

核技术利用建设项目

海南济民博鳌国际医院有限公司 新建核医学科项目环境影响报告表

海南济民博鳌国际医院有限公司

2018年7月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

海南济民博鳌国际医院有限公司 新建核医学科项目环境影响报告表

建设单位名称：海南济民博鳌国际医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：海南省琼海市博鳌镇海滨旅游区（博鳌、滨海小镇）1 幢 6
层 608 房

邮政编码：571400

联系人：***

电子邮箱：/

联系电话：***

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建核医学科项目			
建设单位		海南济民博鳌国际医院有限公司			
法人代表		***	联系人	***	联系电话
注册地址		海南省琼海市博鳌乐城国际医疗旅游先行区康祥路 11 号			
项目建设地点		康祥路 11 号医院住院门诊综合楼地下一层			
立项审批部门		/		批准文号	
建设项目总投资 (万元)		3000	项目环保投资 (万元)	500	投资比例 (环保投资/总投资)
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	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		
		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	生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		销售	/		
	射线装置	使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
其他	使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
/					
<p>1、建设单位概述</p> <p>海南济民博鳌国际医院有限公司（简称“博鳌国际医院”）位于海南博鳌乐城国际医疗旅游先行区康祥路 11 号，由浙江济民制药股份有限公司投资设立的三级甲等综合医院，医院占地 81.6 亩，总建筑面积 6.3 万平方米，核定病床数 500 张，总投资约 10 亿元人民币。目前，医院的基础建设基本结束，博鳌国际医院由住院门诊综合楼、门诊楼、实验室大楼、VIP 康复疗养区、职工及专家楼等组成。</p> <p>2、核技术利用项目建设规模、目的和任务的由来</p> <p>为了提高医院的医疗质量，给病人就医创造了良好条件，根据医院计划，医院拟在住院门诊综合楼地下一层开展核医学诊断治疗核技术利用项目，包括使用 1 台 Ingenuity TF 型 PET/CT，并使用非密封放射性物质 ¹⁸F 进行显像诊断（共配有 7 枚 ²²Na 校准源，均属 V 类密封源），另外拟使用 ¹³¹I 核素开展甲功测定、甲亢治疗。</p> <p>根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、</p>					

《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，受博鳌国际医院的委托，苏州热工研究院有限公司（国环评证甲字第 1904 号）承担了该院新建核医学科项目的环境影响评价工作。通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察和监测（委托海南瑞辐环保科技有限公司）等工作的基础上，编制了本项目环境影响报告表。

3、核技术利用项目概况

本项目环评核技术利用项目基本情况见表 1-1:

表 1-1 博鳌国际医院核技术利用情况一览表（本项目）

非密封放射性物质								
序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)		年最大用量 (Bq) ^(*)	工作场所名称	活动种类、范围	病人最大用量/单次 (Bq)	日(年)最大诊疗人次
1	¹⁸ F	7.4×10 ⁹		5.33×10 ¹²	住院门诊综合楼地下一层	使用、乙级非密封放射性物质工作场所	3.7×10 ⁸	20 (7200)
2	¹³¹ I	3.7×10 ⁶ (甲功)	合计: 3.7×10 ⁹	1.33×10 ¹²	住院门诊综合楼地下一层		1.85×10 ⁵	20 (7200)
		3.7×10 ⁹ (甲亢)					3.7×10 ⁸	10 (3600)
备注*: 经了解, ¹⁸ F 药物和 ¹³¹ I 药物均是由海口供应商运输至医院, 路程时间约 2h, ¹⁸ F 核素的半衰期为 109.7min, ¹³¹ I 核素的半衰期是 8.04d, 由于 ¹⁸ F 半衰期相对较短, 其运至医院时活度将减半, 故本次评价将其年最大用量放大 2 倍, 以保障医院最大用药量。								
射线装置								
序号	射线装置型号/名称	数量 (台)	最大管电压及管电流	类别	应用目的和任务	工作场所名称		
1	Ingenuity TF/PET/CT	1	140 kV; 663mA	III	放射诊断	住院门诊综合楼地下一层 PET/CT 机房 (机房面积 49.77 m ²)		
放射源								
序号	放射源名称	数量 (枚)	单枚放射性活度 (Bq)	放射源类别	工作场所名称			
1	²² Na	1	3.70×10 ⁶	V	PET/CT 机房(PET/CT 用校准源)			
2	²² Na	6	3.70×10 ⁵					

4、项目位置及周围环境

海南济民博鳌国际医院有限公司坐落于海南省琼海市博鳌乐城国际医疗旅游先

行区康祥路 11 号，医院地理位置图见图 1-1，医院边界外北侧为文博街，西侧隔道路为绿化，东侧隔康祥路为在建的长升国际医疗健康中心，南侧隔道路为医疗产业园的其他公司。院区平面布置见图 1-2。

本项目拟建的核医学科项目位于医院住院门诊综合楼（大楼共十层）的地下一层北端，核医学科所在区域正上方为一楼会议室和医疗咨询室，无地下二层建筑，核医学科南侧隔通道为地下一层放射科区域，北侧墙外为土层（土层上方隔院区道路为职工宿舍楼），西侧墙外为土层（土层上方为院区通道），东侧为下沉庭院及地面绿化，在核技术利用工作场所周围 50m 范围除了西侧至医院边界外的绿化区，其余在院区范围内，项目选址合理，医院周围环境见图 1-3。核医学科及其正上方区域的平面布置分别见图 1-4、图 1-5。核医学科项目周围环境见图 1-6。

5、原有项目核技术利用和许可情况

目前，医院首次开展核技术利用项目，未有辐射安全许可证。



图 1-1 项目地理位置图

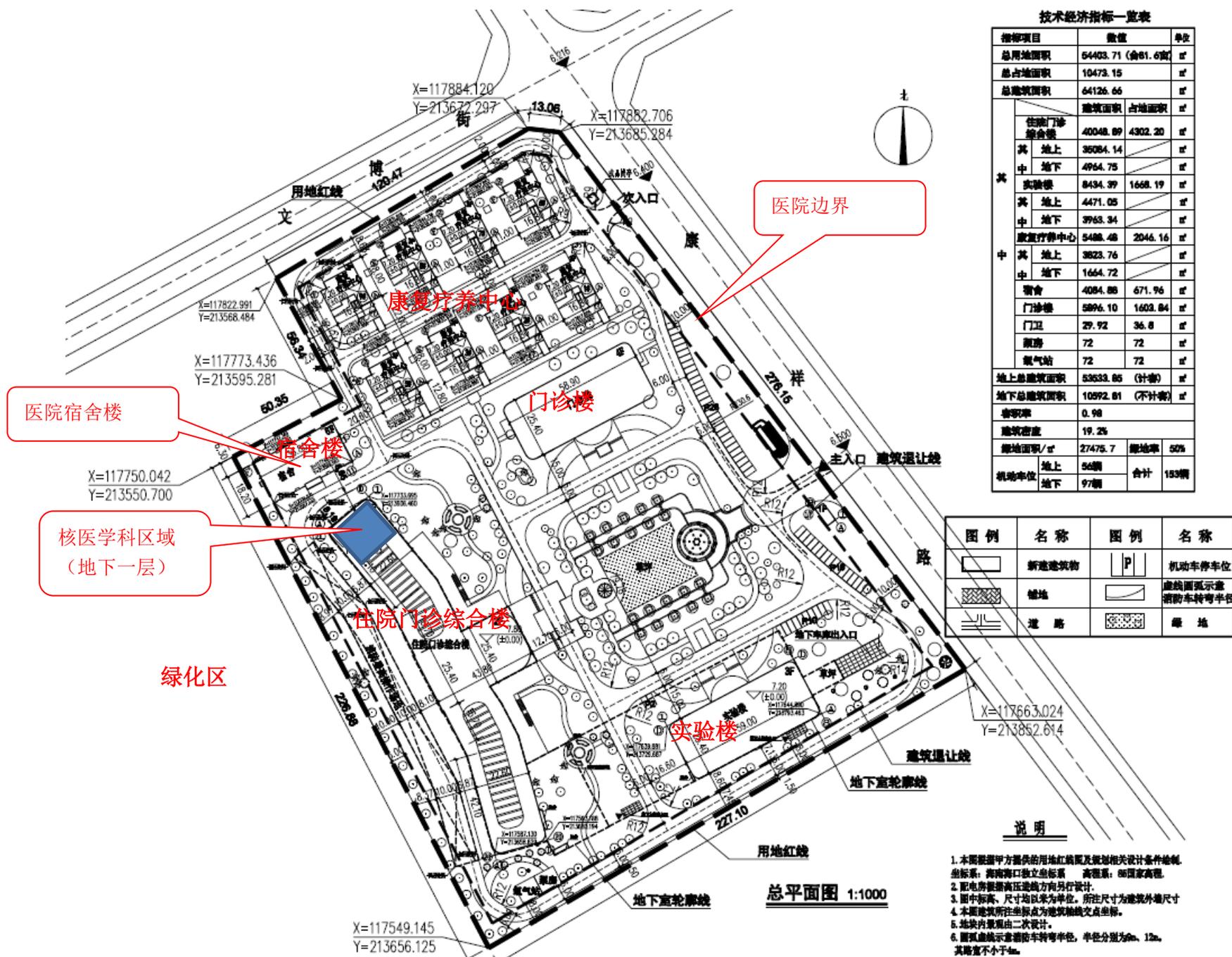


图 1-2 医院平面布局图

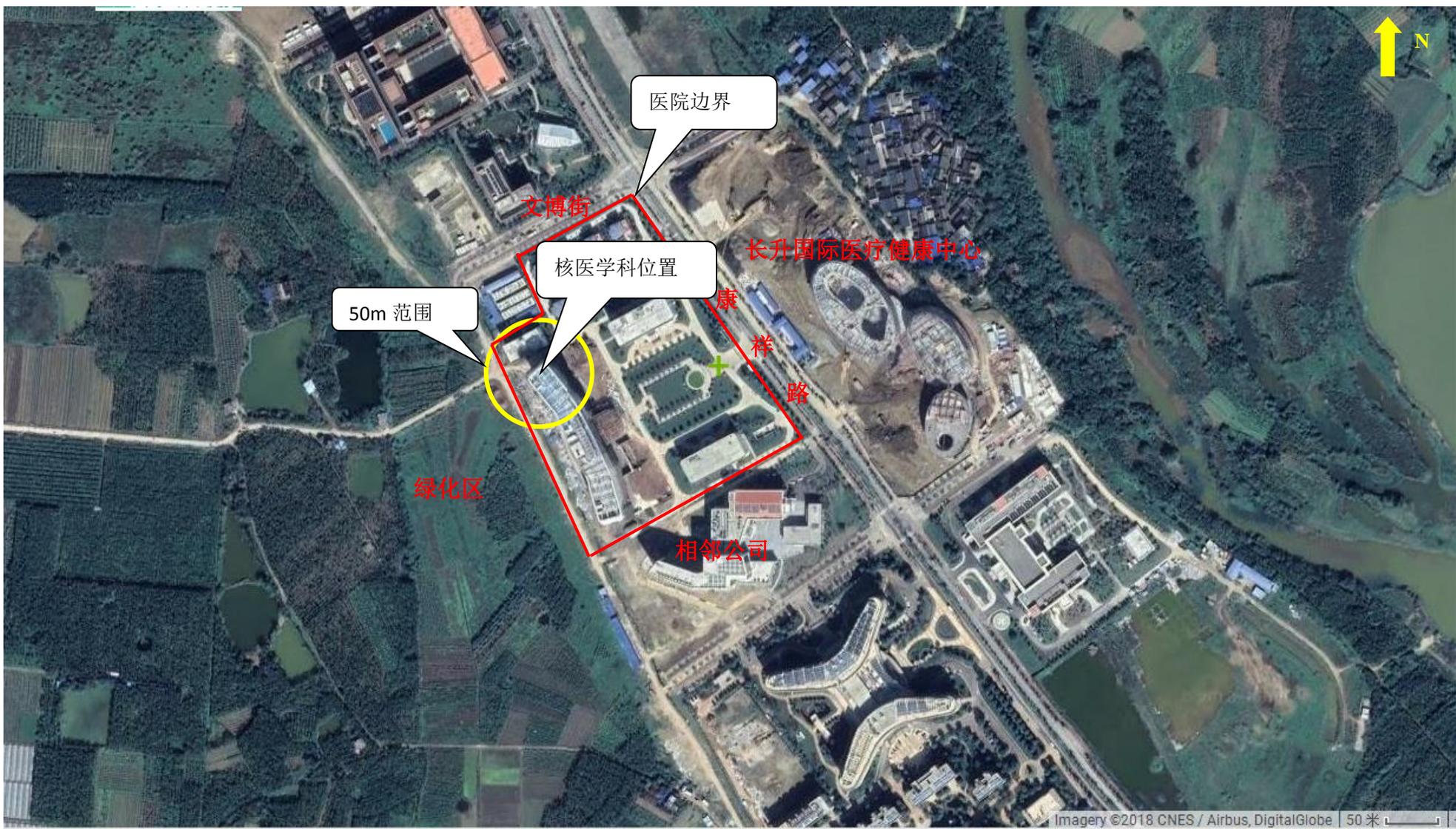


图 1-3 医院⁶周围环境图

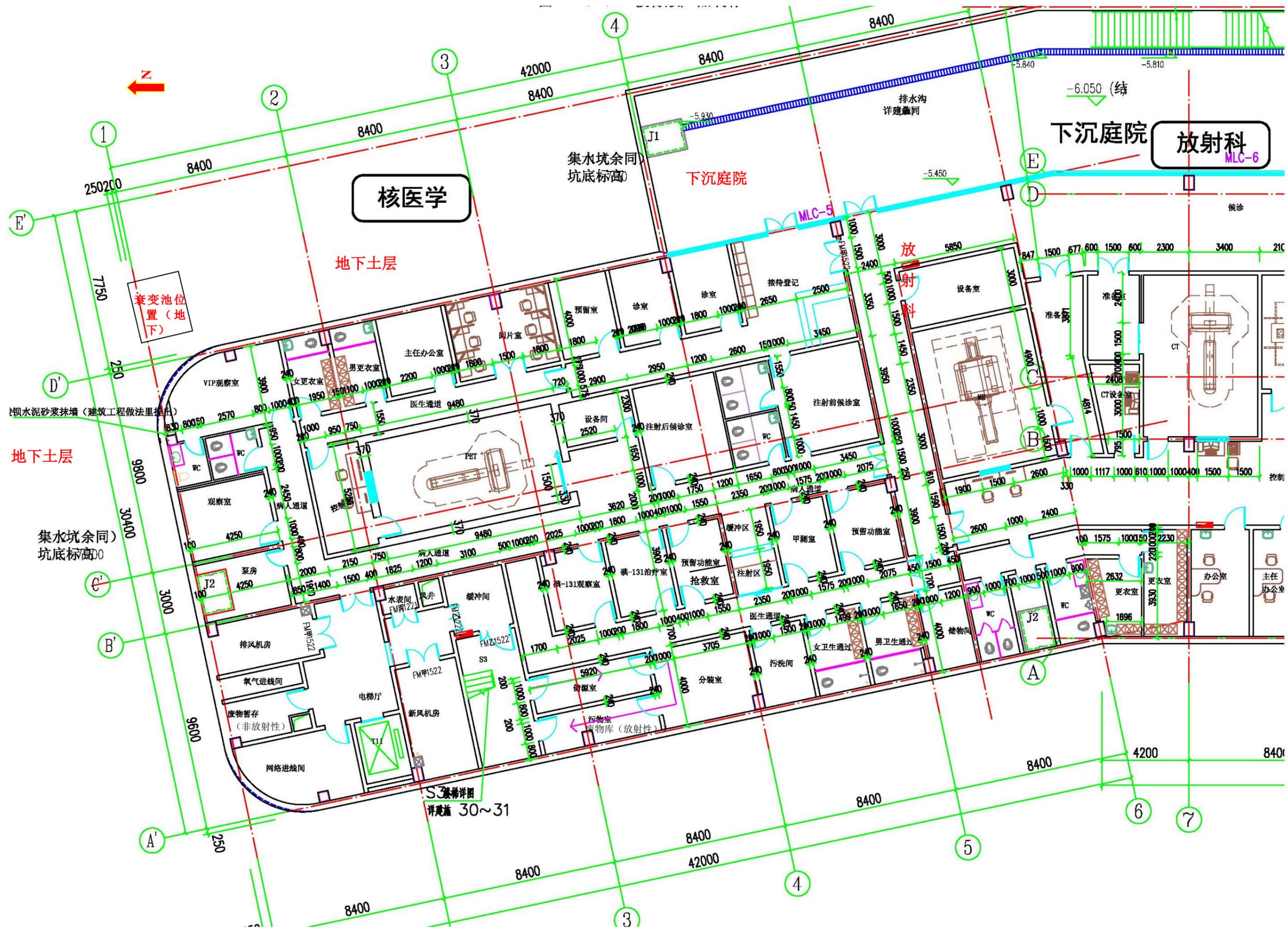


图 1-4 核医学科平面布局图 (地下一层)

