

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	8
表 3 非密封放射性物质.....	12
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废物）.....	14
表 6 评价依据.....	15
表 7 保护目标与评价标准.....	17
表 8 环境质量和辐射现状.....	25
表 9 项目工程分析与源项.....	28
表 10 辐射安全与防护.....	43
表 11 环境影响分析.....	53
表 12 辐射安全管理.....	72
表 13 结论与建议.....	83
表 14 审批.....	86

附件：

附件 1：委托函

附件 2：辐射安全许可证

附件 3：核医学科放射防护管理制度

附件 4：核医学科放射性药品管理制度

附件 5：放射性核素的订购、领限、保管、使用制度

附件 6：辐射事故预防措施及应急处理预案

附件 7：DSA 操作规程

附件 8：培训合格证书

附件 9：职业健康检查报告

附件 10：个人剂量检测报告

附件 11：长沙市第四医院关于调整辐射安全管理工作领导小组的通知

附件 12：环境影响登记表

附件 13：长沙市第四医院滨水新城院区项目环境影响报告书的批复

附件 14：类比对象检测报告

附件 15：长沙市第四医院本底检测报告

附件 16：机房辐射防护设计一览表

附件 17：放射工作人员及公众年剂量管理目标值

附图：

附图 1：长沙市第四医院滨水新城院区地理位置图

附图 2：长沙市第四医院滨水新城院区总平面布置示意图

附图 3：长沙市第四医院滨水新城院区核医学科平面布置图

附图 4：长沙市第四医院滨水新城院区核医学科排风图

附图 5：长沙市第四医院滨水新城院区核医学科给排水图

附图 6：长沙市第四医院滨水新城院区核医学科衰变池图

附图 7：长沙市第四医院滨水新城院区 DSA 平面布置图

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙市第四医院滨水新城院区核技术利用扩建项目			
建设单位		长沙市第四医院			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		长沙市岳麓区麓山路 70 号			
项目建设地点		长沙市金星北路 4 段 200 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		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)
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 checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> 乙 <input 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 checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他				
	项目概述 1.1 医院简介 <p>长沙市第四医院(长沙市中西医结合医院、湖南师范大学附属长沙医院)始建于 1956 年,位于风景胜地岳麓山下、湘江之滨,其前身为岳麓医院,1958 年正式更名为长沙市第四医院。历经 60 余年的发展,医院已成为一所一院两址(岳麓山院区和滨水新城院区),集医疗、科研、教学、预防、康复为一体的现代化三级综合医院。</p> <p>坐落在岳麓山脚下的岳麓山院区总占地面积 38 亩,开放床位 1154 张;坐落在月亮岛风景区附近的滨水新城院区占地面积 230 亩,拟定开放床位 1500 张,现已形成一院两址的发展格局。现有职工 1300 余人,其中硕士生导师 30 余人,博士 10 余人,硕士 300 余人。医院开设 37 个临床科室和 18 个医技科室。其中湖南省(市州级)临</p>				

床重点专科 1 个（重症医学科），湖南省（市州级）临床重点专科建设项目 1 个（普通外科）；长沙市重点学科 3 个（普通外科、心血管病科、急诊医学科）；长沙市重点专科 2 个（重症医学科、耳鼻咽喉头颈外科）；获评国家级“心衰中心（标准版）”并顺利通过认证；长沙市重症医学质量控制中心、长沙市病历质量控制中心、长沙市腹腔镜（普外）微创外科质量控制中心，长沙市中西医结合学会、长沙市消化外科研究所、长沙市急危重症医学研究所（建设项目）挂靠我院。长沙市医学会介入心脏病学、肝胆外科学、超声专业、肾脏病学和长沙市中西医结合学会急诊医学、耳鼻咽喉头颈外科学、神经外科学专业委员会等 7 个专业委员会主任委员分别由我院相应学科带头人担任。

1.2 任务由来

为满足医院的发展需要，医院在长沙市金星北路 4 段 200 号建立滨水新城院区，滨水新城院区已于 2013 年进行了整体环境影响评价并取得了相应的环评批复（见附件 13），批文号为：湘环复[2013]183 号。医院拟在滨水新城院区新增 2 台全数字化通用型平板血管造影系统，以下简称“DSA”、1 个乙级非密封放射性工作场所，计划使用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 分别开展显像、甲亢治疗、骨转移治疗，使 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器进行皮肤敷贴治疗，并新增 1 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT（包括 3 枚 ^{68}Ge 校准源）用于扫描。由于医院 X 射线装置和放射性同位素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员的健康，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》的相关规定，该项目的建设应进行电离辐射环境影响评价。为此，长沙市第四医院委托核工业二三〇研究所对医院的核技术利用新建项目进行环境影响评价（委托书见附件 1）。评价单位在现场调查和收集有关资料的基础上，按照国家对辐射项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了该项目环境影响报告表。

根据资料收集和现场踏勘实际情况，长沙市第四医院本次核技术利用建设项目主体工程尚未施工，医院已对土建工程等进行了环境影响评价，报告中对医院土建、给排水、土石方、绿化等施工期及营运期的废水、废气、固废进行了详细的评价，对各建筑（包括本项目机房）施工期进行了统一评价。因此，本评价不再对医院土建工程进行评价。

1.3 项目建设规模

项目名称：长沙市第四医院滨水新城院区核技术利用扩建项目。

建设单位：长沙市第四医院。

项目性质：扩建。

建设地点：长沙市金星北路4段200号，核医学科位于医技楼负一楼，介入中心位于医技楼一楼。地理位置图见图1-1。

放射工作人员概况：介入中心配备放射工作人员23名，其中医生15名，护士5名，技师3名。核医学科配备放射工作人员7名，其中医生2名，技师5名。配备人员均为岳麓山院区现有工作人员，后期依据工作量增加人员。

评价内容：本次环评拟增加2台DSA、1个乙级非密封放射性工作场所（计划使用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 分别开展显像、甲亢治疗、骨转移治疗，使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器进行皮肤敷贴治疗，新增1台SPECT/CT和1台PET/CT（包括3枚 ^{68}Ge 校准源）用于扫描）。本次环评详细内容见表1-1、1-2、1-3。

表1-1 本次环评的非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日最大操作量	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
1	^{99m}Tc	$2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$	$2.22 \times 10^7 \text{Bq}$	$5.9 \times 10^{12} \text{Bq}$	$4.33 \times 10^8 \text{Bq}$	乙级	核医学科
2	^{131}I	$3.7 \times 10^9 \text{Bq}$	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	$9.8 \times 10^{11} \text{Bq}$			
3	^{18}F	$1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$	$1.11 \times 10^7 \text{Bq}$	$1.6 \times 10^{12} \text{Bq}$			
4	^{89}Sr	$2.96 \times 10^8 \text{Bq}$	$2.96 \times 10^7 \text{Bq}$	$1.48 \times 10^9 \text{Bq}$			

表1-2 本次环评的射线装置一览表

序号	名称	类别	型号	数量	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	位置
1	DSA	II类	待定	2台	125	1000	医技楼一楼介入中心
2	SPECT/CT	III类	待定	1台	140	360	医技楼负一楼核医学科
3	PET/CT	III类	待定	1台	140	800	医技楼负一楼核医学科

表1-3 本次环评的放射源一览表

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
1	^{90}Sr - ^{90}Y	$1.48 \times 10^9 \text{Bq}$	V类	使用	敷贴治疗	新院核医学科
2	^{68}Ge	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	V类	校准	PET/CT 校准	新院核医学科
3	^{68}Ge	$4.63 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$	V类	校准	PET/CT 校准	新院核医学科

1.4 核技术利用的目的

放射诊断是根据病人的病情需要对病人身体某些部位或全身进行显像，拍出X

光片或者保存数字影像以供医学临床诊断。有时，医生需要在 X 射线影像的指引下
进行骨科复位、体内取异物、肿瘤的模拟定位工作。核医学科主要是利用放射性同位
素及射线对病人进行诊断、治疗和研究疾病为目的。

1.5 项目选址

长沙市第四医院滨水新城院区本次环评项目的工作场所见图 1-1。



图 1-1 滨水新城院区总平面布置示意图

1.6 现有核技术利用项目情况

1、现有核技术利用项目环评情况及许可情况

长沙市第四医院老院现有核技术利用项目均进行了环境影响评价（详见表 1-4），
并取得了辐射安全许可证，证书编号：湘环辐证[02361]（见附件 2）。滨水新城院区
三类射线装置均已进行了环境影响备案登记表（详见表 1-5）。

表 1-4 老院现有射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	所在场所	验收情况
1	全数字化通用型 平板血管造影系	Artis zee III ceiling	1	125	1000	介入中心(二手术 间)	已验收

	统（DSA）						
2	全数字化通用型 平板血管造影系 统（DSA）	AXIOM ARTIS FA	1	125	1000	介入中心（一手术 间）	已验收
3	X射线计算机体层 摄影设备	Incisive CT	1	140	667	医学影像科：CT 二检查室	已验收
4	16排螺旋CT	Optima CT52 0Pro	1	140	350	医学影像科：CT 一检查室	已验收
5	悬吊式无线平板	DR Multix Fusio	1	150	1000	医学影像科：放射 五检查室	已验收
6	（DR）悬吊式数字 化X射线摄像系统	DX-D 600	1	120	500	医学影像科：放射 四检查室	已验收
7	DR	AXCOM+A XIOM Multi x MT	1	150	500	医学影像科：放射 一检查室	已验收
8	移动数字化X射线 摄 影系统	6000A	1	150	400	ICU病房：重症医 学科	已验收
9	高频移动式X射线 摄影机	PLX 101	1	110	125	医学影像科：放射 二检查室	已验收
10	移动式X射线摄影 机	PLX 102	1	90	20	医学影像科：放射 二检查室	已验收
11	高频乳腺x光机	钼靶JBTX -9800A	1	35	50	医学影像科：放射 二检查室	已验收
12	西门子数字胃肠 机	AXIOM Iconos MD	1	150	800	医学影像科：放射 三检查室	已验收
13	C型臂X光机	Brivo OEC 785	1	110	80	麻醉手术科：骨一 科病房，骨二科病 房，脊柱外科病 房，麻醉科	已验收
14	移动C机臂X光	Brivo OEC 715	1	110	4	麻醉手术科：骨一 科病房，骨二科病 房，脊柱外科病 房，麻醉科	已验收
15	数字化全景 X光机	Planmeca Prosensar	1	84	16	口腔科门诊	已验收
16	遥控移动式 牙科X线机	MSD-III	1	65	1.5	口腔科门诊	已验收

表 1-5 滨水新城院区射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	数量	最大管电 压（kV）	最大管电 流（mA）	环评备案号	验收情况
1	128排CT（256层）	待定	2	140	1300	202143011200000084	不需验收

2	多功能数字胃肠机	待定	1	150	630	202143011200000084	不需验收
3	DR-双板	待定	6	150	630	202143011200000084	不需验收
4	移动DR	待定	4	140	500	202143011200000084	不需验收
5	64排CT	待定	2	140	600	202143011200000084	不需验收
6	数字化乳腺机	待定	1	49	160	202143011200000084	不需验收
7	CBCT(CT)	待定	1	120	7	202143011200000084	不需验收
8	全景X光机加软件	待定	1	90	17	202143011200000084	不需验收
9	综合牙片机	待定	1	70	3	202143011200000084	不需验收
10	C型臂	待定	1	110	20	202143011200000084	不需验收
11	骨密度仪	待定	1	83	15	202143011200000094	不需验收

2、医院辐射安全管理现状

长沙市第四医院严格遵守《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》等相关辐射防护法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①医院已制定了辐射防护的相关制度和规程，并严格按照规章制度执行。

②为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全防护管理小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理。

③医院放射性场所设置有电离辐射警示牌和工作指示灯，各机房通风良好。各机房屏蔽防护措施满足要求；射线装置机房设置了铅玻璃观察窗，能清楚观察到机房内情况；控制室和机房之间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；每个机房周围外照射辐射水平符合相关标准规定的要求。

由现场调查情况可知，医院已采取相应的辐射防护措施，本次环评认为医院辐射防护措施以及管理制度满足目前辐射防护要求。

3、现有放射工作人员情况

医院现有放射工作人员 96 名，83 名工作人员参加了环保部门组织的辐射安全与防护知识培训，并取得了合格证书，其余 13 名工作人员拟安排参加辐射安全与防护知识培训，辐射工作期间，辐射工作人员均佩带了个人剂量计，建立了职业健康档案并存档，职业健康体检需复查的工作人员应及时复查，详见表 1-6。

1.7 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2019 版）“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”、“第十三项、医药中 5、新型医用诊断设备

和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。因此，本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

表 1-6

现有工作人员情况一览表

序号	姓名	性别	工作岗位	培训/考试编号	个人剂量佩戴时间	个人剂量 Hp (10) mSv	职业健康体检
1					2020.1.30-2021.2.1	0.79	可以继续从事原放射工作
2					2020.1.30-2021.2.1	0.05	可以继续从事原放射工作
3					2020.1.30-2021.2.1	0.31	可以继续从事原放射工作
4					2020.1.30-2021.2.1	0.38	-
5					2020.1.30-2021.2.1	0.30	可以继续从事原放射工作
6					2020.1.30-2021.2.1	0.15	复查淋巴细胞染色体畸变率
7					2020.1.30-2021.2.1	0.30	-
8					2020.1.30-2021.2.1	0.45	可以继续从事原放射工作
9					2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以继续从事原放射工作
10					2020.1.30-2021.2.1	0.44	可以继续从事原放射工作
11					2020.1.30-2021.2.1	0.54	可以继续从事原放射工作
12					2020.1.30-2021.2.1	0.10	可以从事放射工作
13					2020.1.30-2021.2.1	0.45	复查空腹血糖，内分泌科进一步诊治
14					2020.1.30-2021.2.1	0.30	可以继续从事原放射工作
15					2020.1.30-2021.2.1	0.25	可以继续从事原放射工作
16					2020.1.30-2021.2.1	0.37	复查血常规
17					2020.1.30-2021.2.1	0.57	可以继续从事原放射工作
18					2020.1.30-2021.2.1	0.45	复查染色体畸变率
19					2020.1.30-2021.2.1	0.48	可以从事放射工作
20					2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以继续从事原放射工作
21					2020.1.30-2021.2.1	0.57	可以继续从事原放射工作
22					2020.1.30-2021.2.1	0.66	可以继续从事原放射工作

23				2020.1.30-2021.2.1	0.18	可以继续从事原放射工作
24				2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以继续从事原放射工作
25				2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以继续从事原放射工作
26				2020.1.30-2021.2.1	0.51	可以继续从事原放射工作
27				2020.1.30-2021.2.1	0.45	可以继续从事原放射工作
28				2020.1.30-2021.2.1	1.15	可以继续从事原放射工作
29				2020.1.30-2021.2.1	0.28	可以继续从事原放射工作
30				2020.1.30-2021.2.1	0.39	可以继续从事原放射工作
31				2020.1.30-2021.2.1	0.44	可以继续从事原放射工作
32				2020.1.30-2021.2.1	0.41	可以继续从事原放射工作
33				2020.1.30-2021.2.1	0.40	可以继续从事原放射工作
34				2020.1.30-2021.2.1	0.30	复查血常规
35				2020.1.30-2021.2.1	0.35	可以继续从事原放射工作
36				2020.1.30-2021.2.1	0.44	-
37				2020.1.30-2021.2.1	0.45	可以继续从事原放射工作
38				2020.1.30-2021.2.1	0.46	-
39				2020.1.30-2021.2.1	0.44	建议矫正视力
40				2020.1.30-2021.2.1	0.31	可以继续从事原放射工作
41				2020.1.30-2021.2.1	0.79	可以继续从事原放射工作
42				2020.1.30-2021.2.1	0.57	可以从事放射工作
43				2020.1.30-2021.2.1	0.41	可以继续从事原放射工作
44				2020.1.30-2021.2.1	0.27	-
45				2020.1.30-2021.2.1	0.26	可以从事放射工作
46				2020.1.30-2021.2.1	0.58	-
47				2020.1.30-2021.2.1	0.51	复查血常规

