

附件 3

**《铀矿冶流出物和辐射环境监测规定  
(征求意见稿)》编制说明**

**《铀矿冶流出物和辐射环境监测规定》编制组**

**2022 年 10 月**

# 目 录

1 项目修订必要性 .....	1
2 现行标准存在的问题 .....	2
3 标准修订依据 .....	2
4 国内外相关标准情况 .....	3
4.1 国际分析方法研究.....	3
4.2 国内分析方法研究.....	5
5 标准修订的基本原则和技术路线 .....	5
5.1 标准修订的基本原则.....	5
5.2 标准修订的技术路线.....	5
6 标准修订的思路 .....	5
7 标准修订的主要内容 .....	6
7.1 标准名称.....	6
7.2 范围.....	6
7.3 引用标准.....	6
7.4 术语.....	7
7.5 辐射监测的一般要求.....	7
7.6 监测方案.....	8
7.7 样品采集、预处理和管理.....	10
7.8 监测分析方法.....	10
7.9 数据处理.....	11
7.10 质量保证.....	11
7.11 附录.....	11

## 1 项目修订必要性

中国铀矿冶工业创建于 50 年代末，第一批建设的铀矿冶企业为三矿（郴州铀矿、衡山大浦铀矿和上饶铀矿）一厂（衡阳铀水冶厂），实现了从矿石到  $UO_2$  的工业生产。1963 年国家决定建立第二批铀矿冶企业，到 1967 年先后建成了广东和抚州两个铀矿冶联合企业，开发建设了新的铀矿、分选厂和铀水冶厂，包括：衢州铀矿、本溪铀矿（草河口）、修水铀矿、兴城铀矿和伊宁铀矿及水冶厂等。到 70 年代末，建设了第三批铀矿冶企业。在此期间开展了原地浸出的试验，成功研究了从矿石浸出液直接制备三碳酸铀酰胺或四氟化铀的新工艺。铀矿冶工艺从常规采冶逐步发展为地浸采铀工艺。

尽管与常规山地采铀相比，地浸采铀产生的污染要小得多，尤其是对地表水与大气的污染。但由于地浸法的特点所致，随着浸出剂的注入，含矿含水层的地球化学环境会发生变化，注入的浸出剂除与铀矿物反应外，还会与造岩矿物发生反应，从而导致地下水水质的恶化。此外，在地浸过程中，在较大的地压条件下，地下铀矿伴生的氡溶解在浸出液中，并随浸出液抽出地面，进入集液池。由于压力降低，气液迅速分离，氡被迅速释放到集液池周围的大气环境中，造成大气污染。在生产过程中由于管道阀门跑冒滴漏流失的浸出剂和浸出液，抽液量略大于注液量产生的外排水中含有铀、镭等放射性物质也会对地表水体和土壤层造成污染。可见，地浸铀矿山对周围大气、地表水、土壤和地下水的影响也不容忽视。

环境监测是科学管理环境和监督环境执法的前提，通过环境监测可以帮助运营单位和监管部门掌握铀矿山的辐射环境状况，获取污染物的种类及污染状况，为及时应对和解决污染问题提供准确、有效的手段。国家对铀矿冶企业的环境保护十分重视，生态环境部将铀矿山作为国控监测点，对铀矿冶企业的环境状况实施监测，相继颁布了 GB23726-2009《铀矿冶辐射环境监测规定》，用于指导铀矿山和铀选冶厂的环境保护和环境监测工作。

《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）自发布以来，是铀矿冶企业制定流出物和辐射环境监测计划，开展流出物和辐射环境监测的主要技术文件，对于铀矿冶辐射环境保护起到了重要作用。该标准规定了铀矿冶辐射环境监测、流出物监测、样品采集与处理、测量分析方法、数据处理、质量保证内容与要求以及监测报告与报表的格式和内容。

但是随着我国铀矿冶行业的发展和变化，我国关停了绝大部分硬岩铀矿山，铀矿冶工艺从常规采冶向堆浸采铀工艺发展。《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）编制时，未针对不同工艺类型、不同时段给出指导性明确的监测方案。根据我国目前铀矿冶实际，铀矿冶设施主要存在建设、在运、关闭、关停、退役、长期监护状态。因此，现有的铀矿冶辐射环境监测规定内容尚有较多空缺。随着我国关停了大多数硬岩铀矿山，铀矿冶工艺从常规采冶逐步发展为地浸采铀工艺，原规范已不能满足或适应这些发展需求。《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）其适用性需进一步完善，使铀矿冶的辐射环境监测和管理工作适应当前的核安全与辐射环境保护的发展需求，更加规范、统一、科学地开展监测工作，适应我国辐射环境监测工作的发展，用于更好的指导和规范铀矿冶企业的环境保护工作。

2020 年，中国辐射防护研究院承担了修订《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）的任务。任务下达后，成立标准编制组。2020 年 2 月，召开项目小组启动会议，讨论技术规范大纲编写框架。2020 年 2 月~6 月，调研国内外铀矿冶辐射环境监测工作情况。2020 年 7 月~2020 年 12 月，根据铀矿冶工艺类型，提出不同时段流出物和环境监测技术要求，完成《铀矿冶流出物和辐射环境监测技术规范》初稿的编制工作。2021 年 4 月，召开了标准的开题论证会；2021 年 6 月，召开了标准的第一次专家咨询；2021 年 10 月，召开了标准的第二次专家咨询，对标准初稿进行了审查，提出了修改意见。2022 年 2 月，生态环境部辐射源安全监管司组织对正在制修订的铀矿和伴生放射性矿环境标准的若干事项

