

表 1 项目基本情况

建设项目名称	中陕核（西安）中子科技有限公司 使用中子发生器野外测井核技术利用建设项目				
建设单位名称	中陕核（西安）中子科技有限公司				
建设项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建				
建设地点	测井项目地点：油田测井现场（非固定场所）				
源项	放射源	/			
	非密封放射性物质	/			
	射线装置	2 台II类射线装置			
建设项目环评 批复时间	2026 年 4 月 13 日	开工建设时间	2026 年 4 月 14 日		
取得辐射安全许 可证时间	/	项目投入运行时间	/		
辐射安全与防 护设施投入运 行时间	2026.05.06~2026.05.13 （调试期）	验收现场监测时间	2026 年 5 月 12 日		
环评报告表编制 单位	核工业二〇三研究所	环评报告表 审批部门	陕西省西咸新区行政审批服 务局		
辐射安全与防护 设施设计单位	/	辐射安全与防护 设施施工单位	/		
投资总概算 （万元）	180	辐射安全与防护 设施投资总概算（万元）	9	比例	5%
实际总概算 （万元）	180	辐射安全与防护 设施实际总概算（万元）	9	比例	5%
验收依据	1.建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度 （1）《中华人民共和国环境保护法（修订）》，2015 年 1 月 1 日修订； （2）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； （3）《中华人民共和国环境影响评价法（修正）》，2018 年 12 月 29 日； （4）《建设项目环境保护管理条例（修订）》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起施行；				

(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；

(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部 令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；

(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订）， 生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行；

(8) 《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 日实施；

(9) 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 2017 年第 66 号公告，2017 年 12 月 6 日；

(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度 的通知》环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日实施；

(11) 《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；

(12) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》， 生态环境部 2019 年第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日实施。

(13) 《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（原陕 西省环境保护厅办公室陕环办发〔2018〕29 号文，2018 年 6 月 6 日）；

(14) 《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年修正），2019 年 11 月 6 日。

2.建设项目竣工环境保护验收技术规范

(1) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评[2017]4 号， 2017 年 11 月；

(2) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类>的 公告》，生态环境部公告 2018 年第 9 号；

(3) 关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》的通知， 环办辐射函〔2025〕313 号，2025 年 8 月 29 日；

(4) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用项目》（HJ 1326-2023）。

3.技术标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

- (2) 《职业性外照射个人检测规范》（GBZ 128-2019）；
- (3) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；
- (4) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- (5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- (6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (7) 《辐射防护仪器 中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T 14318-2019）；
- (8) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》（SY 5131-2008）；
- (9) 《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T 5419-2007）；
- (10) 《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）；
- (11) 《放射性测井辐射安全与防护》（HJ 1325-2023）。

4.建设项目环境影响报告表及其审批部门审批决定

(1) 《中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表》，核工业二〇三研究所，2026 年 3 月；

(2) 《陕西省西咸新区行政审批服务局关于中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表的批复》，陕西咸审服准〔2026〕61 号，2026 年 4 月 13 日（见附件 2）。

5.其他相关文件

- (1) 竣工验收委托书（见附件 1）；
- (2) 建设单位提供的相关图纸及其他技术资料。

验收执行标准

一、职业人员和公众的辐射剂量限制及本项目的剂量约束值
根据标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和环评报告表，建设项目职业照射和公众照射应满足下表要求：

表 1-1 剂量限值要求

职业类别	剂量限值	环评管理
职业照射	连续 5 年的年平均有效剂量不应超过 20mSv。	5mSv/a
公众照射	关键人群连续 5 年的年平均有效剂量不应超 1mSv。	0.1mSv/a

二、中子发生器测井相关标准

- (1) 《石油测井中子发生器及中子管技术条件》（SY/T 5419-2007）

7.1 产品工作时辐射防护

调试或使用本产品时，应按中华人民共和国令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第三十四条的要求，在产品和工作人员之间设置具有足够的中子和伽玛射线防护能力的屏蔽介质或防护距离、以及警示信号等。确保工作人员可能受到的电离辐射剂量符合 GB18871-2002 中附录 A2.3c)规定的限值，确保公众不受照射。屏蔽介质可以是大于 1m 左右厚度的混凝土墙，或 2m 以上厚度的水层。在现场测井时，可以将仪器下到井深 10m 以下发射中子。

在没有辐射屏蔽条件的情况下，应将距产品不小于 30m 的区域划为安全防护区，设置明显标志，设专人警戒，确保区内无人，方可发射中子。

7.2 活化伽马射线的防护

中子发射结束后，待产品的活化伽马辐射水平符合 GB 18871-2002 中附录 A2.3c)规定的控制水平时，工作人员方可靠近产品。

7.3 产品的报废处理

中子发生器和中子管内含有放射性物质氚，产品报废后使用单位不得自行处置，应按中华人民共和国令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第二十三条要求，返回生产单位或送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位处理。

(2) 《石油放射性测井辐射防护安全规程》(SY 5131-2008)

8.2 现场测井作业的辐射防护要求

8.2.5 使用带有中子发生器的仪器进行测井作业时，中子发生器断电 20min 后，仪器方能起出井口。

(3) 《油气田测井放射防护要求》(GBZ 118-2020)

4.3 采用新技术新方法时，应通过“模拟试验”确认切实可行，并经使用单位组织的相关专家确认操作规程后，方能正式操作。

4.4 开展油气田放射性测井的单位应根据所使用的放射源、非密封放射性物质及测井中子发生器的类别配备外照射放射防护检测仪器、放射性污染监测仪器等自检设备，同时为放射工作人员佩戴相应种类的个人剂量报警仪等个人防护用品。

5.1.12 中子管贮存库应为单独房间，宜为独立建筑物或建筑物底层的一端，应设防盗装置。贮存库内不应居住、办公和放置易燃、易爆等其他危险物

品。中子管贮存场所温度、湿度等环境条件应符合 SY/T 5419。中子管转运时应防止碰撞、摩擦。

5.2.11 中子发生器应从井口进入地平面 10m 以下后方可发射中子。中子发生器回收时，应在地平面 10m 下关闭，中子发生器出井后应由放射工作人员进行擦拭清理，回运过程中距离人员应大于 1m。

6.3 非密封放射性物质实验室及中子管贮存库内应设放射性污物桶，所有固体放射性废物应丢入污物桶内收集或放入贮存设施内暂存。

7.4.1 对于可能使用中子源或中子发生器的油气田测井放射工作人员个人剂量计应能同时满足对 γ 射线和中子剂量监测。

(4) 《放射性测井辐射安全与防护》(HJ1325-2023)

4.3 辐射工作人员和公众的辐射照射应符合 GB 18871 关于剂量限值的规定。一般情况下，职业照射的剂量约束值为 5mSv/a；公众照射的剂量约束值为 0.1mSv/a。

4.4 放射性测井的工作场所应划分控制区和监督区。通常，安装或拆卸测井放射源、中子发生器作业区域、校验测井仪区域、非密封放射性物质贮存、分装与作业区域（含实验室）、测井放射源及放射性废物贮存场所等划为控制区；未被划入控制区的辅助设施区和其他需要对职业照射条件进行监督和评价的区域划为监督区。

4.5 放射性测井单位应规范收集、妥善暂存和处理测井活动中产生的放射性废物，并定期送贮、做好记录。

4.7 放射性测井单位应建立放射源、非密封放射性物质及中子发生器的台账管理制度。

4.8 放射性测井单位应根据所使用的放射源、非密封放射性物质及中子发生器的类别配备并使用必要的辐射监测仪器及防护用品。

5.3.2 中子发生器到达井下指定位置后，方可打开电源。中子发生器回收时，须确保断电 20 min 后人员方能接近仪器。

5.3.3 中子发生器贮存场所应配置安防设施，实现 24 小时监控，也可放置源库内保管。

表 2 项目建设情况

2.1 建设单位概况

中陕核（西安）中子科技有限公司成立于 2024 年 6 月，注册资本 3000 万元。由中陕核集团联合兰州大学共同投资组建，以紧凑型中子发生器及其应用的技术研发、产品开发为核心，开展先进中子源开发与利用、中子活化成分检测、中子成像、中子探测、核测井等中子应用核心技术装备开发业务，肩负中陕核立足“核地质、核医疗、核技术”面向中子应用技术装备产业板块的发展重任，以中子科技赋能产业融合发展。

中陕核（西安）中子科技有限公司拥有以中子技术为核心，技艺精湛、经验丰富的研究团队。该团队长期专注于中子源系统的深入研究，在相关领域积累了深厚的理论基础和丰富的实践经验。他们多次协助国内众多单位开展中子源的研发工作，其成果获得了国内同行的高度认可。团队成员在中子物理研究领域成果显著，承担了多项国家级科研项目，已获得与中子发生器相关的多项发明专利、实用新型专利，为公司技术研发提供了坚实的理论和技术支撑。

2.2 项目建设内容与规模

为了扩大业务范围，中陕核（西安）中子科技有限公司组建 1 组测井队伍，使用两种型号中子发生器（ZZ-DD 测井用氡氡中子发生器、ZZ-DT 测井用氡氡中子发生器）开展油田井下测井，测井地点为油田测井井场。

中陕核（西安）中子科技有限公司于 2025 年 11 月委托核工业二〇三研究所对该项目进行了环境影响评价工作，2026 年 3 月编制完成了《中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表》，于 2026 年 4 月 13 日取得了由陕西省西咸新区行政审批服务局出具的《陕西省西咸新区行政审批服务局关于中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表的批复》，陕西咸审服准〔2026〕61 号。本期为《中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表》中的第一期验收项目，本期仅验收“使用中子发生器野外测井项目”。中陕核（西安）中子科技有限公司根据环评要求和陕西省西咸新区行政审批服务局环评批复意见于 2026 年 5 月完成了该项目建设。目前各项环境保护措施和安全措施运行正常，已具备了环保设施“三同时”验收条件。

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）等的要求，建设单位委托陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对该项目进行验收监测。接受委托后，陕

西秦洲核与辐射安全技术有限公司组织技术人员于2026年5月对项目进行了现场监测及现场调查和相关资料收集工作。在现场监测，调查和查阅相关工程资料的基础上，编制完成了《中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井核技术利用建设项目竣工环境保护验收监测报告表》。

2.3 建设单位现有辐射安全许可证射线装置情况

中陕核（西安）中子科技有限公司现有辐射安全许可证由西安市生态环境局于2024年10月28日核发，证书有效期至2029年10月27日。辐射安全许可证许可种类和范围为：销售IV类、V类放射源；销售II类射线装置；销售非密封放射性物质。中陕核（西安）中子科技有限公司《辐射安全许可证》许可的放射源、非密封放射性物质和射线装置内容如表2-1至表2-3所示。

表 2-1 许可的放射源一览表

序号	核素	放射源分类	活度 (Bq) /×枚数	活动种类
1	³ H	V类	3.90E+11*99	销售
2	³ H	IV类	3.70E+12*20	销售
3	³ H	IV类	3.70E+14*20	销售
4	²⁵² Cf	IV类	1.50E+10*2	销售
5	²⁵² Cf	V类	1.50E+8*2	销售

注：³H、²⁵²Cf放射源是建设单位现有辐射安全许可证上许可放射源种类。

表 2-2 许可的非密封放射性物质一览表

序号	核素	物理状态	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	³ H	液态	7.40E+13	销售（不贮存）

