

核安全导则 HAD 401/09-2019

# 放射性废物处置设施的监测和检查

国家核安全局 2019 年 3 月 22 日批准发布

国家核安全局

# 放射性废物处置设施的监测和检查

(2019年3月22日国家核安全局批准发布)

本导则自2019年3月22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.....	22
1.1 目的.....	22
1.2 范围.....	22
2 监测和检查的原则和目标.....	22
2.1 原则.....	22
2.2 目标.....	22
3 废物产生单位和处置设施营运单位的责任.....	22
3.1 放射性废物产生单位的责任.....	22
3.2 放射性废物处置设施营运单位的责任.....	22
4 监测计划的制定和实施.....	22
4.1 一般要求.....	22
4.2 不同类型处置设施的监测.....	22
4.3 处置设施不同阶段的监测.....	22
5 检查计划的制定和实施.....	22
5.1 一般要求.....	22
5.2 不同类型处置设施的检查.....	22
5.3 处置设施不同阶段的检查.....	22
5.4 处置设施检查的具体要求.....	22
6 监测和检查信息的使用和管理.....	22
6.1 监测和检查信息的使用.....	22
6.2 监测和检查信息的管理.....	22
7 质量保证.....	22
7.1 质量保证文件.....	22
7.2 质量控制.....	22
名词解释.....	22
附录 地质处置设施的监测案例.....	22

# 1 引言

## 1.1 目的

本导则的目的是为放射性废物处置设施的监测和检查提供指导,通过监测和检查确认放射性废物处置设施功能的有效性,保障放射性废物处置设施的安全。

## 1.2 范围

1.2.1 本导则适用于放射性废物处置设施营运单位对近地表处置设施和地质处置设施在运行前阶段、运行阶段、关闭后阶段(至设施移交前)开展监测和检查工作。极低水平放射性废物填埋设施可参照执行。本导则不包括非放射性污染监测内容。

1.2.2 本导则不适用于处置铀钍矿冶废物的设施。

# 2 监测和检查的原则和目标

## 2.1 原则

- (1) 监测和检查应为设施的安全全过程系统分析提供信息。
- (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。
- (3) 监测和检查应能够确认工程屏障和天然屏障的性能是否受到损害。
- (4) 编制监测计划时还应考虑公众的关注。

## 2.2 目标

监测和检查的主要目标如下。

- (1) 证明设施是否符合监管要求和许可证条件;
- (2) 验证处置系统的运行状态是否与安全分析中描述的一致;
- (3) 为制定工程屏障、天然屏障的补救措施提供信息;
- (4) 验证设施安全分析所使用的主要假设和模型是否符合实际情况;
- (5) 为处置设施、场址和周围环境的数据库提供信息;
- (6) 为公众提供信息。

## 3 废物产生单位和处置设施营运单位的责任

### 3.1 放射性废物产生单位的责任

放射性废物产生单位应对本单位产生的放射性废物进行分类,对废物中放射性核素活度浓度等废物特性进行测量和信息记录,并保证数据、信息的准确可靠。

### 3.2 放射性废物处置设施营运单位的责任

放射性废物处置设施营运单位应承担以下责任。

- (1) 制定并执行符合监管部门要求的监测和检查计划;
- (2) 对放射性废物产生单位的废物分类、测量过程进行核实以保证废物符合处置场废物接收准则;
- (3) 定期向监管部门报告监测和检查计划的执行情况和监测结果;
- (4) 保留、存储、维护和管理通过监测和检查获取的数据;
- (5) 确保监测和检查所需资源得到落实;
- (6) 在设施移交时,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 一般要求

4.1.1 监测计划应包括处置设施监测和环境监测,以评估公众照射和环境影响。

4.1.2 制定监测计划应充分考虑设施的安全分析的需求,能够将监测结果与安全全过程系统分析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到安全的区域及易于探测到设施异常的区域。

4.1.4 应对监测计划进行最优化设计,此过程应考虑监测的代价和利益分析。

4.1.5 监测计划的制定通常包括以下工作内容。

- (1) 选择对设施的安全全过程系统分析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和修订制度;