48		2020.1.30-2021.2.1	0.53	可以继续从事原放射工作
49		2020.1.30-2021.2.1	0.54	可以继续从事原放射工作
50		2020.1.30-2021.2.1	0.41	可以继续从事原放射工作
51		2020.1.30-2021.2.1	0.32	可以继续从事原放射工作
52		2020.1.30-2021.2.1	0.59	可以继续从事原放射工作
53		2020.1.30-2021.2.1	0.43	可以继续从事原放射工作
54		2020.1.30-2021.2.1	0.96	可以从事放射工作
55		2020.1.30-2021.2.1	0.66	可以继续从事原放射工作
56		2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以从事放射工作
57		2020.1.30-2021.2.1	0.47	可以继续从事原放射工作
58		2020.1.30-2021.2.1	0.40	可以继续从事原放射工作
59		2020.1.30-2021.2.1	0.38	复查甲状腺激素五项，内分泌科进一步诊治
60		2020.1.30-2021.2.1	0.26	可以继续从事原放射工作
61		2020.1.30-2021.2.1	0.25	可以从事放射工作
62		2020.1.30-2021.2.1	0.25	可以从事放射工作
63		2020.1.30-2021.2.1	0.25	可以继续从事原放射工作
64		2020.1.30-2021.2.1	0.20	可以继续从事原放射工作
65		2020.1.30-2021.2.1	0.30	复查血常规
66		2020.1.30-2021.2.1	0.27	可以继续从事原放射工作
67		2020.1.30-2021.2.1	0.20	可以继续从事原放射工作
68		2020.1.30-2021.2.1	0.52	可以继续从事原放射工作
69		2020.1.30-2021.2.1	0.20	复查血常规
70		2020.1.30-2021.2.1	0.32	可以继续从事原放射工作
71		2020.1.30-2021.2.1	0.25	复查空腹血糖，内分泌科进一步诊治

72		2020.1.30-2021.2.1	0.28	可以继续从事原放射工作
73		2020.1.30-2021.2.1	0.27	可以继续从事原放射工作
74		2020.1.30-2021.2.1	0.38	可以从事放射工作
75		2020.1.30-2021.2.1	0.40	可以从事放射工作
76		2020.1.30-2021.2.1	0.39	可以从事放射工作
77		2020.1.30-2021.2.1	0.46	可以从事放射工作
78		2020.1.30-2021.2.1	0.55	可以继续从事原放射工作
79		2020.1.30-2021.2.1	0.30	可以继续从事原放射工作
80		2020.1.30-2021.2.1	0.34	可以继续从事原放射工作
81		2020.1.30-2021.2.1	0.15	内分泌科进一步诊治
82		2020.1.30-2021.2.1	0.31	可以继续从事原放射工作
83		2020.1.30-2021.2.1	0.27	可以继续从事原放射工作
84		2020.1.30-2021.2.1	0.22	可以继续从事原放射工作
85		2020.1.30-2021.2.1	0.25	可以继续从事原放射工作
86		2020.1.30-2021.2.1	0.30	可以继续从事原放射工作
87		2020.1.30-2021.2.1	0.21	可以继续从事原放射工作
88		2020.1.30-2021.2.1	0.22	可以继续从事原放射工作
89		2020.1.30-2021.2.1	0.15	可以继续从事原放射工作
90		2020.1.30-2021.2.1	0.20	可以继续从事原放射工作
91		2020.1.30-2021.2.1	0.15	可以继续从事原放射工作
92		2020.1.30-2021.2.1	0.05	可以继续从事原放射工作
93		2020.1.30-2021.2.1	0.05	可以继续从事原放射工作
94		2020.1.30-2021.2.1	0.05	可以继续从事原放射工作
95		2020.1.30-2021.2.1	0.05	可以继续从事原放射工作

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	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.48×10 ⁹ Bq	V	使用	敷贴治疗	新院核医学科	/	/
2	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq	V	校准	PET/CT 校准	新院核医学科	/	/
3	⁶⁸ Ge	4.63×10 ⁷ Bq*2	V	校准	PET/CT 校准	新院核医学科	/	/

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	¹³¹ I	液体、中毒组、半衰期 8.02d	使用	3.7×10 ⁹ Bq	3.7×10 ⁸ Bq	9.8×10 ¹¹ Bq	甲功能测定、甲亢治疗	简单操作	新院核医学科	核医学科贮源室铅罐中
2	^{99m} Tc	液体、低毒组、半衰期 6.02h	使用	2.22×10 ¹⁰ Bq	2.22×10 ⁷ Bq	5.9×10 ¹² Bq	显像	很简单的操作	新院核医学科	核医学科贮源室铅罐中
3	⁸⁹ Sr	液体、低毒组、半衰期 50.53d	使用	2.96x10 ⁸ Bq	2.96x10 ⁷ Bq	1.48x10 ⁹ Bq	治疗骨转移	简单操作	新院核医学科	核医学科贮源室铅罐中
4	¹⁸ F	液体、低毒组、半衰期 109.8min	使用	1.11x10 ¹⁰ Bq	1.11x10 ⁷ Bq	1.6x10 ¹² Bq	显像	很简单的操作	新院核医学科	核医学科贮源室铅罐中
	以下空白									

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》（GB18871-2002）

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	以下空白									

(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类	2 台	待定	125	1000	介入治疗	医技楼一楼介入中心	/
2	SPECT/CT	III类	1 台	待定	140	360	显像	医技楼负一楼核医学科	/
3	PET/CT	III类	1 台	待定	140	800	显像	医技楼负一楼核医学科	/
	以下空白								

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
					以下空白								

表 5 废弃物（重点是放射性废物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物	固态	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	^{99m}Tc : 130kg/a; ^{131}I : 80 kg/a ^{18}F : 87 kg/a ^{89}Sr : 0.3 kg/a	^{99m}Tc 废物中核素活度浓度 0.06Bq/g, ^{131}I 废物中核素活度浓度 0.12Bq/g, ^{18}F 废物中核素活度浓度 0.02Bq/g, ^{89}Sr 废物中核素活度浓度 12.52Bq/g	铅污物桶收集后, 存放于放射性固体废物间	经衰变满足清洁解控水平后, 做普通医疗废物处理
放射性废水	液态	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	可忽略	可忽略	贮存于衰变池	经衰变满足排放标准后排入医院污水处理站, 再排入城市污水管网
放射性废气、 β 气溶胶	气体	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	/	/	/	通过通风装置经过活性炭吸附后由管道排入大气, 废活性炭按放射性固体废物处理
废活性炭	固体	/	/	/	6 个月更换一次, 每次更换 96kg	/	铅污物桶收集后, 存放于放射性固体废物间	经衰变满足清洁解控水平后, 做普通医疗废物处理
退役 ^{90}Sr - ^{90}Y 源	固态	^{90}Sr - ^{90}Y	/	/	/	/	敷贴室储源箱内	由供源单位回收
以下空白								

注: 1.常规废弃物排放浓度, 对于液态单位未 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/m²) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	<p>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）；</p> <p>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）；</p> <p>3、《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日施行）；</p> <p>4、《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令）；</p> <p>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，2019 年 3 月 2 日修订）；</p> <p>6、《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环保部令第 44 号及《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》部令第 1 号；</p> <p>7、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日修订，自公布之日起实施）；</p> <p>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）；</p> <p>9、《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》（环保总局公告[2006]第 145 号）；</p> <p>10、关于发布《放射性废物分类》的公告（环保部公告 2017 年第 65 号）；</p> <p>11、《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）。</p> <p>12、《放射工作人员职业健康管理辦法》（中华人民共和国卫生部令第55号，2007年11月1日）</p> <p>13、《产业结构调整指导目录》（2019 年）。</p>
------	--

技术标准	<ol style="list-style-type: none"> 1、《建设项目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、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 5、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 6、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 7、《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）； 8、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 9、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 10、《临床核医学的患者防护与质量控制规范》（GB16361-2012）； 11、《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； 12、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； 13、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 14、《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）。
其他	<ol style="list-style-type: none"> 1、环境影响评价委托函（见附件 1）； 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； 3、医院提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据导则（HJ 10.1—2016）中“第 1.5 评价范围和保护目标：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。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质边界外 50m 的范围。”

本项目为医院核技术应用的环境影响评价，运营过程中产生的电离辐射经有效的屏蔽后对周围影响较小，且主要影响人员是射线装置（非密封源放射性物质工作场所）所在机房临近的职业工作人员和工作场所周围的公众。因此，本项目以非密封放射性物质工作场所、DSA 机房墙体周围 50m 的区域为评价范围，如图 7-1 所示。



图 7-1 长沙市第四医院滨水新城院区评价范围示意图

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相邻区域的公众。根据本项目平面布局及外环境特征确定本项目环境保护目标见表 7-1 所示。

表 7-1 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
核医学科	楼上	放射科	公众、病人、医务人员	0-3m	若干
	楼下	楼下为土层	/	/	/
	东侧	停车场	公众、工作人员	0-50m	若干
	南侧	停车场	公众、工作人员	0-50m	若干
	西侧	办公室、下沉式广场	公众、工作人员	0-50m	若干
	北侧	设备机房、库房	工作人员	0-50m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 10 人
DSA1	楼上	采光天井	/	/	/
	楼下	停车场	公众、工作人员	0-5m	若干
	东侧	DSA2、马路、专科楼	公众、工作人员	0-50m	若干
	南侧	办公室、急诊室	公众、病人、医务人员	0-50m	若干
	西侧	消防车回车场地、门诊	公众、工作人员	0-50m	若干
	北侧	放射科	公众、病人、医务人员	0-50m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 10 人
DSA2	楼上	采光天井	/	/	/
	楼下	停车场	公众、工作人员	0-5m	若干
	东侧	马路、专科楼	公众、工作人员	0-50m	若干
	南侧	办公室、急诊室	公众、病人、医务人员	0-50m	若干
	西侧	DSA1、消防车回车场地、门诊	公众、工作人员	0-50m	若干
	北侧	放射科	公众、病人、医务人员	0-50m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 10 人

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（节选）：

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性

（1）剂量限值

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限值，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。

不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，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。

第 B1.2 款 公众照射

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超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

（2）放射性表面污染控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）放射性物质工作场所表面放射性污染的控制水平(表 B11) 见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质（Bq/cm ² ）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

（3）非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-3 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 7-3 非密封源工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

(4) 接受 ^{131}I 治疗的患者出院体内放射性活度限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第 7.4.4.3 条款规定：接受了 ^{131}I 治疗的患者，其体内的放射性活度降低至低于 400MBq 之前不得出院。

2、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（节选）：

5 工作场所的放射防护要求

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 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，并采取相应的防护措施。

5.2.2 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。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 7-5，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7-4。

表 7-4 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大放射性核素的加权活度 MBq
I	>50000
II	$50 \sim 50000$
III	< 50

表 7-5 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
结构屏蔽	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	不必须
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	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆
a 下水道宜短，大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。			

(二) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 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 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；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。

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，应根据医学时间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： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

4、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）（节选）：

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 $<10\text{Bq/L}$ 。

5、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）（节选）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 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；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房的防护要求。

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 7-6 的规定。本项目 DSA 机房参照单管头 X 射线设备机房的要求。

表 7-6 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线设备（含 C 形臂、乳腺 CBCT）	20	3.5

6.2 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 7-7 的规定。

表 7-7 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 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 型臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-8 的要求。

6.3 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；

6.4 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 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 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 7-8 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 0.25mmPb ；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb ；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb ；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb 。

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 0.5mmPb 。

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 7-8 个人防护用品和辅助防护设施配置要求（节选介入相关）

	工作人员	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
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/铅防护帘、床边防护帝/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	——
<p>注 1: “—”表示不做要求。</p> <p>注 2: 各类个人防护用品和辅助防护设施, 指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品, 特别是非铅介入防护手套。</p>				

6、《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ2.1—2019）（节选）

室内臭氧浓度限值：0.3mg/m³，氮氧化物浓度限值：5mg/m³。

根据本项目情况，确定年剂量管理目标值如下：

1、放射工作人员年剂量管理目标值：本项目核医学科放射工作人员年剂量管理目标值为 4mSv，核医学科工作人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量小于 500mSv；DSA 介入医生年有效剂量管理目标值为 4mSv，DSA 操作人员年有效剂量管理目标值为 2mSv；非放射医务人员及其他公众年剂量管理目标值取 0.1mSv。

2、表面污染控制水平见下表 7-9。

表 7-9 表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

表 8 环境质量和辐射现状

辐射现状

1、监测点位布置情况

2020 年 11 月 11 日核工业二三〇研究所对长沙市第四医院拟建地周边环境进行监测，监测内容为地表 γ 辐射剂量率，监测布置点见图 8-1、8-2、8-3。



图 8-1 医院辐射环境监测布点图

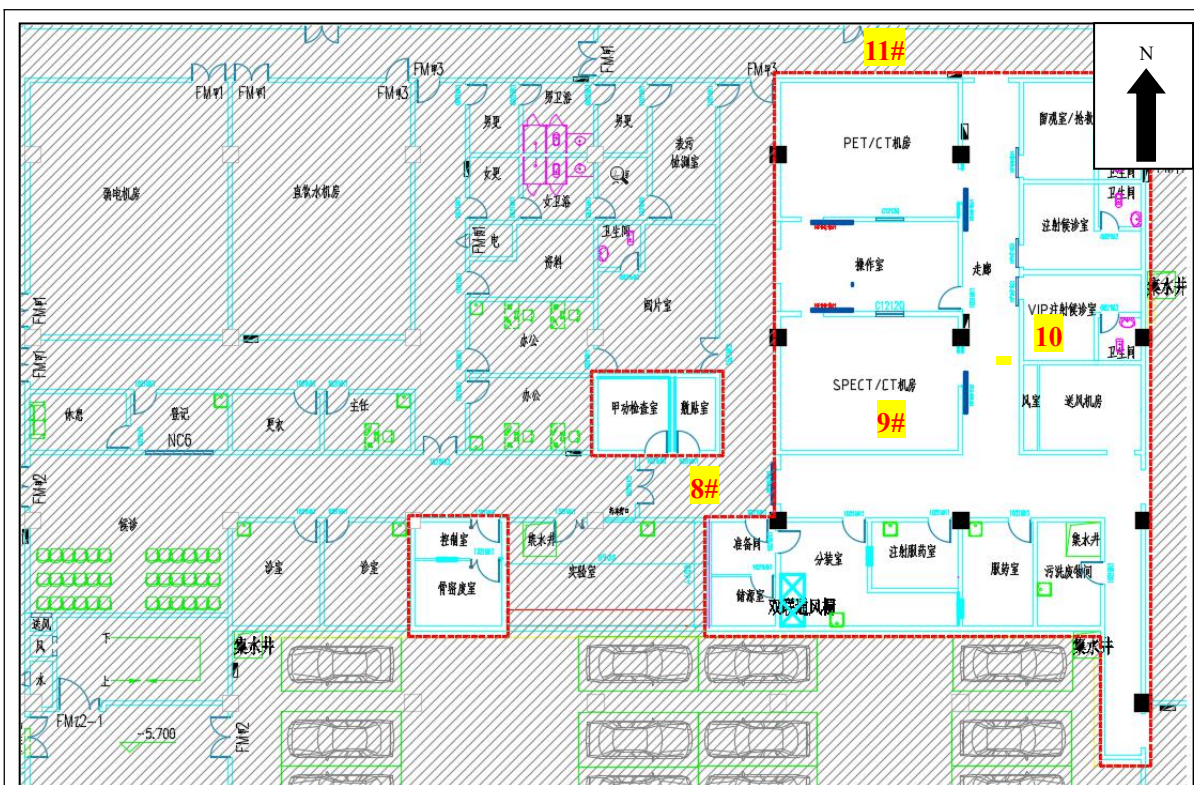


图 8-2 医院核医学科辐射环境监测布点图

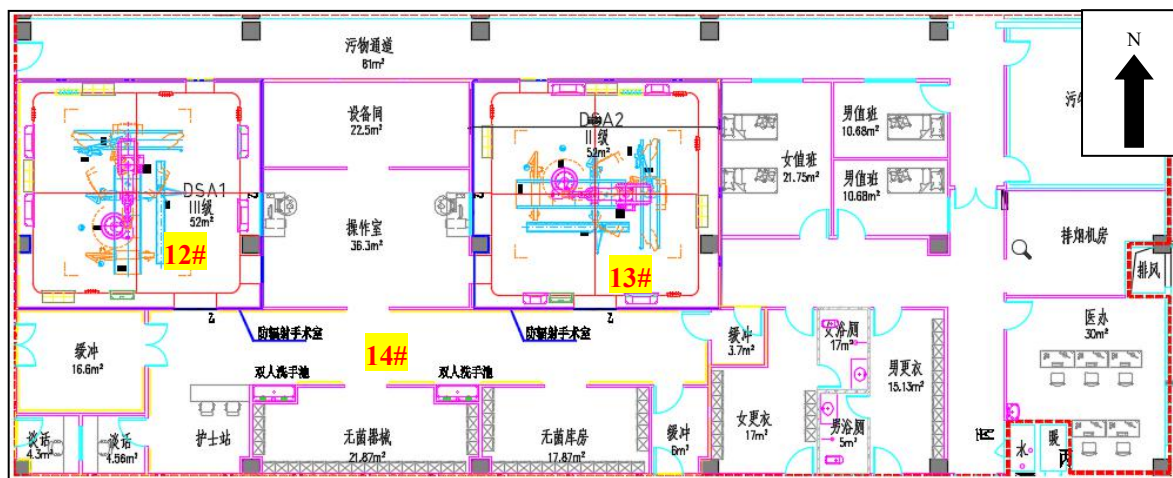


图 8-3 医院介入中心辐射环境监测布点图

2、监测方案及质量保证

(1) 监测目的

主要是为了了解项目地点天然辐射水平，是否属于湖南省建筑物内天然放射性水平，为辐射工作场所建成运行后对环境的影响提供依据。

(2) 监测依据

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002；

《环境地表γ辐射剂量率测定规范》GB/T14583-93；

《辐射环境监测技术规范》HJ61-2001。

(3) 质量保证

该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考试合格持证上岗，数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求要求进行数据处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

