

中国退役铀矿冶设施长期监护中的监测问题探讨

梁家玮, 张家豪

(中核铀业有限责任公司, 北京 100013)

摘要: 阐述了退役铀矿冶设施的环境风险隐患, 在分析中国退役铀矿冶设施的长期监护重要内涵和作用的基础上, 总结了长期监护的总体方案和实施途径。针对中国退役铀矿冶设施长期监护的环境监测现状及存在的问题, 提出了解决思路和办法, 并对后续运行监护工作的技术和管理措施提出了关注方向。

关键词: 铀矿山; 退役; 长期监护; 环境监测; 环境风险

中图分类号: TL943; X837 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)01-0076-05

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2023.07.05

目前, 中国已有几十座铀矿山完成了退役和环境整治工作。这些铀矿冶设施退役后, 在其有限制开放使用的设施内还存放着含铀、镭及其长寿命子体等放射性核素的废物, 受自然因素或人为因素的影响, 有造成二次污染的风险^[1]。

确保退役铀矿冶设施的长期安全稳定, 消除环保隐患, 管控环境风险是践行生态文明建设的重要举措。采用行之有效的监护手段和方法, 不断完善各项措施, 是确保退役铀矿冶设施长期安全稳定和环境风险受控的需求^[2]。

1 退役铀矿冶设施监护运行现状

中国铀矿冶退役治理工作起步于20世纪80年代^[3], 多年来, 中核铀业有限责任公司一直负责铀矿冶系统矿山、水冶厂等的退役治理管理工作, 有着丰富的退役管理经验; 由其代管的各省级铀矿冶局以及原退役单位破产后的重组单位等, 对退役治理设施进行定期维护。中核铀业有限责任公司承担了“十二五”和“十三五”期间退役铀矿冶有限制开放设施监护项目的监督管理工作, 对影响安全和环境的隐患或问题进行了及时处理, 有效确保了设施安全和环境安全。

但大部分退役铀矿冶设施地处偏远地区, 交通不便, 监护运行的管控难度大、成本高。近年来, 随着社会经济的不断发展, 部分监护设施与当地生产生活越来越密切, 对监护运行工作执行的可靠性要求也日益增高。其中, 长期监护工作的一个重要

组成部分是对退役设施进行日常巡视监测。

2 现阶段监护运行方案

2.1 监护工作依据

退役铀矿冶设施长期监护工作主要依据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB 23727—2020)、《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》(GB 14586—1993)和《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB 23726—2009), 公众个人剂量管理约束值为0.3 mSv/a, 监护设施表面平均氡析出率不超过0.74 Bq/(m²·s), 流出水或渗出水排放口的 $U_{\text{天然}}$ 质量浓度管理限值为0.3 mg/L, ²²⁶Ra、²¹⁰Pb、²¹⁰Po活度浓度管理限值分别为1.1、0.5、0.5 Bq/L。

2.2 巡视监护方案

2.2.1 尾矿(渣)库

对尾矿(渣)库监护, 主要是检查滩面、坝体的渗漏、截(排)洪沟、观测装置, 以及尾矿(渣)库生态恢复及周围地质情况等的状态, 并检查有无覆盖层流失、断裂、塌陷、损坏、淤堵等现象。

2.2.2 废石(渣)场

对废石(渣)场的监护, 主要是通过检测挡土墙稳定性、排水沟、边坡表面的完整水平、生态恢复, 以及检查地面有无坍塌、损坏、淤堵、覆盖层流失等现象。

2.2.3 工业场地

工业场地巡视与监护主要是目测表面覆盖层的损毁、破裂等状况, 同时对工业场地占用状况进

收稿日期: 2023-07-31

第一作者简介: 梁家玮(1984—), 男, 吉林长春人, 硕士, 高级工程师, 主要从事铀矿地质、矿冶退役治理项目管理。

行检查并记录。

2.2.4 露天采场废墟

露天采场废墟保护重点是覆盖层边坡及周边围护墙等设施有无异常或损坏现象。

2.2.5 坑(井)口

坑(井)口巡查监督主要是查看封堵设施的完好情况,完成巡查监督任务。

2.2.6 排污沟

排污沟监护,主要是检查沟壁、沟底磨损现象,沟内有无积水,两侧被破坏山体有无发生滑动,以及沟内土地和水体有无被错用。

当巡视以上设施是否完好时,需使用随身携带的 X- γ 剂量率仪对设施表面进行随机监测,判断有无异常区域,并记录检测数据。当未发现问题时,监护人员记录巡视时间及设施状态,结束该设施的本次巡视监护工作。当发现设施存在塌陷、损坏、淤堵等情况时,监护人员及时留下影像资料,估算存在问题部位的工作量并标记位置。当随机检测发现数据异常时,监护人员在异常检测点周围加密测量并记录检测数据,确定异常区范围并做出标记,留下影像资料。根据发现的问题,监护人员及时开展维修并做好资料的收集整理工作,确保设施安全稳定。

