核技术利用建设项目

立体定向γ射线外科治疗装置
环境影响报告表
（公示本）

宁夏颐阳老年病医院有限公司

2020 年 12 月

环境保护部监制

编 制 说 明

《核技术应用项目环境影响报告表》由具有从事辐射环境影响评价工作资质的单位编制。

1.申请领取许可证的辐射工作单位从事下列活动的，应当组织编制环境影响报告表：制备 PET 用放射性药物的；医疗使用Ⅰ类放射源的；使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源的；生产、使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒籽源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的。

2.密封源要注明名称并说明源强。

3.“环境影响分析”主要是指利用核技术应用项目周围环境现状资料、设备技术参数及环境本底监测数据，分析核技术应用项目对环境造成的影响，给出结论。同时提出减少环境影响的建议。

4. 《核技术应用项目环境影响报告表》报自治区生态环境部门审批。

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">立体定向γ射线外科治疗装置</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">宁夏颐阳老年病医院有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>侯立</td><td>联系人</td><td>马超</td><td>联系电话</td><td>13469500999</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">银川市兴庆区永安巷水木清苑 15-1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">银川市兴庆区永安巷水木清苑 15-1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>1000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>145</td><td>投资比例</td><td>14.5%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积（m²）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">□Ⅰ类 ☑Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□甲 □乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位情况

宁夏颐阳老年病医院有限公司成立于 2013 年 12 月，注册资本 10000 万元，位于银川市兴庆区永安巷水木清苑 15-1 号，医院门诊设有国医馆、名医工作室等特色科室，并涵盖内科（消化内科、心内科、神经内科、呼吸内科、消化肝病科、临床心理科、血液科、肿瘤科、内分泌科、风湿科）、外科（泌尿外科、普外科）、儿科、妇科、皮肤科（美容外科、美容皮肤科）、健康体检科。医技辅助科室设有放射科、检验科、彩色超声（心超、B 超）、心电图室、消化内镜室、门诊手术室、麻醉科等。可满足慢性病、老年病、需康复治疗患者的医疗服务需求。

二、项目建设规模

本项目拟在医院综合楼地下-1F 新建 1 间立体定向γ射线外科治疗室（以下简称伽马刀治疗室），配套建设控制室，购置并使用 1 台γ射线立体定向回旋聚焦放疗机（以下简称伽玛刀），生产厂家为西安一体医疗科技有限公司，伽玛刀型

号为 LUNA^{TM}-260，伽玛刀内安装 42 枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度为 5.738×10^{12}Bq，根据《关于发布放射源分类办法的公告》（2005 年 12 月）有关规定，属于Ⅱ类放射源，总活度为 2.41×10^{14}Bq，按医用Ⅰ类放射源进行管理。项目建成后医院将为伽玛刀治疗室配置 8 名辐射工作人员，其中包括 3 名医生、2 名操作人员和 3 名护士。

项目组成及内容详见表 1-1。

表 1-1　项目组成及内容一览表

放射源名称	**总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数**	**工作场所**	**活动种类**
^{60}Co	单枚 5.738×10^{12}Bq×42 枚	固态密封源，$T_{1/2}$=5.27a	Ⅱ
用途	**使用场所**	**贮存方式与地点**	**备注**
立体定向外科治疗	医院综合楼地下-1F 伽玛刀治疗室	随机器存放于伽玛刀装置内	/

三、目的和任务由来

为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，宁夏颐阳老年病医院有限公司拟在综合楼地下-1F 新建 1 间伽玛刀治疗室，配套建设控制室，并新增使用 1 台伽玛刀（42 枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度为 5.738×10^{12}Bq，Ⅱ类放射源），总活度为 2.41×10^{14}Bq，按医用Ⅰ类放射源进行管理。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018 年，生态环境部第 1 号令)规定，使用Ⅱ类放射源的应该编制环境影响报告表。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2017 年修改，部令第 47 号)，该报告表应报宁夏回族自治区生态环境厅审批。因此，宁夏颐阳老年病医院有限公司委托宁夏博识环保科技发展有限公司对《宁夏颐阳老年病医院有限公司立体定向γ射线外科治疗装置核技术利用项目》进行环境影响评价。

四、项目位置

（1）建设单位环境概况

宁夏颐阳老年病医院有限公司位于银川市兴庆区永安巷水木清苑 15-1 号，医院西侧为永安南巷，北侧为水木清苑住宅区，东侧为营业房、宁夏医科大学总医院住院部，南侧为宁夏医科大学总医院胸痛中心，项目地理位置见图 1-1。

（2）建设项目环境概况

本项目拟在医院综合楼地下-1F 新建 1 间伽玛刀治疗室，治疗室东侧为大会议室，北侧为走廊，西侧为控制室，南侧为夯实土，治疗室上方为医院门厅。

宁夏颐阳老年病医院有限公司周围环境示意图见图 1-2，综合楼-1F 平面布置图见图 1-3，综合楼 1F 平面布置图见图 1-4，伽玛刀治疗室平面图见图 1-5。

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	单枚活度 5.738×10^{12}Bq×42 枚	II	使用	立体定向外科治疗	综合楼地下-1F 伽玛刀治疗室	随机器存放于伽玛刀机器内	/

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等。

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（KV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	日排放量	年排放总量	暂存情况	最终去向
^{60}Co 退役放射源	固体	^{60}Co	/	/	不暂存	由放射源生产厂家更换并回收

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/m^3，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/l 或 Bq/kg 或 Bq/m^3)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）； 2.《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月）； 3.《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月）； 4.《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 8 月）； 5.《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018 年 4 月）； 6.《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 12 月，国务院令第 449 号，2019 年第二次修订）； 7.《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2017 年 12 月修改，部令第 47 号)； 8.《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 5 月）； 9.《关于发布放射源分类办法的公告》（2005 年 12 月）； 10.《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》（2006 年 9 月）； 11.《放射性物品运输安全管理条例》(国务院第 562 号令，2009) ； 12.《放射性废物安全管理条例》(2012 年 3 月 1 日起施行)； 13.《宁夏回族自治区辐射污染防治办法》（2019 年 2 月）。

技术标准	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.《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61－2001）； 4.《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)； 5.《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）； 6.《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）； 7.《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）； 8.《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》。
其他	1.环境影响评价委托书； 2.建设单位提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的格式和内容》（HJ10.1-2016）中“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”的要求，并结合本项目实际情况，确定本项目辐射评价范围：以伽玛刀治疗室实体防护墙外 50m 的范围。

保护目标

结合本评价项目的评价范围，确定本项目的保护目标是评价项目周围（50m 范围内）环境中活动的从事本项目放射治疗的辐射工作人员，以及评价范围内活动的其他医护人员及公众。辐射工作人员包括伽玛刀治疗室医护人员、控制室操作人员（本项目辐射工作人员均为专职），具体人员组成为医生 3 人、控制室操作人员 2 人、护士 3 人，共计 8 人。保护目标具体见表 7-1。

表 7-1 保护目标具体分布情况

类型	工作场所	保护目标	方位	人数	剂量管理约束值（mSv/a）
职业人员	伽玛刀治疗室	治疗室医护人员	治疗室内	6 人	5
	伽玛刀控制室	控制室操作人员	控制室内	2 人	
公众人员	-1F 走廊	医院其他工作人员、病患、家属	治疗室北侧	流动人群	0.25
	治疗室迷路入口		治疗室西北侧		
	-1F 大会议室	医院其他工作人员	治疗室东侧		
	1F 门厅	医院其他工作人员、病患、家属、公众	治疗室上方		
	1F 收费室、医保办公室	收费室、医保办公室工作人员	治疗室上方	5 人	

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

1、防护与安全的最优化

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

疗性医疗照射除外)。

2、剂量限值

2.1 职业照射

①4.3.2.1 款应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B(标准的附录 B)中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

②B1.1.1.1 款应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a)连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；

b)任何一年中的有效剂量，50mSv(但不可作任何追溯性平均)；

c)眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d)四肢(手和脚)或皮肤的年当量剂量，500mSv。

2.2 公众照射

B1.2.1 款实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

①年有效剂量，1mSv；

②特殊情况下，若 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；

③眼晶体的年当量剂量，15mSv；

④皮肤的年当量剂量，50mSv。

本评价报告表取年有效剂量限值的四分之一作为年管理剂量约束值，即对工作人员年管理剂量约束值不超过 5mSv，公众年管理剂量约束值不超过 0.25mSv。

二、《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）

1、5.1 非治疗状态下设备周围的杂散辐射水平在距设备外表面 60cm 处γ辐射空气比释动能率应≤20μGy/h，在距设备外表面 5cm 处γ辐射空气比释动能率应≤200μGy/h。

2、6.1 γ-刀或 X-刀治疗室应独立建筑或设置在建筑物底层的一端，面积应不小于 30m^2，层高应不低于 3.5m。

3、6.2 治疗室建筑应有满足防护要求的屏蔽厚度，保证在距治疗墙体外30cm可达界面处停留的医务人员（不含放射工作人员）或其他公众成员所受到的平均年有效剂量不超过 1mSv，该处因透射产生的空气比释动能率一般应不大于2.5μGy/h。必要时治疗室入口处采用迷路形式。

4、6.3 控制室操作台与防护门至少应有两种以上安全连锁装置。治疗室内应安装能紧急终止照射的应急开关。入口处应设置显示治疗源工作状态的讯号灯。

5、6.4 控制室与治疗室应设有观察患者状态的影响监控装置和患者交谈的对讲装置。

6、6.5 γ-刀治疗室应配置固定式剂量监测报警装置。

7、6.6 治疗室内应有良好的通风，机械通风换气次数一般为每小时 3~4 次。

三、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1--2007)

1、2.1 放射治疗机房外控制区

直接与放射治疗机房相连接的与机房内治疗装置相关的放射工作人员工作区，如治疗装置控制室、治疗装置辅助机房等。

2、2.2 放射治疗机房外非控制区

放射治疗机房外，除放射治疗机房外控制区以外的其它区域，包括放射肿瘤医师诊室、候诊室等。

3、3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列3.1.1和3.1.2的参考控制水平。

①3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处和邻近治疗机房的居留因子较大（T＞1/4）的人员驻留区域见。

$$\dot{H}_c \leq \dot{H}_c / (t \cdot U \cdot T)$$

式中：

$\dot{H}_c$——周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

H_c——周围剂量控制水平（μSv/周），其值如下：

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工作人员：≤5μSv/周

U——治疗装置向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子，参见附录 A；

t——治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。t 是与治疗装置周工作负荷 W 相关的参数，应由放射治疗单位给定的放射治疗工作量导出，附录 B 是参考示例。

②3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处：

$\dot{H}_c$≤2.5μSv/h（人员全居留场所，T＞1/2）

$\dot{H}_c$≤10μSv/h（人员部分和偶然居留场所，T≤1/2）

四、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3--2014）

1、4.1 剂量控制要求

①4.1.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应应不大于下述 a）、b）、c）所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$：

a）使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，依照附录 A，由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 $\dot{H}_{c、d}$（μSv/h）：

