护法规与技术知识。

（2）结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施，以减少受照剂量。

（3）缩小照射野：在满足影像采集质量和诊疗需要的前提下，尽量缩小照射野、调节透视脉冲频率至最低状态；

（4）缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线。

（5）充分利用各种防护器材：操作者穿戴铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜或铅面罩；；使用床下铅帘及悬吊铅帘；重大手术需要技师、护师或其他人员在机房内时，除佩戴上述物品，最好配有铅屏风，让上述人员在屏风后待命，并做好其他个人防护。

（6）必须佩带 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于防护用品内，置于铅围裙内腰部附近，1 枚佩戴于防护用品外，置于铅围裙外颈部附近，并且将内、外剂量计做明显标记（如以对鲜明的颜色进行区分等），防止内、外剂量计反戴的情况发生；

（7）严格开展介入手术医生的个人剂量监测，发现问题及时调查、整改。

另外，由于介入手术的特殊性，DSA 介入手术操作人员在为挽救他人生命的条件下，可能会因手术时间较长而使其受照剂量超过 5mSv/a 的情况，若发生此种情况，项目单位应根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2000）中“6.2.2 特殊情况的剂量控制”的相关要求，向审管部门提出正式申请，经审查认可后，方可进行例外的临时改变；未经审管部门认可，不得进行临时改变。

13.6 项目周围环境保护目标的辐射影响分析

综上 DSA 介入手术项目环境影响分析及 DSA 机房的辐射防护设计分析可知，机房建设的设计方案满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，根据剂量率与距离成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此在项目机房周围环境保护目标的剂量率更低，因此可预测项目周围环境保护目标的受照剂量均能够满足国家对相关职业人员和公众照射剂量的控制要求。

13.7 废气环境影响分析

X 射线装置运行产生 X 射线，空气在 X 射线辐射源的照射下，吸收辐射能量并通过电离离子的作用可产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。

DSA 射线装置产生的 X 射线能量较低，可能产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）的量非常少，且机房设置排风装置，可有效得排出废气，最大限度降低机房内有害气体的浓度，排出外环境的微量废气经过室外空气的稀释后，对环境的影响可忽略不计。

13.8 事故影响分析

DSA 属于 II 类射线装置，事故状态下可使受照人员产生较严重的放射损伤。设备开机时，手术医生与病人同处一室，且距 X 射线机的管头组装体较近。介入手术主要事故是因曝光时间较长，防护条件欠佳对医生和病人引起的超剂量照射，主要包括以下几个方面：

①在手术室使用 DSA 开展手术期间，人员误入介入手术室引起误照射，使用中发生故障导致受检人员超剂量照射，污染途径为外照射；

②操作手术的医生或护士未穿戴围脖、铅围裙、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射，当职业照射受照剂量超过剂量限值时，记录个人监测的剂量结果，并进一步进行调查原因；当放射工作人员的年有效剂量达到或者超过 20mSv 时，除了应记录个人剂量监测结果外，还应估算人员主要受照器官或者组织的当量剂量，必要时，需估算人

员的有效剂量，进行安全评价，查明原因，改进防护措施。

针对于医院此次评价项目的实际情况，X 射线诊断项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，操作曝光前应检查室内有无无关人员逗留，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

表 14 辐射安全管理

14.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用Ⅱ类和Ⅲ类射线装置、放射源、非密封放射性物质工作场所的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

中山大学附属第一医院已成立了辐射防护工作委员会，落实了机构的成员及其职责（详见附件 4）。并通过此机构进一步建立辐射安全责任书，落实安全责任，制订辐射防护措施等。加强辐射安全管理，制定放射诊疗设备的相关操作规程、辐射防护安全制度和放射事故应急处理预案，并负责组织开展放射事件的应急处理救援工作。

辐射防护工作委员会

主任委员：文卫平

委 员：文碧秀、伍 娟、朱庆棠、刘大钺、刘阳萍、杜志民、李子平、
李桂兰、杨建勇、邱湧涛、张祥松、陈 伟、陈 孝、陈 虹、
岳殿超、聂大红、温 杰、詹中兴、黎湛兴

技术顾问：程晓玫、王振宇、易 畅

秘 书：李宏行

14.2 辐射安全管理规章制度

根据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部 2008 第 3 号令），使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

本次评价项目为医院核技术利用扩建项目，医院针对原有的核技术应用项目，已制定了《中山大学附属第一医院放射/辐射安全与防护管理规定（试行）》、《关于印发<中山大学附属第一医院辐射事故处理应急预案>的通知》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《核医学科工作制度》、《放射性废物处理制度》、《放射性污染去污操作规程》、《ELEKTA Synergy 直线加速器操作规程》、《VARIAN NovalisTX 直线加速器操作规程》等一系列基本规章制度，并严格按照规章制度执行，至今未出现过辐射事

故。为加强对辐射安全与防护管理工作，医院成立了辐射安全与防护工作委员会，明确辐射防护责任，并加强对射线装置的监督和管理，同时医院积极落实原有核技术利用项目的环保手续，规范申报。

医院的辐射安全相关制度是依据相关法律法规的要求结合了医院本身实际情况制定的，内容上明确了辐射安全与防护工作委员会及相关科室、人员的工作职责，分工明确；辐射监测计划符合医院实际情况内容全面，辐射事故应急措施针对性强，可行性强。本次评价项目辐射安全相关制度沿用医院已制定的制度。投入运行后，建设单位应进一步完善辐射安全管理制度、辐射事故应急预案等相关制度。

目前建设单位制度的管理制度中，针对放疗科、核医学科、放射科项目的相关辐射安全制度较完善，从操作人员岗位责任，辐射防护和安全保卫，设备检修、放射设备的使用等方面分别做了明确要求和规定。同时制定了较为符合实际情况的、切实可行的辐射事故应急预案，保障了从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，同时保护了环境。

14.3 辐射工作人员培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 2019 年 第 57 号公告）新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名免费学习相关知识并参加考核。

医院 315 名辐射工作人员已经全部参加辐射安全与防护培训，目前本项目相关工作尚在筹备阶段，本项目工作人员将从医院现有辐射工作人员中调配。

医院应加强辐射安全管理，落实有关法律法规的要求，新的辐射工作人员，需要组织工作人员参加辐射安全与防护培训，确保所有辐射工作人员持证上岗。

14.4 辐射监测

根据《放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，医院须对使用射线装置、辐射工作场所及辐射从业人员开展辐射监测工作，以确保放射从业人员的职业健康，控制放射性物质的照射，保障环境安全，规范辐射工作防护管理。

1、竣工环境保护验收监测

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照本办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设

的环境保护设施与主体工程同时投产使用，并对验收内容、结论和所公开的信息真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

本次评价项目竣工后，建设单位应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，组织对配套建设的环境保护设施进行验收。验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

2、辐射工作人员个人剂量监测

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）的要求：

- 1) 辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（最长不超过 3 个月）送检；
- 2) 医院落实个人剂量监测制度，统一管理个人剂量计，避免出现工作人员剂量计丢失等现象，定期将个人剂量计送至委托单位检查。

3、日常自行监测

医院应该制定日常自行监测计划，定期对辐射工作场所进行监测，并将每次监测结果记录存档备查。日常监测计划内容见表 14-1。

医院每次监测后需保持监测记录并存档，设专人管理辐射设备监测档案，发现监测结果超过参考水平时需停止开展射线装置工作，展开相关调查并委托有相关资质单位的监测机构对机房的防护性能进行监测，如监测结果仍然超过参考水平，需及时进行防护整改，直到整改满足要求后，方可重新开展工作。

4、年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令 2011 年）的相关规定，使用射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。建设单位将严格执行表 14-1 中辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对医院的辐射工作场所进行监测。年度监测数据将作为本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，定期上报环保行政主管部门。

建设单位制定了辐射监测计划，包含竣工验收监测、个人剂量监测、日常监测、年度监测，建立辐射监测的台账管理制度，每次监测记录并存档，设专人管理辐射设备监测档案。监测制度比较完善，内容全面，符合国家法律法规文件的要求，满足本次核技

术项目开展的需要。项目开展后，需根据项目实践情况不断完善各项监测制度，确保本项目对周围环境造成的辐射影响处于可接受水平。

表 14-1 辐射监测计划

工作场所	监测类型	监测项目	监测因子	监测频率	参考水平	超标后处理方法	备注
负四层放疗科	年度监测	机房防护性能	X射线、中子	每年1次	GBZ/T201.2-2011 标准 4.2 中剂量控制要求	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求	委托监测
	验收监测	机房防护性能	X射线、中子	竣工验收			委托监测
	日常监测	机房防护性能	X射线、中子	至少每季度1次			自主监测
核医学科	年度监测	核医学科工作场所防护性能	X射线、 γ 射线	每年1次	控制区边界外 <2.5 μ Sv/h	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求	委托监测
		回旋加速器机房防护性能	γ 射线、中子		满足 GB18871-2002 中剂量限值要求		
		表面污染水平	β 表面污染		参考工作场所的放射性表面沾污控制水平	进行擦拭、清洗等方法直至符合标准	委托监测
	验收监测	核医学科工作场所防护性能	X射线、 γ 射线	竣工验收	控制区边界外 <2.5 μ Sv/h	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求	委托监测
		回旋加速器机房防护性能	γ 射线、中子		满足 GB18871-2002 中剂量限值要求		
		表面污染水平	β 表面污染		参考工作场所的放射性表面沾污控制水平	进行擦拭、清洗等方法直至符合标准	委托监测
	日常监测	核医学科工作场所防护性能	X射线、 γ 射线	至少每季度1次	控制区边界外 <2.5 μ Sv/h	及时查找原因, 进行整改直至监测符合要求	自主监测
		回旋加速器机房防护性能	γ 射线、中子	至少每季度1次	满足 GB18871-2002 中剂量限值要求		
		表面污染水平	β 表面污染	每次离开工作场所前	参考工作场所的放射性表面沾污控制水平	进行擦拭、清洗等方法直至符合标准	自主监测
	-	放射性废水	活度浓度	排放前	总 β 排放限值 10Bq/L, 放射核素活度参考导出剂量限值	在衰变池贮存直至排放符合要求	委托监测
	-	放射性废气	活度浓度	活性炭	参考导出剂量浓度	及时查找原因, 检查可能	委托监测

			度	更换前 后		超标的情况， 及时整改	
	-	放射性 固废	活度	处置前	参考清洁解控水平 值	及时将放射 性废物转移 至废物储存 室，对放射性 污物桶进行 擦拭清洁	委托 监测
DSA 机房	年度 监测	工作场所防护 性能	X 射线	每年 1 次	<2.5μSv/h	及时查找原 因，检查可能 超标的情况， 及时整改	委托 监测
	验收 监测	工作场所防护 性能	X 射线	竣工验 收			
	日常 监测	工作场所防护 性能	X 射线	至少每 季度 1 次			自主 监测
个人剂 量监测	-	个人剂量计	受照剂 量	至少每 季度 1 次	单季度超过 1.25mSv	调查原因，规 范管理	委托 监测

14.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规与，医院根据可能发生的辐射事故的风险，成立了突发辐射事故应急领导小组：

组 长：谢灿茂

副组长：何晓顺 周灿权 陈虹 周庆权

成 员：文碧秀 冉炜 冯崇锦 刘洪宁 刘大钺 匡铭 张祥松 李子平
杜志民 杨建勇 陈伟 陈孝 姜毓 钟庆文 黄芳英 彭丹心
彭玉峰 温杰 程思红 詹中兴 谭妙莲 黎湛星

秘书：聂大红 刘建明

领导小组下设办公室，设于疾病预防科

应急技术指导小组：

组 长：谢灿茂

副组长：杨建勇 廖晓星

组 员：文碧秀 王振宇 刘旭盛 张祥松 李子平 李娟 杜志民 陈伟
聂大红 詹红

应急电话：

疾病预防科：13924077210

保卫科：13922107022

辐射事故应急领导小组负责医院的放射事故应急管理工作。一旦发生辐射事故时，立刻启动辐射事故应急预案。当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取相应救助措施，妥善处理，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告。

根据对医院制定的《关于印发<中山大学附属第一医院辐射事故处理应急预案>的通知》，医院成立了应急领导小组，并明确了领导小组的职责，制定了发生辐射事故之后的应急处理措施，该应急预案切实可行。

表 15 结论与建议

15.1 结论 15.1.1 项目概况 医院本次核技术利用扩建项目是为了适应中山大学附属第一医院近年来的业务发展情况，满足不断增长的医疗卫生需求。医院计划在拟建医学综合楼地下四层建设放疗科并在其中安装 3 台直线加速器（最大电子线能量≤22MeV，最大 X 射线能量≤15MV），拟安装 2 台 CT 模拟定位机；在拟建医学综合楼地下一层建设回旋加速器放射性药物制备中心，并安装 1 台回旋加速器，拟生产 ^{18}F、^{68}Ga、^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{64}Cu 进行医学显像；在拟建医学综合楼地下一层建设核医学科，并在其中安装 2 台 PET/CT，拟利用 ^{18}F、^{68}Ga、^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{64}Cu 进行医学显像，拟配套使用 4 枚 ^{68}Ge 校准源（属于 V 类放射源），用于图像质控校正；拟在核医学科开展使用 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{188}Re 核素治疗骨转移癌项目；拟在何善衡楼负一层西侧空置区域建设核医科，建设项目所在何善衡楼地上共 9 层，地下共一层。拟新购 1 台 PET/MR、1 台 SPECT/CT（属 III 类射线装置）开展核素显像检查项目，使用核素 ^{18}F、^{11}C、^{68}Ga、$^{99\text{m}}\text{Tc}$；同时使用核素 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{188}Re 开展骨转移癌项目。拟在新建医学综合楼的二层建设 4 间 DSA 介入手术室和 1 间 DSA-CT-MRI 复合手术室，在每间手术室分别安装 1 台数字减影血管造影装置（简称“DSA”，型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属于 II 类射线装置）；拟将门诊急诊大楼首层急诊科急诊抢救区、手术室改建成 1 间 DSA 手术室及相关功能用房，在手术室内安装 1 台数字减影血管造影装置。 15.1.2 环境质量与辐射现状评价 本项目位于广东省广州市中山二路 58 号，拟建项目位置周围室内环境 γ 辐射监测值在 0.129~0.244$\mu\text{Gy/h}$ 之间，周围室外环境 γ 辐射监测值在 0.147~0.208$\mu\text{Gy/h}$，对照《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年）对广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究结果：广州地区的室内 γ 辐射剂量率水平为 0.05~0.17 $\mu\text{Gy/h}$，广州地区的道路 γ 辐射剂量率水平为 0.10~0.26$\mu\text{Gy/h}$。本评价项目建设区域周边的环境 γ 辐射空气比释动能率与本底相当。拟建项目位置周围环境均未检出中子辐射，扩建区域环境质量状况未见异常。 15.1.3 辐射安全与防护分析评价 (1) 工作场所布局与分区评价： 本建设项目射线装置、密封源均设有独立机房，并辐射工作场所进行分区管理，设立
--

监督区和控制区，分区布局合理。

本项目 2 个核医学辐射工作场所整体布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，场所设计满足放射性活度由高到低梯次布置，控制区内医护人员及病人均具有独立的出入口和通道，注射后病人有专用卫生间连接衰变池，辐射工作场所布局满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求，布局合理。

（2） 辐射安全措施评价：

本次评价项目射线装置、密封源均设有单独的机房，且机房的屏蔽设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）等技术标准的相关要求。

（3） 保护目标剂量：

按照建设单位给出的屏蔽设计方案，本评价项目的普通放射诊断项目射线装置机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对相应诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求，则可进一步得知本次评价的普通放射诊断项目射线装置正常运行对机房外环境的影响可满足人员受照剂量不超过剂量约束值的要求。

根据理论估算结果，本次放疗项目投入使用后各辐射工作人员年有效剂量的最大值为 0.833mSv，公众年有效剂量最大值为 0.0458mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值 and 公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有效剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求；医学综合楼核医学科回旋加速器及放射性药物制备项目投入使用后各辐射工作人员年有效剂量的最大值为 0.93mSv，公众年有效剂量最大值为 0.009mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值 and 公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有效剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求；医学综合楼核医学科放射性药物使用项目辐射工作人员的年有效剂量的最大值为 3.01mSv，对工作场所周围公众的年有效剂量最大值为 0.15mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值 and 公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有效剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求；何善衡楼核医学科放射性药物使用项目辐射工作人员的年有效剂量的最大值为 1.87mSv，

对工作场所周围公众的年有效剂量最大值为 0.1mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值 and 公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有效剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.25\text{mSv/a}$ 的要求；建议医院在核医学运行后采用轮班制，合理安排辐射工作人员的工作负荷，尽可能减少工作人员的受照剂量。本次 DSA 手术室项目投入使用后，辐射工作人员年有效剂量的最大值为 0.101mSv，公众年有效剂量最大值为 0.02mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量限值的要求，也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值（即职业工作人员的年有效剂量不超过 5 mSv，公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv）。DSA 手术医生手部的年有效剂量为 289.4mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002）标准中关于工作人员手部年当量剂量限值要求（不超过 500mSv）。

15.1.4 辐射安全管理评价

建设单位成立了辐射安全管理领导小组，落实了机构的成员及其职责并对本次核技术应用项目已制定了较完善的辐射安全管理相关制度，结合了本次项目情况制定了较为符合建设单位实际情况的、切实可行的辐射事故应急预案。制定了相关射线装置的操作规程，明确了相关科室及工作人员的岗位职责。综上所述，建设单位具有一定的辐射安全管理能力，基本符合《放射性同位素与射线装置安全管理办法》的相关要求。

15.1.5 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，该项目属于国家鼓励类的全科医疗服务、医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。

15.1.6 代价利益分析

本项目建成后具有良好的社会经济效益，其建设有利于快速提升广州市医疗服务能力和服务水平，可满足广州市日益增长的医疗保障需求，促进广州市医疗卫生事业发展，同时完善城市功能，为广州市的社会经济快速发展提供有力的民生保障。在落实本次评价提出的各项污染防治措施后其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

15.1.7 环境影响评价结论

综上所述，本次评价项目建设方案按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且落实本报告

提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，则本评价项目正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该建设评价项目可行。

15.2 建议与承诺

（1）建设单位如需增加辐射装置或对其使用功能进行调整，则应按法律法规要求向有关环保部门进行申报，并采取相应的污染治理措施，主动接受环保部门的监督管理。

（2）本次回旋加速器评价仅按照建设单位提供的三家意向购买设备厂商的设备参数进行评价估算，因此，后期如建设单位更改了购买设备的厂商及设备型号且设备的自屏蔽效果低于本次评价的三种型号设备，建设单位均需重新进行环境影响评价。

表 16 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公章 年 月 日

附件 1 辐射安全许可证



辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称： 中山大学附属第一医院

地 址： 广州市中山二路58号

法定代表人： 肖海鹏

种类和范围： 使用Ⅲ类、V类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

证书编号： 粤环辐证[01308]

有效期至： 2024 年 06月 11日



发证机关： 广东省生态环境厅

发证日期： 2020 年 06月 19日



中华人民共和国环境保护部制

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

中山大学附属第一医院			
单位名称	广州市中山二路58号		
地址	肖海鹏		
法定代表人	身份证	电话	
证件类型		号码	
涉源部门	名称	地址	负责人
	放射治疗科	广东省广州市越秀区中山二路58号放射治疗科5号楼负3层	陈勇
	放射科	广东省广州市越秀区中山二路58号放射科2号楼2层、3层、4层，5号楼负1层、1层，6号楼1层，妇产生殖中心1	李子平
	东院口腔科	广东省广州市黄埔区黄埔东路183号东院门诊楼5层	李翔
	东院麻醉科	广东省广州市黄埔区黄埔东路183号东院二号住院楼	莫利求
	肿瘤介入科	广东省广州市越秀区中山二路58号邱德根楼2层	李家平
	心导管室	广东省广州市越秀区中山二路58号8号楼1层	杜志民
种类和范围	使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。		
许可证条件			
证书编号	粤环辐证[01308]		
有效期至	2024年06月11日		
发证日期	2020年06月19日（发证机关章）		

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	中山大学附属第一医院		
地址	广州市中山二路58号		
法定代表人	肖海鹏	电话	
证件类型	身份证	号码	
涉源部门	名称	地址	负责人
	核医学科	广东省广州市越秀区中山二路58号4号楼负1层、1层，同位素楼1层	张祥松
	东院放射科	广东省广州市黄埔区黄埔东路183号东院一号住院楼1层	陈应明
	东院心内科	广东省广州市黄埔区黄埔东路183号东院心内科旧饭堂楼1楼	曾武涛
种类和范围	使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。		
许可证条件			
证书编号	粤环辐证[01308]		
有效期至	2024 年 06 月 11 日		
发证日期	2020 年 06 月 19 日（发证机关章）		



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	中山大学附属第一医院		
地址	广州市中山二路58号		
法定代表人	肖海鹏	电话	██████████
证件类型	身份证	号码	██████████
涉源部门	名称	地址	负责人
	口腔科	广东省广州市越秀区中山二路58号1号楼7层	杨军英
	北校区门诊部	广东省广州市越秀区中山二路74号中山大学北校区门诊部1层	黄芳英
	内镜中心	广东省广州市越秀区中山二路58号2号楼6层	崔毅
	手术室	广东省广州市越秀区中山二路58号5号楼4、5层，1号楼8层	陈凌武
	检验科放免实验室	广东省广州市越秀区中山二路58号同位素楼2层	刘敏
	放射介入科	广东省广州市越秀区中山二路58号2号楼5层	庄文权
种类和范围	使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。		
许可证条件			
证书编号	粤环辐证[01308]		
有效期至	2024 年 06 月 11 日		
发证日期	2020 年 06 月 19 日（发证机关章）		



辐射工作单位须知

一、本证由发证机关填写，禁止伪造、变造、转让。

二、单位名称、地址、法定代表人变更时，须办理证书变更手续；改变许可证规定的活动种类或者范围及新建或者改建、扩建生产、销售、使用设施或者场所的，需重新申领许可证；证书注销时，应交回原发证机关注销。

三、本证应妥善保管，防止遗失、损坏。发生遗失的，应当及时到所在地省级报刊上刊登遗失公告，并持公告到原发证机关申请补发。

四、原发证机关有权对违反国家法律、法规的辐射工作单位吊销本证。

(一) 放射源

证书编号:

粤环辐证[01308]

262

活动种类和范围

(二) 非密封放射性物质

证书编号: 粤环辐证[01308]

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	活动种类
1	中山二路58号核医学科	乙级	Tl-201	7.4E+6	4.4E+10	使用
2	中山二路58号核医学科	乙级	Tc-99m	7.4E+8	1.2E+13	使用
3	中山二路58号核医学科	乙级	P-32	3.7E+6	9.25E+9	使用
4	中山二路58号核医学科	乙级	O-15	1.85E+9	1.6E+12	使用
5	中山二路58号核医学科	乙级	N-13	2.22E+9	2.0E+12	使用
6	中山二路58号核医学科	乙级	Lu-177	7.4E+7	3.7E+11	使用
7	中山二路58号核医学科	乙级	I-131	3.7E+8	2.2E+12	使用
8	中山二路58号核医学科	乙级	I-131	7.4E+8	1.85E+12	使用
9	肿瘤介入科	丙级	I-125	5.18E+6	1.24E+12	使用
10	中山二路58号检验科	丙级	I-125	2.96E+6	5.55E+8	使用
11	中山二路58号核医学科	乙级	Ga-68	7.4E+7	1.85E+12	使用
12	中山二路58号核医学科	乙级	F-18	1.4E+9	1.4E+13	使用
13	中山二路58号核医学科	乙级	C-11	1.0E+9	1.1E+12	使用
	以下空白					

活动种类和范围

(三) 射线装置

证书编号: 粤环辐证[01308]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医科达 synergy 医用电子直线加速器	II类	1	使用
2	医科达 Infinity 医用电子直线加速器	II类	1	使用
3	西门子Siemena DR YSIO DR机	III类	1	使用
4	西门子SOMATOM Force CT机	III类	1	使用
5	西门子Axiom Aristos TX DR机	III类	1	使用
6	西门子Artis zee floor DSA机	II类	1	使用
7	西门子Artis Zeego DSA机	II类	1	使用
8	西门子ARCADIS Varic移动C臂机	III类	1	使用
9	西门子 Siemens SymbiaT2 SPECT/CT机	III类	1	使用
10	西门子 MAMMOMAT Inspiration乳腺机	III类	1	使用
11	西门子 ARCADIS Orbic 3D移动C臂机	III类	1	使用
12	万东TURBOTOM 1600 CT机	III类	1	使用
13	瓦里安Novalis TX 医用电子直线加速器	II类	1	使用
14	日立EXAVISTA 胃肠机	III类	1	使用
15	日立 DHF-105CX 移动C臂机	III类	1	使用
16	奇目 Ziehm Vision移动C臂机	III类	2	使用
17	南京普爱PLX2200 透视X光机	III类	1	使用
18	柯尼卡美能达 AeroDR C50 DR机	III类	1	使用

