

编号：ZFFB24220100

核技术利用建设项目

福建医科大学附属第一医院（滨海院区）

伽玛射线立体定向放射治疗系统项目

环境影响报告表

福建医科大学附属第一医院

2024 年 7 月

生态环境部监制

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	12
表 3 非密封放射性物质	12
表 4 射线装置	13
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	14
表 6 评价依据	15
表 7 保护目标与评价标准	17
表 8 环境质量和辐射现状	17
表 9 项目工程分析与源项	27
表 10 辐射安全与防护	40
表 11 环境影响分析	50
表 12 辐射安全管理	70
表 13 结论与建议	76
表 14 审批	80

表 1 项目基本情况

建设项目名称		福建医科大学附属第一医院（滨海院区）伽玛射线立体定向放射治疗系统项目				
建设单位		福建医科大学附属第一医院				
法人代表		康德志	联系人	何伟	联系电话	0591-87981189
注册地址		福建省福州市台江区茶中路 20 号				
项目建设地点		福州市长乐区华山路 999 号福建医科大学附属第一医院（滨海院区）住院楼地下一层放疗科				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		2000	项目环保投资（万元）	35.3	投资比例（环保投资/总投资）	1.77%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积(m 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	☐ II类 ☐ III类			
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类			
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类			
	其他	/				
	1.1 建设单位简介 福建医科大学附属第一医院滨海院区，地址位于福州市长乐区华山路 999 号（滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧），由福州市政府、复旦大学附属华山医院和福建医科大学附属第一医院合作共建，旨在建设成为一家集临床诊疗、教学实训、科技研发、疾病防控、健康管理为一体的现代化、高水平大型综合性国家区域医疗中心。福建医科大学附属第一医院滨海院区规划床位 1700 张，医院占地面积 230.55 亩，总建筑面积 33 万平方米，是一家综合三甲医院。					

1.2 项目由来

为更好的满足福州市及周边城区患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，拓展医院医疗诊疗项目，福建医科大学附属第一医院拟对滨海院区病房楼地下一层放疗科 1 间预留直线加速器机房进行改造，改建为 1 间伽玛射线立体定向放射治疗系统机房（简称“伽玛刀机房”），并建设配套附属用房，直线加速器暂时不再安装使用。

放疗科位于住院楼地下一层，建设内容包括：将放疗科 1 间预留直线加速器机房改建为 1 间伽玛刀机房，并建设配套附属用房。伽玛刀机房内新增 1 套多源 γ 射束立体定向放射治疗系统（型号为 CybeRay 影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统，含 13 枚 ^{60}Co 放射源，单枚最大活度 $4.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ （ $\pm 10\%$ ），放射源最总活度为 $5.77 \times 10^{14}\text{Bq}$ （ $\pm 10\%$ ），该设备具有全身伽玛刀的功能，以下简称“伽玛刀”），单枚放射源属于 I 类放射源。另外，本项目拟新增的伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，含 1 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 64mA，CBCT 图像引导系统为伽玛刀设备的辅助系统，与伽玛刀为同一台（套）设备。

为保护环境和公众利益，防治辐射污染，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关规定，该项目需进行环境影响评价，编制环境影响评价文件，并依照国家规定程序报生态环境主管部门审批。

本项目为医疗使用 I 类放射源，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》规定，本项目应当编制环境影响报告表。因此，福建医科大学附属第一医院委托中辐环境科技有限公司开展上述核技术利用建设项目的环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、收集资料、委托进行辐射环境现状监测等工作，并结合项目特点，按照《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）等规定要求编制了本报告表。

1.3 项目概况

本次核技术利用项目主要为拟将病房楼地下负一层放疗科 1 间预留直线加速器机房进行改造，改建为 1 间伽玛刀机房，并建设配套附属用房，安装使用 1 套多源 γ 射束立体定向放射治疗系统。

病房楼共 13 层，其中地下 1 层，地上 12 层。病房楼建设项目于 2018 年 11 月 20

日取得福州市长乐区环境保护局建设项目环境影响评价审批意见（长环评〔2018〕81号），并于2021年5月完成自主验收。

（1）建设内容

放疗科位于住院楼地下一层，将放疗科1间预留直线加速器机房改建为1间伽玛刀机房，并建设配套附属用房，包括1间控制室。伽玛刀机房内新增1套伽玛刀（型号为CybeRay影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统，含13枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度 $4.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ （ $\pm 10\%$ ），属于I类放射源）。另外，本项目拟新增的伽玛刀自带CBCT图像引导系统，含1台X射线装置，最大管电压150kV，最大管电流64mA，属于III类射线装置。

（2）项目组成及主要环境问题

本项目组成及主要环境问题详见表1.3-1。

表 1.3-1 项目组成及主要环境问题汇总表

名称		建设内容及规模	可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	伽玛刀机房	伽玛刀机房位于住院楼地下一层，机房尺寸为 $8.65\text{m} \times 4.35\text{m} \times 4.35\text{m}$ ，治疗室有效使用面积 73.5m^2 （不含迷路），迷路为L型迷路，有用线束不朝向迷路内墙照射。伽玛刀机房内新增1套伽玛刀（含13枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度 $4.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ （ $\pm 10\%$ ））。伽玛刀自带CBCT图像引导系统，含1台X射线装置，最大管电压150kV，最大管电流64mA	施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾、包装废物	γ 射线、X射线、废 ^{60}Co 放射源、臭氧和氮氧化物等
辅助工程	伽玛刀机房	控制室1间，面积约 15.5m^2 ，配备控制台、控制柜、UPS电源各1个。其余医生办公室、诊室、计划室等依托现有放疗科附属用房	施工机械噪声、固体废弃物等	生活废水、生活垃圾
环保工程	伽玛刀机房	伽玛刀机房设有一套独立的通排风系统，送风量为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，排风量为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房体积约 476m^3 ，通风换气次数为6次/h。排风管和新风管从防护门上方以“Z”穿越墙体。治疗室内西南侧和东南侧吊顶处各设有1个新风口，治疗室东北和西北侧距地250mm处各设1个排风口，对角设置；排风管排气口位于住院楼楼顶，并高出屋脊排放。 本项目产生的废旧 ^{60}Co 放射源由供源单位回收，交回生产单位，不在医院暂存	/	臭氧、氮氧化物、废 ^{60}Co 放射源
办公及生活设施		医生办公、休息等医护生活设施依托福建医科大学附属第一医院滨海院区现有设施。	/	生活废水、生活垃圾、医疗废物
依托工程		福建医科大学附属第一医院滨海院区现有的配电、供水、通讯系统及医疗废物收集系统、污水处理系统	/	

（3）项目主要技术参数

本项目拟使用伽玛刀主要技术参数见表 1.3-2。

表 1.3-2 伽玛刀主要技术参数

核素名称	数量	类别	状态	衰变方式	半衰期	初始活度	最大γ射线能量	空气比释动能率常数 μSv/(MBq·h)	年最大工作时间
⁶⁰ Co	13 枚	I	三层密封	β衰变	5.27 年	6.06×10 ¹⁴ Bq	1.33MeV	0.308	333.33h

注：伽玛刀初装源时额定焦点剂量率为 3Gy/min，治疗工作量最大为 20 人次/天，每周工作 5 天，平均每人在等中心处的治疗剂量为 8Gy/人次，则工作负荷 W=20×8×5=800Gy/周，则出束照射时间 t=800÷2=400min/周=6.67h/周，即 333.33h/a。

⁶⁰Co 主要发生β衰变，半衰期为 5.27 年。其衰变方式如下：

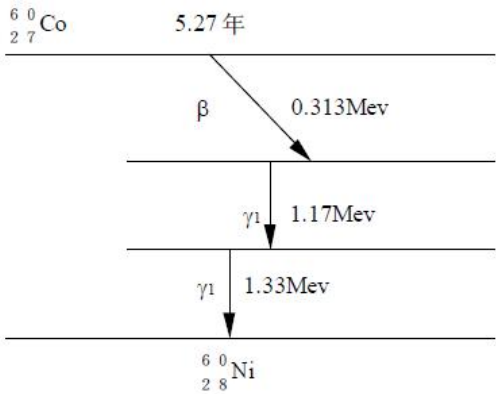


图 1.3-1 ⁶⁰Co 衰变路径图

核素 ⁶⁰Co 的物理特性表如表 1.3-3 所示。

表 1.3-3 放射性核 ⁶⁰Co 的物理特性表

核素名称	半衰期	衰变类型及其分支比 (%)	辐射能量, MeV	粒子和γ辐射总能量 MeV/衰变
⁶⁰ Co	5.27 年	β ⁻ (100)	β-0.313 (99.74%) γ1.17 (100%) 1.33 (100%)	ε _β -0.09622 ε _γ -0.0039

1.4 工作人员及工作制度

本项目放疗科实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。

放疗科拟配置辐射工作人员 6 人，由茶亭院区调配，不同岗位互不兼岗，具体人员配置情况见下表。

表 1.4-1 拟配备人员情况表

序号	工作场所		岗位	人员配置	人数 (人)
1	放疗科 伽玛刀 机房	伽玛刀控制室	操作伽玛刀	技师	2
2		办公室、诊室	问诊、出具治疗方案	医生	2
3		计划室	制定治疗计划	物理师	2

1.5 产业政策符合性分析与实践正当性分析

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 4 款中“高端放射治疗设备”，符合国家产业发展政策，属于国家鼓励类产业。

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护与安全措施，可以将项目辐射产生的影响降至尽可能低的水平，本项目建设目的是为了治病救人，运行期给患者及社会带来的利益远大于辐射危害，因此本项目符合实践正当性。

1.6 项目选址及周边保护目标

1.6.1 地理位置

福建医科大学附属第一医院滨海院区位于福州市长乐区华山路999号，地理位置见附图1。医院东侧为华山路，隔路为空地；南侧为勉斋路，隔路为福州市第二工人文化宫及公园绿地；西侧为万沙路，隔路为福州市疾病预防控制中心及空地；北侧为朗山路，隔路为保利招商海玥公馆。医院总平面见附图2。

1.6.2 项目选址及布局合理性分析

本项目伽玛刀机房位于住院楼地下一层内，住院楼东侧和南侧门诊医技楼，最近距离为13m，西侧为医院内部道路和绿地；北侧为康复科，最近距离为29m。

伽玛刀机房东侧为伽玛刀控制室和后装治疗机准备室，南侧为后装治疗机机房和通道，西侧为通道，隔通道为放疗科库房，北侧为直线加速机房，上方为住院大厅，无地下层。

因此，本项目伽玛刀机房周围 50m 评价范围内为医院内部区域，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。根据后文环境影响分析可知，经采取相应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。

本项目伽玛刀机房楼下无构筑物（土层），位于建筑物的底层，选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）关于放射治疗场所选址的相关要求，项目选址合理。

伽玛刀机房位于住院楼地下一层，无地下层。伽玛刀机房由预留直线加速器机房改建，原直线加速器机房均由钢筋混凝土整体一次性浇筑而成。

伽玛刀机房位于放疗科的南侧区域，伽玛刀机房东侧为伽玛刀控制室和后装治疗

机准备室，隔通道为放疗科模拟定位机房等；南侧为后装治疗机机房和通道；西侧为通道，隔通道为放疗科库房；北侧为直线加速机房和放疗科配套用房（包括医生办公室、计划室、模具室等）上方为住院大厅，无地下层。相关配套用房齐全，放疗科机房平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗工作场所布局要求。

综上所述，伽玛刀机房项目平面布局设置合理可行。

1.6.3 项目周边环境保护目标

根据本项目特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，确定本项目辐射环境评价范围为该项目核技术应用辐射工作场所实体屏蔽墙体外周围 50m 的区域。根据现场调查可知，本次评价项目位于福建医科大学附属第一医院滨海院区，周围 50m 范围内无学校、居民区等环境敏感点。本项目辐射环境保护目标主要为医院的地下室、医技门诊楼、病房楼及周边区域的辐射工作人员、病患家属和其他非辐射工作人员，其中辐射工作人员主要为伽玛刀操作人员，公众人员包括评价范围内的其他医务人员、患者及陪同家属等流动人员。

1.7 原有核技术应用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目辐射安全许可证情况

福建医科大学附属第一医院现有辐射安全许可证编号为闽环辐证[00174]（有效期至 2025 年 1 月 7 日），已许可的辐射工作场所位于福州市台江区茶中路 20 号、福州市仓山区新建南路 200 号及福州市长乐区华山路 999 号，发证单位为福建省生态环境厅，许可种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

经现场踏勘和与建设单位核实，福建医科大学附属第一医院现有的放射源、非密封放射性物质和射线装置许可情况明细见表 1.7-1~1.7.3。

表 1.7-1 医院已许可放射源一览表

序号	核素名称	类别	总活度 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况	使用状态
1	Ir-192	Ⅲ类	3.7×10 ¹¹ *1	滨海院区放疗科	闽环辐评 [2021]48 号	/	暂未投用
2	Sr-90	V 类	7.4×10 ⁸ *1	滨海院区核 医学科			
3	Ge-68	V 类	2.10×10 ⁶ *3				
4	Ge-68	V 类	5.50×10 ⁷ *3				
5	Ge-68	V 类	3.50×10 ⁶ *3				

6	Ir-192	III类	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	院内（茶亭院区）放疗科	闽环辐评[2016]22号	已验收	在用
7	Sr-90	V类	$4.0 \times 10^8 \text{Bq}$	院内（茶亭院区）核医学科	2009年4月24日批复	闽环辐验[2010]79号	在用
8	Ge-68	V类	$9.25 \times 10^7 \text{Bq}$		闽环辐评[2014]1号	已验收	在用
9	Ge-68	V类	$4.63 \times 10^7 \text{Bq}$			已验收	在用
10	Co-57	V类	$7.4 \times 10^8 \text{Bq}$		闽环辐评[2016]22号	已验收	在用
11	Co-57	V类	$1.2 \times 10^8 \text{Bq}$			已验收	在用
12	Co-57	V类	$1.85 \times 10^6 \text{Bq}$			/	暂未投用
13	Co-57	V类	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$			/	暂未投用
14	Gd-153	V类	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$			/	暂未投用

表 1.7-2 医院已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	工作场所	环评情况	验收情况	使用状态
1	I-131	3.7×10^6	3.7×10^9	滨海院区核医学科	闽环辐评[2021]48号	/	暂未投用
2	Tc-99m	3.7×10^5	3.7×10^9				
3	Lu-177	3.7×10^6	3.7×10^9				
4	I-123	3.7×10^5	3.7×10^9				
5	N-13	3.7×10^5	3.7×10^9				
6	Ga-68	3.7×10^5	3.7×10^9				
7	O-15	3.7×10^5	3.7×10^9				
8	Ra-223	1.85×10^8	1.85×10^9				
9	I-124	3.7×10^6	3.7×10^9				
10	F-18	3.7×10^5	3.7×10^9				
11	Ac-225	1.85×10^8	1.85×10^9				
12	Y-90	3.7×10^6	3.7×10^9				
13	Zr-89	3.7×10^6	3.7×10^9				
14	C-11	3.7×10^5	3.7×10^9				
15	Cu-64	3.7×10^5	3.7×10^9				
16	I-125	3.7×10^7	9.25×10^9		辐射安全分析报告	/	在用
17	N-13	1.48×10^7	3.7×10^{11}		闽环辐评[2021]48号	/	暂未投用
18	Zr-89	7.4×10^7	1.85×10^9				
19	I-123	3.7×10^6	9.25×10^{10}				
20	Y-90	3.7×10^8	9.25×10^{11}				
21	Re-188	1.85×10^8	4.63×10^{11}				
22	Ra-223	7.4×10^7	1.85×10^9				
23	Cu-64	7.4×10^6	1.85×10^{11}				
24	Ge-68 (Ga-68)	5.55×10^7	1.39×10^{12}				
25	I-124	3.7×10^7	9.25×10^{10}				
26	Lu-177	5.55×10^8	1.39×10^{12}				
27	I-125	5.0×10^4	1.25×10^8				
28	F-18	1.11×10^8	2.78×10^{12}				
29	C-11	1.85×10^7	4.63×10^{11}				
30	O-15	1.11×10^7	2.78×10^{11}				
31	Mo-99(Tc-99m)	2.96×10^7	7.40×10^{12}			已验收	在用
32	Tc-99m	2.96×10^7	7.40×10^{12}				在用
33	I-131	1.67×10^9	4.18×10^{12}				在用
34	Sr-89	1.48×10^7	3.70×10^{10}				在用
35	Ge-68	7.4×10^7	9.6×10^{10}	院内（茶亭	见注（1）	已验收	在用

	(Ga-68)			院区)核医学科			
36	Y-90	2.5×10^8	8.38×10^{11}				在用
37	P-32	9.25×10^6	2.22×10^9				在用
38	Lu-177	1.85×10^8	4.63×10^{11}				在用
39	Ac-225	7.4×10^7	1.85×10^9				在用
40	Ra-223	7.4×10^7	1.85×10^9				在用
41	Cu-64	7.4×10^6	1.85×10^{11}				在用
42	I-124	5.55×10^6	1.39×10^{10}				在用
43	Zr-89	1.85×10^7	4.63×10^{10}				在用
44	F-18	1.11×10^8	3.2×10^{12}				在用
45	I-125	5.0×10^4	2×10^{10}				在用
46	I-131	1.77×10^9	4.42×10^{12}		闽环辐评 [2016]22 号		在用
47	Sm-153	1.85×10^8	4.44×10^{10}				在用
48	Tc-99m	4.44×10^8	1.15×10^{13}				在用
49	Sr-89	2.96×10^7	7.4×10^{10}				在用
50	I-125(粒子源)	7.4×10^8	2.13×10^{12}	院内(茶亭院区)介入室	闽环辐评 [2016]22 号	已验收	在用
51	Tc-99m	1.85×10^5	2.775×10^{10}		闽环辐评 [2023]23 号	/	暂未投用
52	Y-90	2.5×10^8	3.75×10^{11}				

注(1): 根据《关于<建设项目环境影响评价分类管理名录>中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函》(环办函[2015]1758号)的有关规定已许可。

表 1.7-3 现有已许可的射线装置明细表

序号	设备名称	数量	类别	工作场所	环评情况	验收情况	使用状态
1	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	1 台	Ⅲ类	奥体院区影像科	202335010400000013	/	在用
2	医用直线加速器	2 台	Ⅱ类	滨海院区放疗科	闽环辐评 [2021]48 号	/	暂未投用
3	CT 模拟定位机	1 台	Ⅲ类				
4	小动物 SPECT/CT	1 台	Ⅲ类	滨海院区核医学科科	闽环辐评 [2021]48 号	正在验收	非在用
5	小动物 PET/CT	1 台	Ⅲ类			正在验收	非在用
6	SPECT/CT	1 台	Ⅲ类		202335018200000009	/	在用
7	PET/CT	1 台	Ⅲ类		202335018200000062	/	在用
8	回旋加速器	1 台	Ⅲ类		闽环辐评 [2021]48 号	/	暂未投用
9	PET/MR	1 台	Ⅲ类		闽环辐评 [2021]48 号	/	
10	血管造影用 X 射线装置	3 台	Ⅲ类	滨海院区介入室	闽环辐评 [2021]48 号	自主验收	在用
		3 台	Ⅲ类	滨海院区介入室		/	暂未投用
11	牙科 X 光射线机	1 台	Ⅲ类	滨海院区口腔科	202335018200000009	/	在用
12	口腔 CT	1 台	Ⅲ类				在用
13	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	4 台	Ⅲ类	滨海院区影像科	202335018200000009	/	在用