进行了讨论，界定了标准的内容和范围，标准编制组进行了标准的修改；2022年5月，召开了标准的第三次专家咨询审议，针对标准中存在的问题开展讨论和专家咨询审议，2022年6月，标准编制组进行了标准的修改；2022年9月，标准编制组开展了废水 Th-230 分析的实验室实验，推荐了废水中 Th-230 的分析方法；2022年10月，编制组完成了标准、形成征求意见稿。

## 2 现行标准存在的问题

《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）自实施以来，是铀矿冶企业制定流出物和辐射环境监测计划，开展流出物和辐射环境监测的主要技术文件，对于铀矿冶辐射环境保护起到了重要作用。但通过十几年的实施，也发现了一些问题，主要包括：

（1）现行标准《铀矿冶辐射环境监测规定》包含铀矿运行期流出物的监测计划，因此对标准名称进行了修订，增加了流出物的监测内容。

（2）随着我国铀矿冶行业的发展和变化，我国关停了绝大部分硬岩铀矿山。现行标准中未给出关停期铀矿山的监测计划。从铀矿冶设施各阶段建设过程看，缺少建设期、关停期的流出物和辐射环境监测要求。标准中增加了建设期、关停期各阶段的铀矿冶流出物和辐射环境监测要求。

（3）随着我国铀矿冶行业的发展，铀矿冶工艺从常规采冶向堆浸采铀转变，地浸采铀的监测计划需要增加，重点关注地浸设施对地下水的影响，现行标准中对于地浸地下水监测内容尚不完整。参考 IAEA TECDOC No.1428 号报告 Guidebook on environmental impact assessment for in situ leach mining projects 中关于地浸地下水的监测情况。

（4）现行标准中未区分地浸和非地浸采铀的不同监测要求，因此，标准修改中区分了地浸和非地浸采铀的流出物和辐射环境监测要求。

## 3 标准修订依据

1. GB 8999 电离辐射监测质量保证通用要求
2. GB 11215 核辐射环境质量评价一般规定
3. GB 12379 环境核辐射监测规定
4. GB 14586 铀矿冶设施退役环境管理技术规定
5. GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
6. GB 23727 铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定
7. GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
8. GB/T 27418 测量不确定度评定和表示
9. HJ 61 辐射环境监测技术规范
10. HJ 164 地下水环境监测技术规范
11. HJ 166 土壤环境监测技术规范
12. HJ 493 水质样品的保存和管理技术规定
13. HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
14. IAEA, Safety Reports Series No.27, Monitoring and Surveillance of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium
15. IAEA,TECDOC-1428, Guidebook on environmental impact assessment for in situ leach mining projects
16. IAEA,TECDOC-979,Environmental impact assessment for uranium mine, mill and in situ leach projects
17. NRC,40 CFR Part 912, Health and Environmental Protection Standards for Uranium

and Thorium Mill Tailings

18. NRC,40 CFR 192, Groundwater protection standards for inactive uranium tailings sites
19. US NRC Regulatory Guide 3.46, Standard Format and Content of License Applications, Including Environmental Reports, for in Situ Uranium Solution Mining
20. NRC Regulatory Guide 4.14, Measuring, Evaluating, and Reporting Radioactivity in release of radioactive materials in liquid and airborne effluents from uranium mills
21. US, NUREG /CR-0311, Groundwater elements of in situ leach mining of uranium
22. US, Considerations Related to Post-Closure Monitoring of Uranium In-Situ Leach/In-Situ Recovery(ISL/ISR)Sites
23. US, NUREG-1910,Vol.2, Generic Environmental Impact Statement for In Situ Leach Uranium Milling Facilities

#### 4 国内外相关标准情况

##### 4.1 国际分析方法研究

###### (1) IAEA 安全报告 27 号

该安全报告介绍了尾矿库监测井的常规布设情况、监测计划，图 1 介绍了典型尾矿或矿山废物的暴露途径，图 2 给出了尾矿库监测井的布设情况。

铀尾矿库根据地下水的迁移趋势，在周边布设监测井。监测井总布设个数 26 个，其中下含水层监测井 (>100 m) 共布设 12 个，上含水层监测井共布设 14 个。各监测井的布设位置如下：

铀尾矿库上游监测井用于获取监测污染物的背景浓度。根据该区域地下水的分布情况，在下含水层、上含水层分别布设监测井。

铀尾矿库四周的下含水层、上含水层设置监测井，用于掌握铀尾矿库地下水中污染物的浓度。

铀尾矿库场址边界布设下含水层、上含水层监测井，用于判断场址边界处的污染物情况。

铀尾矿库下游关键居民点水井前、后各布设下含水层、上含水层监测井，用于判定污染物是否是来自铀尾矿库。

铀尾矿地下水监测项目，放射性核素包括总 U、<sup>226</sup>Ra、<sup>228</sup>Ra、<sup>230</sup>Th、<sup>232</sup>Th、<sup>210</sup>Pb 和 <sup>210</sup>Po，以及水样的总 α 活度；非放射性金属如 Se、V、Mn、Fe、As、Ba、Cd、Cr、Ni 和 Cu；主要离子如碳酸盐、铵、硫酸盐、氯化物和硝酸盐。

