

ICS 93.100

CCS P13

团 体 标 准

T/JSCTS ×××—××××
代替T/××× ×××—××××

江苏省城市轨道交通岩土工程勘察标准

Jiangsu code for geotechnical investigations of urban rail transit

××××—××—××发布

××××—××—××实施

江苏省综合交通运输学会 发布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	4
5 基本规定	5
5.1 一般规定	5
5.2 勘察分级	6
6 区域地质环境	7
6.1 地形地貌	7
6.2 第四纪地层	7
6.3 工程地质分层	7
7 岩土分类、描述与围岩分级	8
7.1 岩石的分类与描述	8
7.2 土的分类与描述	9
7.3 围岩分级与岩土施工工程分级	12
8 周边环境专项调查	12
8.1 一般规定	12
8.2 调查要求	12
8.3 成果资料	13
9 勘察纲要	13
10 可行性研究勘察	14
10.1 一般规定	14
10.2 目的与任务	14
10.3 勘察要求	14
11 初步勘察	14
11.1 一般规定	15
11.2 目的与任务	15
11.3 地下工程	15
11.4 高架工程	16

11.5	路基、涵洞工程	16
11.6	地面房屋建筑及构筑物	17
11.7	电缆通道	17
12	详细勘察	17
12.1	一般规定	17
12.2	目的与任务	17
12.3	地下工程	18
12.4	高架工程	20
12.5	路基、涵洞工程	21
12.6	地面房屋建筑及构筑物	23
12.7	电缆通道	23
13	专项勘察	24
14	施工勘察	25
15	不良地质作用和地质灾害	25
15.1	一般规定	26
15.2	滑坡	26
15.3	危岩和崩塌	27
15.4	岩溶	28
15.5	采空区和坑洞	30
15.6	地面沉降和地裂缝	34
15.7	活动断裂	35
15.8	有害气体	36
16	特殊性岩土	36
16.1	一般规定	36
16.2	填土	37
16.3	软土	37
16.4	膨胀岩土	39
16.5	污染土	40
16.6	混合土	42
16.7	风化岩和残积土	42
17	场地和地基的地震效应	43

17.1 一般规定	43
17.2 场地类别	44
17.3 液化土和软土地基	45
18 地下水	48
18.1 一般规定	48
18.2 地下水的勘察要求	48
18.3 水文地质参数的测定	48
18.4 地下水的作用	50
18.5 水和土腐蚀性评价	50
19 工程地质调查和测绘	52
19.1 一般规定	52
19.2 工作方法	52
19.3 工作范围	52
19.4 工作内容	53
19.5 工作成果	53
20 勘探取样和原位测试	54
20.1 一般规定	54
20.2 勘探点定位和测量	54
20.3 钻探、井探、槽探和洞探	54
20.4 取样	56
20.5 工程物探	58
20.6 原位测试	59
21 室内试验	72
21.1 一般规定	73
21.2 土的物理性质试验	73
21.3 土的力学性质试验	74
21.4 岩石试验	76
21.5 水和土的腐蚀性试验	77
22 参数的分析与选用	77
22.1 一般规定	77
22.2 岩土参数数理统计	77

22.3	岩土参数代表值的选用	78
22.4	地基承载力	79
22.5	桩基承载力	80
22.6	地基变形	81
23	岩土工程分析评价和勘察报告	81
23.1	一般规定	81
23.2	岩土工程分析评价的基本内容	81
23.3	勘察报告的基本要求	82
24	勘察作业安全	83
24.1	一般规定	83
24.2	陆域作业安全	84
24.3	水域作业安全	85
25	现场检验和监测	86
25.1	一般规定	86
25.2	现场检验和检测	87
25.3	现场监测	87
附录 A	(资料性) 江苏省地貌分区图	89
附录 B	(资料性) 江苏省第四纪地层特征	90
附录 C	(资料性) 江苏省第四纪晚更新世(Q ₃)地层出露或浅埋区分布图	92
附录 D	(资料性) 岩土分类和鉴定	97
附录 E	(规范性) 圆锥动力触探击数修正	101
附录 F	(规范性) 冻结法试验所需原状土样数量及规格	102
附录 G	(规范性) 采空区场地稳定性判别方法	103
附录 H	(规范性) 采空区与城市轨道交通工程相互影响程度判别	105
附录 I	(规范性) 采空区垮落带、断裂带高度及底板破坏深度计算方法	108
附录 J	(规范性) 抽水试验技术要求	110
附录 K	(规范性) 压水试验技术要求	113
附录 L	(规范性) 工程物探方法的适用范围	116
附录 M	(规范性) 静止侧压力系数、基床系数经验值	118
附录 N	(规范性) 工法、工点勘察岩土参数选择	119
附录 O	(规范性) 岩土热物理指标经验值	121

前 言

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

根据江苏省综合交通运输学会《江苏省综合交通运输学会团体标准管理办法（试行）》的相关规定（苏交学办〔2019〕4号）的要求，本标准主编单位会同相关单位组成编制组，经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准和国内外先进经验，并在广泛征求意见的基础上，经多次讨论、反复修改，且与现行及正在修订的国家规范、行业标准相协调下制定本标准。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由南京地铁集团有限公司、南京地铁建设有限责任公司提出。

本标准由江苏省综合交通运输学会归口。

本标准起草单位：南京地铁集团有限公司、南京地铁建设有限责任公司、徐州地铁集团有限公司、苏州市轨道交通集团有限公司……

本标准主要起草人：黎庆、张静……

江苏省城市轨道交通岩土工程勘察标准

1 范围

本标准规定了江苏省城市轨道交通岩土工程勘察术语和定义、符号、基本规定、区域地质环境、岩土分类描述与围岩分级、周边环境专项调查、勘察纲要、各阶段勘察、专项勘察、不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土、场地与地基的地震效应、地下水、工程地质调查和测绘、勘探取样和原位测试、室内试验、参数的分析与选用、岩土工程分析评价和勘察报告、勘察作业安全、现场检验和监测。

本标准适用于江苏省城市轨道交通岩土工程勘察。

2 规范性引用文件

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

- GB 55017 工程勘察通用规范
- GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范
- GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50218 工程岩体分级标准
- GB/T 50585 岩土工程勘察安全标准
- GB 50909 城市轨道交通结构抗震设计规范
- GB 50652 城市轨道交通地下工程建设风险管理规划规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 50027 供水水文地质勘察规范
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- GB 51044 煤矿采空区岩土工程勘察规范
- GB 50325 民用建筑工程室内环境污染控制规范
- GB/T 11651 个体防护装备选用规范
- GB/T 28001 职业健康安全管理体系要求
- GB/T 24001 环境管理体系要求及使用指南
- GB 5768.4 道路交通标志和标线第4部分：作业区
- TB 10012 铁路工程地质勘察规范
- TB 10027 铁路工程不良地质规程
- TB 10003 铁路隧道设计规范
- TB 10001 铁路路基设计规范
- TB 10077 铁路工程岩土分类标准
- TB 10018 铁路工程地质原位测试规程
- TB/T 10104 铁路工程水质分析规程
- TB 10120 铁路瓦斯隧道技术规范

JTG C20 公路工程地质勘察规范
JGJ/T 72 高层建筑岩土工程勘察标准
JGJ 79 建筑地基处理技术规范
JGJ 120 建筑基坑支护技术规程
JGJ/T 313 建设领域信息技术应用基本术语标准
CJJ 56 市政工程勘察规范
CJJ 37 城市道路工程设计规范
CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准
CJJ 57 城乡规划工程地质勘察规范
CJJ 61 城市地下管线探测技术规程
DL/T 5170 变电所岩土工程勘测技术规程
T / CAGHP 026 地面沉降防治工程设计技术要求（试行）
SJG 01 地基基础勘察设计规范
BS 5930 Code of Practice for Site Investigation

