

# 建筑工程勘察技术措施

2006 年 8 月

# 《建筑工程勘察技术措施》编委会

主任委员：徐 波  
副主任委员：朱长喜 曹佑裕  
委 员：（按姓氏笔画为序）  
刘 波 刘金砺 沈小克 李广信 张乃瑞 张在明 张苏民 张建青  
杨俊峰 周儒忠 项 勃 柯长华 郭明田 顾宝和 袁雅康 唐耿琛  
温 靖

# 《建筑工程勘察技术措施》编写组

主 编：曹佑裕  
副 主 编：（按姓氏笔画为序）  
杨俊峰 郭明田 温 靖  
编写组成员：（按姓氏笔画为序）  
方玉树 孔 千 吴永红 张家麟 周儒忠 赵跃平 顾国荣 徐张建  
唐秋元 曾昭建 戴一鸣

主 编 单 位：北京市勘察设计研究院  
参 编 单 位：（排名不分先后）  
建设综合勘察研究设计院  
中航勘察设计研究院  
中国建筑西南勘察设计研究院  
西北综合勘察设计研究院  
上海岩土工程勘察设计研究院有限公司  
福建省建筑设计研究院  
中煤国际工程集团重庆设计研究院  
天津市勘察院  
中国有色金属工业长沙勘察设计研究院  
中国人民解放军后勤工程学院建筑设计研究院  
机械工业勘察设计研究院

# 目 录

1 总 则.....	1
2 前期工作.....	3
2.1 基本规定 .....	3
2.2 资料搜集 .....	3
2.3 现场踏勘 .....	4
2.4 勘察纲要编制.....	4
3 勘察工作布置 .....	6
3.1 基本规定 .....	6
3.2 勘探工作布置.....	6
3.3 取样、测试工作布置 .....	11
3.4 工作量调整 .....	14
4 工程地质测绘和调查.....	16
4.1 基本规定 .....	16
4.2 工程地质测绘和调查的工作准备 .....	17
4.3 工程地质测绘和调查方法.....	18
4.4 工程地质测绘和调查内容.....	20
4.5 工程地质测绘和调查资料整理 .....	23
5 勘探和取样 .....	25
5.1 基本规定 .....	25
5.2 钻探.....	25
5.3 特殊地层及场地的钻探 .....	29
5.4 井探、槽探与洞探 .....	30
5.5 岩土及水试样的采取 .....	30
5.6 地球物理勘探.....	33
6 原位测试 .....	39
6.1 基本规定 .....	39
6.2 载荷试验 .....	40

6.3	标准贯入试验	43
6.4	圆锥动力触探试验	44
6.5	静力触探试验	45
6.6	十字板剪切试验	46
6.7	旁压试验	47
6.8	扁铲侧胀试验	49
6.9	现场直接剪切试验	49
6.10	基床系数试验	51
6.11	波速测试	51
6.12	岩体原位应力测试	52
7	室内试验	54
7.1	基本规定	54
7.2	土的物理性质试验	54
7.3	土的压缩—固结试验	61
7.4	土的抗剪强度试验	62
7.5	土的动力性质试验	63
7.6	岩石试验	64
7.7	水、土腐蚀性试验与评价	65
8	地下水	70
8.1	基本规定	70
8.2	地下水勘察要求	70
8.3	地下水位观测和孔隙水压力测试	71
8.4	水文地质参数测定	73
8.5	地下水作用评价	81
9	场地和地基的地震效应	85
9.1	基本规定	85
9.2	场地	85
9.3	地震影响	88
9.4	活动断裂	89
9.5	液化判别与抗液化措施	90

10 特殊性岩土 .....	97
10.1 基本规定 .....	97
10.2 湿陷性土 .....	97
10.3 红粘土 .....	105
10.4 软土 .....	108
10.5 混合土 .....	114
10.6 填土 .....	116
10.7 冻土 .....	117
10.8 膨胀岩土 .....	125
10.9 盐渍岩土 .....	133
10.10 风化岩和残积土 .....	136
11 边坡工程勘察 .....	140
11.1 基本规定 .....	140
11.2 勘察要求 .....	141
11.3 岩质边坡岩体分类 .....	142
11.4 边坡工程参数确定 .....	144
11.5 边坡稳定性评价 .....	147
11.6 边坡处理建议 .....	152
12 不良地质作用和地质灾害 .....	155
12.1 基本规定 .....	155
12.2 岩溶 .....	155
12.3 滑坡 .....	162
12.4 危岩和崩塌 .....	172
12.5 泥石流 .....	175
12.6 采空区 .....	180
12.7 地面沉降 .....	185
13 岩土工程评价 .....	187
13.1 基本规定 .....	187
13.2 工程地质分层及岩土参数统计分析 .....	187
13.3 场地稳定性适宜性评价 .....	189

13.4	场地地震效应评价 .....	190
13.5	地基均匀性评价 .....	191
13.6	地下水评价 .....	191
13.7	地基基础方案 .....	192
13.8	基坑工程 .....	205
13.9	其它相关问题 .....	207
14	勘察报告编写 .....	208
14.1	基本规定 .....	208
14.2	文字部分 .....	208
14.3	图表 .....	212
15	检验、检测与监测 .....	217
15.1	基本规定 .....	217
15.2	天然地基检测与监测 .....	217
15.3	基桩检测与监测 .....	218
15.4	复合地基检测与监测 .....	220
15.5	沉降及位移观测 .....	221
	各章编写人及审查人名单 .....	226

# 前 言

《建筑工程勘察技术措施》是由建设部工程质量安全监督与行业发展司组织行业中的大型勘察单位编制的一套指导全国建筑工程勘察的技术文件。编制目的是为了更好地贯彻落实《建设工程质量管理条例》等法律、法规以及《工程建设标准强制性条文》等工程建设技术标准,进一步提高建筑工程勘察质量,供全国各勘察单位参照执行,也可供建设单位和教学、科研、设计、施工人员参考。

本技术措施是遵照现行国家、行业技术标准编制的。有关内容所依据的技术标准详见“总则”。新版标准批准发布后,如本技术措施内容与之不相符合的,应以批准发布的新版标准为准。

本技术措施主要针对工程的需要,指导建筑工程勘察中各专业应做什么、怎么做和通过采取什么技术措施来保证工作质量,所以,本技术措施的编写,既不同于规范、标准,也不同于工程手册。对规范、规程内容的采用,根据需要分别采取了有关条文的全部引用和条文内容局部引用、条文中某些款项的引用、条文内容的转述等多种方式,紧密结合实际需要,方便技术人员的使用。本技术措施也吸纳了一些工程实践的经验和科研成果,有一定的技术深度,也为技术人员技术的进一步提高和发挥,留下充分的空间。

本技术措施的主要内容包括总则、前期工作、勘察工作布置、工程地质测绘和调查、勘探和取样、原位测试、室内试验、地下水、场地和地基的地震效应、特殊性岩土、边坡工程勘察、不良地质作用和地质灾害、岩土工程评价、勘察报告编写、检验、检测与监测等共 15 章。其中第 1 章至第 3 章、第 5 章至第 9 章、第 13 章和第 14 章为工程勘察中带有共性的内容,其余各章介绍了工程地质测绘和调查、特殊性岩土、边坡工程勘察、不良地质作用和地质灾害、检验、检测与监测等,内容相对独立。

本技术措施以建筑工程详细勘察阶段的内容为主,适当兼顾其他勘察阶段的内容。涉及标准强制性条文部分,必须严格执行;对于规范的细化、延伸部分及工程经验总结属于推荐的方法和建议,希望对工程技术人员正确理解和执行标准有所帮助。由于各地方岩土工程条件不一样,在使用中应注意结合当地的实际情况及工程经验。

本技术措施的编制得到了全国许多勘察、设计、教学、科研单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。参编单位不仅安排技术骨干参加编制工作,并对所编写的内容在本单位组织了技术审查;特别感谢朱芸、李立、李仲秋、曹凌云、郭书泰、李耀刚、王瑞永等专家在本技术措施的编制中给予的积极、热情的支持。我们还得到许许多多专家的关心和支持,在此就不一一列出,一并深表谢意,感谢他们对建设行业技术发展工作的积极支持。

由于技术措施编制涉及面广、工作量大,编制过程又处在新旧规范交替时期,加之编制时间仓促,因此所涵盖的内容与深度还不够,不少内容有待补充和完善,难免存在一些缺点和问题,敬请批评指正,以便我们今后不断修订和更新。

编写组

二〇〇六年八月

联系地址:北京市海淀区羊坊店路 15 号北京市勘察设计研究院

邮 编: 100038

联 系 人: 王欣

E-mail : bgi@public.bat.net

网 址: <http://www.bgi.com.cn>

# 1 总 则

**1.0.1** 为了更好地贯彻落实《建筑法》、《建设工程质量管理条例》、《建设工程勘察设计管理条例》等法律法规以及《工程建设标准强制性条文》等工程建设技术标准，进一步提高建筑工程勘察质量，编制本技术措施。

**1.0.2** 本技术措施主要适用于全国建筑工程详细勘察。

**1.0.3** 本技术措施注重指导性和实用性，主要内容包括对规范规程的理解、规范规程条文的细化和延伸、各地区工程经验的总结及施工图勘察文件审查中常见问题的处理。

**1.0.4** 各项工程建设在设计和施工之前，必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。岩土工程勘察应按工程建设各勘察阶段的要求，正确反映工程地质条件，查明不良地质作用和地质灾害，精心勘察、精心分析，提出资料完整、评价正确的勘察报告。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 1.0.3 条）

**1.0.5** 工程勘察企业应依法取得相关专业资质，并在资质等级许可的范围内开展工作。

**1.0.6** 岩土工程详细勘察应满足施工图设计阶段的要求，查明场地地基条件，提供地基设计参数，并对地基基础设计和施工以及地基处理和不良地质作用的防治提出方案和建议。

**1.0.7** 岩土工程详细勘察阶段工作一般应包括前期工作、外业工作、室内试验分析、岩土工程分析评价和编写技术文件等主要工作环节。

1 前期工作应充分了解工程的性质和特点、搜集拟建场地及附近地区的工程地质、水文地质资料及工程经验，有针对性地编制勘察纲要和布置勘察工作。

2 外业工作和室内试验工作的操作应符合技术标准，提供的数据、成果必须完整、真实、准确。

3 岩土工程分析评价应针对建筑物的特点、重视地区经验，提供的岩土工程勘察文件、岩土工程技术方案和建议做为工程设计和施工的依据应做到确保质量、安全适用、经济合理、保护环境和技术先进。

4 岩土工程勘察工作应自始至终与设计工作相互协调，密切配合。

**1.0.8** 工程勘察企业必须建立必要的文件档案管理制度，对技术文件和原始资料进行管理。

**1.0.9** 建筑工程勘察应遵守现行的国家、行业技术标准，当技术标准更新时，应执行新颁布的技术标准。

**1.0.10** 本技术措施依据的国家、行业技术标准主要有：

《中国地震动参数区划图》（GB18306）

《建筑地基基础设计规范》（GB50007）

《建筑抗震设计规范》（GB50011）

《岩土工程勘察规范》（GB50021）

《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025）

《供水水文地质勘察规范》（GB50027）

《锚杆喷射混凝土支护技术规程》（GB50086）

《膨胀土地区建筑技术规范》（GBJ112）

《土工试验方法标准》（GB/T50123）

《工程岩体分级标准》（GB50218）

《建筑抗震设防分类标准》（GB50223）

《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266）

《岩土工程基本术语标准》（GB/T50279）



《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》(GB50307)  
《冻土工程地质勘察规范》(GB50324)  
《建筑边坡工程技术规范》(GB50330)  
《高层建筑箱型与筏形基础技术规范》(JGJ6)  
《建筑变形测量规程》(JGJ/T8)  
《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72)  
《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)  
《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ83)  
《建筑岩土工程勘察基本术语标准》(JGJ84)  
《建筑工程地质钻探技术标准》(JGJ87)  
《原状土取样技术标准》(JGJ89)  
《建筑桩基技术规范》(JGJ94)  
《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106)  
《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ118)  
《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120)  
《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T135)  
《城市勘察物探规范》(CJJ7)  
《城市地下管线探测技术规程》(CJJ61)  
《岩土工程勘察报告编制标准》(CECS99)  
《建筑工程勘察文件编制深度规定》(试行)

## 2 前期工作

### 2.1 基本规定

**2.1.1** 工程勘察前期工作的目的是充分了解建设工程的性质和特点，搜集拟建场地的工程地质、水文地质资料，结合已有工程经验，有针对性地制定勘察工作方案，编制勘察纲要。

**2.1.2** 工程勘察前期工作包括：搜集资料、现场踏勘和编制勘察纲要。

**2.1.3** 各省、自治区、直辖市建设行政主管部门要求对勘察纲要进行审查的，应将勘察纲要送交有关机构进行审查。

**2.1.4** 工程勘察应根据勘察纲要开展工作，勘察纲要应明确依据的技术标准。

### 2.2 资料搜集

**2.2.1** 接受工程勘察委托前，应取得由委托方提供的工程勘察项目委托书，宜取得由委托方提供的下列资料：

1 附有坐标和地形的建筑总平面图，场区的地面整平标高（如果没有坐标，应有建筑物平面尺寸及其定位条件，其中的定位条件与现状地形图中的永久性地物或红线桩之间必须具有正确的关系）；

2 建筑物的性质、规模、荷载、结构特点、层数、总高度、地下室层数、埋深等情况；

3 预计的地基基础类型、平面尺寸、埋置深度和地基允许变形要求等；

4 勘察场地周边环境条件及地下管线和其他地下设施情况；

5 设计方的技术要求。

**2.2.2** 详细勘察阶段应充分搜集、利用已有的资料。通过已有资料可以了解拟建场地的基本情况，便于有针对性地制定勘察方案。搜集资料宜包括下列内容：

1 区域地质、地形地貌、地震、矿产等资料；

2 邻近地区已有的勘察资料、本场地前期的勘察成果；

3 拟建场区已有的研究资料和地质与岩土工程资料数据库；

4 已有工程经验，包括检测与监测成果。

**2.2.3** 对委托方提供的设计条件应进行校核，核对红线范围、建筑物平面尺寸、坐标及放线条件的正确性。如发现偏差或错误，应及时提出澄清或纠正。

**2.2.4** 分析已有资料时，应注意“点面结合”，既要看区域性资料，又要注意邻近已建项目的工程经验，乃至具体勘探点的勘探、测试成果资料。经过分析与筛选，选择距离尽可能近的、能够相对可靠地预测拟建场区地基条件和工程问题的数据和资料，作为编制勘察纲要的依据。

**2.2.5** 经过调查，在可能曾被洪水淹没或被掩埋的河、湖、沟、坑的拟建场地，应调查洪水历史情况（包括洪水水位），搜集老地形图，研究分析老地形地物变迁对地层成因和拟建工程的影响。

**2.2.6** 搜集拟建场地附近的测量控制点资料，作为勘探点测放的依据。所选用的数据资料必须保证其现状的有效性和可靠性。

## 2.3 现场踏勘

**2.3.1** 现场踏勘应根据场地复杂程度和工程经验按下列要求确定踏勘方法和内容：

1 对于地质条件简单的土质地基，现场踏勘一般应了解拟建场地的地形、地物、作业条件及场地附近已有建筑物的地基基础情况；

2 对于地质条件较复杂的土质地基，现场踏勘除应了解拟建场地的地形、地貌、地物、作业条件及场地附近已有建筑物的地基情况外，还应通过实地调查、走访、问询等方式，了解地形变迁历史的形成过程与情况，包括现存或掩埋的古河道、湖泊、沟渠、坑穴、坟墓的位置及范围，了解地下水的历史情况及现状地表水体情况，了解各类不良地质作用及地质灾害的情况，了解已有建筑物及各类设施的使用状况，了解邻近建筑物及地下设施的建造时间等对地基应力历史有影响的因素；

3 对于岩石出露、地质地貌条件复杂的场地，现场踏勘时应首先选择现场的高地观察全区地貌形态和微地貌特征，然后选择现场的沟谷，观察沉积物的结构特征和沉积物的成因类型，确定场地发育的地质地理环境和地质作用过程。必要时，可进行专门的工程地质调查和测绘工作。

**2.3.2** 现场踏勘应会同委托方及有关人员共同确认并落实以下工作：

1 勘察范围内的各种地下管线和地下设施的位置、埋深及走向；

2 空中障碍物（如高压线、通讯设施等）对勘探作业的影响及其处理；

3 拟建物的放线条件及勘探作业对居民生活与环境的影响、占地赔偿等问题；

4 进场作业条件（道路、水电等“三通一平”情况）；

5 对化工厂等严重污染的场地，应了解水土污染的历史、性状等。

**2.3.3** 现场踏勘应保存必要的记录。

## 2.4 勘察纲要编制

**2.4.1** 勘察纲要是勘察工作的设计书，勘察纲要应在充分搜集分析已有资料和现场踏勘的基础上，针对拟建工程的性质与特点，并依据相应的技术标准进行编写。

**2.4.2** 勘察纲要一般应包括以下内容：

1 拟建工程概况、设计条件及勘察工作依据的技术标准；

2 拟建场地地形地貌、工程地质与水文地质条件概述；

3 特殊性岩土、不良地质作用及地质灾害情况；

4 周边环境条件及相邻建筑物的状况；

5 划分岩土工程勘察等级；

6 现场踏勘情况；

7 地基条件与工程问题的初步分析；

8 勘察工作布置依据及主要技术措施；

9 勘探、取样、原位测试、试验的方法、手段及其工作量；

10 使用的仪器设备、人员及工作进度安排；

11 现场作业条件；

12 勘察质量控制、生产安全及环境保护措施；

13 拟提交的勘察文件成果资料。

**2.4.3** 勘察纲要应按本单位质量管理要求，经相关人员审核批准。

**2.4.4** 现场工作开始前，应组织相关人员进行安全与技术交底。

## 3 勘察工作布置

### 3.1 基本规定

**3.1.1** 勘察工作布置应以技术标准为依据,同时考虑场地的地质条件、岩土和地下水特点、建筑物的设计要求及已有资料情况,并兼顾不同勘察阶段的工作内容。

**3.1.2** 勘察工作布置原则应符合下列要求:

1 勘察工作量布置应满足现行技术标准的要求,当建筑物的设计条件尚未最终确定或由于地基条件使得多种地基方案的可能性并存时,勘察工作量应能够适应未来可能发生的变化;

2 在拟建场地附近可以借鉴和利用的勘察数据资料及地区经验比较充分、可靠的情况下,勘察工作量可酌情减少;

3 勘探点的数量、深度、平面布置和取样、原位测试与室内试验的数量,应以满足相关技术标准的规定和工程问题分析需要为基本原则进行布置,并结合建筑物的设计、施工、具体工程问题和工程经验综合确定。

**3.1.3** 对高层建筑或重大工程,当水文地质条件对地基评价、基础抗浮和工程降水有重大影响时,宜进行专门的水文地质勘察。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.1.3 条)

### 3.2 勘探工作布置

#### (I) 一般要求

**3.2.1** 详细勘察勘探点布置和勘探孔深度,应根据建筑物特性和岩土工程条件确定。对岩质地基,应根据地质构造、岩体特性、风化情况等,结合建筑物对地基的要求,按地方标准或当地经验确定;对土质地基,应符合《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4 章第 1 节第 4.1.15 条~第 4.1.19 条的规定。

**3.2.2** 详细勘察勘探点的间距可按表 3.2.2(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 4.1.15)确定。

**表 3.2.2** 详细勘察勘探点的间距 (m)

地基复杂程度等级	勘探点间距
一级(复杂)	10~15
二级(中等复杂)	15~30
三级(简单)	30~50

按照《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.3 条的规定,勘探点间距应控制在 15~35m 范围内,勘察等级为甲级宜取较小值,乙级可取较大值。

**3.2.3** 详细勘察的勘探点布置,应根据建筑平面形状、荷载的分布情况进行,并符合下列规定:

1 勘探点宜按建筑物周边线和角点布置,对无特殊要求的其他建筑物可按建筑物或建

筑群的范围布置。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.16 条第 1 款）

**2** 详细勘察的单栋高层建筑物勘探点的布置，应满足对地基均匀性评价的要求，且不应少于 4 个；对密集的高层建筑群，勘探点可适当减少，但每栋建筑物至少应有 1 个控制性勘探点。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.17 条）

**3** 当高层建筑平面为矩形时应按双排布设，为不规则形状时，应在凸出部位的角点和凹进的阴角布设勘探点。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.2 条第 1 款）

**4** 在高层建筑层数、荷载和建筑体形变异较大位置处，应布设勘探点。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.2 条第 2 款）

**5** 对勘察等级为甲级的高层建筑应在中心点或电梯井、核心筒部位布设勘探点。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.2 条第 3 款）

**6** 单幢高层建筑的勘探点数量，对勘察等级为甲级的不应少于 5 个，乙级不应少于 4 个。控制性勘探点的数量不应少于勘探点总数的 1/3 且不少于 2 个。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.2 条第 4 款）

**7** 高层建筑群可按建筑物并结合方格网布设勘探点。相邻的高层建筑，勘探点可互相共用。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.2 条第 5 款）

**8** 重大设备基础应单独布置勘探点；重大的动力机器基础和高耸构筑物，勘探点不宜少于 3 个。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.16 条第 3 款）

**9** 勘探手段宜采用钻探与触探相配合，在复杂地质条件、湿陷性土、膨胀岩土、风化岩和残积土地区，宜布置适量探井。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.16 条第 4 款）

**10** 控制性勘探点、采取试样及原位测试勘探点布置的比例应适当，其中采取试样及原位测试勘探点不得少于勘探点总数的 1/3。

**3.2.4** 详细勘察的勘探深度自基础底面算起，应符合下列规定：

**1** 当需进行地基整体稳定性验算时，控制性勘探孔深度应根据具体条件满足验算要求。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.19 条第 3 款）

**2** 当需确定场地抗震类别而邻近无可靠的覆盖层厚度资料时，应布置波速测试孔，其深度应满足确定覆盖层厚度的要求。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.19 条第 4 款）

**3** 大型设备基础勘探孔深度不宜小于基础底面宽度的 2 倍。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.19 条第 5 款）

**3.2.5** 高层建筑详细勘察阶段勘探孔的深度应符合下列规定：

**1** 评价土的湿陷性、膨胀性、砂土地震液化、确定场地覆盖层厚度、查明地下水渗透性等钻孔深度，应按有关规范的要求确定；（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.4 条第 7 款）

**2** 在断层破碎带、冲沟地段、地裂缝等不良地质作用发育场地及位于斜坡上或坡脚下的高层建筑，当需进行整体稳定性验算时，控制性勘探孔的深度应满足评价和验算的要求。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.4 条第 8 款）

**3.2.6** 在场地详细勘察阶段，对单幢建筑，测量土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 2 个，数据变化较大时，可适量增加；对小区中处于同一地质单元的密集高层建筑群，测量土层剪切波速的钻孔数量可适量减少，但每幢高层建筑下不得少于 1 个。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.3 条第 2 款）

**3.2.7** 地震液化的进一步判别应在地面以下 15m 的范围内进行；对于桩基和基础埋深大于 5m 的天然地基，判别深度应加深至 20m。对判别液化而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。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.8 条）

## (II) 天然地基

**3.2.8** 详细勘察的勘探深度自基础底面算起,应符合下列规定:

1 勘探孔深度应能控制地基主要受力层,当基础底面宽度不大于 5m 时,勘探孔的深度对条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍,对单独柱基不应小于 1.5 倍,且不应小于 5m。

(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.18 条第 1 款)

2 对高层建筑和需作变形计算的地基,控制性勘探孔的深度应超过地基变形计算深度;高层建筑的一般性勘探孔应达到基底下 0.5~1.0 倍的基础宽度,并深入稳定分布的地层。

(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.18 条第 2 款)

3 对仅有地下室的建筑或高层建筑的裙房,当不能满足抗浮设计要求,需设置抗浮桩或锚杆时,勘探孔深度应满足抗拔承载力评价的要求。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.18 条第 3 款)

4 根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.18 条第 4 款,当有大面积地面堆载或软弱下卧层时,应适当加深控制性勘探孔的深度;控制性勘探孔的深度应超过考虑了地面堆载引起的附加沉降的地基变形计算深度。

5 在上述规定深度内当遇基岩或厚层碎石土等稳定地层时,勘探孔深度应根据情况进行调整。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.18 条第 5 款)

6 根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.19 条第 1 款,地基变形计算深度,对中、低压缩性土可取附加压力等于上覆土层有效自重压力 20% 的深度;对于高压缩性土层可取附加压力等于上覆土层有效自重压力 10% 的深度;地基变形计算深度也可按《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.6 条规定的方法确定。

7 建筑总平面内的裙房或仅有地下室部分(或当基底附加压力  $p_0 \leq 0$  时)的控制性勘探孔的深度可适当减小,但应深入稳定分布地层,且根据荷载和土质条件不宜少于基底下 0.5~1.0 倍基础宽度。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.19 条第 2 款)

**3.2.9** 高层建筑详细勘察阶段勘探孔的深度应符合下列规定:(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.4 条第 1~6 款)

1 控制性勘探孔深度应超过地基变形的计算深度。

2 控制性勘探孔深度,对于箱形基础或筏形基础,在不具备变形深度计算条件时,可按式 (3.2.9-1) (《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 式 4.1.4-1) 计算确定:

$$d_c = d + \alpha_c \beta b \quad (3.2.9-1)$$

式中  $d_c$ ——控制性勘探孔的深度 (m);

$d$ ——箱形基础或筏形基础埋置深度 (m);

$\alpha_c$ ——与土的压缩性有关的经验系数,根据基础下的地基主要土层按表 3.2.9 (《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 4.1.4) 取值;

$\beta$ ——与高层建筑层数或基底压力有关的经验系数,对勘察等级为甲级的高层建筑可取 1.1,对乙级可取 1.0;

$b$ ——箱形基础或筏形基础宽度,对圆形基础或环形基础,按最大直径考虑,对不规则形状的基础,按面积等代成方形、矩形或圆形面积的宽度或直径考虑 (m)。

3 一般性勘探孔的深度应适当大于主要受力层的深度,对于箱形基础或筏形基础可按式 (3.2.9-2) (《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 式 4.1.4-2) 计算确定:

$$d_g = d + \alpha_g \beta b \quad (3.2.9-2)$$

式中  $d_g$ ——一般性勘探孔的深度 (m);

$\alpha_g$ ——与土的压缩性有关的经验系数,根据基础下的地基主要土层按表 3.2.9 (《高

层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 4.1.4) 取值。

**表 3.2.9 经验系数  $\alpha_c$ 、 $\alpha_g$  值**

土类 值别	碎石土	砂 土	粉 土	粘性土 (含黄土)	软 土
$\alpha_c$	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
$\alpha_g$	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

注：表中范围值对同一类土中，地质年代老、密实或地下水位深者取小值，反之取大值。

**4** 一般性勘探孔，在预定深度范围内，有比较稳定且厚度超过 3m 的坚硬地层时，可钻入该层适当深度，以能正确定名和判明其性质；如在预定深度内遇软弱地层时应加深或钻穿。

**5** 在基岩和浅层岩溶发育地区，当基础底面下的土层厚度小于地基变形计算深度时，一般性钻孔应钻至完整、较完整基岩面；控制性钻孔应深入完整、较完整基岩 3~5m，勘察等级为甲级的高层建筑取大值，乙级取小值；专门查明溶洞或土洞的钻孔深度应深入洞底完整地层 3~5m。

**6** 在花岗岩残积土地区，应查清残积土和全风化岩的分布深度。计算箱形基础或筏形基础勘探孔深度时，其  $\alpha_c$  和  $\alpha_g$  系数，对残积砾质粘性土和残积砂质粘性土可按表 3.2.9(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 4.1.4) 中粉土的值确定，对残积粘性土可按表 3.2.9(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 4.1.4) 中粘性土的值确定，对全风化岩可按表 3.2.9(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 4.1.4) 中碎石土的值确定。在预定深度内遇基岩时，控制性钻孔深度应深入强风化岩 3~5m，勘察等级为甲级的高层建筑宜取大值，乙级可取小值。一般性钻孔达强风化岩顶面即可。

### (III) 桩基础

**3.2.10** 土质地基勘探点间距应符合下列规定：(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.9.2 条)

**1** 对端承桩宜为 12~24m，相邻勘探孔揭露的持力层面高差宜控制为 1~2m。

**2** 对摩擦桩宜为 20~35m；当地层条件复杂，影响成桩或设计有特殊要求时，勘探点应适当加密。

**3** 复杂地基的一柱一桩工程，宜每柱设置勘探点。

**3.2.11** 根据《建筑桩基技术规范》JGJ94-94 第 3.1.2.1 条，桩基的勘探点间距应符合下列规定：

**1** 对于端承桩和嵌岩桩：主要根据桩端持力层顶面坡度决定，宜为 12~24m。当相邻两个勘探点揭露出的层面坡度大于 10% 时，应根据具体工程条件适当加密勘探点。

**2** 对于摩擦桩：宜为 20~30m 布置勘探点，但遇到土层的性质或状态在水平方向分布变化较大，或存在可能影响成桩的土层存在时，应适当加密勘探点。

**3** 复杂地质条件下的柱下单桩基础应按桩列线布置勘探点，并宜每桩设一勘探点。

**3.2.12** 对于端承型桩，勘探点的平面布置，应符合下列规定：(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.2.1 条)

**1** 勘探点应按柱列线布设，其间距应能控制桩端持力层面和厚度的变化，宜为 12~24m。

**2** 在勘探过程中发现基岩中有断层破碎带，或桩端持力层为软、硬互层，或相邻勘探



点所揭露桩端持力层面坡度超过 10%，且单向倾伏时，钻孔应适当加密；荷载较大或复杂地基的一柱一桩工程，应每柱设置勘探点。

**3** 岩溶发育场地当以基岩作为桩端持力层时应按柱位布孔，同时应辅以各种有效的地球物理勘探手段，以查明拟建场地范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深、岩溶堆填物性状和地下水特征。

**4** 控制性勘探点不应少于勘探点总数的 1/3。

**3.2.13** 对于摩擦型桩，勘探点的平面布置，应符合下列规定：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.2.2 条）

**1** 勘探点应按建筑物周边或柱列线布设，其间距宜为 20~35m，当相邻勘探点揭露的主要桩端持力层或软弱下卧层层位变化较大，影响桩基方案选择时，应适当加密勘探点。带有裙房或外扩地下室的高层建筑，布设勘探点时应与主楼一同考虑。

**2** 桩基工程勘探点数量应视工程规模大小而定，勘察等级为甲级的单幢高层建筑勘探点数量不宜少于 5 个，乙级不宜少于 4 个，对于宽度大于 35m 的高层建筑，其中心应布置勘探点。

**3** 控制性勘探点应占勘探点总数的 1/3~1/2。

**3.2.14** 勘探孔深度应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.9.4 条）

**1** 一般性勘探孔的深度应达到预计桩长以下 3~5d（d 为桩径），且不得小于 3m；对大直径桩，不得小于 5m。

**2** 控制性勘探孔深度应满足下卧层验算要求；对需验算沉降的桩基，应超过地基变形计算深度。

**3** 钻至预计深度遇软弱层时，应予加深；在预计勘探孔深度内遇稳定坚实岩土时，可适当减小。

**4** 对嵌岩桩，应钻入预计嵌岩面以下 3~5d，并穿过溶洞、破碎带，达到稳定地层。

**5** 对可能有多种桩长方案时，应根据最长桩方案确定。

**3.2.15** 根据《建筑桩基技术规范》JGJ94-94 第 3.1.2.2 条桩基的勘探点深度应符合下列规定：

**1** 布置 1/3~1/2 的勘探孔为控制性孔，且安全等级为一级建筑桩基，场地至少应布置 3 个控制性孔，安全等级为二级的建筑桩基应不少于 2 个控制性孔。控制性孔深度应穿透桩端平面以下压缩层厚度，一般性勘探孔应深入桩端平面以下 3~5m。

**2** 嵌岩桩钻孔应深入持力岩层不小于 3~5 倍桩径；当持力岩层较薄时，应有部分钻孔钻透持力岩层。岩溶地区，应查明溶洞、溶沟、溶槽、石笋等的分布情况。

**3.2.16** 对于端承型桩，勘探孔的深度，应符合下列规定：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.2.3 条）

**1** 当以可压缩地层（包括全风化和强风化岩）作为桩端持力层时，勘探孔深度应能满足沉降计算的要求，控制性勘探孔的深度应深入预计桩端持力层以下 5~10m 或 6d~10d（d 为桩身直径或方桩的换算直径，直径大的桩取小值，直径小的桩取大值），一般性勘探孔的深度应达到预计桩端下 3~5m 或 3d~5d；

**2** 对一般岩质地基的嵌岩桩，勘探孔深度应钻入预计嵌岩面以下 1d~3d，对控制性勘探孔应钻入嵌岩面以下 3d~5d，对质量等级为Ⅲ级以上的岩体，可适当放宽；

**3** 对花岗岩地区的嵌岩桩，一般性勘探孔深度应进入微风化岩 3~5m，控制性勘探孔应进入微风化岩 5~8m；

**4** 对于岩溶、断层破碎带地区，勘探孔应穿过溶洞、或断层破碎带进入稳定地层，进入深度应满足 3d，并不小于 5m；

**5** 具多韵律薄层状的沉积岩或变质岩，当基岩中强风化、中等风化、微风化岩呈互层

出现时，对拟以微风化岩作为持力层的嵌岩桩，勘探孔进入微风化岩深度不应小于 5m。

**3.2.17** 对于摩擦型桩，勘探孔的深度，应符合下列规定：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.2.4 条）

1 一般性勘探孔的深度应进入预计桩端持力层或预计最大桩端入土深度以下不小于 3m。

2 控制性勘探孔的深度应达群桩桩基（假想实体基础）沉降计算深度以下 1~2m，群桩桩基沉降计算深度宜取桩端平面以下附加应力为上覆土有效自重压力 20% 的深度，或按桩端平面以下  $(1 \sim 1.5)b$ （ $b$  为假想实体基础宽度）的深度考虑。

#### （IV） 地基处理

**3.2.18** 当需进行地基处理时，勘探点可按照本节第（I）段一般要求的内容进行布置，勘探孔深度应满足地基处理设计与施工要求。桩土复合地基勘探孔深度应符合本节第（III）段桩基础的要求。

#### （V） 基坑工程

**3.2.19** 基坑工程勘察的范围和深度应根据场地条件和设计要求确定。勘察深度宜为开挖深度的 2~3 倍，在此深度内遇到坚硬粘性土、碎石土和岩层，可根据岩土类别和支护设计要求减少深度。勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的 2~3 倍。在深厚软土区，勘察深度和范围尚应适当扩大。在开挖边界外，勘察手段以调查研究、搜集已有资料为主，复杂场地和斜坡场地应布置适当的勘探点。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.8.3 条）

**3.2.20** 勘察区范围宜达到基坑边线以外两倍以上基坑深度，勘探点宜沿地下室周边布置，边线以外以调查或搜集资料为主，为查明某些专门问题可在边线以外布设勘探点。勘探点的间距根据地质条件的复杂程度宜为 15~30m，当遇暗浜、暗塘或填土厚度变化很大或基岩面起伏很大时，宜加密勘探点。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.4.3 条）

**3.2.21** 勘探孔的深度不宜小于基坑深度的两倍；对深厚软土层，控制性勘探孔应穿透软土层；为降水或截水设计需要，控制性勘探孔应穿透主要含水层进入隔水层一定深度；在基坑勘察深度内，遇微风化基岩时，一般性勘探孔应钻入微风化层 1~3m；控制性勘探孔应超过基坑深度 1~3m；控制性勘探点宜为勘探点总数的 1/3，且每一基坑侧边不宜少于 2 个控制性勘探点。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.4.4 条）

### 3.3 取样、测试工作布置

#### （I） 一般要求

**3.3.1** 详细勘察采取土试样和进行原位测试应符合下列要求：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.1.20 条）

1 采取土试样和进行原位测试的勘探点数量，应根据地层结构、地基土的均匀性和设计要求确定，对地基基础设计等级为甲级的建筑物每栋不应少于 3 个；

2 每个场地每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 6 件（组）；

3 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取土试样或进行原位测试；

4 当土层性质不均匀时，应增加取土数量或原位测试工作量。

**3.3.2** 采取不扰动土试样和原位测试勘探点的数量不宜少于全部勘探点总数的 2/3，勘察等级为甲级的单幢高层建筑不宜少于 4 个。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.5 条）

**3.3.3** 采取岩土试样和进行原位测试应符合下列规定：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.7 条）

1 每幢高层建筑每一主要土层内采取不扰动土试样的数量或进行原位测试的次数不应少于 6 件（组）次；

2 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取不扰动土试样或进行原位测试；

3 当土层性质不均匀时，应增加取土数量或原位测试次数；

4 岩石试样的数量各层不应少于 6 件（组）；

5 地下室侧墙计算、基坑边坡稳定性计算或锚杆设计所需的抗剪强度试样指标，各主要土层应采取不少于 6 件（组）的不扰动土试样。

**3.3.4** 为划分场地类别布置的勘探孔，应分层测定剪切波速。10 层和高度 30m 以下的丙类和丁类建筑，无实测剪切波速时，可按《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）的规定，按土的名称和性状估计土的剪切波速。

**3.3.5** 在场地详细勘察阶段，对单幢建筑，测量土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 2 个，数据变化较大时，可适量增加；对小区中处于同一地质单元的密集高层建筑群，测量土层剪切波速的钻孔数量可适量减少，但每幢高层建筑下不得少于 1 个。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.3 条第 2 款）

**3.3.6** 当采用标准贯入试验判别法进行液化判别时，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 1.0~1.5m，每层土的试验点数不宜少于 6 个。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.9 条第 2 段）

**3.3.7** 采用标准贯入试验判别法进行液化判别时，粉土应在每一标准贯入试验位置取样进行颗粒分析试验，以确定粘粒含量百分率，计算液化判别标准贯入锤击数临界值。

**3.3.8** 当有足够经验或充分资料，认定工程场地的土或水（地下水或地表水）对建筑材料不具腐蚀性时，可不取样进行腐蚀性评价。否则，应取水试样或土试样进行试验，并按《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 12 章评定其对建筑材料的腐蚀性。

**3.3.9** 采取水试样和土试样应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 12.1.2 条）

1 混凝土或钢结构处于地下水位以下时，应采取地下水试样和地下水位以上的土试样，并分别作腐蚀性试验；

2 混凝土或钢结构处于地下水位以上时，应采取土试样作土的腐蚀性试验；

3 混凝土或钢结构处于地表水中时，应采取地表水试样，作水的腐蚀性试验；

4 水和土的取样数量每个场地不应少于各 2 件，对建筑群不宜少于各 3 件。

## （II）天然地基

**3.3.10** 采取不扰动土试样或进行原位测试的竖向间距，基础底面下 1.0 倍基础宽度内宜按 1~2m，以下可根据土层变化情况适当加大距离。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.1.6 条）

**3.3.11** 对勘察等级为甲级的高层建筑、或工程经验缺乏、或研究程度较差的地区，宜布设载荷试验确定天然地基持力层的承载力特征值和变形参数。（《高层建筑岩土工程勘察规程》

### (III) 桩基础

**3.3.12** 桩基岩土工程勘察宜采用钻探和触探以及其他原位测试相结合的方式进行,对软土、粘性土、粉土和砂土的测试手段,宜采用静力触探和标准贯入试验;对碎石土宜采用重型或超重型圆锥动力触探。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.9.3 条)

**3.3.13** 岩土室内试验应满足下列要求:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.9.5 条)

1 当需估算桩的侧阻力、端阻力和验算下卧层强度时,宜进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验;三轴剪切试验的受力条件应模拟工程的实际情况;

2 对需估算沉降的桩基工程,应进行压缩试验,试验最大压力应大于自重压力与附加压力之和;

3 当桩端持力层为基岩时,应采取岩样进行饱和单轴抗压强度试验,必要时尚应进行软化试验;对软岩和极软岩,可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。对无法取样的破碎和极破碎的岩石,宜进行原位测试。

**3.3.14** 单桩竖向和水平承载力,应根据工程等级、岩土性质和原位测试成果并结合当地经验确定。对地基基础设计等级为甲级的建筑物和缺乏经验地区,应建议做静载荷试验。试验数量不宜少于工程桩数的 1%,且每个场地不少于 3 个。对承受较大水平荷载的桩,应建议进行桩的水平载荷试验;对承受上拔力的桩,应建议进行抗拔试验。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.9.6 条)

**3.3.15** 桩基勘察的岩(土)试样采取及原位测试工作应符合下列规定:(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.2.5 条)

1 对桩基勘探深度范围内的每一主要土层,应采取土试样,并根据土质情况选择适当原位测试,取土数量或测试次数不应少于 6 组(次);

2 对嵌岩桩桩端持力层段岩层,应采取不少于 6 组的岩样进行天然和饱和单轴极限抗压强度试验;

3 以不同风化带作桩端持力层的桩基工程,勘察等级为甲级的高层建筑勘察时控制性钻孔宜进行压缩波波速测试,按完整性指数或波速比定量划分岩体完整程度和风化程度,划分标准应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的规定。

### (IV) 地基处理

**3.3.16** 地基处理的岩土工程勘察应满足下列要求:

1 针对可能采用的地基处理方案,提供地基处理设计和施工所需的岩土特性参数;(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.10.1 条第 1 款)

2 当场地条件复杂或缺乏成功经验时,应在施工现场对拟选方案进行试验或对比试验,检验方案的设计参数和处理效果。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.10.1 条第 4 款)

**3.3.17** 应根据地基处理目的和可能采用的复合地基增强体类型,布置勘察试验方案。需重点查明的问題,应符合下列要求:(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.3.3 条)

1 以消除黄土湿陷性为目的而采用土或灰土挤密桩等方案时,应重点查明场地湿陷性类型、地基湿陷等级、湿陷性土层的分布范围、非湿陷性土层的埋深及性质,提供地基土的湿陷系数、自重湿陷系数、干密度、含水量、最大干密度和最优含水量等指标;

2 以消除砂土、粉土液化为目的而采用砂石桩挤密等方案时,应重点查明建筑场地液化等级,提供地基土层的标准贯入试验锤击数、比贯入阻力、相对密度和液化土层的层位及

厚度；

**3** 以提高高层建筑地基承载力和减小沉降或差异沉降为目的而采用柔性增强体、半刚性增强体复合地基方案时，应查明相对软弱土层的分布范围、深度和厚度情况，以及设计、施工所需的有关技术资料。对粘性土地基，应取得地基土的压缩模量、不排水抗剪强度、含水量、地下水位及 pH 值、有机质含量等指标；对砂土和粉土地基应取得天然孔隙比、相对密度、标准贯入试验锤击数等指标；

**4** 高层建筑采用刚性桩复合地基方案时，应查明承载力较高、适宜作为桩端持力层的土层埋深、厚度及其物理力学性质以及地基土的承载力特征值。

## **(V) 基坑工程**

**3.3.18** 在受基坑开挖影响和可能设置支护结构的范围内，应按岩土分类，分层提供支护设计所需的抗剪强度指标。土的抗剪强度试验方法，应与基坑工程设计要求一致，符合设计采用的标准，并应在勘察报告中说明。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.8.4 条）

**3.3.19** 对一般粘性土宜进行静力触探和标准贯入试验；对砂土和碎石土宜进行标准贯入试验和圆锥动力触探试验；对软土宜进行十字板剪切试验；当设计需要时可进行基床系数试验或旁压试验、扁铲侧胀试验。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.4.6 条）

**3.3.20** 岩土不扰动试样的采取和原位测试的数量，应保证每一主要岩土层有代表性的数据分别不少于 6 组（个），室内试验的主要项目是含水量、密度、抗剪强度和渗透试验，对砂、砾、卵石层宜进行水上、水下休止角试验。对岩质基坑，当存在顺层或外倾岩体软弱结构面时，宜在室内或现场测定结构面的抗剪强度。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 4.4.7 条）

## **3.4 工作量调整**

**3.4.1** 为确保勘探工作野外原始资料的真实、准确、完整，项目负责人或外业工程师应密切配合现场工作，监督检查勘察纲要的执行情况，注意外业执行勘探、取样、原位测试的操作规程，负责现场统一描述。在实时掌握现场勘探、原位测试所揭露的工程地质与水文地质条件的情况下，分析原位测试数据并根据需要绘制剖面草图、分区图等，及时调整勘察工作量，经授权人员批准后实施并向现场作业人员补充交底。

**3.4.2** 勘探点的补充可按以下原则进行：

**1** 同一建筑范围内存在着不同的地貌单元、岩性差异显著、基岩面起伏很大、地基主要受力层或有影响的下卧层起伏较大时，应根据工程情况适当加密勘探点，查明其变化；

**2** 对于端承桩和嵌岩桩，当相邻两个勘探点揭露出的层面坡度大于 10% 时，应根据具体工程条件适当加密勘探点；

**3** 对于摩擦桩遇到桩端持力层或软弱下卧层的顶板高程、岩性、厚度变化较大，或存在可能影响成桩的土层时，应适当加密勘探点。

**3.4.3** 勘探孔深度的调整可按下列原则进行：

**1** 当建筑场地在勘探深度以下存在软弱下卧层时，应适当加深控制性勘探孔的深度；

**2** 在勘探孔深度内当遇基岩或厚层碎石土等稳定地层时，勘探孔深度应根据情况进行调整；

**3** 当勘探过程中发现勘察方案策划中预计采用的地基方案发生变更时，应根据可能采用的地基方案确定增、减工作量。

**3.4.4 取样、测试工作量的调整按下列原则进行：**

**1** 场地每一主要土层的原状土试样或原位测试数据少于 6 件（组）、土层性质不均匀、对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体未能取得土样或测试数据、主要土层用于地下室侧墙计算、基坑边坡稳定性计算或锚杆设计所需的抗剪强度试样少于 6 件（组）、对嵌岩桩桩端持力层段岩样少于 6 组时等情况时，应补充取样；

**2** 当地下水腐蚀性试验数据存在异常，影响场区评价结论时，应分析原因并加取水试样；

**3** 当波速测试成果与本场地其他测试成果或与周边已有勘察资料成果存在矛盾并影响场地评价结论时，应补充波速测试工作；

**4** 当场地每一主要粉土、砂土层液化判别数据不足 6 组或液化判别数据存在矛盾现象不能进行客观评价，以及本场地地基土液化判别结论与周边已有勘察资料成果存在矛盾时，应补充相关数据。

## 4 工程地质测绘和调查

### 4.1 基本规定

**4.1.1** 工程地质测绘和调查宜在可行性研究阶段或初步勘察阶段进行；在详细勘察阶段也可在初步勘察阶段测绘和调查的基础上，对某些专门性的地质问题（如滑坡、崩塌、断裂等）作必要的补充调查。当拟建场地地质条件复杂且有基岩裸露时宜进行工程地质测绘，当地质条件较简单时可用调查代替工程地质测绘。

**4.1.2** 工程地质测绘和调查的范围，应根据建设项目的特点及场地工程地质环境条件确定，应包括建设场地及其附近地段，不能仅局限于用地范围。特别是当有不良地质作用和地质灾害存在时，测绘范围应做必要的延伸和追溯。对工程有重要影响的地质单元体，如滑坡、断层、软弱夹层、洞穴、泉等，都应进行测绘，必要时可用扩大比例尺表示，以便更好的解决岩土工程的实际问题。

**4.1.3** 工程地质测绘的比例尺可根据设计阶段、地质环境的复杂程度、工程的重要性确定。但应符合《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 8.0.3 条的有关规定：

- 1 可行性研究勘察阶段可选用 1:5000~1:50000 的比例尺；
- 2 初步勘察阶段可选用 1:2000~1:10000 的比例尺；
- 3 详细勘察阶段可选用 1:500~1:2000 的比例尺；
- 4 条件复杂时，可不受勘察阶段的限制，适当放大比例尺；
- 5 对工程有重要影响的地质单元体（如滑坡、断层、软弱夹层、洞穴等），可采用扩大比例尺表示；
- 6 地质界线和地质观测点的测绘精度，在图上不应低于 3mm。

**4.1.4** 工程地质测绘精度主要指图幅的精确度。精确度包括测绘时划分地质单元的最小尺寸和在图上标定时最小误差两个方面。确定精确度时应符合下列要求：

1 《岩土工程勘察规范》GB50021—2001 第 8.0.3 条中规定地质界线和地质观测点测绘精度，在图上不应低于 3mm。

2 为了达到精度要求，通常在测绘填图时要求采用比提交成图比例尺大一级的地形图作为填图的底图，填图完成后按比例尺缩回，以提高测绘精度。

3 测绘时，大于测绘底图上宽度 2mm 的地质单元应标绘在图上，具有重要工程意义的地质单元，即使小于 2mm 宽度，也应用扩大比例尺的方法标绘于图上。

4 当测绘比例尺等于或小于 1:25000 时，地质观察点可用目测法标绘，少量重要地质观测点应用测量仪器定位；当测绘比例尺等于或小于 1:10000 时，控制主要地质条件和地质单元体的地质观测点应用测量仪器定位；当测绘比例尺大于 1:5000 时，必需全部用测量仪器定位；地质构造线、地质接触线、岩性分界线、软弱夹层、地下水露头和不良地质作用等特殊的地质观测点，宜用仪器定位。

**4.1.5** 在进行工程地质测绘时，地层单位划分一般应根据比例尺的大小来确定。地层单位确定应符合下列要求：

- 1 比例尺 1:100000~1:50000，必须划分到统或群，可争取划分到阶或组。
- 2 比例尺 1:25000~1:10000，必须划分到阶或组，可争取划分到带或段。
- 3 比例尺 1:5000，必须划分到带或按岩性、工程地质岩组划分。
- 4 比例尺 1:2000~1:200，必须按岩性或工程地质岩组划分。

**4.1.6** 地质观测点的布置是否合理，是否具有代表性，对于成图的质量至关重要。观测点的布置应符合下列要求：

1 在地质构造线、地质接触线、岩性分界线、标准层位、不整合面、不同的地貌单元、微地貌单元的分界线和不良地质作用分布的地段应布置地质观测点。

2 应充分利用天然和已有的人工露头布置地质观测点，例如采石场、路堑、井、泉等。当天然露头不足时，应根据场地的具体情况布置一定数量的勘探工作，条件适宜时可选用物探手段探测地层、岩性、构造、地下不明地质体。

3 观测线路应采用横穿越与界线追索相结合的方法。大比例尺测绘时必须采用全面查勘法。

**4.1.7** 确定地质观测点的密度应符合以下要求：

1 地质观测点的密度应根据场地的地貌、地质条件、成图比例尺和工程要求等来确定，并应具有代表性。

2 地质观测点的间距一般宜控制在图上距离 2~3cm 范围。

3 利用遥感影像资料解释成果进行测绘时，现场检验地质观测点的数量宜为工程地质测绘点数的 30%~50%。

## **4.2 工程地质测绘和调查的工作准备**

**4.2.1** 搜集资料应在认真研究拟建工程的特殊性和委托书技术要求的基础上进行,并符合以下要求：

1 搜集的地形图比例尺应满足测绘精度要求；

2 搜集区域地质资料，如区域地质图、构造地质图、地貌图、地质剖面图及其文字说明等；

3 搜集测区内及附近地区有关的地面摄影、航空、卫星等遥感影像图片及其解译资料；

4 搜集与测区有关的水文资料，如水系分布图、水位、流速、流量、流域面积、径流条件和动态、历年最高洪水位及淹没区；

5 搜集与测区有关的水文地质资料，如地下水类型、补给来源、排泄条件、埋藏深度、赋水性、开采情况和变化规律以及水质分析资料；

6 搜集区域内各种主要气象要素，如气温、风向、风速、降雨量、蒸发量等随季节变化的规律及冻结深度；

7 搜集对测区有影响的历年地震发生频率、震级、地震烈度、震中距及造成的破坏情况；

8 搜集测区内及附近地区已有的各种工程勘察资料、区域地质资料和区域水文地质资料等；

9 搜集已有建（构）筑物的结构类型、基础形式、基础埋深、采用的基础持力层和地基承载力、建筑物的水平和垂直变形观测资料。

**4.2.2** 现场踏勘是在研究所搜集到的资料基础上进行,目的是初步了解测区的工程地质、水文地质等条件，以便合理布置地质观测点和观测线路，正确选择地质剖面位置，拟定需要重点研究的岩土工程问题和野外工作方法。

**4.2.3** 现场踏勘的方法和工作内容应符合下列要求：

1 根据地形图在测区内采用“之”字型曲折迂回而不重复的路线进行踏勘，初步掌握测区内的地质情况；

2 通过现场踏勘，选择露头良好、岩层完整的地段作为标准地质剖面；



- 3 通过现场踏勘，确定测区控制点的位置，抄录其坐标、标高资料。
- 4.2.4 工程地质测绘和调查纲要是进行工程地质测绘和调查工作的依据,其内容应根据工程建设需要、不同的勘察阶段和不同的技术要求编写。一般情况下，测绘和调查纲要是作为勘察纲要的一个组成部分。测绘和调查纲要编写的应包括下列主要内容：
- 1 工程概况、任务来源、技术要求；
  - 2 测区位置、自然地理条件，如气象、水文、地形、交通状况等；
  - 3 工程地质条件，如地貌、地层、构造、地下水、不良地质作用和地质灾害、地震等，以及需要研究的岩土工程问题；
  - 4 测绘范围、测绘比例尺、精度要求、需要重点研究的地质问题；
  - 5 拟采用的技术标准、规范和工作方法；
  - 6 工作步骤和人员组成；
  - 7 拟定提交的各种图件、资料和文字报告。

## 4.3 工程地质测绘和调查方法

### 4.3.1 工程地质测绘的方法主要有以下几种：

- 1 像片成图法：利用地面摄影或航空（卫星）遥感图片在室内进行解译，划分出地层岩性、地质构造、地貌单元、水系分布、不良地质作用和地质灾害等，并在图上选择若干个观测点和观测线路，然后进行实地校对和验证，检查解译标志、解译成果、外推结果（现场检验的地质观测点数量宜为工程地质测绘点数的 30%~50%）；对室内解译难以获得的资料进行野外补充并绘制成底图；如有不合理现象，要进行修正，重新解译或到野外复验，最后转绘成图。
- 2 实地测绘法：主要有路线穿越法、追索法、布点法三种基本方法，可根据实际情况按表 4.3.1 选用。

**表 4.3.1 工程地质测绘基本方法**

基本方法	说明
路线穿越法	采用垂直穿越测绘区域内地貌单元、岩层和地质构造线走向的方法，把沿途观察到的各种地质界线、地貌界线、构造线、岩层产状及各种不良地质作用的位置标绘在地形图上。路线形式有“S”型和“直线”型两种。该方法一般适用于中、小比例尺
追索法	沿地层走向、某一构造线方向或其它地质单元界线布点追索，并将界线绘于图上。地表可见部分用实线表示，推测部分用虚线表示
布点法	根据地质条件复杂程度和不同比例尺，预先在图上布置一定数量的地质观测点和地质观测路线，路线应力求避免重复，要求对第四系地层覆盖地段必须要有足够的人工露头，以保证测绘精度。该方法适用于大、中比例尺

### 4.3.2 地貌测绘主要有形态分析法、沉积物相分析法、动力分析法三种方法，可根据实际情况按表 4.3.2 选用。

**表 4.3.2 地貌测绘方法**

分析方法	说明
形态分析法	观察描述各种地貌单元的形态，测量其形态要素（长度、宽度、坡度、相对高度等），并辅以影像资料、野外素描和室内分析绘图等解译地貌的组合依存关系，揭示其发展

续表

分析方法	说明
形态分析法	规律
沉积物相分析法	根据古地貌发育过程和沉积物特征,确定其发育的地理环境和地质作用过程,通过化石、同位素元素和地磁等信息,确定地貌的形成年代
动力分析法	通过对地貌形态特征、微地貌的组合关系、堆积物的结构构造、生物化石、地球化学元素的迁移等来分析地貌发育的外动力地质作用,通过对地貌发育过程多种地貌和新构造形迹的研究,分析内动力地质作用的性质和变化幅度

**4.3.3** 岩体结构面的测量一般指岩层与构造的产状测量,测量方法一般采用罗盘仪测定其走向、倾向和倾角。当倾角较缓或确定有困难时,可采用三点法或“V”字型法则确定。

**4.3.4** 节理或面理的统计应符合下列要求:

- 1 统计地点应选择在不同的构造单元或地层岩性典型的地段。
- 2 每个统计点的节理、面理统计数量一般应控制在 80~100 个左右。
- 3 节理点的统计图示应根据各节理点统计图的特点和适用范围,选择合适的统计图示,节理点的统计图示主要有玫瑰花图、极点图、等直线图等三种。

**4.3.5** 地质观测点的定位标测方法可根据不同比例尺的精度要求按表 4.3.5 选用。

**表 4.3.5 地质观测点定位标测方法**

方 法	仪器设备	说 明	适用比例尺
目测法		利用地形图上地形地物特点估测地质观测点位置	$\leq 1:25000$
半仪器法	交会法	罗盘仪 选择三个明显地形地物点,用罗盘仪测出地质观测点相应的三个方位角,并标示在地形图上,这三条线之交点即为地质观测点	$\leq 1:10000$
	导线法	罗盘仪 测绳 选择与地质观测点相邻的三角点、水准点、地物点为基点,用罗盘仪测方位,测绳量距离,对地质观测点进行定位标测	
	气压计	用气压计测高程,结合地形地物进行地质观测点的定位标测	
仪器法	经纬仪	用经纬仪、水准仪等测定地质观测点的位置和高程	$\geq 1:5000$
卫星定位系统	GPS	满足精度条件下均可应用	

**4.3.6** 为了了解整个测区内地层岩性的变化规律和相互关系,应根据测区内典型的地质剖面资料绘制地层剖面图。地层剖面测绘时应符合下列要求:

- 1 建立标志层,把易于识别、特征明显且稳定的地层单独标出作为判识某一填图单位的标志。
- 2 建立地层剖面时应选择露头好、岩层齐全、化石丰富、岩层厚度稳定,有代表性的地段。
- 3 地层剖面测绘应按精度要求选择合适的比例尺,先测绘出地形剖面,然后根据地层的出露情况及其产状测绘地层剖面。如果露头不好,岩层不连续,可分别测量若干露头,然后利用标志层对岩层进行对比测绘。

**4.3.7** 进行野外工程地质测绘时,可根据以下方法确定地层的地质年代。

- 1 地层层位法:在正常情况下,位于下面的岩层先沉积,地质年代较老;越上面的岩

层，形成的越晚，年代越新。这种规律对喷出岩地区也适用，老的在下，新的在上。但如发生倒转褶皱及逆掩断层时，则老的地层盖在新的地层上面。这时要注意野外的调查和分析。

**2 岩性比较法：**即利用岩性的对比来确定岩层的地质年代。如果岩层的地质年代在某地区已经确定，则在另一地区遇到相同的岩层时，就可给于相应的地质年代。但此方法仅适用于在一定范围内进行岩性对比。

**3 化石法：**在不同的地质时代有不同的生物，因而就有不同的标准化石，根据标准化石就可以确定地层的地质年代。

**4 岩浆岩年代确定：**如果侵入岩与围岩的接触处有变质现象，说明岩浆岩侵入到已形成的岩层中。因此，侵入岩年代较新，围岩的年代较老。若岩浆岩上面还有沉积岩，接触处又有侵蚀面存在，则岩浆岩的年代较老，沉积岩的年代较新。

**5 喷出岩年代确定：**主要是根据上、下沉积岩的年代来判断，以及与当地的区域性资料进行对比。

**6 变质岩年代确定：**主要是根据被变质的沉积岩的年代或覆盖于变质岩上沉积岩的年代来确定。

## **4.4 工程地质测绘和调查内容**

**4.4.1 进行地貌测绘和调查工作时，其工作内容应符合下列要求：**

**1** 应查明地貌的成因类型和形态特征，划分不同的地貌单元及其分界线，分析不同地貌单元的形成、发展和相互关系。

**2** 应研究微地貌特征及其与岩性、构造、第四系堆积物、新构造运动、不良地质作用之间的关系。

**3** 应查明地形的形态及其变化情况。

**4** 应研究植物的发育情况及其与地形要素之间的关系。

**5** 调查河谷地貌时，应着重调查其阶地、河漫滩的位置及其特征，通过其堆积物的研究，分析有无古河道、牛轭湖等分布及其位置。

**4.4.2 对不同地层岩性进行测绘和调查时(应注意岩石的分类有地质分类和工程分类两种，工程分类必须在地质分类的基础上进行)，其工作内容应符合下列要求：**

**1 在沉积岩分布地区：**

**1)** 应调查沉积岩的成因类型、沉积环境、接触关系、风化程度，并确定其形成的地质年代。

**2)** 应通过观察岩石的矿物成分、结构类型、层理构造，对岩石进行分类、定名。

**3)** 应测量岩层的厚度和产状。

**4)** 应注意观测岩层中夹层的物质成分、结构类型、胶结程度、厚度、分布特征和工程特性。

**5)** 在化学岩和生物化学岩类分布的地区，应注意观测岩石的溶蚀现象、发育程度和分布规律。

**2 在岩浆岩分布地区：**

**1)** 应调查岩浆岩的成因类型、与围岩的接触关系、风化程度，并确定其形成年代和活动序次。

**2)** 应通过观察岩石的矿物成分、结构类型、构造特征，对岩石进行分类和定名。

**3)** 应量测岩脉、岩墙等的产状和厚度，注意观测其与断裂之间的关系以及其与各侵入体之间的穿插关系。

4) 火山岩分布地区,应着重研究与场地稳定性有关的火山岩形成环境、喷发间断面、凝灰岩风化、泥化特征。

**3 在变质岩分布地区:**

1) 应调查变质岩的成因类型、变质的作用方式、与围岩的接触关系、风化程度,变质范围。

2) 应通过观察岩石的矿物成分、结构类型、构造特征,对岩石进行分类和定名。

3) 应量测变质岩的厚度和产状,确定其原岩的成分和性质。

4) 应查明变质岩的节理、劈理、片理、带状构造等对工程有影响的微构造的性质。

**4 第四系沉积物分布地区:**

1) 应调查土层的成因类型、沉积环境、沉积韵律、层序、分布范围,并确定其形成年代和划分土层的类型。

2) 应通过观察土的颜色、状态、密度、湿度、矿物成分,对土进行分类和定名。

3) 应通过观察土的结构、构造、水理性质、颗粒组成、矿物成分、土层厚度,了解土的工程地质特性。

4) 应调查不同土层的厚度、分布范围、工程特性及其对工程的影响。

5) 对特殊性土,除前述一般土的测绘和调查内容外,还应注意其自身特性的调查,具体可查阅第 10 章有关特殊性岩土的介绍。

**4.4.3** 在进行工程地质测绘和调查时,应把调查岩石风化作用强弱、划分岩石风化程度作为其工作的重要内容之一。并应符合下列要求:

**1** 应调查岩石的风化作用方式,岩石的完整性和裂隙的形态特征,岩石的表面及周边环境有无生物活动的破坏作用现象,划分风化作用类型。

风化作用根据其性质和影响因素的不同,一般可分为:(1)物理风化作用;(2)化学风化作用;(3)生物风化作用。

**2** 应通过观测岩石中矿物成分、性质、结构和构造的变异程度,岩石的坚硬程度,划分岩石的风化程度。

**3** 应调查岩石的风化深度、分布范围。

**4.4.4** 进行地质构造测绘和调查时,应在分析已有资料的基础上,重点研究工作区域内褶皱构造、断裂构造(断层、节理、裂隙)的性质及其与新构造运动的关系等。调查各构造形迹的分布、形态、规模和结构面的力学性质、组合方式和所属构造体系。并应符合下列要求:

**1 对褶皱构造的测绘和调查:**

1) 应调查褶皱构造基本单位褶曲的要素、类型、地层岩性、两翼岩层的产状、厚度。

2) 应调查褶皱的三维空间形态、规模、组合形式、形成年代。

3) 应研究褶皱形成时的力学作用及其形成条件。

**2 对断裂构造的测绘和调查:**

1) 应调查断层的位置、产状、要素、规模(长度、宽度、断距)、错动方向、断层两盘的地层岩性。

2) 应调查断层破碎带的分布范围、破碎程度、破碎带中构造岩的胶结程度及其主要矿物成分。

3) 应调查断层的组合形式、形成年代。

4) 应调查主断层与伴生、次生构造形迹之间的组合关系及所属的构造体系。

5) 应根据断层面上标志、构造上的标志、地层上的标志、地形上的标志去寻找断层证据,并进行综合考虑和判断。

6) 应根据上述调查结果,综合判断断层的性质和类型。

**3 对节理(裂隙)的测绘和调查:**

- 1) 应调查节理（裂隙）的产状、宽度、数量、规模、分布规律。
  - 2) 应调查节理（裂隙）的形态特征、延伸情况、充填程度、胶结情况、充填物的性质。
  - 3) 应研究节理（裂隙）的成因类型、组合关系及其与褶皱、断层之间的关系。
  - 4) 应根据上述调查、研究的成果，对节理（裂隙）进行分类、统计。
- 4.4.5 进行新构造运动与地震测绘和调查时,应符合下列要求:**
- 1 应搜集能反映新构造运动性质和运动的地貌资料。新构造运动的地貌标志可按表 4.4.5-1 确定;
  - 2 应搜集地形变化和地应力资料、卫星和航空遥感图片资料及物探资料;
  - 3 应搜集测区内的区域构造资料、历史地震资料和近期地震资料;
  - 4 应调查与新构造运动有关的地形、地貌、地质特征和地震特征;
  - 5 应调查近期以来不同构造单元和断裂构造活动的性质及活动特征,确定是否有活动断裂、全新活动断裂。活动断裂的判别标志可按表 4.4.5-2 确定。活动断裂和活动断裂假象的地表特征对比可按表 4.4.5-3 确定;
  - 6 应调查测区内的地震活动规律、活动水平、活动特征和已发生破坏性地震的地震效应;
  - 7 应研究新构造运动的性质、趋向、强度、频率,以及新构造运动与地震活动之间的关系;
  - 8 应研究、分析发震断裂的构造部位和应力场特征。

**表 4.4.5-1**

**新构造运动的地貌标志**

地貌标志 地貌类型	新构造地貌标志	
	上升区	下降区
山地	多层夷平面、断裂或挠曲的剥蚀面 侵蚀阶地、峡谷 深切或嵌入型冲积堆、洪积扇 河床纵剖面多裂点 水系的变迁和改造	在较厚的沉积岩谷上迭阶地 和埋藏阶地
平原	剥蚀平原 侵蚀阶地、深切河曲 三角洲向外侧迁移	自由河曲 堆积平原
岩溶	峰丛洼地、峰丛谷地 峰林谷地、抬高的多层溶洞	孤峰平原 峰林平原
海岸	平直海岸 多层海成阶地、海蚀崖	弯曲海岸 沉没阶地 峡湾和水底阶地

**表 4.4.5-2**

**活动断裂的判别标志**

判别标志	特 征
人工标志	建（构）筑物、公路等工程地基的倾斜和错开现象
地形地貌标志	1 地形变化差异大，山口峡谷多，深且狭长；新的断层崖和三角面山的连续出现而且比较显著，并有山崩和滑坡发生

续表

判别标志	特 征
地形地貌标志	2 断层形成的陡坎山山脚，常有狭长洼地和沼泽 3 断层形成的陡坎山前第四系堆积物厚度大，山前洪积扇特别高或特别低，与山体不对称，在峡谷出口处的洪积扇呈迭置式、线性排列 4 沿断裂带有串珠泉出露，若为温泉，则水温和矿化度较高 5 沿断裂带上植物突然枯死或生长特殊罕见的植物 6 第四系火山锥、熔岩呈线性分布
地质和地震地质标志	1 第四系堆积物常见到小褶皱和小断层，或被第四系以前的岩层所冲断 2 沿断层各地貌单元（河谷、阶地、夷平面）同时发生水平或垂直位移及错位 3 沿断层带的断层泥及破碎带多未胶结，断层崖壁可见擦痕和错碎岩粉 4 在断层带附近地区有现代地震、地面位移、地形变化以及微震发生 5 沿断层带的地磁、地热及各种气体的数值一般偏高

表 4.4.5-3

活动断裂与活动断裂假象的地表特征对比

活 动 断 裂	活 动 断 裂 假 象
沿老断裂带或断层,结构面发育	一般在老断裂带或断层结构面上发育,多为地表浅部结构面
沿走向具延伸性,一般延伸达数公里至数十公里或更远	沿走向不具延伸性、方向多变、露头分散
有一系列相配套的地质和地貌活动标志伴随出现	没有相配套的地质和地貌活动标志,现象比较零散、孤立

## 4.5 工程地质测绘和调查资料整理

**4.5.1** 应认真检查工程地质测绘和调查工作的各项外业资料,确保测绘和调查成果的质量。检查内容应符合下列要求:

- 1 应检查各种野外记录、测绘和调查的内容是否齐全,对有缺、漏或存在问题的应及时到现场复查、补救;
- 2 应核对各种原始图件所划分的地层、岩性、构造、地形、地貌、地质年代、地质界线、各种不良地质作用是否符合野外的实际情况;
- 3 应核对、整理各种野外采集的标本和岩、土、水试样;
- 4 应核对搜集到的资料与本次测绘和调查的资料是否一致,出现矛盾的应分析原因。

**4.5.2** 应根据搜集到的资料和本次工程地质测绘和调查的资料;按照工程地质测绘和调查的目的及要求、测区工程地质条件的复杂程度和测绘精度,精心编制各种工程所需的图件。编制的图表应能正确反映测区的工程地质条件、水文地质条件,满足工程建设的需要;编制的图表应相互协调,图件应少而精。

**4.5.3** 工程地质测绘和调查工作应提交的基本图件主要有:综合工程地质图、工程地质分区图、综合地质柱状图、工程地质剖面图、实际材料图以及各种素描图、照片和文字说明等。编制这些主要基本图件时应符合下列要求:

- 1 当测绘和调查场地工程地质条件复杂时,应绘制工程地质图(或工程地质分区图)。绘制工程地质分区图时,应按场地的稳定性和工程建设的适宜性以及工程地质条件相似性的原则进行。各分区要系统地反映场地工程地质条件和工程地质问题,并附分区工程地质特征说

明。当分区尚不能完全反映场地工程地质条件的复杂程度时，可进一步划分亚区。编制工程地质图（或工程地质分区图）应在附有坐标的地形图上进行。其比例尺可选择与工程地质测绘用图一致。

**2 绘制工程地质剖面图时，应符合下列要求：**

1) 水平比例尺宜采用 1:500，亦可采用 1:200 或 1:1000；垂直比例尺宜采用 1:100，亦可采用 1:50 或 1:200；但水平比例尺宜与垂直比例尺相适宜。

2) 工程地质剖面图应有观测点（勘探点）的位置、编号、地面标高、深度、岩土层分层编号、分层界线、接触关系界线、地层产状、地质构造的位置、产状，不良地质体的埋藏位置、分布范围，地下稳定水位、原位测试和取样位置、比例尺和图例、剖面方向和剖面编号等内容。

3) 分层编号的顺序应从上到下、由小到大，必要时可标明地层的年代和成因代号。

4) 绘制剖面图时，岩层倾角应换算成视倾角，并应考虑垂直比例尺和水平比例尺的不同。当上覆土层较厚岩层倾角不能确定时，可不表示倾角。

5) 当某一岩土层厚度较大时，可将该地层断开用折线表示，但应标明实际尺寸。

**3 绘制综合地质柱状图时，应根据岩土层的工程地质特性，从对工程最不利的角度出发，确定其综合厚度。绘制的内容应与剖面图一致，但应对岩土层的工程地质特征作简要的描述。当某一岩土层厚度较大时，可将该层断开用折线表示，但应标明实际尺寸。**

**4 绘制实际材料图时，应把测绘范围、测绘的工作方法、测绘路线、测绘内容及其工作成果标注在图上。**

**5 对于特殊性岩土、特殊地质条件及专门性工程，可根据各自的特殊需要，绘制相应的专门图件，如基岩（或土层）顶、底板埋深等深线图、地下水等水位线图。绘制时其比例尺不宜选择小于测绘比例尺。观测点（或勘探点）的密度应根据成图比例尺和工程的要求确定，并应具有代表性。**

**4.5.4 编写工程地质测绘和调查工作报告时，应符合下列要求：**

**1 无论测绘和调查的范围、工作量有多大，都应编写工程地质测绘和调查方面的内容，必要时编写工程地质测绘和调查专项报告。要求主题突出、内容充实、文字简明扼要；**

**2 工程地质测绘和调查报告一般都是作为岩土工程勘察报告的阶段内容或附件；**

**3 工程地质测绘和调查报告一般应包括下列内容：测绘和调查的目的及要求、测绘和调查范围、测绘和调查精度、测绘和调查方法、完成的工作量、资料内容、工作中遗留的问题和有疑问的现象，提出下一阶段的勘察工作方法、工作重点和需解决的问题。**

## 5 勘探和取样

### 5.1 基本规定

**5.1.1** 当需查明岩土的性质和分布、采取岩土试样或进行原位测试时，可采用钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等。勘探方法的选取应符合勘察目的和岩土的特性。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.1.1 条）

**5.1.2** 勘探和取样应遵守国家现行的法律、法规及有关技术标准，确保勘探质量。

**5.1.3** 进行勘探时，应采取有效措施，严格执行操作规程，保护人身和工程的安全。

**5.1.4** 布置勘探工作时应保护环境，防止对地下管线、地下工程和自然环境的破坏。除特殊要求外，钻孔、探井和探槽完工后应妥善回填。回填材料原则上应以粘土或原土回填，岩石地区和对隔水有特殊要求时，可用水泥砂浆或水泥浆回填。

**5.1.5** 当地球物理勘探、静力触探、动力触探等作为勘探手段时，应与钻探等其他勘探方法配合使用。

**5.1.6** 勘探和取样工作应严格按照勘察纲要进行，因现场环境等因素需要调整工作方案时，应经原批准部门（或人员）同意，勘探完成后应经过验收。

### 5.2 钻探

**5.2.1** 钻探应满足下列基本技术要求：（《建筑工程地质钻探技术标准》JGJ87-92 第 1.0.3 条）

- 1 能鉴别岩土名称和性质，确定其埋藏深度；
- 2 能采取符合质量要求的试样，或进行原位测试；
- 3 能查明钻探深度内地下水的赋存情况。

**5.2.2** 钻探点位的测设应符合下列要求：

初步勘察阶段：平面位置允许偏差 $\pm 0.5\text{m}$ ，高程允许偏差 $\pm 5\text{cm}$ ；

详细勘察阶段：平面位置允许偏差 $\pm 0.25\text{m}$ ，高程允许偏差 $\pm 5\text{cm}$ 。

**5.2.3** 钻探点位应设置有编号的标志桩。开钻之前应按设计要求核对桩号及其实地位置，两者必须符合。（《建筑工程地质钻探技术标准》JGJ87-92 第 2.0.2 条）

**5.2.4** 因障碍改变钻探点位时，应将实际钻探位置及时标明在平面图上，注明与原桩位的偏差距离、方位和地面高差，必要时应重新测定点位。（《建筑工程地质钻探技术标准》JGJ87-92 第 2.0.3 条）

**5.2.5** 钻探方法和钻进工艺，应根据地层类别和勘察要求确定，并可按表 5.2.5（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 9.2.1）所列条件选用。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.2.1 条）

**5.2.6** 钻孔口径和钻具规格应符合现行国家标准的规定。成孔口径应满足取样、测试和钻进工艺的要求。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.2.3 条）

钻孔直径可按表 5.2.6 选用。



表 5.2.5

钻探方法适用范围

钻探方法		钻 进 地 层					勘 察 要 求	
		粘性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别、采取不扰动样	直观鉴别、采取扰动样
回转	螺旋钻探	++	+	+	—	—	++	++
	无岩芯钻探	++	++	++	+	++	—	—
	岩芯钻探	++	++	++	+	++	++	++
冲击	冲击钻探	—	+	++	++	—	—	—
	锤击钻探	++	++	++	+	—	++	++
振动钻探		++	++	++	+	—	+	++
冲洗钻探		+	++	++	—	—	—	—

注：++：适用；+：部分适用；—：不适用。

表 5.2.6

钻孔直径

地层条件、钻孔用途		孔径 (mm)
鉴别地层		≥36
取不扰动试样	一般粘性土、粉土	≥91
	湿陷性黄土	≥150
原位测试		大于测试探头直径
压水、抽水试验		≥110
岩石		≥75

### 5.2.7 钻探应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.2.4 条）

- 1 钻进深度和岩土分层深度的量测精度，不应低于±5cm；
- 2 应严格控制非连续取芯钻进的回次进尺，使分层精度符合要求；
- 3 对鉴别地层天然湿度的钻孔，在地下水位以上应进行干钻；当必须加水或使用循环液时，应采用双层岩芯管钻进；
- 4 岩芯钻探的岩芯采取率，对完整和较完整岩体不应低于 80%，较破碎和破碎岩体不应低于 65%；对需重点查明的部位（滑动带、软弱夹层等）应采用双层岩芯管连续取芯；
- 5 当需确定岩石质量指标 RQD 时，应采用 75mm 口径（N 型）双层岩芯管和金刚石钻头；
- 6 定向钻进的钻孔应分段进行孔斜测量；倾角和方位的量测精度应分别为±0.1° 和±3.0°。

### 5.2.8 勘探浅部土层可采用下列钻探方法：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.2.2 条）

- 1 小口径麻花钻（或提土钻）钻进；
- 2 小口径勺形钻钻进；
- 3 洛阳铲钻进。

### 5.2.9 在土层中采用螺旋钻头钻进时，应分回次提取扰动土样，回次进尺不宜超过 1.0m，在主要持力层中或重点研究部位，回次进尺不宜超过 0.5m，并应满足鉴别厚度小至 20cm 的薄层的要求。（《建筑工程地质钻探技术标准》JGJ87-92 第 3.3.1 条）

### 5.2.10 岩芯钻进分为硬质合金钻进、金刚石钻进等，钻进方法应根据地质结构特点、岩石可钻性及钻探技术要求等进行选择。

**5.2.11 硬质合金钻进应符合下列要求：**

- 1 应根据钻进地层的岩性、钻头形状等因素合理确定转速及钻头施加压力。在粘性土及软质岩石地层中宜采用低压快速钻进；在较硬的、非均质的、研磨中等的岩石中钻进以低中速为宜。在钻进过程中应保持钻压的均匀、稳定，加、减压应缓慢进行；
- 2 应根据地层岩性、孔径、孔壁情况等合理选择冲洗液种类和冲洗液量；
- 3 钻进时保持孔内清洁，当有合金颗粒掉落或其他金属物品掉落孔内时应及时捞出；
- 4 根据地层情况合理掌握回次进尺，以不超过岩芯管长度 2 / 3 为宜。对粘性土层在仅用来鉴别地层时回次进尺可放大到不大于岩芯管长度，对粉土、砂土层应减小回次进尺长度；
- 5 与交替使用的金刚石钻头内外径应一致。