2.2.7 废水处理设备运行监护

监护人员根据运行监护计划定期补充树脂、进行树脂淋洗及泵阀管路养护等工作;如出现设备部件损坏情形,操作人员应准确保存图片资料,标明受损部位和状况,并采取相应保护措施。在对废水处理设备进行监护过程中,对处理后排放废水进行检测,如监测结果不合格,须将废水返回处理系统进行再处理,最终实现达标排放。同时对需处理的尾矿(渣)库渗出水或矿坑水进行监测,若未处理废水的水质能保持长期合格,则可按有关规定移除废水处理设备。

在做好巡查、维护作业的同时,根据监护计划进行定期外委监测。

2.3 环境监测方案

对有限制开放的设施开展辐射安全检测,识别并掌握可能出现的环境风险,维护设施稳定性,避免对环境和周边公众造成不利影响。辐射环境监测主要包括日常巡视监测和定期监测。

2.3.1 日常巡视监测

日常巡视监测是由维护技术人员携 X- γ 剂

量率检测仪,对尾矿(渣)库、废石(渣)场、不稳定区、露天采场废墟和工业场地等开展 γ 辐射剂量率监测,并记录监测结果。

2.3.2 定期监测

定期监测工作的主要内容是对尾矿(渣)库、废石(渣)场、工业场所等进行²²²Rn 浓度、²²²Rn 析出率和 γ 辐射剂量率监测,对坑井口排出水等进行铀、镭含量监测。

2.3.3 监测频次

在监督检查活动中,监护人员随身携带 X- γ 剂量率检测仪,针对现场设施情况进行随机检查。 γ 辐射剂量率日常巡视监测频次与各设施日常巡视监护频次相同。

根据《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB 23726—2009)中的监测频率要求,退役铀矿冶设施定期监测频次为退役治理竣工后前 2 年每年监测 1 次,以后逐年降低监测频次。

2.3.4 监测机构、人员及监测项目

日常巡视监测工作由监护人员使用辐射监测仪自行开展,定期监测工作委托具有相应监测资质的单位进行。

监测项目主要为废石(渣)场、尾矿(渣)库的²²²Rn 析出率、 γ 辐射空气吸收剂量率,以及矿井或尾矿库流出水中的 pH、 $U_{\text{天然}}$ 、²²⁶Ra 等。

2.3.5 监护设备配置

现场配置 X- γ 剂量率仪、全站仪、无人机等(表 1)。

表 1 监护设备及主要技术指标

Table 1 Monitoring equipments and main technical indicators

设备名称	主要技术(性能)指标或规格要求
无人机	续航能力 0.5 h、信号传输距离 7 km、多方向避障
X- γ 剂量率仪	探测下限 1×10^{-9} Gy/h
水准仪	每千米往返高程精度 0.7 mm
全站仪	角度测量精度 1° 、距离测量精度 3 mm
微量 U 分析仪	探测下限 0.5 $\mu\text{g/L}$
室内氡钍分析仪	探测下限 0.002 Bq/L
智能标定器	最高计数率不低于 5 MHz
RAD7 测氡仪	探测下限 ≤ 2 Bq/m ³
HDC-C 测氡仪	探测下限 ≤ 10 Bq/m ³
FT-648 测氡仪	灵敏度 ≤ 3.3 Bq/m ³
真空泵	流量 30 L/min
pH 测量仪	探测下限 0.01

3 退役铀矿山长期监护存在的问题及注意事项

当前,中国对退役铀矿冶设施长期监护的方式和技术手段仍处于不断探索中。日常巡视是最基本的监护手段之一,通过日常定时巡视,及时准确掌握有限制开放退役治理设施的情况,适时制定处理方案;在铀矿冶设施安装专门监控装置,对地质条件和放射性环境变化进行监控。