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 术语

3.1.1

城市轨道交通 urban rail transit, mass transit

在不同型式轨道上运行的大、中运量城市公共交通工具，是当代城市中地铁、轻轨、单轨、自动导向、磁浮、市域快速城市轨道交通等城市轨道交通的统称。

3.1.2

岩土工程勘察 geotechnical investigation

根据工程建设的要求，查明、分析、评价建设场地的地质、环境特征和岩土工程条件，编制勘察文件的活动。

3.1.3

岩土工程勘察纲要 method statement for geotechnical investigation works

根据工程特点、场地条件和任务要求，编制的包括勘察依据、目的、方法、工作量、预期成果、进度安排、安全等技术文件。简称勘察纲要。

3.1.4

工程周边环境 environment around engineering

泛指城市轨道交通工程施工影响范围内的建（构）筑物、地下管线、城市道路、城市桥梁、既有城市轨道交通、既有铁路和地表水体等环境对象。

3.1.5

工程地质条件 engineering geological condition

与工程建设有关的地质条件，包括岩土的工程特性、地下水、不良地质作用和地质灾害等内容。

3.1.6

水文地质条件 hydrogeological condition

地下水的分布、埋藏、补给、径流和排泄条件，水质和水量及其形成地质条件等的总称。

3.1.7

不良地质作用 adverse geologic actions

由地球内力或外力产生的对工程可能造成危害的地质作用。

3.1.8

地质灾害 geological hazard

由不良地质作用引发的危及人身、财产、工程或环境安全的事件。

3.1.9

特殊性岩土 special rock and soil

具有特殊的物质成分、结构和工程特性的岩土的统称，包括人工填土、软土、污染土、风化岩和残积土、混合土、膨胀岩土、盐渍土、红黏土等。

3.1.10

围岩 surrounding rock

由于开挖，地下洞室周围初始应力状态发生了变化的岩土体。

3.1.11

复合地层 complex formation

在盾构隧道开挖断面范围内和开挖延伸方向上，由两种或两种以上不同地层组成，且这些地层的岩土力学、工程地质和水文地质等特征相差悬殊的组合地层。

3.1.12

基床系数 coefficient of subgrade reaction

岩土体在外力作用下，单位面积岩土体产生单位变形时所需要的压力，也称弹性抗力系数或地基反力系数。按照岩土体受力方向分为水平基床系数和垂直基床系数。

3.1.13

热物理指标 thermophysical index

反映岩土体导热、导温、储热等能力的指标，一般包括导热系数、导温系数和比热容等。

3.1.14

工点 work point

可独立开展勘察、设计的城市轨道交通建设工程，如车站、区间、停车场或车辆段等。

3.1.15

车辆基地 base for the vehicle

是城市轨道交通车辆停修和后勤保障基地，通常包括车辆段、综合维修中心、物资总库、培训中心等部分，以及相关的生活设施。

3.1.16

联络通道 connecting bypass

连接同一线路区间上下行的两个行车隧道的通道或门洞，在列车于区间遇火灾等灾害、事故停运时，供乘客由事故隧道向无事故隧道安全疏散使用。

3.1.17

山岭隧道 mountain tunnel

为缩短距离和避免大坡道而从山岭或丘陵下穿越的修建在地下或水下并铺设轨道供机车车辆通行的建筑物。

3.1.18

明挖法 cut and cover method

从地面开挖基坑修筑地下工程的施工方法。

3.1.19

盖挖法 cover method

在地面修筑维持地面交通的临时路面及其竖向支撑结构后，在顶板的下面，开挖土方和修筑结构的施工方法。

3.1.20

矿山法 mining method

在岩土体内采用新奥法或浅埋暗挖法修筑城市轨道交通工程隧道的施工方法统称。

3.1.21

盾构法 shield tunnelling method

在岩土体内采用盾构机修筑工程隧道的施工方法。

3.1.22

顶管法 pipe jacking method

在岩土体内采用顶管推进修筑地下隧道或管道的施工方法。

3.1.23

冻结法 freezing method

采用冻结的方法固结地层土体，提高土体强度的施工方法。

3.1.24

风险管控 risk management and control

对工程建设进行风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价与风险控制。

4 符号

4.1.1

岩土物理性质和颗粒组成

ρ ——质量密度（密度）；

γ ——重力密度（重度）；

ρ_d ——干密度；

w ——含水率；

e ——孔隙比；

G_s ——土粒比重；

I_f ——液性指数；

I_p ——塑性指数；

w_L ——液限；

w_p ——塑限；

n ——孔隙率；

S_r ——饱和度；

W_u ——有机质含量；

4.1.2

岩土变形参数

a ——压缩系数；

C_c ——压缩指数；

C_e ——回弹再压缩指数；

C_s ——回弹指数；

C_h ——水平向固结系数；

C_v ——垂直向固结系数；

E ——弹性模量；

E_0 ——变形模量；

E_s ——压缩模量；

E_C ——回弹模量；

G ——剪切模量；

K ——基床系数；

K_h ——水平基床系数；

K_v ——垂直基床系数；

K_0 ——静止侧压力系数；

s ——沉降量；

μ ——泊松比。

4.1.3

岩土强度参数

c ——黏聚力；
 φ ——内摩擦角。
 f_{ak} ——承载力特征值；
 R_a ——单桩竖向承载力特征值；
 f_{tb} ——岩石饱和单轴抗压强度；
 f_{rt} ——岩石天然单轴抗压强度；
 p_c ——先期固结压力；
 q_u ——无侧限抗压强度；
 p_u ——载荷试验极限压力；
 τ ——抗剪强度；

4.1.4

原位测试指标

N ——标准贯入试验锤击数；
 $N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探试验锤击数；
 N_{120} ——超重型圆锥动力触探试验锤击数；
 p_s ——单桥静力触探比贯入阻力；
 f_s ——双桥静力触探侧阻力；
 q_c ——双桥静力触探锥头阻力；
 R_f ——双桥静力触探摩阻比。
 E_D ——侧胀模量；
 E_m ——旁压模量；
 v_p ——压缩波波速；
 v_s ——剪切波波速；

4.1.5

水文地质参数

k ——渗透系数；
 Q ——流量，涌水量；
 R ——影响半径；
 u ——孔隙水压力。

4.1.6

热物理指标

C ——比热容；
 α ——导温系数；
 λ ——导热系数；

4.1.7

其他符号

S_t ——土的灵敏度；
 m ——土的水平抗力系数的比例系数；
 δ ——变异系数；
 σ ——标准差。

5 基本规定**5.1 一般规定**

5.1.1 城市轨道交通岩土工程勘察应按各阶段的技术要求，开展可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察。施工阶段可根据需要开展施工勘察工作。

5.1.2 城市轨道交通工程线路或场地附近存在对工程设计方案或施工有重大影响的岩土工程问题时应进行专项勘察。

5.1.3 城市轨道交通岩土工程勘察应取得工程周边环境资料，分析工程与环境的相互影响，提出工程周边环境保护措施的建议。必要时根据任务要求开展工程周边环境专项调查工作。