注：³H为液态是建设单位现有辐射安全许可证上许可物理状态。

表 2-3 许可的射线装置一览表

序号	装置名称	装置数量	射线装置分类	活动种类
1	中子发生器	99 台	II类	销售

2.4 项目地理位置

(1) 项目地理位置

本项目主要是利用中子发生器进行油田地下测井活动，随着委托的测井任务不同，其中子发生器使用地点发生变化，测井场地需根据井位而改变，因此，该项目无固定的使用地点。本项目为流动式作业，不在某一场所长期作业。

(2) 中子发生器贮存位置

中子发生器无测井任务时拆成短节放置于专用设备箱中，贮存于陕西省西咸新区沣西新城秦创原创新生态城 1#研发楼一层半成品与成品库内，交通地理位置见图 2-1，秦创原创新生态城 1#研发楼东侧布局图见图 2-2。

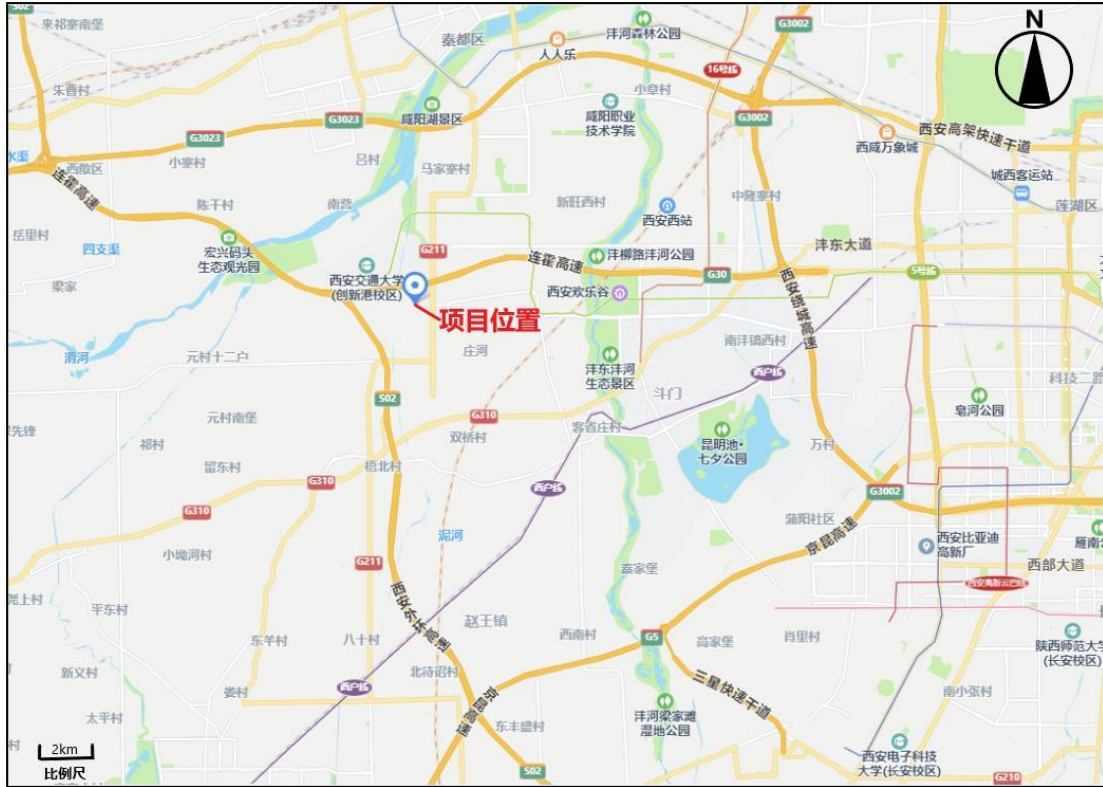


图2-1 中陕核（西安）中子科技有限公司交通地理位置图

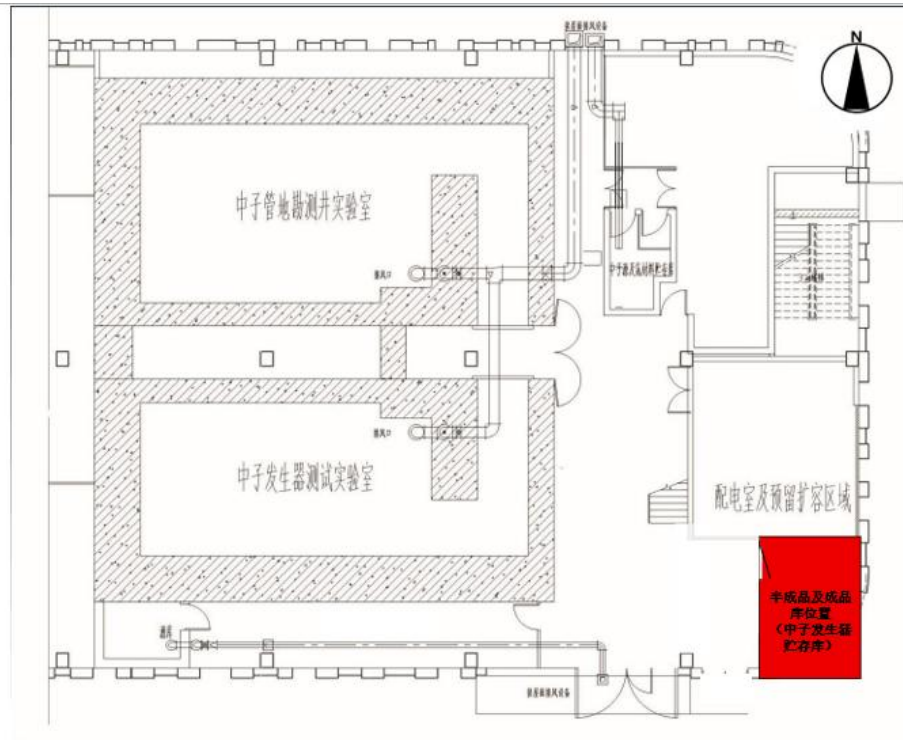


图2-2 秦创原创新生态城1#研发楼东侧布局图

2.5 环境保护目标

中子发生器地下测井在各油气田井场进行，环境保护目标主要为测井辐射工作人员和进入测井现场的公众，本项目测井地点位于野外，公众主要为进入评价范围区域偶然停留的公众。本项目测井工作配备1个测井工作组，由4名工作人员组成（2名井口操作工、1名绞车操作工、1名测井仪器操作工）。绞车操作工与测井仪器操作工为专职人员，在测井车内分别进行绞车操作、测井仪器数据采集工作，不参与其他放射性测井环节操作；其余2名井口操作工进行中子发生器放射性测井相关操作。

表 2-4 本项目主要环境保护目标一览表

序号	类型	保护对象	类型	规模		最近距离 (m)	年有效剂量 约束值
				环评	验收		
1	职业人员	绞车操作工、 测井仪器操作工	职业人员	2人	2人	30~100	≤5mSv
2		井口操作工	职业人员	2人	2人	30~100	≤5mSv
3	公众	其它进入测井现场评价 范围区域内的人员	流动人员， 人数不定	若干	若干	30~100	≤0.1mSv

注：本项目中子发生器测井时，将距井口 30m 范围划分为控制区，出束期间在该区域无人员停留。2 名井口操作工操作完后撤离至控制区外等待出束、另外 2 名操作工在控制区外进行操作，因此辐射工作人员距离井口最近距离为 30m。

2.6 项目建设内容及规模核查情况

表2-5 项目建设内容及规模核查情况表

项目 \ 分类	《环评报告》设计信息	实际配备情况	《环评报告》设计信息	实际配备情况
设备名称	测井用氡气中子发生器	测井用氡气中子发生器	测井用氡气中子发生器	测井用氡气中子发生器
型号	ZZKJ-FSQ-DD	ZZ-DD	ZZKJ-FSQ-DT	ZZ-DT
来源	自行生产或外购	外购	自行生产或外购	外购
数量	1	1	1	1
最大管电压	100kV	100kV	100kV	100kV
最大靶电流	100μA	100μA	100μA	100μA
中子强度 (n/s)	1.0×10 ⁶	1.0×10 ⁶	1.0×10 ⁸	1.0×10 ⁸

用途	中子测井	中子测井	中子测井	中子测井
射线装置分类	II类	II类	II类	II类
工作场所	油田测井现场	油田测井现场	油田测井现场	油田测井现场
氚靶情况	活度(Bq)	/	/	1.85×10 ¹¹
	贮存方式	/	/	密封在中子管屏蔽体内
	数量	/	/	1个

2.7 本项目环评、审批及建设情况

使用中子发生器野外测井项目环评审批及建设情况见表2-6。

表 2-6 核技术利用项目环评审批及建设情况一览表

应用类型	项目环评内容	环评审批情况	本次建设情况	项目变动情况
工业应用	使用2种类型中子发生器（均为II类射线装置），用于野外油井探测。	使用2种类型中子发生器（均为II类射线装置），用于野外油井探测。	使用2种类型中子发生器（均为II类射线装置），用于野外油井探测。	无变动

中陕核（西安）中子科技有限公司根据环评要求和陕西省西咸新区行政审批服务局环评批复意见于2026年5月完成了该项目建设。目前各项环境保护措施和安全措施运行正常，已具备了环保设施“三同时”验收条件。

2.8 项目变动情况

根据环评报告表及环评批复（陕西咸审服准〔2026〕61号），对照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313号）的相关规定，从建设项目性质、建设地点、规模、工艺和辐射安全与防护措施五个方面分析本项目变动情况，详见表2-7。

表2-7 项目变动情况一览表

项目变动情况		环评及批复内容		实际建设内容	主要变动内容	变动原因	环境影响变化情况	是否属于重大变动
性质	1.由核技术利用建设项目变更为其他类别建设项目。	核技术利用建设项目		核技术利用建设项目	无变动	—	—	—
建设地点	2.重新选址。	中子发生器贮存库地点：贮存于西咸新区沣西新城秦创原创新生态城1#研发楼一层中子发生器半成品及成品库内；测井工作区域：油田测井现场（非固定场所）。		中子发生器贮存库地点：贮存于西咸新区沣西新城秦创原创新生态城1#研发楼一层中子发生器半成品及成品库内；测井工作区域：油田测井现场（非固定场所）。	半成品及成品库位置由拟建的中子管老练实验室南侧变更为拟建的中子管老练实验室东南侧。（位置变化示意图如图2-3所示）。	因建设单位研究决定部分场所位置进行合理性调整。	无变化	不属于
	3.调整辐射工作场所位置（包括总平面布置变化）导致调整后评价范围内出现新的环境保护目标。	测井地点主要为油田测井现场，无固定使用场所。		测井地点主要为油田测井现场，无固定使用场所。	无变动	—	—	—
规模	4.射线装置类别升高。	II类射线装置		II类射线装置	无变动	—	—	—
	5.射线装置额定功率或输出剂量率或中子产生率增大50%及以上。	测井用氚中子发生器	最大管电压： 100kV 最大靶电流： 100μA 中子强度： 1.5×10 ⁸ n/s 氚靶活度： 1.85×10 ¹¹ Bq	最大管电压：100kV 最大靶电流：100μA 中子强度：1.5×10 ⁸ n/s 氚靶活度：1.85×10 ¹¹ Bq	无变动	—	—	—
		测井用氚中子发生器	最大管电压： 100kV 最大靶电流： 100μA 中子强度： 1.5×10 ⁶ n/s	最大管电压：100kV 最大靶电流：100μA 中子强度：1.5×10 ⁶ n/s				
6.增加新的辐射工作场所	测井地点主要为油田测井现场，无固定使用场所。		测井地点主要为油田测井现场，无固定使用场所。	无变动	—	—	—	
工艺	7.生产工艺或使用方式变化导致不利影响加重，含主要工艺装置、配套设备及放射性三废处理设施任何一项变化。	—		—	—	—	—	不涉及
辐射安全与防护措施	8.辐射防护措施改变导致不利影响加重。	本项目为井场测井，无需建设屏蔽设施；本项目拟配备1台X-γ辐射检测仪、1台中子检测仪、4枚个人剂量计（监测γ射线和中子剂量）、4枚个人剂量报警仪、2套铅防护用品（铅衣、铅背心、铅手套）、若干警戒线和警告标志。		本项目为井场测井，无需建设屏蔽设施；配备了1台X-γ辐射检测仪、1台中子检测仪、4枚个人剂量计（监测γ射线和中子剂量）、4枚个人剂量报警仪、2套铅防护用品（铅衣、铅帽、铅手套、铅眼镜）、若干警戒线和警告标志。	无变动	—	—	—

