

附件 2

核安全导则 HAD XXX/XX-201X

放射性废物处置设施的监测和检查

国家核安全局 XXXX 年 XX 月 XX 日批准发布

(征求意见稿)

国家核安全局

放射性废物处置设施的监测和检查

(201 年 月 日国家核安全局批准发布)

本导则自201 年 月 日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法和方案，但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则相同的安全水平。

本导则的附录为参考性文件。

目 录

1 引言.....	8
1.1 目的.....	8
1.2 范围.....	8
2 监测和检查的原则和目标.....	8
2.1 原则.....	8
2.2 目标.....	8
3 营运单位的责任.....	9
4 监测计划的制定和实施.....	9
4.1 总体要求.....	9
4.2 不同类型处置设施的监测.....	11
4.3 处置设施不同阶段的监测.....	11
5 检查计划的制定和实施.....	14
5.1 总体要求.....	14
5.2 不同类型处置设施的检查.....	14
5.3 处置设施不同阶段的检查.....	15
5.4 具体要求.....	15
6 监测和检查信息的使用和管理.....	16
6.1 监测和检查信息的使用.....	16
6.2 监测和检查信息的管理.....	16
7 质量保证.....	17
7.1 质量保证大纲.....	17
7.2 质量控制.....	17
名词解释.....	19
附录 A 处置设施监测和检查资料性附录.....	20
A.1 地质处置设施的监测和检查案例.....	20
A.2 近地表处置设施的监测和检查案例.....	29

1 引言

1.1 目的

1.1.1 放射性废物处置设施必须制定和执行监测和检查计划，监测和检查计划是确保放射性废物处置设施安全运行的重要因素。

1.1.2 本核安全导则为放射性废物处置设施的监测和检查提供指导，重点关注为了确认处置设施的性能、公众的辐射防护和环境保护目的的监测。

1.2 范围

1.2.1 本核安全导则适用于近地表处置设施、地质处置设施，极低水平放射性废物填埋处置设施、岩洞处置设施和钻孔处置设施可参照执行，不适用于铀钍矿冶废物处置设施。

1.2.2 本核安全导则涵盖了近地表处置设施、地质处置设施在运行前阶段、运行阶段、关闭后阶段（至设施移交地方政府前）的监测和检查计划。

1.2.3 本核安全导则不包括核安保和非放射性污染监测。

2 监测和检查的原则和目标

2.1 原则

2.1.1 监测和检查计划应为安全分析和环境影响评价提供数据支持。

2.1.2 应根据废物特性和处置设施类型制定相应的监测和检查计划。

2.1.3 监测和检查计划能够用于确认工程屏障和天然屏障的性能是否受到损害。

2.1.4 制定监测计划时还应考虑公众的关注和期望。

2.2 目标

监测和检查的主要目标如下：

(1) 证明设施符合监管要求和许可证条件；

- (2) 验证处置系统的运行状态符合安全分析和环境影响评价的要求；
- (3) 验证安全分析和环境影响评价使用的关键假设和模型是否符合实际情况；
- (4) 建立处置设施、场址和周围环境信息的数据库；
- (5) 为公众提供信息。

3 营运单位的责任

放射性废物处置设施营运单位的责任如下：

- (1) 制定并执行符合监管部门要求的监测和检查计划；
- (2) 建立应急计划；
- (3) 定期向监管部门报告监测和检查计划的状态和数据；
- (4) 保留、存储、维护和管理通过监测和检查计划获取的数据；
- (5) 确保监测和检查的资金得到落实；
- (6) 在设施移交地方政府时，提出移交后设施监护管理的建议。

4 监测计划的制定和实施

4.1 总体要求

4.1.1 监测计划应包括处置设施监测和环境监测，以评估公众照射、环境影响和潜在的释放途径。

4.1.2 制定监测计划应充分考虑安全分析和环境影响评价的需求，并将监测结果与安全分析和环境影响评价所做的预测进行比较。

4.1.3 监测计划的重点应放在部件失效或故障的后果可能会影响安全的区域，以及易于探测到设施异常的区域。

4.1.4 应进行监测的代价和利益分析，对监测计划进行最优化设计。

4.1.5 监测计划的制定通常包括如下工作内容：

- (1) 选择对安全分析和环境影响评价具有重要意义的参数并进行论证；
- (2) 确定监测计划的范围和目标；
- (3) 建立监测计划的评估流程；

- (4) 测量方法和设备的选择；
- (5) 建立供货商和服务商资质审查流程；
- (6) 测量位置的选择；
- (7) 监测时间和频次的选择；
- (8) 监测数据的使用说明；
- (9) 依据现行法规和安全分析制定行动水平和干预计划；
- (10) 建立管理规范和监测结果报告制度；
- (11) 监测结果评价；
- (12) 制定监测设备拆除程序；
- (13) 建立监测数据的信息管理系统。