表 8-1 监测所使用的仪器情况

仪器名称	X-γ剂量率仪
仪器型号	JB4000
制造单位	上海精博工贸有限公司
出厂编号	13135
检定证书编号	hnjln2020001-02
检定有效期	2020.1.8~2021.1.7
能量响应范围	在 48keV~3MeV 范围内误差≤±30%
剂量率范围	0.01μSv/h~200.00μSv/h

表 8-2 拟建项目场址周围环境γ辐射水平监测结果

监测位置		监测结果 (μGy/h)	监测位置		监测结果 (μGy/h)
1	医院大门口	0.09	8	拟建核医学病人入口	0.11
2	医技楼门口	0.10	9	拟建 SPECT/CT 机房	0.10
3	专科楼左侧	0.13	10	拟建候诊室	0.10
4	住院楼南侧	0.10	11	拟建核医学病人出口	0.11
5	住院楼北侧	0.08	12	拟建 DSA1 机房	0.11
6	科研教学办公楼南侧	0.11	13	拟建 DSA2 机房	0.11
7	值班公寓门口	0.11	14	拟建 DSA 操作室门口	0.09

小结：本项目拟建放射性工作场址周围环境γ辐射水平与湖南省长沙市贯穿辐射剂量率平均值(湖南省环境天然放射性水平调查研究——室外(0.0702±0.0215)μGy/h、室内(0.1020±0.0300) μGy/h)相比，项目拟建地环境 X-γ辐射水平在本底水平范围。

表 9 项目工程分析与源项

<p>工程设备和工艺分析</p> <p>9.1 项目的组成</p> <p>本次核技术利用扩建项目的内容包括：新增 2 台 DSA、1 处乙级非密封放射性工作场所（计划使用 ^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr 分别开展显像、甲亢治疗、骨转移治疗，使用 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器进行皮肤敷贴治疗，新增 1 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT（包括 3 枚 ^{68}Ge 校准源）用于扫描）。</p> <p>9.2 工作原理、工作流程</p> <p>9.2.1 核医学科</p> <p>医院核医学科位于医技楼负一楼，为地下负一层，该场所分布集中，人员少有经过，选址合理。</p> <p>1、核医学科相关设备</p> <p>本项目核医学科应用核素 ^{99m}Tc、^{18}F 进行放射诊断，相关设备有 1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT。</p> <p>（1）SPECT/CT</p> <p>SPECT 是 Single Photon Emission Computed Tomography（单光子发射计算机断层显像）的缩写，是目前核医学较为先进的放射性核素显像技术，在很多情况下，它可提供其他方法所不能提供的重要诊断信息。SPECT 的基本成像原理是：首先病人需要摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，在药物到达所需要成像的断层位置后，由于放射性衰变，将从断层处发出γ光子，位于外层的γ照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的γ光子，通过闪烁体将探测到高能γ射线转化为能量较低但数量很大的光信号，通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影。图中各条投影线都垂直于探测器并互相平行，故称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角成为观测角。γ照相机是二维探测器，安装了平行空准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道人体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建。这种断层成</p>

像技术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computed Tomography，CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。用于显像的同位素均属于短半衰期的核素，核素已取得辐射许可。

（2）PET/CT

PET 全称为正电子发射计算机断层显像（Positron Emission Tomography），其显像的基本原理是正电子放射核素发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后和负电子结合发生湮灭，正负电子消失的同时产生一对能量相等（511keV）、方向相反的 γ 光子。PET 利用正电子发射体的核素标记一些生理需要的化合物或代谢底物如葡萄糖、脂肪酸、氨基酸、受体的配体及水等，引入体内后，应用正电子扫描机而获得的体内化学影像。

CT 是计算机断层 X 射线摄影技术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

PET 在成像过程中由于受多种因素的影响，采集的数据与实际情况并不一致，图像质量失真，必须采用有效措施进行校正，才能得到更真实的医学影像。用 CT 图像对 PET 进行衰减校正，使 PET 图像的清晰度大为提高，图像质量明显优于同位素穿透源校正的效果，且易于操作。校正后的 PET 图像与 CT 图像进行融合，经信息互补后得到更多的解剖结构和生理功能关系的信息。对于肿瘤病人手术和放射治疗定位具有极其重要的临床意义。PET/CT 同机融合具有相同的定位坐标系统，病人扫描时不必改变位置，即可进行 PET/CT 同机采集，避免了由于病人移位所造成的误差。采集后两种图像不必进行对位、转换及配准，计算机图像融合软件便可方便地进行 2D、3D 的精确融合，融合后的图像同时显示出人体解剖结构和器官的代谢活动，大大简化了整个图像融合过程中的技术难度、避免了复杂的标记方法和采集后的大量运算，并在一定程度上解决了时间、空间的配准问题，图像可靠性大大提高。

2、核医学科使用的核素种类特征及治疗原理

本项目核医学科应用应用核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 进行放射诊断，使用 ^{131}I 进行甲亢治疗，使用 ^{89}Sr 进行骨转移治疗。

（1） ^{99m}Tc 的应用

①^{99m}Tc 的特性

^{99m}Tc 为 ⁹⁹Tc 的同质异能素，IT%≈100%，半衰期为 6.02 小时。发生 IT 跃迁时释放 γ 射线，能量为 145.5keV，其子体为核素 ⁹⁹Tc，⁹⁹Tc 发生 β 衰变，⁹⁹Tc 的半衰期为 2.14×10⁵ 年。^{99m}Tc 的衰变纲见下图：

^{99m}Tc 的衰变纲见下图9-1：

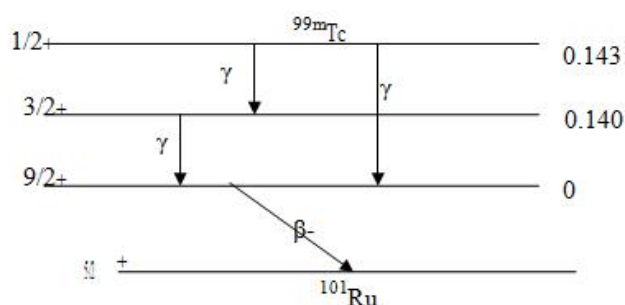


图 9-1 ^{99m}Tc 的衰变纲图

②^{99m}Tc 标记药物的获得及操作流程

根据医院提供资料，核医学科采购^{99m}Tc成品药物，根据预约病人的情况由供药方分装好后送至医院，医院不进行分装。操作流程如下：

- 1) 准备药物：根据预约人数的顺序，将收到的药物排序。
- 2) 注射：在分装室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给患者注射标记放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒，当放射性固体废物放入废物间。
- 3) 检查：病人在注射后休息室等候约 2h-3h，待药物有一定程度的代谢后，进行 SPECT/CT 扫描检查，检查一般用时 20-30min。
- 4) 离开：受检者在扫描检查后留观 20min，经观察无不良反应后离开。

③产污分析

^{99m}Tc 作为标记药物时对工作环境造成的影响主要是注射时对工作人员的γ外照射、对工作台面及地面等造成表面污染。注射 ^{99m}Tc 的患者作为移动放射源对周围造成的影响。

(2) ¹⁸F 的应用

①¹⁸F 的特性

¹⁸F 衰变期 1.83h，核素自然衰变过程为β⁺辐射，射线能量 0.64MeV，β⁺粒子在组织中的射程为 4~5mm，辐照影响较小。但β⁺粒子在自然界中不能长时间独立存在，

很快发生湮灭反应，同时释放出 2 个能量相同（0.511MeV）、方向相反的 γ 光子，即 γ 射线， γ 射线贯穿能力较强，会对周围环境产生外照射辐射影响。衰变量纲图见图 9-2。

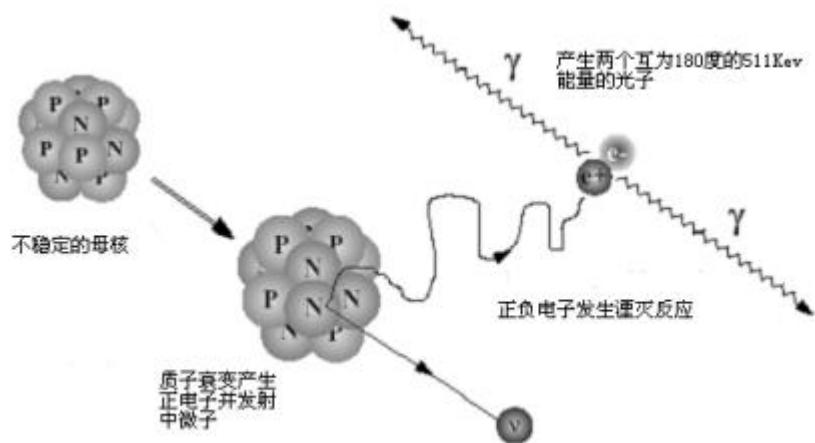


图 9-2 ^{18}F 的衰变纲图

(3) ^{131}I 的应用

① ^{131}I 的特性

^{131}I 的半衰期为 8.04 天，衰变方式为 β 衰变，能衰变出多条 β 射线，其中分支比最大的为 89.2%，能量为 606.3keV，还能释放出多条 γ 射线，其中分支比最大的为 81.1%，能量为 364.5keV。衰变量纲图见图 9-3。

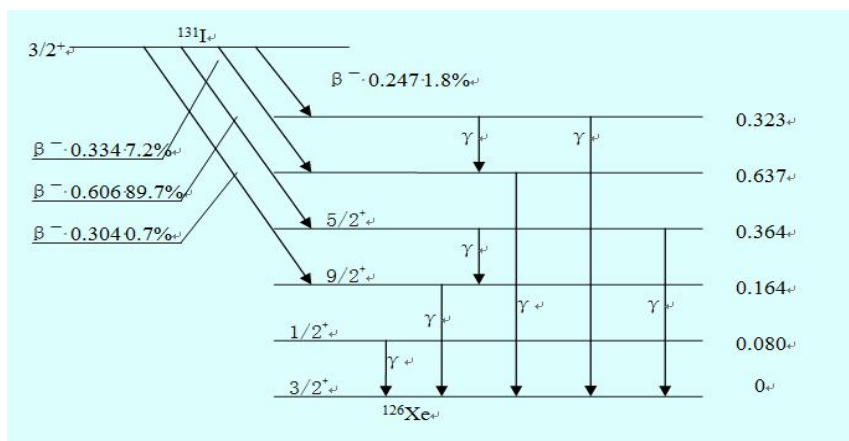


图 9-3 ^{131}I 的衰变纲图

② ^{131}I 治疗甲亢原理

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。在患

者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变时主要发射 β 粒子，且射程短，仅约 2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

③污染因子

^{131}I 在储存、分装、口服等过程中会产生 γ 射线和 β 表面沾污，在分装时会产生放射性气载废物。病人服用放射性药物 ^{131}I 后，在留观过程中产生排泄物、呕吐物以及分装场所、病人卫生间清洗会产生放射性废水，此外，病人在服药期间会产生服药杯等固体废物。 ^{131}I 治疗工作流程及产污节点图见图 9-4。

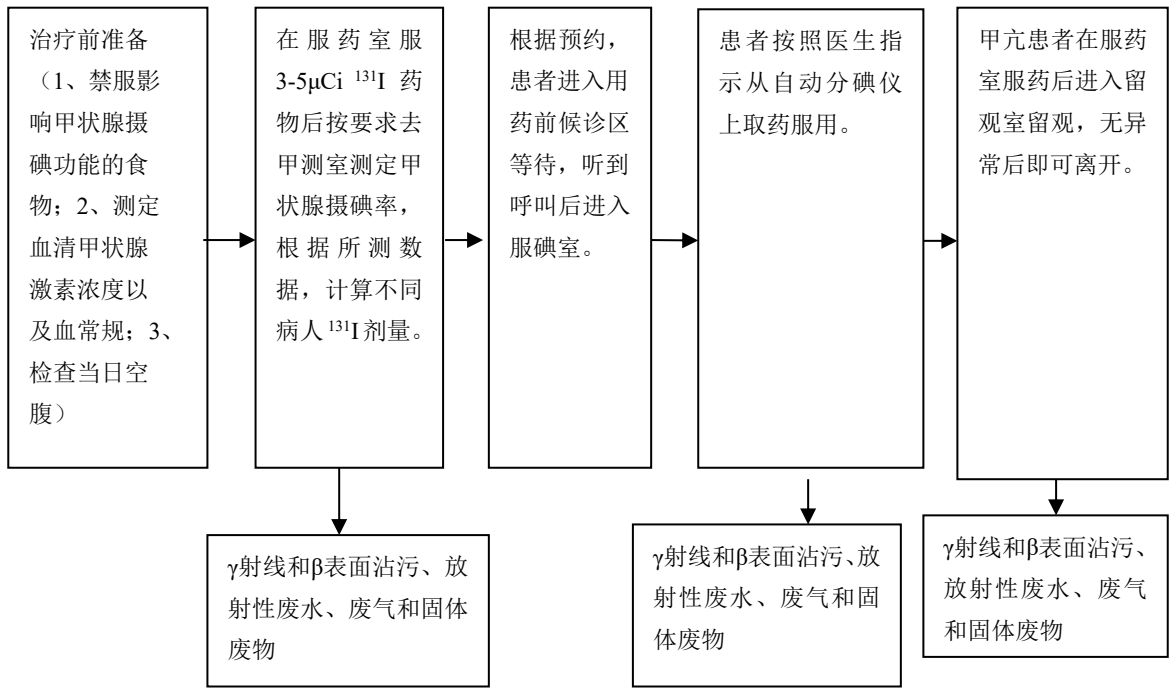


图 9-4 ^{131}I 治疗工作流程及产污节点图

(4) ^{89}Sr 的应用

①工作原理

静脉注射趋骨性放射性药物 ^{89}Sr ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

②工艺流程及产污环节

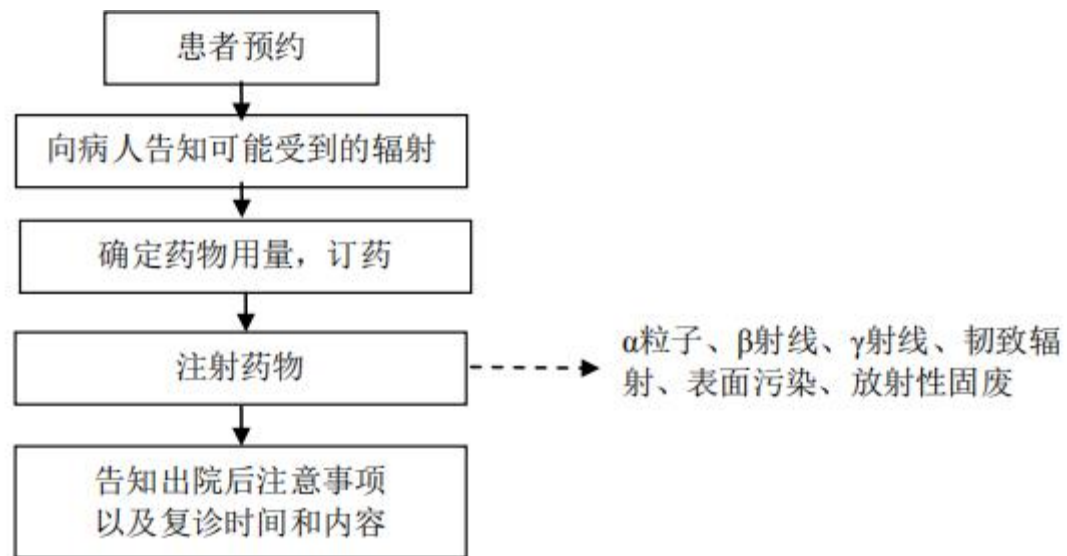


图 9-5 ^{89}Sr 治疗工作流程及产污节点图

(5) ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器的应用

① ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器结构图

本项目拟使用医用 ^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤敷贴器，用于血管瘤的治疗及其它血管瘤疾病，其结构图如图9-6。