14	乳腺钼靶机	1 台	Ⅲ类		2023350182000 00062	/	在用
15	X 射线透视设备 （胃肠机）	2 台	Ⅲ类		2023350182000 00009	/	在用
16	DR	5 台	Ⅲ类			/	在用
17	C 臂机	9 台	Ⅲ类			/	在用
18	医用直线加速器	2 台	Ⅱ类	院内（茶亭院区）放疗科	闽环辐评 [2015]1 号/闽环 辐评[2019]46 号	自主验收	在用
19	模拟定位机	1 台	Ⅲ类		闽环辐评 [2016]22 号		
20	骨密度仪	1 台	Ⅲ类	院内（茶亭院区）骨密度仪 室	闽环辐评 [2016]22 号	自主验收	在用
		1 台			2023350103000 00050	/	在用
21	SPECT/CT	1 台	Ⅲ类	院内（茶亭院区）核医学科	闽环辐评 [2016]22 号	自主验收	在用
		1 台			2023350103000 00060	/	在用
22	PET/CT	1 台	Ⅲ类		闽环辐评 [2014]1 号	自主验收	在用
23	DSA	3 台	Ⅱ类	院内（茶亭院区）介入室	闽环辐评 [2012]35 号	闽环辐验 [2013]12 号	在用
		2 台			闽环辐评 [2012]35 号/闽 环辐评[2012]35 号	自主验收	在用
24	口腔 X 光机	3 台	Ⅲ类	院内（茶亭院区）口腔科	2018350103000 00153	/	在用
					2023350103000 00050	/	在用
					2023350103000 00008	/	在用
25	胃肠 X 光机	2 台	Ⅲ类	院内（茶亭院区）影像科	2018350103000 00153	/	在用
26	体外振波碎石机	1 台	Ⅲ类			/	在用
27	乳腺 X 光机	1 台	Ⅲ类			/	在用
28	普通 X 光机	6 台	Ⅲ类			/	在用
		1 台			闽环辐评 [2015]1 号	自主验收	在用
29	车载 CT	1 台	Ⅲ类		2023350103000 00008	/	在用
30	C 臂 X 线机	8 台	Ⅲ类		2023350103000 00008/2018350 10300000153	/	在用
		1 台			闽环辐评 [2015]1 号	自主验收	在用
31	CT	8 台	Ⅲ类		2019350103000 00166/2018350 10300000153	/	在用
32	CT	3 台	Ⅲ类		2023350103000 00008	/	在用

1.7.2 原有核技术利用项目辐射安全管理

福建医科大学第一医院现有辐射工作场所的辐射防护设施运行工作良好，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）辐射防护管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，福建医科大学第一医院已根据现有核技术应用项目现状，成立了以王彪为主任委员、欧启水为副主任委员的辐射安全与环境保护管理委员会，委员会下设办公室，并设辐射防护与安全管理专职人员，具体负责医院的辐射安全管理工作。该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。

医院制定了《放射防护安全管理制度》、《放射诊疗设备自主监测方案及管理制度》、《放射诊疗设备维护维修管理制度》、《放射诊疗设备个人防护用品配置使用及维护管理制度》、《放射工作人员职业健康检查与档案管理制度》、《放射工作人员个人剂量监测与档案管理制度》、《放射工作人员防护知识培训与档案管理制度》、《放射诊疗设备质量控制检测管理制度》和《受检者告知制度》、《辐射事故（事件）应急处理预案》等管理制度，并严格遵守执行。

（2）辐射工作人员培训、个人剂量监测

福建医科大学第一医院现有辐射工作人员均已参加国家核技术利用辐射安全与防护知识培训或医院内部自主培训，并取得辐射安全与防护考试合格证书。

医院为所有人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，根据医院提供的最近 1 年的个人剂量检测报告（由天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司检测），所有辐射工作人员年度个人剂量检测值在 0.01~2.34mSv 之间，满足职业人员年剂量 5mSv 的约束限值。

（3）辐射工作场所监测情况

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

（4）辐射监测仪器和防护用品配备情况

医院现已为辐射工作场所配备便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 2 台、表面污染检测仪 7 台、X、 γ 辐射个人剂量当量 HP(10)检测仪 10 台、智能化 X- γ 辐射仪 1 台、活度计 10 台、电离室巡检仪 1 台、固定报警仪 1 台、剂量仪 1 台、热释光个人剂量片 286 片、铅衣 50 件、铅帽 50 顶、铅手套 30 副、铅眼镜 30 副、铅围裙 30 件、铅围脖 30 个及铅屏风 15 个。

（5）辐射应急演练和年度评估

根据医院原有核技术利用项目，医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射源和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

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	5.77×10 ¹⁴ Bq (±10%) / 4.44×10 ¹³ Bq (±10%) × 13	I 类	使用	放射治疗	住院楼地下一层放疗 科伽玛刀机房内	储存方式：在主机内；地 点：伽玛刀机房。	新购

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
		不涉及此项内容								

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	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	不涉及此项内容									

(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	装置名称	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	CBCT	III	1	/	150	64	实时验证	住院楼地下一层放疗科伽玛刀机房内	伽玛刀设备自带

(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（μA）	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	
	不涉及此项内容												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废源	固态、密封	⁶⁰ Co	/	/	13 枚（6 年更换一次）	/	不暂存	由源供应单位回收，购源前签订废旧源回收协议

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》，2015 年 1 月 1 日施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订），2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院第 682 号令），自 2017 年 10 月 1 日起施行； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日修订）； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环保总局第 31 号令；根据 2017 年 12 月 20 日环境保护部部务会议通过《环境保护部关于修改部分规章的决定》修正；根据 2019 年 7 月 11 日生态环境部部务会议审议通过《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》修正；根据 2020 年 12 月 25 日生态环境部部务会议审议通过《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》修正）； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (8) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，（生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (10) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）； (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）； (12) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）； (13) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》，闽环保辐射〔2013〕10 号。
技	(1) 《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

术 标 准	的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （4）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （5）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； （6）《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/T201.3-2014）； （7）《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）； （8）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （9）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。
其 他	（1）委托书； （2）医院提供的与本项目有关的各种资料和项目设计图纸。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《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）中对于报告书项目的评价范围规定“，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”，结合本项目特点，确定评价范围为辐射工作场所周围 50m 的区域，具体评价范围示意图见附图 2。

本评价关注的评价因子主要为 X 射线、 γ 射线、放射性固废。

7.2 保护目标

本项目辐射工作场所周围 50m 评价范围内均为医院内部区域，本项目的环境保护目标为评价范围内的本项目辐射工作人员、医院非辐射工作人员及患者、陪护人员等公众，具体见表 7.2-1 所示。

表 7.2-1 项目环境保护目标信息

工作场所	保护目标	方位	与场所边界的最近距离（m）		规模	人员类别
			水平	垂直		
伽玛刀机房	机房控制室	东侧	0	0	6 人	职业
	后装治疗机房准备室	东侧	0	0	10 人次/天	公众
	后装治疗机房	南侧	0	0	10 人次/天	公众
	通道	南侧	0	0	100 人	公众
	通道	西侧	0	0	100 人	公众
	库房	西侧	3.3	0	约 20 人	公众
	直线加速器	北侧	0	0	约 20 人	公众
	门诊医技楼	东侧	13	0	500 人次/天	公众
	住院大厅	上方	0	0	300 人次/天	公众
	伽玛刀机房 50m 范围内其他公众	四周	4.3~50	0	1000 人次/天	公众

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7.3-1 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，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；

	d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv；
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群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。

参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目职业人员和公众剂量约束值如下：

对于职业人员，本项目取年有效剂量限值四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值。

对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的十分之一，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

7.3.2 放射治疗机房评价标准

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为 1 台伽玛刀，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定，伽玛刀机房屏蔽体外剂量率控制水平要求如下：

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）

机房外辐射工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250 μSv 加以控制。

c) 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 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制可在相应位置处设置辐射告示牌)。

(2) 辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021), 控制区和监督区分区原则如下:

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下, 控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所, 如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室, 直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时, 术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施, 但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

(3) 辐射工作场所布局要求

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020), 放射治疗机房布局要求如下:

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端;放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造, 并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区;其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施, 但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求, 其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置, 治疗设备辅助机械、电器、水冷设备, 凡是可以与治疗设备分离的, 尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向, 直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室, 尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路; γ 刀治疗设备的治疗机房, 根据场所空间和环境条件, 确定是否选用迷路; 其他治疗机房均应设置迷路。

(4) 辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房安全设施和措施要求如下：

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

(5) 放射源操作的辐射安全与防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射源操作的辐射安全与防护要求如下：

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

（6）通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（7）放射性废物管理要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），废旧放射源管理要求如下：

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

7.3.3 非放射性污染物排放标准

本项目非放射性废气臭氧和氮氧化物环境质量标准执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二类标准。

表 7.3-9 环境空气质量标准

污染物名称	浓度限值		
	1 小时平均	日平均	年平均
臭氧	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	/
NO _x	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

氮氧化物排放标准执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）新污染源二级标准，详见表 7.3-10。

表 7.3-10 大气污染物综合排放标准

污染物	最高允许排放浓度（ mg/m^3 ）	最高允许排放速率		无组织排放监控浓度限值	
		排气筒高度（m）	二级（ kg/h ）	监控点	浓度（ mg/m^3 ）
NO _x	240	15	1.2	周界外浓度最高点	0.12

臭氧排放浓度参考执行《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度0.3 mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和辐射工作场所概况

福建医科大学附属第一医院滨海院区位于福州市长乐区华山路999号，地理位置见附图1。医院东侧为华山路，隔路为空地；南侧为勉斋路，隔路为福州市第二工人文化宫及公园绿地；西侧为万沙路，隔路为福州市疾病预防控制中心及空地；北侧为朗山路，隔路为保利招商海玥公馆。医院总平面见附图2。

本项目伽玛刀机房位于住院楼地下一层，具体位置和周边关系详见附图 2。

8.2 辐射环境现状评价

为了解项目拟建位置周围的 X- γ 辐射环境现状水平，环评单位委托浙江建安检测研究院有限公司于 2024 年 6 月 28 日对拟建地的辐射环境本底进行了监测。

（1）监测目的

本次监测目的为了解项目拟建地周围辐射环境背景水平。

（2）监测项目

γ 辐射剂量率。

（3）监测方法

依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求和方法进行现场监测。

（4）监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点。监测点位图详见图 8.2-1~图 8.2.2。

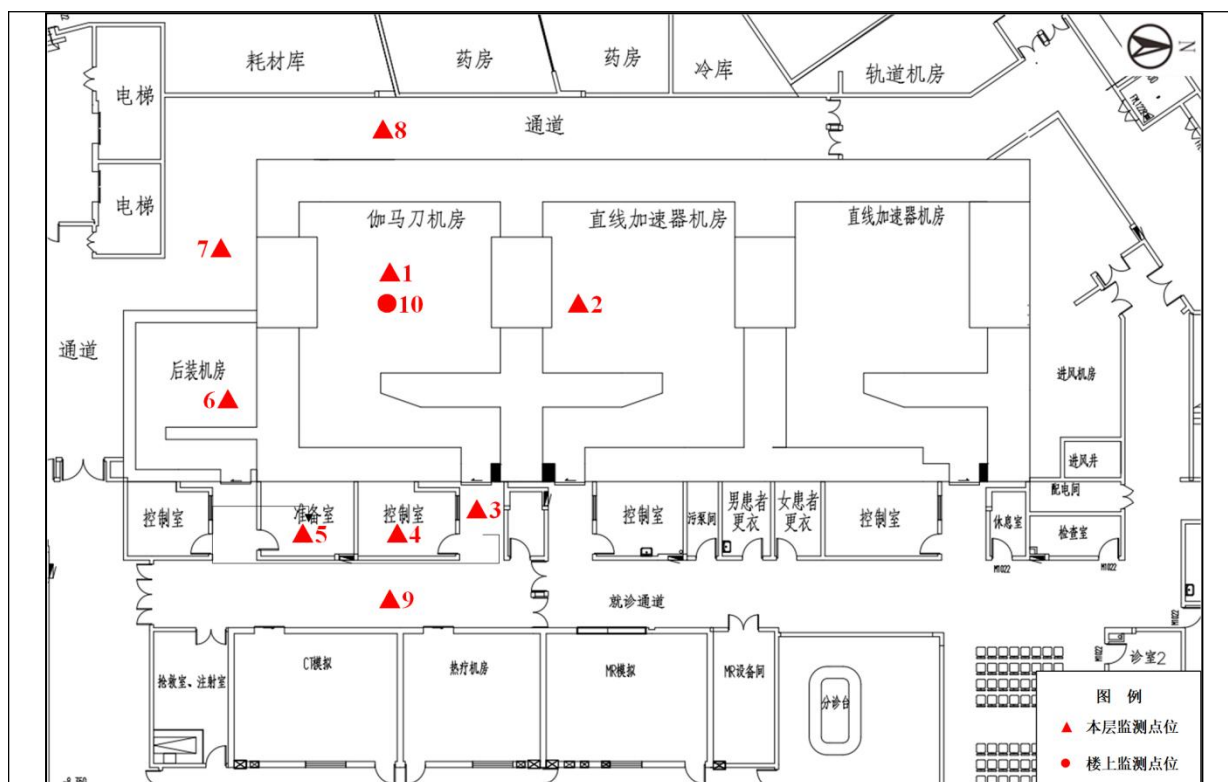


图 8.2-1 拟建辐射工程场所辐射环境现状监测布点示意图（1）



图 8.2-2 拟建辐射工程场所辐射环境现状监测布点示意图（2）

(5) 监测仪器

监测仪器的参数详见表 8.2-1。

表 8.2-1 监测仪器参数

仪器名称	X、 γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	30KeV~4.4MeV
剂量率范围	主机：10nSv/h~100mSv/h；探头：1nSv/h~100 μ Sv/h
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	2024H21-10-5119258001
校准日期	2024 年 03 月 05 日

(6) 监测单位

浙江建安检测研究院有限公司（检验检测机构资质认定证书编号：221112050970，有效期至 2028 年 4 月 25 日）。

(7) 质量保证措施

根据《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关辐射环境监测质量保证一般程序和实验室的质量体系文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书）实行全过程质量控制，保证此次监测结果科学、有效。辐射环境监测质量保证主要内容有：

①监测机构通过了计量认证；

②监测前制定了详细的监测方案及实施细则；

③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；

④监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格，且在校准、检定有效使用期内使用。监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行；

⑤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；

⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑦现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和监测数据；

⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；

⑨监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

(8) 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果详见表 8.2-2。

表 8.2-2 本项目辐射环境现状监测结果

监测点 编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1	伽玛刀拟安装位置 (机房内部)	187±2	室内
2	伽玛刀机房北墙外	179±2	室内
3	伽玛刀机房防护门处	187±3	室内
4	伽玛刀机房东墙外 (控制室)	183±2	室内
5	伽玛刀机房东墙外 (准备室)	179±2	室内
6	伽玛刀机房南墙外 (后装机房)	182±3	室内
7	伽玛刀机房南墙外 (通道)	186±3	室内
8	伽玛刀机房西墙外 (通道)	136±4	室内
9	就诊通道	135±3	室内
10	伽玛刀机房正上方 (住院大厅)	142±3	室内
11	门诊医技楼内	142±2	室内
12	门诊医技楼西侧	159±2	道路
13	C2 住院楼南侧	134±3	道路
14	C2 住院楼北侧	115±2	道路
15	住院楼西侧出口处	129±3	道路
16	C1 住院楼西侧	115±2	道路
17	C1 住院楼北侧	118±2	道路
18	C1 住院楼西北侧	124±3	道路
19	C1 住院楼东侧	136±4	道路

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 $\times$ 校准因子 $k_1 \times$ 仪器检验源效率因子 $k_2 \div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 $k_3 \times$ 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.23，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，换算系数为 1.20Sv/Gy，效率因子 k_2 取 1， k_3 楼房取 0.8、

平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 10nGy/h。

由表 8.2-2 可知，本项目拟建场址周围的 γ 辐射剂量率在 115nGy/h~187nGy/h 之间（室内在 135nGy/h~187nGy/h 之间，室外在 115nGy/h~159nGy/h 之间），处于《中国环境天然放射性水平》中福州市室内及道路辐射空气吸收剂量率正常范围内（室内（89.9~231.0）nGy/h，道路（45.3~161.7）nGy/h）。本项目拟选工作场所及场所周边辐射剂量率与该调查水平基本一致，建设项目场所环境辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 设备参数

医院拟将住院楼地下一层放疗科 1 间预留直线加速器机房改建为 1 间伽玛刀机房，并建设配套附属用房，如控制室等。伽玛刀机房内新增 1 套多源 γ 射束立体定向放射治疗系统，另外，本项目拟新增的伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，含 1 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 64mA。

根据设备厂家提供的资料，本项目伽玛刀基本参数如表 9.1-1 所示。

表 9.1-1 本项目伽玛刀基本参数一览表

设备型号	功能模块	各项参数	具体情况
CybeRay 影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统	伽玛刀	钴-60 密封放射源数量	13 枚
		单枚放射源活度要	1200Ci $\pm$ 10%
		最大装源活度	15600Ci $\pm$ 10%
		源轴距（放射源活性区下端面到焦点的距离）	608mm
		初装源焦点剂量	$\geq 2.0\text{Gy/min}$ （标准体模中心处水吸收剂量率） $\geq 3.0\text{Gy/min}$ （入射深度 80mm 的球形模体中心处水吸收剂量率）
		准直器规格	$\Phi 6$ 、 $\Phi 9$ 、 $\Phi 12$ 、 $\Phi 16$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 25$ 、 $\Phi 35$ $\Phi 4$ （临床研究使用）
		等中心高度	100cm
		伽玛聚焦头对面有平衡屏蔽锤体	钢 40mm+铅 130mm
	CBCT 图像引导系统模块	最大管电压	150kV（临床一般为 120kV）
		最大管电流	64mA
		距靶 1m 处最大剂量率	$< 0.5\text{mGy/h}$ （测试条件 150kV、3.6mA）
		曝光时间	单次扫描为每秒 9 帧的脉冲式曝光，单帧曝光时间最大 32ms，持续 1min，单次最大照射时间为 17.28s
		X 射线球管自带屏蔽体	10mm 厚钨铜合金，密度 $\geq 18\text{t/m}^3$

9.1.2 设备使用情况

根据医院提供的资料，该设备每天最多治疗 20 人次，平均每人每次照射剂量不超过 8Gy，每周工作 5 天。本评价按照每天 20 人次保守考虑，则周工作负荷 $W=8.0\text{Gy} \times 20 \text{ 人次} \times 5 \text{ 天}=800\text{Gy/周}$ ，设备焦点剂量率为 2.0Gy/min ，则出束时间 $t=800\text{Gy/周} \div 2.0\text{Gy/min}=400\text{min/周}=6.67 \text{ 小时/周}$ ，每年按 50 周考虑，年出束时间为 333.33 小时。

9.1.3 工作原理

伽玛刀是一种融立体定向技术和放射外科技术为一体，以治疗体内肿瘤疾病为主的立体定向放射治疗设备，是利用 γ 射线立体定向聚焦原理，将经过剂量计算的大剂量 γ 射线，聚焦病灶预选靶点，一次性地损毁靶点内的病灶组织，达到类似于外科手术切除病灶的治疗效果。

