

# 中国核工业勘察设计协会文件

核设协[2023] 50号

## 关于中国核工业勘察设计协会立项的团体标准 《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程 勘察规范》公开征求意见的通知

中国核工业勘察设计协会立项的团体标准《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》已经完成草案编制工作。依照《中国核工业勘察设计协会团体标准管理办法》的相关规定，现面向会员单位和社会广泛征求意见。

烦请相关领域的专家查收《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》团体标准编写说明（详见附件1）和《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范（征求意见稿）》（详见附件2），并于2023年4月19日前将《征求意见表》（详见附件3）发送至联系人邮箱。

联系人：李昶

联系电话：010-88022331 转 8010

邮箱：669810617@qq.com

感谢对中国核工业勘察设计协会团体标准工作的大力支持！

附件：

1. 《低水平放射性废物近地表处置场水位地质调查与评价规范》团体标准编写说明
2. 《低水平放射性废物近地表处置场水位地质调查与评价规范》（征求意见稿）
3. 征求意见表

中国核工业勘察设计协会

2023年3月20日



---

抄 送：理事长、副理事长、秘书长、副秘书长

---

中国核工业勘察设计协会秘书处 2023年3月20日印发

---

中国核工业勘察设计协会

# 《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》团体标准编制说明

## 一、工作简况

### 1、编制背景

低中放废物岩洞型处置是我国沿海核电厂低中放废物处置场的重要形式，福建低中放废物处置场、阳江处置场等处置场均采用岩洞型处置，即将废物处置在地下数十米以下的洞室中。国外已有岩洞型处置库的建设运行案例，如：芬兰 Olkiluoto 处置库、Loviisa 处置库、瑞典 SFR 处置库和韩国月城处置库，位于地下 50-150m 左右的地层中。

鉴于我国现行的核设施勘察规范不完全满足岩洞型处置场的建设需求，为进一步提高低中放废物岩洞型处置场的勘察技术水平，为处置场的设计、安全施工、运行等活动、长期安全提供技术保证，促进核工业勘察设计行业的健康发展，编制适用于岩洞型处置场的勘察规范。

根据核设协[2021]80 号《关于征集中国核工业勘察设计协会 2022 年度团体标准申报立项的通知》文件，2021 年 9 月中国核电工程有限公司作为牵头单位向协会提交《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》立项申请。2022 年 2 月 23 日，中国核工业勘察设计协会 2022 年度第一次团体标准化管理委员会、技术委员会和专业委员会工作会议会议召开，会议原则同意《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》立项。2022 年 3 月 25 日，中国核工业勘察设计协会发布了关于《低中放固体废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》（核设协[2022]29 号），协会正式批复《低中放固体废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》立项。

## 2、编制过程

### 1) 成立编写组，确定标准编制原则

标准编制前期，中国核电工程有限公司联合核工业南京工程勘察院、中核勘察设计研究有限公司、河北中核岩土工程有限责任公司、国核电力规划设计研究院有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院和生态环境部核与辐射安全中心等共 6 家参编单位组建了《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》编制组。

标准的主要起草人员有：王旭宏、吕涛、杨球玉、夏加国、李昶、刘兴伟、康宝伟、李星宇、赵军庭、李昊辉、杜健、陈翀、吴进、耿振华、武建峰、马天勤、邓小宁、王俊卿、胡石磊、张欣、陈博涛、孙立川、解振和、贾国和、付海军、张明、梁冠军、汪华安、王占华、胡勳乾、潘蓉、辛国臣、周群、孙锋、朱秀云

### 2) 技术调研及国内外标准调研

牵头单位及各参编单位均组织各自单位的有关部门和技术人员，对本单位核电厂、处置场等工程项目勘察设计工作进行了资料搜集和整理，进行广泛调研，确定低中放废物岩洞型处置场岩土工程勘察中应予以重点关注的重要技术问题。

### 3) 大纲及初稿编制

立项批准后，编写组在前期工作和技术调研的基础上，编写了《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》编制大纲，经多次讨论研究，确定了标准编制框架，审定了标准编制大纲，并将大纲上报协会“中国核工业勘察设计协会团体标准评审平台”。

### 4) 大纲评审

2022 年 10 月 9 日，中国核工业勘察设计协会组织召开了《低中放固体废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》团体标准编制大纲评审会，会议以线上形式召开，收到专家评审意见 40 条，编写组经认真讨论，针对专家意见进行了一一分析和处理，接纳了 36 条评审意见，

对其余 4 条意见给出了充分说明、理由和解释，结合评审意见对《低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》编制大纲进行了修改完善，编制大纲通过专家评审。

#### 5) 征求意见稿编写

2022 年 10 月 25 日，编写组通过线上会议对初稿进行讨论，征求各家主编、参编单位意见，对标准初稿进行修改完善；2023 年 3 月 1 日，编写组对标准修改稿再次进行讨论和修改完善，在此基础上形成征求意见稿，于 2023 年 3 月 15 日将征求意见稿提交协会团体标准委员会。

## 二、 标准编制原则和主要内容

### 1、 编制原则

岩洞型处置场兼具有地下工程和核设施的双重特征，其勘察不仅要查明场地的地层岩性、岩土参数、不良地质作用，也要关注地下岩体的裂隙分布及特征、水文地质特征、地应力特征、地球化学特征，确保处置场的长期安全性。为此，开展本标准编制工作，为岩洞型处置场的设计、安全施工、运行等活动及长期安全提供技术保证。

### 2、 各章节主要内容

本文件按照国标《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1）的相关要求，对本标准的各要素进行编写和排版。本文件共分 9 章，主要包括：

1 总则；2 规范性引用文件；3 术语和定义；4 基本规定；5 初步可行性研究阶段勘察；6 可行性研究阶段勘察；7 初步设计阶段和施工图设计阶段勘察；8 建造阶段勘察；9 专门岩土工程勘察；10 勘察方法；11 现场监测；12 分析评价与成果报告；附录。

## 三、 主要试验（或验证）情况

未开展相关试验。

## 四、 标准中涉及专利的情况

未涉及有关专利。

## **五、 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况**

制定团体标准本着遵循开放、透明、公平的原则，吸纳核电厂、处置场等核工程相关勘察设计单位、审评单位等相关方代表参与。在科学技术研究成果和社会实践经验总结的基础上，深入调查分析、论证，切实做到科学有效、技术指标先进。

## **六、 与国际、国外标准对比情况**

未收集到国际、国外处置场勘察标准。

## **七、 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本次申请的《低、中放固体废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》为对岩洞型处置场工程勘察的规范，与强制性标准协调一致，符合现行相关法律、法规、规章的有关规定。

## **八、 重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

## **九、 标准性质的建议说明**

标准为自愿性标准。经实施效果良好，且符合国家标准、行业标准制订要求的情况下，可申请转化为国家标准或行业标准。

## **十、 贯彻标准的要求和措施建议**

标准经批准后，由团标办公室统一编号、协会发布，并在协会网站和全国团体标准信息平台上公布。标准为自愿性标准，协会会员单位及其他相关单位可自愿采用。

## **十一、 废止现行相关标准的建议**

标准为首次制订，无需要废止的现行相关标准。

## **十二、 必要专利信息披露情况说明**

无。

### 十三、 其他应予说明的事项

无。

《低、中放固体废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范》编写组

2023年3月15日

ICS

CCS

# T/CNIDA

## 中国核工业勘察设计协会团体标准

T/CNIDA XXXX—2023

# 低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土 工程勘察规范

Code for investigation of geotechnical engineering for repositories in rock caverns for  
low and intermediate level radioactive wastes

(征求意见稿)

2023 - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国核工业勘察设计协会 发布

# 目 次

前 言 .....	III
1 总则 .....	1
1.1 目的 .....	1
1.2 适用范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 术语 .....	1
3.2 符号 .....	2
4 基本规定 .....	2
5 初步可行性研究阶段勘察 .....	2
5.1 一般规定 .....	2
5.2 勘察工作布置原则和技术要求 .....	3
5.3 场址普选工作 .....	3
6 可行性研究阶段勘察 .....	4
6.1 一般规定 .....	4
6.2 勘察工作布置原则和技术要求 .....	4
7 初步设计阶段勘察和施工图设计阶段勘察 .....	5
7.1 一般规定 .....	5
7.2 勘察工作布置原则和技术要求 .....	6
7.3 地下工程 .....	7
7.4 地上工程 .....	8
8 建造阶段勘察 .....	8
8.1 一般规定 .....	8
8.2 勘察工作技术要求 .....	8
9 专门岩土工程勘察 .....	9
9.1 断裂 .....	9
9.2 不良地质作用 .....	9
9.3 水文地质与地球化学 .....	10
10 勘察方法 .....	13
10.1 工程地质测绘与调查 .....	13
10.2 钻探 .....	14
10.3 井探、槽探和洞探 .....	15
10.4 取样 .....	15
10.5 地球物理勘探 .....	15
10.6 原位测试 .....	16
10.7 水文地质试验 .....	16
10.8 室内试验 .....	18

11 现场监测 .....	19
11.1 一般规定 .....	19
11.2 现场监测 .....	19
12 分析评价与成果报告 .....	21
12.1 分析与评价 .....	21
12.2 成果报告 .....	21
附 录 A （规范性附录） .....	23
地球物理勘探、原位测试方法适用范围 .....	23
附 录 B （规范性附录） .....	25
地球化学室内试验方法 .....	25
附 录 C （规范性附录） .....	26
围岩工程地质分类 .....	26

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国核工业勘察设计协会提出并归口。

# 低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察规范

## 1 总则

### 1.1 目的

为了在低、中水平放射性废物岩洞型处置场各建设阶段的岩土工程勘察中做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，满足我国放射性废物处置安全全过程系统分析的有关要求，制定本文件。

### 1.2 适用范围

本文件适用于专门建造的低、中水平放射性废物岩洞型处置场的岩土工程勘察。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- GB 6722 爆破安全规程
- GB/T 23249 地勘时期煤层瓦斯含量测定方法
- JGJ/T87 建筑工程地质勘探与取样技术规程
- NB/T 20306 核电厂水文地质调查与评价技术规范
- NB/T 25065 核电厂地质钻探岩芯保管技术规程
- SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探
- WS/T 668 公共地下建筑及地热水应用中氡的放射防护要求
- Q/CR 9218 铁路隧道监控量测技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 术语

#### 3.1.1 放射性废物

含有放射性核素或被放射性核素所污染，其浓度或活度大于国家审管部门规定的清洁解控水平，并且预期不会再利用的废弃物（不管其物理形态如何）。

#### 3.1.2 岩洞型处置

将放射性废物放置于地表以下几十米到几百米低渗透性岩土体的洞室中，不再回取，并对洞室进行封闭的处置方式。

#### 3.1.3 处置场

用于处置废物的设施，对于岩洞型处置场，由处置洞室、交通巷道、地下与地表连通道（竖井、斜井、斜坡道）及辅助建（构）筑物和场区组成。

#### 3.1.4 处置洞室

专门开挖的用于处置放射性废物的地下洞室，一般采用巷道（隧洞）式或筒仓式。

#### 3.1.5 交通巷道

连通处置洞室和竖井、斜井、斜坡道的巷道（隧洞），用于运输废物车辆和人员通行、通风等。

### 3.2 符号

- c——凝聚力；
- $\varphi$ ——内摩擦角；
- $R_b$ ——岩石饱和单轴抗压强度；
- S——围岩强度应力比；
- $\sigma_m$ ——围岩最大主应力；
- $K_v$ ——岩体完整性系数。

## 4 基本规定

4.1.1 低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察阶段可分为初步可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计和建造等五个勘察阶段。勘察阶段可根据设计要求、场地条件和资料完整程度适当合并。

4.1.2 低、中水平放射性废物岩洞型处置场岩土工程勘察，应按照各勘察阶段的要求，查明场址的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、水文地球化学、不良地质作用与地质灾害等岩土工程条件，提供岩土参数，对场地的稳定性、天然屏障特性、岩土工程特性和适宜性作出合理的评价。

4.1.3 低、中水平放射性废物岩洞型处置场场地可分为地下工程设施地段和地上工程设施地段，并按各地段的建（构）筑物特点进行岩土工程勘察。

4.1.4 岩土工程勘察工作应取得勘察技术任务书。勘察技术任务书应包括该项目的性质、规模、结构类型等设计基本数据、资料和对勘察工作的技术要求。

4.1.5 各阶段岩土工程勘察应在收集前期工作成果资料的基础上，根据工程不同设计阶段的任务、目的和要求，针对拟建工程的结构类型、布置、特点和场地地质条件，编写勘察工作大纲或纲要，综合采用各种勘察手段进行勘察。勘察工作大纲或纲要在执行过程中应根据客观情况变化适时调整。

4.1.6 处置场场址区及其附近存在影响处置场稳定性和天然屏障有效性的不良地质作用或水文地质和地球化学条件复杂时，应进行专门勘察。遇异常情况或为解决设计、施工过程中的特殊岩土工程问题可进行专门勘察。专门勘察可不受勘察阶段的限制。

4.1.7 低、中水平放射性废物岩洞型处置场各勘察阶段的钻孔岩芯应装箱、作清晰的标记、拍摄岩芯彩照。与辐射安全有关的地下工程设施地段的钻孔岩芯应长期保留。

4.1.8 钻孔及孔内测试完成后，除了留作长期观测孔的钻孔以外，其余钻孔应按本规范第10章的规定封孔至原地形标高或设计场坪标高，避免钻孔成为核素迁移的可能通道。

4.1.9 各勘察阶段均应编制并提交岩土工程勘察报告，报告应结合建（构）筑物的类型和特点，加强对水文地质、工程地质问题的综合分析。报告编写应符合本规范第12章的规定。

