

核技术利用建设项目

PET 放射性药物生产场所退役项目

环境影响报告表

西安江原安迪科正电子技术有限公司

2022 年 1 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

PET 放射性药物生产场所退役项目

环境影响报告表

建设单位名称：西安江原安迪科正电子技术有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：西安经济技术开发区草滩生态产业园草滩十路 1155 号

邮政编码：710054

联系人：伍晶

电子邮箱：779069137@qq.com

联系电话：15002919977

表 1 项目概况

建设项目名称		PET 放射性药物生产场所退役项目			
建设单位		西安江原安迪科正电子技术有限公司			
法人代表	孟炜豪	联系人	伍晶	电话	15002919977
注册地址		西安经济技术开发区草滩生态产业园草滩十路 1155 号 9 号楼 2 层			
项目建设地点		西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院西北角地下一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1200	环保投资 (万元)	150	投资比例	12.5%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	350
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线 装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	乙级非密封放射性物质工作场所退役			
<p>项目概述</p> <p>一、项目概况</p> <p>西安江原安迪科正电子技术有限公司是南京江原安迪科正电子研究发展有限公司的子公司，成立于 2011 年 10 月 27 日。公司经营范围包括许可经营项目：体内放射性药品的生产、销售。一般经营项目：正电子示踪剂和分子探针及配套设施的技术开发、技术转让、咨询服务及配套服务和销售配套产品。</p> <p>2011 年起西安江原安迪科正电子技术有限公司租赁西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院健康体检中心西北角地下一层，用于回旋加速器生产以及销售专门针对医院 PET 诊断所用放射性同位素药物 ¹⁸F、¹¹C 和 ¹³N，租赁期为 10 年，2018 年该设备停用至今。现由于租赁期已到，且回旋加速器设备老化，无法满足生产要求，公</p>					

司拟将长安医院院区乙级非密封放射性工作场所及回旋加速器装置申请退役。项目所在地理位置见图 1-1。



图 1-1 本项目长安医院地理位置示意图

二、本次退役项目概况

本项目乙级非密封放射性物质工作场所位于长安医院西北角健康体检中心负一层。西安江原安迪科正电子技术有限公司在该场所使用 1 台 18MeV 回旋加速器生产 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{13}N 放射性药物，根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》及建设单位提供的运行记录，该加速器已运行 17 年（2002 年~2018 年），现由于租赁期已到，且回旋加速器设备老化，无法满足生产要求，现拟将乙级非密封放射性物质工作场所及回旋加速器装置申请退役。

根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET 及 ECT 放射性药物生产与销售竣工环境保护验收监测报告》及建设单位实际运行情况，本次拟退役的乙级非密封放射性物质工作场所中活性室及活性室内钨铍发生器均未建设实施，因而本次拟退役的乙级非密封放射性物质工作场所仅为回旋加速器中心，本次退役范围明细表见表 1-1，拟退役设备、设施详情见表 1-2。

表 1-1 本次拟退役范围明细表

非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	回旋加速器中心	乙级	¹⁸ F	1.03E+9	2.8E+13	生产、销售、使用
2			¹³ N	1.56E+8	3.7E+12	生产、销售、使用
3			¹¹ C	6.27E+7	1.48E+12	生产、销售、使用
序号	装置名称		类别	装置数量	活动种类	
1	回旋加速器		II类	1	使用	

表 1-2 本次拟退役设备、设施明细表

序号	所述工作场所	设施名称	设施内部布置内容	本次退役情况
1	回旋加速器中心	加速器主机室	主要布设回旋加速器、工作台等	本次退役
2		气瓶间	主要布设加速器冷却水循环系统、放置气瓶	本次退役
3		设备间	主要布设配电柜等配电设备	本次退役
4		控制室	主要布设控制台、档案柜、控制电脑等	本次退役
5		药物分装合成室	主要布设合成热室、传药电梯、工作台、一次更衣室、二次更衣室、放射医疗废物间等	本次退役
6		放化实验室(办公室)	主要布设工作台、冰箱、恒温箱等实验设备	本次退役
7		洁具间(库房)	主要布设拖把、扫帚等洁具	本次退役
8		卫生间	主要布设便池等	本次退役

拟退役回旋加速器为 IBA 生产制造，型号为 Cyclone 18/9 回旋加速器，无自屏蔽体，引出最大束流流强 30 μ A。组件包括磁铁、全内置离子源、粒子加速真空腔、加速电机、束流引出系统、射频系统、水冷系统、真空系统、靶系统。由外至内依次为磁轭、线圈（铜材质）、真空室和主磁铁。

该加速器共运行 17 年，其中 2002~2010 年期间，每周运行 2 天，每天运行 2 小时；2011 年~2018 年期间，每周运行 5 个工作日，每天运行 2 小时，靶件引出口在 exit7~8 之间。拟退役加速器结构及主要尺寸见图 1-2。

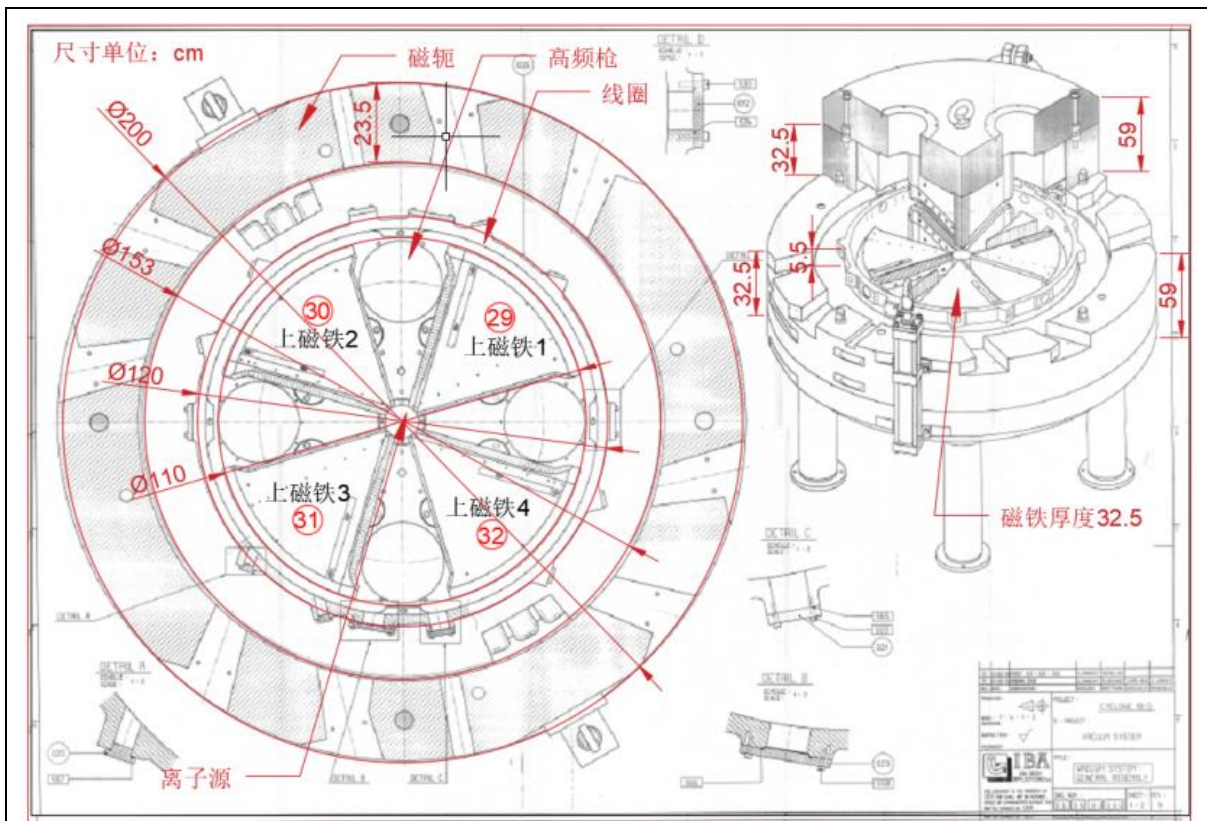


图 1-2 拟退役加速器结构及主要尺寸图

本次乙级非密封放射性工作场所退役完毕后，将开展自主验收监测，满足无限制开放使用的要求后，交由长安医院管理使用。

三、项目由来

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，本项目需要进行环境影响评价，本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射”、“173、核技术利用项目退役”中“制备 PET 用放射性药物的；乙级非密封放射性物质工作场所：使用 I 类、II 类、III 类放射源场所存在污染的；使用 I 类、II 类射线装置（X 射线装置和粒子能量不高于 10MeV 电子伏的电子加速器除外）存在污染的”中的需要编制环境影响报告表。

2021 年 9 月西安江原安迪科正电子技术有限公司正式委托西安海蓝环保科技有限公司承担该项目的环评工作。接受委托后，我公司立即组织技术人员进行现场踏勘，收集、整理有关资料，对项目的建设等情况进行初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料研判、预测分析的基础上，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》(HJ 10.1-2016)的基本要求，编制了西安江原安迪科正电子技术有限公司《PET

放射性药物生产场所退役项目环境影响报告表》。

四、拟退役乙级非密封放射性工作场所周边环境关系

本项目位于西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院健康体检中心西北角地下一层，乙级非密封放射性工作场所周围环境关系图见图 1-3。



图 1-3 本项目周边环境关系图

五、核技术利用及辐射安全管理现状

1、核技术利用现状

(1) 环保手续履行情况

西安江原安迪科正电子技术有限公司现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-3。

表 1-3 现有核技术利用项目环保手续履行情况

序号	项目名称	环评审批	环评批复内容及日期		验收批复内容及日期	
1	西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET 及 ECT 放射性药物生产与销售核技术应用项目	陕西省生态环境厅	陕环批复(2012)348号, 2012年6月14日	在西安市长安医院新增1台18MeV的回旋加速器生产 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N, 拟购钼铈发生器用于生产放射性药物 ^{99m} Tc	陕环批复(2013)599号, 2013年11月19日	在西安市长安医院新增1台18MeV的回旋加速器生产 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N
2	西安江原安迪科正电子技术有限公司新建放射性药物生产与销售场所应用项目	陕西省生态环境厅	陕环批复(2014)332号, 2014年6月17日	在西安经济开发区智巢产业园新建1座放射性药物生产场所, 包括1台回旋加速器生产 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N, ¹⁵ O的操作场所、1台钼铈发生器用于生产 ^{99m} Tc以及分装 ¹³¹ I的操作场所	2019年4月自主验收	在西安经济开发区智巢产业园新建1座放射性药物生产场所, 包括1台回旋加速器生产 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N, ¹⁵ O的操作场所、1台钼铈发生器用于生产 ^{99m} Tc以及分装 ¹³¹ I的操作场所

(2) 现有辐射安全许可证

西安江原安迪科正电子技术有限公司现有辐射安全许可证发证日期为2020年12月7日, 许可证编号为国环辐证(00451)。许可证种类和范围为使用II类射线装置; 生产、销售、使用非密封放射性物质, 乙级非密封放射性物质工作场所; 有效期至2021年12月31日; 涉源部门、活动种类和范围明细见表1-4~表1-6。

表 1-4 涉源部门

序号	名称	地址	负责人	备注
1	回旋加速器中心	西安市长安医院地下一层	生产部经理	本次退役场所
2	草滩生产厂区	西安市经济技术开发区智巢产业园	生产部经理	/

表 1-5 活动种类和范围—非密封放射性物质

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	备注
1	长安-正电子药物车间	乙级	^{99m} Tc	2.48E+9	6.75E+13	生产、销售、使用	未实施
2	草滩-单光子药物车间	乙级	^{99m} Tc	3.33E+9	9.99E+13	生产、销售、使用	/
3	/	无	⁸⁹ Sr	/	3.7E+12	销售(不贮存)	/
4	草滩-正电子药物车间	乙级	¹⁵ O	1.23E+7	7.4E+10	生产、销售、使用	/

续表 1-5 活动种类和范围—非密封放射性物质

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	备注
5	草滩-正电子药物车间	乙级	¹¹ C	2.47E+7	1.48E+11	生产、销售、使用	/
6	长安-正电子药物车间	乙级	¹³ N	1.56E+8	3.7E+12	生产、销售、使用	本次退役
7	草滩-单光子药物车间	乙级	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	3.7E+8	1.11E+14	生产、销售、使用	/
8	/	无	¹³¹ I	/	5.55E+12	销售(不贮存)	/
9	草滩-正电子药物车间	乙级	¹⁸ F	2.22E+9	6.66E+13	生产、销售、使用	/
10	长安-正电子药物车间	乙级	¹⁸ F	1.03E+9	2.8E+13	生产、销售、使用	本次退役
11	草滩-正电子药物车间	乙级	¹¹ C	1.23E+8	1.48E+12	生产、销售、使用	/
12	长安-正电子药物车间	乙级	¹¹ C	6.26E+7	1.48E+12	生产、销售、使用	本次退役

表 1-6 活动种类和范围—射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类	备注
1	住友-HM-12s 回旋加速器	II类	1	使用	/
2	回旋加速器	II类	1	使用	本次退役

2、辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构

为保证公司放射工作安全开展，公司设立了以法人代表为组长的辐射安全管理小组，全面负责公司放射防护环境管理工作。辐射安全管理小组同时也是事故应急小组机构，制定了《放射事故应急预案》，包括应急方案和行动程序，明确各自职责和应急联络、报警、现场指挥程序和事故处理。

(2) 规章制度及落实情况

公司现已制定以下管理规章制度：《个人剂量与环境监测管理制度》、《培训管理操作规范》、《一般放射性废物处理标准操作程序》、《西安江原安迪科正电子技术有限公司“三废”处理方案》、《放射性固体物料管理制度》、《回旋加速器标准操作程序》、《辐射监测设备管理制度》、《个人剂量仪使用操作规范》等。制定的各项规章制度已在日常工作中落实，可满足工作需要。

(3) 辐射工作人员培训情况

西安江原安迪科正电子技术有限公司严格按照国家规定执行持证上岗制度，本项

目回旋加速器工作场所放射工作人员均参加了环保部认可的机构组织的辐射安全与环境保护培训，并取得辐射安全与防护培训合格证书，已参加培训人员名单见附件。

(4) 个人剂量监测情况

西安江原安迪科正电子有限公司委托有资质的单位对本项目放射工作人员进行个人剂量检测工作，监测频度为3个月一次，每季度的个人剂量检测结果存档备案，根据江苏省苏核辐射科技有限责任公司和中国辐射防护研究院放射诊疗质控与防护检测中心公司出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2020年4月至2021年7月期间西安江原安迪科正电子有限公司放射工作人员个人剂量当量为0.042~0.665mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的剂量限值。

公司委托核工业四一七医院(陕西省临潼职业病医院)对现有放射工作人员进行2020年度职业健康体检，体检结果均为“放射性作业体检未见疑似放射病或职业禁忌症，可继续从事原放射工作”。

(5) 辐射环境监测情况

本次退役的乙级非密封放射性物质工作场所自2018年11月停用后，公司派专人定期对加速器机房、热室、办公室和理化室等进行辐射监测。回旋加速器管理明细表见附件。

(6) 辐射监测仪器及防护用品

按照环境监测要求，西安江原安迪科正电子有限公司定期对工作场所进行监测，确保该场所安全，至今无辐射安全事故发生。已配置的辐射监测仪器和防护用具见表1-7。

表 1-7 辐射监测仪器和防护用具明细一览表

设备名称	型号/参数	数量
表面污染监测仪	WF-PRM-203	1
便携式γ监测仪	WF-PRM-102	1
环境监测仪	WF-1000(主机) WF-GM-DT(探测器)	19
个人剂量仪	EPM02	6
中子伽马监测仪	WF-1000(主机) WF-PTM-K(数字化GM管探测器) WF-N(中子探测器)	1
手脚污染监测仪	WF-3002B	1
表面沾污仪	Inspector	3
高灵敏个人剂量仪	RadTarge-H	6
个人剂量计	\	12

续表 1-7 辐射监测仪器和防护用具明细一览表

设备名称	型号/参数	数量
铅衣	\	4
铅帽	\	4
铅眼镜	\	4
铅围脖	\	4
铅屏风	\	2
铅废物桶	\	8
个人剂量计	PDM222	3

六、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目属于核技术利用退役项目，根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目不属于“淘汰类”、“限制类”，符合国家产业政策。

对 PET 放射性药物生产期间形成的放射性污染场所进行治理，把治理范围内的所有放射性污染物治理达到与当地本底水平基本一致，实现放射性污染场所清洁解控。该项目治理过程中，治理产生的辐射影响可以控制在标准允许范围之内，项目符合《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。

七、项目规模

1、治理目标与深度

治理的目标：通过去污、拆卸和包装等综合措施，把治理范围内的所有放射性污染物治理达到国家环境保护有关标准要求，实现放射性污染场所清洁解控。

治理的深度：将治理区域内所有的放射性废物和受放射性污染的污染物治理达到符合国家环境保护有关标准要求。本次治理工程实施后，主要辐射源项参数： γ 贯穿辐射吸收剂量率、 β 表面沾污等均降至本底水平，乙级非密封工作场所可达到无限制开放使用的深度，实现放射性污染场所清洁解控的目的。

该场所将在完成退役后，场址无限制开放使用。辐射治理完成后，该工作场所恢复由长安医院负责。

2、退役范围

本项目退役范围包括：回旋加速器主机室、药物分装合成室、气瓶间、设备间、控制室、放化实验室、回旋加速器装置等乙级非密封放射性工作场所内所有设施。退役场所平面布置见图 1-3。

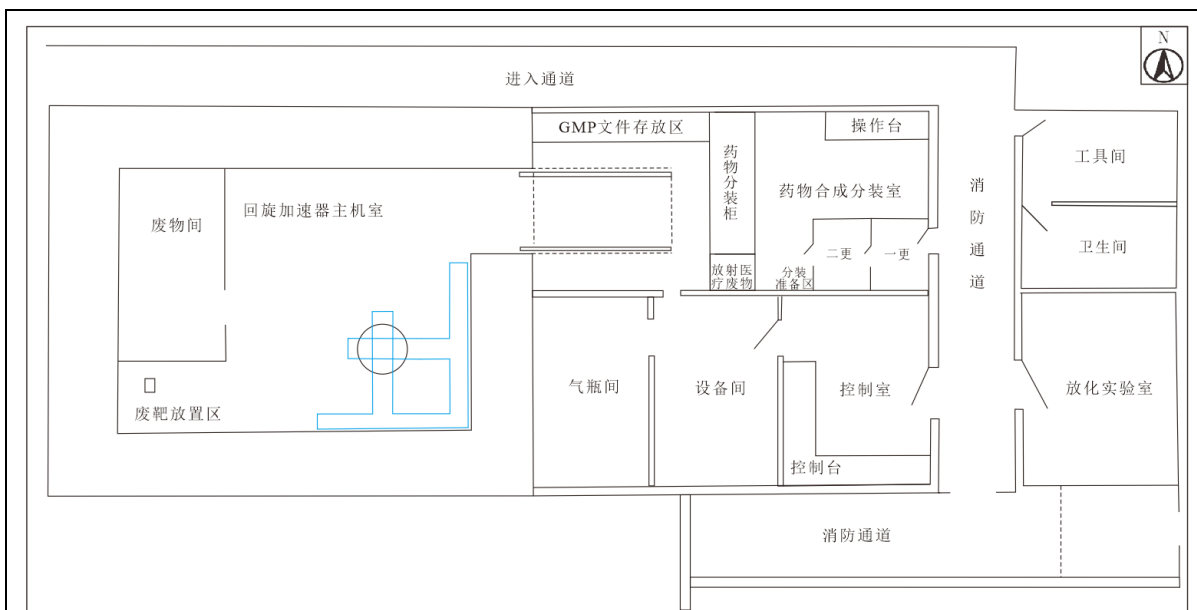


图 1-4 拟退役乙级非密封放射性工作场所平面布置图

3、回旋加速器装置退役工作安排

根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》，本项目拟退役加速器主体表面 γ 辐射剂量率的范围为 $0.24 \sim 26.5 \mu\text{Sv/h}$ ；部分零件 γ 辐射剂量率的范围为 $2.85 \sim 138 \mu\text{Sv/h}$ ；项目场所 γ 辐射剂量率的范围为 $0.044 \sim 0.808 \mu\text{Sv/h}$ ；项目拟退役加速器主体和场所 β 表面污染均未检出（低于仪器检出限 0.07Bq/cm^2 ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的可当作普通物品使用的污染控制水平 0.8Bq/cm^2 。