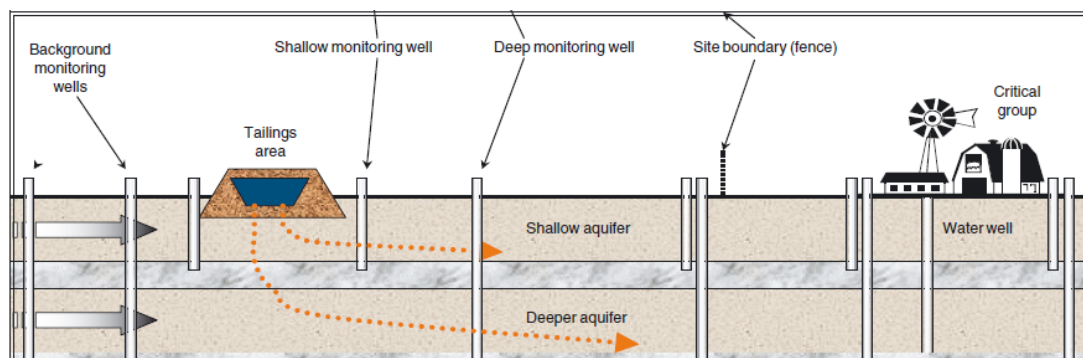


图 1 尾矿库监测井的布设示意图

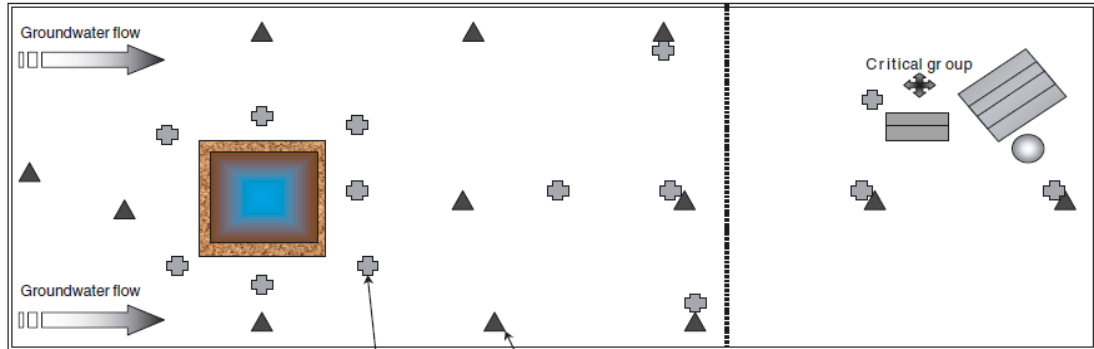


图2 尾矿库监测井的布设俯视图

### (2) IAEA 技术文件 1428 号

该技术文件为原位浸出铀矿的环境影响评估指南。该指南介绍了监测井的常规布设情况、退役完成后地下水的修复方法、原位浸出铀矿的环境影响和相关的监测计划。

地浸开采完成后，生产区域中的地下水质量必须恢复到开采前的本底水平，且地下水用途不受铀矿开采的影响。地浸活动结束后，应开展水质监测、治理和修复。当采样监测数据能证明开采区含水层已经恢复并且稳定时，可向监管机构提出治理完成报告。

#### 1) 水质标准

水质治理后执行的标准应参照本底调查的数据。

#### 2) 补救标准

地下水补救标准应针对整个井场。制定所有参数的治理目标值。本底监测数据可能与相关标准有所出入。若在治理期，若各参数不能满足治理目标值，则需要提出治理方法并评估该方法的适宜性及其未来的影响。

#### 3) 修复方法

地下水修复方法主要包括天然衰减、地下水清理（干净水的注入）。自然衰减是经济的治理方法。

#### 4) 治理取样

介绍了某地浸设施治理取样监测的项目，分三类：主要离子、痕量金属、放射性污染物。

表1 水质测量参数

主要离子	痕量金属	放射性污染物
钙、镁、钠、钾、碳酸盐、碳酸氢钠、硫酸盐、氯化物、氨、亚硝酸盐、硝酸盐、氟化物、二氧化硅、溶解性固体总量、pH	砷、钡、硼、镉、铬、铜、铁、锰、钼、硒、铀、钒、锌	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、Ra-226、Rn-222

### (3) IAEA 技术文件 979 号

该技术文件重点介绍了地浸铀矿开采的环境影响评价内容和格式，其中环境监测章节介绍的内容包括环境管理、环境监测；环境监测包括方法、质控措施、监测计划；监测计划包括环境背景监测、运行期监测、退役监护期监测。原地浸出项目应考虑毒性化学元素、气载、液态流出物释放、地下水污染、生产设备表面污染以及辐射剂量。

### (4) 美国联邦法规法典第十章 (10 CFR)

美国联邦法规法典第十章 (10CFR) 指出地浸设施的废水应满足 EPA 的 Safe Drinking Water Act 法案。EPA 针对饮用水安全出台了相关的法案 Safe Drinking Water Act，配套颁

布了国家饮用水基本导则（National Primary Drinking Water Regulations），对饮用水污染物的控制值给出了明确要求（表 2）。

