

附件 2

核安全导则 HAD 401/06-2013

# 高水平放射性废物地质处置设施选址

国家核安全局 2013 年 5 月 24 日批准发布

国家核安全局

# 高水平放射性废物地质处置设施选址

(2013年5月24日国家核安全局批准发布)

本导则自2013年5月24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。

# 目 录

1 引言.....	4
1.1 目的 .....	4
1.2 范围 .....	4
2 选址目标、阶段划分.....	4
2.1 选址目标 .....	4
2.2 选址阶段划分 .....	5
2.3 规划选址阶段 .....	5
2.4 区域调查阶段 .....	6
2.5 场址特性评价阶段 .....	6
2.6 场址确认阶段 .....	7
3 选址准则和所需资料.....	8
3.1 总则 .....	8
3.2 地质条件 .....	8
3.3 未来自然变化 .....	9
3.4 水文地质 .....	10
3.5 地球化学 .....	10
3.6 人类活动 .....	11
3.7 建造和工程条件 .....	12
3.8 废物运输 .....	13
3.9 环境保护 .....	13
3.10 土地利用 .....	14
3.11 社会经济和人文条件 .....	14
4 质量保证.....	15
名词解释.....	15

# 1 引言

## 1.1 目的

本导则的目的是为选择合适的高水平放射性废物地质处置设施场址提供指导。

## 1.2 范围

1.2.1 本导则提出了高水平放射性废物地质处置设施的选址目标、阶段划分、选址准则、所需资料的要求和质量保证要求。

1.2.2 本导则适用于高水平放射性固体废物地质处置设施的选址，也适用于乏燃料、 $\alpha$ 放射性固体废物以及由国家监管部门批准的其他放射性废物地质处置设施的选址。

# 2 选址目标、阶段划分

## 2.1 选址目标

2.1.1 选址的基本目标是选择出一个安全处置高水平放射性废物的场址。在高水平放射性废物处置安全期内（地质处置设施关闭后至少 1 万年），该场址作为天然屏障，应当能够与处置设施的工程屏障一起，有效隔离放射性核素，并有效阻止其进入生物圈。

2.1.2 场址应具备天然屏障功能，以使高水平放射性废物对人类和环境的放射性影响保持在国家规定的可接受的水平以内。

2.1.3 为确保处置设施的安全，应当优先选择具有良好天然屏障和有利于工程屏障设计和施工的场址。不应当主要依靠管理控制措施来确保地质处置设施长期安全。

2.1.4 评价场址的适宜性，既要考虑场址本身的地质和环境等特征，也要考虑以该场址条件为基础而设计的工程屏障系统，以及二者的相容性。

## 2.2 选址阶段划分

2.2.1 选址过程首先始于制定选址规划和确定选址原则，然后，开展大范围的区域调查，确定预选区；通过对预选区域的调查和研究，筛选出预选地段；通过对预选地段进行勘查和比较，提出候选场址；其后对候选场址进行详细评价提出推荐场址；最后，对推荐场址进行深入勘查，以确认该场址是否可以作为最终场址。

2.2.2 处置设施场址的选址过程分为 4 个阶段：

- (1) 规划选址阶段
- (2) 区域调查阶段
- (3) 场址特性评价阶段
- (4) 场址确认阶段

2.2.3 上述阶段的划分没有截然明确的界限，它重点体现的是选址调查的基本思路。各选址阶段会有若干相关联的重叠性工作，但总体上是逐步深入的。每个阶段的工作应当考虑下阶段更深入的工作。

2.2.4 每个阶段的选址工作均应遵循国家的法律、法规和相关标准规范，综合考虑社会、经济、安全、环保、技术和自然条件等因素。

## 2.3 规划选址阶段

2.3.1 规划选址阶段的目标是依据已有资料、选址规划和选址准则，在全国范围内确定出一个或若干个社会经济条件和自然条件均有利的预选区，同时提出这些预选区中可能的预选地段及候选的处置库围岩类型。

2.3.2 选址规划应对时间、经费和人力等要求作出估算，还应确定选址研究工作的内容。选址规划应包括：待处置废物的类型与数量、选址和场址特性评价中所采用的准则、选址工作程序、工作内容、时间进度、经费估算和对废物处置设施长期安全性能的考虑。

2.3.3 本阶段应收集以下资料：全国有关地质、水文地质、工程地质、地震地质、地球化学、自然地理、社会经济、交通、人口分布、国家发展规划和核工业战略布局等有关资料。本阶段需对若干重点地区进行实地踏勘，进行适当的野外地表调查工作和室内分析工作，并进行综合分析对比。

