

中国核工业勘察设计协会文件

核设协[2024] 256号

关于中国核工业勘察设计协会立项的团体标准 《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》 公开征求意见的通知

中国核工业勘察设计协会立项的团体标准《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》已经完成草案编制工作。依照《中国核工业勘察设计协会团体标准管理办法》的相关规定，现面向会员单位和社会广泛征求意见。

烦请相关领域的专家查收《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》团体标准编写说明（详见附件1）和《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准（征求意见稿）》（详见附件2），并于2025年1月15日前将《征求意见表》（详见附件3）发送至联系人邮箱。

联系人: 张乾, 18833928881, zss13726@126.com

感谢对中国核工业勘察设计协会团体标准工作的大力支持!

附件：

1. 《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》团体标准编写说明
2. 《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》（征求意见稿）
3. 征求意见表



抄 送：理事长、副理事长、秘书长、副秘书长

中国核工业勘察设计协会秘书处 2024年12月15日印发

附件1

中国核工业勘察设计协会

《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》

团体标准编制说明

一、工作简况

1、任务来源

根据核设协[2022] 116 号关于征集中国核工业勘察设计协会 2023 年度团体标准立项提案申请的通知，河北中核岩土工程有限责任公司牵头于 2022 年 10 月向协会提交了《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》（以下简称软岩厂址勘察标准）立项提案申请表，2023 年 3 月核设协 [2022] 59 号关于《摩擦焊钢筋锚固板应用技术规程》等 10 项团体标准立项的通知下发，软岩厂址勘察标准获批立项，立项编号 CNIDA-LX-2023-005。

2、编制背景

我国自 1991 年以来到 2021 年 12 月 31 日，相继分期分批建设了秦山、大亚湾、岭澳、田湾、红沿河、山东海阳、福建福清、浙江三门等 21 个核电站，中国大陆在运核电机组共 54 台，额定装机容量为 54646.95MWe。预计在今年及未来几年我国核电发电量都将持续位居世界第二位。

未来 15 年我国经济总量将持续扩大，我国人均能源消费水平将不断提高，我国电力需求还将经过较长的增长期。据预测 2035 年将达到 12.2 万亿千瓦时。

核电“十四五”及中长期发展的若干建议中指出，在 2020~2035 年每年稳定开工建设 6~8 台。到 2025 年，核电在运规模达 7000 万千瓦左右，在建规模达到 3600 万千瓦左右。到 2035 年，核电在运规模达 1.5 亿千瓦左右，在建规模达到 5000 万千瓦左右，中国核电在总发电量中的占比将达到 10%，相比 2021 年翻倍。

随着我国核电建设的发展，性能优良的核电厂址，特别是硬质岩石厂址已经不多，越来越多条件一般的厂址开始启用，而这些厂址绝大多数都是软岩，甚至是极软岩或半成岩厂址。但是，目前的勘察规范没有对软岩提出有针对性的勘察手段和方法。

3、编制目的、意义

随着核电建设的迅猛发展，沿海适宜核电厂建设的硬岩厂址越来越难选择，利弊权衡之下，软岩厂址越来越多的被选（启）用，如巴基斯坦卡拉奇K2、K3核电厂址（微风化泥岩单轴抗压强度6.21MPa）、山东海阳核电厂址（微风化页岩单轴抗压强度29MPa）、防城港核电厂址（二期详勘）等。在勘察过程中发现，软岩的岩样采取及保存难度非常大，如海阳核电的岩芯样在钻探采取后，如象硬岩一样保存，则在24小时内全部裂成几公分的薄饼，从而无法取到符合室内试验要求的岩样。另外，与硬岩地基相比，软岩地基的地基承载力、沉降变形等在核岛地基基础设计时面临更大的挑战，如何给设计提供更可靠输入参数？其次，软岩一般都具有膨胀与崩解性，按照常规的室内试验方法可能得不出适合工程应用的参数。这些急需解决的问题在目前的规范中没有明确具体的要求，为了将问题解决在厂址查勘阶段，有针对性的查明软岩的一些特殊特性，编制《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》就十分必要，它可以提升我国软岩厂址的勘察水平，为将来的软岩厂址选择与利用保驾护航。

4、主要工作过程

2023年3月立项获批后，河北中核岩土工程有限责任公司即着手成立编写组，邀请对核电勘察有经验的单位及对软岩有研究及建树的专家参与组成编写组，编写组成员及参编单位详见本章第5节。

2023年6月9日，中国核工业勘察设计协会核工程勘察团体标准专业委员会组织召开了《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》编制大纲（以下简称“大纲”）评审会，会议采用视频形式。编制组根据专家意见对大纲进行修改，于6月14日形成最终版编写大纲，并按要求上传。

2024年3月8日，中国核工业勘察设计协会团体标准工程勘察专业委员会在石家庄组织召开了《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》专题研讨暨软岩核电厂址勘察技术交流会（以下简称交流会），编制组对专题研究成果及标准草案进行了整体汇报，专家对软岩厂址专题研究成果及部分章节的编写思路给予了充分的肯定，专题研究内容深度恰当，在与现行规范的协调性、软岩厂址的特殊性、标准的适用性和先进性等方面都给予了充分考虑。

2024年9月下旬，编制组对软岩勘察标准初稿逐条进行了讨论修改并形成送审稿，征求各家主编、参编及专家意见后，对送审稿再次修改完善，形成征求意见稿。

5、主要起草单位和主要起草人

主编单位及参编人员如下：

河北中核岩土工程有限责任公司（孙立川、赵在立、秦敏、王红

贤、陈小峰、廖华科、贾国和、韩林、解振和、刘军)
中国核电工程有限公司(王旭宏、施晓文)
深圳中广核工程设计有限公司(魏伟、李小强、张涛)
参编单位及参编人员如下:
环境保护部核与辐射安全中心(胡勳乾、辛国臣)
上海核工程研究设计院股份有限公司(艾洪涛、段永坤)
中核勘察设计研究有限公司(邓小宁、李宁)
核工业湖州勘测规划设计研究院股份有限公司(朱伟、郭霞)
核工业西南勘察设计院有限公司(王毅、冯瑞)
核工业南京工程勘察院(莫映辉、吴魁彬)
中国能建广东电力设计研究院有限公司(王占华、汪华安)
成都理工大学(林峰、钟志彬)

二、标准编制原则和主要内容

1、编制原则

- 1) 符合起着法律法规的要求, 不与国家有关产业政策相抵触。
- 2) 技术要求不低于强制性国家标准的相关技术要求。
- 3) 符合国标《标准化工作导则第 1 部分: 标准的结构和编写》(GB/T 1.1) 规定;
- 4) 规范可操作性强。
- 5) 推荐应用的技术成熟并兼顾一定的先进性。
- 6) 借鉴其它行业对软岩特性的研究成果, 并将之前各单位在软岩厂址勘察中已经用到的可靠技术融入本标准中。

2、各章节主要内容

本文件包含前言、引言、正文 10 章及 6 个附录, 主要内容包括:

- 1 范围;
- 2 规范性引用文件;
- 3 术语和符号;
- 4 基本规定;
- 5 勘察方法;
- 6 水文地质;
- 7 特级勘察;
- 8 基坑工程勘察;
- 9 勘察安全;
- 10 岩土工程分析和成果报告; 附录 (A、B、C、D、E、F)。

三、主要试验(或验证)情况

随机-模糊数学统计方法在以往的核电勘察的试验数据统计中已经应用, 且效果良好。

软岩试件的无水制备方法, 河北中核岩土工程有限责任公司土工试验室已经制作了第一代设备, 试样制备效果良好。

软岩膨胀力试验的恒体积法, 河北中核岩土工程有限责任公司土工试验室已经设计制作了试验需要的膨胀套环, 试验效果良好。

四、标准中涉及专利的情况

不涉及专利

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

按照核电“十四五”及中长期发展的若干建议，到 2035 年，中国核电在总发电量中的占比将达到 10%，相比 2021 年翻倍。但随着我国核电建设的发展，性能优良的核电厂址，特别是硬质岩石厂址已经不多，越来越多条件一般的厂址开始启用，而这些厂址绝大多数都是软岩，甚至是极软岩或半成岩厂址。本标准的编写发布将为软岩厂址的勘察工作提供有针对性的勘察手段、方法及工作依据，定将促进核电厂建设对地基要求方面的有利发展。核能作为清洁能源定将为碳达峰、碳中和目标的实现贡献不小的力量。

六、与国际、国外标准对比情况

核电厂软岩厂址勘察标准为首次编写，无国际、国外相关标准可对比。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准协调性

不违背现行法律、法规及规章，与强制性标准及相关标准《核电厂岩土工程勘察规范》协调一致，《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》是核电厂勘察工作规范的一个分支，是对《核电厂岩土工程勘察规范》在软岩厂址勘察方面工作要求的完善、补充和拓展、细化，工作布置以及采用的勘察、测试、资料分析的方法手段更丰富具体，它对于后续核电事业发展中软岩厂址的勘察工作具有指导作用，可操作性、针对性更强。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无

九、标准性质的建议说明

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

十、贯彻标准的要求和措施建议

标准经批准后，由团标办公室统一编号、协会发布，并在协会网站和全国团体标准信息平台上公布。

由于标准采用的新方法（对于本行业来说）较多，建议在发布后有组织的进行培训，为标准的顺利实施做好准备。

标准为自愿性标准，协会会员单位及其他有关单位可自愿采用。

十一、废止现行相关标准的建议

标准为首次制订，没有需要废止的现行标准。

十二、必要专利信息披露情况说明

无。

十二、其他应予以说明的事项

根据交流会会议精神，部分问题需要更加深入的研究，加之无标准先例的情况下引入一些新的工作方法及评价手段，需要做充分的研究，2024年4月26日提交了软岩勘察标准编写计划的调整申请。

《核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准》编写组

2024年12月15日

附件 2

团 体 标 准

T/CNIDA ***2024

核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准

Geotechnical investigation standards for nuclear power plants

on soft rock sites

(征求意见稿)

中国核工业勘察设计协会 发布

目 录

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和符号.....	3
3.1 术语.....	3
3.2 符号.....	4
4 基本规定.....	5
4.1 通用要求.....	5
4.2 勘察等级和勘察阶段划分.....	7
4.3 普选勘察的任务和基本要求.....	8
4.4 初可研勘察的任务和基本要求.....	8
4.5 可研勘察的任务和基本要求.....	9
4.6 设计阶段勘察的任务和基本要求.....	10
4.7 施工勘察的任务和基本要求.....	12
5 勘察方法.....	14
5.1 一般规定.....	14
5.2 工程地质测绘与调查.....	14
5.3 钻探与取样.....	15
5.4 地球物理勘探.....	17
5.5 原位测试.....	19
5.6 室内试验.....	22
6 水文地质.....	24
7 特级勘察.....	26
7.1 一般规定.....	26
7.2 普选勘察.....	26
7.3 初可研勘察.....	26
7.4 可研勘察.....	27
7.5 设计阶段勘察.....	27
8 基坑工程勘察.....	29
8.1 一般规定.....	29
8.2 基坑工程勘察工作布置.....	29

8.3 参数选用.....	29
8.4 基坑工程评价.....	30
9 勘察安全.....	31
10 岩土工程分析和成果报告.....	34
10.1 一般规定.....	34
10.2 岩土参数的分析和选定.....	34
10.3 岩土工程分析评价及地基承载力.....	34
10.4 成果报告.....	36
附录 A（规范性） 随机-模糊数学统计方法.....	38
附录 B（规范性） 岩体块度率RBR.....	40
附录 C（规范性） 估算岩体抗剪强度的岩石地质强度指标（GSI）法.....	41
附录 D（规范性） 优势节理统计和边坡破坏模式的定性分析.....	45
附录 E（规范性） 软岩试件的无水制备方法.....	46
附录 F（规范性） 软岩膨胀力试验的恒体积法.....	49
参考文献.....	51

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核工业勘察设计协会提出并归口。

本文件起草单位：*****。

本文件起草人：*****

引 言

为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,使核电厂软岩厂址的勘察满足厂址选择、设计、建造和运行的要求,制定本文件。

结合近年来的实际工程经验,编制组经广泛调研,总结多项工程经验,参考多项国内外先进标准和研究成果,编制完成本文件。

本文件结合我国核电厂址的特点以及厂址资源现状和建设时序,重点关注软岩厂址特有的岩土工程特性,强调重视地方工程经验,提倡采用成熟可靠的先进技术和方法,进行综合勘察。本文件给出了相关勘察工作布置、试验方法、研究分析方法的指导。

与本文件附录 A 随机-模糊数学统计方法有关的 Excel 电子表格计算公式,可使用“随机模糊数理统计”+“单位名称”作为主题词(不需要双引号),发电子邮件到 nice_hsky189@126.com 获取。

核电厂软岩厂址岩土工程勘察标准

1 范围

本文件规定了建造于软岩厂址上的陆上固定式核电厂以及核供热厂、实验堆、研究堆各阶段的岩土工程勘察要求，其他核设施可参考使用。

当本文件用于膨胀性软岩地区时，只适用于由亲水性黏土矿物导致膨胀的泥质岩、砂质岩及其变质岩厂址的岩土工程勘察。

2 规范性引用文件

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

HAF 101 核动力厂厂址评价安全规定
GB17741-2005 工程场地地震安全性评价
GB 39800 个体防护装备配备规范
GB 50007 建筑地基基础设计规范
GB 50021 岩土工程勘察规范
GB 50585 岩土工程勘察安全标准
GB 51041 核电厂岩土工程勘察规范
GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范
GB 55017 工程勘察通用规范
GB/T 45001 职业健康安全管理体系要求及使用指南
GB/T 24001 环境管理体系要求及使用指南
GB/T 50123 土工试验方法标准
GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
GB/T 50269 地基动力特性测试规范
TB 10038-2022 铁路工程特殊岩土勘察规程

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1

半成岩 hypabyssal rock

一种未经历完整沉积变质作用的特殊岩石，既具有土的部分特征，又具有岩石的部分特征，是一种“半岩半土”的地质体。

3.1.2

膨胀性软岩 soft rock with a certain expansiveness

含有蒙脱石、伊利石、高岭石、绿泥石等亲水性黏土矿物，具有吸水膨胀、崩解、软化特性的软岩。

3.1.3

膨胀岩 the swelling rock / the expansive rock

自由膨胀率、膨胀力、干燥后饱和吸水率三个指标中的任意两个或全部三个指标符合膨胀岩判定标准的膨胀性软岩。

3.1.4

膨胀性黏土矿物 expansive clay minerals

吸水后产生膨胀或崩解、软化现象的亲水性黏土矿物。

3.1.5

膨胀力 swelling pressure

岩石样品浸水后，在保持体积不变时因膨胀而产生的最大内应力。

3.1.6

劣化 deterioration/deteriorate

因一种或多种原因，岩体的物理力学性质、工程性能变差的现象。

3.1.7

劣化层 the deteriorated rock -layer

物理力学性质、工程性能发生劣化的岩体称为劣化层。

3.1.8

恒体积法软岩膨胀力试验 the constant-volume method in the soft-rock swelling pressure tests

软岩膨胀力试验中，采用专门的试验装置，使得软岩试件吸水后，轴向和径向均不发生膨胀变形，并使用应力计读取样品轴向最大膨胀力的试验方法。

3.1.9

岩体块度率RBR rock mass block rating

一种反映岩体被结构面切割程度的指标，根据附录 B 的规定计算。

3.1.10

亲水性黏土矿物 hydrophilic clay mineral

与水接触时发生水和矿物颗粒相互附着现象的黏土矿物，也即易被水润湿的黏土矿物。

3.1.11

修正岩石质量指标 RQD'_D modified rock quality designation

用直径为 D 的钻头在岩体中钻进，连续取芯，每回次钻进所取岩芯中，长度大于 10cm 的岩芯段长度之和与回次进尺的比值，以百分数表示。

3.1.12

软岩 soft rock

饱和单轴抗压强度小于或等于 30MPa 的软质岩，可分为较软岩、软岩、极软岩三类。一般具有强度低、孔隙大、胶结程度差等特点，不包括深埋地下或高地应力环境下产生大变形的岩体。

