

目录

表 1 项目基本情况	1
1.1 核技术应用目的	1
1.2 单位简介	2
1.3 项目由来	2
1.4 编制目的	3
1.5 原有核技术项目环保手续履行情况	4
1.6 本次环评项目概述	9
表 2 放射源	19
表 3 非密封放射性物质	19
表 4 射线装置	20
表 5 废弃物	22
表 6 评价依据	23
表 7 保护目标与评价标准	25
7.1 评价范围	25
7.2 环境保护目标	25
7.3 评价标准	26
表 8 环境质量和环境现状	29
表 9 项目工程分析与源项	32
9.1 低能电子束系统工作原理	32
9.2 低能电子束系统操作流程	33

9.3 源项分析以及污染途径.....	34
表 10 辐射安全与防护.....	36
10.1 辐射防护屏蔽设施.....	36
10.2 辐射安全措施.....	36
10.3 防护用品及其它.....	37
表 11 辐射环境影响分析.....	39
11.1 施工期环境影响分析.....	39
11.2 运行期辐射环境影响分析.....	39
11.3 辐射防护措施评价.....	42
11.4 工作场所分区管理.....	42
11.5 剂量估算.....	43
11.6 项目选址、布局合理及实践正当性分析.....	44
11.7 辐射环境影响评价.....	45
11.8 非辐射环境影响分析.....	45
11.9 事故影响分析.....	46
表 12 辐射安全管理.....	49
12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置.....	49
12.2 辐射安全管理规章制度.....	49
12.3 辐射工作人员配置与防护知识考核.....	50
12.4 个人剂量检测与职业健康检查.....	50
12.5 辐射监测.....	50
12.6 辐射事故应急.....	51

12.7 环保投资和环保验收.....	52
表 13 结论与建议.....	55
13.1 结论.....	55
13.2 要求.....	56
13.3 建议.....	57

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西安交通大学低能电子束系统应用项目			
建设单位		西安交通大学			
法人代表	王树国	联系人	段玉岗	联系电话	13609187679
注册地址		陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号			
项目建设地点		陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港力行楼（2 号巨构）内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 （万元）	1450	项目环保投资 （万元）	35	投资比例 （环保投资/总投资）	2.41%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	19.36
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"/> 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"/> 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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			
	<p>1.1 核技术应用目的</p> <p>为了使树脂基复合材料在 3D 打印过程中实现打印制件的原位固化，西安交通大学机械学院拟在沣西新城中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内安装 1 台低能电子束系统，并为其配套建设一座固定式屏蔽室，根据</p>				

课题组项目实验需要，定期对该电子束系统进行开机操作，目前屏蔽室和低能电子束系统均未建设安装。

1.2 单位简介

西安交通大学是我国最早兴办、享誉海内外的著名高等学府，是国家教育部直属重点大学，1955年中央决定交通大学内迁西安；1956年起师生分批迁赴西安；1957年分设为交通大学西安、上海两个部分，实行统一领导；1959年，交通大学西安部分定名为西安交通大学，同年被列为全国十六所重点大学之一。2000年国务院决定将西安交通大学、西安医科大学、陕西财经学院三校合并，组成新的西安交通大学。目前，学校涵盖理、工、医、经、管、文、法、哲、教、艺等10个学科门类的综合性研究型大学，设有26个学院、9个本科书院和20所附属教学医院。现有教工6285人，学生42379名，现有兴庆、雁塔、曲江和中国西部科技创新港四个校区，占地面积约8000亩，各类建筑总面积约420万平方米。而中国西部科技创新港以“国家使命担当、全球科教高地、服务陕西引擎、创新驱动平台、智慧学镇示范”为目标，在4个领域上建立了8大平台、29个研究院和300多个科研基地，将服务学科交叉、军民融合等国家重大科学研究，服务学生创新能力培养、科技成果转化和经济社会发展，主动探索21世纪现代大学与社会发展相融合的新模式、新形态和新经验。

1.3 项目由来

因西安交通大学机械学院课题组重点科研项目实验需要，需对3D打印过程中的树脂复合材料进行固化，为此，西安交通大学拟购买一套低能电子束系统，利用电子束系统发射的高能电子束流高速撞击树脂基复合材料，使树脂分子吸收能量后形成如离子、电子、自由基及激发态的原子或分子等活性种，从而引发树脂发生聚合交联反应而实现固化。

低能电子束交联固化具体工艺为：在金属底板（钨钢或不锈钢材料）上，分层铺放纤维增强树脂基复合材料预浸带，单层厚度为0.2-0.4 mm，每铺放完成一层后，利用电子束发射器发射电子束流，引发该层预浸带内树脂基体产生聚合交联反应而固化，循环上述过程即实现边铺放成型边辐射固化的复合材料增材制造工艺。在上述工艺过

程中，由于被加速的电子束流会穿过树脂材料打到金属底板或膜具上，金属板或膜具主要为高原子序数材料，在被电子束流轰击过程中，会伴随产生轭致辐射（即 X 射线，X 射线为本项目的主要源项。因此，为了保证实验正常有效进行，确保实验人员及周边人员的安全，西安交通大学计划在沣西新城中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内配套建设 1 座固定式屏蔽室，并在屏蔽室内安装 1 台低能电子束系统，用于材料的固化实验研究。本项目正常实验出束时，该系统均放置于屏蔽室内，人员隔室进行操作，整个实验过程中均不涉及屏蔽室外作业。

由于在《射线装置分类》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会总局 2017 年第 66 号公告）分类表中未查找到与之对应的射线装置类型，因此，根据低能电子束系统的工作原理、照射途经、源项种类（X 射线）以及工作电压（最大 200kV）、电流（最大 20mA）等方面考虑，从保守角度估计，本项目低能电子束系统对周围环境所造成的辐射影响程度与同等电压的工业 X 射线探伤机基本相同。综上所述，本项目参照《射线装置分类》相关要求，将低能电子束系统按 II 类射线装置进行考虑，对其屏蔽室的屏蔽防护能力估算参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T-250-2014）进行考虑，屏蔽室的各项辐射安全设施参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）进行考虑。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，须对该项目进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）相关要求，本项目属于“五十五、核与辐射—172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置”的核技术应用项目，应编制环境影响报告表。为此，2020 年 11 月，西安交通大学正式委托核工业二〇三研究所对学校新增的低能电子束系统应用项目进行环境影响评价。接受委托后，核工业二〇三研究所立即组织专业技术人员对项目场地及周围环境进行实地调查，收集相关基础资料，根据国家的有关环保法规和《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/T10.1-2016），编制完成了《西安交通大学低能电子束系统应用项目环境影响报告表》。

1.4 编制目的

（1）通过对西安交通大学现有的核技术利用情况进行调查分析、资料收集，明确交通大学现有的核技术利用项目情况以及周边辐射环境现状，查明是否存在辐射环境问题。

(2)通过对本项目低能电子束系统拟建地进行监测,明确项目拟建地辐射环境现状。

(3)通过对本项目低能电子束系统运行过程中辐射环境影响进行理论估算,确定其对周边环境的影响程度和范围,分析拟采取辐射防护措施的有效性,并提出合理的意见与建议。

(4)满足国家和地方生态环境主管部门对建设项目环境管理规定,为生态环境主管部门和学校的辐射环境保护管理提供科学依据。

1.5 原有核技术项目利用情况

1.5.1 原有核技术项目环保手续履行情况

根据学校提供的资料,2008年,西安交通大学委托陕西椿源辐射咨询服务有限公司对本单位核技术应用项目(包括核工程与核技术学院放射性实验室、综合物理实验室用于物理教学实验和多相流实验室密度计使用的放射源、生命科学与技术学院使用的骨密度仪及校医院使用的X光诊断机)进行环境影响评价,编制了《西安交通大学核技术应用项目辐射建设项目环境影响报告表》;2008年4月1日,西安市环境保护局对该项目进行了批复(陕环批复〔2008〕70号文);同年,西安交通大学办理了《辐射安全许可证》,证书编号为“陕环辐证〔00076〕”;2012年6月,西安市环境监测站对该项目进行了竣工环保验收监测,2013年4月12日,西安市环境保护局出具竣工验收批复(市环批复〔2013〕128号)。

2013年1月,西安交通大学为新购买的46枚标准放射源和环境标准样品填报了《核科学与技术系学科“985工程”三期教学实验室建设环境影响登记表》,向西安市环境保护局申请审批;1月15日,西安市环境保护局对该项目进行批复(市环批复〔2013〕23号)。

2018年1月,西安交通大学重新向省环保厅申请辐射安全许可证,批准后的许可证号为陕环辐证[00076],许可种类为:使用IV、 类密封放射源,使用Ⅲ射线装置,

丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2023 年 1 月 22 日。

根据《辐射安全许可证》，西安交通大学许可使用的放射源、非密封放射性物质、射线装置分别见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

(1) 许可的密封放射源

表 1-1 许可使用的 87 枚密封放射源

序号	核素	类别	活度 (Bq) ×枚数	活度种类
1	²⁴¹ Am	IV类	1.11×10 ⁹ ×4	使用
2	¹³⁷ Cs	类	1.82×10 ⁵ ×2	使用
3	²¹⁰ Pb	类	7.4×10 ⁴ ×1	使用
4	¹³⁴ Cs	类	3.7×10 ⁴ ×1	使用
5	未知	类	1.85×10 ⁸ ×1	使用
6	²⁴¹ Am	类	3.7×10 ⁴ ×2	使用
7	¹³⁷ Cs	IV类	1.51×10 ⁹ ×1	使用
8	Sr/Y	类	2.25×10 ⁷ ×1	使用
9	Sr/Y	类	2.25×10 ⁶ ×1	使用
10	Sr/Y	类	1.20×10 ⁷ ×1	使用
11	Sr/Y	类	4.5×10 ⁵ ×1	使用
12	Sr/Y	类	4.5×10 ⁴ ×1	使用
13	⁶⁰ Co	类	3.44×10 ⁷ ×1	使用
14	⁶⁰ Co	类	5.55×10 ⁶ ×1	使用
15	未知	类	3.7×10 ⁸ ×1	使用
16	¹³⁷ Cs	类	3.7×10 ⁴ ×6	使用

17	^{60}Co	类	$1.85 \times 10^8 \times 1$	使用
18	^{137}Cs	类	$7.62 \times 10^8 \times 1$	使用
19	^{137}Cs	类	$6.29 \times 10^8 \times 1$	使用
20	$^{226}\text{Ra/Be}$	类	$1.85 \times 10^{10} \times 1$	使用
21	多核素校准源	类	$3.7 \times 10^4 \times 1$	使用
22	多核素校准源	类	$3.7 \times 10^4 \times 2$	使用
23	^{241}Am	IV类	$1.11 \times 10^9 \times 1$	使用
24	^{134}Cs	类	$3.7 \times 10^7 \times 1$	使用
25	^{239}Pu	IV类	$6 \times 10^8 \times 1$	使用
26	^{241}Am	IV类	$4.44 \times 10^9 \times 1$	使用
27	Sr/Y	类	$2.25 \times 10^5 \times 1$	使用
28	^{60}Co	类	$1.7 \times 10^7 \times 1$	使用
29	^{239}Pu	类	$6 \times 10^6 \times 1$	使用
30	^{239}Pu	类	$6 \times 10^4 \times 1$	使用
31	Sr/Y	类	$3.7 \times 10^7 \times 4$	使用
32	^{137}Cs	类	$3.7 \times 10^8 \times 2$	使用
33	^{241}Am	类	$7.4 \times 10^7 \times 5$	使用
34	未知	IV类	$1.11 \times 10^9 \times 1$	使用
35	^{60}Co	类	$1.11 \times 10^5 \times 5$	使用
36	^{125}I	类	$1.85 \times 10^9 \times 1$	使用
37	Sr/Y	类	$9 \times 10^6 \times 1$	使用