放射治疗机房外控制区的工作人员：Hc≤100μSv/周

放射治疗机房外非控制区的工作人员：Hc≤5μSv/周

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

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

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

c）由上述 a）中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c、d}$ 和 b）中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）。

②4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a）、b）两种情况控制：

a）在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周围剂量参考控制水平 *Hc*≤5μSv/周和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\max}$ ≤2.5μSv/h，按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 加以控制。

b）除 4.1.2 中 a）的条件外，应考虑下列情况：

①天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按 4.1.2 中的 a）确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）加以控制；

②穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 250μSv 加以控制；

③对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述①和②之后，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。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

宁夏颐阳老年病医院有限公司位于银川市兴庆区永安巷水木清苑 15-1 号，本项目位于医院综合楼地下-1F。

为掌握项目所在地辐射水平，本次评价委托宁夏安谱检测有限公司对本项目伽马刀治疗室所在位置的辐射环境进行了监测，监测情况和结果如下：

一、监测因子

γ辐射空气吸收剂量率

二、监测方法

严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）、《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）相关要求进行监测。

三、质量控制

仪器性能符合《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）及《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）中相关规定；合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和代表性；在测量前后进行标准源检验；监测人员持证上岗；辐射环境调查使用的仪器为 AT1117M 型辐射剂量率仪，量程范围：0.05μSv/h~10Sv/h，能量响应：20keV～3MeV。仪器于 2020 年 10 月 9 日经广东省电子电器研究所校准，证书编号为 CGEL100920200002，校准因子 0.988、0.928、1.022。监测单位通过 CMA 计量认证，所有数据经三级审核。

四、技术参数

仪器对宇宙射线的响应值（宁夏回族自治区平罗县沙湖）：21nGy/h。

五、监测单位：宁夏安谱检测有限公司；

监测时间：2020 年 12 月 1 日；

天气条件：天气晴，环境温度 18.8℃，环境湿度 35％RH，气压 89.1KPa。

六、监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）及《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93），结合实际情况，主要监测项目所在综合楼地下

-1F 伽马刀治疗室拟建场址中心、四周房间、顶棚上方的辐射环境本底值，本项目监测布点图见图 8-1。

七、监测结果

本项目拟建场址中心及周围辐射环境本底监测结果见表 8-1。

表 8-1 本项目拟建场址中心及周围辐射环境本底监测结果

序号	监测地点	γ空气吸收剂量率（μSv/h）
1	治疗室拟建场址中心（本底）	0.07
2	治疗室拟建场址北侧（本底）	0.08
3	治疗室拟建场址东侧（本底）	0.08
4	治疗室拟建场址西侧（本底）	0.07
5	治疗室拟建场址顶棚上方（本底）	0.08
未扣除仪器对宇宙射线的响应值。		

由表 8-1 监测结果可知，本项目拟建场址中心及周围γ辐射空气吸收剂量率测值范围为 0.07μSv/h~0.09μSv/h（未扣除仪器对宇宙射线的响应值），在宁夏天然环境本底范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

（一）设备概况

宁夏颐阳老年病医院为提升诊疗水平，改善患者的治疗条件，拟在综合楼地下-1F 新建 1 间伽玛刀治疗室，配套建设控制室，配备 1 台西安一体医疗科技有限公司生产的伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机（型号：LUNA^{TM}-260，简称伽玛刀），该伽玛刀为全身伽玛刀，内含 42 枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度为 5.738×10^{12}Bq（Ⅱ类放射源），用于肿瘤病人的放射治疗，本次配备的伽玛刀外观图见图 9-1，主要技术参数见表 9-1。

图 9-1 LUNA^{TM}-260 伽玛刀外观图

表 9-1 LUNA^{TM}-260 伽玛刀主要技术参数一览表

序号	参数名称	参数值
1	放射源种类	^{60}Co 密封源
2	初装源总活度	2.41×10^{14}Bq（单枚 5.738×10^{12}Bq）
3	放射源数目	42 枚
4	放射源半衰期	5.27a
5	定位参考点偏差	对最小聚焦野，参考定位点与焦点的偏差≤0.5mm

6	初装源时焦点标称吸收剂量率	头部：≥3.0Gy/min；体部：≥2.0Gy/min
7	准直器种类及射野尺寸（mm）	5×5、8×8、14×14、14×20、14×40、14×60 共 6 种
8	最大治疗野面积	头部：5.6cm^2（14mm×40mm） 体部：8.4cm^2（14mm×60mm）
9	辐射野剂量梯度	聚焦野尺寸小于等于 10mm，聚焦野剂量梯度不应大于 6mm； 聚焦野尺寸大于 10mm 并小于等于 20mm 的聚焦野，聚焦野剂量梯度不应大于 8mm； 聚焦野尺寸大于 20mm 并小于等于 30mm 的聚焦野，聚焦野剂量梯度不应大于 10mm； 聚焦野尺寸大于 30mm 并小于等于 60mm 的聚焦野，聚焦野剂量梯度不应大于 15mm。
10	源焦距（mm）	473
11	零位置时设备外形尺寸（长×宽×高，mm）	3665×1200×3155
12	放射基本形式	旋转聚焦
13	变焦方式	手动变焦/自动摆位
14	变焦特点	靶点自动摆位跟踪

（二）工作原理

伽玛刀，学名为伽玛射线立体定向治疗系统，是一种融合现代计算机技术、立体定向技术和放射外科技术于一体的治疗性设备，它采用伽玛射线几何聚集的方式，通过精确的立体定向将经过规划的一定剂量的伽玛射线集中照射于体内的预选靶点（即病灶），一次性、致死性的摧毁靶点内的组织，以达到外科手术切除或损毁的效果。由于射线采用旋转聚焦的方式，使射线经过人体正常组织时只受到瞬间、几乎无伤害的照射，并且靶点外射线量锐减，因此其治疗时照射范围与正常组织分界非常明显，边缘如刀割一样整齐，所以人们形象地称之为“伽玛刀”。

本项目拟使用的伽玛刀型号为 LUNA^{TM}-260，由西安一体医疗科技有限公司生产，LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机是利用 ^{60}Co 在衰变过程中发射 γ射线对生物肌体的破坏作用来实现对病变细胞的杀伤功能，进而达到损毁病灶的治疗目的的一种新型立体定向放射外科治疗设备，设备的设计、生产符

合产品标准 YZB/国 3277-2013。LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机采用开放式 C 形臂结构，安装了 42 颗高比活度呈扇形排列的 ^{60}Co 放射源，通过匹配一定的准直器将射线聚焦到设备等中心（即焦点）上，同时，放射源还可围绕设备等中心作 180°的圆弧运动，使得焦点处形成高剂量射线区，实现动静态聚焦。当病灶组织处于这一高剂量场时产生放射性坏死，而病灶周围以外的的组织因只受到均匀小剂量射线的照射而安然无恙，从而达到无创伤治疗肿瘤的目的。LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机精密细致的设计，实现了头体合一的立体定向放射治疗，是全身放射治疗领域新一代高科技产品。

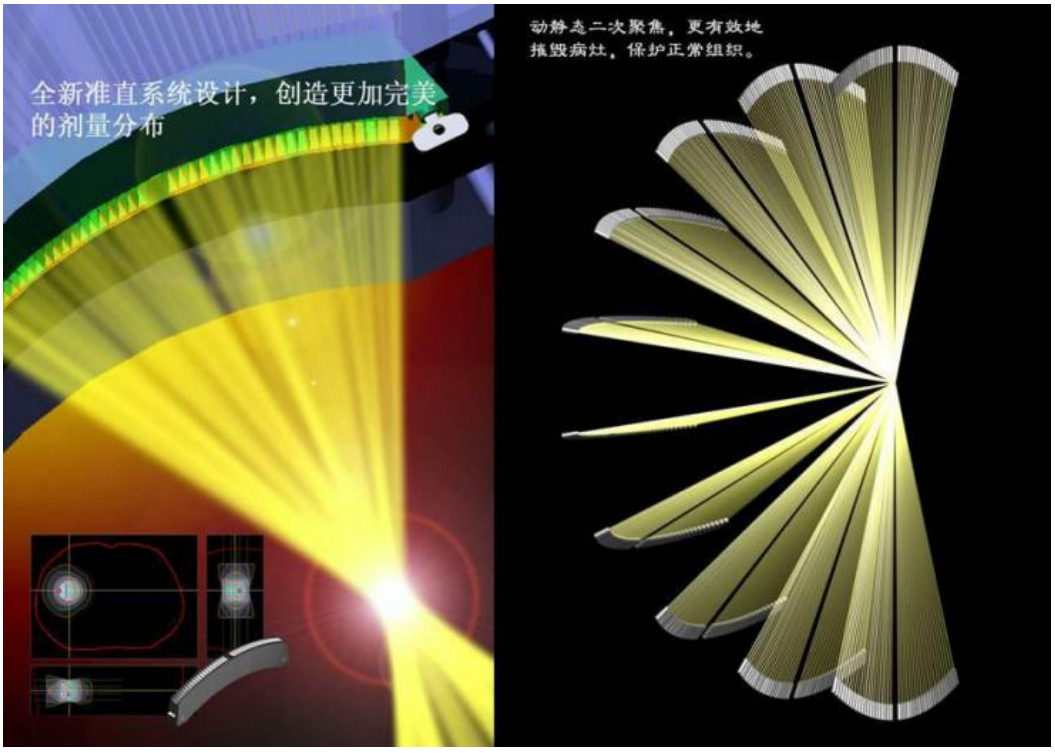

图 9-2 LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机动静态聚焦示意图

LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机主要由以下部分组成：主机控制系统、立体定位系统、安全防护系统、治疗计划系统组成。

