

编号：GDHL-HP-16-C005

核技术利用建设项目
中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目
环境影响报告表

(报批稿)

中山大学附属第六医院

2016年12月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目 环境影响报告表

建设单位名称：中山大学附属第六医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：广州市天河区员村二横路 26 号

邮政编码：510655

联系人：高敬华

电子邮箱：179703400@qq.com 联系电话：18122329357



建设项目环境影响评价资质证书

机构名称：广东核力工程勘察院
 住 所：广州市花都区滨江大道一号湖景居
 法定代表人：林强
 资质等级：乙级
 证书编号：国环评证 乙字第 2852 号
 有效期：2016年11月20日至2020年11月19日
 评价范围：环境影响报告书乙级类别 — 采掘；输变电及广电通讯***
 环境影响报告表类别 — 一般项目、核与辐射项目***

仅限于 中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目 中使用
 （建设单位：中山大学附属第六医院）



项目名称：中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目

评价单位（盖公章）：广东核力工程勘察院

法人代表（签章）：

环评项目负责人：

编制人员情况				
姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
郑喜胜	高级工程师	B285202310	项目概况、污染源分析	
张腊根	高级工程师	B28520071300	现状调查、环境影响分析、环境保护措施、结论与建议	

表 1 项目基本情况

建设项目名称	中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目				
单位名称	中山大学附属第六医院				
法人代表	兰平	联系人	高敬华	联系电话	18122329357
注册地址	广州市天河区员村二横路 26 号				
建设项目地点	广州市天河区员村二横路 26 号中山大学附属第六医院内				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	1000	项目环保投资 (万元)	100	投资比例(环保 投资/总投资)	10%
建设性质	<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)	/
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 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 type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/				

1.1 核技术应用的目的和任务

1.1.1 建设单位简要情况

中山大学附属第六医院，是一所集医疗、教学、科研、预防和康复保健等为一体的三级甲等综合性医院，是广东省、广州市公费医疗定点医院；还是广东省、广州市、深圳市、东莞市、珠海市、佛山市、惠州市、江门市等城镇职工基本医疗保险定点医院；也是广东省省管新农合定点医院。

中山大学附属第六医院现已使用 DSA、CT、胃肠机等射线装置进行放射诊疗，医院目前持有辐射安全许可证，证号为“粤环辐证[02113]”，见附件 1，种类和范围为“使用 II 类、III 类射线装置”。

1.1.2 项目建设规模

为进一步满足群众就医需求，医院拟对核技术利用项目进行扩建：

1、新购置胃肠机、CT、口腔 X 射线机、牙片机、SPECT-CT（射线装置部分）、PET-CT（射线装置部分）各 1 台，共 6 台 III 类射线装置；

2、使用放射性核素 ^{99m}Tc、¹³¹I、¹⁸F、⁸⁹Sr、³²P 进行核素显像和放射诊疗，各放射性核素总日等效操作量为 3.29×10⁹Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。该工作场所已于

2013 年进行了环境影响评价，并取得了环评批复（粤环审[2014]73 号），但由于医院发展的需要，在设计过程中对该工作场所的平面布局产生了重大变更，因此在未建设前重新进行环境影响评价。

本次评价规模如表 1-1、1-2 所示。

表 1-1 本次评价的射线装置

序号	名称型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	使用地点	台数
1	SPECT-CT	135	345	核医学科（负一层）	1
2	PET-CT	/	/	核医学科（负一层）	1
3	CT	140	500	核医学科（负一层）	1
4	胃肠机	150	800	核医学科（负一层）	1
5	口腔 X 射线机	90	16	放射科（综合大楼负一层）	1
6	牙片机	75	7	口腔科（急诊楼三楼）	1

表 1-2 非密封源工作场所

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	备注
1	¹³¹ I	3.22×10^{10}	3.61×10^{12}	¹³¹ I 核素显像单次最大剂量为 5mCi，日最大人数 4 人，年工作天数约 250 天，年使用人数最多 1000 人次；甲亢治疗单次最大剂量为 25mCi，日最大人数 2 人，年工作天数约 250 天，年使用人数最多 500 人次；甲癌治疗单次最大剂量为 200mCi，每天住院的甲癌患者最多为 4 人，年治疗人数最多 400 人次。
2	¹⁸ F	7.4×10^9	2.22×10^{12}	¹⁸ F 核素显像单次最大剂量为 10mCi，日最大人数为 20 人，年工作天数约为 300 天。年使用人数最多 6000 人次。
3	^{99m} Tc	1.85×10^{10}	5.55×10^{12}	日平均显像 20 人次，单次最大用量为 25mCi，年工作 300 日，年使用人数最多 6000 人次。
4	⁸⁹ Sr	1.85×10^8	1.85×10^{10}	单次最大剂量为 5mCi，每日治疗 1 人次，年工作天数约 100 天，年治疗人数最多 300 人次。
5	³² P	1.85×10^8	2.22×10^9	皮肤疤痕、血管瘤敷贴治疗，单日最大用量 5mCi，年最大治疗人数 200 人，年最大用量 60mCi。

1.1.3 评价目的和任务由来

(1) 评价目的

- a. 对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；
- b. 评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- c. 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门的管理提供依据；
- d. 通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- e. 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(2) 任务由来

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2015年，环境保护部第2号令）规定，使用乙级非密封放射性物质工作场所应该编制环境影响报告表；根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008年，环境保护部第3号令），该报告表应报广东省环境保护厅审批。

受中山大学附属第六医院的委托，广东核力工程勘察院承担该项目的辐射专项环评工作。

1.2 项目概况

1.2.1 项目选址情况

中山大学附属第六医院位于广州市天河区员村二横路26号，地理位置详见图1-1。



图 1-1 医院地理位置图

1.2.2 项目周边保护目标

本项目核医学科、CT、胃肠机位于核医学科（二期综合大楼负一层）；口腔 X 射线机位于综合大楼负一层；牙片机位于急诊楼三层。项目周边保护目标为医院旧急诊楼及周边商住楼。

医院平面布置及四至图见图 1-2。

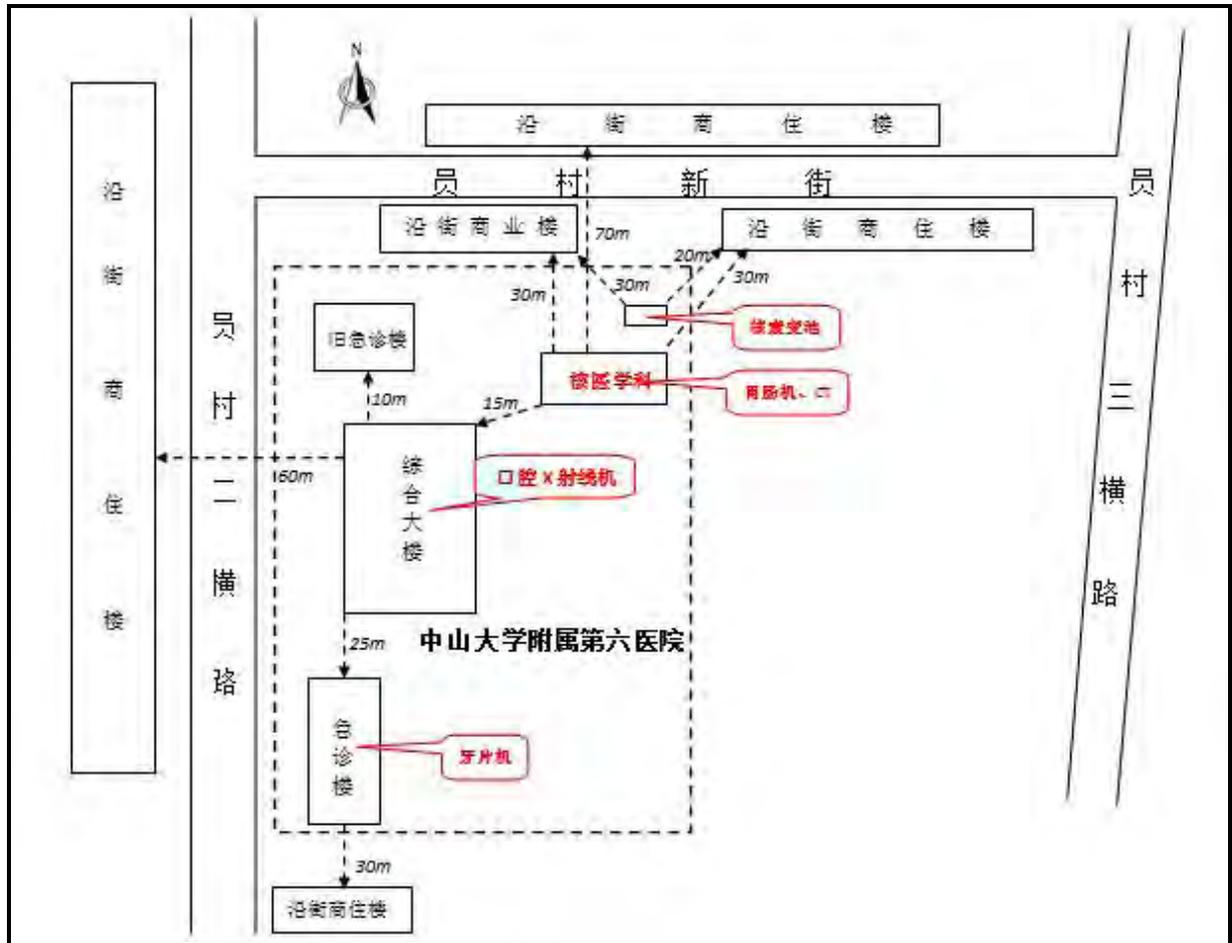


图 1-2 医院平面布置及四至图

1.3 原有核技术利用项目许可项目

2007年11月，中山大学附属第六医院于委托广东核力工程勘察院对使用1台医用II类X射线装置(DSA)、7台III类X射线装置等进行了环境影响评价，并于2008年1月取得了原广东省环境保护局批复(见附件2)。

2009年3月，中山大学附属第六医院取得了辐射安全许可证(粤环辐证[02113])。

2011年4月，中山大学附属第六医院委托有资质的单位对3台III类X射线装置进行环境影响评价，并于2011年10月取得了广州市环境保护局的批复(见附件3)。

2012年，中山大学附属第六医院对已建成的III类射线装置进行竣工环境保护验收监测，并于2012年3月取得了广东省环境保护厅的批复(见附件4)。

2012年9月，中山大学附属第六医院委托广东核力工程勘察院对新增1台医用II类X射线装置(DSA)、8台III类X射线装置进行了环境影响评价，并于2013年9月取得了广东省环境保护厅批复(见附件5)。

2013年，中山大学附属第六医院对已建成的1台II类射线装置、10台III类射线装置进行竣工环境保护验收监测，并于2014年2月取得了广东省环境保护厅的批复(见附件6)。

2013年5月，中山大学附属第六医院委托广东核力工程勘察院对新增使用II类X射线装置(电子直线加速器)、III类X射线装置、乙级非密封放射性物质工作场所进行了环境影响评价，并于2014年4月取得了广东省环境保护厅的批复(见附件7)。

2014年6月，医院延续了辐射安全许可证，但未按2013年环评更新核技术应用规模，辐射安全许可证种类和范围仍为“使用II类、III类射线装置”。

医院原有射线装置许可情况回顾表见表1-3。

表 1-3 医院原有射线装置许可情况回顾

序号	射线装置名称	规格型号	数量	类别	环评批复	验收	辐射安全许可证	使用状态
1	CT 扫描仪	TSX-101A 型	1	III	见附件 2	粤环审[2012]111 号	粤环辐证[02113]	使用
2	摄影系统肠胃机	TU-6000	1	III	见附件 2	粤环审[2012]111 号	粤环辐证[02113]	使用
3	透视摄像系统	Definum6000X	1	III	见附件 2	粤环审[2012]111 号	粤环辐证[02113]	使用
4	日本岛津 X 光机	--	1	III	见附件 2	--	--	未使用
5	500mA 拍片机	--	1	III	见附件 2	--	--	未使用
6	数字血管减影系统	--	1	II	见附件 2	--	--	未使用
7	移动式床旁 X 光拍片机	--	1	III	见附件 2	--	--	未使用
8	口腔全景 X 光机	--	1	III	见附件 2	--	--	未使用
9	移动式床旁 X 光拍片机	MOBILETT PLVS	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
10	数字摄影血管造影系统	Innova3100-IQ	1	II	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
11	64 排 CT	Optima CT660	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
12	320 排 CT	Aquilion ONE TSX-301A	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
13	数字化 X 线摄像系统	Definum6000	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
14	数字化多功能 X 线透视摄像系统	SONIALVISION safire 17	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
15	移动式 C 臂 X 光机	OEC-9900Elite	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
16	体外冲击波碎石机	HB-ESWL-VG	1	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用

17	移动式医用诊断 X 射线机	MUX-10J	2	III	粤环审[2013]278 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
18	小型 C 壁机	BV25gold	1	III	穗环核管[2011]115 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
19	X 光机单片机	登士柏挂墙式 041186	1	III	穗环核管[2011]115 号	粤环审[2014]48 号	粤环辐证[02113]	使用
20	体外冲击波碎石机	HB-ESWL-VG	1	III	穗环核管[2011]115 号	--	--	未使用

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	无							

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	半衰期为 8.04 天；常温下为液态；毒性分组为中毒组	乙级	3.22×10^{10}	3.22×10^9	3.61×10^{12}	核素显像、甲亢治疗、甲状腺治疗	简单	核医学科	核医学科储源间 /分装给药间
2	¹⁸ F	半衰期 1.83h；常温下为液态；毒性分组为低毒组	乙级	7.4×10^9	7.4×10^6	2.22×10^9	核素显像	简单	核医学科	核医学科储源间 /分装给药间
3	^{99m} Tc	半衰期为 6.02 小时；常温下为液态；毒性分组为低毒组	乙级	1.85×10^{10}	1.85×10^7	5.55×10^9	核素显像	简单	核医学科	核医学科储源间 /分装给药间
4	⁸⁹ Sr	半衰期为 50.5 天；常温下为液态；毒性分组为中毒组	乙级	1.85×10^8	1.85×10^7	1.85×10^9	骨癌治疗	简单	核医学科	核医学科储源间 /分装给药间
5	³² P	半衰期为 1.95 天；常温下为液态；毒性分组为中毒组	乙级	1.85×10^8	1.85×10^7	2.22×10^8	皮肤病治疗	简单	核医学科	核医学科储源间 /分装给药间

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

(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	SPECT-CT	III	1	待定	135	345	核素显像	核医学科（二期综合楼负一层）	
2	PET-CT	III	1	待定	待定	待定	核素显像	核医学科（二期综合楼负一层）	
3	CT	III	1	待定	140	500	放射诊断	核医学科（二期综合楼负一层）	
4	胃肠机	III	1	待定	150	800	放射诊断	核医学科（二期综合楼负一层）	
5	口腔 X 射线机	III	1	待定	90	16	放射诊断	放射科（综合大楼负一层，由原先 DR 机 1 号机房的操作室及患者准备间改造而成）	
6	牙片机	III	1	待定	75	7	放射诊断	口腔科（急诊楼三楼）	

(三) 中子发生器，包括种子管，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 (μ A)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度(Bq)	贮存方式	数量	

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	/	/	16.2m ³	197.1m ³	总 α< 1 Bq/L 总 β< 10 Bq/L	核衰变池 暂存	放射性废水满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，放射性废水经检测合格后的排放
放射性废气	气态	/	/	--	2.0×10 ⁶ Bq	--	/	由于二期综合大楼暂未建成，通风橱气流经活性炭过滤装置过滤后，暂通过临时管道抽到旧急诊大楼楼顶排放，二期大楼建成后，废气将被抽到二期综合大楼楼顶排放。
放射性固体废物	固态	/	/	10kg	120kg	--	铅回收桶	放射性固体废物暂存满 10 个半衰期后，其活度低于 GB18871 附录 A 清洁解控水平并经审管部门确认后，可作为普通医疗废物处理。

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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令（第四十八号），2016 年； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 253 号； (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》2015 年环境保护部令第 33 号； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2014 年 7 月 29 日修正； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》国家环保部 3 号令，2008 年 11 月 21 日修正； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》国家环保部令第 18 号； (9) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，国家环保总局第 26 号公告； (10) 《放射源分类办法》（国家环境保护总局公 2005 年第 62 号）； (11) 《广东省未成年人保护条例》，广东省人民代表大会常务委员会，2009 年 1 月。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） (2) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006） (3) 《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013） (4) 《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006） (5) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009） (6) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） (7) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996） (8) 《广东省污水综合排放标准》（DB4426-2001）</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）； (2) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB1215-89）； (3) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

按照 HJ/T10.1-2016《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》的规定“非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、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边界外 50m 的范围”。因此根据本项目的情况，评价范围取项目周围 50m 区域。

