

证书编号：国环评证乙字第 1619 号

编号：FHB2015014

核技术应用项目 环境影响报告表

填表人：白源 联系电话：0431-89682341

项目联系人：温强 联系电话：13596052393

法人代表：赵国庆

建设单位全名称：吉林大学中日联谊医院

单位公章

2015年10月26日

吉林省环境保护厅

建设项目基本情况

单位名称	吉林大学中日联谊医院	地址	长春市仙台大街 126 号		
法人代表姓名	赵国庆	邮编	130031		
联系人及电话	温强 13596052393				
项目名称	吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目				
项目地点	吉林大学中日联谊医院 8 号楼(医技楼 B 座)地下一层和 1 号楼 1 层	项目性质	改扩建		
项目用途	诊断				
核技术项目投资(万元)	1200	环保投资(万元)	71.5		
应用类型	非密封放射性物质	密封源	射线装置	其它	
	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{125}I	^{68}Ge 、 ^{90}Sr	回旋加速器 1 台、PET-CT 机 1 台、SPECT-CT 机 2 台	——	
核技术应用的目的是任务：					
<p>吉林大学中日联谊医院位于长春市仙台大街 126 号，是教育部直属高校——吉林大学所属、卫生部部管的一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复为一体的全民所有制、大型现代化综合三级甲等医院。</p> <p>该院始建于 1949 年 11 月，前身是中国人民解放军长春医科大学外科学院。1993 年 7 月，医院主体迁入长春市仙台大街 126 号，建院 60 多年来，医院取得了长足的发展，已形成中心院区（位于仙台大街 126 号）、新民院区（位于新民大街 829 号）、南湖院区（位于南湖新村东街 1028 号）、开运院区（位于开运街 1433 号）、空港院区（位于长春市空港经济开发区）五位一体的格局，总占地面积 68.38 万平方米，建筑面积 32 万平方米。确立了外科系统、心脑血管疾病诊疗、微创治疗、肿瘤精确放射治疗在吉林省乃至东北地区的优势地位。医院现有员工 3946 人，在编人员 2080 人，聘用人员 1866 人。在编人员中医生 889 人，护士 651 人，技师 130 人。其中，主任医师 202 人，副主任医师 205 人，教授 131 人，副教授 168 人，博士研究生导师 42 人（含兼职导师 3 人），硕士研究生导师 338 人（含兼职导师 80 人）。医院现有床位 3328 张，设有 51 个临床、医技科室。</p>					

吉林大学中日联谊医院拟在医院 8 号楼地下一层新建 PET-CT 及回旋加速器辐射项目，制备和应用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C ，密封源 ^{68}Ge ，回旋加速器 1 台，PET-CT 机 1 台；在医院 1 号楼核医学科新建粒籽植入，并依托原有 SPECT 机房进行粒籽植入手术，依托 3 号核医学科病房住院治疗；将 1 号楼核医学科现有教室改为敷贴室，应用医院现有的 3 枚 ^{90}Sr 密封源进行治疗。

根据中华人民共和国主席第 77 号令《中华人民共和国环境影响评价法》、国务院第 253 号令《建设项目环境保护管理条例》中有关规定以及吉林省环境保护厅对建设项目环境管理等规定，吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目应进行环境影响评价。受吉林大学中日联谊医院的委托，吉林省龙桥辐射环境工程有限公司承担该项目的环境影响评价工作，并编制《吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目环境影响报告表》。

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						
名称型号	生产厂家	加速粒子	能量 (MeV)	流强 (μA)	用途	备注
回旋加速器 HM-10	日本住友	质子	10	70	生产 ^{18}F 、 ^{11}C	II 类 (1 台)
(二) X 射线，包括工业探伤、医用诊断和治疗 (含 X 射线 CT 诊断)、分析仪器等						
名称型号	管电压 (kV)		输出电流 (mA)		用途	备注
上海联影 Umi510 型 PET-CT	140		420		诊断	III 类 (1 台)
SPECT-CT ^(*)	140		400		诊断	III 类 (1 台)
SPECT-CT ^(*)	140		400		诊断	III 类 (1 台)

*注：本项目在 SPECT 引导下经皮穿刺将 ^{125}I 籽粒均匀植入到肿瘤组织内进行内放疗，该 SPECT-CT 已履行环境影响评价手续。

废弃物（重点是放射性废弃物）

废弃物名称	状态	排放口浓度	年排放总量	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	——	$3m^3/a$	三级放射性污水池	进入三级放射性污水池，存放至少 10 个半衰期（按 ^{18}F 计算）后，检测合格后，经医院污水处理厂处理后排放。
放射性废物	固态	——	150kg/a	医院核医学科放射性废物库	将废物装入铅屏蔽垃圾桶内，标明时间，暂存 10 个半衰期后，经检测低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定豁免水平后，做普通医疗垃圾处置。

放射性同位素及密封源

核素名称	活度 (Bq / a)	物理、 化学 性状	日最大 操作量 (Bq)	日等效操 作量 (Bq)	年用量 (Bq)	操 作 方 式	用途	贮存方式 与地点
^{18}F	—	液体	7.4×10^{10}	7.4×10^8	2.5×10^{12}	简单	核素显 像诊断	根据使用 量, 由拟建 回旋加速 器生产
^{11}C	—	液体	1.11×10^9	1.11×10^7	1.5×10^{10}	简单	核素显 像诊断	
^{125}I	—	固体	8.88×10^9	8.88×10^8	4.44×10^{11}	简单	籽粒植入	储源库
^{90}Sr	1.628×10^9	固体	—	—	—	简单	敷贴	敷贴室
^{90}Sr	1.85×10^9	固体	—	—	—	简单	敷贴	敷贴室
^{90}Sr	3.7×10^8	固体	—	—	—	简单	敷贴	敷贴室
^{68}Ge	3.7×10^7	固体	—	—	—	简单	校准源	PET-CT

本项目适用评价标准、原则及内容

1. 评价目的

环境影响评价在我国作为一项法律，是建设项目环境管理的三大法宝之一，其基本目的是贯彻“保护环境”这项基本国策，认真推行“预防为主、防治结合、综合利用”的环境管理方针。

本次环评通过详细的工程分析，调查吉林大学中日联谊医院的实际情况，针对拟建核技术应用项目的工程特征和污染特征，对该医院拟应用核技术项目的场所进行辐射环境质量现场调查、监测、采样及评价，根据辐射环境影响预测提出保护环境切实可行的污染防治对策和建议，制定最佳污染控制方案和辐射防护措施，使该项目运行后各项污染控制指标符合国家标准，为建设项目的环境管理提供科学依据和技术支持。

2. 编制依据

2.1 有关法律、法规、政策

2.1.1 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日施行）；

2.1.2 《中华人民共和国环境影响评价法》（2003 年 9 月 1 日施行）；

2.1.3 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日施行）；

2.1.4 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 12 月 1 日施行）；

2.1.5 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年 12 月 6 日施行）；

2.1.6 《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，2008 年 11 月 21 日）；

2.1.7 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 5 月 1 日施行）；

2.1.8 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 253 号，1998 年 11 月 29 日施行）；

2.1.9 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（中华人民共和国环境保护

部令第 33 号，2015 年 6 月 1 日起施行)。

2.2 地方性法规与规范性文件

2.2.1 《吉林省环境保护条例》(2001 年 1 月 12 日吉林省第九届人民代表大会常务委员会第二十一次会议修改)；

2.2.2 《吉林省放射性废物处理收贮办法》(吉林省人民政府令第 125 号)。

2.3 环境影响评价技术标准与规范

2.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；

2.3.2 《核辐射环境质量评价一般规定》(GB11215-89)；

2.3.3 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)；

2.3.4 《辐射环境保护管理导则—核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》(HJ/T10.1-1995)；

2.3.5 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)；

2.3.6 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)；

2.3.7 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)；

2.3.8 《低能 γ 射线粒籽源植入治疗放射防护要求与质量控制检测规范》(GBZ178-2014)。

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

2.4 主要技术文件

吉林省龙桥辐射环境工程有限公司与吉林大学中日联谊医院签订的技术咨询合同。

3. 评价原则

3.1 严格执行国家、吉林省有关环境保护法律、法规、标准和规范，坚持环境效益、经济效益和社会效益相统一的原则。

3.2 贯彻国环办[2002]88 号文件《关于进一步规范环境影响评价工作的通知》精神，尽量利用现有有效资料，避免重复工作，提高报告编写质量，缩短评价周期。

3.3 评价工作坚持有针对性、政策性、科学性，做到实事求是、客观公正地开展评价工作。

4. 评价标准

4.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

根据标准中附录 B (剂量限值和表面污染控制水平) 部分:

4.1.1 第 B1.1.1.1 款: 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: 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。本次环评取其四分之一, 即 5mSv/a 作为工作人员的剂量约束值。

4.1.2 第 B1.2.1 款: 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: 年有效剂量, 1mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 11.4.3.2 中规定: 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.25mSv/a~0.3mSv/a) 的范围之内。本次环评取 0.25mSv/a 作为公众的剂量约束值。

4.1.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性的控制应遵循附录 B (标准的附录 B) B2 所规定的限制要求。

第 B2.1 款: 工作场所的表面污染控制水平如下表 1 所列。

表 1 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⁾	4×10
	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		4×10 ⁻¹

注: ¹⁾ 该区内的**高污染子区除外

4.1.4 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C (标准的附录) 的规定进行。

第 C1 款, 应按表 2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 2 非密封源工作场所的分级

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

4.2 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

本标准适用于临床核医学应用放射性核素和药物进行诊断和治疗（不包括敷贴治疗）的单位和工作人员。

4.3 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)

本标准适用于医学实践中所产生的含有放射性核素或被放射性核素所污染且不再利用的废弃物即医用放射性废物的管理，不适用于经医学应用后被废弃的密封放射源与粒籽源的管理。

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

第 5.2.1.2 款规定 CT 机房一般屏蔽要求如下：

一般工作量下的机房屏蔽：16cm 混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 24cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2mm 铅当量。

较大工作量下的机房屏蔽：20cm 混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 37cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2.5mm 铅当量。

4.5 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

第 5.2 款规定：CT 机房内最小有效使用面积 30m^2 ，机房内最小单边长度 4.5m。

第 5.3 款规定：CT 机房屏蔽防护铅当量厚度 2mm（一般工作量），2.5mm（较大工作量）。

第 5.4 款规定：CT 机房外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

经过对环境污染因子进行筛选，确定本项目评价因子及评价标准如表 3 所示。

表 3 环境影响评价因子及标准			
评价因子	评价标准	评价参照依据	
电离标准	个人剂量限值	公众成员：0.25mSv/a 工作人员：5mSv/a	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)
	表面污染控制水平	控制区：40Bq/cm ² 监督区：4Bq/cm ²	

5. 评价重点及内容

本次环境影响评价是在对吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目进行污染分析和对区域辐射环境现状进行调查基础上，重点对该项目辐射环境影响进行预测，针对该项目实际情况提出相应的辐射防护对策，评价工作内容具体如下：

5.1 在对实地踏查及现场监测资料进行统计分析的基础上，合理利用评价区域的环境现状调查材料，依照环境天然放射性本底，进行区域陆地 γ 辐射剂量率现状调查与评价。

5.2 通过详细工程分析和影响预测，分析本项目主要辐射污染、污染途径及其对环境的污染程度，评价及预测本项目对环境造成的影响。

5.3 根据评价区域辐射环境质量现状，结合本项目的实际情况，提出相应的辐射防护对策，使其布局合理，辐射防护最优化，减少对操作人员、管理人员的辐射，避免对公众不必要的照射。

6. 控制与保护环境目标

6.1 严格控制本项目对区域辐射环境的辐射污染，使其达到国家相关标准。

6.2 保护工作人员及周围公众的安全与健康，控制工作人员所受年有效剂量当量不超过 5mSv，公众不超过 0.25mSv；使周围环境的 γ 辐射剂量率保持在本底水平范围之内。

6.3 保护操作人员及周围公众的安全与健康，使周围环境的 γ 辐射剂量率、土壤中应用的放射性核素含量保持在本底水平范围之内。

污染源分析（包括贯穿辐射污染）

1. 辐射项目基本情况

1.1 项目名称

吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目。

1.2 地理位置

吉林大学中日联谊医院位于长春市仙台大街 126 号。医院具体地理位置如附图 1 所示。

1.3 项目性质

改扩建。

1.4 辐射项目内容

吉林大学中日联谊医院拟在医院 8 号楼地下一层新建 PET-CT 及回旋加速器辐射项目，制备和应用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C ，密封源 ^{68}Ge ，回旋加速器 1 台，PET-CT 机 1 台；在医院 1 号楼核医学科新建粒籽植入，在医院消毒室内对 ^{125}I 粒子消毒，并依托原有 SPECT-CT 机房进行粒籽植入手术，依托 3 号核医学科病房住院治疗；将 1 号楼核医学科现有教室改为敷贴室，应用医院现有的 3 枚 ^{90}Sr 密封源进行治疗。

1.5 辐射项目投资情况

吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目总投资 1200 万元，其中环保投资 71.5 万元，环保投资所占比例 6.0%。本项目环保投资详见表 4。