3.1.13

自由膨胀率 free swelling ratio

岩样在水中膨胀后增加的体积与原体积的比值，以百分比表示。对圆柱形岩石样品，可分为轴向自由膨胀率 (V_H) 和径向自由膨胀率 (V_D)。

3.2 符号

CEC(NH_4^+)——阳离子交换量

F_s ——自由膨胀率

M ——蒙脱石含量

V_H ——岩石轴向自由膨胀率

V_D ——岩石径向自由膨胀率

P_p ——膨胀力

R_c ——岩石饱和单轴抗压强度

RBR——岩体块度率

RQD'_D ——修正岩石质量指标

w_{sa} ——干燥后饱和吸水率

4 基本规定

4.1 通用要求

4.1.1 软岩厂址的岩土工程勘察，应在多种方法对比分析的前提下，采用成熟可靠的先进技术和方法，重视地区经验、广泛搜集资料、精心勘察、综合评价。

4.1.2 核电厂软岩厂址的岩土工程勘察除应符合本文件规定外，尚应符合 GB 50007、GB50021、GB51041、GB 55003、GB 55017 的规定。

4.1.3 应编制有针对性的勘察工作大纲，综合采用各种勘察方法和手段，查明软岩厂址的工程地质条件，提出岩土参数，对场地的适宜性做出评价。

4.1.4 各阶段勘察工作开展前，均应充分搜集和取得各类前期成果资料。除地震地质、水文地质、工程地质、地质灾害等资料外，还宜搜集地形地貌、矿产地质资料、临近已有建(构)筑物的勘察设计和病害整治资料、气象资料(降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响深度等)，以及与厂址所在区域的大陆板块、地质构造等区域地质有关的论文、专著。

4.1.5 普选阶段可根据需要在拟定的核岛地段布置实物工作量，其它阶段勘察在拟定的核岛地段均应布置实物工作量；其它核安全相关建(构)筑物在位置初定后进行各阶段岩土工程勘察时，均应布置实物工作量。

4.1.6 初可研勘察每一主要岩土层的取样数不宜少于 6 组；可研勘察和设计阶段勘察，每一主要岩土层的取样数量应确保参与统计的有效试验数据均不应少于 6 组。

4.1.7 岩土工程勘察报告应按不同阶段的要求，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做出分析、评价、论证和建议。

4.1.8 各勘察阶段的钻孔岩芯应装箱并做好标记，及时拍摄岩芯彩色照片。具有崩解特性的岩芯，核安全相关物项的控制性钻孔岩芯应在钻探现场及时形成岩芯数字扫描记录，其它钻孔宜在钻探现场及时形成岩芯数字扫描记录。

4.1.9 各勘察阶段采取的岩样，应擦干水分后严密包裹，排出空气后蜡封包装。蜡封后的岩样应稳妥放置于样品箱，并在其间填充隔振、防撞材料。样品箱应加固后尽快运送至试验室，不得在现场长时间放置后集中运输。

4.1.10 软岩的岩石坚硬程度分类按照表 1 执行。

表 1 岩石坚硬程度分类

坚硬程度	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度 (MPa)	$30 \geq R_c > 15$	$15 \geq R_c > 5$	$R_c \leq 5$

[来源：GB 50021-2001 (2009 年版)，3.2.2， f_r 修改为 R_c]

4.1.11 对于膨胀岩厂址，可按照表 2 膨胀性软岩野外地质特征并结合表 3 膨胀岩室内试验判定标准，对场地进行评价。

表 2 膨胀性软岩野外地质特征

地貌	一般形成波状起伏的低缓丘陵，相对高度 20m~30m，丘顶多浑圆，坡面圆顺，山坡坡度缓于 40°，岗丘之间为宽阔的 U 形谷地；当具有砂岩夹层时，常形成一些陡坎
岩性	主要为灰白、灰绿、灰黄、紫红和灰色的泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、风化的基性岩浆岩、蒙脱石化的凝灰岩等。岩石由细颗粒组成，遇水时多有滑腻感。泥质膨胀岩的分布地层以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系为主
岩体结构特征	岩层多为薄层和中、厚层状，裂隙发育，裂隙多被灰白、灰绿、紫红色等富含蒙脱石或伊利石（水云母）、高岭石、绿泥石等物质填充
风化现象	风化节理裂隙多沿结构面进一步发展，导致已被结构面切割的岩体更加破碎；地表岩石碎块风化为鸡粪土，斜坡岩层剥落现象明显；天然含水的岩石在暴晒时多沿层理方向产生微裂隙；干燥的岩块泡水后易崩解成碎块、碎片或土状；钻孔柱状岩芯暴露在空气中，数分钟至几天内，易裂开呈饼状，甚至碎裂分解为碎屑和土状

[来源：TB 10038-2022，6.5.2]

表 3 膨胀岩的室内试验判定标准

试验项目		判定标准
自由膨胀率	不易崩解岩石的自由膨胀率 V_H (%)或 V_D (%)	V_H 或 $V_D \geq 3$
	易崩解岩石的自由膨胀率 F_S (%)	$F_S \geq 30$
膨胀力 P_p (kPa)		$P_p \geq 100$
干燥后饱和吸水率 w_{sa} (%)		$w_{sa} \geq 10$
注 1: 不易崩解的岩石，应取轴向或径向自由膨胀率中的大值进行判定；		
注 2: 易崩解的岩石应将其粉碎，过直径 0.5mm 的筛去除粗颗粒后，比照土的自由膨胀率的试验方法进行试验；		
注 3: 当有两项或两项以上的指标符合上述判定标准时，可判定其为膨胀岩；		
注 4: 当三项指标中只有一项符合表中判定标准时，应按照膨胀岩厂址开展勘察工作。		

[来源：TB 10038-2022，6.5.2]

4.1.12 当厂址主要岩体的新鲜岩块暴露在空气中呈现鳞片状剥落，或主要岩体的钻孔岩芯易出现饼状开裂现象时，应按照膨胀岩厂址开展岩土工程勘察工作。

4.1.13 膨胀岩的膨胀潜势分级按照表 4 执行。

表 4 膨胀岩的膨胀潜势分级

膨胀潜势分级	膨胀率 (%)	膨胀力 (kPa)	干燥后饱和吸水率 (%)	自由膨胀率 (%)
非膨胀	<3	<100	<10	<30
弱膨胀	3~15	100~300	10~30	30~50

中等膨胀	15~30	300~500	30~50	50~70
强膨胀	≥30	≥500	≥50	≥70

注1: 膨胀率、膨胀力、饱和吸水率、自由膨胀率四项指标分别从强膨胀到弱膨胀开始匹配, 以最先符合的等级为最终等级;
注2: 当有多项符合时, 以最强的等级为膨胀潜势最终等级;
注3: 当指标恰好处于界限值时, 膨胀潜势取较高(保守)的等级。

[来源: TB 10038-2022, 6.5.2]

4.1.14 应重视开挖卸荷导致的基底回弹以及黏土矿物吸水(潮)膨胀对地基岩体强度和变形参数的劣化影响, 有针对性的开展相关勘察、试验和监测工作。

4.2 勘察等级和勘察阶段划分

4.2.1 核电厂软岩厂址岩土工程勘察等级由工程等级、场地复杂程度综合确定。

4.2.2 核电厂整体工程等级为一级, 各类建(构)筑物工程等级可参照 GB 51041 的确定。

4.2.3 软岩厂址场地的复杂程度划分应符合表 5 的规定。

表 5 软岩厂址场地复杂程度分类

场地复杂程度类别	场地条件
特别复杂场地	地形起伏大; 土岩交互成层地基; 岩体为半成岩或极软岩; 岩体为含有膨胀性黏土矿物且至少有一项符合表 3 膨胀岩判断标准的软岩
复杂场地	地形起伏较大; 岩体为含有膨胀性黏土矿物但没有一项符合表 3 膨胀岩判断标准的软岩
中等复杂场地	地形起伏不大; 岩体为含膨胀性黏土矿物的较软岩, 或不含膨胀性黏土矿物的软岩
简单场地	地形起伏很小; 不存在高度超过 10m 的人工边坡; 岩体为不含膨胀性黏土矿物的较软岩

4.2.4 勘察等级可依据表 6 划分。

表 6 软岩厂址岩土工程勘察等级

工程等级	场地复杂程度			
	特别复杂	复杂	中等复杂	简单
一级	特级	特级	甲级	甲级
二级	特级	甲级	乙级	乙级
三级	甲级	乙级	乙级	丙级

4.2.5 软岩厂址岩土工程勘察可划分为如下 5 个阶段:

- a) 厂址普选阶段勘察(本文件简称普选勘察)
- b) 初步可行性研究阶段勘察(本文件简称初可研勘察)
- c) 可行性研究阶段勘察(本文件简称可研勘察)
- d) 初步设计和施工图设计阶段勘察(本文件简称设计阶段勘察)

e) 工程建造阶段勘察（本文件简称施工勘察）

4.3 普选勘察的任务和基本要求

4.3.1 普选勘察工作应广泛搜集资料，首先开展图上选点工作。

4.3.2 应重点搜集厂址及周边地区的地震地质、水文地质、工程地质等有关区域地质资料和气象、地质灾害资料，以及 1:5000~1:25000 或更大比例尺的地形图等。搜集厂址附近已有建（构）筑物的岩土工程勘察报告，以及附近工程的病害及整治资料。

4.3.3 厂址普选勘察应充分分析搜集到的已有地质资料，针对可能的厂址进行踏勘、调查。可针对性开展工程地质调查和少量钻探、物探、测试和试验工作。

4.3.4 实物工作量应根据场地复杂程度并结合厂址地形地貌有针对性布置。钻孔数量以每个候选厂址布置 1~2 个为宜，钻孔深度应结合地形地貌综合确定，一般情况下宜为 75m~200m。

4.3.5 若根据搜集的资料并结合现场工作，初判场地复杂程度等级为复杂或以上时，应适当增加本阶段勘察的实物工作量。

4.3.6 初步了解厂址所在区域的地质背景和主要地质构造，初步分析场地稳定性；了解软岩地层的成因、主要矿物成分、风化特征及分布情况。对沉积成因的岩体进行评价时，还应结合岩层的沉积相、沉积年代、沉积物来源及其接受构造运动改造的情况进行。

4.3.7 应初步查明主要岩体是否存在膨胀性矿物或盐类，确定其种类及含量；初步分析软岩的膨胀、崩解、软化特性及对工程建设的影响。

4.3.8 普选勘察应了解候选厂址主要岩（土）层的物理力学性质指标等岩土工程条件。

4.3.9 工程地质调查范围应包括厂址及其周边地区，面积不应小于 4km²，比例尺宜选用 1:10000，地质条件复杂或存在特殊地质现象时应扩大调查范围。

4.4 初可研勘察的任务和基本要求

4.4.1 进一步搜集厂址及周边地区的气象、区域地质、地震地质、水文地质、工程地质、地质灾害等有关资料，以及比例尺不小于 1:5000~1:10000 或更大的地形图。应重点搜集与断裂、火山活动、采矿历史、地下水抽取有关的资料。

4.4.2 应研究、分析已有资料中的断层、破碎带等不良工程地质条件和岩浆入侵、火山遗迹、天然洞穴等地质现象，应调查是否存在矿坑、矿洞、地道等人为坑洞的遗迹。

4.4.3 在搜集、分析已有地质资料和开展工程地质测绘工作的基础上，应辅以适量钻探、物探和测试、试验工作，初步查明软岩的分布和工程地质特征；查明是否含有芒硝等盐类矿物、是否含有亲水性矿物、是否具有膨胀性，分析其对核电厂建设的影响，对厂址适宜性进行初步评价。

4.4.4 初步查明断层或破碎带成因、年代及其产状、延伸长度、展布宽度、胶结、夹层等情况，初步分析其对核电厂建设的影响。

4.4.5 对于岩浆入侵，初步查明其年代、规模、成分、风化程度并分析其对地层的影响。

- 4.4.6 主要岩土层的矿物种类及含量测定可采用镜下薄片鉴定方法或 X 射线衍射法。
- 4.4.7 工程地质测绘范围应包括厂址及其周边地区，面积不应小于 4km²，比例尺宜选用 1:5000~1:10000，当地质条件复杂时应放大比例尺。应结合工程地质钻孔和调查资料，至少形成 4 条贯穿厂址并相交的实测工程地质剖面。
- 4.4.8 钻探和测试工作应根据场地复杂程度并兼顾主厂房布置有针对性地开展。每个厂址钻孔宜为 5~8 个，地质条件复杂时应增加钻孔数量。至少有 3 个钻孔的深度为预计设计厂坪标高以下不少于 100m。
- 4.4.9 每个候选厂址各应布置至少 3 个~5 个单孔波速测试孔。勘探深度范围内未见剪切波速稳定大于 700m/s 的岩层时，应进行专门研究。
- 4.4.10 对各候选厂址的优缺点进行分析比较，重点分析软岩的膨胀、崩解、软化特性对工程建设的影响，并进行排序。明确各厂址存在的主要岩土工程问题，提出下一步勘察工作的建议。

4.5 可研勘察的任务和基本要求

- 4.5.1 应在分析已有资料的基础上，开展工程地质测绘、水文地质调查、工程物探、钻探、原位测试和室内试验等工作。
- 4.5.2 应在研究、分析前期勘察资料、相关论文和专著以及临近工程建设经验的基础上，按照勘察技术任务书的要求，确定本阶段勘察的重点工程地质问题。
- 4.5.3 进一步查明厂区范围内主要岩土层特别是软岩的成因类型、年代、分布范围和工程地质特征；详细查明是否含有亲水性黏土矿物，以及种类和含量，研究分析其膨胀、崩解、软化特性，分析、评价对厂址适宜性的影响。
- 4.5.4 除了查明软岩的结构特征和结构面特征外，重点查明结构面的充填物性质、结构面发育程度、软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律。
- 4.5.5 进一步搜集有关的资料：地震地质和构造地质资料；与地貌类型、冲沟坡面溜坍、滑坡、崩塌等不良地质作用的分布范围及规模有关的资料及其遥感解译资料；厂址所在地区已有建（构）筑物勘察、设计、施工经验及病害预防和整治资料；井、泉以及地表水体的分布及特征及与降水、大气湿度有关的气象资料；厂址及附近地区采矿历史及相关资料。除上述资料外，还宜搜集、研究厂址及附近区域的工程地质、水文地质、地震地质、第四纪地质等专业的相关论文、专著。
- 4.5.6 工程地质测绘与调查范围应为厂址及周边地区，面积不应小于 2km²，简单场地和中等复杂场地比例尺应选用 1:1000~1:2000，复杂场地和特别复杂场地比例尺应选用 1:500~1:1000；测绘范围内应有垂直于岩层走向的剖面；每个拟建的核岛位置应有近于垂直的实测工程地质剖面。调查范围尚应包括可能对拟建工程有影响的地段和可能受拟建工程影响的地段。
- 4.5.7 钻孔宜采用网格状布置，间距宜为 100m~150m，岩土工程条件复杂时，间距应取

小值，必要时还应增加钻孔数量。控制性钻孔深度应达到基础底面以下 2.0 倍反应堆厂房直径或 2.0 倍小功率反应堆所在基础筏板的短边平均宽度，一般性钻孔深度应进入压缩层底面以下不少于 10m。

4.5.8 核安全相关水工构筑物位置应布置至少一个控制性钻孔进行单孔波速测试，深度达到剪切波速稳定在 700m/s 以上的岩层不小于 5m。冷却塔位置应布置至少一个钻孔，深度宜为基底下 30m~50m。

