

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51041 — 2014

---

# 核电厂岩土工程勘察规范

Code for geotechnical investigation of nuclear power plants

2014 — 10 — 09 发布

2015 — 08 — 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

# 核电厂岩土工程勘察规范

Code for geotechnical investigation of nuclear power plants

**GB 51041-2014**

主编部门：中 国 核 工 业 集 团 公 司

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 5 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2014 北 京

# 中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 584 号

## 住房城乡建设部关于发布国家标准 《核电厂岩土工程勘察规范》的公告

现批准《核电厂岩土工程勘察规范》为国家标准,编号为 GB 51041—2014,自 2015 年 8 月 1 日起实施。其中,第 1.0.5、5.2.4、6.2.4、9.1.1、9.2.1、9.3.1、10.1.5、10.4.1 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014 年 10 月 9 日

## 前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2005 年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标函〔2005〕124 号)的要求,由中国核电工程有限公司、电力规划设计总院会同有关单位共同编制完成的。

规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规范。

本规范共分 13 章和 3 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、初步可行性研究阶段、可行性研究阶段、初步设计和施工图设计阶段、工程建造阶段、水工构筑物、专门岩土工程勘察、边坡工程、水文地质、勘察方法、岩土工程分析评价和成果报告等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国核工业集团公司负责日常管理,由中国核电工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送至中国核电工程有限公司(地址:北京市海淀区西三环北路 117 号,邮政编码:100840,邮箱:北京 840 信箱)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:**中国核电工程有限公司

电力规划设计总院

**参 编 单 位:**郑州中核岩土工程有限公司

核工业南京工程勘察院

环境保护部核与辐射安全中心

建设综合勘察研究设计院有限公司

核工业第二研究设计院

中兵勘察设计研究院

主要起草人:王旭宏 戴联筠 邓小宁 方仁宝 化建新  
毛尚之 王中平 王振超 王跃庚 宁俊栋  
田胜清 李玉民 李昊辉 李金旺 吕 涛  
陈立伟 陈 哲 何 剑 杨立建 杨球玉  
张 明 张晓伟 张超琦 周 群 胡双跃  
项 勃 耿学勇 顾宝和 莫映辉  
主要审查人:唐辉明 马海毅 王基文 王 清 王煜霞  
叶静风 刘存合 刘厚健 刘 健 齐 迪  
汤国毅 许波涛 谷秀萍 李 中 李海波  
陈昌斌 邵长云 罗兰英 周本刚 倪 恒  
秦 敏 程小久 韩绍英

# 目 次

|     |                        |        |
|-----|------------------------|--------|
| 1   | 总 则 .....              | ( 1 )  |
| 2   | 术语和符号 .....            | ( 2 )  |
| 2.1 | 术语 .....               | ( 2 )  |
| 2.2 | 符号 .....               | ( 3 )  |
| 3   | 基本规定 .....             | ( 4 )  |
| 3.1 | 一般规定 .....             | ( 4 )  |
| 3.2 | 岩土工程勘察等级 .....         | ( 5 )  |
| 3.3 | 勘察阶段划分和各勘察阶段主要任务 ..... | ( 7 )  |
| 4   | 初步可行性研究阶段 .....        | ( 9 )  |
| 4.1 | 一般规定 .....             | ( 9 )  |
| 4.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 10 ) |
| 4.3 | 厂址普选工作 .....           | ( 12 ) |
| 5   | 可行性研究阶段 .....          | ( 13 ) |
| 5.1 | 一般规定 .....             | ( 13 ) |
| 5.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 13 ) |
| 6   | 初步设计和施工图设计阶段 .....     | ( 16 ) |
| 6.1 | 一般规定 .....             | ( 16 ) |
| 6.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 17 ) |
| 7   | 工程建造阶段 .....           | ( 21 ) |
| 7.1 | 一般规定 .....             | ( 21 ) |
| 7.2 | 勘察工作技术要求 .....         | ( 21 ) |
| 8   | 水工构筑物 .....            | ( 23 ) |
| 8.1 | 一般规定 .....             | ( 23 ) |
| 8.2 | 泵房 .....               | ( 24 ) |

|      |                     |        |
|------|---------------------|--------|
| 8.3  | 冷却塔 .....           | ( 25 ) |
| 8.4  | 堤和坝 .....           | ( 26 ) |
| 8.5  | 隧洞 .....            | ( 27 ) |
| 8.6  | 管道 .....            | ( 31 ) |
| 8.7  | 取水头部和闸门井 .....      | ( 32 ) |
| 9    | 专门岩土工程勘察 .....      | ( 34 ) |
| 9.1  | 断裂 .....            | ( 34 ) |
| 9.2  | 不良地质作用与地质灾害 .....   | ( 35 ) |
| 9.3  | 液化 .....            | ( 38 ) |
| 9.4  | 天然建筑材料 .....        | ( 39 ) |
| 10   | 边坡工程 .....          | ( 42 ) |
| 10.1 | 一般规定 .....          | ( 42 ) |
| 10.2 | 边坡勘察内容和方法 .....     | ( 42 ) |
| 10.3 | 边坡稳定性评价 .....       | ( 44 ) |
| 10.4 | 边坡监测 .....          | ( 45 ) |
| 10.5 | 边坡勘察报告要求 .....      | ( 45 ) |
| 11   | 水文地质 .....          | ( 47 ) |
| 11.1 | 一般规定 .....          | ( 47 ) |
| 11.2 | 水文地质参数测定 .....      | ( 48 ) |
| 12   | 勘察方法 .....          | ( 50 ) |
| 12.1 | 工程地质测绘 .....        | ( 50 ) |
| 12.2 | 钻探与取样 .....         | ( 51 ) |
| 12.3 | 工程物探 .....          | ( 54 ) |
| 12.4 | 原位测试 .....          | ( 57 ) |
| 12.5 | 室内试验 .....          | ( 60 ) |
| 13   | 岩土工程分析评价和成果报告 ..... | ( 63 ) |
| 13.1 | 一般规定 .....          | ( 63 ) |
| 13.2 | 岩土的工程特性指标 .....     | ( 64 ) |
| 13.3 | 地基承载力 .....         | ( 66 ) |

|      |                   |        |
|------|-------------------|--------|
| 13.4 | 稳定性及均匀性评价 .....   | ( 69 ) |
| 13.5 | 成果报告 .....        | ( 70 ) |
| 附录 A | 天然建筑材料试验项目表 ..... | ( 72 ) |
| 附录 B | 边坡勘察试验测试项目表 ..... | ( 76 ) |
| 附录 C | 边坡岩体质量分类 .....    | ( 78 ) |
|      | 本规范用词说明 .....     | ( 82 ) |
|      | 引用标准名录 .....      | ( 83 ) |
| 附:   | 条文说明 .....        | ( 85 ) |

## Contents

|     |                                                                                           |        |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1   | General provisions .....                                                                  | ( 1 )  |
| 2   | Terms and symbols .....                                                                   | ( 2 )  |
| 2.1 | Terms .....                                                                               | ( 2 )  |
| 2.2 | Symbols .....                                                                             | ( 3 )  |
| 3   | Basic requirement .....                                                                   | ( 4 )  |
| 3.1 | General requirement .....                                                                 | ( 4 )  |
| 3.2 | Gradation of geotechnical investigation .....                                             | ( 5 )  |
| 3.3 | Investigation stages and the primary tasks .....                                          | ( 7 )  |
| 4   | Stage of preliminary feasibility study .....                                              | ( 9 )  |
| 4.1 | General requirement .....                                                                 | ( 9 )  |
| 4.2 | Arrangement fundamental and technical<br>requirements of geotechnical investigation ..... | ( 10 ) |
| 4.3 | Preliminary sitting .....                                                                 | ( 12 ) |
| 5   | Stage of feasibility study .....                                                          | ( 13 ) |
| 5.1 | General requirement .....                                                                 | ( 13 ) |
| 5.2 | Arrangement fundamental and technical requirements<br>of geotechnical investigation ..... | ( 13 ) |
| 6   | Stage of preliminary design and detailed<br>design for construction .....                 | ( 16 ) |
| 6.1 | General requirement .....                                                                 | ( 16 ) |
| 6.2 | Arrangement fundamental and technical requirements<br>of geotechnical investigation ..... | ( 17 ) |
| 7   | Stage of construction .....                                                               | ( 21 ) |
| 7.1 | General requirement .....                                                                 | ( 21 ) |

|      |                                                            |        |
|------|------------------------------------------------------------|--------|
| 7.2  | Technical requirements of geotechnical investigation ..... | ( 21 ) |
| 8    | Hydraulic structures .....                                 | ( 23 ) |
| 8.1  | General requirement .....                                  | ( 23 ) |
| 8.2  | Pump house .....                                           | ( 24 ) |
| 8.3  | Cooling tower .....                                        | ( 25 ) |
| 8.4  | Embankment and dam .....                                   | ( 26 ) |
| 8.5  | Tunnel .....                                               | ( 27 ) |
| 8.6  | Pipe .....                                                 | ( 31 ) |
| 8.7  | Intake structure and gate shaft .....                      | ( 32 ) |
| 9    | Special geotechnical investigation .....                   | ( 34 ) |
| 9.1  | Fracture .....                                             | ( 34 ) |
| 9.2  | Adverse geologic actions and geological disaster .....     | ( 35 ) |
| 9.3  | Liquefaction .....                                         | ( 38 ) |
| 9.4  | Natural building material .....                            | ( 39 ) |
| 10   | Slope engineering .....                                    | ( 42 ) |
| 10.1 | General requirement .....                                  | ( 42 ) |
| 10.2 | Slope investigation and investigation method .....         | ( 42 ) |
| 10.3 | Slope stability evaluation .....                           | ( 44 ) |
| 10.4 | Monitoring of slope .....                                  | ( 45 ) |
| 10.5 | Slope investigation report .....                           | ( 45 ) |
| 11   | Hydrogeological condition .....                            | ( 47 ) |
| 11.1 | General requirement .....                                  | ( 47 ) |
| 11.2 | Mensuration of hydrogeological parameters .....            | ( 48 ) |
| 12   | Investigation methods .....                                | ( 50 ) |
| 12.1 | Engineering geological mapping .....                       | ( 50 ) |
| 12.2 | Drilling and sampling .....                                | ( 51 ) |
| 12.3 | Geophysical exploration .....                              | ( 54 ) |
| 12.4 | In-situ tests .....                                        | ( 57 ) |
| 12.5 | Laboratory tests .....                                     | ( 60 ) |

|            |                                                          |       |        |
|------------|----------------------------------------------------------|-------|--------|
| 13         | Geotechnical analysis and evaluation and report          | ..... | ( 63 ) |
| 13.1       | General requirement                                      | ..... | ( 63 ) |
| 13.2       | Engineering property index of rock and soil              | ..... | ( 64 ) |
| 13.3       | Bearing capacity of foundation                           | ..... | ( 66 ) |
| 13.4       | Assessment of stability and uniformity                   | ..... | ( 69 ) |
| 13.5       | Report                                                   | ..... | ( 70 ) |
| Appendix A | Tests on natural building material                       | ..... | ( 72 ) |
| Appendix B | Tests in slope investigation                             | ..... | ( 76 ) |
| Appendix C | Rock mass quality classification in<br>slope engineering | ..... | ( 78 ) |
|            | Explanation of wording in this code                      | ..... | ( 82 ) |
|            | List of quoted standards                                 | ..... | ( 83 ) |
|            | Addition: Explanation of provisions                      | ..... | ( 85 ) |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了贯彻国家发展核电的战略决策,执行国家有关的核电厂安全法规和技术经济政策,使核电厂岩土工程勘察满足核电厂厂址选择、设计、建造和运行的要求,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于陆上固定式核电厂以及核供热厂、实验堆、研究堆及核燃料后处理厂的岩土工程勘察。

**1.0.3** 核电厂岩土工程勘察应按照建设程序、工程特点和场地条件分阶段进行,各阶段的勘察应符合本规范的规定。

**1.0.4** 核电厂岩土工程勘察,应正确反映厂址的岩土工程条件,并应提出资料完整、评价正确的岩土工程勘察报告。

**1.0.5** 核电厂岩土工程勘察的全过程应有质量保证措施,并应形成质量控制的记录。

**1.0.6** 核电厂岩土工程勘察,除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 核电厂 nuclear power plant

依靠原子核裂变能量发电的电厂。

#### 2.1.2 核岛 nuclear island

核反应堆厂房及其紧邻的核辅助、附属建(构)筑物。

#### 2.1.3 常规岛 conventional island

汽轮发电机厂房及其紧邻的辅助、附属建(构)筑物。

#### 2.1.4 能动断层 capable fault

在地表或接近地表处有可能引起明显错动的断层。

#### 2.1.5 岩土单元 soil and rock mass unit

具有相同或相近工程特性的、同一地质年代和同一地质成因的土体或岩体。

#### 2.1.6 厂区 site area

包括核岛、常规岛及紧邻的辅助生产、办公、生活服务设施场地的总称。

#### 2.1.7 厂址 site for plant

包括核电厂厂区,取、排水建(构)筑物地段等在内的各建(构)筑物场地的总称。

#### 2.1.8 SL-2 级地震动 seismic level 2 ground motion

对应于核电厂极限安全要求的地震动,在核电厂设计基准期内年超越概率不超过  $10^{-4}$ ,其峰值加速度不小于  $0.15g$  ( $g$  为重力加速度)。

#### 2.1.9 抗震 I 类建(构)筑物 structure of seismic category I

核电厂中与核安全有关的重要建(构)筑物,采用 SL-2 级地震动进行抗震设计。

## 2.2 符 号

- $a$ ——建(构)筑物验算地点的设计基准地震动地面峰值加速度；
- $b$ ——基础宽度；
- $c$ ——黏聚力；
- $d$ ——基础埋置深度；
- $f_s$ ——侧壁摩阻力；
- $f_a$ ——修正后的地基承载力特征值；
- $f_t$ ——地基承载力极限值
- $f_{ak}$ ——地基承载力特征值；
- $f_{rk}$ ——岩石饱和单轴抗压强度标准值；
- $K_v$ ——岩体完整性指数；
- $N$ ——标准贯入试验锤击数；
- $N_0$ ——液化判别标准贯入锤击数基准值；
- $R_c$ ——岩石饱和单轴抗压强度；
- $V_p$ ——压缩波波速；
- $V_s$ ——剪切波波速；
- $\gamma$ ——重力密度(重度)；
- $\gamma_m$ ——重度加权平均值；
- $\gamma_s$ ——统计修正系数；
- $\sigma_r$ ——剩余标准差；
- $\phi$ ——内摩擦角；
- $\phi'$ ——有效内摩擦角；
- $\delta$ ——变异系数。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 核电厂岩土工程勘察应按照各勘察阶段的要求,查明厂址区的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质作用与地质灾害等岩土工程条件,提供岩土参数,对场地和地基的适宜性以及边坡稳定性作出评价。

**3.1.2** 核电厂岩土工程勘察,应在踏勘调查的基础上,制定勘察技术方案、编制勘察工作大纲,综合采用各种勘察方法手段进行勘察。

**3.1.3** 核电厂建筑场地可分为核岛地段、常规岛地段、水工构筑物地段、附属建筑地段,并应按各地段的建(构)筑物特点进行岩土工程勘察。

**3.1.4** 核岛及其他核安全相关建(构)筑物场地各阶段勘察均应有实物工作量。

**3.1.5** 岩土工程分析应贯穿于岩土工程勘察的全过程。岩土工程勘察报告应在岩土工程分析的基础上,按不同勘察阶段的要求,分别对厂址方案、地基基础方案以及设计、施工需要的岩土参数等作出分析、论证及建议。

**3.1.6** 对岩土工程条件复杂的场地应针对具体问题进行专门勘察,并提出原位测试或原体试验、施工检测、工程监测等专项方案和建议。专门勘察可不受勘察阶段的限制。

**3.1.7** 宜根据核岛等主要建(构)筑物地基的剪切波速值、地基承载力特征值对厂址进行分类,厂址分类宜符合表 3.1.7 的规定。

表 3.1.7 厂址分类

| 厂址类别 |                | 剪切波速 $V_s$ 、岩土地基承载力特征值 $f_{ak}$                                                     |
|------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ⅰ类厂址 |                | $V_s \geq 1100\text{m/s}, f_{ak} \geq 1\text{MPa}$                                  |
| Ⅱ类厂址 | Ⅱ <sub>1</sub> | $1100\text{m/s} > V_s \geq 700\text{m/s}, 1\text{MPa} > f_{ak} \geq 0.5\text{MPa}$  |
|      | Ⅱ <sub>2</sub> | $700\text{m/s} > V_s \geq 300\text{m/s}, 0.5\text{MPa} > f_{ak} \geq 0.3\text{MPa}$ |
| Ⅲ类厂址 |                | $V_s < 300\text{m/s}, f_{ak} < 0.3\text{MPa}$                                       |

3.1.8 核电厂岩土工程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。与核安全有关的和重要的常规岛建筑物地段的钻孔岩芯应长期保留。

3.1.9 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 12 章的规定封孔回填到设计厂坪标高。

### 3.2 岩土工程勘察等级

3.2.1 核电厂岩土工程勘察等级可由工程等级、场地复杂程度等级综合确定。

3.2.2 核电厂整体工程等级应为一级,核电厂各类建(构)筑物工程等级应按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 核电厂各类建(构)筑物工程等级

| 工程等级 | 破坏后果 | 代表性建(构)筑物                                                                                                                                                              |
|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一级   | 很严重  | 与核安全相关建(构)筑物,主要有核岛,包括核反应堆厂房(安全壳与有关的贯穿、连接建(构)筑物)、核辅助厂房、电气厂房(主控制室与相关建筑物)、核燃料厂房及换料水池等;安全厂用水泵房及有关取水构筑物、安全水源有关构筑物(包括安全水库、储水池、引水渠道或隧洞等)、防洪堤等。<br>常规建(构)筑物主要有常规岛、冷却塔、屋内配电装置楼等 |
| 二级   | 严重   | 除一、三级以外的其他辅助生产及附属建(构)筑物                                                                                                                                                |
| 三级   | 不严重  | 材料库、汽车库、厂区围墙及临时建筑等                                                                                                                                                     |

注:表中与核安全相关建(构)筑物按一般情况下列出,不同的堆型及机组类型对与核安全相关建(构)筑物有不同的规定,勘察时可按设计要求确定。

### 3.2.3 核电厂建筑场地的复杂程度可按表 3.2.3 的规定确定。

表 3.2.3 核电厂建筑场地复杂程度分类

| 场地复杂程度类别 | 场 地 条 件                                                                                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 复杂场地     | 地形起伏大,存在高度大于 100m 的人工边坡;地质构造复杂,厂区有多条断层通过;不良地质作用发育;岩土类型多,岩土性质变化大;核岛地段地基剪切波速小于 700m/s;水文地质条件复杂;50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度不小于 0.15g,SL-2 高值大于 0.30g                 |
| 中等复杂场地   | 地形起伏较大,存在高度 50m~100m 的人工边坡;地质构造较复杂,厂区有断层通过;局部有不良地质作用发育;岩土类型较多,岩土性质变化较大;核岛地段地基剪切波速 700m/s~1100m/s;水文地质条件较复杂;50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度大于或等于 0.10g,SL-2 高值大于 0.20g |
| 简单场地     | 地形起伏不大,不存在高度超过 50m 的人工边坡;地质构造简单,厂区无断层通过;不良地质作用不发育;岩土类型少,岩土性质变化小;核岛地段地基剪切波速大于 1100m/s;水文地质条件简单;50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度小于 0.10g,SL-2 高值不大于 0.20g                |

### 3.2.4 核电厂岩土工程勘察等级可按表 3.2.4 的规定确定。

表 3.2.4 核电厂岩土工程勘察等级

| 勘察等级 | 划 分 条 件                |
|------|------------------------|
| 甲级   | 工程等级为一级,或工程等级为二级且为复杂场地 |
| 乙级   | 除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目     |
| 丙级   | 工程等级为三级                |

### 3.3 勘察阶段划分和各勘察阶段主要任务

3.3.1 核电厂岩土工程勘察应按照我国基本建设程序分阶段进行,勘察阶段的划分应与核电厂的设计阶段相适应。按照设计要求,宜分为下列勘察阶段:

- 1 初步可行性研究阶段勘察(以下简称初可研勘察);
- 2 可行性研究阶段勘察(以下简称可研勘察);
- 3 初步设计和施工图设计阶段勘察(以下简称设计阶段勘察);
- 4 工程建造阶段勘察(以下简称施工勘察)。

3.3.2 初可研勘察前,宜进行厂址普选工作。

3.3.3 各勘察阶段的任务、要求及一般方法可按表 3.3.3 的规定执行:

表 3.3.3 各勘察阶段的任务、要求及一般方法

| 勘察阶段  | 勘察任务                                            | 勘察要求                                                                        | 一般方法                        |
|-------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 初可研勘察 | 比选和初步确定厂址,为编制初步可行性研究报告提供勘察资料                    | 查明各候选厂址区岩土工程条件,给出厂址主要工程地质分层,提供初步的岩土物理力学性质指标,了解预选核岛区及其附近的岩土分布特征,对厂址适宜性进行初步评价 | 以搜集资料、工程地质测绘为主,辅以少量物探、钻探和测试 |
| 可研勘察  | 最终确定厂址,为总平面布置、编制厂址安全分析报告、环境影响评价报告和可行性研究报告提供勘察资料 | 重点对核岛和常规岛进行勘察,进行厂址工程地质分层,提供岩土物理力学性质指标及设计所需的各项岩土参数                           | 以勘探、测试为主,工程地质测绘、物探为辅        |

续表 3.3.3

| 勘察阶段       | 勘察任务                                  | 勘察要求                                        | 一般方法                 |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| 设计阶段<br>勘察 | 为各单项工程的基础设计、编制初步安全分析报告和最终安全分析报告提供勘察资料 | 对核岛、常规岛、附属建筑、水工构筑物、边坡工程分别进行勘察,提供设计所需的各项岩土参数 | 以钻探、测试为主             |
| 施工勘察       | 验证前期勘测成果和设计条件,为编制最终安全分析报告提供勘察资料       | 根据具体项目情况确定                                  | 现场检验、监测、地质编录和必要的补充勘察 |

## 4 初步可行性研究阶段

### 4.1 一般规定

4.1.1 开展初可研勘察工作前,应搜集和取得下列资料:

1 厂址及周边地区地震地质、水文地质、工程地质、地质灾害等有关文献资料及相关图件;

2 压覆矿产、人类活动遗址及有关地下工程资料;

3 比例尺 1:5000~1:25000 地形图;

4 勘察技术任务书,包括拟采用的机组类型、初步的厂坪设计标高、勘察技术要求等资料,并附初步的主厂区布置范围及总平面位置图。

4.1.2 本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测绘、水文地质调查、工程物探、钻探、原位测试和室内试验等工作,并应符合下列要求:

1 应查明地质构造,重点查明是否存在断层,并应对厂址稳定性作出初步分析;

2 应查明地层分布、风化程度、地基参数,并应对核岛等主要建(构)筑物可采用的地基,以及地基稳定性、均匀性进行初步评价;

3 应查明是否存在岩溶、塌陷、地面沉降、崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、采空区、地震液化等不良地质作用和地质灾害,并应对可能影响厂址稳定的不良地质作用和地质灾害作出初步评价;

4 应对岸坡、斜坡及人工高边坡稳定性进行初步分析;

5 应对水文地质条件进行调查,并作初步分析;

6 应评价各候选厂址的适宜性,并进行分析比选。

4.1.3 评价厂址适宜性应考虑下列因素:

1 厂址附近是否存在能动断层,或厂址区存在的其他断层是

否对地基稳定性构成影响；

2 是否存在影响场地稳定的岩溶、塌陷、地面沉降、崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、采空区等不良地质作用与地质灾害；

3 是否存在与地震有关的潜在地震地质灾害，如地震液化、软土震陷等；

4 厂址附近有无有开采价值的矿藏，有无影响地基稳定的人类历史活动、地下工程等；

5 有无满足工程需要的主厂房布置场地和适宜核岛建设的地基条件；

6 厂址所在的水文地质单元特征和厂址周围地下水补给、径流、排泄条件是否有利于核电厂的建设。

4.1.4 应根据岩土工程条件对各候选厂址的适宜性进行评价，对各候选厂址的优缺点进行分析比较，推荐候选厂址顺序，明确存在的问题，提出下一步开展工作的建议。

## 4.2 勘察工作布置原则和技术要求

4.2.1 厂址工程地质测绘与调查应符合下列规定：

1 测绘范围应包括厂址及其周边地区，面积不应小于  $4\text{km}^2$ ，比例尺宜选用  $1:5000\sim 1:10000$ ，具体调查范围应根据厂址周边地质环境确定。

2 测绘内容应包括地形地貌、地层岩性及其平面分布、断层性质及其规模与展布、岩体节理裂隙及统计，以及岩溶、塌陷、滑坡、崩塌、泥石流、火山、永久冻结带、井泉等。

3 调查应采用布线踏勘、点线结合方法，对重要地质现象应追踪定位。对可能的主厂房布置区应提高调查精度，必要时应对覆盖层发育的主厂房区开展井、槽探等调查，以获取更多的地质信息。对重要的地质现象(断层、不良地质作用)应现场手绘。

4 应将测绘范围内获取的重要的地质现象及可能的主厂房布置区内重要地质界线，填绘在比例尺为  $1:5000\sim 1:10000$  的

地形图上。

5 应结合工程地质钻孔和调查资料,至少形成 2 条贯穿厂址并相交的实测工程地质剖面。

4.2.2 厂址工程地质钻探和测试应根据厂址地形地貌和场地复杂程度等地质条件,兼顾初步的主厂房布置,有针对性地布置,并应符合下列规定:

1 每个厂址勘探孔不应少于 5 个,勘探孔宜按十字交叉形布置,间距不宜大于 500m;对岩土工程条件复杂的厂址,勘探孔数量应适当增加;钻孔深度应为预计设计厂坪标高以下 30m~60m;

2 每一主要岩、土层应采取 3 组及以上的试样;

3 勘探孔内应进行标准贯入试验或动力触探,标准贯入试验竖向间距宜为 2m~3m;

4 每个厂址应布置不少于 3 个波速测试孔;

5 每个厂址应布置不少于 3 个声波测试孔;

6 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波速测试等,提供的参数应包括岩石密度、(饱和、干燥)单轴抗压强度、软化系数和压缩波速度等;

7 土工试验项目应包括含水率、密度、土粒比重、界限含水率、颗粒分析、固结试验和抗剪强度试验,提供的参数应包括天然含水量、密度、比重、孔隙比、液限、塑限、液性指数、塑性指数、颗粒级配、黏粒含量、压缩系数、压缩模量、黏聚力和内摩擦角等。

4.2.3 本阶段应根据场地岩土工程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,判断场地是否存在可能的隐伏构造、破碎带、软弱带等。