但近年来铀矿山人员变动较大,部分退役铀矿山配备的监测人员缺乏相应的监测知识,对监测程序缺乏足够的重视,在监测过程中易出现不当操作,导致监测结果的误差较大。

3.1 环境 γ 辐射剂量率

环境 γ 辐射剂量率测量结果可以反映历年铀矿冶设施引起的环境辐射水平变化,同时也为铀矿冶设施在发生事故时对公众所致外照射剂量估算提供数据资料^[4]。

退役铀矿冶设施的天然放射性核素(铀、钍、钷、空气氡及其子体等)浓度及宇宙射线、气象参数(温度、湿度)的变化是影响 γ 辐射剂量率变化的主要因素。应明确注明所给 γ 辐射剂量率监测结果是否扣除了仪器宇宙射线响应值。

进行历年的环境 γ 辐射剂量率变化趋势比较时,应对各阶段同一监测点位、同一气候特征时的监测数据,判断辐射环境变化趋势;尤其是南方地区降水丰富,气候特征尤为重要,应确保仪器测量开始前 6 h 至测量过程中无降雨。

在监测中,应尽量避免有干扰监测的行为,例如监测时是否有瞬时含放射性的矿石、废石散落,或有放射性物品操作带来附加剂量率。

环境 γ 辐射剂量率是长期监护中的重要监测项目,可快速判断设施的安全性。当环境 γ 辐射剂量率出现高于或低于历年监测值的情况时,应排除干扰因素,再判断是否为异常值。在通常情况下,按照历年小时均值 3 倍标准差判断异常值。出现异常值时,要根据各影响因素对其进行分析和取舍,以实时了解辐射环境水平的真实情况^[5]。

目前退役铀矿冶设施监测人员对影响环境 γ 辐射剂量率数值变化的因素了解得不够全面,在今后监测中还需进一步深入研究,加强培训,为辐射环境质量监测及应急监测提供可靠的数据支撑。

3.2 环境中氡及氡析出率的监测

中国退役铀矿冶设施使用的测氡仪器主要有基于静电收集氡子体原理的 DurrIDGE RAD7 测氡仪和中国自行研制的 HDC-C 高灵敏度环境测氡仪,以及基于双滤膜法的 FT-648 测氡仪。

DurrIDGE RAD7 测氡仪和 HDC-C 高灵敏度环境测氡仪灵敏度较高,探测下限 ≤ 10 Bq/m³;仪器体积小,便于携带,价格适中;测量时间短,不受大气压力变化的影响,现场可以得到测量结果,也可以连续监测环境氡浓度的变化;但静电场受空气湿度的影响较大,需要进行除湿或湿度修正^[6]。

FT-648 测氡仪的探测下限比基于静电收集法的测氡仪低,可达 0.74 Bq/m³。但在仪器连接时应注意取样系统的气密性,防止漏气;可以通过连接后开启取样泵,将入口堵住观察流量计指示是否下降,来检验系统的气密性。

光电倍增管一般应工作在坪区,而大部分 FT-648 型测氡仪是根据探测效率确定工作电压,应注意保证仪器电源电压的稳定性。为保证将“长寿命子体”过滤干净,入口滤膜阻力较大,在流量计前会形成负压,使实际流速低于流量计的指示值,需选择负荷特性好的采样泵或进行取样流量的气压修正^[7]。

4 提升退役铀矿冶设施监测质量的建议

4.1 构建环境监测质量管理标准体系

为有效提升环境监测管理水平,促进环境监测质量的提升,需要对环境监测制度体系进行构建、改进和完善。构建环境监测质量控制制度能够在一定基础上确保数据信息的可靠性,并且能够在实时监控过程中对环境监测情况进行全面掌握和了解。

现阶段还需进一步改进和完善中国退役铀矿冶设施环境监测质量控制体系,为生态环境监管部门、环境监测单位提供可靠的参考依据。环境监测单位应结合监测工作中遇到的实际问题,以及监测数据信息的记录、保存和信息化管理需要,构建内部环境监测质量控制制度。同时,监测单位应对技术人员的环境监测工作职责、作业程序和要求等进行规定,为监测工作的开展提供基础的质量保证^[8]。

4.2 加大数据审核力度

加强数据审核工作,可提升监测数据的准确性和真实性,提升环境监测数据质量水平,为提升环境监测数据的质量提供保障。

在监测数据审核过程中,审核人员需要充分了解监测数据的基本情况,调查其污染源的位置、实际排污情况,以及监测现场情况等,以提升审核工作的效率和质量,为今后对同一污染源数据的监测提供参考。通过对环境监测数据的审核,不仅可有效提升监测数据的准确性,同时也可在数据出现偏差的情况下,及时制定合理的解决方案,避免造成不必要的后果^[9]。