EPA 提议修订铀原位回收指南（Proposes Revised Guidelines for In-situ Recovery of Uranium）指出，地下水中 13 个成份应达到恢复目标：砷、钡、镉、铬、铅、汞、硒、银、硝酸盐（以氮计）、钼、镭、总铀和总  $\alpha$  的监测；建议在证明地下水化学物质已经恢复并且稳定之后，对地下水进行 30 年的监测；如果监测数据和地球化学模型表明地下水化学已经恢复，至少连续三年保持稳定，并且在未来有可能保持稳定，则可以缩短时间。

表 2 放射性污染物水中的控制浓度

污染物	最大污染物水平 MCL	长期暴露与 MCL 以上的潜在健康影响
$\alpha$	15pCi/L	癌症风险增加
$\beta$ 、 $\gamma$	4 毫雷姆	癌症风险增加
$^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$	5pCi/L	癌症风险增加
U	30 $\mu\text{g/L}$	癌症风险增加

## 4.2 国内分析方法研究

我国现行有效的铀矿冶辐射环境监测技术规范是 2009 年颁布的《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009），该规范规定了铀矿冶辐射环境监测、流出物监测、样品采集与处理、测量分析方法、数据处理、质量保证内容与要求。

国内已颁布了《地表水和污水环境监测技术规范》《地下水环境监测技术规范》《土壤环境监测技术规范》《辐射环境监测技术规范》等，这些环境监测技术规范内容主要包括采样、点位布设、监测项目与方法、质量保证、数据处理与分析、监测报告等。

## 5 标准修订的基本原则和技术路线

### 5.1 标准修订的基本原则

本规范的修订以国内辐射环境监测全过程管理为出发点，立足我国铀矿冶的实际状况。规范的修订充分考虑铀矿冶辐射环境监测技术方法的科学性和可操作性。

### 5.2 标准修订的技术路线

标准修订的技术路线如下：

- （1）查阅期刊文献、国际国内相关标准；
- （2）组织专家论证会，确定标准存在的主要问题，对比国际标准与现有国家标准的具体内容，确定修订的内容；
- （3）参照有关的基础标准或者规范技术要求，编制标准文本草案，同时编制标准文本修订的说明，提交标准文本和编制说明的征求意见稿；
- （4）向国务院有关部门、环境保护相关机构、科研院所、企事业单位等公开征求意见；
- （5）汇总回复意见，针对意见对标准文本和编制说明进行完善，提交标准文本和编制说明的送审稿；
- （6）召开标准审议会，进行技术和格式审查；
- （7）按照审议会专家意见修改，形成标准和编制说明报批稿，经行政审查合格后正式发布。

## 6 标准修订的思路

本标准是在现行标准《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009）的基础上，结合我国铀矿冶实际情况存在关停铀矿和现有监测项目不适用地浸工艺等问题，进行标准修订，对标准整体框架进行调整，规定铀矿冶设施各阶段的监测要求。

## 7 标准修订的主要内容

### 7.1 标准名称

将“铀矿冶辐射环境监测规定”修改为“铀矿冶流出物和辐射环境监测规定”。原标准中规定了流出物监测和环境监测的要求，标准题目仅包括辐射环境监测规定，因此本次修订标准题目，增加了流出物。

### 7.2 范围

原标准规定了铀矿冶辐射环境监测、流出物监测、样品采集与处理、测量分析方法、数据处理、质量保证内容与要求。本标准适用于铀矿山和铀选冶厂辐射环境监测。伴生放射性矿山或选冶厂亦可参照执行。

本次修订将辐射环境监测、流出物监测内容进行了调整，分为监测目的、监测原则及监测方案。标准规定内容调整为本标准规定了铀矿冶流出物和辐射环境的监测技术要求，包括监测目的、原则及监测方案、样品的采集、样品的保管及预处理、测量分析方法、数据处理、质量保证等技术要求。

原标准中对于非放污染物的监测要求进行了规定，如地表水和土壤中的监测项目中提及需要对有毒有害物质如Cd、As、Mn等进行监测。本次修订分析了目前硬岩铀矿和地浸矿山的非放特征污染物由于生产工艺和地区的差异，非放特征污染物差异较大，不能将全部非放污染物罗列清楚，此外考虑非放污染物的排放和环境监测标准已有相应的法规标准进行了规定，因此，范围中增加了对于铀矿冶非放射性污染物排放和环境监测应遵守相关的法律、法规和标准要求。本次标准将不包括非放污染物的监测要求。

本次修订按照铀矿冶设施的各个阶段进行监测要求和监测方案的描述，且推荐营运单位自行监测和生态环境主管部门的监督性监测可以参照相应的监测方案执行，因此，对适用范围进行了完善，修订为本标准适用于铀矿冶设施选址、建设、运行、关停、退役、长期监护等过程中的流出物和辐射环境监测。

### 7.3 引用标准

延用了原标准引用的部分标准，如《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》（GB/T 4883）。删除了《环境核辐射监测规定》（GB 12379），该标准引用的标准《辐射防护规定》（GB 8703）中的相关术语和内容均已被《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871）替代，因此不再引用该标准。更新了部分标准，如《水中微量铀分析方法》（GB/T 6768），引用方法已采用《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ 840）（见附录 A）；更新了《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61）。此外，增加了对于监测质量保证的标准《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999）；增加了对于铀矿冶污染物排放限值、地浸监测井的设置要求的标准《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB 23727）；增加了对于数值修约、测量不确定度的标准《数值修约规则与极限数值的表示和判定》（GB/T 8170）、《测量不确定度评定和表示》（GB/T 27418）。