- (4) 测量方法和设备的选择；
- (5) 测量位置、对象的选择；
- (6) 监测时间和频次的选择；
- (7) 建立质量控制要求及措施；
- (8) 监测数据的使用说明；
- (9) 建立管理规范 and 监测结果报告制度；
- (10) 监测结果评价；
- (11) 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) 处置设施的设计容量；
- (2) 废物特性及其包装容器特性；
- (3) 设施类型和设计参数；
- (4) 场址特性和工程屏障特性；
- (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和社会环境特性。

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，并分析污染来源。

4.1.8 开展的监测活动不应降低屏障的性能。

4.1.9 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。

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

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

4.1.12 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。

4.1.13 监测计划应包括必要的信息公开内容。

4.1.14 如果监测结果表明存在影响安全和环境的非预期变化，应针对非预期变化开展专项监测，并判断是否需要修订安全状况评估或环境影响评估报告，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

近地表处置设施处置的废物一般为低水平放射性废物以及能满足近地表处置设施运行许可要求的中水平放射性废物，近地表处置设施的监测计划主要包括处置设施监测、废物监测（仅适用于运行阶段）和环境辐射监测。处置设施监测包括场所辐射监测、流出物监测、屏障监测、控制区出入监测等；废物监测是对验证废物包是否符合接收标准的有关项目进行监测，选择的监测项目应便于执行（例如废物包表面剂量率）；环境辐射监测的范围和项目按相关标准执行。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

地质处置设施处置的废物一般为高水平放射性废物，以及不能满足近地表处置设施许可要求的中水平放射性废物。地质处置设施的监测计划主要包括处置设施监测、废物监测（仅适用于运行阶段）和环境辐射监测。考虑到地质处置设施的特殊性，处置设施监测应根据设施的屏障特性和处置流程制定监测项目；废物监测是对验证废物包是否符合接收标准的有关项目进行监测，选择的监测项目应便于执行（例如废物包表面剂量率）；地质处置设施包容的废物早期向环境释放是极不可能的，因此环境辐射监测项目在各阶段均可根据厂址特性进行简化设计，集中在某些环境介质（如地下水）的放射性核素测量上，但应同时满足公众安全和关注的需要。地质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。