5.1.4 城市轨道交通岩土工程勘察应在搜集当地已有勘察资料、建设经验的基础上，针对线路敷设形式以及各类工程的建筑类型、结构形式、施工方法等工程条件开展工作。

5.1.5 城市轨道交通岩土工程勘察应根据不同的勘察阶段、工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级及设计要求制订勘察纲要，采用综合的勘察方法，布置合理的勘察工作量，查明工程地质条件、水文地质条件，进行岩土工程评价，提供设计、施工所需的岩土参数，提出岩土治理、环境保护、工程监测及地质风险提示等建议。

5.2 勘察分级

5.2.1 岩土工程勘察等级应根据工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级，按照表1的规定进行划分：

表1 岩土工程勘察等级划分

等级	划分条件
甲级	在工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级中，有一项或多项为一级的勘察项目
乙级	除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目
丙级	工程重要性等级、场地复杂程度等级均为三级且工程周边环境风险等级为四级的勘察项目

5.2.2 工程重要性等级可根据工程规模、建筑类型和特点以及因岩土工程问题造成工程破坏的后果，按照表2的规定进行划分：

表2 工程重要性等级划分

工程重要性等级	工程破坏的后果	工程规模及建筑类型
一级	很严重	车站主体、各类通道、地下区间、高架区间、大中桥梁、地下停车场、控制中心、主变电站、盾构始发（接收）井
二级	严重	路基、涵洞、小桥、车辆基地内的各类房屋建筑、出入口、风井、施工竖井
三级	不严重	次要建筑物、城市轨道交通地面停车场

5.2.3 场地复杂程度等级应根据地形地貌、工程地质、水文地质条件等因素按照表3的规定进行划分：

表3 场地复杂程度等级划分

场地复杂程度等级	划分条件
一级场地 (复杂场地)	符合下列条件之一： 1) 地形地貌复杂。 2) 建筑抗震危险和不利地段。 3) 不良地质作用强烈发育。 4) 特殊性岩土需要专门处理。 5) 地基、围岩或边坡的岩土性质较差。 6) 地下水对工程的影响较大需要进行专门研究和治理。
二级场地 (中等复杂场地)	符合下列条件之一： 1) 地形地貌较复杂。 2) 建筑抗震一般地段。 3) 不良地质作用一般发育。 4) 特殊性岩土不需要专门处理。 5) 地基、围岩或边坡的岩土性质一般。

场地复杂程度等级	划分条件
	6) 地下水对工程的影响较小。
三级场地 (简单场地)	符合下列条件: 1) 地形地貌简单。 2) 抗震设防烈度小于或等于6度或对建筑抗震有利地段。 3) 不良地质作用不发育。 4) 地基、围岩或边坡的岩土性质较好。 5) 地下水对工程无影响。
注1: 从一级开始, 向二级、三级推定, 以最先满足的为准; 注2: 对建筑抗震有利、一般、不利和危险地段的划分, 应按本标准17.1.6中相应规定确定。	

5.2.4 工程周边环境风险等级宜根据工程周边环境发生变化或破坏的可能性和后果的严重程度, 采用工程风险评估的方法确定, 也可根据工程周边环境的类型、重要性、与工程的空间位置关系和对工程的危害性按表4划分。

表4 工程周边环境风险等级划分

周边环境风险等级	划分条件	破坏后果
一级	主要影响区内存在既有城市轨道交通设施、铁路、优秀历史建筑、重要建(构)筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊。 拟建隧道工程上穿既有城市轨道交通设施。	工程周边环境与工程互相影响很大, 破坏后果很严重
二级	符合下列条件之一: 1) 主要影响区内存在一般建(构)筑物、桥梁与隧道、高速公路或重要地下管线。 2) 次要影响区内存在既有城市轨道交通设施、重要建(构)筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊。	工程周边环境与工程互相影响大, 破坏后果严重
三级	符合下列条件之一: 1) 主要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施; 2) 次要影响区内存在一般建(构)筑物、一般桥梁与隧道、高速公路或重要地下管线;	工程周边环境与工程互相影响较大, 破坏后果较严重
四级	次要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施	工程周边环境与工程互相影响小, 破坏后果轻微

6 区域地质环境

6.1 地形地貌

6.1.1 江苏省地貌单元可划分为: 沂沭丘陵~平原区(I)、徐淮黄泛平原区(II)、里下河浅洼平原区(III)、苏北滨海平原区(IV)、长江三角洲平原区(V)、太湖水网平原区(VI)、宁镇扬丘陵岗地~平原区(VII)七个区, 具体划分见附录A。

6.1.2 应在区域地貌划分的基础上根据微地貌形态、成因和地层特征进一步划分地貌单元, 详见附录A; 在进行工程勘察和岩土工程评价时, 应对建设场地的地貌单元作相应的描述, 并评价其对工程的影响。

6.2 第四纪地层

6.2.1 应对区域第四纪地层进行必要的特征描述, 江苏省各地貌区第四纪主要地层特征见附录B。

6.2.2 江苏省第四纪晚更新世(Q₃)地层出露或浅埋区分布见本规范附录C。

6.3 工程地质分层

6.3.1 应根据土的成因年代对第四纪地层进行工程地质层划分, 并按土层的岩性特征和物理力学指标进一步划分工程地质亚层。

6.3.2 第四系下伏基岩层，应按风化程度划分工程地质层，主层号以时代、岩性代号表示，风化程度以数字表示，即：-1 全风化，-2 强风化，-3 中等风化，-4 微风化。

7 岩土分类、描述与围岩分级

7.1 岩石的分类与描述

7.1.1 在进行岩土工程勘察时，应鉴定岩石的成因、名称和风化程度，并进行岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分。

7.1.2 岩石风化程度可按表 5 划分。

表5 岩石按风化程度分类

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 K_{vp}	风化系数 K_f
微风化	岩石结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙。	0.8~1.0	0.8~1.0
中等风化	岩石结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩芯钻方可钻进。	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	岩石结构大部分破坏，矿物成分显著变化，风化裂隙很发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻进。	0.4~0.6	<0.4
全风化	岩石结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进。	0.2~0.4	—

注1：波速比 K_{vp} 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比。
注2：风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比。
注3：岩石风化程度，除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分。
注4：半成岩可不进行风化程度划分。

7.1.3 岩石坚硬程度应按表 6 划分。

表6 岩石坚硬程度分类

坚硬程度	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度 (MPa)	$f_{rb} > 60$	$60 \geq f_{rb} > 30$	$30 \geq f_{rb} > 15$	$15 \geq f_{rb} > 5$	$f_{rb} \leq 5$

注1：当无法取得饱和单轴抗压强度数据时，可用点荷载试验强度换算，换算方法按《工程岩体分级标准》GB50218执行。
注2：当岩体完整程度为极破碎时，可不进行坚硬程度分类。

7.1.4 岩体完整程度应按表 7 划分。

表7 岩体完整程度分类

完整性指数	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

注：完整性指数为岩体纵波速度与岩块纵波速度之比的平方，选定岩体和岩块测定波速时，应注意其代表性、试验方法与条件

7.1.5 岩体基本质量等级应按表 8 划分。

表8 岩体基本质量等级分类

坚硬程度	完整程度
------	------

	完 整	较完整	较破碎	破 碎	极破碎
坚硬岩	I	II	III	IV	V
较硬岩	II	III	IV	IV	V
较软岩	III	IV	IV	V	V
软 岩	IV	IV	V	V	V
极软岩	V	V	V	V	V