活动种类和范围

(三) 射线装置

证书编号: 粤环辐证[01308]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
19	卡瓦i-CAT FLX CBCT	III类	1	使用
20	卡瓦OC200D 口腔全景机	III类	1	使用
21	卡瓦 FOCUS 牙片机	III类	1	使用
22	卡尔蔡司 INTRABEAM PRS 500 术中放疗机	II类	1	使用
23	佳能Aquilion64 TSX-101A CT机	III类	1	使用
24	飞利浦Easy Diagnost Eleva 胃肠机	III类	1	使用
25	飞利浦Digital Diagnost DR机	III类	3	使用
26	飞利浦Digital Diagnost DR机	III类	1	使用
27	飞利浦BV LIBRA 移动C臂机	III类	2	使用
28	飞利浦Allura Xper FD20 DSA机	II类	2	使用
29	飞利浦 IQon spectral CT机	III类	2	使用
30	飞利浦 Gemini GXL 16 PET/CT机	III类	1	使用
31	飞利浦 BrillianceCT BigBore 模拟定位机	III类	1	使用
32	东芝RADREX5 DR机	III类	1	使用
33	东芝IME-100L 床边机	III类	5	使用
34	东芝Aquilion TSX-101A CT机	III类	1	使用
35	东芝Aquilion PRIME TSX-302A CT机	III类	1	使用
36	东芝Aquilion One TSX-301C CT机	III类	1	使用

(三) 射线装置

证书编号

~~以下空白~~

台帐明细登记

(一) 放射源

证书编号: 国环辐证[015087]

序号	核素	出厂日期	出厂活度 (Bq)	标号	编码	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
									来源	去向		
1	Na-22	20180831	9.2E+5	BM07022-L1824-101	US8NA000675	V	刻度/校准源	中山二路58号 4号楼1楼 核医学科	上海茂源同德素 技术有限公司		王磊	2020.8.11
2	IR-192	20200519	3.7E+11	D85E 9940	US8NA000343	II	刻度/校准源	中山二路58号 5号楼负1楼 放射科	成都默森福源科技有限公司			2020.5.11
3	Na-22	20080501	9.2E+5	US8NA000015	US8NA000015	V	刻度/校准源	中山二路58号 4号楼1楼 核医学科	上海茂源同德素 技术有限公司			
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		
									来源	去向		

附件 2 辐射工作人员的培训情况表

姓 名	岗 位	证书编号	发证日期
王锦萍	专业技术岗位	粤辐防协第 A190721 号	2019 年 6 月 12 日
何永芹	专业技术岗位	粤辐防协第 A190722 号	2019 年 6 月 12 日
杨群	专业技术岗位	粤辐防协第 A190723 号	2019 年 6 月 12 日
杨宝娜	专业技术岗位	粤辐防协第 A190724 号	2019 年 6 月 12 日
李叶青	专业技术岗位	粤辐防协第 A190725 号	2019 年 6 月 12 日
邢世会	专业技术岗位	粤辐防协第 A190726 号	2019 年 6 月 12 日
吴艳琴	专业技术岗位	粤辐防协第 A190727 号	2019 年 6 月 12 日
陈燕珍	专业技术岗位	粤辐防协第 A190728 号	2019 年 6 月 12 日
刘清妙	专业技术岗位	粤辐防协第 A190729 号	2019 年 6 月 12 日
张大可	专业技术岗位	粤辐防协第 A190730 号	2019 年 6 月 12 日
胡卫红	专业技术岗位	粤辐防协第 A190731 号	2019 年 6 月 12 日
陈勇	专业技术岗位	粤辐防协第 A190732 号	2019 年 6 月 12 日
包勇	专业技术岗位	粤辐防协第 A190733 号	2019 年 6 月 12 日
王岩	专业技术岗位	粤辐防协第 A190734 号	2019 年 6 月 12 日
谢丽虹	专业技术岗位	粤辐防协第 A190735 号	2019 年 6 月 12 日
黄泰茗	专业技术岗位	粤辐防协第 A190736 号	2019 年 6 月 12 日
王海亮	专业技术岗位	粤辐防协第 A190737 号	2019 年 6 月 12 日
彭振维	专业技术岗位	粤辐防协第 A190738 号	2019 年 6 月 12 日
何莎莎	专业技术岗位	粤辐防协第 A190739 号	2019 年 6 月 12 日
安红英	专业技术岗位	粤辐防协第 A190740 号	2019 年 6 月 12 日
张榕	专业技术岗位	粤辐防协第 A190741 号	2019 年 6 月 12 日
王礼春	专业技术岗位	粤辐防协第 A190742 号	2019 年 6 月 12 日
冼金惠	专业技术岗位	粤辐防协第 A190743 号	2019 年 6 月 12 日
杨超	专业技术岗位	粤辐防协第 A190744 号	2019 年 6 月 12 日
王劲松	专业技术岗位	粤辐防协第 A190757 号	2019 年 6 月 12 日
王冕	专业技术岗位	粤辐防协第 A190758 号	2019 年 6 月 12 日
叶燕霞	专业技术岗位	粤辐防协第 A190759 号	2019 年 6 月 12 日
张祥松	核医学	粤辐防协第 A162770 号	2016 年 12 月 5 日
梁宏	核医学	粤辐防协第 A162771 号	2016 年 12 月 5 日
岳殿超	核医学	粤辐防协第 A162772 号	2016 年 12 月 5 日
陈志丰	核医学	粤辐防协第 A162773 号	2016 年 12 月 5 日
饶国辉	核医学	粤辐防协第 A162774 号	2016 年 12 月 5 日
陈维安	核医学	粤辐防协第 A162775 号	2016 年 12 月 5 日
王晓燕	核医学	粤辐防协第 A162776 号	2016 年 12 月 5 日
李玮明	核医学	粤辐防协第 A162777 号	2016 年 12 月 5 日

史新冲	核医学	粤辐防协第 A162778 号	2016 年 12 月 5 日
唐刚华	核医学	粤辐防协第 A162779 号	2016 年 12 月 5 日
关瑞薇	核医学	粤辐防协第 A162780 号	2016 年 12 月 5 日
岑美珠	核医学	粤辐防协第 A162781 号	2016 年 12 月 5 日
李凯灵	核医学	粤辐防协第 A162782 号	2016 年 12 月 5 日
江琴	核医学	粤辐防协第 A162783 号	2016 年 12 月 5 日
易畅	核医学	粤辐防协第 A162784 号	2016 年 12 月 5 日
陈丹云	核医学	粤辐防协第 A162785 号	2016 年 12 月 5 日
罗淦华	核医学	粤辐防协第 A162786 号	2016 年 12 月 5 日
文富华	核医学	粤辐防协第 A162787 号	2016 年 12 月 5 日
张冰	核医学	粤辐防协第 A162788 号	2016 年 12 月 5 日
何巧	核医学	粤辐防协第 A162789 号	2016 年 12 月 5 日
陈秀浪	核医学	粤辐防协第 A162790 号	2016 年 12 月 5 日
文碧秀	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162702 号	2016 年 12 月 5 日
沈国平	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162703 号	2016 年 12 月 5 日
任玉峰	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162704 号	2016 年 12 月 5 日
王振宇	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162705 号	2016 年 12 月 5 日
李嘉欣	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162706 号	2016 年 12 月 5 日
张群	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162707 号	2016 年 12 月 5 日
欧阳斌	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162708 号	2016 年 12 月 5 日
陈瑞莞	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162709 号	2016 年 12 月 5 日
彭芳	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162710 号	2016 年 12 月 5 日
黄伯天	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162711 号	2016 年 12 月 5 日
黄剑文	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162712 号	2016 年 12 月 5 日
钟嘉健	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162713 号	2016 年 12 月 5 日
丘敏敏	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162714 号	2016 年 12 月 5 日
林泽煌	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162715 号	2016 年 12 月 5 日
赵文斌	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162716 号	2016 年 12 月 5 日
肖振华	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162717 号	2016 年 12 月 5 日
黄镜先	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162718 号	2016 年 12 月 5 日
邓永锦	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162719 号	2016 年 12 月 5 日
闵蒙真	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162720 号	2016 年 12 月 5 日
王成涛	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162721 号	2016 年 12 月 5 日
牛绍清	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162722 号	2016 年 12 月 5 日
聂大红	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162723 号	2016 年 12 月 5 日
谢芳映	放射治疗 2D	粤辐防协第 A162724 号	2016 年 12 月 5 日
古伟忠	放射	粤辐防协第 A162725 号	2016 年 12 月 5 日
周林	放射	粤辐防协第 A162726 号	2016 年 12 月 5 日
蔡国锋	放射	粤辐防协第 A162728 号	2016 年 12 月 5 日

辜盈盈	放射	粤辐防协第 A162730 号	2016 年 12 月 5 日
黄正松	医生	粤辐防协第 A162952 号	2016 年 12 月 5 日
齐铁伟	医生	粤辐防协第 A162981 号	2016 年 12 月 5 日
郭少雷	医生	粤辐防协第 A162982 号	2016 年 12 月 5 日
梁丰	医生	粤辐防协第 A162983 号	2016 年 12 月 5 日
石忠松	医生	粤辐防协第 A162984 号	2016 年 12 月 5 日
罗莉娟	护士	粤辐防协第 A162985 号	2016 年 12 月 5 日
蔡建鹏	医生	粤辐防协第 A162798 号	2016 年 12 月 5 日
吴桂红	护士	粤辐防协第 A162799 号	2016 年 12 月 5 日
吴晓煌	护士	粤辐防协第 A162800 号	2016 年 12 月 5 日
朱志英	护士	粤辐防协第 A162801 号	2016 年 12 月 5 日
林平顺	护士	粤辐防协第 A162802 号	2016 年 12 月 5 日
华赟鹏	医生	粤辐防协第 A162806 号	2016 年 12 月 5 日
唐丽萍	护士	粤辐防协第 A162807 号	2016 年 12 月 5 日
梁杏	护士	粤辐防协第 A162808 号	2016 年 12 月 5 日
戴丽	护士	粤辐防协第 A162809 号	2016 年 12 月 5 日
丘熙廉	放免室	粤辐防协第 A162803 号	2016 年 12 月 5 日
张怡坚	放免室	粤辐防协第 A162804 号	2016 年 12 月 5 日
廖瑛	放免室	粤辐防协第 A162805 号	2016 年 12 月 5 日
赵月	医教研	粤辐防协第 A162816 号	2016 年 12 月 5 日
陈滢岐	放射	粤辐防协第 A162679 号	2016 年 12 月 5 日
李嘉骏	放射	粤辐防协第 A162680 号	2016 年 12 月 5 日
钟婉媚	体外碎石	粤辐防协第 A162950 号	2016 年 12 月 5 日
熊嫣	放射诊断	粤辐防协第 A162676 号	2016 年 12 月 5 日
陈红兵	介入放射	粤辐防协第 A162677 号	2016 年 12 月 5 日
谭双全	介入放射	粤辐防协第 A162678 号	2016 年 12 月 5 日
刘阳萍	管理人员	粤辐防协第 A162700 号	2016 年 12 月 5 日
罗晓玲	管理人员	粤辐防协第 A162701 号	2016 年 12 月 5 日
崔毅	临床	粤辐防协第 A162686 号	2016 年 12 月 5 日
王锦辉	临床	粤辐防协第 A162687 号	2016 年 12 月 5 日
邢象斌	临床	粤辐防协第 A162688 号	2016 年 12 月 5 日
刘红珍	临床	粤辐防协第 A162689 号	2016 年 12 月 5 日
蓝文通	临床	粤辐防协第 A162690 号	2016 年 12 月 5 日
文清德	临床	粤辐防协第 A162691 号	2016 年 12 月 5 日
方葶荠	临床	粤辐防协第 A162692 号	2016 年 12 月 5 日
林少珍	临床	粤辐防协第 A162693 号	2016 年 12 月 5 日
李丽斐	临床	粤辐防协第 A162694 号	2016 年 12 月 5 日
蒋雪丽	临床	粤辐防协第 A162695 号	2016 年 12 月 5 日
郭连英	临床	粤辐防协第 A162696 号	2016 年 12 月 5 日

邓秀梅	临床	粤辐防协第 A162697 号	2016 年 12 月 5 日
甘丽美	临床	粤辐防协第 A162698 号	2016 年 12 月 5 日
吕慧芳	临床	粤辐防协第 A162699 号	2016 年 12 月 5 日
姚陈	医生	粤辐防协第 A162791 号	2016 年 12 月 5 日
李梓伦	医生	粤辐防协第 A162792 号	2016 年 12 月 5 日
武日东	医生	粤辐防协第 A162793 号	2016 年 12 月 5 日
宁俊杰	医生	粤辐防协第 A162794 号	2016 年 12 月 5 日
石毅	医生	粤辐防协第 A162795 号	2016 年 12 月 5 日
秦原森	医生	粤辐防协第 A162796 号	2016 年 12 月 5 日
崔进	医生	粤辐防协第 A162797 号	2016 年 12 月 5 日
吴素华	心脏介入	粤辐防协第 A162731 号	2016 年 12 月 5 日
庄晓东	心脏介入	粤辐防协第 A162732 号	2016 年 12 月 5 日
胡承恒	心脏介入	粤辐防协第 A162733 号	2016 年 12 月 5 日
杨达雅	心脏介入	粤辐防协第 A162734 号	2016 年 12 月 5 日
龙明	心脏介入	粤辐防协第 A162735 号	2016 年 12 月 5 日
夏文豪	心脏介入	粤辐防协第 A162736 号	2016 年 12 月 5 日
曾武涛	心脏介入	粤辐防协第 A162737 号	2016 年 12 月 5 日
黄至斌	心脏介入	粤辐防协第 A162738 号	2016 年 12 月 5 日
杜志民	心脏介入	粤辐防协第 A162739 号	2016 年 12 月 5 日
吴少云	心脏介入	粤辐防协第 A162740 号	2016 年 12 月 5 日
李玉秀	心脏介入	粤辐防协第 A162741 号	2016 年 12 月 5 日
肖菊兰	心脏介入	粤辐防协第 A162742 号	2016 年 12 月 5 日
李慧媚	心脏介入	粤辐防协第 A162743 号	2016 年 12 月 5 日
李科	心脏介入	粤辐防协第 A162744 号	2016 年 12 月 5 日
王嘉辉	心脏介入	粤辐防协第 A162745 号	2016 年 12 月 5 日
朱玲	心脏介入	粤辐防协第 A162746 号	2016 年 12 月 5 日
林约瑟	心脏介入	粤辐防协第 A162747 号	2016 年 12 月 5 日
张兴	心脏介入	粤辐防协第 A162748 号	2016 年 12 月 5 日
李轩狄	心脏介入	粤辐防协第 A162749 号	2016 年 12 月 5 日
覃有振	心脏介入	粤辐防协第 A162750 号	2016 年 12 月 5 日
彭龙云	心脏介入	粤辐防协第 A162751 号	2016 年 12 月 5 日
马跃东	心脏介入	粤辐防协第 A162752 号	2016 年 12 月 5 日
巴宏军	心脏介入	粤辐防协第 A162753 号	2016 年 12 月 5 日
李珊	心脏介入	粤辐防协第 A162754 号	2016 年 12 月 5 日
谭敏谊	心脏介入	粤辐防协第 A162755 号	2016 年 12 月 5 日
唐安丽	心脏介入	粤辐防协第 A162756 号	2016 年 12 月 5 日
杨震	心脏介入	粤辐防协第 A162757 号	2016 年 12 月 5 日
冯冲	心脏介入	粤辐防协第 A162758 号	2016 年 12 月 5 日
柳俊	心脏介入	粤辐防协第 A162759 号	2016 年 12 月 5 日

刘冬云	心脏介入	粤辐防协第 A162760 号	2016 年 12 月 5 日
吴杏	心脏介入	粤辐防协第 A162761 号	2016 年 12 月 5 日
罗初凡	心脏介入	粤辐防协第 A162762 号	2016 年 12 月 5 日
李怡	心脏介入	粤辐防协第 A162763 号	2016 年 12 月 5 日
董吁钢	心脏介入	粤辐防协第 A162764 号	2016 年 12 月 5 日
陈艺莉	心脏介入	粤辐防协第 A162765 号	2016 年 12 月 5 日
王慧深	心脏介入	粤辐防协第 A162766 号	2016 年 12 月 5 日
刘岗	心脏介入	粤辐防协第 A162767 号	2016 年 12 月 5 日
何建桂	心脏介入	粤辐防协第 A162768 号	2016 年 12 月 5 日
胡洵	心脏介入	粤辐防协第 A162769 号	2016 年 12 月 5 日
陶军	心导管	粤辐防协第 A162954 号	2016 年 12 月 5 日
吴德熙	心导管	粤辐防协第 A162955 号	2016 年 12 月 5 日
覃金海	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170321 号	2017 年 5 月 22 日
余娜	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170323 号	2017 年 5 月 22 日
郭燕	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170320 号	2017 年 5 月 22 日
杨智云	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170326 号	2017 年 5 月 22 日
郭燕霞	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170322 号	2017 年 5 月 22 日
李小银	专业技术岗位	粤辐防协第 A1170325 号	2017 年 5 月 22 日
陈伟	放射介入医生	粤辐防协第 A162824 号	2016 年 12 月 5 日
杨建勇	放射介入医生	粤辐防协第 A162825 号	2016 年 12 月 5 日
陈展略	放射介入医生	粤辐防协第 A162826 号	2016 年 12 月 5 日
庄文权	放射介入手术室	粤辐防协第 A162819 号	2016 年 12 月 5 日
黄秋萍	放射介入手术室	粤辐防协第 A162821 号	2016 年 12 月 5 日
李家平	医教研	粤辐防协第 A162810 号	2016 年 12 月 5 日
郭文波	放射介入医生	粤辐防协第 A162827 号	2016 年 12 月 5 日
黄勇慧	放射介入医生	粤辐防协第 A162828 号	2016 年 12 月 5 日
谭国胜	放射介入医生	粤辐防协第 A162829 号	2016 年 12 月 5 日
王于	医教研	粤辐防协第 A162811 号	2016 年 12 月 5 日
李向民	放射诊断医生	粤辐防协第 A162837 号	2016 年 12 月 5 日
林少春	放射诊断技师	粤辐防协第 A162838 号	2016 年 12 月 5 日
李树荣	放射诊断医生	粤辐防协第 A162839 号	2016 年 12 月 5 日
黄富荣	放射诊断技师	粤辐防协第 A162840 号	2016 年 12 月 5 日
郑洁明	放射介入技师	粤辐防协第 A162830 号	2016 年 12 月 5 日
高樱	放射诊断技师	粤辐防协第 A162841 号	2016 年 12 月 5 日
李美芝	放射诊断技师	粤辐防协第 A162842 号	2016 年 12 月 5 日
李小梅	放射诊断技师	粤辐防协第 A162843 号	2016 年 12 月 5 日
孟俊非	专业技术岗位	粤辐防协第 A190745 号	2016 年 12 月 5 日
胡晓书	放射诊断技师	粤辐防协第 A162844 号	2016 年 12 月 5 日
林芝	放射诊断护士	粤辐防协第 A162845 号	2016 年 12 月 5 日

吕玉娥	放射介入手术室	粤辐防协第 A162822 号	2016 年 12 月 5 日
关键	放射诊断医生	粤辐防协第 A162846 号	2016 年 12 月 5 日
罗柏宁	放射诊断医生	粤辐防协第 A162847 号	2016 年 12 月 5 日
黄穗文	放射诊断技师	粤辐防协第 A162848 号	2016 年 12 月 5 日
陈荣炯	放射诊断技师	粤辐防协第 A162849 号	2016 年 12 月 5 日
郑可国	放射诊断医生	粤辐防协第 A162850 号	2016 年 12 月 5 日
刘明娟	放射诊断医生	粤辐防协第 A162851 号	2016 年 12 月 5 日
李子平	放射诊断医生	粤辐防协第 A162852 号	2016 年 12 月 5 日
沈冰奇	放射诊断医师	粤辐防协第 A162853 号	2016 年 12 月 5 日
程晓玫	工程师	粤辐防协第 A162854 号	2016 年 12 月 5 日
麦远锋	放射诊断技师	粤辐防协第 A162855 号	2016 年 12 月 5 日
陈美霞	放射诊断护士	粤辐防协第 A162856 号	2016 年 12 月 5 日
杨有优	放射诊断医生	粤辐防协第 A162857 号	2016 年 12 月 5 日
彭谦	放射诊断技师	粤辐防协第 A162858 号	2016 年 12 月 5 日
谢红波	副主任技师	粤辐防协第 A162859 号	2016 年 12 月 5 日
张瑞东	放射诊断技师	粤辐防协第 A162860 号	2016 年 12 月 5 日
钟运其	放射诊断技师	粤辐防协第 A162861 号	2016 年 12 月 5 日
邝健谊	放射诊断医生	粤辐防协第 A162862 号	2016 年 12 月 5 日
余深平	放射诊断医生	粤辐防协第 A162834 号	2016 年 12 月 5 日
江波	放射诊断医生	粤辐防协第 A162863 号	2016 年 12 月 5 日
周春香	放射诊断医生	粤辐防协第 A162864 号	2016 年 12 月 5 日
孙灿辉	放射诊断医生	粤辐防协第 A162865 号	2016 年 12 月 5 日
潘碧涛	放射诊断技师	粤辐防协第 A162866 号	2016 年 12 月 5 日
罗小梅	放射诊断技师	粤辐防协第 A162867 号	2016 年 12 月 5 日
张朝晖	放射诊断医生	粤辐防协第 A162868 号	2016 年 12 月 5 日
江利	放射诊断医生	粤辐防协第 A162869 号	2016 年 12 月 5 日
龙腾	放射诊断护士	粤辐防协第 A162936 号	2016 年 12 月 5 日
杨旭峰	放射诊断技师	粤辐防协第 A162870 号	2016 年 12 月 5 日
刘渝斌	放射诊断技师	粤辐防协第 A162871 号	2016 年 12 月 5 日
杨艳红	放射诊断护士	粤辐防协第 A162872 号	2016 年 12 月 5 日
周旭辉	放射诊断医生	粤辐防协第 A162873 号	2016 年 12 月 5 日
范淼	放射诊断医生	粤辐防协第 A162874 号	2016 年 12 月 5 日
严超贵	放射诊断技师	粤辐防协第 A162875 号	2016 年 12 月 5 日
刘付桂曼	放射诊断技师	粤辐防协第 A162876 号	2016 年 12 月 5 日
马玲	放射诊断医生	粤辐防协第 A162877 号	2016 年 12 月 5 日
贺朝根	放射诊断技师	粤辐防协第 A162878 号	2016 年 12 月 5 日
何洁琚	放射诊断护士	粤辐防协第 A162879 号	2016 年 12 月 5 日
荣剑明	放射诊断技师	粤辐防协第 A162880 号	2016 年 12 月 5 日
彭振鹏	放射诊断医生	粤辐防协第 A162881 号	2016 年 12 月 5 日

张小玲	放射诊断医生	粤辐防协第 A162882 号	2016 年 12 月 5 日
冯仕庭	放射诊断医生	粤辐防协第 A162883 号	2016 年 12 月 5 日
初建平	放射诊断医生	粤辐防协第 A162884 号	2016 年 12 月 5 日
徐海	放射介入技师	粤辐防协第 A162836 号	2016 年 12 月 5 日
毛丽娟	放射诊断技师	粤辐防协第 A162885 号	2016 年 12 月 5 日
蔡华崧	放射诊断技师	粤辐防协第 A162886 号	2016 年 12 月 5 日
王丽琴	放射诊断技师	粤辐防协第 A162887 号	2016 年 12 月 5 日
杨广奇	放射诊断技师	粤辐防协第 A162888 号	2016 年 12 月 5 日
何绍富	放射诊断技师	粤辐防协第 A162889 号	2016 年 12 月 5 日
洪庆奋	工程师	粤辐防协第 A162890 号	2016 年 12 月 5 日
彭小英	放射诊断护士	粤辐防协第 A162891 号	2016 年 12 月 5 日
翟凤仪	放射诊断护士	粤辐防协第 A162892 号	2016 年 12 月 5 日
刘幼方	放射介入手术室	粤辐防协第 A162820 号	2016 年 12 月 5 日
向贤宏	放射介入医生	粤辐防协第 A162831 号	2016 年 12 月 5 日
李竹浩	放射诊断技师	粤辐防协第 A162893 号	2016 年 12 月 5 日
冯玉	放射诊断技师	粤辐防协第 A162894 号	2016 年 12 月 5 日
王猛	放射诊断技师	粤辐防协第 A162895 号	2016 年 12 月 5 日
王霁肱	放射诊断医生	粤辐防协第 A162896 号	2016 年 12 月 5 日
常丹丹	放射诊断医生	粤辐防协第 A162897 号	2016 年 12 月 5 日
蔡华辉	放射诊技术员	粤辐防协第 A162898 号	2016 年 12 月 5 日
李平	放射科技师	粤辐防协第 A162899 号	2016 年 12 月 5 日
邓传宝	放射诊断技师	粤辐防协第 A162900 号	2016 年 12 月 5 日
欧阳龙源	放射诊断技师	粤辐防协第 A162901 号	2016 年 12 月 5 日
林锦江	放射诊断技师	粤辐防协第 A162902 号	2016 年 12 月 5 日
黄丽	放射诊断技师	粤辐防协第 A162903 号	2016 年 12 月 5 日
廖日昌	放射诊断技士	粤辐防协第 A162832 号	2016 年 12 月 5 日
王朝阳	放射诊断技师	粤辐防协第 A162904 号	2016 年 12 月 5 日
丁磊	放射诊断技师	粤辐防协第 A162905 号	2016 年 12 月 5 日
李雪华	放射诊断医生	粤辐防协第 A162906 号	2016 年 12 月 5 日
范文哲	医教研	粤辐防协第 A162812 号	2016 年 12 月 5 日
陈斌	放射介入医生	粤辐防协第 A162833 号	2016 年 12 月 5 日
周碧英	放射介入手术室	粤辐防协第 A162823 号	2016 年 12 月 5 日
黄玉娟	专业技术岗位	粤辐防协第 A170324 号	2017 年 5 月 22 日
杨晓宇	放射诊断医生	粤辐防协第 A162907 号	2016 年 12 月 5 日
王信	放射诊断技师	粤辐防协第 A162908 号	2016 年 12 月 5 日
段桂香	放射诊断技师	粤辐防协第 A162909 号	2016 年 12 月 5 日
潘维斌	放射诊断医生	粤辐防协第 A162910 号	2016 年 12 月 5 日
戴艳	放射诊断技师	粤辐防协第 A162911 号	2016 年 12 月 5 日
洪桂洵	放射诊断医生	粤辐防协第 A162912 号	2016 年 12 月 5 日