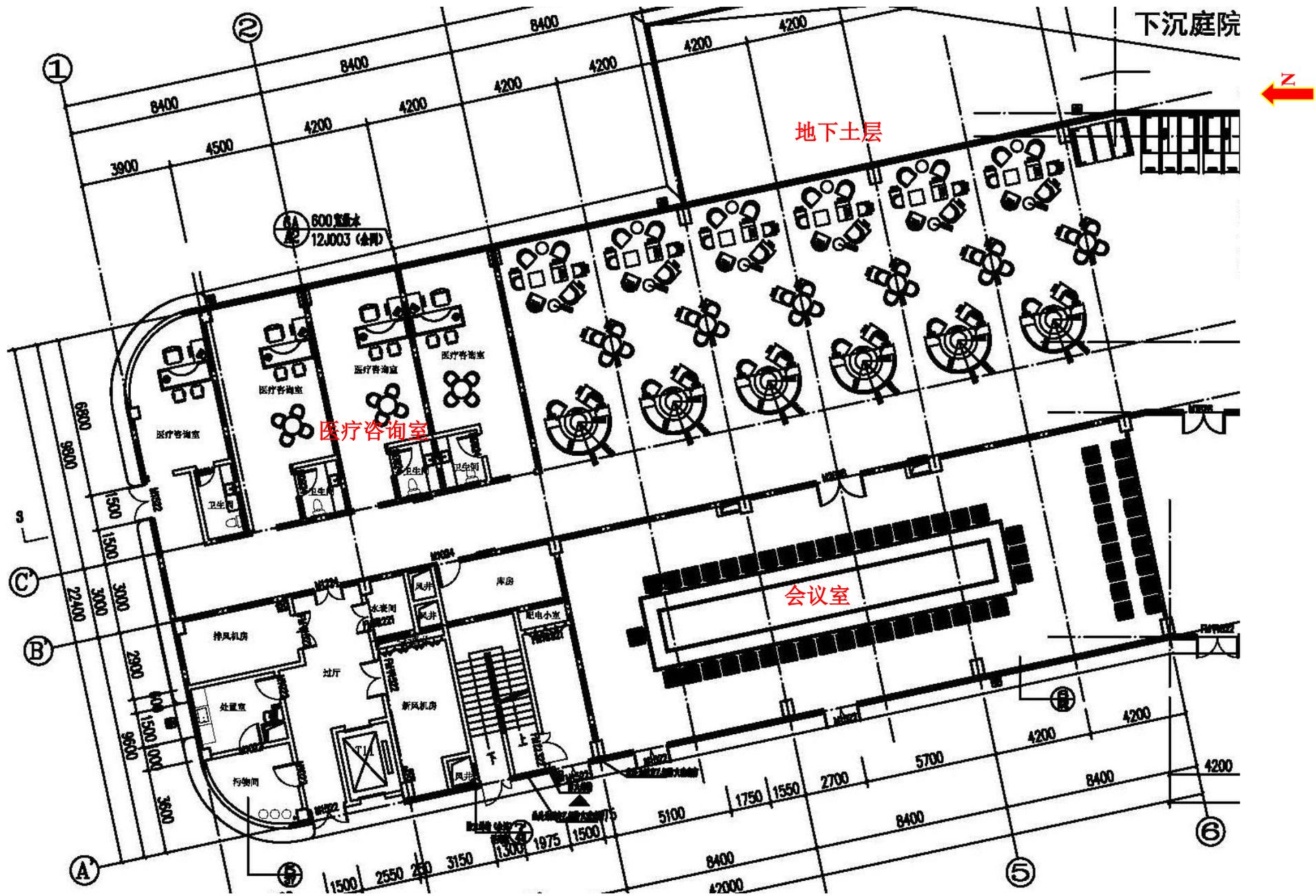


图 1-5 核医学科正上方区域平面图（大楼地面一层）



核医学科所在楼北侧道路及宿舍楼



核医学科所在楼西侧道路



核医学科所在楼东侧绿化



核医学科正上方区域会议室（一层）

图 1-6 核医学科周围环境图

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	²² Na	3.70×10 ⁶ ×1	V	使用	设备校正	PET/CT 机房 (PET/CT 用校准源)	校准使用时置于 PET/CT 设备中, 不使用时屏蔽在铅外壳的容器中存放于储源室	/
2	²² Na	3.70×10 ⁵ ×6	V	使用	设备校正			/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态低毒	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	5.33×10 ¹²	医学诊断	很简单的操作	核医学科	根据使用量购买, 不贮存, 当天送达当天使用, 屏蔽在铅罐中放置于通风柜内
2	¹³¹ I	液态中毒	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁸	1.33×10 ¹²	核素治疗	简单操作	核医学科	根据使用量购买, 不贮存, 当天送达当天使用, 屏蔽在铅罐中放置于通风柜内

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	PET/CT	III	1 台	Ingenuity TF	140	663	医疗诊断	核医学科 PET/CT 机房	/

(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 (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
沾有 ^{18}F 、 ^{131}I 放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固态	/	/	约 15kg	约 180kg	$^{131}\text{I} < 1.0 \times 10^2 \text{Bq/g}$ 、 $^{18}\text{F} < 10 \text{Bq/g}$	放射性废物收集于专用屏蔽容器，暂贮在废物库自然衰变。	放射性废物自然衰变十个半衰期后经检测满足清洁解控水平，作为普通

								医疗固废处置
含有 ¹⁸ F、 ¹³¹ I放射性核素的废水	液态	/	/	约 2.4m ³	约 28.8m ³	总β<10 Bq/L	放射性废水经专用管道收集后排入衰变池贮存、自然衰变。	衰变池废水自然衰变十个半衰期，经检测合格后，排入医院污水处理系统。
放射性废气	气态	/	/	/	/	少量	不暂存	经活性炭过滤，由通风管道排入。
废 ²² Na 校准源	固体	²² Na	/	/	/	/	屏蔽在铅外壳的容器中暂存于储源室	由生产厂家回收处置

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 style="text-align: center;">法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014 年修订), 2015 年 1 月 1 日起实施;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2016 年修正), 2016 年 9 月 1 日起实施;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2014 年修订), 国务院令 653 号, 2014 年 7 月 29 日起实施;</p> <p>(6) 《海南省环境保护条例》(修订), 省人大常委会公告第 109 号, 2018 年 1 月 1 日起实施;</p> <p>(7) 《放射性废物安全管理条例》, 中华人民共和国国务院令 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 原环保部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起实施;</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2017 年修正), 环境保护部令第 47 号, 自 2017 年 12 月 20 日起实施;</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2018 年修改), 生态环境部第 1 号令, 自 2018 年 4 月 28 日起实施;</p> <p>(11) 关于发布《射线装置分类》的公告(2017 年修订), 国家环保部、国家卫生和计划生育委员会, 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日起实施;</p> <p>(12) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 环发(2006)145 号, 2006 年 9 月 26 日起实施;</p> <p>(13) 《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 style="text-align: center;">技术标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ 2.1-2016);</p> <p>(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》(HJ/T 10.1-2016);</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001);</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(5) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013);</p>

	<p>(6) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012);</p> <p>(7) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006);</p> <p>(8) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</p> <p>(9) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009);</p> <p>(10) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005);</p>
<p>其他</p>	<p>与本项目有关的文件</p> <p>附件:</p> <p>(1) 环评委托书, 附件一;</p> <p>(2) 公司营业执照, 附件二;</p> <p>(3) 辐射环境本底检测报告, 海南瑞辐环保科技有限公司, 2018 年 5 月 6 日, 附件三;</p> <p>(4) 辐射安全管理规章制度, 附件四;</p> <p>(5) 专家评审意见, 附件五;</p> <p>(6) 专家签到表, 附件六;</p> <p>(7) 环评报告修改一览表, 附件七;</p> <p>(8) 修改意见确认函, 附件八。</p> <p>(9) 《中国环境天然放射性水平》国家环保总局, 1995 年</p> <p>其他参考文件:</p> <p>(1) 《配置正电子发射计算机断层扫描系统 (PET-CT) 可行性研究报告》;</p> <p>(2) 《海南博鳌国际医院核医学科射线防护设计方案》;</p> <p>(3) 《中国环境天然放射性水平》国家环保总局, 1995 年</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目核医学科工作场所为乙级工作场所，根据《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，因此，本项目评价范围为核医学科工作场所周边 50m 范围。

保护目标

本项目核医学科位于住院门诊综合楼地下一层，本项目环境保护目标是核医学辐射工作人员，医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、核医学科楼上会议室和咨询室公众、北侧医院宿舍楼公众。具体环保目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

保护类别及方位		最近距离 (m)	具体位置	保护人群及规模
职业人员	核医学科内	/	分装室、PET/CT 控制室、更衣室、卫生通过间等（综合楼地下一层）	核医学科工作人员 12 人
公众人员	核医学科北侧	13.5	医院宿舍楼（综合楼外地面一层）	医院职工约 50 人
	核医学科北侧	5	医院通道（综合楼外地面一层）	流动人口（若干）
	核医学科南侧	2.5	放射科（综合楼地下一层）	放射科约 5 人
	核医学科西侧	5	医院通道（综合楼外地面一层）	流动人口（若干）
	核医学科上方	3.5	会议室和咨询室（综合楼一层）	医院职工（视会议或咨询情况定，最多 100 人）

备注：核医学科东侧墙外为地下土层，土层上方为院区绿化，无人停留。
核医学科内职业人员受影响的因子主要为： γ 射线、 β 射线和 X 射线外照射；
核医学科外公众受影响的因子主要为： γ 射线。

评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

① 工作人员职业照射和公众照射剂量限值:

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

	剂量限值
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值: ① 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可做任何追溯平均), 20mSv; ② 任何一年中有效剂量, 50mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估算不应超过下述限值: ① 年有效剂量, 1mSv; 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv, 则某个单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv。

出于“防护与安全的最优化”原则, 对于某单一项目的剂量控制, 可以取 GB 18871-2002 中剂量限值的几分之一进行管理, 本项目年剂量管理目标值取剂量限值的 1/4, 即: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

② GB18871-2002 规定了工作场所的放射性表面污染控制水平, 见表 7-3。

表 7-3 工作场所的放射性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 ¹⁾	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

1) 该区内的高污染子区除外。

③ 非密封源工作场所的分级

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, 见表 7-4。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$

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等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与核素毒性组别修正因子的乘积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

④不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应每次排放做好记录：

- a) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者)。
- b) 每一次的排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

⑤辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

(2) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013)

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X 射线设备机房 (照射室) 应充分考虑邻室 (含楼上和楼下) 及周围场所的人员防护和安全。

5.2 每台 X 射线机 (不含移动式和便携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和最小单边长度要求见表 7-5。

表 7-5 X 射线设备机房的使用面积及单边长度要求

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
CT 机	30	4.5

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

- a) X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-6 要求。

表 7-6 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
CT 机房	2 (一般工作量) ^a 2.5 (较大工作量) ^a	
^a 按 GBZ/T180 的要求		

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

b) CT 机机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h; 其余各种类摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv; 测量时, 测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 机房应设有观察窗或摄影装置, 其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。

5.6 机房内布局要合理, 应避免有用线束, 直接照射门、窗和管线口位置; 不得堆放与诊断工作无关的杂物。机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风。

5.7 机房门外应有电离辐射标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯, 灯箱处应设警示语句; 机房门应有闭门装置, 且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。

5.8 患者和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。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容, 现场应配备不少于表 7-7 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅防护衣; 防护用品和辅助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, 防护用品和辅助设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-7 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—

注: “—” 表示不需要

(3) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012)

CT 机房的防护要求:

CT 机房应有足够的使用空间, 面积应不小于 30m³;

CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度, 距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应<2.5μGy/h。

(4) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006);

4.2 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, 把工作场所分为三类(表 7-8), 本项目属于 I 类。

表 7-8 临床核医学工作场所具体分类

分类	操作最大量放射性核素的加权活度, MBq
I	>50000

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

4.4 临床核医学工作场所的放射防护要求: 对临床核医学工作场所具体分类, 本评价项目中的核医学科项目属于 I 类核医学工作场所, 该工作场所的防护设计要求见表 7-9。

表 7-9 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	应设抽风机	特殊要求	需要

4.5 合成和操作放射性药物所用的通风橱, 工作中应有足够风速(一般风速不小于 1m/s), 排气口应高于本建筑屋脊, 并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置, 排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

4.6 凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池, 以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。

4.7 临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器, 容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集, 并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ133 进行处理。

4.8 临床核医学诊断及治疗用工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序,如一端为放射性物质贮存室,依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

4.9 临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药,应具有相应的放射防护设备。

4.10 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室,宜有受检者专用厕所。

(5)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010);

5.2.3 有可能造成污染的操作步骤,应在铺塑料或者不锈钢等易去除工台面上搪瓷盘内进行。

7.2.1 操作非密封源的单位,一般应建立放射性废液处理系统,确保产生的废液得到妥善处理。

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法,待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通物处理,以尽可能减少放射性废的数量。

7.4.1 对工作场所放射性废气或溶胶的排放系统,应经常检查其净化过滤装置的有效性。

(6)《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005);

总β放射性控制在《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2规定的限值内:总β放射性最高允许排放浓度为10Bq/L。

(7)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009);

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。

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)中附录B:“根据GB18871-2002中4.2.5.5的原则将其附录A所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据”。本项目核素的取值如下:

表 B.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

核素	解控水平 (Bq/g)
^{18}F	1E+01
^{131}I	1E+02

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、环境现状评价对象、监测因子和监测点位

为了解拟建项目所在区域的环境现状，对拟建核医学科工作场所及周边辐射环境进行了现状监测。

环境现状评价对象：核医学科拟建场址及周围（地下一层及地面一层）的辐射环境；

环境监测因子：X- γ 剂量率；

监测点位：核医学科拟建场址及周围共 48 个点位。

2、监测方案、质量保证措施、监测结果

(1) 监测方案

采用 AT1123 型辐射环境剂量测量仪对拟建场址及周围 X- γ 剂量率进行检测，仪器相关参数见表 8-1。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）及《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）的要求进行，监测时仪器探头水平距离地面 1m，每组读 10 个数据，读数间隔 10s。

表 8-1 监测仪器及相关参数

仪器名称	公司/型号	能量响应	量程范围	检定有效期
辐射环境剂量测量仪	白俄罗斯 ATOMTEX AT1123	15keV~10MeV	50nSv/h~10Sv/h	2017.10.26 至 2018.10.25

(2) 质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测上岗证。

(3) 监测结果及评价

2018 年 5 月 25 日海南瑞辐环保科技有限公司对核医学科拟建场址及周围环境开展辐射环境调查，共计布点 48 个。监测结果平均值见表 8-2，监测点位见图 8-1，详细监测结果见附件三。