7.1.6 当缺乏有关试验数据时，可按本规范附录 D 表 D.1 和表 D.2 划分岩石的坚硬程度和岩体的完整程度。

7.1.7 岩体结构类型的划分可按本规范附录 D 表 D.3 执行。

7.1.8 当软化系数等于或小于 0.75 时，应定为软化岩石；当岩石具有特殊成分、特殊结构或特殊性质时，应定为特殊性岩石。

7.1.9 岩石的描述应包括地质年代、地质名称、风化程度、颜色、主要矿物、结构、构造。对沉积岩应着重描述沉积物的颗粒大小、形状、胶结物成分和胶结程度；对岩浆岩和变质岩应着重描述矿物成分、矿物结晶大小和结晶程度。

7.1.10 岩体的描述应在岩石描述的基础上包括结构面、结构体、岩层厚度和结构类型、岩石质量指标 RQD 等，并应符合下列规定：

- 结构面的描述包括类型、性质、产状、组合形式、发育程度、延展情况、闭合程度、粗糙程度、频度、充填情况和充填物性质以及充水性等。
- 结构体的描述包括类型、形状、大小和结构体在围岩中的受力情况等。
- 岩层厚度分类应按表 9 执行。

表9 岩层厚度分类

层厚分类	单层厚度 h (m)	层厚分类	单层厚度 h (m)
巨厚层	$h > 1.0$	中厚层	$0.5 \geq h > 0.1$
厚 层	$1.0 \geq h > 0.5$	薄 层	$h \leq 0.1$

7.1.11 对岩体基本质量等级为 IV 级和 V 级的岩体，鉴定和描述尚应符合下列规定：

- 对软岩和极软岩，应注意其可软化性、膨胀性、崩解性等特殊性质。
- 对极破碎岩体，应说明破碎的原因，如断层、全风化等。

7.2 土的分类与描述

7.2.1 按土的沉积时代，可划分为老沉积土、一般沉积土和新近沉积土。按地质成因，可划分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土和风积土等。

7.2.2 按土颗粒级配或塑性指数，可划分为碎石土、砂土、粉土和黏性土，并可按表 10、表 11、表 12 和表 13 进一步分类。

表10 碎石土分类

土的名称	颗 粒 形 状	颗 粒 级 配
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11 砂土分类

土的名称	颗粒级配
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。

表12 粉土分类

土的名称	颗粒级配
黏质粉土	粒径小于0.005mm的颗粒质量超过总质量10%
砂质粉土	粒径小于0.005mm的颗粒质量不超过总质量10%

注：应首先将粒径大于0.075mm的颗粒质量不超过总质量的50%，且塑性指数等于或小于10的土，应定名为粉土，然后再进一步细分。

表13 黏性土分类

土的名称	塑性指数 I_p
黏土	$I_p > 17$
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$

注：塑性指数应由相应于76g圆锥仪沉入土中深度为10mm时测定的液限计算而得。

7.2.3 特殊性土包括填土、软土、膨胀岩土、残积土、盐渍土、红黏土、混合土及污染土等。

7.2.4 土的综合定名除按颗粒级配或塑性指数外，尚应符合下列规定：

- a) 对特殊成因和年代的土类应结合其成因和年代特征定名。
- b) 对特殊性土，应结合颗粒级配或塑性指数定名。
- c) 对混合土应冠以主要含有的土类定名。
- d) 对同一土层中相间呈韵律沉积，当薄层与厚层的厚度比大于1/3时，宜定为“互层”；厚度比为1/10~1/3时，宜定为“夹层”；厚度比小于1/10的土层，且多次出现时，宜定为“夹薄层”。
- e) 当土层厚度大于0.5m时，宜单独分层。

7.2.5 土的综合定名除按颗粒级配或塑性指数外，尚应符合下列规定：

- a) 碎石土宜描述颗粒级配、颗粒形状、颗粒排列、母岩成分、风化程度、是否起骨架作用，充填物的性质和充填程度、密实度等。
- b) 砂土宜描述颜色、颗粒级配、颗粒形状、矿物组成、包含物、黏粒含量、湿度、密实度、层理特征等。
- c) 粉土宜描述颜色、包含物、湿度、密实度、层理特征等。
- d) 黏性土宜描述颜色、状态、包含物、土的结构等。
- e) 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，如对淤泥尚应描述嗅味，对填土尚应描述物质成分、堆积年代、密实度和均匀性等。
- f) 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。
- g) 需要时，可按表14用目力鉴别描述土的摇振反应、光泽反应、干强度和韧性。

表14 目力鉴别粉土和黏性土

鉴别项目	土的名称		
	粉土	粉质黏土	黏土
摇振反应	迅速、中等	无	无

光泽反应	无光泽反应	稍有光泽	有光泽
干强度	低	中等	高
韧性	低	中等	高

7.2.6 碎石土的密实度可根据圆锥动力触探试验锤击数按表 15 或表 16 确定；表中的 $N_{63.5}$ 和 N_{120} 应按附录 E 修正。定性描述应符合附录 D 表 D.0.5 的规定。

表15 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$ (击)	密实度	重型动力触探锤击数 $N_{63.5}$ (击)	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散	$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密	$N_{63.5} > 20$	密实

注：本表适用于平均粒径等于或小于50mm，且最大粒径不超过100mm的碎石土。对于平均粒径大于50mm，或最大粒径大于100mm的碎石土，可用超重型动力触探或野外观察鉴别。

表16 碎石土密实度按 N_{120} 分类

超重型动力触探锤击数 N_{120} (击)	密实度	超重型动力触探锤击数 N_{120} (击)	密实度
$N_{120} \leq 3$	松散	$11 < N_{120} \leq 14$	密实
$3 < N_{120} \leq 6$	稍密	$N_{120} > 14$	很密
$6 < N_{120} \leq 11$	中密	—	—

7.2.7 砂土的密实度应根据标准贯入锤击数实测值 N 划分为密实、中密、稍密和松散，并应符合表 5.2.7 的规定。当用静力触探探头阻力划分砂土密实度时，可根据当地经验确定。

表17 砂土密实度分类

标准贯入锤击数 N (击)	密实度	标准贯入锤击数 N (击)	密实度
$N \leq 10$	松散	$15 < N \leq 30$	中密
$10 < N \leq 15$	稍密	$N > 30$	密实

7.2.8 粉土的密实度宜根据标准贯入锤击数实测值 N 、静力触探阻力 (p_s 或 q_c) 划分为密实、中密和稍密；其湿度应根据含水率 w 划分为稍湿、湿、很湿。密实度和湿度的划分可分别符合表 18 和表 19 的规定。

表18 粉土密实度分类

密实度		稍密	中密	密实
砂质粉土	N (击)	$N \leq 10$	$10 < N \leq 17$	$N > 17$
	p_s (MPa)	$p_s \leq 4.0$	$4.0 < p_s \leq 8.0$	$p_s > 8.0$
	q_c (MPa)	$q_c \leq 3.5$	$3.5 < q_c \leq 7.0$	$q_c > 7.0$
黏质粉土	N (击)	$N \leq 6$	$6 < N \leq 12$	$N > 12$
	p_s (MPa)	$p_s \leq 2.5$	$2.5 < p_s \leq 5.0$	$p_s > 5.0$
	q_c (MPa)	$q_c \leq 2.0$	$2.0 < q_c \leq 4.5$	$q_c > 4.5$

表19 粉土湿度分类

含水率 w (%)	湿度
$w < 20$	稍湿
$20 \leq w \leq 30$	湿
$w > 30$	很湿

黏性土的状态应根据液性指数 I_L 划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑，并应符合表 20 的规定。