**5.2.12 金刚石钻进应符合下列要求：**

- 1 应根据岩石可钻性、研磨性和完整程度合理选择钻头及钻压、转速、泵压和泵量等技术参数。注意在不同条件下各参数之间的有机配合；
- 2 新钻头下到孔底后，必须进行初磨，即轻压慢转钻进 10min 左右，再换用正常钻进参数；
- 3 每回次进尺开始，应轻压慢转扫孔到底，钻头正常钻进后，才可用正常钻进参数；
- 4 要保持孔内清洁，防止金刚石碎裂脱落；
- 5 钻进时，应使用润滑性能好的冲洗液，并随时观察泵压和冲洗液大小的变化，当发生异常时应停钻，查明原因，及时处理。严禁使用金刚石钻头干钻；
- 6 金刚石钻头应掌握“五不扫”，即不扫孔、不扫残留岩芯、不扫脱落岩芯、不扫掉块、不扫探头石；
- 7 钻进时掌握“三必提”，即下钻受阻轻转无效、岩芯堵塞、钻速骤降时必须提钻。

**5.2.13 使用绳索取芯钻具取芯时应遵守下列规定：（《水利水电工程钻探规程》SL291-2003 第 6.5.4 条）**

- 1 下打捞器前，必须在孔口钻杆上端拧上护丝，也可直接从水接头上端投放。反复捞取内管无效时，不得猛冲硬撞，应提出钻具，检查原因。
- 2 内管提升速度不宜过快，孔口有冲洗液涌出或提升阻力增大，可判断内管打捞成功。
- 3 钻孔为干孔时不得自由投放内管，应用投放器送入孔底或往钻杆内迅速泵入冲洗液后立即投放内管。
- 4 投放内管前，钻具应提起一定高度，确认内管到位后可扫孔钻进。
- 5 岩芯打捞失败时，应立即提钻。
- 6 打捞器上应安装安全销或配置脱卡器，拉力超过 2.5kN 时，应被拉断。
- 7 绳索取芯钻杆、岩芯管、打捞器等运输与存放应符合要求，必要时应装箱。
- 8 绳索取芯钻进时钻压较大，钻机应保持稳固。
- 9 绳索取芯的双层或三层岩芯管，每次起出孔外应立即清洗加油。

**5.2.14 冲击钻进方法应根据岩层情况和钻孔要求选择。应按要求控制回次进尺，宜每钻进 0.5~1.0m 提钻 1 次；采用抽筒钻进时回次进尺长度不宜超过抽筒长度的 1/2；采用冲击钻头钻进时回次进尺长度不得超过钻头长度。**

**5.2.15 采取岩芯应满足下列要求：**

- 1 严禁回次进尺长度超过岩芯管长度；
- 2 岩芯卡料粒度要适度，卡簧应松紧适度；
- 3 钻进时发现岩芯堵塞，应立即提钻；
- 4 从岩芯管内退出岩芯时，严防造成人为破坏。

**5.2.16 冲洗液和钻孔护壁应符合下列要求：**

- 1 冲洗液应有良好的冷却能力、润滑性能，应不腐蚀钻具和循环设备，无毒和不污染

环境；

2 可根据具体条件，选用清水、空气、乳化液、泥浆、低固相泥浆、无固相冲洗液、气液混合液、盐溶液与饱和盐水等冲洗液；

3 开工前，应确定冲洗液的类型与配方，必要时首先进行室内试验，并根据地层情况及时调整冲洗液性能。冲洗液中不得任意添加清水，防止污水、雨水流入循环系统；

4 钻孔只漏不塌，水源充足时，可“顶漏”钻进；孔壁有掉块、轻微坍塌、冲洗液消耗明显，但尚能维持钻进时，可采用泥浆循环；

5 孔壁坍塌、冲洗液消耗量较大、用普通泥浆无法正常钻进时，可在泥浆中添加堵漏材料或用高分子絮凝剂；

6 孔壁坍塌严重、冲洗液全部漏失时，可灌注速凝水泥浆或下入套管护壁。

护孔材料及适用范围可按表 5.2.16（《水利水电工程钻探规程》SL291-2003 表 10.2.1）选用。

**表 5.2.16 护孔材料及适用范围**

护壁材料	材料要求	适用条件	操作要点
泥浆或无固相	根据地层特性，配制不同性能的泥浆或无固相冲洗液	1 破碎坍塌、掉块，及一般漏失地层； 2 水敏性地层； 3 覆盖层	1 配制优质泥浆或无固相冲洗液； 2 高粘度堵漏泥浆； 3 全絮凝或交联堵漏
粘土	1 选用粘性大的粘土； 2 粘土中加纤维物； 3 制成粘土球	1 钻孔浅部一般漏失； 2 覆盖层浅部一般漏失	1 粘土球投入到预定位置； 2 用钻具挤压
水泥	1 高标号水泥加速凝剂； 2 B1 型早强水泥	1 坍塌严重的破碎带； 2 漏失严重的裂隙地层或覆盖层	1 浅部干孔采取直入法； 2 深部采取泵法或导管注入法及灌注器送入法； 3 植物胶冲洗液中可投入泥球
化学浆液	1 有一定的抗压强度，能有效固结岩石； 2 可控制固化时间	1 漏失严重的裂隙地层； 2 破碎坍塌地层； 3 漏失严重的覆盖层、架空层、有流动水地层	用灌注器送入预定地段固化或泵入法
套管	1 符合《硬质合金、钢粒岩芯钻探管材螺纹》（DZ1.3-84）； 2 不松扣	1 松散覆盖层及架空层； 2 严重坍塌漏失地层； 3 较大的溶洞、老窿	1 基岩中应下到完整的坚硬岩石； 2 孔口间隙堵严； 3 反扣套管管口要固定； 4 正扣套管管靴要封固

**5.2.17** 钻孔的记录和编录应符合下列要求：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.2.6 条）

1 野外记录应由经过专业训练的人员承担；记录应真实及时，按钻进回次逐段填写，严禁事后追记；

2 钻探现场可采用肉眼鉴别和手触方法，有条件或勘察工作有明确要求时，可采用微

型贯入仪等定量化、标准化的方法；

**3** 钻探成果可用钻孔野外柱状图或分层记录表示；岩土芯样可根据工程要求保存一定期限或长期保存，亦可拍摄岩芯、土芯照片纳入勘察成果资料。

## **5.3 特殊地层及场地的钻探**

**5.3.1** 特殊地层及场地的钻探，除执行本章 5.1 节、5.2 节的规定外，尚应执行本节规定。

**5.3.2** 破碎带钻进应遵守下列规定：（《电力工程地质钻探技术规定》DL/T5096-1999 第 5.8.1 条）

**1** 在软、脆、碎岩层中钻进时，应采用双层岩芯管或无泵钻进。钻头出刃应大些，钻压、转数和冲洗液量都应适当减少，回次进尺不宜大于 0.5m。

**2** 在硬、脆、碎岩层中钻进时，应采用双层岩芯管或喷射式孔底反循环钻具钻进，回次进尺以 0.5m~1.5m 为宜。

**5.3.3** 软弱夹层钻进应遵守下列规定：（《电力工程地质钻探技术规定》DL/T5096-1999 第 5.8.2 条）

**1** 按单孔任务书提供的夹层深度、厚度和岩性，在钻进深度接近软弱夹层顶板时，即应该换与夹层相适应的单动双管钻具钻进，回次进尺以 0.5m~1.5m 为宜。

**2** 钻进时应随时观察钻进速度和回水颜色的变化，准确确定夹层顶板和底板深度，并做详细记录，在软弱夹层中钻进时应尽量减少冲洗液量，必要时采取无泵钻进。

**3** 在软弱夹层中钻进时应有技术熟练人员操作。

**5.3.4** 水域钻探应符合下列要求：

**1** 利用船只作为水上钻探平台时，应具备足够的稳定性、承载能力，并用锚绳固定船位，钻机应安装在船的适宜部位；

**2** 孔口应设置保护套管，其直径宜比钻孔孔径大 2~3 级径，其长度宜进入稳定土层 3~5m，或进入基岩内 0.5m~1.5m，下入套管应在水流较平缓时进行，应采用保护绳或其他措施保持管位稳定和垂直；

**3** 采用钻探船时，孔口应安装用以保护套管并适应上下浮动的补偿导向管；

**4** 应及时观测随钻探船的上下浮动的水位，测算进尺和修正孔深；

**5** 小河流浅水地段，可用筑堰或筑岛等方法设置钻探场地，把水上钻探变为陆上钻探；

**6** 漂浮钻场钻船的吨位应根据水文、孔深、设备自重、工作负荷等情况确定；钢质钻探浮台适用于河床狭窄、水流湍急、交通不便的河流中进行水上钻探，浮台由多组浮桶组成，浮桶应连接牢固，确保施钻安全；

**7** 在河谷狭窄、水流急、山洪水头高的河段，可架设索桥架空钻场。在两岸打桩埋锚，修筑锚绳台，安装绞车、底绳与吊绳，底绳与枕木用螺栓连结，组成整体钻场。

**5.3.5** 冰上钻探应符合下列要求：

**1** 封冰期冰层厚度必须大于 0.3m，否则不得进行冰上钻探；

**2** 钻探期间，应随时掌握水文、气象动态，专人观测冰层安全情况，严防发生事故；

**3** 冰上钻场应按有关规定进行作业，并做好防冻工作。

**5.3.6** 第四系地裂缝勘察的钻探应符合下列要求：

**1** 应采用干钻，并全孔段取芯，水位以下宜采用双重岩芯管钻进；

**2** 宜在预估目的层顶面深度以上不少于 1m 开始用取土器击入或压入钻进，回次进尺长度宜为 0.5m，并不得超过取土器长度，目的层及其上下不少于 1m 范围内的岩芯采取率应不低于 90%。

## 5.4 井探、槽探与洞探

5.4.1 岩土工程勘察在下列情况下宜采用井探或槽探：

- 1 因场地条件限制钻探设备不能在勘探点就位和作业；
- 2 钻探方法难以取得符合要求的试样；
- 3 用钻探方法不易查明的地质现象，或使用钻探手段是不经济的。

5.4.2 井探、槽探适用于第四系地层和全风化、强风化岩石。

5.4.3 在松散软弱等易坍塌地层中开挖探井应采取井壁支护措施。

5.4.4 探井、探槽宜在地下水位以上进行，地下水位以下必须采取必要的安全防护措施。

5.4.5 当需详细查明深部岩层性质、构造特征时，可采用竖井或平洞。

5.4.6 对探井、探槽和探洞除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图等反映井、槽、洞壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位试验位置，并辅以代表性部位的彩色照片。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.3.3 条）

## 5.5 岩土及水试样的采取

5.5.1 土试样质量应根据试验目的按表 5.5.1（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 9.4.1）分为四个等级。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.4.1 条）

**表 5.5.1 土试样质量分级**

级别	扰动程度	试 验 内 容
I	不扰动	土类定名、含水量、密度、强度试验、固结试验
II	轻微扰动	土类定名、含水量、密度
III	显著扰动	土类定名、含水量
IV	完全扰动	土类定名

注：1 不扰动是指原位应力状态虽已改变，但土的结构、密度和含水量变化很小，能满足室内试验的各项要求；

2 除地基基础设计等级为甲级的工程外，在工程技术允许的情况下，可用Ⅱ级土样进行强度和固结试验，但宜先对土试样受扰动的程度作抽样鉴定，判定用于试验的适宜性，并结合地区经验使用试验成果。

5.5.2 试样采取的工具和方法可按表 5.5.2（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 9.4.2）选择。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.4.2 条）

**表 5.5.2 不同等级土试样的取样工具方法**

土 试 样 质 量 等 级	取样工具和方法		适 用 土 类										
			粘 性 土					粉 土	砂 土				砾砂、 碎石土、 软岩
			流 塑	软 塑	可 塑	硬 塑	坚 硬		粉 砂	细 砂	中 砂	粗 砂	
I	薄壁取 土器	固定活塞	++	++	+	-	-	+	+	-	-	-	-
		水压固定活塞	++	++	+	-	-	+	+	-	-	-	-

续表

土试样质量等级	取样工具和方法		适用土类										
			粘性土					粉土	砂土				砾砂、碎石土、软岩
			流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬		粉砂	细砂	中砂	粗砂	
I	薄壁取土器	自由活塞敞口	-	+	++	-	-	+	+	-	-	-	-
			+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
	回转取土器	单动三重管	-	+	++	++	+	++	++	++	-	-	-
		双动三重管	-	-	-	+	++	-	-	-	++	++	+
II	探井(槽)中刻取块状土样		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	薄壁取土器	水压固定活塞	++	++	+	-	-	+	+	-	-	-	-
		自由活塞	+	++	++	-	-	+	+	-	-	-	-
		敞口	++	++	++	-	-	+	+	-	-	-	-
	回转取土器	单动三重管	-	+	++	++	+	++	++	++	-	-	-
		双动三重管	-	-	-	+	++	-	-	-	++	++	++
III	厚壁敞口取土器		+	++	++	++	++	+	+	+	+	+	-
	厚壁敞口取土器		++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-
	标准贯入器		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
	螺纹钻头		++	++	++	++	++	+	-	-	-	-	-
	岩芯钻头		++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+
IV	标准贯入器		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
	螺纹钻头		++	++	++	++	++	+	-	-	-	-	-
	岩芯钻头		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

注: 1 ++: 适用; +: 部分适用; -: 不适用;

2 采取砂土试样应有防止试样失落的补充措施;

3 有经验时, 可用束节式取土器代替薄壁取土器。

**5.5.3** 取土器的技术规格应符合《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 附录 F, 即表 5.5.3 要求。

表 5.5.3

取土器技术标准

取土器参数	厚壁取土器	薄壁取土器		
		敞口自由活塞	水压固定活塞	固定活塞
面积比 $\frac{D_w^2 - D_e^2}{D_e^2} \times 100(\%)$	13~20	$\leq 10$	10~13	
内间隙比 $\frac{D_s - D_e}{D_e} \times 100(\%)$	0.5~1.5	0	0.5~1.0	

续表

取土器参数	厚壁取土器	薄 壁 取 土 器		
		敞口自由活塞	水压固定活塞	固定活塞
外间隙比 $\frac{D_w - D_t}{D_t} \times 100(\%)$	0~2.0	0		
刃口角度 $\alpha$ (°)	<10	5~10		
长度 L (mm)	400, 550	对砂土: (5~10) $D_e$ 对粘性土: (10~15) $D_e$		
外径 $D_t$ (mm)	75~89, 108	75, 100		
衬管	整圆或半合管, 塑料、酚醛层压纸或镀锌铁皮制成	无衬管, 束节式取土器衬管同左		

注: 1 取样管及衬管内壁必须光滑圆整;

2 在特殊情况下取土器直径可增大至 150~250mm;

3 表中符号:

$D_e$  ——取土器刃口内径;

$D_s$  ——取样管内径, 加衬管时为衬管内径;

$D_t$  ——取样管外径;

$D_w$  ——取土器管靴外径, 对薄壁管  $D_w = D_t$ 。

**5.5.4** 在钻孔中采取 I、II 级土试样时, 应满足下列要求: (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.4.5 条)

1 在软土、砂土中宜采用泥浆护壁; 如使用套管, 应保持管内水位等于或稍高于地下水位, 取样位置应低于套管底三倍孔径的距离;

2 采用冲洗、冲击、振动等方式钻进时, 应在预计取样位置 1m 以上改用回转钻进;

3 下放取土器前应仔细清孔, 清除扰动土, 孔底残留浮土厚度不应大于取土器废土段长度 (活塞取土器除外);

4 采取土试样宜用快速静力连续压入法;

5 具体操作方法应按现行标准《原状土取样技术标准》(JGJ89) 执行。

**5.5.5** I、II、III 级土试样应妥善密封, 防止湿度变化, 严防曝晒或冰冻。每个土样均应填贴标签, 标签上下应与土样上下一致, 标签内容应有工程名称 (或编号)、孔号、土样编号、取样起止深度、土类名称、取样日期和取样人签名。在运输中应避免振动, 保存时间不宜超过三周。对易于振动液化和水分离析的土试样宜就近进行试验。

**5.5.6** 岩石试样的采取、保管应符合下列要求:

1 岩石试样可利用钻探岩芯制作或在探井、探槽、竖井和平洞中刻取。采取的毛样尺寸应满足试块加工的要求。在特殊情况下, 试样形状、尺寸和方向由岩体力学试验设计确定。

2 试样应填写标签, 标明上下。做密度、含水量试验的试样, 应擦干净后立即密封。

3 做磨片鉴定的岩样应标明名称、产状和结构构造；在断裂带上的岩样应注明断裂方向。

**5.5.7** 采取水试样应符合下列规定：

1 采取的水试样应有代表性，第四纪地层在取样之前宜采用干钻，不应采用乳化冲洗液钻进；

2 当混凝土或钢结构处于多层地下水中，应做好止水工作，分层采取地下水试样，分别做腐蚀性试验；

3 水的取样数量同一场地每一含水层不应少于 2 件，对建筑群不宜少于 3 件；

4 简分析水试样取 1000ml，分析侵蚀性二氧化碳的水样取 500ml，并加大理石粉 2~3g，全分析水试样取 3000ml；

5 取水容器要洗净，取样前应用水试样的水对水样瓶反复冲洗三次；

6 采取水样时应将水样瓶沉入水中预定深度缓慢将水注入瓶中，严防杂物混入，水面与瓶塞间要留 1cm 左右的空隙；

7 水样采取后要立即封好瓶口，贴好水样标签，及时送化验室；

8 水试样应及时试验，清洁水放置时间不宜超过 72h，稍受污染的水不宜超过 48h，受污染的水不宜超过 12h。

## **5.6 地球物理勘探**

**5.6.1** 岩土工程勘察中，可在下列方面采用地球物理勘探：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.5.1 条）

1 作为钻探的先行手段，了解隐蔽的地质界线、界面或异常点；

2 在钻孔之间增加地球物理勘探点，为钻探成果的内插、外推提供依据；

3 作为原位测试手段，可测定岩土体的波速、动弹性模量、动剪切模量、卓越周期、电阻率、放射性辐射参数、土对金属的腐蚀性等。

**5.6.2** 地球物理勘探包括：地震勘探、电法勘探、磁法勘探、重力勘探、放射性勘探、声学探测、红外探测、遥感探测、地球物理测井等。应根据工程需要并考虑探测对象的埋深、规模及其与周围介质的物性差异，选择有效的方法。参照《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》GB50307-1999 附录 C，地球物理勘探方法的原理特点及应用范围可按表 5.6.2 使用。

**5.6.3** 应用地球物理勘探时，应具备下列条件：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.5.2 条）

1 被探测对象与周围介质之间有明显的物理性质差异；

2 被探测对象具有一定的埋藏深度和规模，且地球物理异常有足够的强度；

3 能抑制干扰，区分有用信号和干扰信号；

4 在有代表性地段进行方法的有效性试验。

**5.6.4** 地球物理勘探成果判释时，应考虑其多解性，区分有用信息与干扰信号。需要时应采用多种方法探测，进行综合判释，并应有已知物探参数或一定数量的钻孔验证。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 9.5.4 条）



表 5.6.2

地球物理勘探方法的原理特点及应用范围

方法名称		基本原理	特    点	应    用    范    围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电     法	自然 电 场 法	利用在一定水文地质环境下,地下自行产生的电流场解决某些地质问题	不需人工供电,装置简单、工作效率高,成本低,能用于测定地下水流向、地下水与地表水之间的补给关系和裂隙带的发育情况			+				+			
	充 电 法	利用天然的或人工揭露的良好导体露头,进行充电,测量充电电场的变化情况,解决某些地质问题	对地下良导体目标物充电,增强了目标物引起异常,探测精度高,能用于测定地下水流速、流向,滑坡体的滑动方向和滑动速度,追索岩溶暗河的位置				+			++		+	++
	电 阻 率 测 深	在地面上的每一测点上,用改变供电电极距的办法控制不同的勘探深度,测定地下介质在垂直方向上的电阻率变化	可探测地下介质在垂直方向上的电阻率变化,解决许多地质问题,并可进行层状介质的定量解释	++	+	+	+	+	+			+	
	电 阻 率 剖 面 法	用固定极距的电极排列,沿剖面线逐点测量视电阻率,用于了解一定勘探深度范围内岩性沿测线水平方向的电阻率变化	装置灵活多变,可探测地下介质在水平方向的变化规律,特别是利用联合剖面装置确定断层破碎带的位置,精确度较高	+		++	+					+	
	高 密 度 电 阻 率 法	利用一组排列密集的电极,通过开关组合成一系列电极装置进行视电阻率测量,在一条剖面线上同时获得一组多种不同装置的视电阻率曲线	一次测量可以获得多种不同装置的视电阻率曲线,便于综合解释,提高解释的可靠性和精确度,提高工作效率	++	+	++	+	+	+			+	

续表

方法名称		基本原理	特    点	应    用    范    围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电	激 发 极 化 法	利用在一次场激发下,由于地质体的激发极化感应,研究二次场衰减特性来解决某些地质问题	用一定的电极装置,在测定视电阻率的同时,测定激发极化场衰减特性,用以区分地层的含水特性			+	+	+	++			+	
	甚 低 频	利用甚低频无线电发射台的电磁场在地质体或目标物中感应产生的电流所引起的电磁场来解决地质问题或探测目标物	方法简便,成本低,效率高,但精度低,受干扰大,其信号强度与无线电台与地质体的相对方向有关			+						+	+
	频 率 测 深	通过发射线圈或接地电极向地下发射不同频率的交变电磁场,在地面上测量相应二次场的频率特性,解决地下介质在不同深度上的变化规律	装置轻便,灵活多变,工作效率高,只要通过改变发射电磁场的频率就可得到不同深度地下介质的电性变化	+	+	+	+	++			+	+	+
	电 磁 感 应 法	利用发射线圈或接地电极向地下发射一定频率的交变电磁场,用接收线圈接收由地质体或目标物引起的二次场来解决地质问题或探测金属目标物	装置轻便、灵活,工作效率高,对于探测地下良导地质体或金属目标物有显著的优点	+		+	+					+	++
法	地 质 雷 达	利用高频电磁波(主频几十兆赫至几百兆赫),以宽频带短脉冲形式,由地面通过天线发送入地下,经地下地质体或目标物反射后返回	仪器设备轻便,适应性强,可沿剖面线连续测量,工作效率高,抗干扰能力强,可在城市内各种噪音环境下工作,具有较高的探测深度和分辨率,现场直接提供实	++	+	++	++	+	+		+	++	+

续表

方法名称		基本原理	特    点	应    用    范    围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电 磁 法	地质 雷达	地面,用另一天线接收,用于探测地质体或目标物	测剖面记录图,图像清晰直观	++	+	++	++	+	+		+	++	+
	地下 电磁 波法	将发射线圈和接收线圈分别安置在不同钻孔或坑道的不同深度位置上,利用电磁波在地下介质中的辐射、传播、散射特性,探测目标物的空间位置	可利用发射线圈和接收线圈在个钻孔或坑道的不同空间位置,探测地下复杂形状目标物的空间形态,具有较高的准确度和分辨率			+	++					++	+
地 震 波 法 和 声 波 法	折 射 波 法	利用入射波以临界角射到下层介质波速大于上层介质波速的界面时,产生沿界面的滑行波,并以折射波的形式返回地面根据地面接收到的折射波时距曲线,求得地下界面的埋藏深度和波速等参数	受浅部干扰小,工作方法较简便,可以通过叠加技术增强信号,提高信噪比,勘探成本较低,解释精度较高,但在盲区或具有软弱夹层时,不能接收到折射波	++	+			++	+		+		
	反 射 波 法	利用入射波在不同波阻抗的界面上产生反射,在地面上接收反射波,用于探测反射界面的埋藏深度和起伏变化	通过多次覆盖和数字处理技术,可取得时间剖面,图像清晰直观,探测精度高,特别是横波反射法分辨率高	++	++	+	+	++	+		+	+	+
	直 达 波 法	利用单孔或跨孔,直接测量纵波和横波在地层中的传播速度	测定地层的横波和纵波波速,精度高,并可利用波速资料计算不同深度地层的弹性参数		++			+					
	瑞 雷 波 法	通过稳态或瞬态人工激震,产生不同频率的地震波,在震源附近埋	对场地要求低,可在狭窄的场地测量,抗交流电干扰和微振干扰的能力强,适用	+	+	+	++	+				++	+

续表

方法名称		基本原理	特    点	应    用    范    围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
地震波法和声波法	瑞雷波法	设两个检波器,测定相应不同频率瑞雷波到达的时间差,求得不同深度的瑞雷波速	于城市勘测,尤其对空洞和地下隐埋物体反应敏感	+	+	+	++	+				++	+
	声波法	利用发射机发射声波或超声波信号(频率一般1000Hz~10MHz),通过岩石传播、吸收、衰减,由接收机接收,测出岩石的声波波速	分辨率高,可对几十米,几米,甚至几厘米范围内的岩体进行测定,利用波速推算其物理力学性质或小构造的特征	+	++	++	+	+				+	+
	声纳浅层剖面法	利用电声换能器将电能转变为声能以声脉冲的形式向水下传播,当声脉冲遇到水下声阻抗界面时,被反射回来,用水听器接收,将声能转变为电信号,经信号处理,计算出地下声阻抗界面的空间位置	适用于水上工作,探测水深和泥沙沉积的厚度和水下隐埋物								++	++	
磁法勘探		利用地质体或目标物与周围介质之间的磁性差异,测量磁场强度或磁场梯度变化	仪器轻便,工作效率高;对铁磁性物体敏感,适用于探测地下铁磁性隐埋物体									++	+
放射性勘探		利用岩石的天然或人工放射性,通过地面 $\gamma$ 测量、射气测量、 $\alpha$ 径迹测量以及 $\alpha$ 卡等方法来解决地质问题	方法简单,轻便,成本低,工作效率高,不受地形因素的干扰,适用于探测断层或构造裂隙带位置		++	+	+					+	

续表

[illegible]

注：1 “应用”分为10类，用阿拉伯数字代表的意义如下：

- 1—测定覆盖层的厚度及基岩的起伏形态;
- 2—测定基岩的风化程度及风化层厚度的变化;
- 3—探测隐伏断层、裂隙破碎带的位置、宽度及延伸方向;
- 4—探测岩溶及地下洞穴的位置、埋深和大小;
- 5—划分松散沉积地层的层序;
- 6—测定潜水面的深度和地下含水层的分布;
- 7—测定地下水的流速、流向;
- 8—探测河床水深及沉积泥沙厚度的变化;
- 9—探测地下或水下隐埋物体的位置;
- 10—探测地下管线的位置、性质及埋深。

2 表中“++”代表应用广泛,效果较好;“+”代表在一定条件下可以应用或效果一般。

## 6 原位测试

### 6.1 基本规定

**6.1.1** 原位测试方法应根据岩土条件、设计对参数的需要、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定。原位测试的试验项目、测定参数、主要试验目的可参照表 6.1.1 的规定。

**表 6.1.1 原位测试的试验项目、测定参数和试验目的**

试验项目	测定参数	主要试验目的
载荷试验 (平板、螺旋板)	比例界限压力 $p_0$ (kPa)、极限压力 $p_u$ (kPa) 和压力与变形关系	1 评定岩土承载力; 2 估算土的变形模量
标准贯入试验	标准贯入击数 $N$ (击)	1 判别土层均匀性、软硬程度; 2 判别地基液化可能性及等级; 3 估算砂土密度、承载力及压缩模量; 4 选择桩基持力层、估算单桩承载力; 5 判断沉桩的可能性
动力触探试验	动力触探击数 $N_{10}$ 、 $N_{63.5}$ 、 $N_{120}$ (击) 或动贯入阻力 $q_d$	1 判别土层均匀性和划分地层; 2 估算地基土承载力和压缩模量; 3 选择桩基持力层、估算单桩承载力
静力触探试验	单桥比贯入阻力 $p_s$ (MPa), 双桥锥尖阻力 $q_c$ (MPa)、侧壁摩阻力 $f_s$ (kPa)、摩阻比 $R_f$ (%), 孔压静力触探的孔隙水压力 $u$ (kPa)	1 判别土层均匀性、软硬程度; 2 选择桩基持力层、估算单桩承载力; 3 估算地基土承载力和压缩模量; 4 判断沉桩可能性; 5 判别地基土液化可能性及等级
十字板剪切试验	不排水抗剪强度峰值 $c_u$ (kPa) 和残余值 $c'_u$ (kPa)	1 测求饱和粘土的不排水抗剪强度和灵敏度; 2 估算地基土承载力和单桩承载力; 3 计算边坡稳定性; 4 判断软粘性土的应力历史
旁压试验	初始压力 $p_0$ (kPa)、临塑压力 $p_f$ (kPa)、极限压力 $p_L$ (kPa) 和旁压模量 $E_m$ (kPa)	1 测求地基土的临塑荷载和极限荷载强度, 从而估算地基土的承载力; 2 测求地基土的变形模量, 从而估算沉降量; 3 估算桩基承载力; 4 计算土的侧向基床系数; 5 自钻式旁压试验可确定土的原位水平应力和静止侧压力系数
扁铲侧胀试验	侧胀模量 $E_D$ (kPa)、侧胀土性指数 $I_D$ 、侧胀水平应力指数 $K_D$ 和侧胀孔压指数 $U_D$	1 划分土层和区分土类; 2 计算土的侧向基床系数; 3 判别地基土液化可能性
现场直接剪切试验	岩体的摩擦角 $\varphi_p$ ( $^\circ$ )、残余摩擦角 $\varphi_R$ ( $^\circ$ )、粘聚力 $c$ (kPa)	1 确定岩体抗剪强度; 2 计算岩质边坡的稳定性
基床系数试验	地基基床系数 $K_s$ ( $\text{kN/m}^3$ )	测求弹性地基文克尔基床系数

续表

试验项目	测 定 参 数	主 要 试 验 目 的
波速测试	压缩波速 $v_p$ (m/s)、剪切波速 $v_s$ (m/s)	1 划分场地类别; 2 提供地震反应分析所需的场地土动力参数; 3 评价岩体完整性; 4 估算场地卓越周期
岩体原位应力测试	岩体空间应力、平面应力	1 岩体应力与应变关系; 2 测求岩石弹性常数

**6.1.2** 原位测试成果应与原型试验、工程经验等结合使用，并应进行综合分析。对重要的工程或缺乏使用经验的地区，应与工程反算参数作对比，检验其可靠性。

**6.1.3** 原位测试的仪器设备应定期检验和标定。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.1.3 条）

**6.1.4** 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，结合地层条件，剔除异常数据。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.1.4 条）

## 6.2 载荷试验

**6.2.1** 载荷试验可分为平板载荷试验和螺旋板载荷试验两种。平板载荷试验可用于各类土、软质岩和风化岩。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埋深等于或大于 3m 和地下水位以上的地基土；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。

**6.2.2** 平板载荷试验宜布置在基础底面标高处，测定在其影响深度范围内岩土体的承载能力和变形特性。试验点应具代表性，每个场地同一持力层不宜少于 3 个点，当场地内岩土体不均时应适当增加。试验时应注意岩土体的均匀性，当在承压板影响深度范围内（2 倍承压板直径或宽度）地层有变化时，宜进行分层试验。

**6.2.3** 载荷试验的设备组成和主要技术参数应符合表 6.2.3 的规定。

**表 6.2.3 载荷试验设备组成和主要技术参数**

类 型	设 备 组 成	主 要 技 术 参 数
平板载荷试验	刚性承压板、加卸荷装置、量测荷载及沉降的仪器等	<p>1 刚性承压板的面积根据土的软硬或岩体裂隙密度选用合适的尺寸，土的浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 <math>0.25\text{m}^2</math>，对软土和粒径较大的填土不应小于 <math>0.5\text{m}^2</math>；土的深层平板载荷试验承压板面积宜选用 <math>0.5\text{m}^2</math>；岩石载荷试验承压板的面积不宜小于 <math>0.07\text{m}^2</math>；</p> <p>2 加卸荷使用的千斤顶的额定量程不应小于预计极限荷载的 1.4 倍；重物堆载时，其重量应大于预计极限荷载的 1.2 倍；地锚反力装置时，其地锚反力总和应大于预计极限荷载的 1.5 倍；</p> <p>3 荷载量测精度不应低于最大荷载的 <math>\pm 1\%</math>；观测沉降的百分表或位移传感器，全量程不宜小于 50mm，检测误差不得大于 0.01mm。</p>

续表

类 型	设 备 组 成	主 要 技 术 参 数
螺旋板 载荷试验	室内标定系统、加荷系统、反力系统、测力系统、沉降观测系统	1 螺旋板的规格：I 型 $b=(160\pm1)\text{ mm}$ ，II 型 $b=(252^{+2}_{-1})\text{ mm}$ ； 2 板头传感器精度：板头传感器的非线性误差、重复性误差、滞后误差和归零误差均应小于 $0.5\%\text{FS}$ ；防水性能：静水压力为 $200\text{ kPa}$ 时，在 $150\text{ h}$ 内板头桥路绝缘电阻应大于 $300\text{ M}\Omega$ ； 3 测试仪器：应能在 $-10^{\circ}\text{C}\sim45^{\circ}\text{C}$ 的环境中正常工作，预热后其时漂应小于 $0.1\%\text{Fs/h}$ ，温漂应小于 $0.01\%\text{FS/C}$ ；有效最小分度值小于 $0.06\%\text{FS}$ 。位移传感器：量程 $3000\mu\text{e}$ ，全程综合误差小于 $4\mu\text{e}$

6.2.4 载荷试验的技术要求应符合下列规定：

- 1 浅层平板载荷试验的试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的三倍；深层平板载荷试验的试井直径应等于承压板直径；当试井直径大于承压板直径时，紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径；（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.2.3 条第 1 款）
- 2 试坑或试井底的岩土应避免扰动，保持其原状结构和天然湿度，并在承压板下铺设不超过  $20\text{ mm}$  的砂垫层找平，尽快安装试验设备；螺旋板头入土时，应按每转一圈下入一个螺距进行操作，减少对土的扰动；（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.2.3 条第 2 款）
- 3 载荷试验加荷方式应采用分级维持荷载沉降相对稳定法（常规慢速法）；有地区经验时，可采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）或等沉降速率法；加荷等级宜取  $10\sim12$  级，并不应少于 8 级；当极限荷载不易估计时，可按表 6.2.4 取值。

表 6.2.4 荷载增量取值

试 验 土 层 及 特 性	每级荷载增量（kPa）
淤泥、流塑粘性土、松散砂土	$<15$
软塑粘性土、新近沉积黄土、稍密砂土、粉土	$15\sim25$
可塑～硬塑粘性土、新黄土（ $Q_4$ ）中密砂土	$25\sim50$
坚硬粘性土、老黄土、新黄土（ $Q_3$ ）密实砂土	$50\sim100$
碎石土、软岩及风化岩	$100\sim200$

- 4 对慢速法，当试验对象为土体时，每级荷载施加后，间隔  $5\text{ min}$ 、 $5\text{ min}$ 、 $10\text{ min}$ 、 $10\text{ min}$ 、 $15\text{ min}$ 、 $15\text{ min}$  测读一次沉降，以后间隔  $30\text{ min}$  测读一次沉降，当连续两小时每小时沉降量小于等于  $0.1\text{ mm}$  时，可认为沉降已达相对稳定标准，施加下一级荷载；当试验对象是岩体时，间隔  $1\text{ min}$ 、 $2\text{ min}$ 、 $2\text{ min}$ 、 $5\text{ min}$  测读一次沉降，以后每隔  $10\text{ min}$  测读一次，当连续三次读数差小于等于  $0.01\text{ mm}$  时，可认为沉降已达相对稳定标准，施加下一级荷载；（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 10.2.3 条第 6 款）
- 5 当出现下列情况之一时，可终止试验：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.2.3 条第 7 款）
- 1) 承压板周边的土出现明显侧向挤出，周边岩土出现明显隆起或径向裂缝持续发展；
- 2) 本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍，荷载与沉降曲线出现明显陡降；



- 3) 在某级荷载下 24 小时沉降速率不能达到相对稳定标准;
- 4) 总沉降量与承压板直径 (或宽度) 之比超过 0.06。
- 6.2.5 资料整理与计算:**
- 1 根据载荷试验成果分析要求, 应绘制荷载 ( $p$ ) 与沉降 ( $s$ ) 曲线, 必要时绘制各级荷载下沉降 ( $s$ ) 与时间 ( $t$ ) 或时间对数 ( $\lg t$ ) 曲线。应根据  $p$ - $s$  曲线拐点, 必要时结合  $s$ - $\lg t$  曲线特征, 确定比例界限压力和极限压力;
- 2 当  $p$ - $s$  曲线呈缓变曲线时, 可按表 6.2.5-1 取对应于某一相对沉降值 (即  $s/d$  或  $s/b$ ,  $d$  和  $b$  为承压板直径和宽度) 的压力评定地基土承载力特征值, 但其值不应大于最大加载量的一半。

**表 6.2.5-1 各类土的相对沉降值 ( $s/d$  或  $s/b$ )**

土名	粘性土					粉土			砂土			
状态	流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬	稍密	中密	密实	松散	稍密	中密	密实
$s/d$ 或 $s/b$	0.020	0.016	0.014	0.012	0.010	0.020	0.015	0.010	0.020	0.016	0.012	0.008

注: 对于软~极软的软质岩、强风化~全风化的风化岩, 应根据工程的重要性和地基的复杂程度取  $s/d$  或  $s/b=0.001\sim 0.002$  所对应的压力为地基土承载力特征值。

3 土的变形模量应根据  $p$ - $s$  曲线的初始直线段, 可按均质各向同性半无限弹性介质的弹性理论计算。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.2.5 条)

浅层平板载荷试验的变形模量  $E_0$  (MPa), 可按式 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 式 (10.2.5-1)) 计算:

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pd}{s} \quad (6.2.5-1)$$

深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验的变形模量  $E_0$  (MPa), 可按式 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 式 (10.2.5-2)) 计算:

$$E_0 = \omega \frac{pd}{s} \quad (6.2.5-2)$$

式中  $I_0$  ——刚性承压板的形状系数, 圆形承压板取 0.785; 方形承压板取 0.886;

$\mu$  ——土的泊松比 (碎石土取 0.27, 砂土取 0.30, 粉土取 0.35, 粉质粘土取 0.38, 粘土取 0.42);

$d$  ——承压板直径或边长 (m);

$p$  —— $p$ - $s$  曲线线性段的压力 (kPa);

$s$  ——与  $p$  对应的沉降 (mm);

$\omega$  ——与试验深度和土类有关的系数, 可按表 6.2.5-2 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 10.2.5) 选用。

**表 6.2.5-2 深层载荷试验计算系数  $\omega$**

土类 $d/z$	碎石土	砂土	粉土	粉质粘土	粘土
0.30	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
0.25	0.469	0.480	0.482	0.506	0.514
0.20	0.460	0.471	0.474	0.497	0.505
0.15	0.444	0.454	0.457	0.479	0.487

续表

土类 $d/z$	碎石土	砂土	粉土	粉质粘土	粘土
0.10	0.435	0.446	0.448	0.470	0.478
0.05	0.427	0.437	0.439	0.461	0.468
0.01	0.418	0.429	0.431	0.452	0.459

注： $d/z$  为承压板直径和承压板底面深度之比。**6.2.6 确定地基土承载力应符合下列规定：**

- 1 同一土层参加统计的试验点数不应少于 3 个；
- 2 试验点的地基土承载力的极差不大于其平均值 30% 时，可取平均值作为其设计使用值；当极差大于其平均值 30% 时，应查找、分析出现异常值原因，并按粗差剔除准则补充试验和剔除异常值。

**6.2.7 岩石地基承载力的确定应符合下列规定：**

- 1 对应于  $p-s$  曲线上起始直线段的终点为比例界限。符合终止加载条件的前一级荷载为极限荷载。将极限荷载除以 3 的安全系数，所得值与对应于比例界限的荷载相比较，取小值；
- 2 每个场地载荷试验的数量不应少于 3 个，取最小值作为岩石地基承载力特征值；
- 3 岩石地基承载力不进行深宽修正。

**6.3 标准贯入试验**

**6.3.1** 标准贯入试验适用于砂土、粉土和一般粘性土。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.5.1 条）

**6.3.2** 标准贯入试验间距一般为 1~3m，每一建筑场地的孔数不宜少于 3 个；判别地基液化时，宜采用泥浆护壁钻进，试验点间距宜 1.0~1.5m。

**6.3.3** 标准贯入试验的设备应符合表 6.3.3（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 10.5.2）的规定。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.5.2 条）

**表 6.3.3 标准贯入试验设备规格**

落        锤		锤的质量（kg）	63.5
		落距（cm）	76
贯 入 器	对  开  管	长度（mm）	>500
		外径（mm）	51
		内径（mm）	35
	管        靴	长度（mm）	50～76
		刃口角度（°）	18～20
		刃口单刃厚度（mm）	2.5
钻        杆		直径（mm）	42
		相对弯曲	<1/1000

**6.3.4** 标准贯入试验的技术要求应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.5.3 条）

1 标准贯入试验孔采用回转钻进，并保持孔内水位略高于地下水位。当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁，钻至试验标高以上 15cm 处，清除孔底残土后再进行试验；

2 采用自动脱钩的自由落锤法进行锤击，并减小导向杆与锤间的摩阻力，避免锤击时的偏心和侧向晃动，保持贯入器、探杆、导向杆联接后的垂直度，锤击速率应小于 30 击/min；

3 贯入器打入土中 15cm 后，开始记录每打入 10cm 的锤击数，累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入试验锤击数  $N$ 。当锤击数已达 50 击，而贯入深度未达 30cm 时，可记录 50 击的实际贯入深度，按下式（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 式（10.5.3））换算成相当于 30cm 的标准贯入试验锤击数  $N$ ，并终止试验。

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \tag{6.3.4}$$

式中  $\Delta S$ —— 50 击时的贯入度（cm）。

6.3.5 资料整理与计算：

1 标准贯入试验成果  $N$  可直接标在工程地质剖面图上，也可绘制单孔标准贯入击数  $N$  与深度关系曲线或直方图。统计分层标贯击数平均值时，应剔除异常值。应用  $N$  值时是否修正和如何修正，应根据建立统计关系时的具体情况确定。

2 砂土的密实程度和粘性土的状态可按表 6.3.5-1 和 6.3.5-2 划分。

表 6.3.5-1 砂土的相对密实度划分

$N$ （击/30cm）	$\leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$> 30$
$D_r$ 值	$< 0.33$	$0.33 < D_r \leq 0.40$	$0.40 < D_r < 0.67$	$\geq 0.67$
密实程度	松 散	稍 密	中 密	密 实

注：  $N$  为实测值。

表 6.3.5-2 粘性土的状态划分

$N$ （击/30cm）	$\leq 2$	$2 < N \leq 4$	$4 < N \leq 8$	$8 < N \leq 30$	$> 30$
液性指数 $I_L$	$I_L > 1$	$0.75 < I_L \leq 1$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0 < I_L \leq 0.25$	$I_L \leq 0$
状 态	流 塑	软 塑	可 塑	硬 塑	坚 硬

注：  $N$  为实测值。

6.4 圆锥动力触探试验

6.4.1 轻型圆锥动力触探试验可用于浅部的填土、砂土、粉土和粘性土；重型圆锥动力触探试验可用于砂土、中密以下的碎石土、极软岩等；超重型圆锥动力触探试验可用于密实和很密实的碎石土、软岩、极软岩等。

6.4.2 动力触探划分土层时，应与其他勘探测试手段相结合；确定地基承载力或变形模量时，动力触探孔数应根据场地大小、建筑物等级及土层均匀程度综合考虑，但同一场地应不少于 3 孔。

6.4.3 圆锥动力触探试验的类型可分为轻型、重型和超重型三种，其规格和适用土类应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3

圆锥动力触探试验类型

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 (°)	60	60	60
探杆直径 (mm)		25	42	50~60
指 标		贯入 30cm 的读数 $N_{10}$	贯入 10cm 的读数 $N_{63.5}$	贯入 10cm 的读数 $N_{120}$
主要适用岩土		浅部的填土、砂土、 粉土、粘性土	砂土、中密以下的碎 石土、极软岩	密实和很密的碎石 土、软岩、极软岩

**6.4.4** 圆锥动力触探试验的技术要求应符合下列规定: (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.4.2 条)

- 1 采用自动落锤装置;
- 2 触探杆最大偏斜度不应超过 2%, 锤击贯入应连续进行; 同时防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动, 保持探杆垂直度; 锤击速率每分钟宜为 15~30 击;
- 3 每贯入 1m, 宜将探杆转动一圈半; 当贯入深度超过 10m, 每贯入 20cm 宜转动探杆一次;
- 4 对轻型动力触探, 当  $N_{10} > 100$  或贯入 15cm 锤击数超过 50 时, 可停止试验; 对重型动力触探, 当连续三次  $N_{63.5} > 50$  时, 可停止试验或改用超重型动力触探。

**6.4.5** 圆锥动力触探试验成果分析应包括下列内容: (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.4.3 条)

- 1 单孔连续圆锥动力触探试验应绘制锤击数与贯入深度关系曲线;
- 2 计算单孔分层贯入指标平均值时, 应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值;
- 3 根据各孔分层的贯入指标平均值, 用厚度加权平均法计算场地分层贯入指标平均值和变异系数。

## 6.5 静力触探试验

**6.5.1** 静力触探试验适用于软土、一般粘性土、粉土、砂土和含少量碎石的土。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, 可测定比贯入阻力 ( $p_s$ )、锥尖阻力 ( $q_c$ )、侧壁摩阻力 ( $f_s$ ) 和贯入时的孔隙水压力 ( $u$ )。 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.3.1 条)

**6.5.2** 当贯入深度超过 30m, 或穿过厚层软土后再贯入硬土层或密实砂层时, 宜采用导向管或测定孔斜的措施; 水上触探应有保证孔位不致发生移动的稳定措施, 水底以上部位应加设防止探杆挠曲的装置。触探孔位附近已有其他勘探孔时, 应将触探孔布置在距原勘探孔 30 倍探头直径以外的范围。

**6.5.3** 静力触探设备应包括探头标定设备和触探设备, 其设备应符合下列规定:

- 1 探头圆锥锥底截面积应采用  $10\text{cm}^2$  或  $15\text{cm}^2$ , 单桥探头侧壁高度应分别采用 57mm 或 70mm, 双桥探头侧壁面积应采用  $150\sim 300\text{cm}^2$ , 锥尖锥角应为 60 度;
- 2 探头应匀速垂直压入土中, 贯入速率为 1.2m/min;

3 探头测力传感器应连同仪器、电缆进行定期标定,室内探头标定测力传感器的非线性误差、重复性误差、滞后误差、温度漂移、归零误差均应小于 1%FS,现场试验归零误差应小于 3%,绝缘电阻不小于 500MΩ;

4 深度记录的误差不应大于触探深度的±1%。

#### 6.5.4 试验要点:

1 安放触探机的地面应平整;

2 使用的反力措施应保证静力触探头达到预定深度;

3 检查使用的探头是否符合规定;核对探头标定记录,调零试压;

4 当贯入深度较大时,应采取措施防止孔斜或断杆,也可配置测斜探头,量测触探孔的偏斜角,校正土层界线的深度;

5 孔压探头在贯入前,应在室内保证探头应变腔为已排除气泡的液体所饱和,并在现场采取措施保持探头的饱和状态,直至探头进入地下水位以下的土层为止;在孔压静探试验过程中不得上提探头;

6 当在预定深度进行孔压消散试验时,应量测停止贯入后不同时间的孔压值,其计时间隔由密而疏合理控制;试验过程不得松动探杆。

6.5.5 静力触探试验成果分析应包括下列内容:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.3.3 条)

1 绘制各种贯入曲线:单桥和双桥探头应绘制  $p_s$ - $z$  曲线、 $q_c$ - $z$  曲线、 $f_s$ - $z$  曲线、 $R_f$ - $z$  曲线;孔压探头尚应绘制  $u_i$ - $z$  曲线、 $q_t$ - $z$  曲线、 $f_t$ - $z$  曲线、 $B_q$ - $z$  曲线和孔压消散曲线:  $u_t$ - $\lg t$  曲线;其中  $R_f$  —— 摩阻比;

$u_i$  —— 孔压探头贯入土中量测的孔隙水压力(即初始孔压);

$q_t$  —— 真锥头阻力(经孔压修正);

$f_t$  —— 真侧壁摩阻力(经孔压修正);

$B_q$  —— 静探孔压系数,

$u_t$  —— 孔压消散过程时刻  $t$  的孔隙水压力。

2 根据贯入曲线的线型特征,结合相邻钻孔资料和地区经验,划分土层和判定土类;计算各土层静力触探有关试验数据的平均值,或对数据进行统计分析,提供静力触探数据的空间变化规律。

## 6.6 十字板剪切试验

6.6.1 十字板剪切试验可用于测定饱和软粘性土( $\varphi \approx 0$ )的不排水抗剪强度和灵敏度。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.6.1 条)

6.6.2 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粘性土,宜先作静力触探,结合土层变化,选择软粘土进行试验(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.6.2 条)。

6.6.3 十字板剪切试验设备由十字板头、试验仪器(包括测力计及其配套用的仪表与器械)、试验用探杆、贯入主机组成。

1 试验仪器可采用下列两种形式:

1) 电测式十字板剪切仪,包括静力触探和十字板试验两用仪,其十字板头可通过扭力传感器与探杆相联接。

2) 机械式十字板剪切仪,其十字板头可通过牙嵌式或离合式离合器与探杆相联接。

2 十字板头宜采用不锈钢整体铸造,其规格应符合表 6.6.3 的规定。且板面粗糙度不

得大于  $6.3\mu\text{m}$ 。

**表 6.6.3 十字板头规格**

型号	板高 (mm)	板宽 (mm)	板厚 (mm)	板下端 刃角 (°)	轴 杆		高宽比	厚宽比	面积比 (%)
					直径 (mm)	长度 (mm)			
I	100	50	2	60	13	50	2	0.04	$\leq 14$
II	150	75	3	60	16	50	2	0.04	$\leq 13$

**3** 电测式十字板剪切仪的扭力传感器应采用电阻应变式，并应符合下列规定：

- 1) 在额定荷载下，检测总误差不应大于 3%FS，其中非线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS；
- 2) 传感器出厂时的对地绝缘电阻不应小于  $500\text{M}\Omega$ ；在  $300\text{kPa}$  水压下恒压 1h 后，绝缘电阻应大于  $300\text{M}\Omega$ ；
- 3) 用于现场试验的传感器，其对地绝缘电阻不得小于  $20\text{M}\Omega$ ；
- 4) 传感器护套外径不宜大于  $20\text{mm}$ 。

**4** 钢环式测力计、量表和刻度盘的检测误差应小于 1%FS。

**6.6.4 试验要点：**

- 1 十字板头插入钻孔底的深度不应小于钻孔或套管直径的 3~5 倍；
- 2 十字板插入至试验深度后，至少应静止 2~3min，方可开始试验；
- 3 扭转剪切速率宜采用(1 度~2 度)/10s，并应在测得峰值强度后继续测记 1min；
- 4 在峰值强度或稳定值测试完后，顺扭转方向连续转动 6 圈后，测定重塑土的不排水抗剪强度；
- 5 对开口钢环十字板剪切仪，应修正轴杆与土间的摩阻力的影响。

**6.6.5** 十字板剪切试验的成果分析应包括下列内容：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.6.4 条）

- 1 计算各试验点土的不排水抗剪峰值强度、残余强度、重塑土强度和灵敏度；
- 2 绘制单孔十字板剪切试验土的不排水抗剪峰值强度、残余强度、重塑土强度和灵敏度随深度的变化曲线，需要时绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线；
- 3 根据土层条件和地区经验，对实测的十字板不排水抗剪强度进行修正。

## 6.7 旁压试验

**6.7.1** 旁压试验适用于粘性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩和软岩等。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.7.1 条）

**6.7.2** 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土层内。试验点的垂直间距应根据地层条件和工程要求确定，但不宜小于 1m，试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1m。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.7.2 条）

**6.7.3** 旁压仪设备分低压型和高压型两类，由旁压器、加压稳定装置、变形量测系统、导管和水箱组成。

- 1 旁压器结构形式为单腔或三腔式圆筒形；
- 2 加压稳定装置包括压力源、压力表、调压阀等。压力表最小分度值应不大于满量程的 1%；

3 变形量测系统包括测管和辅管，测管水位刻度最小分度值应不大于 1mm；量测体积变化刻度的最小分度值应不大于 0.5cm<sup>3</sup>；

4 导管分多根单管和同轴导管两种，导管两端接头应密封。

#### 6.7.4 试验要点：

1 预钻式旁压试验应保证成孔质量，钻孔直径与旁压器直径应良好配合，防止孔壁坍塌；自钻式旁压试验的自钻钻头、钻头转速、钻进速率、刃口距离、泥浆压力和流量等应符合有关规定；

2 加荷等级可采用预期临塑压力的 1/5~1/7 或极限压力的 1/10~1/12，如不易预估临塑压力或极限压力时，可按表 6.7.4 确定加载增量。初始阶段加荷等级可取小值，必要时，可作卸荷再加荷试验，测定再加荷旁压模量；

**表 6.7.4 试验加载增量**

土 性 特 征	加载增量 (kPa)
淤泥、淤泥质土、流塑粘性土、松散的粉土及砂土	≤15
软塑粘性土、新黄土、稍密的粉土及砂土	15~25
可塑~硬塑粘性土、一般黄土、中密的粉土及砂土	25~50
坚硬粘性土、老黄土、密实的粉土及砂土	50~150
软质岩、风化岩	100~600

注：为确定  $p-V$  曲线上直线段起点对应的压力  $p_0$ ，开始的 1~2 级加载增量宜减半施加。

3 每级压力应保持相对稳定的观测时间，对粘性土、砂土宜为 2min，对软质岩石和风化岩宜为 1min。维持 1min 时，加荷后 15s、30s、60s 测读变形量；维持 3min 时，加荷后 15s、30s、60s、120s 测读变形量；

4 当量测腔的扩张体积相当于量测腔的固有体积时，或压力达到仪器的容许最大压力时，应终止试验。

#### 6.7.5 旁压试验成果分析应包括下列内容：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.7.4 条）

1 对各级压力和相应的扩张体积（或换算为半径增量）分别进行约束力和体积的修正后，绘制压力与体积曲线，需要时可作蠕变曲线；

2 根据压力与体积曲线，结合蠕变曲线确定初始压力、临塑压力和极限压力；

3 根据压力与体积曲线的直线段斜率，按下式（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 式（10.7.4））计算旁压模量：

$$E_m = 2(1 + \mu) \left( V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (6.7.5)$$

式中  $E_m$  —— 旁压模量 (kPa)；

$\mu$  —— 泊松比（碎石土取 0.27，砂土取 0.30，粉土取 0.35，粉质粘土取 0.38，粘土取 0.42）；

$V_c$  —— 旁压器量测腔初始固有体积 (cm<sup>3</sup>)；

$V_0$  —— 与初始压力  $p_0$  对应的体积 (cm<sup>3</sup>)；

$V_f$  —— 与临塑压力  $p_f$  对应的体积 (cm<sup>3</sup>)；

$\Delta p / \Delta V$  —— 旁压曲线直线段的斜率 (kPa/cm<sup>3</sup>)。

## 6.8 扁铲侧胀试验

- 6.8.1** 扁铲侧胀试验适用于软土、一般粘性土、粉土、黄土和松散~中密的砂土。
- 6.8.2** 扁铲侧胀试验应布置在有代表性的地点进行,每个场地不宜少于3孔,测试点间距一般为0.2~0.5m。
- 6.8.3** 扁铲侧胀试验设备包括测量系统、贯入系统和压力系统。测量系统应包括侧胀板头、气电路和控制装置。贯入系统包括主机、探杆(或钻杆)和附属工具。扁铲侧胀试验探头长230~240mm、宽94~96mm、厚14~16mm、探头前缘刃角12度~16度,探头侧面钢膜片的直径60mm。
- 6.8.4** 试验要点:
- 1 每孔试验前后均应进行探头率定,取试验前后的平均值为修正值;膜片的合格标准为:  
率定时膨胀至0.05mm的气压实测值  $\Delta A=5\sim 25\text{kPa}$ ;  
率定时膨胀至1.10mm的气压实测值  $\Delta B=10\sim 110\text{kPa}$ ;
  - 2 试验时,应以静力匀速将探头贯入土中,贯入速率宜为2cm/s;
  - 3 探头达到预定深度后,应匀速加压和减压测定膜片膨胀至0.05mm、1.10mm和回到0.05mm的压力A、B、C值;
  - 4 扁铲侧胀消散试验,应在需测试的深度进行,测读时间间隔可取1min、2min、4min、8min、15min、30min、90min,以后每90min测读一次,直至消散结束。
- 6.8.5** 扁铲侧胀试验成果分析应包括下列内容: (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第10.8.3条)

- 1 对试验的实测数据进行膜片刚度修正:

$$p_0 = 1.05(A - z_m + \Delta A) - 0.05(B - z_m - \Delta B) \quad (6.8.5-1)$$

$$p_1 = B - z_m - \Delta B \quad (6.8.5-2)$$

$$p_2 = C - z_m + \Delta A \quad (6.8.5-3)$$

式中  $p_0$ ——膜片向土中膨胀之前的接触压力(kPa);

$p_1$ ——膜片膨胀至1.10mm时的压力(kPa);

$p_2$ ——膜片回到0.05mm时的终止压力(kPa);

$z_m$ ——调零前的压力表初读数(kPa);

- 2 根据  $p_0$ 、 $p_1$  和  $p_2$  计算下列指标:

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (6.8.5-4)$$

$$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma_{v0} \quad (6.8.5-5)$$

$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0) \quad (6.8.5-6)$$

$$U_D = (p_2 - u_0) / (p_0 - u_0) \quad (6.8.5-7)$$

式中  $E_D$ ——侧胀模量(kPa);

$K_D$ ——侧胀水平应力指数;

$I_D$ ——侧胀土性指数;

$U_D$ ——侧胀孔压指数;

$u_0$ ——试验深度处的静水压力(kPa);

$\sigma_{v0}$ ——试验深度处土的有效上覆压力(kPa)。

- 3 绘制  $E_D$ 、 $I_D$ 、 $K_D$  和  $U_D$  与深度的关系曲线。

## 6.9 现场直接剪切试验



**6.9.1** 现场直剪试验可用于岩土体本身、岩土体沿软弱结构面和岩体与其他材料接触面的剪切试验,可分为岩土体试体在法向应力作用下沿剪切面剪切破坏的抗剪断试验,岩土体剪断后沿剪切面继续剪切的抗剪试验(摩擦试验),法向应力为零时岩体剪切的抗切试验。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.9.1 条)

**6.9.2** 现场直剪试验布置应满足下列要求:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.9.2~10.9.3 条)

1 现场直剪试验可在试洞、试坑、探槽或大口径钻孔内进行。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,可采用楔形体法。

2 同一组试验体的岩性应基本相同,受力状态应与岩土体在工程中的实际受力状态相近。

3 现场直剪试验每组岩体不宜少于 5 个,剪切面积不得小于  $0.25\text{m}^2$ 。试体最小边长不宜小于 50cm,高度不宜小于最小边长的 0.5 倍。试体之间的距离应大于最小边长的 1.5 倍。

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

**6.9.3** 直剪试验设备包括试体制备、加载、传力、量测及其他配套设备。直剪试验设备应采用电测式和自动化仪器。

**6.9.4** 试验前对试体及所在试验地段进行描述与记录应包括下列内容:

1 岩石名称及岩性、风化破裂程度、岩体软弱面的成因、类型、产状、分布状况、连续性及其所夹充填物的性状(厚度、颗粒组成、泥化程度和含水状态等);

2 在岩洞内应记录岩洞编号、位置、洞线走向、洞底标高、岩洞和试点的纵、横地质剖面;

3 在露天或基坑内应记录试点位置和标高及其周围的地形、地质情况;

4 记录试验地段开挖情况和试体制备方法;试体编号、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。

**6.9.5** 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。

**6.9.6** 现场直剪试验的技术要求应符合下列规定:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.9.4 条)

1 开挖试坑时应避免对试体的扰动和含水量的显著变化;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;

2 施加的法向荷载、剪切荷载应位于剪切面、剪切缝的中心;或使法向荷载与剪切荷载的合力通过剪切面的中心,并保持法向荷载不变;

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

4 每一试体的法向荷载可分 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;

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

6 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;

7 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。

**6.9.7** 现场直剪试验成果分析应包括下列内容:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.9.5 条)

1 绘制剪切应力与剪切位移曲线、剪应力与垂直位移曲线、确定比例强度、屈服强度、峰值强度、剪胀点和剪胀强度;

2 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。

## 6.10 基床系数试验

**6.10.1** 基床系数试验可用于各类土、软质岩和风化岩。本试验适用于测求弹性地基文克尔基床系数。

**6.10.2** 基床系数试验应布置在有代表性的地点进行，每个场地不宜少于 3 组试验，且应布置于基础底面标高处。

**6.10.3** 用于基床系数载荷试验的标准承压板应为圆形，其直径为 0.30m，其设备要求应符合本章第 6.2.3 条的规定。

**6.10.4** 试验要点：

1 载荷试验的试坑直径不应小于承压板直径的 3 倍。

2 最大加载量应达到破坏。承压板的安装、加载分级、观测时间、稳定标准和终止加载条件等，应符合本章第 6.2.4 条的要求。

**6.10.5** 资料整理与计算：

1 根据载荷试验成果分析要求，应绘制荷载（ $p$ ）与沉降（ $s$ ）曲线，必要时绘制各级荷载下沉降（ $s$ ）与时间（ $t$ ）或时间对数（ $\lg t$ ）曲线；根据  $p \sim s$  曲线拐点，结合  $s \sim \lg t$  曲线特征，确定比例界限压力。

2 确定地基土基床系数  $K_s$  应符合下列要求：

1) 根据标准承压板载荷试验  $p \sim s$  曲线，按式(6.10.5-1)计算基准基床系数  $K_v$  ( $\text{kN/m}^3$ )：

$$K_v = \frac{p}{s} \quad (6.10.5-1)$$

式中  $p$  —— 实测  $p \sim s$  曲线比例界限压力，如  $p \sim s$  曲线无明显直线段， $p$  可取极限压力之半 ( $\text{kPa}$ )；

$s$  —— 为相应于该  $p$  值的沉降量 ( $\text{m}$ )；

2) 根据实际基础尺寸，修正后的地基土基床系数  $K_{v1}$  ( $\text{kN/m}^3$ ) 按式(6.10.5-2)和(6.10.5-3)计算：

$$\text{粘性土: } K_{v1} = \frac{0.305}{b} K_v \quad (6.10.5-2)$$

$$\text{砂土: } K_{v1} = \left( \frac{b + 0.305}{2b} \right)^2 K_v \quad (6.10.5-3)$$

式中  $b$  —— 基础底面宽度 ( $\text{m}$ )。

3) 根据实际基础形状，修正后的地基基床系数  $K_s$  ( $\text{kN/m}^3$ ) 按式(6.10.5-4)和(6.10.5-5)计算：

$$\text{粘性土: } K_s = K_{v1} \left( \frac{2l + b}{3l} \right) \quad (6.10.5-4)$$

$$\text{砂土: } K_s = K_{v1} \quad (6.10.5-5)$$

式中  $l$  —— 基础底面的长度 ( $\text{m}$ )。

## 6.11 波速测试

**6.11.1** 波速测试适用于测定各类岩土体的压缩波、剪切波或瑞利波的波速，可根据任务要求，采用单孔法、跨孔法或面波法。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.10.1 条）

**6.11.2** 单孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.10.2 条）

- 1 测试孔应垂直；
- 2 将三分量检波器固定在孔内预定深度处，并紧贴孔壁；
- 3 可采用地面激振或孔内激振；
- 4 应结合土层布置测点，测点的垂直间距宜取 1~3m。层位变化处加密，并宜自下而上逐点测试。

**6.11.3** 跨孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.10.3 条）

- 1 振源孔和测试孔，应布置在一条直线上；
- 2 测试孔的孔距在土层中宜取 2~5m，在岩层中宜取 8~15m，测点垂直间距宜取 1~2m；近地表测点宜布置在 0.4 倍孔距的深度处，震源和检波器应置于同一地层的相同标高处；
- 3 当测试深度大于 15m 时，应进行激振孔和测试孔倾斜度和倾斜方位的量测，测点间距宜取 1m。

**6.11.4** 波速测试成果分析应包括下列内容：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.10.5 条）

- 1 在波形记录上识别压缩波和剪切波的初至时间；
- 2 计算由振源到达测点的距离；
- 3 根据波的传播时间和距离确定波速；
- 4 计算岩土小应变的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比。

**6.12 岩体原位应力测试**

**6.12.1** 岩体应力测试适用于无水、完整或较完整的岩体。可采用孔壁应变法、孔径变形法和孔底应变法测求岩体空间应力和平面应力。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 10.11.1 条）

**6.12.2** 孔壁应变法、孔径变形法和孔底应变法选用应根据岩土条件、设计对参数的需要、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定。其测试原理、主要仪器及安装要求可参照表 6.12.2。

表 6.12.2 测试原理、主要仪器、安装要求一览表			
测试方法	测试原理	主要仪器	安装要求
孔壁应变法	采用孔壁应变计，量测套钻解除后钻孔孔壁的岩石应变，按弹性理论建立的应变与应力之间关系式，求出岩体内某点的空间应力	1 孔壁应变计； 2 电阻应变仪； 3 围压器	1 孔壁与应变计上均匀涂上粘结胶，施加一定的预压力，保证应变计牢固粘结在孔壁上； 2 待粘结胶充分固化后，检查系统绝缘值不应小于 100MΩ； 3 量测测点方位角及深度

续表

测试方法	测试原理	主要仪器	安装要求
孔径变形法	采用孔径变形计，量测套钻解除后钻孔孔径变化，按弹性理论建立的孔径变化与应力之间关系式，求出岩体某点的应力；需测求岩体空间应力时，应采用3个钻孔交会测试	1 孔径变形计； 2 电阻应变仪； 3 围压器	1 孔径变形计应变钢环的预压缩量宜为0.2~0.4mm；在将孔径变形计送入测试孔的过程中，应观测仪器读数变化情况； 2 将孔径变形计送至预定位置后，适当锤击安装杆端部，使孔径变形计锥体楔入测试孔内，与孔口牢固接触； 3 记录定向器读数，量测测点方位及深度
孔底应变法	采用孔底应变计，量测套钻解除后钻孔孔底岩面应变，按弹性理论公式计算出岩体内某点的应力；需测求岩体空间应力时，应采用3个钻孔交会测试	1 孔底应变计； 2 电阻应变仪； 3 围压器	1 在钻孔底面和孔底应变计底面分别均匀涂上粘结胶，并施加一定的预压力，使应变计与孔底岩面紧密粘贴； 2 待粘结胶充分固化后，检查系统绝缘值不应小于100MΩ； 3 量测测点方位角及深度

**6.12.3** 测试岩体原始应力时，测点深度应超过应力扰动影响区；在地下洞室中进行测试时，测点深度应超过洞室直径的二倍。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第10.11.2条）

**6.12.4** 岩体应力测试技术要求应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第10.11.3条）

- 1 在测点测段内，岩性应均一完整；
- 2 测试孔壁、孔底应光滑、平整、干燥；
- 3 稳定标准为连续三次读数（每隔10min读一次）之差不超过5με；
- 4 同一钻孔内的测试读数不应少于三次。

**6.12.5** 岩芯应力解除后的围压试验应在24小时内进行；压力宜分5~10级，最大压力应大于预估岩体最大主应力。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第10.11.4条）

**6.12.6** 测试成果整理应符合下列要求：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第10.11.5条）

1 根据测试成果计算岩体平面应力和空间应力，计算方法应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266）的规定；

- 2 根据岩芯解除应变值和解除深度，绘制解除过程曲线；
- 3 根据围压试验资料，绘制压力与应变关系曲线，计算岩石弹性常数。

## 7 室内试验

### 7.1 基本规定

**7.1.1** 室内试验包括岩土的物理力学性质指标和地下水化学成分等试验，其试验项目和试验方法的确定应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》(GB50021)的规定，其具体操作和试验仪器应符合现行国家标准《土工试验方法标准》(GB/T50123)和《工程岩体试验方法标准》(GB/T50266)的规定。

**7.1.2** 试验项目及试验方法应根据工程和岩土性质的特点确定。当需要时应考虑岩土的原位应力场和应力历史，工程活动引起的应力路径和新边界条件，使试验条件尽可能接近实际；并应注意岩土的非均质性、各向异性、结构性和不连续性以及由此产生的岩土体与岩土试样在工程性状上的差别。

**7.1.3** 岩土工程分析评价所选用的室内试验指标，宜与相应的原位测试成果或原型观测反分析成果对比使用。

### 7.2 土的物理性质试验

#### 7.2.1 试验要求

土的物理性质试验包括含水量(含水率)、密度、比重、界限含水量、颗粒分析、渗透、击实试验等，目的是提供土的物理性质指标，用于土的工程分类、状态判定、渗透计算等。

**1** 砂土应测定颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、最大和最小干密度，如无法取得Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级土试样时，可只进行颗粒级配试验。

**2** 粉土应测定颗粒级配、液限、塑限、比重、天然含水量、天然密度和有机质含量。

**3** 粘性土应测定液限、塑限、比重、天然含水量、天然密度和有机质含量。

**4** 目测鉴定不含有有机质时，可不进行有机质含量试验。

**5** 在基坑工程降水设计需要提供土的渗透性参数时可进行渗透试验。

**6** 当需对土方回填或填筑工程进行质量控制时应进行击实试验。

#### 7.2.2 试验目的与方法

##### 1 含水量试验

###### 1) 试验目的

土的天然含水量是土的基本物理性质指标之一，反映了土的干湿状态，是计算土的干密度、孔隙比、饱和度、液性指数等指标的基本数据和评价土的工程性质的重要依据。

###### 2) 试验方法

试验方法一般采用烘干法，其精度高但试验速度比较慢，具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第4章。特殊情况下需快速简易测定细粒土的含水量时，也可采用其它方法，如酒精燃烧法，具体见《土工试验规程》(SL237-003-1999)第3章。含水量试验应选取具代表性的土样进行。当土特别不均匀时，应多取土样。

##### 2 密度试验

###### 1) 试验目的

土的密度是土的质量密度的简称，是土的基本物理性质指标，标志着在含水量一定情况下土的密实程度，是换算土的重度、孔隙比、孔隙率、饱和度等指标的基本数据之一，

主要用于判定土的工程性质、计算土压力、土体稳定及地基压缩时的沉降量等。土的质量密度乘以重力加速度为土的重力密度，简称重度。

## 2) 试验方法

土的密度试验主要有环刀法、蜡封法、灌水法和灌砂法等方法。

① 环刀法，主要适用于细粒土，即粒径大于 0.075mm 颗粒含量少于 50% 的土，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 5.1 节。对于粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的砂土，也可采用环刀法，但应注意土样的扰动程度。

② 蜡封法，适用于易破裂土和形状不规则的坚硬土，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 5.2 节。由于各种蜡的密度不同，试验前应测石蜡的密度。

③ 灌水法和灌砂法，适用于现场测定粗粒土的密度。其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 5.3 节、第 5.4 节。

## 3 土粒比重试验

### 1) 试验目的

本试验用于测定土粒比重（无量纲）。土粒比重为土粒的质量与温度 4℃ 时同体积纯净水的质量之比。土粒比重反映了土颗粒的矿物组成，是土的基本物理性质指标，采取试样时应注意其代表性。土粒比重是换算孔隙比、孔隙率、饱和度等指标的重要数据之一。

### 2) 试验方法

土粒比重试验按土粒的粗细不同可分别采用比重瓶法、浮称法和虹吸筒法。土粒比重试验较复杂，而各类土的土粒比重值变化范围较小，因此有经验地区可以使用经验值。

① 比重瓶法，适用于粒径小于 5mm 的土，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 6.2 节。

② 浮称法，适用于粒径等于、大于 5mm 的土，且其中粒径大于 20mm 土质量应小于土总质量的 10%，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 6.3 节。

③ 虹吸筒法，适用于粒径等于、大于 5mm 的各类土，且其中粒径大于 20mm 的土质量等于、大于土总质量的 10%，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 6.4 节。

## 4 界限含水量试验

### 1) 试验目的

粘性土由于含水量的不同而处于不同的状态，含水量的变化还会导致其体积的增减，其力学性质也会随着变化。这种从一种状态进入另一种状态的分界含水量称为界限含水量，包括塑限、液限和缩限含水量。塑限、液限含水量之差为塑性指数，表示了粘性土呈可塑状态时含水量的变化范围，标志着土的可塑程度。界限含水量的大小，反应了土的工程性质，是粘性土物理性质的必测项目，是划分土的类别及评价其工程性质的重要指标，也是确定粘性土状态的重要依据。

### 2) 试验方法

① 液限含水量试验，主要有 76g 瓦氏圆锥仪法、卡氏碟式仪法和液塑限联合测定法等方法，其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)。在我国工业与民用建筑岩土工程勘察中通常采用 76g 瓦氏圆锥仪法，其操作简便，物理意义明确，适用于粒径小于 0.5mm 以及有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。国际上通常采用卡氏碟式仪法。由于测定方法的试验成果有差异，应根据分类评价要求，选用《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 规定的方法，并在试验报告上注明。

② 塑限含水量试验，主要是搓条法，适用于粒径小于 0.5mm 的土。只要采取正确的搓条方法，搓条法试验结果一般是准确可靠的。也可采用液塑限联合测定仪进行测定。

## 5 颗粒分析试验

### 1) 试验目的

颗粒分析试验是将土按颗粒大小不同,分成粒组的过程。根据颗粒分析试验结果进行土的分类见《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第3.3节。

### 2) 试验方法

试验中不同的粒组应采用不同的方法测定,常用的方法主要有筛析法、密度计法和移液管法等。

① 筛析法,适用于土中粒径小于60mm、大于0.075mm的部分。试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第7.1节。试样应尽量多取,避免土量少不具代表性影响精度。

② 密度计法,适用于粒径小于0.075mm的部分。试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第7.2节。分散剂有多种。《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)规定液化判定值以采用六偏磷酸钠作为分散剂测定的粘粒含量为标准。因此,无特殊原因,宜采用六偏磷酸钠作为分散剂。

③ 移液管法,适用于粒径小于0.075mm而比重大的土,其试验方法较复杂,详见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第7.3节。

## 6 有机质试验

### 1) 试验目的

由于含有大量有机质的土具有特殊的工程地质性质,测定其含量显得极为重要。

### 2) 试验方法

常见的试验方法有重量法、容量法、比色法等。对于有机质含量不大于15%的土,采用重铬酸钾容量法。试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第34章。此法操作简便、快速、再现性好,不受大量碳酸盐存在的干扰,设备简单,适合批量试样的试验。指示剂也有多种,但应考虑其对环境的污染程度及对健康的影响。消煮温度、范围及时间必须严格控制,否则将对试验结果产生很大影响。风干试样的取量以试验时有机碳的含量小于8mg为条件。

## 7 渗透试验

### 1) 试验目的

渗透试验的目的是测定土的渗透系数。渗透系数是工程设计与施工中选择基坑排水与降水方法、确定建筑物基础扬压力和进行渗透计算、判断渗透变形等十分重要的指标。

### 2) 试验方法

渗透系数的室内试验方法很多,具体方法可分为两大类:常水头法和变水头法,试验所用的水应为脱气的纯净水,水温宜高于室温3~4℃。渗透系数必须注明某温度下的渗透系数。标准试验温度在美国为20℃;日本为15℃;前苏联为10℃。国标要求以20℃为标准。

① 常水头试验,适用于粗粒土(砂土、碎石土),其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第13.2节。

② 变水头试验,适用于细粒土(粘性土、粉土),其试验方法见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第13.3节。要注意的是,对不易透水的试样,应进行抽气饱和;对较易透水的试样可直接用变水头试验装置的水头进行试样饱和。

③ 固结试验,透水性很低的软土可通过固结试验测定固结系数和体积压缩系数,计算渗透系数。

## 8 砂土相对密实度试验

### 1) 试验目的

砂土相对密实度试验的目的是测定砂的最大与最小孔隙比,用于计算砂土的相对密实度。

## 2) 试验方法

砂的最小干密度试验测定砂的最小干密度和最大孔隙比，宜采用漏斗法和量筒法；砂的最小干密度试验测定砂的最大干密度和最小孔隙比，采用振动锤击法。具体试验方法和要求见《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）第9章。

## 9 击实试验

### 1) 试验目的

当需对土方回填和填筑工程进行质量控制时，应选取有代表性的土试样进行击实试验。击实试验的目的是利用标准化的击实仪器和规定的标准方法，测出土的最大干密度及最优含水量，为建筑物填土地基等工程设计施工控制土的压实系数提供依据。

### 2) 试验方法

击实试验是用锤击增加土的密度，测定在一定击实能下土的干密度与含水量的关系，从而确定土的最大干密度与最优含水率。试验方法分轻型击实试验与重型击实试验，见《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）第10章。轻型击实试验适用于粒径小于5mm的粘性土，重型击实试验适用于粒径不大于20mm的土。采用3层击实时，最大粒径不大于40mm。轻型击实试验与重型击实试验的差别在于锤质量、落高、筒内径及击数。重型击实仪每圈要加一击。对于轻型击实试验，粒径大于5mm土的质量小于或等于试样总质量的30%时，应对最大干密度及最优含水量进行校正。

## 7.2.3 试验指标应用

1 由室内试验直接测定的基本物性指标有含水量、密度、比重三项，详见表7.2.3-1。由含水量、密度、比重三项指标可以换算重度、干密度、孔隙比、孔隙率、饱和密度和饱和度等指标，其换算公式见表7.2.3-2。

**表 7.2.3-1 由室内试验直接测定的基本物性指标**

指标名称	符 号	定 义	量纲（单位）
密度	$\rho$	$\rho = \frac{m}{V}$	g/cm <sup>3</sup>
比重	$G_s$	$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$	—
含水量	$w$	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$	%

**表 7.2.3-2 土的基本物性指标换算公式**

指标名称	符号	定 义	量纲（单位）	换 算 公 式
重度	$\gamma$	$\gamma = \frac{mg}{V}$	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma = \rho g$
干密度	$\rho_d$	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$



续表

指标名称	符号	定 义	量纲 (单位)	换 算 公 式
孔隙比	$e$	$e = \frac{V_v}{V_s}$	—	$e = \frac{G_s \rho_w (1 + 0.01w)}{\rho} - 1$ $e = \frac{G_s \rho_w}{\rho_d} - 1$
孔隙率	$n$	$n = \frac{V_v}{V} \times 100$	%	$n = 100 - \frac{100\rho}{G_s \rho_w (1 + 0.01w)}$ $n = \frac{100e}{1 + e}$
饱和密度	$\rho_{sat}$	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \rho_w$
饱和度	$S_r$	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$	%	$S_r = \frac{w G_s \rho}{G_s \rho_w (1 + 0.01w) - \rho}$

