铀矿冶退役设施长期监护现状与建议

刘晓超，谢占军，詹乐音，张云涛，路晓卫

（中核第四研究设计工程有限公司，河北 石家庄 050021）

摘要：铀矿冶退役设施长期监护是区域环境安全和公众健康的重要保障。以“十二五”及以前退役的铀矿冶设施监护为研究对象，调查了长期监护的方法与流程、监护的保障条件和监护设施辐射安全现状，梳理了长期监护存在的问题，并提出了合理化建议。

关键词：铀矿冶；退役设施；长期监护

中图分类号：TL943 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)02-0083-06

DOI：10.13426/j.cnki.yky.2022.10.08

为确保退役治理工程所在地的环境质量，国外对退役治理工作及退役治理后的环境监测、监护、评价，以及退役设施治理工程的长期有效性，制定了长期监督和维护计划[1]，其退役铀矿长期监护的责任主体一般是当地政府或者原铀矿企业[2]。

中国铀矿退役治理工作于 20 世纪 80 年代中后期开始，到目前为止已有 20 余座矿山完成退役验收并进入长期监护状态[3]。由于时间跨度长、矿山分布范围广、退役设施数量多，所以退役矿山监护现状值得关注。考虑到“十三五”期间退役的铀矿山刚完成退役与验收工作，监护时间较短，因此以“十二五”及以前退役的矿山为对象，就其辐射安全与监护现状进行研究，提出改善退役铀矿山设施长期监护工作的建议。

1 监护设施概况

截止 2020 年，中国进入长期监护状态的铀矿山共 16 座，监护设施包含尾矿（渣）库 7 座、废石场 130 多个、露天采场废墟 20 多个、坑（井）口 230 余个，监护尾矿（渣）和废石等安全处置的固体废物量约 2 300 万 t，监护总面积达 310 万 m^2。监护设施广泛分布在华南、华东、西南、西北和东北等区域（图 1）。

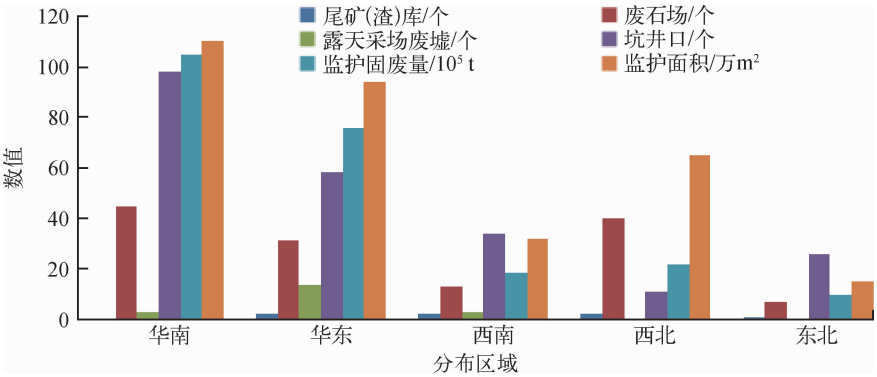


图 1 铀矿冶监护设施区域分布

Fig. 1 The distribution of decommissioned uranium mining and metallurgy facilities

收稿日期：2022-10-28

第一作者简介：刘晓超（1972—），男，河北石家庄人，硕士，研究员级高级工程师，主要从事辐射防护与环境保护相关工作。

2 监护现状

2.1 相关监护法规标准

《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》(GB 14586—93)明确提出铀矿冶设施退役交付的相关要求,并指出"退役设施必须进行长期监护和管理"[4]。在《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB 23726—2009)中,对铀矿冶设施监护期的监测介质、监测点位、监测频次做出了规定[5]4。在《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB 23727—2020)中,专门对长期监护的内容和形式、监护方案编制和档案管理提出了要求[6]。

2.2 监护方法与流程

铀矿冶退役设施长期监护,主要是为了保障环境和公众安全,在退役完成后,针对有限制开放或使用的设施进行长期巡查维护和监测的活动。长期监护的原则主要是满足剂量约束值、排放限值和工程长期安全稳定性的要求[7]。长期监护主要包括日常巡查维护和定期监测。

日常巡查维护主要是通过监护人员定期到监护设施现场,通过观察表面状况和物理探测相关指标来确定设施的完整性和安全性,并对相关损毁设施进行维修维护的过程。根据设施的安全重要性不同,其巡视巡查频次见表 1。日常巡查维护的重点是尾矿(渣)库的滩面和坝体、废石场的挡土墙和坡面,以及相关的截排洪沟等设施,监测其是否存在覆盖层流失、裂缝、倒塌、破损、淤堵、破坏等情况,监测工业场地覆盖层、露天采场废墟围挡、坑(井)口封堵设施等是否有破损情况,主要通过表面观察、γ剂量率监测来实现[8]。日常巡查监护流程见图 2。