表20 黏性土状态分类

液性指数	状态	液性指数	状态
$I_L \leq 0$	坚硬	$0.75 < I_L \leq 1$	软塑
$0 < I_L \leq 0.25$	硬塑	$I_L > 1$	流塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可塑	-	-

7.3 围岩分级与岩土施工工程分级

7.3.1 围岩分级应根据隧道围岩的工程地质条件、开挖后的稳定状态、弹性纵波波速按本规范附录 D.6 划分为 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级和 VI 级。

7.3.2 岩土施工工程分级可根据岩土名称及特征、岩石饱和单轴抗压强度、岩石饱和单轴抗压强度、钻探难度按本规范附录 D.7 分为松土、普通土、硬土、软质岩、次坚石和坚石。

8 周边环境专项调查

8.1 一般规定

8.1.1 城市轨道交通工程应开展周边环境专项调查工作，包括对工程建设影响范围内既有（或在建）的房屋、管线、桥梁、隧道、道路、城市轨道交通等建（构）筑物和设施及文物、地表水体、沿线古树等的调查。调查范围、对象和内容可根据工程设计方案、环境风险等级、工程地质、水文地质及施工工法等条件确定。

8.1.2 周边环境专项调查应在取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图等资料的基础上，采用实地调查、资料调阅、现场勘查与探测等多种手段相结合的综合方法开展工作。

8.2 调查要求

8.2.1 周边环境专项调查宜分阶段进行。调查内容包括环境类型、权属单位、使用单位、管理单位、使用性质、建设年代、设计使用年限、地质资料、设计文件、变形要求、与工程的空间关系、相关影像资料等。

8.2.2 建（构）筑物应重点调查建（构）筑物的平面图、上部结构形式、地基基础形式与埋深、持力层性质，基坑支护、桩基或地基处理设计、施工参数，建（构）筑物的沉降观测资料等；地下构筑物及人防应重点调查工程的平面图、结构形式、顶板和底板标高、工程施工方法以及使用、充水情况等。

8.2.3 既有地下管线应重点调查下列内容：

- a) 应重点调查管线的类型、平面位置、埋深、高程、铺设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、节门位置和保护要求。
- b) 调查的范围、埋深、精度、资料要求深度可根据设计要求、环境风险等级及对工程的影响程度综合确定。

8.2.4 既有城市轨道交通线路与铁路应重点调查下列内容：

- a) 地下结构调查应包括结构的平面图、剖面图，地基基础形式与埋深，隧道断面形式与尺寸、支护形式与参数，施工方法。
- b) 高架线路调查应包括桥梁的结构形式、墩台跨度与荷载、基础桩位、桩长、桩径等；
- c) 地面线路调查应包括路基的类型、结构形式、道床类型，涵洞与支挡结构形式以及地基基础形式与埋深。

8.2.5 城市道路及高速公路应重点调查下列内容：

- a) 路基调查应包括道路的等级、路面材料、路堤高度、路堑深度；支挡结构形式及地基基础形式与埋深；
- b) 桥涵调查应包括桥涵的类型、结构形式、基础形式、跨度，桩基或地基加固设计、施工参数等。

8.2.6 文物建筑应重点调查文物建筑的平面位置、名称、保护等级、结构形式、地基基础形式与埋深等。

- 8.2.7 水工建筑应重点调查构筑物的类型、结构形式、地基基础形式与埋深、使用现状等。
- 8.2.8 架空线缆应重点调查架空线缆的类型、走廊宽度、线塔地基基础形式与埋深、电压等级、安全距离、线缆与城市轨道交通线路的交汇点坐标、悬高等。
- 8.2.9 地表水体应重点调查水位、水深、水体底部淤积物及厚度、防渗措施，河流的流量、流速、水质及河床宽度，河床冲刷深度等。
- 8.2.10 周边环境专项调查过程中遇重大危险源时，应及时划分环境风险等级，为确定或调整线路规划方案提供依据。

8.3 成果资料

- 8.3.1 建（构）筑物调查成果资料的整理应符合下列规定：
- 编制调查报告，报告内容包括文字报告、调查对象成果表、调查对象平面位置图、调查对象的影像资料等；
 - 文字报告主要包括：工程概述、调查依据、调查范围、调查对象及内容、调查方法、工作量完成情况、调查成果汇总，初步分析工程与建（构）筑物的相互影响、划分环境风险等级，提出有关的措施和建议，说明调查工作遗留问题；
 - 调查对象成果主要包括：名称、产权单位、使用单位、使用性质、修建年代、地上和地下层数、地基基础形式与埋深等；
 - 调查对象应在平面位置图上进行标识；
 - 周边环境专项调查报告中应详细说明资料获取方式及来源。
- 8.3.2 地下管线探测成果资料应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ61 有关报告书编制的要求。

9 勘察纲要

- 9.1.1 城市轨道交通工程勘察纲要应在现场踏勘的基础上根据勘察等级、阶段、拟建工程的特点和设计的技术要求，结合当地地质条件进行编制，内容完整、合理可行。在实施过程中，勘察纲要应根据实际情况变化及时调整。
- 9.1.2 可行性研究勘察可按工程整体编制勘察纲要，初步勘察阶段可按标段编制勘察纲要，详细勘察阶段应按工点编制勘察纲要；施工勘察、专项勘察宜单独编制纲要。
- 9.1.3 勘察纲要编制宜搜集下列资料：
- 项目合同文件或委托书；
 - 建设、总体、设计单位对工程勘察的技术要求；
 - 拟建场地地形图；
 - 场地地理位置、地貌单元、场地现状，交通、用电、用水等勘察条件；
 - 类似工程经验和邻近场地地质资料；
 - 拟建场地地下管线、地下构筑物及地下障碍物等必要的基础资料；
 - 拟建场地勘探点的放样及高程测量依据。
- 9.1.4 勘察纲要应包括下列内容：
- 工程概况、勘察阶段。
 - 勘察目的、任务及依据的主要标准。
 - 已有岩土工程资料分析。
 - 勘察等级和勘察方法。
 - 勘察工作布置原则及工作量。
 - 主要工程地质问题及技术对策。
 - 资源配置、质量和安全文明保证措施以及进度计划。
 - 预期提交成果的内容、形式、数量。
 - 勘察安全、技术交底及验槽等后期服务
 - 勘探点平面布置图

9.1.5 城市轨道交通岩土工程勘察宜按可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察分阶段开展工作，并与可行性研究、初步设计、施工图设计三个阶段相对应。

10 可行性研究勘察

10.1 一般规定

10.1.1 可行性研究勘察应针对城市轨道交通工程线路方案开展工程地质勘察工作，研究线路场地的地质条件，为线路方案比选提供地质依据。

10.1.2 可行性研究勘察应重点研究影响线路方案的不良地质作用、特殊性岩土及关键工程的工程地质条件。

10.1.3 可行性研究勘察应在搜集已有地质资料和工程地质调查与测绘的基础上，开展必要的勘探与取样、原位测试、室内试验等工作。

10.2 目的与任务

10.2.1 可行性研究勘察应调查城市轨道交通工程线路场地的岩土工程条件、周边环境条件，研究控制线路方案的主要工程地质问题和重要工程周边环境，为线位、站位、线路敷设形式、施工方法等方案的设计与比选、技术经济论证、工程周边环境保护及编制可行性研究报告提供地质资料。

