铀矿退役治理工程的结构检测与评估

梁家玮[1],吴 冬[2],程文娟[2],詹乐音[2],张神洲[3],李旭明[3]

(1. 中国铀业有限公司,北京 100013;
2. 中核第四研究设计工程有限公司,河北 石家庄 050021;
3. 湖南省地质灾害调查监测所,湖南 长沙 410004)

摘要:对铀矿退役治理工程设施的质量与安全,定期开展科学的检测与评估,是弥补工程缺陷和不断改进治理措施的重要活动,将有助于确保铀矿放射性废渣与生态环境的长期有效隔离。采用现场观测、原位强度检测、隐蔽工程探测等方法,首次完成了对中国已竣工 20~30 年的部分铀矿退役治理工程设施结构的检查,通过调查与分析其受损原因,建立了铀矿退役治理设施工程质量评估方法。结构检测与评估结果显示,退役治理设施工程质量现状较好,抵抗自然应力的影响是有保障的,开展持续和积极的监护工作是必要的,并对今后退役工程设计、施工、管理等方面提出了建议。

关键词:铀矿;退役治理;工程结构;检测;评估

中图分类号:TL943 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-8063(2023)03-0100-07

DOI:10.13426/j.cnki.yky.2023.04.08

在铀矿退役治理工程中,一般采用覆盖隔离技术对铀矿废石、尾矿(渣)等铀矿废渣堆进行覆盖治理,以抑制氡析出和屏蔽 γ 辐射剂量率;并配套修建相应的截排洪沟、拦渣坝、格构护坡等工程结构[1]182,确保铀矿废物的不流失和覆盖隔离工程的长期安全稳定,以保护生态环境和公众安全。

铀矿退役治理工程的覆盖材料一般为天然土壤[2]73,工程结构一般是采用水泥砂浆砌筑天然块石、片石而成。退役治理工程的覆土层压实度、工程结构体的现状强度及完好程度,是衡量铀矿退役治理工程长期安全稳定性的重要指标。常规的覆土压实度、结构体强度、隐蔽工程等的检查,需要取样送检或进行破拆,检测周期长、效率低。对铀矿退役治理工程,缺乏衡量其长期稳定性及相应处置措施的标准。为此,研究提出便于现场实施的检测方法和安全性评估标准非常必要。

1 检测对象与检测方法

1.1 检测对象概况

本次检测范围涉及“八五”至“十一五”期间湖南、广西、江西、湖北、河南 5 省(自治区)26 县 37 个已退役治理完成的铀矿床(点),共有封堵坑口 143 个,覆盖治理废渣堆 96 个、覆土面积 27.841 7 hm^2,截排洪沟长 8 447 m,拦渣坝长 7 958 m(表 1)。

1.2 检测对象特点

1.2.1 坑口封堵墙结构

坑口宽 1.5~3.0 m、高 1.8~3.2 m,封堵墙选在坑口较好的围岩处,一般采用 M10 水泥砂浆砌筑无风化的块石,壁厚 1.0 m,墙体四周嵌入围岩约 0.2~0.3 m;少数采用厚 1.0 m 的 C20 混凝土墙封堵,坑口封堵后要求做到氡气不再外逸。“八五”至“十五”期间的坑口封堵墙多数未进行覆土掩埋,外露面一般采用 M10 水泥砂浆抹面;“十一五”之后的坑口封堵墙多数进行了覆土掩埋。

1.2.2 废渣堆的覆土土质

区域属南方红黏性土地区;但因这些矿床(点)多地处山石丘陵区,进行覆土治理时多取用山区黄棕色粉质壤土盖层。按《铀矿冶企业总图运输设计要求》(EJ/T 20075—2014),覆土层压实度应不低于 85%[3]42。

