伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目

竣工环境保护验收监测报告表

建设及编制单位：山东大学齐鲁医院

2026年8月

建设单位/编制单位法人代表：　　（签字）

项　　目　　负　　责　　人：　　（签字）

填　　表　　人：　　（签字）

建设及编制单位：山东大学齐鲁医院（盖章）

电话：

传真：--

邮编：250012

地址：山东省济南市文化西路 107 号

目　录

表 1 项目基本情况.....1
表 2 项目建设情况.....8
表 3 辐射安全与防护设施/措施.....26
表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定.....35
表 5 验收监测质量保证及质量控制.....40
表 6 验收监测内容.....41
表 7 验收监测.....44
表 8 验收监测结论.....49
附件.....51
附图.....91

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位名称</td><td colspan="5">山东大学齐鲁医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="5">新建</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设地点</td><td colspan="5">山东省济南市文化西路 107 号，医院济众楼（南区）地下二层西侧</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">源项</td><td>放射源</td><td colspan="4">医用Ⅰ类放射源管理；总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，单枚活度约为 7.4×10^{12}Bq（200Ci）</td></tr>
<tr><td>非密封放射性物质</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>射线装置</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目环评批复时间</td><td>2026 年 5 月 7 日</td><td colspan="2">开工建设时间</td><td>2026 年 5 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">取得辐射安全许可证时间</td><td>2026 年 5 月 13 日</td><td colspan="2">项目投入运行时间</td><td>2026 年 6 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">辐射安全与防护设施投入运行时间</td><td>2026 年 6 月</td><td colspan="2">验收现场监测时间</td><td>2026 年 6 月 5 日</td></tr>
<tr><td colspan="2">环评报告表审批部门</td><td>济南市生态环境局</td><td colspan="2">环评报告表编制单位</td><td>山东益景检测技术有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">辐射安全与防护设施设计单位</td><td>山东省建筑设计研究院有限公司</td><td colspan="2">辐射安全与防护设施施工单位</td><td>山东泉城建设集团有限公司</td></tr>
<tr><td>投资总概算</td><td>3200 万元</td><td>辐射安全与防护设施投资总概算</td><td>60 万元</td><td>比例</td><td>1.88%</td></tr>
<tr><td>实际总概算</td><td>3200 万元</td><td>辐射安全与防护设施实际总概算</td><td>59.4 万元</td><td>比例</td><td>1.86%</td></tr>
<tr><td>验收依据</td><td colspan="6">一、建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度
（一）法律、法规
1.《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1.1 施行；
2.《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号；2003.10.1 施行；
3.《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017.10.1 施行；
4.《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005.12 施行，2019.3.2 通过修订并实施；
5.《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</td></tr>
</table>

第 62 号，2005.12 施行；

6.《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021.1.4 第四次修订并施行；

7.《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011.5.1 施行；

8.关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，环境保护部国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日施行；

9.《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.5.1 施行；

10.《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人民代表大会常务委员会第七次会议修订，2019.1.1 施行。

（二）技术标准

1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

2.《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

3.《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

4.《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；

5.《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；

6.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；

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.《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；

9.《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）。

二、建设项目竣工环境保护验收技术规范

1.《建设项目竣工环境保护验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）；

2.《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类（试行）》（生态环境部公告 2018 年第 9 号)。

三、建设项目环境影响报告表及其审批部门审批决定

1.《山东大学齐鲁医院伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目环境影响报告表》，山东益景检测技术有限公司，2026 年 4 月；

	2.《济南市生态环境局关于山东大学齐鲁医院伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目环境影响评价报告表的批复》（济环历下辐表审[2026]2号），济南市生态环境局，2026年5月7日。 **四、其他相关文件** 医院辐射安全许可证、辐射安全管理规章制度等其他资料。
验收执行标准	**一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）** 根据GB18871-2002附录B规定： （1）职业照射 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； （2）公众照射 公众照射剂量限值 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。 **二、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）** 4.8款 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合GB18871-2002中剂量限值相关规定。 4.9款 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求： a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a。 b）公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。 5.1款 选址与布局 5.1.1款 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境辐影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。 5.1.2款 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或置在多层筑物的底一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及员密集区域，或流动性大的商业活动

区域。

5.2 款 分区原则

5.2.1 款 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、束流疏运通道和治疗室，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 款 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全措施，但需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控制室及与机房相邻区域等）。

6.1 款 屏蔽要求

6.1.2 款 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。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 款 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、拟建二层建筑物或在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 $\dot{H}_c$ 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）；

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$ ≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$ ≤5 μSv/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 $\dot{H}_{c,\max}$（μSv/h）：

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

人员居留因子T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,\max}$ ≤10 μSv/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250μSv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100μSv/h加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

8.2.1款 废旧放射源管理要求

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。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 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。

三、参考《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6.1 布局要求

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。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 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

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a）、b）和c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

a）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周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$，见下式：

$$\dot{H}_c \leqslant H_e / (t \times U \times T)$$

式中：

$\dot{H}_c$——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

He——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（μSv/周），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100μSv/周；放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周。

t——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。

b）按照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$\dot{H}_{c,\max}$：

1）人员居留因子T>1/2的场所：$\dot{H}_{c,\max}$≤2.5μSv/h；

2）人员居留因子T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,\max}$≤10μSv/h；

c）由上述a）中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$和b）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$\dot{H}_{c,\max}$。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30cm处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.1 对于高于 10MV X射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。

参考以上标准及环境影响报告表，本次验收以 5.0mSv 作为职业人员的年管理剂量约束值，以 0.1mSv 作为公众成员的年管理剂量约束值；以 2.5μSv/h 作为伽玛刀治疗室屏蔽体 30cm 处剂量率目标控制值。

四、环境天然放射性水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，济南市环境天然γ空气吸收剂量率见表 1-1。

表 1-1 济南市环境天然辐射水平（$\times 10^{-8}$Gy/h）

监测内容	范围	平均值	标准差
原 野	4.43～8.08	6.26	0.77
道 路	1.84～6.88	4.12	1.40
室 内	6.54～12.94	8.94	1.91
注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。			

表 2 项目建设情况

2.1 项目建设内容

2.1.1 建设单位情况

山东大学齐鲁医院是国家卫生健康委委属（管）医院，教育部直属重点大学——山东大学的直属附属医院，是首批委省共建国家区域医疗中心（综合类）牵头和主体建设单位。医院始建于公元 1890 年，先后称华美医院、共合医院、齐鲁医院、山东医科大学附属医院等，2000 年 10 月更名为山东大学齐鲁医院。

医院现有临床医技科室 58 个，其中国家重点学科和国家临床重点专科 20 个。医院现有中国工程院院士、国家杰出青年基金获得者等国家级高层次人才 14 人，泰山学者 49 人(其中攀登专家 5 人)，国家和省部级突出贡献中青年专家 19 人。医院建立了完整的临床教育和规培体系，承担着山东大学临床医学从本科到博士的教学任务，设有临床医学一级学科博士学位授权点，覆盖所有二级学科，设有博士后流动站。在岗博士生导师 166 名，硕士生导师 474 名。医院实际开放床位 5100 余张，2021 年度完成门急诊量 466.1 万人次，出院病人 26.5 万人次，手术量 13.2 万台次。在神经复合手术、心脏介入手术、内镜治疗等多个领域处于国内领先水平。医院现为国家疑难病症诊治能力提升工程(重症医学方向)建设单位、国家卫健委医疗技术评估试点医院。

医院现有济南中心院区、济南东院区和青岛院区 3 个院区，济南中心院区位于济南市文化西路 107 号。本项目位于济南中心院区。

济南中心院区所在地理位置见附图 1，医院周边环境关系影像见附图 2，医院总平面布置见附图 3。

2.1.2 项目建设内容和规模

1、环评规模

2026 年 4 月，医院委托山东益景检测技术有限公司编制了《山东大学齐鲁医院伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目环境影响报告表》。项目建设内容为将济众楼（南区）地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，并新购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统（以下简称“伽玛刀”），安装于伽玛刀治疗室内。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，单枚活度约为 7.4×10^{12}Bq（200Ci），按医用Ⅰ类放射源管理。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压

120kV，最大管电流 12mA。项目前期先启动临床科研工作，计划招募 35 名符合适应症的头部疾病患者开展临床科研试验，通过规范、精准的放射照射，完成设备临床效果、安全性、治疗参数等科研验证工作，待科研验证合格及相关手续完备后，正式用于头部肿瘤、脑血管畸形等疾病的立体定向放射治疗。

该项目环境影响报告表于 2026 年 5 月 7 日由济南市生态环境局以济环历下辐表审[2026]2 号文件审批通过。

2、验收规模

本次验收规模与环评规模一致。项目涉及的源项情况详见表 2-1。

表 2-1　该项目涉及的源项

一、放射源

放射源	设备名称	设备型号	放射源数量	源分类	放射源总活度	意向设备厂家	意向放射源厂家	使用场所
^{60}Co	伽玛刀	iSupeRay UItra	60 枚，组合式放射源	Ⅰ类	4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%	西安大医集团股份有限公司	成都中核高通同位素股份有限公司	济众楼（南区）地下二层西侧伽玛刀机房

二、CBCT

名称	管电压	管电流	1m 处最大泄漏剂量率	曝光时间	使用场所	备注
CBCT	120kV	12mA	<0.5mGy/h	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	济众楼（南区）地下二层西侧伽玛刀机房	伽玛刀辅助定位

注：1.^{60}Co 放射源共 60 枚，总活度为 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，单枚活度约为 7.4×10^{12}Bq（200Ci）；

2.本项目实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统主要用于头部肿瘤治疗。

3、辐射安全许可证

医院现持有辐射安全许可证，证书编号为鲁环辐证[01069]，许可种类和范围：使用Ⅰ类、Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2029 年 8 月 5 日。本项目验收内容已登记在辐射安全许可证中。

本项目于 2026 年 5 月开工建设，于 2026 年 6 月进入调试运行阶段。

2.1.3 建设地点和项目总平面布置

1、建设地点和周围环境

山东大学齐鲁医院中心院区位于山东省济南市文化西路 107 号。本项目伽玛刀治疗室位于济众楼（南区）地下二层西侧，上方为室外停车场，场所周围环境详见表 2-2。项目建设地点及周围环境均与环评一致。伽玛刀所在济众楼（南区）地下二层总平面布置见附图 4，地下二层西侧部分平面布置图见附图 5。

表 2-2 本项目伽玛刀治疗室周围环境一览表

工作场所	方向	周围场所名称（0-50m）
伽玛刀治疗室	北侧	控制室等功能房间、地下车库道路、院区道路、供氧室
	东侧	缓冲间、地下车库停车区域
	南侧	风机房、值班室、地下车库道路、和平楼
	西侧	地下车库道路、院区道路、专家公寓
	东北侧	地下车库停车区域、院区道路、济众楼北区
	西北侧	地下车库停车区域、院区道路、健康管理中心及传达室
	上方	停车场
	下方	土层

2、总平面布置

伽玛刀机房包括伽玛刀治疗室、控制室、设备间、新风机房、模具室及缓冲间等，控制室、设备间等功能房间均与伽玛刀治疗室分开设置，其中缓冲间位于伽玛刀治疗室东侧，控制室、设备间及模具室等位于伽玛刀治疗室北侧。机房东墙北侧设有 1 处防护门。项目平面布置与环评一致。

本项目伽玛刀机房平面布置见附图 6，伽玛刀机房剖面图见附图 7。

2.1.4 环境保护目标

（1）调查范围

本项目验收调查范围与评价范围一致，验收调查范围为伽玛刀治疗室周围 50m 的范围。项目周围 50m 范围内的建筑物有本项目所在济众楼（南区）、和平楼、济众楼北区、供氧室、健康管理中心及传达室、专家公寓。