本产品利用肿瘤细胞相对于正常组织对放射线更敏感的原理，采用 ^{60}Co 发出的 γ 射线，通过精确的立体定位，将经过规划的一定剂量 γ 射线照射摧毁靶区内的肿瘤组织，同时，由于射线采用滚筒绕人体旋转的运动方式，使人体正常组织所受到的照射较小，达到杀死病灶组织，保护正常组织的治疗目的。

9.1.4 设备组成

9.1.4.1 产品特点及设备外形

CybeRay 影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统将 1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒型机架上，CBCT 在每次治疗时可进行患者的实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。

设备外形如图 9.1-1 所示：



图 3.19 工业造型示意图

图 9.1-1 设备外形图

9.1.4.2 系统组成

CybeRay 影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统由主机系统、图像引导系统、射野验证系统、治疗室控制单元等组成。

(1) 主机系统

主机系统主要由滚筒机架和底座组件、聚焦治疗头、治疗床组成。

①滚筒机架和底座组件

滚筒机架采用钢板焊接，由两端面的法兰与钢板通过箱形结构焊接成环形结构。滚筒机架通过安装在两端四点角接触球轴承进行支撑，并且通过两端轴承固定在底座组件上。底座组件起到固定、支撑滚筒机架作用，使用地脚螺栓将底座组件固定在地坑内，用垫铁调整水平。滚筒机架一端四点角接触球轴承带有同心的齿圈，滚筒机架的驱动是由固定在底座组件的驱动装置，通过齿圈进行旋转，实现滚筒机架整体 -255° 至 $+255^{\circ}$ 旋转。滚筒机架结构示意图见图 9.1-2～图 9.1-4。

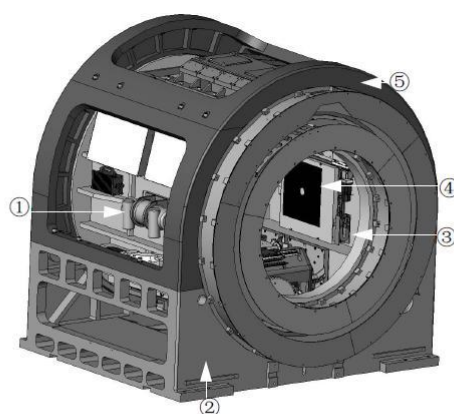


图 3.4 滚筒机架结构示意图 1

- | | |
|---------|-----------|
| ① X射线球管 | ④ kV级影像平板 |
| ② 底座 | ⑤ 上压盖 |
| ③ 滚筒机架 | |

图 9.1-2 滚筒机架结构示意图 1

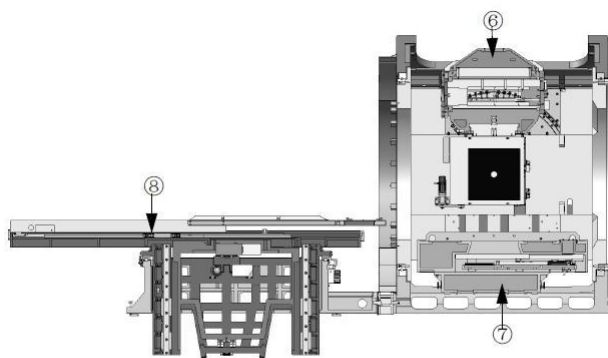


图 3.5 滚筒机架结构示意图 2

- | | |
|-----------|-------|
| ⑥ 聚焦治疗头 | ⑧ 治疗床 |
| ⑦ MV级影像平板 | |

图 9.1-3 滚筒机架结构示意图 2

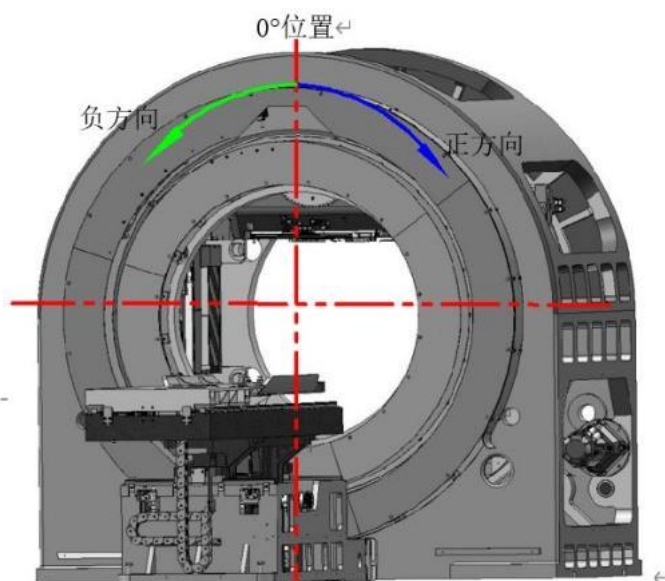


图 9.1-4 滚筒机架结构示意图 3

②聚焦治疗头

聚焦治疗头安装在滚筒机架轴向的弧形导轨上，可沿弧形导轨移动。通过伺服电机带动齿轮，驱动安装在聚焦治疗头上弧形齿条，实现聚焦治疗头在滚筒内-35°到 0°范围内摆动。聚焦治疗头内置密封钴-60 放射源，配套 7 组不同规格准直器，可输出 7 组不同大小的聚焦野，准直器可自动更换。本台设备为满足医院的临床研究使用，额外增加了 1 组 $\phi 4$ 准直孔，可输出 8 组不同大小的聚焦野。聚焦治疗头的结构示意图见图 9.1-5。

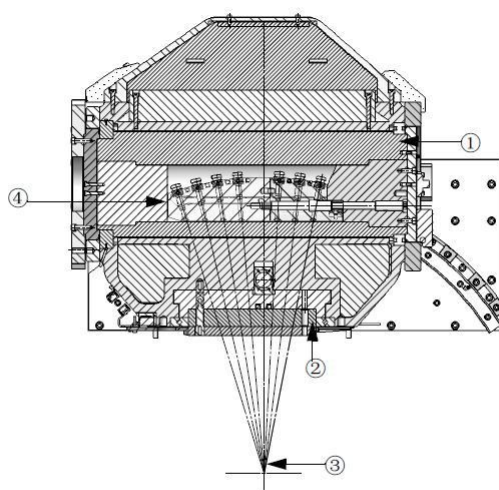


图 3.6 聚焦治疗头结构示意图

- | | |
|-------|-------|
| ① 钨滚筒 | ③ 焦点 |
| ② 准直器 | ④ 钴源匣 |

图 9.1-5 聚焦治疗头的结构示意图

聚焦治疗头主要部件包括钴源匣、准直器、钨滚筒等。

A、钴源匣

钴源匣是储放及固定放射源的装置，钴源匣上面规律地分布着 13 个固定钴源位置孔。通过钴源匣上的柱塞螺钉，将钴-60 密封放射源固定到钴源安装位置孔内。钴源匣组件整体固定在旋转钨筒内，通过导向槽，防止钴源匣组件位置与旋转钨筒位置安装错误，使钴源匣钴源位置孔与钨滚筒上的射线通过孔对应。钴-60 密封放射源通过钴源匣、钨滚筒上通孔进行聚焦照射。



图 9.1-6 钴源匣示意图

B、源体

放射源的源室尺寸及放射源外形尺寸见图 9.1-7。

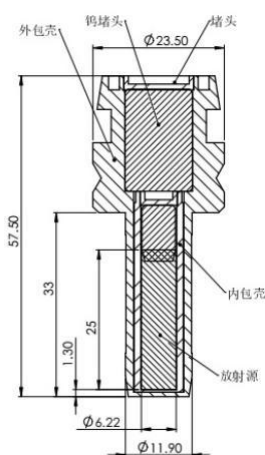


图 9.1-7 源室尺寸及外形尺寸示意图

C、钨滚筒

钨滚筒通过两端轴承与治疗头箱体连接，是固定钴源匣的组件。钨滚筒屏蔽体具有屏蔽作用，是保证工作环境安全的重要部件。它的外径为 $\Phi 230\text{mm}$ ，长为 690mm。钨滚筒上开有 13 个预准直孔，与钴源匣钴源位置孔相对应。射线通过预准直孔，实现对外聚焦放疗作用。

通过钨滚筒的旋转，实现在治疗过程中射线的开启与关闭。

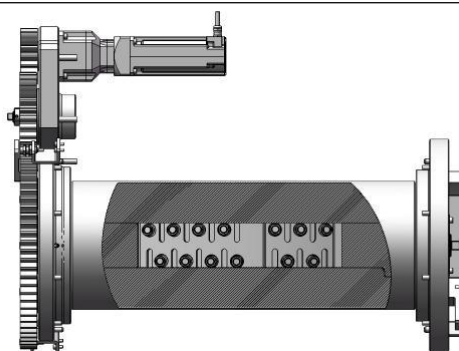


图 9.1-8 钨滚筒结构示意图

D、准直器

钨滚筒可以沿圆周旋转运动，移动准直器做直线运动，驱动电机带动钨滚筒旋转时，同时移动准直器做直线运动，实现开源、关源及选择不同规格的辐射源尺寸。

准直器采用钨合金制成。准直器出口端面到焦点垂直距离 303mm，上边有 8 组规格准直器，每组准直器有 13 个准直孔，与钴源匣钴源位置孔上的 13 个钴源安装孔的轴线对齐。13 个孔在空间上轴线聚焦于一点，即焦点位置。8 组不同规格的准直器分别为 $\Phi 4\text{mm}$ 、 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 9\text{mm}$ 、 $\Phi 12\text{mm}$ 、 $\Phi 16\text{mm}$ 、 $\Phi 20\text{mm}$ 、 $\Phi 25\text{mm}$ 、 $\Phi 35\text{mm}$ 。 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 9\text{mm}$ 、 $\Phi 12\text{mm}$ 、 $\Phi 16\text{mm}$ 、 $\Phi 20\text{mm}$ 的准直器适用于头部和体部治疗， $\Phi 25\text{mm}$ 、 $\Phi 35\text{mm}$ 的准直器只适用于体部治疗。

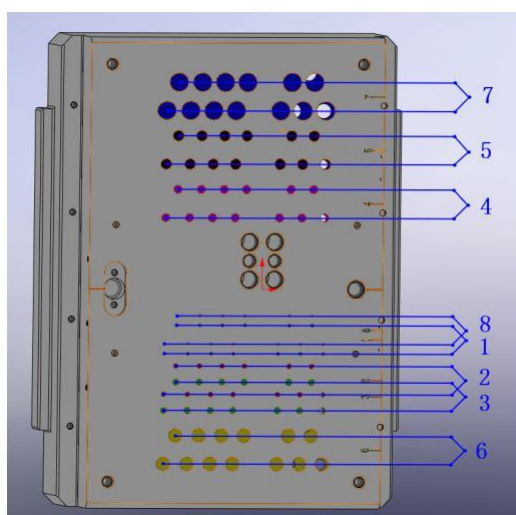


图 9.1-9 准直孔分布示意图

④治疗床

治疗床用于承载和固定患者，并按照治疗计划的要求将病灶部位精确地送到聚集靶点的定位装置。治疗床最大承载为 135kg。治疗床包括治疗床主体（含碳纤维床面板）、头部托板、运动控制单元和扶手。治疗床示意图见图 9.1-10。



图 9.1-10 治疗床示意图

(2) 图像引导系统

图像引导通过基于锥束 CT 图像或 X 光投影灰度信息，将自动与手动结合，实现患者在治疗前的高精度患者摆位和治疗中的实时监测治疗。图像引导系统在主机上的部件主要有：kV 级影像平板、X 射线球管。

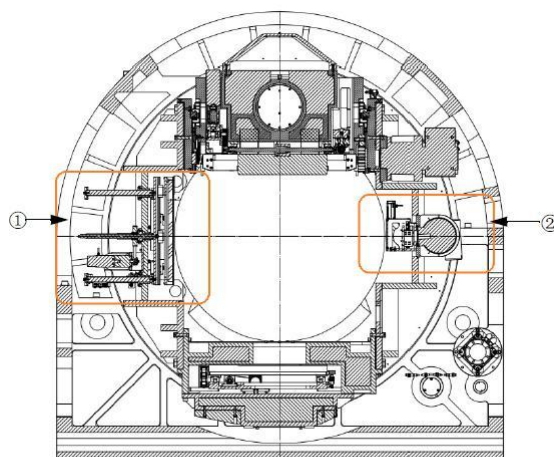


图 3.15 图像引导系统示意图

① kV 级影像平板

② X 射线球管

图 9.1-11 图像引导系统示意图

(3) 射野验证系统

射野验证：用于进行设备钴源射野成像的质量验证，分析准直器选择的正确性，监控钴源衰减、准直器位置角度变化，保证系统的稳定性。射野验证系统在主机上的部件主要有：聚焦治疗头、MV 级影像平板。

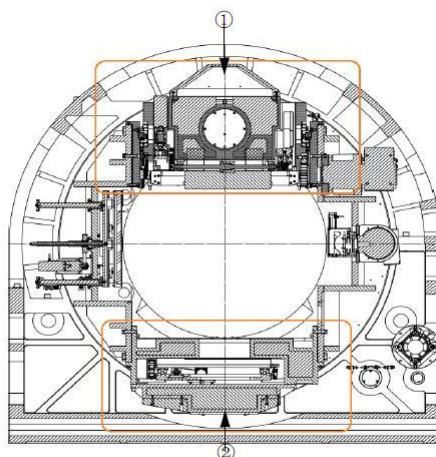


图 3.16 射野验证系统示意图

① 聚焦治疗头 ② MV 级影像平板

图 9.1-12 射野验证系统示意图

(4) 治疗室控制单元

罩壳的治疗空间两侧各有一套控制单元，称为治疗室控制单元。



图 9.1-13 治疗室控制单元示意图

9.1.4.3 设备辐射防护安全情况

(1) 伽玛刀聚焦治疗头自带防护措施

伽玛刀聚焦头准直器采用钨合金制成，聚关束状态下，设备外表面 5cm 处，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 200 μ Gy/h；距辐射源 1m 处（设备外表面 60cm 处），由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 20 μ Gy/h。

伽玛聚焦头对面有平衡屏蔽锤体，不可伸缩。平衡屏蔽锤体由钢 40mm+铅 130mm 组成。其结构示意图见图 9.1-10。

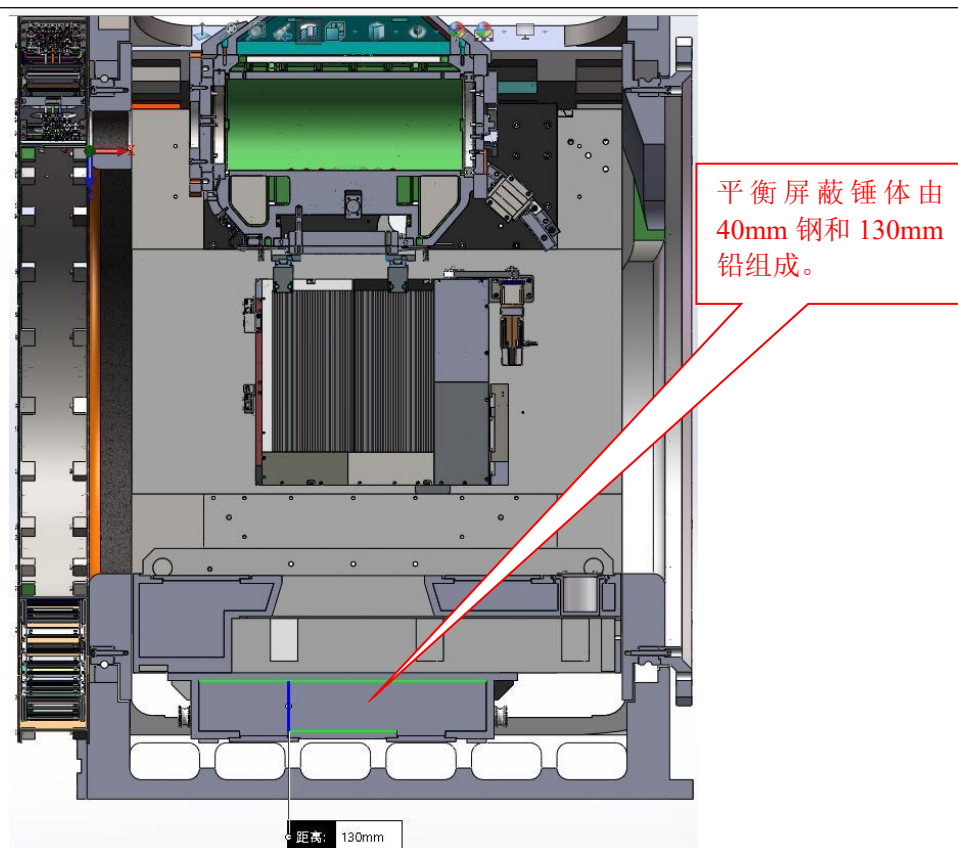


图 9.1-14 平衡屏蔽锤体示意图

(2) CBCT 图像引导系统模块自带防护措施

CT 球管发出的射束经过限束器后在等中心辐射范围 $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ ，自带屏蔽体为 10mm 厚钨铜合金，密度 $\geq 18\text{t/m}^3$ 。

9.1.5 工作方式

本项目伽玛刀均拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与机房均分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作加速器开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.6 工作流程及产污环节

1. 治疗流程

本项目伽玛刀工作流程如下：

- (1) 当患者被确诊需要进行伽玛刀放射治疗后，主治医生首先向患者告知可能受到的辐射危害；
- (2) 医护人员为患者安装立体定位框架；
- (3) 患者进行 CT 扫描，对病灶位置进行精确定位（依托医院现有设备），确定靶点位置；