表 1 退役设施日常巡视巡查频次

Table 1 Frequency of daily check of decommissioned facilities

设施名称	巡查频次
尾矿(渣)库	24 h 值班,1 次/天
废石场(储量<9 万 t)	1 次/周
废石场(储量≥9 万 t)	2 次/周
露天采场、工业场地	2 次/周
无水坑口	1 次/月
有水坑口	1 次/周

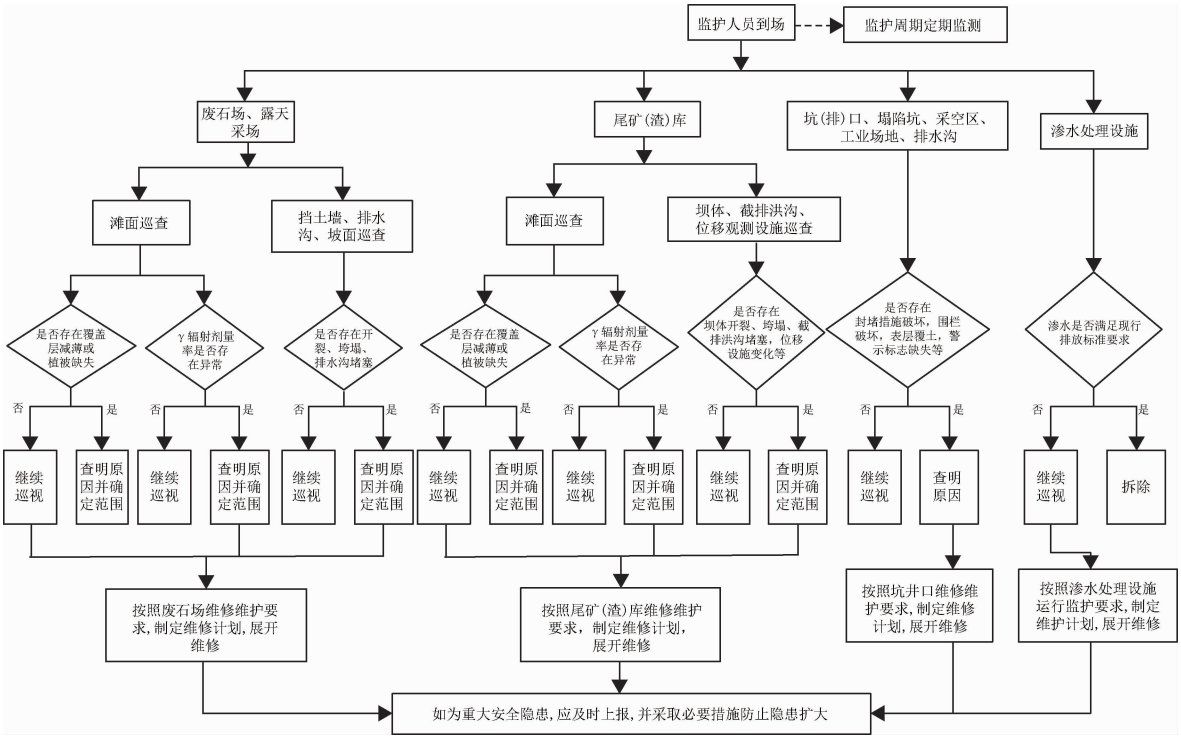


图 2 日常巡查监护流程

Fig. 2 Process of daily check of decommissioned facilities

定期监测是监护单位委托有监测资质的单位定期开展的监测工作。定期监测频次一般为设施退役治理竣工后，2 年内每年 1 次，2 年后每 2 年 1 次。监测指标为尾矿（渣）库、废石场和工业场地等设施的表面 γ 辐射剂量率和氡析出率，坑口流出水或露天采坑积水的 $U_{天然}$ 和 ^{226}Ra[5]5。

2.3　监护条件保障

铀矿冶退役设施长期监护条件保障是在明确的责任主体和健全的工作组织机构下，通过组织配置人员、设备和资金，确保监护工作的正常开展。监护设施的巡视巡查人员一般为 2 人。监护设备包括交通设备、巡检设备和主要办公设备，其中交通设备为运输车辆，一般每矿点配置 1 辆；巡检设备为 X-γ 剂量率仪，每矿点配备 1 台；办公设备包括资料存贮设备和影像录制设备，每矿点配备 1 套；另外，尾矿（渣）库配备位移监测系统 1 套。除人工费和设备费外，铀矿冶退役长期监护设施的维修工程费也是监护资金的重要部分。各区域监护费用情况见图 3。