保护目标

本项目保护目标为医院旧急诊楼、南边 30 米沿街商住楼、北边 30 米商业楼及东北边 20 米沿街商住楼。

表 7-1 保护目标一览表

名称	规模	方位	最近距离	人口分布情况
旧急诊楼	3 层建筑	医院西北角	10 米	非居民区，无常住人口
沿街商住楼	7 层建筑	南	30 米	约 100 人
沿街商业楼	2 层建筑	北	30 米	为商业楼，无常住人口
沿街商住楼	4 层建筑	东北	20 米	约 100 人

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002

① 剂量限值

表 7-2 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
B1.2 公众照射	B1.2.1 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。

本项目管理目标值：按防护与安全的最优化要求，结合本项目实际情况，取职业照射年平均有效剂量的四分之一作为职业工作人员的年有效剂量管理目标值，即小于5mSv；取公众照射年有效剂量的四分之一作为公众成员的年有效剂量管理目标值，即小于0.25 mSv。

②非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定，非密封源工作场所的分级见表7-3。

表 7-3 非密封源工作场所的分级要求

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 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量的计算：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的日操作量} \times \text{核素毒性修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

③表面放射性污染的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》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 7-6 工作场所的放射性表面沾污控制水平

单位：Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

(2)《临床核医学放射卫生防护标准》GBZ120-2006

(一)临床核医学的工作场所应按照 GB18871 非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应的放射防护措施。

(二)为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为 I、II、III 等三类。

表 7-7 临床核医学工作场所具体分类

类别	操作最大量放射核素的加权活度 MBq
I	>50 000
II	50~50 000
III	<50

注：加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子

表 7-8 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设通风机	特殊要求	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：1) 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。
2) 仅指实验室。
3) 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

(3)《医用放射性废物的卫生防护管理》GBZ133-2009

①液体废物的管理

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

(二)产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后，经审管部门审核准许，可做普通废液处理。含长半衰期核素的废液，应专门收集排放。

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

(四)专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲入化粪池的条件，而且随时保持便池周围的清洁。

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

②固体废物的管理

a.废物的收集

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

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

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

(四)每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg 。

b.废物临时贮存

(一)产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位，经审管部门批准可以将其废物临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限制要求。

(二)贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设置电离辐射警示标志。

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

(四)废物包装体外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(五)应在临时贮存期满前及时把废物送往城市废物贮存库或废物处置单位。

c.废物处理

废物中的核素已知且其活度经审管部门确认或批准，凡放射性核素活度浓度小于或等于清洁解控水平推荐值的放射性废物，按免管废物处理。

(4)《污水综合排放标准》，GB8978-1996

总 β 放射性 $\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ 。

(5)《广东省污水综合排放标准》，DB4426-2001

“6.3 表 1 第一类污染物最高允许排放浓度。

总 α 放射性 $\leq 1\text{Bq}/\text{L}$ ，总 β 放射性 $\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ ”

(6)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

本标准适用于医用诊断 X 射线机的生产和使用。

6.1款 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。

6.2款 每台X射线机（不含移动式 and 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7-9要求。

表7-9 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

- a、双管头或多管头X 射线机的所有管球安装在同一间机房内。
- b、单管头、双管头或多管头X射线机的每个管球各安装在1个房间内。
- c、透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5mA 的 X 射线机。

6.3款 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7-10要求。
- b) 医用诊断X射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录D。

表7-10 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 以上的摄影机房	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射线设备机房	2	2
CT机房	2 (一般工作量) 2.5 (较大工作量)	

(7) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》 GBZ/T180-2006

(一) 一般工作量下的机房屏蔽: 16mm 混凝土 (密度 2.35t/m³) 或 24cm 砖 (密度 1.65t/m³) 或 2mm 铅当量。

(二) 较大工作量时的机房屏蔽: 20mm 混凝土 (密度 2.35t/m³) 或 37cm 砖 (密度 1.65t/m³) 或 2.5mm 铅当量。

(三) CT 机房的出入门和观察窗应与同侧墙具有同等的屏蔽防护。防护窗应略大于窗口, 防止窗与墙接壤缝隙泄露辐射。

(8) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》 (GBZ 165-2012)

第 5 款 机房的防护要求

5.1 CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件, 一般应设在建筑物的一端。

5.2 X 射线 CT 的机房应有足够的使用空间, 面积一般不小于 30m²。机房内不应堆放无关杂物。

5.3 CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度。机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv (相应的周有效剂量小于 5μSv), 距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 <2.5μGy/h。

5.4 X 射线 CT 机房门外应张贴电离辐射警示标志, 并安装工作状态指示灯。

5.5 X 射线 CT 机房应保持良好的通风。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

8.1 监测因子

监测因子为 γ 辐射剂量率。

8.2 监测点位

2015 年 12 月 02 日，我院对中山大学附属第六医院的拟建场址及周边共布设 20 个监测点，监测布点图见下图 8-1~图 8-3，监测报告见附件 22。

根据评审会后的专家意见，我院于 2016 年 11 月 21 日进行了补充监测，共增设监测点 8 个，监测布点图见图 8-4，监测报告见附件 23。

8.3 监测时间及频率

监测时间：2015 年 12 月 02 日；2016 年 11 月 21 日。

监测频率：共 2 次，分别监测 1 期。

8.4 监测方法

《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）

8.5 监测仪器检定

表 8-1 辐射环境本底监测使用仪器

仪器名称	X- γ 剂量率仪
仪器型号	BH3103B
生产厂家	北京核仪器厂
量 程	X- γ : $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-4}$ Gy/h;
检定证书	广东省辐射剂量计量检定站（检定证书编号：GRD(1)字第 20150856 号） 有效期：2015 年 08 月 17 日~2016 年 08 月 16 日 湖南省电离辐射计量站（鉴定证书编号：hnjln2016010-75） 有效期：2016 年 03 月 17 日~2017 年 03 月 16 日

8.6 监测结果

8.6.1 2015 年 12 月 02 日监测结果

表 8-2 核医学科现状监测结果

科室	点位	位置	空气比释动能率(nGy/h)	
			监测值	偏差
核医学科	1#	PET-CT 室	142	3
	2#	SPECT-CT 室	144	4
	3#	PET-CT、SPECT-CT 操作室	144	3
	4#	VIP 休息室	151	3
	5#	PET-CT 休息室	143	2
	6#	SPECT-CT 休息室	140	3
	7#	注射室 1	144	3
	8#	注射室 2	139	4
	9#	储源间/分装给药间	141	2
	10#	甲癌病人抢救室	145	4
	11#	甲癌病房 1	142	3
	12#	甲癌病房 2	143	3
	13#	甲癌病房 3	143	2

表 8-3 放射科现状监测结果

科室	点位	位置	空气比释动能率(nGy/h)	
			监测值	偏差
放射科	14#	胃肠机房	146	2
	15#	胃肠机/CT 操作室	148	2
	16#	CT 机房	151	3
	17#	牙片机房	153	4
	18#	牙片机房操作室	148	3
	19#	口腔 X 射线机房（患者准备间）	149	3
	20#	口腔 X 射线机房操作间	151	3

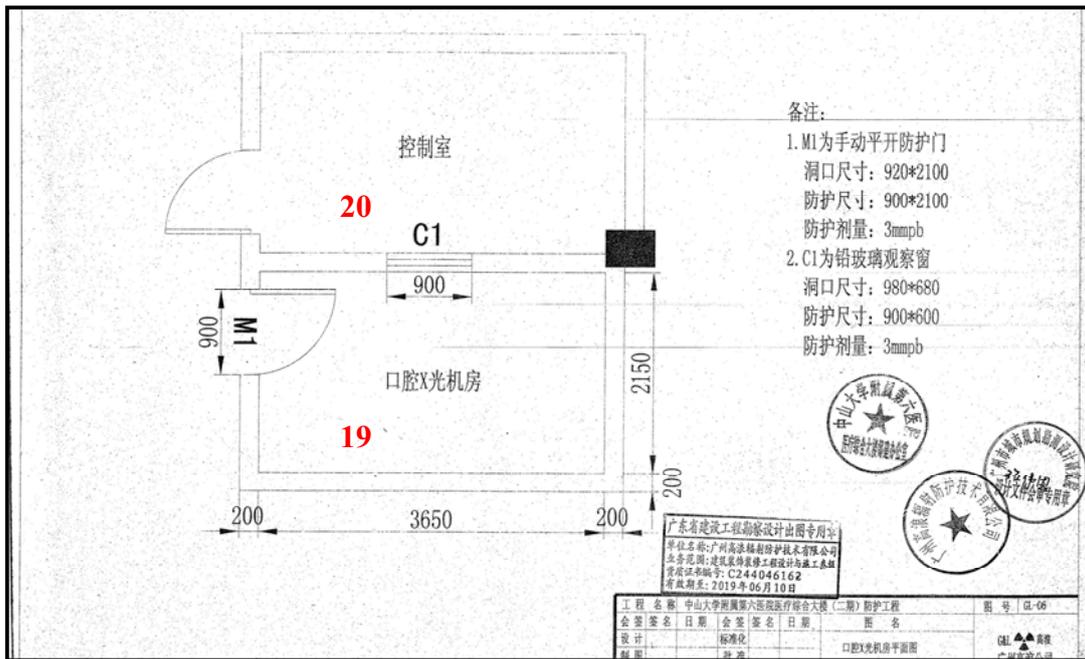


图 8-3 口腔 X 射线机监测布点图

8.6.2 补充监测结果

表 8-4 补充监测点监测结果

布点	位置	空气比释动能率 (nGy/h)	
		监测值	偏差
1#	核医学科楼上(地面平台)	151	4
2#	核医学科楼下(负二层)	157	6
3#	衰变池(地面平台)	155	3
4#	沿街商住楼(东北边)	150	3
5#	沿街商业楼(北边)	148	2
6#	沿街商住楼(北边)	142	3
7#	沿街商住楼(西边)	144	3
8#	沿街商住楼(南边)	146	4

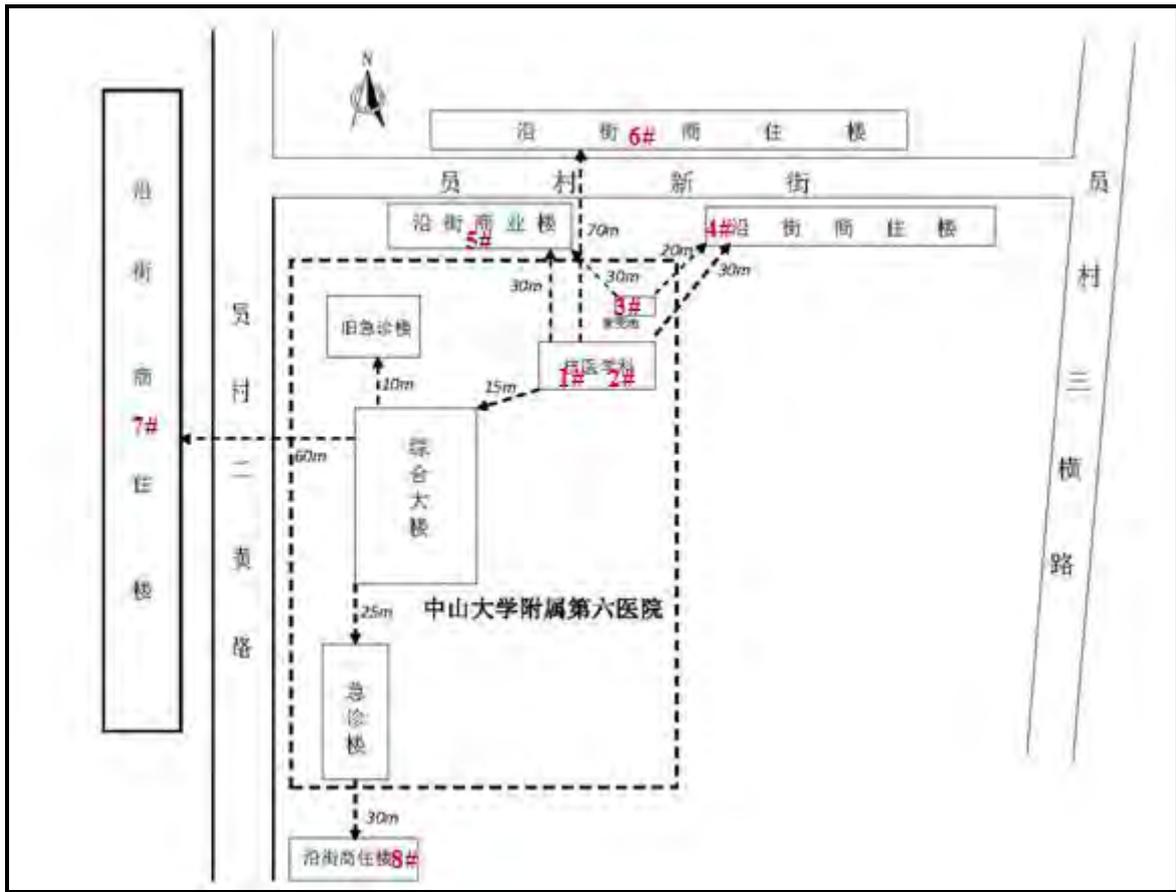


图 8-4 补充监测布点图

8.7 环境辐射水平现状的评价

依据《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(广东省环境监测中心站),广州市室内 γ 剂量率值范围 104.6~264.1nGy/h。监测结果表明,所有测量点位(包含补充监测点位)处的 X- γ 辐射剂量率均在广州市室内剂量率背景值范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 III类 X 射线装置

9.1.1 工作原理

X 射线的装置由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线，典型 X 射线管结构详见图 9-1。

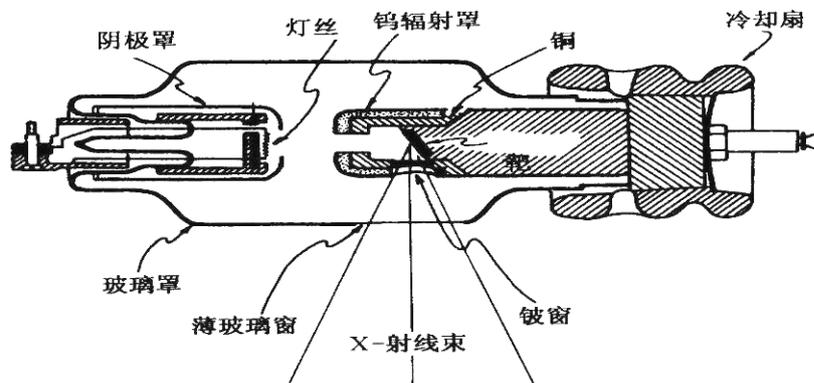


图 9-1 典型 X 射线管结构图

9.1.2 设备组成

其基本结构是由产生 X 线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

9.1.3 操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

9.2 核医学科

9.2.1 工作原理

(1) PET-CT

PET-CT 将 PET 与 CT 完美融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。临床主要应用于肿瘤、脑和心脏等领域重大疾病的早期发现和诊断。

(2) SPECT-CT

SPECT-CT 是将 SPECT 和 CT 两种不同模式的影像学设备合二为一而组合成的新设备，完成 SPECT 和 CT 的一站式检查。SPECT 本身不产生辐射，SPECT 是 Single photon emission computerized tomography(单光子发射型计算机断层成像)的缩写，是目前核医学影像检查设备中应用最普遍的一种。单光子的含义是探测的放射性核素是发射单光子射线的，如 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等。基本结构包括：探头、机架、采集工作站、处理工作站共 4 部分组成。探头是 SPECT 的核心，用来探测患者体内的射线转换成电信号并生成图像信号；机架用于支持探头在不同方向和角度旋转；采集工作站主要是控制整个扫描过程；患者通常躺在检查床上完成包括平面和断层的各种检查；处理工作站是对采集得到的图像作进一步的定量和定性分析，并以适当的格式输出和打印。CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (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。

(3) ^{131}I

^{131}I 半衰期 8.04 天， ^{131}I β 衰变后，释放出 β 射线、 γ 射线。 β 射线与周围物质作用形成韧致辐射，产生能谱连续分布的 X 射线。

因此利用放射性核素 ^{131}I ，对环境的影响因子为 X 射线、 γ 射线和 β 表面污染。

(4) $^{99\text{m}}\text{Tc}$

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为最常用的理想的显像核素，因它是纯 γ 光子发射体，能量适中 (141 keV)，半衰期为 6.02 小时，并能标记多种化合物，几乎可用于所有脏器显像。

^{99m}Tc 同质异能跃迁为 ^{99}Tc ，释放出 γ 射线。应用放射性核素 ^{99m}Tc 进行核素显像，对环境的污染因子为 γ 射线。

(5) 放射性核素 ^{18}F

^{18}F 半衰期 110min，主要射线 β^+ 射线，能量为 0.635MeV；用于肿瘤的 PET-CT 显像诊断。

其 β^+ 衰变后，释放出 β^+ 射线， β^+ 射线寿命较短，很快发生湮没：在人体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。因此应用放射性核素 ^{18}F 进行核素显像，对环境的污染因子为 γ 射线。

