

长沙仁康医院有限公司

核技术利用扩建项目

环境影响报告表

(送审稿)

长沙仁康医院有限公司

2019年5月

环境保护部监制

长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目

环境影响报告表

建设单位名称：长沙仁康医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：闫希军

通讯地址：长沙县金茂路 11 号

邮政编码：410000

联系人：王文武

电子邮箱：2775179279@qq.com

联系电话：13874889760

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	5
表 3 非密封放射性物质	5
表 4 射线装置	6
表 5 废弃物	7
表 6 评价依据	8
表 7 保护目标与评价标准	12
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	23
表 10 辐射安全与防护	38
表 11 环境影响分析	52
表 12 辐射安全管理	76
表 13 结论与建议	84
表 14 审批	87

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目			
建设单位		长沙仁康医院有限公司			
法人代表	闫希军	联系人	王文武	联系电话	13874889760
注册地址		长沙县金茂路 11 号			
项目建设地点		长沙县湘龙街道万家丽北路			
立项审批部门		-	批准文号	-	
建设项目总投资 (万元)		21923	项目环保投资 (万元)	2000	环保投资比例 9.1%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²) 419.8
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	-			
	<p>(一) 建设单位概况</p> <p>为了提高应对突发公共卫生事业的能力,更好地服务大众医疗保健,极大地缓解人民群众看病难的问题,长沙仁康医院有限公司拟投资 21923 万元于长沙县万家丽北路(湘龙街道办事处土桥社区)新建集医疗、保健、科研、办公于一体的三级中医骨伤专科医院,设置床位 400 张,拟设中医骨伤科、创伤骨科、脊柱科、骨肿瘤科等科室。</p> <p>(二) 项目由来</p> <p>为了开辟新的治疗手段,满足广大患者就医的需要,长沙仁康医院有限公司拟新设核医学科开展 ¹⁸F 核素显影诊断;新增 1 台 6MV 直线加速器开展肿瘤放疗治疗;新增 1 台 DSA 开展介入治疗。</p> <p>由于核医学科核素以及射线装置在使用过程中将产生电离辐射,对医院辐射工作人员和非辐射工作人员、公众成员造成一定的影响,为保护环境、保障工作人员和公众成</p>				

员的健康，根据《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》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表。为此，长沙仁康医院有限公司委托核工业二三〇研究所对该项目进行辐射环境影响评价（见附件1）。接到委托后，我单位组织专业技术人员对现场进行了调查、监测和资料收集工作，编制完成了《长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目环境影响报告表》。

（三）项目建设规模

- 1.项目名称：长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目。
- 2.建设单位：长沙仁康医院有限公司。
- 3.建设地点：长沙县湘龙街道万家丽北路。
- 4.建设内容：新增1台6MV直线加速器、1台DSA以及1处丙级非密封放射性工作场所（核医学科使用¹⁸F 1种核素，核素日等效最大操作量 9.25×10^6 Bq，年最大用量 1.85×10^{12} Bq）。

直线加速器机房拟设在医院副楼负二层；核医学科拟设在副楼一层；DSA机房设置在裙楼GF层。基本设备情况详见表1-1、表1-2。

（1）射线装置及分布情况

表 1 医院拟新增射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	生产厂家	类别	拟购置装置电压	拟购置装置电流	套数	所在场所	备注
1	医用直线加速器	Vital Beam	瓦里安	II类	3档X射线能量6MV, 6X High Intensity Mode, 10MV		1	副楼负二层肿瘤诊疗中心	拟购
2	DSA	待定	待定	II类	125KV	1000 mA	1	裙楼GF层卒中中心	拟购

（2）非密封放射性物质及使用场所情况

表 2 本项目非密封源工作场所一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量	年最大操作量	工作场所日等效最大操作量	工作场所分级	使用场所
2	¹⁸ F	9.25×10^9 Bq	1.85×10^{12} Bq	9.25×10^6 Bq	丙级	核医学科

（四）周边环境概况

本项目位于长沙县湘龙街道万家丽北路国防科技大学北侧地块。院区红线北侧为星雅美辰商住楼盘和幼儿园，西侧为万家丽路，南侧和西侧均为国防科大校区。项目核医学科和直线加速器机房均设置在副楼，DSA 机房设置在裙楼。具体周边环境情况见图 1。

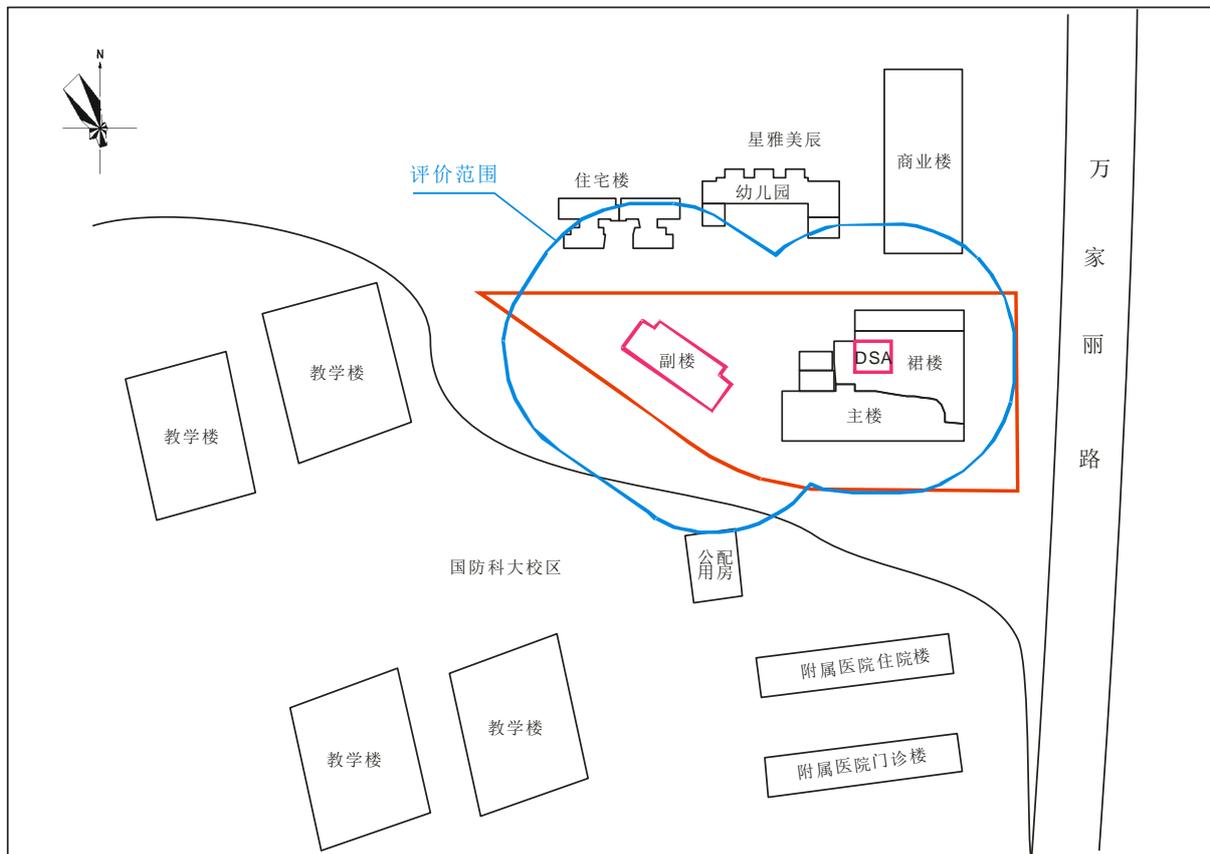


图 1 项目周边环境示意图

(五) 现有核技术利用项目基本情况

医院已备案的Ⅲ类射线装置 10 台（备案号：201943012100000112），目前设备未进场未运行，已备案的射线装置见下表：

表 3 医院已备案Ⅲ类射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	生产厂家	类别	拟购置装置电压	拟购置装置电流	套数	所在场所	备注
1	CT 机	待定	待定	Ⅲ类	140KV	800mA	2	裙楼二层影像诊断中心	已备案
2	DR 机	待定	待定	Ⅲ类	150kV	800mA	2		已备案
3	乳腺钼靶机	待定	待定	Ⅲ类	50 kV	200 mA	1		已备案
4	CT 机	待定	待定	Ⅲ类	140KV	800mA	1	裙楼 GF 层卒中中心	已备案

5	DR 机	待定	待定	Ⅲ类	150kV	800mA	1	裙楼三层体检中心	已备案
6	移动 DR 机	待定	待定	Ⅲ类	120kV	200mA	1	裙楼 GF 层急诊科	已备案
7	移动小 C 臂机	待定	待定	Ⅲ类	125KV	100mA	2	裙楼四层手术室	已备案

(六) 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》（2013 年 2 月 16 日国家发展改革委第 21 号令），本项目使用的直线加速器和同位素属于“鼓励类”中“六、核能中的 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”， DSA 属于“鼓励类”第十三项“医药”中第 6 条“新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及机械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

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
-	-	-	-	-	-	-	-	-

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	贮存方式和地点
1	¹⁸ F	液体、低毒组、半衰期 1.83h	使用	9.25E+09	9.25E+06	1.85E+12	显像	很简单	核医学科	核医学科储源室铅罐中
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II	1	VitalBeam	电子	10MV/20MeV	600MU/min	治疗	放疗科	拟购买
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(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	DSA	II	1	待定	125	1000	造影、介入治疗	卒中中心	拟购买
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(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	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	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

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
加速器退役靶	固态	-	-	-	-	-	-	交长沙市放射性废物库收贮
被核素污染的一次性手套、一次性纸杯、废活性炭、候诊病房放射性废物等放射性固体废物	固态	¹⁸ F	-	-	-	-	铅污物桶收集后，存放于放射性固体废物间	存放 24h(约 13.2 个半衰期)后，作为普通医疗废物处理
放射性废水	液态	¹⁸ F	-	-	-	-	贮存于衰变池	存放 10 个半衰期后排入医院污水处理站，再排入城市污水管网
臭氧和氮氧化物	气态	-	-	-	-	-	-	活性炭吸附后经专用通风管道引至核医学科楼顶排放；其他射线装置产生的放射性废气直接经通风装置排入大气
-	-	-	-	-	-	-	-	-

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订，2015 年 1 月 1 日施行）； 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订，2018 年 12 月 29 日施行）； 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年颁布，2003 年 10 月 1 日施行）； 4. 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 6 月 21 日修订，2017 年 10 月 1 日起实施）； 5. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2014 年 7 月 29 日修正）； 6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环保部令第 44 号，2018 年 4 月 28 日修订公布，自公布之日起实施）； 7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第 3 号，2008 年 11 月 21 日修订，自公布之日起实施）； 8. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施）； 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，2016 年 3 月 7 日）； 10. 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部令第 55 号 2007 年 11 月 1 日起施行，）； 11. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日）； 12. 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）； 13. 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施）； 14. 《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》（2013 年 5 月
------	--

1 日起实施)。

技术标准	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 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. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 4. 《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）； 5. 《放射工作人员健康要求》（GBZ98-2017）； 6. 《辐射环境监测技术规范》（HG/T61-2001）； 7. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 8. 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）； 9. 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T14583-93）； 10. 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）； 11. 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； 12. 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； 13. 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）； 14. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 15. 《医疗照射放射防护基本要求》（GBZ179-2006）； 16. 《临床核医学的患者防护与质量控制规范》（GB16361-2012）； 17. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）； 18. 《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）； 19. 《临床核医学患者防护要求》（WS533-2017）； 20. 《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）； 21. 《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）； 22. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 放射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；
------	--

	<p>23. 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）；</p> <p>24. 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</p>
其他	<p>1. 建设单位提供的其他资料。</p> <p>2. 李德平潘自强主编《辐射防护手册第一分册辐射源与屏蔽》《辐射防护手册第三分册辐射安全》，原子能出版社，1987年；</p> <p>3. 《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP第94号出版，2004年）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《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）中的相关规定，“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。根据本项目特点，以 DSA 机房、直线加速器机房和非密封源工作场所周围 50m 的区域为评价范围，项目评价范围见图 7-1。

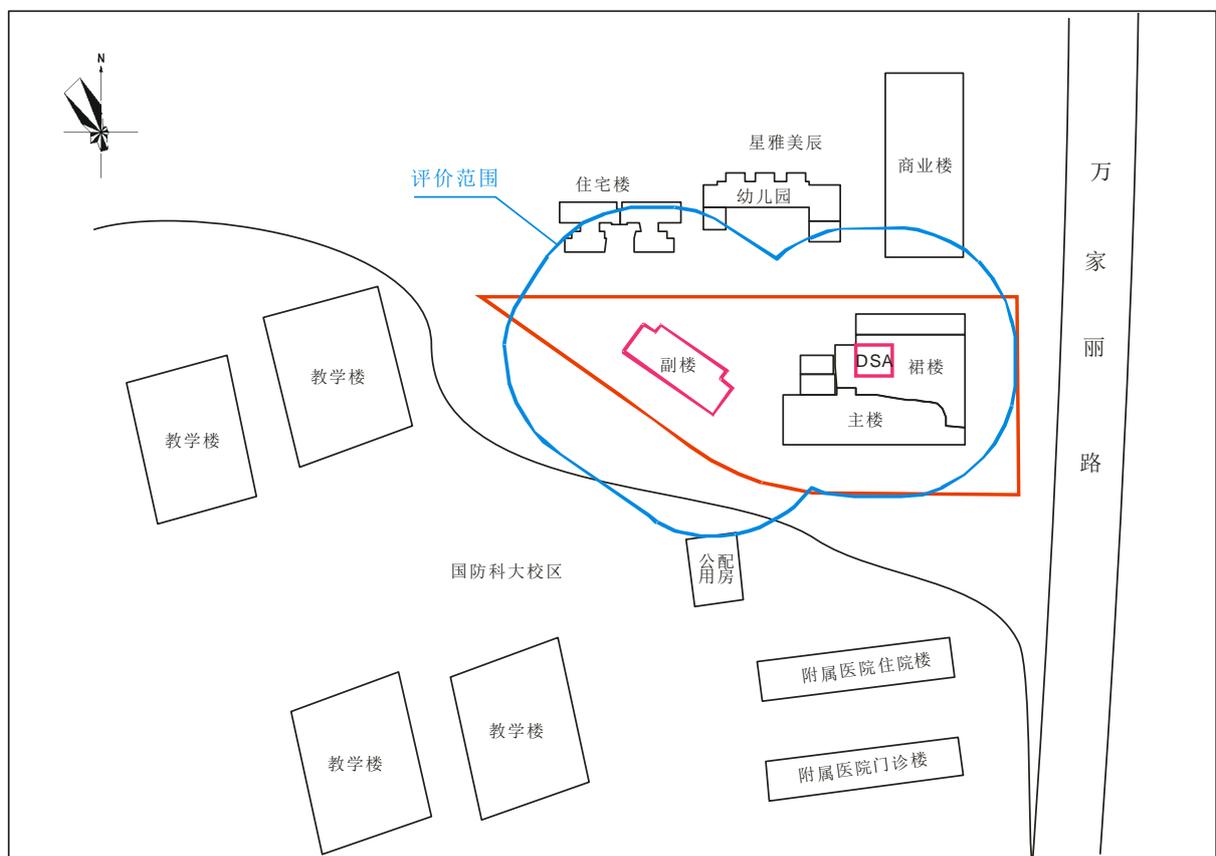


图 7-1 项目评价范围示意图

保护目标

本次辐射环境影响评价的环境保护目标为：本项目从事辐射工作的人员以及评价范围内的公众。本项目环境保护目标见下表。

表 3 环境保护目标一览表

污染源	方位	保护目标	影响人群	距离	敏感人数
介入中心 DSA 机房 (裙楼 GF 层卒中中 心)	楼上	就诊大厅	病人、医务、陪同人员	4m	约 50 人
	楼下	地下车库	病人、医务、陪同人员	4m	若干
	北面	星雅美辰商业楼、幼儿园	公众人员	40m	若干
	西面	步梯、电梯、水井、排烟井	病人、医务、陪同人员	/	若干
	南面	急诊儿科、急诊妇科、急诊 内科	病人、医务、陪同人员	14m	若干
	东面	客梯、消控室	医院员工、公众人员	20m	若干
直线加速 器(副楼负 二层)	楼上	道路、绿化带	病人、医务、陪同人员	4m	若干
	楼下	/	/	/	/
	北面	星雅美辰住宅楼	公众人员	17m	若干
	西面	绿化带、院区道路	公众人员	/	若干
	南面	绿化带、院区道路、围墙、 院外道路、国防科大绿化带	公众人员	/	若干
	东面	生活水泵房、直饮水机房	医院员工	/	约 5 人
核医学科 (副楼一 层)	楼上	主任室、宣传部、后勤部等 医院综合管理部门	医务人员	4m	约 40 人
	楼下	锅炉房、正负压机房、制冷 机房、消防水泵房、排风 房、医疗污物暂存间	医院员工	4m	约 5 人
	北面	星雅美辰住宅楼	公众人员	17m	若干
	西面	绿化带、院区道路	公众人员	/	若干
	南面	绿化带、院区道路、围墙、 院外道路、国防科大绿化带	公众人员	/	若干
	东面	绿化带、院区道路	公众人员	/	若干

评价标准

(一) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

(1) 附录 B 剂量限值和标明污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，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;

- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv;
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

根据本核技术利用项目情况，本项目放射工作人员年剂量管理目标值：**DSA 手术室内放射工作人员、核医学科放射工作人员年剂量管理目标值为 4mSv/a**，其他放射工作人员年剂量管理目标值为 **2mSv/a**。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组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;
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv;
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

本项目公众人员的年剂量目标管理限值取公众照射的十分之一，即 **0.1mSv/a** 作为周边公众成员年剂量目标管理限值。

(2) 工作场所的放射性表面沾污控制水平

根据 GB18871-2002 规定，工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备、地面放射性污染控制遵循下表：

表 4 工作场所的放射性表面沾污控制水平（单位：Bq/m²）

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	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

(3) 工作场所分区

根据 GB18871-2002 中 6.4 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。

6.4.1 控制区

(1) 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防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。

(2) 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

(3) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。

(4) 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。

(5) 按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的储存柜。

(6) 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

6.4.2 监督区

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

(2) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

(3) 定期审查该区的条件，以确定是否有需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

(4) 放射性工作场所的分级

根据 GB18871-2002 附录 C 给出了非密封源工作场所的分级标准，详见下表：

表 5 非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

(5) 放射性物质向环境排放的控制

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；

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。

(6) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006)

标准适用于临床核医学应用放射性药物施行诊断和治疗的实践。

5 放射性药物操作的一般放射防护要求

第 5.1 款操作放射性药物应有专门场所，如给药不在专门场所进行时则需采取适当防护措施。放射性药物使用前应有恰当屏蔽。

第 5.2 款装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽。难以屏蔽时应注意控制操作时间。

第 5.3 款操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行，工作人员应穿戴个人防护用品。

第 5.4 款操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行，并按操作情况进行气体或气溶胶放射性浓度的常规监测以及必要的特殊监测，应注意对放射性碘在操作人员甲状腺内沉积的防护。

第 5.5 款在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

第 5.6 款工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过 GB18871 规定值，应采取相应去污措施。