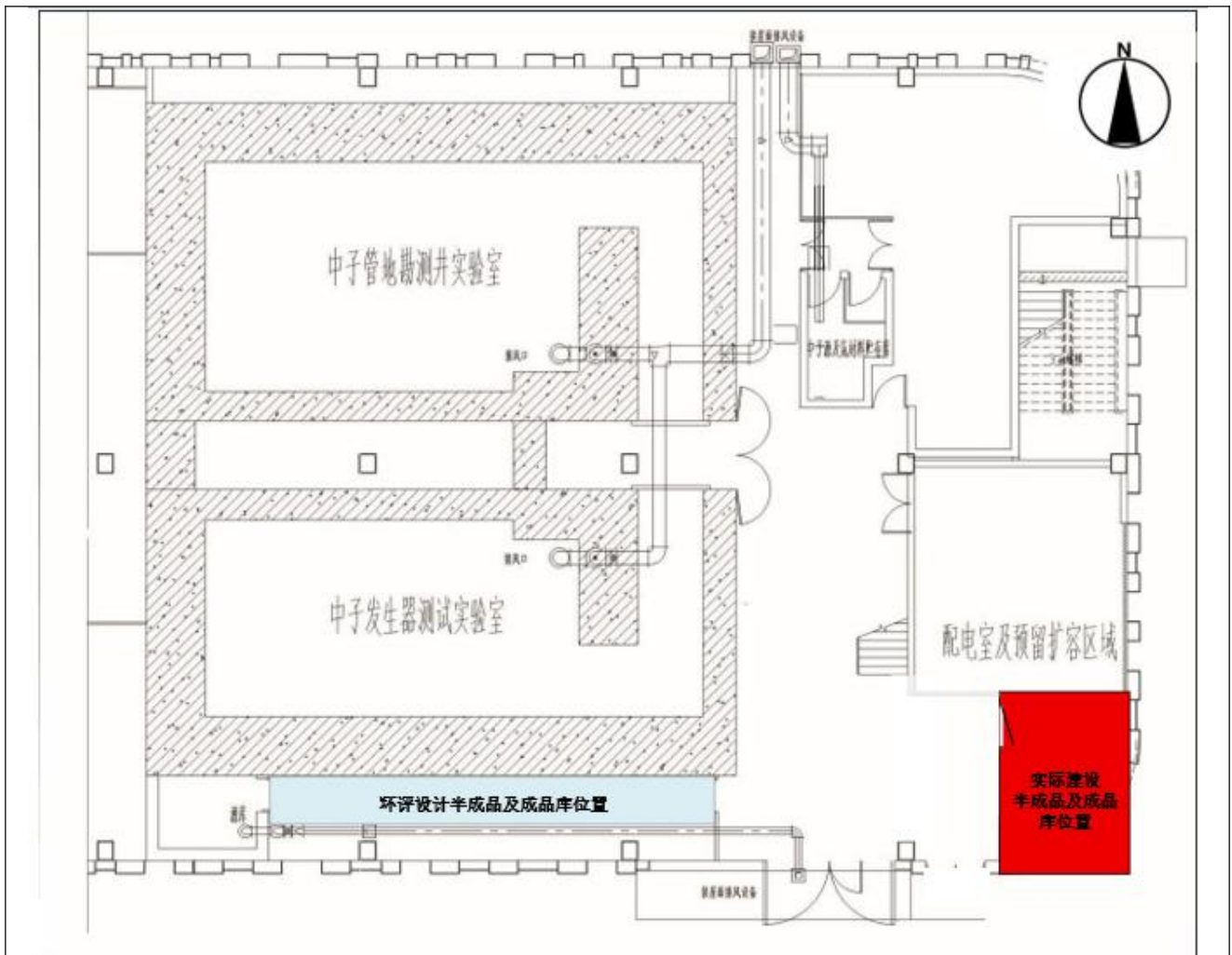


图2-3 半成品及成品库位置变化示意图

综上，本次验收项目变动情况不属于重大变动，参考《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313号），建设项目存在变动但不属于重大变动。

2.9 源项情况

中陕核（西安）中子科技有限公司本次外购2种型号中子发生器（ZZ-DD测井用氙氙中子发生器、ZZ-DT测井用氙氙中子发生器），用于油田测井，测井工作区域位于各油田井场。其中，ZZ-DD测井用氙氙中子发生器最大管电压为100kV，最大靶流100 μ A，中子强度 1.0×10^6 n/s；ZZ-DT测井用氙氙中子发生器最大管电压为100kV，最大靶流100 μ A，中子强度 1.0×10^8 n/s，该中子发生器中子管内部含有一个氙靶，氙靶密封在严密包壳中，其最大放射性活度为 1.85×10^{11} Bq。中陕核（西安）中子科技有限公司野外测井使用的中子发生器技术参数见表2-8。

表 2-8 使用的中子发生器技术参数

型号、名称	数量	射线装置分类	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	靶活度 (Bq)
ZZ-DD测井用氘氚中子发生器	1套	II类	100	100	1.0×10^6	/
ZZ-DT测井用氘氚中子发生器	1套	II类	100	100	1.0×10^8	1.85×10^{11} (氘靶)

2.10 工程设备与工艺分析

2.10.1 中子发生器简介、测井工作原理

(1) 中子发生器设备组成

本项目中子发生器由中子管和中子管外接电路组成，中子管是将离子源、加速系统、靶以及气压调节系统密封在一个陶瓷或玻璃管内，形成一个小型的特种电真空器件。中子管实质上是一种最小型的加速器，其性能决定着中子发生器的产额、寿命、稳定性等诸多指标。中子管可以在外接电路的控制下，由离子源产生氘离子，经加速后轰击靶，与靶产生核反应，产生中子。中子管外接电路通常由离子源电路和密封加速高压组成。离子源电路决定于中子管离子源的结构。如采用冷阴极潘宁离子源的中子管需要2kV左右的阳极脉冲高压，而热阴极中子管所需的阳极高压则很低。密封加速高压一般采用倍加整流电路。中子管基本结构见图2-4。

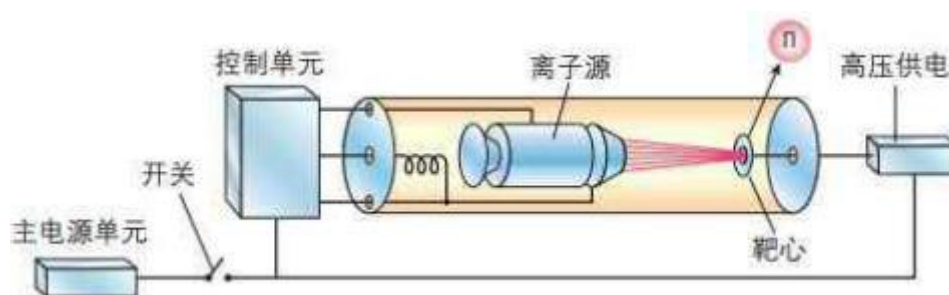
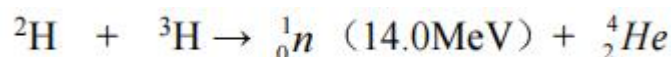


图2-4 中子管内部结构

(2) 中子发生器工作原理

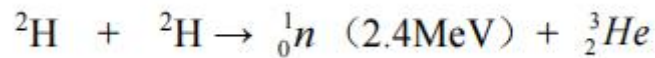
氘氚中子发生器：是利用氢的同位素氘 (^2H) 和氚 (^3H) 在一定条件下互相作用，发生反应，生成平均能量为14MeV的快中子和 ^4_2He 原子核。其核反应方程为：



中子发生器工作过程为：高压电源产生直流高压加于靶电极上，离子源电源产生电压加于离子源的阴极和阳极上。工作时，氘气存贮器灯丝加热，释放出氘气，在离子源内电离成氘核、负电子，氘核被吸出，在电场作用下被加速，以约100keV的能量轰击到氘靶，发生氘

氘反应，产生平均能量为14MeV中子。

氘氘中子发生器：是利用氢的同位素氘（ ^2H ）和氘（ ^2H ）在一定条件下互相作用，发生反应，生成平均能量为2.4MeV的快中子和原子核。其核反应方程为：



中子发生器工作过程为：高压电源产生直流高压加于靶电极上，离子源电源产生电压加于离子源的阴极和阳极上。工作时，氘气存贮器灯丝加热，释放出氘气，在离子源内电离成氘核、负电子，氘核被吸出，在电场作用下被加速，以约100keV的能量轰击到氘靶，发生氘氘反应，产生平均能量为2.4MeV中子。

（3）中子管中的 ^3H 靶

本项目所用氘氘中子发生器每只中子管内含有1个氘靶，氘靶中的 ^3H 为纯 β 放射性核素， β 粒子最大能量 $E_{\max}=18.6\text{keV}$ ，平均能量为 $E_{\text{avg}}=5.7\text{keV}$ ，半衰期为12.34年，在空气中最大射程为6mm。 ^3H 是被固定在中子管内的氘靶上，中子管的 ^3H 先制成氘（钛）靶，以金属氘化物的形式被固定在氘（钛）靶中。

表 2-9 中子管中 ^3H 核素性质

类型	核素	衰变方式	最大能量	平均能量	半衰期
中子管	^3H	β	18.6keV	5.7keV	12.34年

（4）中子发生器测井工作原理

中子发生器测井工作原理为：利用中子发生器产生中子，把装有中子发生器和探测器的井下仪器放入井内，由中子发生器发射出快中子，该快中子具有很强的穿透能力，中子穿过仪器外壳、井液、套管、水泥环后，射入钻孔周围地层中，中子与地层中物质发生碰撞（发生非弹性散射、弹性散射等），快中子能量不断被损失，快中子被慢化成热中子，热中子被地层中其它原子核所吸收，发生俘获反应。在非弹性散射以及俘获反应过程中均会 γ 射线产生。通过探测器探测中子与地层相互作用过程中产生的 γ 射线或中子强度能量或计数率，可以得到地层中核素相关信息，从而为油气田的开发利用提供准确数据。

中子发生器可适用不同的测井工作任务，根据与建设单位核实，当需要测量孔隙度等参数时，选择ZZ-DD测井用氘氘中子发生器，当需要测量含油饱和度等参数时，选择ZZ-DT测井用氘氘中子发生器，具体如下：