(6) ^{89}Sr

^{89}Sr 半衰期 50.5 天，发射 0.5815MeV 的 β 射线。转移癌性骨痛的治疗剂，主要用于前列腺癌、乳腺癌等晚期恶性肿瘤继发骨转移所致骨痛的缓解，是转移癌性骨痛止痛的一种疗法。

^{89}Sr β 衰变后，释放出 β 射线， β 射线与周围物质作用形成韧致辐射，产生特征 X 射线和能谱连续分布的 X 射线。因此应用放射性核素 ^{89}Sr 进行骨转移瘤治疗，对环境的污染因子为 X 射线和 β 表面污染。

(7) ^{32}P

^{32}P 半衰期 14.3 天，主要射线为 β 射线，最大能量 1.71MeV，平均能量 0.69MeV，主要用于体表血管瘤等皮肤病的治疗。

^{32}P β 衰变后，释放出 β 射线， β 射线与周围物质作用形成韧致辐射，产生特征 X 射线和能谱连续分布的 X 射线。

9.2.2 操作流程

(1) 甲亢治疗流程

订货→质检/储存→给药→留观→离开

订货：医院提前一天根据预约的治疗人数，向提供放射性药物的药品公司订购 ^{131}I 放射性药物；

质检/储存：药物由药品公司运输至核医学科的储源间/分装给药间，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查药品包装和外观，储存在储源间/分装给药间内；

给药：在注射室1进行给药；

留观：甲亢患者口服后需在留观室进行休息

离开：待患者体内¹³¹I剩余量小于400MBq才可离开。

(2) 甲癌治疗流程

订货→质检/储存→给药→住院→离开

订货：医院提前一天根据预约的治疗人数，向提供放射性药物的药品公司订购¹³¹I放射性药物；

质检/储存：药物由药品公司运输至核医学科的储源间/分装给药间，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查药品包装和外观，储存在储源间/分装给药间内；

给药：在注射室1进行给药；

住院：甲癌患者口服后需在甲癌病房住院观察；

离开：待患者体内¹³¹I剩余量小于400MBq为最终出院标准。

注：医院应安排每名甲癌患者单独住院，即医院最多安排4名甲癌患者同时住院。

(3) PET-CT、SPECT-CT核素显像流程

订货→质检/储存→给药→核素显像扫描→离开

具体如下：

订货：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，向提供放射性药物的药品公司订购¹³¹I放射性药物；

质检/储存：药物由药品公司运输至核医学科的储源间/分装给药间，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查药品包装和外观，储存在储源间/分装给药间内；

给药：在注射室2进行给药；

核素显像扫描：在PET-CT、SPECT-CT室内帮患者摆位、扫描后引导患者离开。

(4) ⁸⁹Sr骨转移癌治疗流程

订货→质检/储存→给药→离开

订货：医院提前一天根据预约的治疗人数，向提供放射性药物的药品公司订购⁸⁹Sr放射性药物；

质检/储存：药物由药品公司运输至核医学科的储源间/分装给药间，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查药品包装和外观，储存在储源间/分装给药间内；

给药：在注射室1进行给药；

离开：给药完成后直接离开核医学科

(5) ³²P皮肤血管瘤、疤痕敷贴治疗流程

订货→质检/储存→给药→离开

订货：医院提前一天根据预约的治疗患者，确定敷贴数量、敷贴形状及活度，向提供放射性药物的药品公司订购³²P敷贴胶布；放射性药物的药品公司制作完成的敷贴按顺序编号，使编号和形状、患者名字一一对应；

质检/储存：药物由药品公司运输至核医学科的储源间/分装给药间，质检人员核对敷贴编号、形状、患者和活度，检查药品包装和外观，储存在储源间/分装给药间内；

给药：在注射室1进行敷贴；

离开：患者贴着敷贴后直接离开核医学科。

9.2.3 路径规划

(1) 医生行走路径规划

①操作 SPECT-CT、PET-CT 医生行走路径：医生从东南门进入核医学科后，进入更衣室，在更衣室更换鞋和工作服后经过东侧的医生通道进入 PET-CT 和 SPECT-CT 操作室，工作结束后原路返回，更衣后从东南门离开核医学科。

②核素注射等医生行走路径：医生从东南门进入核医学科后，进入更衣室，在更衣室更换鞋和工作服后经过东侧的医生通道后经北侧通道进入注射室 1、注射室 2、储源/分装室等各科室，工作结束后原路返回，更衣后从东南门离开核医学科。

(2) 患者行走路径规划

①核素显像患者行走路径：患者从东南门进入核医学科后，经中间病人通道和北侧通道到达注射室 2，在注射室 2 服用药物后原路返回到 SPECT-CT 休息室、PET-CT 休息室或 VIP 休息室休息，扫描检查完成后经北侧通道到达西北门患者出口离开。

②甲亢患者、骨癌患者及敷贴治疗患者行走路径：患者从东南门进入核医学科后，经过中间病人通道和北侧通道到达注射室 1，在注射室 1 接受药物治疗后从西北门患者出口离开核医学科。

③甲癌患者行走路径：患者从东南门进入核医学科后，经过中间病人通道和北侧通道到达注射室 1，在注射室 1 接受药物治疗后到甲癌病房住院，住院接收后从西北门患者出口离开。

(3) 路径分析

从下图 9-2 及以上路径规划分析可知，核医学科的路径规划基本能够满足高低活性区不交叉的原则，医生通道及患者通道分开，基本上不会产生交叉污染。

但是，医生与患者行走路径在北侧通道有部分交叉，服药患者与未服药也有交叉，因此医院采取了以下措施，最大限度减少核医学工作人员与受检者交叉接触时间，降低职业照射剂量，同时避免核素检查患者对相邻科室工作人员和非核素诊治患者的辐射照射。

1、控制区与非控制区间的分隔和监控。

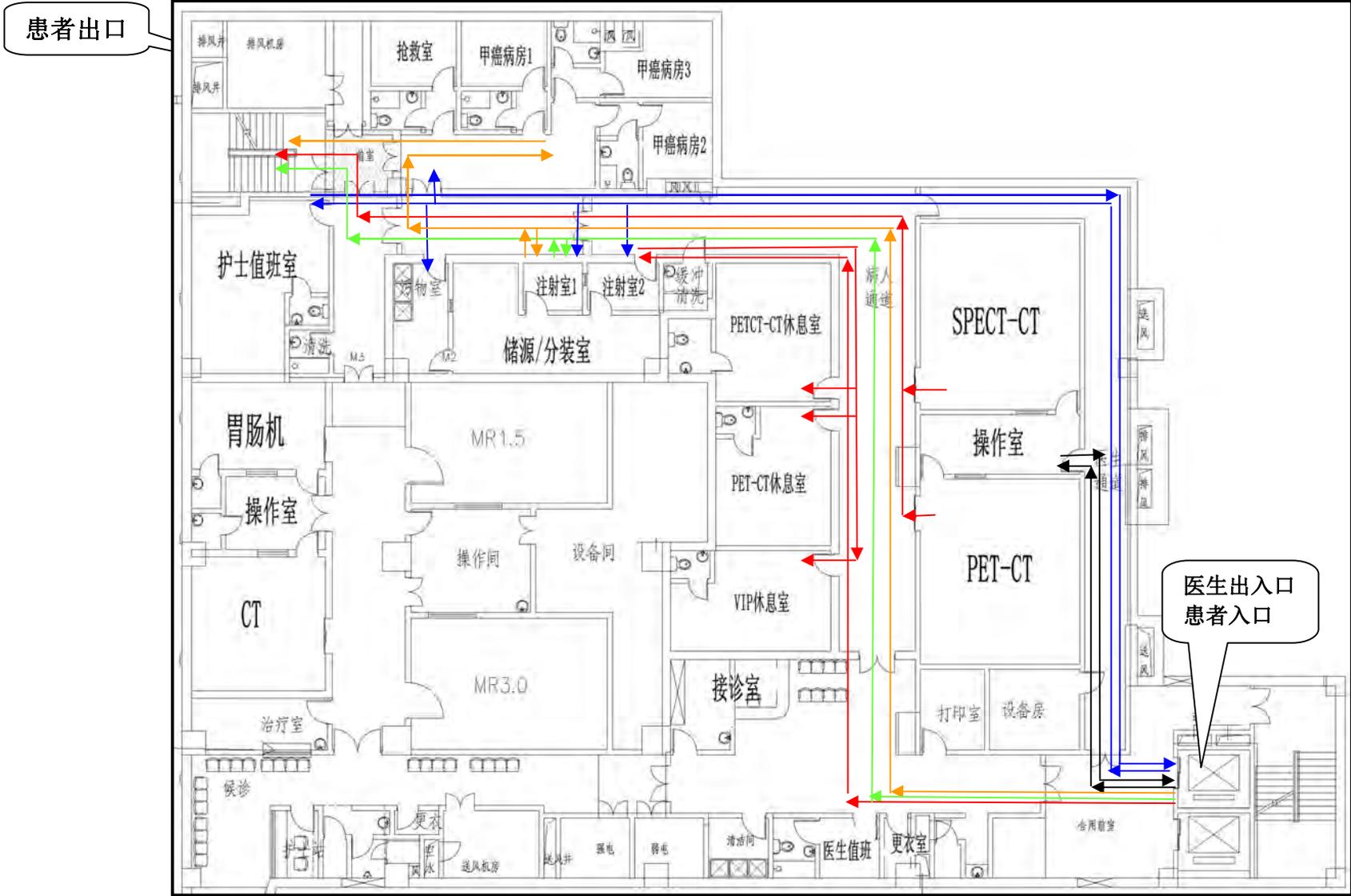
核医学科与相邻科室边界处、核医学科内控制区与非控制区之间是我们重点监控的节点，在每一个节点设置放射性监控系统（包括视频和实时数字式放射性探测和管理系统），并设置中控门锁，以保证核医学检查的患者误闯进入非控制区。

2、核医学科内控制区各工作场所的分隔与监控。

核医学科内控制区分五大块，即甲癌病房、核素存储、核素注射、核素检查患者休息候诊区和核素扫描检查区，五大区相对独立。甲癌病房出入口设置有放射性实时探测和管理系统（视频和数字式探测）和中控锁，在病房内设有视频监控系统，病区内还设置远程病人体内剂量监测系统，定时监测患者体内剂量。根据使用的核素、检查及治疗项目的不同，将核素存储、注射区进行分区，保证相对独立，减少核素交叉污染，减少工作人员照射剂量；注射区配置入墙式防护台，护士和患者在不同的物理空间内，可以减少护士注射时的受照剂量。核素注射后的患者分别在 PET-CT、SPECT-CT、VIP 休息室三个相互独立休息区休息等候检查，每间休息区内都配置单独的卫生间和视频监控系统 and 电话通信系统，通过远程控制即可让患者按流程进入扫描机房检查，避免大量患者滞留在扫描间与休息间的空间，从而避免患者流向杂乱，最大可能减少患者与工作人员的交叉，同时也减少不同核素的交叉污染。

3、工作人员在核素引入体内之前准确引导患者了解熟知检查流程和控制区内人员流动途径。

4、设立准确醒目的患者和工作人通路标志。



注：操作 SPECT-CT、PET-CT 医生行走路线：——→ 核素注射等医生行走路线：——→
 核素显像患者行走路线：——→ 甲亢、骨癌、皮肤病患者行走路线：——→ 甲癌患者行走路线：——→

图 9-2 核医学科患者及工作人员行走路径图

污染源描述

9.3 射线装置

9.3.1 环境影响因子和污染途径（正常工况和事故工况）

①正常工况下

X 射线是随机器的开、关而产生和消失。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。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要放射性污染物，主要污染途径为 X 射线外照射。

②事故工况下

工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，CT 运行可能产生误照射。事故工况下主要放射性污染物为 X 射线，主要污染途径为 X 射线外照射。

9.4 非密封放射性物质

9.4.1 环境影响因子和源强分析

项目核医学科使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 进行放射诊断、治疗，核素性质见表 9-1。

表 9-1 核素性质

核素名称	诊疗项目	放射性药物 (化合物)	物理性质	衰变类型	辐射总能量 (MeV)	半衰期	毒性
^{131}I	甲亢、甲状腺癌治疗、核素显像	Na^{131}I	溶液/胶囊	β^- , γ , X	β^- 0.1817 γ 0.375	8.04d	中毒
^{32}P	皮肤血管瘤、疤痕敷贴治疗	^{32}P	胶布	β^- , EC	β^- 1.71	14.3d	中毒
^{89}Sr	骨转移癌治疗	$^{89}\text{SrCl}$	溶液	β^-	β^- 0.5815	50.5d	中毒
^{99m}Tc	骨、关节显像	$^{99m}\text{Tc-MDP}$	溶液	γ	γ 0.127	6.02h	低毒
	心肌灌注显像	$^{99m}\text{Tc-MIBI}$	溶液				
	局部脑血流灌注显像	$^{99m}\text{Tc-ECD}$ 、 HMPAO	溶液				
	门控心血池显像	$^{99m}\text{Tc-RBC}$	溶液				
	肾动态显像	$^{99m}\text{Tc-DMSA}$ 、 DTPA 、 MAG_3	溶液				
	甲状腺显像	$^{99m}\text{TcO}_4^-$	溶液				
	甲状旁腺显像	$^{99m}\text{Tc-MIBI}$	溶液				
肝胆动态显像	$^{99m}\text{Tc-EHIDA}$	溶液					
^{18}F	PET-CT 显像	$^{18}\text{F-FDG}$	溶液	β^+ , γ	β^+ 0.24 γ 0.991	110min	低毒

9.4.2 环境影响因子和污染途径（正常工况和事故工况）

①正常工况下

放射性污染物主要为注射器、棉球、棉签、药杯及各种器具等，污染途径主要是 β 射线、 γ 射线、X 射线外照射和 β 表面污染。

②事故工况下

主要发生放射性污染途径：

- 1、由于误操作，导致较大放射性剂量注射的情况。
- 2、由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。
- 3、由于操作不慎，有少量的液态放射性药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

10.1 项目工作场所布局

10.1.1 III类射线装置机房布局

CT、胃肠机位于核医学科（二期综合大楼负一层），开展辐射工作的区域比较集中，各诊断机房均为隔室操作。

口腔 X 射线机位于放射科（综合大楼地下负一层），与放射科的其它射线装置集中在一起。机房为 DR（1 号机房）控制室、患者准备间改建而成，诊断机房为隔室操作。

牙片机位于口腔科（急诊楼三层），周边为消毒间、治疗室、手术准备间及路灯，机房相对独立，诊断机房为隔室操作。

10.1.2 核医学科布局

核医学科工作场所位于中山大学附属第六医院二期综合大楼负一层，功能布局遵循高低活性区不交叉的原则，甲癌病房、储源/分装室、注射室 1、注射室 2 等高活性区域放置在一起，位于西北角落，护士站、值班室、更衣室等非活性区位于东南角落。同时通过功能布局并结合管理规章制度，避免接触放射药品工作人员、不接触放射药品的工作人员与患者间的相互交叉感染。

10.2 工作场所分区、分级及分类

10.2.1 工作场所分区

中山大学附属第六医院已按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

（1）III类射线装置

控制区：

对于III类射线机房的工作场所而言，以防护门为界，屏蔽门内的机房为控制区，在正常诊疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，在控制区的进出口处应设立电离辐射警示标志，安装门机联锁装置，严格限制进出控制区，保障该区的辐射安全。