第 5.7 款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带出控制区。

第 5.8 款放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分。

第 5.9 款放射性物质的贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不得入内。

第 5.10 款贮存和运输放射性物质时均应使用专门容器。取放容器中内容物时，不应

污染容器。容器在运输时应有适当的放射防护措施。

第 5.11 款贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6 临床核医学治疗的放射防护要求

第 6.1 款使用治疗量发射 γ 射线放射性药物的区域应划为控制区。用药后患者床边 1.5m 处或单人病房应划为临时控制区。控制区入口处应有 GB18871 规定的电离辐射警告标志；除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区。

第 6.2 款配药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和已给药治疗的患者通过非放射性区域。

第 6.3 款根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定临床核医学治疗病房的位置及其放射防护要求。病房应有防护栅栏，以控制已给药患者同其他人保持足够距离；必要时可采用附加屏蔽防护措施。

第 6.4 款接受放射性药物治疗的患者应使用专用便器或者设有专用卫生间和浴室。

第 6.5 款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。

第 6.6 款使用过的放射性药物注射器、绷带和敷料，应作污染物件处理或作放射性废物处理。

(7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

第 5.2.1 条非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风橱、工作箱或手套箱内进行。

(二) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，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。

6.1.3 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应不

大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 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。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门必须与加速器联锁。

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

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

（三）《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）
《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）、放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 放射线源放射治疗
机房》（GBZ/T201.3-2014）（节选）

①治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

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
 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$) :

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

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

②治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到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 30cm 处和（或）该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量率参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/h}$ 周和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，加以控制。

对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

本项目加速器机房墙和入口门外关注点、机房顶外表面 30cm 处的剂量率控制水平为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（四）《医用 X 射线诊断放射防护标准》（GBZ130-2013）

5. X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X 射线设备机房（照射室）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。

5.2 每台 X 射线机（不含移动式和携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 8 要求。

表 8 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机	30	4.5
单管头 X 射线机	20	3.5
透视专用机、碎石定位机、口腔 CT 卧位扫描	15	3
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CT 坐位扫描/站位扫描	5	2
口内牙片机	3	1.5

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 9 要求。

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）室顶、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

d) 带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于 2.5μSv/h 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

表 9 不同类型 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
标称 125kV 以上 摄影机房	3	2
标称 125kV 以下的摄影机房、口腔 CT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1
透视机房、全身骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、乳腺机房	1	1
介入 X 射线设备机	2	2
CT 机房	2（一般工作量） ^a 2.5（较大工作量） ^a	

^a按 GBZ/T 180 的要求。

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) CT机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；其余各种类型摄影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 。

DSA属于X射线诊断装置，是介入手术辅助设备，手术过程中同时需要配置其他配套设备，因此机房应充分满足手术要求，参照GBZ130-2013中双管头的机房面积要求执行，以不小于 30m^2 ，机房内最小单边长度不小于 4.5m 进行控制；设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求按照介入X射线设备机房要求执行，即：有用线束方向铅当量不小于 2mm 、非有用线束方向铅当量不小于 2mm 。

（五）臭氧浓度要求《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）

根据《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录要求：E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，以及《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2007）规定工作场所空气中臭氧容许浓度为 $0.30\text{mg}/\text{m}^3$ ，确定本评价项目加速器停机后，工作人员进入加速器室时，室内的臭氧浓度不应大于 $0.30\text{mg}/\text{m}^3$ ，电子加速器治疗室通风换气次数不小于4次/h。

（六）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

医院的放射性废水（含放射性核素的清洗废水和病员的粪便水）先经衰变池存放10个半衰期以上，再进入医院废水处理站处理达标后排入市政污水管网至市政污水处理厂处理后排放。医院衰变池排放口废水执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）预处理标准，即：总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

(一) 辐射现状监测方案

为了解项目所在医院及其周围的辐射环境背景水平，根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中有关布点原则，核工业二三〇研究所工作人员于 2019 年 2 月 20 日对项目场址进行了环境 γ 辐射本底测量。

监测因子：环境地表 γ 辐射剂量率。

监测点位：共设置 7 个监测点位，监测点位布置见图 8-1。

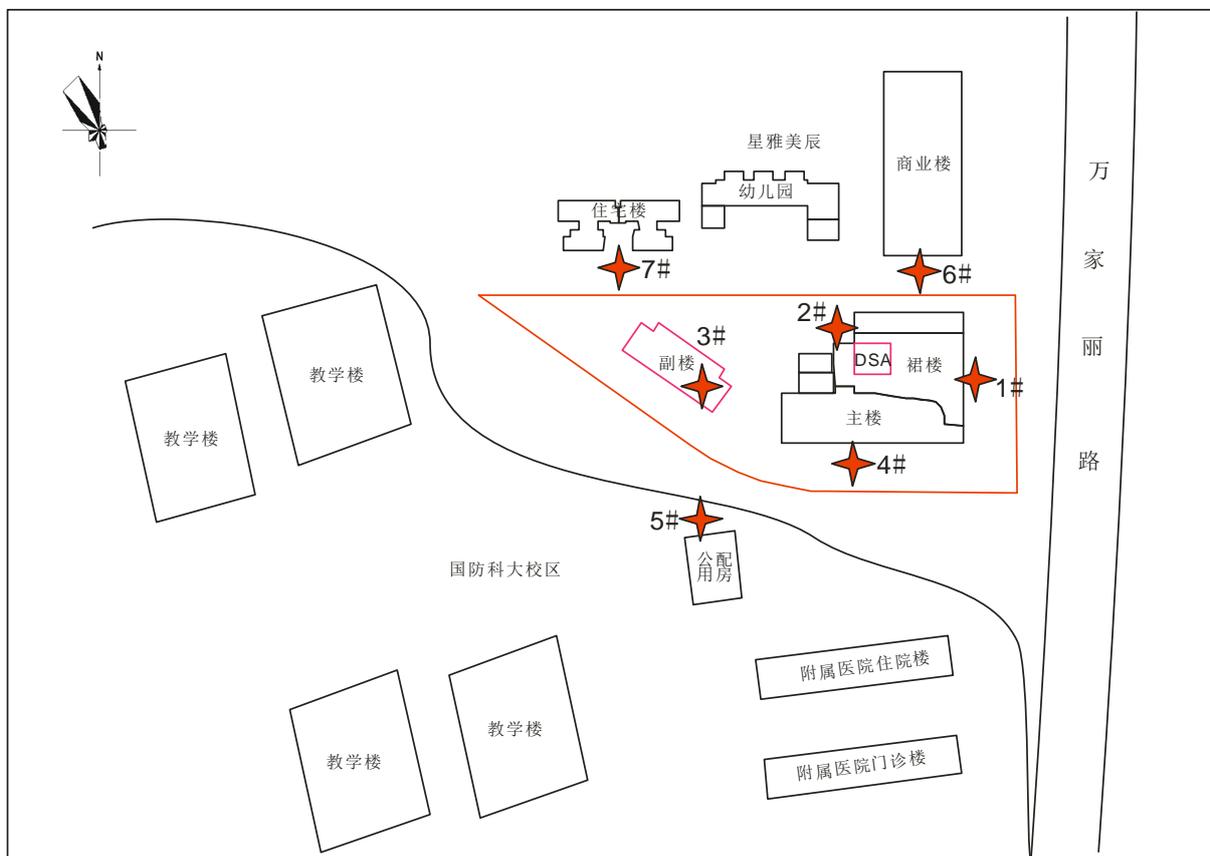


图 8-1 项目辐射环境背景监测布点示意图

监测日期：2019 年 2 月 20 日。

监测仪器：JB-4000 型 X- γ 辐射剂量率仪。

监测方法：采取 γ 外照射测量探头（探测器灵敏体积中心）距地面 1m 高度，每个测点读取 3 个数据求平均值。

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每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。④由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。⑤监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

(三) 辐射现状监测结果

项目所在场址辐射环境背景监测结果见下表。

表 6 项目所在场址本底监测结果一览表

点位编号	监测点位位置	监测结果 (μGy/h)
1#	裙楼东侧	0.07
2#	裙楼西侧	0.08
3#	副楼拟建场地	0.08
4#	主楼南侧	0.09
5#	场地南侧规划道路	0.09
6#	场地北侧商业楼	0.10
7#	场地北侧住宅楼	0.08

根据《辐射防护》(第 11 卷, 第二期, 湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究, 湖南省环境监测中心站, 1991 年 3 年) 中辐射环境结果可知, 湖南省 X-γ 辐射空气吸收剂量率数据见下表。

表 7 湖南省 γ 辐射空气吸收剂量率 (单位: nGy/h)

监测项目	原野	道路	室内
γ 辐射平均值	70.2±16.1	65.9±18.3	106.2±20.7
范围	32.9-117.3	34.6-103.6	60.4-154.1

根据以上对比可知, 项目所在场址的 X-γ 空气吸收剂量率处于长沙市天然本底辐射范围内, 无异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

本项目拟在副楼设核医学科以及 1 台 6MV 直线加速器机房，在裙楼一层设置 1 台 DSA 机。

(一) 直线加速器

1、设备基本概况

本项目电子直线加速器 X 线能量有 3 档，具体设备基本参数见下表：

表 9-1 医用电子直线加速器基本参数一览表

序号	名称	指标		
		加速器		
1	X 线能量	6MV	6X High Intensity Mode	10MV
2	最大照射	40cm×40cm	40cm×40cm	40cm×40cm
3	机架旋转角度	365 度	365 度	365 度
4	主射线最大出束角度	半角 14.8 度	半角 14.8 度	半角 14.8 度
5	1m 处最大 X 线剂量率	600MU/min	1400MU/min	600MU/min

2、设备组成

医用电子直线加速器通常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、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行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，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型直线加速器内部结构框图及外形示意图，见图 9-1 和图 9-2。

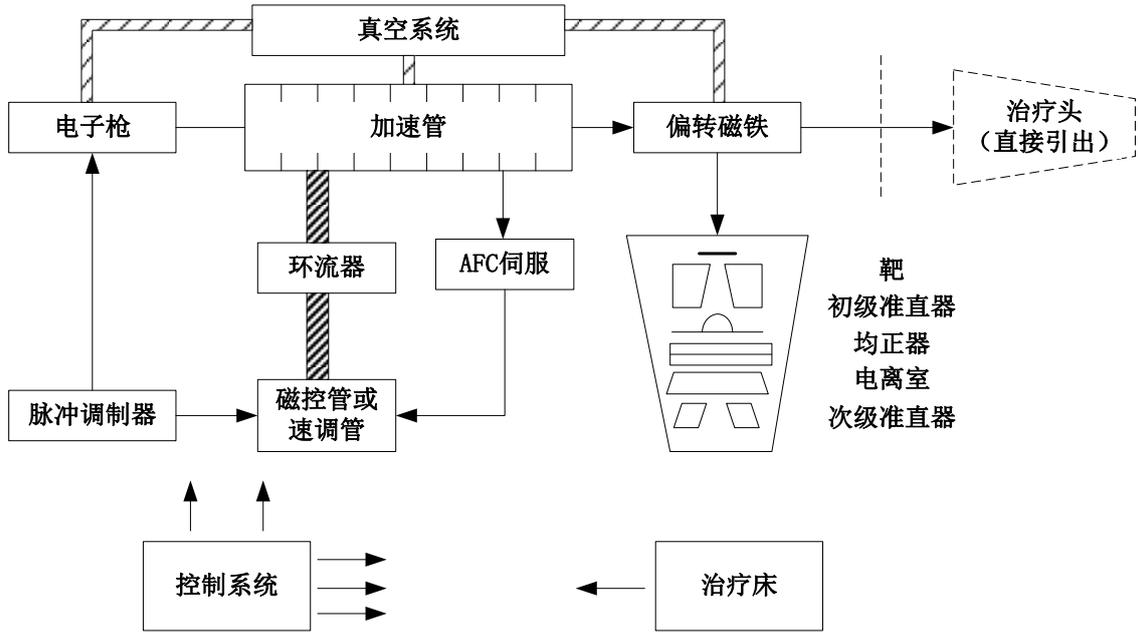


图 9-1 典型应用直线加速器内部结构框图

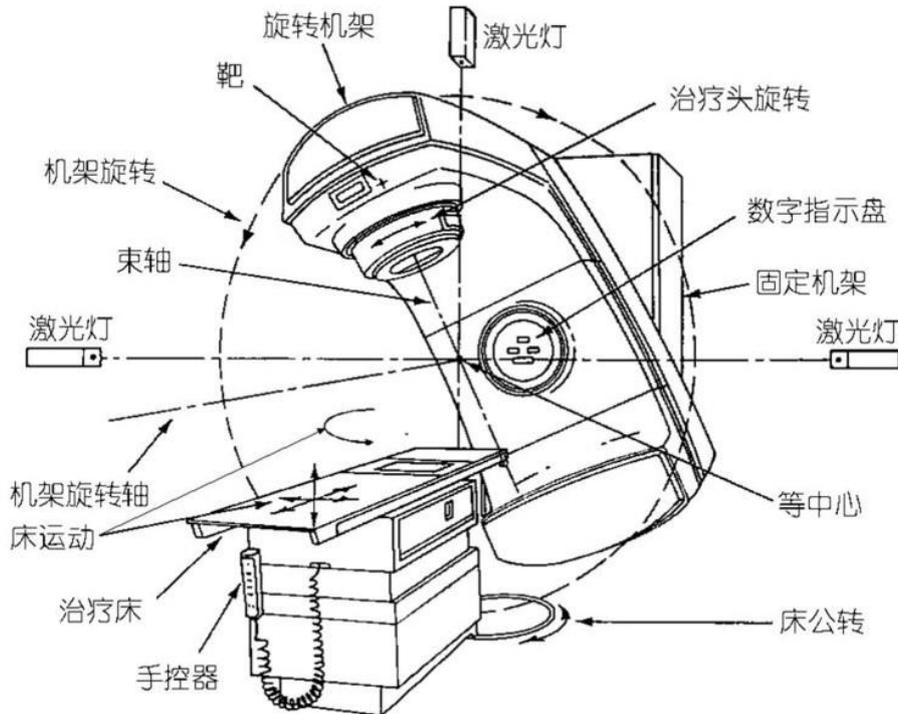


图 9-2 典型直线加速器外形示意图

3、工作原理：

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用

电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

4、操作流程

- ①利用医院的模拟机定位对病灶进行检查，然后进行照射方向、角度和照射视野进行拍片定位；
- ②制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；
- ③固定患者体位。对患者定位、标记、调整照射角度及照射野；
- ④开机治疗。

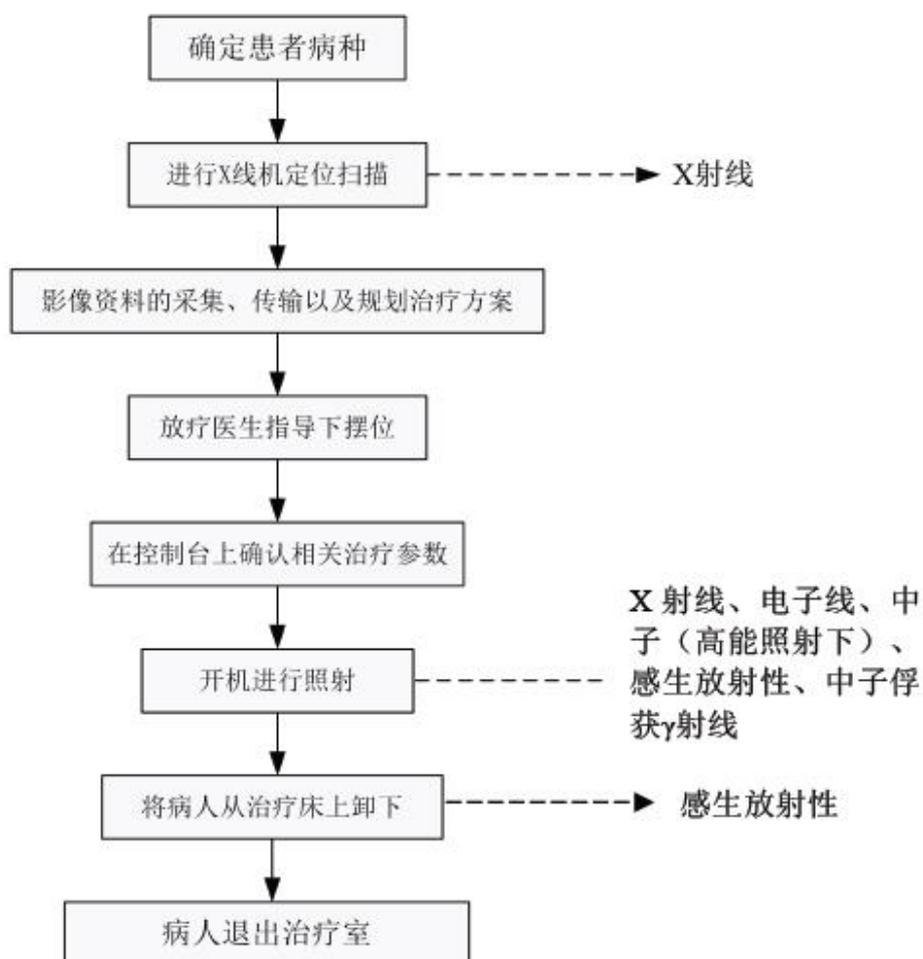


图 9-3 加速器治疗流程

5、工作负荷

本项目使用的电子直线加速器治疗机的有效开机时间每年工作按 50 周计，每台加速器每周最多治疗 80 个患者，平均每个患者照射时间约 5min，则 1 台直线加速器年有效开机时间约为 333.3h。

6、产污环节

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。直线加速器在 10MV 以上的条件下工作时，加速器产生的 X 线或电子线，与物质作用都可能发生光致核反应 (γ, n)，产生中子和感生放射性物质，中子在慢化、吸收过程中都将放出 γ 射线，引起缓发辐射。此外，X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物，使周围环境受到辐射污染和臭氧、氮氧化合物的影响。此时，主要的污染因子是 X 射线、电子线和中子污染、缓发 γ 辐射污染和有害气体（臭氧和氮氧化合物）。

综上所述，6MV 直线加速器对患者进行治疗时，对环境可能造成污染的因素：

X 线模式下工作，主要是 X 射线；

电子模式下工作，主要是电子线、少量 X 射线；

有害气体：臭氧和氮氧化物。

（二）数字减影血管造影系统（DSA）

1、工作原理

数字减影血管造影（DSA）是采用 X 射线进行摄影的技术设备。该设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，见图 9-4。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。成像装置是用来采集透过人体的 X 线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，利用平板探测器将透过人体后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。扫描本身就是把整个图像按一定的矩阵分成许多小方

块，即像素。所得到的各种不同的信息经模 / 数(A / D)转换成不同值的数字信号，然后存储起来。再把造影图像的数字信息与未造影图像的数字信息相减，所获得的不同数值的差值信号，经数 / 模(D / A)转制成各种不同的灰度等级，在监视器上构成图像。由此，骨骼和软组织的影像被消除，仅留下含有造影剂的血管影像，从而大大提高血管的分辨率。



图 9-4 数字减影血管造影系统 (DSA)

2、系统组成及工作流程

(1) 系统组成

血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。

该项目设备采用平板探测器 (FD) 技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。

DSA 技术是常规血管造影术和计算机处理技术相结合的产物，其基本原理和技术为：X 线穿过人体各解剖结构形成荧光影像，经影像增强器增强后为电视摄像管采集而形成视频影像。再经对数增幅和模/数转换形成数字影像。这些数字信息输入计算机处理后，再经减影、对比度增强和数/模转换，产生数字减影图像。