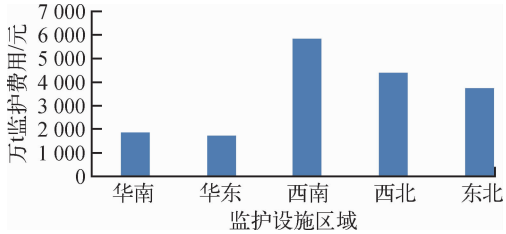


图 3　退役设施监护费用

Fig. 3　Monitoring cost of decommissioned facilities

2.4　辐射安全

铀矿冶退役设施定期监测是长期监护的重要内容，也是检验监护效果的主要手段之一。根据可能存在的环境风险，开展定期监测，重点关注尾矿（渣）库、废石场和有水坑口等设施，尾矿（渣）库和废石场的监控指标为 γ 辐射剂量率和氡析出率，坑口流出水主要监控放射性核素 $U_{天然}$ 和 ^{226}Ra。铀矿冶监护设施辐射安全现状见表 2～表 3和图4～图 5。

表 2　铀矿冶监护设施 γ 辐射剂量率和氡析出率现状

Table 2　Status of γ radiation dose rate and radon exhalation rate in decommissioned uranium mining and metallurgy facilities

设施区域	γ 辐射剂量率			氡析出率		
	测点数/个	测量值/（nSv·h^{-1}）	平均值/（nSv·h^{-1}）	测点数/个	测量值/（Bq·m^{-2}·s^{-1}）	平均值/（Bq·m^{-2}·s^{-1}）
华南	2 399	70～750	168	628	0.001～2.660	0.159
华东	1 611	30～860	140	479	0.007～0.707	0.117
西南	663	99～360	161	160	0.012～0.830	0.326
西北	1 721	48～874	128	623	0.006～0.638	0.124
东北	374	108～150	128	107	0.002～0.057	0.020

注：γ 辐射剂量率未扣除仪器对宇宙射线的响应。

表 3　铀矿冶监护设施液态流出物放射性核素现状

Table 3　Radionuclide status in liquid effluent from uranium mining and metallurgical monitoring facilities

设施区域	测点数/个	$\rho(U_{天然})$/(mg·L^{-1})		$C(^{226}Ra)$/(Bq·L^{-1})	
		测量值	平均值	测量值	平均值
华南	9	0.001 2～0.273 0	0.082 3	0.054～0.500	0.134
华东	13	0.001 9～0.151 0	0.049 6	0.014～0.204	0.061
西南	6	0.000 1～0.063 5	0.010 7	0.023～0.048	0.032
西北	4	0.128 0～0.240 6	0.184 8	0.023～0.182	0.103

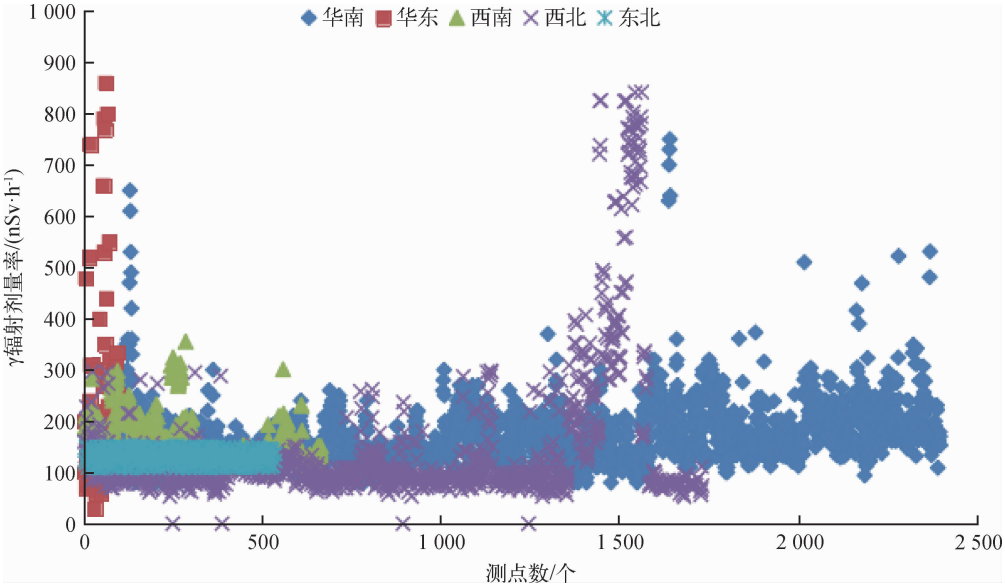


图 4 铀矿冶监护设施 γ 辐射剂量率分布

Fig. 4 Distribution of γ radiation dose rate in decommissioned uranium mining and metallurgy facilities