收稿日期:2023-04-26

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工作。

表 1　工程结构检测对象

Table 1　Engineering structure detection objects

矿点代号	省	县	坑口/个	废渣堆/个	覆盖面积/m^2	水沟/m	拦渣坝/m	矿点代号	省	县	坑口/个	废渣堆/个	覆盖面积/m^2	水沟/m	拦渣坝/m
1	湖南	醴陵	2	2	2 603	70	16	20	湖南	中方	5	2	3 750		45
2	湖南	衡山	3	3	5 764	37	23	21	湖南	中方	4	1	1 800	39	71
3	湖南	绥宁	2	2	4 110	34	10	22	湖南	平江	2	2	5 698	203	385
4	湖南	双峰	7	7	7 531	388	235	23	湖南	平江	3	2	3 470	266	231
5	江西	崇义	3	1	4 391	138	39	24	广西	融水	0	1	1 400	0	108
6	江西	崇义	3	2	4 686	0	60	25	广西	大新	0	1	5 400	81	137
7	江西	崇义	4	3	20 020	311	48	26	广西	崇左	2	2	4 300	262	379
8	江西	崇义	3	2	6 150	128	15	27	广西	横县	11	7	6 350	349	645
9	江西	崇义	7	2	13 787	767	333	28	广西	全州	4	2	12 835	238	492
10	湖南	蓝山	0	1	2 870	201	25	29	广西	全州	1	1	7 200	13	106
11	湖南	宁远	14	3	9 040	0	170	30	广西	资源	4	3	5 130	120	61
12	湖南	桂阳	2	2	5 814	245	223	31	广西	资源	4	2	7 200	0	304
13	湖南	桃江	1	6	16 302	812	561	32	广西	资源	1	1	5 300	0	114
14	湖南	宁乡	2	2	2 195	103	103	33	湖北	崇阳	4	4	21 808	619	191
15	湖南	宁乡	7	2	5 865	92	183	34	湖北	鄂阳	9	8	21 428	1 352	919
16	湖南	宁乡	1	2	27 844	777	937	35	河南	鲁山	3	2	1 680	66	85
17	湖南	安化	6	2	1 898	62	25	36	河南	罗山	2	2	3 080	33	87
18	湖南	新化	3	3	5 288	0	24	37	河南	罗山	3	3	9 180	606	488
19	湖南	炎陵	5	3	5 250	35	80		合计		143	96	278 417	8 447	7 958

1.2.3　废渣堆的截排洪沟

截排洪沟采用不低于 M5 水泥砂浆砌片石，并采用不低于 M7.5 水泥砂浆抹面，过水断面为 0.16～2.5 m^2 的矩形或梯形。

1.2.4　废渣堆的拦渣坝

拦渣坝采用不低于 M5 水泥砂浆砌块石，压顶和浸水部分采用不低于 M7.5 水泥砂浆护面，坝高 1～17.4 m，坝截面积为 1.0～69.6 m^2。

1.3　检测方法

检测方法分为表观及完整性观测、原位强度检测、隐蔽工程探测等 3 种。

1.3.1　表观及完整性观测

对坑口封堵墙，记录其完好性、开裂、局部打开、开敞等状况，测量开裂、打开等损坏的尺寸。对覆土层，记录其完好性、沉陷、拉裂缝等状况，测量受损部位的尺寸。对截排洪沟，记录其完好性、淤塞、沉降、断裂、倒塌等状况，测量受损截排洪沟的长度。对拦渣坝，记录其完好性、沉降、开裂、位移、基础外露等状况，测量受损部位的尺寸。

1.3.2　原位强度检测

采用 HT20-V 一体式砂浆语音数显回弹仪，依据《砌体工程现场检测技术标准》(GB/T 50315—2011)检测砂浆强度[4]44。所用仪器参数：量程 2.0～15.0 MPa，率定值 74±2，示值一致性±0.5，检定周期 6 000 次。

采用 HT-225T 一体式数显回弹仪，依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)检测混凝土[5]8、块石强度。所用仪器参数：量程 10～60 MPa，率定值 80±2，示值一致性±1，检定周期 6 000 次。

当使用回弹仪进行强度检测时，应进行碳化深度[5]8修正。碳化深度的测量：将 1～2 g酚酞溶于 100 mL 95%乙醇中，搅匀，制备1%～2%酚酞试剂；在测区适当位置开直径15 mm、深 10 mm 的洞，滴入酚酞试剂，未碳化的部分显示为红色；然后采用 HC-TH01 碳化深度仪测量碳化深度，