38	Sr/Y	类	$6.75 \times 10^5 \times 1$	使用
39	^{60}Co	类	$3.7 \times 10^7 \times 1$	使用
40	Sr/Y	类	$3.7 \times 10^4 \times 2$	使用
41	$^{226}\text{Ra}/\text{Be}$	IV类	$9.25 \times 10^9 \times 1$	使用
42	^{137}Cs	IV类	$1.11 \times 10^9 \times 1$	使用
43	^{137}Cs	类	$4.44 \times 10^8 \times 1$	使用
44	^{210}Pb	类	$3.7 \times 10^4 \times 1$	使用
45	^{241}Am	类	$3.7 \times 10^8 \times 1$	使用
46	^{137}Cs	类	$3.7 \times 10^8 \times 3$	使用
47	^{129}I	类	$9.25 \times 10^5 \times 1$	使用
48	^{226}Ra	类	$1.17 \times 10^8 \times 1$	使用
49	^{241}Am	IV类	$1.85 \times 10^9 \times 1$	使用
50	Sr/Y	类	$4.5 \times 10^6 \times 1$	使用
51	^{239}Pu	类	$6 \times 10^7 \times 1$	使用
52	^{239}Pu	类	$6 \times 10^5 \times 1$	使用
53	^{137}Cs	类	$7.4 \times 10^4 \times 4$	使用
54	^{60}Co	类	$1.85 \times 10^5 \times 2$	使用
55	^{137}Cs	类	$6.07 \times 10^8 \times 1$	使用
56	^{137}Cs	类	$1.628 \times 10^8 \times 1$	使用
57	^{241}Am	类	$1.85 \times 10^8 \times 1$	使用

(2) 许可的非密封放射性物质

表 1-2 许可的非密封放射性物质统计表

序号	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所名称	核素所对应的场所等级	活动种类
1	²³⁴ U	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
2	未知	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
3	⁸⁵ Sr	6×10 ³	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
4	²³² Th	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
5	²²⁹ Th	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
6	未知	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
7	²³⁸ U	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
8	⁹⁰ Sr	6×10 ⁴	6×10 ⁷	全球环境变化研究院	丙	使用
9	²³⁵ U	6×10 ²	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
10	²³⁶ U	6×10 ⁴	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
11	²³⁷ Np	6×10 ⁴	6×10 ⁷	全球环境变化研究院	丙	使用
12	²³⁰ Th	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用
13	²³³ U	6×10 ⁵	6×10 ⁶	全球环境变化研究院	丙	使用

(3) 许可的射线装置

表 1-3 许可的射线装置

序号	装置名称	装置数量	类别	活动种类
1	X 线骨密度仪	1 台	Ⅲ类	使用
2	医用 X 光机	2 台	Ⅲ类	使用

1.5.2 辐射管理现状

根据建设单位提供的资料，西安交通大学已成立了以学校主要领导为组长，项目负责人为成员的辐射安全管理机构。

目前，西安交通大学现有 8 名辐射工作人员均已取得合格证书。2019 年 9 月，西安交通大学委托西安志诚辐射环境检测有限公司对其核技术应有项目辐射环境进行了监测，同时出具了监测报告（报告编号：XAZC-JC-2019-075 号）。监测结果表明：西安交通大学曲江校区实验楼外空地 X、γ 辐射剂量率测量范围为（0.06~0.09）μSv/h，实验室工作场所各监测点位 X、γ 辐射剂量率测量值范围为（0.06~0.12）μSv/h；各监测点位

β 表面污染测量值范围为(0.21~0.52) Bq/cm², α 表面污染未检出。监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中附录 B 表 B11 “工作场所的放射性表面污染控制水平”中相关要求。

学校已给辐射工作人员配备了个人剂量计, 定期送检, 并建立个人剂量档案。根据学校提供的辐射工作人员个人胸章剂量计 2020 年个人剂量检测结果(检测单位: 陕西新高科辐射防护技术服务有限公司), 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中职业人员剂量限值要求。学校已安排辐射工作人员到核工业 417 医院进行年度职业健康检查, 并建立了职业健康监护档案, 根据学校 2020 年度辐射工作人员体检报告, 目前学校现有辐射工作人员职业健康体检均合格。

1.6 本次环评项目概述

1.6.1 项目简况

项目名称: 西安交通大学低能电子束系统应用项目

建设单位: 西安交通大学

建设地点: 陕西省西咸新区沣西新城中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内

建设内容: 安装 1 台低能电子束系统, 配套建设固定式屏蔽室 1 座

建设性质: 新建

项目投资: 1450 万

1.6.2 项目交通地理位置

西安交通大学西部科技创新港位于陕西省西咸新区沣西新城, 由西安交通大学与西咸新区联合建设, 总占地面积 23 平方公里, 建设用地面积 10.5 平方公里。创新港由核心区与产业区构成, 核心区约 5000 亩, 从功能上分为四大板块, 即科研板块、教育板块、转孵化板块和综合服务配套板块。本项目拟建地位于西部科技创新港科研板块内, 项目所在地地理位置优越, 交通便利, 路网发达, 南侧距离 G30 连霍高速较近,

约 850m，北侧紧邻河堤路，东侧紧邻地铁 5 号线，西靠西梧桐路。

西安交通大学低能电子束项目拟建地地理位置图见图 1-1。

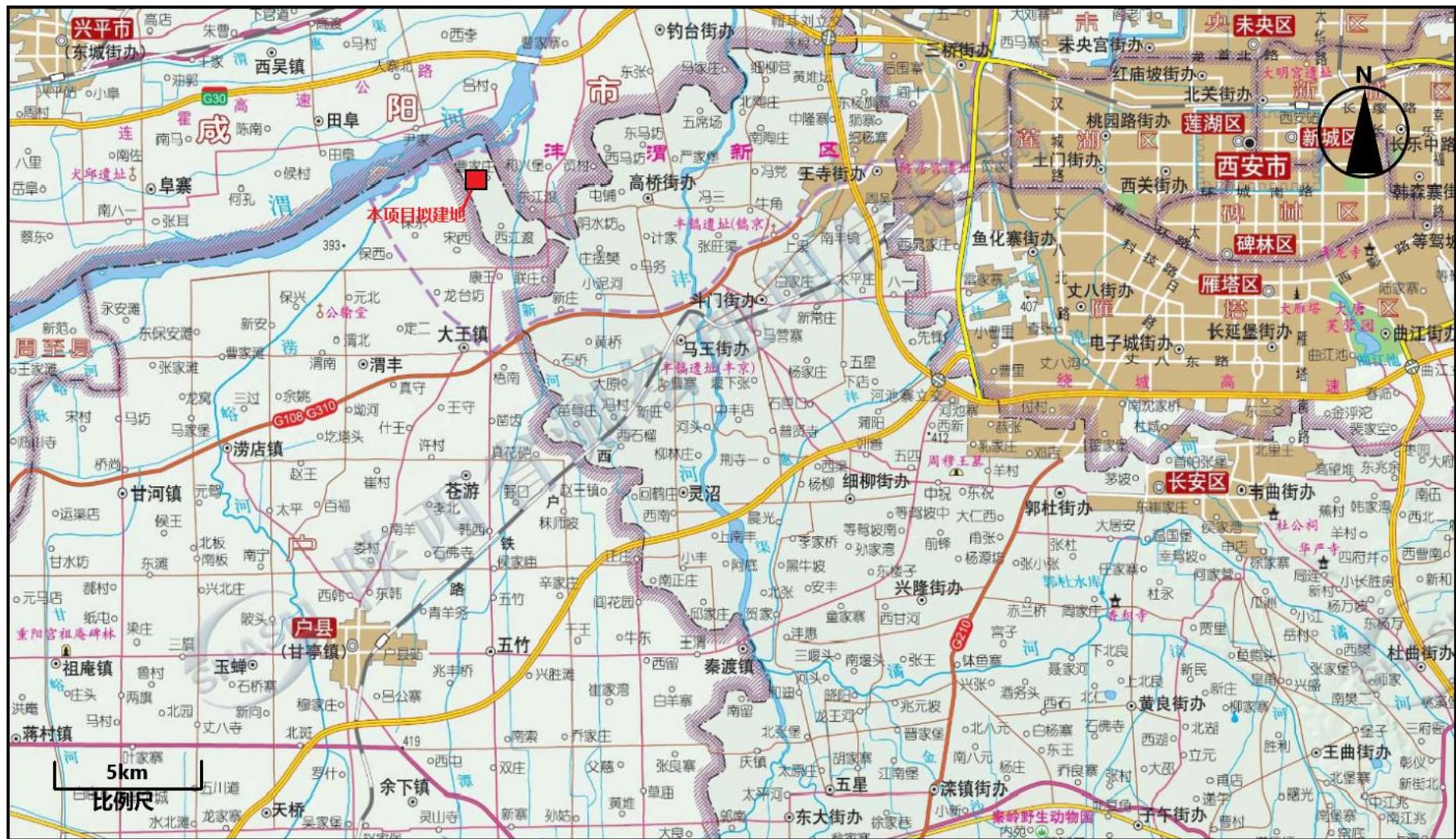


图 1-1 西安交通大学低能电子束项目拟建地交通地理位置图

1.6.3 西部科技创新港平面布局

西安交通大学低能电子束项目拟建地所在的西部科技创新港平面布局见图 1-2。

西部科技创新港由核心区与产业区构成，共包括了 51 栋巨构、160 万平方米建筑，共含有 29 个研究院、8 个大型仪器设备共享平台和 300 多个科研机构。目前入驻的研究院所包括：高端装备研究院、电气科学与技术研究院、能源科学与技术研究院、电子信息科学研究院、材料科学与工程研究院等 29 个院所。本项目拟建地位于力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内，该车间归属于高端装备研究院。



图 1-2 西部科技创新港平面布局图

1.6.4 本项目拟建地四邻关系

本项目拟建地位于西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内，根据现场调查，本项目所在车间的四邻关系为：车间北侧紧邻格非路，道路以北为创新港图书资料中心，距离为 140m；车间以东为东梧桐路，距离为 12m，道路以东为待建空地；车间以南为徐汇路，道路以南为能源科学与技术学院，距离约为 200m；车间以西为力行楼、躬行楼；车间距离地铁 5 号线约 580m。

本项目拟建地所在车间的四邻关系见图 1-3。



图 1-3 本项目拟建地所在车间四邻关系图

1.6.5 车间总平面布置情况

本项目主要位于智能制造装备与系统公共平台车间内，该车间总平面局及屏蔽室周围关系情况见图 1-4。由图可知，本项目所在车间内总体划分为六个工作区域，分别为高端与智能制造装备区、高性能成形工艺区、智能制造系统与产线区、高速高效加工工艺区、精密加工工艺与装备区、其它工艺区。本项目屏蔽室拟建地位于该车间东北角位置，该区域属于高速高效加工工艺区。本项目在运行期间，整个车间内不涉及现场作业，低能电子束系统运行实验过程均在屏蔽室内进行。屏蔽室屏蔽墙体外评价范围区域主要包括车间内其它实验平台、力行楼部分办公区域和车间外道路。