10.2.2 可行性研究勘察应进行下列工作：

- a) 搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震、矿产等资料，以及沿线的工程地质条件、水文地质条件、工程周边环境条件和相关工程建设经验。
- b) 调查线路沿线的地层岩性、地质构造、地下水埋藏条件等，划分工程地质单元，进行工程地质分区，评价场地稳定性和适宜性。
- c) 对控制线路方案的工程周边环境，分析其与线路的相互影响，提出规避、保护的初步建议。
- d) 对控制线路方案的不良地质作用、特殊性岩土，了解其类型、成因、范围及发展趋势，分析其对线路的危害，提出规避、防治的初步建议。对控制线路方案的不良地质和特殊岩土应进行必要的勘探和测试工作。
- e) 研究场地的地形、地貌、工程地质、水文地质、工程周边环境等条件，分析路基、高架、地下等工程方案及施工方法的可行性，提出线路比选方案的建议。

10.3 勘察要求

10.3.1 可行性研究勘察的资料搜集应包括下列内容：

- a) 工程所在地的气象、水文以及与工程相关的水利、防洪设施和评价等资料。
- b) 区域地质、构造、地震及液化等资料。
- c) 沿线地形、地貌、地层岩性、地下水、特殊性岩土、不良地质作用和地质灾害等资料。
- d) 沿线古城址及河、湖、沟、坑的历史变迁及工程活动引起的地质变化等资料。
- e) 影响线路方案的重要建（构）筑物、桥涵、隧道、既有城市轨道交通设施等工程周边环境的设计与施工资料。

10.3.2 可行性研究勘察的勘探工作应符合下列要求：

- a) 在搜集资料的基础上，勘探点间距不宜大于 1000m，每个车站、车辆基地应有勘探点。
- b) 勘探点数量应满足工程地质分区的要求；每个工程地质单元应有勘探点，在地质条件复杂地段应加密勘探点。
- c) 当有两条或两条以上比选线路时，各比选线路均应布置勘探点。
- d) 控制线路方案的江、河、湖等地表水体及不良地质作用和特殊性岩土地段应布置勘探点。
- e) 勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要。

10.3.3 可行性研究勘察的取样、原位测试、室内试验的项目和数量，应结合地质或地貌单元、根据线路方案、沿线工程地质和水文地质条件确定。

11 初步勘察

11.1 一般规定

11.1.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构形式、施工方法等工作，为初步设计提供地质依据。

11.1.2 初步勘察应对控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段进行重点勘察，并结合工程周边环境提出岩土工程防治和风险控制初步建议。

11.1.3 初步勘察工作应根据沿线区域地质和场地工程地质、水文地质、工程周边环境等条件，采用工程地质调查与测绘、勘探与取样、原位测试、室内试验等多种手段相结合的综合勘察方法。勘探工作应符合下列要求：

- a) 勘探点的布置应满足初步查明各类工程场地的地质条件和初步设计要求，当地质条件或周边环境复杂时，勘探点可适当加密。
- b) 勘探点类型以取样孔为主，其数量不少于勘探点总数的 1/2。
- c) 勘探点深度应满足各类工程要求，以控制性孔为主。
- d) 采取土样、岩样按工程地质条件分段或按工点进行，主要地层取样试验数量不少于 6 个。
- e) 初步勘察阶段勘探点按工点进行布置，岩土工程勘察报告按标段或工点编制。
- f) 对影响工程方案的断层、越岭地段、岩溶发育段，应采取物探方法进行探测。

11.2 目的与任务

11.2.1 初步勘察应初步查明城市轨道交通工程线路、车站、车辆基地和相关附属设施的工程地质和水文地质条件，分析评价地基基础形式和施工方法的适宜性，预测可能出现的岩土工程问题，提供初步设计所需的岩土参数，提出复杂或特殊地段岩土治理的初步建议。

11.2.2 初步勘察应进行下列工作：

- a) 搜集带地形图的拟建线路平面图、线路纵断面图、施工方法等有关设计文件及可行性研究勘察报告、沿线地下设施分布图。
- b) 初步查明沿线地质构造、岩土类型及分布、岩土物理力学性质、地下水埋藏条件，进行工程地质分区。
- c) 初步查明特殊性岩土的类型、成因、分布、规模、工程性质，分析其对工程的危害程度。
- d) 查明沿线场地不良地质作用的类型、成因、分布、规模，预测其发展趋势，分析其对工程的危害程度。
- e) 初步查明沿线地表水的水位、流量、水质、河湖淤积物的分布，以及地表水与地下水的补排关系。
- f) 初步查明地下水水位，地下水类型，补给、径流、排泄条件，历史最高水位，地下水动态和变化规律。
- g) 对场地和地基的地震效应进行初步分析评价。
- h) 评价场地稳定性和工程适宜性。
- i) 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性。
- j) 对可能采取的地基基础类型、地下工程开挖与支护方案、地下水控制方案进行初步分析评价。
- k) 对环境风险等级较高的工程周边环境，分析可能出现的工程问题，提出预防措施的建议。

11.3 地下工程

11.3.1 地下车站与区间工程初步勘察除应符合本规范第 11.2.2 条的规定外，尚应满足下列要求：

- a) 初步划分车站、区间隧道的围岩分级和岩土施工工程分级。
- b) 根据车站、区间隧道的结构形式及埋置深度，结合岩土工程条件，提供初步设计所需的岩土参数，提出地基基础方案的初步建议。
- c) 每个水文地质单元选择代表性地段进行水文地质试验，提供水文地质参数，必要时设置地下水位长期观测孔。
- d) 初步查明地下有害气体、污染土层的分布、成分，评价其对工程的影响。

- e) 针对车站区间隧道的施工方法,结合岩土工程条件,分析基坑支护、围岩支护、盾构设备选型、岩土加固与开挖、地下水控制等可能遇到的岩土工程问题,提出处理措施的初步建议。

11.3.2 地下工程勘探点布置应符合下列规定:

- a) 地下车站的勘探点宜按结构轮廓线布置,每个车站勘探点数量不宜少于4个,且勘探点间距不宜大于100m。
- b) 地下区间的勘探点应根据场地复杂程度和设计方案布置,宜布置在隧道结构边线外侧,勘探点单侧间距宜为100m~200m,在地貌、地质单元交接部位、地层变化较大地段以及不良地质作用和特殊性岩土发育地段应加密勘探点。山岭隧道可按《铁路工程地质勘察规范》TB 10012的相关规定执行。
- c) 工作井(含风井)应布置勘探点。

11.3.3 地下工程勘探点深度应符合下列规定:

- a) 控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于30m;或进入结构底板下强风化、全风化岩石地层进入结构底板以下不应小于15m;在结构埋深范围内如遇中等风化微风化岩石地层宜进入结构底板以下不应小于8m。
- b) 一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于20m;在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层进入结构底板以下不应小于10m;在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层进入结构底板以下不应小于5m。
- c) 遇岩溶和破碎带等复杂地质时勘探点深度应适当加深。
- d) 地下工程设置承重桩或抗拔桩,勘探点深度应同时满足设计承载力和稳定性要求。

11.3.4 初步勘察需提供的地基参数见附录N。

11.4 高架工程

11.4.1 高架车站与高架区间工程初步勘察除应符合本规范第11.2.2条的规定外,尚应满足下列要求:

- a) 重点查明对高架方案有控制性影响的不良地质体的分布范围,指出工程设计应注意的事项。
- b) 采用天然地基时,初步评价墩台基础地基稳定性和承载力,提供地基变形、基础抗倾覆和抗滑移稳定性验算所需的岩土参数。
- c) 采用桩基时,初步查明桩基持力层的分布、厚度变化规律,提出桩型及成桩工艺的初步建议,提供桩侧土层摩阻力、桩端土层端阻力初步建议值,并评价桩基施工与工程周边环境的相互影响。
- d) 对跨河桥,还应初步查明河流水文条件,提供冲刷计算所需的颗粒级配等参数。