2.3.4 本阶段应当完成规划选址报告。

## 2.4 区域调查阶段

2.4.1 区域调查阶段的目标是在一个或若干个预选区内筛选出 2 个或 2 个以上适宜建造处置设施的候选场址。

2.4.2 区域调查阶段的工作包括地段筛选和候选场址筛选。

2.4.3 地段筛选是对预选区中的具有有利条件的地段开展区域地质和区域水文地质调查以及其他自然条件和社会经济方面的调查，以及 1:50000 尺度及更为详细的地表地质、水文地质、工程地质、地球物理和地球化学方面的研究，并进行若干个深钻孔施工，初步了解深部岩体或岩层的特性。地段筛选的工作目标是从预选区中筛选出若干个满足要求的预选地段。筛选出的预选地段既可以是一个预选区中的若干个预选地段，也可以是 2 个或 2 个以上预选区中的若干个预选地段。

2.4.4 候选场址筛选是对筛选出的预选地段开展 1:25000 ~ 1:10000 尺度及更为详细的地表地质、水文地质、工程地质、地球物理和地球化学方面的调查，并进行深钻孔施工，深入了解深部岩体或岩层的特性。其工作目标是在预选地段中筛选出若干个（2 个或 2 个以上）适宜建造处置设施的候选场址，供进一步的比选和场址特性评价。

2.4.5 本阶段应当提交区域调查阶段选址报告。

## 2.5 场址特性评价阶段

2.5.1 场址特性评价阶段的任务是对 2 个或 2 个以上候选场址进行比选。通过深入的勘查、研究和安全评价，从不同角度，尤其是从安全角度和处置设施建设可行性角度评价和比较这些候选场址的适宜性。

2.5.2 在场址特性评价阶段应按相关规范开展 1:5000 ~ 1:2000 尺度及更深入的野外地表调查和地下勘查以及室内分析工作，以查明处置库围岩的规模、形态、产状、内部结构、地下水等各类特征，获得详细的地质、水文地质、工程地质及环境条件等相关规范要求的可靠资料及相关参数。同时还应当深入调查，获取废物运输条件、人口及社会经济条件和放射性本底等资料。

2.5.3 对候选场址需进行初步安全分析和环境影响评价，并根据处置设施概念设计和场址条件，评价在该场址建造处置设施的可能性。

2.5.4 本阶段应当考虑对 2 个或 2 个以上候选场址进行比选。

2.5.5 本阶段的目标是提出推荐场址，并提交推荐场址特性评价报告。推荐场址的确定需要综合考虑、比较和评价地质、水文地质、工程地质、地震地质、地球化学、放射性本底、资源、能源、环境、社会经济、政治和公众接受等各方面的因素。

## 2.6 场址确认阶段

2.6.1 场址确认阶段的任务是在推荐场址上进行更详细的场址调查，其目的是：

(1) 进一步确证推荐场址的安全性，对场址适宜性给出明确的结论；

(2) 为处置设施的施工设计、安全评价、环境影响评价和申请建造许可证等工作提供所有必需的场址资料。

2.6.2 场址确认阶段的任务是对推荐场址进行处置设施建设之前的详细勘查和研究。应进行 1:1000 尺度或比例尺更大的、详细程度更高的野外、室内及地下研究，以详细查明处置库围岩的规模、形态、产状、内部结构、地下水等各类特征。应当在推荐场址上建造地下实验室，并开展现场研究，如深部地质调查、水文地质研究、原地应力测量、开挖实验、岩石力学实验、加热实验、现场核素迁移实验、原型处置库实验、处置工艺实验等，以详细查清场址的各类特性，建立场址三维模型和场址放射性核素迁移等模型，以最终确认场址。

2.6.3 场址确认阶段还应进行安全分析和环境影响评价。

2.6.4 场址确认阶段的目标是确定处置设施最终场址，并提交最终场址调查报告。

2.6.5 在确定处置设施最终场址以后，仍有必要继续进行进一步的场址特性调查和观测工作。

## 3 选址准则和所需资料

### 3.1 总则

3.1.1 在评价某一处置设施是否达到其性能指标时，天然屏障和工程屏障应作为一个整体来考虑。处置设施应具有一定的变通性，即可用某一部分的可靠性来补偿另一部分性能上的不确定性。因此，在整个选址决策过程中，既应当充分遵循选址准则，又应当视具体情况具体分析。

3.1.2 单一的选址准则不能孤立地使用，应采取综合的方法来评价和确定候选场址。由于各具体场址之间可能差别很大，并且各种因素相互影响，因此，实施这些准则时，应综合考虑长期安全、技术可行性、社会、经济和环境等因素。在具体的选址过程中应视情况制定一些具有实际可操作性的具体标准。