4.2.4 在河岸、海岸及山丘边坡地区,应对岸坡和边坡的稳定性进行调查,并应作出初步分析和评价。

4.2.5 本阶段水文地质调查应符合本规范第 11 章的有关规定。

4.2.6 当发现存在可能影响厂址适宜性的特殊工程地质现象时,宜进行专门研究。

### **4.3 厂址普选工作**

**4.3.1** 厂址普选工作应搜集、分析、研究已有地质资料,在图上确定可能厂址,进行厂址踏勘调查;必要时可对部分厂址开展针对性的工程地质调查工作。

**4.3.2** 厂址普选报告应对可能影响厂址稳定的不良地质作用和地质灾害,以及可能通过厂址区的断裂进行分析,对厂址的场地稳定性、地基条件等应作出初步评价,分析可能的颠覆性因素,并应提出有关工程地质、水文地质条件方面厂址适宜性的意见。

## 5 可行性研究阶段

### 5.1 一般规定

5.1.1 开展可研勘察工作前,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资料;
- 3 比例尺 1:1000 或 1:2000 的地形图;
- 4 岩土工程勘察技术任务书。

5.1.2 可行性研究阶段勘察应在搜集已有地质资料的基础上,进行工程地质测绘、水文地质调查、工程物探、钻探、原位测试和室内试验等工作,并应符合下列要求:

- 1 应查明厂区的地形地貌、地质构造特征,重点查明断裂的规模及展布;
- 2 应查明厂区范围内地层的成因、时代、分布和风化特征,提供初步的静态和动态物理力学参数;
- 3 应查明不良地质作用和地质灾害对场地稳定性的影响,对河岸、海岸、边坡的稳定性作出初步评价;
- 4 应判断抗震设计场地类别,划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险地段,初步判定场地地震液化的可能性;
- 5 应查明水文地质基本条件和环境水文地质基本特征。

5.1.3 可行性研究阶段厂址适宜性评价考虑的因素应符合本规范第 4.1.3 条的规定。

### 5.2 勘察工作布置原则和技术要求

5.2.1 工程地质测绘应符合下列规定:

- 1 测绘范围应为厂址及其周边地区,面积不应小于  $2\text{km}^2$ ,比

例尺宜选用 1 : 1000~1 : 2000;

2 测绘内容应包括:地形地貌、地层岩性及分布、断层性质及规模、岩体节理裂隙及统计,以及岩溶、塌陷、地面沉降、崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、采空区、地震液化等不良地质作用与地质灾害;

3 应采用布线踏勘、点线结合方法,对重要地质现象追踪定位,必要时应对覆盖层发育的主厂区布置探槽或探井;

4 重要的地质现象应进行现场素描;

5 重要的地质现象和地质界线应现场直接勾绘在地形图上;

6 宜形成至少 3 条贯穿主厂区、相交的实测工程地质剖面,每个核岛不应少于 1 条剖面。

5.2.2 工程地质钻探和测试工作应根据厂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厂址,勘探孔数量应适当增加。控制性勘探孔应按建(构)筑的位置结合地质条件布置,数量宜为勘探孔总数的  $1/3 \sim 1/2$ 。

2 核岛和常规岛中轴线应布置勘探线,勘探孔间距应适当加密,并应满足主体工程布置的要求。

3 核岛区控制性勘探孔应进入基础底面以下 1.5 倍~2.0 倍反应堆厂房直径;核岛区一般性勘探孔,当基岩面埋深较浅时应进入基础底面以下中等风化或微风化岩体不小于 10m,当基岩埋深较深时应进入压缩层底面以下不小于 10m。

4 常规岛区的勘探孔,当基岩面埋深较浅时应进入基础底面以下中等风化或微风化岩体不小于 10m,当基岩面埋深较深时应进入压缩层底面以下不小于 10m。

5 水工构筑物勘探孔深度应按照本规范第 8 章确定。

6 每一主要岩土层均应采取不少于 6 组试样。

7 岩土室内试验除应符合本规范第 4.2.2 条的规定外,还应

包括岩石单轴压缩变形试验和土的渗透试验,应提供岩石弹性模量、剪切模量、泊松比以及土的渗透系数等。

8 水样应结合水文地质调查采取,每个水文地质单元不应少于 2 组,应进行水质分析,判定对建筑材料的腐蚀性。

9 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。

**5.2.3 可行性研究阶段原位测试应符合下列要求:**

1 核岛区应布置单孔波速测试孔,可布置跨孔波速测试,测定岩土层的剪切波速和压缩波速,计算动态力学参数;

2 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;

3 应根据地层条件布置标准贯入、动力触探、静力触探、旁压试验、十字板剪切试验或扁铲侧胀试验等,宜根据场地情况布置载荷试验。

**5.2.4 可行性研究阶段,每个核岛和常规岛控制性勘探孔不应少于 1 个;每个核岛区至少应有 1 个单孔波速测试孔。**

**5.2.5 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,应查明基岩和覆盖层的组成、厚度和工程特性;应查明基岩埋深、风化特征、风化层厚度;应查明隐伏岩体的构造特征、软弱带和洞穴的分布;应查明水下地层分布和基岩面起伏变化情况。工程物探工作布置宜符合下列要求:**

1 宜采用多种物探方法进行综合探测;

2 探测线宜垂直地层和构造线的走向布置,工程物探测线宜与地质剖面线重合;

3 每个核岛宜布置纵、横两个方向的物探测线。

**5.2.6 可行性研究阶段水文地质调查应符合本规范第 11 章的有关规定。**

**5.2.7 可行性研究阶段应根据需要,进行边坡和天然建筑材料的勘察。具体要求应按本规范第 9 章、第 10 章的规定执行。**

## 6 初步设计和施工图设计阶段

### 6.1 一般规定

6.1.1 本阶段应包括初步设计勘察和施工图设计勘察。核岛、常规岛等主要建(构)筑物初步设计勘察和施工图设计勘察可合并进行,称为详细勘察,应同时满足初步设计和施工图设计的技术要求;其他建(构)筑物的勘察根据设计阶段可分别进行勘察。

6.1.2 本阶段勘察可分核岛、常规岛、水工构筑物 and 附属建筑四个地段进行,勘察工作应针对具体建(构)筑物进行布置。

6.1.3 勘察前应具备下列资料:

- 1 具有坐标系统和地形等高线的厂区建筑物总平面布置图;
- 2 岩土工程勘察技术任务书;
- 3 主要建(构)筑物结构特点、荷载组合特点、基础形式及布置、基础埋置深度;
- 4 前期工程岩土工程勘察资料。

6.1.4 本阶段勘察应依据前期岩土工程勘察资料、设计方案和设计技术要求进行,并应符合下列要求:

- 1 应进一步查明勘察区内断层分布、性质及其对场地稳定性的影响,提出治理方案的建议;
- 2 应查明对建筑物有影响的不良地质作用和地质灾害,作出详细评价,并提出治理方案的建议;
- 3 应查明各建筑地段的岩土成因、类别、分布,并提供岩土物理力学参数;
- 4 应查明各建筑地段的水文地质条件;
- 5 应提出各建(构)筑物地基基础的建议,必要时应提出地基处理方案;

6 应对与设计 and 施工有关的问题作出评价与建议。

6.1.5 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,并应提出监控和预防措施的建议;应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。

## 6.2 勘察工作布置原则和技术要求

6.2.1 本阶段应根据各类建筑物的重要性的和场地地基的复杂程度确定勘探和测试内容,并应按不同建筑地段实施勘察和进行岩土工程评价。

6.2.2 工程地质测绘工作应充分搜集前期已完成的工程地质测绘成果资料,宜根据现场地质条件的复杂程度补充适量的调查工作,布置适量的探井、探槽,应查明建筑场地的重点工程地质问题。

6.2.3 核岛地段勘察应满足设计和施工的需要,钻孔布置、数量、深度及原位测试工作应符合下列规定:

1 反应堆厂房的钻孔数量不应少于 5 个,应布置在反应堆厂房周边和中部;当场地岩土工程条件较复杂时,可沿十字交叉线加密或扩大范围。勘探点间距宜为 10m~30m。

2 钻孔数量应能控制核岛地段地层岩性分布,并应满足原位测试的要求。每个核岛钻孔总数不应少于 10 个,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 控制性钻孔深度应达到基础底面以下 1.5 倍~2.0 倍反应堆厂房直径,一般性钻孔深度应进入基础底面以下中等风化或微风化岩体 10m,非岩石地基和极软岩、软岩地基一般性钻孔应进入压缩层底面以下不少于 10m,并应满足建立土体模型所需的深度。

4 当反应堆厂房为非岩石地基和极软岩、软岩地基时,应进行载荷试验和旁压试验,试验数量应满足统计要求,每个反应堆厂

房不应少于 1 个载荷试验点和 2 个旁压试验孔,旁压试验的测试深度为基础底面以下 1.0 倍~1.5 倍反应堆厂房直径。

5 每个核岛地段应布置 1 孔~3 孔进行单孔波速测试,测试深度不应小于基础底面以下 10m。

6 每个核岛地段应布置 2 孔~4 孔进行声波测井,测试深度不应小于基础底面以下 10m。

7 每个核岛地段宜测定电阻率参数。

6.2.4 设计阶段勘察应在反应堆厂房位置进行跨孔法波速测试,每个反应堆厂房测试组数不应少于 1 组,测试深度应达到控制性钻孔深度。

6.2.5 常规岛地段勘察应满足设计和施工要求,钻孔布置、数量、深度及原位测试应符合下列规定:

1 钻孔应沿建筑物轮廓线、轴线或主要柱列线布置。钻孔间距和数量应考虑场地岩土条件复杂程度和建筑物的重要性,每个常规岛钻孔总数不应少于 10 个,钻孔间距宜为 30m~50m。其中控制性钻孔不宜少于钻孔总数的 1/3,取样与原位测试孔数量不应少于钻孔总数的 1/2。

2 对岩质地基,控制性钻孔深度应进入基础底面以下中等风化或微风化岩体不少于 3m,一般性钻孔深度应进入基础底面以下中等风化或微风化岩体 1m~2m;对非岩石地基,控制性钻孔应进入压缩层底面以下不少于 10m,一般性钻孔应进入压缩层底面以下 3m~5m。

3 每个常规岛应布置不少于 1 组单孔波速测试,测试深度应达到控制性钻孔深度。

4 每个常规岛应测定电阻率参数。

5 应根据设计需要选择合适的方法在汽轮机厂房基底处测定地基刚度系数、阻尼比和参振质量等。

6.2.6 水工建(构)筑物的勘察应符合本规范第 8 章的规定。

6.2.7 附属建筑地段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规定执行。每个与核安全有关的建筑物不应少于 1 个控制性钻孔,钻孔深度应达到基础底面以下中等风化基岩或剪切波速大于 700m/s 的地层 3m,并应进行单孔波速测试。

**6.2.8** 当发现需要查明的地质问题或建筑物平面位置有变化时,应进行适量的补充勘察工作,并应符合本规范第 6.2.3 条~第 6.2.7 条的规定。

**6.2.9** 岩土试样可利用钻孔、探井、探槽采取,并符合下列规定:

- 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、运输应按现行行业标准《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。

**6.2.10** 本阶段勘察的原位测试工作,除应符合本规范第 6.2.3 条~第 6.2.7 条的规定外,尚应根据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。

**6.2.11** 水文地质工作应符合下列规定:

- 1 应量测孔内地下水水位;
- 2 应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,测求岩土体的渗透性参数,压水试验在每个核岛不应少于 2 个钻孔;
- 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。

**6.2.12** 岩土室内试验项目可根据场地岩土类型和建(构)筑物的

重要性按表 6.2.12 选用。核岛和其他核安全相关建筑物,除了进行岩土常规物理力学试验外,尚应测定岩土的动弹性模量、动泊松比、动剪切模量、阻尼比等指标。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,动力试验的数据不应少于 3 个。

表 6.2.12 岩土室内试验项目

| 岩土类型<br>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        | —   | +   | —   | —  | —  | —   |
| 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         | +   | +   | —   | —  | —  | —   |
| 阻尼比测试        | +   | +   | —   | —  | —  | —   |
| 动三轴/动单剪/共振柱  | —   | +   | +   | +  | +  | +   |

注:1 “√”表示应做试验项目;

2 “+”表示根据实际情况确定的试验项目;

3 “—”表示不需要做的试验项目。

## 7 工程建造阶段

### 7.1 一般规定

7.1.1 本阶段勘察应对前期岩土工程勘察、设计与施工成果现场检验,应进行工程建设开始后的现场监测,并应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。

7.1.2 在本阶段勘察前,应取得下列资料 and 文件:

- 1 技术任务书;
- 2 已有勘察成果;
- 3 带坐标位置的建(构)筑物总平面布置图;
- 4 岩土工程设计文件。

### 7.2 勘察工作技术要求

7.2.1 应对核岛、常规岛、安全厂用水泵房、安全厂用水管廊基坑、安全厂用水取排水隧洞、核安全相关边坡和大型常规人工边坡等进行地质编录;宜对主厂区正挖地坪进行地质编录;应对其他建(构)筑物基坑进行验槽。

7.2.2 主厂区正挖地坪编录比例尺宜采用 1:500~1:1000;基坑负挖地质编录比例尺宜采用 1:100~1:200。

7.2.3 地质编录应以直观观测为主,需要时可采用回弹仪、点荷载试验、轻型动力触探等简易仪器与方法作为补充。地质编录应符合下列要求:

- 1 应对施工揭露的地层岩性、岩体风化程度、地质构造、岩体结构面、地下水状况进行编录,必要时拍摄照片或录像;
- 2 施工揭露的地质条件应与前期勘察成果相对比,确认设计条件;

3 应依据编录结果,进一步评价地基、基坑边坡、隧洞、人工边坡的稳定性;

4 应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。

7.2.4 基坑验槽应以直观观测为主,对非岩石地基可采用轻型动力触探或其他简易机具进行检验。验槽应包括下列内容:

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,确认设计条件;

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。

7.2.5 核安全有关的建(构)筑物,在建造期间应进行监测,常规建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。建(构)筑物的监测应包括下列内容:

1 基坑工程监测内容可包括支护结构应力应变、坑壁变形、基坑周边的地面变形、对邻近工程和地下设施的影响、地下水位、地下水渗漏、深基坑开挖引起的基底回弹或隆起监测等;

2 建筑物变形监测应包括沉降、水平位移、倾斜的监测;

3 边坡监测应符合本规范第 10 章的有关规定;

4 隧洞监测内容可包括洞壁的应力应变、支护结构的应力应变、地下水情况、对邻近工程和地下设施的影响监测等;

5 堤、坝的变形监测应包括沉降和水平位移监测。

7.2.6 大面积填方工程应进行监测,监测内容宜包括施工过程中的土体变形、孔隙水压力监测和地面沉降的长期观测。

7.2.7 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 的有关规定。

## 8 水工构筑物

### 8.1 一般规定

8.1.1 核电厂水工构筑物勘察宜按可行性研究阶段勘察、初步设计阶段勘察、施工图设计阶段勘察和工程建造阶段勘察进行。各勘察阶段的工作内容和深度,应与设计阶段相适应,水工构筑物工程建造阶段勘察要求应符合本规范第7章的有关规定。

8.1.2 勘察工作内容、方法和工作量应根据下列因素确定:

1 建(构)筑物安全等级、工程规模及结构特点等,应重点考虑水工构筑物与核安全的相关性;

2 场地岩土工程条件的复杂程度及研究程度;

3 工程设计和施工的要求;

4 当地类似的工程建设经验。

8.1.3 核电厂水工构筑物应根据与核安全的相关性,划分为核安全相关水工构筑物和常规水工构筑物。

8.1.4 核安全相关水工构筑物勘察除应符合本规范第8.2节~第8.7节相应条款外,尚应符合下列规定:

1 勘探点间距应取本规范第8.2节~第8.7节中相应规定的较小值,勘探孔深度应取较大值。

2 施工图设计阶段勘察应进行单孔波速测试,必要时可布置跨孔法测试。应至少有1个波速测试孔进入中等风化基岩或剪切波速大于700m/s的地层3m。

3 对土质地基应通过室内试验提供土的动力学参数。

4 岩石室内试验应提供静态和动态参数。

## 8.2 泵 房

### 8.2.1 泵房勘察应着重研究下列问题：

1 对岸边泵房应搜集岸坡形态、冲淤及变化情况、最高及最低水位、地表水与地下水的补排关系、水的运动对岸坡稳定性的影响等资料，应分析评价基坑开挖对岸坡稳定性的影响。

2 应提供基坑设计和施工所需的岩土参数、抗浮水位，应分析评价基坑开挖边坡的稳定性，并应提出基坑开挖坡角建议值或边坡支护设计方案建议和基坑开挖控水（排水、隔水、降水、截水）措施的建议。

### 8.2.2 泵房勘察应符合下列规定：

1 应充分搜集利用厂址区已有资料，进行工程地质调查、测绘、工程物探等工作，进一步查明对泵房可能有影响的地质构造、不良地质作用。

2 可行性研究阶段勘察宜与厂址区勘察同步进行，厂址区可行性研究阶段勘察应兼顾泵房区域，对于核安全相关泵房不应少于1个钻孔，钻孔深度应进入中等风化或微风化岩体或压缩层底面以下5m~10m。

3 初步设计阶段勘察勘探点的布置应根据场地工程地质条件复杂程度和建筑物的规模综合确定，每个泵房宜布置1个~3个钻孔。岩石地基勘探孔深度应进入基底以下中等风化或微风化岩体5m~10m。非岩石地基勘探孔深度应进入压缩层底面以下不小于10m，预计深度内遇基岩应进入中等风化或微风化岩体不小于3m。

4 施工图设计阶段勘察勘探孔应沿建筑物周边和轴线布置，并应考虑基坑开挖边坡或支护设计的需要，勘察范围宜扩大至开挖边界以外。勘探点间距宜为25m~50m，遇地质条件复杂、地层变化较大时宜加密勘探点。岩石地基控制性钻孔深度应进入基底标高以下中等风化或微风化岩体5m~10m，一般性钻孔深度应进

入基底标高以下中等风化或微风化岩体 3m~5m;非岩石地基控制性勘探孔深度应进入压缩层底面以下不小于 10m,一般性钻孔应进入压缩层底面以下 3m~5m;若有岸坡滑动时,所有钻孔均应进入最深滑动面以下 3m~5m;控制性钻孔不应少于钻孔总数的 1/3。

5 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,计算岩土的动力弹性模量、动剪切模量、动泊松比。

6 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。

7 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。

8 勘探深度范围内的每一主要地层,均应采取试样进行室内试验或者进行原位测试,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。

### 8.3 冷却塔

8.3.1 冷却塔的勘察应着重查明塔基础下岩土的物理力学性质、地基的均匀性和漏水对地基岩土性质的影响,并应推荐地基基础方案。

8.3.2 冷却塔勘察应符合下列规定:

1 应充分搜集利用厂址区已有资料,补充必要的工程地质调查和测绘,进一步查明可能对冷却塔有影响的地质构造、不良地质作用。

2 可行性研究阶段勘察宜与厂址区勘察同步进行,每个冷却塔位置不宜少于 1 个钻孔,钻孔深度应进入基底以下 30m~40m,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。

3 初步设计阶段勘察勘探点应沿环形基础和冷却塔内部呈网格状布置,冷却塔中心应布置勘探点。勘探点间距应根据场地

工程地质条件复杂程度确定,宜为 50m~100m。勘探孔深度应进入基底以下 30m~40m,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。

4 施工图设计阶段勘察对于拟采用天然地基的勘察场地,勘探点应沿环形基础和内部构筑物柱网布置,勘探点间距宜为 25m~50m,勘探孔深度应进入基底以下 30m~40m,并应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。

5 宜布置波速测试孔,测求各岩土层的纵、横波速度,划分场地类别,计算岩土的动力弹性模量、动剪切模量、动泊松比。

6 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,应划分基岩风化程度等级。

7 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。

8 勘探深度范围内的每一主要地层,均应采取试样进行室内试验或者进行原位测试,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。

## 8.4 堤 和 坝

8.4.1 堤和坝的勘察应包括下列内容:

- 1 应查明岸边和水底地貌形态;
- 2 应查明滑坡、崩塌、冲刷、潜蚀、淤积等不良地质作用的分布规律,评价不良地质作用对工程建设的影响;
- 3 应查明特殊性岩土分布和工程性质,评价特殊性岩土对工程建设的影响;
- 4 应提供基础设计、地基处理所需的岩土参数,提出地基处理方案的建议。

#### 8.4.2 堤和坝的勘察应符合下列规定:

1 宜通过搜集资料或工程地质调查与测绘、水上工程物探,查明陆域和水域地形地貌、地质结构特征、不良地质作用的分布等。

2 可行性研究阶段勘察应结合水下地形布置勘探孔,并应考虑河岸、海岸类型和最大冲刷深度。宜垂直河床或海岸布置勘探线,勘探点间距宜为 200m~400m,勘探孔深度应进入地面以下 40m,且应进入坚硬的土层或密实的碎石土层 3m~5m,预计深度内遇基岩应进入基岩 2m~3m。

3 初步设计阶段勘察宜平行于堤、坝轴线布置 1 条~3 条勘探线,勘探点间距宜为 100m~200m,地质条件复杂时应加密。控制性钻孔深度应进入地面以下 40m,一般性钻孔深度应进入地面以下 30m。预计深度内遇基岩应进入基岩 2m~3m;遇坚硬的土层或密实的碎石土层,可根据实际情况减少孔深;遇软弱土层应视情况加深或钻穿软弱土层。控制性钻孔不应少于钻孔总数的 1/3。取原状土样孔不应少于钻孔总数的 1/3,其余勘探孔为原位测试孔。

4 施工图设计阶段勘察勘探线应平行于堤、坝轴线布置,主勘探线应布置在堤、坝中心线,主勘探线两侧宜各布置一条辅助勘探线,主勘探线上勘探点间距宜为 30m~100m,辅助勘探线上勘探点间距宜为 60m~200m,工程地质条件复杂时应适当加密勘探点。主勘探线和辅助勘探线上的钻孔应能形成横断面。控制性钻孔深度应满足稳定性和变形验算的要求,或进入基岩不小于 3m,一般性勘探孔深度应穿过主要受力层,进入稳定硬土层 2m~3m。控制性钻孔不应少于钻孔总数的 1/3,取样和原位测试孔不宜少于钻孔总数的 2/3。对于软土宜采用十字板剪切试验测定土的不排水抗剪强度和灵敏度。

### 8.5 隧 洞

#### 8.5.1 可行性研究阶段勘察应通过搜集区域地质资料,现场踏勘

和调查,了解拟选方案沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件和环境条件,并应作出可行性评价,选择合适的洞址和洞口,且应根据工程需要布置勘探工作量。

**8.5.2** 初步设计阶段勘察应采用工程地质测绘、工程物探、钻探、原位测试及室内试验等勘察手段,初步查明隧洞沿线工程地质条件和水文地质条件。隧洞初步设计阶段勘察应符合下列规定:

- 1 应查明场地地震地质背景;
- 2 应查明隧洞沿线地形、地貌特征;
- 3 应查明隧洞沿线地层岩性、地质构造特征及岩体的风化程度;
- 4 应查明隧洞区地下水的类型、补给、径流、排泄条件,地表水体的分布及地表水体与地下水的关系;
- 5 应查明不良地质作用与地质灾害、特殊性岩土对隧洞的影响;
- 6 应查明地应力分布情况,地温是否异常,是否存在有害气体;
- 7 应提供有关物理力学参数;
- 8 应对隧洞围岩进行分类,分析评价洞体和洞口的稳定性;
- 9 应分析评价隧洞穿越地段的地面建筑物、地下构筑物等已有工程和隧洞的相互影响。

**8.5.3** 初步设计阶段勘察应符合下列规定:

1 工程地质测绘比例尺宜为 1:1000~1:2000,测绘范围宜为隧洞外侧各 50m,对于隧洞进出口及不良地质作用发育地段应根据实际情况确定测绘范围。

2 对于前期资料和勘察过程中发现的隐伏断层、构造破碎带、溶洞等宜采用浅层地震剖面法或其他有效物探方法进行查明。

3 勘探孔宜布置在隧洞外侧 3m~5m 处,对于水下隧洞宜布置在隧洞外侧 6m~8m 的位置。勘探孔布置应根据场地地质条件确定,间距宜为 100m~300m,且数量不宜少于 3 个,在洞口

位置和洞身不同地貌、不同地质单元处均应有勘探孔控制。取样孔和原位测试孔数量不应少于勘探孔总数的  $2/3$ ；进出口存在高边坡时，应按本规范第 10 章的有关规定执行。

4 土质隧洞钻孔应进入设计洞底标高以下  $10\text{m}\sim 20\text{m}$ ，预定深度内遇基岩或稳定分布的硬土层孔深可适当减小；岩质隧洞钻孔应进入设计洞底标高以下中等风化或微风化岩层  $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 。

5 勘探揭露的每一主要地层均应取样，当有地下水时应采取水样；当存在有害气体时应测试有害气体成分和含量；当地温异常时应测定地温；对于高应力区应测定地应力。

6 宜进行波速测试。

7 对岩质隧洞宜进行声波测井。

8 对于土质隧洞和全风化、强风化岩石应根据岩土层的性状选用适当的原位测试方法，测试岩土体的物理力学指标。

9 钻孔应进行水位观测和水文地质参数测试，宜测定含水层的孔隙水压力。

8.5.4 施工图设计阶段勘察应包括下列内容：

1 应进一步查明隧洞沿线地形、地貌特征。

2 应查明隧洞沿线地层岩性及地质构造特征。对于岩质隧洞应着重查明岩体的风化程度，破碎带、软弱夹层的位置、规模、产状和力学性质，结构面特征及结构面与隧洞的组合关系；对于土质隧洞应着重查明特殊性岩土分布及工程性质。

3 应查明隧洞区地下水的类型、水位、补给、径流、排泄条件，地表水体的分布及地表水与地下水的关系。预测开挖期间出水状态、涌水量，评价地下水对建筑材料的腐蚀性。

4 应查明不良地质作用与地质灾害的类型、性质、分布，分析评价不良地质作用与地质灾害对隧洞的影响，并提出防治措施的建议。

5 对于深埋及高地应力地区的隧洞，坚硬、致密、性脆岩体应预测岩爆的可能性，较软岩应预测塑性变形的可能性。

6 应分段进行隧洞围岩工程地质分类,确定各类围岩的物理力学参数,评价洞口和洞体的稳定性,提出隧洞开挖方式、围岩支护及排水措施等建议。

7 应查明隧洞位置及邻近地段的地面建筑和地下构筑物及管线情况,预测隧洞开挖可能产生的影响,并提出防护措施建议。

8 当需要采用掘进机开挖隧洞时应查明岩石的抗磨性,在含有大量石英或其他坚硬矿物的地层中应查明其含量。

9 采用盾构法施工隧洞应重点查明卵砾石地层、高灵敏度软土、松散砂层、承压水含水层、软硬混合地层及地层中障碍物的分布情况,并评价其对盾构施工的影响。

#### 8.5.5 施工图设计阶段勘察应符合下列规定:

1 本阶段的工程地质测绘工作应进一步查明隧洞进出口部位的工程地质条件、隧洞沿线不良地质作用的发育情况。

2 对于前期资料和勘察过程中发现的隐伏断层、构造破碎带、溶洞等应采用钻探与工程物探方法进一步查明。

3 勘探孔宜布置在隧洞外侧 3m~5m 处,对于水下隧洞宜布置在隧洞外侧 6m~8m 处。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,岩石隧洞、工程地质条件简单、洞顶埋深较大的隧洞可取较大值,土质隧洞、浅埋隧洞宜取较小值;隧洞进出口处、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钻孔控制,工程地质条件复杂地段宜加密勘探孔;进出口存在高边坡时,应按本规范第 10 章的有关规定执行。