(2) 操作流程

介入手术辅助治疗操作流程（DSA 血管造影）

以脑动脉瘤患者微弹簧圈栓塞治疗为例，DSA 的减影大致程序见下图所示：

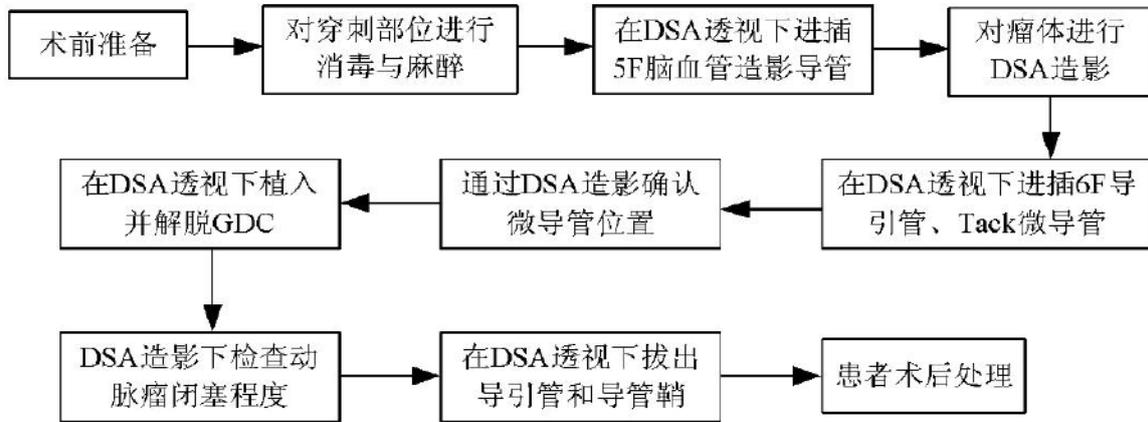


图 9-5 DSA 治疗流程

介入手术时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，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动脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达病变部位，进行介入诊断，留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。在手术过程中，操作人员必须在床旁并在 X 线导视进行，处于 DSA 放射机房内的放射工作人员需穿戴防护服，佩戴个人剂量计进行操作。

3、工作负荷

根据医院提供的资料，本次核技术利用项目 1 台 DSA 投入使用后的工作负荷见表 9-2。

表 9-2 DSA 工作负荷情况表

射线装置名称	工作负荷（每台）	平均每人每次有效曝光时间		年最大有效曝光时间
		透视	摄影	
DSA	500 人次/年	30min	≤1s	250h
				0.14h

根据检查项目，DSA 使用工作高压 30kV~125kV、工作电流 5mA~1000 mA 不等。

DSA 工作主要方式体现为透视和摄影，具体表现为：

(1) DSA 摄影时，瞬时曝光，一般每次曝光时间短于 1s；

(2) DSA 透视时，平均每台介入手术透视曝光的时间约 30min，其他情况下的透视时间平均为 20s。

4、产污分析

(1) 由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因

此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

(2) X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物废气。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，自然逸散，对环境的影响可忽略不计。

(3) 医用 X 射线装置属清洁的物理诊断装置，在使用过程中自身不产生液态、固态等放射性废物，不存在放射性三废对环境的污染。

因此，在开机期间，X 射线是污染环境的主要因子。

(三) 核医学科

(1) PET-MR 设备组成及工作原理

本项目核医学科相关设备有 1 台 PET-MR，设备参数如下表 9-3。

表 9-3 核医学科 PET-MR 参数

序号	装置名称	型号	生产厂家	拟购置装置电压	拟购置装置电流	套数	射线装置分类	相关核素	所在场所
1	正电子发射及核磁共振成像系统 PET-MR	待定	待定	-	-	1	-	¹⁸ F	副楼一层核医学科

PET，即正电子发射计算机断层显像，是反映病变的基因，分子、代谢及功能状态的显像设备。它是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，从而为临床提供疾病的生物代谢信息，是当今生命科学、医学影像技术发展的新里程碑。

MRI，即磁共振成像。磁共振成像是断层成像的一种，它利用磁共振现象从人体中获得电磁信号，并重建出人体信息。

PET-MR，即正电子发射计算机断层显像仪和核磁共振成像术结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，扫描过程中 PET 对进入体内的正电子核素进行扫描并显像，可获得代谢显像，而 MRI 对 PET 图像做放射性的衰减校正，可以提供解剖学和组织特征，两者相结合可以看到组织功能和新陈代谢，可提供比传统成像方式更为优质的影像结果，是目前最好的高端体检手段。

(2) 核医学科放射性同位素应用工作原理及产污环节分析

医院核医学科拟使用的放射性核素为 ^{18}F ，其放射性同位素特性参数见表 9-4，用药病人经过预约后， ^{18}F 核素根据情况外购获得。放射性同位素使用情况及工作负荷见表 9-5。

表 9-4 医院使用放射性同位素特性参数

核素	衰变类型	辐射能量 (keV)	毒性分组	半衰期	Γ 常数 (Gy.m ² /Bq.h)	操作方式	用途	来源
^{18}F	β^+	511	低毒组	110min	1.37×10^{-14}	很简单操作	用于 PET-MR 显影诊断	外购

表 9-5 使用放射性药物诊断工作负荷表

核素名称	每例病人最大用量		每天平均注射诊断病人 (人次/天)	每天最大注射诊断病人 (人次/天)	年注射诊断病人 (人次/年)
	(Bq)	(mCi)			
^{18}F	3.7×10^8	10	20	25	5000

1、 ^{18}F 的治疗原理

1) ^{18}F 的特性

^{18}F 属于低毒组核素，半衰期 110min，衰变方式 β^+ ，经湮没后发射出能量为 0.511MeV 的 γ 射线。

^{18}F 是一种较小的原子：把它添加到一个分子上时，不会使分子变形到以至于人体完全不能够辨认的程度（这是作为显像剂的必要条件）。 ^{18}F 的半衰期为 110min。这个半衰期足以完成一个复杂的化学过程（标记），进行显像剂的制备。其辐照强度不高（通过浓度和注射量控制）既可以穿透一定的距离进行成像。同时也能保证患者接受较低量的射线辐照。

^{18}F FDG（放射性 2-18 氟-2-D-脱氧葡萄糖）是一种容易被人体吸收的葡萄糖衍生物，但是不会像葡萄糖一样被代谢掉或排泄掉，会积累在高度利用葡萄糖的组织里（例如，癌组织里）。 ^{18}F FDG 是去氧后接上了一个 ^{18}F 原子的同样的葡萄糖分子。 ^{18}F FDG 是一种正电子发射剂，医生可以通过 PET-MR 观察 ^{18}F FDG 积累的位置（例如，在癌组织中）。

2) 工作流程及产污因子

①接收患者预约，按患者人数安排就诊时段；

②开具 PET-MR 诊断单并告知患者诊断过程存在的辐射危害，根据病情确定使用核素的剂量；

③注射显像剂： ^{18}F 由医院外购，药物储存在铅罐内；注射护士手持带铅套的注射器，在注射室注射窗口为病人注射。注射完毕后的一次注射器，放入专用放射性废物铅桶内。

④病人候诊：注射后受检者在指定的候诊病房安静休息，以使显像剂分布到全身，该过程避免与人交谈，避免紧张体位。一般注射 ^{18}F 后需等待约一个小时；

⑤排空小便；

⑥患者进入 PET-MR 机房扫描之前，摆位人员在机房内指导受检者正确姿势；

⑦到 PET-MR 检查床开始扫描（约 10 分钟或更长）；

⑧病人检查结束后在留观室观察 30 分钟左右，无问题即可离开；

⑨出具检查报告。

核医学科 PET-MR 诊断流程及产污环节如下页图 9-6 所示。

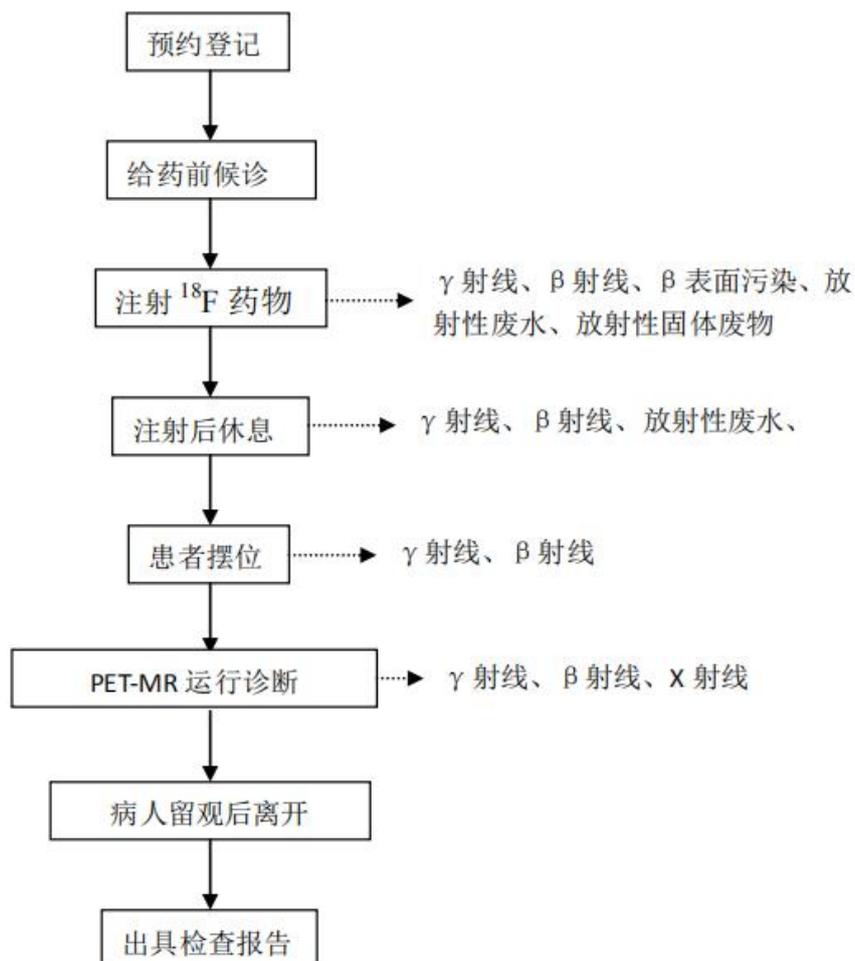


图 9-6 核医学科 PET-MR 诊断流程及产污环节示意图

(3) 核医学科工作场所布局

核医学科相关场所主要有 PET-MR 机房、分装室、贮源室、废源室、污物间、注射室、注射后候诊室、留观室，核医学科平面布置图见附图 4。

(4) 核医学科工作场所人流、物流组织

1、患者就诊通道与流程：

患者由 M1 进入，至 M2 至注射间注射 ^{18}F ，注射完 ^{18}F 后经 M3/M4/M5/M6 进入注射后候诊病房休息规定的时间后，再经 M7 进入 PET-MR 机房扫描，扫描完成后经 M8 后进入留观室进行留观，无异常后通过 M9 从病人通道出去。

2、医护人员通道与流程：

医护人员从 M10 进入卫生间换衣，经过 M11、M12 进入分装室进行分装，分装室设有注射窗口，基本实现了工作人员和受检者的分流。

医护人员从 M13、经 M14、M15 进入到 PET-MR 机房控制室。

3、放射性药品物流说明：

外购的放射性药品由 M1、M10、M11、M13 进入贮源室。药物运输通道在其他人员不活动时间（中午休息时间或晚上下班后）开通。

核医学科除了进入候诊大厅的出入口，其他进出口门均由医护人员控制，平常关闭，需通过时开启。

上述患者通道与医护人员通道分开，减少了工作人员与用药患者接触的几率，布局基本合理。

本项目核医学科工作场所人流、物流组织见下图。

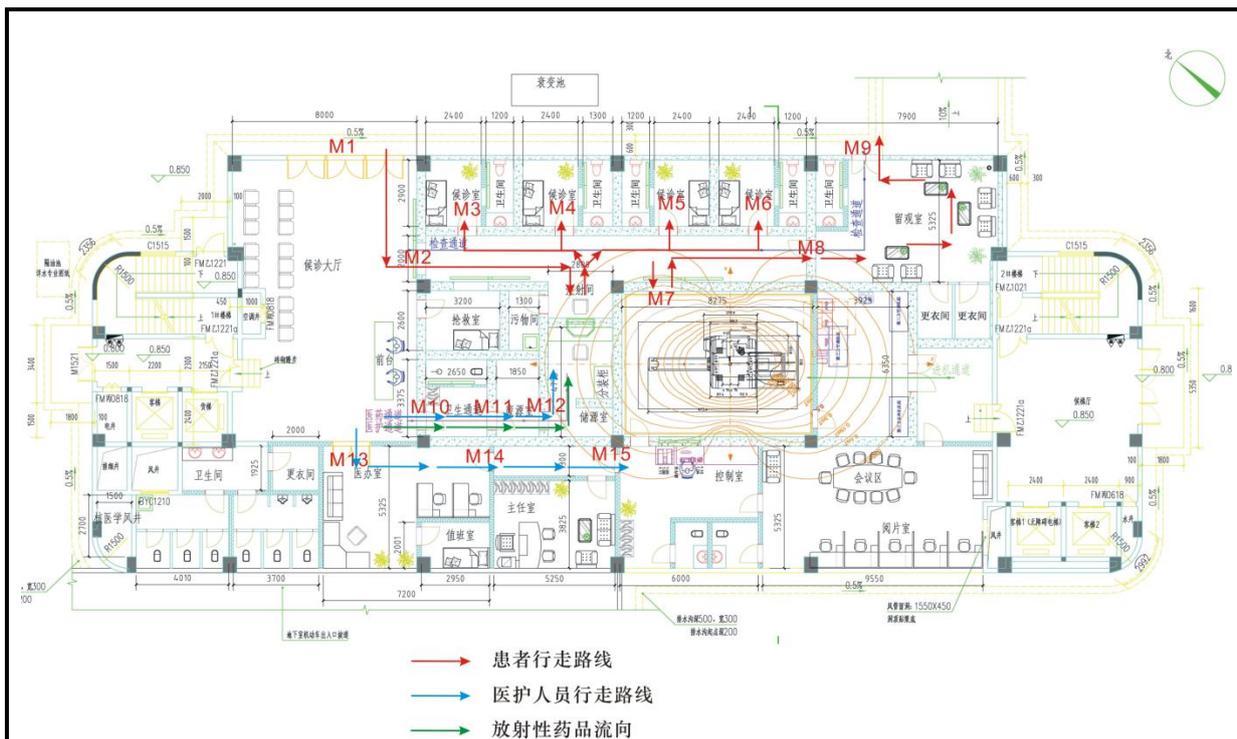


图 9-7 核医学科工作场所人流、物流组织示意图

(5) 放射性废水、废气、固体废物流向

1) 放射性废水流向

注射后候诊病房设置有独立厕所，废水由专用下水管道排至专用放射性废水衰变池，存放 10 个半衰期后与医院普通废水一起处理。

2) 放射性气体流向

核医学科 ^{18}F 药物在分装室内进行，分装室拟安装一个自带屏蔽的双联不锈钢通风柜，分装柜内安装有轴流风机（风机不小于 1m/s ），顶端为排气口，能保持柜内负压，排风口加装高效活性炭过滤装置，经活性炭吸附过滤装置处理后废气通过专用管道引至副楼楼顶排放。

根据设计单位提供，本项目核医学科注射后候诊室、留观室、过道以及污物间合并一条排风管道，PET-MR 机房设置一条排风管道，废源室、储源室、注射间合并一条排风管道，包铅皮做防护处理；分装室分装柜设置一条管道，并包铅皮做防护处理；以上排风管道采用机械抽风，排风口加装高效活性炭过滤装置，废气通过专用管道引至核医学科所在副楼楼顶排放，排放口朝山坡方向，另所有穿透辐射区的墙洞都应用 8mmPb 当量的铅板封堵。

3) 放射性固体废物流向

放射性固体废物由每个产生废物的场所分类收集在内衬塑料袋的脚踏式铅废物箱内，每天下班后集中送至固废贮存室内衰变箱贮存，经过 24h（约 13.2 个半衰期）后经检测合格按医疗废物处置。

(6) 核医学科工作负荷

根据医院提供的资料， ^{18}F 每个病人每天使用量最多为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (0.01Ci)，采取预约制，每日最多治疗 25 个病人，每年最多治疗 5000 个病人。核医学科核素用量见下表。

表 9-6 核医学科核素用量一览表

核素名称	物理状态	给药方式	使用目的	每人每天最大用量	最大治疗人数	药物储存	年最大使用量
^{18}F	液体	注射	显像	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	25 人/d; 5000 人/a	核医学科 储源室	$1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$

(7) 核素使用方案与门诊安排

根据医院提供的资料，核医学科采取预约制，医院拟对核医学科治疗时间分段进行各类核素治疗，避免不同类型患者相互影响，治疗时间安排如表 9-7。

表 9-7 核素使用时间及用量

核素/放射源	时间安排	每人每天最大用量	日患者最多人数	日等效最大用量
^{18}F	周一、二、三、五	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	25 人	$9.25 \times 10^6 \text{Bq}$

(8) 核医学科核素的购买和管理

核医学科核素由供药单位送至医院，医院根据预约病人的数量采购放射性药物 ^{18}F ，医院采取预约制，每次采购药物最多 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ (300mCi)。

医院根据病人数量订购使用放射性核素，一般情况下，不存在剩余放射性核素。特殊情况如患者未按照医嘱进行诊断或治疗时，剩余放射性核素放置于铅罐内，剩余核素及铅罐由供应厂家回收。医院拟制定放射性核素的管理制度，做好核素的领取、使用登记工作，实行双人双锁，并且核医学科进出口的大门均设置为单向门，各出入口设置监控器，分装室安装防盗门及监控器，24 小时均有专门的值班人员负责。确保放射性药物的安全。

污染源项描述

(一) 建设阶段的污染源项分析

施工产生的污染特别是扬尘和噪声将对周围的环境带来一定的影响。

施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

根据现场踏勘情况，长沙仁康医院有限公司新建项目主体工程环境影响评价已于 2015 年 11 月取得长沙县生态环境局（原长沙县环境保护局）的批复意见（详见附件 2），因此，本评价不再对主体工程进行评价。

(二) 运行期间正常工况下污染源分析

核医学科 ^{18}F 主要影响因子为 γ 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气。

直线加速器运行时产生的主要影响因子为 X 射线、电子线、臭氧和氮氧化物。

DSA 射线装置运行时产生的主要影响因子为 X 射线、臭氧和氮氧化物

(1) 放射性固体废物

放射性固废主要为核医学科产生的废棉签、注射器及试管、清洁用抹布、一次性手套和纸杯等，产生量约为 300kg/a；另外核医学科通风系统采用活性炭吸附，活性炭 3~6 个月更换一次，产生废活性炭约 100kg/a；以上放射性固体废物收集后，置于专用衰变箱内，经过 24h（约 13.2 个半衰期）之后经检测合格后按先进先出的顺利按照医疗废物处置。

未用完的 ^{18}F 核素溶液，这些瓶装高放射性废液置于放射性废物储存铅罐内，经 10 个以上半衰期衰变后由厂家回收。

加速器维修时废靶部件、限束光栏、偏转磁铁等活化部件年产生量约为 50kg/a，活化部件即时交长沙市放射性废物库收贮，严禁私自变卖处理。

(2) 放射性废水

核医学科治疗中产生的注射病人的排泄物、呕吐物及生活污水等；开放性放射性工作场所在使用和操作放射源的过程中由于洗涤工具以及工具用品、清洗地面时，产生一定量的放射性废水。