(4) 制定放射治疗计划，将扫描结果输入治疗计划系统工作站，医生根据病灶部位、大小、形状、性质等制定出最佳的治疗计划；

(5) 患者进入伽玛刀治疗室，医护人员辅助患者躺在治疗床上，将立体定位框架与治疗床立体定位支撑系统互联，完成后，医护人员退出治疗室；

(6) 医护人员在控制室工作站上确认相关参数，启动设备，三维治疗床进入治疗腔内自动完成精确定位，若为无创治疗，则启动图像引导系统进行摆位验证完成精确定位；

(7) 定位完成，准直体与源体转动，开源后按照治疗计划对病人实施放射治疗；

(8) 治疗时间到，关源，三维治疗床自动切换靶点位置，重复治疗步骤直至全部靶点治疗完成；

(9) 治疗结束，三维治疗床退出治疗舱，治疗舱门关闭后，医护人员进入治疗室解除立体定位互锁装置，辅助患者下床，患者离开机房；

(10) 医护人员拆卸掉患者立体定位框架，根据医护人员指示，患者休息片刻后出院或回病房休息，等待医嘱。

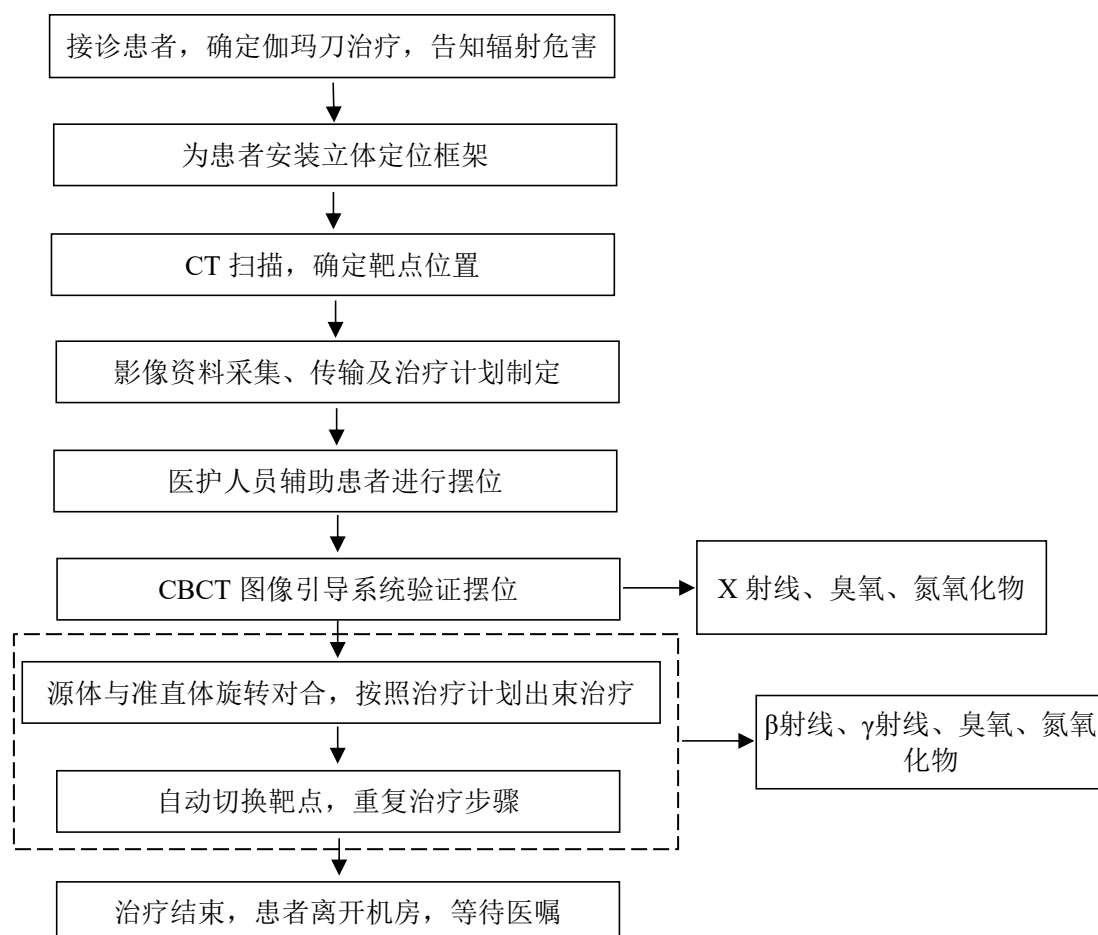


图 9.1-15 伽玛刀工作流程及产污环节示意图

2.准直器更换

本系统的准直器库由 8 组规格准直器组成，驱动电机带动钨滚筒旋转时，同时移动准直器做直线运动，将所选定规格的准直器送到对应位。因此，本项目伽玛刀治疗时，只需根据肿瘤所在位置选用相应的准直器，不需要人工在治疗前人工更换准直器。

表 9.1-2 准直器与照射野的尺寸对应情况

准直器编号	照射野尺寸 (mm)
1#	Φ6
2#	Φ9
3#	Φ12
4#	Φ16
5#	Φ20
6#	Φ25
7#	Φ35
8#	Φ4

3.放射源订购、运输、暂存、倒装、调试、使用和回收

本项目伽玛刀配有 13 枚 ^{60}Co ，单枚活度为 $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$ ($\pm 10\%$)，属 I 类放射源，13 枚放射源总活度为 $5.77 \times 10^{14} \text{Bq}$ ($\pm 10\%$)。因此，放射源的运输和医疗使用管理均按 I 类源进行。国内 ^{60}Co 放射源生产厂家有北京双原同位素技术有限公司和成都中核高通同位素股份有限公司。

①订购：医院在订购之前应向省生态环境厅提出申请，提交国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，深圳市奥沃医学新技术发展有限公司提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。放射源订购完成后，医院应当在完成之日起 20 日内，向省生态环境厅备案。

②运输：放射源生产厂家委托具有 I 类放射源运输资质的单位进行运输（放射源运输期间工作人员所受照射不在本评价范围内），运输期间的安全及应急预案由运输单位负责。

③暂存：放射源运抵医院后、装入设备前，载有放射源的运输铅罐在伽玛刀机房内暂存（最多 7 天）。暂存期间由医院全权负责安保工作，配备专人、专锁管制，全程 24h 视频监控，暂存期间安全由医院负责。

④倒装：由西安大医集团股份有限公司负责将放射源置于治疗系统内，由西安大医集团股份有限公司负责倒装期间治疗室内安全，并制定了相关倒源方案和应急预案，由医院负责伽玛刀机房外的安保工作。

⑤调试：由于该系统的安装调试具有很强的专业性，为保证设备的安装质量和操作安全，所有安装调试过程均由西安大医集团股份有限公司的专业人员进行，期间安全责任由西安大医集团股份有限公司负责，机房外安全由医院负责。

⑥使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间辐射安全防护和管理由医院负责。

⑦回收：由放射源生产厂家负责回收废旧放射源，西安大医集团股份有限公司负责技术支持，放射源回收手续由医院办理，回收期间安全由放射源生产厂家负责。

4.装、换源流程

本项目伽玛刀所用 ^{60}Co 放射源每隔 6 年须更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生主管部门备案，取得他们的协助、监督和认可。装、换源需使用专门的工具，有关操作必须由西安大医集团股份有限公司派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自换装源。换装源期间由设备厂家承担主要安全责任，医院承担次要责任。

5.产污环节

图像引导系统验证摆位时产生的 X 射线，使用 ^{60}Co 密封源开展放射治疗时，因核 ^{60}Co 发生 β 衰变产生 β 射线以及 1.17MeV、1.33MeV 两种能量的 γ 射线，X 射线和 γ 射线会穿过屏蔽体对周围环境以及人体产生辐射影响。另外，X 射线、 γ 射线使空气电离产生臭氧和氮氧化物。放射源更换时有废源产生。

9.1.7 人流路径规划

①患者路径

患者在放疗科北侧楼梯进入等候区，根据叫号后进入伽玛刀机房进行治疗，治疗结束后通过原路离开。

②医护人员路径

医护人员通过北侧通道进入放疗科，向西进入加速器机房的控制室，通过加速器机房防护门进入治疗室对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所均未建，在建设阶段不产生辐射影响，本项目施工期主要包括：辐射工作场所的土建及防护装修，产生的环境影响主要是施工时产生的废气、噪声、固

体废物以及废水等环境影响。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

9.2.2 运行阶段的污染源项

(1) 正常工况

伽玛刀使用放射性核素 ^{60}Co 为密封源，治疗时由储源器将其顺着输源管释放至病变部位进行照射，其辐射类型为 γ 、 β 射线，其中 γ 射线占 99.86%， β 射线仅为 0.14%，故 γ 射线是主要污染物，辐射途径为外照射。

伽玛刀自带CBCT图像引导系统最大管电压为150kV，最大管电流64mA，X射线随射线装置的关闭而消失。因此，在系统开机期间，X射线为主要辐射环境污染因素，辐射途径也为外照射。

本项目 ^{60}Co 放射源每 6 年一次性全部更换，每次更换产生 13 枚废旧放射源，更换下的废旧 ^{60}Co 放射源由放射源厂家负责回收处置或送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。另外伽玛刀配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，根据《国家危险废物名录》（2021 年版）属于危险废物（废物代码：900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

(2) 事故工况

- ①伽玛刀在运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入治疗机房内而造成误照射。
- ②治疗过程中出现不能终止治疗程序或终止治疗程序无效的情况造成患者超剂量照射。
- ③运行过程中发生卡源或源脱落故障。
- ④治疗过程治疗准直器无法复位或治疗床不能正常退出造成患者超剂量照射。
- ⑤机房局部屏蔽防护遭到损坏，导致射线泄漏，机房外局部辐射剂量率超标。
- ⑥放射源丢失、被盗。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局分析及分区情况

(1) 工作场所布局分析

本项目伽玛刀机房位于住院楼地下一层,伽玛刀机房由治疗室、迷路和防护门组成。

本项目伽玛刀机房治疗室与控制室分开设置,控制室位于机房东侧,治疗室有效使用面积为 73.5m² (不含迷路),治疗室入口设置的迷路为“L”型迷路,机房迷道口处安装有防护门对射线进行屏蔽。

放疗科医生办公室、计划室、模具室等位于住院楼地下一层,相关配套用房齐全,面积满足使用需求,放疗科机房平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中关于放射治疗工作场所布局要求。

②工作场所分区情况

为了便于加强管理,切实做好辐射安全防护工作,按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求,在辐射工作场所内划出控制区和监督区,在项目运营期间采取分区管理措施。

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(包括门锁和联锁装置)限制进出控制区,放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区:未被确定为控制区,通常不需要采取专门防护手段或安全措施,但需要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记;定期审查该区的条件,以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定,或是否需要更改监督区的边界。

结合本项目特点,放疗科工作场所控制区和监督区划分如下:

表 10.1-1 放疗科工作场所分区表

工作场所	控制区	监督区
伽玛刀机房	治疗室及迷路	控制室、准备室及与机房相邻的区域

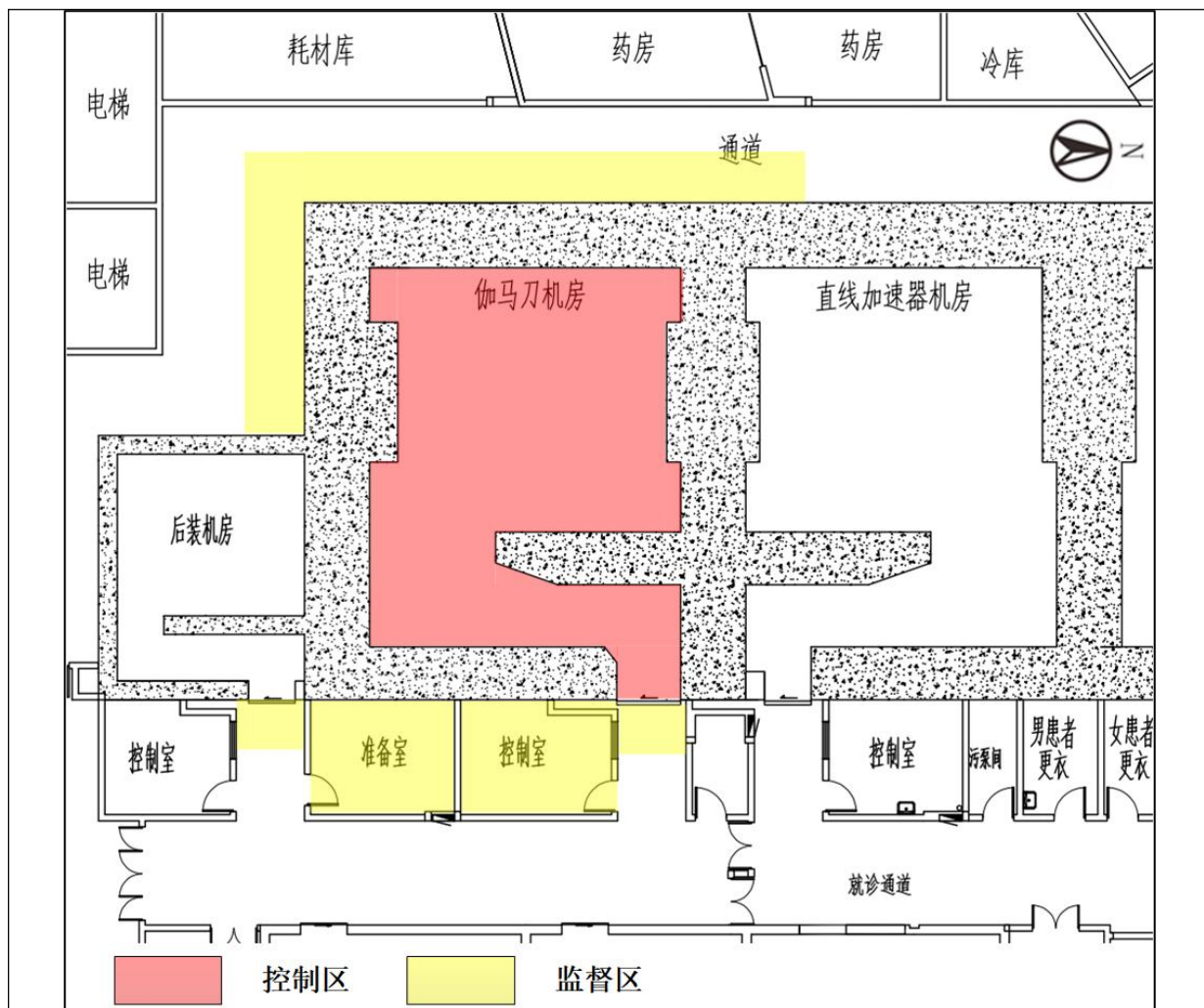


图 10.1-1 放疗科伽玛刀机房平面布局图以及两区管理图

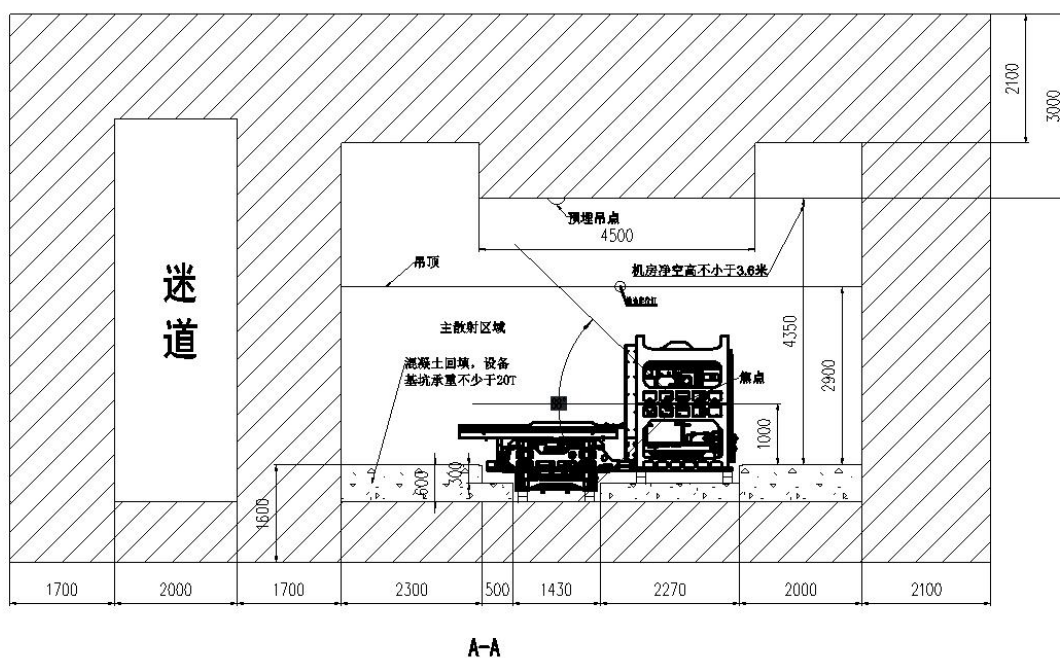


图 10.1-2 伽玛刀机房剖面图

10.1.2 伽玛刀辐射安全与防护措施

(1) 设备固有安全性

本项目辐射设备均购于正规厂家,采用目前较先进的技术,设备各项安全措施齐备,设备本身具备多种安全防护措施。

^{60}Co 放射源包壳为三层不锈钢包壳。为增加屏蔽效果,中层包壳与外壳之间装有钨合金预准直器、钨套和钨端盖,每层不锈钢容器都焊以不锈钢封头。 ^{60}Co 放射源的一端还设有供机械手抓取和安装固定的卡槽。源包壳的设计经过跌落、穿刺等破坏性试验,每枚 ^{60}Co 密封放射源在装配封焊完成后外表都经过了彻底清洗,以避免放射性粉尘可能带来的污染。 ^{60}Co 密封放射源的安全性能等级不低于 GB4075 规定的 E63534。

(2) 密码设置。设置有密码,操作密码只有具体操作人员掌握,只有输入正确的密码后才能进行操作和参数的修改等。

(3) 设备配有 UPS 电源装置,一旦出现停电故障,UPS 能够供电并保持设备正常运转 30 分钟以上,以确保正在进行治疗过程不至于因外界突然断电而中止。

(4) 设置手动回源装置,若全身伽玛刀在工作状态下发生“卡源事故”,自动回源装置失效,可由厂家维修人员根据操作手册手动回源,手动关源需要分别关钨滚筒和关准直器。

(5) 设备设置了安全联锁机制,用于保障设备和人身安全。

①急停按钮

机房治疗室设计有 5 个急停按钮,分别设计在防护门内侧、迷道入口、东墙、西墙、南墙、北墙各 1 个,控制室设计 1 个;另外设备太空舱隔断两侧、治疗床两侧均设有 1 个急停按钮,机房和设备共计 10 个。紧急停机按钮为红色按钮式开关,并带有中文标识,易于辨认。在紧急情况下,便于机房和控制室内人员及时终止照射。

②视频监视系统、对讲系统

治疗室内安装有监视器 7 个(北墙 2 个,西墙 1 个,南墙 2 个、迷道内墙 1 个和迷道外墙 1 个),工作人员在控制室内便可清晰的观察到患者的治疗情况,如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况,可及时采取紧急措施。治疗室与控制室设置对讲装置,便于医护人员与患者进行双向交流。

③治疗室门口设计有电离辐射警告标志和工作状态指示灯,工作状态指示灯与门联锁。

④伽玛刀机房设计有固定剂量监测系统,具有联网功能,探头安装在治疗室南墙处,剂量监测值显示在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。仪器有声光报警,以警示现场工作人员,确保工作人员安全。

⑤伽玛刀机房采取双人双“锁”管理,放射源工作场所视频监控系统接入医院安保系统。机房设计有门-机/源安全联锁和门灯联锁,机房门锁死后,设备才能启动。伽玛刀有断电自动回源措施。机房防护门内,设计有开门按钮,紧急情况下,人员通过机房防护门内侧开门按钮打开机房门。机房门上设计有光幕式红外防夹装置,防止人员被夹伤。

⑥防护门为电动移门,防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射,防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。