表 4 工程环保投资情况一览表 单位：万元

序号	项目名称	费用
1	屏蔽防护（防护门、铅筒、屏蔽箱等）	40.0
2	安全联锁装置	5.0
3	工作人员防护（防护服等）	4.0
4	个人剂量计	2.0
5	辐射环境管理（制度、标识等）	0.5
6	放射性污水池	5.0
7	环境影响评价及验收	15.0
本期环保投资合计		71.5

2. 污染源分析

2.1 非密封放射性物质

吉林大学中日联谊医院核医学科应用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{125}I 。

2.1.1 性质分析

(1) ^{18}F

^{18}F 的半衰期是 109.7min，衰变方式是 β^+ 及轨道电子俘获，发射 0.635MeV 的 β^+ 射线及发生湮没反应产生 511keV 的 γ 射线（200%），本项目应用 ^{18}F 标记物产生的 γ 射线开展核素显像工作。

(2) ^{11}C

^{11}C 的半衰期为 20.34min，衰变方式是 β^+ 及轨道电子俘获，发射 0.97MeV 的 β^+ 射线及发生湮没反应产生 511keV 的 γ 射线（200%），本项目应用 ^{11}C 标记物产生的 γ 射线开展核素显像工作。

(3) ^{125}I

^{125}I 的半衰期是 59.7d，衰变方式是轨道电子俘获，主要发射 27.5keV 的 X 射线（79.4%）和 35.5keV 的退激 γ 射线（6.8%），本项目应用 ^{125}I 粒籽源进行肿瘤治疗。

2.1.2 应用分析

(1) ^{18}F 和 ^{11}C

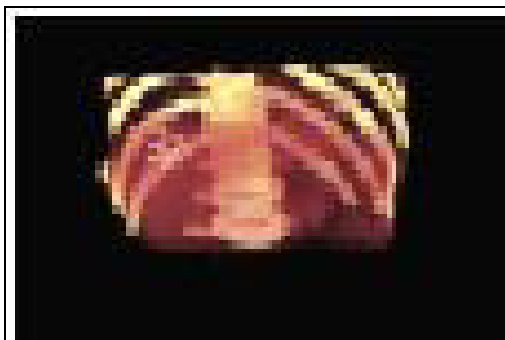
标记核素 ^{18}F 、 ^{11}C 属于 PET 诊断用放射性药物，均是组成生物机体的固有元素，且半衰期短，用这些核素标记得到的放射性药物不会显著影响该药物原有的生物活性。发射正电子的放射性核素主要是用加速器生产，其形成方式为：在回旋加速器中用带电粒籽照射靶核，产生缺正电子发射核素， ^{18}F 等即以正电子衰变。

PET 应用正电子衰变核素标记的放射性药物在人体内放出的正电子与组织相互作用，发生正电子湮灭向相反的方向发射两个能量为 511keV 的 γ 光子。方法是用呈反方向排列的两个探头探测 γ 光子，当 γ 光子与检测器相互作用，产生荧光光子并形成电脉冲，脉冲高度分析器选择能量符合 511keV 的电脉冲送入电子学线路，电子学线路把呈反方向并在 5~15 毫微秒内发生的两个电脉冲信号送入显像系统，计算机以此闪烁数据为基础，生成 PET 图像。

(2) ^{125}I

医院应用 ^{125}I 籽粒治疗计划系统做籽粒植入计划，根据计划在影像学设备引导下将放射性籽粒植入到实体性肿瘤组织内进行体内放疗。每粒 ^{125}I 籽粒的放射性活度约为 0.8mCi，单次一般用量约为 30 粒，单次最多用量为 120 粒（约 96mCi）。

放射性籽粒植入肿瘤的近距离治疗技术是相对传统放疗技术而言的新兴治疗手段。将放射性籽粒永久性植入肿瘤内部，适用于不能手术治疗的各种实体肿瘤。根据肿瘤的大小利用放射性籽粒治疗计划系统计算出治疗肿瘤所需要 ^{125}I 籽粒的最佳数量，然后在 SPECT 的引导下经皮穿刺将 ^{125}I 籽粒均匀植入到肿瘤组织内进行内放疗。



图片 1、2：计算机计划模拟，计算需要的籽粒数



图片 3、4：CT 引导下经皮穿刺将籽粒均匀植入至肿瘤组织内

它是将具有杀伤肿瘤细胞作用的放射性 ^{125}I 放在一个金属钛壳里（源芯为含有放射性核素 ^{125}I 的银丝，包壳为钛合金），密封后制成粗细只有 0.8mm、长约 4.5mm 的小短棒。医生将这些特殊的籽粒种植在瘤体之中，籽粒在肿瘤内部持续放射出短程 γ 射线和 X 射线，近距离照射肿瘤组织，在 1.7cm 范围内最大限度杀灭肿瘤细胞，能迅速杀死肿瘤细胞，截断肿瘤细胞扩散的途径，从而达到治疗目的，对正常组织伤害极小。

2.1.3 使用量及工作场所分级

(1) 使用量

中日联谊医院 8 号楼 PET-CT 工作场所、1 号楼核医学科工作场所、3 号楼核医学科病房使用核素种类及用量详见表 5 所示。

表 5 核医学科应用核素种类及用量

序号	核素种类	化学性状	日最大操作量 (Bq/a)	日等效操作量 (Bq/a)	用途	操作方式	项目性质
8 号楼 PET-CT 工作场所							
1	¹⁸ F	液体	7.4×10^{10}	7.4×10^8	核素显像诊断	简单	本项目新建
2	¹¹ C	液体	1.11×10^9	1.11×10^7	核素显像诊断	简单	本项目新建
1 号楼核医学科工作场所							
3	¹²⁵ I	固体	8.88×10^9	8.88×10^8	粒籽植入	简单	本项目新建
4	^{99m} Tc	液体	3.33×10^{10}	3.33×10^8	核素显像诊断	简单	前期工程
5	⁸⁹ Sr	液体	2.96×10^8	2.96×10^7	骨转移癌治疗	简单	前期工程
6	³² P	液体	7.4×10^7	7.4×10^6	敷贴	简单	前期工程
3 号楼核医学科病房							
7	¹³¹ I	液体	1.776×10^{10}	1.776×10^9	甲癌治疗	简单	前期工程

(2) 工作场所分级标准

在辐射防护状况相同的条件下，操作放射性物质的活度（即操作量）越大，可能对工作场所和环境造成的污染程度也越严重。为了便于对操作量大小不同的工作场所在防护设施上提出不同的要求，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C（非密封场所分级）规定，将非密封源工作场所按操作量的大小分为三个等级，具体分级情况列于表 6。

表 6 非密封源工作场所的分级标准

工作场所级别	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 $\sim 2 \times 10^7$

(3) 日等效操作量计算及辐射工作场所分级

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）与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，即：

$$\text{等效操作量} = \frac{\text{实际操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

通过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 D (放射性核素毒性分组)的表 D3 查得核素毒性组别;由附录 C (非密封场所分级)表 C2 查得核素毒性组别修正因子,详见表 7;应用核素操作方式均属简单操作,由表 C3 查得,其修正因子为 1。

表 7 中日联谊医院核医学科应用核素的毒性组别及其修正因子

序号	核素种类	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效操作量 (Bq/a)
1	¹⁸ F	低毒	0.01	简单	1	7.4×10 ⁸
2	¹¹ C	低毒	0.01	简单	1	1.11×10 ⁷
3	¹²⁵ I	中毒	0.1	简单	1	8.88×10 ⁸
4	^{99m} Tc	低毒	0.01	简单	1	3.33×10 ⁸
5	⁸⁹ Sr	中毒	0.1	简单	1	2.96×10 ⁷
6	³² P	中毒	0.1	简单	1	7.4×10 ⁶
7	¹³¹ I	中毒	0.1	简单	1	1.776×10 ⁹

由上述公式计算出吉林大学中日联谊医院 PET-CT 工作场所的日等效最大操作量为 7.511×10⁸Bq, 1 号楼核医学科工作场所的日等效最大操作量为 1.258×10⁹Bq, 3 号楼核医学科病房工作场所的日等效最大操作量为 1.776×10⁹Bq, 由表 6 可知非密封源乙级工作场所的日等效最大操作量为 2×10⁷~4×10⁹, 故吉林大学中日联谊医院 8 号楼 PET-CT 工作场所、1 号楼核医学科工作场所和 3 号楼核医学科病房均属于乙级非密封源工作场所。

2.2 密封源

吉林大学中日联谊医院应用密封源 ⁹⁰Sr 进行敷贴治疗, 应用密封源 ⁶⁸Ge 进行 PET-CT 校准。

2.2.1 性质分析

(1) ⁹⁰Sr

⁹⁰Sr 的物理半衰期是 28.1a, 衰变方式是 β⁻衰变, 主要发射 0.546MeV(100%)的 β 射线, ⁹⁰Sr 的衰变子体产物为 ⁹⁰Y, 也是 β 放射体, 衰变时产生 2274keV(99.98%)的 β 射线。本项目应用的是 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 衰变时产生的 β 射线开

展皮肤病治疗及眼科疾病治疗等工作。

(2) ^{68}Ge

^{68}Ge 半衰期为 280 天，衰变方式为轨道电子俘获，发射 0.0092MeV 的 γ 射线。

2.2.2 应用分析

(1) ^{90}Sr

^{90}Sr 敷贴治疗为近距离治疗手段，将发射 β 粒子的放射性核素均匀地吸附在滤纸或银箔上，密封在塑料袋或银片内制成具有一定形状和大小的敷贴器。 ^{90}Sr - ^{90}Y 发射 β 粒子的能量足以穿透出来，由于其电离密度大，射程短，很适宜于将其紧贴在病变的表面对表浅病变进行外照射，而不引起深部和邻近组织损坏。某些病变组织对电离辐射较为敏感，其微血管可因而发生萎缩、闭塞等退行性改变；炎症由于照射后，局部血管渗透性改变、白细胞增加和吞噬作用加强而得以治愈，增生则由于细胞分裂速度减低而受到控制。因此某些表浅病变能够通过 β - 粒子敷贴治疗而达到治愈或好转的目的。已广泛应用于治疗毛细血管瘤、神经性皮炎、慢性湿疹、局限性牛皮癣、顽固性毛囊炎、甲沟炎、扁平苔癣、老年疣、斑痕疙瘩、乳腺炎、汗腺炎和皮肤癌等多种疾病。

(2) ^{68}Ge

本项目新购 1 枚 ^{68}Ge 密封源，用于 PET-CT 设备的校正，是 PET-CT 正常运行中必不可少的配置。

2.3 射线装置

本项目应用 1 台回旋加速器和 1 台 PET-CT 机，其中 PET-CT 机中集成有 CT 机，CT 机属于 X 射线机，最大管电压 140kV，产生最大管电流 420mA。

2.3.1 CT

CT 主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。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。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高速电子轰击靶体产

生 X 射线。典型 X 射线管结构见图 5。

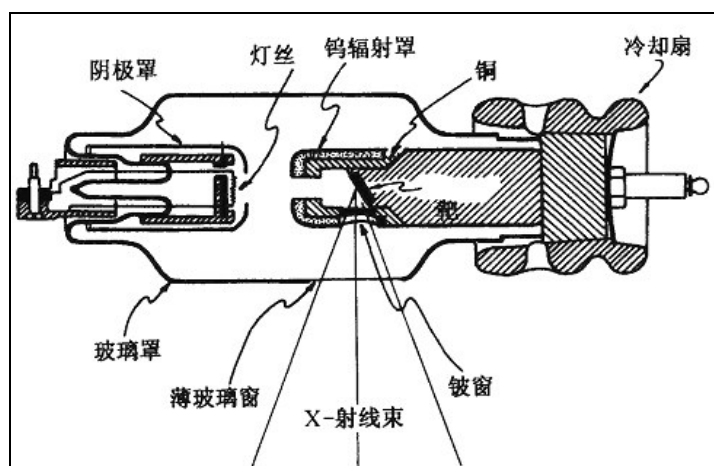


图 5 典型 X 射线管结构图

2.3.2 回旋加速器

回旋加速器是“粒子加速器”的一种，它利用一定形式的电磁场使带电粒子运动加速，使其运动速度达到每秒几千米乃至接近光速。这种高能粒子是人们变革原子核、研究基本粒子和认识物质微观结构的重要工具。

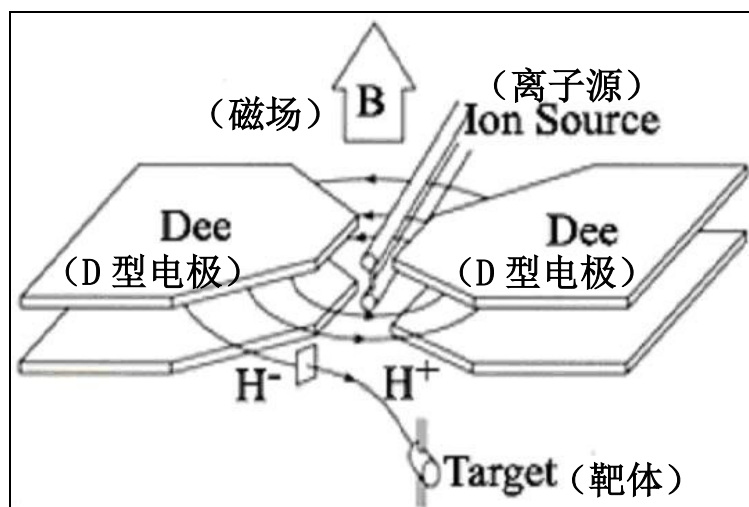


图 6 回旋加速器工作原理图

回旋加速器的工作原理见图 6 所示。在回旋加速器中心部位的离子源 (Ion Source) 经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dee 的半圆形电极盒 (简称 D 型盒) 中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。