根据医院规划情况，核医学科计划编制医护人员 15 人，每天值班约 8 人，工作人员用水 15L/人·d，医院对注射 ^{18}F 的病人设置有专用的卫生间，每个病人停留 3

小时，排泄 3 次，6L/次。核医学科放射性废水均由一套单独的管网排至位于核医学科的衰变池。核医学科放射性用水、排水情况见表 9-8。

表 9-8 放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模	用水量 (L/d)	排水量 (L/d)	去向
核 医 学 科	医护人员	15L/人 d	8 人/d	120	96	进入衰变池衰变至活度总 β 放射性<10Bq/L 后,衰变后排入医院的污水处理站,而后再排入城市污水管网
	门诊病人	18L/人次 d	20 人次/d	360	288	
	地面清洁	0.04L/m ²	777m ²	31.1	24.8	
	未预见水量按以上水量的 10% 计			51.1	40.9	
总计				0.56m ³ /d	0.45m ³ /d	

由上述计算可知，本项目核医学科废水产生量为 0.45m³/d。

(3) 放射性废气

¹⁸F 在分装器中进行分装时，会产生含有微量 ¹⁸F 的放射性废气。

本项目放射性药物 ¹⁸F 分装过程在通风橱中完成；针剂由医生经注射窗口给病人注射；因此，分装、注射过程中可能存在洒出污染危险，使用过程中有少量放射性气体污染空气。

以上放射性废气通过收集经活性炭吸附过滤装置处理后经专用管道引至副楼楼顶排放，排气筒高于屋顶 3m。

(三) 非正常运行状态下污染途径分析

1、核医学科

- (1) 由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。
- (2) 核素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) 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。

2、直线加速器

(1) 在工作状态误入射线装置工作场所，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

(2) 操作的医生或护士未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射；

(3) 检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

3、DSA

(1) X 射线装置发生控制系统或安全保护系统或人员疏忽，使得受检者或工作人员收到超剂量照射。

(2) 在射线装置出束时人员误入机房收到辐射照射。

(3) 使用 DSA 的医生或护士在手术室内曝光时未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

(4) 检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

(一) 辐射工作场所分区

根据国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将本项目放射性工作场所分为控制区和监督区，便于辐射防护管理和职业照射控制。

(1) 控制区：当处于诊疗状态时，区内无关人员不得滞留，以辐射安全连锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。

(2) 监督区：在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。除医务人员外，其他无关人员不得入内，控制区入口处设置醒目的电离辐射警示标识。

本项目放射性工作场所分区见下表和图 10-1：

表 8 本项目辐射工作场所分区一览表

辐射工作场所	控制区	监督区
核医学科	分装室、储源室、污物间、注射间、候诊室、留观室、PET-MR 机房	PET-MR 控制室、设备间、医生办公室及核医学科周围临近区域
直线加速器	直线加速器机房	直线加速器控制室及周围临近区域
DSA 射线装置	DSA 机房	DSA 控制室及周围临近区域

根据 GB18871 的规定，在控制区进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；定期审查控制区，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；定期审查监督的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

(二) 辐射工作场所分级

(1) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 的规定，非密封放射源工作场所分级标准如表 12 所示。

表 12 非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

(2) 放射性核素的日等效操作量的计算

根据 GB18871-2002 附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出核素的日等效最大操作量。日等效操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

日等效操作量、核素毒性因子、操作方式修正因子、年最大等效操作量及工作场所分级见表 13。

表 10-2 工作场所的分级

核素名称	使用目的	实际最大日用量	毒性修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量	工作场所日等效最大操作量	工作场所分级	年最大操作量
¹⁸ F	显像	9.25×10 ⁹ Bq	0.01	10	9.25×10 ⁶ Bq	9.25×10 ⁶ Bq	丙级	1.85×10 ¹² Bq

(三) 辐射屏蔽设计

1、核医学科

PET-MR 机房东墙由于设计要求做成 200mm 实心红砖墙，考虑到屏蔽效果有限，本环评建议 PET-MR 机房东墙采用混凝土+硫酸钡水泥浇筑，经与设计单位沟通，设计方坚持将紧邻 PET-MR 机房的设备间与机房作为一个整体机房考虑，设备间平时不进入，在设备维修时将 PET-MR 机关闭情况下方能进入，故本次环评将 PET-MR 机房与设备间作为一个整体机房考虑。

核医学科各功能用房辐射防护设计一览表见下表。

表 9 核医学科辐射防护设计一览表

功能用房	机房尺寸	防护设计		
候诊室 1、2、3、4	长×宽×高=3.6m×2.9m×3.8m 面积：10.5m ² 容积：39.9m ³	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		北墙	200mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		西墙	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		南墙	400mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		东墙	内墙	200mm 实心红砖墙
			外墙	400mm 混凝土+60mm 硫酸钡
防护门	8mmPb			
污物间	长×宽×高=1.3m×2.6m×3.8m 面积：3.4m ² 容积：12.9m ³	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		四周墙体	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		防护门	8mmPb	
废源室	长×宽×高=3.38m×1.85m×3.8m 面积：6.3m ²	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		四周墙体	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	

	容积: 23.9m ³	防护门	8mmPb	
PET-MR 机房+设备间	长×宽×高 =12.21m×6.35m×3.8m 面积: 77.5m ² 容积: 294.5m ³	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		南墙、西墙、北墙	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		东墙	内墙	200mm 实心红砖墙
			外墙	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡
		防护门	8mmPb	
PET-MR 机房观察窗	8mmPb			
留观室	长×宽×高 =8.78m×6.35m×3.8m 面积: 36.9m ² 容积: 140.2m ³	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		北墙、东墙	200mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		南墙、西墙	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		防护门	内墙	200mm 实心红砖墙
			铅防护门	8mmPb
储源室、分装室	长×宽×高=2.8m×4.78m×3.8m 面积: 12.7m ² 容积: 48.4m ³	顶板	150mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		底板	200mm 混凝土+60mm 硫酸钡	
		四周墙体	400mm 混凝土+80mm 硫酸钡	
		防护门	8mmPb	

(2) 分装柜辐射防护

核医学科 ¹⁸F 药物分装在在分装注射室内的分装柜进行, 分装柜为自带屏蔽防护的通风柜, 防护为正面 40mmPb、其余面 25mmPb。分装柜安装有轴流风机 (风速不小于 1m/s), 顶端为排气口, 能保持柜内负压。

(3) 包装容器辐射防护

¹⁸F 药物的包装容器采用 40mmPb 的防护设计。

(4) 注射器、注射窗防护

¹⁸F 分装在分装柜内进行, 分装好的注射剂放于 30mmPb 铅盒内再送至注射窗口, 注射器防护为 10mmPb, 注射窗防护为正面 40mmPb、侧面 25mmPb。

(5) 衰变池

本项目设连续式衰变池, 衰变池总进水管及进水口需做铅板防护处理。衰变池设计为一个沉淀池 (有效容积 5.2m³)、三个衰变池 (每个有效容积 3.3m³) 和一个缓冲池 (有效容积 2.9m³)。衰变池位于地下, 池体采用 200mm 厚的钢筋混凝土, 池体外墙采用 300mm 厚的钢筋混凝土, 检修口盖子采用 200mm 厚混凝土或同等当量的防护盖板。下水管道采用 6mmPb 的铅板包围接至衰变池的预留入口。项目衰变池设计图纸见图 10-3、图 10-4:

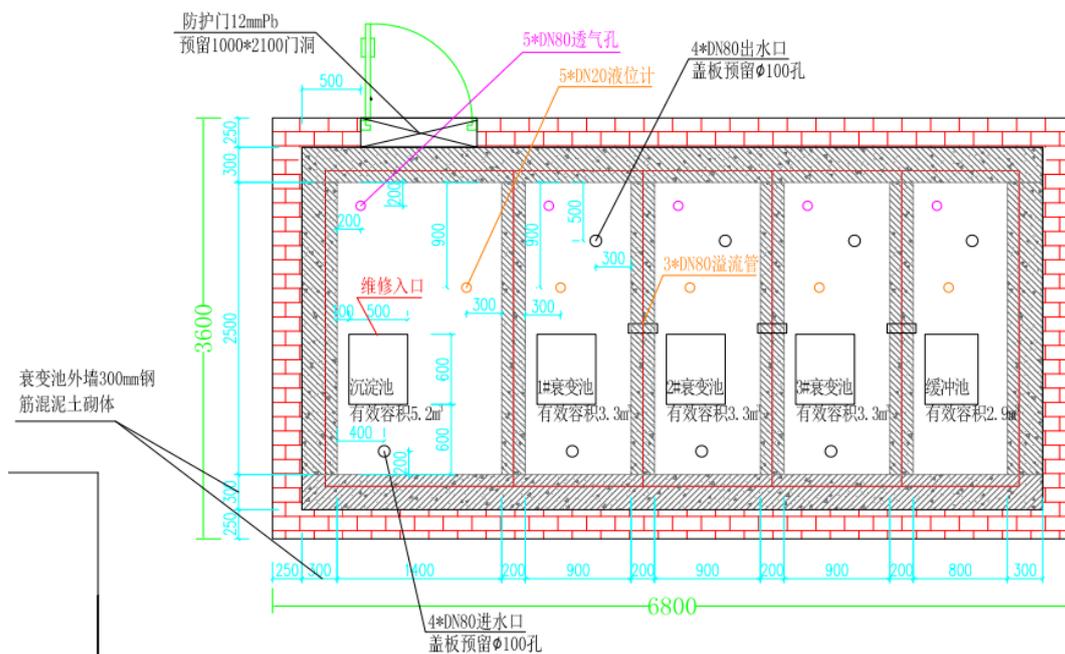


图 10-3 衰变池平面设计图

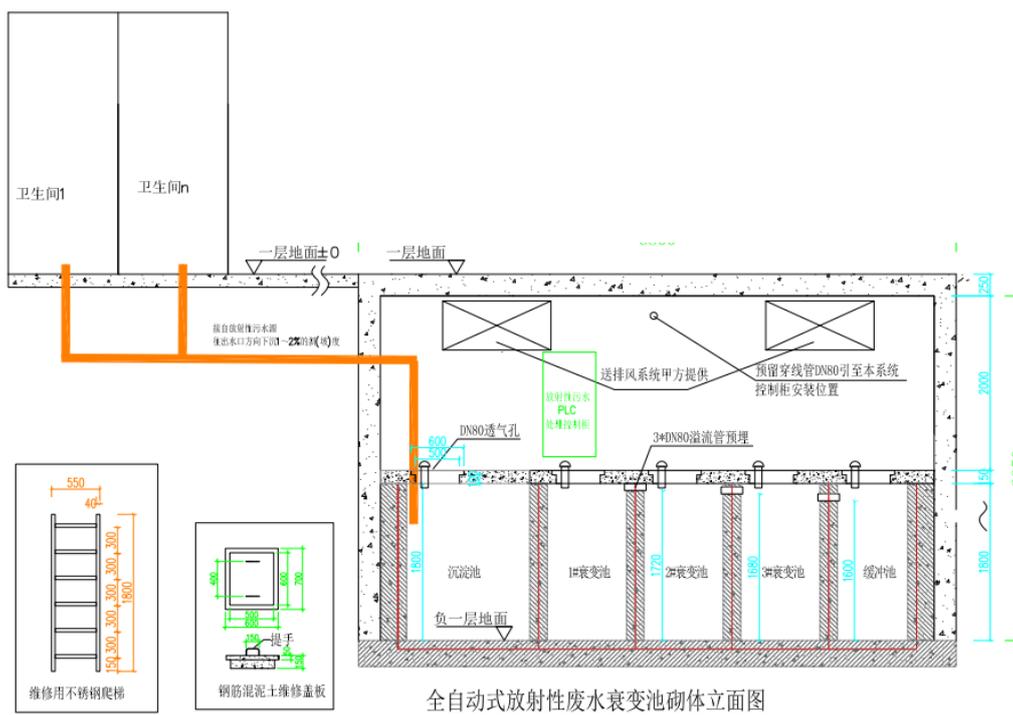


图 10-4 衰变池剖面设计图

(6) 通风设计

^{18}F 分装柜为自带屏蔽防护通风橱，分装柜安装有轴流风机（风速不小于 1m/s ），顶端为排气口，能保持柜内负压。

项目核医学科应设置独立排风系统，排风管网布置从低浓度到高浓度收集废气然后

排出。排风系统应设置止回阀，风机运转时阀门开启，气流顺利通过，风机停转时阀门关闭，防止气流倒转。核医学科废气收集并经活性炭过滤处置后，引至核医学科所在副楼楼顶排放。

2、直线加速器机房

加速器机房位于副楼负一层肿瘤诊疗中心，其四周、顶部墙体均采用密度为 2.35t/m^3 的混凝土浇筑。加速器机房采用机械送风、机械排风。加速器机房防护设计见表 10-2、表 10-3、图 10-5、图 10-6。

表 10-2 加速器机房屏蔽参数一览表

	指标		加速器机房参数
	几何尺寸 (不含迷道)	长×宽×高	
机房净面积		75.38m^2	
机房容积		278.91m^3	
加速器 机房	北墙	主防护	2700mm 砼，宽度 4400mm
		次防护	1500mm 砼
	东墙	迷道内墙	1200mm 砼
		迷道外墙	1300mm 砼
	南墙		1200mm 砼
	西墙		1500mm 砼
	顶棚	主防护	2700mm 砼，宽度 4400mm
		次防护	1500mm 砼
	机房防护门		12mmPb
	屏蔽体厚度		

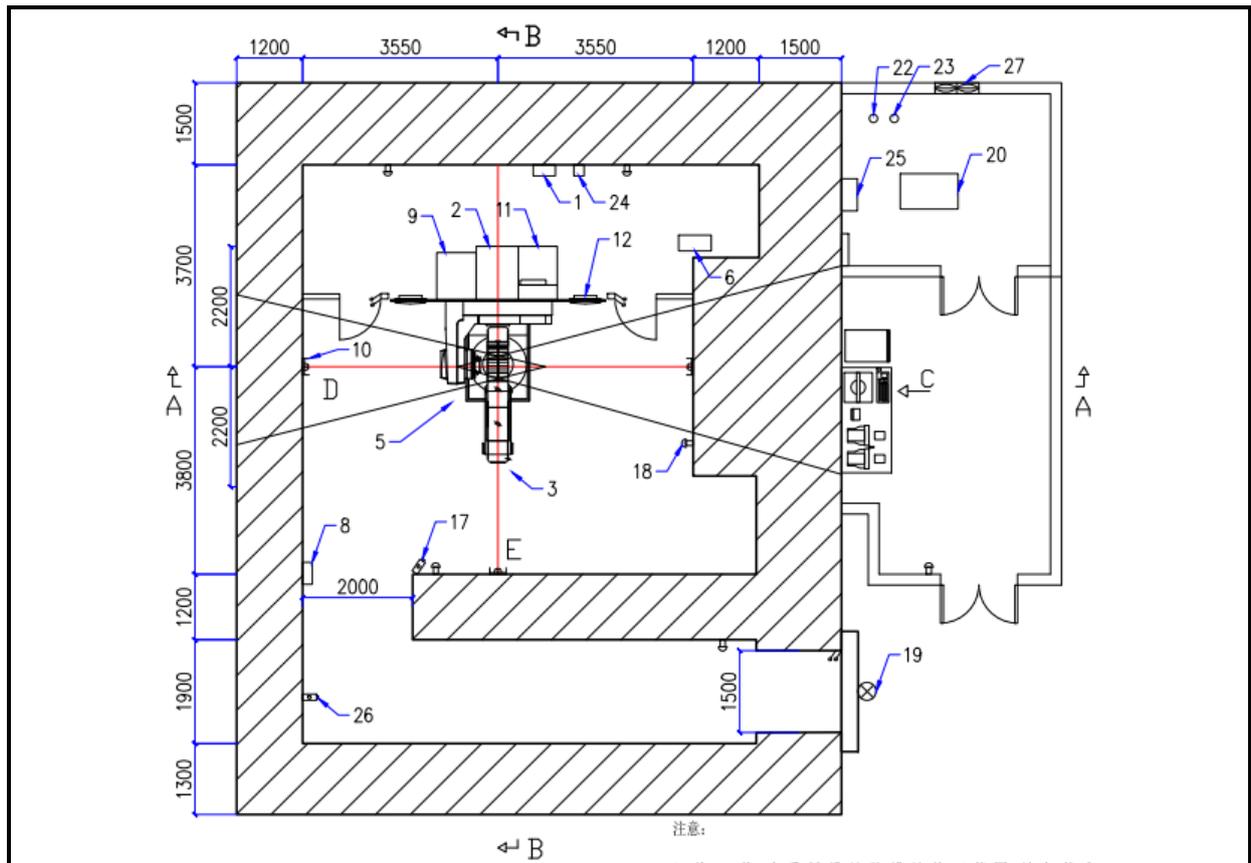


图 10-5 加速器机房防护设计平面图

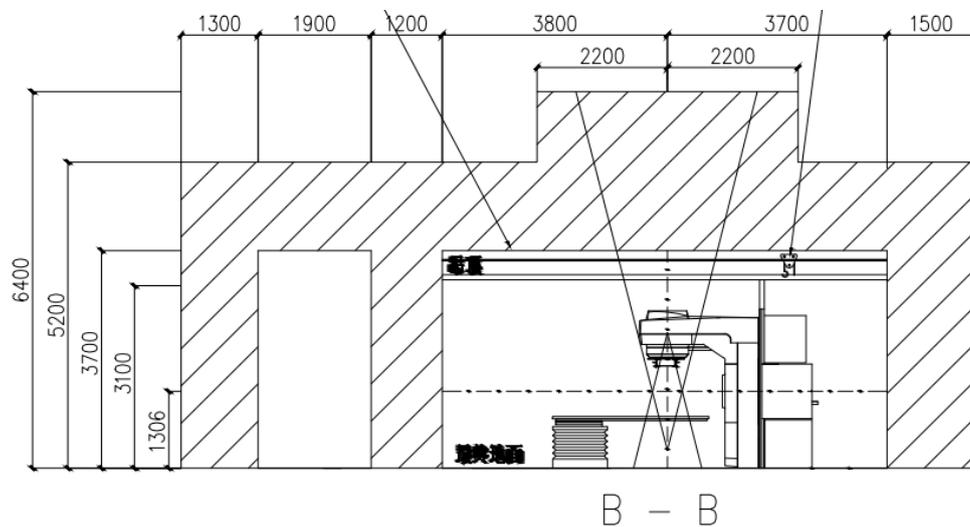


图 10-6 加速器机房防护设计侧视图

项目直线加速器机房采用机械送风、机械排风。应依据上“上进风，下出风”的原则，进行排风口与送风口的设计，穿墙处需采取附加铅板进行辐射防护，机房通风排风管外口不朝向环境敏感点并远离空调进风口，并送至副楼楼顶排放。

项目直线加速器机房的控制电缆穿墙部分采取预埋的 PVC 引导管，通过次屏蔽墙

的地下进入机房内,控制电缆布设于电缆沟内,控制电缆进出电缆沟的沟盖板均为 2.5cm 厚不锈钢板。穿墙部分呈“U”型,尺寸较小,且有 2.5cm 厚不锈钢板的沟盖板进行屏蔽,因此控制电缆的布设方式不会影响次屏蔽墙的屏蔽效果。具体电缆地沟和预留管道设计图详见图 10-7。