α 表面污染和 β 表面污染均小于仪表探测限。

因此，本项目乙级非密封放射性物质工作场所（除回旋加速器主机室）达到清洁解控水平，不需要进行退役治理，已经可以无限制开放。本次主要对回旋加速器装置退役过程的辐射环境影响进行评价，西安江原安迪科正电子技术有限公司计划于 2022 年 3 月开始实施退役，计划于 2022 年 6 月 30 日前完成退役工作，退役各阶段工作安排汇总见表 1-8。

表 1-8 退役工作安排

项目	退役工作安排	时间安排
准备阶段	源项调查，制定退役方案	2021 年 11 月-12 月
	进行退役场所的环评工作	2021 年 11 月-2022 年 2 月
实施阶段	实施退役、放射性废物交有资质单位处置	停用时间：2018 年 11 月

续表 1-8 退役工作安排

项目	退役工作安排	时间安排
实施阶段	实施退役、放射性废物交有资质单位处置	固体废物处理时间； 拟于 2022 年 3 月启动设备拆解移出工作
		固体废物处理完毕时间； 2022 年 5 月 30 日前处理完毕
	委托有资质单位实施退役验收监测，进行终态验收	2022 年 6 月 10 日前完成
	变更辐射安全许可证	2022 年 6 月底前完成

八、评价目的

(1) 获取项目所在地的环境现状资料、基础数据与项目污染状况调查，预测本项退役工程的辐射环境影响；

(2) 寻求可行的减少污染的防治对策与措施，从环境保护角度进一步优化退役工程环境治理方案；

(3) 分析退役环境治理施工期间与环境治理完成后的辐射水平对附近公众的辐射影响；

(4) 分析放射性废物场所关闭后的辐射水平及对周围公众环境影响，保护受影响公众的健康和安全；

(5) 掌握该退役场所的辐射环境现状，评价场址能否达到无限制开放要求；

(6) 根据国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为该项目退役过程中的辐射环境管理提供科学依据。

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	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：密封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	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II类	1	Cyclone 18/9	质子 氘核	18/9	30	生产 PET 用药物	乙级	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度(Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（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
放射性废料	固体	/	/	/	/	/	在回旋加速器主机室内暂存	交陕西省城市放射性废物库处置
一般固体废物	固体	/	/	/	/	/	在回旋加速器主机室内暂存	按照一般废物处理
放射性气溶胶	气体	/	/	/	/	/	/	经 2 级高效过滤器过滤后由回旋加速器主机室现有排风系统排放
打磨、清洗废水	液体	/	/	/	/	/	在回旋加速器主机室内收集、暂存	水泥固化后交陕西省城市放射性废物库处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固态为 mg/kg，气态单位为 mg/kg；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（修改），生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日；</p> <p>(8) 《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 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月实施；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日；</p> <p>(11) 《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年修正），2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(13) 《陕西省生态环境厅办公室关于印发<陕西省生态环境厅辐射类建设项目行政许可事项办理指南>的通知》（陕环办发〔2020〕29 号）；</p> <p>(14) 《关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》，陕环办发〔2018〕29 号文。</p>
------	---

<p>技 术 标 准</p>	<p>(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》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(2) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(4) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021);</p> <p>(6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(7) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(8) 《核技术利用设施退役》(HAD 401/14-2021);</p> <p>(9) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011);</p> <p>(10) 《低中水平放射性固体废物包装安全标准》(GB12711-91)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET-ECT 放射性药物生产与销售核技术应用退役项目辐射环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 《PET-ECT 放射性药物生产与销售核技术应用项目环境影响报告表》及其批复文件;</p> <p>(3) 《PET-ECT 放射性药物生产与销售核技术应用项目验收监测报告》及其批复文件;</p> <p>(4) 回旋加速器工作场所停用后自行监测记录;</p> <p>(5) 《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》, 北京国原新技术有限公司;</p> <p>(6) 《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目实施方</p> <p>案》, 北京国原新技术有限公司;</p> <p>(7) 建设单位提供的其它相关技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>参考项目的环境影响评价文件，本项目评价范围为乙级非密封放射性工作场所周围 50m 的范围内，评价范围见图 1-3。</p>																																				
<p>保护目标</p> <p>本项目场址解控后该地块可用作其他用途，环境保护目标主要为评价范围内，退役过程中负责退役的工作人员和周围公众成员，以及场址解控后在场址活动的公众成员。环境保护与控制目标见表 7-1。</p> <p style="text-align: center;">表 7-1 环境保护目标一览表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>序号</th> <th>场所</th> <th>保护对象</th> <th>方位、距离</th> <th>人数</th> <th>年有效剂量控制水平</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1</td> <td rowspan="2">退役场所</td> <td>从事去污清理及退役的职业人员</td> <td>场所内</td> <td>6 人</td> <td rowspan="2">≤2mSv</td> </tr> <tr> <td>退役工作管理人员</td> <td>场所内</td> <td>12 人</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>健康体检大楼</td> <td>健康体检中心医护人员及患者</td> <td>场所周围 50m 范围内</td> <td>约 100 人</td> <td rowspan="3">≤0.1mSv</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>停车场</td> <td>其他公众</td> <td>场所北侧、西侧 50m 范围内</td> <td>流动人群</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td colspan="2">场址解控后在乙级非密封放射性工作场址活动的公众</td> <td>场所内</td> <td>约 20 人</td> </tr> </tbody> </table>						序号	场所	保护对象	方位、距离	人数	年有效剂量控制水平	1	退役场所	从事去污清理及退役的职业人员	场所内	6 人	≤2mSv	退役工作管理人员	场所内	12 人	2	健康体检大楼	健康体检中心医护人员及患者	场所周围 50m 范围内	约 100 人	≤0.1mSv	3	停车场	其他公众	场所北侧、西侧 50m 范围内	流动人群	4	场址解控后在乙级非密封放射性工作场址活动的公众		场所内	约 20 人
序号	场所	保护对象	方位、距离	人数	年有效剂量控制水平																															
1	退役场所	从事去污清理及退役的职业人员	场所内	6 人	≤2mSv																															
		退役工作管理人员	场所内	12 人																																
2	健康体检大楼	健康体检中心医护人员及患者	场所周围 50m 范围内	约 100 人	≤0.1mSv																															
3	停车场	其他公众	场所北侧、西侧 50m 范围内	流动人群																																
4	场址解控后在乙级非密封放射性工作场址活动的公众		场所内	约 20 人																																
<p>评价标准</p> <p>一、剂量管理限值</p> <p>(1) 公众剂量约束值</p> <p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中规定：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，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）不超过 20mSv；实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的年平均剂量估计值不应超过 1mSv。</p> <p>另据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 11.4.3.2 款规定：剂量约束值通常应在公众照射剂量的限值 10%~30%（0.1mSv~0.3mSv）的范围之内，但剂量约束值的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。依据“辐射防护安全与最优化原则”，本项目公众评价取标准限值的十分之一作为剂量约束值，即整个退役过程对公众成员取 0.1mSv 作为剂量约束值。</p>																																				

(2) 工作人员剂量约束值

考虑本项目实际情况及工作周期等因素，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“剂量约束值原则”，工作人员的职业照射取基本限值 20mSv 的十分之一作为剂量约束值，即整个退役过程对工作人员取 2mSv 作为剂量约束值。

(3) 表面放射性污染控制限值

本项目回旋加速器需要进行退役治理，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) B 2.2 中“工作场所中的某些设备与用品，经过去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”的要求进行控制。即：本项目设施去污后场地表面污染应达到总 $\alpha \leq 0.08\text{Bq/cm}^2$ ，总 $\beta \leq 0.8\text{Bq/cm}^2$ 。

二、回旋加速器部件的清洁解控水平

根据 2020 年 6 月 24 日生态环境部部长信箱“关于放射性污染的物料解控和场址开放标准使用问题的回复”，放射性物料解控可按照《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB27742-2011) 执行，《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011) 表 B.2 可得回旋加速器部件退役时核素免管浓度值见表 7-2。

表 7-2 人工放射性核素免管浓度值

序号	放射性核素	免管浓度 (Bq/g)
1	Co-57	1
2	Co-56	0.1
3	Co-60	0.1
4	Mn-54	0.1
5	Fe-55	1000
6	Zn-65	0.1
7	Na-22	0.1

三、表面放射性污染控制值及运输标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《低中水平放射性固体废物包装安全标准》(GB12711-91)、《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019) 等标准要求，项目退役时表面放射性污染控制值如下：

(1) 放射性源和废物包装后，货包或集合包装的外表面上任一点的最高辐射水平应不超过 2mSv/h；在运输包装外表面 1m 处的辐射水平应小于 0.1mSv/h；表面污染水平控制值为： $\alpha \leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ 。

(2) 退役期间，工作人员的体表、衣物，作业使用的工具、设备放射性物质污染控制水平如下：

工具、设备： $\alpha \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ ；

工作服、手套、工作鞋： $\alpha \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ ；

手、皮肤、内衣、工作袜： $\alpha \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ ；⁽³⁾

(3) 设备、建（构）筑物拆除去污标准： $\alpha \leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta \leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 。

(4) 运往外地的废放射源和中低放污染物，按 I 级货包运输。

四、退役治理终态场址管理目标值

评价要求退役治理后环境中的贯穿辐射剂量率与当地本底水平基本一致。即：79.0~130.0nGy/h（根据陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究，西安市室内 γ 辐射剂量率范围确定）。

评价要求本项目设施去污后场地表面污染应达到总 $\alpha \leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ ，总 $\beta \leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

本项目位于西安市经济技术开发区文景路 17 号长安医院健康体检中心西北角负一层。地理位置见图 1-1。

本项目退役期间辐射环境质量现状数据由西安志诚辐射环境检测有限公司、中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室分别于 2021 年 9 月 3 日~2021 年 9 月 4 日、2021 年 11 月 29 日进行了监测，两次监测情况分述如下：

一、第一次监测

1、监测依据

监测单位按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)和《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008) 有关要求进行了监测。

2、监测因子

X、 γ 辐射剂量率和 β 表面污染。

3、监测点位

X、 γ 辐射剂量率：回旋加速器主机室内及废物间、屏蔽门处，乙级非密封放射性工作场所各功能房间内；退役回旋加速器表面、拆卸零部件表面。

β 表面污染：乙级非密封放射性工作场所各功能房间内操作台面、地面、墙面。

本项目乙级非密封放射性工作场所各功能房间内辐射监测点位布设情况详见 8-1，回旋加速器表面辐射监测点位布设情况详见 8-2，回旋加速器拆卸零部件辐射监测点位布设情况详见 8-3。

4、监测概况

(1) 监测日期

2021 年 9 月 3 日~2021 年 9 月 4 日。

(2) 监测仪器

监测仪器为环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪和 $\alpha\beta$ 表面污染测量仪，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数

仪器名称	X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪	$\alpha\beta$ 表面污染测量仪
型号规格	FD-3013H	WF-PRM-201
仪器编号	XAZC-YQ-003	XAZC-YQ-024
测量范围	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ ~200 $\mu\text{Gy/h}$	0.1cps~99999 cps

续表 8-1 监测仪器参数

仪器名称	X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪	$\alpha\beta$ 表面污染测量仪
检定单位	上海市计量测试技术研究院	中国计量科学研究院
检定证书	2020H21-20-2762311001	DLhd2020-02930
检定有效期	2020.9.23~2021.9.22	2020.9.27~2021.9.26

(3) 质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 和《表面污染测定 第 1 部分: β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008) 的要求, 实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位, 保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定, 并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

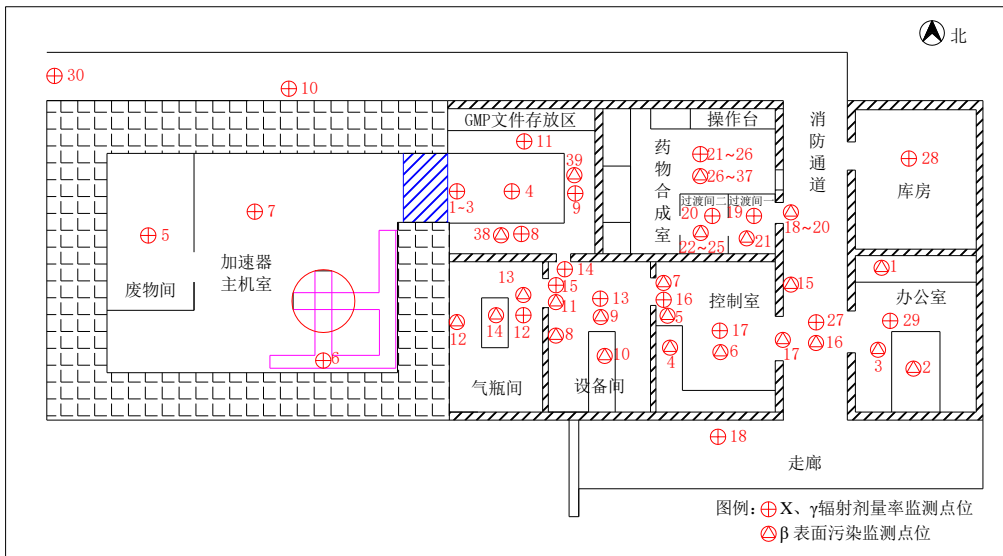


图 8-1 乙级非密封放射性工作场所各功能房间内辐射环境监测点位示意图

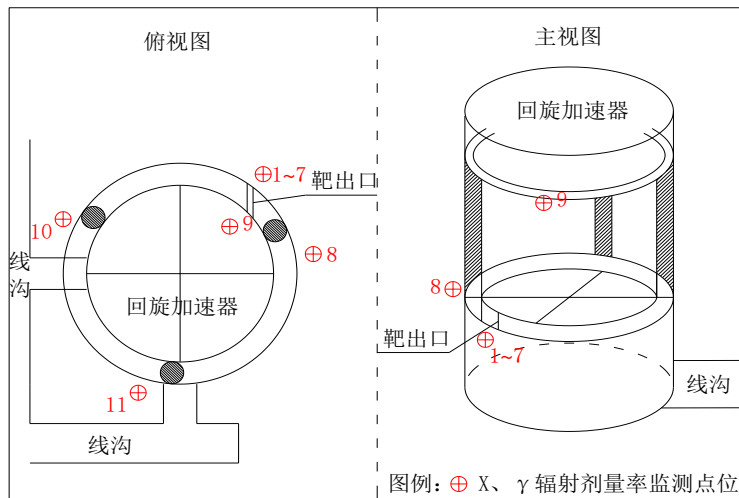


图 8-2 回旋加速器表面辐射环境监测点位示意图
















 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路92号长安医院 时间：2021-09-04 11:37:26 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路92号长安医院 时间：2021-09-04 11:37:36 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路92号长安医院 时间：2021-09-04 11:37:49 备注：长安医院</p>
射频器	离子套筒 1	离子套筒 2
 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 11:29:52 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 11:38:02 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 11:38:15 备注：长安医院</p>
元件	垫片 (4 片)	铜片 (6 片)
 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 11:40:53 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 11:41:03 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路32号长安医院 时间：2021-09-04 12:06:58 备注：长安医院</p>
垫片 1	垫片 2	接触板
 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 12:23:04 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 12:20:33 备注：长安医院</p>	 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 12:23:38 备注：长安医院</p>
接触条	射频板 (大)	射频板 (小)
 <p>地址：陕西省西安市未央区文景路17号长安医院 时间：2021-09-04 12:23:43 备注：长安医院</p>	 <p>地址：正在加锁中 时间：2021-09-04 12:26:58 备注：长安医院</p>	 <p>地址：正在加锁中 时间：2021-09-04 12:26:58 备注：长安医院</p>
信号盒	中心区射频板	废靶



图 8-3 回旋加速器拆卸零部件表面监测点位示意图

5、辐射环境质量现状

本项目乙级非密封放射性工作场所各功能房间内监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-2，乙级非密封放射性工作场所各功能房间内监测点位 β 表面污染监测结果见表 8-3，回旋加速器表面及拆卸零部件监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-4。

表 8-2 乙级非密封放射性工作场所各功能区房间内监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述		X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
			均值	标准偏差
1	加速器主机室	屏蔽门外表面 30cm 处 (中部)	0.09	0.01
2		屏蔽门外表面 30cm 处 (右缝)	0.09	0.01
3		屏蔽门外表面 30cm 处 (左缝)	0.10	0.01
4		屏蔽门外 3m 处	0.10	0.01
5		废物间中心处	0.30	0.02
6		主机室内南侧沟道处	0.17	0.01
7		主机室内	0.23	0.02
8		输送管道表面加速器端	0.11	0.01
9		输送管道表面合成室端	0.09	0.01
10		主机室北墙外表面 30cm 处	0.11	0.01
11	GMP 文件存放区		0.10	0.01
12	气瓶间		0.21	0.02
13	设备间	设备间内	0.09	0.01
14		设备间与加速器防护门口中心处	0.08	0.01
15		气瓶间与设备间门口中心处	0.10	0.01
16	控制室	控制室与设备间门口中心处	0.10	0.01
17		控制室内	0.12	0.01
18		南墙外走廊处	0.09	0.01
19	药物合成室	过渡间一	0.09	0.01
20		过渡间二	0.08	0.01
21		药物合成室内	0.08	0.01
22		操作台处	0.09	0.01

续表 8-2 乙级非密封放射性工作场所各功能区房间内监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述		X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
			均值	标准偏差
23	药物合成室	热室模块 1 观察窗处	0.08	0.01
24		热室模块 2 观察窗处	0.07	0.01
25		分装模块观察窗处	0.07	0.01
26		废物暂存桶	0.09	0.01
27	消防通道处		0.10	0.02
28	洁具间 (库房)		0.12	0.01
29	放化实验室 (办公室)		0.11	0.01
30	负一层入口处 (本底值)		0.10	0.01