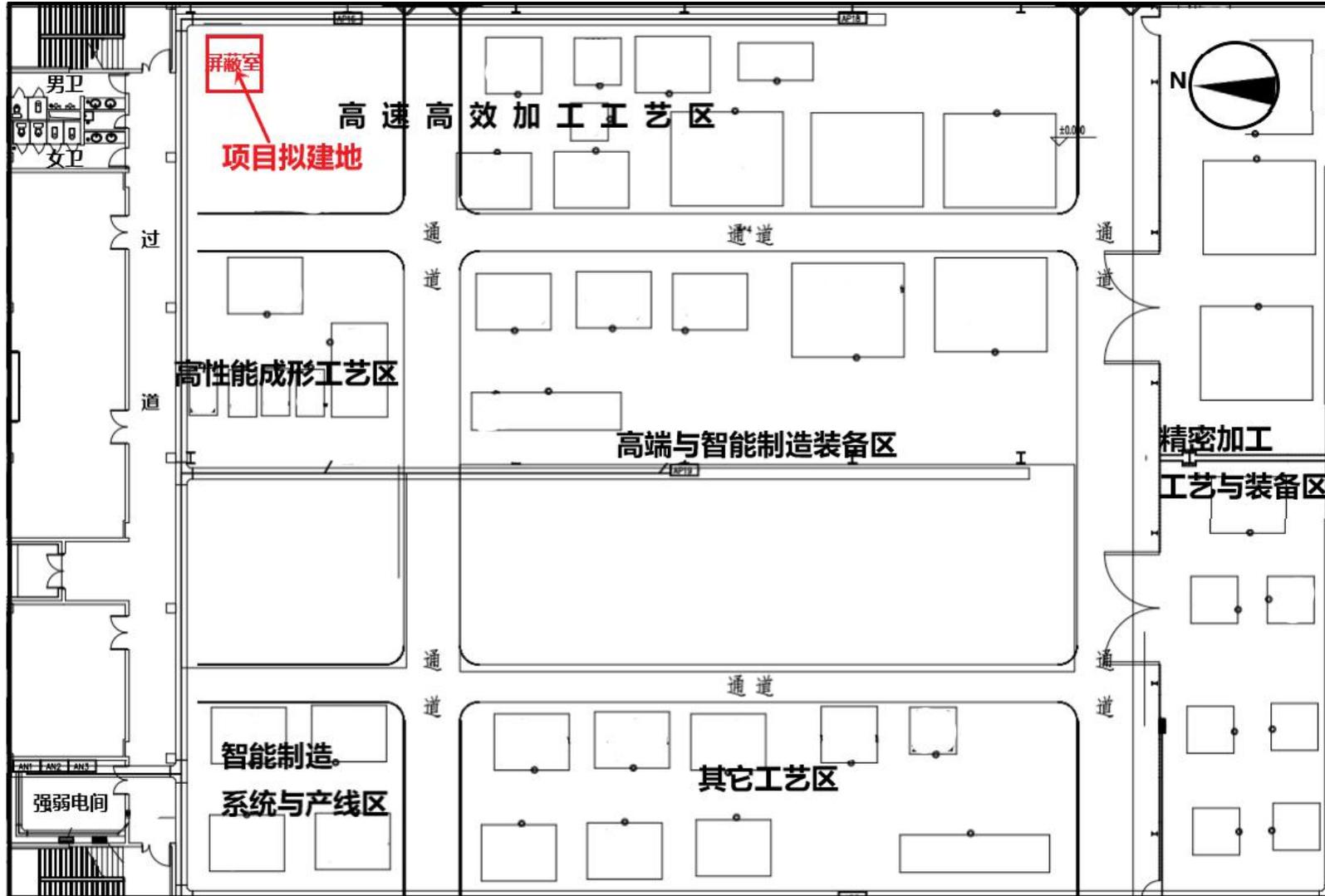


图 1-4 本项目所在车间总平面局及屏蔽室周围关系情况

1.6.6 项目建设内容与规模

(1) 本项目射线装置应用情况

为了使树脂基复合材料在 3D 打印过程中实现打印制件的原位固化，西安交通大学拟在沣西新城中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内安装 1 台低能电子束系统，用于材料的辐照固化研究，并为其配套建设一座固定式屏蔽室，用于该系统的辐射安全防护。根据学校提供资料可知，该低能电子束系统型号为 ebeam Engine EBE-200，电压范围为 80~200kV，电子束灯管最大功率为 4kW，最大电流为 20mA，该射线装置相关技术参数一览表见表 1-4。

表 1-4 西安交通大学低能电子束系统应用项目射线装置技术参数一览表

序号	名称	型号	技术指标		最大功率	电子束灯管幅宽	厂家	安装位置
			最大管电压	最大管电				
1	低能电子束系统	ebeam Engine EBE-200	200kV	20mA	4kW	270mm	COMET 公司	智能制造装备与系统公共平台车间

(2) 固定式屏蔽室平面布局情况

本项目拟在智能制造装备与系统公共平台车间内配套建设固定式屏蔽室，用于低能电子束系统的辐射安全防护，根据设计资料可知，本项目屏蔽室外部尺寸为 4.4m（长）×4.4m（宽）×3.16m（高），内部净尺寸为 4m（长）×4m（宽）×3m（高）；屏蔽室所用材料均为硫酸钡板，四周墙体厚度为 200mm，屏蔽室顶部厚度为 160mm；防护门同样采用硫酸钡板，厚度为 200mm，防护门位于屏蔽室的南侧。本项目对工作场所实行分区管理，将屏蔽室四周屏蔽墙体以内区域划分为控制区，将与屏蔽室四周墙体相邻区域划分为监督区。

本项目固定式屏蔽室平面布局图及分区管理情况见图 1-5。

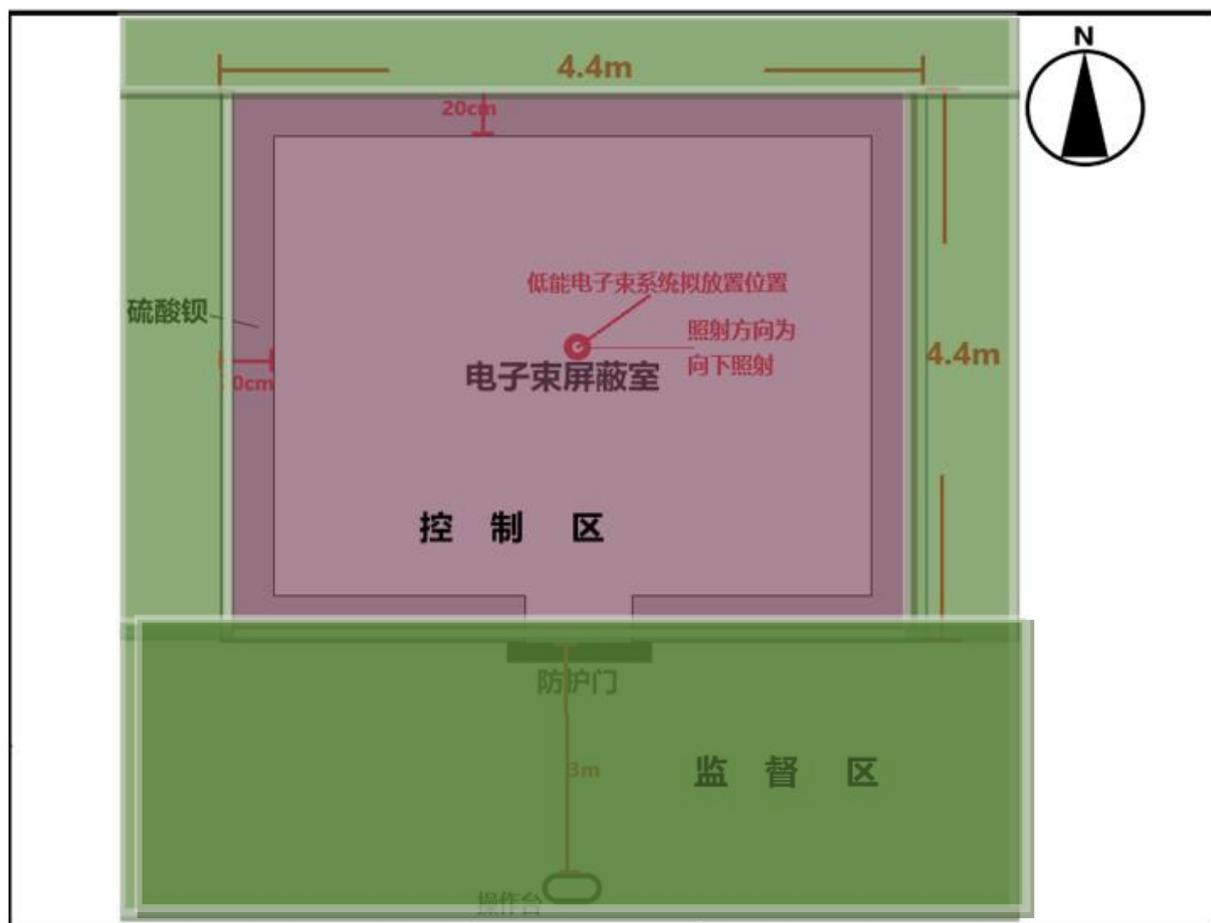


图 1-5 本项目固定式屏蔽室平面布局图

由图 1-5 可知，本项目低能电子束屏蔽室由屏蔽墙体和防护门组成，材料均为硫酸钡板，操作台位于屏蔽室外正南方 3m 处，电子束系统拟安装在屏蔽室中心位置，出束方向主要为向下照射。在进行实验照射时，主要利用该低能电子束系统产生的高能电子束流高速撞击树脂基复合材料使树脂分子吸收能量后形成如离子、电子、自由基及激发态的原子或分子等活性种，从而引发树脂发生聚合交联反应而实现固化，整个实验过程中，操作人员位于屏蔽室外的操作台进行隔室操作。

(3) 人员编制及工作制度

根据西安交通大学提供的资料可知,学校为本项目低能电子束系统实验项目拟新增实验操作人员 3 人,根据实验项目需要,该低能电子束系统预计每周开机一次,每次开机时间为 3h,全年预计使用 10 个月,则预计年开机时间为 120h。

1.6.7 项目组成及产生的环境问题

西安交通大学低能电子束系统应用项目主体工程主要由固定式屏蔽室组成,项目组成以及产生的环境问题见表 1-5。

表 1-5 项目组成以及产生的环境问题

名称	建设内容与规模		产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	智能制造装备与系统公共平台车间	屏蔽间建筑面积 19.36m ² , 层高 3.16m, 四周屏蔽墙体为 20cm 硫酸钡板、顶部为 16cm 硫酸钡板, 防护门采用 20cm 硫酸钡板进行防护。	施工粉尘、噪声、施工废水、施工垃圾	电子、X 射线、少量臭氧和氮氧化物
公用工程	在屏蔽室内安装排风系统, 风机排风量 250m ³ /h;			/
办公及生活设施	辐射工作人员产生生活垃圾, 依托学校现有生活垃圾收集桶, 统一交环卫部门进行处置; 人员产生的生活污水依托学校现有的污水收集管网进行收集后统一处理。			生活垃圾 生活污水