（2）保护目标

本项目保护目标为调查范围内活动的职业人员和公众成员。其中，职业人员指利用本项目放射性核素开展放射诊疗工作的工作人员，公众成员为验收范围内的非本项目医护人员、其他就诊患者及偶然经过的其他公众成员。详见表 2-3。

表 2-3 本项目主要环境保护目标情况

保护目标		人数	方位、距离	特征
职业人员		9 人	机房控制室及治疗室内	—
公众成员	项目所在济众楼（南区）	约 1500 人	治疗室周围 50m 范围内，治疗室正上方为停车场，东侧为楼体地上部分	地下二层、地上十七层
	和平楼	约 150 人	伽玛刀治疗室南侧约 15m	地上三层
	济众楼北区	约 700 人	伽玛刀治疗室东北侧约 40m	地上九层
	供氧室	约 100 人	伽玛刀治疗室北侧约 45m	地上二层
	健康管理中心（中西医结合诊疗中心）及传达室	约 200 人	伽玛刀治疗室西北侧约 45m	地上三层
	专家公寓	约 1700 人	伽玛刀治疗室西侧约 30m	地上二十一层
	机房周围其他就诊患者、偶然经过人员	—	治疗室周围 50m 以内	—

项目周围现场照片见图 2-1。与环评阶段相比，周围环境保护目标与环评阶段一致。

伽玛刀治疗室东侧缓冲区

伽玛刀治疗室北侧控制室

伽玛刀治疗室北侧设备间

伽玛刀治疗室西侧车库出口

伽玛刀治疗室南侧风机房	伽玛刀治疗室室顶停车场
项目所在济众楼（南区）	东北侧济众楼
北侧供氧室	西北侧健康管理中心（中西医结合诊疗中心）及传达室

西侧专家公寓

南侧和平楼

图 2-1　场所周围环境现场照片

经现场调查，本次验收的伽玛刀治疗室周围环境敏感目标实际分布情况与环境影响报告表阶段周围环境敏感目标分布情况总体一致。

2.1.5 环境影响报告表及其审批部门审批决定建设内容与实际建设内容对比

1、本项目环境影响报告表中的内容与现场验收实际情况对比

本项目环境影响报告表中的内容与现场验收实际情况对比见表 2-4。

表 2-4　本项目环境影响报告表内容与验收情况对照一览表

项目	环境影响报告表主要建设内容	实际建设情况
位置	济南市文化西路 107 号，医院济众楼（南区）地下二层西侧	与环评一致
建设内容	将济众楼（南区）地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，并新购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统（以下简称“伽玛刀”），安装于伽玛刀治疗室内。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，为组合式 ^{60}Co 放射源，属医用Ⅰ类放射源。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 12mA。	与环评一致
场所布局	伽玛刀机房包括伽玛刀治疗室、控制室、设备间、新风机房、模具室及缓冲间等。	与环评一致

2、环境影响报告表批复内容与现场验收实际情况对比

环境影响报告表批复内容与现场验收实际情况对比见表 2-5。

表 2-5　本项目环境影响报告表批复建设内容与验收情况对照一览表

环境影响报告表批复建设内容	验收内容
山东大学齐鲁医院位于济南市历下区文化西路 107 号，医院拟将济众楼（南区）地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，并新	与环评批复内容一致

购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统（以下简称“伽玛刀”），安装于伽玛刀治疗室内。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，为组合式 ^{60}Co 放射源，属医用 I 类放射源。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 12mA。核技术利用项目类型为使用 I 类放射源（医用）。	

经现场勘察及查阅资料，本项目伽玛刀机房实际建设内容与环评阶段一致。

2.2 源项情况

本项目源项情况详见表 2-6。

表 2-5　本项目放射源情况（伽玛刀）

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
^{60}Co	4.44×10^{14}Bq/7.40×10^{12}Bq×60 枚	I 类	使用	放射治疗	伽玛刀机房	济众楼（南区）地下二层西侧伽玛刀机房伽玛刀治疗机头内

2.3 工程设备与工艺分析

2.3.1 实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统（伽玛刀）简介

（1）治疗工作原理

伽玛刀是利用放射性同位素 ^{60}Co 产生的高能射线照射恶性肿瘤病灶，杀死癌细胞或者抑制癌细胞的生长从而达到对患者的治疗（治疗时要求能控制γ射线的方向）；头部γ刀是用于对颅内疾病进行立体定向放射治疗的放射外科手术系统，其工作原理是通过精确的立体定位系统固定患者头部，治疗系统由 60 个钴源组成，每个扇区可在不同准直器口径之间独立变换和自由设定，全自动变换，变换时间小于 3 秒。每个扇区可以根据治疗计划设计将不同口径的准直器自由组合，其形成的射束我们称之为“合成射束”，具有极佳适形性和选择性，使治疗剂量精确如雕刻。动态适形功能可自动优化各扇区射束，保护周边重要结构。60 个钴源发出的伽玛射线以 0.15㎜的机械精度聚焦在几何中心点，对颅内深部的病变靶区进行多角度、单次、大剂量照射，达到靶区病灶损毁的不可逆生物效应，以治疗多种脑部疾患。其治疗照射范围与正常组织界限非常明显，边缘如刀割一样，故被形象地称为“伽玛刀”。

（2）主要技术参数

本项目伽玛刀主要参数详见表 2-6。

表 2-6　本项目伽玛刀主要参数

设备名称	头部伽玛射线立体定向放射外科治疗系统
设备型号	iSupeRay UItra
设备厂家	西安大医集团股份有限公司
内装放射源	钴-60
放射源厂家	成都中核高通同位素股份有限公司
总装源活度和数量	4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚
放射源与焦点距离	388mm
焦点至地面距离	940mm
焦点剂量率	不小于 6Gy/min
防泄漏屏蔽体	420mm 铸铁，相当于 252mmPb
准直器规格	Φ4mm、Φ8mm、Φ14mm、Φ18mm
放射源自转角度	360°
治疗头环绕人体旋转角度	±270°
CBCT 图像引导系统	最大管电压：120kV 最大管电流：12mA
治疗床运动距离	治疗床 X 方向移动范围不小于 180mm；治 疗床 Y 方向移动范围不小于 1090mm；治 疗床 Z 方向移动范围不小于 220mm
总重量	22t
外形尺寸	5264（长）×2480（宽）×2173（高）

（3）设备组成

实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统由机械整机、电气控制系统、头部定位子系统、放射治疗控制系统软件、CBCT 图像引导系统等五部分组成。

①机械整机

机械整机由主机子系统和治疗床子系统组成。主机子系统包含射源装置、驱动组件、舱门组件、防碰撞组件。射源装置是钴-60源的载体，是射线的准直聚焦和旋转系统。驱动装置是射源装置的动力系统，它保证射源装置能够按照治疗计划要求进行动作。舱门组件是射线的屏蔽机构，可将射线对机房、患者和工作人员的辐照减少到安全范围内。防碰撞组件用于在治疗过程中将患者的头部与旋转结构隔离，将患者的头部与准直体隔离，以避免患者的头部与准直体发生碰撞。

治疗床子系统是治疗时供患者仰卧使用，并将患者移动到目标位置，使治疗计划中的目标与设备的焦点重合。

伽玛刀机械整机结构示意图见图 2-2。

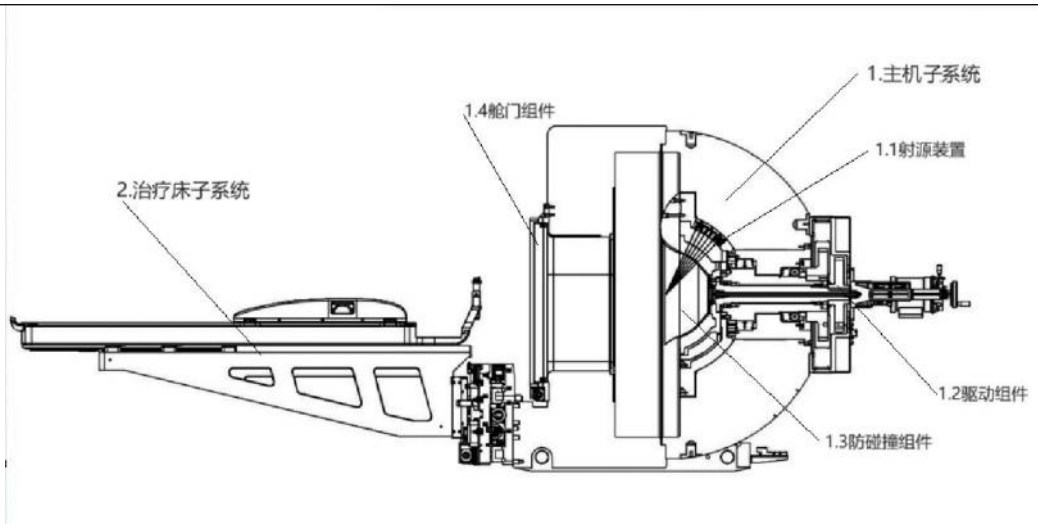


图 2-2 本项目伽玛刀机械整机结构示意图

②电气控制系统

主要由翠欧运动控制器和科尔摩根伺服组成。对源体和准直体实现同步跟踪旋转、自动选择准直器；屏蔽门的开关、治疗床的进退和定位实现自动控制，控制系统同时具有门与床的安全联锁与外部的安全联锁、设备的状态监测，辐照时间的双计时器控制，准直器和定位精度的实时监控，故障报警等功能。同时还配备有视频监视系统、对讲系统、UPS供电系统、状态指示和报警系统。

③立体定位系统

立体定位系统包括立体定位框架、CT图框、MRI图框、面膜组件和适配架等。立体定位框架与三维床结合，在伽玛刀上，对颅内病灶建立三维坐标系统，并实现三维定位。将规划好的靶点定位在辐射野中心位置上。CT和MRI图框是CT和MRI诊断时，用以标定病灶位置、大小和形状的装置。适配架是立体定位框架与CT或MRI诊断设备的连接装置。

④放射治疗计划系统（RTPS）

由硬件平台和软件系统组成。硬件平台包括图像输入系统PC机、扫描仪或图像数据接口和治疗计划系统工作站、磁带机、激光打印机等。该治疗计划系统为伽玛刀临床治疗医生提供一个交互式CT/MRI断层图像的三维重构和数据可视化工具，能够输入和处理图像数据，确定体表、病变组织靶区及颅内其它感兴趣组织的几何描述，医生可根据病灶的体积大小，人机交互地布置规划靶点，然后TPS自动计算治疗剂量，TPS将计算出治疗方案。通过三维图像显示和治疗方案模拟为用户提供治疗方案的直观表示，用三维体积剂量分布评估治疗方案，并将治疗计划结果打印输出。

⑤治疗程序

治疗模式分为微创治疗和无创治疗两种，微创模式，医生预诊决定对颅腔疾病施行放射外科治疗后，患者头戴立体定位框架及辅助显示图框，通过CT、MRI扫描成像，确定病灶形状、位置（X、Y、Z三维坐标），并用治疗计划系统制订治疗方案。治疗时，头戴立体定位框架的患者平躺在治疗床上医生将框架与安装在治疗床前端的立体定位框架结合，调整好病灶所需的γ角，然后使用本机电控系统自动操作，进行治疗，其中在治疗前、中、后均可用系统进行定位、追踪。无创模式下，患者需要首先进行配合，制作面膜，然后通过面膜固定装置将患者固定到治疗床上；再通过图像引导系统对患者的定位位置进行校准，接着通过电控系统自动操作，进行治疗；期间可以开启图像引导系统，实时监控患者治疗位置，确保治疗过程的安全有效。