4 勘探孔深度可按本规范第 8.5.3 条的规定执行。

5 采取试样和进行原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/2,原位测试及水文地质试验的要求应符合本规范第 8.5.3 条的有关规定。

8.5.6 工程建造阶段应在隧洞开挖或导洞开挖过程中进行地质编录,并应结合监测成果,检查验证前期勘察的地质资料和结论,

应对可能出现的地质问题进行预报,当发现与勘察资料有较大出入时应及时修正围岩工程地质分类,并应提出修改设计和施工方案的建议。水下隧洞宜采用超前勘探验证前期资料,预报前方地质情况。

## 8.6 管 道

### 8.6.1 管道勘察应着重查明下列内容:

1 管道沿线地形地貌、地质构造特征,不良地质作用和特殊性岩土分布范围及对管道工程的影响;

2 管道穿越或跨越铁路、公路、河谷、沟渠地段的岩土工程条件,管道穿越河谷的地段尚应对河床、岸坡的稳定性进行评价;

3 环境水和土对管道材料的腐蚀性;

4 存在饱和砂土、粉土的场地应进行液化判别;

5 当采用非开挖工法时,除应查明岩土工程条件外,尚应分析评价施工可能产生的地面沉降及对地上和地下建(构)筑物的影响;

6 必要时进行土壤电阻率测定。

### 8.6.2 管道勘察应符合下列规定:

1 工程地质调查和测绘宜在初步设计阶段进行,范围宜为管道两侧各 50m,测绘比例尺宜为 1:1000~1:2000;施工图设计阶段宜针对前期工作遗留的工程地质问题、不良地质作用发育地段和管道穿、跨越地段进行必要的补充调查测绘工作。

2 初步设计阶段勘察宜根据地形地貌、工程地质分区布置勘探工作量,不同地貌单元、不同地质单元应有勘探孔控制,对可能采用穿越或跨越的地段宜布置勘探孔,取样和原位测试孔不宜少于勘探孔总数的 2/3。勘探孔深度应进入管道或支墩底标高以下 5m~10m,遇软弱地层应适当加深;管道穿越河谷地段勘探孔深度应达到河床最大冲刷深度以下 5m。

3 施工图设计阶段勘察勘探孔应沿管道中线布置,勘探孔间

距应视地质条件复杂程度和工程的重要性确定,沿线勘探孔间距宜为 50m~200m,在每个地貌单元及交界处、管道转角处均应布置勘探孔;每个穿越或跨越地段不宜少于 2 个勘探孔,管道穿越河谷地段勘探孔数量不应少于 3 个。取样和原位测试孔不宜少于勘探孔总数的 1/2。勘探孔深度应进入管道或支墩底标高以下不小于 5m,预计深度内遇软弱地层应适当加深,遇基岩时可适当减小孔深。

4 勘探孔宜选择钻探和静力触探试验相结合的方法。

5 对于水文地质条件复杂、地下水位高出管道底标高的场地,或需要降低地下水位施工时,应进行水文地质测试,提供岩土体的水文地质参数。

6 应对地下水和土体进行腐蚀性测试,判断地下水和土对管道的腐蚀性。

## 8.7 取水头部和闸门井

8.7.1 取水头部和闸门井勘察应重点查明岸坡形态、冲淤及变化情况、最高及最低水位、地表水与地下水的补排关系、水的运动对岸坡稳定性的影响、岸边滑坡及崩塌对岸坡稳定性和场地稳定性的影响。

8.7.2 取水头部和闸门井勘察工作应符合下列规定:

1 初步设计阶段宜开展工程地质调查和测绘,重点查明岸滩变迁及水动力地质作用对岸滩变迁的影响、不良地质作用的分布等;

2 初步设计阶段勘察勘探孔应根据场地工程地质条件的复杂程度和构筑物的平面位置进行布置,并宜有垂直于岸线的勘探线,勘探孔间距宜为 50m~100m。勘探孔深度应根据实际地质条件和构筑物特征综合确定,控制性勘探孔深度应钻穿压缩层,一般性勘探孔应达到设计基底标高以下 5m~8m,当预计深度内遇基岩时,控制性勘探孔应进入中等风化或微风化岩体不小于 3m,一

般性勘探孔应进入中等风化或微风化岩石不小于 1m;控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的  $1/2$ 。

3 施工图设计阶段勘察勘探孔应根据建筑物轮廓按周边和中心布置,同时应满足基坑设计、施工和岸坡稳定性评价的需要,勘探孔间距宜为 15m~50m,当遇地质条件复杂时宜加密勘探孔。勘探孔深度应与初步设计阶段勘察勘探孔深度相同。当有岸坡滑动危险时,所有钻孔均应进入最深滑动面以下 3m~5m。控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的  $1/3$ 。当采用桩基时,勘探点的平面布置和深度应满足桩基勘察的有关要求。

4 取样和原位测试孔不宜少于勘探孔总数的  $1/2$ 。对于软土层可选用静力触探试验、旁压试验和十字板剪切试验等原位测试方法,进行分层,测定土的变形、强度等指标。

5 宜采用波速试验测定岩土弹性波传播速度,划分场地类别,计算岩土的动弹性模量、动剪切模量、动泊松比。

## 9 专门岩土工程勘察

### 9.1 断 裂

**9.1.1** 厂址存在断裂时,应进行断裂勘察,查明断裂的位置、规模和性质,分析断裂活动性,评价断裂对工程建设可能产生的影响。

**9.1.2** 初步可行性研究阶段,应通过工程地质测绘、井探、槽探和必要的工程物探、钻探,查明地面出露断裂的位置、规模和性质,根据本阶段的地震地质调查结果,确认断裂的活动性。对于非能动断层,应初步评价断裂对地基的影响。

**9.1.3** 可行性研究阶段,应进行工程地质测绘、井探、槽探、工程物探和必要的钻探,并应查明断裂的位置、规模和性质;对新发现的断裂尚应根据本阶段的地震安全性评价结果,确认断裂的活动性。对可能通过核岛、常规岛和其他与核安全有关的建(构)筑物场地的非能动断层,宜查明断裂的主要工程特性指标,评价断裂对场地和地基的影响,必要时应提出避让的建议。

**9.1.4** 设计阶段应进行钻探、工程物探和必要的井探、槽探,应查明断裂的位置、规模和性质,对新发现的断裂尚应查明活动性。对通过核岛、常规岛和其他与核安全有关的建(构)筑物场地的非能动断层,应采用原位测试、室内试验方法,测定密度、波速、模量、抗剪强度等主要物理力学指标,应评价断裂对场地和地基的影响,并应提出处理方案的建议,场地条件许可时应提出避让的建议。

**9.1.5** 厂坪开挖整平后,对开挖揭露的断裂应进行地质编录,辅以必要的钻探和工程物探,查明断裂的分布、产状、规模、性质、破碎带宽度、围岩特征等,编录比例尺宜为1:100~1:500;对新发现的断裂尚应查明活动性。对通过核岛、常规岛和其他与核安全有关的建

(构)筑物场地的非能动断层,应评价其对场地和地基的影响,并应提出处理方案的建议,场地条件许可时应提出避让的建议。

**9.1.6** 建筑物基坑开挖后,应检查上覆地层中的断裂是否延伸到地基,并应查明是否存在新的断裂。对于新发现的断裂,应查明规模、分布和活动性。对通过核岛、常规岛和其他与核安全有关的建(构)筑物地基的非能动断层,应进行勘察,并应评价断裂对地基的影响、提出处理方案的建议。勘察工作应符合下列规定:

- 1 对开挖揭露的断裂应进行地质编录,编录比例尺宜为1:50~1:200,结合井探、槽探和典型剖面研究,查明断裂的平面分布和产状、断距、断层物质或软弱夹层的性质、结构、胶结状态、风化程度、破碎带宽度、围岩特征等;

- 2 应采用钻探、工程物探等方法查明断裂的空间分布;

- 3 对于具有一定宽度的破碎带,应采用波速测试测定波速,提供动剪切模量、动弹性模量、动泊松比、阻尼比等参数;根据评价需要和破碎带特征,可采用动力触探、载荷试验、现场剪切试验等原位测试方法和密度试验、剪切试验等室内试验方法,提供破碎带的密度、模量、抗剪强度等物理力学指标和承载力;

- 4 必要时,勘察范围应扩大至场地开挖范围之外。

## **9.2 不良地质作用与地质灾害**

**9.2.1** 当厂址及附近存在对工程安全有影响的不良地质作用与地质灾害时,应进行不良地质作用与地质灾害勘察。

**9.2.2** 不良地质作用与地质灾害勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

**9.2.3** 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,初步查明岩溶的发育条件、发育程度,并应对岩溶危害程度和发展趋势作出判断,对场地的稳定性和工程建设的适宜性作出基本评价;

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,预测岩溶发展趋势,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 初步设计和施工图设计阶段勘察应采用以钻探为主的多种勘察方法,进一步查明建筑场地岩溶洞隙、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;

5 建造阶段勘察应针对某一地段或尚待查明的专门问题进行补充勘察。

#### 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,预测滑坡发展趋势,并应提出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,并对滑坡危害程度和发展趋势作出判断,对场地的稳定性和工程建设的适宜性作出基本评价;

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,并应提出防治方案或整治措施的建议;

4 设计阶段勘察应采用勘探、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;

5 当滑坡可能影响与核安全有关的抗震 I、II 类建(构)筑物的安全时,滑坡稳定性评价应符合本规范第 10 章的规定。

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,并应对工程场地适宜性作出评价,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 应查明形成条件、类型、规模、发育阶段、活动规律,应对工程场地适宜性作出评价,并应提出防治方案的建议;

2 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厂址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 不良地质作用的岩土工程勘察报告,除应符合本规范第 13 章的规定外,尚应符合下列要求:

1 应提供不良地质作用的地质背景和形成条件;

2 对于岩溶,应给出洞隙、土洞、塌陷的形态、平面位置和顶底标高;对滑坡,应提供滑坡的形态要素、性质、平面图、剖面图和岩土工程特性指标;对危岩和崩塌,应提供危岩和崩塌区的范围、类型;对泥石流,应划分泥石流类型,阐明形成区、流通区、堆积区的分布和特征,并应提供专门的工程地质图;

3 应分析和评价不良地质作用对场地稳定性、适宜性的影响;

4 应提出不良地质作用防治和监测的建议。

### 9.3 液 化

**9.3.1** 当与核安全有关的建(构)筑物地面下存在饱和砂土和饱和粉土时,应进行地震液化可能性判别,液化判别深度应至地面以下 20m。

**9.3.2** 当与核安全有关的建(构)筑物地面下存在饱和黄土、饱和卵砾石时,液化可能性宜进行专门评估。

**9.3.3** 与核安全有关的建(构)筑物场地饱和砂土和粉土的液化判别可采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的标准贯入试验判别法,液化判别采用的标准贯入锤击数基准值  $N_0$  的取值应符合现行国家标准《核电厂抗震设计规范》GB 50267 的有关规定。

**9.3.4** 其他常规建筑物的地震液化判别,除设计另有要求之外,均应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行。

**9.3.5** 地震液化判别的勘察应符合下列规定:

1 每一建筑地段或单体建筑场地,为判别液化布置的勘探点不应少于 3 个,勘探孔深度应大于液化判别深度。

2 当采用标准贯入试验判别液化时,应按每个试验孔的实测击数进行。在需作判定的土层中,试验点的竖向间距宜为 1.0m~1.5m,每层土的试验点数不宜少于 6 个。

3 当考虑建筑物与地基共同作用判断抗震 I 类建筑物地基液化时,应提供砂土和粉土的抗液化强度指标,并宜提供砂土和粉土的动强度。

**9.3.6** 凡判别为可液化的场地,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定每个钻孔的液化指数和场地液化等级。

**9.3.7** 当与核安全有关的建(构)筑物地基判别为液化时,应对地基采取有效抗液化措施,全部消除液化影响。对其他常规建筑物,应根据建筑物重要程度、地基的液化等级,采取合适的抗液化措施。

## 9.4 天然建筑材料

9.4.1 天然建筑材料勘察应查明各种天然建筑材料的分布、储量、质量、开采和运输条件。

9.4.2 天然建筑材料料场选择应遵循下列原则：

1 应技术上可行、经济上合理，尽可能减少对环境产生的不利影响；

2 应先近后远，先集中后分散，并应注意各种料源的比较；

3 应不占或少占耕地、林地，确需占用时，应保留还田、还林土层；

4 应避免因料场的开挖而影响邻近建筑物的安全和危及岸滩、边坡稳定；

5 宜有较好的开采和运输条件；

6 当核电厂场地施工开挖渣料质量符合要求时，宜优先利用开挖渣料。

9.4.3 天然建筑材料勘察宜划分为普查、初查及详查三个阶段，并宜在核电厂的施工图设计阶段之前完成。

9.4.4 普查阶段的勘察应符合下列要求：

1 勘察工作宜在规划工程场地周边地区进行，并应遵循先近后远的原则；

2 应搜集当地有关天然建筑材料开采和使用情况的资料；

3 应了解勘察范围的地形地貌、地层岩性、周边环境条件；

4 应了解勘察范围内可用的天然建筑材料种类、分布位置、质量，并应估算储量。

9.4.5 初查阶段的勘察应符合下列规定：

1 对砂砾料应初步查明料层的厚度、物质组成及颗粒级配、夹层的分布及性质，地下水位、上覆无用层厚度等；对石料应初步查明地层岩性、矿物及化学成分，夹层分布、风化分带，结构面发育程度及充填物，覆盖层厚度，饱和单轴抗压强度、碱活性等物理、化

学、力学性质；

2 应初步查明各种天然建筑材料的储量和质量，各料场的开采和运输条件；

3 各种天然建筑材料初查储量应达到设计需要量的 2.5 倍～3.0 倍。

#### 9.4.6 详查阶段的勘察应符合下列规定：

1 应查明砂砾料的成因、结构、层次、物质组成、颗粒级配，夹层的空间分布与性质，地下水位，上覆无用层厚度等；

2 应查明石料的岩性、矿物和化学成分、结构特征、夹层的空间分布，风化分带，结构面发育程度及充填物性质，覆盖层厚度，饱和单轴抗压强度、碱活性等物理、化学、力学性质；

3 应查明各种天然建筑材料的储量、质量，各料场的开采、运输条件，并应考虑开采对环境的不利影响；

4 各种天然建筑材料详查储量应达到设计需要量的 1.5 倍～2.0 倍；

5 应评价料场人工边坡的稳定性。

#### 9.4.7 天然建筑材料勘察工作的布置，应符合下列要求：

1 应遵循由面到点，由地面到地下，由近到远的原则，先进行地质调查与测绘，然后再因地制宜地综合利用各种勘探手段；

2 应当根据料场情况、地下水位、岩土特性和勘察阶段，选择钻探或井探等勘探方法；石料宜以洞探、钻探为主，坑探为辅；当采用物探手段时，应根据地形和岩土物性条件选择物探方法；

3 勘探剖面应根据地形地貌和地质条件布置，宜沿岩相和岩性变化大的方向布置，勘探点应先疏后密，逐步增加并形成网格状；

4 取样组数和试验项目应根据天然建筑材料的种类、用途、料场面积、均匀性和勘察阶段等确定。天然建筑材料试验项目应符合本规范附录 A 的规定；

5 料场地形图测量比例尺应根据料场的情况及勘察阶段来

确定,普查阶段宜为 1 : 10000~1 : 5000;初查阶段宜为 1 : 5000~1 : 2000;详查阶段宜为 1 : 2000~1 : 1000。

**9.4.8** 天然建筑材料勘察报告,应阐明各料场的位置、储量、质量、开采和运输条件等内容,并应附必要的图件。

**9.4.9** 天然建筑材料勘察还应符合现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 及《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。

## 10 边坡工程

### 10.1 一般规定

10.1.1 核电厂人工边坡应分为核安全相关边坡和常规边坡。

10.1.2 核安全相关边坡应为边坡坡脚外小于 1.4 倍边坡高度范围,或坡脚外 50m 范围内存在核安全相关建(构)筑物的边坡,及其他可能对核安全相关建(构)筑物安全产生影响的边坡。

10.1.3 常规边坡应为核电厂厂区及周边除核安全相关边坡以外的边坡。其中边坡高度大于 30m 的岩质边坡和高度大于 15m 的土质边坡应为大型常规边坡。

10.1.4 核电厂边坡勘察宜划分为初步勘察、详细勘察和施工勘察三个阶段。

10.1.5 核安全相关边坡和大型常规边坡应进行专门的岩土工程勘察。

### 10.2 边坡勘察内容和方法

10.2.1 边坡初步勘察可与厂区可研勘察合并或同时进行。边坡初步勘察应以搜集资料为主,并应进行工程地质测绘和必要的勘探及测试工作,应初步查明边坡区的地形地貌、边坡岩性和分布特征、地质构造、水文地质条件、不良地质作用特征及分布等,应初步判断边坡的可能破坏模式并评价边坡的稳定性。边坡初步勘察应符合下列规定:

1 应搜集边坡区地质、水文、气象等有关资料;应搜集周边范围自然边坡和已有人工边坡的设计和稳定性情况资料;应搜集边坡附近建(构)筑物布置、结构类型、安全等级等资料;

2 工程地质测绘应包括边坡区和可能对边坡稳定性有影响

的地段,测绘比例尺宜为 1:1000~1:2000,应至少有 2 条垂直于边坡走向的代表性实测工程地质剖面;

3 勘探点宜结合厂址区勘察布置,对于核安全相关边坡或大型常规边坡,坡顶和坡脚均宜布置钻孔,间距应为 100m~200m;应至少有一条垂直边坡走向的勘探剖面,每条勘探剖面上不宜少于 3 个勘探点;坡脚钻孔深度应进入边坡坡脚地形剖面最低点以下不小于 3m,坡顶和坡体钻孔应穿过最深潜在滑动面进入稳定地层不小于 5m;

4 可根据场地条件开展工程物探工作,并应结合钻探,初步查明边坡区的覆盖层厚度、分布,及大型地质构造、地下水分布等;

5 应进行原位测试和室内岩土力学试验,初步提供边坡岩土体及重要结构面的物理力学参数;

6 对于核安全相关边坡和大型常规边坡,在初勘阶段宜设立地下水长期观测孔,进行地下水动态监测。

**10.2.2 边坡详细勘察应查明边坡的工程地质条件、水文地质条件、岩土体及主要结构面物理力学参数等,并应对边坡岩体进行质量分级和稳定性分类,分析边坡变形破坏模式,验算边坡的稳定性。边坡详细勘察应符合下列要求:**

1 工程地质测绘范围应包括边坡区及可能对边坡稳定性有影响的地段,平面测绘比例尺宜为 1:500~1:1000,剖面测绘比例尺宜为 1:200~1:500。对于核安全相关边坡以及大型常规边坡,垂直于边坡走向的工程地质实测剖面不宜少于 3 条。

2 边坡勘探范围应包括边坡区及可能对边坡稳定性有影响的地段,岩质边坡勘探范围宜包括边坡区和坡顶以外不小于 1 倍边坡高度范围,土质边坡勘探范围宜包括边坡区和坡顶外不小于 1.5 倍边坡高度的范围。

3 勘探线宜垂直边坡走向布置,勘探点间距应根据地质条件和边坡重要性确定。核安全相关边坡勘探线间距不宜大于 40m,勘探点间距不宜大于 30m;常规边坡勘探线间距不宜大于 50m,勘

探点间距不宜大于 40m。勘探点包括钻孔、探井、探槽或探洞等,每条勘探线不宜少于 3 个钻孔。坡脚位置钻孔深度进入坡脚地形剖面最低点和支护结构基底以下不小于 5m,其他钻孔应穿过最深潜在滑动面进入稳定层不小于 5m。

**4** 边坡区主要岩土层和软弱层应采取试样,每一土层采取试样不应少于 6 组,每一岩层不应少于 9 组,软弱层宜连续取样;对大型常规边坡稳定性起控制作用的岩土层剪切强度试验试样不宜少于 9 组;核安全相关边坡,对边坡稳定起控制作用的岩土层的剪切强度试验试样不宜少于 12 组。

**5** 试验和测试项目应根据边坡的地质条件、规模、重要性等特点确定,可按照本规范附录 B 执行;试验样品和现场试验地点应具有代表性。对控制边坡稳定性的软弱结构面,宜进行原位剪切试验;对核安全相关边坡和大型常规边坡,必要时可进行岩体应力测试、波速测试、动力测试、孔隙水压力测试和模型试验。

**6** 抗剪强度指标,应根据室内试验和原位测试结果综合分析,并结合当地经验确定,必要时可采用反分析法验证。

**10.2.3** 对于核安全相关边坡和大型常规边坡均应开展边坡施工勘察。边坡施工勘察应配合施工开挖进行地质编录,核对、补充前阶段的勘察资料,必要时,进行施工安全预报,提出修改设计的建议。施工勘察中地质编录精度不宜小于 1:200。

### **10.3 边坡稳定性评价**

**10.3.1** 边坡稳定性评价应在确定边坡破坏模式的基础上进行,可采用工程地质类比法、图解分析法、极限平衡法、数值分析法进行综合评价。当边坡各区段条件不一致时,应分区段评价。

**10.3.2** 对于岩质边坡宜采用本规范附录 C 中的方法进行岩体质量等级划分,综合评价边坡岩体质量类别。

**10.3.3** 边坡稳定性验算宜同时进行极限平衡计算和静力数值分析。对于核安全相关边坡宜进行动力数值分析,当边坡三维效应

明显时可建立三维边坡模型进行稳定性验算。

**10.3.4** 在进行边坡稳定性验算时,应考虑地震作用。

**10.3.5** 常规边坡的抗震设防烈度可采用地震基本烈度,且不应低于边坡破坏影响区内建筑物的设防烈度。

**10.3.6** 核安全相关边坡的抗震稳定性计算,应计入水平与竖向地震作用在不利方向的组合。

**10.3.7** 对存在地下水渗流作用的边坡,稳定性分析时应考虑地下水的影响。

**10.3.8** 核安全相关边坡稳定性系数不应小于表 10.3.8 所列数值。

表 10.3.8 核安全相关边坡稳定性系数

| 极限平衡法 | 静力数值分析法 | 动力数值分析法 |
|-------|---------|---------|
| 1.50  | 1.50    | 1.20    |

## 10.4 边坡监测

**10.4.1** 核安全相关边坡和大型常规边坡应进行岩土工程监测。

**10.4.2** 核电厂边坡监测内容可按照现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 中一级边坡监测有关内容进行,包括边坡和支护结构的位移、变形、内力、地下水动态、爆破影响和易风化岩体的风化速度等。

**10.4.3** 对于核安全相关边坡宜布设 2 个~3 个监测断面,每个断面上表面位移监测点不宜少于 3 个,地下水位监测点不宜少于 2 个,其他监测项目测点不宜少于 1 个。

**10.4.4** 边坡监测应包括施工期间监测和竣工后的长期监测,竣工后的监测时间不应少于 2 年。

## 10.5 边坡勘察报告要求

**10.5.1** 勘察报告所依据的原始资料,应进行整理、检查、分析,确认无误后方可使用。

**10.5.2** 边坡岩土工程勘察报告除应符合本规范第 13 章的规定外,尚应论述下列内容:

- 1 边坡的工程地质条件和岩土计算参数的选取;
- 2 分析边坡的可能破坏模式,选择恰当的计算方法,分析计算边坡稳定性;
- 3 分析建在坡顶、坡上建筑物的稳定性,以及边坡对边坡下建筑物的影响;
- 4 提出最优坡形和坡角的建议;
- 5 提出不稳定边坡整治措施和监测方案的建议。

## 11 水文地质

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 核电厂岩土工程勘察应根据各勘察阶段要求进行水位观测以及注水、抽水、压水等水文地质试验工作；初步可行性研究阶段和可行性研究阶段应进行水文地质调查工作。

**11.1.2** 初可研阶段水文地质调查，应根据厂址所在的水文地质环境确定调查范围，可从厂址区外延到厂址附近周边，宜与工程地质测绘范围相同。调查方法应以搜集资料为主，辅以现场调查。应结合工程地质测绘和工程地质钻孔，初步了解厂址所在水文地质单元地下水水位、补给、径流、排泄特征、地下水类型及富水性，以及地下水开采状况，初步评价厂址所在的水文地质单元基本特征和水文地质条件。应调查厂址附近范围地下水的使用现状和规划利用情况。

**11.1.3** 可行性研究阶段水文地质调查应包括厂址区和厂址附近范围，并应符合下列规定：

1 厂址区水文地质调查范围和比例尺宜与厂址区工程地质测绘一致；厂址附近范围水文地质调查应涵盖以厂址为中心半径5km范围，比例尺宜采用1：25000；

2 应搜集厂址区及厂址附近范围水文地质、工程地质、水文、气象资料；

3 厂址区应布置不少于2条通过核岛的实测水文地质剖面；厂址附近范围应布置1条通过厂址区的水文地质剖面；

4 应查明厂址及厂址附近范围含水层和隔水层的埋藏条件、分布规律，地下水类型、流速、流向，地下水水位及变化幅度，地表水及地下水水化学特征；

5 应查明厂址及厂址附近范围地下水的补给、径流、排泄条件,地下水排至地表水体的主要排泄点,地表水与地下水水力联系;

6 应查明厂址及与厂址有关联的水文地质单元基本特征、场地地质条件对地下水赋存和渗流状态的影响,提供水文地质参数;

7 应进一步调查厂址附近范围地下水利用现状及规划资料;

8 应评价核电厂建设对地下水的可能影响。

11.1.4 应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定,评价水文地质条件对工程建设的影响。

## 11.2 水文地质参数测定

11.2.1 水文地质参数的测定方法应根据场地水文地质条件及对建(构)筑物的影响选用,并应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

11.2.2 钻探中遇地下水时应量测初见水位和稳定水位,对工程有影响的多层含水层应分层量测稳定水位。地下水长期观测应观测、记录水位和水质变化,观测周期不应少于一个水文年。

11.2.3 宜采用抽水试验确定地下水涌水量和含水层渗透性。

11.2.4 宜采用注(渗)水试验确定地表浅部包气带的渗透性。砂土和粉土可采用试坑单环法,黏性土可采用试坑双环法。当试验深度较大时,可采用钻孔注水试验。

11.2.5 宜采用压水试验确定岩体试段的透水率,分析评价岩体的透水性、充填性质和岩体的完整性。

11.2.6 测定地下水流向可用几何法,量测点不应少于呈三角形分布的3个测孔或测井。测点间距按岩石的渗透性、水力梯度和地形坡度确定,宜为50m~100m。应同时量测各孔或井内水位,确定地下水的流向。当钻孔数量较多时,可采用等水位线法确定地下水流向。地下水流速的测定可采用指示剂法或充电法。