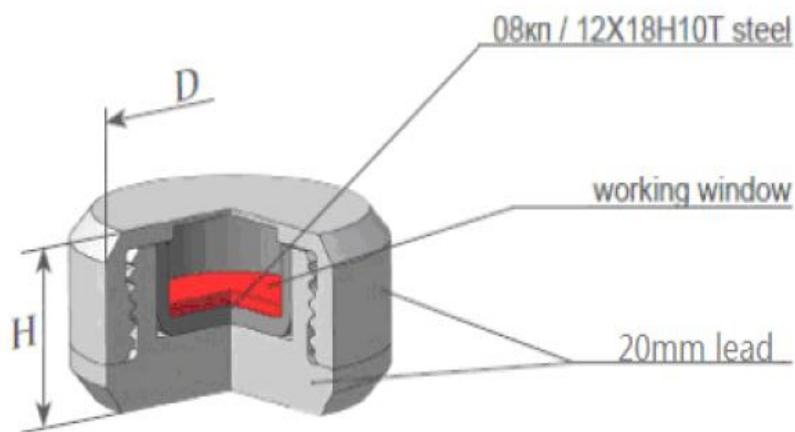


图 9-6 医用 ^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤敷贴器结构图

② ^{90}Sr - ^{90}Y 的特征

半衰期 28.1a，衰变方式为 β 衰变 ($\beta\%=100$)，子体 ^{90}Y 半衰期为 64.2 小时，两者发出的 β 射线能量分别为 0.54MeV 和 2.254MeV，在人体组织中的射程分别为 0.27cm和 1.12cm。其衰变纲图见下图：

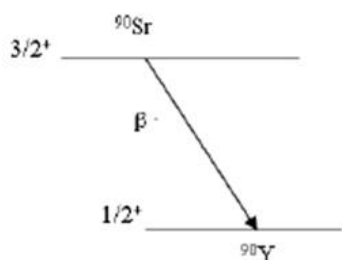


图9-7 (a) ^{90}Sr 衰变纲图

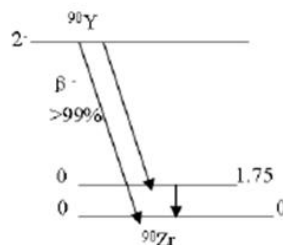


图 9-7 (b) ^{90}Y 衰变纲图

③ ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗工作原理

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗是利用核素放射 β 射线，使局部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的，使用时根据病变形状在保护周围正常皮肤前提下直接敷贴，治疗可用一次大剂量法或多次小剂量法。 ^{90}Sr - ^{90}Y 是一种纯 β 放射源，主要治疗局限性毛细血管瘤，局限性慢性湿疹和牛皮癣等皮肤疾患等。

④ ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗流程

使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤敷贴器时，需用防护材料（如橡皮或塑料等）将病灶周围正常皮肤覆盖，避免受到不必要的照射。然后再敷贴器下放一层玻璃纸，用胶布或绷带将敷贴器固定于病变处，再将敷贴器上面放置大于敷贴器面积的防护材料并固定，记录敷贴时间，达到预定治疗剂量时及时取掉。治疗剂量与疗程：一般采用分次疗法，如治疗 1 个疗程总剂量需 5~10Gy（500-1000rad），可分 4 次敷贴，每周 1 或 2 次；皮肤血管瘤总剂量需 15~25Gy（1500~2500rad），可分 8~10 次敷贴，每周 1 或 2 次，小儿酌减量；眼科疾患总剂量为 15~50Gy（1500~5000rad），每次 3~10Gy（300~1000rad），每周一次。达到预定剂量或出现干性皮炎及眼部不适应即结束治疗。如治疗一疗程未愈或有复发者，可于 3~6 个月后再进行下一个疗程治疗。也可采用一次治疗法，即总剂量一次敷贴后，2~3 个月再进行第 2 个疗程治疗。皮肤瘢痕应适当增加总剂量，手术瘢痕最好在伤口愈合拆线后及时治疗。

4、核医学科工作场所布局

核医学科工作场所主要有 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、准备间、分装室、贮源室、污洗废物间、注射室、服药室、注射后候诊室、留观室。

(1) 核医学科工作场所人流、物流组织

1) 人流说明

患者就诊通道与流程:

①SPECT/CT (^{99m}Tc)、PET/CT (^{18}F) 扫描患者通道与就诊流程: 患者由 M1、M2 进入候诊区, 经 M3 至注射窗口注射 ^{99m}Tc 、 ^{18}F , 注射完 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 后经 M3、M5、M6 进入注射后候诊室休息, ^{99m}Tc 休息 2-3 小时, ^{18}F 休息 40-60 分钟后, 经 M7、M8 进入 SPECT/CT、PET/CT 机房扫描, 扫描完成经 M7、M8 出来, 经 M9 进入留观室进行留观, 无异常后通过 M10 从病人通道出去。

② ^{131}I 甲亢患者通道与就诊流程:

确定治疗的甲亢患者由 M1、M26 进入候诊区, 经 M27 至服药室服用 ^{131}I , 服药完成后经 M28 进入留观室进行留观, 无异常后通过 M29、M30 离开核医学科。

③ ^{89}Sr 患者通道与就诊流程:

确定治疗的患者由 M1、M2 进入候诊区, 经 M3 至注射窗口注射 ^{89}Sr , 注射完成后经 M9 进入留观室进行留观, 无异常后通过 M10 离开核医学科。

④医生通道:

医生通过专门医生通道进入, 通过 M11、M12、M13、M14、M15、M16、M17、M18、M19、M20、M21、M23 分别进入控制室、分装室。

2) 物流说明

放射性药品流向: 外购的放射性药品由 M10、M24、M23、M22 进入储源室, 运输通道在其他人员不活动时间 (早上六点前或晚上下班后) 开通。

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。

3) 核医学科门禁系统设置情况

为了确保核医学的安全, 医院在核医学科设置门禁系统, 其中图 9-8 中 M1、M2、M26 为病人单向进入的门, M10、M30 为病人单向出去的门。医院应严格按以上要求实现病人的单向流动。

核医学科人流、物流路径示意图见图 9-8。

(2) 放射性废水、废气、固体废物流向

放射性废水流向：分装室设置有洗手池，废水由专用下水管道排至废水衰变罐，注射后候诊室、留观室设有独立厕所，以上核医学科产生的废水均流入核医学科南侧专用三级衰变罐中，核医学科废水流向见附图5。废水经衰变池衰变满足排放标准后进入医院污水处理站进行处理后再排入市政污水管网。

放射性气体流向：核医学科设置了独立的送风系统。准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量为4000m³/h，通过风量的控制，确保气流从低活区到高活区排出，排气口加装活性炭过滤装置。废气通过专用管道在医技楼负一楼与控制区、双联通风橱废气汇入一根排气管引至医技楼楼顶。

¹³¹I采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为40mmPb，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于0.5m/s。核医学科送排风图详见附图4。

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暂存间内衰变箱贮存，经过衰变满足清洁解控水平经检测合格后按普通医疗废物处置。放射性固体废物路径见图 9-8。

(3) 核医学科工作负荷

根据医院提供的资料，核医学科采取预约制。医院前期只开展 ^{99m}Tc 治疗，每个病人每次使用 ^{99m}Tc 最多为 20mCi，每日最多治疗 30 个病人，一年工作 264 天，每年最多治疗 7920 个病人。后期分时段使用 ¹⁸F、^{99m}Tc 两种核素进行扫描（时间安排见表 9-2），每个病人每次使用 ^{99m}Tc 最多为 20mCi，每日最多治疗 30 个病人，一年工作 144 天，每年最多治疗 4320 个病人；每个病人每次使用 ¹⁸F 最多为 20mCi，每日最多治疗 20 个病人，一年工作 144 天，每年最多治疗 2880 个病人。每个病人每次使用 ⁸⁹Sr 最多为 4mCi，每日最多治疗 2 个病人，每年最多治疗 10 个病人。甲亢病人每人每次服用 ¹³¹I 最多 10 mCi，一天最多 10 个病人，年工作 264 天，每年最多治疗 2640 个病人。

核医学科核素用量见下表9-1。

表 9-1 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	每个病人使用量	每天最大治疗人数	药物储存	年最大使用量
------	------	------	------	---------	----------	------	--------

^{99m}Tc	液体	注射	显像	$7.4 \times 10^8 \text{Bq}$	30 人	核医学科 贮源室	$5.9 \times 10^{12} \text{Bq}$
^{18}F	液体	注射	显像	$5.55 \times 10^8 \text{Bq}$	20 人		$1.6 \times 10^{12} \text{Bq}$
^{131}I	液体	口服	甲亢治疗	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	10 人		$9.8 \times 10^{11} \text{Bq}$
^{89}Sr	液体	注射	骨转移	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	2 人		$1.48 \times 10^9 \text{Bq}$

(4) 核医学科就诊时间安排

为防止核医学科病人之间交叉影响，本项目将病人的服药时间分开，拟安排情况如下表 9-2。

表 9-2 核医学科就诊时间安排表

核素名称	物理状态	给药方式	使用目的	时间安排
^{99m}Tc	液体	注射	显像	前期未开展 ^{18}F 时，每周一至周六上午，后期开展 ^{18}F 时，每周一、周三、周五上午
^{18}F	液体	注射	显像	每周二、周四、周六上午
^{131}I	液体	口服	甲亢治疗	每周一至周五下午
^{89}Sr	液体	注射	骨转移	每周日

(5) 核医学科核素的购买和管理

核医学科所有核素均由供药单位送至医院，SPECT/CT 检查扫描使用的药物 ^{99m}Tc 由医院购买成品，医院根据预约病人的数量采购放射性药物 ^{99m}Tc 。

PET/CT 检查扫描使用的药物 ^{18}F 由医院购买成品，医院根据预约病人的数量采购放射性药物 ^{18}F 。

医院根据预约病人的数量采购放射性药物 ^{131}I 。

因采取预约制，医院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，剩余核素及铅罐放在固体废物间衰变。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，并且核医学科各出入口设置监控，贮源室安装防盗门及监控，24 小时均有专门的值班人员负责，确保放射性药物的安全。

9.2.2 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 9-9。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 9-9 数字减影血管造影系统（DSA）

2、设备组成及工作流程

（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：D 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）工作流程及产污环节分析

医院 DSA 开展的介入手术类型主要有心血管介入治疗、外周介入治疗、神经血管介入。

具体工作流程及产污环节见图 9-10。

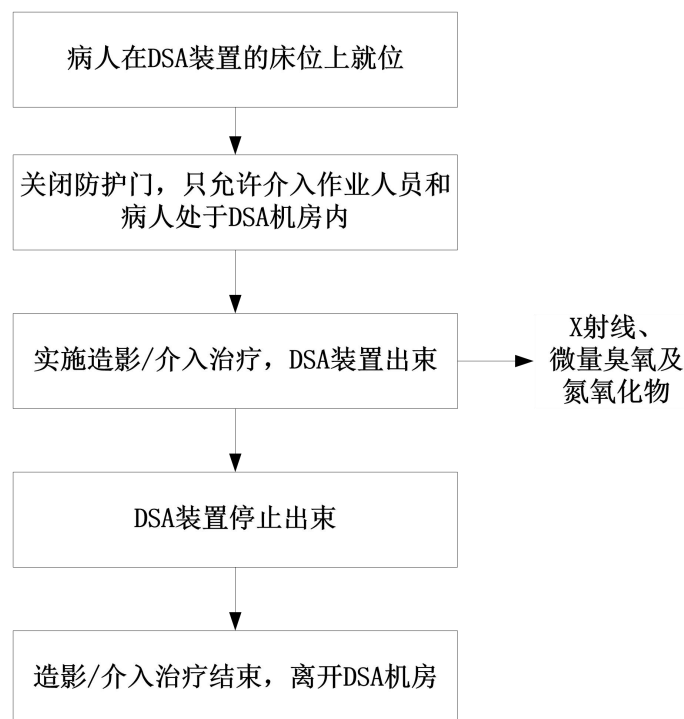


图 9-10 本项目工作流程及产污环节示意图

诊断时，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上腔静脉，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。DSA 装置在进行介入作业时，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

医院新增 DSA 主要从事的手术类型为外周介入、心脑血管介入，射线装置的曝

光时间和工作量见表 9-3。

表 9-3 DSA 的曝光时间及工作量

设备	用途	每人次曝光时间	工作量（人次/a）	曝光时间（h/a）
DSA 手术一室	外周介入、心脑血管介入	30min	1600	800
DSA 手术二室	外周介入、心脑血管介入	30min	1600	800

污染源项描述：

一、施工期间污染源项分析

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。

（1）扬尘及防治措施

主要为机房的建设时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应加强施工现场管理，进行适当的加湿处理。

（2）废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的排水系统，进入市政污水网管。

（3）噪声及防治措施

主要来自于机房内混凝土浇注、装修及现场处理等。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

（4）固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。

二、运行期间正常工况下污染源分析

1、核医学科

^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 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。 ^{90}Sr 主要影响因子为 β 射线、韧致辐射，废旧源由厂家回收。

2、DSA

DSA 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此，在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。其次，在工作状态时，会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。少量臭氧和氮氧化物可通

过通风排出机房外。正常工况下，DSA 机房通过机械通风，室内有害气体的量可以被降低到最低，几乎对人体不会造成危害。

三、运行期事故工况下污染源分析

1、核医学科

1) 工作人员尚未撤离 SPECT/CT 、PET/CT 机房时误开机，对工作人员产生不必要的照射。

2) 由于管理不善，放射性药物、放射源被盗、丢失，产生严重的环境污染事故。

3) ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 等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。

4) 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。

5) SPECT/CT、PET/CT 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

6) ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 等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。

7) 外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

2、DSA

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

2) 在射线装置出束时人员误入机房受到辐射照射。

3) 检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

4) 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。

表 10 辐射安全与防护

辐射安全和防护

10.1、辐射工作场所分区及分级管理

1、分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定，将辐射场所分为控制区和监督区，以便辐射安全管理和职业照射控制，因此，建设单位应按如下划分放射性工作场所进行监督管理。