⑥CBCT 图像引导系统模块

CBCT集成在伽玛刀设备上，其原理为X射线发生器以较低的射量围绕投照体做环形DR（数字式投照），然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。

本系统采用治疗床将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将CT图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。在治疗前，通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。图像引导系统与主机之间主要通过连接面和定位柱进行连接。图像引导系统主要部件包括：kV级影像平板、X射线球管、蝴蝶结、限束器、高压发生器和图像引导系统软件。

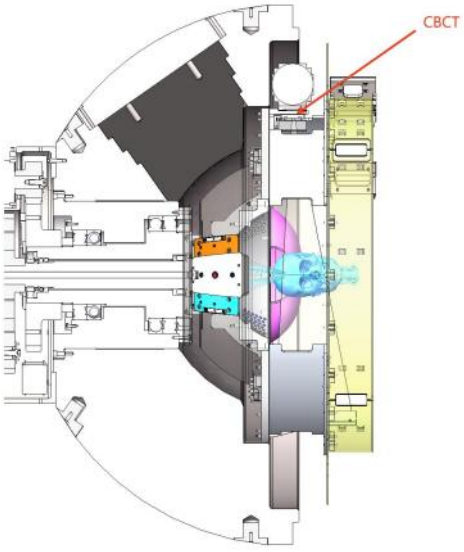


图2-3　CBCT位置示意图

（4）主要部件结构组成

射源装置是钴源的载体，是射线的准直、聚焦、回转和关源系统，由屏蔽半球、放射源、源匣、源载体、钨合金屏蔽块、准直系统组成。

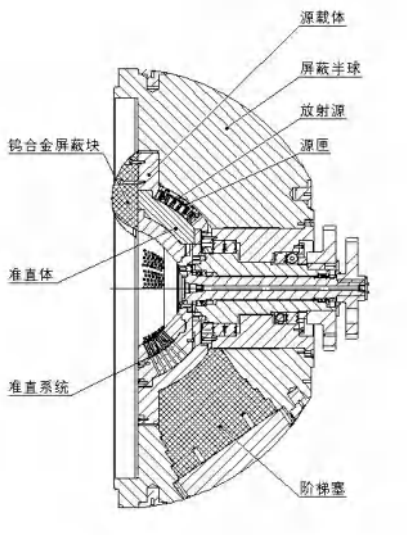


图2-4　射源装置结构示意图

①放射源

本机共设置 60 个钴-60 放射源，放射源嵌装在源匣中，每个放射源都封装在双层不锈钢源包壳中，并进行焊接密封。单个源的初始平均活度为 200Ci±10%，60 个放射源的总活度为 12000Ci±10%。放射源的活性区域呈圆柱形，直径约为 3mm，长度为 30mm。源包壳是圆柱形的，源包壳及源匣结构示意图见图 2-5。

图 2-5　源包壳和源匣结构示意图

②源体

源体（放射源的载体）由耐腐蚀铸铁制成，可保持长期不生锈，它是一个半球壳体，在源匣中放置了 30 个密封的放射源，分布在源载体的 24°-46.4°纬度范围内，源匣固定在源载体上。60 枚 ^{60}Co 放射源的排列情况见下图：

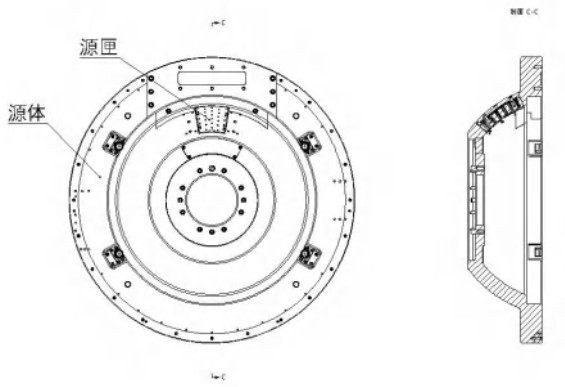


图 2-6　源体平面及剖面结构示意图

源匣对称布置，单个源匣放射源位置：

标号	纬度
1	24
2	28
3	32
4	36
5	40
6	44
7	45.8
8	41.8
9	37.8
10	33.8
11	29.8
12	25.8
13	24.6
14	28.6
15	32.6
16	36.6
17	40.6
18	44.6
19	46.4
20	42.4
21	38.4
22	34.4
23	30.4
24	26.4
25	25.2
26	29.2
27	33.2
28	37.2
29	41.2
30	45.2

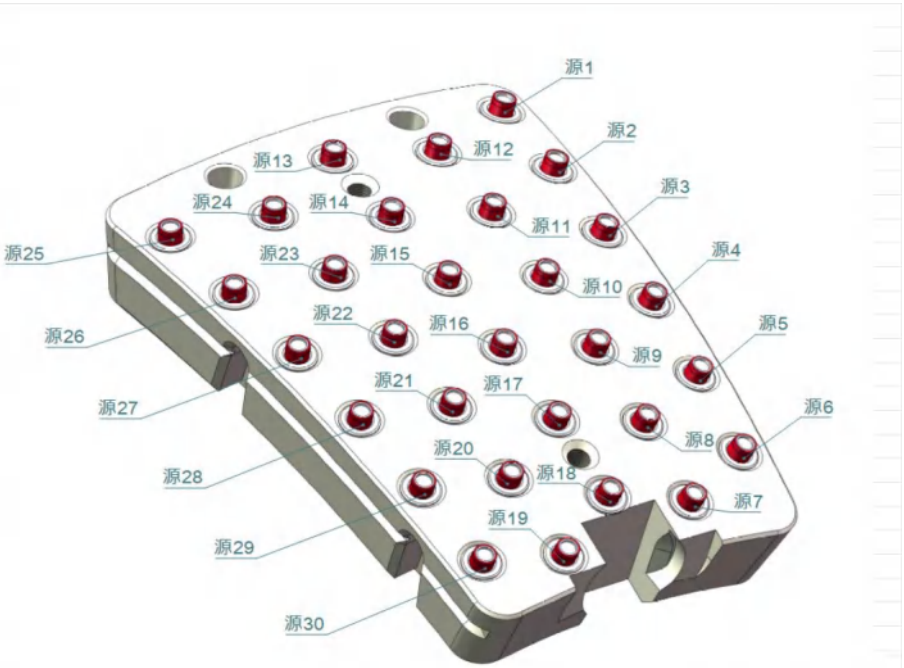


图 2-7　单个源匣放射源位置示意图

③屏蔽半球和钨合金屏蔽块

屏蔽半球旨在屏蔽放射源，确保治疗设备的外部环境是安全且可控的。屏蔽块采用钨合金制成，为半球形，右端以阶梯环与屏蔽门框连接，它与屏蔽门一起，可以有效屏蔽源前方的杂散辐射，确保患者在治疗期间接受尽可能低的透射剂量。

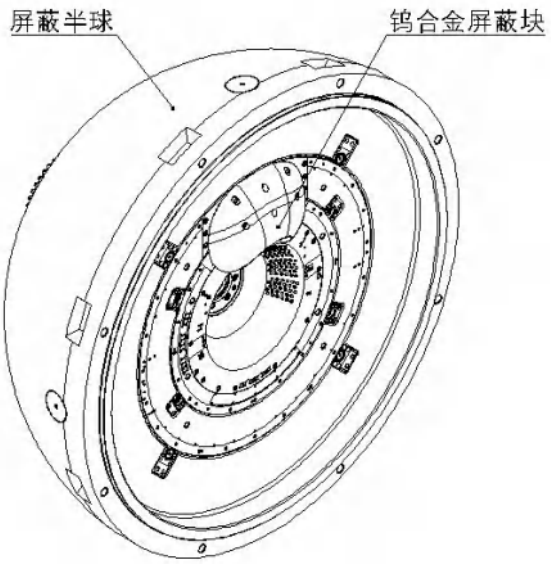


图 2-8　屏蔽半球及钨合金屏蔽块结构示意图

④准直体组件

准直体组件由预准直体组件和终准直体组件组成，精确地形成辐射束。在准直体的外壳上有 4 组 150 个准直孔，这些孔指向球体的中心。4 组准直孔的几何布置与源匣中的源的几何布置相同。5 组准直孔用于安装编号为 1 至 4 的准直器（1#、2#、3#、4#准直器）。4 组准直器有不同的孔径，分别为Φ4mm、Φ8mm、Φ14mm、Φ18mm。

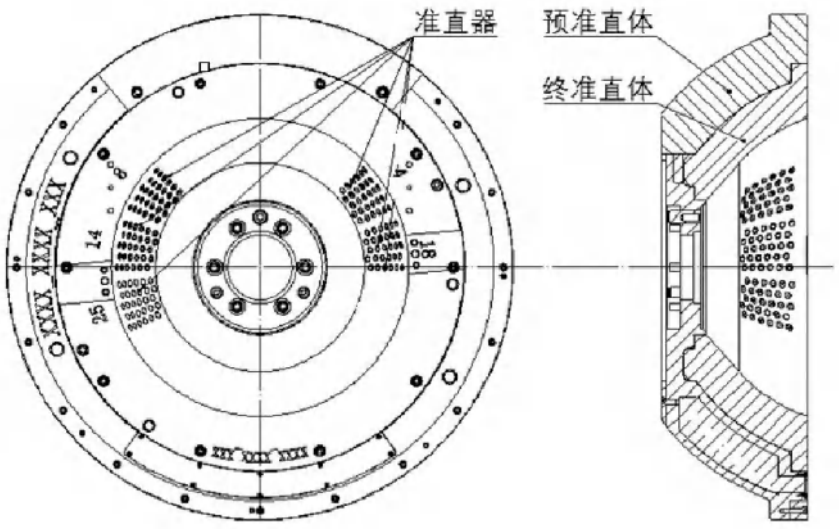


图 2-9　准直体组件结构示意图

在治疗状态下，源载体和准直体对准后一起旋转，从放射源辐射的射线通过准直体组件形成的准直通道，达到球体中心的焦点位置，在靶区位置形成高剂量区域。在非治疗状态下，放射源位于射束关闭位置（被屏蔽），以达到屏蔽效果。

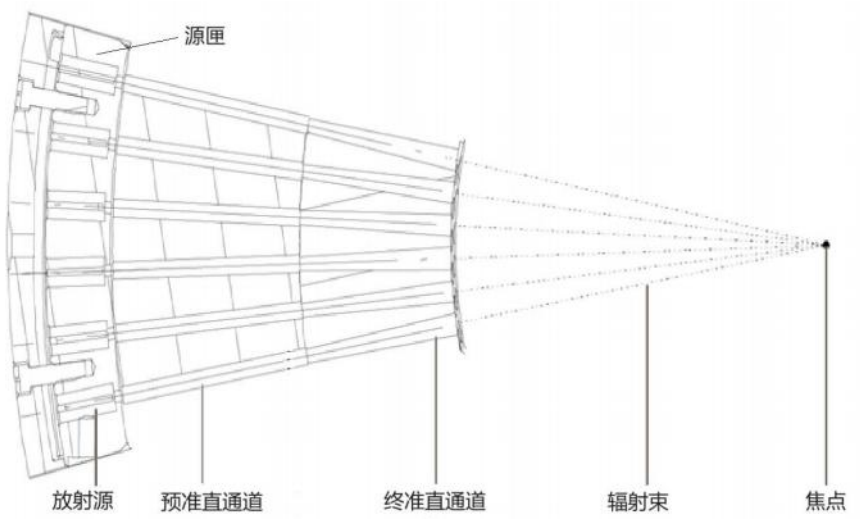


图 2-10　准直通道结构示意图

⑤防碰撞组件

防碰撞组件主要由防碰撞罩及微动开关组成，位于治疗腔内部，用于在治疗过程中将患者的头部与旋转结构隔离，并通过微动开关来检测碰撞。在治疗状态下，患者的头部位于准直体的半球形腔内，该腔在治疗过程中处于旋转状态。防碰撞罩将患者的头部与准直体隔离，以避免患者的头部与准直体发生碰撞。防碰撞罩的后部安装有微动开关。当外部力量使得空间位置偏离设计范围时，微动开关将被触发，生成碰撞的联锁信号，终止治疗。