## 5 初步可行性研究阶段勘察

### 5.1 一般规定

5.1.1 初步可行性研究阶段勘察应在搜集已有地质资料的基础上，进行适当的工程地质和水文地质测绘与调查、钻探、原位测试、工程物探、现场及室内试验等工作，初步分析场址的工程地质条件、水文地质条件和水文地球化学特征，对场址的适宜性做出初步评价，并对各场址上述条件进行比选。

5.1.2 初步可行性研究阶段勘察，应包括下列工作内容：

- 1 了解场址的区域地质构造、地震活动性、区域地壳稳定性和区域水文地质概况；
- 2 初步查明场址附近范围地形地貌形态，地层岩性、时代成因、分布特征，主要断裂的展布、规模、产状和活动性；
- 3 初步查明场址附近范围水文地质条件、水文地球化学特征及相关参数；
- 4 初步查明场址区地形地貌特征，地层岩性、时代成因、分布特征，应着重查明场区覆盖层厚度，岩石的风化程度，岩体结构特征及各类结构面的产状、性状、规模、空间展布和相互切割组合情况，初步评价成洞条件及存在的主要地质问题；

- 5 初步查明场址区的地质构造,应着重查明场区断层、褶皱、破碎带和节理密集带的性质、产状、宽度及破碎程度,评价其对边坡、洞体围岩稳定性的影响及水文地质特征;
  - 6 初步查明场址区是否存在岩溶、塌陷、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地裂缝、采空区等不良地质作用和地质灾害,并对可能影响场址稳定性的不良地质作用和地质灾害作出初步评价;
  - 7 初步查明场址区的水文地质条件,应着重查明场区地下水类型、岩土体的含水特性和渗透性、汇水构造、补径排条件、地下水位、地下水和地表水的联系等;
  - 8 初步确定场址区岩土层的主要物理力学性质和相关参数,结合工程地质条件进行围岩工程地质分类;
  - 9 初步查明场址区自然边坡的分布、规模、类型等,初步评价自然边坡的稳定性;
  - 10 初步分析场址的地震效应;
  - 11 初步评价各场址的适宜性,并进行对比分析。
- 5.1.3 初步可行性研究阶段勘察应搜集下列资料:
- 1 项目概况,包括处置场规划容量、处置方案和总体规划等资料;
  - 2 场址附近范围已有的航片、卫片;场址附近范围1:25000~1:50000地形图,场址区1:5000~1:10000地形图;
  - 3 区域地质、地貌、地震、自然地理及水文气象资料;
  - 4 场址附近范围水资源、水利设施、土地利用等规划资料;
  - 5 场址附近范围工程地质、水文地质、水文地球化学、环境地质和地质灾害资料;
  - 6 矿产分布及开采、人类活动遗迹及有关地下工程资料;
  - 7 遥感地质资料。

## 5.2 勘察工作布置原则和技术要求

### 5.2.1 工程地质、水文地质测绘与调查应符合下列规定:

- 1 场址区测绘与调查比例尺宜选择1:5000~1:10000。工程地质条件复杂时,宜适当扩大比例尺;
- 2 测绘与调查内容应包括地形地貌,地层岩性及分布特征,岩石的风化程度,岩体结构面的产状、性质、规模;褶皱、断层、破碎带、节理密集带的发育情况及基本特征;不良地质作用的类型、规模、分布、形态、发育程度和形态特征;地表水体的分布、水资源规划和利用情况;地下水的类型及赋存条件、补径排条件、开采利用情况、地下水位及年变化幅度、地下水与地表水的联系、人类活动及矿产资源的分布等。
- 3 场址区测绘与调查路线宜采用布线踏勘、点线结合方法,必要时应对覆盖层、地质构造发育的地段开展井探、槽探等调查。
- 4 应结合工程地质钻孔和调查资料,至少形成2条穿越处置区并相交的实测工程地质剖面。

### 5.2.2 工程地质钻探应根据场址区地形地貌、水文地质条件和场地复杂程度,结合处置方案有针对性布置,并应符合下列规定:

- 1 每个场址的勘探孔不宜少于5个,不同地貌单元应有勘探孔控制,对岩土工程条件复杂的场址,勘探孔数量应适当增加;预计处置洞室区不宜有勘探孔;
- 2 勘探孔宜至少有1个孔进入预估处置洞室设计洞底标高以下50m~100m,其余勘探孔深度应进入预估设计洞底标高以下30m,当遇到透水层时应揭穿透水层;
- 3 主要岩、土应采取6组及以上试样;
- 4 宜采取3组及以上水试样;
- 4 勘探孔内应根据地层条件进行标准贯入试验或动力触探试验;
- 5 每个场址应布置不少于3个钻孔电视孔和3个声波测试孔;
- 6 每个场址应布置适量钻孔进行压水、抽水或注水试验和地下水动态观测;
- 7 室内岩石试验项目应包括岩矿鉴定、密度、单轴抗压强度和岩块声波测试、抗剪强度试验等;
- 8 室内土工试验项目包括含水率、密度、比重、界限含水率、颗粒分析、固结和抗剪强度试验等。

### 5.2.3 根据场地工程地质条件采用适宜的工程物探方法,应查明覆盖层厚度、基岩面起伏变化特征,断裂、破碎带、节理密集带等分布发育情况,含水层和隔水层的埋藏条件等。

### 5.2.4 岩、土化学特性测试宜包括矿物成分、化学成分、胶体颗粒含量、酸碱度、阳离子交换容量等。

## 5.3 场址普选工作

- 5.3.1 场址普选工作应搜集、分析、研究已有地质资料，在图上确定可能场址，进行场址踏勘调查；必要时可对部分场址开展针对性的工程地质和水文地质调查工作。
- 5.3.2 场址普选报告应对可能影响场址稳定性的不良地质作用和地质灾害，以及可能通过场址区的断裂进行分析，对场址稳定性、成洞条件等作出初步评价，分析可能的颠覆性因素，并应提出有关工程地质、水文地质条件方面场址适宜性意见。

## 6 可行性研究阶段勘察

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 可行性研究阶段勘察应在前期勘察工作的基础上，进行工程地质和水文地质测绘、钻探、原位测试、工程物探和室内试验等工作，获取必要的岩土工程参数，并对场址的工程地质条件、水文地质条件和地球化学条件作出明确评价，评价场址的适宜性。
- 6.1.2 可行性研究阶段岩土工程勘察，应包括下列工作内容：
- 1 查明场址附近范围的地形地貌及断裂的规模和展布；
  - 2 查明场址附近范围水文地质基本条件和环境水文地质基本特征；
  - 3 查明场区范围内地层的成因、时代、分布，提出初步的物理力学参数；
  - 4 查明不良地质作用和地质灾害对场地稳定性的影响，提出初步的防治建议；
  - 5 确定建筑场地类别，划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险地段；
  - 6 初步查明场区范围内岩层的产状，主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模及其组合关系，主要软弱结构面的分布和组合情况，分析其对地下工程围岩稳定性的影响和成为核素迁移通道的可能性。
  - 7 初步查明地应力特征及产生岩爆的可能性；
  - 8 初步查明场区范围的地下（地表）水位、水压、渗透系数、水温和水化学成分及对可能采用的建筑材料的腐蚀性。
  - 9 预测洞室掘进时突然涌水的可能性，估算最大涌水量；
  - 10 分段对处置洞室、竖井等地下工程围岩进行分类，评价其稳定性，提出支护措施及建议；
  - 11 综合评价场址的岩土工程条件，给出场址适宜性的明确结论。
- 6.1.3 可行性研究阶段勘察工作前，应取得下列资料：
- 1 初步可行性研究阶段的岩土工程勘察、地震地质等资料，区域水文地质资料；
  - 2 压覆矿产、人类活动遗址及有关地下工程及规划资料；
  - 3 比例尺 1:1000 或 1:2000 的地形图；
  - 4 拟处置废物的关键核素种类。

### 6.2 勘察工作布置原则和技术要求

- 6.2.1 工程地质和水文地质测绘的范围和深度，应根据区域地质、区域水文地质资料、场址条件和任务要求确定。对地质条件复杂的地段应进行专门性测绘，比例尺可选用 1:1000~1:2000；根据地质条件和需要，局部地段可进行 1:500 的测绘。
- 6.2.2 工程地质钻探和测试工作应根据场址地形地貌和场地复杂程度等地质条件，结合总平面布置方案，有针对性地进行布置，并应符合下列规定：
- 1 勘探孔应结合地形、场地复杂程度、地质条件采用网格状布置，勘探孔间距宜为 100m~150m，对岩土工程条件复杂的场址，勘探孔数量应适当增加。地下洞室勘探孔的布置应尽量避免避开处置洞室所在位置，地上建（构）筑物根据具体情况必要时布置勘探孔。采取试样和原位测试勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/2。
  - 2 处置洞室的勘探孔深度可视地质复杂程度和洞室规模确定，其中控制性钻孔深度宜进入设计洞底标高不少于 30m，一般性钻孔深度宜进入设计洞底标高以下 10m~30m，且不小于洞室跨度，遇不良地质作用或软弱地层时应适当加深；控制性钻孔数量宜为勘探孔总数的 1/3~1/2；若遇含水层时，应穿过含水层。
  - 3 竖井的勘探孔应按拟建井位布置在井筒范围内，其深度应达到设计井底深度以下不少于 5m；

4 斜坡道、斜井、交通巷道的勘探孔宜在洞口及巷道外侧5m范围内布置，洞口处根据地层条件可布置探井、探槽。勘探孔深度应达到设计巷道底板标高以下不少于10m；

5 每一主要岩层和土层均应采取试样，均不应少于6组；当试样成果剔除粗差数据后不满足统计要求时，应补充取样；对斜坡道、斜井、交通巷道的高于设计顶标高以上15m的勘探孔段，可减少取样数量；

6 岩土室内试验除在初步可行性研究阶段列出的项目和内容外，还应包括岩石单轴压缩变形试验，提供岩石弹性模量、剪切模量、泊松比等；

7 水样应结合水文地质测绘采取，每个水文地质单元不少于2组，进行水质分析，判定对建筑材料的腐蚀性；

8 当需要时，可采取土样进行土的腐蚀性试验，判定土对建筑材料的腐蚀性。

6.2.3 可行性研究阶段原位测试应符合下列要求：

1 应采用声波测井测定岩体的压缩波速度，评价岩体的完整程度和风化程度；

2 应开展钻孔电视观测，试验孔数宜不少于勘探孔总数的1/2，并结合钻探成果，调查场区范围内断裂、破碎带、岩体节理裂隙等情况；

3 应根据需要测定处置洞室深度处岩体地应力，进行地应力场分析；

4 应根据需要进行压水试验或抽水试验；

5 应根据地层条件布置标准贯入试验、动力触探试验等。

6.2.4 可行性研究阶段工程物探工作布置应与工程地质测绘和钻探工作相结合，查明基岩和覆盖层的组成、厚度和工程特性；查明隐伏岩体的构造特征、节理裂隙密集带、断裂、破碎带、隐伏的地质界线、界面和洞穴的分布；查明水下地层分布和基岩面起伏变化情况。工程物探工作布置应符合下列要求：

1 宜采用多种物探方法进行综合探测；

2 探测线宜结合勘探点采用纵横相交的网格状布置，在拟建处置区、主要导水通道及地质结构复杂区宜适当加密；

3 场址周边存在海域且有可能影响处置区安全时，应在场址附近海域布置探测线，在测区边界发现重要异常时，可把测线适当扩展到测区外追踪异常。

6.2.5 可行性研究阶段应进行地下水动态观测，必要时布置适当的水文地质勘探孔作为地下水水位和地下水化学长期监测点，监测周期不应少于1个水文年。

6.2.6 可行性研究阶段水文地质和地球化学调查应符合本规范第9章的有关规定。

6.2.7 可行性研究阶段应根据需要，在场址及其附近地区进行工程屏障材料的初步调查。

## 7 初步设计阶段勘察和施工图设计阶段勘察

### 7.1 一般规定

7.1.1 本阶段包括初步设计勘察和施工图设计勘察。初步设计勘察和施工图设计勘察根据场地条件和设计需要可合并进行，应同时满足初步设计和施工图设计的技术要求。

7.1.2 本阶段勘察可分处置洞室、交通巷道、竖井、斜井、斜坡道等地下工程和废物接收厂房、井塔、办公楼等地上工程进行，勘察工作应针对具体建（构）筑物进行布置。

7.1.3 本阶段勘察应在充分分析利用前期岩土工程勘察资料的基础上，依据确定的设计方案、技术要求进行，并满足下列要求：

1 进一步查明勘察区内断层、褶皱、破碎带和节理密集带位置、规模、产状及其对场地稳定性的影响，提出治理方案的建议；

2 查明勘察区的岩土成因、类别、物理性质和力学参数；

3 查明勘察区的水文地质与地球化学条件，预测地下工程掘进时涌水、突泥的可能性，并估算最大涌水量和稳定涌水量；

4 查明水、土对建筑材料的腐蚀性；

5 查明不良地质作用和地质灾害、有害气体及放射性物质的赋存情况，做出详细评价，并提出防治方案的建议；

6 查明地下工程岩体地应力和地温状态，分析地应力对围岩稳定的影响，并提出处理措施建议；

7 进行地下工程围岩工程地质分类，并对其稳定性进行评价；

- 8 提出地上建（构）筑物地基基础的建议，必要时提出地基处理方案；
  - 9 建立地下水动态观测网；
  - 10 对与设计和施工有关的问题做出评价与建议。
- 7.1.4 勘察前应具备下列资料：
- 1 具有坐标系统和地形等高线的处置场总平面布置图；
  - 2 主要地下洞室和地上建（构）筑物的规模、荷载、结构特点、基础形式及布置、埋置深度等设计文件；
  - 3 前期岩土工程勘察、水文地质与地球化学调查等资料。
- 7.1.5 本阶段勘察报告中应对施工和使用期间可能发生的岩土工程问题或环境地质问题进行预测，提出监控和预防措施的建议，对本阶段补充勘察或下一阶段勘察及工程施工期间的现场检测和监测提出建议。