地质处置设施的监测参考案例见附录。

## 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。

本底监测——

收集数据用于厂址评价过程，以及识别重要特征、事件和过程，用于安全分析第一次迭代。

设施建造至运行前监测——

为评估与监管部门要求的一致性，为运行活动提供支持，以及在后续申请许可证时为安全分析提供支持。在此时期可能增加额外的测量。

运行监测——

为评估与监管部门要求的一致性，以及在后续申请许可证时，为安全分析提供支持。

关闭监测——

为评估与监管部门要求的一致性，为关闭活动和后续关闭后监测提供支持。在此时期可能增加额外的测量，也可能中断现有的测量。

关闭后监测（如果适用）——

为评估与监管部门要求的一致性，以及为后来的决策（例如缩小监测规模、符合监管要求的处置设施场址释放等）提供支持。

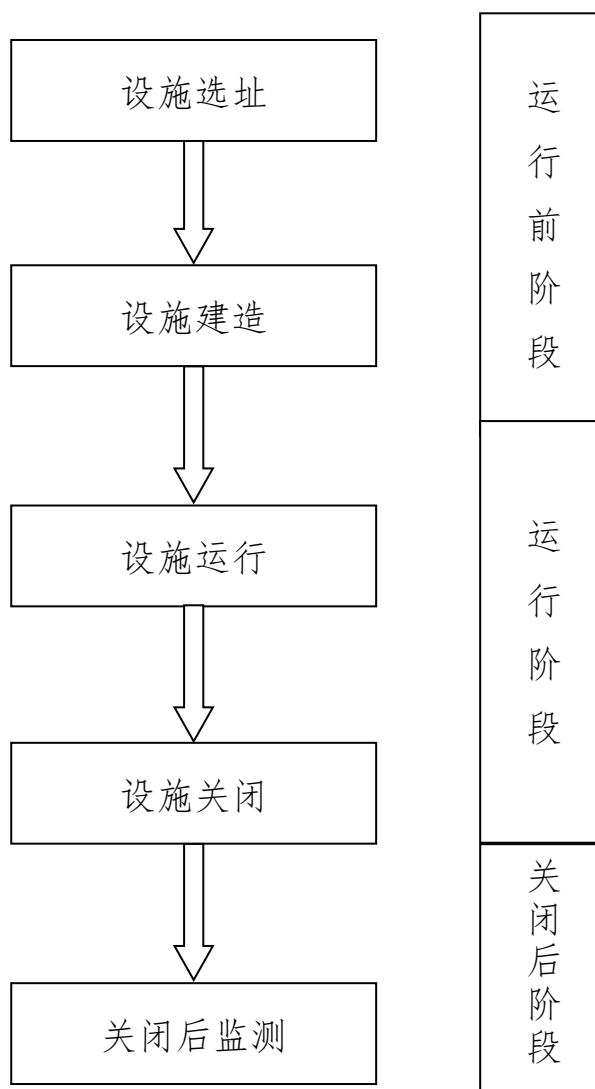


图1 处置设施不同阶段的监测活动

#### 4.3.1 运行前阶段监测

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) 提供设施的安全分析所需的输入数据；
- (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变化和公众照射。

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核素释放可能性，并作为安全分析的组成部分。

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全过程系统分析的需要制定关闭监测计划。

4.3.2.4 应急监测是为缓解事故后果或采取干预行动提供数据支持，只适用于运行阶段。处置设施营运单位应在设施投入运行前制定应急监测计划，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，为保持应急监测能力，应定期进行演练。应急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。

### 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前执行。开展关闭后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；
- (2) 为处置设施内放射性核素向环境释放提供早期警报；
- (3) 为后续的决策（如改变控制方式、改变监测范围和频次）提供数据支持。

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，并保持监测和维护的能力。确定关闭后阶段监测项目、范围和频次的主要因素包括。

(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。

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。

## 5 检查计划的制定和实施

### 5.1 一般要求

5.1.1 执行检查计划的目的是为了掌控处置设施的情况，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向环境迁移或释放的状况。检查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，一般通过定期检查来实施。

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) 设施维修和定期试验程序；
- (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主要包括设施检查、系统性能检查（运行阶段）、设备性能和有效期检查（运行阶段）、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。关闭后阶段的检查可根据需要缩减，但通常应包括处置设施表面覆盖物检查。

### 5.2.2 地质处置设施

地质处置设施的检查除常规的设施检查、系统性能检查（运行阶段）、设备性能和有效期检查（运行阶段）、辅助系统功能检查外，还应根据设施的地质和工程特性制定有针对性的检查，并尽量使用自动化和远程检查方法。地质处置设施的地下处置单元很难影响地面环境，因此周边环境检查的重点是可能对地面设施造成危害的环境因素。地质处置设施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，可以在设施关闭后停止执行检查计划。

## 5.3 处置设施不同阶段的检查

### 5.3.1 运行前阶段检查

检查计划应根据处置设施的类型从建造前开始制定，在建造期间执行，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。运行前阶段的检查应覆盖设施所有可达区域，与处置设施性能和安全屏障完整性相关的系统、设备和部件均应纳入检查计划。

### 5.3.2 运行阶段检查

处置设施运行阶段检查应能够确认安全屏障的完整性是否受到保护和维持，处置设备和辅助系统是否能够正常运行。正在进行处置作业且受条件限制不能接近的区域，可通过远程摄像头等方式进行检查；已封闭而不能接近的处置区域不宜进行直接检查；处置设施的保护性部件只要位于可达区域，就应纳入检查计划进行定期检查。

### 5.3.3 关闭后阶段检查

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前执行关闭后阶段检查计划。

## 5.4 处置设施检查的具体要求

### 5.4.1 检查的类型和频次

#### 5.4.1.1 营运单位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

确定设施检查的类型和频次，检查通常包括定期检查和专项检查。

5.4.1.2 检查计划应包括对处置设施的安全具有较大影响的系统、部件和设备的检查(可以采用目视检查和物理检查)以及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 营运单位的定期检查