备注: 本次监测结果已校准, 未扣除本底值

表 8-3 乙级非密封放射性工作场所各功能区房间内监测点位 β 表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述		β 表面污染 (Bq/cm^2)
1	放化实验室 (办公室)	洗手台	未检出
2		工作台面	未检出
3		地面	未检出
4	控制室	控制台面	未检出
5		西墙面	未检出
6		地面	未检出
7		控制室进入设备间门把手	未检出
8	设备间	西墙面	未检出
9		地面	未检出
10		设备表面	未检出
11		设备间进入气瓶间门把手	未检出
12	气瓶间	西墙面	未检出
13		地面	未检出
14		设备表面	未检出
15	消防通道	西墙面	未检出
16		地面	未检出
17		消防通道进控制室门把手	未检出
18	药物合成室	过渡间一进门表面	未检出
19		过渡间一门外地面	未检出
20		过渡间一门把手	未检出
21		过渡间一门内地面	未检出
22		过渡间二门表面	未检出
23		过渡间二进门地面	未检出
24		过渡间二进门内把手	未检出
25		过渡间二进门把手	未检出
26		北墙表面	未检出
27		地面	未检出

续表 8-3 乙级非密封放射性工作场所各功能区房间内监测点位 β 表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述		β 表面污染 (Bq/cm ²)
28	药物合成室	外售药传递窗	未检出
29		热室模块 1 观察窗	未检出
30		热室模块 2 观察窗	未检出
31		分装模块观察窗	未检出
32		分装模块升降机窗口	未检出
33		分装模块分装操作入口 (左侧)	未检出
34		分装模块分装操作入口 (右侧)	未检出
35		药物分装操作的键盘表面	未检出
36		废物暂存桶表面	未检出
37		操作台表面	未检出
38		输送管道表面加速器端	
39	输送管道表面合成室端		未检出

备注：本次监测结果已校准，“未检出”代表测值低于仪器检出限 0.07 Bq/cm²

表 8-4 回旋加速器表面及拆卸零部件表面各监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述		X、 γ 辐射剂量率 (μ Gy/h)	
			均值	标准偏差
1	回旋加速器表面 (中心区有铅衣覆盖)	1 号位	5.93	0.02
		2 号位	35.0	0.1
		3 号位	5.95	0.03
		4 号位	34.8	0.1
		5 号位	7.71	0.01
		6 号位	6.14	0.02
		7 号位	8.75	0.02
		8 号位	0.48	0.01
		9 号位	0.72	0.01
		10 号位	0.22	0.01
		11 号位	0.14	0.01
2	回旋加速器表面 (中心区无铅衣覆盖)	1 号位	7.16	0.18
		2 号位	35.0	0.1
		3 号位	5.93	0.02
		4 号位	34.9	0.1
		5 号位	7.72	0.01
		6 号位	6.39	0.01
		7 号位	8.89	0.03
		8 号位	0.47	0.01
		9 号位	0.73	0.01
		10 号位	0.21	0.01
		11 号位	0.14	0.01
—	负一层入口处 (本底值)		0.10	0.01

备注：本次监测结果已校准，监测结果未扣除本底值

续表 8-4 回旋加速器表面及拆卸零部件表面各监测点位 X、γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述	X、γ 辐射剂量率 (μGy/h)	
		均值	标准偏差
拆卸零部件表面辐射剂量率监测结果			
1	射频器	0.14	0.01
2	离子源套箱 1	0.17	0.02
3	离子源套箱 2 (筒内)	0.34	0.02
4	元件	0.19	0.01
5	垫片	0.13	0.01
6	铜片	0.13	0.01
7	垫片 1	0.20	0.01
8	垫片 2	0.51	0.01
9	接触板 1	5.71	0.02
10	接触板 2	4.92	0.03
11	接触板 3	13.5	0.1
12	接触板 4	13.2	0.1
13	接触条 1	3.63	0.01
14	接触条 2	3.66	0.01
15	接触条 3	3.98	0.01
16	接触条 4	3.34	0.02
17	接触条 5	4.02	0.01
18	接触条 6	4.31	0.01
19	接触条 7	3.40	0.01
20	接触条 8	3.40	0.02
21	射频板 (大)	2.77	0.02
22	射频板 (小)	3.96	0.02
23	信号盒	1.22	0.02
24	中心区射频板	31.2	0.4
25	密封圈	2.38	0.01
26	靶头	94.6	1.40

表 8-2 监测结果表明, 拟退役乙级非密封放射性工作场所中加速器主机室内、废物间、气瓶间 X、γ 辐射剂量率范围为 0.21~0.30μGy/h, 其余各监测点位 X、γ 辐射剂量率范围为 0.07~0.12μGy/h。设备间、控制室、药物合成室、办公室、库房等场所 X、γ 辐射剂量率与《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究环境》中“西安市道路 γ 辐射剂量率范围为 52.0~121.0nGy/h, 西安市室内 γ 辐射剂量率范围为 79.0~130.0nGy/h”在同一范围内波动。

表 8-3 监测结果表明, 回旋加速器主机室外各功能区房间的监测点位 β 表面污染均未检出 (低于仪器检出限 0.07Bq/cm²)。因此, 工作场所 β 表面污染满足《电离辐

射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的可当作普通物品使用的污染控制水平 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

表 8-4 监测结果表明,拟退役回旋加速器表面及拆卸零部件的 γ 剂量率为 $0.14\sim 94.6\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

二、第二次监测

1、监测依据

监测单位按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)和《表面污染测定 第 1 部分: β 发射体 ($E_{\beta\text{max}}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)有关要求进行了监测。

2、监测因子

γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染。

3、监测对象

本次监测对象为拟退役回旋加速器及其所在乙级非密封工作场所,拟退役回旋加速器 IBA 公司生产制造的 18MeV 加速器,加速器和加速器内部如图 8-1 所示。



图 8-4 本项目拟退役加速器

4、监测点位

γ 辐射剂量率：回旋加速器主机室内及废物间、屏蔽门处，乙级非密封放射性工作场所各功能房间内；退役回旋加速器表面、拆卸零部件表面。

α 、 β 表面污染：乙级非密封放射性工作场所各功能房间内操作台面、地面、墙面；退役回旋加速器表面。

本项目拟退役加速器 γ 辐射剂量率和表面污染监测点位布设，见图 8-2 和图 8-3，其中 51~58 号监测点，位于加速器下部线缆位置（如图 8-1 中箭头位置）。项目场址 γ 辐射剂量率和表面污染监测点位布设，见图 8-4。此次监测还包括了部分从加速器上拆卸零件表面 5cm 处的 γ 辐射剂量率。

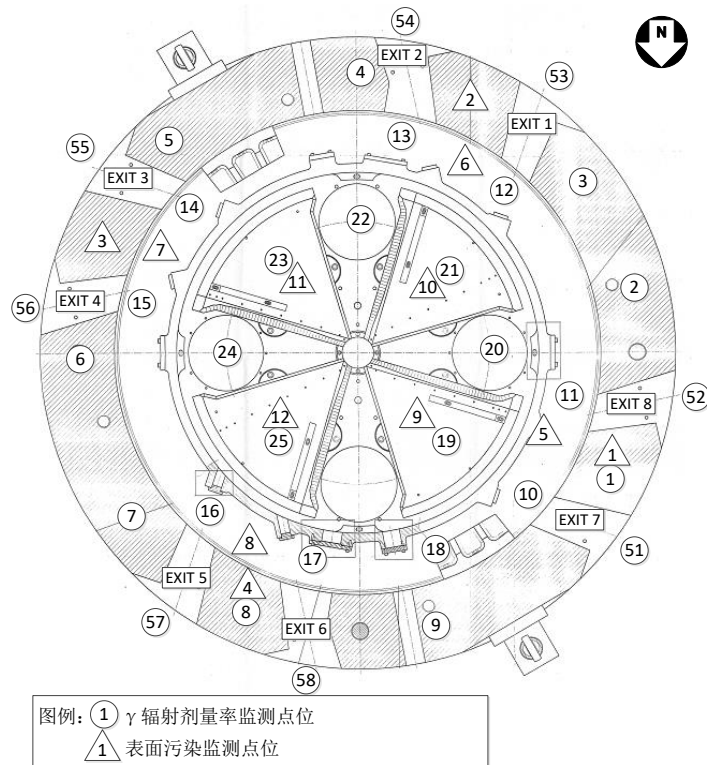


图 8-5 拟退役加速器主体下半部分监测点位示意图

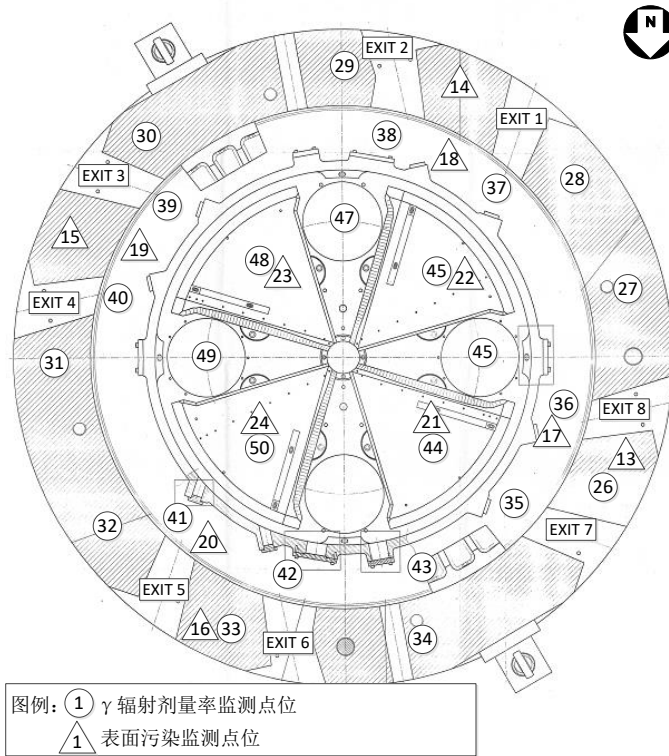


图 8-6 拟退役加速器主体上半部分监测点位示意图

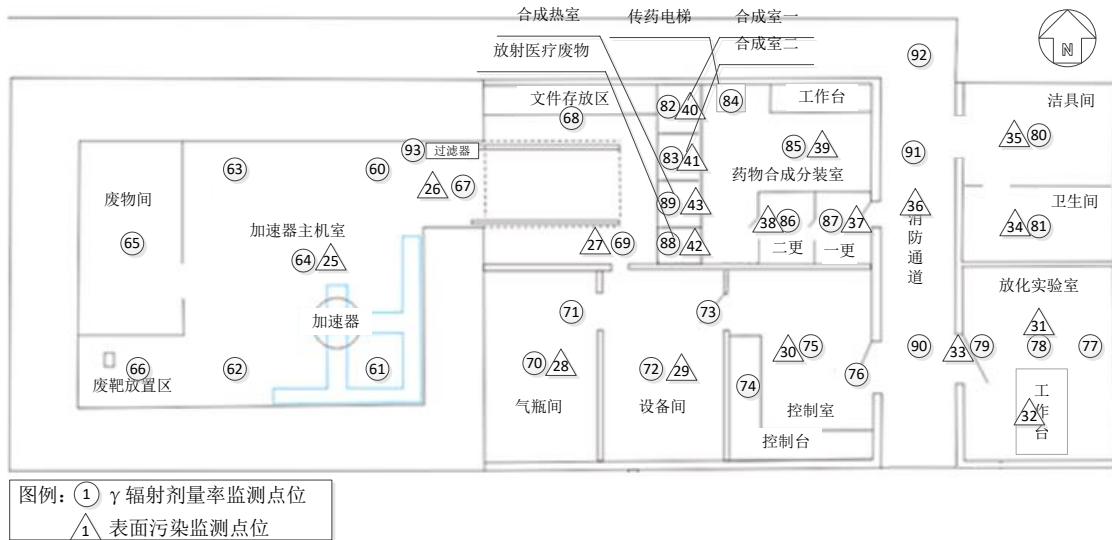


图 8-7 项目场址监测点位示意图

5、监测概况

(1) 监测日期

2021 年 11 月 29 日。

(2) 监测仪器

监测仪器为辐射测量仪和 α 、 β 表面污染测量仪，参数详见表 8-5。

表 8-5 监测仪器参数

仪器名称	辐射测量仪	α 、 β 表面污染测量仪
型号规格	AT1123	FH40G-L10+HZ742
出厂编号	54490	021526+0708
主要技术性能	瞬时剂量率测量范围：50nSv/h~10Sv/h； 剂量测量范围：10nSv~10Sv； 能量范围：15keV~10MeV； 可测量脉冲最低持续时长 10ns	α 探测效率：31%； β 探测效率：32%
检定有效期	2022.2.1	2022.2.6

(3) 监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点或巡测的测量方式进行测量。监测时每点测量 4 次，每次间隔 5 秒钟，取平均值。

表面污染现场测量：采用便携式 α 、 β 表面污染测量仪，以定点测量及巡测的方式进行测量。一般采用直接测量的方法，对无法直接测量的表面，采用湿法擦拭测量，擦拭面积取 300cm²，擦拭系数取 0.1。测量距离：对 α 辐射测量距离为 5mm，对 β 辐射测量距离为 10mm。

(4) 质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 和《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008) 的要求，实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。

6、辐射环境质量现状

项目拟退役加速器主体 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-6，项目场址 γ 辐射剂量率见表 8-7，拟退役加速器部分零件表面 γ 辐射剂量率见表 8-8，项目拟退役加速器主体表面污染监测结果见表 8-9，项目场址表面污染见表 8-10。

表 8-6 项目拟退役加速器主体 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	下半部分 Exit7 右侧屏蔽体上方 5cm	3.17±0.05
2	下半部分 Exit8 左侧屏蔽体上方 5cm	0.81±0.01
3	下半部分 Exit1 右侧屏蔽体上方 5cm	0.31±0.01
4	下半部分 Exit2 右侧屏蔽体上方 5cm	0.24±0.01
5	下半部分 Exit3 右侧屏蔽体上方 5cm	0.29±0.01
6	下半部分 Exit4 右侧屏蔽体上方 5cm	0.27±0.01

续表 8-6 项目拟退役加速器主体 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
7	下半部分 Exit5 左侧屏蔽体上方 5cm	0.43±0.01
8	下半部分 Exit5 右侧屏蔽体上方 5cm	0.64±0.01
9	下半部分 Exit6 右侧屏蔽体上方 5cm	1.24±0.01
10	下半部分 Exit7 内侧表面 5cm	14.2±0.1
11	下半部分 Exit8 内侧表面 5cm	2.14±0.01
12	下半部分 Exit1 内侧表面 5cm	0.91±0.01
13	下半部分 Exit2 内侧表面 5cm	0.76±0.01
14	下半部分 Exit3 内侧表面 5cm	0.76±0.02
15	下半部分 Exit4 内侧表面 5cm	0.77±0.01
16	下半部分 Exit5 内侧表面 5cm	1.07±0.01
17	下半部分 Exit6 内侧表面 5cm	1.53±0.01
18	下半部分 Exit6 与 Exit7 中间内侧表面 5cm	3.67±0.05
19	下半部分 Exit7 内侧扇形区表面 5cm	4.60±0.02
20	下半部分 Exit8 内两扇形间	3.03±0.02
21	下半部分 Exit1 内扇形区表面 5cm	1.76±0.02
22	下半部分 Exit2 内两扇形间	1.00±0.01
23	下半部分 Exit3 内扇形区表面 5cm	1.03±0.02
24	下半部分 Exit4 内两扇形间	0.98±0.02
25	下半部分 Exit5 内扇形区表面 5cm	1.72±0.02
26	上半部分 Exit7 右侧屏蔽体上方 5cm	5.40±0.04
27	上半部分 Exit8 左侧屏蔽体上方 5cm	1.52±0.02
28	上半部分 Exit1 右侧屏蔽体上方 5cm	0.77±0.01
29	上半部分 Exit2 右侧屏蔽体上方 5cm	0.64±0.01
30	上半部分 Exit3 右侧屏蔽体上方 5cm	0.58±0.02
31	上半部分 Exit4 右侧屏蔽体上方 5cm	0.55±0.01
32	上半部分 Exit5 左侧屏蔽体上方 5cm	0.69±0.02
33	上半部分 Exit5 右侧屏蔽体上方 5cm	1.27±0.02
34	上半部分 Exit6 右侧屏蔽体上方 5cm	2.50±0.01
35	上半部分 Exit7 内侧表面 5cm	26.5±0.2
36	上半部分 Exit8 内侧表面 5cm	6.64±0.04
37	上半部分 Exit1 内侧表面 5cm	1.00±0.02
38	上半部分 Exit2 内侧表面 5cm	0.75±0.01
39	上半部分 Exit3 内侧表面 5cm	0.55±0.01
40	上半部分 Exit4 内侧表面 5cm	0.53±0.01
41	上半部分 Exit5 内侧表面 5cm	0.85±0.01
42	上半部分 Exit6 内侧表面 5cm	1.48±0.03
43	上半部分 Exit6 与 Exit7 中间内侧表面 5cm	3.49±0.03
44	上半部分 Exit7 内侧扇形区表面 5cm	5.67±0.04
45	上半部分 Exit8 内两扇形间	3.42±0.04

续表 8-6 项目拟退役加速器主体 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
46	上半部分 Exit1 内扇形区表面 5cm	1.79±0.01
47	上半部分 Exit2 内两扇形间	1.29±0.01
48	上半部分 Exit3 内扇形区表面 5cm	1.04±0.02
49	上半部分 Exit4 内两扇形间	0.86±0.01
50	上半部分 Exit5 内扇形区表面 5cm	1.61±0.02
51	下半部分 Exit7 下方电缆处	0.66±0.01
52	下半部分 Exit8 下方电缆处	0.57±0.01
53	下半部分 Exit1 下方电缆处	0.32±0.01
54	下半部分 Exit2 下方电缆处	0.37±0.01
55	下半部分 Exit3 下方电缆处	0.39±0.01
56	下半部分 Exit4 下方电缆处	0.38±0.01
57	下半部分 Exit5 下方电缆处	0.27±0.01
58	下半部分 Exit6 下方电缆处	0.39±0.01
59	下半部分 Exit6 与 Exit7 之间下方电缆处	0.34±0.01

备注: 监测结果含宇宙射线响应值

表 8-7 项目场所 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	房间	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
60	加速器主机室	东北角	0.20±0.01
61		东南角	0.24±0.01
62		西南角	0.32±0.01
63		西北角	0.33±0.01
64		中间	0.38±0.01
65	废物间	中间	0.29±0.01
66	废靶放置区	中间	0.81±0.01
67	加速器主机室	防护门门口 (打开)	0.15±0.01
68	文件存放区	文件柜	0.16±0.01
69	材料库	门口	0.11±0.01
70	气瓶间	中间	0.13±0.01
71		门口	0.13±0.01
72	设备间	中间	0.13±0.01
73		门口	0.12±0.01
74	控制室	工作台	0.13±0.01
75		中间	0.14±0.01
76		门口	0.14±0.01
77	放化实验室 (原办公室)	里侧	0.13±0.01
78		中间	0.13±0.01
79		门口	0.12±0.01
80	洁具间	中间	0.15±0.01

续表 8-7 项目场所 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	房间	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
81	卫生间	中间	0.15±0.01
82	药物合成分装室	合成室一	0.04±0.01
83		合成室二	0.07±0.01
84		传药电梯	0.12±0.01
85		房屋中间	0.11±0.01
86		二更	0.12±0.01
87		一更	0.14±0.01
88		放射医疗废物间	0.10±0.01
89		合成热室	0.05±0.01
90	走廊	南侧	0.16±0.01
91		北侧	0.12±0.01
92		门外	0.13±0.01
93	加速器主机室	过滤器表面	0.18±0.01