表 8-2 拟开展核技术利用工作场所及周围环境辐射检测结果

检测点序号	监测点位描述	辐射剂量率最大值 (nSv/h)
1	储源室区域 (室内)	158
2	分装室区域 (室内)	156
3	污洗间区域 (室内)	159
4	女卫生通过区域 (室内)	156
5	男卫生通过区域 (室内)	156
6	储物间区域 (室内)	158
7	过道区域 (室内)	155
8	功能房区域 (室内)	155
9	功能房区域 (室内)	159
10	注射室区域 (室内)	153
11	功能房区域 (室内)	156
12	I-131 治疗室区域 (室内)	154
13	功能房区域 (室内)	158
14	应急通道区域 (室内)	156
15	步梯间 (负一楼) 区域 (室内)	155
16	步梯间 (一楼) 区域 (室内)	155
17	电梯过道区域 (室内)	155
18	电梯井区域 (室内)	156
19	楼宇功能用房区域 (室内)	154
20	观察室区域 (室内)	157
21	洗手间 (注射后) 区域 (室内)	153
22	观察室区域 (室内)	155
23	医护更衣室区域 (室内)	157
24	阅片室区域 (室内)	156
25	办公室区域 (室内)	154
26	诊室区域 (室内)	156
27	诊室区域 (室内)	158
28	接诊登记处区域 (室内)	152
29	注射前休息室区域 (室内)	153
30	洗手间 (注射前) 区域 (室内)	154

31	注射后休息室区域（室内）	161
32	设备用房区域（室内）	154
33	PET/CT 机房区域（室内）	155
34	控制室区域（室内）	154
35	PET/CT 机房东侧区域（室内）	157
36	PET/CT 机房西侧区域（室内）	153
37	放射科 MR 场所区域（室内）	154
38	下沉庭院（室外）	154
39	东侧绿地（衰变池位置）（室外）	159
40	院内马路（室外）	156
41	疗养中心（室外）	135
42	门诊大楼西墙外侧（室外）	139
43	宿舍楼大门（室外）	138
44	院内马路（室外）	131
45	院外马路（室外）	137
46	院内马路（室外）	135
47	院内马路（室外）	134
48	PET CT 机房楼上功能用房（室内）	144

备注：上述监测结果未扣除宇宙射线响应值。

检测点位布设见图 8-1 所示。

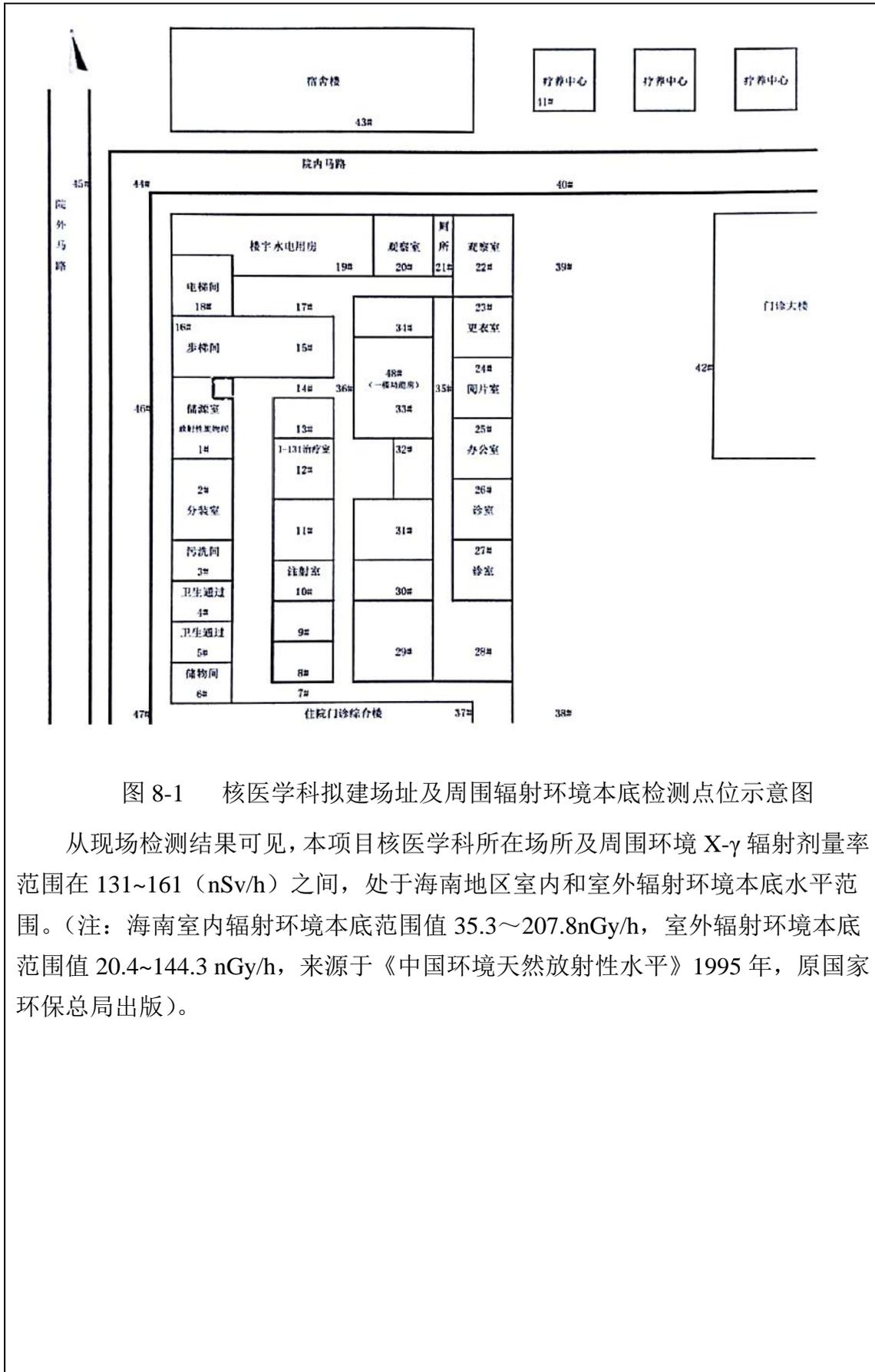


图 8-1 核医学科拟建场址及周围辐射环境本底检测点位示意图

从现场检测结果可见，本项目核医学科所在场所及周围环境 X-γ 辐射剂量率范围在 131~161 (nSv/h) 之间，处于海南地区室内和室外辐射环境本底水平范围。（注：海南室内辐射环境本底范围值 35.3~207.8nGy/h，室外辐射环境本底范围值 20.4~144.3 nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》1995 年，原国家环保总局出版）。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

核医学是采用核素和核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科，可分为体外脏器显像、脏器功能测定和体外放射分析三大类，主要用于诊断、治疗和医学科学研究。本项目医院拟建核医学科位于中心楼地下一层，拟开展的项目主要有 PET/CT 诊断、 ^{131}I 核素治疗项目。

由医院提供资料可知，医院核医学科拟配备 12 名辐射工作人员，包括 4 名医师、4 名技师和 4 名护士。其中 2 名医师主要开展病情诊断，2 名医师负责分装药物（分别负责 ^{18}F 和 ^{131}I 核素），2 名技师负责 PET/CT 摆位，2 名技师负责 PET/CT 影像扫描，4 名护士中 2 人负责 ^{18}F 注射、2 人负责 ^{131}I 送药。

9.1.1 PET/CT 项目

本项目拟购买 1 台 Ingenuity TF 型 PET/CT，使用 ^{18}F 药物（为液体放射性药物）进行显像检查。

(1) PET/CT 项目工作原理

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET (Positron Emission Tomography) 和 CT (Computer Tomography) 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，凭此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床应用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子一旦发射即被人体组织慢化，当这个慢化过程使得这些被发射的正电子的平均动能接近人体内大量存在的电子时，被电子俘获，并立即发生湮灭反应，生成两个方向基本上成 180° 的能量为 0.511MeV 的 γ 射线光子。如果在 180° 方向的对称位置上放置两个具有相同探测效率的 γ 射线探测器进行符合测量，就可能同时探测到这个事件。很多事件的累积形成了发生湮灭反应的放射性药物在对人体内的浓度分

布的数据，这些分布形成的对比度就是 PET 影像。

本项目 PET/CT 选用常用 ^{18}F 标记的 FDG (^{18}F -FDG 氟化脱氧葡萄糖) 作为示踪剂，它与普通葡萄糖化学性质相似，通过引入人体并在体内产生有标记的代谢物，而后采用扫描机获体内化学影像。

(2) PET/CT 项目工作流程

PET/CT 项目整体工艺及操作程序如下：

①医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素 ^{18}F 及其剂量；

②医院向拥有辐射安全许可证资质（活动种类包括销售非密封放射性物质）的医药公司订药，医药公司将所需 ^{18}F 药物总活度的 2 倍量装入铅罐，按照医院要求在规定时间内将药物送到医院核医学科，医院安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存分装室通风柜内，医护人员从铅罐中取出整瓶药物，在通风柜中通过带铅套的注射器与储药罐连接进行抽吸分装；

③医护人员手持带铅套注射器，在注射窗口铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射药物（病人预先在服务台处建立静脉通道，以减少注射时护士接触放射性药品的时间），注射完毕后拔掉静脉通道和注射器，放入专用废物铅桶内；

④注射后患者在专用候诊室停留一定时间后（约 30~60min，本项目医院最多有 4 名患者同时在候诊室待扫描），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 扫描室，经语音摆位提示后，准备接受扫描诊断。扫描完成后，病人离开 PET/CT 扫描室，经留观约 30min（最多有 4 名患者同时留观，不含 VIP 留观室 1 名），无碍后病人专用通道离开。

根据医院提供的资料，该院预计 PET 诊断项目病例每天最多 20 例，每名患者用 ^{18}F 最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则日最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ 。 ^{18}F 显像检查病人数为 7200 人/年（按最大诊断量 20 人/天，年工作按 360 天计）。医护人员涉源环节主要为分装、注射、摆位及扫描，医师分装时间约 1min/人，护士注射时间约 30s/人，技师摆位时间约 1min/人，病人扫描时间约 10min/人。

工作流程及产污环节分析见图 9-1。

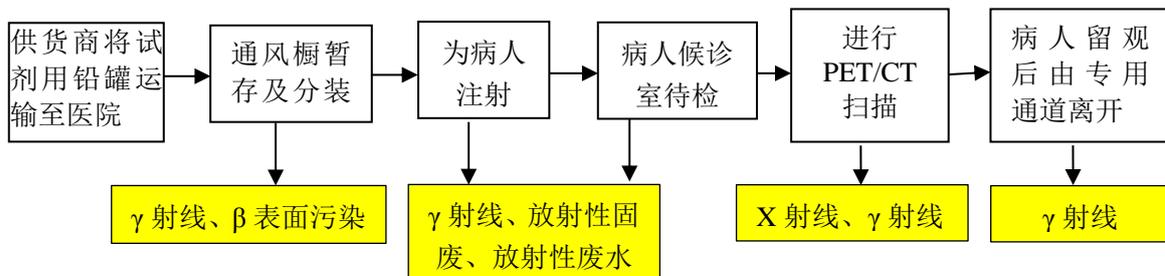


图 9-1 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

9.1.2 ^{131}I 核素项目

本项目 ^{131}I 用于检查甲状腺功能及甲状腺功能亢进的治疗。

(1) 甲状腺功能测定项目

碘是合成甲状腺激素的原料之一，放射性核素 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，甲状腺细胞通过钠/碘共转运子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I ，因此，病人口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内。病人服药后，通过体外用探测器在颈部测量甲状腺对 ^{131}I 的摄取速度和摄取量，其摄取速度和摄取量与甲状腺功能密切相关。当 ^{131}I 引入受检者内时，利用体外探测仪器（甲功仪）测定不同时间甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能是否正常，也为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供了可靠的数据。

根据医院提供的资料，甲状腺功能测定项目 ^{131}I 用药量很小，一般为几个微居（ $2\sim 5\mu\text{Ci}$ ，即 $7.4\times 10^4\text{Bq}\sim 1.85\times 10^5\text{Bq}$ ）， ^{131}I 甲功测定一天最多 20 例病人，即最大用药量为 $3.7\times 10^6\text{Bq/天}$ ， ^{131}I 甲功测定病人数为 7200 人/年（按最大测定量 20 人/天，年工作按 360 天计）。本项目医师将药物分装后，由护士送到甲测室让病人口服，病人服药后即可由病人通道离开，然后按医嘱间隔不同时间来院测定数据。医护人员涉源环节主要为分装、送药，医师分装时间约 1min/人，护士送药（即从分装室送至甲测室）每次时间约 30s/人。口服 ^{131}I 进行甲状腺功能测定流程及产物环节见图 9-2 所示。

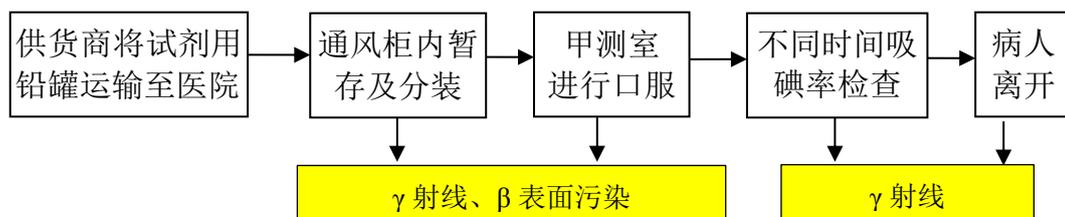


图 9-2 ^{131}I 甲功测定工作流程及产污环节分析示意图

(2) ^{131}I 甲亢治疗项目

对于甲功检查后需要开展甲亢治疗的病人，医院通过对患者采用口服稍高剂量的 ^{131}I 药物治疗甲亢。甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用 ^{131}I 药物后能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢病人的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高， ^{131}I 在衰变为 ^{131}X 氙时能放射出 β 射线和 γ 射线。 β 射线有效射程仅有 $0.5\sim 2\text{mm}$ ，能选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织，从而减少甲状腺素的合成，达到减缓或治愈甲亢的目的。

医生根据甲状腺功能测定结果的各项指标来决定是否进行 ^{131}I 甲亢治疗，医院

^{131}I 甲亢治疗一天最多 10 例病人，甲亢治疗时单人用药量最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，总用量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq/天}$ 。 ^{131}I 甲亢治疗病人数为 3600 人/年（按最大测定量 10 人/天，年工作按 360 天计），其中医师分装时间约 1min/人，护士送药（即从分装室送至治疗室）每次时间约 30s/人。

医师在通风橱内分装完药物后，由护士送至治疗室发药，发药后从原路离开治疗室，患者由病人通道进入治疗室服药，服药完成后在 ^{131}I 观察室留观一段时间（约 1 小时），再从专用通道离开医院。

口服 ^{131}I 进行甲亢治疗流程及产物环节见图 9-3 所示。

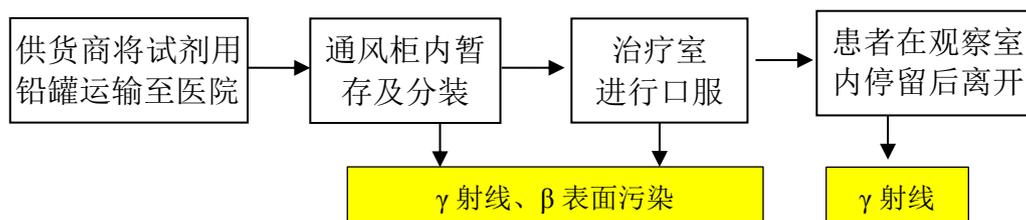


图 9-3 ^{131}I 甲亢治疗工作流程及产污环节分析示意图

9.2 污染源项描述

(1) 污染源概况

本项目涉及的辐射污染源包括射线装置、非密封放射性核素和密封源三大类。射线装置参数具体见表 1-3。对于非密封放射性核素，根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）中相关内容：医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。根据国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。其中查表 C2 放射性核素毒性组别修正因子，低毒 ^{18}F 核素的修正因子取 0.01，中毒 ^{131}I 核素的修正因子取 0.1；查表 C3 操作方式修正因子，操作液体 ^{18}F 核素的修正因子取 10，操作液体 ^{131}I 核素的修正因子取 1。本项目非密封放射性核素特征参数见表 9-1，非密封放射性核素日等效最大操作量计算结果见表 9-2。