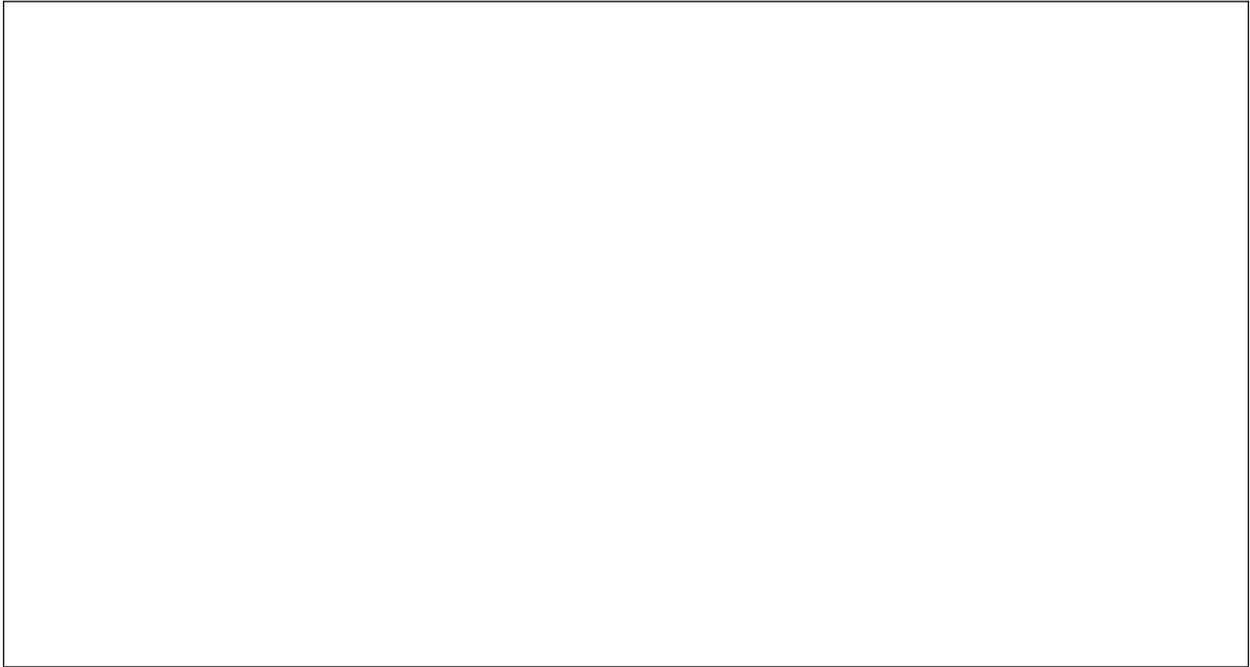


表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大操 作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 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

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率(Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	低能电子束系统	II类	1	ebeam Engine EBE-200	200	20	实验研究	智能制造装备与 系统公共平台车 间内屏蔽室	

(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	最大靶电	中子强度	用途	工作场所	氙靶情况	备注

					电压(kV)	流(μ A)	(n/s)			活度(Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物

名称	状态	核素 名称	活 度	月排放 总量	年排放 总量	排放口 浓度	暂存情况	最终去向
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度，年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<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》(修订)，2003 年 6 月 28 日；</p> <p>(4)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)(生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行)；</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2019 年 8 月 22 日修订；</p> <p>(6)《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 日实施；</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院 449 号令，2005 年 12 月 1 日；</p> <p>(8)《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》，环境保护部环发〔2008〕13 号，2008 年 4 月 14 日；</p> <p>(9)《射线装置分类》(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>(10)《陕西省放射性污染防治条例》(修正)，2019 年 7 月 31 日；</p> <p>(11)《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，2018 年 6 月 6 日。</p> <p>(12)《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/T10.1-2016)，2016 年 4 月 1 日；</p>
------	---

<p>技 术 标 准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (3)参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015); (4)参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽设计规范》(GBZ/T250-2014)及修改单; (5)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001); (6)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单;</p>
<p>其 它</p>	<p>附件 1: 西安交通大学低能电子束系统应用项目环评委托书;</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目低能电子束系统的内容与规模，考虑射线装置的类型、能量、照射类型、辐射影响范围，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/T10.1-2016) 要求，结合项目能量流污染特征与距离关系，确定本项目的评价范围为：以屏蔽室屏蔽墙体外 50m 范围作为评价范围。

本项目低能电子束系统屏蔽室评价范围见图 7-1。

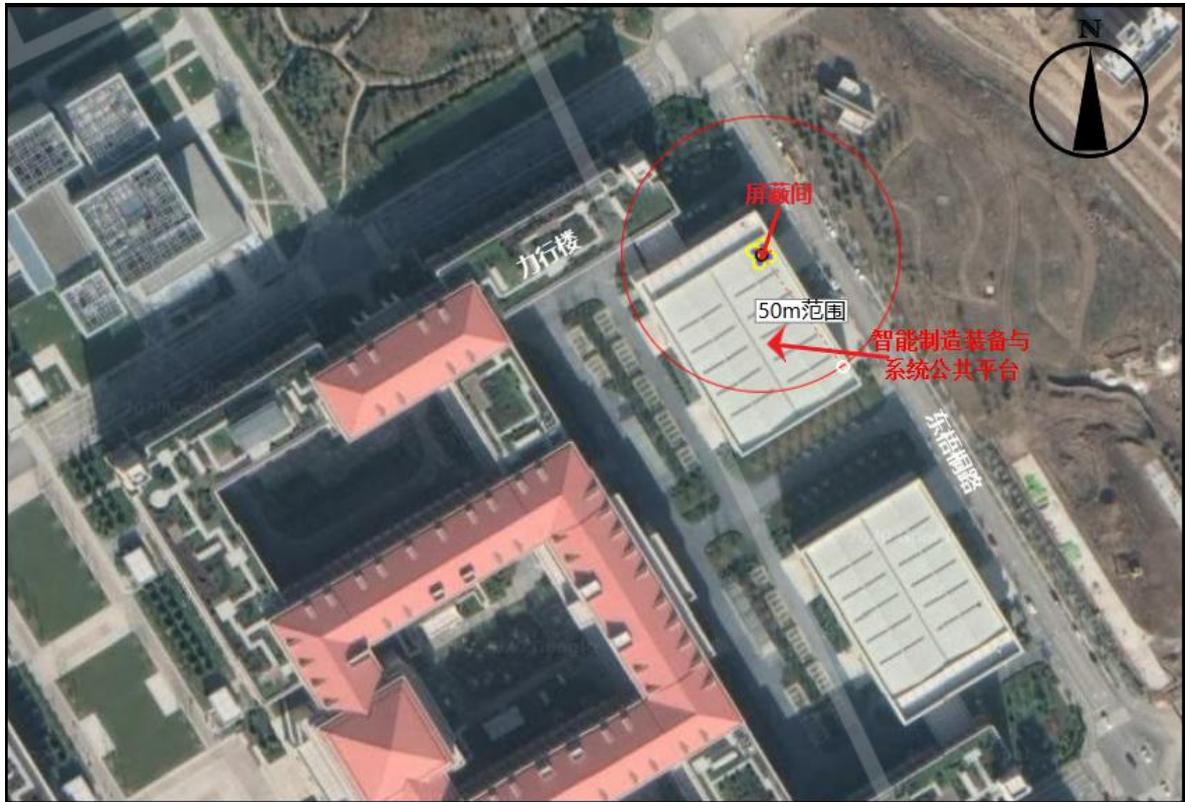


图 7-1 本项目低能电子束系统屏蔽室评价范围

7.2 环境保护目标

根据西安交通大学低能电子束系统配套建设的屏蔽室位置以及周围建筑物、人群分布情况(图 1-3、图 1-4)，结合电子束系统工作原理，考虑能量流的传播随距离的平方成衰减关系，确定本项目环境保护目标主要为低能电子束系统实验操作人员以及在本项目工作场所附近停留的其它工作人员，使其所接受的剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的剂量限值和评价提出的剂量约束值。

本项目主要环境保护目标一览表见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

序号	工作场所	保护目标名称		规模	相对位置关系		影响因素	年有效剂量约束值	
					方位	最近距离			
1	智能制造装备与系统公共平台车间	职业人员	低能电子束系统实验操作人员	3 人	S	5.2 m	电子束产生的 X 射线	≤2mSv	
		公众		高性能成形工艺区工作人员	4 人	S		10.2m	≤0.1mSv
				智能制造系统与产线区工作人员	4 人	S		34.2m	≤0.1mSv
				高端与智能制造装备区工作人员	3 人	SE		15m	≤0.1mSv
				高速高效加工工艺区其它工作人员	3 人	E		10.2m	≤0.1mSv
				精密加工工艺与装备区工作人员	2 人	E		49m	≤0.1mSv
				其它工艺区人员	4 人	SE		50m	≤0.1mSv
2	其它区域		力行楼内人员	20 人	NW	35m	≤0.1mSv		
3			路边偶然停留其它人员	30 人	N、E	15m	≤0.1mSv		

备注：表中保护目标距离以屏蔽室屏蔽墙体外作为起点进行计算

7.3 评价标准

(1) 剂量限值

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。

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”，保守估计，本项目公众评价取标准限值的十分之一作为剂量约束值，即对公众成员取 0.1mSv 作为剂量约束值。

对于职业人员，考虑该项目实际情况，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，即对辐射工作人员取 2mSv 作为剂量约束值。

（2）剂量当量率控制水平

参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）相关要求：

1、屏蔽室墙和入门口的辐射屏蔽应同时满足：

a) 人员在关注点的周剂量参考控制水平，对职业工作人员不大于 100 μ Sv/周，对公众不大于 5 μ Sv/周；

b) 关注点最高周剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h。

2、屏蔽室顶部的辐射屏蔽应满足：

对不需要人员到达的屏蔽室顶，屏蔽室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取 100 μ Sv/h。

参照上述标准要求，本项目低能电子束系统屏蔽室屏蔽墙体和防护门处最高周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

（3）屏蔽室相关规定要求

参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）相关规定：

1、屏蔽室的设置应充分考虑周围的放射安全，操作室应与屏蔽室分开并避开有用线束照射的方向。

2、应对工作场所实行分区管理，一般将屏蔽室屏蔽墙体围成的内部区域划为控制区，与屏蔽墙体相邻区域为监督区。

3、屏蔽室应设置门-机联锁装置，并保证在门关闭后该电子束装置才能进行出束辐照。门打开时应立即停止该电子束的出束，关上门不能自动开始电子束照射。门-

机联锁装置的设置应方便屏蔽室内部的人员在紧急情况下离开屏蔽室。

4、屏蔽室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号应持续足够长的时间,以确保屏蔽室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别,并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。

5、照射状态指示装置应与低能电子束系统装置联锁。

6、屏蔽室内、外醒目位置处应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

7、屏蔽室防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

8、屏蔽室内应安装紧急停机按钮或拉绳,确保出现紧急事故时,能立即停止照射。按钮或拉绳应当带有标签,标明使用方法。

9、屏蔽室内应设置通风装置,排风管道外口避免朝向人员活动密集区,每小时有效通风换气次数应不小于3次。

表 8 环境质量和环境现状

本项目辐射环境质量现状数据由西安交通大学委托核工业二〇三研究所分析测试中心对项目拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2020 年 11 月 9 日，监测地点为项目拟建区域、智能制造装备与系统公共平台车间内、力行楼、车间外道路等点位，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)等有关要求进行监测。