注：表中  $m$ 、 $m_s$ 、 $m_w$  分别为土的总质量、土粒质量和土中水的质量； $V$ 、 $V_s$ 、 $V_w$  分别为土的总体积、土粒体积和土中水的体积。 $\rho_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$ 。

2 由土的塑限、液限指标计算土的塑性指数、液性指数、含水比、活动性指标，计算公式见表 7.2.3-3。

**表 7.2.3-3 计算求得的可塑性指标**

指标名称	符 号	计 算 公 式
塑性指数	$I_P$	$I_P = w_L - w_P$
液性指数	$I_L$	$I_L = \frac{w - w_P}{w_L - w_P} = \frac{w - w_P}{I_P}$
含水比	$\alpha_w$	$\alpha_w = \frac{w}{w_L}$
活动性指标	$A$	$A = \frac{I_P}{P_{0.002}}$

3 塑性指数划分土层类别，见表 7.2.3-4。

表 7.2.3-4 土按塑性指数分类

塑 性 指 数	土 的 分 类
$I_p > 17$	粘 土
$10 < I_p \leq 17$	粉质粘土
$I_p \leq 10$	粉 土

注：1 塑性指数由相应于 76g 圆锥沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得；  
2 粉土为介于砂土与粘性土之间， $I_p \leq 10$  且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的土。

4 按液性指数判定粘性土的状态，见表 7.2.3-5。

表 7.2.3-5 液性指数判定土的状态

状态	坚 硬	硬 塑	可 塑	软 塑	流 塑
$I_L$	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$

5 粉土密实度和湿度分类

根据孔隙比评价粉土密实度，其划分标准见表 7.2.3-6（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 3.3.10-1）。根据含水量评价粉土湿度，其划分标准见表 7.2.3-7（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 3.3.10-2）。

表 7.2.3-6 粉土密实度分类

孔 隙 比 $e$	密 实 度
$e < 0.75$	密 实
$0.75 \leq e \leq 0.90$	中 密
$e > 0.90$	稍 密

注：当有经验时，也可用原位测试或其他方法划分粉土的密实度。

表 7.2.3-7 粉土湿度分类

含 水 量 $w$	湿 度
$w < 20$	稍 湿
$20 \leq w \leq 30$	湿
$w > 30$	很 湿

6 颗粒分析试验指标应用

1) 进行粒组划分及碎石土、砂土分类

土的粒径大小及各种粒径土的搭配决定着土的工程地质特性。粒组界限和分类标准见表 7.2.3-8。根据颗粒分析试验结果，可将碎石土按颗粒级配进行分类，见表 7.2.3-9（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 3.3.2）。根据颗粒分析试验结果，可将砂土按颗粒级配进行分类，见表 7.2.3-10（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 3.3.3）。

表 7.2.3-8 粒组划分

粒组统称	粒组名称	粒组粒径 d 的范围 (mm)
巨 粒	漂石 (块石) 粒	$d > 200$
	卵石 (碎石) 粒	$200 \geq d > 60$
粗 粒	砾粒 粗砾	$60 \geq d > 20$
	细砾	$20 \geq d > 2$
	砂粒	$2 \geq d > 0.075$
细 粒	粉粒	$0.075 \geq d > 0.005$
	粘粒	$0.005 \geq d$

表 7.2.3-9

碎石土分类

土的名称	颗 粒 形 状	粒 组 含 量
漂 石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒质量超过总质量 50%
块 石	棱 角 形 为 主	
卵 石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒质量超过总质量 50%
碎 石	棱 角 形 为 主	
圆 砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量 50%
角 砾	棱 角 形 为 主	

注：定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

表 7.2.3-10

砂土分类

土的名称	粒 组 含 量
砾 砂	粒径大于 2mm 的颗粒质量占总质量 25~50%
粗 砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒质量超过总质量 50%
中 砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒质量超过总质量 50%
细 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 85%
粉 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50%

注：定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

## 2) 计算级配指标，判断级配优劣

由颗粒大小级配曲线上可分别求出颗粒含量小于 10%、30%、50%和 60%的粒径  $d_{10}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{50}$  和  $d_{60}$ 。

$d_{10}$  称为有效粒径。表示小于该粒径的颗粒占总质量的 10%。对于砂土， $d_{10}$  越小，透水性越差；对于粘性土， $d_{10}$  越小塑性越强，并应注意其胀缩性。

$d_{30}$  称为中间粒径。表示小于该粒径的颗粒占总质量的 30%。

$d_{50}$  称为平均粒径。表示小于该粒径的颗粒占总质量的 50%。

$d_{60}$  称为界限粒径或控制粒径，表示小于该粒径的颗粒占总质量的 60%。

根据粒径组成的级配指标，可以计算土的不均匀系数及曲率系数，用以表示土的粒度分布特征。

$$\text{不均匀系数: } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$\text{曲率系数: } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

$C_u$  表示粒径级配曲线的斜率, 如果级配曲线是连续的,  $C_u$  越小, 曲线越陡, 土越均匀。 $C_c$  表示了曲线的平滑程度, 即土颗粒分布的连续性。在工程中, 根据  $C_u$ 、 $C_c$  可以判定土的级配均匀与否。

## 7.3 土的压缩—固结试验

### 7.3.1 土的固结(压缩)试验

#### 1 试验要求

1) 当采用压缩模量进行沉降计算时, 固结试验最大压力应大于土的有效自重压力与附加压力之和, 试验成果可用  $e-p$  曲线整理, 压缩系数和压缩模量的计算应取自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。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.3.1 条)

2) 当考虑土的应力历史进行沉降计算时, 试验成果应按  $e-\lg p$  曲线整理, 确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数。施加的最大压力应满足绘制完整的  $e-\lg p$  曲线。为计算回弹指数, 应在估计的先期固结压力之后, 进行一次卸荷回弹, 再继续加荷, 直至完成预定的最后一级压力。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.3.2 条)

3) 当需进行沉降历时关系分析时, 应选取部分土试样在土的有效自重压力与附加压力之和的压力下, 作详细的固结历时记录, 并计算固结系数。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.3.3 条)

4) 对厚层高压压缩性软土上的工程, 任务需要时应取一定数量的土试样测定次固结系数, 用以计算次固结沉降及其历时关系。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.3.4 条)

#### 2 试验目的

土的固结试验是在完全侧限条件下, 测定土样在竖向荷载作用下的压缩量。用于计算土的压缩系数、压缩模量、压缩指数、回弹指数、先期固结压力、固结系数和次固结系数等。

地基土的压缩性可按  $p_1$  为 100kPa,  $p_2$  为 200kPa 时相对应的压缩系数  $a_{1-2}$  划分低、中、高压压缩性: 当  $a_{1-2} < 0.1 \text{MPa}^{-1}$  时为低压缩性土;  $0.1 \text{MPa}^{-1} \leq a_{1-2} < 0.5 \text{MPa}^{-1}$  时为中压缩性土;  $a_{1-2} \geq 0.5 \text{MPa}^{-1}$  时为高压压缩性土。

#### 3 试验方法

固结试验适用于饱和土。当只进行压缩时, 允许用于非饱和土, 称为压缩试验。试验方法具体见《土工试验方法标准》GB/T50123-1999 第 14 章。由于此法所需时间较长, 在一些有经验地区, 如计算沉降要求精度不高, 且不要求固结系数时, 可使用快速法, 具体见《土工试验规程》SL237-015-1999 第 4 章。最后一级压力应大于上覆土层的计算压力 100~200kPa。若只需计算压缩系数和压缩模量时, 最大加荷压力不得低于 400kPa。第一级压力视土的软硬程度而定, 宜用 12.5kPa、25kPa 或 50kPa。土样要求取 I 级土样, 如不需进行先期固结压力计算时, 可用 II 级土样代替。

### 7.3.2 三轴压缩试验

#### 1 试验目的与要求

当需进行土的应力应变关系分析, 可进行三轴压缩试验, 为进行土的应力应变关系分析提供非线性弹性、弹塑性模型参数。

#### 2 试验方法

试验方法包括固定围压试验和等压固结试验，具体方法见《土工试验规程》(SL237-029-1999)。

1) 固定围压试验，采用三个或三个以上不同的固定围压，分别使试样固结，然后逐级增加轴压，直至破坏；每个围压的试验宜进行一至三次回弹，并将试验结果整理成相应于各固定围压的轴向应力与轴向应变关系曲线。

2) 等压固结试验，保持围压与轴压相等，逐级加荷，取得围压与体积应变关系曲线，计算相应的体积模量。

## 7.4 土的抗剪强度试验

### 7.4.1 试验要求

1 土的抗剪强度试验包括直剪试验、三轴压缩试验和无侧限抗压强度试验等。目的是测定土在不同排水条件和法向应力下，土破坏时的抗剪强度，从而确定土的强度指标粘聚力和内摩擦角。

2 测定滑坡带等已经存在剪切破裂面的抗剪强度时，应进行残余强度试验。在确定计算参数时，宜与现场观测反分析的成果比较后确定。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.4.3 条）

3 当岩土工程评价有专门要求时，可进行  $K_0$  固结不排水试验、 $K_0$  固结不排水测孔隙水压力试验，特定应力比固结不排水试验，平面应变压缩试验和平面应变伸长试验等。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.4.4 条）

### 7.4.2 直接剪切试验

#### 1 试验目的

直接剪切试验是利用盒式剪切仪，在试样上施加竖向压力，直接测定的总抗剪强度指标的一种方法。其优点是仪器结构简单，试验操作方便，且有的地区已积累了大量的试验数据与配套的工程实践应用经验；其缺点是受力条件比较复杂，排水条件不能控制，在应用范围上受到了一定的限制。

#### 2 试验方法

直接剪切试验可分为慢剪试验、固结快剪试验和快剪试验。试验方法应根据荷载类型、加荷速率和地基土的排水条件确定。宜采用 I、II 级土样，用环刀制备 3~4 块土样（约需 15cm 原状土样）进行试验。具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 18 章。

### 7.4.3 三轴剪切试验

#### 1 试验目的

三轴剪切试验是目前在室内测定土的抗剪强度指标的重要方法，可以确定土的强度指标：粘聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$ 。适用于测定粘性土、砂土等各类土的总应力强度参数、有效应力强度参数、孔隙水压力系数和控制不同排水条件的情况。

#### 2 试验方法

三轴剪切试验的试验方法应按下列条件确定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.4.1 条）

1) 对饱和粘性土，当加荷速率较快时宜采用不固结不排水 ( $UU$ ) 试验；饱和软土应对试样在有效自重压力下预固结后再进行试验；

2) 对经预压处理的地基、排水条件好的地基、加荷速率不高的工程或加荷速率较快但土的超固结程度较高的工程，以及需验算水位迅速下降时的土坡稳定性时，可采用固结不排水 ( $CU$ ) 试验；当需提供有效应力抗剪强度指标时，应采用固结不排水测孔隙水压力 ( $\bar{c}\bar{u}$ )

试验。

试验方法具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第16章。由于土样本本身的不均匀性,很难制备到3~4个相同的土样。为使试样尽量一致,宜采用直径大于等于10cm的Ⅰ级土样,用三分法切取直径为39.1mm的三个试样进行试验。由于原始结构无法完全再现,因此尽量取原状样进行试验。对于砂土,可以用扰动样制备。围压宜根据工程实际确定,一般情况下,浅层压力可取50kPa、100kPa、200kPa、300kPa,10m以下采用100kPa、200kPa、300kPa、400kPa。

#### 7.4.4 无侧限抗压强度试验

##### 1 试验目的

无侧限抗压强度试验是一种特殊的三轴压缩试验,试样在无侧限压力情况下,即 $\sigma_3 = 0$ ,对其逐渐增加轴向力直到破坏。求得土的无侧限抗压强度和计算灵敏度。

##### 2 试验方法

对内摩擦角 $\varphi_u \approx 0$ 的饱和软粘土,可用Ⅰ级土试样进行无侧限抗压强度试验。在做重塑土时,应防止水分蒸发。试验方法具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999)第17章。

#### 7.4.5 抗剪强度指标选用要注意的几个问题

1 对于在通常的加载速率和排水条件下的砂土和碎石土和在加载过程中没有产生或者产生很小的超静孔隙水压力的情况,包括粘性土的任何土,可使用有效应力强度指标计算设计;

2 对于砂土和碎石土,由于其渗透系数很大,直剪快剪试验指标一般与三轴排水试验指标差别不大,其有效应力强度指标可以用一定加载速率的直剪试验测定,也可用三轴排水试验测定。对于粘性土,可以用三轴排水试验、测定孔隙水压力的三轴固结不排水试验以及直剪慢剪试验测定有效应力强度指标。

3 在一些工程问题中,土体在现有的应力体系中已充分固结,然后较快施加主要产生剪切应力的荷载,可使用三轴固结不排水试验(CU)或直剪固结快剪试验确定土的强度指标。例如使用砂井或塑料排水板处理的预压排水固结的饱和软粘土地基、水位骤降情况下的边坡问题或在现有土坡上加载等情况。

4 对于在饱和软粘土地基上快速加载的建筑,应采用三轴不固结不排水试验(UU)或直剪快剪试验确定土的强度指标。在有效自重应力下预固结以后进行UU试验。对于施工较快的粘性土填方工程,在验算施工期稳定时,则使用原状试样进行UU试验。

5 对于饱和度低于60%的细粒土,剪切速率和排水条件对土的强度指标一般影响不大,可采用原状土试样参照上述要求进行试验。对于饱和度大于80%的粘性土,剪切速率和排水条件对土的强度指标影响很大,要特别慎重选用强度指标。

## 7.5 土的动力性质试验

#### 7.5.1 试验要求

当工程设计要求测定土的动力性质时,可采用振动三轴试验、动单剪试验或共振柱试验。在选择试验方法和仪器时,应注意其在动应变大小上的适用范围。要求使用Ⅰ级土样。

#### 7.5.2 振动三轴试验

##### 1 试验目的

振动三轴试验是测定饱和土在动应力作用下的应力、应变和超静孔隙水压力的变化过

程，从而确定其在动力作用下的破坏强度（包括液化）、应变大于  $10^{-4}$  时的动弹性模量和阻尼比等动力特性指标。

## **2 试验方法**

振动三轴试验方法见《土工试验规程》（SL237-032-1999），适用于饱和砂土、粉土和粘土。可用于测定土的下列动力性质：

1) 动弹性模量、动阻尼比及其与动应变的关系。同一干密度的试样，在同一固结应力比下，应在 1 至 3 个不同的侧压力下试验，每一侧压力，宜用 5~6 个试样，改变 5~6 级动力，按规定进行试验。

2) 既定循环周数下的动应力与动应变关系。

3) 饱和土的液化剪应力与动应力循环周数关系。对同一干密度的试样，宜选择 1~3 个固结比。在同一固结比下，应选择 1~3 个不同的侧压力。每一侧向压力下用 3 至 4 个试样，选择不同的振动破坏周次，按规定进行试验。当出现下列情况之一时，可判定土样已经液化：孔隙水压力上升，达到初始固结压力时；轴向动应变达到 5 % 时；振动次数  $n$  在相应的预计地震震级限度之内。

### **7.5.3 振动单剪试验**

振动单剪试验是利用一种特制的剪切容器，使试样各点所受剪应力基本上是均布的，剪应变也是均等的。其动荷载作用比较接近天然土层在地震时所受的振动作用，能较好的模拟现场的应力条件。求得的动弹性模量、动强度及动阻尼比等指标，因试样在试验中承受的不是轴向应力而是剪应力，其应变也不是轴向应变而是剪应变，在应用其指标时必须注意到这一点。《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）及《土工试验规程》（SL237-1999）均未提及此试验项目，可参考相关试验手册。

### **7.5.4 共振柱试验**

#### **1 试验目的**

共振柱试验是测定试样在周期荷载作用下，小应变（ $10^{-6} \sim 10^{-4}$ ）时的动剪切模量和阻尼比或动弹性模量和阻尼比。

#### **2 试验方法**

制备 3 个以上性质相同的试样，在不同周围压力下进行试验。试验方法见《土工试验规程》（SL237-033-1999）。

## **7.6 岩石试验**

### **7.6.1 岩石的成分和物理性质试验**

#### **1 试验要求**

岩石的成分和物理性质包括岩矿鉴定、含水率试验、颗粒密度、块体密度、吸水性、膨胀性、耐崩解性等试验。

#### **2 含水率试验**

岩石含水率试验应采用烘干法，并适用于不含结晶水矿物的岩石。试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.1 节。

#### **3 颗粒密度试验**

岩石颗粒密度试验应采用比重瓶法，并适用于各类岩石。试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.2 节。

#### **4 块体密度试验**

岩石块体密度试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.3 节。可采

用量积法、水中称量法或蜡封法，并应符合下列条件：

- 1) 凡能制备成规则试件的各类岩石，宜采用量积法；
- 2) 除遇水崩解、溶解和干缩湿胀性岩石外，均可采用水中称量法；
- 3) 不能用量积法或水中称量法进行测定的岩石，宜采用蜡封法。

#### 5 吸水性试验

岩石吸水性试验应包括岩石吸水率试验和岩石饱和吸水率试验，试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.4 节，并应符合下列要求：

- 1) 岩石吸水率采用自由浸水法测定；
- 2) 岩石饱和吸水率采用煮沸法或真空抽气法测定；
- 3) 在测定岩石吸水率和岩石饱和吸水率的同时，应采用水中称量法测定岩石块体密度；
- 4) 试验适用于遇水不崩解的岩石。

#### 6 膨胀性试验

岩石膨胀性试验应包括岩石自由膨胀率试验、岩石侧向约束膨胀率试验和岩石膨胀压力试验，试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.5 节，并应符合下列要求：

- 1) 岩石自由膨胀率试验用于遇水不易崩解的岩石；
- 2) 岩石侧向约束膨胀率试验和岩石膨胀压力试验适用于各类岩石。

#### 7 耐崩解性试验

耐崩解性试验适用于粘土岩类岩石和风化岩石，试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.6 节。

### 7.6.2 岩石强度和变形试验

#### 1 试验要求和目的

1) 岩石强度和变形试验包括单轴抗压强度试验、单轴压缩变形试验、三轴压缩强度试验、直剪试验、抗拉强度试验等。

2) 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。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.6.2 条）

3) 岩石三轴压缩试验宜根据其应力状态选用四种围压，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  $c$ 、 $\varphi$  值。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.6.3 条）

4) 岩石直接剪切试验可测定岩石以及节理面、滑动面、断层面或岩层层面等不连续面上的抗剪强度，并提供  $c$ 、 $\varphi$  值和各法向应力下的剪应力与位移曲线。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.6.4 条）

5) 岩石抗拉强度试验可在试件直径方向上，施加一对线性荷载，使试件沿直径方向破坏，间接测定岩石的抗拉强度。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.6.5 条）

6) 当间接确定岩石的强度和模量时，可进行点荷载试验和声波速度测试。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 11.6.6 条）

2 试验方法见《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-99）第 2.7 节～第 2.11 节。

## 7.7 水、土腐蚀性试验与评价



### 7.7.1 腐蚀性试验项目和试验方法

腐蚀性试验项目和试验方法应符合表 7.7.1(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.1.3)的规定。

pH 值的测定即酸碱度试验, 试验方法采用电测法, 具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 30 章。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 的试验方法具体见《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 第 31.3 节~31.9 节。侵蚀性  $\text{CO}_2$  测定一般采用盖耶尔法, 即在水源取水时, 瓶中加入碳酸钙粉, 然后立即密封瓶口, 使与外界大气的  $\text{CO}_2$  气隔绝, 然后送化验室专供测定侵蚀性  $\text{CO}_2$ 。

表7.7.1 腐蚀性试验项目

序号	试 验 项 目	试 验 方 法
1	pH 值	电位法或锥形电极法
2	$\text{Ca}^{2+}$	EDTA 容量法
3	$\text{Mg}^{2+}$	EDTA 容量法
4	$\text{Cl}^-$	摩尔法
5	$\text{SO}_4^{2-}$	EDTA 容量法
6	$\text{HCO}_3^-$	酸滴定法
7	$\text{CO}_3^{2-}$	酸滴定法
8	侵蚀性 $\text{CO}_2$	盖耶尔法
9	游离 $\text{CO}_2$	碱滴定法
10	$\text{NH}_4^+$	钠氏试剂比色法
11	$\text{OH}^-$	酸滴定法
12	总矿化度	质量法
13	氧化还原电位	铂电极法
14	极化曲线	两电极恒电流法
15	电阻率	四极法
16	质量损失	管罐法

注: 1 序号1~7为判定土腐蚀性需试验的项目, 序号1~9为判定水腐蚀性需试验的项目;

2 序号10~12为水质受严重污染时需试验的项目; 序号13~16为土对钢结构腐蚀性试验项目;

3 序号1对水试样为电位法, 对土试样为锥形电极法(原位测试); 序号2~12为室内试验项目; 序号13~15为原位测试项目; 序号16为室内扰动土的试验项目;

4 土的易溶盐分析土水比为1:5。

### 7.7.2 腐蚀性评价

#### 1 评价要求和方法

腐蚀性评价内容应包括水和土对混凝土结构、钢筋混凝土结构中钢筋和钢结构的腐蚀性评价。水和土对混凝土结构腐蚀性评价应分别按环境类别影响和受地层渗透性影响进行, 并进行综合评定。

#### 2 水和土对混凝土结构腐蚀性评价

1) 受环境类型影响, 水和土对混凝土结构的腐蚀性, 应符合表7.7.2-1(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001表12.2.1)的规定; 环境类型的划分按表7.7.2-2(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001表G.0.1)执行, 场地冰冻区的分类, 应根据当地一月份平均温度按表7.7.2-3(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001表G.0.2)确定。场地冰冻段的分类, 应根据场地标准冻深和地面下温度按表7.7.2-4(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001表G.0.3)确定。

2) 受地层渗透性影响, 水和土对混凝土结构的腐蚀性评价, 应符合表7.7.2-5(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.2)的规定。

3) 当按以上两种影响评价的腐蚀等级不同时, 应按下列规定综合评定:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001第12.2.3条)

- ① 腐蚀等级中，只出现弱腐蚀，无中等腐蚀或强腐蚀时，应综合评价为弱腐蚀；
- ② 腐蚀等级中，无强腐蚀；最高为中等腐蚀时，应综合评价为中等腐蚀；
- ③ 腐蚀等级中，有一个或一个以上为强腐蚀，应综合评价为强腐蚀。

**表 7.7.2-1 按环境类型水和土对混凝土结构的腐蚀性评价**

腐蚀等级	腐蚀介质	环 境 类 型		
		I	II	III
弱 中 强	硫酸盐含量 $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	250~500 500~1500 >1500	500~1500 1500~3000 >3000	1500~3000 3000~6000 >6000
弱 中 强	镁盐含量 $\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	1000~2000 2000~3000 >3000	2000~3000 3000~4000 >4000	3000~4000 4000~5000 >5000
弱 中 强	铵盐含量 $\text{NH}_4^+$ (mg/L)	100~500 500~800 >800	500~800 800~1000 >1000	800~1000 1000~1500 >1500
弱 中 强	苛性碱含量 $\text{OH}^-$ (mg / L)	35000~43000 43000~57000 >57000	43000~57000 57000~70000 >70000	57000~70000 70000~100000 >100000
弱 中 强	总矿化度 (mg / L)	10000~20000 20000~50000 >50000	20000~50000 50000~60000 >60000	50000~60000 60000~70000 >70000

注：1 表中数值适用于有干湿交替作用的情况，无干湿交替作用时，表中数值应乘以 1.3 的系数；

2 表中数值适用于不冻区(段)的情况，对冰冻区(段)，表中数值应乘以 0.8 的系数，对微冻区(段)应乘以 0.9 的系数；

3 表中数值适用于水的腐蚀性评价，对土的腐蚀性评价，应乘以 1.5 的系数，单位以 mg / kg 表示；

4 表中苛性碱(OH<sup>-</sup>)含量(mg / L)应为 NaOH 和 KOH 中的 OH 含量(mg / L)。

**表 7.7.2-2 环境类型分类**

环境类别	场 地 环 境 地 质 条 件
I	高寒区、干旱区直接临水；高寒区、干旱区含水量 $w \geq 10\%$ 的强透水土层或含水量 $w \geq 20\%$ 的弱透水土层
II	湿润区直接临水；湿润区含水量 $w \geq 20\%$ 的强透水土层或含水量 $w \geq 30\%$ 的弱透水土层
III	高寒区、干旱区含水量 $w < 20\%$ 的弱透水土层或含水量 $w < 10\%$ 的强透水土层；湿润区含水量 $w \leq 30\%$ 的弱透水土层或含水量 $w < 20\%$ 的强透水土层

注：1 高寒区是指海拔高度等于或大于 3000m 的地区；干旱区是指海拔高度小于 3000m，干燥度指数 K 值等于或大于 1.5 的地区；湿润区是指干燥度指数 K 值小于 1.5 的地区；

2 强透土层是指碎石土、砾砂、粗砂、中砂和细砂；弱透土层是指粉砂、粉土和粘性土；

3 含水量  $w < 3\%$  的土层，可视为干燥土层，不具有腐蚀环境条件；

4 当有地区经验时，环境类型可根据地区经验划分；当同一场地出现两种环境类型时，应根据具体情况选定。

7.7.2-3

冰冻区分类

一月份月平均温度(℃)	>0	0~-4	<-4
冰冻区分类	不冻区	微冻区	冰冻区

表 7.7.2-4

冰冻段分类

地面下温度(℃)	>0	0~-4	<-4
冰冻段分类	不冻段	微冻段	冰冻段

表 7.7.2-5

按地层渗透性水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值		侵蚀性 CO <sub>2</sub> (mg / L)		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol / L)	
	A	B	A	B	A	B
弱	5.0~6.5	4.0~5.0	15~30	30~60	1.0~0.5	—
中	4.0~5.0	3.5~4.0	30~60	60~100	<0.5	—
强	<4.0	<3.5	>60	—	—	—

注：1 表中 A 是指直接临水或强透水层中的地下水；B 是指弱透水层中的地下水；

2 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量是指水的矿化度低于 0.1g / L 的软水时，该类水质 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的腐蚀性；

3 土的腐蚀性评价只考虑 pH 值指标；评价其腐蚀性时，A 是指含水量  $w \geq 20\%$  的强透水土层；B 是指含水量  $w \geq 30\%$  的弱透水土层。

3 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价，应符合表 7.7.2-6(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.4) 的规定。

表 7.7.2-6

对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

腐蚀等级	水中的 Cl <sup>-</sup> 含量(mg/L)		土中的 Cl <sup>-</sup> 含量(mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	$w < 20\%$ 的土层	$w \geq 20\%$ 的土层
弱	>5000	100~500	400~750	250~500
中	—	500~5000	750~7500	500~5000
强	—	>5000	>7500	>5000

注：当水或土中同时存在氯化物和硫酸盐时，表中的 Cl<sup>-</sup>含量是指氯化物中的 Cl<sup>-</sup>与硫酸盐折算后的 Cl<sup>-</sup>之和，即 Cl<sup>-</sup>含量 =  $Cl^- + SO_4^{2-} \times 0.25$ 。单位分别为 mg/L 和 mg/kg。

4 水和土对钢结构的腐蚀性评价，应分别符合表 7.7.2-7(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.5-1) 和表 7.7.2-8(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.5-2) 的规定。

表 7.7.2-7

水对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 含量 (mg/kg)
弱	pH 3~11, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) <500
中	pH 3~11, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) ≥500
强	pH <3, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 任何浓度

注：1 表中系指氧能自由溶入的水和地下水；

2 本表亦适用于钢管道；

3 如水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀(铁)、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块，或有硫化氢臭，应作铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

7.7.2-3

冰冻区分类

一月份月平均温度(℃)	>0	0~-4	<-4
冰冻区分类	不冻区	微冻区	冰冻区

表 7.7.2-4

冰冻段分类

地面下温度(℃)	>0	0~-4	<-4
冰冻段分类	不冻段	微冻段	冰冻段

表 7.7.2-5

按地层渗透性水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值		侵蚀性 CO <sub>2</sub> (mg / L)		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol / L)	
	A	B	A	B	A	B
弱	5.0~6.5	4.0~5.0	15~30	30~60	1.0~0.5	—
中	4.0~5.0	3.5~4.0	30~60	60~100	<0.5	—
强	<4.0	<3.5	>60	—	—	—

注：1 表中 A 是指直接临水或强透水层中的地下水；B 是指弱透水层中的地下水；

2 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量是指水的矿化度低于 0.1g / L 的软水时，该类水质 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的腐蚀性；

3 土的腐蚀性评价只考虑 pH 值指标；评价其腐蚀性时，A 是指含水量  $w \geq 20\%$  的强透水土层；B 是指含水量  $w \geq 30\%$  的弱透水土层。

3 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价，应符合表 7.7.2-6(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.4) 的规定。

表 7.7.2-6

对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

腐蚀等级	水中的 Cl <sup>-</sup> 含量 (mg/L)		土中的 Cl <sup>-</sup> 含量 (mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	$w < 20\%$ 的土层	$w \geq 20\%$ 的土层
弱	>5000	100~500	400~750	250~500
中	—	500~5000	750~7500	500~5000
强	—	>5000	>7500	>5000

注：当水或土中同时存在氯化物和硫酸盐时，表中的 Cl<sup>-</sup> 含量是指氯化物中的 Cl<sup>-</sup> 与硫酸盐折算后的 Cl<sup>-</sup> 之和，即 Cl<sup>-</sup> 含量 =  $Cl^- + SO_4^{2-} \times 0.25$ 。单位分别为 mg/L 和 mg/kg。

4 水和土对钢结构的腐蚀性评价，应分别符合表 7.7.2-7(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.5-1) 和表 7.7.2-8(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 12.2.5-2) 的规定。

表 7.7.2-7

水对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 含量 (mg/kg)
弱	pH 3~11, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) <500
中	pH 3~11, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) ≥500
强	pH <3, (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 任何浓度

注：1 表中系指氧能自由溶入的水和地下水；

2 本表亦适用于钢管道；

3 如水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀(铁)、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块，或有硫化氢臭，应作铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

## 8 地下水

### 8.1 基本规定

**8.1.1** 地下水的勘察内容和要求应根据建筑物性质、基础形式、埋置深度、地基处理、基坑支护等方面的具体要求确定，对不同性质的工程其侧重点应不同。

**8.1.2** 地下水的勘察过程中，应加强有关区域资料的搜集工作，以掌握地下水的动态变化规律。

**8.1.3** 地下水的水文地质参数宜通过现场试验确定。

### 8.2 地下水勘察要求

**8.2.1** 根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第7.1.1条，地下水的勘察，通过搜集资料和现场勘察工作，掌握的内容有：

- 1 地下水的类型和赋存状态；
- 2 主要含水层（包括上层滞水）的分布规律；
- 3 区域性气象资料，如年降水量、蒸发量及其变化和对地下水位的影响；
- 4 地下水的补给排泄条件、地表水与地下水的补给关系及其对地下水位的影响；
- 5 勘察时的地下水位、历史最高地下水位及近3~5年最高地下水位、水位变化趋势和主要影响因素；
- 6 是否存在对地下水和地表水的污染源及其可能的污染程度。

**8.2.2** 已有地区经验或场地水文地质条件简单，且有常年地下水位监测资料的地区，地下水的勘察除在现场钻孔中测量地下水位外，可通过调查方法掌握地下水的性质和规律，其调查宜包括下列内容：

- 1 地下水的类型、主要含水层及其渗透特性；
- 2 地下水的补给排泄条件、地下水与地表水的水力联系；
- 3 历史最高、最低地下水位及近3~5年水位的变化趋势和主要影响因素；
- 4 区域性气象资料；
- 5 地下水腐蚀性和污染源情况。

**8.2.3** 已有地区经验但场地水文地质条件复杂或无经验地区，地下水的变化或含水层的水文地质特性对地基评价、地下室抗浮和工程降水有重大影响时，在调查的基础上，宜进行专门的水文地质勘察，对缺乏常年地下水监测资料的地区，在初步勘察阶段应设置长期观测孔或孔隙水压力计。

**8.2.4** 专门的水文地质勘察应符合下列要求：(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001第7.1.4条)

- 1 查明与工程建设有关含水层和隔水层的埋藏条件，地下水类型、流向、水位及其变化幅度，当场地有多层对工程有影响的地下水时，应分层量测地下水位，并查明互相之间的补给关系；
- 2 查明场地地质条件对地下水赋存和渗流状态的影响；必要时应设置观测孔，或在不同深度处埋设孔隙水压力计，量测压力水头随深度的变化；
- 3 通过现场试验，测定地层渗透系数等水文地质参数。

**8.2.5** 当有足够经验或充分资料认定工程场地的地下水对建筑材料不具腐蚀性时，可不取地下水试样进行水质分析试验，但应在勘察报告中说明依据，否则，应取水样进行水质分析。

## **8.3 地下水位观测和孔隙水压力测试**

**8.3.1** 地下水位的量测应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.2.2 条）

- 1 遇地下水时应量测水位；
- 2 稳定水位应在初见水位后经一定稳定时间后量测；
- 3 对多层含水层的水位量测，应采取止水措施，将被测含水层与其他含水层隔开。

**8.3.2** 现场勘察过程中量测地下水位，宜符合下列规定：

1 在钻探深度内仅遇一层地下水时，原则上每个钻孔或探井均应测量初见水位和稳定水位；

2 量测多层地下水位钻孔的数量应满足整个场地水文地质评价的需要；对第一层水的稳定水位测量可在揭露第一层水时停钻稳定一定时间后进行；其他层地下水的量测一般应埋设测压管并在测压管内直接量测，如在钻孔中直接量测，需保证对已揭露的上面几层水的止水措施可靠。

**8.3.3** 初见水位和稳定水位可在钻孔、探井中直接量测，稳定水位的间隔时间按地层的渗透性确定，对砂土和碎石土不得少于 0.5h，对粉土和粘性土不得少于 8h，并宜在勘察结束后统一量测稳定水位。量测读数至厘米，精度不得低于±2cm。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.2.3 条）在软土中不得少于 24h。

**8.3.4** 初见水位的判别可根据钻头和标贯器带上的样品的湿度变化来判断，接近水位时土样由干到湿到很湿的变化。

**8.3.5** 地下水的量测要根据钻探工艺的不同采取相应的处理措施：

1 带套管钻进，为防止套管阻止应量测含水层中的水流入钻孔，见水后应停止套管跟进，量测时，一般从钻孔中抽出一些水，稳定一定时间再测；

2 量测多层地下水位，采用套管止水时，应采用内接箍套管，套管与套管连接采用紧密丝扣连接，并采取在丝口的螺纹上缠麻皮、涂黄油等防水措施；

3 采用泥浆钻探需使用生物降解泥浆或用清水冲洗钻孔，或将测水管打入含水层 20cm 后观测。

**8.3.6** 为量测多层地下水的每层水位或埋设长期观测孔而埋设测压管时，应采取下列措施：

1 在需量测的含水层位置，测压管下端应安装过滤管，周边应填筑砾料（砾料含泥量不应超过 5%）；

2 在需量测的含水层以上位置，测压管周边应填筑不透水性的粘性材料，必要时加粘土球或水玻璃，并夯实。

**8.3.7** 地下水位长期观测孔布置前应了解场地地层，分清含水层和相对隔水层，确定观测的对象。长期观测孔的井管内径不应小于 108mm。基岩观测孔裸孔井段的口径不应小于 108mm。观测孔的施工宜采用清水钻进或水压钻进，下管、填料结束后，应选择有效的方法及时进行洗井。

**8.3.8** 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（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 50~100m。应同时量测各孔（井）内水位，确定地下水的流向。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.2.4 条第 1 段）用几何法测定地下水流向的钻孔布置，除应在同一水文地质单元外，尚需考虑形成锐角三角形，其中最小的夹角不宜小于 40°；孔距宜为 50~100m，过大或过小都将影响量测精度。

**8.3.9** 地下水流速的测定可采用指示剂法或充电法。（《岩土工程勘察规范 GB50021-2001 第 7.2.4 条第 2 段）

用指示剂法测定地下水流速，试验孔与观测孔的距离由含水层条件确定，一般细砂层为 2~5m，含砾粗砂层为 5~15m，裂隙岩层为 10~15m，对岩溶水可大于 50m；指示剂可采用各种盐类、着色颜料等，其用量决定于地层的透水性和渗透距离；用充电法测定地下水的流速适用于地下水位埋深不大于 5m 的潜水。

**8.3.10** 土中孔隙水压力的测定应符合下列规定：

- 1 测定方法可按表 8.3.10（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 E.0.2）确定；
- 2 测试点位置应根据地质条件和分析需要选定；
- 3 测压计的安装在埋设应符合有关安装技术规定；
- 4 测试数据应及时分析整理，出现异常时应分析原因，采取相应措施。

**表 8.3.10 孔隙水压力测定方法和适用条件**

仪器类型		适用条件	测定方法
测压计式	立管式测压计	渗透系数大于 $10^{-4} \text{ cm/s}$ 的均匀孔隙含水层	将带有过滤器的测压管打入土层，直接在管内量测
	水压式测压计	渗透系数低的土层，量测由潮汐涨落、挖方引起的压力变化	用装在孔壁的小型测压计探头，地下水压力通过塑料管传导至水银压力计测定
	电测式测压计（电阻应变式、钢弦应变式）	各种土层	孔压通过透水石传导至膜片，引起挠度变化，诱发电阻片（或钢弦）变化，用接收仪测定
	气动测压计	各种土层	利用两根排气管使压力为常数，传来的孔压在透水元件中的水压阀产生压差测定
孔压静力触探仪		各种土层	在探头上装有多孔透水过滤器、压力传感器，在贯入过程中测定

**8.3.11** 孔隙水压力测试应注意下列问题：

1 在选择测试方法和测试仪器时，应注意地层条件和分析需要，是否能达到测试目的，对于静水压力和稳态渗流条件下的孔隙水压力的测试，孔隙水压力随时间的变化很小，可以忽略，可以选用反应虽然较慢但性能稳定的方法和仪器；对非稳定的超静孔隙水压力的测试，如打桩、强夯等产生的孔隙水压力，增长和消散随时间的变化很快，应选用反应迅速的方法和仪器。

2 各种测试方法的特点和优缺点简要说明如下：

立管式测压计将带有过滤器的测压管打入土层，直接在管内量测，安装简单，并可测定土的渗透性。但过滤器易堵塞，影响精度。反应时间较慢，适用于渗透系数大于  $10^{-4} \text{ cm/s}$  的均匀孔隙含水层。

水压式测压计用装在孔壁的小型测压计探头，水压力通过塑料管传至水银压力计测定孔隙水压力。反应快，可用于测定渗透性，宜用于浅埋，有时也用于在钻孔中量测大的孔隙水压力。但因装置埋设在土层，施工时易受损坏。

电测式测压计（电阻应变式、钢弦应变式），孔隙水通过透水石传导至膜片，引起挠度变化，诱发电阻片或钢弦变化，用接收仪测定孔隙水压力。性能稳定，灵敏度高，不受电线

长短影响。但安装技术要求高，安装后不能检验，透水探头不能排气，电阻应变片不能保持长期稳定。

气动测压计利用排水管使压力为常数，传来的孔压在透水元件中水压间产生压差测定。价格低廉，安装方便，反应快，但透水探头不能排气，不能测渗透性。

孔压静力触探仪在贯入过程中测定孔隙水压力，操作简便，可在现场直接得到超静孔隙水压力曲线，同时测出土层的锥尖阻力。

目前我国测定孔隙水压力，多使用振弦式孔隙水压力计，即电测式测压计和数字式钢弦频率接收仪。

**3** 孔隙水压力试验点的布置，应考虑地层性质、工程要求、基础形式等，包括量测地基土在荷载不断增加过程中，新建筑物对邻近建筑物的影响、深基础施工和地基处理引起孔隙水压力的变化，对圆形基础一般以圆心为基点按径向布孔，其水平及垂直方向的孔距多为5~10m。

**4** 测压计的埋设与安装直接影响测试成果的正确性。埋设前必须经过标定，安装时将测压计探头放置到预定深度，其上覆盖30cm砂均匀充填，并投入膨润土球，经压实，注入泥浆密封。泥浆的配合比为4（膨润土）:8~12（水）:1（水泥），地表部分应有保护罩，以防灌入。

## 8.4 水文地质参数测定

### （I） 抽水试验

- 8.4.1** 抽水试验应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第7.2.5条）
- 1** 抽水试验方法可按表8.4.1（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表7.2.5）选用；
  - 2** 抽水试验宜三次降深，最大降深应接近工程设计所需的地下水位降深的标高；
  - 3** 水位量测应采用同一方法和仪器，读数对抽水孔为厘米，对观测孔为毫米；
  - 4** 当涌水量与时间关系曲线和动水位与时间的关系曲线，在一定范围内波动，而没有持续上升和下降时，可认为已经稳定；
  - 5** 抽水结束后应量测恢复水位。

表 8.4.1 抽水试验方法和应用范围

试 验 方 法	应 用 范 围
钻孔或探井简易抽水	粗略估算弱透水层的渗透系数
不带观测孔抽水	初步测定含水层的渗透性参数
带观测孔抽水	较准确测定含水层的各种参数

**8.4.2** 在岩土工程勘察中，一般采用稳定流抽水试验；抽水孔的钻孔适宜半径 $r \geq 0.01M$ （ $M$ 为含水层厚度），或者利用适宜半径的岩土工程勘察钻孔。抽水孔深度的确定，与试验目的有关。若以试验段长度与含水层厚度两者关系而言，有完整井与非完整井两种情况。

观测孔的布置，决定于地下水的流向、坡度和含水层的均一性。一般布置在与地下水流向垂直的方向上，与抽水孔的距离以1~2个含水层厚度为宜。孔深一般要求进入抽水孔试验段厚度之半。

为测定水文地质参数（渗透系数、给水度等）的抽水试验，应在单一含水层中进行，并应采取措施，避免其他含水层的干扰。试验地点和层位应有代表性，地质条件应与计算分析



方法一致。为获得较为准确，合理的渗透系数  $k$ ，以进行小流量、小降深的抽水试验为宜。

**8.4.3** 稳定流抽水试验的稳定延续时间，应符合下列要求：（《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 第 6.2.3 条）

- 1 卵石、圆砾和粗砂含水层为 8h；
- 2 中砂、细砂和粉砂含水层为 16h；
- 3 基岩含水层（带）为 24h。

**8.4.4** 为测定水文地质参数而进行的抽水试验还应注意下列事项：

1 单孔抽水试验时，宜在主孔过滤器外设置水位观测管，不设置观测管时，应估计过滤器阻力的影响；

2 承压水完整井抽水试验时，主孔降深不宜超过含水层顶板，超过顶板时，计算渗透系数应采用相应的公式；

3 潜水完整井抽水试验时，主孔降深不宜过大，不得超过含水层厚度的 1/3；

4 降落漏斗在平面上应近似圆形，对椭圆形漏斗宜同时在长轴方向和短轴方向上布置观测孔；对傍河抽水试验和有不透水边界的抽水试验，应选择适宜的公式计算；

5 非完整井的抽水试验应采用相应的计算公式；

6 抽水试验时，动水位和出水量观测的时间，宜在抽水开始后的第 5、10、15、20、25、30min 各测一次，以后每隔 30min 或 60min 测一次。（《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 第 6.2.4 条第 1 段）

**8.4.5** 水文地质参数的计算，必须在分析勘察区水文地质条件的基础上，合理地选用公式（选用的公式应注明出处）。（《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 第 8.1.1 条）

**8.4.6** 单孔稳定流抽水试验，当利用抽水孔的水位下降资料计算渗透系数时，可采用下列公式：（《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 第 8.2.1 条）

1 当  $Q \sim s$  (或  $\Delta h^2$ ) 关系曲线呈直线时 ( $\Delta h^2 = H^2 - h^2$ )

1) 承压水完整孔：

$$k = \frac{Q}{2\pi sM} \ln \frac{R}{r} \quad (8.4.6-1)$$

2) 承压水非完整孔：

当  $M > 150r$ ,  $l / M > 0.1$  时：

$$k = \frac{Q}{2\pi sM} \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \ln \frac{1.12 M}{\pi r} \right) \quad (8.4.6-2)$$

或当过滤器位于含水层的顶部或底部时：

$$k = \frac{Q}{2\pi sM} \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \ln \left( 1 + 0.2 \frac{M}{r} \right) \right) \quad (8.4.6-3)$$

3) 潜水完整孔：

$$k = \frac{Q}{\pi (H^2 - h^2)} \ln \frac{R}{r} \quad (8.4.6-4)$$

4) 潜水非完整孔：

当  $\bar{h} > 150r$ ,  $l / \bar{h} > 0.1$  时：

$$k = \frac{Q}{\pi (H^2 - h^2)} \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{\bar{h}-l}{l} \cdot \ln \frac{1.12 \bar{h}}{\pi r} \right) \quad (8.4.6-5)$$

或当过滤器位于含水层的顶部或底部时：

$$k = \frac{Q}{\pi(H^2 - h^2)} \left[ \ln \frac{R}{r} + \frac{\bar{h} - l}{l} \cdot \ln \left( 1 + 0.2 \frac{\bar{h}}{r} \right) \right] \quad (8.4.6-6)$$

式中  $k$ ——渗透系数(m/d);

$Q$ ——出水量(m<sup>3</sup>/d);

$s$ ——水位下降值(m);

$M$ ——承压水含水层的厚度(m);

$H$ ——自然情况下潜水含水层的厚度(m);

$\bar{h}$ ——潜水含水层在自然情况下和抽水试验时的厚度的平均值(m);

$h$ ——潜水含水层在抽水试验时的厚度(m);

$l$ ——过滤器的长度(m);

$r$ ——抽水孔过滤器的半径(m);

$R$ ——影响半径(m)。目前,缺少观测孔的水位下降资料时,影响半径可采用经验数据或经验公式。

2 当  $Q \sim s$ (或  $\Delta h^2$ )关系曲线呈曲线时,可采用插值法得出  $Q \sim s$  代数多项式,即:

$$s = a_1 Q + a_2 Q^2 + \dots + a_n Q^n \quad (8.4.6-7)$$

式中  $a_1, a_2, \dots, a_n$ ——待定系数。

注:  $a_1$  宜按均差表求得后,可相应地将公式(8.4.6-1)、(8.4.6-2)、(8.4.6-3)中的  $Q/s$  和公式

(8.4.6-4)、(8.4.6-5)、(8.4.6-6)中的  $\frac{Q}{H^2 - h^2}$  以  $1/a_1$  代换,分别进行计算。

3 当  $s/Q$ (或  $\Delta h^2/Q \sim Q$ )关系曲线呈直线时,可采用作图截距法求出  $a_1$  后,按本条第二款代换,并计算。

**8.4.7 单孔稳定流抽水试验**,当利用观测孔中的水位下降资料计算渗透系数时,若观测孔中的值  $s$ (或  $\Delta h^2$ ) 在  $s$ (或  $\Delta h^2$ )  $\sim \lg r$  关系曲线上能连成直线,可采用下列公式: (《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 第 8.2.2 条)

1 承压水完整孔:

$$k = \frac{Q}{2\pi M (s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (8.4.7-1)$$

2 潜水完整孔:

$$k = \frac{Q}{\pi (\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (8.4.7-2)$$

式中  $s_1, s_2$ ——在  $s \sim \lg r$  关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值(m);

$\Delta h_1^2, \Delta h_2^2$ ——在  $\Delta h^2 \sim \lg r$  关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值(m<sup>2</sup>);

$r_1, r_2$ ——在  $s$ (或  $\Delta h^2$ )  $\sim \lg r$  关系曲线上纵坐标为  $s_1, s_2$ (或  $\Delta h_1^2, \Delta h_2^2$ ) 的

两点至抽水孔的距离 (m)。

**8.4.8** 用非稳定流抽水试验或水位恢复法计算渗透系数、导水系数、给水度、释水系数等水文地质参数时,应符合下列要求:

- 1 非稳定流抽水试验的地质条件与计算假定条件一致;
- 2 非稳定流抽水试验的涌水量应保持恒定;
- 3 按观测时间与水位降深之间的关系;
- 4 抽水延续时间应根据  $s(\Delta h^2) - \lg t$  曲线确定,并符合下列要求:
  - 1)  $s(\Delta h^2) - \lg t$  曲线拐点后出现平缓线,并能推出最大水位降时,即可结束;
  - 2) 如  $s(\Delta h^2) - \lg t$  曲线无拐点,呈直线延伸,则  $\lg t$  轴上的数据不得少于两个对数周期;
  - 3) 有观测孔时,宜用观测孔的观测数据,多孔观测时宜用较远观测孔的观测数据。

## (II) 压水试验

**8.4.9** 压水试验应根据工程要求,结合工程地质测绘和钻探资料,确定试验孔位,按岩层的渗透特性划分试验段,按需要确定试验的起始压力、最大压力和压力级数,及时绘制压力与压入水量的关系曲线,计算试段的透水率,确定  $p-Q$  曲线的类型。

**8.4.10** 常规性的压水试验为吕荣试验,也可根据工程需要,进行专门性的压水试验;钻孔压水试验可根据工程要求、试验条件和分析需要,在下列方法中选用:

- 1 按试验段划分:分段压水试验、综合压水试验、全孔压水试验;
- 2 按压力点划分:一点压水试验、三点压水试验、多点压水试验;
- 3 按试验压力划分:低压压水试验、高压压水试验;
- 4 按加压的动力源划分:水柱压力法、自流压力法、机械压力法。

**8.4.11** 钻孔压水试验应随钻孔的加深自上而下地用单栓塞分段隔离进行。对岩土层完整、孔壁稳定的孔段,或有必要单独进行试验的孔段,可采用双栓塞分段进行。压水试验的试验段长度一般采用 5m,要根据地层的单层厚度,裂隙发育程度以及工程要求等因素确定;相邻试段应相互衔接,可少量重叠,但不能漏段。残留岩芯可计入试段长度之内。

**8.4.12** 压水试验过程中控制的主要参数有:稳定流量(压入耗水量  $Q$ )、压力阶段和压力值,应满足以下要求:

1 稳定流量可按《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL31-2003)中要求确定,若进行简易压水试验,可低于规程中标准;

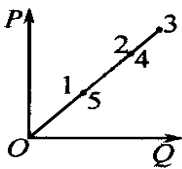
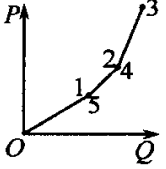
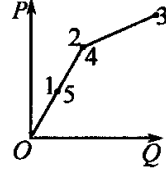
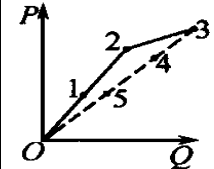
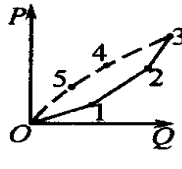
2 按工程需要确定试验最大压力、压力施加的分级数及起始压力;调整压力表的工作压力为起始压力;一般采用三级压力五个阶段进行,取 1.0MPa 为试验最大压力;每 1~2min 记录压入水量,当连续五次读数的最大值和最小值与最终值之差,均小于最终值的 10%时,为本级压力的最终压入水量,这是为了更好地控制压入量的最终值接近极值,以控制试验精度;

3 压水试验压力施加方法应由小到大,逐级增加到最大压力后,再由大到小逐级减小到起始压力;并逐级测定相应的压入水量,及时绘制压力与压入水量的相关图表,其目的是了解岩层裂隙在各种压力下的特点,如高压堵塞、成孔填塞、裂隙张闭、周围井泉等因素的影响;

4  $p-Q$  曲线可分为五种类型: A 型(层流型)、B 型(紊流型)、C 型(扩张型)、D 型(冲蚀型)、E 型(充填型)。具体见表 8.4.12。

表8.4.12

 $p-Q$  曲线类型及曲线特点表

类型名称	A(层流)型	B(紊流)型	C(扩张)型	D(冲蚀)型	E(充填)型
$p-Q$ 曲线					
曲线特点	升压曲线为通过原点的直线, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $Q$ 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $p$ 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $p$ 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈顺时针环状	升压曲线凸向 $Q$ 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈逆时针环状

5 试验时应经常观测工作管外的水位变化及附近可能受影响的坑、孔、井、泉的水位和水量变化, 出现异常时应分析原因, 并及时采取相应措施。

**8.4.13** 压水试验应按三级压力、五个阶段[即 $p_1-p_2-p_3-p_4(p_2)-p_5(p_1)$ ,  $p_1 < p_2 < p_3$ ]进行。 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  三级压力宜分别为0.3MPa、0.6MPa和1MPa。当试段埋深较浅时, 宜适当降低试段压力。

**8.4.14** 试段压力的确定应遵守下列规定:

1 当用安设在与试段连通的测压管上的压力计测压时, 试段压力按式(8.4.14-1)计算:

$$p = p_p + p_z \quad (8.4.14-1)$$

式中  $p$  —— 试段压力 (MPa);

$p_p$  —— 压力计指示压力 (MPa);

$p_z$  —— 压力计中心至压力计算零线的水柱压力 (MPa)。

2 当用安设在进水管上的压力计测压时, 试段压力按式(8.4.14-2)计算:

$$p = p_p + p_z - p_s \quad (8.4.14-2)$$

式中  $p_s$  —— 管路压力损失 (MPa); 其余符号同式(8.4.14-1)。

**8.4.15** 压力计算零线的确定应遵守下列规定:

- 1 当地下水位在试段以下时, 压力计算零线为通过试段中点的水平线;
- 2 当地下水位在试段以内时, 压力计算零线为通过地下水位以上试段中点的水平线;
- 3 当地下水位在试段以上时, 压力计算零线为地下水位线。

**8.4.16** 管路压力损失的确定应遵守下列规定:

1 当工作管内径一致, 且内壁粗糙度变化不大时, 管路压力损失可用式(8.4.16)计算:

$$p_s = \lambda \frac{L_p}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (8.4.16)$$

式中  $\lambda$  —— 摩阻系数,  $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{MPa/m} \sim 4 \times 10^{-4} \text{MPa/m}$ ;

$L_p$  —— 工作管长度 (m);

$d$  —— 工作管内径 (m);

$v$  —— 管内流速 (m/s);

$g$  —— 重力加速度,  $g=9.8\text{m/s}^2$ 。

2 当工作管内径不一致时, 依据《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL31-2003), 管路压力损失应根据实测资料确定。

**8.4.17** 压水试验钻孔的孔径宜为59~150mm。钻孔宜采用金刚石或合金钻头钻进, 不应使用泥浆等护壁材料钻进, 在碳酸盐类地层钻进时, 应选用合适的冲洗液。试验钻孔的套管脚必须止水。在同一地点布置两个以上钻孔(孔距10m以内)时, 应先完成拟做压水试验的钻孔。

**8.4.18** 测量压力的压力表、压力传感器、流量计、水位计等量测设备应符合下列要求:

1 压力表应反应灵敏, 卸压后指针回零, 量测范围应控制在极限压力值的1/3~3/4。

2 压力传感器的压力范围应大于试验压力;

3 流量计应能在1.5MPa压力下正常工作, 量测范围应与水泵的出力相匹配, 并能测定正向和反向流量;

4 宜使用能测量压力和流量的自动记录仪进行压水试验;

5 水位计应灵敏可靠, 不受孔壁附着水或孔内滴水的影响。水位计的导线应经常检测。

6 试验用的仪表应专门保管, 并定期进行检定。

**8.4.19** 试验用水应保持清洁, 当水源的泥沙含量较多时, 应采取沉淀措施。

**8.4.20** 洗孔应采用压水法, 洗孔时钻具应下到孔底, 流量应达到水泵的最大出力。洗孔应至孔口回水清洁, 肉眼观察无岩粉或泥浆时方可结束。当孔口无回水时, 洗孔时间不得少于15min。

**8.4.21** 水位观测应遵守以下规定:

1 下栓塞前应首先观测1次孔内水位, 试段隔离后, 再观测工作管内水位;

2 工作管内水位观测应每隔5min进行1次。当水位下降速度连续2次均小于5cm/min时, 观测工作即可结束, 用最后的观测结果确定压力计算零线;

3 在工作管内水位观测过程中如发现承压水时, 应观测承压水位。当承压水位高出管口时, 应进行压力和漏水量观测。

**8.4.22** 压力和流量观测应遵守以下规定:

1 在向试段送水前, 应打开排气阀, 待排气阀连续出水后, 再将其关闭;

2 流量观测前应调整调节阀, 使试段压力达到预定值并保持稳定;

3 流量观测工作应每隔1~2min进行1次。当流量无持续增大趋势, 且5次流量读数中最大值与最小值之差小于最终值的10%, 或最大值与最小值之差小于1L/min时, 本阶段试验即可结束, 取最终值作为计算值;

4 将试段压力调整到新的预定值, 重复上述试验过程, 直到完成该试段的试验;

5 在降压阶段, 如出现水由岩体向孔内回流现象, 应记录回流情况, 待回流停止, 流量达到规定的标准后方可结束本阶段试验;

6 在试验过程中, 对附近受影响的露头、井、坑、孔、泉等应进行观测;

7 在压水试验结束前, 应检查原始记录是否齐全、正确, 发现问题必须及时纠正。

**8.4.23** 试验资料整理应包括校核原始记录、绘制 $p$ - $Q$ 曲线, 确定 $p$ - $Q$ 曲线类型, 计算试段透水率、渗透系数等。

1 绘制 $p$ - $Q$ 曲线时, 应采用统一比例尺, 即纵坐标( $p$ 轴)1mm代表0.01MPa, 横坐标( $Q$ 轴)1mm代表1L/min。曲线图上各点应标明序号, 并依次用直线相连, 升压阶段用实线, 降压阶段用虚线;

2 试段的 $p$ - $Q$ 曲线类型应根据升压阶段 $p$ - $Q$ 曲线的形状以及降压阶段 $p$ - $Q$ 曲线与升压阶段 $p$ - $Q$ 曲线之间的关系确定;

3 当 $p$ - $Q$ 曲线中第4点与第2点、第5点与第1点的流量值绝对差不大于1L/min或相对差不

大于5%时，可认为基本重合；

4 试段透水率采用第三阶段的压力值 ( $p_3$ ) 和流量值 ( $Q_3$ ) 按式 (8.4.23-1) 计算：

$$q = \frac{Q_3}{L p_3} \quad (8.4.23-1)$$

式中  $q$  —— 试段的透水率，单位吕荣 (Lu)，取两位有效数字；

$L$  —— 试段长度 (m)；

$Q_3$  —— 第三阶段的计算流量 (L/min)；

$p_3$  —— 第三阶段的试段压力 (MPa)。

5 当需要根据压水试验成果计算岩土体渗透系数时，可按式 (8.4.23-2) 计算：

$$k = \frac{Q}{2\pi H L} \ln \frac{L}{r_0} \quad (8.4.23-2)$$

式中  $k$  —— 岩体渗透系数 (m/d)；

$Q$  —— 压入流量 (m<sup>3</sup>/d)；

$H$  —— 试验水头 (m)；

$r_0$  —— 钻孔半径 (m)。

### (III) 渗水和注水试验

**8.4.24** 渗水试验和注水试验可在试坑或钻孔中进行。对砂土和粉土，可采用试坑单环法；对粘性土可采用试坑双环法；试验深度较大时可采用钻孔法，孔内渗透试验包括常水头法渗透试验和变水头法渗透试验，常水头法适用于砂、砾石、卵石等强透水地层；变水头法适用于粉砂、粉土、粘性土等弱透水地层。变水头法又可分为升水头法和降水头法。

**8.4.25** 试坑渗水试验是野外测定包气带非饱和岩土层渗透系数的简易方法。

1 单环法是在试坑底嵌入一高为 20cm，直径为 37.75cm 的铁环，该铁环圈定的面积为 1000cm<sup>2</sup>。在试验开始时，用 Mariotte 瓶控制环内水柱，保持在 10cm 高度上。试验一直进行到渗入水量  $Q$  固定不变时为止，就可按式 (8.4.25) 计算此时的渗透速度  $v$ 。

$$v = \frac{Q}{F} = k \quad (8.4.25)$$

所得的渗透速度  $v$  即为该岩（土）层的渗透系数  $k$ 。

#### 2 双环法

双环法是在试坑底嵌入两个铁环，外环直径采用 0.5m，内环直径采用 0.25m。试验时往铁环内注水，用 Mariotte 瓶控制外环和内环的水柱都保持在同一高度（如 10cm）。根据内环所取得的资料按上述方法确定岩（土）层的渗透系数。

**8.4.26** 孔内渗透试验应注意以下事项：

1 试验孔成孔时应采用清水钻进，不得使用泥浆，试验前应仔细清孔。

2 升水头法试验应避免孔底涌砂对试验成果的影响，试验后应量测孔底，并与试验前比较。降水头法应防止沉渣堵塞土的孔隙，应清孔后做第二次试验校核。

3 常水头法试验时，应向孔内注水至套管顶或某一固定高度。不断补充注水，保持水头稳定，并记录流量。注水至固定水头后，开始按 1min、2min、2min、5min、5min，以后均按 5min 间隔记录一次流量，并绘制流量  $Q$  与时间  $t$  关系曲线，直到最后 2h 平均流量之差小于 10% 时视为稳定流量。

4 升水头试验可在孔内抽水至一定深度,测读随时间的水位,直至水位基本稳定;降水头试验可在孔内注水至一定高度,测读随时间的水位,直至水位基本稳定。间隔时间按地层渗透性确定,一般按 1min、2min、2min、5min、5min,以后均按 5min 间隔记录一次,并应及时在半对数纸上绘制水头比  $H/H_0$  与时间  $t$  关系曲线。

8.4.27 根据《注水试验规程》(YS5214-2000),常水头法渗透试验结果,按下式计算渗透系数  $K$ :

$$k = \frac{Q}{FHc} \quad (8.4.27)$$

式中,  $Q$ —— $Q-t$  关系曲线上的稳定流量;

$F$ ——试验段与注水管的形状系数,可参照有关规程查表取得;

$Hc$ ——常水头,自地下水位算起。

8.4.28 根据《注水试验规程》(YS5214-2000),钻孔降水头法渗透试验资料整理按以下步骤进行:

1 绘制水头比  $H/H_0$  与时间  $t$  的关系图(图 8.4.28)。

2 确定滞后时间。滞后时间  $T$  是指孔中注满水后,出现初始水头  $H_0$  并以初始流量进行渗透,随时间水头  $H$  逐渐消散,当水头  $H$  消散为零时所需的时间。滞后时间的确定,可用 1:0.37 时所对应的时间,也可用图解法和计算法确定。

1) 图解法。在  $\ln(H/H_0)-t$  关系图上,最佳拟合直线与 1:0.37 横线相交点所对应的时间即为滞后时间。

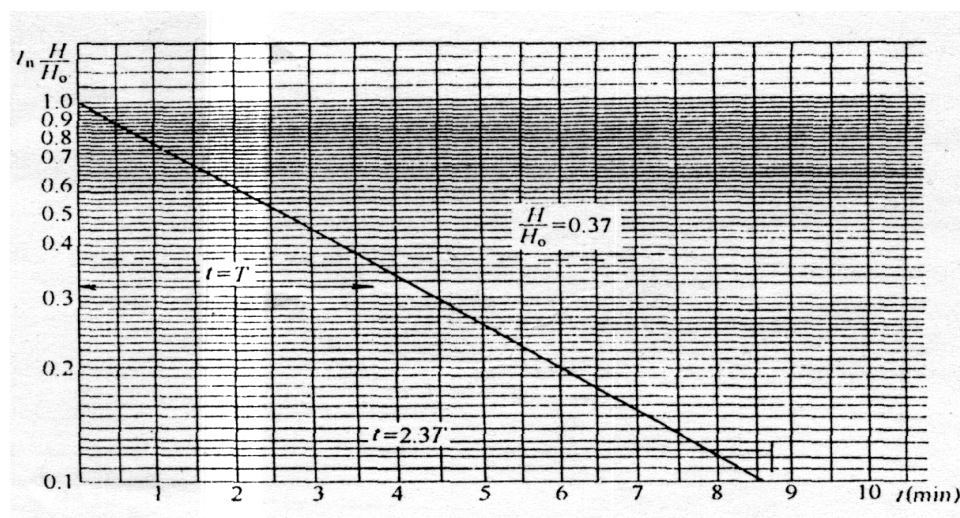


图 8.4.28 滞后时间  $T$  的图解

2) 计算法。按式 8.4.28-1 计算:

$$T = \frac{t_1 - t_2}{\ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)} \quad (8.4.28-1)$$

3 计算渗透系数:假定渗流符合达西定律,渗入土层的水等于钻孔套管内的水位下降后减少的水体积,由式 (8.4.28-2) 计算渗透系数:

$$k = \frac{A}{FT} \quad (8.4.28-2)$$

式中:  $A$ ——注水管内径截面积 ( $\text{cm}^2$ );

$H_1$ ——在时间  $t_1$  时的试验水头 ( $\text{cm}$ );

$H_2$ ——在时间  $t_2$  时的试验水头 ( $\text{cm}$ );

$F$ ——试验段与注水管的形状系数。

## 8.5 地下水作用评价

**8.5.1** 地下水力学作用的评价应包括下列内容: (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.3.2 条)

1 对地基基础、地下结构物和挡土墙, 应考虑在最不利组合情况下, 地下水对结构物的上浮作用, 原则上应按设计水位计算浮力; 对节理不发育的岩石和粘土且有地方经验或实测数据时, 可根据经验确定; 有渗流时, 地下水的水头和作用宜通过渗流计算进行分析评价;

2 验算边坡稳定时, 应考虑地下水及其渗透力对边坡稳定的不利影响;

3 在地下水位下降的影响范围内, 应考虑地面沉降及其对工程的影响; 当地下水位回升时, 应考虑可能引起的回弹和附加的浮托力;

4 当墙背填土为粉砂、粉土或粘性土, 验算支挡结构物的稳定时, 应根据不同排水条件评价静水压力、渗透力对支挡结构物的作用;

5 在有水头压差的粉细砂、粉土地层中, 应评价产生潜蚀、流砂、涌土、管涌的可能性;

6 在地下水位下开挖基坑或地下工程时, 应根据岩石的渗透性、地下水补给条件, 分析评价降水或隔水措施的可行性及其对基坑稳定和邻近工程的影响。

**8.5.2** 评价地下水对结构的上浮作用时, 其中抗浮设防水位的确定宜做专项咨询, 并应做好以下工作:

1 研究场区各层地下水的赋存条件, 场区地下水与区域性水文地质条件之间的关系, 各层地下水的变化趋势, 以及引起这种变化的客观条件。在此基础上, 对建筑物运营期间内各层地下水位最高水位作出预测和估计;

2 根据基础底板的埋深与场地含水层的相对关系, 分析场区地下水的渗流特征以及由此造成的压力水头的分布形态, 得到基底的实际浮力。

**8.5.3** 地下建筑物的抗浮设防水位应是在建筑物运营过程中基础所在地下水层可能出现的最高水位, 最高水位的确定和预测需掌握以下资料:

1 区域的气象条件的变化与工程地质、水文地质背景;

2 地下水的补给与排泄关系、赋存状态与渗流规律;

3 地下水位长期观测资料;

4 从长期观测资料与地下水补给、排泄关系分析得到的影响地下水位的主要因素。

**8.5.4** 影响地下水位的主要因素可从以下几个方面分析:

1 需预测的地下含水层的水位与补给水源的可能变化及与地面水 (包括大气降水) 入渗的关系;

2 城市规划中地下水的开采量变化对该地下水的影响;

3 建筑物周围的环境, 与周围水系的联系;

4 其他各层地下水与其补给排泄的影响。



**8.5.5** 一般情况地下水抗浮设防水位的综合确定应符合下列规定：

1 当有长期水位观测资料时，抗浮设防水位可根据该层地下水实测最高水位和建筑物运营期间地下水的变化来确定；无长期水位观测资料或资料缺乏时，按勘察期间实测最高稳定水位并结合场地地形地貌、地下水补给、排泄条件等因素综合确定；在滨海和滨江地区，抗浮设防水位应考虑洪水、潮汐及涌浪的影响，一般可取室外地坪标高；

2 场地有承压水且与潜水有水力联系时，应实测承压水水位并考虑其对抗浮设防水位的影响；

3 只考虑施工期间的抗浮设防时，抗浮设防水位可按一个水文年的最高水位确定。

**8.5.6** 对已发生地面沉降的地区，可根据工程地质、水文地质条件采取下列控制和治理方案：

1 减少地下水开采量及水位降深。当地面沉降发展剧烈时，应暂时停止开采地下水；

2 对地下水进行人工补给、回灌时应控制回灌水源的水质标准，以防止地下水被污染，并应根据地下水动态和地面沉降规律，制定合理的开采回灌方案；

3 调整地下水开采层次，进行合理开采，适当开采深层地下水或岩溶裂隙水。

**8.5.7** 对可能发生地面沉降的地区应预测地面沉降的可能性和估算沉降量，并可采取下列预测和防治措施：

1 根据场地工程地质与水文地质条件，预测可压缩层和含水层的分布；

2 根据室内、外测试（包括抽水压密试验，渗透试验、先期固结压力试验、流变试验、反复载荷试验等）和沉降观测资料，评价地面沉降和发展趋势；

3 提出地下水资源的合理开采方案；

4 根据场地的具体条件和预测的地面沉降发展趋势，提出在地面沉降区内进行工程建筑应采取的措施。在严重沉降地区不应建设一级建筑物。

**8.5.8** 对因工程降水而形成的局部地面沉降，主要评价其不均匀沉降造成对周边建筑物的影响，预估沉降量时应考虑以下几个方面：

1 调查拟建场地周边历史上是否已进行过工程降水；

2 已有的建筑经验；

3 工程降水的周期和降水形成水位线；

4 地层结构。

**8.5.9** 土中有地下水但未形成渗流时，作用于支护结构上的侧压力可按下列规定计算：（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 6.2.6 条）

1 对砂土和粉土按水土分算原则计算；

2 对粘性土宜根据工程经验按水土分算或水土合算原则计算；

3 按水土分算原则计算时，作用在支护结构上的侧压力等于土压力和静水压力之和，

地下水位以下的土压力采用浮重度（ $\gamma'$ ）和有效应力抗剪强度指标（ $c'$ 、 $\phi'$ ）计算；

4 按水土合算原则计算时，地下水位以下的土压力采用饱和重度（ $\gamma_{sat}$ ）和总应力抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）指标计算。

根据《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）第 6.2.7 条：土中有地下水形成渗流时，作用于支护结构上的侧压力，除按《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）第 6.2.6 条计算外，尚应计算渗透力。

**8.5.10** 渗流作用可能产生的流土、管涌的现象，按水力条件判别式为：

$$i_{\max} > i_{cr} \quad (8.5.10)$$

式中： $i_{\max}$  —— 基坑某个部位的最大渗流梯度；

$i_{cr}$  —— 临界梯度

按土质条件，可参考下面条件来评价：

1 不均匀系数小于 10 的均匀砂土，或不均匀系数虽大于 10，但细粒含量超过 35% 的砂砾石，其表现形式为流土；

2 正常级配的砂砾石，当其不均匀系数大于 10，但细粒含量小于 35% 时，其表现形式为管涌；缺乏中间粒径的砂砾石，当细粒含量小于 20% 时为管涌，大于 30% 时为流土。

**8.5.11** 在防止由于深处承压水水压力而引起的基底隆起，需验算基坑底不透水层厚度与承压水水头压力，按平衡式(8.5.11-1)进行计算：

$$rH = r_w h \quad (8.5.11-1)$$

要求基坑开挖后不透水层的厚度按式 (8.5.11-2) 计算：

$$H \geq (\gamma_w / \gamma) h \quad (8.5.11-2)$$

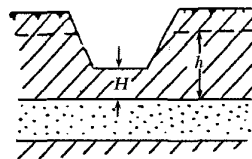


图 8.5.11 含水层示意图

式中  $H$  —— 基坑开挖后不透水层的厚度 (m)；

$\gamma$  —— 土的重度；

$\gamma_w$  —— 水的重度；

$h$  —— 承压水头高于含水层顶板的高度 (m)。

以上公式中当  $H = (\gamma_w / \gamma)h$  时处在极限平衡状态，工程实践中，应有一定的安全度，但多少为宜，应根据实际工程经验确定。

**8.5.12** 地下水的物理、化学作用的评价应包括下列内容：

1 对地下水位以下的工程结构，应评价地下水对混凝土、金属材料的腐蚀性，评价方法按第 7 章执行；

2 对软质岩石、强风化岩石、残积土、湿陷性土、膨胀岩土和盐渍岩土，应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用；

3 在冻土地区，应评价地下水对土的冻胀和融陷的影响，评价方法按第 10.7 节执行。

**8.5.13** 对地下水采取降低水位措施时，应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.3.4 条）

1 施工中地下水位应保持在基坑底面以下 0.5~1.5m；

2 降水过程中应采取有效措施，防止土颗粒的流失；

3 防止深层承压水引起的突涌，必要时应采取降低措施降低基坑下的承压水头。

**8.5.14** 采取降水措施时需要考虑的问题主要有：

1 能否疏干基坑内的地下水，得到便利安全的作业面；

2 在造成水头差条件下，基坑侧壁和底部土体是否稳定；

3 由于地下水的降低，是否会对邻近建筑、道路和地下设施造成不利影响。

**8.5.15** 工程降水方法可参考表 8.5.15 选用。

表8.5.15

降低地下水位方法的适用范围

技术方法	适用地层	渗透系数 $k$ (m / d)	降水深度
明排井	粘性土、粉土、砂土	<20	<2m
真空井点	粘性土、粉土、砂土	0.1~20	单级<6m 多级<20m
电渗井点	粘性土、粉土	<0.1	按井的类型确定
引渗井	粘性土、粉土、砂土	0.1~20	根据含水层条件选用
管井	砂土、碎石土	1.0~200	>5m
大口井	砂土、碎石土	1.0~200	<20m

## 9 场地和地基的地震效应

### 9.1 基本规定

**9.1.1** 根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)的规定:新建、扩建、改建一般建设工程的抗震设计和已建一般建设工程的抗震鉴定与加固必须按《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)规定的地震动参数进行抗震设防。下列工程或地区的抗震设防须做专门研究:

- 1 抗震设防要求高于本地震动参数区划图抗震设防要求的重大工程、可能发生严重次生灾害的工程、核电站和其他有特殊要求的核设施建设工程;
- 2 位于地震动参数区划分界线附近的新建、扩建、改建建设工程;
- 3 某些地震研究程度和资料详细程度较差的边远地区;
- 4 位于复杂工程地质条件区域的大城市、大型厂矿企业、长距离生命线工程以及新建开发区等;
- 5 设计周期超过 50 年的工程。

**9.1.2** 建筑应根据其使用功能的重要性分为甲类、乙类、丙类、丁类四个抗震设防类别。甲类建筑应属于重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑,乙类建筑应属于地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑,丙类建筑应属于除甲、乙、丁类以外的一般建筑,丁类建筑应属于抗震次要建筑。(《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223-2004 第 3.0.2 条)

建筑抗震设防类别的划分,应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 的规定。在进行岩土工程勘察时其建筑的类别应由委托方或设计单位提供。

**9.1.3** 抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区,应进行场地和地基地震效应的岩土工程勘察,并应根据国家批准的地震动参数区划和有关的规范,提出勘察场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计特征周期分区。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.1 条)

**9.1.4** 在抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区进行勘察时,应划分场地类别,划分对抗震有利、不利或危险的地段。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.2 条)

**9.1.5** 存在饱和砂土和饱和粉土的地基,除 6 度设防外,应进行液化判别;存在液化土层的地基,应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级,结合具体情况采取相应的措施。(《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.2 条)

**9.1.6** 岩土工程勘察应根据抗震设计要求,提供土层剖面、覆盖层厚度和剪切波速度等有关参数。

**9.1.7** 抗震设防烈度等于或大于 7 度的重大工程场地应进行活动断裂(以下简称断裂)勘察。断裂勘察应查明断裂的位置和类型,分析其活动性和地震效应,评价断裂对工程建设可能产生的影响,并提出处理方案。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.1 条)

**9.1.8** 抗震设防烈度等于或大于 7 度的厚层软土分布区,宜判别软土震陷的可能性和估算震陷量。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.11 条)

### 9.2 场地

**9.2.1** 选择建筑场地时,应按表 9.2.1 (《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 表 4.1.1) 划

分对建筑抗震有利、不利和危险的地段。

**表 9.2.1 有利、不利和危险地段的划分**

地段类别	地 质、地 形、地 貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层(如故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基)等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位

注：其他地段可视为可进行建设的一般地段。

**9.2.2** 建筑场地的类别划分，应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.2 条）

**9.2.3** 土层剪切波速的测量，应符合下列要求：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.3 条）

- 1 在场地初步勘察阶段，对大面积的同一地质单元，测量土层剪切波速的钻孔数量，应为控制性钻孔数量的 1/3~1/5，山间河谷地区可适量减少，但不宜少于 3 个。
- 2 在场地详细勘察阶段，对单幢建筑，测量土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 2 个，数据变化较大时，可适量增加；对小区中处于同一地质单元的密集高层建筑群，测量土层剪切波速的钻孔数量可适量减少，但每幢高层建筑下不得少于一个。
- 3 对丁类建筑及层数不超过 10 层且高度不超过 30m 的丙类建筑，当无实测剪切波速时，可根据岩土名称和性状，按表 9.2.3（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 表 4.1.3 ）划分土的类型，再利用当地经验在表 9.2.3 的剪切波速范围内估计各土层的剪切波速。

**表 9.2.3 土的类型划分和剪切波速范围**

土的类型	岩 土 名 称 和 性 状	土层剪切波速范围(m / s)
坚硬土或岩石	稳定岩石，密实的碎石土	$v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 200$ 的粘性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 200$ 的粘性土和粉土， $f_{ak} > 130$ 的填土，可塑黄土	$250 \geq v_s > 140$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的粘性土和粉土， $f_{ak} \leq 130$ 的填土，流塑黄土	$v_s \leq 140$

注：  $f_{ak}$  为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值(kPa)；  $v_s$  为岩土剪切波速。

**9.2.4** 现场测量土层剪切波速过程尚需注意以下几个方面：

1 当覆盖层厚度已大致掌握并在以下情况时，为测量土层剪切波速的勘探孔可不必穿过覆盖层，只需达到 20m 即可；

1) 对于中软土，有可靠资料显示覆盖层厚度能明显大于 50m 或小于 50m；

2) 对于软弱土，有可靠资料显示覆盖层厚度能明显大于 80m 或小于 80m。

2 现场实测时要尽量选择钻孔附近没有影响人工波传播障碍物的场地做剪切波速试验钻孔；

3 在波速试验深度范围，如果套管护壁，应尽量做到全程跟进套管，保证套管与土层紧密接触；如果是泥浆护壁钻孔，泥浆比重应尽量小；

4 波速试验数据的采集原则上在地层变层处要采集数据，如果单层土层厚度大于 2m，应该按每 m 加采数据。

**9.2.5** 建筑场地覆盖层厚度的确定，应符合下列要求：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.4 条）

1 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m/s 的土层顶面的距离确定。

2 当地面 5m 以下存在剪切波速大于相邻上层土剪切波速 2.5 倍的土层，且其下卧土的剪切波速均不小于 400m/s 时，可按地面至该土层顶面的距离确定。

3 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体，应视同周围土层。

4 土层中的火山岩硬夹层应视为刚体，其厚度应从覆盖土层中扣除。

**9.2.6** 勘察时，建筑场地覆盖层厚度的确定可通过搜集资料确定，但应有充分的证据；否则，应根据地层剪切波速的不同范围，选择布置相应深度的钻孔查清覆盖层厚度。如果建筑场地类别处在两种类别的分界线附近，需要按插值方法确定地震作用计算所用的设计特征周期时，勘察时应提供可靠的剪切波速和覆盖层厚度。

