

长沙血液中心核技术利用项目

环境影响报告表

(报批稿)

长沙血液中心 (盖章)

2017 年 4 月

环境保护部监制

长沙血液中心核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：长沙血液中心

建设单位法人代表（签名或盖章）：王双林

通讯地址：万家丽北路二段 509 号

邮政编码：410004

联系人：侯全斌

电子邮箱：

联系电话：18874140715

目 录

表 1 项目基本概况	1
表 2 放射源	4
表 3 非密封放射性物质	4
表 4 射线装置	5
表 5 废弃物	6
表 6 评价依据	7
表 7 保护目标与评价标准	9
表 8 环境质量和辐射现状	12
表 9 项目工程分析与源项	14
表 10 辐射安全与防护	19
表 11 环境影响分析	23
表 12 辐射安全管理	31
表 13 结论与建议	36
表 14 审批	39

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙血液中心核技术利用项目				
建设单位		长沙血液中心				
法人代表		王双林	联系人	侯全斌	联系电话	18874140715
注册地址		万家丽北路二段 509 号				
项目建设地点		长沙血液中心内				
立项审批部门		-		批准文号	-	
建设项目总投资 (万元)		215	项目环保投资 (万元)	30.8	环保投资 比例	14.3%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²)	14.2
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☒ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☒ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ I 类		☐ II 类	
		☐ 销售	☐ I 类		☐ II 类	
		☐ 使用	☐ I 类		☐ II 类	
	其他	-				

(一) 建设单位概况

长沙血液中心的前身为长沙市中心血库，始建于 1958 年，1987 年经批准成立独立的采、供血机构长沙市中心血站，2000 年 5 月经卫生部、市编委批准改称长沙血液中心。

长沙血液中心现在位于长沙市公共卫生中心，是湖南省会长沙唯一一所集采供血、科研、教学培训于一体的采供血机构，建有中国造血干细胞捐献者资料库湖南分库定点组织配型实验室，担负省会 60 多家二级以上综合医院和 100 余所一级医院的临床供血工作。

(二) 项目由来

长沙血液中心为了提高输血的安全性，减少临床输血中相关性移植物抗宿主病（TA-GVHD）的发生，拟购置 1 台由深圳市华科核医疗技术有限公司生产的 HK-III 型血液辐照仪（内含两枚 ⁶⁰Co 放射源，总活度 800Ci，属 II 类放射源）对输入前的血液进行辐照处理，以杀灭有免疫活性的淋巴细胞（使 T 淋巴细胞就失去了细胞分裂和繁殖的能力），从而提高输血的安全性。长沙血液中心拟将血液辐照仪放置于长沙市公共卫生中

心西区一楼预留的辐照室内，血液全部在血液辐照工作室室内进行辐照处理。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局第 31 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，长沙血液中心血液辐照仪应用项目应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表。为此，长沙血液中心委核工业二三〇研究所对该项目进行辐射环境影响评价（见附件 1）。接到委托后，我单位组织专业技术人员于对现场进行了调查、监测和资料收集工作，编制完成了《长沙血液中心核技术利用项目环境影响报告表（报批稿）》。

（三）项目建设规模

1. 项目名称：长沙血液中心核技术利用项目。

2. 建设单位：长沙血液中心。

3. 建设地点：长沙市开福区万家丽北路与鸭子铺路交汇处东侧长沙市公共卫生中心大楼西区一楼辐照室。

4. 建设内容：购置一台 HK-III 型血液辐照仪（内含两枚 ^{60}Co 放射源，总活度 800Ci，属 II 类放射源）对输入前的血液进行辐照处理。

（四）周边环境概况

本项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区血液中心一楼辐照室。长沙市公共卫生中心位于长沙市开福区万家丽北路与鸭子铺路交汇处东侧，万家丽北路二段浏阳河大桥旁，中心大楼分为东区、中区和西区。其中东区大楼共 9 层，用于长沙市疾病预防控制中心办公；中区共 4 层，其中一楼为大厅，二楼有献血偿还办公室、体采科、献血服务科，三楼为机采科，四楼为长沙市卫生信息中心、长沙市共卫中心以及会议室；西区大楼共 11 层，其中 1 至 7 层属于长沙血液中心、8 至 10 层为长沙市卫生监督所、11 层为长沙市 120 急救中心。大楼负 1 层为地下停车场。

长沙市公共卫生中心大楼东侧现状为荒地，东侧 240m 为金色溪泉湾小区；南侧为长沙市公共卫生中心职工食堂和篮球场、荒地，南侧 190m 为浏阳河；西侧为停车场，西侧 110m 为万家丽北路；北侧为绿化、停车场、以及荒地。

本项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区 1 层长沙血液中心预留的辐照室内。辐照室东面紧邻长沙血液中心冷库、南面为处置间和电梯、西面和北面均为绿化带，辐照室楼下为地下停车场，楼上为血液中心耗材室。

项目地理位置见附图 1，周边环境关系见附图 2，辐照室所在血液中心一层平面布置见附图 3。

（五）血液中心核技术利用项目基本情况

长沙血液中心位于长沙市公共卫生中心大楼西区 1 至 7 层，长沙血液中心各层的主要功能见表 1-1。

表 1-1 长沙血液中心各楼层功能一览表

序号	楼层	功能	是否涉及核技术利用项目
1	1F	供血科	本次新增一台 HK-III 型血液辐照仪
2	2F	成分科、献血服务科、志愿者之家、献血偿还办公室、体采一科、体采二科	否
3	3F	检验科□机采科	否
□	4□	核酸实验室、科□信息科、总务科、长沙市卫生□息中心、大会议室	否
5	5F	输血研究室、质控实验室	否
6	6F	行政办公区	否
7	7F	档案室、科教文化馆、库房	否

由上表可知，长沙血液中心原有工程不涉及核技术利用项目。

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	⁶⁰ Co	$2.96 \times 10^{13} /$ $1.48 \times 10^{13} \times 2$	II 类	使用	血液辐照	血液中心 一楼辐照室	密闭于血液辐照仪的铅室中。 贮存地点位于血液中心一楼 辐照室。	
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式和地点
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大 能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(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
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(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

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
废弃放射源 ^{60}Co	固态	^{60}Co	$<2.96 \times 10^{13} \text{ Bq}$					由放射源生产单位成都中核高通同位素股份有限公司负责回收（见附件 15）

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订，2015 年 1 月 1 日施行）； 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》（2016 年修订，2016 年 9 月 1 日施行）； 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 颁布，2003 年 10 月 1 日施行）； 4. 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 253 号令； 5. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令； 6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环保部令第 33 号； 7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环保部令第 3 号； 8. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号； 9. 《放射源分类办法》，环保总局公告[2005]第 62 号； 10. 《放射工作人员健康管理办法》，卫生部令第 55 号； 11. 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（原国家环境保护总局办公厅 环办函[2006]629 号）； 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；
技术标准	1. 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2. 1-2016）； 2. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10. 1-2016）； 3. 《γ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB 17568-2008）； 4. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 5. 《高活度钴 60 密封放射源》（GB/T 7465-2015）； 6. 《使用密封放射源卫生防护标准》（GBZ114-2002）； 7. 《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ135-2002）； 8. 《放射工作人员职业健康监护技术规范》（GBZ235—2011）； 9. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）；

	10. 《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003); 11. 《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1-2007); 12. 《放射工作人员健康标准》(GBZ98-2002); 13. 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93); 14. 《辐射环境监测技术规范》(HG/T61-2001); 15. 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007); 16. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 17. 《中华人民共和国医药行业标准 血液辐照仪》(YY/T0848-2011)
其他	1. 李德平 潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》、《辐射防护手册第三分册 辐射安全》，原子能出版社，1987年； 2. 环境影响评价委托书； 3. 甲方提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的相关规定，“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。本项目属于 II 类放射源项目，具有实体边界，因此，本项目评价范围为血液辐射仪所在的辐照室边界外 50m 范围。项目评价范围见图 7-1。



图 7-1 项目评价范围示意图

保护目标

本项目环境保护目标为：以血液辐射仪所在的辐照室实体边界周围 50m 评价范围内的人员。根据现场勘探，血液辐射仪所在的辐照室位于长沙市公共卫生中心西区一楼西侧，辐照室东面紧邻血液中心冷库，隔冷库为血液中心办公室；南面为处置间和电梯、隔消防走廊为污物室和冷库；西面和北面均为绿化带，周边 50m 范围内没有居民点，同

时“血液中心”有严格的出入管理制度，非工作人员不能入内。因此，本项目环境保护目标为血液辐照仪操作人员、辐射安全监管人员及血液辐照工作室周围工作的血液中心工作人员。