表 9-1 本项目非密封放射性核素有关参数表

核素名称	半衰期	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量 (MeV)	操作方式	医学应用
^{18}F	109.7min	液态低毒	β^+	γ (0.511)	很简单的操作	显像检查
^{131}I	8.04d	液态中毒	β^-	γ 0.364(82%) β 0.606 (89.7%)	简单操作	甲功测定及核素治疗

表 9-2 核医学工作场所放射性核素使用情况一览表

核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	非密封工作场所及总日等效操作量
^{18}F	7.4×10^9	0.01	10	7.4×10^6	乙级 $3.77 \times 10^8 \text{Bq}$
^{131}I	3.7×10^9	0.1	1	3.7×10^8	

由表 9-2 计算结果可知，本项目核医学科使用的非密封放射性核素日等效最大操作量为 $3.77 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所（在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 范围）。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以与操作性质修正因子所得的商。本评价项目使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子，操作性质修正因子及加权活度见表 9-3。

表 9-3 放射性核素加权活度及计算参数

核素名称	日操作最大活度 (MBq)	权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)
^{18}F	7.4×10^3	100	1	7.4×10^5
^{131}I	3.7×10^3	1	1	3.7×10^3
合计				7.437×10^5

评价项目的加权活度最大为 $7.437 \times 10^5 \text{MBq}$ ，大于 50000MBq ，因此该工作场所属于 I 类核医学工作场所。

本项目拟使用密封源相关参数见表 9-4。

表 9-4 拟使用的密封源情况一览表

核素名称	使用场所	放射性活度	活动种类和范围	数量	半衰期	衰变方式
^{22}Na	PET/CT 机房 (PET/CT 用 校准源)	$3.70 \times 10^6/\text{Bq}$ (0.1mCi)	使用, V 类 放射源	1 枚	2.6a	β^+
		$3.70 \times 10^5/\text{Bq}$ (0.01mCi)		6 枚		

(2) 辐射来源及种类

1) 辐射: 使用 ^{18}F 放射性药物过程中产生的 γ 射线, 使用 ^{131}I 放射性药物过程中产生的 γ 射线和 β 射线, PET/CT 工作过程中发出 X 射线的外照射影响。

2) 放射性固体废物: ^{18}F 、 ^{131}I 放射性药物操作过程中粘有放射性核素的注射器、手套、棉签、试管、患者使用的一次性杯子等。

3) 放射性液体废物: 放射性药物使用过程中产生的沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水, 辐射工作人员的洗涤用水以及注射药物病人的排泄物及其冲洗水等。

4) 放射性废气: 放射性药物使用过程中挥发产生的少量放射性气溶胶。

5) 医院拟使用的 ^{22}Na 密封源产生的 γ 射线对人体产生外照射, 而无放射性废水和废气排放。废放射源交由放射源生产单位回收。

6) 注射放射性药品后的受检者, 由于体内分布有放射性核素, 成为一个移动放射源, 工作人员和公众可受到其体内释放的 γ 射线产生的照射。

表 10 辐射安全与防护

项目采取的辐射安全措施

10.1 核医学科工作场所分区及布局

医院拟建核医学科全部布置在医院住院门诊综合楼地下一层，主要包括分装室、注射室、PET/CT 机房、治疗诊断前候诊室、注射后候诊室、甲测室、¹³¹I 治疗室、储源室、废物间、观察室等。

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求，对于使用非密封放射性物质的核医学项目工作场所，应进行分区管理。将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，将控制区外较低辐射的区域划定为监督区，监督区的边界设置醒目的电离辐射警示标志，禁止辐射工作人员和受诊病人以外的其他无关人员进入监督区的范围。两区划分见图 10-1。图中红色区域为核医学科控制区范围，蓝色区域为监督区范围。

控制区：包括分装室、注射区、PET/CT 注射后候诊室（含病人专用卫生间）、PET/CT 检查室、¹⁸F 观察室（含 VIP）、甲测室、¹³¹I 治疗室及观察室、卫生通过间、储源室、废物间。控制区主要是涉及放射性核素操作的区域和注射放射性核素后的患者活动场所，控制区边界的出入口均设置明显的工作场所性质标示牌和电离辐射警示标志，PET/CT 检查室除设置电离辐射警示标志外还将设置工作状态指示灯。

监督区：主要包括 PET/CT 控制室、治疗诊断前病人等候室、男（女）更衣间、设备间、医生通道及楼梯间等。

核医学工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

通道：本项目核医学科工作场所的医护人员、受检患者、放射性药品和废物均设计了独立分开的通道，这样的设计可避免交叉污染，图 10-1 给出了路线图，黑色箭头为医生进出路线，绿色箭头为 PET/CT 检查的病人进出路线，紫色箭头为 ¹³¹I 药物测定及治疗的病人进出路线。蓝色箭头为物流通道。

从图中可见，医护人员有两个进出大门，分别是核医学科南大门 1 和南大门 2，从南大门 1 进入的人员，最终还从南大门 1 出，从南大门 2 进入的人员，最终还从南大门 2 出。病人都从核医学科南大门 1 进入，由病人专用通道离开。

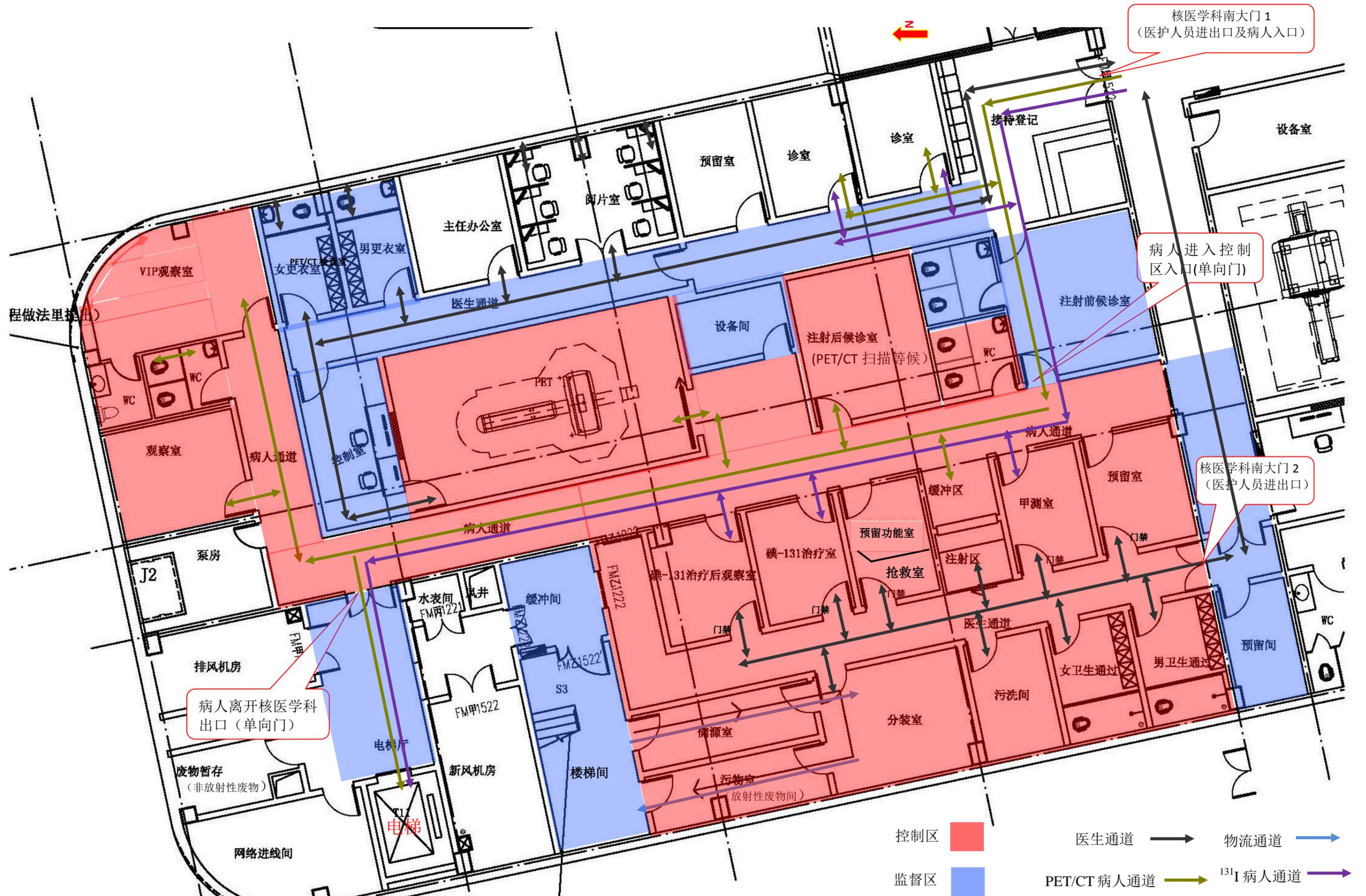


图 10-1 核医学科分区及医患路线示意图

具体进出路线描述如下：

医护人员通道：进入办公室、诊室、阅片室或 PET/CT 控制室的辐射工作人员与进入分装室的辐射工作人员有不同的通道。①分装室中的辐射工作人员从核医学科南门 2 进，更衣后进入分装室，在通风橱内进行分装，然后进入注射室为患者注射（对于 ^{131}I 药物医生分装完将其分别送至甲测室、 ^{131}I 治疗室供病人服用），或者进入抢救室对注射（或服药）后不适病人开展急救，工作结束后沿原路线返回，在卫生通过间进行污染监测和清洗后由南门 2 出核医学科；②进入办公室、诊室、阅片室或 PET/CT 控制室的辐射工作人员从核医学科南门 1 进，沿着通道向北进入依次进入相应房间，工作结束后沿原路径由南门 1 出。

PET/CT 检查病人通道：开展 PET/CT 检查的病人由核医学科南门 1 进入，然后至护士站登记、诊断病情及等候。在得到护士通知后，由候诊室至缓冲区接受 ^{18}F 药物注射，注射后至 PET/CT 专用候诊区等候扫描检查，扫描结束去留观室适当休息，最后由病人专用通道离开。

^{131}I 检查及治疗病人通道：开展 ^{131}I 检查及治疗的病人均由核医学科南门 1 进入，其中对于拟进行甲功测定的病人，在护士通知后，由候诊室进入甲测室服碘，服完药后由病人专用通道离开。 ^{131}I 甲亢治疗患者在得到护士通知后，由候诊室至 ^{131}I 治疗室进行服药，甲亢治疗患者在观察室停留一段时间，当天可从病人专用通道离开。

物流通道：核医学科设置储源室及废物间，其北侧设有楼梯通向一楼外出，作为放射性药物和放射性废物运输通道。储源库和废物间的设置紧邻分装室，减少了药物的转移距离。本项目 ^{18}F 和 ^{131}I 药物医院根据需要购买，不在储源室贮存，放射性药物供应人员根据预定在约定时间将放射性药物储存在专用铅罐中，送至医院并由专人接收，暂存在通风橱内。核医学科产生的废物暂存于废物间，经自然衰变十个半衰期后经检测满足清洁解控水平，作为普通医疗固废处置从楼梯运走处理，物流通道设计有利于避免或减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响，合理可行。

另外，在病人进入控制区的大门拟设置单向门，只进不出。核医学科病人出口拟设置为单向门，只出不进。甲测室、 ^{131}I 治疗室及其观察室等功能房的医护人员进出口门侧设置电子门禁装置，防止病人由该侧门进入医护人员工作区。

综上，本项目核医学科辐射工作场所将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，将控制区外较低辐射的区域划定为监督区。本项目医护人员和病人的进出路线相对独立，互不交叉，通过上述措施防止了工作人员与患者的交叉流动。本项目核医学科辐射工作场所布局合理，便于医院对放射性工作场所的管理，满足

GBZ120-2006《临床核医学放射卫生防护标准》中 4.8 条款“临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，并且应避免无关人员通过”的要求。

需要说明的是，控制区内尚有两个预留功能室，根据核医学科已设计功能房使用情况，控制区内总体上由南往北是从低活性区到高活性区，因此，建议南侧功能房作为低活性区使用场所（例如可作为敷贴室），北侧预留功能房作为高活性区使用场所（例如可以作为运动负荷室）。

10.2 工作场所辐射屏蔽设计

本项目核医学科位于医院住院门诊综合楼地下一层，核医学科所在区域上方为医院一楼的会议室和咨询室，下方无地下建筑。本项目核医学科内涉及辐射工作场所的相关墙体、顶板以及观察窗、防护门的设计均采取了辐射屏蔽，因地下无建筑，地面没有做专门辐射防护。根据医院提供设计资料，核医学科各房间防护设计参数见表 10-1。根据表 10-3，表 11-2 及表 11-4 可知，各墙面及门的屏蔽设计满足辐射防护的要求。

表 10-1 核医学科各房间防护设计参数

位置	四周墙厚度及材料	顶部厚度及材料	门（窗）材料及厚度	屏蔽效果
分装室	24cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料	24cm 混凝土 +钢骨架 6mm 铅板	8mm 铅板	满足要求
注射室	24cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料	24cm 混凝土	8mm 铅板（窗 50mm 铅当量）	满足要求
PET/CT 检查室	37cm 实心砖 +5mmPb 当量防护涂 料	24cm 混凝土 +钢骨架 6mm 铅板	8mm 铅板（窗 8mm 铅当量）	满足要求
¹⁸ F 注射后候 诊室	24cm 实心砖 +5mmPb 当量防护涂 料	24cm 混凝土+ 钢骨架 6mm 铅板	8mm 铅板	满足要求
储源室	24cm 实心砖 +5mmPb 当量防护涂 料	24cm 混凝土+ 钢骨架 6mm 铅板	8mm 铅板	满足要求
废物间	24cm 实心砖 +5mmPb 当量防护涂 料	24cm 混凝土	8mm 铅板	满足要求
¹⁸ F 观察室	24cm 实心砖	24cm 混凝土+ 钢骨架 6mm 铅板	8mm 铅板	满足要求
¹⁸ F 观察室 （VIP）	24cm 实心砖	24cm 混凝土	8mm 铅板	满足要求
甲测室	24cm 实心砖	24cm 混凝土	/	满足要求

¹³¹ I 治疗室	24cm 实心砖	24cm 混凝土	/	满足要求
¹³¹ I 治疗室观察室	24cm 实心砖	24cm 混凝土	/	满足要求

备注：设计中混凝土密度为 2.35g/cm³，“砖”为实心粘土砖，密度不小于 1.60g/cm³。5mmPb 当量防护涂料拟采用厚度约为 3cm 的钡水泥（ $\rho=3.2\text{g/cm}^3$ ），查查辐射防护手册第三分册 P30，按照 0.5MeV 的 γ 射线保守估算）。

10.3 工作场所辐射安全和防护措施

1)核医学科控制区出入口、各功能用房门上拟粘贴电离辐射警告标志，同时 PET/CT 机房门口上方拟设置工作状态指示灯，设置门灯联锁，防护门显著位置粘贴电离辐射警告标志。

2) PET/CT 控制室与机房、控制室与注射后候诊室拟配备双向对讲装置，检查室与控制室之间安装有观察窗。在诊断过程中医务人员可以及时观察病人情况并与病人交流，同时在病人注射后观察室及服药后观察室内安装视频监控装置，防止意外情况的发生。