## 7.2 勘察工作布置原则和技术要求

7.2.1 本阶段应根据地下工程和地上工程各类建（构）筑物的重要性和场地地基的复杂程度确定勘探和测试内容，并按不同建筑地段实施勘察和进行岩土工程评价。

7.2.2 工程地质和水文地质测绘工作应充分搜集前期已完成的测绘成果资料，在地质条件复杂地段以及洞口、井口，应补充适量的测绘工作，比例尺可选用 1：500~1：1000，根据地质条件和需要，局部地段可进行 1：200 的工程地质测绘；宜根据需要布置适量的探井、探槽，查明各建筑场地的重点工程地质问题。

7.2.3 地下工程在充分分析利用可行性研究阶段物探成果基础上，可采用孔内电视、孔间地震 CT 或电磁波 CT 测试等方法，进一步查明基岩埋深、岩石风化程度、隐伏断裂、破碎带等异常体的位置。

7.2.4 本阶段勘察的原位测试工作，除应符合本规范第 10.6 节的规定外，尚应根据各工程场地岩土性质和设计要求，选择合适的原位测试方法测求岩土的工程特性参数，每个建筑地段每一主要岩土层的原位测试数据不应少于 6 个。

7.2.5 岩土试样可利用钻孔、探井、探槽采取，并符合下列要求：

- 1 取样孔数量不应少于钻孔总数的 1/3；
- 2 每个场地每一主要土层的原状试样不应少于 6 组；
- 3 基岩应根据不同岩性和风化程度分别取样，每个场地每一主要岩层应采取 6 组以上的岩样；
- 4 原状土试样的取样设备、操作、试样质量及储存、运输应按《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的有关规定执行；
- 5 岩石试样在采取、运输、储存和制备过程中应避免岩样受损。

7.2.6 基础水文地质工作应满足以下要求：

- 1 量测孔内地下水水位；
- 2 根据岩土层的含水条件选择压水试验、注水试验或抽水试验等水文地质测试，测求岩土体的渗透性参数和孔隙水压力，并计算各地下洞室和巷道的涌水量；水文地质测试的要求应符合本规范第 10.7 节的规定；
- 3 每个场地应针对不同地下水类型和地下水位以上的土体分别采取不少于 2 件水样和土样进行腐蚀性测试。
- 4 其他水文地质工作要求应符合本规范第 9 章的规定。

7.2.7 应根据总平面布置，完善地下水监测网，且应在前期工作的基础上，开展水文地质和地球化学勘察工作，并应符合本规范第 9 章的规定。

7.2.8 岩土室内试验项目可根据场地岩土类别和岩洞型处置场建（构）筑物的重要性按表 7.2.8 选用。每个建筑地段每一主要岩土层常规物理力学试验的数据不应少于 6 个。

表 7.2.8 岩土室内试验项目

岩土类型 试验项目	硬质岩	软质岩	碎石土	砂土	粉土	黏性土
	岩矿鉴定	+	+	-	-	-
易溶盐含量	-	+	+	+	+	+

续表7.2.8

颗粒分析	—	—	√	√	√	√
土粒比重	√	√	√	√	√	√
密度	√	√	√	√	√	√
含水量	—	√	+	√	√	√
液限、塑限	—	—	—	—	√	√
吸水性	+	+	—	—	—	—
膨胀	—	+	—	—	—	+
耐崩解性	—	+	—	—	—	—
冻融	+	+	—	—	—	—
渗透试验	-	-	+	+	+	+
固结试验	—	—	—	—	√	√
单轴抗压强度	√	√	—	—	—	—
单轴压缩变形	+	+	—	—	—	—
抗剪强度试验	—	+	+	√	√	√
声波测试	+	+	—	—	—	—

注：1 表中“√”表示应做试验项目；

2 表中“+”表示根据实际情况确定的试验项目；

3 表中“—”表示不需要做的试验项目。

### 7.3 地下工程

7.3.1 处置洞室勘察应满足设计和施工的需要，钻孔布置、深度及原位测试工作应符合下列规定：

- 1 勘探孔应布置在处置洞室外侧6~8m，间距不宜大于50m；
- 2 勘探孔数量应能控制处置洞室地层岩性分布，并能满足原位测试的要求。其中控制性钻孔不应少于钻孔总数的1/2，取样与原位测试孔数量不应少于钻孔总数的1/2；
- 3 控制性钻孔深度应钻入洞底设计标高以下完整微风化岩体30m，一般性钻孔深度应进入洞底设计标高以下完整微风化岩体10m，勘探孔深度应根据实际情况确定；
- 4 应在洞室四周各布置不少于1孔钻孔电视，岩体破碎及节理密度带地段宜加密布置，测试深度应达到控制性钻孔深度；
- 5 应布置2~4孔进行声波测井和电阻率测井，测试深度应达到控制性钻孔深度；
- 6 深埋处置洞室及高应力区，应进行地应力测试；
- 7 当存在有害气体或地温异常时，应进行有害气体成分、含量或地温测定。

7.3.2 交通巷道、斜井、斜坡道的勘察应满足设计和施工的需要，钻孔布置、深度及原位测试工作应符合下列规定：

- 1 勘探孔应布置在巷道外侧3~5m，勘探孔的位置和数量应视地质条件的复杂程度而定，勘探孔间距宜为50m~150m，岩石巷道、工程地质条件简单、洞顶埋深较大的巷道可取较大值，土质巷道、浅埋巷道宜取较小值；洞口处、不同的地质单元、重要的不良地质作用发育地段、特殊岩土分布地段均应有勘探孔控制，工程地质条件复杂地段宜适当加密勘探孔；洞口处如有需要可补充布置探坑、探槽或平洞；取样与原位测试孔数量不应少于勘探孔总数的1/2；
- 2 土质巷道钻孔应进入设计洞底标高以下10m~20m，预定深度内遇基岩或稳定分布的硬土层孔深可适当减小；岩质巷道钻孔应进入设计洞底标高以下中等风化或微风化岩层3m~5m；
- 3 每条岩质巷道不同工程地质单元位置均应布置不少于1孔钻孔电视，岩体破碎及节理密集带地段宜加密布置，测试深度不小于巷道底面以下3m；
- 4 每条岩质巷道应布置不少于1孔进行声波测井和电阻率测试，测试深度不小于巷道底面以下3m；
- 5 当存在有害气体或地温异常时，应进行有害气体成分、含量或地温测定。

7.3.3 竖井勘察应满足设计和施工的需要，钻孔布置、深度及原位测试工作应符合下列规定：

- 1 勘探孔应按拟建井位布置在井筒范围内，当工程地质条件复杂时，可在井筒周围增加勘探孔；
- 2 钻孔应进入设计井底标高以下中等风化或微风化岩层不小于5m；

- 3 可布置1孔钻孔电视，测试深度不应小于设计井底标高以下5m；
- 4 应布置不少于1孔声波测井，测试深度不应小于设计井底标高以下5m；
- 5 当存在有害气体或地温异常时，应进行有害气体成分、含量或地温测定。

## 7.4 地上工程

### 7.4.1 废物接收厂房勘察应符合下列规定：

1 初步设计阶段勘察勘探点应根据废物接收厂房位置呈网格状布置，勘探点间距根据场地工程地质条件复杂程度确定，宜为50m~100m。勘探孔深度宜进入基底以下10m~15m，并满足下卧层验算和地基变形计算深度要求，需采用桩基时钻孔深度应进入可能的桩端持力层以下10m~15m，预计深度内遇基岩应进入中等风化或微风化岩体不小于5m；

2 施工图设计阶段勘察勘探孔应沿建筑物轮廓、角点和轴线布置，勘探点间距宜为15m~50m，地基地质条件复杂时取小值，地质条件简单时取大值，勘探孔深度宜进入基底以下10m~15m，并满足下卧层验算和地基变形计算深度要求，预计深度内遇基岩应进入基底以下中等风化或微风化岩体不小于5m。对于拟采用桩基的场地，勘探点的平面布置和深度应满足桩基勘察的有关要求；

3 宜布置波速测试孔，测求各岩土层的剪切波和压缩波速度，划分场地类别；

4 对于岩石地基宜采用声波测试查明岩体完整程度、软弱夹层的分布，划分基岩风化程度等级；

5 宜选用抽水试验、注水试验和压水试验等水文地质测试方法，测求各岩土层的渗透性参数。

6 勘探深度范围内的每一地层均应采取试样进行室内试验，或者选用合适的原位测试方法进行原位测试，提供设计所需参数，取样孔和原位测试孔不应少于勘探孔总数的1/2。

7.4.2 办公楼、井塔、控制区出入口等其他辅助建（构）筑物的勘察可按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 对建筑物与构筑物的有关规定执行。

## 8 建造阶段勘察

### 8.1 一般规定

8.1.1 本阶段勘察主要对前期岩土工程勘察、设计与施工成果的现场检验和工程建设开始后的现场监测，确认设计条件，对施工过程中发现的岩土工程问题提出处理意见。必要时应补充岩土工程勘察工作，并为编写申请运营阶段的环境影响报告书、安全分析报告提供资料。

8.1.2 在本阶段勘察前，应取得如下资料 and 文件：

1 已有勘察成果；

2 带坐标位置的建（构）筑物总平面布置图；

3 拟建建筑的基础负挖图和岩洞处置区洞室、巷道的平面布置图、洞巷断面图、典型支护图、竖向布置图、立面图等地下工程设计文件以及开挖方案。

### 8.2 勘察工作技术要求

8.2.1 应对岩洞处置区洞室、巷道等地下工程进行地质编录；应对地上建（构）筑物基坑进行验槽。

8.2.2 应分析研究地质规律和监测资料，必要时可采取岩体声波测试和地质雷达等手段，为地下工程开挖提供超前地质预报。

8.2.3 地下工程地质编录比例尺应不小于 1：200，洞室地质异常地段地质编录比例尺不应小于 1：100。

8.2.4 地质编录应以直观观测为主，必要时可采取三维激光扫描等手段，且应符合下列要求：

1 对施工过程揭露的地层岩性、岩体风化程度、地质构造、岩体结构面、地下水状况进行跟踪编录，必要时拍摄照片或录像；

2 施工揭露的工程地质和水文地质条件与前期勘察成果的对比，确认设计条件；

3 依据编录结果，进一步确定岩洞围岩分类并评价其稳定性；

4 对施工过程中发现的岩土工程问题提出处理意见或补充岩土工程勘察工作的建议。

8.2.5 基坑验槽以直观观测为主，验槽应包括下列主要内容：

1 岩土分布、性质、地下水情况；

2 地基条件与前期勘察成果的对比；

3 对施工过程中发现的岩土工程问题提出处理意见或补充岩土工程勘察工作的建议；

4 必要时拍摄照片或录像。

8.2.6 地下工程在建造期间应进行监测，地上工程建（构）筑物宜根据场地条件、岩土特点、建筑物重要性等来确定是否开展监测工作。处置区运行和关闭期间的监测由设计确定。建（构）筑物的监测应符合本规范第 11 章的规定。

8.2.7 不良地质作用与地质灾害、地下水的监测根据需要开展，监测内容应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定和本规范第 11 章的规定。

8.2.8 建造阶段勘察应实施信息化动态管理，根据现场勘察获得的信息，及时提出处理意见或设计、施工建议。

## 9 专门岩土工程勘察

### 9.1 断裂

9.1.1 场址区及附近存在断裂时，应开展断裂勘察。断裂专门勘察工作宜在初步可行性研究阶段和可行性研究阶段进行，并应在可行性研究阶段明确评价断裂对场址适宜性的影响。

9.1.2 初步可行性研究阶段断裂勘察应符合下列规定：

1 搜集区域地质、断裂活动和地震活动等资料，结合必要的调查，初步评估场址附近范围断裂的活动性及是否存在活动断裂；

2 布置适当的测绘、物探工作，初步评价场址区是否存在可能成为核素运移通道的断裂破碎带；

3 综合评价断裂对场地稳定性和适宜性、洞室稳定性等的影响，并比较场址的断裂条件。

9.1.3 可行性研究阶段断裂勘察应符合下列规定：

1 应在场址附近范围 1:50000 及更高精度地质构造调查的基础上，鉴定场址附近范围断裂的活动性，并应评价该范围内活动断裂对场址安全性的影响。

2 应在场址区 1:10000 及更高精度地质调查的基础上，进行场址区断裂活动性鉴定，并应评价场址区是否存在活动断裂。当存在活动断裂时，应开展沿该断裂 1:2000~1:5000 的带状地质填图，并布置适当的物探工作，查明断裂的展布、最新活动时代、性质、位移等活动特征，并应评价断裂的潜在地表破裂带宽度及深部延展情况，确定场区的避让距离。