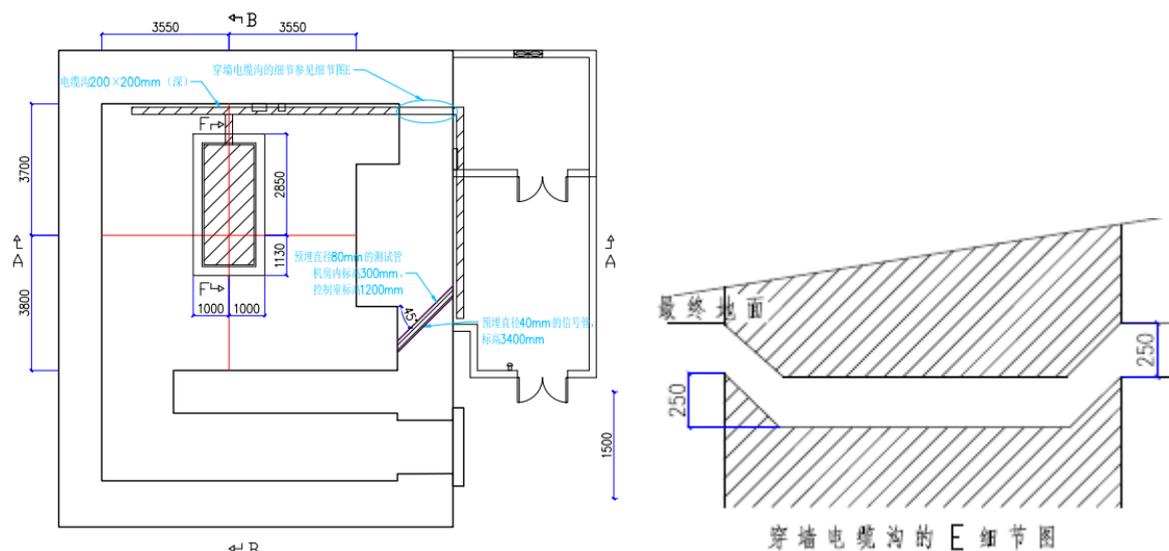


图 10-7 加速器机房电缆沟及预留钢管穿墙图

3、DSA 机房

DSA 机房位于裙楼 GF 层卒中中心,其顶部及地面均采用密度 2.35t/m^3 的混凝土+硫酸钡防护,四周墙体采用实心红砖+硫酸钡防护,具体机房辐射防护设计详见表 10-3。

表 10-3 DSA 机房屏蔽参数一览表

DSA 机房	指标		加速器机房参数
	几何尺寸	长×宽	
机房净面积			87.72m ²
屏蔽体厚度	四周墙体		240mm 实心红砖墙+4.8cm 硫酸钡
	天花板		200mm 混凝土楼板+2cm 硫酸钡
	地板		200mm 混凝土楼板+2cm 硫酸钡
	防护推拉门		4mmPb
	防护平开门		4mmPb
	观察窗		4mmPb

在 DSA 机房内设置机械通风系统,使机房保持良好的通风,通风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$,通风次数不小于 4 次/h。

(四) 防护用品

本项目拟配备的防护用品见下表:

表 10 防护用品一览表

防护用品	防护用品数量
铅衣	5 件
铅手套	2 副
铅围裙	5 件
铅屏风	6 个
铅帽	5 顶
铅眼镜	3 副
铅围脖	6 个
个人剂量计	20 个
固定式剂量报警仪	1 个
便携式剂量报警仪	1 个
X-γ 辐射监测仪	1 个
表面污染仪	1 个

(五) 辐射安全和防护措施分析

1、核医学科辐射安全防护措施

1) ¹⁸F、SPECT-MR 工作场所辐射安全防护措施

(1) 核医学科用房布局基本合理，避免与其他科室交叉现象，控制区和监督区分区明确；设有医生和病人独立通道，控制区入口处设置电离辐射警告标志，禁止非有关工作人员入内，不允许服药或注射了药物的患者随便出入，病人出入口、医生通道设置相应的指示标志；监督区入口处张贴标牌，禁止无关公众人员进入。病人、医生和放射性物质运输线路指示路线，防止发生交叉污染。

(2) 储源、分装室，注射室、候诊室、留观室均采用铅防护门，并在门上悬挂（张贴）辐射警示标志，制定严格的辐射防护规程和操作规程制度并张贴上墙。

(3) 设置医生专用卫生通过间并在出入口安装表面污染检测仪。核医学科医生进出储源间、分装室、注射室等诊疗区需通过卫生通过间淋洗及表面污染检测仪。工作人员进入核医学科工作场所顺序为：医生通道入口→脱家常衣服→穿现场工作服→工作场所；工作场所→脱现场工作服→清洁→剂量测量（全身污染测量）→穿家常衣服→医生通道出口。洗手水龙头应为长柄或光电感应龙头。

(4) 加强对放射性药物的管理，储源室安装防盗门，设置监控系统，安排专人负责管理，实行双人双锁，核素储存罐应具有屏蔽所暂存核素的能力，放射性物质的放置应合理有序、易于取放、每次只取用需要使用的部分。放射核素储存柜应定期监测，无关人员不得入内。放射性药物的存取记录要详细、清晰。建立完善放射性药物保管、领

用和登记制度。

(5) ^{18}F 药物分装在分装室内的分装柜内进行，分装柜为自带屏蔽防护的通风柜，分装柜安装有轴流风机（风速不小于 1m/s ），顶端为排气口，通风管道通过副楼楼顶排放，在排风管口设置活性炭过滤装置，排出的废气不会造成二次污染，每年更换 1~3 次活性炭，换下来的活性炭应按放射性固体废物进行处置。

(6) 放射性药物操作的工作场所拟采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理。工作台面要求平整、光滑、易于清洗。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。墙面敷贴至 1.5m 高。洗涤池采用不锈钢或瓷砖敷面。放射性药物的分装均在通风柜内进行，通风柜操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。

(7) PET-MR 注射后候诊室拟设置视频监控、对讲系统，实时了解注射药物病人的情况。

(8) 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质活进行污染物件的操作。

(9) 设置有效容积为 36.7m^3 ($6.8\text{m} \times 3.6\text{m} \times 1.5\text{m}$) 的衰变池收集核医学科产生放射性废水，核医学科工作场所设计了专用厕所、专用下水道，控制区的废水均进入衰变池，衰变池设置示标示，采用钢筋混凝土结构，池体采用 200mm 厚的钢筋混凝土，池体外墙采用 300mm 厚的钢筋混凝土。

(10) 放射性废物和一般医疗废物分类收集，放射性废物收集后暂存于废物间专用的衰变箱内，经过 24h (13.2 个半衰期) 后经检测合格按医疗废物处置。实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

(11) 医院拟配备 1 台 X- γ 辐射监测仪，1 台表面污染仪用于日常监测，拟为 ^{18}F 核素治疗工作人员配置个人防护用品，包括铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等，防护厚度为 0.5mmPb ，每人一套；为每位工作人员配置个人剂量计，并委托有资质单位进行定期监测。

2、直线加速器机房辐射安全防护措施

1) 机房的防护与安全措施

(1) 项目设计、施工和验收过程中，辐射防护设施将与主体工程同时设计、同时

施工、同时投产。加速器安装调试完成后，组织对机房辐射防护设施进行验收，包括辐射屏蔽、联锁和报警系统、辐射监测系统、通风系统等。机房辐射安全设施依照设计标准验收合格后，加速器方可正式运行。

(2) 购买有经验的商品混凝土搅拌站经配合实验后拌制的混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

(3) 管线穿越屏蔽墙体要求：水电管线采用“U”形向下穿越屏蔽墙体，预埋管竖直方向和水平方向均与地面形成 45° 角度斜穿屏蔽墙。穿墙管线避开加速器出束方向，并在地沟的入口或出口应有一定厚度的屏蔽盖板。

(4) 通风管沿迷道顶部经由防护门上部，且在机房外侧通道屋顶标高以上穿越迷道入口处屏蔽外墙。屋面上新风口与排风口宜保持一定距离，尽量避免排风口排出废气返流至新风管进入室内。

(5) 机房内净空高度应同时满足加速器机身高度、上不滑轨、进风和回风管道、吊顶（含灯具、进风口和回风口、空调室内机）等叠加空间尺寸。适当降低迷道出入口门洞高度，以较小散射面积，有利于减小铅门防护压力。

(6) 防护门和观察窗的生产、安装由有生产资质的厂家承担，其搭接长度不小于缝隙的 10 倍。

(7) 水冷系统：由于电子直线加速器在运行过程会产生大量的热量，为保证设备正常运转，采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统，其中冷却水应循环使用，不对周围环境造成影响。

(8) 安全联锁

机房入口处设置有防护门和迷路，防护门与加速器联锁。直线加速器机房设置有多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。

a) 迷道门联锁：为防止有人在加速器工作状态下误入加速器机房，出入口的迷道门和出束照射系统机型联锁，只有当防护门关闭，出束照射系统才能启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。

b) 系统连锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统连锁，不能发出射线。

c) 紧急按钮：除以上安全联锁控制外，在加速器机房内墙和控制室操作台分别设

置紧急停束按钮。急停束按钮一经按下，系统将无条件关闭加速器束流，停止出束。同时设置手动应急，以防止以上两种联锁装置失效滞留在机房内人员的安全。

d) 双剂量连锁：按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）的要求，设置双剂量连锁以及其它连锁。

(9) 直线加速器机房出束警告灯、警示标志、防护门有声、光报警装置；门框上方设有“正在工作”信号灯及电离辐射警示标志，警示人们此地属危险区域，不在此逗留。

(10) 视频监视、对讲系统、紧急停机开关：在直线加速器机房与控制室之间设置闭路电视和对讲设备，监控机房内医生与患者的活动情况；此外机房防护门内设置人工紧急停机及开门按钮。

(11) 配备的直线加速器应有双道剂量监测系统，该系统的探测结果应能用来计算受照靶体内某一参考点的剂量，并满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）要求。

(12) 机房内设置固定式剂量率仪以及时掌握运行过程中的剂量水平变化。当加速器运行后，工作人员应等待剂量率降低至本底水平后进入治疗室。

2) 安全操作及管理措施

(1) 医院配置固定式剂量报警仪和便携式剂量报警仪，进行环境辐射常规监测及个人防护。

(2) 医院配置有合格的放射治疗医生、医学物理人员及操作人员。医学物理人员和操作人员应经过防护和加速器专业知识培训，并经过考核合格后方可上岗。

(3) 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全连锁，禁止任意去除安全连锁，严禁在去除可能导致人员伤亡的安全连锁的情况下开机。

(4) 治疗期间，应有两名操作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。

(5) 治疗期间操作人员应密切注视控制台仪表及患者状况，发现异常及时处理，禁止操作人员擅自离开岗位。

(6) 加速器的控制设备有专人操作，使用的钥匙有专人保管。技术员离开控制室进入机房时，拔出钥匙，随身携带，防止他人误操作。

(7) 辐照期间，除接受治疗的患者外，治疗室内不得有其他人员。

(8) 必须防止各类事故，万一发生意外，立即停止辐照，及时将患者移出辐射野，并注意保护现场，便于正确估算患者受照剂量，作出合理评价。

(9) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施，并张贴上墙。

(10) 考虑直线加速器机头残留感生放射性影响，机器照射完 10 分钟后方可进入机房。

(11) 直线加速器机房应配置紧急开关，在应急情况下启用。

3、DSA 机房辐射安全防护措施

1) 机房的防护

(1) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽要求。

(2) 机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型或“Z”型，不影响墙体的屏蔽防护效果。

(3) 机房门外应有设置工作指示灯和电离辐射警告标志。且工作状态指示灯与机房门设置联锁装置。

(4) 机房应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护安全。机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置，不得堆放与诊断装置无关的杂物，机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

(5) 辐射工作人员应配置辐射防护用品和个人剂量计。

2) 安全操作及管理措施

(1) X射线设备应有能调节有用线束照射的装置，并应提供可标志照射野的灯光指示装置。

(2) X射线管组件上应有清晰的焦点位置标志。

(3) 介入X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

(4) 医院拟配置设备到位调试合格后，应委托有资质的单位对机房外的周围剂量当量率进行监测，保证机房的屏蔽能力满足要求。

(5) 所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

(6) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施，并张贴上墙。

(7) 放射科工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护的有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。

(8) X射线机曝光时，应保证门灯联锁、门机联锁有效。

(9) 介入放射用X射线设备应具有可准确记录受检者照射剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后患者受照射剂量记录在病历中。

(10) X射线设备机房放射防护安全设施在项目竣工时应进行验收检测，在使用过程中，应按规定进行定期检测。

(11) 应用X射线检查应经过正当性判断。执业医师应掌握好适应证，优先选用非X射线的检查方法。

(12) 加强对育龄妇女、孕妇和婴幼儿X射线检查正当性判断；严格控制使用剂量较大、风险较高的放射技术、除非有明确的疾病风险指征，否则不宜使用CT进行健康体检。对不符合正当性原则的，不应进行X射线检查。

(13) X射线设备根据工作内容，现场应配备工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作的需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施（铅橡胶，铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子）的铅当量应不低于0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有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低于0.5mmPb。

(3) 机房通风设计

本项目 DSA 机房采用机械通风系统，在机房吊顶上设置排风口，机房排风量大于 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，通过管道排放至室外，能保持机房内通风良好。

三废的治理

(一) 放射性废水治理措施

核医学科放射性废水排水管采用专用材质，并采取防腐蚀措施；放射性废水排入三级衰变池内衰变，经过 10 个半衰期以上，进入医院污水管网，最终进入医院污水处理站处理达标排放，医院总排污口总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。环评要求候诊病房至三级衰变池的下水管道采取斜向布置，排水管壁用 3mmPb 包裹，以防止核素在管道附集而产生对周围环境产生影响。衰变池设置便利取样口，以便在废水排放前取样监测。

对已购置但未使用完的放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生量，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，淋洗或预定放射性药品量。

（二）放射性废气治理措施

核医学科 ^{18}F 药物分装在均在分装室内进行，分装室拟安装一个自带屏蔽（40mm 铅）的双联不锈钢通风柜，分装柜安装有轴流风机（风速不小于 1m/s），顶端为排气口，能保持柜内负压。本次环评要求核医学科通风管网布置从非放射性区到监督区到控制区，即从低浓度到高浓度收集废气然后排出，排风口加装高效活性炭过滤装置（每 3~6 月更换一次，更换下来的废活性炭作为放射性固废管理），经活性炭吸附过滤装置处理后废气通过专用管道引至副楼楼顶排放。

本项目直线加速器机房、DSA 机房均设计有机械排风，机房内换气次数不小于 4 次/h，产生的少量臭氧及放射性废气沿排气管道连接至楼顶排放，同时安装了空调辅助通风，在机房使用过程中，能够有效排除机房内少量的臭氧及氮氧化物，室外浓度臭氧和氮氧化物不会改变环境空气质量。

（三）放射性固体废物治理措施

在各易产生放射性固废的房间设置放射性固废专用收集桶，供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理。应力求控制和减少放射性废物产生量。本项目产生的放射性固体废物包括一次性手套、一次性纸杯、候诊病房放射性废物、废活性炭等，废物收集后，置于专用衰变箱内，经过 24h（约 13.2 个半衰期）后经检测合格按医疗废物处置。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物及设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。本项目已进行了整体环评，在此不在分析施工期的影响。

此外，设备安装及调试过程会产生放射性污染，因此各放射治疗及诊断设备的安装应专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

运行阶段对环境的影响

一、辐射屏蔽设计评价

1、核医学科工作场所辐射屏蔽设计评价

1.1 场址和布局评价

医院核医学科工作场所位于副楼一楼。核医学科西北面设置病人入口，西部区域为候诊大厅，南部区域为医护人员办公室，中部区域布置贮源室、污物间、分装室、注射间和 PET-MR 机房，北部区域布置候诊病房，东北部区域布置留观室，病人出口布置在东北角。

中部区域为高活区、南部为低活区，高、低活区布局层次分明，医生、病人出入口明显分开，但是医生通道进入贮源室时，中间需经过废源室，本环评建议将废源室南侧采用墙体封闭，然后在东侧墙体开门，由此减少了废源室对医务人员的辐射影响。在此基础上，项目核医学科布局较为合理。

医生卫生通过间干湿分区、出入口应配备表面污染检测仪器，内设更衣柜、淋浴设施。核医学科所有医生在工作期间佩戴个人剂量计，进、出工作区通过卫生通过间清洗后经检测合格后方可离开，控制区与监督区应有明显的标识，工作人员、病人通道应有明显指示标识，病人在就医前给与就医流程的指导，进入诊疗区各房间内应有注意事项。

医院核医学科基本按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求进行了分区，设立有注射药物病人专用卫生间，医生专用洗手池、卫生通过间、放射性废物桶、注射室、留观室等整体布局较为合理。从核医学科工作流程来看，有效避

免了和注射过放射性药物的病员对就诊病员和工作人员的辐射影响；设置的放射性药物和废物运输专用通道，采用运输时间与其他人员活动时间错开的措施，避免对公众的影响。

1.2 工作场所辐射屏蔽分析

对于工作场所的射线屏蔽，核素的操作区（即分装室、注射间、废物室）主要考虑放射性药物产生的 γ 射线的影响。辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射药物，这个过程主要是放射性核素发射的 γ 射线引起的辐射照射。当病人服用了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

1.2.1 计算公式

本次评价公式参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》及《放射卫生学》，见式 11-1~式 11-4。

①无辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式：

$$H_0 = f \times A\Gamma / R^2 \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

H_0 —— 无辐射屏蔽时，在距源 R_m 处的空气吸收剂量率，Gy/h；

A —— 放射源的预期最大放射性活度，Ci；

Γ —— 空气吸收剂量率常数， $R \cdot m^2 / (h \cdot Ci)$ ；

R —— 距放射源的距离，m；

f —— 转换系数 $8.69 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ 。

②有辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式：

$$H = H_0 \times K^{-1} \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

H_0 —— 无辐射屏蔽时，在距源 R_m 处的空气吸收剂量率，Gy/h；

H —— 屏蔽减弱系数为 K^{-1} 时，在距源 R_m 处的空气吸收剂量率，Gy/h

K^{-1} —— 屏蔽减弱系数，无量纲。

③屏蔽减弱系数计算公式：

$$K^{-1} = 2^{-dp / TVT} \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

TVT —— 半值层厚度，mm；

dp —— 屏蔽层厚度，mm；

K^{-1} —— 屏蔽减弱系数，无量纲。

④放射源活度随时间的衰变计算公式：

$$A=A_0e^{-\lambda t} \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

A_0 —— 放射源初始活度，Bq；

A —— 放射源衰变后活度，Bq；

λ —— 衰变常数， d^{-1} ；（ $\lambda=\ln 2/T_{1/2}$ ， $T_{1/2}$ 为半衰期，d）

t —— 衰变天数，d。

1.2.2 核医学科各功能用房外空气吸收剂量率估算

给患者注射 ^{18}F 前，核素存放在储源间铅罐中，铅罐随药物由供源厂家提供，铅罐厚度为 40mmPb。 ^{18}F 分装在分装柜内进行，分装时药物置于铅罐内，分装好的注射剂放于铅容器内再送至注射窗口。本评价按最大储存量 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ （300mCi）、每人最大药量 $3.70 \times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）估算 γ 辐射剂量率。