备注：监测结果含宇宙射线响应值

表 8-8 项目拟退役加速器部分零件 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
93	真空室密封圈 Exit7 内侧表面 5cm	3.78±0.02
91	真空室密封圈 Exit5 内侧表面 5cm	2.85±0.02
92	中心区射频板表面 5cm	30.2±0.1
93	废靶头表面 5cm	138±1
94	离子源 1 表面 5cm	7.22±0.02
95	离子源 2 表面 5cm	3.50±0.02

备注：监测结果含宇宙射线响应值

表 8-9 项目拟退役加速器表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述	测量方式	α 表面污染 (Bq/cm^2)	β 表面污染 (Bq/cm^2)
1	下半部分 Exit7 与 Exit8 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
2	下半部分 Exit1 与 Exit2 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
3	下半部分 Exit3 与 Exit4 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
4	下半部分 Exit5 与 Exit6 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
5	下半部分 Exit7 与 Exit8 之间内侧	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
6	下半部分 Exit1 与 Exit2 之间内侧	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
7	下半部分 Exit3 与 Exit4 之间内侧	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
8	下半部分 Exit5 与 Exit6 之间内侧	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
9	下半部分 Exit7 内扇形区	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
10	下半部分 Exit1 内扇形区	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
11	下半部分 Exit3 内扇形区	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22
12	下半部分 Exit5 内扇形区	擦拭测量	<LLD $_{\alpha}$ =0.05	<LLD $_{\beta}$ =0.22

表 8-9 项目拟退役加速器表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述	测量方式	α 表面污染 (Bq/cm ²)	β 表面污染 (Bq/cm ²)
13	上半部分 Exit7 与 Exit8 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
14	上半部分 Exit1 与 Exit2 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
15	上半部分 Exit3 与 Exit4 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
16	上半部分 Exit5 与 Exit6 之间屏蔽体	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
17	上半部分 Exit7 与 Exit8 之间内侧	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
18	上半部分 Exit1 与 Exit2 之间内侧	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
19	上半部分 Exit3 与 Exit4 之间内侧	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
20	上半部分 Exit5 与 Exit6 之间内侧	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
21	上半部分 Exit7 内扇形区	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
22	上半部分 Exit1 内扇形区	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
23	上半部分 Exit3 内扇形区	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
24	上半部分 Exit5 内扇形区	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22

备注：LLD 探测下限(Lower Limit of Detection)

表 8-10 项目场所表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述	测量方式	α 表面污染 (Bq/cm ²)	β 表面污染 (Bq/cm ²)
25	加速器主机室中间地面	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
26	加速器主机室门口地面	擦拭测量	<LLD _{α} =0.05	<LLD _{β} =0.22
27	材料库门口地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
28	气瓶间中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
29	设备间中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
30	控制室中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
31	放化实验室中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
32	放化实验室工作台面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
33	放化实验室门口地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
34	卫生间中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
35	洁具间中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
36	走廊中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
37	药物合成分装室一更地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
38	药物合成分装室二更地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
39	药物合成分装室中间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
40	药物合成分装室合成室一内表面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
41	药物合成分装室合成室二内表面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
42	药物合成分装室合成热室内表面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13
43	药物合成分装室放射医疗废物间地面	直接测量	<LLD _{α} =0.03	<LLD _{β} =0.13

备注：LLD 探测下限(Lower Limit of Detection)

表 8-7 监测结果表明，除回旋加速器主机室外拟退役乙级非密封放射性工作场所

各功能区房间内 γ 剂量率范围为 $0.04\sim 0.18\mu\text{Sv/h}$ 。除回旋加速器主机室外该场所周围辐射剂量率均与《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究环境》中“西安市道路 γ 辐射剂量率范围为 $52.0\sim 121.0\text{nGy/h}$ ，西安市室内 γ 辐射剂量率范围为 $79.0\sim 130.0\text{nGy/h}$ ”在同一范围内波动。

表 8-9、表 8-10 监测结果表明，拟退役乙级非密封放射性工作场所各功能区房间、拟退役加速器主体内各监测点位 β 表面污染均未检出 ($\leq 0.07\text{Bq/cm}^2$)。因此，工作场所 β 表面污染满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的可当作普通物品使用的污染控制水平 0.8Bq/cm^2 。

表 8-6、表 8-8 监测结果表明，拟退役加速器主体表面 γ 辐射剂量率的范围为 $0.24\sim 26.5\mu\text{Sv/h}$ ；部分零件 γ 辐射剂量率的范围为 $2.85\sim 138\mu\text{Sv/h}$ 。

表 9 源项分析

为了明确项目退役源项，西安江原安迪科正电子技术有限公司委托北京国原新技术有限公司编制完成了《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》，本次根据该源项调查报告进行源项分析。

一、设施概况

本项目乙级非密封放射性物质工作场所位于长安医院西北角健康体检中心负一层。西安江原安迪科正电子技术有限公司在该场所使用 1 台 18MeV 回旋加速器生产 ¹⁸F、¹¹C 和 ¹³N 放射性药物，由于回旋加速器装置无法满足生产需要，现拟将乙级非密封放射性物质工作场所及回旋加速器装置申请退役。

二、相关限值

1、放射性废物分类

(1) 物料清洁解控和豁免水平

根据《放射性废物分类》(2017 年第 65 号)、《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB27742-2011) 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的相关规定，对本项目中废物的人工放射性核素的解控水平见表 9-19-1。

表 9-1 相关核素解控水平

序号	核素	比活度 ⁽¹⁾ (Bq/g)	比活度 ⁽²⁾ (Bq/g)	活度*/Bq
1	Co-57	1	100	1E+06
2	Co-56	0.1	10	1E+06
3	Co-58	1	10	1E+06
4	Co-60	0.1	10	1E+05
5	Mn-54	0.1	10	1E+06
6	Fe-55	1000	1000	1E+06
7	Zn-65	0.1	10	1E+06
8	Na-22	0.1	10	1E+06
9	Ni-63	100	1E+05	1E+08
10	Cd-109	1	1E+04	1E+06
11	V-48	1	10	1E+06

备注：(1) 该值为对于大批量固体废物清洁解控值；(2) 该值分别是对于小批量（小于1t）物料的豁免活度浓度和豁免活度。

(2) 极低水平放射性废物

极低水平放射性废物的活度浓度下限值为解控水平，上限值一般为解控水平的 10~100 倍，根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退

役项目退役源项调查报告》，本项目中建议取 100 倍。

(3) 低水平放射性废物

根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》，本项目放射性废物中涉及放射性核素活度浓度（比活度）低于 $4E+11Bq/kg$ ，且高于极低水平放射性废物要求的作为低水平放射性废物。

2、表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求，工作场所中的某些设备与经去污使其表面污染水平降至原工作场所表面污染控制水平的五十分之一时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当做普通物品使用。安迪科 IBA 回旋加速器房间表面、设备表面和物品表面等表面污染控制水平的控制限值见表 9-2。

表9-2 放射性物质表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

α 放射性物质		β 放射性物质
极毒性	其他	
0.08	0.8	0.8

三、源项调查范围

本次调查范围包括回旋加速器主机室及其配套房间，详见表 1-2。

1、回旋加速器主机室调查对象与监测项目

(1) 调查对象

回旋加速器主机室调查对象包括 IBA 回旋加速器本体、零件、相关设施设备。

(2) 监测项目

监测项目包括样品中 γ 核素分析、 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染、样品中元素分析。

(3) 布点原则

- ① 根据理论计算的结果对可能含有感生放射性核实的部件及其部位进行取样；
- ② 在现场 γ 辐射剂量率较高的部位进行取样。

(4) 监测点位

调查对象布点图详见图 8-5~图 8-7、图 9-1~图 9-3。

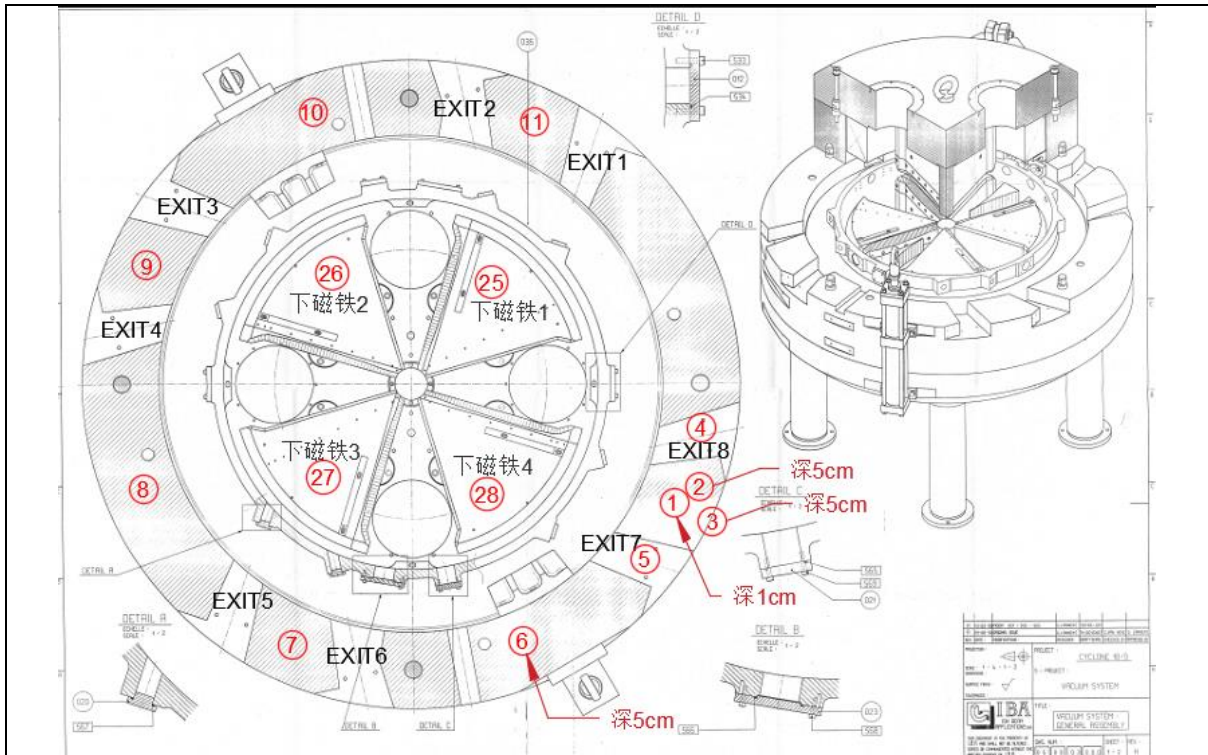


图 9-1 回旋加速器下半部分取样点位示意图

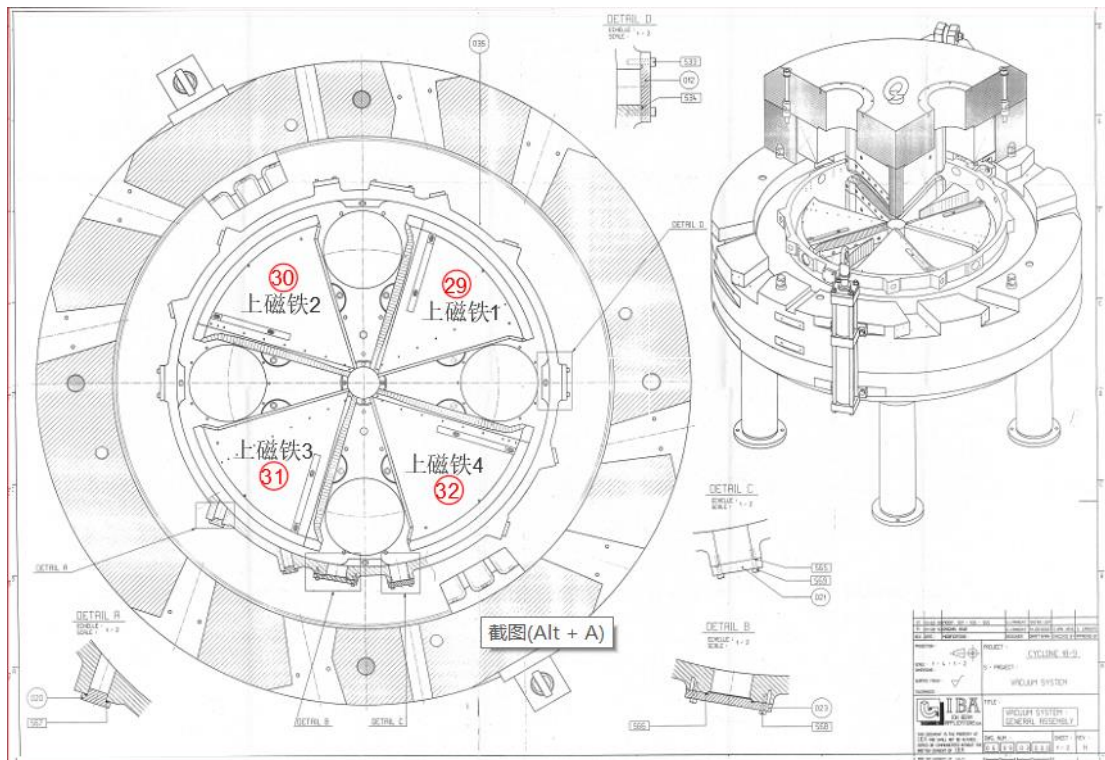


图 9-2 回旋加速器上半部分取样点位示意图



图 9-3 安迪科 IBA 回旋加速器侧面取样点位示意图

2、回旋加速器周边配套房间调查对象与监测项目

(1) 调查对象

回旋加速器周边配套房间调查对象包括气瓶间、设备间、控制室、放化实验室、卫生间、洁具间、走廊和药物合成分装室等。

(2) 监测项目

监测项目包括 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染。

(3) 监测点位

回旋加速器周边配套房间监测点位详见图 8-7。

3、回旋加速器感生放射性核素理论计算

根据《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》，本项目使用 FLuka 软件建模后计算回旋加速器运行期间 H-离子和中子对磁体和磁轭产生感生放射性(包含质子核反应和中子活化)的核素及其比活度。

四、测量方法及设备

项目 γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染监测方法和设备情况详见报告“表 8 环境质量和辐射现状”。

样品放射性 γ 核素分析：根据便携式监测仪表测量加速器各部位剂量率水平，选取剂量率较高的点位分别取其不同深度的样品，送实验室使用高纯锗 γ 能谱仪(8787)

进行核素分析及其比活度估算。

样品元素分析：在样品放射性分析完成后，分别取部分磁体和磁轭样品使用电感耦合等离子体质谱进行元素分析。

五、源项调查结果

1、 γ 辐射剂量率和表面污染监测结果

项目现场 γ 辐射剂量率和表面污染监测结果详见报告“表 8 环境质量和辐射现状”。

2、现场设备取样及其周边介质取样监测结果

(1) 监测点位

现场设备取样及其周边介质取样点位见图 9-1~图 9-3。

(2) 监测结果

加速器现场设备取样磁铁和磁轭样品中元素分析结果见表 9-3。

表 9-3 监测仪器参数

序号	样品名称	元素	含量 (mg/g)	样品名称	元素	含量 (mg/g)
1	磁轭	Fe	/	磁铁	Mg	3.15
2		Cr	0.70		Ti	0.20
3		Mn	6.00		Mn	2.18
4		Co	0.11		Fe	366.23
5		Cu	1.20		Ni	66.56
6		Mo	4.60		Cu	56.11
7		Rh	0.17		Zn	19.84
8		Sn	0.22		Ga	0.01
9		Sb	0.03		Sr	0.17
10	/	/	/		Zr	0.06
11	/	/	/		Mo	1.19
12	/	/	/		Rh	9.48
13	/	/	/		Cd	47.41
14	/	/	/		Ag	0.17
15	/	/	/		Sn	4.01
16	/	/	/		Ba	0.53
17	/	/	/		W	0.50
18	/	/	/		Pb	0.60
19	/	/	/		Co	0.08

加速器现场设备取样及其周边介质取样样品中 γ 核素分析结果见表 9-4。

表 9-4 监测仪器参数

序号	样品描述	检测项目	结果 (Bq/kg)
1	Exit7-8 本体中上深 1cm	^{60}Co	1.32×10^{-3}
		^{54}Mn	2.04×10^{-3}
2	Exit7-8 本体中上深 5cm	^{60}Co	1.41×10^{-3}
		^{54}Mn	1.58×10^{-3}
3	Exit7-8 凸体外表深 5cm	^{60}Co	3.12×10^{-2}
		^{54}Mn	2.33×10^{-2}
4	Exit8 边凹内前角上表深 1cm	^{60}Co	1.28×10^{-3}
		^{54}Mn	1.87×10^{-3}
5	Exit7 凹中间上表面 1cm	^{60}Co	2.69×10^{-3}
		^{54}Mn	2.25×10^{-4}
6	Exit6-7 上表面内侧 5cm	^{60}Co	7.92×10^{-2}
		^{54}Mn	3.90×10^{-2}
7	Exit5-6 间上表面内侧 1cm	^{60}Co	3.09×10^{-2}
		^{54}Mn	1.79×10^{-2}
8	Exit4-5 间上表面内侧 1cm	^{60}Co	1.37×10^{-2}
		^{54}Mn	4.46×10^{-1}
9	Exit3-4 之间上内侧 1cm	^{60}Co	1.00×10^{-2}
		^{54}Mn	8.62×10^{-1}
10	Exit3 凸口上表内侧 1cm	^{60}Co	1.24×10^{-2}
		^{54}Mn	1.18×10^{-2}
11	Exit1-2 凸口内侧 1cm	^{60}Co	3.46×10^{-2}
		^{54}Mn	2.43×10^{-2}
12	下本体外侧深 5cm	^{60}Co	1.01×10^{-2}
		^{54}Mn	3.28×10^{-1}
13	下本体外侧深 5cm	^{60}Co	8.11×10^{-1}
14	引出口 1 外下真空室	^{22}Na	1.36×10^{-5}
		^{60}Co	2.61×10^{-3}
15	引出口 1 内下真空口	^{22}Na	2.72×10^{-3}
		^{60}Co	6.88×10^{-1}
16	引出口 2 内下真空室	^{22}Na	1.01×10^{-4}
17	上磁轭外侧表面 5cm	^{60}Co	5.15×10^{-2}
		^{54}Mn	2.37×10^{-3}
18	上磁轭外侧表面 5~6cm	^{60}Co	7.77×10^{-2}
		^{54}Mn	8.46×10^{-2}
19	下磁轭外侧表面 5~6cm	^{60}Co	3.41×10^{-2}
		^{54}Mn	1.14×10^{-2}
20	北上表面本体 5cm	^{60}Co	1.19×10^{-2}
21	室内除湿机风口隔栏	^{60}Co	2.08×10^{-1}
		^{54}Mn	4.68×10^{-1}
22	地板压板 18 号	^{60}Co	1.86×10^{-1}
		^{22}Na	4.09×10^{-1}

