

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物	8
表 6 评价依据	9
表 7 保护目标与评价标准	11
表 8 环境质量和辐射现状	16
表 9 项目工程分析与源项	18
表 10 辐射安全与防护	24
表 11 环境影响分析.....	29
表 12 辐射安全管理.....	43
表 13 结论与建议	48
表 14 审批.....	51

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙南雅医院有限公司核技术利用扩建项目				
建设单位		长沙南雅医院有限公司				
法人代表		刘婷江	联系人	孔顺	联系电话	15211093511
注册地址		宁乡市玉潭镇楚沔西路 29 号				
项目建设地点		宁乡市玉潭镇楚沔西路 29 号长沙南雅医院有限公司内				
立项审批部门		-		批准文号	-	
建设项目总投资 (万元)		2300	项目环保投资 (万元)	300	环保投资 比例	13.0%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²)	667.5
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 长沙南雅医院有限公司于 2013 年 05 月注册成立，其位于宁乡市城楚沔西路 29 号，紧靠玉潭公园，是一所二级综合医院。医院占地 78 亩，有门诊大楼、住院大楼等各类业务用房 2 万多平方米，先期开设编制床位 400 张。医院开设的科室有预防保健科、内科、外科、妇产科、儿科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、急诊医学科、康复医学科、麻醉科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科等。 (二) 项目由来 长沙南雅医院有限公司现有 3 台 DR、1 台 CT、1 台牙科 X 光机、1 台小 C 型臂，均属于 III 类射线装置，已办理了辐射安全许可证（证书编号：湘环辐证[00397]），见附件 3。为满足患者治疗需要，促进医院科室全面协调发展，长沙南雅医院有限公司拟新建放疗中心，并在放疗中心新增一套 IMRT 医用电子直线加速器系统（Precise）、一					

台 CT。

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》等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，长沙南雅医院有限公司核技术利用扩建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，长沙南雅医院有限公司委托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《长沙南雅医院有限公司核技术利用扩建项目环境影响报告表》。

（三）项目建设规模

1.项目名称：长沙南雅医院有限公司核技术利用扩建项目。

2.建设单位：长沙南雅医院有限公司。

3.建设地点：宁乡市玉潭镇楚沅西路 29 号医院内。

4.建设内容：新建放疗中心，并一台 Elekta Precise 型医用电子直线加速器系统（最大 X 线能量 10MV 能量，电子线最大能量 18MeV）、一台西门子 Emotion16 型 CT（最大管电压 150kV，最大管电流 145mA）。

5.项目性质：相对于医院原有的核技术利用项目而言，本次为扩建项目。

（四）周边环境概况

本项目位于长沙南雅医院有限公司拟建的放疗中心。长沙南雅医院位于宁乡市玉潭镇楚沅西路 29 号，医院呈不规则形状，南雅医院东侧为楚沅西路；南侧主要为居民楼，靠近住院大楼南侧为湖南精诚实业有限公司；西侧为医院待征用地，住院楼北侧为医院已征用地（规划建设新的门诊大楼和住院大楼等）、现有门诊大楼北侧为宁乡公共汽车公司和宁乡交警大队。医院与周边环境关系详见图 1-1。

放疗中心拟布置在医院西北角，其东侧为医院住院大楼、南侧为医院拟建的专家办公楼、西侧为高压氧室和医院待征用地、北侧为医院已征用地。直线加速器机房位于放疗中心 1F 东南角，其东侧和南侧为放疗中心墙体，西侧为加速器控制室、工具室和水冷机房，北侧为大厅，底部为泥土层，楼上无建筑。CT 机房位于放疗中心 1F 西北角，其东侧为大厅，南侧为 CT 控制室，西侧和北侧为放疗中心墙体，底部为泥土层，楼上

为会议室。

项目地理位置见附图 1，放疗中心平面布置见附图 2。

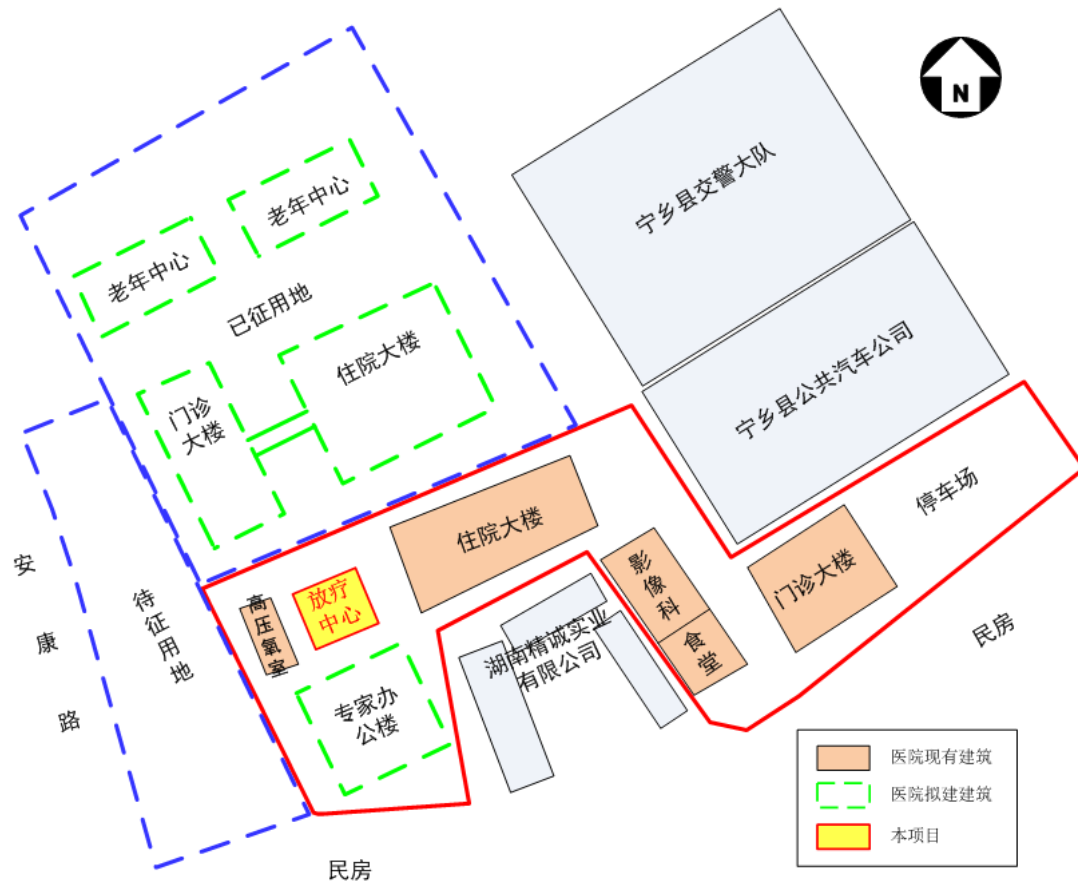


图 1-1 项目周边环境关系示意图

(五) 现有核技术利用项目基本情况

(1) 现有核技术利用项目环评情况及许可情况

长沙南雅医院有限公司于 2014 年 12 月 9 日取得了辐射安全许可证（证书编号：湘环辐证[00397]），其允许使用的Ⅲ类射线装置包括 3 台 DR、1 台 CT、1 台牙科 X 光机、1 台小 C 型臂，根据医院实际目前实际已经投入使用的有 2 台 DR（一台位于影像科、一台位于体检中心）、1 台牙科 X 光机（位于影像科）、1 台小 C 型臂（位于手术室），另有一台 DR 和一台 CT 计划购入中，拟放置于现有影像科内。医院已取得辐射安全许可的设备情况见详表 1-1：

表 1-1 医院现有Ⅲ类射线装置情况一览表

序号	设备名称	设备型号	最大管电压 (KV)	最大管电流 (mA)	套数	使用位置	使用情况	许可情况
1	DR	BTR-X640	150	630	1	影像科	在用	已许可
2	DR	BTR-C	150	630	1	体检中心 (门诊楼 5F)	在用	已许可
3	DR	BTR-X640	150	630	1	影像科	未购	已许可
4	CT	64 排	130	345	1	影像科	未购	已许可
5	牙科 X 光机	Pan eXam	77	10	1	影像科	在用	已许可
6	小 C 型臂	Compact L	110	20	1	手术室 (住院楼 5F)	在用	已许可

(2) 医院辐射安全管理现状

长沙南雅医院有限公司严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①医院已建立《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《辐射监测计划》、《辐射应急预案》、《人员培训制度》、《设备检修维护制度》、《台帐管理制度》等，并严格按照规章制度执行。

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

③医院从事辐射工作人员定期参加了环保部门组织的上岗培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，提高守法和自我防护意识。辐射工作期间，辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。

④医院放射性场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯。

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

(3) 现有放射工作人员情况

医院现有 6 名放射工作人员，开展了辐射安全知识培训、个人剂量监测。个人剂量监测数据结果表明，医院现有的放射工作人员的监测期间（2016.10.1-2017.9.30）剂量最高为 0.68mSv，能保证年有效剂量低于 2mSv 的目标管理值。6 名放射工作人员均已