患者在注射后需在注射后候诊病房等待 1h 再接受扫描，每次扫描约 10~20min，本评价按在候诊室按 60min、扫描平均 15min 考虑，注射了药物的患者按点源考虑，则按式 11-4 计算可知患者进入留观室时的放射源的放射性活度为 $2.31 \times 10^8\text{Bq}$ （6.2mCi）。留观室按同时有六名患者考虑。

核医学科各功能用房空气吸收剂量率计算参数和计算结果见下表：

表 11-1 核医学科空气吸收剂量率计算参数及结果一览表（按防护设计计算）

关注点	计算参数						计算结果	
	f (Gy/R)	A (Ci)	Γ R·m ² / (h·mCi)	R (m)	dp (mm)	TVT (mm)	H ($\mu\text{Gy/h}$)	
铅罐外 1m	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	40	3.68	0.81	
储源间	墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	40	3.68	0.001
						400	55	
						80	25	
	防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	2.5	40+8	3.68	0.03
顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	3.5	40	3.68	0.002	

	底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1.5	150	55	0.005	
						60	25		
						40	3.68		
						200	55		
						60	25		
分装柜	正面 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	0.8	40+40	3.68	0.001	
	侧面 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	0.8	40+25	3.68	0.01	
	分装室顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	3.5	25	3.68	0.032	
						150	55		
						60	25		
	分装室底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	25	3.68	0.208	
						200	55		
						60	25		
	注射后候诊室	北墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.5	200	55	0.2
							80	25	
西墙外 30cm		8.69×10^{-3}	0.01	0.58	0.8	400	55	0.06	
						80	25		
南墙外 30cm		8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.0	400	55	0.06	
						60	25		
东墙外 30cm		8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.8	200	153	0.002	
						400	55		
						60	25		
防护门外 30cm		8.69×10^{-3}	0.01	0.58	2	8	3.68	2.79	
顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.5	150	55	0.12		
					60	25			
底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.2	200	55	0.53		
					60	25			
留观室	北墙、东墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	0.6	200	55	4.53	
						80	25		
	南墙、西墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	3.5	400	55	0.01	
						80	25		
	防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	1.5	200	153	7.42	
		8.69×10^{-3}	0.037	0.58	2.5	8	3.68		
顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	3.5	150	55	0.44		
					60	25			
底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	0.6	200	55	1.13		
					60	25			
PET-MR 机房	南、西、北墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4	400	55	0.002	
						80	25		
	东墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	8.7	200	153	0.0002	
						400	55		
						80	25		
	病人防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4.5	8	3.68	0.55	
	操作室防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4.5	8	3.68	0.55	
	观察窗外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4	8	3.68	0.70	
	顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.5	150	55	0.12	
60						25			
底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	0.6	200	55	0.30		
					60	25			

根据上表估算结果可知，项目核医学科除注射后候诊室防护门、留观室北墙和东墙、留观室防护门外30cm处剂量率超过控制目标 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 外，其余各功能用房外30cm处剂

量率满足控制要求。

针对以上超标，本环评提出以下防护措施：

①将注射后候诊室铅防护门厚度从8mm提高至10mm，经预测提高防护厚度后在防护门30cm处的剂量率为1.92 μ Gy/h，满足要求。

②将留观室北墙和东墙混凝土墙厚度由200mm增至400mm，经预测在北墙和东墙30cm处的剂量率为0.36 μ Gy/h，满足要求。

③将留观室的铅防护门厚度从8mm提高至15mm，经预测提高防护厚度后在防护门30cm处的剂量率为1.99 μ Gy/h，满足要求。

表 11-1 核医学科空气吸收剂量率计算参数及结果一览表（按环评整改后计算）

关注点		计算参数					计算结果	
		f (Gy/R)	A (Ci)	Γ $R \cdot m^2 /$ (h·mCi)	R (m)	dp (mm)	TVT (mm)	H (μ Gy/h)
铅罐外 1m		8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	40	3.68	0.81
储源间	墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	40	3.68	0.001
						400	55	
						80	25	
	防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	2.5	40+8	3.68	0.03
	顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	3.5	40	3.68	0.002
						150	55	
60						25		
底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1.5	40	3.68	0.005	
					200	55		
					60	25		
分装柜	正面 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	0.8	40+40	3.68	0.001
	侧面 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	0.8	40+25	3.68	0.01
	分装室顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	3.5	25	3.68	0.032
						150	55	
						60	25	
	分装室底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.3	0.58	1	25	3.68	0.208
200						55		
60						25		
注射后候诊室	北墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.5	200	55	0.2
						80	25	
	西墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	0.8	400	55	0.06
						80	25	
	南墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.0	400	55	0.06
						60	25	
	东墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.8	200	153	0.002
400						55		
60						25		
防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	2	10	3.68	1.92	
顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.5	150	55	0.12	
					60	25		

	底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	1.2	200 60	55 25	0.53
留观室	北墙、东墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	0.6	400 80	55 25	0.36
	南墙、西墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	3.5	400 80	55 25	0.01
	防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	1.5	200	153	1.99
		8.69×10^{-3}	0.037	0.58	2.5	15	3.68	
	顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	3.5	150 60	55 25	0.44
	底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.037	0.58	0.6	200 60	55 25	1.13
PET-MR 机房	南、西、北墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4	400	55	0.002
						80	25	
	东墙外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	8.7	200	153	0.0002
						400	55	
						80	25	
	病人防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4.5	8	3.68	0.55
	操作室防护门外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4.5	8	3.68	0.55
	观察窗外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	4	8	3.68	0.70
顶部外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	3.5	150	55	0.12	
					60	25		
底板外 30cm	8.69×10^{-3}	0.01	0.58	0.6	200	55	0.30	
					60	25		

2、DSA 机房辐射屏蔽设计评价

2.1 DSA 机房设计与标准相符性分析

本评价对照《医用X射线诊断放射防护标准》（GBZ130-2013）中相关要求对项目机房设计的合理性进行分析，详见表11-4、表11-5：

表 11-4 DSA 机房使用面积及单边长度与 GBZ130-2013 的对照表

对比要求		相符性分析	备注
机房内最小有效使用面积	标准要求	30m ²	-
	实际面积	87.72m ²	不含控制室
	是否满足标准要求	满足	-
机房内最小单边长度	标准要求	4.5m	-
	实际长度	10.2m	-
	是否满足标准要求	满足	-

表 11-5 DSA 机房屏蔽防护厚度与 GBZ130-2013 的对照表

屏蔽体	实际屏蔽材料及厚度	标准要求	是否满足标准要求
天花板	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡，约 3mmPb	2mmPb	满足
地板	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡，约 3mmPb	2mmPb	满足
四周墙体	240mm 实心红砖墙+48mm 硫酸钡，约 4mmPb	2mmPb	满足
防护门	铅门，4mmPb	2mmPb	满足
观察窗	铅玻璃，4mmPb	2mmPb	满足

根据表11-4、表11-5可知，本项目DSA机房的使用面积及单边长度、机房屏蔽防护

厚度均能满足《医用X射线诊断放射防护标准》（GBZ130-2013）中的相应要求。

2.2 机房防护能力分析

为了全面了解医院扩建核技术利用项目投入运行后对周围环境及人员影响的范围和程度，本评价采用类比分析的方法对拟建DSA机房常用的工作场所建成后环境辐射空气吸收剂量率进行预测。采用与本项目情况相似的湖南省脑科医院DSA机房监测数据进行类比分析，类比监测报告编号为[核环检]字2018第133号。本项目类比条件见表11-6，类比检测结果见表11-7：

表 11-6 类比项目一览表

条件		本项目	类比对象
最大管电压		125kV	125kV
最大管电流		1000mA	1000mA
屏蔽防护措施	机房顶板	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡，约 3mmPb	100mm 混凝土+2mm 铅板，约 3mmPb
	机房底部	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡，约 3mmPb	100mm 混凝土+40mm 硫酸钡，约 5mmPb
	四周墙体	240mm 实心红砖墙+48mm 硫酸钡，约 4mmPb	120mm 加气混凝土+2mm 铅板，≥2mmPb
	防护门	铅门，4mmPb	3mmPb
	观察窗	铅玻璃，4mmPb	3mmPb

从上表可知，湖南省脑科医院的DSA最大管电压和管电流与本项目一致，本项目DSA用途与其一致，本项目DSA机房防护设计优于湖南省脑科医院DSA机房，因此，具有可类比性。

表 11-7 DSA 机房周围辐射环境类比检测结果一览表

装置名称	方位	检测点位描述	剂量率(μSv/h)		检测条件
			开机	关机	
类比 DSA	北	1#工作人员 出入口	上	0.12	0.10
			中	0.12	
			下	0.11	
			左	0.14	
			右	0.12	
		2#北侧防护墙		0.13	0.12
		3#观察窗	上	0.10	0.09
			中	0.10	
			下	0.09	
			左	0.11	
	右		0.11		
	东	5#受检者出入口	上	0.16	0.13
			中	0.14	
			下	0.13	

		左	0.13	
		右	0.14	
	4#东侧防护墙		0.19	0.17
中	机房内医生操作位（铅帘屏蔽）		2.30	0.12
上	DSA 机房楼上		0.15	0.12
下	DSA 机房楼下		0.12	0.10

由上表的监测结果可知，DSA工作场所防护门外环境辐射空气吸收剂量率X- γ 辐射剂量率监测值在0.09~0.19 μ Sv/h之间，DSA运行时对周围环境的影响符合《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）。

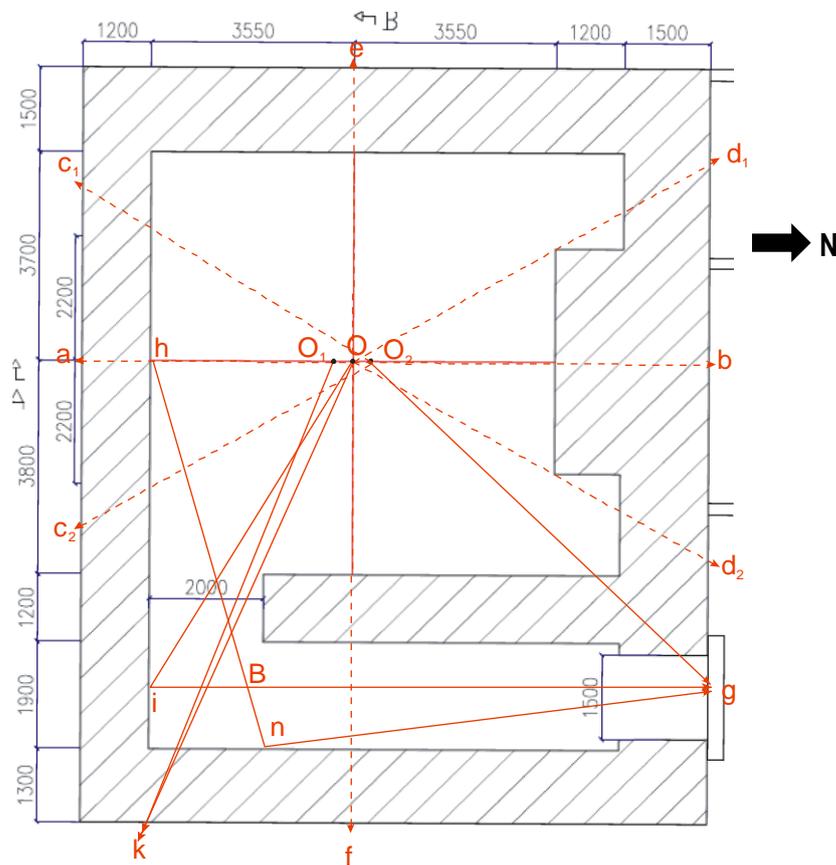
本项目拟增的DSA使用的最大管电压与类比项目相同，且采取的辐射防护措施基本优于类比机房，因此可以推测本项目运行后项目对机房周围环境影响较小，该机房屏蔽设计能够满足拟增的DSA的防护要求。

3、直线加速器机房辐射屏蔽设计评价

3.1 DSA 机房设计与标准相符性分析

3.1.1 关注点

本项目加速器机房内为 6MV 加速器。加速器机房采用密度为 2.35t/m³ 的混凝土结构屏蔽，加速器机房关注点见表 11-1 和图 11-1。



注：项目加速器机房南面墙体紧邻为粘土层，故本次评价不考虑 a、c1、c2 的辐射屏蔽计算。

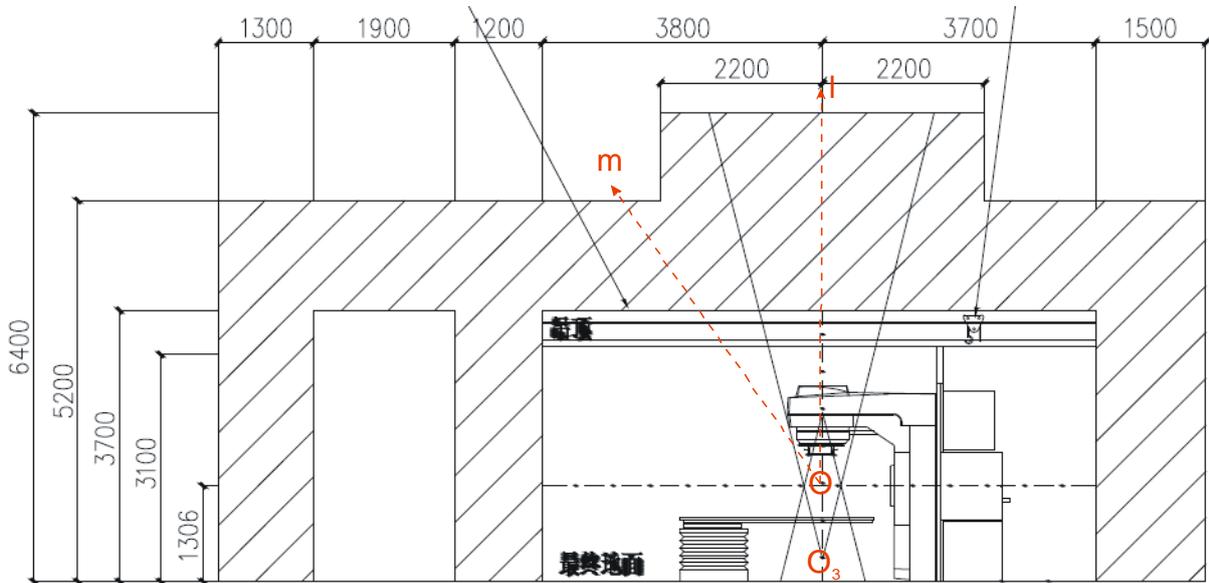


图 11-1 加速器机房关注点示意图

表 11-1 加速器机房关注点一览表

序号	关注区域	加速器机房	
		关注点	关注点描述
1	主屏蔽区	b	北主屏蔽墙外墙外 30cm
2		l	顶棚主屏蔽墙外 30cm
3	次屏蔽区	d1	北次屏蔽墙外 30cm
4		d2	北次屏蔽墙外 30cm
5		m	顶棚次屏蔽墙外 30cm
6	侧屏蔽区	e	西侧屏蔽墙外 30cm
7		f	东侧屏蔽墙外 30cm
8	迷路内墙	g	迷路内墙外 30cm
9	迷路外墙	k	迷路内墙外 30cm
10	机房入口	g	防护门外 30cm

3.1.2 计算公式

本评价采用《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）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中的公式进行计算，具体如下：

①有用线束和泄漏辐射的屏蔽透射因子估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

\dot{H}_c —— 参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

\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 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ (以 $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7); 本项目直线加速器的最大剂量率为 $600\text{Gy}/\text{min}$ 。

R —— 辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m ;

f —— 对有用线束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

②患者一次散射辐射的屏蔽透射因子估算:

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)} \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

\dot{H}_c —— 参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

R_s —— 患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m ;

a_{ph} —— 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最大治疗野面积, cm^2 。

③穿过患者或迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot a_w \cdot B_p \quad (\text{式 11-3})$$

式中:

\dot{H} —— 计算点的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

F —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 。

R —— 散射体中心点 (有用线束在屏蔽墙上的投影点) 与计算点的距离, m ;

a_w —— 散射因子;

B_p —— 有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。

④加速器（≤10MV）机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

a) 入口处的散射辐射剂量率

$$H_g = \frac{a_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{a_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

H_g —— 入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

a_{ph} —— 患者 400cm^2 面积上的散射因子；

F —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

a_2 —— 砧墙入射的患者散射辐射的散射因子；

A —— i 处的散射面积； m^2 ；

R_1 —— “o-i”之间的距离， m ；

R_2 —— “i-g”之间的距离， m ；

H_0 —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

b) 入口处防护门需要的屏蔽透射因子 B 按下式计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{式 11-5})$$

式中：

H_{og} —— o_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g_2 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c —— 参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_g —— g_2 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

⑤屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

B —— 辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 —— 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度， cm ；

TVL —— 辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度， cm 。

⑥有效屏蔽厚度

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

X —— 屏蔽物质厚度，cm；

X_e —— 有效屏蔽物质厚度，cm；

θ —— 斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

⑦主屏蔽区宽度

$$Y_p = 2[(a + SAD)\tan\theta + 30] \quad (\text{式 11-14})$$

式中：

Y_p —— 机房有用束主屏蔽区的宽度，cm；

SAD —— 源轴距，cm；

θ —— 治疗束的最大张角（相对束中心的轴线）；

a —— 等中心点至墙的距离，cm。

3.1.3 屏蔽核算

①主屏区屏蔽厚度

主屏蔽区屏蔽厚度按有用线束估算，关注点为图 11-1 中的 b、l 点，采用以上公式进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-2 主屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		b	l
计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×108	
	R (m)	6.55	5.39
	f	1	1
	θ ($^\circ$)	0	0
	TVL_l (cm)	41	41
	TVL (cm)	37	37
计算结果	X (cm)	246	252
设计厚度 (cm)		270	270
是否满足		满足	满足

根据计算可知，项目各主屏蔽墙屏蔽厚度设计合理，可以满足防护要求。

②主屏蔽区的宽度估算

根据以上公式进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-3 主屏蔽区宽度估算参数及结果一览表

主屏蔽墙		计算参数			计算结果	设计值 (cm)	是否 满足
		SAD (cm)	θ (°)	a (cm)	Y_p (cm)		
加速器 机房	北主屏蔽墙	100	14.5	355	357	440	满足
	顶棚主屏蔽墙	100	14.5	240	376	440	满足

根据上表可知，本项目加速器机房主屏蔽墙设计宽度可满足防护要求。

③与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

根据 GBZ/T201.2-2011，次屏蔽区屏蔽厚度按有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射以及加速器的泄漏辐射估算，屏蔽厚度取两者间较厚者。根据 GBZ/T201.2-2011，次屏蔽区屏蔽厚度估算时，式中 H_c 以 $0.5H_c$ 代替，即次屏蔽区以 $1.25\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制。与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区关注点为图 11-1 中的加速器机房 d_1 、 d_2 、m 点，采用以上公式进行估算，次屏蔽区计算参数和计算结果见下表：

表 11-4 加速器机房次屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		d_1	d_2	m
计算 参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	1.25	1.25	1.25
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8		
	R (m)	7.4	7.4	5.0
	f	0.001		
	θ (°)	30	30	30
	α_{ph}	3.18×10^{-5}		
	F (m^2)	1600		
	90°泄漏辐射 TVL _L (cm)	35		
	90°泄漏辐射 TVL (cm)	31		
	30°散射辐射 TVL (cm)	28		
估算 结果	泄漏辐射 X (cm)	104	104	113
	散射辐射 X (cm)	118	118	126
	所需厚度 X (cm)	118	118	126
设计厚度 (cm)		150	150	150
是否满足		满足	满足	满足