项目所在楼层平面布局见附图 3，项目环境保护目标详见下表：

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	保护目标	人数
1	职业工作人员	3 人
2	血液中心工作人员（非职业工作人员）	10 人

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录 B 剂量限值 and 标明污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

根据本核技术利用项目情况，本项目中从事放射治疗工作的人员年有效剂量管理目标值为 2mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量：1mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv;

d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

本项目中, 放射工作场所周围非放射医务人员及其他人员接受的年有效剂量管理目标值为 0.1mSv。

(2) 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)

5 密封 γ 放射源容器的放射防护要求

5.8 距离装有活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 以下的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.05 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$; 距离装有活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.2 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

本项目放射源总活度为 $2.96 \times 10^{13} \text{Bq}$, 超过 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$, 因此本项目密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 $0.2 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(3) 《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》(GB 17568-2008)

附录 A γ 辐射装置的组成部分

A.4 辐照室

A.4.1 屏蔽体

为了将强辐射减小到公众可以接受的水平, 采用混凝土、铁、铅、贫铀等重材质构成阻挡辐射的屏蔽即屏蔽体。在设计最大源量的前提下, 屏蔽体外剂量率不应超过 $2.5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

本项目血液辐照仪 ^{60}Co 源屏蔽体外剂量率取 $2.5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 作为管理目标值。

A.7 通风系统

γ 辐照装置必须设通风系统, 随时将辐照室产生的 O_3 等有害气体排放到大气中。同时, 辐照室内形成负压以保证有害气体不会外泄至辐照室周围环境。当放射源降至井内贮存位置 5min 后, 辐照室内臭氧的浓度不应超过 $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$, NO_2 浓度不应超过 $5 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

本项目辐照室内臭氧浓度应低于 $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

（一）项目地理和场所位置

本项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区一楼辐照室。长沙市公共卫生中心位于长沙市开福区万家丽北路与鸭子铺路交汇处东侧，万家丽北路二段浏阳河大桥旁，中心大楼分为东区、中区和西区。

长沙市公共卫生中心大楼东侧现状为荒地，东侧 240m 为金色溪泉湾小区；南侧为长沙市公共卫生中心职工食堂和篮球场、荒地，南侧 190m 为浏阳河；西侧为停车场，西侧 110m 为万家丽北路；北侧为绿化、停车场、以及荒地。

本项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区 1 层长沙血液中心预留的辐照室内。辐照室东面紧邻长沙血液中心冷库、南面为处置间和电梯、西面和北面均为绿化带，辐照室楼下为地下停车场，楼上为血液中心耗材室。

（二）辐射现状监测方案

为了解血液中心辐照室及其周围的辐射环境背景水平，根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中有关布点原则，核工业二三〇研究所工作人员于 2017 年 2 月 14 日项目场址进行了环境 γ 辐射本底测量（见附件 3）。

监测因子：环境地表 γ 辐射剂量率

监测点位：共设置 7 个监测点位，分别为：1#辐照室室内、2#辐照室东侧、3#辐照室南侧、4#辐照室西侧、5#辐照室北侧、6#辐照室楼上、7#辐照室楼下。监测点位布置见图 8-1。

监测日期：2017 年 2 月 14 日。

监测仪器：JB-4000 型 X- γ 辐射剂量率仪。

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

质量保证措施：①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。②监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。③每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。④由专业人

员按操作规程操作仪器，并做好记录。⑤监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

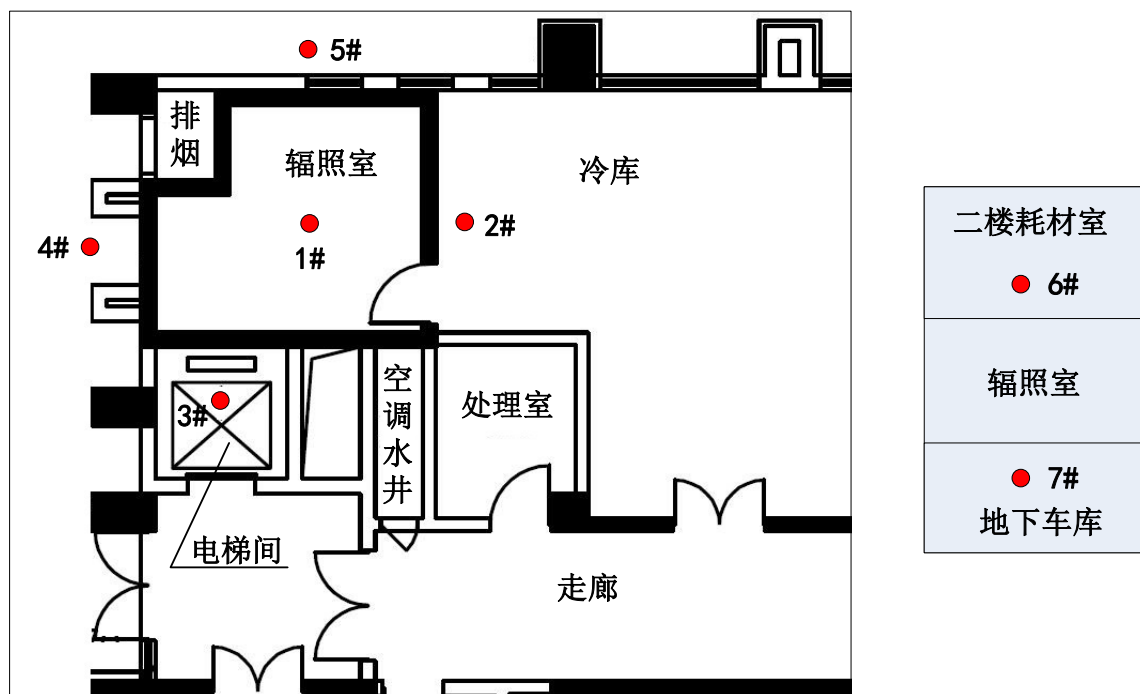


图 8-1 项目辐射环境背景监测布点示意图

(三) 辐射现状监测结果

项目所在场址辐射环境背景监测结果见表 8-1。

表 8-1 项目所在场址本底监测结果一览表

序号	监测点位	监测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	1#辐照室内 (瓷砖地面)	0.12
2	2#辐照室东侧 (冷库, 瓷砖地面)	0.12
3	3#辐照室南侧 (电梯间)	0.13
4	4#辐照室西侧 (绿化)	0.12
5	5#辐照室北侧 (绿化)	0.11
6	6#辐照室楼上 (耗材室, 瓷砖地面)	0.14
7	7#辐照室楼下 (地下停车场, 水泥地面)	0.10
备注: 长沙市室内天然本底辐射范围内 (范围 $0.100\sim 0.218 \mu\text{Sv/h}$, 均值 $0.159\pm 0.0297 \mu\text{Sv/h}$, 来源《中国环境天然放射性水平》)		

测量结果表明: 项目所在场址的 γ 辐射剂量率为 $0.10\sim 0.14 \mu\text{Sv/h}$, 处于长沙市室内天然本底辐射范围内, 无异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

(一) 设备基本概况

长沙血液中心拟购置 1 台 HK-III 型血液辐照仪对输入前的血液进行辐照处理，该辐照仪内含两枚 ^{60}Co 放射源，总活度 $2.96 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属 II 类放射源。 ^{60}Co 能够发出能量为 1.17MeV 和 1.33MeV 两种的 γ 射线，它的半衰期为 5.27 年。设备基本参数见下表。

表 9-1 HK-III 型血液辐照仪基本参数一览表

序号	参数	规格
1	设备重量	$\leq 4500 \text{kg}$
2	轮廓尺寸	$0.85 \text{m} \times 0.96 \text{m} \times 1.9 \text{m}$
3	辐照容器的容量	1.3L
4	放射源种类	^{60}Co
5	放射源活度	初始总装源量 $\leq 800 \text{Ci}$
6	表面泄露剂量	$< 3 \mu \text{sv/h}$ (5 厘米处)

设备系统采用放射源不动，血杯做半圈公转后自转的运动模式来完成辐照，这使得整机的结构非常简单，紧凑，从而大大提高了系统的辐射防护能力，减少了故障发生的概率。在系统的操作方面，采用了三层保护措施：在操作方式上，系统在辐照容器的取、放过程中，设置有传感器，确保只有辐照腔的门关闭后，才开始辐照工作；在操作管理上，设有密码、权限管理，以保证设备正确、规范使用；在设备管理上，设有辐照故障记录，以保证血液辐照的安全和设备的安全。