取得辐射安全与防护培训合格证书（见附件5）。

（六）医院其他拟建核技术利用项目基本情况

医院拟将住院大楼 4F 手术室改造为 DSA 手术室，并配置一台 Artis One 型 DSA，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA。目前正在办理环评手续。

（七）产业政策符合性

本项目使用的电子加速器、伽玛射线装置属于《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》“鼓励类”中第六项“核能”中第 6 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。使用的其他三类射线装置属于《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》“鼓励类”中第十三项“医药”中第 6 款“新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及机械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

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
-	-	-	-	-	-	-	-	-

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
1	直线加速器	II类	1台	Elekta Precise	电子	X线射线 10MV 电子射线 18MeV		治疗	放疗中心	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

（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	CT	III类	1台	Emotion16	150	145	放射诊断	放疗中心	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

（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
-	-	-	-	-	-	-	-	-

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 682 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，2014 年 7 月 29 日修正）； 6. <u>《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环保部令第 44 号；</u> 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. <u>《射线装置分类办法》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号）；</u> 10. 《放射工作人员职业健康管理辦法》，卫生部令第 55 号； 11. 《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. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 4. 《放射工作人员职业健康监护技术规范》（GBZ235—2011）； 5. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）； 6. 《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ158-2003）； 7. 《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2007）； 8. <u>《放射工作人员健康要求》（GBZ98-2017）；</u> 9. 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；

	10. 《辐射环境监测技术规范》(HG/T61-2001); 11. 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007); 12. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011); 13. 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006); 14. 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011); 15. 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);
其他	1. <u>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；</u> 2. <u>《辐射防护》(第 11 卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究,湖南省环境监测中心站，1991 年 3 年)</u> 3. <u>甲方提供的其他资料。</u>

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”。

根据本项目特点,本项目为医院核技术应用的环境影响评价,运营过程中产生的电离辐射经有效的屏蔽后对周围影响较小,且主要影响人员是射线装置所在机房临近的职业工作人员和工作场所周围的公众。因此,本项目以各机房墙体周围 50m 的区域为评价范围。项目评价范围见图 7-1。

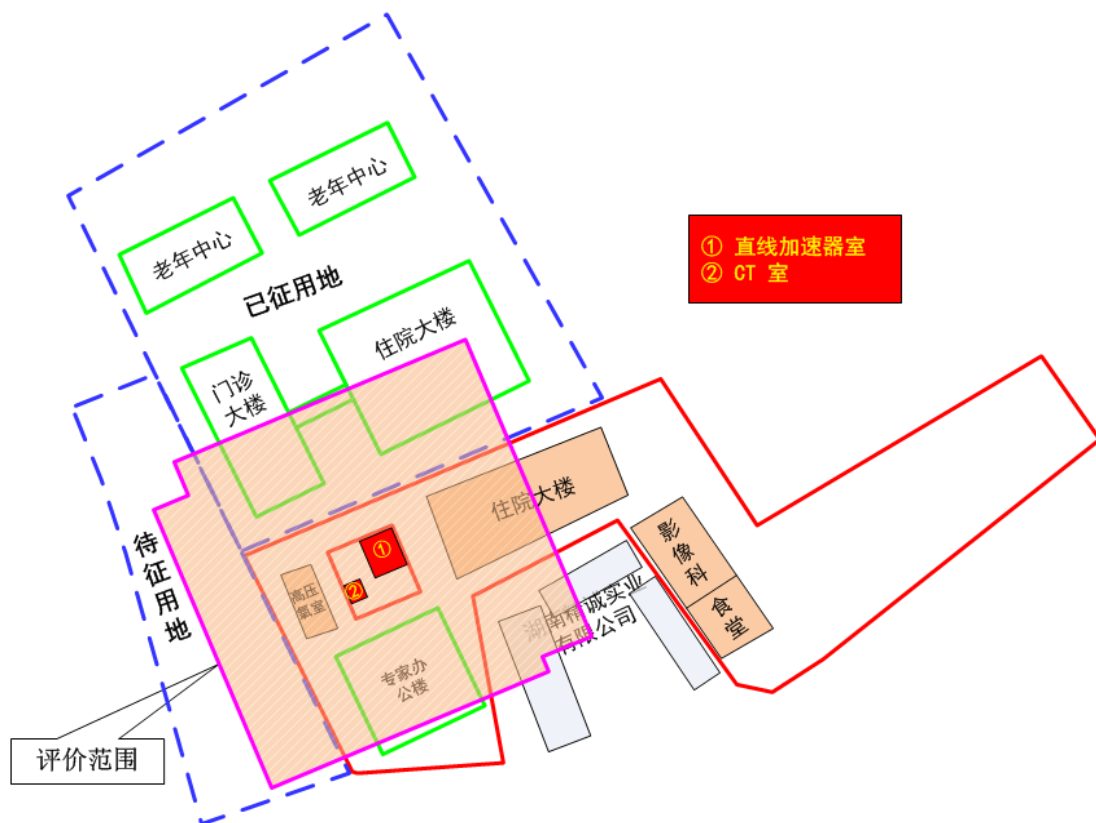


图 7-1 项目评价范围示意图

保护目标

根据本项目特点，本项目环境保护目标为辐射装置所在机房临近的职业工作人员和工作场所周围的其他非辐射工作人员以及公众，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	保护目标	人数
1	职业辐射工作人员	10
2	机房周围医院员工（非职业工作人员）	50
3	其他公众（非职业工作人员）	若干

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职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

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，本项目放射工作的人员有效剂量管理目标值为 2mSv/a。

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有效剂量管理目标值为 0.1mSv/a。

(2) 《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ130-2013)

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与安全。

5.2 每台 X 射线机(不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载 X 射线机)应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房, 其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-2 要求。

表 7-2 X 射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机	30	4.5
单管头 X 射线机	20	3.5
透视专用机、碎石定位机、口腔 CT 卧位扫描	15	3
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CT 坐位 描/ 位扫描	5	2
口内牙片机	3	1.5

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求:

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-3 要求。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上 摄影机房	3	2
标称 125kV 以下的摄影机房、口腔 CT、牙科全景机房(有头颅摄影)	2	1
透视机房、全身骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房(无头颅摄影)、乳腺机房	1	1
介入 X 射线设备机	2	2
CT 机房	2 (一般工作量) ^a 2.5 (较大工作量) ^a	

^a 按 GBZ/T 180 的要求。

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置, 机房的门和窗应有其所在墙壁相同的

防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）室顶、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

d) 带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

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、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；其余各种类型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。

本项目 CT 机房内最小有效使用面积应不小于 30m^2 、机房内最小单边长度不小于 4.5m；CT 机房屏蔽防护铅当量不小于 2.5mm；在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门必须与加速器联锁。

6.1.9 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

(4) 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)《放

**射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》
(GBZ/T201.2-2011) (节选)**

①治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

按照关注点人员居留因子的下列不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$H_{c,max}$ (uSv/h):

- 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $H_{c,max} \leq 2.5 \text{ uSv/h}$;
- 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $H_{c,max} \leq 10 \text{ uSv/h}$ 。

②治疗机房顶的剂量控制要求

对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100 uSv/h 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

本项目加速器机房墙和入口门外关注点剂量率控制水平为 **2.5uSv/h**; 机房顶外表面 30cm 处的剂量率控制水平为 **100 uSv/h**。

表 8 环境质量和辐射现状

（一）项目地理和场所位置

本项目位于长沙南雅医院有限公司拟建的放疗中心。长沙南雅医院位于宁乡市玉潭镇楚沕西路 29 号，医院呈不规则形状，医院东侧为楚沕西路；南侧主要为居民楼，靠近住院大楼南侧为湖南精诚实业有限公司；西侧为医院待征用地，住院楼北侧为医院已征用地（规划建设新的门诊大楼和住院大楼等）、现有门诊大楼北侧为宁乡市公共汽车公司和宁乡市交警大队。

放疗中心拟布置在医院西北角，其东侧为医院住院大楼、南侧为医院拟建的专家办公楼、西侧为高压氧室和医院待征用地、北侧为医院已征用地。直线加速器机房位于放疗中心东北角，其东侧和北侧为放疗中心墙体，南侧为加速器控制室、工具室和水冷机房，西侧为走廊。CT 机房位于放疗中心西侧，其西侧为放疗中心墙体，北侧为办公室；南侧为 CT 控制室，东侧为走廊。

（二）辐射现状监测方案

为了解医院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 6 月 15 日项目场址进行了环境 γ 辐射本底测量。

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#拟建放疗中心东侧、2#拟建放疗中心南侧、3#拟建放疗中心西侧、4#拟建放疗中心北侧、5#拟建放疗中心中部、6#住院大楼门口、7#影像科门口。监测点位布置见图 8-1。