4.5.9 核岛、常规岛位置各应布置至少一个控制性钻孔，进行旁压试验或钻孔弹模试验，且应在孔内进行声波测井和单孔波速测试。试验深度应达到控制性钻孔深度。

4.5.10 应在核岛地段进行岩基平板载荷试验，必要时可进行浸水载荷试验。试验宜布置在基底标高处。当在基底标高处试验有困难时，也可布置在与基底标高处具有相似工程力学性质的地层上，但应论证其与基底标高处地层的相似性和可代表性。

4.5.11 对沉积成因的软岩，应在地质分层的基础上，将薄且互层的岩土体，根据粒径、成因、状态、强度或变形指标等因素概化为若干个力学层，同一力学层应有相近的力学性质。

4.5.12 应对主要岩土层进行易溶盐、中溶盐、难溶盐试验。对勘察中新揭露的岩层应取样进行岩矿鉴定。

4.5.13 本阶段勘察宜在正挖前的原始地貌上进行。因故无法在正挖前进行时，应在正挖前布置钻孔埋设卸荷回弹监测仪，钻孔布置可按照 4.5.15 执行。

4.5.14 在每个机组的核岛和常规岛位置各选择至少 1 个钻孔，在正挖前预埋回弹监测仪，监测厂坪及基底标高处开挖卸荷期间和结束后的回弹量。

4.5.15 进一步对核电厂址建设的适宜性进行评价，初步研究地基岩土的水理性质和变形特性，并对主要建（构）筑物地基的稳定性和均匀性进行初步评价。

4.6 设计阶段勘察的任务和基本要求

4.6.1 本阶段勘察宜在正挖完成后的厂坪上进行，且应取得前期勘察时埋设回弹仪的监测数据。

4.6.2 应在综合前期成果的基础上，详细查明各建（构）筑物地段软岩的类型、成因、分布、工程地质特征和物理力学性质指标等；详细分析并评价正挖卸荷对地基持力层的劣化影响，评估、预测负挖后地基持力层软岩吸水膨胀的劣化影响，提供设计所需的主要岩土参数的包络值。

4.6.3 本阶段勘察可分核岛、常规岛、水工构筑物和附属建筑四个地段进行。

4.6.4 勘察工作应结合前期资料和勘察技术任务书的要求进行，勘察工作应针对具体建（构）筑物布置，并应符合下列要求：

a) 获取具有坐标系统和原始地形等高线的厂区建（构）筑物总平面布置图，以及主要建（构）筑物结构类型、荷载组合、地基允许变形、抗震类别、基础形式和几何尺寸、基础埋置深度等资料；

b) 详细查明勘察区内断层或破碎带的产状、分布、性质。当断层或破碎带延伸方向指向主厂区时,除应详细查明其性质、年代、宽度、填充物、胶结情况等工程特性外,尤其要查明其延展长度、与主厂区建(构)筑物的相对关系等特征,评价其对场地稳定性的影响,提出处理建议;

c) 详细查明、评价对建(构)筑物有影响的不良地质作用和地质灾害,并提出整治建议;

d) 详细查明各建筑地段的岩土成因、类别、分布,应提供经过统计分析的岩土物理力学参数;提供岩土参数建议值时,应考虑软岩可能存在的回弹、膨胀、崩解、软化特性的劣化影响。

e) 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,并提出监测和预防措施的建议。

f) 对本阶段补充勘察或施工勘察及工程施工期间的现场检测和监测提出建议;对与设计、施工有关的岩土工程问题做出评价与建议。

g) 对地质条件可能造成的工程风险进行分析。

4.6.5 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,必要时根据现场地质条件的复杂程度补充适量的调查工作,对地质条件复杂的场地加密调查点,布置适量的探井、探槽,应查明包括破碎带在内的建筑场地的工程地质问题。

4.6.6 核岛地段勘察应满足设计和施工的需要,钻孔布置、深度及原位测试工作除应满足 GB 51041 的要求外,还应符合下列规定:

a) 控制性钻孔深度应达到基础底面以下 2.0 倍反应堆厂房直径或 2.0 倍小功率反应堆所在基础筏板的短边的平均宽度,一般性钻孔深度应进入压缩层底面以下不少于 10m,并应满足建立岩土体模型所需的深度;

b) 每个核岛地段应布置不少于 3 个载荷试验点和 3 个旁压试验孔,其中不少于三分之二的试验工作量应布置在反应堆厂房。载荷试验应布置在基底标高处。旁压试验深度应达到控制性钻孔深度,其中基础底面 1.5 倍反应堆厂房直径(或 1.5 倍小功率反应堆厂房所在筏板基础的短边平均宽度)深度以下的试验点密度可适当减小;

c) 反应堆厂房地段应进行垂直岩层走向和平行岩层走向的跨孔法波速测试,测试深度应达到控制性钻孔深度。当测试的接收信号差时,可适当减小钻孔间距,其最小值不得小于在土层中该测试要求的钻孔间距;

d) 每个核岛地段应布置不少于 3 个单孔波速测试孔。

4.6.7 常规岛地段勘察应满足设计和施工的需要,钻孔布置、深度及原位测试工作除应满足 GB 51041 的要求外,还应符合下列规定:

a) 钻孔间距和数量应考虑场地岩土条件复杂程度。对于复杂场地和特别复杂场地,应适当增加钻孔数量;

b) 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不少于 5m；

c) 宜采用模型基础动力参数试验测定汽轮机厂房基底处的地基刚度系数、阻尼比和参振总质量等动力参数指标，试验方法应符合 GB/T 50269 的规定。

4.6.8 水工构筑物和附属建筑地段的每个与核安全有关的建（构）筑物应布置不少于 2 个单孔波速测试孔，钻孔深度应达到压缩层以下 10m 或剪切波速大于 700m/s 的地层 5m。当基础底面以下 100m 深度内未见到剪切波速稳定大于 700m/s 的地层时，应进行专门研究。取水明渠等管线状构筑物应根据地层和物理力学参数的变化，分段评价。

4.6.9 核安全相关边坡和常规大型边坡勘察宜与主厂区设计阶段勘察同步进行，并单独编制勘察报告。对坡顶危岩或孤石，或边坡可能出现的小型崩塌、落石，应调查、分析其滚落距离、溅射范围，宜分析其滚落到主厂区的概率，并提出治理的建议。

4.6.10 岩土室内试验项目，除满足 GB 51041 第 6.2.12 条的规定外，当地层含有亲水性黏土矿物时，试验项目应符合表 7 的规定。

表 7 软岩厂址岩土室内试验项目

试验项目		岩土类型				
		软质岩	碎石土填料	砂土	粉土	黏性土
X 射线衍射 (XRD)		√	—	—	—	√
透射电子显微镜 (TEM) 扫描		+	—	—	—	+
易溶盐		√	√	√	√	√
中溶盐		+	+	+	+	+
难溶盐		+	+	+	+	+
膨胀率 (V_H)	%	√	+	—	—	√
膨胀力 (P_p)	kPa	√	+	—	—	√
阳离子交换量 CEC (NH_4^+)	mmol/kg	+	+	—	—	√
吸水率 (w)	%	√	+	—	—	√
饱和吸水率 (w_{sa})	%	√	+	—	—	√
自由膨胀率 (F_S)	%	√	+	—	—	√
崩解量 (A_t)	%	√	+	—	—	—
化学成分		+	—	—	—	+

注 1: CEC 表示 1kg 干 (岩) 土的阳离子交换量;
注 2: “√” 表示应做项目;
注 3: “+” 表示根据实际情况确定的试验项目;
注 4: “—” 表示不需要做的项目;
注 5: 当使用 X 射线衍射或透射电子显微镜技术分析矿物成分及含量时, 可不再进行蒙脱石含量试验。

4.7 施工勘察的任务和基本要求

4.7.1 应对主厂区正挖地坪进行地质编录；应对核岛、常规岛、安全厂用水泵房、安全厂

用水管廊、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及时进行地质编录，且编录应与开挖同步进行。对编录中发现的与详勘报告不一致的或其它异常地质现象应及时反馈；应对基坑进行验槽。

4.7.2 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。有条件时，可采用图像识别技术辅之以现场验证。

4.7.3 水工构筑物 and 附属建筑地段应在工程建设开始前进行现场监测工作，并应注意与回弹监测等前期工作的衔接，对施工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。

4.7.4 基坑验槽应以直观观测为主，对极软岩或非岩石地基可采用轻型动力触探或其他简易设备进行检验。

5 勘察方法

5.1 通用要求

5.1.1 勘察工作应根据工程特点和场地岩土工程条件，采用资料搜集、工程地质测绘与调查、工程地质勘探、地球物理勘探、原位测试、室内试验、监测等综合方法和手段。

5.1.2 工程地质勘探手段的选择应根据勘察目的、岩土特性选择。可采用钻探、井探、槽探、洞探等。

5.1.3 布置勘探工作时应考虑勘探对工程及自然环境的影响，防止对已有地下管线、地下工程和自然环境的破坏。

5.1.4 室内试验的仪器设备和试验方法应符合现行标准规定。

5.1.5 应加强原位测试工作。原位测试手段应根据岩土条件、设计对参数的要求和试验方法的适用性等因素综合考虑后确定。

5.2 工程地质测绘与调查

5.2.1 工程地质测绘与调查应搜集工程场地的既有资料，并进行综合研究和分析。工程地质测绘与调查搜集的资料应包括下列内容：

a) 地形地貌及形态特征、区域地质、工程地质、水文地质、地震地质、矿产地质以及与膨胀岩有关的资料，包括地质构造的类型、形态、产状等。

b) 遥感解译资料。

c) 气象资料，包括降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响深度等资料。

d) 冲沟坡面溜坍、滑坡、崩塌、坡面冲刷、泥石流等不良地质作用的分布范围、规模及其特征。

e) 植被发育情况，井、泉点及地表水体的分布特征以及近年来的使用情况。

f) 既有建（构）筑物的勘察、设计、施工经验，地基、边坡和结构的变形、破坏及病害整治等资料。

g) 人为坑洞的深度、大小、展布情况、年代、用途、储水情况等。

5.2.2 应按勘察阶段和场地地质条件确定测绘和调查范围。对工程建设有影响的断裂构造、不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土、地下水富集区、岩体破碎带等地段，应适当扩大工作范围。对边坡等工程建设可能诱发地质灾害地段，其工作范围应包含可能的地质灾害发生的范围。

5.2.3 工程地质测绘与调查工作应包括下列内容：

a) 地形地貌形态、特征，包括斜坡的自然坡度与高度，冲沟、坡面冲刷剥落的特征，人工边坡的形式、稳定坡度及风化剥落特征、防护和支护措施。划分地貌单元，确定地形地貌成因类型。

b) 调查地层的成因、年代、岩性、结构、构造、产状，岩体的风化程度、结构特征

特别是层间结合程度，节理裂隙等结构面的产状、间距、空间分布特征，有无软弱夹层，岩体的含水程度。

c) 根据野外地质调查和对已有资料的分析，初步判断岩体是否含有黏土矿物。主要岩层均应采取岩石标本。

d) 不良地质作用的类型、成因、分布范围及规模。

e) 应按照附录 C 的要求，确定软岩厂址的 GSI 指标；当节理裂隙分布明显不均匀时，应按照主厂区、边坡区、水工构筑物区等分区统计，分别确定其 GSI 指标。

f) 结合水文地质调查工作，开展井、泉、池、塘调查，查明与软岩水理性质有关的地质现象。

5.2.4 工程地质测绘与调查报告的内容包括文字报告、实际材料图、地貌分区图、综合工程地质图、实测工程地质剖面图、综合地质柱状图、岩矿鉴定报告、素描图和照片等。工程地质调查与测绘成果资料应符合下列要求：

a) 应反映第四系、基岩、构造、古河道、古地形地貌等。

b) 将厂区建（构）筑物的总平面布置图叠加到综合工程地质图中，对搜集的区域地质资料进行综合研究和分析。

c) 综合地质图应图面清晰，图中各类地质要素分明，并有主要地质要素图例。

5.2.5 地质图的比例尺和精度应符合下列要求：

a) 测绘用图比例尺不应小于最终成果图的比例尺，在工程地质复杂地段应适当放大比例尺；

b) 地层界线、地质点、构造破碎带、地质灾害点在图上的位置误差不应大于 2mm。

c) 在图上宽度大于或等于 2mm 的地质单元体，应在图上表示；宽度小于 2mm 有特殊意义或对工程有重要影响的地质单元体，应放大比例尺标示并注明。

5.3 钻探与取样

5.3.1 钻探、井探、槽探的勘探点施放应采用与设计相符的坐标系统及高程基准，基准点应满足勘察精度要求。

5.3.2 钻探作业应考虑其对工程及周边环境的影响，采取有效措施确保钻探作业安全，防止破坏已有的地下管线、地下建（构）筑物和环境。

5.3.3 钻孔、探井、探槽在使用完成后应及时回填，并记录回填方法、材料；回填质量应满足相关要求。

5.3.4 钻探工艺应满足如下要求：

a) 严禁使用无岩芯钻探方法；

b) 对较软岩，应采用双管单动钻具钻进取芯，终孔孔径不宜小于 91mm，当较软岩岩芯具有吸水（潮）崩解现象时，终孔孔径不应小于 91mm；

c) 对软岩，应采用双管单动钻进方式，并应优先使用半合管钻具钻进取芯，终孔孔

径宜为 110mm 或更大。

d) 对极软岩特别是半成岩, 应采用双管单动半合管钻具钻进取芯, 宜使用能提高岩芯采取率的钻井液, 终孔孔径应不小于 110mm。当有更先进的钻具和钻进方式能提高极软岩特别是半成岩的岩芯采取率、钻进效率时, 应先试钻, 验证钻探效果, 证实后再采用。

e) 当地层中软质岩石和硬质岩石互层时, 终孔孔径应按照最软的岩石类别确定。

f) 对于极软岩以及土岩交互出现的地层, 如有可靠资料证明单管钻进对岩芯的影响较小时, 也可使用大直径单管钻进。

g) 当需要钻取免受钻井液污染的岩芯时, 可采用密闭取芯工具。

5.3.5 每回次的钻进进尺不应超过岩芯管长度。较软岩的回次进尺不宜大于 2.0m; 软岩的回次进尺不宜大于 1.0m; 极软岩或破碎带等取芯困难地层的回次进尺不宜大于 0.5m, 且宜使用植物胶钻井液。

5.3.6 岩芯摆放、标识以及拍照应符合下列规定:

a) 从岩芯管取出的岩芯, 应立即擦干水分, 整齐摆放于岩芯箱中, 每摆满一箱立即拍照。当岩芯出现迅速崩解现象时, 应每回次拍照。

b) 岩芯摆放原则为从左到右, 从上到下。应及时填写回次标签, 计算回次岩芯采取率。

c) 当发现滑动面、软弱结构面、薄层、溶(土)洞或采空区时, 应增加标签注明起止深度。

d) 应在漫射光条件下逐箱拍摄岩芯照片, 严禁在阳光或闪光灯直接照射条件下拍照。拍摄时, 应在岩芯箱顶部放置标记清晰的钢尺以及干净的白色打印纸纸片或标准白色色卡; 镜头方向应垂直于岩芯箱所在平面, 并使整个岩芯箱占据镜头画面的绝大部分, 不宜采用高像素拍照后裁剪的方法。照片文件的存储格式应优先使用无损压缩格式, 可使用高分辨率压缩模式。

e) 对于不含亲水性黏土矿物的软岩岩芯, 宜在钻探现场及时采用便携式岩芯数字化设备, 形成岩芯扫描记录; 对于含亲水性黏土矿物的岩芯, 以及极软岩岩芯特别是半成岩岩芯, 应在钻探现场及时采用便携式岩芯数字化设备, 形成岩芯扫描记录。

f) 对于核岛等核安全相关建(构)筑物的控制性钻孔宜采用钻孔全景光学成像技术, 制作钻孔展开清晰图像, 并标注构造裂隙等地质特征, 其成像深度应从厂坪标高至孔底。