**9.2.7** 土层的等效剪切波速应按下列公式计算：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.5 条）

$$v_{se} = d_0 / t \quad (9.2.7-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si}) \quad (9.2.7-2)$$

式中  $v_{se}$  —— 土层等效剪切波速 (m/s)；

$d_0$  —— 计算深度 (m)，取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值；

$t$  —— 剪切波在地面至计算深度之间的传播时间；

$d_i$  —— 计算深度范围内第  $i$  土层的厚度 (m)；

$v_{si}$  —— 计算深度范围内第  $i$  土层的剪切波速 (m/s)；

$N$  —— 计算深度范围内土层的分层数。

**9.2.8** 建筑的场地类别，应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 9.2.8（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 表 4.1.6）划分为四类。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表 9.2.8 所列场地类别的分界线附近时，应允许按插值方法确定地震作用计算所用的设计特征周期。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.6 条）

**9.2.9** 按插值方法确定分界线附近（指相差 15% 的范围）地震作用计算所用的设计特征周期时，勘察技术人员应提供场地的实测剪切波速和覆盖层厚度并给出相应建议，具体确定见图

9-2-9。

等效剪切波速 (m / s)	场 地 类 别			
	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
$v_{se} > 500$	0			
$500 \geq v_{se} > 250$	<5	$\geq 5$		
$250 \geq v_{se} > 140$	<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 140$	<3	3~15	>15~80	>80

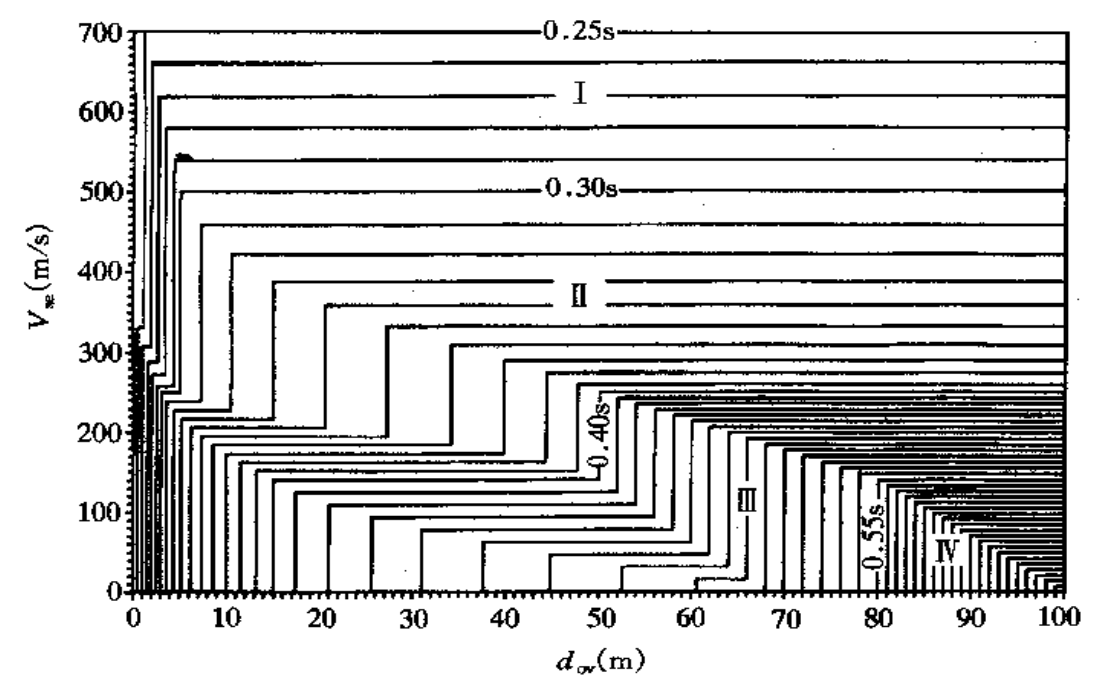


图 9-2-9 在  $d_{ov} - v_{se}$  平面上的  $T_g$  等值线图

(用于设计特征周期一区，图中相邻  $T_g$  等值线的差值均为 0.01s)

9.3 地震影响

- 9.3.1 建筑所在地区遭受的地震影响，应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和设计特征周期或第 9.3.3 条（《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）第 1.0.5 条）规定的设计地震动参数来表征。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 3.2.1 条）
- 9.3.2 抗震设防烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 1.0.4 条）
- 9.3.3 一般情况下，地震动参数可采用《中国地震动参数区划图》。对已编制抗震设防区划的城市，可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防。
- 9.3.4 抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系，应符合表 9.3.4 的规定。设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的建筑，除另有规定外，应分别按抗震设防烈度

7 度和 8 度的要求进行抗震设计。

**表 9.3.4 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系**

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10 (0.15) g	0.20 (0.30) g	0.40g

注：g 为重力加速度。

**9.3.5** 建筑的设计特征周期应根据其所在地的设计地震分组和场地类别确定。按《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 的设计地震共分为三组。计算 8、9 度罕遇地震作用时，特征周期应加 0.05s。

**表 9.3.5 特征周期值 (s)**

设计地震分组	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
第一组	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.35	0.45	0.65	0.90

注：《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 一般把设计特征周期简称为特征周期。

**9.3.6** 我国主要城镇（县级及县级以上城镇）中心地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值和所属的设计地震分组，可按《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 附录 A 采用。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 3.2.3 条）

## 9.4 活动断裂

**9.4.1** 断裂的地震工程分类应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.2 条）

1 全新活动断裂为在全新地质时期（一万年）内有过地震活动或近期正在活动，在今后一百年可能继续活动的断裂；全新活动断裂中、近期（近 500 年来）发生过地震震级  $M \geq 5$  级的断裂，或在今后 100 年内，可能发生  $M \geq 5$  级的断裂，可定为发震断裂；

2 非全新活动断裂：一万年以前活动过，一万年以来没有发生过活动的断裂。

**9.4.2** 全新活动断裂可按表 9.4.2（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 5.8.3）分级。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.3 条）

**表 9.4.2 全新活动断裂分级**

指标 断裂分级		活 动 性	平均活动速率 $v$ (mm / a)	历史地震 震级 $M$
I	强烈全新活动断裂	中晚更新世以来有活动，全新世活动强烈	$v > 1$	$M \geq 7$
II	中等全新活动断裂	中晚更新世以来有活动，全新世活动较强烈	$1 \geq v \geq 0.1$	$7 > M \geq 6$
III	微弱全新活动断裂	全新世有微弱活动	$v < 0.1$	$M < 6$



**9.4.3** 断裂勘察，应搜集和分析有关文献档案资料，包括卫星航空相片，区域构造地质，强震震中分布，地应力和地形变，历史和近期地震等。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.4 条）

**9.4.4** 根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.5 条要求，断裂勘察工程地质测绘，除应符合第 4 章和《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 8 章的要求外，尚应包括下列内容的调查：

1 地形地貌特征：山区或高原不断上升剥蚀或有长距离的平滑分界线；非岩性影响的陡坡、峭壁、深切的直线形河谷，一系列滑坡、崩塌和山前叠置的洪积扇；定向断续线形分布的残丘、洼地、沼泽、芦苇地、盐碱地、湖泊、跌水、泉、温泉等；水系定向展布或同向扭曲错动等。

2 地质特征：近期断裂活动留下的第四系错动，地下水和植被的特征；断层带的破碎和胶结特征等；深色物质宜采用放射性碳 14 ( $C^{14}$ ) 法，非深色物质宜采用热释光法或铀系法，测定已错断层位和未错断层位的地质年龄，并确定断裂活动的最新时限。

3 地震特征：与地震有关的断层、地裂缝、崩塌、滑坡、地震湖、河流改道和砂土液化等。

**9.4.5** 大型工业建设场地，在可行性研究勘察时，应建议避让全新活动断裂和发震断裂。避让距离应根据断裂的等级、规模、性质、覆盖层厚度、地震烈度等因素，按有关标准综合确定。非全新活动断裂可不采取避让措施，但当浅埋且破碎带发育时，可按不均匀地基处理。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.8.6 条）

**9.4.6** 场地内存在发震断裂时，应对断裂的工程影响进行评价，并应符合下列要求：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.1.7 条）

1 对符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响：

- 1) 抗震设防烈度小于 8 度；
- 2) 非全新世活动断裂；
- 3) 抗震设防烈度为 8 度和 9 度时，前第四纪基岩隐伏断裂的土层覆盖厚度分别大于 60m 和 90m。

2 对不符合本条 1 款规定的情况，应避开主断裂带。其避让距离不宜小于表 9.4.6《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 表 4.1.7）对发震断裂最小避让距离的规定。

**表9.4.6 发震断裂的最小避让距离（m）**

烈度	建筑抗震设防类别			
	甲	乙	丙	丁
8	专门研究	300m	200m	—
9	专门研究	500m	300m	—

## 9.5 液化判别与抗液化措施

**9.5.1** 地震液化的岩土工程勘察，应包括三个方面的内容，一是判定场地土有无液化的可能性；二是评价液化等级和危害程度；三是提出抗液化措施的建议。

**9.5.2** 饱和砂土和饱和粉土（不含黄土）的液化判别和地基处理，6 度时，一般情况下可不进行判别和处理，但对液化沉陷敏感的乙类建筑可按 7 度的要求进行判别和处理，7~9 度时乙类建筑可按本地区抗震设防烈度的要求进行判别和处理。（《建筑抗震设计规范》

GB50011-2001 第 4.3.1 条)

**9.5.3** 场地地震液化判别过程中, 勘察技术人员应注意以下三个方面:

1 液化判别应先进行初步判别, 当初步判别认为有液化可能时, 应再作进一步判别。

2 液化判别宜用多种方法综合判定, 这是因为地震液化是由多种内因(土的颗粒组成、密度、埋藏条件、地下水位、沉积环境和地质历史等)和外因(地震动强度、频谱特征和持续时间等)综合作用的结果。例如, 位于河曲凸岸新近沉积的粉细砂特别容易发生液化, 历史上曾经发生过液化的场地容易再次发生液化等。目前判别液化的方法是各种地震液化调查、分析的总结, 具有一定的局限性和不确定性, 因此强调要“综合判别”。当一个场地液化程度差异较大时, 应进行地震液化分区, 分别评价、分析, 采取不同的抗液化措施。

3 河岸和斜坡地带的液化, 会导致滑移失稳, 对工程的危害很大, 应予特别注意; 目前尚无简易的判别方法, 应根据具体条件专门研究。

**9.5.4** 饱和的砂土或粉土(不含黄土), 当符合下列条件之一时, 可初步判别为不液化或可不考虑液化影响: (《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.3 条)

1 地质年代为第四纪晚更新世( $Q_3$ )及其以前时, 7、8 度时可判为不液化;

2 粉土的粘粒(粒径小于 0.005mm 的颗粒)含量百分率, 7 度、8 度和 9 度分别不小于 10、13 和 16 时, 可判为不液化土;

注: 用于液化判别的粘粒含量系采用六偏磷酸钠作分散剂测定, 采用其他方法时应按有关规定换算。

3 天然地基的建筑, 当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时, 可不考虑液化影响:

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \quad (9.5.4-1)$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \quad (9.5.4-2)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \quad (9.5.4-3)$$

式中  $d_w$  —— 地下水位深度 (m), 宜按设计基准期内年平均最高水位采用, 也可按近期年内最高水位采用;

$d_u$  —— 上覆盖非液化土层厚度 (m), 计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除;

$d_b$  —— 基础埋置深度 (m), 不超过 2m 时应采用 2m;

$d_0$  —— 液化土特征深度 (m), 可按表 9.5.4 采用。

**表9.5.4** 液化土特征深度 (m)

饱和土类别	7 度	8 度	9 度
粉 土	6	7	8
砂 土	7	8	9

**9.5.5** 液化初步判别除按现行国家有关抗震规范进行外, 尚宜包括下列内容进行综合判别: (岩土工程勘察规范) GB50021-2001 第 5.7.7 条)

1 分析场地地形、地貌、地层、地下水等与液化有关的场地条件;

2 当场地及其附近存在历史地震液化遗迹时, 宜分析液化重复发生的可能性;

3 倾斜场地或液化层倾向水面或临空面时，应评价液化引起土体滑移的可能性。

#### 9.5.6 场地液化判别的工作量要求：

1 地震液化的进一步判别应在地面以下 15m 的范围内进行；对于桩基和基础埋深大于 5m 的天然地基，判别深度应加深至 20m。对判别液化而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。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.8 条）

2 对判别液化而布置的勘探点数量尚应根据工程规模和场地条件变化适当调整，以满足拟建场地的液化评价需要。

3 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 1.0~1.5m，每层土的试验点数不宜少于 6 个。

4 实际工作中，在现场勘察时尚应注意：

1) 首先通过调查了解拟建场地及附近地震液化相关资料；

2) 如果经调查拟建场地及附近可能为液化区域时，勘察工作量的布置在满足《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 5.7.8 条进行场地液化判别的工作量基础上，液化判别孔应在整个拟建场地均衡布置，能够代表整个场地情况。液化判别孔应满足液化判别对钻孔的深度、扰动样的留取及室内颗分试验等要求；

3) 应注意液化判别的标准贯入试验数据的真实、可靠性，防止采用失真数据。

① 在进行标准贯入试验时，应防止在套管深度范围内进行标贯（这样会造成标贯击数高的假象）；

② 在砂土地层中地下水面以下进行标准贯入试验时，宜采用回转钻进、泥浆护壁工艺或其他措施防止试验过程中的返砂现象（有时会造成标贯击数低的假象）；

③ 在进行标贯试验时，应采用规范规定的直径为 42mm 的钻杆。

9.5.7 当初步判别认为需进一步进行液化判别时，按《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）应采用标准贯入试验判别法。当饱和土标准贯入锤击数（未经杆长修正）小于液化判别标准贯入锤击数临界值时，应判为液化土。当有成熟经验时，尚可采用其他判别方法。

在地面下 15m 深度范围内，液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算：

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{3/\rho_c} \quad (d_s \leq 15) \quad (9.5.7-1)$$

在地面下 15~20m 范围内液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算：

$$N_{cr} = N_0 [2.4 - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \quad (15 \leq d_s \leq 20) \quad (9.5.7-2)$$

式中  $N_{cr}$  —— 液化判别标准贯入锤击数临界值；

$N_0$  —— 液化判别标准贯入锤击数基准值，应按表 9.5.7 采用；

$d_s$  —— 饱和土标准贯入点深度（m）；

$\rho_c$  —— 粘粒含量百分率，当小于 3 或为砂土时，应采用 3。

表 9.5.7 标准贯入锤击数基准值

设计地震分组	7 度	8 度	9 度
第一组	6 (8)	10 (13)	16
第二、三组	8 (10)	12 (15)	18

注：括号内数值用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

9.5.8 当有成熟经验时，可采用以下方法进行液化判别：

1 采用静力触探试验判别，适用于饱和砂土和饱和粉土的液化判别；具体规定是：当实测计算比贯入阻力  $p_s$  或实测计算锥尖阻  $q_c$  小于液化比贯入阻力临界值  $p_{scr}$  或液化锥尖

阻力临界值  $q_{ccr}$  时，应判别为液化土，并按下列公式计算：

$$p_{scr} = p_{s0} \alpha_w \alpha_u \alpha_p \quad (9.5.8-1)$$

$$q_{ccr} = q_{cs0} \alpha_w \alpha_u \alpha_p \quad (9.5.8-2)$$

$$\alpha_w = 1 - 0.065(d_w - 2) \quad (9.5.8-3)$$

$$\alpha_u = 1 - 0.05(d_u - 2) \quad (9.5.8-4)$$

式中  $p_{scr}$ 、 $q_{ccr}$  —— 分别为饱和土静力触探液化比贯入阻力临界值及锥尖阻力临界值 (MPa)；

$p_{s0}$ 、 $q_{c0}$  —— 分别为地下水深度  $d_w=2m$ ，上覆非液化土层厚度  $d_u=2m$  时，饱和土液化判别比贯入阻力基准值和液化判别锥尖阻力基准值 (MPa)，可按表 9.5.8-1 取值；

$\alpha_w$  —— 地下水位埋深修正系数，地面常年有水且与地下水有水力联系时，取 1.13；

$\alpha_u$  —— 上覆非液化土层厚度修正系数，对深基础，取 1.0；

$d_w$  —— 地下水位深度 (m)；

$d_u$  —— 覆非液化土层厚度 (m)，计算时应将淤泥和淤泥质土层厚度扣除；

$\alpha_p$  —— 与静力触探摩阻比有关的土性修正系数，可按表 9.5.8-2 取值；

**表 9.5.8-1 比贯入阻力和锥尖阻力基准值  $p_{s0}$ 、 $q_{c0}$**

抗震设防烈度	7 度	8 度	9 度
$p_{s0}$ (MPa)	5.0~6.0	11.5~13.0	18.0~20.0
$q_{c0}$ (MPa)	4.6~5.5	10.5~11.8	16.4~18.2

**表 9.5.8-2 土性修正系数值  $\alpha_p$**

土 类	砂 土	粉 土	
静力触探摩阻比 $R_f$	$R_f \leq 0.4$	$0.4 < R_f \leq 0.9$	$R_f > 0.9$
$\alpha_p$	1.00	0.60	0.45

**2** 用剪切波速判别地面下15m范围内饱和砂土和粉土的地震液化，可采用以下方法：实测剪切波速  $v_s$  大于按下式计算的临界剪切波速时，可判为不液化：

$$v_{scr} = v_{s0} (d_s - 0.0133 d_s^2)^{0.5} [1.0 - 0.185 (d_w / d_s)] \sqrt{3 / \rho_c} \quad (9.5.8-5)$$

式中  $v_{scr}$  —— 饱和砂土或饱和粉土液化剪切波速临界值 (m / s);  
 $v_{s0}$  —— 与烈度、土类有关的经验系数, 按表9. 5. 8-3取值;  
 $d_s$  —— 剪切波速测点深度 (m);  
 $d_w$  —— 地下水深度 (m)。

表9. 5. 8-3		与烈度、土类有关的经验系数 $v_{s0}$		
土 类		$v_{s0}$ (m / s)		
		7 度	8 度	9 度
砂 土		65	95	130
粉 土		45	65	90

9. 5. 9 评价液化等级的基本方法:

- 1 逐点判别  
按照每个标准贯入试验点判别液化可能性; 在野外试验时, 如发现异常点, 一定要结合标贯样分析原因, 保证标准贯入试验击数的准确性;
- 2 按孔计算  
按每个试验孔计算液化指数;
- 3 综合评价  
按照每个孔的计算结果, 结合场地的地形地貌条件, 综合确定场地液化等级。

9. 5. 10 对存在液化土层的地基, 应探明各液化土层的深度和厚度, 按下式计算每个钻孔的液化指数, 并按表9. 5. 10 (《建筑抗震设计规范》GB50011-2001表4. 3. 5) 综合划分地基的液化等级: (《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001第4. 3. 5条)

$$I_{IE} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{N_i}{N_{cri}} \right) d_i W_i \tag{9. 5. 10}$$

式中  $I_{IE}$  —— 液化指数;  
n —— 在判别深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数;  
 $N_i$ 、 $N_{cri}$  —— 分别为i点标准贯入锤击数的实测值和临界值, 当实测值大于临界值时应取临界值的数值;  
 $d_i$  —— i 点所代表的土层厚度 (m) 可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半, 但上界不高于地下水位深度, 下界不深于液化深度;  
 $W_i$  —— i 土层单位土层厚度的层位影响权函数值 (单位为 $m^{-2}$ )。若判别深度为15m, 当该层中点深度不大于5m时应采用10, 等于15m时应采用零值, 5~15m时应按线性内插法取值; 若判别深度为20m, 当该层中点深度不大于5m时应采用10, 等于20m时应采用零值, 5~20m时应按线性内插法取值。

表 9. 5. 10	液 化 等 级		
液 化 等 级	轻 微	中 等	严 重
判别深度为 15m 时的液化指数	$0 < I_{IE} \leq 5$	$5 < I_{IE} \leq 15$	$I_{IE} > 15$
判别深度为 20m 时的液化指数	$0 < I_{IE} \leq 6$	$6 < I_{IE} \leq 18$	$I_{IE} > 18$

**9.5.11** 当液化土层较平坦且均匀时，宜按表9.5.11（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001表4.3.6）选用地基抗液化措施；尚可计入上部结构重力荷载对液化危害的影响，根据液化震陷量的估计适当调整抗液化措施。不宜将未经处理的液化土层作为天然地基持力层。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001第4.3.6条）

建筑抗震 设防类别	地 基 的 液 化 等 级		
	轻 微	中 等	严 重
乙 类	部分消除液化沉陷，或 对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷，或部分 消除液化沉陷且对基础和上部 结构处理	全部消除液化沉陷
丙 类	基础和上部结构处理， 亦可不采取措施	基础和上部结构处理，或更 高要求的措施	全部消除液化沉陷，或部 分消除液化沉陷且对基础 和上部结构处理
丁 类	可不采取措施	可不采取措施	基础和上部结构处理，或 其他经济的措施

**9.5.12** 全部消除地基液化沉陷的措施，应符合下列要求：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.7 条）

- 1 采用桩基时，桩端伸入液化深度以下稳定土层中的长度（不包括桩尖部分），应按计算确定，且对碎石土、砾、粗、中砂，坚硬粘性土和密实粉土尚不应小于 0.5m，对其他非岩石土尚不宜小于 1.5m。
- 2 采用深基础时，基础底面应埋入液化深度以下的稳定土层中，其深度不应小于 0.5m。
- 3 采用加密法（如振冲、振动加密、挤密碎石桩、强夯等）加固时，应处理至液化深度下界；振冲或挤密碎石桩加固后，桩间土的标准贯入锤击数不宜小于本节第 9.5.7 条（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.4 条）规定的液化判别标准贯入锤击数临界值。
- 4 用非液化土替换全部液化土层。
- 5 采用加密法或换土法处理时，在基础边缘以外的处理宽度，应超过基础底面下处理深度的 1/2 且不小于基础宽度的 1/5。

**9.5.13** 部分消除地基液化沉陷的措施，应符合下列要求：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.8 条）

1 处理深度应使处理后的地基液化指数减少，当判别深度为 15m 时，其值不宜大于 4，当判别深度为 20m 时，其值不宜大于 5；对独立基础和条形基础，尚不应小于基础底面下液化土特征深度和基础宽度的较大值。

2 采用振冲或挤密碎石桩加固后，桩间土的标准贯入锤击数不宜小于按本节第 9.5.7 条（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.4 条）规定的液化判别标准贯入锤击数临界值。

3 基础边缘以外的处理宽度，应符合本节第 9.5.12 条第 5 款（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.7 条第 5 款）的要求。

**9.5.14** 减轻液化影响的基础和上部结构处理，可综合采用下列各项措施：（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.9 条）

- 1 选择合适的基础埋置深度。
- 2 调整基础底面积，减少基础偏心。
- 3 加强基础的整体性和刚度，如采用箱基、筏基或钢筋混凝土交叉条形基础，加设基础圈梁等。

**4** 减轻荷载，增强上部结构的整体刚度和均匀对称性，合理设置沉降缝，避免采用对不均匀沉降敏感的结构形式等。

**5** 管道穿过建筑处应预留足够尺寸或采用柔性接头等。

**9.5.15** 液化等级为中等液化和严重液化的故河道、现代河滨、海滨，当有液化侧向扩展或流滑可能时，在距常时水线约 100m 以内不宜修建永久性建筑，否则应进行抗滑动验算、采取防土体滑动措施或结构抗裂措施。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.10 条）

注：常时水线宜按设计基准期内年平均最高水位采用，也可按近期年最高水位采用。

**9.5.16** 地基主要受力层范围内存在软弱粘性土层与湿陷性黄土时，应结合具体情况综合考虑，采用桩基、地基加固处理或本节第 9.5.14 条（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.9 条）的各项措施，也可根据软土震陷量的估计，采取相应措施。（《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 第 4.3.11 条）

## 10 特殊性岩土

### 10.1 基本规定

**10.1.1** 特殊性岩土场地的勘察，应通过踏勘、搜集已有工程资料 and 进行工程地质测绘与调查等，初步判断勘察场地的特殊性岩土种类和场地（或地基）的复杂程度，结合工程的重要程度，布置合理的岩土工程勘察方案。

**10.1.2** 特殊性岩土场地的勘察，应有针对性地布置勘察工作。勘探点的种类、数量、间距和深度等，应能查明特殊性岩土的分布特征，其原位测试和室内试验的项目、方法和数量等，应能查明特殊性岩土的工程特性。

**10.1.3** 特殊性岩土的勘探与测试方法、工艺和操作要点等，应确保能充分反映特殊性岩土的工程特性。

**10.1.4** 特殊性岩土的岩土工程评价，应结合特殊性岩土的工程特性，对场地的稳定性、适宜性、不良地质作用、地下水、岩土特性等进行评价，提供设计与施工所需的岩土物理学参数，并对地基类型、基础形式、地基处理、基坑支护、基坑降水、不良地质作用的防治和施工、检测与监测、使用期间应注意的问题等提出建议。

**10.1.5** 污染土的勘察应根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 6.10 节进行。

### 10.2 湿陷性土

#### 10.2.1 湿陷性土的分类及其定义

##### 1 湿陷性黄土

在一定压力下受水浸湿，土的结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 2.1.1 条）

##### 2 自重湿陷性黄土

在上覆土的自重压力下受水浸湿，发生显著附加下沉的湿陷性黄土。（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 2.1.3 条）

##### 3 非自重湿陷性黄土

在上覆土的自重压力下受水浸湿，不发生显著附加下沉的湿陷性黄土。（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 2.1.4 条）

除湿陷性黄土外，在干旱和半干旱地区还分布有其他湿陷性土，如湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等，一般不易采取不扰动土试样。

#### 10.2.2 湿陷性土地地上的建筑物分类

拟建在湿陷性黄土和其他湿陷性土地地上的建筑物，应根据其重要性、地基受水浸湿可能性的大小和在使用期间对不均匀沉降限制的严格程度，分为甲、乙、丙、丁四类，并应符合表 10.2.2（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 3.0.1）的规定。

当建筑物各单元的重要性不同时，可根据各单元的重要性划分为不同类别。甲、乙、丙、丁四类建筑的划分，可结合《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025-2004）附录 E 确定。



表 10.2.2

建筑物分类

建筑物分类	各 类 建 筑 的 划 分
甲 类	高度大于 60m 和 14 层及 14 层以上体形复杂的建筑 高度大于 50m 的构筑物 高度大于 100m 的高耸结构 特别重要的建筑 地基受水浸湿可能性大的重要建筑 对不均匀沉降有严格限制的建筑
乙 类	高度为 24~60m 的建筑 高度为 30~50m 的构筑物 高度为 50~100m 的高耸结构 地基受水浸湿可能性较大的重要建筑 地基受水浸湿可能性大的一般建筑
丙 类	除乙类以外的一般建筑和构筑物
丁 类	次要建筑

### 10.2.3 湿陷性土勘察的基本规定

1 在湿陷性土场地进行岩土工程勘察应查明地层的时代、成因和其中的夹层、包含物、胶结物的成分和性质；湿陷性土层的平面分布和厚度；湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力随深度的变化；场地湿陷类型和地基湿陷等级的平面分布；地基土的变形参数和承载力；地下水等环境水的变化趋势及其他工程地质条件，并结合建筑物的特点和设计要求，对场地、地基作出评价，对地基处理措施提出建议。

2 湿陷性土场地工程地质条件的复杂程度，可分为三类：

1) 简单场地：地形平缓，地貌、地层简单，场地湿陷类型单一，地基湿陷等级变化不大；

2) 中等复杂场地：地形起伏较大，地貌、地层较复杂，局部有不良地质作用发育，场地湿陷类型、地基湿陷等级变化较复杂；

3) 复杂场地：地形起伏很大，地貌、地层复杂，不良地质作用广泛发育，场地湿陷类型、地基湿陷等级分布复杂，地下水位变化幅度大或变化趋势不利。

3 对地下水位变化幅度较大或变化趋势不利的地段，应进行地下水位动态的长期观测。

4 黄土地层可按表 10.2.3（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 附录 B）进行划分。

表 10.2.3

黄土地层的划分

时 代		地层的划分	说 明
全新世 ( $Q_1$ ) 黄土	新黄土	黄土状土	一般具湿陷性
晚更新世 ( $Q_3$ ) 黄土		马兰黄土	
中更新世 ( $Q_2$ ) 黄土	老黄土	离石黄土	上部部分土层具湿陷性
早更新世 ( $Q_1$ ) 黄土		午城黄土	不具湿陷性
注：全新世 ( $Q_1$ ) 黄土包括湿陷性 ( $Q_1^1$ ) 黄土和新近堆积 ( $Q_1^2$ ) 黄土			

5 在湿陷性土场地进行勘察时，应根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)

附录 C 的要求划分新近堆积黄土。

6 对地形起伏较大或将大挖、大填的湿陷性土地地，勘察前应取得每栋建筑物的室内外标高，勘探点深度和室内测定自重湿陷系数时的饱和自重压力等应与场地条件相适应，也应按不同的建筑物和不同的室内外标高进行岩土工程评价。

7 湿陷性土地基、边坡和基坑等的稳定性计算，除应符合现行国家标准外，在确定滑动面时，应考虑湿陷性土中可能存在的竖向节理和裂隙，对地下水位可能上升或有可能受水浸湿的湿陷性土，其强度指标应按饱和状态下的试验结果确定。

#### 10.2.4 湿陷性土勘察工作量布置

1 在详细勘察阶段，湿陷性土地地布置的勘察工作量应能查明地基土层及其物理力学性质指标，确定场地湿陷类型、地基湿陷等级的平面分布和承载力。应根据场地工程地质条件，采用工程地质测绘、钻探、井探、原位测试和室内试验等综合勘察手段。

2 勘探点的布置，应根据总平面图、表 10.2.2 划分的建筑物类别以及工程地质条件的复杂程度等因素确定。对于湿陷性黄土，详细勘察勘探点的间距宜按表 10.2.4-1（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 4.2.4-1）确定。

**表 10.2.4-1 湿陷性黄土详细勘察勘探点的间距（m）**

建筑物类别 场地类别	甲	乙	丙	丁
简单场地	30~40	40~50	50~80	80~100
中等复杂场地	20~30	30~40	40~50	50~80
复杂场地	10~20	20~30	30~40	40~50

对于其他湿陷性土，勘探点的间距应按《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 4 章的规定取小值，对湿陷性土分布极不均匀的场地应加密勘探点。

3 在单独的甲、乙类建筑场地内，勘探点不应少于 4 个（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 4.2.4 条）。

4 采取不扰动土试样和原位测试的勘探点不得少于全部勘探点的 2/3，其中采取不扰动土试样的勘探点不宜少于 1/2。在采取不扰动土试样的勘探点中，应有足够数量的探井，其数量应为取土勘探点总数的 1/3~1/2，并不宜少于 3 个。

5 勘探点的深度应大于地基压缩层的深度，并应符合表 10.2.4-2（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 4.2.4-2）的规定，控制性勘探点和探井深度宜穿透湿陷性黄土层。

**表 10.2.4-2 勘探点的深度（m）**

湿陷类型	非自重 湿陷性黄土地地	自重湿陷性黄土地地	
		陇西、陇东-陕北-晋西地区	其他地区
勘探点深度 （自基础底面算起）	>10	>15	>10

6 对不能取得不扰动土试样的其他湿陷性土，应在探井中采用大体积法测定密度和含水量，采用现场浸水载荷试验确定湿陷性，对于厚度超过 2m 的湿陷性土，应在不同深度处分别进行，并应不受相邻试验的浸水影响。宜采用动力触探试验和标准贯入试验确定力学性质。

10.2.5 湿陷性土场地工程地质测绘与调查

湿陷性土场地工程地质测绘与调查，除应符合一般要求外，还应包括下列内容：

- 1 研究地形的起伏和地面水的积聚、排泄条件，调查洪水淹没范围及其发生规律；
- 2 划分不同的地貌单元，确定其与湿陷性土分布的关系，查明湿陷凹地、黄土溶洞、滑坡、崩塌、冲沟、泥石流及地裂缝等不良地质作用的分布、规模、发展趋势及其对建设的影响；
- 3 划分黄土地层和判别新近堆积黄土；
- 4 调查地下水位的深度、季节性变化幅度、升降趋势及其与地表水体、灌溉情况和开采地下水的关系；
- 5 调查既有建筑物的现状；
- 6 了解场地内有无地下坑穴，如古墓、井、坑、穴、地道、沙井和沙巷等。

10.2.6 湿陷性土的钻探与取样

1 采取不扰动土试样，必须保持其天然的湿度、密度和结构，并应符合 I 级土样质量的要求。

2 在钻孔内采取不扰动土试样，必须严格掌握钻进方法、取样方法，使用合适的清孔器。应采用回转钻进，应使用螺旋（纹）钻头，控制回次进尺的深度，并应根据土质情况，控制钻头的垂直进入速度和旋转速度，严格掌握“1 米 3 钻”的操作顺序（即取土间距为 1m 时，第一钻，进尺为 0.5~0.6m，第二钻，清孔进尺为 0.2~0.3m，第三钻，取不扰动土试样）。当取土间距大于 1m 时，其下部 1m 深度内仍按上述方法操作。清孔时，不应加压或少许加压，慢速钻进，应使用薄壁取样器压入清孔，不得用小钻头钻进，大钻头清孔。应用“压入法”取样，取样前应将取土器轻轻吊放至孔内预定深度处，然后以匀速连续压入，中途不得停顿，在压入过程中，钻杆应保持垂直不摇摆，压入深度以土样超过盛土段 30~50mm 为宜。宜使用带内衬的黄土薄壁取样器，其内衬应与取样器内壁紧贴，内径不宜小于 120mm，刃口壁的厚度不宜大于 3mm，刃口角度为 10°~12°，控制面积比为 12%~15%，其尺寸规格可按表 10.2.6（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 D-1）采用，取样器的构造见《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 图 D-1。对结构较松散的湿陷性土，不宜使用无内衬的黄土薄壁取样器。

表 10.2.6 黄土薄壁取样器的尺寸规格

外径 (mm)	刃口内径 (mm)	放置内衬 后内径 (mm)	盛土筒长 (mm)	盛土筒厚 (mm)	余土筒长 (mm)	面积比 (%)	切削刃 口角度 (°)
<129	120	122	150, 200	2.00~2.50	200	<15	12

- 3 在探井中取样，应人工在井壁上掏取，竖向间距宜为 1m，土样直径不宜小于 120mm。
- 4 在钻进和取样过程中，严禁向孔内注水。在卸土过程中，不得敲打取样器。土试样取出后，应检查土试样质量，如发现土试样有受压、扰动、碎裂和变形等情况时，应将其废弃并重新采取土试样。应经常检查钻头、取样器的完好情况，当发现钻头、取样器有变形、刃口缺损时，应及时校正或更换。
- 5 对探井内和钻孔内的取样结果，应进行对比、检查，发现问题及时改进。
- 6 勘探点使用完毕后，应立即用原土夯实回填，回填土不应小于该场地天然湿陷性土的密度。

10.2.7 湿陷性土的原位测试与室内试验

- 1 现场试坑浸水试验

在现场采用试坑浸水试验确定自重湿陷量的实测值，应符合下列要求：

- 1) 试坑宜挖成圆形或方形，其直径或边长不应小于湿陷性土层的厚度，并不应小于 10m；试坑深度宜为 0.50m，最深不应大于 0.80m。坑底宜铺 100mm 厚的砂、砾石。
- 2) 在坑底中部及其他部位，应对称设置观测自重湿陷的深标点，设置深度及数量宜按各湿陷性土层顶面深度及分层数确定。在试坑底部，由中心向坑边以不少于 3 个方向，均匀设置观测自重湿陷的浅标点；在试坑外沿浅标点方向 10~20m 范围内设置地面观测标点，观测精度为  $\pm 0.10\text{mm}$ 。
- 3) 试坑内的水头高度不宜小于 300mm，在浸水过程中，应观测湿陷量、耗水量、浸湿范围和地面裂缝。湿陷稳定可停止浸水，其稳定标准为最后 5d 的平均湿陷量小于 1mm/d。
- 4) 设置观测标点前，可在坑底面打一定数量及深度的渗水孔，孔内应填满砂砾。
- 5) 试坑内停止浸水后，应继续观测不少于 10d，且连续 5d 的平均下沉量不大于 1mm/d，试验终止。

## 2 现场静载荷试验

在现场测定湿陷性土的湿陷起始压力，可采用单线法或双线法静载荷试验。单线法静载荷试验，要求在同一场地的相邻地段和相同标高，在天然湿度的土层上设 3 个或 3 个以上静载荷试验，分级加压，分别加至各自的规定压力，下沉稳定后，向试坑内浸水至饱和，附加下沉稳定后，试验终止；双线法静载荷试验，要求在同一场地的相邻地段和相同标高，设 2 个静载荷试验，其中 1 个应设在天然湿度的土层上分级加压，加至规定压力，下沉稳定后，试验终止，另 1 个应设在浸水饱和的土层上分级加压，加至规定压力，附加下沉稳定后，试验终止。

在现场采用静载荷试验测定湿陷性土的湿陷起始压力，承压板的底面积宜为  $0.50\text{m}^2$ ，试坑边长或直径应为承压板边长或直径的 3 倍，安装载荷试验设备时，应注意保持试验土层的天然湿度和原状结构，压板底面下宜用 10~15mm 厚的粗、中砂找平；每级加压增量不宜大于 25kPa，试验终止压力不应小于 200kPa；每级加压后，按每隔 15、15、15、15min 各测读 1 次下沉量，以后每隔 30min 观测 1 次，当连续 2h 内，每 1h 的下沉量小于 0.10mm 时，认为压板下沉已趋稳定，即可加下一级压力；试验结束后，应根据试验记录，绘制判定湿陷起始压力的  $p-s_s$  曲线图。

## 3 室内压缩试验

采用室内压缩试验测定湿陷性土的湿陷系数  $\delta_s$ 、自重湿陷系数  $\delta_{zs}$  和湿陷起始压力  $p_{sh}$  时，土样的质量等级应为 I 级不扰动土试样；环刀面积不应小于  $5000\text{mm}^2$ ，使用前应将环刀洗净风干，透水石应烘干冷却；加荷前，应将环刀试样保持天然湿度；试样浸水宜用蒸馏水；试样浸水前和浸水后的稳定标准，应为每 1h 的下沉量不大于 0.01mm。

测定湿陷性土的湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力时，除应满足上述要求外，还应满足《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004) 第 4.3.3、第 4.3.4 和第 4.3.5 条的规定。

## 10.2.8 湿陷性土的岩土工程评价

### 1 湿陷性土的判别

黄土的湿陷性，应按室内浸水（饱和）压缩试验，在一定压力下测定的湿陷系数  $\delta_s$  进行判定。当湿陷系数  $\delta_s$  值小于 0.015 时，应定为非湿陷性黄土；当湿陷系数  $\delta_s$  值大于或等于 0.015 时，应定为湿陷性黄土。

对于其他湿陷性土，当不能取试样进行室内湿陷性试验时，应采用现场静载荷试验确定湿陷性。在 200kPa 压力下浸水载荷试验的附加湿陷量与承压板的直径或宽度之比等于或大于 0.023 的土，应判定为湿陷性土。

### 2 湿陷性土的湿陷程度

湿陷性黄土的湿陷程度，可根据湿陷系数  $\delta_s$  值的大小分为三种：

当  $0.015 \leq \delta_s \leq 0.03$  时，湿陷性轻微；

当  $0.03 < \delta_s \leq 0.07$  时，湿陷性中等；

当  $\delta_s > 0.07$  时，湿陷性强烈。

其他湿陷性土的湿陷程度划分，应符合表 10.2.8-1（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 6.1.4）的规定：

表 10.2.8-1 其他湿陷性土湿陷程度分类

湿陷程度 \ 试验条件	附加湿陷量 $\Delta F_s$ (cm)	
	承压板面积 $0.50\text{m}^2$	承压板面积 $0.25\text{m}^2$
轻 微	$1.6 < \Delta F_s \leq 3.2$	$1.1 < \Delta F_s \leq 2.3$
中 等	$3.2 < \Delta F_s \leq 7.4$	$2.3 < \Delta F_s \leq 5.3$
强 烈	$\Delta F_s > 7.4$	$\Delta F_s > 5.3$

3 湿陷性土地地的湿陷类型

湿陷性黄土场地的湿陷类型，应按自重湿陷量的实测值  $\Delta'_{zs}$  或计算值  $\Delta_{zs}$  判定，当自重湿陷量的实测值  $\Delta'_{zs}$  或计算值  $\Delta_{zs}$  小于或等于 70mm 时，应定为非自重湿陷性黄土场地；当自重湿陷量的实测值  $\Delta'_{zs}$  或计算值  $\Delta_{zs}$  大于 70mm 时，应定为自重湿陷性黄土场地；当自重湿陷量的实测值和计算值出现矛盾时，应按自重湿陷量的实测值判定。其他湿陷性土地地的湿陷类型，可参照上述规定执行。

4 自重湿陷量计算

湿陷性黄土场地自重湿陷量的计算值  $\Delta_{zs}$ ，应按式（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 公式 4.4.4）计算：

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (10.2.8-1)$$

式中  $\delta_{zsi}$  —— 第  $i$  层土的自重湿陷系数；  
 $h_i$  —— 第  $i$  层土的厚度 (mm)；  
 $\beta_0$  —— 因地区土质而异的修正系数，在缺乏实测资料时，可按下列规定取值：  
1) 陇西地区取 1.50；  
2) 陇东—陕北—晋西地区取 1.20；  
3) 关中地区取 0.90；  
4) 其他地区取 0.50。

自重湿陷量的计算值  $\Delta_{zs}$ ，应自天然地面（当挖、填方的厚度和面积较大时，应自设计地面）算起，至其下非湿陷性黄土层的顶面止，其中自重湿陷系数  $\delta_{zs}$  小于 0.015 的土层不累计（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 4.4.4 条）。

5 湿陷量计算

湿陷性黄土地基受水浸湿饱和，湿陷量的计算值  $\Delta_s$ ，应按式（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 公式 4.4.5）计算：

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{si} h_i \quad (10.2.8-2)$$

式中  $\delta_{si}$  —— 第  $i$  层土的湿陷系数；

$h_i$  —— 第  $i$  层土的厚度 (mm);

$\beta$  —— 考虑基底下地基土受水浸湿可能性和侧向挤出等因素的修正系数, 在缺乏实测资料时, 可按下列规定取值:

- 1) 基底下 0~5m 深度内, 取  $\beta=1.50$ ;
- 2) 基底下 5~10m 深度内, 取  $\beta=1$ ;
- 3) 基底下 10m 以下至非湿陷性黄土层顶面, 在自重湿陷性黄土场地, 可取工程所在地区的  $\beta_0$  值。

湿陷量的计算值  $\Delta_s$  的计算深度, 应自基础底面 (如基础底标高不确定时, 自地面下 1.50m) 算起; 在非自重湿陷性黄土场地, 累计至基底下 10m (或地基压缩层) 深度止; 在自重湿陷性黄土场地, 累计至非湿陷性黄土层顶面止。其中湿陷系数  $\delta_s$  (10m 以下为  $\delta_{zs}$ ) 小于 0.015 的土层不累计。

对不能采取不扰动土试样的其他湿陷性土地基, 受水浸湿饱和至下沉稳定为止的湿陷量  $\Delta_s$ , 应按下列式 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 公式 6.1.5) 计算:

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \Delta F_{si} h_i \quad (10.2.8-3)$$

式中  $\Delta F_{si}$  —— 第  $i$  层土浸水载荷试验的附加湿陷量 (cm);

$h_i$  —— 第  $i$  层土的厚度 (cm), 应自基础底面 (初步勘察时, 自地面下 1.50m) 算起,  $\Delta F_{si}/b < 0.023$  的土层不计入;

$\beta$  —— 修正系数 ( $\text{cm}^{-1}$ )。承压板面积为  $0.50\text{m}^2$  时,  $\beta=0.014$ ; 承压板面积为  $0.25\text{m}^2$  时,  $\beta=0.020$ 。

## 6 湿陷起始压力的确定

湿陷性黄土的湿陷起始压力  $p_{sh}$  值, 当按现场静载荷试验确定时, 应在  $p-s_s$  (压力与浸水下沉量) 曲线上, 取其转折点所对应的压力作为湿陷起始压力值。当曲线上的转折点不明显时, 可取浸水下沉量 ( $s_s$ ) 与承压板直径 ( $d$ ) 或宽度 ( $b$ ) 之比值等于 0.017 所对应的压力作为湿陷起始压力值; 当按室内压缩试验结果确定时, 在  $p-s_s$  曲线上宜取  $\delta_s=0.015$  所对应的压力作为湿陷起始压力值。

## 7 湿陷性黄土地基的湿陷等级

湿陷性黄土地基的湿陷等级, 应根据湿陷量的计算值和自重湿陷量的计算值等因素, 按表 10.2.8-2 (《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 4.4.7) 判定。

表 10.2.8-2

湿陷性黄土地基的湿陷等级

<div> <div>湿陷类型</div> <div><math>\Delta_{zs}</math></div> <div><math>\Delta_s</math> (mm)</div> <div>(mm)</div> </div>	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$
$\Delta_s \leq 300$	I (轻微)	II (中等)	—
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	* II (中等) 或 III (严重)	III (严重)
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)
*注: 当湿陷量的计算值 $\Delta_s > 600\text{mm}$ 、自重湿陷量的计算值 $\Delta_{zs} > 300\text{mm}$ 时, 可判为 III 级, 其他情况可判为 II 级。			

其他湿陷性土地基的湿陷等级, 应按表 10.2.8-3 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001

表 6.1.6) 判定。

**表 10.2.8-3 其他湿陷性土地基的湿陷等级**

湿陷量 $\Delta_s$ (mm)	湿陷性土总厚度 (m)	湿陷等级
$50 < \Delta_s \leq 300$	$> 3$	I
	$\leq 3$	II
$300 < \Delta_s \leq 600$	$> 3$	
	$\leq 3$	III
$\Delta_s > 600$	$> 3$	
	$\leq 3$	IV

### 10.2.9 与地基有关的设计、施工、检测与监测建议

**1** 对各类建筑采取的设计措施，应根据场地湿陷类型、地基湿陷等级和地基处理后下部未处理湿陷性土层的湿陷起始压力值或剩余湿陷量，结合当地建筑经验和施工条件等综合因素确定。防止或减小建筑物地基浸水湿陷的设计措施可分为地基处理措施、防水措施（基本防水措施、检漏防水措施和严格防水措施）和结构措施三种，并应以地基处理措施为主。

**2** 当地基的湿陷变形、压缩变形或承载力不能满足设计要求时，应针对不同土质条件和建筑物的类别，在地基压缩层内或湿陷性土层内采取处理措施，甲类建筑应消除地基的全部湿陷量或采用桩基础穿透全部湿陷性土层，或将基础设置在非湿陷性土层上；乙、丙类建筑应消除地基的部分湿陷量。地基的处理范围、处理厚度和是否采用整片处理，见《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025-2004）第 6.1.2、第 6.1.3、第 6.1.4、和第 6.1.5 条等的规定。

**3** 在湿陷性土场地采用桩基础，桩端必须穿透湿陷性土层。在非自重湿陷性土场地，桩端应支承在压缩性较低的非湿陷性土层中；在自重湿陷性土场地，桩端应支承在可靠的岩（土）层中。

**4** 在湿陷性黄土层厚度等于或大于 10m 的场地，对于采用桩基础的建筑，其单桩竖向承载力特征值，应按《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025-2004）附录 H 的试验要点，在现场通过单桩竖向承载力静载荷浸水试验结果确定。当单桩竖向承载力静载荷试验进行浸水确有困难时，其单桩竖向承载力特征值，可按有关经验公式和下列规定进行估算。

在非自重湿陷性黄土场地，当自重湿陷量的计算值小于 50mm 时，单桩竖向承载力的计算应记入湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正侧阻力。在自重湿陷性黄土场地，除不计自重湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正侧阻力外，尚应扣除桩侧的负摩擦力。对桩侧负摩擦力进行现场试验确有困难时，可按表 10.2.9（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 表 5.7.5）中的数值估算。

**表 10.2.9 桩侧平均负摩擦力特征值 (kPa)**

自重湿陷量的计算值 (mm)	钻、挖孔灌注桩	预 制 桩
70~200	10	15
$> 200$	15	20

**5** 选择地基处理方法，应根据建筑物的类别和湿陷性土的特性，并考虑施工设备、施

工进度、材料来源和当地环境等因素，经技术经济综合分析比较后确定。湿陷性土地基常用的处理方法有垫层法、强夯法、挤密法和预浸水法等。可选择其中一种或多种相结合的最佳处理方法。

**6** 为提高桩基的竖向承载力，在自重湿陷性土地地，可采取减小桩侧负摩擦力的措施，包括预处理措施。

**7** 湿陷性黄土场地的工程桩，应按有关现行国家标准的规定进行检测，并应按本技术措施 10.2.9 条第 4 款的规定对检测结果进行调整。

**8** 采用垫层、强夯和挤密等方法处理地基的承载力特征值，应按《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025-2004）附录 J 的静载荷试验要点，在现场通过试验测定结果确定。

**9** 在湿陷性土地地，对建筑物及其附属工程进行施工，应根据湿陷性土的特点和设计要求采取措施防止施工用水和雨水流入建筑物地基（或基坑内）引起湿陷。在建筑物临近修建地下工程时，应采取有效措施，保证原有建筑物和管道系统的安全使用，并应保持场地排水畅通。当发现地基浸水湿陷和建筑物产生裂缝时，应暂时停止施工，切断有关水源，查明浸水的原因和范围，对建筑物的沉降和裂缝加强观测，并绘图记录，经处理后方可继续施工。

**10** 在使用期间，对建筑物和管道应经常进行维护和检修，并确保所有防水措施发挥有效作用，防止建筑物和管道的地基浸水湿陷（《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004 第 9.1.1 条）。

## 10.3 红粘土

### 10.3.1 红粘土的定义

红粘土是热带、亚热带湿热特定气候条件下，岩石经历不同程度的红土化作用而形成的一种含较多粘粒，富含铁铝氧化物胶结的区域性特殊土。

### 10.3.2 红粘土的分类

根据其成因划分，红粘土可分为原生红粘土和次生红粘土。

原生红粘土：是指覆盖于碳酸盐岩系之上的棕红、褐黄等色的高塑性粘土，其液限大于或等于 50%。

次生红粘土：原生红粘土经搬运、沉积后仍保留其基本特征，且其液限大于 45% 的粘土。

### 10.3.3 红粘土的工程特性

**1** 分布范围：主要分布在中国西南、中南和华东地区，云贵高原的 2/3 以上地区分布红粘土。一般分布在山坡、山麓、盆地或洼地中。

**2** 物理力学性质：土的天然含水量、孔隙比、饱和度以及塑性界限（液限、塑限）很高，同时具有较高的力学强度和较低的压缩性；土的各种指标变化幅度很大，具有高分散性。

**3** 厚度变化：厚度变化与原始地形和下伏基岩面的起伏密切相关。分布在台地和山坡厚度较薄，在山麓厚度较厚；当下伏基岩的溶沟、石芽等较发育时，上覆红粘土的厚度变化相差较大。红粘土从地表向下具有由硬变软现象，土的强度逐渐降低，压缩性逐渐增大。

**4** 裂隙性和胀缩性：红粘土中裂隙较发育，其裂隙是在湿热交替的气候条件下干缩形成的。在地表，裂隙多呈竖向开口龟裂状，往下逐渐闭合成网状，裂隙面光滑，有的带擦痕、有的被铁锰浸染。裂隙使土体完整性破坏，降低了土体强度，增大了土体透水性，形成土体的软弱结构面，构成土体稳定的不利因素。有些地区的红粘土具有一定的胀缩性。

**5** 分带性：原生红粘土在垂直剖面上可分为两带，上带以红色为主，间红黄白相间的网纹状红土；下带以黄褐色为主，常夹风化残留物质。

**6** 透水性：红粘土的透水性较弱，其中的地下水多为裂隙潜水和上层滞水，补给来源



主要为大气降水，基岩裂隙水和地表水体，水量一般很小，不具统一水位，水质属碳酸钙型水，对混凝土一般不具腐蚀性。

10.3.4 红粘土勘察的基本规定

红粘土地区的岩土工程勘察，应着重查明其状态分布、裂隙发育特征及地基的均匀性。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 6.2.2 条）

- 1 红粘土的状态除按液性指数判定外，尚可按表 10.3.4-1 判定；
- 2 红粘土的结构可根据其裂隙发育特征按表 10.3.4-2 分类；
- 3 红粘土的复浸水特性可按表 10.3.4-3 分类；
- 4 红粘土的地基均匀性可按表 10.3.4-4 分类。

红粘土地区常发育着土洞，对红粘土地区的土洞的勘察及评价详见 12.2.10 及 12.2.11。

状 态	含水比 $\alpha_w$
坚 硬	$\alpha_w \leq 0.55$
硬 塑	$0.55 < \alpha_w \leq 0.70$
可 塑	$0.70 < \alpha_w \leq 0.85$
软 塑	$0.85 < \alpha_w \leq 1.00$
流 塑	$\alpha_w > 1.00$

注：  $\alpha_w = w/w_L$  。

土体结构	裂 隙 发 育 特 征
致密状的	偶见裂隙(<1 条/m)
巨块状的	较多裂隙(1~2 条/m)
碎块状的	富裂隙(>5 条/m)

类别	$I_r$ 与 $I_r'$ 关系	复 浸 水 特 性
I	$I_r \geq I_r'$	收缩后复浸水膨胀，能恢复到原位
II	$I_r < I_r'$	收缩后复浸水膨胀，不能恢复到原位

注：  $I_r = w_L / w_p$  ；  $I_r' = 1.4 + 0.0066 w_L$  。

地基均匀性	地基压缩层范围内岩土组成
均匀地基	全部由红粘土组成
不均匀地基	由红粘土和岩石组成

10.3.5 红粘土场地的工程地质测绘与调查

红粘土场地的工程地质测绘与调查应按《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 8 章的规定进行，并着重查明下列内容：

1 不同地貌单元的红粘土和次生红粘土的分布、厚度、物质组成、土性、土体结构等特征及其差异；

2 下伏岩层的岩性、岩溶发育特征及其与红粘土土性、厚度变化的关系；

3 查明地裂分布、发育特征及其成因，划分土体结构特征，调查土中裂隙的密度、深度、延伸方向及规律；

4 地表水体和地下水的分布、动态及其与红粘土状态垂直分带的关系；

5 现有建筑物的使用情况，地基处理情况，勘察、设计及施工经验。

### 10.3.6 红粘土地区勘察工作布置

勘探点的布置应取较密的间距，以查明红粘土厚度和状态的变化。

初勘：按一般地区复杂场地的规定进行。勘探点间距宜取 30~50m，勘探孔深度宜大于 15m 或达基岩面。

详勘：按地基均匀性类别布置钻孔及确定钻孔深度。对均匀地基勘探点间距宜取 12~24m，对不均匀地基宜取 6~12m，厚度和状态变化大的地段，勘探点间距宜加密。详细勘察勘探孔深度应满足变形验算的要求，对存在土洞的地基以及不均匀地基应达到基岩面。

施工勘察：对不均匀地基，有土洞发育或采用岩面端承桩时，宜进行施工勘察，勘探点间距和勘探孔深度根据需要确定。

### 10.3.7 红粘土地区的原位测试和室内试验

为评价红粘土，应采用相应的原位测试和采取土试样，并进行室内试验工作，原则上与一般土的规定相同，除满足《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 11 章的规定外，应提供含水比  $\alpha_w$  ( $\alpha_w = w/w_L$ ) 和液塑比  $I_r$  ( $I_r = w_L/w_p$ )。对裂隙发育的红粘土应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验。为评价收缩性及其影响，可进行收缩试验和复浸水试验。当需评价边坡稳定性时，宜进行重复剪切试验。

### 10.3.8 红粘土地区地下水勘察

地下水与红粘土中裂隙共同作用，将导致边坡土体散落、崩塌、滑动、塑流等病害的发生，并软化土层，降低红粘土强度，促进土洞的发生发展和地面塌陷。

红粘土地区地下水的勘察应着重查明地表水体和地下水的分布、动态及其与红粘土状态垂直分带的关系，当岩土工程评价需要详细了解地下水埋藏条件、运动规律和变化时，应在测绘调查的基础上补充进行地下水的勘探、试验和观测工作。有关要求按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 7 章的规定进行。

### 10.3.9 不均匀地基的处理措施

对不均匀地基，应优先采用地基处理措施，也可采用改变基础宽度、调整相邻地段基底压力、增减基础埋深等措施，使基底下可压缩土层相对均一。对外露的石芽，用可压缩材料进行褥垫处理；对土层厚度、状态分布不均的地段，用低压缩的材料作置换处理。

### 10.3.10 红粘土的地基承载力确定

对甲级岩土工程勘察，应提供载荷试验资料，确定红粘土的强度和变形指标，根据当地经验，选用有关测试手段，综合确定地基承载力特征值，并需进行变形验算；其他等级岩土工程勘察可选用其他原位测试、公式计算，并结合工程实践、经验等方法综合确定。在确定红粘土的地基承载力时除考虑上述因素外，还应特别考虑红粘土土体结构和裂隙对承载力的影响和开挖面长时间暴露、裂隙发展和复浸水对土质的影响。红粘土承载力评价方法一般有：

1 利用载荷试验确定；

2 利用红粘土物理性质指标，含水比  $\alpha_w$  和液塑比  $I_r$  确定；

3 利用静力触探比贯入阻力  $p_s$  确定。

### 10.3.11 红粘土的岩土工程评价

1 建筑物应避免跨越地裂密集带或深长地裂地段；

2 轻型建筑物的基础埋深应大于大气影响急剧层的深度；炉窑等高温设备的基础应考虑地基土的不均匀收缩变形；开挖明渠时应考虑土体干湿循环的影响；在石芽出露的地段，应考虑地表水下渗形成的地面变形；

3 选择适宜的持力层和基础形式，在满足本条第 2 款要求的前提下，基础宜浅埋，利用浅部硬壳层，并进行下卧层承载力的验算；不能满足承载力和变形要求时，应建议进行地基处理或采用桩基础；

4 基坑开挖时宜采取保湿措施，边坡应及时维护，防止失水干缩。

## 10.4 软土

### 10.4.1 软土的定义

天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土。包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

### 10.4.2 软土的工程特性

- 1 低强度：不排水抗剪强度小于 30kPa；
- 2 高压缩性：压缩系数  $a_{1-2} > 0.5\text{MPa}^{-1}$ ；
- 3 低渗透性：垂直向渗透系数小于  $1 \times 10^{-6}\text{cm/s}$ ；
- 4 高灵敏性：灵敏度  $S_l$  在 3~16 之间；
- 5 流变性：在剪应力作用下，土体会发生缓慢而长期的剪切变形；
- 6 不均匀性：粘性土中常夹有厚薄不等的粉土、粉细砂等。

### 10.4.3 软土建筑场地复杂程度划分

简单场地：地形平坦，地貌单元单一，无暗塘暗沟，互层简单，土质均一，无不良地质作用，地下水对地基基础无不良影响。

中等复杂场地：地形微起伏，地貌单元较单一，暗塘暗沟较少，交互层较复杂，土质变化较大，地基主要受力层内硬层和基岩面起伏较大，不良地质作用较发育，地下水对地基基础可能有不良影响。

复杂场地：地形较起伏，地貌单元较多，暗塘暗沟较多，交互层复杂，土质变化大，地基主要受力层内硬层和基岩面起伏大，不良地质作用发育，存在液化和震陷，地下水对地基基础有不良影响。

在具体进行场地划分时，如有类别的过渡，则需以主要方面综合分析判定。

### 10.4.4 软土勘察的基本规定

1 勘察阶段可分为初步勘察和详细勘察，必要时应进行施工勘察。对大型厂址、重点工程应分可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察四个阶段勘察；对建筑性质和总平面位置已定的工程，也可仅进行详细勘察。

2 施工勘察是在施工阶段根据设计、施工要求进行的补充勘察，针对所需解决的具体问题，提供相应的勘察资料，并作出分析、评价和建议。遇下列情况之一时，通常应进行施工勘察：

- 1) 因设计变更需补充勘察资料时；
- 2) 在施工中发现情况异常时；
- 3) 需进一步查明地下管线、障碍物及不良地质作用时。

3 详细勘察阶段应进行下列工作：

1) 查明建筑物范围内的地层成因类型、结构、分布规律及其物理力学性质，软土的固结历史、水平向和垂直向的均匀性、结构破坏对强度和变形特征的影响，地表硬壳层的分

布与厚度、下伏硬土层或基岩的埋深和起伏，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；

2) 查明微地貌形态和暗埋的塘、浜、沟、坑、穴的分布、埋深，并应查明回填土的工程性质、范围和填埋时间；

3) 查明地下水的埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度；

4) 判定水和土对建筑材料的腐蚀性；

5) 提供地基变形计算参数，预测建筑物的变形特征；

6) 对抗震设防烈度等于或者大于 6 度的场地，应提出勘察场地的抗震设防烈度、设计基本地震动加速度和设计特征周期分区，应划分场地类别，划分对抗震有利、不利或危险的地段；

7) 提供深基坑开挖后，边坡稳定性计算、支护和降水设计所需的岩土参数，分析开挖、回填、支护、降水、打桩、沉井等对软土应力状态、强度和压缩性的影响。

**10.4.5 软土勘察工作量布置**

1 详细勘察的勘探点布置，应符合下列规定：

1) 勘探点宜按建筑物周边线和角点布置，对无特殊要求的其他建筑物可按建筑物和建筑群的范围布置；

2) 同一建筑范围内的主要受力层或有影响的下卧层起伏较大时，应加密勘探点，查明其变化；

3) 重大设备基础应单独布置勘探点；重大的动力机器基础和高耸构筑物，勘探点不宜少于 3 个；在复杂场地上，对面积小但荷重大或重心高的单独建筑物（如烟囟、水塔等），布置勘探点不得少于 2 个；

4) 浅层勘探可采用小螺纹钻孔或轻便触探法，其勘探点宜沿建筑物周边和主要基础柱列线布置，孔距可为 10~15m，深度宜进入持力层约 3m。当遇到暗浜等不良地质作用时，应加密孔距，控制其边界的孔距宜为 2~3m，进入正常沉积土层深度不宜少于 0.5m。当拟建场地内存在明浜（塘）时，应测量其断面，并查明浜底淤泥厚度。

5) 详细勘察的勘探点间距可按表 10.4.5 确定。

**表 10.4.5 详细勘察勘探点间距（m）**

场地复杂程度	勘探点间距
一级（复杂）	10~15
二级（中等复杂）	15~30
三级（简单）	30~50

2 勘探深度确定除应符合常规勘察要求外，尚应符合下列规定：

1) 地基变形计算深度，对中、低压缩性土可取附加压力等于上覆有效自重压力 20% 的深度；对于高压缩性土层可取附加压力等于上覆土层有效自重压力 10% 的深度；

2) 建筑总平面内的裙房或仅有地下室部分（或当基底附加压力  $p_0 \leq 0$  时）的控制性勘探孔的深度可适当减小，但应深入稳定分布地层，且根据荷载和土质条件不宜少于基底下 0.5~1.0 倍基础宽度；

3) 当需进行地基整体稳定性验算时，控制性勘探孔深度应根据具体条件满足验算要求；

4) 当需确定场地抗震类别而邻近无可靠的覆盖层厚度资料时，应布置波速测试孔，其深度应满足确定覆盖层厚度的要求；

5) 大型设备基础勘探孔深度不宜小于基础底面宽度的 2 倍；

6) 当需进行地基处理时，勘探孔的深度应满足地基处理设计与施工要求；当采用桩

基时，勘探孔的深度应满足相关规范的要求；

7) 当有大面积地面堆载或软弱下卧层时，应适当加深控制性勘探孔的深度。

**3 采取土试样和进行原位测试应符合下列要求：**

1) 采取土试样和进行原位测试的勘探点数量，应根据地层结构、地基土的均匀性和设计要求确定，对地基基础设计等级为甲级的建筑物每栋不应少于 3 个；

2) 每个场地每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 6 件（组）；

3) 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取土试样或进行原位测试；

4) 当土层性质不均匀时，应增加取土数量或原位测试工作量。

**4 软土地区勘察宜采用钻探取样与静力触探结合的手段，在确保各地基土层能采取足够数量原状土土样的前提下，宜提高原位测试孔的比例。软土取样应采用薄壁取土器，其规格应符合《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）的要求。软土的力学参数宜采用静力触探试验、旁压试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验和螺旋板载荷试验等试验方法。**

**5 软土的力学参数宜采用室内试验、原位测试，结合当地经验综合确定。有条件时，可根据堆载试验、原型监测反分析确定。抗剪强度指标室内宜采用三轴试验，原位测试宜采用十字板剪切试验。**

**10.4.6 软土的岩土工程评价（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 6.3.7 条）**

**1 应判定地基产生失稳和不均匀变形的可能性；当工程位于池塘、河岸、边坡附近时，应验算其稳定性。**

**2 软土地基承载力应根据室内试验、原位测试和当地经验，并结合下列因素综合确定：**

1) 软土成层条件、应力历史、结构性、灵敏度等力学特性和排水条件；

2) 上部结构的类型、刚度、荷载性质和分布，对不均匀沉降的敏感性；

3) 基础的类型、尺寸、埋深和刚度等；

4) 施工方法和程序。

**3 当建筑物相邻高低层荷载相差较大时，应分析其变形差异和相互影响；当地面有大面积堆载时，应分析对相邻建筑物的不利影响。**

**4 地基沉降计算可采用分层总和法或土的应力历史法，并应根据当地经验进行修正，必要时，应考虑软土的次固结效应。**

**5 提出基础形式和持力层的建议；对于上为硬层，下为软土的双层土地基应进行下卧层验算。**

**10.4.7 软土地基评价要点**

**1 当地表有硬壳层，建筑物应充分利用其作为天然地基的持力层。**

**2 当场地有暗塘、暗浜时，建筑物的布置宜避开，当无法避开时，必须进行地基处理。**

**3 当建筑物离池塘、河岸、边坡较近时，应判别软土侧向塑性挤出或滑移产生的危险程度。**

**4 当地基土受力范围内有基岩或硬土层，且表面起伏倾斜时，应判定其对地基产生滑移或不均匀变形的影响。**

**5 当地基主要受力层中，有薄的砂层或软土与砂土层呈互层时，应根据其固结排水条件，判定其对地基变形的影响。**

**6 评定地下水的变化幅度和承压水头等水文地质条件对软土地基稳定性和变形的影响。**

**7 对含有沼气的地基，应判定沼气逸出对地基稳定性和变形的影响。**

**8 当建筑场地位于强地震区时，应评定场地和地基的地震效应，作出震陷和液化等稳定性分析。**

9 当天然地基不能满足要求时,可按表 10.4.7 选择适宜的地基处理方法或采用桩基方案。

**表 10.4.7 各种地基处理方法的适用范围**

地基处理方法	适用范围	加固效果	常用处理深度 (m)
换填层法	适用于浅层有淤泥、淤泥质土、松散填土、冲填土等软弱土的换土处理与低洼区域的填筑	提高强度和减少变形	2~3
预压法	适用于大面积淤泥、淤泥质土、松散填土、冲填土及饱和粘性土等工程地基预压处理	提高强度和减少变形	10~15
强夯法	适用于大面积处理松散砂土、粉土、松散填土、冲填土以及夹有薄层砂的饱和粘性土	提高强度、减少变形以及消除地基液化	6~10
水泥土搅拌桩法	适用于淤泥、淤泥质土、冲填土等地基处理	提高强度、减少变形以及防渗处理	8~18
桩土复合地基法	适用于处理厚层淤泥、淤泥质土、饱和粘性土等地基处理	减少变形,适当提高强度	15~25

#### 10.4.8 软土的承载力确定

1 采用静载荷试验确定地基承载力特征值:

1) 当试验承压板宽度大于或接近实际基础宽度或其持力层下的土层力学性质好于持力层时,其地基承载力特征值应按下式计算:

$$f_{ak} = f_k / 2 \quad (10.4.8-1)$$

式中  $f_k$  —— 地基极限承载力标准值 (kPa);

2) 当试验承压板宽度远小于实际基础宽度,且持力层下存在软弱下卧层时,应考虑下卧层对地基承载力特征值的影响。

2 采用原位测试成果可按表 10.4.8 确定地基承载力特征值。

**表 10.4.8 地基承载力特征值  $f_{ak}$**

原位测试方法	土 性	$f_{ak}$ (kPa)	适用范围值	符 号 说 明
静力触探试验	一般粘性土	$f_{ak} = 34 + 0.068 p_s$ $f_{ak} = 34 + 0.077 q_c$	$p_s > 2000 \text{ kPa}$ 取 2000 $q_c > 1700 \text{ kPa}$ 取 1700	$p_s$ 、 $q_c$ —分别为各土层静探比贯入阻力和锥尖阻力的平均值 (kPa)
	淤泥质土	$f_{ak} = 29 + 0.063 p_s$ $f_{ak} = 29 + 0.072 q_c$	$p_s > 800 \text{ kPa}$ 取 800 $q_c > 700 \text{ kPa}$ 取 700	
	粉 土	$f_{ak} = 36 + 0.045 p_s$ $f_{ak} = 36 + 0.054 q_c$	$p_s > 2500 \text{ kPa}$ 取 2500 $q_c > 2200 \text{ kPa}$ 取 2200	
旁压试验	粘性土	$f_{ak} = (p_y - p_0) \times 0.8$ $f_{ak} = (p_L - p_0) / 2.5$		$p_0$ — 由试验曲线和经验综合确定的侧向压力 (kPa); $p_y$ — 由旁压试验曲线确定的临塑压力 (kPa); $p_L$ — 由旁压试验曲线确定的极限压力 (kPa)
	粉 土	$f_{ak} = (p_y - p_0) \times 0.7$ $f_{ak} = (p_L - p_0) / 2.7$		
	砂 土	$f_{ak} = (p_y - p_0) \times 0.6$ $f_{ak} = (p_L - p_0) / 3$		

注: 1 表中经验公式具有一定的地区性,使用前应根据地区资料进行验证;

2 当土质较均匀时,宜取平均值;当土质不均匀时,宜取最小平均值。

**3** 采用类比法确定地基承载力特征值时,宜充分比较类同工程的沉降观测资料、工程地质条件、荷载条件、基础条件等。

**4** 当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时,用载荷试验或原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值,尚应进行下列修正:

1) 当持力层厚度大于或接近实际基础宽度或其持力层下的土层力学性质好于持力层时,可根据下式确定:

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_0 (d - 0.5) + \eta_b \gamma (b - 3) \quad (10.4.8-2)$$

式中  $f_a$  —— 修正后的地基承载力特征值 (kPa);

$f_{ak}$  —— 由 10.4.8-1~2 条确定的地基承载力特征值 (kPa);

$\eta_d$ 、 $\eta_b$  —— 基础埋深和宽度的地基承载力特征值修正系数,按基底下土类确定:淤泥质土  $\eta_d=1.0$ ,  $\eta_b=0$ ;一般粘性土  $\eta_d=1.1$ ,  $\eta_b=0$ ;粉性土  $\eta_d=1.3$ ,  $\eta_b=0.3$ ;

$b$  —— 基础宽度 (m);当基础宽度小于 3m 按 3m 考虑,大于 6m 按 6m 考虑;

$d$  —— 基础埋置深度 (m),一般自室外地面算起;

$\gamma_0$ 、 $\gamma$  —— 分别为基础底面以上和以下土的重度 ( $\text{kN/m}^3$ ),地下水位以下取浮重度。

2) 当持力层下存在软弱下卧层时,应考虑下卧层对地基承载力特征值的影响,公式 (10.4.8 -3~6) 中地基承载力特征值  $f_{ak}$  可按下列条件确定:

① 当持力层厚度  $h_1$  与基础宽度  $b$  之比  $h_1/b > 0.7$  时不计下卧层影响,可按下列式确定:

$$f_{ak} = f_{ak1} \quad (10.4.8 -3)$$

式中  $f_{ak1}$  —— 持力层的地基承载力特征值 (kPa)。

② 当  $0.5 \leq h_1/b \leq 0.7$  时,可按下列式确定:

$$f_{ak} = (f_{ak1} + f_{ak2}) / 2 \quad (10.4.8 -4)$$

式中  $f_{ak2}$  —— 软弱下卧层的地基承载力特征值 (kPa)。

③  $0.25 \leq h_1/b < 0.5$  时,可按下列式确定:

$$f_{ak} = (f_{ak1} + 2f_{ak2}) / 3 \quad (10.4.8 -5)$$

④ 当  $h_1/b < 0.25$  时不计持力层影响,可按下列式确定:

$$f_{ak} = f_{ak2} \quad (10.4.8 -6)$$

**5** 采用室内土工试验三轴  $UU$  抗剪强度计算地基承载力特征值可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 确定。

#### 10.4.9 软土地基沉降估算

**1** 地基变形计算值不应大于《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 规定的地基变形允许值。计算地基变形时,应符合下列规定:

1) 传至基础底面的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用;

2) 对于砌体结构应由局部倾斜值控制;对于框架结构和排架结构应由相邻柱基沉降差控制;对于多层或高层建筑应由倾斜值控制,必要时尚应控制平均沉降量;

3) 地面有大面积堆载或基础周围有局部堆载,沉降计算应计入地面沉降引起的附加沉降;

4) 应考虑相邻基础荷载影响;当基础面积系数大于 0.5 时,可按基础外包面积计算基底附加压力;

5) 当建筑物设有地下室且埋深较深时,应考虑基坑开挖后,地基土回弹再压缩引起的沉降值;

6) 对高压缩性土地基,当基底附加压力大于地基土承载力特征值的 0.75 时,应要

求预测沉降变化趋势并控制施工期间的加荷速率；

7) 必要时，宜考虑上部结构、基础与地基共同作用进行变形计算。

**2** 天然地基最终沉降量可采用分层总和法按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 进行计算。

**3** 考虑应力历史对粘性土压缩性的影响，尚需提供各土层的先期固结压力  $p_c$ 、超固结比  $OCR$ 、压缩指数  $C_c$ 、回弹指数  $C_s$ 。计算沉降时，按正常固结土、超固结土、欠固结土分别按下列 10.4.9-1~5 式计算地基固结沉降量。

1) 正常固结土：

$$S_c = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_{0i}} [C_{ci} \log(\frac{p_{li} + \Delta p_i}{p_{li}})] \quad (10.4.9-1)$$

式中  $\psi_s$  —— 沉降计算经验系数，应根据类似工程条件下沉降观测资料及经验确定；

$S_c$  —— 地基固结沉降量 (cm)；

$H_i$  —— 第  $i$  层分层厚度 (cm)；

$e_{0i}$  —— 第  $i$  层土的初始孔隙比；

$p_{li}$  —— 第  $i$  层土自重应力的平均值；

$\Delta p_i$  —— 第  $i$  层土附加应力的平均值 (有效应力增量) (kPa)；

$C_{ci}$  —— 第  $i$  层土的压缩指数。

2) 超固结土：

当  $\Delta p_i > p_{ci} - p_{li}$  时：

$$S_{cn} = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_{0i}} [C_{si} \log(\frac{p_{ci}}{p_{li}}) + C_{ci} \log(\frac{p_{li} + \Delta p_i}{p_{ci}})] \quad (10.4.9-2)$$

当  $\Delta p_i \leq p_{ci} - p_{li}$  时：

$$S_{cm} = \psi_s \sum_{i=1}^m \frac{H_i}{1 + e_{0i}} [C_{si} \log(\frac{p_{li} + \Delta p_i}{p_{li}})] \quad (10.4.9-3)$$

地基总沉降量：

$$S_c = S_{cn} + S_{cm} \quad (10.4.9-4)$$

式中  $n$  —— 分层计算沉降时，压缩土层中有效应力增量  $\Delta p_i > (p_{ci} - p_{li})$  时的分层数；

$m$  —— 分层计算沉降时，压缩土层中具有  $\Delta p_i \leq (p_{ci} - p_{li})$  的分层数；

$C_{si}$  —— 第  $i$  层土的回弹指数；

$p_{ci}$  —— 第  $i$  层土的先期固结压力 (kPa)；

其余符号意义同上。

3) 欠固结土：

$$S_c = \psi_s \sum_{i=1}^m \frac{H_i}{1 + e_{0i}} [C_{ci} \log(\frac{p_{li} + \Delta p_i}{p_{ci}})] \quad (10.4.9-5)$$

式中 符号意义同上。

#### 10.4.10 控制软土地基不均匀沉降的措施

**1** 为减少和预防由于地基变形引起建筑物的结构损坏或影响正常使用，应综合考虑在地基基础和上部结构的设计、施工和使用等方面采取必要措施。

**2** 软土地基上进行基础施工 (沉桩、降水和基坑开挖等) 时，必须确保主体结构基础的工程质量和邻近建 (构) 筑物、地下管线、地下公共设施等不受损坏。

**3** 当设计采用的承载力接近承载力特征值时，宜提出建筑施工的加荷速率和限值。

**4** 荷载差异较大的建筑物，宜先建重、高部分，后建轻、低部分。

**5** 宜考虑上部结构、基础和地基的共同作用，采取必要的建筑 and 结构措施。



- 6 对暗塘、暗浜、暗沟、坑穴、古河道等的处理，可采用基础加深、基础梁跨越、换土垫层或桩基等方法。
- 7 基坑（槽）的开挖，应分层分段进行，减少基坑（槽）底土体的扰动。
- 8 当地下水高于基坑（槽）底面时，应采取排水或降低地下水位的措施。
- 9 当地面堆载较大时，应采用预压或地基加固处理。

## 10.5 混合土

### 10.5.1 混合土的定义

混合土是由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土。其成因主要有坡积、洪积、冰水沉积、湖积、滑塌堆积、残积等。

### 10.5.2 混合土的分类

当碎石土中粒径小于 0.075mm 的细粒土质量超过总质量的 25%时，应定名为粗粒混合土；当粉土或粘性土中粒径大于 2mm 的粗粒土超过总质量的 25%时，应定名为细粒混合土。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 6.4.1 条）

### 10.5.3 混合土勘察的基本规定

- 1 应查明地形、地貌特征及混合土的成因类型、分布范围、埋藏条件、地质界面、与下卧岩土层的接触关系等；
- 2 应查明混合土的组成成分、物质来源、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律；
- 3 应查明水文地质条件，提供基础设计和施工所需的各种水文地质参数，判定水质对建筑材料的腐蚀性；
- 4 应调查当地利用混合土作为建筑物地基、建筑材料的经验，以及各种有效的地基处理措施；
- 5 对于残积混合土、膨胀性混合土、湿陷性混合土以及盐渍混合土等具有特殊性质的混合土的勘察工作尚应符合本措施有关章节的要求。