5.4.2.1 营运单位应定期对处置设施所有可达区域的部件进行检查，检查前应先审查以前的检查报告(表)和整改措施是否落实，检查完成后需填写检查报告(表)，给出检查结论和提出整改意见。

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开展定期检查，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 营运单位的专项检查

专项检查主要是指在发生极端自然事件(如重大火灾、强烈地震、洪水、暴雨或龙卷风等)之后或发生偏离正常运行情况下以及来源于外部经验反馈经评估适用于本设施，而需要实施的检查。营运单位开展专项检查的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，或排除可能存在的隐患。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 可采用设计冗余测量点位或平行样品、独立的验证、良好的设计和可靠的设备等方法保证监测数据的可信性，此外，承担监测和检查工作的人员应经过相关培训或具有相关资质。

6.1.3 处置设施所有阶段均应提供监测和检查数据，以支撑设施的安全分析和评价。

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 为便于制定新设施的监测和检查计划，可在处置设施运行前收集类似设施的已有监测和检查信息以进行经验反馈。

6.1.6 设施投入运行后至设施移交前，监测和检查获取的信息应用于设施的安全全过程系统分析，既应通过直接证据（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全过程系统分析的保守性，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，确定其在安全分析中的重要性。如果设施的安全状况和环境影响评估中未考虑这些非预期结果，应重新评估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，监测和检查为设施整个寿期的决策提供信息支持，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的功能。

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 质量保证文件

7.1.1 应根据本导则要求编制监测和检查对应的质量保证文件。

7.1.2 质量保证文件应分阶段对处置场监测和检查的质量保证工作做出规定，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 编制质量保证文件应考虑以下因素：

- (1) 法律法规要求；
- (2) 设施和设备的维护；
- (3) 设备和仪器的标定与维修频度；
- (4) 人员培训；
- (5) 质控样品交叉分析比对；

- (6) 监测数据的可追溯性;
- (7) 记录控制;
- (8) 建立人员资格考核、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) 不符合项控制（如有）;
- (9) 报告;
- (10) 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。应设立专门的质量控制机构，负责质量保证相关活动的实施。

## 名词解释

### 监测（monitoring）

指为了评估放射性废物处置设施系统部件性能和所处置的放射性废物对公众和环境影响，开展连续或定期测量，包括辐射参数、环境参数和工程参数等的测量。

### 检查（surveillance）

指为了验证安全屏障的完整性对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中的描述一致。

### 安全全过程系统分析（safety case）

指支持和说明处置设施安全的科学、技术、行政和管理等方面论据和论证的文件集成，涵盖场址的适宜性，设施的设计、建造和运行的安全性，辐射风险评价的合理性，以及所有与处置设施安全相关工作的充分性和可靠性。

## 附录 地质处置设施的监测案例

### 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以下几类。

- 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，必须监测对设施的安全状况和环境影响评估具有关键作用的参数。

### 2 本底监测

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）特性
- 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。

### 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、废物堆积的稳定性、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，尤其是对于某些中放废物，对尽可能地靠近废物包处、由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。

### 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。

## 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-力耦合效应
- 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、灌浆和喷射混凝土、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

## 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、水力学和化学）。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。

## 7 放射性污染监测

因为废物容器的预计寿命有几千年，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。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

## 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 1 总结了一个地质处置设施不同阶段需要监测的参数。

表 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 <sup>a</sup>
<b>本底值（基准值）</b>			
围岩和周围岩石圈的地下水流域			
— 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	√		
围岩的地质力学性质	√		
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		√	
<b>本底参数的持续监测</b>		√	
<b>废物包的完整性</b>			√

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

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 <sup>a</sup>
— 裂隙			
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			
<b>监测放射性核素的释放</b>			
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			

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 <sup>a</sup>
<b>环境数据库的建立</b>			
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 在运行期和关闭后都进行监测，且只要不影响其长期安全、可以将测量范围缩小的项目，这里用（√）表示。

注：本附录即为《Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities》（SSG-31）的附录 I

#### 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).