5.3.7 井探、槽探人工取样应随挖随取。在松散地层中掘进时应进行护壁, 并根据实际情况向井中送风, 监测井内有害气体含量。

5.3.8 对探井、探槽, 除文字描述记录外, 尚应绘制剖面图或展示图等, 反映侧壁和底部的岩性、地质界线、构造特征、地下水特征、取样和原位测试的位置, 并辅以代表性的影像资料。

5.3.9 岩石试样应在钻孔或探井、探槽中及时采取。取样及保存应符合 4.1.15 的要求。

5.3.10 岩芯试样采取后，应使用相近直径、相同长度的塑料管替代，并标注与原岩芯一致的内容。

5.3.11 对薄层互层的岩体，取样应有代表性，且宜增加样品组数。

5.3.12 采取的水样应有代表性，避免采取被污染水样。对工程有影响的多层含水层，应分层采取水样。水样应及时密封、贴标签、送检。运输中应采取遮光、防晒、防冻、防破损、防污染的措施。

5.3.13 地下水位以上的土层和全风化、强风化岩体，应取样进行可溶盐试验，每层不少于3组。

5.4 地球物理勘探

5.4.1 应在搜集、分析研究工程地质测绘、钻探等资料的基础上，根据现场环境和工程地质条件选用适宜的方法，开展地球物理勘探工作。采用地球物理勘探时，应具备下列条件：

- a) 被探测对象与其周围介质间存在明显的物性（电性、弹性、磁性、密度、温度、放射性等）差异。
- b) 被探测对象的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/10。
- c) 能抑制各种干扰，区分有用信号和干扰信号。
- d) 场地应具有相应的探测作业条件，应不存在影响基本数据采集和异常解释的不利地形和地物。

5.4.2 测线和测点布置应遵循“先面后点、先疏后密、先地表后地下、先控制后一般”的原则，根据现场条件及不同阶段的需求开展工作。

5.4.3 测线和测网应根据探测目的、精度和方法综合确定，实际位置可根据现场地形、地质条件适当调整。

5.4.4 测网密度、测线长度和测点间距应能保证异常的连续、完整、便于追踪并有足够的正常背景。

5.4.5 外业数据采集时，应进行重复观测和检查观测，以确保数据的有效、可靠。

5.4.6 资料解译应考虑其多解性，通过多种方法、手段相互印证，综合判释。

5.4.7 发现异常时应增加工作量，必要时选择代表性部位布置钻孔加以验证。当单一的物探方法不能达到勘探目的时，宜采用多种物探方法综合探测。未经验证的物探成果不应直接作为施工图设计和地基处理的依据。

5.4.8 常用地球物理勘探方法及适用条件应符合表 8 的规定。

表 8 常用地球物理勘探方法及适用条件

探测方法	探测目标						
	地层及风化层分带、岩面埋深	隐伏断裂、破碎带	地下洞穴、采空区	球状风化体、地下或水下隐埋物	含水层分布、地下水	掌子面前方地质条件	地下水流速、流向
自然电场法			△				○

充电法		△	△	△			○
直流电测深法		○			○		
高密度电阻率法	○	○	○	○	○		
激发极化法	△	△	△	△	○		
电磁测深法	△	○	△	△			
电磁剖面法	△	○	○	△			
瞬变电磁法	○	○	△				
探地雷达法	△	△	△	△		○	
浅层地震反射波法	○	○	○	○			
浅层地震透射波法	○	△	△	△			
隧道地震波超前预报法(TSP)						○	
面波法	○	△	△	△			
微动勘探法	○	○	○	○			
高精度磁法		△		△			
放射性测量法		○	○				
水域声呐测深法				○			△
侧扫声呐法				△			△
水域地震法				○			
水域直流电法				○			
水域磁法				△			
井间层析成像法	△	○	○	△			
管波探测法		△	○				
音频大地电磁测深法	○	○	○	△			
注：○表示推荐方法，△表示可选方法。							

5.4.9 在应用地球物理勘探方法前，应进行方法技术和数据采集参数的有效性试验，试验地段应选择在有对比资料且具有代表性的地段。常用方法的适用条件见表9。

表9 常用地球物理勘探方法适用条件

探测方法	适用条件
自然电场法	地下水埋藏较浅，流速足够大，并有一定的矿化度
充电法	含水层埋深小于50m，地下水流速大于1m/d；地下水矿化度微弱；覆盖层的电阻率均匀
直流电测深法	被测岩层有足够厚度，岩层倾角小于20°；相邻层电性差异显著，水平方向电性稳定；地形平缓
高密度电阻率法	被测地质体与围岩的电性差异显著，其上方没有极高阻或极低阻的屏蔽层；地形平缓，覆盖层薄
激发极化法	在测区内没有游散电流的干扰，存在激电效应差异
电磁测深法	被测地质体有足够的厚度及显著的电性差异；电磁噪声比较平静；地形开阔、起伏平缓
电磁剖面法	
瞬变电磁法	

探地雷达法	被测地质体上方没有极低阻的屏蔽层和地下水的干扰；没有较强的电磁场源干扰
浅层地震反射波法	被探测地层与相邻地层有一定的波阻抗差异；场地振动背景干扰较小
浅层地震透射波法	被测地层的波速明显大于上覆地层波速；场地振动背景干扰较小
面波法	被测地层与相邻层之间、不良地质体与围岩之间，存在明显的波速和波阻抗差异；场地振动背景干扰较小
微动勘探法	被测地层与相邻层间、不良地质体与围岩之间，存在明显的横波波速和波阻抗差异；场地空间大小具备布设检波器阵列的条件
井间层析成像法	被探测体与围岩有明显的物性差异；电磁波 CT 要求外界电磁波噪声干扰小
管波探测法	测试段无金属套管，有孔液
音频大地电磁测深法	被测地层与相邻层之间、被测地质体与围岩之间，存在明显的电性差异；环境电磁噪声干扰小

5.4.10 探测构造破碎带等条带状地质体时，测线宜与其走向垂直或大角度相交，确定走向时，应有 2 条以上的测线。

5.4.11 物探成果报告应包括文字报告、物探工作平面布置图、地球物理勘探成果图和成果表、地质解译图等，文件格式应满足国家现行相关标准的要求。

5.5 原位测试

5.5.1 通用要求

5.5.1.1 原位测试方法应根据岩土工程条件、设计要求、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定。

5.5.1.2 原位测试成果应与钻探成果、室内试验成果及工程经验等进行综合分析。条件具备时可与工程反算参数作对比，检验其可靠性。

5.5.1.3 仪器设备的检验和标定应符合要求。

5.5.2 旁压试验

5.5.2.1 旁压试验适用于孔壁能保持稳定的黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、风化岩、极软岩、软岩、较软岩。

5.5.2.2 旁压试验宜采用预钻式旁压仪，用于岩体测试的仪器应具有不低于 10MPa 的加压能力，且压力及变形测量仪表的精度应优于满量程的 1%。

5.5.2.3 新的弹性膜使用前、弹性膜累计试验次数达到 6 次或弹性膜停做试验的时间达到 24h 以上时，应进行弹性膜约束力标定；每个测试孔测试前、导管长度发生变化或更换测管后，应进行仪器综合变形标定。

5.5.2.4 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，旁压器的量测腔应在同一岩土层或力学层内。

5.5.2.5 测试钻孔应保证成孔质量,尽量减少对孔壁的扰动,钻孔直径要与旁压器相匹配。钻孔深度应大于测试深度 0.5m,成孔深度满足要求后应立即进行该试验段的测试,严禁一次成孔多段试验。

5.5.2.6 旁压测试应满足以下要求:

a) 试验压力增量宜取预估临塑压力的 1/5 或极限压力的 1/10,如不易预估,软质岩、风化岩可取 100~500kPa;为确定 $p-V$ 曲线上直线段起点对应的压力 p_0 ,前两级压力增量宜减半施加;

b) 岩体测试时,每级压力保持 3min 后,测读变形量;

c) 当满足实测体积达到旁压仪测量腔固有体积、水体积或水位移动变化明显加快且不能稳定、试验压力达到仪器的额定压力三个条件之一时,可终止试验。

5.5.2.7 资料处理应满足以下要求:

a) 试验压力和体积膨胀量的原始数据应进行弹性膜约束力修正和仪器综合变形修正;

b) 根据修正后数据,绘制旁压试验 $p-V$ 曲线、蠕变曲线 $p-\Delta V_{180-30}$;

c) 根据试验曲线确定初始压力、临塑压力、极限压力,计算旁压模量,结合地区经验评定地基承载力和变形参数。

5.5.3 岩基平板载荷试验

5.5.3.1 岩基平板载荷试验的承压板面积宜不小于 1m^2 ,钢质承压板的形状宜为圆形,且应采取可靠的结构措施加强承压板刚度,确保承压板挠曲变形不影响沉降量的准确性。

5.5.3.2 岩基平板载荷试验的试坑宽度宜为承压板宽度或直径的 3~5 倍。

5.5.3.3 岩基平板载荷试验加荷方式应采用分级维持荷载沉降相对稳定法(慢速维持荷载法),加荷等级宜取 10 级~12 级。

5.5.3.4 极软岩宜加荷至极限状态。

5.5.3.5 卸荷应逐级进行。

5.5.3.6 载荷试验成果资料整理与计算应符合下列规定:

a) 应绘制荷载(p)与沉降(s)曲线以及各级荷载下沉降(s)与时间(t)或时间对数($\lg t$)曲线,根据 $p-s$ 曲线拐点,并结合 $s-\lg t$ 曲线特征,确定比例界限荷载和极限荷载。

b) 将极限荷载除以安全系数,所得值与比例界限的荷载相比较,取两者的小值为承载力特征值。软岩岩体承载力的安全系数应取 3.0;对于半成岩,安全系数可取 2.5。

c) 当 $p-s$ 曲线呈缓变型时,可取 s/d 或 $s/b=0.006\sim 0.01$ (d 和 b 分别为承压板直径和宽度)所对应的荷载作为承载力特征值,但其值不应大于最大加载值的三分之一,对于半成岩不应大于最大加载值的五分之二。

5.5.4 现场直接剪切试验

5.5.4.1 现场直接剪切试验可用于测试岩土体本身、软弱结构面、岩体与其它材料接触面的抗剪强度指标。可分为在法向应力作用下沿剪切面剪切破坏的抗剪试验、剪断后沿剪切面继续剪切的抗剪试验（摩擦试验）、法向应力为零时的抗切试验。

5.5.4.2 现场直接剪切试验布置应符合下列规定：

a) 当剪切面水平或近于水平时，可采用平推法或斜推法；当剪切面较陡时，可采用楔体法。

b) 同一组试验体的岩性应基本相同，受力状态应与岩土体在实际情况下的实际受力状态相近。

c) 每组岩体试验不宜少于 5 个。剪切面积不得小于 0.25m^2 ，试验体最小边长不宜小于 50cm，高度不宜小于最小边长的 0.5 倍；试验体之间的最小间距应大于最小边长的 1.5 倍。

d) 每组土体试验不宜少于 3 个。剪切面积不宜小于 0.3m^2 ，高度不宜小于 20cm 或最大粒径的 4~8 倍，剪切面开缝应为最小粒径的 $1/4\sim 1/3$ 。

5.5.4.3 试验前应对试验体及所在试验地段进行描述、记录及拍照，包括下列内容：

a) 岩性、结构、构造、风化程度、破碎程度，岩体软弱面的成因、类型、产状、分布状况、连续性、充填物的厚度、颗粒组成、泥化程度和含水状态等性状。

b) 试点位置、高程及周围的地形、地质情况。

c) 试验地段开挖情况和试验体制备方法；编号、位置、剪切面尺寸和剪切方向；试验地段和试点部位地下水的类型、化学成分、活动规律和流量等。

5.5.4.4 试验后应描述剪切面尺寸、剪切破坏形式、剪切面起伏差、擦痕的方向和长度、碎块分布状况、剪切面上充填物性质，并对剪切面拍照记录。

5.5.4.5 现场直接剪切试验应符合下列规定：

a) 开挖试坑时应避免试验体受到扰动，避免含水率显著变化；在地下水位以下试验时，应避免水压力和渗流对试验的影响。

b) 施加于试验体的法向荷载方向应垂直剪切面，试验体的推力方向宜与预定的剪切方向一致。

c) 最大法向荷载应大于设计荷载，并按等量分级施加；荷载精度应为试验最大荷载的 $\pm 2\%$ 。

d) 每一试验体的法向荷载可分 4~5 级施加；当法向变形达到相对稳定时，即可施加剪切荷载。

e) 每级剪切荷载按预估最大荷载的 $8\%\sim 10\%$ 分级等量施加，或按法向荷载的 $5\%\sim 10\%$ 分级等量施加；岩体按每 5min~10min，土体按每 30s 施加一级剪切荷载。

f) 当剪切变形急剧增长或剪切变形达到试体尺寸的 $1/10$ 时，可终止试验。

g) 根据剪切位移大于 10mm 时的试验成果确定残余抗剪强度, 需要时可沿剪切面继续进行摩擦试验。

h) 必要时可进行浸水条件下的试验。

5.5.4.6 成果资料整理应包括下列内容:

a) 绘制剪切应力与剪切位移曲线、剪切应力与垂直位移曲线, 确定比例界限强度、屈服强度、峰值强度、剪胀点和剪胀强度。

b) 绘制法向应力与比例强度、屈服强度、峰值强度、残余强度的曲线, 确定相应的强度参数。

5.5.5 钻孔全景光学成像

5.5.5.1 钻孔全景光学成像可用于观测地层岩性、岩石结构、风化情况, 进行地质分层; 观测孔壁岩溶洞穴、采空区、软弱夹层、构造、地下水活动等现象; 测定地层、结构面的倾向、倾角等产状要素和厚度, 以及裂隙的密度、张开或闭合的程度。

5.5.5.2 钻孔全景光学成像宜在干孔或清水孔进行。当孔中水质透明度不足时, 应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清。

5.5.5.3 钻孔全景光学成像仪器设备应符合下列规定:

a) 摄像机分辨率不应低于 500 万像素, 彩色低照度应达到 0.1lx。

b) 摄像角度宜为 360°, 方位精度应达到 1°。

c) 深度或距离计数精度应大于 0.1m。

5.5.5.4 钻孔全景光学成像数据采集应符合下列规定:

a) 应记录工程名称、孔号、工作日期等。

b) 图像显示的深度相对误差不应大于 0.5%, 与电缆标记的绝对误差不应大于 0.1m, 每隔 500m 应进行一次校正。

c) 记录的图像应清晰可辨, 且能读出罗盘显示的方位。

d) 成像可采用相片与连续影像结合, 也可对异常部位静止拍摄影像; 连续拍摄时的摄像机移动速度不宜大于 30m/min。

5.5.5.5 钻孔全景光学成像成果整理应包括下列内容:

a) 原始图像宜展开、拼接成分段连续的图片, 横向应从左到右按北、东、南、西、北方向展开, 并标注方位; 垂向应标注图片所处的深度或高程。

b) 计算并标注节理裂隙的产状。

5.6 室内试验

5.6.1 室内试验项目和试验方法应根据软岩的特点和工程要求确定。试验条件宜接近实际, 并与设计和施工工况相适应, 必要时应考虑软岩的应力历史和原位应力场、工程活动引起的新应力场和新边界条件等因素。