修订后的引用文件如下：

GB	8999	电离辐射监测质量保证通用要求
GB	14586	铀矿冶设施退役环境管理技术规定
GB	23727	铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定
GB/T	4883	数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理
GB/T	8170	数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T	27418	测量不确定度评定和表示
HJ	61	辐射环境监测技术规范
HJ	164	地下水环境监测技术规范
HJ	1212	环境空气中氡的测量方法



## 7.4 术语

增加了以下术语：“铀矿冶”、“铀矿冶设施”、“关停”、“退役”、“本底调查”、“对照点”，删除了以下术语：“厂矿区”、“环境监测”、“应急监测”。

“铀矿冶”、“铀矿冶设施”、“关停”、“退役”术语引用《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB 23727—2020）；“本底调查”术语参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61—2021）和《环境电离辐射监测规定》（GB 12379）（征求意见稿）；“对照点”术语参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61—2021）、《核电厂环境放射性本底调查技术规范》（NB/T 20139—2012）。

对国内现行标准中“流出物”的术语和 IAEA 标准术语中“流出物”的定义进行了调研，各定义见表 3。IAEA 对于流出物的定义含有放射性流出物的含义，因此，本次仍引用原 GB 23726 中“流出物”的术语。

表 3 流出物术语

来源	定义
《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61—2021)	(放射性) 流出物监测 (radioactive) effluents monitoring 为监控或查明从辐射源排到环境中的放射性流出物的数量、种类和其他特征，在排放口对流出物进行采样、分析或其他测量的监测活动。
《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB 6249—2011)	放射性流出物 (radioactive effluents) 通常情况下，核动力厂以气体、气溶胶、粉尘和液体等形态排入环境并在环境中得到稀释和弥散的放射性物质。
《铀矿冶辐射环境监测规定》 (GB 23726—2009)	流出物 (effluents) 铀矿冶实践中源所造成的以气体、气溶胶、粉尘或液体等形态排入环境的放射性物质，通常状况下可在环境中得到稀释和弥散，如气态中的氦及氦子体、气溶胶等，液态中的铀、镭等。
《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB 899—2021)	流出物监测 (effluent monitoring) 为监控或查明从电离辐射源排放到环境中的放射性流出物的数量、种类和其他特征，在排放口对流出物进行采样、分析或其他测量的监测活动。
《核科学技术术语 第 8 部分：放射性废物管理》 (GB/T 4960.8—2008)	流出物 (effluents) / 排出流：核设施向环境释放的带有放射性物质的气态或液态流。
《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871—2002)	放射性流出物 (radioactive effluents)、放射性排出物 (radioactive discharges) 实践中源所造成的以气体、气溶胶、粉尘或液体等形态排入环境的通常情况下可在环境中得到稀释和弥散的放射性物质。
《Radioactive Waste Management Glossary》 IAEA, 2003	effluent. Gaseous or liquid radioactive materials which are discharged to the environment. See also discharge, authorized.

## 7.5 辐射监测的一般要求

- (1) 将辐射监测的一般要求和监测方案分开设置两个章节。
- (2) 辐射监测的一般要求保留了流出物和环境监测目的和监测原则。

### 1) 流出物监测目的

原标准监测目的为监测污染物排放浓度及排放量；检验污染物处理设施效果。铀矿冶设施流出物监测的主要目的除判断流流出物是否达标排放外，还为环境影响评价提供源项，可用于发现计划外释放，因此增加了监测目的。删除了检验污染物处理设施效果，流出物监测可以用于分析处理设施的效果，但不是监测的目的。

## 2) 流出物监测原则

修改了原标准中第 1 条“流出物监测内容应视伴有辐射照射设施的类型、规模、环境特征等因素确定”，细化了具体的要求，包括“流出物监测应考虑生产工艺特征，与流出物排放同步开展；流出物监测应客观反映流出物的实际排放情况；应将主要的排放源纳入监测范围。”

删除了原标准中第 2 条对于流出物监测包括放射性和非放射性监测项目。

修改了原标准中第 3 条“在制定流出物监测方案时，应根据流出物的特征等进行优化设计，在经验反馈的基础上不断地改进监测方案”，修改为“制定监测方案时，应考虑设施运行的不同阶段，根据流出物的排放特征，调整监测方案。”

## 3) 辐射环境监测目的

修改了原标准“及时了解、掌握环境污染状况和污染变化趋势；与对照点比较判断环境污染来源和可能造成的危害；积累监测数据，为环境管理提供依据。”修改为“获得铀矿冶设施运行前的环境本底水平；评判铀矿冶设施运行对周边环境造成的辐射影响；积累监测数据，为环境管理提供依据，为公众提供环境信息。”

## 4) 辐射环境监测原则

原标准的监测原则包括：a) 监测内容应根据工程特点、监测类型、环境特征以及评价三关键而确定；b) 监测方案应进行优化设计，随着经验的累积，不断改进监测方案；c) 样品采集、预处理以及监测方法等采用规定的标准方法；d) 根据工程特点、污染物类型、污染程度以及环境质量状况等因素，有针对性地选择非放射性物质进行监测，如重金属、化学有毒有害物质等。标准修订删除了c、d的内容，修订了a、b的内容，修改为辐射环境监测应定期开展，以反映设施运行对周边环境的影响；辐射环境监测应考虑设施运行工况，与生产/排放同步开展；应将关键人群组位置、关键途径和关键放射性核素纳入监测范围；监测方案的内容应随设施运行的不同阶段而进行调整。