主机由机架、机座、治疗头、三维运动床及附属设备组成。治疗头整体可绕等中心在 180° 范围内回转运动，实现动态聚焦。

机械主体布局参见图 9-3。

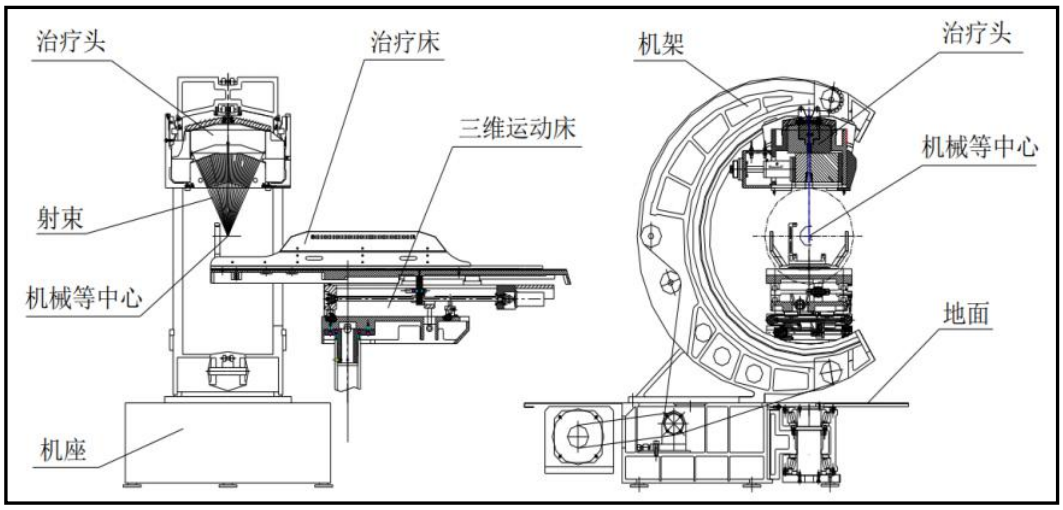

图 9-3　LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机主体机械结构示意图

（三）工作流程

①治疗前准备

操作人员进入治疗室，确认设备的物品都放在正确的位置，开启通风设备及空气调节装置，退出治疗室，关闭治疗室防护门。

②上电开机治疗前进行设备初始化和检验等工作，就绪后，可进行治疗病人。

③治疗数据输入在用伽玛刀对病人实施治疗之前，必须对病人进行 CT/MRI 检查，只有为病人做完了 CT/MRI 检查，并在放射治疗计划系统计算机上完成了治疗计划后，打印出治疗计划单，才可开始放射治疗。操作人员根据放射治疗计划系统输出的治疗单，在 RVS 确认以上治疗数据正确无误后，根据计划进行模拟治疗操作。

④医护人员将病人安放到治疗床上，根据放射治疗单，设定病人当前靶点的治疗坐标。指导病人进行摆位，按要求将病人固定好后，医护人员退出治疗室，关闭防护门。进行放射治疗时治疗室内应仅留有病人。

⑤开始放射治疗，在接收到治疗计划系统的有关数据后，电气控制系统控制治疗床依次将各靶点送到焦点，并打开相应的准直器进行定量的照射，一次性、致死性的摧毁靶点内的组织，达到治疗肿瘤的目的。治疗结束，源自动退回屏蔽位、屏蔽门自动关闭。

⑥放射治疗结束后，系统关闭，医护人员进入治疗室释放患者的定位装置。

⑦病人退出治疗室，操作人员将设备的各部件放回至正确的位置，关闭通风设备及空气调节装置，关闭治疗室门，关闭操作面板上的电源，关闭监视系统，关闭对讲系统，关闭 UPS 输出，关闭 UPS 电池开关，关闭主控电源，放射治疗操作完毕。

伽玛刀治疗工作流程及产污环节见图 9-4。

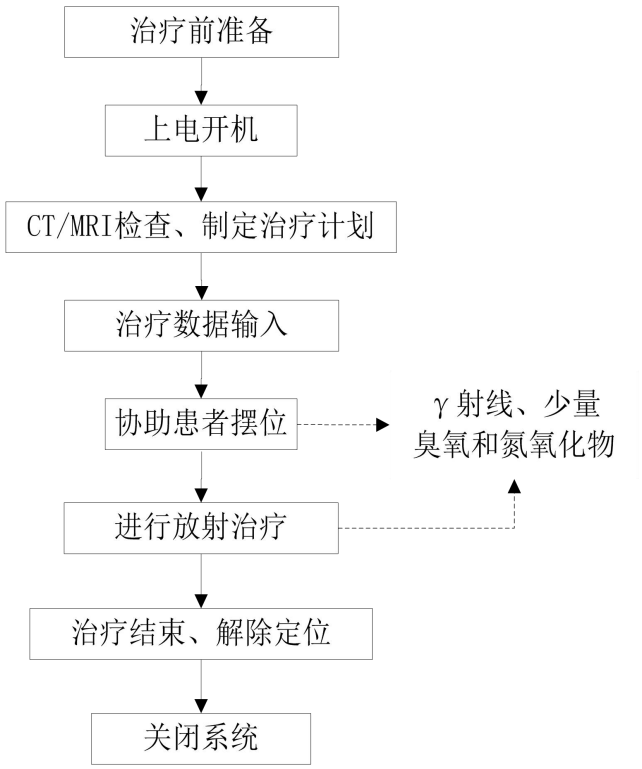

图 9-4 伽玛刀治疗工作流程及产污环节示意图

（四）工作状态及频次

本项目配备的 1 台γ射线立体定向回旋聚焦放疗机，生产厂家为西安一体医疗科技有限公司，伽玛刀型号为 LUNA™-260，伽玛刀内安装 42 枚 ^{60}Co 放射源，单枚活度为 5.738×10^{12}Bq。伽马刀治疗室配备 8 名辐射工作人员，包括 6 名治疗室内医护人员和 2 名控制室操作人员（均为专职），伽马刀平均年工作 250 天（50 周，每周工作 5 天），每天治疗最多 6 人次，每年治疗最多 1500 人次，平均每人治疗 20min，则年治疗时间为 500h；每天摆位次数为 6 次，每次摆位 3min，则伽马刀治疗年摆位时间为 75h，6 名治疗室内医护人员分 3 组轮换摆位，则每位治疗室内医护人员摆位时间为 25h。伽马刀控制室内 2 名操作人员，每位操作

人员在控制室内操作时间为 500h。

污染源项描述

1、放射性污染

核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.32MeV 的β射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种γ射线。γ射线具有很强的贯穿能力，在进行放射治疗过程中当放射源辐射通道被打开后将产生很强的外照射影响，对工作人员和治疗室周围公众产生一定辐射危害；伽马刀未使用时，因机头活动门处于关闭状态，从源体漏出的少量γ射线主要对进入治疗室的工作人员产生辐射照射，而对治疗室外的工作人员或公众不会产生辐射照射；^{60}Co 核素辐射特性见表 9-2，衰变纲图见图 9-5。

表 9-2 ^{60}Co 放射性核素特性一览表

核素	半衰期	衰变类型	主要α、β辐射能量(keV)与绝对强度(%)	主要γ、X 射线能量(keV)与绝对强度(%)	空气比释动能率常数 ($Gy \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot h^{-1}$)
^{60}Co	5.27a	β^-	-	β^-：0.315（99.74%） γ：1.173（99.87%） γ：1.332（99.98%）	3.12E-13

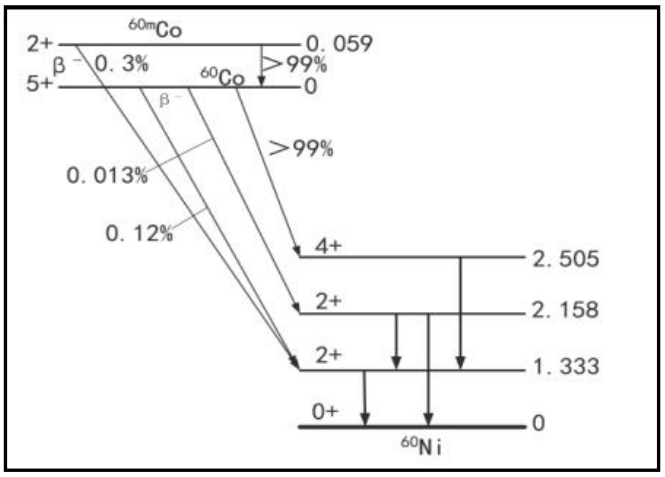

图 9-5 ^{60}Co 核素衰变纲图

此外，伽马刀项目在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素然衰变，^{60}Co 放射源的活度不断降低，当 ^{60}Co 放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换 ^{60}Co 放射源，从而产生报废或退役的 ^{60}Co 放射源。

2、其他污染

伽马刀治疗过程中将释放出大量γ射线，使治疗室内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗室，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所平面布局合理性及分区

本项目伽玛刀控制室与治疗室分离，治疗室有效面积为 48.7m^2，土建层高 4.5m，治疗室设有迷道。伽玛刀治疗室布局符合《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）中：“必要时治疗室入口处采用迷路形式”和“ γ-刀或 X-刀治疗室应独立建筑或设置在建筑物底层的一端，面积应不小于 30m^2，层高应不低于 3.5m”的要求。

故本项目伽玛刀治疗室布局合理。

医院对伽玛刀治疗室进行分区管理，将治疗室设置为控制区，工作期间禁止任何人员进入，非工作状态限制非职业人员进入。将控制室设置为监督区，限制无关人员进入。伽玛刀治疗室位于地下一层，上方为综合楼门厅。该分区管理能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的有关辐射工作场所分区管理的要求。综合楼地下-1F 伽玛刀治疗室分区示意图见图 10-1。

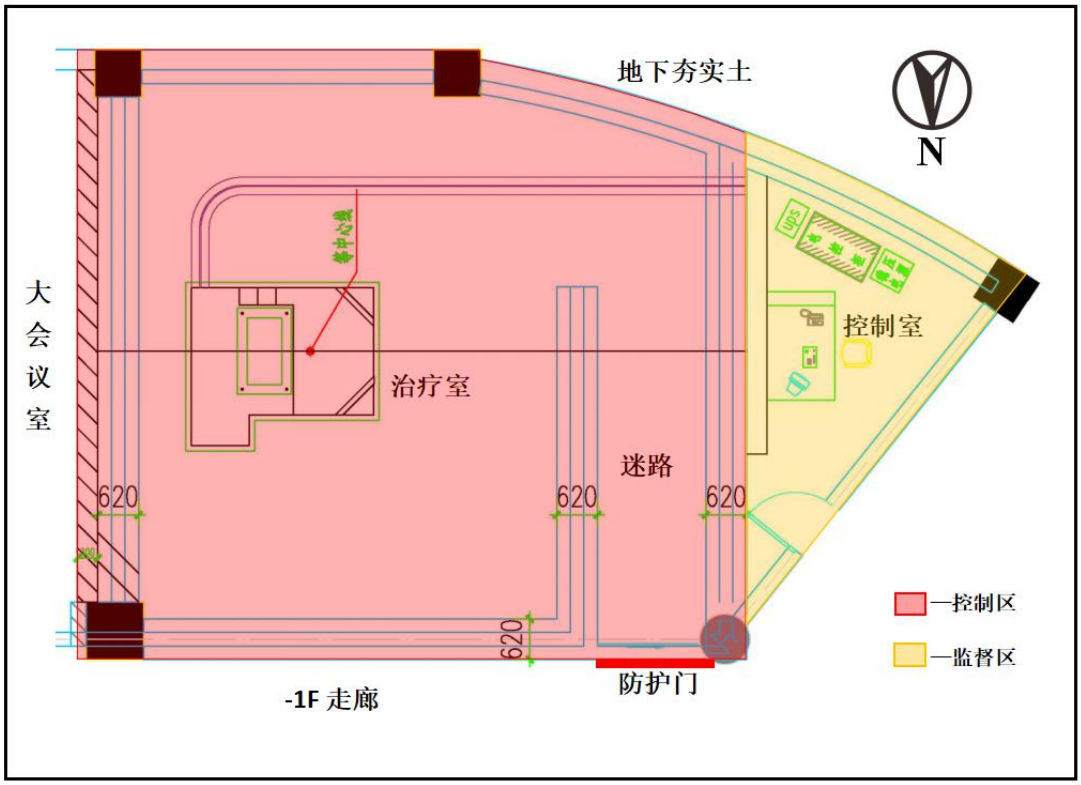

图 10-1 伽玛刀治疗室分区示意图

二、安全防护设施和措施要求

1、伽玛刀治疗室屏蔽设计方案

本项目γ刀治疗室平面图见图 10-2，剖面图见图 10-3。

伽马刀治疗室施工过程中必须严格遵守辐射防护的要求，防护材料密度混凝土不低于 2.35g/cm^3，黏土实心砖不低于 1.65g/cm^3，硫酸钡砂浆不低于 2.79g/cm^3，钢板不低于 7.8g/cm^3，铅板不低于 11.3g/cm^3。