### 10.5.4 混合土的勘察工作量布置和勘探要求

- 1 勘探点的间距、勘探孔的深度除应符合《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）的规定外，尚应加密加深。勘探深度应能达到判断场地稳定性深度和地基变形计算深度；
- 2 应采用多种勘探手段如坑探、井探、钻探、动力触探、工程物探等，综合利用、相互印证、相互补充；
- 3 由于混合土的钻探难度较大，钻探材料消耗和勘探成本高，对于有经验的地区，宜以工程物探或动力触探等原位测试手段为主，钻探为辅的勘探方法；
- 4 勘探过程中，应注意查明对工程有重大影响的混合土中相对软弱夹层或相对硬层的分布范围、埋藏深度等。

### 10.5.5 混合土的原位测试和室内试验

- 1 应根据混合土的特性，选择适宜的试验方法和原位测试手段。一般应采取大体积土试样进行颗粒分析和物理力学性质测定。对于一般含碎、卵石的混合土其抗剪强度，可采用现场直接剪切试验方法。
- 2 混合土现场载荷试验的承压板直径和现场直接剪切试验的剪切面直径都应大于试验土层最大粒径的 5 倍，载荷试验的承压板面积不应小于  $0.5\text{m}^2$ ，直接剪切试验的剪切面面积不宜小于  $0.25\text{m}^2$ 。
- 3 混合土一般不容易取得不扰动土试样，不适合进行室内压缩试验。因此，混合土的

变形指标应根据载荷试验及其他原位测试成果确定。

**10.5.6 混合土的岩土工程评价**

1 不能将混合土作为一般土看待，应注意调查混合土的成因，对于由不良地质作用形成的混合土，应查明其不良地质作用是否有重复发生的可能；

2 应根据混合土与下伏岩土层的接触关系、地质界面分布情况、物理力学性质、岩土工程特性等方面，对其进行正确的岩土工程评价；

3 对于残积混合土、膨胀性混合土、湿陷性混合土及盐渍混合土等具有特殊性质的混合土，尚应参照本措施有关章节进行评价；

4 混合土的地基承载力和变形模量，应根据载荷试验和其他原位测试、试验成果并结合工程实践经验等方法综合确定。当地基基础设计等级为丙级，可用探井中大体积土试样的物理性质试验指标按表 10.5.6-1 确定其承载力特征值；当能获取混合土的抗剪强度参数时，对于砂质粘性土或粒径较小的砾质粘性土，也可采用一般计算方法计算地基承载力；

**表 10.5.6-1 混合土承载力特征值**

干密度 $\rho_d$ ( $t/m^3$ )	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3
承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	170	200	240	300	380	480	620	
孔隙比 $e$	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	190	200	210	230	250	270	320	400

5 混合土的地基变形计算，一般可按变形模量计算地基的沉降量。当混合土中含有巨大颗粒时，可将其所在位置视为不可压缩段考虑。当为膨胀性混合土、湿陷性混合土、盐渍混合土分布地区，应考虑其膨胀、湿陷、溶陷的变形对地基变形计算的影响；

6 在混合土中，常易形成上层滞水，地下水很容易使混合土中的粘粒发生变化，使混合土发生潜蚀现象。因此，应查明场地的水文地质条件，获取有关的水文地质参数，对场地的地下水作用做出合理的评价；

7 混合土地基的稳定性评价，应充分考虑其下伏岩土层面产状，以及混合土体中和下伏岩土中软弱层面产状对地基稳定性的影响。并应对地基的整体稳定性进行验算。当含有巨大漂石并且粒间填充不密实或软弱土时，应考虑这些漂石在外力作用下可能产生滚动或滑动对地基稳定性的影响；

8 混合土边坡的容许坡度值可根据现场调查和当地经验确定，对重要工程应进行专门试验研究。对于一般工程的混合土边坡可参考表 10.5.6-2。

**表 10.5.6-2 混合土边坡容许坡度值**

混合土分类	密实度或状态	边坡容许坡度值(高度比)	
		坡高小于 5m	坡高 5~10m
粗粒混合土	密 实	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中 密	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	稍 密	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
细粒混合土	坚 硬	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
	硬 塑	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50

**10.5.7 混合土地基的检验与监测**

混合土地基的检验与监测，应充分考虑混合土所具有的特殊性如所含颗粒的不均匀性、

下伏岩土层面起伏大、厚度变化大、岩土参数不容易获取等因素，加强地基的检验与监测工作，当基础施工或基槽开挖时发现与勘察报告不符时，应进行施工勘察。具体的检验与监测工作可按第 15 章的要求执行。

## 10.6 填土

### 10.6.1 填土的定义及分类

填土根据物质组成和堆填方式，可分为下列四类：

- 1 素填土：由碎石土、砂土、粉土和粘性土等一种或几种材料组成，不含杂物或含杂物很少；
- 2 杂填土：含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物；
- 3 冲填土：由水力冲填泥砂形成；
- 4 压实填土：按一定标准控制材料成分、密度、含水量，分层压实或夯实而成。

### 10.6.2 填土的工程性质（除压实填土外）

- 1 不均匀性，由于填土组成成分复杂，回填的方法、时间和厚度的随意性，杂填土的不均匀性最为严重。
- 2 自重压密性，填土属欠压密土，自重压密所需时间长短与其物质成分和颗粒组成有关，碎石和砂土素填土需 1~3 年，粉土和粘性土素填土需 5~10 年；冲填土与冲填料、排水条件相关，冲填料以砂土为主需 2~4 年，冲填料以粉土或粘性土为主需 10~20 年，甚至更长。
- 3 湿陷性，填土土质松散，孔隙率高，在浸水后易产生较强的湿陷。
- 4 低强度和高压缩性。

### 10.6.3 填土勘察的基本规定（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 6.5.2 条）

- 1 搜集资料，调查地形和地物的变迁，填土的来源、堆积年限和堆积方式；
- 2 查明填土的分布、厚度、物质成分、颗粒级配、均匀性、密实性、压缩性和湿陷性；
- 3 判定地下水对建筑材料的腐蚀性。

### 10.6.4 填土勘察的工作量布置（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 6.5.3、6.5.4、6.5.6 条）

1 填土勘探点布置除应符合常规勘察要求外，应针对其变化特点适当加密，勘探孔的深度应穿透填土层。勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或粘性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成分的素填土和杂填土宜采用动力触探、钻探，并应有一定数量的探井。

2 填土的工程特性指标宜采用下列测试方法确定：

- 1) 填土的均匀性和密实度宜采用触探法，并辅以室内试验；
- 2) 填土的压缩性、湿陷性宜采用室内固结试验或现场载荷试验；
- 3) 杂填土的密度试验宜采用大容积法；
- 4) 对压实填土，在压实前应测定填料的最优含水量和最大干密度，压实后应测定其干密度，计算压实系数。

3 填土地基基坑开挖后应进行施工验槽。处理后的填土地基应进行质量检验。复合地基，宜进行大面积载荷试验。

### 10.6.5 填土的岩土工程评价（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 6.5.5 条）

1 阐明填土的成分、分布和堆积年代，判定地基的均匀性、压缩性和密实度；必要时应按厚度、强度和变形特性分层或分区评价；

2 对堆积年限较长的素填土、冲填土和由建筑垃圾或性能稳定的工业废料组成的杂填土，当较均匀和较密实时可作为天然地基；由有机质含量较高的生活垃圾和对基础有腐蚀性的工业废料组成的杂填土，不宜作为天然地基；

3 填土地基承载力应结合载荷试验、地区经验并充分考虑上部结构的类型、基础刚度、荷载性质、分布及对不均匀沉降的敏感性等因素综合确定；

4 当填土底面的天然坡度大于 20%时，应验算其稳定性。

#### 10.6.6 填土的承载力确定

1 载荷试验：在通过原位测试方法查明填土均匀性的基础上，选择有代表性土层位置进行，试验宜在预计的基础埋置标高处，压板面积不宜小于  $0.50\text{m}^2$ ，试验数量不应少于 3 点，当填土很厚时，应分层进行。

2 原位测试可按表 10.6.6 确定地基承载力特征值。

表 10.6.6 地基承载力特征值  $f_{ak}$

原位测试方法	土 性	$f_{ak}$ (kPa)	适用范围值	符 号 说 明
静力触探试验	素填土	$f_{ak} = 27 + 0.054p_s$ $f_{ak} = 27 + 0.063q_c$	$p_s > 1500\text{kPa}$ 取 1500 $q_c > 1300\text{kPa}$ 取 1300	$p_s$ 、 $q_c$ —分别为各土层静探比贯入阻力和锥尖阻力的平均值 (kPa)； $N_{10}$ —轻型动力触探试验的锤击数 (击/30cm)
	冲填土	$f_{ak} = 20 + 0.040 p_s$ $f_{ak} = 20 + 0.047 q_c$	$p_s > 1000\text{kPa}$ 取 1000 $q_c > 900\text{kPa}$ 取 900	
轻型动力触探试验	素填土	$f_{ak} = 40 + 2.0N_{10}$	$N_{10} > 30$ 取 30	
	冲填土	$f_{ak} = 29 + 1.4N_{10}$		

注：1 表中经验公式具有一定的地区性，使用前应根据地区资料进行验证；

2 对浅部的非均质土、人工填土和新近沉积土，宜采用轻型动力触探或静力触探试验，查明其均匀情况。当土质较均匀时，宜取平均值；当土质不均匀时，宜取最小平均值。

#### 10.6.7 填土的地基处理及结构措施

1 当填土的自重压密尚未完成或土质不均匀等不能满足地基强度和变形要求时，可按表 10.6.7 选择适宜的地基处理方法进行加固。

表 10.6.7 各种地基处理方法的适用范围

地基处理方法	适 用 范 围	常用处理深度 (m)
换填层法	适用于浅层松散填土、冲填土等软弱土的换土处理与低洼区域的填筑	2~3
预压法	适用于大面积松散填土、冲填土等工程地基预压处理	10~15
重锤夯实法 强夯法	适用于松散填土、砂土冲填土	重锤夯实法：2~3 强夯法：6~10
挤密法(砂石桩、灰土桩)	适用于松散填土、冲填土	8~18

2 增加基础及上部结构刚度、强度和整体性措施，如选用筏板基础、设置钢筋混凝土圈梁等。

### 10.7 冻土

10.7.1 冻土的定义

1 冻土

指具有负温或零温度并含有冰的岩土。（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 第 2.1.1 条）

2 多年冻土

指持续冻结时间在 2 年或 2 年以上的冻土。（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 第 2.1.4 条）

3 季节冻土

指冬季冻结而在夏季又全部融化的冻土。（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 第 2.1.2 条）

10.7.2 冻土的分类

1 根据冻土冻结状态持续时间的长短，冻土可分为多年冻土、隔年冻土和季节冻土三种类型，见表 10.7.2-1（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 表 A.0.1）。

表 10.7.2-1 按冻结状态持续时间分类

类 型	持续时间(T)	地面温度(℃)特征	冰融特征
多年冻土	$T \geq 2$ 年	年平均地面温度 $\leq 0$	季节融化
隔年冻土	$2 \text{ 年} > T \geq 1$ 年	最低月平均地面温度 $\leq 0$	季节冻结
季节冻土	$T < 1$ 年	最低月平均地面温度 $\leq 0$	季节冻结

2 冻土的描述和定名，应符合《冻土工程地质勘察规范》（GB50324-2001）附录 B 的规定。按冻土含冰特征，可定名为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层。当冰层厚度大于 2.5cm，且其中不含土时，应定名为纯冰层，且应单独分层。

3 按体积压缩系数（ $m_v$ ）或总含水量（ $w$ ）划分为坚硬冻土、塑性冻土和松散冻土时，应符合下列规定：

- 1) 坚硬冻土： $m_v \leq 0.01\text{MPa}^{-1}$ ；
- 2) 塑性冻土： $m_v > 0.01\text{MPa}^{-1}$ ；
- 3) 松散冻土： $w \leq 3\%$ 。

4 多年冻土的融化下沉性，根据土的融化下沉系数  $\delta_o$  的大小，按表 10.7.2-2（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 6.6.2）的规定，划分为不融沉、弱融沉、融沉、强融沉和融陷五级。冻土层的平均融化下沉系数  $\delta_o$  按下式（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 公式 6.6.2）计算：

$$\delta_o = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \times 100(\%) \tag{10.7.2-1}$$

式中  $h_1$ 、 $e_1$  —— 分别为冻土试样融化前的高度和孔隙比；

$h_2$ 、 $e_2$  —— 分别为冻土试样融化后的高度和孔隙比。

5 季节冻土的冻胀性，根据土的冻胀率大小，按表 10.7.2-3（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 表 3.2.1）分为：不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五级。冻土层的平均冻胀率  $\eta$  按下式（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 公式 3.2.1）计算：

表 10.7.2-2

多年冻土的融沉性分级

土的名称	总含水量 $w_0(\%)$	平均融沉系数 $\delta_0$	融沉 等级	融沉类别	冻土类型
碎石土, 砾、粗、 中砂 (粒 径 小 于 0.075mm 的 颗 粒 含量不大于 15%)	$w_0 < 10$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$w_0 \geq 10$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
碎石土, 砾、粗、 中砂 (粒 径 小 于 0.075mm 的 颗 粒 含量大于 15%)	$w_0 < 12$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$12 \leq w_0 < 15$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$15 \leq w_0 < 25$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 25$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粉砂、细砂	$w_0 < 14$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$14 \leq w_0 < 18$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$18 \leq w_0 < 28$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 28$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粉 土	$w_0 < 17$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$17 \leq w_0 < 21$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$21 \leq w_0 < 32$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 32$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粘性土	$w_0 < w_p$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$w_p \leq w_0 < w_p + 4$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$w_p + 4 \leq w_0 < w_p + 15$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_p + 15 \leq w_0 < w_p + 35$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
含土冰层	$w_0 \geq w_p + 35$	$\delta_0 > 25$	V	融陷	含土冰层

注: 1 总含水量  $w_0$  包括冰和未冻水;

2 本表不包括盐渍化冻土、冻结泥炭化土、腐殖土、高塑性粘土。

$$\eta = \frac{\Delta_z}{Z_d} \times 100 (\%) \quad (10.7.2-2)$$

式中  $\Delta_z$ ——地表冻胀量 (mm);  
 $Z_d$ ——设计冻深 (mm),  $Z_d = h - \Delta_z$ ;  
 $h$ ——冻层厚度 (mm)。

表 10.7.2-3

季节冻土的冻胀性分级

土的名称及代号	冻前天然 含水量 $w(\%)$	冻结期间地下 水位距冻结面 的最小距离 $h_w(m)$	平均冻胀率 $\eta(\%)$	冻胀 等级	冻胀 类别
碎(卵)石, 砾、粗、中砂(粒径 <0.074mm、含量<15%), 细砂(粒 径<0.074mm、含量<10%)	不考虑	不考虑	$\eta \leq 1$	I	不冻胀

续表

土的名称及代号	冻前天然含水量 $w(\%)$	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 $h_w(\text{m})$	平均冻胀率 $\eta(\%)$	冻胀等级	冻胀类别
碎(卵)石, 砾、粗、中砂(粒径<0.074mm、含量>15%), 细砂(粒径<0.074mm、含量>10%)	$w \leq 12$	$>1.0$	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		$\leq 1.0$	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < w \leq 18$	$>1.0$			
		$\leq 1.0$	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$w > 18$	$>0.5$			
		$\leq 0.5$	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
粉 砂	$w \leq 14$	$>1.0$	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		$\leq 1.0$	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$14 < w \leq 19$	$>1.0$			
		$\leq 1.0$	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$19 < w \leq 23$	$>1.0$			
		$\leq 1.0$	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$w > 23$	不考虑	$\eta > 12$	V	特强冻胀
粉 土	$w \leq 19$	$>1.5$	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		$\leq 1.5$	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$19 < w \leq 22$	$>1.5$			
		$\leq 1.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$22 < w \leq 26$	$>1.5$			
		$\leq 1.5$	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$26 < w \leq 30$	$>1.5$			
		$\leq 1.5$	$\eta > 12$	V	特强冻胀
$w > 30$	不考虑				
粘性土	$w \leq w_p + 2$	$>2.0$	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		$\leq 2.0$	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$w_p + 2 < w \leq w_p + 5$	$>2.0$			
		$\leq 2.0$	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$w_p + 5 < w \leq w_p + 9$	$>2.0$			
		$\leq 2.0$	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$w_p + 9 < w \leq w_p + 15$	$>2.0$			
		$\leq 2.0$	$\eta > 12$	V	特强冻胀
$w > w_p + 15$	不考虑				

注: 1  $w_p$ ——塑限含水量(%); $w$ ——冻前天然含水量在冻层内的平均值;

2 盐渍化冻土不在表列;

3 塑性指数大于 22 时, 冻胀性降低一级;

4  $<0.005\text{mm}$  粒径含量 $>60\%$ 时, 为不冻胀土;

5 碎石类土当填充物大于全部质量的 40%时, 其冻胀性按填充物土类别判定。

### 10.7.3 冻土勘察的基本规定

1 冻土地区建筑场地的复杂程度，分为复杂场地、一般场地和简单场地三类。

1) 符合下列条件之一者为复杂场地：

① 岩土种类多，性质变化大，厚层地下冰发育，对工程影响大，需特殊处理。

② 冻土工程类型属纯冰层、含土冰层或饱冰冻土地带，冻土温度 $\geq -1.0^{\circ}\text{C}$ ，且变化大。

③ 冻土现象强烈发育，冻土生态环境遭受严重破坏。

2) 符合下列条件之一者为一般场地：

① 岩土种类较多，性质变化较大，地下冰较发育，对工程有不良影响。

② 冻土工程类型属富冰冻土地带，冻土温度为 $-1.0\sim -2.0^{\circ}\text{C}$ ，且变化较大。

③ 冻土现象一般发育，冻土生态环境遭受破坏。

3) 符合下列条件之一者为简单场地：

① 岩土种类单一，性质变化不大，地下冰不发育，对基础无影响。

② 冻土工程类型属少冰冻土或多冰冻土地带，冻土温度 $\leq -2.0^{\circ}\text{C}$ ，且变化不大。

③ 冻土现象不发育，无冻土生态环境问题。

2 对于场地和地基条件复杂的重要建（构）筑物必须设立定位观测点。观测项目包括多年冻土地温、地基土的冻胀与融沉特性，以及人为工程活动、自然条件变化等。

3 多年冻土区冻土岩土工程勘察，根据工程要求应进行下列工作：

1) 查明多年冻土的类型、分布范围、季节融化层与多年冻土层的厚度，以及在剖面上的相互关系及随空间的变化。当季节融化层和多年冻土层的厚度无实测资料时，可按《冻土工程地质勘察规范》（GB50324-2001）附录 D 和附录 E 的要求确定；

2) 查明多年冻土层的物质成分、性质与含冰量、冻土构造类型、地下冰层的厚度及分布特征。冻土构造类型可按《冻土工程地质勘察规范》（GB50324-2001）附录 C 进行鉴别；

3) 查明多年冻土层年平均地温及地温年变化深度，当无实测资料时，可按《冻土工程地质勘察规范》（GB50324-2001）附录 L 确定；

4) 查明多年冻土层物理、力学和热物理性质，冻土融化下沉特性，给出设计参数及其随温度的变化关系，并进行融沉性分级；

5) 查明多年冻土区内季节融化层的形成、存在原因、分布特征及其与冻土条件和自然因素及人为工程活动的关系，并进行冻胀性分级；

6) 查明多年冻土层上水、层间水和层下水的赋存形式、相互关系及其对工程的影响；

7) 查明多年冻土区的冻土现象类型、特征、发育规律、分布范围及其对工程建筑的影响与危害。

4 季节冻土区冻土岩土工程勘察，根据工程要求应进行下列工作：

1) 查明季节冻土的标准冻深、特征及其与环境的关系；

2) 查明季节冻土的冻土含冰特征及其在垂直剖面上的分布和随空间的变化；

3) 查明季节冻土的物质成分与含水特征；

4) 查明季节冻土的物理力学及热学性质，土的冻胀特性，给出设计参数，并进行冻胀性分级；

5) 查明地下水补给、径流、排泄条件及与地表水的关系，以及冻结前和冻结期间的变化情况；

6) 查明场地冻土现象类型、成因、分布、对场地和地基稳定性的影响及其发展趋势。

### 10.7.4 冻土勘察工作量布置

1 详细勘察勘探点的布置应按建筑场地复杂程度和建筑物等级确定，并应符合下列要求：



1) 对一级、二级建筑物宜按主要柱列线或建筑物的周边线布置；对三级建筑物可按轴线或建筑物的周边线布置，也可按建筑群的范围布置勘探点；

2) 对重大设备基础应单独布置勘探点；对重大的动力机器基础，勘探点不宜少于 3 个；

3) 对高耸构筑物(如烟囱、水塔等)，勘探点的数量应根据高度、荷载大小、冻土条件等综合考虑，一般不少于 2 个。

**2** 详细勘察的勘探点间距可按表 10.7.4-1（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 表 8.4.5）确定。

表 10.7.4-1 勘探点间距 (m)			
建筑物安全等级 建筑场地类别	一 级	二 级	三 级
复杂场地	10~15	15~20	20~30
一般场地	15~20	20~30	30~50
简单场地	20~35	30~45	40~60

**3** 详细勘察勘探孔深度除应满足《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 4 章的要求外，尚应符合下列规定：

1) 坚硬冻土作为地基时，一般勘探孔深度应等于地温年变化深度，控制性勘探孔深度应大于地温年变化深度 2~5m，控制测温孔深度应大于地温年变化深度 5m；（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 第 8.4.6.1 条）

2) 塑性冻土作为地基时，勘探孔深度应大于融化盘深度 3~5m；（《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 第 8.4.6.2 条）

3) 对保持冻结状态设计的地基，不应小于基底以下 2 倍基础宽度，对桩基应超过桩端以下 3~5m；对逐渐融化状态和预先融化状态设计的地基，应符合非冻土地基的要求；（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 6.6.4 条）

4) 勘探孔深度均宜超过多年冻土上限深度或季节冻结深度的 1.5 倍。在多年冻土的不稳定地带，应查明多年冻土的下限深度；

5) 当勘探孔达到预定深度遇有厚层纯冰层、含土冰层或饱冰冻土时，应加深勘探孔深度。

**4** 详细勘察取样和测试工作应符合下列要求：

1) 取土试样和进行原位测试的孔（井）数量，应按冻土工程地质条件和设计要求确定。一般不宜少于勘探孔总数的 1/2~2/3，且每幢重要建筑物不得少于 2~3 个；

2) 取土试样和原位测试点的竖向间距，在地基主要受力层内宜为 1~2m，受力层以下取样间距可放宽。每 1 个主要土层取不扰动土试样数量不得少于 6 件；

3) 地温观测孔每个场地或每幢重要建筑物不得少于 2 个，一般建筑物不得少于 1 个；

4) 地温观测点竖向间距，在季节融化层内不大于 0.5m，多年冻土层内以 1~2m 为宜；

5) 当遇有粗颗粒冻土的钻孔，取不扰动土试样有困难时，为测定地基土密度和含水率（含冰量），可采用坑探代替钻孔。

**10.7.5 冻土场地工程地质测绘与调查**

**1** 冻土工程地质测绘与调查宜结合勘察阶段进行，其范围应包括建筑场地及其附近对

工程安全有影响的地段,对冻土工程地质条件较复杂的场地和对工程安全影响较严重的冻土现象,比例尺可适当放大。

**2** 冻土工程地质测绘与调查,应包括下列主要内容:

- 1) 查明地貌形态特征、分布情况和成因类型并划分地貌单元;查明地貌与第四纪地质、岩性、构造、地表水以及地下水等与冻土现象的关系;
- 2) 冻土的分布、埋藏、成分、结构、地下冰类型及其与各种自然条件的关系;
- 3) 季节冻结与季节融化层土的成分、含水率和含冰量以及最大冻结与融化深度;
- 4) 多年冻土的上限深度、年平均地温、地表温度较差和冻层下卧岩土的温度变化动态;
- 5) 冻土现象的形成、分布、形态、规模和发育程度;
- 6) 建筑物在施工和使用期间,由于气候与人为因素对建筑场地冻土工程地质条件影响的预测。

**3** 多年冻土区对工程建设有影响的主要冻土现象包括:冻胀丘、冻椎、地下冰、融冻泥流、热融滑塌、热融湖塘、热融洼地、冻土沼泽等。在进行勘察时,应结合工程类型,有针对性地开展 work。

#### **10.7.6 冻土的勘探与取样**

**1** 冻土工程地质勘探工作,应充分结合工程特点、交通条件、机具设备和勘探对自然环境的影响等因素,选择在适宜的气候条件下进行。冻土的钻探方法应符合《冻土工程地质勘察规范》(GB50324-2001)附录 J 的要求。

**2** 根据冻土层类别选择钻探方法时,应符合下列要求:

- 1) 当冻土为第四系松散地层时,宜采取低速干钻方法。回次钻探时间不宜过长,一般以进尺 0.20~0.50m 为宜;
- 2) 对于高含冰量的冻结粘性土层,应采取快速干钻方法。回次进尺不宜大于 0.80m;
- 3) 对于冻结的碎块石和基岩,在钻探时,可采用低温冲洗液钻进方法。

**3** 冻土钻探的成孔直径,应符合下列规定:

- 1) 冻土钻探的开孔直径不应小于 130mm;终孔直径不应小于 91mm (一般 110mm 为宜);
- 2) 对于取不出完整冻结土试样的岩土,可按常规钻探的有关规定执行。

**4** 根据冻土工程地质环境变化特点,冻土钻探工作应符合下列要求:

- 1) 为了保持冻土层中钻孔孔壁稳定,应设置护孔管及套管封水或其他止水措施,防止地表水和地下水流入孔内;
- 2) 为取得土的最大冻结与融化深度资料,应在地表开始融化或冻结之前的适宜季节进行钻探。

**5** 冻土钻探的野外编录必须及时。

**6** 冻土浅部土层的勘探,可采用坑探、槽探和小螺旋钻等方法。在无人烟的冻土地区进行坑、槽探时,亦可采用爆破法,勘探工作完成后须按原来状况回填。探坑、探槽的开挖必须根据深度和冻土融化情况,采取加固措施以保证安全。

**7** 根据冻土试验目的和要求,冻土取样可按表 10.7.6 (《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001 表 6.5.1) 分为三级。

**8** 冻土取样方法和要求,可按下列规定进行:

- 1) 测定冻土基本物理指标用土试样,应由地表以下 0.5m 开始逐层采取。当土层厚度<1.0m 时,必须取一个土试样,当土层厚度>1.0m 时,必须每米取一个土试样,含冰量变化大时应加取;
- 2) 测定冻土热学及力学指标时,冻土取样应按工程需要采取,或与测定基本物理指

标的土试样合用；

3) 为保证土试样质量，不得从爆破的碎土块中取样，应从探坑或探槽壁上取样。

**表 10.7.6 冻土试样等级划分**

级 别	冻融及扰动程度	试 验 内 容
I	保持天然冻结状态	土类定名、冻土物理、力学性质试验
II	保持天然含水率并允许融化	土类定名、含水量、土颗粒密度
III	不受冻融影响并已扰动	土类定名、土颗粒密度

**9** 根据土试样等级，搬运土试样时，应符合下列要求：

1) 对于保持冻结状态的土试样，宜就近进行试验。如无现场试验条件时，应尽量缩短时间，在保持土试样冻结状态条件下运送；

2) 保持天然含水率并允许融化的土试样，应在取样后立即进行妥善密封、编号和称重并在运输过程中避免振动。对于融化后易振动液化和水分离析的土试样，宜在现场进行试验。

**10.7.7 冻土的原位测试与室内试验**

**1** 试验项目除按常规要求外，尚应根据需要，进行总含水量、未冻含水量、体积含冰量、相对含冰量、矿物颗粒比热、导热系数、起始冻结温度、冻胀量、冻胀力、融化压缩等项目的试验；对盐渍化多年冻土和泥炭化多年冻土，尚应分别测定易溶盐含量和有机质含量。

**2** 下列情况应进行原位测试：

1) 当原位测试比较简单，而室内试验条件与工程实际相差较大时；

2) 当基础的受力状态比较复杂，计算不准确而又无成熟经验，或整体基础的原位真型试验比较简单；

3) 重要工程必须进行必要的原位测试。

**3** 原位测试应包括下列内容：

1) 地温与地温场、地下水位、多年冻土上限深度、季节冻土的标准冻深、季节冻土层的分层冻胀以及冻融过程等；

2) 载荷试验、桩基静载试验、波速测试、融化压缩试验以及冻胀力试验等。冻土地基静载荷试验、冻土融化压缩试验和冻土力学指标原位试验分别应符合《冻土工程地质勘察规范》(GB50324-2001)附录 H、附录 F 和附录 G 的要求。

**4** 进行原位测试时应注意尽量与实际工程的环境条件、受力过程、温度状态和施工情况一致。在多年冻土地基中试验应随时监测地基温度场，在季节冻土地基中应注意水分场的一致性。

**10.7.8 冻土岩土工程评价包括的内容**

**1** 冻土的类型及其分布规律，季节冻土的标准冻深及设计冻深，多年冻土的厚度。季节性冻土地基的设计冻深应按式（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 式 5.1.7）计算：

$$z_d = z_0 \cdot \psi_{zs} \cdot \psi_{zw} \cdot \psi_{ze} \quad (10.7.8)$$

式中  $z_d$  —— 设计冻深。若当地有多年实测资料时，也可： $z_d = h' - \Delta_z$ ， $h'$  和  $\Delta_z$  分别为实测冻土层厚度和地表冻胀量；

$z_0$  —— 标准冻深。系采用在地表平坦、裸露、城市之外的空旷场地中不少于 10 年实测最大冻深的平均值。当无实测资料时，按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)附录 F 采用；

$\psi_{zs}$ ——土的类别对冻深的影响系数，按表 10.7.8-1 采用；  
 $\psi_{zw}$ ——土的冻胀性对冻深的影响系数，按表 10.7.8-2 采用；  
 $\psi_{ze}$ ——环境对冻深的影响系数，按表 10.7.8-3 采用；

表 10.7.8-1 土的类别对冻深的影响系数

土的类别	粘性土	细砂、粉砂、粉土	中、粗、砾砂	碎石土
影响系数 $\psi_{zs}$	1.00	1.20	1.30	1.40

表 10.7.8-2 土的冻胀性对冻深的影响系数

冻胀性	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
影响系数 $\psi_{zw}$	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

表 10.7.8-3 环境对冻深的影响系数

周围环境	村、镇、旷野	城市近郊	城市市区
影响系数 $\psi_{ze}$	1.00	0.95	0.90

2 主要的冻土物理、热学与力学指标建议值。无试验资料时，冻土物理、力学参数和冻土地温特征值可按《冻土工程地质勘察规范》(GB50324-2001)附录 K 和附录 L 确定。

3 冻土地下水类型、动态特征及其影响。

4 建筑场地稳定性、适宜性评价。除次要工程外，建筑物宜避开纯冰层、含土冰层、饱冰冻土地段和冰椎、冰丘、热融湖、厚层地下冰发育区，也宜避开融区与多年冻土区之间的过渡带，宜选择坚硬岩层、少冰冻土、多冰冻土地段以及地下水位或冻土层上水位低的地段和地形平缓的高地。

5 主要的冻土现象及其防治措施的建议。

6 冻土的地基承载力。应区别保持冻结地基和容许融化地基，结合当地经验用载荷试验或其他原位测试方法综合确定，对次要建筑物可根据邻近工程经验确定。

7 桩基应确定桩的类型和桩尖持力层，根据原位测试和室内试验确定桩周土层的冻结强度和桩端持力层的承载力，提出桩长、桩径和入土深度的建议并分析沉桩的可能性。

8 工程施工和运营期间岩土工程条件的可能变化及防治措施的建议。

10.7.9 冻土地基的检测与监测

1 冻土地区的地基基础设计，应符合《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ118-98)的要求。

2 冻土区的重要工程及建筑面积较大的高温车间等，从勘察工作开始就应设置定位观测站。定位观测站应包括下列观测内容和要求：

- 1) 气温、冻土地温、冻土上限、季节冻结深度、地下水位、融化下沉以及冻胀量等；
- 2) 建筑物建成后需验证的设计方案和施工措施；
- 3) 已建建筑物下的冻土地基及建筑场地内在人为活动影响下冻土条件变化情况；
- 4) 建筑物地基周围及其整个建筑场地地温场的变化特点与稳定状态；
- 5) 所采用各种防止冻胀、消除融沉措施的适用性及效果。

10.8 膨胀岩土

10.8.1 膨胀岩土的定義

含有大量亲水矿物，含水量变化时具有显著吸水膨胀软化和失水收缩硬裂的变形特性，变形受约束时产生较大内应力的岩土。

### 10.8.2 膨胀土地地的分类

膨胀土地地，按地形地貌条件可分为平坦场地和坡地场地。

#### 1 平坦场地

- 1) 地形坡度小于或等于  $5^{\circ}$ ，且同一建筑物范围内局部地形高差不超过 1m；
- 2) 地形坡度大于  $5^{\circ}$  小于  $14^{\circ}$ ，与坡肩水平距大于 10m 的坡顶地带。

#### 2 坡地场地

- 1) 地形坡度小于或等于  $5^{\circ}$ ，且同一建筑物范围内局部地形高差超过 1m；
- 2) 地形坡度大于  $5^{\circ}$  小于  $14^{\circ}$ ，与坡肩水平距离小于或等于 10m 的坡顶地带；
- 3) 地形坡度大于或等于  $14^{\circ}$ 。

### 10.8.3 勘察工作的基本要求

1 工程地质勘察阶段应与设计阶段相适应，可分为选择场址勘察、初步勘察和详细勘察三个阶段。对场地面积不大、地质条件简单或有建设经验的地区，可简化勘察阶段，但应达到详细勘察阶段的要求。对地形地质条件复杂或有成群建筑物破坏的地区，必要时还应进行专门性的勘察工作。

2 选择场址勘察，应以工程地质调查为主，辅以少量探坑或必要的钻探工作，了解地层分布，采取适量扰动土样，测定自由膨胀率，初步判定场地内有无膨胀土，对拟选场址的稳定性和适宜性作出工程地质评价。

3 初步勘察阶段应确定膨胀土的胀缩性，对场地稳定性和工程地质条件作出评价，为确定建筑总平面布置、主要建筑地基基础方案及对不良地质作用的防治方案提供工程地质资料。

4 详细勘察阶段应详细查明各建筑物的地基土层及其物理力学性质，确定其胀缩等级，为地基基础设计、地基处理、边坡保护和不良地质地段的治理，提供详细的工程地质资料。

### 10.8.4 选择场址勘察阶段的工程地质调查

选择场址勘察阶段的工程地质调查应包括下列内容：（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112-87 第 2.1.3 条）

- 1 初步查明膨胀土的地质时代、成因和胀缩性能；
- 2 划分地貌单元，了解地形形态；
- 3 查明场地内有无浅层滑坡、地裂、冲沟和隐伏岩溶等不良地质现象；
- 4 调查地表水排泄积聚情况，地下水类型，多年水位和变化幅度；
- 5 搜集当地多年气象资料（包括降水量、蒸发量、干旱持续时间、气温和地温等），了解其变化特点；
- 6 调查当地建设经验，分析建筑物损坏的原因。

### 10.8.5 初步勘察阶段的主要工作

当建筑场地已经进行了选择场址勘察时，初步勘察阶段应在选择场址勘察的基础上进行，主要工作应包括下列内容：（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 第 2.1.4 条）

1 工程地质条件复杂并且已有资料不符合要求时，应进行工程地质测绘，所用的比例尺可采用 1/1000~1/5000；

2 查明场地内不良地质现象的成因、分布范围和危害程度，预估地下水位季节性变化幅度和对地基土的影响；

3 采取原状土样进行室内基本物理性质试验、收缩试验、膨胀力试验和 50kPa 压力下的膨胀率试验，初步查明场地内膨胀土的物理力学性质。

### 10.8.6 详细勘察阶段的工程地质测绘与调查

详细勘察阶段的工程地质测绘与调查的精度应达到详细勘察阶段的精度要求,所用的比例尺可采用 1/500~1/1000。测绘和调查的主要内容:

- 1 当地的气象和水文资料;
- 2 地层的地质年代和成因类型;
- 3 地形和地貌条件;
- 4 有无不良地质作用;
- 5 有无建筑物开裂的现象和已有建筑物的变形特征;
- 6 已有建筑物的地基基础情况。

#### 10.8.7 勘察工作量布置

1 勘探点的平面布置宜结合地貌单元和微地貌形态布置,其数量应比非膨胀岩土地区适当增加,其中采取试样的勘探点不应少于全部勘探点的 1/2。详细勘察阶段,在每栋主要建筑物下不得少于 3 个取土勘探点。

2 勘探孔深度的确定除应满足基础埋深和附加应力的影响深度外,尚应超过大气影响深度;控制性勘探孔不应小于 8m,一般性勘探孔不应小于 5m。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 6.7.4 条第 2 款)

3 采取原状土样,应从地表下 1m 处开始,在大气影响深度内,每个控制性勘探孔均应采取 I、II 级土试样,取样间距不应大于 1.0m,土层有明显变化处,宜加取土样;在大气影响深度以下,取样间距可适当加大,取样间距可为 1.5~2.0m。一般性勘探孔从地表下 1m 开始至 5m 深度内,可取 III 级土试样,测定天然含水量。

#### 10.8.8 膨胀岩土的原位测试与室内试验

1 膨胀土是一种特殊的粘性土,原位测试方法除按照一般粘性土的方法进行测试外,尚应根据建筑场地的使用功能、场地稳定性、水体的影响大小和建筑物的重要性进行特殊的试验。

1) 重要的、有特殊要求的工程场地,或水体对地基土的性质影响较大时,宜进行现场浸水载荷试验。现场浸水载荷试验的试验方法按《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87)附录三的规定进行。

2) 在斜坡地带、膨胀岩土的裂隙比较发育的地带,为了评价场地的稳定性和裂隙对地基力学性质的影响,宜进行剪切试验或旁压试验。

2 对膨胀岩应进行粘土矿物成分、体膨胀量和无侧限抗压强度试验。对各向异性的膨胀岩土,应测定其不同方向的膨胀率、膨胀力和收缩系数。

3 膨胀岩土的室内试验,除应遵守《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 11 章的规定外,尚应按《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87)第 2.2.1 条的要求,测定下列指标:

- 1) 自由膨胀率 ( $\delta_{ef}$ )

人工制备的烘干土,在水中增加的体积与原体积的比,按下式(《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 2.2.1-1)计算:

$$\delta_{ef} = \frac{v_w - v_0}{v_0} \times 100 \quad (10.8.8-1)$$

式中  $\delta_{ef}$ ——自由膨胀率 (%);

$v_w$ ——土样在水中膨胀稳定后的体积 (mL);

$v_0$ ——土样原有体积 (mL)。

- 2) 一定压力下的膨胀率 ( $\delta_{ep}$ )

在一定压力下,浸水膨胀稳定后,土样增加的高度与原高度之比,按下式(《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 2.2.1-2)计算:

$$\delta_{ep} = \frac{h_w - h_0}{h_0} \times 100 \quad (10.8.8-2)$$

式中  $\delta_{ep}$  —— 某荷载下的膨胀率 (%)；  
 $h_w$  —— 土样浸水膨胀稳定后的高度 (mm)；  
 $h_0$  —— 土样的原始高度 (mm)。

### 3) 收缩系数 ( $\lambda_s$ )

原状土样在直线收缩阶段，含水量减少 1% 时的竖向线缩率，按下式 (《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 2.2.1-3) 计算：

$$\lambda_s = \frac{\Delta \delta_s}{\Delta w} \quad (10.8.8-3)$$

式中  $\lambda_s$  —— 收缩系数；  
 $\Delta \delta_s$  —— 收缩过程中与两点含水量之差对应的竖向线缩率之差 (%)；  
 $\Delta w$  —— 收缩过程中直线变化阶段两点含水量之差 (%)。

### 4) 膨胀力 ( $p_e$ )

原状土样在体积不变时，由于浸水膨胀产生的最大内应力。膨胀力按下式 (《土工试验方法标准》GB/T50123-1999 公式 22.0.4) 计算：

$$p_e = \frac{W}{A} \times 10 \quad (10.8.8-4)$$

式中  $p_e$  —— 膨胀力 (kPa)；  
 $W$  —— 施加在试样上的总平衡荷载 (N)；  
 $A$  —— 试样面积 (cm)。

上述特性指标的试验，应按《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87) 附录一和《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999) 的规定进行。

## 10.8.9 膨胀岩土的胀缩性判别

1 膨胀土的胀缩性判别分为初判和终判两步，对膨胀土初判主要根据地貌形态、土的外观特征和自由膨胀率；终判是在初判的基础上结合各种室内试验及邻近工程损坏原因分析进行。初判和终判不是互相分割的，应互相结合，综合分析，工作的次序是从初判到终判，但终判时仍应综合考虑现场特征，不宜只凭个别试验指标确定。对于膨胀岩的胀缩性判别可参照膨胀土的判定方法进行判定。

2 膨胀土的初判应根据场地的地形地貌、地质年代、成因类型、已有建筑物的变形特征并结合室内试验所测得的自由膨胀率综合判定，具有下列工程特征的土可初判为膨胀土：

- 1) 多分布在二级或二级以上阶地、山前丘陵和盆地边缘；
- 2) 地形平缓，无明显自然陡坎；
- 3) 常见浅层滑坡、地裂，新开挖的路堑、边坡、基槽易发生坍塌；
- 4) 裂缝发育，方向不规则，常有光滑面和擦痕，裂缝中常充填灰白、灰绿色粘土；
- 5) 干时坚硬，遇水软化，自然条件下呈坚硬或硬塑状态；
- 6) 自由膨胀率一般大于 40%；
- 7) 未经处理的建筑物成群破坏，低层较多层严重，刚性结构较柔性结构严重；
- 8) 建筑物开裂多发生在旱季，裂缝宽度随季节变化。

3 对初判为膨胀土的建筑场地，应计算土的膨胀变形量、收缩变形量和胀缩变形量，估计膨胀力的大小，划分胀缩等级。计算和划分方法应符合现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87) 的规定。有地区经验时，亦可根据地区经验分级。

1) 膨胀潜势

膨胀土的膨胀潜势以自由膨胀率的大小，按表 10.8.9-1 的划分标准分为弱膨胀潜势、中膨胀潜势和强膨胀潜势：（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 第 2.3.3 条）

表 10.8.9-1 膨胀土的膨胀潜势分类

自由膨胀率(%)	膨胀潜势
$40 \leq \delta_{ef} < 65$	弱
$65 \leq \delta_{ef} < 90$	中
$\delta_{ef} \geq 90$	强

2) 膨胀变形量

地基土的膨胀变形量，应按下式（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 3.2.2）计算：

$$s_e = \psi_e \sum_{i=1}^n \delta_{epi} \cdot h_i \tag{10.8.9-1}$$

式中  $s_e$  —— 地基土的膨胀变形量（mm）；  
 $\psi_e$  —— 计算膨胀变形量的经验系数，宜根据当地经验确定，若无可依据经验时，三层及三层以下建筑物，可采用 0.6；  
 $\delta_{epi}$  —— 基础底面下第  $i$  层土在该层土的平均自重压力与平均附加压力之和作用下的膨胀率，由室内试验确定；  
 $h_i$  —— 第  $i$  层土的计算厚度（mm）；  
 $n$  —— 自基础底面至计算深度内所划分的土层数（图 10.8.9a），计算深度应根据大气影响深度确定；有浸水可能时，可按浸水影响深度确定。

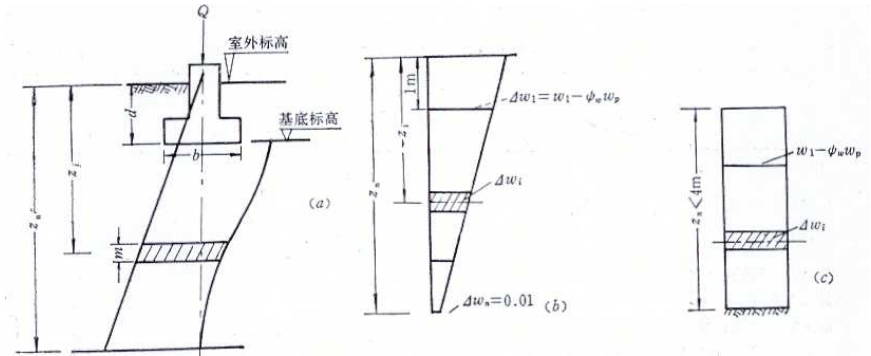


图 10.8.9 地基土变形计算示意图

3) 收缩变形量

地基土的收缩变形量，应按下式（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 3.2.3-1）计算：

$$s_s = \psi_s \sum_{i=1}^n \lambda_{si} \cdot \Delta w_i \cdot h_i \tag{10.8.9-2}$$

式中  $s_s$  —— 地基土的收缩变形量（mm）；  
 $\psi_s$  —— 计算收缩变形量的经验系数，宜根据当地经验确定，若无可依据经验时，三层及三层以下建筑物，可采用 0.8；



$\lambda_{si}$ ——第*i*层土的收缩系数，应由室内试验确定；  
 $\Delta w_i$ ——地基土收缩过程中，第*i*层土可能发生的含水量变化的平均值（以小数表示）；  
*n*——自基础底面至计算深度内所划分的土层数（图 10.8.9b），计算深度可取大气影响深度，当有热源影响时，应按热源影响深度确定。  
 在计算深度内，各土层的含水量变化值，应按下列式计算：

$$\Delta w_i = \Delta w_1 - (\Delta w_1 - 0.01) \frac{z_i - 1}{z_n - 1} \quad (10.8.9-3)$$

$$\Delta w_1 = w_1 - \psi_w \cdot w_p \quad (10.8.9-4)$$

式中  $w_1$ 、 $w_p$ ——地表下 1m 处土的天然含水量和塑限含水量（以小数表示）；  
 $\psi_w$ ——土的湿度系数；  
 $z_i$ ——第*i*层土的深度（m）；  
 $z_n$ ——计算深度，可取大气影响深度（m）。

注：1 在地表下 4m 土层深度内，存在不透水基岩时，可假定含水量变化值为常数（图 10.8.9c）。  
 2 在计算深度内有稳定地下水位时，可计算至水位以上 3m。

膨胀土湿度系数，应根据当地 10 年以上的土的含水量变化及有关气象资料统计求出，无此资料时，可按下列式计算：

$$\psi_w = 1.152 - 0.726\alpha - 0.00107c \quad (10.8.9-5)$$

式中  $\psi_w$ ——膨胀土湿度系数，在自然气候影响下，地表下 1m 处土层含水量可能达到的最小值与其塑限值之比；  
 $\alpha$ ——当地 9 月至次年 2 月的蒸发力之和与全年蒸发力之比值。我国部分地区蒸发力及降水量值，可按《膨胀土地区建筑技术规范》（GBJ112-87）附录二采用；  
 $c$ ——全年中干燥度大于 1.00 的月份的蒸发力与降水量差值之总和（mm）。

注：干燥度为蒸发力与降水量之比值。

大气影响深度，应由各气候区土的深层变形观测或含水量观测及地温观测资料确定，无此资料时，可按表 10.8.9-2（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 表 3.2.5）采用。

**表 10.8.9-2 大气影响深度 (m)**

土的湿度系数 $\psi_w$	大气影响深度 $d_a$
0.6	5.0
0.7	4.0
0.8	3.5
0.9	3.0

注：1 大气影响深度是自然气候作用下，由降水、蒸发、地温等因素引起土的升降变形的有效深度。  
 2 大气影响急剧层深度系指大气影响特别显著的深度。

大气影响急剧层深度，可按表 10.8.9-2 中的大气影响深度值乘以 0.45 采用。中国部分地区膨胀土计算参数取值可参见表 10.8.9-3。

#### 4) 胀缩变形量

地基土的胀缩变形量，应按下列式（《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 公式 3.2.6）计算：

表 10.8.9-3

中国部分地区膨胀土参数取值

站 名	土的湿度系数 $\psi_w$	大气影响 深度 (m)	大气影响 急剧层深度 (m)
吐鲁番、元谋、衡水、元江、唐山、开远、蒙自	< 0.6	5.0	2.3
通县、兖州、昆明	0.6	5.0	2.3
泰安	0.65	4.5	2.0
许昌、昭通、文山	0.7	4.0	1.8
临沂、文登、南阳	0.75	4.0	1.8
安康、巢湖、全州、桂林、百色、韶关（曲江）、贵县、上思、广州、湛江	0.8	3.5	1.6
成都、蚌埠、合肥、颍阳、钟祥、南宁、来宾、绵阳	0.85	3.0	1.35
汉中、江陵、荆州、贵阳	0.9	3.0	1.35
南京	>0.9	3.0	1.35

$$s = \psi \sum_{i=1}^n (\delta_{epi} + \lambda_{si} \cdot \Delta w_i) h_i \quad (10.8.9-6)$$

式中  $S$ ——地基土的胀缩变形量 (mm);

$\psi$ ——计算胀缩变形量的经验系数,可取 0.7。

其他符号同前。

#### 5) 胀缩等级

膨胀土地基评价,应根据地基的膨胀、收缩变形对低层砖混房屋的影响程度进行。地基的胀缩等级,可按表 10.8.9-4 分为三级。(《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 第 2.3.5 条)

表 10.8.9-4

膨胀土地基的胀缩等级

地基分级变形量 $S_c$ (mm)	级 别
$15 \leq S_c < 35$	I
$35 \leq S_c < 70$	II
$S_c \geq 70$	III

地基分级变形量应按公式 (10.8.9-1)、10.8.9-2) 和 (10.8.9-6) 计算,式中膨胀率采用的压力应为 50kPa。

#### 10.8.10 膨胀岩土的工程评价

膨胀岩土的主要特性是膨胀性、超固结性和裂隙性。除膨胀岩土的膨胀性之外,超固结性对地基土的承载力和变形有较大影响,裂隙性对地基稳定性有较大影响,因此,在评价膨胀岩土的地基承载力、地基变形和地基及边坡稳定性时,应根据膨胀岩土的主要特性进行相关的试验和岩土工程的分析评价。

##### 1 膨胀土的地基承载力可按下列规定确定:

1) 对荷载较大的建筑物用现场浸水载荷试验方法确定,载荷试验方法可按《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87) 附录三的规定进行;

2) 采用饱和三轴不排水快剪试验确定土的抗剪强度时, 可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 中的有关规定计算承载力;

3) 已有大量试验资料地区, 可制订本地区的地基承载力表, 供一般工程采用。无资料地区, 可按表 10.8.10-1 的数据采用。

**表 10.8.10-1 膨胀土地基承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)**

含水比	孔 隙 比		
	0.6	0.9	1.1
<0.5	350	280	200
0.5~0.6	300	220	170
0.6~0.7	250	200	150

注: 1 含水比为天然含水量与液限的比值。

2 本表适用于基坑开挖时土的天然含水量等于或小于勘察取土试验时土的天然含水量。

**2** 地基土的计算变形量, 应符合下式要求 (《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 第 3.2.9 条):

$$S_j \leq [S_j] \quad (10.8.10)$$

式中  $S_j$  —— 天然地基或人工地基及采用其他处理措施后的地基变形量计算值 (mm);

$[S_j]$  —— 建筑物的地基容许变形值 (mm), 可按表 10.8.10-2 (《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 表 3.2.9) 采用。

**表 10.8.10-2 建筑物的地基容许变形值**

结 构 类 型	相 对 变 形		变形量 (mm)
	种 类	数 值	
砖 混 结 构	局部倾斜	0.001	15
房屋长度三到四开间及四角有构造柱或配筋砖混承重结构	局部倾斜	0.0015	30
工业与民用建筑相邻柱基			
(1) 框架结构无填充墙时	变形差	0.001/ $l$	30
(2) 框架结构有填充墙时	变形差	0.0005/ $l$	20
(3) 当基础不均匀升降时不产生附加应力的结构	变形差	0.003/ $l$	40

注:  $l$  为相邻柱基的中心距离 (m)。

膨胀土地基变形量取值, 应符合下列规定 (《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87 第 3.2.9 条):

- 1) 膨胀变形量, 应取基础某点的最大膨胀上升量;
- 2) 收缩变形量, 应取基础某点的最大收缩下沉量;
- 3) 胀缩变形量, 应取基础某点的最大膨胀上升量与最大收缩下沉量之和;
- 4) 变形差, 应取相邻两基础的变形量之差;
- 5) 局部倾斜, 应取砖混承重结构沿纵墙 6~10m 内基础两点的变形量之差与其距离的比值。

**3** 对边坡及位于边坡上的工程, 应进行地基稳定性验算, 验算时应按下列规定进行。

- 1) 考虑坡体内含水量变化的影响;

- 2) 均质土且无节理裂隙时可采用圆弧滑动法计算;
  - 3) 有软弱夹层及层状膨胀岩土应按最不利的滑动面验算;
  - 4) 具有胀缩裂缝和地裂缝的膨胀土边坡, 应进行沿裂缝滑动的验算;
  - 5) 稳定性验算应考虑建筑物荷载和地面荷载的作用;
  - 6) 稳定性验算时所采用的抗剪强度指标应选择沿滑动面的抗剪强度。
- 10.8.11 膨胀岩土地基的建议措施**
- 1 对建在膨胀岩土上的建筑物, 其基础埋深、地基处理、桩基设计、总平面布置、建筑 and 结构措施、施工和维护, 应符合现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87) 的规定。
  - 2 膨胀岩土地区的建筑施工, 应根据设计要求、场地条件和施工季节, 认真做好施工组织设计, 严格执行施工技术 & 施工工艺规定, 做好地面排水措施, 妥善管理施工用水, 保持场地排水通畅, 防止施工用水流入基坑或基槽。基础施工宜分段进行, 快速施工, 施工过程中不得使基坑曝晒或泡水, 雨季施工应采取防水措施。
  - 3 在膨胀岩土地区, 有下列情况应进行建筑物的沉降观测:
    - 1) III级膨胀土地基上的建筑物;
    - 2) 用水量较大的湿润车间;
    - 3) 坡地场地上的重要建筑物;
    - 4) 高压、易燃或易爆管道支架或有特殊要求的路面、轨道等。
 建筑物的沉降观测方法应按《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ112-87) 附录五的规定进行。

## 10.9 盐渍岩土

- 10.9.1 盐渍岩土的定义**
- 盐渍岩土是指易溶盐含量大于 0.3%, 并具有溶陷、盐胀及腐蚀等工程特性的岩土。
- 10.9.2 盐渍岩土的分类**
- 1 盐渍岩按主要含盐矿物成分可分为石膏盐渍岩和芒硝盐渍岩等。
  - 2 盐渍土根据其含盐化学成分分为氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土和碱性盐渍土五类。分类标准见表 10.9.2-1 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 6.8.2-1)。

**表 10.9.2-1 盐渍土按含盐化学成分分类**

盐渍土名称	$\frac{c(Cl^-)}{2c(SO_4^{2-})}$	$\frac{2c(CO_3^{2-}) + c(HCO_3^-)}{c(Cl^-) + 2c(SO_4^{2-})}$
氯盐渍土	>2.0	—
亚氯盐渍土	2.0~1.0	—
亚硫酸盐渍土	1.0~0.3	—
硫酸盐渍土	<0.3	—
碱性盐渍土	—	>0.3

注: 表中  $c(Cl^-)$  为氯离子在 100g 土中所含毫摩数, 其他离子同。

3 盐渍土根据其含盐量分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土和超盐渍土四类。分类标准见表 10.9.2-2（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 6.8.2-2）。

表 10.9.2-2 盐渍土按含盐量分类

盐渍土名称	平均含盐量(%)		
	氯及亚氯盐	硫酸及亚硫酸盐	碱性盐
弱盐渍土	0.3~1.0	—	—
中盐渍土	1.0~5.0	0.3~2.0	0.3~1.0
强盐渍土	5.0~8.0	2.0~5.0	1.0~2.0
超盐渍土	>8.0	>5.0	>2.0

10.9.3 盐渍岩土勘察的基本规定

1 盐渍岩土场地工程勘察宜分阶段进行，一般可分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察三个阶段。对场地面积不大、地质条件简单或有经验的地区，可简化勘察阶段，但后一勘察阶段应符合前期勘察阶段的要求。必要时也可进行施工勘察。

2 盐渍岩土场地在进行地基复杂程度分级时，对盐渍岩土类型及溶陷等级分布复杂、盐渍化程度高的地基，可判定为一级地基（复杂地基）；盐渍岩土类型单一，盐渍化程度轻微，不具溶陷性和盐胀性的盐渍岩土地基可判定为三级地基（简单地基）；其他盐渍岩土地基可判定为二级地基（中等复杂地基）。

3 盐渍岩土场地的勘察工作应在干旱季节进行。

4 盐渍岩土场地的岩土工程勘察除应满足一般场地的勘察要求外，尚应查清以下问题：

- 1) 盐渍岩土的分布范围、形成条件，盐渍土分布区的地貌、地形特点，微地貌景观（盐壳、盐丘等）；
- 2) 盐渍岩土的厚度及其变化规律；
- 3) 盐渍岩土的类型、一般物理力学性质及其溶陷性、盐胀性、腐蚀性；
- 4) 上部土层的渗透条件，地下水埋深及季节变化，地下水迳流及排泄条件、物理化学性质等。

10.9.4 盐渍岩土勘察工作量布置

1 盐渍岩土场地的勘探点，对于盐渍岩土类型复杂和盐渍化程度高的场地，应按建筑物的周边线布置，若建筑物规模较大时，基础范围内也应布置，其间距可按《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）表 4.1.15 确定。若无法查明盐渍岩土的分布特征时，应适当加密。

2 勘探点的深度应根据盐渍岩土层的厚度和地基压缩层深度的预估值确定，并应有一定数量的控制性勘探点穿透盐渍岩土层。

3 取土试样和进行原位测试勘探点的数量，应符合《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 4.1.20 条的要求。

4 在勘探深度内遇地下水，应取水试样进行水质简分析，取样数量每幢建筑不得少于 2 件。

5 对溶陷性严重的场地或确定存在溶陷危害的新建场地，应通过现场浸水载荷试验评价盐渍岩土的溶陷性，其测试点不宜少于 3 个。

10.9.5 盐渍岩土场地工程地质测绘与调查的内容

- 1 盐渍岩土的成因、分布和特点；
- 2 含盐化学成份、含盐量及其在岩土中的分布；
- 3 溶蚀洞穴发育程度和分布；
- 4 搜集气象和水文资料，包括场地的气温变化、地温、降水量、蒸发量、地表水体分

- 布积聚条件、径流排泄条件、季节变化、洪水淹没情况等；
- 5 地下水的类型、埋藏条件、水质、水位及其季节变化；
  - 6 植物生长状况，包括植物的种类及分布特点；
  - 7 含石膏为主的盐渍岩硬石膏的水化程度（硬石膏水化后变成石膏的界线），含芒硝较多的盐渍岩，在隧道通过地段的地温情况；
  - 8 调查当地工程经验，包括已破坏建（构）筑物的特点等。

**10.9.6 盐渍岩土 的钻探与取样**

- 1 盐渍岩土场地钻探宜采用干钻方法钻进，当采用其他方法钻进时，应保证岩土的结构和岩土中盐份不损失。
- 2 用于测定含盐离子的扰动土试样，宜在探井或探槽中采取，确保试样的代表性，并符合表 10.9.6（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 表 6.8.4）的规定。

表 10.9.6 盐渍土扰动土试样取样要求			
勘察阶段	深度范围 (m)	取土试样间距 (m)	取样孔占勘探孔总数的 百分数(%)
初步勘察	<5	1.0	100
	5~10	2.0	50
	>10	3.0~5.0	20
详细勘察	<5	0.5	100
	5~10	1.0	50
	>10	2.0~3.0	30

注：浅基取样深度到 10m 即可。

- 3 盐渍岩土化学分析扰动土试样的数量，对均匀粘性土与粉土、砂土不少于 0.5kg；对碎石土视大颗粒的比例而定，取样时应保证 2mm 以下颗粒不少于 0.5kg。

**10.9.7 盐渍岩土的原位测试与室内试验**

- 1 盐渍岩土场地地基的承载力和溶陷性确定宜采用载荷试验，当采用其他手段确定时应与载荷试验结果进行对比。对于乙、丙类建筑可采取不扰动试样进行室内试验评价其溶陷性；对于难以采取不扰动试样且现场浸水载荷试验有困难的盐渍岩土场地，可采用其他可行的方法评价其溶陷性。对于溶陷系数  $\delta_s \geq 0.01$  的土层，应判定为溶陷性土层。浸水载荷试验可参照《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB50025-2004）第 4.3 节的规定进行。
- 2 对盐胀性盐渍土宜现场测定有效盐胀厚度和总盐胀量，当土中硫酸钠含量不超过 1% 时，可不考虑盐胀性。
- 3 工程需要时，应测定有害毛细水上升的高度。
- 4 除进行常规室内试验外，尚应进行溶陷性试验和化学成分分析，必要时可对岩土的结构进行显微结构鉴定。
- 5 盐渍岩土的化学分析试验内容应包括：

- 1) 易溶盐： $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ ；
  - 2) 中溶盐： $\text{CaSO}_4$ 。
  - 6 室内溶陷性指标的测定可按湿陷性黄土的湿陷试验方法进行。
- 10.9.8 盐渍岩土岩土工程评价包括的内容**
- 1 岩土中含盐类型、含盐量及主要含盐矿物对岩土工程特性的影响。
  - 2 岩土的溶陷性、盐胀性、腐蚀性和场地工程建设的适宜性。当溶陷性、盐胀性及腐

蚀性共同作用或交替作用时，应综合考虑其不利因素。

3 盐渍岩地基的承载力。确定盐渍岩地基的承载力时，应考虑盐渍岩的水溶性影响。

4 盐渍岩边坡的坡度。盐渍岩边坡的坡度宜比非盐渍岩的软质岩石边坡适当放缓，对软弱夹层、破碎带应部分或全部加以防护。

5 盐渍岩土对建筑材料的腐蚀性。

6 对盐渍岩土地基基础方案及检测、监测工作的建议。

#### 10.9.9 与地基有关的设计、施工、检测与监测建议

1 在盐渍岩土区进行工程建设，一般应避开超盐渍土和强盐渍土地带，特别是分布有浅埋高矿化度地下水的盐渍土区。具有以下条件之一的场地，不宜选为建筑场地：

1) 土层 2m 以上易溶盐含量大于 8%；

2) 地下水位高于基础埋深，地下水  $\text{SO}_4^{2-}$  含量大于 10000mg/L。

2 对于盐渍岩土场地条件特别复杂，或拟建（构）筑物特别重要时，应对场地进行专门研究，通过试验确定合理的设计施工方案，必要时，可进行实体模型试验，或修建试验性建筑。

3 盐渍岩土区进行工程建设，应根据建（构）筑物的特点、重要性，场地的岩土工程条件、盐渍岩土含盐性质、含盐量及当地的建筑经验，采取以地基处理及防腐措施为主、防水措施为辅的综合治理措施。

4 盐渍岩土的地基处理要求和方法，可按《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004) 第 5 章和第 6 章的要求进行，考虑到盐渍岩土的特点，设计施工中应注意以下事项：

1) 应将表层高含盐量部分清除，再进行处理；

2) 如需回填土方应采用含盐量低于 0.3% 的土；

3) 对于含水量过低或过高的盐渍岩土，应采取有效措施以使其达到合适的含水量范围。

5 处理后的地基应进行检测。

6 在工程开始施工时，应先修建排水管道或有防渗衬砌的排水沟，施工期间的大气降水及施工用水均应引入排水系统，不得任意排放，场地内不得任意堆放影响排水的杂物或垃圾。冬季施工时，应采取防冻措施，以防管道冻裂漏水，在融雪及洪水季节，应采取的措施，以防突发性融雪水或洪水浸入地基。

7 为了解场地在施工及竣工后的盐水变化规律，对重要建（构）筑物，可在场区内进行必要的地下水及土壤含盐量的长期监测。

8 建筑物竣工使用后，使用单位应建立一套完整的管理制度，加强对建筑物及各项设施（特别是与水有关的设施）的检查与维护，以保证其正常使用，并应建立建筑物使用维护档案。

## 10.10 风化岩和残积土

### 10.10.1 风化岩和残积土的定义

风化岩和残积土是岩石在风化营力的作用下形成的物质。其结构、成份和性质已产生不同程度变异的被称为风化岩；已完全风化成土而未经搬运的，并具有母岩残余结构的被称为残积土。

### 10.10.2 风化岩和残积土的分类

风化岩和残积土的分类主要有地质分类和工程分类两种。地质分类方法主要是采用定性的描述，它们的缺点是尺度不明确，掌握不准确。目前，国标已采用定量划分和定性描述相

结合的方法来划分风化岩和残积土。各种风化岩和残积土的划分标准应符合《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)表 A.0.3 的规定。

#### **10.10.3 风化岩和残积土勘察的基本规定**

1 应查明风化岩和残积土母岩的地质年代和岩石名称,查明岩石的风化程度,并根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)表 A.0.3 的划分标准,对风化岩和残积土进行工程分类;

2 应查明风化岩和残积土的成因类型、分布范围、厚度、地层界面,以及是否具有湿陷性、膨胀性、软化性等特殊性质及其对地基稳定性的影响;

3 应查明风化岩和残积土的组成成分、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律;查明岩脉、破碎带、软弱夹层、隐伏岩溶和风化花岗岩中球状风化体的地质界面、厚度、大小、分布范围和分布特点;

4 应查明水文地质条件、特别是地下水的赋存条件,提供基础设计和施工所需的各种水文地质参数,判定水质对建筑材料的腐蚀性。

#### **10.10.4 风化岩和残积土的勘察工作量布置和勘探要求**

1 勘探点的间距、勘探孔的深度除应符合《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)的规定外,尚应根据风化岩和残积土在水平和垂直方向上的分布情况,不良地质体如岩脉、破碎带、软弱夹层、隐伏岩溶、花岗岩中球状风化体的分布特点,建筑物的基础类型和勘察阶段的精度要求等,适当加密勘探点的间距。勘探深度应达到或进入稳定地层一定深度,以查明地质界面为目的。对于一柱一桩且柱荷载很大时,宜每桩布置勘探点。

2 勘探手段除了采用传统的勘探手段(钻探、坑探、槽探)外,尚应根据不同类型风化岩和残积土的特点,有针对性地选择如静力触探、工程物探等其他勘探方法,综合使用,相互印证,相互补充,提高勘探成果的准确性。

3 对于花岗岩、隐伏岩溶、不良地质体分布地区,由于其地质界面很复杂,难于采用传统勘探手段予以确定,可以利用工程物探连续加密测点获得连续地质界面的优点,根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)条文说明表 9.2 中工程物探方法的适用范围,合理地选择各种工程物探方法,采用以综合工程物探手段为主,钻探为辅的勘探方法,解决上述的岩土工程问题。

4 对于某些具有膨胀性、湿陷性、遇水崩解等特性的全风化岩和残积土,由于其不易取得不扰动土试样,因此除钻探取样外,宜挖掘探井,从探井中采取不扰动土试样,每一不同岩类风化带的取样数量不得少于 3 组。

5 在钻探时应记录岩芯采取率,测定岩石的 RQD 指标,并取样作点荷载试验,用于判断岩石的风化程度和破碎情况。

#### **10.10.5 风化岩和残积土的原位测试和室内试验**

1 原位测试和室内试验的方法和要求除应符合《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 6.9.3 条、第 6.9.4 条、第 6.9.5 条和本技术措施第 6、7 章的规定外,对相当于极软岩和极破碎的岩体,可按土工试验要求进行。对于残积土必要时应进行湿陷性和湿化试验。

2 考虑风化岩和残积土所具有的不均匀特性,室内试验成果的代表性差等缺点,勘察时应以原位测试为主,室内试验为辅。一般情况下,全风化岩和残积土按土的测试方法,其他的按岩石测试方法进行。每一不同岩性的风化岩和残积土其原位测试数量不得少于 6 次。

3 对风化岩和残积土的划分,可采用标准贯入试验、无侧限抗压强度试验、波速测试、面波测试等方法。但应注意这些测试结果反映的是岩土的动力学性质。相同波速值、标准贯入击数、无侧限抗压强度对于不同类别的岩石其风化程度并不一定相同,应与其他测试、勘探结果建立关系,避免产生误判。

4 对于全风化岩和残积土的边坡工程,除进行一般的强度试验外,应布置较多的不排



水剪切试验。一级边坡工程应进行大型原位剪切试验。

5 对于花岗岩类残积土,为求得合理的液性指数,应测定其中细粒土(粒径小于 0.5mm)的天然含水量  $w_f$ 、塑限  $w_p$ 、液限  $w_L$ ,其计算可按下进行:

$$w_f = \frac{w - w_A 0.01P_{0.5}}{1 - 0.01P_{0.5}} \quad (10.10.5-1)$$

$$I_P = w_L - w_p \quad (10.10.5-2)$$

$$I_L = \frac{w_f - w_p}{I_P} \quad (10.10.5-3)$$

式中  $w$  —— 花岗岩残积土(包括粗、细粒土)的天然含水量(%);

$w_A$  —— 粒径大于 0.5mm 颗粒吸着水含水量(%),可取 5%;

$P_{0.5}$  —— 粒径大于 0.5mm 颗粒质量占总质量的百分比(%);

$w_L$  —— 粒径小于 0.5mm 颗粒的液限含水量(%);

$w_p$  —— 粒径小于 0.5mm 颗粒的塑限含水量(%)。

6 风化岩和残积土的地基承载力和变形模量,应采用载荷试验确定。对于地基基础设计等级为乙级、丙级的工程,当有成熟地方经验时,可根据标准贯入试验等原位测试资料结合当地经验综合确定。

#### 10.10.6 风化岩和残积土的岩土工程评价

1 应根据建设场地岩土体的空间分布规律及其工程特性,结合拟建物对地基承载力和场地稳定性的要求对岩土体的均匀性进行评价。对于复杂场地,应分段进行地基承载力和稳定性评价,分析不均匀沉降对工程的影响,并提出相应的措施和建议。

2 由于强风化岩和全风化岩既有岩石的特征,也有部分土的成分,特别是全风化岩更接近土类。因此,对厚层的强风化岩和全风化岩,应结合当地经验进一步划分为碎块状、碎屑状和土状;厚层残积土可进一步划分为砾质粘性土、砂质粘性土和粘性土。

3 当地基为软硬互层或是含有不良地质体、相对软弱夹层时,或是风化程度不同的不均匀地基,应根据其厚度、位置、产状等分析其对边坡和地基稳定性和均匀性的影响,分析不均匀沉降对拟建工程的影响。

4 评价风化岩和残积土地基承载力时应考虑以下问题:

1) 由于岩体是由岩石(块)和分割这些岩石(块)的结构面组成的,因此,岩石的性质并不能完全代表岩体的性质。在进行风化岩承载力评价时应充分考虑岩体完整性对承载力的影响;

2) 对于缺乏建筑经验的地区,不管其地基基础设计等级是甲级还是丙级,应采用载荷试验确定风化岩和残积土的地基承载力,并将载荷试验结果与其他简单的原位试验结果建立统计关系。如能获取原状结构的岩样时,亦可根据其单轴抗压强度确定承载力;

3) 对于地基基础设计等级为乙级和丙级的残积土地基,如能准确获取残积土的强度指标及变形指标时,其承载力亦可用计算方法确定。

5 评价风化岩和残积土地基变形时应考虑以下问题:

1) 对于风化岩和残积土地基,承载力并不是主要问题。主要是由于地基的不均匀性

和不良地质体的存在可能产生不均匀沉降对工程的影响，应主要考虑地基变形问题；

2) 对于风化岩地基，由于其地基的承载力高，变形模量大，因此当地基是由同一种风化程度的岩石组成时，一般可不考虑地基的沉降和差异沉降问题。但当地基为风化程度不一的岩石或岩土组合时，应考虑地基的不均匀沉降问题。计算地基沉降时，岩体中的应力分布和应力-应变关系可采用弹性理论公式，强风化岩可按弹塑性考虑。变形模量应根据载荷试验或其他可靠方法求得；

3) 对于残积土地基，由于其不扰动土试样难于获得，通过室内土工试验获取的压缩模量往往因试样扰动而偏小，与现场载荷试验所获得的变形模量相差很大，对于花岗岩残积土其数值相差可达数倍，因此，残积土地基的变形计算应采用实测的变形模量较为适宜。当有工程经验的地区，也可用原位测试成果估算残积土的变形模量。计算地基变形时，地基内的应力分布，可采用各向同性均质线性变形体理论。其最终变形量可按规范法计算。对于在花岗岩残积土中常残留有体积很大的球状风化体（孤石），在计算地基变形时，可将该孤石所在位置作为不可压缩段考虑。

#### **6 评价风化岩和残积土边坡稳定性时应考虑以下问题：**

1) 评价边坡稳定性应根据坡角与结构面（岩层面、岩脉、构造破碎带）产状的关系、裂隙发育情况、岩体风化破碎程度、岩性以及地下水渗流作用等进行综合评价；

2) 对于边坡高度较大，不均匀风化岩体或软硬互层，地下水比较发育，主要结构面与坡角一致且夹角小于  $45^\circ$  的斜坡，应评价边坡的稳定性；

3) 对于一般中小型边坡，边坡的坡度允许值应根据当地经验参照同类岩（土）体的稳定坡度角确定。

#### **10.10.7 风化岩和残积土地基的检验与检测**

风化岩和残积土地基检验与检测时，应充分考虑其所具有的特殊性，如岩土层的厚度变化大，地质界面不容易划分，常有不良地质体（隐伏岩溶、岩脉、软弱夹层、花岗岩中的球状风化体）分布，岩土参数不容易获取等因素，合理布置检测工作量。当基础施工或基槽开挖时发现与勘察报告不符，应进行施工勘察。具体的检验与检测工作可按第 15 章的要求执行。

## 11 边坡工程勘察

### 11.1 基本规定

**11.1.1** 建筑边坡工程多为主体建筑的附属工程。边坡工程勘察应协调好主体建筑勘察与边坡勘察的关系，勘察工作布置应做到两者兼顾。边坡勘察范围与主体建筑勘察范围有重合时，重合部分的边坡勘察应同时满足主体建筑勘察的要求。

**11.1.2** 边坡工程勘察应遵守《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 和《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 的规定。

**11.1.3** 边坡工程勘察前，除应搜集地质资料外还应搜集下列资料：

- 1 附有坐标和地形的拟建物的总平面布置图；
- 2 拟建物的性质、结构特点及拟采取的基础形式、尺寸和埋置深度；
- 3 边坡高度、坡底高程和边坡平面分布；
- 4 拟建场地的整平高程和挖方、填方情况；
- 5 场地及其附近已有的勘察资料和边坡支护形式与参数；
- 6 边坡及其周边地区的管线、既有建筑物等环境条件资料；
- 7 气象、水文资料（特别是雨期和暴雨强度等）；
- 8 水文资料；
- 9 用地地质灾害危险性评估报告。

**11.1.4** 边坡工程勘察前应通过资料搜集和现场踏勘基本判定所勘察的边坡是土质边坡还是岩质边坡，初步判定岩质边坡岩体类别，划分边坡工程安全等级。

边坡工程勘察等级可根据边坡工程安全等级确定，即边坡工程安全等级为一、二、三级时，相应勘察等级可分别定为甲、乙、丙级。

**11.1.5** 边坡工程安全等级应按表 11.1.5（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 3.2.1）确定。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。

**11.1.6** 破坏后果很严重、严重的下列建筑边坡工程，其安全等级应定为一级：（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 3.2.2 条）

- 1 由外倾软弱结构面控制的边坡工程；
- 2 危岩、滑坡地段的边坡工程；
- 3 边坡塌滑区内或边坡塌方影响区内有重要建（构）筑物的边坡工程。

**11.1.7** 一级建筑边坡工程应进行专门勘察，二、三级建筑边坡工程可与主体建筑勘察一并进行，但应满足边坡勘察的深度和要求。大型的和地质环境条件复杂的边坡宜分阶段勘察；地质环境条件复杂的一级边坡工程尚应进行施工勘察。（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 4.1.1 条）

**11.1.8** 进行专门边坡工程勘察时应单独编写边坡工程勘察纲要。主体建筑勘察与边坡工程勘察一并进行时，勘察纲要应同时满足主体建筑勘察与边坡工程勘察的要求。

**11.1.9** 主体建筑勘察范围内的边坡工程勘察应由主体建筑勘察单位承担，主体建筑周边的环境边坡工程勘察可由主体建筑勘察单位承担，也可另行委托。

**11.1.10** 边坡工程勘察宜与主体建筑勘察同步进行。

表 11.1.5

边坡工程安全等级

边 坡 类 型		边坡高度 $H$ （m）	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型 为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 为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

## 11.2 勘察要求

### 11.2.1 边坡工程勘察应查明下列内容：

- 1 地形地貌特征；
- 2 岩土的类型、成因、性状、覆盖层厚度、基岩面的形态和坡度、岩石风化和完整程度；
- 3 主要结构面（特别是软弱结构面）的类型和等级、产状、发育程度、延伸长度、贯通程度、闭合程度、粗糙程度、风化程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性及与临空面的关系；
- 4 气象条件、水文条件、地震烈度、坡面植被情况及地表水对坡面的冲刷情况；
- 5 水文地质条件（地下水类型、水位、水量，补给、排泄条件和动态变化，岩土层的透水性，地下水出露情况）；
- 6 不良地质作用特征；
- 7 坡顶邻近建（构）筑物的荷载、结构、基础形式和埋深，地下设施的分布和埋深；
- 8 岩、土体的物理力学性能。

### 11.2.2 边坡工程勘察宜先进行工程地质测绘。边坡工程地质测绘应符合下列要求：

- 1 测绘范围应包括可能对边坡稳定性有影响及受边坡影响的地段，一般应大于勘察范围；
- 2 测绘工作除应满足第 4 章要求外应着重查明工业和市政管线、江河等水源因素，汇水面积，排水坡度和长度，植被，边坡周围山洪、冲沟和河流冲淤情况，现有斜坡的形态，坡角，卸荷带特征尤其是结构面产状及性质；
- 3 测绘比例尺宜为 1:200~1:500；测绘精度在图上不应低于 3mm。图面上每  $0.01\text{m}^2$  范围内地质观测点数量不应少于 1 个。地下水露头、软弱结构面等重要地质观测点应用仪器法定位。

### 11.2.3 边坡工程勘察宜采用钻探、坑探和槽探等方法。调查陡倾结构面位置时宜采用斜孔。

地质环境复杂的大型边坡工程勘察可辅以物探和洞探方法。采用洞探方法时应考虑探洞对稳定性的不利影响。

**11.2.4** 边坡工程勘察的平面范围一般应包括切坡线前方（即临空方向）的边坡区域和切坡线后方到切坡线水平距离不小于 1 倍岩质边坡高度或不小于 1.5 倍土质边坡高度的边坡区域。坡底地质情况复杂（如埋藏有岩坎）时，也应包括可能有对边坡工程安全有影响的坡底区域。切坡线后方区域坡面较陡或可能有软弱外倾结构面时，切坡线后方区域的勘察范围宜扩大。