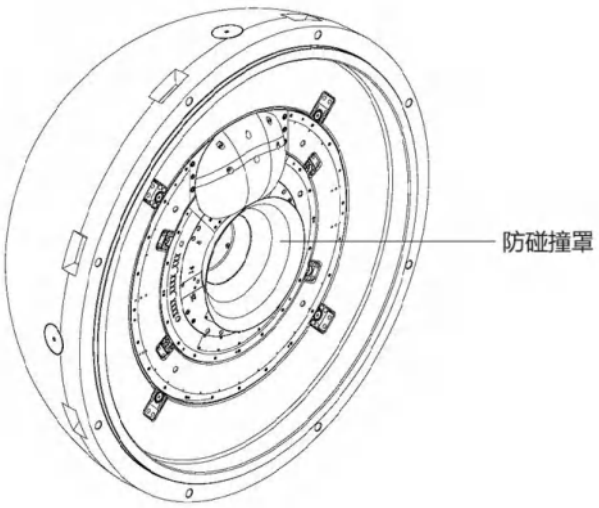


图 2-11　防碰撞组件结构示意图

⑥舱门组件

屏蔽门分左右两扇，由铸钢内灌铅结构制成。它们安装在上、下两条直线导轨上，关闭时左右门沿的阶梯缝相互啮合，防止辐射泄漏。治疗过程中，若系统出现故障，不能自动关闭屏蔽门时。可以手动关闭屏蔽门。

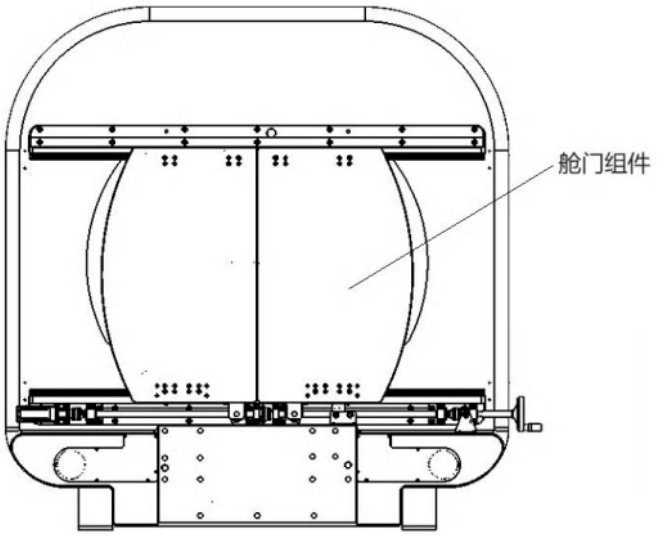


图 2-12　舱门组件结构示意图

图 2-13　本项目伽玛刀外观图

2.3.2 工艺流程

本项目放射治疗流程如下：

（1）登记候诊：对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；

（2）模拟定位：患者进行 CT 或 MRI 扫描，依托现有装置对患者的肿瘤进行定位检查；确定肿瘤位置，并记录定位数据；

（3）制定治疗计划：将扫描影像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；

(4)定位摆位：使用患者定位装置（微创和无创两种定位模式）对患者进行固定，工作人员将病人安置在治疗床上摆位，摆位完毕后工作人员退出治疗室；

(5)对于微创治疗模式，工作人员在控制台上确认相关参数，开始治疗；对于无创治疗模式，需要通过 CBCT 图像引导系统模块对患者的摆位位置进行校准确认，然后工作人员在控制台上确认相关参数，开始治疗；

(6)治疗结束后，三维治疗床退出，屏蔽门打开，工作人员去掉病人身体上的立体定位框架，病人离开伽玛刀治疗室。

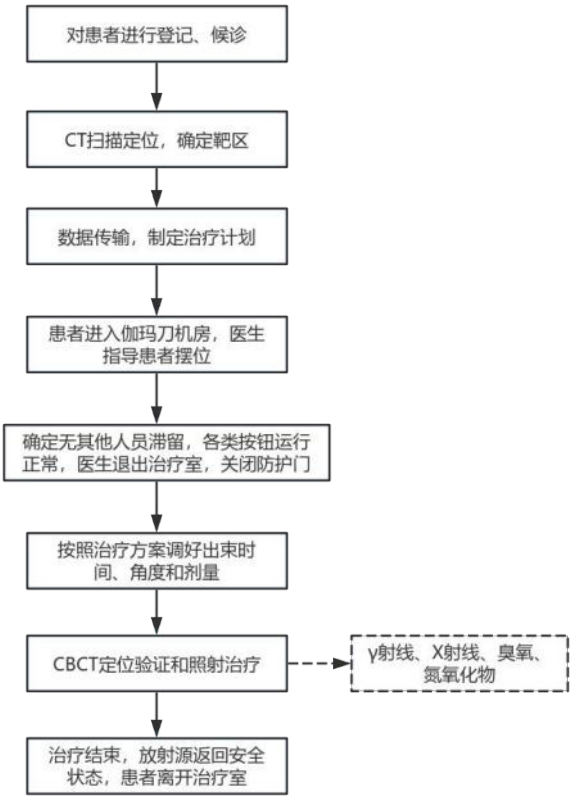


图 2-14　伽玛刀治疗流程及产污环节示意图

2.3.3　^{60}Co 放射源辐射特性

半衰期：5.271 年

衰变方式：β^-低能射线

射线种类：主要发射 1.17MeV、1.33MeV 的 γ 射线和 0.315MeV 的 β^-射线，γ 射线能量均值为 1.25MeV；

获取途径：^{59}Co（n,r），^{59}Co（d,p）

衰变纲图见下图 2-15。

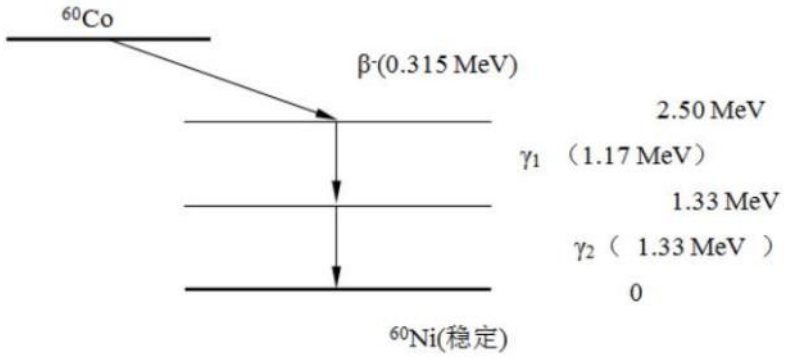


图 2-15 ^{60}Co 衰变纲图

2.3.4 主要放射性污染物和污染途径

本项目使用过程中不产生放射性废气和放射性废水。

（1）β、γ、X 射线

由核素 ^{60}Co 的辐射特性可知，^{60}Co 能释放 β、γ 射线。由于 β 射线穿透能力很弱,在空气中射程很短，设备的外包装和机房混凝土等防护可以完全屏蔽，使 β 射线不能释放到环境中。但 γ 射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

CBCT 图像引导系统最大管电压为 120kV，最大管电流 12mA，X 射线随射线装置的关闭而消失，因此，在系统开机期间，X 射线为主要污染因素。

（2）韧致辐射

β 射线与物质作用可以产生穿透能力较强的韧致辐射，但是韧致辐射的贡献相对于 γ 射线低得多。

（3）放射性固体废物

伽玛刀在治疗过程中不产生放射性固体废物。^{60}Co 放射源经一定的使用年限后，因其自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换，或者项目退役时，放射源需要卸下，成为废放射源，废旧放射源由放射源厂家回收。

（4）非放射性有害气体

项目运行过程中，空气在 γ 射线照射下产生臭氧和氮氧化物，通过排风系统排入外环境。通过机房通风系统，确保一定的通风次数，可明显降低其浓度，不会对环境造成影响。

（5）废铅蓄电池

伽玛刀配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，其更换周期约 5 年/次，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），更换下的废铅蓄电池属于危险废物（废物代

码：900-052-31），不在医院内暂存，直接交由有资质单位处置。

（6）废弃的放疗定位模具（热塑膜/头枕/底板）

本项目所用定位模具为热塑膜、有机玻璃/泡沫底板等定位辅助材料，仅与患者体表接触、用于体位固定，不接触放射性物质、无放射性污染，不属于放射性废物。废弃的放疗定位模具暂存于伽玛刀治疗室废物箱内，按医疗废物进行处理。

综上所述，本项目污染因子主要为γ射线、X射线、非放射性有害气体、废旧放射源、废铅蓄电池及废弃的放疗定位模具。

2.4 人员配备和操作时间

2.4.1 人员配备

本项目配置有职业人员9人，其中技师2人，医师4人，物理师3人，分为2组轮流从事本项目辐射工作。职业人员均为医院现有辐射工作人员，均已参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核合格在有效期内。

2.4.2 操作时间

本项目前期先启动临床科研工作，计划招募35名符合适应症的头部疾病患者开展临床科研试验，待科研验证合格及相关手续完备后，正式用于头部肿瘤、脑血管畸形等疾病的立体定向放射治疗。故本次验收工作负荷及人员配置保守按照正式开展放射治疗后的最大接诊规模进行估算。

经核实，本项目伽玛刀初装源时额定焦点剂量率为6Gy/min，治疗工作量最大为10人/天，每周最多工作5天，一年50周，周最多接诊50人次，年最多接诊2500人次。平均每人在等中心处的治疗剂量为15Gy/人次，则周工作负荷W=10×15×5=750Gy/周，周照射时间t=750Gy÷6Gy/min÷60min/h≈2.08h/周，即104h/a。工作人员每次指导摆位约需5min，摆位时间为2500×5/60=208.3h。本项目辐射工作人员分为2组轮流从事本项目辐射工作，则每位辐射工作人员的年最大受照时间为104/2=52h，摆位时间为208.3/2=104.2h。

表 3 辐射安全与防护设施/措施

3.1 伽玛刀辐射安全与防护设施/措施

3.1.1 辐射安全与防护设施/措施落实情况与环境影响报告表要求对比

根据医院提供材料及现场调查，本次验收对伽玛刀治疗室实际建设情况与环境影响评价内容进行对比，主要包括房间尺寸及屏蔽防护等情况，具体详见表 3-1。

表 3-1 本项目伽玛刀治疗室尺寸及屏蔽参数表

项目	屏蔽设计及尺寸等参数	实际建设情况
治疗室尺寸	南北长 7.3m、东西宽 6.1m，高 4.4m，净面积约 44.53m^2，净容积约 195.93m^3	经查阅施工图纸和现场勘查，实际建设内容与环评一致
北墙	厚度为 600mm，混凝土结构	
西墙	厚度为 600mm，混凝土结构	
南墙	厚度为 800mm，混凝土结构	
东墙	厚度为 600mm，混凝土结构	
室顶	450mm 混凝土+250mm 厚回填土	
防护门	电动推拉门，铅钢复合材质，防护能力为 12mmPb	