根据上表计算结果可知，项目次屏蔽墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

④侧屏蔽墙

侧屏蔽墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，关注点为图 11-1 中的 e、f 点，采用以上公式进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-6 侧屏蔽墙计算参数及结果一览表

关注点	e	f
-----	---	---

计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8
	R (m)	4.0	8.5
	f	0.001	0.001
	θ ($^\circ$)	0	0
	TVL_l (cm)	35	35
	TVL (cm)	31	31
估算结果	X (cm)	127	107
	设计厚度 (cm)	150	120+130
	是否满足	满足	满足

根据上表计算可知，项目侧屏蔽墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑤迷路内墙屏蔽估算

迷道内墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，采用以上公式进行估算。根据 GBZ/T201.2-2011，当迷路入口以 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制时，穿过迷路内墙在 g 处的泄漏辐射剂量率应小于其 $1/4$ ，取 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。辐射源点和计算点的连线与垂线夹角为 45° ；当加速器入射屏蔽体的斜角大于 40° 时，屏蔽体对辐射衰减中“累积因子”增大，斜角仍按 30° 计算，则迷道内墙估算结果见下表：

表 11-9 迷路内墙屏蔽厚度计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	0.5
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	R (m)	8.4
	f	0.001
	θ ($^\circ$)	30
	TVL_l (cm)	35
	TVL (cm)	31
估算结果	X (cm)	112
	设计厚度 (cm)	120
	是否满足	满足

根据上表计算结果可知，项目迷道内墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑥迷路外墙屏蔽估算

迷路外墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，关注点为图 11-1 中的 k 点，采用以上公式进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-15 迷路外墙计算参数及结果一览表

关注点	k
-----	-----

计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	R (m)	9.0
	f	0.001
	θ ($^\circ$)	0
	TVL_1 (cm)	35
	TVL (cm)	31
估算结果	X (cm)	105
	设计厚度 (cm)	130
	是否满足	满足

根据上表计算结果可知，项目迷道外墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑦机房入口防护门计算

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）中“4.7 中子屏蔽的考虑因素”，在加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，考虑机房的中子屏蔽，本项目拟购的直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，因此，机房防护门的屏蔽不考虑中子屏蔽，仅考虑 X 射线的屏蔽。防护门屏蔽的参数及估算结果见下表：

表 11-7 防护门屏蔽厚度计算参数及结果一览表

参数及结果		g
计算参数	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	F (cm^2)	1600
	α_{ph}	1.35×10^{-3}
	α_2	22.0×10^{-3}
	A (m^2)	11.5
	R_1	7.0
	R_2	10.1
	TVL (cm) 铅	0.5
	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5
	H_{og} ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	0.5
估算结果	X (cm)	0.85
	设计厚度	1.2cmPb
	是否满足	满足

根据上表计算结果可知，项目加速器防护门厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑧加速器机房屏蔽估算小结

根据上述计算结果可知，本项目加速器机房各屏蔽墙体厚度、防护门均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）相关要求。各关注点剂量率见下表：

表 11-10 采取有效措施后各加速器机房关注点剂量率一览表

关注区域	加速器机房		
	关注点	估算值 $\mu\text{Sv/h}$	标准值 $\mu\text{Sv/h}$

主屏蔽区	b	0.54	2.5	满足
	l	0.80	2.5	满足
次屏蔽区	d ₁	0.31	1.25	满足
	d ₂	0.31	1.25	满足
	m	0.69	1.25	满足
侧屏蔽区	e	0.44	2.5	满足
	f	0.00006	2.5	满足
迷路内墙	g	0.23	0.5	满足
迷路外墙	k	0.38	2.5	满足
机房入口	g	0.89	2.5	满足

由上表可知，项目各侧屏蔽墙体和屏蔽门在按设计要求采取屏蔽防护措施后，加速器机房各关注点剂量率均能满足标准要求。

3.1.4 机房面积的核实

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求，新建电子加速器治疗室应不小于 45m²，本项目加速器治疗室使用面积为 75.38m²（不含迷道），可满足标准要求。

3.1.5 机房通风效能的评价

项目直线加速器机房采用机械送风、机械排风。应依据上“上进风，下出风”的原则，进行排风口与送风口的设计，穿墙处需采取附加铅板进行辐射防护，机房通风排风管外口不朝向环境敏感点并远离空调进风口，环评建议排风量应不小于 2000m³/h，并送至副楼楼顶排放。

X 射线与空气作用，会产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，直线加速器室抽风机排风量 2000m³/h，通风换气次数大于 4 次/h 的条件下，臭氧和氮氧化物浓度为甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外环境空气质量。

二、项目运行对周围保护目标可能造成的辐射影响

1、剂量估算公式

本项目工作人员和公众人员受到 X-γ 射线产生的外照射所致的年有效剂量采用以下公式进行估算：

$$H_{E-X, r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

H_e —— X、 γ 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a;

D_r —— X、 γ 射线空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

0.7 —— 剂量换算系数, Sv/Gy;

t —— X、 γ 射线照射时间, h/a。

2、职业工作人员及公众年附加有效剂量估算

2.1 核医学科所致剂量估算

2.1.1 核医学科放射工作人员、公众计算参数

本项目核医学科每次分装、取药注射、摆位和操作设备分别由一名放射工作人员完成。

分装人员：18F 最大暂存量 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ (300mCi)，存放在 40mmPb 铅罐内，分装人员从储源间运送至分装柜时，距离铅罐约 1m，搬运时间 1min，每年 200 次；分装过程在分装柜内进行，单次分装药物最大量为 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，单次分装时间 30s，年操作次数 6000 次，分装时，工作人员穿 0.5mmPb 防护衣，通过分装柜进行操作，手部采用 5mmPb 注射器防护套，药物距离手部约 15cm，距离身体约为 50cm。

取药注射人员：取药时，工作人员穿戴 0.5mmPb 防护衣，药物外面为 30mm 铅盒，从通风橱取药至注射窗口用时约 30s，取药时工作人员身体距离药物 30cm；注射时，工作人员穿戴 0.5mmPb 防护衣，通过注射窗口给病人注射，药物距离手部约 5cm，距离身体约为 50cm，注射器防护为 10mmPb。注射一个病人的时间为 8s。

摆位和操作 PET-MR 设备人员：病人注射 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 药物后，在注射后候诊室停留 1h 后进入扫描室，摆位时，工作人员与病人之间的距离为 1m，该过程工作人员穿 0.5mmPb 防护衣，在 4mmPb 铅屏风后进行摆位工作，每个病人摆位约需 1min；摆位后，工作人员在 PET-MR 操作室操作设备，距离病人 4.8m，扫描时间按平均 15min/人考虑，年病人数 5000 人。

核医学科工作人员空气吸收剂量率采用式 11-1~式 11-4 进行计算，计算结果如下：

表 11-8 核医学科工作人员空气吸收剂量率一览表

核医学科工作人员	空气吸收剂量率计算参数						计算结果
	f (Gy/R)	A (Ci)	Γ $R \cdot m^2 /$ (h·mCi)	R (m)	dp (mm)	TVT (mm)	H ($\mu\text{Gy/h}$)

分装人员	搬运铅罐		8.69×10 ⁻³	0.3	0.58	1	40	3.68	0.81
	分装药物	手部	8.69×10 ⁻³	0.01	0.58	0.15	5	3.68	873.49
		身体				0.5	40+0.5	3.68	0.10
取药注射人员	取药		8.69×10 ⁻³	0.01	0.58	0.3	30+0.5	3.68	1.79
	注射	手部	8.69×10 ⁻³	0.01	0.58	0.05	10	3.68	3065.43
		身体				0.5	40+0.5	3.68	0.10
摆位操作	摆位		8.69×10 ⁻³	0.01	0.58	1	4+0.5	3.68	21.59
	操作		8.69×10 ⁻³	0.01	0.58	4.8	8+0.5	3.68	0.26

表 11-9 核医学科工作人员受照射时间一览表

核医学科工作人员			每次/每日照射时长	年操作次数/照射天数	年照射时间
分装人员	搬运铅罐		1min/次	200 次/a	3.3h/a
	分装药物	手部	30s/次	5000 次/a	41.7h/a
		身体	30s/次	5000 次/a	41.7h/a
取药注射人员	取药		30s/次	5000 次/a	41.7h/a
	注射	手部	8s/次	5000 次/a	11.1h/a
		身体	8s/次	5000 次/a	11.1h/a
摆位操作	摆位		1min/次	5000 次/a	83.3h/a
	操作		15min/人	5000 次/a	1250h/a

核医学科楼上为医院其他科室，则受照射时间按 8h/d，200d/a 考虑，居留因子取 1，则受照射时间为 1400h/a；核医学科工作场所外其他公众居留因子取 1/40，则受照射时间为 40h/a。空气吸收剂量率取表 11-1 及整改措施后对应方位最大预测值。

2.1.2 计算结果

表 11-11 核医学科外照射人均年有效剂量计算一览表（按防护设计计算）

人员类别				计算参数		计算结果	管理目标值 (mSv/a)
				D_r (μGy/h)	t (h/a)	$H_{E-X,\gamma}$ (mSv/a)	
核医学科放射工作人员	分装人员	身体	搬罐	0.81	3.3	0.0048	4
			分装	0.10	41.7		
		手部	873.49	41.7	25.50	500	
	取药注射人员	身体	取药	1.79	41.7	0.053	4
			注射	0.10	11.1		
		手部	3065.43	11.1	23.82	500	
	摆位操作人员	摆位		21.59	83.3	1.49	4
操作		0.26	1250				
核医学科公众	医院其他工作人员			0.44	1400	0.43	0.1
	其他公众			1.99	40	0.06	0.1

由上表可见，本项目核医学科放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 1.49mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 4mSv/a。核医学科周边公众可能受到的最大照射附加剂量值分别为 0.43mSv/a，超过本次评价设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a，故可见本项目核医学科顶板防护厚度不够，经过预测，本环评建议顶板

防护厚度至少需要达到 150mm 混凝土+150mm 硫酸钡水泥确保核医学科楼上医院其他工作人员公众剂量值满足管理目标要求。具体预测结果详见下表。

表 11-11 核医学科外照射人均年有效剂量计算一览表（按环评建议整改后计算）

人员类别				计算参数		计算结果	管理目标值 (mSv/a)
				D_r ($\mu\text{Gy/h}$)	t (h/a)	$H_{E-X,\gamma}$ (mSv/a)	
核医学科 放射工作 人员	分装人员	身体	搬罐	0.81	3.3	0.0048	4
			分装	0.10	41.7		
		手部	873.49	41.7	25.50	500	
	取药注射 人员	身体	取药	1.79	41.7	0.053	4
			注射	0.10	11.1		
		手部	3065.43	11.1	23.82	500	
	摆位操作 人员	摆位	21.59	83.3	1.49	4	
操作		0.26	1250				
核医学科 公众	医院其他工作人员		0.04	1400	0.08	0.1	
	其他公众		1.99	40	0.06	0.1	

经以上要求整改后，核医学放射工作人员职业照射剂量和周边公众可能受到的最大照射剂量均满足相应控制要求。

2.2 DSA 工作人员附加年有效剂量

2.2.1 DSA 放射工作人员、公众计算参数

根据医院提供的资料，本项目 DSA 投入使用后，每年约进行介入手术 500 台。平均每次曝光时间为 30min，则年曝光时间为 250h。空气吸收剂量率采用类比检测数据。

2.2.2 计算结果

表 11-10 DSA 外照射人均年有效剂量计算一览表

人员类别		计算参数		计算结果	管理目标值 (mSv/a)
		D_r ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	$H_{E-X,\gamma}$ (mSv/a)	
DSA 放射 工作人员	床侧操作人员	2.30	250	0.40	4.0
	操作间工作人员	0.11	250	0.02	4.0
公众		0.15	250	0.03	0.1

经上表计算，本项目 DSA 放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 0.4mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 4mSv/a。DSA 周边公众可能受到的最大照射附加剂量值分别为 0.03mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a。

2.3 直线加速器工作人员附加年有效剂量

2.3.1 计算参数

根据医院提供资料，预计加速器最大工作量为每台 4000 人次/a，平均每次照射时间

约 5min，则本项目每台直线加速器年照射时间为 333.3h/a。

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），不同场所居留因子不同，详见下表：

表 11-16 不同场所的居留因子

场所	居留因子		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室，治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室； 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8：各治疗室房门； 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40：仅有往来行人车辆的户外区域、无人看管的停车场

2.3.2 计算结果

表 11-17 直线加速器机房年附加有效剂量估算结果一览表

设备	人员类别	场所	D_r ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	T	He (mSv/a)	标准值 (mSv/a)
加速器	工作人员	北侧控制室	0.54	333.3	1	1.80×10^{-1}	2
	公众	铅门外	0.89	333.3	1/8	3.71×10^{-2}	0.1
		西侧锅炉房	0.44	333.3	1/16	9.17×10^{-3}	0.1
		东侧机房	0.00006	333.3	1/16	1.25×10^{-6}	0.1
		楼上地下车库	0.80	333.3	1/16	1.67×10^{-2}	0.1

经上表计算，本项目直线加速器放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 0.18mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 2mSv/a。加速器周边公众可能受到的最大照射附加剂量值分别为 0.04mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a。

3、放射性废物产生及排放情况

3.1 核医学科放射性废物产排情况

3.1.1 放射性废气

本项目 ^{18}F 分装在分装室内进行，分装柜为自带屏蔽防护通风橱，分装柜安装有轴流风机（风速不小于 1m/s），顶端为排气口，能保持柜内负压。本次评价要求项目分装室、注射间、储源间、注射后候诊室、留观室、PET-MR 机房设置一套通风系统，废气经活性炭过滤装置处理后通过专用管道引至核医学科所在建筑楼顶排放。核医学科排风

系统应设置止回阀，风机运转时阀门开启，气流顺利通过，风机停转时阀门关闭，防止气流倒转。通风管网布置从低浓度到高浓度收集废气然后排出。

《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）中“7 气载废物的管理”要求“7.1 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；7.2 凡使用 ^{133}Xe 诊断检查患者的场所，应具备回收患者呼出气中 ^{133}Xe 的装置，不可直接排入大气”，未对操作 ^{18}F 药物提出要求。同时根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）表 A.1 可知，使用 ^{18}F 产生的主要废物为注射器和清洗液，不包含气体。虽然 GBZ133-2009 中未对 ^{18}F 做出气载废物的管理要求，本项目仍然采取了预防性的措施即安装了独立通风系统以及活性炭吸附装置。由此可知，本项目废气的排放对环境的影响较小。

3.1.2 放射性废水

本项目放射性废水主要包括辐射工作场所地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗废水、辐射工作人员洗手的废水、患者产生的放射性废水，产生量合计为 $0.45\text{m}^3/\text{d}$ ， $94\text{m}^3/\text{a}$ 。本项目放射性废水通过专用管道进入放射性废物衰变池中，在衰变池停留达到排放标准后进入医院污水处理站进一步处理。本项目设连续式衰变池，有沉淀池 1 个（池子容积 5.2m^3 ），衰变池池体 3 个（每个池子容积 3.3m^3 ），缓冲池 1 个（池子容积 2.9m^3 ）。

根据《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）：“连续式衰变池的容积按最长半衰期同位素的 10 个半衰期计算”。本项目使用的核素为 ^{18}F ，其半衰期为 109.7min ，按 10 个半衰期 0.8 天计算，并考虑 10% 的设计裕量，则本项目衰变池容积应不小于 $0.45\text{m}^3/\text{d} \times 0.8\text{d} \times (1+10\%) = 0.40\text{m}^3$ 。本项目设计的衰变池可满足要求。

本项目衰变池共 3 个池体，每个池体容积 3.3m^3 ，单个池体可容纳 7.3 天的废水量，按并联结构考虑，废水至少停留时间 14.6 天，本项目 ^{18}F 进入废水的量不超过核素用量的 10%，则放射性废水中核素含量见下表：

表 11-12 放射性固体废物中核素活度浓度一览表

核素	7.3 天核素最大用量	7.3 天收集的废水中核素含量	停留时间	存放后废水中核素含量	废水中的活度浓度
^{18}F	$6.75 \times 10^{10}\text{Bq}$	$6.75 \times 10^9\text{Bq}$	14.6 天（96 个半衰期）	$1.0 \times 10^{-48}\text{Bq}$	$1.5 \times 10^{-52}\text{Bq/L}$

由上表可知，本项目放射性废水经衰变池处理后，废水中总 β 放射性低于《医疗机

构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中规定的 10Bq/L。环评要求衰变池设置便利取样口，以便在废水排放前取样监测。

3.1.3 放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性固体废物包括污染的棉棒、破碎的玻璃器皿、患者产生的带放射性的垃圾、废活性炭等，废物收集后，置于专用衰变箱内，衰变箱外张贴警示标志，放射性固废暂存 24h（约 13.2 个半衰期）后，活度低于《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）清洁控制水平，经检测合格后作为普通医疗固废处置。清洁解控期间禁止放入新的放射性废物。项目拟设置 2 个衰变箱（10mmPb 当量）用于含放射性固体废物的储存。进入固废的核素约为 1%，则放射性废物中核素含量见下表：

表 11-13 放射性固体废物中核素活度浓度一览表

核素	1 天核素最大用量	1 天收集的固废中核素含量	存放时间	存放后固废中核素含量	废物中的活度浓度
¹⁸ F	$9.25 \times 10^9 \text{Bq}$	$9.25 \times 10^7 \text{Bq}$	18.3h（10 个半衰期）	$8.83 \times 10^4 \text{Bq}$	61.7Bq/g
			24h（13.2 个半衰期）	$1.01 \times 10^4 \text{Bq}$	7.1 Bq/g

由上表可知，含 ¹⁸F 的放射性固体废物置于废物衰变箱存放 24h（约 13.2 个半衰期）后，废物中核素活度可低于《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）规定的 ¹⁸F 清洁解控水平推荐值 10Bq/g。

本项目放射性固体废物均得到妥善处置，不会对环境造成影响。

3.2 DSA、直线加速器营运期臭氧环境影响分析

据污染源项的分析内容，DSA、直线加速器设备在运行过程中，X 射线与空气相互作用，能产生少量臭氧。通风是排出臭氧的有效途径，机房通过安装通风装置和空气净化装置，能有效的排除机房内的有害气体，对环境影响较小。

事故影响分析

（一）本项目可能发生的辐射事故

1、核医学科

- ①由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。
- ②核素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。

2、DSA

①X 射线装置发生控制系统或安全保护系统或人员疏忽，使得受检者或工作人员收到超剂量照射。

②在射线装置出束时人员误入机房收到辐射照射。

③使用 DSA 的医生或护士在手术室内曝光时未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

④检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

3、直线加速器

①在工作状态误入射线装置工作场所，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

②操作的医生或护士未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射；

③检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

(二) 核医学科辐射事故防范措施

1、制定并落实放射性核素管理制度，设专人负责，做好核素的领取、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。

2、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。

3、加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确了解需配备的防护用品及存放位置，

4、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。

5、放射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。

（三）DSA、直线加速器辐射事故预防措施

1、从事 DSA、直线加速器设备作业的辐射工作人员须经过环保部门认可的培训机构组织的辐射安全培训，具备上岗资格，业务熟练。

2、在设备操作过程中，设备发生任何故障都要停机，并及时通知有关人员进行维修，并做好故障记录，不允许设备带故障运行。

3、制定严格的使用管理规定和操作规程，禁止违章操作，并做好日常维护保养、定期检查，保证系统始终处于正常状态。

4、各防护门处均安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置有紧急停机按钮，操作人员可通过急停按钮等停机操作来确保人员安全。