当快中子与地层中氢核相碰撞时，由于两者质量相近，快中子的大部分动能传递给氢核而变成了慢中子，后者易被各种物质的原子核俘获，释放出强度较大的 γ 射线；若快中子与其他物质的原子核相碰撞，损失的动能较少，能到达地层深处，经多次碰撞才会变成慢中子。

这时它将被其他物质的原子核俘获而释放出 γ 射线，因这 γ 射线要穿过较深的地层，衰减较大，到达探测器时强度较小。从探测器上测到的 γ 射线强度的变化就可推断钻井周围地层的含氢量，由此划出石油层或水层的分布。

测量孔隙度时利用其单能中子对地层氢的敏感性，通过测量中子空间分布，实现了既安全又灵敏的孔隙度测量。含氢量高，中子减速能力强。大量中子在靠近源的位置就被减速吸收，导致远探测器计数率显著降低，近/远计数率比值变小。含氢量低，中子减速慢，能穿透到更远距离。近/远计数率比值变大。通过刻度确定地层孔隙度。

地层中广泛存在氧、铝、硅，这些核素的原子核在中子的作用下，发生俘获反应，均能生成新的放射性核素，其反应式分别为： $^{16}\text{O}(\text{n}, \text{P})^{16}\text{N}$ 、 $^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{P})^{27}\text{Mg}$ 、 $^{28}\text{Si}(\text{n}, \text{P})^{28}\text{Al}$ 。活化后新核 ^{16}N 、 ^{27}Mg 、 ^{28}Al 均能放出 γ 射线， γ 射线最大能量分别为6.13MeV、2.16MeV、1.81MeV，半衰期分别为：7.35min、2.3min、9.5min。通过测量活化后核素衰变产生的 γ 射线的照射量率可判断地层中某些元素存在及其含量。

中子发生器测井是使用人工可控中子源发射的高能中子去轰击水中氧核使其跃迁到激发态变成带放射性的活化氧（半衰期7.13s），因此井下测井仪四周0.5m范围内的水便变成了放射性活性水，测井仪中的伽玛探头接到来自活化水的活化伽玛信号，信号的强弱反映出活化水与探头之间的距离长短，信号的强度变化直接反映活化水与探头之间的距离变化，当中子源与探头之间的距离（即仪器源距）不变时，信号强度随时间的变化就体现出水流动速度的大小，根据水流速度与管子截面积可求得井筒内的测点水流量。对比各测量点的水流量大小变化，可了解套管的漏失段、吸液段、吐液段和管外窜槽段。

2.10.2 工艺流程及产污环节

（一）中子发生器测井工作流程

本次中子发生器测井前，刻度工作由中子发生器生产厂家在出厂前完成，中陕核（西安）中子科技有限公司在测井过程中，不进行中子发生器的刻度工作。中子发生器购买完成以及每次测量任务完成后，将中子发生器放置在中陕核（西安）中子科技有限公司1#研发楼中子发生器半成品及成品库内（见图2-2）。

中陕核（西安）中子科技有限公司野外测井工作流程如下：

（1）接到测井工作任务后，中陕核（西安）中子科技有限公司根据测井井场具体布置情况、钻井数据制定测井计划书。测井计划书包含本次测井任务的工作人员安排、测井时间安排、测井队人员职责及测井现场辐射防护方案和辐射事故应急预案等内容。

（2）测井队接到测井通知后，测井人员应认真阅读《测井计划书》，组织准备上井所需

的材料、工具。从库房领取中子发生器装置，并办理领用手续。将中子发生器及测井仪器固定在测井车的仪器仓内，仓门加锁。

(3) 运输过程中，测井车应按照计划路线行驶，不得随意改变行车路线。中途停车时应停放在安全处所，并由专人看管。

(4) 现场测井阶段：

①到达施工现场后，测井人员应首先核对井号。并与委托方现场人员取得联系，了解现场情况。

②对测井现场进行清场，确认测井现场无无关人员停留后，在测井现场设置安全控制区，安全控制区距离井口 $\geq 30\text{m}$ ，将控制区边界用警戒线隔离，并在显著位置设置“禁止进入辐射工作场所”警告标志。

③测井人员地面联机调试测井仪器，仪器通讯正常后，将中子发生器与测井仪器连接下入井内。

④仪器检验。仪器下井速度不得超过 3000m/h 。仪器下到至少 200m 深度时，给中子发生器供电约 10min ，检查其是否正常工作。

⑤将仪器下放到目的层（一般为 $500\sim 3000\text{m}$ ），按仪器使用说明书的要求对中子发生器进行供电操作，进入测试状态，地面读取、记录测井曲线。井下每个检测点打靶时间约数分钟，平均单井打靶时间累积 3h 左右。

⑥待仪器工作正常后，进入测试状态，地面读取、记录测井曲线，做好测井记录。

⑦测量完成后，首先断电。中子发生器断电 20min 后上提仪器至地面。

⑧拆卸仪器前，利用辐射剂量率监测仪器测量测井仪器表面，确认其 γ 辐射剂量率处于本底水平，才能拆卸仪器。将擦拭干净的中子发生器放回仪器仓内，仓门加锁。

⑨由测井人员向委托方测井监督人员汇报测井情况，待对方验收签字后方可离开。

(5) 测井结束阶段：

按第三步规定运输返回中陕核（西安）中子科技有限公司的单位设备库房里，管理人员负责办理中子发生器及测井仪器入库手续，签字归还。

中子发生器测井的工作流程见图2-5。

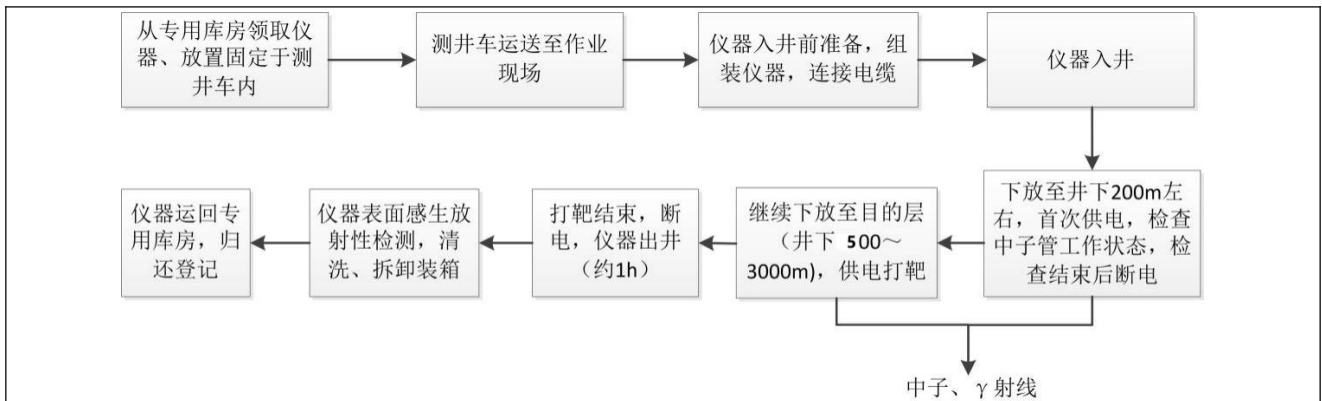


图2-5 中子发生器测井工作流程及产污环节图

(二) 正常工况下污染物以及污染途径分析

(1) 中子发生器未通电情况下

本项目中子发生器在未通电情况下，无中子产生。在出入库、运输、测井准备过程中，中子发生器内中氚靶中的 ^3H 为纯 β 放射性核素，衰变时释放出最大能量为 18.6keV 的 β 射线（平均能量为 5.7keV ），污染因子为 β 射线，但其 β 射线能量较小，在空气中射程较短，贯穿能力较弱， β 射线及 β 射线引起韧致辐射外照射基本不会对外环境造成影响。 ^3H 以金属氚化物的形式被固定在氚（钛）靶中，且被封装在真空的中子管中，不会泄漏而导致吸入内照射。

(2) 中子发生器通电情况下

在检验以及井下测井过程中，中子发生器利用氘氘、氘氚反应生产快中子，中子在与地层发生相互作用的过程中，可能发生非弹性散射和俘获反应，进而产生 γ 射线。上述过程中，主要污染因子为中子、 γ 射线，由于待测量的井下深度一般位于 $500\sim 3000\text{m}$ ，加之钻井中水层屏蔽作用，产生中子、 γ 射线到井口附近已基本衰减完全，不会对地表测井人员产生辐射影响。

中子发生器通电过程中，产生的中子、 γ 射线，本项目正常情况会在井下 200m 后才开始通电，在该地层深度基本无空气，产生的中子和 γ 射线不会电离空气，进而产生 O_3 和 NO_x 。因此，本项目中子发生器地层通电状态下基本上不会产生 O_3 和 NO_x 。

中子发生器测井工作完成后、拆卸前，中子发生器表面材料因中子活化仍残留一部分感生放射性核素，并伴随 γ 射线、 β 射线产生，这些感生放射性核素多为短寿命核素，随时间快速衰减，其活度不断降低。中子发生器测井结束 20min 后，工作人员按照规程进行中子发生器装卸操作，此时中子发生器表面仍可能残留有少量的感生放射性，可能通过外照射途径对测井人员产生辐射影响。

(三) 事故工况下污染物以及污染途径分析

(1) 测井人员供电操作失误或供电开关失控，导致中子发生器下井未到达预定深度就通电开始发生中子，导致井上测井人员受到辐射照射，此过程中主要污染因子为中子和 γ 射线，

污染途径为：中子和 γ 射线外照射。

(2) 测井结束后，测井人员未按照操作规程，在中子发生器断电后未到预定的停留时间便将中子发生器升上地面，导致井上测井人员受到中子发生器部件感生放射性的辐射照射。

(3) 氡氙中子发生器因外在因素被破坏，致使中子管内氡靶被破坏，从而对工作人员或公众可造成辐射影响。

(4) 中子发生器因管理不善，出现丢失或被盗事故。

2.11 主要污染源

在正常工况下，本项目中子发生器测井的主要污染源项为中子、 γ 射线，废中子管。

(1) 中子、 γ 射线

中子发生器通电工作时，释放出中子，同时快中子流与被作用的核素发生非弹性散射和热中子 (n, γ) 反应产生 γ 射线，中子及 γ 射线对外环境产生影响。除此之外，当测井仪在井下工作时，快中子对测井仪本身的材料被活化，中子发生器停止工作后，被活化的测井仪本身仍会释放出 γ 射线，对外环境产生影响。

(2) 废中子管

本项目固体废物主要为氡氙中子发生器退役时产生的含氡靶废旧中子管。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十三条要求，本项目废旧中子管属于放射性固体废物，单独暂存在贮存库内的铁制存储柜内，由厂家回收处置。对于氡氙中子发生器，其中子管内部不含氡靶，退役时或报废时按照一般工业固废进行处置。

废中子管单独暂存在贮存库内的铁制存储柜内，为避免混淆，贮存库内中子管贮存区域按照成品、废品分别贮存，并贴有标志，废品交由厂家回收处理。由于废中子管不打靶时不会产生中子、 γ 射线和感生放射性等，若是废D-T中子管，中子管自身2mm铁合金管体和铁制存储柜（2mm铁）可屏蔽 ^3H 产生的 β 射线及 β 射线产生的韧致辐射，若是废D-D中子管，则无放射性，因此铁制存储柜贮存废中子管是可行的。废D-T中子管最终由厂家或有资质单位进行回收、处置。