监测日期：2017 年 6 月 15 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。

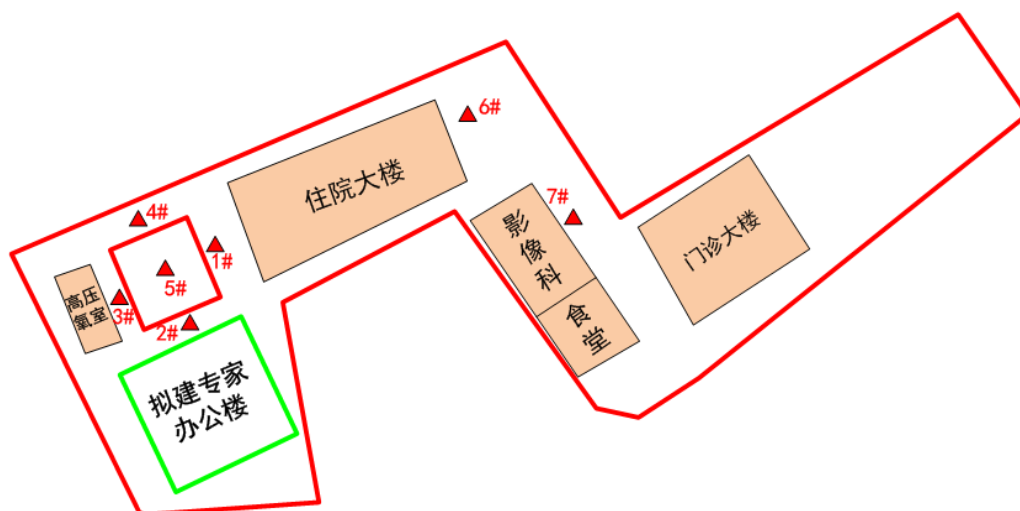


图 8-1 项目辐射环境背景监测布点示意图

(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 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	1#拟建放疗中心东侧	0.09
2	2#拟建放疗中心南侧	0.08
3	3#拟建放疗中心西侧	0.08
4	4#拟建放疗中心北侧	0.09
5	5#拟建放疗中心中部	0.11
6	6#住院大楼门口	0.08
7	7#影像科门口	0.09

根据《辐射防护》(第 11 卷, 第二期, 湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究, 湖南省环境监测中心站, 1991 年 3 年) 中辐射环境结果可知, 湖南省 X- γ 辐射空气吸收剂量率数据见表 8-2。

表 8-2 湖南省 γ 辐射空气吸收剂量率 (单位: nGy/h)

监测项目	原野	道路	室内
γ 辐射平均值	71.1 ± 24.7	70.5 ± 29.1	104.3 ± 32.0
范围	21.0-271.2	14.8-333.6	32.3-418.5

根据表 8-1 中的测量结果, 并对比表 8-2 可知, 项目所在场址的 X- γ 空气吸收剂量率处于湖南省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

长沙南雅医院有限公司拟在医院现有用地东北侧新建一栋一层放疗中心，并在放疗中心新增一套 Elekta Precise 型医用电子直线加速器系统（最大能量 18MeV）、一台西门子 Emotion16 型 CT（最大管电压 150kV，最大管电流 145mA）。

（一）电子直线加速器

1、设备基本概况

长沙南雅医院有限公司拟在放疗中心新增一台 Elekta Precise 型医用电子直线加速器系统，设备基本参数见下表：

表 9-1 Elekta Precise 型医用电子直线加速器基本参数一览表

序号	名称	指标
1	X 线能量	6M/10MV
2	电子线能量	6 档可选（6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15 MeV、1 MeV），最高 18MeV
3	最大照射	40cm×40cm
4	机架旋转角度	365 度，顺时针和逆时针方向，显示误差不大于 0.1
5	主射线最大出束角度	半角 14 度
6	外形尺寸	3558mm（长）×3868mm（宽）×2488mm（高）

2、设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由行波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型直线加速器内部结构框图及外形示意图，见图 9-1 和图 9-2。

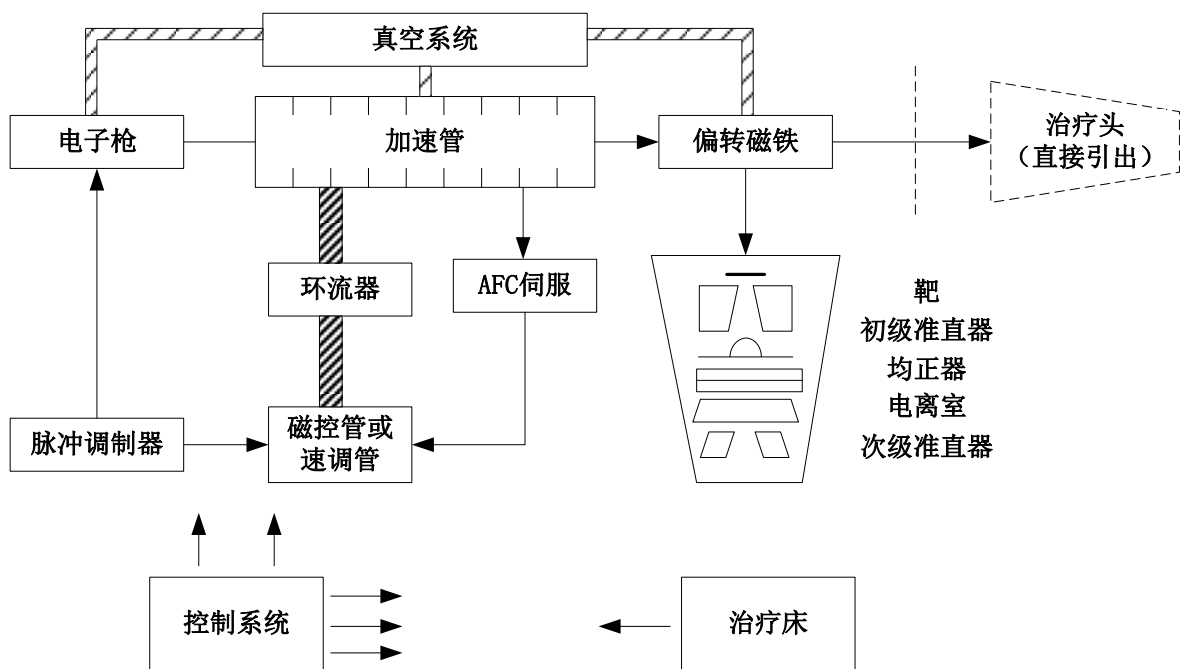


图 9-1 典型应用直线加速器内部结构框图

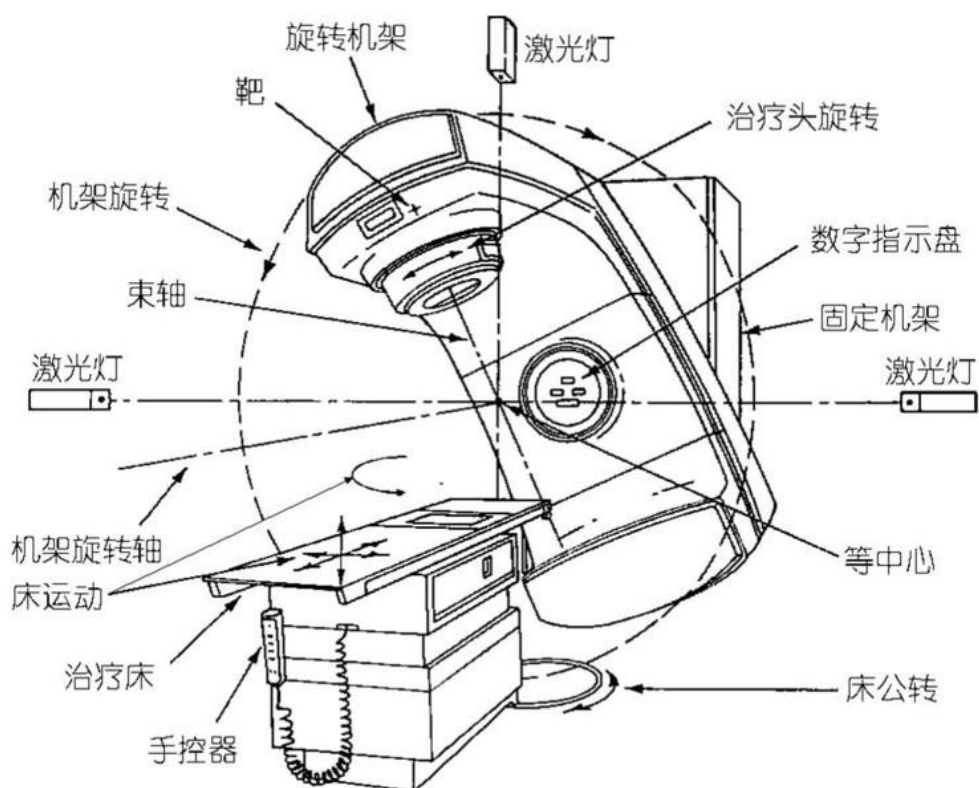


图 9-2 典型直线加速器外形示意图

3、工作原理：

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

4、操作流程

①利用医院的模拟机定位对病灶进行检查，然后进行照射方向、角度和照射视野进行拍片定位；

②制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

③固定患者体位。对患者定位、标记、调整照射角度及照射野；

④开机治疗。

（二）CT

1、设备基本概况

长沙南雅医院有限公司拟在放疗中心新增一台西门子 Emotion16 型 CT，属于医用 III 类射线装置，其最大管电压 150kV，最大管电流 145mA。

2、设备结构

CT 机是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。由于扫描速度快，扫描层厚薄，重建的 CT 图像质量较高。临床医师在 CT 横断面图像上逐层勾画出肿瘤和周围重要器官的轮廓，从而确定肿瘤靶体积及其与周围重要器官的关系。并根据肿瘤侵袭的微观特点设计包含了肿瘤细胞可能侵袭的亚临床病灶的临床靶区，进一步考虑到器官运动及摆位误差的影响，设计适当的计划靶区。通过优化照射野对计划靶区的覆盖情况及避开重要器官，保证靶区接受了均匀的处方剂量并避免重要器官受到过量的照射。可以及时发现异常病变，判