伽玛刀治疗室屏蔽设计方案如下表所示。

表 10-1 伽玛刀治疗室屏蔽设计措施一览表

房间功能	关注点	屏蔽材料及厚度	屏蔽体折算厚度
伽玛刀治疗室	A 点（-1F 走廊）	620mm 黏土实心砖+60mm 硫酸钡砂浆（双面刷，每面 30mm 硫酸钡砂浆）	506mm 混凝土
	B 点（大会议室）	620mm 黏土实心砖+30mm 硫酸钡砂浆+300mm 黏土实心砖（原建筑）	681mm 混凝土
	C 点（控制室）	迷道内墙：620mm 黏土实心砖+60mm 硫酸钡砂浆（双面刷，每面 30mm 硫酸钡砂浆）；迷道外墙：620mm 黏土实心砖+60mm 硫酸钡砂浆（双面刷，每面 30mm 硫酸钡砂浆）；	1012mm 混凝土
	顶棚（1F 门厅）	140mm 混凝土+80mm 钢板+20mm 铅板	140mm 混凝土+80mm 钢板+20mm 铅板
	防护门	1.25 钢+5mm 铅+1.25 钢	1.25 钢+5mm 铅+1.25 钢
伽玛刀治疗室尺寸	长 7900mm×宽 6168mm×高 2500mm（面积 48.7m^2，土建层高 4.5m）		

2、操纵台控制

本项目伽马刀治疗装置自带防止非工作人员操作的锁定开关，在操作控制台上有一“使能钥匙开关”，只有当使能钥匙开关拨至 ON 时，才能操作与治疗，否则 LUNA™-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机的任何操作与治疗均不能进行。

3、门-机联锁装置

应设置 2 套防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施，其中治疗室防护门与伽马刀治疗装置设置 1 套联锁，治疗室防护门与控制室操作台设置 1 套联锁，开门状态不能出源照射，出源状态下开门放射源回到治疗设备的安全位置。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；任何联锁旁路应通过管

理制度进行审批，并在单位辐射安全管理机构的见证下进行，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

4、警告标志

应在治疗室防护门，以及主机外表设置电离辐射警示标志。在治疗室入口醒目位置设置工作状态显示灯；灯亮起时，指示治疗室内处于工作状态，此时治疗室外工作人员不能打开防护门，以实现门-机联锁；灯熄灭时，指示治疗室内处于停机状态，辐射工作人员可以安全进入。

5、紧急装置

应设置 1 个紧急开门按钮，10 个紧急停机按钮（见图 1-4）：

①在治疗室内靠近出口处设置紧急开门按钮；

②在治疗室迷路出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、治疗床两侧、治疗机架等区域设置紧急停机按钮；

③在控制台上设置紧急停机按钮；

每个紧急装置设置在辐射工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处），应有醒目标识及文字显示。

6、回源装置

治疗装置设置有手动回源装置，在系统联锁出现故障或停电导致意外中断照射时通过人工手动启动，让放射源返回储源位置。控制台上应设置源位显示装置，当停机后放射源不能返回贮存位时，应有自动报警装置。

7、监测设备

治疗室内应设置 1 台固定式辐射剂量仪，分别在治疗室及迷道出入口处安装监测探头，固定式辐射剂量仪应有报警功能，其显示单元设置在控制室内。配备 1 台便携式辐射监测仪，每位辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪。

8、治疗室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷路区域状况的监控装置，不少于 3 个，确保治疗室内无死角。并设置双向对讲系统，在治疗过程中能与患者随时沟通。

9、电缆沟

电缆电线经治疗室与控制室之间预留的地下电缆沟引入到控制室，控制线路电缆沟中心埋深 370mm，照明电缆沟中心埋深 200mm，电缆管线穿墙敷设时必须从地面以下通过，电缆沟穿墙设计如图所示。

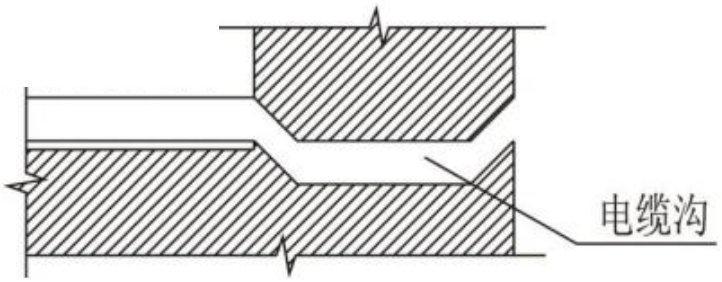

图 10-7　电缆沟穿墙设计

10、通风系统

治疗室内应设置机械通风装置，换气次数 4 次/h。

11、其他

治疗室应设置室内开门装置，防护门应设置防夹伤功能和断电手动开关门功能。治疗室应配备火灾报警仪、灭火器材，以及不间断电源配置。

四、环保投资

本项目总投资 1000 万元，环保投资 145 万元，占总投资的 14.5%。环保设施（措施）及其投资估算见表 10-7。

表 10-7　环保设施（措施）及投资估算一览表

	环保设施	数量	投资（万元）
屏蔽防护	满足辐射防护要求的墙体、迷道、顶棚、防护门	/	60.0
场所设施	电离辐射标志	2 套	80.0
	监督区、控制区标识线	1 套	
	工作状态显示	1 套	
	门-机联锁（治疗室防护门与伽马刀联锁，治疗室防护门与控制室操作台联锁）	2 套	
	防止非工作人员操作的锁定开关	1 套	
	源位显示装置	1 套	
	停机后源不能返回贮存位时报警装置	1 套	
	监控装置	3 套以上	
	双向对讲系统	1 套	
	紧急停机按钮（控制台上、治疗室迷路出入口、防护门内侧、治疗室四周墙壁、治疗床两侧、治疗机架）	10 个	

	紧急开门按钮	1 个	
	停电或意外中断照射时自动回源装置	1 套	
	手动应急回源装置	1 套	
	机械通风装置	1 套	
	火灾报警仪、灭火器材	1 套	
	室内开门装置、治疗室门防夹人装置	1 套	
	不间断电源配置	1 套	
监测设备	固定式辐射剂量仪（1 个显示器，2 个监测探头）	1 套	4.0
	便携式辐射监测仪	1 套	
	个人剂量报警仪	8 台	
	个人剂量计	8 台	
个人防护用品	铅衣、铅手套、铅眼镜	3 套	1.0
合计			145.0

三废的治理

该伽玛刀使用密封γ放射源，正常工况下不会产生放射性废气、放射性废水。

放射源退役：伽玛刀在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的物理衰变，^{60}Co 放射源的活度不断降低，当 ^{60}Co 放射源辐射水平不能满足治疗需要时，由放射源生产厂家更换、回收 ^{60}Co 放射源。

伽马刀治疗过程中将释放出大量 γ 射线，使治疗室内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗室，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设或安装阶段对环境的影响

本项目为新建项目，在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

运行阶段对环境的影响

1、伽马刀对外环境的影响

（1）γ刀设备固有安全性

根据西安一体医疗科技有限公司《LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机使用说明书（V4.0）》P69~P71 可知，放疗机装填 42 枚 ^{60}Co 放射源，分布在 50 度的弧形钴源匣内，在钴源匣外由高密度合金形成对源的屏蔽，使得治疗头表面的泄漏剂量水平在关束状态下，距治疗头表面 50mm 任一位置由杂散照射引起的照射吸收剂量率≤200μGy/h，距源 1m 处的杂散照射引起的吸收剂量率平均≤0μGy/h，最大处≤20μGy/h。满足《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）中：“非治疗状态下设备周围的杂散辐射水平在距设备外表面 60cm 处γ辐射空气比释动能率应≤20μGy/h，在距设备外表面 5cm 处γ辐射空气比释动能率应≤200μGy/h”的要求。

LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机出束和关束状态的辐射水平的矩阵测量如图 11-1，该图中等中心平面为平面 1，上移 1m 后的平面为平面 2；治疗头处于 0 度位置；相邻测量点间距 1m。测量设备：环境剂量仪 LB123；等中心处及与设备相干涉的点不测。