3 当场址区存在断裂破碎带时，应查明其工程地质、水文地质特征，并应评价其对核素运移及洞室稳定性的影响，同时提出处理或避让的建议。

4 应评价断裂对处置场稳定性和适宜性的影响。

### 9.2 不良地质作用

9.2.1 场址区及其附近存在影响处置场稳定性和天然屏障有效性的不良地质作用时，应进行专门勘察。

9.2.2 应对地形地貌、工程地质和水文地质条件有较大改变的土石方迁移方案进行论证，可能引发地质灾害或不良地质作用时应进行专门勘察。

9.2.3 不良地质作用勘察应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的有关规定。

1 不良地质作用勘察范围与工作量布置，应满足分析、评价和预测其对处置场稳定性和天然屏障有效性影响的要求；

2 应预测不良地质作用的发展趋势及潜在危害程度，提出避让或防治（监测）方案建议。

9.2.4 滑坡勘察应符合下列要求：

1 滑坡勘察应查明滑坡的范围、规模、地质背景、性质，分析滑坡产生的原因，评价滑坡稳定性和危害程度，预测其发展趋势，提出避让、防治方案或整治措施的建议；

2 初步可行性研究阶段勘察应通过工程地质测绘和必要的工程物探或钻探，查明滑坡的地质背景、形成条件和规模，并对其危害程度和发展趋势做出判断，对场地的稳定性和工程建设的适宜性做出基本评价，并比较场址的滑坡条件；

3 可行性研究阶段勘察应采用工程地质测绘、勘探和必要的测试等多种方法，进一步查明滑坡的范围、规模、性质，评价滑坡稳定性和危害程度，预测发展趋势，并应提出避让、防治方案或整治措施的建议；

4 设计阶段应采用勘探、原位测试、室内试验及必要的工程地质测绘，进一步查明滑坡的各要素及影响滑坡稳定性的因素，提供滑坡稳定性评价和滑坡防治或整治所需的岩土参数，提出防治方案或整治措施；

9.2.5 危岩和崩塌的勘察应在初步可行性研究阶段或可行性研究阶段完成，应以工程地质测绘为主，应查明危岩和崩塌的分布范围、规模、类型及稳定程度，评价危岩和崩塌的危害程度，并应对场地适宜性做出评价，提出防治方案的建议。

9.2.6 泥石流的勘察应符合下列要求：

1 泥石流的勘察应查明其形成条件、类型、规模、发育阶段、活动规律，应对工程场地适宜性做出评价，并提出防治方案的建议；

2 泥石流的勘察应在初步可行性研究阶段进行，以工程地质测绘和调查为主，测绘和调查范围应包括处置场至分水岭的全部地段；测绘比例尺，对全流域宜采用1：25000~1：50000，对流域中下游和厂址区宜采用1：5000~1：10000；

3 当需要对泥石流采取防治措施时，应进行勘探测试，进一步查明泥石流堆积物的性质、结构、厚度、固体物质含量、最大粒径、流速、流量、冲出量和淤积量等。

9.2.7 岩溶勘察应符合下列要求：

1 岩溶勘察应查明场地岩溶及地表塌陷的形态、分布、规律及岩溶发育程度，评价场地和地基的适宜性，并提出处理措施；

2 初步可行性研究阶段勘察应通过工程地质测绘、工程物探和必要的钻探，基本查明岩溶的发育条件、发育程度，并对其危害程度和发展趋势做出判断，对场地的稳定性和工程建设的适宜性做出基本评价；

3 可行性研究阶段勘察应采用工程地质测绘、工程物探、钻探和必要的测试相配合的综合勘察方法，查明岩溶和地面塌陷的形成条件、分布和发育规律，预测其发展趋势，评价场地岩溶发育程度及处理难易程度，并按场地岩溶的发育程度进行分区；

4 设计阶段勘察应采用以钻探为主的多种勘察方法，进一步查明场地岩溶裂隙、土洞、地表塌陷的分布、发育程度和规律，以及基岩面的起伏情况，并应对地基基础的设计和岩溶的治理提出建议。

### 9.3 水文地质与地球化学

9.3.1 水文地质与地球化学勘察应分阶段进行，当水文地质条件简单，已有资料满足设计和环境影响评价要求时，勘察阶段可适当合并。各阶段宜编写相应的水文地质与地球化学勘察报告。

9.3.2 水文地质与地球化学勘察方法应包括水文地质测绘、地球化学调查、勘探、试验和动态监测等。

9.3.3 水文地质与地球化学勘察应建立与各勘察阶段相适应的地下水水流和水溶质运移模型，预测水文地质条件可能发生的变化和对处置场建设的影响，为处置场设计和环境影响评价提供所需数据或资料。

9.3.4 处置场区岩土层应进行渗透性分级，等级划分应符合表 9.3.4 的规定。

表 9.3.4 岩土渗透性分级表

分 级	标准		岩体特征	代表性土
	透水率 $q$ (Lu)	渗透系数 $K$ (cm/s)		
强	$q \geq 100$	$K \geq 1.2 \times 10^{-3}$	等价开度 $\geq 0.5\text{mm}$ 的裂隙岩体	砂砾-砾石
中 等	$10 \leq q < 100$	$1.2 \times 10^{-4} \leq K < 1.2 \times 10^{-3}$	等价开度 $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 的裂隙岩体	砂-砂砾
弱	$1 \leq q < 10$	$1.2 \times 10^{-5} \leq K < 1.2 \times 10^{-4}$	等价开度 $0.05\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$ 的裂隙岩体	粉土
很 弱	$0.01 \leq q < 1$	$1.2 \times 10^{-7} \leq K < 1.2 \times 10^{-5}$	等价开度 $0.01\text{mm} \sim 0.05\text{mm}$ 的裂隙岩体	粉质黏土
微	$q < 0.01$	$K < 1.2 \times 10^{-7}$	完整岩石，等价开度 $< 0.01\text{mm}$ 的裂隙岩体	黏土

9.3.5 水文地质条件复杂性可划分为简单、中等和复杂，并应符合表 9.3.5 的规定。

表 9.3.5 水文地质条件复杂性划分

类别	水文地质特征
简单	符合下列条件： 地貌形态类型单一；岩层平缓，褶皱、断裂不发育，构造简单，岩相岩性稳定均一；包气带分布稳定；处置层岩性类型单一、具有稳定的隔水层，渗透性变化不大；地下水的补给、径流、排泄条件简单；地下水类型单一，岩土吸附能力易于查明
中等	介于“简单”和“复杂”之间的水文地质条件。
复杂	符合下列条件之一： 地貌形态类型多样，且成因复杂；褶皱、断裂发育，构造复杂，岩相岩性变化大；包气带厚度变化较大；第四纪沉积物分布极不均匀，处置层岩性类型复杂、渗透性变化幅度大；地下水的补给、径流、排泄条件难以查明；地下水类型多样，岩土吸附能力变化较大

### 9.3.6 初步可行性研究阶段水文地质与地球化学勘察应符合下列规定：

1 应在搜集、分析区域水文地质、水文气象、水文地球化学、自然地理环境和水资源规划等资料的基础上进行水文地质与地球化学勘察，对缺乏水文地球化学有效资料的水文地质单元，辅以适当的野外调查和室内测试；

2 调查候选场址及其附近10km范围内地表水体及主要水源，初步查明区内水资源的分布情况，并了解处置场相邻水文地质单元地下水化学成分的形成作用和演化机理，初步查明处置场所在水文地质单元的水文地球化学特征；

3 调查分析范围应包括处置场所在的水文地质单元以及相邻的水文地质单元，初步查明区域水文地质单元地下水的补给、径流和排泄条件；

4 候选场址附近范围内应进行水文地质测绘，初步查明场址所在水文地质单元的补给、径流和排泄条件；

5 水文地质与地球化学勘察工作宜结合工程地质勘察进行，初步查明场址主要岩土层的渗透性、主要含水层和隔水层的分布规律及埋藏条件；

6 应结合勘探孔和区内井、泉分布情况，布置地下水的长期监测工作，初步查明地下水的动态变化情况；

7 初步分析和评价场址及其附近地区水文地质条件的复杂程度和岩土介质对核素运移的阻滞能力，并从水文地质与地球化学角度初步评价候选场址的适宜性。

### 9.3.7 可行性研究阶段水文地质与地球化学勘察应符合下列规定：

1 应在充分收集前期资料的基础上，开展水文地质测绘、地球化学调查、钻探、工程物探、试验和监测工作。查明场址附近范围的水文地质与地球化学特征，获取水文地质和关键溶质运移参数，并应评价水文地质条件对场址适宜性的影响及场地岩土层对核素运移的阻滞能力。

2 本阶段水文地质与地球化学勘察应主要包括下列工作内容：

1) 查明场址附近范围地表水体的分布，水资源规划和利用情况；

2) 查明场址附近范围流域汇水面积、地表径流流速、流量以及历史最高水位等；

3) 查明处置场包气带的分布特征、厚度、岩性、孔隙度、有效孔隙度、土壤含水率剖面和渗透性能等；

4) 查明场址附近范围地下水的主要补给来源、径流区域、排泄区域、开采点、流向、流速，地下水与地表水的补排关系，以及地下水位的变化规律；

5) 查明场址附近范围主要含水层和隔水层的分布规律，以及主要岩土层的渗透特征；

6) 查明场址附近范围破碎带、节理密集带等导水通道的分布和渗透特征；

7) 分析处置场建设前后地下水流场变化及其对处置场的影响；

8) 查明地下水的水化学组成，地下水系统的氧化还原条件、天然胶体含量和有机质含量；

9) 查明核素运移途径上各岩土层的化学特性；

10) 查明场区地下水系统的弥散系数；

11) 查明场区地下水系统内的核素分配系数；

12) 分析场址地下水的化学类型、形成作用和演化机理；

13) 综合分析场区地表水特征, 包气带特征, 含水介质的类型、埋藏条件和地下水的补给、径流、排泄特征, 以及场址水文地球化学条件对核素的阻滞能力, 评价场地水文地质与地球化学条件的复杂程度及其对场址适宜性的影响。

3 本阶段水文地质与地球化学勘察应根据场址条件, 结合工程地质钻探、工程物探、水文地质测试和室内试验等岩土工程勘察手段进行, 并符合下列规定:

1) 水文地质与地球化学调查范围应包括处置场在内的水文地质单元和与其有水力联系的水文地质单元;

2) 处置场场址区内水文地质与地球化学勘探点宜结合工程地质勘探点统一布置, 处置场区外水文地质与地球化学勘探点应沿地下水渗流路径布置, 勘探点的数量和深度以能查明渗流路径的水文地质与地球化学条件为准, 处置场相邻水文地质单元宜布置水文地质与地球化学勘探点;

3) 水文地质原位试验应根据场地条件, 在处置区和地下水渗流路径上选择具有代表性的地段进行试验; 应在核素可能运移途径选择适当位置进行现场弥散试验, 获取主要地层的有效孔隙度和弥散系数;

4) 水文地质物探工作应根据测绘和钻探进行布置, 重点布置在处置区和地下水可能的运移路径上;

5) 应在处置区和核素可能运移途径采取岩、土、水试样, 测定其化学特性和吸附参数;

6) 地表及地下水监测点的布置应满足地下水均衡分析、地下水水流和溶质运移模型的需要, 各个地貌单元、井泉、主要地表和地下径流路径应布置监测点, 地表水与地下水关系复杂的地段应加密布置。

4 本阶段应开展地下水流和溶质运移模拟工作, 并符合下列原则:

1) 充分利用勘察资料, 建立合理的水文地质与地球化学概念模型和数学模型;

2) 采用通过应用实例充分验证的模拟软件;

3) 根据地下水监测资料, 对模型进行初步识别和校正, 并根据处置场规划, 预测处置场建设引起的地下水变化特征;

4) 应计算分析保守性核素和强吸附性核素的运移特征, 并进行参数敏感性分析;

5) 进行概念模型和参数的不确定性分析, 为下阶段水文地质与地球化学勘察工作的布置提供参考。

9.3.8 设计阶段水文地质与地球化学勘察应符合下列规定:

1 本阶段水文地质与地球化学勘察应根据处置场总平面布置方案进行勘察工作。对处置场建设后场地的水文地质与地球化学条件的变化情况进行评价, 进一步查明处置场水文地球化学条件, 提供处置场设计所需的水文地质与地球化学资料;

2 本阶段水文地质与地球化学勘察应包括下列工作内容:

1) 分析前期水文地质与地球化学资料, 结合任务书要求确定设计阶段需要开展的水文地质与地球化学勘察内容, 开展针对性的勘察工作;

2) 进一步开展地下水及水化学长期监测工作;

3) 应根据所获得资料进一步检验和校正处置场区地下水水流和溶质运移模型, 预测处置场建设前后的地下水水流特征和核素运移规律。

3 本阶段水文地质与地球化学勘察方法和工作量, 应根据勘察内容合理选用和布置。

4 本阶段地下水水流和溶质运移模拟研究应符合下列规定:

1) 根据所获得的勘察资料, 进一步完善概念模型和数学模型;

2) 对模型进行详细的不确定性和参数敏感性分析;