根据表 3-1 可知，本次验收的伽玛刀治疗室实际建设情况与环境影响评价内容基本一致。

本次验收对环境影响报告表防护措施与现场实际情况进行对比，见表 3-2。

表 3-2 本项目伽玛刀治疗室环境影响报告表防护措施与验收情况对比表

序号	环境影响报告表内容	实际情况
1	医院对伽玛刀机房进行分区管理，将伽玛刀治疗室四周墙壁围成的区域划为控制区，与伽玛刀治疗室墙壁外部相邻区域的控制室、设备间、缓冲间及控制室东侧 2.1m 范围划为监督区。	与环评一致
2	a）在伽玛刀工作场所入口处、防护门外、伽玛刀治疗头位置外表面设计张贴电离辐射警告标志和中文警示说明； b）防护门外设置工作状态指示灯； c）防护门外、治疗室内均设置有监控探头，用于观察防护门外、治疗室内以及患者状态。监视器设置在控制室内。治疗室内和控制室之间设置双向交流对讲系统。	与环评一致
3	在治疗室东墙设置固定式辐射剂量监测仪探头，显示报警单元设置在控制室，具有异常情况下报警功能。	固定式辐射剂量监测仪探头设置于南墙，其他与环评一致
4	a）防护门与放射源联锁，防护门未关闭或未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门，则放射源返回道治疗设备的安全位置；伽玛刀	控制室内、治疗室内西墙、东

	设备带有断电自动回源措施； b）治疗室内设置紧急开门装置，防护门设置防夹装置。 c）在控制室内、治疗室内西墙、东墙、南墙各设置 1 处紧急停机按钮，机架上设置 2 处紧急停机按钮，并设置醒目标识及文字显示。 f）安全联锁系统一旦被触发，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动。安装调试及维修情况下，任何联锁旁路需经过医院辐射安全管理机构的批准与见证，相关工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。 设置多项联锁，具备冗余性； 各安全联锁独立运行，某一联锁失效，不影响其他联锁运行。	墙、南墙、北墙均设置有紧急停机按钮，其他与环评一致
5	电缆管线口位于北侧，采用“U”型穿墙，穿墙管线入口及出口处设置 20mm 厚钢板进行屏蔽补偿；进风管道和排风管道采用“Z”型穿墙体，采用钢板进行屏蔽补偿；尽量减小门缝，防护门四周与墙体的搭接宽度与门缝比不小于 10:1。	与环评一致
6	伽玛刀治疗室设计有强制排风系统，设计有 1 个进风口和 1 个排风口，进风口和排风口均安装风机。进风口位于治疗室吊顶东北侧，尺寸约 30cm×30cm；排风口位于治疗室南墙西侧底部，距地面约 20cm，尺寸约 40cm×32cm。满足“上进下出，对角布置”的原则，可保持室内空气充分交换。进风管道采用“Z”型穿过北墙东侧上方墙体进入治疗室，采用钢板进行屏蔽补偿，可保证屏蔽墙体的防护能力。进风管道连接治疗室内进风口，外部连接北侧新风机房；排风口接排风管道，排管管道水平贴梁下向东敷设，最终采用“Z”型穿过东墙南侧上方墙体后依次向南、向西至风机房，在风机房内沿风井向上至地面医院内停车场处（伽玛刀机房南侧），经排气筒延伸高于地面 3m 排放。机房设计有效排风量不低于 1000m^3/h，治疗室容积 195.93m^3，通风换气次数约为 5 次/h，大于 4 次/h。排风口末端位于医院内停车场上方，人员居留较少，避开了门、窗及人流较大的过道等位置。医院在排气筒周围设置围栏，张贴警告标志，提醒无关人员禁止靠近，通风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）关于通排风的要求。	与环评一致
7	伽玛刀辐射工作人员每人配置有个人剂量计，定期进行检测，检测周期不超过 90 天一次。配置个人剂量报警仪 2 部，医院为本项目配置有 1 台便携式辐射环境检测仪，用于本项目自主监测使用，做好记录。	与环评一致

3.1.2 辐射安全与防护设施/措施落实情况与环境影响报告表批复要求对比

辐射安全与防护设施/措施落实情况与环境影响报告表批复要求对比见表 3-3。

表 3-3 本项目辐射安全与防护设施/措施与环境影响报告表批复要求对照表

环评批复要求	实际建设情况
(一)做好辐射工作场所的环境安全防护工作。	
1、落实伽玛刀治疗场所的实体屏蔽措施，确保辐射防护能力满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防	已落实。 伽玛刀机房四周墙体、室顶、防护门等的辐射防护能力与环评一致，满足《放射治疗辐射安全与

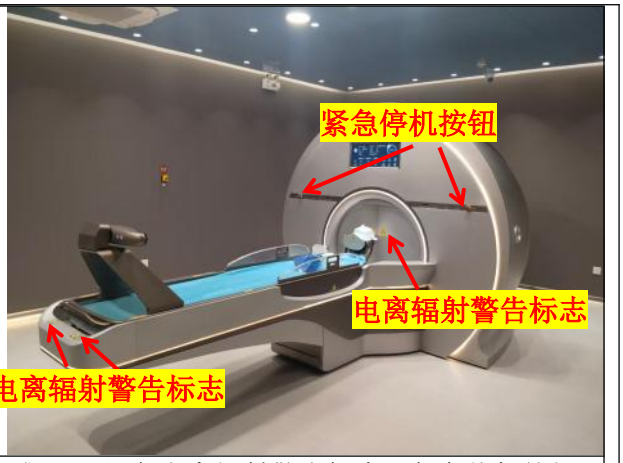
护要求》(GBZ121-2020)。	防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)相关要求。
2、对伽玛刀治疗场所进行分区管理，划分控制区和监督区，在控制区边界和其他醒目位置设置电离辐射警告标志。 伽玛刀治疗机房应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：急停按钮；门-源联锁装置；门内紧急开门装置，防护门应设置防撞、防夹伤功能。设置对讲装置、监控设备、电离辐射警告标志和工作状态指示灯，在线视频监控与省级平台联网，实现监控预警功能。设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，设置紧急情况下的手动关源装置，配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。 对工作场所定期巡检，按要求配备防护用品，确保工作人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关要求。	已落实。 医院对伽玛刀治疗行所进行了分区管理，划分为控制区和监督区，并在伽玛刀治疗室防护门、伽玛刀设备等位置张贴了电离辐射警告标志。 伽玛刀治疗室内四周墙体均设置有紧急停机按钮；伽玛刀治疗室防护门设置有门-源联锁装置、工作状态指示灯和防夹装置，防护门内侧设置有紧急开门装置；治疗室内和控制室之间设置双向交流对讲系统；治疗室南墙、北墙及防护门位置处均设置有监控探头，监视器设置在控制室内，在线视频监控已与省级平台联网。治疗室内南墙处设置有固定式辐射剂量监测仪探头，显示报警单元设置在控制室，具有异常情况下报警功能。设置有手动关源装置，并配备有应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。 医院已按要求为本项目伽玛刀治疗室配备了1台HRD-100型辐射巡检仪，定期对伽玛刀机房及周围进行巡检，根据验收估算，本项目辐射工作人员和公众成员的所受年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定和环评报告表的剂量限值要求。
3、废气的处置。项目不产生放射性废气，各工作场所设置强制排风系统，确保满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的相关要求。	已落实。 伽玛刀治疗室内设置有强制排风系统，通风次数不低于4次/h，进风口位于治疗室吊顶东北侧，排风口位于治疗室南墙西侧底部，满足“上进下出，对角布置”的原则。废气排到济众楼（南区）外医院内停车场处，经排气筒高于地面3m排放，避开了门、窗及人流较大的过道等位置，人员居留较少。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通排风的要求。
4、废旧放射源的处置。按照法律法规规定，应当在放射源闲置或者废弃后 3 个月内，按照废旧放射源返回协议规定，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，送交具备相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。	已落实。 医院已按要求与放射源销售单位签订了《废旧放射源返回协议》，见附件 4。
(二)建立和完善监测、评估、应急、培训等各项管理制度并组织实施。	
1、完善辐射环境监测方案，配备与该项目辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪	已落实。 医院已制定《山东大学齐鲁医院辐射防护监测方案》，并配备了 1 台 1 台 HRD-100 型辐射巡检

器，监测结果及时报历下分局。 辐射工作人员应佩戴个人剂量计，并进行个人剂量监测。安排专人负责个人剂量监测管理，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查。建立辐射工作人员个人剂量档案，做到一人一档。	仪、2 台个人剂量报警仪等仪器，定期对伽玛刀机房及周围进行巡检，并存档备查。 本项目辐射工作人员均已佩戴个人剂量计，并已委托山东省医学科学院放射医学研究所对辐射工作人员进行个人剂量监测。医院安排有专人负责个人剂量监测管理，建立了辐射工作人员个人剂量档案，做到了一人一档。
2、按要求开展辐射安全和防护状况年度评估工作，年度评估报告于每年 1 月 31 日前报历下分局。	已落实。 医院已按要求编制了 2025 年度辐射安全和防护状况年度评估报告，并提报至全国核技术利用辐射安全申报系统和当地生态环境部门。
3、修订辐射事故应急预案，定期组织开展应急演练，落实风险防范措施，切实防范辐射环境风险。	已落实。 医院已编制《山东大学齐鲁医院辐射事故应急预案》，按要求定期进行修订；医院已于 2026 年 6 月 29 日组织开展了伽玛刀辐射事故应急演练，做好了演练纪录。本项目运行期间未发生辐射事故。
4、加强辐射工作人员的辐射安全培训和再培训。制定培训计划，组织辐射工作人员参加辐射安全培训和考核；考核不合格的，不得上岗。	已落实。 医院已制《山东大学齐鲁医院放射工作人员培训计划》，本项目辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，且在有效期内。
5、放射源设专人管理，严格落实辐射安全管理责任制、伽玛刀使用登记制度、操作规程、辐射防护和安全保卫制度等。	已落实。 医院放射源设有专人管理，医院已制定各项辐射安全管理规章制度，其中与本项目相关的规章制度有：《山东大学齐鲁医院伽玛刀安全操作规程》、《山东大学齐鲁医院伽玛刀技师岗位职责》、《山东大学齐鲁医院辐射防护和安全保卫制度》、《山东大学齐鲁医院辐射防护监测方案》、《山东大学齐鲁医院设备检修维护制度》、《山东大学齐鲁医院放射源台账管理制度》、《山东大学齐鲁医院放射工作人员培训计划》等。
(三)环境影响报告表经批准后，项目的性质、规模、地点或生态保护、污染防治措施发生重大变动的，应按要求重新报批环境影响报告表。	已落实。 经核实，本项目的性质、规模、地点及生态保护、污染防治措施未发生重大变动。

变动情况：环评阶段固定式辐射剂量监测仪探头设置于治疗室东墙，在控制室内、治疗室内西墙、东墙、南墙各设置 1 处紧急停机按钮；实际建设为固定式辐射剂量监测仪探头设置于治疗室南墙，在控制室内、治疗室内西墙、东墙、南墙、北墙各设置 1 处紧急停机按钮。

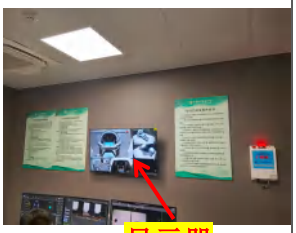
现场勘查时，伽玛刀辐射安全与防护措施、辐射防护用品配备现状见图 3-1。

伽玛刀治疗室防护门

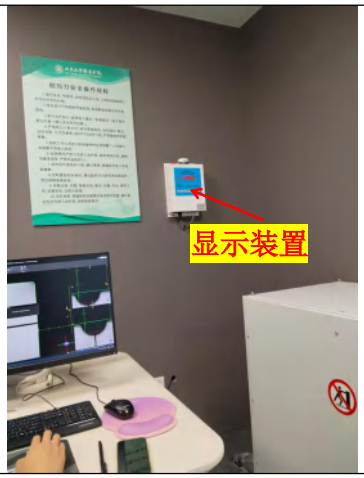


伽玛刀设备电离辐射警告标志、紧急停机按钮

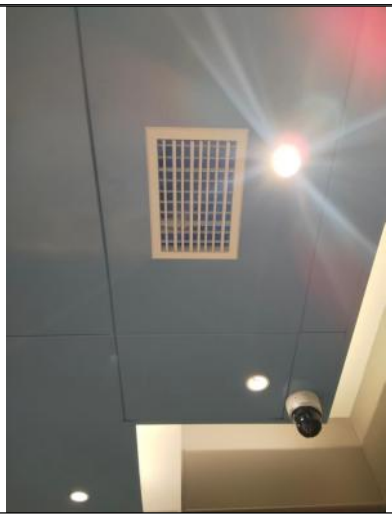
四周墙体紧急停机按钮



监控探头及显示器



固定式辐射剂量监测仪探头及显示装置

<table>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>进风口</td><td>排风口</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>紧急开门装置</td><td>治疗室外监控探头</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>控制室内紧急停机按钮</td><td>控制室内规章制度上墙</td></tr>
</table>