3) 分装室拟配置一个专用通风橱，通风橱的通风速率不小于 1m/s，排风管最终至住院门诊综合楼的屋顶，排风口拟设置活性炭过滤装置。需要分装的放射性药物均在通风橱内进行，药物操作时均在衬有吸水纸的托盘内进行。注射药物时工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间和增加操作距离。

4) 拟设置卫生通过间，工作人员操作后离开工作室前更衣、应急冲淋和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

5) ¹⁸F 注射后候诊室及观察室设置病人专用卫生间，其卫生间排水及医护人员卫生通过间下水、污洗间清洗下水均通过专用管道接入衰变池。

6)核医学科设有储源室（主要为医院将来存放其他核素或密封源使用），储源柜表面设置电离辐射警示标志，并双人双锁管理和视频监控系统。

7) 核医学科拟配备表面沾污监测仪、辐射监测仪和个人报警仪，医护人员均佩戴个人剂量计，另外拟配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅通风橱、铅眼镜、铅围脖、铅帽、铅围裙等防护设备。

8) 医院做好本项目控制区和监督区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内注射或服用放射性药物病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

9) 病人在注射后候诊室、留观室内停留期间，拟在座位之间采用辐射防护用品隔离（比如设置铅屏风），减少病人之间的辐射影响。

10.4 辐射防护措施符合性分析

非密封放射性物质工作场所辐射防护措施合理性分析采用《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)进行分析,辐射防护措施符合性分析见表 10-2。

PET/CT 机房辐射防护措施合理性分析采用《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013)和《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012)中对 CT 机房的防护设施的技术要求对照分析,医院 PET/CT 机房的辐射防护措施符合性分析见表 10-3。

表 10-2 非密封放射性物质工作场所辐射防护措施符合性分析表

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)	按表 7-9 划分的 I 类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求。	医院核医学科工作场所应按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)中工作场所的要求进行了设计、装修,即辐射工作区的地、墙面拟采取易清洁不易渗透的 PVC 材料,地板和墙壁接缝采用无缝隙设计;工作台表面采用易清洗的不锈钢材料。分装室配备通风柜。配备清洗及去污设备。	符合
	合成和操作放射性药物所用的通风橱,工作中应有足够风速(一般风速不小于 1m/s),排气口应高于本建筑屋脊,并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置,排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。	分装室的通风速率不小于 1m/s,产生的废气通过管道楼屋顶高出屋脊排放,且设置活性炭过滤装置。	符合
	凡 I 类工作场所开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池,以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。	医院拟设置一个三级衰变池系统,衰变池前端设有化粪池,衰变池容积共为 24m ³ ,废液衰变池专门用于收集核医学科放射性废水。放射性废液在衰变池中经过 10 个半衰期以上,经检测达标后,方可排入医院污水处理站处理。	符合
	临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器,容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集,并给予适当屏蔽。固体废物如无人的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有核实屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ 133 进行处理	医院非密封放射性物质工作场所设有废物铅桶分别收集 ¹⁸ F 药物、 ¹³¹ I 使用过程中产生的放射性固体废物,废物铅桶表面设有放射性标志。	符合
	临床核医学诊断机治疗用工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。	由工作场所分区分析可知,医院核医学科布局基本合	符合

	其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且避免无关人员通过。	理。	
	临床核医学诊断用给药室与检查室分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。	核医学科注射室（或治疗室）和检查室为单独用房。	符合
	临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。	候诊室靠近注射室（或治疗室）和检查室，注射后候诊室和检查后观察室均设有受检者专用卫生间。	符合

表 10-3 医院 CT 辐射防护措施符合性分析表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
CT	CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30m ² ，单边长度不小于 4m。	本项目 PET/CT 机房尺寸为 9.48m×5.25m，面积约为 49.77m ²	符合
	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 < 2.5μGy/h。	表 11-2 估算结果表明，医院配置的 PET/CT 在正常扫描（注射 ¹⁸ F）状态下，机房周边各监测点的 X-γ 剂量率均小于 2.5μSv/h 之间；表 11-6 剂量估算表明，PET/CT 机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv。由于 ¹⁸ F 衰变产生的 γ 射线能量大于 CT 产生的 X 射线能量，故机房防护满足 ¹⁸ F 扫描要求也一定能满足 CT 扫描的要求。	符合
	CT 机房外明显处设置电离辐射警告标志，并安装醒目的工作状态指示灯。	PET/CT 机房门外拟设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
	CT 机房应保持良好的通风	PET/CT 机房拟设置通风设施。	符合
	CT 机房：有用线束与非有用线束方向，一般工作量，铅当量 2mm；有用线束与非有用线束方向，较大工作量，铅当量 2.5mm	顶部为 24cm 混凝土+钢骨架 6mm 铅板；四周墙体为 37cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料；铅玻璃观察窗和防护门铅当量均为 8mm	符合
其他	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	拟配备铅通风橱、铅眼镜、铅围脖、铅帽、铅围裙等防护设备	符合

由表 10-2 及表 10-3 可知，医院非密封放射性物质工作场所及 CT 机房按相关标准要求进行了设计，各工作场所的辐射防护措施符合相关规定要求。医院放射性同位素与射线装置工作场所应由有相应施工资质的单位按设计要求进行施工建设。

10.5 三废的治理:

核医学科内放射性核素的使用将产生一定量的放射性固体废物和放射性废水以及微量的放射性废气。

10.5 放射性固体废物

核医学项目产生的放射性固体废物主要有废弃的医用手套、试管、棉球、口罩、滤纸、患者使用的一次性杯子。根据核医学科对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量（按 0.01kg/人次，一天受检者不超过 50 人，年工作天数 360 天计），则 ^{18}F 显像检查和 ^{131}I 治疗过程中产生的固废不超过 180kg/年。

核医学科分装室、注射室、候诊室、治疗室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物铅桶，同时医院设有废物间，面积约 10.7m²。核医学科各房间内铅桶放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志，桶内应放置专用塑料袋直接受纳废物，装满后的废物带应密封，不破漏。对于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。从核医学科各房间收集的放射性废物分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后转移到废物间的专用容器中暂存，在废物间内自然衰变，其中含 ^{18}F 的固体废物经收集、标记后送废物间贮存约 1 天（达到 10 个半衰期要求），含 ^{131}I 固体废物经收集、标记后送废物间贮存约 81 天（达到 10 个半衰期要求），经检测达到清洁解控水平，可作为普通医疗废物处置。废物袋、废物箱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放射性废物类型、核素种类及存放日期等。

通风过滤装置更换的活性炭按照 ^{131}I 的半衰期放置 10 个半衰期，经检测合格后也作为普通固废由厂家回收处置。本项目用于校正设备用 ^{22}Na 源更换后将置于铅罐中并暂存于储源室，同时医院将与设备供应商签订回收协议。

医院对放射性固废的防护措施满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中有关要求：临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志；放射性废物应给予适当屏蔽；固体废物应贮雨不泄漏、较牢靠，并有适合屏蔽的容器内的要求。同时也满足《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）以及《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）等国家标准中对放射性固废的辐射防护要求。

10.5.2 放射性废水

本项目核医学项目产生的液态放射性废水主要包括：（1）分装室的卫生通过间医护人员应急冲淋；（2）工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗废水；（3）PET/CT 候诊室病人专用卫生间排放的含有放射性同

位素的卫生间下水。该项目产生的液态放射性污染物主要含有放射性核素 ^{18}F 和 ^{131}I 等。

上述放射性废水处理主要是通过建造衰变池来进行存储，放射性水平降至豁免值以下进行排放，排放限值按照一次不超过 1ALImin ，一个月累计不超过 10ALImin ，加以严格控制。

本项目 PET/CT 注射后扫描等候室和观察室（含 VIP 观察室）均设计了独立的病人专用厕所，对病人的排泄物实施统一收集和管理，以及医护人员卫生通过间、污洗间收集的放射性废水收集后与病人排泄物一起排入衰变池。核医学科内放射性废水排水管网设计见图 10-2。

根据医院提供的资料，PET/CT 检查项目病人数量不超过 20 人/天，假设病人每次诊断期间使用厕所产生 5L 废水，则其每天产生含 ^{18}F 最大废水量为 $100\text{L}(0.1\text{m}^3)$ ；另外使用 ^{131}I 甲亢治疗项目是对适应症病人开展，治疗人员服药后会观察一段时间（约 1 小时），在此期间病人会在核医学科入厕，保守按日病人最大数量 10 人估算，则其每天产生含 ^{131}I 最大废水量为 $50\text{L}(0.05\text{m}^3)$ 。同时核医学科卫生通过间内医生会有少量应急冲淋及清洗用水，废水中包含有本项目 ^{18}F 和 ^{131}I 核素，废水日平均排放量约 $20\text{L}(0.02\text{m}^3/\text{天})$ ，因此本项目两种核素产生的废水总量约为 $0.17\text{m}^3/\text{天}$ 。医院在核医学科东北侧室外地下拟设置一个放射性废水收集系统，其设计示意图见图 10-3。），拟设置 3 个地埋式有效容积均为 8m^3 的衰变池（共 24m^3 ）专门收集核医学科产生放射性废水，三个衰变池按序轮流收贮、存放、排放，经第一个衰变池收贮存满，再开启第二个衰变池收贮废水，当第二个衰变池收贮存满，再开启第三个衰变池收贮废水，当第一个衰变池收贮废水临近存满时，则可将第一个衰变池内的废水进行排放。每个衰变池拟设置高水位报警装置，利用阀闸控制进水流向。考虑到有生活粪便污水一并排出，在衰变池前设置专用化粪池，用以沉淀消化固形物，使固化物在池底沉淀分解，上层的水化物体，进入管道流走，防止了管道堵塞，使固化物体有充足的时间水解、衰变专用化粪池内沉渣如难以排出，可进行酸化，促进排入衰变池，化粪池进水口略高于出水口，化粪池一用一备，并联设计（容积均为 4m^3 ），在清理一个化粪池底部淤泥时候，废水通过管道上电磁阀控制排入另一个化粪池，不影响废水排放至衰变池。废水从化粪池一侧进水，根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池需要 47 天的时间，废水装满第一衰变池，则关闭该衰变池入口水闸，打开第二衰变池的入口水闸，废水排入第二衰变池，以此类推排入第三衰变池，实现 3 个衰变池的独立交替使用。第 3 个衰变池满时，第一衰变池已衰变 94 天。放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F 和 ^{131}I ， ^{131}I 的半衰期相对较长，按 ^{131}I 半衰期（8.04d）进行计算，94 天的时间即已经过 11.7 个半衰期的衰变，因此该方案能够满足核医学科项目排放的放射性废水在衰变池停留足够时间，并经检测并

取样检测合格后排入医院污水处理站处理。

由 GB18871-2002 附录 B 的 B.1.3.4 及 B.1.3.5 可知，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 的年摄入量的限值 $I_{j, L}$ 的计算公式如下：

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

式中：

DL——相应的有效剂量的年剂量限值；GB18871-2002 附录 B 中职业照射 工作人员连续 5 年的年平均有效剂量为 20mSv，本次评价取管理限值 5mSv/a；

e_j ——标准表 B3 给出的放射性核素的 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，具体见表 10-4。

表 10-4 放射性废液中各核素的 ALI_{min} 值

序号	核素名称	工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量 $e(g)$		年摄入量限值 $I(Bq)$	$ALI_{min}(Bq)$
1	^{18}F	吸入	9.30×10^{-11}	5.38×10^7	5.38×10^7
		食入	4.90×10^{-11}	1.02×10^8	
2	^{131}I	吸入	1.10×10^{-8}	4.55×10^5	2.27×10^5
		食入	2.20×10^{-8}	2.27×10^5	

由上表可知，本项目 ^{131}I 核素的半衰期大于 ^{18}F ，且 ^{131}I 核素的 ALI_{min} 小于 ^{18}F 的 ALI_{min} 值，故 ^{131}I 达标排放时， ^{18}F 核素也能满足排放要求，故选择 ^{131}I 核素进行分析。单日衰变池核素废水排出时 ^{131}I 的活度情况见表 10-5，根据院方提供的资料，保守按 ^{131}I 核素使用量的 10% 排入衰变池考虑。

表 10-5 拟建放射性废水排放时 ^{131}I 核素活度估算一览表

核素名称	计划日核素使用最大量 (Bq)	单日衰变池核素最大排放量 (Bq)	半衰期	排出时至少衰减倍数	衰变后排放总活度 (Bq)	ALI_{min}	评价
^{131}I	3.7×10^9	3.7×10^8	8.04d	大于 2^{13}	$< 4.52 \times 10^4$	2.27×10^5	废水中核素衰变后的总活度低于 ALI_{min} ，达到排放要求。

备注：按平均每月 30 天计，则每月排放的最大总活度 $1.36 \times 10^6 Bq$ 。

由上表可知，含 ^{131}I 核素核素的放射性废水经衰变池贮存衰变后，单日排放总活度 $4.52 \times 10^4 Bq$ 低于其 ALI_{min} ($2.27 \times 10^5 Bq$)，每月排放的最大总活度 $1.36 \times 10^6 Bq$ 低于其 $10ALI_{min}$ ($2.27 \times 10^6 Bq$)，可见符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中“每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$ ；每一次的排放的活度不

超过 1 ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗”。因此，衰变池的设计满足 ^{131}I 核素达标排放的要求，同时也满足 ^{18}F 核素达标排放，衰变池设计可行。

化粪池和衰变池为整体设计，钢筋混凝土一次性浇筑，四周池壁、池底及池盖均为混凝土结构，池内四周经防渗处理，衰变池所在区域顶部为地面绿化带，一般无人员停留，为了更好的管理，医院拟在衰变池所在区域正上方四周设置围栏，并张贴设置电离辐射警示标志，防止无关人员靠近。

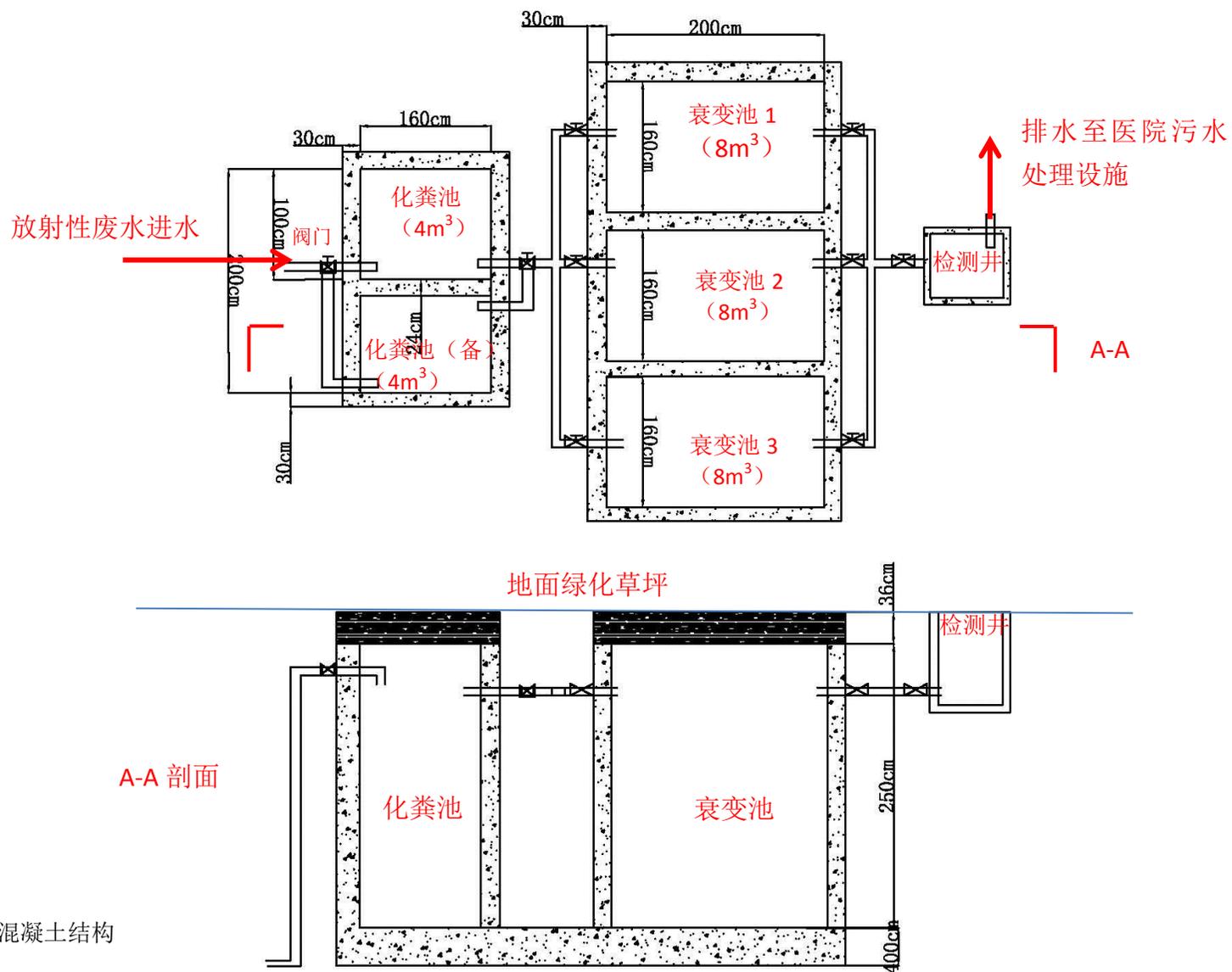
综上，本项目放射性废水收集后用水泵经专用管道排至衰变池进行自然衰变。医院对放射性废水的处理措施满足《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于放射性废水排放的要求：“应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理；使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废水处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。”同时也满足《医院污水处理技术指南》（环发[2003]197号）中提及的：“放射性废水至少需存放最长半衰期核素的 10 个半衰期。”衰变池废水排放符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中要求。衰变池设计满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）中“放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施”的要求。