(二) 设备组成

HK-III 型血液辐照仪由 ^{60}Co 源及屏蔽系统、被辐照物容器(不锈钢辐照杯)、转台、容器主体、外罩、仓门及控制系统等部分组成。屏蔽系统由外套钢壳的铅制成，把放射源及辐照室屏蔽住。辐照室由一个转盘和一个不锈钢辐照杯组成。放射源被双层封装在不锈钢包壳内，并经 3 层固定封装在辐射防护屏蔽体中，只有生产厂工程师用专用工具才能打开。其外形见图 9-1。



图 9-1 HK-III 型血液辐照仪外形图

(1) 主体

该部件是血液辐照器的主要辐射屏蔽层，由铸钢外壳和高密度防护材料组成。通过主体的屏蔽，可提供达近 10^8 的衰减倍数，最终使辐照器表面泄漏辐射的吸收剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，最大限度的保证操作者的使用安全。主体内腔安装有转台

源抽屉、放射源振动机构及被辐照物容器自转机构，提供转台及被辐照物容器自转的驱动功能，实现放射源在规定行程内的往复运动。驱动机构均安装在主体外部，拆开外罩后可调整、维修驱动组件。整个主体部件安装在底座上，当设备就位调整水平后紧固底座，在使用中主体不能有倾斜、振动等现象发生。

(2) 转台

转台通过两端轴承支撑安装在主体内腔中，转台由铸钢外壳和高密度防护材料组成，具有很强的屏蔽功能。转台一侧的 U 型开口内设计有托盘，可托载被辐照物容器。托盘与被辐照物容器的自转机构连接，实现被辐照物品在辐照过程中的连续旋转，使边缘与中心的受照剂量均匀一致。转台通过主体上的驱动机构实现 $\pm 180^\circ$ 旋转，转台具有两个工作位，取样位和照射位。

(3) 源抽屉

源抽屉是放射源封装部件，由钢制外壳和高密度防护材料组成，放射源固定在源抽

屉的中间部位，两端有钨合金挡块。通过更换源套就可封装不同活度的放射源。滑道固定在主体内，源抽屉通过法兰与振动机构连接可在滑道内移动，实现放射源的往复运动。注意：该部件为永久性装置无需拆卸或维修。

（4）被辐照物容器

被辐照物容器采用不锈钢整体加工，带密封盖，根据使用要求配备不同规格的辐照容器。

（5）控制部分

控制系统负责实现整机系统的各项功能。本机控制系统主要由三部分组成，参数输入及显示部分、外部接口电路和执行机构。其中参数输入及显示部分主要由键盘完成，通过控制画面进行参数输入，通过各种按键进行辐照控制；外部接口电路部分主要由各种开关按钮、可编程控制器、接触器组成；执行机构主要由三个电机完成。在此控制系统中，键盘和可编程控制器（PLC）起着举足轻重的作用，整个过程控制基本上都是通过程序来完成的。

（6）控制台

操作台（主要由电脑、电脑显示器、操作盒、电器控制柜组成）：①电脑：存放数据，安装操作软件。②电脑显示器：显示软件操作界面等信息。③操作盒：安装运行、停止、急停、电源指示灯等按钮。④电器控制柜：放置电池及电气系统元件等。⑤控制台是辐照器的主要组成部分，用两根电缆与控制板连接，可实现各种辐照方式的控制。

（三）设备工作流程

血液辐照仪工作流程如下：

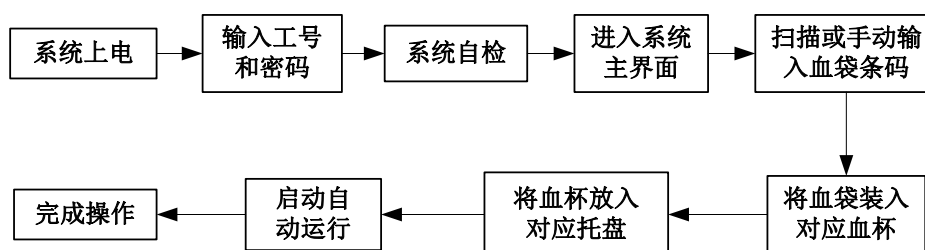


图 9-2 血液辐照仪工作流程示意图

（四）设备辐射防护结构

设备的辐射防护结构是用铅做防护层材料，将铅浇灌在钢结构内，形成屏蔽层。整

个结构主要由四个部分组成：①底座、②屏蔽体、③回转体、④放射源盖。见下图所示。这种机构的特点，是无论在辐照状态还是非辐照状态，设备的表面泄露剂量基本是一致的，这样就增大了设备的辐射安全性，同时，结构简单，故障率低。其次，每个部件的分隔面均远离放射源的位置，这样就没有剂量泄露的死点。

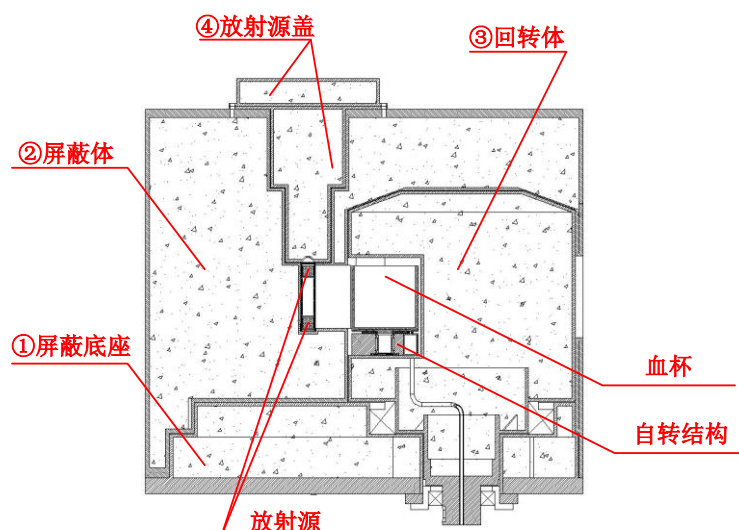


图 9-3 设备辐射防护结构示意图

（五）工艺分析

HK-III 型血液辐照仪基本原理是利用 γ 射线对细胞的伤害作用，使其失去细胞分裂和繁殖的能力，而达到使细胞灭活或者凋亡的效果。由于不同的细胞对放射线的耐受程度不同，因此，通过对照射剂量的控制，就可以达到对某类组织或成分的辐照效果。以血液为例，通过国内外大量的医学研究表明，血细胞中，T 淋巴细胞对 γ 射线的耐受剂量是约 20-30Gy，故当血液受到 25Gy 剂量的 γ 射线照射后，其中的 T 淋巴细胞就失去了细胞分裂和繁殖的能力，而 T 淋巴细胞是人体免疫系统的重要组成部分，所以，将经过辐照后的血液输入病人体内后，血液中的 T 淋巴细胞就不会对受体产生免疫攻击，从而大大提高了输血的安全性，极大的减少了临床输血中 TA-GVHD 发生的概率。

血液辐照仪采用放射源不动，血杯做半圈公转后自转的运动模式来完成辐照工作。辐照仪内有超厚防护层，电脑控制及触屏操作，在显著位置配有紧急断电按钮和后备电源。每次 5 袋 200mL 或 3 袋 400mL 血液装进 1.3 升的血杯中，将血杯放到转盘上，按启动键，系统自动将血杯旋转到辐照位置，关闭加载门，开始辐照血液，辐照结束后，开启加载门，取出血杯，整个控制由电脑完成，给定的照射剂量由设置值确定。其工作方

式见下图，其中图 9-4 是辐照状态，辐照完成后，辐照腔被运动到开口位置，见图 9-5，完成辐照。

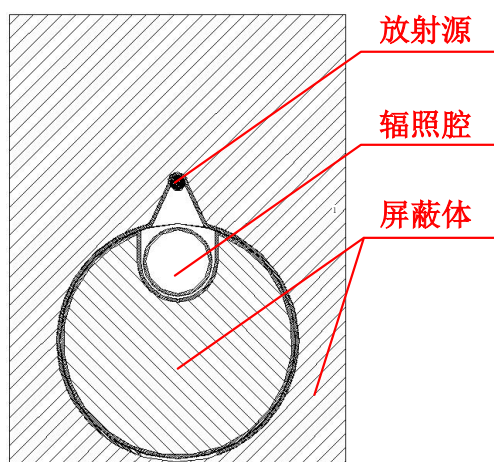


图 9-4 辐照状态

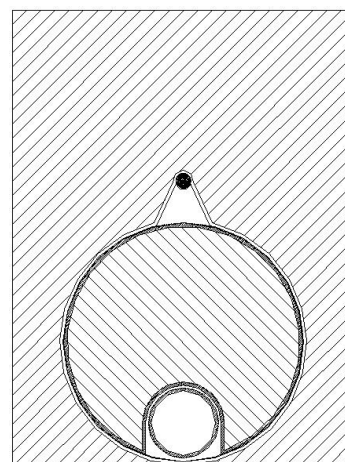


图 9-5 完成辐照状态

本项目的工作方式可以使设备在任何状态下，对环境而言，辐射源都处于屏蔽状态。因此使用人员在取、放辐照物体时都是非常安全的。这样大大提高了整机的辐射防护水平，而且放射源不动，使设备的故障率和安全性也有了很大的保证。