## 7.6 监测方案

(1) 增加了“监测方案”的章节内容，包括监测布点要求和监测方案。

(2) 监测布点要求删除了各介质的监测布点要求，只保留监测点的布设一般要求、各环境介质监测的一般要求和地下水监测一般要求。

监测点的要求提出监测点布设的位置要求，监测点布设应反映设施的分布情况、流出物排放、环境特点以及之间的相互关系，使监测点的监测结果能够代表现状水平。应固定相应监测点位，便于获取铀矿冶设施各阶段同一监测点位的监测数据，掌握环境变化趋势。增加了对于监督性监测点位的考虑，尽可能涵盖监督性监测点位，便于结果的比较。

提出了环境介质取样监测点的一般要求， $\gamma$  剂量率、空气、气溶胶的辐射环境监测点位设置应优先选择开阔平整的区域，避开树木及建（构）筑物；地表水优先选取覆盖下风向面积的水体；土壤样应选取监测区域内典型类别的土壤，常选择无水土流失的原野或田间；生物样品应选取监测区域内相对固定的原产生物；对照点设置在厂区外不受设施排放和其他类似污染源影响处。

增加了地浸设施地下水的监测井选取位置，参照 GB 23727，堆浸场四周、铀尾矿（渣）库附近、地浸集液池、配液池和蒸发池等贮液池附近设置地下水监测井。地浸矿山井场、采区四周设置地下水监测井。提出了地下水监测井可以选用已有的民井或泉点作为地下水监测点，也可以利用地质勘探施工的地质水文井作为地下水监测点。

(3) 监测方案按照铀矿冶设施生命周期进行设置，包括本底调查、建设期监测、运行关停期监测、退役治理监测、监护期监测和应急监测。在不同阶段的监测方案中增加“监测要求”“监测范围”和“监测方案”的内容。

对于本底调查，原标准为本底调查应不少于一年，监测频次不少于两次；大气中  $^{222}\text{Rn}$

的变化规律不少于 2 个测点，每个点至少测 3d，每天连续监测 24h。基于标准的可操作性，提出本底调查应不少于两次/年，监测周期应不少于一年，两次监测的间隔时间应不少于 3 个月。对于大气中  $^{222}\text{Rn}$  的监测，其取样要求参照附录 A 提出的 HJ 1212 的要求执行。原标准本底调查范围为测量厂矿区边界外 5km 以内范围，本次本底调查范围为厂矿区及边界外 5km 以内范围，若评价范围边界处有敏感目标，可适当超过上述范围。依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）规定环境敏感区包括（一）国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区；（二）除（一）外的生态保护红线管控范围，永久基本农田、基本草原、自然公园（森林公园、地质公园、海洋公园等）、重要湿地、天然林，重点保护野生动物栖息地，重点保护野生植物生长繁殖地，重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，天然渔场，水土流失重点预防区和重点治理区、沙化土地封禁保护区、封闭及半封闭海域；（三）以居住、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公为主要功能的区域，以及文物保护单位。因此，增加了对于边界处有敏感目标的考虑，当边界处有敏感目标的，本底调查应纳入敏感目标。

标准增加了建设期的监测要求，建设期应关注基建期产生的矿井水和钻井泥浆。增加了流出物矿井水的监测要求。辐射环境监测方案主要关注了陆地  $\gamma$  辐射、空气氡、气溶胶及水体中的放射性核素、钻井泥浆、输运管线、废石场附近土壤中的放射性核素。

在原有运行期的监测方案中，增加了关停期的监测要求，关停期监测计划参照运行期的监测计划执行，根据实际情况调整监测项目和监测频次。运行期提出了地浸矿山地下水监测井数量和位置应根据矿床特征、工艺特点、水文地质条件、污染扩散监控的需要确定，监测井的数量宜为抽注液井总数的 2%~10%，其依据来自《铀矿冶辐射防护和环境保护设计规定》（EJ 348—2016）。

退役治理监测包括铀矿冶设施退役治理前辐射环境现状监测、退役治理期间流出物及辐射环境监测、验收监测，退役治理前辐射环境现状监测方案可参照运行期的监测方案执行，退役治理期间的辐射环境监测应根据退役实施目标和实施方案制定，退役终态验收监测参照 GB 14586 中的监测要求和环境影响评价文件确定。

应急监测的内容保留了原标准的原则要求，增加了铀矿冶单位应制订铀矿冶设施的应急预案，实施应急监测，应急监测应根据事件类型确定监测因子的要求。

#### （4）对部分监测项目进行了调整：

##### 1）空气监测项目去掉了氡子体的监测。

氡是铀矿冶生产的主要排放核素。而随着氡本身的衰变，它会产生衰变产物，被称为氡子体。与气态氡不同，氡子体是固体，附着在表面，如空气中的尘埃颗粒。环境中氡及子体的来源较广，氡子体监测受环境外部条件干扰较大，氡子体监测数据波动较大，不能真实反映设施运行造成的实际影响，且测量的数据没有控制标准，数据测量没有可比性，因此保留氡的监测项目，不再进行氡子体的监测。