辐射巡检仪

个人剂量报警仪

图 3-1 本项目辐射安全与防护措施现场照片（2026 年 6 月）

3.2 辐射安全管理情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号公布）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及生态环境主管部门的要求，放射源使用单位应落实环评文件及环评批复中要求的各项管理制度和安全防护措施。为此本次对医院的辐射环境管理情况进行了检查。

3.2.1 组织机构

医院已成立放射诊疗与辐射安全防护管理工作领导小组，签订了辐射工作安全责任书，法人代表为辐射安全工作第一责任人，放射诊疗与辐射安全防护管理工作领导小组负责医院辐射安全与防护各项工作。

3.2.2 辐射安全管理制度及其落实情况

1. **工作制度：**医院制定了《山东大学齐鲁医院伽玛刀技师岗位职责》、《山东大学齐鲁医院辐射防护和安全保卫制度》、《山东大学齐鲁医院设备检修维护制度》、《山东大学齐鲁医院放射源台账管理制度》等制度，建立了辐射安全管理档案。

2. **操作规程：**医院制定了《山东大学齐鲁医院伽玛刀安全操作规程》。

3. **应急预案：**医院制定了《山东大学齐鲁医院辐射事故应急预案》，并将定期修订本应急预案。经核实，医院运行至今未发生辐射事故。

4. **人员培训：**医院制定了《山东大学齐鲁医院放射工作人员培训计划》，本项目辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，成绩单在有效期内。

5. **监测方案：**医院制定了《山东大学齐鲁医院辐射防护监测方案》，配备有 1 台

HRD-100 型辐射巡检仪，定期对伽玛刀工作场所进行自主监测。同时委托有资质单位每年对设备性能和场所周围辐射水平进行监测，出具监测报告，并定期向生态环境部门上报监测数据。医院辐射工作人员均佩戴个人剂量计，个人剂量委托有资质单位每三个月检测一次，出具个人剂量检测报告。医院安排专人负责个人剂量监测管理，建立了辐射工作人员个人剂量档案，一人一档。个人剂量档案包括个人基本信息、工作单位及剂量监测结果等信息。

6.年度评估：医院每年开展自行检查及年度评估，按要求编写了 2025 年度辐射安全与防护状况年度评估报告，并提交至全国核技术利用辐射安全申报系统和当地生态环境部门。

3.3 三废处理设施情况

1、退役源

本项目运营 6 年左右后会产生退役放射源，医院已与放射源生产厂家签订废旧放射源回收协议（见附件 4），退役放射源由厂家回收，处置前存放在伽玛刀治疗头内，退役源得到妥善处置，不会对环境造成影响。

2、非放射性有害气体

治疗室内空气在γ射线和 X 射线照射下产生臭氧和氮氧化物，通过伽玛刀机房设置的排风系统，设计通风次数不低于 4 次/h，可明显降低其浓度，不会对环境造成影响。废气排到济众楼（南区）外医院内停车场处，经排气筒高于地面 3m 排放，避开了门、窗及人流较大的过道等位置，人员居留较少。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通排风的要求。

3、废铅蓄电池

伽玛刀配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，其更换周期约 5 年/次，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），更换下的废铅蓄电池属于危险废物（废物代码：900-052-31），不在医院内暂存，直接交由有资质单位处置。

（4）废弃的放疗定位模具（热塑膜/头枕/底板）

本项目所用定位模具为热塑膜、有机玻璃/泡沫底板等定位辅助材料，仅与患者体表接触、用于体位固定，不接触放射性物质、无放射性污染，不属于放射性废物。废弃的放疗定位模具暂存于伽玛刀治疗室废物箱内，按医疗废物进行处理。

3.4 项目变动情况

环评阶段固定式辐射剂量监测仪探头设置于治疗室东墙，在控制室内、治疗室内西墙、东墙、南墙各设置 1 处紧急停机按钮；实际建设为固定式辐射剂量监测仪探头设置于治疗室南墙，在控制室内、治疗室内西墙、东墙、南墙、北墙各设置 1 处紧急停机按钮。根据《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》，上述变动不涉及重大变动，对本项目辐射安全与防护以及辐射环境的影响很小。

表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 环境影响报告表主要结论

1.项目概况

山东大学齐鲁医院位于济南市文化西路 107 号，医院持有辐射安全许可证：鲁环辐证[01069]，准予使用III类、V 类放射源，使用 II 类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2029 年 8 月 5 日。

医院拟将济众楼（南区）地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，并新购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统，安装于伽玛刀治疗室内，用于放射治疗。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，为组合式 ^{60}Co 放射源，属医用 I 类放射源。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 12mA。

本项目伽玛刀主要用于开展临床科研及后续放射治疗工作，具有明确的临床必要性与社会公益性，符合实践的正当性原则。

2.选址合理性

项目位于医院内部，不新增用地，医院所在地属医疗卫生用地，符合有关规划要求。伽玛刀机房位于医院济众楼（南区）地下二层西侧，位于底层的一端。避开了儿科病房、产房等特殊人群，尽量避开了人员密集区域，避开了人员流动性大的商业活动区域。周围 50m 评价范围内无居民区、学校等敏感目标，伽玛刀机房选址合理。

3.现状检测

现状检测结果表明，本项目辐射工作场所拟建区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率与济南市环境天然辐射处于同一水平。

4.环境影评价结论

（1）安全防护措施：伽玛刀治疗室采用混凝土实体屏蔽，防护门不低于 12mmPb。机房采取分区管理，将伽玛刀治疗室四周墙壁围成的区域划为控制区，与伽玛刀治疗室墙壁外部相邻区域的控制室、设备间、缓冲间划为监督区。机房设计强制排风系统，有效通风量约 1000m^3/h，通风次数大于 4 次/h，排风口末端位于济众楼（南区）外停车场处，经排气筒延伸高于地面 3m 排放，避开了门、窗及人流较大的过道等位置。拟在伽玛刀工作场所入口处、防护门外、伽玛刀治疗头位置外表面设计张贴电离辐射警告标志和中文警示说

明；防护门外拟设置工作状态指示灯；防护门外、治疗室内均设置有监控探头，用于观察防护门外、治疗室内以及患者状态。监视器设置在控制室内。治疗室内和控制室之间设置双向交流对讲系统；东墙设置固定式辐射剂量监测仪；防护门与放射源联锁，治疗室内设置紧急开门装置，防护门设置防夹装置，控制室内和治疗室内设置若干紧急停机按钮；进风管道和排风管道采用“Z”型穿墙体，采用钢板进行屏蔽补偿，电缆管线口采用地下“U”型穿墙。拟设置的安全防护措施满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）有关要求。

（2）伽玛刀治疗室外各关注点的剂量率最大为 1.813μSv/h，低于 2.5μSv/h 的剂量率控制目标。防护门及屏蔽墙体的防护设计均满足要求。保护目标处剂量率均较低，最大约为 7.32×10^{-3}μSv/h。

（3）人员所受辐射剂量估算

伽玛刀对辐射工作人员附加年有效剂量低于本评价采用的职业人员年有效剂量管理约束值 5.0mSv/a；职业人员同时从事医院现有辐射工作，叠加近四个季度个人剂量检测数值后，职业人员所受总的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的 20mSv 的年有效剂量限值。

公众成员年有效剂量低于本评价采用的公众成员年有效剂量管理约束值 0.1mSv/a。

（4）三废环境影响分析结论：退役源由厂家回收，退役放射源处于有效的安全管理之中，不会对环境造成影响；更换下的 UPS 电源不在医院内暂存，直接交由有资质单位处置；机房内设计有强制排风系统，通风次数大于 4 次/h，产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排至济众楼（南区）外医院内停车场处，经排气筒延伸高于地面 3m 排放，避开了门、窗及人流较大的过道等位置，对周围环境和人员影响较小；废气的放疗定位模具按医疗废物进行处理。

5.辐射安全管理结论

（1）医院已成立辐射安全与防护管理领导机构，已制定各项辐射安全管理规章制度，拟补充完善《伽玛刀安全操作规程》《伽玛刀物理师、技师管理制度》、《伽玛刀物理师、技师岗位职责》、《伽玛刀治疗质量保证大纲》《放射源台账管理制度》《废旧放射源处置管理制度》等规章制度。已制定《辐射事故应急预案》，需进一步修订和完善。在医院完善各项辐射安全管理制度和应急预案，并严格落实的情况下，可以保障辐射工作人员和公众的健康和安全。

（2）本项目利用现有 9 名辐射工作人员，均已取得国家核技术利用辐射安全与防护考核证书，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

（3）伽玛刀治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪；医院拟为本项目新配置 1 台便携式辐射环境检测仪，配备后可满足本项目辐射安全管理要求；医院已配置 1 台便携式辐射环境检测仪，用于全院辐射工作场所自主监测使用；医院已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，并已委托有资质单位每三个月检测一次，出具个人剂量检测报告。

（4）医院拟定期开展辐射事故应急培训和演练，对培训和演练材料归档保存，保持应急能力。

综上所述，山东大学齐鲁医院伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目在切实落实报告中提出的辐射管理、辐射防护等各项措施，严格执行相关法律法规、标准规范等文件，落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，该项目对职业人员和公众成员是安全的，对周围环境产生的辐射影响较小，不会引起周围辐射水平的明显变化。因此，从环境保护角度分析，项目建设是可行。

4.2 环境影响报告表审批部门审批决定

一、项目主要建设内容

山东大学齐鲁医院位于济南市历下区文化西路 107 号，医院拟将济众楼(南区)地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，并新购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统(以下简称“伽玛刀”)，安装于伽玛刀治疗室内。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq(12000Ci)±10%，共 60 枚，为组合式 ^{60}Co 放射源，属医用 I 类放射源。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 12mA。核技术利用项目类型为使用 I 类放射源(医用)。

历下分局受理该项目并在济南市生态环境局网站进行了公示，公示期间未收到公众反对意见。该项目在落实报告表提出的各项环境保护措施和下列工作要求后，可以满足国家环境保护相关法规和标准的要求。从环境保护角度分析，历下分局原则同意环境影响报告表提出的环境影响评价结论和拟采取的各项环境保护措施。

二、项目建设及运行中应重点做好的工作

(一)做好辐射工作场所的环境安全防护工作。

1、落实伽玛刀治疗场所的实体屏蔽措施，确保辐射防护能力满足《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)。

2、对伽玛刀治疗场所进行分区管理，划分控制区和监督区，在控制区边界和其他醒目位置设置电离辐射警告标志。伽玛刀治疗机房应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：急停按钮；门-源联锁装置;门内紧急开门装置，防护门应设置防撞、防夹伤功能。设置对讲装置、监控设备、电离辐射警告标志和工作状态指示灯，在线视频监控与省级平台联网，实现监控预警功能。设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，设置紧急情况下的手动关源装置，配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