续表 9-4 监测仪器参数

序号	样品描述	检测项目	结果 (Bq/kg)
23	管头	^{60}Co	6.47×10^{-2}
		^{65}Zn	3.60×10^{-3}
24	墙皮 (引出口正对墙壁处)	^{60}Co	8.57×10^{-1}
		^{57}Co	2.78×10^{-1}
25	下磁铁 1	^{22}Na	1.44×10^{-4}
		^{65}Zn	1.81×10^{-3}
26	下磁铁 2	^{22}Na	7.21×10^{-3}
		^{54}Mn	2.22×10^{-3}
27	下磁铁 3	^{22}Na	9.93×10^{-3}
		^{54}Mn	3.06×10^{-3}
		^{57}Co	1.54×10^{-2}
28	下磁铁 4	^{22}Na	2.91×10^{-3}
		^{54}Mn	2.69×10^{-2}
		^{65}Zn	1.93×10^{-2}
		^{57}Co	1.25×10^{-2}
29	上磁铁 1	^{22}Na	5.26×10^{-4}
		^{65}Mn	6.42×10^{-3}
30	上磁铁 2	^{22}Na	4.33×10^{-3}
		^{54}Mn	1.27×10^{-2}
		^{57}Co	3.10×10^{-1}
31	上磁铁 3	^{22}Na	8.56×10^{-3}
		^{54}Mn	3.49×10^{-2}
		^{57}Co	3.08×10^{-1}
32	上磁铁 4	^{22}Na	2.34×10^{-3}
		^{54}Mn	2.50×10^{-2}
		^{57}Co	4.12×10^{-1}

由表 9-4 可知, 拟退役加速器中部件感生放射性核素为 ^{22}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{65}Zn 、 ^{57}Co 、 ^{60}Co , 样品 (除真空室外) 中放射性核素比活度均在极低水平放射性废物比活度上限值以下 (^{22}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{65}Zn : $1\text{E}+5\text{Bq/kg}$; ^{57}Co : $1\text{E}+6\text{Bq/kg}$); 其中真空室有一个样品的 ^{22}Na 比活度 ($1.36\text{E}+5\text{Bq/kg}$) 稍微超过极低水平放射性废物比活度上限值, 但是另外一个真空室有一个样品的 ^{22}Na 比活度 ($2.72\text{E}+3\text{Bq/kg}$) 远低于极低水平放射性废物比活度上限值, 因此可认为真空室 ^{22}Na 比活度低于极低水平放射性废物比活度上限值。

3、理论计算结果

使用 Fluka 软件建模后模拟计算拟退役回旋加速器运行期间 H-离子和中子对磁铁和磁轭产生感生放射性核素及其比活度, 其主要产生核素、相应核反应及比活度如下:

(1) 主要产生核素及相应核反应

回旋加速器运行期间主要可能发生的核反应及对应生成核素见表 9-5。

表 9-5 主要生产核素及相应核反应

序号	核素	核反应	活化核素
1	⁶⁵ Cu	(p, n)	⁶⁵ Zn
2	²⁷ Al	(n, α2n)	²² Na
3	⁵⁹ Co	(n, γ)	⁶⁰ Co
4	⁵⁸ Ni	(n, α)	⁵⁵ Fe
5	⁶⁰ Ni	(n, p)	⁶⁰ Co
6	⁵⁴ Fe	(n, γ)	⁵⁵ Fe
7	⁵⁴ Fe	(n, p)	⁵⁴ Mn
8	¹⁰⁹ Ag	(p, n)	¹⁰⁹ Cd
9	⁵⁸ Ni	(n, p)	⁵⁸ Fe
10	⁶² Ni	(n, γ)	⁶³ Ni

(2) 质子核反应计算

根据 Fluka 软件建模计算，以轰击结束时 EOB (end of bombardment) 产生的感生放射性核素为一个计算单元，假设其 1 个月内比活度不变，依次类推至运行 17 年结束，共计 204 个基础单元，各单元的核素分别经过相应衰变至 2021 年 12 月 31 日的总比活度。计算结果见表 9-6。

表 9-6 质子核反应核素理论计算结果

序号	部件	核素	半衰期	EOB 值 (Bq/kg)	运行 17 年，放置 3 年后比活度 (Bq/kg)	是否有 γ 射线
1	磁铁	¹⁰⁹ Cd	462.6 天	7.35E+04	3.20E+05	无
2		⁶⁵ Zn	244.3 天	6.82E+05	3.65E+05	有
3		⁶³ Ni	100.1 年	6.64E+01	1.25E+04	无
4		⁶⁰ Co	5.27 年	1.56E+02	2.75E+04	有
5		⁵⁸ Co	70.1 天	6.61E+05	5.83E+01	有
6		⁵⁷ Co	271.8 天	1.39E+06	1.13E+06	有
7		⁵⁶ Co	77.3 天	1.05E+08	2.29E+04	有
8		⁵⁵ Fe	2.73 年	3.09E+06	6.81E+07	X 射线
9		⁵⁴ Mn	312.1 天	1.60E+05	2.15E+05	有
10		²² Na	2.6 年	1.61E+04	3.25E+05	有
11	真空室	⁵⁷ Co	271.8 天	9.76E+03	7.91E+03	有
12		⁵⁶ Co	77.3 天	1.60E+06	3.48E+02	有
13		⁵⁵ Fe	2.73 年	5.10E+04	1.12E+04	X 射线
14		⁵⁴ Mn	312.1 天	1.42E+04	1.90E+04	有
15		⁴⁹ V	330 天	3.16E+04	5.11E+04	X 射线
16		²² Na	2.6 年	1.63E+04	3.29E+05	有

备注：极短半衰期核素未列，衰变日期截止 2021 年 12 月 31 日

(2) 中子活化计算

根据 Fluka 软件建模计算，以轰击结束时 EOB (end of bombardment) 产生的感生放射性核素为一个计算单元，假设其 1 个月内比活度固定值，依次类推至运行 17 年结束，共计 204 个基础单元，各单元的核素分别经过相应衰变至 2021 年 12 月 31 日的总比活度。计算结果见表 9-7。

表 9-7 磁铁、磁轭、真空室、线圈受到中子活化比活度理论计算结果

序号	部件	核素	半衰期	EOB 值 (Bq/kg)	运行 17 年，放置 3 年后比活度 (Bq/kg)	是否有 γ 射线
1	磁铁	^{109}Cd	462.6 天	1.51E+01	6.53E+01	无
2		^{65}Zn	244.3 天	3.93E+02	2.01E+02	有
3		^{63}Ni	100.1 年	1.17	2.26E+02	无
4		^{58}Co	70.1 天	2.56E+02	2.26E-02	有
5		^{55}Fe	2.73 年	1.35E+02	2.97E+03	X 射线
6		^{54}Mn	312.1 天	4.43E+01	5.90E+01	有
7	真空室	^{57}Co	271.8 天	6.73E+03	5.43E+03	有
8		^{55}Fe	2.73 年	2.16E+02	4.83E+03	X 射线
9		^{49}V	330 天	4.36E+02	2.59E+02	X 射线
10		^{22}Na	2.6 年	3.17E+02	2.22E+03	有
11	线圈	^{63}Ni	100.1 年	3.39	6.39E+02	无
12		^{60}Co	5.27 年	2.36	4.16E+02	有
13	磁轭	^{60}Co	5.27 年	2.12E+03	1.16E+05	有
14		^{55}Fe	2.73 年	3.34E+02	7.25E+03	X 射线
15		^{56}Co	77.3 天	1.29E+02	2.83E-02	有
16		^{54}Mn	312.1 天	1.10E+03	1.48E+03	有

备注：极短半衰期核素未列，衰变日期截止 2021 年 12 月 31 日

4、现场源项调查与理论计算复核

根据现场源项调查和理论计算数据，可以得出结论如下：

(1) 理论计算中感生放射性核素较多，包括 ^{109}Cd 、 ^{65}Zn 、 ^{63}Ni 、 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{57}Co 、 ^{56}Co 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{22}Na 、 ^{49}V ，与实际取样测量存在较大的区别。经过分析，可能原因包括建模时模型中元素成分是依据各部件发生核反应后的元素分析结果，此时各部件中元素已经不是原始元素成分；由于建模时是使用 18MeV 质子、束流 3uA 直接轰击磁铁或真空室，该方式为保守估算方式，而该加速器实际运行时，质子及束流损失可能都未达模拟计算数值，相应核素可能未产生； ^{63}Ni 衰变时，无 γ 射线，因此实际测量时高纯锗 γ 谱仪无法对其测量； ^{55}Fe 和 ^{49}V 衰变时，有低能 X 射线，均在 6keV 以下，目前高纯锗 γ 谱仪能量范围一般在 20keV~2MeV，因此实际测量时高纯锗 γ 谱仪无法对其测量；对于 ^{63}Ni 、 ^{55}Fe 和 ^{49}V 一般使用液体闪烁仪进

行测量，但由于样品中存在多种放射性核素，因此目前也无法通过化学浓缩提纯后再进行测量。

(2) 取样分析结果显示，磁铁样品未分析出 ^{60}Co 核素，同时磁轭样品分析出 ^{60}Co 核素，理论计算时磁铁只有与质子发生核反应时可能产生 ^{60}Co 核素，中子无法与磁铁发生核反应产生 ^{60}Co 核素，因此判断中子未与磁铁发生核反应。在放射性废物估算以及退役实施过程中只需考虑质子与磁铁核反应产生的放射性核素，其深度在 2cm 以内（保守估计）；

(3) 对于磁轭只需考虑中子活化产生的放射性核素；

(4) 现场源项调查取样分析后的结果基本都在理论计算值以内，因此在进行放射性废物量分析及估算时，以现场源项调查取样分析结果作为依据进行估算。

六、放射性废物量分析及估算

根据《西安江原安迪科正电子有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目退役源项调查报告》，回旋加速器退役产生的放射性废物量估算如下：

1、回旋加速器房间内正对引出口的墙壁和设施

该部分物料中 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 和 ^{57}Co 比活度均低于 100Bq/kg，均在相关核素解控水平以下，且各核素人工放射性核素的比活度与各自的免管比活度的比值之和小于 1，因此可以申请清洁解控，审批后作为普通废物处置，预计产生量 1t。

2、回旋加速器零部件

该部分物料均作为极低水平或低水平放射性废物处置，其中靶件为低水平放射性废物，其他零部件均为极低水平放射性废物，预计有 200L，装 2 桶，其中 1 桶为低水平放射性废物，另外 1 桶为极低水平放射性废物。

3、回旋加速器真空室

该部分物料均作为极低水平或低水平放射性废物处置，预计 200L，1 桶。

4、回旋加速器主体

根据回旋加速器现场测量，该回旋加速器直径 200cm，上下部分高均为 59cm，上下部分高均为 59cm，其中靠近引出口部分高 32.5cm（与磁铁高度一致）；磁铁部分直径 110cm，高 32.5cm；磁轭宽 23.5cm。

根据理论分析结果，同时结合现场源项调查和样品分析结果，初步估计放射性废物量将超过 1t，因此以表 9-1 中（1）的比活度作为极低水平放射性下限值，估算回

旋加速器放射性废物量，估算原则为：以下磁铁上表面 2cm 深、上磁铁下表面 2cm 深、回旋加速器靠近靶件 50%磁轭的金属作为极低水平放射性废物。总重量估算为 4t，总体积估算为 $4.7 \times 10^5 \text{cm}^3$ ，如果使用 200L 标准废物桶整备放射性废物，预计需要使用 20 桶，每桶整备约 200kg 放射性废物。剩余部分作为清洁解控水平废物，预计有 21t（加速器总重量约 25t）。

5、放射性废物量估算小结

根据上述估算，回旋加速器预计将产生 1 桶低水平放射性废物、24 桶极低水平放射性废物（200L/桶）和 22t 清洁解控水平以下放射性废物，包括：

- (1) 低水平放射性废物：主要为回旋加速器靶件，预计 1 桶；
- (2) 极低水平放射性废物：2 桶真空室、2 桶其他零部件和受到污染的工器具、20 桶回旋加速器主体切割件和打磨粉末、2 桶防护用品和现场收到污染的气帐，一共预计 24 桶；
- (3) 清洁解控水平以下放射性废物：包括回旋加速器主体剩余部分（21t）和回旋加速器房间内正对引出口的墙壁和设施（1t）。

表 10 退役方案

一、设施概况

本项目乙级非密封放射性物质工作场所位于长安医院西北角健康体检中心负一层。西安江原安迪科正电子技术有限公司在该场所使用 1 台 18MeV 回旋加速器生产 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{13}N 放射性药物，由于回旋加速器装置无法满足生产需要，现拟将乙级非密封放射性物质工作场所及回旋加速器装置申请退役。

二、退役目标及范围

1、退役目标

通过去污、拆卸和包装等综合措施，把乙级非密封放射性物质工作场所内的所有放射性污染物治理达到国家环境保护有关标准要求，实现放射性污染场所清洁解控。

2、退役范围

回旋加速器主机室、药物分装合成室、气瓶间、设备间、回旋加速器装置等乙级非密封放射性工作场所内所有设施。

三、依据文件

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》；
- (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》；
- (3) 《核技术利用设施退役》(HAD 401/14-2021)；
- (4) 《放射性物品道路运输管理规定》，交通运输部令 2010 年第 6 号；
- (5) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院 2010 年第 562 号令；
- (6) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，环保部 2010 年第 11 号令；
- (7) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环保部、工信部、科工局公告 2017 年第 65 号；
- (8) 《放射性物质安全运输规程》(GB11806-2019)；
- (9) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；
- (10) 《低中水平放射性固体废物包装安全标准》(GB12711-91)；
- (11) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；
- (12) 《表面污染测定—第 1 部分 β 发射体(最大 β 能量大于 0.15MeV)和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)；

- (13) 《高纯锗 γ 谱仪分析通用方法》(GB/T 11713-2015);
- (14) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);
- (15) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011);
- (16) 《核设施的钢铁、铝、镍和铜 再循环、再利用的清洁解控水平》(GB/T 17567-2009)。

四、设施现状及运行史

经现场勘查和公司提供资料，该场所于 2013 年正式使用 18MeV 电子回旋加速器生产 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{13}N 放射性药物。该加速器已运行 17 多年（2002 年~2018 年），现由于加速器无法满足生产需要，于 2018 年 11 月停用至今，停用时无核素剩余，放射性废液已处置。回旋加速器设备和废靶包壳暂存于主机室内，其余场所尚未拆除，有专人定期监测，现状照片见下图：



图 10-1 拟退役回旋加速器工作场所内现状（拍摄于 2021.8）



药物分装操作台



废靶包壳

图 10-1 拟退役回旋加速器工作场所内现状（拍摄于 2021.8）

五、退役源项

本项目中该台回旋加速器为 IBA 生产制造的 18MeV 加速器，主要生产 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{13}N ，该加速器已运行 17 多年，因此其部分零部件存在质子感生放射性核素和中子活化放射性核素。

西安江原安迪科正电子有限公司委托北京国原新技术有限公司对项目进行了退役源项调查，具体源项调查内容详见报告“表 9 源项分析”。

六、工艺方案

为了实现本项目回旋加速器的顺利退役，西安江原安迪科技术有限公司联合北京国原新技术有限公司、西安海蓝环保科技有限公司成立了项目组。为了明确项目实施过程中各项目组之间的职责及接口，保证项目顺利安全的实施，制定了项目组织机构，详见图 10-2。各组具体负责内容如下：

1、项目部职责

负责项目具体工作，负责制定并落实现场施工方案，制定计划、进度，负责项目实施过程中的安全管理工作。对实施过程进行记录，完成项目实施过程中出现各种突发情况的应急处理。

2、源项调查组职责

- (1) 负责现场环境 γ 剂量率监测、表面污染监测、样品采样；
- (2) 按照技术支持组的理论模拟计算结果，负责现场样品采集及送检工作；
- (3) 负责放射性废物分类整备后的样品采集、样品送样及废物桶外表面 γ 剂量率监测和表面污染监测工作。

3、拆解组职责

- (1) 负责现场切割设备、拆解设备和打磨设备的使用；
- (2) 负责回旋加速器的拆解；
- (3) 负责将回旋加速器上含有感生放射性核素的部件进行拆除后切割；
- (4) 负责将含有感生放射性核素的部件进行打磨去污作业。

4、整備组职责

- (1) 负责现场气帐的搭建、局排的安装和分区的设立；
- (2) 负责退役实施过程中产生放射性废物收集、搬运、整備装桶工作；
- (3) 负责将整備完成的放射性废物装车，并协助放射性废物运输至陕西省城市放射性废物库后的卸车工作。

5、防护组职责

- (1) 负责现场的防护监测及记录工作；
- (2) 做好放射性废物分类整備装桶后的标识工作；
- (3) 负责应急监测工作。

6、技术支持组职责

- (1) 负责回旋加速器运行期间各部件产生感生放射性核素的理论计算；
- (2) 负责回旋加速器拆解技术设计；
- (3) 负责现场搭建气帐的设计及加工；
- (4) 负责现场局排的设计及加工；
- (5) 负责现场布局设计；
- (6) 负责施工现场发生意外事件/事故的应急处置技术支持。

7、后勤组职责

- (1) 为现场施工提供后勤物资保障；
- (2) 为施工现场提供应急物资准备。

8、应急组职责

负责施工现场发生意外事件/事故的应急处置。

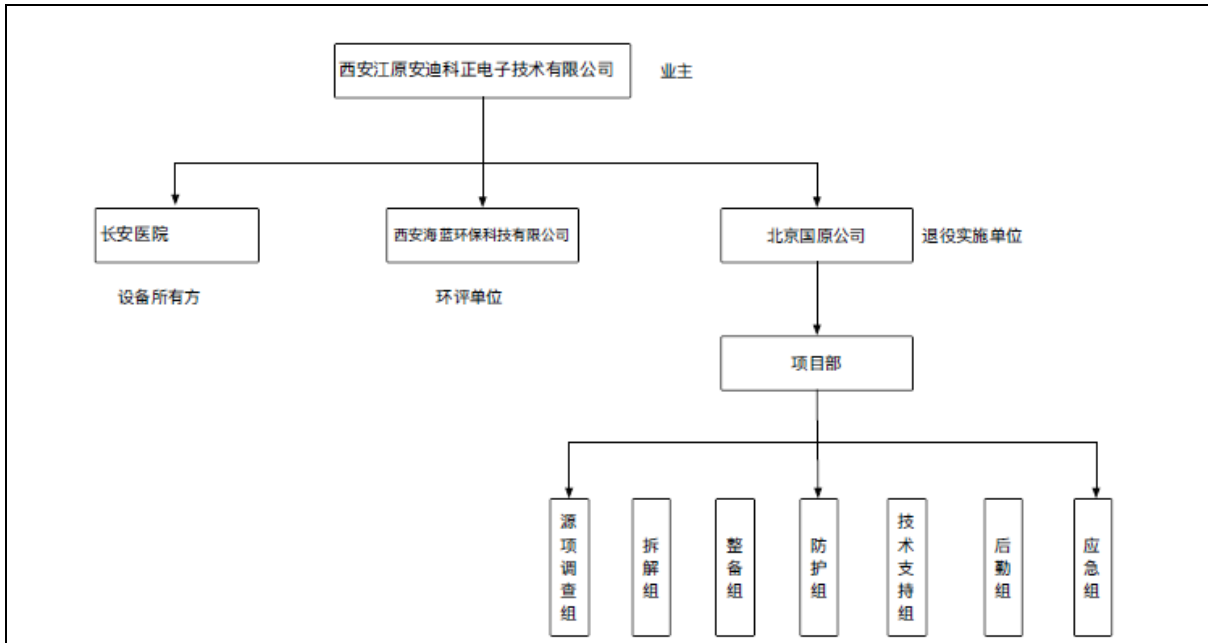


图 10-2 项目实施组织机构图

七、条件保障

在退役过程中应贯彻执行“准确测量、精心施工、质量第一、安全第一”的质量方针。实现安全、可靠的施工运行，确保该回旋加速器退役后成为工作人员和公众的健康不受影响（无限制使用）的目标。采取以下保障措施：