①控制区：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。

②监督区：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。

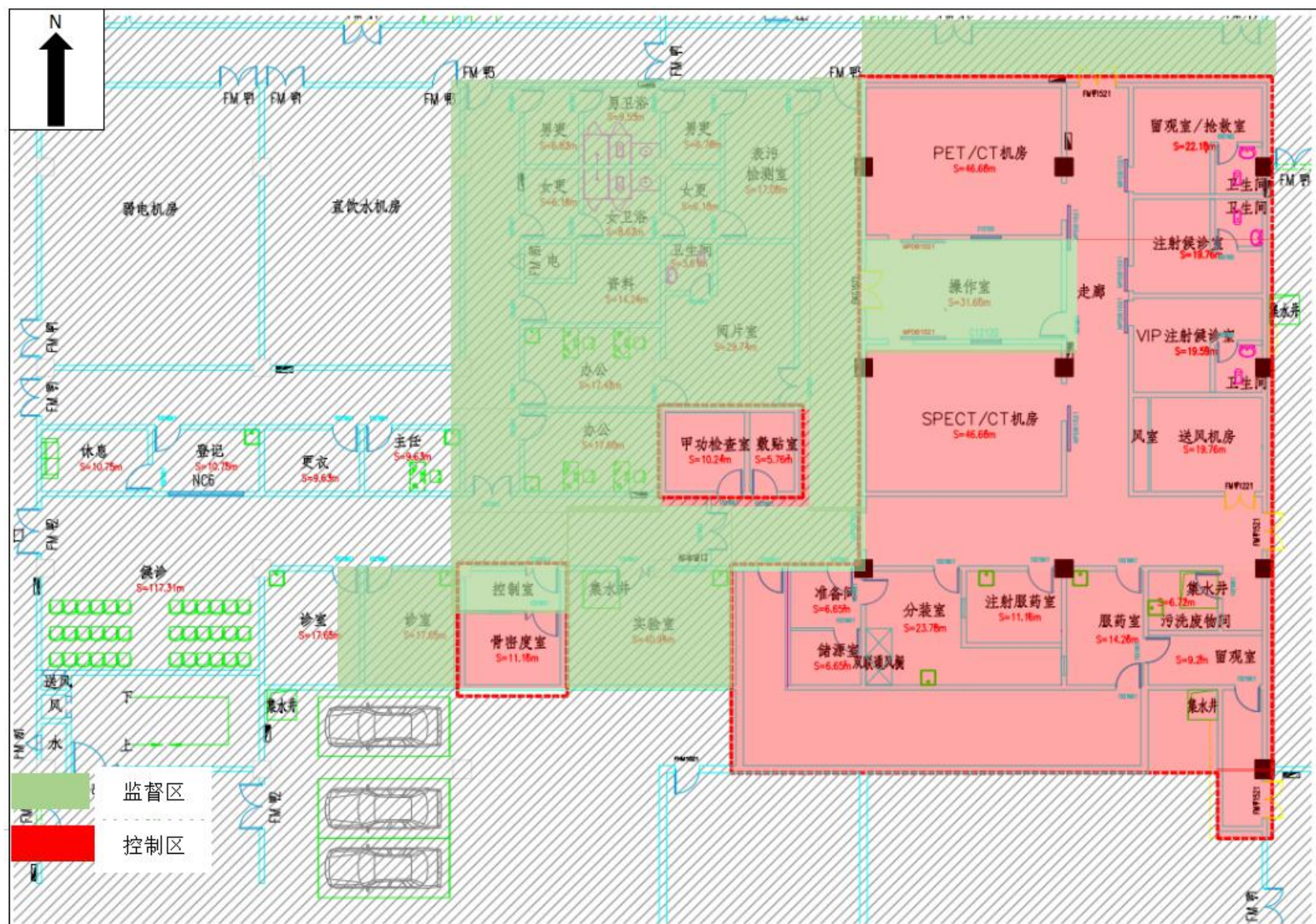
该院放射性工作场所分区如下表10-1及图10-1、图10-2。

表 10-1 项目辐射工作场所分区一览表

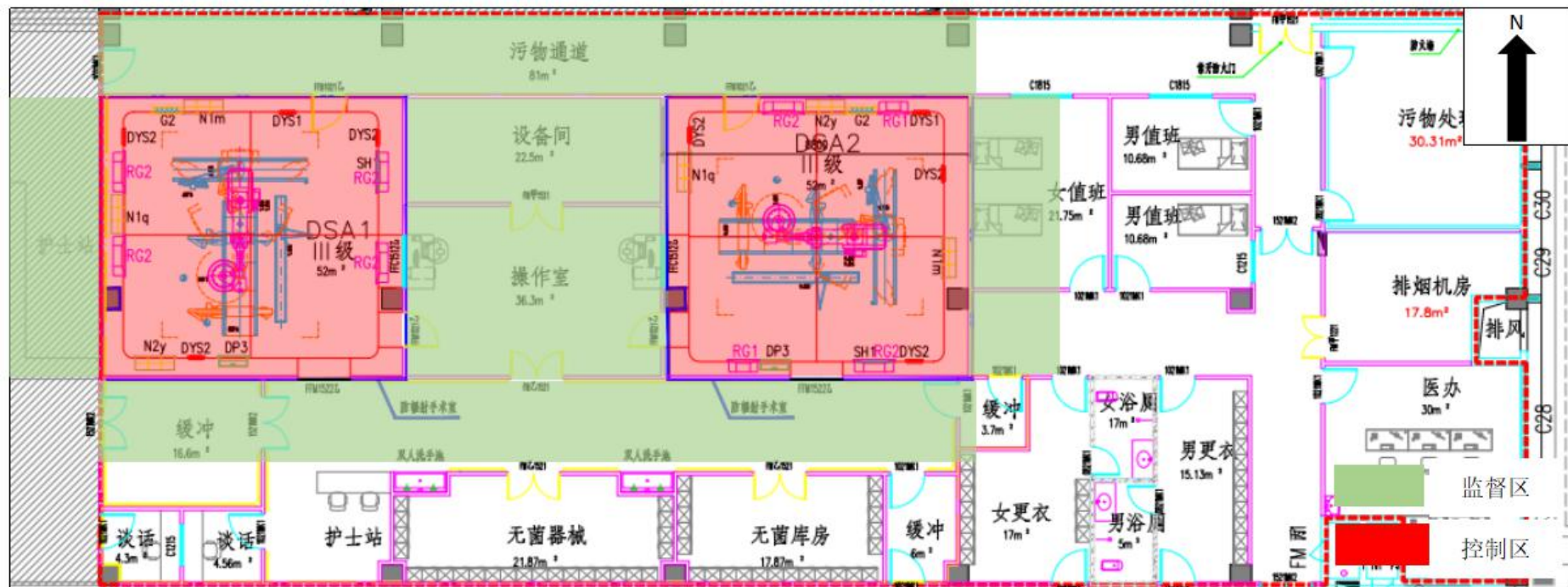
序号	辐射工作场所 (射线装置)	控制区	监督区
1	核医学科	注射室、贮源室、分装室、服药室、 污洗废物间、注射后候诊室、 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、留 观室、敷贴室	控制室、阅片室、医生办公室及 核医学科的各辅助用房及其周 围临近区域
2	DSA	DSA 机房	DSA 控制室及周围临近区域

医院核医学科控制区和监督区管理如下：根据标准要求，确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全防护措施的性质和范围。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示；运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区；在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜。

采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处设立表明监督区的标牌；定期审查该区的条件，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。



附图 10-1 核医学科分区示意图



附图 10-2 DSA 机房分区示意图

2、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 10-2。

表 10-2 非密封源工作场所的分级

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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(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 10-3。

表 10-3 工作场所的分级

核素名称	使用目的	实际最大日用量(Bq)	毒性修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	工作场所分级	年最大操作量(Bq)
^{99m}Tc	显像	$2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$	0.01	10	$2.22 \times 10^7 \text{Bq}$	$4.33 \times 10^8 \text{Bq}$	乙级	$5.9 \times 10^{12} \text{Bq}$
^{18}F	显像	$1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$	0.01	10	$1.11 \times 10^7 \text{Bq}$			$1.6 \times 10^{12} \text{Bq}$
^{131}I	甲亢治疗	$3.7 \times 10^9 \text{Bq}$	0.1	1	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$			$9.8 \times 10^{11} \text{Bq}$
^{89}Sr	骨转移	$2.96 \times 10^8 \text{Bq}$	0.01	1	$2.96 \times 10^7 \text{Bq}$			$1.48 \times 10^9 \text{Bq}$

因此,本项目工作场所为乙级非密封放射源工作场所。

10.2 辐射安全防护措施

10.2.1 辐射防护设计

1、核医学科

核医学科各功能用房辐射防护设计一览表见表 10-4。

表 10-4 核医学科各功能用房辐射防护设计一览表

机房名称	机房尺寸 (mm) (长×宽)	四周墙体	天花板	地板	防护门
PET/CT 机房	7900×5950	200mm 钢筋混 凝土+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土+3mmPb 硫 酸钡	6mmPb
SPECT/CT 机 房	7900×5950	200mm 钢筋混 凝土+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土+3mmPb 硫 酸钡	6mmPb
分装室	3850×4600	200mm 烧结多 孔砖+9mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
注射服药室	3850×2900	200mm 烧结多 孔砖+12mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
服药室	3100×4600	200mm 烧结多 孔砖+9mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
VIP 注射候 诊室	5200×3800	200mm 烧结多 孔砖+14mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	12mmPb
注射候诊室	5200×3800	200mm 烧结多 孔砖+14mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	12mmPb
留观室/抢救 室	5200×4300	200mm 烧结多 孔砖+11mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
储源室	2850×220	200mm 烧结多 孔砖+9mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
污洗废物间	4600×2800	200mm 烧结多 孔砖+9mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
I-131 留观室	4600×2000	200mm 烧结多 孔砖+12mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
敷贴室	1800×3200	200mm 烧结多 孔砖+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢筋混 凝土+3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	2mmPb

备注：以上钢筋混凝土密度为 2.35g/cm³

2、DSA

本项目两间 DSA 机房设计辐射屏蔽材料情况见表 10-5。

表 10-5 DSA 机房辐射防护设计一览表

机房名称	机房尺寸（mm） （长×宽）	四周墙体	天花板	地板	防护门	观察窗
DSA 一室	7940×8600	200mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混凝土+1mmPb 辐射防护板	3mmPb	3mmPb
DSA 二室	7940×8700	200mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板	190mm 钢筋混凝土+1mmPb 辐射防护板	3mmPb	3mmPb

备注：以上钢筋混凝土密度为 2.35g/cm³

10.2.2 拟采取的防护措施

1、核医学科

核医学拟采取的辐射安全防护措施如下：

（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；监督区张贴标牌，禁止无关公众人员进入。核医学科张贴病人、医生和放射性物质运输指示路线，防止发生交叉污染。

（2）贮源、分装室、注射服药室、服药室、SPECT/CT、PET/CT、注射后候诊室、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）核医学科设置医生专用更衣室、专用卫生间并在出入口安装表面污染检测仪。核医学科医生进、出贮源间、分装室、注射室等诊疗区需通过卫生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；离开核医学工作场所顺序为：工作场所→剂量测量（全身污染测量）→脱现场工作服→清洁→穿家常衣服→医生通道出口。洗手水龙头应为感应龙头。

（4）加强对放射性药物的管理，贮源室安装防盗门，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，无关人员不得进入贮源室。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) 核医学科设置了独立的送风系统。准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量为4000m³/h，通过风量的控制，确保气流从低活区到高活区排出，排气口加装活性炭过滤装置。废气通过专用管道在医技楼负一楼与控制区、双联通风橱废气汇入一根排气管引至医技楼楼顶。

¹³¹I采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为40mmPb，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于0.5m/s。

(6) 为了减少放射性污染的扩散和相互影响，控制不必要的交叉污染，在核医学科进出口设置出入管理控制系统（门禁）和监控装置。候诊区、SPECT/CT机房、PET/CT机房、注射后候诊室、留观室、注射服药室、服药室拟设置视频监视、对讲系统。

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

(8) 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罐，衰变罐处于衰变间内，衰变间四周墙体采用 300mm 混凝土，防护门 10mmPb，衰变罐为槽式排放，总容积为 45m³。

(9) 放射性废物和一般医疗废物分类收集，拟在分装室、注射服药室、服药室、注射后候诊室、留观室各设1个3mmPb的污物桶收集固体废物，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。放射性废物暂存于污洗废物间内，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。

(10) 医院拟配备 1 台 X-γ辐射监测仪，1 台表面污染仪等用于日常监测，拟为核素治疗工作人员配置个人防护用品，包括铅衣、铅帽等，防护厚度为 0.5mmPb，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。防护用品配备情况详见表 10-6。

(11) 清洁卫生要求：核医学科分为监督区、控制区，每个区一个单独的清洁工具。

2、DSA

1、机房的防护

(1) 机房按照环评及设计要求进行施工建设，各门缝及墙缝处进行搭缝处理。

(2) 应合理设置射线装置、机房的门、窗和管线口位置，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。

(3) 射线装置机房（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。

(4) 机房门外拟设置有电离辐射警告标志；机房门上方拟设置有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区拟设置有放射防护注意事项告知栏。

(5) 平开机房门拟设置有自动闭门装置；推拉式机房门拟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) 受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

2、安全操作及管理措施

(1) 医院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检测，保证机房的屏蔽能力满足要求。

(2) 所有放射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

(3) 制定规章制度、操作规程、应急处理措施，并张贴上墙。

(4) 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。

(5) X 射线机曝光时，应保证门灯联动有效。

(6) 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。

(7) 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。

(8) 采用 DSA 进行诊断及手术辅助时，均应制定最优化方案，在满足诊断前提下，选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

(9) 应用 DSA 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。

(10) 配备辅助防护设施: DSA 设备配备防护屏蔽吊架、各种防护屏蔽挂帘等辅助防护用品与设施, 在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

(11) 放射工作人员均配置个人剂量计, 同时医院应配置辐射巡测仪。

(12) DSA 机房内采用新风系统, 使机房保持良好的通风, 设计通风量为 400m³/h, 能充分保证室内空气流通。

采取上述措施后, 本项目射线装置机房的辐射防护符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 及《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 相关要求。

10.2.3 防护用品

根据本次环评项目实际情况, 需配备辐射防护用品详见下表 10-6。

表 10-6 医院需配备的防护用品及监测仪器一览表

场所	防护用品
核医学科	个人剂量计 1 个/人、铅防护注射套 1 件、0.5mmPb 铅衣 3 件、0.5mmPb 铅帽 3 顶、铅眼镜 3 副、0.5mmPb 铅手套 3 副、铅屏风 3 块, 放射性固体废物箱 5 个, 放射性固体废物衰变箱 5 个, X-γ剂量率测量仪、表面污染测量仪各 1 台, 便携式剂量报警仪 4 台, 活度计 1 台
DSA	铅橡胶围裙 10 件、铅橡胶颈套 10 件、铅橡胶帽子 10 件, 铅防护眼镜 10 副, 铅橡胶手套 10 副, 铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏各 2 块, 个人剂量计 2 个/人

三废的治理

(1) 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; 核医学科废水排入衰变池内衰变, 达到排放标准后, 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, 三级衰变池排放口总β放射性<10Bq/L。

对已购置但未用完的操作残液, 医院要严格控制其产生量, 由于操作残液一般附着在容器壁或试管壁, 为了减少液态放射性污染物的产生, 对于这部分的容器和试管医院拟采取存放自然衰变至清洁解控水平, 经审管部门确认或批准, 按普通医疗废物处理。

(2) 废气治理措施

放射性气体流向: 核医学科设送风系统, 送风系统的引风口位于医技楼1楼室外广

场。准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量为4000m³/h，通过风量的设置，使得该区域保持负压。为防止污风倒流，在污风排出端设置止回阀。废气通过专用管道在医技楼负一楼与控制区、双联通风橱废气汇入一根排气管引至医技楼楼顶。

¹³¹I采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为40mmPb，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于0.5m/s。

（3）固废治理措施

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。

②对放射性固体废物应采用分核素收集，根据同位素的性质，单独衰减，达到衰变时间和要求的，再收集在一起作为医疗垃圾处理。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。

③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。

④ 内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

⑤ 放射性废物在放射性固体废物衰变箱中衰减达到清洁解控水平后，作为一般医疗垃圾处理。

⑥ 更换的废活性炭放在专用的固体废物衰变箱内衰变，放射性废物袋装时应不超过20kg，放射性废物运输时表面的固定污染所引起的辐射水平应不超过5μSv/h，表面β辐射应不大于 0.4 Bq/cm²。

表 11 环境影响分析

<p>建设阶段对环境的影响</p> <p>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。</p> <p>（1）扬尘及防治措施</p> <p>主要为机房的建设时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应加强施工现场管理，进行适当的加湿处理。</p> <p>（2）废水及防治措施</p> <p>施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的排水系统，进入市政污水网管。</p> <p>（3）噪声及防治措施</p> <p>主要来自于核医学科建设、装修及现场处理等。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。</p> <p>（4）固体废物及防治措施</p> <p>主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。</p>
<p>运行阶段对环境的影响</p> <p>1、核医学科工作场所辐射屏蔽设计评价</p> <p>1.1 场址和布局评价</p> <p>医院核医学科工作场所位于负一楼。设置有分装室、贮源室、污洗废物间、留观室等，高、低活区布局层次分明，医生、病人出、入口明显分开，可以有效减少医患之间的相互影响，布局较为合理。核医学科所有医生在工作期间佩戴个人剂量计，进、出工作区经卫生通过间，离开时还需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，病人在就医前给予就医流程的指导，进入诊疗区各房间内应有注意事项。</p> <p>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，设立有病人专用卫生间、医生专用洗手池、更衣室、放射性废物桶、分装室、注射室、服药室、留观室等，整体布局较为合理。从核医学科工作流程来看，</p>