##### 2）区分了地浸和非地浸设施气载流出物的监测项目，并对监测项目进行了修改。

其中地浸设施气载流出物监测项目为  $^{222}\text{Rn}$ ，非地浸设施气载流出物监测项目为  $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 。

目前铀矿冶设施气载流出物的实际监测中只对  $^{222}\text{Rn}$  进行监测，通常认为主要污染物是  $^{222}\text{Rn}$ ，所以没有对其他核素进行监测。但是在 GB 23727 中规定了铀矿山回风井和堆浸水冶厂的归一化排放量管理限值包括  $^{222}\text{Rn}$ 、 $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ ，地浸采铀的归一化排放量管理限值包括  $^{222}\text{Rn}$ 。此外，天然放射系铀系衰变产生的子体包括  $^{234}\text{Th}$ （半衰期 24.1d）、 $^{230}\text{Th}$ （半衰期 7.70E+04a）、 $^{226}\text{Ra}$ （半衰期 1.60E+03a）、 $^{222}\text{Rn}$ （半衰期 3.82d）、 $^{218}\text{Po}$ （半衰期 3.05m）、 $^{214}\text{Bi}$ （半衰期 19.90m）、 $^{214}\text{Pb}$ （半衰期 26.8m）、 $^{210}\text{Po}$ （半衰期

138d)、 $^{210}\text{Pb}$  (半衰期 22.3a)，其中长寿命核素包括  $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ ；此外考虑核素的性质， $^{210}\text{Po}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  是极毒核素， $^{210}\text{Pb}$  是高毒核素。铀矿冶设施气载流出物所致公众个人有效剂量中  $^{222}\text{Rn}$  的贡献最大，占个人有效剂量的 80~90%；其他核素如  $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  主要是在矿山开采和矿石破碎过程中产生，并以气溶胶的形式排放。因此，本标准修订中将地浸设施气载流出物监测项目调整为  $^{222}\text{Rn}$ ，非地浸设施气载流出物监测项目调整为  $^{222}\text{Rn}$ 、 $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 。

3) 铀矿冶设施液态流出物监测项目中删除了非放监测项目，增加了核素  $^{230}\text{Th}$ 。本次标准修订只规定了铀矿冶流出物和辐射环境的监测技术要求。

铀矿冶非放射性污染物排放和环境监测应遵守相关的法律、法规和标准要求。非放射污染物的监测项目不再包含在本标准内。考虑铀矿冶设施液态流出物中的主要核素为  $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ ，各核素之间的平衡已打破，各核素对公众个人有效剂量贡献的大小顺序为  $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{230}\text{Th}$ ，因此，液态流出物监测中对各核素都进行了监测。且 GB 23727 中规定了废水排放口核素  $^{230}\text{Th}$  的浓度限值，因此依据排放要求增加了各介质中  $^{230}\text{Th}$  的监测要求。

4) 本底调查地表水监测项目中删除了总  $\alpha$ 、总  $\beta$  的监测内容。

因为地表水现行质量标准中没有相关的限值要求，因此不再进行监测。

5) 本底调查地下水监测项目中增加了总  $\alpha$ 、总  $\beta$  的监测内容。

主要原因是为了确认天然本底水质标准，为后续退役治理作为参考，且现行《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017) 中对于地下水不同类别水质中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  的要求，增加了本底调查阶段地下水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  的监测。

(5) 明确了铀矿冶不同阶段的监测范围。

本底调查范围为厂矿区及边界外 5km 以内范围，重点关注区域居民点、饮用水源、自然保护区等，可适当超过上述范围。建设期监测范围为厂矿区及厂矿区边界。运行期监测范围为厂矿区边界外 5km 以内范围。退役治理期间的监测范围为厂矿区边界外 3km 以内范围。监护期的范围为退役后有限制开放使用设施可能影响的范围，涉及外排废水的，还应对外排废水进行监测。

(6) 增加了监护期的监测要求。

监护期监测项目应根据监护设施情况酌情设定，主要监测废石场、尾矿(渣)库废气、矿井或尾矿(渣)库废水、地浸设施地下水等。监测频次按照退役治理竣工后前 2 年监测频次为 1 次/年；以后视情况可降低监测频次。若监护期现场巡视时发现覆盖层被损坏时，应及时开展监测。监护期仍有废水处理设施运行的，应按照运行期的监测要求执行。当发现地下水监测发现异常时，应增加监测频次，并开展原因分析。

## 7.7 样品采集、预处理和管理

删除了原有样品采集、保管及预处理的具体要求。放射性样品的预处理和管理参照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61) 的相关要求执行。环境空气中氡的采样、测量参照《环境空气中氡的测量方法》(HJ 1212) 的相关要求执行。

非放射性样品的采集、预处理和管理参照相关的法律、法规和标准要求，如地表水采样参照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91)、《水质样品的保存和管理技术规定》(HJ 493) 的相关要求执行。土壤采样参照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166) 的相关要求执行，地下水采样参照《地下水环境监测技术规范》(HJ 164) 的相关要求执行，非放的采样要求不再在本标准内进行规定。

## 7.8 监测分析方法

删除了原有标准中关于测量分析方法与仪器选择的描述内容，提出选定分析方法的优先级，推荐了铀矿冶环境辐射测量推荐分析方法(见附录A)。

提出选定分析方法的优先级，应优先选用生态环境主管部门发布的环境监测专用的环境标准；没有环境标准的，优先使用国家标准；没有国家标准的，优先选用行业标准或适合的国际标准；初次使用标准方法前应进行方法证实。