在回旋加速器中心区域，粒子被拉出后经电场的加速而获得较低的初速度

v_1 ，同时，磁场也对这些粒子产生作用，两种场作用的结果是粒子在 Dee 间隙（gap）内按螺旋轨道飞行。经过非常短的时间后，粒子经 gap 进入另一个 Dee 电极盒，此后，粒子在该 Dee 电极盒一边飞行到等电势的另一边。每越过一个 gap 后，其轨道半径将比前一次的轨道半径大。粒子运动的瞬时轨道半径将随时间 t 的增加而增大，粒子运动速度的平方与粒子旋转的圈数成比例。被加速粒子运动的螺旋轨道半径 r 与运行时间 t 的平方根成正比。带电粒子经多次加速后，圆周轨道半径达到最大并获得最大的能量，在该点处粒子将被束流提取装置提取引出。

若粒子的质量为 m ，所带电荷为 q ，所具有的运动速度为 v ，运动方向垂直于磁感应强度为 B 的磁力线，粒子受到垂直于 v 和 B 的劳仑兹（Lorentz）力的作用，使粒子沿着曲率半径为 r 的轨道作圆周运动[1，2]。

依力的平衡条件，离子的运动速度为：

$$v = Bqr/m \quad (1)$$

粒子的动能为

$$E = mv^2/2 = B^2 q^2 r^2 / 2m \quad (2)$$

相同 q/m 的不同粒子，如氘核和氦核，用相同射频（RF）和磁场强度，可以加速到相同的速度，而氘核的动能是氦核动能的一半。在回旋加速器中，为了加速质子达到与氘核相同的速度，往往在设计中使磁场强度 B 减低一半。

加速所需的高频频率 F 和磁场强度 B 取决于粒子的质量和带电电荷 q 。通常根据所需的核反应能量及粒子的质量来设计加速电场频率和磁场强度。但随着粒子旋转速度的提高和能量的增加，相对论作用使得粒子质量将不再是一个常数，即 $m \neq m_0$ ，当粒子的速度增加时，它的相对质量（Relativistic mass）也增加。因此，在匀强磁场中其旋转周期也不是一个常数，并且粒子会逐渐进入减速状态。因此，为了使粒子获得较高的能量，或增加磁场强度或改变 F ，这在一个普通的回旋加速器中是不可能达到的，而且质子在这样的回旋加速器中是不可能被加速到 20MeV 以上。所以传统的回旋加速器只能加速粒子到一定的能量。为此出现了等时性回旋加速器或调频加速器。

在回旋加速器中，带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近

Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子被束流提取装置提取出。一个粒子从回旋加速器中心飞行到提取装置的总时间约为 5ms。

具体应用：回旋加速器是产生正电子放射性核素的装置。这种加速器结构紧凑，自带射线屏蔽装置，安装在医院，称为医用回旋加速器（medical cyclotron）。回旋加速器用射频场（radio frequency）和磁场（magnetic field）加速带电粒子，如质子、氘核等。射频场加在回旋加速器的主要部件两个真空盒电极上，它的极性是可以互换的，一个为正时，另一个则为负。磁场的作用是保持粒子运行在圆形轨道上。离子源产生的质子、氘核在真空盒中不断加速，每加速一次，轨道的半径增加一次，粒子的速度（能量）也增加。螺旋运动的结果，使粒子在偏转极作用下射出真空盒，轰击在靶材料上，使其转为正电子放射性核素。

正电子放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 分别通过核反应 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 、 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ 制得。

2.4 PET-CT

PET 不同于 CT 和 MRI 成像，它是通过示踪技术，将具有选择性聚集在特定脏器或病变的正电子放射性药品引入体内（呼吸或静脉注射），根据正电子在体内器官湮灭辐射到体表的光子密度，由计算机处理重建断层影像。由于供 PET 使用的正电子放射性药品多是用生理性同位素标记的，如 ^{11}C 、 ^{18}F 是机体元素 ^{12}C 、OH（ ^{18}F -相当于 OH）的同位素，所以它们的在体内代谢和稳定性元素完全一样。在体外用 PET 可记录到它们的摄取、吸收、分泌、代谢、转归、排泄等一系列生理和生化反应过程，故 PET 影像称为功能影像或生物化学影像。PET 显像符合探测成像原理，其原理如下：

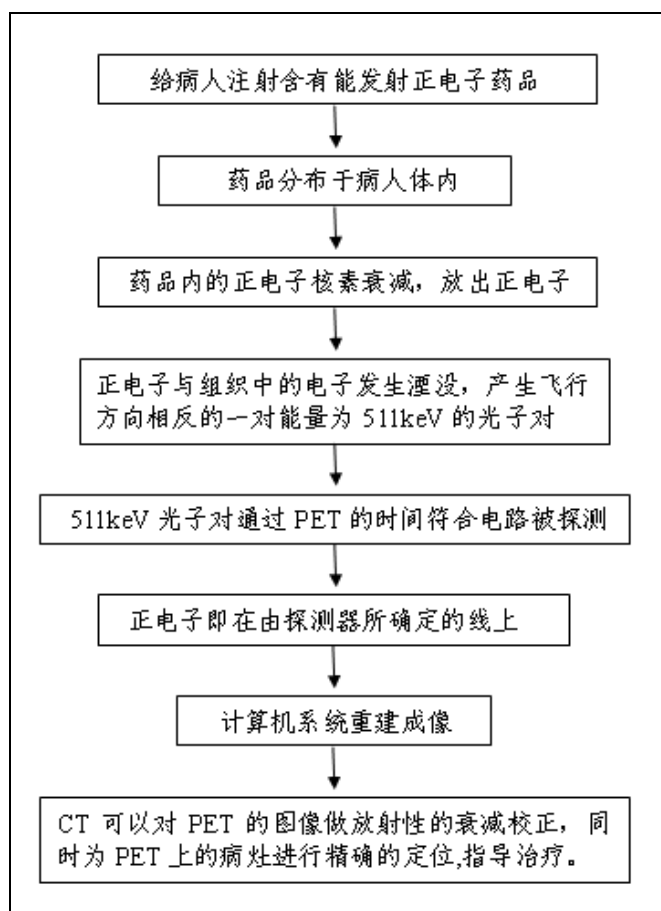
当正电子核素或正电子核素标记的化合物注入人体内后，它们随血液循环分布至全身。由于正电子核素为贫中子核素，它们在衰变的过程中，质子衰变为中子，同时发射出 1 个正电子 β^+ ，正电子在组织中飞行极短的距离后便与周围组织内的电子相遇并发生湮灭辐射，正、负电子消失，其物质转变为 2 个方向相反（互成 180 度）、能量皆为 511keV 的 γ 光子，穿透人体并被环绕人体的 PET 扫描仪探测到。

PET 扫描仪利用 γ 光子对的直线性和同时性两个特性来进行符合探测，当成对 γ 光子被 2 个互成 180° 的探测器在符合时间窗宽（10~20ns）内同时被探测到，便得到 1 个符合电脉冲（计算机记录为 1 次湮没辐射事件），计算机对这些符合电脉冲进行甄别、分析，确定哪些是真符合事件，哪些是随机符合和散射光子，然后通过图像重建处理，得到的断层图像便为 PET 图像。

所以 PET 图像是正电子显像剂在机体内的断层分布图，不同的疾病应用不同的正电子显像剂得到不同的 PET 图像，达到诊断不同疾病的目的。

所谓 PET-CT，是将 PET 和 CT 两个设备有机地结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站。PET-CT 同时具有 PET 和 CT 的功能，PET 显示病灶病理生理特征，发现病灶；CT 精确定位病灶，显示病灶结构变化。PET-CT 除了具备 PET 和 CT 各自的功能外，其独有的融合图像，将 PET 图像与 CT 图像融合，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，明显提高了诊断的准确性。

PET-CT 扫描仪工作流程如下图所示：



图片 7 PET-CT 扫描仪工作流程图

3. 污染途径分析

3.1 非密封放射性物质

核医学科应用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{125}I 粒籽均属非密封源应用范畴，用于病变早期诊断。其主要通过 γ 射线的能量流和物质流（废水、固体废物、废气等）对周围环境造成污染。

非密封源与密封源相比较，非密封源的特点是在使用或操作过程中它们的物理化学性质可能发生变化。本项目在使用放射性核素时所产生的主要污染有：

3.1.1 外照射

核医学科在使用或操作非密封源时，外照射污染源极其广泛，主要有：分装剩下的原液，分装后的样品，废物（包括废弃物、患者排泄物等），工作场所和操作器械上的表面污染和用于操作放射性物质的容器或管线等，注射 γ 放射性物质的患者自身也是个外照射辐射源。

3.1.2 表面污染

由于操作放射性物质的工作不是全部在密闭系统内，所以操作中可能出现泼洒、溢出、蒸发等现象，人员从污染区出来也会使放射性物质污染扩大，从而产生表面污染。表面污染如果不能及时发现，则会对人员产生外照射和内照射。

3.1.3 放射性废物

核医学科在使用和操作非密封放射性物质过程中，会产生一些放射性物质随废水、废气或固体废物进入环境。

(1) 放射性废水

包括操作中可能产生检验操作后残留的试剂、用药后的残留废液非密封放射性物质分装残留液体、接触过放射性物质的器皿和工具的清洗废水。注射同位素药物的患者有放射性废物产生，其中包括受治疗者的排泄物（包括呕吐物），污染的衣物和器件的洗涤水等。

(2) 固体放射性废物

核医学科运用放射性核素在进行诊断、检测过程中产生的放射性固体废物主要为注射用的注射器、擦取漏出液滴的棉球、盛放过放射性药剂的试管、包

装瓶等容器。

(3) 放射性废气

由表面放射性污染转变成空气污染是导致放射性工作人员摄入放射性物质的重要途径之一。核医学科在使用或操作过程中会有附着在诸如设备、墙壁、地板等表面的放射性物质，特别是松散污染部分，由于环境的空气流动及某些放射性核素特有的“挥发”本领，会使这些放射性物质形成气溶胶，悬浮在空气中成为放射性废气。

3.2 密封源

密封型放射源是指密封在包壳或紧密覆盖层里的放射源，核医学科应用的⁹⁰Sr（敷贴治疗）和⁶⁸Ge 校准源（安装于 PET-CT 设备中）属密封源应用范畴，用于肿瘤治疗和仪器校准。其主要通过射线的能量流对周围环境造成污染。

3.2.1 正常工况

密封源在贮存时，由于衰变过程中产生的射线具有穿透性，部分射线穿透表面的屏蔽层，对周围环境和工作人员产生照射，使环境受到污染。

3.2.2 事故工况

(1) ⁶⁸Ge

⁶⁸Ge 校准源位于 PET-CT 扫描室内，安装于 PET-CT 设备中，若由于医院管理疏忽等多方面原因导致放射源被盗，此时，会通过能量流对周围环境造成污染。

(2) ⁹⁰Sr

应用 ⁹⁰Sr 敷贴器的丢失或敷贴器内核素的泄漏而使无关人员或患者的非病患处受到不必要的较大剂量的辐射照射。

综上所述，吉林大学中日联谊医院在应用 ⁹⁰Sr 敷贴器和 ⁶⁸Ge 校准源的过程中应加强安全管理，落实岗位责任制，制定可操作的辐射应急计划，做好处理各种可能发生应急事故的准备。

3.3 射线装置

3.3.1 CT

核医学科应用的 PET-CT 机中集成有 CT 机，CT 机属于 X 射线机。由 CT 的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用

时将产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。这种 X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 X 射线装置在关机状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，故不必考虑感生放射性问题，因此污染因子是 X 射线。

(1) 正常工况

指本项目 CT 在正常使用过程中，操作人员严格按照操作规程进行操作，由 CT 产生的贯穿能力较强的 X 射线泄入环境对停留在周围的人员产生辐射照射；屏蔽体完好无损时，由 CT 产生贯穿能力较强的部分 X 射线穿过屏蔽体向环境发射从而对停留在周围的人员产生辐射照射。在正常工况下产生的辐射照射称为正常照射。

(2) 事故工况

指本项目 CT 的运行、操作人员的操作等方面出现差错从而导致不可预见事故的发生如射线装置屏蔽设施的破坏造成屏蔽能力丧失而导致事故发生；无关人员误进入 PET-CT 室，而受到不必要的较大剂量的辐射照射。在事故工况下产生的辐射照射称为潜在照射。