污染源项描述

根据前述分析可知，HK-III 型血液辐照仪具有全方位的辐射防护屏蔽，开机时同样在全方位屏蔽中，确保了辐射防护安全。屏蔽体外围系钢体结构，放射源又经三道封装固定，没有专用工具无法打开，确保了在任何情况下放射源不会脱离丢失。因此，该血液辐照仪能保证安全可靠。

该血液辐照仪使用两枚 ^{60}Co 放射源， ^{60}Co 的半衰期为 5.27 年，放出的 γ 射线能量为 1.17MeV 和 1.33MeV，放出的 β 射线能量为 0.31MeV。放射源置于血液辐照仪内， β 射线完全被屏蔽，虽然贮源容器对放射源产生的 γ 射线有很好的屏蔽作用，但一般的贮源容器不可能将 γ 射线完全屏蔽，在其表面有着合理的表面剂量率。因此，本项目在使用 ^{60}Co 进行血液辐照的主要污染因子是 γ 射线。

^{60}Co 的半衰期为 5.27 年，设备约 5 年更换一次放射源。对放射源的更换，将由成都中核高通同位素股份有限公司负责操作更换及放射源的回收，同时出具旧源回收证明，其它非专业人员或单位不可更换放射源。设备其余部分的使用期限不超过 10 年，其报废处理由设备生产厂家负责。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

(一) 工作场所布局

本项目购置的血液辐照仪位于长沙血液中心一楼预留的辐照室内，其中设备主机位于辐照室内，操作台位于辐照室外，形成了对血液辐照仪机双层实体屏蔽设施。血液辐照工作室建筑面积为 14.2m²，四周防护墙均为 240mm 混凝土墙体，顶板墙体厚度为 250mm 混凝土结构，底板为 250mm 混凝土+250mm 碳纤维结构（碳纤维结构主要是用于底板加固，保证底板的承重）；防护门为钢门，屏蔽厚度为 4mm 铅当量。防护门与墙体搭接长度大于防护门与墙体缝隙 10 倍，且不少于 10cm。血液辐照工作室平面设计布置图及双层实体屏蔽示意图见图 10-1。

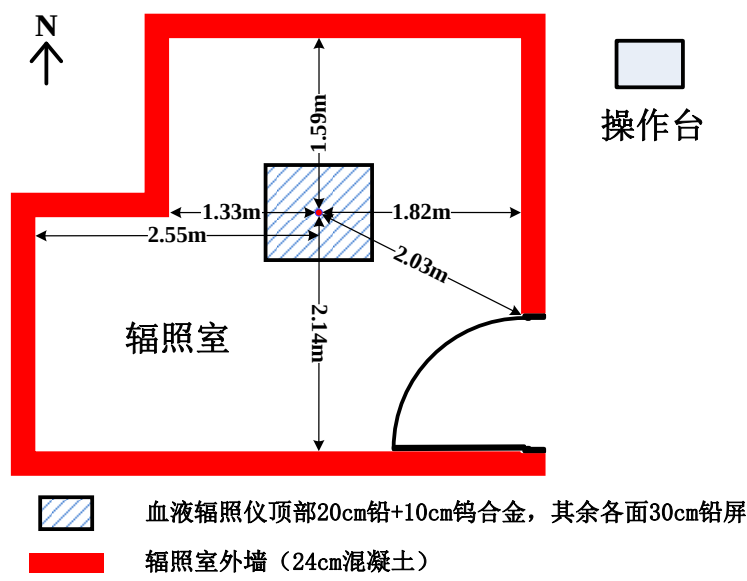


图 10-1 血液辐照工作室平面设计布置图及双层实体屏蔽示意图

(二) 辐射工作场所分区

根据国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将血液辐射仪工作场所分为控制区和监督区，便于辐射防护管理和职业照射控制。该场所的分区如下：

(1) 控制区：辐照室为控制区。该区需要最优化的辐射屏蔽和冗余的安全连锁系统，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在

照射的范围。

(2) 监督区：该项目操作台所在区域为监督区，在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。

(三) 辐射屏蔽设计

血液辐照仪机体位于辐照室内，血液辐照仪自身防护结构是用铅做防护层材料，其中设备机体上面是 20cm 铅+10cm 钨合金、设备机体其他面为 30cm 铅；辐照室四面墙体材料为 24cm 混凝土、顶部材料为 25cm 混凝土、底部材料为 25cm 混凝土+25cm 碳纤维（用于加固底部，保证承重）；根据《辐射防护手册(第三分册)》，铅对 ^{60}Co 所产生的 γ 射线屏蔽的 1/10 值层为 4cm，钨对 ^{60}Co 所产生的 γ 射线屏蔽的 1/10 值层为 3.1cm，混凝土对 ^{60}Co 所产生的 γ 射线屏蔽的 1/10 值层为 28cm，同时碳纤维对 γ 射线均有一定的屏蔽效果，则血液辐照仪机体和血液辐照工作室设计辐射屏蔽效果情况见表 10-1。

表 10-1 血液辐照仪辐射屏蔽设计一览表

防护体		屏蔽材料	厚度 (cm)	1/10 值层 (cm)	屏蔽效果 (减弱倍数)
第一层 辐射防护层：血液辐照仪机体	机体上面	铅+钨	20+10	铅 4， 钨合金 3.1	1.68×10^8
	机体下面	铅	30	4	3.16×10^7
	机体左边	铅	30	4	3.16×10^7
	机体右边	铅	30	4	3.16×10^7
	机体前面	铅	30	4	3.16×10^7
	机体后面	铅	30	4	3.16×10^7
第二层 辐射防护层：血液辐照工作室	东面墙□	混凝土	20	28	7.20
	南面墙体	混凝土	20	28	7.20
	西面墙体	混凝土	20	28	7.20
	北面墙体	混凝土	20	28	7.20
	防护门	钢	4 个铅当量	铅 4	1.25
	顶部	混凝土	25	28	>7.81
	底部	混凝土+碳纤维	25+25	混凝土 28	>7.81

(四) 辐射安全和防护措施分析

为了防止污染事故的发生，项目建设单位应加强管理，为工作人员配备必备的防护器具；应建立污染防治管理制度，对人员进行上岗和辐射安全培训等；应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的安全与防护要求，结合本单位实际工作情况加强各方面的防护措施，以避免放射事故的发生。本项目的辐射安全和防护措施有：

①长沙血液中心制定了一系列辐射安全相关规章与制度，包括辐射事故应急预案、辐射安全责任制度、辐射防护制度、台帐管理制度、设备检修维护制度、人员培训制度、监测制度、辐照室工作制度等(见附件 4-附件 11)。血液中心已落实了辐射安全管理机构——辐射防护和安全管理领导小组，并明确了辐射安全责任人。

②拟选派三人参加 2017 年湖南省环保厅举办的辐射工作人员培训班，在本项目投产前做到持证上岗。

③“血液中心”拟配备相应的防护用品和监测仪器，用于工作人员的防护，主要包括辐射剂量巡测 1 台，一套铅衣，个人剂量仪 3 个，个人剂量报警仪 3 个。

④血液辐照仪设备的辐射防护结构是用铅做防护层材料，将铅浇灌在钢结构内，形成屏蔽层，这使得无论在辐照状态还是非辐照状态，设备的表面泄露剂量基本是一致的，增大了设备的辐射安全性，每个部件的分隔面均远离放射源的位置。血液辐照仪屏蔽体外围系钢体结构，放射源又经三道封装固定，没有专用工具无法打开，确保了在任何情况下放射源不会脱离丢失。在系统的操作方面，采用了三层保护措施：在操作方式上，系统在辐照容器的取、放过程中，设置有传感器，确保只有辐照腔的门关闭后，才开始辐照工作；在操作管理上，设有密码、权限管理，以保证设备正确、规范使用；在设备管理上，设有辐照故障记录，以保证血液辐照的安全和设备的安全。