断肿瘤性质，并进而确定治疗方式，布野方法及处方剂量。CT 机定位在整个直线加速器、伽玛刀定位及其治疗计划设计过程中有着重要作用。

本项目使用的 CT 属于医用诊断 X 射线机，其基本结构是由产生 X 射线的射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线“量”和“质”及曝光时间的控制装置、数字图像处理器以及为满足诊断需要而装配的各种机械辅助装置，即外围设备组成。其典型结构图见图 9-3：

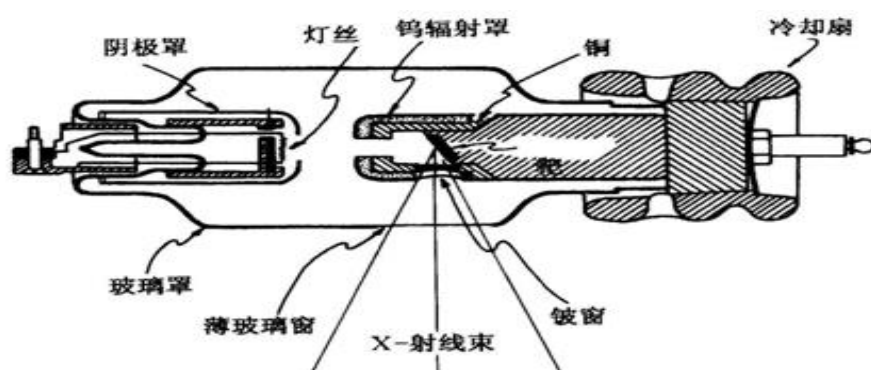


图 9-3 典型 X 射线管结构原理图

3、工作原理

X 射线管是工作在高电压下的真空二极管（阴极和阳极），阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用需要，由不同材料制成不同形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成。阴极灯丝通电加热时会“蒸发”出电子，利用聚焦杯将电子聚集成束，利用两极间的高电压将电子束加速，被加速的高速电子径直射向嵌在金属阳极中的靶体，受靶面突然阻挡而产生 X 射线。X 射线管的管电压决定 X 射线的光子能量，管电流决定 X 射线的光子数量。

X 射线具有较强的穿透能力，能够透过人体，且在不同组织间的穿透能力不同，透过人体的 X 射线能使荧光屏、电子暗盒或感光胶片显影，医生可借此来观察内脏形态变化、器官活动情况等，辅助临床诊断。

4、操作流程

放射工作人员接到检查申请后，首先引导受检查者进入机房。根据检查部位的不同摆位，工作人员离开机房，关闭机房门，进行扫描、摄影或透视等检查，检查完成后，工作人员进入机房，引导病人离开机房。

污染源项描述

（一）建设、安装过程的污染源项分析

本项目需新建放疗中心，污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。项目建设过程中，医院的医疗服务工作仍将正常进行。施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对医院自身环境以及周围的环境带来较大影响。

施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

1、扬尘及防治措施

为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应加强施工现场管理，应进行适当的加湿处理。

2、废水及防治措施

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

3、噪声及防治措施

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

4、固体废物及防治措施

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

本项目工程量小，施工期短，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目对外界的影响小。

此外，加速器和 CT 在安装调试过程中会产生 X 射线，但此时机房已建成，具有足够的辐射屏蔽能力，不致对环境产生明显的影响。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

（二）运行期间正常工况下污染源分析

1、直线加速器

本项目拟使用的电子加速器最大 X 线能量为 10MV，最大电子线能量为 18MeV，

该加速器可以提供 X 线和电子线 2 种射线能量用于肿瘤治疗。在用 X 线治疗时主要污染因子为 X 射线，用电子线治疗时主要污染因子为电子，这种 X 射线和电子是随机器的开关而产生和消失的。

当加速器所发射的高能量 X 射线或电子射线照射到物质材料（如加速器设备的真空管壁、波导管壁、金属靶、准直器、均整器和治疗机头的屏蔽材料以及病床等）时，将通过 (γ, n) 或 (e, n) 核反应产生中子。

当加速器产生的高能量射线照射在设备的结构材料、治疗室内的各种设备、器械、空气和墙壁等物质上时，可以产生感生放射性。一般情况下，当韧致辐射光子能量高于光核反应的阈能时，感生放射性才会出现。在其电子能量较低时（ $<5\text{MeV}$ ），感生放射性基本可以忽略。

此外，直线加速器工作时还会产生少量臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。

2、CT

由 CT 的工作原理可知，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线，产生 X 射线辐射污染，由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题，医院使用的 X 射线机采用激光打印，无洗片废水及废片产生。因此，在 CT 开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。同时，射线装置运行时，X 射线与空气相互作用，可使机房内空气电离，产生少量臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。

（三）运行期事故工况下污染源分析

（1）在工作状态误入射线装置工作场所，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

（2）操作的医生或护士未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

（3）检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

(一) 工作场所布局

本项目拟新增一台直线加速器以及一台 CT，全部放置于新建的放疗中心 1F。

直线加速器机房位于放疗中心 1F 东南角，其东侧和南侧为放疗中心墙体，西侧为加速器控制室、工具室和水冷机房，北侧为大厅，底部为泥土层，楼上无建筑。

CT 机房位于放疗中心 1F 西北角，其东侧为大厅，南侧为 CT 控制室，西侧和北侧为放疗中心墙体，底部为泥土层，楼上为会议室。

(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，将辐射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：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

(2) 监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的指定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作的状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

本项目控制区包括加速器机房和 CT 机房。监督区包括加速器控制室、CT 机控制室以及周围临近区域，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

1、加速器机房

加速器机房位于放疗中心一层，其四周、顶部墙体均采用密度为 2.35t/m^3 的混凝土浇筑，加速器防护门采用铅防护。加速器机房采用机械送风、机械排风。加速器机房防

护设计见表 10-1、图 10-1、图 10-2。

表 10-1 加速器机房屏蔽参数一览表

加速器 机房	指标		参数	
	<u>几何尺寸</u> (不含迷道)	<u>长×宽×高</u>	<u>13000mm×10300mm×4900mm</u>	
		<u>机房净面积</u>	<u>133.9m²</u>	
		<u>机房容积</u>	<u>652.5m³</u>	
	<u>屏蔽体厚度</u>	<u>东墙</u>	<u>主防护</u>	<u>3000mm 砼，宽度 4000mm</u>
			<u>次防护</u>	<u>1700mm 砼</u>
		<u>北墙</u>	<u>迷道内墙</u>	<u>1300mm 砼</u>
			<u>迷道外墙</u>	<u>1700mm 砼</u>
		<u>西墙</u>	<u>主防护</u>	<u>3000mm 砼，宽度 4000mm</u>
			<u>次防护</u>	<u>1700mm 砼</u>
		<u>南墙</u>		<u>1700mm 砼</u>
		<u>顶棚</u>	<u>主防护</u>	<u>2500cm 砼，宽度 4000mm</u>
			<u>次防护</u>	<u>1600cm 砼</u>
<u>机房防护门</u>		<u>18mmPb+150mm 含硼石蜡</u>		