3.3.2 回旋加速器

(1) 医用回旋加速器辐射来源分析

吉林大学中日联谊医院拟引进 1 台日本住友 HM-10 型回旋加速器，加速器在运行过程中产生的辐射主要包括：瞬时辐射源（主要指放射性核素和伴随产生的中子）、中子活化产物以及中子在慢化吸收过程中产生的高能 γ 射线。另外加速器运行过程中也可产生臭氧。

①瞬时辐射源

本项目医用回旋加速器可生产的 ^{18}F 和 ^{11}C ，而其本身就是放射源。

本项目放射性同位素根据核反应式 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 和 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ 产生的，因此，回旋加速器在生产放射性同位素的同时也产生大量中子。

②中子活化产物

由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件，比如准直器等，导致部分元素被活化，从而也变长放射源，如靶材料为钢时，可产生 ^{42}K 、 ^{43}K 、 ^{44}Sc 等放射

性核素。

③非辐射污染

除以上辐射污染外，加速器在运行时还存在其他非辐射污染，其中以臭氧（O₃）最严重。任何致电离辐射与空气作用都会产生臭氧和氮的氧化物，如 O₃、NO、NO₂、NO₃、N₂O、N₂O₃、N₂O₄、N₂O₅等有毒有害气体。

（2）加速器辐射污染分析

①辐射污染

从上面分析中可以看到，本项目应用回旋加速器产生的主要辐射污染是γ射线、中子及中子活化产物，在使用过程中通过能量流对周围环境造成污染。

A、正常工况

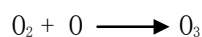
指本项目加速器在正常运行，操作人员严格按照操作规程进行操作，与加速器配套的安全联锁装置等设施正常工作且无其他不可预见事故发生的情况下，由加速器产生的贯穿能力较强的部分γ射线或中子穿过机房屏蔽墙泄入环境对停留在机房外公众产生辐射照射。在正常工况下产生的辐射照射称为正常照射，这种照射可以通过机房屏蔽墙的合理设计而使其达到可合理达到的尽可能低的水平。

B、事故工况

指本项目加速器的运行、操作人员的操作、安全联锁装置等方面出现差错，从而导致不可预见事故的发生。如射线装置屏蔽设施的破坏，造成屏蔽能力丧失，而导致事故发生，无关人员在开机状态下进入机房，而受到不必要的较大剂量的辐射照射。在事故工况下产生的辐射照射称为潜在照射。

②非辐射污染

加速器在运行时还存在其他非辐射污染，其中以臭氧（O₃）最严重。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。臭氧产生机理简单表示如下：



氧气中一个氧分子在致电离粒子束的作用下分解为两个氧原子，分解的氧

原子与空气中氧分子结合产生臭氧。

臭氧的危害如下：

A、对于人员来说，臭氧能造成眼、鼻、喉刺痛，轻者会引起咳嗽、头痛、胸闷，重者则会导致肺气肿和肺炎；

B、臭氧是强氧化剂，与有机物及可燃气体接触时易引起爆炸；

C、在臭氧气氛中，能使有些材料(如橡胶等)加速老化，某些被辐照物(如化工材料和生物制品)产生具有强烈的刺激性气味的气体；

D、臭氧及氮氧化物在工作场所空气中的最高容许浓度列于表 7，可以看出，臭氧的容许浓度很低。因此，辐照室应连续排风，防止空气中的有害物质积累。

表 7 工作场所空气中的最高允许浓度

气体名称	O ₃	NO ₂ *
浓度 (mg / m ³)	0.3	5

(注：*各种氮氧化物均换算成 NO₂)

环境现状调查与影响预测

1. γ 辐射环境剂量水平现状调查与评价

1.1 监测使用仪器

γ 辐射剂量监测使用的仪器为原国家环境保护局颁发的《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) 规定使用的仪器。本次测量使用的是 DH80CP-EX 型便携式微电脑 X- γ 剂量率仪, 编号为 110104, 该仪器按规定进行了检定, 检定有效期至 2016 年 4 月 6 日, 检定证书编号: 2015H21-20-001112。

1.2 监测时间

2015 年 7 月 15 日, 天气情况满足测量仪器使用要求。

1.3 测量方法

测量时仪器探头放在支架上, 探头灵敏体距地面 1m 高, 每个测点连续测 10 个数值, 每个数值的时间间隔为 10 秒。

1.4 γ 辐射环境剂量水平现状调查结果

γ 辐射剂量率监测结果 (均已扣除宇宙射线, 室外环境扣除 16.5nGy/h, 室内环境扣除 14.9nGy/h) 详见表监测报告。

1.5 γ 辐射剂量评价标准

本项目位于长春市, 故本次环评 γ 辐射空气吸收剂量率水平对比原国家环境保护局《中国环境天然放射性水平》中关于吉林省、长春地区陆地及室内 γ 辐射空气吸收剂量率数据。具体数据摘录列于表 8。

地 市	室内 γ 辐射剂量率范围	陆地 γ 辐射剂量率范围
长春地区	55.6—144.4	39.3—115.9
吉 林 省	30.8—208.6	18.9—128.6

1.6 γ 辐射环境剂量水平现状评价

吉林大学中日联谊医院院区陆地 γ 辐射空气吸收剂量率为 86.5nGy/h; 室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 97.6—98.5nGy/h, 与长春地区陆地和室内 γ 辐射空气吸收剂量率本底范围相比, 数据未见异常。

2. 电离辐射环境影响预测

2.1 回旋加速器及 PET-CT

本项目正常运行时，回旋加速器及 PET-机房对周围环境的辐射剂量贡献与加速器能量和采取的屏蔽措施有关；放射性核素应用场所对周围环境的剂量贡献与操作人员的操作习惯、熟练程度及应用场所采取的屏蔽措施有关。本次评价采用理论计算的方法对本项目正常运行期间的辐射环境影响进行预测与评价。

2.1.1 制备药品过程中回旋加速器对周围环境产生的影响

本项目加速器位于 8 号楼地下一层，北侧为大地，因此不考虑对北侧墙外的影响。本项目回旋加速器放置于距离南侧墙 1m，左右中心对称，距离南墙外约 1.5m，距离东、西墙外约 2.5m，距离顶棚（一层地面）3.8m，根据医院提供资料，本项目回旋加速器机房四周及顶棚均采用混凝土（密度为 2.35t/m^3 ）作为屏蔽材料，厚度均为 50cm，依据厂家的《预安装手册》中提供的 γ 和中子剂量等高线分布图，机房四周工作人员年工作时间取 2000 小时，机房顶棚公众成员年受照时间取 1000 小时，通过下列公式计算出加速器周围工作人员和公众成员年受到的辐射剂量。

$$\text{减弱倍数 } H_0 = \dot{H}/K$$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2}$$

式中： \dot{H} —无屏蔽时 γ 辐射剂量率；

H_0 —有屏蔽时 γ 辐射剂量率；

K—减弱倍数，无量纲；

L—半值层。

加速器室的东、西、南墙和天棚外辐射剂量率计算如下：

(1) 西墙墙外工作人员受到的年有效剂量

中子剂量：根据中子剂量等高线分布图，加速器工作时西侧 2.5m 处中子剂量率为 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，西墙外工作人员受到中子辐射年有效剂量为 0.55mSv 。

γ 剂量：根据 γ 剂量等高线分布图，加速器工作时西侧 2.5m 处 γ 剂量率小于 $3 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，西墙外工作人员受到 γ 辐射年有效剂量为 0.08mSv 。

总剂量：综上所述，西墙外工作人员受到辐射年有效剂量为 0.63mSv ，低

于本项目工作人员年有效剂量限值 5mSv/a。

(2) 南墙屏蔽厚度

中子剂量：根据中子剂量等高线分布图，加速器工作时南侧 1.5m 处中子剂量率为 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，南墙外工作人员受到中子辐射年有效剂量当量为 0.55mSv。

γ 剂量：根据 γ 剂量等高线分布图，加速器工作时南侧 1.5m 处 γ 剂量率小于 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，南墙外工作人员受到 γ 辐射年有效剂量当量为 0.13mSv。

总剂量：综上所述，南墙外工作人员受到辐射年有效剂量当量为 0.68mSv，低于本项目工作人员年有效剂量限值 5mSv/a。

(3) 东墙屏蔽厚度

中子剂量：根据中子剂量等高线分布图，加速器工作时东侧 2.5m 处中子剂量率为 $6 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，东墙外工作人员受到中子辐射年有效剂量当量为 0.33mSv。

γ 剂量：根据 γ 剂量等高线分布图，加速器工作时东侧 2.5m 处 γ 剂量率小于 $3 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，东墙外工作人员受到 γ 辐射年有效剂量当量为 0.08mSv。

总剂量：综上所述，东墙外工作人员受到辐射年有效剂量当量为 0.41mSv，低于本项目工作人员年有效剂量限值 5mSv/a。

(4) 天棚屏蔽厚度

中子剂量：根据中子剂量等高线分布图，加速器工作时上方 3.8m 处中子剂量率为 $3 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，顶棚外工作人员受到中子辐射年有效剂量当量为 0.08mSv。

γ 剂量：根据 γ 剂量等高线分布图，加速器工作时上方 3.8m 处 γ 剂量率小于 $1 \mu\text{Sv/h}$ ，通过计算，顶棚外工作人员受到 γ 辐射年有效剂量当量为 0.01mSv。

总剂量：综上所述，顶棚外工作人员受到辐射年有效剂量当量为 0.09mSv，低于本项目公众成员年有效剂量限值 0.25mSv/a。

经统计，回旋加速器机房周围人员受到的辐射剂量预测值如下表所示。

表 9 回旋加速器机房周围人员受到的辐射剂量计算表

序号	方位	中子剂量 (mSv/a)	γ 剂量 (mSv/a)	总剂量 (mSv/a)	评价标准 (mSv/a)	是否达标
1	西墙外	0.55	0.08	0.63	5	达标
2	南墙外	0.55	0.13	0.68	5	达标
3	东墙外	0.33	0.08	0.41	5	达标
4	顶棚外	0.08	0.01	0.09	0.25	达标

2.1.2 热室对周围环境的影响

本项目 PET-CT 工作场所制备和应用非密封放射性物质 ¹⁸F、¹¹C，¹⁸F 的日最大操作量远大于 ¹¹C，且 ¹⁸F、¹¹C 衰变过程中均产生 511keV 的 γ 射线，因此本次评价环境影响预测主要考虑非密封放射性物质 ¹⁸F 对周围环境的影响。

热室内设置合成器，合成器屏蔽厚度为 40mm 铅，可满足辐射防护要求。热室屏蔽主要考虑每次从合成柜取出传递至注射室过程，采用下列公式按裸源进行预测：

$$\dot{H} = \frac{1 \times 10^9 A \Gamma}{R^2} \dots\dots\dots (式 1)$$

式中： \dot{H} —无屏蔽时探测点 γ 辐射剂量率，nGy/h；
 A—放射源（点源）的放射性活度，Bq；
 Γ —放射性核素的空气比释动能率常数，Gy·m²·Bq⁻¹·h⁻¹；
 R—点源到探测点的距离，m。

$$k = e^{(\frac{d}{L} \times \ln 2)} \dots\dots\dots (式 2)$$

式中：e—常数，取 2.71828；
 d—所需材料屏蔽厚度，cm；
 L—发射 γ 射线对所选材料的半值层厚度，cm；
 k—减弱倍数，无量纲。

$$H = \frac{nT\dot{H}}{k} \dots\dots\dots (式 3)$$

式中：H—工作人员受到的 γ 辐射剂量；
 n—安全系数；

T—居留因子。

通过《辐射防护手册》第三分册查出 ^{18}F 的空气比释动能率常数并换算为国际标准单位后为： $1.42 \times 10^{-13} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

根据防护设计，热室四周墙体和天棚均采用 24mm 铅当量的辐射防护涂料。从合成器内每次取出 1~3 份，源强取 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi)；年工作时间取 500h；四周居留因子取 1，顶棚取 0.25；四周距离取 1.5m，顶棚距离取 3.5m；安全系数取 2；将各参数代入上式得出，热室四周工作人员受到的年有效剂量为 2.47mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。热室顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.11mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

2.1.3 注射室和注射后等候室

根据防护设计，注射室和注射后等候室四周墙体和天棚采用 20mm 铅当量的辐射防护涂料。每次给 3 个病人注射，源强取 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi)；年工作时间取 500h；四周居留因子取 1，顶棚取 0.25；四周距离取 1.5m，顶棚距离取 3.5m；安全系数取 2；将各参数代入上式得出，注射室和注射后等候室四周工作人员受到的年有效剂量为 4.35mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.20mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

2.1.4 PET-CT 机房

(1) 非密封放射性核素的影响

根据防护设计，PET-CT 机房四周墙体和天棚采用 40cm 厚的混凝土（密度 2.35t/m^3 ）最为屏蔽材料。每次给 1 个病人注射，源强取 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)；年工作时间取 1000h；四周居留因子取 1，顶棚取 0.25；四周距离取 1.5m，顶棚距离取 3.5m；安全系数取 2；将各参数代入上式得出，PET-CT 机房四周工作人员受到的年有效剂量为 0.04mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.002mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