监督区：

防护门外部分、控制室、辅助机房和照射室屏蔽墙外区域。对该区不采取专门的防护手段安全措施，但将定期检查其辐射剂量率。

(2) 非密封放射性物质工作场所

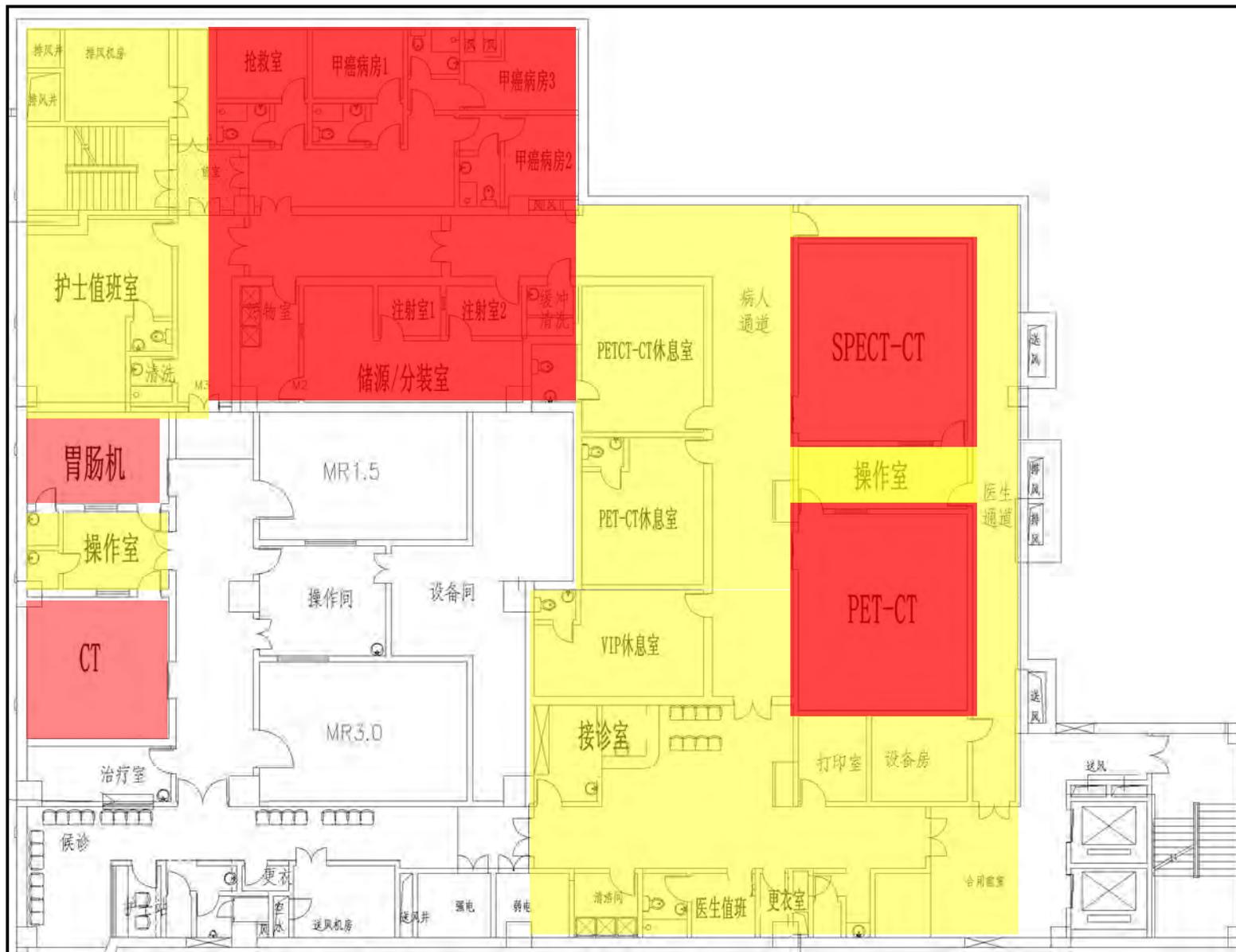
控制区：

核医学科的控制区应包括分装/贮源室、注射室 1、注射室 2、甲癌病人抢救室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、甲癌病房 3、SPECT-CT、PET-CT、SPECT-CT 休息室、PET-CT 休息室周边以及它们之间的通道等，在正常诊疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，在控制区的进出口及其他适当位置处应设立醒目的电离辐射警告标志。并制定辐射防护与措施，安装防护门的门锁和联锁装置或警示装置，严格限制进出控制区，保障该区的辐射安全。

监督区：

防护门外部分、控制室、辅助机房和治疗室屏蔽墙外区域。对该区不采取专门的防护手段安全措施，但将定期检查其辐射剂量。

非密封放射性物质工作场所分区情况见下图 10-1。



图中： ■ 表示控制区； ■ 表示监督区。

图 10-1 非密封放射性物质工作场所分区图

10.2.2 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 提供的非密封放射性物质工作场所放射性核素日等效最大操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

核医学科使用核素日等效最大操作量计算如表 10-1 所示。

表 10-1 核医学科核素日实际最大操作量及日等效最大操作量

核素名称	日最大操作量	毒性分组	组别修正因子	操作修正因子	操作方式	日等效最大操作量
¹³¹ I	3.22×10 ¹⁰	中毒组	0.1	1	简单操作	3.22×10 ⁹
¹⁸ F	7.4×10 ⁹	低毒组	0.01	10	很简单的操作	7.4×10 ⁶
^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	低毒组	0.01	10	很简单的操作	1.85×10 ⁷
⁸⁹ Sr	1.85×10 ⁸	中毒组	0.1	1	简单操作	1.85×10 ⁷
³² P	1.85×10 ⁸	中毒组	0.1	1	简单操作	1.85×10 ⁷
合计	--	--	--	--	--	3.29×10 ⁹

由表 10-1 计算出核医学科工作场所日等效最大操作量为 3.29×10⁹Bq, 所以, 该场所属于乙级非密封源工作场所。

10.2.3 工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006), 按照 GBZ18871-2002 对非密封源工作场所进行分类。具体分级计算如表 10-2。

表 10-2 核医学科放射核素的加权活度计算

核素名称	日最大操作活度	毒性分组	核素毒性权重因子	操作性质修正因子	放射核素的加权活度
¹³¹ I	3.22×10 ¹⁰	中毒组	100	1	3.22×10 ¹²
¹⁸ F	7.4×10 ⁹	低毒组	1	1	7.4×10 ⁹
^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	低毒组	1	1	1.85×10 ¹⁰
⁸⁹ Sr	1.85×10 ⁸	中毒组	100	1	1.85×10 ¹⁰
³² P	1.85×10 ⁸	中毒组	100	1	1.85×10 ¹⁰
合计	--	--	--	--	3.29×10 ¹²

注: 1、各核素操作方式跨越较大, 所以引用较保守的那一类即操作性质修正因子 1。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》, GBZ120-2006 C1 提供的操作最大量放射核素的加权活度计算方法和核医学科使用的放射性核素用量, 计算出核医学科非密封源工作场所操作最大量放射核素的加权活度为 3.29×10⁶MBq, 属于 I 类工作场所。

按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006), I 级工作场所, 室内表面及装备结构要求严格按照表 7-8。

10.3 工作场所辐射防护屏蔽设计

10.3.1 III类射线装置工作场所

CT、胃肠机位于核医学科（二期综合大楼负一层），平面布置图见下图 10-2；口腔 X 射线机位于放射科（综合大楼地下负一层），平面布置图见下图 10-3；牙片机位于口腔科（急诊楼三层），平面布置图见下图 10-4。

(1) III类射线机房屏蔽防护设计

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013），本项目 X 射线装置机房使用面积及单边长度要求见表 10-3，屏蔽防护铅当量设计参数见表 10-4，屏蔽防护铅当量厚度要求见表 10-5。

表 10-3 X 射线装置机房使用面积及单边长度要求

名称	机房尺寸 (m)	面积 (m ²)	GBZ130-2013		是否符合 要求
			最小单边 长度 (m)	最小有效 使用面积 (m ²)	
CT 机室	5.55×5.60	31.08	4.5	30	是
胃肠机室	3.60×5.60	20.16	3.5	20	是
口腔 X 射线机室	3.65×2.15	7.85	2	5	是
牙片机室	1.85×1.7	3.145	1.5	3	是
SPECT-CT	6.70×10.40	69.68	4.5	30	是
PET-CT	7.70×6.70	51.59	4.5	30	是

从表 10-3 可知，X 射线装置机房最小单边长度、最小有效面积均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）。

表 10-4 X 射线装置机房屏蔽防护铅当量设计参数

名称	墙体	门	窗	顶棚	地板
CT 机室	24cm 实心灰砂砖 +2mmPb 防护涂料 (整体 3.5mmPb)	4mmPb	4mmPb	20cm 混凝土 ≈2.5mmPb	20cm 混凝土 ≈2.5mmPb
胃肠机室	24cm 实心灰砂砖 +2mmPb 防护涂料 (整体 3.5mmPb)	4mmPb	4mmPb	20cm 混凝土 ≈2.5mmPb	20cm 混凝土 ≈2.5mmPb
口腔 X 射线机室	18cm 实心灰砂砖 +2mmPb 防护涂料 (整体 3mmPb)	3mmPb	3mmPb	12cm 混凝土 ≈1.5mmPb	12cm 混凝土 ≈1.5mmPb
牙片机室	18cm 实心灰砂砖 +2mmPb 防护涂料 (整体 3mmPb)	2mmPb	3mmPb	12cm 混凝土 ≈1.5mmPb	12cm 混凝土 ≈1.5mmPb
SPECT-CT	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)	6mmPb	8mmPb	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)
PET-CT	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)	6mmPb	8mmPb	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料 (整体 9mmPb)

表 10-5 X 射线装置机房屏蔽防护铅当量厚度要求

名称	GBZ130-2013		是否符合要求
	有用线束方向 铅当量 mm	非有用线束方向 铅当量 mm	
CT 机室	2.5(按较大工作量)	2.5(按较大工作量)	是
胃肠机室	3	2	是
口腔 X 射线机室	2	1	是
牙片机室	1	1	是
SPECT-CT	2.5(按较大工作量)	2.5(按较大工作量)	是
PET-CT	2.5(按较大工作量)	2.5(按较大工作量)	是

对比表 10-4、10-5，本项目 X 射线装置机房屏蔽防护铅当量设计参数偏保守。

(2) 辐射安全防护措施：

- ①在机房的防护门上适当位置设置电离辐射警示标志；
- ②防护门上方的墙壁设置工作指示灯，并设置门灯连锁；

10.3.2 非密封源工作场所

核医学科工作场所位于中山大学附属第六医院二期综合大楼负一层，平面布置图见下图 10-1。

(1) 辐射屏蔽防护措施

本项目非密封源工作场所规格和屏蔽设计方案见表 10-6。

表 10-6 非密封源工作场所的屏蔽设计方案

机房名称	面积 (m ²)	墙体	防护门/观察窗	顶棚/地面
储源/分装室	38.25	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	6mmPb	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料
注射室 1	10.76	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8mmPb	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料
注射室 2	10.76	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8mmPb	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料
SPECT-CT 休息室	27.6	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8mmPb	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料
PET-CT 休息室	27.84	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8mmPb	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料
VIP 休息室	34	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	8mmPb	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
甲癌病人抢救室	15.12	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	12mmPb	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
甲癌病房 1	15.12	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	12mmPb	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
甲癌病房 2	14.95	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	12mmPb	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料
甲癌病房 3	38.16	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	12mmPb	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料

(2) 室内表面及装备结构

中山大学附属第六医院核医学科拟采用的室内表面及装备结构设计参数见表 10-7。

表 10-7 项目工作场所室内表面及装备结构设计防护与标准对照表

项目	设计	I 类标准	是否符合标准要求
地面	地面采用采用光滑、不易渗透、易清洗的抛光瓷砖并覆盖 PVC 地板胶，墙面与地面交界处采用圆角设计。	地板与墙壁接缝无缝隙	是
表面	墙壁外壁采用光滑、不易渗透、易清洗的抛光砖，水、电等管线全部采取暗装的方式。	易清洗	是
通风橱	设有通风柜，通风平均风速为 1.8m/s，并设有活性炭过滤装置，活性炭每 3 个月更换 1 次，排气口位于楼侧且高于屋脊。	需要	是
室内通风	采用风机进行强制通风，换气率为 4 小时/次。	应设抽风机	是
管道	采用耐腐蚀的排污管道，污水经过核衰变池处理后排放。	特殊	是
清洗及去污设备	配置更衣室；设置缓冲清洗间（配有淋浴设施）；配备 X- γ 剂量率仪、表面沾污仪、吸水纸、EDTA 肥皂、枸杞酸铵溶液等。	需要	是

由上表 10-7 可以看出，中山大学附属第六医院核医学科的室内表面及装备结构设计满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）的要求。

(3) 源项控制

- a. 合理布置高活性区与低活性区，尽量减少交叉污染。
- b. 保持工作场所的通风，降低放射性气体污染物的浓度。
- c. 保持工作环境、工作台面的清洁，表面污染浓度不能超标。

(4) 个人防护

- a. 进入工作场所，应穿戴防护用品、用具。
- b. 离开工作场所，应更衣、洗手，并对工作场所进行污染监测。
- c. 禁止在工作场所吸烟、饮水、存放食品。
- d. 保护好伤口。
- e. 保持个人良好的卫生习惯。
- f. 做好个人剂量监测。

10.4 个人防护用品和辅助防护设施

医院拟为辐射工作人员配备必要的防护用品，同时也拟配备一些供受检者使用的辅助防护用品，根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013），对防护用品与辅助防护设施的数量未作出明确要求，医院应根据开展工作的需要来增加其数量，对陪检

者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 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。具体见表 10-8。

表 10-8 医院拟配备的个人防护用品及辅助防护设施一览表

使用部门	序号	类型	名称	数量	铅当量
放射科	1	个人防护用品	个人剂量计	3	--
	2		铅衣	3	0.5mmPb
	3		铅橡胶帽子	3	0.5mmPb
	4		铅橡胶颈套	3	0.5mmPb
	5		铅眼镜	3	0.5mmPb
	6		铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾	3	0.5mmPb
	7	辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏	1	—
	8		固定特殊受检者体位的各种设备	1	—
核医学科	1	个人防护用品	个人剂量仪	4	/
	2		铅衣	4	0.5mmPb
	3		铅眼镜	4	0.5mmPb
	4		铅帽	4	0.5mmPb
	5		铅围脖	4	0.5mmPb
	6		铅手套	4	0.5mmPb
	7	其它	表面污染仪	1	--
			γ 辐射监测仪	1	--
	8		注射器防护套	2	5mmPb
	9		注射器送药防护箱	2	6.6mmPb
10		铅屏风	1	--	