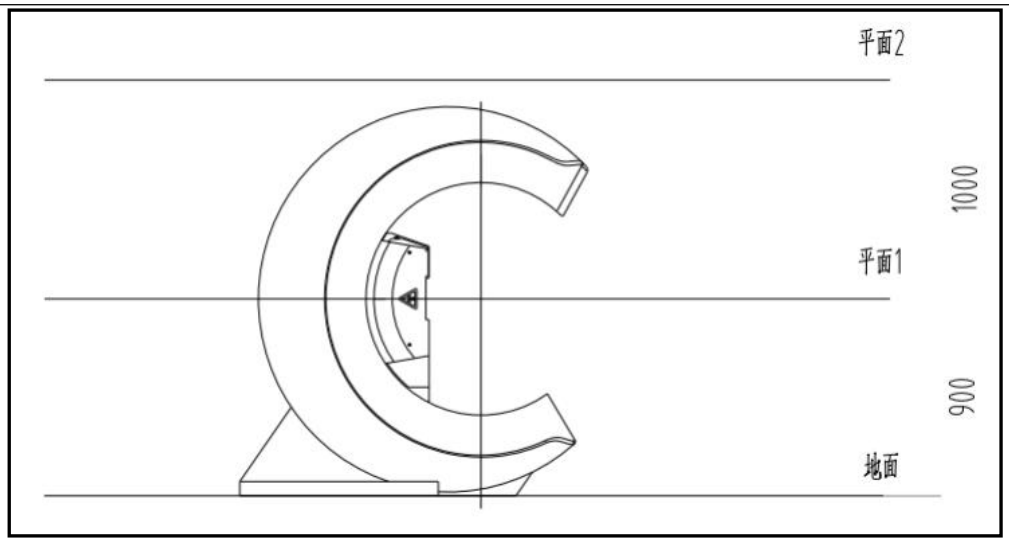

图 11-1 出束和关束状态的辐射水平的矩阵测量点

测量值：①平面 1 上的测量值：上值为开源，下值为关源，见图 11-2。

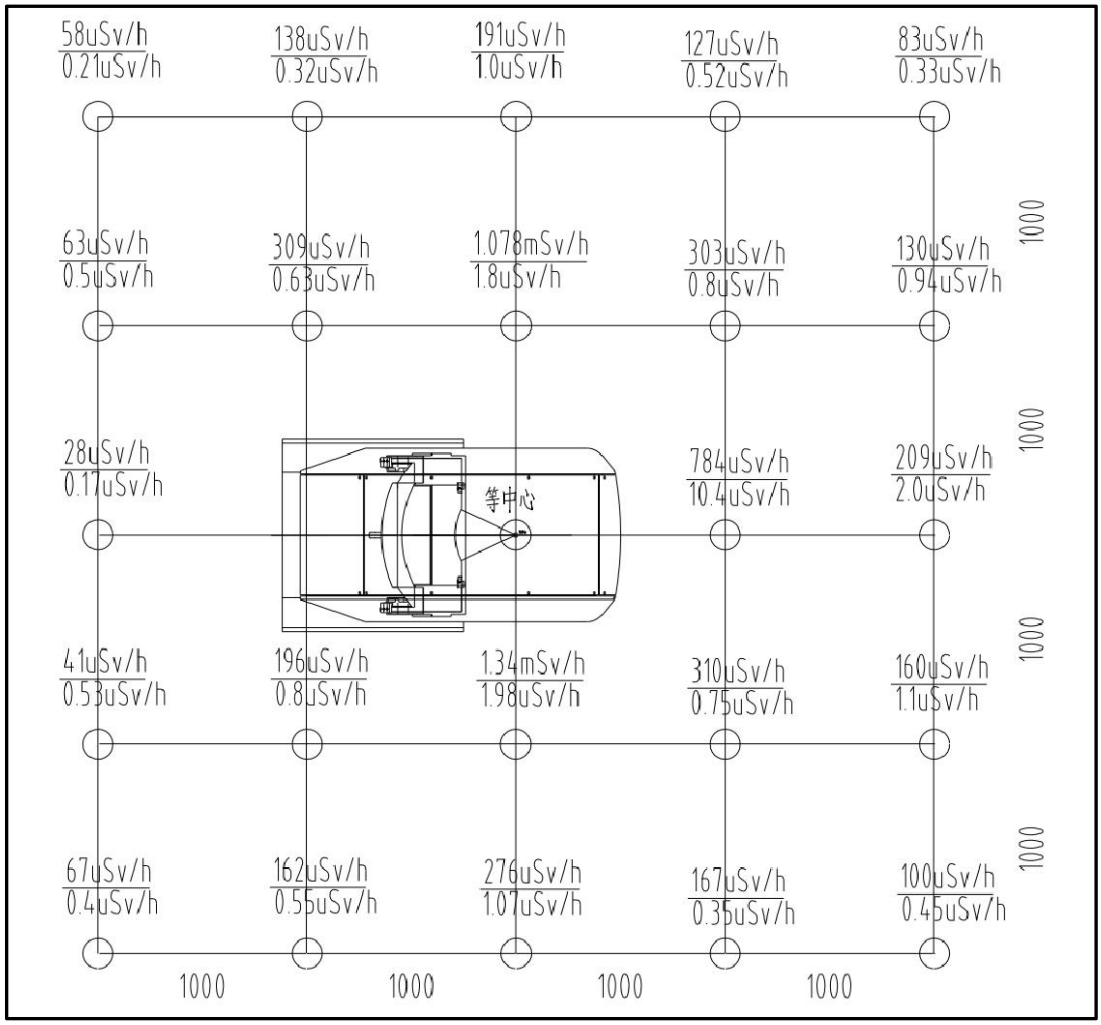

图 11-2 平面 1 上测量结果

②平面 2 上的测量值：上值为开源，下值为关源，见图 11-3。

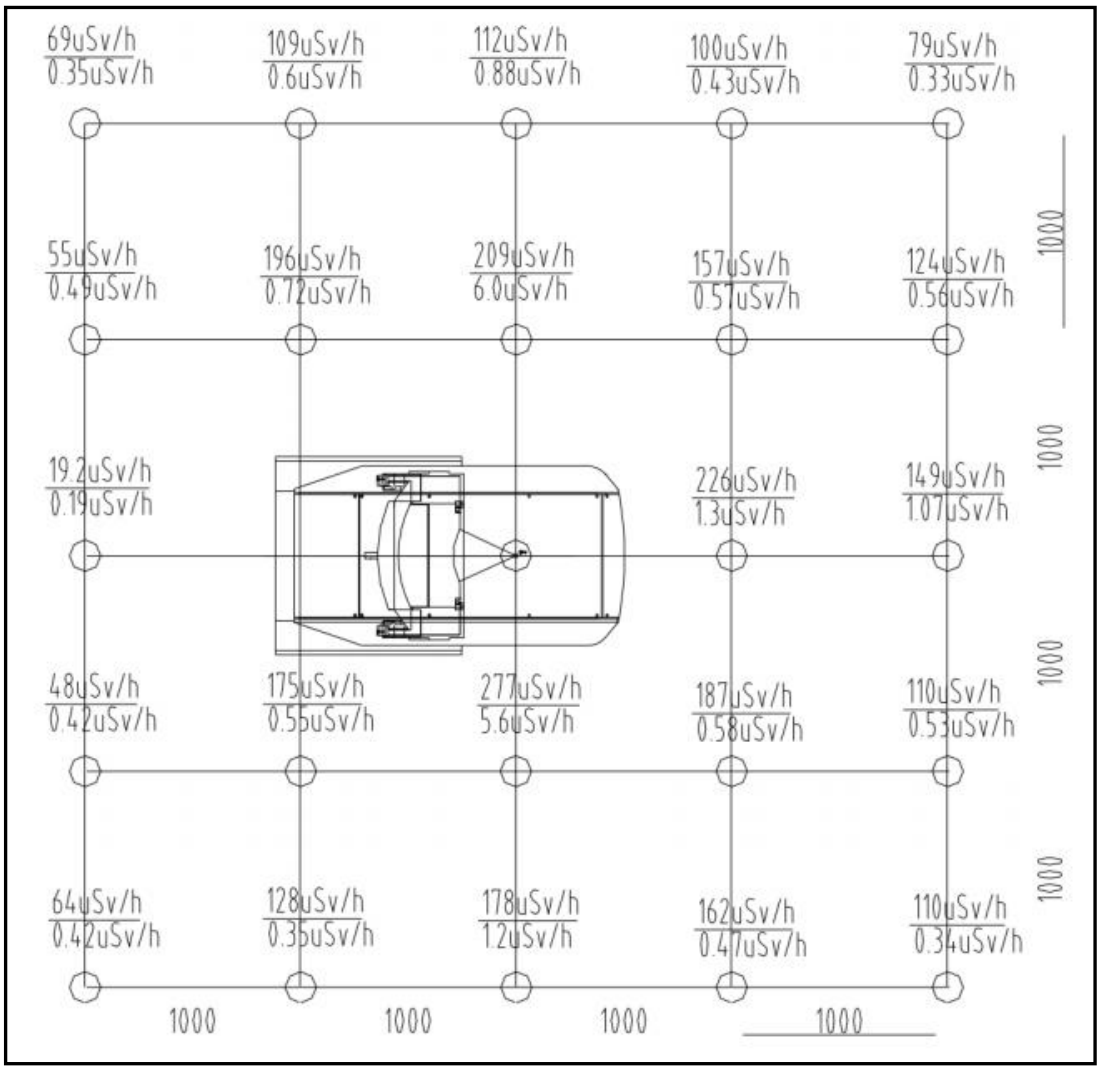

图 11-3 平面 2 上测量结果

（2）γ刀治疗室屏蔽防护计算

①关注点设置

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）的要求，在距伽玛刀治疗室外表面 30cm 处设置关注点。对治疗室的屏蔽体进行核算，以了解本项目拟采用的屏蔽体厚度是否满足要求。治疗室位于地下一层，北侧为走廊，西北侧为电梯，西侧为控制室，南侧为夯实土，西侧为大会议室，治疗室上方为综合楼门厅。其南侧为夯实土，因此南侧墙体的防护不予考虑。设定的关注点位见图 11-4，11-5。