4.1.6 制定监测计划应考虑的关键技术因素包括：

- (1) 设计处置容量；
- (2) 废物特性；
- (3) 设施类型和设计参数；
- (4) 场址特性；
- (5) 设施所处的阶段。

上述因素影响到处置设施可能释放的放射性核素、释放途径和释放量，有助于确定特定监测目标和说明监测计划的合理性。

4.1.7 运行前阶段监测计划的目的是进行本底调查获取本底值，运行前阶段场址特性调查的目的是确定处置设施的自然环境特性。

4.1.8 如果在运行前阶段发现场址及其附近可能存在放射性核素（特别是长寿命核素）污染，应当扩大监测范围，确定放射性污染区域和污染程度。

4.1.9 开展的监测活动不应降低屏障的性能。

4.1.10 监测计划中各种监测项目对应的测量点位或取样点位应具有足够的代表性并符合相关的标准要求。

4.1.11 监测计划应当在处置设施运行前阶段制定，并在设施建造和运行阶段持续更新。

4.1.12 在监测计划中应当考虑通过采取设置平行样品、第三方检测等方法来检验监测数据的可信度。

4.1.13 处置设施关闭后,为了评估设施整体性能和设施对公众和环境的潜在影响,应实施关闭后监测。

4.1.14 监测计划应包括与公众交流监测结果的内容。

4.1.15 如果监测结果表明存在影响安全的非预期变化,应针对非预期变化开展专项监测,并分析是否需要修订安全分析,以及是否需要修改监测计划或采取行动。

4.2 不同类型处置设施的监测

4.2.1 近地表处置设施

近地表处置设施的监测计划主要包括处置设施监测和环境监测,其中处置设施监测包括区域辐射监测、气溶胶监测、人员受照剂量和污染监测、控制区出入监测、进场废物监测、屏障监测等;环境监测的范围和项目可按相关标准执行。近地表处置设施实施监测的宗旨是为验证处置系统的完整性提供数据支持。

4.2.2 地质处置设施

地质处置设施的监测计划主要包括处置设施监测和环境监测,处置设施监测包括区域辐射监测、气溶胶监测、人员受照剂量和污染监测、控制区出入监测、进场废物监测、屏障监测等;由于地质处置设施包容的废物向环境早期释放是极不可能的,因此环境监测主要是为了公众利益,而不是验证处置系统的性能,监测项目可以集中在某些环境介质上(如地下水)。地质处置设施实施监测的宗旨同样是为验证处置系统的完整性提供数据支持。

4.3 处置设施不同阶段的监测

处置设施不同阶段的监测目的见图 1,主要监测活动包括:

- (1) 获取本底值;
- (2) 监测处置设施屏障的性能及变化;
- (3) 监测放射性核素的迁移和向生物圈的释放;
- (4) 建立环境信息数据库。

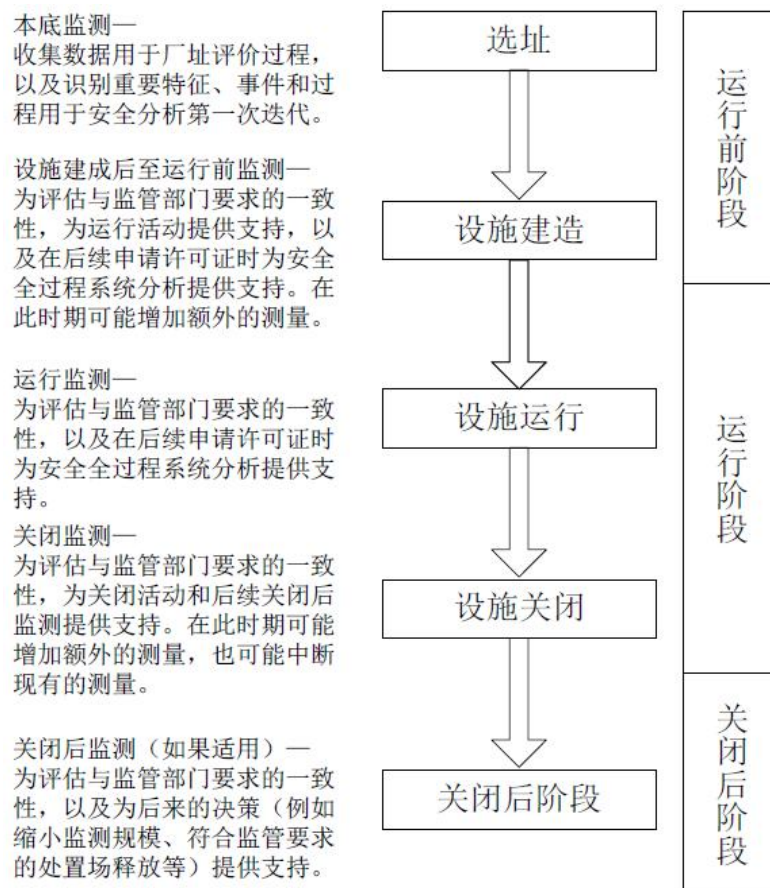


图1 处置设施不同阶段的监测活动

4.3.1 运行前阶段的监测

开展运行前阶段监测的主要目的包括：

- (1) 评估场址的适宜性；
- (2) 提供设施设计所需的输入数据；
- (3) 提供安全分析和环境影响评价所需的输入数据；
- (4) 获取与后期监测结果进行比较的本底值；
- (5) 为制定运行阶段监测计划提供帮助。

4.3.2 运行阶段的监测

4.3.2.1 开展运行阶段监测的主要目的包括：

- (1) 提供处置设施的性能数据，确认处置系统的性能，并用于改进安全分析；
- (2) 为检查流出物处理和控制系统是否正常运转提供必要信息；
- (3) 提供发生运行偏离的预警和报警信息；