10.5.3 放射性废气

本项目放射性药物的分装会产生气载放射性废物。医院拟在辐射工作场所设置多组独立通风系统，通风系统管道设计见图 10-4。本项目中放射性药物分装室拟设置带防护的通风橱，放射性药物暂存于通风橱内，进行放射性药物的分装、转移等操作均在通风柜中进行。本项目操作过程中会有少量核素挥发产生放射性气溶胶，通风橱设专用通风管道，其中通风橱工作时的风速不小于 1m/s，排气口高于本建筑物（即住院门诊综合楼）屋脊，同时医院拟在通风橱内操作区正上方设置便携式（可拆卸，方便更换）过滤吸附装置，过滤吸附装置规格为 40cm×70cm，装置内配有活性炭吸附剂（吸附效率 90%以上），对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，活性炭定期更换（根据厂家介绍，一般 1.5 年更换一次），保证吸附过滤效果。

废物间、PET/CT 机房设计有独立的通风管道，其余功能房包括污洗间、卫生通过间、注射间、甲测室、 ^{131}I 治疗室、给药后候诊室及专用卫生间、 ^{18}F 观察室等区域也设置通风系统，将其各功能室内废气经通风管道由风机抽吸至楼顶排出。

由此可见，医院对核医学科的废气的防护措施满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中有关“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置”的要求。



注：图中墙体均为混凝土结构

图 10-3 放射性废水收集系统设计示意图

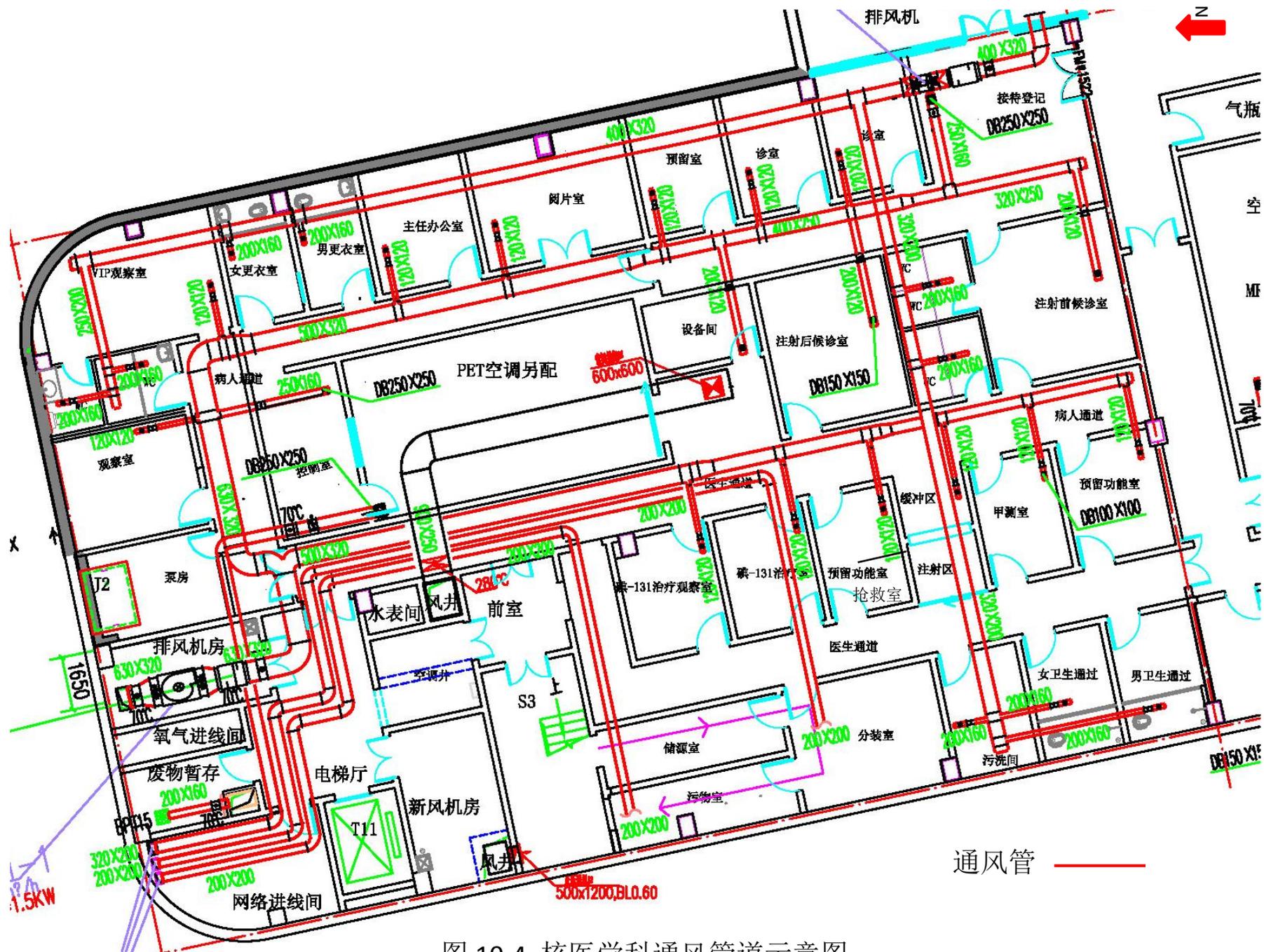


图 10-4 核医学科通风管道示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目核医学科所在的综合门诊大楼已建成，其中大楼地下一层预留核医学科的工作场所，本项目核医学科的建设工程主要是按照各功能房的布局设计进行实体隔离及辐射防护装修等室内工程，不涉及放射性同位素使用。

施工阶段主要环境污染为噪声、少量粉尘和建筑垃圾，由于核医学科北侧外为医院人员通道及宿舍楼，因此医院在开展施工期间，严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时及时清扫施工场地建筑垃圾，并保持场地一定的湿度。由于项目施工时间较短，在采取有效的防治措施并加强施工管理后，施工期的影响控制在地下一层局部区域，对周围环境部影响可以接受。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 PET/CT 临床诊断项目辐射环境影响分析

根据工程分析可知，医院 ^{18}F 药物全部购自放射性药物生产单位， ^{18}F 分装在通风厨中进行，在注射室窗口处注射，注射完的病人在 ^{18}F 候诊室等待 30~60 分钟，然后再到 PET/CT 机房进行检查。PET/CT 临床诊断项目辐射影响主要包括 ^{18}F 药物分装（本项目拟在 50mmPb 屏蔽的通风橱内进行）、药物注射、病人候诊和病人扫描 4 个过程。辐射工作人员进行放射性核素操作时，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。当病人注射了放射性核素之后，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。

在进行环境影响预测时，将药物针剂及已注射的病人简化成点源，并采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式估算空气比释动能率：

$$K_0 = \Gamma A \eta / r^2 \quad (1)$$

式中： K_0 ——空气比释动能率，mGy/h；

Γ ——比释动能率率常数，mGy·m²/h GBq， ^{18}F 的比释动能率 Γ 为 0.14mGy·m²/（h GBq）（辐射防护手册第三分册 P28）；

A ——放射源活度，Bq；

r ——距考察点的距离，m；

η ——透射比。无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据屏蔽材料的厚度 d 和射线在各类屏蔽材料中的 1/10 值层厚度 $T_{1/10}$ 按下式即可求得：

$$\eta = 10^{\frac{-d}{T_{1/10}}}$$

本项目 PET 单个病人最大注射量为 10mCi (370MBq) ^{18}F 药物, 表 11-1 估算出单次最大注射量的放射性药物在无屏蔽状态下, 其周围不同距离位置的辐射水平。

表 11-1 无屏蔽状态下不同距离的 ^{18}F 药物周围空气比释动能率 ($\mu\text{Gy/h}$)

距离 (m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) ^{18}F 的空气比释动能率	576	207	51.8	12.9	5.8

注射时位于一次性针筒内的放射性药物和注射入病人体内的放射性药物, 都可以看做是近似裸源状态。从表中结果看出, 裸露状态下 ^{18}F 药物辐射水平较高, 对周围影响较大。因此, 放射性药物的分装、注射, 均需在良好屏蔽下进行, 而注射后的带药病人, 其候诊和显像扫描也须在具有完全屏蔽的室内, 才能减小其 γ 射线对外环境的影响。

根据公式 (1) 可估算出 PET/CT 项目各工作场所参考点处的辐射水平, 各参考点计算结果见表 11-2。

表 11-2 PET/CT 项目各工作场所参考位置辐射水平估算结果

工作场所	参考点位置	辐射源强 (Bq)	与源的最近距离 m	屏蔽材料及厚度	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)	备注
分装室	通风橱表面 30cm 处 (操作位)	7.4×10^9	0.3	50mm 铅当量通风橱	10.7	在通风柜内对 ^{18}F 药物原液 ($7400\text{MBq} = 370\text{MBq}/\text{人} \times 20\text{人}$ 计) 进行分装; 通风柜铅当量 50mm
	防护门外表面 30cm 处		2.5	50mm 铅当量通风橱+8mm 铅板	0.05	
	顶棚上方 30cm 处		6.0	50mm 铅当量通风橱+24cm 混凝土+6mm 铅板	<0.01	
注射室	工作人员注射台操作位	3.7×10^8	0.3	40mm 铅当量屏风+23mm 钨合金	0.03	注射台设置 40mm 铅当量防护屏; 注射器防护套为 23mm 钨合金
	四周墙体外表面 30cm 处		1.3	24cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料+23mm 钨合金	0.02	
	防护门外 30cm 处		2.2	8mm 铅板+23mm 钨合金	0.04	
	顶棚上方 30cm 处		6.0	24cm 混凝土+23mm 钨合	<0.01	

				金		
注射后候诊室	四周墙外表面 30cm 处	1.48×10^9	2.4	24cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料	2.19	考虑4 名患者（共 40mCi）同时候诊，位于候诊室中心位置
	防护门外 30cm		3.6	8mm 铅板	5.23	
	顶棚上方 30cm 处		6.0	24cm 混凝土+6mm 铅板	0.09	
PET/CT 检查室	工作人员摆位处	3.7×10^8	1.0	0.5mmPb	48.3	①工作人员摆位处剂量率为工作人员穿戴 0.5mmPb 防护用品后的结果；②扫描时病人距四周墙体内壁最近距离为2.5m。
	四周墙外表面 30cm 处		3.2	37cm 实心砖+5mmPb 当量防护涂料	0.10	
	防护门外 30cm 处		5.7	8mm 铅板	0.52	
	顶棚上方 30cm 处		6.0	24cm 混凝土+6mm 铅板	0.02	
	观察窗表面外 30cm（控制室）		5.0	8mm 铅当量	0.68	
观察室	顶棚上方 30cm 处	1.48×10^9	6.0	24cm 混凝土+6mm 铅板	0.09	考虑4名患者（共 40mCi）同时留观；不考虑土层的影响
	北侧医院宿舍楼		15	24cm 实心砖	0.11	
VIP 观察室	顶棚上方 30cm 处	3.7×10^8	6.0	24cm 混凝土	0.05	考虑1名患者（10mCi）留观；不考虑土层的影响
	北侧医院宿舍楼		13.5	24cm 实心砖	0.03	

注：（1）计算时均假设为点源，为简化计算，候诊、检查、留观时每位患者保守取最大活度 10mCi。

（2）参考《辐射安全手册》（潘自强，2011）， ^{18}F 对应的铅值层为 1.65cm，钨的什值层为 1.2cm，混凝土什值层为 16.7cm，砖什值层为 26.3cm。

（3）计算观察室对北侧医院宿舍楼的贡献值时，保守不考虑地下土层的屏蔽作用。

从表 11-2 可以看出，在通风橱内进行 ^{18}F 药物分装时，尽管有铅通风橱的屏蔽，职业人员操作位置辐射剂量率达到 $10.7\mu\text{Gy/h}$ ，是整个 PET/CT 检查中最主要的职业照射环节。注射后候诊室防护门外及墙外表面 30cm 处、扫描摆位处的辐射剂量率偏高，但考虑上述场所均在控制区，非患者无法进入，因此该场所辐射剂量率水平是可以接受的。上述各场所对楼上的辐射剂量率最大贡献值为 $0.09\mu\text{Gy/h}$ ，观察室及 VIP 观察室对北侧医院宿舍楼的辐射剂量率最大贡献值为 $0.11\mu\text{Gy/h}$ ，可见本项目运行后对周边环境辐射影响很小。

为防止公众进入控制区外的走廊或楼道，医院拟将病人西侧出口门设置为带门禁系统的单向门，保证了控制区内患者只出不进，避免无关人员进入控制区；并将控制

区内的所有防护门均设置闭门装置，确保防护门保持常闭状态，实现良好的防护效果，同时门诊量较大时应采用分批预约、分批注射、分批候诊的方式，控制候诊室内病人的数量，尽量避免用药患者集中注射、候诊，降低对防护门外的辐射影响。

鉴于患者注射药物后具有可移动性，必须加强对病人的管理，同时还应加强对患者家属、陪护人员防护指导，尽可能减少不必要的照射。

11.2.2 ¹³¹I 核素项目辐射环境影响分析

根据工程分析可知，¹³¹I 项目包括甲状腺功能测定和 ¹³¹I 甲亢治疗，因甲状腺功能测定项目 ¹³¹I 用量较小，一般为几个微居，病人在摄碘率测定室服药，服药后即可离开，对周围环境辐射影响很小。因此，本项目主要考虑 ¹³¹I 治疗甲亢过程对环境的辐射影响。

医院根据病人所需药物剂量，在前一天向医药公司定药，用药当天医药公司将所需总活度的药物送至通风橱，由医护人员在通风橱内对 ¹³¹I 进行分装，分装完后送药至治疗室指定位置，然后通知病人进入治疗室自行服用。服药后的甲亢病人在观察室留观一段时间（约 1 小时），无特殊情况即可离开医院。对于 ¹³¹I 衰变产生的 β 射线，一般只要采取个人防护措施，皮肤不直接接触放射性核素的时候，就可达到防护要求，本项目主要考虑 ¹³¹I 产生的 γ 射线对核医学科工作人员和周围环境产生外照射辐射影响。