(2) 射线装置影响

本项目 PET-CT 机带有 CT 扫描功能，开启 CT 扫描时将产生 X 射线。《医用

X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)中要求的屏蔽措施为: 20cm 混凝土(密度 2.35t/m^3)或 37cm 砖(密度 1.65t/m^3)或 2.5mm 铅当量。

根据医院的设计资料可知: 本项目 PET-CT 机房四周墙体和天棚采用 40cm 厚的混凝土(密度 2.35t/m^3)最为屏蔽材料, 满足《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)中要求的屏蔽厚度。

因此, 本项目若按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及本报告表中提出的有关工作场所的建筑要求进行建设, 保证辐射防护措施正常运转, 同时保证辐射工作场所有足够的屏蔽厚度, 则可减少项目运行后对环境造成的影响, 并可以满足 5mSv/a 的工作人员剂量约束值及 0.25mSv/a 的公众剂量约束值。

2.2 籽粒植入环境影响预测

吉林大学中日联谊医院应用 ^{125}I 籽粒治疗计划系统做籽粒植入计划, 根据计划在核医学科 SPECT 引导下将放射性籽粒植入到实体性肿瘤组织内进行体内放疗。本次采取理论计算的方法计算籽粒植入过程中, 工作人员所受到的剂量。

每粒 ^{125}I 籽粒的放射性活度约为 0.8mCi , 单次最多用量为 120 粒(约 96mCi)。偏安全考虑, 按裸源进行屏蔽计算。

通过《辐射防护手册》第三分册查出 ^{125}I 的空气比释动能率常数并换算为国际标准单位后为: $1.62 \times 10^{-11}\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2.2.1 ^{125}I 籽粒临时存放对周围环境的影响

通过吉林大学中日联谊医院提供资料可知, 储源室内最多同时存放 ^{125}I 籽粒约 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ (240mCi , 约 300 粒); 使用 3mm 铅当量的铅罐盛装 ^{125}I 籽粒源; 距离取 80cm; 年工作时间取 2000h; 居留因子取 1; 取 2 倍安全系数。将各已知参数代入上式得出, 储源室外工作人员受到的 γ 辐射剂量约为 $1.2 \times 10^{-13}\text{mSv/a}$, 远低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a ; 公众成员受到的 γ 辐射剂量约为 $4.0 \times 10^{-14}\text{mSv/a}$, 远低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a , 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中剂量限值的要求。

2.2.2 籽粒消毒过程

通过吉林大学中日联谊医院提供资料可知, 消毒时籽粒装于约 2mm 厚的铅枪

弹夹内，一次最大消毒量约为 $3.552 \times 10^9 \text{Bq}$ (96mCi)，按裸源计算；年工作时间取 250h；距离取 25cm；居留因子取 1；取 2 倍安全系数。将各已知参数代入上式得出，距离放射源 25cm 处时 γ 辐射剂量为 $4.8 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$ ，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a ；消毒室外公众成员受到 γ 辐射剂量为 $1.2 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$ ，低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a 。

2.2.3 手术过程对周围环境的影响

通过吉林大学中日联谊医院提供资料可知，单个病人最大用量约为 $3.552 \times 10^9 \text{Bq}$ (96mCi)； ^{125}I 籽粒植入手术每年约 500 台，单个医生每年最多进行 100 台手术，每台约 30 分钟，则单个医生年工作时间取 50h；手术时医生穿 0.25mm 厚的铅衣；距离取 25cm；居留因子取 1；取 2 倍安全系数。将各已知参数代入上式得出，距离放射源 25cm 处时 γ 辐射剂量为 0.54mSv/a ，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a ；手术台与手术室墙体距离按 2m 计算，手术室四周墙体屏蔽能力约为 4mm 铅当量，手术室外公众成员受到 γ 辐射剂量为 $1.9 \times 10^{-21} \text{mSv/a}$ ，低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a 。

2.2.4 术后患者住院观察期间对周围环境的影响

本项目共设置 3 个住院病房，每间病房设 2 张床位，因此按照 6 个病人同时住院，考虑此过程对周围环境的影响。

(1) 对医护人员的影响

当每个房间内 2 个病人，每个患者植入 $96 \text{mCi}^{125}\text{I}$ 籽粒，植入籽粒部位覆盖 0.25mm 铅当量的铅布，只考虑 ^{125}I 籽粒自然衰变的情况下，每天医护人员与术后患者接触时间约 2h，年工作时间取 500h；居留因子取 1；取 2 倍安全系数。术后距病人 50cm 处人员受到有效剂量约 0.68mSv/a ，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a 。

(2) 对病房外公众成员的影响

本项目植入籽粒患者住院病房依托核医学科原有 ^{131}I 病房，核医学科原有 ^{131}I 病房已于 2015 年 10 月通过吉林省环境保护厅竣工环境保护验收工作，病房四周墙体、顶棚和地面的屏蔽能力均大于 27mm 铅当量。其屏蔽设计时主要考虑屏蔽非密封放射性核素 ^{131}I ，而 ^{131}I 射线能量大于 ^{125}I ；甲癌患者单次服药量约

为 100mCi，大于籽粒植入病人单次最大植入量 96mCi；本项目植入籽粒患者住院的 3 间病房与甲癌患者病房之间防护门隔开，避免了交叉污染。

因此，本项目植入籽粒患者住院病房依托核医学科原有 ^{131}I 病房可保证病房外公众成员受到的年有效辐射剂量低于标准限值 0.25mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值的要求。

(3) 术后患者送回病房过程对周围公众的影响

考虑到术后患者回住院病房过程需要通过约 200m 的医院走廊，为减少这一过程对周围公众的影响，因此需要在病人植入籽粒部位覆盖 0.25mm 铅当量的防护布，避免术后患者在通道滞留，即可使公众成员受到的辐射剂量低于 0.25mSv/a，满足辐射防护要求。

2.3 β 表面污染

本项目可能产生 β 表面污染的环节主要为药品分装和注射过程。吉林大学中日联谊医院若严格按照相关标准规范要求及本报告的要求进行设计建设，并建立和落实相应的污染防护措施、操作规程和管理制度，则本项目建成投入运行后，能符合乙级非密封工作场所的管理要求，其表面放射性污染水平能控制在本次评价要求的标准之内。

3. 辐射项目事故工况环境影响分析

本项目在放射性核素、PET-CT 和回旋加速器应用过程主要可能产生的事故为：安全联锁装置失效、放射性物品丢失、液态状放射性药品溅洒。若发生上述事故，则会对放射性工作场所的工作人员造成过剂量外照射或内照射。由于较好的分区管理，一般情况下不会对工作场所外产生污染。因此若发生上述事故，则吉林大学中日联谊医院应采取以下相应措施。

3.1 若在操作过程发生安全联锁失效事故，应立即中止操作，并报告科室领导，紧急处理，禁止人员随意开启加速器室门。

3.2 若由于管理不善，导致放射性药品失窃，则会造成放射性污染事故。为杜绝该类事故发生，医院应设有专门的放射性物品贮存房间，实行双人双锁管理。

3.3 若由于工作人员操作不慎，导致液态放射性药品溅洒。则应迅速用吸

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，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染物的边沿向中心擦抹，直到擦干污染物。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面沾污大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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 表面沾污小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

监测计划及辐射防护管理措施

通过对本项目的调查了解,为了更好地保障工作人员及公众的安全与健康,保护周围环境,减少污染,针对该辐射项目的特点,提出如下监测计划与污染防治措施:

1. 监测计划

辐射监测的目的是为了贯彻“预防为主”的工作方针,避免或减少职业病的发生,保障工作人员的健康和安全,保护周围环境。通过辐射监测可以定量或定性地计算个人所受电离辐射剂量;检查屏蔽和防护设备的效能;及时发现屏蔽、防护设备、防护措施和操作规程上存在的问题,以便采取相应的防护措施,杜绝事故的发生,防止工作人员受到超过最大容许剂量当量的照射以及周围环境受到影响。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定:注册者、许可证持有者和用人单位应根据其负责的实践和源的具体情况,按照辐射防护最优化原则制定适当的职业照射监测大纲,进行相应的监测与评价,应将监测与评价的结果定期向审管部门报告,发生异常情况时应随时报告。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定:生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位,应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定,对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查,建立个人剂量档案和职业健康监护档案;应当对本单位的放射性同位素、射线装置的安全和防护状况进行年度评估。发现安全隐患的,应当立即进行整改。

针对本项目具体情况,提出以下监测计划,监测包括个人剂量监测、工作场所监测。

1.1 个人剂量监测

个人剂量监测主要针对 X 射线装置、回旋加速器、PET-CT、放射性核素操作人员吸收剂量的测量,在进行个人监测不现实或不可行的情况下,经审管部门认可后根据工作场所监测的结果和受照射地点和时间的资料对工作人员的作业受照做出评价。

对放射工作人员进行个人剂量监测，要求放射工作人员在操作仪器时佩戴个人剂量计，并将个人剂量检测结果存入工作人员健康档案。

1.2 工作场所监测

为保证工作场所监测的内容和频度能够评估所有工作场所的辐射状况，可以对工作人员受到的照射进行评价。

监测项目： γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率。

监测频率：1 次/年。

2. 辐射防护原则

2.1 实践的正当性

对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

2.2 剂量限制和潜在照射危害限制

应对个人所受到的潜在照射危险加以限制，使来自各项获准实践的所有潜在照射所致的个人危险与正常照射剂量限值所相应的健康危险处于同一数量级水平。

2.3 防护与安全最优化

对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束为前提条件。

防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切因素加以考虑，以实现下列目标：

2.3.1 相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施，确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性。

2.3.2 根据最优化的结果制定相应的准则，以采取预防事故和减轻事故后果的措施，从而限制照射的大小及受照的可能性。

2.4 剂量约束和潜在照射危险约束

2.4.1 对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值。

2.4.2 对任何可能向环境释放放射性物质的源，剂量约束还应确保对该源历年释放的累积效应加以限制，使得在考虑了所有其他有关实践和源可能造成的释放累积和照射之后，任何公众成员（包括其后代）在任何一年里所受到的有效剂量均不超过相应的剂量限值。

3. 辐射防护对策

根据本项目实际状况，采用的辐射防护对策如下：

3.1 选址

根据辐射防护相关要求，操作的放射性活度属中等程度的工作场所，可设在一般的建筑物内，但应集中在一层的一端，与非放射性工作场所隔开，并有单独的出入口，以避免与本工作无关的人员随意出入而受到不必要的照射或扩大污染范围。

根据吉林大学中日联谊医院 PET-CT 工作场所的布局设计，项目位于 8 号楼地下一层，该层除了配电室和泵房外均为核医学科 PET-CT、回旋加速器机器配套房间，核医学科与配电室、泵房隔开，并且均有单独的出入口。PET-CT 工作场所各功能房间满足从低活度区至高活度区的布局要求，PET-CT 工作场所患者入口和患者出口通道有交叉，通过设置监控和门控系统（即入口门开启，则出口门锁死，反之亦然），由医生远侧控制，保证人流不交叉，选址符合辐射防护要求。

籽粒植入和敷贴室位于医院 1 号楼核医学科内，周围均为核医学科，并且均有单独的出入口，可满足从低活度区至高活度区的布局要求，选址符合辐射防护要求。

3.2 工作场所建筑要求

3.2.1 室内表面及基本装备结构要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）本项目放射性核素

应用场所属 II 类开放型同位素工作场所，其建筑结构上应满足 II 类工作场所的
建筑要求。具体要求详见表 10。

表 10 室内表面及基本装备结构要求

类别	II 类
地面	易清洗且不易渗透
表面	易清洗
通风橱	需要
室内通风	有较好通风
管道	一般要求
清洗及去污设备	需要

3.2.2 辐射防护设施要求

(1) 放射性污水池

本项目应用非密封放射性核素 ^{18}F 和 ^{11}C ，其半衰期分别为 109.7min 和 20.34min。根据医院提供资料，本项目年产生放射性废液量约为 3m^3 。因此在 PET-CT 工作场所北侧地下新建放射性污水池，为三级衰变，每级 1.5m^3 ，共计 4.5m^3 ，可满足使用要求。放射性废排入放射性污水池暂存，经过放射性污水池贮存衰变后达到管理部门的排放要求，排入医院总污水处理池。

(2) 病人专用厕所

本项目拟在 PET-CT 注射后等候室设病人专用厕所，供注射放射性药品的患者使用。

3.3 放射性废物处理要求

吉林大学中日联谊医院在使用放射性核素过程中会产生废液、固体废物及废气，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》第三十九条规定，核技术利用单位应采用先进的生产工艺和设备，减少放射性废物的产生量。放射性废物的处理应符合国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的以下要求：

3.3.1 放射性废液处理

本项目在药品使用过程中，预计每年产生的放射性废液量约为 3m^3 ，根据使用用途，放射性废液主要含有 ^{18}F 、 ^{11}C 等短半衰期核素，应采用贮存衰变法进行处理，将放射性废液置于放射性污水池中自然衰变，使其放射性逐渐衰变至环境本底水平，以达到放射性废液处理要求。

由医院提供的相关资料与数据可知，PET-CT 工作场所新建 4.5m³放射性污水池，因此，本项目废水需排入放射性污水池内，将放射性废液置于放射性污水池中自然衰变，使其放射性逐渐衰变至环境本底水平，以达到放射性废液处理要求。