吴曦	放射诊断医生	粤辐防协第 A162913 号	2016 年 12 月 5 日
谭婉红	放射诊断技师	粤辐防协第 A162914 号	2016 年 12 月 5 日
朱莹	放射诊断医生	粤辐防协第 A162915 号	2016 年 12 月 5 日
肖素朋	放射诊断技士	粤辐防协第 A162916 号	2016 年 12 月 5 日
罗宴吉	放射诊断医生	粤辐防协第 A162917 号	2016 年 12 月 5 日
张应强	医教研	粤辐防协第 A162814 号	2016 年 12 月 5 日
胡曼诗	放射诊断技师	粤辐防协第 A162948 号	2016 年 12 月 5 日
谢定祥	放射诊断技师	粤辐防协第 A162923 号	2016 年 12 月 5 日
温志华	放射诊断技师	粤辐防协第 A162922 号	2016 年 12 月 5 日
张坤	放射诊断技师	粤辐防协第 A162925 号	2016 年 12 月 5 日
卢骏	放射诊断技师	粤辐防协第 A162921 号	2016 年 12 月 5 日
高睿烯	放射诊断技师	粤辐防协第 A162920 号	2016 年 12 月 5 日
唐菊苹	放射诊断技师	粤辐防协第 A162924 号	2016 年 12 月 5 日
赖志满	放射诊断技师	粤辐防协第 A162937 号	2016 年 12 月 5 日
欧俊彭	放射诊断技师	粤辐防协第 A162927 号	2016 年 12 月 5 日
林嘉豪	放射诊断技师	粤辐防协第 A162930 号	2016 年 12 月 5 日
李若程	放射诊断技师	粤辐防协第 A162932 号	2016 年 12 月 5 日
伏文皓	放射诊断技师	粤辐防协第 A162947 号	2016 年 12 月 5 日
何明燕	放射诊断医生	粤辐防协第 A162935 号	2016 年 12 月 5 日
林玲	放射诊断医师	粤辐防协第 A162928 号	2016 年 12 月 5 日
饶良俊	放射诊断医师	粤辐防协第 A162931 号	2016 年 12 月 5 日
董帜	放射诊断医生	粤辐防协第 A162918 号	2016 年 12 月 5 日
王焕军	放射诊断医师	粤辐防协第 A162945 号	2016 年 12 月 5 日
李畅	放射诊断医师	粤辐防协第 A162942 号	2016 年 12 月 5 日
向佩	放射诊断医师	粤辐防协第 A162943 号	2016 年 12 月 5 日
黄斯韵	放射诊断医师	粤辐防协第 A162944 号	2016 年 12 月 5 日
姚望	医教研	粤辐防协第 A162815 号	2016 年 12 月 5 日
马振江	医师	粤辐防协第 A162951 号	2016 年 12 月 5 日
单彩燕	放射诊断护士	粤辐防协第 A162933 号	2016 年 12 月 5 日
陈培雪	放射诊断护士	粤辐防协第 A162939 号	2016 年 12 月 5 日
王越	放射诊断护士	粤辐防协第 A162941 号	2016 年 12 月 5 日
燕子	放射诊断技师	粤辐防协第 A162929 号	2016 年 12 月 5 日
朱洪章	放射诊断技师	粤辐防协第 A162946 号	2016 年 12 月 5 日
林润	放射介入医师	粤辐防协第 A162835 号	2016 年 12 月 5 日
吴志强	放射介入医师	粤辐防协第 A162834 号	2016 年 12 月 5 日
黄夏华	放射诊断技师	粤辐防协第 A162949 号	2016 年 12 月 5 日
卢鸣剑	医教研	粤辐防协第 A162813 号	2016 年 12 月 5 日
张楠	护师	粤辐防协第 A162817 号	2016 年 12 月 5 日
郑鸿亮	护士	粤辐防协第 A162818 号	2016 年 12 月 5 日

赵静	医师	粤辐防协第 A162953 号	2016 年 12 月 5 日
张国军	放射诊断护士	粤辐防协第 A162938 号	2016 年 12 月 5 日
周雪飞	放射诊断护士	粤辐防协第 A162940 号	2016 年 12 月 5 日
陈颖茜	医师	粤辐防协第 A162729 号	2016 年 12 月 5 日
贺嘉雯	放射诊断技师	粤辐防协第 A162926 号	2016 年 12 月 5 日
候威锋	放射诊断技师	粤辐防协第 A162919 号	2016 年 12 月 5 日
彭洋	专业技术岗位	粤辐防协第 A190746 号	2019 年 6 月 12 日
方壮念	专业技术岗位	粤辐防协第 A190747 号	2019 年 6 月 12 日
谢嘉	专业技术岗位	粤辐防协第 A190748 号	2019 年 6 月 12 日
陈伟玲	专业技术岗位	粤辐防协第 A190749 号	2019 年 6 月 12 日
陈金霞	专业技术岗位	粤辐防协第 A190750 号	2019 年 6 月 12 日
冯艳青	专业技术岗位	粤辐防协第 A190751 号	2019 年 6 月 12 日
孟雨诗晨	专业技术岗位	粤辐防协第 A190752 号	2019 年 6 月 12 日
黄海月	专业技术岗位	粤辐防协第 A190753 号	2019 年 6 月 12 日
杨金平	专业技术岗位	粤辐防协第 A190754 号	2019 年 6 月 12 日
林京怡	专业技术岗位	粤辐防协第 A190755 号	2019 年 6 月 12 日
刘彩艳	专业技术岗位	粤辐防协第 A190756 号	2019 年 6 月 12 日



核工业东北分析测试中心

检 测 报 告

报告编号：HP2020052

委托单位：中山大学附属第一医院

样品名称：医学综合楼环境本底

样品数量：/

检测项目：环境 γ 、中子辐射剂量率

检测类别：现场检测

检测日期：2020 年 2 月 25 日、2020 年 12 月 10 日

报告页数：共 5 页

中心主任（签章）：



报告签发人：[Signature] 职务：监测组组长 职称：高级工程师
签发日期：2020 年 12 月 15 日

说 明

- 1、结果报告无“分析测试中心公章”和“分析测试报告专用章”无效；
- 2、结果报告无“报告签发人”签字无效；
- 3、结果报告不能随意改动，未经审核批准而更改的报告无效；
- 4、分析测试报告仅对所委托的样品负责；
- 5、未经本中心书面批准，不得部分复制报告；
- 6、若对报告有异议，应于收到报告之日起 15 日之内向我中心提出；
- 7、检测余样、副样按收样时商定的事宜处理，一般情况下副样保存三个月；
- 8、结果报告副本和检测原始记录在本中心保存六年。

单位名称：核工业东北分析测试中心

单位地址：沈阳市沈北新区孝信街 12 号

通讯地址：沈阳市 760 信箱

邮 编：110032

业务电话：024-62264295，13019387686

投诉电话：13019387686，024-86276510

传 真：024-62264200

E-mail：wangyux9@163.com

核工业东北分析测试中心

检 测 报 告

检测环境条件	天气：晴 温度：21℃ 湿度：64%RH（2020 年 2 月 25 日） 天气：晴 温度：17℃ 湿度：68%RH（2020 年 12 月 10 日）
检测设备	X-γ剂量率仪 6150-AD，检出限 5nGy/h 中子周围剂量当量（率）仪
检测对象参数	详见检测报告具体检测对象
检测工况	详见报告
现场情况记录	医学综合楼待建，场所没有射线装置和放射源。
检测点位	详见监测点位示意图



核工业东北分析测试中心

检 测 报 告

报告编号：HP2020052

样品名称：医学综合楼环境本底 样品数量：/ 检测项目：环境γ、中子辐射剂量率

检测类别：现场检测 检测日期：2020.02.25 检测仪器：6150-AD

2020.12.10 FH40G-X/FHT762

检测依据：《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）

《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）

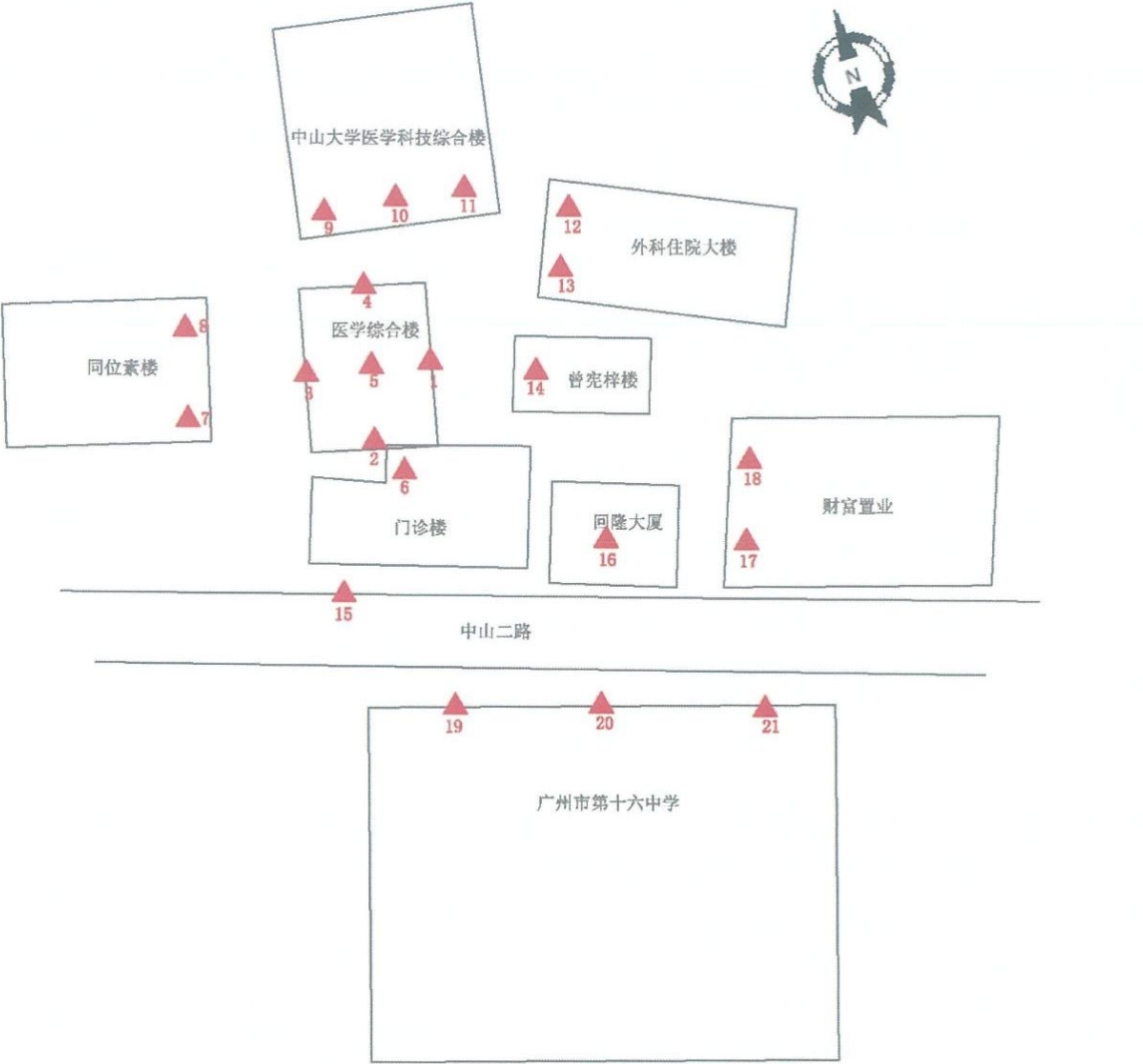
测点 编号	测点位置	环境γ辐射剂量率 (nGy/h)		环境中子辐射剂量 率 (nGy/h)
		范围	均值	
1	拟建医学综合楼西南角（室外）	144-152	147	未检出
2	拟建医学综合楼东南角（室外）	153-157	155	未检出
3	拟建医学综合楼东北角（室外）	152-161	158	未检出
4	拟建医学综合楼西北角（室外）	160-167	163	未检出
5	拟建医学综合楼中部（室外）	156-162	159	未检出
6	拟建医学综合楼南侧相邻门急诊大 楼一层（室内）	155-162	159	未检出
7	拟建医学综合楼西侧约 47m 同位素 楼一层南部（室内）	159-165	163	未检出
8	拟建医学综合楼西侧约 47m 同位素 楼一层北部（室内）	151-168	156	未检出

9	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科 技综合楼一层西部（室内）	155-163	159	未检出
10	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科 技综合楼一层中部（室内）	162-173	167	未检出
11	拟建医学综合楼北侧约 41m 医学科 技综合楼一层东部（室内）	162-171	166	未检出
12	拟建医学综合楼东部约 68 米外科 住院大楼一层北侧（室内）	163-166	165	未检出
13	拟建医学综合楼东部约 68 米外科 住院大楼一层南侧（室内）	156-162	161	未检出
14	拟建医学综合楼东侧约 44m 曾宪梓 楼一层（室内）	146-152	149	未检出
15	拟建医学综合楼南侧约 70m 中山二 路北侧	156-158	156	未检出
16	拟建医学综合楼东南侧约 75 米汇 隆大厦一层（室内）	158-164	162	未检出
17	财富置业一层宝芝林大药房北侧 （室内）	152-168	164	未检出
18	财富置业一层宝芝林大药房南侧 （室内）	165-174	168	未检出
19	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州 市第 16 中学校北墙外西侧（室外）	147-152	149	未检出
20	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州 市第 16 中学校门口（室外）	149-159	153	未检出
21	拟建医学综合楼南侧约 100m 广州 市第 16 中学校北墙外东侧（室外）	147-154	152	未检出

打印：张龙

校核：曹凌亮





附图 中山大学附属第一医院监测布点图



201919031515



广州达盛检测技术服务有限公司

监 测 报 告

报告编号: FS202000638

项目名称: 中山大学附属第一医院核技术利用扩建项目
辐射环境本底监测

委托单位: 中山大学附属第一医院

监测类别: 委托监测



说 明

1. 广州达盛检测技术服务有限公司是广东省质量技术监督局计量认证合格机构，证书编号：201919031515。本公司保证检测的公正性、科学性、准确性和有效性，对检测数据负责。
2. 本公司是广东省卫生和计划生育委员会批准的放射卫生技术服务机构（甲级）资质单位[证书编号：粤放卫技字（2012）第 002 号]。
3. 本公司对委托单位所提供的技术资料保密。
4. 未得到本公司书面批准，本检测报告不得以任何方式部分复制（全部复制除外）。
5. 检测结果及本公司名称等未经同意不得用于广告及商品宣传。
6. 报告无签发人签名、未盖本公司检测专用章（骑缝）无效。
7. 本报告仅对本次受检设备（样品）负责。
8. 受检单位对本公司出具的检测报告持有异议，请于收到报告之日起 15 个工作日内，以书面形式向本公司提出复核申请。

监测单位：广州达盛检测技术服务有限公司

地 址：广州市天河区中山大道中路 1015 号 3A11、3A12 房

邮 编：510660

电 话：020-82525688

传 真：020-82521437

投 诉：020-82525688

电子信箱：gzdsjc@163.com

广州达盛检测技术服务有限公司
监测报告

报告编号: FS202000638

第 1 页 共 3 页

委托单位: 中山大学附属第一医院

单位地址: 广东省广州市中山二路 58 号

监测项目: 中山大学附属第一医院核技术利用扩建项目

监测类别: 委托监测

监测方式: 现场监测

监测时间: 2020 年 8 月 13 日 时间: 15:00-15:50

监测环境:

天气: 阴 温度: 26℃ 湿度: 97%

监测依据: 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)

监测因子: 环境 X— γ 辐射空气吸收剂量率

监测仪器: 辐射检测仪

仪器型号 AT 1123

仪器编号 55658

生产厂家 ATOMTEX

能量响应 15keV-3MeV

测量范围 50nSv/h—10Sv/h

检定单位 湖北省计量测试技术研究院

检定日期 2020 年 07 月 13 日

检定证书编号 2020YD03920078

证书有效期 2020 年 07 月 13 日-2021 年 07 月 12 日

监测结果:

具体监测布点见图 1, 监测结果见表 1。

(以下空白)



广州达盛检测技术服务有限公司
(盖章)

编制: 符常娥 审核: 叶明 签发: 叶明 日期: 2020 年 8 月 14 日

广州达盛检测技术服务有限公司

监测报告

报告编号: FS202000638

第 2 页 共 3 页

表 1 环境 X—γ 辐射空气吸收剂量率背景水平监测结果

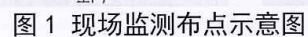
测点 编号	测点位置	环境 X—γ 辐射空气吸收 剂量率 (nSv/h)		标准差
		范围	均值	
1	1 号楼拟建 DSA 场所内	125 ~ 132	129	1.96
2	1 号楼拟建 DSA 场所楼上	238 ~ 252	244	4.94
3	1 号楼拟建 DSA 场所楼下	147 ~ 159	156	3.56
4	1 号楼西侧院内道路	148 ~ 154	152	2.05
5	1 号楼南侧院内道路	184 ~ 195	191	3.18
6	1 号楼东侧院内道路	200 ~ 214	208	4.36
7	1 号楼东侧汇隆大厦一层门口 (约 18m)	173 ~ 178	176	1.45
8	1 号楼北侧院内道路	168 ~ 180	173	3.87
9	1 号楼东北侧磁共振检查室一楼大厅	188 ~ 202	193	4.39
10	1 号楼北侧发热门诊一楼大厅	174 ~ 179	176	1.45
11	1 号楼南侧中山二路北边	150 ~ 155	154	1.69
12	1 号楼南侧广州市第十六中学大门处 (约 58m)	150 ~ 162	156	3.53

注: 1.测量点位距地面高度 1m, 仪器探头垂直地面向下, 每个测量点位测量 10 个数据;
2.监测值未扣除宇宙射线的响应值。

(以下空白)

编制: 何常根

第 3 页 共 3 页



287



 广州达盛检测技术服务有限公司

监 测 报 告

报告编号: FS202001051

项目名称: 中山大学附属第一医院核技术利用改建项目
辐射环境本底监测

委托单位: 中山大学附属第一医院

监测类别: 委托监测



说 明

1. 广州达盛检测技术服务有限公司是广东省质量技术监督局计量认证合格机构，证书编号：201919031515。本公司保证检测的公正性、科学性、准确性和有效性，对检测数据负责。
2. 本公司是广东省卫生和计划生育委员会批准的放射卫生技术服务机构（甲级）资质单位[证书编号：粤放卫技字（2012）第 002 号]。
3. 本公司对委托单位所提供的技术资料保密。
4. 未得到本公司书面批准，本检测报告不得以任何方式部分复制（全部复制除外）。
5. 检测结果及本公司名称等未经同意不得用于广告及商品宣传。
6. 报告无签发人签名、未盖本公司检测专用章（骑缝）无效。
7. 本报告仅对本次受检设备（样品）负责。
8. 受检单位对本公司出具的检测报告持有异议，请于收到报告之日起 15 个工作日内，以书面形式向本公司提出复核申请。

监测单位：广州达盛检测技术服务有限公司

地 址：广州市天河区中山大道中路 1015 号 3A11、3A12 房

邮 编：510660

电 话：020-82525688

传 真：020-82521437

投 诉：020-82525688

电子信箱：gzdsjc@163.com



广州达盛检测技术服务有限公司

监测报告

报告编号: FS202001051

第 1 页 共 3 页

监测项目	中山大学附属第一医院核技术利用改建项目		
委托单位	中山大学附属第一医院		
委托单位地址	广东省广州市中山二路 58 号		
监测类别	委托监测	监测方式	现场监测
监测日期	2020 年 10 月 26 日	监测时间	10:25~11:32
监测的环境条件	监测时间: 2020 年 10 月 26 日 10 时 25 分~11 时 32 分 天气: 晴; 环境温度: 28℃; 相对湿度: 46%		
监测依据	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)		
监测因子	环境 X- γ 辐射空气吸收剂量率		
使用的主要仪器设备名称、型号规格及编号	仪器设备名称: 辐射检测仪; 型号: AT 1123; 编号: 54635		
仪器主要技术指标	生产厂家: ATOMTEX 能量响应: 15keV-3MeV 测量范围: 50nSv/h—10Sv/h 检定单位: 中国计量科学研究院 检定日期: 2020 年 9 月 27 日 检定证书编号: DIJ12020-07467 证书有效期: 2020 年 9 月 27 日~2021 年 9 月 26 日		
监测结果	具体监测布点见图 1, 监测结果见表 1。		

广州达盛检测技术服务有限公司



编制人: 符伟

审核人: 符伟

签发人: 符伟

日期: 2020 年 11 月 2 日

广州达盛检测技术服务有限公司 监测报告

报告编号: FS202001051

第 2 页 共 3 页

表 1 环境 X— γ 辐射空气吸收剂量率背景水平监测结果

测点 编号	测点位置	环境 X— γ 辐射空气吸收 剂量率 (nSv/h)		标准差
		范围	均值	
1	何善衡楼拟建核医学场所内	209 ~ 223	216	4.0
2	何善衡楼拟建核医学场所楼上	181 ~ 200	192	6.4
3	何善衡楼拟建核医学场所东侧影像中心二区	180 ~ 195	187	5.1
4	何善衡楼拟建核医学场所东侧院内道路	141 ~ 160	151	5.2
5	何善衡楼拟建核医学场所东侧食堂	143 ~ 159	152	5.7
6	何善衡楼拟建核医学场所南侧院内道路	152 ~ 162	157	3.2
7	何善衡楼拟建核医学场所南侧手术室大楼一楼大厅	162 ~ 175	168	4.0
8	何善衡楼拟建核医学场所西侧中山大学医学科技综合楼一楼	152 ~ 168	159	4.8
9	何善衡楼拟建核医学场所西侧院内道路	143 ~ 160	151	5.5
10	何善衡楼拟建核医学场所北侧院内道路	141 ~ 151	146	3.6
11	何善衡楼拟建核医学场所东北侧行政楼一楼通道	146 ~ 162	152	4.6
12	何善衡楼拟建核医学场所北侧中山大学北校区东南门	143 ~ 154	148	3.4

注: 1.测量点位距地面高度 1m, 仪器探头垂直地面向下, 每个测量点测量 10 个数据;

2.监测值未扣除宇宙射线的响应值。

(以下空白)