1、监测因子

X- γ 辐射空气吸收剂量率

2、监测点位

监测点位分别布设在屏蔽室拟建场地、智能制造装备与系统公共平台车间内、力行楼内、车间外道路等位置，监测点位布置情况详见图 8-1。

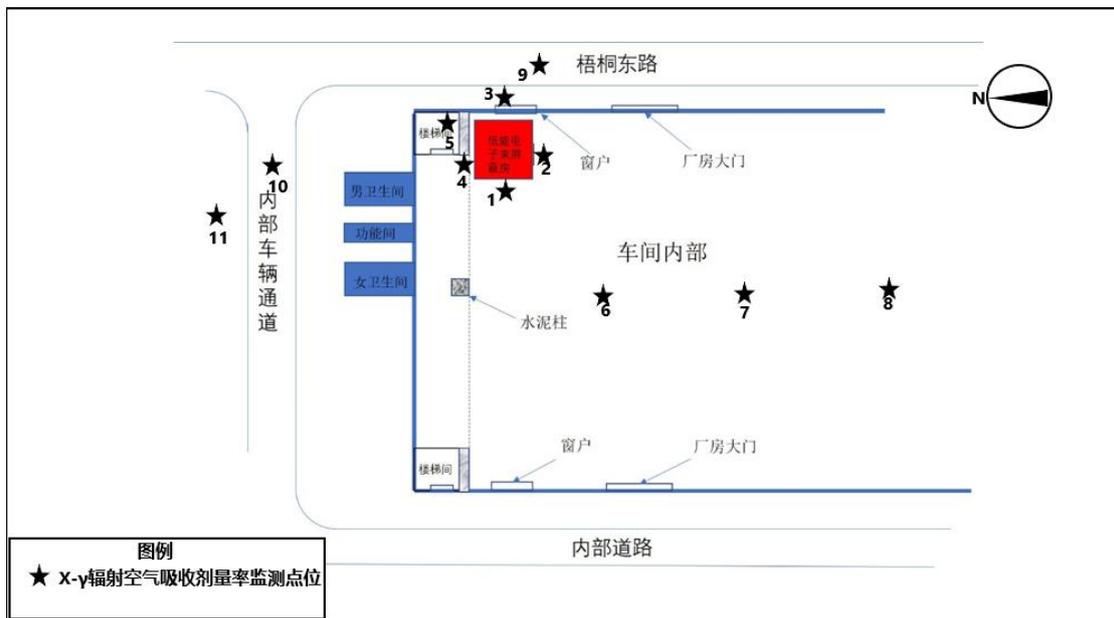


图 8-1 本项目屏蔽室拟建地监测布点图

3、监测概况

(1) 监测日期

2020 年 11 月 9 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，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器、测量范围、监测方法及校准情况

项目	监测方法	仪器名称及型号, 出厂编号	测量范围	校准单位	校准证书编号	校准证书有效期
X-γ辐射空气吸收剂量率	《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)、《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)	AT1123 便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪, FHP032-2019	50nSv/h~10Sv/h	中国测试技术研究院	校准字第 202005003286	2020.5.14 ~ 2021.5.13

(3) 质量保证

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)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。

4、辐射环境质量现状

本项目拟建区域及周边辐射环境质量现状监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目拟建地辐射环境质量现状监测结果

序号	监测点位	X、γ辐射空气吸收剂量率 (nSv/h)		备注
		监测范围	均值	
1	拟建屏蔽室西侧墙体外	98~107	104	巡测
2	拟建屏蔽室南侧墙体外	77~95	85	
3	拟建屏蔽室左侧墙体外	93~101	97	
4	拟建屏蔽室北侧墙体外	102~110	106	
5	屏蔽室外楼梯间	91~104	96	
6	左间内部北侧巡测	72~99	89	
7	左间内部中部巡测	78~105	91	

8	车间内部西侧监测	81~97	89	
9	梧桐左路监测	68~87	76	
10	车间东辅道路监测	75~89	82	
11	五行楼监测	78~95	87	

备注：1、监测时仪器探头距离地面高度为 1m；2、表中监测结果未扣除宇宙射线响应值；

由表 8-2 监测结果表明，西安交通大学低能电子束系统项目屏蔽室拟建区域 X-γ 辐射空气吸收剂量率监测范围为 77~110 nSv/h；车间内 X-γ 辐射空气吸收剂量率监测范围为 72~105 nSv/h；周边区域及道路 X-γ 辐射空气吸收剂量率监测范围为 68~95 nSv/h；各监测点位与《陕西省环境伽玛剂量水平现状研究》（陕西省环境保护科学研究所，1988 年）中陕西省咸阳市天然环境空气吸收剂量率调查结果基本处于同一范围水平内，为环境本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 低能电子束系统工作原理

低能电子束系统是利用电子束对树脂基复合材料进行原位固化。其工作原理为：利用电子枪中阴极所产生的电子在阴阳极间的高压（25-300kV）加速电场作用下被加速至很高的速度（0.3-0.7 倍光速），经透镜会聚作用后，形成密集的高速电子流。利用该高能电子束流高速撞击树脂基复合材料，使树脂分子吸收能量后形成如离子、电子、自由基及激发态的原子或分子等活性种，从而引发树脂发生聚合交联反应而实现固化。

低能电子束系统主要由电子束灯管、高压电源、高压电缆、冷却器组成。电源及冷却器尺寸为1000×600×800m³，线缆长度为10m，电子束灯管由阴极和阳极组成，加速后的高能电子束流高速撞击树脂基复合材料，在此过程中发生韧致辐射从而产生X射线。由于电子的贯穿能力较弱，电子束能量较低，该项目屏蔽室墙体可以完全屏蔽电子，而X射线具有较强的贯穿能力，因此在开机进行辐照实验工作期间，X射线为低能电子束污染环境的主要污染因子。

本项目低能电子束系统组成示意图见图9-1。

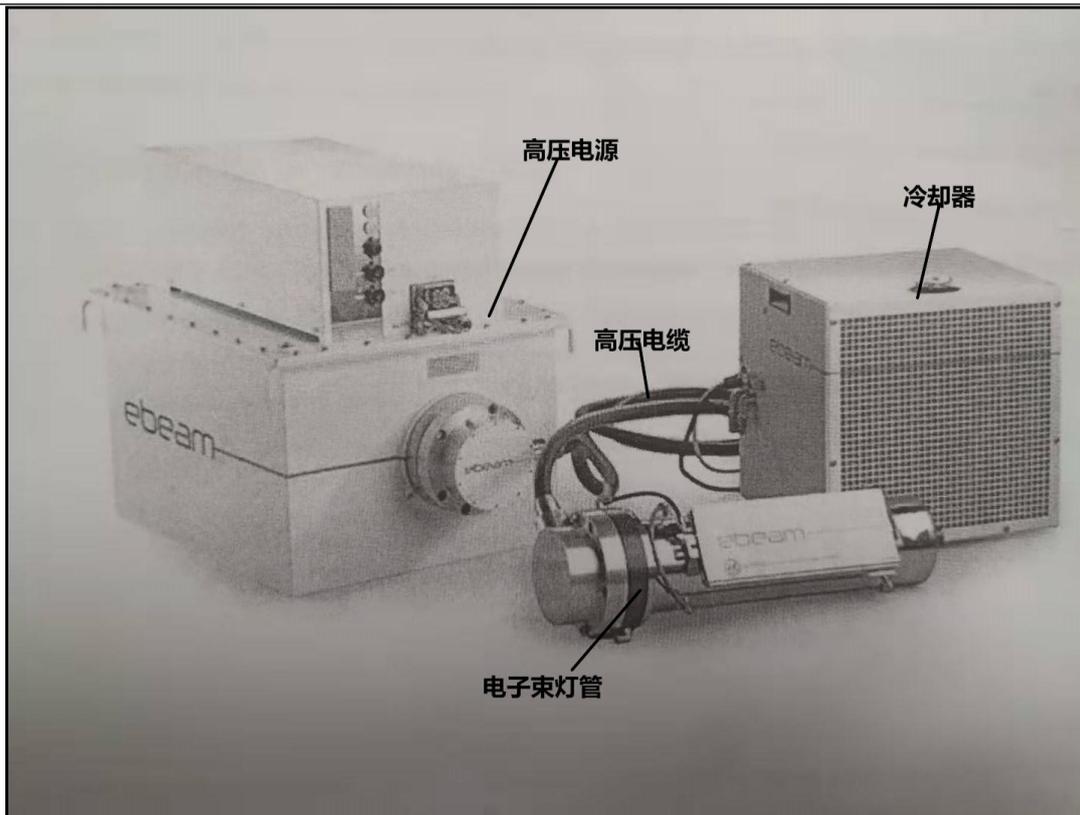


图 9-1 低能电子束系统组成示意图

9.2 低能电子束系统操作流程

根据西安交通大学提供资料提供的资料，本项目低能电子束系统在车间屏蔽室内作业流程为：

首先实验操作人员将原材料添加到打印机中，调节好打印机的打印头位置，待打印头位置确定后，调整电子束灯管出束方向，将电子束方向对准打印头位置；检查无误后，实验操作人员撤离屏蔽室，并关闭屏蔽室防护门；待防护门关闭完成后，在控制台打开冷水机和排气系统；等待冷水机和排气系统正常运行后，开始执行 3D 打印程序，然后，实验操作人员接通低能电子束系统电源，根据实验相关要求调节相应管电压和辐照时间，对打印出的材料进行同步辐照。当 3D 打印程序执行完成后，关闭低能电子束系统电源，与此同时关闭冷水机和排气系统，最后在确保电子束关机后，开启防护门，完成一次辐照实验作业。

西安交通大学低能电子束系统应用项目操作流程及产污环节见图 9-2。

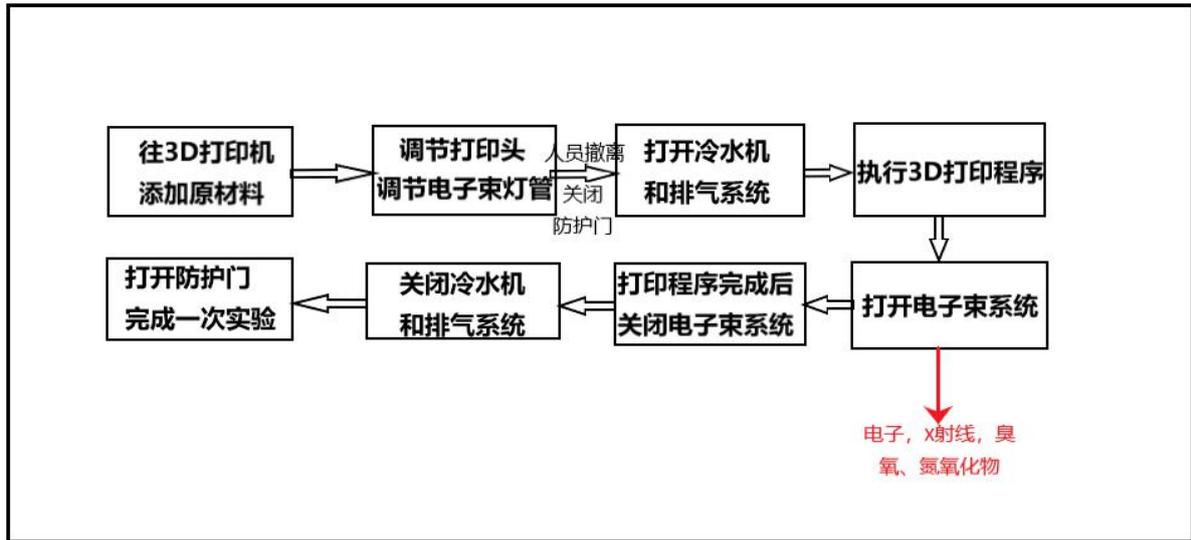


图 9-2 西安交通大学低能电子束系统应用项目操作流程及产污环节图

9.3 源项分析以及污染途径

9.3.1 源项分析

(1) 电子与 X 射线

根据低能电子束系统的工作原理可知，电离辐射污染因子为电子束系统运行时产生的电子束和电子束作用于树脂基复合材料时产生的韧致辐射（即 X 射线）。由于电子的贯穿能力较弱，能量较低，射程较短，该项目屏蔽室墙体可以完全屏蔽住电子，而 X 射线具有较强的贯穿能力，X 射线是随低能电子束的开、关而产生、消失的。本项目所使用的低能电子束，只有在开机并处于照射状态时才会产生 X 射线。因此，在开机照射期间，X 射线成为污染环境的主要污染因子；关机状态下，无 X 射线产生。

(2) 臭氧、氮氧化物

低能电子束系统正常辐照实验时，发生韧致辐射产生的 X 射线会与空气发生电离作用，产生少量的臭氧和氮氧化物，其浓度一般在 $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{mg/m}^3$ 范围内。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高。