**11.2.7** 孔隙水压力测试应根据地质条件 and 设计、施工的需要确定。

**11.2.8** 对于不同水文地质单元的地下水应分别采取水试样,水试样的采取和试验项目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 勘察方法

### 12.1 工程地质测绘

**12.1.1** 工程地质测绘应查明厂址及邻近地段的地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用、地表水与地下水情况。

**12.1.2** 在初步可行性研究阶段和可行性研究阶段应开展工程地质测绘工作。在工程建造阶段可进行地质编录工作。当遇特殊工程地质问题时,可做补充工程地质调查工作。

**12.1.3** 工程地质测绘应搜集的基础资料应包括厂址及周围地区地形地貌、工程地质、水文地质、地震地质、构造地质、矿产地质、水文气象资料,以及航片或卫片的解译成果等。

**12.1.4** 工程地质测绘前应进行现场踏勘,应确定实测地质剖面的位置,应确定测绘方法和路线,应确定重要地质现象的调查方案。

**12.1.5** 工程地质测绘宜采用布线踏勘、点线结合的方法,对重要地质现象应追踪定位。

**12.1.6** 地质观测点的布置应符合下列要求:

1 地质界线、地质单元体均应布置地质观测点,地质界线和地质观测点的测绘精度应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定;

2 在与核安全有关建筑物附近的地质界线、地质体、不良地质作用、地下水出露点以及岩脉、围岩接触关系复杂地段,地质观测点应适当加密;

3 地质观测点应充分利用天然和已有的人工露头,第四系覆盖区或露头较少地段,可布置一定数量的探槽、探井;

4 地质观测点的定位应根据观测点的重要性和测绘精度要

求选用适当的方法,重要的地质观测点应用测量仪器定位。

#### **12.1.7 工程地质测绘应包括下列内容:**

1 应查明地形地貌特征,划分地貌单元,研究微地貌特征及微地貌与地层、构造和不良地质作用的关系;

2 应查明地层岩性、时代、成因、性质、厚度、接触关系和分布,对岩层应了解产状、节理裂隙的发育程度、风化程度,对土层应区分新近沉积土、各种特殊性土;

3 应查明岩体结构类型、结构面、软弱结构面的产状和性质、岩土接触面和软弱夹层的特性等;

4 应查明岩溶、滑坡、泥石流、危岩崩塌、地面沉降、采空区等不良地质作用的形态、分布、规模和性质;

5 应查明海、湖、河岸的类型、形态,评价水流对岸坡的冲刷作用,影响岸坡稳定的不利因素;

6 应查明地下水的类型,补给、径流、排泄条件,井、泉的位置,含水层的岩性特征、埋藏深度、水位变化,地下水与地表水的关系;

7 应调查人类活动情况;

8 应搜集气象、水文、地震、矿产等资料,并应调查洪水标高和淹没范围。

### **12.2 钻探与取样**

**12.2.1** 钻探方法可根据岩土类别和勘察要求按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定选用。

**12.2.2** 钻探口径和钻具规格应符合现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的有关规定。成孔口径应满足取样、测试和钻进工艺的要求。

**12.2.3** 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 对土层宜采用岩芯管全断面取芯回转钻进,遇碎石类土等地层时,可选用振动回转钻进或冲击钻进。对于砂土、粉土、碎石类土宜采用泥浆护壁或套管跟进的钻进方法。黏性土采取率不应小于 85%,粉土、砂土采取率不应小于 65%。

3 对基岩宜采用双管单动岩芯管和金刚石钻头全断面连续取芯。完整岩体岩芯采取率不应小于 80%,破碎岩体岩芯采取率不应小于 65%。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 地下水位以上的土层宜进行干钻,当钻进中遇地下水位时,应停钻量测初见水位和稳定水位,量测水位后方可采用冲洗液钻进。

5 在土层及全风化、强风化岩层中钻进,回次进尺应满足分层精度、取样和原位测试间距的要求,且不应大于 2m;完整岩层中钻进,回次进尺不应超过岩芯管的长度;软质岩石和破碎岩体中钻进应控制回次进尺,每回次进尺不应大于 2m。

6 钻进、测试、取样深度和分层深度的量测允许偏差应为  $\pm 5\text{cm}$ 。

7 钻机应安装平稳,开钻前应检查立轴的垂直度。深度大于 100m 或需要进行跨孔波速试验的钻孔应进行孔斜测量,钻进过程中宜每 25m 测量一次孔斜,当孔斜超出规定时,应及时采取纠斜措施;跨孔波速测试孔孔斜每 100m 应小于  $1^\circ$ 。

8 钻孔岩芯应按深度顺序从左到右、自上而下排列于岩芯箱内,并应填写岩芯牌,岩芯应及时用油漆编号。需长期保存的岩芯,岩芯箱上应标注工程名称、设计阶段、孔号、孔口高程、箱号、起止深度、钻探日期等。

9 岩芯应及时拍摄彩色照片,编录完成后应将需要保留的岩芯存入岩芯库妥善保管。

10 钻探竣工后,除需要保留的观测孔外应及时封孔,基岩钻孔应采用普通水泥浆液(水灰比 0.5~0.6)封孔,土层钻孔应采用

原土或黏土球分层捣实回填。

#### 12.2.4 钻孔记录和编录应符合下列要求：

1 现场记录应由经过专业培训的人员承担，记录应真实、准确、及时；

2 钻探过程中应填写钻探报表，记录所有的钻进过程，应包括钻进难易程度、操作手感、钻进时间、变换钻具、增加钻杆，护壁方式、回次进尺、岩芯采取长度；

3 在钻进过程中遇到涌水、漏水、逸气、卡钻、掉钻、掉块等异常情况时，应及时记录深度，并应做相应的测量；

4 岩芯应按回次及时鉴别描述，计算回次岩芯采取率和岩石质量指标(RQD)，统计节理裂隙条数及倾角和充填情况；

5 岩土层描述内容应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

#### 12.2.5 取样应符合下列要求：

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 的有关规定。

2 砂土的原状样宜采用内环刀取砂器采取。

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 1m~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。

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。

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地基基础、边坡、围岩等岩土工程评价的需要及拟建

物的重要性。

6 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。

### 12.3 工程物探

12.3.1 工程物探应结合工程需要和勘察场地条件合理布置,可选方法包括电法勘探、地震勘探、层析成像、地球物理测井等。

12.3.2 电法勘探应符合下列规定:

1 电法勘探可选用高密度电法、电剖面法等;

2 电法勘探的工作条件和仪器设备性能应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159 的有关规定;

3 高密度电法的工作布置应综合考虑干扰源、地形条件、装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等因素;电剖面法的工作布置应综合考虑地质构造带和岩性分界面的走向、探测对象的规模和埋深等因素;

4 采用高密度电法进行分层、局部不良地质体探测宜选择对称四极装置,进行岩性分界探测宜选择双向三极装置、微分装置、三极装置,探测浅层不均匀地质体宜选择偶极装置;采用电剖面法探测非水平的构造带、划分岩性界面、探测岩溶可选用双向三极装置、三极装置、二极装置、微分装置,探测局部不良地质体可选用对称四极装置、偶极装置,探测浅层不均匀地质体可选用偶极装置;

5 极距选择应充分考虑探测精度和探测深度的要求;

6 高密度电法和电剖面法的测线应呈直线布置,电极在测线方向上的允许偏差应为极距的 $\pm 1\%$ ,在垂直测线方向的允许偏差应为极距的 $\pm 5\%$ ,且有效探测范围应覆盖被探测对象;

7 电法勘探的资料解释应充分结合自身的数据特征和已知地质界面、钻孔等资料进行,应提供工作布置图、成果图和成果解释图等。

12.3.3 地震勘探应符合下列规定:

1 地震勘探可选用浅层折射波法、浅层反射波法和瞬态瑞雷波法；

2 地震勘探的工作条件和仪器设备性能应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159 的有关规定；

3 工作布置应根据任务要求、探测方法、探测目的体的规模与埋深等因素综合确定；

4 在符合探测任务要求并保证有效波连续对比追踪的前提下，应采用简便的观测系统；

5 检波器间距、类型和固有频率应根据选用方法、地球物理条件确定，同一测线上的道间距应相同，检波器应定位准确，埋置条件一致，当检波器不能安置在原设计点位时，可沿垂直测线方向移动，偏移范围应为道间距的 $\pm 1/5$ ；

6 当进行水域地震勘探时，可根据目的要求选用不同的工作方法，工作过程中应及时测量水边线高程和沿测线的水深，当水位变化超过 0.5m 时，应进行校正；

7 应根据地震波的不同特征，采用合适的方法进行波的对比，读数应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159 的有关规定；

8 平均速度和有效速度的选取应充分利用现场的钻孔资料，并应考虑近地面介质不均匀性、低速带与下伏层厚度的相对变化的影响，当地层低速带厚度变化引起有效速度明显变化时，应进行低速带校正；

9 地震勘探的数据处理应根据各自的数据特征采用不同的方法进行处理，资料解释应充分利用测区内有关地质、钻探及其他物探资料；

10 浅层地震勘探成果图件宜包括工作布置图、成果地质解释剖面图或平面图；瑞雷波勘探成果图件通常应包括工作布置图、波速-深度曲线图、深度-频率曲线图、层速度和层深度剖面等值线图。

#### **12.3.4 层析成像(简称 CT)应符合下列规定:**

**1** 层析成像可选用地震波速度层析成像(简称地震波 CT)和电磁波吸收系数层析成像(简称电磁波 CT);

**2** 被探测目的体与周边介质之间具有电性差异的应选用电磁波 CT,具有弹性波速度差异的选择地震波 CT;同时存在电性和弹性波速度差异的可根据条件选择其中一种,当条件复杂时可选用多种 CT 方法;

**3** 所选用的仪器设备性能应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159 的有关规定;

**4** 应根据任务要求选择合适的孔间距和测点间距,孔间距宜为 40m,测点间距不宜大于 1m;

**5** 宜采用一发多收的扇形观测系统,发射点间距宜与接收点间距一致,当在同一剖面上进行多个孔间 CT 观测时,应保持观测系统一致;

**6** 地震波 CT 的钻孔应进行井斜测量,以进行地震波速校正;电磁波 CT 应通过现场试验选择仪器的工作频率和对应天线,当同一剖面进行多组电磁波 CT 时,应使用相同的频率,并在地球物理条件相对简单的孔段进行三孔法同步观测,以确定初始场强和背景值;

**7** 应根据地球物理条件、观测系统、成像精度、分辨率和探测任务要求建立数学物理模型进行反演,并应根据 CT 图像速度或吸收系数的分布规律,结合被测区域的地层岩性、地质结构等进行地质推断解释;

**8** 层析成像成果图件宜包括 CT 图像、CT 解释成果图,同一剖面的多组 CT 剖面可拼接成果剖面图。

#### **12.3.5 地球物理测井应符合下列规定:**

**1** 地球物理测井可选用电测井、声波测井、井斜测量等;

**2** 用于地球物理测井的仪器设备性能应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159 的有关规定;

3 测井电缆长度标记误差应小于 1%，且每测 10 口井应检查标记一次；

4 电测井、声波测井时宜将孔壁冲洗干净，测点点距宜为 20cm~40cm，井斜测量的测量点距应按任务要求确定；

5 测井数据或曲线的深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致，同一测区宜采用同一深度比例尺，并应根据地质资料、测井数据或曲线来确定横向比例尺，在保证曲线记录不超值的情况下应选用大比例尺；

6 应根据各种测井曲线的分层特征，对不同参数曲线进行对比分析；应结合地质、钻探等资料，按物性和地质名称分层，确定地层或地质体的深度和厚度；

7 同一钻孔中进行的电测井、声波测井，宜绘制在同一张综合测井成果图上，并应保持深度坐标的一致，成果应以文字形式反映到综合测井曲线解释图上，地质剖面上有多个钻孔，或钻孔比较稠密的测区，应在完成单个钻孔的测井解释图基础上，绘制整个剖面的地质解释剖面图。

12.3.6 当进行地球物理勘探成果判释时，应考虑多解性，区分有用信息与干扰信号。宜采用多种方法探测，进行综合判释，并应有已知物探参数和一定数量的钻孔验证。

## 12.4 原位测试

12.4.1 原位测试应符合下列要求：

1 原位测试方法应根据岩土工程条件、勘察阶段、建筑物的重要性、设计要求、地区经验和测试方法的适用性等因素选用；

2 当根据原位测试成果，利用地区性经验估算岩土工程特性参数和对岩土工程问题作出评价时，应与室内试验和工程反算参数作对比，检验原位测试成果的可靠性；

3 原位测试中使用的仪器设备应在检验和标定的合格期内；

4 测试点与测试部位应具有代表性;

5 当采用新的测试技术时,应与其他测试方法相配合,并应经过实践取得经验后方可使用;

6 分析原位测试成果资料时,应注意仪器设备、试验条件、试验方法等对试验的影响,结合岩土条件,剔除异常数据。

#### 12.4.2 载荷试验应符合下列规定:

1 应根据试验条件、试验深度等选择浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、螺旋板载荷试验。

2 载荷试验应布置在有代表性的地点,每个场地不宜少于3个,当场地内岩土体不均匀时,应适当增加。浅层平板载荷试验宜布置在基底标高处。

3 载荷试验可用于测定各类地基岩土承载力,也可用于测定各类土和极软岩的变形模量和基准基床系数。

#### 12.4.3 静力触探试验应符合下列要求:

1 软土、一般黏性土、粉土、砂土和含少量碎石的土均可采用静力触探试验。静力触探可根据工程需要采用单桥探头、双桥探头或带孔隙水压力量测的单、双桥探头。

2 静力触探试验可测定比贯入阻力、锥尖阻力、侧壁摩阻力和贯入时的孔隙水压力。

3 根据静力触探资料,利用地区经验,可进行力学分层,估算土的塑性状态或密实度、强度、压缩性、地基承载力、单桩承载力、沉桩阻力,进行液化判别等。根据孔压消散曲线可估算土的固结系数和渗透系数。

#### 12.4.4 圆锥动力触探试验应符合下列要求:

1 圆锥动力触探试验的类型可分为轻型、重型和超重型三种。轻型动力触探宜用于浅部的填土、砂土、粉土、黏性土,重型重力触探宜用于砂土、中密以下的碎石土、极软岩,超重型动力触探宜用于密实和很密的碎石土、极软岩、软岩。

2 根据圆锥动力触探试验击数和地区经验,可进行力学分

层,并可评定土的均匀性和物理性质、强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力,查明土洞、滑动面、软硬土层界面,检测地基处理效果等。

#### 12.4.5 标准贯入试验应符合下列要求:

1 标准贯入试验宜用于砂土、粉土、一般黏性土以及风化岩石;

2 根据标准贯入试验锤击数  $N$  值,可对砂土、粉土、黏性土的物理状态,土的强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力、砂土和粉土的液化、成桩的可能性等作出评价;有经验的地区也可用于划分岩石的风化程度。

#### 12.4.6 十字板剪切试验应符合下列规定:

1 十字板剪切试验可用于测定饱和软黏土的不排水抗剪强度和灵敏度;

2 十字板剪切试验点的布置,对均质土竖向间距可为 1m,对非均质或夹薄层粉细砂的软黏土,宜先做静力触探,结合土层变化,选择软黏土进行试验;

3 根据十字板剪切试验成果,可按地区经验,确定地基承载力、单桩承载力,计算边坡稳定性,判定软黏土的固结历史。

#### 12.4.7 旁压试验应符合下列规定:

1 旁压试验可适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩和软岩等。

2 旁压试验应在有代表性的位置和深度进行,旁压器的量测腔应在同一岩土层内。试验点的竖向间距应根据地层条件和工程要求确定,且不宜小于 1m,试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1m。

3 根据初始压力、临塑压力、极限压力和旁压模量,结合地区经验可评定地基承载力和变形参数。根据自钻式旁压试验的旁压曲线还可测求土的原位水平应力、静止侧压力系数、不排水抗剪强度等。

#### **12.4.8 波速测试应符合下列规定：**

1 波速测试可适用于测定各类岩土体的弹性波速度，可采用单孔法、跨孔法；

2 单孔法波速测试测点竖向间距宜取 1m；

3 核岛区每组跨孔波速测试应设置一个震源孔和至少两个接收孔，震源孔和接收孔应布置在一条直线上，测点竖向间距宜取 1m；宜采用多种震源。

#### **12.4.9 钻孔弹模测试应符合下列规定：**

1 测试仪器可根据岩体的完整程度和坚硬程度选择钻孔压力仪、钻孔膨胀仪、钻孔弹模计等；

2 测试段岩性的力学性质应基本一致；不同岩层都应有代表性测点，基础底面以下 30m 深度之内，每隔 5m 应有一个测点，基础底面以下超过 30m，每隔 10m 应有一个测点；

3 根据各级加荷压力 and 对应的孔径变形量，应绘制压力-孔径变形量关系曲线，计算岩体的弹性模量或变形模量。

**12.4.10** 当有特殊需要时，尚可采用其他原位测试方法。

**12.4.11** 原位测试的仪器设备和操作方法应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。

### **12.5 室内试验**

**12.5.1** 岩土性质的室内试验项目和试验方法应根据岩土的性质特点和工程要求确定。试验条件宜接近实际，并应与设计和施工状态相一致，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等因素。

**12.5.2** 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 和《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 的有关规定。

**12.5.3** 制备试样前,应对岩土的重要性状做肉眼鉴定和简要描述。

**12.5.4** 当根据室内试验结果确定岩土单元的工程特性指标时,应注意岩土试样与实际岩土体的差别,考虑实际岩土体的非均质性、各向异性和不连续性的程度,并应与相关的原位测试或原型观测成果比较,综合确定。

**12.5.5** 土的透水性指标可由渗透试验提供。砂土和碎石土宜采用常水头试验;粉土和黏性土宜采用变水头试验;透水性很低的软土可通过固结试验测定固结系数、体积压缩系数,计算渗透系数。土的渗透系数取值应与野外抽水试验或注水试验的成果比较后确定。

**12.5.6** 土的压缩性指标可由固结试验提供。当用于地基沉降计算时,试验最大压力应大于土的有效自重压力与附加压力之和,压缩系数和压缩模量应取土的有效自重压力至土的有效自重压力与附加压力之和的压力段。当考虑土的应力历史进行沉降计算时,应进行高压固结试验,提供先期固结压力、压缩指数和回弹指数。当需要分析沉降历时关系时,应提供固结系数。当需要考虑开挖基坑地基土的回弹变形时,应进行回弹试验,提供回弹指数和回弹模量。

**12.5.7** 在厚层高压缩性软土上修筑建(构)筑物时,宜测定次固结系数。

**12.5.8** 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。对非核安全相关的建(构)筑物,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。

**12.5.9** 当需要采用室内试验测定土的动力性质时,可采用振动三轴试验或共振柱试验。

**12.5.10** 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。岩石的弹性模量和泊松比可根据单轴压缩变形试验测定。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。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。

**12.5.11** 岩石三轴压缩强度试验宜选用四种围压,并应提供不同围压下的主应力差与轴向应变关系、抗剪强度包络线和强度参数  $c$ 、 $\varphi$  值。

**12.5.12** 岩石直剪试验宜针对工程需要,选择岩石或节理面、滑动面、断层面、岩层层面等不连续面进行,并应提供  $c$ 、 $\varphi$  值和各法向应力下的剪应力与位移曲线。

**12.5.13** 当无法取得完整岩石试样时,可由点荷载试验间接确定岩石的强度。

**12.5.14** 岩石声波测试宜采用饱和试样。

**12.5.15** 岩石阻尼比宜采用悬臂梁自由振动试验测定。

**12.5.16** 土和水的腐蚀性试验应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 和现行行业标准《水电水利工程地质勘察水质分析规程》DL/T 5194 的有关规定。

## 13 岩土工程分析评价和成果报告

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 岩土工程分析评价应在工程地质测绘、勘探、测试和搜集已有资料的基础上,结合厂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,认定无误后方可分析和评价。

**13.1.2** 核电厂岩土工程勘察应着重分析和评价下列问题:

- 1 断裂破碎带对岩土性能的影响;
- 2 岩土的工程特性指标;
- 3 地基的承载力、稳定性、均匀性和适宜性;
- 4 场地水文地质条件;
- 5 现有边坡和人工形成边坡的稳定性。

**13.1.3** 核电厂岩土工程分析评价应符合下列要求:

- 1 应对与核安全有关及与核安全无关的建构筑物区别对待。
- 2 应了解场地整平标高、基础埋深、工程结构特点、荷载情况、变形控制要求和设计采用的地震动加速度。

- 3 应掌握场地的地质背景,了解岩土材料的非均质性、各向异性、随时间的变化和参数不确定性,在统计分析的基础上,确定岩土工程特性指标的代表值。

- 4 应充分考虑当地和类似工程的经验。

- 5 对理论依据不足、实践经验不多的岩土工程问题,可通过现场足尺试验或模型试验,取得实测数据进行分析和评价。任务需要时,可根据原型监测,反演岩土参数。

- 6 对多因素复杂问题应综合判断,必要时可进行专题研究。

**13.1.4** 对核岛、常规岛和附属建筑物的分析评价应符合本规范第4章~第7章的规定;对水工构筑物、专门岩土工程、边坡工程

和水文地质条件的分析评价应分别符合本规范第 8 章~第 11 章的规定。

## 13.2 岩土的工程特性指标

**13.2.1** 岩土的工程特性指标应按岩土单元统计分析,并应符合下列要求:

1 一个岩土单元应属于同一地质年代、同一成因类型,岩性和工程特性指标相近,属于同一统计母体;

2 场地的岩土单元应统一编号,统一命名,且应在各勘察阶段、各分项工程中通用;

3 由两种或两种以上不同岩性岩土体组成的复合岩土单元,可分别按复合单元中的单一性质岩土体统计分析工程特性指标,并应对复合岩土单元进行综合评价,给出设计需要的综合指标;

4 工程特性指标相近的岩土单元,统计分析可合并进行。

**13.2.2** 当对岩土的各项工程特性指标进行统计分析时,应计算指标的平均值、标准差和变异系数,并应给出最小值、最大值和数据数量。强度指标尚应计算和给出标准值。

**13.2.3** 岩土的各项工程特性指标在统计计算前,应对统计数据详细检查,认定无误后方可进行,对明显不正常的数据应分析原因,统计时予以剔除。

**13.2.4** 岩土工程特性指标的平均值、标准差和变异系数可分别按下列公式计算:

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (13.2.4-1)$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n \phi_i \right)^2}{n} \right]} \quad (13.2.4-2)$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \quad (13.2.4-3)$$

式中： $\phi_m$ ——岩土参数的平均值；

$\sigma_l$ ——岩土参数的标准差；

$\delta$ ——岩土参数的变异系数。

**13.2.5** 岩土工程特性指标变异系数限值宜符合表 13.2.5 的规定，超限时宜分析原因，做相应处理。

表 13.2.5 岩土工程特性指标变异系数限值

| 指 标       | 变异系数限值 | 指 标      | 变异系数限值 |
|-----------|--------|----------|--------|
| 密 度       | 0.10   | 压缩模量     | 0.30   |
| 含水量       | 0.15   | 岩石单轴抗压强度 | 0.30   |
| 孔隙比       | 0.10   | 内摩擦角     | 0.30   |
| 圆锥动力触探锤击数 | 0.35   | 黏聚力      | 0.30   |
| 标准贯入锤击数   | 0.30   | 岩土体波速    | 0.25   |

**13.2.6** 岩土的工程特性指标的标准值及修正系数可分别按下列公式计算：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (13.2.6-1)$$

$$\gamma_s = 1 \pm \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta \quad (13.2.6-2)$$

式中： $\phi_k$ ——工程特性指标的标准值；

$\gamma_s$ ——统计修正系数。

**13.2.7** 岩土特性指标代表值的取值应符合下列要求：

- 1 剪切波速指标宜取平均值；
- 2 表征岩土物理性质的指标、计算地基变形的指标、岩土动力性质指标以及渗透性指标宜取平均值；
- 3 用于计算地基承载力和边坡稳定的岩土强度指标宜取标准值；
- 4 地基承载力应取特征值。

**13.2.8** 应根据统计分析结果，结合经验，提出工程特性指标代表值的勘察建议值；当测试难度大，或数据数量少时，也可根据经验直接给出勘察建议值，并应在勘察报告中予以说明。

### 13.3 地基承载力

**13.3.1** 岩土地基承载力宜根据野外鉴定、室内试验和公式计算、载荷试验和其他原位测试,结合工程要求和实践经验综合确定。

**13.3.2** 土质地基承载力的确定应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行;岩石地基承载力的确定应符合下列规定:

1 对完整、较完整和较破碎岩体,岩石地基承载力特征值可根据剪切波速和单轴抗压强度或抗剪强度指标计算综合确定;

2 对不能取样进行室内试验的破碎和极破碎岩体,初可研勘察和可研勘察时岩石地基承载力特征值可根据剪切波速和地方经验综合确定;无地方经验及设计阶段勘察,应进行载荷试验;

3 当设计阶段勘察时,对于剪切波速小于 1100m/s 的岩石,地基承载力应根据载荷试验确定。

**13.3.3** 岩石地基承载力特征值的初步估计可按表 13.3.3 取值。

表 13.3.3 岩石地基承载力特征值的初步估计

| 剪切波速度平均值<br>(m/s) | 地基承载力特征值<br>(MPa) | 剪切波速度平均值<br>(m/s) | 地基承载力特征值<br>(MPa) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 500               | 0.4               | 1500              | 3.0               |
| 700               | 0.5               | 2000              | 10.0              |
| 1100              | 1.0               | ≥2500             | 15.0              |

注:中间值可内插。

**13.3.4** 对完整、较完整和较破碎的岩石地基,除极软岩外,承载力特征值可按下式计算:

$$f_{ak} = \psi_r f_{rk} \quad (13.3.4)$$

式中:  $f_{ak}$ ——岩石地基承载力特征值(MPa);

$f_{rk}$ ——岩石饱和单轴抗压强度标准值,易软化岩石采用天然湿度单轴抗压强度标准值(MPa);

$\psi_r$ ——折减系数,根据岩体完整程度和结构面的间距、宽

度、产状和组合,由地区经验确定。无经验时,对完整岩体可取 0.5;对较完整岩体可取 0.2~0.5;对较破碎岩体可取 0.1~0.2。

**13.3.5** 对完整和较完整的极软岩,当可取不扰动试样测定天然湿度的抗剪指标时,地基承载力极限值、特征值可分别按下列公式计算:

$$f_r = N_b \gamma b + N_d \gamma_m d + N_c c_k \quad (13.3.5-1)$$

$$f_s = f_r / 3 \quad (13.3.5-2)$$

式中:  $f_r$ ——岩石地基承载力极限值;

$f_s$ ——由抗剪强度指标确定的岩石地基承载力特征值;

$N_b$ 、 $N_d$ 、 $N_c$ ——承载力系数,应按表 13.3.5 取值;

$b$ 、 $d$ ——基础宽度和基础埋置深度,基础宽度大于 6m 时按 6m 取值;

$\gamma$ 、 $\gamma_m$ ——分别为基础底面以下一倍短边宽深度内岩体有效重度和基础底面以上岩体有效重度加权平均值;