3.1.3 选址准则分为：地质条件、未来自然变化、水文地质、地球化学、人类活动、建造和工程条件、废物运输、环境保护、土地利用、社会经济和人文条件等 10 个方面。

### 3.2 地质条件

#### 3.2.1 选址准则

(1) 场址的地质条件应确保处置设施天然屏障的完整性，其综合的几何、物理和化学特性应能在安全期内阻滞放射性核素从处置设施向环境中迁移。

(2) 围岩的深度和体积必须能够完全包容处置设施，并满足处置设施的安全要求。应当尽量选择地质条件简单、岩性单一的地质体。

(3) 围岩的力学性质应能确保处置设施的安全建设、运行和关闭，并能确保处置设施周围天然屏障的长期稳定。

(4) 围岩的热学性质和热-力性质应能满足处置发热废物的需求。由于处置设施内可能产生气体，故在评价场址适宜性时，还应考虑气体在天然屏障中的迁移性能。

(5) 处置设施必须与地质体的不连续面（如断层、裂隙密集带等）保持足够的距离，避开能为放射性核素迁移提供快速通道的断裂破碎带。

#### 3.2.2 所需资料或数据

场址和场址区域内各种地质构造、岩石、沉积物和土壤的分布和延深资料，以及化学性质、物理性质、岩石力学性质和热学性质的资料。

### 3.3 未来自然变化

#### 3.3.1 选址准则

(1) 为了保证所选场址的围岩和整个处置设施的隔离能力，场址应避免由于新构造运动、地震活动、火山作用、褶皱作用和底辟作用等地质作用产生不可接受的影响的地区。

(2) 场址应当避免未来可能的海平面升降区、侵蚀/沉降区、冰川作用区、地表水和地下水水力平衡剧烈变化区、陆地快速沉降和抬升区、地质灾害的潜在发育区等可能破坏处置设施系统完整性、改变地下水流状态和通道，并引发放射性核素快速释放的地区。

#### 3.3.2 所需资料或数据

(1) 当地和区域的气候变化资料和更大范围内的未来气候趋势资料，以及极端气象事件发生的可能性资料；

(2) 当地和区域的构造演化历史和反映新构造运动（如上升、沉降、倾斜、褶皱、断层走滑）的资料；

(3) 场址区内所有断层及其位置、长度、深度、充填物和最新活动时代等资料；

(4) 场址区域范围（半径不小于 150km 范围内）的历史地震资料和现代地震仪器记录资料；

(5) 场址区域的地震构造条件、地震活动特征和地震地质灾害等评价地震影响所需的资料；

(6) 地热梯度和温泉的资料；

(7) 新近纪，特别是第四纪以来火山活动的资料；

(8) 地质灾害及其评价资料；

(9) 底辟作用的资料；

(10) 褶皱作用的资料。

## 3.4 水文地质

### 3.4.1 选址准则

(1) 场址应当具备岩体或岩层地下水含水量小、从处置设施到地下水出露点的径流途径长、水力梯度低等水文地质特征。

(2) 地下水的流速、流向、渗透和稀释能力应当有利于有效阻滞或减缓放射性核素的迁移和扩散。

(3) 因处置高水平放射性废物引起的水文地质条件的变化(如热效应、辐射效应、水-热-力-化学耦合效应、工程开挖等诱发的导水系数的变化)应当在可接受的范围内。

### 3.4.2 所需资料或数据

(1) 场址和区域范围内含水层和隔水层特征资料;

(2) 场址和区域范围内重要水文地质单元特性资料(位置、规模、相互关系);

(3) 场址和区域范围内主要水文地质单元的补给和排泄(位置和水平衡)特征资料;

(4) 围岩的水文地质特征(孔隙度分布、导水系数和水力梯度)资料;

(5) 场址区所有含水层的地下水流速和流向资料;

(6) 场址区内地下水及围岩的物理化学特征资料。

## 3.5 地球化学

### 3.5.1 选址准则

(1) 场址地质环境和水文地质环境的物理化学特征和地球化学特征应有利于限制放射性核素由处置设施向环境的释放。

(2) 应选择具有合适的地球化学特性和对长寿命放射性核素具有良好阻滞作用的围岩和地质环境。

(3) 应选择岩石裂隙表面和基质中的矿物对放射性核素具有较好阻滞作用的围岩。应当评价放射性核素在围岩及其裂隙中的迁移速度、迁移量及放射性核素的滞留或阻滞过程,包括弥散、扩散、沉淀、吸附、离子交换和化学作用,以及地下水运移放射性胶体物质的能力。