编制人: 钟常根

广州达盛检测技术服务有限公司
监测报告

报告编号: FS202001051

第 3 页 共 3 页

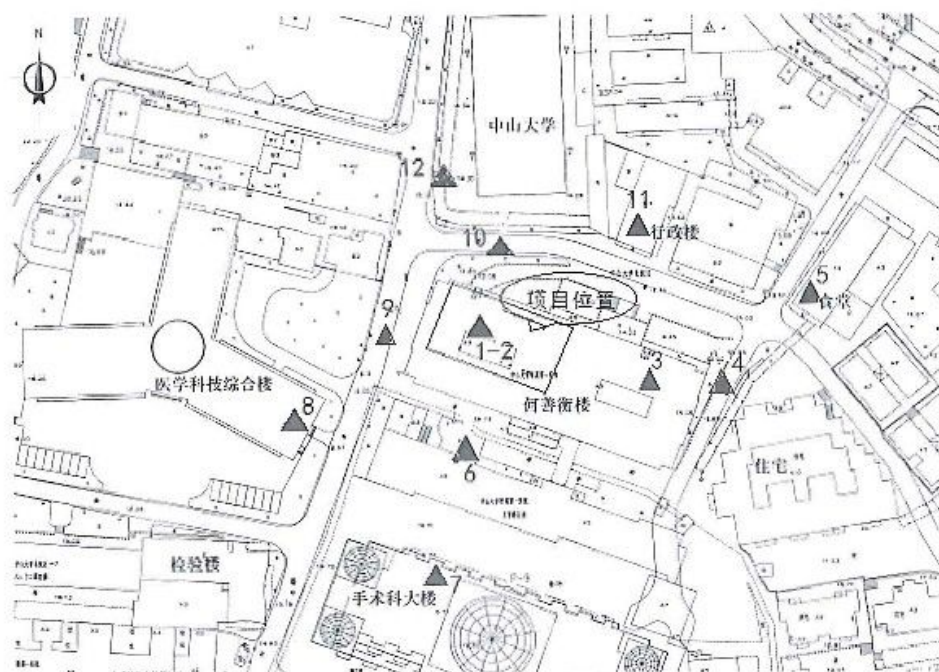


图 1 现场监测布点示意图
(以下空白)

编制人: 何善衡

中山大学附属第一医院文件

附一办〔2015〕4 号

中山大学附属第一医院关于印发《放射/辐射安全与防护管理规定（试行）》的通知

各处、科室、东院、东山院区：

为加强医院放射性同位素及射线装置管理，切实做好放射/辐射安全和防护工作，保障工作人员和公众健康与安全，保护环境，根据相关文件精神，现将《中山大学附属第一医院放射/辐射安全与防护管理规定（试行）》印发给你们，请认真执行。

特此通知。


中山大学附属第一医院
2015 年 4 月 15 日

中山一院院长办公室

2015 年 4 月 15 日印发

中山大学附属第一医院

放射/辐射安全与防护管理规定（试行）

为加强医院放射性同位素及射线装置管理，切实做好放射/辐射安全和防护工作，保障工作人员和公众健康与安全，保护环境，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）、《放射性药品管理办法》（国务院令第 25 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）、《放射诊疗管理规定》（卫生部令第 46 号）等法律法规，结合我院实际，特制定本规定。

一、本规定适用于使用放射性同位素、射线装置的科室及院内从事放射/辐射工作的人员。

（一）放射/辐射工作，是指使用放射性同位素、射线装置进行临床医学诊断、治疗和健康检查的活动，以及开展法律法规允许的科学研究。

（二）放射性同位素，包括放射源和非密封性放射性物质。

二、成立放射/辐射安全与防护工作委员会

主任委员：文卫平

委 员（按姓名笔画排）：

文碧秀 伍 娟 朱庆棠 刘大钺 刘阳萍
杜志民 李子平 李桂兰 杨建勇 邱湧涛

张祥松 陈 伟 陈 孝 陈 虹 岳殿超

聂大红 温 杰 詹中兴 黎湛兴

技术顾问：程晓玫 王振宇 易畅

秘 书：李宏行

委员会职责：

(一)委员会设立办公室，办公室设在设备科，医院所有放射/辐射安全与防护的管理工作统一归口由主管设备的院领导牵头，设备科负责组织落实。

(二)各部门（疾病预防科、基建科、院办档案文书科、药学部、爱卫会、保卫科等职能部门，核医学科等使用科室）各司其职，积极配合。

(三)办公室设立秘书 1 人，负责收集办证所有资料报档案文书科；设立技术顾问 3 人，负责办证所涉及的政策法规解读和技术指导。

三、相关部门职责

(一) 设备科

1. 负责组织办理《放射诊疗许可证》、《辐射安全许可证》与《放射性药品使用许可证》的申报、换发和变更手续。

2. 负责对射线装置出入库进行登记管理，建立核技术应用项目清单；负责对废弃的射线装置及放射源进行报废处理；负责监督放射性同位素转让审批及废源回收工作。

3. 负责委托检测机构进行射线装置性能、机房防护的年度

检测及工作场所环境辐射水平年度监测，建立射线装置及工作场所的检测档案。

4. 负责组织和督促使用科室及其他职能部门完成上级主管部门要求的放射/辐射整改工作。

5. 负责组织制定及完善医院的放射/辐射管理制度及应急预案。

6. 负责其他与设备及放射/辐射有关的工作。

(二) 疾病预防科

1. 负责组织工作人员参加职业健康检查、开展个人剂量监测、参加放射防护及辐射环保培训，建立工作人员的个人剂量档案、职业健康监护档案及教育培训档案。

2. 负责组织工作人员办理《放射工作人员证》等资质证件；负责组织工作人员参加上级主管部门举办的放射执业资质的相关培训与考核等工作。

3. 负责对工作人员的防护措施的落实情况进行监督及指导。

4. 负责其他与工作人员培训、体检、剂量监测等有关的工作。

(三) 基建科

1. 负责办理医院新建、扩建或改建放射建设项目的职业病危害放射防护预评价、控制效果评价及竣工验收的申报工作，并将申报及审批完成资料归档到设备科。

2. 负责办理医院新建、扩建或改建核技术应用项目的环境影响评价及环保验收工作，并将申报及审批完成资料归档到设备科。

3. 负责组织放射/辐射机房或工作场所的防护设施设计及建设；负责放射/辐射机房或工作场所的防护设施整改工作。

4. 负责其他与放射/辐射机房或工作场所有关的基建事项。

(四) 院办档案文书科

1. 负责组织报送资料到上级行政部门办理相关许可及其他办证事项。

2. 负责医院《放射诊疗许可证》、《辐射安全许可证》及《放射性药品使用许可证》等证书证件的保管工作。

3. 协助做好与此项工作相关的公函工作。

(五) 药学部

1. 负责医院放射性药品有关招标采购的工作，监督放射性药品的规范管理。

2. 协助对放射性药物使用进行技术指导。

3. 协助办理或换发《放射性药品使用许可证》。

(六) 爱卫会

1. 负责对衰变后的放射性废物（可作为一般医疗废物处理的）的收集、运送、临时贮存和外运处置的监督管理工作。

2. 协助医院放射性污染处理的管理工作。

(七) 保卫科

1. 对放射性同位素及射线装置的安全管理进行监督检查。
2. 对出现放射源丢失、被盗等放射事件，协助公安部门做好调查和现场控制工作。

(八) 使用科室

1. 遵守放射诊疗操作规章和规程，保证放射诊疗质量和安全。
2. 遵守医院健康监护规定，认真落实各项防护措施。
3. 做好本科室射线装置、放射性同位素使用台账登记、保管和安全防护工作。
4. 督促本科室工作人员参加资质考核、培训等，取得相关资质和培训证明后方准可从事放射/辐射工作。
5. 配备必要的辐射监测仪器，对本科室工作场所自行进行监测。
6. 对废弃射线装置、放射源、放射性废物及放射性药品，上报医院相关职能部门，进行规范处置。
7. 配合有关部门开展安全与防护监督检查，提供必要的资料协助检测单位对本科室的射线装置及工作场所进行相关检测，并建立档案。
8. 发生辐射超标、污染、放射源丢失等辐射事故及时向医院进行报告，并按应急预案及相关流程处理。

四、行政许可

(一) 医院各科室必须在上级卫生行政部门、环保行政部门及药品监督部门颁发的许可证中所核发的种类和范围内从事放射/辐射工作，不得擅自开展超出批准范围的诊疗及核技术利用工作。

(二) 使用科室如需改变所从事诊疗活动的种类和范围的，或新建、改建、扩建使用核技术利用设施或场所的，应向放射/辐射安全与防护工作委员会提出申请，报医院批准后，再由医院向上级部门申请办理许可证变更手续。

(三) 《放射诊疗许可证》无有效期，但应当按要求提交材料每3年向省级卫生行政部门申请校验，及时更新许可明细；《辐射安全许可证》有效期为5年，许可证有效期届满30日前，应当按要求提交材料向省级环保行政部门提出延续申请，换发新证；《放射性药品使用许可证》有效期为5年，期满前6个月，应当向省级药品监督部门重新提出申请，换发新证。

(四) 如使用科室终止使用放射性同位素和射线装置活动的，应当由医院向上级行政部门提出变更申请；后重新使用的，由医院按新项目办理相关许可。

(五) 使用放射性同位素的，医院应当按规定向上级行政部门办理放射性同位素转让手续，批准后按转让批复的量使用，不得超出范围。

(六) 放射性药品使用科室在研究配制放射性制剂并进行临床验证前，应当根据放射性药品的特点，提出该制剂的药理、

毒性等资料，由医院报上级行政部门批准，且仅限医院内使用。

五、防护设施

(一) 使用、贮存放射性同位素和射线装置的场所，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号；放射性同位素包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置及工作场所，应设置辐射警告标志和必要的中文文字说明；放射源上能够设置放射性标识的，应当一并设置。

(二) 机房及工作场所应按使用的射线装置或放射性同位素的类别、技术参数（使用量）进行不同的防护设施设计及建设，验收合格后方可投入使用。检测不合格的，应由相关部门及时进行整改。

(三) 使用科室应配备必要的安全防护装置及个人防护用品，以保障工作人员及患者的安全；工作人员作业时必须按规定穿戴好个人剂量章及防护用具，工作结束后及时做好个人清洁工作。

(四) 使用科室应按要求配备必要的射线剂量检测仪器及表面污染检测仪器，定期对工作场所自行检测并做好记录，如超标应及时报告并落实整改，以保证工作人员及患者安全。

六、射线装置及其机房管理

(一) 新安装的射线装置，应委托有资质的经认证的检测机构对其进行检测，且申请许可后方可启用；

(二) 定期进行稳定性检测、校正和维护保养，每年应委托有资质的经认证的检测机构对射线装置进行一次性能检测。

(三) 射线装置机房的安全及防护，应当符合有关标准与要求，并按时进行年度防护检测及机房环境的辐射水平监测。

(四) 应对退役射线装置向上级部门办理退役手续及许可变更。

七、放射性同位素管理

(一) 放射性同位素应单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等同库存放。

(二) 放射性同位素的存入、领取和归还应有完善的登记和检查制度，并指定专人负责，做到交接严格、账物相符、资料完整。

(三) 对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防盗、防丢失、防破坏、防泄漏等安全措施。

(四) 对放射源应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多层防护和安全措施；并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障。

(五) 应向上级部门备案放射性同位素并申请许可，并按要求粘贴放射源编码。

(六) 应对废弃的放射性同位素进行规范处理，不得随意处置丢弃。

(七) 放射性同位素工作场所应及时进行年度环境辐射水平

监测。

八、工作人员的资质及培训

(一) 从事放射/辐射工作的人员应具备符合国家有关规定的资质，无资质人员不得从事相关工作。

(二) 使用放射性同位素或放射性药品的科室，配备与其医疗任务相适应的并经核医学技术培训的技术人员，非核医学专业技术人员未经培训，不得从事放射性同位素或放射性药品相关工作。

(三) 工作人员应严格按有关规定定期接受放射防护及环境保护知识培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗。

(四) 应对工作人员建立个人教育培训档案。

九、质量保证

(一) 使用科室应制定相应的诊疗质量保证方案，工作人员必须严格遵守操作规程，并采取严格的质量控制措施，定期实施质量控制活动并记录，保证诊疗质量。

(二) 使用科室和工作人员应按医疗照射正当化和辐射防护最优化的原则，使患者避免一切不必要的照射。对患者实施放射诊疗操作前应告知患者和受检者有关辐射对健康的影响。

(三) 做好射线装置质量控制及性能检测、放射/辐射机房或工作场所的防护检测和环境辐射水平监测等工作，使其符合有关标准与要求。

(四) 应对医院射线装置及其机房和放射性同位素及其工作

场所的安全、防护状况进行年度评估，发现安全隐患及时整改。

(五) 制定放射事件应急预案并组织演练，完善预案；使用科室应制定并完善本科室的应急预案、应急流程。

十、放射性废物处置

(一) 核医学产生的放射性固体废物、废液，以及患者注射或服用放射性药物产生的放射性排出物应单独收集，与其他废物、废液分开存放，并按有关规定进行妥善处理。

(二) 使用放射性药物治疗病人的科室，必须为住院或门诊治疗病人提供有防护标志的专用厕所，对病人排泄物实施统一收集和管理，并规定病人住院治疗期间不得使用其他厕所。排泄物在放射污水池经过 10 个半衰期后排入下水道系统。

(三) 放射性固体废物应在专门的场所、使用专门的容器贮存。固体废物经存放衰变，比活度降到 $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 以下后，即可作非放射性废物处理。

(四) 废旧放射源应按规定向主管环保部门进行登记处理，不得随意处置。

(五) 放射性废物管理人员作业时，必须使用个人防护用具和防护设施，防止超剂量照射。

十一、使用放射性药物治疗病人的科室应对接受体内放射性药物诊治的患者进行指引，避免其他患者和公众受到超过允许水平的照射；使用放射性粒子源进行植入的，按《中山大学附属第一医院放射性粒子源植入放射防护管理规定》（附一医

〔2011〕5号）文件规定进行规范管理，保证安全。

十二、出现放射源丢失、被盗或放射性同位素和射线装置失控等放射事件，应按《中山大学附属第一医院辐射事故处理应急预案》（附一医〔2011〕4号）文件规定，立即采取有效的应急救援和控制措施，防止事件的扩大和蔓延。

十三、对违反国家有关安全防护规定的科室和个人，视情节轻重报医院给予相应处理。

十四、本规定由放射/辐射安全与防护工作委员会办公室负责解释。

十五、本规定自发文之日起施行，各院区参照本规定制定相关规定或参照执行。

中山大学附属第一医院放射事故 处理应急预案（2020.1 修订）

为及时、有效、规范地应对放射事故，最大程度地减少事故造成的人员伤亡，减轻事故造成的不良后果，根据《职业病防治法》、《放射性同位素与射线装置放射防护条例》、《放射事故管理规定》、《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》、《广东省核应急预案》、《广东省突发公共卫生事件医疗卫生救援应急预案》、《广州市核与辐射事故应急预案》，及其他有关法律、法规的规定，结合我院实际，制定本预案。

一、放射事故的定义

放射事故是指放射性同位素丢失、被盗或者射线装置、放射性同位素失控导致工作人员或者公众受到意外的、非自愿的异常照射。

二、组织管理

成立放射事故应急处理领导小组和技术指导小组。

（一）应急处理领导小组：负责组织放射事故应急预案制（修）订；组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥相关成员迅速赶赴现场开展工作；对放射事故现场进行组织协调，指挥应急救援行动；组织开展放射事故应急演练

等。

组 长：主管医疗工作和辐射工作的院领导

副组长：东院、南沙医院负责人

成 员：医学影像科、核医学科、放射诊断科、放射治疗科、放射介入科、手术麻醉中心、心内科、口腔科、保健体检中心、医务处、后勤处、财务与资产管理处、药学部、保卫部、医学工程部、东院医务办、东院疾病预防科、东院后勤科、东院设备科、南沙医院医务部、南沙医院保障部等部门负责人

领导小组下设办公室，设于本部疾病预防科。

（二）应急技术指导小组：参与放射事故处理应急预案的制定及修订；提供放射事故卫生应急准备和响应建议；组织并参与对辐射防护、医疗救治等相关技术人员的指导与培训；组织并参与指导放射事故现场放射防护及医学应急救援。

组 长：主管医疗工作的院领导

组 员：急诊科、血液内科、烧伤外科、医学影像科、核医学科、放射诊断科、放射治疗科、放射介入科、心内科、手麻中心等科室负责人

三、部门职责与分工

各有关部门应在放射事故应急处理领导小组的统一领

导下，各司职责，密切协作，做好应对放射事故的应急处理。

(一) 医务处 负责组织应急医疗救援及辐射防护等卫生应急工作。

1、医务科 负责组建应急救援医疗队，组织对受辐射损伤人员进行现场医疗救助及伤员转送，做好医疗救护信息记录及报告。

2、疾病预防科 负责主动核实事故性质并向领导小组进行报告；按规定向区环保部门、区卫生部门、区疾控部门报告；组织全院放射工作人员放射防护培训及放射事故应急培训；协助上级辐射防护专家开展事故调查和辐射剂量估算。

(二) 医学工程部 负责放射事故应急辐射防护用品、防护设备的供应，及时维护更新。

(三) 保卫部 负责撤离和疏散放射事故现场人员，封锁和保护事故现场；按规定向区公安部门报告涉及放射源丢失或被盗事件，并协助事故调查；组织加强放射源、放射诊疗及放射防护设备的防盗安全检查。

(四) 后勤处 负责统一协调应急物资的储备、调拨和紧急供应，确保事故应急物资及时到位；负责机房等放射工作场所防护设施的建设与评价；负责放射污染处理。

(五) 财务与资产管理处 负责应急保障经费预算，确保卫生应急所需资金到位。

(六) 工会 负责参与放射事故的调查和善后处理。

(七) 保健体检中心 负责对放射事故中参与应急医学救援或受辐射损伤的医务人员进行医学随访。

(八) 临床科室 急诊、血液、烧伤、核医学等科室负责参与放射事故现场医学救援；定期参加医学救援、辐射防护培训及应急演练，确保及时、科学、安全开展现场医学救援。

(九) 放射诊疗科室 认真贯彻落实放射诊疗安全操作规程及技术规范，做好日常质量控制，加强放射安全防护执行力度，提高预防突发事件发生的意识及应对能力；发生放射事故迅速采取措施控制事故蔓延，及时报告院内有关部门；配备必要的放射防护用品及设备；核医学科应配备应急箱，应急箱应包括防护鞋套、手套、防护服、人员去污材料、用于场所去污的材料、警告标识、便携式监测设备、个人剂量计、废物袋、警戒带等。

四、应急准备

(一) 应急物资和装备

有关部门及科室应做好放射事故应急物资和装备准备，包括：个人剂量计、个人防护设备（铅防护服、铅眼镜、铅围脖、防护靴等）、辐射应急监测仪器（表面污染监测仪）等，并及时更新和维护。

(二) 培训与演练

针对医院开展核技术应用的实际情况和需要，定期组织

开展辐射应急培训与应急演练，对放射事故应急技术人员和管理人员进行国家有关法规和应急专业知识培训和继续教育，使应急救援人员熟练掌握放射损伤医疗救治、应急处置、放射防护等知识，不断提高应急反应及救援能力，确保在突发放射事故时能够及时、安全、有效开展卫生应急工作。

（三）资金保障

有关部门应做好放射事故应急保障经费预算，用于人才培养、应急物资配备与更新、培训与演习，以确保放射事故卫生应急所需资金到位。

五、事故分级及应急处置

放射事故发生后，有关科室及人员必须立即采取措施防止事故继续发生和蔓延扩大危害范围，并在第一时间开展事故报告，在放射事故应急处理领导小组的统一指挥下安全、科学、有序地开展应急处置，并积极协助各级环境保护行政主管部门、公安部门、卫生行政部门和疾病预防控制中心，做好辐射控制及医疗救治。

（一）应急响应分级

根据放射事故的性质、严重程度、可控性及影响范围等因素，将放射事故分为特别重大放射事故（Ⅰ级）、重大放射事故（Ⅱ级）、较大放射事故（Ⅲ级）和一般放射事故（Ⅳ级）四个等级。

1、特别重大放射事故（Ⅰ级），是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源

丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡（或受到全身照射剂量大于 8 戈瑞）。

2、重大放射事故（II 级），是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡（或受到全身照射剂量大于 8 戈瑞），或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

3、较大放射事故（III 级），是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

4、一般放射事故（IV 级），是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

（二）放射事故报告

1、发现事故的工作人员应在第一时间报告科室负责人；发生放射事故的科室应立即将事故发生的性质、时间、地点及人员伤亡等情况报告疾病预防科（24 小时值班电话：13924077210）和保卫部（24 小时值班电话：13922107022）。

2、疾病预防科、保卫部接报告后，应主动核实事故情况，对初步确定为放射事故，应迅速向放射事故应急处理领导小组报告，并在 1 小时内填写《放射事故初始报告表》（见附件 1），分别向越秀区环保部门、公安机关、卫生部门和疾

病预防控制中心报告。

(三) 应急处置

领导小组接到放射事故发生的报告后，应立即指挥相关成员迅速赶赴现场开展指挥、技术指导及医学救援工作，相关部门在相应职责范围内开展工作，积极采取措施保护工作人员和患者的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展。

1、立即撤离有关工作人员和群众。

2、由专业检测人员迅速确定现场辐射强度及影响范围，划出禁区，防止外照射危害，并封锁现场。

3、发生放射源丢失或被盜，相关部门应认真配合公安机关、环保部门、卫生部门查找丢失或被盜放射源；放射性同位素污染工作场所，应由专业技术人员彻底清除污染，及时切断污染环节，必要时应关闭通风设备；发生核素、放射源或射线装置失控导致人员大剂量射线误照射的，应立即采取措施，停止照射或转移人员，减少照射损害，并组织专业人员将受照射人员送往医学治疗。

4、配合上级部门及第三方专业机构开展事故调查、检测及评估等工作。

4、现场紧急医疗救治

领导小组应根据现场评估情况，下达开展现场紧急医疗救治任务，医务科接到任务后应立即组织派遣应急医疗队赴

现场开展救护。

(1)原则 第一时间将伤员撤离到相对安全区域，再进行检伤分类、洗消和救治。遵循快速有效、边发现边抢救、先重后轻、危重病人先抢救后去污、保护抢救者和被抢救者的原则。

(2)对危及生命的损伤如出血、休克、烧伤等情况的伤员，应立即进行现场急救处理。

(3)为避免继续受到辐射照射，救护人员及伤员应尽快撤离事故现场。

(4)放射性污染事件中，应对可能或已经受到放射性污染人员进行去污处理(参照附件 2)，防止污染扩散。

(5)放射性伤员根据辐射损伤情况分级应转往专用隔离病房救治，并进行白细胞计数和淋巴细胞计数检测；事故中受超剂量照射需转送到指定救治基地进行救治观察者，应及时由救护车转送。

①广东省职业病防治院、广东省第二人民医院为指定的广东核与放射事故医疗救治机构，南方医院为省级后备机构。

②广州市第十二人民医院为广州市核与放射事件医疗救援基地。

5、应急人员防护

(1)所有应急人员应按要求做好个人放射防护措施才能

进入现场开展应急救援，包括采取呼吸道防护及体表防护，佩带个人剂量计，正确穿戴防护服、防护面具或口罩等。

(2)根据现场救援工作的实际情况，尽量提高救援行动速度，缩短受辐射照射时间，必要时采用轮换人员作业方法。

(3)对已受到或可疑体表放射性污染时，应及时进行去污处理，包括用水淋浴及将受污染的衣服、鞋、帽等脱下存放后按放射性废物进行处理，以减少放射性污染，力求把应急受照剂量降至最低。

(4)应急救援人员应熟练掌握应急人员通用防护导则（见附件3）和应急响应救援人员防护措施（见附件4）。

6、医学随访

参加放射事故处理人员应及时安排进行体格检查及医学随访。

(四) 责任与惩罚

不按规定程序和时限及时报告或者阻挠、干扰有关部门或科室执行职责的，对有关责任科室和责任人员追究行政责任；造成重大损失或重、特大事故的，将报请公安机关追究责任科室和责任人的治安或刑事责任。

六、本预案由医务处与医学工程部负责解释。

七、本规定自下发之日起施行，各院区可参照本规定制定相关规定或参照执行。我院2011年下发的《中山大学附属第一医院辐射事故处理应急预案》（附一医〔2011〕4号）

同时废止。

- 附件：1、放射事故初始报告表
- 2、放射性污染人员去污导则
- 3、应急人员通用防护导则
- 4、应急响应救援人员防护措施

附件 1：

放射事故初始报告表

事故单位名称		(公章)				
法定代表人		地 址			邮 编	
电 话		传 真		联系人		
许可证号		许可证审批机关				
事 故 发生时间		事故发生地点				
事 故 类 型		☐ 人员受照 ☐ 人员污染		受照人数 受污染人数		
		☐ 丢失 ☐ 被盗 ☐ 失控		事故源数量		
		☐ 放射性污染		污染面积 (m ²)		
序 号	事故源核 素名称	出 厂 活度 (Bq)	出 厂 日期	放射源编码	事故时活度 (Bq)	非密封放射性物质 状态 (固/液态)
序	射线装置	型 号	生产	设备编号	所在场所	主要参数