4.3 重视现场采样的代表性和一致性

现场收集有代表性的样本是保证监测数据准确性的重要前提。现场采样环境状况错综复杂,对现场环境状况可采用的质控措施也十分有限。为加强对现场的信息化建设与控制,对现场采集情况可通过全程影像监控、地理信息定位等手段,跟踪现场监测位置,对现场采集信息进行传递,以保证对现场环境监测信息的可追溯性。

4.4 保障监测仪器的可靠性

监测仪器的可靠性是保证环境监测数据精度的基础。监测机构要作好监测仪器设备的相关管理工作,按照监测装置的使用条件和有关规范严格进行装置的校准和日常保养与检定。在监测仪器设备实际操作过程中,仪器使用人应根据仪器使用说明书、有关要求和操作规程、标准进行,并根据规定妥善保管监测资料。

为提高环境监测的品质,监测机构须按照监测要求及时更换监测仪器,并采用更优质、更有效的监测仪器,以防止由于仪器老旧而降低环境监测活动的品质与效果。

4.5 建设高层次技术人才队伍

在环境监测工作中,人员素质会对监测质量产生一定的影响。环境监测系统性强,涵盖学科广,对人员科技水平、技术素养要求高。打造一批优秀的监测人员专业队伍,是高效进行环境监测的基本保障。

高素质监测人才队伍的建设可从以下几个方面进行:1)招聘具备一定知识和能力的专业人才,快速提高监测人才队伍的综合素养;2)经常组织环境监测工作人员进行技术知识培训,让监测人员了解监测仪器的特性、使用条件,能够根据操作

规程和方法进行熟练、灵活作业;3)培训员工职业素质,增强员工的责任心和使命感。

4.6 强化管控和支撑

为进一步推动中国退役铀矿冶设施的监护和环境监测工作,首先要强化政府与企业的监督与管控,实现中国退役铀矿冶设施的安全可控;其次要加强政府与企业的资金投入与技术支持,提高监护与环境监测工作的技术和能力;最后要加大国际交流与协作,主动借助和吸纳国外的先进经验与技术。

5 结语

现阶段,中国已形成了退役铀矿冶设施监护运行方案。通过该运行方案,可发现尾矿(渣)库、废石(渣)场、坑(井)口、露天采场废墟等设施存在的安全隐患和问题,对影响安全和环境的隐患或问题及时处理,确保监护设施的安全稳定,对维护项目所在区域的社会稳定具有较为积极的作用。

但长期监护中的监测质量还应进一步加强,目前监测方案比较传统,监测设备比较单一,监测信息化程度不高;监测工作人员的专业知识水平也有待加强。只有解决上述问题,才能实现对退役铀矿冶设施进行全方位、准确和高效地管理,并形成长期监护和监测成果与上层管理的有效反馈。

参考文献:

- [1] 李娜娜. 某退役铀矿山放射性环境现状调查及评价[J]. 铀矿冶, 2023, 42(1): 80-90.
- [2] 邸润洁. 中国南方某铀矿山退役治理后辐射环境现状调查与评价[D]. 抚州: 东华理工大学, 2023.
- [3] 刘晓超, 杜娟. 铀矿冶退役设施的长期监护管理[J]. 铀矿冶, 2012, 31(3): 162-163+168.
- [4] 白书明, 肖铮. 一铀矿山废石堆场退役治理后环境放射性监测[J]. 核电子学与探测技术, 2004(4): 435-437.
- [5] 王溪睿. 影响辐射环境自动监测站 γ 剂量率变化的几种因素[J]. 科技创新与应用, 2016(20): 58.
- [6] 刘丽艳, 赵修良, 黄顺, 等. $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ 联合测量的方法与技术状况[J]. 核电子学与探测技术, 2011, 31(2): 248-250+254.
- [7] 李先杰. 环境空气中氡的监测方法[J]. 辐射防护通讯, 2021, 41(6): 1-17.
- [8] 李先杰, 段剑臣, 薛建新, 等. 我国铀矿冶流出物与环境监测能力建设[J]. 铀矿冶, 2014, 33(1): 26-30.
- [9] 谭杰, 李叶. 提高环境监测数据质量水平的对策分析[J]. 科技风, 2020(31): 3-4.