(4) 为处置设施内放射性核素向环境释放提供早期警报；

(5) 提供放射性核素向环境的排放数据，用于估算排放导致的环境辐射水平和公众照射。

4.3.2.2 运行阶段监测计划应重点考虑与处置设施运行相关的放射性释放可能性，并作为安全分析和环境影响评价的组成部分。

4.3.2.3 运行阶段监测计划包括关闭监测，处置设施停止接收废物至设施关闭前的关闭期内营运单位应执行关闭监测计划，可以在运行阶段监测计划的基础上根据关闭期安全分析和环境影响评价的需要制定关闭监测计划。

4.3.3 关闭后阶段监测

4.3.3.1 为了评价设施关闭后的性能和环境影响，营运单位应在设施关闭前制定关闭后阶段监测计划，在设施关闭后至移交地方政府前执行，主要内容包括：

- (1) 监测责任人及其责任；
- (2) 监测费用保障；
- (3) 监测项目和范围；
- (4) 监测期限。

4.3.3.2 关闭后阶段监测重点是探测环境中可能来自于处置设施的放射性物质，确定关闭后阶段监测项目、范围和时间的的主要因素包括：

- (1) 处置设施的类型及其随时间推移的潜在危险程度，这取决于是否存在长寿命放射性核素及其活度；
- (2) 处置设施的性能；
- (3) 保持持续监测和维护的能力。

4.3.3.3 处置设施关闭后的有组织控制可以是主动的或被动的，主动的有组织控制包括监测环境中的放射性核素浓度及屏障的性能和完整性，被动的有组织控制包括限制场址的使用并设置场址标识，关闭后阶段的监测计划中应包括有关设施责任主体和有组织控制模式变更的信息。

4.3.4 应急响应监测

应急响应监测是为缓解事故后果或采取干预行动提供数据支持。处置设施营运单位应在设施投入运行前制定应急响应监测计划，对场址可能发生的假想事件做出应急安排，包括监测安排、人员安排、程序制定、设备配备和其他安排。应

急响应监测应能够及时提供数据，以便能够在应急情况下做出快速响应和通报。

5 检查计划的制定和实施

5.1 总体要求

5.1.1 执行检查计划的目的是为了监督废物处置设施，以验证安全屏障的完整性和迅速识别可能导致放射性核素或其他污染物向环境迁移或释放的工况，还包括对设施运行记录的审核或审查。检查计划主要适用于运行时期，一般通过对安全分析至关重要的设施部件开展例行检查来实施。

5.1.2 营运单位应在处置设施建造阶段开始制定检查计划，并根据场址条件和运行情况的变化定期更新，检查计划的主要内容包括：

- (1) 对场址和周边区域的描述；
- (2) 对废物处置设施部件和使用环境的描述；
- (3) 设施检查的类型和频次；
- (4) 设施检查程序；
- (5) 设施维修程序；
- (6) 检查记录和报告要求；
- (7) 质量保证。

5.2 不同类型处置设施的检查

5.2.1 近地表处置设施

近地表处置设施的检查计划主要包括设施检查、处置系统性能检查、处置设备性能和有效期检查、辅助系统功能检查和设施周边环境检查等。对于近地表处置设施，应当在运行前开始执行检查计划并持续到关闭后阶段，直至主动的有组织控制期结束。

5.2.2 地质处置设施

地质处置设施的检查计划主要包括设施检查、处置系统性能检查、处置设备性能和有效期检查、辅助系统功能检查和设施周边环境检查等。对于地质处置设施，同样应当在运行前开始执行检查计划，如果设施关闭后不再有可能进入工程屏障，可以在设施关闭后结束检查计划。

5.3 处置设施不同阶段的检查

5.3.1 运行前阶段

检查计划应根据处置设施的类型从建造阶段开始制定，在运行前开始执行，以便验证检查计划的合理性，并根据执行情况进行适应性调整。

5.3.2 运行阶段

在处置设施运行阶段，检查计划应能够确认安全屏障的完整性是否受到保护和维持。废物处置区域通常不能接近，因而不适宜进行检查，处置设施的保护性部件只要位于可进入的区域，就应纳入检查计划进行定期检查。

5.3.3 关闭后阶段

处置设施营运单位应在设施关闭前制定关闭后阶段检查计划，根据处置设施的类型、性能评估结果和废物处置区域的可达性确定检查的范围、持续时间和检查终止条件，在设施关闭后至移交地方政府前执行关闭后阶段检查计划。

5.4 具体要求

5.4.1 检查的类型和频次

5.4.1.1 设施检查的类型和频次应当基于场址和设施特性条件以及对人类的潜在危害程度制定，检查通常包括例行检查和专项检查。

5.4.1.2 检查计划应包括对安全分析和环境影响评价至关重要的部件检查（可以采用目视检查和物理检查）和对设施表面状况和包容性的检查（例如对建筑物和排水渠的完整性、植被状况和异常特征进行观察）。

5.4.2 例行检查

5.4.2.1 例行检查的目的是确认废物处置系统的运行符合设计规范和监管要求。营运单位应定期对处置设施所有可达区域的部件进行定期检查，检查前应先审查以前的检查报告并核实行动项（如有）是否落实，检查完成后需填写检查报告（表），给出检查结论和提出行动项（如有）。