$c_k$ ——基础底面以下一倍短边宽深度内岩石的黏聚力标准值。

**表 13.3.5 承载力系数**

| $\varphi_k(^{\circ})$ | $N_b$ | $N_d$ | $N_c$ | $\varphi_k(^{\circ})$ | $N_b$ | $N_d$ | $N_c$  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|--------|
| 10                    | 1.202 | 2.017 | 5.769 | 19                    | 2.708 | 3.863 | 8.315  |
| 11                    | 1.314 | 2.166 | 5.996 | 20                    | 2.970 | 4.160 | 8.682  |
| 12                    | 1.436 | 2.326 | 6.236 | 21                    | 3.261 | 4.482 | 9.071  |
| 13                    | 1.570 | 2.498 | 6.488 | 22                    | 3.581 | 4.831 | 9.482  |
| 14                    | 1.718 | 2.684 | 6.754 | 23                    | 3.936 | 5.210 | 9.919  |
| 15                    | 1.880 | 2.884 | 7.033 | 24                    | 4.329 | 5.622 | 10.382 |
| 16                    | 2.058 | 3.101 | 7.328 | 25                    | 4.765 | 6.071 | 10.874 |
| 17                    | 2.254 | 3.336 | 7.639 | 26                    | 5.248 | 6.559 | 11.398 |
| 18                    | 2.470 | 3.589 | 7.968 | 27                    | 5.786 | 7.091 | 11.955 |

续表 13.3.5

| $\varphi_k(^{\circ})$ | $N_b$  | $N_d$  | $N_c$  | $\varphi_k(^{\circ})$ | $N_b$   | $N_d$   | $N_c$   |
|-----------------------|--------|--------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|
| 28                    | 6.384  | 7.672  | 12.548 | 45                    | 41.006  | 33.970  | 32.970  |
| 29                    | 7.051  | 8.306  | 13.181 | 46                    | 46.443  | 37.528  | 35.275  |
| 30                    | 7.794  | 9.000  | 13.856 | 47                    | 52.721  | 41.534  | 37.799  |
| 31                    | 8.625  | 9.760  | 14.578 | 48                    | 59.990  | 46.056  | 40.569  |
| 32                    | 9.554  | 10.592 | 15.351 | 49                    | 68.436  | 51.174  | 43.616  |
| 33                    | 10.596 | 11.506 | 16.178 | 50                    | 78.278  | 56.982  | 46.974  |
| 34                    | 11.765 | 12.511 | 17.066 | 51                    | 89.790  | 63.592  | 50.686  |
| 35                    | 13.079 | 13.617 | 18.019 | 52                    | 103.302 | 71.140  | 54.799  |
| 36                    | 14.559 | 14.837 | 19.044 | 53                    | 119.226 | 79.785  | 59.369  |
| 37                    | 16.229 | 16.183 | 20.148 | 54                    | 138.067 | 89.721  | 64.460  |
| 38                    | 18.116 | 17.671 | 21.338 | 55                    | 160.457 | 101.184 | 70.149  |
| 39                    | 20.253 | 19.320 | 22.624 | 56                    | 187.187 | 114.457 | 76.528  |
| 40                    | 22.678 | 21.150 | 24.014 | 57                    | 219.253 | 129.891 | 83.703  |
| 41                    | 25.436 | 23.184 | 25.519 | 58                    | 257.922 | 147.916 | 91.803  |
| 42                    | 28.579 | 25.449 | 27.153 | 59                    | 304.809 | 169.062 | 100.982 |
| 43                    | 32.171 | 27.976 | 28.929 | 60                    | 361.999 | 193.995 | 111.426 |
| 44                    | 36.284 | 30.803 | 30.862 |                       |         |         |         |

注： $\varphi_k$ ——基底下—倍短边宽深度内岩石的内摩擦角标准值。

**13.3.6** 深层平板载荷试验确定的地基承载力特征值可不进行深度修正；按本规范表 13.3.3、公式(13.3.4)和浅层平板载荷试验确定的地基承载力特征值，可根据基础埋深按下式修正：

$$f_a = f_{sk} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (13.3.6)$$

式中： $f_a$ ——修正的岩石地基承载力特征值；

$\eta_d$ ——岩石地基承载力修正系数，应按表 13.3.6 取值。

表 13.3.6 岩石地基承载力修正系数

| 岩石地基类型   | $\eta_d$ |
|----------|----------|
| 脆性破坏岩石   | 1.0      |
| 细粒塑性破坏岩石 | 2.0      |
| 粗粒塑性破坏岩石 | 3.0      |

### 13.4 稳定性及均匀性评价

13.4.1 场地稳定性可根据区域地质基本资料,并结合厂址区地质测绘成果作定性的分析评价。

13.4.2 地基稳定性分析评价应充分考虑地区经验和类似工程经验。对于理论依据不足、实践经验不多的地基类型,应通过现场试验取得足够实测数据后再进行分析和评价。

13.4.3 对于地基剪切波速大于 700m/s 的厂址,地基稳定性可在掌握厂址地质背景的基础上仅作定性分析,分析应包括是否满足承载力要求,是否存在影响地基稳定性的不良地质作用和地质灾害,是否存在地基塌陷、地基滑动的潜在危险等。

13.4.4 对于地基剪切波速小于 700m/s 的厂址,地基稳定性分析评价除作定性分析外,还应对地基承载力、变形进行分析计算。

13.4.5 核电厂地基均匀性评价除应考虑地基岩土体本身力学特性外,还应考虑上部结构对地基特性的要求,进行综合评价。

13.4.6 当基础范围内的岩土层的厚度和物理力学特性在水平方向上变化较小时,可视为均匀地基。

13.4.7 当基础范围内的岩土层的厚度和物理力学特性在水平方向上有差异,但在上部结构荷载作用下地基不会产生不可接受的不均匀沉降时,可视为均匀地基。

13.4.8 当判断为不均匀地基,或地基条件复杂以至均匀性难以判断时,应提出开展专题研究工作的建议。

## 13.5 成果报告

**13.5.1** 岩土工程勘察报告所依据的原始资料,应进行整理、检查、分析,确认无误后方可使用。

**13.5.2** 岩土工程勘察报告应资料完整、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、重点突出,应有明确的工程针对性。

**13.5.3** 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、水文地质特征、工程地震条件、不良地质作用与地质灾害等;
- 5 各项岩土物理力学性能指标,岩土强度参数、变形参数、地基承载力和动态力学参数的建议值;
- 6 水和土对建筑材料的腐蚀性;
- 7 岩土工程分析评价,包括场地与地基稳定性、地基均匀性、基坑稳定性、边坡稳定性、场地适宜性等;
- 8 结论与建议。

**13.5.4** 成果报告应与各勘察阶段的任务要求和工程实际相适应,宜附下列图表:

- 1 勘探点平面位置图;
- 2 地貌分区图;
- 3 综合工程地质图、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;
- 4 水文地质图、地下水等水位线图;
- 5 厂坪标高、核岛基底标高和其他重要厂房基底标高工程地质切面图;

- 6 微风化、中等风化基岩面等高线图；
- 7 厂址附近范围综合水文地质图与水文地质调查实际材料图(可行性研究阶段)；
- 8 工程地质柱状图；
- 9 工程地质剖面图；
- 10 原位测试成果图表；
- 11 室内试验成果图表；
- 12 地球物理勘探成果图表；
- 13 钻孔一览表；
- 14 岩芯照片等。

13.5.5 不同勘察阶段宜根据任务要求和工程实际提交下列专题报告：

- 1 工程地质测绘报告；
- 2 水文地质调查报告；
- 3 工程地质钻探报告；
- 4 原位测试报告；
- 5 地球物理勘探报告；
- 6 室内试验报告等。

13.5.6 对单项工程和单体建(构)筑物岩土工程勘察的成果报告内容可适当简化。

13.5.7 岩土工程勘察报告的印刷、装订应便于使用和适宜长期保存。

## 附录 A 天然建筑材料试验项目表

**A.0.1** 混凝土用砂砾料试验项目应符合表 A.0.1 的规定。

**表 A.0.1 混凝土用砂砾料试验项目**

| 序号 | 试 验 项 目                     | 勘 察 阶 段 |    |    |    |    |    |
|----|-----------------------------|---------|----|----|----|----|----|
|    |                             | 普查      |    | 初查 |    | 详查 |    |
|    |                             | 砂       | 砾石 | 砂  | 砾石 | 砂  | 砾石 |
| 1  | 颗粒分析                        | *       | *  | *  | *  | *  | *  |
| 2  | 天然密度                        | —       | —  | *  | *  | *  | *  |
| 3  | 堆积密度                        | —       | —  | *  | *  | *  | *  |
| 4  | 砾石(混合、分级)紧密密度               | —       | —  | *  | *  | *  | *  |
| 5  | 表观密度                        | —       | —  | *  | *  | *  | *  |
| 6  | 吸水率                         | —       | —  | —  | +  | +  | +  |
| 7  | 含泥量                         | —       | —  | *  | +  | *  | +  |
| 8  | 岩石(矿物)成分含量                  | —       | —  | *  | *  | *  | *  |
| 9  | 针片状颗粒含量                     | —       | —  | —  | *  | —  | *  |
| 10 | 云母含量                        | —       | —  | +  | —  | +  | —  |
| 11 | 膨胀率                         | —       | —  | +  | —  | +  | —  |
| 12 | 软弱颗粒含量                      | —       | —  | —  | *  | —  | *  |
| 13 | 碱活性骨料成分含量                   | +       | *  | +  | *  | +  | *  |
| 14 | 有机质含量                       | —       | —  | +  | +  | +  | +  |
| 15 | 硫酸盐及硫化物含量(SO <sub>3</sub> ) | —       | —  | +  | +  | +  | +  |
| 16 | 水溶盐含量                       | —       | —  | +  | —  | +  | —  |

续表 A.0.1

| 序号 | 试 验 项 目      | 勘 察 阶 段 |    |    |    |    |    |
|----|--------------|---------|----|----|----|----|----|
|    |              | 普查      |    | 初查 |    | 详查 |    |
|    |              | 砂       | 砾石 | 砂  | 砾石 | 砂  | 砾石 |
| 17 | 冻融损失率        | —       | —  | —  | +  | —  | +  |
| 18 | 黏土块(球)及黏土膜含量 | —       | —  | +  | *  | +  | *  |
| 19 | 轻物质含量        | —       | —  | +  | +  | +  | +  |
| 20 | 石粉含量         | —       | —  | +  | —  | +  | —  |
| 21 | 氯离子含量        | —       | —  | +  | —  | +  | —  |
| 22 | 贝壳含量         | —       | —  | +  | —  | +  | —  |
| 23 | 坚固性          | —       | —  | +  | +  | +  | *  |
| 24 | 压碎指标值        | —       | —  | +  | +  | +  | *  |

注：“\*”表示试验组数与取样组数相等的应做项目；“+”表示试验组数按需要而定的应做项目；“—”表示免做项目。

**A.0.2** 堆石料、砌石料原岩试验项目应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 堆石料、砌石料原岩试验项目

| 序号 | 试 验 项 目                     | 备 注         |
|----|-----------------------------|-------------|
| 1  | 密度(天然、干、湿)                  |             |
| 2  | 饱和吸水率                       |             |
| 3  | 抗压强度(干燥、饱和、冻融)              | 冻融抗压强度视需要而定 |
| 4  | 弹性模量、泊松比                    |             |
| 5  | 岩石矿物、化学成分                   |             |
| 6  | 线胀系数                        | 视需要而定       |
| 7  | 冻融损失率                       |             |
| 8  | 硫酸盐及硫化物含量(SO <sub>3</sub> ) |             |

**A.0.3** 人工骨料原岩试验项目应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 人工骨料原岩试验项目

| 序号 | 试 验 项 目                     | 备 注   |
|----|-----------------------------|-------|
| 1  | 密度(天然、干、湿)                  |       |
| 2  | 饱和吸水率                       |       |
| 3  | 孔隙率                         |       |
| 4  | 抗压强度(干燥、饱和)                 |       |
| 5  | 岩石矿物、化学成分                   |       |
| 6  | 冻融损失率                       | 视需要而定 |
| 7  | 硫酸盐及硫化物含量(SO <sub>3</sub> ) |       |
| 8  | 岩石碱活性试验                     |       |
| 9  | 抗压强度                        |       |
| 10 | 弹性模量                        |       |

A.0.4 人工骨料粗骨料试验项目应符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 人工骨料粗骨料试验项目

| 序号 | 试 验 项 目                     | 备 注   |
|----|-----------------------------|-------|
| 1  | 颗粒分析                        |       |
| 2  | 密度试验(表观密度、堆积密度、紧密密度)        |       |
| 3  | 针、片状颗粒含量                    |       |
| 4  | 含水率                         |       |
| 5  | 吸水率                         |       |
| 6  | 含泥量                         |       |
| 7  | 泥块含量                        |       |
| 8  | 有机物含量                       | 仅针对卵石 |
| 9  | 硫酸盐及硫化物含量(SO <sub>3</sub> ) |       |
| 10 | 坚固性                         |       |
| 11 | 压碎指标值                       |       |

**A.0.5** 人工骨料细骨料试验项目应符合表 A.0.5 的规定。

**表 A.0.5 人工骨料细骨料试验项目**

| 序号 | 试 验 项 目                     |
|----|-----------------------------|
| 1  | 颗粒分析                        |
| 2  | 密度试验(表观密度、堆积密度、紧密密度)        |
| 3  | 含水率                         |
| 4  | 吸水率                         |
| 5  | 含泥量                         |
| 6  | 泥块含量                        |
| 7  | 有机物含量                       |
| 8  | 硫酸盐及硫化物含量(SO <sub>3</sub> ) |
| 9  | 坚固性                         |
| 10 | 氯离子含量                       |
| 11 | 云母含量                        |
| 12 | 轻物质含量                       |
| 13 | 石粉含量                        |
| 14 | 压碎指标值                       |

## 附录 B 边坡勘察试验测试项目表

**B.0.1** 土质边坡勘察试验项目可根据表 B.0.1 选取。

**表 B.0.1 土质边坡勘察试验项目**

| 岩土种类                         | 试验项目 | 主要试验内容                                                                                      | 试验目的                                                        |
|------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 黏土、粉土、<br>砂性土、黄土、<br>软土、砂砾石等 | 成分测定 | 黏土矿物、水溶盐含量、有机质含量等                                                                           | 研究力学特性时参考                                                   |
|                              | 物理性质 | 颗粒分析、天然含水量、干(湿)密度、孔隙比、液限、塑限、比重、相对密实度、膨胀性等                                                   | 了解土的一般物理性质,研究边坡状况及稳定计算时参考                                   |
|                              | 水理性质 | 渗透系数,必要时做崩解、湿陷、管涌、溶滤、水压力测试等                                                                 | 了解土的渗透特性及其他特殊水理性质,作为边坡防渗及加固处理的依据                            |
|                              | 力学性质 | 固结试验、载荷试验;<br>标贯试验、触探试验;<br>三轴压缩试验、直接剪切试验、原状土或重塑土反复直剪强度试验;<br>现场土体直剪试验;<br>必要时进行动三轴试验或共振柱试验 | 测定不同试验条件下土的黏聚力和内摩擦角,作为边坡稳定计算的依据;了解土的压缩、承载力及抗震特性,作为边坡工程设计的依据 |

**B.0.2 岩质边坡勘察试验项目可根据表 B.0.2 选取。**

**表 B.0.2 岩质边坡勘察试验项目**

| 岩土种类               | 试验项目 | 主要试验内容                      | 试验目的                                              |
|--------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| 岩石(包括硬质岩、软质岩及软弱夹层) | 成分测定 | 矿物、化学成分、水溶盐含量、水质分析等         | 了解岩石一般矿物化学成分                                      |
|                    | 物理性质 | 含水率、干(湿)密度、空隙率、吸水率、饱和吸水率等   | 了解岩石的一般物理性质,研究边坡状况及稳定计算时参考                        |
|                    | 水理性质 | 耐崩解性、软弱夹层渗透变形、溶滤及渗透系数、水压力测试 | 了解岩体风化崩解性能、渗透变形特性,以研究边坡防渗加固和保护措施                  |
|                    | 力学性质 | 抗压和抗拉:单轴抗压强度、点荷载强度、抗拉强度试验   | 测定岩石、岩体和结构面的强度;测定岩体的变形特性;测定边坡岩体的原始应力场。为边坡设计计算提供参数 |
|                    |      | 抗剪:室内岩石抗剪、现场岩体结构面直剪和岩体直剪    |                                                   |
|                    |      | 变形试验:承压板法、钻孔法               |                                                   |
|                    |      | 岩体完整性:岩块及岩体声波波速、压水试验        |                                                   |
|                    |      | 岩体应力                        |                                                   |
|                    |      | 单孔波速测试或跨孔波速测试               |                                                   |

## 附录 C 边坡岩体质量分类

### C.1 岩石基本质量

C.1.1 岩体基本质量分级应符合表 C.1.1 的规定。

表 C.1.1 岩体基本质量分级

| 基本质量级别 | 岩体基本质量的定性特征                                                   | 岩体基本质量指标(BQ) |
|--------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| I      | 坚硬岩,岩体完整                                                      | $>550$       |
| II     | 坚硬岩,岩体较完整;较坚硬岩,岩体完整                                           | $550\sim450$ |
| III    | 坚硬岩,岩体较破碎;较坚硬岩或软硬岩互层,岩体较完整;较软岩,岩体完整                           | $450\sim350$ |
| IV     | 坚硬岩,岩体破碎;较坚硬岩,岩体较破碎~破碎;较软岩或软硬岩互层,且以软岩为主,岩体较完整~较破碎;软岩,岩体完整~较完整 | $350\sim250$ |
| V      | 较软岩,岩体破碎;软岩,岩体较破碎~破碎;全部极软岩及全部极破碎岩                             | $\leq 250$   |

C.1.2 岩体基本质量指标 BQ 应按下式计算:

$$BQ=90+3R_c+250K_v \quad (C.1.2)$$

式中: $R_c$ ——岩石饱和单轴抗压强度的兆帕数值,当  $R_c > 90K_v + 30$  时,取  $R_c = 90K_v + 3$ ;

$K_v$ ——岩体完整性指数,当  $K_v > 0.04R_c + 0.4$  时,取  $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 。

C.1.3 当边坡工程岩体详细定级时,应按照不同坡高考虑地下水、地表水、初始应力场、结构面的组合、结构面的产状与边坡坡面间的关系等因素进行修正。

## C.2 边坡岩体质量分类(CSMR)

C.2.1 边坡岩体质量分类(CSMR)采用积差评分模型,可按下列公式计算:

$$\text{CSMR} = \xi \times \text{RMR} - \lambda F_1 F_2 F_3 + F_4 \quad (\text{C.2.1-1})$$

$$\xi = 0.57 + 34.3/H \quad (\text{C.2.1-2})$$

式中:CSMR——岩体质量分类综合评分;

$\xi$ ——坡高系数;

RMR——岩体质量指标;

$\lambda$ ——结构面条件系数;

$F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ ——结构面方位系数;

$F_4$ ——开挖方法系数;

$H$ ——边坡高度(m)。

C.2.2 岩体质量指标 RMR 应按表 C.2.2 取值。

表 C.2.2 RMR 分类参数及评分标准

| 参 数 |                  |             | 评 分 标 准 |           |           |           |             |
|-----|------------------|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1   | 岩石强度<br>(MPa)    | 点荷载强度       | >10     | 4~10      | 2~4       | 1~2       | <1,<br>不宜采用 |
|     |                  | 单轴抗压强度      | 250~100 | 100~60    | 60~30     | 30~15     | 15~5        |
|     | 评分               |             | 15~10   | 8         | 5         | 3         | 2~0         |
| 2   | 岩石质量指标<br>RQD(%) |             | 90~100  | 75~90     | 50~75     | 25~50     | <25         |
|     | 评分               |             | 20      | 17        | 13        | 8         | 3           |
| 3   | 结构面间距(cm)        |             | 200~100 | 100~50    | 50~30     | 30~5      | <5          |
|     | 评分               |             | 20~15   | 13        | 10        | 8         | 5           |
| 4   | 结构面<br>条件        | 粗糙度         | 很粗糙     | 粗糙        | 较粗糙       | 光滑        | 擦痕、<br>镜面   |
|     |                  | 评分          | 6       | 4         | 2         | 1         | 0           |
|     |                  | 充填物<br>(mm) | 无       | <5<br>(硬) | >5<br>(硬) | <5<br>(软) | >5<br>(软)   |

续表 C.2.2

| 参 数 |           |               | 评 分 标 准 |            |            |             |        |
|-----|-----------|---------------|---------|------------|------------|-------------|--------|
| 4   | 结构面<br>条件 | 评分            | 6       | 4          | 2          | 2           | 0      |
|     |           | 张开度<br>(mm)   | 未张开     | $<0.1$     | $0.1\sim1$ | $1\sim5$    | $>5$   |
|     |           | 评分            | 6       | 5          | 4          | 1           | 0      |
|     |           | 结构面长度<br>(mm) | $<1$    | $1\sim3$   | $3\sim10$  | $10\sim20$  | $>20$  |
|     |           | 评分            | 6       | 4          | 2          | 1           | 0      |
|     |           | 岩石风化<br>程度    | 未风化     | 微风化        | 中风化        | 强风化         | 全风化    |
|     |           | 评分            | 6       | 5          | 3          | 1           | 0      |
| 5   | 地下水<br>条件 | 状态            | 干燥      | 湿润         | 潮湿         | 滴水          | 流水     |
|     |           | 透水率 $Lu$      | $<0.1$  | $0.1\sim1$ | $1\sim10$  | $10\sim100$ | $>100$ |
|     |           | 评分            | 15      | 10         | 7          | 4           | 0      |

C.2.3 结构面方向系数  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  应按表 C.2.3 取值。

表 C.2.3 结构面方向系数  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 

| 破坏机制   | 情况                                             | 非常有利         | 有利                         | 一般                       | 不利                         | 非常不利         |
|--------|------------------------------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| $P$    | $\gamma_1 =  \alpha_j - \alpha_s $             | $>30^\circ$  | $30^\circ \sim 20^\circ$   | $20^\circ \sim 10^\circ$ | $10^\circ \sim 5^\circ$    | $<5^\circ$   |
| $T$    | $\gamma_1 =  \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $ |              |                            |                          |                            |              |
| $P, T$ | $F_1$                                          | 0.15         | 0.40                       | 0.70                     | 0.85                       | 1.00         |
| $P$    | $\gamma_2 =  \beta_j $                         | $<20^\circ$  | $20^\circ \sim 30^\circ$   | $30^\circ \sim 35^\circ$ | $35^\circ \sim 45^\circ$   | $>45^\circ$  |
| $P$    | $F_2$                                          | 0.15         | 0.40                       | 0.70                     | 0.85                       | 1.00         |
| $T$    | $F_2$                                          | 1            | 1                          | 1                        | 1                          | 1            |
| $P$    | $\gamma_3 = \beta_j - \beta_s$                 | $>10^\circ$  | $10^\circ \sim 0^\circ$    | $0^\circ$                | $0^\circ \sim (-10^\circ)$ | $<-10^\circ$ |
| $T$    | $\gamma_3 = \beta_j + \beta_s$                 | $<110^\circ$ | $110^\circ \sim 120^\circ$ | $>120^\circ$             | —                          | —            |
| $P, T$ | $F_3$                                          | 0            | 5                          | 25                       | 50                         | 60           |

注： $P$  代表滑动， $T$  代表倾倒， $\alpha_s$  为边坡倾向， $\alpha_j$  为结构面倾向， $\beta_s$  为边坡倾角， $\beta_j$  为结构面倾角。

C.2.4 结构面条件系数  $\lambda$  应按表 C.2.4 取值。

表 C.2.4 结构面条件系数  $\lambda$

| 结构面条件   | $\lambda$ |
|---------|-----------|
| 断面、夹泥层  | 1.0       |
| 层面、贯穿裂隙 | 0.8~0.9   |
| 节理      | 0.7       |

C.2.5 开挖方法系数  $F_4$  应按表 C.2.5 取值。

表 C.2.5 开挖方法系数  $F_4$

| 方法系数  | 自然边坡 | 预裂爆破 | 光面爆破 | 常规爆破 | 无控制爆破 |
|-------|------|------|------|------|-------|
| $F_4$ | +5   | +10  | +8   | 0    | -8    |

C.2.6 CSMR 评价边坡稳定性应符合表 C.2.6 的规定。

表 C.2.6 CSMR 评价边坡稳定性

| 类别   | V    | IV    | III   | II    | I      |
|------|------|-------|-------|-------|--------|
| CSMR | 0~20 | 21~40 | 41~60 | 61~80 | 81~100 |
| 岩体质量 | 很差   | 差     | 中等    | 好     | 很好     |
| 稳定性  | 很不稳定 | 不稳定   | 基本稳定  | 稳定    | 很稳定    |

## 本规范用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的;

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 《核电厂抗震设计规范》GB 50267
- 《地基动力特性测试规范》GB/T 50269
- 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87
- 《电力工程物探技术规程》DL/T 5159
- 《水电水利工程地质勘察水质分析规程》DL/T 5194
- 《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388