11.4.2 高架工程勘探点布置应符合下列规定:

高架工程勘探点宜布置在墩台范围内,勘探点间距应根据场地复杂程度和设计方案确定,宜为80m~150m,特殊跨位置应布置勘探点;高架车站勘探点数量不宜少于4个。

11.4.3 高架工程勘探点深度应符合下列规定:

- a) 控制性勘探孔深度应满足墩台基础或桩基沉降计算和软弱下卧层验算的要求,一般性勘探孔应满足查明墩台基础或桩基持力层和软弱下卧土层分布的要求。
- b) 墩台基础置于地表水水下时,应穿过水流最大冲刷深度达持力层以下。
- c) 覆盖层较薄,下伏基岩风化层不厚时,勘探孔应进入中风化或微风化地层8m。为确认是基岩而非孤石,应将岩芯同当地岩层露头、岩性、层理、节理和产状进行对比分析,综合判断。

11.4.4 初步勘察需提供的地基参数见附录N。

11.5 路基、涵洞工程

11.5.1 路基工程初步勘察除应符合本规范第11.2.2条的规定外,尚应符合下列规定:

- a) 初步查明各岩土层的岩性、分布情况及物理力学性质,重点查明对路基工程有控制性影响的不稳定岩土体、软弱土层等不良地质体的分布范围。
- b) 初步评价路基基底的稳定性及均匀性,划分岩土施工工程等级,指出路基设计应注意的事项并提出相关建议。
- c) 初步查明水文地质条件,评价地下水对路基的影响,提出地下水控制措施的建议。

- d) 对高路堤应初步查明软弱土层的分布范围和物理力学性质，提出天然地基的填土允许高度或地基处理建议，对路堤的稳定性进行初步评价，必要时进行取土场勘察。
 - e) 对深路堑，应初步查明岩土体的不利结构面，调查沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件，评价边坡稳定性，提出边坡治理措施的建议。
 - f) 对支挡结构，应初步评价地基稳定性和承载力，提出地基基础形式及地基处理措施的建议。对路堑挡土墙，还应提供墙后岩土体物理力学性质指标。
- 11.5.2 涵洞工程初步勘察除应符合本规范第 11.2.2 条的规定外，尚应符合下列规定：
- a) 初步查明涵洞场地地貌、地层分布和岩性、地质构造、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩倾斜面、不良地质作用和特殊性岩土。
 - b) 初步查明涵洞地基的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数。
 - c) 初步评价涵洞地基均匀性、稳定性和承载力，提供涵洞设计、施工所需的岩土参数。
- 11.5.3 路基、涵洞工程勘探点布置应符合下列要求：
- a) 路基工程的勘探点可结合涵洞工程勘探统筹考虑，勘探点间距宜为 100m~150m，支挡结构、涵洞应有勘探点控制。
 - b) 每个地貌、地质单元均应布置勘探点，在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段应加密勘探点。
 - c) 高路堤、深路堑应布置横断面。
- 11.5.4 路基、涵洞工程的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；一般性勘探孔进入基底以下 5m~10m。
- 11.5.5 初步勘察需提供的地基参数见附录 N。

11.6 地面房屋建筑及构筑物

11.6.1 地面车站、车辆基地、控制中心、变电所等建（构）筑物初步勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的有关规定。

11.7 电缆通道

11.7.1 参照市政规范执行。

11.7.2 初步勘察需提供的地基参数可参照附录 N。

12 详细勘察

12.1 一般规定

12.1.1 详细勘察应充分收集设计文件和专题研究成果，在初步勘察的基础上，针对各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度及施工方法等工作，满足施工图设计的要求。

12.1.2 详细勘察应根据各类工程场地的工程地质、水文地质和工程周边环境等条件，采用勘探与取样、原位测试、室内试验，辅以工程地质调查与测绘、工程物探等多种手段相结合的综合勘察方法。

12.1.3 控制性和一般性勘探孔应为采取岩土试样钻孔、标准贯入试验孔、静力触探试验孔及其他原位测试孔。控制性勘探孔数量不应少于勘探点总数的 1/3，其中采取岩土试样勘探孔的数量不少于勘探点总数的 1/3。

12.1.4 各工点每一主要岩土层的原状试样或原位测试数据不应少于 10 件（组），且每一地质单元的岩土层原状试样或原位测试数据不应少于 6 件（组）。

12.1.5 详细勘察阶段勘探点应按工点进行布置，勘察报告应按工点进行编制。

12.2 目的与任务

12.2.1 详细勘察应查明各类工程场地的工程地质和水文地质条件，分析评价地基、围岩及边坡稳定性，预测可能出现的岩土工程问题，提出地基基础选型与持力层选择、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、施工工法技术措施、周边环境保护方案建议，提供设计、施工所需的岩土参数。

12.2.2 详细勘察工作前应收集下列资料：附有坐标和地形的拟建工程平面图、纵断面图、荷载、结构

类型与特点、施工方法、基础形式及埋深、地下工程埋置深度及上覆土层的厚度、变形控制要求；隧道围岩衬砌方案、基坑支护方案；拟建场地挖填方情况及环境边坡治理措施；拟建工程及其影响范围内的重要建（构）筑物的地基岩土条件、基础类型、结构形式和使用状态等。

12.2.3 详细勘察应进行下列工作：

- a) 查明场地范围内岩土层的类型、时代成因、分布范围、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载能力，提出天然地基、地基处理或桩基等地基基础方案和持力层选择的建议，对需进行沉降计算的建（构）筑物，提供地基变形计算参数。
- b) 查明不良地质作用的特征、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出治理方案的建议。
- c) 查明软土等特殊岩土及对工程施工不利的饱和砂土、卵（碎）石土等的分布与特征，分析其对工程的危害和影响，提出工程防治措施的建议。
- d) 查明基岩岩性、力学强度、产状、风化程度、岩体完整性、构造破碎带特征等。
- e) 分析地下工程围岩的稳定性和可控性，对围岩进行分级和岩土施工工程分级，提出对地下工程有不利影响的工程地质问题及防治措施的建议，提供基坑支护、隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。
- f) 分析边坡的稳定性及可能出现的岩土工程问题，提供边坡稳定性计算参数，提出边坡治理的工程措施建议。
- g) 划分场地抗震地段、确定场地类别、抗震设防烈度、设计地震分组等地震参数，并对场地和地基的地震效应作出评价。
- h) 查明对工程有影响的地表水体的分布、水位、水深、水质、防渗措施、淤积物分布及地表水与地下水的水力联系等，分析地表水体对工程可能造成的危害。
- i) 查明地下水的埋藏条件，提供场地的地下水类型、勘察时水位、水质、岩土渗透系数、地下水位变化幅度等水文地质资料，建议抗浮设防水位，分析地下水对工程的作用，提出地下水控制措施的建议。
- j) 判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性。
- k) 分析工程周边环境与工程的相互影响，提出环境保护措施的建议。