**11.2.5** 勘探线应垂直边坡走向和沿支挡线布置。勘探线与勘探点间距应按表 11.2.5 确定。每一单独边坡段勘探线不宜少于 2 条，每条勘探线的勘探孔不应少于 2 个，地质环境简单且长度小于 10m 的边坡可布置一条勘探线。

**表 11.2.5 边坡工程勘探线和勘探点间距**

边坡工程安全等级	勘探线间距（m）	勘探点间距（m）
一 级	10~20	8~15
二 级	20~30	15~20
三 级	30~40	20~25

**11.2.6** 勘探孔的深度应穿过最深潜在滑动面进入稳定层不小于 5m，坡脚勘探孔应进入坡脚地形最低点和支护结构基底下不小于 3m（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 4.1.2 条）。对岩质边坡，可以通过坡脚的外倾结构面为最深潜在滑动面。对土质边坡，当基岩面出露或近于出露时，可以基岩面为最深潜在滑动面；当基岩面埋藏深时，最深潜在滑动面可按圆弧形考虑，其最低点位置可低于坡脚；当坡脚高程下方有软弱层时，可以该软弱层为最深潜在滑动面最低点。

**11.2.7** 边坡工程勘察中的采样试验应符合下列要求：

- 1 主要岩土层和软弱层应采取试样进行试验；
- 2 岩石试验参数宜包括物性指标、抗压强度、变形模量、泊松比、抗剪强度指标；
- 3 土工试验参数宜包括物性指标（含水理性指标）、压缩模量、抗剪强度指标；
- 4 岩体和结构面（含岩土界面）的抗剪强度指标宜通过现场试验确定；岩体完整程度宜通过波速测试确定；
- 5 土的抗剪强度指标宜通过三轴试验确定；
- 6 每层岩土主要指标的试样数量不应少于 6 个，抗剪强度指标的试样数量不应少于 6 组（每组 3~4 个试样），每层岩石抗压强度试样数量不应少于 9 个；
- 7 试样的含水状态应包括天然状态和饱和状态。

**11.2.8** 探井、探坑、探槽和钻孔在野外工作结束时应封填密实。

**11.2.9** 对土质边坡和岩体较破碎、破碎、极破碎的岩质边坡宜在不影响边坡安全的条件下通过抽水试验、渗水试验或压水试验确定渗透系数等水文地质参数。

### 11.3 岩质边坡岩体分类

**11.3.1** 岩质边坡岩体类型应按表 11.3.1-1 及表 11.3.1-2（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 A-1 及表 A-2）划分。

表 11.3.1-1

岩质边坡岩体分类

判定条件 边坡岩体类型	岩体完整 程 度	结构面 结合程度	结 构 面 产 状	直立边坡自稳能力
I	完 整	结 构 面 结 合 良 好 或 一 般	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $>75^{\circ}$ 或 $<$ $35^{\circ}$	30m 高边坡长期 稳定, 偶有掉块
II	完 整	同上	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$	15m 高边坡稳定, 15~25m 高边坡欠 稳定
	完 整	结 构 面 结 合 差	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $>75^{\circ}$ 或 $<$ $35^{\circ}$	
	较完整	结 构 面 结 合 良 好 或 一 般	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $>75^{\circ}$ 或 $<$ $35^{\circ}$	边坡出现局部塌 落
III	完 整	结 构 面 结 合 差	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$	8m 高边坡稳定, 15m 高边坡欠稳定
	较完整	结 构 面 结 合 良 好 或 一 般	同上	
	较完整	结 构 面 结 合 差	外倾结构面或外倾不同结构 面的组合线倾角 $>75^{\circ}$ 或 $<$ $35^{\circ}$	
	较完整 (碎裂镶嵌)	结 构 面 结 合 良 好 或 一 般	结构面无明显规律	
IV	较完整	结 构 面 结 合 差 或 很 差	外倾结构面以层面为主, 倾角 多为 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$	8m 高边坡不稳定
	不完整(散 体、碎裂)	碎 块 间 结 合 很 差		

注: 1 边坡岩体分类中未含由外倾软弱结构面控制的边坡和倾倒崩塌型破坏的边坡;

2 I 类岩体为软岩、较软岩时, 应降为 II 类岩体;

3 当地下水发育时 II、III 类岩体可根据具体情况降低一档;

4 强风化岩和极软岩可划为 IV 类;

5 表中外倾结构面系指倾向与坡向的夹角小于 $30^{\circ}$ 的结构面;

6 在《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 中, II 类岩体第三种情形的“结构面结合程度”栏包含“结构面结合差”, 这导致 II 类岩体包括岩体较完整、结构面结合差、外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角小于 $35^{\circ}$ 的岩体, 而这种岩体同时也是 III 类岩体第三种情形。根据该标准边坡岩体分类规律, 这种岩体应是 III 类岩体。故本措施 II 类岩体第三种情形的“结构面结合程度”栏不再包含“结构面结合差”;

7 在《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 中, II 类岩体第三种情形的“结构面产状”栏没有包含“外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角大于 $75^{\circ}$ ”, 这导致岩体较完整、结构面结合良好或一般、外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角大于 $75^{\circ}$ 的岩体不能归类。根据该标准边坡岩体分类规律, 这种岩体应是 II 类岩体。故本措施 II 类岩体第三种情形的“结构面产状”栏新增“外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角大于 $75^{\circ}$ ”。

表 11.3.1-2 岩质边坡岩体分类中的岩体完整程度划分

岩体完整程度	结构面发育程度		结 构 类 型	完整性系数 $K_v$	岩体 体积 结构 面数
	组数	平均间距 (m)			
完 整	1~2	>1.0	整体状	>0.75	<3
较完整	2~3	1.0~0.3	厚层状结构、块状结构、层状结构和 镶嵌碎裂结构	0.75~0.35	3~20
不完整	>3	<0.3	裂隙块状结构、碎裂结构、散体结构	<0.35	>20

- 注：1 完整性系数  $K_v=(v_R/v_P)^2$ ， $v_R$  为弹性纵波在岩体中的传播速度， $v_P$  为弹性纵波在岩块中的传播速度；
- 2 结构类型的划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 表 A.0.4 的规定；镶嵌碎裂结构为碎裂结构中碎块较大且相互咬合、稳定性相对较好的一种类型；
- 3 岩体体积结构面数系指单位体积内的结构面数目（条/ $m^3$ ）。

**11.3.2** 确定岩质边坡岩体类型时，由坚硬程度不同的岩石互层组成且每层厚度小于 5m 的岩质边坡宜视为由相对软弱岩石组成的边坡。当边坡岩体由两层以上单层厚度大于 5m 的岩体组合时，可分段确定边坡类型。（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 3.1.4 条）边坡沿切坡线走向的各段可划分不同的边坡类型。

**11.3.3** 岩体结构面的结合程度可按表 11.3.3（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 4.5.2 条）确定。

表 11.3.3 结构面的结合程度

结合程度	结 构 面 特 征
结 合 好	张开度小于 1mm，胶结良好，无充填； 张开度 1~3mm，硅质或铁质胶结
结合一般	张开度 1~3mm，钙质胶结； 张开度大于 3mm，表面粗糙，钙质胶结
结 合 差	张开度 1~3mm，表面平直，无胶结； 张开度大于 3mm，岩屑充填或岩屑夹泥质充填
结合很差、结合极差（泥化层）	表面平直光滑、无胶结； 泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差； 分布连续的泥化夹层； 未胶结的或强风化的小型断层破碎带

11.4 边坡工程参数确定

**11.4.1** 岩体结构面的抗剪强度指标宜根据现场原位试验确定。试验应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266）的规定。对二、三级边坡工程，岩体结构面的抗剪强度指标也可按表 11.4.1（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 4.5.1）和反算分析、工程类比等方法综合确定。不具备反算条件时不应采用反算分析方法。

**表 11.4.1 结构面抗剪强度指标**

结构面类型		结构面结合程度	内摩擦角 $\varphi$ (°)	粘聚力 $c$ (MPa)
硬性 结构面	1	结 合 好	$>35$	$>0.13$
	2	结合一般	$35\sim27$	$0.13\sim0.09$
	3	结 合 差	$27\sim18$	$0.09\sim0.05$
软弱 结构面	4	结合很差	$18\sim12$	$0.05\sim0.02$
	5	结合极差（泥化层）	根据地区经验确定	

- 注：1 无经验时取表中的低值；  
 2 极软岩、软岩取表中较低值；  
 3 岩体结构面连通性差取表中的高值；  
 4 岩体结构面浸水时取表中较低值；  
 5 临时性边坡可取表中高值；  
 6 表中数值已考虑结构面的时间效应。

**11.4.2** 边坡岩体等效内摩擦角应按当地经验确定。当无经验时，可按表 11.4.2（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 4.5.5）取值。

**表 11.4.2 边坡岩体等效内摩擦角**

边坡岩体类型	I	II	III	IV
等效内摩擦角 $\varphi_e$ (°)	$\geq 70$	$70\sim60$	$60\sim50$	$50\sim35$

- 注：1 边坡高度较大时宜取低值，反之取高值；坚硬岩、较硬岩、较软岩和完整性好的岩体取高值，软岩、极软岩和完整性差的岩体取低值；  
 2 表中数值已考虑时间效应和工作条件等因素。

**11.4.3** 岩土对挡墙基底摩擦系数可按表 11.4.3（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 10.2.3）取值。

**表 11.4.3 岩土对挡墙基底摩擦系数**

岩 土 类 别		摩擦系数 $\mu$
粘性土	可 塑	$0.20\sim0.25$
	硬 塑	$0.25\sim0.30$
	坚 硬	$0.30\sim0.40$
粉 土		$0.25\sim0.35$
中砂、粗砂、砾砂		$0.35\sim0.45$
碎 石 土		$0.45\sim0.50$
极软岩、软岩、较软岩		$0.40\sim0.60$
表面粗糙的坚硬岩、较硬岩		$0.60\sim0.75$

**11.4.4** 岩土与锚固体粘结强度特征值可按表 11.4.4-1 与表 11.4.4-2（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 7.2.3-1 和表 7.2.3-2）取值，但施工前应通过试验检验。



**表 11.4.4-1 岩石与锚固体粘结强度特征值  $f_{tb}$**

岩石类别	$f_{tb}$ 值 (kPa)	岩石类别	$f_{tb}$ 值 (kPa)
极软岩	135~180	较硬岩	550~900
软 岩	180~380	坚硬岩	900~1300
较软岩	380~550	—	—

注：1 表中数据适用于注浆强度等级为 M30 的情况；

2 岩体结构面发育时，取表中下限值。

**表 11.4.4-2 土体与锚固体粘结强度特征值  $f_{tb}$**

土层种类	土的状态	$f_{tb}$ 值 (kPa)
粘性土	软 塑	15~20
	可 塑	20~25
	硬 塑	25~32
	坚 硬	32~40
砂 土	松 散	30~50
	稍 密	50~70
	中 密	70~105
	密 实	105~140
碎石土	稍 密	60~90
	中 密	80~110
	密 实	110~150

注：表中数据适用于注浆强度等级为 M30 的情况。

**11.4.5** 岩体内摩擦角可由岩块内摩擦角标准值按岩体裂隙发育程度乘以表 11.4.5（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 4.5.4）所列的折减系数确定。

**表 11.4.5 边坡岩体内摩擦角折减系数**

边坡岩体特性	内摩擦角的折减系数	边坡岩体特性	内摩擦角的折减系数
裂隙不发育	0.90~0.95	裂隙发育	0.80~0.85
裂隙较发育	0.85~0.90	碎裂结构	0.75~0.80

**11.4.6** 当边坡岩体完整、较完整及较破碎时，岩体的物理力学参数可根据岩石的物理力学参数按下列方法确定：

- 1 岩石的重度可视为岩体的重度；
- 2 岩体变形模量和弹性模量可由岩石的变形模量和弹性模量乘以 0.6~0.8 的折减系数确定，完整时取较大值，较破碎时取较小值；
- 3 岩石泊松比可视为岩体泊松比；
- 4 岩体内摩擦角可由岩石内摩擦角根据岩体完整性乘以 0.85~0.95 的折减系数确定，完整取 0.95，较完整取 0.90，较破碎取 0.85；
- 5 岩体粘聚力可由岩石粘聚力乘以 0.20~0.40 的折减系数确定，完整取 0.40，较完整取 0.30，较破碎取 0.20；

6 对岩体内摩擦角和岩体粘聚力尚应乘以时间效应系数 0.95~1.00，坡高大时取较小值，坡高小时取较大值。

11.4.7 无试验数据或无当地经验时，土的水平抗力系数的比例系数和岩体水平抗力系数可根据岩土的性质参照表 11.4.7-1 及表 11.4.7-2 确定。

表 11.4.7-1 土体水平抗力系数的比例系数

序号	土 的 类 别	允许桩顶水平位移量 (mm)	水平抗力系数的比例系数 $m$ (MN/m <sup>4</sup> )
1	淤泥，淤泥质土	6~12	2.5~6.0
2	流塑、软塑状粘性土，孔隙比大于 0.90 的粉土，松散粉细砂，松散、稍密填土	4~8	6~14
3	可塑状粘性土，孔隙比为 0.75~0.90 的粉土，中密填土，稍密细砂	3~6	14~35
4	硬塑、坚硬状粘性土，孔隙比小于 0.75 的粉土，中密中粗砂，密实填土	2~5	35~100
5	中密、密实的砂砾、碎石土	1.5~3.0	100~200

注：当桩顶水平位移大于表列数值或当灌注桩配筋不小于 0.65% 时， $m$  值应当降低；当水平荷载为长期或经常出现的荷载时，应将表中水平抗力系数的比例系数乘以 0.4 后采用。

表 11.4.7-2 岩体水平抗力系数

序号	岩石抗压强度标准值 (MPa)	岩体水平抗力系数 (MN/m <sup>3</sup> )
1	10	60~160
2	15	150~200
3	20	180~240
4	30	240~320
5	40	360~480
6	50	480~640
7	60	720~960
8	80	900~2000

注：本表适用于完整、较完整的岩体。

11.4.8 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（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 4.5.6 条）。

## 11.5 边坡稳定性评价

11.5.1 与拟建工程安全有关的边坡（包括已有边坡和拟建边坡）均应进行稳定性评价。

11.5.2 在进行边坡稳定性评价之前，应根据其地质特征对边坡的可能破坏方式做出判断。判断边坡的可能破坏方式时应注意下列事项：

- 1 对土质边坡，不仅应考虑到沿土体内部最不利方向滑动的可能性，还应考虑到沿基

岩面滑动的可能性，对填土边坡尚应考虑到沿原地面滑动的可能性。

**2** 对岩质边坡，不仅应考虑到滑移型破坏的可能性，还应考虑到崩塌型破坏的可能性。滑移型破坏包括沿外倾结构面滑移和强度极低的极软岩、破碎或极破碎岩沿岩体内部最不利方向滑移两种方式，沿外倾结构面滑移包括沿单一外倾结构面滑移和沿多个外倾结构面滑移，沿多个外倾结构面滑移包括沿同倾向的多个外倾结构面滑移（滑移方向为结构面倾向）和沿不同倾向的两个外倾结构面滑移（滑移方向为结构面组合交线倾向）。

崩塌型破坏包括沿高位临空外倾结构面滑塌、沿陡倾结构面拉开而倾倒和因下方临空而发生的坠落。

### **11.5.3 设定边坡稳定性评价的条件应注意下列事项：**

**1** 对已有边坡应按现状地形进行评价，对拟建挖方边坡应按沿切坡线的直立坡面进行评价，对拟建填方边坡应按限定的坡顶、坡底填方边线和临时坡率进行评价；

**2** 应考虑坡顶建（构）筑物和既有边坡支护结构对边坡稳定性的影响；

**3** 应区分现状工况（即勘察期间存在的工况）、暴雨工况（通常考虑二十年一遇的暴雨强度）及其他工况（如边坡涉水时可能存在的高水位工况和从高水位降低至低水位的水位降工况、边坡坡顶未来加载而存在的坡顶加载工况），抗震设防烈度为 6 度及 6 度以上地区尚应根据地震作用工况进行校核。

**11.5.4** 边坡稳定性评价包括定性评价和定量评价，应先进行定性评价，后进行定量评价。所有边坡均应进行定性评价。通过定性评价确定其稳定性明显高于稳定标准（即其稳定系数明显高于稳定安全系数）的边坡可不进行定量评价。

下列边坡通常可不进行定量评价：

**1** 无贯通性较好的外倾结构面（包括岩土界面）、无地下水作用且坡率明显缓于相应坡率允许值的边坡；

**2** 无贯通性较好的外倾结构面、岩体完整或较完整的坚硬岩或较硬岩边坡；

**3** 无贯通性较好的外倾结构面、岩体完整的较软岩或软岩边坡。

### **11.5.5 边坡稳定性定性评价可采用下列方法：**

#### **1 工程地质类比法**

工程地质类比法是在将边坡与已知稳定性的类似边坡进行对比的基础上根据类似边坡的稳定性分析该边坡稳定性的方法。该方法既适用于既有边坡也适用于拟建边坡。采用该方法时，要求类似边坡与所研究的边坡在坡高、坡形和内部地质特征（主要是岩体完整性、结构面产状、结构面结合程度、岩石坚硬程度和地下水活动情况）上有较强的可比性，应注意二者在空间形态和坡顶荷载等方面的差异。

#### **2 变形迹象判断法**

变形迹象判断法是根据已经出现的边坡变形破坏迹象判断边坡稳定性的方法。该方法适用于判断既有边坡在现状工况下的稳定性，由于岩石脆性较大，破坏前征兆不特别突显，对完整性较好的岩质边坡应慎用。边坡无明显变形时，可判断该边坡在现状工况下稳定或基本稳定；边坡变形明显时，可判断该边坡在现状工况下基本稳定或欠稳定；边坡变形强烈时可判断该边坡在现状工况下欠稳定或不稳定。

#### **3 坡率允许值法**

坡率允许值法是通过将边坡坡率与相应坡率允许值进行比较判断边坡稳定性的方法。该方法适用于无贯通性较好的外倾结构面、坡顶近于水平、坡面近于平面的边坡。当坡率明显小于相应坡率允许值时，可判断该边坡稳定；当坡率等于或略小于相应坡率允许值时，可判断该边坡基本稳定；当坡率略大于相应坡率允许值时，可判断该边坡欠稳定；当坡率明显大于相应坡率允许值时，可判断该边坡不稳定。

#### **4 极射赤平投影法**

极射赤平投影法是通过借助极射赤平投影图分析结构面之间及结构面与坡面之间的组合关系判断边坡抗滑稳定性的方法。该方法主要用于岩质边坡中局部块体的稳定性分析，也可用于稳定性完全取决于结构面、岩体完整性较好、岩石强度较高的边坡整体稳定性分析。当无外倾结构面（或结构面组合交线）时，可判断该边坡稳定；当有外倾结构面（或结构面组合交线）但其倾角大于坡角时，可判断该边坡稳定或基本稳定；当有外倾结构面（或结构面组合交线）且其倾角小于坡角时，如结构面倾角小于其内摩擦角可判断该边坡基本稳定或欠稳定，如结构面倾角大于其内摩擦角可判断该边坡欠稳定或不稳定。分析时应考虑结构面的贯通程度和结合程度、侧向切割情况。

**11.5.6** 边坡稳定性计算应根据边坡岩体结构及结构面分布特征确定潜在滑面位置和形态。计算土质边坡、强度极低的极软岩、破碎或极破碎岩边坡沿内部最不利方向滑移的稳定性时，可采用圆弧形滑动面。计算沿基岩面、原地面、层面、裂隙面、断层面滑动的稳定性时可根据其倾角变化情况采用平面或折线型滑动面。计算沿不同倾向的两个外倾结构面滑动的稳定性时宜采用属于空间问题的双平面滑动模式，也可采用沿结构面组合交线滑动的平面滑动模式。

**11.5.7** 滑动面为圆弧形时，边坡稳定性系数可按下列方法进行计算：

1 瑞典法，即公式（11.5.7-1）～公式（11.5.7-4）：

$$K_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (11.5.7-1)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (11.5.7-2)$$

$$N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\beta_i - \theta_i) \quad (11.5.7-3)$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\beta_i - \theta_i) \quad (11.5.7-4)$$

式中  $K_s$ ——边坡稳定性系数；

$c_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值（kPa）；

$\varphi_i$ ——第  $i$  计算条块滑动上岩土体的内摩擦角标准值（°）；

$l_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面长度（m）；

$\theta_i$ ——第  $i$  计算条块底面倾角（°）；

$\beta_i$ ——第  $i$  计算条块地下水流线平均倾角（°）；

$G_i$ ——第  $i$  计算条块单位宽度岩土体自重（kN/m）；

$G_{bi}$ ——第  $i$  计算条块滑体地表建筑物的单位宽度自重（kN/m）；

$P_{wi}$ ——第  $i$  计算条块单位宽度的动水压力（kN/m）；

$N_i$ ——第  $i$  计算条块滑体在滑动面法线上的反力（kN/m）；

$T_i$ ——第  $i$  计算条块滑体在滑动面切线上的反力（kN/m）；

$R_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面上的抗滑力（kN/m）。

注：公式（11.5.7-1）～公式（11.5.7-4）与《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 公式（5.2.3-1）～公式（5.2.3-4）

基本一致，差异在于本技术措施将  $\alpha_i$ （第  $i$  计算条块地下水位面倾角）改为  $\beta_i$ （第  $i$  计算条块地下水平均流线倾角），作这种改变是基于以下两点考虑：1）条块内动水压力的大小和方向取决于条块内地下水平均流线，而条块地下水位线一般不能代表条块内地下水平均流线；2）用地下水位面倾角代表地下水平均流线倾角也与《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 5.2.6 条关于动水压力大小和方向按条块底面倾角和地下水位面倾角平均值计算和确定的规定矛盾。

2 简化毕肖普法，即公式 (11.5.7-5) ~ 公式 (11.5.7-8)：

$$K_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (11.5.7-5)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (11.5.7-6)$$

$$N_i = [(G_i + G_{bi}) + P_{wi} \sin \beta_i - \frac{c_i l_i \sin \beta_i}{K_s}] \frac{1}{m_{ai}} \quad (11.5.7-7)$$

$$m_{ai} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \theta_i}{K_s} \quad (11.5.7-8)$$

注：由于瑞典法不计条间力而简化毕肖普法考虑水平条间力，瑞典法计算结果明显偏小，简化毕肖普法计算结果则与严格满足静力平衡条件的条分法计算结果相当。

11.5.8 滑动面为折线形时，边坡稳定性系数可按下列方法进行计算：

1 传递系数显式解法，即公式 (11.5.8-1) 及公式 (11.5.8-2)：

$$K_s = \frac{\sum R_i \psi_i \psi_{i+1} \dots \psi_{n-1} + R_n}{\sum T_i \psi_i \psi_{i+1} \dots \psi_{n-1} + T_n} \quad (11.5.8-1)$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (11.5.8-2)$$

式中  $\psi_i$  ——第  $i$  计算条块剩余下滑推力向第  $i+1$  计算条块的传递系数。

注：按《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 公式 (5.2.5-2)，本技术措施公式 (11.5.8-2) 中  $\tan \phi_{i+1}$  应为  $\tan \phi_i$ ，经推导并查阅其他标准及文献，用  $\tan \phi_{i+1}$  是正确的。

2 传递系数隐式解法，即公式 (11.5.8-3) 及公式 (11.5.8-4)：

$$P_i = T_i - R_i / K_s + P_{i-1} \psi_{i-1} \quad (11.5.8-3)$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \frac{\tan \varphi_{i+1}}{K_s} \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \quad (11.5.8-4)$$

式中  $P_{i-1}$ 、 $P_i$  ——第  $i-1$  条块、第  $i$  条块剩余下滑力 (kN/m)。

计算时，假定  $K_s$  由第 1 条块逐块算至第  $n$  条块，当所假定的  $K_s$  能使  $P_n$  为 0 时，该值即为所求。

注：显式解是传递系数法的近似解，隐式解是传递系数法的精确解，显式解与隐式解的差异随着相邻条块滑面倾角之差的增大而增大，当稳定系数大于 1 时显式解偏大，当稳定系数小于 1 时显式解偏小。在相邻条块滑面倾角之差大于  $10^\circ$  时，宜采用隐式解法。

11.5.9 滑动面为圆弧形和折线形时，计算条块的划分应符合下列要求：

1 滑面倾角明显变化处、滑面与水位线相交处、滑面强度指标变化处、地下水位线倾角明显变化处、地形坡角明显变化处、地形线与河（库）水位线相交处、地面荷载明显变化处应作为条块分界点；

2 条块数量不宜少于 8 个。

11.5.10 滑动面为平面时，边坡稳定性系数可按下列式计算：

$$K_s = \frac{R}{T} \quad (11.5.10-1)$$

式中  $R$ 、 $T$  及其所含其他符号的意义与第 11.5.7 条及第 11.5.8 条公式中的  $R_i$ 、 $T_i$  及其所含其他符号的意义基本相同，但指整个滑体。

当不计动水压力而需考虑潜在滑体后缘裂隙水压力和潜在滑面水压力（扬压力）时，边坡稳定性系数可按式计算：

$$K_s = \frac{R}{T} \quad (11.5.10-2)$$

$$R = [(G + G_b) \cos \theta - V \sin \theta - U] \tan \varphi + cl \quad (11.5.10-3)$$

$$T = (G + G_b) \sin \theta + V \cos \theta \quad (11.5.10-4)$$

式中  $V$ ——后缘裂隙水压力（kN/m）；

$U$ ——滑面水压力（kN/m）。

**11.5.11** 按双平面滑动模式计算边坡稳定性时有关面积与体积计算宜借助极射赤平投影—实体比例投影方法。

**11.5.12** 对存在地下水渗流作用的边坡，稳定性分析应按下列方法考虑地下水的作用：（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 5.2.6 条）

1 水下部分岩土体重度取浮重度；

2 第  $i$  计算条块岩土体所受的动水压力  $P_{wi}$  按公式（11.5.12-1）（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 公式 5.2.6）计算：

$$P_{wi} = \gamma_w V_i \sin \frac{1}{2} (a_i + \theta_i) \quad (11.5.12-1)$$

式中  $\gamma_w$ ——水的重度（kN/m<sup>3</sup>）；

$V_i$ ——第  $i$  计算条块单位宽度岩土体的水下体积（m<sup>3</sup>/m）；

$a_i$ ——第  $i$  计算条块地下水位面倾角（°）。

3 动水压力作用的角度为计算条块底面和地下水位面倾角的平均值，指向低水头方向。

注：1 上述动水压力大小和方向计算和确定方法只适用于潜在滑面无反倾段、位于地表水位面上方且滑床隔水的情形；

2 当潜在滑面位于地表水位面上方而滑床透水时，地下水平均流线倾角应取地下水位面倾角的 0.5~1.0 倍（潜在滑面离地下水位面较近时取较大值，离地表水位面较近时取较小值）；当潜在滑面位于地表水位面下方时，地下水平均流线倾角应取地下水位面倾角的 0.5 倍；

3 单位体积动水压力方向为地下水流线方向，大小为水的重度与该流线水力坡度之积，边坡稳定性计算中单宽体积水压力方向取地下水平均流线方向，大小计算通式如下：

$$P_{wi} = \gamma_w V_{pi} I \quad (11.5.12-2)$$

式中  $I$ ——地下水平均流线的水力坡度，是平均流线两端水位差与平均流线长度之比；

$V_{pi}$ ——第  $i$  计算条块单位宽度岩土体在地下水位面至地表水位面范围内的体积（m<sup>3</sup>/m）。

4 当水下部分岩土体重度取浮重度时，相应潜在滑面抗剪强度指标应取有效应力强度指标。

**11.5.13** 后缘裂隙水压力和滑面水压力可按下列公式计算：

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (11.5.13-1)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w l h_w \tag{11.5.13-2}$$

式中  $h_w$ —— 裂隙充水高度（m），视汇水和蓄水情况取裂隙深度的 1/2～2/3。

**11.5.14** 当边坡岩土体渗透系数小于或等于  $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$  时，边坡可视为不存在地下水渗流作用的边坡，此时潜在滑体在地下水位面以下部分的重度取饱和重度，不计动水压力；对岩体完整或较完整、潜在滑面缓倾、后缘有陡倾裂隙的岩质边坡，尚应考虑降雨下渗在后缘裂隙和潜在滑面形成的水压力。

**11.5.15** 对存在多个滑动面的边坡，应分别对各种可能的滑动面组合进行稳定性计算分析，并取最小稳定性系数作为边坡稳定性系数。对多级滑动面的边坡，应分别对各级滑动面进行稳定性计算分析（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 第 5.2.5 条第 2 款）。

**11.5.16** 边坡稳定性定量评价结果与定性评价明显不一致或定量评价结果明显不合理时，应检查结构面及岩土体强度参数取值以及荷载取值的合理性，确非其他因素所致时应对强度参数取值进行调整。

**11.5.17** 边坡稳定状态可根据边坡稳定性系数按表 11.5.17 确定。

**表 11.5.17 边坡稳定状态划分**

边坡稳定性系数 $K_s$	$K_s < 1.00$	$1.00 \leq K_s < 1.05$	$1.05 \leq K_s < F_{st}$	$K_s \geq K_{st}$
边坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳 定

注：  $K_{st}$  为边坡稳定安全系数。

**11.5.18** 边坡稳定安全系数可根据表 11.5.18 确定。当边坡稳定性系数小于稳定安全系数时，应要求对边坡进行处理。

**表 11.5.18 边坡稳定安全系数**

稳定安全 系数 计算方法	边坡工程安 全等级	一级边坡	二级边坡	三级边坡
平面滑动法 传递系数法 简化毕肖普法		1.35	1.30	1.25
瑞 典 法		1.30	1.25	1.20

注：1 对地质条件很复杂或破坏后果极严重的边坡工程，其稳定安全系数宜适当提高；  
2 本表对平面滑动法、传递系数法和瑞典法相应稳定安全系数的取值与《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 5.3.1 相同。本表与该表不同之处在于增加了简化毕肖普法相应稳定安全系数的取值；另外，为避免混淆，本表将该表中实际指传递系数法的折线滑动法改称传递系数法，将该表中实际指瑞典法的圆弧滑动法改称瑞典法。

**11.5.19** 当边坡整体抗滑稳定性满足要求时，还需注意边坡局部稳定性问题（如局部滑移、崩塌及卸荷裂隙的形成和发展）。当局部稳定性不满足要求时，应建议对边坡局部进行处理。

## 11.6 边坡处理建议

**11.6.1** 边坡处理可根据场地地质和环境条件、边坡高度以及边坡工程安全等级等因素参照表 11.6.1（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 3.4.4）提出建议。

方法 \ 条件	边坡环境	边坡高度 $H$ (m)	边坡工程 安全等级	说 明
重力式挡墙	场地允许，坡顶无重要建（构）筑物	土坡， $H\leq 8$ 岩坡， $H\leq 10$	一、二、三级	土方开挖后边坡稳定性差时不应采用
扶壁式挡墙	填方区	土坡 $H\leq 10$	一、二、三级	土质边坡
悬臂式支护		土层， $H\leq 8$ 岩层， $H\leq 10$	一、二、三级	土层较差或对挡墙变形要求较高时，不宜采用
板肋式或格构式锚杆挡墙支护		土坡， $H\leq 15$ 岩坡， $H\leq 30$	一、二、三级	坡高较大或稳定性较差时宜采用逆作法施工。对挡墙变形有较高要求的土质边坡，宜采用预应力锚杆
排桩式锚杆挡墙支护	坡顶建（构）筑物需要保护，场地狭窄	土坡 $H\leq 15$ 岩坡， $H\leq 30$	一、二级	严格按逆作法施工。对挡墙变形有较高要求的土质边坡，应采用预应力锚杆
岩石锚喷支护		I 类岩坡 $H\leq 30$	一、二、三级	
		II 类岩坡 $H\leq 30$	二、三级	
		III 类岩坡 $H\leq 15$	二、三级	
坡率法	坡顶无重要建（构）筑物，场地有放坡条件	土坡， $H\leq 10$ 岩坡， $H\leq 25$	二、三级	不良地质段、地下水发育区、流塑状土时不应采用

**11.6.2** 土质边坡的坡率允许值应根据经验，按工程类比的原则并结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。当无经验，且土质均匀良好、地下水贫乏、无不良地质现象和地质环境条件简单时，可按表 11.6.2（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 12.2.1）确定。

表 11.6.2 土质边坡坡率允许值			
边坡土体类别	状 态	坡率允许值（高宽比）	
		坡高小于 5m	坡高 5~10m
碎石土	密 实	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中 密	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	稍 密	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
粘性土	坚 硬	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
	硬 塑	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50

注：1 表中碎石土的填充物为坚硬或硬塑状态的粘性土；



2 对于砂土或充填物为砂土的碎石土，其边坡坡率允许值应按自然休止角确定。

**11.6.3** 对无外倾软弱结构面的岩质边坡，坡率允许值可按表 11.6.3（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 12.2.2）确定。

**表 11.6.3 岩质边坡坡率允许值**

边坡岩体类型	风化程度	坡率允许值（高宽比）		
		$H < 8\text{m}$	$8\text{m} \leq H < 15\text{m}$	$15\text{m} \leq H < 25\text{m}$
I 类	微风化	1:0.00~1:0.10	1:0.10~1:0.15	1:0.15~1:0.25
	中等风化	1:0.10~1:0.15	1:0.15~1:0.25	1:0.25~1:0.35
II 类	微风化	1:0.10~1:0.15	1:0.15~1:0.25	1:0.25~1:0.35
	中等风化	1:0.15~1:0.25	1:0.25~1:0.35	1:0.35~1:0.50
III 类	微风化	1:0.25~1:0.35	1:0.35~1:0.50	
	中等风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75	
IV 类	中等风化	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00	
	强风化	1:0.75~1:1.00		

注：1 表中  $H$  为边坡高度；

2 IV 类强风化包括各类风化程度的极软岩。

## 12 不良地质作用和地质灾害

### 12.1 基本规定

**12.1.1** 在拟建工程场地或附近存在对工程安全有影响的不良地质作用时,应按要求进行专门的岩土工程勘察工作。

**12.1.2** 不良地质作用和地质灾害的勘察工作应多方面搜集工程地质信息资料,尤其是地质灾害危险性评估资料;并应利用各种勘探手段和先进的勘察技术,查清灾害的类型、成因、规模,采用多种方法,综合分析,对不良地质作用和地质灾害作出正确评价,结合整治工程的需要,建议可行的整治方案,满足灾害治理的要求。

**12.1.3** 遇下列情况之一时,应进行不良地质作用和地质灾害的监测工作:

- 1 场地及附近有不良地质作用或地质灾害,并可能危及工程的安全或正常使用时;
- 2 工程建设和运行时,可能加速不良地质作用的发展或引发地质灾害时;
- 3 工程建设和运行时,对附近环境可能产生显著不良影响时。

**12.1.4** 不良地质作用和地质灾害的监测,应根据场地及其附近的地质条件和工程实际需要编制监测纲要。纲要内容包括:监测目的和要求、监测项目、测点布置、观测时间间隔和期限、观测仪器、方法和精度、应提交的数据、图件等,并及时提出灾害预报和采取措施的建议。

不良地质作用和地质灾害监测的主要内容,应按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 13.3 节的规定执行。

### 12.2 岩溶

**12.2.1** 岩溶又称喀斯特,是指可溶性岩层(碳酸盐类岩层石灰岩、白云岩,硫酸盐类岩石石膏等和卤素类岩岩盐等)受水的化学和物理作用产生沟槽、裂隙和空洞,以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。岩溶在我国是一种相当普遍存在的不良地质作用,在一定条件下可能发生地质灾害,严重威胁工程安全。特别是在大量抽取地下水使水位急剧下降时,易引发土洞的发展和地面塌陷的发生。

**12.2.2** 岩溶的基本类型,详见表 12.2.2。

表 12.2.2 岩溶的基本类型

类型划分依据	基本类型	主要特征
埋藏条件	裸露型	岩层大部分出露地表,低洼地带分布有厚度不超过 10m 的第四系覆盖层,地表岩溶景观显露,地表水同地下水连通密切
	浅覆盖型	岩层大部分被第四系土层覆盖,厚度一般不超过 30m,少部分岩溶景观显露地表,地表水与地下水连通较密切
	深覆盖型	岩层基本被第四系土层覆盖,土层厚度一般超过 30m,几乎没有岩溶景观显露地表,地表水与地下水连通不密切

续表

类型划分依据	基本类型	主要特征
埋藏条件	埋藏型	可溶岩层被不可溶岩层(如砂岩、页岩等)覆盖, 没有岩溶景观显露地表, 地表水与地下水连通不密切
形成时代	古岩溶型	岩溶形成于新生代以前, 溶蚀凹槽和溶洞中常见填充有新生代以前的沉积岩石
	近代岩溶型	岩溶形成于新生代之后, 溶槽和洞隙呈空洞状或填充第三系、第四系的沉积物
区域气候	寒带型	地表和地下岩溶发育强度均弱, 岩溶规模较小
	温带型	地表岩溶发育强度较弱, 规模较小, 地下岩溶较发育
	亚热带型	地表岩溶发育, 规模较大, 分布较广, 地下溶洞, 暗河较常见
	热带型	地表岩溶发育强烈、规模大、分布广, 地下溶洞、暗河常见

### 12.2.3 岩溶发育的基本规律

#### 1 岩溶与岩性的关系

岩石成分、成层条件和组织结构等直接影响岩溶的发育程度和速度。

#### 2 岩溶与地质构造的关系

岩层倾斜较陡时, 层理外露地表的范围大, 地表水沿层理下渗, 岩溶发展方向主要受层面的控制; 岩层水平时, 地下水主要为水平运动, 岩溶主要为水平溶洞; 岩层垂直时则造成沿层面伸展的岩溶形态。

构造裂隙对岩溶的发育影响较大, 主要裂隙的方向往往控制岩溶发育的方向; 背斜顶部有张裂隙, 宽度较大, 分布也深, 其轴部裂隙垂直分布, 岩溶以漏斗及竖井等垂直形态为主, 向斜轴部低洼, 易积水, 多暗河, 由于洞穴坍塌, 又产生漏斗和落水洞等, 所以向斜轴部垂直和水平通道都有发育。

#### 3 岩溶与侵蚀旋回的关系

侵蚀旋回的改变, 必然引起水文地质条件及垂直分带的改变, 而水文地质条件的改变直接影响着岩溶作用, 岩溶形态和分布。

地壳强烈上升地区, 侵蚀基准面相对下降, 岩溶以垂直方向发育为主; 地壳下降地区, 原水平发育的岩溶处于侵蚀基准面以下, 原来垂直发育的岩溶又增加了水平发育; 地壳相对稳定的地区, 岩溶以水平发育为主。

#### 4 岩溶发育随深度的变化

岩溶的发育随深度增加而减弱。

#### 5 岩溶发育的垂直分带性

岩溶发育的垂直分带性, 取决于岩溶化地段水文地质的垂直分带。岩溶垂直分带明显表现在发育强度及形态分布上。

#### 6 岩溶与气候的关系

在大气降水丰富、气候潮湿地区, 岩溶易发育。

#### 7 岩溶发育的带状性和成层性

岩溶发育受岩性、裂隙、断层和接触面等的控制, 这就决定了岩溶发育的带状性。岩溶的成层性决定于岩性、新构造运动和水文地质条件。

岩溶发育成层性及带状性构成了岩溶发育的不均匀性。

### 12.2.4 岩溶勘察分可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察四个阶段, 各阶段应着重研究如下内容:

可行性研究勘察: 应查明岩溶洞隙、土洞的发育条件, 并对其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做出初步评价。

初步勘察：应查明岩溶洞隙及其伴生土洞、塌陷的分布、发育程度和发育规律，并按场地的稳定性和适宜性进行分区。

详细勘察：应查明拟建工程范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深、岩溶堆填物性状和地下水特征，对地基基础的设计和岩溶的治理提出建议。

施工勘察：应针对某一地段或尚待查明的专门问题进行补充勘察。当采用大直径嵌岩桩时，尚应进行专门的桩基勘察。

**12.2.5** 在岩溶地区勘察中，要查明岩溶形态，注重对岩溶的发育规律的工程地质分析。勘探时，应有针对性的选择勘探手段，在工作程序上应坚持以工程地质测绘为先导；岩溶规律性研究和勘探工作，应遵循从面到点、先地表后地下、先定性后定量和勘探工作量由疏到密的工作原则。

**12.2.6** 岩溶地区工程地质测绘内容除按《岩土工程勘察规范》第8章规定进行外，应着重查明：

1 地层岩性：可溶性岩层与非可溶性岩层的分布及接触关系、可溶性岩层的成分、结构和溶解性、第四纪土层的成因类型和分布等；

2 地质构造：场地的构造类型，断裂带的位置、规模、性质，主要节理裂隙的延伸方向及新构造运动的性质、特点等。并分析上述构造与岩溶发育的关系及不同构造部位岩溶发育特征和发育程度的差异性，划分岩溶发育带；

3 岩溶地下水的埋藏、补给、径流和排泄情况、水位动态及水力连通情况，判定场地受岩溶地下水影响的可能性；

4 岩溶形态的类型、位置、大小、分布规律、形成原因及与地表水、地下水的联系，以及地表岩溶形态和地下岩溶形态的联系。

**12.2.7** 在岩溶地区宜采用物探方法，为获得较好的探测成果，应注意物探的适用条件，尽量采取多种方法，进行综合判释。

1 在初步勘察阶段可采取电法勘探的复合对称四极剖面法辅以联合剖面法；详勘阶段，在初步圈定的岩溶发育地段，结合建筑物位置，加密测网，并采用电测深法进一步探测岩溶发育的位置、范围及深度。

2 为详细探测岩溶形态在空间的位置和形状时，可采用无线电波透视法等。

3 为追索暗河通道的位置和测定地下水的流速、流向，可采用充电法或自然电场法。物探应采用综合物探，利用多种方法互相印证。物探成果未经钻探验证，不宜作为施工图设计和地基处理的依据。

**12.2.8** 岩溶勘察工作及工作量布置应符合下列规定：

可行性研究和初步勘察宜采用工程地质测绘及综合物探方法。发现有异常地段，应选择代表性部位布置钻孔进行验证核实，并在初步划定的岩溶分区及规模较大的地下洞隙地段适当增加勘探孔。控制孔应穿过表层岩溶发育带，但深度不宜超过30m。

详细勘察应查明拟建工程范围及有影响地段的岩溶洞隙和土洞。勘探工作应符合下列规定：

1 勘探线应沿建筑物轴线布置，勘探点间距按一般建筑物详勘间距的较小值采用，在下列地段应进行重点勘探并加密勘探点：

- 1) 地面塌陷、地表水消失的地段；
- 2) 地下水活动强烈的地段；
- 3) 可溶性岩层与非可溶性岩层接触的地段；
- 4) 基岩埋藏较浅且起伏较大的石芽发育地段；
- 5) 软弱土层分布不均的地段；
- 6) 物探异常或基础下有溶洞、暗河分布的地段条件复杂时每个独立基础均应布置勘

探点。

## 2 勘探点深度

1) 当基底下的土层厚度不足独立基础宽度的 3 倍或条形基础宽度的 6 倍时,应将勘探孔全部或部分钻入基岩。当在预定深度内遇见洞体时,应将勘探孔钻入洞体基岩面以下不小于 3m,必要时应圈定洞体范围;

2) 当需要查明浅埋岩溶的岩组分界、断裂及岩溶土洞的形态或验证其他勘探手段的成果时,应采取岩土试样或进行原位测试,并应布置适量的探槽或探井;

3) 在土洞发育地段,应沿基础轴线或在每个单独基础位置上以较大密度布置静力触探或小口径钎探,查明土洞、地表塌陷的分布。

施工勘察应针对某地段或尚待查明的专门问题进行补充勘察,勘察工作量应根据岩溶地基设计和施工要求布置。对大直径嵌岩桩,勘探点深度应不小于底面以下桩径的 3 倍并不小于 5m,当相邻桩底的基岩面起伏较大时应适当加深。

**12.2.9 岩溶地区的土洞**是指埋藏在岩溶地区可溶性岩层的上覆土层内的空洞。土洞继续发展,即形成地面塌陷。

土洞和塌陷的形成和发展,有其一定规律,一般分布在如下岩溶发育区,这些地段是土洞勘察的重点区域。

- 1 土层较薄、土中裂隙及其下岩体洞隙发育部位;
- 2 岩面张开裂隙发育,石芽或外露的岩体与土体交接部位;
- 3 两组构造裂隙交汇处和宽大裂隙带;
- 4 隐伏溶沟、溶槽、漏斗等,其上有软弱土分布的负岩面地段;
- 5 地下水强烈活动于岩土交界面的地段和大幅度人工降水地段;
- 6 低洼地段和地表水体近旁。

## 12.2.10 岩溶地区的土洞勘察

土洞的勘察内容:查明土洞成因,形成条件,土洞的位置、埋深、大小以及与土洞发育有关的溶洞、溶沟、溶槽的分布。

土洞的勘察方法:

1 工程地质测绘与调查:详见 10.3.5。

2 物探:以电探为主,在查明个体土洞时,对土层厚度与洞径相近的浅埋洞体能得到较好的效果。

3 触探:主要用于施工勘察阶段。为查明浅层土洞可采用轻型动力触探,为查明深层土洞可采用静力触探。基槽中先稀后密布点,探点间距与土洞个体形态大小相适应。单独桩基和设备基础,按梅花形、方格网布置,条基按轴线布置。触探深度为地基影响深度,其中控制点深度要兼顾地下水位变化幅度。

4 钻探:主要为查明深埋土洞时使用。

一般孔深度的确定:当基岩埋藏浅,且上覆土层厚度小于 10m 时,钻孔深度均应至基岩面。当上覆土层厚度大于 10m 时,钻孔深度可考虑为 8~15m。

控制孔深度的确定:当最高最低地下水位均埋藏在基岩中时,控制钻孔的深度为 30m,在此深度内若遇基岩则至基岩面即可。若基岩中岩溶比较发育时,钻孔深度应根据研究场地稳定性的需要确定,但深度应达到岩溶排泄基准面以下。当地下水埋藏在土层中时,钻孔深度应达到最低地下水位深度。

## 12.2.11 岩溶地区土洞的影响与评价:

1 在岩溶地区,当地基压缩层范围内存在土洞或基础底面以下的土层厚度大于 3 倍独立基础宽度,或大于 6 倍条形基础底宽,具备形成土洞的条件时,应考虑土洞及下伏岩溶对地基稳定性的影响。

2 在地下水位高于基岩表面的岩溶地区,应考虑由人工降低地下水引起土洞或地表塌陷的可能性,在塌陷区范围内不允许采用天然地基,在已有建筑物附近抽水时,应考虑降水的影响。

#### 12.2.12 岩溶地区土洞的处理应遵循下列原则:

1 由地表水形成的土洞或塌陷地段,应采取地表截流、防渗或堵漏等措施。应根据土洞埋深,分别选用挖填、灌砂等方法进行处理。

2 由地下水形成的塌陷及浅埋土洞,应清除软土,抛填块石作反滤层,面层用粘土夯填;深埋土洞宜用砂、砾石或细石混凝土灌填。在上述处理的同时,尚应采用梁、板或拱跨越。对重要的建筑物,可采用桩基处理。

#### 12.2.13 岩溶勘察的特殊性试验与测试应按下列方法进行:

1 当追索隐伏洞隙的联系时,可进行连通试验;

2 评价洞隙稳定时,可采用洞体顶板岩样及充填物土样做物理、力学试验,必要时可进行现场顶板岩体的载荷试验;

3 顶板为易风化或软弱岩石时,可进行抗风化试验;

4 当需查明土的性状与土洞形成的关系时,可进行湿化、胀缩、可溶性及剪切试验;

5 查明地下水动力条件和潜蚀作用,地表水与地下水的联系,对预测土洞、地表塌陷的发生和发展时,可进行地下水位、流速、流向及水质的长期观测。

#### 12.2.14 岩溶发育强度,可用统计后求得的岩溶率表示:

$$K_L = \frac{H}{L} \times 100\% \quad (12.2.14-1)$$

$$K_A = \frac{A_P}{A_O} \times 100\% \quad (12.2.14-2)$$

$$K_V = \frac{V_P}{V_O} \times 100\% \quad (12.2.14-3)$$

式中  $K_L$ ——线岩溶率(%);

$K_A$ ——面岩溶率(%);

$K_V$ ——体岩溶率(%);

$H$ ——测量线上的溶洞,溶隙累计长度(m);

$L$ ——测量线总长度(m);

$A_P$ ——测量面上溶洞,溶隙累计面积( $m^2$ );

$A_O$ ——测量面总面积( $m^2$ );

$V_P$ ——测量体内溶洞,溶隙累计体积( $m^3$ );

$V_O$ ——测量体总体积( $m^3$ )。

面岩溶率和体岩溶率的代表性较好,但测量困难;线岩溶率可在岩层裸露的地表测量,也可在钻孔、探井和探洞中测量。

除岩溶率外,岩层的水文地质参数、岩溶个体形态均可表征岩溶发育强度。

#### 12.2.15 岩溶场地稳定性判定按下列要求进行:

当场地存在下列情况之一时,可判定为对工程不利地段:

1 浅层洞体或溶洞群,其洞径大、顶板破碎且可见变形迹象、洞底有新近塌落物;

2 隐伏的漏斗、洼地、槽谷等规模较大的浅埋岩溶形态,其间或上覆为软弱土体,且地面已出现明显变形;

3 地表水沿土体中裂隙下渗或地下水自然升降变化使上覆土层被冲蚀,并出现成片(带)土洞塌陷;

- 4 抽水降落漏斗中最低动水位高于岩土交界面的覆盖土地段；
- 5 岩溶通道排泄不畅，导致暂时淹没的地段。

**12.2.16 岩溶场地地基稳定性评价按下列要求进行：**

1 当地基属于下列条件之一时，对二级及以下的建筑物可不考虑岩溶稳定性的不利影响。

1) 基础底面以下土层厚度大于独立基础宽度的 3 倍或条形基础宽度的 6 倍，且不具备形成土洞或其他地面变形的条件；

2) 基础底面与洞体顶板间岩土厚度小于上述 1) 项所列基础宽度的倍数，但符合下列条件之一时：

- ① 洞隙或岩溶漏斗被密实的沉积物填满且无被水冲蚀的可能；
- ② 洞体为微风化岩石，顶板岩石厚度大于或等于洞跨；
- ③ 洞体较小，基础底面积大于洞的平面时，并有足够的支承长度；
- ④ 宽度(长径)小于 1.0m 的竖向溶蚀裂隙、落水洞、漏斗近旁地段。

2 当不符合上述 1 款的条件时，应进行洞体地基稳定性分析，并符合下列规定：

1) 顶板不稳定，但洞内为密实堆积物充填且无流水活动时，可认为堆填物受力，按不均匀地基进行评价；

2) 当能取得计算参数时，可将洞体顶板视为结构自承重体系进行力学分析；

3) 有工程经验的地区，可按类比法进行稳定性评价；

4) 在基础近旁有洞隙和临空面时，应验算向临空面倾覆或沿裂面滑移的可能；

5) 当地基为石膏、岩盐等易溶岩时，应考虑溶蚀继续作用的不利影响；

6) 对不稳定的岩溶洞隙可建议采用地基处理或桩基础。

**12.2.17 岩溶地基稳定性定量评价及估算法可按下述方法进行：**

岩溶地区地基稳定性评价应以工程地质研究与工程地质分析为主，应根据工程经验采用定性定量相结合的方法。

定量评价：主要按经验公式对溶洞顶板的稳定性进行验算。

1 溶洞顶板坍塌自行填塞洞体所需厚度的计算：

1) 原理和方法：顶板坍塌后塌落体体积增大，当塌落至一定高度  $H$  时，溶洞空间自行填满，无需考虑对地基的影响。所需塌落高度  $H$  按下式计算：

$$H = \frac{H_0}{K - 1} \quad (12.2.17-1)$$

式中  $H_0$ ——洞体最大高度 (m)；

$K$  ——岩石松散系数，石灰岩  $K=1.2$ ，粘土  $K=1.05$ 。

2) 适用范围：适用于顶板为中厚层、薄层、裂隙发育、易风化的软弱岩层、顶板有坍塌可能的溶洞，或仅知洞体高度时。

2 顶板按梁板受力情况计算，其受力弯矩按下列情况计算

1) 当顶板跨中有裂缝，顶板两端支座处岩石坚固完整时，按悬臂梁计算：

$$M = \frac{1}{2} p \left( \frac{l}{2} \right)^2 \quad (12.2.17-2)$$

2) 若裂隙位于支座处，而顶板较完整时，按简支梁计算：

$$M = \frac{1}{8} p l^2 \quad (12.2.17-3)$$

3) 若支座和顶板岩层均较完整时，按两端固定梁计算：

$$M = \frac{1}{12} pl^2 \quad (12.2.17-4)$$

$$\text{抗弯验算} \quad \frac{6M}{bH^2} \leq \sigma, \text{ 即 } H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (12.2.17-5)$$

$$\text{抗剪验算} \quad \frac{4f_s}{H^2} \leq S \quad (12.2.17-6)$$

式中  $M$  —— 弯矩 (kN·m);

$p$  —— 顶板所受总荷重  $p = p_1 + p_2 + p_3$ ;

$p_1$  —— 顶板厚为  $H$  的岩体自重 (kN/m);

$p_2$  —— 顶板上覆土层自重 (kN/m);

$p_3$  —— 顶板上附加荷载 (kN/m);

$l$  —— 溶洞跨度 (m);

$\sigma$  —— 岩体的计算抗弯强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的 1/8) (kPa);

$f_s$  —— 支座处的剪力 (kN);

$s$  —— 岩体的计算抗剪强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的 1/12) (kPa);

$b$  —— 梁板的宽度 (m);

$H$  —— 顶板岩层厚度 (m)。

适用范围: 顶板岩层比较完整, 强度较高, 层理厚, 而且已知顶板厚度和裂隙切割情况。

### 3 顶板能抵抗受荷剪切的厚度计算

按极限平衡条件的公式计算:

$$T \geq P$$

$$T = HSL \quad (12.2.17-7)$$

式中:  $T$  —— 溶洞顶板的总抗剪力 (kN);

$L$  —— 溶洞平面的洞长 (m);

其余符号意义同前。

## 12.2.18 岩溶地基处理原则及处理措施如下:

### 1 处理原则

- 1) 重要建筑物宜避开岩溶强烈发育区;
- 2) 当地基含石膏、岩盐等易溶岩时, 应考虑溶蚀作用的不利影响;
- 3) 不稳定的岩溶洞隙应以地基处理为主, 并可根据其形态、大小及埋深, 采用清爆换填、浅层楔状填塞、洞底支撑、梁板跨越、调整柱距等方法处理;
- 4) 岩溶水的处理宜采取疏导的原则;
- 5) 在未经有效处理的隐伏土洞或地表塌陷影响范围内不应采用天然地基; 对土洞和塌陷宜采用地表截流、防渗堵漏、挖填灌填岩溶通道、通气降压等方法进行处理, 同时采用梁板跨越; 对重要建筑物应采用桩基或墩基;
- 6) 应采取防止地下水排泄通道堵塞造成水压力对基坑底板、地坪及道路等不良影响以及泄水、涌水对环境影响的措施;



- 7) 当采用桩(墩)基时,宜优先采用大直径墩基或嵌岩桩。
- 2 处理措施**
- 岩溶地基的处理措施一般有:挖填、跨盖、灌注和排导等。
- 1) 挖填:挖除岩溶形态中的软弱充填物、回填碎石、灰土或素混凝土等,以增强地基的强度和完整性,或在压缩性地基上凿去局部突出的基岩,铺盖可压缩的垫层,以调整地基的变形量。
- ① 基础下有溶沟、溶槽、漏斗等时,挖去其中充填物,回填碎石或毛石混凝土;
- ② 粘性土地基局部有石芽突出时,将石芽尖部凿去,回填素土;
- ③ 基础下溶洞埋藏不深,顶板不稳定时,可炸开顶板,挖除充填物,回填碎石等。
- 2) 跨盖:基础下有溶洞、溶槽、漏斗、小型溶洞等,可采用钢筋混凝土梁板跨越,或用刚性大的平板基础覆盖,但支承点必须放在较完整的岩石上,也可用调整柱距的方法处理。
- 3) 灌注:基础下的溶洞埋藏较深时,可通过钻孔向洞内灌注水泥砂浆、混凝土或沥青等,以堵填溶洞。
- 4) 排导:对建筑物地基内或附近的地下水宜疏不宜堵。一般采用排水隧洞、排水管道等进行疏导,以防止水流通道堵塞,造成场地和地基季节性淹没。
- 12.2.19** 岩溶勘察报告的编制除符合一般的岩土工程勘察报告编制要求外,尚应包括下列内容:
- 1 岩溶发育的地质背景和形成条件;
  - 2 洞隙、土洞、塌陷的形态、平面位置和顶底标高;
  - 3 岩溶稳定性分析;
  - 4 岩溶治理和监测的建议。

## 12.3 滑坡

**12.3.1** 滑坡是斜坡上的岩土体沿特定的界面产生整体向坡下移动的现象,其水平移动分量一般大于垂直移动分量。滑坡分类见表 12.3.1。

分类依据	滑 坡 类 型
按滑坡物质组成成分	土层滑坡（可进一步按土性划分）、岩层滑坡
按滑坡发生年代	新滑坡、老滑坡、古滑坡
按滑坡始滑部位	推移式滑坡、牵引式滑坡
按滑坡诱发因素	工程滑坡、自然滑坡
按滑动面通过岩性情况	同类土滑坡、顺层滑坡、切层滑坡
按滑面形态	直线型、折线型、圆弧型、椅子型、船底型滑面
按滑坡运动特征	缓慢蠕动型、匀速滑动型、间歇滑动型、高速滑动型
按滑坡纵横长度	纵长式滑坡、等长式滑坡、横长式滑坡
按滑体厚度	浅层滑坡、中层滑坡、深层滑坡、超深层滑坡
按滑体体积	小型滑坡、中型滑坡、大型滑坡、巨型滑坡

### 12.3.2 勘察目的和任务

- 1 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的滑坡或有滑坡可能时,应进行专门

的滑坡勘察（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.2.1 条），以便为滑坡避让或治理提供地质依据。

**2 滑坡勘察主要任务如下：**

- 1) 查明滑坡范围、地层结构、滑体、滑带、滑床岩土物理力学性质，确定主滑方向、滑面（带）的部位、个数、形状、滑带厚度及物质组成；
- 2) 查明滑体内含水层、分布、地下水的流向、水力坡度、水位、水量及动态变化；
- 3) 查明引起滑动的主要因素及影响因素；
- 4) 合理确定滑带土抗剪强度参数；
- 5) 对滑坡进行稳定性定性和定量分析；
- 6) 提供防治措施建议及参数。

**12.3.3 勘察阶段及范围**

**1** 滑坡勘察阶段应根据滑坡的规模、性质和对拟建工程的可能危害确定，包括初步勘察和详细勘察，对规模大、条件复杂和危害严重的滑坡应分阶段进行勘察。

**2** 滑坡勘察的范围应包括滑坡及其影响区。勘察区后部应包括滑坡后壁以上一定范围的稳定斜坡或汇水洼地，勘察区前部应包括剪出口以下的稳定地段，勘察区两侧应达到滑体以外一定距离或邻近沟谷。涉水滑坡尚应到达河（库）心或对岸。

**12.3.4** 滑坡勘察手段应以地质测绘与调查、钻探、井探、槽探为主，必要时尚应采用洞探和物探，并辅以相应的原位测试、室内试验和水文地质试验。

**12.3.5 工程地质测绘和调查**

**1** 滑坡地质测绘平面图比例尺应根据滑坡面积、滑坡地质环境复杂程度、防治工程等级和滑坡治理工程设计的需要进行选择，一般宜采用 1:200~1:1000。

**2** 滑坡自然地理条件调查以搜集资料为主，其内容应包括滑坡区行政区划、交通状况、气象水文（降雨情况、河流或水库水位）、区域经济状况等。

**3** 滑坡工程地质测绘与调查应首先搜集分析区域地质和前人已有勘察资料，重点针对以下内容：

- 1) 地形地貌：地貌类型、部位、形态特征，坡面特征、坡度、高差，前缘临空面高度及坡角，河流冲刷情况；
- 2) 地层岩性：地层时代，岩土性质及其组合特征，软弱层或夹层岩性特征和分布；
- 3) 地质构造：构造部位，区内断层，裂隙发育情况和特征；
- 4) 水文地质：地下水状况，出露特征、动态变化。补给与排泄条件及其与滑坡形成的关系；

5) 地震：历史地震特征，最大地震震级、烈度及与震中的距离，滑坡发生前及发生时有无地震发生及烈度大小；

6) 人类生产和工程活动：包括水渠、水塘、水田和水库等渗漏情况，建筑、修路、采矿、采石（土）等开挖情况，建筑、堆填和弃渣等加载情况，爆破震动强度等。

**4 滑坡各种要素特征及变形破坏情况调查与测绘内容包括：**

1) 地面坡度、前后缘相对高度，台阶位置、个数和平台宽度，阶坎高度，反坡、鼓起和洼地，植被、醉汉林和马刀树形状、大小和树种名称；

2) 沟谷或陡坎的分布、形态特征及与斜坡的关系，河岸或谷坡受冲刷、淤积情况及河道变迁；

3) 滑坡的周（边）界及其形状，对可能发生滑坡的斜坡地段，应圈定可能发生滑坡的范围，后壁走向、高度、坡度与摩擦痕迹及其指向和倾角，前缘及两侧壁特征，临空面特征；

4) 滑坡剪（滑）出口位置，滑面（带）形态、特征和物质组成，滑动方向；

- 5) 滑坡体组成的岩土性质、产状、完整性，变形破坏特征及其在前、中、后部的差异；
  - 6) 滑坡体及周边裂缝的分布位置、产状、性质、宽度、长度、充填情况，裂缝产生时间和变化情况；
  - 7) 滑坡运行特征，分级、分块滑动特征，最大水平、垂直位移量，滑坡速度；
  - 8) 滑床及其以下地层岩性、地质构造、岩石风化程度和水文地质情况。
- 5** 调查统计滑坡发生后死伤人数，房屋、道路等各类工程建筑设施、耕地、林木、养殖等毁损情况。
- 6** 调查研究滑坡稳定性与潜在危险性，重点调查滑坡发生后残留滑体的稳定状况，滑体后缘壁、两侧壁有无不稳定的牵引块体及其潜在危险性等。
- 7** 调查研究滑坡防治情况，包括滑坡发生后已采取的应急预防减灾措施，防治工程及其投资金额与效果、经验等，必要时进行滑坡治理所需的天然建筑材料调查。
- 8** 滑坡工程地质测绘应采用仪器法或半仪器法，对重点部位应摄影或录像。

### 12.3.6 勘探

- 1** 滑坡勘探应查明滑体范围、厚度、物质组成和滑面（带）的个数、形状、滑带厚度及物质组成；查明滑体内含水层的个数、分布和地下水的流向、水力坡度、水位、水量及动态变化。
- 2** 滑坡勘探方法应根据需要参照表 12.3.6 进行选择，初步勘察阶段探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜小于 1/5；详细勘察阶段探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜小于 1/4。对深层、超深层滑坡可适当减少，但不应小于 1/5。

**表 12.3.6 滑坡勘探方法适用条件及勘探点布设位置**

勘探方法		适用条件及勘探点布设位置
钻 探		用于了解滑体结构、滑面（带）的深度、个数、地下水位及水量，观测深部位移，采集滑体、滑带及滑床岩、土、水样
槽 探		用于确定滑坡周界、后缘滑壁和前缘剪出口附近滑面的产状及裂隙延伸情况，有时也可用作现场剪切及大容积法密度试验试坑
井 探		用于观察滑体结构和滑面（带）特征，采集原状土样和进行原位大剪、大容积法密度试验。主要应布在滑坡的中前部主剖面附近
洞 探 (平洞或斜洞)		用于了解滑坡内部特征，采集原状土样和进行原位大剪、大容积法密度试验。适用于地质环境复杂、深层、超深层滑坡。洞口宜选在滑坡两侧沟壁或滑坡前缘。平洞可兼作观测洞，也可用于汇排地下水，常结合滑坡排水整治施工布置
物 探	电法勘探	常用高密度电法。用于了解滑体厚度、岩性变化，了解下伏基岩起伏和断裂破碎带的分布，了解滑坡区含水层、富水带的分布和埋深。在滑坡规模较大、物性差异较大、地形地物变化较小时采用。勘探线宜布置在拟设主剖面线上、剖面线间及支挡线附近
	地震勘探	常用浅震反射波法。用于探测滑坡区基岩埋深，滑面位置、形状。在非人口密集区滑坡规模较大时采用。勘探线宜布置在拟定主剖面线上、剖面线间及支挡线附近

- 3** 滑坡勘探工作应遵循先勘探主剖面后勘探辅助剖面的原则，并符合下列规定：
- 1) 初步勘察阶段应平行主滑线布置主、辅纵勘探线，垂直主滑线布置控制滑体厚度横向变化的横勘探线；当同一滑坡有多个次级滑面时，各次级滑体均应平行其主滑线布置勘探线。纵勘探线间距宜为 80~120m，应根据滑坡防治工程重要性等级、地质环境复杂程度

及滑坡宽度选择，当滑坡防治工程等级为一级、地质环境复杂、滑坡宽度较小时取小值。

2) 详细勘察阶段应在初步勘察的基础上确认主滑方向及主滑线，在主勘探线两侧增布辅助勘探线，在两侧滑体外也应布置一定数量勘探线，勘探线间距应视滑坡纵横向变化大小和防治工程重要性等级而定，宜为 40~60m，当滑坡防治工程重要性等级较高、横向变化大、滑坡宽度较小时，取小值。如滑坡需要治理，勘探工作的布置应满足滑坡治理工程设计的需要。当需进行支挡时应沿初拟支挡部位布置横勘探线；需采取地下排水措施时，应在拟设排水构筑物位置增布勘探线。

3) 每条纵勘探线上的勘探点不宜少于 4 个，初步勘察阶段纵勘探线上勘探点的间距宜为 50~70m，详细勘察阶段纵勘探线上勘探点的间距不宜大于 40m。滑坡主勘探线宜取较小值，滑坡纵向变化大、纵向长度较短时宜取小值，滑坡前后部宜取较小值。纵勘探线上勘探点布置应考虑构成横勘探线的需要，剪出口难以确定或横勘探线可能作为支挡线时，应适当加密勘探点。

#### 4 滑坡勘探深度的确定应符合下列规定：

1) 对岩质滑坡或最低滑面为岩土界面的土质滑坡，勘探深度应根据滑面的可能深度确定。初步勘察阶段钻孔应进入可能的最低滑面以下 3~5m，滑坡有无深层滑面难以判断时，控制性勘探点可根据需要加深；详细勘察阶段控制性钻孔进入最低滑面以下 3~5m，一般性钻孔进入最低滑面以下 1~3m；探井揭穿最低滑面；

2) 土层滑坡勘探孔进入滑床的深度应大于土层中所见同类岩性最大块石直径的 1.0~1.5 倍，详细勘察阶段的控制性钻孔可加深至下伏基岩中等风化层 1~3m；

3) 对需要治理的滑坡，详细勘察阶段可能治理部位的勘探深度应满足防治工程设计的需要，拟设置抗滑桩地段的钻孔进入滑床的深度宜取孔位处滑体厚度的 1/3~1/2。

#### 5 滑坡勘探工程施工应满足下列要求：

1) 钻探应用全采芯钻进。对滑体松软土层宜采用单动双管、塑胶护壁、无泵或小水量钻进等钻探工艺，水文地质孔应采用滤水管护壁。为保证采样和试验，钻孔终孔直径不应小于 110mm；

2) 岩芯采取率：土质滑坡滑体土不应低于 75%；岩质滑坡滑体及滑床不应低于 85%，滑带土不应低于 90%；

3) 钻进过程中应观测记录钻进的难易程度及速度的变化，测量记录缩径、掉块、塌孔、卡钻、涌水、漏水及套管变形的的位置。接近滑面（带）时，回次进尺不应大于 0.3m；

4) 每一探井均应采集不同深度（每米 1 件）的土样测定含水量、饱和度，绘制含水量随深度变化曲线；

5) 观测记录起、下钻水位和地下水的初见水位、稳定水位；

6) 对钻孔或槽井中滑带土的物质组成、滑动面应进行鉴定，测量滑面产状或倾角和擦痕方向；

7) 采集相关样品或作相应试验；

8) 所有勘探工程终孔后都应填写终孔验收表；

9) 经验收合格的孔井，除用于监测外，均应按要求封闭。

#### 6 滑坡勘探编录应符合下列要求：

1) 各类勘探工程均应按工程进度及时作相应的地质编录；

2) 编录记录滑带、滑动面的位置、特征、产状，并绘制岩芯素描图；

3) 编录图应以基线为准量测、现场绘制，探槽展示图至少一壁一底，探井展示图至少三壁一底，探洞展示图为两壁一顶，钻孔则作柱状图；

4) 编录图比例尺应能反映滑带特征，宜为 1:50~1:100。

#### 7 岩样采集位置应主要布置在滑坡可能支挡部位。每种岩性的岩样不应少于 3 组，但

抗剪强度试验的岩样不应少于 6 组；每组岩样不应少于 3 件。

**8** 土样采集位置应主要布置在滑坡主勘探线上。初步勘察阶段，滑带土和滑体土数量均不应少于 6 组；详细勘察阶段，滑带土和滑体土数量均不宜少于 9 组，且不应少于勘探点总数的 1/5。

### 12.3.7 测试工作

滑坡勘察测试工作应取代表性岩、土、水样，作物理力学性质试验和水质分析，进行水文地质参数测定，必要时应对岩样进行切片和粘土矿物鉴定。

对滑体土、滑带土、滑床土测试指标应包括天然密度、饱和密度、含水率、压缩系数、液限、塑限、颗粒分析、天然及饱和状态的粘聚力和内摩擦角，主要是测定滑动带土的抗剪强度指标；对于滑体土宜采用原状土三轴剪切试验，滑带土视具体情况确定，对滑床岩土体应作常规土工试验或岩石物性、强度及变形试验。

#### 1 滑带土测试

1) 取原状土样试验，当无法采取原状土样时，可取保持天然含水量的扰动土样，作重塑土样试验。

2) 结合滑动条件、岩土性质、工程要求，选择不同剪切试验方法。

目前正处于运动阶段的滑坡，滑动带为粘性土时，宜采用残余强度剪或多次快剪求滑带土的残余抗剪强度指标。

还未产生滑坡的自然斜坡，宜采用三轴剪切试验。

若滑带土稠度不大，滑动面清晰时，宜采用滑面重合剪切试验。

若滑带土为饱和状或泥化流动状时，宜采用浸水饱和快剪试验。

滑带土含角砾、碎石较多时，或为岩层接触面，宜采用原位大面积剪切试验。

3) 三轴剪切试验的方法可按下列要求确定：

当不需要提供有效应力强度指标时，对饱和粘性土，若加荷速度较快宜采用不固结不排水（*UU*）试验；对饱和软土尚应先对试件在有效自重压力下预固结再进行试验；需验算水位迅速下降时的土坡稳定性时，可采用固结不排水（*CU*）试验。

当需要提供有效应力强度指标时，应采用固结不排水测孔隙水压力（*CU*）试验。

4) 不同部位滑面（带）土的物理力学性质不同，主滑段滑带土的抗剪强度往往低于抗滑段或牵引段滑带土抗剪强度，各段应分别取样做物理力学性质试验。

#### 2 水文地质参数测定

滑坡地下水量较小时，可采用简易抽水试验；水量较大时，应进行抽水试验，当具有多个含水层时应进行分层抽水试验。

### 12.3.8 滑动面位置确定

#### 1 地质判识方法

滑坡产生时，在滑体及临近滑面（带）的滑床和滑体等岩土体均会产生不同程度的牵引变形及擦痕和摩擦镜面。

1) 在顺向切层滑床面上，易形成阶步或陡坎，在逆向岩层滑床面或陡倾角岩层滑床面上易产生层面向坡下弯曲。

2) 在滑体下伏滑床为全、强风化层或第四系沉积层，滑坡发生时易产生扰动；

3) 在滑坡失稳时，往往在其滑面（带）中易裹杂着滑床表层岩土物质。

4) 在滑坡失稳时，往往在临近主滑面（带）的滑体部分和滑床部分产生牵引作用，形成相应的劈理、裂隙和挠曲褶皱。主滑面（带）往往形成泥化层。

5) 滑坡失稳时，滑体内部往往发生块体间相互错动、挤压摩擦，在滑面附近形成镜面和擦痕。

6) 滑坡失稳时，在前缘剪出口岩层产生挤压变形。

7) 一般斜坡地层出现不连续或老地层覆于现代河流阶地之上,可判定有古滑坡存在。

## 2 钻探、井、槽、洞探和地球物理勘探方法

1) 岩质滑坡滑动面(带)以上钻进时,钻具跳动,易卡钻,漏水,滑动面(带)以下钻进时平稳,透水正常。

2) 岩质滑坡滑面(带)以上岩芯量测的岩层倾角变化较大,岩石风化剧烈,裂隙中多有泥质充填,滑面(带)处常有泥夹碎屑,以下岩层产状正常。

3) 在滑面(带)附近钻进时,如速度突然加快或发现孔壁收缩、孔身错断,套管弯曲,上下钻具困难,此处可能为滑面(带)位置。

4) 岩质滑坡滑面(带)漏水严重,一般测不到地下水位,钻孔无回水,以下基岩透水正常,可测得地下水位。

5) 当滑面(带)与其上下岩土层有较大电性差异时,可利用物探方法确定滑面(带)的可能位置。

6) 通过井、槽、洞探工程查明滑面(带)的位置是行之有效的方法,特别是大型滑坡有多个滑面(带)时常可直接观察到。

## 3 位移观测方法

通过对滑坡位移观测,尤其对滑坡地下位移观测资料来分析确定滑面(带)的存在、分布高程、位置和形态。

常采用置于钻孔中的应变管确定滑面(带),当滑坡失稳时,临近滑面(带)上下岩土体会发生收缩和伸张变形而发生弯曲,贴于应变管内的应变片会发生相应性质的应变。做出每次观测的应变曲线,并以其累积应变量与观测日期的关系曲线,表示出位移最大位置即为滑面(带)所在。

## 4 计算方法

通过数值分析和计算搜索,推测和复核滑面(带)的分布高程和形态。

以上几种方法可综合分析,以确定滑面(带)位置。

### 12.3.9 滑带土抗剪强度参数确定

1 岩质滑坡滑面内摩擦角、粘聚力除按现场原位大面积剪切试验确定之外,可按《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 表 4.5.1 确定。

2 滑带土的抗剪强度指标应以测试结果为基础,结合宏观地质判断、工程类比、反分析和地区经验综合确定。

3 当滑带土中粗颗粒含量较高时,其抗剪强度指标宜以现场大剪试验测试值为主并参考室内试验值确定。综合取值时宜将室内快剪试验得出的内摩擦角乘以 1.15~1.25 的增大系数。

4 抗剪强度指标反分析应在具备反分析条件的前提下进行。进行反分析时应根据滑坡所处演变阶段确定滑坡稳定性系数  $F_s$  值。对处于强变形阶段的滑坡,  $F_s$  可取 1.01~1.05;对处于滑动阶段的滑坡,  $F_s$  可取 0.95~1.00;对处于弱变形阶段的滑坡滑面  $c$ 、 $\varphi$  值不应低于根据  $F_s$  为 1.05 反算出的结果。当采用两条剖面进行联合求解时,两条剖面的  $F_s$  值应相当,粗粒滑带土宜先确定  $c$  值,反算  $\varphi$  值,细粒滑带土宜先确定  $\varphi$  值,反算  $c$  值。

5 抗剪强度指标反算值宜在进行敏感性分析后确定。

6 进行工程类比应优先选择已经竣工及效果良好的防治工程。

7 滑(带)土体抗剪强度指标取值时应根据滑坡所处演变阶段及含水状态分别选用峰值强度指标、残余强度指标(或两者之间的强度指标)及天然强度指标、饱和强度指标(或两者之间的强度指标)。

对处于弱变形阶段的滑坡可取峰值强度指标;对处于滑动阶段的滑坡可取残余强度指

标；对处于强变形阶段和停滑阶段的滑坡可在峰值强度指标与残余强度指标之间取值，对处于强变形阶段、滑动阶段或停滑阶段的滑坡体内未曾有过位移的潜在滑面可取滑体土峰值强度指标。

12.3.10 滑坡稳定性分析

1 定性分析

1) 野外判识滑坡的标志

① 地貌地物标志

滑坡的存在常使斜坡坡面呈圈椅状和马蹄状环谷；其后缘有陡壁及顺坡擦痕；上部有弧形拉张裂缝；中部坑洼起伏，常有高程和特征与外围地形不连续的鼻状凸丘或多级平台；前缘有鼓丘（其上常有鼓张扇形裂缝），常呈舌状向外突出，侵占河、沟床，有时反翘；滑坡体两侧可见羽状裂缝及常形成沟谷，并有双沟同源现象。有的滑坡体上还有积水洼地、马刀树、醉汉林和房屋倾斜、开裂等现象。

② 地层构造标志

地层的整体性因滑动而被破坏，有扰动现象；岩层层位、产状或构造与外围不连续，有时岩层层序倒置或重叠；常见有泥土、碎屑充填或未被充填的张性裂缝。

③ 水文地质标志

斜坡含水层的原有状况被破坏，使滑坡体成为单独的含水体；水文地质条件变得特别复杂，如潜水位不规则，流向紊乱；在滑动带前缘常有成排泉水溢出。

2) 滑坡稳定程度的地貌判识标志

根据地貌特征可参照表 12.3.10-1。（《铁路工程地质手册》表 4-1-5）判别滑坡的稳定性。

表 12.3.10-1 根据地貌特征判别滑坡稳定性

滑坡要素	相 对 稳 定	不 稳 定
滑坡体	坡度较缓，坡面较平整，草木丛生，土体密实，无松塌现象，两侧沟谷已下切深达基岩	坡度较陡，平均坡度 30° 左右，坡面高低不平，有陷落松塌现象，无高大直立树木。地表水、泉、湿地发育
滑坡壁	滑坡壁较高，长满了草木，无擦痕	滑坡壁不高，草木少，有坍塌现象，有擦痕
滑坡平台	平台宽大，且已夷平	平台面积不大，有向下缓倾或后倾现象
滑坡前缘及滑坡舌	前缘斜坡较缓，坡上有河水冲刷过的痕迹，并堆积了漫滩阶地，河水已远离舌部；舌部坡脚有清晰泉水。	前缘斜坡较陡，常处于河水冲刷之下，无漫滩阶地，有时有季节性泉水出露