中华人民共和国国家标准

核电厂岩土工程勘察规范

**GB 51041-2014**

条 文 说 明

## 制 订 说 明

《核电厂岩土工程勘察规范》GB 51041—2014,经住房城乡建设部 2014 年 10 月 9 日以第 584 号公告批准发布。

本规范制订过程中,对重要的岩土工程勘察技术问题进行了调查研究,编写了专题报告;总结了近年来国内外核电厂岩土工程勘察工作的工程实践经验和教训,采纳了工程勘察领域新的科研成果,同时参考了有关国际标准和国外先进标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《核电厂岩土工程勘察规范》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

|     |                        |         |
|-----|------------------------|---------|
| 1   | 总 则 .....              | ( 91 )  |
| 3   | 基本规定 .....             | ( 92 )  |
| 3.1 | 一般规定 .....             | ( 92 )  |
| 3.2 | 岩土工程勘察等级 .....         | ( 94 )  |
| 3.3 | 勘察阶段划分和各勘察阶段主要任务 ..... | ( 94 )  |
| 4   | 初步可行性研究阶段 .....        | ( 95 )  |
| 4.1 | 一般规定 .....             | ( 95 )  |
| 4.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 95 )  |
| 4.3 | 厂址普选工作 .....           | ( 96 )  |
| 5   | 可行性研究阶段 .....          | ( 97 )  |
| 5.1 | 一般规定 .....             | ( 97 )  |
| 5.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 97 )  |
| 6   | 初步设计和施工图设计阶段 .....     | ( 100 ) |
| 6.1 | 一般规定 .....             | ( 100 ) |
| 6.2 | 勘察工作布置原则和技术要求 .....    | ( 100 ) |
| 7   | 工程建造阶段 .....           | ( 104 ) |
| 7.1 | 一般规定 .....             | ( 104 ) |
| 7.2 | 勘察工作技术要求 .....         | ( 104 ) |
| 8   | 水工构筑物 .....            | ( 106 ) |
| 8.1 | 一般规定 .....             | ( 106 ) |
| 8.2 | 泵房 .....               | ( 107 ) |
| 8.3 | 冷却塔 .....              | ( 108 ) |
| 8.4 | 堤和坝 .....              | ( 108 ) |
| 8.5 | 隧洞 .....               | ( 109 ) |

|      |                     |       |
|------|---------------------|-------|
| 8.6  | 管道 .....            | (110) |
| 8.7  | 取水头部和闸门井 .....      | (111) |
| 9    | 专门岩土工程勘察 .....      | (112) |
| 9.1  | 断裂 .....            | (112) |
| 9.2  | 不良地质作用与地质灾害 .....   | (115) |
| 9.3  | 液化 .....            | (115) |
| 9.4  | 天然建筑材料 .....        | (116) |
| 10   | 边坡工程 .....          | (119) |
| 10.1 | 一般规定 .....          | (119) |
| 10.2 | 边坡勘察内容和方法 .....     | (120) |
| 10.3 | 边坡稳定性评价 .....       | (120) |
| 10.4 | 边坡监测 .....          | (121) |
| 11   | 水文地质 .....          | (122) |
| 11.1 | 一般规定 .....          | (122) |
| 11.2 | 水文地质参数测定 .....      | (122) |
| 12   | 勘察方法 .....          | (123) |
| 12.1 | 工程地质测绘 .....        | (123) |
| 12.2 | 钻探与取样 .....         | (123) |
| 12.3 | 工程物探 .....          | (124) |
| 12.4 | 原位测试 .....          | (125) |
| 12.5 | 室内试验 .....          | (128) |
| 13   | 岩土工程分析评价和成果报告 ..... | (130) |
| 13.1 | 一般规定 .....          | (130) |
| 13.2 | 岩土的工程特性指标 .....     | (131) |
| 13.3 | 地基承载力 .....         | (133) |
| 13.4 | 稳定性及均匀性评价 .....     | (136) |
| 13.5 | 成果报告 .....          | (136) |
| 附录 C | 边坡岩体质量分类 .....      | (138) |

# 1 总 则

**1.0.1** 本规范包括核电厂厂址选择、设计、建造和运行所有阶段的岩土工程勘察工作内容。

**1.0.3** 核电厂各勘察阶段以及岩土工程勘察工作内容及要求 and 一般的工业民用建筑不同,勘察时应按本规范的要求进行,否则不能满足设计和施工的要求。

**1.0.5** 本条为强制性条文,必须严格执行。核电厂是安全等级最高的工业建筑物群,对勘察、设计、建造、运行活动有着非常高的质量要求。IAEA 新的安全标准《Site Evaluation for Nuclear Installations》No. NS-R-3 第 6.1 条明确规定:必须制定充分的质量保证大纲,以控制在核装置厂址评价各个不同阶段开展的厂址调查和评定以及工程活动实施的有效性。我国《核安全与放射性污染防治“十二五”规划及 2020 年远景目标》规定:对于新申请建造许可证的核电项目,按照我国和国际原子能机构最新的核安全法规标准进行选址和设计。勘察作为厂址调查和评定活动的一部分,同样应满足上述要求。因此特制订本条规定,并作为强制性条文。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 本条对核电厂岩土工程勘察主要的任务及内容作了总的规定,虽然因勘察阶段的不同而有所侧重,但各阶段勘察均应满足本条要求。核电厂岩土工程勘察的重点是提供与核安全相关建筑物的地基岩土设计输入参数,包括静态参数和动态参数,动态参数既是重点,也是难点。

3.1.2 核电厂岩土工程勘察,应充分搜集、分析已有资料,编制勘察工作大纲和质量保证大纲。搜集分析已有资料,也是勘察工作的重要组成部分,但近年来不少勘察单位比较重视勘察实物工作量,而不太重视有关勘察资料的搜集及分析,这是应予改进的。由于核电厂勘察的重要性、复杂性,应制订有针对性的勘察技术方案,编制勘察工作大纲和质量保证大纲,并通过专家或有关单位的评审。

3.1.3 核电厂的总体布置,各个建筑群在建筑物组合和性质上有明显的差异。本规范根据建筑物的功能和组合划分为4个不同的建筑地段。这些不同建筑地段建筑物的安全性质、结构、荷重、基础形式和埋深等方面的差异,是考虑选择勘察手段和方法、钻探深度和布置要求的依据。

3.1.4 核岛及其他核安全相关建(构)筑物是核电厂中安全要求最高的建(构)筑物,也是核电厂岩土工程勘察重点关注的对象。核岛及其他核安全相关建(构)筑物的安全评价、设计、施工都需要有可靠的岩土资料。根据质量保证的要求,这些岩土资料不应是通过资料分析得来的,而应通过工程地质测绘、钻探、物探、测试试验等实物工作获取原始数据再经岩土工程分析得到的。勘察实物

工作量的多少根据勘察阶段、建(构)筑物的规模、场地和地基复杂程度综合确定。

**3.1.5** 本条主要说明两点:第一,岩土工程分析不仅应分析评价岩土自然规律和特征,还应强调针对工程实际需要作出岩土工程分析评价,与工程密切结合,解决工程问题。资料整编时,应针对需要解决的岩土工程问题,将原始资料、测试数据及调查结果综合归纳、论证,并作出分析评价。第二,岩土工程分析的结果应体现在厂址方案、总平面布置方案、地基基础方案或岩土体利用与改造方案,以及设计、施工参数等方面上。而评价时应立足于岩土工程条件,充分吸取当地建筑经验,并应综合考虑上部结构、材料供应及施工条件等因素,经不同方案比较,优选出经济合理的方案。

**3.1.7** 本条按照新版有关核安全导则及有关工程经验制定。可根据反应堆厂房等主要建(构)筑物的场地剪切波速  $V_s$  值、岩土地基承载力特征值  $f_{sk}$  等条件对厂址进行分类。在当前条件下,Ⅰ类厂址适宜建设各种类型核电厂,Ⅱ类厂址应进行具体分析研究确定,Ⅲ类厂址不适宜建设核电厂。目前,我国建设和选择的核电厂绝大多数属于Ⅰ类厂址,Ⅱ类的Ⅱ<sub>1</sub>类厂址通过必要的静力、动力分析计算等专题工作,原则上应适宜建设核电厂,Ⅱ<sub>2</sub>类厂址应进行专题研究,进一步积累经验。

**3.1.8** 核电厂工程勘察所获得的岩芯是钻探工作的重要成果,是检验地质条件的实证,因此,各阶段勘察所采取的钻孔岩芯在勘察结束后应移交业主保管。本条仅作了原则的规定,在勘察工作中,可按照实际情况和工程经验具体研究确定。不同的勘察阶段对岩芯保留有不同的要求,如初可研、可研阶段宜全孔保留岩芯,设计阶段可只保留厂坪标高以下的岩芯。另外,可重点保留控制性钻孔及有代表性的岩芯,对于岩性无变化孔段的可按一定比例(如1:10)缩节保留;对于岩性变化大、软弱夹层多的地层,适当增加保留的长度和段数。

**3.1.9** 钻孔完成以后应做好钻孔回填和封孔工作,防止破坏地基

和遗留地下水联系通道。

### 3.2 岩土工程勘察等级

**3.2.3** 为了统一核电厂勘察场地复杂程度标准,按场地的地形地貌、边坡情况、地层结构、岩土性质均匀程度、地质构造情况、有无不良地质作用、水文地质条件复杂程度、地震情况等因素,将勘察场地划分为复杂、中等复杂、简单场地。

本条勘察场地复杂程度的划分,是一个宏观的、较定性的标准,具有一定的灵活性,岩土工程师应根据本条文规定及工程经验合理划分。

场地复杂程度划分时,可先从复杂场地开始进行划分,凡符合本条复杂场地或中等复杂场地条件中一个分号内所述条件的,即为复杂或中等复杂场地。全部满足简单场地所有条件,才能定为简单场地。

### 3.3 勘察阶段划分和各勘察阶段主要任务

**3.3.1** 本条按照我国基本建设程序和核电厂工程建设经验编写。根据目前国内基建程序,一般来说勘察阶段划分为初步可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计和工程建造 5 个勘察阶段;鉴于我国核电厂建设的实际情况,核岛等主要建(构)筑物的初步设计阶段和施工图设计阶段勘察一般合并进行,所以本规范中划分了 4 个阶段,这 4 个阶段勘察循序渐进、逐步深入,每个勘察阶段的侧重点不同、工作深度不同,在实际工程中对具体建(构)筑物应根据具体情况进行勘察工作。必要时,初步设计阶段和施工图设计阶段勘察也可以分开进行。核安全导则根据国外一般做法,把厂址勘察阶段划分为厂址查勘、厂址评价、运行前 3 个阶段,厂址评价阶段又划分为初步可行性研究阶段、厂址验证和厂址评定阶段。从工作深度和内容方面经过分析对比,核安全导则与本规范在勘察阶段划分上二者大致相当,但本规范更符合我国国情。

## 4 初步可行性研究阶段

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 本条根据有关法规、标准和近年来核电工程勘察的经验作了几点规定,初可研阶段勘察应满足条文中的六款规定。但我国幅员辽阔,地质条件十分复杂,各厂址相差很大,岩土工程师应针对厂址的实际条件,提出本阶段应重点查明的关键问题。目前,我国核电厂主要采用岩石地基,因此本阶段查明利用岩盘的大小,能否布置四台或四台以上机组也是一个重要的问题。

### 4.2 勘察工作布置原则和技术要求

**4.2.1** 在初步可行性研究阶段,已有的地形图比例尺一般较小,因此工程地质测绘应结合工程地质调查,可利用遥感等资料进行解译,辅以适当的野外调查,初步查明包括地形、地貌、地层岩性、地质构造、水文地质以及岩溶、滑坡、崩塌、泥石流等不良地质作用。重点调查断层构造的展布和性质,通过预计的主厂房区应布置两条实测地质剖面,也可采用图切剖面的形式表达,图中应反映钻探成果以及初步拟定的厂坪标高。

**4.2.2** 鉴于初步可行性研究阶段需确定优先候选厂址和备选厂址,而新选厂址工程地质条件也愈来愈复杂,本条规定了每个厂址勘探孔不应少于5个,对岩土工程条件复杂的厂址勘探孔数量还应适当增加,例如,地层岩性种类多的厂址、岩石顶面起伏较大的厂址、风化强烈的厂址和岩溶可能发育的厂址等。勘探孔间距不宜大于500m,大于这个数值应适当增加勘探孔数量。钻孔深度应为预计厂坪标高以下30m~60m,核岛地段和地质条件复杂厂址应采用大值;特别是岩土条件复杂时,不应受这个深度限制,应按

需要加大勘探深度。

**4.2.3** 由于本阶段投入的钻探等工作量较少,进行一些物探工作有助于了解覆盖层厚度、基岩面起伏、隐伏构造及破碎软弱带,采用的物探方法可根据场地的特征来确定,物探剖面布置建议与实测剖面 and 钻孔剖面重合,有利于物探成果的解译。当发现有可能影响厂址适宜性的特殊工程地质现象时,应进行专题研究。

### **4.3 厂址普选工作**

**4.3.1** 厂址普选工作主要是搜集分析已有地质资料和对厂址进行踏勘调查,一般不需要开展外业工作。

**4.3.2** 厂址普选应重点分析厂址地基类型,核岛能否采用岩石地基,岩石的种类、性质等。

## 5 可行性研究阶段

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条规定了可行性研究阶段需要搜集的资料,以便对场地情况和设计情况进行了解,有针对性地布置工作量。岩土工程勘察技术任务书应包括拟采用的机组类型、厂坪设计标高、基础埋深、勘察技术要求等资料,并附可行性研究阶段的总平面布置图及总体规划图。

**5.1.3** 本阶段评价厂址适宜性的内容与初可研阶段相同,但投入的工作量及研究程度要深入一些,也可以验证初可研阶段适宜性的结论,为最终确定厂址提供依据。

### 5.2 勘察工作布置原则和技术要求

**5.2.1** 工程地质测绘比例尺根据厂址的情况来确定,特别简单的厂址可采用 1:2000,复杂的厂址宜采用 1:1000,至少主厂区采用 1:1000。应布置通过主厂区的实测地质剖面,实测剖面的数量一般根据机组的数量来确定,一般来说两台机组三个剖面,四台机组五个剖面,此外还要根据初可研的资料布置一些有针对性的剖面,对于有冷却塔的厂址在冷却塔区也应布置实测剖面。

**5.2.2** 本条对可研阶段勘察钻探和测试工作要求进行了规定。

1 根据《核电厂的地基安全问题》HAD101/12 规定:钻孔布置采用网格状布置,可将钻孔布置在拟建(构)筑物位置或其附近。根据厂址的地形条件,网格间距可以变化,但在该阶段采用 150m 的网格一般已足够了。均匀网格法对均匀厂址尤其适用。如果地下条件呈现出非均匀性,则钻孔位置应予调整并谨慎选择以弄清地下条件。《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001(2009 年版)第

4.6.11 条规定:厂区的勘探应结合地形、地质条件采用网格状布置,勘探点间距宜为 150m。根据我国数十个核电厂勘察工作,该阶段钻孔间距多为 100m~150m,因而规定该阶段勘探孔应结合地形、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。

3 根据计算对于基础底面宽度较宽大( $b \geq 40\text{m}$ )的建筑,实测压缩层深度一般都不超过 1 倍基底宽度。因此,当核岛区控制性勘探孔深度进入基础底面以下 1.5 倍~2.0 倍反应堆厂房直径时,不论基岩面埋深较浅或是较深时,都能够满足地基变形计算的需要。

4 在可行性研究勘察时,核电厂的总平面布置一般还没有最终确定,因此位于常规岛区的勘探孔深度宜按核岛区的一般性勘探孔进行确定,一旦核岛向常规岛位置移动时,该钻孔还可用于核岛地基分析。

5 可行性研究阶段,水工构筑物位置尚未确定,勘探点深度应结合构筑物的重要程度、水下地形和海流、河流的最大冲刷深度确定。一般情况下,控制性钻孔孔深应穿透压缩层不小于 5m,如果基岩较浅,应进入基底以下中等风化或微风化岩体不小于 5m。本规范第 8 章对各类构筑物在设计阶段勘察和施工勘察作了具体规定,水工构筑物可行性研究阶段勘察可参照执行。

5.2.3 标准贯入、动力触探、静力触探、旁压试验、十字板剪切试验或扁铲侧胀试验等均是非常成熟的常规原位测试方法,勘察单位可根据地层情况、所要解决的问题、要取得的参数和地区经验,选用合适的方法。本阶段一般不进行载荷试验,如果工程确有需要且有条件的话也可以进行载荷试验。

5.2.4 本条为强制性条文,必须严格执行。核电厂可研阶段岩土工程勘察有两个主要任务:为最终确定厂址和主厂区(核岛、常规岛)最终定位提供岩土资料,为厂址安全分析报告提供岩土资料。前者必须通过钻探工作并辅以其他勘察方法查明核岛、常规岛地

基条件是否适宜,后者需要利用核岛地基剪切波速证明核电厂设计是否适用于该厂址或者进行必要的土结动力相互作用分析。当前的核电厂可研勘察都是如此执行的,有力地保证了核电厂勘察质量。因此将本条列为强制性条文。

**5.2.5** 考虑到工程物探结果的多解性,选用物探方法时,多采用综合物探的方法,物探方法的选用根据要解决问题的性质确定。

## 6 初步设计和施工图设计阶段

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 根据核电厂建设经验,核岛、常规岛的初步设计勘察之后紧接着就是基槽开挖,不再进行单独的施工图勘察,因此,该阶段勘察要同时满足初步设计和施工图设计的要求;当岩土条件复杂时,宜按初步设计和施工图设计分阶段进行勘察。

**6.1.2** 鉴于核电厂初步设计阶段总平面布置已初步确定,故要求本阶段针对核电厂主体建筑物进行分地段岩土工程勘察。核岛、常规岛勘察是重点,初步设计勘察时水工建筑物地段只针对主要水工建筑物进行,而附属厂房建筑物只进行简略的方格网勘察,施工图设计勘察应按具体建(构)筑物布置勘探点。

**6.1.3** 勘察前应具备的文件和资料是开展本阶段勘察工作的基本依据,应结合核电厂特点对这些资料认真研究和掌握,应对建筑物结构和基础等有关技术性资料有明确的了解,使勘察工作具有较强的针对性。

**6.1.4** 本阶段应进一步查明各建筑地段的地质条件,提供设计需要的各种设计参数。

**6.1.5** 根据勘察资料,结合类似工程经验,对施工和使用期间可能发生的工程及地质问题进行分析和预测、提出预防措施及监测建议,是核电厂岩土工程勘察的一项重要工作。

### 6.2 勘察工作布置原则和技术要求

**6.2.1** 基于核电厂各类建筑物对地基的不同要求,施工进度、周期差异也较大,因此要求按不同建筑地段实施勘察并进行岩土工程评价,以便于设计、施工对勘察报告的使用。

**6.2.2** 由于本阶段勘察一般是在场地平整后进行的,本阶段地质测绘工作主要是对前期测绘成果进行验证和补充,对原始地表出露的重要地质现象在厂坪位置的出露特征变化进行调查对比,对开挖后揭露的地质现象进行调查与评价,必要时宜布置适量的探井、探槽进行揭露。

**6.2.3** 核岛是指反应堆厂房及其紧邻的核辅助厂房,对核岛地段的钻孔只提出了最低的要求,主要考虑了核岛的形状和基础面积。在实际工作中,可根据场地实际岩土工程条件和场地范围进行适当调整。

我国已建成和在建的核电厂机组包括单堆布置和双堆布置形式,条文中的要求主要是针对双堆形式的机组布置提出的。对于单堆形式的机组,根据目前掌握的资料,其要求不尽相同,如M310机组、俄罗斯的VVER机组要求控制性钻孔深度一般不小于基础底面以下2.0倍反应堆厂房直径,而AP1000、CAP1400机组要求控制性钻孔深度一般不小于基础底面以下1.2倍反应堆厂房直径,因此应根据本条规定结合厂址具体岩土地质条件确定钻孔数量和深度。

我国还没有在土和极软岩、软岩上建设核电厂的工程经验。鉴于反应堆厂房的重要性,在设计阶段的勘察中,当反应堆厂房为非岩石地基和极软岩、软岩地基时,需要开展载荷试验和旁压试验,确定地基承载力和变形计算参数。

**6.2.4** 本条为强制性条文,必须严格执行。岩土体动力学参数是反应堆厂房抗震设计和分析必不可少的参数,对参数本身的准确性和可靠性要求也很高。波速测试是获取岩土体动力学参数的主要手段,但是由于单孔法本身的局限性,现在的反应堆厂房抗震设计计算均采用跨孔法波速测试成果,取用的数据的深度达到基础底面以下1.5倍~2.0倍反应堆厂房直径(相当于本条规定的控制性钻孔深度)。故要求每个反应堆厂房地段都要采用跨孔法进行波速测试,且测试深度达到控制性钻孔深度,并作为强制性条文

执行。

**6.2.5** 虽然常规岛地段按其建筑级别相当于火力发电厂汽轮发电机厂房,但考虑到与核岛系统的密切关系,本条对常规岛勘察工作量作了具体规定。在实际工作中,应结合场地具体工程地质条件,适当调整勘察工作量。

**6.2.7** 根据我国核电厂建设的实际情况及工程勘察经验,附属建筑物勘察一般分阶段进行。但也应注意到,我国核电建设的机组型式越来越多样化,工程的规模和要求各不相同,场地和地基的差别程度也很大,随着核电建设工程经验的积累,要求每个项目都分阶段勘察也不必要,当前期工作已经积累了大量工程勘察资料,且建筑物平面布置已经确定时,也可直接进行详勘工作。

本条对核安全相关建筑物控制孔和波速测试深度的规定系根据现行国家标准《工程场地地震安全性评价》GB 17741 和《核电厂工程地震调查与评价规范》GB/T 50572 的要求提出的。

**6.2.8** 当建筑场地有需要查清的软弱夹层和破碎带等特殊地质问题时,可以采用探坑(井、槽),必要时可采用斜井、平硐等工程地质坑探工作,进行针对性的勘察;当建筑物平面位置改变而已有勘察工作不能满足设计要求时,也应进行补充勘察工作。

**6.2.9** 取样数量及取样钻孔总数应由岩土工程师根据具体情况,因地制宜、因工程不同而确定。由于岩土体本身的不均匀性,取样设备、操作、储存、运输、制样对试样质量的影响,测试过程本身的系统误差,使得单个原位测试指标和单个试样的试验指标不能完全代表某一岩土体的工程特性,因此应有足够的样本数量并且具有代表性,原位测试和室内试验数据的量应满足统计的要求。本条第1款、第2款、第3款给出了样本代表性和取样数量的最低要求,第4款、第5款给出了试样采取、储存、运输和制备的技术要求。

**6.2.10** 原位测试是岩土工程勘察的重要方法,由于测试没有脱离原来的地质环境,测试结果能比较客观地反映实际情况尤其是岩土体的应力状态。其测试方法、位置和数量不仅应结合所研究

的内容,还要根据评价的目的确定。各种原位测试的仪器设备、试验方法、条件和过程控制等问题已有专门的规程和规定,在实际工作中可参考执行。

**6.2.11** 由于水文地质调查工作在前期已经取得了大量的资料,本阶段主要针对场地平整后由于场地开挖回填的影响引起的水文地质条件的变化进行补充调查工作,并验证前期资料的准确性。在基岩区可选择压水试验或抽水试验测求岩体的渗透性参数,在第四系土层中可选择抽水试验或注水试验测求土体的渗透性参数。

**6.2.12** 本条除规定了常规物理力学性质试验外,还增加了一些特殊试验项目,主要是考虑了核电厂核安全相关建(构)筑物地基设计和安全分析评价的需要。

## 7 工程建造阶段

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 核电厂是现今对安全要求最高的工业设施,建设周期长,建造过程中需开展必要的检验和监测工作,以确保核安全,这也是我国和国际核安全法规的基本要求。对岩土工程而言,检验和监测包括:对前期勘察成果和岩土工程施工质量进行检验和检测,确认设计条件和检查施工质量;从场地施工开始就对岩土性状和建(构)筑物的变形进行监测,通过长期的系统监测对设计和施工成果进行验证;对检验和监测中发现的缺陷采取措施加以改进使之满足安全要求。

**7.1.2** 岩土工程设计文件主要包括拟建建筑的基础负挖区、隧洞及边坡等内容的平、剖面布置图及其设计说明书。

### 7.2 勘察工作技术要求

**7.2.1** 关于主厂区正挖地坪是否进行地质编录,各个核电厂的要求并不统一。我国当前的核电厂建设过程中,主厂区正挖工期短,速度非常快,厂坪得不到及时清理,使得正挖地坪编录工作难度很大。但是场地正挖施工挖除了覆盖层,为直观观测各种地质现象提供了良好的露头条件,正挖地坪编录工作是对前期勘察工作的有益补充,也是对前期勘察成果的最好检验,意义重大,因此本条规定“宜对主厂区正挖地坪进行地质编录”。

**7.2.3、7.2.4** 本条规定了地质编录和验槽工作的主要内容。参加地质编录、验槽的技术人员应充分熟悉勘察资料,了解建筑物的特点和施工设计文件。最好由参加过本工程勘察的技术人员来负责编录、验槽工作,保持勘察的连续性。

**7.2.5** 本条从建(构)筑物的安全重要性出发,对监测工作进行了基本规定。核电厂中与核安全相关建(构)筑物的损坏会直接或间接地造成核事故,后果十分严重,因此这些建(构)筑物应成为监测的重点对象。常规建筑物的监测应根据工程的实际情况进行,或参照现行行业标准《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》DL/T 5074 中的建筑物分级和监测工作要求执行。在核电厂工程建设过程中,可能遇到的监测项目主要有基坑监测、建筑物变形监测、边坡监测、隧洞监测和堤坝监测等,每一个监测项目又有不同的监测内容,本条第 1 款~第 5 款列举了核电厂建(构)筑物监测的主要内容。在实际的监测中,应针对具体的建(构)筑物、岩土条件和设计要求选择监测内容,制订切实可行的实施方案。

**7.2.6** 核电厂往往有大面积的填方区,填土在长期自重作用下将产生沉降,对建于其上的建(构)筑物可能造成不良影响;另外在回填施工过程中需要控制回填速率和单层回填层的厚度,以免破坏下伏土体而引起地基失稳,因此大面积填方工程应进行监测。

## 8 水工构筑物

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 由于初步可行性研究阶段水工构筑物方案尚无法明确,因此本章中没有规定水工构筑物需进行专门的初步可行性研究阶段勘察工作,但在厂址区初可研勘察工作中应兼顾重要的水工构筑物地段。水工构筑物针对性的勘察工作宜按可行性研究阶段勘察、初步设计阶段勘察、施工图设计阶段勘察和工程建造阶段勘察进行。由于水工构筑物方案受主厂区布置的影响较大,而且关联性较强,为满足水工构筑物方案比选的需要和可研报告编制的要求,水工构筑物的可行性研究阶段勘察工作宜和厂址区可行性研究阶段勘察同时进行。对于场地工程地质、水文地质条件简单且无特殊要求的构筑物或临近场地已有类似岩土工程经验的工程,以及一些规模小的单体建(构)筑物,可根据实际情况,合并勘察阶段。

**8.1.2** 本条规定了核电厂水工构筑物勘察的工作内容、方法和工作量的确定因素,除应考虑常规因素外,尚应重点考虑水工构筑物与核安全的相关性。

**8.1.3** 由于核安全相关建筑物抗震设计需要确定基岩(剪切波速大于  $700\text{m/s}$  的地层)埋深、基岩面以上各土层的动力学参数,使得安全相关建筑物勘察控制性钻孔深度、原位测试和室内试验的要求比同样的常规建筑物勘察要求高得多。因此为了勘察更有针对性,将水工构筑物划分为核安全相关水工构筑物和常规水工构筑物。

核电厂水工构筑物主要包括:取(排)水隧洞、取(排)水管道、取(排)水明渠、循环水泵房、取水头部及闸门井、冷却塔、堤、

坝、护岸等。核电厂水工构筑物类型根据核电厂冷却水循环系统的不同而有所区别,对于滨海厂址一般采用直排式冷却水循环系统,其水工构筑物主要包括:取排水系统、循环水泵房等;对于内陆厂址由于水资源相对较少,考虑到节约用水和环境保护的需要,一般采用循环利用冷却水系统,其水工构筑物除包括取排水系统及循环水泵房外,还包括有冷却塔及其配套的一些水工构筑物等。

对于目前我国建设的二代及二代改进型核电机组,都有安全厂用水系统,且其安全厂用水系统一般都与循环冷却水系统并行,因此对于这类核电机组的取水构筑物包括取水头部、闸门井、安全厂用水隧洞、循环水泵房、安全厂用水管道等均属于核安全相关水工构筑物,其排水系统均为常规水工构筑物。对于第三代非能动核电机组(如 AP1000 核电机组),由于其不存在安全厂用水系统,因此其取排水系统均为常规水工构筑物。