3.3.2 放射性固体废物处理

根据《吉林省辐射污染防治条例》第二十二条规定：“产生放射性固体废物和国家规定不得向环境排放放射性废液的单位，应当按照国家和省有关规定，对其产生的放射性固体废物进行处理后，送交放射性废物处置单位处置或者贮存，并承担处置和贮存费用。”

本项目产生的放射性固体废物主要为使用的一次性注射器、棉球等，年废物预计产生量约 150kg/a，产生的固体废物应放置于放射性废物库贮存衰变，暂存 10 个半衰期后，经检测低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定豁免水平后，做普通医疗垃圾处置。

3.3.3 放射性废气处理

根据《临床核医学放射卫生防护标准》相关规定，吉林大学中日联谊医院核医学科工作场所均应设有通风装置，并保证其能够正常运行，以确保每个房间单位时间内有足够的换气次数，保证工作场所空气中放射性物质浓度低于允许水平。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，应有开关和止逆功能，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置。

本项目在回旋加速器机房、热室应在地面设置排风口，安装引风机，设有开关和止逆功能，室外排气口高度要高于 8 号楼自身建筑物屋脊。

3.3.4 辐射安全防护系统

为了防止工作人员的误操作或者由于机器控制失灵而造成工作人员与患者遭受意外辐射危害，回旋加速器本身及机房设计中应设置安全联锁装置和报警装置。联锁装置是指回旋加速器存在某种危险状态时能立即切断电源或束流的电气线路，为保证辐射防护安全，相应配备安全报警系统，其中包括警灯、警铃、剂量控制、闭路电视系统、钥匙开关、门联锁系统等安全装置。

3.4 管理措施

3.4.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国环境保护部第 3 号令）规定：使用放射性同位素、射线装置的单位须有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、完善的辐射事故应急措施等。

完善放射性核素和射线装置使用、管理档案，落实放射性核素和射线装置安全管理岗位责任制，制定完善的放射性核素和射线装置管理办法、放射防护实施细则、放射防护人员工作职责、关于放射性核素和射线装置的使用及安全防护规定、个人剂量计佩戴和管理规定及关于放射工作场所防护设施同位素贮存条件等，还应设专职从事辐射工作的操作和管理人员，建立职工安全防护教育和培训考核制度，制定相应的应急计划，认真执行和自觉遵守有关辐射防护和岗位操作规程。

3.4.2 人员培训

根据《放射源与射线装置安全和防护条例》规定：生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。对放射性工作人员实行就业前和就业期间的安全思想和安全技术教育训练，是使安全生产做到预防为主，减少事故发生的一项重要安全措施。

建设单位从事辐射工作的操作、管理人员，上岗前必须接受辐射防护专业培训，必须熟练掌握业务技术，具备辐射安全防护知识和技能，理解辐射防护的基本原则，熟悉辐射防护方面的规章制度，并经过培训考核取得辐射工作人员合格证后方可上岗工作。通过加大宣传、教育力度，可以提高工作人员的整体素质，了解辐射防护的作用和重要意义，增强从事辐射工作人员及患者的辐射防护意识，使辐射防护变成公众首要的、自觉的行动。

3.4.3 分区控制

由于射线的辐射强度与距离的平方成反比，采取分区管理是控制距离最有效的措施，根据中华人民共和国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标

准》(GB18871-2002)将工作场所分为控制区、监督区,以便于辐射管理和职业照射控制。

(1) 辐射工作场所的分区

考虑到吉林大学中日联谊医院拟建核医学科、放射线科周围的正常照射水平、潜在照射的可能性和大小,以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围,根据《吉林省辐射污染防治条例》第十八条规定:“放射性工作场所应当实行分区管理,划分为控制区和监督区,严格控制污染扩散,保障环境安全”,将放射性储源库、SPECT 扫描室(籽粒植入手术位置)、病房、敷贴室、回旋加速器机房、热室、PET 注射室、PET 机房、注射后候诊区划分为控制区,与机房相邻的走廊及操作室和设备室、办公室划分为监督区,以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散,并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

(2) 分区的防护措施

吉林大学中日联谊医院新建核医学科和放射线科应在控制区进进出口或其他适当位置处设立醒目的“电离辐射”警示标识;制定职业防护与安全措施;运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可制度)和实体屏蔽(包括门锁和联锁装置);在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备;定期审查控制区的实际状况,以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施。

根据中华人民共和国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关规定,监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价;采用适当的手段划出监督区的边界;在监督区入口处或其他适当地点设立明显的辐射防护标志;定期审查该区的条件,以确定是否需要采取安全措施或做出安全规定,或是否需要更改监督区的划分。

3.4.4 籽粒植入技术管理要求

根据《低能 γ 籽粒源植入治疗放射防护要求与质量控制检测规范》(GBZ178-2014)的要求,核医学科应认真执行和自觉遵守有关辐射防护和环境保护的规定。在籽粒植入技术管理方面应做到以下几点:

(1) 治疗室与贮存室应分开,但不宜相距太远,以便于源的取用,当容器

密闭时，容器表面的辐射水平应低于 $20 \mu\text{Sv/h}$ ，粒籽源贮存的容器前应使用铅块屏蔽，并在屏蔽铅块前放置防护铅屏风，屏风上方应有适当厚度的铅玻璃，操作人员应站在屏风后实施操作。

(2) 操作前要穿戴好防护用品，主要操作人员应穿铅防护服衣，戴铅手套、铅玻璃眼镜和铅围脖等。

(3) 在实施治疗前，应制定详细可行的实施计划，并准备好所需治疗设备，如植入模板、分装器具和植入枪等，尽可能缩短操作时间。

(4) 如粒籽源破损引起泄漏而发生污染，应封闭工作场所，将原密封在一个容器中，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员去污。

(5) 植入粒籽源术后的患者，在植入部位应穿戴 0.25mm 铅当量的铅背心、围脖或腹带。

(6) 植入粒籽源的患者床边 1.5m 处或单人病房应划为临时控制区，控制区入口处应有电离辐射警示标志，除医护人员外，其他无关人员不得入内。

(7) 植入粒籽源的患者应使用专用便器或设有专用浴室和厕所。

(8) 任何物品在搬离病房之前应进行监测。

3.4.5 应急响应措施

该项目因为在运行时产生较大剂量辐射，如果有事故工况发生，则影响严重。因此提出应急响应措施。具体措施如下：

(1) 对事故处理实行部门负责、分级管理和报告。若出现问题及时报安全防护小组处理，必要时向公安部门、卫生行政部门和环境保护行政主管部门报告。

(2) 如果发生人体受超剂量照射事故时，应当迅速安排人员接受医学检查或者在指定的医疗机构救治，同时对危险源采取应急安全处理措施。

(3) 电气系统失控时，关掉电源，关闭屏蔽门，并禁止人员进入机房。

(4) 治疗过程中密切注意观察受检者的反应，如有意外立即停止操作。

(5) 操作过程中，如发现任何联锁故障或其它意外，应立即中止操作，并报告科室领导，紧急处理。

4. 技术措施

4.1 控制距离

工作人员所受剂量随距离辐射源距离的增加而迅速减少。吉林大学中日联谊医院从事辐射工作人员工作时，要注意控制与辐射源之间的操作距离，分区管理是控制距离的有效措施，该医院在管理上应实行分区控制，并在相应位置设立警示标识，以防止人员随意出入，设置电离辐射警示标识，保证标志清晰，且应经常对标志进行清洁以保证电离辐射标志的警示作用。

4.2 控制时间

接触辐射源的时间与所受外照射累积剂量成正比。因此，吉林大学中日联谊医院应用放射性核素和射线装置时，在不影响正常工作的情况下，工作人员在操作时应尽量缩短接触放射性核素的时间。从事放射性核素操作的工作人员操作时要熟练、准确、动作迅速，若操作时间过长，需有数人轮流更换操作。

4.3 设置屏蔽

要满足辐射防护最优化要求，在辐射源和操作人员之间应确保设置足够的防护屏蔽，以减少工作人员受照剂量。本次评价通过理论计算的方法对回旋加速器机房、PET-CT 机房、热室、注射室、注射后等候室提出屏蔽设置要求，以下计算中混凝土的密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅的密度均为 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ，具体如下：

4.3.1 回旋加速器机房

厂方提供的加速器尺寸为： $3.61\text{m} \times 2.04\text{m} \times 2.10\text{m}$ （长 \times 宽 \times 高），加速器放置于距离南侧墙 1m，左右中心对称，距离南墙外约 1.5m，距离东、西墙外约 2.5m，距离顶棚（一层地面）3.8m，本项目回旋加速器自带屏蔽，依据厂家的《预安装手册》中提供的 γ 和中子剂量等高线分布图，加速器机房东侧和西侧的热室和控制室居留因子取 1，南侧无菌检测室和阳性对照室缓冲室居留因子取 1/4，拟建回旋加速器室布置见附图 5。为控制工作人员以及公众所受照射剂量水平到尽可能低的水平，本次环评取 $5\text{mSv}/\text{a}$ ($2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，按年工作 2000 小时考虑) 作为工作人员照射剂量评价标准， $0.25\text{mSv}/\text{a}$ ($0.25\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，按年最大受照时间 1000 小时考虑) 作为公众照射剂量评价标准， γ 和中子各占一半进行辐射屏蔽计算，取 2 倍安全系数。

计算公式如下：

$$\text{减弱倍数 } K = \dot{H}/H_0$$

式中： H_0 —允许的 γ 辐射剂量当量率；

K—减弱倍数，无量纲。

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2}$$

加速器室的东、西、南、北墙和天棚的屏蔽厚度计算如下：

(1) 北墙屏蔽厚度

本项目加速器位于 8 号楼地下一层，北侧为大地，因此对于北侧屏蔽墙厚度不作要求，只需考虑建筑承重要求即可。

(2) 西墙屏蔽厚度

中子屏蔽：加速器工作时西侧 2.5m 处中子剂量率为 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，西墙后面是操作室，须按工作人员标准处理，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的 1/2。

$$\text{减弱倍数 } K = 10 \div (2.5 \times 1/2) = 8$$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 33\text{cm}$$

γ 屏蔽考虑：加速器工作时西侧 2.5m 处 γ 剂量率小于 $3 \mu\text{Sv/h}$ ，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 余下的 1/2。

$$\text{减弱倍数 } K = 3 \div (2.5 \times 1/2) = 2.4$$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 16\text{cm}$$

所以，混凝土厚度须不低于 33cm。

(3) 南墙屏蔽厚度

中子屏蔽考虑：回旋加速器工作时南侧 1.5m 处中子剂量率小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，南墙后面是无菌检测室和阳性对照室，按公众人员标准处理，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的 1/2。

$$\text{减弱倍数 } K = 10 \div (2.5 \times 1/2) = 8$$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 33\text{cm}$$

γ 屏蔽考虑：回旋加速器工作时南侧 1.5m 处 γ 辐射剂量率小于 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 余下的 1/2。

减弱倍数 $K=5 \div (2.5 \times 1/2) = 4$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 21\text{cm}$$

所以，混凝土厚度须不低于 33cm。

(4) 东墙屏蔽厚度

中子屏蔽考虑：加速器工作时东侧 2.5m 处中子剂量率小于 $6 \mu\text{Sv/h}$ ，东墙后面是热室，须按工作人员标准处理，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的 1/2。

减弱倍数 $K=6 \div (2.5 \times 1/2) = 4.8$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 27\text{cm}$$

γ 屏蔽考虑：加速器工作时东侧 2.5m 处 γ 辐射剂量率小于 $3 \mu\text{Sv/h}$ ，剂量限值取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 余下的 1/2。

减弱倍数 $K=3 \div (2.5 \times 1/2) = 2.4$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 16\text{cm}$$

所以，混凝土厚度须不低于 27cm。

(5) 天棚屏蔽厚度

中子屏蔽考虑：天棚上面是正常医院用房，须按公众标准处理，剂量限值取 $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 的 1/2。加速器工作时上方 3.8m 处中子剂量小于 $3 \mu\text{Sv/h}$ 。

减弱倍数 $K=3 \div (0.25 \times 1/2) = 24$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 46\text{cm}$$

γ 屏蔽考虑：加速器工作时上方 3.8m 处 γ 辐射剂量率小于 $1 \mu\text{Sv/h}$ ，剂量限值取 $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 余下的 1/2。

减弱倍数 $K=1 \div (0.25 \times 1/2) = 8$

$$\text{屏蔽墙厚 } d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2} \approx 28\text{cm}$$

所以，混凝土厚度须不低于 46cm。

根据防护设计，回旋加速器机房四周墙体和天棚厚度均为 50cm 厚的混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）和 2cm 含硼中子防护材料，满足辐射防护要求。