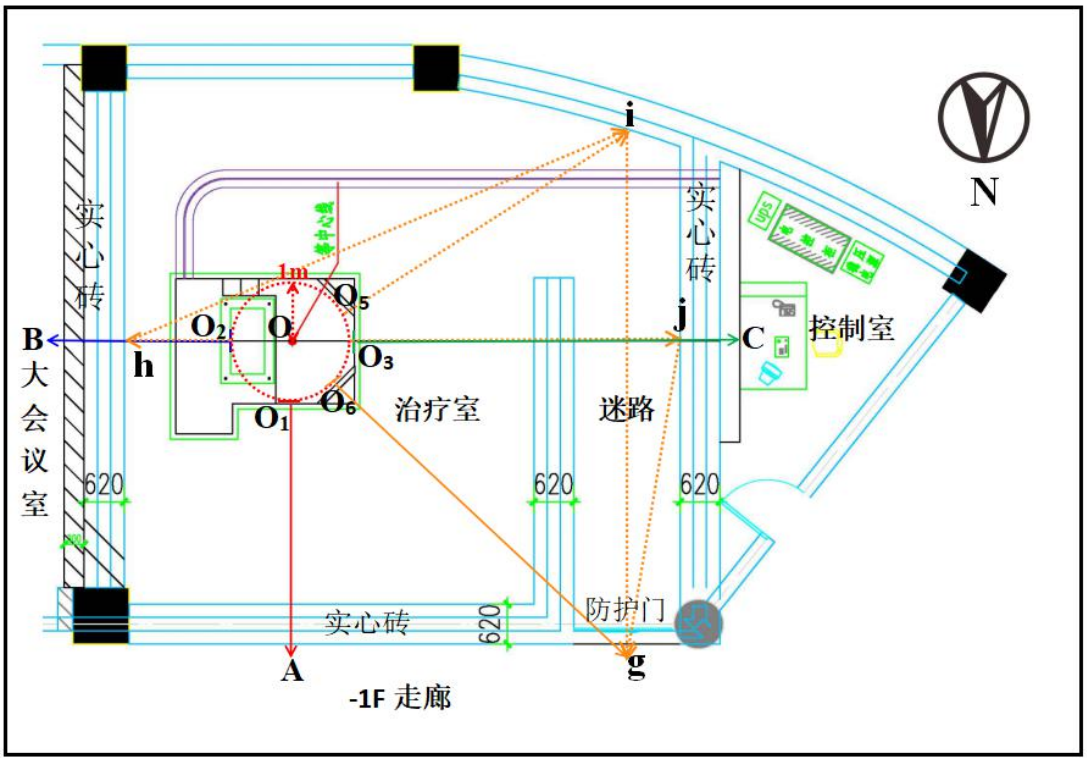

图 11-4　γ刀治疗室关注点和主要照射路径示意图

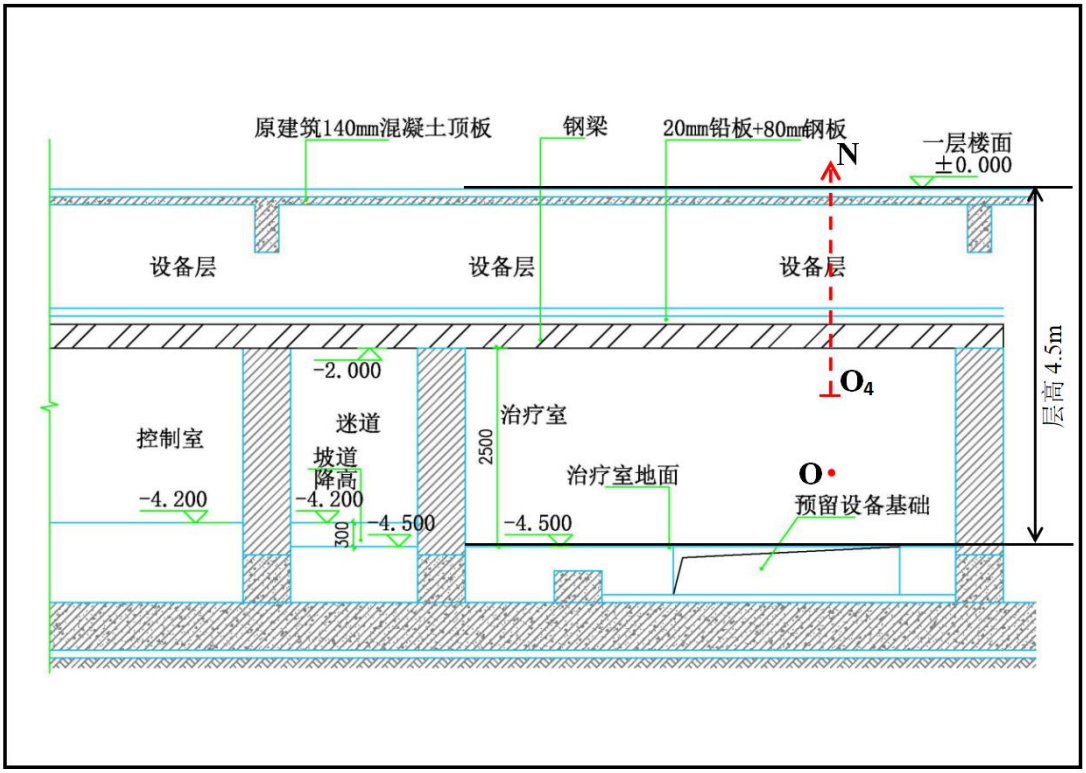

图 11-5 γ刀治疗室立面关注点和主要照射路径示意图

表 11-1 γ刀治疗室各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A	治疗室北侧墙外 30cm 处（-1F 走廊）	1/4	部分居留
2	B	治疗室东侧墙外 30cm 处（大会议室）	1/4	部分居留
3	C	治疗室西侧墙外 30cm 处（控制室）	1	全居留
4	N	治疗室顶棚上方（1F 门厅）	1/4	部分居留
5	g	治疗室迷路入口防护门外 30cm 处	1/8	偶然居留

②伽马刀对关注点产生的辐射剂量率水平计算

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），相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ 计算方法如下：先通过（式 1）计算有效屏蔽厚度 X_e，再通过（式 2）计算屏蔽透射因子 B，最后代入（式 3）计算屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$。

a、有效屏蔽厚度

$$Xe = X \cdot \sec\theta \quad （式 1）$$

式中：

Xe：射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

X：屏蔽物质厚度，cm；

θ：入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

b、屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度 X（cm），按（式 1）计算有效屏蔽厚度 Xe（cm），相应的辐射屏蔽透射因子 B 的计算见（式 2）。

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TVL_1)/TVL} \quad （式 2）$$

式中：

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子；

Xe：有效屏蔽厚度，cm；

TVL：辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，cm

TVL_1：辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm

表 11-2 ^{60}Co 主要辐射特性参数

材料	**什值层厚度**	
混凝土	*TVL*（mm）	218

	TVL_1（mm）	245
铅	TVL（mm）	41
	TVL_1（mm）	41
铁	TVL（mm）	71
	TVL_1（mm）	87

c、有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按（式 1）计算有效屏蔽厚度 X_e，按（式 2）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，在按（式 3）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \quad （式 3）$$

式中：

$\dot{H}$：相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，根据 LUNA™-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机设备辐射水平的矩阵测量图 10-2~图 10-4 可知，伽马刀出束状态下，距源 1m 处的辐射水平最大值为 1.34mSv/h（1340μSv/h）；

f：泄漏辐射比率，取 1；

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子；

R：辐射源至关注点的距离，m。

本项目伽玛治疗系统出源治疗状态下各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率估算结果，如表 11-3 所示。

表 11-3 伽玛治疗系统出源治疗状态下各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率估算结果

参数	A 点	B 点	C 点	N 点
射线路径	O_1-A	O_2-B	O_3-C	O_4-N
屏蔽体折算厚度（mm）	506mm 混凝土	681mm 混凝土	1012mm 混凝土	140mm 混凝土 +80mm 钢板 +20mm 铅板
Θ	0	0	0	0
有效屏蔽厚度 Xe（mm）	506mm 混凝土	681mm 混凝土	1012mm 混凝土	140mm 混凝土 +80mm 钢板 +20mm 铅板

混凝土	*TVL*（mm）	218	218	218	218
	TVL_1（mm）	245	245	245	245
铅	*TVL*（mm）	/	/	/	41
	TVL_1（mm）	/	/	/	41
铁	*TVL*（mm）	/	/	/	71
	TVL_1（mm）	/	/	/	87
屏蔽透射因子 *B*		6.35×10^{-3}	1.0×10^{-3}	3.03×10^{-5}	1.237×10^{-2}
距离 *R*（m）		3.9	2.7	5.7	2.9
f		1	1	1	1
$\dot{H}_o$ (μSv/h)		1340	1340	1340	1340
$\dot{H}$ (μSv/h)		0.56	0.18	1.25×10^{-3}	1.97
控制剂量率(μSv/h)		2.5	2.5	2.5	2.5
是否满足要求		满足	满足	满足	满足

d、患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按（式 1）计算有效屏蔽厚度 X_e，按（式 2）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，在按（式 4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_o\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_s^2\cdot R_0^2}\cdot B \quad （式 4）$$

式中：

$\dot{H}_o$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，根据 LUNA™-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机设备辐射水平的矩阵测量图 10-2~图 10-4 可知，伽马刀出束状态下，距源 1m 处的辐射水平最大值为 1.34mSv/h（1340μSv/h）；

α_{ph}：患者 400cm² 面积上的垂直入射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的份额，又称 400cm² 面积上的散射因子，见表 C.3，通常取散射角 45°的值，3.7×10^{-3}；

F：治疗装置有用线束在等中心点处的最大照射野，取 35cm×35cm；

R_s：患者（位于等中心点）至关注点的距离，单位为米（m）；

R_0：放射源与等中心位置之间的距离，单位为米（m），0.8m。

本项目伽玛治疗系统出源治疗状态下各关注点患者一次散射辐射剂量

率估算结果，如表 11-4 所示。

表 11-4 伽玛治疗系统出源治疗状态下各关注点患者一次散射辐射剂量率估算结果

参数	A 点	B 点	C 点	N 点
射线路径	O_1-A	O_2-B	O_3-C	O_4-N
屏蔽透射因子 B	6.35×10^{-3}	1.0×10^{-3}	3.03×10^{-5}	1.237×10^{-2}
α_{ph}	3.7×10^{-3}	3.7×10^{-3}	3.7×10^{-3}	3.7×10^{-3}
F	1225	1225	1225	1225
R_s	3.9	2.7	5.7	2.9
R_0	0.8	0.8	0.8	0.8
$\dot{H}_o$ (μSv/h)	1340	1340	1340	1340
$\dot{H}$ (μSv/h)	9.91×10^{-3}	3.25×10^{-3}	2.21×10^{-5}	3.49×10^{-2}

e、穿过患者或迷道内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

有用线束穿过患者或迷路内墙，垂直射入屏蔽墙并散射至计算点的辐射剂量率按（式 5）计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_o \cdot \frac{F/10^4}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad （式 5）$$

式中：

$\dot{H}$：计算点的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，根据 LUNA™-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机设备辐射水平的矩阵测量图 10-2~图 10-4 可知，伽马刀出束状态下，距源 1m 处的辐射水平最大值为 1.34mSv/h（1340μSv/h）；

F：治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，取 35cm×35cm；

10^4：$1m^2$ 面积转换为 10^4cm^2；

R：散射体（有用线束在屏蔽墙上的投影区）中心点与计算点的距离，m；

α_w：散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1 m 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（入射方向和反散射方向相对散射体垂线的夹角）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；

B_p：有用线束射人散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。

根据（式 5），可得穿过患者或迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至各关注点的辐射剂量，如下表所示：

表 11-5 穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至各关注点的辐射剂量率

参数	A 点	B 点	C 点	N 点
射线路径	O_1-A	O_2-B	O_3-C	O_4-N
$\dot{H}_o$ (μSv/h)	1340	1340	1340	1340
F	1225	1225	1225	1225
R	0.98	1.25	0.98	2.3
α_w	1.19×10^{-3}	1.19×10^{-3}	1.19×10^{-3}	1.19×10^{-3}
B_p	0.15	0.15	6.35×10^{-3}	0.15
$\dot{H}$ (μSv/h)	3.05×10^{-2}	1.88×10^{-2}	1.29×10^{-3}	5.54×10^{-3}

③治疗室迷路入口

本项目伽马刀治疗室入口采用了直迷道，有用线束向迷路照射，有用线束边缘距 g 处可能较近，并且还存在迷路内墙的杂散辐射，建议增加 2 倍安全系数。

迷路入口处的辐射剂量考虑如下：

a、入射至 i 墙的辐射散射至 g 处：

1）泄漏辐射入射至 i 墙后散射至 g 处：

入射到屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点的辐射剂量率$\dot{H}$ (μSv/h)按（式 6）计算：

$$\dot{H}=\frac{f\cdot\dot{H}_o\cdot S\cdot\alpha_w}{R_L^2\cdot R^2}$$ （式 6）

式中：

f：治疗装置的泄漏辐射比率，通常取 10^{-3}；

$\dot{H}_o$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，根据 LUNA^{TM}-260 伽玛射