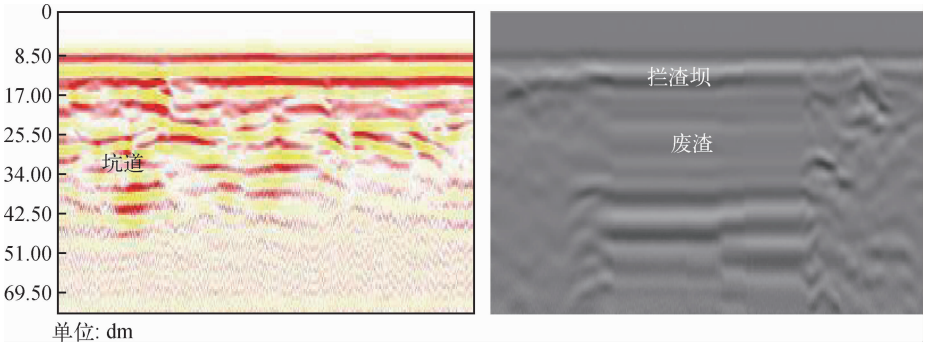
所用仪器参数：量程 0～8 mm，精度 0.25 mm/0.5 mm。

采用 JWTM-1K 填土密实度检测仪，依据《岩土工程勘察规范(2009 年版)》(GB 50021—2001)检测覆土层压实度[6]107，所用仪器参数：探测深度 0～1 500 mm，精度 ±0.5%，检定周期 1 年。

采用 RECM-03 型氡析出率仪，依据《辐射环境监测技术规范》(HJT 61—2001)[7]8 和《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2010，2013 年版)附录 E[8]32 测定覆土治理效果，所用仪器检出限为 0.002 Bq/(m² · s)。

1.3.3 隐蔽工程探测

采用 LTD-2100 型探地雷达对掩埋坑口、拦渣坝坝体内部完整性及砌筑饱满程度等进行探测，探测作业[9]4 及雷达影像解译[9]8,15 执行《地质雷达探测测绘技术规程》(DB22/T 2574—2016)。LTD-2100 型探地雷达主机，配 270 MHz 中高频屏蔽天线可探测浅层目标，探测深度为 0.1～8.0 m，厚度/深度检测误差＜15%；配 100 MHz 低频天线可探测深层目标，探测深度为 0.15～15 m，厚度/深度检测误差＜20%。图 1 为掩埋坑道、拦渣坝坝体内部的地质雷达探测影像结果示例。



(a)掩埋坑道雷达影像；(b)拦渣坝雷达影像。

图 1 隐蔽工程地质雷达探测

Fig. 1 Detection of geological radar for covert engineering

2 检测结果

野外现场检测工作自 2018 年 11 月开始，至 2019 年 10 月结束。按坑口封堵墙结构、截排洪沟、拦渣坝、覆土层等工程实体类型，简述此次检测结果。

2.1 坑口封堵结构

2.1.1 表观及完整性观测结果

143 个坑口封堵结构的表观及完整性观测结果见表 2。可以看出，共有 28 个坑口封堵结构受到损坏，受损率总计为 19.58%。其中，采用封堵、未覆土掩埋方案治理的 43 个坑口，有 20 个受到损坏；采用封堵、覆土掩埋方案治理的 100 个坑口，有 8 个受到损坏。根据调查，受损原因主要是在当时的经济条件下，由附近居民挖取钢筋、打开坑口养殖、取水灌溉等活动所致。其余坑口封堵结构无沉陷、裂缝、位移、基础外露等情况，结合雷达影像分析其结构是完整的。

表 2 坑口封堵结构的表观及完整性观测结果

Table 2 Apparent and integrity observations of closed structures at tunnel entrances

类别	完好/个	受损/个		合计/个
		局部打开	开敞	
封堵、未覆土掩埋	23	10	10	43
封堵、覆土掩埋	92	3	5	100
合计	115	13	15	143

2.1.2 结构强度检测结果

对 23 个完好封堵墙进行了结构强度检测，碳化深度范围为 2.5～5.0 mm，平均为 3.9 mm；勾缝砂浆强度范围为 6.0～11.0 MPa，平均为 8.4 MPa；块石强度范围为 22.9～26.6 MPa，平

均为 24.6 MPa，混凝土墙体强度范围为 16.4～34.7 MPa，平均为 24.1 MPa。

对比前述结构强度的要求，勾缝砂浆和块石强度现状检测结果基本符合原设计要求，混凝土墙体强度现状检测结果略低于原设计要求。分析认为这是由于坑口狭窄，混凝土振捣不够密实所致。

2.2　截排洪沟

2.2.1　表观及完整性观测结果

截排洪沟总长 8 447 m，其中：受损截排洪沟长 417 m（暴雨洪水冲刷致受损 6 m，当地生产建设等人为原因致受损 411 m），受损率为 4.94%；工程结构完好的截排洪沟长 8 030 m，完好率为 95.06%，无淤塞、沉降、断裂、倒塌等情况，沟内都有一定程度的枯枝落叶沉积，排水功能有效。