表3 辐射安全与防护设施/措施

3.1 项目工作场所布局

本项目使用的中子发生器为II类射线装置，正常运行工况下，在进行油田测井时，将中子发生器置于井下500m以下，测井过程中产生中子以及俘获 γ 射线经过地下土层屏蔽、距离衰减后，基本上不会对地表产生辐射影响，在开展测井活动时，严格划分控制区，充分利用地形对射线阻挡或屏蔽，尽可能减少射线影响范围；工作人员操作位尽可能设置在可阻挡或屏蔽射线物体后，利用物体减少射线的照射剂量。中子发生器无测井任务时拆成短节放置于专用设备箱中，贮存于中子发生器半成品及成品库内。

3.2 分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应将辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。根据国际放射防护委员会第103号出版物，控制区和监督区的定义为：

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区：未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

本项目中子发生器测井在井下距井口200m以下深度进行测试，500m以下打靶测井，中子发生器通电过程中产生的中子以及 γ 射线，随着距离衰减、钻井中水层屏蔽作用，到井口处附加剂量率处已处于极低水平，但出于辐射安全和降低事故时的辐射影响考虑，建议对测井工作现场划定操作边界。

根据《放射性测井辐射安全与防护》（HJ 1325-2023）4.4条要求，放射性测井的工作场所应划分控制区和监督区。通常，安装或拆卸测井放射源、中子发生器作业区域、校验测井仪区域、非密封放射性物质贮存、分装与作业区域（含实验室）、测井放射源及放射性废物贮存场所等划为控制区；未被划入控制区的辅助设施区和其他需要对职业照射条件进行监督和评价的区域划为监督区。

本项目测井现场主要涉及中子发生器作业区域（井口附近）以及工作人员现场测试操作区域（控制区外），因此本项目将中子发生器作业区域（井口附近）划分为控制区，将工作人员现场操作区域划分为监督区。

根据与建设单位核实，后续开展的测井现场均位于油田井场，井场周围地形主要为开阔

区，井口周围30m范围内无人员居住。因此后续开展工作通常将测井现场井口30m范围作为安全控制区边界，将控制区外工作人员现场操作区域划分为监督区，开展测井出束时，工作人员主要在该区域停留。本次验收中子测井现场控制区、监督区划分示意图见图3-1。

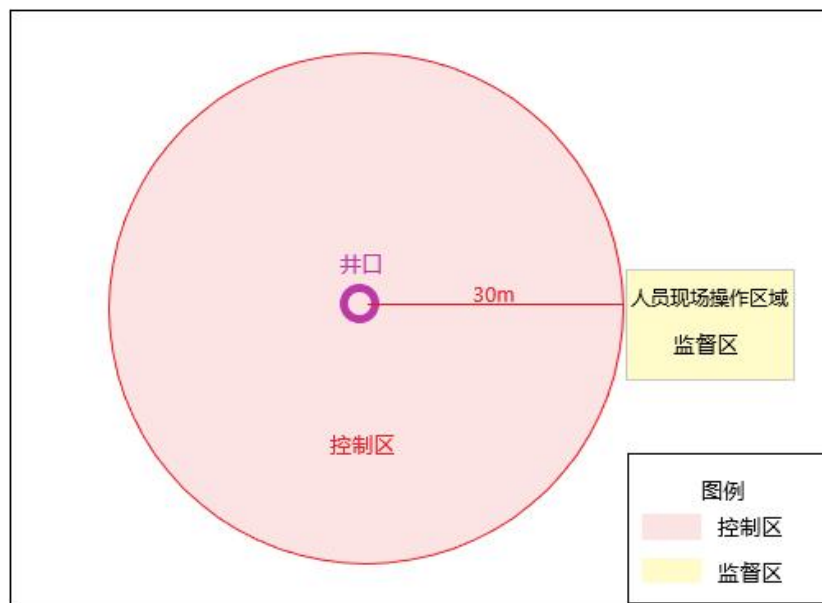


图3-1 中子测井现场控制区、监督区划分示意图

3.3 辐射安全防护措施

3.3.1 监测仪器及防护用品

针对本项目，中陕核（西安）中子科技有限公司配备了相应的监测仪器及个人防护用品，具体情况见表3-1。

表3-1 本项目配备监测仪器及个人防护用品一览表

序号	名称	单位	数量
1	X-γ辐射检测仪	台	1（新增）
2	中子检测仪	台	1（新增）
3	个人剂量计（监测γ射线和中子剂量）	枚	4（新增）
4	铅衣、铅帽、铅手套、铅眼镜	套	2（新增）
5	个人剂量报警仪	台	4（新增）

3.3.2 中子管贮存

本项目氡中子发生器中子管内氡靶密封于陶瓷管中，外有不锈钢外壳。中子管测井仪装于专用仪器箱内，日常贮存于中陕核（西安）中子科技有限公司1#研发楼1层半成品与成品

库房内。该库房为单独房间，位于中子管老练实验室东南侧（见图2-2所示），不进行办公、居住，同时严禁放置易燃、易爆等其他危险物品。库房大门设置双人双锁，库房内安装了监控报警系统以防盗，实现24小时监控，同时库房内设置通风设施，室内设置有贮存柜用于存放中子管和测井仪器，可以满足《油气田测井放射防护要求》（GBZ118-2020）中相关要求。

3.3.3 中子管的运输

中子发生器由甲方专业测井车运输，运输时测井仪放置于仪器箱内，可避免震动，运输过程中车厢门上锁，以保证物品安全。

3.3.4 中子管测井过程中的防护措施

（1）中子发生器由测井车运输，测井车货箱内有电缆绞车、中子发生器控制台、测井结果数据处理系统和用于固定中子管的包装箱的气囊，运输过程中货箱门上锁，以保证物品安全，避免损坏中子发生器。运输前，工作人员仔细核对中子发生器的型号、数量，保证中子发生器包装良好，锁好货箱。运输过程中，安排2名人员负责中子发生器的运输，运输过程中不得打开测井车货箱，预先设计好的运输路线行进，路线尽量避开人群集中地区，采取各种措施确保运输过程不会发生中子发生器被盗事故。测井车到达目的地，运输人员要重新核对中子发生器的型号、数量，务必与装车前一致。

（2）建设单位为测井现场配备了安全警戒线、电离辐射警示牌、个人剂量报警仪。测井时，将测井现场井口30m范围作为安全控制区边界，在边界上设置的警戒线，设置专人警戒，并在警戒线边界外明显位置设置“禁止进入辐射工作场所”电离辐射警告标志，告诫无关人员远离该区域。辐射工作人员按要求佩戴个人剂量计，位于安全控制区边界外进行中子发生器通电操作。

（3）在检验中子发生器时，先将仪器下井至200米以下时开始检查仪器（由于受地理条件限制，一般都是在井下完成中子发生器通电发射中子），严禁在井口通电激发中子发生器。

（4）中子发生器断电20min后，仪器方能出井口。收回中子发生器时，辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪，并使用 γ 剂量率监测仪器对中子发生器0.1m处进行辐射水平监测，确定其感生放射性核素辐射水平已降至可接受水平（ $1\mu\text{Sv/h}$ ）后，方能拆卸中子发生器。

（5）中子发生器测井完成后，及时将仪器存放至中陕核（西安）中子科技有限公司半成品与成品库房内。在外地进行测井工作，中子发生器用完不能及时返回设备库房保管的，要利用现场工作条件，将设备存放置具备防盗能力的库房或测井车辆中，设置值班人员，防止中子发生器被盗；建设单位应加强人员管理，防止无关人员接触使用中子发生器，对无关人员造成误照射。

防护措施照片如下所示：

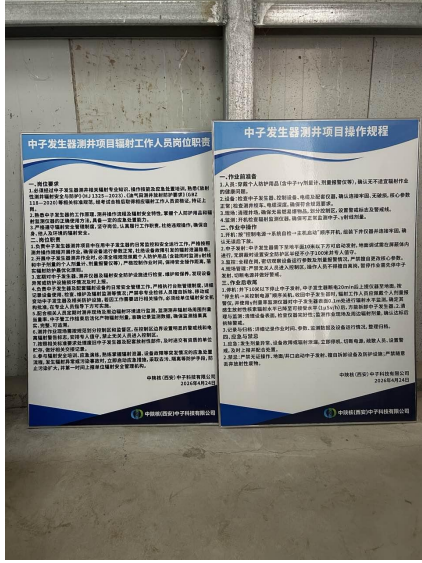


图3-2 岗位职责和操作规程



图3-3 辐射事故应急预案



图3-4 “禁止进入辐射工作场所”警告牌

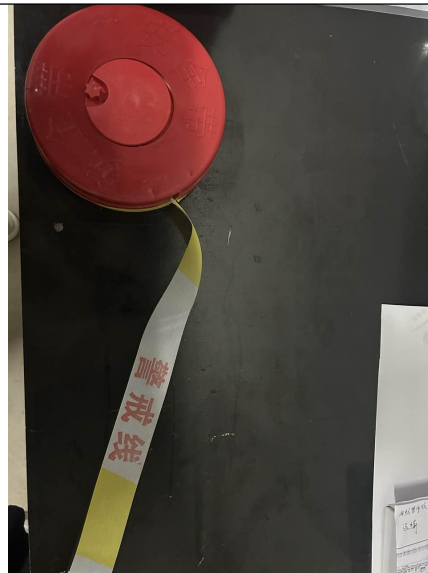


图3-5 警戒线

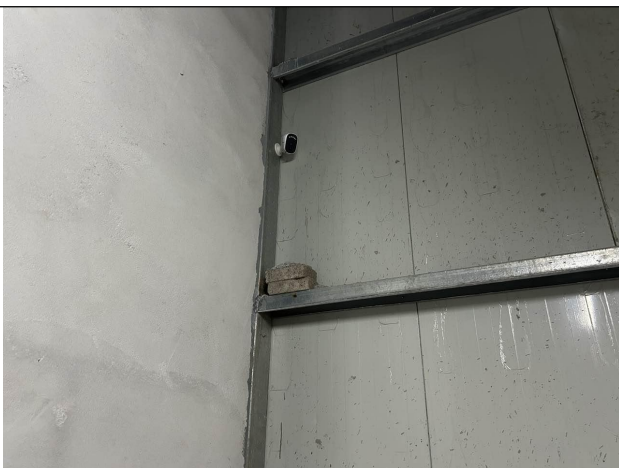


图3-6 中子发生器贮存库内监控设施



图3-7 个人剂量计



图3-8 X-γ辐射检测仪



图3-9 中子检测仪



图3-10 铅衣、铅帽、铅手套



图3-11 铅眼镜



图3-11 个人剂量报警仪



图3-12 废中子管贮存柜



图3-13 贮存库“双人双锁”



图3-14 贮存库通风设施

3.3.5 废旧放射源

本项目氡中子发生器废旧含氡靶中子管由原厂家回收。

3.3.6 其他辐射环境管理措施

(1) 为保证中子发生器测井辐射防护措施的落实和中子发生器测井辐射工作人员的安全，按照国家标准和法律法规的要求，制定了中子发生器测井相关管理制度、操作规程、岗位职责及应急预案。

(2) 中子发生器测井辐射工作人员经过了业务培训，熟练掌握操作方法后方可进行中子发生器测井操作。定期加强对测井人员的技能培训和管理，防止发生违反规程的操作。

(3) 本项目辐射工作人员4名，均取得了“放射性测井类别”辐射安全防护培训合格证，并进行了个人剂量监测和职业健康体检。后续当合格证到期时，及时进行培训学习，重新取得证书后方能上岗。