号	名称		厂家			
事故经过 情况						
报告人签字			报告时间	年 月 日 时 分		

注：射线装置的“主要参数”是指 X 射线机的电流（mA）和电压（kV）、加速器线束能量等主要性能参数。

附件 2：

放射性污染人员去污导则

去污点	方法	去污要点
皮肤、手、全身	①肥皂和温水(约 40℃)。 ②肥皂、软刷和温水，干研磨剂（如谷物粉）。 ③肥皂粉或类似去污剂，标准工业皮肤清洁洗剂。	①洗 2-3 分钟后检查放射性水平，重复洗 2 次。 ②用发泡剂轻轻按洗，洗 3 次，每次 2-3 分钟，冲洗后监测，注意不要损蚀皮肤。 ③做成膏剂，加少许水轻轻擦洗，注意不要损蚀皮肤。
眼，耳，口	冲洗	眼：翻开眼皮，用无菌洗眼液轻冲。 耳：用棉球轻洗耳轮 口：漱口（不能咽）
头发	①肥皂和温水（约 40℃） ②肥皂、软刷和温水。	①用发泡剂轻轻按洗，洗 3 次，每次 2-3 分钟，

	③剪去头发。	冲洗后监测 ②做成膏剂，加少许水轻轻擦洗，注意不要损蚀皮肤。 ③剪去头发。用皮肤去污方法对头发去污。
--	--------	--

- 注：1、先用第一种方法，如有需要依次试用后面的方法，去污时先从边沿开始。渐向中心。
- 2、不要对伤口去污，伤口由有经验的医务人员处理。
- 3、去污现场禁止吃、喝和吸烟。
- 4、去污用的肥皂、刷子、棉球等物品在去污过程中都会补污染，用过的物品和冲洗用水应妥善处理。

附件 3：

应急人员通用防护导则

一、一般的防护要求

- 1、进入现场前必须按要求穿戴个人防护用具
- 2、佩带个人剂量计，包括报警式或直读式个人剂量计
- 3、按照上级指示服用稳定性碘
- 4、永远牢记进入现场的危险并注意防范
- 5、通过缓冲区进入污染区
- 6、全部活动都应在照射尽可能合理的低的原则下进行
- 7、知晓应急人员返回水平
- 8、不要在剂量率超过 1mSv/h 的地方逗留
- 9、进入剂量率大于 10mSv/h 的地区要小心
- 10、非得到环境分析/辐射评价负责人的许可，不应进入剂量率大于 100mSv/h 的地区
- 11、注意采取时间、距离和屏蔽手段防护自己
- 12、进入高剂量率的地方与你的主管一起制定预案
- 13、不要在污染区吃、喝、抽烟、揉眼睛和使用化妆品
- 14、有疑问时向小组领导或同事咨询
- 15、离开污染区时，接受体表和衣服的污染监测
- 16、处理沾染人员的工作人员应进行沾染监测，做好换衣服和洗消或沐浴的准备
- 17、由污染区携出的物品、设备必须在缓冲区经过检查和处理，达到去污标准后，才能带入清洁区

二、甲状腺防护

按照上级指示服用稳定性碘片。如果放射性污染将持续几天，应服用第二片。一年中服用稳定性碘总剂量不应超过10片。服用稳定性碘片不能代替其他呼吸器官防护措施。

三、应急响应人员返回剂量导则预置值

任务	返回剂量导则预置值（EWG） （mSv/h 值）
I 类：抢救生命行动	<500
II 类：防止严重损伤 避免大的集体剂量 场外周围剂量率监测	<100
III 类：短期恢复活动 执行紧急防护行动 环境采样	<50
IV 类：长期恢复活动 与事件无直接联系的工作	职业照射导则

附件 4:

应急响应救援人员的防护措施

1、应急响应救援人员应熟知减少受照剂量的原则，配备能进行报警的辐射探测仪和个人剂量计，配备必要的个人防护用具，减轻或防止放射污染，熟悉并遵守应急响应救援人员通用防护导则。

2、正确使用个人防护装备

个人防护装备包括直读式剂量计（个人剂量报警仪），累积剂量计（热释光剂量计），防护服、呼吸器、防护靴，防护手套等。

常规个人剂量计用于个人剂量测量。直读式剂量计用于 γ 射线外照射剂量的测量。专用剂量计应佩带在可能受高剂量照射的人员身上。中子剂量计用于估计人员的中子剂量。

防护服、防护面罩/口罩、防护靴和手套等 用于防止救援人员的放射性污染。防护用品的穿戴方和去除顺序如下：

穿衣顺序：鞋套→裤子→防护服→用带子绑住防护服开口→在防护服外加标签→防护帽和口罩→内层手套→密闭的手套和有带子的防护服袖→剂量计→外层手套。

脱衣顺序：从防护服脱去带子→外手套→解除内层手套的带子→剂量计→防护服脱裤至膝盖下→坐在放在边界线清洁侧处的椅子上→脱下裤子→防溅物→口罩→鞋的遮盖物→内层手套。

3、对作业现场进行辐射测量，尽量避免进入辐射区受照射。

辐射监测计划

一、非密封源工作场所（ECT 中心及PET-CT 中心）

（1）非密封源工作场所工作人员操作后离开工作场所前应进行表面污染监测，如其污染水平超过GB18871 规定值，应采取洗手、淋浴等措施进行去污，同时做好记录。

（2）从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过GB18871 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

（3）对ECT 中心的 SPECT 机房、高活性室、注射室、诊室、甲测试室及PET-CT 中心的PET 扫描室、控制室、注射室、病人休息室等高活性区域，应进行表面沾污和X- γ 辐射剂量率监测和去污，对敷料、覆盖物等其他物件也应进行监测，无法去污时应作放射性废物处理。住院接受放射性药物治疗患者的被服和个人用品使用后应作去污处理，并经表面污染监测合格后方可作一般处理。

（4）表面沾污和空气比释动能率监测：委托有资质单位进行年度例行监测，每年1次；科室利用自身配备的辐射检测仪器进行监测，定期记录存档。

二、I¹²⁵粒子源植入项目

（1）正式使用前检测：对I¹²⁵粒子源植入项目工作场所、植入治疗专用病房以及CT射线装置辐射工作场所防护设施辐射安全等进行检查测试，合格后方可投入使用。

（2）常规监测：对于I¹²⁵粒子植入项目，配备辐射剂量率检测仪器，



每次进行粒子源操作后，对工作场所的工作面、地面，以及操作人员的衣物进行清洁及辐射水平检测，并确认无粒子源遗漏在工作场所。

三、X 射线装置

(1) 监测区域及监测因子：对X线机DR 等机房的监督区域（距离观察窗30cm，机房门口左、右30cm，机房墙体30cm，操作台）进行全面的辐射水平巡测，监测因子为空气比释动能率。

(2) 监测单位及监测频率：委托有资质单位进行年度例行监测，每年1次；医院利用自身配备的辐射检测仪器进行监测，每季1次，并记录存档。

(3) 监测结果评价：机房周围的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

四、辐射工作场所年度监测

每年委托有资质的单位对粒子植入项目以及射线装置使用场所进行辐射热环境的检测，并对本单位的放射性同位素与射线装置的安全与防护状况进行年度评估。

五、个人剂量监测

工作人员应佩戴个人剂量计，每季监测1次，并建立个人剂量监测档案，个人累积年有效剂量目标值应低于5mSv。

辐射防护和安全保卫制度

1. 医院严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等辐射相关的法规要求，接受环境保护行政主管部门及法规规定的其它相关部门的监管。
2. 医院对本单位辐射安全和防护工作负责，并依法对造成放射性危害承担责任。
3. 依法办理环境影响审批，验收，《辐射安全许可证》等环境保护相关手续。依法取得诊疗技术和《放射诊疗许可证》。
4. 辐射工作场所必须符合主管部门的法规及标准的要求，获得许可并按照医院的辐射检测计划，监测合格后再正式投入使用。
5. 辐射工作场所按照有关规定设置明显的放射性警示标识、安全联锁、报警装置或工作信号，防止人员受到意外辐射。
6. 严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对辐射工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。
7. 辐射工作人员上岗前必须进行健康体检，合格者方可上岗；工作期间由单位安排定期到深圳市职业病防治院进行健康体检。
8. 依法对医院的射线装置工作的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告，于每年1月31日前报广东省生态环境厅和深圳市生态环境局。报告包括总结、辐射工作人员个人剂量监测和辐射工作场所发射水平监测结果。
9. 接受环境保护行政主管部门及相关部门的监督检查工作，落实各项整改意见。
10. 配备齐全辐射工作人员和受检者防护用品，指导受检者正确使用防护用品。
11. 加强安全责任意识，排除各项安全隐患，做好防火、防盗等各项安全措施，加强安全保卫，防止无关人员随意出入。
12. 制定辐射紧急预案，并定期组织学习和演练。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

辐射工作人员个人剂量管理制度

一、按照《放射工作人员职业健康管理辦法》 和国家有关标准、 规范的要求， 安排本单位的放射工作人员接受个人剂量监测， 并遵守以下规定：

（1） 外照射个人剂量监测周期一般不应超过 90 天， 内照射个人剂量监测周期按照有关标准执行。

（2） 建立并保存个人剂量监测档案。

（3） 允许放射工作人员查阅、 复印本人的个人剂量监测档案。

二、 个人剂量监测档案主要内容

1、 常规监测方法和结果等相关资料。

2、 应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料。放射工作单位应当将个人剂量监测结果及时做好记录。

三、 放射工作人员进入放射工作场所， 应当遵守以下规定：

1、 正确佩戴个人剂量计。

2、 操作结束离开非密封放射性物质场所时， 按要求进行个人体表、 衣物及防护用品的放射性污染监测， 发现污染要及时处理， 做好记录并存档。

3、 进入辐照装置、 放射治疗等强辐射工作场所时， 除佩戴常规个人剂量计外， 还应当携带报警式剂量计。

4、 工作人员工作时， 应将个人剂量计随身佩戴， 禁止将个人剂量计遗弃在机房内， 由此造成个人剂量计监测结果超标， 造成影响和后果的， 本人负全责。必要时， 调离工作岗位。

四、 个人剂量监测工作应当由具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担， 并按照规定， 将报告送达放射工作单位。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度

1. 目的

规范对放射性药品的采购、登记、使用、核对、保管及注销工作环节，加强对放射性药品的管理，防止辐射事故发生。

2. 标准

2.1 适用范围：使用放射性药品的个人及科室。

2.2 规定：

2.2.1 放射性药品归核医学科统一管理采购，中心主任对放射性药品的使用进行监督检查，放射性药品由专人负责订购（核医学科主任），核医学科主任全面监管科室放射性药物的订购与使用。

2.2.2 订购于同位素服务中心的放射性药物每天送到后及时签收。使用者认真核对所订购的放射性药物，并在《放射性药品签收、使用登记本》上详细记录使用情况。

2.2.3 使用放射性药物时要认真做好核对工作，必须查对所用的放射性药物与诊治项目是否相符，并核对其剂量大小、比活度、标记时间、物理形状等，如发现不符合或异常应立即停止使用，并及时报告。

2.2.4 所订购的放免药盒收到后要及时做好签收记录，在药盒上写清签收日期，并放置于冰箱保存备用。

2.2.5 在使用放射性药品过程中注意加强个人防护，应采取相应的放射防护措施，使用个人防护设备，在操作过程中尽量做到“轻、快、准”。

2.2.6 放射性废物的处理遵守放射放射性废物处理制度及处理方法，及时登记废物处理、注销情况。

2.2.7 严禁采购、使用无批文、批号或相关有效证件的放射性药品或过期药品。

3. 放射性药品使用者应具备相应的资格和资质，需要办理《放射性药品使用许可证》。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

核医学医师的职责

1. 审定临床科室要求进行核医学诊治的申请单，必要时，有责任与申请医师联系，要求补充有关信息。
2. 经评价核定必需进行的核医学诊治，核医学医师应针对具体临床问题逐例计划，并选用合适的放射性药物及恰当的诊疗程序和技术。
3. 核医学医师有责任及时将新的或改进了的核医学技术通告其他临床科室医师，以便采用现有的最好方法处理临床问题。
4. 如果患者近期做过核医学诊治，核医学医师应对患者体内残留的活度是否干扰本次检查的诊断质量作出判断，并采取必要的措施。
5. 进行核医学检查时，核医学医师应密切观察病情，负责抢救危重病人。在心脏检查时，负责心电图监测和紧急抢救工作。
6. 核医学医师应按要求参加医师读片会，及时、准确、规范书写核医学检查报告。
7. 进行核医学治疗时，核医学医师应根据临床医师的要求，根据病史、体格检查、必要的实验室检查结果，做出正确的诊断，书写病历，开出医嘱。治疗前必须向病人详细交代其优缺点、注意事项、及可能出现的问题，根据有关规定请病人签字后才能进行核医学治疗。
8. 严格遵守并有责任负责检查核医学各项规章制度和技术操作规程，加强放射性防护工作，严防差错事故。
9. 负责定期检查核医学质量控制工作，组织技术人员对仪器进行检修和保养工作。
10. 组织和担任临床教学、进修和实习人员的培训工作。
11. 积极参加继续再教育学习，不断更新知识。
12. 积极开展新技术和科研工作。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

核医学技术人员职责

1. 技术人员在施行核医学诊治前应仔细核对申请要求和诊治程序，如有疑问应及时询问有关人员。
2. 技术人员对所用放射性药物必须进行放射性活度测定；施行每次临床核医学实践时必须严格按相应操作规程进行。
3. 技术人员向患者施予放射性药物前必须仔细核对：患者是否与申请单上的姓名相符；准备实施的放射性药物名称，化学形式和活度是否与要求的相符；是否准备使用非常规程序；患者是否已做好准备工作，如已禁食或施用阻断剂；安排多项检查时的先后顺序。
4. 给患者注射放射性药物时要小心谨慎，注意检查人员注射放射性药物的静脉周围有无泄漏，规定的活度是否已全部注入。如果出现意外，必须立即报告核医学医师。
5. 给患者口服放射性药物前应检查其是否能正常吞咽，服药时应观察这些药物是否已被吞下，并注视患者是否有出现呕吐的任何指征。
6. 必须记录每次给予放射性药物的全部情况（包括患者反应和副作用等）。如给予情况不满意，应同时记录失败的原因。
7. 应当建立避免给错放射性药物或把放射性药物给错患者的防范措施。如果发生治疗给药失误，核医学医师应立即对患者进行妥善处理，并向有关部门报告。
8. 完成核素显像后必须请核医学医师进行复查。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放射治疗医师工作职责

- （一）放射治疗医师必须具备执业医师执照，大型放疗仪器设备上岗证，放疗专业卫生防护合格证。
- （二）放射治疗医师必须每天佩戴剂量检测仪，参加每年一次放疗体检，体检结果正常。
- （三）放射治疗医师必须循证放射肿瘤学，循证医学，负责、明确、明智、应用临床证据为每一个病人服务。
- （四）放射治疗医师对待病人要求耐心热情，认真负责，树立良好的医德医风，积极配合主任搞好工作，遵守劳动纪律，不迟到，不早退，不擅离工作岗位。
- （五）积极了解国内外放疗技术的新进展和动态，配合有关人员开展放疗新课题的研究。
- （六）放射治疗医师必须亲自询问病史、检查病人、申请所需 X 线、CT 等影像检查，化验、病理活检。
- （七）新病人入院资料完善后和放射科主任读片，参与由住院医师汇报病史，全科讨论临床分期，分根治性、姑息性等，讨论治疗原则、矛盾焦点、治疗中可能出现并发症及处理。
- （八）每个病人放疗前放射治疗医师必须与家属谈话，签字确认。
- （九）每天查房，查看患者定位线。每二周一次模拟定位复查照射野。
- （十）每周记录放射治疗剂量一次，叠加剂量。
- （十一）放射治疗结束，放射治疗医师必须做好放疗小结、总结、影像小结、临床症状评估。对预后作推断，定期随访病人。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放射物理师工作职责

（一）在科主任的领导下负责肿瘤放射治疗的具体工作，参加并通过全国物理师上岗证资格考试，获得上岗证。

（二）具有较好的外语和计算机基础，对解剖学、放射生物学、核医学及影像诊断学有一定了解。

（三）充分了解和掌握各种放疗设备的基本性能、物理特点和在放疗中的作用，协助医师针对临床具体情况选择机型并按放疗原则确定治疗技术，独立操作并指导他人正确操作和熟练应用。

（四）了解并掌握各类辐射测量手段，主要是电离室、热释光、半导体、胶片计量学方法，在新设备安装验收后，按规程准确刻度剂量及用三维水箱或体膜测量各种必要的临床数据，能借助人形体膜或患者自身实测临床剂量。

（五）熟悉治疗计划系统操作，能指导或监督物理技术员设计常规计划并建立和完善特殊治疗剂量学方法。

（六）与医师一起建立并不断完善临床剂量学步骤，使患者治疗前的全部准备工作和实施过程有条不紊，各环节配合默契。

（七）放射治疗技术质量保证（QA）和质量控制（QC）：每天在治疗或给病人定位前，先检查各治疗机和定位机的常规几何参数，如床、机架是否在“0”位、激光指示是否在机器等中心位置，抽查计划单的输入及射野挡块、摆位等情况；

1、按照医生的要求做位置验证（如照验证片）。

2、加速器常规 QA、QC；严格按加速器的 QA 标准和 QC 措施来执行，发现问题及时处理并向相关领导汇报发现的问题。

3、机器维修或更换相关备件后，物理人员应及时做 QA、QC。

4、定期做治疗附件的检测，包括摆位辅助装置和固定器、激光定位灯、源距离指示灯、线束修整装置（楔形板、挡块托架、射野挡块、组织补偿器和组织填块等）。

5、进行治疗计划的剂量验证。

6、做好 TPS 的常规质量保证和质量控制。

7、做好患者治疗计划的设计和监督实施工作；

①计划的登记、收费、传输、备份等工作。

②医生确认靶区提交计划单后，2D 计划在当天完成，3D-CRT 计划应在 24 小时内设计

完成； IMRT 计划应在 48 小时内设计完成。

③计划设计按照《放射治疗计划的设计、实施规范》来执行。

④定期抽查治疗计划执行情况 。

8、根据设备购置完成放射治疗设备的验收及测试，治疗机剂量学参数及相关修正因子的测量。

9、做好辐射防护安全预防、检测和应急处理，放疗网络安全的维护与管理工

10、持续关注放疗设备和技术的发展，不断更新知识层次和知识面，开展新治疗技术，开展教学和科研，落实相关任务等。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放疗技师工作职责

- 1.了解所使用机器及辅助设备的性能和基本结构，熟悉所使用的射线的性质、特点以及工作条件和范围，掌握正确操作机器的方法以保证机器的正常运转。
- 2.工作中要严格按机器的操作规程进行，要爱护设备并定期保养，应注意射线的安全防护，保证病人和工作人员的安全，严禁非使用人员开机操作。
- 3.放疗技士承担每日放疗病人的治疗任务，在工作中应认真负责，仔细核对治疗单，正确无误地执行治疗计划，操作要准确，摆位要正确。
- 4.要认真填写治疗单，必须经常核对剂量有无差错，及时登记统计报表，字迹要工整、清晰、准确。
- 5.放疗技士工作在临床第一线，要树立良好的医德医风。工作时必须穿工作服，做到端庄整洁。对病人态度要热情和蔼，遵守劳动纪律，不迟到、不早退、不擅自脱离工作岗位。
- 6.治疗室内严禁吸烟，每天要打扫卫生，每周彻底扫除一次，经常保持治疗室整洁。
- 7.一天治疗工作全部结束后，要将机器及辅助设备（包括空调器、监视器、扩大器等）按要求复位关闭，检查门窗、水、电是否关好。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

模拟定位技师工作职责

1. 从事模拟定位工作，首先要了解所使用的模拟定位机及辅助设备的性能和基本结构，掌握正确操作模拟机的方法以及保证机器的正常运转。
2. 工作中要严格按机器的操作规程进行，要爱护设备并定期保养，注意射线的安全和防护，保证病人和工作人员的安全，严禁非操作人员开机操作。
3. 每日完成需要定位病人的定位工作，工作中认真负责，仔细对每一种病人进行扫描，图像传输，校位，模拟验证等进行操作。
4. 对每一位定位病人认真作好记录，字迹要工整，清晰、准确。
5. 要树立良好的医德医风，工作时必须穿工作服，做到端庄整洁，对病人态度热情和蔼，遵守劳动纪律，不迟到、不早退、不擅自脱离工作岗位。
6. 定位室内严禁吸烟，每日要打扫卫生，经常保持治疗室整洁，每周做一次机器清洁维护保养。
7. 每天工作结束后，要将机器及辅助设备电源关掉，检查门窗、水、电等关好方能离开。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

核医学科工作制度

- 1、核医学仪器的使用，放射药品的分装，给病员投药，均应严格执行操作规程，严防污染和差错事故。
- 2、使用放射性药物前，应严格核对品种、剂量、用法，查对病人姓名、性别、年龄、诊治项目，准确无误方可使用。
- 3、严格执行放射性药物管理规定，储源室应有专人保管，做好药物管理登记、帐目记录、定期核查等工作，严格交接手续。如有疑问应立即报告科主任和院领导进行清查。
- 4、放射源储源室、高活性室非本室人员不得入内，未经允许谢绝参观。放射性药物按防护规定管理和处理，种类、储量、用量不得外传。严固门窗，确保安全。
- 5、注意仪器维修，作好 "三防"（防潮、防衰、防尘）工作。了解仪器原理、功能，熟练掌握操作技能。严格执行仪器诊断检查操作规程和注意事项。
- 6、严格执行同位素安全操作规程。 进行放射性操作必须穿戴防护服。 $^{18}\text{F-FDG}$ 操作必须在通风橱内进行，传递时必须使用长柄钳。取用放射性药物严禁口吸。
- 7、活性区禁止饮食、吸烟、存放食品餐具等。活性区非必须物品不得携入，室内物品未经安全测量不得携出。如发生污染，立即报告，作好标记，立即处理。
- 8、严格执行放射性染物管理和处理规定。 离开活性区脱去实验服，按规定冲洗双手。活性区保持整齐清洁，每日清洗，并进行污染防护监测。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放射性废物处理制度

根据卫生部公布的《GBZ133-2009 医用放射性废物的卫生防护管理》，核医学科对医用放射性废物管理作出以下规定。

一、固体废物的管理

1、废物收集

(1) 按废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。

(2) 供收集废物的污物桶具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点避开工作人员作业和经常走动的区域。

(3) 污物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

(4) 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后在装入专用塑料袋内。

(5) 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg 。

2、废物临时贮存

(1) 贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设电离辐射警示标志。

(2) 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明。

(3) 废物包装体外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

(4) 应在临时贮存期满前及时把废物送往城市废物贮存库或废物处置单位。

3、废物处理

固体放射性废物在衰变桶内衰变足够长时间，达到清洁水平，作为医疗废物处理；由清洁人员在早上 6:30 至 7:30 和中午 12:00 至 14:00 期间将达到清洁水平的废物送往医疗废物收集处进行处理。

二、液体废物的管理

1. 设置放射性污水池存放放射性废水，至少存放 10 个半衰期后，经检测满足国家标准排放要求后可作普通废液处理。

2. 含放射性核素的有机闪烁废液，应存放在不锈钢或玻璃钢容器内。含放射性核素的有机闪烁液，其活度浓度大于或等于 37Bq/L ，应按放射性废液处理。

3.为使用放射性药物病人提供有防护标志的专用厕所，对病人排泄物实施统一收集和管理。将其排泄物贮存 10 个半衰期后排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行酸化，促进排入下水道系统。

四、气载废物的管理

操作具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

五、废物管理制度

1.有专(或兼)职废物管理人员负责废物的收集、分类、存放和处理。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养。

2.应具有预防发生废物丢失、被盗、容器破损和灾害事故的安全措施。贮存室的显著位置应设电离辐射警示标志，并建立废物档案和出入贮存室登记与双人双锁管理制度。

3.设废物贮存登记卡，废物主要特性和处理过程应记录在卡片上，并存档备案。

4.医用密封放射源应按国家有关法规和标准的要求废弃和处理。

5.接触放射性废物的工作人员必须使用个人防护用具或屏蔽防护设施，并佩戴个人剂量计。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

放射性污染去污操作规程

1、制订本规程的目的是建立本中心放射性污染去污的标准操作规程，确保科内工作人员的辐射安全。

2、操作规程：

（1）对于操作托盘中已污染的滤纸，应立即更换。

更换步骤：戴一次性乳胶手套，小心折叠被污染的滤纸，使其干净的一面在外，放入废物袋中。同时把有污染的手套和其它用于去污而受污染的物品一同放入废物袋中转移。

（2）少量放射性液体溢出

①通知工作人员某处已发生放射性污染。

②阻止污染扩散：用强吸附力的纸覆盖在溢漏处以防止扩散。

③清除：戴一次性乳胶手套用强吸附力的纸在溢漏处反复擦拭、清除，必要时可使用清洁剂帮助清洗。擦拭时注意应由外向内进行清洗，防止污染面扩大。然后小心折叠被污染的纸，使其干净的一面在外，放入废物袋中。同时把有污染的手套和其它用于去污而受污染的物品一同放入废物袋中转移。