对工作场所定期巡检，按要求配备防护用品，确保工作人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关要求。

3、废气的处置。项目不产生放射性废气，各工作场所设置强制排风系统，确保满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的相关要求。

4、废旧放射源的处置。按照法律法规规定，应当在放射源闲置或者废弃后 3 个月内，按照废旧放射源返回协议规定，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，送交具备相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

(二)建立和完善监测、评估、应急、培训等各项管理制度并组织实施。

1、完善辐射环境监测方案，配备与该项目辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器，监测结果及时报历下分局。

辐射工作人员应佩戴个人剂量计，并进行个人剂量监测。安排专人负责个人剂量监测管理，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查。建立辐射工作人员个人剂量档案，做到一人一档。

2、按要求开展辐射安全和防护状况年度评估工作，年度评估报告于每年 1 月 31 日前报历下分局。

3、修订辐射事故应急预案，定期组织开展应急演练，落实风险防范措施，切实防范辐射环境风险。

4、加强辐射工作人员的辐射安全培训和再培训。制定培训计划，组织辐射工作人员参加辐射安全培训和考核；考核不合格的，不得上岗。

5、放射源设专人管理，严格落实辐射安全管理责任制、伽玛刀使用登记制度、操作

规程、辐射防护和安全保卫制度等。

(三)环境影响报告表经批准后，项目的性质、规模、地点或生态保护、污染防治措施发生重大变动的，应按要求重新报批环境影响报告表。

三、项目建设必须严格执行环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投用的“三同时”制度。项目建成后要按规定进行建设项目竣工环境保护验收，并依法向社会公开验收报告，经验收合格并办理辐射安全许可证重新申领手续后，方可正式投入使用。

四、济南市生态环境保护综合行政执法支队历下大队要加强对辖区内该建设项目的日常监督检查。

五、依据《中华人民共和国行政复议法》和《中华人民共和国行政诉讼法》，公民、法人或者其他组织认为该审批决定侵犯其合法权益的，可以自接到该批复之日起六十日内提起行政复议，也可以自接到该批复之日起六个月内提起行政诉讼。

表 5 验收监测质量保证及质量控制

1. 监测单位资质

本次验收委托具备相应检测资质的山东益景检测技术有限公司开展检测，该检测单位已取得生态环境监测认证。

2. 质量管理体系

验收监测单位建立了由组织机构、程序、过程和资源构成且具有一定活动规律的质量管理体系。

3. 质量保证计划

验收监测单位将质量保证贯穿于从监测方案制定到监测结果评价的全过程。

4. 监测点位的质量控制

依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方式进行现场监测。将仪器接通电源预热 15min 以上，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算均值和标准偏差。

5. 其他质量保证和控制措施

本次由两名检测人员共同进行现场检测，由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。检测时获取足够的数据量，以保证检测结果的统计学精度。建立完整的文件资料、仪器校准（测试）证书、检测布点图、测量原始数据、统计处理记录等全部保留，以备复查。检测报告严格实行多级审核制度，经过校对、审核，最后由授权签字人审定。

本次相应监测使用方法、仪器及人员均符合山东益景检测技术有限公司体系要求：

（1）监测方法严格遵循监测单位制定的检测作业指导文件。

（2）监测使用设备均通过检定并在有效期内，满足监测要求。

（3）监测人员已通过辐射检测技术培训。

（4）监测单位获得相应资质认证。

表 6 验收监测内容

为掌握本项目正常运行情况下伽玛刀治疗室周围的辐射环境水平，本次验收委托山东益景检测技术有限公司对伽玛刀治疗室及周围环境进行了γ辐射剂量率检测。

1.监测项目

γ辐射剂量率。

2.监测时间与环境条件

监测时间：2026 年 6 月 5 日。

环境条件：天气：晴；温度：23.7℃；相对湿度：41.7%RH。

3.监测仪器

验收监测仪器设备参数及技术指标见表 6-1。

表 6-1　验收监测使用的监测仪器一览表

设备名称	设备型号	技术指标	检定单位	检定证书编号	检定有效期至
便携式X-γ辐射剂量率仪	HD-2005	测量范围：1×10^{-8}Gy/h～1×10^{-4}Gy/h 能量范围：30keV～3MeV	山东省计量科学研究院	Y16-202600914	2027 年 04 月 08 日

4.监测人员

本次由两名监测人员共同进行现场验收监测。

5.监测依据及监测方法

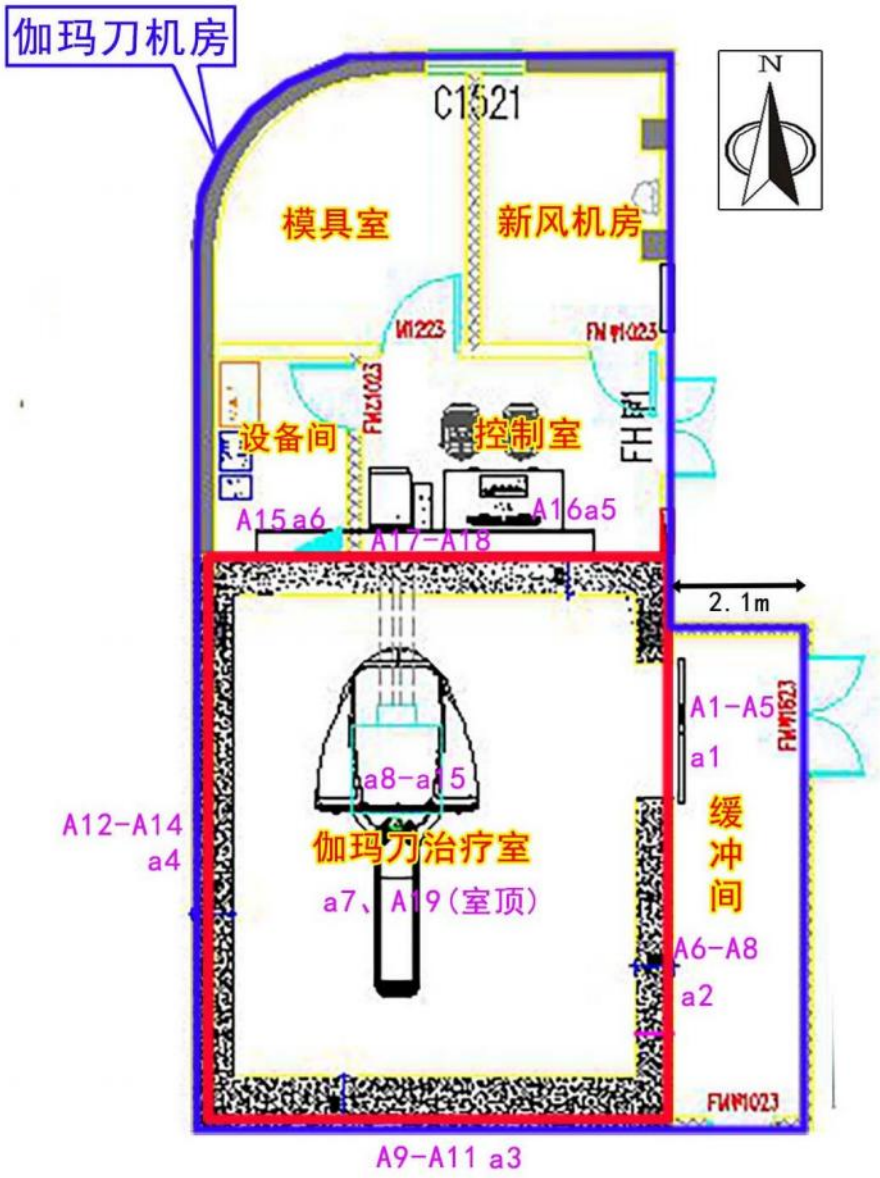
依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方式进行现场监测。将仪器接通电源预热 15min 以上，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算均值和标准偏差。