3) 利用监测数据对模型进行校正, 并确定预报模型;

4) 采用预报模型预测处置场场地平整、建设、运营和关闭后的地下水水流特征和核素运移规律。

9.3.9 施工建造阶段水文地质与地球化学勘察应符合下列规定:

1 检验场地开挖后水文地质与地球化学条件与前期勘察成果的一致性, 差异较大时应采取适当的手段查清;

2 继续开展施工建造期间地表水、地下水和水化学的监测工作;

3 出现下列情况时, 应补充针对性的水文地质与地球化学勘察工作:

1) 场地平整或土石方迁移后水文地质条件改变较大;

2) 场地开挖后揭露可能影响天然屏障特性的断裂破碎带、节理密集带、破碎的岩脉等地质体。

4 根据场地开挖后揭露的地质条件、地下水监测及补充的水文地质勘察成果, 进一步检验和校正地下水水流和溶质运移模型, 并应预测核素运移规律;

5 根据勘察成果, 进一步分析评价水文地质与地球化学条件对处置场的影响。

## 10 勘察方法

### 10.1 工程地质测绘与调查

10.1.1 工程地质测绘与调查的目的是查明场址及相邻地段的地形、地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用和地质灾害、地表水与地下水等情况，结合区域地质资料，分析场地岩土工程条件和可能存在的主要岩土工程问题，为其它勘测手段和总图布置提供依据。

10.1.2 工程地质测绘与调查应按在搜集资料、踏勘现场、编制工作大纲的基础上进行野外工作和资料整理。

10.1.3 工程地质测绘主要在初步可行性研究、可行性研究阶段进行，设计阶段和建造阶段，可根据需要进行补充工程地质测绘、地质编录工作，场地平整后地质条件简单时，可采用工程地质调查代替工程地质测绘。

10.1.4 工程地质测绘精度应满足下列要求：

- 1 采用的地形图比例尺应不小于工程地质测绘比例尺；
- 2 填图单元的最小尺寸为图上2mm，对处置场建设有特殊意义的地质单元体均应绘制，测绘宽度不足2mm时，可扩大比例尺表示；
- 3 处置场场地的地质界线、地质体、实测地质剖面及地质观测点的测绘精度，在图上误差不应超过3mm，其它地段不应超过5mm。

10.1.5 工程地质测绘与调查的路线和观测点的布置宜满足下列要求：

1 比例尺1：5000~1：25000时，用横穿越与界线追索相结合的方法，当地层相变较大、构造复杂或需要查清一些重要地质问题时，应进行必要的追索，在第四系覆盖地段，当涉及重要地质问题时，应布置一定数量的人工露头点；比例尺为1：1000~1：2000时，宜采用全面查勘法，在第四系覆盖或界线不明显地段，应有足够数量的人工露头点。在条件适宜时可配合进行物探工作，以保证测绘精度和查明主要地质问题。

2 选择地质观测点应具有代表性，以有效控制为目的，不同地质单元体的接触线、不同岩性的分界线、地质构造线、不同地貌单元的分界、地质现象分布地段和露头良好区，如有代表性的岩石露头、人工露头或地下水露头等应布置观测点。

3 地质观测点的距离以控制在图上距离2~3cm为宜，根据地形、地质条件复杂程度并结合对工程的影响应适当加密或放宽，以控制重要地质界线、查明工程地质条件为原则。

4 地质观测点应尽量利用天然和已有的人工露头，必要时可布置适量的钻探、物探或坑探、槽探工作。在第四系覆盖区，根据其厚度和范围应布置足够密度的物探、槽探剖面。

5 地质观测点的定位应根据精度要求选用适当的方法，宜采用卫星地图定位；地质构造线、地层接触线、岩性分界线、软弱夹层、地下水露头和不良地质作用等重要的地质观测点应采用测量仪器定位，并提供坐标值，测量仪器定位应满足相应比例尺的测量精度要求。

10.1.6 工程地质调查与测绘宜包括下列内容：

- 1 测区地貌的形态特征、分布情况和成因类型以及与地层岩性、构造、不良地质作用的关系，合理划分地貌单元；
- 2 地层岩性及地质时代、分布范围、厚度、接触关系与变化规律；
- 3 地质构造的类型、特征、分布、组合关系及其富水性和透水性特征，新构造运动及其与地震活动的关系；
- 4 岩溶、滑坡、泥石流、危岩和崩塌、地面沉降等不良地质作用的形成、分布、形态、规模、发育程度及其对工程建设的影响；
- 5 地表水体的类型、分布、水位、水质、流速、流量，流域汇水面积及历史最高水位；
- 6 含水层的组成、分布特征、渗透性、富水性及其变化规律；地下水的类型、埋藏条件、补给、径流、排泄关系及其与地表水的补排关系，划分水文地质单元；
- 7 井所在地段主要含水层的岩性、时代及井的深度、井壁结构、出水量、水位、水质及其动态变化；其与地表水体的关系；
- 8 泉的出露条件、成因类型、流量、水质、水温，泉的动态变化及利用情况；与工程有关的泉应长期观测；
- 9 人类活动情况及对场地稳定性的影响；

10 搜集气象、水文、地震、矿产等资料，并调查洪水标高和淹没范围。

10.1.7 工程地质测绘与调查应编写专题报告，要求报告章节合理、内容充实、论证有据、文字通顺、图文并茂，工程地质测绘与调查报告应附以下附件：

- 1 工程地质测绘与调查实际材料图；
- 2 综合工程地质图、地质构造图和地貌图；
- 3 实测工程地质剖面图；
- 4 综合工程地质柱状图；
- 5 节理玫瑰花图；
- 6 重要地质点素描图、照片等；
- 7 岩矿鉴定资料；
- 8 综合水文地质图、实测水文地质剖面图和、水文地质柱状图；
- 9 与地下水有关的等值线图；
- 10 水文气象资料图表；
- 11 井（泉）调查表；
- 12 地下水监测图表。

## 10.2 钻探

10.2.1 钻探方法、钻孔直径和钻具规格应根据岩土类别和勘察要求按照现行国家和行业标准的有关规定选用，满足取样、测试和钻进工艺的要求。

10.2.2 钻探应符合下列规定：

- 1 土层钻孔孔径不应小于91mm，基岩区钻孔孔径不应小于75mm；
- 2 钻具量测精度小于 $\pm 0.5\text{cm}$ ，钻进、测试、取样深度和岩芯的量测精度小于 $\pm 5\text{cm}$ ；
- 3 在地下水位以上的土层宜进行干钻，当需使用冲洗液时，宜采用能隔断冲洗液的双层或三层岩芯管钻进；当需确定岩石质量指标（RQD）时，应采用75mm口径（N型）双管单动岩芯管和金刚石钻头钻具；

4 应全断面连续取芯，每回次进尺不得超过岩芯管长度；

5 黏土层岩芯采取率不应小于90%，粉土、砂土层地下水位以上岩芯采取率不应小于80%，地下水水位以下岩芯采取率不应小于70%，碎石土层岩芯采取率不应小于50%，完整和较完整岩体岩芯采取率不应小于80%，较破碎和破碎岩体岩芯采取率不应小于65%。

6 对需重点查明的破碎带、滑动带等部位应根据技术要求，宜采用双层岩芯管连续取芯、减小回次进尺等方法适当提高岩芯采取率；

7 岩芯应及时自钻具中取出，按照深度顺序从左到右、自上而下排列于岩芯箱内，岩芯应及时用油漆编号作好清晰的回次标记，并填写岩芯牌。需长期保存的岩芯，岩芯箱上应标注工程名称、勘察阶段、孔号、孔口高程、箱号、起止深度、钻探日期等。

10.2.3 钻孔中地下水位的量测应符合下列要求：

- 1 及时量测并记录初见水位；
- 2 稳定水位量测前应采取措施消除钻探液及其它影响稳定水位的因素；
- 3 钻孔完成后，应统一量测各孔的稳定水位。

10.2.4 钻孔记录和编录应符合下列要求：

- 1 钻孔记录和编录应由经过专业训练的人员承担，记录应真实、准确、及时；
- 2 钻探过程应填写钻探班报表，记录钻进时间、钻进方式、护壁方式、回次进尺、岩芯采取长度、钻具和孔径变换、钻进过程中遇到的涌水、漏水、逸气、卡钻、掉钻、掉块等情况；
- 3 岩芯应按回次及时鉴别描述，计算回次岩芯采取率CR和岩石质量指标RQD，量测节理裂隙条数及其中轴角和充填情况；

4 岩土层的描述应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定；

5 岩芯编录完成后应拍摄照片，岩芯保存应符合现行标准《核电厂地质钻探岩芯保管技术规程》NB/T 25065的有关规定。

10.2.5 钻孔竣工后，除需要保留的观测孔外应及时封孔，并确保封孔孔底深度与钻探深度一致。对于可能成为核素迁移通道的基岩钻孔宜采用4:1的水泥、膨润土浆液通过泥浆泵由孔底向上灌注回填，土

层应采用黏土球每 0.5m 分层均匀捣实回填。其它区域基岩钻孔应采用普通水泥浆液(水灰比 0.5~0.6)通过泥浆泵由孔底向上灌注回填,土层钻孔应采用原土或黏土球每 0.5~1.0m 分层均匀捣实回填。封孔负责人应在封孔记录上签字并记录存档。

### 10.3 井探、槽探和洞探

10.3.1 当钻探方法难以准确查明地下情况或场地不具备钻探作业条件时,可采用井探、槽探或洞探进行勘探。

10.3.2 探井的深度、探槽的长度和探洞的深度、断面尺寸应按照勘察任务的要求和需查明的问题进行确定。

10.3.3 在岩层破碎或稳定性差的地层中开挖探井、探槽和探洞,不允许放坡或分级开挖时,应对井、槽、洞壁采取支护措施。

10.3.4 洞探作业时应对潜在的安全风险进行分析评价,应注明探洞工程的重点部位和环节,保障周边环境和作业安全应采取的措施,并应进行安全技术交底和施工专项安全作业方案审查。

10.3.5 探井、探槽勘探结束后应及时妥善回填,回填土应采用夯击或碾压方法压实,密实度不宜低于原土的密实度。

10.3.6 对探井、探槽和探洞除文字描述记录外,尚应以剖面图、展示图等反映井、槽、洞壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位测试位置,并辅以代表性部位的素描图、彩色照片或视频。

### 10.4 取样

10.4.1 土试样的采取应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的有关规定。

10.4.2 砂土的原状样宜采用内环刀取砂器采取。

10.4.3 土样采取应根据地层的均匀性及试验要求确定,在地基主要受力层内取样间距宜为 1~2m,当土层厚度较大时可适当放大取样间距。遇地层复杂时应增加取土密度。厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体应采取土试样,当取样有困难时应采用原位测试方法测定其性质。

10.4.4 岩石试样可在岩芯中选取或在探井、探槽中刻取。试样采取应有代表性,每组岩石试样宜在同一钻孔相近深度段内采取,当一组试样无法在同一钻孔内取齐时,可在相邻钻孔相同岩性段内补取。试样采集的数量及总长度应根据试验项目确定,每块试样的尺寸应能满足试块加工及试验要求。

10.4.5 岩石试样应按不同岩性、不同风化程度分别采取,取样位置应综合考虑洞室围岩、地基基础、边坡等岩土工程评价的需要及拟建物的重要性。

10.4.6 地下水样应采集含水层中的天然水样,水样的量应超过各项试验所需水量之和的 20%~30%。盛水容器宜采用带磨口玻璃塞的玻璃瓶或化学稳定性好的塑料瓶,容器应洗涤清洁,取样前用取样点的水反复冲洗三次以上。

10.4.7 采水样过程中应尽量避免或减轻样品与大气发生接触,取含不稳定成份的水样时,应及时加入稳定剂。井孔中采样时应避免搅动井水和底部沉积物。

10.4.8 水样采集后应及时粘贴水样标签,标签写明取样编号、地点、时间、加入的稳定剂等信息。水样采取后应放置于不受阳光照射的阴凉处,存放时间不应超过 72h,稍受污染的水不应超过 48h,受污染的水不应超过 12h。

10.4.9 用于弥散试验的原状样应满足室内弥散试验的仪器设备尺寸及其它要求;当地球化学或其它特殊试验对取样有特殊要求时,现场取样应满足相关要求。

10.4.10 所有试样应现场包装,及时密封,妥善保存,并应采取防晒、防冻及防震等措施,试样应尽快送实验室试验。

### 10.5 地球物理勘探

10.5.1 地球物理勘探应充分利用被探测对象的物性条件,并结合工程需要、场地条件和其他勘察手段合理使用。可用于查明场地隐伏断裂构造、岩溶及地下洞穴、第四系覆盖层厚度、基岩面起伏形态、水文地质条件及地下工程开挖超前地质预报等。

10.5.2 地球物理勘探探测应具备下列条件:

- 1 探测对象与周围介质存在的物性差异具有足够被探测的规模;
- 2 选择的方法应能适应地形变化条件或能对地形条件产生的异常进行校正;