由上表 10-8 可知，医院拟配备的个人防护用品基本满足相关要求。

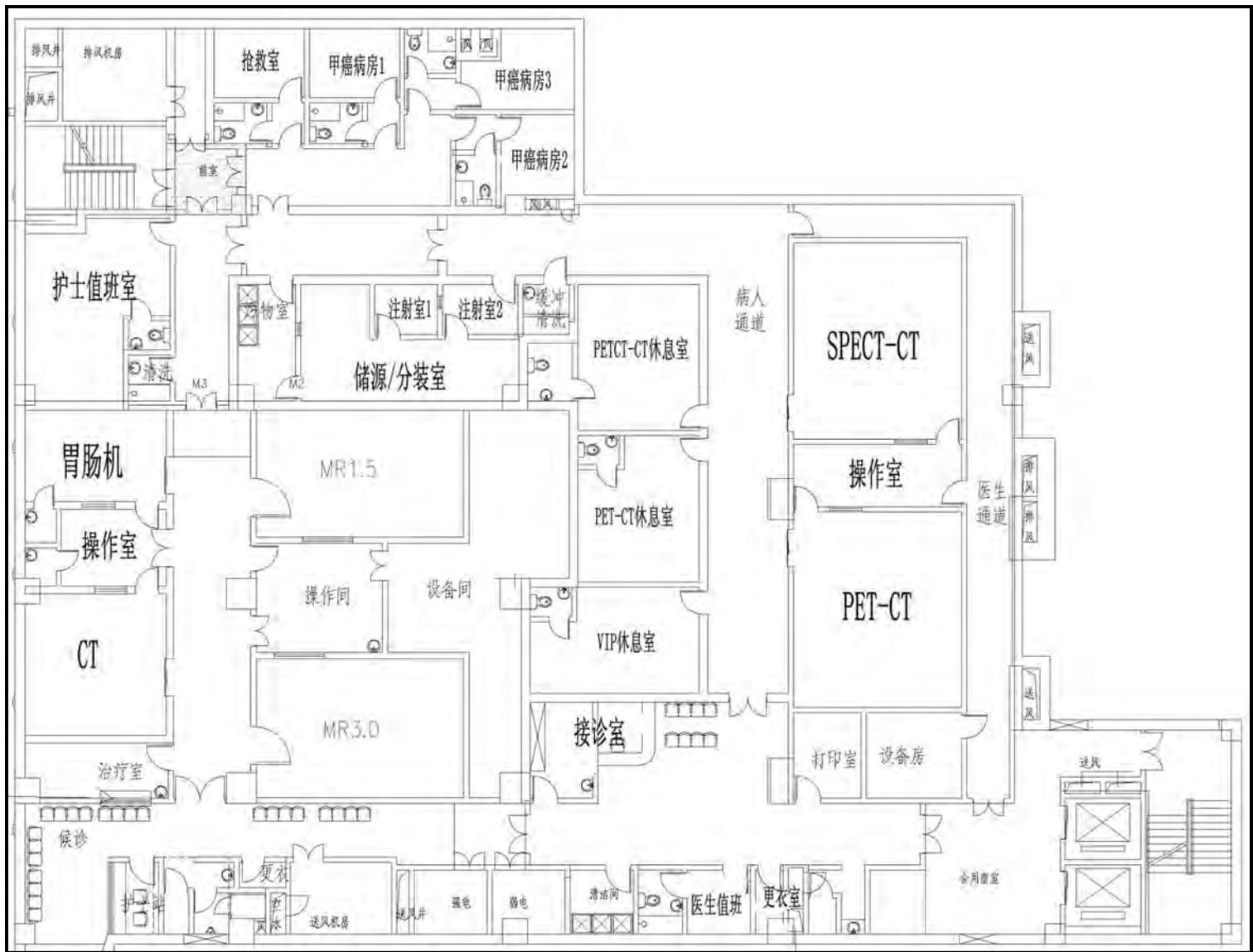


图 10-2 核医学科、胃肠机、CT 平面布局图

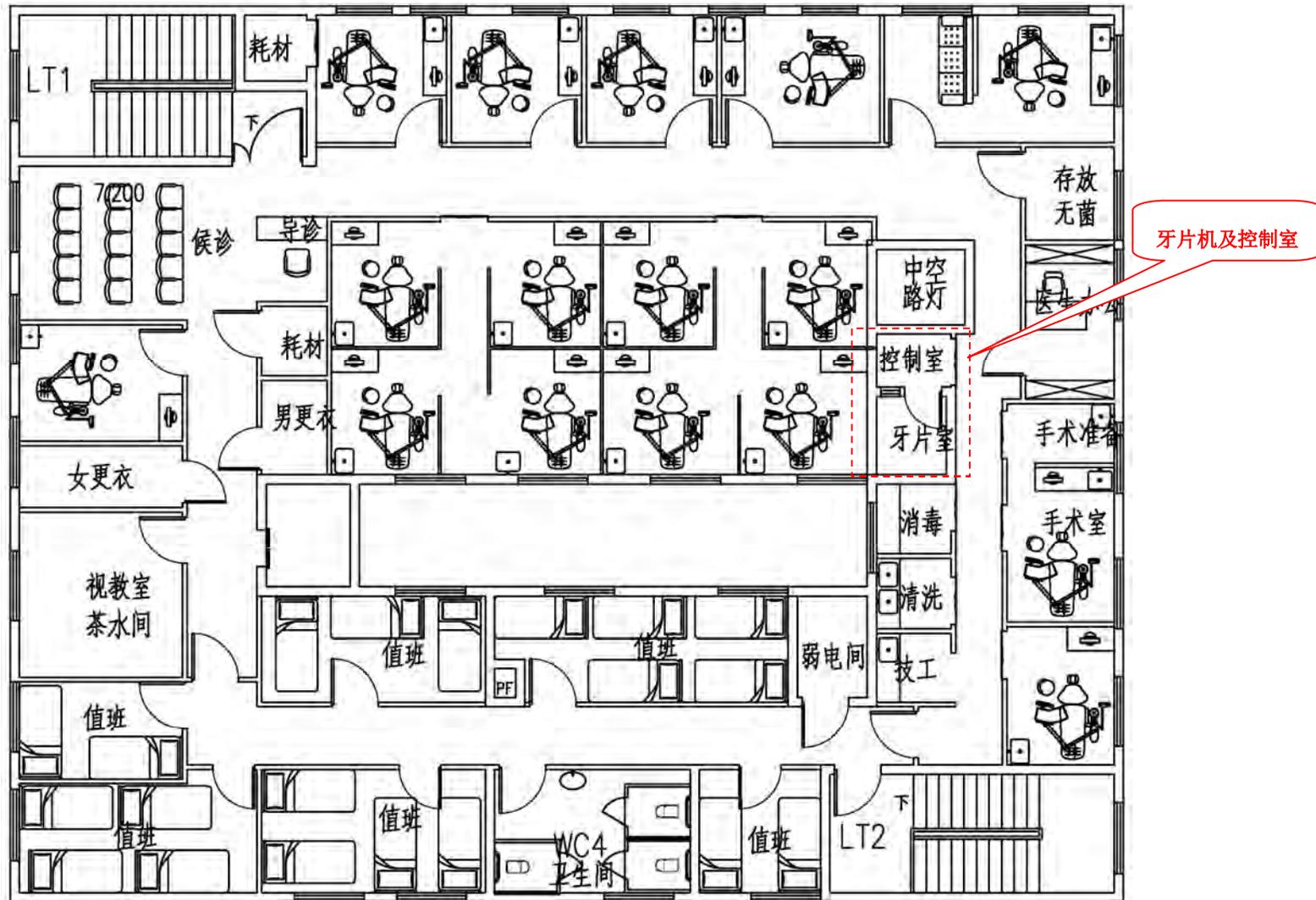


图 10-3 牙片机所在楼层平面布置图

三废的治理

“三废”来源主要是核医学科产生的放射性废水、固废、废气。

10.4 放射性废水

本项目产生的放射性废液包含 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 放射性废液。医院根据放射性核素半衰期长短不同，拟对放射性废液进行分类收集和处理。

1、 ^{89}Sr 放射性废水： ^{89}Sr 的半衰期为 50.5d，为长半衰期废液，医院拟将患者给药后产生的放射性废液（尿液、粪便、呕吐物）采用具有辐射防护性能的收集器收集，单独存放于污物室，严禁排入衰变池。

2、医院拟修建核衰变池用于其他放射性废水的衰变贮存，经十个半衰期以上的衰变贮存，待废水放射性浓度低于排放标准后并经审管部门批准后，再排入医院总污水处理系统，经进一步处理后达标排放。

医院拟修建的核衰变池为互不连通的 4 级衰变池，设计深度 1.9 米，容积分别为 62.6m^3 、 51.7m^3 、 43.5m^3 、 38.7m^3 。设计图纸见下图 10-5。

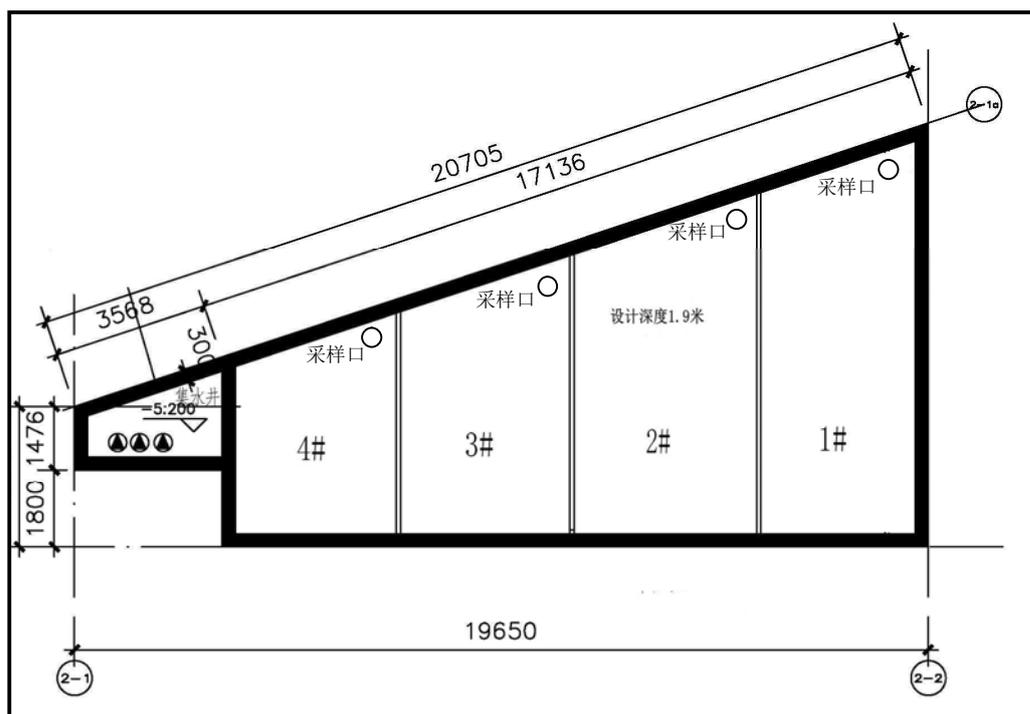


图 10-5 核衰变池设计图

核衰变池处理工艺为：

1、先关闭 2#、3#、4#衰变池进水阀门，先打开 1#衰变池进水阀门，放射性废液流入 1#衰变池，当 1#衰变池满后，关闭 1#衰变池进水阀门；

2、打开 2#衰变池进水阀门，放射性废液流入 2#衰变池，当 2#衰变池满后，关

闭 2#衰变池；

3、打开 3#衰变池进水阀门，放射性废液流入 3#衰变池，当 3#衰变池满后，关闭 3#衰变池；

4、打开 4#衰变池进水阀门，放射性废液流入 4#衰变池，当 4#衰变池满后，关闭 4#衰变池；

5、当放射性废液装满 4#衰变池后，打开 1#衰变池出水阀门，将 1#衰变池排空；

6、1#衰变池排空后，打开 1#衰变池进水阀门，将放射性废水排入 1#衰变池；

7、依次循环，达到放射性废水达标排放。

衰变池容积核算：

(1) 甲癌患者废水：甲癌患者按每天医院的最大住院量计算，即每天 4 人，每人按 100L/d 计算，则甲癌患者每天产生 400L 废水；

(2) 甲亢治疗患者废水：甲亢治疗患者一般在给药后在留观室内停留一段时间后离开，甲亢患者每天最多 2 人，废水量按 5L/人次计算，则甲亢患者每天产生 10L 废水；

(3) 敷贴治疗患者废水： ^{32}P 敷贴治疗患者一般在治疗后立刻离开，废水量按 5L/d 计算，敷贴治疗患者每天最多 1 人，则敷贴治疗患者每天产生 5L 废水；

(4) 核素显像患者废水：核素显像患者一般在给药后尽快安排 SPECT-CT 或 PET-CT 显像工作，废水量按 5L/d 计算。 ^{131}I 显像每天最多 4 人，则每天产生 20L 废水， ^{18}F 显像每天最多 20 人，则每天产生 100L 废水。

综上所述，核医学科每天最多产生 535L 废水。则放射性废水在 1#、2#、3#、4# 衰变池中的停留时间分别为 117、96d、81d、72d。

以保守情况估算，废水至少停留 2#、3#、4#衰变池后排放，即停留时间为 249d。

排入核衰变池的放射性废液，半衰期最长的为 ^{32}P (14.3d)，因此核衰变池可满足停留十个半衰期 (143d) 的要求。

排放活度计算：

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

1、每月排放的总活度不超过 10ALI_{\min} (ALI_{\min} 是相应于职业照射的食入和吸收 ALI 值中较小者，其具体数值可按 B1.34 和 B1.35 条的规定获得)；

2、每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

GB18871-2002 的 B1.3.4：表 B3 和表 B6、表 B7 分别对职业照射和公众照射给出了食入和吸入单位摄入量所致的待积有效剂量 $e(g)_{j,ing}$ 和 $e(g)_{j,inh}$ 。利用下列关系式可以由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值 $I_{j,L}$ ：

$$I_{j,L}=DL/e_j$$

式中：DL—相应的有效剂量的年剂量限值；本项目以 $5mSv/年$ 作为式中 DL 值。

e —表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

查表《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) B1.3.4 表 B3 可知，工作人员吸入 $e(g)_{lum}$ 为 7.6×10^{-9} ，吸入 $e(g)$ 为 2.2×10^{-8} 。可见，工作人员吸入或食入 ^{131}I 的待积有效剂量的最大值为 $2.2 \times 10^{-8} Sv/Bq$ 。

因此， $ALI_{min}=5mSv / (2.2 \times 10^{-8} Sv/Bq) = 2.27 \times 10^5 Bq$ 。

另根据中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所出版的《放射诊疗建设项目》资料：甲癌患者尿中排出的百分数，第 1 天 55%，第二天 22%，第三天 6%。以保守情况估算，废水至少停留时间为 249d（大于 30 个半衰期），约有 332 名甲癌患者接受治疗，则衰变池内 ^{131}I 活度最高为：

$$332 \times (7.4 \times 10^9 \times 55\% + 7.4 \times 10^9 \times 22\% + 7.4 \times 10^9 \times 6\%) \times 2^{-30} Bq < 1900 Bq$$

结论：

1、由于放射性废水至少停留 249d 才排放一次。所以满足每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ ($2.27 \times 10^6 Bq$) 的要求；

2、每次排放时，活度已小于 $1900 Bq$ 。所以满足每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ($2.27 \times 10^5 Bq$) 的要求。

改进建议：

1、本项目使用的 ^{131}I 具有挥发性，且距离周边商住楼较近，因此衰变池顶部需采取密封防护措施，建议衰变池顶部加盖铅板或水凝土密封，以减少对周边环境的影响；

2、医院应将周边的商住楼纳入医院的日常环境监测范围，加强日常监测工作并做好监测记录，确保衰变池对周边环境的影响在合理的范围内。

10.5 放射性废气

由于二期综合大楼暂未建成，通风橱气流经活性炭过滤装置过滤后，暂通过临时管道抽到旧急诊大楼楼顶排放，二期大楼建成后，废气将被抽到二期综合大楼楼顶排放。定期更换排气系统的活性炭过滤材料，更换频率为3月/次。

放射性气溶胶是造成人体内照射的主要原因，特别对于 ^{131}I 、 ^{18}F 等具有挥发性放射性物质，容易形成放射性气溶胶。对于临床核医学放射性废气，目前并没有可用的排放标准的具体数值。《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)指出，“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”。

^{131}I 排放：假设在操作过程中发生意外泼洒，经去污后假设经去污后最多有5%遗留在通风橱内，放射性表面污染最终有1%转化为气态。1、甲癌治疗给药时(200mCi)，约有 $3.7\times 10^5\text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中；2、甲亢治疗给药时(25mCi)，约有 $4.625\times 10^4\text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中；3、核素显像给药时(5mCi)，约有 $9.25\times 10^3\text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中。按每年各发生3次意外泼洒，年排放量为 $1.28\times 10^6\text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中。

^{18}F 排放：假设在操作过程中发生意外泼洒，经去污后假设经去污后最多有5%遗留在通风橱内，放射性表面污染最终有1%转化为气态。则在 ^{18}F 显像时(10mCi)，约有 $1.85\times 10^4\text{Bq}$ 的 ^{18}F 排放至空气中。按每年发生3次意外泼洒，年排放量为 $5.55\times 10^5\text{Bq}$ 的 ^{18}F 排放至空气中。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 排放：正常操作情况下基本不会挥发，假设在操作过程中发生意外泼洒，经去污后假设经去污后最多有5%遗留在通风橱内，放射性表面污染最终有1%转化为气态，当操作 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物(25mCi)时，约有 $4.625\times 10^4\text{Bq}$ 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 排放至空气中。按每年发生3次意外泼洒，年排放量为 $1.39\times 10^5\text{Bq}$ 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 排放至空气中。

^{89}Sr 排放：正常操作情况下基本不会挥发，假设在操作过程中发生意外泼洒，经去污后假设经去污后最多有5%遗留在通风橱内，放射性表面污染最终有1%转化为气态，当操作 ^{89}Sr 药物(5mCi)时，约有 $9.25\times 10^3\text{Bq}$ 的 ^{89}Sr 排放至空气中。按每年发生3次意外泼洒，年排放量为 $2.78\times 10^4\text{Bq}$ 的 ^{89}Sr 排放至空气中。

综上所述：每年约有 $2.00\times 10^6\text{Bq}$ 的放射性气体通过排风管道排放至空气中。

10.6 放射性固体废物

本项目的放射性固体废物主要为使用过的注射器、针头、棉签、导管、药棉、纱布、吸水纸、废弃药物瓶、放射性液体溢出时使用的乳胶手套、抹布以及甲癌病房患者使用过的生活废弃品等，每月约产生 10kg。

核医学科按照核素活度大小与半衰期长短、按照废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，设置铅废物回收筒分开收集废物，与放射性药品接触过的针筒、试纸、烧杯等物品，先收集至铅回收筒。在铅回收桶外设置电离辐射标志。铅回收桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送废物间，并放入专用容器中贮存。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应控制在不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

放射性固体废物暂存满 10 个半衰期后，其活度低于 GB18871 附录 A 清洁解控水平并经审管部门确认后，可作为普通医疗废物处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

1、空气环境影响分析

粉尘扬尘的主要来源有：拆除原有墙体过程、建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。

为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

2、水环境影响分析

建设期污水主要来自是施工人员的生活污水。施工人员生活污水来自施工人员日常生活排放，主要为洗涤废水和粪便污水，污染物主要为 COD、NH₃-N、BOD₅、SS 等。

施工人员在建设场所进行施工期间，所产生的粪便污水进入医院污水处理系统；离开建设场所后，施工人员租用当地的居民房，所产生的生活污水与当地居民生活污水一并处理后进入城市污水管网。

3、声环境影响分析

施工过程中设备安装、车辆运输、各类施工机械等将对周围环境产生噪声影响。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施，尽可能的降低施工机械设备和运输车辆产生的噪声对周边环境的影响，具体措施如下：