(4) 定期进行个人剂量监测和职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康档案并进行长期保存。

(5) 每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关报送辐射环境年度评估报告。

3.4 三废的治理

(1) 废气

本项目测井现场为较开阔的场所，环境稀释、扩散能力强，中子发生器激发过程中产生的中子以及伴随产生的 γ 射线，会与空气发生电离作用，产生极少量 O_3 和 NO_x ，其经过空气稀释、扩散后以及 O_3 自然分解后，其浓度基本为环境本底水平，不会对工作人员以及周围环境产生明显影响。

(2) 固体废物

中子管具有一定的寿命，使用一段时间后，中子产额达不到规定技术要求，将会产生废中子管。含氡靶废中子管属于放射性废物，暂存在贮存库内的铁制存储柜内，由厂家或有资质单位进行回收、处置；不含氡靶废中子管按照一般固体废物处置。

(3) 生活污水、生活垃圾

本项目中子发生器野外测井的4名辐射工作人员测井过程中产生生活污水依托井场或周边农村现有生活污水处理设施进行收集、处理；产生的生活垃圾收集后依托井场或周边农村现有的生活垃圾收集设施进行收集。

3.5 辐射安全管理措施

3.5.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

中陕核（西安）中子科技有限公司已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求，成立公司主要领导为负责人的辐射安全与环境保护领导机构，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并明确领导机构相关成员，规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明，并安排专人负责辐射安全和环境保护具体管理工作。

建设单位辐射安全与环境保护领导小组组长：张鹏（法人）

副组长：李源、宋磊、陆杰

成员：雷腾、刘明泽、栾江磊（兼职辐射管理人员）、刘恒、闫星泉、郇阳、张敏

该领导小组全面负责公司的辐射安全管理及相关工作，主要包含以下职责：认真贯彻执行国家放射性同位素和射线装置的法律、法规，接受国家和地方生态环境部门的监督与检查；对公司的放射源、非密封放射性物质、射线装置工作负总责，保证无辐射事故发生；制定本公司的放射源、非密封放射性物质、射线装置管理规定；负责对全公司辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度及防护措施的贯彻落实情况；组织实施辐射工作人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作；会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

3.5.2 辐射安全管理制度

为落实辐射安全管理措施、确保射线装置安全操作，按照国家标准和法律法规要求，中陕核（西安）中子科技有限公司目前已制定的辐射安全防护管理及规章制度包括：《辐射安全防护和管理制度》《中子发生器测井项目操作规程》《辐射设备维护与维修制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《辐射环境监测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《射线装置管理制度》《放射性废物管理制度》和《辐射事故应急预案》等规章制度。

3.5.3 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，建设单位已制定《辐射事故应急预案》，本项目运行后，建设单位目前已对现有的辐射事故应急预案进行了修订，将本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案。

一旦发生辐射事故，现场当事人应立即切断电源，并报告公司启动应急预案，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》，由建设单位辐射事故应急小组上报当地生态环境主管部门，同时上报公安部门，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。

由于建设单位原有核技术项目填报登记表主要内容包括中子发生器、以及³H、²⁵²Cf放射源的销售，不进行贮存。已经批复的中陕核（西安）中子科技有限公司中子发生器生产、销售、使用核技术利用建设项目目前正在建设，还未进行竣工验收投入运行，因此建设单位原来还未涉及放射性工作场所作业情形，因此未对辐射应急预案进行演练。本项目建成后，建设单位结合公司实际情况，及时对应急预案进行了补充修改，并将定期进行演练和记录。

3.5.4 辐射工作人员培训、体检、个人剂量监测

(1) 辐射工作人员培训

根据建设单位提供的资料，本项目共配备4名辐射工作人员，辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习并参加了考核，持证上岗。辐射工作人员名单如表3-2所示：

表3-2 辐射工作人员上岗培训信息表

序号	姓名	性别	出生年月	考核证书编号	有效期	类别
1	韩聪	男	2001.02.26	FS25SN1300028	2025.04.01 至 2030.04.01	放射性测井
2	王明鑫	男	2000.06.15	FS25SN1300030	2025.04.01 至 2030.04.01	放射性测井
3	王家豪	男	2003.02.16	FS25SN1300021	2025.03.17 至 2030.03.17	放射性测井
4	张敏	男	1989.12.18	FS25SN1300029	2025.04.01 至 2030.04.01	放射性测井

(2) 职业健康体检

建设项目辐射工作人员在核工业四一七医院进行了职业健康检查工作，放射性体检结果均无异常情况（见附件12）。辐射工作人员体检结果见表3-3。

表3-3 辐射工作人员体检结果表

序号	姓名	职业健康检查情况		
		体检部门	体检时间	检查结果
1	韩聪	核工业四一七医院	2025年4月	可继续原放射工作
2	王明鑫	核工业四一七医院	2025年4月	可继续原放射工作

3	王家豪	核工业四一七医院	2025年4月	可继续原放射工作
4	张敏	核工业四一七医院	2025年4月	可继续原放射工作

(3) 个人剂量监测

建设单位原有核技术项目填报登记表主要内容包括中子发生器、³H 非密封放射性物质以及 ³H、²⁵²Cf 放射源的销售，不进行贮存。已经批复的中陕核（西安）中子科技有限公司中子发生器生产、销售、使用核技术利用建设项目目前正在建设，还未进行竣工验收投入运行，因此建设单位原来未涉及放射性工作场所作业情形，所有辐射工作人员暂未接触放射性，无个人剂量计检测报告。

建设单位现为所有放射性测井工作人员配备了个人剂量计（能够同时测量γ射线和中子累计剂量），并建立个人剂量档案，个人剂量计委托有资质单位进行定期监测，每季度检测 1 次。

3.5.5 辐射环境监测

建设单位制定有辐射环境监测计划，新购 1 台 QZ42-4105 型中子检测仪和 1 台 QZ42-3602G 型 X、γ剂量率仪，并对监测仪器进行了检定。按照辐射环境监测计划定期对辐射工作场所周围辐射环境进行监测；每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射防护检测，并建立有辐射监测档案。

3.5.6 辐射安全管理标准化建设落实情况

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<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），核查本项目辐射安全管理、辐射安全防护措施内容是否达到相关管理要求。

表 3-4 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理）

序号	管理内容	管理要求	对照落实情况
1	人员管理 决策层	<p>就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作</p> <p>年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容</p> <p>明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责</p> <p>提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障</p>	<p>建设单位成立了辐射安全管理机构，并明确了辐射安全管理部门和岗位职责（见附件 8）。</p>

	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	建设单位辐射防护负责人已参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证（见附件11），持证上岗；辐射防护管理人员熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告	项目投入使用后由辐射防护负责人负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告。
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	建设单位已建立《辐射安全防护和管理制度》《中子发生器测井项目操作规程》《辐射设备维护与维修制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《辐射环境监测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《射线装置管理制度》《放射性废物管理制度》等相关辐射安全管理制度（见附件9）。
		建立辐射安全管理档案	建立了辐射安全管理档案，包括辐射环境监测记录，职业健康监护档案，个人剂量检测档案。
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录	项目投入使用后定期对辐射环境进行自主监测，发现安全隐患及时整改，保留巡查及整改记录。
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常	所有辐射工作人员已进行了职业健康体检，结果表明所有辐射工作人员均可从事放射工作（见附件12）。
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	所有辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习并通过了考核，持证上岗。
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	辐射工作人员了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责并签订了《辐射工作人员岗位辐射安全承诺书》。
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理	建设单位对辐射工作人员进行了辐射事故应急预案的培训，并定期进行辐射事故应急演练。
	2	机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人
3	制度执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	建立了《全国核技术利用辐射安全申报运行管理制度》，指定有专人负责单位系统的使用和维护。
		建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	建立了《射线装置管理制度》，并建立了射线装置台账。
		建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	建立了《辐射工作人员岗位职责》和《中子发生器测井项目操作规程》，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。

		建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划,并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核,建立相关检查考核资料档案	建立了《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》。
		建立辐射工作人员个人剂量管理制度,每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测,对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门,保证个人剂量监测档案的连续有效性	建立了《辐射工作人员个人剂量管理制度》,每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测,对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门。
		建立辐射工作人员职业健康体检管理制度,定期对辐射工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	建立了《辐射工作人员职业健康体检管理制度》,定期对辐射工作人员进行职业健康体检,对体检异常人员及时复查。
		建立辐射安全防护设施的维护与维修制度(包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等),并建立维护与维修工作记录档案(包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间)	建立了《辐射设备维护与维修制度》和辐射设备维护与维修记录表,明确了防护设施的维护维修内容和维护维修计划。
		建立辐射环境监测制度,定期对辐射工作场所及周围环境进行监测,并建立有效的监测记录或监测报告档案	建立了《辐射环境监测计划》,每年委托第三方检测机构进行辐射环境监测,定期对辐射环境进行自主监测,并建立有效的监测记录和监测报告档案。
		建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度,定期对监测仪器设备进行检定,并建立检定档案	建立了《辐射设备维护与维修制度》,明确了定期对监测仪器进行检定,并建立检定档案。
4	应急管理	<p>结合本单位实际,制定可操作性的辐射事故应急预案,定期进行应急演练</p> <p>辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容:①可能发生的辐射事故及危害程度分析;②应急组织指挥体系和职责分工;③应急人员培训和应急物资准备;④辐射事故应急响应措施;⑤辐射事故报告和处理程序</p>	制定了《辐射事故应急预案》(见附件10),并向当地生态环境主管部门进行了备案,应急预案包括下列内容:①可能发生的辐射事故及危害程度分析;②应急组织指挥体系和职责分工;③应急人员培训和应急物资准备;④辐射事故应急响应措施;⑤辐射事故报告和处理程序;⑥每年进行一次辐射事故应急演练。

本项目从辐射安全与环境保护管理机构的设置、辐射安全管理制度、辐射工作人员培训、体检、个人剂量监测、辐射环境监测以及标准化建设进行落实,均满足相关标准以及环评提出的要求。

3.5.7 环境影响评价报告表批复意见落实情况

本次验收根据陕西省西咸新区行政审批服务局出具的《陕西省西咸新区行政审批服务局关于中陕核(西安)中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表的批复》的批复意见,对建设单位具体落实情况进行了对照核查,核查结果见表 3-5。