铀矿冶辐射环境监测推荐分析方法见附录 A。选用附录 A 推荐方法以外的方法，应对方法进行确认后方可使用。流出物和环境监测方法探测下限的确定方法参照 HJ 61 的要求执行。

## 7.9 数据处理

删除了原有标准中关于数据处理的相关内容和公式。

提出有效数字和数值修约相关要求按照《数值修约规则与极限数值的表示和判定》（GB/T 8170）和相关辐射环境监测分析方法标准的要求执行。

结果不确定度的评估相关要求参照《测量不确定度评定和表示》（GB/T 27418）的要求执行。

判断限和探测下限的确定方法参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61）的要求执行。

离群值的判断和处理要求参照《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》（GB/T 4883）的要求执行。

## 7.10 质量保证

删除了质量保证的具体内容，提出了基本的原则要求。为使监测数据具有代表性、准确性、精密性、可比性和完整性，应对监测全过程实施质量保证。质量保证包括监测方案的质量保证要求、监测人员要求、监测仪器的检定/校准和检验、采样质量保证、监测方法的选用和验证、实验室内分析测量的质量控制、实验室质量控制。质量保证相关要求参照《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61）的要求执行。

## 7.11 附录

附录 A 中更新了铀矿冶环境辐射测量分析方法。

删除了原标准附录 B 监测报告及监测表。

附录 B 修订为废水中钍-230 的分析方法。废水中目前的监测现状是只开展总 Th 监测，依据的是标准方法《水中钍的分析测定》（GB 11224—1989），单测总 Th 的方式是测定的 Th 的化学含量，不区分钍的同位素，不能给出放射性活度浓度，仅当待测水样中 U-Th 衰变链是平衡的情况下，才能够推算出样品中  $^{232}\text{Th}$  的放射性活度浓度，不能满足日常监测的需求。标准编制组针对废水中 Th-230 的分析方法开展了实验研究，分别针对分离纯化、电沉积制源进行了实验，筛选出最佳的实验条件，建立了废水中 Th-230 分析流程。并于 2022 年 9 月采集了我国南方某硬岩铀矿冶废水，根据附录 B《废水中 Th-230 分析方法》的步骤，进行了实际铀矿冶废水水样的验证实验，具体如下：

- （1）准备 6 个小烧杯，每个烧杯中准确移取 10mL 铀矿冶废水样品；
- （2）每个样品中加入 10mL 浓硝酸，调节溶液为 7.5mol/L 硝酸体系，搅拌均匀；
- （3）分别加入 1.0mL 的  $^{229}\text{Th}$  示踪剂（0.0914 Bq/mL），搅拌均匀，备用；
- （4）树脂柱的装柱和活化：称取一定量的 205×7 型阴离子交换树脂，在无水乙醇浸泡 24h，不断搅拌，用水悬浮法除去悬浮的细粉后，用 0.1mol/L 硝酸浸泡，贮存在玻璃瓶中备用。
- （5）树脂柱的活化：用 20mL 盐酸淋洗装好的柱子，然后用 20-30mL 7.5mol/L 硝酸平衡后备用。
- （6）将预处理后的样品溶液分两次上柱，等试液全部流完后，用 30-60mL 硝酸（7.5mol/L）分四次淋洗杂质；
- （7）用 60-80mL 盐酸（9mol/L）洗脱钍，收集在 100mL 小烧杯中。

- (8) 在分离纯化后的钍溶液中加入 0.5mL 浓硫酸，放在电热板上蒸至近干，取下烧杯，稍冷却；
- (9) 加入 10mL 去离子水溶解，加入 0.5mL 浓硫酸，搅拌均匀，加入浓氨水调节 pH 值至 2.2；
- (10) 将全部溶液转移至电沉积槽内，接通电源，调节电流至 1.2A，持续电沉积 120min；
- (11) 向电沉积槽中加入数滴氨水，再持续电沉积 1-3min，切断电源，取出镀片，依次用水和无水乙醇冲洗后晾干，编号备测；
- (12) 将镀片放入  $\alpha$  谱仪中测量；
- (13) 依据待测核素  $^{230}\text{Th}$  与  $^{229}\text{Th}$  示踪剂的计数以及  $^{229}\text{Th}$  的已知活度计算待测水样品中  $^{230}\text{Th}$  的活度浓度。

实际铀矿冶废水中 Th-230 分析的验证实验结果见表 4。后续将进行进一步研究和验证，建立适用于铀矿冶废水和环境水体中 Th-230 的分析监测方法。

表 4 实际铀矿冶废水中  $^{230}\text{Th}$  分析的实验结果 (205×7 树脂法)

样品编号	$^{229}\text{Th}$ 加入量 (Bq)	全程回收率 (%)	$^{230}\text{Th}$ 含量 (Bq/L)	统计误差 (Bq/L)
矿冶废水-1	0.0914	92.9%	19.0	0.36
矿冶废水-2	0.0914	94.9%	20.7	0.37
矿冶废水-3	0.0914	89.3%	19.5	0.44
矿冶废水-4	0.0914	92.2%	20.1	0.37
矿冶废水-5	0.0914	88.5%	18.6	0.52
矿冶废水-6	0.0914	93.9%	19.4	0.34