- 5.6.2 室内试验的仪器和具体操作应符合现行 GB/T 50123 和 GB/T 50266 的有关规定。
- 5.6.3 制备试样前、试验前和试验后，应对软岩的重要性状进行肉眼鉴定和描述，并拍照记录。
- 5.6.4 制样前应检查岩样及蜡封是否完好，制样和试验应保持样品的完整性，采取防风、防高（低）温、防振动、防光照等措施，尽量保持含水率、密度、微结构等不变。应按照附录 E 的要求采用无水制样法一次迅速成型。对易破碎的泥质岩宜采用土样和岩样制作相结合的方法制样。
- 5.6.5 可研勘察和设计阶段勘察的膨胀力试验应采用附录 F 的恒体积法。
- 5.6.6 软岩三轴压缩强度试验宜选用不少于五种围压，并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 、 ϕ 值。
- 5.6.7 当采用悬臂梁自由振动试验测定软岩的阻尼比有困难时，可采用室内振动三轴试验或现场自由振动试验。
- 5.6.8 对各向异性明显的软岩，除测定竖向强度外，尚宜分别测定平行和垂直层理面的力学参数。
- 5.6.9 软岩应测定天然、干燥、饱和等不同状态下的力学参数。当干燥、饱和状态试验困难时，也可只进行天然状态下的试验。
- 5.6.10 当需要考虑回弹变形时，应进行回弹试验，提供回弹阶段的弹性模量和回弹再压缩模量。试验最大压力应大于有效自重压力与附加压力之和。

6 水文地质

6.1 软岩厂址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。

6.2 普选阶段工作以搜集、分析水文地质资料为主，辅以现场调查。对于开展钻探工作的候选厂址，可利用钻孔进行适量的水文地质试验及取样试验工作。初步了解厂址的基本水文地质条件、水资源利用现状及规划情况。

6.3 初步可行性研究阶段应根据厂址所在的水文地质环境确定调查范围，可从厂址区外延至厂址附近周边，宜与工程地质测绘范围相同。当暗河、洞穴、泉水等水体排泄通道出现在调查边界附近时，应适当扩大调查范围进行追索。调查方法应在搜集资料的基础上，辅以现场调查。应结合工程地质测绘和工程地质钻探，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水资源利用现状及规划情况。

6.4 可行性研究阶段的水文地质工作，应在充分搜集前期资料的基础上开展，查明厂址区及厂址附近范围的水文地质条件，并应符合以下要求：

a) 查明含水层和隔水层的埋藏条件、分布规律，查明地下水类型、流速、流向、水位及其变化幅度。提供水文地质参数；

b) 查明厂址及与厂址有关的水文地质单元基本特征、及其与相邻水文地质单元的关系；

c) 查明地下水的补给、径流、排泄条件，地下水的主要排泄点，地表水与地下水的水力联系；有多层地下水的还应查明各含水层之间的水力联系；

d) 查明地表水及地下水水化学特征；

e) 进一步查明厂址附近范围水资源利用现状与规划，查明厂址所在水文地质单元取水点的分布特征。

f) 宜结合技术任务书要求，建立地下水监测系统，对影响范围内主要水体的水质和水位进行长期监测。

6.5 可行性研究阶段水文地质工作的布置原则和技术要求应符合以下规定：

a) 本阶段水文地质调查应分为厂址区和厂址附近范围两部分。厂址区水文地质调查应根据厂址条件开展水文地质测绘、水文地质钻探、水文地质试验等工作。厂址附近范围水文地质调查应在搜集和分析已有资料的基础上开展水文地质测绘工作，辅以必要的水文地质钻探、取样和水文地质试验等工作。

b) 厂址区水文地质调查范围应为厂址区及与厂址有关的水文地质单元，面积不小于 2km^2 ，调查比例尺宜为 $1:1000\sim 1:2000$ ，应布置不少于4条通过核岛的水文地质剖面；厂址附近范围水文地质测绘比例尺不应小于 $1:25000$ ，应布置不少于2条通过厂址的实测水

文地质剖面。

c) 水文地质钻探与取样工作应在搜集分析厂址已有成果资料的基础上,结合厂址条件确定。当厂址地下水下游有密集的居民点、重要取水点或其它环境敏感点时,应重点在地下水径流路线上布置水文地质钻孔,并进行取样、试验。

d) 水文地质试验的方法和数量应根据水文地质条件及其复杂程度确定。地下水流速、流向试验应选取有代表性地段进行,当厂址地下水下游有密集的居民点或重要取水点时,应在厂址与下游居民点和重要取水点之间进行地下水流向、流速测定;此外,需要建立数字模型的厂址每一主要水文地质单元应布置地下水流速流向试验、现场弥散试验。

e) 地下水长期观测点应结合水文地质单元的划分及其边界、地下水的补给、径流和排泄条件布置,应能控制厂址所在水文地质单元的边界条件以及地下水的补给、径流、排泄路径。核岛及其它主要建(构)筑物所在区域应布置不少于1个观测点,厂区地下水下游观测点应沿地下水流向线状布置。观测周期不应少于一个水文年。

6.6 初步设计阶段应在前期工作的基础上,有针对性地开展水文地质试验。进一步调查分析场地平整、核电厂建设对地下水补给、径流、排泄条件及地下水流场的影响;分析预测水文地质条件在施工和运行期间可能产生的变化及其对软岩工程特性的影响,提出防治措施建议。

6.7 工程建造阶段的水文地质工作应符合下列规定:

a) 本阶段主要任务是对前期水文地质成果的现场检验和地下水长期观测。

b) 工程建设活动引起水文地质条件发生较大变化时,应补充必要的调查工作,并进一步评价核电厂建设对水文地质条件的影响。

c) 地下水长期观测点应结合运行期环境监测需要进行布置,当厂址核环境影响为不利,且厂址地下水下游有密集的居民点或重要取水点时,应在可研阶段建立的地下水监测系统的基础上加密观测点。

7 特级勘察

7.1 通用要求

7.1.1 当勘察等级为特级时，勘察工作除满足本文件其他章节内容外，尚应满足本章的规定，其它等级的勘察可参考本章的规定执行。

7.1.2 应着重搜集以下资料：

a) 地形地貌、区域地质（包括板块构造）、工程地质、水文地质、地震地质、矿产地质与区域性膨胀岩资料；

b) 遥感数据以及解译资料；

c) 气象资料，包括降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响层深度等资料；

d) 既有建（构）筑物的勘察设计经验，边坡和结构的变形、破坏及病害资料。

7.1.3 含有亲水性黏土矿物的软岩试样，应按照附录 E 的规定采用无水制样技术制备。

7.1.4 用于岩石试验的岩芯样品，同一组岩样的岩芯累计长度应有冗余，且每节的长度要满足制样的最低要求。

7.2 普选勘察

7.2.1 调查、分析、研究区域地形地貌以及与膨胀、崩解病害相关的特征，包括软岩浸（泡）水后的崩解特点及重量变化、坡面冲刷、崩落、人工边坡的稳定坡度和风化剥落特征、已有建（构）筑物的变形破坏情况。

7.2.2 岩土层的矿物种类及含量可采用镜下薄片鉴定方法。当亲水性黏土矿物中包含蒙脱石或其混层矿物时，应使用 X 射线衍射法重新测定其矿物成分和含量。

7.2.3 当软岩岩体中蒙脱石含量接近或超过 7% 时，应增加膨胀率、膨胀力、干燥后饱和吸水率等试验项目，并适当增加试验数量。初步划分膨胀潜势等级，校核勘察等级，初步评价厂址的适宜性。

7.3 初可研勘察

7.3.1 应研究临近已有工程的勘察、设计、施工以及病害整治资料；全面分析并掌握普选勘察资料和已有的各专题成果资料。

7.3.2 地质测绘比例尺宜为 1:2000~1:5000，对于软岩或极软岩厂址，应选择大比例尺。除应满足 GB51041 规定的调查内容外，应重点调查地形地貌特征、沉积相、软弱层的成因和成分、岩体的结构特征、古气候、古地理，以及坡面冲刷、崩落、边坡的稳定坡度和风化剥落特征、已有建（构）筑物的变形破坏和治理情况。当厂址存在膨胀性软岩时，应在综合工程地质图中，标明其分布范围、病害地点等内容。

7.3.3 应结合岩相、古地理、大地构造等地质背景资料，从形成年代、矿物成分、沉积相等方面初步分析软岩的成因、强度特性和变形特性。对于软岩与硬土互层的厂址，还应从物源、沉积建造、古气候等角度分析其强度和变形特点。

7.3.4 主要岩体均应测定其矿物成分和含量。试验方法宜使用 X 射线衍射法，可使用镜下薄片鉴定法。若矿物中包含蒙脱石或其混层矿物，应使用 X 射线衍射法测定其矿物含量。

7.3.5 应布置旁压试验，初测主要岩土层的承载力和变形参数。

7.3.6 当岩土层中含有亲水性黏土矿物时，应取样进行膨胀力、膨胀率等试验，初步划分膨胀潜势等级。

7.3.7 对软岩厂址岩体具有中等膨胀潜势时，应综合分析、审慎评价其适宜性。对软岩厂址岩体具有强膨胀潜势时，应进行专门研究。

7.4 可研勘察

7.4.1 应分析并掌握普选勘察和初可研勘察各专题的成果资料，应搜集并掌握厂址及周边区域已有的论文、专著等资料。

7.4.2 应有贯穿测绘范围内软岩的实测地质剖面。当场地存在膨胀性软岩时，宜选用较大的比例尺。

7.4.3 查明软岩的年代、成因、分布范围以及碎屑成分、胶结物成分和胶结类型等岩石结构特征。查明软岩的黏土矿物种类、含量及占比、结构和叠聚体的形态。

7.4.4 应使用 X 射线衍射法进一步确定主要岩体每种风化程度的矿物成分和含量。可使用透射电子显微镜法查明岩土层的结构。

7.4.5 应查明勘察过程中发现的地质异常现象，分析其对工程建设的影响，必要时进行专门研究。

7.4.6 含有亲水性黏土矿物的岩体，应进一步进行膨胀力、膨胀率等试验，划分膨胀潜势等级。

7.4.7 应布置旁压试验和载荷试验，确定主要岩土层的变形参数和承载力。

7.4.8 宜在拟定的边坡区域和主厂区，开展现场直剪试验。不具备原位试验条件时，可现场挖取、制作包含软弱结构面的原状岩块，进行室内剪切试验。

7.5 设计阶段勘察

7.5.1 进一步查明软岩的年代、成因、分布范围、工程性质以及碎屑成分、胶结物成分、胶结类型等岩石结构特征，进一步查明覆盖层的厚度及其工程特性。对于沉积型软岩应调查与膨胀岩有关的地质病害、工程病害，详细查明其黏土矿物种类、含量及占比、结构和叠聚体的形态。

7.5.2 勘察工作布置应符合下列规定：

a) 反应堆厂房钻孔的十字交叉线应沿平行岩层走向和垂直岩层走向布置。勘探点间距宜为 10m~20m。

b) 常规岛和水工构筑物地段钻孔间距应取 GB51041 规定的小值，钻孔深度应取大值。

c) 核安全相关个水工构筑物部位应布置旁压试验或载荷试验，确定主要岩土层的承载力和变形参数。

d) 每个核岛和常规岛地段均应布置不少于 3 个单孔波速测试孔。核岛和常规岛地段的控制性钻孔均应进行声波测井。

e) 每个反应堆厂房和常规岛应各保留至少 2 个控制性钻孔，妥善保护，待负挖结束后进行第二次单孔波速测试和声波测井。

f) 冷却塔部位应布置旁压试验或载荷试验，确定主要岩土层的承载力和变形参数。当冷却塔位置处于挖方卸荷地段时，地基持力层的强度和变形参数除应考虑卸荷、回弹、膨胀、崩解的劣化影响外，尚应考虑冷却塔运行时临水环境的影响。

7.5.3 应在核岛区布置载荷试验。可在正挖后、负挖前的核岛区代表性地段，局部开挖至接近基底标高处进行。每个核岛区的载荷试验数量宜为 3 个。

7.5.4 负挖结束后，应在保留的钻孔内进行声波测井、单孔波速测试。宜在核岛、常规岛、泵房各布置至少一个钻孔，取岩样进行抗压强度、抗剪强度试验。钻孔深度为基底下 20m。与已有勘察的结果进行对比，分析劣化层厚度和劣化程度，验证勘察结果；重新计算岩体 BQ 值，评价岩体基本质量等级；根据基底地质编录和各类试验结果，重新估算岩体 GSI 值，分析与负挖前 GSI 值的差异。

7.5.5 在负挖完成后的核岛基础底面上，应进行载荷试验、声波测井、波速测试和适量的岩石力学试验，测定负挖完成后的地基承载力和变形参数，并验证所提交的各项岩土参数的包络值。每个核岛区的载荷试验数量宜为 3 个。

7.5.6 应在泵房负挖完成后的基坑内进行载荷试验，测求负挖卸荷后的基底岩体的变形模量和承载力。

7.5.7 提出基坑侧壁和基底防渗、隔潮、排水措施的建议。

7.5.8 必要时，提出开展专门流变研究的建议。

7.5.9 当高度大于 30m 的边坡坡脚外 1 倍坡高范围内存在永久建筑物时，宜进行地应力测试。

7.5.10 当拟采用桩基时，应建议进行试成桩及桩基载荷试验。评价大直径超长桩的桩基承载力及对建（构）筑物沉降影响时，宜分析下列因素：尺寸效应对单桩承载力影响、超长桩桩身压缩量、嵌岩桩中非嵌岩段侧阻力的贡献。

7.5.11 监测核岛、常规岛、泵房地段负挖过程中基底以下不同深度的回弹量。

8 基坑工程勘察

8.1 通用要求

8.1.1 需进行基坑设计的工程，应进行基坑工程勘察。设计阶段主体建（构）筑物勘察可兼顾基坑工程勘察。

8.1.2 应在受基坑开挖影响和可能设置支护结构的范围内，查明岩土分布、水文地质条件、优势结构面产状、张开度、填充物等特征，提供基坑支护设计所需要的抗剪强度指标、重度等。

8.1.3 当基坑开挖过程中需要对地下水进行控制，且已有资料不能满足要求时，应补充相应的水文地质工作。

8.1.4 应对周边环境进行调查，查明临近建（构）筑物、道路、地下设施等的现状情况、结构特点以及开挖变形的承受能力。

8.2 基坑工程勘察工作布置

8.2.1 基坑工程勘察应结合主体建（构）筑物进行，并应符合以下要求：

a) 基坑外勘察范围宜为基坑深度的1~2倍，当采用锚杆或锚索时，不宜小于基坑深度的2倍。

b) 勘探点应沿基坑边布置，其间距宜取15m~25m，且基坑每边的钻孔数量（包括相邻两边共用的钻孔）不宜少于2个；位于主厂区内的基坑，可与主厂区共用钻孔资料。

c) 基坑周边勘探点深度不宜小于基坑深度的2倍，当勘探深度范围内存在承压水含水层时，勘探点深度应揭穿承压水含水层；基坑外扩范围的勘探点深度不宜小于基坑深度的1倍；土岩组合基坑的勘探点深度尚应钻至可能的滑弧深度下5m。

8.2.2 基坑深度超过3m时，视情况布置以下调查或试验工作：

a) 宜进行原位剪切试验，确定软岩岩体或结构面在天然状态或饱和状态下的抗剪强度指标。现场原位剪切试验应符合5.5.4的要求。对软弱结构面，还可在现场制样，包装固定后运至试验室，进行室内剪切试验。

b) 应对软岩基坑及周边范围进行节理裂隙统计，范围不小于基坑区域外扩2倍基坑深度；确定优势节理，层面、软弱结构面、大型节理等控制性结构面应直接作为优势节理面，不参与优势节理的统计。

c) 条件许可时，可在现场试开挖并进行淋雨试验，或结合正挖施工过程中的小型坍塌，对软弱结构进行建模，反算软弱结构面的强度。

8.2.3 当基坑上部被第四系、全风化层覆盖，露头不明显时，宜布置探槽或探井，调查分析基坑侧壁的结构面、地下水等情况。

8.3 参数选用

8.3.1 参数的选用应考虑基坑开挖卸荷、吸水（潮）后软岩强度降低的影响；

- 8.3.2 应对反分析得到的软弱结构面强度进行论证，分析其代表性；
- 8.3.3 应根据原位剪切试验结果、室内试验结果、反算结果，结合工程经验，综合确定主要岩土层及控制性结构面的抗剪强度指标等力学参数。