伽玛刀机房系统监控,急停开关、辐射报警仪分布如图 10.1-3 所示。

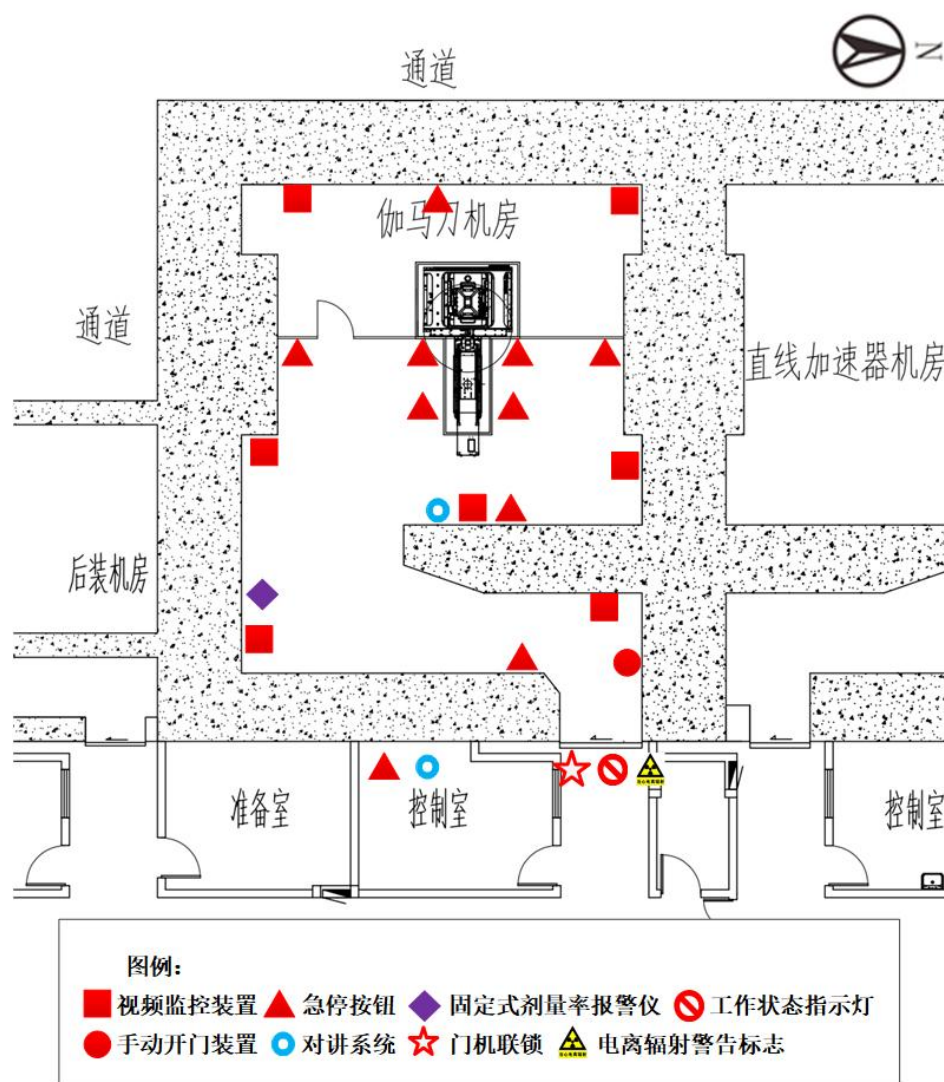


图 10.1-3 伽玛刀机房紧急开关、监视系统安全设施等分布示意图

(2) 屏蔽防护

①机房屏蔽设计方案

本项目伽玛刀机房屏蔽设计方案如下表所示。

表 10.1-2 机房屏蔽设计措施一览表

机房	方位或位置		屏蔽材料	厚度（mm）
伽玛刀机房	东墙	迷道内墙	混凝土	1700
		迷道外墙		1700
	南墙	主屏蔽	混凝土	3000
		次屏蔽		2100
	西墙		混凝土	2100
	北墙	主屏蔽	混凝土	3000
		次屏蔽	混凝土	2100
	顶棚	主屏蔽墙	混凝土	3000
		次屏蔽墙		2100
防护门		铅	10mm	
注：铅密度不小于 11.34g/cm ³ ，混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ 。				

注：铅密度不小于 11.34g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³。

②电缆布设

伽玛刀机房采用耐辐射电缆，治疗室与控制室操作台之间的电缆管线布局在地沟内，治疗室内部分以地沟形式布设在地坪以下，电缆沟盖板采用 4cm 厚混凝土板覆盖，穿墙部分两侧采用 4cm 混凝土盖板及 5mm 铅板屏蔽；其他电缆均布设在非主射线投照部位，穿墙部位采用预埋穿线管方式，并以“U”字形从地坪下方穿越墙体。如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填厚度约 1cm 的铅板。

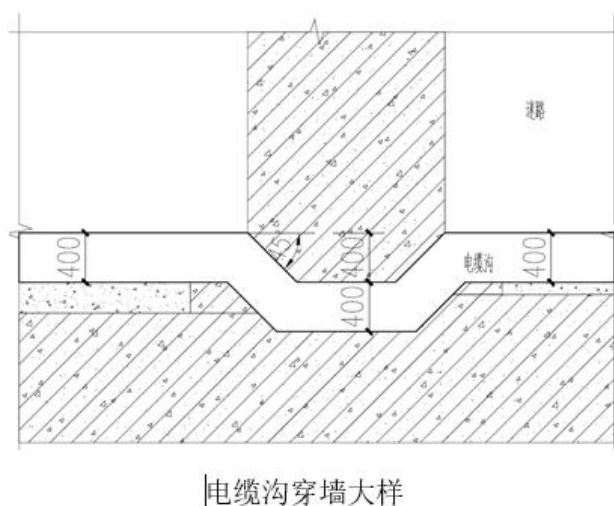


图 10.1-4 伽玛刀机房管线布置示意图

③排风管线

伽玛刀运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。本项目伽玛刀机房设计有通排风系统，治疗室内西南侧和东南侧吊顶处各设有 1 个新风口，治疗室东北

侧和西北侧距地 250mm 处各设 1 个排风口，对角设置，送风量为 3000m³/h，排风量为 3000m³/h，伽玛刀机房面积约 476m³，通风换气次数约 6 次/h。伽玛刀机房排风管和新风管从防护门上方以“Z”穿越墙体。排风管经机房防护门上方穿出机房后由机房南侧排风井抽排至住院楼楼顶，并高出屋脊排放。

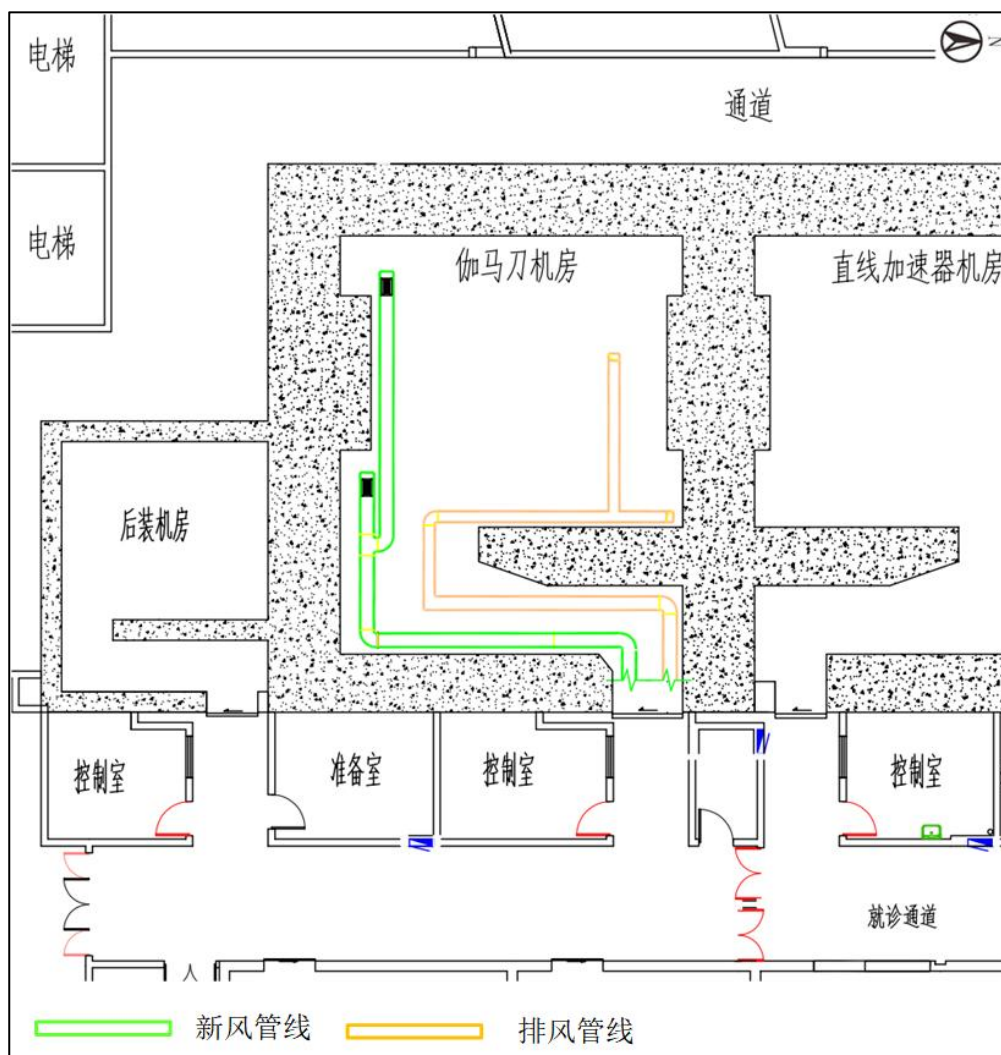


图 10.1-5 伽玛刀机房通排风管线布置示意图

（3）其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量计；本项目伽玛刀工作人员共需配备 2 台个人剂量报警仪和 6 枚 TLD 个人剂量计。

②配备 1 套固定式辐射监测报警仪，本项目伽玛刀为 I 类放射源，其辐射工作场所应设置 1 套辐射环境监测报警系统；

③配备 1 台便携式辐射巡测仪；

④控制室墙上张贴相应的辐射工作制度，如操作规程、岗位职责、辐射事故应急预案等；

⑤根据辐射工作场所监督区和控制区划分结果,在监督区和控制区处设置明显的标识;

10.1.3 放疗科辐射安全与防护措施符合性分析

对照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021),本项目机房符合性分析如表 10.1-3 所示。

表 10.1-3 放疗科伽玛刀机房符合性分析表

机房名称	防护要求	本项目分析	符合性
选址与布局	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内	本项目伽玛刀机房位于住院楼地下一层,无地下层,机房位于医院主体建筑内,为医疗用房	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域	本项目伽玛刀机房位于住院楼地下一层,无地下层,周边不邻近儿科、产科、商业等人群密集及特殊人群区域	符合
分区原则	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所;与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需要经常对职业照射条件进行监控和评价的区域划定为监督区	本项目实行两区划分,将伽玛刀机房划分为控制区;将控制室、准备间及与机房相邻的区域划分监督区	符合
屏蔽要求	放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野能条件和参数进行计算,同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	本项目伽玛刀机房屏蔽设计均按最大工况进行防护屏蔽	符合
	放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能,符合最优化要求	项目伽玛刀机房均采用普通钢筋混凝土进行屏蔽。防护门采取铅门,各屏蔽体厚度满足要求	符合
	管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式,并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接,确保满足屏蔽体外的辐射防护要求	本项目伽玛刀机房通排风管线通过“Z”型穿越墙体,电缆沟均以“U”型电缆沟穿越墙体,不影响机房整体屏蔽效果;防护门与墙的搭接处尽可能减小缝隙漏泄辐射,防护门宽与门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍	符合
	治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平应满足 6.1.4 相关要求	伽玛刀机房均采用普通混凝土建设,各侧墙体及防护门外剂量率水平满足参考控制水平	符合
安全防护设施和措施	放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等;控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和密道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统	拟在机房门口上方等位置安装醒目指示灯,防护门及墙体设置辐射标志;机房治疗室内及迷道均设置有视频监控,可以实现机房内全监控,并设置双向对讲装置	符合
	含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常	拟按要求设置,伽玛刀机房迷路内入口处设置固定式辐射监测报警仪	符合

	情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近		
	放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁设施	伽玛刀机房控制台、机房墙体内均设置有急停开关；伽玛刀设置紧急回源装置和断电自动回源措施。防护门均设置红外防夹装置和应急开门装置	符合

由表可知，放疗科工作场所选址、屏蔽防护设计及安全设施均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准要求。

10.2 三废的治理

10.3.1 放疗科项目三废处理措施

（1）废旧放射源

本项目放射性固废是伽玛刀更换的废源。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十八条要求“生产、进口放射源的单位销售 I 类、II 类、III 类放射源给其他单位使用的，应当与使用放射源的单位签订废旧放射源返回协议。转让 I 类、II 类、III 类放射源的，转让双方应当签订废旧放射源返回协议。进口放射源转让时，转入单位应当取得原出口方负责回收的承诺文件副本”。

因此，医院应与 ^{60}Co 销售单位或转让单位签订废 ^{60}Co 返回协议。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行：使用 I 类、II 类、III 类放射源的单位应当按照废旧放射源返回合同规定，在放射源闲置或者废弃后 3 个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

使用放射源的单位应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，向其所在地省级生态环境主管部门备案。

因此，本项目废 ^{60}Co 放射源将交回生产单位，并在送交活动结束后 20 日内到福建省生态环境厅备案。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

（2）废水

本项目运营期不产生医疗废水和放射性废水，只有 6 名工作人员的生活污水，生活污水排入医院已有生活污水处理系统，经处理达标后排入市政污水管网。

（3）废气

本项目非放射性废气主要为伽玛刀在运行过程中会产生少量的臭氧和氮氧化物。伽玛刀机房设有一套独立的通排风系统，送风量为 3000m³/h，排风量为 3000m³/h，机房体积约 476m³，通风换气次数为 6 次/h。排风管排气口位于住院楼楼顶，并高出屋脊排放。

(4) 固体废物

伽玛刀运行期间的非放射性固废主要有少量医疗废物和生活垃圾。固废实行分类收集和处理，医疗固废与医院其他医疗固废一起委托相应有资质的单位处理，生活垃圾依托医院已有生活垃圾收集措施收集后经环卫部门定期清运。伽玛刀配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，根据《国家危险废物名录》（2021 年版）属于危险废物（废物代码：900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

(5) 噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 65dB(A)，噪声较小，且所有风机均设置在医院通风机房室内，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响甚微。

10.3 环保投资概算

本项目总投资预计为 2000 万元，其中辐射环保投资 35.3 万元，占总投资的 1.77%。本项目环保投资一览表详见表 10.3-1。

表 10.3-1 辐射防护（措施）及投资概算一览表

场所	项目	环保及安全防护措施名称	内容	投资额 (万元)
辐射安全管理机构		依托现有	成立辐射防护安全管理小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作	/
伽玛刀机房	辐射安全防护措施和环保治理措施	屏蔽措施	放疗科 1 间预留直线加速器机房改建为 1 间伽玛刀机房，各侧墙体及顶棚均采用标准普通混凝土浇筑成型，防护门为内衬铅板防护门	16
		辐射安全措施	门灯联锁装置 1 套，门源联锁装置 1 套，紧急制动装置 1 套，监视对讲装置 1 套，工作指示灯等；1 台固定式辐射监测报警仪	10
		废气治理	伽玛刀机房设有一套独立的通排风系统，送风量为 3000m ³ /h，排风量为 3000m ³ /h，通风换气次数为 6 次/h。排风管排气口位于住院楼楼顶，并高出屋脊排放	1.5
		固废治理	本项目废 ⁶⁰ Co 放射源将交回生产单位，并在送交活动完成后 20 日内到福建省生态环境厅备案。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性	1

			废物集中贮存单位贮存。伽玛刀配套使用 UPS 电源根据《国家危险废物名录》（2021 年版）属于危险废物（废物代码：900-052-31），更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置	
		个人防护用品	新增 6 枚个人剂量计，配备 2 台个人剂量报警仪	2
		警示标识	电离辐射警示标志，控制区、监督区标示牌等	0.5
		监测仪器	1台便携式X-γ剂量率监测仪	1
其他	人员配备	辐射防护与安全培训和考核	辐射工作人员、辐射安全分管管理领导均应参加环保部平台辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并在通过考核后方可从事相关工作	/
		个人剂量监测和职业健康监护	辐射工作人员应定期健康检查，定期进行个人剂量监测，医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案	1
	制度上墙		操作规程，设备检维修制度，辐射事故应急制度，岗位职责等	0.3
	环境监测		委托有资质单位开展各辐射工作场所辐射环境年度监测	0.5
	运行维护		监测仪器的维护、校准，安全设施的维护等	0.5
	环境风险投资		购买应急物资，开展辐射事件应急演练等	1
	合计			35.3

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废物和扬尘。

11.1.1 声环境影响

本项目建设阶段的噪声来自放疗科内部的相关设施的安装调试等阶段中，但该评价项目的建设期较短，对周围环境影响较小，且噪声会随施工结束而消失。因此，只要合理安排施工时间，对周围环境的影响不大。

11.1.2 环境空气影响分析

在整个建设阶段，扬尘来自材料运输和装卸等施工活动，由于扬尘多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大，但土建工程结束后即可恢复。

11.1.3 水环境影响分析

本项目建设阶段污水来自施工人员的生活污水和少量施工废水，对此，施工单位可依托医院现有的污水处理系统进行妥善处理。

11.1.4 固体废物的影响分析

建设阶段固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。生活垃圾和建筑垃圾应分别堆放，并委托环卫部门妥善处置，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理，可以使建设阶段的固体废物处于可控状态。

综上所述，本项目在建设阶段的环境影响具有暂时性、可逆性的特点。且因本项目工程量较小，对室外环境和周边人群的影响较小，故不进行详细评价。

11.1.5 设备安装调试阶段环境影响分析

本项目设备的安装应请专业人员进行，医院方不得自行拆卸、安装设备，安装调试期间操作人员必须持证上岗并采取足够的个人防护措施。

在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目拟新增的伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，含 1 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 64mA，CBCT 图像引导系统为伽玛刀设备的辅助系统，与伽玛刀为同一台（套）设备。

CBCT 图像引导系统出束过程中，会产生 X 射线。由于该射线装置最大管电压为 150kV，仅用于放射治疗前进行定位确认，出束时间远小于 ^{60}Co 放射源治疗时长，且产生的 X 射线为 kV 量级，最大能量仅为 ^{60}Co 放射源产生的 γ 射线能量的十分之一，对机房外部辐射影响远小于 ^{60}Co 放射源产生的 γ 射线，因此，本次评价只考虑 ^{60}Co 放射源产生的 β 射线和 γ 射线对伽玛刀机房外的辐射影响。

而 ^{60}Co 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关屏蔽防护设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{60}Co 产生的 γ 射线的环境影响。

11.2.1.1 伽玛刀运行参数

伽玛刀初装源时额定焦点剂量率为 $2\text{Gy}/\text{min}$ ，治疗工作量最大为 20 人/天，每周工作 5 天，平均每人在等中心处的治疗剂量为 $8\text{Gy}/\text{人次}$ ，则工作负荷 $W=20\times 8\times 5=800\text{Gy}/\text{周}$ ，则出束照射时间 $t=800\div 2=400\text{min}/\text{周}=6.67\text{h}/\text{周}$ ，即 $333.33\text{h}/\text{a}$ 。

11.2.1.2 伽玛刀机房屏蔽体的屏蔽核算

（1）关注点设置

根据 GBZ/T201.3-2014 的要求，在本项目伽玛刀机房外设定关注点（关注点：在机房外、距机房外表面 30cm 处，选择人员受照的剂量当量可能最大的位置作为关注点。）设定的关注点位见图 11.2-1 和图 11.2-2。