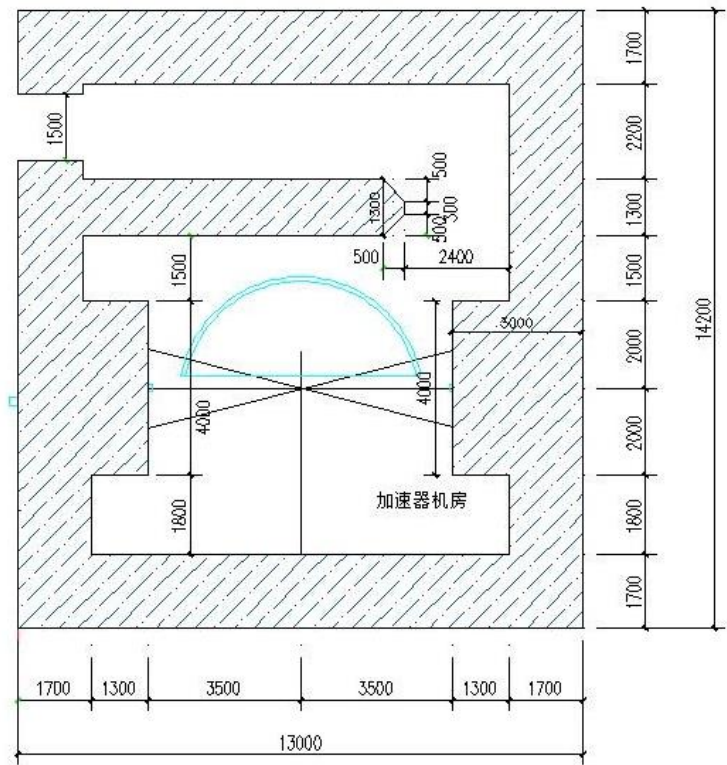


图 10-1 加速器机房防护设计平面图

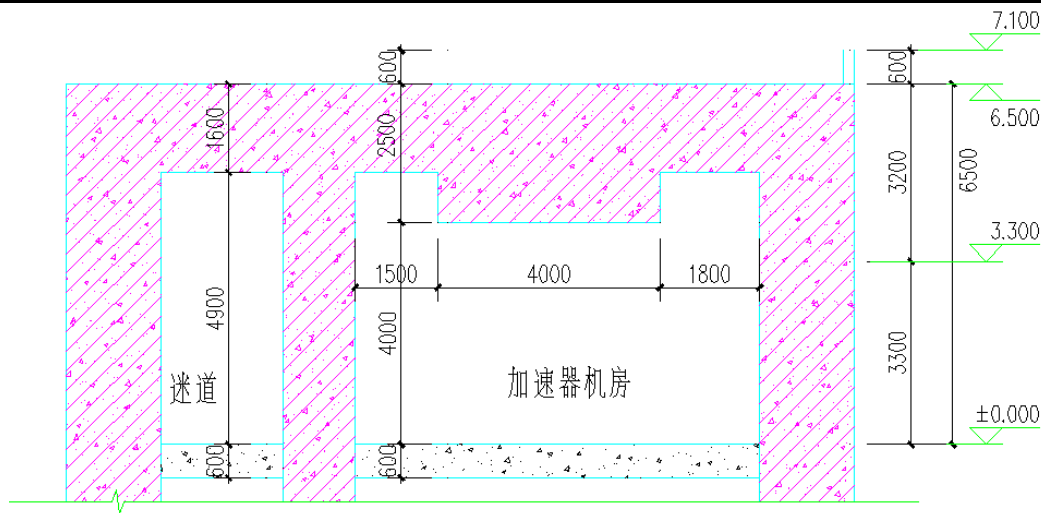


图 10-2 加速器机房防护设计剖面图

3、CT 机房

CT 机房位于放疗中心一层，其四周、顶部墙体均采用密度为 2.35t/m^3 的混凝土浇筑，观察窗采用铅玻璃，防护门采用铅屏蔽。CT 机房防护设计见表 10-2：

表 10-2 CT 机房屏蔽参数一览表

CT 机房	指标		参数
	几何尺寸	长×宽×高	6000mm×5400mm×3300mm
		机房净面积	32.4m ²
		机房容积	106.9m ³
	屏蔽体厚度	四周墙体	370mm 实心黏土砖
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	3mmPb
		观察窗	18mm 厚 ZF3 型铅玻璃

（四）辐射安全和防护措施分析

1、警示装置

1) 工作状态指示灯：各新建机房防护门上方拟设计工作指示灯以及电离辐射警告标志及其中文警示说明。用来警示人员不要进入处于工作状态的机房。

2) 拟购直线加速器机房的操作台设计了工作状态指示灯。

3) 电离辐射标志：机房的防护门上醒目位置拟贴“当心电离辐射”、“禁止入内”、“禁止停留”标志，用来提示人员不要进入处于工作状态的机房。操作室内需粘贴“戴防护眼镜”、“穿防护服”等提示标志。

2、监视、对讲装置

新建加速器机房将安装有对讲装置和摄像装置，可在操作室内监控机房内的设备或

人员活动情况。

3、安全联锁系统

加速器机房拟采取下述多重安全措施：

（1）辐照参数预选值联锁——控制台在选择各种辐照参数（辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格）之前，辐照不能启动。

（2）两道独立的剂量监测系统——每一道剂量监测系统均能独立终止辐照，当其中一道剂量监测系统发生故障时，不会影响另一道系统的功能。

（3）计时器联锁——控制台配备具有时间显示的辐照控制计时器，并能独立完成控制辐照终止系统。当辐照中断或终止后，能保持其读数，必须将计时器复零后，方能启动下一次辐照。

（4）剂量复零联锁——在正常治疗距离上，当吸收剂量率超出规定最大值不大于二倍时能终止辐照。

（5）楔形过滤器联锁——当控制台未选某一特定的楔形过滤器或当楔形过滤器定位错误时或选择操作不相符时，均能防止辐照的发生。

（6）门机联锁——当防护门处于开启状态时，加速器不能启动辐照；当加速器处于辐照状态时，一旦防护门被强迫打开，加速器能立即切断高压电源，停止出束。

（7）防护门开关——装在内、外迷道墙上（共两处），用于工作人员进出个控制。

（8）紧急停机开关——装在控制台上和机房内，用于紧急状态时终止辐照。

（9）电源钥匙开关——控制台上装有电源钥匙开关，专用钥匙由专人保管，只有钥匙在“开”的位置，才能接通电源，启动加速器。

加速器安全联锁系统评价：上述设备的安全联锁系统需定期进行检查，由医院一个月自行检查一次，使其能保持正常工作。保持长期运行的可靠性和稳定性，方可保护操作人员的辐射安全，消除辐射事故和病人过剂量照射的隐患。

5、辐射防护用品

医院应严格规定相关辐射工作人员在辐射工作中做好个人的放射防护，并配备铅围脖、防护巾和防护服等防护用品、用具以达到辐射防护的目的，本项目中医院需配备的

防护用品见表 10-3。

表 10-3 医院新增辐射防护用品一览表

序号	防护用品	数量	备注
1	固定式剂量报警仪	2 台	新增
2	便携式剂量报警仪	1 台	新增
3	铅衣	2 套	新增
4	铅围脖	2 套	新增
5	铅帽	2 套	新增
6	个人剂量计	按医务人员每人配备一个	新增

三废的治理

本项目中各机房均采用机械排风系统,产生的臭氧和氮氧化物量很少,通风后排放,通过大气稀释后,对环境影响很小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物及设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。

1、扬尘及防治措施

主要为放疗中心建设过程中产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，施工单位应加强施工现场管理，并进行适当的加湿处理。

2、废水及防治措施

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

3、噪声及防治措施

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

4、固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。

此外，设备安装及调试过程也会产生放射性污染，因此各放射治疗及诊断设备的安装应请专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在治疗室门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

运行阶段对环境的影响

（一）评价原则

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。

（二）直线加速器机房辐射防护评价

(1) 关注点

本项目直线加速器机房为上一层建设,有用线束不向迷路照射,采用密度为 2.35t/m^3 的混凝土结构屏蔽, 加速器机房关注点见表 11-1 和图 11-1。

表 11-1 加速器机房关注点一览表

序号	关注点		关注点描述	路径
1	主屏蔽区	a	西主屏蔽墙外 30cm	o_2 -a
2		b	东主屏蔽墙外 30cm	o_1 -b
3		l	顶棚主屏蔽墙外 30cm	o_3 -l
4	次屏蔽区	c_1	西次屏蔽墙外 30cm	o - c_1
5		c_2	西次屏蔽墙外 30cm	o - c_2
6		d_1	东次屏蔽墙外 30cm	o - d_1
7		d_2	东次屏蔽墙外 30cm	o - d_2
8		m_1	顶棚次屏蔽墙外 30cm	o - m_1
9		m_2	顶棚次屏蔽墙外 30cm	o - m_2
10	侧屏蔽区	e	侧屏蔽墙外 30cm	o -e
11	迷路内墙	g	迷路内墙外 30cm	o -g
12	迷路外墙	k	迷路外墙外 30cm	o -k
13	防护门	g	防护门外 30cm	o -i-g