8.4 基坑工程评价

- 8.4.1 应分析评价软岩膨胀、崩解、软化特性对基坑稳定的影响。
- 8.4.2 应对基坑四壁分别进行稳定性评价。应对坑中坑的稳定性、基坑中凸起的地基的稳定性进行评价。当坑中坑靠近主基坑侧壁时，则该段主基坑的评价深度应为两个坑的深度之和。
- 8.4.3 失稳模式初判应考虑各结构面内摩擦角对基坑稳定的有利影响。
- 8.4.4 应根据开挖深度、软岩工程特性、地下水条件、环境要求以及失稳模式，对处理方式和支护结构选型提出建议。
- 8.4.5 对基坑中的凸起地基，应考虑开挖对凸起地基的承载力折减，分析其受开挖影响的程度；对基坑上口外 1 倍基坑深度范围内的其他构筑物地基受开挖的影响程度也应进行分析。
- 8.4.6 提出地下水控制方法、计算参数和施工控制的建议。
- 8.4.7 提出施工方法、地质条件可能造成的风险、施工中可能遇到的问题及防治措施的建议。
- 8.4.8 提出施工阶段的基坑监测及环境保护的建议。

9 勘察安全

9.1 勘察纲要中应识别潜在的安全风险，制定相应的安全应急预案或应急措施。

9.2 勘察安全管理与作业除应符合本文件的规定外，还应符合 GB50585 以及其它与安全生产相关的规定。

9.3 勘察项目安全生产管理应符合下列规定：

a) 根据 GB 39800 的有关规定，为作业人员配备个体防护装备。勘察作业现场设置安全生产防护设施。

b) 对有职业病危害的作业场所，应采取符合国家职业卫生标准的防护措施，并应符合 GB/T 45001 和 GB/T 24001 的有关规定。

c) 组织有关人员到现场踏勘，了解勘察现场作业条件，搜集勘察作业场地与安全生产有关的各类地下管线、地上架空线、地下建（构）筑物、地质灾害等资料。

d) 安排专人每天查看天气预报及近期天气趋势分析，并对所有作业人员及时通报。

e) 应对所有进场作业人员进行安全技术交底，进行安全生产教育和安全生产操作技能培训，未经培训考核合格的作业人员不得上岗作业。

f) 进场作业人员应遵守施工现场各项安全生产管理规定，应熟悉和掌握作业场地避险和相关应急救援技能。

g) 保留作业过程安全生产记录。

9.4 勘察项目负责人应组织现场踏勘，并进行如下工作：

a) 了解勘察现场作业条件。

b) 搜集勘察作业场地与勘察安全生产有关的各类地下管线资料、管线权属单位联系方式、管线保护的法规规定。

c) 调查了解地下障碍物、建（构）筑物及地下管线等情况。

d) 搜集与勘察安全生产有关的水文和气象等资料。

e) 按相关要求办理水上钻探、重要管线、各类保护区等范围作业施工许可，并了解相关行政主管部门对安全施工的要求。

9.5 作业人员和勘察设备安全防护应符合以下要求：

a) 进入作业区，作业人员应穿戴工作服、工作鞋和安全帽等安全生产和劳动防护用品，登高作业应系安全带。未按规定穿戴和使用劳动防护用品的作业人员，严禁上岗作业。

b) 高温季节勘察作业应避开高温时段，作业现场应配备防暑降温用品和急救药品；日最高气温高于 40℃且勘察现场未能采取有效防暑降温措施时，应停止勘察作业。

c) 遇台风、暴雨、雷电、冰雹、浓雾等恶劣天气时，应停止现场勘察作业，并做好设备和人员的安全防护工作。

d) 冬季气温较低时，应为作业人员配备防寒防护物资。应及时清除作业场地内以及

梯子和塔架上的冰雪。供水管道应加设防冻措施。当气温低于-20℃且无保温措施时，应停止现场勘察作业。

e) 钻探设备应定期维修保养，确保其性能。钻探作业前，应对钻探设备的安装质量、管材质量和安全防护设施等进行检查，符合规定后方可作业。

f) 钻探施工场地应设置安全可靠的围挡，并设置警戒标识和安全标志。

g) 钻探作业机具、材料等放置在围挡范围内，摆放整齐。

h) 夜间施工、无自然采光或自然采光差的道路区施工应有照明设施，且照明方式、种类、照明度等应满足作业要求。

9.6 地下埋藏物的避让与保护应符合以下要求：

a) 核对勘探部位的地下埋藏物图纸和现场标志，请相关部门现场指认。

b) 勘探布点应避开各种地下埋藏物，必要时采用人工开挖、物探等手段进行地下管线探查、验证。

c) 勘察作业点与各类地下管线及设施之间的最小水平安全距离应符合相关管理部门的有关规定。

9.7 勘察作业时，导电物体外侧边缘与架空输电线路边线之间的最小安全距离应符合表 10 的规定。

表10 勘察作业导电物体外侧边缘
与架空输电线路边线之间的最小安全距离

电压(kV)	<1	1~10	35~110	154~330	550
最小安全距离 (m)	4.0	5.0	10.0	15.0	20.0
注：当与架空输电线路边线之间的最小安全距离小于上述规定，且不能移动孔位时，应采取断电措施。					

9.8 水上作业应符合以下要求：

a) 作业期间应悬挂锚泊信号、作业信号和安全标志。

b) 勘察作业船舶、勘探平台或交通船应配备救生、消防、通信等水上救护和安全生产防护设备，并应规定联络信号；作业人员应穿戴水上救生器具。

c) 作业平台宽度不小于 5m，作业平台四周应设置高度不小于 1.2m 的防护栏，平台周边设置防撞设施。

d) 应采取措施确保作业平台均衡、稳定；在通航水域，每个定位锚应设锚漂和安全标志。

e) 勘探船舶横摆角度大于 3° 时，应停止勘探作业；停工、停钻时，勘探船舶应由持证船员值班。

f) 水上钻探作业完毕，应及时清除埋设的套管、井口管和其它障碍物。

9.9 夜间作业应符合以下要求:

- a) 确保作业区有足够亮度的照明措施。
- b) 严禁作业人员疲劳作业。
- c) 在作业区应设置主动发光标志及施工警示灯。施工警示灯可设置在围挡顶部,也可同时设置在作业区高耸的其它设施上。
- d) 宜安排人员进行夜间巡视和检查。

10 岩土工程分析和成果报告

10.1 通用要求

10.1.1 应对参与统计的数据做出可靠性和适宜性评价。

10.1.2 主要物理力学指标的变异系数不满足《核电厂岩土工程勘察规范》GB51041 的要求时，应分析岩土单元划分的合理性、试验或测试的准确性和代表性，并做相应处理。

10.1.3 应考虑工程环境变化对岩土参数的影响，必要时对关键岩土参数的取值进行专门分析论证。

10.1.4 岩土工程分析评价除考虑地区工程建设经验、场地的地质背景外，尚应考虑岩土材料的非均质性、各向异性及时间效应、环境变化、岩土参数的变异性及监测结果。

10.1.5 岩土工程分析评价应根据上部结构对地基的要求，采用定性定量相结合的方式。

10.1.6 岩土工程勘察报告的文字、图表、术语、代号、符号、数字、计量单位、标点，均应符合国家有关标准的规定。

10.2 岩土参数的分析和选定

10.2.1 同一统计岩土单元应属相同的地质年代及成因类型，岩性和工程特性指标相近，属于同一统计母体。

10.2.2 数据统计分析时，除采用 GB 51041 规定的统计方法外，还可采用附录 A 的随机-模糊数学统计方法。

10.2.3 岩土参数统计结果一般应包括算术平均值、范围值、标准差、变异系数、统计个数，强度指标应给出标准值。初可研勘察和可研勘察尚宜提供主要岩土参数的大值平均值、小值平均值等指标。

10.2.4 利用前期勘察数据时，应使用数学统计工具，验证是否与本次勘察数据出自同一样本总体，确保数据之间没有系统误差。

10.2.5 岩土参数的建议值，应结合原位测试和室内试验结果、统计分析结果、反分析结果、地区工程经验以及岩土工程师的经验综合确定。

10.3 岩土工程分析评价及地基承载力

10.3.1 普选勘察和初可研勘察

10.3.1.1 根据软岩的矿物成分、成因，结合地质背景，初步分析软岩强度的主控因素及强度随环境变化的规律。当岩体中含有亲水性黏土矿物时，初步评价主要岩土层的工程特性，初步划分膨胀潜势等级。

10.3.1.2 初步评价场地的稳定性和边坡的稳定性。

10.3.1.3 初步分析软岩膨胀性对工程建设的影响。对具有弱~中等膨胀潜势的软岩厂址，

有针对性地提出下一步勘察工作的建议。对具有强膨胀潜势的软岩厂址，不宜作为候选厂址进行排序。

10.3.2 可研勘察

10.3.2.1 应结合植被覆盖等环境因素、大气影响深度和大气影响急剧层深度，评价主要岩体在卸荷、吸水（潮）工况下的工程性能，并结合工程经验，初步分析正挖卸荷、施工、回弹、膨胀等对岩土层的劣化影响，估算劣化层厚度和劣化程度，对正挖施工以及下一阶段勘察提出建议。

10.3.2.2 初步评价挖方材料作为场地回填料的适宜性及其形成的填方边坡的稳定性。

10.3.2.3 地基评价时，宜将劣化层作为独立的工程力学层。

10.3.2.4 按照附录 C 确定岩体的 GSI 值，估算正挖后的岩体 GSI 值；使用 Hoke-Brown 准则估算地基岩体的抗剪强度指标、变形参数及承载力。

10.3.2.5 对膨胀性软岩以及具有弱膨胀潜势的膨胀岩，应分析其开挖、吸水（潮）后可能的膨胀性对工程建设的影响；审慎评价具有中等膨胀潜势的软岩厂址的适宜性。有针对性地提出下一步勘察工作的建议。

10.3.2.6 按照附录 D 的规定，使用赤平投影法初步评价边坡的稳定性，并提出下一步边坡勘察工作的建议。

10.3.2.7 应根据载荷试验、旁压试验等原位测试手段、室内试验以及 Hoke-Brown 经验公式并结合当地工程建设经验综合分析确定地基承载力和变形参数。

10.3.3 设计阶段勘察

10.3.3.1 分区段统计优势节理，确定控制性结构面。按照附录 C 分区确定岩体的 GSI 值，估算负挖后岩体的 GSI 值。

10.3.3.2 根据正挖期间的回弹监测资料，并对比分析正挖前后声波测井资料，预测负挖完成后基底的回弹量、劣化影响深度。

10.3.3.3 应重视泥化夹层及其吸水软化后对地基和边坡的不利影响。

10.3.3.4 评定基底岩体承载力、变形参数时，应考虑负挖卸荷回弹、吸水（潮）膨胀对地基的不利影响。对靠近高边坡坡脚的建（构）筑物地基的评价，尚应考虑主应力旋转对地基的劣化影响。

10.3.3.5 根据正挖后、负挖前的载荷试验、旁压试验等原位测试成果、室内试验成果以及 Hoke-Brown 经验公式并结合建（构）筑物特征、当地工程建设经验，综合分析，分区估计负挖后的地基承载力和变形参数。

10.3.3.6 识别核岛、常规岛、泵房等基坑各边坡的破坏模式，估算其破坏概率，结合工程经验，对其稳定性分别进行评价，提出基坑支护、处理和监测建议。

10.3.3.7 应重视较深基础的开挖对临近较浅基础的不利影响,并对较浅基础的地基承载力适当折减。

10.3.3.8 应分析差异沉降、倾斜等特征,必要时提出处理建议。

10.3.3.9 地基处理的评价应包括如下内容:

- a) 地基处理的必要性和可行性;
- b) 地基处理范围、深度及方案的建议;
- c) 地基处理对环境及邻近建(构)筑物的影响评价,可能遇到的风险;
- d) 提出应注意的问题和检测的建议。

10.3.3.10 桩基础的评价应包含以下内容:

- a) 提出可选的桩型和施工方法,建议桩端持力层,对基岩持力层应判定有无洞穴、临空面、陡倾基岩面、破碎岩体或软弱夹层;
- b) 地下水对桩基的影响;
- c) 不良地质作用、可液化土层和特殊性岩土对桩基的影响,以及防治措施的建议;
- d) 对存在欠固结土、有面积堆载以及地下水可能大幅下降的工程,应分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其影响,提供负摩阻力系数;
- e) 分析沉桩可行性及对环境的影响。

10.3.3.11 相邻建(构)筑物及周边环境的影响评价应包含如下内容:

- a) 拟建工程场地的挖填、边坡施工的影响;
- b) 基坑开挖、降水的影响及监测建议;
- c) 爆破施工、桩基施工等产生的震动影响及监测建议;
- d) 对附近边坡和尚未回填基坑稳定性的影响,并提出监测建议。

10.3.12 应评价地质条件可能造成的工程风险,提出防治措施的建议。

10.3.13 在负挖结束后,确定地基岩体的 GSI 值,与负挖前的 GSI 值对比;在保留的钻孔中进行声波测井,并与负挖前的声波测井结果进行对比,确定劣化层的厚度。

10.3.14 根据负挖后的载荷试验成果,验证负挖前、设计阶段勘察时确定的承载力和变形参数,当差异较大时,及时反馈。

10.4 成果报告

10.4.1 普选和初可研勘察报告应阐述厂址软岩的成因、类型、工程性质、分布范围等,说明与膨胀岩有关的不良地质作用和建(构)筑物的变形、病害或破坏情况;初步评价膨胀性软岩的潜在危害程度,膨胀、崩解、软化特性对工程的影响;初步评价厂址的适宜性。

10.4.2 可研勘察报告应着重分析评价场地的稳定性和厂址的适宜性,初步评价地基的均匀性和稳定性;当岩土层含有亲水性黏土矿物时,应分析可能的地质病害、工程病害,提出初步的处理建议。

10.4.3 含亲水性黏土矿物的软岩厂址,设计阶段勘察报告除满足 GB51041 和 GB50021

的规定外，尚应包括下列内容：

- a) 软岩的崩解和软化特性及分布情况。
- b) 施工导致的水文地质条件的改变，对地下水的影响；
- c) 与膨胀岩相关的不良地质作用的类型及规模；施工开挖支护措施、防水隔潮措施及施工注意事项等建议。
- d) 劣化层的岩石地质强度指标 GSI 值及抗剪强度、抗压强度和变形参数。
- e) 回弹监测成果、声波测井数据和波速测试数据的对比分析。
- f) 载荷试验数据的对比分析论证。
- g) 检测和监测的建议。

附录 A
(规范性)
随机-模糊数学统计方法

- A. 1 岩土参数统计既要考虑岩土参数的随机性，尚宜考虑其具有模糊性。
A. 2 开展随机-模糊数学统计前，应采取可靠方式，删除数据中的明显异常数据。
A. 3 考虑岩土参数的模糊性的样本均值 \bar{x} 应以其具有最大隶属度为目标，按照下列公式计算：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\bar{A}}(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{\bar{A}}(x_i)} \quad (\text{A. 1})$$

样本隶属度 $\mu_{\bar{A}}(x_i)$ 按照下式计算：

$$\mu_{\bar{A}}(x_i) = \exp[-(x_i - \bar{x})^2 \cdot \omega_{01}] \quad (\text{A. 2})$$

其中：

$$\omega_{01} = \frac{1}{(d_{1max} - d_{1min})/2} \quad (\text{A. 3})$$

$$d_{1max} = \max [d_{1i} = (x_i - \bar{x})^2, (i = 1, 2, \dots, n)] \quad (\text{A. 4})$$

$$d_{1min} = \min [d_{1i} = (x_i - \bar{x})^2, (i = 1, 2, \dots, n)] \quad (\text{A. 5})$$