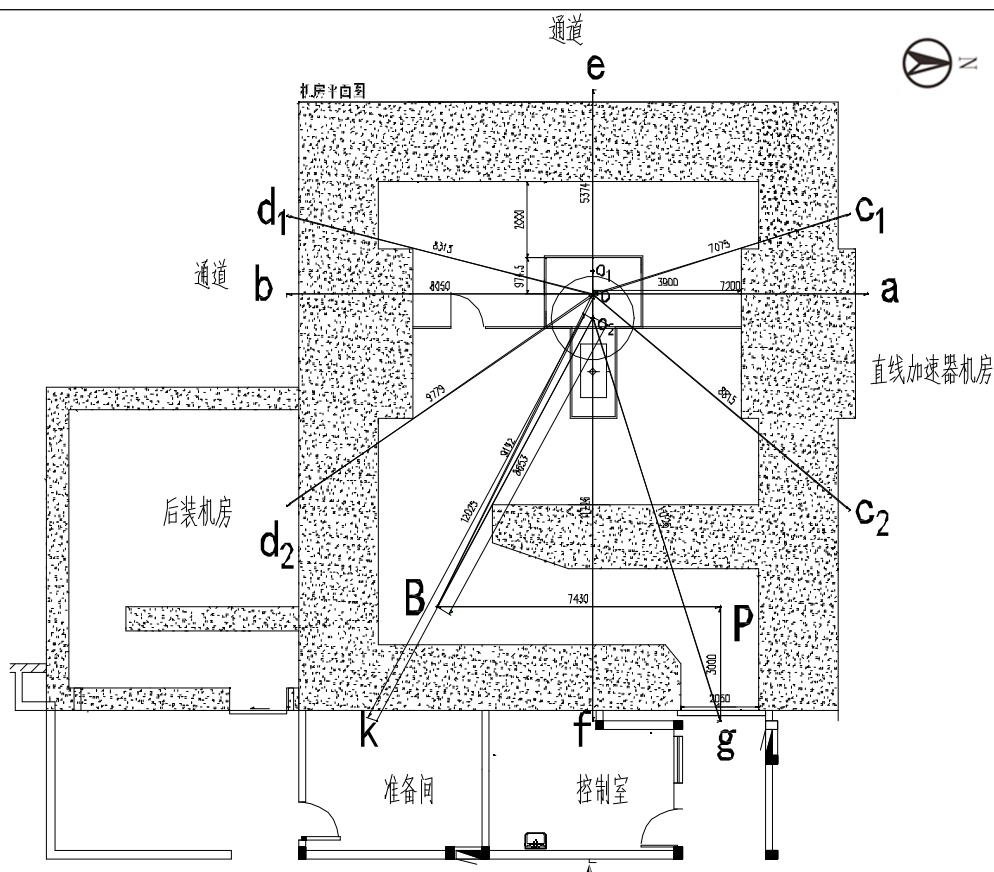


图 11.2-1 伽玛刀机房关注点和主要照射路径示意图（平面）

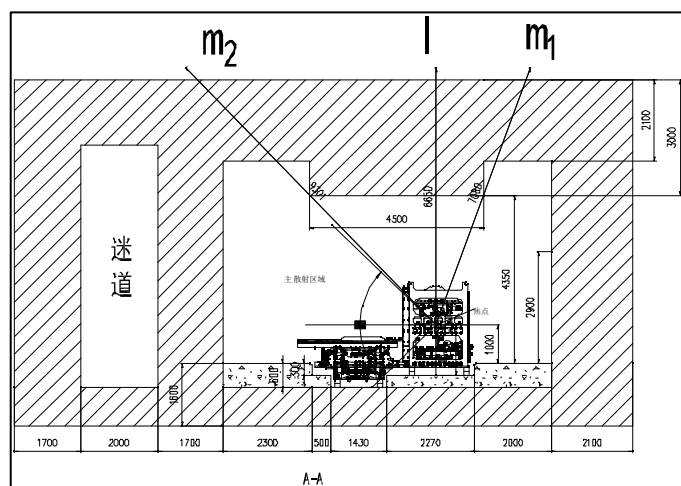


图 11.2-2 伽玛刀机房关注点和主要照射路径示意图（剖面）

表 11.2-1 伽玛刀机房各关注点一览表

关注点	点位描述	居留因子	备注
a	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	1/2	部分居留
b	南墙外 30cm 处，即通道	1/5	部分居留
c ₁	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	1/2	部分居留
c ₂	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	1/2	部分居留
d ₁	南墙外 30cm 处，即通道	1/5	部分居留
d ₂	南墙外 30cm 处，即后装机房	1/2	部分居留
e	西墙外 30cm 处，即通道	1/5	部分居留

f	东墙外 30cm 处, 即控制室	1	全居留
k	东墙外 30cm 处, 即准备室	1/2	部分居留
I	机房顶棚外 30cm 处, 即住院大厅	1/5	部分居留
m ₁	机房顶棚外 30cm 处, 即住院大厅	1/5	部分居留
m ₂	机房顶棚外 30cm 处, 即住院大厅	1/5	部分居留
g	伽玛刀机房入口防护门 30cm 处	1/8	偶然居留

(2) 工作状态的不同方位考虑的放射源及辐射类型分析

根据《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/T201.3-2014）4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求：

d) 体部 γ 刀治疗机房墙、顶和门的屏蔽主要应考虑装置治疗状态下的泄漏辐射准直器的泄漏辐射和有用线束的一次散射辐射，散射辐射与入射辐射的夹角通常为 $40^\circ \sim 140^\circ$ 。对个别体部 γ 刀(或称全身 γ 刀)需考虑旋转照射时单个源的有用线束。

g) 生产厂家给出的放射源治疗装置性能不低于国家标准的产品指标时，可依其指标计算机房屏蔽。尤其是对 γ 刀治疗机房，需详细分析生产厂家给出的有关准直器的几何条件、源准直器在治疗中的移动或转动、准直束和准直器的泄漏辐射等详尽资料，确定散射面积、散射角度、散射辐射强度与剂量。

结合本项目伽玛刀 13 枚高活度 ^{60}Co 放射源聚集于钴源匣内，成两排排列，由准直器静态聚焦，绕滚筒转动从不同角度对患者病灶进行照射。源轴距（放射源活性区下端面到焦点的距离）608mm，每枚源到通过准直器后形成的 γ 射线束类似于 ^{60}Co 射线远距离治疗机，因此本项目评价参考 ^{60}Co 射线远距离治疗机的剂量估算方法。

根据设备厂家提供的资料，本项目 13 枚源相对集中于钴源匣内，两排布置。相邻放射源发射的射线通过同一规格准直器在焦点处重合形成相同的焦点平面。每枚放射源直径 11.9mm，保守按点源考虑，每枚放射源间距约 50mm，最大准直器规格 $\Phi 35$ （直径 35mm），相邻放射源发射的射线均通过焦点 35mm 平面断面直径后，在照射方向形成射线投影区域范围。经分析，相邻 50mm 点源发射的射线在距离点源 0.608m 处通过断面直径 35mm 焦点后，距离焦点约 2.5mm 远处射线基本上不再重叠。即点源在距离焦点约 2.5m 远处垂直于入射平面上只有一枚放射源的射线投影。因本项目伽玛刀治疗室南北方向净空长度为 8.65m，净高 4.35m，伽玛设备焦点位于近似机房中心，其焦点距离南、北、顶部屏蔽墙的净距离均大于 3.0m，即本项目钴源匣内排列的 13 枚放射源每枚放射源通过焦点平面后形成的射线束照射到对面的屏蔽墙上或关注点位置形成的投影不重叠。因此南侧、北侧和顶部的屏蔽墙外关注点（a、b、I）的剂量只考虑旋转照

射时单个源的有用线束透射平衡屏蔽锤体和混凝土屏蔽墙后的辐射影响。由于设备自带平衡屏蔽锤体，南、北、顶侧屏蔽墙需同时核算投射相反方向时受到 13 枚放射源（按点源考虑，源点取 13 枚源的几何中心）的泄漏辐射透射的影响，取两者剂量大的作为投照方向屏蔽体外的剂量当量率。关注点 c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 、 k_1 、 k_2 处于在自屏蔽平衡体遮挡范围外，需考虑 13 枚有用线束的患者散射和 13 枚放射源的泄漏辐射，散射角为 32.67° （从等中心到自屏蔽体铅块外侧边缘夹角的 1/2 作为散射角考虑，自屏蔽体铅块在治疗床轴线方向长 780mm）。关注点 e、f、k 不考虑有用线束，只需考虑 13 枚放射源的泄漏辐射和患者散射辐射透射的叠加影响。

（3）剂量率参考控制水平导出

根据《放射治疗机房的屏蔽规范第3部分：放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中确定治疗机房墙外和防护门外关注点的周围剂量率应不大于①、②和③所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c(\mu\text{Sv/h})$ 。

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ ；

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{（式11.2-1）}$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$ ——周围剂量当量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c ——周剂量参考控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ），放射治疗机房外控制区的工作人员 $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员 $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在相应关注点位置的居留因子，见表 11.2-1；

t——设备周最大累计照射的小时数，h/周；

②根据关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和②中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。各关注点剂量率控制水平见表 11.2-2。

表 11.2-2 各关注点剂量率控制水平

关注点	使用因子(U)	居留因子(T)	周治疗照射时间 (t)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	1	1/2	6.67	5	1.50	10	1.50
b	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
c ₁	1	1/2	6.67	5	1.50	10	1.50
c ₂	1	1/2	6.67	5	1.50	10	1.50
d ₁	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
d ₂	1	1/2	6.67	5	1.50	10	1.50
e	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
f	1	1	6.67	100	14.99	2.5	2.5
k	1	1/2	6.67	5	1.50	10	1.50
l	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
m ₁	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
m ₂	1	1/5	6.67	5	3.75	10	3.75
g	1	1/8	6.67	5	6.00	10	6.00

(4) 伽玛刀机房屏蔽体外剂量率水平估算

①泄漏辐射剂量率预测

按式 11.2-3 估算屏蔽透射因子 B，再按式 11.2-4 计算相应辐射在屏蔽体外预测点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

$$X_e = X \times \sec \theta \quad (\text{式 11.2-2})$$

式中：

θ ——斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。本项目各屏蔽墙均保守按垂直入射考虑 $\theta=0^\circ$ ， $X_e=X$ 。

X ——屏蔽物质厚度。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \quad (\text{式 11.2-3})$$

式中：

TVL_l ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm；

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；当未指明 TVL_l 时， $TVL_l=TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \times f}{R^2} \times B \quad (\text{式 11.2-4})$$

式中：

$\dot{H}_0$ ——活度为 A 放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；其中 $\dot{H}_0 = A \times K_r$ ， A ：放射源的活度，MBq，本项目为 $5.77 \times 10^8 \text{MBq}$ ； K_r ：放射源的空气比释动能率常数， $\mu\text{Sv}/$

(h.MBq)，Co-60 为 $0.308\mu\text{Sv}/(\text{h.MBq})$ ，计算可得 $\dot{H}_0=1.78\times10^8\mu\text{Sv/h}$ 。

f ——泄漏辐射比率，对有用线束为 1，对泄漏辐射取 0.001；

R ——辐射源至关注点的距离，m。

经计算，各预测点位泄漏辐射剂量率估算结果如表 11.2-3 所示。

11.2-3 各预测点位泄漏辐射剂量率估算结果

预测点	射线路径	R (m)	$X(\text{cm})$	$X_e(\text{cm})$	($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	θ	f	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	B	$H(\mu\text{Sv/h})$
a	O-a	7.2	300	300	1.78×10^8	0	0.001	24.5	21.8	2.30×10^{-14}	7.90×10^{-11}
b	O-b	8.05	300	300		0	0.001	24.5	21.8	2.30×10^{-14}	6.32×10^{-11}
c ₁	O-c ₁	7.07	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	1.10×10^{-6}
c ₂	O-c ₂	8.81	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	7.10×10^{-7}
d ₁	O-d ₁	8.31	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	7.97×10^{-7}
d ₂	O-d ₂	9.77	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	5.77×10^{-7}
e	O-e	5.37	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	1.91×10^{-6}
f	O-f	11.22	340	340		0	0.001	24.5	21.8	3.37×10^{-16}	4.76×10^{-13}
k	O-k	12.02	170	170		0	0.001	24.5	21.8	2.12×10^{-8}	2.59×10^{-5}
l	O-l	6.65	300	300		0	0.001	24.5	21.8	2.30×10^{-14}	9.26×10^{-11}
m ₁	O-m ₁	7.08	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	1.10×10^{-6}
m ₂	O-m ₂	9.30	210	210		0	0.001	24.5	21.8	3.10×10^{-10}	6.36×10^{-7}
g	O ₂ -g	11.12	170	170		0	0.001	24.5	21.8	2.12×10^{-8}	3.04×10^{-5}

②患者一次散射辐射影响预测

首先按式 11.2-2 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，接着，按式 11.2-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.2-5 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2 \cdot R_0^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-5})$$

式中：

$\dot{H}_0$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目取值为 $1.78\times10^8\mu\text{Sv/h}$ 。

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 γ 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量相对于等中心处剂量的份额，又称 400cm^2 面积上的散射因子，见表 C.3，45 度散射角取 3.7×10^{-3} 。

F ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；本项目取 9.6cm^2 。

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m。

R_0 ——放射源与等中心位置之间的距离，m；本项目取 0.608m 。

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

各预测点位患者一次散射辐射剂量结果如表 11.2-4 所示。

表 11.2-4 各预测点位患者一次散射辐射剂量率结果

预测点	射线路径	R_s (m)	X (cm)	X_e (cm)	($\mu\text{Sv/h}$)	θ	α_{ph}	TVL_l (cm)	TVL (cm)	B	$H(\mu\text{Sv/h})$
c_1	O- c_1	7.07	210	210	1.78×10^8	0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	1.06×10^{-11}
c_2	O- c_2	8.81	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	6.81×10^{-12}
d_1	O- d_1	8.31	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	7.66×10^{-12}
d_2	O- d_2	9.77	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	5.54×10^{-12}
e	O- e	5.37	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	1.83×10^{-11}
f	O- f	11.22	340	340		0	0.0037	15.1	15.1	3.04×10^{-23}	1.03×10^{-20}
k	O- k	12.02	170	170		0	0.0037	15.1	15.1	5.52×10^{-12}	1.62×10^{-9}
m_1	O- m_1	7.08	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	1.05×10^{-11}
m_2	O- m_2	9.30	210	210		0	0.0037	15.1	15.1	1.24×10^{-14}	6.11×10^{-12}
g	O ₂ - g	11.12	170	170		0	0.0037	15.1	15.1	5.52×10^{-12}	1.91×10^{-9}

③治疗机房迷路入口辐射剂量估算

本项目伽玛刀机房迷道入口的辐射剂量主要考虑泄漏辐射（O₂- g ）、患者散射（路径 O-B- g ）、散射辐射（路径 O₂-B- g ）。

A、路径 O₂- g 的泄漏辐射剂量率由表 11.2-3 可知，伽玛刀在 g 的泄漏辐射（O- g ）所致剂量 $\dot{H}_{og}$ 为 $1.26 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ；

B、至 B 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射（O-B- g ）计算公式：

$$\dot{H} = \frac{f \cdot \dot{H}_0 \cdot S \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \quad (\text{式 11.2-6})$$

式中：

f ——治疗装置的泄漏辐射比率，取 0.001；

$\dot{H}_0$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目伽玛刀在 1m 处的剂量率为 $1.87 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

S ——散射面积，即泄漏辐射始点和计算点共同可视的散射体区域的面积， m^2 ；为 27.1m^2 ；

R_L ——泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，m；

R ——散射体中心点与计算点的距离，m；

α_w ——散射因子，单位面积（ 1m^2 ）散射体散射到距离 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。 α_w 与入射角和反散射角有关， 45° 和 0° 入射辐射在

混凝土散射体上的 α_w 分别见表 C.4 和表 C.5；本项目保守取 0.0182。

根据公式 11.2-6 可计算得出至 B 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射（O-B-g）如表 11.2-5 所示。

表 11.2-5 g 处泄漏辐射的一次散射辐射（路径 O-B-g）计算参数和结果

关注点	f	$\dot{H}_o$ (μSv/h)	S (m ²)	α_w	距离 R_L (m)	距离 R (m)	$\dot{H}_g$ (μSv/h)
g	0.001	1.78×10^8	27.1	0.0182	8.65	7.43+3.00	10.8

③至 B 点的患者体表散射辐射受墙散射至 g 处的辐射（O-B-g）计算公式：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}(F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{\dot{H}_o}{R_0^2} \quad (\text{式 11.2-7})$$

式中：

α_{ph} —400cm² 面积上的散射因子，根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.3，45 度散射角取 3.7×10^{-3} ；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目伽玛刀最大治疗野为使用准直器 Ø35mm 时，面积为 9.6cm²；

α_2 —混凝土墙对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°， α_2 值见 GBZ/T201.3-2014 附表 C.4，保守使用 0.25MeV 的值，取 3.39×10^{-2} ；

S —B 处的散射面积，m²；本项目为 $S=27.1\text{m}^2$ ；

R_L —O-B 之间的距离，取 9.19m；

R_2 —B-g 之间的距离，取 $7.43+3.00=10.43\text{m}$ ；

R_0 —放射源与等中心位置之间的距离，取 0.608m。

根据公式 11.2-7 可计算入口 g 处的散射辐射（O-B-g）剂量率如表 11.2-6 所示。

表 11.2-6 g 处患者体表的二次散射辐射（路径 O-B-g）计算参数和结果

关注点	α_{ph}	α_2	S (m ²)	F (cm ²)	$\dot{H}_o$ (μSv/h)	R_0 (m)	R_L (m)	R_2 (m)	$\dot{H}_g$ (μSv/h)
g	3.7×10^{-3}	0.0339	27.1	9.6	1.78×10^8	0.608	9.19	10.43	4.28

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (mm) 时，防护门外的辐射剂量率按公式 11.2-8 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11.2-8})$$

式中：

$\dot{H}_g$ —入口 G 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_{og}$ —穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度（式中 TVL=5mm），mm。

防护门为 10mm 铅板。根据公式 11.2-8 计算可得： $\dot{H}$ 为 0.15 μ Sv/h。

（5）单个源的有用线束辐射影响预测

单个源的有用线束辐射影响预测点位为 a、b、I 点。先按公式 11.2-2 计算有效屏蔽厚度，再按公式 11.2-3 计算屏蔽透射因子，再根据公式 11.2-4 计算预测定位的辐射剂量率，计算结果如表 11.2-7 所示。

表 11.2-7 单个源的有用线束辐射剂量率计算结果

参数	北墙（a 点）	南墙（b 点）	顶棚（I 点）
射线路径	O-a	O-b	O-I
R （m）	7.20	8.05	6.65
X (cm)	300	300	300
X_e (cm)	300	300	300
H_o （ μ Sv/h）	4.44×10^7		
θ	0	0	0
f	1	1	1
TVL_I （cm）	24.5	24.5	24.5
TVL （cm）	21.8	21.8	21.8
B	2.30×10^{-14}	2.30×10^{-14}	2.30×10^{-14}
H （ μ Sv/h）	1.97×10^{-8}	1.58×10^{-8}	2.31×10^{-8}