(4) 应选择有利于减缓废物体、废物罐和缓冲回填材料之间及它们与其环境之间相互作用的地球化学环境。应评价废物体、废物罐、缓冲回填材料及其与处置库环境之间的化学和物理化学反应。应评价由于岩石-水-废物罐之间的相互作用,导致废物罐的腐蚀和放射性核素从废物体中浸出,造成放射性核素向周围环境的迁移的可能性。

### 3.5.2 所需资料或数据

(1) 围岩、周围地质单元和水文地质单元及地下水流系统的地球化学资料和水化学资料;

(2) 地质介质的岩石类型、矿物成分及其地球化学性质资料;

(3) 岩石(包括裂隙充填物)的化学成分、放射化学成份和矿物成分;

(4) 矿物和岩石对重要放射性核素的各种离子形态的吸附能力;

(5) 地下水化学成分、同位素组成及放射性核素的浓度,以及 pH 值和 Eh 值;

(6) 辐射和衰变热对岩石及地下水化学性质和成分的影响资料;

(7) 有机物、胶体物质及微生物的作用;

(8) 岩石(包括裂隙)的孔隙结构和矿物表面特征;

(9) 放射性核素在岩石单元中的有效扩散速率;

(10) 放射性核素在场址地下水中的溶解度和化学形态。

## 3.6 人类活动

### 3.6.1 选址准则

(1) 应考虑场址及其附近的现有和未来的人类活动。应尽量避免现有和未来人类可能活动频繁的区域以及人造工程影响区,以使由这种活动引起的不可接受的后果尽可能小。

(2) 场址应当避开可能蕴藏矿产资源(如石油和天然气资源、地热能源、煤炭资源、金属矿产、非金属矿产等)、地下水资源和地下空间可能被利用的地区,以尽可能减少人类活动对地质处置设施的可能影响。

(3) 场址应当避开可能存在充当放射性核素迁移通道的已有地下工程所在地。应查明围岩中是否有先前存在的钻孔和山地工程,以及这些工程所形成的实

际或潜在的水力联系。所有此种钻孔和其他可能充当放射性核素迁移途径的人工通道均应进行有效地封堵。

(4) 场址应当避开有可能被现有的或计划中的地面水体溃坝淹没地区。

### 3.6.2 所需资料或数据

- (1) 场址周围过去和当前的钻孔和采矿作业记录；
- (2) 场址所在地区内能源矿产、金属矿产、非金属矿产和地热资源的分布和储量等资料；
- (3) 现有的和计划中的地表水体的位置；
- (4) 场址范围内地表水和地下水现在和将来利用情况。

## 3.7 建造和工程条件

### 3.7.1 选址准则

(1) 应选择具有良好建造和工程条件的场址。场址的地形条件和地下岩体特征应满足进行地面设施建造和地下工程施工的要求，并能使地下施工符合有关地下矿山建设的要求。

(2) 场址应满足地下工程的总体开挖需要，并确保竖井、巷道和硐室开挖的稳定性。应有足够的空间堆放由于开凿竖井、巷道和硐室产生的废石。

### 3.7.2 所需资料或数据

- (1) 处置设施围岩及其上覆岩石的详细地质、水文地质、岩石力学、工程岩体质量和地应力等资料；
- (2) 场址及周围地区的地形地貌资料；
- (3) 场址区域洪涝灾害等工程水文资料；
- (4) 滑坡区、可能滑动的斜坡和可能的地基液化区资料；
- (5) 场址所在地区的其他地质灾害资料；
- (6) 开凿工作中可能的不利条件（如岩石温度高、气体浓度高和地壳应力高）资料；
- (7) 处置设施地下硐室稳定性评价资料。