9.3.2 污染途径

本项目拟建的屏蔽室位于力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内，屏蔽室墙体及防护门均采用硫酸钡板进行防护。电子束系统出束辐照时，实验操作人员隔室进行操作。实验前，实验操作人员根据实验要求，设置相应管电压、出束时间，并且严格按照相关规程进行操作。因此，本项目运行时，其污染物主要为低能电子束系统所产生的 X 射线，污染途径主要为屏蔽室的屏蔽墙和防护门屏蔽缺陷而导致 X 射线外泄，从而对周边人群、环境产生辐射影响。

本项目在运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，通过在屏蔽室内设置通风装置，将臭氧和氮氧化物抽出至外环境，经空气稀释、自然分解后，基本上不会周边环境产生较大的影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射防护屏蔽设施

西安交通大学已根据低能电子束系统所使用的最大工作参数（管电压、管电流），对车间内屏蔽室的屏蔽墙体以及防护门进行辐射防护屏蔽设计。屏蔽室辐射工作场所已采取屏蔽措施具体如下：

屏蔽室尺寸：长 4.4m、宽 4.4m、高 3.16m，净尺寸为：长 4m、宽 4m、高 3m，四周墙体采用 200mm 厚的硫酸钡板，顶棚采用 160mm 厚的硫酸钡板，防护门采用 200mm 厚的硫酸钡板。

10.2 辐射安全措施

本项目参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 相关规定，计划为低能电子束系统屏蔽室拟采取的辐射安全设施：

- 1、本项目低能电子束系统的操作位置与屏蔽室分开并避开有用线束照射的方向。
- 2、本项目在运行时对实验工作场所实行分区管理，将屏蔽室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁相邻区域划分为监督区。
- 3、本项目屏蔽室设置门-机联锁装置，并保证在门关闭后电子束装置才能进行出束作业。门打开时应立即停止电子束的出束照射，关上门不能自动开始电子束照射。门-机联锁装置的设置应方便屏蔽室内部的人员在紧急情况下离开屏蔽室。
- 4、本项目屏蔽室门口和内部同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保屏蔽室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号有明显的区别，并且与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。
- 5、本项目照射状态指示装置与低能电子束系统装置联锁。
- 6、本项目屏蔽室内、外醒目位置处有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

7、本项目屏蔽室防护门上有电离辐射警告标识和中文警示说明。

8、本项目屏蔽室内安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳应当带有标签，标明使用方法。

9、本项目屏蔽室内设置通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区，每小时有效通风换气次数应不小于3次。

10.3 防护用品及其它

(1) 西安交通大学应为本项目配备1台个人剂量报警仪，实验操作人员按照要求佩戴个人剂量报警仪。进入辐照作业环境时，当辐射水平超过设定的报警水平时，个人剂量报警仪报警，实验操作人员应立即离开屏蔽室，同时阻止其他人员进入屏蔽室，并立即向辐射防护负责人报告。

(2) 西安交通大学应为本项目配备1台便携式X- γ 辐射剂量率监测仪器，仪器每年送有资质单位检定或校准，确保仪器处于正常的工作状态。除此之外，学校还应定期按照监测计划对屏蔽室以及周围人员容易到达位置处进行X- γ 辐射空气吸收剂量率监测、做好监测记录，存档备查。

(3) 西安交通大学应为每名实验操作人员应配备个人剂量计，定期送有资质单位进行检测(每季度送检一次)，随时掌握受照剂量，使实验人员接受到的年附加有效剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关要求。

(4) 西安交通大学应为每名实验操作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。

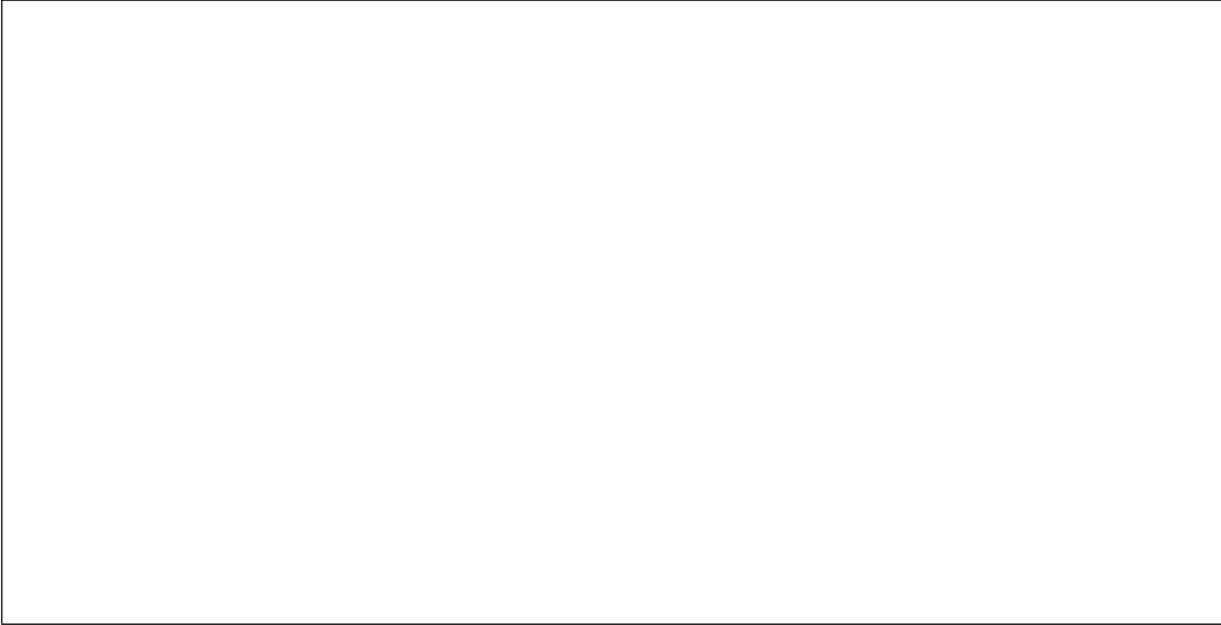


表 11 辐射环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

本项目屏蔽室位于中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内，该车间为 1 层结构。根据设计要求，在车间东北角搭建固定式屏蔽室。在屏蔽室搭建过程中会产生少量的施工废气、施工垃圾和噪声等，施工噪声、施工垃圾、施工废气对环境的影响是短暂的、局部的，随建设过程的结束而消失。

1、施工垃圾

本项目施工垃圾主要是一些废弃钢结构及硫酸钡板材料等，分类收集后堆放于指定地点，其中可回收利用部分进行回收利用，不可回收部分收集后集中处置，严禁随意丢弃。通过上述措施后，该项目产生的施工垃圾可得到合理的处置，对周边环境影响较小。

2、施工噪声

在屏蔽室搭建阶段，会产生不同程度的噪声，对周围环境产生一定的影响，因此在施工时，尽量采用噪声低的设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，使噪声对周围人群影响降到最低。

3、施工废气

本项目在建设过程中会产生少量的粉尘，因此在施工时应保持屏蔽室所在场地及车间内场地具有一定的湿度，并且及时清扫施工场地，通过采取上述措施，从而降低粉尘对周围环境的影响。

11.2 运行期辐射环境影响分析

西安交通大学低能电子束系统应用项目目前尚未开始建设，根据本项目低能电子束系统的工作原理可知，本项目在运行期间，产生的放射性污染物主要为 X 射线。本次参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽设计规范》(GBZ/T250-2014) 相关要求，通过理论估算方法说明本项目低能电子束系统在运行过程中产生的辐射环境影响。

根据学校提供资料可知，本项目低能电子束系统运行时，电子束最大工作电压为 200kV，由此可知，该电子束系统其在辐照实验过程中韧致辐射产生的 X 射线最大电

压不超过 200kV，从保守估计角度，本项目考虑 X 射线屏蔽能力估算时，选取最大管电压 200kV 情况下 X 射线进行理论估算，四面屏蔽墙体、防护门及顶棚均按照有用线束考虑。

11.2.1 辐射防护屏蔽能力理论估算

本次屏蔽室辐射屏蔽能力计算主要参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的公式进行计算，计算公式如下：

(1) 屏蔽透射因子估算

对于给定的屏蔽物质厚度 X，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按下式进行估算

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 (11-1)}$$

式中，TVL—十分之一值层厚度，cm；X 射线辐射通过规定物质时，比释动能率、照射量率或吸收剂量率减小到无该物质时所测量值的十分之一的规定物质的厚度。

X—屏蔽材料实际厚度，cm；

B—辐射屏蔽透射因子；

(2) 有用线束辐射剂量率计算：

$$H = \frac{H_0 \times I \times B}{R^2} \quad \text{公式 (11-2)}$$

式中，B—辐射屏蔽透射因子，无量纲；

I—射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H—关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

对于管电压为 200kV 的 X 射线，参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/250-2014) 附录 B，距靶 1m 处辐射输出量为 $28.7\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，此电压下产生的 X 射线对应的铅值层 $\text{TVL}=1.4\text{mm}$ ；参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 相关要求：各屏蔽墙体及防护门外关注点最高周剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，由此控制限值估算出屏蔽墙体及防护门需要的理论屏蔽厚度，

估算结果见表 11-1 所示。

表 11-1 本项目屏蔽室辐射屏蔽理论估算表

设备	屏蔽室防护情况			距离 /m	标准限值 /μSv/h	理论估算铅当量/mm	符合性
	位置	具体防护	设计等效铅当量				
低能电子束系统， 型号： ebeam Engine EBE-200	东墙外表面 30cm 处	200mm 硫酸钡	20mm	2.5	2.5	8.9	设计厚度大于理论估算值，符合相关屏蔽要求
	西墙外表面 30cm 处	200mm 硫酸钡	20mm	2.5	2.5	8.9	
	南墙外表面 30cm 处	200mm 硫酸钡	20mm	2.5	2.5	8.9	
	北墙外表面 30cm 处	200mm 硫酸钡	20mm	2.5	2.5	8.9	
	屋顶外表面 30cm 处	160mm 硫酸钡	16mm	2.46	100	6.7	
	防护门外表面 30cm 处	200mm 硫酸钡	20mm	2.5	2.5	8.9	

- 备注：1、根据设计方提供资料，硫酸钡与铅的等效换算为 1：10；
 2、本项目屏蔽室顶部人员不可达到，故标准限值按 100μSv/h 考虑；
 3、本次计算时，低能电子束系统按放置于中间位置考虑；
 4、保守估计，X 射线最大电压按电子束系统最大电压 200kV 考虑。

本项目选择距屏蔽四面墙体表面 30cm 处以及周边人员停留处作为关注点，从保守估计角度，本项目按与电子束系统同等电压的 X 射线屏蔽能力进行估算。估算时 X 射线最大电压为 200kV，最大电流为 20mA，四面屏蔽墙体、防护门及顶棚均按照有用线束考虑。结合屏蔽室实际设计厚度，根据公式 11-1、公式 11-2 计算得到各关注点剂量率，计算结果见表 11-2。

表 11-2 屏蔽室外各关注点辐射剂量率计算结果

序号	关注点	类别	距离 (m)	屏蔽厚度mm (铅当量)	剂量率 (μSv/h)
1	东墙外表面30cm处	有用线束	2.5	20	2.85×10^{-8}
2	西墙外表面30cm处		2.5	20	2.85×10^{-8}
3	南墙外表面30cm处		2.5	20	2.85×10^{-8}
4	北墙外表面30cm处		2.5	20	2.85×10^{-8}
5	屋顶外表面30cm处		2.46	16	2.12×10^{-5}
6	防护门外表面30cm处		2.5	20	2.85×10^{-8}
7	实验人员操作位		5.2	20	6.60×10^{-9}
8	高性能成形工艺区		10.2	20	1.71×10^{-9}