有效避免了带药病患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，避免了对公众的影响。

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（给药）室、废物间）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用药，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、计算公式

本次评价公式参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫）给出，具体如下：

（1）关注点剂量率计算公式：

$$HR = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL} \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

HR—— 经屏蔽后，关注点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —— 放射源的预期最大放射性活度，MBq；

f —— 剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

R —— 关注点距辐射源的距离，m；

x —— 屏蔽层厚度，mm；

TVL —— γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度，mm。

（2）放射源活度随时间的衰变计算公式：

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{式 11-2})$$

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。

（3）韧致辐射随距离变化的的空气吸收剂量率计算公式为：

$$X = 1.71 \times 10^{-4} A Z (E/r)^2 f \dots \dots \dots (\text{式 11-3})$$

式中：

X	距离轫致辐射源 r 米处的空气吸收剂量率, Gy/h;
A	放射源活度, Ci
Z	电子屏蔽材料的有效原子序数, 密封源包壳取 56;
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 $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$

(4) 有辐射屏蔽时, 随距离变化的空气吸收剂量率计算公式:

$$H=H_0 \times K^{-1} \dots\dots\dots \text{(式 11-4)}$$

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。

(5) 屏蔽减弱系数计算公式:

$$K^{-1}=2^{-dp/TVT} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

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。

1、本项目核医学科SPECT/CT、PET/CT利用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像检查, ^{131}I 开展甲亢治疗, ^{89}Sr 开展骨癌转移治疗。本项目核医学科四种核素使用信息见下表:

表 11-1 本项目核医学科核素参数一览表

核素名称	半衰期	剂量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$)		年最大用量 (Bq)
		注射前	注射后	
^{18}F	109.8min	0.143	0.092	$1.5\text{E}+12$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	0.0303	0.0207	$5.9\text{E}+12$
^{131}I	8.02d	0.0595	0.0583	$9.8\text{E}+11$
^{89}Sr	50.53	-	-	$1.48\text{E}+9$

从上表可以看出, 本项目核医学科显像检查使用的两种核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 中, ^{18}F 的剂量率常数大于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 使用治疗的两种核素 ^{131}I 、 ^{89}Sr , 以 ^{131}I 为主, 因此本评价选择 ^{18}F 计算注射服药室、PET/CT机房、VIP注射后等候室、注射后等候室、留观室周围辐射剂量率, ^{131}I 来计算服药室周围辐射剂量率, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 来计算SPECT/CT周围辐射剂量率。

^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药品为直接购入分装好的成品药物，药物外面采取了40mmPb进行屏蔽，无需分装。

2、 ^{18}F 辐射水平预测

由《核医学放射防护要求》GBZ120-2020查出混凝土对 ^{18}F 的十分之一值层为176mm，铅对 ^{18}F 的十分之一值层为16.6mm。

(1) 分装注射室

^{18}F 药品为直接购入分装好的成品药物，无需分装。患者单次最大注射 ^{18}F 为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ （15mCi），且注射时一次只允许一人注射，因此分装注射室外墙和门受影响的主要是拿出 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{18}F 药物过程中的辐射（工作人员应穿戴铅衣、铅手套、铅帽等个人防护用品）。

(2) PET/CT 诊断工作场所外 ^{18}F 产生的 γ 辐射剂量率

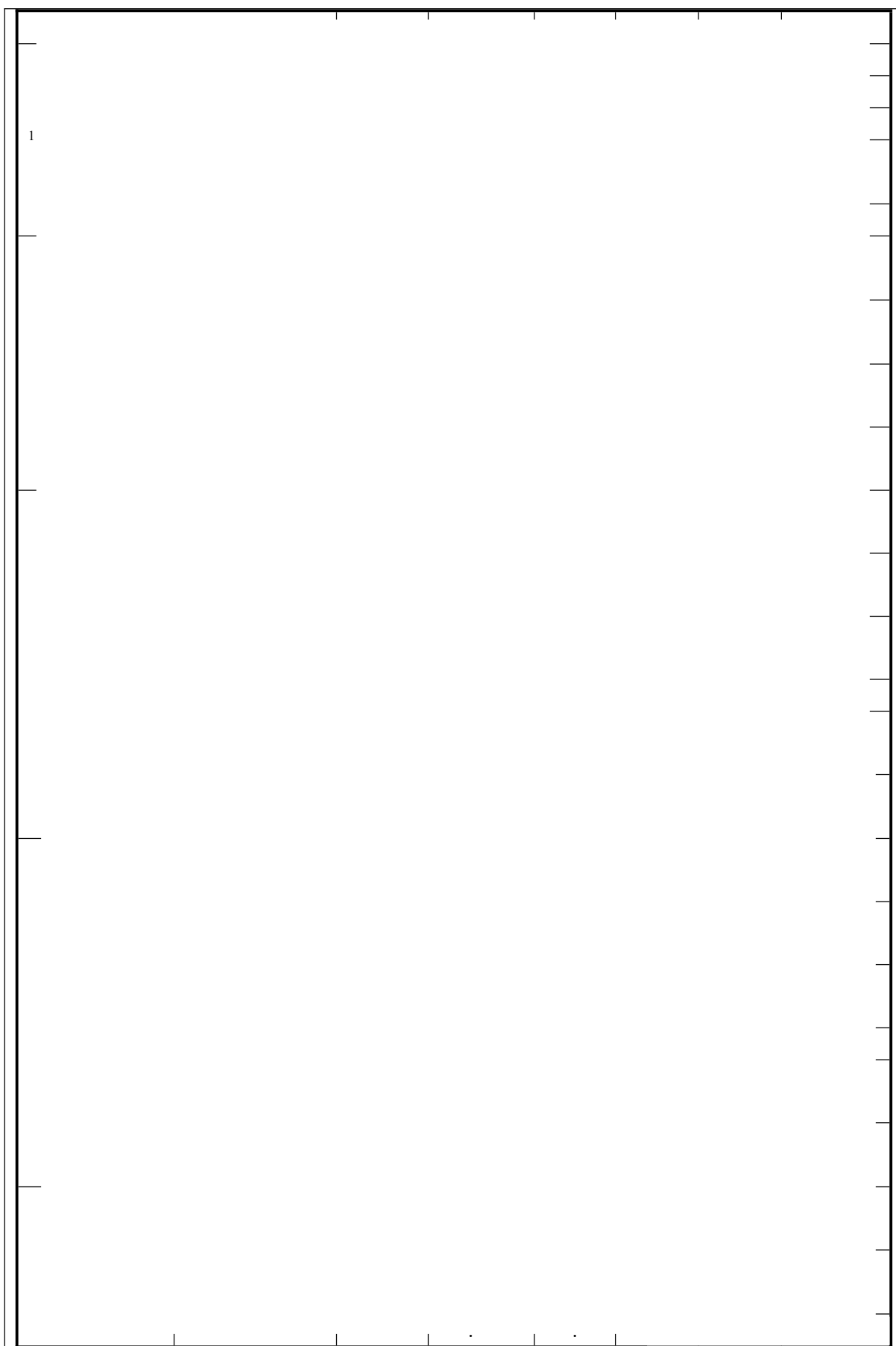
①患者单次最大注射 ^{18}F 为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ （15mCi），药物购买成品，因此分装室外墙和门受影响的主要是拿出 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{18}F 药物过程中的辐射影响； ^{18}F 注射室一次只允许一人注射，因此注射室外墙和门受影响的主要是拿出 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{18}F 药物过程中的辐射（工作人员应穿戴铅衣、铅手套、铅帽等个人防护用品）。

②根据医院提供资料，设两间注射后候诊室，每个房间最多3人同时候诊，则源强总活度 $1.665 \times 10^9 \text{Bq}$ （45mCi），环评建议候诊病人之间用8mm铅当量铅屏风进行间隔，防止用药病人之间交叉照射。

③患者注射15mCi ^{18}F 后在注射后候诊室停留40-60分钟，然后进入PET/CT扫描室。

④受检者注射 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ （15mCi） ^{18}F 药物后，等待60分钟后进入PET/CT 机房扫描，然后进入留观室停留约15-30分钟，按留观30分钟考虑，无异常即可离开。根据式11-2计算可以得出，进入留观室时患者体内核素衰变至10mCi，根据建设单位提供资料，留观室内最多同时停留3名受检者，则源强取30mCi。根据式11-1，PCT/CT 诊断工作场所各房间室外 γ 空气吸收剂量率预测结果见下表：

表11-2 ^{18}F 工作场所科各房间屏蔽体厚度计算结果



由表11-2可知， ^{18}F 注射服药室外30cm处剂量率最大值为 $6.67\mu\text{Sv/h}$ ，满足控制区

内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h的要求，其余房间外30cm处剂量率均小于2.5μSv/h。

3、^{99m}Tc辐射水平预测

本评价按^{99m}Tc显像患者单次最大服用^{99m}Tc7.4×10⁸Bq（20mCi）进行预测。由《核医学放射防护要求》GBZ120-2020查出混凝土对^{99m}Tc的十分之一值层为 110mm，铅对^{99m}Tc的十分之一值层为1mm。

受检者注射7.4×10⁸Bq（20mCi）^{99m}Tc药物后，等待2-3小时后进入SPECT/CT 机房扫描。

表 11-3 ^{99m}Tc 工作场所各房间屏蔽体外剂量估算结果

关注点	计算参数					计算结果
	A (MBq)	f μSv·m2/ (MBq·h)	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	H (μSv/h)
SP						

由表11-3可知，^{99m}Tc工作场所各房间外30cm处剂量率均小于2.5μSv/h。

4、¹³¹I治疗过程辐射水平预测

本评价按甲亢患者单次最大服用¹³¹I 3.7×10⁸Bq（10mCi）进行预测。由《核医学放射防护要求》GBZ120-2020查出混凝土对¹³¹I的十分之一值层为 170mm，铅对¹³¹I的十分之一值层为11mm。

（1）¹³¹I 工作场所产生的γ辐射剂量率

医院拟采用全自动分装仪对甲亢病人服用的¹³¹I进行分装，分装仪置于分装室内。使用时，工作人员将存有原液的铅罐置于碘全自动分装仪内，铅罐的屏蔽能力为40mmPb。服药室与分装室之间通过铅玻璃窗和对讲装置，全过程进行严格监控监督。在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。分装时在40mmPb的铅罐屏蔽下，分装仪外距药物 1m 处剂量率为0.10μGy/h，服药室一次只允许一人服

药，因此，使用¹³¹I核素时，服药室外墙和门受影响的主要是服用 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ 药物过程中的辐射。

表 11-4 ¹³¹I 工作场所各房间屏蔽体外剂量估算结果

关注点	计算参数					计算结果
	$\frac{A}{(\text{MBq})}$	$\frac{f}{\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})}$	$\frac{R}{(\text{m})}$	$\frac{x}{(\text{mm})}$	$\frac{\text{TVL}}{(\text{mm})}$	$\frac{H}{(\mu\text{Sv/h})}$
服						
留						

由表 11-4 可知，¹³¹I 铅罐外 1m 处剂量率小于 0.1μSv/h，储源间有墙体防护，且核素距储源间外 30cm 处距离最近距离大于 1m。则储源间外 30cm 处剂量率应小于 0.1μSv/h，低于 2.5μGy/h 剂量率控制目标。

由上表 11-2、表 11-3、表 11-4 计算结果可看出，核医学科工作场所各功能用房墙体、天花板、防护门均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的相关要求，环评要求医院加强管理，每次工作完后服药室和留观室要及时进行清理去污，并进行表面污染检测。

4、⁹⁰Sr敷贴治疗辐射环境影响预测

（1）⁹⁰Sr-⁹⁰Y敷贴器导致韧致辐射产生的γ空气吸收剂量率

将相关参数代入公式11-3计算，则⁹⁰Sr敷贴器导致韧致辐射产生的γ空气吸收剂

量率预测结果见表11-5。

表 11-5 不同距离 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器 γ 空气吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

核素 \ 距离	0.5m	1m	2m	3m
^{90}Sr - ^{90}Y (40mCi)	3.90	0.98	0.24	0.11

由上表可知，按敷贴器最大活度计算，在裸源状态下，距离敷贴器 1m 处 γ 辐射剂量率为 $0.98\mu\text{Sv/h}$ ，2m处 γ 辐射剂量率降至 $0.24\mu\text{Sv/h}$ ，对周围环境已没有显著影响。

(2) 敷贴室外 ^{90}Sr - ^{90}Y 产生的 γ 辐射剂量率

在无防护状态下，40mCi ^{90}Sr - ^{90}Y 裸源周围1m处的 γ 辐射剂量率为 $0.98\mu\text{Sv/h}$ ，敷贴过程中，敷贴室实体屏蔽外表面及防护门外表面距离放射源均大于1m，且敷贴室墙为200mm烧结多孔砖+6mmPb辐射防护板，因此，敷贴室外30cm处 γ 辐射剂量率均低于 $0.98\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。储源状态下 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器储存在铅罐中，另有敷贴室屏蔽，则敷贴室外30cm处剂量率应小于 $0.98\mu\text{Gy/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标，对周围环境影响较小。

1.3、放射性废物产生及排放情况

1、放射性废气

放射性气体流向：核医学科设置了独立的送风系统。准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，通过风量的控制，确保气流从低活区到高活区排出，排气口加装活性炭过滤装置。废气通过专用管道在医技楼负一楼与控制区、双联通风橱废气汇入一根排气管引至医技楼楼顶。

^{131}I 采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为40mmPb，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于 0.5m/s 。

2、放射性废水

根据医院提供的资料， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 停留时间较长，平均每位显像患者按每人产生5L放射性废水计算， ^{18}F 显像患者就诊疗人数为2880人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像患者就诊疗人数为4320人，则 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 骨扫描患者废水产生量分别为 $14.4\text{m}^3/\text{a}$ 、 $21.6\text{m}^3/\text{a}$ 。 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 医生产生的洗手废水按5L/次，全年工作288次，则 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 医生全年洗手废水量为

1.44m³。

医院在甲亢病人服药前会采取相应的措施来减少服药后的反应，且甲亢患者在服用¹³¹I药物前被要求先排尿，因此患者服药后在核医学科排泄的可能性较小，医院配备了专用洗手间，按10%的甲亢患者（264人）服药后需在医院排泄考虑，每人产生5L放射性废水计算，则甲亢留观病人年产生含¹³¹I的放射性废水为1.32m³/a。

¹³¹I甲亢治疗室采用自动分装仪，医生无需手动分装，因此医生洗手废水按5L/次，全年工作264次，则医生全年废水量为1.32m³。核医学科全年清洁废水约为8m³

综上所述，核医学科年产生废水量为48.08m³。所有放射性废水通过专用管道进入核医学科南侧的衰变罐，由衰变罐停留后排入医院污水处理总站作进一步处理后外排。根据医院提供资料，衰变罐采用三级槽式衰变，总容积设计为45m³，衰变罐处于衰变间内，衰变间四周墙体采用300mm混凝土，防护门10mmPb，在每个衰变池设置取样口，单个分池可容纳约115天的废水量。本项目¹⁸F、^{99m}Tc进入废水的量不超过核素用量的10%进行估算，¹³¹I（甲亢）入废水的量不超过核素用量的10%进行估算，核素的半衰期按¹³¹I核素的半衰期来估算，则放射性废水中核素含量见下表11-6。

表 11-6 放射性废水中核素排放浓度表

核素名称	半衰期	年最大用量（Bq）	年收集的废水中核素含量（Bq）	1 天收集的废水中核素含量（Bq）	115 天收集的废水中核素含量（不考虑衰变）（Bq）	230 天后排放的废水中核素含量（Bq）	排放浓度 Bq/L
9							4

由表 11-5 可知，经衰变后废水排放浓度为 4.78E-04Bq，满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中综合医疗机构水污染物总β排放标限值 10Bq/L。