6.监测点位

（1）贮源状态下于伽玛刀治疗室内部及周围共布设 22 个γ辐射剂量率监测点位；

（2）出源状态下于伽玛刀治疗室周围及环境保护目标处共布设 26 个γ辐射剂量率监测点位。

伽玛刀治疗室内部及周围γ辐射剂量率监测布点见图 6-1～图 6-2。



图例：

A、a：γ辐射剂量率检测点位

图 6-1　伽玛刀治疗室内部及周围监测布点图

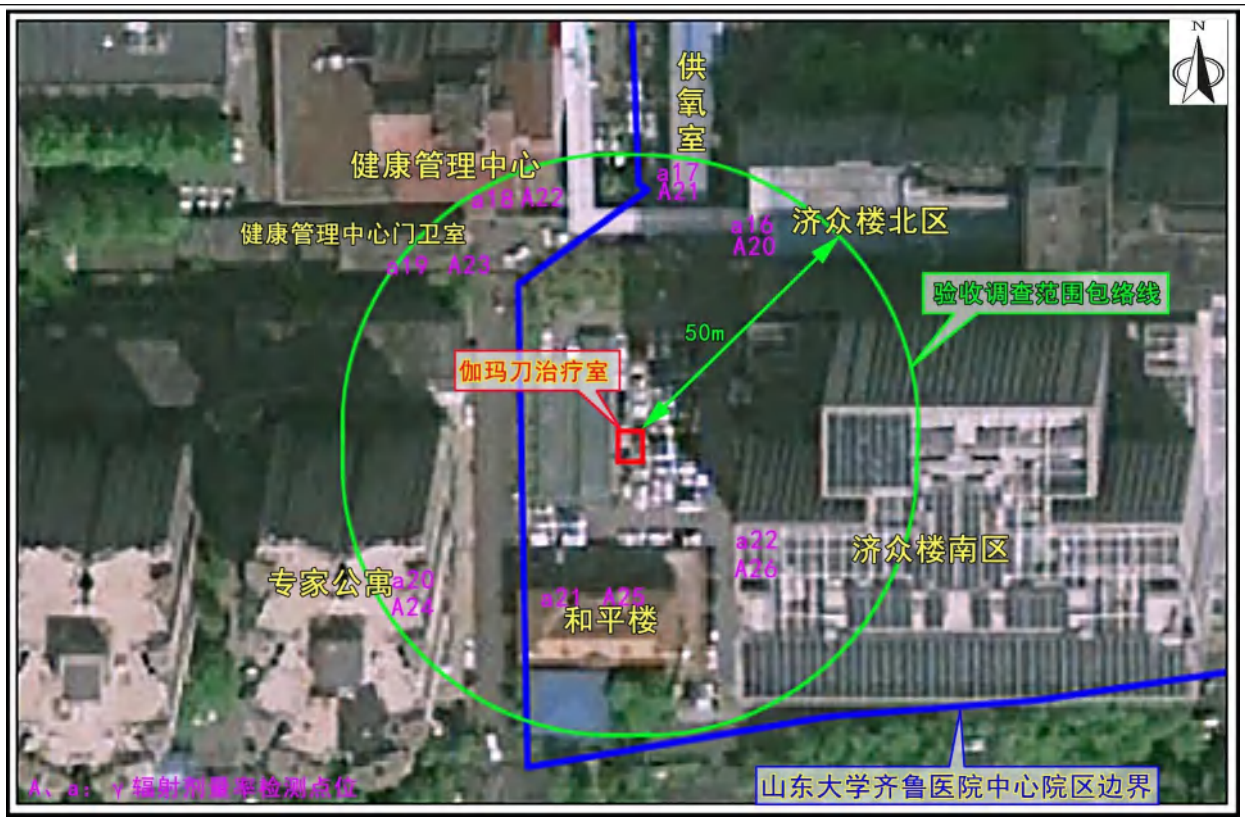


图 6-2　环境保护目标处监测布点图

表 7 验收监测

7.1 监测期间运行工况

本项目验收监测期间，各辐射安全与防护设施均处于正常使用状态。

监测工况：出源状态下使用最大准值器 Φ18mm、放置模具，且 CBCT 开机（电压为 100kV，电流为 10mA）状态下进行检测。

7.2 验收监测结果

下表中检测数据均已扣除宇宙射线响应值 2.9×10^{-8}Gy/h，宇宙射线响应值的屏蔽修正因子，原野及道路取 1，平房取 0.9，多层建筑物取 0.8。

表 7-1 贮源状态下，伽玛刀治疗室内部及周围辐射剂量率检测结果（$\times10^{-8}$Gy/h）

点 位	点位描述	剂量率	标准偏差
a1	防护门外 30cm 处（防护门打开）	11.7	0.3
a2	东墙外 30cm 处	9.3	0.3
a3	南墙外 30cm 处	9.4	0.2
a4	西墙外 30cm 处	9.1	0.1
a5	操作位	8.3	0.1
a6	设备间	10.1	0.6
a7	室顶上方（地上停车场）	10.7	0.5
a8	距设备南侧表面 5cm 处	52.0	0.8
a9	距设备南侧表面 100cm 处	10.8	0.2
a10	距设备北侧表面 5cm 处	39.7	0.9
a11	距设备西侧表面 5cm 处	34.0	1.4
a12	距设备西侧表面 100cm 处	12.3	0.6
a13	距设备东侧表面 5cm 处	27.0	1.1
a14	距设备东侧表面 100cm 处	12.1	0.3
a15	工作人员摆位处	11.8	0.6
a16	济众楼北区（室外）	5.3	0.3
a17	供氧室（室外）	5.2	0.2
a18	健康管理中心（室外）	5.8	0.2
a19	健康管理中心门卫室（室外）	4.9	0.3
a20	专家公寓（室外）	4.4	0.2
a21	和平楼（室外）	4.2	0.2
a22	济众楼（南区）（室外）	5.0	0.2
范 围		4.2～52.0	

表 7-2　出源状态下，伽玛刀治疗室周围辐射剂量率检测结果（$\times10^{-8}$Gy/h）

点 位	点位描述	剂量率	标准偏差
A1	防护门外 30cm 处（左缝）	18.5	0.4
A2	防护门外 30cm 处（右缝）	17.7	0.5
A3	防护门外 30cm 处（上缝）	15.2	0.3
A4	防护门外 30cm 处（中间）	16.2	0.2
A5	防护门外 30cm 处（下缝）	46.0	1.0
A6	东墙外北段 30cm 处	14.4	0.6
A7	东墙外中段 30cm 处	15.9	0.6
A8	东墙外南段 30cm 处	15.5	0.4
A9	南墙外东段 30cm 处	16.6	0.4
A10	南墙外中段 30cm 处	16.6	0.5
A11	南墙外西段 30cm 处	15.6	0.4
A12	西墙外北段 30cm 处	14.2	0.2
A13	西墙外中段 30cm 处	15.3	0.4
A14	西墙外南段 30cm 处	14.9	0.4
A15	设备间	14.5	0.5
A16	操作位	14.3	0.5
A17	穿线孔外 30cm 处	15.0	0.2
A18	排风管外 30cm 处	17.9	0.3
A19	室顶上方（地上停车场）	15.7	0.5
A20	济众楼北区（室外）	6.5	0.3
A21	供氧室（室外）	6.0	0.2
A22	健康管理中心（室外）	6.3	0.2
A23	健康管理中心门卫室（室外）	6.2	0.1
A24	专家公寓（室外）	6.3	0.1
A25	和平楼（室外）	6.3	0.2
A26	济众楼（南区）（室外）	6.3	0.2
范　　围		6.0～46.0	

注：1、治疗室下方为土层，人员无法到达；
2、出源状态下使用最大准值器Φ18mm、放置模具，且 CBCT 开机（电压为 100kV，电流 10mA）状态下进行检测。

由表 7-1 可知，当伽玛刀贮源状态时，治疗室周围及环境保护目标处（a1～a7、a16～a22）辐射剂量率为（4.2～11.7）$\times10^{-8}$Gy/h，处于济南市室内环境天然放射性水平范围内[室内（6.54～12.94）$\times10^{-8}$Gy/h、道路（1.84～6.88）$\times10^{-8}$Gy/h]。

由表 7-2 可知，当伽玛刀出源状态时，使用最大准值器、放置模具且 CBCT 开机工况

下，治疗室周围及环境保护目标处的辐射剂量率为（6.0～46.0）×10^{-8}Gy/h，即（0.06～0.46）μSv/h，满足环境影响报告表提出的2.5μSv/h的剂量率目标控制值。

7.3 职业人员和公众成员受照剂量

医院已委托山东省医学科学院放射医学研究所为职业人员开展个人剂量监测，由于本项目于2026年6月进入调试运行阶段，调试运行后尚未取得职业人员的个人剂量检测报告，因此本次采用验收监测结果估算本项目辐射工作人员年有效剂量。

7.3.1 年有效剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000年报告附录A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H^{*}=H\times U\times T\times t\times 10^{-3} \quad (7\text{-}1)$$

式中：

H^{*}——年有效剂量，mSv/a；

H——参考点处辐射剂量率，μSv/h；

U——使用因子，无量纲，本项目均取值1；

T——居留因子，无量纲；

t——年照射时间，h/a。

7.3.2 年有效剂量估算

1.年有效剂量估算公式、居留因子选取

根据工作负荷对职业人员辐射年有效剂量进行理论估算，估算公式见式7-1。居留因子参照《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），具体见表7-4。

表7-4 居留因子的选取

标准				本项目
场所	居留因子（T）		示例	
	典型值	范围		
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区	1：北侧控制室、各保护目标
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室	1/5：西侧车库出口、东侧缓冲间、南侧风机房、北侧设备间

偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯	1/20：室顶上方停车场

2.操作时间

根据上文2.4.1，本项目伽玛刀年最多接诊2500人次，年照射时间104h/a。工作人员每次指导摆位约需5min，摆位时间为208.3h。辐射工作人员分为2组轮流从事本项目辐射工作，则每位辐射工作人员的年最大受照时间为104/2=52h，摆位时间为208.3/2=104.2h。

3、职业人员年有效剂量

伽玛刀治疗时，职业人员的影响区域主要在治疗室北侧的控制室，根据表7-2，出源状态下控制室内剂量率最大为179nGy/h；摆位人员会受到贮源状态下放射源影响，根据表7-1，贮源状态下，摆位处辐射剂量率为118nGy/h，居留因子取1。

经计算，职业人员附加年有效剂量为$179\times52\times1\times10^{-6}+118\times104.2\times1\times10^{-6}\approx0.022$mSv/a，低于环境影响报告表提出的职业人员年管理剂量约束值5.0mSv。

职业人员同时从事医院现有辐射工作，根据山东省医学科学院放射医学研究所出具的近四个季度个人剂量检测报告（2025年7月～2026年6月），职业人员所受年有效剂量最大为0.21mSv，则职业人员从事本项目及现有辐射项目所受总的年有效剂量最大为0.022+0.21=0.232mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的20mSv的年有效剂量限值。

4、公众成员年有效剂量

本项目伽玛刀治疗室周围公众成员的年有效剂量如下：

表7-8　伽玛刀治疗室周围公众成员附加年有效剂量

位置	对应区域/场所名称	剂量率（nGy/h）	居留因子（T）	照射时间（h/a）	年有效剂量（mSv/a）
东侧	缓冲间	460	1/5	104	0.010
西侧	车库出口	153	1/5	104	0.003
南侧	风机房	166	1/5	104	0.003
北侧	设备间	145	1/5	104	0.003
上方	停车场	157	1/20	104	0.001

各保护目标	65（最大值）	1	104	0.007
注：根据表 7-1 可知，贮源状态下，治疗室四周、室顶及防护门外剂量率均处于本底水平，故不再考虑贮源状态下公众成员所受年有效剂量。				

根据上表 7-8 可知，伽玛刀治疗室周围公众成员附加年有效剂量最大为 0.01mSv，低于环境影响报告表提出的公众年管理剂量约束值 0.1mSv。

表 8 验收监测结论

根据本次验收监测和检查结果，可以得出以下结论：

1.项目概况

本项目位于山东省济南市文化西路 107 号，医院济众楼（南区）地下二层西侧，本次验收规模为将济众楼（南区）地下二层西侧现有值班室和设备机房区域整体改造为 1 座伽玛刀机房，包括伽玛刀治疗室及控制室、设备间、新风机房、模具室等功能房间，购置 1 台实时图像引导头部伽玛射束立体定向放射治疗系统，安装于伽玛刀治疗室内。伽玛刀总装源活度 4.44×10^{14}Bq（12000Ci）±10%，共 60 枚，为组合式 ^{60}Co 放射源，属医用Ⅰ类放射源。此外，伽玛刀自带 CBCT 图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 12mA。

2026 年 4 月，医院委托山东益景检测技术有限公司编制了《山东大学齐鲁医院伽玛射线立体定向放射治疗系统应用项目环境影响报告表》；2026 年 5 月 7 日，济南市生态环境局以“济环历下辐表审[2026]2 号”文对该报告表进行批复。

医院现持有辐射安全许可证，证书编号为鲁环辐证[01069]，许可种类和范围：使用Ⅰ类、Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2029 年 8 月 5 日。本次验收内容已进行辐射安全许可证许可登记。

2.验收监测结果

当伽玛刀贮源状态时，治疗室周围及环境保护目标处辐射剂量率为（4.2～11.7）×10^{-8}Gy/h，处于济南市室内环境天然放射性水平范围内[室内（6.54～12.94）×10^{-8}Gy/h、道路（1.84～6.88）×10^{-8}Gy/h]。

当伽玛刀出源状态时，使用最大准值器、放置模具且 CBCT 开机工况下，治疗室周围及环境保护目标处的辐射剂量率为（6.0～46.0）×10^{-8}Gy/h，即（0.06～0.46）μSv/h，满足环境影响报告表提出的 2.5μSv/h 的剂量率目标控制值。

3.辐射安全与防护设施/措施落实情况

根据现场检查结果，伽玛刀治疗室南北长 7.3m、东西宽 6.1m，高 4.4m，北墙、东墙、西墙均为 600mm 混凝土结构，南墙为 800mm 混凝土结构；室顶为 450mm 混凝土+250mm 厚回填土；防护门为铅钢复合材料结构，防护能力 12mmPb；伽玛刀治疗室内设计有强制排风系统，通风换气次数大于 4 次/h，进风口和排风口满足“上进下出，对角布

置”的原则，可保持室内空气充分交换，有害气体最终排至外部环境。防护门与放射源联锁，并设计有电离辐射警告标志、工作状态指示灯和防夹装置；伽玛刀治疗室内设计有监控探头、固定式辐射剂量监测仪、紧急停机按钮、紧急开门装置等防护设施。伽玛刀治疗室的屏蔽设施建设、辐射安全与防护措施已按照环境影响报告表及其审批部门审批要求进行落实。

4.辐射工作人员和公众年有效剂量

根据验收监测结果估算，本项目辐射工作人员年有效剂量满足环境影响报告表提出的 5mSv 职业人员的年管理剂量约束值；周围公众成员年有效剂量满足环境影响报告表提出的 0.1mSv 公众成员的年管理剂量约束值。

综上所述，山东大学齐鲁医院已按照国家相关法律、法规及标准要求，严格执行“三同时”制度，成立了辐射安全与环境保护管理机构，制定并落实了各项相关制度。对环评和批复文件提出的辐射安全与环保设施要求均已落实，结合验收监测结果，落实了环评报告表及环评批复等要求，满足竣工环保验收条件，建议通过验收。