根据公式（1）可以计算出本项目单个病人口服 10mCi（370MBq）的 ¹³¹I 药物，表 11-3 估算出单次口服的放射性药物在无屏蔽状态下，不同距离的空气比释动能率，计算结果见表 11-3。根据公式（1）可估算出 ¹³¹I 在分装时和治疗时周围各参考点处的辐射水平，计算结果见表 11-4。¹³¹I 的比释动能率常数 Γ 为 0.052mGy·m²/h GBq（辐射防护手册第三分册 P28）。根据医院提供的资料，分装好的 ¹³¹I 装在 6mmpb 防护的药瓶中供病人服用（7.4×10⁸ Bq 以下的药瓶为 6mmpb 防护）。

表 11-3 无屏蔽状态下不同距离的 ¹³¹I 空气比释动能率（μGy/h）

距离（m）	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次口服 3.7×10 ⁸ Bq（10mCi） ¹³¹ I 的空气比释动能率	213.8	76.9	19.2	4.81	2.14

表 11-4 ¹³¹I 甲亢项目工作场所参考位置辐射水平估算结果

工作场所	参考点位置	辐射源强（Bq）	与源的距离 m	屏蔽材料及厚度	参考点辐射水平（μGy/h）	备注
分装室	通风橱表面 30cm 处（操作位）	3.7×10 ⁹	0.3	50mm 铅当量通风柜	0.30	在通风柜内对 ¹³¹ I 药物原液（3700MBq）
	防护门外表面 30cm 处		2.5	50mm 铅当量通风柜+8mm 铅板	<0.01	

	顶棚上方 30cm 处		6.0	50mm 铅当量通风柜+24cm 混凝土+6mm 铅板	<0.01	=370MBq/人×10 人计) 进行分装; 通风柜铅当量 50mm
¹³¹ I 治疗室	治疗室内	3.7×10 ⁸	0.3	6mm 铅当量	73.8	假设 1 名病人服药位置位于房间中央
	四侧墙体外表面 30cm 处		1.7	37cm 实心砖	0.13	
	防护门外表面 30cm 处		2.5	8mm 铅板	0.36	
	顶棚上方 30cm 处		6.0	24cm 混凝土	0.02	

注: ①参考《辐射防护手册》(第三分册), ¹³¹I 的铅什值层约为 1.3cm, 混凝土什值层约 17.6cm, 实心砖什值层约 21.8cm。

②计算时均假设为点源, 每位患者用药一般用药活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

③ 治疗后观察室的屏蔽设计与治疗室相同, 参考治疗室的屏蔽计算结果。

由表 11-3 和 11-4 的数据可以看出, 医护人员在分装结束后送 ¹³¹I 药物过程中辐射影响较大, 病人服药后 ¹³¹I 药物处于无屏蔽状态, 其周围辐射影响比较明显, 通过治疗室的屏蔽作用, 辐射剂量率可以降低至较低水平, 由于 ¹³¹I 半衰期有 8 天, 当病人稍作观察离开医院时, 体内放射性核素含量仍有 5~10mCi (185~370MBq), 病人体内携带一定量活度 (小于 400MBq) 放射性核素离开医院是允许的, 但医院须向病人提供其与他人接触时的辐射防护措施的指导。

11.2.3 辐射工作人员和公众剂量估算

工作人员的年有效剂量由公式 (2) 式进行估算:

$$E_{\text{eff}} = D \cdot t \cdot T \quad (2)$$

式中 E_{eff} : 人员有效剂量 (mSv/a);

D: 考查点的空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$);

t: 年工作时间;

T: 居留因子, 职业人员取 1, 公众根据实际居留场所取值;

有效剂量率与空气吸收剂量率转换系数保守取 1。

(1) 辐射工作人员剂量估算

根据工程分析, 工作人员接触放射性药品的时间及工作时间如下:

¹⁸F 核素医师分装时间约 1min/人, 护士注射时间约 30s/人, 技师摆位时间约 1min/人, 病人扫描时间约 10min/人。¹³¹I 核素医师分装时间约 1min/人, 护士送药每次时间约 30s/人。核医学科每天工作 8 小时, 一年 360 天, 一年 2880 小时。根据公式 (2) 计算每个辐射工作人员的最大年有效剂量, 估算结果见表 11-5。

表 11-5 辐射工作人员年有效剂量估算结果表

核素名称	成员	操作类型及人数	附加剂量率 (μGy/h)	年受照时间 (h)	每人年有效剂量 (mSv)
¹⁸ F	职业人员	分装(1人)	10.7	120=1/60*20*360	1.28
		注射(2人)	2.17	60=0.5/60*20*360	0.07
		摆位(2人)	48.3	120=1/60*20*360	1.45
		观察窗扫描(2人)	0.68	1200=10/60*20*360	0.41
¹³¹ I	职业人员	分装(1人)	0.30	60=1/60*10*360	0.02
		送药(2人)	73.8	30=0.5/60*10*360	1.11

根据表 11-5 估算结果, 本项目辐射工作人员年受照剂量最大值为 1.45mSv, 符合国家标准 GB18871-2002 中的职业人员的年剂量限值 (20mSv) 的要求, 同时也低于符合年剂量约束值 (5mSv)。由于核素诊断和治疗过程中可能受到一些不确定影响因素 (如事故工况), 同时辐射工作人员将视情况有选择的穿着铅裙或铅防护衣、戴着铅手套或铅围脖等个人防护措施, 工作人员受照剂量各不相同, 难以准确估算其年有效剂量, 上述估算结果只能大致反映出工作人员受照射程度, 工作人员实际年有效剂量应以个人剂量检测结果为准。医院严格控制职业人员的受照剂量, 职业人员的个人剂量计 2~3 个月送检 1 次, 一旦发现受照剂量接近年剂量约束值, 立即停止该职业人员当年的辐射相关工作, 保证职业人员的剂量符合年剂量约束值。

(2) 公众剂量估算

放射性药物到达医院核医学科后, 暂存于通风橱内, 在需要时才取出使用, 核医学科设置门禁等系统禁止公众 (非病人、非医护人员) 进入, 故本项目的公众主要是在核医学科外医院内的人员。

①核医学科工作场所周围公众

根据医院平面布局图及住院门诊综合楼一层平面布局可知, 本项目核医学科工作场所周围公众主要是正上方的会议室和医疗咨询室的人员, 以及北侧医院宿舍楼内的人员。

从表 11-5 知核医学科工作场所四周公众停留区域的辐射影响总体较小, 最大附加剂量率为 0.11μGy/h, 核医学科工作场所周围公众年有效剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6 核医学科工作场所周围公众年有效剂量估算结果表

核素名称	成员	受影响区	附加剂量率 (μGy/h)	年工作 时间 (h)	居留 因子	年有效 剂 量
------	----	------	---------------	---------------	----------	------------

						(mSv)
¹⁸ F	公众人员	分装室楼上（会议室）	0.01	2880	1/4	0.007
		注射室楼上（会议室）	0.05	2880	1/4	0.036
		注射后候诊室楼上（会议室）	0.09	2880	1/4	0.065
		PET/CT 检查室楼上（医疗咨询室）	0.02	2880	1/4	0.014
		观察室楼上（医疗咨询室）	0.09	2880	1/4	0.065
		北侧医院宿舍楼	0.11	2880	1/4	0.079
		VIP 观察室楼上（医疗咨询室）	0.05	2880	1/4	0.036
¹³¹ I	公众人员	分装室楼上（会议室）	0.01	2880	1/4	0.007
		¹³¹ I 治疗室上方（会议室）	0.02	2880	1/4	0.014

由表 11-6 可见，周围公众年受照剂量最大值为 0.079mSv，若保守将上述会议室的公众及医疗咨询的公众受照剂量进行叠加，计算结果也低于国家标准 GB18871-2002 公众的年剂量限值（1mSv）的要求，同时也低于年剂量约束值（0.25mSv）。可见，本项目对核医学科周围的公众的辐射影响很小。由于 γ 射线的强弱与距离的平方成反比，通过推算可知本项目评价范围内所有公众的年有效剂量均能满足上述限值要求。

④ 诊区的陪护人员

核医学科候诊区病人陪护人员主要为核医学科患者的家属，该类陪护人员为特殊公众，不适合本报告提出的评价剂量限制和剂量约束值。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中附录 B1.2.2 规定：“B1.2.1 所规定的剂量限值不适用于患者的慰问者，但是应对患者的慰问者所受的照射加以约束，使他们在患者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv”。根据该院核医学科室的门诊量而言，正常情况下患者陪护人员受到的照射不会超过上述的约束值（5mSv）。但医院应加强对患者陪护人员的管理，应对用药患者的活动加以限制并对其陪护人员给予必要的辐射防护指导。

11.2.4 密封源 ²²Na 的辐射影响分析

PET/CT 装置需要定期使用 ²²Na 放射源对机器进行校准，其中 1 个 100 μ Ci（ 3.70×10^6 Bq）²²Na 放射源校准频率为每天 1 次，6 个 10 μ Ci（ 3.70×10^5 Bq）²²Na 放射源每季度校准 1 次（融合校准），操作方式均为简单操作，操作人员安装好校准源在机房外等候约 15 分钟，在正常情况下，校准过程对操作人员的影响相对于 PET/CT 诊断过程中的注射药液、摆位等操作甚微。²²Na 放射源每 5 年更换一次（半衰期为 2.6 年），由厂家回收处置。

11.2.5 三废的环境影响分析

根据 10.5 节三废的治理可知，医院新建核医学科拟设置衰变池、放射性废物库，核素诊断和治疗过程中所产生的放射性废水、固体放射性废物收集后自然衰变十个半衰期，经检测合格后作为普通医疗废水、普通医疗废物处理；核医学科核素操作区域拟设计通风系统，核素操作过程中挥发产生的少量放射性废气通过专用通风管道排到室外，排风口高于综合楼楼顶，通风橱内操作区上方设置活性炭过滤装置。该院放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环保要求，项目运行期间三废对周围环境影响很小。

11.3 事故影响分析

本项目核医学科工作场所为乙级非密封源工作场所，在各种放射性同位素的操作过程中，如果安全监督管理或必要的防护措施不足，可能对接触放射性药物的辐射工作人员造成放射性损伤和环境污染，本项目主要事故风险为：

- 1) 辐射工作人员违反医院制定的核素操作规程，造成意外照射或辐射污染；
- 2) 注射器有破损造成放射性核素泼洒或挥发，工作台面或设备等受到放射性沾污，人员受到意外照射；
- 3) 由于监管工作不到位导致放射性药物被盗、丢失等，公众有可能在不知情的情况下受到超剂量的外照射。

本项目核医学科均采用常用的核素（ ^{18}F 和 ^{131}I ），经预测放射性核素操作对周围环境的辐射影响较小。另外，PECT/CT 设备属于Ⅲ类射线装置，为低危险射线装置，事故时一般不会造成受照人员的放射损伤。根据原国家环保总局《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》，核医学科发生的事故为一般辐射事故，只要辐射工作人员严格按照操作规程进行操作，可有效降低核素泼洒等事故频率。核医学科工作人员严格按照辐射安全和防护管理规章制度执行，定期对放射性核素进行台账核对，加强对 PET/CT 设备的维护、检修和保养，重视辐射安全管理，加强人员的培训和教育，核素丢失或被盜的可能性就会大大降低。因此，在医院医护人员规范操作、合理安排工作时间、加强安全管理的情况下一般不会导致人员受到超过剂量约束值或者超过 GB18871-2002 中的个人剂量限值的照射，也不会造成人员死亡等重大伤亡事故。本项目发生事故的风险主要是管理问题，主要的预防措施是通过严格遵守各项管理制度，定期检查各项辐射防护措施，严格执行显像诊断及治疗项目的操作规程。辐射事故应急措施主要包括以下几个方面：

（1）放射性污染控制

当核医学项目发生放射性污染时，应当及时采取得当的应急措施，使放射性污染得到及时有效地控制。具体的处理方法如下。

- ① 确认引起放射性污染事件的发生及当事人。
- ② 确定发生污染的核素名称、数量、剂量和放射性污染的具体位置、范围、放射性强度等和发生的时间。

③ 做好警示标识，及时隔离及限制污染现场，并采取相应的放射性污染处理方法进行去污处理。如：当本项目液态放射性药物泼洒导致的表面沾污事故时，迅速用

吸附衬垫吸干溅洒的液体，从被污染区的边沿向污染中心擦拭，直到擦干整个污染区，以防止污染扩散。擦拭结束后，还要用表面沾污仪测量被污染区，直至检测合格。加强放射性药物的管理，保障监控系统的安全有效运行，防止发生药物被盗或丢失。

(2) 放射性核素偷盗、丢失事件的处理

- ① 确认放射性核素被偷盗、丢失事件的发生。
- ② 查证放射性核素的核素名称、数量、活度。
- ③ 及时向环保、卫生部门报告，积极配合公安部门的调查。
- ④ 写出事件处理结果报告，查找事件发生的原因及可能的环节，评估事件影响。

(3) 应急方案的启动

- ① 当发生人员受到超过年有效剂量限值或发生可能引发辐射事故的运行故障时，即时启动医院的辐射事故应急方案。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。
- ② 发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。
- ③ 各应急救助物质应准备充分、调配及时。
- ④ 发生事故后应在 2 小时内报告当地环保、卫生行政和公安部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》等法律法规要求，使用放射性同位素和射线装置的单位应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；辐射工作人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院目前初步建立辐射安全与防护管理小组，以法人代表徐建国为组长，华网孝为组员，负责全院的辐射安全与防护管理工作，建议医院根据核医学科人员配备情况，尽快完善小组人员组成及相应各成员管理职责，并以红头文件形式正式发布。

建议对小组成员职责部分完善如下内容：（1）组织辐射工作人员接受辐射防护法规、专业技术知识的培训；（2）督促检查科室对辐射工作管理制度的执行情况；（3）组织辐射工作人员进行定期的健康检查，接受个人剂量监测；（4）监督医院内放射设施、放射源的使用及放射性废物的处理及回收工作；（5）放射源、设备遗失或其他放射事故时，启动医院制定的应急预案，负责组织应急处置演练。

本项目核医学科辐射工作人员在上岗前应参加辐射安全与防护培训，通过考核后才能正式从事相应的放射诊断或治疗工作。

辐射安全管理规章制度

（1）医院现有的辐射安全管理规章制度

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》等法律法规要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应建立健全的操作规程、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、人员培训制度、监测方案和事故应急措施。目前，医院已制定《操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《人员培训制度》、《设备检修维护制度》、《监测方案》、《辐射装置辐射事故应急预案》、《放射性同位素辐射安全工作责任书》、《射线装置辐射工作安全责任书》以及《放射性质量控制大纲》等制度。

（2）规章制度分析评价

医院在实际工作中应结合法律法规的要求，不断对制度的内容进行补充和完

善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对医院已制定且法规要求的各项制度提出相应的评价：

1) 操作规程：医院已制定《操作规程》，主要是针对射线装置的操作要求，尚未针对核医学科内 PET/CT、¹³¹I 核素治疗等放射诊断、治疗项目制定相应的操作规程，建议医院结合核医学科的操作情况完善相应内容并要求辐射工作人员熟练掌握各项目操作要领，同时明确辐射工作人员的资质条件、操作权限以及操作时必须采取的防护措施等，避免因违反操作规程，而造成意外照射或辐射污染等事故。

2) 岗位职责：医院已制定《岗位职责》，主要是辐射安全和防护管理小组的职责，尚未规定核医学科相关人员的岗位职责，建议完善核医学科管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任规章制度，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