3 被探测对象激发的异常应能从探测场地内的外界干扰中被区分。

10.5.3 地球物理勘探探测应选择适用的仪器，工作开始前和完成后应对使用的仪器进行检查、标定，并确保仪器使用的正常。

10.5.4 地球物理勘探测线的布置宜充分结合勘探点，并应垂直或大角度相交于探测对象的走向。地球物理勘探测线的布置应符合下列规定。

1 测网应根据工程需要和地形、地质条件布置，拟定的测线位置可根据实际情况适当调整，测线移动的允许距离在相应比例的平面图件上应为5mm；

2 测网密度应保证异常的连续、完整和便于追踪；

3 测线长度应保证异常的完整和具有足够的正常背景。

10.5.5 地球物理勘探宜选用直流电法、电磁法、弹性波法、地球物理综合测井等方法。地质条件复杂或存在多种干扰因素时，应采用不少于2种综合方法，宜对所选取的方法进行有效性试验。方法可按本规范附录A选取，具体试验方法可参照现行标准《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》SL/T 291.1执行。

10.5.6 外业实测数据应及时检查和进行数据质量评价，并根据场地条件、岩土特性、地区经验、仪器设备等因素分析实测数据的合理性和可靠性。

10.5.7 地球物理勘探应结合其他勘探方法获得的成果，对所获取的数据进行综合处理、分析和解译。资料的解译应符合从已知到未知，先易后难，点面结合，反复认识，定性指导定量的原则，并应分析其多解性，同时应正确区分有用信息与干扰信号；采用两种以上方法时，其成果及解释应相互印证，解释结果有差异时应分析其原因，对确定的异常宜采用钻探或其他手段验证。

10.5.8 地球物理勘探应提交专项成果报告，其内容应包括勘探工作条件、方法选择原则和采取的技术措施、工作布置和数据文字报告、测线平面布置图、各种定性和定量分析、解译图件、质量检查数据或数据质量评定等内容。

## 10.6 原位测试

10.6.1 原位测试应根据岩土条件、处置场特点、测试方法的适用性、设计对参数的要求及地区经验等因素选用，各种原位测试方法的适用性应符合本规范附录A的规定。

10.6.2 原位测试应符合下列规定：

1 应根据试验方法，并结合场地条件和勘察成果确定试验点和试验段的位置，试验点和试验段应具有代表性；

2 试验数据应进行现场检查与整理，应分析数据的合理性和可靠性，数据失真时应重复试验或增加试验数量；

3 采用新的试验方法时，应与传统试验方法相配合，并应经过验证取得经验后再使用。

10.6.3 原位测试的仪器设备应定期检验和标定。

10.6.4 原位测试应符合国家或行业有关测试规程的规定。

10.6.5 对空气中氡的原位测试可参照现行标准《公共地下建筑及地热水应用中氡的放射防护要求》WS/T668的规定，对于瓦斯的原位测试可参照现行标准《地勘时期煤层瓦斯含量测定方法》GB/T 23249的规定。

10.6.6 根据原位测试成果，利用地区性经验估算岩土工程特性参数和分析岩土工程问题时，应与室内试验和工程反算参数作对比，并应检验其可靠性。

## 10.7 水文地质试验

### 10.7.1 一般规定

10.7.1.1 水文地质试验应根据水文地质条件、处置场特点、设计和环境影响评价对参数的要求，以及地区经验等因素，根据本规范附录表A.3选择合适水文地质试验方法。

10.7.1.2 分析水文地质试验成果资料时，应注意仪器设备、试验条件、试验方法等对试验结果的影响，并结合地层条件，剔除异常数据。

### 10.7.2 抽水试验

10.7.2.1 地质与水文地质条件较简单时，宜选择单孔抽水试验；地质与水文地质条件复杂时，应选择多孔抽水试验。两层或多层含水层系统应分层进行抽水试验。

10.7.2.2 抽水试验时，应防止抽出的水在抽水影响范围内回渗到含水层中。

10.7.2.3 具体试验方法可参照现行标准《核电厂水文地质调查与评价技术规范》NB/T 20306 的要求执行。

### 10.7.3 压水试验

10.7.3.1 压水试验应随钻孔的加深自上而下地用单栓塞分段隔离进行。岩石完整、孔壁稳定的孔段，或有必要单独试验的孔段可采用双栓塞分段进行。

10.7.3.2 止水栓塞长度应不小于8倍钻孔直径，宜采用水压式或气压式栓塞。试验用的水泵应压力稳定，出水均匀，在1MPa压力下，流量能保持100L/min。

10.7.3.3 具体试验方法可参照现行标准《核电厂水文地质调查与评价技术规范》NB/T 20306 的要求执行。

### 10.7.4 注水试验

10.7.4.1 地下水位以上表层土及埋藏较浅土层可采用试坑法，对砂土、圆（角）砾、卵（碎）石等，可采用试坑单环法；对粉土和黏性土，可采用试坑双环法；试验深度较大时可采用钻孔法，包括常水头法和降水头法。

10.7.4.2 地下水位以下渗透性较好的土层宜采用钻孔常水头注水试验。

10.7.4.3 地下水位以上或以下的粉土、黏性土等透水性较弱的土层或全风化～强风化岩层宜采用钻孔降水头注水试验。

### 10.7.5 地下水流向、流速测定

10.7.5.1 地下水流向测定可用几何法和充电法。几何法量测点不应少于呈三角形分布的3个测孔（井）。测点间距应根据岩土渗透性、水力梯度和地形坡度等因素确定，宜为50m～100m，应同时量测各孔（井）内水位，绘制等水位线图，确定地下水的流向。充电法宜采用单孔法，以其为中心观测电位差，绘制基本等电位线，判断地下水流向。

10.7.5.2 地下水流速测定宜采用示踪试验，所选示踪剂宜符合无毒、能随水流动、一定时间内化学稳定和不会改变地下水的物理性质、渗透速度及流向且容易检出等条件，其中人工放射性同位素必须采用法律允许、可靠安全的人工放射性同位素，并且在试验区内应无生活饮用水水源；同时应避免或减少对处置场场地辐射环境本底值的影响。

10.7.5.3 采用示踪法测量地下水流速前，应沿着地下水流向布置2个钻孔，上游为示踪剂投源孔，下游为观测孔，且宜在观测孔两侧垂直地下水流向上增加2个辅助观测孔。

### 10.7.6 弥散试验

10.7.6.1 弥散试验前，应对场地地质、水文地质条件、地下水流向等有详细了解，并获取基本的水文地质参数；示踪剂投放前应测定地下水中示踪剂的背景值，并根据试验场地条件和试验目的选用合适的示踪剂。试验示踪剂的选用应符合本规范第10.7.5条的规定。

10.7.6.2 弥散试验应布置在处置场地下水的主要渗流路径上，投源孔和监测孔应沿地下水主流向布置。

10.7.6.3 示踪剂投放前，应测定井孔内示踪剂的背景值。示踪剂应准确投放至目标含水层，且应与投源孔中地下水混合均匀。示踪剂投放方式宜采用瞬时注入式。

10.7.6.4 多孔弥散试验的观测孔布设宜采用以投源孔为中心“+”字形剖面，孔距宜根据水文地质条件、含水层岩性等因素考虑，一般采用5m或10m；也可采用试验孔为中心的同心圆布设方法，同心圆半径可采用3m、5m或8m。在地下水主流线上的观测孔两侧宜各布置一个辅助观测孔，且由主观测孔、投源孔与辅助观测孔构成的夹角一般不宜大于15°。

10.7.6.5 单孔弥散试验宜在投放示踪剂后采用先注水、后抽水的方式施加人工渗流场，注水量和抽水量均应保持稳定。

10.7.6.6 试验过程中应定时、定深在井孔中进行示踪剂浓度的测定，待观测孔中出现示踪剂后，应加密观测频率，直到浓度稳定。

10.7.6.7 弥散试验数据主要包括投源孔和接收孔、抽水孔的相对位置，地下水位、采样时间、示踪剂浓度、累计时间等。对所获得的实测数据，应及时在室内整理，并做出相应曲线，绘制示踪剂浓度与时间的相关曲线，计算试验过程中地下水的实际流速和弥散系数。

### 10.7.7 连通试验

10.7.7.1 根据试验目的和条件，连通试验可采用水位传递法或示踪剂法。当需测定岩层的有效孔隙度时，宜采用多孔示踪法。

10.7.7.2 连通试验宜选择在需查明水文地质条件或问题，具代表性的或已受污染需进行预测的地段进行；可利用现有的人工或天然地下水点进行投源和监测，监测点应在工程地质和水文地质测绘的基础上布置在投源点的下游。

10.7.7.3 孔内连通试验的具体试验步骤可参照本规范第 10.7.6 节执行。

10.7.7.4 简易连通试验方法根据现场实际条件可采用闸水试验、泄水试验、浮标试验。

10.7.7.5 连通试验的成果宜包括试验段（点）的水位、水量、水质或示踪剂浓度变化的历时曲线和岩溶、裂隙连通平面图。

### 10.8 室内试验

10.8.1 试验项目和试验方法应根据岩洞型处置场的勘察阶段、设计要求和岩土性质等因素综合确定，试验条件宜接近实际，应与设计和施工状态相一致，当需要时应考虑岩土的原位应力场和应力历史，工程活动引起的新应力场和新边界条件。

10.8.2 岩土性质室内试验的仪器和具体操作应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123、《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。

10.8.3 岩土的室内试验宜根据岩土的类别测定相应的物理力学性质，并应符合下列规定：

1 岩石应包括密度试验、吸水率试验、单轴抗压强度试验、单轴压缩变形试验、声波测试、抗剪强度试验等；

2 砂土应包括颗粒级配、比重、密度、含水率、最大和最小干密度、渗透系数、压缩系数或压缩模量、抗剪强度等；

3 粉土应包括颗粒级配、比重、密度、含水率、液限、塑限、黏粒含量、渗透系数、压缩系数或压缩模量、抗剪强度等；

4 黏性土应包括比重、密度、含水率、孔隙比、液限、塑限、渗透系数、压缩系数或压缩模量、抗剪强度等。

10.8.4 岩石单轴抗压强度试验应分别测定干燥和饱和状态下的强度，并提供极限抗压强度和软化系数；对性质受水影响明显的岩石，宜测定天然状态下的单轴抗压强度；对各向异性明显的岩石应分别测定平行和垂直层理面的强度；岩石单轴压缩变形试验应提供弹性模量和泊松比。

10.8.5 岩石三轴压缩试验围压可按等差级数或等比级数进行选择，并根据不同围压相应的轴向应力绘制莫尔应力圆及抗剪强度包络线，同时应确定岩石三轴应力状态下的强度参数  $c$ 、 $\varphi$  值；岩石直剪试验宜针对工程需要，选择岩块或岩石结构面进行，并提供  $c$ 、 $\varphi$  值和各法向应力下的剪应力与位移曲线。

10.8.5 岩石声波测试宜采用饱和试样。

10.8.6 土的透水性指标可由渗透试验提供。砂土宜采用常水头渗透试验，黏性土和粉土宜采用变水头渗透试验适用于；对透水性很低的饱和黏性土，可通过固结试验测定固结系数，从而计算渗透系数。

10.8.7 土的抗剪强度试验应根据土层条件、建（构）筑物性质、施工速率、计算方法等进行选择；当地基排水条件好、加荷速率较慢的情况，或经过预压固结的地基，可采用三轴固结不排水试验或固结快剪试验；其余情况均应采用三轴不固结不排水试验或快剪试验。

10.8.8 岩石的崩解试验、膨胀试验及抗拉强度等试验项目，以及土的固结系数、前期固结压力，静止侧压力系数，土-水特征曲线（SWCC），宜根据工程需要确定。

10.8.9 水化学测试应包括下列内容：

1  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $NH_4^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{2-}$  等离子浓度；

2 氧化还原电位（Eh）、酸碱度（pH）、电导率、溶解氧（DO）；

3 胶体、络合物、微生物含量。

10.8.10 岩、土化学特性测试应包括下列内容：

- 1 矿物成分；
  - 2 化学组成；
  - 3 胶体颗粒含量；
  - 4 酸碱度；
  - 5 有机质含量；
  - 6 阳离子交换容量；
  - 7 处置关键核素的分配系数。
- 10.8.11 室内弥散试验应符合下列规定：
- 1 室内弥散试验宜结合现场弥散试验进行；
  - 2 弥散槽的尺寸应满足试验精度和模拟的需要；
  - 3 应精确控制弥散槽的边界条件和初始条件，应包括两端水位。
- 10.8.12 地球化学试验主要测试内容和推荐试验方法，应符合本规范附录 B 的规定。

## 11 现场监测

### 11.1 一般规定

- 11.1.1 现场监测应在充分了解处置场岩土工程勘察成果、设计和建设方案的基础上根据监测对象的特点制订工作计划，并应采用适宜的方法和手段进行。
- 11.1.2 现场监测的记录、数据及图件应保持完整，应按要求整理分析，并应及时向有关方报送现场监测资料。当监测数据接近危及工程安全临界值时，应加密监测，并应及时报告。
- 11.1.3 现场监测完成后应提交成果报告。报告中应附有相关图件，并应进行分析评价，同时应提出建议。