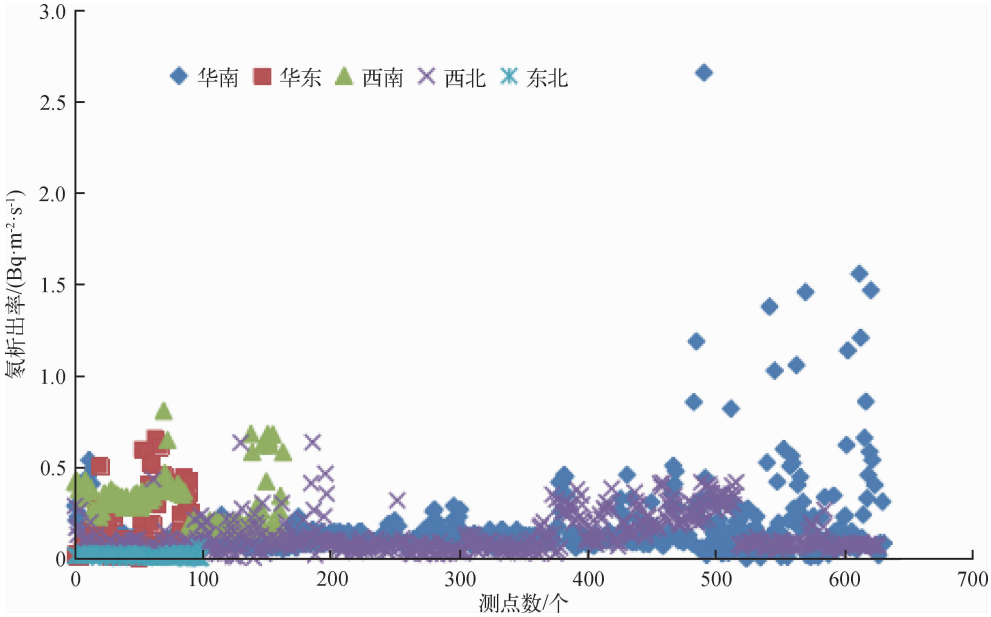


图 5 监护设施氡析出率分布

Fig. 5 Distribution of radon exhalation rate in decommissioned uranium mining and metallurgy facilities

由图 4～图 5 可看出，铀矿冶设施 γ 辐射剂量率为 30～874 nSv/h，各区域平均值均在 170 nSv/h 以下；氡析出率大部分为 0.001～0.740 Bq/(m^2 · s)，各区域平均值在 0.326 Bq/(m^2 · s)以下，但有少量点位较高。液态流出物中 ρ($U_{天然}$)为 0.000 1～0.240 6 mg/L，C(^{226}Ra)为 0.014～0.500 Bq/L，均能满足国家相关要求。总体来看，铀矿冶退役长期监护设施的辐射安全是总体可控的。

3 存在的问题与建议

3.1 完善法律法规

长期监护是保障铀矿冶设施安全的重要手段。IAEA 规定，监护主体可以是政府(通常是 1

个监管主体之外的专门机构）或授权的实体[9-10]。美国《铀尾矿法案》规定，退役治理后的设施移交至联邦政府或州政府管理，进行长期监护与监测，直到公众认可。当前，中国针对铀矿冶退役设施长期监护的法规标准较少，由于缺乏必要的法律法规支撑，铀矿冶退役设施的移交工作办理不及时，截止目前仅有 2 座矿山进行了移交；长期监护的责任主体、责任边界和资金来源也不明确，有效保障性不强。在标准方面，缺乏长期监护的内容、方法、控制标准和效果评估等方面的明确要求，造成监护工作参差不齐。

建议在《放射性污染防治法》等法律法规中明确铀矿冶退役设施的移交与长期监护主体、责任边界与资金来源，尽快制定专门的监护标准和管理规定，明确长期监护的内容、方式、需达到的标准、保障条件、应急措施及效果评估等方面的要求。