2.2.2　结构强度检测结果

对 8 030 m 工程结构完好的截排洪沟进行了结构强度检测，碳化深度范围为 2.5～6.0 mm，平均为 4.1 mm；勾缝砂浆强度范围为 6.0～12.3 MPa，平均为 9.2 MPa；块石强度范围为 30.1～49.6 MPa，平均为 39.3 MPa，抹面砂浆强度范围为 6.2～12.7 MPa，平均为 9.4 MPa。

对比前述结构强度的要求，勾缝砂浆、块石强度、抹面砂浆的现状强度检测结果基本符合原设计要求。

2.3　拦渣坝

2.3.1　表观及完整性观测结果

拦渣坝共长 7 958 m，其中受损 411 m，受损率总计为 5.16%；其余 7 547 m 拦渣坝工程结构完好，完好率为 94.84%，无沉陷、裂缝、位移、基础外露等情况，雷达图像也显示其结构完整、砌石紧密。根据调查，在 411 m 受损的拦渣坝中，暴雨洪水冲刷、外界山坡滑塌导致 110 m 拦渣坝受损，占比 26.76%；当地生产建设、村民挖掘块石等人为原因导致 301 m 拦渣坝受损，占比 73.24%。

2.3.2　结构强度检测结果

对 7 547 m 结构完好的拦渣坝进行了结构强度检测，碳化深度范围为 2.5～7.5 mm，平均为 4.2 mm；勾缝砂浆强度范围为 6.0～14.20 MPa，平均为 9.6 MPa；块石强度范围为 17.4～47.6 MPa，平均为 33.1 MPa。

对比前述拦渣坝结构强度的要求，勾缝砂浆、块石的现状强度检测结果符合原设计要求。

2.4　覆土层

2.4.1　表观及完整性观测结果

废渣堆覆土工程共计 27.841 7 hm^2，其中受损面积 1.130 4 hm^2，受损率总计为 4.06%；覆土工程完好率为 95.94%，未受到人为或自然原因损坏，植被恢复较好。根据调查，在 1.130 4 hm^2 受损区域内，暴雨洪水冲刷、外界山坡滑塌导致 0.473 5 hm^2 覆土层受损，占比 41.88%，表现为植被稀疏、倒伏、覆土流失；当地采石、修路等人为原因导致 0.140 9 hm^2 覆土层受损，占比 12.46%，表现为土层裸露或厚度减薄；被当地采掘其他矿种排弃物压覆导致 0.516 0 hm^2 覆土层受损，占比 45.64%。

2.4.2　氡析出率监测结果

受损的覆土层表面氡析出率范围为 0.20～0.57 Bq/(m^2 · s)、平均为 0.40 Bq/(m^2 · s)，表面氡析出率不高的原因是损坏类型以压覆为主；完好的覆土层表面氡析出率范围为 0.09～0.63 Bq/(m^2 · s)，平均为 0.37 Bq/(m^2 · s)。废渣堆覆土层表面氡析出率均未超过 0.74 Bq/(m^2 · s) 的管理限值。

2.4.3　压实度检测结果

完好的覆土工程压实度范围为 79%～92%、平均为(88±1.80)%（折合干容重约 1.42 t/m^3 ± 0.03 t/m^3），满足不低于 85% 的覆土质量要求。

3　退役治理工程设施稳定性评估

3.1　评估准则

此次对铀矿退役治理工程设施稳定性的评估，主要包括对坑（井）口完好程度、防洪安全性、拦渣坝安全性、覆盖层完好性等的判定，目前尚无相应的国家或行业的分级、分类标准。根据此次野外现场观察、检测情况和对受损部位的影响分析，这类工程的受损与其影响后果的关系，属于非标准不等级递变型[10]32。

参考地质灾害防治工程的受灾体损毁影响、等级划分及价值损失率[10]115相关研究，提出评估准则与处置措施，见表 3。工程结构受损比率定义为受损长度或面积除以该工程结构的总

长度或总面积，按工程结构受损比率划分为完好～基本完好、轻微损坏、中等损坏、严重损坏～全部损坏 4 个等级，相应的处置措施为日常维护、一般性整修、部分翻修或大修、尽快修复或重建。

3.2 评估结果

根据此次检测结果和以上评估准则，对表 1 中的 37 个矿床(点)退役治理工程设施稳定性进行了评估(表 4～表 5)。

表 3 退役治理工程设施稳定性的评估准则

Table 3 Criteria for stability evaluating of decommissioning treatment engineering facilities