5.4.2.2 在废物处置设施建造期间、重大变更期间和补救工作期间均应定期开展例行检查，确保建造或变更符合设计要求并且不损害部件性能。

5.4.3 专项检查

专项检查主要是指在发生极端自然事件（如重大火灾、剧烈地震、洪水、暴

雨或龙卷风等)之后或发生偏离正常运行情况下实施的检查,目的是核实废物处置设施的部件是否被破坏和能否正常执行功能。专项检查完成后应尽快完成检查报告,为制定后续行动计划提供支持。

6 监测和检查信息的使用和管理

6.1 监测和检查信息的使用

6.1.1 监测和检查信息的使用方应包含营运单位、监管部门和其他利益相关方。

6.1.2 可采用充分的测量冗余度、独立的验证、良好的设计、可靠的设备和天然类比等方法保证监测数据的可信性。

6.1.3 为开展安全分析和环境影响评价以及验证是否遵守监管要求,应在处置设施所有阶段提供监测和检查数据。

6.1.4 监测和检查获取的信息应当能够或有助于证明遵守监管要求。

6.1.5 在处置设施运行前也应收集类似设施的已有监测和检查信息,以便于制定新设施监测和检查计划。

6.1.6 设施投入运行后至设施移交地方政府前,监测和检查计划获取的信息应持续用于更新安全分析和环境影响评价,既通过直接证据(如直接测量参数)也要通过间接证据(如模型预测)来验证处置系统是否按预期发挥作用。

6.1.7 考虑到设施建设各阶段的不确定性以及安全分析和环境影响评价的保守性,监测到非预期的结果后应尽早与监管部门和其他相关方交流监测结果。

6.1.8 监测到非预期的结果并不一定表明该处置系统的安全已受到影响,排除测量误差后,应分析相关信息,重点放在识别趋势,确定其在现有安全分析和环境影响评价中的重要性。如果非预期结果未在安全分析和环境影响评价中考虑,应重新分析并修订监测和检查计划。

6.2 监测和检查信息的管理

6.2.1 由于处置设施的寿期很长,监测和检查计划为设施整个寿期的决策支持提供信息,因此处置设施应建设信息管理系统来管理监测和检查信息。

6.2.2 信息管理系统应具有执行数据分析、记录保持和档案管理功能。

6.2.3 建设信息管理系统时应考虑数据使用和管理需求的长期性和易用性，宜采用数字化、智能化和三维可视化技术。

7 质量保证

7.1 质量保证大纲

7.1.1 应根据本导则要求编制监测和检查计划对应的质量保证大纲。

7.1.2 质量保证大纲应分阶段对处置场监测和检查计划的质量保证工作作出规定，保证监测和检查计划正确执行，取得可信的监测和检查数据并符合相关的标准和监管要求。

7.1.3 编制质量保证大纲应考虑以下因素：

- (1) 设备和仪器的质量；
- (2) 设备和仪器的校准与维修频度；
- (3) 人员培训；
- (4) 质控样品交叉分析比对；
- (5) 监测结果对国家标准的溯源性；
- (6) 过程文档管理；
- (7) 建立人员资格认证程序、监测和检查计划的执行程序等程序文件。

7.2 质量控制

7.2.1 质量控制适用于监测和检查计划的所有步骤，例如：

- (1) 采样程序；
- (2) 制样程序；
- (3) 监测和检查对象、位置的选择；
- (4) 测量程序；
- (5) 检查执行程序；
- (6) 数据处理方法；
- (7) 测量和检查结果的解释与评价；
- (8) 报告；
- (9) 记录的保存。

7.2.2 应建立清晰的质量控制管理流程，保障数据的质量，例如用于管理决策的数据，应有管理流程来审查或验证数据是否合格。

名词解释

监测（monitoring）

监测是指为了评估废物处置系统部件性能和废物处置系统对公众和环境影响开展的连续或定期测量，包括辐射参数、环境参数和工程参数等的测量。

检查（surveillance）

检查是指为了验证安全屏障的完整性对废物处置设施进行实物检验核查，确认设施的结构、系统和部件是否与安全分析和环境影响评价的描述一致。

附录 A 处置设施监测和检查资料性附录

A.1 地质处置设施的监测和检查案例

A.1.1 监测参数

放射性废物地质处置设施的监测参数可以分为如下几类：

- 必要的本底（基准）趋势参数
- 废物包状况参数
- 处置设施的结构和工程屏障参数
- 评估处置设施建造活动产生的影响的参数
- 围岩圈的变化参数
- 放射性污染和其他污染参数

此外，必须监测对安全分析和环境影响评价具有关键作用的参数。

A.1.2 本底（基准）趋势监测

本底监测需要在设施建造和运行产生影响之前开始，以获取场址早期的本底信息和初始场址特性信息。本底监测的范围包括基础地球科学、工程、环境以及与处置设施运行和关闭后安全评价存在潜在关系的参数，例如，用于评估建造和运行期间岩层、地下水系统发生变化的参数，在关闭后阶段用于评估该处置设施对天然过程和环境产生的任何影响的参数。

建立本底信息需要的主要特性参数包括：

- 围岩和周围地质环境中地下水流场（材料特性、地下水水压分布、水力梯度、补给和排泄区域等）
- 地下水的地球化学特性（氧化还原性、盐度、主要的微量元素浓度、天然放射性核素含量等）
- 属于处置设施组成部分的围岩的矿物学特性
- 有助于处置设施结构稳定的围岩的地质力学特性