⑤血液辐照工作室面积为 14.2m²，四周防护墙均为 240mm 混凝土墙体，顶板墙体厚度为 250mm 混凝土结构，底板为 250mm 混凝土+250mm 碳纤维结构（碳纤维结构主要是用于底板加固，保证底板的承重）；防护门屏蔽厚度为 4mm 铅当量。防护门与墙体搭接长度大于防护门与墙体缝隙 10 倍，且不少于 10cm；辐照室门锁指定双人双锁，24 小时动态监控探头，辐照室设立专人管理，非相关人员不得入内。防护门外设置电离辐射警告标志和工作指示灯。

⑥血液辐照仪必须指定专人操作使用其系统，其他人员不得擅自操作，且指定的操作人员必须经过设备厂商培训合格后，才能取得操作资格。设备在工作时发现任何异常响声、报警、运动机构不转动、显示屏不显示等问题，应立即关机，切断电源并通知供应商售后服务部。操作人员不可随意拆卸外壳和设备，必须由专业人员检修，并做好检修记录。

⑦放射源的管理由辐射安全与环境保护管理领导小组负责，指派专人管理，按要求建立血液辐照系统台帐管理制度。经常跟踪放射源的使用状况，每月对放射源进行完好情况的检查；对放射源的检修、备件更换情况，在放射源的档案上进行记录；每次检修及定期维护应有详细记录、存档备查；发现情况立即处理解决。

⑧对退役的放射装置应该选择有资质的单位或厂家回收，杜绝私自销毁或处于无人管理状态。

三废的治理

（一）通风设计

本项目血液辐照仪关机断电后无污染，除在正常运行时产生少量臭氧和氮氧化物对大气有一定影响外，对水、声环境影响较小。

本项目血液辐照工作室安装了强制通风系统，安装在机房西侧墙上(即操作台对面)，其排风量不低于 $4\text{m}^3/\text{min}$ ，换气次数不低于 5 次/小时。强制通风系统与血液辐照仪机联机，当开启血液辐照仪机时，通风系统立即启动向外排风，能有利于机房内产生的臭氧、氮氧化物等有害气体排放。

（二）废旧放射源的处理

本项目辐照仪内含两枚 ^{60}Co 放射源， ^{60}Co 的半衰期为 5.27 年，故建议 5 年更换一次放射源。对放射源的更换，由具有资质的单位或厂家负责操作更换及放射源的回收，其它非专业人员或单位不可更换放射源。

长沙血液中心已与放射源生产单位成都中核高通同位素股份有限公司签订了退役源回收协议，在该源退役时由成都中核高通同位素股份有限公司按有关规定负责回收，同时出具旧源回收证明。废旧放射源的拆卸由供源方负责。

退役源回收协议见附件 15、回收单位成都中核高通同位素股份有限公司的资质证明见附件 16。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目位于“血液中心”一楼预留辐照室内，该辐照室已建成，且四周墙体已加封铅层，本项目建设阶段主要为将设备安装进入辐照室，并进行相应的调试，故在建设期不会对周围环境造成不利影响，也基本无废气、废水及固体废弃物产生。

运行阶段对环境的影响

(一) 评价原则

(1) 基本原则：对于符合正当化的放射工作实践，以防护最优化为原则，使各类人员的受照当量剂量不仅低于规定的限值，而且控制到可以合理做到的尽可能低的辐射水平。这一考虑包括：正常运行、维修、退役以及应急状态，也包括了具有一定概率的导致重大照射的潜在照射情况。

(2) 剂量管理目标值：放射工作人员 2mSv/a，公众 0.1mSv/a；

(3) 屏蔽体外剂量率不应超过 2.5μGy/h；密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h。

(4) 关注点：①机体表面 5cm 处；②密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处；③血液辐照室各面墙体外 30cm 处；④血液中心冷库工作位；⑤防护门外 30cm 处；⑥操作位。

(二) 血液辐照仪机工作场所辐射屏蔽计算分析

(1) 计算公式

各关注点剂量率估算，按照《辐射防护手册(第三分册)》中公式进行估算。

$$X=A \cdot \Gamma /r^2 \qquad \qquad \qquad (\text{式 11-1})$$

式中：

X —— 照射量率，R/h；

A —— 放射源活度，Ci；

Γ —— 照射量率常数，R·m²/h·Ci（对放射源 ⁶⁰Co，Γ 取 1.32R·m²/h·Ci）；

r —— 距源的距离，m。

$$D_{\text{年}}=8.69 \times 10^{-3} \cdot X \qquad \qquad \qquad (\text{式 11-2})$$

式中：

$D_{\text{空}}$ ——空气中某点的 γ 辐射空气吸收剂量率, Gy/h;

X ——同公式(1)的照射量率, R/h。

(2) 计算参数

本项目 HK-III 型血液辐照仪内含两枚 ^{60}Co 放射源, 总活度 800Ci, 因此 A 取 800;
 ^{60}Co 照射量率常数为 $1.32\text{R} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{Ci}$, 因此, Γ 取 1.32; 本项目血液辐照仪由血液辐照工作室和血液辐照仪机体实现双层实体辐射屏蔽设施, 根据项目设计图纸以及血液辐照仪辐射屏蔽设计参数, 血液辐照工作室周围辐射环境的影响分析的其他相关参数见其他相关参数见表 11-1:

表 11-1 血液辐照仪辐射屏蔽相关参数一览表

关注点		距源的距离 (m)	屏蔽材料	屏蔽材料厚度 (cm)	屏蔽效果 (减弱倍数)
机体表面 5cm 处	机体上表面 5cm 处	0.95	铅+钨合金	20+10	1.68×10^8
	机体下表面 5cm 处	0.95	铅	30	3.16×10^7
	机体左表面 5cm 处	0.45	铅	30	3.16×10^7
	机体右表面 5cm 处	0.45	铅	30	3.16×10^7
	机体前表面 5cm 处	0.5	铅	30	3.16×10^7
	机体后表面 5cm 处	0.5	铅	30	3.16×10^7
机体表面 100cm 处	机体上表面 100cm 处	1.9	铅+钨	20+10	1.68×10^8
	机体下表面 100cm 处	1.9	铅+混凝土+碳纤维	30+25+25	$>2.47 \times 10^8$
	机体左表面 100cm 处	1.4	铅	30	3.16×10^7
	机体右表面 100cm 处	1.4	铅	30	3.16×10^7
	机体前表面 100cm 处	1.45	铅	30	3.16×10^7
	机体后表面 100cm 处	1.45	铅	30	3.16×10^7
辐照室东墙体外 30cm 处		2.34	铅+混凝土	30+24	2.28×10^8
辐照室南墙体外 30cm 处		2.66			2.28×10^8
辐照室西 1 墙体外 30cm 处		1.85			2.28×10^8
辐照室西 2 墙体外 30cm 处		3.07			2.28×10^8
辐照室北墙体外 30cm 处		2.11			2.28×10^8
顶部外 30cm 处 (二楼)		4.25	铅+墙+混凝土	20+10+25	1.31×10^9
底部外 30cm 处 (负一楼)		1.7	铅+混凝土+碳纤维	30+25+25	$>2.47 \times 10^8$
血液中心冷库工作位		4.2	铅+混凝土	30+24	2.28×10^8
防护门外 30cm 处		2.55	铅+钢(4mm 铅当量)	30+0.4 (按铅当量计算)	3.95×10^7
操作位		2.94	铅+混凝土	30+24	2.28×10^8

注: ①本项目辐照室为不规则形状, 本报告中辐照室西 1 墙体指距离辐射源较近的西侧墙体, 西 2 墙体指距离辐射源较远的西侧墙体; ②本表在计算屏蔽效果时暂未计算碳纤维的屏蔽效果。