5、辐射工作人员在岗操作前，佩戴个人剂量计，对病人非检查部分采用防护用品（防护铅衣、铅帽和铅围脖）保护。

6、定期开展个人剂量检测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施，可有效降低辐射对人员身体造成的危害。

（四）应急方案的启动

1、一旦发生辐射事故，应立即启动《辐射事故处理应急预案》。发生辐射事故时，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应急相应救助措施。

2、发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

3、各应急救助物质应准备充分、调配及时。

4、发生事故后应在 2 小时内报告环保、卫生行政部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

目前，长沙仁康医院有限公司已成立了辐射防护和安全管理领导小组，小组包括组长 1 名、副组长 2 名、组员 3 名，负责对辐射防护相关工作进行控制和管理，辐射防护和安全管理领导小组具体组成见下表：

表 11 辐射防护和安全管理领导小组成员一览表

序号	职务	人员
1	组长	闫希军
2	副组长	周江林、张孝中
3	成员	徐路、尹新星、胡卓

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，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”。从长沙仁康医院有限公司目前配置的辐射领导小组人员信息看，小组成员有一定的管理能力，本项目开展后，目前长沙仁康医院有限公司的管理人员也能满足配置要求。

长沙仁康医院有限公司设置的辐射安全与环境保护管理机构职责包括：对医院放射工作的监督与检查；相关制度的制定、修改与完善；组织辐射工作人员的学习培训；辐射防护知识的宣传教育；辐射事故应急演练；辐射人员的健康体检。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。本项目在投入使用前，医院应组织该核医学科放射工作人员参加环保部门认可的辐射防护知识培训，并取得合格证。取得培训合格证的人员，医院应每四年组织一次复训。

辐射安全管理规章制度

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，长沙仁康医院有限公司制定了相关辐射安全管理规章制度，为保证辐射工作人员和周围公众人员的健康，长沙仁康医院有限公司必须严格按照国家法律法规执行，

并加强对核技术利用项目的日常管理：

(1) 根据长沙仁康医院有限公司的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(2) 在本项目运行前，各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；辐射工作场所均必须有电离辐射警示标识，屏蔽门上方还必须要在工作指示灯，同时警示标识的张贴必须规范。

(3) 明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

(4) 加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

(5) 为确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，避免事故的发生，长沙仁康医院有限公司应培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，长沙仁康医院有限公司应对本项目的辐射安全和防护状况进行年度评估，并每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

(6) 本项目已制定的制度包括《辐射防护和安全保卫制度》、《岗位职责》、《射线装置使用管理制度》、《设备检修维护制度》、《人员培训制度》、《辐射环境监测方案》、《个人剂量监测和健康管理制度》、《DSA 介入放射防护管理制度》、《DSA 操作规程》、《直线加速器操作规程》、《核医学科安全管理制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科放射性药品管理制度》。本项目在正式投入使用前，医院应根据实际情况对已制定的制度进行完善，并制定核医学科操作规程、PET-MR 操作规程等制度。

(7) 长沙仁康医院有限公司应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。

辐射监测

为了及时掌握项目周围的辐射水平，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）的要求，应建立必要的监测计划，包括设备运行期及个人剂量监测计划，并建立监测资料档案。

1、个人监测

长沙仁康医院有限公司需对放射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，常规个人剂量监测的周期应综合考虑工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素，常规监测周期一般为1个月天，最长不得超过3个月，医院需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括放射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。长沙仁康医院有限公司还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。

辐射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后长沙仁康医院有限公司还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

2、常规监测

监测频率：每年委托有资质的单位监测一次，平时每个月自主监测一次、核医学科在购进药物前后、核素操作前后均做表面污染监测，应急状况随时监测。

监测位置：DSA、直线加速器机房控制室操作位、观察窗、防护门窗外表面30cm处、机房周围墙体30cm处；核医学科工作场所墙外、以及人员经常驻留的位置、医生工作服表面、工作台表面、工作场所地面、墙面、相关容器表面。

医院应自行配备X- γ 剂量率测量仪、 α - β 表面污染仪（定期进行计量检定），对射

线装置机房内及机房四周环境、核医学科控制区及监督区进行监测。发现问题及时整改。所有监测记录，存档备查，并编制年度辐射安全防护评估报告上报当地环保部门。医院自行的日常监测要求见下表：

表 12 监测计划要求一览表

监测项目	监测内容	监测频次
个人剂量	X-γ 外照射剂量	每个季度
周围环境	X-γ 周围剂量当量率	每年委托监测 1 次，每个月自主监测一次
工作场所	β 表面污染	每年委托监测 1 次，核素购入前后、核素操作前后均自主进行一次表面污染监测
放射性固体废物	废物包装外表面	处理前

辐射事故应急

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院需制定《辐射事故应急预案》：

(1) 医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

(2) 医院对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，必须遵照国家和地方政府有关规定，依据所操作或使用的放射源的类别、活度以及潜在事故的特性和可能后果，考虑制定辐射事故应急计划或应急程序，并按规定报当地政府有关部门审查批准或备案。

(3) 发生辐射事故时，医院将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(4) 医院将切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

- ① 全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；
- ② 负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；
- ③ 加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；

- ④ 负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；
- ⑤ 负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；
- ⑥ 对可能造成超剂量照射的人员送到指定医院进行救治；
- ⑦ 负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；
- ⑧ 积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；
- ⑨ 负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在环境保护行政主管部门的指导下或自行组织演练。

(5) 各类事故报警和联系方式

一般报告程序为：发现者报告给辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市环保局，并同时向省环保厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

湖南省生态环境厅：0731-85698110

长沙市生态环境局：12369

长沙市公安局：110

(6) 辐射事故报告及应急处理流程

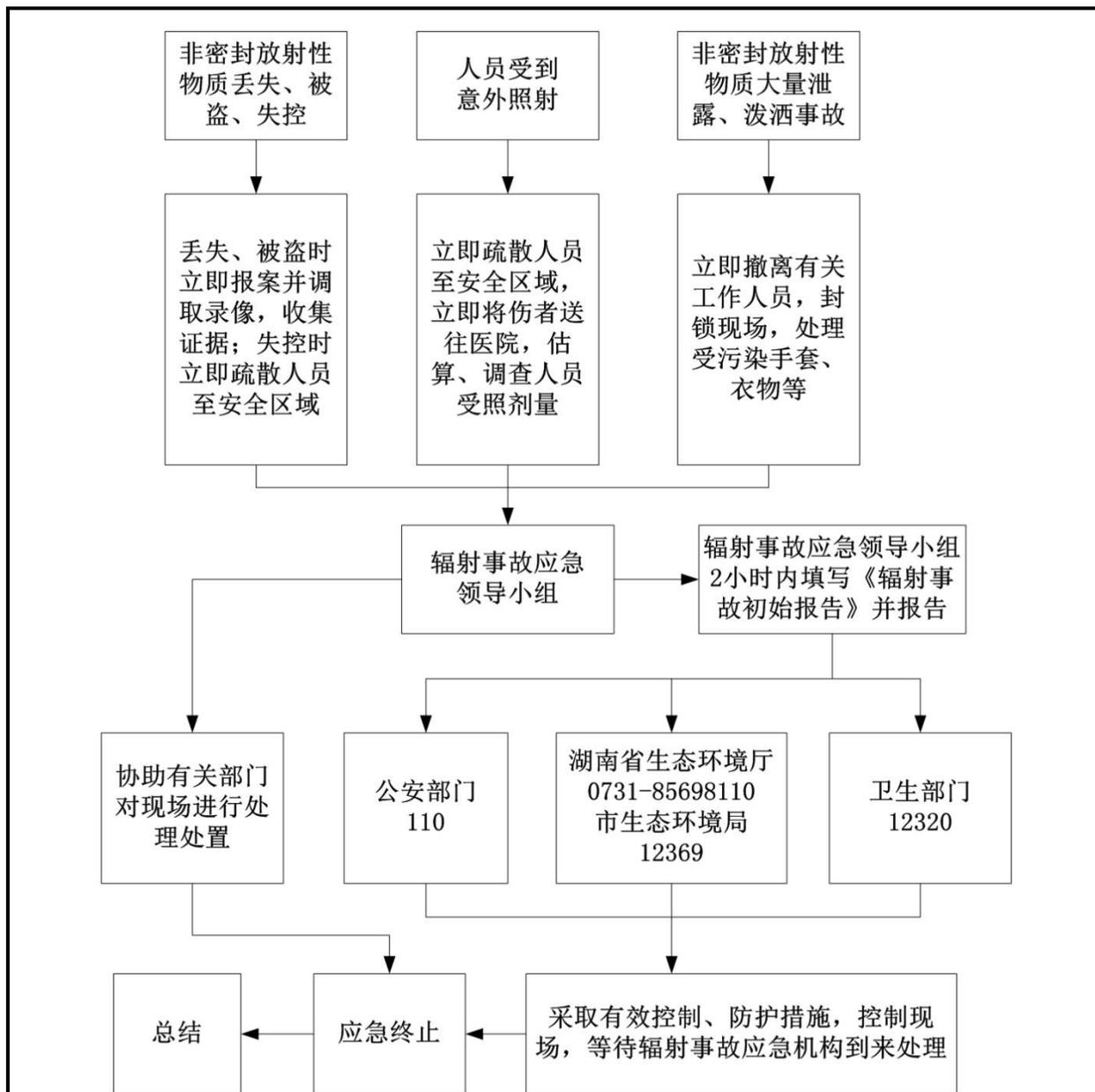


图 12-1 辐射事故报告及应急处理流程图

从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，医院从事辐射活动应具备相应的条件，对该医院将从事的辐射活动能力评价如下表：

表 13 医院从事辐射活动能力评价

应具备条件	医院落实情况
使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类、III 类射线装置的，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	医院已成立辐射安全防护领导小组，明确各成员的职责，成员满足相应学历要求。

学历的技术 人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作	
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训及考核	医院拟制定人员培训计划,安排新增放射工作人员参加培训或考核合格后方可上岗。
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	医院设计有储源室,设置防盗门,计划由专人保管钥匙。
放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	设置有门灯联动装置,并标有电离辐射警示标志以及工作状态指示灯,可开展辐射工作。
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仪、辐射监测等仪器,使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	专职放射工作人员均拟配备个人剂量计,医院拟配置个人剂量报警、辐射监测及表面污染监测仪等仪器
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院已制定部分制度,在运营前应按环评报告表要求制定完善相关的辐射防护制度,并将制度粘贴上墙。
有完善的辐射事故应急措施。	医院已制定《辐射事故应急预案》,但不完善,应按环评要求修改完善应急预案,并定期演练。
产生放射性废气、废液、固体废物的,还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	根据分析,医院放射性废气、废液、固体废物的处理方案可行。

环境保护竣工验收

长沙仁康医院有限公司核技术利用扩建项目环保竣工验收要求见下表。

表 14 环境保护竣工验收一览表

序号	验收内容	验收要求	要求
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告。	齐全
2	环境管理制度、应急措施	成立专门的辐射领导机构,制定相应的规章制度和事故应急预案,具有可操作性,有相应的操作规程。	有专门的辐射领导机构,制定并落实各项制度,有关制度上墙
3	放射工作人员管理	①医院拟新增放射工作人员 20 人,在新增项目投入运营前须进行上岗前体检,并具备相应的岗位技能;②医院应每季度对工作人员进行个人剂量监测,每 2 年进行放射人员健康体检,并将资料存档管理;③管理人员和放射工作人员参加辐射安全知识培训,4 年进行一次复训。	人员按要求配备到位,并具备相关的技术能力。
4	防护用品	防护监测设备和防护用品按报告中要求落实。	GBZ130-2013 GB18871-2002
5	辐射屏蔽设计及安全防护措施	①核医学科各功能用房、射线装置机房屏蔽防护均按环评报告表的要求落实到位;②核医学科各功能用房内、射线装置机房内不得堆放无关杂物,保持良好的通风;③贮源间安装防盗门、配监视设备,实行双人双锁管理;④防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标识及中文说明,并且指示灯正常工作。⑤射线装置机房设置门灯联锁	GBZ130-2013 GBZ120-2006 GBZ18871-2002
6	辐射监测	①每年接受辐射防护管理部门对工作场所周围环境进行常规监测,有资质单位出具的年度评估报告。②医院配备相应的自检设备,防护检查仪器及人员,定时进行自检。	档案完整
7	剂量限值	核医学、DSA 工作人员年有效剂量不超过 4mSv;其他放射工作人员年有效剂量不超过 2mSv②公众成员年有效剂量管理目标值不超过 0.1mSv。	GB18871-2002 及 环评批复
8	放射性废气	核医学科放射性废气经活性炭吸附后排放,排气口高于核医学科所在建筑楼顶 3m 排放。	GBZ130-2013 GBZ120-2006
9	放射性废水	核医学科工作场所有单独排水系统,三级衰变池有效容积满足要求,三级衰变池要防渗、防漏、防腐;医院总排污口总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。	GB18466-2005 GB18871-2002
10	放射性固体废物	配备放射性固体废物箱;废弃物放入专用固体废物箱暂存并定期运至放射性固体废物间贮存,存放 24h 后,按普通医疗废物处置、有废物处理台账。	GB18871-2002 GBZ133-2009

表 13 结论与建议

结论

(一) 辐射安全与防护综合结论

1、项目概况

为了开辟新的治疗手段，提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，长沙仁康医院有限公司拟新增 1 台 DSA、1 台直线加速器，新增 1 台 PET-MR，设 1 个丙级非密封源工作场所，使用 ^{18}F 开展 PET-MR 显像。

2、选址可行性

本项目核医学科位于医院副楼一楼独立区域，DSA 位于裙楼 GF 层，直线加速器位于地下负二层。在按照环评提出的改进措施将核医学科注射后候诊室铅防护门加厚至不小于 10mmPb、留观室北墙和东墙混凝土墙厚度加厚至不小于 400mm、留观室的铅防护门加厚至不小于 15mmPb、顶板防护厚度不小于 150mm 混凝土+150mm 硫酸钡水泥后，项目营运期产生的电离辐射、废水、废气、固体废物等均可得到有效治理，做到达标排放，对环境的影响小，从环境保护角度分析，项目选址可行。

3、布局合理性

本项目核医学科平面布局便于工作人员及病人的辐射防护工作及就医流程的简化，对控制区、监督区布置进行了设计，医生、病人出入口明显分开，但是医生通道进入贮源室时，中间需经过废源室，本环评建议将废源室南侧采用墙体封闭，然后在东侧墙体开门，由此减少了废源室对医务人员的辐射影响。在此基础上，项目核医学科布局较为合理。

本项目 DSA 和直线加速器机房布置相对远离周围环境敏感点。DSA 机房和直线加速器设置了机房和控制室，放射诊疗区和非放射诊疗区分开，方便病人诊疗和医生办公，且放射诊疗区位于人流不密集区域，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，有利于采取相应的辐射防护措施。从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

4、剂量估算

本项目放射工作人员职业照射的附加剂量最大值核医学科为 1.49mSv/a、DSA 为 0.4mSv/a，均低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 4mSv/a；直线加速器为 0.18

mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 2mSv/a。核医学科、DSA 和直线加速器机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值分别为 0.08mSv/a、0.03mSv/a 和 0.037 mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量约束值 0.1mSv/a。

5、放射性废物

本项目核医学科放射性废气经活性炭吸附过滤装置处理后通过专用管道引至核医学科所在建筑楼顶排放。经处置后，废气的排放对环境影响较小。

本项目放射性废水通过专用管道进入放射性废物衰变池中，在衰变池停留达到排放标准后排入医院污水处理总站作进一步处理。环评要求衰变池设置便利取样口，以便在废水排放前取样监测。

本项目放射性固废暂存满 24h 后，活度低于清洁控制水平，经检测合格后作为普通固废处置。

6、辐射与环境保护管理

医院成立了放射防护安全管理机构，制定了相关的辐射安全制度、辐射事故应急处理预案、安全操作规程等相应的制度和规程，基本能满足日常工作要求，新增项目开展前，医院应补充其操作规程及安全管理制度，并及时修订应急预案。

7、个人剂量监测和防护用品配备

本项目建成运行后，医院应按报告表 10-4 中提出的要求增加个人防护用品以满足辐射工作需要。应对所有放射工作人员进行个人剂量监测、职业健康体检和防护知识培训，并建立相应的档案。

8、综合结论

本项目的建设对保障健康、拯救生命起着十分重要的作用。项目营运以后，将带来明显的社会效益。因此，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

综上所述，本项目的辐射防护安全措施在按照环评提出的要求进行优化改进后，建设过程如能严格按照优化后的设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且医院认真贯彻落实本报告表中提到的其他环保措施，项目对周围环境产生的辐射影响符合环

境保护的要求；从环境保护的角度来看，本环评认为该项目建设是可行的。

建议和要求

(1) 医院应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测、防护性能监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并自购辐射检测设备，确保周围环境的辐射安全和职工健康。加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查。

(2) 医院在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。

(3) 应配备必要的防护用品，加强对工作人员的辐射防护。

(4) 医院应组织辐射工作人员到有资质的机构进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康体检，定期开展个人剂量监测，接受放射防护知识和法规培训，具备相应条件，取得辐射安全培训合格证后，方可从事放射工作。建立放射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并保存至离开放射性岗位 30 年或 75 周岁。放射工作人员调动工作单位时，个人剂量、健康监护档案应随其转给调入单位。

(5) 明确专门的部门对医院的放射工作人员统一管理，定期开展辐射防护教育。

(6) 放射工作人员应熟练掌握操作技巧，尽量缩短操作时间，并做好放射防护，降低辐射影响。

(7) 建设方应严格按照本环评要求，将核医学科注射后候诊室铅防护门加厚至不小于 10mmPb、留观室北墙和东墙混凝土墙厚度加厚至不小于 400mm、留观室的铅防护门加厚至不小于 15mmPb、顶板防护厚度不小于 150mm 混凝土+150mm 硫酸钡水泥。

(8) 环评取得批复、项目建成且场所达到要求后，及时向相关部门申请办理《辐射安全许可证》。项目投入使用后，医院应按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》完成环保竣工验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日

附图附件

附件

附件 1: 委托书

附件 2: 企业营业执照

附件 3: 《长沙仁康医院有限公司关于成立辐射安全防护管理小组的通知》

附件 4: 项目主体工程建设环评批复

附件 5: 长沙仁康医院辐射安全与防护管理制度

附件 6: 长沙仁康医院辐射工作人员培训制度

附件 7: 长沙仁康医院放射工作人员健康管理制度

附件 8: 长沙仁康医院辐射监测制度

附件 9: 核医学科放射防护和安全管理度

附件 10: 核医学科放射性药品管理规程

附件 11: 放射性“三废”治理管理制度

附件 12: 放射性废物处理方案

附件 13: 核医学科垃圾废物处理方案

附件 14: 放射性污染的紧急处理制度

附图

附图 1: 项目地理位置示意图

附图 2: 外环境关系示意图

附图 3: 医院总平面布置示意图

附图 4: 核医学科平面布局图

附图 5: 肿瘤诊疗中心平面布局图

附图 6: 卒中中心平面布局图

附图 7: 核医学科工作场所人流、物流组织示意图

附图 8: 肿瘤诊疗中心通风布置图

附图 9: 核医学科通风布置图

附图 10: 现场照片