3、放射性废物环境影响分析

(1) ^{99m}Tc 诊断、 ^{18}F 诊断、 ^{131}I 治疗、 ^{89}Sr 治疗产生的放射性固体废物

在正常运行情况下， ^{99m}Tc 诊断、 ^{18}F 诊断、 ^{131}I 治疗、 ^{89}Sr 治疗产生的放射性固体废物主要是被核素污染的注射器、针头、手套、药棉、纱布、一次性纸杯等，根据医院提供的资料， ^{99m}Tc 诊断年就诊患者 4320 名、 ^{18}F 诊断年就诊患者 2880 名，按每名患者产生废物 30g 计，则 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 患者废物产生量分别为 130kg/a、87kg/a、拟设置 2 个衰变箱（3mmPb 当量）用于 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 放射性固体废物的储存，要求单个衰变箱可满足 30 天的放射性固废产生量。

^{131}I 甲亢治疗年就诊患者共计 2640 名，按每名患者产生废物 30g 计，则废物产生量为 80kg/a。拟设置 2 个衰变箱（8mmPb 当量）用于含 ^{131}I 放射性固体废物的储存，衰变箱轮流使用，要求单个衰变箱可满足 20 天的放射性固废产生量。

^{89}Sr 治疗年就诊患者共计 10 名，按每名患者产生废物 30g 计，则废物产生量为 0.3kg/a。拟设置 1 个衰变箱用于含 ^{89}Sr 放射性固体废物的储存。

进入固废的核素约为 1%，放射性废物中核素活度浓度见下表 11-7。

表 11-7 放射性固废中核素活度浓度一览表

项目	单位	F-18	Tc-99m	I-131	Sr-89
单人					
单人					
单人					
产生					
存放					
存放					
清					
(GB					

由表 11-7 可知，含 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 的放射性固体废物分别置于废物衰变箱存放 1 天、3 天、80 天、100 天后，废物中核素活度可以达到(GB18871-2002)中清洁解控水平推荐值。

(2) 更换下来的废活性炭

核医学科废气须经活性炭吸附后排放，6-10 个月更换一次，更换的废活性炭放在专用的固体废物衰变箱内衰变，核素活度低于 $1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ 后作为一般医疗废物处理。

2、DSA

2.1 辐射屏蔽设计与评价

新增 DSA 机房屏蔽设计情况见表 11-8：

表 11-8 DSA 机房屏蔽设计情况

机房名称		面积 m^2	最小单边长度 m	墙体厚度	天花板厚度	地板厚度	防护门铅当量 (mm)	观察窗铅当量 (mm)
位置	机房							
医技楼 1 楼	DSA 一室	68.28	7.94	200mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板，折算为 5.3mmPb	190mm 钢筋混凝土 +3mmPb 辐射防护板，折算为 5.2mmPb	190mm 钢筋混凝土 +1mmPb 辐射防护板，折算为 3.2mmPb	3mmPb	3mmPb
医技楼 1 楼	DSA 二室	69.08	7.94	200mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板，折算为 5.3mmPb	190mm 钢筋混凝土 +3mmPb 辐射防护板，折算为 5.2mmPb	190mm 钢筋混凝土 +1mmPb 辐射防护板，折算为 3.2mmPb	3mmPb	3mmPb
GBZ130-2020 中规定的屏蔽体要求		20	3.5	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb
是否满足要求		是	是	是	是	是	是	是

备注：DSA 机房尺寸要求参照单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）机房标准。

根据表 11-8 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《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相应要求。

2.2 机房防护能力分析

为了全面了解医院新增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面积较小的 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胸科医院 DSA 进行类比分析（数据来源 增 DSA 项目竣工环境保护验收监测报告》。类比条件见表 11-9，监测结果见表 11-10：

表 11-9 DSA 类比项目一览表

条件	DSA 一室	
设备型号	/	

最大管电压		125kV
最大管电流		1000mA
面积		68.28
屏蔽防护措施	机房顶板	190mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板, 折算为 5.3mmPb
	机房底部	190mm 钢筋混凝土+1mmPb 辐射防护板, 折算为 3.2mmPb
	四周墙体	200mm 钢筋混凝土+3mmPb 辐射防护板, 折算为 5.2mmPb
	防护门	3mmPb
	观察窗	3mmPb

表 11-10 DSA 机房辐射环境类比监测数据一览表

检测点位	点位描述	关机值 (μSv/h)	开机值 (μSv/h)	开机值 (μSv/h)			
			曝光	透视			
1#	操作间防护门外表面 30cm 处						
2#							
3#							
4#							
5#							
6#	西屏蔽墙外表面 30cm 处（						
7#	操作位						
8#	导线孔						
9#	北屏蔽墙外表面 30cm 处（						
10#	北屏蔽墙外表面 30cm 处（男						
11#	观察窗外表面 30cm 处						
12#							
13#							
14#							
15#							
16#	北屏蔽墙外表面 30cm 处（						
17#	设备间防护门外表面 30cm 处						
18#							
19#							
20#							
21#							
22#	西屏蔽墙外表面 30cm 处（病						
23#	患者防护门外表面 30cm 处						
24#							
25#							
26#							
27#							
28#	南屏蔽墙外表面 30cm 处（						
29#	南侧防护门外表面 30cm 处						
30#							

31#		下	
32#		左	
33#		右	
34#	东屏蔽墙外表面 30cm 处		
35#	机房正上方（血液室）		
36#	机房正上方（配血操作间）		
37#	机房正下方（停车场）		
38#	第一术者位眼部	铅屏风屏蔽	
		铅屏风+铅衣屏蔽	
39#	第一术者位胸部	铅屏风屏蔽	
		铅屏风+铅衣屏蔽	
40#	第一术者位腹部	铅屏风屏蔽	
		铅屏风+铅衣屏蔽	
检测条件：曝光			

由表 11-10 的监测结果可知，湖南省胸科医院 DSA 机房屏蔽墙（门、窗）外的剂量当量率在（0.06~0.09） $\mu\text{Sv/h}$ 之间，DSA 运行时对周围环境的影响满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

本项目拟增的 DSA 的最大管电压、最大管电流与类比项目相同，且采取的辐射防护措施基本相当，可以满足 GBZ130-2020 的相关要求，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。

二、工作人员和公众剂量估算及评价

1、剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$He = Dr \times t \times 10^{-3} \times 0.7 \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

He —— X、 γ 射线外照射人均年有效剂量当量， mSv/a ；

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

t —— X、 γ 射线照射时间， h/a 。

2、职业工作人员年附加有效剂量估算

（1）核医学科所致剂量估算

1）职业工作人员

① ^{18}F 取药、注射过程工作人员所受年附加有效剂量

按 ^{18}F 每日最大操作量 $2.22 \times 10^{10}\text{Bq}$ （600mCi），每人最大注射量 $5.55 \times 10^8\text{Bq}$ （15mCi）进行预测。注射时，工作人员穿戴 0.5mmPb 防护衣，注射器防护为10mmPb，

通过20mmPb注射窗口给病人注射，药物距离手部约5cm，距离身体约为 50cm。取药需0.5min，给病人注射 ^{18}F 针剂 1 min，PET/CT 技术人员摆位时与病人之间的距离为1m，病人注射 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ （15mCi）药物后1m处剂量率为 $74.05 \mu\text{Gy/h}$ （偏安全考虑，不考虑药物的衰变），摆位约需 2min，按10%（288人）的患者进行估算，医院拟安排1名医务人员负责 ^{18}F 药物取药、注射，由1名技术人员负责摆位，根据公式 11-1、11-3，可得取药、注射和摆位过程中每名工作人员工作位剂量率如下表所示：

表11-11 使用 ^{18}F 进行扫描过程工作人员所受年附加有效剂量估算表

核素活度	考察点	考察部位	防护措施	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
5.						—
5.						—
5.						—

由上表可知， ^{18}F 药物取药、注射由一个人完成时，护士手部所受年附加有效剂量为 570.96mSv ，身体所受年附加有效剂量为 1.33mSv ，本项目配备两名护士负责 ^{18}F 药物的注射，因此，每名护士手部所受年附加有效剂量为 285.48mSv ，身体所受年附加有效剂量为 0.665mSv ，摆位由一个人完成，身体所受年附加有效剂量为 0.71mSv 。

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 取药、注射过程工作人员所受年附加有效剂量

按 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 每日最大操作量 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ （600mCi），每人最大注射量 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi）进行预测。注射时，工作人员穿戴 0.5mmPb防护衣，注射器防护为10mmPb，通过20mmPb注射窗口给病人注射，药物距离手部约5cm，距离身体约为 50cm。取药需0.5min，给病人注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂 1 min，SPECT/CT 技术人员摆位时与病人之间的距离为1m，病人注射 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi）药物后1m处剂量率为 $7.09 \mu\text{Gy/h}$ （偏安全考虑，不考虑药物的衰变），摆位约需 2min，按10%（792人）的患者进行估算，医院拟安排1名医务人员负责 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物取药、注射，由1名技术人员负责摆位，根据公式 11-1、11-3，可得取药、注射和摆位过程中每名工作人员工作位剂量率如下表所示：

表11-12 使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行扫描过程工作人员所受年附加有效剂量估算表

核素活度	考察点	考察部位	防护措施	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)

			10mmPb			
7.						
7.						

由上表可知，采取相应的防护措施后，^{99m}Tc药物取药、注射由一个人完成时，医生手部所受年附加有效剂量为1.77E-06mSv，身体所受年附加有效剂量为5.62E-19mSv，摆位由一个人完成时，身体所受年附加有效剂量为0.187mSv。

③¹³¹I治疗工作人员所受年附加有效剂量

治疗甲亢的药物采取自动分碘仪进行分装，因此工作人员近距离接触药物的过程为将铅罐从储源间转移至分装仪的过程和打开铅罐时的瞬间。本项目甲亢药物放药每次操作2min，年操作264次，则接触时间为12.13h。打开铅罐操作5s，年操作264次，接触时间为 0.37h。医院拟安排一名医务人员负责分装、放药，根据式 11-1、11-3可得放药、施药过程工作人员工作位剂量率如下表所示：

表11-13 ¹³¹I甲亢药物放药过程工作人员所受年附加有效剂量估算表

核素活度	考察部位	防护措施	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)	年工作 时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
3.7×						

根据医院安排，¹³¹I甲亢放药全过程手部所受附加有效剂量为295.66mSv/a，身体所受附加有效剂量为2.95mSv/a。

④⁹⁰Sr敷贴治疗所受年附加有效剂量

医生在取送⁹⁰Sr敷贴器过程中穿0.5mm铅当量铅衣，带铅手套、敷贴器距离手部约为10cm，距离身体约为50cm，治疗时，工作人员打开铅罐，持手柄取出敷贴器放在患处，治疗完毕，工作人员将放射源放回铅罐，将铅罐放回贮源箱中。一次近距离

操作时间最多为 2min，敷贴治疗项目每年接诊病人约240人次，则以上工作由一名医务人员完成时，该名医务人员全年近距离接触源的时间为8h。

表11-14 ^{90}Sr 敷贴器取送、敷贴过程工作人员所受年附加有效剂量估算表

考察部位	防护措施	距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时 间 (h)	年有效剂量(mSv)
取 贴					
取 贴					

2) 公众年附加有效剂量估算

医院核医学科位于地下负一层，医院对核医学科实行严格管理，使公众成员不会到达控制区，病人有专门的出入通道，因此公众成员在该院内受到的照射较小，本项目取核医学科工作场所外公众人员可达处辐射水平最大 $2.31\mu\text{Sv/h}$ 来估算场所周围公众人员所受剂量。本项目年工作日最大为 264 天，每天按 6h 有人计算，核医学科南侧为停车场，公众成员停留因子取 1/40，则经过核医学科周围的公众成员年有效剂量为 0.09mSv ，低于本项目管理目标值 0.1mSv/a 。

3) 结果评价

综合以上的计算结果分析，在安排足够的医务人员，并穿戴相关防护用品后，核医学科医务人员手指所受到年有效剂量最大值为 285.48mSv ，低于四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量限值 500mSv ，医务人员身体所受到的年有效剂量最大值为 2.95mSv ，低于本项目年有效剂量管理目标值 4mSv 。公众人员所受到的年有效剂量为 0.09mSv ，低于本项目年有效剂量管理目标值 0.1mSv 。因此，本项目放射工作人员和公众受照剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定限值要求，也符合本报告提出的年有效剂量管理目标值的要求。

(2) DSA

依据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中对外照射分量计算的公式：

$$E = \alpha H_{\text{r}} + \beta H_0$$

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 $H_p(10)$ ，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_0 ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

介入医生的年有效剂量由铅衣内铅衣外两个剂量值进行计算，本项目放射工作人员及公众外照射人均年有效剂量核算结果见表 11-5。

本项目辐射工作人员 Dr 采用表 11-10 中最大值 0.16 μ Sv/h，每台 DSA 的年照射时间为 800 h。

本项目 X 射线产生的外照射人均年有效剂量计算参数和计算结果见表 11-15：

表 11-15 外照射人均年有效剂量计算一览表

人员类别	检测值	计算参数			计算结果	标准值 (mSv/a)
		Dr (μ Sv/h)	t (h/a)	T	年有效剂量 (mSv/a)	
介入医生 (有甲状腺屏蔽时)	—					
介入医生 (无甲状腺屏蔽时)	—					
控制室工作人员	—					
公众成员	—					

通过上表计算可知，介入医生所受到的附加年有效剂量最大值为 0.49mSv，未超出本项目附加年有效剂量管理目标 4mSv，控制室工作人员年附加有效剂量约为 0.048mSv，低于管理目标值 2mSv；公众成员年附加有效剂量最大值约为 0.018mSv，低于管理目标值 0.1mSv。

事故影响分析

一、本项目可能发生的辐射事故

1、核医学科工作场所

1) 工作人员尚未撤离 SPECT/CT、PET/CT 机房时误开机，对工作人员产生不必要的照射。

2) 由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。

3) ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 等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。

4) 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。

5) SPECT/CT、PET/CT 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

8) ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 等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。吃

2、DSA

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

2) 在射线装置出束时人员误入机房受到辐射照射。

3) 检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

二、预防措施

1、核医学科辐射事故防范措施

(1) 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。

(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，

(4) 做好 SPECT/CT 设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(5) 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，并对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。

(6) 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，放射性废水达到排放标准，放射性固体废物达到清洁解控水平后方可做普通医疗废物处理。

2、DSA

(1) 按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在警示灯失效的情况下违规操作，医院做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

(2) 撤离机房时清点人数，必须按程序对机房进行全视角搜寻，对滞留机房内的无关人员劝离。

(3) 必须加强对辐射工作人员防护知识培训，提高防护技能，辐射工作人员上岗操作前，应佩戴好个人剂量计。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，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。严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 严格执行设备的维修保养制度。

三、应急方案的启动

a. 一旦发生辐射事故，即时启动《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。

b.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。

c.各应急救助物质应准备充分、调配及时。

d.发生事故后应在2 小时内报告生态环境部门。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全领导小组

为保证建设项目建设期和运营期辐射防护措施落实情况，医院成立了以院长为组长的辐射安全管理工作领导小组，负责全院的辐射安全管理、培训、检查、防护设施巡查的管理工作（见附件 13）。

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。

从医院目前配置的辐射领导小组人员信息看，专兼职人员均为本科以上学历，有一定的管理能力。本项目开展后，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

2、辐射工作人员的配置及培训情况

医院现有辐射工作人员 96 名，本项目所需放射工作人员从医院现有放射工作人员中间调配，不新增放射工作人员，现有放射工作人员中有 83 名工作人员参加了辐射安全与防护知识培训，并取得了合格证书，医院应加强管理，安排未参加培训人员参加培训，安排培训到期人员参加复训，仅从事Ⅲ类射线装置使用的辐射工作人员医院自行组织考核。取得培训合格证的人员，应按要求参加复训（每 5 年复训一次）。

12.2 辐射安全管理规章制度

为保障放射性同位素及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，医院应根据医院设备投入配置计划及运营实际情况，针对辐射设备情况和预期工作情况制定以下规章制度，具体制度有：

- 1、核医学科放射防护管理制度
- 2、核医学科放射性药品管理制度
- 3、放射性核素的订购、领限、保管、使用制度
- 4、辐射事故预防措施及应急处理预案
- 5、DSA 操作规程

以上管理制度见附件 3-附件 7，医院现有管理制度基本能满足目前的辐射工作，医院需补充制订放射性工作人员上岗前、在岗期间、离岗时健康体检制度，放射工作人员个人剂量检测制度、档案管理制度、医院日常监测制度、核素操作规程。