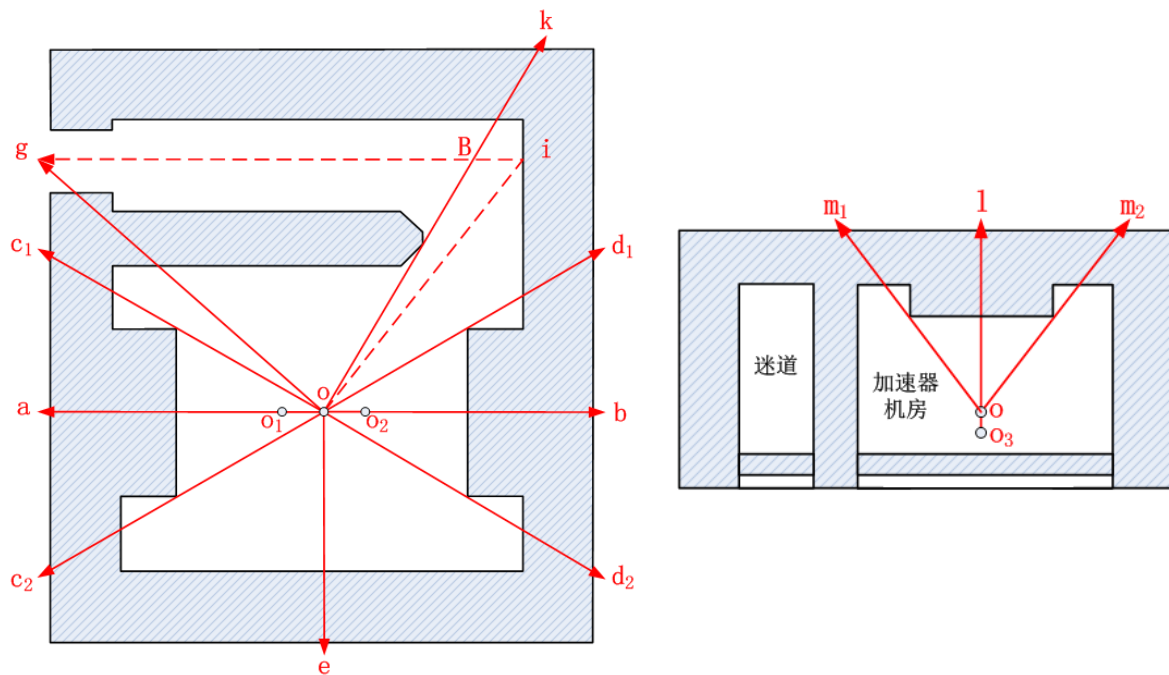


图 11-1 加速器机房关注点示意图

(2) 计算公式

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》

(GBZ/T201.1-2007) 中的公式进行计算, 具体如下:

①有用线束和泄漏辐射的屏蔽透射因子估算:

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 11-1})$$

式中:

$\dot{H}_c$ —— 参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ (以 $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7); 本项目直线加速器的剂量率为 70~600cGy/min, 本评价取 600cGy/min。

R —— 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f —— 对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射为泄漏辐射比率。

②患者一次散射辐射的屏蔽透射因子估算:

$$B = \frac{\dot{H}_c \bullet R_s^2}{\dot{H}_0 \bullet a_{ph} \bullet (F/400)} \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

$\dot{H}_c$ —— 参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

R_s —— 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

a_{ph} —— 患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子;

F —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 。

③加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

a) 入口 g 处的散射辐射剂量率

$$H_g = \frac{a_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{a_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \quad (\text{式 11-3})$$

式中:

H_g —— 入口处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} —— 患者 400cm^2 面积上的散射因子;

F —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —— 砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45° , 散射角为 0° ;

A —— i 处的散射面积; m^2 ;

R_1 —— “o-i” 之间的距离, m ;

R_2 —— “i-g” 之间的距离, m ;

H_o —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

b) g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 防护门需要的屏蔽投射因子 B 按下式计算:

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

H_{og} —— o_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_c —— 参考点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_g —— g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 总中子注量 Φ_B

等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点 B 的总中子注量 Φ_B 按下式计算:

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4d_1^2\pi} + \frac{5.4Q_n}{2S\pi} + \frac{1.26Q_n}{2S\pi} \quad (\text{式 11-5})$$

式中:

Φ_B —— 等中心 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/ m^2)/ Gy ;

Q_n —— 在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 中子数/ Gy ;

d_1 —— 等中心点至交点 B 的距离, m ;

S —— 治疗机房的总内表面积, 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积, m^2 。

d) 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 ($\dot{H}_\gamma$)

机房入口门外 30cm 处无防护门时中子俘获 γ 射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按下式计算:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/\text{TVD}} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-6})$$

式中:

Φ_B —— 等中心 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, (中子数/ m^2);

d_2 —— B 点至机房入口 (g) 的距离, m;

TVD —— 什值距离, m;

$\dot{H}_0$ —— 等中心点处治疗 X 射线剂量率, μGyh ;

e) 机房入口的中子剂量率 ($\dot{H}_n$)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率 $\dot{H}_n$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按下式计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-7})$$

式中:

S_0 —— 迷路内口的面积, m^2 ;

S_1 —— 迷路横截面积, m^2 ;

d_2 —— B 点至机房入口 (g) 的距离, m;

T_n —— 什值距离, m, 按 $T_n = 2.06\sqrt{S_1}$ 计算;

f) 入口门屏蔽

对中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽, 所需屏蔽防护厚度 X_γ 和 X_n 如下式所示:

$$X_\gamma = \text{TVL}_\gamma \cdot \log[2 \dot{H}_\gamma / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og})] \quad (\text{式 11-8})$$

$$X_n = \text{TVL}_n \cdot \log[2 \dot{H}_n / (\dot{H}_c - \dot{H}_{og})] \quad (\text{式 11-9})$$

式中:

TVL_γ 、 TVL_n ——分别为中子俘获 γ 射线和中子在两种屏蔽材料中的什值层，cm；

H_{og} —— o_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在g处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c ——参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ 。

当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \bullet 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \bullet 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} \bullet B_{og} \quad (\text{式 11-10})$$

式中：

B_{og} ——防护门对 H_{og} 的屏蔽透射因子，在 H_{og} 相对g处的总剂量率较小时，可以忽略。

④屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-11})$$

式中：

B ——辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，cm。

⑤有效屏蔽厚度

$$X = X_e \bullet \cos\theta \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

X ——屏蔽物质厚度，cm；

X_e ——有效屏蔽物质厚度，cm；

θ ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

⑥主屏蔽区宽度

$$Y_p = 2[(a + SAD)\tan\theta + 30] \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，cm；

SAD ——源轴距，cm；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中心的轴线）；

a —— 等中心点至墙的距离，cm。

(3) 屏蔽核算

①主屏区

主屏蔽区屏蔽厚度按有用线束估算，关注点为图 11-1 中的 a 、 b 、 l 点，采用式 11-1、式 11-11 和式 11-12 进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-2 主屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		a	b	l
计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	100
	H_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
	R (m)	6.8	6.8	6.4
	f	1	1	1
	θ ($^\circ$)	0	0	0
	TVL_l (cm)	41	41	41
	TVL (cm)	37	37	37
计算结果	X (cm)	245	245	187
设计厚度 (cm)		300	300	250
是否满足		满足	满足	满足

根据计算可知，项目各主屏蔽墙屏蔽厚度设计合理，可以满足防护要求。

②主屏蔽区的宽度估算

根据式 11-7 进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-3 主屏蔽区宽度估算参数及结果一览表

主屏蔽墙	计算参数			计算结果		是否满足
	SAD (cm)	θ ($^\circ$)	a (cm)	Y_p (cm)	设计值 (cm)	
西主屏蔽墙	100	14	350	285	400	满足
东主屏蔽墙	100	14	350	285	400	满足
顶棚主屏蔽墙	100	14	300	260	400	满足

根据上表可知，本项目加速器机房主屏蔽墙设计宽度可满足防护要求。

③与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

根据 GBZ/T201.2-2011，次屏蔽区屏蔽厚度按有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射以及加速器的泄漏辐射估算，屏蔽厚度取两者间较厚者。根据 GBZ/T201.2-2011，次屏蔽区屏蔽厚度估算时，式中 H_c 以 $0.5H_c$ 代替，即东、西侧次屏蔽区以 $1.25\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制、顶棚次屏蔽区以 $50\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制。与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区关注点为图 11-1 中的 c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 、 m_1 、 m_2 点，采用式 11-1、式 11-2、式 11-11 和式 11-12 进行估算，次屏蔽区计算参数和计算结果见下表：

表 11-4 次屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		C_1	C_2	d_1	d_2	m_1	m_2
计算参数	H_c ($\mu\text{ Sv/h}$)	1.25	1.25	1.25	1.25	50	50
	H_o ($\mu\text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8					
	R (m)	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7
	f	0.001					
	θ ($^\circ$)	30	30	30	30	30	30
	α_{ph}	3.18×10^{-3}					
	F (m^2)	1600					
	90° 泄漏辐射 TVL_l (cm)	35					
	90° 泄漏辐射 TVL (cm)	31					
	30° 散射辐射 TVL (cm)	28					
估算结果	泄漏辐射 X (cm)	103	103	103	103	60	60
	散射辐射 X (cm)	116	116	116	116	71	71
	所需厚度 X (cm)	116	116	116	116	71	71
设计厚度 (cm)		170	170	170	170	160	160
是否满足		满足	满足	满足	满足	满足	满足

根据上表计算结果可知，项目次屏蔽墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

④侧屏蔽墙

侧屏蔽墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，关注点为图 11-1 中的 e 点，采用式 11-1、式 11-11 和式 11-12 进行估算，估算参数和估算结果见下表：