9	智能制造系统与产线区		34.2	20	1.53×10^{-10}
10	高端与智能制造装备区		15	20	7.93×10^{-10}
11	高速高效加工工艺区		10.2	20	1.71×10^{-9}
12	精密加工工艺与装备区		49	20	7.43×10^{-11}
13	其它工艺区		50	20	7.14×10^{-11}
14	力行楼		35	20	1.46×10^{-10}
15	东梧桐路		15	20	7.93×10^{-10}

由表 11-2 理论计算结果可知：车间内屏蔽室低能电子束系统在其最大工作状态下，其屏蔽室四周屏蔽墙体、防护门表面、顶棚屏蔽墙体外 30cm 处剂量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足参照标准《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015)“剂量限值”要求。理论估算结果表明，西安交通大学为低能电子束系统配套建设的屏蔽室具有较好的辐射屏蔽能力，满足标准相关屏蔽要求。

11.3 辐射防护措施评价

本项目拟建的屏蔽室为固定式屏蔽室，其屏蔽墙体、防护门已进行设计，该项目目前未进行开工建设。理论估算结果表明，本项目低能电子束系统在其最大工作状态下，屏蔽室的四周屏蔽墙体及顶棚、防护门表面剂量率均小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足参照标准《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 中相关标准限值要求。本项目环评要求：西安交通大学应参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 相关条款要求，落实各项辐射安全设施，防止辐射事故发生。

11.4 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 中有关条款的要求，应将本项目低能电子束系统工作场所划分为控制区和监督区。

控制区：屏蔽室的屏蔽墙体围成的内部区域划分为控制区，低能电子束系统出束时，任何人员不得在该区域内停留；

监督区：将低能电子束系统操作台、与屏蔽室墙体相邻的区域划分为监督区。电子束出束实验时，除实验操作人员外，其他人员应尽量减少在此区域停留时间。

11.5 剂量估算

11.5.1 职业照射剂量估算

西安交通大学在智能制造装备与系统公共平台车间内拟安装 1 台低能电子束系统，用于国家重点项目的实验研究，根据相关要求为其配套建设一座屏蔽室，实验操作人员隔室进行操作。根据本项目电子束系统的工作原理及产污途经，考虑实验研究作业方式、相关工作制度等因素，分析认为：本项目低能电子束系统在运行时职业照射对象主要为实验操作人员。

(1) 理论估算

根据建设单位提供的资料，本项目低能电子束系统在其屏蔽室内每次开机时间为 3h，年开机次数为 40 次，则本系统年累计出束时间为 120h。根据表 11-2 理论估算结果，从保守角度考虑，取实验人员操作位处的剂量率“ 6.60×10^{-9} ”作为本项目实验工作人员停留位置处剂量率。根据低能电子束系统的出束时间、人员停留位置处辐射剂量率、居留因子（取 1）进行剂量估算。

个人年有效剂量计算公式如下：

$$H = \dot{H} \times T \times Q \times 10^{-3} \quad \text{公式 (11-3)}$$

其中，H—职业照射实践所致工作人员个人年附加有效剂量，mSv；

\dot{H} —照射时，工作人员停留处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T—低能电子束系统累计出束时间；

Q—居留因子；

经计算，本项目在低能电子束系统最大工作状态下，所致屏蔽室外实验操作人员最大年附加有效剂量为 $7.92 \times 10^{-7} \mu\text{Sv}$ 。

理论估算结果表明，该项目低能电子束系统运行所致辐射工作人员的年附加有效

剂量小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的年有效剂量基本限值 20mSv 和本次评价 2mSv 剂量约束值。

11.5.2 公众剂量分析

依据表 11-2 剂量率估算结果,考虑公众的停留位置、根据公式 11-3 可计算出本项目所致公众最大附加有效剂量,计算结果见表 11-3。

表 11-3 项目所致公众年附加有效剂量计算结果

对象	序号	关注点	最大剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	曝光时间 h	居留因子	年附加剂量 $\mu\text{Sv/a}$
智能制造装备与系统公共平台车间屏蔽室	1	高性能成形工艺区工作人员	1.71×10^{-9}	120	1	2.05×10^{-7}
	2	智能制造系统与产线区工作人员	1.53×10^{-10}	120	1	1.84×10^{-8}
	3	高端与智能制造装备区工作人员	7.93×10^{-10}	120	1	9.52×10^{-8}
	4	高速高效加工工艺区工作人员	1.71×10^{-9}	120	1	2.05×10^{-7}
	5	精密加工工艺与装备区工作人员	7.43×10^{-11}	120	1	8.92×10^{-9}
	6	其它工艺区	7.14×10^{-11}	120	1	8.57×10^{-9}
	7	力行楼内人员	1.46×10^{-10}	120	1/8	2.19×10^{-9}
	8	东梧桐路边偶然停留其它人员	7.93×10^{-10}	120	1/8	1.19×10^{-8}

由表 11-3 可知,本项目低能电子束系统在屏蔽室内运行时,所致周围公众最大年附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定年有效剂量 1mSv 基本限值和本次评价公众 0.1mSv 剂量约束值。

11.6 项目选址、布局合理及实践正当性分析

11.6.1 选址合理性分析

西安交通大学拟在科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内建设 1 座固定式屏蔽室,并在屏蔽室内安装 1 台低能电子束系统,用于国家重大项目实验研究。开机实验时,低能电子束系统放置于屏蔽室内,操作人员隔室进行操作,对周围环境影响较小。本项目屏蔽室位于车间东北角,避开人员聚集区域,根据

现场调查，本项目在其评价范围内无常住居民，周边人员均为偶然停留，项目拟建地周围无环境制约因素，其选址合理。

11.6.2 平面布置合理性分析

本项目低能电子束系统在配套屏蔽室内进行实验研究，屏蔽室选址有效避免人员聚集区域，整个屏蔽室均采用硫酸钡板进行搭建，整个屏蔽室放置于车间内，电子束系统放置于屏蔽室中央位置，操作台位于屏蔽室外正南方向 3m 处，人员隔室进行试验操作，其平面布置基本合理。

11.6.3 实践正当性分析

本项目主要通过电子束系统产生的电子束对树脂基复合材料进行辐照，使材料在打印过程中实现打印制件的原位固化。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录》(2019 年本) 相关规定，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，本项目符合国家产业发展政策，具有显著的科研和社会效益，符合辐射防护“实践正当性”要求。

11.7 辐射环境影响评价

本项目运行过程中，对周围环境的辐射影响对象主要为低能电子束系统实验操作人员以及周边公众，其所能接受的最大附加年有效剂量分别小于 2mSv、0.1mSv，满足本次评价提出的剂量约束值要求。理论估算结果表明，西安交通大学拟配备的 1 台低能电子束系统在最大工作状态下，屏蔽室的屏蔽墙体、防护门外表面辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h，符合参照标准《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 限值要求。评价认为：西安交通大学低能电子束系统应用项目，对周围环境的辐射影响是可以接受的。

11.8 非辐射环境影响分析

本项目低能电子束系统在出束过程中，韧致辐射产生的 X 射线会电离空气产生少量的臭氧和氮氧化物，从而对周边环境产生一定的影响。本项目屏蔽室设计采用风机

进行排风，其排风量均为 250m³/h，通过排风管道将有害气体（少量臭氧和氮氧化物）排出。经计算，屏蔽室每小时通风换气次数为 5 次，通风换气次数大于 3 次/h，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）规定。

11.9 事故影响分析

11.9.1 事故风险类别识别

据查阅我国辐射事故发生原因和我国不同类别辐射事故情况统计结果，结合本项目低能电子束系统运行的实际情况分析，发生辐射事故的类型主要可以归纳为以下几种情况：

（1）低能电子束系统在屏蔽室内对材料进行照射时，防护门被意外打开，人员误入屏蔽室，使其受到额外的照射；或者防护门未完全关闭，致使 X 射线泄漏到屏蔽室外，给防护门附近活动的人员造成不必要的照射。

（2）工作人员滞留屏蔽室内尚未完全撤出，其他工作人员即开启低能电子束系统，对材料进行照射，导致室内工作人员受到额外的照射。

11.9.2 事故后果分析

由本项目工作流程可知，只有在屏蔽室防护门关闭情况下，才能开启低能电子束系统。一般情况下，不会出现防护门未关闭到位情况。由理论计算可知，本项目电子束系统在屏蔽室内进行辐照实验时，屏蔽室防护门表面处剂量率远小于 2.5 μSv/h，满足标准相关限值。因此，本项目低能电子束系统辐射事故主要考虑人员误入屏蔽室发生误照射事故。从保守角度考虑，本次选取低能电子束系统最大工作电压（200kV）工况下进行计算，距其不同距离、不同照射时间下的辐射剂量。

当电子束系统处于工作状态时，人员与电子束系统处于不同距离时，可根据以下公式进行计算：

$$X = \frac{I \leftrightarrow X_0}{r^2} \quad \text{公式 (11-4)}$$

式中： X_0 —射线装置固定距离 1 米处的输出量， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；

r —计算点距射线装置辐射源的距离， m ；

I —射线装置最大管电流， mA ；

参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附录 B，对于管电压 200kV 的主射线，距靶 1m 处辐射输出量为 $28.7\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，管电流取 20mA，代入公式 (11-4) 进行估算，可估算该电子束系统在工作电压为 200kV 情况下不同距离、不同接触时间下的有效剂量。

表 11-4 工作电压 200kV 下，不同距离、不同接触时间的有效剂量 (mSv)

距离(m) \ 时间 (min)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
1	574.0	255.1	143.5	91.8	63.8	46.9	35.9
2	1148.0	510.2	287.0	183.7	127.6	93.7	71.8
3	1722.0	765.3	430.5	275.5	191.3	140.6	107.6
4	2296.0	1020.4	574.0	367.4	255.1	187.4	143.5
5	2870.0	1275.6	717.5	459.2	318.9	234.3	179.4

由表 11-4 所接受的剂量估算结果可以看出，当低能电子束系统处于出束状态，误入屏蔽室内人员将会接受大剂量辐射照射，可能使受照人员产生严重的放射损伤，其事故类型为一般辐射事故。

11.9.3 事故防范与应急措施

(1) 事故防范措施

为防止项目在运行期间发生辐射事故，学校应做好下列事故防范工作：

1) 学校领导对辐射安全防护应有足够重视。实验操作人员应加强安全意识和岗位责任心，持证上岗，并严格按射线装置的操作规程执行操作。

2) 在操作射线装置时要始终注意安全。操作人员必须对该设备有足够的了解，能够识别任何可能导致危险的故障。

3) 为保证持续安全的操作，应按相关要求对射线装置以及安全设施设备进行定期维护、维修，确保其处于良好的工作状态。

4) 实验开机前，应安排人员对屏蔽室进行查看，确保屏蔽室内无其他人员停留的情况下，且所有防护与安全装置系统都正常运行情况下，方能开始开启低能电子束系统进行辐照实验研究。

(2) 事故应急措施

假若本项目发生了辐射事故，学校应迅速、有效的采取以下应急措施：

1) 发生误照射事故时，操作人员应立即切断电源，将误照人员撤出屏蔽室，关闭机房门，同时向学校主管领导报告。

2) 根据估算的照射剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

3) 一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报生态环境主管部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告，并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

4) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》：使用Ⅱ类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当具有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全和环境保护管理工作。

西安交通大学成立辐射安全和环境保护领导机构，并设置专职或兼职辐射安全管理人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构、机构成员以及相应职责。设置的辐射安全和环境保护领导机构应具备以下职责为：