表 3-5 环境影响评价报告表落实情况

序号	管理要求	对照落实情况
批复意见	加强对射线装置和辐射工作场所的辐射安全管理,定期开展工作场所辐射水平监测,并对辐射防护设施与安全设施进行检查维护,确保其可靠性和安全性。	建设单位已按照环评文件及相关标准要求,逐项落实各项辐射安全设施与防护措施,定期开展工作场所辐射环境监测,并对设施定期进行检查和维护,确保其安全性和可靠性。
	加强辐射管理和辐射工作人员培训,辐射安全管理人员以及辐射工作人员,须经过专业培训并持证上岗。辐射工作人员应配备个人剂量计、个人剂量报警仪等相关防护设备,建立完善个人剂量档案、职业健康监护档案,确保辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv,公众有效剂量不超过 0.1mSv。	建设单位建立了《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》等辐射管理制度,定期对相关人员进行培训,辐射工作人员均持证上岗。给辐射工作人员配备了个人剂量计,定期出具个人剂量检测报告,并配备了个人剂量报警仪等防护设备,建立了个人剂量和职业健康监护档案。
	重新申领辐射安全许可证,按要求编制辐射安全与防护年度评估报告,并报发证机关。	本次验收项目建设单位按将要求申报辐射安全许可证,每年按要求编制辐射安全与防护年度评估报告并于每年 1 月 31 日前报辐射安全许可证发证机关和属地生态环境部门。
	修订辐射事故应急预案,定期组织演练,严防辐射事故发生。	修订了辐射事故应急预案并按计划开展辐射事故应急演练。
	严格落实固体废物污染防治措施,废弃氙气中子管属于放射性固体废物,单独暂存于贮存库的铁质存储柜内,最终由厂家或者有资质单位回收处置;废弃氙气中子管按照一般工业固废处置。放射性废物的管理要满足《放射性废物安全管理条例》相关要求,转移要满足《放射性物品运输安全管理条例》相关要求。	建设单位建立了《放射性废物管理制度》,严格落实固体废物污染防治措施,废弃氙气单独暂存于贮存库的铁质储箱内,最终交由厂家回收处置。废弃氙气中子管按照一般工业固废处置。严格按照《放射性废物安全管理条例》和《放射性物品运输安全管理条例》的要求进行相关工作。

表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 建设项目环境影响报告表主要结论（《中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表》表 13 结论与建议（13.1.1）、（13.1.2）、（13.1.3）、（13.1.4）、（13.1.5）、（13.1.6）、（13.1.7））

13.1.1 项目概况

公司拟组建 1 组测井队伍，使用公司自行生产或外购的两种型号中子发生器开展油田井下测井，测井地点为油田测井井场。

13.1.2 产业政策以及实践正当性

中陕核（西安）中子科技有限公司利用中子发生器开展地下测井工作，测井深度位于地下 500m 深度以下，对地表辐射影响小，项目测井成果有助于石油、天然气的勘探和开发，带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.1.3 辐射环境现状质量

本项目所在地以及周边环境 γ 辐射剂量率与咸阳市原野、道路、建筑物室内 γ 辐射剂量率调查结果处于同一范围，为天然环境本底水平。项目拟建地辐射环境现状质量良好。

13.1.4 辐射安全与防护

针对本项目中子管测井的实际情况，考虑由于操作不当或其他因素导致中子发生器在井口通电激发事故状态下的影响，将井口 30m 范围划分为安全控制区边界，测井时设置警戒线，并在显著位置设置“禁止进入辐射工作场所”警告标志，设专人警戒，防止非工作人员误闯作业区。拟为每名放射性测井人员配备 1 台个人剂量报警仪。

13.1.5 辐射环境影响分析

（1）理论估算表明，中子发生器未通电情况下，中子发生器内氚靶产生 β 射线能量较弱，其产生的韧致辐射较小，中子发生器表面剂量率基本为环境本底水平；井下测井过程中，中子发生器产生的中子和 γ 射线经过水层屏蔽、距离衰减后，井口处剂量率趋于环境本底水平，对周边环境辐射影响较小。

该项目放射性测井人员主要受中子发生器关机后残留的感生放射性影响。项目所致放射性工作人员、公众年附加有效剂量分别满足本次评价提出的职业人员、公众年附加有效剂量

5mSv、0.1mSv 约束值要求。

项目运行过程中产生的废中子管，交由厂家或有资质单位进行回收、处置。

(2) 根据估算，本项目射线装置运行所致辐射工作人员的年有效剂量低于本项目辐射工作人员的剂量约束值 5mSv/a；本项目射线装置运行所致公众的年有效剂量低于本项目公众人员剂量约束值 0.1mSv/a。

13.1.6 辐射安全管理

中陕核（西安）中子科技有限公司应设置辐射安全与环境保护管理机构或安排专职辐射安全管理人员，全面负责公司辐射安全管理相关工作，公司应按照国家相关法律法规要求，制定、完善各项辐射安全管理规章制度，放射性测井人员、辐射安全管理人员经辐射安全与防护培训合格，持证上岗，并建立起放射性测井人员个人剂量档案和职业健康监护档案。在满足环评相关要求前提下，该单位具备相应的辐射安全管理能力。

13.1.7 总结论

综上所述，本项目符合辐射防护实践正当性原则，项目开展具有积极意义；在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；项目运行所致职业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分析，该项目在严格落实各项辐射防护措施情况下，对环境的影响是可以接受的。

4.2 审批部门审批决定

本项目于 2026 年 4 月 13 日取得了《陕西省西咸新区行政审批服务局关于中陕核（西安）中子科技有限公司使用中子发生器野外测井及维修 X 射线探伤机核技术利用建设项目环境影响报告表的批复》（陕西咸审服准〔2026〕61 号），批复提出了以下要求：

（一）加强对射线装置和辐射工作场所的辐射安全管理，定期开展工作场所辐射水平监测，并对辐射防护设施与安全设施进行检查维护，确保其可靠性和安全性。

（二）加强辐射管理和辐射工作人员培训，辐射安全管理人员以及辐射工作人员，须经过专业培训并持证上岗。辐射工作人员应配备个人剂量计、个人剂量报警仪等相关防护设备，建立完善个人剂量档案、职业健康监护档案，确保辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众有效剂量不超过 0.1mSv。

（三）重新申领辐射安全许可证，按要求编制辐射安全与防护年度评估报告，并报发证机关。

（四）修订辐射事故应急预案，定期组织演练，严防辐射事故发生。

（五）严格落实固体废物污染防治措施，废弃氡氩中子管属于放射性固体废物，单独暂存于贮存库的铁质存储柜内，最终由厂家或者有资质单位回收处置；废弃氡氩中子管按照一般工业固废处置。放射性废物的管理要满足《放射性废物安全管理条例》相关要求，转移要满足《放射性物品运输安全管理条例》相关要求。

表5 验收监测质量保证及质量控制

本次监测单位为陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司，秦洲公司具有陕西省质量技术监督局颁发的检验检测机构资质认定证书（编号：182712054019），并在允许范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）和陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司编制的质量体系文件的相关要求，实施全过程质量控制。

（1）专人负责查清该项目辐射源项及产生的污染物及排放途径，保证验收期间工况符合核技术应用项目竣工环境保护验收要求。

（2）我公司体制健全，监测计划及监测方案具有可操作性。本项目有明确的项目负责人、具体的项目执行人员，实行垂直管理。监测计划有明确的操作流程、操作流向清楚，对于监测计划中的相关节点作了明确布署；对于监测工作中出现的可能突发事件有明确的防范措施。

（3）在项目正式开展前，对监测人员通过现场实操的方式进行一次培训，保证参与人员熟悉仪器工作原理、设备操作、数据记录、简单的设备故障处理及监测注意事项。确保监测人员能够正确使用监测设备，并了解相关功能和操作流程。

（4）选用的现场监测设备的技术参数满足本项目的技术要求。所有现场监测设备正式开展监测前均经计量单位检定或校准，且在检定或校准有效期内。

（5）监测实施前，对所使用的监测设备进行检查，确认设备处于良好状态，以确保监测能够按照要求正常采集并记录数据。

（6）仪器每次使用后填写完整的仪器设备使用记录，并妥善保存。

（7）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。

（8）监测分析方法采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员持证上岗。

（9）监测报告严格实行三级审核制度。

表 6 验收监测内容

6.1 监测内容

中陕核（西安）中子科技有限公司委托陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对本次验收项目中子发生器测井现场进行了辐射环境检测。射线装置信息表见表 6-1。

表 6-1 射线装置信息表

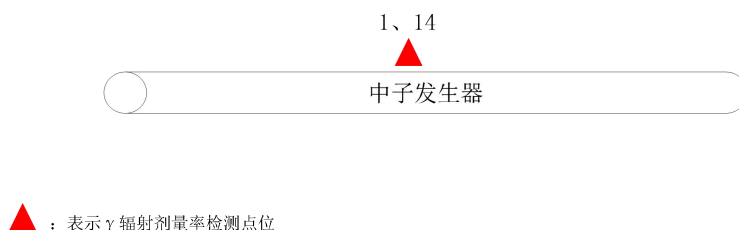
序号	装置名称	型号	生产厂家	中子强度	最大管电压，最大靶电流	射线装置分类	靶活度 (Bq)	使用场所
1	测井用氚中子发生器	ZZ-DT	信成泛华（固安）科技有限公司	$1.0 \times 10^8 \text{n/s}$	100kV，100 μA	II类	1.85×10^{11} (氚靶)	测井现场
2	测井用氚中子发生器	ZZ-DD	信成泛华（固安）科技有限公司	$1.0 \times 10^6 \text{n/s}$	100kV，100 μA	II类	/	测井现场

检测时间：2026 年 5 月 12 日

检测地点：宁夏回族自治区吴忠市盐池县大水坑镇（井场：黄平 320-21 井组；测井现场坐标：E 107.09244538°，N 37.31762048°）。

6.2 监测点位

两台中子发生器测井现场辐射环境监测点位示意图如图 6-2 所示：



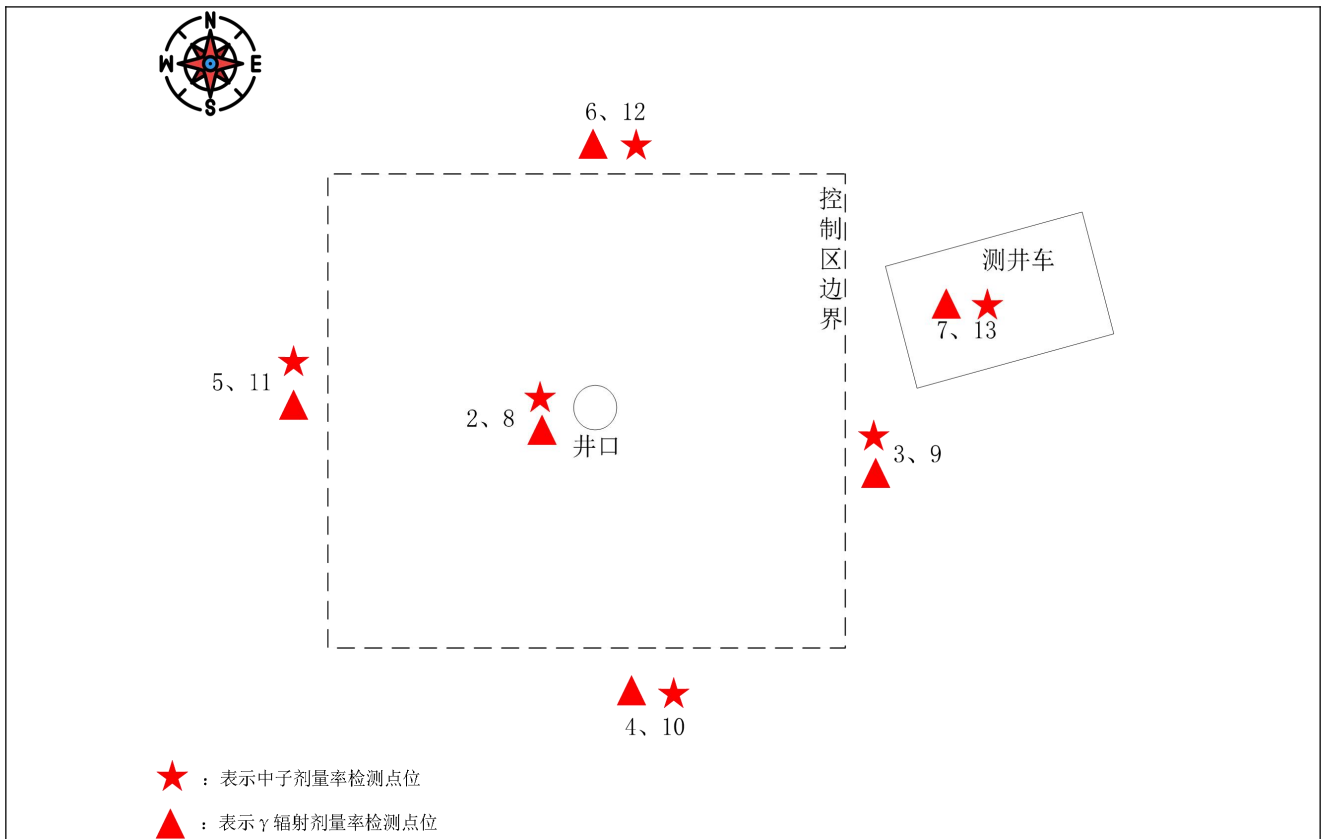


图6-2 监测点位示意图

6.3 监测及评价标准

- (1) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (3) 《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T 14318-2019）；
- (4) 《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）。