- A. 4 考虑岩土参数模糊性的样本方差的均值 $\bar{\sigma}^2$ 应以其具有最大隶属度为目标，按照下列公式计算：

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\bar{B}}(\xi_i) \cdot \xi_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{\bar{B}}(\xi_i)} \quad (\text{A. 6})$$

式中：

$$\xi_i = (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{A. 7})$$

样本方差隶属度 $\mu_{\bar{B}}(\xi_i)$ 按照下式计算：

$$\mu_{\bar{B}}(\xi_i) = \exp[-(\xi_i - \delta)^2 \cdot \omega_{02}] \quad (\text{A. 8})$$

其中：

$$\omega_{02} = \frac{1}{(d_{2max} - d_{2min})/2} \quad (\text{A. 9})$$

$$d_{2max} = \max [d_{2i} = (\xi_i - \bar{\sigma}^2)^2, (i = 1, 2, \dots, n)] \quad (\text{A. 10})$$

$$d_{2min} = \min [d_{2i} = (\xi_i - \bar{\sigma}^2)^2, (i = 1, 2, \dots, n)] \quad (\text{A. 11})$$

A. 5 \bar{x} 和 $\bar{\sigma}^2$ 的迭代求解步骤如下所示：

a) 取数据的随机平均值 x_w 作为 \bar{x} 的初始值；

b) 根据公式 A.5~A.3 分别计算 d_{1min} 、 d_{1max} 、 ω_{01} ；根据公式 A.2 计算每个样本值的隶属度 $\mu_{\bar{A}}(x_i)$ ；根据公式 A.1 计算得到一个新的 \bar{x} 值。

c) 若 $|x_w - \bar{x}| < \varepsilon_1$ (ε_1 为指定的精度，一般取 10^{-4})，则 \bar{x} 即为最终所求。反之，则取该 \bar{x} 为 x_w 的新值，返回第 b 步，重新计算，直到求出的 \bar{x} 与 x_w 的差值满足精度要求。

d) \bar{x} 求解完成后，再求解 $\bar{\sigma}^2$ ；取数据的随机方差 ξ_w^2 作为 $\bar{\sigma}^2$ 的初始值；

e) 根据公式 A.11~A.9 分别计算 d_{2min} 、 d_{2max} 、 ω_{02} ；根据公式 A. 8 计算每个样本值的隶属度 $\mu_{\bar{B}}(\xi_i)$ ；根据公式 A. 6 计算得到一个新的 $\bar{\sigma}^2$ 值。

f) 若 $|\xi_w^2 - \bar{\sigma}^2| < \varepsilon_2$ (ε_2 为指定的精度，一般取 10^{-4})，则 $\bar{\sigma}^2$ 即为最终所求。反之，则取该 $\bar{\sigma}^2$ 值为 ξ_w^2 的新值，返回第 f 步，重新计算，直到求出的 $\bar{\sigma}^2$ 与 ξ_w^2 的差值满足精度要求。

A. 6 随机模糊统计的变异系数 δ 按照下式计算：

$$\delta = \frac{\bar{x}}{\bar{\sigma}} \quad (\text{A. 12})$$

A. 7 风险概率 $\alpha=5\%$ 时的岩土参数的标准值可按下式确定：

$$\bar{x}_K = \gamma_s \cdot \bar{x} \quad (\text{A. 13})$$

其中， γ_s 为统计修正系数，按照下式计算：

$$\gamma_s = 1 \pm 1.645 \frac{\sqrt{n}}{n-1} \delta \quad (\text{A. 14})$$

附录 B
(规范性)
岩体块度率RBR

B.1 岩体块度率RBR (Rock mass Block Rating) 可按式计算:

$$RBR = C_{r1} + 3C_{r3} + 10C_{r10} + 30C_{r30} + 100C_{r100} \quad (B.1)$$

式中, C_{r1} 、 C_{r3} 、 C_{r10} 、 C_{r30} 、 C_{r100} 分别为不同规格的岩芯的获得率(当应用于野外露头或平硐节理统计时,其分别表示节理间距在测线总长度中所占的比例)。岩芯的规格可按照表B.1划分。

表 B.1 岩芯的划分标准

规格 C_r	C_{r1}	C_{r3}	C_{r10}	C_{r30}	C_{r100}
岩芯长度 L (cm)	$1 \leq L < 3$	$3 \leq L < 10$	$10 \leq L < 30$	$30 \leq L < 100$	$L \geq 100$

B.2 将RBR用于计算岩体块度率时,可采用外径 75mm~130mm 的钻头钻进。

B.3 岩体结构类型与RBR的关系见表 B.2。

表 B.2 岩体结构类型与RBR的关系

岩体结构类型	岩体结构特征	RBR
完整或块体状结构	完整岩体或野外大体积范围内分布有极少的间距大的结构面,呈巨块状或巨厚块状,结构面不发育,间距 $\geq 100\text{cm}$	30~100
块状结构	很好的镶嵌状未扰动岩体,由3组相互正交的结构面切割,岩块呈立方体状,岩体完整,呈块状或厚层状,结构面轻度发育,间距一般30~100cm	10~30
镶嵌结构	结构体相互咬合,由4组或更多组的节理形成多面棱角状岩块,部分扰动,结构面发育,间距一般10~30cm	3~10
破碎结构/扰动/裂缝	由多组不连续面相互切割,形成棱角状岩块,且经历了褶曲活动,层面或片理面连续,岩体较破碎或完整性差,结构面很发育,间距一般3~10cm	1~3
散体结构	块体间结合程度差,岩体极度破碎,呈混合状,由棱角状和浑圆状岩块组成,岩体破碎,结构面非常发育,间距一般1~3cm	0~1
层状/剪切带	存在密集片理,或存在剪切面作用,只有极少的块体组成的岩体,岩体极破碎,呈松散状,间距一般 $< 1\text{cm}$	0

注:当没有钻孔岩芯资料时,将测线假想为钻孔,确定与测线交叉的节理面位置,将每个交叉点之间距离假想为岩芯长度,并根据式B.1估算出岩体的值。

附录 C

(规范性)

估算岩体抗剪强度的岩石地质强度指标 (GSI) 法

- C.1 岩体的地质强度指标(GSI) 可按表 C.1 划定。
- C.2 使用 GSI 值确定岩体抗剪强度与变形参数应符合下列规定：

- a) 岩体强度可按下列公式估算：

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^\alpha \quad (\text{C.1})$$

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{\text{GSI}-100}{28-14D} \right) \quad (\text{C.2})$$

$$s = \exp \left(\frac{\text{GSI}-100}{9-3D} \right) \quad (\text{C.3})$$

$$\alpha = 0.5 + \frac{1}{6} \left[\exp \left(-\frac{\text{GSI}}{15} \right) - \exp \left(-\frac{20}{3} \right) \right] \quad (\text{C.4})$$

式中：

σ_1 ， σ_3 分别为破坏时岩体的最大和最小主应力(MPa)；

σ_c 为岩块单轴抗压强度 (MPa)；

m_b 为岩体的 Hoek-Brown 常数，与完整岩块的 m_i 相关；

s ， α 为取决于岩体特征的系数；

D 为爆破破坏和开挖卸荷、膨胀劣化对岩体的扰动程度，可按照开挖前后同一位置处的声波速度比值的平方确定；

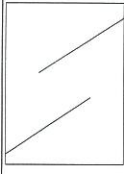
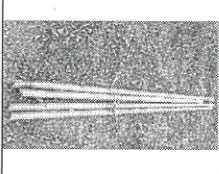
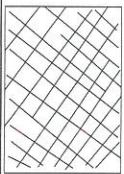
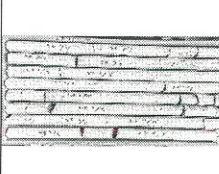
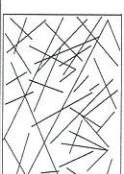
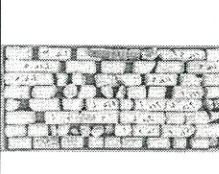
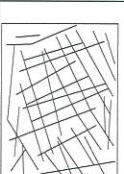
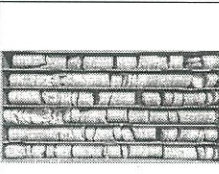

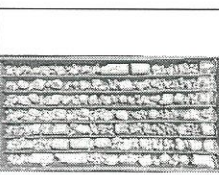

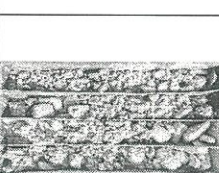
m_i 为完整岩石的 Hoek-Brown 准则常数，反映岩石的软硬程度，可由室内三轴试验计算或者查表 C.2。

- b) 当没有更可靠资料确定完整岩石的常数 m_i 时， m_i 按照表 C.2 取值。

- c) 岩体的抗压强度 σ_{cm} 可按下列公式估算：

$$\sigma_{cm} = \sigma_c \cdot \frac{[m_b + 4s - \alpha(m_b - 8s)] \cdot (m_b/4 + s)^{\alpha-1}}{2(1+\alpha)(2+\alpha)} \quad (\text{C.5})$$

表 C.1 岩体地质强度指标(GSI)

		很好; 十分粗糙, 新鲜未风化的结构面	好; 粗糙, 微风化, 结构面有铁质渲染	中等; 光滑, 中等风化, 有蚀变现象的结构面	差; 表面有擦痕, 强风化, 泥膜覆盖或棱角碎块	很差; 有擦痕, 强风化, 黏土覆盖或充填的结构面	
结构面类型及示例		岩体结构特征					
		岩体结构面质量由强到弱 →					
		①完整或整体块状结构。完整岩体或野外大体积范围内分布有极少的大间距结构面, 结构面间距 $d > 100\text{cm}$ 。		90	80	N/A	N/A
		②块状结构, 紧密镶嵌结合未扰动岩体, 三组节理相互切割形成立方体, $d = 30 \sim 100\text{cm}$ 。		70	60		
		③镶嵌结构。结构体相互咬合, 由四组或更多的节理相互切割, 形成多面棱角状块体, 部分扰动, $d = 10 \sim 30\text{cm}$ 。		50	40		
		④碎裂结构/扰动/裂缝。由多组不连续面相互切割, 形成棱角块体, 且经历了褶曲活动, 层面或片理面连续, $d = 3 \sim 10\text{cm}$ 。		30			
		⑤散体结构, 块体间结合程度差, 岩体极度破碎, 呈混合状, 由棱角状或浑圆状岩块组成, $d = 1 \sim 3\text{cm}$ 。		20			
		⑥层状/剪切带/极软岩/半成岩体。由于密集片理或剪切面作用, 只有极少的块体组成的岩体; 岩体重结晶差, $d < 1\text{cm}$ 。		N/A	N/A		10

注1: 岩体结构和结构面表面特征确定平均GSI值, GSI取一个范围值比取一个确切值更具实际意义;
 注2: N/A为不可能出现的情况;
 注3: 不适用于由结构面控制破坏的情况;
 注4: 下水存在的岩体中抗剪强度会因水的状态的变化而趋向劣化, 在很差的岩体中进行岩体开挖时, 遇潮湿条件, GSI应在图中向右移动取值;
 注5: RBR的计算方法见附录B。

表 C.2 各类完整岩石的参数 m_i 值

岩石类型	岩组	不同质地岩石及其 m_i 值				
		粗糙的	中等粗糙的	细的	非常细的	
沉积岩	碎屑岩	砾岩 (21±3) 角砾岩 (19±5)	砂岩 (17±4)	粉砂岩 (7±2) 硬砂岩 (18±3)	黏土层 (4±2) 页岩 (6±2) 泥灰岩 (7±2)	
	非碎屑岩	碳酸盐	粗晶灰岩 (12±3)	粉晶石灰岩 (10±2)	微晶灰岩 (9±2)	
		蒸发岩		石膏 (8±2)	硬石膏 (12±2)	
		有机质				
变质岩	非片理化	大理岩 (9±3)	角闪岩 (19±4) 变质砂岩 (19±3)	石英岩 (20±3)		
	轻微片理化	混合岩 (29±3)	闪岩 (26±6)	片麻岩 (28±5)		
	片理化*		片岩 (12±3)	千枚岩 (7±3)	板岩 (7±4)	
火成岩	深成岩	浅色	花岗岩 (32±3) 花岗闪长岩 (29±3)	闪长岩 (25±5)		
		深色	辉长岩 (27±3) 粗粒玄岩 (16±5) 长岩 (20±4)		辉绿岩 (15±5) 橄榄岩 (25±5)	
		半深成岩	斑岩 (20±5)			
	喷出岩	熔岩		流纹岩 (25±5) 安山岩 (25±5)	英安岩 (25±3) 玄武岩 (25±5)	黑曜岩 (19±3)
		火山碎屑岩	集块岩 (19±3)	角砾岩 (19±5)	凝灰岩 (13±5)	

注：*号表示该行中的值为垂直于片理层状面的岩样测得，当沿着软弱面破坏时， m_i 值将会明显不同。

d) 岩体的岩体抗剪强度指标内摩擦角 ϕ 和黏聚力 c 可按下列公式计算：

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha-1}}{2(1+\alpha)(2+\alpha) + 6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha-1}} \right] \quad (C.6)$$

$$c = \frac{\sigma_c [(1+2\alpha)s + (1-\alpha)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha-1}}{(1+\alpha)(2+\alpha) \sqrt{1 + [6\alpha m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{\alpha-1}] / [(1+\alpha)(2+\alpha)]}} \quad (C.7)$$

$$\sigma'_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_c \quad (C.8)$$

最小主应力上限值 σ_{3max} 按照下式计算：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{max} / \sigma_{cm} &= 0.72 \left[\frac{\sigma_{cm}}{(\gamma H)} \right]^{-0.91} \quad (\text{边坡/地基工程}) \\ \sigma_{max} / \sigma_{cm} &= 0.47 \left[\frac{\sigma_{cm}}{(\gamma H)} \right]^{-0.94} \quad (\text{隧道工程}) \end{aligned} \right\} \quad (C.9)$$

e) 岩体的变形模量可按下列公式估算：

$$E_m = E_i \left\{ 0.02 + \frac{1-D/2}{1 + \exp [(60+15D-GSI)/11]} \right\} \quad (C.10)$$

式中， E_i -完整岩石的变形模量 (MPa)；

f) 当没有其它可靠的数据时，岩体地基极限承载力可按下列公式估算：

$$q_{\text{ult}} = q_0 + (mq_0\sigma_c)^\alpha + \{m\sigma_c[q_0 + (mq_0\sigma_c + s\sigma_c)^\alpha] + s\sigma_c^2\}^\alpha \quad (\text{C.11})$$

式中： q_0 为基础两侧、基础埋深范围内岩土体自重应力， $q_0 = \gamma h$ ， γ 为岩体的重度， h 为基础埋深； q_{ult} 为地基极限承载力。

附录 D

(规范性)

优势节理统计和边坡破坏模式的定性分析

- D.1 节理裂隙应按不同的地质单元分别进行统计。控制性结构面、层面应单独论述、评价。
- D.2 节理裂隙统计宜使用聚类分析法。
- D.3 应通过赤平投影法初步判定软岩边坡的破坏类型（表 D.1），再进行稳定性计算。

表D.1 边坡变形破坏类型

变形破坏类型		变形破坏特征
崩塌*		边坡岩体坠落或滚动
滑动	平面型	边坡岩体沿某一结构面滑动
	弧面型*	散体结构、碎裂结构的岩质边坡或土坡沿弧形滑动面滑动
	楔形体	结构面组合的楔形体，沿滑动面交线方向滑动
蠕变	倾倒	反倾向层状结构的边坡，表部岩层逐渐向外弯曲、倾倒
	溃屈*	顺倾向层状结构的边坡，岩层倾角与坡角接近，边坡下部岩层逐渐向上鼓起，产生层面拉裂和脱开
	侧向张裂*	双层结构的边坡，下部软岩产生塑性变形或流动，使上部岩层发生扩展、移动张裂和下沉
流动*		崩塌碎屑类堆积向坡脚流动，形成碎屑流