- (1) 认真贯彻落实国家法律法规的有关规定；
- (2) 对学校使用的射线装置的安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任；
- (3) 组织制定并落实辐射防护相关管理制度；
- (4) 按照国家有关规定，定期组织对射线装置工作场所和设备进行辐射防护监测和年度评估，发现安全隐患的，及时整改、确保设备正常使用、安全有效；
- (5) 组织对放射性操作人员进行辐射与安全防护培训，进行个人剂量检查、职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；
- (6) 制定辐射事故应急预案并定期组织演练；
- (7) 记录学校发生的辐射事故并及时报告环境保护主管行政部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

为了加强本项目辐射安全，不断完善相关的辐射安全管理制度和人员培训，确保射线装置的安全使用及运行。西安交通大学应针对本项目制定制度有：《辐射设备操

作规程》、《辐射防护制度与岗位职责》、《辐射事故预防措施及应急处理预案》、《射线装置及防护设施定期维护、维修制度》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作场所及外环境监测制度》、《辐射工作人员以及辐射管理人员培训制度》、《辐射工作人员个人剂量检测制度》、《辐射工作人员个人健康检查制度》等。

学校应针对本项目低能电子束系统的实际投运情况，不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、监测方案，使其具有更强的针对性和可操作性。

12.3 辐射工作人员配置与防护知识考核

西安交通大学拟为本项目配备辐射操作人员 3 名，根据相关要求，拟配备的人员须经过辐射安全和防护专业知识以及相关法规的考核，取得合格证后，方可从事放射性操作。未经过考核的人员，不得进行放射性操作。

12.4 个人剂量检测与职业健康检查

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，西安交通大学应按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对本项目辐射操作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

12.5 辐射监测

12.5.1 常规监测及检查

(1) 学校应委托有资质的监测单位对本项目低能电子束系统工作场所及其周边环境进行常规监测，每年监测一次。

(2) 辐射操作人员必须佩戴个人剂量计，并定期由有资质单位检测，每季度检测一次，建立个人剂量档案。

(3) 学校应配备至少 1 台 X- γ 辐射剂量率仪器，并使用该仪器定期对电子束系统工作场所以及周边环境进行监测，做好日常监测工作，并将监测数据记录存档保存。

(4) 对本项目射线装置的安全和防护状况每年进行一次安全评估，安全评估报

告对存在的安全隐患及时提出整改方案，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.5.2 特殊监测

(1) 变更监测：当射线装置设备的结构、屏蔽设施、位置发生变更时，及时委托有资质的监测单位进行监测和重新评价。进行监测合格和重新评价后，方可继续使用。

(2) 异常监测：当个人剂量超过年剂量限值、辐射工作场所出现异常情况时，应进行监测，查明原因。发生意外事故，应按辐射事故管理规定，及时监测和处理。

12.5.3 现场监测

本项目监测计划见表 12-1。

表 12-1 辐射监测计划一览表

监测项目	监测点位	监测周期
X- γ 辐射空气吸收剂量率	实验操作人员操作位置	自主监测每月至少 1 次； 委托监测每年一次
	屏蔽室屏蔽墙体及顶棚表面 30cm 处、 防护门及缝隙表面 30cm 处	
	屏蔽室周边人群停留位置以及周边环境	
个人剂量计	辐射操作人员佩戴的个人剂量计	每 3 个月送有资质检测机构检测 1 次
职业健康检查	本项目所有涉及放射性的操作人员	至少每 2 年一次

环评要求：学校应至少配备 1 台 X- γ 剂量率仪器，并定期进行检定，确保仪器处于有效的范围之内，对屏蔽室的屏蔽墙体及防护门表面、工作人员操作位置及周边环境进行日常监测，将监测结果与参考控制水平进行比较，做好日常监测记录，存档备查。当测量值高于参考控制水平时，终止工作并向辐射防护负责人报告。

12.6 辐射事故应急

西安交通大学根据国家相关法律法规要求，应制定《辐射事故预防措施以及应急

处理预案》，用于加强学校对本项目射线装置的安全监管，减少辐射事故的发生，控制或减轻事故后果。制定的应急预案应指明辐射事故分级、应急预案的适应范围、辐射事故的预防措施。并设立辐射事故应急领导小组作为应急响应机构，明确机构组长、成员构成，并说明相关职责；规定辐射事故的报告以及处理程序，明确辐射事故应急处理流程图。同时，应根据国家发布的最新法律法规、标准内容，结合学校实际情况，不断对应急预案补充修改、完善，使应急预案具有操作性、可行性。加强应急预案演练，提高事故应急处置能力。

12.7 环保投资和环保验收

12.7.1 环保投资

西安交通大学低能电子束系统应用项目总投资 1450 万元，核技术项目环保投资为 35 万元，占核技术项目投资的 2.41%，核技术项目环保投资比例适宜。环保投资主要为辐射防护设施购置费用、X-γ剂量率仪器购置费用以及检定费用、辐射操作人员职业健康检查费用和剂量检查费用、环保技术服务费用等。

本项目环保投资一览表见表 12-2。

表 12-2 环保投资一览表

序号	环境保护设施或措施	数量	费用（万元）
1	紧急停机按钮、急停开关、状态指示灯、电离辐射警示标志		3.0
2	门-机联锁装置	1	1.0
3	通风系统	1	1.0
4	X-γ剂量率仪（含检定费用）	1	1.0
5	个人剂量报警仪	1	0.2
6	职业健康检查	3	0.3
7	个人剂量计配备以及检查费用	3	0.5
8	工作场所以及周边环境监测费用		5
9	环评及验收技术服务		8
10	屏蔽室搭建		15
	合计		35

12.7.2 环保验收

西安交通大学低能电子束系统应用项目本次环评完成后，应及时委托有资质的监测机构对其进行环保验收监测，按照环评相关要求，成立辐射安全和环境保护管理机构，配备相应的辐射防护监测仪器进行日常监测，对工作人员进行剂量检测、个人健康检查，参加辐射防护安全考核并取得合格证，制定并完善规章管理制度，及时申请进行环境保护竣工验收，确保该项目辐射防护效果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》有关辐射防护条款要求。

本项目环保验收清单一览表见表 12-3。

表 12-3 环保验收清单一览表

验收项目	验收内容	验收指标
年有效剂量	辐射操作人员、公众年附加有效剂量	辐射操作人员、公众年附加有效剂量分别小于 2mSv、0.1 mSv
屏蔽室外环境剂量率	屏蔽墙体外表面 30cm、防护门表面及缝隙、工作人员操作位置处、屏蔽室周边人群容易到达位置处剂量率	各监测点位处 X- γ 辐射空气吸收剂量率满足 GBZ 117-2015 标准限值要求
分区管理	控制区、监督区划分范围	参照 GBZ117-2015 标准进行划分控制区、监督区

安全设施	屏蔽室：室内安装紧急停机按钮，防护门安装门-机联锁装置，防护门上方和屏蔽室内安装工作状态灯和声音报警装置，防护门表面张贴电离辐射警示标志，屏蔽室内安装排风系统	各安全设施能够正常有效运行，且具备 GBZ117-2015 标准要求的功能
个人防护用品	个人剂量计、x-γ辐射剂量率仪	剂量计根据操作人员进行配备、x-γ辐射剂量率仪≥1 台
辐射安全与环境保护机构	机构是否完整、职责是否明确	机构完整、人员配备到位、职责分明
监测计划	监测项目、频次、监测点位依据表 12-1 中进行制定	监测仪器在有效期范围内，按照监测计划对工作场所及周边环境进行监测
环保管理规章及制度	辐射安全与环境保护领导机构及职责、辐射安全与防护制度、操作规程、辐射设备维护与维修制度、辐射工作人员职业健康体检制度、培训制度等管理制度是否完备	各项辐射环境管理制度依据项目实际情况进行制定，可操作性强、能够较好地贯彻落实。
应急预案	制定辐射事故应急预案，明确应急领导机构和人员职责，明确人员组织与培训、物资准备、应急响应程序、辐射事故报告和处理程序等内容。	应急预案符合项目实际情况，应急预案切实可行，具备可操作性
人员考核	辐射操作人员	经辐射防护和安全考核，持证上岗
剂量档案和职业健康档案	是否建立个人剂量档案、职业健康监护档案	档案是否完整

表 13 结论与建议

13.1 结论

(1) 为了使树脂基复合材料在打印过程中实现打印制件的原位固化, 西安交通大学拟在津西新城中国西部科技创新港力行楼东北方向的智能制造装备与系统公共平台车间内安装 1 台低能电子束系统, 并为其配套建设一座固定式屏蔽室。该项目产生的科研效益远大于辐射影响, 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”要求。

(2) 西安交通大学低能电子束系统配套建设的一座屏蔽室为固定式屏蔽室, 其屏蔽墙体、防护门已按照相关要求设计完成。理论估算结果表明, 本项目在低能电子束系统最大工作状态下, 拟建设的屏蔽室四周屏蔽墙体及顶棚外表面、防护门外表面剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 满足参照标准《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015) 标准限值要求, 本项目屏蔽室能够有效屏蔽 X 射线。

(3) 本项目运行过程中, 对周围环境的辐射影响对象主要为低能电子束系统操作人员以及周边公众, 根据理论估算可知, 本项目运行所致辐射操作人员的年附加有效剂量远小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的年有效剂量基本限值 20mSv 和本次评价 2mSv 剂量约束值; 所致公众最大年附加有效剂量远小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中规定年有效剂量 1mSv 基本限值和本次评价公众 0.1mSv 剂量约束值。

(4) 西安交通大学在对本项目屏蔽室采取了一些有效的辐射安全设施和管理措施后, 项目在充分落实环评相关要求前提下, 该项目可使其对环境的辐射影响降到合理尽可能低的水平, 符合《辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 标准中规定要求和“辐射防护最优化、剂量最小化”原则, 项目采用的辐射防护措施适用、

可行。

综上所述，西安交通大学低能电子束系统应用项目，利用电子束流进行复合材料原位固化，以提高材料质量，项目开展具有积极的意义，符合辐射防护实践正当性原则；项目采取辐射防护措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到了尽可能合理低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则；从辐射环境保护角度，该项目在严格落实各项辐射防护措施情况下，西安交通大学低能电子束系统应用项目，对环境的影响是可以接受的。

13.2 要求

(1) 学校应成立辐射安全与环境保护机构，明确机构成员、职责，并根据本项目电子束系统实际运行情况，制定并完善《辐射安全管理机构及工作职责》、《辐射防护与安全保卫制度》、《射线装置及防护设施定期维护、维修制度》、《辐射工作场所及外环境监测制度》；《辐射工作人员以及管理人员考核制度》、《辐射工作人员个人剂量检测制度》、《辐射工作人员个人健康检查制度》等规章制度。

(2) 低能电子束系统辐射操作人员应加强放射性、辐射防护基础知识的学习和考核，持证上岗。

(3) 严格按操作规程操作，每次辐照实验作业前，应仔细检查射线装置，警示标志、紧急停机按钮等安全设施工作状态，确保其处于正常的工作状态。

(4) 学校应配备至少 1 台 X- γ 辐射剂量率仪器，定期对射线装置工作场所及周边环境进行监测，所有监测数据归档备查；

(5) 本项目辐射操作人员应定期进行职业病检查，建立个人职业病健康监护档案；所有辐射工作人员均应配备个人剂量计，每季度检测一次，建立个人剂量档案。

13.3 建议

(1) 西安交通大学在本次环评完成后，应及时向环保主管部门申请办理辐射安全许可证。项目完成后，应委托有资质的监测单位对本项目进行环保验收监测，及时申请对该项目进行环境保护竣工验收。

(2) 加强射线装置安全设施的检修、维护工作、严禁射线装置带故障运行。

(3) 结合学校实际情况，对制定的辐射事故应急预案进行适当的演练，提高应急能力。