（6）预测结果汇总及评价

伽玛刀机房墙、顶、门外预测点辐射剂量率估算结果汇总见表 11.2-8。

表 11.2-8 预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	预测剂量率（ μ Sv/h）				剂量率参考控制水平值（ μ Sv/h）	是否满足控制要求
		泄漏	散射	单个源有用线束	合计		
a	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	7.90×10^{-11}	/	1.97×10^{-8}	1.97×10^{-8}	1.50	满足
b	南墙外 30cm 处，即通道	6.32×10^{-11}	/	1.58×10^{-8}	1.58×10^{-8}	3.75	满足
c ₁	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	1.10×10^{-6}	1.24×10^{-14}	/	1.10×10^{-6}	1.50	满足
c ₂	北墙外 30cm 处，即直线加速器机房	7.10×10^{-7}	1.24×10^{-14}	/	7.10×10^{-7}	1.50	满足
d ₁	南墙外 30cm 处，即通道	7.97×10^{-7}	1.24×10^{-14}	/	7.97×10^{-7}	3.75	满足
d ₂	南墙外 30cm 处，即后装机房	5.77×10^{-7}	1.24×10^{-14}	/	5.77×10^{-7}	1.50	满足
e	西墙外 30cm 处，即通道	1.91×10^{-6}	1.24×10^{-14}	/	1.91×10^{-6}	3.75	满足
f	东墙外 30cm 处，即控制室	4.76×10^{-13}	3.04×10^{-23}	/	4.76×10^{-13}	2.5	满足
k	东墙外 30cm 处，即准备室	2.59×10^{-5}	5.52×10^{-12}	/	2.59×10^{-5}	1.50	满足
l	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	9.26×10^{-11}	/	2.31×10^{-8}	2.31×10^{-8}	3.75	满足
m ₁	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	1.10×10^{-6}	1.05×10^{-11}	/	1.10×10^{-6}	3.75	满足
m ₂	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	6.36×10^{-7}	6.11×10^{-12}	/	6.36×10^{-7}	3.75	满足
g	伽玛刀机房入口防护门 30cm 处	3.03×10^{-5}	0.15	/	0.15	6.00	满足

通过上表可以看出，本项目伽玛刀机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率

满足相应的剂量率参考控制水平。

(7) 散射辐射剂量场数据验证计算

根据《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/T201.3-2014）4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求第g）条“当获得生产厂家提供的治疗装置周围的散射辐射剂量场数据时，屏蔽计算宜尽可能利用这些实际数据”。因此，本评价采用设备厂家提供的散射辐射剂量场数据进行伽玛刀机房屏蔽厚度验证计算。

①辐射剂量场分布监测条件

根据设备生产商提供资料，散射辐射剂量场分布监测条件：伽玛刀在源活度 $5.77 \times 10^{14} \text{Bq}$ (15600Ci)，开 $\Phi 35 \text{mm}$ 准直器照射，在地面处(0m)和距地面0.5m、1.0m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0m处设置布置为1m的矩阵点。

②辐射剂量场分布情况

通过辐射监测仪检测读出每个矩阵点的漏、散射剂量率，如表11.2-9和表11.2-10所示。

表 11.2-9 关束状态下机房内矩阵点漏、散辐射典型测量结果

机房内		漏、散辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)						
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
B1	3.0m	0.15	0.21	0.55	0.61	0.46	0.22	0.20
	2.5m	0.16	0.32	0.74	1.18	0.70	0.35	0.16
	2.0m	0.16	0.43	1.32	1.69	1.30	0.39	0.17
	1.5m	0.15	0.74	1.43	1.51	1.44	0.61	0.28
	1.0m	0.16	0.98	1.45	1.38	1.34	0.55	0.16
	0.5m	0.15	0.85	1.43	1.58	1.42	0.38	0.15
	地面	0.16	0.38	1.34	0.95	1.38	0.33	0.13
B2	3.0m	0.20	0.22	0.16	0.22	0.17	0.21	0.23
	2.5m	0.23	0.26	0.28	0.78	0.29	0.22	0.18
	2.0m	0.18	0.28	1.46	2.91	0.70	0.29	0.20
	1.5m	0.18	0.33	2.36	2.95	2.17	0.30	0.18
	1.0m	0.20	0.33	2.60	3.07	2.20	0.26	0.21
	0.5m	0.24	0.33	1.95	3.21	2.13	0.32	0.21
	地面	0.18	0.30	0.84	2.44	1.17	0.23	0.13
B3	3.0m	0.21	0.23	0.34	0.24	0.33	0.23	0.22
	2.5m	0.23	0.26	0.25	0.19	0.28	0.26	0.23
	2.0m	0.29	0.32	0.33	0.59	0.36	0.33	0.30
	1.5m	0.25	0.30	0.44	3.14	0.56	0.33	0.24
	1.0m	0.22	0.35	0.88	3.78	0.81	0.38	0.25
	0.5m	0.23	0.32	0.46	3.05	0.51	0.29	0.29
	地面	0.23	0.26	0.51	2.59	0.47	0.20	0.13
B4	3.0m	0.24	0.25	0.52	2.07	0.59	0.28	0.29
	2.5m	0.29	0.28	0.56	2.80	0.43	0.37	0.31
	2.0m	0.31	0.56	1.05	7.73	0.90	0.47	0.31
	1.5m	0.33	0.52	滚筒机架			0.52	0.35
	1.0m	0.32	0.53				0.58	0.40
	0.5m	0.29	0.48				0.29	0.23

	地面	0.3	0.54				0.36	0.21
B5	3.0m	0.18	0.22	0.31	0.98	0.29	0.20	0.20
	2.5m	0.21	0.18	0.25	2.63	0.21	0.23	0.25
	2.0m	0.26	0.23	0.21	3.36	0.18	0.22	0.23
	1.5m	0.20	0.29	1.99	11.63	1.43	0.23	0.22
	1.0m	0.20	0.22	0.52	治疗床	0.24	0.24	0.22
	0.5m	0.22	0.21	0.32		0.24	0.21	0.22
	地面	0.20	0.23	0.22	0.43	0.17	0.17	0.28
B6	3.0m	0.15	0.21	0.33	0.37	0.24	0.20	0.21
	2.5m	0.17	0.22	0.40	0.60	0.36	0.21	0.20
	2.0m	0.23	0.26	0.69	2.09	0.76	0.22	0.18
	1.5m	0.15	0.37	1.53	5.16	0.95	0.25	0.21
	1.0m	0.15	0.30	0.35	治疗床	1.16	0.29	0.18
	0.5m	0.16	0.29	1.01		0.92	0.25	0.18
	地面	0.15	0.25	0.79		0.31	0.18	0.16
B7	3.0m	0.16	0.24	0.36	0.81	0.31	0.24	0.15
	2.5m	0.20	0.28	0.75	0.87	0.60	0.26	0.16
	2.0m	0.21	0.37	0.66	0.95	0.51	0.29	0.18
	1.5m	0.20	0.44	0.67	0.94	0.62	0.32	0.20
	1.0m	0.23	0.53	0.67	治疗床	0.65	0.35	0.18
	0.5m	0.20	0.36	0.49		0.39	0.32	0.17
	地面	0.20	0.36	0.49		0.39	0.29	0.16
B8	3.0m	0.20	0.32	0.54	0.45	0.49	0.17	0.20
	2.5m	0.23	0.46	0.64	0.51	0.64	0.24	0.24
	2.0m	0.24	0.47	0.66	0.98	0.64	0.30	0.24
	1.5m	0.28	0.60	0.65	0.97	0.65	0.54	0.27
	1.0m	0.24	0.55	0.55	0.47	0.57	0.53	0.24
	0.5m	0.24	0.51	0.36	0.16	0.49	0.34	0.30
	地面	0.20	0.38	0.25	0.15	0.41	0.30	0.23
B9	3.0m	0.28	0.32	0.48	0.20	0.45	0.26	0.21
	2.5m	0.32	0.41	0.45	0.21	0.43	0.36	0.19
	2.0m	0.37	0.41	0.45	0.27	0.41	0.43	0.24
	1.5m	0.35	0.39	0.55	0.31	0.58	0.42	0.26
	1.0m	0.37	0.41	0.41	0.37	0.45	0.40	0.20
	0.5m	0.35	0.37	0.28	0.22	0.35	0.42	0.17
	地面	0.26	0.60	0.25	0.18	0.32	0.29	0.29
①从A1到A7, 依次为机房内从设备右侧墙体（北墙）向设备左侧墙体（南墙），间隔1m的测量点； ②从B1到B9, 依次为机房内从设备后侧墙体（西墙）向设备前侧墙体（东墙），间隔1m的测量点； ③测量高度依次为地面、地面以上0.5m、1.0m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0m。								

表11.2-10 关束状态下迷道内矩阵点漏、散辐射典型测量结果

机房迷道内		漏、散辐射剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）								
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
A1	2.5m	0.14	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.13	0.11	0.12
	2.0m	0.13	0.14	0.16	0.13	0.16	0.13	0.13	0.13	0.14
	1.5m	0.13	0.13	0.13	0.16	0.16	0.13	0.13	0.13	0.14
	1.0m	0.13	0.13	0.13	0.13	0.20	0.13	0.13	0.16	0.16
	0.5m	0.13	0.16	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.16
	地面	0.13	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.16	0.14	0.16
A2	2.5m	0.11	0.13	0.11	0.11	0.13	0.13	0.11	0.16	0.16
	2.0m	0.13	0.14	0.16	0.13	0.13	0.11	0.13	0.17	0.13
	1.5m	0.13	0.16	0.13	0.13	0.13	0.11	0.13	0.13	0.17
	1.0m	0.13	0.16	0.16	0.13	0.11	0.11	0.13	0.11	0.17

	0.5m	0.13	0.16	0.13	0.13	0.09	0.11	0.13	0.13	0.13
	地面	0.13	0.16	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11	0.13
A3	2.5m	0.12	0.10	0.01	0.10	0.14	0.16	0.12	0.16	0.14
	2.0m	0.14	0.16	0.13	0.15	0.17	0.15	0.14	0.17	0.17
	1.5m	0.16	0.14	0.11	0.14	0.12	0.14	0.14	0.18	0.16
	1.0m	0.16	0.12	0.14	0.16	0.10	0.12	0.12	0.15	0.16
	0.5m	0.16	0.12	0.11	0.17	0.12	0.12	0.014	0.12	0.14
	地面	0.16	0.10	0.11	0.11	0.14	0.12	0.14	0.12	0.14
①从A1到A3, 依次为进入机房内从迷道左侧墙体（北墙）向迷道右侧墙体（南墙），间隔1m的测量点； ②从B1到B9, 依次为机房内从防护门处（西墙）向迷道设备前侧墙体（东墙），间隔1m的测量点； ③测量高度依次为地面、地面以上0.5m、1.0m、1.5m、2.0m、2.5m。										

③伽玛刀机房屏蔽体外剂量率水平估算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照公式 (11.2-2) 计算有效厚度 X_e (cm), 按照公式 (11.2-3) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按照公式 (11.2-9) 计算屏蔽体外辐射剂量率。本评价报告根据设备厂家提供的 γ 刀出束状态的辐射测量值, 以最接近本项目治疗室墙内表面的辐射剂量, 按照距离平方反比关系计算治疗室外关注点的剂量率。

$$H_R = H_0 \cdot B \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \quad (\text{式 } 11.2-9)$$

式中:

H_0 —距离机房内墙体最近处（距放射源 R_0 处）的散射或泄露辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
根据剂量场分布图, 选取同区域处剂量率最大值。

H_R —剂量率取值, $\mu\text{Sv/h}$;

R_0 — H_0 与放射源点的水平距离, m;

R —关注点到等中心的距离, m, 本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm。

本项目伽玛刀治疗系统在关束状态下的环评预测根据表 11.2-9 和表 11.2-10 的数据, 结合设备在机房内的摆放位置, 依据估算公式 11.2-9 计算。计算参数和计算结果见表 11.2-11。

表 11.2-11 关束状态下机房外关注点剂量率估算表

位置	关注点位	点位描述	H_0 取值 ($\mu\text{Sv/h}$)	R_0 (m)	R (m)	屏蔽体材料及厚度	估算剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)
机房墙体外	a	北墙外 30cm 处, 即直线加速器机房	0.40	3.5	7.2	3000mm 砼	5.59×10^{-17}	1.50
	b	南墙外 30cm 处, 即通道	0.33	3.5	8.05	3000mm 砼	3.69×10^{-17}	3.75
	c ₁	北墙外 30cm 处, 即直线加速器机房	0.40	3.5	7.07	2100mm 砼	2.15×10^{-12}	1.50

	c ₂	北墙外 30cm 处， 即直线加速器机房	0.40	3.5	8.81	2100mm 砼	1.38×10^{-12}	1.50
	d ₁	南墙外 30cm 处， 即通道	0.33	3.5	8.31	2100mm 砼	1.28×10^{-12}	3.75
	d ₂	南墙外 30cm 处， 即后装机房	0.33	3.5	9.77	2100mm 砼	9.27×10^{-13}	1.50
	e	西墙外 30cm 处， 即通道	1.69	3.5	5.37	2100mm 砼	1.57×10^{-11}	3.75
	f	东墙外 30cm 处， 即控制室	0.58	5.5	11.22	3400mm 砼	7.68×10^{-19}	2.5
	k	东墙外 30cm 处， 即准备室	0.58	5.5	12.06	1700mm 砼	2.83×10^{-10}	1.50
	I	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	2.07	1.5	6.65	3000mm 砼	6.22×10^{-17}	3.75
	m ₁	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	2.07	1.5	7.08	2100mm 砼	2.03×10^{-12}	3.75
	m ₂	机房顶棚外 30cm 处，即住院大厅	2.07	1.5	9.30	2100mm 砼	1.18×10^{-12}	3.75
防护 门外	g	伽玛刀机房入口防 护门 30cm 处	0.14	6.5	11.14	10mm 铅	1.73×10^{-4}	6.00

以上核算可知，在伽玛刀关束状态下，机房墙体外的剂量率水平均低于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的控制值要求。

11.2.4 辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算

（1）计算方法和计算公式

根据对各辐射工作场所关注点的剂量估算结果，结合本项目工作人员配备及工作负荷介绍，按照式 11.2-10 对本项目辐射工作人员及公众的年受照剂量进行估算。

$$H = H_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式11.2-10})$$

式中：

H ——年有效剂量，mSv/a；

H_r ——关注点辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——年受照时间，h/a；

T ——居留因子。

（2）辐射工作人员年有效剂量估算

①设备操控

本项目辐射工作人员在控制室内进行伽玛刀的操作。

表 11.2-12 伽玛刀机房控制室辐射工作人员年有效剂量估算结果

岗位	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	工作方式	年有效剂量 (mSv)
伽玛刀机房控制室	4.76×10^{-13} (f 点)	333.33	2 人	1.59×10^{-13}

②更换准直器

本项目伽玛刀能够自动更换准直器，不需人工更换，故不考虑更换准直器时辐射工作的受照剂量。

③摆位

治疗开始前，工作人员需进入治疗机房对患者摆位，则摆位过程中近距离接触伽玛刀的时间为1~2min，保守取2min。据设备厂家的资料，距可能触及的主机外壳表面5cm处任一接近位置，任意一点空气中的吸收剂量率不超过0.2mSv/h，保守取0.2mSv/h。则摆位过程中所受照射剂量为 $0.2 \times 2 \times 20 \times 250 \div 60 = 33.3 \text{ mSv/a}$ 。摆位时，身体距离设备表面按0.5m计，则体部所受照射剂量为 $33.3 \times (0.05 \div 0.5)^2 = 0.333 \text{ mSv/a}$ 。

④治疗结束后卸载患者

治疗结束后，工作人员需进入治疗机房将患者从治疗床上卸下，该过程时间为1~2min，保守取2min。则卸载患者所受照射剂量为 $0.2 \times 2 \times 20 \times 250 \div 60 = 33.3 \text{ mSv/a}$ 。卸载患者时，身体距离设备表面按0.5m计，则体部所受照射剂量为 $33.3 \times (0.05 \div 0.5)^2 = 0.333 \text{ mSv/a}$ 。

⑤工作人员出入治疗机房所受剂量分析

工作人员每位患者摆位时需出入一次，治疗结束后卸载患者需要出入一次，从进入机房防护门到接近伽玛刀单趟所需时间按15s计，则出入一次机房需30s，每天摆位需要出入20次，卸载患者需要出入20次，则每天出入治疗机房最多40次，需要时间为20min。距主机1m处的空气中的吸收剂量率为 $0.2 \times (0.05 \div 1)^2 = 5 \times 10^{-4} \text{ mSv/h}$ ；则工作人员一年所受剂量为 $5 \times 10^{-4} \times 40 \times 250 \div 60 = 0.083 \text{ mSv}$ 。

⑥工作人员所受年有效剂量评价

根据上述分析可知，本项目伽玛刀辐射工作人员在运行过程所受年有效剂量为 $1.59 \times 10^{-13} + 0.333 + 0.333 + 0.083 \approx 0.749 \text{ mSv}$ 。

(3) 公众年有效剂量估算

表 11.2-13 伽玛刀机房周边公众人员有效剂量估算结果

公众	方位	关注点辐射剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	与关注 点距离 (m)	受照时 间	居留 因子	年有效剂量 (mSv)
后装治疗机房准备室 公众	东侧	2.59×10^{-5} (k点)	紧邻	333.33h	1/2	4.32×10^{-6}
后装治疗病房公众	南侧	5.77×10^{-7} (d ₂ 点)	紧邻		1/4	4.81×10^{-8}
通道公众	南侧	7.79×10^{-7} (d ₁ 点)	紧邻		1/4	6.49×10^{-8}

通道公众	西侧	1.91×10^{-6} (e 点)	紧邻		1/4	1.59×10^{-7}
库房公众	西侧	1.91×10^{-6} (e 点)	3.3		1/4	4.82×10^{-8}
直线加速器机房公众	北侧	1.10×10^{-6} (c ₁ 点)	紧邻		1/4	9.17×10^{-8}
门诊医技楼公众	东侧	0.15 (g 点)	13		1/4	9.62×10^{-4}
住院大厅公众	上方	1.10×10^{-6} (m ₁ 点)	紧邻		1/4	9.17×10^{-8}
防护门外公众	东侧	0.15 (g 点)	紧邻		1/8	6.25×10^{-3}

根据上述分析可知，伽玛刀机房周边公众在运行过程所受最大年有效剂量为 $6.25 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 。

11.2.5 伽玛刀机房大气环境影响分析

本评价主要针对伽玛刀治疗系统运行期间的臭氧影响进行定量预测。根据《辐射防护手册（第三分册）》， γ 辐照室空气中臭氧的产额可由下式进行计算：

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} A \times G \times V^{1/3} \quad (\text{式 11.2-11})$$

式中：

Q_0 —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

A —放射源的活度，Ci，本项目 ^{60}Co 放射源总活度为 16380Ci。

G —空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数， γ 辐照室取 6；

V —辐照室体积， m^3 ，本项目伽玛刀机房体积约为 476m^3 。由此计算伽玛刀机房臭氧的产额为 485.7mg/h 。室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = Q_0 \times T_v / V \quad (\text{式 11.2-12})$$

式中：

C ——室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

T_v ——臭氧有效清除时间，h；

V ——机房内空间体积；

$$T_v = t_v \times t_a / (t_v + t_a) \quad (\text{式 11.2-13})$$

式中： t_v ——换气一次所需时间，h；

t_a ——臭氧分解时间，h，此处取 0.83h 。

由此计算伽玛刀机房内臭氧的浓度为 0.14mg/m^3 。

综上，本项目伽玛刀机房通风次数约为6次，机房内臭氧浓度可满足《工作场所有害因素职业接触限值第1部分:化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中“工作场所空气中臭氧最高

容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”标准要求；且能够达到《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中臭氧的二级标准 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 。氮氧化物产生额约为臭氧的1/3，因此氮氧化物产生浓度约 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ ，可以满足《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015)标准要求，伽玛刀机房内的臭氧、氮氧化物通过机房排风系统经排风管道至住院楼楼顶排放，则产生的臭氧和氮氧化物对周围大气环境影响较小。