### 11.2 现场监测

#### 11.2.1 围岩监测

- 11.2.1.1 围岩监测应从建造阶段开始，监测时间应持续到运行阶段。
- 11.2.1.2 围岩监控量测项目可分为必测项目和选测项目，包括下列内容：
- 1 必测项目：洞内外观察、拱顶下沉、净空变化、地表沉降（巷道浅埋段）及拱脚下沉和位移（不良地质和特殊岩土巷道）。
  - 2 选测项目：围岩压力、围岩内部位移、洞底隆起、锚杆轴力、钢架内力、混凝土内力、二次衬砌内力、孔隙水压力等。
- 11.2.1.3 围岩监测点布设、频次可参照现行标准《铁路隧道监控量测技术规程》Q/CR 9218 执行。
- 11.2.1.4 围岩应力、应变监控量测宜采用振弦式、光纤光栅传感器。振弦式传感器可通过频率接收仪获得频率读数，依据频率-量测参数率定曲线换算出相应量测参量值。光纤光栅传感器可通过光纤光栅解调仪获得读数，换算出相应量测参量值。
- 11.2.1.5 围岩内变形可采用多点位移计，多点位移计应钻孔埋设，通过专用设备读数。拱顶下沉及洞底隆起可采用精密水准仪和铟钢挂尺或全站仪进行，测点可在拱顶或洞底通过焊接或钻孔预埋，应与洞外基准点联测。
- 11.2.1.6 围岩监控量测控制基准，应根据地质条件、处置洞室的长期稳定性和重要性等因素制定。

#### 11.2.2 爆破振动监测

- 11.2.2.1 洞室爆破施工时应进行振动监测，安全监测应采取仪器监测和宏观调查相结合的方法，监测仪器设备应按规定进行检定、校准和期间核查，爆破工程监测的作业安全应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的规定。
- 11.2.2.2 洞室开挖爆破监测应在边墙侧布置质点振动速度测点 1 个~3 个，最近测点宜布置在距爆破区域边缘 10m 范围内。
- 11.2.2.3 爆破振动速度和加速度监控量测可采用振动速度和加速度传感器，以及相应的数据采集设备。
- 11.2.2.4 传感器应固定在预埋件上，并应通过爆破振动记录仪自动记录爆破振动速度和加速度，分析振动波形和振动衰减规律。

11.2.2.5 应分析评价爆破振动对围岩及地面建筑的影响,爆破振动安全允许标准应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722。

### 11.2.3 地下水监测

11.2.3.1 地下水监测应从初步可行性研究阶段开始,监测时间应持续到施工建造阶段。地下工程施工建设时,应进行涌水量观测。

11.2.3.2 地下水监测应包括下列内容:

- 1 地下水的水位、水压、流量、水温和水化学成分;
- 2 与地下水有水力联系的地表水的水位、流量、水温和水化学成分。

11.2.3.3 在地下水监测的同时,应收集或观测当地降水量和蒸发量。

11.2.3.4 地下水监测点网应在可行性研究阶段基本完成,在设计和施工建设阶段进一步完善,监测点网的布设应符合下列规定:

- 1 监测点网应能控制处置场所处水文地质单元的边界条件、地下水的补给、径流和排泄路径;相邻水文地质单元应布置监测点;
- 2 水化学监测点应布置在核素运移路径上,当存在多层地下水时,应分层设置监测点;
- 3 对于局部裂隙水和上层滞水,应布置观测点;
- 4 应充分利用勘探孔、非经常开采的井点和泉眼。

11.2.3.5 地下水水位监测精度不应低于 $\pm 0.5\text{cm}$ ,水压监测精度不应低于 $\pm 0.5\%F \cdot S$ ,水温、气温观察精度不应低于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

11.2.3.6 地下水位、水压宜每半月观测一次,并应记录水温、水压和气温;各监测点的观测宜在同一时间段进行;地下水监测应与地表水监测同步进行;当地下水位变化剧烈时,应加大监测频率。

11.2.3.7 地下水监测孔的过滤器应下至所需监测的目标层,监测孔的目标层与其他层位及地表水之间应止水良好。地面监测孔管口宜高出地面  $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ,管口应设置保护装置,并应定期检查孔深及有无淤淀、冻凝、堵塞等情况。

11.2.3.8 监测过程中发现水位和水化学成分异常等情况时,应及时检查和处理,并应记录异常和处理情况。

11.2.3.9 地下水监测资料应及时整理,并应定期编制地下水监测报告,报告宜包括下列主要内容:

- 1 监测工作概况、监测精度及不确定性影响因素,分析评价地下水动态变化规律及变化趋势;
- 2 地下水水位、水温及主要水化学成分的历时曲线;
- 3 地下水位与气象、水文的动态关系曲线图;
- 4 地下水等水位线、主要水化学成分等值线及地下水水温等值线图。

### 11.2.4 有害气体及放射性监测

11.2.4.1 地下气体及放射性监测可从初步可行性研究阶段开始,监测时间应持续到施工建造阶段。

11.2.4.2 地下气体监测应包括下列内容:拟建场地氡浓度、氡子体浓度,洞室内空气的氧气及一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物等有害气体和粉尘含量,地下硐室中氡浓度。

11.2.4.3 氡浓度测量采用筛选测量和跟踪测量的两级方式。通过一次快速的筛选测量确定场所中氡浓度是否符合本标准中的参考水平的要求( $400\text{Bq}/\text{m}^3$ );对于发现的氡浓度大于或等于参考水平的场所,再通过跟踪测量进行确认。采样及检测方法可参照现行标准《公共地下建筑及地热水应用中氡的放射防护要求》WS/T 668 执行。

11.2.4.4 氡浓度超过参考水平时,应在经济和技术等条件许可下,尽可能采取适宜的、简单可行的补救和防护措施,使氡浓度降低到参考水平以下。

### 11.2.5 不良地质作用的监测

11.2.5.1 下列情况应进行不良地质作用的监测:

- 1 场址区及其附近有不良地质作用,可能影响处置场的稳定性和天然屏障有效性;
- 2 处置场建设期间已采取防治措施,需在运行期间长期观测,评价防治效果;
- 3 处置场的建设和运行可能加速不良地质作用的发展。

11.2.5.2 不良地质作用的监测,应根据地质条件和不良地质作用的类型编制监测技术方案。

11.2.5.3 在不良地质作用的重点防护区段应建立监测系统,收集、积累相关资料,发现问题时应及时分析,并提出防治措施。

## 12 分析评价与成果报告

### 12.1 分析与评价

12.1.1 岩土工程分析评价应在工程地质测绘、勘探、工程物探、原位测试、室内试验和搜集已有资料的基础上,结合场址特点和勘察阶段的要求进行。所有原始资料均应检查核对,认定无误后方可据以分析和评价。

12.1.2 岩土工程分析评价应包括下列内容:

- 1 工程建设场地的稳定性和适宜性,评价地质构造对场地的影响,特别是活动断裂;
- 2 评价不良地质作用及特殊性岩土对场地的影响,并提出治理措施建议;
- 3 划分场地类别,进行地震效应分析评价;
- 4 地基稳定性和均匀性分析评价;
- 5 地下洞室的围岩分级、稳定性和变形分析,提出支护方案和施工措施;
- 6 场地水和土对建筑材料腐蚀性的评价;
- 7 工程建设与工程周边环境相互影响的预测及防治对策的建议;
- 8 地下洞室施工中可能发生的突水、涌水段(点)位置以及最大涌水量和正常涌水量,并提出工程措施的建议;
- 9 在可能存在有害气体、放射性物质或地温异常的场地,应分析评价有害气体成分及含量、放射性物质成分及危害或地温异常对工程建设的影响;
- 10 分析和评价场地岩土介质对放射性核素运移的吸附阻滞能力,以及地下水条件、地质构造等对核素迁移的影响;
- 11 在高地应力地区应评价地应力对地下洞室的影响,并提出应对措施建议,当可能存在偏压、岩爆等特殊情况时应进行专门研究。

12.1.3 地上工程的分析评价,应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

12.1.4 地下洞室的分析评价应包括下列内容:

- 1 井口、洞口的场地适宜性,并提出治理措施建议;
- 2 在开展岩体及结构面变形和强度试验的基础上,提出合理的围岩岩体和结构面的物理力学性质参数;
- 3 对围岩进行工程地质分类,分析岩土及地下水的特性,评价围岩的稳定性,提出地下洞室的开挖方式、支护和衬砌措施等建议;
- 4 围岩的渗透性和坑道涌水量预测,指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等风险的地段,提出防治措施的建议;
- 5 根据岩体地应力测试、地应力场分析,结合对高地应力现象的地质分析、区域地质构造应力分析、地形地貌分析等,综合确定地应力的量级和方向;
- 6 分析岩土介质特性、地下水条件、结构面特征等,评价其对核素迁移的影响。

12.1.5 地下洞室围岩分类方法应与地下洞室设计采用的标准一致,宜按以下方法分类:

- 1 地下洞室围岩分类,应分为围岩初步分类和围岩详细分类。根据分类结果,评价围岩的整体稳定性,并可作为确定支护类型的基础。围岩分类宜符合附录C的规定。
- 2 围岩初步分类应根据岩质类型、岩体结构类型、岩体完整程度等因素进行。
- 3 围岩详细分类应在围岩初步分类和工程地质分段的基础上,以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水状态和主要结构面产状等五项因素之和的总评分为基本判据,围岩强度应力比为限定判据进行分类。
- 4 大跨度地下洞室围岩除采用本标准的分类外,尚可采用其他有关围岩分类方法进行综合评定和对比。

### 12.2 成果报告

12.2.1 岩土工程勘察报告应全面真实地反映场地的客观条件,内容应完整,数据应准确,结论应正确,

建议应合理可行。

12.2.2 岩土工程勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和岩土工程条件等具体情况编写，并应包括下列内容：

- 1 勘察目的、任务要求和依据的法规、技术标准；
- 2 拟建工程概况；
- 3 勘察方法和完成的勘察工作量；
- 4 场地工程地质条件，包括地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体工程地质特征、工程地震条件、不良地质作用与地质灾害等；
- 5 场地水文地质条件，包括透水层、隔水层的性质和分布特征，地下水补径排特征及动态变化规律，地表水与地下水的水力联系等；
- 6 场地的水文地球化学特征，包括地下水化学类型、成因和分布，场区岩土层的水化学特性和吸附特征，场区内地下水和地表水的腐蚀性；
- 7 各项岩土物理力学性质指标，岩土强度参数、变形参数、地基承载力、岩土体渗透系数和动力学参数等参数的建议值；
- 8 土对建筑材料的腐蚀性；
- 9 岩土工程分析评价，包括场地与地基稳定性、围岩稳定性、围岩分类、场地适宜性等；
- 10 结论与建议。

12.2.3 岩土工程勘察报告宜分别编制工程地质钻探、原位测试等分项报告，并附下列图表：

- 1 勘探点平面位置图；
- 2 钻孔柱状图；
- 3 工程地质剖面图；
- 4 场坪标高、重要地下洞室基底标高工程地质切面图；
- 5 综合工程地质图、综合工程地质柱状图、工程地质测绘实际材料图、实测工程地质剖面图、探槽探井展示图；
- 6 综合水文地质图、水文地质调查实际材料图、水文地质剖面图、地下水等水位线图；
- 7 原位测试成果图表；
- 8 室内试验成果图表；
- 9 地球物理勘探成果图表；
- 10 地球化学分析成果表；
- 11 勘探点特征（坐标、标高等）一览表；
- 12 岩芯照片等。

附录 A  
(规范性附录)

## 地球物理勘探、原位测试方法适用范围

表A.1 地球物理勘探方法适用范围

物探方法		探测项目													
		覆盖层	风化层	岩层界线	断裂、构造破碎带	滑动面	岩溶	采空区、地下洞穴	软弱夹层	含水层	地下水位	地下水流速、流向	隧道超前地质预报	岩体完整程度评价	环境放射性
直流电法	电测深法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	电剖面法			○	○	○	○								
	高密度电法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	自然电位法						○				○				
	充电法					○	○				○				
	激发极化法					○	○			○	○				
电磁法	音频大地电磁法				○		○	○			○				
	可控源音频大地电磁法				○		○				○				
	瞬变电磁法				○	○	○	○			○		○		
	地质雷达法			○		○	○		○		○		○		
地震勘探	折射波法	○	○	○		○								○	
	反射波法	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
	瞬态面波法	○	○	○	○	○			○		○			○	
	天然源面波法	○	○	○	○	○	○	○	○					○	
层析成像法	弹性波 CT				○		○	○	○						
	电磁波 CT						○	○	○						
综合测井	电测井	○		○	○			○	○	○	○				
	声波测井		○	○	○			○	○					○	
	波速测试	○	○						○					○	
	钻孔电视				○		○	○							
	自然伽马测井	○	○	○	○	○	○		○						
	井温测井						○				○				
放射性勘探	伽马测量法				○			○							○

注：○表示可选用方法

表A.2 原位测试方法适用范围

试验方法	适用地层、对象	主要工程应用
载荷试验	各类地层	测定地基承载力；测定岩土变形模量；测定岩土的基床系数
标准贯入试验	砂土、粉土、黏性土	评价土的物理性质；评价土的强度和变形特性；评价地基承载力；评价单桩承载力；判别场地土液化；评价成桩可能性；采取扰动土样
圆锥动力触探试验	轻型：浅层填土、粘性土、砂土和粉土等； 重型：砂土，中密以下的碎石土、极软岩； 超重型：密实和很密的碎石土、软岩、极软岩	地层的力学分层；评价岩土的均匀性和物理性质；估算地层的强度或变形特性；估算地基承载力、单桩承载力；查明土洞、滑动面、软弱土层界面；检验地基加固效果
静力触探试验	软土，一般黏性土、粉土、砂土和含少量碎石的土	地层的力学分层；评价土的塑性状态或者密实度；估算土的强度或变形参数；估算土的渗透系数、固结系数（孔压静力触探）；估算地基承载力；选择桩基持力层，判别沉桩可能性，估算单桩承载力；判别场地土液化；检验地基加固效果
十字板剪切试验	饱和软黏土	测定软黏土的不排水抗剪强度和残余强度，估算灵敏度；估算地基承载力；估算单桩承载力；判定软黏土的固结历史；分析边坡的稳定性
旁压试验	黏性土、粉土、砂土、极软岩和软岩	测定地基承载力、旁压模量；估算侧向基床反力系数；估算软黏土的不排水抗剪强度和砂土的内摩擦角
扁铲侧胀试验	黏性土、粉土、砂土、极软岩和软岩	划分土层、判定土类；测定静止侧压力系数、水平基床系数；估算黏性土的不排水抗剪强度；测定土的压缩模量；估算地层的水平向渗透系数和固结系数
现场直接剪切	岩土体、岩土体软弱结构面、岩体与其他材料接触面	测定抗剪强度参数
地应力测量	各类地层	测定处置场深度范围内地应力场的特征
氡测量	—	测定某一环境范围内氡的浓度