(6) 回旋加速器室防护门屏蔽

门外按公众考虑，考虑中子俘获，防护门用 10mm 中子慢化吸收层（含硼中子防护材料），加 20mm 铅当量防护层。

(7) 加速器磁场屏蔽

由于回旋加速器产生较强的磁场，为避免其影响，回旋加速器室墙壁内外增加 2 层电磁屏蔽网。

4.3.2 热室屏蔽

热室内设置合成器，合成器屏蔽厚度为 40mm 铅，可满足辐射防护要求。热室屏蔽主要考虑每次从合成柜取出传递至注射室过程。

(1) 墙体屏蔽

本项目 PET-CT 工作场所制备和应用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C ， ^{18}F 的日最大操作量远大于 ^{11}C ，且 ^{18}F 、 ^{11}C 衰变过程中均产生 511keV 的 γ 射线，因此本次评价环境影响预测主要考虑非密封放射性物质 ^{18}F 对周围环境的影响。

按目前并考虑到将来发展及放射性药物出售的可能，日最大操作量 2Ci 设计热室屏蔽，药物合成是在屏蔽的合成器内，每次取出 1~3 份，PET 检查使用正电子衰变核素，屏蔽设计应考虑 0.511MeV 的 γ 射线防护，居留因子取 $T=1$ ，按裸源进行屏蔽计算：

$$\dot{H} = \frac{1 \times 10^9 A \Gamma}{R^2}$$

式中： \dot{H} —无屏蔽时探测点 γ 辐射剂量率，nGy/h；

A—放射源（点源）的放射性活度，Bq；

Γ —放射性核素 ^{18}F 的空气比释动能率常数， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

R—点源到探测点的距离，m。

通过《辐射防护手册》第三分册查出 ^{18}F 的空气比释动能率常数并换算为国际标准单位后为： $1.42 \times 10^{-13} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ，将各已知参数代入上式得，距离放射源 1.5m 处无屏蔽时 γ 辐射剂量当量率为 73.7mSv/a。

$$K = \dot{H} / H_0$$

式中： H_0 —允许的 γ 辐射剂量当量率；

K—减弱倍数，无量纲。

将计算结果代入上式，可得减弱倍数为 14.7 倍，取 2 倍安全系数。

$$d = L \times \frac{\ln 2K}{\ln 2}$$

式中：d—所需材料屏蔽厚度，cm；

L—¹⁸F 发射 γ 射线对所选材料的半值层厚度，cm。

通过以上计算，若选用普通混凝土作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 19.0cm，顶棚厚度不小于 18.6cm；若选用铅作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 2.4cm；顶棚厚度不小于 2.3cm。

根据防护设计，热室四周墙体和天棚厚度均为 24mm 铅当量的辐射防护涂料，满足辐射防护要求。

(2) 传递窗屏蔽

为在热室和注射室间传递放射性药品，须在热室与注射室间隔墙上建立 2 个方便药品传递，且具有密封、防护可视功能的传递口，传递口两边各有 3mm 铅当量的铅玻璃（300mm×500mm）防护。

4.3.3 注射室和注射后等候室

每次给 3 个病人注射，按裸源计算，居留因子取 1，利用上述公式计算得出：若选用普通混凝土作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 15.1cm，顶棚厚度不小于 14.7cm；若选用铅作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 1.9cm；顶棚厚度不小于 1.8cm。

根据防护设计，注射室和注射后等候室四周墙体和天棚厚度均为 20mm 铅当量的辐射防护涂料，满足辐射防护要求。

4.3.4 PET-CT 机房

PET-CT 机房内受检者体内注射的放射性核素对外辐射 γ 射线。PET-CT 机房内一次仅检查一例，同一时间内仅有一名受检者在机房内停留，按裸源计算，居留因子取 1，利用上述公式计算得出：若选用普通混凝土作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 12.9cm，顶棚厚度不小于 12.4cm；若选用铅作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 1.6cm；顶棚厚度不小于 1.5cm。

同时 PET-CT 机能产生 X 射线，PET-CT 机房在按照《医用 X 射线 CT 机房的

辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)中要求屏蔽措施为:20cm 混凝土(密度 2.35t/m^3)或37cm 砖(密度 1.65t/m^3)或2.5mm 铅当量。

综上所述,PET-CT 机房具体屏蔽措施为:四周和顶棚墙体厚度不小于20cm 混凝土。

根据防护设计,PET-CT 机房四周墙体和天棚厚度均为30cm 厚的混凝土(密度为 2.35g/cm^3),满足辐射防护要求。

以上房间均未设置迷道,因此各房间防护门的屏蔽能力均应不低于其同侧墙体的屏蔽能力。

4.3.5 籽籽植入屏蔽

本项目籽籽植入依托原有 SPECT-CT 机房进行籽籽植入手术,依托3号核医学科病房住院治疗,SPECT-CT 机房屏蔽能力约为4mm 铅当量;病房四周墙体、顶棚和地面的屏蔽能力均大于27mm 铅当量; ^{125}I 籽籽临时存放时使用3mm 铅当量的铅罐盛装 ^{125}I 籽籽源;消毒时籽籽装于约2mm 厚的铅枪弹夹内;手术过程中医生穿0.25mm 厚的铅衣;术后在患者植入籽籽部位覆盖0.25mm 铅当量的防护布;由本报告籽籽植入环境影响预测部分理论计算可知,本项目籽籽植入各项屏蔽措施(铅桶、铅枪、铅衣、手术室和病房屏蔽)可满足辐射防护要求。

4.3.6 敷贴治疗室

本项目在敷贴治疗室应用 ^{90}Sr 密封源进行敷贴治疗, ^{90}Sr 及其衰变产物 ^{90}Y 均为 β 源,放出 β 射线,本项目用药量很小,且 β 射线能量很低,射程短,用薄铝板即可阻挡,且本项目 ^{90}Sr 敷贴治疗源本身自带一定的屏蔽,因此敷贴治疗室无需考虑房间的屏蔽,只需要在敷贴治疗时使用铅屏风隔开接受治疗的患者即可。敷贴治疗室采用37cm 厚的砖墙作为屏蔽材料,同时设置铅屏风,可满足屏蔽要求。

5. 安全许可管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(中华人民共和国环境保护部第3号令),本项目安全许可管理要求详见表11,供建设单位及辐射环境管理部门参考。

表 11 安全许可管理要求

序号	安全许可管理要求
1	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工作。
2	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。
3	射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
4	应配备相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。
5	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、人员培训计划、监测方案等。
6	有完善的辐射事故应急措施。

通过对本项目充分的现场调查及医院提供的相关资料，只要认真执行“三同时”制度，项目的建设能够达到安全许可管理要求。建设单位还应按照上述安全许可管理要求配备相应的防护用品和监测仪器；完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案；制定完善的辐射事故应急措施。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位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。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (3) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- (4) 放射性同位素及射线装置台账；
- (5) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (6) 辐射事故及应急响应情况；
- (7) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- (8) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (9) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

使用放射性同位素的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

建设项目竣工环境保护验收涉及的辐射监测和退役核技术利用项目的终态辐射监测，由使用射线装置及放射性核素的单位委托经省级以上人民政府环境保护主管部门批准的有相应资质的辐射环境监测机构进行。

本项目环评审批后，建设单位需及时办理辐射安全许可证变更手续。

6. “三同时” 验收

根据《中华人民共和国环境保护法》中规定：“建设项目中防治污染的设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。防治污染的设施必须经原审批环境影响报告的环境保护行政主管部门验收合格后，该建设项目方可投入生产或者使用。” 本项目在采取合理有效的环保措施的前提下，对环境的影响是可接受的，本项目执行“三同时”的污染防治措施及验收内容见表 12。

表 12 项目“三同时”一览表

污染源	环保措施	验收内容要求	
核医学科 放射线科	辐射环境监测	制定并实施工作场所监测、个人剂量监测计划、配备监测仪器	
	屏蔽防护	屏蔽厚度满足辐射防护要求	
	警示标识	设置警示标识	
	管理措施		辐射人员持证上岗
			建立辐射工作人员健康档案、射线装置使用台账
			制定并落实各项环保制度
	安全防护和 风险应急措施	设置连锁装置、警灯等 制定风险应急预案并定期演练	
	放射性固废	产生的固体废物应放置于放射性废物库中贮存衰变，暂存 10 个半衰期后，经检测低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定豁免水平后，做普通医疗垃圾处置。	
放射性废气	放射性工作场所设置通风装置，有足够的换气次数，排气出口高于本建筑物屋脊		
放射性废液	设置 4.5m ³ 放射性污水池，本项目废水需排入放射性污水池内，使其放射性逐渐衰变至环境本底水平		

结论与承诺

1. 项目概况

吉林大学中日联谊医院拟在医院 8 号楼地下一层新建 PET-CT 及回旋加速器辐射项目，制备和应用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C ，密封源 ^{68}Ge ，回旋加速器 1 台，PET-CT 机 1 台；在医院 1 号楼核医学科新建粒籽植入，并依托原有 SPECT 机房进行粒籽植入手术，依托 3 号核医学科病房住院治疗；将 1 号楼核医学科现有教室改为敷贴室，应用医院现有的 3 枚 ^{90}Sr 密封源进行治疗。

2. 实践的正当性

为了防止不必要的照射，在引进伴有辐射照射的任何实践之前，都必须经过正当性判断，确认这种实践具有正当的理由，获得的净利益超过付出的代价（包括健康损害的代价和非健康损害的代价）。吉林大学中日联谊医院核医学科和放射线科应用放射性核素和射线装置用于医疗诊断，因此该项目是正当可行的。符合辐射防护“正当实践”的原则。

3. γ 辐射环境剂量水平现状调查结论

吉林大学中日联谊医院院区陆地 γ 辐射空气吸收剂量率为 86.5nGy/h；室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 97.6—98.5nGy/h，与长春地区陆地和室内 γ 辐射空气吸收剂量率本底范围相比，数据未见异常。

4. 辐射环境影响预测结论

4.1 回旋加速器和 PET-CT

4.1.1 制备药品过程中回旋加速器对周围环境产生的影响

经预测，回旋加速器机房周围工作人员受到的年有效辐射剂量最大值为 0.68mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a；公众成员受到的年有效辐射剂量最大值为 0.09mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

4.1.2 热室对周围环境的影响

热室四周工作人员受到的年有效剂量为 2.47mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。热室顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.11mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

4.1.3 注射室和注射后等候室

注射室和注射后等候室四周工作人员受到的年有效剂量为 4.35mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.20mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

4.1.4 PET-CT 机房

(1) 非密封放射性核素的影响

PET-CT 机房四周工作人员受到的年有效剂量为 0.04mSv，低于工作人员受照射剂量标准限值 5mSv/a。顶棚外公众成员受到的年有效剂量为 0.002mSv，低于公众受照射剂量标准限值 0.25mSv/a。

(2) 射线装置影响

本项目 PET-CT 机带有 CT 扫描功能，开启 CT 扫描时将产生 X 射线。《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006) 中要求的屏蔽措施为：20cm 混凝土（密度 2.35t/m³）或 37cm 砖（密度 1.65t/m³）或 2.5mm 铅当量。

根据医院的设计资料可知：本项目 PET-CT 机房四周墙体和天棚采用 40cm 厚的混凝土（密度 2.35t/m³）最为屏蔽材料，满足《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006) 中要求的屏蔽厚度。

4.2 籽粒植入

4.2.1 放射源临时存放对周围环境的影响

储源室外工作人员受到的 γ 辐射剂量约为 1.2×10^{-13} mSv/a，远低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a；公众成员受到的 γ 辐射剂量约为 4.0×10^{-14} mSv/a，远低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a。

4.2.2 籽粒消毒过程

消毒过程工作人员受到的 γ 辐射剂量为 4.8×10^{-9} mSv/a，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a；消毒室外公众成员受到 γ 辐射剂量为 1.2×10^{-9} mSv/a，低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a。

4.2.3 手术过程

手术过程中，医生所受到年有效剂量当量是 0.54mSv，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a，满足环境保护要求。手术室外公众成员受到 γ 辐射剂量为 1.9×10^{-21} mSv/a，低于公众成员受照射剂量标准 0.25mSv/a。

4.2.4 术后患者住院观察期间对周围环境的影响

(1) 对医护人员的影响

医护人员护理过程中受到年有效剂量约 0.68mSv/a，低于工作人员受照射剂量标准 5mSv/a。

(2) 对病房外公众成员的影响

本项目植入籽患者住院病房依托核医学科原有 ^{131}I 病房可保证病房外公众成员受到的年有效辐射剂量低于标准限值 0.25mSv/a。

(3) 术后患者送回病房过程对周围公众的影响

考虑到术后患者回住院病房过程对周围公众的影响，因此需要在病人植入籽部位覆盖 0.25mm 铅当量的防护布，避免术后患者在通道滞留，即可使公众成员受到的辐射剂量低于 0.25mSv/a，满足辐射防护要求。

4.3 β 表面污染

本项目可能产生 β 表面污染的环节主要为药品分装和注射过程。吉林大学中日联谊医院若严格按照相关标准规范要求及本报告的要求进行设计建设，并建立和落实相应的污染防护措施、操作规程和管理制度，则本项目建成投入运行后，能符合乙级非密封工作场所的管理要求，其表面放射性污染水平能控制在本次评价要求的标准之内。