注：带“*”号的破坏类型无法使用赤平投影法判定，且不适用于基坑边坡。

- D.4 利用赤平投影法初步判定边坡破坏模式时，对于平面滑动或楔形体滑动，应考虑结构面的摩擦角对边坡稳定的有利影响。可根据落入滑动破坏区极点占节理极点总数的比例，估算破坏概率。当破坏概率大于 5%时，宜判为易发生平面滑动或楔形体滑动。
- D.5 进行倾倒破坏模式判别时，滑动极限平面的倾角应设置为实际的边坡坡面倾角减去结构面的摩擦角；破坏区域由滑动极限平面的大圆、沿坡面走向 $\pm 30^\circ$ 圆锥、坡面大圆交集而成。当落入此范围的极点数量大于节理裂隙总数的 5%时，宜判为易发生倾倒破坏。
- D.6 对于多级边坡，应按照每级边坡坡角和总体坡角分别进行破坏模式判别。

附录 E
(规范性)
软岩试件的无水制备方法

- E.1 本法适用于遇水易发生崩解的软岩。
- E.2 野外采取的岩芯或岩块应使用室内软岩专用取芯机(图 E.1)钻取试样,然后使用无水切割设备、无水打磨设备制成标准试件。

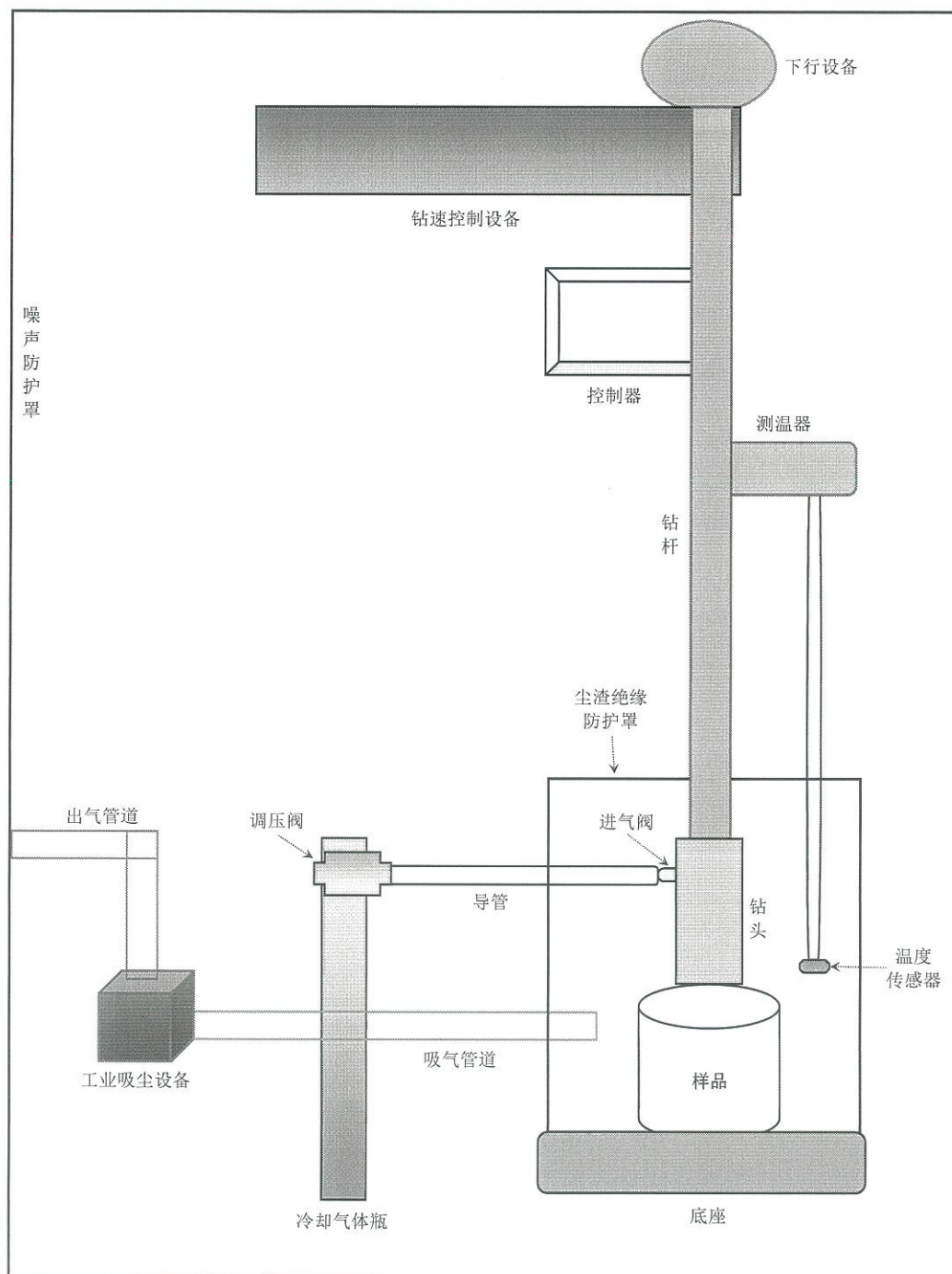


图 E.1 无水钻芯取样设备原理图

E.3 钻芯过程按下列步骤进行:

- a) 将岩芯(块)放置并固定于专用取芯机底座上(上下方向应与取样时的方向一致),调整合适的位置和角度后夹紧,闭合尘渣防护罩和噪声防护罩。
- b) 打开冷却气体容器开关,使气体通过导管和调压阀进入取样钻头,同时开启吸尘设备。
- c) 打开钻速控制和下行控制开关,开始钻进。
- d) 通过测温器监测钻头的温度。
- e) 实时调整气体流量和压力、钻具转速和下行速度等,使钻头温度保持在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间。
- f) 取芯完成后,依次关闭钻速控制设备和下行设备开关,关闭冷却气体瓶开关,关闭工业吸尘设备。
- g) 清理底座,放置下一组岩芯(块)继续钻取芯样,或者关闭电源。

E.4 岩芯样品切割步骤如下:

- a) 将 E.3 条钻取的岩芯放置于切割机底座上,调整岩芯位置和角度,使得岩芯轴线与切割锯片垂直,闭合尘渣防护罩和噪声防护罩。
- b) 打开冷却气体容器开关,使气体通过导管和喷嘴,吹到切割锯片上,同时开启吸尘设备。
- c) 打开电源开关,开始切割;通过测温器监测锯片的温度。
- d) 实时调整气体流量和锯片下压力度,使岩芯和锯片温度保持在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间。
- e) 切割完成后,打开尘渣防护罩和噪声防护罩,移动岩芯位置,根据不同的试验要求,控制样品的切割长度,继续切割。

E.5 岩芯样品打磨步骤如下:

- a) 将 E.4 条切割得到的样品放置于打磨机底座上,调整岩芯位置和角度,使得岩芯轴线保持竖直,闭合尘渣防护罩和噪声防护罩。
- b) 打开冷却气体容器开关,使气体通过导管和喷嘴,吹到岩芯断面上,同时开启吸尘设备。
- c) 打开电源开关,调整打磨片开始打磨;通过测温器监测岩芯表面的温度。
- d) 实时调整气体流量,使岩芯断面温度保持在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间。
- e) 打磨完成后,打开尘渣防护罩和噪声防护罩,检查断面平整度;更换下一组岩芯样品。

E.6 切割打磨完成后的试件精度应满足以下要求:

- a) 试件应保持自身完整性,不产生因制样而造成的缺角、破损、人为结构破坏、新增节理裂隙等。
- b) 试件高度、直径或边长的允许偏差为 $\pm 0.3\text{mm}$ 。

c) 试件两端面的不平行度允许偏差为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

d) 端面应垂直于试件轴线，允许偏差为 $\pm 0.25^\circ$ 。

E.7 试件制作完成后，应立刻进行试验，不得久置。

附录 F

(规范性)

软岩膨胀力试验的恒体积法

F.1 本附录适用于测定软岩试样体积恒定不变条件下的膨胀力。仪器原理图见图 F.1。

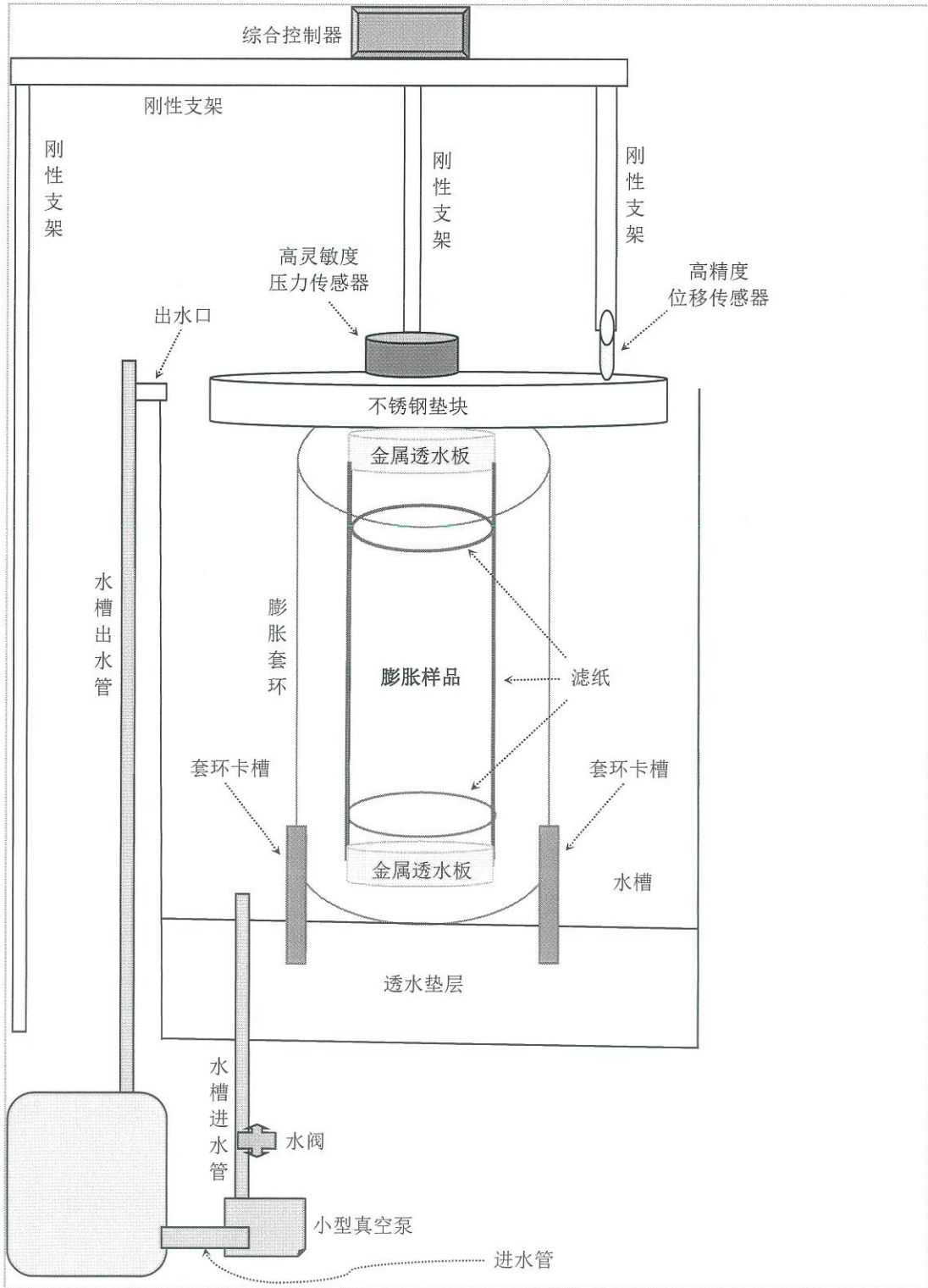


图 F.1 恒体积法试验原理图

- F.2 恒体积法试验所用的试件应采用无水制样法制备，试件直径约 50mm，长度 100mm。试件测量精度应达到 0.01mm。
- F.3 试验前应测试样品的含水率。
- F.4 根据直径量测结果选择合适的插销尺寸，应使可变径金属套环与插销组装后的直径尽可能接近岩芯直径（精确到 0.01mm）。内壁均匀涂抹薄层凡士林，涂抹时应避开侧壁透水石区域。
- F.5 将试件放入金属套环内，拧紧固定螺丝，在试件上下两端分别放置薄型滤纸和金属透水板。
- F.6 使透水金属垫块、压力传感器与试件在同一轴线上，不得偏心。
- F.7 对试件施加 2~5kPa 压力的预荷载 F_1 ，读取试件变形测表及测力计数值，每 10min 读数 1 次，直至 3 次读数不变。
- F.8 锁定加压系统，使其在后续试验过程中不发生任何变形。
- F.9 缓慢地向水槽内注入试验用水，水位高度应淹没试件上端金属透水垫块。
- F.10 读取膨胀应力。开始每 10min 读数一次，连续三次读数差小于 1N 时，改为每 1h 读数一次，连续三次读数差小于 1N 时，即可认为膨胀稳定，并记录试验压力 F。浸水后总的试验时间不应少于 48h。同时观测变形测量表的变化。
- F.11 试验过程中水位应保持不变，水温变化幅度不得大于 2℃。
- F.12 将试验过程中测得的最大压力（应扣除预荷载 F_1 和压力传感器和透水石自重 F_2 ）除以 5 作为样品的膨胀力。

$$P_s = (F - F_1 - F_2) / A \quad (F.1)$$

式中： P_s -岩石膨胀压力（MPa）， F -轴向压力最大值（N）， F_1 -预荷载（N）， F_2 -自重附加（N）， A -试件截面积（ mm^2 ）。

- F.13 试验结束后，应描述试件表面的泥化和软化现象并拍照。

参考文献

- 1) GB 50112-2013 膨胀土地区建筑技术规范
- 2) GB 50218-2014 工程岩体分级标准
- 3) GB 50267-2019 核电厂抗震设计标准
- 4) GB/T 50572-2010 核电厂工程地震调查与评价规范
- 5) GB 50307-2012 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- 6) GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范
- 7) GB 50487-2008 水利水电工程地质勘察规范
- 8) GB/T 50942-2014 盐渍土地区建筑技术规范
- 9) TB 10027-2022 铁路工程不良地质勘察规程
- 10) TB 10102-2023 铁路工程土工试验规程
- 11) TB 10115-2023 铁路工程岩石试验规程
- 12) TB 10018-2018 铁路工程地质原位测试规程
- 13) GB/T 50480-2008 冶金工业岩土勘察原位测试规范 f
- 14) JGJ/T 72-2017 高层建筑岩土工程勘察标准
- 15) JGJ/T 87-2012 建筑工程地质勘探与取样技术规程
- 16) JGJT 69-2019 地基旁压试验技术标准
- 17) JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范
- 18) JGJ 120-2012 建筑基坑支护技术规程
- 19) JTG C20-2011 公路工程地质勘察规范
- 20) DL/T5409.2-2010 核电厂工程勘测技术规程 第2部分：岩土工程
- 21) NB/T 10664-2021 核电厂工程岩土试验规程
- 22) DBJ/T 15-241-2022 广东省城市轨道交通岩土工程勘察规范
- 23) DBJ50-043-2016 重庆市工程地质勘察规范
- 24) SL/T 264-2020 水利水电工程岩石试验规程
- 25) SL/T 299-2020 水利水电工程地质测绘规程
- 26) T/CNIDA 005-2023 核工程边坡技术规程
- 27) DD 2022-1.1 岩芯数字化技术规程 第1部分：总则