表A.3 水文地质试验方法适用范围

试验项目	适用地层	试验方法	可获取参数及用途
抽水试验	第四系、全风化、强风化、中等风化	单孔抽水、多孔抽水	获取岩土层的渗透系数、导水系数、给水度、弹性储水系数等水文地质参数；评价岩土层的富水性和渗透性
压水试验	中等风化、微风化岩层	单栓塞、双栓塞	测定岩体的透水率，评价岩体的渗透性
注水试验	第四系、全风化、强风化	钻孔注水（常水头法、降水头法）、试坑法（单环法、双环法）	测定松散岩土层的渗透系数，评价含水层的渗透性
地下水流速流向试验	第四系、全风化、强风化	地下水流向测定可用几何法和充电法，地下水流速测定可用示踪剂法、流速流向仪法、充电法	测定地下水的流速、流向
弥散试验	第四系、全风化、强风化	单孔弥散试验、多孔弥散试验	测定弥散度、水力弥散系数等参数
连通试验	岩溶管道或裂隙岩溶发育的灰岩	水位传递法、示踪剂法	确定岩溶通道的连通性或查明地下暗河流经途径和位置

附 录 B  
(规范性附录)

地球化学室内试验方法

表B 地球化学室内试验方法

类别	参数或指标	推荐方法或标准
水	腐蚀性	滴定法
	阴离子交换容量	色度计或滴定法
	酸碱度	指示剂滴定法或电位滴定法
	氧化还原电位	铂电极法
	有机成分	红外光谱检测法
	无机成分	《水利水电工程地质勘察水质分析规程》DL/T 5194
岩、土	岩石矿物成分	薄片鉴定
	化学成分	《硅酸盐岩石化学分析方法》GB/T 14506
	有机质含量	重铬酸钾容量法
	分配系数	批式法或土柱法
	阳离子交换容量	原子吸收光谱分析

注：对于存在不同测试内容的室内试验，宜按现行国家标准《硅酸盐岩石化学分析方法》GB/T 14506 的规定，并根据待测元素选取测试方法。

## 附录 C (规范性附录)

### 围岩工程地质分类

C.1 围岩工程地质分类，可分为围岩初步分类和围岩详细分类。根据分类结果，评价围岩的稳定性，并可作为确定支护类型的基础。围岩分类评价宜符合表C.1的规定。

**表C.1 围岩工程地质分类评价**

围岩类别	围岩稳定性评价	建议永久支护类型
I	稳定； 围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	不支护或局部锚杆喷薄层混凝土；
II	基本稳定； 围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生组合块体失稳	大跨度时，喷混凝土，系统锚杆加钢筋网
III	局部稳定性差； 围岩强度不足，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏；完整的较软岩，可能短时稳定	喷混凝土，系统锚杆加钢筋网；大跨度时，并加强柔性或刚性支护
IV	不稳定； 围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土，系统锚杆加钢筋网，并加强柔性或刚性支护，或浇筑混凝土衬砌
V	极不稳定 围岩不能自稳，变形破坏严重	浇筑混凝土衬砌

注：大跨度地下洞室指跨度大于20m的地下洞室。

C.2 围岩初步分类主要依据岩质类型、岩体结构类型、岩体完整程度，适用于初步可行性研究阶段，并宜符合表C.2的规定。

**表C.2 围岩初步分类**

岩质类型	岩体结构类型	岩体完整程度	围岩初步分类	
			类别	说明
硬质岩	整体状或巨厚层状结构	完整	I、II	坚硬岩定I类，中硬岩定II类
	块状结构	较完整	II、III	坚硬岩定II类，中硬岩定III类
	次块状结构		II、III	坚硬岩定II类，中硬岩定III类
	厚层状或中厚层状结构		II、III	坚硬岩定II类，中硬岩定III类
	互层状结构	完整性差	III、IV	洞轴线与岩层走向夹角小于30°时，定IV类
	薄层状结构		IV、III	岩质均一，无软弱夹层时，可定III类
	镶嵌结构		III	—

续表C.2

硬质岩	块裂结构		IV	—
	碎裂结构	较破碎	IV、V	有地下水时，定V类
	散体结构	破碎	V	—
软质岩	整体状或巨厚层状结构	较完整	III、IV	较软岩无地下水时定III类，有地下水时定IV类；软岩定IV类
	块状或次块状结构		IV、V	无地下水时定IV类；有地下水时定V类
	厚层、中厚层或互层状结构		IV、V	无地下水时定IV类；有地下水时定V类
	薄层状或块裂结构	完整性差	V、IV	较软岩无地下水时定IV类
	碎裂结构	较破碎	V、IV	较软岩无地下水时定IV类
	散体结构	破碎	V	—

C.3 岩质类型的确定，宜符合表C.3的规定。

表C.3 岩质类型划分

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
岩石饱和单轴抗压强度 $R_b$ (MPa)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b \geq 30$	$30 > R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$

C.4 岩体完整程度的划分，宜符合表C.4的规定。

表C.4 岩体完整程度划分

岩体完整程度	完整	较完整		完整性差		较破碎	破碎
结构面发育组数	1~2	1~2	2~3	2~3	2~3	>3	无序
结构面间距 (cm)	>100	100~50	50~30	30~10	<10	<10	—
结构面发育程度	不发育	轻度发育	中等发育	较发育	发育	很发育	—

注：结构面间距指主要结构面间距的平均值。

C.5 岩体结构类型的划分，宜符合表C.5的规定。

表C.5 岩体结构类型

类型	亚类	岩体结构特征
块状结构	整体状结构	岩体完整，呈巨块状，结构面不发育，间距大于100cm
	块状结构	岩体较完整，呈块状，结构面轻度发育，间距一般50cm~100cm
	次块状结构	岩体较完整，呈次块状，结构面中等发育，间距一般30cm~50cm

续表C.5

层状结构	巨厚层状结构	岩体完整，呈巨厚层状，结构面不发育，间距大于100cm
	厚层状结构	岩体较完整，呈厚层状，结构面轻度发育，间距一般50cm~100cm
	中厚层状结构	岩体较完整，呈中厚层状，结构面中等发育，间距一般30cm~50cm
	互层状结构	岩体较完整或完整性差，呈互层状，结构面较发育或发育，间距一般10cm~30cm
	薄层状结构	岩体完整性差，呈薄层状，结构面发育，间距小于10cm
镶嵌结构	镶嵌结构	岩体完整性差，岩块嵌合紧密~较紧密，结构面较发育~很发育，间距一般10cm~30cm
碎裂结构	块裂结构	岩体完整性差，岩块间有岩屑和泥质物充填，嵌合中等紧密~较松弛，结构面较发育~很发育，间距一般10cm~30cm
	碎裂结构	岩体较破碎，岩块间有岩屑和泥质物充填，嵌合较松弛~松弛，结构面很发育，间距一般小于10cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎，岩块夹岩屑或泥质物，嵌合松弛
	碎屑状结构	岩体极破碎，岩屑或泥质物夹岩块，嵌合松弛

C.6 围岩详细分类宜以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素之和的总评分为基本判据，围岩强度应力比为限定判据，主要用于可行性研究、初步设计和施工图设计阶段，并符合表C.6的规定。

表C.6 围岩详细分类

围岩类别	围岩总评分T	围岩强度应力比S
I	$T > 85$	$> 4$
II	$85 \geq T > 65$	$> 4$
III	$65 \geq T > 45$	$> 2$
IV	$45 \geq T > 25$	$> 2$
V	$T \leq 25$	—

注：I、II、III、IV类围岩，当其强度应力比小于本表规定时，围岩类别宜相应降低一级。

C.7 围岩强度应力比S可根据下式求得：

$$S = \frac{R_b K_V}{\sigma_m} \quad (C.7)$$

式中： $R_b$ ——岩石饱和单轴抗压强度（MPa）；

$K_V$ ——岩体完整性系数，为岩体的纵波波速与相应岩石的纵波波速之比的平方；

$\sigma_m$ ——围岩的最大主应力（MPa），当无实测资料时可以自重应力代替。

C.8 地下洞室围岩详细分类中五项因素的评分宜符合下列规定：

C.8.1 岩石强度的评分宜符合表C.8.1的规定。

表C.8.1 岩石强度评分

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
岩石饱和单轴抗压强度 $R_b$ (MPa)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$
岩石强度评分A	30~20	20~10	10~5	5~0

注：1 岩石饱和单轴抗压强度大于100MPa时，岩石强度的评分为30。

2 当岩体完整程度与结构面状态评分之和小于5时，岩石强度评分大于20的，按20评分。

C.8.2 岩体完整程度的评分宜符合表C.8.2的规定。

表C.8.2 岩体完整程度评分

岩体完整程度		完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性系数 $K_v$		$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.35$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v \leq 0.15$
岩体完整性评分B	硬质岩	40~30	30~22	22~14	14~6	<6
	软质岩	25~19	19~14	14~9	9~4	<4

注：1 当 $60 \text{ MPa} \geq R_b > 30 \text{ MPa}$ ，岩体完整性程度与结构面状态评分之和>65时，按65评分。

2 当 $30 \text{ MPa} \geq R_b > 15 \text{ MPa}$ ，岩体完整性程度与结构面状态评分之和>55时，按55评分。

3 当 $15 \text{ MPa} \geq R_b > 5 \text{ MPa}$ ，岩体完整性程度与结构面状态评分之和>40时，按40评分。

4 当 $R_b \leq 5 \text{ MPa}$ ，属极软岩，岩体完整性程度与结构面状态不参加评分。

C.8.3 结构面状态的评分宜符合表C.8.3的规定。

表C.8.3 结构面状态评分

结构面状态	张开度 $W$ (mm)	闭合 $W < 0.5$		微张 $0.5 \leq W < 5.0$									张开 $W \geq 5.0$	
	充填物	无充填			岩屑			泥质			岩屑	泥质		
粗糙状况	起伏粗	起伏粗	平直光滑	起伏粗	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	—	—
	结构面状态评分C	硬质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12
软质岩		27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
软岩		18	14	17	14	8	14	11	8	10	8	6	8	4

注：1 结构面的延伸长度小于3m时，硬质岩、较软岩的结构面状态评分另加3分，软岩加2分；结构面的延伸长度大于10m时，硬质岩、较软岩减3分，软岩减2分。

2 当结构面张开度大于10mm，无充填时，结构面状态的评分为零。

C.8.4 地下水状态的评分宜符合表C.8.4的规定。

表C.8.4 地下水状态评分

活动状态		干燥到渗水、滴水	线状流水	涌水
水量 $q$ [L/(min·10m洞长)] 或压力水头 $H$ (m)		$q \leq 25$ 或 $H \leq 10$	$25 < q \leq 125$ 或 $10 < H \leq 100$	$q > 125$ 或 $H > 100$
基本因素评分 $T'$	$T' > 85$	地下水评分D	0	-2~-6
	$85 \geq T' > 65$		0~-2	-6~-10
	$65 \geq T' > 45$		-2~-6	-10~-14
	$45 \geq T' > 25$		-6~-10	-14~-18
	$T' \leq 25$		-10~-14	-18~-20

注：基本因素评分 $T'$ 系前述岩石强度评分A、岩体完整性评分B和结构面状态评分C的和。

C.8.5 主要结构面产状的评分宜符合表C.8.5的规定。

表C.8.5 主要结构面产状评分

结构面走向与洞轴线夹角		90° ~60°				30° ~60°				<30°			
		>70°	45° ~70°	20° ~45°	<20°	>70°	45° ~70°	20° ~45°	<20°	>70°	45° ~70°	20° ~45°	<20°
结构面产状评分E	洞顶	0	-2	-5	-10	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-12	-12
	边墙	-2	-5	-2	0	-5	-10	-2	0	-10	-12	-5	0

注：按岩体完整程度分级为完整性差、较破碎和破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。

C.9 本围岩分类不适用于埋深小于2倍洞径或跨度的地下洞室和特殊土、喀斯特洞穴发育地段的地下洞室。极高地应力区 ( $\sigma_m \geq 40\text{MPa}$ 、 $R_b / \sigma_m < 2$ ) 和极软岩 ( $R_b \leq 5\text{MPa}$ ) 中的围岩分类，可根据工程实际情况进行专门研究。

C.10 大跨度地下洞室围岩的分类除采用本分类外，尚可采用其他有关国家标准综合评定，还可采用国际通用的围岩分类方法(如Q系统分类法、RMR分类法)对比使用。°