表 11-5 侧屏蔽墙计算参数及结果一览表

关注点		e
计算参数	H_c ($\mu\text{ Sv/h}$)	2.5
	H_o ($\mu\text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	R (m)	5.8
	f	0.001
	θ ($^\circ$)	0
	TVL_l (cm)	35
	TVL (cm)	31
估算结果	X (cm)	117
设计厚度 (cm)		170
是否满足		满足

根据上表计算可知，项目侧屏蔽墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑤迷路内墙屏蔽估算

迷道内墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，关注点为图 11-1 中的 g 点，采用式 11-1、式 11-11 和式 11-12 进行估算。根据 GBZ/T201.2-2011，当迷路入口以 2.5 入 Sv/h 剂量率控制时，穿过迷路内墙在 g 处的泄漏辐射剂量率应小于其 1/4，取 0.5 漏 Sv/h。辐射源点和计算点的连线与垂线夹角为 45 射，当加速器入射屏蔽体的斜角大于 40 加时，屏蔽体

对辐射衰减中“累积因子”增大，斜角仍按 30° 计算，则迷道内墙估算结果见下表：

表 11-6 迷路内墙屏蔽厚度计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	0.5
	H_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	R (m)	9.8
	f	0.001
	θ (°)	30
	TVL_1 (cm)	35
	TVL (cm)	31
估算结果	X (cm)	108
设计厚度 (cm)		130
是否满足		满足

根据上表计算结果可知，项目迷道内墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑥迷路外墙

迷道外墙屏蔽厚度按泄漏辐射估算，关注点为图 11-1 中的 k 点，采用式 11-1、式 11-11 和式 11-12 进行估算。估算迷道外墙屏蔽的参数及估算结果见下表：

表 11-7 迷路外墙屏蔽厚度计算参数及结果一览表

关注点		k
计算参数	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5
	H_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
	R (m)	10.4
	f	0.001
	θ (°)	0
	TVL_1 (cm)	35
	TVL (cm)	31
估算结果	X (cm)	123
设计厚度 (cm)		170
是否满足		满足

根据上表计算结果可知，项目迷道外墙厚度设计合理，可以满足防护要求。

⑦防护门计算

考虑 X 射线时，防护门屏蔽厚度按散射辐射估算，关注点为图 11-1 中的 g 点，采用式 11-3、11-4、式 11-11 和式 11-12 进行估算。防护门屏蔽的参数及估算结果见下表：

表 11-8 防护门屏蔽厚度计算参数及结果一览表 1

关注点		g
计算参数	α_{ph}	1.35×10^{-3}
	$F \text{ (cm}^2\text{)}$	1600
	α_2	5.1×10^{-3}
	$A \text{ (m}^2\text{)}$	14
	$R_1 \text{ (m)}$	6.7
	$R_2 \text{ (m)}$	11.6
	$H_o \text{ (}\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h)}$	3.6×10^8
	$TVL \text{ (cm) 铅}$	0.5
	$TVL_1 \text{ (cm) 铅}$	0.5
	$H_c \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$	2.5
	$H_{og} \text{ (}\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h)}$	0.5
估算结果	$X \text{ (cm)}$	0.9
设计厚度		1.8
是否满足		满足

考虑机房入口的中子俘获 γ 射线剂量率和中子剂量率，防护门屏蔽厚度按式 11-5~式 11-10 估算，计算参数及估算结果见下表：

表 11-9 防护门屏蔽厚度计算参数及结果一览表 2

关注点		g
计算参数	$Q_n \text{ (中子数/Gy)}$	0.08×10^{12}
	$d_1 \text{ (m)}$	6.96
	$S \text{ (m}^2\text{)}$	188.66
	$TVD \text{ (m)}$	3.9
	$d_2 \text{ (m)}$	10.4
	$H_o \text{ (}\mu\text{Gyh)}$	3.6×10^8
	$S_o \text{ (m}^2\text{)}$	11.76
	$S_1 \text{ (m}^2\text{)}$	10.78
	$d_2 \text{ (m)}$	10.4
	$T_n \text{ (m)}$	6.76
	$TVL_{\gamma} \text{ (cm)}$	3.1
	$TVL_n \text{ (cm)}$	4.5
	$H_{og} \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$	0.5
	$H_c \text{ (}\mu\text{Sv/h)}$	2.5
估算结果	$X_{\gamma} \text{ (cm)}$	-
	$X_n \text{ (cm)}$	5.3
设计厚度	$X_{\gamma} \text{ (cm)}$	1.8
	$X_n \text{ (cm)}$	15
是否满足		满足

根据上表计算结果可知，项目加速器机房防护门设计合理，可以满足防护要求。

⑧加速器机房屏蔽估算小结

本项目加速器机房屏蔽估算结果统计见下表：

表 11-10 加速器机房屏蔽估算结果一览表

屏蔽部位		设计材料	估算厚度 (cm)	设计厚度 (cm)	是否满足 屏蔽要求
东侧	主屏蔽墙 (b)	密度 2.35t/m ³ 混凝土	240	300	满足
	主屏蔽墙宽度		285	400	满足
	次屏蔽墙 (d ₁ 、d ₂)		116	170	满足
西侧	主屏蔽墙 (a)		240	300	满足
	主屏蔽墙宽度		285	400	满足
	次屏蔽墙 (c ₁ 、c ₂)		116	170	满足
北侧	迷路内墙 (g)		103	130	满足
	迷路外墙 (k)		123	170	满足
南侧	侧屏蔽墙 (e)		117	170	满足
顶棚	主屏蔽墙 (l)		247	300	满足
防护门 (g)		铅门	0.9	1.8	满足

由上表可知，本项目加速器机房屏蔽防护设计满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）相关要求。

在顶棚和防护门采用设计的屏蔽防护要求后，各关注点剂量率见下表：

表 11-11 采取有效措施后各加速器机房关注点剂量率一览表

关注点	估算值	标准值	是否满足标准
a	0.08	2.5	满足
b	0.08	2.5	满足
l	1.97	100	满足
c ₁	0.05	1.25	满足
c ₂	0.05	1.25	满足
d ₁	0.05	1.25	满足
d ₂	0.05	1.25	满足
m ₁	0.11	50	满足
m ₂	0.11	50	满足
e	0.05	2.5	满足
迷路内墙 g	0.07	0.5	满足
机房入口 g	0.61	2.5	满足
k	0.02	2.5	满足

由上表可知，在采取设计的屏蔽防护措施后，加速器机房各关注点剂量率均能满足标准要求。

⑨废气

X 射线与空气作用，会产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，直线加速器室抽风机排风量 2000m³/h，通风换气次数大于 4 次/h 的条件下，臭氧和氮氧化物浓度为甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外环境空气质量。

（三）CT 机房辐射防护评价

本项目拟在放疗中心新增一台 16 排 CT（最大管电压 150kV，最大管电流 145mA），本报告对照 GBZ130-2013 对其辐射防护进行评价，详见下表：

表 11-12 CT 机房辐射防护评价一览表

评价项目		设计情况	标准要求	是否满足 标准要求
机房内最小有用面积		32.4m ²	30m ²	满足
机房内最小单边长度		5.4m	4.5m	满足
屏蔽 防护 要求	四周 墙体	370mm 实心黏土砖， 约 3mmPb	2mmPb（一般工作量） 2.5 mmPb（较大工作量）	满足
	顶板	250mm 混凝土， 约 2.9mmPb		满足
	观察窗	18mm 厚 ZF3 型铅玻 璃，约 4mmPb		满足
	防护门	3mmPb		满足

根据上表可知，本项目 CT 机房屏蔽防护设计满足 GBZ130-2013 中的要求。

（四）项目运行对周围保护目标可能造成的辐射影响

本项目工作人员和公众人员受到 X-γ 射线产生的外照射所致的年有效剂量采用以下公式进行估算：

$$He = Dr \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-15})$$

式中：

He —— X、γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv/a；

Dr —— X、γ 射线空气吸收剂量率，μSv/h；

T —— 居留因子

t —— X、γ 射线照射时间，h/a；

根据医院提供资料，预计加速器最大工作量为 2500 人次/a，平均每次照射时间约 5min，则年本项目直线加速器年照射时间为 208h/a。根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），不同场所居留因子不同，结合 GBZ/T201.1-2007 与本项目实际情况，加速器机房东侧和南侧为医院道路，属于偶然居留区，居留因子取 1/16；西侧控制室属于全居留场所，居留因子取 1；机房北侧为大厅属于偶然居留场所，居留因子取 1/8；机房防护门外属于偶然居留场所，居留因子取 1/8。本项目人员的年附加有效剂量估算结果见表 11-13。

表 11-13 人员年附加有效剂量估算结果一览表

设备	人员类别	场所	D_r	t	T	H_e	评价标准值 (mSv/a)
加速器	工作人员	西侧控制室	0.08	208	1	0.017	2
	公众	防护门外	0.61	208	1/8	0.016	0.1
		北侧大厅	0.02	208	1/8	0.0005	0.1
		东侧医院道路	0.08	208	1/16	0.001	0.1
		南侧医院道路	0.05	208	1/16	0.0007	0.1