- ①合理安排施工时间；
- ②对施工机械采取消声降噪措施；

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制。

4、固体废弃物影响

工地施工产生的余泥、渣土在堆放和运输过程中对环境的影响，建议采取如下措施：

1)按规定办理好余泥渣土排放手续，获得批准后方可在批准受纳地点弃土。

2)车辆运输散体材料和废弃物时，必须密闭、包扎、覆盖，不得沿途漏撒；运载土方车辆必须在规定的时间内，按指定路段行驶。

运行阶段对环境的影响

11.1 机房/病房屏蔽性能

11.1.1 III类 X 射线机房

(1) CT、SPECT-CT、PET-CT 机房

根据表 10-3, CT 机房面积为 31.08m^2 , 最小单边长度为 5.55m , SPECT-CT 机房面积为 69.68m^2 , 最小单边长度为 6.7m , PET-CT 机房面积为 51.59m^2 , 最小单边长度为 6.7m 。满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“最小有效使用面积为 30m^2 , 最小单边长度为 4.5m ”及《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012)“面积不小于 30m^2 , 单边长度不小于 4m ”的要求。

根据表 10-4, CT、SPECT-CT、PET-CT 机房的屏蔽措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“一般工作量为 2mmpb , 较大工作量为 2.5mmpb ”及《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)“一般工作量下的机房屏蔽为 2mmpb 。较大工作量时的机房屏蔽为 2.5mmpb ”的要求。

(2) 胃肠机房

根据表 10-3, 胃肠机房面积为 20.16m^2 , 最小单边长度为 3.6m , 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“单管头 X 射线机最小有效使用面积为 20m^2 , 最小单边长度为 3.5m ”的要求;

根据表 10-4, 胃肠机房的屏蔽措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“标称 125kV 以上摄影机房有用线束铅当量位 3mmpb , 非有用线束铅当量为 2mmpb ”的要求。

(3) 口腔 X 射线机房

根据表 10-3, 口腔 X 射线机房面积为 7.85m^2 , 最小单边长度为 2.15m , 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“最小有效使用面积为 5m^2 , 最小单边长度为 2m ”的要求;

根据表 10-4, 口腔 X 射线机房的屏蔽措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“有用线束铅当量位 2mmpb , 非有用线束铅当量为 1mmpb ”的要求。

(4) 牙片机房

根据表 10-3, 牙片机房面积为 3.145m^2 , 最小单边长度为 1.7m , 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)“最小有效使用面积为 3m^2 , 最小单边长度为 1.5m ”

的要求；

根据表 10-4，牙片机房的屏蔽措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）“有用线束铅当量位 1mmpb，非有用线束铅当量为 1mmpb”的要求。

11.1.2 核医学科

(1) γ 射线屏蔽

①^{99m}Tc 核素 SPECT-CT 显像

将一次注射的放射性核素当作一个整体的放射源进行考虑，引用《辐射防护手册》（原子能出版社）中对 γ 剂量估算的经验公式（1）计算放射源 1m 外的空气比释动能率 D_0 。

$$D_0 \approx 1.23 \times 10^{-13} AE/d^2 \quad (1)$$

式中，A 为核素的活度（Bq）；E 为核素衰变发生的 γ 射线总能量（MeV）；d 为计算点与点源的距离（m）。

由公式(1)可以计算出 1.0m 处的空气比释动能率为 14.45 μ Gy/h（每次注射用药取为 25mCi），0.5 m 处的空气比释动能率为 57.80 μ Gy/h，。

由公式(2)可计算出防护墙、门、窗外 30cm 处的空气比释动能率。

$$P = \frac{W \cdot T \cdot n}{10^{\frac{S}{TVT}} \cdot r^2} \quad (2)$$

式中：P-目标点剂量率值， μ Gy/h；S-屏蔽当量；TVT-十分之一值屏蔽层厚度，^{99m}Tc 为 2.66；W-距源 1m 处剂量率， μ Gy/h；T-居留因子，无量纲；r-距防护计算点的距离，m；n-安全系数，无量纲。

表 11-1 ^{99m}Tc 核素显像 (单次最大剂量 25mCi)

位置		与计算点的距离 (m)	设计防护参数	换算为铅当量(mmPb)	空气比释动能率($\mu\text{Gy/h}$)
注射室 2	墙体	1.3	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	0.0035
	门	1.3	8mmPb	8	0.0084
	地板	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	0.0015
	顶棚	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	0.0015
SPECT-CT 机房	墙体	3.65	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	0.0005
	门	3.65	6mmPb	6	0.0061
	地板	2.5	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	0.001
	顶棚	2.5	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	0.001
SPECT-CT 休息室	墙体	2.7	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	0.0008
	门	2.7	8mmPb	8	0.002
	地板	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	0.0015
	顶棚	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	0.0015
VIP 休息室	墙体	2.8	25cm 混凝土 +8mmPb 防护涂料	11	0.0001
	门	2.8	8mmPb	8	0.0018
	地板	2.5	20cm 混凝土 +8mmPb 防护涂料	10.5	0.0003
	顶棚	2.5	20cm 混凝土 +8mmPb 防护涂料	10.5	0.0003

由上表 11-1 可知, 各计算点空气比释动能率均低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$, 屏蔽设计参数合理。

② ^{131}I 核素甲状腺疾病治疗及 SPECT-CT 显像

^{131}I 显像单次最大剂量为 5mCi, 甲亢治疗单次最大剂量为 25mCi, 甲癌治疗单次最大剂量为 200mCi。

a.核素显像

由公式 (1) 计算可得, 由 γ 射线产生的, 剂量为 5mCi 时距源 0.5 米处的空气比释

动能率为 34.13 μ Gy/h，1.0m 处的空气比释动能率为 8.53 μ Gy/h。

由公式（2）可计算出防护墙、门、窗外 30cm 处的空气比释动能率，见下表 11-2。

表 11-2 ^{131}I 核素显像（单次剂量 5mCi）

位置		与计算点的距离 (m)	设计防护参数	换算为铅当量(mmPb)	空气比释动能率(μ Gy/h)
储源/分装室	墙体	2.55	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.270
	门	2.55	6mmPb	6	0.457
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
注射室 2	墙体	1.3	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	1.038
	门	1.3	8mmPb	8	1.237
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
SPECT-CT 机房	墙体	3.65	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.132
	门	3.65	6mmPb	6	0.223
	地板	2.5	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.281
	顶棚	2.5	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.281
SPECT-CT 休息室	墙体	2.7	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.241
	门	2.7	8mmPb	8	0.287
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.306
VIP 休息室	墙体	2.8	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	0.157
	门	2.8	8mmPb	8	0.267
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	0.216
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	0.216

b. 甲亢治疗

由公式(1)计算可得, 由 γ 射线产生的, 剂量为 25mCi 时距源 0.5 米处的空气比释动能率为 170.66 μ Gy/h, 1.0m 处的空气比释动能率为 42.67 μ Gy/h。

由公式(2)可计算出防护墙、门、窗外 30cm 处的空气比释动能率, 见下表 11-3。

表 11-3 甲亢治疗 (单次剂量 25mCi)

位置		与计算点的距离 (m)	设计防护参数	换算为铅当量(mmPb)	空气比释动能率(μ Gy/h)
储源/分装室	墙体	2.55	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	1.349
	门	2.55	6mmPb	6	2.286
	地板	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	1.532
	顶棚	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	1.532
注射室 1	墙体	1.3	25cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	9	5.191
	门	1.3	8mmPb	8	6.188
	地板	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	1.532
	顶棚	2.5	20cm 混凝土 +6mmPb 防护涂料	8.5	1.532

c. 甲癌治疗

由公式 (1) 计算可得, 由 γ 射线产生的, 剂量为 200mCi 时距源 0.5 米处的空气比释动能率为 1365.3 μ Gy/h, 1.0m 处的空气比释动能率为 341.33 μ Gy/h。

由公式 (2) 可计算出防护墙、门、窗外 30cm 处的空气比释动能率, 见下表 11-4。

表 11-4 甲癌治疗（单次最大剂量 200mCi）

位置		与计算点 距离 (m)	设计防护参数	换算为 铅当量 (mmPb)	空气比释动能 率($\mu\text{Gy/h}$)
储源/ 分装室	墙体	2.55	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	10.791
	门	2.55	6mmPb	6	18.284
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	12.259
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	12.259
注射室 1	墙体	1.3	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	41.521
	门	1.3	8mmPb	8	49.499
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	12.259
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	12.259
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	12.259
甲癌病人 抢救室	墙体	2.19	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	10.294
	门	2.19	12mmPb	12	8.635
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
甲癌病房 1	墙体	2.19	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	10.294
	门	2.19	12mmPb	12	8.635
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
甲癌病房 2	墙体	2.3	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	9.333
	门	2.3	12mmPb	12	7.829
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
甲癌病房 3	墙体	1.925	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	12.984
	门	1.925	12mmPb	12	10.891
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	8.625

由表 11-2~表 11-4 可知，在进行甲亢治疗和甲癌治疗时，储源/分装室、注射室 1、甲癌病人抢救室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、甲癌病房 3 周边的空气比释动能率超过

2.5 μ Gy/h, 因此建议将储源/分装室、注射室 1、甲癌病人抢救室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、甲癌病房 3 外的通道也设置为控制区, 采取设置电离辐射警示标志等措施, 限制公众进入。

③¹⁸F 核素显像

¹⁸F β^+ 衰变后, 释放出 β^+ 射线, β^+ 射线寿命较短, 很快发生湮没: 即在物质中速度降低后就和某一个电子结合, 并向相反方向发射两个 γ 光子。因此应用放射性核素 ¹⁸F 进行核素显像, 对环境的污染因子为 γ 射线, γ 辐射总能量为 0.991MeV。

由公式(1)计算可得, 由 γ 射线产生的, 剂量为 10mCi 时距源 0.5 米处的空气比释动能率为 180.4 μ Gy/h, 1.0m 处的空气比释动能率为 45.1 μ Gy/h。

由公式(2)可计算出防护墙、门、窗外 30cm 处的空气比释动能率, 见下表 11-5。

表 11-5 ¹⁸F 核素显像 (单次剂量 10mCi)

位置		与计算点的距离 (m)	设计防护参数	换算为铅当量 (mmPb)	空气比释动能率 (μ Gy/h)
储源/分装室	墙体	2.55	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.028
	门	2.55	6mmPb	6	0.177
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
注射室 2	墙体	1.3	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.109
	门	1.3	8mmPb	8	0.201
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
PET-CT 机房	墙体	3.65	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.014
	门	3.65	6mmPb	6	0.087
	地板	2.5	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.029
	顶棚	2.5	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.029
PET-CT 休息室	墙体	2.7	25cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9	0.025
	门	2.7	8mmPb	8	0.047
	地板	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+6mmPb 防护涂料	8.5	0.04
VIP 休息室	墙体	2.8	25cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	11	0.007
	门	2.8	8mmPb	8	0.043
	地板	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	0.012
	顶棚	2.5	20cm 混凝土+8mmPb 防护涂料	10.5	0.012

由上表 11-5 可知，各计算点空气比释动能率均低于 2.5 μ Gy/h，屏蔽设计参数合理。

(2) β 粒子与韧致辐射屏蔽

^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 发生 β 衰变后，释放出 β 射线。 β 射线与周围物质作用形成韧致辐射，产生特征 X 射线和能谱连续分布的 X 射线。

引用《辐射防护手册》（原子能出版社）中的经验公式 (3) 计算 β 粒子的质量射程。

$$R = \frac{1}{2} E_{\beta, \max} \quad (3)$$

式中： R - β 粒子在屏蔽材料中的质量射程， $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ； E_{β} - β 粒子最大能量，MeV。

$$d = \frac{R}{\rho} \quad (4)$$

式中： d - β 粒子在屏蔽材料中的最大直线射程，cm； ρ -屏蔽材料的密度， $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

由公式 (3)、(4) 计算出各核素衰变释放出的 β 粒子在人体组织中的最大直线射程为 3.0mm~8.5mm。

表 11-6 β 粒子最大射程

核素/ 放射源	β 粒子的最大能量 (MeV)	人体组织密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	在组织中的最大直线 射程 (cm)
^{131}I	0.606	1	0.30
^{89}Sr	1.488	1	0.74
^{32}P	1.69	1	0.86

(3) X 射线比释动能率（韧致辐射）

$$p = \frac{1.71 \times 10^{-3} \cdot A \cdot Z \cdot E^2 \cdot T \cdot n}{10^{\frac{S}{TVT}} \cdot r^2} \quad (5)$$

式中： P -目标点剂量率值， μ Gy/h； A - β 源的放射性活度，mCi； Z -吸收 β 粒子屏蔽材料的原子序数； E - β 粒子的最大能量，MeV； T -居留因子，无量纲； n -安全系数，无量纲； S -屏蔽当量； TVT -十分之一值屏蔽层厚度； r -距防护计算点的距离，m。

以 ^{131}I 为例，取每次口服用药为 200mCi，由公式 (5) 计算可得，由 X 射线产生的，距源 0.5 米处的空气比释动能率为 3.34 μ Gy/h，1.0m 处的空气比释动能率为 0.84 μ Gy/h。

11.2 项目环境影响分析

11.2.1 III类射线装置

由“10.3 工作场所辐射防护屏蔽设计”分析可知，本项目 CT、胃肠机、口腔 X 射线机、牙片机、SPECT-CT、PET-CT 等 III 类射线装置机房屏蔽防护措施均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T 180-2006)、《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012)。只要拟建新院严格按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T 180-2006)、《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012)的要求进行机房的施工，则机房建成并运营后，对工作人员和公众的影响能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

11.2.2 核医学科

(1) 核医学科劳动定员

核医学科开展的工作种类为 SPECT-CT、PET-CT 显像、 ^{32}P 敷贴、骨癌治疗、甲亢治疗、甲癌治疗，拟配备工作人员 14 人，各类人员分工明确，一般情况下无工作重复，见表 11-7。

表 11-7 工作人员分工

工作人员	分工	工作人数 (人)
科室主任	负责科室全面工作、影像诊断审核、核素定量工作；协助医师/技师操作 SPECT-CT、PET-CT 及影像诊断工作。	1
医师/技师	负责核素显像前的摆位及操作 SPECT-CT 及影像诊断工作。	3
医师/技师	负责核素显像前的摆位及操作 PET-CT 及影像诊断工作。	3
护士	负责 ^{32}P 敷贴、甲癌、甲亢、骨癌的注射或给药。	3
	负责 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 核素显像前的注射或给药。	3
	负责病人预约、导诊。	1
合计		14

(2) 甲癌治疗工作人员

工作人员在放射性药品注射和给药等环节与患者距离较近，若不注意防护，则工作人员可能会受到大剂量辐射。根据医院提供的资料，每年甲癌患者 400 人次，注射或给药每次约 0.5min，全年累计约 200min。0.5m 处的空气比释动能率为 1365.3 $\mu\text{Gy/h}$ ，注射

或给药工作人员身穿 0.5mmpb 铅衣，则注射或给药工作人员的受照剂量率为 1250.5 μ Gy/h，工作人员分 3 组轮值，每组承担 1/3 工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $1250.5 \times 200 / 60 / 1000 / 3 = 1.389 \text{mSv/a}$ 。

(3) ^{32}P 敷贴、甲亢、骨癌的注射或给药工作人员

工作人员在放射性药品注射和给药等环节与患者距离较近，若不注意防护，则工作人员可能会受到大剂量辐射。根据医院提供的资料，每年 ^{131}I 治疗甲亢、 ^{89}Sr 治疗骨癌、 ^{32}P 敷贴的患者分别为 500、300、200 人次。以保守情况计算， ^{131}I 治疗甲亢时 0.5m 处的空气比释动能率为 170.66 μ Gy/h，注射或给药工作人员身穿 0.5mmpb 铅衣，则注射或给药工作人员的受照剂量率为 156.4 μ Gy/h，注射或给药每次约 0.5min，全年累计约 500min。工作人员分 3 组轮值，每组承担 1/3 工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $156.4 \times 1000 / 60 / 1000 / 3 = 0.869 \text{mSv/a}$ 。

(4) ^{131}I 核素显像工作人员

①注射和给药

工作人员在放射性药品注射和给药等环节与患者距离较近，若不注意防护，则工作人员可能会受到大剂量辐射。根据医院提供的资料，每年需要做 ^{131}I 核素显像患者约 1000 人次，注射或给药每次约 0.5min，全年累计约 500min。0.5m 处的空气比释动能率为 34.13 μ Gy/h，注射或给药工作人员身穿 0.5mmpb 铅衣，则注射或给药工作人员的受照剂量率为 31.26 μ Gy/h，工作人员分 3 组轮值，每组承担 1/3 工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $31.26 \times 500 / 60 / 1000 / 3 = 0.087 \text{mSv/a}$ 。

②SPECT-CT 核素显像

摆位：摆位加帮助患者离开每次约需 1min，每年需进行核素显像的患者 1000 人次，全年累计 1000min，0.5m 处的空气比释动能率为 34.13 μ Gy/h 计算，摆位工作人员身穿 0.5mmpb 铅衣，则摆位工作人员所受剂量率为 31.26 μ Gy/h，工作人员分为 3 组轮值，每组承担 1/3 工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $31.26 \times 1000 / 60 / 1000 / 3 = 0.174 \text{mSv/a}$ 。