- 属于处置设施一部分的围岩的运输和滞留特性
- 属于处置设施一部分的围岩的断裂（包括裂隙）的特性调查
- 地下水、地表水、空气、土壤、沉积物以及动植物中天然放射性本底水平
- 气象条件和气候条件
- 地表水系统水文学，包括排水模式和入渗率
- 自然栖息地和生态系统的生态学

在发现重要的参数值有继续升高或降低的趋势时，本底监测需持续进行以便建立具有一定置信度水平的趋势数据，并充分了解趋势变化的原因。

A.1.3 废物包状况监测

废物包的状况关系到废物的可回取性，因此对表示废物包完整性或状态的参数进行监测是非常重要的。废物包的状况变化主要受退化现象影响，如腐蚀的影响、废物堆的稳定性、地下水再饱和以及产生气体等。

废物包状况参数分为两类：能够直接测量的参数（如：腐蚀电流、应变、粘土缓冲区的膨胀压力）和环境参数（如：温度、湿度、地下水再饱和压力）。在一些处置设施的设计中，尤其是对于低放废物和中放废物，对尽可能地靠近废物包处废物产生的气体进行分析，已成为评价工程屏障的完整性和/或性能的有效参数。

A.1.4 处置设施的结构和工程屏障监测

受自然过程和人为活动的影响，处置设施的结构稳定性可能会发生变化，对处置设施周围地区进行持续的监测有助于评价其稳定性，一般监测参数包括：

- 力学性能
- 应力
- 应变
- 借助地下工程开挖的常规观测：

- 岩体应力
- 岩体支护结构的变形和载荷
- 墙体和内衬结构的变形
- 裂隙

工程屏障由废物周围用于隔离和包容该废物的所有材料组成，包括密封材料、部分回填层和部分处置设施的结构等。

A.1.5 处置设施建造活动的监测

处置设施的建造会干扰已存在的自然体系，处置设施运行也会引起进一步的变化，其中一些变化可能需要很多年才能显现出来。因此应当对建造活动导致的处置设施环境变化进行监测，例如：

- 开挖工程中机械干扰产生的影响
- 开挖和排水工程对周围地质环境的水力特性和水化学特性的影响
- 废物释热导致的热力效应
- 处置设施的建造及运行所引起的化学反应对周围环境的地球化学特性的影响（主要是设施内通风，也包括采用回填材料和加固材料，比如：钢筋、水泥和喷浆混凝土、密封材料、废物本身和/或废物包的部件等）

围岩中监测的参数是：

- 力学干扰：
 - 应力场
 - 变形
 - 裂隙
- 水力学干扰：
 - 渗透性
 - 水压力
 - 饱和度

- 地球化学干扰：
 - 成分（孔隙水和矿物）
 - pH 值
 - 氧化还原相关参数
 - 迟滞性能
 - 生物学变化
- 热干扰：
 - 温度分布
 - 从温度分布获得的热导率

A.1.6 周围基岩的监测

处置设施周围的基岩会以很多不同的方式对该处置设施的存在做出响应（如：力学、水力和化学）。相关可测量的参数包括温度、应力、地下水化学、地下水压力、溶质化学和矿物成分等，上述参数一般可通过围岩的地表场址特性调查和地下钻孔调查获得。

调查可以使用的地球物理方法包括：

- 地球物理测量法
- 氦射气法
- 空气辐射测量法

应重点对隔离系统长期性能有直接影响的岩体结构的水力学和力学行为进行监测，例如主要裂隙水的连通性。

对于在地下水饱和区域的处置设施，在处置设施处于开放状态时，地下水将绕过该处置设施，然而随着处置设施地下水再饱和（或者部分饱和），地下水将通过该处置设施后再次流回到岩石圈，会导致岩石圈的地球化学性质产生变化，对于某些处置设施（例如主要使用水泥结构的处置设施）这种变化可能是重要的。

A.1.7 放射性污染监测

如果地质处置设施正常演化，废物包、工程屏障或处置巷道释放的放射性核素是监测不到的，因为废物容器的预计寿命有几千年。只有在设施非正常演化的情况下放射性核素才有可能在一个较短的时间尺度内释放出来。为了获得本底（基准）条件以便能够对污染物移动和释放的影响进行比较，需要测量工程屏障、围岩和岩石圈的以下参数：

- 渗滤液的污染水平
- 地下水的放射性活度浓度
- 潜在污染区内的水力梯度、水流速度和水流方向
- 浅层水的水位
- 河水流速
- 含水层补给量
- 水的化学成分

A.1.8 建立环境数据库

建立长时间尺度（几十年以上）的环境数据库有利于评估建造处置设施的适用性，数据库相关参数包括：

- 气象
- 水文，包括排水、水的用途和水质
- 不同环境介质中的放射性核素和其他污染物的浓度，包括动植物、沉积物和水
- 当地的生态环境
- 地貌演化过程，如：剥蚀作用、局部侵蚀和边坡变化
- 地壳构造的活动性，如：垂直和横向地壳运动速率，地震现象和地热流
- 周围区域的土地利用情况