受损比率	等级	说明	处置措施
0%～5%	Ⅰ级	完好～基本完好	日常维护
>5%～15%	Ⅱ级	轻微损坏	一般性整修
>15%～25%	Ⅲ级	中等损坏	部分翻修或大修
>25%～100%	Ⅳ级	严重损坏～全部损坏	尽快修复或重建

表 4 工程设施稳定性评估结果

Table 4 Stability evaluation results of the decommissioning treatment engineering facilities

矿点代号	坑(井)口封堵结构完好程度	废渣堆治理工程设施			矿点代号	坑(井)口封堵结构完好程度	废渣堆治理工程设施		
		防洪安全性	拦渣坝安全性	覆盖层完好性			防洪安全性	拦渣坝安全性	覆盖层完好性
1	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅲ级	20	Ⅲ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级
2	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	21	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
3	Ⅰ级	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	22	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
4	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	23	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
5	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	24	Ⅰ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级
6	Ⅳ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级	25	—	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
7	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	26	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
8	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	27	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
9	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	28	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
10	—	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	29	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
11	Ⅰ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级	30	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅳ级	Ⅳ级
12	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	31	Ⅲ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级
13	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	32	Ⅰ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级
14	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅳ级	Ⅲ级	33	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
15	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	34	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅲ级
15	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	35	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
16	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	36	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
18	Ⅰ级	—	Ⅰ级	Ⅰ级	37	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
19	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级					

表 5 工程设施稳定性评估结果的统计

Table 5 Statistics on stability evaluation results of the decommissioning treatment engineering facilities

受损等级	分类/个			
	坑(井)口封堵结构完好程度	防洪安全性	拦渣坝安全性	覆盖层完好性
Ⅰ级	20	28	34	33
Ⅱ级	0	0	0	0
Ⅲ级	6	0	0	3
Ⅳ级	9	2	3	1

由表 4～表 5 可知，“八五”至“十一五”期间坑口封堵墙受损比较严重，评估为Ⅲ级、Ⅳ级损坏程度的矿点占比为 40.54%，主要原因是封堵后未覆土掩埋。废渣堆治理工程设施评估为Ⅲ级、Ⅳ级损坏程度的矿点占比为 13.51%，需要及时修复 1 号、3 号、14 号、30 号、34 号等 5 个矿点有关工程设施；评估为Ⅰ级的占比为 86.49%，大多数治理工程设施状态完好。

4　结论与建议

采用现场观测、原位强度检测、隐蔽工程探测等方法，对“八五”至“十一五”期间竣工的退役治理工程设施安全稳定性开展了系统检测与评估，并对受损情况及原因进行了调查，得到以下结论及建议。

4.1　结论

1）在铀矿退役治理工程中，首次采用结构强度回弹法、贯入阻力法、地质雷达探测法对退役治理工程设施进行了全方位检测，做到了无损检测、原位检测，减少了土工试验工作量，具有轻便、灵活、快速的特点，为铀矿退役治理工程设施安全稳定性评估提供了科学有效的数据支撑。

2）此次检测的 37 个矿床（点）退役治理工程设施，工程结构现状强度检测结果基本符合甚至部分指标优于原设计要求，工程质量较好，经受住了 20～30 年自然应力的考验，治理方案和工程措施有效，安全稳定性有保障。人为因素造成的损害是主要受损原因，开展持续和积极的长期监护是必要的。

3）对铀矿退役治理工程，其设计使用年限一般为 50 年。达到设计使用年限时，通过工程强度检测等手段确定其能否继续使用或进行加固处理。在设计使用年限内，这类工程的病害一般都伴随着损坏现象，在病害发展到一定程度时才会对其进行加固处理。本研究提出的工程检测方法和评估准则，可为退役治理工程设施的检测和维护工作提供参考。

4.2　建议

1）对铀矿退役治理工程实施提出的改进建议：对早期封堵后未覆土掩埋的坑口，重新进行覆土掩埋；改进坑口等狭小空间混凝土封堵墙体的施工工艺和质量；根据废渣堆治理工程周边的交通、环境等情况，优化设置警示标志，增强附近群众保护退役治理工程设施的意识；进一步做好滨河拦渣坝浸水部分的防冲刷设计，采用抗冲刷能力强、整体性好的混凝土结构或毛石混凝土结构；对截排洪沟进行清淤，适当提高过水断面的安全超高，避免或减少沿线植被对沟渠排洪安全的影响；注意废渣堆治理工程外围山坡的灾害防治。