6.4 验收监测仪器

表6-2 监测仪器

序号	仪器名称	型号/规格	编号	测量参数	溯源单位/证书编号	有效期至
1	便携式X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	JC-IDNA-25	QNJC-YQ-076	(0.01~700.00) μ Sv/h 能量范围： 48keV~3MeV	中国测试技术研究院/ γ 射线：校准字第202507103259号	2026.07.10
2	中子周围剂量当量（率）仪	WF-PRM-N	QNJC-YQ-049	0.1 μ Sv/h~100mSv/h	中国辐射防护研究院放射性计量站/C校字第[2026]-N065	2027.03.04

表 7 验收监测

7.1 验收监测结果

表7-1 测井用氡氡中子发生器（型号：ZZ-DT）检测结果

序号	点位描述		检测结果 (μSv/h)			备注
			γ辐射剂量率	中子剂量率	总剂量率	
/	本底		0.08~0.11	/	0.08~0.11	井场院子
测井用氡氡中子发生器（型号：ZZ-DT；编号：XFZF25442）						
1	测井前中子发生器表面 0.1m		0.08	-	0.08	井场：黄平 320-21 井组： 测井现场坐标： E 107.09244538° N 37.31762048°
2	测井时（中子发生器位于井下 500m）	井口	0.11	<LLD _n	0.11	
3		控制区边界东侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
4		控制区边界南侧（距井口 30m）	0.10	<LLD _n	0.10	
5		控制区边界西侧（距井口 30m）	0.08	<LLD _n	0.08	
6		控制区边界北侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
7		测井车操作位	0.09	<LLD _n	0.09	
8		断电 20min（中子发生器位于井下 10m）	井口	0.11	<LLD _n	
9	控制区边界东侧（距井口 30m）		0.09	<LLD _n	0.09	
10	控制区边界南侧（距井口 30m）		0.10	<LLD _n	0.10	
11	控制区边界西侧（距井口 30m）		0.09	<LLD _n	0.09	
12	控制区边界北侧（距井口 30m）		0.09	<LLD _n	0.09	
13	测井车操作位		0.09	<LLD _n	0.09	
14	出井后中子发生器表面 0.1m		0.16	-	0.16	

注：1.检测条件：管电压 80kV，靶电流 72μA，中子强度 1.0×10⁸n/s；
 2.检测结果未扣除本底值，本底值未扣除宇宙射线响应值；
 3.中子探测下限 LLD_n=0.068μSv/h，<LLD_n表示未检出。

表 7-2 测井用氡中子发生器（型号：ZZ-DD）检测结果

序号	点位描述		检测结果 (μSv/h)			备注
			γ辐射剂量率	中子剂量率	总剂量率	
/	本底		0.08~0.11	/	0.08~0.11	井场院子
测井用氡中子发生器（型号：ZZ-DD；编号：XFZF25308）						
1	测井时（中子发生器位于井下 500m）	井口	0.10	<LLD _n	0.10	井场：黄平 320-21 井组； 测井现场坐标： E 107.09244538° N 37.31762048°
2		控制区边界东侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
3		控制区边界南侧（距井口 30m）	0.10	<LLD _n	0.10	
4		控制区边界西侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
5		控制区边界北侧（距井口 30m）	0.10	<LLD _n	0.10	
6		测井车操作位	0.08	<LLD _n	0.08	
7	断电 20min（中子发生器位于井下 10m）	井口	0.10	<LLD _n	0.10	
8		控制区边界东侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
9		控制区边界南侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
10		控制区边界西侧（距井口 30m）	0.09	<LLD _n	0.09	
11		控制区边界北侧（距井口 30m）	0.10	<LLD _n	0.10	
12		测井车操作位	0.10	<LLD _n	0.10	
13	出井后中子发生器表面 0.1m		0.14	-	0.14	

注：1.检测条件：管电压 90kV，靶电流 80μA，中子强度 1.0×10⁶n/s；
2.检测结果未扣除本底值，本底值未扣除宇宙射线响应值；
3.中子探测下限 LLD_n=0.068μSv/h，<LLD_n表示未检出。

根据陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司出具的中陕核（西安）中子科技有限公司使用射线装置核技术利用项目辐射环境检测报告（QNJC-2026-2191-FH）（见附件 13）可知：

测井用氡中子发生器在正常工作状态下（型号：ZZ-DT；编号：XFZF25442），测井现场控制区边界的总周围剂量当量率为（0.08~0.10）μSv/h；测井用氡中子发生器在正常工作状态下（型号：ZZ-DD；编号：XFZF25308），测井现场控制区边界的总周围剂量当量率为（0.08~0.10）

$\mu\text{Sv/h}$ ；检测结果均满足《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）5.2.5 中“控制区边界的周围剂量当量率不应超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

7.2 职业人员与公众剂量估算

根据建设单位提供的资料，本项目使用中子发生器野外测井项目共配备 4 名辐射工作人员，辐射工作人员年最大测井数量为 200 口，单口井中子发生器累计开机通电时间为 20min。每次测井完成后，中子发生器拆卸最长时间为 10min，全年总接触时长为 33.33h。

根据上述信息，职业人员与公众剂量按测井现场涉及的点位监测结果中最大值扣除辐射环境本底（ $0.08\mu\text{Sv/h}$ ）后进行估算。

根据环评报告预测分析和验收检测报告可知，测井前中子发生器表面周围剂量当量率为 $0.08\mu\text{Sv/h}$ 基本处于辐射环境本底水平，因此，中子发生器贮存和运输状态下，其中子发生器内 ^3H 衰变产生的 β 射线产生韧致辐射不会对工作人员以及公众产生附加剂量。

7.2.1 职业人员剂量估算

（1）中子发生器测井时剂量估算

根据辐射环境检测报告可知，测井时井口总周围剂量当量率最大为 $0.11\mu\text{Sv/h}$ ，此时辐射工作人员受到的年有效剂量为 $(0.11\mu\text{Sv/h}-0.08\mu\text{Sv/h})/1000\times 20\text{min}/60\times 200=2\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

（2）中子发生器测井后剂量估算

根据辐射环境检测报告可知，中子发生器出井后中子发生器表面 0.1m 处总周围剂量当量率最大为 $0.16\mu\text{Sv/h}$ ，此时辐射工作人员受到的年有效剂量为 $(0.16\mu\text{Sv/h}-0.08\mu\text{Sv/h})/1000\times 10\text{min}/60\times 200=2.7\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

综上所述，本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大为 $2\times 10^{-3}\text{mSv}+2.7\times 10^{-3}\text{mSv}=4.7\times 10^{-3}\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射限值（20mSv）和本次环评提出的年有效剂量控制目标值（5mSv）。

7.2.2 公众剂量估算

本项目测井人员接到测井任务到达测井现场后，首先对测井现场进行清场，让无关人员远离测井区域，在井口 30m 外设置警戒线，测井过程中，中子发生器位于井下至少 200m 深度处，在警戒线外设置专人警戒，防止公众进入操作区边界范围内。由于本项目测井现场位于野外，当地居民一般难以达到测井区域，加之采取设置警戒线、专人警戒等措施后，当地居民最大可达到的位置为井口 30m 外，由于测井现场不固定，且当地居民在测井区域停留次数较少、所接触射线的时间较短，中子发生器运行所致当地居民的年附加有效剂量极小，可忽略不计。

对于公众的剂量估算，主要考虑中陕核（西安）中子科技有限公司的其他工作人员（非放

射性测井人员），其最大可达到的位置为井口 30m 外。根据辐射环境检测报告可知：中子发生器测井过程中井口外 30m 处总周围剂量当量率最大为 0.10 μ Sv/h。根据建设单位提供的资料，单口井中子发生器累计开机通电时间为 20min，全年测量 200 口井，则该项目所致非放射性测井人员（公众）最大年附加有效剂量为 $(0.10\mu\text{Sv/h}-0.08\mu\text{Sv/h})/1000\times 20\text{min}/60\times 200=1.3\times 10^{-3}\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射限值和本次环评提出的年有效剂量控制目标值（0.1mSv）。可见，在本项目运行过程中，设备产生的射线对公众的影响很小。

表 8 验收监测结论

8.1 结论

1.中陕核（西安）中子科技有限公司已按国家有关建设项目环境管理法规的要求，对该项目进行了环境影响评价工作并取得了环评批复，该项目配套环保设施已建成，可正常运行。

2.现场监测表明，该项目两台中子发生器在正常工况下运行时，控制区边界的周围剂量当量率符合《油气田测井放射防护要求》（GBZ 118-2020）的相关要求；该项目所涉及的职业人员和公众产生的最大年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的限值要求及本项目环评报告中提出的剂量约束值要求。

3.该项目辐射安全措施满足相关标准要求：建设单位为本项目配备了 1 台 X、 γ 辐射剂量率检测仪和 1 台中子当量剂量率检测仪，为辐射工作人员配备了个人剂量计（含中子和 γ 射线监测）、个人剂量报警仪和铅衣等防护用品，在辐射工作场所设置安全警戒线和警示牌等辐射安全措施。

4.建设单位成立有辐射安全和防护管理机构，制定了各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并将相关制度张贴上墙。

5.项目 4 名辐射工作人员参加了核技术利用项目辐射安全与防护考核，并取得了成绩报告单；辐射工作人员进行了职业健康体检，已委托有资质的单位承担个人剂量监测，建立了职业健康监护档案和个人剂量监测档案，指定有专人负责档案管理工作。

综上所述，中陕核（西安）中子科技有限公司成立了辐射安全与环境保护管理机构，落实了环评报告及环评批复中辐射安全管理制度和辐射安全防护各项措施，辐射工作人员持证上岗，职业健康检查结果无异常，符合建设项目环境保护验收要求，建议该项目通过竣工环境保护验收。

8.2 建议

1.认真学习《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关法律法规，进行标准化管理，不断提高中陕核（西安）中子科技有限公司核安全文化素养和安全意识，积极配合各级生态环境部门的日常监督检查，确保射线装置的使用安全。

2.做好各项辐射安全管理档案、工作台账、维护和维修记录，并及时存档。

3.继续加强对辐射工作人员的培训教育。

4.定期进行辐射工作人员个人剂量监测，做好个人剂量监测档案管理工作。

5.严格落实监测计划，进行自主监测并对监测结果进行记录、存档，并每年委托有资质的单位开展辐射监测并出具监测报告。