5. 辐射防护结论

5.1 选址结论

根据吉林大学中日联谊医院 PET-CT 工作场所的布局设计，项目位于 8 号楼地下一层，该层除了配电室和泵房外均为核医学科回 PET-CT、旋加速器机器配套房间，核医学科与配电室、泵房隔开，并且均有单独的出入口。PET-CT 工作场所各功能房间满足从低活度区至高活度区的布局要求，PET-CT 工作场所患者入口和患者出口通道有交叉，通过设置监控和门控系统（即入口门开启，则出口门锁死，反之亦然），由医生远侧控制，保证人流不交叉，选址符合辐射防护要求。

籽植入和敷贴室位于医院 1 号楼核医学科内，周围均为核医学科，并且均有单独的出入口，可满足从低活度区至高活度区的布局要求，选址符合辐射

防护要求。

5.2 屏蔽防护结论

5.2.1 回旋加速器机房

对于回旋加速器机房，为控制工作人员以及公众所受照射剂量水平到尽可能低的水平，通过理论计算，对机房各侧墙体提出屏蔽要求。

回旋加速器北侧屏蔽墙：对于北侧屏蔽墙厚度不作要求，只需考虑建筑承重要求即可；回旋加速器西侧屏蔽墙：混凝土厚度须不低于 33cm；回旋加速器南侧屏蔽墙：混凝土厚度须不低于 33cm；回旋加速器东侧屏蔽墙：混凝土厚度须不低于 27cm；天棚：混凝土厚度须不低于 46cm。虑热中子俘获后的 γ 射线能量、排除其它方向辐射影响，以上各墙采用 2cm 含硼中子防护材料。

考虑中子俘获，防护门用 10mm 中子慢化吸收层（含硼中子防护材料），加 20mm 铅当量防护层。

5.2.2 热室屏蔽

热室内设置合成器，合成器屏蔽厚度为 40mm 铅，可满足辐射防护要求。热室若选用普通混凝土作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 19.0cm，顶棚厚度不小于 18.6cm；若选用铅作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 2.4cm；顶棚厚度不小于 2.3cm。

根据防护设计，热室四周墙体和天棚厚度均为 24mm 铅当量的辐射防护涂料，满足辐射防护要求。

5.2.3 注射室和注射后等候室

注射室和注射后等候室若选用普通混凝土作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 15.1cm，顶棚厚度不小于 14.7cm；若选用铅作为屏蔽材料则四周墙体厚度不小于 1.9cm；顶棚厚度不小于 1.8cm。

根据防护设计，注射室和注射后等候室四周墙体和天棚厚度均为 20mm 铅当量的辐射防护涂料，满足辐射防护要求。

5.2.4 PET-CT 机房

PET-CT 机房具体屏蔽措施为：四周和顶棚墙体厚度不小于 20cm 混凝土。

根据防护设计，PET-CT 机房四周墙体和天棚厚度均为 30cm 厚的混凝土（密

度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$), 满足辐射防护要求。

5.2.5 籽粒植入屏蔽措施

本项目籽粒植入依托原有 SPECT-CT 机房进行籽粒植入手术, 依托 3 号核医学科病房住院治疗, SPECT-CT 机房屏蔽能力约为 4mm 铅当量; 病房四周墙体、顶棚和地面的屏蔽能力均大于 27mm 铅当量; ^{125}I 籽粒临时存放时使用 3mm 铅当量的铅罐盛装 ^{125}I 籽粒源; 消毒时籽粒装于约 2mm 厚的铅枪弹夹内; 手术过程中医生穿 0.25mm 厚的铅衣; 术后在患者植入籽粒部位覆盖 0.25mm 铅当量的防护布; 由本报告籽粒植入环境影响预测部分理论计算可知, 本项目籽粒植入各项屏蔽措施 (铅桶、铅枪、铅衣、手术室和病房屏蔽) 可满足辐射防护要求。

5.2.6 敷贴治疗室

敷贴治疗室采用 37cm 厚的砖墙作为屏蔽材料, 同时设置铅屏风, 可满足屏蔽要求。

5.3 工作场所分区要求

将放射性储源库、SPECT 扫描室 (籽粒植入手术位置)、病房、敷贴室、回旋加速器机房、热室、注射室、PET-CT 机房、注射后候诊区划分为控制区, 与机房相邻的走廊及操作室和设备室、办公室划分为监督区。

5.4 辐射安全管理结论

5.4.1 辐射防护规章制度

吉林大学中日联谊医院依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中的有关规定, 应建立辐射防护、辐射事故应急预案等环境管理制度, 并认真执行。

5.4.2 建立环境保护组织机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定吉林大学中日联谊医院结合本单位实际情况, 设置专职辐射安全管理人员。

5.4.3 工作人员培训

吉林大学中日联谊医院需组织辐射工作人员参加辐射安全培训, 考取辐射工作人员合格证书后上岗。

5.4.4 辐射场所监测

吉林大学中日联谊医院应购置辐射监测设备、个人剂量计、报警仪等，制定监测计划，对工作场所定期监测和个人剂量定期检测，对提高监测能力十分必要。

5.4.5 应急响应措施

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，吉林大学中日联谊医院应建立辐射事故应急预案，并定期演练。

5.4.6 建立台帐

吉林大学中日联谊医院须设立台帐管理制度，射线装置和放射性同位素使用台帐、个人剂量档案和职业健康监护档案放入档案柜中长期保存。

5.4.7 编写年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定：辐射工作单位应当编写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。

年度评估报告应当包括射线装置和放射性同位素台帐、辐射安全和防护设施的运行与维护、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。

5.5 放射性废物处置措施

本项目产生的放射性固体废物主要为使用的一次性注射器、棉球等，年废物预计产生量约 150kg/a，产生的固体废物应放置于放射性废物库的铅容器中贮存衰变，暂存 10 个半衰期后，经检测低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定豁免水平后，做普通医疗垃圾处置。

本项目在药品使用过程中，预计每年产生的放射性废液量约为 3m³，医院核医学科设有 3×1.5m³放射性污水池，因此，本项目废水需排入放射性污水池内，将放射性废液置于放射性污水池中自然衰变，使其放射性逐渐衰变至环境本底水平，以达到放射性废液处理要求。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》中相关规定，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物屋脊，并酌情设置过滤装置。

6. 总结论

吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目符合“正当实践”的原则；选址合理可行；辐射防护设施运行安全有效；在认真落实本报告要求的辐射环境保护措施后，能够具备从事其相应辐射活动的技术能力，能够有效降低该项目运行时对周围环境产生的辐射影响，可以保证人员年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“剂量限值”的要求，项目在落实本报告中提出的辐射防护措施后，本项目可行。

7. 承诺

吉林大学中日联谊医院对射线装置及放射性同位素的安全管理现以承诺的形式提出并立即执行。

7.1 制定周密细致的应急计划，一旦发生事故要按照国家规定及时准确地将事故上报当地辐射环境行政主管部门、公安部门、卫生部门，及时采取应急措施。

7.2 主动向当地辐射环境管理部门申报登记，配合监督，做好辐射防护宣传。



标识: CCAS JC01

长春奥狮环境检测有限公司

监测报告

报告编号: 2015080085

监测项目: 吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目

委托单位: 吉林省龙桥辐射环境工程有限公司

监测类别: 委托监测/环评

编制日期: 2015 年 8 月 18 日



说 明

1. 本报告未加盖长春奥狮环境检测有限公司监测印章、骑缝章和MA章无效。
2. 报告涂改无效。
3. 委托监测仅对当时工况及环境状况有效，自送样品仅对该样品监测结果负责。
4. 如对本报告有异议，请于收到本报告之日起十五日内以书面形式向本公司提出，逾期不予受理。

单位名称：长春奥狮环境检测有限公司

单位地址：长春市人民大街8683号

邮政编码：130022

电 话：0431-89682341/89682326

传 真：0431-89682335

电子邮件：changchunaoshi@163.com

监测项目: 吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目

监测内容: 辐射剂量率

监测日期: 2015 年 7 月 15 日

监测仪器:

(1) 仪器名称: 环境监测用 X- γ 辐射计量仪

型号规格: DH80CP-EX

仪器编号: 110104

检定有效期至: 2016 年 4 月 6 日

检定单位: 上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

检定证书编号: 2015H21-20-001112

监测依据:

(1) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93);

(2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)。

监测条件:

天气晴, 风力微风, 监测时天气状况满足监测仪器使用要求。

监测点位布设:

本次监测布设 3 个辐射剂量率监测点位。

监测结果:

监测结果见表 1 (已扣除宇宙射线, 室外环境扣除 16.5nGy/h, 室内环境扣除 14.9nGy/h)。

表 1 辐射剂量率监测结果 (已扣除仪器宇宙射线响应值) 单位: nGy/h

点位	1	2	3
点位描述	院区陆地	1 号楼敷贴室改造位置	8 号楼 PET-CT 和回旋加速器新建位置
数值	86.5 \pm 2.5	98.5 \pm 4.1	97.6 \pm 4.9

表 2 天然 γ 辐射剂量率本底水平 单位: nGy/h

地区	陆地 γ 辐射剂量率范围	室内 γ 辐射剂量率范围
吉林省	18.9~128.6	30.8~208.6
长春地区	39.3~115.9	55.6~144.4

(以下空白)

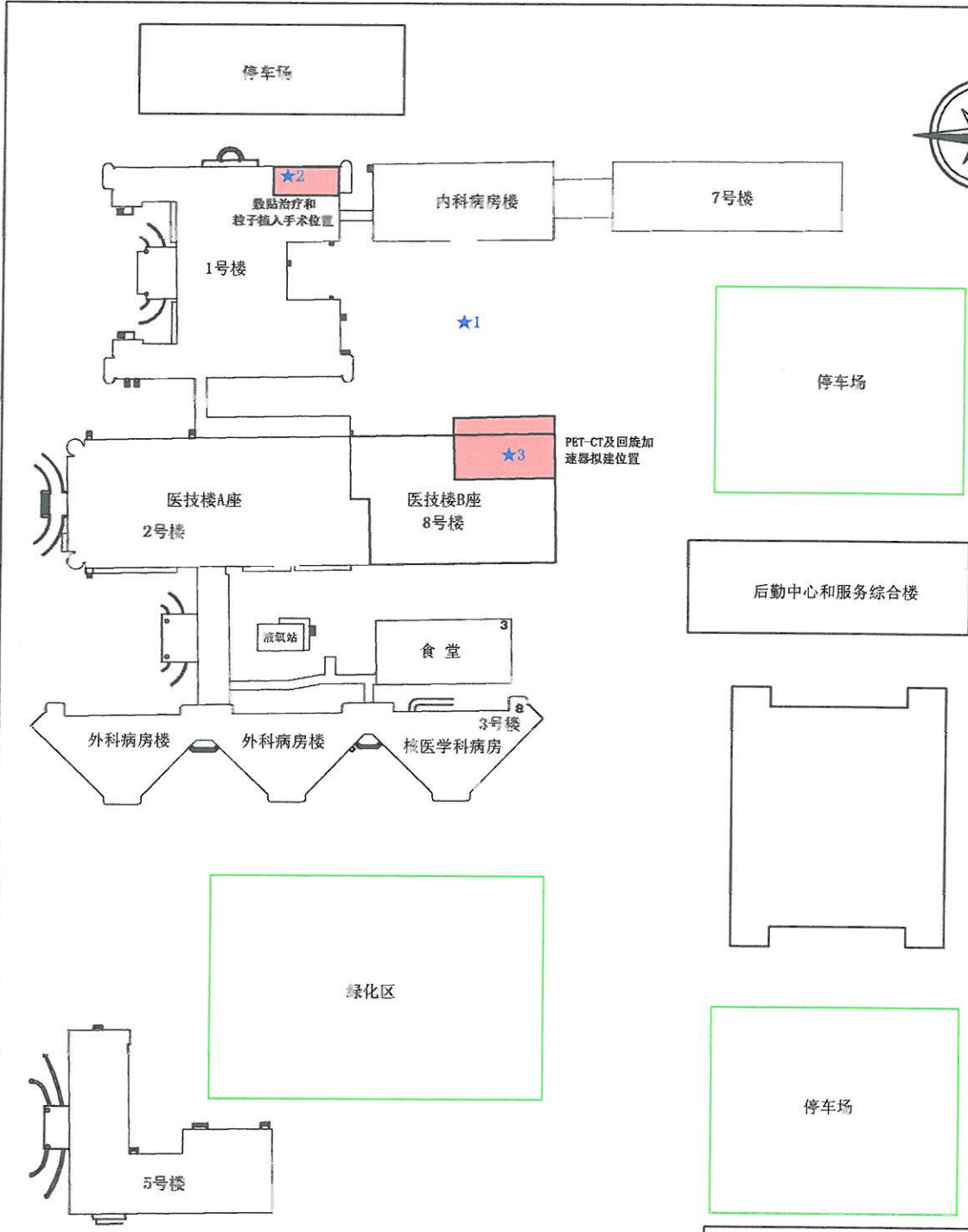
授权签字人: 马玉刚 签发日期: 2015 年 8月18 日



自由大路



仙台大街



图例

- █ 本项目拟建位置
- ★ 辐射剂量率监测点位

比例尺 0 10 20m

附图 吉林大学中日联谊医院院区平面图及监测点位布设示意图

吉林大学中日联谊医院核医学科 2015 年辐射项目现场图片：



图片 1 核医学科所在楼



图片 2 核医学科