(3) 计算结果

根据上述的公式及参数计算可知，在采取屏蔽措施前后各关注点剂量率见下表：

根据公式(1)、公式(2)和表 11-1，各关注点剂量率估算值见表 11-2。

表 11-2 各关注点剂量率（附加值）估算结果一览表

关注点		屏蔽前剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
机体表面 5cm 处	机体上表面 5cm 处	1.02×10^7	0.06
	机体下表面 5cm 处	1.02×10^7	0.32
	机体左表面 5cm 处	4.53×10^7	1.43
	机体右表面 5cm 处	4.53×10^7	1.43
	机体前表面 5cm 处	3.67×10^7	1.16
	机体后表面 5cm 处	3.67×10^7	1.16
机体表面 100cm 处	机体上表面 100cm 处	2.54×10^6	0.015
	机体下表面 100cm 处	2.54×10^6	0.01
	机体左表面 100cm 处	4.68×10^6	0.15
	机体右表面 100cm 处	4.68×10^6	0.15
	机体前表面 100cm 处	4.36×10^6	0.14
	机体后表面 100cm 处	4.36×10^6	0.14
辐照室东墙体外 30cm 处		1.68×10^6	7.36×10^{-3}
辐照室南墙体外 30cm 处		1.30×10^6	5.70×10^{-3}
辐照室西 1 墙体外 30cm 处		2.68×10^6	1.18×10^{-2}
辐照室西 2 墙体外 30cm 处		9.74×10^5	4.28×10^{-3}
辐照室北墙体外 30cm 处		2.06×10^6	9.05×10^{-3}
顶部外 30cm 处（二楼）		5.08×10^6	3.87×10^{-4}
底部外 30cm 处（负一楼）		3.18×10^6	$< 1.29 \times 10^{-2}$
血液中心冷库工作位		5.20×10^5	2.28×10^{-3}
防护门外 30cm 处		1.41×10^6	3.57×10^{-2}
操作位		1.06×10^6	4.66×10^{-3}

由表 11-2 各关注点剂量率估算可知，本项目血液辐照仪机体表面 5cm 处剂量率为 0.06-1.43 $\mu\text{Gy/h}$ ，机体表面 100cm 处剂量率为 0.015-0.15 $\mu\text{Gy/h}$ ，辐照室墙外 30cm 处剂量率为 3.87×10^{-4} - 1.29×10^{-2} $\mu\text{Gy/h}$ ，防护门外 30cm 处剂量率为 0.036 $\mu\text{Gy/h}$ ，满足《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB17568-2008）中“在设计最大源量的前提下，屏蔽体外剂量率不应超过 2.5 $\mu\text{Gy/h}$ ”的要求，满足《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114—2006）中“距离装有活度为 3.7×10^{10} 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h”的标准限值要求。

本项目血液辐照仪机工作对周围辐射环境影响非常小，其原因是本项目拟购的血液辐照仪，机体有非常强的屏蔽能力，其设计可以满足无专门辐照工作室下安全工作。长沙血液中心为了进一步确保血液辐照仪的辐射安全，修建了具有较强屏蔽能力的血液辐照工作室，形成了对血液辐照仪双层实体屏蔽设施，从而基本屏蔽了产生的 γ 射线。

(4) 血液辐照仪设备自屏蔽效果类比分析

本次类比对象选用江西省血液中心同型号血液辐照仪进行类比。本项目拟购置的设备与江西省血液中心所采用的设备为同样的设备，设备自身所采取的的屏蔽措施一致，因此具有可比性。类比数据引用自《江西省血液中心血液辐照仪应用项目竣工环境保护验收监测报告》，监测单位为江西省辐射环境监督站，报告编号赣辐监字(2015)第 Y179 号。验收监测时，江西省血液中心 HK-III 型血液辐照仪按规程在进行血液辐照。

表 11-3 类比监测对象监测结果一览表

序号	监测点位	γ 吸收剂量率 (nSv/h)		备注
		范围值	均值	
1	血液辐照仪四面表面 5cm 处	296-777	458	待机
		312-786	462	辐照
2	血液辐照仪顶部表面 5cm 处	920-1020	976	待机
		950-1030	984	辐照
3	血液辐照仪 (开门状态) 辐照窗 5cm 处	423-471	458	待机
		421-465	448	辐照
4	血液辐照仪四面表面 100cm 处	167-198	188	待机
		172-201	186	辐照
5	血液辐照仪顶部表面 100cm 处	108-365	212	待机
		145-285	224	辐照

注：①监测结果未扣除本底值；②江西省血液中心血液辐照仪应用项目位于江西省南昌市，根据《中国环境天然放射性水平》南昌地区原野辐射环境本底范围值 34.9-106.4nGy/h。

根据上表可知，HK-III 型血液辐照仪表面 5cm 处、100cm 处及送样口处泄漏射线量均满足《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》(GB17568-2008) 中“在设计最大源量的前提下，屏蔽体外剂量率不应超过 2.5 μ Gy/h”的要求，也满足《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114—2006) 中“距离装有活度为 3.7×10^{10} 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h”的标准限值要求。

(三) 辐射工作场所年有效剂量贡献值估算

本项目辐射工作人员受照剂量最大的是血液辐照仪操作人员，非辐射工作人员受照剂量最大的是在血液成份科工作的人员(公众)。本环评报告偏保守估算，血液辐照仪操作人员和血液成份科工作的人员均按 1 人估算个人剂量。本项目血液辐照仪预计每天进行 15 次血液辐照，辐照工作人员在装血袋、测量和取血袋时会近距离接触辐照仪，其中每次辐照工作人员装血袋和取血袋大约 0.5min，测量时间随着放射源的衰变会有所变化，放射源初始照射时间约 4.3min/次，随着放射源的衰变，照射时间约每 10 天增加 1s，⁶⁰Co 半衰期为 5.27 年，则 5.27 年后每次照射时间增加 3.2min，即照射时间为 7.5min。本评价按最不利考虑，即按照照射时间 7.5min/次进行计算，则每天辐照工作人员接触辐照的时间为 120min(装血袋和取血袋大约 7.5min，测量大约 112.5min)，每年按工作时间 250 天，则全年辐照工作人员接触辐照的时间约为 500 小时(装血袋和取血袋约为 31.25h，测量约为 468.75h)。血液成份科工作的人员在血液辐照工作机房东屏蔽墙表面 30cm 处的辐射剂量率进行估算，每天在办公室休息 2 小时，每年按工作时间 250 天，则全年的时间约为 500 小时。

本项目人员个人剂量估算模式按《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)中第 6.3 条的规定，公式如下：

$$H_e = \dot{D}_\gamma \cdot K \cdot t \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

H_e ——有效剂量当量，Sv；

$\dot{D}_\gamma$ ——环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率，Gy/h；

K ——有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值，规范中取 0.7Sv/Gy；

t ——环境总停留时间，h。

依据表 11-2 的估算结果，本项目人员的年附加有效剂量估算结果见表 11-4。

表 11-4 人员年附加有效剂量估算结果一览表

序号	人员类别		岗位辐射剂量率 (μGy/h)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	评价标准值 (mSv/a)
1	血液辐照仪操作人员	装取	1.43	31.25	3.13×10^{-2}	2
		测量	6.49×10^{-3}	468.75	2.13×10^{-3}	2
2	血液成份科工作人员		3.18×10^{-3}	500	1.11×10^{-3}	0.1

由表 11-3 中的人员年附加有效剂量估算结果可知，若本项目血液辐照仪在工作时，血液辐照装血袋、测量、取血袋由 1 人操作，则操作人员最大年附加有效剂量为 $3.34 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，非辐射职业人员最大年附加有效剂量为 $1.11 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。其值符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求，同时也满足本项目个人剂量限值要求。

(四) 血液辐照仪营运期臭氧环境影响分析

在血液辐照仪工作时，产生的 γ 射线与空气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物，其中主要危害是臭氧。本项目臭氧产生量，根据原子能出版社出版的《辐射防护导论》中提供的公式进行估算。

$$n_A = \frac{G \cdot E \cdot \beta}{100N_A} M_A \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

n_A ——每小时臭氧产生量，g/h；

G ——臭氧的辐射化学产额，实验值为 6；

E —— ^{60}Co 辐射源每小时释放出的总能量， $6.40 \times 10^{20} \text{eV/h}$ ；

β ——空气的能量吸收份额，0.0144；

N_A ——阿伏伽德罗常数， $6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ ；

M_A ——臭氧的摩尔质量，48.0g/mol。

根据式 11-4 计算可知本项目臭氧产生量 n_A 为 $4.41 \times 10^{-5} \text{g/h}$ 。

本项目血液辐照工作室安装了强制通风系统，安装在辐照室顶部，其排风量不低于 $4 \text{m}^3/\text{min}$ 。本项目血液辐照作业在全封闭的铅屏蔽装置内进行的，血液辐照工作室容积约为 42.6m^3 ，根据计算可知血液辐照工作室臭氧浓度约为 0.0002mg/m^3 ，根据原子能出版社出版的《辐射防护导论》，在辐射作用下氮氧化物的产额约为臭氧的 1/3，其浓度将更低。由此可知，本项目运行时，辐照室内臭氧浓度和 NO_2 浓度均远低于《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》(GB17568-2008) 中臭氧浓度 0.3mg/m^3 、 NO_2 浓度 5mg/m^3 的限值要求。因此血液辐照仪机工作时，产生的少量臭氧，对环境基本无影响。