（3）大量放射性液体溢出

①立即通知工作人员撤离污染现场。

②阻止污染扩散：用强吸附力的纸覆盖在溢漏处以防止扩散。

③铅屏蔽污染源：在确认污染不会再扩散的情况下，在污染源周围用铅砖搭起屏蔽墙，关闭该区域，禁止进入。待污染源衰变至较低水平时，按上述方法进行清除。

（4）检测：用低量程放射性污染检测仪检查被污染区域有无放射性同位素残留。

（5）人员污染

当人员受到污染时，须先除去被污染的衣服，装入废物袋中转移。用温水冲洗被污染的皮肤，然后再用中性肥皂洗净；若仍有残留，用塑料覆盖在被污染的皮肤上导致其出汗，然后用水冲洗污染处，冲去因出汗分解的污染。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

ELEKTA Synergy 直线加速器操作规程

一、每天开机前检查项目

治疗室内湿度（小于 70%）；机器冷却水温、水压、六氧化硫气压；灯光野显示及其与照射野的符合性，机架角与准直器角显示，床面水平度，激光灯，急停按钮和门连锁。

二、开机预热

- 1、按下主机柜电源开关键（POWER）,系统进行自检；
- 2、待系统自检通过后，点击左下侧图标(Launch Precise Desktop)，进入登录界面；
- 3、加速器需要自动预热 15 分钟，输入用户名与密码，点击 Standard Therapy 进入标准治疗模式，待加热完成后，选择 6MV 光子线 100 剂量率，出束 100MU 对机器经行预热；
- 4、开启 Mosaiq、XVI、iviewGT 计算机并登录，把 XVI 臂架拉伸，然后进行预热。
- 5、待所有预热完成后，进行机器晨检，确保射线稳定在误差范围内，方可进行患者治疗。

三、治疗过程

- 1、治疗前核对患者的姓名、ID、性别等，杜绝错误照射，与患者谈话，交待注意事项；
- 2、检查放射治疗计划内容，包括主管医生、上级医生、物理师、治疗技师的签名，以及治疗技术、特殊体位、固定装置等；
- 3、检查患者体表放射治疗标志，首次治疗需请主管医生共同摆位，特殊病例需每次摆位；
- 4、两位治疗技师共同摆位。进入机房是一人在前一人在后，以确保患者的安全；
- 5、检查直线加速器，确认治疗机机架归零，准直器及 MLC 归零；
- 6、放置体位固定装置，按照医嘱对患者进行摆位，充分暴露照射野，清除照射野区异物，确定等中心及体表标记清晰可见，两位治疗技师共同确认放射治疗辅助装置，排除碰撞危险；
- 7、摆位结束，确认全部非治疗人员离开治疗室,才能关闭治疗室电动门，复核姓名、ID、照射部位等，保证准确无误才能治疗；
- 8、治疗期间，通过监视器全程观察患者在放射治疗中的变化，患者如有不适应立即终止治疗，先将患者安全移出治疗室，及时与主管医生取得联系，并记录；
- 9、如机器发生故障立即中断治疗应及时告知患者，确保患者安全离开治疗室。及时联系机器维修工程师和领导，并记录。

四、治疗结束

- 1、机器归零，治疗床归位，患者离开治疗室，放射治疗技师应走在最后；

- 2、放射治疗中出现任何疑问，应及时告知主管医生。

五、关机

- 1、在治疗室内将臂架与准直器置于 0 度，放好附件；
- 2、关闭 Mosaiq、XVI、iviewGT 系统，主机界面点击 Log Off，选择 Shutdown, Power off, 待主机显示可安全关闭后，按下主机柜电源键，并记录工作日志。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

VARIAN NovalisTX 直线加速器操作规程

一、每天开机前检查项目

治疗室内湿度（小于 70%）；机器冷却水温、水压、六氧化硫气压；灯光野显示及其与照射野的符合性，机架角与准直器角显示，床面水平度，激光灯，急停按钮和门连锁。

二、开机预热

- 1、POWER 钥匙旋到 ON 的位置，等待 TDLY 时间(12min)后，选择 6MV 光子线 100 剂量率，出束 100MU 对机器预热；
- 2、开启 OBI、4DTC、Exactrac 计算机，并将臂架置于 0 度，打开 MLC 系统，输入-wr 执行 MLC 初始化；打开治疗系统；打开 OBI 以及 Exactrac 系统并曝光加热，六维床归零；
- 3、待就绪后，进行晨检，确保射线在误差允许范围内，方可进行治疗。

三、治疗过程

- 1、治疗前核对患者的姓名、ID、性别等，杜绝错误照射，与患者谈话，交待注意事项；
- 2、检查放射治疗计划内容，包括主管医生、上级医生、物理师、治疗技师的签名，以及治疗技术、特殊体位、固定装置等；
- 3、检查患者体表放射治疗标志，首次治疗需请主管医生共同摆位，特殊病例需每次摆位；
- 4、两位治疗技师共同摆位。进入机房是一人在前一人在后，以确保患者的安全；
- 5、检查直线加速器，确认治疗机机架归零，准直器及 MLC 归零；
- 6、放置体位固定装置，按照医嘱对患者进行摆位，充分暴露照射野，清除照射野区异物，确定等中心及体表标记清晰可见，两位治疗技师共同确认放射治疗辅助装置，排除碰撞危险；
- 7、摆位结束，确认全部非治疗人员离开治疗室,才能关闭治疗室电动门，复核姓名、ID、照射部位等，保证准确无误才能治疗；
- 8、治疗期间，通过监视器全程观察患者在放射治疗中的变化，患者如有不适应立即终止治疗，先将患者安全移出治疗室，及时与主管医生取得联系，并记录；
- 9、如机器发生故障立即中断治疗应及时告知患者，确保患者安全离开治疗室。及时联系机器维修工程师和领导，并记录。

四、治疗结束

- 1、机器归零，治疗床归位，患者离开治疗室，放射治疗技师应走在最后；

- 2、 放射治疗中出现任何疑问，应及时告知主管医生。

五、关机

- 3、 在治疗室内将臂架置于 120 度，准直器置于 90 度，关闭六维床电源，放好附件；
- 4、 关闭 OBI、4DTC、Exactrac 系统，将 POWER 钥匙旋到 STANDBY 位置，并记录工作日志。

中山大学附属第一医院

2017 年 12 月 20 号

国家卫生和计划生育委员会

国卫规划函〔2017〕101号

国家卫生计生委关于中山大学附属第一医院 医学综合楼工程可行性研究报告 (代项目建议书)的批复

中山大学附属第一医院：

你院《关于审批医学综合楼工程可行性研究报告(代项目建议书)的请示》(附一〔2017〕1号)收悉。经研究，现批复如下：

一、为改善医院医疗和科研条件，满足发展需要，同意你院医学综合楼工程立项，并原则同意你院所报医学综合楼工程可行性研究报告(代项目建议书)。

二、工程建设地点位于中山大学附属第一医院(广东省广州市越秀区中山二路58号)院区西部，门诊大楼北侧。

三、主要建设内容为门急诊、医技和科研等功能用房及配套设施等。工程总建筑面积54,100平方米，其中，地上建筑面积41,390平方米，地下建筑面积12,710平方米。

四、工程估算总投资47,040万元，资金来源为申请中央预算内投资和医院筹措资金共同解决。



五、按照国家有关规定和项目建设单位指定,确定肖海鹏同志为中山大学附属第一医院医学综合楼工程责任人。

六、请根据工程招标投标事项核准意见(附表),按照《中华人民共和国招标投标法》,认真做好项目建设的招投标工作。

七、请你院认真执行基本建设程序,本着控制建设标准、节约国家投资的原则,严格按照批复的建设内容、建设规模和初步估算等,认真落实专家评审意见和节能审查意见,抓紧组织编制该工程初步设计和投资概算,报我委审批。

此复。

附件:中山大学附属第一医院医学综合楼工程招标投标事项核准意见



(信息公开形式:主动公开)

国家卫生健康委员会

国卫财务函〔2019〕193 号

国家卫生健康委关于同意 中山大学附属第一医院资产处置的批复

中山大学附属第一医院：

你单位《关于申请拆除报废 3 号楼和 4 号楼的请示》（附一〔2018〕15 号）有关申请材料收悉。根据财政部和我委有关规定，经研究，现批复如下：

一、同意你单位 2 栋房屋（账面原值共计 404.37 万元）作报废处置，具体情况详见处置申请表。

二、请按照财务、会计制度及国库集中收缴等有关规定，及时办理相关手续，做好账务处理，将资产报废残值收入及时缴入中央财政汇缴专户。

三、请按照财政部和我委规定，加强国有资产管理，确保国有资产安全完整和有效使用。

此复。



（信息公开形式：不予公开）



附件 7 类比 DSA 项目机房检测报告



编号: 181002-HGDSAR18033

防护检测报告

Radiological Protection Test Report

样 品 名 称: 数字减影血管造影 (DSA)
Name of Sample _____

型 号 规 格: Artis zee III floor
Type Identification _____

生 产 厂 家: SIEMENS
Manufacturer _____

受 检 单 位: 佛山市禅城区中心医院有限公司
Client _____

检 测 日 期: 2018 年 08 月 27 日
Test Date _____

广州南方医大医疗设备综合检测有限责任公司
S.M.U. Medical Equipment Test Co., Ltd



说 明

- 1、本实验室获得了中国合格评定国家认可委员会（CNAS）的认可[认可证书编号：CNAS L2893]和广东省质量技术监督局的计量认证[CMA证书编号：2016191772S]，是经广东省卫生和计划生育委员会批准的放射卫生技术服务机构（甲级）[资质证书编号：粤放卫技字（2014年）第019号]。
- 2、本报告涂改、增删无效，未经本公司书面同意，不得部分复制或引用本报告。本报告不得作广告宣传用，因此引起的法律责任，本公司概不承担。
- 3、本报告无检测人、审核人、批准人签字，未加盖本公司检测专用章无效。
- 4、本报告只对受检的样品负责。
- 5、对本报告有异议者，请于收到报告之日起十五日内向本公司提出，逾期不予受理。
- 6、本报告一式两份，其中一份交客户，一份本公司存档。

本公司联系方式：

地址：广州市白云区沙太南路1063号南方医科大学生命科学楼5楼西侧

邮编：510515

电话：020-62789302、62789303、61648292

传真：020-61648296

邮箱：dmeq@sohu.com；dmeq@tom.com

检测报告

样品名称	数字减影血管造影 (DSA)	样品编号	181002-YPR18873
生产厂家	SIEMENS	型号规格	Artis zee III floor
生产日期	2018 年 04 月	出厂编号	100255
样品处所	5 号楼 1 楼介入导管室手术间	样品状态	门窗外观完整, 防护门开关正常
委托单位	佛山市禅城区中心医院有限公司	委托单位地址	佛山市禅城区三友南路 3 号
受检单位	佛山市禅城区中心医院有限公司	受检单位地址	佛山市禅城区三友南路 3 号
委托日期	2018 年 01 月 31 日	检测日期	2018 年 08 月 27 日
检测依据	GBZ 130-2013《医用 X 射线诊断放射防护要求》		
检测项目	共检测 2 项参数, 详见第 2~5 页		
检测结论	按检测依据对该数字减影血管造影 (DSA) 系统共检测 2 项参数, 经检测 2 项参数均符合 GBZ 130-2013《医用 X 射线诊断放射防护要求》相应的指标要求。 (以下空白)  报告日期: 2018 年 09 月 07 日		
备注	未标明检测条件采用的是标准中要求的检测条件。		

检测: 张俊文 邓志坚 审核: 廖奕鸣 批准: 林本炎
 职务: 授权签字人

检测报告

一、主要检测设备

编号	名称	规格型号	扩展不确定度/最大允差/准确度等级
DMEQ-SB095	X、 γ 剂量率仪	DM-01	$U_{rel}=3.4\%$, $k=2$

二、检测环境条件

环境温度	23.5 ^o C	相对湿度	60.8%	气压	1001.0hPa
------	---------------------	------	-------	----	-----------

三、检测结果

1. X 射线设备机房的辐射屏蔽防护监测

1.1 摄影模式

序号	位置	检测条件	检测结果 (μ Gy/h)	指标要求	单项评定
1	控制室防护门（上）	100kV; 200mA; 300ms; 散射模体: 水模; FD=48cm; 摄影	0.140	机房外人员可能 受到照射的年有效 剂量约束值应不大 于 0.25mSv _a 。	符合
2	控制室防护门（下）		0.131		符合
3	控制室防护门（左）		0.306		符合
4	控制室防护门（中）		0.121		符合
5	控制室防护门（右）		0.218		符合
6	电缆沟 1		0.030		符合
7	控制室防护墙（左）		0.036		符合
8	控制室操作位		0.009		符合
9	观察窗（上）		0.095		符合
10	观察窗（下）		0.076		符合
11	观察窗（左）		0.055		符合
12	观察窗（中）		0.048		符合
13	观察窗（右）		0.046		符合
14	控制室防护墙（右）		0.047		符合
15	手术室大门（上）		0.062		符合
16	手术室大门（下）		0.045		符合
17	手术室大门（左）		0.050		符合
18	手术室大门（中）		0.047		符合
19	手术室大门（右）		0.068		符合

广州南方医大医疗设备综合检测有限责任公司

编号: 181002-BGDSAR18033

第 3 页 共 5 页

序号	位置	检测条件	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	指标要求	单项评定
20	洁净走廊 1	100kV; 200mA; 300ms; 散射模体: 水模; FD=48cm; 摄影	0.074	机房外人员可能 受到照射的年有效 剂量约束值应不大 于 0.25mSv。	符合
21	侧门 (上)		0.062		符合
22	侧门 (下)		0.073		符合
23	侧门 (左)		0.051		符合
24	侧门 (中)		0.043		符合
25	侧门 (右)		0.095		符合
26	走廊 1 (左)		0.158		符合
27	走廊 1 (右)		0.166		符合
28	走廊 2 (左)		0.142		符合
29	走廊 2 (右)		0.131		符合
30	配电箱 1		0.116		符合
31	配电箱 2		0.073		符合
32	设备间		0.064		符合
33	电缆沟 2		0.242		符合
34	洁净走廊 2		0.052		符合
35	2 楼		0.210		符合

1.2 透视模式

序号	位置	检测条件	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	指标要求	单项评定
1	控制室防护门 (上)	Neuro/FL Neuro, 10p/s; 81.0kV, 43.9mA; 散射模体: 水模+1.5mmCu; FD=48cm; 自动透视	0.054	机房外的周围 剂量当量率控制目 标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。	符合
2	控制室防护门 (下)		0.044		符合
3	控制室防护门 (左)		0.122		符合
4	控制室防护门 (中)		0.086		符合
5	控制室防护门 (右)		0.102		符合
6	电缆沟 1		0.029		符合
7	控制室防护墙 (左)		0.030		符合
8	控制室操作位		0.007		符合
9	观察窗 (上)		0.039		符合

广州南方医大医疗设备综合检测有限责任公司

编号: 181002-BGDSAR18033

第 4 页 共 5 页

序号	位置	检测条件	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	指标要求	单项评定
10	观察窗(下)	Neuro/FL Neuro. 10p/s; 81.0kV, 43.9mA; 散射模体: 水模+1.5mmCu; FD=48cm; 自动透视	0.026	机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。	符合
11	观察窗(左)		0.015		符合
12	观察窗(中)		0.026		符合
13	观察窗(右)		0.020		符合
14	控制室防护墙(右)		0.031		符合
15	手术室大门(上)		0.049		符合
16	手术室大门(下)		0.027		符合
17	手术室大门(左)		0.032		符合
18	手术室大门(中)		0.010		符合
19	手术室大门(右)		0.031		符合
20	洁净走廊1		0.044		符合
21	侧门(上)		0.034		符合
22	侧门(下)		0.026		符合
23	侧门(左)		0.019		符合
24	侧门(中)		0.036		符合
25	侧门(右)		0.055		符合
26	走廊1(左)		0.059		符合
27	走廊1(右)		0.064		符合
28	走廊2(左)		0.046		符合
29	走廊2(右)		0.041		符合
30	配电箱1		0.090		符合
31	配电箱2		0.066		符合
32	设备间		0.024		符合
33	电缆沟2		0.117		符合
34	洁净走廊2		0.047		符合
35	2楼		0.014		符合

注: 1、以上剂量率检测结果均已扣除本底 0.198 $\mu\text{Gy/h}$;

2、本剂量率仪满足奈奎斯特采样频率的要求, 因此没有进行时间响应修正;

3、依据 GB18871-2002 标准的 J4.17 (P194), 本次测量辐射的品质因数 Q 和辐射权重因

数 ω_R 相等, 因此空气比释动能率与剂量当量率在数值上相当;

4、具体监测位置见附图。

2. 介入放射学设备在透视防护区测试平面上的空气比释动能率

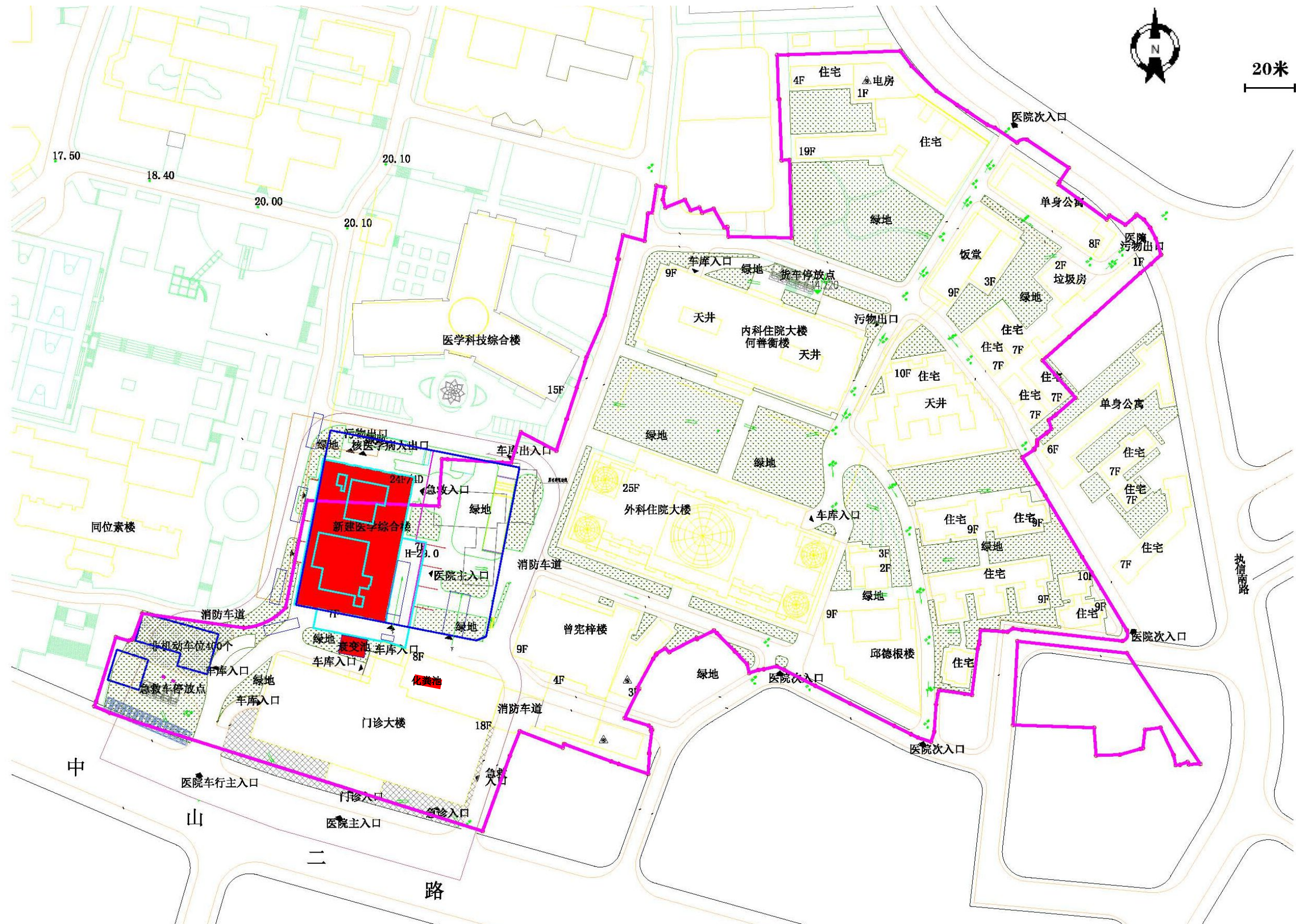
序号	部位	离地高度 (cm)	检测条件	剂量率实测值 ($\mu\text{Gy/h}$)		指标要求	单项评定
				第一术者	第二术者		
1	足部	20	Neuro/TL Neuro, 10p/s; 81.0kV, 43.9mA; 散射模体: 水模+1.5mmCu; FD=48cm; 自动透视	295.464	134.908	空气比释动能 率应不大于 400 $\mu\text{Gy/h}$	符合
2	下肢	80		291.548	92.485		符合
3	腹部	105		185.816	80.799		符合
4	胸部	125		145.677	86.012		符合
5	头部	155		184.837	93.006		符合

附辐射监测位置示意图:

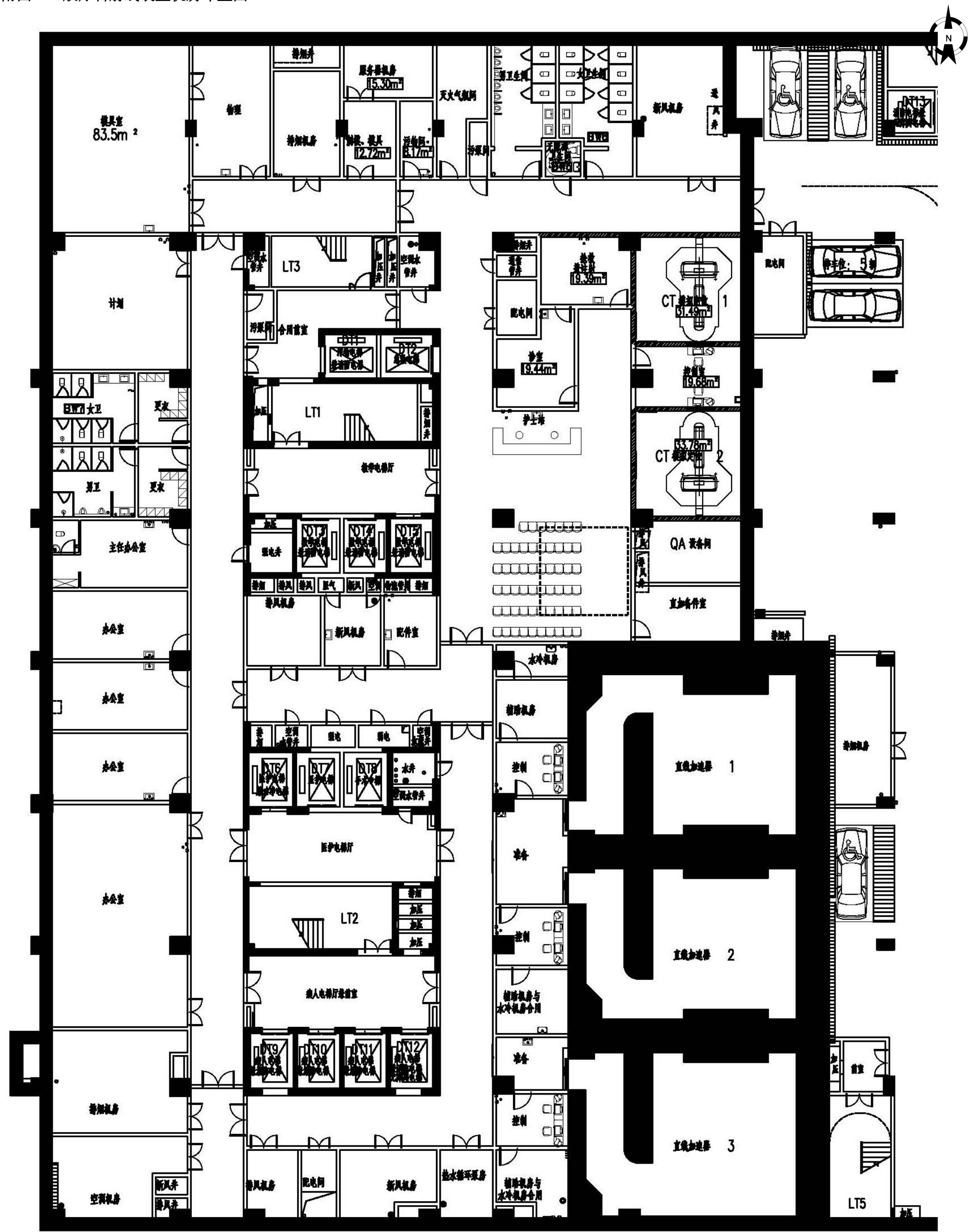


以下空白

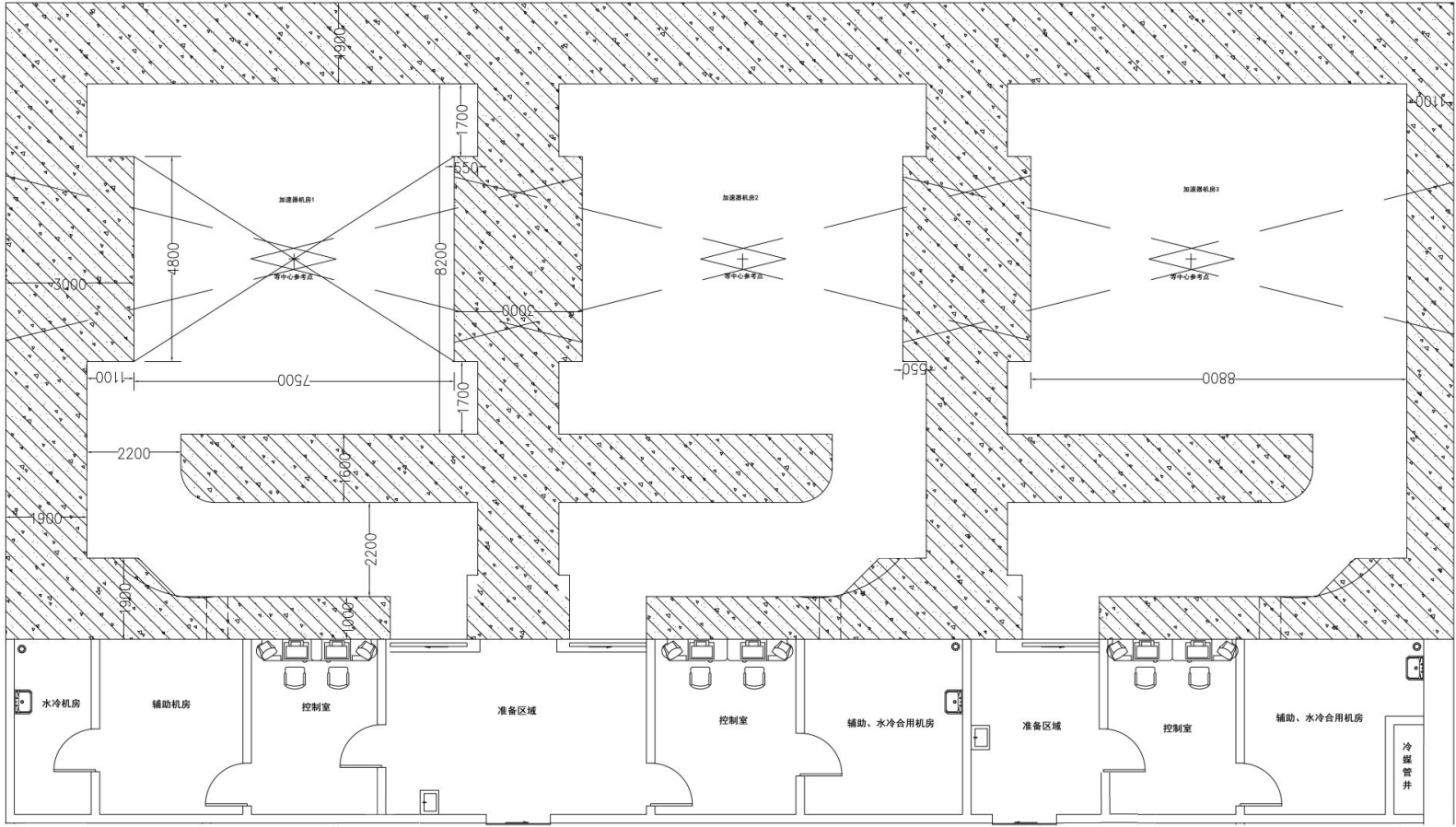
附图一 医院总平面图



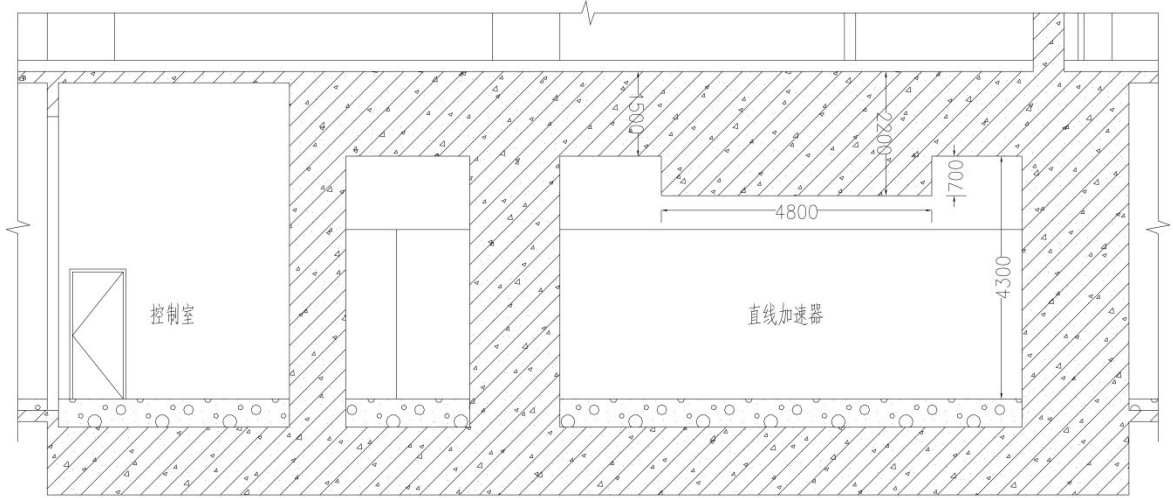
附图二 放疗科射线装置机房布置图



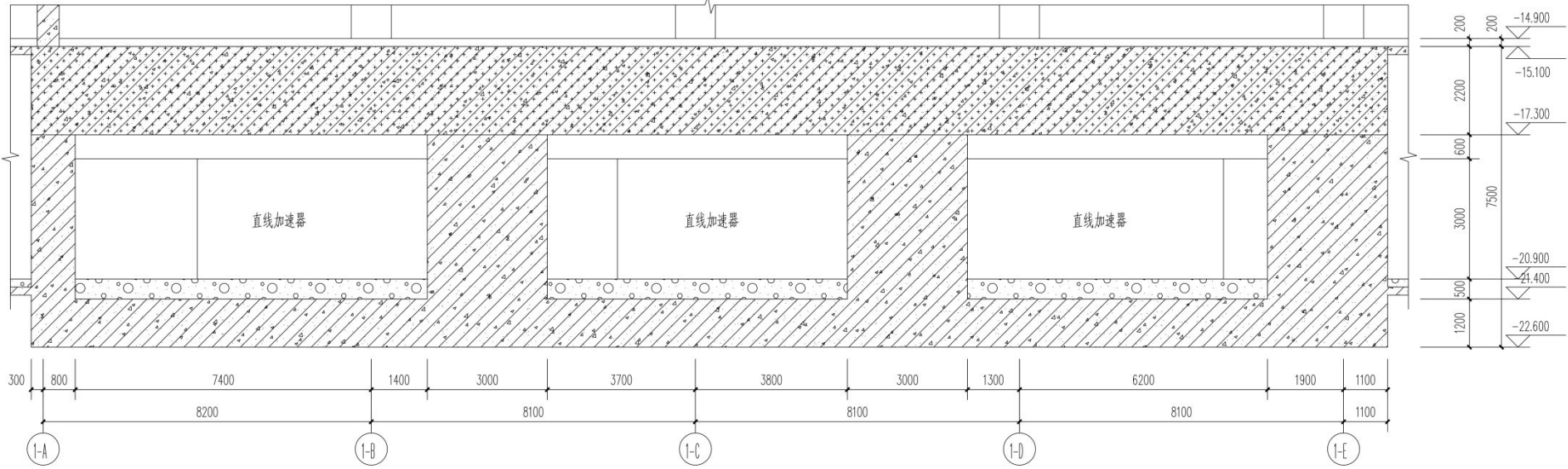
附图三 直线加速器机房平面图、剖面图



平面图

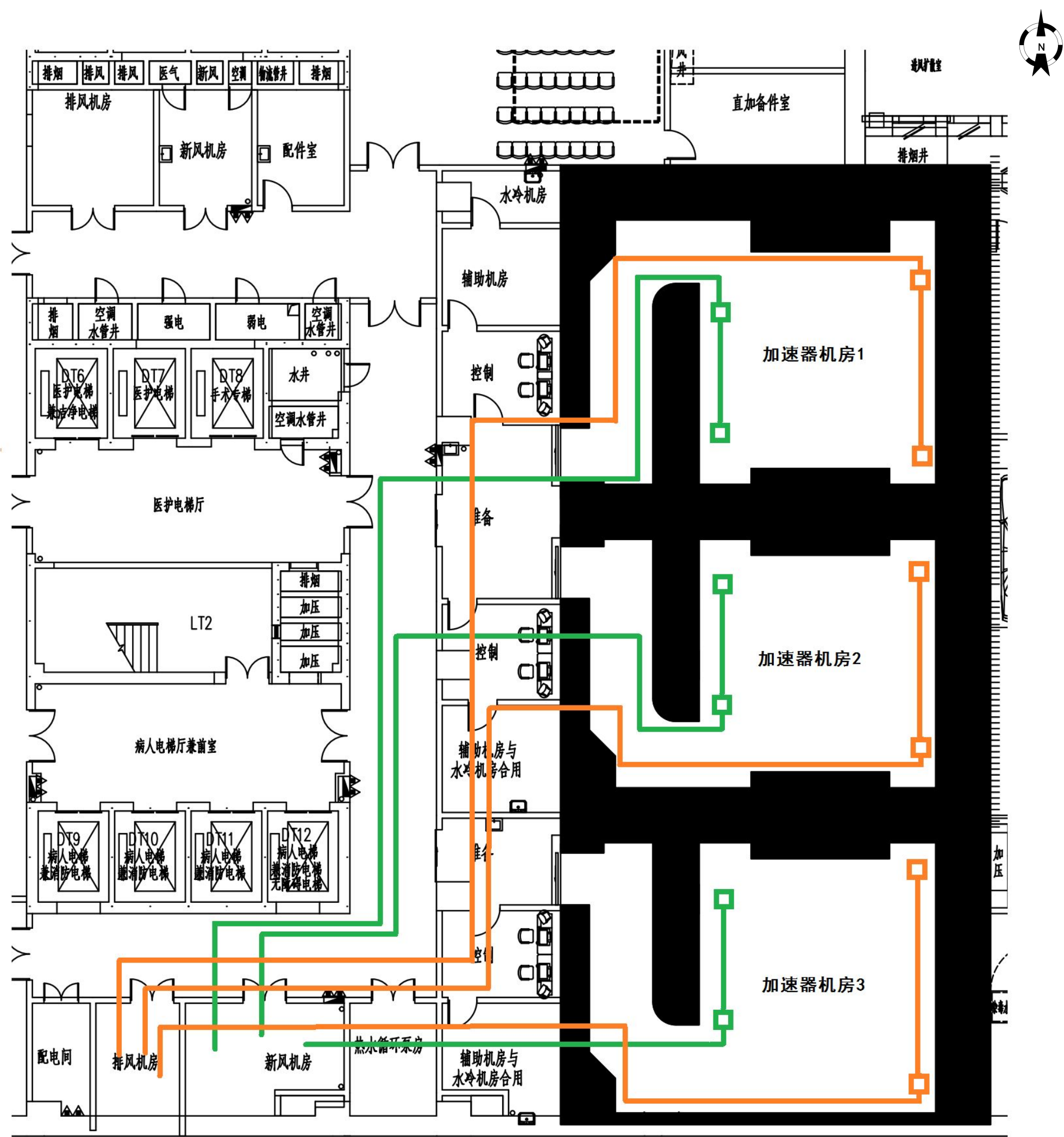


立面图 1

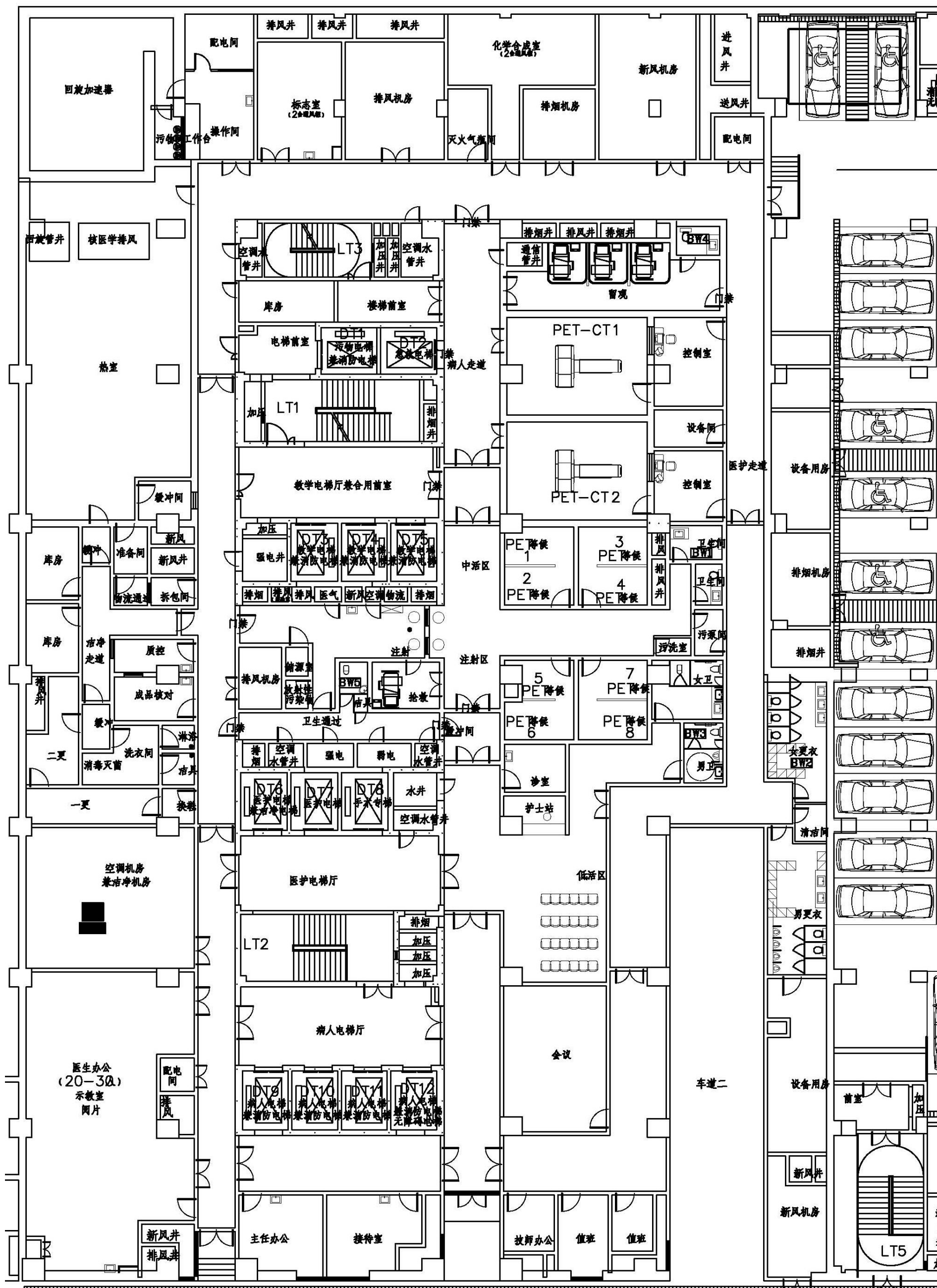


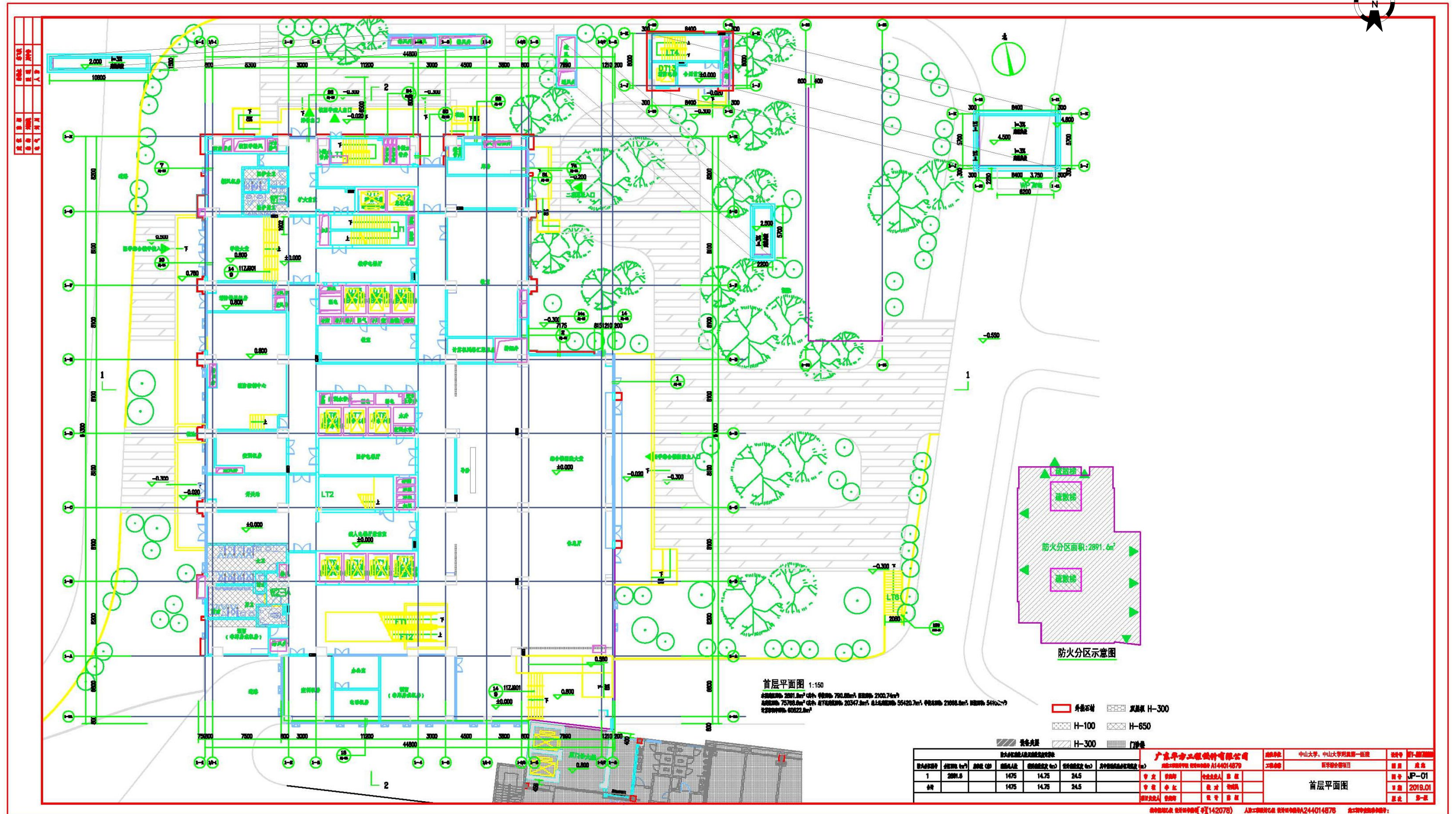
立面图 2

附图四 直线加速器机房通风图

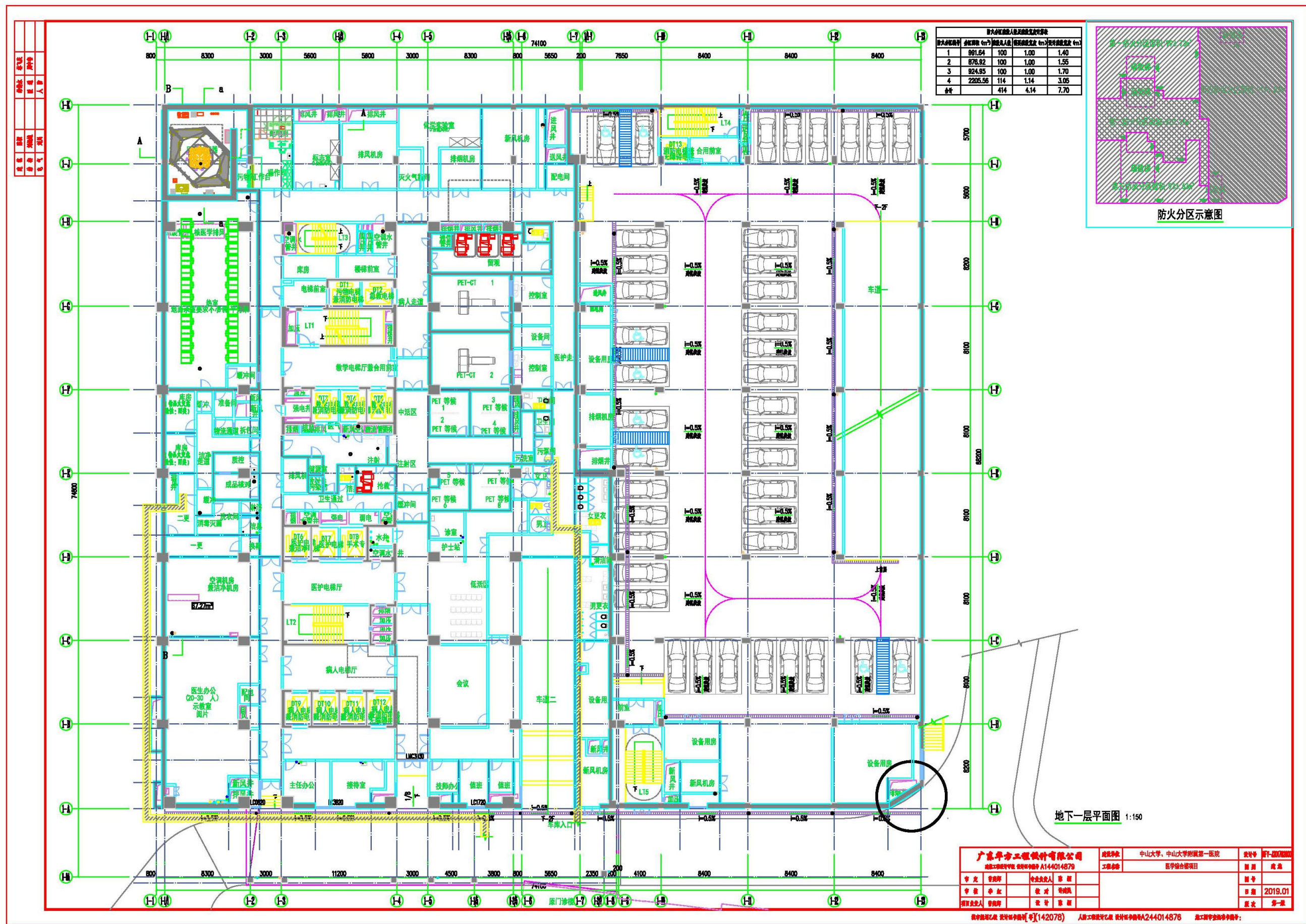


注：图中绿色为进风设计，橘黄色为排风设计。



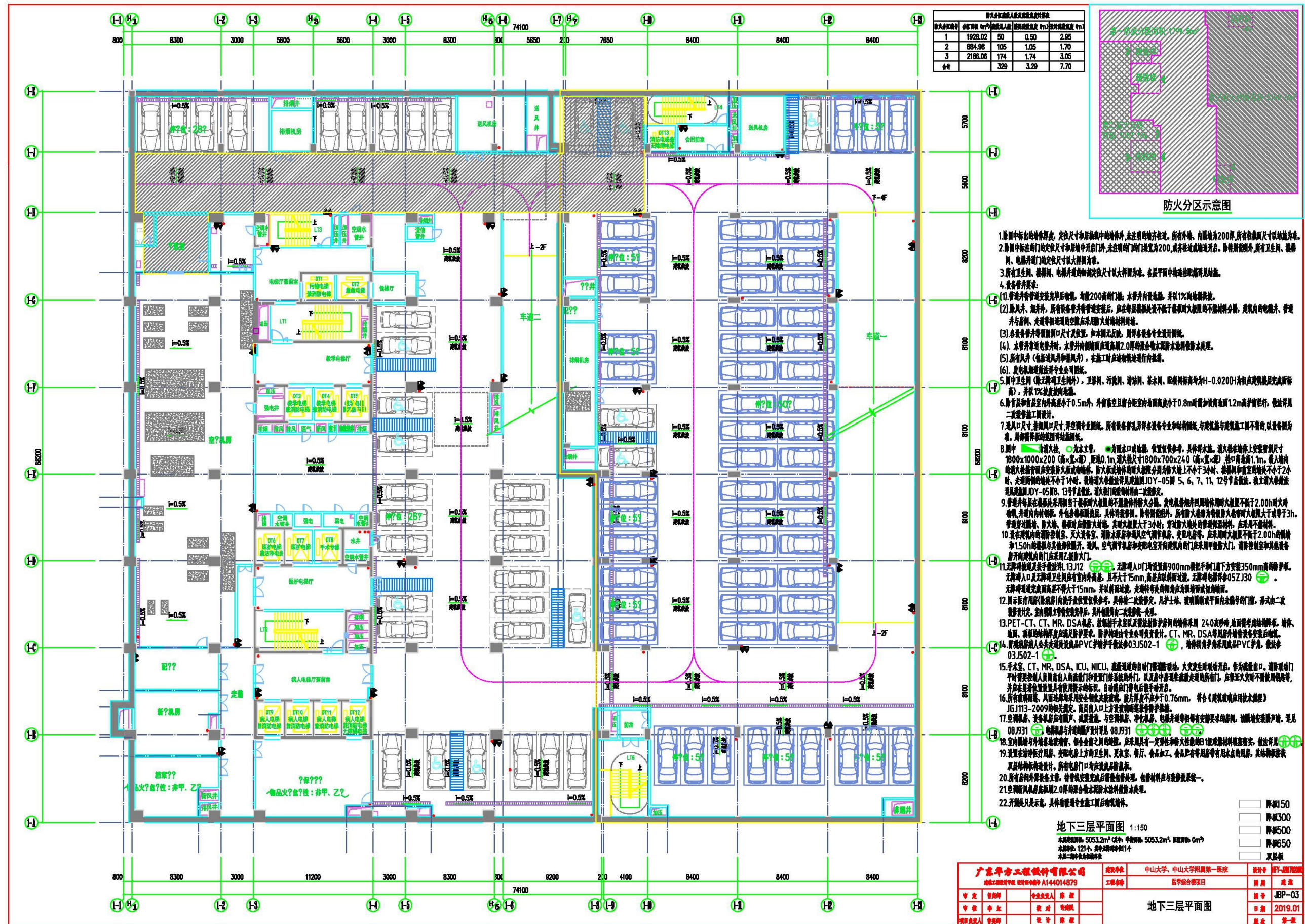


附图七 医学综合楼地下一层平面图



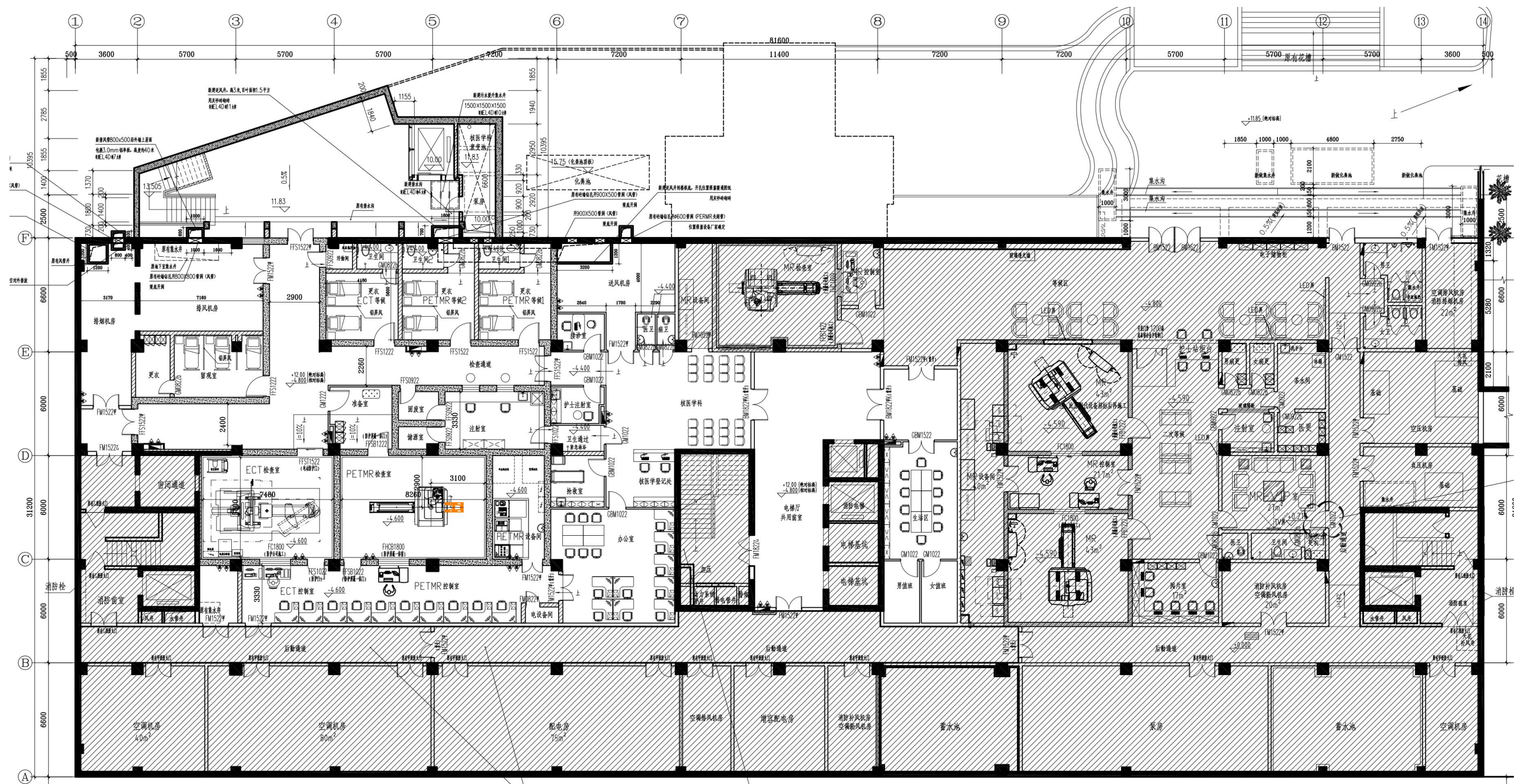


附图九 医学综合楼地下三层平面图

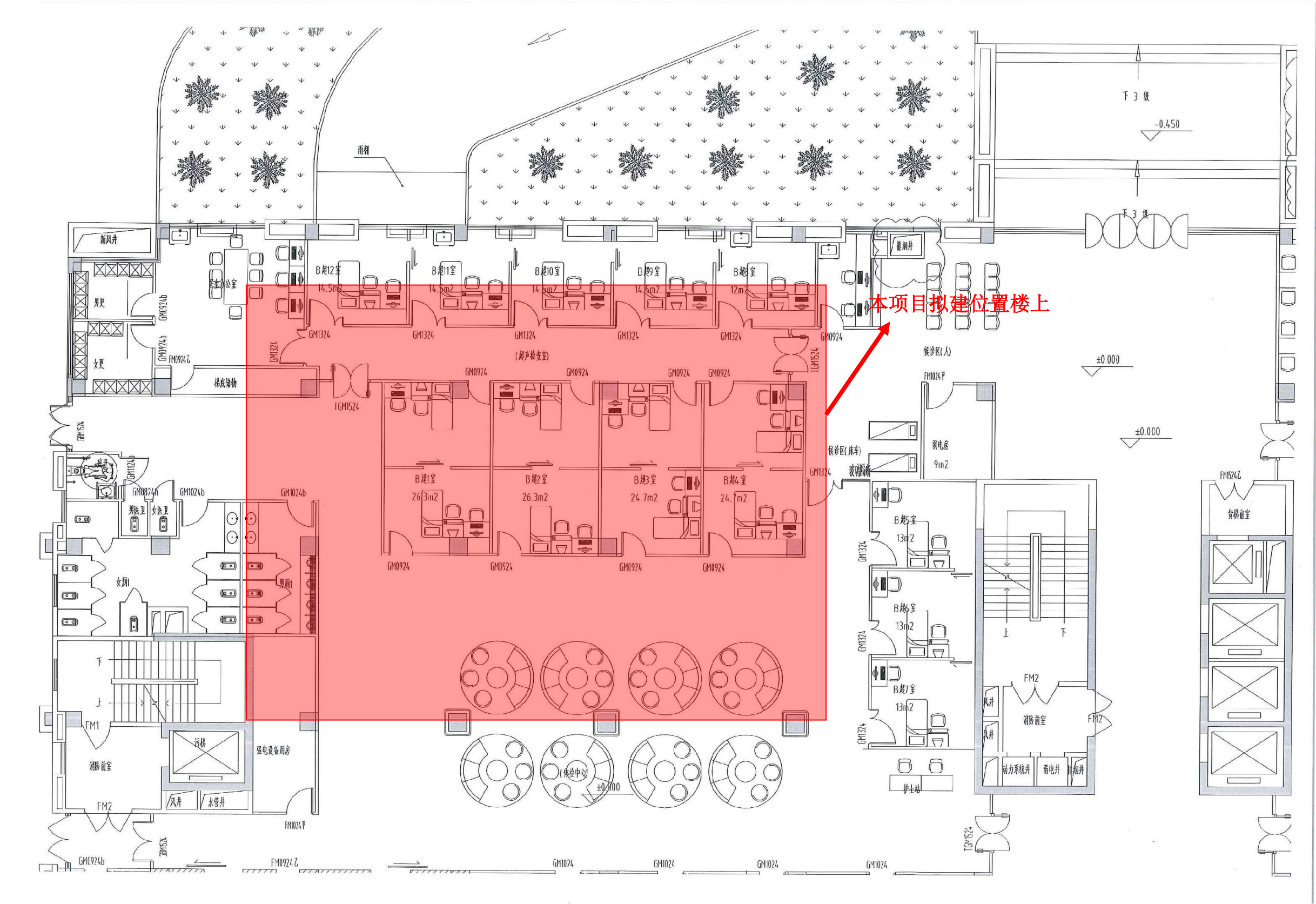


[illegible]

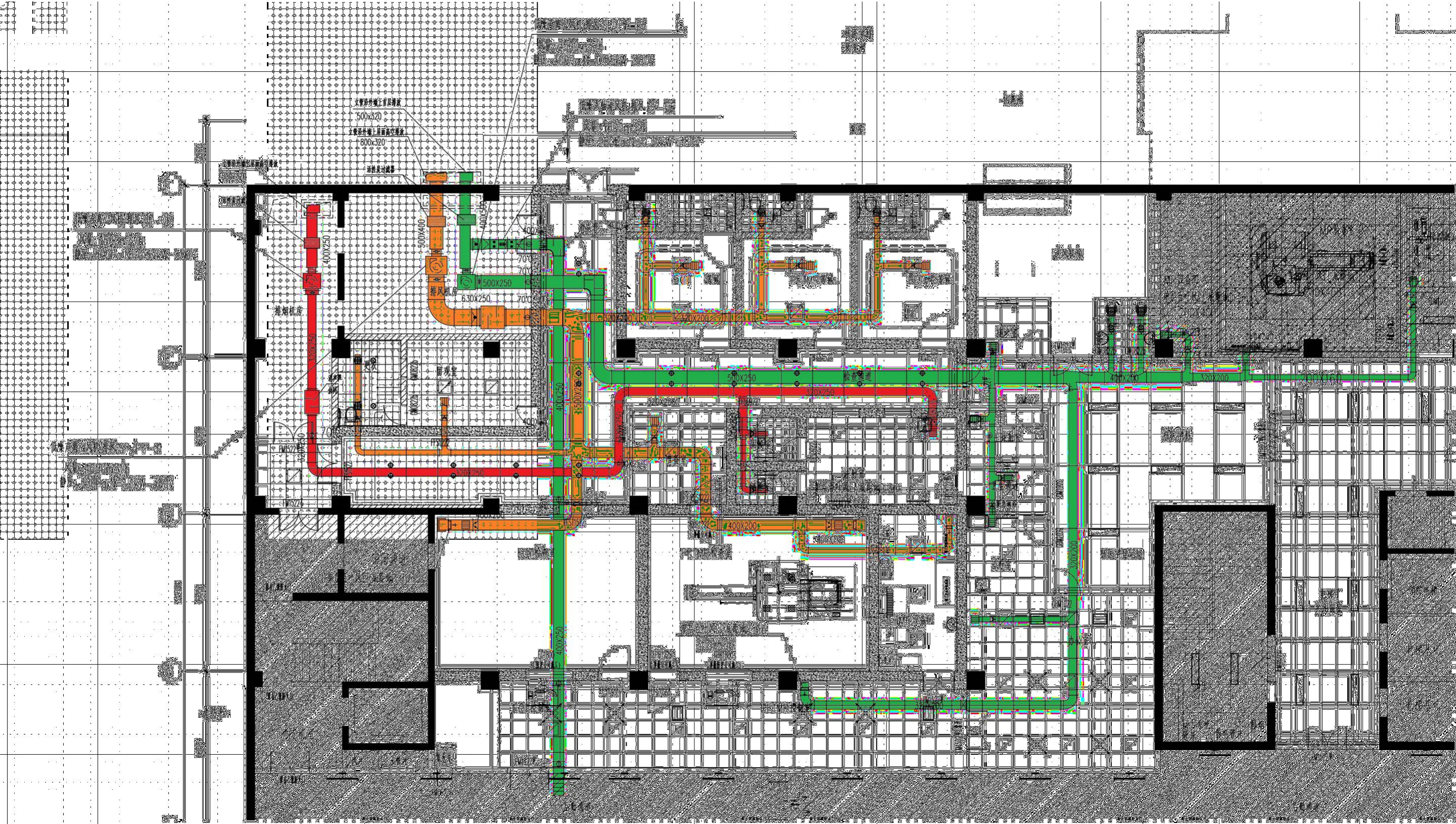
附图十一 何善衡楼负一层平面布局图



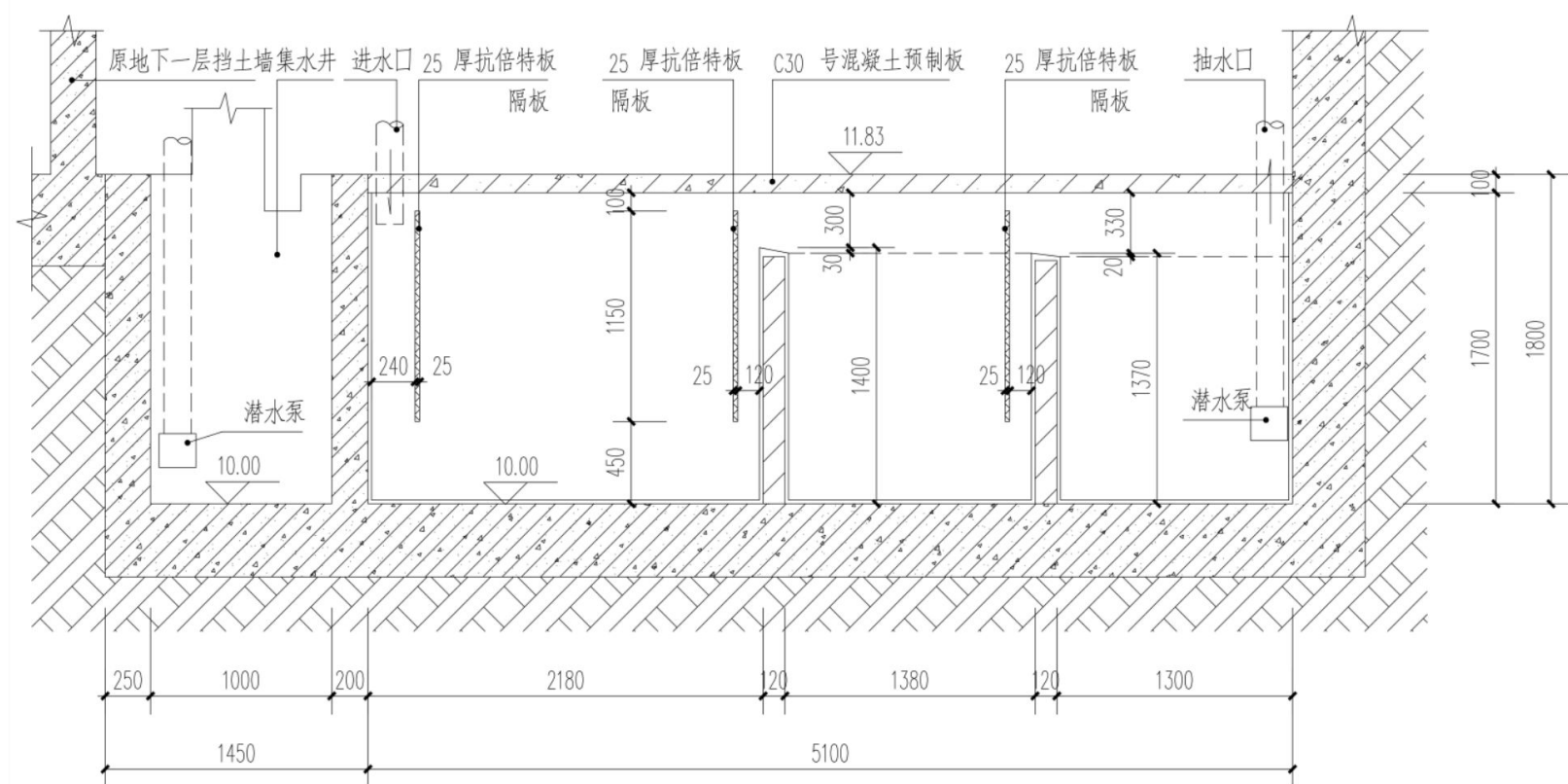
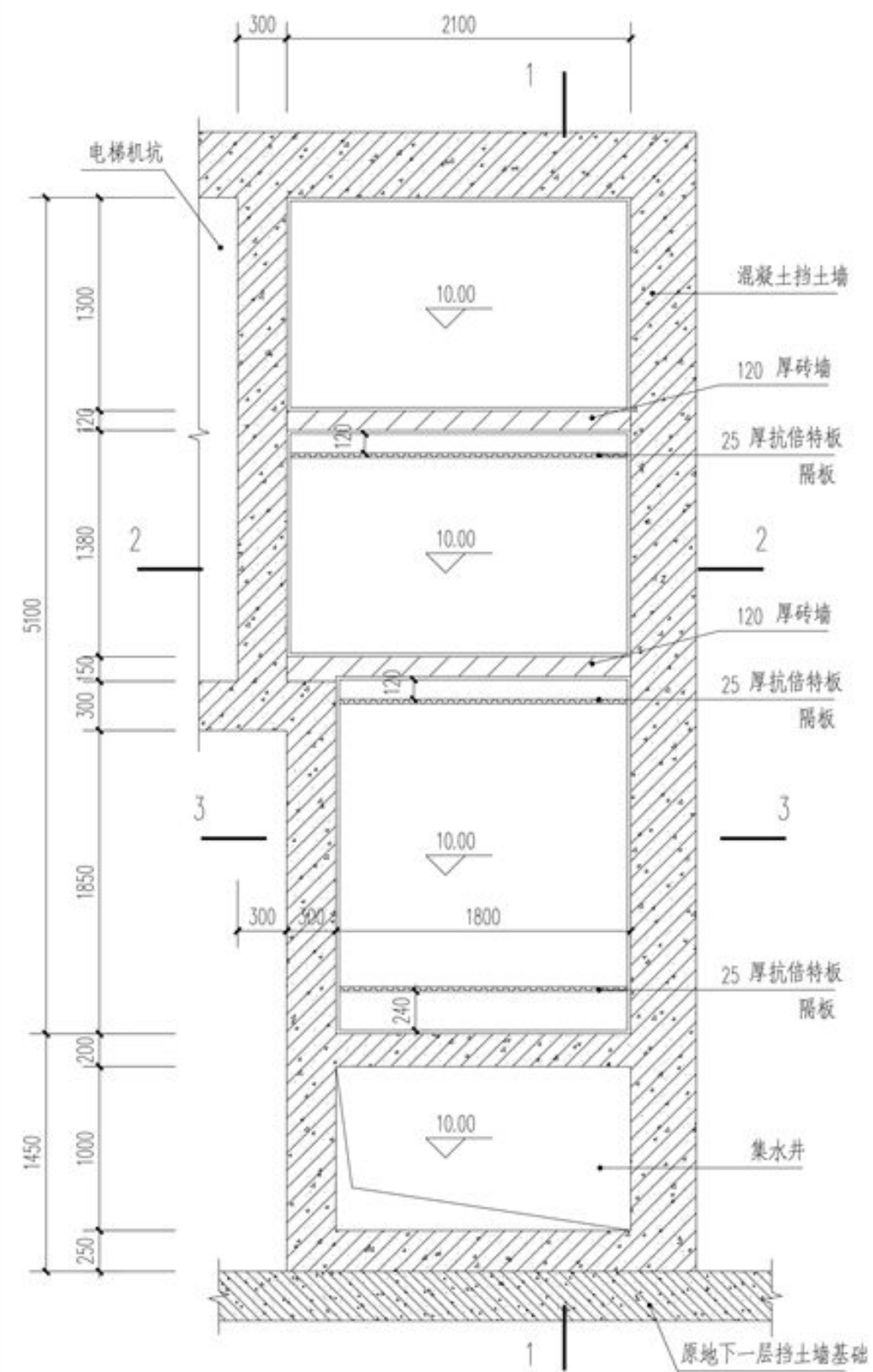
附图十二 何善衡楼一层平面布局图



附图十三：何善衡楼核医学科排风图设计图



[illegible]



附表：建设项目环评审批基础信息表

建设项目环评审批基础信息表

填表单位（盖章）：		中山大学附属第一医院				填表人（签字）：		王敏		项目经办人（签字）：		王敏					
建设项目	项目名称		中山大学附属第一医院核技术利用扩建项目				建设内容、规模		（建设内容：拟新建医学综合楼并在其中扩建1个核医学科和1个放疗科，拟在门急诊大楼首层扩建1个介入手术室。规模：拟在放疗科建设3台直线加速器，2台CT模拟定位机；在核医学设置1个乙级非密封放射性物质工作场所，1台回旋加速器，2台PET/CT；拟在门急诊大楼首层扩建1个介入手术室并在其中安装1台DSA。计量单位：台）								
	项目代码 ¹		2016-000033-83-01-000858														
	建设地点		广东省广州市中山二路58号														
	项目建设周期（月）		4.0				计划开工时间		2021年2月								
	环境影响评价行业类别		W191 核技术利用建设项目				预计投产时间		2022年9月								
	建设性质		改、扩建				国民经济行业类型 ²		卫生（Q84）								
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）						项目申请类别		新申项目								
	规划环评开展情况		不需开展				规划环评文件名										
	规划环评审查机关						规划环评审查意见文号										