核素显像：平均时间按 20min 计算，全年累计 20000min，进行核素显像时控制室内的空气比释动能率最高为 0.281 μ Gy/h，工作人员分 3 组轮值，每组承担 1/3 工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $0.281 \times 20000 / 60 / 1000 / 3 = 0.024 \text{mSv/a}$ 。

(5) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像

①注射和给药

工作人员在放射性药品注射和给药等环节与患者距离较近，若不注意防护，则工作人员可能会受到大剂量辐射。根据医院提供的资料，每年需要做^{99m}Tc核素显像患者（包含甲亢和甲测）约6000人次，注射或给药每次约0.5min，全年累计约3000min。0.5m处的空气比释动能率为57.8μGy/h，注射或给药工作人员身穿0.5mmpb铅衣，则注射或给药工作人员的受照剂量率为37.5μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $37.5 \times 3000 / 60 / 1000 / 3 = 0.625 \text{mSv/a}$ 。

②SPECT-CT核素显像

摆位：摆位加帮助患者离开每次约需1min，每年需进行核素显像的患者6000人次，全年累计6000min，0.5m处的空气比释动能率为57.8μGy/h计算，摆位工作人员身穿0.5mmpb铅衣，则摆位工作人员所受剂量率为37.5μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $37.5 \times 6000 / 60 / 1000 / 3 = 1.25 \text{mSv/a}$ 。

核素显像：平均时间按20min计算，全年累计120000min，进行核素显像时控制室内的空气比释动能率最高为0.006μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $0.006 \times 120000 / 60 / 1000 / 3 = 0.004 \text{mSv/a}$ 。

(6)¹⁸F核素显像工作人员

①注射和给药

工作人员在放射性药品注射和给药等环节与患者距离较近，若不注意防护，则工作人员可能会受到大剂量辐射。根据医院提供的资料，每年需要做¹⁸F核素显像患者约6000人次，注射或给药每次约0.5min，全年累计约3000min。0.5m处的空气比释动能率为180.4μGy/h，注射或给药工作人员身穿0.5mmpb铅衣，则注射或给药工作人员的受照剂量率为132.9μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $132.9 \times 3000 / 60 / 1000 / 3 = 2.215 \text{mSv/a}$ 。

②PET-CT核素显像

摆位：摆位加帮助患者离开每次约需1min，每年需进行核素显像的患者6000人次，全年累计6000min，0.5m处的空气比释动能率为180.4μGy/h，摆位工作人员身穿0.5mmpb铅衣，则摆位工作人员所受剂量率为132.9μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，则每组工作人员年有效剂量为 $132.9 \times 6000 / 60 / 1000 / 3 = 4.43 \text{mSv/a}$ 。

核素显像：平均时间按20min计算，全年累计120000min，进行核素显像时控制室内的空气比释动能率最高为0.087μGy/h，工作人员分3组轮值，每组承担1/3工作量，

则每组工作人员年有效剂量为 $0.087 \times 120000 / 60 / 1000 / 3 = 0.058 \text{mSv/a}$ 。

(7) 内照射

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

本次根据《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》进行估算，由于禁止在核医学工作场所进食、禁止在有伤口的情况下进行放射性核素操作，食入及伤口进入体内情况很少，因此估算情况采用单次吸入的情况下进行估算。

待积有效剂量 $E(\tau)$ 的估算采用下式计算

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

A_0 —放射性核素摄入量，Bq；

$e(\tau)$ —每单位摄入量引起的待积有效剂量，Sv/Bq。

吸入的气溶胶粒子大小取为 $5\mu\text{mAMAD}$ ，则：

(1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药时的内照射

从附录C中可得到 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ F类吸入时的 $e(\tau) = 2 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 每次最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，假设在准备给患者给药过程中发生意外泼洒，经去污后放射性表面污染最终有1%转化为气态，当操作 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物 (25mCi) 时，约有 $9.25 \times 10^5 \text{Bq}$ 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 排放至空气中。以1%作为吸入量偏保守计算，则 $E(\tau) = 9.25 \times 10^3 \text{Bq} \times 2 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq} \times 1000 = 0.001 \text{mSv}$ 。

以保守情况估算， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药工作人员共分3组，每组工作人员1年发生1次表面污染事件，则每组工作人员内照射剂量为 0.001mSv/a 。

(2) ^{89}Sr 骨癌治疗给药时的内照射

^{89}Sr F类吸入时的 $e(\tau) = 1.4 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ ， ^{89}Sr 每次操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，假设在准备给患者给药过程中发生意外泼洒，经去污后放射性表面污染最终有1%转化为气态，当操作 ^{89}Sr 药物 (5mCi) 时，约有 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 的 ^{89}Sr 排放至空气中。以1%作为吸入量偏保守计算，则 $E(\tau) = 1.85 \times 10^3 \text{Bq} \times 1.4 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq} \times 1000 = 0.003 \text{mSv}$ 。

以保守情况估算， ^{89}Sr 骨癌治疗给药工作人员共分3组，每组工作人员1年发生1次表面污染事件，则每组工作人员内照射剂量为 0.003mSv/a 。

(3) ^{131}I 显像给药时的内照射

^{131}I F类吸入时的 $e(\tau) = 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$, ^{131}I 每次操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$, 假设在准备给患者给药过程中发生意外泼洒, 经去污后放射性表面污染最终有1%转化为气态, 当操作 ^{89}Sr 药物(5mCi)时, 约有 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中。以1%作为吸入量偏保守计算, 则 $E(\tau) = 1.85 \times 10^3 \text{Bq} \times 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq} \times 1000 = 0.02 \text{mSv}$ 。

以保守情况估算, ^{131}I 显像给药工作人员共分3组, 每组工作人员1年发生1次表面污染事件, 则每组工作人员内照射剂量为 0.02mSv/a 。

(4) ^{131}I 甲亢治疗时的内照射

^{131}I F类吸入时的 $e(\tau) = 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$, ^{131}I 每次操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$, 假设在准备给患者给药过程中发生意外泼洒, 经去污后放射性表面污染最终有1%转化为气态, 当操作 ^{89}Sr 药物(25mCi)时, 约有 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中。以1%作为吸入量偏保守计算, 则 $E(\tau) = 9.25 \times 10^3 \text{Bq} \times 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq} \times 1000 = 0.1 \text{mSv}$ 。

以保守情况估算, ^{131}I 甲亢治疗给药工作人员共分3组, 每组工作人员1年发生1次表面污染事件, 则每组工作人员内照射剂量为 0.1mSv/a 。

(5) ^{131}I 甲癌治疗时的内照射

^{131}I F类吸入时的 $e(\tau) = 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$, ^{131}I 每次操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$, 假设在准备给患者给药过程中发生意外泼洒, 经去污后放射性表面污染最终有1%转化为气态, 当操作 ^{89}Sr 药物(200mCi)时, 约有 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ 的 ^{131}I 排放至空气中。以1%作为吸入量偏保守计算, 则 $E(\tau) = 7.4 \times 10^4 \text{Bq} \times 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq} \times 1000 = 0.8 \text{mSv}$ 。

以保守情况估算, ^{131}I 甲癌治疗给药工作人员共分3组, 每组工作人员1年发生1次表面污染事件, 则每组工作人员内照射剂量为 0.8mSv/a 。

综上所述, 各环节辐射工作人员受到的辐射剂量见下表 11-8。

表 11-8 各环节辐射工作人员受到的辐射剂量统计表

工作环境		辐射工作人员		
		外照射 (mSv/a)	内照射 (mSv/a)	总受照剂量 (mSv/a)
甲癌给药		1.389	0.8	2.189
甲亢、骨癌、 ³² P 敷贴给药		0.869	0.103	0.972
¹³¹ I 核素显像	注射和给药	0.087	0.02	0.107
	摆位	0.174	--	0.174
	SPECT-CT 核素显像	0.024	--	0.024
^{99m} Tc 核素显像	注射和给药	0.625	0.001	0.626
	摆位	1.25	--	1.25
	SPECT-CT 核素显像	0.004	--	0.004
¹⁸ F 核素显像	注射和给药	2.215	--	2.215
	摆位	4.43	--	4.43
	PET-CT 核素显像	0.058	--	0.058

根据上表 11-8，可以统计出本项目工作人员的受照剂量见下表 11-9。

表 11-9 本项目工作人员分工、分组及其受照剂量

分工	工作地点	工作小组 (组)	每组工作人员的 受照剂量 (mSv/a)
核素显像前的摆位及操作 SPECT-CT 及影像诊断工作	SPECT-CT 机房及 SPECT-CT 操作室	3	1.452
核素显像前的摆位及操作 PET-CT 及影像诊断工作	PET-CT 机房及 PET-CT 操作室	3	4.488
负责甲癌、甲亢、骨癌的注 射或给药	注射室 1	3	3.161
负责 ¹³¹ I、 ^{99m} Tc、 ¹⁸ F 核素显 像前的注射或给药	注射室 2	3	2.948

(8) 可能受影响的公众

核医学科的储源/分装室、注射室 1、注射室 2、甲癌病人抢救室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、甲癌病房 3 周边及通道为控制区，禁止公众进入，公众能到达的区域主要为核医学科边界围墙外区域。按设计对工作场所进行防护后，各防护设施边界外剂量率最高为 0.306μGy/h，以极端情况计算，受照射的时间取本项目最大年工作时间(SPECT-CT、PET-CT 摆位与扫描时间)为 276500min，居留因子取 1/16，则可能受影响公众所受的剂量为 0.306×276500/1000/60/16=0.09mSv/a。

(9) 剂量分析

根据上述计算，本项目相关辐射工作人员所受的外照射的年有效剂量最大为4.488mSv/a，低于评价项目提出的管理目标值（<5mSv/a）；公众的年有效剂量值为0.09mSv/a，低于公众照射年剂量管理目标值（<0.25mSv/a）。

11.3 采取三废处理措施后放射性固体废物和流出物对环境的影响

11.3.1 放射性固体废物

本项目的放射性固体废物主要为使用过的注射器、针头、棉签、导管、药棉、纱布、吸水纸、废弃药物瓶、放射性液体溢出时使用的乳胶手套、抹布以及甲癌病房患者使用过的生活废弃物等，每月约产生10kg。

核医学科按照核素活度大小与半衰期长短、按照废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，设置金属废物回收筒分开收集废物，与放射性药品接触过的针筒、试纸、烧杯等物品，先收集至废物回收筒。在回收桶外设置电离辐射标志。回收桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送废物间，并放入专用容器中贮存。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

放射性固体废物暂存满10个半衰期后，放射性已大幅衰减，当其活度低于GB18871附录A清洁解控水平并经审管部门确认后，作为普通医疗废物处理，不会对周围环境产生污染。

11.3.2 放射性废水

本项目产生的放射性废液包含¹³¹I、¹⁸F、^{99m}Tc、⁸⁹Sr、³²P放射性废液。医院根据放射性核素半衰期长短不同，拟对放射性废液进行分类收集和处理。

1、⁸⁹Sr放射性废水：⁸⁹Sr的半衰期为50.5d，为长半衰期废液，医院拟将患者给药后产生的放射性废液（尿液、粪便、呕吐物）采用具有辐射防护性能的收集器收集，单独存放于污物室，严禁排入衰变池。

2、医院拟修建核衰变池用于其他放射性废水的衰变贮存，经十个半衰期以上的衰变贮存，待废水放射性浓度低于排放标准后并经审管部门批准后，再排入医院总污水处理系统，经进一步处理后达标排放。

医院拟修建的核衰变池为互不连通的4级衰变池，容积分别为62.6m³、51.7m³、43.5m³、38.7m³。

衰变池处理工艺为：

1、先关闭 2#、3#、4#衰变池进水阀门，先打开 1#衰变池进水阀门，放射性废液流入 1#衰变池，当 1#衰变池满后，关闭 1#衰变池进水阀门；

2、打开 2#衰变池进水阀门，放射性废液流入 2#衰变池，当 2#衰变池满后，关闭 2#衰变池；

3、打开 3#衰变池进水阀门，放射性废液流入 3#衰变池，当 3#衰变池满后，关闭 3#衰变池；

4、打开 4#衰变池进水阀门，放射性废液流入 4#衰变池，当 4#衰变池满后，关闭 4#衰变池；

5、当放射性废液装满 4#衰变池后，打开 1#衰变池出水阀门，将 1#衰变池排空；

6、1#衰变池排空后，打开 1#衰变池进水阀门，将放射性废水排入 1#衰变池；

7、依次循环，达到放射性废水达标排放。

经估算：

1、保守情况下，废水至少停留 2#、3#、4#衰变池后排放，即停留时间为 249d。排入核衰变池的放射性废液，半衰期最长的为 ^{32}P (14.3d)，因此核衰变池可满足停留十个半衰期 (143d) 的要求。

2、满足每月排放的总活度不超过 10ALI_{\min} ($2.27 \times 10^6 \text{Bq}$) 的要求；

3、满足每一次排放的活度不超过 1ALI_{\min} ($2.27 \times 10^5 \text{Bq}$) 的要求。

综上所述，放射性废水满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求，放射性废水经检测合格后的排放，不会对周围环境造成影响。

11.3.3 放射性废气

医院产生的放射性废气主要是由于 ^{131}I 挥发产生的废气，由于二期综合大楼暂未建成，通风橱气流经活性炭过滤装置过滤后，暂通过临时管道抽到旧急诊大楼楼顶排放，二期大楼建成后，废气将被抽到二期综合大楼楼顶排放。

经估算，每年约有 $2.00 \times 10^6 \text{Bq}$ 的放射性气体通过排风管道排放至空气中。

医院定期更换排气系统的活性炭过滤材料，更换频率为 3 月/次，对周边环境不会造成影响。

事故影响分析

11.4 事故影响分析

11.4.1X 射线装置事故影响分析

1、安全联锁装置发生故障状况下，工作人员或病人家属误入正在运行的射线机房而造成 X 射线误照射；

2、工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离射线机房，可能产生误照射；

3、工作人员在手术室内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害；

4、维修期间的事故，维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

事故工况下主要放射性污染物为 X 射线，主要污染途径为 X 射线外照射。

11.4.2 非密封放射性物质工作场所事故影响分析

1、由于误操作，导致较大放射性剂量注射的情况。

2、由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

3、由于操作不慎，有少量的液态放射性药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

11.5 事故预防措施

1、为避免或减少事故发生，平时应做好应急演练与准备工作，落实岗位责任制和各项规章制度。科室指定一名辐射安全员负责检查监督本科室各项措施的落实情况。

2、坚持对人员放射防护知识培训和应急处理方法培训，定期组织学习和训练，提高自救能力。

3、放射工作场所按要求控制区、监督区，并设置警示标志，无关人员一律不允许进入控制区。场所必须按要求安装监控装置、对讲装置和联锁装置。

4、按要求配备个人剂量计、个人剂量报警仪、放射防护用品。

5、按国家规定和标准定期对设备进行应用性能检测，做好质量保证工作。

6、将机房门关闭前，执行治疗人员一定要检查并确认治疗机房内无其他人员，方可

关门。

7、按要求持证上岗，严格按诊疗规范操作。

8、放射事故处理以后，必须分析事故原因，吸取经验教训，采取有效措施防止类似事故的再次发生。

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

医院根据《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》等有关辐射防护法律、法规的有关要求，为更好地完善各专业组建设，组织成立了辐射防护与安全管理小组。

(1) 小组成员

组长：兰平

副组长：彭俊生、任东林、邬利娜

委员：胡平、张杰，胡瑞，陈春，黎杏桃

(2) 人员职责

①建立健全各项规章制度和质量保证制度，定期组织例会对放射工作立项，设备的引进以及防护配置等进行论证，提出实施方案与计划，为医院领导决策提供科学依据。

②根据国家法律和各级行政管理部門的管理规定，负责建立和完善医院放射性药物及射线装置的管理和射线的防护，放射性药物的订购和安全使用、放射性废物废水的处理工作。

③负责对新建、改扩建、拆迁有关放射、防护工程进行前期可行性研究并报批有关部门。

④负责放射性同位素及射线装置的购置、审批与管理。

⑤监管、布置和检查放射性同位素与射线装置等放射防护管理工作落实情况，定期实施工作环境和相关工作人员的放射防护监测。

⑥负责组织从事放射性工作人员的健康体检和放射防护知识培训。

(3) 根据环境保护部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年)，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。医院已组织相关辐射工作人员参加广东省射安全与防护培训，辐射工作人员须持证上岗，见附件 8。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据医院前期环评资料，医院已制定了部分辐射安全管理制度，并已按照制度严格执行。经过对前期制度的修改和补充，现有相关辐射安全管理制度如下（制度内容详见附件 9~19）。