线立体定向回转聚焦放疗机设备辐射水平的矩阵测量图 10-2~图 10-4 可知，伽马刀出束状态下，距源 1m 处的辐射水平最大值为 1.34mSv/h（1340μSv/h）；

S：散射面积，即自泄漏辐射始点（O_5）和计算点共同可视见的散射体区域的面积，单位为平方米（m^2）；

α_w：散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1 m 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（入射方向和反散射方向相对散射体垂线的夹角）有关，45°入射辐射在混凝土散射体上的 α_w 见表 C.4；

R_L：泄漏辐射始点（O_5）至散射体中心点的距离，单位为米（m）；

R：散射体（有用线束在屏蔽墙上的投影区）中心点与计算点的距离，m。

根据（式 6），可得入射到屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点的辐射剂量率，如下表所示：

表 11-6 入射到屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点的辐射剂量率

参考点	f	$\dot{H}_o$（μSv/h）	α_w	S（m^2）	R_L（m）	R（m）	剂量率μSv/h
g	10^{-3}	1340	1.19×10^{-3}	15.34	4.95	8.02	1.55×10^{-5}

2）患者散射入射至 i 墙后散射至 g 处：

根据（式 5），计算患者散射入射至 i 墙后散射至 g 处的剂量，如下表所示：

表 11-7 患者散射入射至 i 墙后散射至 g 处的辐射剂量率

参考点	$\dot{H}_o$（μSv/h）	F	R	α_w	B_p	剂量率μSv/h
g	1340	1225	8.02	1.19×10^{-3}	0.15	4.56×10^{-4}

3）向 B 处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射:

当有用线束向关注点 B 方向照射时，机房入口的剂量应考虑患者体表的二次散射，采用（式 7）计算治疗束通过患者体表散射至机房入口 g 处的剂量 $\dot{H}_g$：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\cdot\frac{\alpha_2\cdot S}{R_2^2}\cdot\frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \quad （式 7）$$

式中：

α_{ph}：患者 400cm^2 面积上的散射因子，见表 C.3，通常取散射角 45°的值，3.7×10^{-3}；

F：治疗装置有用线束在等中心点处的最大照射野，35cm×35cm；

α_2：混凝土墙对入射的患者散射辐射（能量见表 C.2）的散射因子，通常取 i 处的入射角 45°，散射角为 0°，α_2 值见表 C.4，1.25MeV(^{60}Co)的值，即 1.19×10^{-3}；

S：i 处的散射面积，3.64m×4.5m；

$\dot{H}_0$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，根据 LUNA^{TM}-260 伽玛射线立体定向回转聚焦放疗机设备辐射水平的矩阵测量图 10-2~图 10-4 可知，伽马刀出束状态下，距源 1m 处的辐射水平最大值为 1.34mSv/h（1340μSv/h）；

R_1：“O_2-h-i”之间的距离，9.73m；

R_2：“i-g”之间的距离，8.02m；

R_o：放射源与等中心位置之间的距离，0.8m。

根据（式 7）得，向 B 处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射，入射至 i 墙后散射至 g 点的散射辐射剂量率，如下表所示：

表 11-8 向 B 处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射入射至 i 墙后散射至 g 点的散射辐射剂量率

参考点	**α_{ph}**	F	$\dot{H}_0$（μSv/h）	**R_1（m）**	**剂量率μSv/h**
g	3.7×10^{-3}	1225	1340	9.73	7.59×10^{-5}
	α_2	**S（m²）**	**R_o（m）**	**R_2（m）**	
	1.19×10^{-3}	16.38	0.8	8.02	

b、穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 g 处的辐射剂量

根据（式 5），计算有用线束穿过迷路内墙，入射至 j 点后散射至 g 处的剂量，如下表所示：

表 11-9 穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至 g 处的辐射剂量率

参考点	$\dot{H}_o$（μSv/h）	F	R	**α_w**	B_p	**剂量率μSv/h**
g	1340	1225	4.92	1.19×10^{-3}	6.35×10^{-3}	5.12×10^{-5}

c、泄漏辐射（以 O_6 为中心）在 g 处的剂量

在给定的屏蔽物质厚度X（cm）时，首先按（式1）计算有效屏蔽厚度X_e，按（式2）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，在按（式3）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h）。

根据（式 1）~（式 3），得 g 点剂量率如下表所示：

表 11-10 伽玛刀治疗室迷路入口泄漏辐射剂量率

参数	迷路入口（g 点）			
射线路径	O_6-g			
屏蔽物质厚度 X（mm）	迷道内墙（600mm 黏土实心砖+60mm 硫酸钡砂浆）+防护门（1.25mm 钢+5mm 铅+1.25mm 钢）			
屏蔽体折算厚度（mm）	506mm 混凝土+5mm 铅+2.5mm 铁			
混凝土	Θ	45°	TVL（mm）	218
	Xe（mm）	715.6	TVL_1（mm）	245
铅	Θ	45°	TVL（mm）	41
	Xe（mm）	7.07	TVL_1（mm）	41
铁	Θ	45°	TVL（mm）	71
	Xe（mm）	3.54	TVL_1（mm）	87
屏蔽透射因子 B	6.99×10^{-4}			
距离 R（m）	6.0			
f	10^{-3}			
$\dot{H}_o$ (μSv/h)	1340			
$\dot{H}$ (μSv/h)	2.6×10^{-5}			

d、防护门外辐射剂量

在给定防护门的屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）按（式 8）计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad （式 8）$$

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 点处的剂量率，μSv/h；

X：防护门屏蔽厚度，cm；

TVL：辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度；

根据(式 8)，计算得伽玛刀治疗室防护门外的辐射剂量率如下表所示：

表 11-11 伽玛刀治疗室防护门外的辐射剂量率

参考点	散射辐射 μSv/h	防护门铅屏蔽厚度 mm	泄漏辐射 μSv/h	剂量率 μSv/h
g	5.99×10^{-4}	1.25mm 钢+5mm 铅+1.25mm 钢	2.6×10^{-5}	6.25×10^{-4}

④伽玛刀治疗室外各关注点辐射剂量率预测结果

表 11-12 伽玛刀治疗室外各关注点辐射剂量率预测结果

关注点	点位描述	预测剂量率（μSv/h）			剂量率参考控制水平值（μSv/h）	是否满足控制要求
		有用/泄漏	散射	合计		
A 点	北墙外 30cm 处，即-1F 走廊	0.56	9.91×10^{-3} 3.05×10^{-2}	0.60	2.5	满足
B 点	东墙外 30cm 处，即大会议室	0.18	3.25×10^{-3} 1.88×10^{-2}	0.20	2.5	满足
C 点	西墙外 30cm 处，即控制室	1.25×10^{-3}	2.21×10^{-5} 1.29×10^{-3}	2.54×10^{-3}	2.5	满足
N 点	顶棚上方 30cm 处，即 1F 门厅	1.97	3.49×10^{-2} 5.54×10^{-3}	2.01	2.5	满足
g	伽玛刀治疗室防护门外 30cm 处	2.6×10^{-5}	5.99×10^{-4}	6.25×10^{-4}	1.25（2 倍安全系数）	满足

根据表 11-12 伽马刀治疗室屏蔽防护计算结果可知，伽玛刀治疗室墙体、顶棚及防护门外的辐射剂量率最大值为 2.01μSv/h，各点处辐射剂量率均满足《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）中：“治疗室建筑应有满足防护要求的屏蔽厚度，保证在距治疗墙体外 30cm 处因透射产生的空气比释动能率一般应不大于 2.5μGy/h”的要求，伽玛刀治疗室防护门外 30cm 处。伽马刀治疗室屏蔽效果良好，辐射防护设计可行。

2、人员所受辐射剂量估算

伽马刀治疗室配备 8 名辐射工作人员，包括 6 名治疗室内医护人员和 2 名控制室操作人员（均为专职），伽马刀平均年工作 250 天（50 周，每周工作 5 天），每天治疗最多 6 人次，每年治疗最多 1500 人次，平均每人治疗 20min，则年治疗时间为 500h；每天摆位次数为 6 次，每次摆位 3min，则伽马刀治疗年摆位时间为 75h。

（1）治疗室内医护人员年有效剂量

根据厂家提供数据，距伽马刀治疗头表面 50mm 任一位置由杂散照射引起的照射吸收剂量率≤200μGy/h，距源 1m 处的杂散照射引起的吸收剂量率平均

≤10μGy/h，最大处≤20μGy/h。由于治疗室内医护人员在摆位过程中靠近伽马刀，保守按 200μGy/h 估算，伽马刀治疗年摆位时间为 75h，6 名治疗室内医护人员分 3 组轮换摆位，则每位治疗室内医护人员摆位时间为 25h，居留因子取 1。

（2）机房外有关人员年有效剂量估算

伽马刀控制室内 2 名操作人员，每位操作人员在控制室内操作时间为 500h，居留因子取 1。

个人年有效计量当量计算公式如下：

$$H_{E\mathrm{r}} = \mathrm{D_r} \times \mathrm{t} \times K \times 10^{-3}$$ （式 11-1）

式中:

H_{Er}—外照射人均年有效剂量，mSv

Dr—X 辐射瞬时剂量率，μSv/h

t—辐射照射时间，小时

K—0.7

伽马刀所致个人群组年有效剂量估算结果见表 11-13。

表 11-13　伽马刀所致个人群组年有效剂量估算结果

估算对象	人群	场所位置	居留因子	每人年照射时间	空气吸收剂量率	年有效剂量
辐射工作人员	医护人员	治疗室内	1	25h	200μSv/h	3.5mSv
		迷路入口	1/8	167h	6.25×10^{-4}μSv/h	9.1×10^{-6}mSv
	操作人员	控制室内	1	500h	2.54×10^{-3}μSv/h	8.9×10^{-4}mSv
		迷路入口	1/8	500h	6.25×10^{-4}μSv/h	2.7×10^{-5}mSv
公众	医院其他工作人员	-1F 走廊	1/4	500h	0.60μSv/h	5.25×10^{-2}mSv
		迷路入口	1/8	500h	6.25×10^{-4}μSv/h	2.7×10^{-5}mSv
		1F 大会议室	1/4	500h	0.20μSv/h	1.75×10^{-2}mSv
		1F 门厅	1/4	500h	2.01μSv/h	0.176mSv
	收费室、医保办公室工作人员	1F 收费室、医保办公室	1	125h	2.01μSv/h	0.176mSv
	病患、家属	-1F 走廊	1/4	500h	0.60μSv/h	5.25×10^{-2}mSv
		迷路入口	1/8	500h	6.25×10^{-4}μSv/h	2.7×10^{-5}mSv
		1F 门厅	1/4	500h	2.01μSv/h	0.176mSv

综上所述，伽马刀辐射工作人员附加年有效剂量最大为 3.5mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射工作人员年剂量管

理约束值 5mSv 的要求。

公众成员附加年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众成员年剂量管理约束值 0.25mSv 的要求。