所有这些参数可以进行持续的、长时间的测量。

表 A.1-1 总结了一个地质处置设施不同阶段需要监测的参数。

表 A. 1-1 地质处置设施不同阶段需要监测的参数表

监测的参数/程序	运行前阶段（包括场址选择和设施建造）	运行阶段（包括关闭）	关闭后阶段 ^a
本底值（基准值）			
围岩和周围岩石圈的地下水流场			
— 地下水压力分布			
— 水力梯度			
— 流向			
— 渗透性			
— 补给和排泄区域			
地下水的地球化学特性	√		
— 氧化还原条件	√		
— 盐度	√		
— 主要的微量元素浓度	√		
— 天然放射性核素含量/本底活度	√		
属于处置设施构成部分的围岩的矿物特性	√		
围岩的岩土力学性质	√		
属于处置设施构成部分的围岩的迟滞和水力学特性	√		
属于处置设施构成部分的围岩的断裂（包括裂隙）特性调查与评价	√		
地下水、地表水、空气、土壤、沉淀物、动植物的天然放射性的本底水平	√		
岩石圈周围和大气中的化学和物理变化	√		
气象和气候条件	√		
地表水系统的水文学条件，包括排水模式和入渗率	√		
自然栖息地的生态和生态系统	√	√	
处置设施结构力学性能		√	
工程屏障力学特性		√	
工程屏障迟滞和水力学特性		√	
本底参数的持续监测		√	√
废物包的完整性			
能够直接测量参数：		√	(√)

监测的参数/程序	运行前阶段（包括场址选择和设施建造）	运行阶段（包括关闭）	关闭后阶段 ^a
<ul style="list-style-type: none"> — 腐蚀性 — 应变 — 废物包的压力（即粘土缓冲材料的膨胀压力） 			
环境参数 <ul style="list-style-type: none"> — 温度 — 湿度 — 地下水再饱和度 — 废物产生气体的特性 		√	(√)
处置设施结构和工程屏障			
处置设施结构和工程屏障的稳定性：		√	(√)
<ul style="list-style-type: none"> — 力学性能 — 应力 — 应变 — 地下开挖监测： <ul style="list-style-type: none"> ● 岩体应力 ● 变形和岩体支护载荷 ● 墙体和内衬结构的变形 ● 裂隙 			
工程屏障参数		√	(√)
<ul style="list-style-type: none"> — 地下水再饱和速度 — 变化： <ul style="list-style-type: none"> ● 水力学特性 ● 力学性能（包括膨胀） ● 化学特性 ● 热学特性 			
防水措施及其监测		√	(√)
处置设施引起的干扰（建造，放置废物和工程屏障）			
围岩力学干扰：	√	√	(√)
<ul style="list-style-type: none"> — 应力场 — 变形 — 裂隙 			

监测的参数/程序	运行前阶段（包括场址选择和设施建造）	运行阶段（包括关闭）	关闭后阶段 ^a
地球化学干扰：	√	√	(√)
— 岩土成分（间隙水和矿物学特征）			
— pH值			
— 氧化还原特性			
— 迟滞特性			
— 生物特性学变化			
水力学干扰：	√	√	(√)
— 渗透性			
— 水压力			
— 饱和度			
热干扰：		√	(√)
— 温度分布			
— 热导率			
监测放射性核素的释放		√	(√)
渗滤液水位			
地下水放射性活度浓度		√	(√)
潜在污染区域的污染程度		√	(√)
水力梯度，潜在污染区域内水流动的速度和方向		√	(√)
潜水位水平		√	√
含水层的补给和排泄		√	√
水的化学成分		√	√
岩石圈变化			
力学性能：		√	√
— 应力			
— 应变			
— 裂隙			
水力学性能：			√
— 地下水压力			
化学特性：		√	√
— 溶质化学			
— 矿物性质			
热属性			
— 温度			
环境数据库的建立			

监测的参数/程序	运行前阶段（包括场址选择和设施建造）	运行阶段（包括关闭）	关闭后阶段 ^a
气象学	√	√	√
水文学，包括排水、给水和水质	√	√	√
不同环境介质中放射性核素和其他污染物的浓度	√	√	√
局部区域生态环境	√	√	√
地貌演化，如：剥蚀作用、局部侵蚀和边坡演变	√	√	√
构造活动，如：垂直向和横向地壳运动速率，地震现象和地热流；	√	√	√
周围区域的土地利用情况	√	√	√

a 在运行时期期间测量的参数可以继续关闭后时期期间进行监测，但是在一个较小的范围，只要不影响其长期安全。这里用（√）表示。

参考文献

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Geological Repositories for High Level Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1208, IAEA, Vienna(2001).

[2] EUROPEAN COMMISSION, Thematic Network on the Role of Monitoring in a Phased Approach to Geological Disposal of Radioactive Waste, Final Report, Rep. EUR 21025 EN, EC, Luxembourg (2004).