**8.1.4** 为了满足核安全相关水工构筑物抗震设计分析的需要,本条规定了该类构筑物勘察工作的要求,重点规定了取得岩土体动态参数的主要手段。

## **8.2 泵 房**

**8.2.1、8.2.2** 本条规定的泵房勘察方法及勘察深度主要针对核电厂大型的循环水泵房,对于一些小型泵房可参照执行。

泵房往往临水而建,岸坡形态、冲淤及变化情况、最高及最低水位、地表水与地下水的补排关系、水的运动对泵房的设计、施工有非常大的影响,同时泵房基坑开挖对岸坡稳定性也有比较大的影响,这些泵房勘察应重点查明或评价这些问题。

由于泵房一般都存在深基坑,为满足基坑边坡稳定性分析、基坑支护设计等工作的要求,在施工图设计阶段勘察中规定了勘探范围宜适当扩大;规定若有岸坡滑动时,所有钻孔均应钻入最深滑动面以下一定深度,是为了满足滑坡治理的需要。

### 8.3 冷却塔

**8.3.1、8.3.2** 根据我国目前核电建设特点,内陆核电机组循环冷却水大多采用冷却塔来冷却。由于核电机组单机装机容量大,核电厂的冷却塔具有高度大、占地面积大、淋水面积大的特点,从我国正在设计的几个内陆核电厂来看,冷却塔的高度多在 200m 左右,直径( $\pm 0.00$ m 标高直径)约 170m,淋水面积 18000m<sup>2</sup>左右。这么一个体型高大的薄壁筒式构筑物,对沉降的敏感程度及地基均匀性的要求比较高,勘察工作中应对这些特点予以重视。

电力系统对冷却塔的勘察和设计有丰富的经验,本节中冷却塔的勘察工作量布置要求参照了现行行业标准《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》DL/T 5074 中相同规模冷却塔的有关规定。

考虑到冷却塔内淋水系统和水槽、水池等在运行过程中可能发生漏水现象,本条规定了勘察过程中应分析评价漏水对地基土产生的不利影响。

冷却塔除承受塔体荷载的环形基础外,在塔体内部还有很多重要构筑物,如中央竖井、淋水支架、水槽及水池等,应注意对塔内构筑物的勘察工作。

冷却塔天然地基应提供各岩土层承载力特征值、变形计算参数、基床系数等参数,还应根据设计需要提供地基土的动力特性指标,包括阻尼比、地基刚度及刚度系数等。采用桩基时,除应提供桩基常规的设计参数,提供桩侧地基土的水平抗力系数的比例系数、岩石地基的竖向抗力系数,当设计需要时还应提供桩侧各岩土层的抗压刚度系数和抗剪刚度系数。考虑到冷却塔的重要性,上述设计参数宜根据原位测试方法获得,当不具备试验条件时可根据室内试验和相关规范提供经验数据。

### 8.4 堤和坝

**8.4.1、8.4.2** 堤和坝主要建造在海滩、河漫滩区地基土上,这类

地区淤泥、淤泥质土、松散砂层、混合土等不良地质层较为发育,勘察中应予以着重查明。这两条突出强调了查明岸边常见的滑坡、崩塌、冲刷、潜蚀、淤积等不良地质作用的发育情况,并分析评价其对工程的影响,提出处理措施的建议。

软土层(尤其是浅部的淤泥层)灵敏度较高,试样在采取和制备过程中极易扰动,而使得试验结果有所偏差,数据的离散性较大,因此勘察中应加强原位测试工作,资料整理过程中应对室内试验数据和原位测试数据进行对比分析,最终提出合理的岩土参数建议值。因此条文中规定软土层宜进行十字板剪切试验测定土的不排水抗剪强度指标。

## 8.5 隧 洞

**8.5.1~8.5.5** 隧洞穿越地层的不同,影响隧洞稳定性和施工安全的因素也各不相同。岩质隧洞影响因素主要有岩性、岩体的完整性、岩石强度、岩体中各种结构面的发育情况及其与洞壁的组合关系、岩体的风化程度等。土质隧洞影响主要因素是土层工程地质性质、颗粒组成、软弱土及膨胀性土等特殊岩土的分布、饱和砂(粉)土的分布、含漂石及卵石地层的分布。因此隧洞勘察工作中勘察方法和手段应具有针对性。

地下水的润滑作用及软化作用会促使岩块坍塌,地下水的高水位、静水压力作用、渗流压力等对隧洞的稳定及施工的安全都是十分不利的,在隧洞的勘察过程中应注重对地下水的勘测工作。

地应力包括自重应力和构造应力,根据我国目前核电厂选址情况来看,核电厂厂址都选在地质构造相对简单的地段,一般都不会存在较大的构造应力,因此对于浅埋隧洞可采取收集资料方式,综合场地地质情况、区域构造情况及临近工程经验来对地应力进行分析评价。对于深埋隧洞和可能存在高应力的隧洞应进行地应力量测工作。

由于核电厂没有专门的隧洞设计规范,不同的设计单位依据

的标准规范各不相同,因此本规范没有规定围岩的分类标准,勘察中应根据勘察任务书的要求,采用与设计相配套的标准进行围岩分类。考虑到核电厂取排水隧洞均为过水隧洞,和水利水电工程隧洞比较类似,推荐围岩分类按水利水电相关规范执行。

勘探点布置应本着经济合理的原则,对于工程地质条件、环境地质条件简单的深埋隧洞地段,勘探点间距宜取大值;同时勘探点应结合工程地质测绘及物探的疑点或异常点进行布置;进出口处是隧洞的关键位置之一,应有勘探点控制。

**8.5.6** 隧洞勘察仅凭地面工作和少量的钻探工作,难以满足隧洞施工的要求,因此工程建造阶段的地质编录、超前地质预报是非常必要的。对可能出现的地质问题进行预报,及时修正围岩工程地质分类,提出修改设计和施工方案的建议,有利于施工的顺利进行和施工安全。水下隧洞若发生塌方、漏水等事故将产生严重后果,因此水下隧洞宜采用超前勘探来预报前方地质条件。

## **8.6 管 道**

**8.6.1、8.6.2** 这两条规定的管道勘察方法及勘察深度主要针对长距离输水管线,对于厂址区内的管道由于离主要建(构)筑物较近,主厂区的勘察能满足厂区内管道的设计要求,对于需要针对性勘察的管道可参照本节执行。

管道的荷载小,对地基基础的要求不高,一般地基土的承载力能满足强度要求,地基问题不是管道勘察关注的重点。但管道往往很长,途经不同的地貌、地质单元,穿越或跨越铁路、公路、河谷、沟渠,会遇到不良地质作用发育地段和特殊性岩土分布地段,这些岩土工程问题对管道设计、施工方案的选择起着非常重要的作用,因此应重点查明。

管道初步设计阶段勘察主要为管道选线、选型及施工方案的初选提供初步地质资料,因此本阶段勘察应以工程地质测绘和调查为主,辅以适当的钻探、原位测试及室内试验工作。工程地质测

绘工作应充分利用天然露头和人工露头,对于覆盖层较浅地段应布置适量的探槽、探井或小螺旋钻进行揭露。勘探工作宜在工程地质测绘的基础上进行布置,以能初步控制不同地貌单元、不同地质单元地层的分布为原则。考虑到穿越或跨越地段相对较为重要,每个穿越或跨越地段宜布置勘探孔。

由于管道的施工方案不同,所需岩土参数也有所不同,因此开展施工图设计阶段勘察工作之前,应详细了解设计意图和将采取的施工方案。

## 8.7 取水头部和闸门井

8.7.1、8.7.2 取水头部和闸门井多处于岸边水陆交汇地带,地形、地貌比较复杂,往往会跨越几个地貌单元,地层复杂,层位不稳定。取水头部及闸门井基坑开挖深度又较大,在基坑开挖和基础施工过程中易发生滑坡、坍塌、潜蚀、管涌、流砂、坑底隆起等不良地质作用。勘察工作中应重点查明和评价这些问题,并提出防治措施的建议。

岸坡的稳定性及施工对岸坡稳定性的影响也是勘察中应查明和评价重要内容。因此这两条规定宜有垂直于岸线的勘探线。

考虑到基坑稳定性分析及基坑支护设计需要,取水头部及闸门井勘察范围宜为基坑开挖界线以外 2 倍~3 倍基坑开挖深度,若受场地条件限制,开挖界线以外可以调查研究和收集资料为主。

## 9 专门岩土工程勘察

### 9.1 断 裂

**9.1.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。断裂是涉及核电厂地基安全的关键因素之一,断裂勘察是核电厂岩土工程勘察的一项极为重要的内容,贯穿于核电厂岩土工程勘察的各个阶段,因此本条设为强制条款。

对于勘察场地范围内的断裂,岩土工程勘察单位和地震部门需要密切合作,岩土工程勘察单位应查明断裂的位置、规模和性质,地震部门应查明断裂的活动性并确认其是否为能动断层。对于能动断层,其产生的地表错动是现代工程技术所无法抵御的,因此必须避让。至于非能动断层,主要是对地基均匀性和稳定性的影响,一般可以通过工程措施处理加以解决。为了评价断裂破碎带对地基均匀性、稳定性的影响并提出地基处理方案的建议,需采用工程地质测绘、井探、槽探、地质编录、钻探、工程物探等多种方法手段查明断裂破碎带的分布、产状、规模,通过原位测试、室内试验提供断裂破碎带的物理力学参数。

**9.1.2** 初可研阶段厂址尚未确定,主厂区位置往往有很大的调整余地,本阶段一般只需要查明断裂的位置、规模、性质和活动性,为确定厂址和主厂区定位提供依据,不必查明断裂的物理力学指标。

**9.1.3~9.1.5** 可研阶段、设计阶段和厂坪开挖阶段发现的断层,当其具有一定宽度的破碎带且通过核岛或其他安全相关建筑物地基时,由于地基均匀性、稳定性分析论证和地基处理的难度均比较大,只要场地条件许可,应优先考虑采取避让措施。如江西某核电厂,在厂坪开挖后,发现有 2 条断层通过 4

号核岛,通过地震部门的工作,认为不是能动断层,随后设计院对总平面布置进行了调整,将核岛、常规岛避开了这 2 条断层。

可研阶段,核岛位置已大体确定,但仍有调整的余地,这时需要查明断裂的位置、规模、性质和活动性,为最终确定厂址和核岛最终定位提供依据;只有在核岛移位非常困难的情况下,才需要查明通过核岛场地的断裂的工程特性指标,为评价地基的均匀性和稳定性提供依据。

可行性研究完成之后,核岛、常规岛和其他主要建(构)筑物已经定位,调整的余地很小。这时候的断裂勘察,除了通过合适的手段和方法可靠地查明断裂的位置、规模为总平面调整提供依据以外,还需要通过原位测试、室内试验等手段查明断裂的工程特性指标,为评价地基的均匀性、稳定性和地基处理提供依据。设计阶段和厂坪开挖平整阶段的断裂勘察稍有区别,厂坪开挖平整阶段由于有比较好的露头,因此在查明断裂的分布和规模时更强调地质编录的作用。

**9.1.6** 基坑开挖后,建筑物已基本没有移动的可能性。因此本阶段非能动断层勘察的重点应是通过多种方法、手段查明断裂破碎带的分布、产状、规模,提供物理力学参数,评价地基的均匀性。当需要进行地基处理时,应为地基处理提供岩土工程资料。

田湾核电站扩建工程 3、4 号机组是我国第一个在基坑开挖过程发现断层破碎带的核电站。为了查明该断层破碎带的分布、规模、活动性,评价其对厂址和地基的影响,2004 年至 2008 年,业主先后委托核工业工程勘察院、原核工业第二研究设计院、水利水电科学研究院、中国地震局地质研究所对断层破碎带进行了勘察、专题评价研究、成因分析、抗震分析计算等工作,其中断层破碎带的勘察、活动性研究完成的实物工作量见表 1。本规范第 9.1.6 条是在总结田湾核电站扩建工程 3、4 号机组断层破碎带勘察与研究的经验上提出的。

表 1 田湾核电站扩建工程 3、4 号机组断层破碎带  
勘察与活动性研究实物工作量一览表

| 工 作 内 容       |                           | 工 作 量                                                             |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 地质调查          | 野外路勘                      | 扩建工程 3、4 号机组厂区, 人工边坡~船山飞瀑, 线路长度约 4km                              |
|               | 地形地貌调查                    | 冲沟 2 条, 长度约 1000m                                                 |
|               | 槽探                        | 探槽 21 条, 长 1296m, 编录比例尺 1:100                                     |
|               | 典型剖面研究                    | 4 条, 长 58m                                                        |
|               | 减震沟东西两壁详细编录               | 面积 6213.8m <sup>2</sup> , 长 665m, 编录比例尺 1:100                     |
|               | 3 <sup>#</sup> 核岛负挖详细地质编录 | 坑底面积 2958 m <sup>2</sup> , 坑壁面积 1600 m <sup>2</sup> , 编录比例尺 1:100 |
|               | 地表剥土                      | 面积 280 m <sup>2</sup>                                             |
|               | 微地形地貌研究                   | 1:10000 地形图约 6km <sup>2</sup>                                     |
|               | 航片解译                      | 判读 1:10000 航片约 51km <sup>2</sup> , 成图面积约 10km <sup>2</sup>        |
| 工程物探          | 电法剖面勘探                    | 5 条, 测点 400 点                                                     |
|               | 声波测井                      | 7 孔, 测试深度 167.25m                                                 |
| 钻探与取样         | 钻探                        | 19 孔, 5 个斜孔, 进尺 634.41m, 14 个直孔, 进尺 493.20m                       |
|               | 取样                        | 取测年样 17 组, 石英形貌分析试样 3 组, 取岩心样 12 组, 刻槽取样 3 组                      |
| 原位测试<br>与现场试验 | 跨孔波速测试                    | 2 组 6 孔, 1 组 2 孔                                                  |
|               | 跨孔测阻尼比                    | 2 组 6 孔                                                           |
|               | 激振法测试                     | 8 组·次                                                             |
|               | 灌砂法测密度                    | 2 点                                                               |
|               | 载荷试验                      | 3 点, 最大加载量 360kN, 承压板面积 0.25 m <sup>2</sup>                       |
| 室内试验          | 密度测试                      | 8 组                                                               |
|               | 断层年龄测定                    | 电子自旋共振测龄 16 组, 热释光测龄 1 组                                          |
|               | 石英形貌分析                    | 3 组                                                               |

## 9.2 不良地质作用与地质灾害

**9.2.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。除了规模很小的危岩、崩塌外,岩溶、滑坡、泥石流等不良地质作用与地质灾害,影响场地稳定性、适宜性,危及建(构)筑物地基安全和建(构)筑物本身的安全,均应进行专门勘察,因此本条列为强制性条文。在初可研阶段应基本查明不良地质作用对场地稳定性的影响,基本认定厂址的适宜性,到可研阶段应最终认定厂址的适宜性,否则会因地质灾害防治带来投资增加、影响进度,甚至可能因地质灾害难以防治而放弃厂址。

**9.2.4** 在初可研阶段发现滑坡,如果滑坡的规模较大或者距离厂址较近会影响到核电厂的安全时,这个厂址一般来说应放弃,只有滑坡规模较小、距离厂址较远或可通过工程手段进行治疗时,这个厂址才能保留,才会进行可研和设计阶段的勘察。因此在核电可研工作开展之前就应进行滑坡的专门勘察,为厂址的适宜性作出明确的评价,为是否全面开展可研工作提供决策。

本条第5款提出了当滑坡可能影响核安全相关的抗震Ⅰ、Ⅱ类建(构)筑物安全时,对滑坡稳定性评价提出了要求。

**9.2.6** 初可研阶段发现有影响厂址安全的泥石流时,一般会放弃该厂址,因此本条规定泥石流的勘察应在初步可行性研究阶段进行。

## 9.3 液 化

**9.3.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。由于液化对地基安全有非常严重的危害,因此,现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010第4.3.2条(强制性条文)规定:地面下存在饱和砂土和粉土时,除6度外,应进行液化判别;现行国家标准《核电厂抗震设计规范》GB 50267—97第5.3.1条规定:对存在饱和砂土和饱和粉土的地基,应进行液化判别及其危害性计算。对于液化

判别深度,现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 和现行行业标准《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》DL/T 5074—2006 均规定为地面以下 20m 范围。与核安全有关的建(构)筑物作为最高抗震等级的建(构)筑物,液化判别理应有着比一般工民建更高的要求,因此本条规定,只要与核安全有关的建(构)筑物地面以下存在饱和砂土和粉土就要进行液化判别,而不管场地基本烈度是几度,并且液化判别深度为地面以下 20m。基于上述理由,本条列为强制性条文。

**9.3.2** 饱和黄土也可能液化,饱和砾石和饱和卵石也有液化现象,但目前相关研究还不够充分,其液化判别方法缺乏震例的检验,现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 对此也没有规定。考虑到与核安全有关的建(构)筑物的重要性,故而规定进行专门评估,程度词用“宜”。

**9.3.3** 本条规定了与核安全有关的建(构)筑物场地饱和砂土和粉土的液化判别方法。

## **9.4 天然建筑材料**

**9.4.1** 核电厂建设需用大量建筑材料,对材料的要求也较高,对核电厂的投资有一定影响。天然建筑材料勘察是核电厂勘察中一项基础的重要的工作,这项工作应可研工作之后尽可能早地开展,在施工图设计前完成。

**9.4.2** 本条规定了选择料场应遵守的原则。

**1** 环境保护是科学发展观的重要组成部分,必须坚持环境保护与天然建筑材料开采并重的原则,要考虑因天然建筑材料开采对动植物生长的影响,要考虑料场开采后修复的可能性。

**3** 耕地是人类宝贵的资源,因此在选择料场时应尽量做到不占或少占耕地、林地。确需占用时,要考虑还田、还林土层。

**5** 较好的开采和运输条件包括下列内容:无用层开挖量小;料场地形、坡向有利于形成多个开采面,并能使开采量达到一定的

规模,开采面有较好的施工作业条件,各开采面之间无干扰或干扰小;料场与工程场址的距离短;料场内运输车辆周转的场地;料场内能与公路相连的交通道路。

**9.4.3** 近年来由于国内核电厂建筑材料勘察不分阶段出现了不少问题,造成了很大的浪费,有的严重影响工期。由于普查阶段工作太粗,在普查所推荐的料源地直接开展详查工作,出现了很多问题而导致重新勘查,故本条明确规定勘察阶段应划分为普查、初查及详查三个阶段,充分体现由粗到细、循序渐进的过程。故本条明确规定勘察阶段应划分为普查、初查及详查三个阶段。若料源地场地等条件简单,勘察阶段可以合并进行。

**9.4.4** 本条规定了普查阶段勘察工作的要求和精度。

**1** 根据近年来各类工程天然建筑材料勘察的实际情况,料场选择的范围已扩大到 30km 以上,现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388—2007 中规定,普查阶段的勘察工作宜控制在规划工程场地 40km 范围内。随着我国核电厂址的增多,有的核电拟选厂址在 40km 范围内很难找到合适的料源场地,故本条没有规定具体的料场选择范围,但应遵循先近后远的原则。

**2** 普查阶段的勘察工作主要是搜集已有的资料,包括该地区的工程地质资料和已建工程天然建筑材料勘察及使用情况,并对搜集的资料进行综合分析,必要时可适当布置一定的勘探工作量,可参照现行行业标准《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》DL/T 5388 的规定执行。

**4** 天然建筑材料储量一般是利用料场地形图和地质图来估算的。

**9.4.5、9.4.6** 规定了初查与详查阶段勘察工作的要求和精度。当工程规模大,或料源比较充足、料场条件较好时,可选用小比例尺。料场人工边坡的稳定性只进行定性评价,给出设计坡角建议值,一般不需进行钻探及定量评价。

**9.4.7** 天然建筑材料的勘察工作与勘察阶段有关,又与料场的地形地质条件有关。由于天然建筑材料的种类比较多、料场地形条件不同、成因不同、岩性岩相变化等,对勘察方法和适应性也不尽相同,因此要因地制宜地综合利用各种有效的勘察手段。为了计算建材储量,应搜集或进行地形图测量,地形测量比例尺应根据勘察阶段、料场的地形起伏情况、料场的面积和对料场储量的初步判断等因素来确定,条件简单的采用小比例尺,条件复杂时采用大比例尺。

**9.4.8** 天然建筑材料勘察报告正文一般包括如下主要内容:

- (1)概述:包括工程概况、目的任务、调查工作量等;
- (2)材料调查:包括料场基本条件、材料特征、试验成果、材料的物理力学指标分析与评价;
- (3)储量计算与评价;
- (4)开采与运输条件评价
- (5)人工边坡稳定性评价;
- (6)环境评价;
- (7)结论及建议。

天然建筑材料勘察报告主要附图如下:

- (1)天然建筑材料产地分布图;
- (2)天然建筑材料料场综合地质图;
- (3)勘探点平面布置图;
- (4)实际材料图;
- (5)基岩面(中等风化、微风化面)等值线图;
- (6)实测剖面图;
- (7)工程地质剖面图;
- (8)钻孔柱状图。

## 10 边坡工程

### 10.1 一般规定

10.1.1 本规范中边坡勘察的相关条款仅适用于厂区人工挖方边坡。

10.1.3 核电厂常规边坡的勘察设计原则上遵循现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330。现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 中对人工边坡进行了分级,见表 2,分级中仅涉及了边坡高度小于 30m 的岩质边坡和高度小于 15m 的土质边坡,因此本条定义了大型常规边坡的概念,对于大型常规边坡的勘察应遵循本规范的规定。

表 2 常规边坡分级表

| 边坡类型     |               | 边坡高度 $H(\text{m})$ | 破坏后果 | 安全等级 |
|----------|---------------|--------------------|------|------|
| 岩质<br>边坡 | 岩体类型为<br>Ⅰ或Ⅱ类 | $H \leq 30$        | 很严重  | 一级   |
|          |               |                    | 严重   | 二级   |
|          |               |                    | 不严重  | 三级   |
|          | 岩体类型<br>Ⅲ或Ⅳ类  | $15 < H \leq 30$   | 很严重  | 一级   |
|          |               |                    | 严重   | 二级   |
|          |               | $H \leq 15$        | 很严重  | 一级   |
|          |               |                    | 严重   | 二级   |
|          |               |                    | 不严重  | 三级   |
| 土质边坡     |               | $10 < H \leq 15$   | 很严重  | 一级   |
|          |               |                    | 严重   | 二级   |
|          |               | $H \leq 10$        | 很严重  | 一级   |
|          |               |                    | 严重   | 二级   |
|          |               |                    | 不严重  | 三级   |

注:1 一个边坡工程的各段,可根据实际情况采用不同的安全等级;

2 对危害性极严重、环境和地质条件复杂的特殊边坡工程,其安全等级可根据工程情况适当提高。

**10.1.4** 边坡初步勘察可结合厂址初步可行性或可行性研究阶段勘察一并进行;边坡详细勘察应在厂址四通一平设计阶段中完成。

**10.1.5** 本条为强制性条文,必须严格执行。核安全相关边坡和大型常规边坡的破坏可能对核电厂安全和人身安全产生重大影响,边坡岩土工程勘察是边坡设计、施工和稳定性分析计算的基础,也是保证边坡安全的基础,为了规范核安全相关边坡和大型常规边坡的勘察过程,本规范以强制性条文形式要求对核安全相关边坡和大型常规边坡进行专门勘察。

## **10.2 边坡勘察内容和方法**

**10.2.2** 本条规定了边坡详细勘察的工作内容和要求。

**3** 边坡勘察中勘探点的布置应根据边坡区地质条件复杂程度和边坡规模来确定,在布置勘探工作之前首先应进行工程地质测绘。根据工程地质测绘成果,恰当布置勘探点。勘探点的布置以辅助工程地质测绘查明边坡区岩土层的分布特征、结构类型以及岩土参数测试为目的。需要说明的是,勘探点并非仅指钻孔,其他探井、探槽或探洞均可作为勘探点使用,具体采用何种形式的勘探点应根据勘探的目的和场地条件确定。但是为了查明边坡体内部岩土层性质和构造特征,适当的钻探工作是必要的。

**5** 试验方法选择应以能否真实地模拟实地的性质为原则。同时在没有特殊规定的情况下,试验方法应能够满足水土合算和水土分算两种计算方法的要求。土质边坡按水土合算原则计算时,地下水位以下的土宜采用土的自重固结不排水抗剪强度指标;按水土分算原则计算时,地下水位以下的土宜采用土的有效抗剪强度指标。

## **10.3 边坡稳定性评价**

**10.3.3** 极限平衡计算应根据边坡可能的破坏模式选取,包括圆弧滑动法、平面滑动法、折线滑动法等;数值分析法可根据边坡破

坏机制和特点选取有限元法、离散元法、块体元法、有限差分法、流形元法等。对可以按连续介质考虑的边坡,比如土质边坡或岩体完整性较好的岩质边坡等,可以采用有限元法、有限差分法进行分析;对需要按不连续介质考虑的边坡,比如节理比较发育的岩质边坡,可以采用离散元法、块体元法。流形元法是 20 世纪 90 年代提出、并逐渐在边坡稳定性分析中加以应用的一种新兴的数值计算方法,该方法既可以分析连续介质问题,又可以进行块体系统的分析,甚至考虑完整岩体的拉裂与剪断。

## **10.4 边坡监测**

**10.4.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。核安全相关边坡和大型常规边坡稳定性是核电厂安全的重大影响因素,边坡岩土工程监测是边坡稳定性评价和灾害预警的重要手段,本规范以强制性条文形式要求对核安全相关边坡和大型常规边坡进行岩土工程监测。

# 11 水文地质

## 11.1 一般规定

**11.1.2** 初可研阶段水文地质调查,主要了解厂址所在水文地质单元的特征及与相邻水文地质单元的水力联系,尤其是和下游的水文地质单元联系。调查范围一般与工程地质测绘范围相同,是否外延取决于水文地质条件。和一般水文地质调查不同之处,在核电工程建设中,水文地质调查工作不仅仅要查明地下水对工程安全及造价的影响,还要考虑核电厂建设和运行对环境、周边居民生活、生产等的影响。

**11.1.4** 核电厂岩土工程勘察中的水文地质评价工作主要考虑地下水对工程建设的影响。

## 11.2 水文地质参数测定

**11.2.2** 在核电厂的厂坪开挖和基坑负挖过程中,场地地形地貌会发生较大的变化,会改变地下水的赋存条件。通过厂址可行性研究阶段和设计阶段勘察工作中预设的长期观测孔,可以获得地下水的长期动态变化规律,有利于分析评价场地水文地质条件对工程建设和工程建设对水文地质条件的影响。长期观测孔一般布置在具有代表性和便于长期保护的地段。

**11.2.6** 目前测定地下水流向的方法较多,实际工作中应根据含水层条件确定测定流向的方法,本条规定的几何法或等水位线法更适合松散岩类孔隙潜水的流向测定;基岩裂隙水具有不连通性的特点,没有统一的地下水位,一般可采用指示剂法或充电法确定其地下水的流向。

## 12 勘察方法

### 12.1 工程地质测绘

**12.1.1** 工程地质测绘是岩土工程勘察的基础,通过工程地质测绘,可以得到场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用、地表水与地下水等资料,这些资料为总平面布置、确定核岛位置,以及确定地球物理勘探和钻探工作量布置提供依据。