1、培训上岗

所有操作测量、管理人员均应在主管部门和质保组的监督下进行操作技术、辐射安全，防火，用电等项目进行培训，考核合格方可上岗。

2、监测仪器的检定与校准

所有的仪器、仪表应由具有检定资质的部门进行检定（校准），并确保在检定（校准）有效期内使用，同时确保仪器、仪表的误差满足使用要求。每次测量前，均应检查仪器、仪表的使用状态（良好性、稳定性、可靠性等）。

3、防护用品及个人防护

个人防护用品佩戴齐全，措施有效，一般外伤药品，器材及去污急救材料齐备。应注意放射工作的个人卫生，离开工作场所必须进行辐射检查，换去工作服洗手或洗澡，特别注意洗手。

4、设备、工具状态

机械设备、运输车辆和工具检修合格，均处于优良运行状态，运输车辆刹车制动可靠，消防设备良好。

八、退役流程

退役实施流程图见图 10-3。

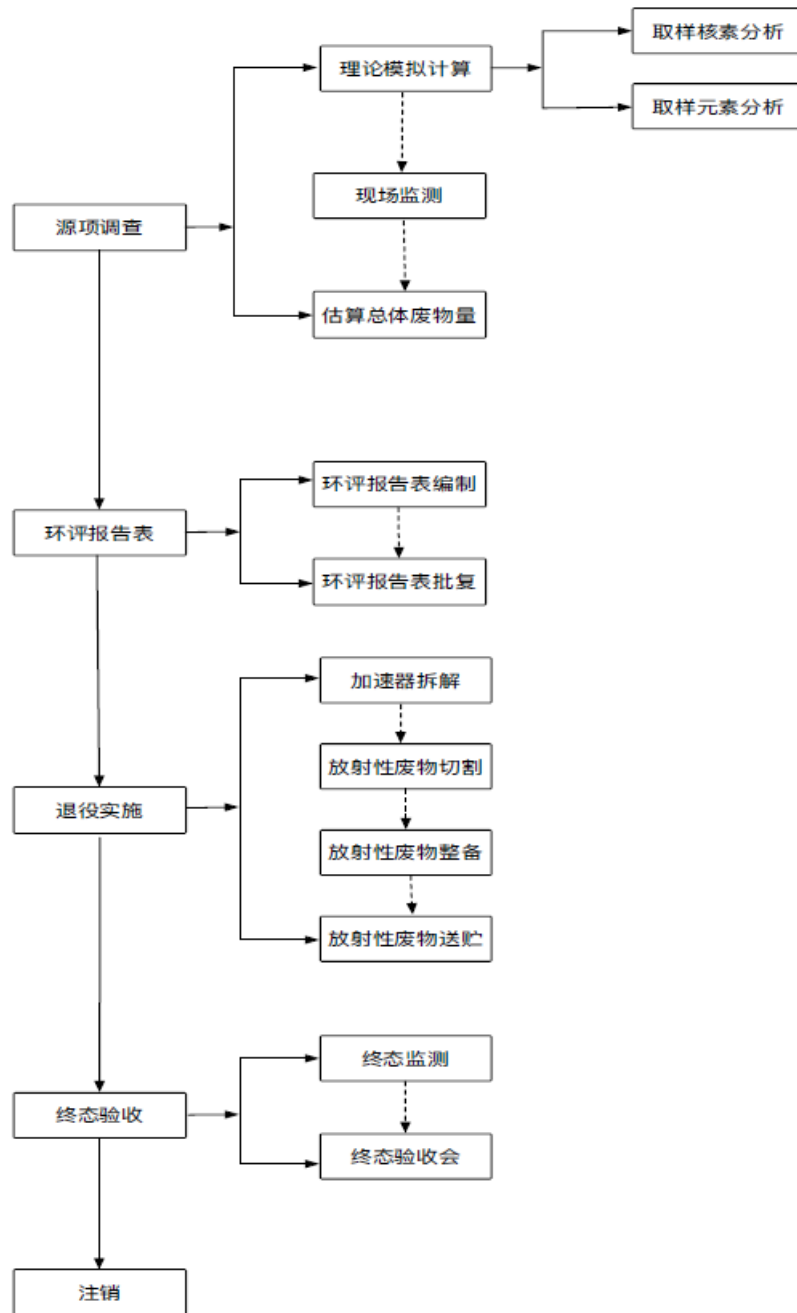


图 10-3 退役方案流程图

九、退役现场实施

1、设备及工器具准备

根据现场源项初步调查，施工现场需要准备工具、防护用品及设备见表 10-1。

表 10-1 工具、防护用品及设备表

编号	名称	规格	单位	数量	备注
1	电源线滚	220 伏/公牛	台	2	/
2	气帐	自制	套	1	/
3	局排	自制	台	2	/
3.1	排风机	/	台	2	/
3.2	高效空气过滤器	99.99%	套	2	/
4	手动葫芦	订制	台	1	/
5	防护膜	双层	卷	5	/
6	擦拭布	杜邦 JW-5	箱	5	/
7	去污剂	Decon 90	桶	5	/
8	自配去污剂	GY-D01	瓶	5	/
9	专用放射性废物袋	/	个	20	/
10	废液收集容器	/	个	1	/
11	废物桶	200L	个	25	/
12	转运设备	/	套	1	/
13	警戒带	/	米	100	/
14	打磨机	订制	台	1	/
15	切割机	订制	台	1	/
16	拆卸工具	/	套	3	/
17	工业吸尘器	/	台	1	/
18	喷壶	/	个	10	/
19	灭火器	手提式	台	2	/
20	联合防护服	/	套	30	防护用品
21	连体防护服	杜邦 ProShield	套	100	
22	防刺手套	杜邦 Kevlar7	双	120	
23	工作鞋	防砸, 防穿刺	双	6	
24	鞋套	无纺布	包	2	
25	袜子	/	双	30	
26	帽子	无纺布	包	5	
27	口罩	3M/N95	个	1000	
28	丁基手套	Snell	盒	5	
29	面罩/带滤芯	3M	套	6	
30	安全帽	/	个	8	

2、退役现场施工分区设置

根据拟退役回旋加速器现场情况, 项目组将对退役现场设置施工分区, 包括控制区、监督区、休息值班区。

控制区为回旋加速器主机室, 监督区为主机室屏蔽门外 1m 范围内, 监督区边界处将设置警戒带, 并放置当心电离辐射标识牌, 见图 10-4。

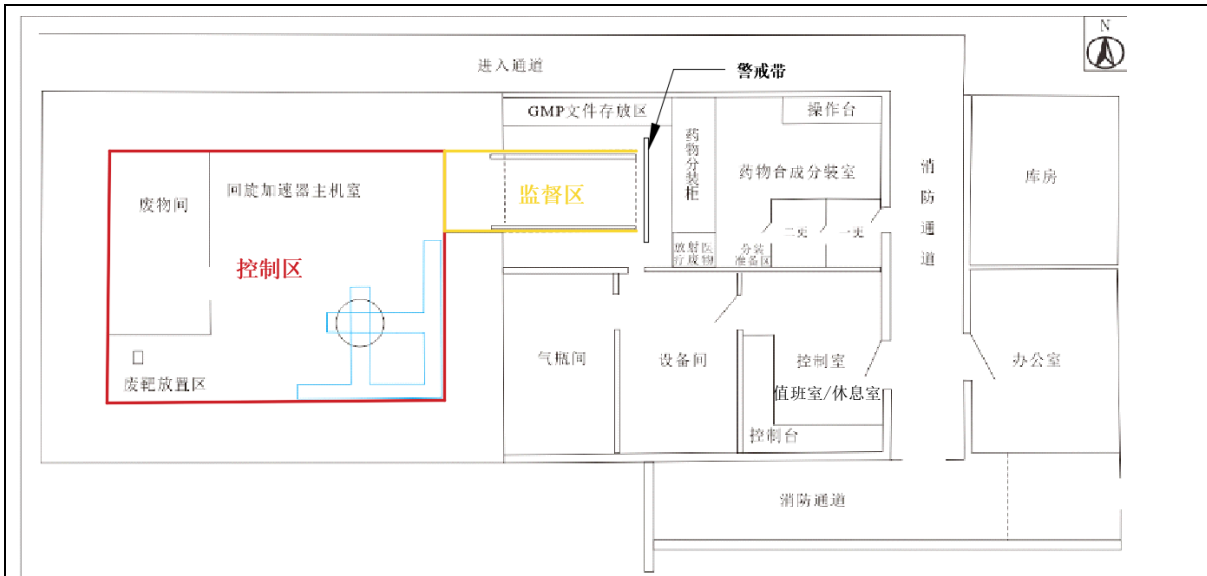


图 10-4 退役实施现场分区

3、现场施工准备

(1) 按照设计方案搭设气帐及局排，做好人流及物流的分开管理工作。两套气帐中 1 套用于人员更换工作服、佩戴防护用品用；另外 1 套气帐用于切割打磨用，该套需要安装一套局排，局排过滤器使用两套高效过滤器(99.99%)，风机风量为 1000m³/h，局排排风口外接活性炭过滤箱，局排排风口设置在主机室内（见图 10-5），最终通过加速器主机室通风系统排放到外环境。

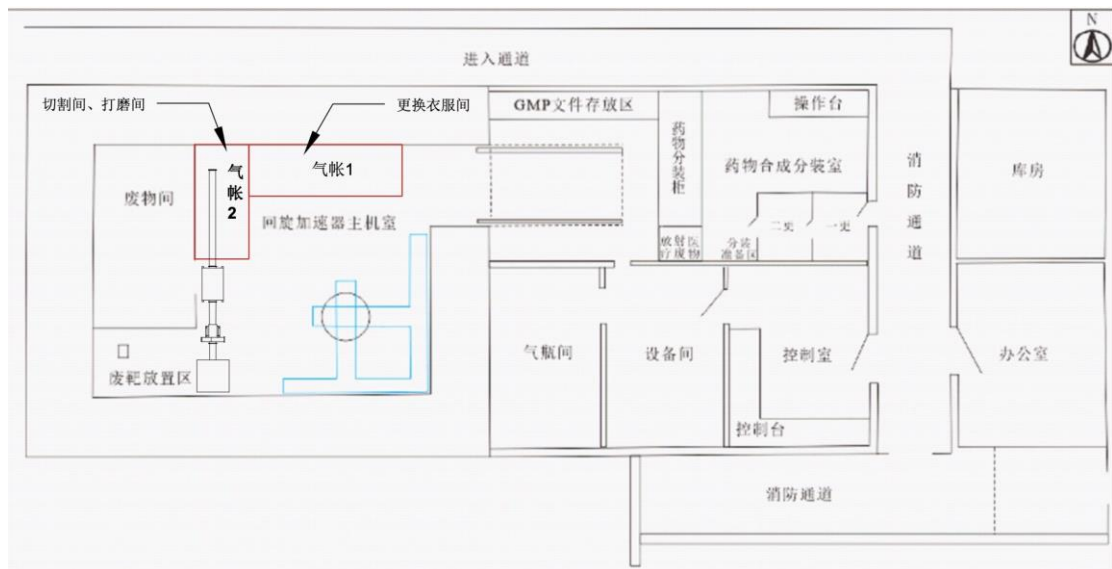


图 10-5 气帐及局排设置示意图

(2) 在打磨切割气帐内安装调试切割机、打磨机等设备，再在切割机、打磨机外部安装一套小型安全防护室。

4、回旋加速器拆解

项目组成员按照 IBA 回旋加速器说明书,对该台回旋加速器进行拆解工作,具体工作流程如下:

- (1) 首先关闭回旋加速器真空室,将其举升抬起;
- (2) 对内部小型零部件进行拆除,如离子源、加速电极、束流引出系统、射频系统、靶系统等;
- (3) 拆除水冷系统、粒子加速真空腔等;
- (4) 使用手动葫芦将回旋加速器主体上半部分吊装好,将上下部分链接件拆除后,将上半部分卸下;
- (5) 将磁轭和盖板之间链接的紧固螺丝拆除后,将磁轭和盖板分开;
- (6) 拆除磁铁周围的线圈;
- (7) 将磁铁和盖板之间链接的紧固螺丝拆除后,将磁铁和盖板分开。

该项工作现场施工人员预计 6 人,操作时间预计需要 10 天,每天工作 6 小时。

5、含有感生放射性核素部件拆解及切割

- (1) 对含有感生放射性核素的部件进行拆解;
- (2) 将需要切割、打磨的部件搬入气帐内;
- (3) 根据源项调查的结果,对移入气帐内的部件进行切割、打磨;
- (4) 对于可打磨去污至清洁解控水平以下的部件,采用打磨机逐层打磨的方式进行去污操作,此时使用表面污染仪对打磨后各部件进行直接测量进行判断打磨去污作业是否可以结束;
- (5) 对于较大的零部件,直接使用切割的方式将其切割成小件后装入废物桶内;
- (6) 对于不可打磨去污的部件,也采用切割的方式对其进行去污操作;
- (7) 打磨、切割期间产生的金属粉末,全部使用工业吸尘器收集;
- (8) 切割期间需要使用少量的自来水以保护切割工具,同时防止起火,因此在进行切割作业时,在切割部件下放置一个废液收集容器用于收集废水,最终使用水泥固化的方式将其作为放射性废物送贮至陕西省城市放射性废物库收贮。

该项工作现场施工人员预计 6 人,操作时间预计需要 15 天,每天工作 6 小时。

6、放射性废物分类及整备

- (1) 放射性废物分类

① 项目组根据源项调查结果，初步将清洁解控水平、极低水平放射性废物和低水平放射性废物进行分类；

② 项目组对于清洁解控水平废物的判断方式：在对磁铁、磁轭等部件使用打磨机逐层打磨去污操作时，使用表面污染仪对打磨后各部件进行直接测量，以便于初步判断打磨去污作业是否可以结束，如表面污染值已低于物项表面污染控制水平，此时对剩余磁铁、磁轭部分再进行取样待后续进行样品分析；

(2) 放射性废物整备

项目组根据收贮单位要求，对退役产生的放射性废物（包括且不限于废金属、人员防护用品、去污工器具等）进行整备，如装入 200L 标准钢桶内，标准如下：

① 按照放射性废物分类进行分类整备；

② 金属、防护用品分类整备；

③ 如最终有放射性废液则先进行水泥固化，游离液体率不大于 1%；

④ 不得将一般垃圾混装到放射性废物中，也严禁将放射性废物混装到一般垃圾中，应将放射性废物按可燃、可压缩等分类存放；

⑤ 每个放射性废物桶表面剂量率不超过 0.1mSv/h，包装体外表面 α 表面污染水平不超过 0.4Bq/cm²， β 表面污染水平不超过 4Bq/cm²。

该项工作现场施工人员预计 6 人，操作时间预计需要 2 天，每天工作 6 小时。

7、放射性废物最小化

项目组依据废物最小化原则，采取的措施有：

去污过程：

(1) 施工时，搭设气帐，并将回旋加速器区域围起来，以防止去污废物扩散到干净区域；

(2) 用擦拭布沾去污剂擦洗去污，擦洗时注意溶液的用量，防止滴落造成交叉污染；

(3) 切割去污时，地面上铺设防护膜，减少放射性废物的扩散，使用工业吸尘器收集切割、打磨产生的金属粉尘；

(4) 加速器磁铁部件去污时采取逐层剥离方式减少废物量，根据施工进度，每剥离深度约 2~5mm 就用表面污染仪测量一次，直至剥离后的表面污染降到控制水平以下。

废物分类整备：

- (1) 通过废物样品监测分析，将废物进行分类和分拣，以便分类处理；
- (2) 清洁解控水平以下的固体废物作为一般固体废物处理，减少放射性废物量；
- (3) 极低水平放射性废物和低水平放射性废物整备时，采用压实减容工艺，减少废物体积后装入 200 升标准钢桶。

8、废物暂存

所有整备装桶的金属放射性废物将暂存在回旋加速器所在房间内，待完成放射性废物收贮手续后将其运输至陕西省城市放射性废物库。

9、放射性废物运输

放射性废物最终由陕西省城市放射性废物库收贮，放射性废物运输将由雅化集团绵阳运输有限公司负责，运输路线均由西安长安医院至陕西省宝鸡市眉县营头镇，具体路线为：长安医院-文景路-二环北路-西安高架快速干道-西兴高速-连霍高速-红河谷快速干线-营头镇。

10、退役实施过程监督

退役实施前，西安安迪科公司将通知陕西省相关监管部门；退役过程中全程接受监管部门的监督检查。

十、废物管理

北京国原新技术有限公司将按照收贮单位收贮要求，对退役产生的放射性废物进行整备，所有整备装桶的金属放射性废物将暂存在回旋加速器所在房间内，待完成放射性废物收贮手续后将其运输至陕西省城市放射性废物库。

十一、辐射防护与监测

1、辐射防护要求

北京国原新技术有限公司负责本次退役项目的实施，此过程中的辐射防护要求如下：

- ① 必须配备足够的防护用具、如：工作服、工作帽、高效过滤口罩、工作袜、防砸鞋、手套、屏蔽器材、防护工具、面罩等；
- ② 工作时穿好工作服，穿戴个人防护用具并佩戴个人剂量计；
- ③ 切割、打磨操作人员上岗前均应经过业务培训，应具备相应的安全防护知识，在工作中注意做好个人防护；

- ④ 切割、打磨过程采取必要的防火措施，防止火灾事故发生；
- ⑤ 禁止无故在工作场地停留、禁止在工作场地吸烟、饮水和进食等；
- ⑥ 每次施工结束后，对工作人员进行体表污染检测，当所有从事放射性操作的人员检测完毕，现场监测人员才允许撤离；测量结束后，需清点监测设备并确认全部关闭，整理监测记录。离开前，巡视现场，确认无仪表或物品遗留现场。

2、辐射监测内容及仪器

(1) 监测内容

① 现场监测

退役前的监测项目包括：环境 γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平，已委托中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室进行退役场所现状监测。

② 个人剂量监测

参与退役工作的人员，统一佩戴个人剂量计，并建立个人剂量档案。退役工作完成后，将个人剂量计送到有资质单位进行检测。

③ 体表污染监测

施工结束后，对工作人员进行表面污染测量，如发现体表意外受到污染，应及时进行洗消处理。

④ 竣工监测

退役工作结束后，委托有资质单位进行验收监测，以确认退役场所的辐射水平，符合要求后无限制开放使用。

(2) 辐射监测仪器

本次项目实施过程中使用的辐射监测仪器设备见表 10-2。

表 10-2 辐射监测仪表及主要性能指标

仪表名称	型号	主要技术性能	监测方法
X- γ 剂量率仪	FH40G+FHZ672 E-10	测量范围：1nGy/h~100 μ Gy/h； 能量范围：48keV~6MeV 相对响应之差 $\leq\pm 15\%$ ； 准确度： $<20\%$ (针对 ^{137}Cs ，剂量率大于 100nGy/h)。	距离待测物品 1cm 处
X- γ 剂量率仪	FH40G	测量范围：1 μ Gy/h~100mGy/h； 能量响应：30keV~4.4MeV。	
X- γ 剂量率仪	451P	测量范围：0~50mSv/h； 能量响应：大于 1MeV 的 β 射线大于 25KeV 的 X、 γ 射线。	距离待测物品 1cm 处