(五) 废旧放射源的处理

本项目辐照仪内含两枚⁶⁰Co放射源，⁶⁰Co的半衰期为5.27年，故建议5年更换一次放射源。长沙血液中心已与放射源生产单位成都中核高通同位素股份有限公司签订了退役源回收协议（见附件15、附件16），在该源退役时由成都中核高通同位素股份有限公司按有关规定负责回收，同时出具旧源回收证明。废旧放射源的拆卸由供源方负责。项目产生的废旧放射源能够得到专业妥善的处置，不会对环境产生影响。

事故影响分析

（一）可能发生的辐射事故

本项目设置了比较齐全的辐射安全措施，只要这些措施落实到位，发生意外照射的情况很少。本项目运行中可能发生的辐射事故有：

（1）放射源丢失、被盗：若放射源丢失或是被盗，人员对其放射性危害不甚了解，可能使其变成裸源，在没有任何防护的情况下，放射源的危害很大，后果极其严重。

（2）放射源屏蔽性能下降：由于血液辐照仪机械损坏可能导致放射源屏蔽性能下降，对辐照工作室周围环境产生放射性水平升高，对相关工作人员造成附加辐射剂量。

（3）放射源脱落：在换装放射源时，发生放射源脱落，此状态下即使只是短时间接触裸源将受到较大剂量的照射。

（二）事故预防措施

（1）本项目所用放射源为固定在设备中，设备较重（4.2t）不易移动，且设备只能由专用工具才能打开，故放射源丢失的概率较小，但也需要加强放射源管理，血液辐照工作室安装具有防盗功能的防护门并设置双人双锁，安装红外防盗报警器及二十四小时视频监控系统，指派专人负责管理，以防止放射源丢失、被盗。

（2）为防止由于放射源屏蔽性能下降而导致的周边放射性水平升高、对相关工作人员造成附加辐射剂量的事故发生，单位应严格执行常规监测计划，定期对辐照工作室周围辐射剂量率进行监测，并建立监测档案，若发现有异常现象，及时与厂家取得联系，查明原因。工作人员在进入辐照室时必须佩带个人剂量报警仪，以防止由于屏蔽性能下降而导致的误照射。

（3）在换装放射源时要有完善的规章制度，杜绝或避免辐射事故的发生，严格加强⁶⁰Co放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，换源时必须有专业人

员的监督和厂家专家换源，确保环境和人员安全，杜绝事故发生。

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

（5）本项目设备在系统的操作方面采用了三层保护措施：在操作方式上，系统在辐照容器的取、放过程中，设置有传感器，确保只有辐照腔的门关闭后，才开始辐照工作；在操作管理上，设有密码、权限管理，以保证设备正确、规范使用；在设备管理上，设有辐照故障记录，以保证血液辐照的安全和设备的安全。

（6）血液辐照工作室应当设有信号指示灯和报警装置，划分警戒控制区，禁止非工作人员进入。安全管理制度张贴在血液辐照工作室醒目位置。

（7）发生辐射事故时，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故后应对事故影响人员进行医学检查，确定其所受到的剂量水平，并在第一时间将事故通报环保、卫生等主管部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

目前，长沙血液中心成立了辐射防护和安全管理领导小组，小组包括组长 1 名，副组长 1 名，组员 14 名，负责对辐射防护相关工作进行控制和管理，辐射防护和安全管理领导小组具体组成见下表：

表 12-1 辐射防护和安全管理领导小组成员一览表

序号	职务	人员
1	组长	左正荣、张敏
2	副组长	张会平、侯全斌
3	成员	康甜、陈再新、苏建平、董敏、罗孟卓、唐敏、邓莲月、汤玲、师娜、屈曼、黎晴、张双喜、杨帆、陈芳、李阿妮、周烨、张钟、刘格、吴威

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作”。从长沙血液中心目前配置的辐射领导小组人员信息看，小组成员有一定的管理能力，本项目开展后，目前血液中心的管理人员也能满足配置要求。

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

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2008）修订》，环境保护部令第 3 号第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。长沙血液中心辐射安全管理机构成员和辐射工作人员目前尚未参加辐射安全与防护培训，也并未取得培训合格证，长沙血液中心已制定相关培训计划，并承诺将选派辐射工作人员参加湖南省环保厅 2017 年举办的辐射安全与防护培训，确保项目投入时相关人员做到持证上岗（见附件 17）。

辐射安全管理规章制度

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。

为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，长沙血液中心针对制定了下述辐射安全管理规章制度（见附件 4-附件 11）：

- （1）辐射事故应急预案；
- （2）辐射安全责任制度；
- （3）辐射防护制度；
- （4）台帐管理制度；
- （5）设备检修维护制度；
- （6）人员培训制度；
- （7）监测制度；
- （8）辐照室工作制度。

为保证辐射工作人员和周围公众人员的健康，长沙血液中心须严格按照国家法律法规执行，并加强对核技术利用项目的日常管理：

（1）加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

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

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

（4）制定完善 ^{60}Co 放射源的保管制度，防止放射源失控现象发生。建立放射源使用登记制度，使用放射源时应当进行登记、检查，做到账物相符。存放放射源的场所应当设置放射性警示标志，附近不得放置易燃、易爆、腐蚀性物品。建立安全保卫制度，落实防火、防盗、防丢失、防泄漏。发生放射源丢失、被盗、火灾和放射性污染事故时，

应在第一时间内向当地政府、环保、公安部门报告。

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

辐射监测

为了及时掌握血液辐照项目周围的辐射水平, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)、《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114—2006)的要求, 应建立必要的监测计划, 包括设备运行期及个人剂量监测计划, 要建立监测资料档案。

(1) 血液辐照工作室的监测计划

监测内容: 血液辐照工作室周围辐射水平巡测和定点监测;

监测项目: γ 辐射空气吸收剂量率

监测频次: 运行前及运行中, 使用 γ 辐射剂量率仪对屏蔽墙外 30cm 处和以血液辐照工作室为中心, 半径 50m 以内的环境 γ 辐射剂量率进行监测, 监测频次不少于每季度一次, 并由具有监测资质的单位每一年监测一次, 保存监测记录;

监测点位: 血液辐照室铅防护门四周、通风口和血液辐照工作室屏蔽防护体四周墙外 30cm; 人员经常活动的位置及单位内外周边环境。

(2) 血液辐照装置的监测计划

定期监测血液辐照仪泄漏辐射水平, 每年至少由有资质的辐射监测技术服务机构监测一次。

(3) 个人监测计划

工作人员工作时必须佩带个人剂量仪或射线报警仪。每 3 个月进行常规个人剂量检测, 建立个人剂量和健康管理档案。个人剂量监测工作应当有具备资质的个人剂量监测技术服务机构承担。

辐射事故应急

长沙血液中心已制定了《辐射事故应急预案》, 明确了辐射安全与环境保护领导小组组成及职责、应急响应程序、预演计划以及各类事故报警和联系方式

(1) 应急响应机构

①辐射安全与环境保护领导小组：负责统一协调，指挥事件的处理。其组成见表12-1；

②供血科负责血液辐照仪意外的发现并及时的向领导小组汇报。

③设备科负责到现场进行抢险并联系厂方维修人员。

④其他行政业务科室根据统一部署开展工作。

(2) 应急响应程序

①放射源被盗或遗失，立即向工作组报告，工作组长在2小时内向市环保局、卫生局、公安局报告和报案，并请求指示和请求协助，说明数量及可能造成的伤害等。

②发生火灾：切断电源，迅速移去放射源附近的可燃物、引火物等，以灭火器扑灭火源（应配备适宜灭火器）。火势无法以灭火器控制时，立即通知消防队救助，关闭防火门，严禁闲杂人员进入。立即向工作组报告，工作组长在2小时内向市环保局、卫生局、公安局报告，并请求指示和请求协助，报告事故发生的经过及紧急处理措施和善后办法。

③放射源泄露：切断电源，利用现场防辐射物品（铅服等）应急覆盖，离开现场，疏散人群。如果工作人员受到意外超量暴露，应将工作人员送到医院检查并给予医疗监护；将个人剂量卡立即送去读数，以作为医疗及进一步采取措施的参考。同时立即向工作组报告，工作组长向市环保局、卫生局、公安局报告和报案，并请求指示和请求协助寻找。