3) 从滑坡演变阶段可粗略判断其稳定性，演变阶段划分详见表 12.3.10-2。（《地质灾害防治工程勘察规范》DB50/143-2003 表 B.1.9）

弱变形阶段为基本稳定，强变形阶段为欠稳定，滑动阶段为不稳定，停滑阶段为暂时稳定。

2 定量分析

1) 滑坡稳定性检算方法参照 11.5.7~11.5.13 执行。

2) 滑坡推力按下列公式（《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2002 公式 13.1.12）计算：

表 12.3.10-2

滑坡的演变阶段

演变阶段	滑动带及滑动面	滑坡前缘	滑坡后缘	滑坡两侧	滑坡体
弱变形阶段	主滑段滑动带在蠕变变形，但滑体尚未沿滑动带位移	无明显变化，未发现新的泉点	地表或建（构）筑物出现一条或数条与地形等高线大体平行的拉张裂缝，裂缝断续分布	无明显裂缝，边界不明显	无明显异常，偶见“醉汉林”
强变形阶段	主滑段滑动带已大部分已形成，部分探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象，滑体局部沿滑动带位移	常有隆起，有放射状裂缝或大体垂直等高线的张裂裂缝，有时有局部坍塌现象或出现湿地或有泉水溢出	地表或建（构）筑物拉张裂缝多而宽且贯通，外侧下错	出现雁行羽状剪切裂缝	有裂缝及少量沉陷等异常现象，可见“醉汉林”
滑动阶段	整个滑坡滑动带已全面形成，滑带土特征明显且新鲜，绝大多数探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象，滑带土含水量常较高	出现明显的剪出口并经常错出，剪出口附近湿地明显，有一个或多个泉点，有时形成了滑坡舌，滑坡舌常明显伸出，鼓胀及放射状裂缝加剧并常伴有坍塌	张裂缝与滑坡两侧羽状裂缝连通，常出现多个阶坎或地堑式沉陷带，滑坡壁常较明显	羽状裂缝与滑坡后缘张裂缝连通，滑坡周界明显	有差异运动形成的纵向裂缝，中、后部水塘、水沟或水田渗漏，不少树木成“醉汉林”，滑坡体整体位移
停滑阶段	滑体不再沿滑动带位移，滑带土含水量降低，进入固结阶段	滑坡舌伸出，覆盖于原地表上或到达前方阻挡体而壅高，前缘湿地明显，鼓丘不再发展	裂缝不再增多，不再扩大，滑坡壁明显	羽状裂缝不再扩大，不再增多甚至闭合	滑体变形不再发展，原始地形总体坡度显著变小，裂缝不再扩大不再增多甚至闭合

$$P_i = P_{i-1}\psi_{i-1} + \gamma T_i - R_i \quad (12.3.10)$$

式中  $P_i$  —— 第  $i$  条块滑体的剩余下滑力（kN/m）；

$P_{i-1}$  —— 第  $i-1$  条块滑体的剩余下滑力（kN/m），当  $P_{i-1} < 0$  时取 0；

$\psi_{i-1}$  —— 第  $i-1$  条块剩余下滑力传递至第  $i$  条块时的传递系数；

$\gamma$  —— 滑坡推力安全系数，应根据滑坡现状及对工程的影响因素确定，宜取 1.05～

1.25，当某条块滑面倾向与滑动方向相反时，该条块  $\gamma$  取 1；

其它符号同前。



3) 当滑坡体内已形成统一地下水面时,应考虑静水压力和渗透压力;当滑坡体渗透系数小于  $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$  时不考虑静水压力和渗透压力。

4) 滑面倾角明显变化处、滑面与水位线相交处、滑面强度指标明显变化处、地下水位线倾角明显变化处、地形线坡角明显变化处、地形线与河(库)水位线相交处、地面荷载明显变化处应作为条块分界点;最后一个条块高度较小时,其宽度应较大,相邻条块滑面倾角之差不宜大于  $10^\circ$ , 条块数量不宜小于 8 个。

5) 当滑动面为平面时,计算方法可参照边坡稳定性计算。

6) 当有局部滑动可能时,除验算整体稳定外,尚应验算局部稳定性(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.2.8 条第 5 款)。除应考虑滑坡沿已查明的滑面滑动外,还应考虑其它可能的滑面及剪出口滑动。对涉水滑坡尚应分析塌岸后滑坡稳定性的变化。

7) 滑坡稳定性计算应分工况进行,可分为现状工况、枯季工况、暴雨工况、暴雨+高水位工况、暴雨+水位降工况和水位降+地震工况。

8) 对每条纵勘探线和每个可能的滑面均应进行滑坡稳定性评价。当稳定系数小于安全系数时应给出剩余下滑力。

9) 滑坡稳定性还可采用数值分析法计算。

### 12.3.11 滑坡防治措施建议

滑坡防治措施建议应有针对性,并以安全、经济、合理、可行为原则。不稳定的滑坡对工程和建筑物危害性较大,一般对大中型滑坡应以避开为宜,如不能避开或避开不经济时,则应予整治。

滑坡的工程整治措施大致可分为以下三类:

#### 1 消除和减轻水对滑坡的危害

- 1) 截、排地表水,如修建环形截水沟、树枝状排水系统等;
- 2) 截、排地下水,如修建截水渗沟、截水隧洞、施设垂直孔群、砂井与水平钻孔相结合等;
- 3) 整平夯实滑坡坡面、夯填裂缝等。

#### 2 改善滑坡体力学平衡条件,减小下滑力,增大抗滑力。

##### 1) 支挡措施

在滑坡体适当部位设置支挡建筑物(如抗滑挡墙、抗滑明洞、抗滑桩等)可以支挡滑体或把滑体锚固在稳定地层上。由于这种方法对山体破坏少,可有效地改善滑体的力学平衡条件,故被广泛加以采用。其主要类型有抗滑挡墙、抗滑明洞、抗滑桩、锚拉桩、预应力锚索、格构锚固等。

##### 2) 减载与反压

对于滑床上陡下缓,滑体头重脚轻的或推移式滑动,可对滑坡上部主滑段清方减重;也可在前部阻滑段反压填土,以达到滑体的力学平衡。对于小型滑坡可全部清除。减重和清除均应慎重从事,应验算和检查残余滑体和后壁的稳定性的。

#### 3 改变滑带土的工程性质

通过采用焙烧法、电化学法、硅化法、灌浆法或孔底爆破灌注混凝土等措施,改变滑带土的性质,提高它的强度,达到增强滑坡稳定性的目的。

### 12.3.12 滑坡监测

勘察期间对有变形迹象的滑坡应进行监测,其监测网点应尽可能为后期监测工作利用。

#### 1 监测内容及方法

滑坡监测主要内容为地表变形监测、裂缝监测、地面倾斜监测、建筑物变形监测、滑动面位移监测;

监测方法有:宏观地质观测法、大地测量法、测缝法、测斜法。

## **2 监测网点布设**

1) 基准点应设置在远离滑坡的稳定地区,并构成基准网。监测网型应根据滑坡范围、规模、地形地貌、地质因素、通视条件及施测要求选择,可布设为十字型、方格型、放射型。

2) 监测剖面应以绝对位移监测为主,应能控制滑坡主要变形方向,并与勘探剖面重合或平行,宜利用勘探工程的钻孔、平洞、探井布设,当变形具有多个方向时,每一方向均应有监测剖面控制。

3) 对地表变形地段应布设监测点,对变形强烈地段和当变形加剧时应调整和增设监测点。

4) 每条监测剖面的监测点不应少于 3 个。

## **3 监测周期及精度**

1) 监测周期宜为 5~15d,雨季或变形速率加大或出现异常变化时,应缩短观测周期。

2) 监测网数据观测、预处理、平差计算应符合《工程测量规范》GB50026-93 有关规定。

3) 变形观测误差应小于实际变形值的 1/10,且不应大于 2mm,裂缝宽度观测误差不应大于 0.5mm。

## **4 监测资料整理分析**

1) 每次监测均应有原始记录,并及时进行监测数据整理。

2) 每次监测后应对监测数据进行分析,绘制时程曲线,情况紧急时,应作出临时预报。

3) 勘察工作结束前,应提交监测报告。监测报告应有点位布置图、观测成果表、观测点平面位移及沉降曲线等。

## **12.3.13 滑坡勘察报告主要内容**

**1** 滑坡岩土工程勘察报告的内容应根据任务要求、勘察阶段、地质环境、滑坡特征等具体情况确定,可由下列几部分构成:

1) 前言:包括任务由来、勘察目的与任务、规划概况、勘察工作概况、前人研究程度、执行的技术标准、完成的主要实物工作量及勘察质量评述。

2) 勘察区自然地理条件:包括位置与交通状况、气象、水文(包括水位变动)、社会经济概况。

3) 勘察区工程地质条件:包括地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质特征。

4) 滑坡基本特征:包括形态特征及边界条件、滑体特征、滑带特征、滑床特征、近期变形破坏特征、影响因素及形成机制、滑坡类型。

5) 滑坡稳定性评价:包括滑坡稳定性的定性分析、滑坡稳定性计算、稳定性评价,其中计算部分包括试验数据的分析统计、监测成果分析、计算模式与方法、计算参数的确定及影响因素敏感性分析、计算工况的确定。

6) 滑坡防治建议:包括防治方案建议和防治工程设计参数。

7) 滑坡防治效益评价:包括经济效益、社会效益和环境效益。

8) 结论与建议。

## **2 滑坡勘察报告宜有下列附图附件:**

1) 滑坡平面地质图(比例尺为 1:500~1:2000);

2) 滑体等厚线图(比例尺为 1:500~1:2000);

3) 滑床顶面等高线图(比例尺为 1:500~1:2000);

4) 滑体地下水等位线图(比例尺为 1:500~1:2000);

- 5) 滑坡地质剖面图（比例尺为 1:200~1:500）;
- 6) 钻孔地质柱状图（比例尺为 1:50~1:100）;
- 7) 探槽、探井、平洞展示图（比例尺为 1:50~1:200）;
- 8) 物探报告;
- 9) 测试报告;
- 10) 监测报告。

## 12.4 危岩和崩塌

### 12.4.1 危岩和崩塌的定义和分类

- 1 危岩是指位于陡坡上被结构面切割或其他作用所形成的一些孤立岩块，在重力或其他外力作用下有突然产生松动和向下塌落的可能。
- 2 崩塌是指危岩的塌落过程及其产物。
- 3 危岩和崩塌大部分发生在陡峭的山坡及人工开挖的陡边坡。在一些海、湖、河、冲沟、水库的岸坡也常有发生。崩塌按其形成机理可分为五类，分类形式见表 12.4.1。

表 12.4.1 崩塌的分类

主要特征 类型	岩 性	结构面	地 貌	受力状态	起始运动 形式	失稳主要 因素
倾倒式崩塌	黄土、直立岩层	多为垂直节理、直立层面	峡谷、直立岸坡、悬崖	主要受倾覆力矩作用	倾倒	静水压力、动水压力、地震力、重力
滑移式崩塌	多为软硬相间的岩层	有倾向临空面的结构面	陡坡通常大于 45°	滑移面主要受剪切力	滑移	重力、静水压力、动水压力
鼓胀式崩塌	直立的黄土、粘土或坚硬岩石下有较厚软岩层	上部为垂直节理,柱状节理,下部为近水平的结构面	陡坡	下部软岩受垂直挤压	鼓胀、伴有下沉、滑移、倾斜	重力、水的软化作用
拉裂式崩塌	多见于软硬相间的岩石	多为风化裂隙和重力拉张裂隙	上部突出的悬崖	拉张	拉裂	重力
错断式崩塌	坚硬岩石或黄土	垂直裂缝发育,通常无倾向临空面的结构面	大于 45°的陡坡	自重引起的剪切力	错断	重力

### 12.4.2 危岩和崩塌的勘察目的与要求:

- 1 勘察目的：工程实践证明，在山区选择场址和考虑总平面布置时，应首先判定山体的稳定性，查明是否存在危岩和崩塌的条件。这些问题如不在选择场址或可行性研究阶段中发现和解决，将会给工程建设造成巨大的经济损失。
- 2 勘察要求：当场地位于斜坡，或坡很高很陡且坡面不平整、上陡下缓，岩土体的节

理、裂隙发育、结构面多张开，坡脚和坡面有崩塌物时，应按崩塌进行工程地质勘察。《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.3.1 条规定：拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的危岩或崩塌时，应进行危岩和崩塌勘察。并在第 5.3.2 条中明确指出：危岩和崩塌勘察宜在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明产生崩塌的条件及其规模、类型、范围，并对工程建设适宜性进行评价，提出防治方案的建议。

**12.4.3 危岩和崩塌勘察工作应符合下列要求：**

**1** 勘察的主要任务是着重分析研究形成崩塌的基本条件，分析产生崩塌的可能性及其类型、规模、范围，预测其发展趋势，提出防治方案的建议，为建设场地的适宜性评价提供所需的工程地质资料。

**2** 危岩和崩塌的勘察手段和工作方法主要是进行工程地质测绘和调查；如果是土质崩塌应适当安排一定数量的槽探、井探或小口径钻探。

**3** 工程地质测绘的比例尺宜采用 1:200~1:5000；对危岩体和崩塌方向主剖面的比例尺宜采用 1:200。测绘和调查范围应超出其影响区域，具体测绘工作可按第 4 章执行。

**4** 在危岩和崩塌地区进行工程地质测绘和调查工作时，除了应符合《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.3.3 条的规定外；应重点查明危岩和崩塌形成的基本条件即地形地貌、岩性、地质构造、降水、地下水、地震、人为因素等内容。危岩和崩塌的形成条件详见表 12.4.3。

**表 12.4.3 危岩和崩塌的形成条件**

形成条件	主 要 因 素
地形地貌	1. 陡峭的山坡是产生危岩、崩塌的基本条件，发生崩塌的山坡坡度一般大于 45°，根据现场调查，以 60°~70° 最多； 2. 峡谷两岸地貌常具有明显的新构造运动上升标志，由于峡谷地形地貌陡峭，坡度常在 50° 以上，形成陡崖峭壁，峡谷岸坡常有与河流平行的大张开性裂隙，这种特殊的地貌给危岩和崩塌创造了条件
岩 性	岩性是危岩和崩塌的物质来源。岩浆岩及软、硬相间的沉积岩地区常常是危岩和崩塌发育的地点。岩浆岩中常被晚期的岩脉、岩墙穿插，形成不规则的接触面，这些接触面常常是岩体中的薄弱面。岩浆岩中垂直节理较发育，给危岩和崩塌提供了条件，在软硬相间的沉积岩地区，由于软岩容易被水流冲蚀、溶解、形成临空面，使上部硬岩在重力或外力作用下失去平衡而产生一定规模的崩塌
地质构造	1. 地质构造条件常对危岩和崩塌起控制作用； 2. 褶皱、断裂构造发育的地区，往往是危岩和崩塌频繁发生的地区，尤其是多组断裂交汇的峡谷地区，容易形成大规模崩塌； 3. 在构造节理与风化裂隙发育的地区，这些节理裂隙在雨水的浸润作用下，常产生滑移式崩塌
降 水	1. 在长期下雨或暴雨之后，水流沿着节理裂隙渗入岩体，降低了岩石节理裂隙间的粘聚力和摩擦力，并且增加了岩土体的重量，有利于崩塌的发生； 2. 降雨与崩塌之间的关系非常密切，即降雨对崩塌的发生具有明显的促进作用
地下水	当地下水在边坡或坡脚下以渗水带渗出时，说明边坡上部有延伸较远的含水通道，而且这种含水通道容易得到大气降水的补给。这种流动中的裂隙水对危岩产生静水压力和动水压力，而且地下水对裂隙中充填物浸泡后会使其抗剪强度降低，容易引起崩塌的发生

续表

形成条件	主要因素
地震	地震时引起地壳强烈震动，地震力使岩体中各种结构面的强度降低，使原来相对稳定的边坡失去平衡，导致崩塌发生
人为因素	1. 人工开挖边坡，尤其是在节理裂隙或岩层倾向顺坡向开挖时，容易破坏边坡的稳定； 2. 边坡设计不合理，边坡过陡或过高，都有可能造成边坡失稳产生崩塌

5 在进行测绘和调查工作时，应注意搜集当地防治崩塌的经验和教训。

6 应根据危岩的破坏型式按单个危岩形态特征进行定性或定量评价，并提供相关图件，标明危岩的分布、大小和数量。

**12.4.4** 当需判定危岩的稳定性时，宜对张裂缝进行监测。对有较大危害的大型危岩，应结合监测结果，对可能发生崩塌的时间、规模、滚落方向、途径、危害范围等做出预报。对危岩的监测应符合下列要求：

- 1 对危岩及裂隙应进行详细的编录；
- 2 应在岩体裂隙的主要部位设置伸缩仪，记录其水平位移量和垂直位移量；
- 3 应绘制时间和水平位移、时间与垂直位移的关系曲线；
- 4 可根据位移时间的变化曲线，计算出移动速度。以便对这些潜在危岩的变形、发展速度作出判断和预报；

5 当危岩有崩塌的危险时，可在伸缩仪上连接报警器，对危岩的位移进行实时监测，当位移达到预警值时发出警报，确保安全。

**12.4.5** 危岩和崩塌区的岩土工程评价应在查明形成危岩和崩塌基本条件的基础上，划分出可能产生崩塌的范围、类型和危险区。根据对崩塌体的稳定性验算结果，对其作为工程建设场地的适宜性进行评价，并提出相应的防治措施和建议。对危岩和崩塌区进行场地适宜性评价时应符合下列要求：

1 对于崩塌点多或崩塌规模很大，可能产生很严重破坏后果的，并且难于治理或无法治理的，不宜作为工程建设场地，线路通过这种区域时应绕开；

2 对于崩塌规模较大，可能产生严重破坏后果的，但是可能产生崩塌的危岩可以进行加固处理的；在对崩塌体进行稳定性验算后，清除不稳定岩体或对处于极限状态的岩体进行加固处理后，并保证崩塌影响范围与拟建物之间有足够的距离时，可以作为工程建设场地；但是线路通过这种区域时，应根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 的有关要求，采取必要的防治措施；

3 对于崩塌点少、崩塌规模不大和破坏后果不严重的，可以作为工程建设场地；但是应对不稳定岩体（危岩）采取治理措施。

**12.4.6** 危岩和崩塌区采取的防治措施应符合下列要求：

1 对于中小规模崩塌区，并且发生次数较频繁；因受地形地质条件限制，修建挡截建筑物困难时，可修筑明洞或棚洞等防塌构筑物；但洞顶要有足够厚度的缓冲层；

2 对于中小规模崩塌区，当建筑物或线路工程与坡脚间符合安全距离的要求时，可在坡脚或半坡设置起拦截作用的拦石墙、拦石堤、拦石网等拦截构筑物；

3 对于小型崩塌区，当边坡或陡坡上有较完整的危岩存在，并且危岩下的地基条件较好时，可采用在危岩下修筑支柱等支挡加固措施，对易崩塌的岩体可采用锚索或锚杆串联的加固办法；

4 对于小型崩塌区，当边坡或陡坡上的岩体较破碎，并且危岩的体积较小时，可对岩体中的裂缝、空洞采用片石、混凝土灌浆等方法镶补勾缝；

5 当崩塌区内有地下水或地表水活动时，应在其活动的地段设置拦截、疏导地下水或地表水的排水系统，确保潜在崩塌体的稳定。

## 12.5 泥石流

**12.5.1** 泥石流是由于降水（暴雨、融雪、冰川等）而发生在山区的一种挟带大量泥砂、石块等松散固体物质的特殊洪流。泥石流主要活跃于山区与山前地区，暴发突然，历时短暂，来势凶猛，具有巨大的破坏作用。

**12.5.2** 泥石流的形成与地形、地质、水文、气象、植被、地震、人类活动等因素有关。泥石流的形成应具备三个基本条件：

- 1 域内有丰富的松散物质的补给；
- 2 陡峻的地形和较大的沟床纵坡；
- 3 流动水（如暴雨、水库坝体溃决、急剧的融雪等），短时间可形成大量水流。

根据泥石流的形成特点，典型的泥石流流域可划分为三个区域，即泥石流的形成区、流通区和堆积区。泥石流流域三个区域的特征见表 12.5.2（《铁路工程地质手册》表 4-2-1）。

表 12.5.2 泥石流流域分区特征

分 区	特 征
形成区	泥石流形成地区。陡峻的山区，上游沟床纵坡陡，横坡大，平均约为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，汇水面积较宽，山坡裸露，松散固体物质储量丰富，常有滑坡、崩塌存在
流通区	泥石流通过地区。河床较顺直，纵坡较上游平缓，沟谷一般较窄，两侧山坡较稳定。通过区的长度一般较形成区短
堆积区	泥石流固体物质堆积地区。一般都是沟谷出口的地方，纵坡平缓，地形开阔，泥石流至此扩散，水流速度减弱，泥石大量堆积，常形成泥石流洪积扇或冲积锥

### 12.5.3 泥石流的分类

#### 1 根据流域特征分类

1) 标准型泥石流：流域呈扇形，能明显地分出形成区、流通区和堆积区。沟床下切作用强烈，滑坡、崩塌等发育，松散物质多，主沟坡度大，地表径流集中，泥石流的规模和破坏力较大。

2) 河谷型泥石流：流域呈狭长形，形成区不明显，松散物质主要来自中游地段，泥石流沿沟谷有堆积也有冲刷搬运，形成逐次搬运的“再生式泥石流”。

3) 山坡型泥石流：流域面积小，呈漏斗状，流通区不明显，形成区直接与堆积区相连，堆积作用迅速。由于汇水面积不大，水源一般不充沛，多形成重度大、规模小的泥石流。

#### 2 根据物质特征分类

##### 1) 按物质组成划分

- ① 泥流：以粘性土为主，砂粒、石块少量，粘度大，呈稠泥状。
- ② 泥石流：由大量的粘性土和粒径不等的砂粒、石块组成。
- ③ 水石流：以大小不等的石块、砂粒为主，粘性土含量较少。

##### 2) 按物质状态划分

① 粘性泥石流：含大量粘性土的泥石流或泥流，粘性大，固体物质占  $40\% \sim 60\%$ ，最高达  $80\%$ 。水不是搬运介质，而仅是组成物质，粘性稠度大，石块呈悬浮状态，爆发突然，持续时间短，破坏力大，堆积物在堆积区不散流，停积后石块堆积成“舌状”或“岗状”。

② 稀性泥石流：水为主要成分，粘性土含量少，固体物质占 10%~40%，有很大分散性。水为搬运介质，石块以滚动或跃移方式前进，有强烈的下切作用，堆积物在堆积区呈扇状散流，停积后似“石海”。

### 3 按规模分类

泥石流的规模按表 12.5.3-1(《岩土工程勘察设计手册》表 8.6-5)划分。

**表 12.5.3-1 泥石流按规模划分**

指 标 \ 类 型	特大型	大型	中型	小型
流域单位面积固体物质储量 ( $10^4\text{m}^3/\text{km}^2$ )	>100	10~100	5~10	<5
固体物质一次冲出量 ( $10^4\text{m}^3$ )	>10	5~10	1~5	<1
破坏范围及威力	最 大	大	中 等	小

### 4 泥石流工程分类

泥石流的工程分类按表 12.5.3-2 执行(《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 附录 C)。

**表 12.5.3-2 泥石流的工程分类和特征**

类别	泥石流特征	流域特征	亚类	严重程度	流域面积 ( $\text{km}^2$ )	固体物质一次冲出量 ( $10^4\text{m}^3$ )	流 量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	堆积区面积 ( $\text{km}^2$ )
I 高 频 率 泥 石 流 沟 谷	基本上每年均有泥石流发生。固体物质主要来源于沟谷的滑坡、崩塌。暴发雨强小于 $2\sim 4\text{mm}/10\text{min}$ 。除岩性因素外，滑坡、崩塌严重的沟谷多发生粘性泥石流，规模大，反之多发生稀性泥石流，规模小	多位于强烈抬升区，岩层破碎，风化强烈，山体稳定性差。泥石流堆积新鲜，无植被或仅有稀疏草丛。粘性泥石流沟中下游沟床坡度大于 4%	I <sub>1</sub>	严 重	>5	>5	>100	>1
			I <sub>2</sub>	中 等	1~5	1~5	30~100	<1
			I <sub>3</sub>	轻 微	<1	<1	<30	-
II 低 频 率 泥 石 流 沟 谷	暴发周期一般在 10 年以上。固体物质主要来源于沟床，泥石流发生时“揭床”现象明显。暴雨时坡面产生的浅层滑坡往往是激发泥石流形成的重要因素。暴发雨强，一般大于 $4\text{mm}/10\text{min}$ 。规模一般较大，性质有粘有稀	山体稳定性相对较好，无大型活动性滑坡、崩塌。沟床和扇形地上巨砾遍布，植被较好，沟床内灌木丛密布，扇形地多已辟为农田。粘性泥石流沟中下游沟床坡度小于 4%	II <sub>1</sub>	严 重	>10	>5	>100	>1
			II <sub>2</sub>	中 等	1~10	1~5	30~100	<1
			II <sub>3</sub>	轻 微	<1	<1	<30	-

注：1 表中流量对高频率泥石流沟指百年一遇流量；对低频率泥石流沟指历史最大流量；

2 泥石流的工程分类宜采用野外特征与定量指标相结合的原则，定量指标满足其中一项即可。

**12.5.4** 拟建工程场地或其附近有发生泥石流的条件并对工程安全有影响时，应进行专门的泥石流勘察（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.4.1 条）。

**12.5.5** 泥石流的勘察应在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明泥石流的形成条件和泥石流的类型、规模、发育阶段、活动规律，并对工程场地做出适宜性评价，提出防治方案的建议（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.4.2 条）。

**12.5.6** 泥石流的勘察应以工程地质测绘和调查为主，测绘范围应包括沟谷至分水岭的全部地段和可能受到泥石流影响的地段。测绘比例尺，对全流域宜采用 1:10000~1:50000；对中下游可采用 1:2000~1:10000；沟床纵断面图，横向 1:500~1:5000，竖向 1:100~1:500；沟床横断面图 1:200 或 1:500。

**12.5.7** 泥石流工程地质测绘和调查应包括下列内容：

**1 资料搜集**

- 1) 流域内的地形图；
- 2) 区域内的卫星图片和航空照片；
- 3) 本地的气象水文资料，特别是强降雨资料（每天最大降雨量，每小时最大降雨量，30 分钟最大降雨量，10 分钟最大降雨量）；
- 4) 区域地质与地震资料；
- 5) 区域内有无滑坡、崩塌体等；
- 6) 区域内有无泥石流发生的历史记载及其发生时间和频次；
- 7) 与泥石流有关的环境变化资料，包括兴修水利、道路、采矿弃渣、植被破坏等。

**2 现场测绘和调查**

- 1) 冰雪融化和暴雨强度、一次最大降雨量、平均及最大流量、地下水活动等情况；
- 2) 地形地貌特征，包括沟谷的发育程度、切割情况，坡度、弯曲、粗糙程度，并划分泥石流的形成区、流通区和堆积区，圈绘整个沟谷的汇水面积；
- 3) 形成区的水源类型、水量、汇水条件、山坡坡度，岩层性质和风化程度；查明断裂、滑坡、崩塌、岩堆等不良地质作用的发育情况及可能形成泥石流固体物质的分布范围和储量；
- 4) 通过区的沟床纵横坡度、跌水、急湾等特征；查明沟床两侧山坡坡度、稳定程度，沟床的冲淤变化和泥石流的痕迹；
- 5) 堆积区的堆积扇的分布范围，表面形态，纵坡，植被，沟道变迁和冲淤情况；查明堆积物的性质、层次、厚度、一般粒径和最大粒径；判断堆积区的形成历史、堆积速度，估算一次最大堆积量；
- 6) 泥石流沟谷的历史，历次泥石流的发生时间、频数、规模、形成过程，暴发前的降雨情况和暴发后产生的灾害情况；
- 7) 开矿弃渣、修路切坡、砍伐森林、陡坡开荒和过度放牧等人类活动情况；
- 8) 当地防治泥石流的经验；
- 9) 当地泥石流的监测情况；
- 10) 泥石流区域影响范围内建筑物（构筑物）的分布。

**12.5.8** 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、淤积量和下伏基岩的坡度。当采用钻探、井探方法查明泥石流沉积物的组成与厚度时，钻入基岩的深度应超过沟内最大块石直径的 3~5m。条件适合时也可采用物探方法。



### 12.5.9 泥石流有关参数的确定

#### 1 泥石流流体密度

1) 实测法: 在现场取泥石流流动时的代表性样品, 或用现场泥石流堆积物加水搅拌, 请当地泥石流暴发时的目睹者共同配制相当于泥石流状态的试件, 称重量, 并量其体积后, 按式(12.5.9-1) (《岩土工程勘察手册》公式 8.6-1) 求出泥石流流体的密度。

$$\rho = \frac{G}{V} \quad (12.5.9-1)$$

式中  $\rho$  —— 泥石流的密度 ( $\text{t/m}^3$ );

$G$  —— 样品质量 ( $\text{t}$ );

$V$  —— 样品体积 ( $\text{m}^3$ )。

2) 体积比法: 通过调查访问, 了解当时泥石流流体中固体物质和水的体积比, 按式(12.5.9-2) (《工程地质手册第三版》公式 6-3-1) 计算:

$$\rho_m = \frac{(G_m f + 1)\rho_w}{f + 1} \quad (12.5.9-2)$$

式中  $\rho_m$  —— 泥石流密度 ( $\text{t/m}^3$ );

$\rho_w$  —— 水的密度 ( $\text{t/m}^3$ );

$G_m$  —— 固体物质的比重, 一般取 2.4~2.7;

$f$  —— 固体物质体积和水的体积之比。

#### 2 泥石流流量

1) 形态调查法: 根据泥石流痕迹的高度和沟槽形态, 确定泥石流流过的断面大小, 按式(12.5.9-3) (《工程地质手册第三版》公式 6-3-2) 计算:

$$Q_m = F_m V_m \quad (12.5.9-3)$$

式中  $Q_m$  —— 泥石流流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$F_m$  —— 泥石流体的横断面面积 ( $\text{m}^2$ );

$V_m$  —— 泥石流流速 ( $\text{m/s}$ )。

2) 配方法: 按流体中水和固体物质的比例, 用在一定设计标准下可能出现的洪水流量, 加上按比例所需的固体物质体积配合而成的泥石流流量。按式(12.5.9-4) (《岩土工程勘察手册》公式 8.6-6) 计算:

$$Q_c = Q_w(1 + \varphi) \quad (12.5.9-4)$$

式中  $Q_c$  —— 设计泥石流流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_w$  —— 设计清水流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\varphi$  —— 泥石流流量增加系数, 按下式计算:

$$\varphi = \frac{\rho_c - \rho_w}{\rho_s - \rho_c}$$

$\rho_c$  —— 泥石流流体密度 ( $\text{t/m}^3$ );

$\rho_w$  —— 水的密度, 采用  $\text{t/m}^3$ ;

$\rho_s$  —— 泥石流流体中固体物质的密度，一般取  $2.4 \sim 2.7 \text{ t/m}^3$ 。

### 3 泥石流的堆积量

1) 平均厚度法：根据泥石流的沉积范围和平均厚度估算泥石流的堆积量。如式 (12.5.9-5) (《铁路工程地质手册》公式 4-2-7)。

$$W = F \cdot h \quad (12.5.9-5)$$

式中  $W$  —— 泥石流的堆积量 ( $\text{m}^3$ )；

$F$  —— 泥石流的堆积面积 ( $\text{m}^2$ )；

$h$  —— 泥石流堆积平均厚度 ( $\text{m}$ )。

2) 经验公式法：根据泥石流发生区域的降雨量和汇水面积估算泥石流的堆积量。如式 (12.5.9-6) (《铁路工程地质手册》公式 4-2-8)。

$$W = 1000H \cdot \alpha \cdot F \cdot p \quad (12.5.9-6)$$

式中  $W$  —— 泥石流的堆积量 ( $\text{m}^3$ )；

$F$  —— 有效汇水面积 ( $\text{km}^2$ )；

$H$  —— 引起泥石流的降雨量 ( $\text{mm}$ )；

$p$  —— 固体物质含量的百分数；

$\alpha$  —— 面流系数，山坡高度大于 2500m 取 0.5~0.7；高度为 1000~2500m 取 0.3~0.5；低于 1000m 取 0.1~0.3。

**12.5.10** 泥石流的工程性质评价应包括泥石流形成的物质条件、地形地貌条件、水文条件、植被发育状况、人类活动的影响。确定泥石流的形成条件、规模、活动特征、侵蚀方式、破坏方式，预测泥石流的发展趋势和危害程度，提出防治措施建议。泥石流地区工程建设适宜性评价，应符合下列要求 (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.4.6 条)：

1  $I_1$ 类和 $II_1$ 类泥石流沟谷不应作为工程场地，各类线路宜避开；

2  $I_2$ 类和 $II_2$ 类泥石流沟谷不宜作为工程场地，当必须利用时应采取治理措施；线路应避免直穿堆积扇，可在沟口设桥（墩）通过；

3  $I_3$ 类和 $II_3$ 类泥石流沟谷可利用堆积区作为工程场地，但应避开沟口；线路可在堆积扇通过，可分段设桥和采取排洪、导流措施，不宜改沟、并沟；

4 当上游大量弃渣或进行工程建设，改变了原有供排平衡条件时，应重新判定产生新的泥石流的可能性。

**12.5.11** 泥石流岩土工程勘察报告的编写应按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)第 14 章和第 5.4.7 条的规定执行。

### 12.5.12 泥石流防治工程建议

#### 1 泥石流防治的原则

1) 以防为主，防治结合，避强治弱，重点治理；

2) 综合治理，全面规划；

应与当地国土整治、资源开发、城乡建设、环境保护、植树造林、水土保持等紧密结合，统一考虑；

3) 治理方法技术可靠，经济合理，因地制宜，就地取材。

#### 2 泥石流预防措施

植树造林，种植草皮，防止水土流失。在泥石流可能发生的地段，修筑排水系统和防护工程。在易发生坍塌、滑坡的地段做好支挡工程。

#### 3 泥石流治理措施

在形成区以抑制泥砂产生为主，通过区以疏导为主，堆积区以排导为主。

### 12.5.13 泥石流的监测

1 泥石流的监测工作应遵循先进技术与简易方法相结合,专业监测与群众监测相结合的原则。

2 泥石流的监测应包括泥石流发育范围内松散物质的活动规律、不稳定边坡的地面变形情况和泥石流的发展变化,监测泥石流活动的发展趋势。

## 12.6 采空区

**12.6.1** 采空区指地下矿层被采掘后遗留下来的地下空间,分为老采空区、现采空区、未来采空区。

### 12.6.2 勘察目的和任务

1 采空区勘察目的在于判定存在采空区的场地建筑适宜性和对建筑物的危害程度,为防治提供地质依据。

2 采空区勘察主要任务如下:

- 1) 查明采空区的范围、埋藏深度、空间大小、顶板岩层厚度、地质构造特征;
- 2) 查明采空区顶板的管理办法、塌落情况和采空空间的充填程度;
- 3) 查明和预测采空区的地表移动、变形的特征、规律性和发展趋势,查明其诱发其他不良地质作用的类型、位置和规模及危害,提出防治措施;
- 4) 分析评价采空区上覆岩层的稳定性,判定采空区工程场地的适宜性。

### 12.6.3 勘察要点

采空区勘察以搜集资料,工程地质测绘和调查为主,当以上方法不能查明采空区特征时,应进行物探和钻探,必要时可采用定位观测方法,直接查明地表变化特征、变形规律的发展趋势。

#### 1 工程地质测绘和调查

1) 应以搜集资料为主,重点搜集各种地质图,了解采空区的地层结构、地质构造、水文地质条件;搜集矿床分布图,了解矿层的分布、层数、层厚、埋藏深度,已有采空区的分布范围、开采时间、开采方法,塌落时间、塌落情况,顶板处理措施及远景开采规划;搜集与地表变形有关的观测和计算资料,采空区内充填和积水情况,采空区附近抽水排水时对采空区变形的影响等;

2) 对由于矿体采空而引起地表移动盆地,应进行工程地质测绘,重点查清地表塌陷特征、塌陷范围、变形大小、稳定情况与发展趋势,地表陷坑、塌陷台阶、塌陷裂缝的位置、形状、规模、深度、延伸方向、发展趋势,地表变形与采空区、区域地质构造、开采边界、工作面推进方向的关系;地表塌陷引起的其他不良地质作用的类型、分布位置、规模等。

#### 2 勘探

1) 物探方法的选择应结合地形与采空区埋深及探测分布范围而定,可按表 12.6.3 (《公路工程地质勘察规范》JTJ064-98 表 7.8.1-1) 确定;

2) 在物探判定的采空区布置少量钻孔,验证物探成果,估算采空区体积,并进行岩土取样工作。钻探过程中应注意异常情况如掉钻、漏水、漏浆、有害气体溢出的观察与记录。

#### 3 测试工作

1) 对采空区上覆不同性质的岩、土层应分别取代表性试样进行物理力学性质试验,提供稳定性验算及工程设计所需参数;

2) 分别取地下水和地表水水样作水质分析;

3) 对煤层或可能储气部位,必要时应进行有害气体含量、压力的现场测试。

表 12.6.3

物探方法适用条件

地形情况	地 形 较 平 坦				地形起伏较大	
空间埋深	0~10m	10~40m	40~100m	100~200m	0~40m	40~200m
平面物探	微重力法		折射波	瞬变电磁法	射气法	瞬变电磁法
剖面物探	地质雷达	瑞利法	变密度电法	高分辨地震	瑞利波	井间 CT 法 (电磁波、弹性波)

#### 12.6.4 地表移动和变形预测

预计地表移动与变形时,根据我国矿山的实际情况,可从下列四种计算方法中选用:典型曲线法、负指数函数法、概率积分法和数值算法。

典型曲线法是用无因次曲线表示移动盆地主断面的下沉曲线,而倾斜、曲率、水平移动和水平变形曲线则是按它们之间或其与下沉之间的数学关系由下沉曲线导出的一种方法,它适用于矩形或近似矩形采空区的地表移动变形预计。负指数函数法是用负指数函数来表示地表下沉盆地剖面方程的方法,它用于计算矩形和近似矩形采空区的地表移动和变形。以下着重介绍概率积分法,其他计算方法详见《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》及有关书籍。

概率积分法是以正态分布函数为影响函数,用积分式表示地表下沉盆地剖面的方法。

半无限开采(充分采动)倾斜煤层(煤层倾角 $\alpha < 10^\circ$ )地表下沉盆地主断面的移动和变形值计算式如下:

1) 走向主断面上地表移动和变形值按下列公式(《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》公式 4-12~4-16)计算:

$$\text{下沉 } W(x) = W_{cm} \int_0^\infty \frac{1}{r} e^{-\pi \frac{(\eta-x)^2}{r^2}} d\eta \quad (12.6.4-1)$$

$$\text{倾斜 } i(x) = \frac{W_{cm}}{r} e^{-\pi \left(\frac{x}{r}\right)^2} \quad (12.6.4-2)$$

$$\text{曲率 } K(x) = -\frac{2\pi W_{cm}}{r^2} \left(\frac{x}{r}\right) e^{-\pi \left(\frac{x}{r}\right)^2} \quad (12.6.4-3)$$

$$\text{水平移动 } U(x) = b W_{cm} e^{-\pi \left(\frac{x}{r}\right)^2} \quad (12.6.4-4)$$

$$\text{水平变形 } \varepsilon(x) = -2\pi b \frac{W_{cm}}{r} \left(\frac{x}{r}\right) e^{-\pi \left(\frac{x}{r}\right)^2} \quad (12.6.4-5)$$

式中  $x$ ——计算点的坐标(m),坐标原点为计算边界(考虑拐点偏距)在地表的投影,坐标轴指向采空区方向为正,指向煤柱方向为负。

$r$ ——主要影响半径(m);  $r = \frac{H_0}{\tan \beta}$  ( $\tan \beta$  主要影响角正切);

b——水平移动系数。

2) 走向主断面上地表移动和变形最大值及其位置:

最大下沉值  $W_{cm} = Mq \cos \alpha$  (mm), 位置:  $x = \infty$

最大倾斜值  $i_{cm} = \frac{W_{cm}}{r}$  (mm/m), 位置:  $x = 0$

最大曲率值  $K_{cm} = 1.52 \frac{W_{cm}}{r^2}$  ( $10^{-3}/m$ ), 位置:  $x = \pm 0.4r$

最大水平移动值  $U_{cm} = bW_{cm}$  (mm), 位置:  $x = 0$

最大水平变形值  $\varepsilon_{cm} = 1.52b \frac{W_{cm}}{r}$ , mm/m, 位置  $x = \pm 0.4r$

式中  $q$ ——下沉系数;  $M$ —煤层法线开采厚度 (m)。

3) 倾斜主断面上地表移动和变形值计算。

倾斜主断面的下沉、倾斜和曲率值的计算式与式 (12.6.4-1~12.6.4-3) 基本相同, 仅

计算倾斜主断面上山一侧的移动变形值时, 以  $\frac{y}{r_1}$  代替  $\frac{X}{r}$ , 计算下山一侧的移动变形值时,

以  $\frac{y}{r_1}$  代替  $\frac{X}{r}$ 。

倾斜主断面的水平移动和水平变形值按下列公式 (《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》公式 4-17、4-18) 计算:

$$U_{1,2}(y) = U_{cm} e^{-\pi \left( \frac{y}{r_{1,2}} \right)^2} \pm W(y) c \tan \theta_0 \quad (12.6.4-6)$$

$$\varepsilon_{1,2}(y) = -2\pi \frac{U_{cm}}{r_{1,2}} \frac{y}{r_{1,2}} e^{-\pi \left( \frac{y}{r_{1,2}} \right)^2} \pm i(y) c \tan \theta_0 \quad (12.6.4-7)$$

式中  $r_{1,2}$ ——倾斜主断面下山边界的主要影响半径  $r_1$  和上山边界的主要影响半径  $r_2$  (m),

$$r_1 = \frac{H_1}{\tan \beta}, r_2 = \frac{H_2}{\tan \beta}。(\tan \beta \text{ 主要影响角正切})。$$

计算上山一侧的水平移动  $U_2(y)$  和水平变形值  $\varepsilon_2(y)$  时, 式 (12.6.4-6~12.6.4-7) 中对应的计算式右端第二项取负号, 计算下山一侧  $U_1(y)$  和  $\varepsilon_1(y)$  时, 取正号,  $y$  用  $y-L$  代替。  $L$  为采空区倾斜方向的计算长度。

倾斜主断面  $y$  坐标原点由下山计算边界 (考虑拐点偏距)。按开采影响传播角  $\theta$ , 作直线与地表的交点。

概率积分法的特定参数及一般参数可按表 12.6.4-1 及 12.6.4-2 (《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》附表 5-3) 取值。

**表 12.6.4-1 按覆岩性质区分的概率积分法特定参数（煤层倾角  $\alpha < 50^\circ$ ）**

覆岩类型	主要影响角 正切 $\tan\beta$	拐点偏距 $\frac{S}{H_0}$	开采影响传播角 $\theta_0$ （度）
坚 硬	1.2~1.91	0.31~0.43	$90^\circ - (0.7 \sim 0.8) \alpha$
中 硬	1.92~2.4	0.08~0.30	$90^\circ - (0.6 \sim 0.7) \alpha$
软 弱	2.41~3.54	0~0.07	$90^\circ - (0.5 \sim 0.6) \alpha$

**表 12.6.4-2 按覆岩性质区分的地表移动一般参数（煤层倾角  $\alpha < 50^\circ$ ）**

覆 岩 类 型	覆岩性质		下沉 系数 $q$	水平 移动 系数 $b$	移动角（度）			边界角（度）		
	主要岩性	单向抗 压强度 （MPa）			$\delta$	$\gamma$	$\beta$	$\delta_0$	$\gamma_0$	$\beta_0$
坚 硬	大部分以 中生代地层 硬砂岩、硬石 灰岩为主，其 它为砂质页 岩、页岩、辉 绿岩	>60	0.27~ 0.54	0.2~ 0.3	75~ 80	75~ 80	$\delta - (0.7 \sim 0.8) \alpha$	60~ 65	60~ 65	$\delta_0 - (0.7 \sim 0.8) \alpha$
中 硬	大部分以 中生代地层 中硬砂岩、石 灰岩、砂质页 岩为主。其它 为软砾岩、致 密泥灰岩、铁 矿石	30~60	0.55~ 0.84	0.2~ 0.3	70~ 75	70~ 75	$\delta - (0.6 \sim 0.7) \alpha$	55~ 60	55~ 60	$\delta_0 - (0.6 \sim 0.7) \alpha$
软 弱	大部分为 新生代地层 砂质页岩、页 岩、泥灰岩及 粘土、砂质粘 土等松散层	<30	0.85~ 1.0	0.2~ 0.3	60~ 70	60~ 70	$\delta - (0.3 \sim 0.5) \alpha$	50~ 55	50~ 55	$\delta_0 - (0.3 \sim 0.5) \alpha$

### 12.6.5 稳定性评价

在采空区建筑时，应根据地表移动特征、地表移动所处阶段、地表变形值的大小和上覆岩层的稳定性划分不宜建筑的地段、建筑场地适宜性应专门研究的地段和相对稳定可以建筑的地段。

1 不宜作为建筑场地的地段（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.5.5 条第 1 款）

1) 在开采过程中可能出现非连续变形的地段。当出现非连续变形时，地表将产生台阶、裂缝、塌陷坑，它对建筑物的危害要比连续变形的地段大得多；

2) 地表移动活跃的地段。地表移动活跃阶段内,各种变形指标达到最大值,是一个危险变形期,它对地面建筑物的破坏性很大;

3) 特厚矿层和倾角大于  $55^{\circ}$  的厚矿层露头地段。在开采急倾斜矿层时,它除了产生顶板方向的破坏外,采空区上边界以上的破坏范围也显著增大,而且随所采矿层厚度、倾角的增大,上边界所采矿层的破坏越来越严重。同时,开采急倾斜矿层时,采空区上边界矿层会发生抽冒,其抽冒高度严重者可达到地表(冒顶);

4) 由于地表移动和变形可能引起边坡失稳和山崖崩塌的地段;

5) 地表倾斜大于  $10\text{mm/m}$ ,地表曲率大于  $0.6\text{mm/m}^2$  或地表水平变形大于  $6\text{mm/m}$  的地段。上述地表变形值对砖石结构建筑物产生严重破坏,对工业建筑,其值也已超过容许值,有的已达到或接近极限值。

**2 建筑场地适宜性应专门研究的地段**(《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.5.5 条第 2 款)

1) 采空区采深采厚比小于 30 的地段;

2) 采深小、上覆岩层极坚硬并采用非正规开采方法的地段;

3) 地表倾斜为  $3\sim 10\text{mm/m}$ ,地表曲率为  $0.2\sim 0.6\text{mm/m}^2$  或地表水平变形为  $2\sim 6\text{mm/m}$  的地段。

**3 可作为建筑场地的相对稳定地段**

1) 已达充分采动,无重复开采可能的地表移动盆地的中间区;

2) 预计的地表变形值小于下列数值的地段:地表倾斜:  $3\text{mm/m}$ ;地表曲率:  $0.2\text{mm/m}^2$  或地表水平变形:  $2\text{mm/m}$ 。

**4 小窑采空区稳定性评价**

1) 地表陷坑、裂缝发育分布地段,属于不稳定地段,不适于建筑。在其附近建筑时,需有一定的安全距离,安全距离的大小视建筑物的性质而定,一般应大于  $5\sim 15\text{m}$ ;

2) 当采空区采深采厚比小于 30、建筑物在采空区影响范围以内时,可根据建筑物的基底压力、采空区埋深、范围和上覆岩层的性质等评价建筑物地基的稳定性。

## **12.6.6 防治措施建议**

**1 开采技术措施**

1) 保护矿柱留设

专门在井下留设矿柱,不予采出的,旨在保护其上方岩层和地表保护对象不受开采影响。

2) 采矿厚度

在一定条件下,减少一次采出厚度也是一项减少地表下沉及变形的开采措施。当开采煤层全厚预计的地表变形超过建筑物允许的地表变形,并且采取建筑物保护措施有困难,而减少开采厚度又可行时,就可使用这种开采措施。厚煤层分层开采时,控制每一分层的开采厚度,并使各个分层的回采保持足够的间隔时间,就可能安全采出建筑物压煤。

3) 协调开采

在条件允许的情况下,应实行协调开采。协调开采就是利用两个煤层(或分层)同时开采所产生的地表变形互相抵消的原理,来达到减少开采对地表的影响。

**2 建筑结构加固及抗变形措施**

1) 变形缝

设置变形缝就是将建筑物从屋顶至基础分成若干个彼此互不相连、长度较小、刚度较好、自成变形体系的独立单体。这样可以减小地基反力分布的不均匀对建筑物的影响,提高建筑物适应地表变形的能力,减少作用于建筑物的附加应力。

2) 钢拉杆

钢拉杆可承受地表正曲率变形和拉伸变形产生的拉应力,减少地表正曲率和拉伸变形对

建筑物墙壁的影响。

### 3) 钢筋混凝土圈梁

设置圈梁的作用在于增强建筑物整体性和刚度,提高砖石砌体的抗弯、抗剪和抗拉的程度,可在一定程度上防止或减少裂缝等破坏现象的出现。

### 4) 基础联系梁

当砖墙承重建筑物无内墙或内墙间距较大时,为减小纵墙基础圈梁所受到的横向弯距,提高建筑物的刚度,可每隔一定间距设置横向钢筋混凝土基础联系梁。

### 5) 钢筋混凝土锚固板

钢筋混凝土锚固板的作用很大,可以承受地表变形时产生的拉力和压力,保证锚固板水平以上的建筑物的几何形状不变。由于对现有建筑物增设锚固板的方法,在施工上往往很困难,造价也高,因此,只是在技术上可能、经济上合理和地表水平变形值较大的情况下才采用。

### 6) 堵砌门窗洞

当建筑物受到地表水平压缩变形和负曲率变形影响时,可采用堵砌门窗洞的办法,以提高墙壁抵抗地表负曲率变形和水平压缩变形的能力。

### 7) 变形补偿沟

变形补偿沟就是在建筑物周围的地表所挖掘的有一定深度的槽沟。其作用是吸收地表水平变形,以减少建筑物处地表的水平变形值,从而达到保护建筑物的目的。

### 8) 设置千斤顶调整基础

当受采动影响的地表发生不均匀下沉时,为使建筑物免受超过其承载能力的附加作用力的影响,可根据建筑物不均匀下沉的情况,及时采用千斤顶调整基础的水平。

### 9) 采用双板基础

当地表变形很大时,可采用双板基础,加强基础的刚度。

### 10) 合理规划建筑场地及确定建筑物结构型式。

## 3 小窑采空区处理措施

1) 回填或压力灌浆。回填材料可采用毛石混凝土、粉煤灰或砂、矸石。

2) 加强建筑物基础及上部结构刚度。

## 12.6.7 采空区岩土工程勘察报告的主要内容

1 论述场地工程地质条件、采空区分布情况及基本特征、变形特点和变形发展情况,评价采空区不同地段的稳定条件、变形规律及其对拟建物的危害程度。评价建筑场地稳定性及建筑适宜性。

2 论证由于采空区地表塌陷引起的斜坡失稳、山体崩塌等不良地质作用对拟建物的危害,并提出防治措施。

3 确定拟建物压矿数量,提出将来采矿体应采取的工程保护措施,或对已有建筑物应采取的保护措施。

4 采空区工程地质图件,除按一般标示内容外,还应标示出地表移动盆地、采空区的位置、充填情况及其分区界线、变形特征、地表塌陷引起的各种不良地质作用。

5 沿矿层走向、倾向的移动盆地最大下沉点主断面上,应有工程地质剖面图。

## 12.7 地面沉降

12.7.1 地面沉降是指由于抽吸地下水引起水位或水压下降,引起土层中孔隙水压力降低,土体中有效应力增加,土层产生固结变形,而造成大面积地面沉降,其主要工程危害有:



- 1 对环境的危害，如地面积水、潮水越堤上岸、地下管线破裂等；
- 2 对建筑工程的危害，如桥墩下沉，码头、仓库地坪下沉，建筑物倾斜等。

**12.7.2 地面沉降勘察的主要内容：（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.6.2 条）**

- 1 对已发生地面沉降的地区，地面沉降勘察应查明其原因和现状，并预测其发展趋势，提出控制和治理方案；
- 2 对可能发生地面沉降的地区，应预测发生的可能性，并对可能的沉降层位做出估计，对沉降量进行估算，提出预防和控制地面沉降的建议。

**12.7.3 对地面沉降原因，应调查下列内容：**

- 1 场地的地貌和微地貌，特别应注意第四纪冲积、湖积或浅海相沉积的平原或盆地，以及古河道、洼地、河间地块等微地貌，区别各种不同因素造成的地面沉降；
- 2 第四纪堆积物的年代、成因、厚度、埋藏条件和土性特征，硬土层和软弱压缩层的分布；必要时，可划分出不同的地面沉降的地质结构单元；
- 3 地下水位以下可压缩层的固结状态（土层的应力历史）和变形参数（压缩指数、回弹指数等）；
- 4 含水层和隔水层的埋藏条件和承压性质，含水层的渗透系数、单位涌水量等水文地质参数；
- 5 地下水的补给、径流、排泄条件，含水层间或地下水与地面水的水力联系；
- 6 历年地下水位、水头的变化幅度和速率；
- 7 历年地下水的开采量和回灌量，开采或回灌的层段；
- 8 地下水位下降漏斗及回灌时地下水反漏斗的形成和发展过程。

**12.7.4 对地面沉降现状的调查，应符合下列要求：（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.6.4 条）**

- 1 按精密水准测量要求进行长期观测，并按不同的结构单元设置高层基准标、地面沉降标和分层沉降标；
- 2 对地下水的水位升降，开采量和回灌量，化学成分，污染情况和孔隙水压力消散、增长情况进行观测；
- 3 调查地面沉降对建筑物的影响，包括建筑物的沉降、倾斜、裂缝及其发生时间和发展过程；
- 4 绘制不同时间的地面沉降等值线图，并分析地面沉降中心与地下水下降漏斗的关系及地面回弹与地下水位反漏斗的关系；
- 5 绘制以地面沉降为特征的工程地质分区图。

**12.7.5 对已发生地面沉降的地区，可根据工程地质和水文地质条件，建议采取下列控制和治理方案：（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.6.5 条）**

- 1 减少地下水开采量和水位降深，调整开采层次，合理开发，当地面沉降发展剧烈时，应暂时停止开采地下水；
- 2 对地下水进行人工补给，回灌时应控制回灌水源的水质标准，以防止地下水被污染；
- 3 限制工程建设中的人工降低地下水位。

**12.7.6 对可能发生地面沉降的地区应预测地面沉降的可能性和估算沉降量，并可采取下列预测和防治措施：（《岩土工程勘察规范》GB5001-2001 第 5.6.6 条）**

- 1 根据场地工程地质、水文地质条件，预测可压缩层的分布；
- 2 根据抽水压密试验、渗透试验、先期固结压力试验、流变试验、载荷试验等的测试成果和沉降观测资料，计算分析地面沉降量和发展趋势；
- 3 提出合理开采地下水资源，限制人工降低地下水位及在地面沉降区内进行工程建设应采取的措施的建议。

## 13 岩土工程评价

### 13.1 基本规定

**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,根据场地和地基的工程地质条件,结合拟建工程特点、工程设计、施工条件等,进行技术论证和分析评价,提出解决岩土工程问题的建议,并应具有很强的工程针对性。

**13.1.2** 岩土工程分析评价应在定性分析的基础上进行定量分析。岩土体的变形、强度和稳定性分析应定量分析;场地的适宜性、场地地质条件的稳定性,可仅作定性分析。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.1.3 条)

**13.1.3** 岩土工程的分析评价,应根据岩土工程勘察等级区别进行。对丙级岩土工程勘察,可根据邻近工程经验,结合触探和钻探取样试验资料进行;对乙级岩土工程勘察,应在详细勘探、测试的基础上,结合邻近工程经验进行,并提供岩土体的强度和变形指标;对甲级岩土工程勘察,除按乙级要求外,尚宜提供载荷试验资料,必要时应对其中的复杂问题进行专门研究,并结合监测对评价结论进行检验。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.1.5 条)

**13.1.4** 对理论依据不足,实践经验不多的岩土工程问题,可通过现场模型试验或足尺试验取得的实测数据进行评价;必要时,可建议进行现场监测、信息化施工和动态设计,逐步完善评价。

**13.1.5** 岩土工程评价依据

1 岩土工程评价必须明确所依据的技术标准,评价的内容和深度应符合所选用标准的技术要求;

2 岩土工程评价应充分考虑地方标准、地域特点和地方经验。

**13.1.6** 对岩土工程评价所依据的所有原始资料应进行整理、检查、鉴定、认定无误并签字验收后方可利用。

**13.1.7** 岩土工程评价工作内容

- 1 工程地质分层及岩土参数的统计分析;
- 2 场地稳定性适宜性评价;
- 3 场地地震效应评价;
- 4 地基均匀性评价;
- 5 地下水评价;
- 6 地基基础方案;
- 7 基坑工程;
- 8 其他相关问题。

### 13.2 工程地质分层及岩土参数统计分析

#### (I) 工程地质分层

**13.2.1** 建筑场地地基土层的划分是进行地基基础分析、计算的基础性工作。工程地质分层可优先考虑地方标准,工程地质分层应按顺序依下列原则进行:

- 1 按不同的地质年代、成因划分地层；
- 2 按岩性（包括特殊性岩土）分层，地层定名应与地层的特征物理指标相匹配，按粒径含量、塑性指数  $I_p$  及特殊性岩土指标等划分地层时，不宜将指标跨岩性的地层划分归入同一地层；
- 3 按岩土的物理力学性质分层，物理力学指标统计的变异系数  $\delta$  不能超标，否则应考虑地质分层的合理性；岩性相同但物理力学性质指标差异大的地层宜单独分层；
- 4 物理力学性质相近、岩性相邻的两类（不超过两类）土质可合并为一层，并以主岩性在前、副岩性在后冠名；
- 5 划分主层、亚层  
揭露的地层中含有其他岩性地层时，应划分出主层和亚层：
  - 1) 地层厚度大于 0.5m 时应单独分层；
  - 2) 地层相间呈韵律沉积时：  
层厚比值  $\geq 1/3$  时定互层；  
层厚比值  $1/3 \sim 1/10$  时定夹层；  
层厚比值  $\leq 1/10$  时定夹薄层；
  - 3) 混合土应冠以主要含有土类定名（如粘土中混有碎石土时定名为含碎石粘土或粘土混碎石）。

## （II） 岩土参数统计分析

**13.2.2** 进行岩土参数的分析时，应掌握场地的宏观地质背景、工程地质和水文地质条件，考虑岩土性质的非均质性、各向异性和随时间的变化，合理评估岩土特性指标的变异性，提供各层岩土参数建议值。

**13.2.3** 岩土参数应根据工程特点、地质条件和岩性选用，并按下列内容评价其可靠性和适用性。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.2.1 条）

- 1 取样方法和其他因素对试验结果的影响；
- 2 采用的试验方法和取值标准；
- 3 不同试验方法所得结果的分析比较；
- 4 测试结果的离散程度；
- 5 测试方法与计算模型的配套性。

**13.2.4** 分析统计时，一般情况下应提供岩土参数的平均值、数据分布范围（最大值、最小值）、标准差、变异系数和参与统计的样本数量，并应以表格的形式分层列出。

**13.2.5** 岩土参数统计应符合下列要求：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.2.2 条）

- 1 岩土的物理力学性质指标，应按场地的工程地质单元和层位分别统计；
- 2 应按下列公式计算平均值、标准差、变异系数：

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (13.2.5-1)$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n \phi_i \right)^2}{n} \right]} \quad (13.2.5-2)$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \tag{13.2.6-3}$$

式中  $\phi_m$  —— 岩土参数的平均值；

$\sigma_f$  —— 岩土参数的标准差；

$\delta$  —— 岩土参数的变异系数。

3 分析数据的分布情况并说明数据的取舍标准。

**13.2.6** 岩土参数的标准值  $\phi_k$  可按下列公式确定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.2.4 条）

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \tag{13.2.6-1}$$

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

式中  $\gamma_s$  —— 统计修正系数。

注：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。

统计修正系数  $\gamma_s$  也可按岩土工程的类型和重要性、参数的变异性和统计数据的个数，根据经验选用。

**13.2.7** 承载能力极限状态计算所需的岩土参数标准值，应按式（13.2.6-1）（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 式（14.2.4-1））计算；当设计规范另有专门规定的标准值取值方法时，可按有关规范执行。（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 14.2.5 条第 2 款）

**13.2.8** 各主要地层统计样本数量不应少于 6 个。

**13.2.9** 岩土参数的变异系数不应超过允许值（见表 13.2.9），否则应分析原因、调整分层或删除异常值：

**表 13.2.9 岩土变异系数允许值**

指 标	变 异 系 数 $\delta$	备 注
压缩模量 $E_s$	0.35	—
孔隙比 $e$	0.10	—
内摩擦角 $\varphi$	0.25	—
粘聚力 $c$	0.30	不排水
轻型动力触探锤击数 $N_{10}$	0.35	—
标准贯入试验锤击数 $N$	0.30	—

注：1 人工填土或样本数量少于 6 个时，可不计算变异系数；

2 变异系数超过表中数值时，应重新考虑分层的合理性。

### 13.3 场地稳定性适宜性评价

### **13.3.1 建筑场地稳定性适宜性评价的内容**

- 1 场地构造稳定性；
- 2 场地不良地质作用和地质灾害；
- 3 边坡稳定性；
- 4 适宜性评价。

**13.3.2** 在对建筑场地进行可行性研究和初步勘察取得阶段性成果的基础上,对海河岸坡和山丘边坡场地稳定性做出评价;对存在不良地质作用的场地进行稳定性评价,提出治理方案,必要时应建议进行专项地质勘察和治理工作。

### **13.3.3 场地构造稳定性评价 (详见第 9.4 节)**

- 1 确定拟建工程场区或附近是否存在影响工程建设场地稳定性的全新活动断裂；
- 2 查明断裂的位置和类型,分析其活动性和地震效应,评价断裂对工程建设可能产生的影响并提出处理措施；
- 3 必要时应建议进行专项断裂勘察。

### **13.3.4 不良地质作用和地质灾害 (详见第 12 章)**

- 1 确定拟建工程场区或附近是否存在影响工程安全的不良地质作用；
- 2 对存在不良地质作用的场地应评价不良地质作用的性质、规模、影响程度及处理措施；
- 3 必要时应建议进行专项不良地质作用勘察和治理工作。

### **13.3.5 边坡稳定性评价 (详见第 11.5 节)**

- 1 所有边坡的稳定性均应进行定性评价,其稳定性低于或接近稳定标准(即其稳定系数低于或接近稳定安全系数)的边坡应进行定量评价；
- 2 提供边坡稳定性分析所需计算参数；
- 3 对不稳定边坡提出治理措施建议。

### **13.3.6 适宜性评价**

在上述场地构造稳定性、场地不良地质作用和地质灾害、边坡稳定性评价的基础上对工程建设场地进行适宜性评价。

## **13.4 场地地震效应评价**

### **13.4.1 场地和地基的地震效应评价主要包括下列内容 (详见第 9 章):**

- 1 应确定建筑场地的地理位置以便核查确定相关地震参数；
- 2 在抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区,应进行场地和地基地震效应的岩土工程勘察,并应根据国家批准的地震动参数区划和有关的规范,提出勘察场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计特征周期分区; (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.1 条)
- 3 在抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区进行勘察时,应划分场地类别,划分对抗震有利、不利或危险地段; (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.2 条)
- 4 确定场地地震液化判别所依据的地震烈度和地下水位条件；
- 5 场地地震液化判别应先进行初步判别,当初步判别认为有液化可能时,应再作进一步判别。液化的判别宜采用多种方法,综合判定液化可能性和液化等级; (《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.6 条)
- 6 凡判别为可液化的土层,应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011)的规定确定其液化指数和液化等级。

勘察报告除应阐明可液化的土层、各孔的液化指数外,尚应根据各孔液化指数综合确定

场地液化等级；（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 5.7.10 条）

7 依据建筑物的抗震设防类别和地基的液化等级，提出地基抗液化措施的建议。

### 13.5 地基均匀性评价

13.5.1 地基均匀性评价主要是根据地基的均匀程度对工程产生的影响是否在允许范围内来评价的。可以定性评价，也可以定量评价。

13.5.2 符合下列情况之一者，应判定为不均匀地基。对判定为不均匀的地基，应进行沉降、差异沉降、倾斜等特征分析评价，并提出相应建议。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 8.2.4 条）

- 1 地基持力层跨越不同地貌单元或工程地质单元，工程特性差异显著；
- 2 地基持力层虽属于同一地貌单元或工程地质单元，但遇下列情况之一：
  - 1) 中-高压缩性地基，持力层底面或相邻基底标高的坡度大于 10%；
  - 2) 中-高压缩性地基，持力层及其下卧层在基础宽度方向上的厚度差值大于 0.05*b*（*b*为基础宽度）。

3 同一高层建筑虽处于同一地貌单元或同一工程地质单元，但各处地基土的压缩性有较大差异时，可在计算各钻孔地基变形计算深度范围内当量模量的基础上，根据当量模量最

大值  $\bar{E}_{smax}$  和当量模量最小值  $\bar{E}_{smin}$  的比值判定地基均匀性。当  $\frac{\bar{E}_{smax}}{\bar{E}_{smin}}$  大于地基不均匀系数界

限值 *K* 时，可按不均匀地基考虑。*K* 值见表 13.5.2（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 表 8.2.4）。

表 13.5.2 地基不均匀系数界限值 *K*

同一建筑物下各钻孔压缩模量当量 值 $\bar{E}_s$ 的平均值（MPa）	≤4	7.5	15	>20
不均匀系数界限值 <i>K</i>	1.3	1.5	1.8	2.5
注：在地基变形计算深度范围内，某一个钻孔的压缩模量当量值 $\bar{E}_s$ 应根据平均附加应力系数在各层土的层位深度内积分值 <i>A</i> 和各土层压缩模量 <i>E<sub>si</sub></i> 按下式计算： $\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}}$				

### 13.6 地下水评价

13.6.1 地下水的评价应包括：（详见第 8 章）

- 1 分层评价各层地下水的类型及其埋深、标高；
- 2 评述各含水层岩性；
- 3 评述地下水补给、排泄条件及动态变化；
- 4 分析评价地下水对建筑材料的腐蚀性；

- 5 提供历史上和近 3~5 年最高地下水位的埋深及标高；
- 6 评价地下水对建设工程的影响，提出相应的技术措施及建议。

## 13.7 地基基础方案

**13.7.1** 地基基础方案评价应在充分了解拟建项目的设计条件（建筑体型、层数、荷载大小和分布情况、地下室层数及基础底标高、相邻建筑基础情况）前提下，根据建筑场地工程地质条件和水文地质条件，结合工程经验，考虑施工条件、材料供应以及地区抗震设防烈度等因素，对天然地基、地基处理和桩基础进行评价，经过分析比较，提出安全、可行、经济的一种或几种地基基础方案。

### （I）天然地基

**13.7.2** 天然地基评价应包括：

- 1 持力层的选择；
- 2 地基承载力评价；
- 3 地基变形评价。

**13.7.3** 应综合拟建建筑物设计条件及地基土质情况确定天然地基的持力层。当基底土质与建议的持力层局部有差异时，应提出处理意见，明确处理的方法、处理范围、使用材料、质量控制和检验的具体要求以及应遵循的技术标准。

**13.7.4** 对建筑群或基础设计埋深不同的单栋建筑物宜针对设计条件明确相应的基础埋置深度和标高并建议相应的地基持力层土质。

**13.7.5** 应依据土工试验和原位测试等指标提供与地基方案有关的地层承载力；对非单一土质地基尚应根据直接持力层和主要受力层性状并结合工程经验综合确定地基承载力建议值。

**13.7.6** 当需要进行地基变形验算时，应提供变形验算所需的参数，预测建筑物的变形特征并提出相关措施和建议。

**13.7.7** 高层建筑筏形和箱形基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定要求。位于岩石地基上的高层建筑，其基础埋深应满足抗滑要求。建议相应的地基持力层及标高。

**13.7.8** 在同一整体大面积基础上建有多栋高层和低层建筑，当可能产生较大的变形差时，应建议进行专项协同分析，按照上部结构、基础与地基的共同作用进行变形计算。

**13.7.9** 天然地基评价，当遇下列情况宜绘制分区图：

1 基础底面工程地质分区图。建筑基础置于同一标高，但地质单元不同、持力层土质不同或承载力不同时，宜绘制基础底面工程地质分区图。报告中应分析提供各分区持力层土质和承载力；

2 当建筑基础埋置标高不同时，宜绘制基础埋置标高分区图或持力层起始标高分区图。报告中应提供各分区的持力层土质及其承载力，对需进行局部地基处理部位提出处理措施及建议。

**13.7.10** 地基承载力计算及软弱下卧层强度验算

在确定地基承载力时，应根据土质条件选择现场载荷试验、室内试验、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验或旁压试验等原位测试方法，结合理论计算和设计需要进行综合评价。特殊土的地基承载力评价应根据特殊土的相关规范和地区经验进行。岩石地基应根据国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 划分和评定岩石坚硬程度、岩体完整程度、风化程度和岩体基本质量等级，其承载力特征值应按国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007

有关规定确定。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 8.2.5 条）

(i) 地基承载力计算

1 当偏心距  $e$  小于或等于 0.033 倍基础底面宽度时，根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值可按式计算，并应满足变形要求：（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.2.5 条）

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k \tag{13.7.10-1}$$

式中  $f_a$  —— 由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值；

$M_b$ 、 $M_d$ 、 $M_c$  —— 承载力系数，按表 13.7.10-1 确定；

$b$  —— 基础底面宽度，大于 6m 时按 6m 取值，对于砂土小于 3m 时按 3m 取值；

$d$  —— 基础埋置深度（m）；

$\gamma$ 、 $\gamma_m$  —— 分别为基础底面以下土的重度和基础地面以上土的加权平均重度，地下水位以下取浮重度。

$c_k$  —— 基底下一倍短边宽深度内土的粘聚力标准值。

表 13.7.10-1 承载力系数  $M_b$ 、 $M_d$ 、 $M_c$

土的内摩擦角标准值 $\varphi_k$ (°)	$M_b$	$M_d$	$M_c$
0	0	1.00	3.14
2	0.03	1.12	3.32
4	0.06	1.25	3.51
6	0.10	1.39	3.71
8	0.14	1.55	3.93
10	0.18	1.73	4.17
12	0.23	1.94	4.42
14	0.29	2.17	4.69
16	0.36	2.43	5.00
18	0.43	2.72	5.31
20	0.51	3.06	5.66
22	0.61	3.44	6.04
24	0.80	3.87	6.45
26	1.10	4.37	6.90
28	1.40	4.93	7.40
30	1.90	5.59	7.95
32	2.60	6.35	8.55
34	3.40	7.21	9.22



续表

土的内摩擦角标准值 $\varphi_k$ (°)	$M_b$	$M_d$	$M_c$
36	4.20	8.25	9.97
38	5.00	9.44	10.80
40	5.80	10.84	11.73

注： $\varphi_k$ ——基底下—倍短边宽深度范围内土的内摩擦角标准值。

**2** 天然地基极限承载力可按式估算：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 A.0.1 条）

$$f_u = \frac{1}{2} N_\gamma \zeta_\gamma b \gamma + N_q \zeta_q \gamma_0 d + N_c \zeta_c c_k \quad (13.7.10-2)$$

式中  $f_u$  —— 地基极限承载力 (kPa)；

$N_\gamma$ 、 $N_q$ 、 $N_c$  —— 地基承载力系数，根据地基持力层代表性内摩擦角  $\varphi_k$  (°)，按表 13.7.10-2 确定；

$\zeta_\gamma$ 、 $\zeta_q$ 、 $\zeta_c$  —— 基础形状修正系数，按表 13.7.10-3 确定；

$b$ 、 $l$  —— 分别为基础（包括箱形基础和筏形基础）底面的宽度与长度，当基础宽度大于 6m 时，取  $b = 6m$ ；

$\gamma_0$ 、 $\gamma$  —— 分别为基底以上和基底组合持力层的土体平均重力密度 (kN/m<sup>3</sup>)；位于地下水位以下且不属于隔水层的土层取浮重力密度；当基底土层位于地下水位以下但属于隔水层时， $\gamma$  可取天然重力密度；如基底以上的地下水与基底高程处的地下水之间有隔水层，基底以上土层在计算  $\gamma_0$  时可取天然重力密度；

$d$  —— 基础埋置深度 (m)，应根据不同情况按下列规定选取：（1）一般自室外地面高程算起；对于地下室采用箱形或筏形基础时，自室外天然地面起算；采用独立柱基或条形基础时，从室内地面起算；（2）在填方整平地区，可自填土地面起算；但若填方在上部结构施工后完成时，自填方前的天然地面起算；（3）当高层建筑周边附属建筑为超补偿基础时，宜分析和考虑周边附属建筑基底压力低于土层自重压力的影响；

$c_k$  —— 地基持力层代表性粘聚力标准值 (kPa)。

**3** 除应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定确定地基承载力特征值  $f_{ak}$  和修正后的地基承载力特征值  $f_a$  外，还可按附录 A（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 附录 A）估算地基极限承载力  $f_u$ ，除以安全系数  $K$  确定实际基础下地基持力层承载力特征值  $f_a$ ， $K$  值应根据建筑安全等级和土性参数的可靠性在 2~3 之间选取。计算  $f_a$  时，应根据基底下的地层组合条件并结合地区经验综合确定地基持力层的代表性内摩擦角标准值  $\varphi_k$  和代表性粘聚力标准值  $c_k$ 。（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 8.2.7

条)

表 13.7.10—2

极限承载力系数

$\varphi_k$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\varphi_k$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.86
25	20.72	10.66	10.88				
注：表中： $N_q = e^{\pi \tan \varphi_k} \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2})$ $N_c = (N_q - 1) \cot \varphi_k$ $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi_k$							

表 13.7.10—3

基础形状系数

基础形状	$\zeta_\gamma$	$\zeta_q$	$\zeta_c$
条形	1.00	1.00	1.00
矩形	$1 - 0.4 \frac{b}{l}$	$1 + \frac{b}{l} \tan \varphi_k$	$1 + \frac{b}{l} \frac{N_q}{N_c}$
圆形或方形	0.60	$1 + \tan \varphi_k$	$1 + \frac{N_q}{N_c}$

4 当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，从载荷试验或其它原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值，尚应按下式修正：（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.2.4 条）：

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \tag{13.7.10-3}$$

式中  $f_a$  —— 修正后的地基承载力特征值；

$f_{ak}$  —— 地基承载力特征值，按本规范第 5.2.3 条（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.2.3 条）的原则确定；

$\eta_b$ 、 $\eta_d$  —— 基础宽度和埋深的地基承载力修正系数，按基底下土的类别查表 13.7.10-4（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 表 5.2.4）取值；

$\gamma$  —— 基础底面以下土的重度，地下水位以下取浮重度；

$b$  —— 基础底面宽度（m），当基宽小于 3m 按 3m 取值，大于 6m 按 6m 取值；

$\gamma_m$  —— 基础底面以上土的加权平均重度，地下水位以下取浮重度；

$d$  —— 基础埋置深度（m），一般自室外地面标高算起。在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起。对于地下室，如采用箱形基础或筏形基础时，基础埋置深度自室外地面标高算起；当采用独立基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

表 13.7.10-4 承载力修正系数

土 的 类 别		$\eta_b$	$\eta_d$
淤泥和淤泥质土		0	1.0
人工填土 $e$ 或 $I_L$ 大于等于 0.85 的粘性土		0	1.0
红粘土	含水比 $a_w > 0.8$	0	1.2
	含水比 $a_w \leq 0.8$	0.15	1.4
大面积 压实填土	压实系数大于 0.95、粘粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土	0	1.5
	最大干密度大于 $2.1\text{t/m}^3$ 的级配砂石	0	2.0
粉 土	粘粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土	0.3	1.5
	粘粒含量 $\rho_c < 10\%$ 的粉土	0.5	2.0
$e$ 及 $I_L$ 均小于 0.85 的粘性土		0.3	1.6
粉砂、细砂（不包括很湿与饱和时的稍密状态）		2.0	3.0
中砂、粗砂、砾砂和碎石土		3.0	4.4

注：1 强风化和全风化的岩石，可参照所风化成的相应土类取值，其他状态下的岩石不修正；  
2 地基承载力特征值按本规范附录 D（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 附录 D）深层平板载荷试验确定时  $\eta_d$  取 0。

(ii) 软弱下卧层强度验算

5 当地基受力层范围内有软弱下卧层时，应按下式验算：（《建筑地基基础设计规范》

GB50007-2002 第 5.2.7 条)

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (13.7.10-4)$$

式中  $p_z$  —— 相应于荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值；

$p_{cz}$  —— 软弱下卧层顶面处的自重压力值；

$f_{az}$  —— 软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值。

对条形基础和矩形基础，式 (13.7.10-4) (《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 (式 5.2.7-1)) 中的  $p_z$  值可按下列公式简化计算：

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (13.7.10-5)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (13.7.10-6)$$

式中  $b$  —— 矩形基础或条形基础底边的宽度；

$l$  —— 矩形基础底边的长度；

$p_c$  —— 基础底面处土的自重压力值；

$z$  —— 基础底面至软弱下卧层顶面的距离；

$\theta$  —— 地基压力扩散线于垂直线的夹角，可按表 13.7.10-5 (《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 表 5.2.7) 采用。

**表 13.7.10-5 地基压力扩散角  $\theta$**

$E_{s1} / E_{s2}$	$z/b$	
	0.25	0.5
3	6°	23°
5	10°	25°
10	12°	30°

注：1  $E_{s1}$  为上层土压缩模量、 $E_{s2}$  为下层土压缩模量；

2  $z/b < 0.25$  时取  $\theta = 0^\circ$ ，必要时，宜由试验确定； $z/b > 0.5$  时  $\theta$  值不变。

### 13.7.11 地基变形的计算

地基变形计算及计算深度的确定应符合《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002 第 5.3 节) 的规定。

1 建筑物的地基变形计算值，不应大于地基变形允许值；(《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.1 条)

2 地基变形特征可分为沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜；(《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.2 条)

3 在计算地基变形时,应符合下列规定: (《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.3 条第 1 款)

由于建筑地基不均匀、荷载差异很大、体型复杂等因素引起的地基变形,对于砌体承重结构应由局部倾斜值控制;对于框架结构和单层排架结构应由相邻柱基的沉降差控制;对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜值控制;必要时尚应控制平均沉降量;

4 建筑物的地基变形允许值,按表 13.7.11-1 (《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 表 5.3.4) 规定采用。对表中未包括的建筑物,其地基变形允许值应根据上部结构对地基变形的适应能力和使用上的要求确定。(《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.4 条)