由表 11-12 中的人员年附加有效剂量估算结果可知，采取设计的防护措施后本项目人员年附加有效剂量符合《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。

事故影响分析

（一）直线加速器潜在事故风险与对策措施

加速器是一种将电能转换成 X 射线能的医疗设备，X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

1、直线加速器门机联锁失效

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于非关闭状态下，直线加速器仍能运行，人员进入直线加速器机房而受到照射。

处理措施：按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

2、直线加速器治疗时，工作人员、病人家属等在防护门关闭后尚未撤离治疗室。

处理措施：设置应急手动防护门。开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

3、人误

不了解直线加速器基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误（治疗过量或欠量照射）；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

预防措施：放射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强安全文化素养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

4、加速器维修时操作不当

机器维修时，维修人员误操作，给周围活动的人员造成不必要的照射。

预防措施：医院在采购加速器时应充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；维护和维修时必须由专业人员进行，决不可擅自解除联锁系统。

（二）CT 机潜在事故和对策措施

CT 机的额定管电压为 150kV，由于 X 线的照射量率与管电压和管电流有关，一般管电流增加照射量率也将增加。X 射线装置受开机和关机控制，关机时没有射线发出。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

1、工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离辐照室，X 射线装置运行可能产生误照射。

2、安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 X 射线装置辐照室。

为避免上述事故的发生，医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。同时在辐照室防护门内设置人工紧急停机及开门按钮，要求工作人员每次上班时首先要检查防护门上警示信号灯是否正常。如果警示信号灯失灵，应立即修理，恢复正常。平时应加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作。

3、滥用 X 线对病员进行诊断，造成病员受到不必要的照射。

放射工作人员必须认真考虑，只有确认该项检查、治疗对受检者的病情诊治和健康有好处时才进行 X 射线诊断。

通过采取上述预防控制措施后，项目辐射事故的发生概率将会大大降低，对环境 and 人员的影响能得到有效的控制，项目事故风险可控。

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，长沙南雅医院有限公司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 3 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	刘婷江
2	副组长	谌南武
3	成员	陶虎、廖兴、李山云

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”。从长沙南雅医院有限公司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，目前长沙南雅医院有限公司的管理人员也能满足配置要求。

长沙南雅医院有限公司设置的辐射安全与环境保护管理机构职责包括：对医院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”。长沙南雅医院有限公司现有辐射工作人员中均已参加了辐射安全与防护培训，并取得了培训合格证（见附件 5）

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，长沙南雅医院有限公司制定了相关辐射安全管理规章制度，为保证辐射工作人员和周围公众人员的健康，长沙南雅医院有限公司必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) 根据长沙南雅医院有限公司的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，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。

(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，屏蔽门上方还必须要有工作指示灯，同时警示标识的张贴必须规范。

(3) 明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生；

(4) 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，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

(5) 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，长沙南雅医院有限公司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，长沙南雅医院有限公司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。

(6) 长沙南雅医院有限公司应在今后工作中，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)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) 工作场所和周围环境监测

监测项目：X- γ 空气吸收剂量率

监测频次：每年进行一次辐射水平监测，委托有资质的单位进行，并保存监测记录；

监测点位：加速器机房屏蔽体外 30cm 处、CT 机房屏蔽体外 30cm 处。

(2) 个人监测

长沙南雅医院有限公司需对放射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，外照射个人剂量监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天，医院需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括放射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。长沙南雅医院有限公司还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。

辐射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后长沙南雅医院有限公司还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

(3) 防护性能监测

在设备初次投入使用或大修及更换关键组件时，需要委托有资质的单位进行设备防护性能检测，以保证符合有关标准的要求。

辐射事故应急

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院已制定了《辐射事故应急预案》：

(1) 医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《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》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

(2) 医院对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，必须遵照国家和地方政府有关规定，依据所操作或使用的放射源的类别、活度以及潜在事故的特性和可能后果，考虑制定辐射事故应急计划或应急程序，并按规定报当地政府有关部门审查

批准或备案。

(3) 发生辐射事故时，医院将立即启动本单位的辐射事故应急方案，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》，向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(4) 医院将切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

- ① 全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；
- ② 负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；
- ③ 加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；
- ④ 负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；
- ⑤ 负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；
- ⑥ 对可能造成超剂量照射的人员送到指定医院进行救治；
- ⑦ 负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；
- ⑧ 积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；
- ⑨ 负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在环境保护行政主管部门的指导下或自行组织演练。

(5) 各类事故报警和联系方式

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市环保局，并同时向省环保厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

湖南省环保厅：12369，0731-85698110

长沙市环保局：0731-88667850

长沙市公安局：110

环境保护竣工验收

长沙南雅医院有限公司核技术利用扩建项目竣工后，及时完成环保竣工验收，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
1	加速器机房屏蔽防护	施工厚度是否到达设计要求；机房四周屏蔽体外 30cm 处辐射水平小于 2.5 μ Gy/h；顶棚外 30cm 处辐射水平小于 100 μ Gy/h。
3	CT 机房屏蔽防护	施工厚度是否到达设计要求；在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h。
4	安全防护	工作指示和警示：机房防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标识及中文说明，并且指示灯正常工作。 安全连锁：各机房设置门灯连锁。 紧急停机装置：机房内安装紧急停机按钮。 摄像头：视野良好，可监测各机房内的情况。 <u>通风：机房内通风换气满足要求。</u> 防护用品：固定式剂量报警仪 2 台、便携式剂量报警仪 2 台、铅衣 2 套、铅围脖 2 套、铅帽 2 套、个人剂量计按医务人员每人配备一个
5	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。
6	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。设备有操作规程。

表 13 结论与建议

结论

(一) 辐射安全与防护综合结论

(1) 为满足患者治疗需要，促进医院科室全面协调发展，长沙南雅医院有限公司拟新建放疗中心，并在放疗中心新增一套 IMRT 医用电子直线加速器系统 (Precise)、一台 CT。根据现场检测，本项目场址的辐射本底水平属于正常本底范围内。

(2) 本项目所产生的主要污染因子是电离辐射危害因子 (X 射线)，一般污染因子是臭氧和氮氧化物等有害气体。

(3) 本项目工作场所分为监督区和控制区：本项目控制区包括加速器机房和 CT 机房。监督区包括加速器、CT 机控制室以及周围临近区域。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，能满足辐射防护要求。

(4) 各机房设置警示与监视、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，本项目加速器机房各屏蔽墙体及防护门均满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 相关要求。

(2) 根据分析，本项目 CT 机房有用面积、最小单边长度、屏蔽设计均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中相关要求。

(3) 根据计算分析，本项目加速器在设计条件下，工作人员职业照射最大年附加有效剂量为 0.017mSv/a，公众最大年附加有效剂量为 0.016mSv/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。

(4) 长沙南雅医院有限公司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，内容基本可行，本项目投入运行后，还需要进一步完善。

(5) 本项目使用的设备属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

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，并且医院认真贯彻落实本报告表中提到的环保措施，设备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。

建议和要求

(1) 医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测、防护性能监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并自购辐射检测设备，确保周围环境的辐射安全和职工健康。加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查；

(2) 长沙南雅医院有限公司在今后工作中，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) 应配备必要的防护用品，加强对受检者非投照部位的防护，并对必要的陪护人员进行防护。

(4) 长沙南雅医院有限公司应组织辐射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) 明确专门的部门对医院的放射工作人员统一管理，定期开展辐射防护教育。

(6) 本项目设备机房混凝土构件截面较大，对混凝土成型质量要求很高，在混凝土施工过程中必须严格控制好混凝土施工质量，严把每道检查关；各构件混凝土（墙、板）都分别为一次浇筑，除按规定应留设的施工缝，其余部位不允许留设施工缝；机房施工前应制定完备的施工方案的。屏蔽体结构浇筑混凝土前，应经过相关专业现场检验，并经监理人员认可后，方允许浇灌；为了避免射线的泄漏，进出机房的各种管道和线路均应预留、预埋，不允许成型后开孔。混凝土浇筑前应现场确认预埋件及预留洞位置、数量和方法是否满足要求。

(7) 环评取得批复且项目建成后，及时向相关部门申请变更《辐射安全许可证》。项目投入使用后，长沙南雅医院有限公司应按《建设项目竣工验收暂行办法》完成环保竣工验收工作。

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: 营业执照
- 附件 3: 现有辐射安全许可证
- 附件 4: 《长沙南雅医院关于成立辐射安全防护管理小组的通知》
- 附件 5: 辐射安全与防护培训合格证书
- 附件 6: 个人剂量检测报告
- 附件 7: 放射工作人员体检表
- 附件 8: 《辐射防护和安全保卫制度》
- 附件 9: 《操作规程》
- 附件 10: 《岗位职责》
- 附件 11: 《辐射监测计划》
- 附件 12: 《辐射应急预案》
- 附件 13: 《人员培训制度》
- 附件 14: 《设备检修维护制度》
- 附件 15: 《台帐管理制度》
- 附件 16: 现状检测报告
- 附件 17: 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: 放疗中心平面布置图
- 附图 3: 现场照片