	建设地点中心坐标 ³ （非线性工程）		经度	113.296401		纬度	23.131771		环境影响评价文件类别		环境影响报告表						
	建设地点坐标（线性工程）		起点经度			起点纬度			终点经度			终点纬度	工程长度（千米）				
	总投资（万元）						环保投资（万元）				所占比例（%）						
建设单位	单位名称		中山大学附属第一医院		法人代表		肖海鹏		评价单位	单位名称		核工业二四〇研究所		证书编号		国环评证乙字第1528号	
	统一社会信用代码（组织机构代码）		12100000455416029H		技术负责人		王敏			环评文件项目负责人		杨秀英		联系电话			
	通讯地址		广东省广州市中山二路58号		联系电话					通讯地址		辽宁省沈阳市沈北新区孝信街12号					
污染物排放量	污染物		现有工程（已建+在建）		本工程（拟建或调整变更）		总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）					排放方式					
			①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量 ⁴ （吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年）	⑦排放增减量（吨/年）								
	废水	废水量（万吨/年）							0.000	0.000	☒ 不排放 ☐ 间接排放： ☒ 市政管网 ☐ 集中式工业污水处理厂 ☐ 直接排放：受纳水体_____						
		COD							0.000	0.000							
		氨氮							0.000	0.000							
		总磷							0.000	0.000							
		总氮							0.000	0.000							
	废气	废气量（万标立方米/年）							0.000	0.000	/						
		二氧化硫							0.000	0.000							
		氮氧化物							0.000	0.000							
		颗粒物							0.000	0.000							
		挥发性有机物							0.000	0.000							
项目涉及保护区与风景名胜区的 情况		影响及主要措施		名称		级别	主要保护对象（目标）	工程影响情况	是否占用	占用面积（公顷）	生态防护措施						
		生态保护目标									☐ 避让 ☐ 减缓 ☐ 补偿 ☐ 重建（多选）						
		自然保护区									☐ 避让 ☐ 减缓 ☐ 补偿 ☐ 重建（多选）						
		饮用水水源保护区（地表）					/				☐ 避让 ☐ 减缓 ☐ 补偿 ☐ 重建（多选）						
		饮用水水源保护区（地下）					/				☐ 避让 ☐ 减缓 ☐ 补偿 ☐ 重建（多选）						
风景名胜保护区					/					☐ 避让 ☐ 减缓 ☐ 补偿 ☐ 重建（多选）							

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码
2、分类依据：国民经济行业分类(GB/T 4754-2011)
3、对多点项目仅提供主体工程中心坐标
4、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量
5、⑦=③-④-⑤，⑧=②-④+③