- ① 《辐射防护与安全管理小组岗位职责》
- ② 《辐射安全与防护管理制度》
- ③ 《放射性同位素安全管理制度》
- ④ 《医用 X 射线装置操作规程》
- ⑤ 《SPECT-CT/PET-CT 操作制度》
- ⑥ 《核医学科操作规程及工作制度》
- ⑦ 《辐射监测计划》
- ⑧ 《辐射工作人员培训制度》
- ⑨ 《医用 X 射线设备维护和保养制度》
- ⑩ 《质量控制管理制度》
- ⑪ 《放射性药物使用登记制度》

辐射安全管理制度评价：医院已成立了辐射防护与安全管理小组，并明确了相应管理成员的职责。经过对医院前期辐射安全管理制度的修改和补充，医院现有辐射安全管理制度已较为全面，制度内容也较为可行，涵盖了操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、监测计划、人员培训制度、设备维护和保养制度、质量控制管理、放射性药物使用登记制度、事故应急预案等方面。

12.3 辐射监测

根据中山大学附属第六医院前期的环评资料，医院已对射线装置和核医学科的监测计划提出了明确的要求，制定了《辐射监测计划》，内容包含以下几个方面：

（一）射线装置监测

1、对射线装置机房工作场所和周围区域辐射水平（距离观察窗 30cm，机房门缝左、右 30cm，机房墙体 30cm，操作台）进行全面的辐射水平监测；

2、定期 X 射线机防护性能检测，X 射线机机房防护设施的检查测试，X 射线机机房周围辐射安全的检查测试。环境 X- γ 辐射剂量率的监测：每年 1 次。

3、项目竣工后，应尽快委托有资质的单位进行验收监测，作出辐射安全状况评价。

（二）核医学科监测

1、非密封源工作场所工作人员操作后离开工作场所前应进行表面污染监测。

2、从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测。

3、对诊疗后的等高活性区域，应进行表面沾污和 X- γ 辐射剂量率监测和去污。

（三）个人剂量监测

辐射工作人员工作时，用 TLD 累计剂量计进行监测，每季 1 次，并建立个人剂量监测档案。

医院已严格按照环评和相关批复要求落实了个人剂量监测工作制度，根据 2014 年 7 月~2015 年 6 月的个人剂量检验报告（见附件 21），个人剂量最高值为 3.8mSv/a（介入科吴可通铅衣外剂量），低于管理目标值 5mSv/a。

根据对以上《辐射监测计划》的分析，前期制定的《辐射监测计划》基本可行，但还需进行以下补充修改及建议：

1、日常自行监测

拟配备便携式 X- γ 剂量率仪和表面污染检测仪器，并通过制定监测制度，定期对核医学工作场所进行监测。拟规定每次进行非密封放射性物质操作后对工作场所（工作台、设备、墙壁、地面）以及操作人员的工作服、手套、工作鞋等进行放射性污染检测，确认无放射性污染后方可离开辐射工作场所。

如果发现有放射性污染，应采取相应的去污措施，防止放射性污染外环境。并将每次监测结果记录存档备查。

监测频率：每次进行非密封放射性物质操作后均需检测。

监测范围：辐射工作场所。

监测项目：空气吸收剂量率、 β 表面污染。

表 12-1 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（该区内的高污染子区除外）	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

2、年度监测

通过制定监测制度，规定每年委托有相关资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并按规定将监测结果上报环境保护行政主管部门。

监测频率：每年常规监测一次。

监测范围：辐射工作场所及周边环境。

监测项目：空气吸收剂量率、 β 表面污染。

3、验收监测

项目竣工后，委托有相关监测资质的监测单位对核医学工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

监测范围：辐射工作场所及周边环境。

监测项目：空气吸收剂量率、 β 表面污染。

12.4 辐射事故应急

根据医院前期的环评资料，医院已制定了《放射性同位素与射线装置辐射事故应急预案》，但前期应急预案中缺少部分核医学科的应急处理措施。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008年修正）的有关规定，我院已对前期应急预案进行了修改和补充，现有《放射性同位素与射线装置辐射事故应急预案》如下（详见附件20）：

（1）应急领导小组：

组长：彭俊生

副组长：汪中扬、任东林

成员：王秀平、邓颖辉、韦景法、朱炳强、张波、李初俊、闵登梅、周智洋、房思炼、林军、林锋、郑坚、姜宗培、胡平、胡浩、郭学峰、黄美近、程康林、路婧、靳三庆、潘滔、黎鼎如

秘书：何志诚、张占文、麦文瀚

（2）应急响应程序

医院辐射事故应急处理领导小组全面负责辐射事故应急处理工作。

①辐射事故的报告

发生或者发现辐射事故的科室和个人，必须立即向医院医疗值班报告。事故应急处理办公室在接到报告后，立即启动辐射事故应急方案，根据事故等级采取相应的事故应急处理措施。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向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，还应向卫生行政部门报告。

②辐射事故的处理

事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和辐射防护人员的参与下进行，无关人员不得进入事故区。应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。负责组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。在环保、公安和卫生部门未确定达到安全之前，不得解除封锁。

（3）事故的处理原则

发生轻微事故后立即封锁现场，专业人员迅速查明泄露原因，凡能通过切断事故源等处理措施消除事故的，则以自救为主。发生较大以上事故后，迅速安排受照人员接受

医学检查，在指定医疗机构救治。组织有关人员携带仪器设备赶赴现场进行检测，核实事故情况，估算受照剂量、污染范围和程度、判定事故类型和级别，提出控制措施和方案。

(4) 不同类型事故的一般处理措施

①患者在诊疗过程中，因错误操作受到超剂量照射时

应迅速查清使用放射性药物的种类、活度，准确掌握体征，密切观察病情变化，及时采取救治措施。对不能进行现场救治者立即将其送至放射性源事故应急定点医院，进行检查与治疗，或者请求放射性源事故应急定点医院立即派人赶赴事故现场，采取法治措施。

②发生射线泄露等严重事件时：

- a.立即终止原放射诊疗操作，关闭操作电源；
- b.迅速撤离有关人员，对事故受照射人员进行及时的检查、救治和医学观察。
- c.保护事故现场，保留导致事故的材料，设备和工具等。
- d.及时报告医院辐射应急领导小组，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，及时报告广东省环保厅、广州市环境保护局、公安局和卫计委。
- e.根据放射事故的性质，配合有关部门，积极采取相应的措施。

③造成工作场所表面污染时

- a.立即疏散现场人员，封锁现场，切断一切可能扩大污染范围的环节。
- b.应迅速查清使用放射性药物的种类、活度，协助确定污染范围和污染程度。
- c.对污染程度进行评估分析，组织专业技术人员对受污染区域进行去污，在污染现场未达到安全水平以前，不得解除封锁：

d.工作人员穿戴防护服并携带报警式剂量计后，进入污染区撤下操作台面的吸水纸，并用新吸水纸将污染处的泄漏液吸干，装入塑胶袋内，放入放射性废物收集铅桶内，在操作台面上铺上新吸水纸。造成地面污染时，用吸水布沾水擦拭污染处，更换吸水布，重复擦拭，或用水冲洗污染处，直至检测达容许限值内；当污染放射性活度较高时，用铅板、铅皮尽量覆盖污染处面上，撤离并封闭现场，待放射性衰变至符合标准要求后方可使用。

④辐射工作人员受到放射性物质污染

辐射工作人员受到污染，应脱去所有衣物，并将衣物装入塑胶袋内，放入放射性废

物收集铅桶内。用表面污染监测仪对全身进行监测，如仍有超标污染，用肥皂及大量自来水冲洗被污染部位，重复清洗，直至经检测达容许限值内；如被污染处不能用大量自来水冲洗，则用棉花或纱布沾水擦洗污染部位，重复擦洗，直至经检测达至容许限值内；如污染部位皮肤破损，则应送至医院，由专业人员进行除污。

⑤丢失放射性物质时：

a.保护事故现场。

b.及时报告医院辐射应急领导小组，及时报告广东省环保厅、广州市环保局、公安局和卫生局。

c.协助公安及卫生部门迅速查找，追回丢失的放射性物质。

(5) 应急人员的培训演习计划

(1) 应急培训

医院每年至少组织 1 次辐射事故应急预案的培训。培训的主要内容：法律法规、应急预案、应急监测、辐射防护、应急处置和应急响应程序等。

(2) 应急演练

医院每年至少组织一次辐射事故应急演练。辐射事故应急演练应根据可能发生的辐射事故组织有针对性的演练，采取桌面推演、模拟现场演练等形式，突出练组织、练指挥、练程序、练技术、练处置，不断提升辐射事故的应急处置能力，并对每一次演练应认真进行评价和总结。

(6) 经验教训总结

总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。为避免或减少事故发生，平时就要做好应急培训及演练，落实岗位责任制和各项制度。坚持对辐射工作人员安全、应急常识的教育工作。定期组织辐射工作人员的防护知识培训。

(7) 其它

①辐射事故中对受辐射人员，要通过个人剂量计、模拟实验、生物和物理检测、事故现场样品分析等方法迅速估算人员的受照剂量，及时就地治疗或立即转移到有关医院治疗。

②对一次受照有效剂量当量超过 0.05Sv 者，应给予医学检查；对一次受照有效剂量当量超过 0.25Sv 者，应及时给予医学检查和必要的医学处理。

③当发生地震、洪水等不可预知的灾害时，应封锁事故区域并设立警示标志，并通知环保局等落实放射源泄漏程度，避免放射性事故发生。

④当发生辐射事故的射线装置或场所修复后，必须经环保部门监测安全合格后方可解除封锁，未监测前仍要封锁事故场所。

(8) 应急电话

彭俊生（组长）：13802963578

应急办公室：020-38254011

环保部门：12369

公安部门：110

卫生部门：120

应急预案的评价：

经过对前期《放射性同位素与射线装置辐射事故应急预案》的修改和补充，医院已成立了应急领导小组，并明确了领导小组的职责，制定辐射事故应急处理措施，制定的应急措施可行。本项目正式开展后，医院应每年对本单位放射性物质与射线装置的辐射安全与管理状况进行一次自我安全评估，安全评估报告对存在安全隐患及时提出整改方案，安全评估报告每年 1 月 20 日前报送省级环保部门。年度评估报告包括放射性物质台帐、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。符合《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（中华人民共和国环境保护部令 第 3 号）第四十二条的相关要求：辐射工作单位应当编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。

12.5 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

国家环保部 2008 年 3 号令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了 8 个具体条件，本项目具备的条件与“3 号令”要求的对照检查见下表 12-2。

表 12-2 项目执行“3 号令”要求的对照符合情况

3 号令要求	实际情况	符合情况
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。	医院已成立辐射防护与安全管理小组，组长由院长担任。	符合
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和考核。	医院拟组织辐射工作人员参加广东省辐射防护协会组织的培训，取得合格证书后才能从事相关工作。	符合
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。	将设置能够满足辐射防护和实体保卫要求的储源室，并安装防盗门。	符合
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	采用屏蔽、场所分区、悬挂警示标志以及远距离操作等方法，防止工作人员和公众受到大剂量照射。	符合
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、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。	拟配备 1 台表面污染监测仪、1 台 γ 辐射监测仪及个人防护用品等（详见表 10-8）。	符合
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。	制定有较为齐全、比较严格的辐射安全防护制度，如：《辐射防护与安全管理小组岗位职责》、《辐射安全与防护管理制度》、《放射性同位素安全管理制度》、《医用 X 射线装置操作规程》、《SPECT-CT/PET-CT 操作制度》、《核医学科操作规程及工作制度》、《辐射监测计划》、《辐射工作人员培训制度》、《医用 X 射线设备维护和保养制度》、《质量控制管理制度》、《放射性药物使用登记制度》等。	符合
有完善的辐射事故应急措施。	已制定了《放射性同位素与射线装置辐射事故应急预案》	符合
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。	核医学科配套污物室暂存放射性固废。放射性废水排至核衰变池（总容积 182m ³ ）暂存衰变。放射性废气经活性炭吸附处理后引至楼顶高空排放。	符合

表 13 结论与建议

结论

13.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

为进一步满足群众就医需求，医院拟对核技术利用项目进行扩建：

1、新购置胃肠机、CT、口腔 X 射线机、牙片机、SPECT-CT（射线装置部分）、PET-CT（射线装置部分）各 1 台，共 6 台 III 类射线装置；

2、使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 进行核素显像和放射诊疗，各放射性核素总日等效操作量为 $3.29 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所。该工作场所已于 2013 年进行了环境影响评价，并取得了环评批复（粤环审[2014]73 号），但由于医院发展的需要，在设计过程中对该工作场所的平面布局产生了重大变更，因此在未建设前重新进行环境影响评价。

(2) 项目选址合理性

中山大学附属第六医院位于广州市天河区员村二横路 26 号，周边为街道及商住楼。项目周围 200 米范围内无幼儿园及中小学，符合《广东省未成年人保护条例》（2009 年 1 月 1 日实施）的要求。

本项目是核技术利用扩建项目，是在原有核技术应用项目的选址内扩建 III 类射线装置及核医学项目。

综上所述，本项目选址无明显制约性因素，选址基本合理。

(3) 工作场所布局合理性

① III 类射线装置机房布局合理性：

CT、胃肠机位于核医学科（二期综合大楼负一层），开展辐射工作的区域比较集中，各诊断机房均为隔室操作，布局合理。

口腔 X 射线机位于放射科（综合大楼地下负一层），为 DR（1 号机房）控制室、患者准备间改建而成。口腔 X 射线机在核医学科，与核医学科的其他射线装置集中在一起，布局合理。

牙片机位于口腔科（急诊楼三层），周边为消毒间、治疗室、手术准备间及路灯，机房相对独立，布局基本合理。

② 核医学科布局合理性：

核医学科工作场所位于中山大学附属第六医院二期综合大楼负一层，功能布局遵循高低活性区不交叉的原则，甲癌病房、储源/分装室、注射室 1、注射室 2 等高活性区域放置在一起，位于西北角落，护士站、值班室、更衣室等非活性区位于东南角落。同时通过功能布局并结合管理规章制度，避免接触放射药品工作人员、不接触放射药品的工作人员与患者间的相互交叉感染。综上所述，核医学科工作场所布局基本合理。

(4) “三废”的治理

放射性废水：放射性废水满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，放射性废水经检测合格后的排放，不会对周围环境造成影响。

放射性废气：由于二期综合大楼暂未建成，通风橱气流经活性炭过滤装置过滤后，暂通过临时管道抽到旧急诊大楼楼顶排放，二期大楼建成后，废气将被抽到二期综合大楼楼顶排放。医院定期更换排气系统的活性炭过滤材料，更换频率为 3 月/次，对周边环境不会造成影响。

放射性固废：放射性固体废物暂存满 10 个半衰期后，放射性已大幅衰减，当其活度低于 GB18871 附录 A 清洁解控水平并经审管部门确认后，作为普通医疗废物处理，不会对周围环境产生污染。

(5) 环境辐射现状调查

依据《广东省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(广东省环境监测中心站)，广州市室内 γ 剂量率值范围 104.6~264.1nGy/h。监测结果表明，所有测量点位(包含补充监测点位)处的 X- γ 辐射剂量率均在广州市室内剂量率背景值范围内。

(6) 辐射安全管理

医院已成立了辐射防护领导小组，并明确了相应管理成员的职责；并制定了适合该医院自主管理的辐射安全管理制度，这些辐射安全管理制度较为全面，制度的内容可行。

13.2 环境影响分析结论

根据理论计算，本项目相关辐射工作人员所受的外照射的年有效剂量最大为 4.488mSv/a，低于评价项目提出的管理目标值 (<5mSv/a)；公众的年有效剂量值为 0.09mSv/a，低于公众照射年剂量管理目标值 (<0.25mSv/a)。

13.3 可行性分析结论

(1) 产业政策相符性结论

本项目属医疗卫生服务设施建设项目，根据《产业结构调整指导目录(2011 年本)》

(2013年修正)中“第一类 鼓励类,三十六、教育、文化、卫生、体育服务业,29、医疗卫生服务设施建设”,本项目属于国家鼓励类项目,因此,本项目与国家产业政策相符。

(2) 实践正当性与代价利益结论

本项目的开展,在给患者带来利益的同时,对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目管理目标值,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”要求。

综上所述,本评价认为中山大学附属第六医院核技术利用扩建项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)、《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T 180-2006)、《X射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012)、《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)和《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)的要求,中山大学附属第六医院在落实本报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后,其运行对周围环境产生的影响能符合辐射环境保护的要求。因此,本项目的建设和运行从环境保护角度分析是可行的。

12.4 建议和承诺

- 1、遵守辐射安全与辐射环境保护的法律、法规,加强全院的辐射安全的管理。
- 2、按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》(环保部18号令)要求开展个人剂量监测、工作场所监测和环境监测工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

年 月 日

经办人

审批意见：

公 章

年 月 日

经办人