3) 辐射防护和安全保卫制度：医院已制定《辐射防护和安全保卫制度》，尚未对核医学科的辐射防护和安全保卫做相关制度要求，建议规定专人负责核医学科的辐射防护与安全保卫工作，包括对放射性核素及密封源的辐射防护及安全管理，防止被偷盗、丢失等事件发生。定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

4) 设备检修维护制度：医院已制定《设备检修维护制度》，主要包括射线装置及其配套的安全装置，尚未针对核医学科内相关设备做具体要求，建议完善 PET/CT、监控设备、监测仪器的维修计划和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录，确保射线装置、安全设施、巡检仪、表面污染仪等监测仪器必须保持良好工作状态。另外，针对核医学科的通风系统和废水排放系统进行定期维护，使其处于良好的运行状态。

5) 台帐和使用登记制度：医院尚未建立《放射性同位素使用登记制度》，建议尽快补充放射性核素台帐和使用登记制度，规范放射性核素台帐和核素使用登记记录，对购入的放射性核素的使用情况进行登记和跟踪记录。另外，建议医院制定“三废”的台账记录及管理制度，便于医院管理人员的后续管理。

6) 辐射环境监测方案：医院已制定《监测方案》，主要包括辐射工作人员个人剂量监测和辐射工作场所辐射水平监测。根据国家相关标准及条例的要求，医院应完善监测计划和监测方案，辐射监测主要包括环境监测、场所监测和个人剂

量监测，以及相关档案记录等，建议医院针对监测方案完善提出如下内容：

①每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，并与每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告；

②本项目取得环评批复并运行后，将及时委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测；

③辐射工作人员应定期进行职业健康体检，并建立健康档案；

④对于辐射工作人员接受的剂量值超过 5mSv/a 个人剂量约束值的，需立即查明原因，采取改进措施，并根据要求上报环境保护主管部门。

7) 人员培训计划：医院已制定《人员培训制度》，明确辐射工作人员应持证上岗，尚未完善培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等内容，同时医院应将培训记录建立档案，做到有据可查。

8) 事故应急预案：医院已制定《辐射装置辐射事故应急预案》，包括应急组织机构人员及联系电话，应急启动、应急工作程序、应急终止和事故报告管理等内容。医院应尽快完善应急组织机构人员配备，同时加强人员应急培训及演练，完善救助的装备、资金、物资准备工作，补充环保、卫生、公安部门的应急联系电话。

医院应尽快按照本报告中提出的上述内容对辐射安全管理规章制度进行补充完善，并后续工作中定期关注新颁布的相关法律法规以及环保部门的最新要求，对规章制度及时进行更新。

辐射监测

1、环境监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)》等要求，医院针对此次核技术利用项目制定相应的辐射监测计划，包括：

(1) 个人剂量检测

医院拟开展辐射工作人员个人剂量监测，每 2~3 个月将个人剂量计收集后统一送有资质的单位检测。医院的辐射安全管理机构对个人剂量监测结果（检测报告）统一管理，建立档案，长期保存。

(2) 工作场所辐射环境检测

医院每年委托有监测资质的单位对核医学科辐射工作场所和周围环境的辐

射水平，以及表面沾污等项目进行监测，每年 1 次；同时应当对医院的放射性同位素与射线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，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

定期（每月）用巡检仪对工作场所进行环境自检，保存相关记录。设备出现故障维修后，经检定达到国家标准后再次启用。

医院拟配置辐射巡测仪及个人剂量报警仪，同时核医学科拟配备表面沾污仪，定期对工作场所辐射水平进行检测；核医学科每天工作结束后对分装室内易受到核素污染区域的工作台、地面进行表面污染水平监测，发现污染及时去污。

具体监测计划见表 12-1。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象	监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
核医学科	各功能室（分装室、注射室、候诊室、PET/CT 检查室、 ¹³¹ I 治疗室、储源室、废物间、卫生通过间等）以及核医学科楼上用房进行实测	X-γ 辐射剂量率	每半月 1 次	日常例行监测
		β 表面污染	每月 1 次	
	人体表面皮肤、衣物等实测	X-γ 辐射剂量率	医护人员从控制区离开核医学科前	
		β 表面污染		
	PET/CT 安全联锁进行实测并检查	安全	每次使用前	
	衰变池排放口实测	排放前废水中的 β 放射性	排放前	委托有资质单位监测
	放射性固体废物实测	放射性比活度	处置前	委托有资质单位监测
辐射工作人员	佩戴个人剂量计	年有效剂量	每季度送检 1 次	委托有资质单位监测
外环境	实测	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次	委托有资质单位监测

2、环境监测仪器配备

医院使用非密封放射性物质，其核医学科属乙级非密封源工作场所，根据国家环境保护部令第 3 号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院为核医学科拟配置有 1 台 X-γ 辐射环境巡测仪，1 台表面沾污仪，以及 2 台个人剂量报警仪。

所有辐射工作人员每人均配备个人剂量计，工作时随身佩戴。

辐射事故应急

医院根据可能发生的辐射事故的风险，医院制定了《辐射装置辐射事故应急

预案》，医院应急预案主要内容包括应急组织机构人员及联系电话，应急启动、应急工作程序、应急终止和事故报告管理等内容。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号）等相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应急预案包括应急机构和职责分工；应急的具体人员和联系电话；应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；辐射事故分级及应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序。

对照上述应急预案内容，医院目前应急预案尚需完善以下内容：①机构成员人数不够，目前仅有一人，医院应尽快成立以华网孝院长为组长，以核医学科及相关科室成员为组员的应急组织机构，负责本单位的辐射事故应急管理工作。②预案中应完善应急人员的组织、培训，以及应急和救助的装备、资金、物资准备工作。③补充应急人员的培训演习计划。④补充环保、卫生、公安部门的应急联系电话。

万一因操作失误或被盜、丢失等事件导致的人员受到超过年有效剂量限值或发生可能引发辐射事故的运行故障时，医院应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，并立即向当地环境保护主管部门，对于造成或可能造成人员受照剂量超标的，还应向卫生主管部门报告。

本项目运行后，应做好以下工作：

- (1) 医院每年应组织人员进行应急演习，并做好记录；
- (2) 医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度，加强科室之间以及与管理部門的联动。

分析认为，医院在完善应急响应机构，以及落实上述应急预案的内容后，本项目辐射事故应急是可行的。

附：辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	验收效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作	以红头文件的形式建立辐射安全管理机构，并指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，明确机构内各人员职责。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	核医学科PET/CT检查室工作场所四侧墙体采用37cm实心砖（墙面附加5mm铅防护涂料，约3cm钡水泥），顶棚采用24cm现浇混凝土（顶面附加6mm铅板），防护门采用8mm铅防护门，观察窗为8mm铅当量玻璃。分装室、注射室、 ¹⁸ F注射后候诊室、储源室、废物间四侧墙体采用24cm实心砖（墙面附加5mm铅防护涂料，约3cm钡水泥），顶棚采用24cm现浇混凝土（除了注射室，其余顶面均附加6mm铅板），防护门采用8mm铅防护门，观察窗为8mm铅当量玻璃。 ¹⁸ F观察室（含VIP）、甲测室、 ¹³¹ I治疗室（及观察室）四侧墙体采用24cm实心砖，顶棚采用24cm现浇混凝土， ¹⁸ F观察室（含VIP）设置8mm铅板防护门。注射后候诊室及留观室病座位之间采用防护用品隔离（比如铅屏风隔开），减少病人之间的辐射影响。 人员年受照剂量满足GB18871中年限值和本项目剂量约束值：职业人员5mSv/a、公众0.25mSv/a的要求。	400
	安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停开关等）	（1）核医学科入口处、注射室、PET/CT 机房等工作场所防护门上显著位置均设置电离辐射警告标志，装有放射性同位素和放射性废物的容器、设备均粘贴放射性标志； （2）PET/CT 机房门口应安装工作状态指示灯，设置门灯联锁，防护门显著位置粘贴电离辐射警	

		<p>告标志；</p> <p>(3) 在病人进入控制区的大门和病人出口拟设置单向门。甲测室、¹³¹I 治疗室及其观察室等功能房的医护人员进出门侧设置电子门禁装置。控制区内的所有防护门均设置闭门装置，确保防护门保持常闭状态；</p> <p>(4) PET/CT 控制室与机房、控制室与注射后候诊室拟配备双向对讲装置，检查室与控制室之间安装有观察窗。在病人注射后观察室及服药后观察室内安装视频监控装置；</p> <p>(5) 储源柜表面设置电离辐射警示标志，并双人双锁管理和视频监控装置。</p>	
	<p>放射性废物处理</p>	<p>(1) 核医学科拟设放射性废物铅桶及废物库，放射性固体废物经分类、标记收集并衰变十个半衰期，经检测满足清洁解控水平后按照普通医疗废物处置。废物间北侧设有楼梯通向一楼外出，放射性废物运输通道避免或减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响。</p> <p>(2) 医院拟设置一个三级衰变池系统，衰变池前端设有化粪池、衰变池容积共为 24m³，放射性废水经专用管道进入废水衰变池，衰变池专门用于收集核医学科放射性废水。放射性废液在衰变池中经过 10 个半衰期以上，经检测达标后，方可排入医院污水处理站处理。化粪池和衰变池为整体设计，钢筋混凝土一次性浇筑，四周池壁、池底及池盖均为混凝土结构，池内四周经防渗处理。衰变池所在区域正上方四周设置围栏，并张贴设置电离辐射警示标志</p> <p>(3) 本项目中放射性药物操作均在通风橱内进行，通风橱内拟设专用通风管道（1m/s），排气口高</p>	<p>80</p>

		于本建筑物（即住院门诊综合楼）屋脊，通风橱内操作区上方设置活性炭过滤装置； 废物间、PET/CT 机房设计有独立的通风管道，其余功能房包括污洗间、卫生通过间、注射间、甲测室、 ¹³¹ I 治疗室、给药后候诊室及专用卫生间、 ¹⁸ F 观察室等区域也设置通风系统将室内空气经通风管道由风机抽吸至楼顶排出。	
人员 配备	辐射防护与安全培训和考核	核医学科辐射工作人员均应参加辐射防护知识的培训，并且只有在通过考核后方可从事相关工作。	定期投入
	个人剂量监测	辐射工作人员应定期进行健康检查，委托资质单位开展进行个人剂量监测。	每年投入
	人员职业健康监护	医院应定期组织职业健康体检，按要求建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	每年投入
监测 仪器 和防 护用 品	辐射环境剂量巡测仪、表面沾污仪、个人剂量报警仪	拟配置 1 台辐射环境剂量巡测仪、1 台表面沾污仪和 2 台个人剂量报警仪。	5
	个人防护用品	核医学科核素操作场所拟配置通风橱、铅服、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品。	15
辐射 安全 管理 制度	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、设备台账和使用登记制度、人员培训计划、监测制度、辐射事故应急措施	按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	/
总计	—	—	500

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

海南济民博鳌国际医院有限公司坐落于海南省琼海市博鳌乐城国际医疗旅游先行区康祥路 11 号，西侧隔道路为绿化，东侧隔康祥路为在建的长升国际医疗健康中心，南侧隔道路为医疗产业园的其他公司。为提高医院的医疗质量，给病人就医创造了良好的条件，根据医院计划，医院拟开展核医学诊断治疗核技术利用项目，分别为使用 1 台 Ingenuity TF 型 PET/CT，并使用非密封放射性物质 ^{18}F 进行显像诊断（共配有 7 枚 ^{22}Na 校准源，均属 V 类密封源），以及使用 ^{131}I 核素开展甲功测定及甲亢治疗。

本项目拟建的核医学科项目位于医院住院门诊综合楼地下一层，正上方为一楼会议室和医疗咨询室，无地下二层建筑；核医学科南侧隔通道为地下一层放射科区域，北侧墙外为土层（土层上方隔院区道路为职工宿舍楼），西侧墙外为土层（土层上方为院区通道），东侧为下沉庭院及地面绿化，在核技术利用工作场所周围 50m 范围除了西侧至医院边界外的绿化区，其余在院区范围内，项目选址合理。本项目环境保护目标是医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、核医学科楼上会议室和咨询室公众、北侧医院宿舍楼公众。

核医学科工作场所 2 种放射性核素（ ^{18}F 和 ^{131}I ）的日等效最大操作量为 $3.77 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封源工作场所。

医院拟开展核技术利用区域及周围环境的 X- γ 辐射剂量率在 131~161（nSv/h）之间，处于海南地区室内和室外辐射环境本底水平范围。

2. 辐射安全防护结论

本项目核医学科工作场所控制区和监督区划分明显，设计有患者进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的患者对其它人员造成不必要照射，项目布局基本合理。CT 机房控制室与检查机房分开布置，布局、面积及单边长均符合相关要求。本项目所有工作场所布局基本合理。

医院拟建核医学科辐射工作场所均设计采用实心砖或混凝土浇筑结构（实心砖密度不低于 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），机房均采用铅防护门、铅玻璃观察窗等。

核医学科入口处、注射室、PET/CT 机房等工作场所防护门上显著位置均设置电离辐射警告标志，装有放射性同位素和放射性废物的容器、设备均粘贴放射

性标志，PET/CT 机房门口应安装工作状态指示灯，设置门灯连锁。在病人进入控制区的大门和病人出口拟设置单向门。甲测室、 ^{131}I 治疗室及其观察室等功能房的医护人员进出门侧设置电子门禁装置。控制区内的所有防护门均设置闭门装置，确保防护门保持常闭状态。储源室设置双人双锁管理和视频监控系统。

医院已成立辐射防护管理领导小组，建议完善领导小组成员及职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作及明确各成员管理职责，并以红头文件形式正式发布，核医学科辐射工作人员均应参加辐射防护知识的培训，并且只有在通过考核后方可从事相关工作。医院拟委托资质单位开展进行个人剂量监测并建立个人剂量档案；定期进行职业健康体检，建立个人职业健康档案。医院还应不断根据法律法规及实际情况对已制定的各项管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在完善并落实本报告提出的应急预案内容后，本项目辐射事故应急是可行的。

医院拟配置 1 台环境辐射剂量巡测仪、1 台表面沾污仪及 2 台个人剂量报警仪。核医学科拟配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅通风橱、铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽等防护设备。在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，该院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

3. 环境影响分析结论

根据理论估算结果，核医学科辐射工作人员年受照剂量最大值为 1.45mSv，公众年受照剂量最大值为 0.079mSv，该院拟建核医学科项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对放射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。

医院新建核医学科拟设置放射性废物库、衰变池，核素诊断和治疗过程中所产生的放射性废水、固体放射性废物收集后自然衰变十个半衰期，经检测合格后作为普通医疗废水、普通医疗废物处理；核医学科核素操作区域拟设计通风系统，核素操作过程中挥发产生的少量放射性废气通过专用通风管道排出室外，排风口高于综合楼楼顶，通风橱内操作区上方设置活性炭过滤装置。该院放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环境保护要求。

4. 可行性分析结论

医院新建 1 个核医学科工作场所（日等效最大操作量为 $3.77 \times 10^8 \text{Bq}$ ）核技术利用项目，本评价项目建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且完善本次评价对该项目提出的各项要求及措施，则本评价正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该评价项目是可行的。

建议

- 1) 进一步完善辐射安全管理制度、辐射监测工作方案和事故应急预案，并制定详细的放射性药品采购、登记、使用等制度。
- 2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求使用，确保其安全可靠。
- 3) 新进辐射工作人员及未参加培训的辐射工作人员应尽快参加省环保部门组织的辐射防护与安全培训并取得合格证。
- 4) 建议医院在核医学科西侧门外病人离开通道显著位置设置必要的提示，让病人按指定线路离院，同时设置提示防止公众在门外逗留。
- 5) 建议医院加强对注射放射性药物后病人的管理，同时还应加强对患者家属、陪护人员防护指导，尽可能减少不必要的照射。
- 6) 医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，运行后应及时办理竣工环保验收。

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