表 13.7.11-1 建筑物的地基变形允许值

变 形 特 征	地 基 土 类 别	
	中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜	0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差		
(1) 框架结构	$0.002l$	$0.003l$
(2) 砌体墙填充的边排柱	$0.0007l$	$0.001l$
(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	$0.005l$	$0.005l$
单层排架结构 (柱距为 6m) 柱基的沉降量 (mm)	(120)	200
桥式吊车轨面的倾斜 (按不调整轨道考虑)		
纵向		0.004
横向		0.003
多层和高层建筑的整体倾斜		
$H_g \leq 24$		0.004
$24 < H_g \leq 60$		0.003
$60 < H_g \leq 100$		0.0025
$H_g > 100$		0.002
体形简单的高层建筑基础的平均沉降量 (mm)		200
高耸结构基础的倾斜		
$H_g \leq 20$		0.008
$20 < H_g \leq 50$		0.006
$50 < H_g \leq 100$		0.005
$100 < H_g \leq 150$		0.004
$150 < H_g \leq 200$		0.003
$200 < H_g \leq 250$		0.002
高耸结构基础的沉降量 (mm)		
$H_g \leq 100$		400
$100 < H_g \leq 200$		300
$200 < H_g \leq 250$		200

注: 1 本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值;

2 有括号者仅适用于中压缩性土;

3  $l$  为相邻柱基的中心距离 (mm);  $H_g$  为自室外地面起算的建筑物高度 (m);

4 倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值;

5 局部倾斜指砌体承重结构延纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

5 箱形和筏形基础的允许沉降量和允许整体倾斜值应根据建筑物的使用要求及其对相邻建筑物可能造成的影响按地区经验确定。但横向整体倾斜计算值  $\alpha_T$  在非抗震时应符合下式要求 (《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》(JGJ6-99) 第 4.0.10 条):

$$\alpha_T \leq B / (100H_g) \quad (13.7.11-1)$$

式中  $B$  —— 箱形或筏形基础宽度；

$H_g$  —— 建筑物高度，指室外地面至檐口高度。

6 计算地基变形时，地基内的应力分布，可采用各向同性均质线性变形理论。其最终变形量可按下式计算：（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.5 条）

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (13.7.11-2)$$

式中  $s$  —— 地基最终变形量（mm）；

$s'$  —— 按分层总和法计算出的地基变形量；

$\psi_s$  —— 沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定，无地区经验时可采用表 13.7.11-2（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 表 5.3.5）的数值；

$n$  —— 地基变形计算深度范围内所划分的土层数；

$p_0$  —— 对应于荷载效应准永久组合时的基础底面处的附加压力（kPa）；

$E_{si}$  —— 基础底面下第  $i$  层土的压缩模量（MPa），应在土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算；

$z_i$ 、 $z_{i-1}$  —— 基础底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离（m）；

$\bar{a}_i$ 、 $\bar{a}_{i-1}$  —— 基础底面计算点至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面范围内平均附加应力系数，可按《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 附录 K 采用。

表 13.7.11-2

沉降计算经验系数  $\psi_s$

基底附加压力 $\bar{E}_s$ (MPa)	2.5	4.0	7.0	15.0	20.0
$p_0 \geq f_{ak}$	1.4	1.3	1.0	0.4	0.2
$p_0 \leq 0.75 f_{ak}$	1.1	1.0	0.7	0.4	0.2

注： $\bar{E}_s$  为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，按下式计算

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}}$$

式中： $A_i$  为第  $i$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

7 当采用土的压缩模量计算箱形和筏形基础的最终沉降量  $s$  时，可按下式计算：（《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ6-99 第 4.0.6 条）

$$s = \sum_{i=1}^n (\psi' \frac{p_c}{E_{si}'} + \psi_s \frac{p_0}{E_{si}})(z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (13.7.11-3)$$

式中  $s$  —— 最终沉降量；

$\psi'$  —— 考虑回弹影响的沉降计算经验系数，无经验时取  $\psi' = 1$ ；

$\psi_s$  —— 沉降计算经验系数，按地区经验采用；当缺乏地区经验时，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007）的有关规定采用；

$p_c$  —— 基础底面处地基土的自重压力标准值；

$p_0$  —— 长期效应组合下的基础底面处的附加压力标准值；

$E_{si}'$ 、 $E_{si}$  —— 基础底面下第  $i$  层土的回弹再压缩模量和压缩模量，按本规范第 3.3.1 条（《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ6-99 第 3.3.1 条）试验要求取值；

$n$  —— 沉降计算深度范围内所划分的地基土层数；

$z_i$ 、 $z_{i-1}$  —— 基础底面至第  $i$  层、第  $i-1$  层底面的距离；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$  —— 基础底面计算点至第  $i$  层、第  $i-1$  层底面范围内平均附加应力系数，按《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ6-99 附录 A 采用。

沉降计算深度可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007）确定。

**8** 地基变形计算深度  $z_n$ ，应符合下式要求：（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.6 条）

$$\Delta s_n' \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s_i' \quad (13.7.11-4)$$

式中  $\Delta s_i'$  —— 在计算深度范围内，第  $i$  层土的计算变形值；

$\Delta s_n'$  —— 在由计算深度向上取厚度为  $\Delta z$  的土层计算变形值， $\Delta z$  按表 13.7.11-3（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 表 5.3.6）确定

表 13.7.11-3		$\Delta z$		
$b$ (m)	$b \leq 2$	$2 < b \leq 4$	$4 < b \leq 8$	$8 < b$
$\Delta z$ (m)	0.3	0.6	0.8	1.0

**9** 当无相邻荷载影响，基础宽度在 1~30m 范围内时，基础中点的地基变形计算深度也可按下列简化公式计算：（《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 5.3.7 条）

$$z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) \quad (13.7.11-5)$$

式中  $b$ ——基础宽度 (m)。

在计算深度范围内存在基岩时,  $Z_n$  可取至基岩表面; 当存在较厚的坚硬粘性土层, 其孔隙比小于 0.5、压缩模量大于 50MPa, 或存在较厚的密实砂卵石层, 其压缩模量大于 80MPa 时,  $Z_n$  可取至该层土表面。

## (II) 桩基础评价

### 13.7.12 桩基础评价内容

#### 1 应进行评价的基本内容

- 1) 评价桩端持力层, 提出可能采用的桩型、规格及相应的桩端入土深度 (或高程);
- 2) 提供可能采用桩型的单桩承载力和变形参数, 估算单桩承载力;
- 3) 对欠固结土及有大面积堆载的工程, 应分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其影响;
- 4) 分析成桩可能性、桩基施工对环境的影响以及设计、施工应注意的问题等其他内容。

#### 2 专题评价的内容

根据工程特殊要求, 对桩土相互作用及桩基础与上部结构协同工作等其他问题进行专题评价。

### 13.7.13 桩端持力层评价

桩端持力层的评价主要是在充分考虑建筑物承载力与沉降要求、成桩可能性等因素的基础上, 对合理深度范围内的岩土层性质、厚度及均匀性进行分析与评价, 提供可选的桩端持力层。

桩端持力层一般要求具有良好的工程性质、较大的厚度及较好的均匀性, 宜选择层位稳定、压缩性较低的可塑~坚硬状态粘性土、中密以上的粉土、砂土、碎石土、残积土及不同风化程度的基岩。可液化土层、湿陷性土层和软弱土层等不得作为桩端持力层。

对持力层厚度的要求, 一方面为保证桩基稳定性, 考虑承载力要求, 桩端应插入持力层一定深度; 另一方面要注意软弱下卧层强度及桩基沉降与不均匀问题。桩端全断面进入持力层的深度, 对于粘性土、粉土不宜小于  $2d$  ( $d$  为桩径), 对于砂土不宜小于  $1.5d$ , 对于碎石类土及强风化岩不宜小于  $1d$ , 对于中、微风化岩不宜小于  $0.5m$ , 对于灰岩或其他未风化硬质岩可适当减少, 但不宜小于  $0.2m$ 。当存在软弱下卧层时, 桩端以下硬土层的厚度不宜小于  $4d$ 。对于桩端持力层为基岩时, 还应注意其下有无软弱层、断裂带、洞穴等, 桩端下应力分布范围内有无岩体临空面。

桩端持力层评价可参考《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94) 第 3.2.3.5 条和《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004) 第 8.3.4 条等要求进行。

### 13.7.14 桩型选择

桩型选择与桩基参数主要是在桩端持力层评价的基础上, 提出可选的桩型与工艺, 并针对可选用的桩型, 提供相应的侧阻力、端阻力和桩基设计、施工所需的其他岩土参数。

桩型与工艺选择应根据建筑结构类型、荷载性质、桩的使用功能、穿越土层、桩端持力层土类、地下水位、施工设备、施工环境、施工经验、制桩材料供应条件等, 选择经济合理、安全适用的桩型和成桩工艺。选择时可参考《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94) 附录 A 和《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004) 第 8.3.5 条。

### 13.7.15 桩基承载力和变形参数

岩土工程勘察提供的桩基参数主要是估算单桩承载力和计算桩基变形的岩土参数, 应针对选择的桩型, 根据岩土物理力学室内试验、原位测试有关指标, 依据当地静载荷试验资料



和工程经验综合确定。

### 1 承载力参数

单桩承载力参数主要包括单桩竖向承载力、水平承载力，岩土工程勘察一般应提供估算单桩竖向抗压承载力的侧阻力和端阻力，工程特殊要求时还应提供估算单桩竖向抗拔承载力和水平承载力的岩土参数。提供的承载力参数应标明是特征值还是极限值。

由土的室内试验物理指标估算单桩竖向抗压极限承载力的侧阻力和端阻力参数可参考《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)表 5.2.8。

采用静力触探单桥测试成果 ( $p_s$ ) 或双桥测试成果 ( $q_c$ 、 $f_{si}$ ) 估算预制桩单桩竖向抗压极限承载力的侧阻力和端阻力参数可参考《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004)附录 C。

采用标准贯入测试成果 (实测击数) 估算预制桩、沉管灌注桩单桩竖向抗压极限承载力的侧阻力和端阻力参数可参考《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004)附录 D。

采用旁压试验成果 (旁压曲线的极限压力  $p_L$ ) 估算预制桩和灌注桩单桩竖向抗压极限承载力的侧阻力和端阻力参数可参考《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004)第 8.3.13 条。

### 2 变形参数

变形参数一般应提供桩基最终沉降量估算所需的岩土参数，工程特殊需要时还应提供桩基水平位移计算的岩土参数。

当需估算桩基最终沉降量时，应提供室内试验岩土试样压缩曲线、在有效自重压力至有效自重压力与附加压力之和段的压缩模量值。对无法或难以采取岩土试样进行室内试验时，可根据原位测试成果结合地区经验确定并提供岩土土的压缩模量值。对于一般粘性土、粉土、砂土，土的压缩模量与静力触探、标准贯入试验、旁压试验等成果指标的关系可参考《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004)表 F.0.2。

计算桩基水平变形的岩土参数主要是地基土水平抗力系数的比例系数  $m$ ，宜通过单桩水平静载荷试验确定，可参考《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)表 5.4.4。

## 13.7.16 单桩承载力估算

1 根据工程要求，一般应进行单桩竖向抗压承载力估算，根据工程的特殊要求进行单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力等估算；

### 2 单桩竖向抗压承载力估算

单桩承载力应通过现场静载荷试验确定。单桩承载力可根据桩的侧阻力和端阻力参数采用经验公式法估算。单桩竖向抗压承载力特征值  $R_a$  为单桩竖向抗压极限承载力  $Q_u$  除以 2，即：

$$R_a = Q_u / K \quad (13.6.10)$$

式中： $R_a$  —— 单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)；

$Q_u$  —— 单桩竖向抗压极限承载力 (kN)；

$K$  —— 安全系数， $K = 2$ 。

单桩竖向抗压极限承载力  $Q_u$  可按《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)公式 (5.2.8) 估算，供初步设计使用。

## 13.7.17 桩基最终沉降量估算

桩基最终沉降量估算方法可采用实体深基础法 (适用于桩距不大于  $6d$  情况)、明德林应

方法、应用原位测试指标的计算方法以及各种弹性与弹塑性理论等其他方法。

实体深基础法和明德林应力法应按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)附录 R 进行。

根据地区经验采用原位测试指标进行桩基沉降计算的方法参照《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004)附录 F 规定的方法进行。

### **13.7.18 成桩可能性与桩的施工条件及对周围环境的影响等问题评价**

预制桩沉桩可能性可根据岩土力学性质、桩身强度、沉桩设备等因素,结合工程经验或试验进行综合判定。大直径挖孔桩成孔时,要充分考虑松软地层成孔问题。

对钢筋混凝土预制桩、挤土成孔的灌注桩等要评价挤土效应和打桩引起的振动问题。特别是在饱和软粘土中沉入大量、密集的挤土桩时,将产生很高的超孔隙水压力和挤土效应,从而对周围已成的桩和已有建筑物、地下管线等产生危害。

灌注桩施工中的泥浆排放产生的污染以及挖孔桩排水造成的地下水位下降和地面沉降,对周围环境都可以产生不同程度的影响,应予分析和评价。

## **(III) 地基处理评价**

### **13.7.19 地基处理评价主要包括下列内容:**

- 1 地基处理的必要性和可行性;
- 2 地基处理方案的建议;
- 3 地基处理范围及深度的建议;
- 4 根据建议的地基处理方案,提供地基处理设计和施工所需的岩土参数;
- 5 预测所选地基处理方法对环境及邻近建筑物的影响;
- 6 提出地基处理注意事项;
- 7 任务需要时,可进行地基处理专门试验研究,并提交相应试验研究报告。

**13.7.20** 地基处理除应满足工程设计要求外,尚应做到因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源等。(《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 1.0.3 条)

**13.7.21** 在选择地基处理方案时,应根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建筑物的影响等因素进行综合分析,充分考虑上部结构、基础和地基的共同作用,并经过技术经济比较,选用经济合理的处理地基方案。

**13.7.22** 地基处理评价应提供建议处理方案设计及施工所需要的岩土参数。各岩土参数可按现行《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007)等有关规定及地区经验确定。

**13.7.23** 地基处理后的承载力及变形应满足设计要求。当地基处理范围以下存在软弱下卧层时,应按现行《建筑地基基础设计规范》(GB50007)进行下卧层承载力验算。地基处理深度范围内地层及下卧层地基变形值应按现行《建筑地基基础设计规范》(GB50007)有关规定计算,其中复合地基的压缩模量可根据地区经验确定。

**13.7.24** 对大型的、重要的或场地地层复杂或缺少工程经验的工程,在正式施工前应通过现场试验确定处理效果。

**13.7.25** 换填垫层法适用于浅层软弱地基及不均匀地基的处理。(《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 4.1.1 条)对于较深厚的软弱土层,当仅用垫层局部置换上层软弱土层时,下卧软弱土层在荷载下的长期变形可能依然较大。换填垫层可选用下列材料:级配砂石、粉质粘土、灰土、粉煤灰、矿渣、其他工业废渣和土工材料等。对湿陷性黄土地基,不得选用砂石等透水材料。

**13.7.26** 预压法包括堆载预压法和真空预压法。预压法适用于处理淤泥质土、淤泥和冲填土的饱和粘性土地基。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 5.1.1 条）

**13.7.27** 强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。强夯置换法适用于高饱和度的粉土与软塑~流塑的粘性土等地基上对变形控制要求不严的工程。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 6.1.1 条）

**13.7.28** 强夯置换法在设计前必须通过现场试验确定其适用性和处理效果。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 6.1.2 条）

**13.7.29** 振冲法适用于处理砂土、粉土、粉质粘土、素填土和杂填土等地基。对于处理不排水抗剪强度不小于 20kPa 的饱和粘性土和饱和黄土地基，应在施工前通过现场试验确定其适用性。不加填料振冲加密适用于处理粘粒含量不大于 10% 的中砂、粗砂地基。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 7.1.1 条）

**13.7.30** 砂石桩法适用于挤密松散砂土、粉土、粘性土、素填土、杂填土等地基。对饱和粘土地基上对变形控制要求不严的工程也可采用砂石桩置换处理。砂石桩法也可用于处理可液化地基。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 8.1.1 条）

**13.7.31** 水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）法适用于处理粘性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 9.1.1 条）

**13.7.32** 夯实水泥土桩法适用于处理地下水位以上的粉土、素填土、杂填土、粘性土等地基。处理深度不宜超过 10m。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 10.1.1 条）

**13.7.33** 水泥土搅拌法分为深层搅拌法（以下简称湿法）和粉体喷搅法（以下简称干法）。水泥土搅拌法适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、粘性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。当地基土的天然含水量小于 30%（黄土含水量小于 25%）、大于 70% 或地下水的 pH 值小于 4 时不宜采用干法。冬季施工时，应注意负温对处理效果的影响。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 11.1.1 条）

**13.7.34** 水泥土搅拌法用于处理泥炭土、有机质土、塑性指数  $I_p$  大于 25 的粘土、地下水具有腐蚀性时以及无工程经验的地区，必须通过现场试验确定其适用性。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 11.1.2 条）

**13.7.35** 高压喷射注浆法适用于处理淤泥、淤泥质土、流塑、软塑或可塑粘性土、粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基。

当土中含有较多的大粒径块石、大量植物根茎或有较高的有机质时，以及地下水流速过大和已涌水的工程，应根据现场试验结果确定其适用性。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 12.1.1 条）

**13.7.36** 石灰桩法适用于处理饱和粘性土、淤泥、淤泥质土、素填土和杂填土等地基；用于地下水位以上的土层时，宜增加掺合料的含水量并减少生石灰用量，或采取土层浸水等措施。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 13.1.1 条）

**13.7.37** 灰土挤密桩法和土挤密桩法适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基，可处理地基的深度为 5~15m。当以消除地基土的湿陷性为主要目的时，宜选用土挤密桩法。当以提高地基土的承载力或增强其水稳性为主要目的时，宜选用灰土挤密桩法。当地基土的含水量大于 24%、饱和度大于 65% 时，不宜选用灰土挤密桩法和土挤密桩法。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 14.1.1 条）

**13.7.38** 柱锤冲扩法适用于处理杂填土、粉土、粘性土、素填土和黄土等地基，对地下水位以下饱和松软土层，应通过现场试验确定其适用性。地基处理深度不宜超过 6m，复合地基承载力特征值不宜超过 160kPa。（《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 15.1.1 条）

**13.7.39** 单液硅化法和碱液法适用于处理地下水位以上渗透系数为 0.10~2.00m/d 的湿陷性黄土等地基。在自重湿陷性黄土场地，当采用碱液法时，应通过试验确定其适用性。（《建

筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 16.1.1 条)

**13.7.40** 注浆法适用于处理砂土、粉土、粘性土和人工填土等地基。(《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 第 17.0.1 条)

## **13.8 基坑工程**

**13.8.1** 基坑工程勘察应针对以下内容进行分析,提供有关计算参数和建议:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.8.10 条)

- 1 边坡的局部稳定性、整体稳定性和坑底抗隆起稳定性;
- 2 坑底和侧壁的渗透稳定性;
- 3 挡土结构和边坡可能发生的变形;
- 4 降水效果和降水对环境的影响;
- 5 开挖和降水对邻近建筑物和地下设施的影响。

**13.8.2** 岩土工程勘察报告中与基坑工程有关的部分应包括下列内容:(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 4.8.11 条)

- 1 与基坑开挖有关的场地条件、土质条件和工程条件;
- 2 提出处理方式、计算参数和支护结构选型的建议;
- 3 提出地下水控制方法、计算参数和施工控制的建议;
- 4 提出施工方法和施工中可能遇到的问题的防治措施的建议;
- 5 对施工阶段的环境保护和监测工作的建议。

**13.8.3** 基坑开挖(《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ6-99 第 6.4 节)

1 在下列情况下,基坑开挖时应采取支护措施:

- 1) 深度较大不具备自然放坡施工条件;
- 2) 地基土质松软,并有地下水或丰富上层滞水;
- 3) 基坑开挖危及邻近建(构)筑物、道路及地下管线的安全与使用。

2 基坑支护结构应根据当地工程经验,综合考虑水文地质条件、基坑开挖深度、场地条件及周围环境因地制宜进行设计。

3 在场地宽阔,不影响邻近建筑、周围地下构筑物或地下管线的情况下,宜采用放坡开挖,并根据稳定性分析确定坡度。

4 当采用机械开挖基坑时,应保留 200~300mm 土层由人工挖除。

5 基坑边的施工荷载不得超过设计规定的荷载值;

6 开挖深基坑时,宜布置地面和坑内排水系统。

7 冬期施工时,必须采取有效措施,防止地基土的冻胀。

8 基坑开挖完成并经验收后,应立即进行基础施工,防止暴晒和雨水浸泡造成地基土破坏。

**13.8.4** 当基坑底下存在高水头的承压含水层时,应评价坑底土层的隆起或产生突涌的可能性。(《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 5.0.6 条第 8 款)

**13.8.5** 基坑支护结构选型:支护结构可根据基坑周边环境、开挖深度、工程地质与水文地质、施工作业设备和施工季节等条件,按《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99)表 3.3.1 选用。

**13.8.6** 对复杂基坑应建议进行专项基坑工程勘察的分析评价。

**13.8.7** 地下水控制评价应包括下列内容:

- 1 当地下水位较高时,宜分析场地地下水与邻近地面水体的补给、排泄条件、判明地

面水体与地下水的连通关系和对场地地下水水位、基坑涌水量的影响；在详细分析周边环境和场地水文地质条件基础上，应对地下水控制措施（降水或截水等）提出明确结论和建议；

**2** 在地下水位下开挖基坑或地下工程时，应根据岩土渗透性、地下水补给条件，分析评价降水或隔水措施的可行性及其对基坑稳定和邻近工程的影响；（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 7.3.2 条第 6 款）

**3** 若建议采取降水措施，应提供水文地质计算有关参数，估算基坑涌水量，并建议降水井、回灌井的位置和深度；（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 8.7.5 条）

**4** 提出施工方法和施工中可能遇到的问题的防治措施的建议。

**13.8.8** 地下水控制方法分为集水明排、降水、截水和回灌等形式，可单独或组合使用，并宜按表 13.8.8 和基坑所处的环境条件选用。

**表 13.8.8 地下水控制方法及适用条件**

适用条件 降水井类型		土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
集水明排		填土、粘性土、粉土、砂土	<20.0	<5
降水	真空井点	粉质粘土、粉土、细砂、中细砂	0.1~20.0	单级<6 多级<12
	喷射井点	粉土、砂土	0.1~20.0	<20
	管井	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土、岩石	>1	不限
	渗井	粉质粘土、粉土、粉细砂、碎石土	>0.1	不限
	辐射井	粉砂、细砂、中砂、粗砂、卵石和粘性土	>0.1	不限
截水		粘性土、粉土、砂土、碎石土、岩石	不限	不限
回灌		填土、粉土、砂土、碎石土	0.1~20.0	不限

**13.8.9** 对于弱透水地层中的浅基坑，当基坑环境简单、含水层较薄、水量较小、降水深度较小，且不易产生流砂、流土、潜蚀、管涌、淘空、塌陷等现象时，可考虑采用集水明排；在其他情况下宜采用降水、截水措施或截水-降水综合措施。

**13.8.10** 当降水影响基坑及周边环境正常使用的安全或对地下水资源产生较大影响时，宜采用截水或回灌方法。回灌可采用同层回灌或异层回灌，异层回灌应考虑上层水导入下层水时可能引起的地下水水质的变化。

**13.8.11** 降水工程相关建议：

基坑工程中采取降低地下水位的措施应满足下列要求：（《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004 第 5.0.7 条）

- 1** 施工中地下水位应保持在基坑底面下 0.5~1.5m；
- 2** 降水过程中应防止渗透水流的不良作用；
- 3** 深层承压水可能引起突涌时，应采取降低基坑下的承压水头的减压措施；
- 4** 应对可能影响的既有建（构）筑物、道路和地下管线等设施进行监测，必要时，应采取防护措施；

5 降水过程中应采取有效措施，防止土颗粒的流失。

**13.8.12** 当场地水文地质条件复杂，在基坑开挖过程中需要对地下水进行治理（降水或隔渗）时，应进行专门的水文地质勘察。

## **13.9 其他相关问题**

**13.9.1** 其他相关问题的评价与建议包括但不限于本节内容。

**13.9.2** 评价内容限定条件

对勘察报告提出的地基基础方案，应说明所建议的方案适用条件。

**13.9.3** 基坑检验

勘察工作仅依据勘探点进行，难以揭示整个场区地层分布情况，故应要求业主适时通知勘察单位配合设计、施工等单位进行基坑检验。

**13.9.4** 遇有下列情况应要求业主适时通知勘察单位进行补充勘探和试验工作，以完善勘察评价：

- 1 勘探工作由于受场地条件局限，个别钻孔未能施钻；
- 2 存在有待进一步查明的地质问题；
- 3 建筑设计条件（位置、平面布置、高度、层数、基础埋深等）发生变更。

**13.9.5** 在季节性冻土地区，应提供场地土的标准冻结深度。

**13.9.6** 当设计室外地坪比自然地面高出很多，需进行大量填土时，则建议考虑新填土重力引起的沉降量对建筑物的影响，并尽可能在施工前先行填土至设计室外地面标高。

**13.9.7** 当采用人工填土作为地基持力层时，宜建议考虑人工填土的特点采取技术措施（如按湿陷性地基采取相应措施进行设计等）。

**13.9.8** 环境影响

1 岩土工程勘察不仅要评价建设场地的现状，还要预测今后的发展趋势。工程建设对环境会产生重大影响，在一定程度上干扰地质作用的动态平衡。大填大挖，加载卸载，蓄水排水，都会影响场地的工程地质环境，应对此进行评价，并提出相关建议；

2 基坑开挖，降水对邻近的建筑物、构筑物、道路、地下管线等都将产生影响，应对设计、施工时有关安全问题提出建议；

3 对桩基施工产生的震动、泥浆排污等可能影响环境问题应进行评价，提出预防措施。

## 14 勘察报告编写

### 14.1 基本规定

**14.1.1** 岩土工程勘察报告是在原始资料整理、检查和分析基础上编制的勘察成果文件,应做到资料完整、评价正确、建议合理。详勘阶段勘察报告应能作为施工图设计和施工的依据。

**14.1.2** 勘察报告应有完成单位的公章(法人行政章或资料专用章),应有法人代表(或其授权人)和项目的主要负责人签章。图表均应有完成人、检查人或审核人签字。各种室内试验和原位测试,其成果应有试验人、检查人或审核人签字,当测试、试验项目委托其他单位完成时,受托单位提交的成果还应有该单位公章、单位负责人签章。(《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 2.0.9 条)

**14.1.3** 勘察报告的编写内容,应根据勘察阶段、任务要求、场地地质条件、工程特点确定,应有明确的针对性。勘察报告一般由文字部分和图表构成。文字与图表内容应协调一致。

**14.1.4** 勘察报告应采用计算机辅助编制。勘察文件的文字、标点、术语、代号、符号、数字均应符合有关规范、标准。(《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 2.0.8 条)

**14.1.5** 勘察报告应有良好的装帧,文字部分幅面宜采用 A3 或 A4,篇幅较大时可分册装订。装订应符合下列次序要求:(《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 2.0.10 条)

- 1 封面和扉页:标识勘察报告名称、工程编号、勘察阶段、编写单位、提交日期、主要负责人等;
- 2 目次;
- 3 文字部分;
- 4 图表;
- 5 附件(需要时)。

### 14.2 文字部分

**14.2.1** 岩土工程勘察报告文字部分主要包括:

- 1 勘察工作概况;
- 2 工程地质条件与地下水;
- 3 岩土工程评价;
- 4 结论与建议。

**14.2.2** 必要时,可以将与项目勘察有关的专题报告或资料作为附件。

**14.2.3** 勘察工作概况主要包括:

- 1 拟建工程概况;
- 2 勘察目的、任务要求和依据的技术标准;
- 3 勘察方法和勘察工作布置及其完成情况。

**14.2.4** 勘察报告在叙述拟建工程概况时,应写明工程名称、委托单位、勘察阶段、位置、拟建工程设计条件。拟建工程设计条件包括:各拟建项目排序编号、各项目(包括纯地下构筑物)性质、平面尺寸、地上地下层数、高度、荷载、变形控制要求、结构类型、设计室内( $\pm 0.00$ )及室外地坪标高、基础类型、基础埋深和砌置标高;各建筑项目及其基础间的相

互关联情况；拟建建筑物与已建建筑物地基基础之间可能存在的相互影响问题。必要时应将各拟建项目按照上述各设计条件以表格形式逐一列出。

**14.2.5** 勘察报告在叙述勘察目的、任务要求和依据的技术标准时，应以勘察任务书或勘察合同为依据。依据的技术标准应为有效版本、适用于拟建工程。

**14.2.6** 在叙述勘察方法及勘察工作完成情况时，应包括下列内容：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 3.1.3 条）

- 1 工程地质测绘或调查的范围、面积、比例尺以及测绘、调查的方法；
- 2 勘探点的布置原则、勘探方法及完成工作量；
- 3 原位测试的种类、数量、方法；
- 4 采用的取土器和取土方法、取样（土样、岩样和水样）数量；
- 5 岩土室内试验和水（土）质分析的完成情况；
- 6 测量系统及引测依据。

**14.2.7** 在叙述场地工程地质条件时主要包括以下内容：

- 1 场地地形、地貌、地质构造；
- 2 场地各层岩土的类型、分布、工程特性，岩石的产状、结构和风化情况；
- 3 埋藏的河道、浜沟、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物；
- 4 地下水的描述与评价。

**14.2.8** 在叙述场区地形、地貌和地质构造时应包括下列内容：

- 1 场地已有工程及其与拟建工程关系等环境情况；
- 2 场地地面高程、坡度、倾斜方向；
- 3 场地地貌单元、微地貌形态、切割及自然边坡稳定情况；
- 4 不良地质作用及地质灾害的种类、分布、发育阶段、发展趋势及对工程的影响；
- 5 基岩面的起伏，出露基岩的产状，断层的性质、证据、类型。

**14.2.9** 土的鉴定应在现场描述的基础上，结合室内试验的开土记录和试验结果综合确定。土层的描述应符合下列规定：（《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 3.3.7 条）

- 1 碎石土应描述颗粒级配、颗粒形状、颗粒排列、母岩成分、风化程度、充填物的性质和充填程度、密实度等；
- 2 砂土应描述颜色、矿物组成、颗粒级配、颗粒形状、粘粒含量、湿度、密度等；
- 3 粉土应描述颜色、包含物、湿度、密实度、摇振反应、光泽反应、干强度、韧性等；
- 4 粘土应描述颜色、状态、包含物、光泽反应、摇震反应、干强度、韧性、土层结构等；
- 5 特殊性土除应描述上述相应土类规定的内容外，尚应描述其特殊成分和特殊性质；如对淤泥尚需描述臭味，对填土尚需描述物质成分、堆积年代、密实度和厚度的均匀程度等；
- 6 对具有互层、夹层、夹薄层特征的土，尚应描述各层的厚度和层理特征。

**14.2.10** 场地地下水的描述与评价包括下列内容：

- 1 地下水的类型、埋深、标高及其动态变化幅度；
- 2 提供历史最高水位、近 3~5 年最高地下水位，并说明地下水的补给、径流和排泄条件，地下水与地表水的补排关系，是否存在对地下水和地表水的污染源和污染程度；
- 3 分析评价地下水（土）对建筑材料的腐蚀性；
- 4 评价地下水对建设工程的影响，提供地下水评价参数，提出相应的技术措施及建议。

**14.2.11** 岩土工程评价的内容包括（详见第 13 章）：

- 1 工程地质分层及岩土参数的统计分析；
- 2 场地稳定性适宜性评价；
- 3 场地地震效应评价；



- 4 地基均匀性评价;
- 5 地下水评价;
- 6 地基基础方案;
- 7 基坑支护;
- 8 其他相关问题的建议。

**14.2.12** 岩土分层应在检查、整理钻孔（探井）记录的基础上，结合工程地质测绘与调查资料、室内试验和原位测试成果进行。（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 3.2.2 条）

**14.2.13** 勘察报告的统计指标主要包括：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 3.3.1 条）

- 1 岩土的天然密度、天然含水量;
- 2 粉土、粘性土的孔隙比;
- 3 粘性土的液限、塑限、液性指数和塑性指数;
- 4 土的压缩性、抗剪强度等力学特征指标;
- 5 岩石的吸水率、单轴抗压强度等指标;
- 6 特殊性岩土的各种特征指标;
- 7 静力触探的比贯入阻力、锥尖阻力、侧壁摩阻力，标准贯入试验和圆锥动力触探试验的锤击数及其他原位测试指标。

**14.2.14** 勘察报告应按岩土层提供各项试验指标的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和统计数量。当统计数据差异较大时，应分析其原因，并进行适当的取舍，必要时重新分层统计。（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 3.3.2 条）

**14.2.15** 建筑场地稳定性适宜性评价包括下列内容：

- 1 场地构造稳定性;
- 2 场地不良地质作用和地质灾害;
- 3 边坡稳定性;
- 4 适宜性评价。

**14.2.16** 不良地质作用和地质灾害评价包括下列内容：

- 1 明确是否存在影响场地稳定的不良地质作用和地质灾害;
- 2 对存在不良地质作用和地质灾害的场地，应评价不良地质作用的性质、规模、影响程度及处理措施;
- 3 必要时应建议进行专项不良地质作用勘察和治理工作。

**14.2.17** 边坡稳定性评价（详见第 11.5 节）

- 1 对可能影响场地和地基稳定的边坡进行判定（定性或定量）;
- 2 提供边坡稳定性分析所需计算参数;
- 3 对不稳定边坡提出治理措施建议;
- 4 必要时应建议进行边坡勘察和治理工作。

**14.2.18** 在抗震设防烈度等于或大于 6 度的地区，应进行场地和地基的地震效应评价，主要包括下列内容（详见第 9 章）：

- 1 根据建筑场地的地理位置提供场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组;
- 2 根据场地覆盖层厚度及等效剪切波速划分场地类别;
- 3 根据实际需要划分对抗震有利、不利或危险的地段;
- 4 存在饱和砂土和饱和粉土的场地，当场地抗震设防烈度为 7 度和 7 度以上时应进行液化判别。抗震设防烈度为 6 度时，可不考虑液化的影响，但对沉降敏感的乙类建筑，可按

7 度进行液化判别；

5 确定场地地震液化判别所依据的地震烈度和地下水位条件；经过初判和详判分析确定场地的液化趋势；

6 凡判别为可液化的土层，应计算各孔的液化指数，并根据各孔液化指数综合确定场地液化等级；

7 依据建筑物的抗震设防类别和地基的液化等级，提出地基抗液化措施的建议；

8 对抗震条件复杂的场地可根据工程需要建议进行专门的分析评价。

**14.2.19** 地基均匀性评价主要是根据地基的均匀程度对工程产生的影响是否在允许范围内来评价的。可以定性评价，也可以定量评价。

**14.2.20** 地基基础方案评价应在充分了解拟建项目的设计条件（建筑体型、荷载大小和分布情况、相邻建筑基础情况）前提下，根据建筑场地工程地质条件和水文地质条件，结合工程经验，考虑施工条件、材料供应以及地区抗震烈度等因素，对天然地基、桩基础和地基处理进行评价，经过分析比较，提出安全、可行、经济的一种或几种地基基础方案。

**14.2.21** 天然地基评价应包括：

- 1 采用天然地基的适宜性；
- 2 建议地基持力层；
- 3 提供地基承载力；存在软弱下卧层的，提供验算软弱下卧层计算参数；
- 4 需进行地基变形计算时，提供变形计算参数，预测建筑物的变形特征。

**14.2.22** 桩基础评价主要包括下列内容：

- 1 采用桩基的适宜性；
- 2 可选的桩基类型、桩端持力层建议；
- 3 桩基设计及施工所需的岩土参数；
- 4 对欠固结土及有大面积堆载的工程，应分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其影响；
- 5 分析成桩可能性、桩基施工对环境的影响以及设计、施工应注意的问题等其他内容。

**14.2.23** 地基处理评价主要包括下列内容：

- 1 地基处理的适宜性；
- 2 地基处理方案的建议；
- 3 地基处理范围及深度的建议；
- 4 根据建议的地基处理方案，提供地基处理设计和施工所需的岩土参数；
- 5 提出地基处理注意事项；
- 6 任务需要时，可进行地基处理专门试验研究，并提交相应试验研究报告。

**14.2.24** 基坑工程的分析评价主要包括下列内容：

- 1 岩土的重度和抗剪强度指标的标准值等参数，并说明抗剪强度的试验方法；
- 2 基坑开挖与支护方案的建议；
- 3 地下水计算参数和控制方法的建议；
- 4 当场地水文地质条件复杂，在基坑开挖过程中需要对地下水进行治理（降水或隔渗）时，宜提出进行专门水文地质勘察的建议；
- 5 施工中可能遇到的问题及防治措施的建议；
- 6 施工阶段的环境保护和监测工作的建议。
- 7 对重大工程、复杂基坑应建议进行专项的勘察和分析评价。

**14.2.25** 结论与建议主要包括下列内容：

- 1 勘察报告中岩土工程评价的重要结论的简明阐述；
- 2 勘察报告应提供的重要参数（如季节性冻土的地区，提供场地土的标准冻结深度等）；
- 3 勘察报告遗留问题的处理建议（如个别未完成勘探工作、验槽等）；

- 4 工程施工对环境的影响及防治措施的建议;
- 5 工程设计施工应注意的问题;
- 6 其他相关建议。

## 14.3 图表

**14.3.1** 勘察报告应根据勘察要求、工程及场地条件、勘探、原位测试、室内试验等工作情况合理编制图表。相关内容可参考《岩土工程勘察报告编制标准》CECS99:98 及本章节相关内容。

**14.3.2** 勘察报告应附下列图表: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 2.0.5 条)

- 1 建筑物与勘探点平面位置图;
- 2 工程地质剖面图;
- 3 原位测试成果图表;
- 4 室内试验成果图表。

**14.3.3** 勘察报告可根据需要附下列图表: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 2.0.6 条)

- 1 区域地质图;
- 2 综合工程地质图;
- 3 工程地质分区图;
- 4 地下水等水位线图;
- 5 基岩面(或其他层面)等值线图;
- 6 设定高程岩性分布切面图;
- 7 综合柱状图;
- 8 钻孔(探井)柱状图(未纳入工程地质剖面图的必须附柱状图);
- 9 探井(探槽)展示图;
- 10 勘探点主要数据一览表;
- 11 岩土利用、整治、改造方案的有关图表;
- 12 岩土工程计算简图及计算成果图表;
- 13 其他需要的图表。

**14.3.4** 勘察报告的图件应有图例,图例可在图中表示,也可单页表示。(《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.1.1 条)

**14.3.5** 勘察报告的图表应有工程名称、编号、图表名称,应有完成人、检查人或审核人签字,各种平面图均应有方向标识。(《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.1.2 条)

**14.3.6** 拟建工程位置图或位置示意图可作为报告书的附图。当图幅较小时,也可作为文字报告的插图或附在建筑物与勘探点平面位置图的角部;当建筑物与勘探点平面位置图已能明确拟建工程的位置时,可免去该图。拟建工程位置图或位置示意图应符合下列要求: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.2.1 条)

- 1 拟建工程位置应以醒目的图例表示;
- 2 城市中的拟建工程应标出邻近街道和特征性的地物名称;
- 3 不在城市中的拟建工程应标出邻近村镇、山岭、水系及其他重要地物的名称;
- 4 规模较大或较重要的拟建工程宜标出经纬度或大地坐标。

**14.3.7** 建筑物与勘探点平面位置图应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.2.2 条)

1 拟建建筑物的轮廓线及其与红线或已有建筑物的关系、层数（或高度）及其名称、编号，拟定的场地整平高程；

2 已有建筑物的轮廓线、层数及其名称；

3 勘探点及原位测试点的位置、类型、编号、高程和地下水位；

4 剖面线的位置和编号；

5 方向标、比例尺、必要的文字说明；

6 高程引测点应在平面图中明示或做出说明。

**14.3.8** 地面起伏或占地面积较大的工程，建筑物与勘探点平面位置图应以相同比例尺的地形图为底图。勘探点和原位测试点宜有坐标，坐标数据可列入“勘探点主要数据一览表”，或列表放在本图的适当位置。（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.2.3 条）

**14.3.9** 工程地质剖面图应根据具体条件合理布置，主要应包括下列内容：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.2.4 条）

1 勘探孔（井）在剖面上的位置、编号、地面高程、勘探深度、勘探孔（井）间距，剖面方向（基岩地区）；

2 岩土图例符号（或颜色）、岩土分层编号、分层界线；

3 岩石分层、断层、不整合面的位置和产状；

4 溶洞、土洞、塌陷、滑坡、地裂缝、古河道、埋藏的湖滨、古井、防空洞、孤石及其他埋藏物；

5 地下水稳定水位高程（或埋深）；

6 取样位置，土样的类型（原状、扰动）或等级；

7 静力触探曲线（当无单独静力触探成果图表时）；

8 圆锥动力触探曲线或随深度的试验值；

9 标准贯入等原位测试的位置、测试结果；

10 比例尺、标尺；

11 地形起伏较大或工程需要时，标明拟建建筑的位置和场地整平高程。

**14.3.10** 钻孔（探井）柱状图应包括下列内容：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.2.5 条）

1 钻孔（探井）编号、孔（井）口高程、钻孔（探井）直径、钻孔（探井）深度、勘探日期等；

2 地层编号、年代和成因、层底深度、层底高程、层厚、柱状图、取样及原位测试位置、岩土描述、地下水位、测试结果、岩芯采取率或 RQD（对于岩石）等。

**14.3.11** 载荷试验成果图表应包括下列内容：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.3.1 条）

1 试验编号、地面高程、岩土名称、岩土性质指标、地下水位深度、试验深度、压板尺寸、加荷方式、稳定标准、观测仪器、试验开始及完成日期；

2 试验点平面及剖面示意图、压力与沉降关系曲线、沉降与时间关系曲线；

3 累计沉降、沉降增量、比例界限压力、变形模量、承载力特征值、极限荷载压力。

**14.3.12** 基床系数试验成果图表应包括下列内容：

1 试验编号、地面高程、岩土名称、岩土性质指标、地下水位深度、试验深度、压板尺寸、加荷方式、稳定标准、观测仪器、试验开始及完成日期；

2 试验点平面及剖面示意图、压力与沉降关系曲线、沉降与时间关系曲线；

3 比例界限压力、地基土基床系数。

**14.3.13** 静力触探成果图表应包括下列内容：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.3.2 条）

- 1 孔号、地面高程、仪器型号、探头尺寸、率定系数、记录方式、试验日期;
- 2 深度与贯入阻力关系曲线,对于单桥静力触探,横坐标为比贯入阻力,对双桥静力触探,横坐标为锥尖阻力、侧摩阻力和摩阻比。

**14.3.14** 动力触探成果图表应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第4.3.3条)

- 1 孔号、地面高程、动力触探型号、记录方式、试验日期;
- 2 深度与锤击数关系曲线(连续进行动力触探试验时)。

**14.3.15** 十字板剪切试验成果图表应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第4.3.4条)

- 1 孔号、地面高程、试验深度、土名及特征、地下水位、板头尺寸、板头常数、率定系数、仪器型号、量测方式、试验日期;
- 2 测试数据、原状土十字板抗剪强度、重塑土十字板抗剪强度与深度关系曲线、灵敏度等。

**14.3.16** 现场直接剪切试验成果图表应包括下列内容:

- 1 试验编号、地面高程、试验深度、岩土名称、岩体软弱面性质、地下水位、试体尺寸、剪切面积、加荷方式、量测仪器型号和方式、试验日期;
- 2 测试数据、剪切应力与剪切位移曲线、剪切力与垂直位移曲线、确定比例强度、屈服强度、峰值强度、剪胀强度、残余强度等;
- 3 法向应力与比例强度、屈服强度、峰值强度、残余强度关系曲线,确定相应强度参数。

**14.3.17** 旁压试验成果图表应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第4.3.5条)

- 1 孔号、地面高程、试验深度、土名及特征、地下水位、仪器型号与类型(自钻式或预钻式)、试验日期;
- 2 旁压试验曲线图、测试数据(各级压力与对应的体积或半径增量)以及由其确定的初始压力、临塑压力、极限压力、旁压模量等。

**14.3.18** 扁铲侧胀试验成果图表应包括下列内容:

- 1 孔号、地面高程、土名及特征、地下水位、仪器型号、率定系数、试验日期;
- 2 各测试深度加压至0.05mm、1.10mm及减压至0.05mm的压力值;
- 3 侧胀模量、侧胀水平应力指数、侧胀土性指数、侧胀孔压指数与深度的关系曲线。

**14.3.19** 波速测试成果图表应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第4.3.6条)

- 1 试验孔号、地面高程、地层、地下水位、测试方法(单孔法或跨孔法)、测试仪器型号、试验日期;
- 2 测试数据(距离、走时、波速);
- 3 走时、波速与深度关系曲线。

**14.3.20** 抽水试验成果图表应包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第4.3.7条)

- 1 试验编号、地面高程、试验日期、稳定水位、抽水孔结构及地层剖面、水位降深、涌水量、水位恢复曲线、渗透系数、渗透系数计算公式;
- 2 涌水量与时间、水位降与时间关系曲线、涌水量与水位降关系曲线(三次或三次以上水位降时)、单位涌水量与水位降关系曲线(三次或三次以上水位降时)等;
- 3 多孔抽水试验成果图表尚应包括多孔抽水孔平面关系示意图、带有抽降水位线的剖面图、观测孔的水位降深等。

**14.3.21** 压水试验成果图表应包括下列内容:

1 试验编号、地面高程、试验日期、地下水位、试验设备型号及尺寸, 栓塞类型、试验段长度及地层;

2 栓塞安装示意图及主要试验参数;

3 压力与流量关系曲线、曲线类型、试段透水率、渗透系数等。

**14.3.22** 注水(渗水)试验成果图表应包括下列内容:

1 试验编号、地面高程、试验位置、试验孔或试坑尺寸、试验设备型号及尺寸、试验方法、地层剖面、试验日期;

2 (常水头试验时)注水量与时间、水位恢复曲线、渗透系数、渗透系数计算公式等;

3 (变水头试验时)水头比与时间关系曲线、滞后时间、渗透系数、渗透系数计算公式等。

**14.3.23** 单桩静力载荷试验成果图表应包括下列内容:

1 试桩编号、试验安装示意图、地面高程、桩的类型、受力方式(竖向或水平等)、混凝土强度等级、桩身尺寸、桩身长度及入土深度、加荷方式、混凝土浇注或打(压)桩日期;

2 桩周及桩端岩土性质指标;

3 加荷次序、分级荷载、本级沉降、累计沉降、本级历时、累计历时、直线段荷载、极限荷载;

4 荷载和沉降(水平位移)关系曲线、沉降与时间关系曲线,单桩水平静力载荷试验尚应绘制荷载与位移增量关系曲线。

**14.3.24** 室内土工试验的主要成果数据应汇总在土工试验成果汇总表中。土工试验成果汇总表的栏目宜包括下列内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.4.1 条)

1 孔(井)及土样编号、取样深度、土的名称、颗粒级配百分数、天然含水量、天然密度、比重、饱和度、天然孔隙比、液限、塑限、塑性指数、液性指数、压缩系数、压缩模量、粘聚力、内摩擦角、有机质含量等。

2 必要时,可增加最小孔隙比、最大孔隙比、相对密实度、不均匀系数、曲率系数。当进行高压固结试验、渗透试验、固结系数试验、无侧限抗压强度试验、湿陷性试验、膨胀性试验及其他特殊项目试验时,可在本表中增加有关特性指标。

**14.3.25** 土工试验汇总表各栏土的指标均应标明指标名称、符号、计量单位。界限含水量应注明测定方法;压缩系数及压缩模量应注明压力段范围;抗剪强度指标应注明三轴或直剪,注明不排水剪、固结不排水剪或排水剪。

**14.3.26** 固结试验宜提供成果图表,该图表应包括下列主要内容: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.4.3 条)

1 不同压力下的孔隙比值;

2  $e-p$  曲线图;

3 不同压力段的压缩系数和压缩模量;

4 必要的文字说明。

如固结试验不提供成果图表,则应在土工试验成果汇总表中提供不同压力下的孔隙比值或提供不同压力下的压缩模量,需考虑回弹变形时,应提供相关参数。

**14.3.27** 当考虑土的应力历史进行沉降计算时,试验成果应按  $e-\lg p$  曲线整理,成果图表内容包括:不同压力下的孔隙比值、 $e-\lg p$  曲线图、先期固结压力、超固结比 OCR 值、压缩指数和回弹指数、必要的文字说明。

**14.3.28** 剪切试验应说明试验方法(三轴或直剪)、固结条件、排水条件、抗剪强度指标值,并符合下列要求: (《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.4.5 条)

1 直剪试验宜提供抗剪强度与垂直压力关系曲线图表,不提供图表时,应提供不同垂

直压力下的抗剪强度值；

2 三轴试验应提供主应力差和轴向应变关系曲线、摩尔圆和强度包线图，必要时提供主应力比与轴向应变关系曲线、孔隙水压力或体积应变与轴向应变关系曲线、应力路径曲线，并列表提供相应的数值。

**14.3.29** 室内岩石试验图表应注明试件编号、岩石名称、取样地点、试件尺寸、提供岩石的密度、含水率、吸水率等。抗压试验和三轴试验尚应符合下列要求：（《建筑工程勘察文件编制深度规定》试行第 4.4.6 条）

1 岩石单轴抗压试验应提供单轴抗压强度值，必要时提供软化系数；

2 岩石单轴压缩试验应提供岩石的弹性模量和泊松比；

3 岩石三轴压缩试验应提供不同围压下的主应力差与轴向应变关系，摩尔圆和抗剪强度包络线、强度参数  $c$ 、 $\varphi$  值。

**14.3.30** 水和土的腐蚀性分析成果应符合下列要求：

1 水和土腐蚀性分析试验项目和单位应符合现行《岩土工程勘察规范》（GB50021）的要求；

2 水和土的腐蚀性分析成果应采用表格形式，其内容包括钻孔（探井）编号、水（土）样编号、取样时间、取样深度、土的名称、试验时间、各项试验结果。

**14.3.31** 本章未涉及图表可参照相关图表的要求执行。

## 15 检验、检测与监测

### 15.1 基本规定

**15.1.1** 岩土工程检验与检测是为了提供工程设计参数,对工程设计进行校验和对施工工艺能否达到设计要求进行评价的各种专门性试验;岩土工程监测是对工程施工及使用过程中所引起的岩土体变形,周边环境及建(构)筑物本身的安全与稳定性的变化而进行的系统、系列的现场观测和分析过程。

**15.1.2** 现场检验、检测与监测工作应在工程施工期间进行。对具有特殊意义或特殊要求的工程(如:一旦损坏将造成生命财产重大损失,或产生重大社会影响的工程;对变形及差异沉降有严格限制的工程;采用新工艺而又缺乏经验的工程等),应根据工程特点,确定必要的项目,在建设期或投入使用后的一定期间内继续进行。

**15.1.3** 检验、检测与监测的目的是对勘察成果与评价建议的检查和验证;对施工质量的信息跟踪;为工程设计及验收提供可靠的依据。

**15.1.4** 现场检验、检测与监测工作应符合国家或行业、地方现行有关规程、规范的规定及强制性标准的规定。

**15.1.5** 现场检验、检测与监测的观测记录、数据和图件,应保持整洁、字迹工整、各项数据齐全,严禁任意涂改和重抄,并应及时整理和检查;当使用电子手簿时,应及时存贮。并应及时地按照工程要求整理分析。

**15.1.6** 现场检验、检测和监测资料,应及时向有关方面报送,当监测数据接近危及工程的临界值时,必须加密监测,并及时报告。(《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 第 13.1.3 条)

**15.1.7** 检验、检测与监测使用的量测仪器及计量器具必须满足测试要求,应经国家法定计量单位进行检定并确保在有效的检定周期内。

**15.1.8** 现场检验、检测与监测分类后应及时编制并提交成果报告,必要时,应在有关文件上签署意见及结论。成果报告应附有相关曲线和图表,应说明使用方法及仪器设备等,应提供资料整理及分析方法,并进行分析评价,提出结论性意见及处理意见建议。

### 15.2 天然地基检测与监测

**15.2.1** 基槽(坑)开挖后,应进行基槽检验。基槽检验可用触探或其他方法,当发现与勘察报告和设计文件不一致,或遇到异常情况时,应结合地质条件提出处理意见。(《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 10.1.1 条)

**15.2.2** 天然地基检测与监测的内容与目的:

1 通过基槽开挖和基础施工,检验地基土是否与勘察成果相符,如发现问题,提出处理措施和修改建议;

2 指导工程施工方法、流程和速率,通过监测为后续工序施工方案提供优化指导;

3 通过对岩土体强度和变形监测,及时发现和预报施工过程中所出现的异常情况,防止工程事故,确保工程安全;

4 通过对地下水的观测,分析地下水对地面沉降和建筑物可能造成的影响;



5 检验施工质量是否满足设计和有关规范的要求，为建（构）筑物的竣工验收提供所需的监测资料。

6 提供工程质量事故的鉴定依据。

**15.2.3** 地基检验工作应在接受建设单位（或受委托的施工单位）的委托，基础设计依据充分，具有勘察报告及基础设计文件的条件下，由建设单位会同设计、勘察、施工、监理单位在施工现场进行。

**15.2.4** 天然地基检测与监测中采用的方法及一般要求为：

1 基槽开挖后应进行全面的目测，有条件时应进行钎探，以了解基底土层的均匀性，及基底下是否存在古井、墓穴、人防、地下建（构）筑物等，钎探的布置可采用中心一排或两排错开或梅花型的方式布置，其深度及间距以控制场地及基槽为原则；

2 通过目测，辅以袖珍贯入仪，必要时取样试验或进行施工勘察，以检测地基土是否与勘察报告书描述一致，持力层是否受人为扰动（施工扰动、浸水软化等）；

3 审阅、分析研究钎探记录，找出异常钎探点及其分布规律并分析其原因，必要时用其他方法（如钻探）进行验证；逐段逐个或按每个建筑物单元详细检查基槽底土质是否与勘察报告中所提持力层相符，要特别注意基底有无填土及其分布；

4 当地基持力层土质软弱或不均匀或存在软弱下卧层时，根据需要可利用轻便触探等方法，以查明持力层的密实度和均匀性，以及软弱下卧层的厚度及分布情况；

5 基槽检验时可采用铁钎拍底的方法检查古井、人防、地下建（构）筑物、墓穴及虚土等；

6 以目测为主的方法检测基槽边坡稳定性，检测地下水位，了解降排水措施及其对基槽的影响；

7 当基槽的回弹再压缩对建筑物本身沉降、地下管网和邻近建筑物有影响时，应对基槽的回弹进行精密水准变形监测，具体见 15.5 节。

**15.2.5** 在基槽检验的过程中，当地层及地质现状与勘察报告不符时，或存在严重的不良地质作用，或基槽基坑的稳定性存在安全隐患，或对周边环境及建（构）筑物严重影响时，应进行施工勘察以研究补救及处理措施，施工勘察可采用钻探、动探、轻便触探的方法，以有针对性的解决具体实际问题为准则，为调整、变更设计方案提供岩土工程设计参数，并提出处理的技术措施建议。

**15.2.6** 地基的检测及监测报告，应针对具体问题简明扼要地进行编写。由建设、设计、勘察、施工、监理等单位多方会签的隐蔽工程验收记录可做为基础检验成果。

## 15.3 基桩检测与监测

**15.3.1** 基桩工程属隐蔽工程，基桩质量直接关系建筑物安全，为了确保基桩工程质量及其加固处理效果，对基桩工程应进行桩基测试与监测工作。

**15.3.2** 基桩工程应通过试钻或试打，检验岩土条件是否与勘察资料一致；如遇异常情况，应提出处理措施。试钻或试打，其数量在每个场地不得少于两根。对于有经验的工程场地，试钻或试打可结合工程桩进行。

**15.3.3** 基桩工程的检测主要包括如下内容：

1 对预制桩和钢桩，应进行桩顶标高、桩位偏差、打入（或静压）深度、停锤标准、桩端持力层等的检测。

2 对灌注桩，应进行桩顶标高、桩位偏差、桩身质量、桩端持力层等的检测。

3 人工挖孔桩，应进行开挖尺寸、有无虚土、岩土条件、桩端持力层检验。单柱单桩

的大直径嵌岩桩，应视岩性检验桩底下  $3d$  或  $5m$  深度范围内有无空洞、破碎带、软弱夹层等不良地质体。必要时应进行桩端持力层岩基原位载荷试验和桩侧摩阻力试验，试验桩数不宜少于同条件下总桩的 1%，且不得少于 3 根。

**15.3.4** 施工完成后的工程桩应进行桩身质量检验。直径大于  $800mm$  的混凝土桩应采用钻孔抽芯法或声波透射法检测，检测桩数不得少于总桩数的 10%，且每根桩下承台的抽检桩数不得少于 1 根。直径小于和等于  $800mm$  的桩及直径大于  $800mm$  的非嵌岩桩，可根据桩径和桩长的大小，结合桩的类型和实际需要采用钻孔抽芯法或声波透射法或可靠的动测法进行检测，检测桩数不得少于总桩数的 10%。

1 钻孔抽芯法：适用于检测桩径  $\geq 800mm$  的混凝土灌注桩的桩身混凝土强度、完整性、桩长、桩底沉渣厚度、桩底岩土层性状等。应观察芯样的混凝土胶结性状、骨料的种类及均匀性，以及桩底岩土层的性状等，并对芯样切取试件进行抗压强度试验。应根据现场混凝土芯样特征并结合钻芯记录以及试验结果按相关规程规范结合经验进行桩身完整性分类。

2 超声检测法：适用于检测直径  $\geq 800mm$  灌注桩桩身混凝土的完整性，通过桩身预埋声测管，采用超声波检测仪，以两个声测管组成一个检测面，分别对所有检测面进行检测（三管三检测面，四管六检测面）。根据检测结果按相关规程规范判断桩身的完整性。

3 基桩动测法（包括高应变法及低应变法）：高应变法适用于检测基桩竖向承载力及桩身完整性，分析桩侧和桩端阻力；低应变法主要用于检测桩身的完整性。

1) 激振设备通常采用锤击法；高应变法锤重应大于预估单桩极限承载力的 1%，桩径大于  $600mm$  或桩长大于  $30m$  时应大于预估单桩极限承载力的 1.5%。

2) 低应变检测应给出桩身完整性检测的实测信号曲线；高应变检测应给出实测的力与速度信号曲线。

4 当桩身完整性检测结果为桩身存在严重缺陷的 IV 类桩时，应进行工程处理；当桩身完整性检测结果为桩身有明显缺陷、对桩身结构承载力有影响的 III 类桩时，应在未检桩中继续扩大抽检，同时应进行单桩承载力校核。

**15.3.5** 当设计有要求或符合下列条件之一时，施工前应采用静载试验校核并确定单桩竖向承载力特征值：

- 1 设计等级为甲级、乙级的桩基；
- 2 地质条件复杂、成桩质量可靠性低的桩型；
- 3 本地采用的新桩型或新工艺。

检测数在同一条件下一般不应少于 3 根；当工程桩数少于 50 根时，不应少于 2 根。

试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

**15.3.6** 施工完成后的工程桩应进行竖向承载力检验。竖向承载力检验的方法和数量可根据地基基础设计等级和现场条件，结合当地可靠的经验和技术确定。复杂地质条件下的工程桩竖向承载力的检验宜采用静载试验，检验桩数不得少于同条件下总桩数的 1%，且不得少于 3 根。大直径嵌岩桩的承载力可根据终孔时桩端持力层岩性报告结合桩身质量检验报告核验。单桩竖向承载力检验主要采用单桩静载试验方法，对于大吨位桩基也可采用自平衡式载荷试验法进行试验，单桩竖向静载试验方法主要有以下几种：

1 慢速维持荷载法：具体作法是按一定要求将荷载分段加到试桩上，每级荷载维持不变直到桩顶下沉量达到某一规定的相对稳定标准（每小时的沉降不超过  $0.1mm$ ，并连续出现 2 次），然后继续加下一级荷载。当达到规定的终止试验条件时，便停止加荷，再分级卸荷直到零载，试验周期一般为  $3\sim 7d$ ；

2 快速维持荷载法：试验加载不要求每级的下沉量达到相对稳定，而以等时间间隔连续加载。终止加载条件为：出现可判定荷载的陡降段或桩顶产生不停滞下沉，无法继续加载；

3 等贯入速率法：试验以保持桩顶等速贯入土中，连续加载，按荷载-下沉量曲线确定

极限荷载；

**4 循环加载卸载试验法：**依据工程需要，有的在慢速维持荷载中以部分荷载进行加载卸载循环，有的对每一级荷载达到稳定后重复加载卸载循环，也有的以快速维持荷载法为基础为每一级荷载进行重复加载卸载循环。

为设计提供依据的竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法。

**15.3.7 长期承受水平荷载的桩和抗拔桩承载力的检验**宜分别采用单桩水平荷载试验和单桩竖向抗拔静载试验。检测桩数不得少于同条件下总桩数的 1%，且不得少于 3 根。单桩水平荷载试验，采用接近水平受力桩的实际工作条件的试验方法确定单桩的水平承载力和地基土的水平抗力系数或对工程桩的水平承载力进行检验和评价，试验加载宜采用单向多循环加卸载法，也可采用慢速维持加载法进行试验；单桩竖向抗拔试验，采用接近于竖向抗拔桩的实际工作条件的试验方法，确定单桩抗拔极限承载力，宜按慢速维持荷载法，当考虑结合实际工程桩的荷载特征时，也可采用多循环加卸载法，加载反力装置宜采用锚桩。

**15.3.8 基桩检测与监测完成后，**应对获得的所有原始记录（如岩芯描述、混凝土试样、试验资料等）进行归纳整理、数据分析与判定，作出结论和建议，提出桩基检测或监测报告，为桩基工程施工质量和工程使用功能的最终验收提供依据。

**15.3.9 基桩检测与监测报告**包括下列内容：

- 1 检测（监测）目的、任务、工作量及完成情况；
- 2 桩基设计及施工概况；
- 3 检测（监测）设备、工艺及基本原理；
- 4 桩基施工质量状况及成桩主要参数；
- 5 检测（监测）结果及分析；
- 6 存在的主要质量问题、产生原因及对工程使用的影响；
- 7 结论与建议。

## 15.4 复合地基检测与监测

**15.4.1 复合地基**是指部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

**15.4.2 复合地基施工后**应间隔一定时间方可进行检测与监测，对饱和粘性土地基应待孔隙水压力消散后进行，一般应间隔 21~28d，对于砂土和粉土地基不宜少于 7d；同时，复合地基质量检测宜选择在地基最不利位置和工程关键部位进行。

**15.4.3 复合地基增强桩体的检验：**对于砂土桩、土和灰土挤密桩、振冲挤密桩、石灰桩等可采用重型或超重型动力触探、静力触探或标贯试验等进行检测，检测桩数不应少于总桩数的 2%；对于深层搅拌桩和高压旋喷桩可采用钻孔取芯法或高应变动测试验进行检测，其检测的数量不应少于总桩数的 1%且不少于 3 根；对于 CFG 桩可采用低应变动测试法进行检测、低应变动测试验不宜少于总桩数的 20%。

**15.4.4 复合地基桩间土的检测，**以检验地基加固效果，检测方法包括动力触探、静力触探、标准贯入、十字板剪切试验等原位测试方法或采取原状土进行室内试验。

**15.4.5 复合地基工程施工完成后的验收检测，**应进行单桩和多桩复合地基载荷试验，确定复合地基承载力特征值，以最终检验地基处理效果。

**15.4.6 单桩复合地基载荷试验的承压板**可用圆形或方形，面积为一根桩承担的处理面积；多桩复合地基载荷试验的承压板可用方形或矩形，其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。桩的中心（或形心）应与承压板中心保持一致，并与荷载作用点相重合。

**15.4.7** 复合地基载荷试验数量一般可取总桩数的 0.5%~1%，且每个单体工程不应少于 3 处；对于大型工程则应按单体工程的数量或工程的面积确定检测点数，每 200m<sup>2</sup> 不得少于 1 处。

**15.4.8** 复合地基载荷试验必须严格按设计要求及规范要求进行，具体按《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 附录 A “复合地基载荷试验要点” 执行。

**15.4.9** 对于处理后的复合地基，在进行建筑施工阶段和在建成后的使用阶段，应对完工后地基沉降和建筑物沉降进行长期观测，以监控和验证建筑物的变形。

**15.4.10** 质量检测（监测）工作及试验工作完成后，应对所获取的检测试验资料进行整理分析，提出检测试验报告，作为施工结束后的工程质量验收依据。

## 15.5 沉降及位移观测

**15.5.1** 沉降及位移观测是勘察工作的延续。其目的是为掌握建（构）筑物的变化情况，研究变形与建（构）筑物上部结构共同作用的关系，进行发展趋势的预测，提供后期服务。观测工作应遵循相关规范规程及地方规定的要求。观测数据的采集应以有利分析、控制安全为前提，并宜以自动化记录为主。

**15.5.2** 当建（构）筑物邻近有基坑开挖、大面积打桩、基础施工、降水工程、高边坡施工及其下部隧道开挖等情况时，应对该建（构）筑物及施工场地进行沉降、位移监测。监测的建（构）筑物一般可按照基坑深度（或边坡高度）1.5~3.0 倍的距离范围进行选取，同时尚应考虑建（构）筑物的基础设计情况、建造年代等因素。

**15.5.3** 沉降、位移观测和监测控制网的建立

1 施工开始前，应根据监测点精度要求确定监测网等级，进行施测方案设计，重大工程或具有重要科研价值的项目，尚应进行监测网的优化设计。

2 沉降及位移观测精度要求，应符合相关规范规程的要求。

3 变形测量的精度等级应先根据各类建（构）筑物的变形允许值，按 15.5.3 公式进行估算：

$$u = m_s / \sqrt{2Q} \quad \text{或} \quad u = m_{\Delta s} / \sqrt{2Q_{\Delta}} \quad (15.5.3)$$

式中  $m_s$  —— 沉降量  $s$  或位移分量  $s$  的观测中误差（mm）；

$m_{\Delta s}$  —— 沉降差  $\Delta s$  或位移分量差  $\Delta s$  的观测中误差（mm）；

$Q$  —— 网中最弱观测点高程或坐标的权倒数；

$Q_{\Delta}$  —— 网中待求观测点间高差或坐标差的权倒数；

$u$  —— 单位权中误差。

求出观测点高程或坐标中误差后，按以下原则确定：

1) 当仅给定单一变形允许值时，应按所估算的观测点精度，选择相应的精度等级；  
2) 当给定多个同类型变形允许值时，应分别估算观测点精度，并根据其中最高精度选择相应的精度等级；

3) 当估算出的观测点精度低于四等精度要求时，采用四等精度；

4) 对于未规定或难以规定变形允许值的观测项目，可根据设计、施工的原则要求，参考同类或类似项目的经验，选取适宜的精度等级。

**4** 变形测量点可分为控制点和观测点（监测点）。控制点包括基准点、工作基点。基准点设置应稳固，并应选在变形影响范围以外便于长期保存的位置，其数量一般每项工程不应少于 2 个；工作基点应选在靠近观测目标且便于联测观测点的稳定或相对稳定的位置；观测

点应选在变形体上能反映变形特征的位置。控制点和观测点的观测，应在埋设标石半个月后进行，并应采取有效措施，确保整个施工期间的正常使用，监测期间，应定期联测，以检验其稳定性。

**5** 观测使用的仪器设备，应按现行规范规定的项目进行检验、校正，并作出详细记录。

**6** 平面和高程监测网应作定期检验。建网初期宜半年检测一次；点位稳定后，可适当延长检测周期。当检测成果出现异常，或测区受外界因素影响（如自然灾害）时，应及时进行检测。

**7** 监测点的首次观测，宜独立观测 2 次。

**8** 变形观测的周期，应根据建（构）筑物的特征、变形速率、观测精度要求和工程地质条件等因素综合考虑，应以能系统地反映所测变形的变化过程且不遗漏其变化时刻为原则。观测频率一般按设计要求或委托方的要求，根据施工进度需要确定，可逐日或隔数日一次，直至施工结束。当观测中发现变形异常时，应及时增加观测次数。

**9** 各周期的观测成果应及时处理，并应选取与实际变形情况接近或一致的参考系进行平差计算和精度评定。对重要的监测成果，应进行变形分析，并对变形趋势作出预报。

**10** 水平位移监测网的布设，应根据监测目的、精度要求和监测点的观测方法因地制宜、灵活选择，可采用导线网、边角网、GPS 网、轴线等形式一次布网。水平位移监测网，宜采用独立坐标系统，控制点宜采用有强制归心装置的观测墩，照准点宜采用有强制对中装置的觇牌或观测墩。水平位移监测网技术要求及觇牌的类型和规格应符合有关规范要求。

**11** 垂直位移监测网，应布设成闭合环形一次布网。水准基点应埋设在变形区以外的基岩或坚硬土层上，亦可利用稳固的建（构）筑物。起始点高程宜采用测区原有高程系统，无条件时亦可自定高程系统。垂直位移监测网其技术要求应符合相关监测及测量规范的规定。

#### **15.5.4 建筑物位移及沉降观测要点**

**1** 水平位移观测点的位置，对建筑物应选在墙角、柱基及裂缝两边等处；线状构筑物应选在端点、转角点及必要的中间部位；护坡工程应按待测坡面成排布点。观测点的埋设应稳固且便于观测，当设置上、下标志时，应使上、下标志和某一测站点在同一铅垂面内。

**2** 水平位移观测可根据需要与现场条件选用下列方法：

1) 测量地面观测点在特定方向的位移时，可选用下列几种基准线法。

① 视准线法（包括小角法和活动觇牌法）；

② 激光准直法；

③ 测边角法（主要用于地下管线的观测）；

④ 采用基准线法测定绝对位移时，应在基准线两端各自向外的延长线上，埋设基准点或按检核方向线法埋设 4~5 个检核点。

2) 测量观测点任意方向位移时，可视观测点的分布情况，采用前方交会法或方向差交会法、导线测量法或近景摄影测量等方法。单个建筑物亦可采用直接量测位移分量的方向线法，在建筑物纵、横轴线的相邻延长线上设置固定方向线，定期测出基础的纵向位移和横向位移。

3) 对于观测内容较多的大测区或观测点远离稳定地区的测区，宜采用三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法或 GPS 测量方法。

**3** 沉降观测点的布置，应以能全面反映建筑物地基变形特征，并结合地质情况及建筑结构特点确定。

**4** 垂直位移（沉降）观测，宜采用几何水准法，亦可采用静力水准、三角高程等测量方法。监测点观测技术要求应符合表 15.5.4 的规定。

**5** 沉降观测应从完成基础底板施工时开始，一般至基本稳定（连续两次半年不超过 2mm）终止。当工程有特殊要求时，应根据要求进行观测。

表 15.5.4

监测点观测技术要求

等级	监测点高程中误差(mm)	往返较差附合或环形闭合差(mm)	观 测 方 法
二等	$\pm 0.5$	$\leq 0.3\sqrt{n}$	按国家一等水准测量的技术要求施测
三等	$\pm 1.0$	$\leq 0.6\sqrt{n}$	按现行国家标准《工程测量规范》二等水准测量的技术要求施测
四等	$\pm 2.0$	$\leq 1.4\sqrt{n}$	按现行国家标准《工程测量规范》三等水准测量的技术要求施测

### 15.5.5 地基土变形监测要点

1 地基土变形监测，其监测点应根据监测对象、任务要求、工程地质情况和自然条件等因素进行布置，并应符合以下要求。

- 1) 监测点应布设在变形体和受其影响的地段；
- 2) 监测点应组成断面观测线，各观测线宜平行或正交，或成辐射线状；
- 3) 观测线的方向应与预计的水平位移方向或已发生的位移方向一致或垂直。

2 测量土体内部侧向位移，可采用测斜仪观测方法。

3 地基土分层沉降观测，应测定地基内部各分层土的沉降量、沉降速度以及有效压缩层的厚度。

### 15.5.6 基坑变形监测要点

1 基坑施工监测是对基坑和支护结构的安全和稳定性变化，以及对基坑周围环境与地下设施的变化进行的现场观测工作。观测工作内容应符合现行技术标准的要求。

2 深基坑监测点选择原则

1) 监测点应能充分反映边坡的稳定状态，即监测点应选在预计移动（沉降）的最大位置；

2) 在一个断面内应能反映边坡变形规律，即在同一断面上应能作出变形曲线；

3) 监测点移动值便于支护结构的应力分析；

4) 重要部位（危险部位）应加密监测点。

3 基坑水平位移观测可采用基准线法、极坐标法等，垂直位移观测可采用几何水准与三角高程测量法。

4 基坑回弹观测，应测定深埋大型基础在基坑开挖后，由于卸除地基土自重而引起的基坑内外影响范围内相对于开挖前的回弹量。

1) 回弹观测点位的布置，应按基坑形状及地质条件以能测出所需各纵横断面回弹量为原则。可按下列要求布点：

① 在基坑的中央和距坑底边缘约 1/4 坑底宽度处以及其他变形特征位置设点。对方形、圆形基坑，可按单向对称布点（一般不小于 4 个）；矩形基坑，可按纵横向布点（一般布设 5~7 个点，当基坑底面积大于 1000m<sup>2</sup>，深度超过 6m 时，布点数应为 7 个以上）；复合矩形基坑，可多向布点（布点数一般不小于 9 个）；地质条件情况复杂时，应适当增加点数；

② 基坑外的观测点，应在所选坑内方向线的延长线上距基坑深度 1.5~2 倍距离内布置；观测点必须认真保护以防在基坑开挖时遭受破坏；

③ 所选点位遇到旧地下管道或其他构筑物时，可将观测点移至与之对应方向线的空位上；

④ 在基坑外相对稳定且不受施工影响的地点，选设工作基点及为寻找标志用的定位

点；

- ⑤ 观测路线应组成起迄于工作基点的闭合或附合路线，使之具有检核条件。
- 2) 回弹标志应埋入基坑底面以下 20~30cm。
- 3) 回弹观测精度可按 15.5.3 条第 3 款的规定以给定或预估的最大回弹量为变形允许值进行估算后确定。但最弱观测点相对邻近工作基点的高差中误差，不应大于±1.0mm。
- 4) 回弹观测不应少于三次，具体安排是：第一次在基坑开挖之前，第二次在基坑开挖完成后，第三次在浇灌基础混凝土之前。当需要测定分段卸荷回弹时，应按分段卸荷时间增加观测次数。当基坑挖完至基础施工的间隔时间较长时，亦应适当增加观测次数。
- 5) 基坑开挖前的回弹观测，可采用几何水准测量配以铅垂钢尺读数的钢尺法；较浅基坑的观测，亦可采用几何水准测量配辅助杆垫高水准尺读数的辅助杆法。
- 6) 基坑开挖后的回弹观测，可先在坑底一角埋设一个临时工作点，使用与基坑开挖前相同的观测设备和方法，将高程传递到坑底的临时工作点上。然后，细心挖出各回弹观测点，按所需观测精度，用几何水准测量方法测出各观测点的标高。

**15.5.7 观测数据处理的基本要求**

- 1 观测工作结束后，应及时整理和检查外业观测数据；
- 2 水平位移监测网的测角中误差、测距中误差、各条件方程自由项限差、同步环、异步环闭合差及复测基线限差等，垂直位移监测网的每测站高差全中误差、高差偶然中误差等均应满足有关规范要求。
- 3 监测网的平差计算与精度评定，应根据工程需要，采用经典严密平差法或自由网平差法、GPS 网平差法。
- 4 监测网点位稳定性的检验，可采用下列方法：
  - 1) 采用经典严密平差时的检验方法，复测后两次平差值的较差应符合式 15.5.7 的要求。

$$\Delta < 2\sqrt{2\mu^2Q}$$

(15.5.7)

式中 Δ —— 两次平差值较差(″)；

μ —— 单位权中误差(″)；

Q —— 权系数。

- 2) 采用自由网平差时的统计检验方法；
  - 3) 经典法与统计检验相结合的方法。
- 5 内业计算的数值取位要求，应符合表 15.5.7 规定。

**表 15.5.7 内业计算的数值取位要求**

类别	方向值(″)	边长(mm)	坐标(mm)	高程(mm)	水平位移 (mm)	垂直位移 (mm)
监测网	0.01	0.1	0.1	0.01	0.1	0.01
监测点	0.1	1.0	1.0	0.10	1.0	0.1

- 6 观测点的变形分析，应符合下列规定：
- 1) 相邻两观测周期，相同观测点有无显著变化；
  - 2) 应结合荷载、气象和地质等外界相关因素综合考虑，进行几何和物理分析。
- 7 水平位移测量结束后，应根据工程需要，提交下列有关资料：
- 1) 水平位移量成果表；
  - 2) 观测点平面布置图；

- 3) 水平位移量曲线图;
  - 4) 有关荷载、温度、位移值相关曲线图;
  - 5) 水平位移和垂直位移综合曲线图;
  - 6) 变形分析报告等。
- 8** 垂直位移测量结束后,应根据工程需要,提交下列有关资料:
- 1) 垂直位移量成果表;
  - 2) 观测点位置图;
  - 3) 位移速率、时间、位移量曲线图;
  - 4) 荷载、时间、位移量曲线图;
  - 5) 等位移量曲线图;
  - 6) 相邻影响曲线图;
  - 7) 变形分析报告等。



# 《建筑工程勘察技术措施》

## 各章编写人及审查人名单

章节号	标题	编写人	审查人
1	总则	周儒忠 张家麟	张在明 顾宝和 柯长华 曹佑裕
2	前期工作	温 靖	袁雅康 周儒忠 郭明田
3	勘察工作布置	温 靖	顾宝和 周儒忠 郭明田
4	工程地质测绘和调查	戴一鸣	项 勃 周儒忠 杨俊峰
5	勘探和取样	郭明田	沈小克 周儒忠 温 靖
6	原位测试	顾国荣	顾宝和 袁雅康 温 靖
7	室内试验	吴永红	张乃瑞 李广信 温 靖
8	地下水	杨俊峰	张在明 张苏民 温 靖
9	场地和地基的地震效应	杨俊峰	张在明 刘 波 郭明田
10	特殊性岩土	徐张建 曾昭建 顾国荣 戴一鸣 赵跃平	张苏民 项 勃 李广信 郭明田
11	边坡工程勘察	方玉树	项 勃 张苏民 唐耿琛 郭明田
12	不良地质作用和地质灾害	赵跃平 曾昭建 唐秋元 戴一鸣 顾国荣	张苏民 项 勃 李广信 唐耿琛 杨俊峰
13	岩土工程评价	孔 千 郭明田 吴永红	顾宝和 刘金砺 张乃瑞 柯长华 温 靖
14	勘察报告编写	郭明田	沈小克 袁雅康 杨俊峰
15	检验、检测与监测	曾昭建	袁雅康 沈小克 杨俊峰