事故影响分析

1、联锁装置失效造成人员误入

应对措施：一旦发现联锁系统出现故障，应立即停止治疗工作，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。同时应将避免发生这类事故的措施建立在治疗室的工作制度中，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、安装调试过程中出现卡源事故

应对措施：安装调试过程如果出现停电或者系统故障导致卡源时，由西安一体医疗科技有限公司委派的专业人员进行处理。首先采用自动回源，当自动回源失效时，采用手动回源，手动回源处理步骤如下：

（1）使用准直体手轮旋转准直体到屏蔽位使源闸关闭。

（2）分别使用 X 轴或 Y 轴手轮来调整治疗床到零位。

（3）打开源闸手轮上的圆盖，拔出安全销，松开三颗螺钉。

（4）两个操作员同时选择源闸手轮和准直体手轮到零位。

（5）打开源体手轮的方形外盖，旋转源体解锁手轮，使齿型销伸出，让齿轮到源体零位。

（6）拆除后外壳，顺时针旋转推拉手轮到 Out 位。

（7）旋转加减锁手轮到解锁位。

（8）逆时针旋转推拉手轮到零位。

（9）手摇屏蔽手轮，关闭屏蔽门。

（10）旋转源体加锁手轮使齿轮销回到零位，开始下一次治疗。

3、治疗过程中发生卡源事故

应对措施：治疗过程如果发生卡源事故，首先尝试自动回源，如自动回源失

败，工作人员立即进入治疗室将病人推出治疗床，并封锁现场。同时打电话给深圳海博科技，由厂家安排专业人员来现场进行处理。处理流程跟“安装调试过程中出现卡源事故”处理流程相同。

4、储源器泄漏

应对措施：医院应实时监控储源器周围的 X-γ 辐射剂量率，一旦发现储源器泄漏，应及时暂停治疗工作，并及时联系厂家进行储源器的修复更换，期间封闭治疗室，禁止医务人员或其他人员进入治疗室从而受到不必要的照射。储源器修复更换结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

5、装源、换源过程中放射源掉落事故

本项目伽马刀装源、换源由放射源生产厂家进行操作。

（1）如果在装换源过程中，^{60}Co 密封源不慎掉落，在装完吊篮中所有 ^{60}Co 密封放射源后，需采取紧急救护措施，立即封闭现场。

（2）用手持式辐射报警仪检测环境剂量，符合规定，则进行下一步操作。否则采取屏蔽防护措施直至符合要求。

（3）放下吊篮到一定位置，取下取源室上部的屏蔽塞，装上球轴承、救护机械手和救护摄像照明组件。

（4）提升吊篮至最高位，旋转吊篮 30°，让吊篮对准救护机械手侧，插上吊篮相位定位销。

（5）用救护机械手拾取掉落的 ^{60}Co 密封放射源，并将其装入吊篮孔中。

（6）用装源机械手将此 ^{60}Co 密封放射源装入源闸孔中。

6、放射源保管不善，发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染

应对措施：

（1）伽玛刀治疗室应设置监控装置，制定落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

（2）及时报告医院辐射应急领导小组，上报宁夏回族自治区卫生部门、生态环境部门及公安部。

（3）协助公安及卫生部门迅速查找，追回丢失的放射源。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

医院根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强对放射源安全和防护的监督管理，促进放射源的安全应用，正确应对突发性放射性事故，确保事故发生时能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障医院内职工和病员生命安全和财产安全，维护正常的医疗秩序，医院已成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，统一管理医院内的辐射安全防护工作。

领导小组的职责是：

（1）全面负责医院内的辐射安全管理工作；

（2）认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合医院实际制定安全规章制度并检查监督实施；

（3）负责医院内辐射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；

（4）检查安全环保设施，开展环保监测，对医院内使用的医用放射源、射线装置安全防护情况进行年度评估；

（5）实施辐射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；

（6）编制辐射事故应急预案，并妥善处理医院有可能发生的辐射事故；

（7）定期向生态环境部门报告辐射安全管理工作。

（8）设置专职辐射安全管理人员且具有大学本科以上学历。

辐射安全管理规章制度

1.制定辐射安全管理规定

在拟建伽玛刀依法取得生态环境部门相关批复手续后方可进行治疗作业。在进行伽玛刀日常使用过程中应严格按照监管部门要求进行辐射安全管理。任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员应在确认放射治疗或者治疗室束流已经被终止的情况下才能进入放射治疗室，进入含放射源的治疗室前须携带个人剂量报警仪。

2.制定辐射工作岗位职责

治疗期间，应有两名操作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。明确辐射工作岗位人员职责，做到分工明确、职责分明。至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与生态环境管理工作，每个月对本单位的辐射安全进行自查，迎接生态环境部门的检查。

3.制定辐射安全操作规程

严格按照场所分区对人流、物流路线进行管理，制定严格的放射源操作规程，操作人员必须按操作规程进行操作，并做好个人的防护。

4.医院每个月应对辐射安全和防护设施进行检查、维护，发现问题应及时维修，并做好记录，如伽马刀治疗工作场所的安全联锁系统应定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行，并由辐射安全管理负责人组织对本单位所有辐射防护安全工作定期进行自查，发现问题及时整改。

5.制定保安管理制度

伽玛刀治疗室应制定和完善放射源安全管理制度，设专人负责，设置监控装置及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

6.制定放射源管理制度

建立清晰的放射源台账，放射源转让、使用、更换、加装、返回、送贮应有清晰的记录。更换、加装放射源由放射源生产厂家进行操作，应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求进行管理，运输放射源应严格按照《放射性物品运输安全管理条例》的相关要求进行运输。

7.制定监测方案及监测仪表使用与校验管理制度

应列出监测计划，每个月对辐射工作场所进行自行监测，并对日常监测的辐射监测仪器进行校验。

8.制定辐射工作人员培训/再培训管理制度

单位定期组织内部辐射安全培训，辐射工作人员应通过生态环境部开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并通过考核。

9.制定辐射工作人员个人剂量管理制度

所有从事治疗操作的工作人员应进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。在进行个人剂量监测的同时定期进行体检，建立健康档案，健康档案应终生保存。

10.制定辐射事故/事件应急预案

应成立辐射事故应急处理领导小组，规定辐射事故应急处理机构与职责，一旦发生辐射事故，立即启动辐射事故应急预案。

12.项目建成后，应按《建设项目环境保护管理条例》自行组织进行竣工环境保护验收，验收合格后，方可投入使用。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要的措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射及放射性污染的水平，防止人员受到过量的照射。医院根据实际情况，建立了辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人监测。

1、工作场所监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年。

监测项目：γ 空气吸收剂量率

监测范围：工作场所控制和监督区域及周围环境

2、日常监测

伽马刀治疗过程中，由伽马刀治疗室辐射工作人员手持便携式辐射监测仪，应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、控制室操作位、防护门门缝，以及其他关注处等位置开展 γ 辐射剂量当量率监测，每月 1 次。

3、个人剂量监测

放射工作人员个人剂量监测按照《职业性外照个人监测规范》(GBZ 128-2016 执行）。放射工作人员应佩戴γ个人剂量计，个人剂量计应每季度送有资质的单位进行检查和评估，监测周期为三个月，每年 4 次，建立个人剂量档案。对相关人员进行定期查体，建立个人健康档案。

4、年度监测

每年定期委托有资质的单位对伽玛刀治疗室工作场所进行监测，监测项目为 γ 剂量率，出具的监测报告存档，并上报生态环境部门。

辐射事故应急

为了加强对辐射治疗、诊断设备的安全管理，保障公共健康，保护环境，宁夏颐阳老年病医院应制定辐射事故应急预案和突发放射（装置）事故应急措施，应成立辐射事故应急处理领导小组，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。应急预案应规定辐射事故应急处理机构与职责、辐射事故应急救援原则、辐射事故应急处理程序及措施等，做到内容较全，措施得当，便于操作，在应对放射性事件和突发事件时可行。

一旦发生辐射事故，会立即启动本单位的额辐射事故应急预案，采取必要应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。

辐射环境日常管理

1、要求医院对安全和防护设施定期维护维修，频率为每个月 1 次；

2、由辐射安全管理负责人组织对本单位所有辐射防护安全工作定期进行自查，发现问题及时整改；

3、要求医院定期对工作场所进行自行监测，并做好监测记录；

4、每年 1 月 31 日之前，向辐射安全许可证发证单位上报年度评估报告；

5、单位内部定期组织辐射安全相关专业知识的学习，辐射工作人员应通过生态环境部开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并通过考核。

表 13 结论与建议

结论

一、辐射安全与防护分析结论

宁夏颐阳老年病医院有限公司立体定向γ射线外科治疗核技术利用项目采取了实体防护和专业辐射防护措施，伽马刀治疗室的屏蔽防护及治疗室面积、层高均满足《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1--2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3--2014）的要求，机房设计合理，辐射防护措施有效可行。

二、环境影响分析结论

（一）建设阶段对环境的辐射影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，不会对治疗室外部的辐射环境产生影响，对医院的其他工作人员和公众不会产生辐射危害。

（二）运行（使用）后对环境影响

本项目伽马刀治疗室的布局、四周墙体、防护铅门及顶棚的屏蔽设计满足《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)、《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）的规定，伽马刀治疗室屏蔽效果良好，辐射防护设计可行。

1、对辐射工作人员的辐射影响结论

伽马刀治疗辐射工作人员附加年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射工作人员年剂量管理约束值 5mSv 的要求。

2、对公众的辐射影响结论

公众成员附加年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众成员年剂量管理约束值 0.25mSv 的要求。

（三）放射性三废对环境的影响

放射源退役：伽玛刀在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的物理衰变，^{60}Co 放射源的活度不断降低，当 ^{60}Co 放射源辐射水平不能满足治疗需要时，由放射源生产厂家更换、回收 ^{60}Co 放射源。

伽马刀治疗过程中产生的臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗室，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

三、可行性分析结论

1）与产业政策的符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号）中第一类鼓励类中“六、核能：6.同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类项目，故符合国家及地方现行产业政策。

2）实践正当性

医院使用伽马刀可以更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的治疗能力；核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性治疗方法所不能及的治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的，所以符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

综上所述，宁夏颐阳老年病医院有限公司立体定向γ射线外科治疗核技术利用项目符合产业政策与实践的正当性，伽马刀治疗室屏蔽设计能够满足辐射防护要求，正常工作不会对环境产生辐射影响；所致各人群组的年有效剂量低于国家年有效剂量限值和剂量约束值，从环保角度考虑该建设项目可行。

建议和承诺

1）所有诊疗设备及辅助设备应符合国家相关标准要求。

2）经常检查维护设备的联锁装置、以及紧急停机按钮安全防范设施。

3）便携式环境监测仪器应按照检定周期按期检定。

4）项目建成后由宁夏颐阳老年病医院有限公司在三个月内自行组织环境保护竣工验收，经验收合格后投入运行。