续表 10-2 辐射监测仪表及主要性能指标

仪表名称	型号	主要技术性能	监测方法
表面污染测量仪	Como170	测量范围： β 、 γ 道（ ^{204}Tl ）：0~20kcps； α 道（ ^{241}Am ）：2.5kcps； 工作温度：-10°C~40°C； 测量效率：对 ^{241}Am 为 32.2%，对 ^{204}Tl 为 40.3%。	距离待测物品表面进行测量，监测项目为 α 、 β 表面污染
电感耦合等离子体质谱	NexION 300Q	检出限： ^9Be ：<1ng/L ^{59}Co ：<1ng/L ^{238}U ：<0.2ng/L	/

3、退役过程辐射监测

退役过程中的辐射监测内容包括：个人剂量监测、去污场所监测和放射性废物监测。

(1) 个人剂量监测

现场辐射操作人员佩戴 OSL 个人剂量计，施工结束后采用 Inlight-200 型光致发光个人剂量监测系统读取监测结果。个人剂量计在上班发放，下班收回。保管在防潮、防火、常温、低辐射、无污染的地点。

(2) 工作场所监测

① 现场 γ 辐射剂量率监测

γ 辐射剂量率采用便携式 γ 剂量率仪直接测量，监测工作人员操作位置的辐射水平，每点测量 4 次取平均值。

② 表面污染监测

表面污染监测包括去污对象的表面污染监测以及工作人员的体表污染监测。监测去污对象时，采用便携式 α 、 β 表面污染测量仪，通过定点测量及巡测的方式进行，一般使用直接测量的方式。对于探测器难以接近的表面，采用湿法擦拭测量，擦拭面积取 300cm²，擦拭系数取 0.1。工作区域内如发现可能造成污染的操作，随时测量、随时去污，以防止污染扩大。

人员出回旋加速器装置所在区域时均需进行人员体表污染监测。

在对回旋加速器切割、打磨期间会产生大量金属粉末，现场搭设气胀后，可避免对周边环境的污染，但是可能对人员造成体表沾污，此时分为两种情况：

a 防护服、手套、口罩和面罩等受到污染时，使用小型吸尘器对防护服进行吸尘

去污，如果无法去污干净则作为放射性废物处置。对于口罩、手套等则直接作为放射性废物处置，直接装入废物桶内。

b 人员体表，如面部受到污染时，使用中性去污剂对面部进行清洁直至去污干净，期间使用专用擦拭布进行擦拭，擦拭布最终作为放射性废物处置，直接装入废物桶内。

(3) 放射性废物监测

废物表面剂量率采用便携式 γ 剂量率仪直接测量，废物袋及废物桶外表面污染采用便携式 α 、 β 表面污染测量仪擦拭测量。

对放射性废物（包含清洁解控水平、极低水平、低水平放射性）测量，在取样后做好标识，最终送中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室使用高纯锗 γ 谱仪测量其放射性核素种类及活度，分析计算废物的放射性活度浓度值，按照放射性废物分类要求进行分类。

十二、退役经费及来源

本项目退役经费由西安江原安迪技术有限公司自主出资。

十三、终态监测

退役终态监测在完成回旋加速器退役现场工作及放射性废物送贮后进行。监测内容包括 γ 辐射剂量率、样品核素分析及 α 、 β 表面污染。

γ 辐射剂量率采用便携式 γ 剂量率仪直接测量，监测距离地面 10cm 和 1m 高处的辐射水平，以及加速器拆解后所有零配件表面处辐射水平，每点测量 4 次取平均值。

样品核素分析为采集现场抽样进行核素分析。

α 、 β 表面污染采用便携式 α 、 β 表面污染测量仪直接测量经放射性去污之后的表面，测量方式为扫描测量，重点测量经过放射性去污的区域及人员通道、运输通道。

最终由北京国原公司或终态验收监测方编制验收报告表，确保场所均达到清洁解控水平。

十四、进度计划

西安江原安迪科正电子技术有限公司计划于 2022 年 3 月开始实施退役，计划于 2022 年 6 月 30 日前完成退役工作，退役各阶段工作安排汇总见表 9-3。

表 9-3 退役工作安排

项目	退役工作安排	备注
准备阶段	源项调查，制定退役方案	2021年11月-12月
	进行退役场所的环评工作	2021年11月-2022年2月
实施阶段	实施退役、放射性废物交有资质单位处置	停用时间：2018年11月
		固体废物处理时间； 拟于2022年3月启动设备拆解移出工作
		固体废物处理完毕时间； 2022年5月30日前处理完毕
	委托有资质单位实施退役验收监测，进行终态验收	2022年6月10日前完成
	变更辐射安全许可证	2022年6月底前完成

表 11 辐射安全与防护

一、辐射防护措施

退役过程由北京国原新技术有限公司具体实施，放射性废物最终由陕西省城市放射性废物库收贮，放射性废物运输将由雅化集团绵阳运输有限公司负责。为了防治或减轻污染，主要采取了以下辐射安全措施：

1、设立回旋加速器退役项目事故应急组织机构

为了确保安全，防止事故发生，北京国原公司与西安安迪科公司一起成立西安安迪科公司回旋加速器退役项目事故应急组织机构，主要分为应急领导小组、应急办公室、应急救援组和应急监测组。在事故应急组织机构管理下，负责退役过程中事故应急等方面的工作。

2、事故、事件的处理原则

发现事件、事故或可疑情况应立即停止工作，采取措施防止事故、事件蔓延、扩大，及时向上级领导报告，并查定范围、界线、防护人员立即进行测量，保护现场。事故、事件处理过程中应严格控制操作人员所受剂量不大于事故剂量限值 2mSv 以内。

事故、事件处理全过程必须制订处理计划，并进行详细的记录。专人分工负责，长期保存应急处理记录，以备追查。

3、场所划分

退役场所加速器主机室划定为控制区，主机室屏蔽门外 1m 范围划分为监督区，控制区和监督区严格控制无关人员进入。搬迁退役现场做好必要的警示标识，有专人值守，强制实行分区管理，禁止无关人员进入工作场所。

4、防护用品及仪器配备

北京国原新技术有限公司为退役实施工作人员准备了工作服、工作帽、高效过滤口罩、工作袜、防砸鞋、手套、屏蔽器材、防护工具、面罩等防护用品，同时准备了表面污染监测仪、便携式 γ 监测仪、环境监测仪、表面沾污仪等监测仪器确保退役过程中的辐射安全。

5、辐射监测

退役前和退役工作完成后监测工作有资质的单位进行监测，退役过程中监测过程由公司退役领导小组组织实施，退役过程中退役工作人员针对该项目单独进行个人剂

量监测，佩戴个人剂量计，监测退役过程中受到的辐射情况。

二、辐射安全管理

1、辐射安全管理机构

为了放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，北京国原新技术有限公司设立了针对本项目的项目部，全面负责本项目的放射防护监督和管理的工作，机构内部职责明确，且该机构设有专职管理人员。

2、放射性废物的安全管理

放射性废物分类收集并包装，交给陕西省城市放射性废物库进行收贮，符合清洁解控水平的废物按照一般废物处置。

3、劳动保护措施

在退役现场安排辐射安全管理人员进行监督和技术指导。

对参与退役的人员进行辐射安全培训，要求参与退役人员详细了解场所辐射水平，退役方案、应急方案、防尘和降噪措施等。

贯彻“安全第一、预防为主”的原则，采用切实可行的技术和工艺，降低粉尘和噪声，保障劳动者在劳动过程中的安全与健康。

三、退役场所再利用需采取的措施

本项目乙级非密封放射性工作场所达到无限制开放使用后，场所交由长安医院自行处置。改造过程中的主要环境影响是固体废物和噪声。应加强对施工人员的管理，合理安排施工时间，合理布局施工现场，降低设备声级。

四、废物处置场所环境保护措施

本次退役整治工程放射性废物交由陕西省城市放射性废物库处理，不会对周围环境产生明显影响。

五、退役施工过程中安全防范

(1) 施工单位应严格按照国家相关生产和辐射防护的相关法律、法规、标准、规定建立健全安全组织机构（体系）、规章制度和岗位安全操作规程及应急事故预案，并严格贯彻执行。

(2) 现场施工时，禁止使用、堆放易燃物品，电缆用阻燃电缆。退役场地严格按照规范要求设置气体灭火器、保证消防设施完备，发生火灾时以最快速度灭火，降低火灾风险。

(3) 地表低压配电系统接地型式采用 TN-C-S 系统，所有电气设备的金属外壳及电缆配件均应接地。所有插座回路均设置漏电保护断路器，设准用接地保护线 PE。

(4) 尽量使用机械操作，降低工作人员的劳动强度。

(5) 尽量使用低噪声、振动小的设备，对产生较大噪声和振动的设备，采取消声、吸声、隔声和减震、防震措施。

(6) 工作人员必须经过辐射培训安全教育，经过安全培训教育后，配备个人劳动用品，包括工作服、安全帽、口罩、防噪声耳塞等方可进入工作场地。所有活化部件及防护用品，最后都由放射性废物收贮管理中心处置。

(7) 所有的仪器、仪表应由具有检定资质的部门进行检定（校准），并确保在检定（校准）有效期内使用，同时确保仪器、仪表的误差满足使用要求。每次测量前，均应检查仪器、仪表的使用状态（良好性、稳定性、可靠性等）。

(8) 拆解回旋加速器设备的工作人员需要做好个人防护：穿工作服、佩戴防护手套和防护眼镜。

(9) 为避免交叉污染，施工过程中，严格按照从低污染→高污染的顺序，分区域安全合理施工。

(10) 严禁与项目无关的人员进入工作场地，上级及监管部门相关人员进入场所前，需接受相关安全教育，穿戴好防护用具，并在项目人员的引导下按照指定路线方可进入。

(11) 在加速器机房唯一进出口加速器控制室处设置专门值班人员进行 24 小时值守，对放射性废物货包进行 24 小时看管，防止丢失。一旦发现丢失事故，立即向主管部门和当地公安机关报告，并积极组织力量进行查找。

六、辐射安全防范

辐射安全防护分为内照射防护与外照射防护。

1、内照射防护

内照射防护的基本原则为阻断放射性物质进入人体。主要采取的防范措施有：

(1) 包容、隔离：包容是指在操作过程中，将放射性物质密闭起来。隔离就是使人员和放射性物质尽可能隔开。

(2) 净化、稀释：净化就是采取吸附、过滤除尘等方法尽可能的降低空气、水中放射性物质浓度、降低物体表面放射性污染水平。稀释就是在合理控制下利用空气或

水使空气或水中的放射性浓度降低到控制水平以下。

(3) 遵守操作规程、做好个人防护措施。

2、外照射防护

外照射防护的基本原则为尽量减少或避免射线从外部对人体的照射。要采取的防范措施有：

(1) 必须配备足够的防护用具，如：工作服、工作帽、高效过滤口罩、工作袜、防砸鞋、手套、屏蔽器材、防护工具、面罩等；

(2) 工作时穿好工作服，穿戴个人防护用具并佩戴个人剂量计；

(3) 切割、打磨操作人员上岗前均应经过业务培训，应具备相应的安全防护知识，在工作中注意做好个人防护；

(4) 禁止无故在工作场地停留；

(5) 每次施工结束后，对工作人员进行体表污染检测，当所有从事放射性操作的人员检测完毕，现场监测人员才允许撤离；测量结束后，需清点监测设备并确认全部关闭，整理监测记录。离开前，巡视现场，确认无仪表或物品遗留现场。

表 12 环境影响分析

一、退役施工期环境影响分析

本项目为西安江原安迪科正电子技术有限公司PET-ECT放射性药物生产与销售核技术应用退役项目，包括回旋加速器设备进行拆解工程，工程量较小，施工期只在回旋加速器主机室内进行，通过降噪、降尘措施，基本不对周围环境噪声影响。

二、退役环境影响分析

根据表 8 环境质量和辐射现状可知，回旋加速器设备表面剂量率远高于本底水平；其它乙级非密封放射性工作场所及周围剂量率水平未发现异常，接近西安市环境天然辐射水平；场所的 β 表面污染水平低于清洁解控水平 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。因此，本次除加速器主机室外非密封工作场所设施表面污染水平均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的可当作普通物品使用的污染控制水平 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可当做一般废物处置。本次退役主要对存在污染的回旋加速主体及其零部件进行处理。

故本退役项目对辐射环境的影响，可以归纳为：退役工作人员拆除、包装、转移过程受到的照射；退役过程中对周围公众的持续照射。

1、退役工作人员预期受照剂量

(1) 退役工作人员受照途径

本退役项目辐射环境调查、源项调查、废物整治过程工作人员需要对回旋加速器设备进行拆除、包装、转移。退役工作人员近距离接触加速器零部件，主要受到的照射途径为活化部件的外照射，其次可能受到的照射为吸入放射性扬尘所导致的内照射。

(2) 退役工作人员后续所受剂量估算

① 外照射所受剂量估算

外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H=D_r \times t \times 10^{-3}$$

式中：H—— γ 辐射外照射人均有效剂量，mSv；

D_r ——退役人员附加的空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

t——退役活动时间，h。

项目后续安排，外照射始终会伴随整个过程，退役人员接触时间 t 见表 11-1。依

据源项 γ 辐射测量结果，回旋加速器设备表面的 γ 辐射剂量率为 0.24~26.5 $\mu\text{Sv/h}$ （本次以监测点平均值 2.08 $\mu\text{Sv/h}$ 计），靶头的 γ 辐射剂量率为 138 $\mu\text{Sv/h}$ ，其他零部件 γ 辐射剂量率为 2.85~30.2 $\mu\text{Sv/h}$ （本次以监测点平均值 9.51 $\mu\text{Sv/h}$ 计），项目场所 γ 辐射剂量率为 0.04~0.81 $\mu\text{Sv/h}$ 。本次退役场所 γ 辐射剂量率较高处均位于回旋加速器房间，评价认为结果较高是受回旋加速器和靶头影响，因而不对外场所造成的外照射剂量进行估算。

根据上述分析，外照射剂量估算结果见表 12-1。

表 12-1 工作人员接触废物受照剂量核算

	现有污染物整备受到的外照射剂量 (mSv)	拆卸受到的外照射剂量 (mSv)	核素部件拆解及切割受到的外照射剂量 (mSv)	放射性废物整备受到的外照射剂量 (mSv)	废物转移、运输受到的外照射剂量 (mSv)	退役全过程个人受到的外照射剂量 (mSv)
靶头						
预计工作时间 (h)	/	1.0	/	0.5	2.5	/
附加的外照射剂量 (mSv) - 废靶	/	0.1380	/	0.0690	0.3450	0.5520
回旋加速器						
预计工作时间 (h)	/	60	90	12	4	/
附加的外照射剂量 (mSv) - 回旋加速器	/	0.1248	0.1872	0.0250	0.0084	0.3455
其他零部件						
预计工作时间 (h)	0.5	/	/	/	2.5	/
附加的外照射剂量 (mSv) - 回旋加速器	0.0048	/	/	/	0.0240	0.0288
退役工作人员受照总剂量 (mSv)						0.9263

本次退役整治活动全过程参与人员个人所受到的外照射有效剂量 0.9263mSv。

② 内照射所受剂量估算

a 气溶胶产生量估算

根据《Characterization of Aerosols from Dismantling Work of Experimental Nuclear Power Reactor Decommissioning》(J.Aerosol Sci.,Vol.22 Suppl.1,pp.S747-S750,1991) 及相关经验, 打磨、切割放射性气溶胶产生量为切割打磨量的 10%。

磁铁以下磁铁上表面 2cm 深、上磁铁下表面 2cm 深计算磁铁打磨气溶胶产生量为:

$$2 \times (4/6) \times 3.14 \times 55 \times 55 \times 2 \times 8.5/10/1000 = 21.53\text{kg}$$

磁轭以磁轭宽 23.5cm、高 32.5cm 计算, 假设切割刀 3mm 厚, 预计切割 200 次, 则切割气溶胶产生量为:

$$23.5 \times 32.5 \times 0.3 \times 200 \times 8.5/10/1000 = 38.95\text{kg}$$

由上述内容可知, 打磨、切割过程中气溶胶总产生量为 60.48kg。

b 工作人员吸入气溶胶量估算

项目切割、打磨工作均在密闭气帐内进行, 气帐设置有通风量 1000m³/h 的风机保持通风。根据相关资料, 成年男性正常呼吸量约 0.5m³/h, 考虑到工作人员在气帐内属于打磨、切割工作状态, 呼吸量较正常偏大, 保守取值 1m³/h 计, 则每位工作人员呼吸空气量约为气帐内总空气量的 0.1%。工作人员佩戴有 N95 面具, 过滤效率以 95% 计, 则工作人员工作期间吸入的气溶胶量为:

$$\text{吸入磁铁气溶胶量: } 0.1\% \times 5\% \times 21.53\text{kg} = 1.08\text{g}$$

$$\text{吸入磁轭气溶胶量: } 0.1\% \times 5\% \times 38.95\text{kg} = 1.95\text{g}$$

由上述内容可知, 打磨、切割过程中每位工作人员吸入的气溶胶总产生量为 3.03g。

c 吸入放射性总活度估算

按照样品分析中最大比活度计算, 吸入磁铁气溶胶对应的放射性总活度为:

$$^{22}\text{Na: } 1.08\text{g} \times 5.26 \times 10^4 \text{Bq/kg} = 56.81\text{Bq}$$

$$^{54}\text{Mn: } 1.08\text{g} \times 3.06 \times 10^3 \text{Bq/kg} = 3.30\text{Bq}$$

$$^{65}\text{Zn: } 1.08\text{g} \times 6.42 \times 10^3 \text{Bq/kg} = 6.93\text{Bq}$$

$$^{57}\text{Co: } 1.08\text{g} \times 1.54 \times 10^2 \text{Bq/kg} = 0.17\text{Bq}$$

吸入磁铁气溶胶对应的放射性总活度为:

$$^{60}\text{Co: } 1.95\text{g} \times 2.69 \times 10^3 \text{Bq/kg} = 5.25\text{Bq}$$

$$^{54}\text{Mn: } 1.95\text{g} \times 2.25 \times 10^4 \text{Bq/kg} = 43.88\text{Bq}$$

吸入气溶胶对应的放射性总活度为： ^{22}Na : 56.81Bq、 ^{54}Mn : 47.18Bq、 ^{65}Zn : 6.93Bq、 ^{57}Co : 0.17Bq、 ^{60}Co : 5.25Bq。

d 内照射剂量估算

工作人员吸入放射性气溶胶所致的吸入内照射剂量与吸入放射性总活度、吸入剂量转换因子相关，计算公式如下：

$$E_{inh} = L \times DF_{inh}$$

式中：L——吸入放射性总活度，Bq；

DF_{inh} ——吸入剂量转换因子，Sv/Bq，详见表 12-2。

表 12-2 吸入剂量转换因子

核素	肺吸收类别	剂量转换因子 (Sv/Bq) (>17 岁)
^{22}Na	F	1.30×10^{-9}
^{54}Mn	M	1.50×10^{-9}
^{65}Zn	S	2.00×10^{-9}
^{57}Co	S	1.20×10^{-9}
^{60}Co	S	3.10×10^{-8}