11.2.6 其他污染影响分析

(1) 废水

伽玛刀在运行过程中本身无废水排放，运行期间废水主要来自辐射工作人员日常生活污水，经医院主体污水处理系统处理后纳入市政污水管网，由于项目新增生活污水量很小，不会对污水处理站造成影响，因此项目废水能够依托医院现有污水处理设施处理，不会对周围水环境造成影响。

(2) 固体废物

伽玛刀更换的废旧放射源由供源单位回收，不在伽玛刀机房贮存。

运行期间辐射工作人员日常生活垃圾经分类收集后，委托环卫清运。患者产生的少量医疗废物依托医院现有医疗废物暂存间储存，定期委托有资质单位处置。

经上述处理后，本项目产生的废旧放射源、医疗废物及生活垃圾等均可得到妥善处置，对周围环境影响很小。

(3) 噪声

本项目噪声源主要为设备及风机运行噪声，因放射治疗设备及风机均设置在机房内，且设备设基础减振，因此经机房隔声减振等降噪措施后对周围声环境影响很小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故类型

(1) 伽玛刀在运行时，由于安全连锁系统失效，人员误入治疗机房内而造成误照射。

(2) 治疗过程中出现不能终止治疗程序或终止治疗程序无效的情况造成患者超剂量照射。

(3) 运行过程中发生卡源或源脱落故障。

(4) 治疗过程治疗准直器无法复位或治疗床不能正常退出造成患者超剂量照射。

(5) 机房局部屏蔽防护遭到损坏，导致射线泄漏，机房外局部辐射剂量率超标。

(6) 放射源丢失、被盗。

11.3.2 辐射事故应急处理措施

(1) 联锁装置失效，人员误入等

一旦发现联锁系统出现故障，辐射工作人员立即停止治疗工作，组织技术人员对联锁系统进行检查维修，在确认联锁系统恢复正常后，设备才能重新投入使用。同时将避免发生这类事故的措施建立在机房的工作制度中，严格执行设备联锁系统定期检查制度，并且将检查结果记录备案。

(2) 治疗过程中出现不能终止治疗程序或终止治疗程序无效事故

出现这种情况控制室工作人员立即按下操作面板上的急停按钮，并把操作面板上的钥匙拧到关的位置，工作人员携带个人剂量报警仪和个人剂量计进入治疗室，沿墙壁绕到设备后面，采用手动的方式关闭放射源。

(3) 治疗过程出现准直器无法复位或治疗床不能正常退出造成人员超剂量照射本项目伽玛刀卡源和传统的⁶⁰Co远距离治疗机的卡源不同，本项目伽玛刀所指的卡源是指治疗结束时准直体和源体不能回归零位，即治疗结束后源始终处于照射状态。出现这种情况是由于控制系统失控或钨滚筒的旋转和钴源匣之间出现故障，本项目伽玛刀卡源的情况下，工作人员在控制室控制治疗床从滚筒机架中移出后，立即进入治疗机房，迅速将病人从治疗床移下，将病人移出治疗室，断开设备电源，将屏蔽门关闭，并在门口设置警戒线和警示标牌，并安排专人值守，直至厂家人员到来。通知设备厂家西安大医集团股份有限公司派维修人员进行现场修理，并将卡源事故上报生态环境局。

(4) 放射源丢失、被盗

一旦发生放射源丢失、被盗、失控事故，采取以下处理措施：

①保护事故现场，紧急疏散无关人员，所有人员紧急撤离至安全区域。

②立即启动辐射事故应急预案，及时报告医学中心放射防护管理小组，查证放射源的名称、数量、活度，被偷盗、丢失的可能时间、地点和嫌疑人等，上报卫生行政部门、生态环境部门及公安部门。

③协助公安及卫生部门迅速查找，追回丢失的放射源。写出事件处理结果报告，查找事件发生的原因及可能的环节，评估事件影响。

11.3.3 伽玛刀辐射事故风险防范措施

(1) 风险防范措施

由于伽玛刀应用存在发生事故的风险，所以必须制定相应的风险防范措施：

①医院应制定 ^{60}Co 放射源应用的管理和操作制度以及事故风险的应急预案，并对从事辐射的操作人员进行定期培训，进行考核，考核不合格的，不得上岗。加强设备运行管理，使放射源的安全管理制度规范化和制度化。

②设备安装调试时必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。更换放射源时应对治疗室实行封闭管理，并在机房门外设立警戒线，无关人员严禁进入，更换放射源工作必须由厂家专业人员负责完成，换源结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

③应经常检查伽玛刀的安全装置，确保处于正常工作状态，安全装置发生故障时应及时排除，安全装置的故障未排除前，伽玛刀不得进行开机操作。

④每天开机前应检查联锁装置、报警装置的工作状态，保证其处于良好的工作状态，防止带故障开机操作。

⑤为防止放射源丢失，应加强安保工作，实行 24 小时监控。

⑥设备固有的多种风险防范措施。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员、公众的健康与安全。

（2）本项目机房的安全保卫措施

本项目伽玛刀所用 13 枚 ^{60}Co 放射源为 I 类放射源，为确保设备工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

①防火措施：机房四周均为混凝土结构墙体，混凝土为不燃材料，另外要求机房周围不允许存放易燃、易爆、腐蚀性等物品。

②防水措施：机房四周为混凝土结构墙体，防水性强；防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。本项目工作区域设有集水坑和排水设施，能够保证机房的防水效果。

③防盗措施：本项目区域出、入口设有大门，入口上方设有监控；所有监控和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24 小时巡逻和值班。

④防丢失和防破坏措施：本项目设备安装在伽玛刀机房内，项目场所纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能发生盗抢事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

⑤防射线泄漏措施：本项目机房由有资质的单位设计，经计算，屏蔽措施有效，伽玛刀均从专业厂家购买，设备固有安全性良好。

综上所述，本项目伽玛刀机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏措施可行。

（3）风险应急措施

①一旦发生意外辐射事故，应立即启动医院辐射事故应急预案，及时报告环保、卫生及公安等部门，妥善处理事故。

②对发生事故时射线装置的运行情况及时记录，记录相关的运行参数，以便了解受照射人员的辐射剂量。

③受到意外照射的人员应及时进行救治。

④当发生放射源丢失时，应立即向公安部门报案并提供监控信息等线索。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

福建医科大学附属第一医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规的要求，设立了辐射安全与环境保护管理委员会。以王彪为主任委员，欧启水为副主任委员，成员包括王孝廉、方艳、叶世岳、刘铃娴、严孙杰、李跃明、吴锦艺、林志鸿、林征宇、林蓉金、林献忠、郑城堤、柯勇强、唐丹杰、曹代荣、葛志勇、蔡传书、缪蔚冰、薛学义和魏斌。辐射安全与环境保护管理委员会下设办公室，挂靠设备与医用材料管理处，由吴锦艺兼任办公室主任，并对委员会、相关职能科室及相关临床医技科室工作职责作出明确规定。

辐射安全与环境保护管理委员会职责：

- （一）起草并制定医院辐射安全管理制度。
- （二）负责全院辐射防护工作的安全检查、监督管理。
- （三）负责医院辐射安全许可证，放射诊疗许可证的核发、变更等工作。
- （四）负责《福建省放射性同位素与射线装置辐射安全和防护状态年度评估报告》编写。

该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。

在日后的工作实践中，建设单位应根据核技术应用情况及时对已有辐射安全与防护管理领导小组成员作相应调整，确保调整后的辐射安全管理委员会的基本组成涵盖当时核技术应用所涉及的相关部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

（1）辐射防护管理制度

福建医科大学附属第一医院已开展核技术利用工作多年，涉及的核技术利用项目主要包括放射治疗、核医学、介入治疗和 X 射线影像诊断。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射源、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、检测方案等，有完善的辐射事故应急措施。

根据上述要求，医院制定了相关辐射管理规章制度，并加以落实，主要包括《放射

防护安全管理制度》、《放射诊疗设备自主监测方案及管理制度》《放射诊疗设备维护维修管理制度》、《放射诊疗设备个人防护用品配置使用及维护管理制度》、《放射工作人员职业健康检查与档案管理制度》、《放射工作人员个人剂量监测与档案管理制度》、《放射工作人员防护知识培训与档案管理制度》、《放射诊疗设备质量控制检测管理制度》和《受检者告知制度》、《辐射事故（事件）应急处理预案》等，医院制定的辐射安全管理制度具有一定的针对性和可操作性，可以满足原有项目运行的管理需求。

（2）辐射工作人员拟配备人数

根据医院提供的资料，本项目依托茶亭院区放疗科现有辐射工作人员，拟从放疗科现有辐射工作人员中抽调 6 人从事本项目辐射工作，本项目不新增辐射工作人员，详细抽调人员名单在项目运行期将根据实际需要再进行调整。

（3）辐射工作人员培训制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十六条：“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护知识及相关法律法规的培训和考核”。

本项目抽调的工作人员为医院现有工作人员，均已取得辐射安全与防护考核合格证书。建设单位应在本项目运行阶段安排工作人员每 5 年进行一次辐射安全和防护专业知识及相关法律法规复训，并取得辐射安全与防护考核复训培训合格证书。如后期本项目拟新增辐射工作人员，新增的辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗。医院应制定完善的辐射安全与防护培训计划，明确培训对象、周期和要求，并按计划组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证，考核不合格的不得上岗。

（4）年度安全状况评估

福建医科大学附属第一医院应在每年 1 月 31 日前填报上一年度评估报告。年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；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；放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；核技术利用项目新建、改扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

12.3 辐射监测

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，医院须对辐射工作场所及辐射从业人员开展辐射监测工作，以确保辐射从业人员的职业健康，控制放射性物质的照射，保障环境安全，规范辐射工作防护管理。

12.3.1 个人剂量监测

个人剂量监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，所有辐射工作人员个人剂量计需正确佩戴并及时送检，送检周期一般为一个月，最长不得超过 3 个月（将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。医院拟为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，并按期进行个人剂量监测。

医院应做到：

（1）在正常工况的一般情况下，若工作人员单季有效剂量超 1.25mSv、年有效剂量超过 5mSv 的剂量约束值时，应进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并经本人签字，上报当地生态环境主管部门；若超标原因为工作所致，应及时暂停该工作人员继续从事辐射作业。

（2）医院须建立个人剂量档案，档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案终生保存。

（3）个人剂量检测报告（连续四个周期）应当连同年度评估报告一起作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

12.3.2 年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，使用放射性同位素与射线装置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，可以委托有资质的第三方环境监测机构进行监测。

医院将严格执行辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对医院的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年 1 月 31 日前提交给发证机关。

12.3.3 辐射工作场所及周围环境监测计划

（1）监测项目：周围剂量当量率

（2）监测频次：项目投入运营后每年委托有资质单位进行一次辐射环境监测；医

院自行购买监测仪器进行定期自主监测。

(3) 监测布点及数据管理：监测布点和监测方法参考《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(4) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

(5) 监测数据要求：周围剂量当量率不大于参考控制水平要求，具体数据见表 11.3-1。

表12.3-1 监测计划一览表

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
伽玛刀机房	自主监测	周围剂量当量率	1次/季度	便携式X-γ辐射监测仪	防护门外、控制室操作位、管线洞口、四侧墙体外30cm处、顶棚外30cm处
	年度监测		1次/年	便携式X-γ辐射监测仪	
	验收监测		竣工验收	(需按国家规定进行剂量检定)	
	个人剂量检测	个人剂量当量	一个月，最长不超过3个月	个人剂量计	所有辐射工作人员

12.4 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施在调试期间进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。验收意见包括工程建设基本情况、工程变动情况、环境保护设施落实情况、环境保护设施调试效果、工程建设对环境的影响、验收结论和后续要求等内容，验收结论应当明确该建设项目环境保护设施是否验收合格。项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

本项目污染防治措施“三同时”验收一览表见表 12.4-1。

表 12.4-1 污染防治措施“三同时”验收一览表

场所	验收项目	验收内容
	环保手续	项目环评批复、辐射安全许可证更换
伽玛刀机房	建设内容	放疗科位于住院楼地下一层，将放疗科 1 间预留直线加速器机房改建为 1 间伽玛刀机房，并建设配套附属用房，包括 1 间控制室。伽玛刀机房内新增 1 套伽玛刀（含 13 枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度 $4.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ ）。根据《放射源分类办法》（原国家环保总局公告 2005 年第 62 号）进行分类，单枚

		放射源属于I类放射源；放射源总活度为 $5.772 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，应按医疗使用 I 类放射源进行管理。另外，本项目拟新增的伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，含 1 台 X 射线装置，最大管电压 150kV ，最大管电流 64mA。本项目伽玛刀机房有原有预留直线加速器机房改造，各侧墙体及顶棚均采用标准普通混凝土浇筑成型，防护门为内衬铅板防护门。
	废气处理	伽玛刀机房设有一套独立的通排风系统，送风量为 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ ，排风量为 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ ，通风换气次数为 6 次/h。排风管排气口位于住院楼楼顶，并高出屋脊排放。
	固废处理	本项目废 ^{60}Co 放射源由放射源厂家负责回收处置或送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存，并在送交活动结束后 20 日内到福建省生态环境厅备案。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。伽玛刀配套使用 UPS 电源根据《国家危险废物名录》（2021 年版）属于危险废物（废物代码：900-052-31），更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。
	警示标识	机房防护门上张贴电离辐射警示标志，控制室上方张贴操作规程，辐射事故应急流程，岗位职责等。
	个人防护用品	2 台个人剂量报警仪，6 个 TLD 个人剂量计。
	监测仪器	固定式辐射监测报警仪 1 套，便携式辐射巡测仪 1 台（与现有加速器机房共用）。
	安全防护措施	门机联锁装置 1 套，紧急停机装置 1 套，监视对讲装置 1 套，工作状态指示灯等。
	工作区域管理	对控制区和监督区进行分区管理，建立相关制度并安装警示标志。
	辐射安全管理制度	应急预案、辐射防护安全管理制度、监测计划、档案记录、个人剂量管理、操作人员培训等，所有制度均需上墙。
	综合管理	具有完善的操作规程、应急预案、辐射安全管理制度等
		辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训
		辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康体检档案

12.5 辐射事故应急

（1）辐射事故应急要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，辐射事故应急预案应包括以下内容：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ③辐射事故分级与应急响应措施；

④辐射事故调查、报告和处理程序。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境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。

（2）医院现有辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《福建省环保厅关于〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》（闽环保辐射[2013]10号）要求，医院已制定《福建医科大学附属第一医院辐射事故（事件）应急预案》，医院成立了辐射事故（事件）应急处理领导小组组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。该应急预案包括：

- ①应急机构和职责分工。
- ②辐射事故分级。
- ③辐射事故应急救援应遵循的原则。
- ④辐射事故应急措施和处理程序。
- ⑤辐射事故的调查和报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

福建医科大学附属第一医院拟在住院楼地下一层预留直线加速器机房改造成伽玛刀机房，伽玛刀机房内新增1套多源 γ 射束立体定向放射治疗系统（型号为 CybeRay 影像引导伽玛射线立体定向放射治疗系统，含13枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度 $4.88 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，放射源总活度为 $6.08 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，该设备具有全身伽玛刀的功能）。根据《放射源分类办法》（原国家环保总局公告2005年第62号）进行分类，放射源属于I类放射源，按照I类放射源（医疗使用）进行管理。另外，本项目拟新增的伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，含1台 X 射线装置，最大管电压150kV，最大管电流64mA。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

本项目为核辐射技术利用医学领域，属高新技术。对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 4 款中“高端放射治疗设备”，符合国家产业发展政策，属于国家鼓励类产业。

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址合理性分析

本项目位于福建医科大学第一附属医院滨海院区内，不新增土地，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素，评价范围 50m 内无学校、居民区等环境敏感点；本项目各辐射工作场所有相应的屏蔽设计，通过前文环境影响分析可知，经辐射屏蔽措施后，本项目的运行对周围环境的影响是可接受的；本项目拟改建伽玛刀机房位于医学住院楼地下一层，机房下方无地下层，基本符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，所在区域选址充分考虑了周围场所的安全，未邻接产科、儿科、食堂等部门，因此本项目选址基本合理。

13.1.4 辐射环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建场址周围的 γ 辐射剂量率在 $115\text{nGy/h} \sim 187\text{nGy/h}$ 之间。处于《中国环境天然放射性水平》中福建省室内及道路环境天然贯穿辐射水平正常范围

内（室内（89.9~231.0）nGy/h，道路（45.3~161.7）nGy/h），本项目拟选工作场所及场所周边辐射剂量率与该调查水平基本一致，建设项目场所环境辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内。

13.1.5 环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经模式预测，在正常工况下，放疗科伽玛刀机房的屏蔽防护均能满足相应的防护要求。

本项目各辐射工作场所辐射工作人员所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本评价提出的 5.0mSv 的年管理剂量约束值。本项目各辐射工作场所周围公众所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本评价提出年管理剂量约束值。

（2）水环境影响分析

本项目设备运行过程中无医疗废水和放射性废水排放。项目运行期间废水主要来自辐射工作人员的生活污水，经医院主体污水处理系统处理后排放，本项目调配 6 名辐射工作人员，对全院废水产生量影响较小。

（3）固废影响分析

主要是伽玛刀机房更换的废源由供源单位回收，不在机房内贮存；辐射工作人员产生的生活垃圾，经分类收集后，委托环卫清运，患者产生的少量医疗废物暂存医疗废物间定期委托有资质单位处置。项目增加的少量生活垃圾经环卫部门清运后，医疗废物委托有资质单位处置后不会对周围环境产生影响。

（4）废气影响分析

伽玛刀机房产生的臭氧浓度分别为 0.14mg/m³，均能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的要求。

同时，伽玛刀在工作时产生的臭氧等非放射性废气经排风系统通风后，满足评价标准要求，对周围大气环境影响较小。

（5）事故风险与防范

建设单位应按规定完善各项规章制度和事故防范措施，及时修订辐射事故应急预案并严格贯彻执行，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以避免发生辐射事故。

13.1.6 环保设施与保护目标

医院须按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

13.1.7 辐射安全管理的综合能力

建设单位目前已成立了辐射安全与环境保护管理委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后辐射工作人员须进行上岗培训，并进行职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.8 项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

（1）定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训与考核，培训到期的，应组织复训。新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，定期委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

（2）应补充完善其辐射相关的管理制度，按要求设置相关警示标志。

（3）若今后伽玛刀不再使用，放射源应由供源单位回收，并委托有资质的单位对工作场所进行退役监测。

（4）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）规定及时组织自主验收。

13.2.2 承诺

（1）福建医科大学附属第一医院承诺按照国家相关法律法规及环评报告的要求更新相关辐射安全管理规章制度。

(2)福建医科大学附属第一医院承诺按照国家相关法律法规及环评报告的要求补充和完善辐射事故应急预案和应急措施，使其具有针对性和操作性。

(3) 福建医科大学附属第一医院承诺购源时与供源单位同时签订废旧源回收协议。

(4) 福建医科大学附属第一医院承诺严格按照本报告的辐射安全措施、辐射安全设施及装置等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求对辐射工作人员进行辐射防护培训、个人剂量监测、职业健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案，并终生保存。

(5) 建设单位承诺在本次环评报告取得环评批复后及时重新申领辐射安全许可证；在本项目正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），在规定的验收期限内，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：公章

年月日

审批意见：

经办人：公章

年月日