## 3.8 废物运输

### 3.8.1 选址准则

(1) 选址应考虑高水平放射性废物运输条件，应当选择废物运输过程所产生的对公众和环境的辐照剂量是可以接受的场址。

(2) 在某些情况下需要增建新的运输道路或对现有道路进行改造。应当优先选择运输距离较短、辅助建设工作量较小、运输路线无需穿越困难地形的场址。

(3) 应考虑废物运输费用、可能的辐射照射以及事故的可能性。

### 3.8.2 所需资料

(1) 场址区域已有的道路及其适用于废物运输的分析；

(2) 现有交通运输网及其预计的改进情况；

(3) 废物运输费用和风险评估；

(4) 应急响应要求和运输能力分析。

## 3.9 环境保护

### 3.9.1 选址准则

(1) 场址应选择在环境质量能得到充分保护、并在综合考虑技术、经济、社会和环境因素的条件下，不利影响能够减少到可接受程度的地点。

(2) 应遵守国家环境保护要求，使地质处置设施避开国家法律、法规、行政规章及规划所确定的需要特殊保护的地区。地质处置设施给环境带来的各种不利影响应当减到最小。

### 3.9.2 所需资料或数据

(1) 场址所在地区内饮用水水源地保护区、自然保护区、风景名胜区、生态功能保护区、基本农田保护区、水土流失重点防治区、森林公园、地质公园、世界遗产地、历史文化保护地、国家重点文物所在地、珍稀动植物栖息地及其通道、热带雨林区和重要湿地等环境敏感地区的位置；

(2) 现有地表水与地下水资源状况；

(3) 现有陆地植被和水生植被及野生动物状况；

(4) 放射性本底状况。

## 3.10 土地利用

### 3.10.1 选址准则

场址选择应考虑土地利用现状、土地利用规划和土地使用权等问题。应尽量选择在现在和未来土地利用价值小的场址。

### 3.10.2 所需资料或数据

- (1) 现有土地资源、用途及其管辖权资料；
- (2) 土地利用规划。

## 3.11 社会经济和人文条件

### 3.11.1 选址准则

(1) 场址应当选择在公众和利益相关方及社会影响可以接受的地方。选址时应进行公众参与调查，应征求公众特别是利益相关公众对场址的意见。场址所在区域公众和政府对于处置设施场址意见应当成为确定场址的重要因素。

(2) 应该优先考虑社会条件有利于建造处置设施的地区，特别是由于处置设施的建造和运行能给经济和工业发展带来益处的地区。

- (3) 应优先选择远离人口稠密区的场址。

### 3.11.2 所需资料或数据

- (1) 场址区域人口构成、职业分布、人口密度以及发展趋势；
- (2) 场址区域民族分布及宗教状况；
- (3) 场址区域的社会经济发展与定位；
- (4) 场址区域的经济建设与发展规划；
- (5) 场址区域企业种类及分布情况；
- (6) 场址区域危险源资料；
- (7) 场址区域农牧业状况；
- (8) 社会服务与基础设施资料；
- (9) 住房供求情况；
- (10) 利益相关方调查数据及其分析评价资料；
- (11) 公众调查数据及其分析评价资料。

## 4 质量保证

4.1 在选址工作初期，应当根据有关法规和标准，制定选址工作质量保证计划，以保证资料的质量及其可追溯性。质量保证计划应当包括选址工作中应遵守的法律、法规、标准和规范以及质量要求。

4.2 在整个选址过程中，应当以有关技术标准要求的格式收集资料、整理数据并建档保存。在选址工作初期就应当建立资料和数据的标准格式，并应用于整个选址工作中。资料 and 数据的格式应便于查阅、校验和相互比较。

## 名词解释

**地质处置设施** (geological disposal facility) 位于地下 (通常在地表下数百米深) 稳定的地质体中，用于处置高水平放射性废物的设施，其目的是使放射性核素与生物圈长期隔离。通常，此种处置设施用于长寿命废物和/或高放废物的处置。

**围岩** (host rock) 包容地质处置设施的稳定地质体或岩层。

**预选区** (pre-selected region) 规划选址阶段选出的区域。预选区面积一般为上千~上万平方米，其中可包含若干个预选地段。

**预选地段** (pre-selected area) 区域调查阶段在预选区中选出的供进一步勘查的次级区域。预选地段一般为 200~500 平方公里。

**候选场址** (potential site) 区域调查阶段在预选地段中选出的供进一步勘查的范围。候选场址经场址特性评价后，有可能成为推荐场址。候选场址面积一般为十几~几十平方公里。

**推荐场址** (preferred site) 经过场址特性评价阶段后，从候选场址中筛选出来的向国家主管机关和监管机关推荐的供比选的场址。

**最终场址** (final site) 场址确认阶段后推荐为建设处置设施的场址。经国家主管机关和监管机关批准后，处置设施将建造在其中。

**场址特性评价** (site characterization) 对候选场址进行详细的地表和地下调查研究，以获得决定该场址适宜性及评价高水平放射性废物处置设施长期安全性能的资料，并提出推荐场址。

**场址确认 (site confirmation)** 是选址过程的最终阶段，其任务包括对推荐场址的详细地面调查和建造地下实验室开展现场研究，以确认场址，并提供安全分析、环境影响评价和工程设计所需的详细资料。