(3) 预演

为保证在紧急情况下能熟练运用预案，减少事故造成的损失，本预案必须每年演练一次，并做好详细记录。

(4) 各类事故报警和联系方式

湖南省环保厅：12369，0731-85698110

长沙市环保局：0731-88667850

长沙市公安局：110

深圳市华科核医疗技术有限公司全国服务热线：400-830-6039

深圳市华科核医疗技术有限公司售后服务电话：0755-29685040

环境保护竣工验收

长沙血液中心核技术利用项目竣工后，在试运行三个月内向环境保护主管部门申请环保竣工验收，环保竣工验收项目见表 12-2。

表 12-2 环境保护竣工验收一览表

序号	项目内容	要求	投资额
1	辐照室屏蔽体厚度	四周墙壁：240mm 混凝土 顶部：250mm 混凝土 底部：250mm 混凝土+250mm 碳纤维 施工厚度是否达到设计要求，辐照室外 30cm 处辐射水平小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。	18 万
2	设备自屏蔽	屏蔽体外剂量率不超过 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。	纳入设备投资
3	辐照室防护门	辐照室门达到 4mm 铅当量要求，辐照室防护门外 30cm 处辐射水平小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，保证辐照室机房门缝辐射水平符合要求。推拉防护门的门墙搭接宽度要大于门墙之间缝隙的 10 倍。	10 万
4	警示装置	辐照室防护门上方设置工作状态指示灯，防护门上贴辐射危险警示标志。	
5	摄像头	视野良好，可监测辐照室内的情况	
6	辐射防护用品	辐射剂量巡测 1 台，一套铅衣，个人剂量仪 3 个，个人剂量报警仪 3 个	2 万
7	培训和持证	所有放射工作人员均应接受环保部门培训并持证上岗，开展职业健康体检和个人剂量监测。	0.6 万
8	管理机构和具体制度	成立管理机构，制定的辐射防护相关制度内容切实可行，具有可操作性	—
9	通风	辐照室安装强制通风系统，确保辐照室内臭氧浓度低于 0.3mg/m^3	0.2 万
10	合计		30.8 万

表 13 结论与建议

结论

(一) 辐射安全与防护综合结论

(1) 长沙血液中心核技术利用项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区长沙血液中心一楼预留辐照室内，该项目拟购置一台 HK-III 型血液辐照仪对输入前的血液进行辐照处理。根据现场检测，本项目场址的辐射本底水平属于长沙市正常本底范围内。

(2) 本项目 HK-III 型血液辐照仪内含两枚 ^{60}Co 放射源，总活度 $2.96 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，属 II 类放射源。该项目所产生的主要污染因子是电离辐射危害因子（ γ 射线），一般污染因子是臭氧和氮氧化物等有害气体。

(3) 血液辐照仪工作场所分为监督区和控制区：辐照室为控制区、操作台所在区域为监督区。该项目整体布局较合理，分区明确。该项目设备自身、机房四周墙体、防护门均采取了相应的屏蔽措施和其它防护措施，辐射屏蔽厚度设计合理，能满足辐射防护要求。

(4) 辐照室设置警示与监视、急停、安全联锁系统等辐射安全措施，符合“故障-安全”原则，具有多层次的纵深防御体系。

(二) 环境影响分析综合结论

(1) 根据计算分析本项目血液辐照仪机体表面 5cm 处剂量率为 $0.06\text{--}1.43 \mu\text{Gy/h}$ ，机体表面 100cm 处剂量率为 $0.015\text{--}0.15 \mu\text{Gy/h}$ ，辐照室墙外 30cm 处剂量率为 $3.87 \times 10^{-4}\text{--}0.129 \mu\text{Gy/h}$ ，防护门外 30cm 处剂量率为 $0.036 \mu\text{Gy/h}$ ，满足《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB17568-2008）中“在设计最大源量的前提下，屏蔽体外剂量率不应超过 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ”的要求，同时亦满足《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）中“距离装有活度为 3.7×10^{10} 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ”的标准限值要求。

(2) 根据计算分析，本项目血液辐照仪在工作时，操作人员最大年附加有效剂量为 $3.34 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，非辐射职业人员最大年附加有效剂量为 $1.11 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ 。其值符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，同时也满足本项目个人剂量限值要求。

(3) 血液辐照工作室安装了强制通风系统,辐照室内臭氧浓度和 NO_2 浓度均远低于《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》(GB17568-2008) 中臭氧浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 、 NO_2 浓度 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 的限值要求。

(4) 长沙血液中心已与放射源生产单位成都中核高通同位素股份有限公司签订了退役源回收协议,在辐照仪内含两枚 ^{60}Co 放射源退役时由成都中核高通同位素股份有限公司按有关规定负责回收,同时出具旧源回收证明。废旧放射源的拆卸由供源方负责。

(5) 长沙血液中心已成立辐射防护和安全管理领导小组,并制定了相关的放射防护规章制度,其内容基本可行,本次放射诊疗项目投入运行后,还需要进一步完善。

(三) 可行性分析结论

本项目使用的血液辐照仪属于国家鼓励类产业,符合国家产业政策。

本项目位于长沙市公共卫生中心大楼西区血液中心一楼预留辐照室,辐照室四周防护墙均为 240mm 混凝土墙体,顶板墙体厚度为 250mm 混凝土结构,底板为 250mm 混凝土+250mm 碳纤维结构(碳纤维结构主要是用于底板加固,保证底板的承重);防护门屏蔽厚度为 4mm 铅当量。防护门与墙体搭接长度大于防护门与墙体缝隙 10 倍,且不少于 10cm。本次评价通过计算,辐照室墙体和防护门屏蔽设计是可行的,可以满足防护要求。在满足以上辐射防护设计要求前提下,本项目营运期职业人员和公众受照年有效剂量符合本报告提到的年有效剂量管理目标值的要求,更低于 GB18871-2002 规定的剂量限值。故从环境保护角度来看,本环评认为本项目选址可行。

综上所述,本项目建设方案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,并且长沙血液中心认真贯彻落实本报告表中提到的环保措施,血液辐照仪对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求;该项目的辐射防护安全措施可行;规章制度基本健全;项目对环境的辐射影响是可接受的;从环境保护的角度来看,本环评认为该项目建设是可行的。

建议和承诺

(1) 加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查;

(2) 长沙血液中心应在今后工作中,不断总结经验,根据实际情况,对各项制度加以完善和补充,并确保各项制度的落实;

(3) 长沙血液中心需为辐照室配备辐射剂量巡测 1 台，一套铅衣，个人剂量仪 3 个，个人剂量报警仪 3 个，以满足工作需要；

(4) 长沙血液中心应组织拟操作血液辐照仪设备的工作人员到有资质的机构进行上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康体检，定期开展个人剂量监测，接受放射防护知识和法规培训，具备相应条件，取得辐射安全培训合格证后，方可从事放射工作。建立放射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并终生保存。放射工作人员调动工作单位时，个人剂量、健康监护档案应随其转给调入单位。

(5) 选派人员参加 2017 年湖南省环保厅举办的辐射工作人员培训班，在本项目投产前必须做到持证上岗。

(6) 尽快对辐照室门锁进行改造，保证双人双锁；防护门外设置电离辐射警告标志和工作指示灯，非相关人员不得入内。

(7) 环评报批后，及时向相关部门申请办理辐射安全许可证。

(8) 项目投入使用后，长沙血液中心须尽快开展竣工验收。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日

附图附件

附件

附件 1: 委托书

附件 2: 血站执业许可证

附件 3: 现状检测报告

附件 4: 《辐射事故应急预案》

附件 5: 《辐射安全责任制度》

附件 6: 《辐射防护制度》

附件 7: 《台帐管理制度》

附件 8: 《设备检修维护制度》

附件 9: 《人员培训制度》

附件 10: 《监测制度》

附件 11: 《辐照室工作制度》

附件 12: HK-III 型血液辐照仪使用说明书

附件 13: 深圳市华科核医疗技术有限公司辐射安全许可证

附件 14: 深圳市华科核医疗技术有限公司医疗器械生产许可证

附件 15: 退役源回收协议

附件 16: 退役源回收单位资质证明

附件 17: 辐射安全培训承诺书

附件 18: 辐照室屏蔽设计说明

附件 19: 《关于成立辐射安全防护管理小组的通知》长血液发[2017]19 号

附件 20: 专家意见及专家组名单

附图

附图 1: 项目地理位置示意图

附图 2: 项目外环境关系示意图

附图 3: 长沙血液中心一层平面布置图

附图 4: 辐照室施工图

附图 5: 现场照片