**12.1.6** 地质观测点宜布置在地质界线、地质单元体、不良地质作用、地下水出露点以及岩脉、围岩接触关系复杂的地段,地质点的定位可采用仪器方法(如经纬仪、全站仪等)或 GPS(满足精度要求)方法。

### 12.2 钻探与取样

**12.2.3** 在确保能够查明岩体工程地质特性的前提下,结合目前国内钻探工艺水平,本规范规定完整岩体岩芯采取率应不小于 80%,破碎岩体岩芯采取率不小于 65%。

考虑到钻孔倾斜对跨孔波速等原位测试结果及地层分层精度有较大的影响,且孔斜容易造成钻探卡钻及原位测试探头被卡等孔内事故,本条提出了对钻孔孔斜测量的要求。

钻探过程中应及时填写岩芯牌,岩芯牌内容应包括孔号、回次编号、回次起止深度、岩芯块数、岩芯长度、日期及记录人等。对每回次取上的岩芯应及时用油漆编号,编号应包括回次号、回次岩芯总块数、第几块等信息。

**12.2.4** 钻探记录和地质编录是岩土工程勘察重要的基础工作,应保证记录的及时性、真实性和可靠性。

本条规定了钻探记录应详细描述钻进难易程度、操作手感、钻

进时间等,并应及时记录并量测涌水、漏水、逸气、卡钻、掉块等异常情况。这些记录是客观、正确评价岩土体工程特性的重要依据,在钻探记录中一定不能忽视。

**12.2.5** 现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 对采取土样有十分具体的规定,因此本条规定土样的采取应符合该规范的要求。

对于砂土的原状样采取一般比较困难,以往勘察工作中该类土的物理力学参数多是通过经验公式换算求得,准确度不高。内环刀取砂器是在取砂器内放置环刀,采取原状样后将环刀取出,便可进行物理力学性质试验,若能设置现场试验室,试样取出后立即进行试验,这样可大大提高试验结果的准确度。

每组岩石试样需采集的数量及长度应根据试验项目确定。每项试验一般需要 3 块~5 块试件,物理试验和力学试验部分试块是可以共用的,因此岩石试样采取前应 与试验室进行沟通,以确保每组试样数量和长度能满足试验需要。由于核电厂勘察岩石试验项目较多,每组岩样取样数量会比较多,对于一些岩体较破碎的场地,往往 1 个钻孔在取样深度范围内难以取足 1 组试样,这种情况下可在临近钻孔内补取。补取的原则是,岩体风化程度、岩石特性应相近,补取的深度应和原取样深度基本接近。

### 12.3 工程物探

**12.3.1** 在核电厂岩土工程勘察中,工程物探工作的主要任务是结合钻探工作,查明厂区覆盖层厚度、隐蔽地质界限、基岩面起伏变化特征、隐伏软弱带、洞穴和重要的地质构造、评价岩体的完整性等。

**12.3.2** 电法勘探可以选用高密度电法、电剖面法、电测深法、自然电场法、充电法、激发极化法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法等,具体方法选择除了应满足任务需要外,还应符合各种方法的应用条件,如被探测目的体的规模条件、电性差异条件、地形

条件、接地条件、场地周边电磁环境等。电法勘探的工作条件和仪器性能应符合现行行业标准《电力工程物探技术规程》DL/T 5159的有关规定。

## 12.4 原位测试

### 12.4.1 本条规定了原位测试的一般要求。

1 在岩土工程勘察中,原位测试是十分重要的手段,在探测地层分布、测定岩土特性、确定地基承载力等方面有突出的优点,应与钻探取样和室内试验配合使用。在选择原位测试方法时,应考虑的因素包括岩土类条件、设备要求、勘察阶段等,而地区经验的成熟程度最为重要。

2 原位测试成果的应用,应以地区经验的积累为依据。由于我国各地的土层条件、岩土特性有很大差别,建立全国统一的经验关系是不可取的,应建立地区性的经验关系,这种经验关系应经过工程实践的验证。

6 各种原位测试所得的试验数据,造成误差的因素是较为复杂的,由测试仪器、试验条件、试验方法、操作技能、岩土层的不均匀性等所引起。对此应有基本估计,并剔除异常数据,提高测试数据的精度。静力触探和圆锥动力触探,在软硬地层的界面上,有超前和滞后效应,应予注意。

### 12.4.2 本条提出了载荷试验应满足的要求。

浅层平板载荷试验适用于浅层地基土;深层平板载荷试验适用于深层地基土和大直径桩的桩端土;螺旋板载荷试验适用于深层地基土或地下水位以下的地基土。深层平板载荷试验的试验深度不应小于5m。浅层平板载荷试验应布置在基础底面标高处。

载荷试验方法及技术要求在现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021中已作详细说明,本规范不再赘述。核电厂厂坪开挖后,部分建(构)筑物可能以回填层作为基础持力层,回填层粒径较大且不均匀,采用载荷试验确定回填层的承载力特征值时,承压

板的试验面积应适当扩大,不少于  $4\text{m}^2$  为宜。

**12.4.3** 本条提出了静力触探试验应满足的要求。

1 静力触探试验适用条件受到一定的限制,因此本条规定了适用的地层。对于Ⅰ、Ⅱ类厂址主厂区勘察时,厂址地基主要为岩石,选用静力触探测试方法的可能性小;静力触探试验主要适应于厂前区、水工构筑物区域的勘察。探头的几何形状及尺寸会影响测试数据的精度,故应定期进行检查。探头的传感器应定期进行标定,其标定误差(重复性误差、非线性误差、归零误差、温度漂移等)不应超过 $\pm 1.0\%$ FS。

**12.4.4** 本条提出了圆锥动力触探试验应满足的要求。

1 圆锥动力触探试验分为三种,其规格及适用的土类见表3。

**表3 圆锥动力触探类型**

| 类 型      |                  | 轻型                       | 重型                         | 超重型                       |
|----------|------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 落锤       | 锤的质量(kg)         | 10                       | 63.5                       | 120                       |
|          | 落距(cm)           | 50                       | 76                         | 100                       |
| 探头       | 直径(mm)           | 40                       | 74                         | 74                        |
|          | 锥角( $^{\circ}$ ) | 60                       | 60                         | 60                        |
| 探杆直径(mm) |                  | 25                       | 42                         | 50~60                     |
| 指标       |                  | 贯入 30cm 的<br>读数 $N_{10}$ | 贯入 10cm 的<br>读数 $N_{63.5}$ | 贯入 10cm 的<br>读数 $N_{120}$ |
| 主要适用岩土   |                  | 浅部的填土、<br>砂土、粉土、黏性<br>土  | 砂土、中密以<br>下的碎石土、极<br>软岩    | 密实和很密<br>的碎石土、软<br>岩、极软岩  |

轻型动力触探的优点是轻便,对于施工验槽、填土勘察、查明局部软弱土层、洞穴等分布,均有实用价值。重型动力触探是应用最广泛的一种,其规格标准与国际通用标准一致。超重型动力触探适用于碎石土。

**12.4.5** 本条提出了标准贯入试验适用的岩土类型。在核电厂的

勘察中,标准贯入试验主要用来判定砂土液化、岩石的风化程度、划分岩石的风化界线。

**12.4.8** 本条对波速测试作了相应规定。

3 跨孔波速测试孔的孔距在土层中宜取 2m~5m,在岩层中宜取 8m~15m,测点竖向间距宜取 1m;振源和检波器应置于同一地层的相同标高处。

**12.4.9** 本条对钻孔弹模测试作了相应规定。

试验加压及稳定应符合下列规定:

(1)将测试仪器放入孔内预定测点,定向后施加初始压力(不小于 0.5MPa)使测试仪器与孔壁处于紧密接触状态;

(2)试验最大压力可为预定压力的 1.2 倍~1.5 倍或按岩体强度和工程设计要求确定;

(3)加压方式可采用逐级一次循环法或大循环法,大循环次数不应少于 3 次;

(4)采用大循环法时,每级压力加压或卸压时变形数值稳定后读数,读完数后施加或卸至下一级压力;

(5)每级压力加压或退压后应立即读数,以后每隔 3min~5min 读数一次,当相邻两次读数差与同级压力下第一次读数和前一级压力下最后一次读数差之比小于 5%时,施加或退至下一级压力;

(6)每一循环卸压时,最低压力应退至初始压力。

采用钻孔膨胀仪或钻孔压力仪进行试验时,岩体变形参数按下式计算:

$$E = \frac{(1+\mu)QD}{\Delta D} \quad (1)$$

式中: $E$ ——变形模量或弹性模量(MPa),当以径向全变形  $\Delta D_0$  代入式中进行计算时为变形模量,当以径向弹性变形  $\Delta D_e$  代入式中计算时为弹性模量;

$\mu$ ——泊松比;

$Q$ ——计算压力(MPa),为试验压力与初始压力之差;

$D$ ——钻孔直径;

$\Delta D$ ——钻孔岩体径向变形。

采用钻孔弹模计时,按下式计算弹性模量:

$$E = A \cdot H \cdot D \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta D} \cdot T(\mu, \beta) \quad (2)$$

式中: $E$ ——弹性模量(kPa);

$A$ ——弹模计长、径比对钻孔变形的影响系数;

$H$ ——压力修正系数;

$D$ ——钻孔直径(mm);

$T(\mu, \beta)$ ——为与岩体泊松比 $\mu$ 及弹模计承压块接触角 $\beta$ 有关的参数;

$\Delta Q$ ——由荷重传感器测得的侧向压力(MPa),分辨率宜高于0.05MPa;

$\Delta D$ ——由探头中部的位移传感器测定的径向位移(mm),分辨率宜高于0.001mm。

**12.4.10** 当有特殊需要时,尚可采用其他原位测试方法。如测定岩土体本身、岩土体沿软弱结构面、岩体与其他材料接触面抗剪强度的现场剪切试验,测定岩体变形参数的承压板法、测定地应力的岩体原位应力测试,测定地基刚度系数和阻尼比的激振法测试等。

## 12.5 室内试验

**12.5.1~12.5.4** 这几条规定了岩土性质室内试验的项目和试验方法的一般原则。试验仪器、试样制备和具体的操作应按有关的标准、规范执行。由于取样扰动、试样代表性、应力历史、应力场、非均质性、非等向性、不连续性等原因,使岩土实际情况与岩土试样的性状之间存在不同程度的差别。试验时应尽可能模拟实际,在确定岩土单元的工程特性指标时,应将室内试验结果与相关的原位测试或原型观测成果比较,并作必要的修正。

**12.5.5** 由于试验条件不同,岩土의渗透性指标的室内试验成果与现场抽水试验或注水试验成果可能相差较大,应分析原因,合理取值。

**12.5.6** 土的压缩性指标有多种,不同压力段指标值也不相同。应根据沉降分析方法的需要和相关设计规范的要求,选择适宜的试验条件和方法。

**12.5.7** 沉降计算一般只考虑主固结。但对于厚层高压压缩性软土,次固结沉降可能相当显著,甚至影响工程的正常使用,故作本条规定。

**12.5.8** 排水状态对土的抗剪强度指标影响很大,试验时的排水状态应尽量与工程实际一致。由于不固结不排水剪试验得到的抗剪强度最小,用于计算结果偏于安全,故对于核安全相关的建筑物和固结排水条件不能控制的情况,宜采用不固结不排水剪试验。

虽然直剪试验存在一些缺点,受力条件比较复杂,排水条件不能控制,但由于仪器和操作都比较简单,又有大量实践经验,故在一定条件下仍可利用,与三轴试验相辅相成。

**12.5.9** 在试验室内测试地基土动力性质的方法中,振动三轴试验和共振柱试验比较常用。试验内容和试验要求应结合具体工程的设计计算需要确定。目前尚缺乏成熟的经验和标准规范,还需要不断积累经验。

**12.5.10** 岩石的单轴抗压强度分别在干燥和饱和状态下进行,这是常规做法,但对于软质岩,特别是极软岩,其性质已与土相近,湿度对强度的影响很大,为接近现场实际情况,应进行天然湿度的试验。

**12.5.13** 岩石点荷载试验是间接试验方法,可利用经验关系确定岩石的性质指标,在工程上是比较实用的方法。但间接方法不能完全替代直接法。

## 13 岩土工程分析评价和成果报告

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 核电厂岩土工程分析评价在厂址勘察的各个阶段均应进行,但各阶段的评价深度不同。各阶段为分析评价而开展的勘察工作内容和深度应符合本规范有关章节的要求。

**13.1.2** 本条规定了核电厂岩土工程勘察应着重分析和评价的内容。

1 断裂对核电厂址的稳定性和适宜性具有举足轻重的影响,是核电厂岩土工程勘察必须查明的重大问题。能动断裂意味着对厂址的否定,虽然断裂是否具有能动性主要由地震调查报告确认,但勘察报告也应根据地震调查报告的意见和现场实际情况给出明确结论。即使为非能动断裂,断裂破裂带对核岛及其他重要工程的稳定性和均匀性也可能产生重大影响,应在详细调查的基础上进行分析和评价。断裂问题在各勘察阶段都是重点,但由于核电厂的选址一般尽量避让断裂,故勘察后期各阶段遇到断裂的机会较少,故在前期(初步可行性研究阶段)显得更为重要。

2 地基承载力、稳定性和的均匀性评价,现有边坡和人工形成边坡稳定性的评价,都离不开岩土的工程特性指标,因此,所有勘察报告都应将岩土工程特性指标作为分析评价的重点。

3 地基的均匀性是对静态变形和地震动响应而言的。有时,地基的稳定性和承载力可以满足,但静态变形超限,或在地震作用下动态响应不能满足要求,将严重影响工程的正常使用。变形问题需根据地基与结构协同作用的计算确定,勘察报告应对地基是否均匀提出定性评价。如为均匀地基,则可不进行地基与结构的协同作用计算;如定性分析不能确定为均匀地基,则应建议进行地

基与结构协同作用的定量分析。

5 边坡失稳对核电厂威胁很大,尤其是山高坡陡,深挖方、高填方的厂址,分析评价现有边坡和人工形成边坡的稳定性是岩土工程勘察报告的重要内容。

总体上说,上述几项都是岩土工程分析评价的重点,但具体到某一核电厂,分析评价的重点也有所差别,视具体厂址条件而定。

## 13.2 岩土的工程特性指标

13.2.1 对于岩土单元的划分和按岩土单元统计分析工程特性指标的问题,作如下说明:

1 岩土的工程特性指标需分层统计,有时“层”还分为“亚层”。由于核电厂场地的岩土体不一定是层状,如侵入体、破碎带等,故正式术语宜称“岩土单元”,简称“层”。

正确划分岩土单元至关重要,岩土工程中的岩土单元类似于结构工程中的构件,岩土单元的位置、尺寸及其工程特性指标明确了,就有了明确的设计计算剖面,设计者才能据此进行设计计算。但目前,有些勘察报告在岩土单元的划分上存在一定程度的混乱现象,具体表现在:一是同一场地多次勘察岩土单元的代号和名称前后不一致,地层描述、工程地质剖面图、工程特性指标统计分析不统一;二是同一岩土单元,其工程特性指标不属于一个统计母体,将不同岩性的岩土混在一起统计;三是存在复合岩土单元问题时上述现象更为严重,有时极为混乱,因此有必要对岩土单元的划分原则作统一规定。

岩土单元的划分涉及三个方面:一是地质时期和地质成因;二是岩土的分类名称;三是岩土的工程特性指标。岩土是一定地质时期,一定地质作用的产物,同一地质年代和同一地质成因的岩土性质相近,因此,地质年代和地质成因是划分岩土单元的基础。岩土分类不同专业有不同要求,对于资源地质,一般十分重视矿物成

分,尤其对结晶岩分得很细,但对工程地质和岩土工程则无此必要,可以肉眼鉴定为主,辅以镜下鉴定命名岩石名称。当镜下鉴定定名过于复杂时,勘察报告的岩石定名可适当简化。岩土工程勘察是为工程建设服务的,故岩土单元划分应注意其工程特性指标的相近性,应属于同一统计母体。例如土的名称为黏土,硬塑状态和流塑状态不能划为同一单元,有些勘察报告单纯根据岩土名称划分显然是片面的。有时,也将工程特性差别较大的岩土划为一个单元,那只能是工程上不重要,取样很少,不进行指标统计的个别情况。

3 复合岩土单元的工程特性既受单一岩土体工程特性影响,又和不同岩土体之间的复合形式密切相关。因此复合岩土单元工程特性除应分别按单一性质岩土体统计分析外,尚应对复合岩土单元进行综合评价,给出设计需要的综合指标。例如砂岩和页岩薄层状相间的复合岩土单元,除应分别统计砂岩和页岩的单轴抗压强度等指标外,尚应对该岩土单元的承载力和变形特性进行综合评价。综合分析的方法应根据岩土单元复合形式以及岩土体在工程中扮演的角色(地基、边坡、围岩等)有针对性地选择。有些指标,如岩土体压缩波速度和剪切波速度,测定时就是复合岩土单元的综合值,则可不必要要求给出复合岩土单元中的单一性质岩土体的指标数值。

4 对于因时代不同,成因不同而划分为不同的岩土单元,但其工程特性指标相近,属于同一统计母体,则指标的统计分析可以合并进行。例如微风化的花岗岩体与微风化的辉绿岩脉,由于时代、成因和岩性不同而划分为两个岩土单元,但其工程特性指标相近,属于同一统计母体,则可合并统计分析;再如上层黏土和下层黏土,中间夹一层砂土,将两层黏土划分为不同的岩土单元,但若两者工程特性指标相近,属于同一统计母体,则也可合并统计分析。

13.2.2 当工程特性指标数据少于6个时(一般为不需进行岩土工程评价的岩土单元),可不进行统计计算,但应给出范围值或建

议值。

**13.2.3** 工程特性指标数据明显不正常可能有多种原因,例如:取样扰动、试验操作不当、局部夹层或透镜体、数据计算和整理过程中的失误等,应详细检查,分析原因,可以改正的予以改正,不能改正的统计计算时予以剔除。

**13.2.5** 同一岩土单元的岩土特性指标应当是相近的,属于同一统计母体,变异系数应该在一个合理的范围内。因此,规定工程特性指标变异性的限值,有利于正确划分岩土单元,有利于发现统计指标时存在的问题。

表 13.2.5 中的数据主要参考《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 11—501—2009,并根据近年来核电厂勘察的实践进行了核实、调整和补充。

变异系数超限时应分析原因,做相应处理。可能的原因有:一是取样不当或试验错误,使指标缺乏代表性,严重偏离总体分布,应予剔除;二是岩土单元划分不当,将不属于同一单元的岩土指标放在一起统计,应调整岩土单元的划分;三是岩土特性指标与深度相关,按一般方法统计时夸大了变异系数,宜按深度相关性统计;四是该岩土单元的特性指标客观上存在较大的离散性,这时勘察报告应予说明。

**13.2.6** 公式中正负号按不利组合考虑,如抗剪强度指标的修正系数应取负值。

### 13.3 地基承载力

**13.3.1** 地基承载力宜根据野外鉴定、室内试验和公式计算、载荷试验和其他原位测试,结合工程要求和实践经验综合确定。土质地基应贯彻这个原则,岩石地基更应贯彻这个原则。这是因为岩石力学较土力学更不成熟,岩石地基的工程经验较土质地基的工程经验更少的缘故。有经验的工程师可以根据野外鉴定,对地基承载力做初步估计,这是必要的,但因主观因素多,不能作为工程

设计的依据。用岩体的强度指标,根据公式计算地基承载力,有一定的理论根据,困难在于岩体强度指标的测定和选用十分困难,室内试验缺乏代表性,且未考虑结构面的存在。载荷试验虽然比较可靠,但费用高,工期长,不能大量进行,代表性也有限。最终验证地基承载力的是工程实践,因此当地经验和同类工程的经验十分重要。此外,地基承载力是工程设计的重要组成部分,确定地基承载力时应当考虑工程要求。所以,确定地基承载力是一个综合判定的问题。

**13.3.2** 完整、较完整和较破碎的岩体,一般可以取到原状试样做室内试验,根据抗压强度或抗剪强度指标确定地基承载力;破碎和极破碎的岩体一般取不到可供抗压或抗剪强度试验的试样,故只能根据剪切波速和经验初步估计,设计阶段采用载荷试验确定;剪切波速小于  $1100\text{m/s}$  的岩体属于软岩和极软岩,仅采用剪切波速、强度指标和公式计算确定地基承载力,对于核电厂来说,可靠性不够,需主要采用载荷试验确定。

**13.3.3** 岩体剪切波速可综合反映岩石强度和裂隙发育程度,与地基承载力相关密切,已经积累了相当多的经验。编制组收集了近年来核电厂勘察的剪切波速数据 125 组,与野外鉴定、室内试验数据、载荷试验数据,以及饱和单轴抗压强度乘以折减系数确定的地基承载力特征值做了初步对照,表明用剪切波速初估地基承载力是可行的,也是比较方便而客观的。由于饱和单轴抗压强度乘以折减系数确定的地基承载力特征值是一种比较粗糙的方法,虽偏于安全,但离散性相当大,难以与剪切波速建立统计关系。为安全起见,条文中表 13.3.3 的全部数据均在该法确定地基承载力特征值的包络线以内。对于剪切波速为  $500\text{m/s}\sim 700\text{m/s}$  的地基,还参照了载荷试验数据。因此,条文规定的数值具有较大的安全裕度。鉴于目前数据尚待积累,研究尚待深入,故只是作为初步估计,需其他方法验证。

**13.3.4** 采用岩石饱和单轴抗压强度,根据岩体的完整程度乘以

折减系数确定地基承载力特征值,是现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定的方法,本规范引用了该方法。用饱和单轴抗压强度确定地基承载力特征值有两个问题:一是由于裂隙的存在,岩体强度肯定低于岩块强度,因此要求乘以小于 1.0 的折减系数,越破碎,折减系数越小。二是单轴抗压强度试验时侧向压力为 0,而地基中岩体的受力状态为有一定侧向压力条件下的竖向压缩,该法偏于安全。对于岩石地基,由于建筑物基础压力一般相对不大,采用该方法确定的地基承载力多数情况可以满足设计要求,且可操作性强,故在工程上广为应用。但对地基承载力要求较高的构筑物,过分偏于保守可能不能满足设计要求,故可根据本规范第 13.3.6 条规定进行深度修正。

**13.3.5** 脆性破坏岩石与塑性破坏岩石具有不同的破坏机制:脆性材料破坏前没有显著的变形,根据格里非斯准则,本质是拉伸破坏;塑性材料破坏前有显著的变形,根据莫尔-库仑准则,本质是剪切破坏,表现为颗粒间的滑移。故对于塑性岩石(一般为软岩或极软岩),可采用抗剪强度指标确定地基承载力。本条规定的计算公式(13.3.5-1)和承载力系数,均引自《重庆市建筑地基基础设计规范》DB 50/5001—1997。考虑到核电厂对安全的特殊要求,安全系数取 3,并对适用条件作了限制。

**13.3.6** 基础有一定的埋置深度,基础下的地基是三向应力状态,埋深越大,侧压力越大。莫尔-库仑准则和格里非斯准则中虽然前者适用于塑性破坏材料,后者适用于脆性破坏材料,但围压均有重要影响。单轴抗压强度试验时围压为零,是一种极端情况。对于地基,随着埋深的增加,围压增大,地基承载力会有所提高。编制组搜集了不同地区不同岩性的试验资料,都证明了这一点。《重庆市建筑地基基础设计规范》DB 50/5001—1997 规定,岩石地基宽度修正系数取 0;深度修正系数极软岩取 2.0,软质岩取 3.0,硬质岩取 4.0。鉴于核电厂的特殊性,在目前经验不多的情况下,宜偏安全考虑。故对脆性破坏岩石,深度修正系数取 1.0;对塑性破坏

的摩擦材料,考虑其内摩擦角的大小给出了较低的深度修正系数。颗粒较粗的弱胶结砂岩、砾岩,碎屑状、块石状的风化岩取 3.0,颗粒较细的泥岩、土状风化岩取 2.0。均暂不考虑宽度修正。随着经验的积累和研究的深入,待本规范修订时进一步完善。

### 13.4 稳定性及均匀性评价

**13.4.2** 由于不同厂址所处的地质背景、厂址区的岩土工程条件以及各种核电机组堆型的差异,在进行地基稳定性和适宜性分析评价时应充分考虑各厂址的特征和类似工程的经验,对于无历史经验借鉴的厂址,应通过现场试验取得一定实测数据后进行地基稳定性和适宜性的分析评价。

**13.4.3** 考虑到剪切波速大于  $700\text{m/s}$  的地基可作为岩石地基,对岩石地基其地基稳定性和适宜性可在定性分析的基础上作出评价。

**13.4.4** 由于剪切波速小于  $700\text{m/s}$  的厂址条件在我国应用得较少,对这种厂址其地基稳定性和适宜性的分析评价应进行专题研究。

**13.4.7** 从工程意义上说,地基均匀性评价主要看地基的沉降和变形是否在可接受的范围。根据工程经验,当地基承载力远大于上部结构对地基所需要的地基承载力时,地基实际的差异沉降都很小,这种通过地基承载力和地基沉降变形的比较分析评价地基均匀性的方法工程上比较简单。

### 13.5 成果报告

**13.5.2** 岩土工程勘察报告不仅仅是反映客观、真实的岩土工程条件,更重要的是进行有针对性的岩土工程分析评价,从岩土工程角度进行分析、论证场地和地基条件,为地基基础的设计、施工和工程运行提供准确的岩土参数。图表是勘察成果报告的一部分,是文字报告的载体,两者应相互印证、互为补充,从而可以更全面、

正确地反映与基础设计有关的地基岩土层埋藏条件及其性状等。

**13.5.4、13.5.5** 这两条规定主要针对全厂区的勘察报告的要求。

针对某一建筑物或建筑地段的勘察报告,所附图表和专题报告可根据勘察目的、勘察任务要求提供。

## 附录 C 边坡岩体质量分类

**C.2.1** 边坡岩体质量分类(CSMR)是岩质边坡的稳定性分类,即根据边坡的岩体质量和影响边坡的各种因素进行综合测评,然后对其稳定性进行分类,半定量地进行稳定性评价。CSMR 分类因素基本上分为两部分:一部分是岩体质量(RMR),由岩石强度、RQD、结构面间距、结构面条件及地下水等因素综合确定;另一部分是各种边坡影响因素的修正,包括边坡高度系数( $x$ )、结构面方位系数( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ )、结构面条件系数( $l$ )及边坡开挖方法系数( $F_4$ )。

**C.2.2** 岩体质量指标 RMR 是对岩体的 5 个因素,即岩石强度(单轴抗压强度或点荷载强度)、岩石质量指标(RQD)、结构面间距、结构面特征、地下水状况按权重给以评分,再对各因素的评分求和,得到总评分,总评分最高为 100 分,最低为 0 分。

**C.2.3**  $F_1$  为与边坡和节理走向平行度有关的系数; $F_2$  为与节理面倾角有关的系数; $F_3$  为描述边坡坡角和结构面倾角间关系的系数。