3.2　解决历史遗留问题

铀矿冶设施选址主要靠近铀矿赋存区，用地属于直接划拨使用，铀矿冶设施多与周围居民区纵横交错。随着经济的发展和环保意识的提高，土地产权纠纷时常发生，甚至出现侵扰监护设施的现象，严重影响设施安全。随着时间的推移，铀矿冶退役设施区可能出现一些类似山体裂缝、地表塌陷等问题，产生新的安全隐患。另外，部分退役较早的设施，受原有的社会、经济、技术水平的限制，其治理技术手段和治理标准已经不能与当前水平相适应，因此在监护过程中需要重视和解决相关历史遗留问题。

建议有关部门出台相关政策，协调地方政府，划清产权关系。对于新出现的安全隐患和部分治理标准落后的铀矿冶退役设施，建议设立专项资金，尽快启动修复工作，以确保消除隐患，满足当前的辐射安全要求。

3.3　提高监护技术手段

提高监护技术手段，全面掌握铀矿冶退役设施的安全状况。建议引进无人机航拍手段，全面掌握尾矿库或废石场的整体表观情况，尤其对于南方多雨、植被茂盛的地区，无人机航拍既可提高工作效率，又可实现对部分工作人员无法到达区域的检查。建议每 5 年对监护设施进行 1 次航空 γ 测量；与 GIS 技术相结合，充分利用地理信息系统，全面及时掌握设施辐射安全变化。

3.4　完善保障条件

保障条件主要是指人员、设备与资金的保障。由于尾矿库滩面较大，且需要驻现场值守，废石场比较分散，配置 2 人开展监护是远远不够的，因此建议调整人员配置至 3～5 人。

监护设备是开展监护工作的另一重要保障。交通车辆应按照行驶总里程进行更替，确保生产安全。监测设备应考虑备用，确保在设备校验、维修情况下现场巡测工作的正常开展。资料存贮和影像录制设备，应根据使用情况更新换代，保证使用的有效性。

资金是长期监护的基础。建议增加资金保证，确保监护设施维修维护可靠、有效。

4　结论和建议

铀矿冶退役设施的长期监护主要采用巡查维护、定期监测等手段，确保监护设施的长期安全。目前长期监护设施辐射安全总体可控。

建议健全法规标准体系、解决历史遗留问题、提高监护技术手段、完善保障条件，以确保铀矿冶退役设施的长治久安。

参考文献：

[1] 潘英杰，徐乐昌，薛建新，等. 国外铀矿冶设施的退役治理[J]. 铀矿冶，2012，31(2)：92-95.

[2] 徐乐昌. 德国铀矿山和水冶厂退役治理状况[J]. 铀矿冶，2001，20(3)：161-171.

[3] 李韧杰，潘英杰. 铀矿冶设施退役与环境治理[M]. 北京：中国原子能出版社，2001.

[4] 国家环境保护局. 铀矿冶设施退役环境管理技术规定：GB 14586—93[S]. 北京：中国标准出版社，1993.

[5] 中华人民共和国环境保护部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 铀矿冶辐射环境监测规定：GB 23726—2009[S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[6] 中华人民共和国生态环境部，中华人民共和国国家市场监督管理总局. 铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定：GB 23727—2020[S]. 北京：中国环境出版集团公司，2020.

[7] 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.

[8] IAEA. Monitoring and surveillance of residues from the mining and milling of uranium and thorium, IAEA safety reports series No. 27[R]. Vienna:

IAEA,2002.
[9] IAEA. Management of residues containing naturally occurring radioactive material from uranium production and other activities, IAEA safety standards No. SSG-60[R]. Vienna:IAEA,2021.
[10] IAEA. Management of NORM residues, IAEA-TECDOC-1712[R]. Vienna:IAEA,2013.

Current Situation and Suggestions for Long-term Monitoring and Maintenance of Decommissioned Uranium Mining and Metallurgy Facilities

LIU Xiaochao, XIE Zhanjun, ZHAN Yueyin, ZHANG Yuntao, LU Xiaowei
(The Fourth Research and Design Engineering Corporation, CNNC, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Long-term monitoring and maintenance of decommissioned uranium mining and metallurgy facilities is an important insurance for regional environment and public health. Taking the decommissioned facilities during and before 12th Five-Year Plan which under long-term monitoring and maintenance as study subjects, the method, process, guarantee condition of monitoring and maintenance, as well as the radiation safety situation of the facilities were investigated. Based on the study and investigation, the problems in long-term monitoring and maintenance were analyzed, and rationalized suggestions for process improvement were proposed.

Key words: uranium mining and metallurgy, decommissioned facilities, long-term monitoring and maintenance