根据上述公示计算，工作人员内照射剂量总计为 $3.21 \times 10^{-4}\text{mSv}$ 。

综上所述，项目退役期间，退役工作人员接受到的最大辐射剂量为 0.9266mSv，满足本项目工作人员在退役活动过程中 2mSv 的剂量管理限值。

2、公众成员预期受照剂量

(1) 退役时周围公众

退役时公众成员不进入回旋加速器主机室，不会对公众造成附加剂量。退役过程中对周边公众造成的影响主要为切割、打磨产生的气溶胶排放对周边公众的影响。根据前文计算，项目磁铁打磨气溶胶产生量 21.53kg，磁轭切割气溶胶产生量 38.95kg，打磨、切割过程中气溶胶总产生量为 60.48kg。

项目切割、打磨工作均在密闭气帐内进行，气帐设置有通风量 1000m³/h 的风机保持通风，排放管道连接有 2 级高效空气过滤器，废气经过滤后由加速器主机室现有排风管道排出。

项目 2 级高效空气过滤器设计处理效率均为 99.99%，本次保守取值 99%，则项目磁铁打磨气溶胶排放量 2.15g，磁轭切割气溶胶排放量 3.90g，打磨、切割过程中气溶胶总排放量为 6.05g。

项目退役期间排放的放射性气溶胶量极小，参照工作人员内照射计算方法，在所有排放的放射性气溶胶均被同一公众全部吸收的极端情况下，所造成的内照射剂量总

计也仅为 $6.42 \times 10^{-4} \text{mSv}$ 。因此，公众剂量低于本评价采用的退役过程中公众成员剂量限值 0.1mSv 。

(2) 退役后活动在场所内的公众

根据表 8 章节现状监测结果，乙级非密封放射性工作场所辐射水平低于西安市环境天然辐射水平。且回旋加速器装置处置后，不会对活动在该场所区域的人员产生附加年有效剂量，即附加年有效剂量小于本评价采用的退役过程中公众成员剂量限值 0.1mSv 。

3、退役过程环境影响分析

(1) 废气对环境的影响

项目切割、打磨工作均在密闭气帐内进行，气帐设置有通风量 $1000 \text{m}^3/\text{h}$ 的风机保持通风，排放管道连接有 2 级高效空气过滤器，废气经过滤后由加速器主机室现有排风管道排出。项目 2 级高效空气过滤器设计处理效率均为 99.99%，经过滤后放射性气溶胶排放量仅为 6.05g ，对周边环境影响较小。

(2) 液态废物对环境的影响

项目加速器主机退役过程中需要使用少量清水对地面、员工防护服装、设备表面等进行清洗、擦拭，清洗过程产生得废水经收集桶收集后使用水泥进行集中固化处理，固化后的废物作为极地水平放射性废物整备、暂存后统一运送至陕西省放射性废物库。通过上述处理后，项目退役治理过程中不会产生液态废物，不会导致污染向水中转移。

(3) 噪声对环境的影响

项目加速器主机退役过程中会使用大量的切割机、打磨机等机械设备，这些机械设备在运行期间回产生噪声污染，但项目退役机械全部在加速器主机室内运行，加速器主机室四周墙壁、房顶均为 1.2m 厚混凝土，具有较强的隔声能力，因而项目运行期间对周边声环境影响较小。

(4) 固体废物对环境的影响

项目加速器主机退役过程中产生的放射性固体废物最终由陕西省城市放射性废物库收贮，放射性废物运输将由雅化集团绵阳运输有限公司负责。其余非放射性固体废物直接交由长安医院统一处置。有上述可知，项目固体废物对周边环境影响较小。

事故影响分析

退役过程中可能发生的事故：

(1) 放射性废物被盗

回旋加速器拆解后，含有感生放射性的放射性废物被盗的可能性。

应对措施：为避免此类事故的发生，要切实加强现场安保工作，在原控制室位置设置值班室，设有值班人员 24h 值班，采取房门加锁、注意防盗，并请业主协助现场的安全保卫工作，一旦发现问题采取以下措施：

① 立即封锁现场（加强警戒），报告组长，现场负责人，逐级上报至公安、卫生、环保部门。

② 组织人员调查，从现场→工区→环境（含废品站）携带仪器查找。

③ 组织人员在内部查找，从操作点→贮存地用仪器复查所有经过的地方看是否装错或放错或遗忘。

进行以上工作，直至找到为止，如果经过多方查找仍未发现，通过公安、保卫部门等发动群众继续查找或公告查找，不放过任何疑点和线索。

(2) 零配件在吊装、搬运时发生跌落、倾倒等意外事件时，可能会对现场施工人员造成人体伤害。

应对措施：现场施工人员穿戴好防砸鞋，佩戴安全帽，吊装期间人员远离吊装物品。

(3) 回旋加速器零配件切割过程发生火灾

回旋加速器零配件切割过程中使用热切割技术，在此期间有发生火灾的风险。

应对措施：加强培训，周边铺设防火材料，现场配置灭火器，做好防火准备。

(4) 去污过程人员受到放射性沾污

在对回旋加速器切割、打磨期间会产生大量金属粉末，现场搭设气胀后，可避免对周边环境的污染，但是可能对人员造成体表沾污，此时分为两种情况：

① 防护服、手套、口罩和面罩等受到污染时，使用小型吸尘器对防护服进行吸尘去污，如果无法去污干净则作为放射性废物处置。对于口罩、手套等则直接作为放射性废物处置，直接装入废物桶内；

② 人员体表，如面部收到污染时，使用中性去污剂对面部进行清洁直至去污干净，期间使用专用擦拭布进行擦拭，擦拭布最终作为放射性废物处置，直接装入废物

桶内。

表 13 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

北京国原新技术有限公司与西安江原安迪科正电子有限公司一起成立西安安迪科公司回旋加速器退役项目事故应急组织机构，主要分为应急领导小组、应急办公室、应急救援组和应急监测组。其主要职责如下：

1、应急领导小组

北京国原新技术有限公司与西安江原安迪科正电子有限公司成立西安安迪科公司回旋加速器退役项目事故应急领导小组，西安江原安迪科正电子有限公司总经理任应急领导小组组长，西安江原安迪科正电子有限公司技术负责人、北京国原新技术有限公司总经理和技术负责人、安全负责人和现场实施的负责人任副组长。应急领导小组具体职责为：

- (1) 负责西安江原安迪科公司内部应急机构的联系；
- (2) 在项目实施过程中，与操作人员保持联系；
- (3) 事故发生时，按事故应急预案规定的报告制度向相关监管部门报告；
- (4) 协调应急响应行动，必要时，派应急救援组等去现场处理事故。

2、应急办公室

- (1) 具体组织和实施应急救援行动；
- (2) 协调应急工作人员分工协作；
- (3) 特定的条件下非常规性操作的安全性评估；
- (4) 协助紧急事件/事故的调查工作；
- (5) 必要时请求当地环保、公安、卫生和交通等相关部门给予支持。

3、应急救援组

- (1) 向领导小组报告安全隐患和不安全设备；
- (2) 根据应急指令积极参与紧急救援工作；
- (3) 开展紧急事件应急救援知识培训。

4、应急监测组

- (1) 负责确认事故性质和类型；
- (2) 负责事故现场及周围辐射及污染水平监测，根据监测结果划分安全警戒范围，严禁无关人员进入，并及时向应急领导小组报告；

(3) 向应急救援人员配发个人剂量计，严格检查出入污染区域人员、车辆、设备的污染情况，并作好记录；

(4) 负责指导放射性物质污染事故的去污和放射性废物处理工作。

5、后勤保障组

(1) 负责后勤保障工作；

(2) 负责提供应急的应急工具、消防物资及劳动保护用品；

(3) 负责事故现场清理工作。

应急领导小组成员名单及相关单位联系方式详见表 13-1。

表 13-1 应急领导小组成员名单及相关单位联系电话

应急组织	联系人	移动电话
领导小组组长	孟炜豪	18691858777
领导小组副组长	伍晶	15002919977
	李航	13810328442
	陈洪涛	13911383670
	何荣华	18611525722
应急办公室	王凯	18911155335
	姜海英	18810131162
应急监测组	郭建雄	13581929580
	张振涛	18301511770
后期保障组	赵春培	13811833954
	朱俊英	13718056203

二、辐射安全管理规章制度

西安江原安迪科正电子技术有限公司已制订相应辐射防护管理制度，由辐射安全管理领导小组全面负责公司的辐射安全监督和管理工作，机构内部职责明确，且该机构设有专职管理人员负责。根据拟退役加速器退役要求，北京国原新技术有限公司与西安江原安迪科正电子技术有限公司制订了一系列现场管理制度，包括：辐射安全管理制度、安全保卫制度、对退役实施单位监管制度、消防安全应急措施等。

1、辐射安全管理制度

(1) 认真执行国家有关放射性安全防护的各项法律法规。

(2) 严格执行回旋加速器退役方案，配置辐射防护设备。

(3) 工作人员按要求进行辐射安全防护，所有操作人员必须持证上岗。

(4) 工作人员进入工作场所时需佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(5) 对退役工作现场和周围环境剂量进行监测，做好记录。

(6) 对现场工作人员做好个人档案记录。

2、安全保卫制度

(1) 在实施退役过程中，设专人 24 小时值班，若发生紧急事件时，值班人员应及时通知有关负责人。

(2) 加速器主机房周围设置灭火器、沙子等灭火器材，以加强退役现场的安全管理。

(3) 切割、打磨过程采取必要的防火措施，防止火灾事故发生；

(4) 严格控制退役工作场所周围存放易燃易爆品。

(5) 按要求对上岗工作人员进行安全督导，所有工作人员要持证上岗。

(6) 每日设置专职的安全监督员，安全监督员切实履行职责，按要求检查回旋加速器退役记录，督促操作人员认真执行操作规程，并做好相关记录。

(7) 现场工作与休息值班期间如遇到外来人员未经批准进入现场予以制止无效者，应迅速通知现场负责人和西安安迪科公司负责人，必要时报警求助。

(8) 当天工作完成后，必须关闭屏蔽门以后，现场人员才可以撤离，夜间值班人员在值班时应关好门窗，锁紧房门。发现不明人员潜入发出警告无效时，应迅速移动到安全区域并拨打现场负责人或现场其他工作人员的电话请求支援，并及时拨打 110 报警。现场负责人或现场工作人员应在接到电话后 30 分钟内赶到现场支援。

(9) 对放射性废物货包进行 24 小时看管，防止丢失。一旦发现丢失事故，立即向主管部门和当地公安机关报告，并积极组织力量进行查找。

3、业主单位对退役实施单位监管制度

(1) 西安安迪科公司回旋加速器退役整体委托有北京国原公司进行实施，实施单位负责对回旋加速器实施退役及场地验收，使得现场达到无限制开放。

(2) 实施单位负责制定合理的退役方案，并按方案制定的计划认真落实。

(3) 实施单位要执行国家、地方的各项退役管理制度。

(4) 实施单位要严格遵从退役导则，切实的为用户考虑，不能违反法律约束，不能违背道德理念，遵守我单位各项管理制度。

(5) 实施单位要受地方环保部门、公安部门以及我单位的监管，及时的将现场情况反映给各监管部门，不得隐瞒，不得伪造现场事实。

(6) 实施单位要对现场情况做好记录，及时的将现场情况反映给我所安全领导小

组。

(7) 实施单位对整体退役过程负全部责任，要服从监督管理部门的监管，对退役提出合理的技术规范。

(8) 对实施单位的工作记录进行检查，发现问题随时沟通汇报。

4、消防安全应急措施

(1) 防止用电功率不当或电路接触不严引起火灾发生，当使用大功率电器时要由电工进行电路负载验证并由电工亲自连接。一旦发生火灾要首先断电，然后再采取各种方式及时灭火。

(2) 现场配备灭火器、沙袋，并摆放在便于取得的位置，现场施工人员必须了解灭火器的使用方法及使用条件，以便发生火灾时及时灭火。

(3) 一旦发生火灾规模过大，现场工具不能有效灭火时要将现场有爆炸危险的物品搬运到安全位置，在火势没有波及的部分喷水提高湿度，防止火势蔓延，并拨打 119 火警电话请求消防部门灭火。

三、辐射工作人员培训情况

根据北京国原新技术有限公司保证，所有操作测量、管理人员均应在主管部门和质保组的监督下进行操作技术、辐射安全，防火，用电等项目进行培训，考核合格方可上岗。

本项目参与退役的工作人员均已参加辐射安全与环境保护培训，并取得辐射安全与防护培训合格证书。见附件。项目主要参加人员分工见表 13-1。

表 13-1 本项目主要参加人员分工

序号	姓名	职称	工作内容	备注
1	李航	正研	应急领导小组现场负责人	中级 B1823012
2	陈洪涛	工程师	项目负责人	中级 B1911181
3	何荣华	高工	安全负责人	中级 B1922080
4	徐奉保	工程师	现场负责人	中级 B1911183
5	王凯	高工	辐射监测，方案制定	中级 B1823013
6	姜海英	高工	应急准备、技术支持	中级 B1823015
7	刘玉柱	工程师	技术支持	中级 B1823014
8	张天爵	正研	技术支持	/
9	王哲	高工	技术支持	/
10	郭建雄	工程师	拆解	中级 B1823016
11	王大伟	/	拆解	中级 B1823018
12	王凤祥	/	切割	中级 B1823019
13	孙成军	/	废物整备	中级 B1823020

续表 13-1 本项目主要参加人员分工

序号	姓名	职称	工作内容	备注
14	宋国忠	/	切割	中级 B1823021
15	王凤龙	/	现场值班及周边辅助工作	/
16	段高基	/	安全防护现场监测, 应急监测	FS20BJ1001186
17	李德晓	/	安全防护现场监测, 应急监测	FS20BJ0300096
18	赵春培	工程师	后勤支持	FS21BJ2300452

四、辐射监测

1、退役过程中监测

“边治理边监测、监测指导施工”是放射性退役场所施工的基本要求,环境监测贯穿施工的全过程,是为了保证退役整治工程范围内的放射性废物和受污染物全部清理干净,确保不会对环境造成二次污染。

主要监测内容应当包括: γ 辐射剂量率监测、主机室墙面、地面与器材表面 β 表面污染监测、施工人员个人剂量监测、包装外 γ 辐射剂量率监测、运输工具外表污染物监测的监测等内容。

(1) 辐射防护监测

① 采用便携式 γ 剂量率仪对操作现场进行实施监测,了解工作岗位的实际外照射水平。

② 使用 β 表面污染监测仪对工作场所进行监测,确定污染场所的范围。

③ 进入放射性区域的工作人员必须佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计,并建立工作人员职业照射剂量档案。

④ 工作人员操作结束后及时进行淋浴。

⑤ 本工程实施完成后,对退役终态环境进行详细监测。

⑥ 对放射性废物包装容器进行监测,确保达标后方可进行运输。

(2) 工作人员个人剂量监测

工作人员在施工过程中应佩戴个人剂量计,个人剂量值应每季检测一次,如果个人累积剂量超过 5mSv ,应调换工作岗位。个人剂量监测结果应长期保存。

(3) 包装外 γ 辐射剂量率监测

确保包装要满足坚固、耐久、安全、经济的要求,且包装后用仪器对 γ 辐射剂量率进行监测,监测结果必须满足相关规定要求。在运输过程中,要确保安全达到目的地,不出现泄漏,不丢失,包装不受损,工作人员和公众所接受的剂量低于管理值。

(4) 运输工具外表污染物监测

运输工具外表污染物监测主要是为了防止运输工具表面沾染了放射性污染物，或者运输工具在运输过程中将沾染在表面的放射性污染物遗落在运输沿途。在运输过程中应安排专人对整个运输过程进行监管，对运输工具进行监测。

2、退役后场所监测

场所退役后，建设单位委托有资质的单位对场所及周围环境进行终态监测，监测内容主要包括：

(1) 场所环境 γ 空气吸收剂量率检测

监测因子： γ 空气吸收剂量率；

监测范围：工作场所墙外 30cm 处、工作场所各个相关房间内、相关设备和物品表面，以及人员经常驻留的位置。

(2) 表面污染监测

监测因子： α 、 β 表面污染；

监测范围：地面、墙面、场所内设备表面。

辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强放射性同位素和射线装置安全管理工作，保障辐射相关工作人员和公众人员的健康安全，使环境受到辐射污染程度控制在标准允许范围之内。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）及其其它相关法律、法规的规定和管理部门要求，北京国原新技术有限公司已建立回旋加速器退役项目事故应急组织机构。

北京国原新技术有限公司编制的《西安江原安迪科正电子技术有限公司 IBA 18MeV 回旋加速器退役项目实施方案》中关于应急方案主要包括下列内容：

(1) 应急组织机构及职责；

(2) 事故、事件的处理原则；

(3) 处置过程可能发生的事故、时间预测、分析及应急措施；

针对本项目退役过程，公司应结合工作的实际情况对应急预案做补充修改，使之更能符合退役实际需要。

表 14 结论与建议

结论

(1) 西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET 放射性药物生产与销售核技术应用退役项目位于西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院西北角地下一层，因回旋加速器装置无法满足生产需要，已于 2018 年 11 月停用，现拟将乙级非密封放射性工作场所及回旋加速器装置实施退役，达到无限制开放使用的要求，符合辐射实践正当性原则的要求。

(2) 本项目主要环境问题：由于拟退役回旋加速器装置局部污染，在退役期间将对放射性工作人员、公众以及周围环境造成影响。

(3) 退役过程中辐射环境影响：退役过程中对工作人员造成的最大个人有效剂量远小于工作人员的剂量约束值 2mSv/a；对公众造成的剂量其影响基本可以忽略不计。

(4) 场址退役后，其场址内放射性核素对环境的影响是满足相关法规要求，能够满足无限制开放的要求。

(5) 安全管理措施：在退役过程中，北京国原新技术有限公司采取的安全防护措施能够有效防止人员误入而受到照射，可能发生的其他事故不会对环境造成污染；北京国原新技术有限公司成立了西安安迪科正电子技术有限公司回旋加速器退役项目事故应急组织机构，同时设专职人员负责退役过程中的辐射安全与环境保护管理工作，其管理措施满足法规要求。

综上所述，西安江原安迪科正电子技术有限公司 PET 放射性药物生产与销售核技术应用退役项目，在落实报告中提出的辐射防护措施、各项规章制度、监测计划的前提下，退役过程中和退役后场所残留的放射性核素对环境的影响能够满足国家法规和标准的要求，从辐射环境保护角度上分析，本项目是可行的。

建议和要求

(1) 工程设计与施工必须高标准、严要求，工程设计、实施中应坚持放射性废物减量化、最小化的原则，严防放射性污染扩大；

(2) 进一步完善退役活动的应急预案，确保在发生事故能及时启动应急预案并应急响应；

(3) 退役过程中，严格按照退役实施方案执行，做好退役过程中的辐射防护措施和监测。

(4) 应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高其自身安全防护意识，避免辐射事故的发生。

(5) 退役工作结束后，按生态环境部门有关要求，按时进行终态验收，经验收合格后，场所方可开放。

表 15 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日