A.2 近地表处置设施的监测和检查案例

A.2.1 设施基础资料

国外某近地表处置设施坐落在一座小山的山脊处，海拔 200-250 米，并且场址处地下水位以上有大约 30m 厚的非匀质的第四纪沉积物（淤泥和粘土，低渗透性）。该设施西南方向以 1 号小河为界，东北方向以 2 号小河为界，与最近的村庄距离 1.5km。

设施属于近地表处置设施。处置单元分为增强型混凝土地下处置库（A 类和 C 类）和碳钢/不锈钢处置钻孔（B 类和 D 类）。

A 类采用增强型混凝土结构（墙厚 40cm），用于处置放射性固体废物。共有四个地下室，每个地下室由 70m³ 的单元格构成。地下室在放置废物期间覆盖保护层，并暂时用 2m 厚的粘土层密封和覆盖，最终的覆盖层仍在设计。

C 类用于处置经过固化的有机溶剂和生物废液，但是近年来还被用于临时处置中子源。由 8 个单元组成，每个单元 1.5m³，并设置覆盖保护层。

B 类用于处置废弃的密封源。由 16 个直径为 40mm 的钻孔和 16 个直径为 100mm（6m 深）的钻孔构成，这些井位于整体混凝土结构中。

D 类用于贮存半衰期大于 30 年的废弃密封源（²²⁶Ra 和 ²⁴¹Am）。包含 4 个直径 200mm 的钻孔和 16 个直径 100mm 的钻孔（内部设置钢套管，深 6m）。

A.2.2 运行前的监测和检查

在处置设施开始运行前 1974 年至 1976 年，营运单位对处置设施周围环境的本底水平进行了监测。取样点位于附近的村庄、小河、山坡及处置设施所在的区域。监测项目包括不同环境样品中 ¹³⁷Cs、总 γ 和总 β 活度浓度。

A.2.3 运行初期的监测和检查

处置设施运行初期（第一阶段）的监测计划主要包括以下内容：

- 10 个地下水监测井（水）
- 8 个地表水取样点（水和沉积物）
- 雨水/沉降灰收集
- 6 个蔬菜取样点
- 2 个气溶胶和放射性灰尘取样点
- 2 个食品样品取样点（鱼和牛奶）

1991年，设施处置容量从3360m³扩建到了5040m³，相应的监测计划在以下几个方面进行了扩充：

- 水文地质（地下水）监测：新建18个井，共计28个井用于监测地下水位的变化
- 新增4个固定点位的表面污染监测点
- 新增近地表辐射监测（围绕处置库共有16个7m深的井，监测土壤中 γ 放射性核素的活度）
- 水体放射性测量：地表水和地下水中³H、¹⁴C、⁹⁰Sr和化学成分
- 2个条河横断面流量测量
- 使用新雨水收集器进行监测

使用两年（1990-1991年）收集数据的平均值计算基本水平，并将新的结果反映在监测计划中。

1995年完成了系统的最初安全评估，同时为了收集更多输入数据建立了一个气象观测系统。

A.2.4 运行阶段的监测和检查

运行阶段的放射性监测计划与运行初期或运行前阶段监测计划大致相似，通常会减少取样频率，并需要根据审查结果和最新的取样和测量程序对取样频率、测量项目、取样点位进行调整。

本案例的取样点位覆盖场址整个区域和20km范围内的河流。

本场址在2000年基于70年代的地质调查数据和1976年至2000年间收集的监测数据完成了第一次综合安全评价，评价结果提出需要关注边坡稳定性，因此在监测计划中加入了边坡侵蚀的调查。

后续在场址重新申请许可证期间，监管机构要求开展进一步的地质调查，补充调查在2006年至2007年完成。

2000年，几个地下水监测井测量到水体中氡浓度升高，尽管并未对当地公众造成照射影响，但是除了为运行监测建造的井之外又对6口监测井实施了连续监测，确认了氡的源项和主要途径并被进一步监测。

2004年，处理和贮存设施改造之后设置了新的气溶胶和土壤取样点位。

在设施正常运行期间，预计气载或液态放射性流出物只会从运行和贮存建筑物中产生，二者均位于控制区内。产生的少量废液被包容在密封容器内，这些废

液至今没有从容器内流出。

通过在通风烟囱中安装取样装置进行取样测量来进行气载流出物排放监测。在正常运行情况下排放极少测量值处于本底水平。来自于贮存建筑物和运行建筑物的流出物同样被沿风向布置在不同位置的监测设备测量。

设施的环境监测由几个实验室完成，大多数基本测量项目由处置设施的实验室完成，特殊测量和环境样品中有难度的同位素测量则由其它有相关资质的实验室承担。处置设施的环境监测实验室定期从 40 个不同的取样点位采集蔬菜、动物、土壤、沉积物/底泥、气溶胶、沉降灰、地表水和地下水样品，然后用 γ 谱仪和总 β 计数器进行测量。