2）铀矿退役治理工程设施因各种原因的受损率约为 5%，建议可按工程费用的 5%计提维修基金，以便及时对受损部位进行维修加固，确保工程长期安全稳定。

3）铀矿退役治理工程的监护不仅是控制任何可能破坏铀矿废渣隔离的活动，也是检测和补救由于自然应力引起的设计、施工、管理等方面缺陷的手段。应定期开展检查设施防护基准等活动，为铀矿退役治理工程长期抵抗自然应力提供更有效的保证。

参考文献：

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

[2] Office of Radiation Programs Environmental Protection Agency. Final Environmental Impact Statement for Remedial Action Standards for Inactive Uranium Processing Sites(40 CFR 192)[M/OL]. Washington：Office of Radiation Programs Environmental Protection Agency，1982. https：// nepis. epa. gov/exe/zypdf. cgi/9100a1by. pdf? dockey=9100a1by. pdf.

[3] 国家国防科技工业局. 铀矿冶企业总图运输设计要求：EJ/T 20075—2014[S]. 北京：核工业标准化研究所，2014.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 砌体工程现场检测技术标准：GB/T 50315—2011[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程：JGJ/T 23—2011[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[6] 中华人民共和国建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 岩土工程勘察规范（2009 年版）：GB 50021—2001[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2009.

[7] 国家环境保护总局. 辐射环境监测技术规范：HJ 61—2001[S]. 北京：中国环境科学出版社，2021.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 民用建筑工程室内环境污染控制规范：GB 50325—2010（2013 年版）[S]. 北京：中国计划出版社，2013.

[9] 吉林省质量技术监督局. 地质雷达探测测绘技术规程：DB22/T 2574—2016[S]. 长春：吉林省质量技术监督局，2016.

[10] 张梁，张业成，罗元华，等. 地质灾害评估理论与实践[M]. 北京：地质出版社，1998.

Engineering Structural Detection and Evaluation of Uranium Mine Decommissioning and Treatment Project

LIANG Jiawei[1], WU Dong[2], CHENG Wenjuan[2], ZHAN Yueyin[2], ZHANG Shenzhou[3], LI Xuming[3]

(1. China National Uranium Co. Ltd., CNNC, Beijing 100013, China;
2. The Fourth Research and Design Engineering Corporation, CNNC, Shijiazhuang 050021, China;
3. Hunan Province Geological Disaster Survey and Monitoring Institute, Changsha 410004, China)

Abstract: Regular scientific testing and evaluation of the quality and safety of uranium decommissioning and treatment engineering facilities is an important activity to make up for engineering defects and continuously improve treatment measures, which will ensure the long-term effective isolation of uranium mine radioactive waste residue from the ecological environment. The study used on-site observation, in-situ strength detection, concealed engineering detection and other methods to complete the inspection of the structure of the decommissioning and treatment engineering facilities of some uranium mines in China that had been completed for 20～30 years, and established the quality assessment method of decommissioning treatment facilities through the investigation and analysis of the causes of damage. The results of structural inspection and evaluation show that the quality of decommissioning treatment facilities is good, the resistance to the influence of natural stress is guaranteed, and it is necessary to carry out continuous and active monitoring work. It also puts forward suggestions for future decommissioning design, construction and management.

Key words: uranium mine; decommissioning and treatment; engineering structure; detection; evaluation

(Continued from page 74)

Development and On-site Test of Radon-thoron Continuous Monitoring Device

LIU Xiaochen, YANG Mingli, WANG Pan, CHU Xuyang

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: The continuously discriminative monitoring of radon and thoron is a significant project in the realm of radiation protection, which can provide statistical supports for the accurate estimation of internal exposure dose in radon-thoron hybrid environment. Using the improved ZnS scintillation cells and based on the delay count method (DCM), an experimental device for radon-thoron continuous monitoring has been devised. This device has been tested under both laboratorial and on-site conditions, the measurement results from this device were compared with that from Alpha Guard DF2000. As a result, the deviations of the measurement values of this device and Alpha Guard DF2000 are less than 10% for both radon and thoron even when the radioactive concentrations of radon and thoron differ drastically(the ratio is over 1∶30), besides, the disturbance from the previous sampling durations upon the long-term monitoring values has been eliminated. To conclusion, this device is capable to discriminate radon and thoron accurately under distinctively different concentrations of radon and thoron.

Key words: ZnS scintillation cell; continuous monitoring; radon; thoron; delay count method; discriminative measurement