医院在今后开展放射性工作时，及时更新辐射事故应急预案，并从以下几个方面加强管理：

1、医院应制定放射性核素管理办法，放射性核素的储存由专人负责，储源、分装室安装防盗门，设置监控系统，实行双人双锁管理、设置辐射警示标示。项目开展后，医院必须严格执行放射性核素出入库登记制度，建立核素使用管理账目，内容包括：编号、数目、购药日期、到科日期、使用时间，并认真做好每一批核素的采购、使用情况。

2、医院加强对核医学科工作场所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并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门，经环境保护主管部门检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

12.3 辐射环境管理要求

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。为此，提出如下辐射环境管理要求：

- (1) 依据《中华人民共和国放射性污染防治法》第二十八条和《放射性同位素

与射线装置安全和防护条例》的规定，该医院必须向生态环境部门申请办理辐射安全许可证等相关手续。

（2）医院辐射工作人员必须定期经过辐射工作安全防护培训，培训合格并取得辐射工作安全防护培训合格证方可上岗；操作人员必须遵守各项操作规程，检查仪器安全并做好当班记录，严格执行交接班制度，发现异常及时处理。

（3）发生放射性物质丢失、被盗、火灾和放射性污染事故时，应在第一时间内向当地政府、生态环境部门、公安部门报告。

（4）各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；核医学科工作场所必须有电离辐射警告标志，警告标志的张贴应规范。

（5）每年应至少进行一次辐射环境监测，建立监测技术档案，医院工作人员应持证上岗，定期进行辐射防护知识和法规知识的培训 and 安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对个人剂量超过或接近管理目标的辐射工作人员应暂离岗位，并在今后的工作中增加监测频率。对辐射工作人员每两年进行健康体检并形成制度。进入机房的工作人员佩带个人剂量计，记录个人所受的射线剂量。

（6）根据实际情况及时更新事故状态下的应急处理预案，其内容包括事故的报告，事故区域的封闭，事故的调查和处理及工作人员的受照剂量估算和医学处理等。

（7）对医院辐射安全和防护状况进行年度评估，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。

（8）建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测，应委托有相应资质的辐射环境监测机构进行。

（9）按照《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令）第十二条规定，建设项目的规模发生变化，或者建设项目环境影响报告书自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设的，其环境影响报告文件应重新编制，报批。

12.4 辐射监测

1、原有辐射监测执行情况

（1）个人剂量监测

医院为每名放射性工作人员配备了个人剂量计，放射性工作人员个人剂量监测工作已经委托湖南省职业病防治院，按照每 90 天一个周期进行 1 次监测。

（2）放射性工作人员健康检查

医院建立了放射性工作人员上岗前、在岗期间、离岗时和应急的健康检查制度。按照规定，委托湖南省职业病防治院对医院放射性工作人员进行了健康检查（人员体检报告见附件9），体检结果显示，共计90人参加了体检（体检结果见表1-6），有少部分人员需复查，医院应及时对需复查的工作人员进行了复查，复查合格后方可继续从事放射工作。

（3）个人剂量与个人健康档案

医院为放射性工作人员建立了个人剂量监测档案，由放射工作人员所在部门统一管理，同时建立放射性工作人员个人健康档案。

（4）个人剂量及个人健康检查情况

根据医院提供的最新个人剂量检测报告(部分辐射工作人员个人剂量检测报告见附件10)，各放射性工作人员个人剂量低于相关标准限值要求，无超标情况。但医院现有介入工作人员未按要求每人佩戴两个个人剂量计，环评建议医院加强管理，督促介入工作人员正确佩戴个人剂量计。

2、本项目辐射监测计划

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《职业性外照个人监测规范》（GBZ128-2019）等要求，须对个人剂量、诊疗设备、工作场所进行监测。该院核医学科对环境是一潜在的危险辐射源，必须加强管理，认真做好工作场所的辐射安全防护工作，定期由具有放射性检测资质的单位实施监测。根据医院的实际情况，主要监测内容为电离辐射的监测。

1、辐射工作人员的健康监护及个人剂量监测

按照《放射工作人员健康标准》的规定执行，医院新增的辐射工作人员确定后，医院应为辐射工作人员建立个人健康档案，档案中详细记录历次医学检查的结构及其评价处理意见，并妥善长期保存。

医院应建立放射性工作人员上岗前、在岗期间、离岗时和应急的健康检查制度。按照规定，对新增医务人员进行上岗前健康体检，经体检合格并取得辐射安全培训合格证后才能上岗，以保证新建项目的正常进行，以后每两年对医院放射性工作人员进行了一次健康检查。

医院应为每名工作人员配置个人剂量计，定期组织工作人员进行个人剂量监测，

发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。医院还应安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当永久保存。医院应对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。个人照射累积剂量每90天为一监测周期，如发现异常可加密监测频率。

2、工作场所内外环境监测

① 验收监测

项目投入使用后，应委托有资质的单位进行验收监测。若发现问题，及时整改，直到合格为止。

② 常规监测

监测频率：每年委托有资质的单位监测一次，核医学科在购进药物前后、核素或放射源操作前后均做表面污染监测，应急状况随时监测。

监测位置：核医学科工作场所墙外、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、相关容器表面的表面污染检测。

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生态环境部门。医院自行的日常监测要求如下表 12-1 所示。

3、防护性能监测

在设备初次投入使用或大修及更换关键组件时，需要委托有资质的单位进行设备防护性能检测，以保证符合有关标准的要求。在使用过程中，需要委托有资质的单位进行状态检测，检测频度为每年不少一次。

表 12-1 监测计划要求一览表

监测项目/场所	监测（检查）内容	监测频次
个人剂量	X- γ 外照射剂量	每 90 天一次
工作场所	β 表面污染	每年委托监测 1 次，各类核素购入前后、核素或放射源操作前后均自主进

		行 1 次表面污染监测
放射性固体废物	废物中的核素活度浓度	处理前
核医学科各用房、DSA 机房四周及顶棚墙体、防护门外 30cm	X- γ 周围剂量当量率	<u>每年委托监测 1 次，核医学科每个月自主监测 1 次，DSA 每个季度自主监测 1 次</u>
核医学科工作场所	电离辐射标志、电离辐射警告标志	每月自检

12.5 辐射事故应急

1、 辐射事故应急预案

(1) 事故应急培训演习计划

1) 事故应急演练：完善的预案、周到的准备和准确的事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。组织应急演练应注意以下几个方面。

①制定周密的演练方案，明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

②进行合理的人员分工。成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

③做好充分的演练准备，维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。

④开展认真的实战演练，按照事先预定的方案和程序，有条不紊的进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完毕后再进行总结。

⑤做好完整的总结归纳，演练完毕后要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析，并加以改正，成功的经验要继续保持。

2、应急响应准备：包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

①辐射事故应急办公室应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

②定期就辐射事故应急预案、程序和处置措施等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

③根据医院核技术利用情况，可能发生的事故级别，做好事故应急装备的准备工作。主要包括交通、通讯、污染控制盒安全防护等方面的物资和器材，具体见表12-2。

表 12-2 辐射事故应急物资和器材

器材或物资类别	名称及数量	维护保养要求
监测仪器	X-γ射线巡测仪 1 台，个人剂量报警仪 4 台，表面污染仪 1 台	定期开展维护保养和计量检定，保证仪器设备完好

通讯工具	手持对讲机或移动手机若干	定期充电、检查，保证完好
取证工具	数码照相机、摄像机、测距仪等	定期充电、检查，保证完好
警戒设备	电离辐射警告标志、警示灯等	保持干净、完好
人员防护设备	防辐射工作服、防护眼镜、手套（乳胶或纱棉）、口罩	保持干净、完好
消除污染设备	去污染消毒剂、肥皂等、棉签、抹布若干、便于料桶、塑料袋	分类放置、标签清晰、便于取放

2、事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即采取以下措施进行处理，并根据事故情况启动应急预案。主要应急处理措施如下：

①立即撤离有关工作人员，封锁现场，控制事故源，切断一切可能扩大事故范围的环节，防止事故扩大和蔓延；对可能受伤的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人防护措施的情况下组织人员控制事故现场，并根据需要实施医学检查和医学处理。

②发生辐射事故后，根据受照情况，应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在 2 小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查，查找事故原因，做好相关防范措施。

③医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《核与放射事故干预及医学处理原则》（GBZ113-2006）和《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发[2002]133号）进行。

3、应急报告程序

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市生态环境局，并同时向省生态环境厅报告，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：

市公安局电话：110

市生态环境局电话：12369（24小时）

省生态环境厅热线：0731-85698110

医院辐射安全管理办公室（医务科）与院总值班室电话确定后需公布。

12.6、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 12-3 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。	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。
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。	医院已制定人员培训计划，医院已组织大部分放射工作人员参加了辐射安全与防护专业知识培训，拟安排培训到期人员及时参加复训，安排未参加培训的放射工作人员参加辐射安全与防护专业知识培训。
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。	医院设置有药物贮存间，设置防盗门，实行双人双锁管理。
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。	张贴电离辐射标志、电离辐射警告标志，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。	放射工作人员均配备了个人剂量计，医院拟根据环评要求增配个人剂量报警仪、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。	医院已制定辐射防护制度，拟制定培训计划、监测方案等。

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》，并定期演练，并拟根据实际工作需要进行修改完善。
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。

从表 12-3 分析可知，在各项措施落实完成后医院具备从事辐射活动的能力和条件。

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目竣工后，建设单位自主或委托技术机构开展环保竣工验收工作，具体工作见表 12-4。

表 12-4 环境保护验收一览表

序号	验收项目	验收内容	验收标准
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、项目放射工作人员安排到位，并进行相关的技术培训。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、管理人员和新增放射工作人员参加辐射安全知识培训，定期复训。	人员按要求配备到位，并具备相关的技术能力。个人剂量监测，放射人员健康体检按要求执行，所有放射工作人员均参加辐射安全知识培训并取得合格证，并在有效期内。
4	防护用品	防护监测设备和防护用品按报告中表 10-6 要求落实。	防护用品数量、规格满足核医学科、DSA 日常工作需要。
5	辐射屏蔽设计及安全防护措施	1、核医学科各功能用房、DSA 机房屏蔽防护均按环评报告表的要求落实到位 2、核医学科门禁系统按要求设置，防护门上张贴电离辐射警告标志，控制区、监督区标识明确 3、储源室安装防盗门、配监视设备，实行双人双锁管理 4、DSA 机房内不得堆放无关杂物，保持良	1、核医学科注射服药室内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，其他房间屏蔽体外 0.3m 处周围剂量当量率控制目标值 \leq 2.5 μ Sv/h。DSA 机房屏蔽体外 0.3m 处 \leq 2.5 μ Sv/h 2、电离辐射标志、电离辐射警

		好的通风；5、DSA 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并且指示灯工作正常，防护门上均贴辐射警示标识及中文说明 7、射线装置机房设置门灯连锁。	告标志张贴规范，控制区、监督区有明显的分区标识。 3、储源室配防盗门、监视系统，并实行双人双锁管理。
6	辐射监测	1、每年委托有资质的单位对工作场所周围环境进行一次常规监测。 2、医院配备相应的自检设备，仪器需定时进行检定。	1、每年对工作场所周围环境进行检测，检测结果按规范存档。 2、医院定期对核医学科场所进行自检，并记录检测结果。检测仪器需按规定进行检定。
7	剂量限值	1、核医学工作人员年有效剂量 $\leq 4\text{mSv}$ 。 2、DSA 辐射工作人员年有效剂量 $\leq 4\text{mSv}$ 。 3、DSA 操作间工作人员年有效剂量 $\leq 2\text{mSv}$ 。 4、公众成员年有效剂量管理目标值不超过 0.1mSv 。	按规定定期对放射工作人员个人剂量进行检测，由本人签字确认并存档保存。
8	放射性废气	核医学科废气经活性炭吸附后排放，排风口医技楼楼顶。	核医学科排风系统按环评报告表的要求设置
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；衰变池排放口总 β 放射性 $< 10\text{Bq/L}$ 。	三级衰变池按环评报告表要求设置，废水排放需满足排放标准。
10	放射性固体废物	1、配备放射性固体废物箱和固体废物衰变箱； 2、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，经衰变满足清洁解控水平后，按普通医疗废物处置、有废物处理台账。	核医学科配备放射性固体废物箱、衰变箱，放射性固体废物台账齐全

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

长沙市第四医院老院位于长沙市岳麓区麓山路 70 号，为进一步提升医院的医疗技术水平，改善病人医疗诊治条件，长沙市第四医院在长沙市金星北路 4 段 200 号建设滨水新城院区，拟在医技楼一楼介入中心增加 2 台 DSA、负一楼增加 1 处乙级非密封放射性工作场所（计划使用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 分别开展显像、甲亢治疗、骨转移治疗， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器进行皮肤敷贴治疗，新增 1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT（包括 3 枚 ^{68}Ge 校准源）用于扫描）。

2、实践正当性分析

医院放射性同位素的应用和射线装置对受电离辐射照射的个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害(包括健康与非健康危害)，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。

3、产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2019 版）“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”、“第十三项、医药中 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。因此，本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

4、选址可行性及布局合理性分析

（1）选址可行性分析

本项目 DSA 机房以及核医学科位置相对独立且封闭，人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。其选址与布局满足“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，同时，本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，对环境影响小，从环境保护角度分析，项目选址可行。

（2）布局合理性分析

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，布局较为合理，能较好地满足非密封放射性物质工作场所布局要求。本项目射线装置机房布置相对远离周围环境敏感点。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。

5、辐射环境影响评价结论

(1) 核医学科环境影响评价结论

1) 本项目核医学科应用核素 ^{99m}Tc 通过SPECT/CT扫描进行放射诊断， ^{18}F 通过PET/CT扫描进行放射诊断， ^{131}I 进行甲亢治疗， ^{89}Sr 进行骨癌治疗， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器进行皮肤病治疗。

2) 经估算，核医学科工作场所屏蔽墙体、天花板、地板设计厚度均能满足场所外考察点相应的剂量管理目标值。

3) 废水、废气、固废

放射性废水在衰变池停留衰变达到排放标准后，排入医院污水处理系统做进一步处理。

核医学科设置了独立的送风系统。准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，通过风量的控制，确保气流从低活区到高活区排出，排气口加装活性炭过滤装置。

^{131}I 采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为 40mmPb ，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于 0.5m/s 。

放射性固废分类收集后，放入放射性固体废物间衰变满足清洁解控水平经检测后，作普通医疗废物按相关规定处理。

(3) DSA

1) 本项目 DSA 的使用面积和单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

2) 经过分析可得出，DSA机房墙体、天花板、地板、防护门和观察窗防护设计均能满足符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

3) 本项目 DSA 机房采用新风系统, 在机房吊顶上设置排风口, 机房排风量大于 $400\text{m}^3/\text{h}$, 通过管道排放至室外, 能保持机房内通风良好。

综上所述, 项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后, 具备从事相应的辐射工作技术能力, 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, 本次评价认为该项目建设是可行的。

13.2 建议

1、医院应加强内部管理, 明确管理职责, 杜绝各类辐射事故的发生。在新增项目运营以前, 医院应补充制订各项规章制度、操作规程, 并张贴上墙; 所有的放射工作场所均必须有电离辐射警告标志, 警告标志的张贴必须规范。医院辐射防护标识应全面、清晰, 不留死角。

2、在新增项目运营前, 医院应组织新增放射工作人员进行上岗前体检, 培训, 体检、培训合格人员方可从事放射性工作, 辐射防护培训合格者按要求每 5 年进行一次的复训。定期组织放射工作人员到有资质的机构进行职业健康体检, 定期开展个人剂量监测 (每 90 天一次), 完善放射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案, 并终生保存。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。

3、医院应按照本报告表 10-6 要求配备个人防护用品和辅助防护设施。加强对受检者非投照部位的防护, 并对必要的陪护人员进行防护。

4、医院按照《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, 并自购辐射监测设备, 确保周围环境的辐射安全和工作人员健康。

5、医院拆除或更改环境保护设施, 需得到生态环境主管部门批准后方可实施。

6、对医院辐射装置的安全和防护状况进行年度评估, 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。

7、医院在取得本次环评报告批复文件后, 按要求对用房进行建设, 场所达到使用要求后, 向省生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》。

8、项目竣工投入运营后, 建设单位按照相关要求开展环保验收工作。

表 14 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