此外还从额外的 30 个地下水监测井进行取样，对紧邻设施区域的蔬菜、土壤和动物样品的更高精度测量由外部研究机构承担。

将监测系统的数据与 1976 年至 1977 年确定的本底水平进行对比分析。

每年从设施周围采集近 600 个样品，接近 1000 次的测试结果表明，没有探测到任何数据偏离天然本底值，这一事实也经过主管部门和独立机构的质保测量得到确认。

设施周围收集的放射性资料记录在国家数据库中。

设施监测大纲见表 A.2-1。

A.2.5 关闭后监测计划

目前，关闭后监测的要求尚未确定，监管机构将在适当考虑处置场址及周围区域的物理、生物和地球化学特征后再进行明确。

表 A. 2-1 处置设施监测大纲

环境介质	监测地点	监测类型	取样方法	测量方法	对比
空气	最近村庄的中心	环境	每周更换的气溶胶滤纸 沉降灰采样器	总β计数和γ谱测量	本底水平
空气	处置区域的下风向一侧	环境/源	每周更换的气溶胶滤纸 每周沉降灰取样 每两月用硅胶干燥剂吸附 ³ H、用氢氧化钡吸收 ¹⁴ C	总α和β计数, γ谱、 ³ H、 ¹⁴ C和 ⁹⁰ Sr测量	本底水平
空气	处理和贮存建筑的下风向侧, 距离100m	环境/源	气溶胶滤纸定期送实验室 用硅胶干燥剂吸附 ³ H、用氢氧化钡吸收 ¹⁴ C	总α和总β计数, ³ H、 ¹⁴ C和 ⁹⁰ Sr测量	本底水平
空气	处理和贮存建筑的通风烟囱内	源	每周更换的空气过滤器 每两月用硅胶干燥剂吸附 ³ H、用氢氧化钡吸收 ¹⁴ C	总α和总β计数, γ谱、 ³ H、 ¹⁴ C和 ⁹⁰ Sr测量	排放限值
空气	处理和贮存建筑物的地下室和第一层	源	气溶胶滤纸定期送到实验室	气溶胶α和β浓度连续测量	辐射防护限值
地表水	近村庄中心上游1号小河	环境	每年2次手动取样	γ谱、总β和 ³ H测量	本底水平
地表水	场址上游1号小河	源	每年2次手动取样和泵抽	总β计数和γ谱, 氚、放射性碳、 ⁹⁰ Sr和电感耦合等离子体(ICP)测量	本底水平
地表水	场址下游1号小河	环境	每年2次手动取样	总β计数, γ谱和 ³ H测量	本底水平
地表水	沿1号小河的鱼塘	环境	每年2次手动取样	总β计数和γ谱测量	本底水平
地表水	最近村庄中心上游2号小河	环境	与1号河流相同	与1号河流相同	本底水平
地表水	场址上游2号小河	环境	与1号河流相同	与1号河流相同	本底水平

环境介质	监测地点	监测类型	取样方法	测量方法	对比
地表水	场址下游2号小河	环境	与1号河流相同	与1号河流相同	本底水平
地表水	取水河流上游	环境	每年1次手动取样	总β计数和γ谱测量	本底水平
地表水	沿取水河流20km	环境	每年1次手动取样	总β计数和γ谱测量	本底水平
雨水	90m ³ 雨水收集池 (中心区域)	源	水池集满后手动取样	总β计数和γ谱测量, ¹⁴ C和 ³ H测量	排放限值
雨水	60m ³ 雨水收集池 (中心区域)	源	水池集满后手动取样	总β计数和γ谱测量	排放限值
地下水	场址周边边坡(23口井)	环境	每年2次手动取样和泵抽	³ H、 ¹⁴ C、总β计数、γ谱测量、 ⁹⁰ Sr、ICP测量	本底水平
地下水	设施内部(10口井)	源	每年2次手动取样和泵抽	³ H、 ¹⁴ C、总β计数、γ谱测量、 ⁹⁰ Sr、ICP测量	本底水平
地下水	设施上方山脊(本底)(3口井)	环境(本底)	每年2次手动取样和泵抽	³ H、 ¹⁴ C、总β计数、γ谱测量、 ⁹⁰ Sr、ICP测量	本底水平
地下水	控制区(6口井)	源	每年2次手动取样和泵抽监测 ³ H, 其它每年两次	³ H、 ¹⁴ C、总β计数、γ谱测量、 ⁹⁰ Sr、ICP测量	本底水平
沉积物	沿温泉	环境	底泥, 不含底栖生物	总β计数和γ谱测量	本底水平
土壤	场址内(11处)	源	每年手动取样1次	总β计数和γ谱测量	本底水平
土壤	场址内(6处)	源	每年手动取样1次	⁹⁰ Sr、总β计数和γ谱测量	本底水平
土壤	场址外(4处)	环境	每年手动取样1次	总β计数和γ谱测量	本底水平
植物	沿温泉	环境	每年手动取样2次	总β计数和γ谱测量	本底水平
植物	场址内(5处)	环境	每年手动取样2次	总β计数、γ谱和 ⁹⁰ Sr测量	本底水平

环境介质	监测地点	监测类型	取样方法	测量方法	对比
动物	湖中	环境	全鱼取样, 限本地鱼, 每年2次	总 β 计数、 γ 谱和 ^{90}Sr 测量	本底水平
动物	场址内	环境	厂区羊, 每年1次	总 β 计数、 γ 谱和 ^{90}Sr 测量	本底水平
水文地质	26口井	环境	每年2次手持式仪器测量	井中水面高度	本底水平
水文地质	8口井	环境	固定探测器, 连续监测	井中水面高度	本底水平
水文地质	两小河各两个横断面	环境	每年2次手持式仪器测量	场址上、下游两小河的径流量	本底水平
辐射	6处就地测量	环境	每年1次	就地 γ 谱测量	本底水平
辐射	处置场址剂量率仪(7处)	源	固定探测器, 连续监测	连续 γ 剂量率测量	辐射防护限值
辐射	建筑物内剂量率仪(23处)	源	固定探测器, 连续监测	连续 γ 剂量率测量	辐射防护限值
气象学	处置库附近	环境	自动气象观测站	风速、温度、蒸汽、降水量	—
测地学	在4个固定的测量地点	环境	手持式仪器测量	地球表面监测, 监测地表运动	本底水平
侵蚀	边坡上	环境	固定探测器, 连续监测	监测雨量和土壤侵蚀	—
排水	处置库下方	环境	每年2次手动取水样	^3H 测量, γ 谱测量	—