12.3 地下工程

12.3.1 地下工程主要包括地下车站主体、出入口、风井、通道，地下区间、泵房、联络通道等。

12.3.2 详细勘察除应符合本标准第 12.1、12.2 节的要求外，尚应符合下列要求：

- a) 查明各岩土层的分布，提供各岩土层的物理力学指标及地下工程设计、施工所需的岩土参数。
- b) 查明不良地质作用、特殊性岩土及对工程施工不利的饱和砂层、卵石层、漂石层等的分布与特征，分析其对工程的危害和影响，提出工程防治措施的建议。
- c) 在基岩地区应查明岩石风化程度，岩层层理、片理、节理等软弱结构面的产状及组合形式，断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型，分析隧道偏压的可能性及危害。
- d) 对隧道围岩的稳定性进行评价，提出围岩加固措施的建议，提供隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。
- e) 对基坑边坡的稳定性进行评价，分析基坑支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供基坑支护设计所需的岩土参数。
- f) 分析地下水对工程施工的影响，预测基坑和隧道突水、涌砂、流土、管涌的可能性及危害程度。
- g) 分析地下水对工程结构的作用，对需采取抗浮措施的地下工程，提出抗浮设防水位的建议，提供抗拔桩或抗浮锚杆设计所需的各岩土层的侧摩阻力或锚固力等计算参数，必要时对抗浮设防水位进行专项研究。
- h) 分析评价工程降水、岩土开挖对周边环境的影响并提出防护措施的建议。
- i) 对出入口与通道、风井与风道、施工竖井、泵房、联络通道等附属工程及隧道断面尺寸变化较大区段，应进行岩土工程分析与评价。
- j) 对地基承载能力、地基处理和围岩加固效果等的工程检测提出建议；对工程结构、工程周边环境、岩土体的变形及地下水位变化等的工程监测提出建议。

- k) 明挖法勘察尚应查明填土、暗滨、软弱土夹层及饱和砂层的分布，基岩埋深较浅地区的覆盖层厚度、基岩起伏、坡度及岩层产状；当采用坑内降水时应预测降低地下水位对周边环境条件、基底及坑壁稳定性的影响，提出处理措施建议；放坡开挖法应提供边坡稳定性计算所需岩土参数；盖挖法勘察应查明支护桩（墙）和承重桩端的持力层深度、厚度，提供桩墙和承重桩承载力和变形计算参数。
- l) 矿山法勘察应重点查明隧道通过土层的性状、密实度及自稳性，古河道、古湖泊、地下水、饱和粉细砂层、有害气体的分布，填土的组成、性质及厚度；在基岩区除本条第 3 款及第 4 款要求外，尚应查明岩溶发育及富水情况、围岩的膨胀性等；预测施工可能产生开挖面坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、岩爆、滑坡、围岩松动等风险，并提出防治措施的建议。
- m) 盾构法勘察尚应查明高灵敏度软土、高塑性黏性土、松散砂土层、含承压水砂层、含块石（漂石）或碎石（卵石）土、软硬不均地层等分布和特征，分析评价其对盾构施工的影响；查明溶洞、地下障碍物、采空区、有害气体的分布；提供含块石（漂石）或碎石（卵石）土、软硬不均地层、硬质岩地层中的石质强度、耐磨矿物成分及含量。对盾构设备选型及刀盘、刀具的选择以及辅助工法的确定提出建议。
- 12.3.3 各工法详细勘察需提供的主要地基岩土参数可按本标准附录 N 选取。
- 12.3.4 勘探点间距根据场地的复杂程度、地下工程类别、施工工法及地下工程的埋深、断面尺寸等特点可按表 21 的规定综合确定；勘探点的平面布置应符合下列规定：

表21 勘探点间距（m）

场地复杂程度	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
地下车站勘探点间距	10~20	20~40	40~50
地下区间勘探点间距	10~30	30~50	50~60
注：当需要采用放坡、土钉、锚杆时，基坑外勘探点的范围不宜小于基坑深度的2倍，勘探点间距宜为30~50m。			

- a) 车站主体勘探点宜沿结构轮廓线布置，结构角点以及出入口、通道、风井与风亭、风道、施工竖井与施工通道等附属工程部位应有勘探点控制。宽度小于 10m 的附属结构线型基坑，勘探点可沿基坑边线两侧交错布置，但基坑角点应有勘探点控制。
- b) 每个车站不应少于 2 条纵剖面，标准车站应有 3 条代表性的横剖面，带配线的车站应有不少于 5 条有代表性的横剖面；车站端头应设置横断面；结构变化位置、出入口和地质条件复杂地段横剖面应适当加密。
- c) 车站采用承重桩时，勘探点的平面布置宜结合承重桩的位置布设。
- d) 区间勘探点宜在隧道结构外侧 3m~5m（水域 6m~10m）的位置交叉布置。详勘阶段左、右线分别绘制地质纵剖面图。
- e) 在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、泵房、渡线、横洞、平行导坑、斜井、施工竖井等应有勘探点控制，并布设剖面，每剖面勘探点不少于 2 个，遇地层变化较大时，应加密勘探点。
- f) 山岭隧道应根据前期勘察成果，采用物探、钻探等综合勘探方法。物探方法的选择和物探测线的布置应根据隧道的地质条件、地形地貌及周边环境条件综合确定；分离式隧道应沿隧道轴线布置不少于 1 条测线；洞口处应布置不少于 3 条横测线；不同的地质体或构造类型，应布置 2~3 条测线。钻孔位置和数量应视地质复杂程度而定；洞口附近第四系地层较厚时，应布置勘探点；地质复杂，长度大于 1000m 的隧道，洞身应按不同地质单元布置勘探孔，查明地质条件；主要的地质界线和断层，重要的不良地质、特殊岩土地段，可能产生突泥、突水危害地段等处应有钻孔控制，重要物探异常点应有钻探验证。
- 12.3.5 勘探孔深度应符合下列规定：
- a) 控制性勘探孔的深度应满足地基、隧道围岩、基坑边坡稳定性分析、变形计算以及地下水控制的要求。
- b) 对车站等明挖基坑工程，控制性勘探孔深度不少于基坑开挖深度的 2 倍；基坑底土层以软土为主时，控制性勘探孔深度不少于 3 倍基坑深度；基坑底位于中等风化、微风化岩石时，其岩石

单轴抗压强度 $\leq 5\text{MPa}$ 时,勘探孔深度按不少于1.6倍基坑深度考虑;其岩石单轴抗压强度 $> 5\text{MPa}$ 且较完整时,勘探孔深按不小于1.2~1.6倍基坑深度范围内做适当调整;一般性勘探孔深度按设计要求或基坑工程稳定性计算控制需求确定。

- c) 对盾构区间工程,控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于3倍隧道直径(宽度)或进入结构底板以下中等风化或微风化岩(岩石单轴抗压强度 $> 15\text{MPa}$)不应小于5m,(岩石单轴抗压强度 $\leq 15\text{MPa}$)不应小于8m;一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于2倍隧道直径(宽度)或进入结构底板以下中等风化或微风化岩(岩石单轴抗压强度 $> 15\text{MPa}$)不应小于3m,(岩石单轴抗压强度 $\leq 15\text{MPa}$)不应小于5m。
 - d) 对山岭隧道工程,在微风化及中等风化岩石中;控制性勘探孔进入隧道底板以下不小于8m,一般性勘探孔进入进入隧道底板以下不小于5m;遇岩溶、土洞、暗河等,应穿透并根据需要加深。在松散地层中勘探孔深度要求按第12.3.5条第c款规定执行。
 - e) 当采用承重桩、抗拔桩或抗浮锚杆时,勘探孔深度应满足其设计的要求。
 - f) 当预定深度范围内存在软弱夹层、破碎带等时,勘探孔深度应适当增加。
- 12.3.6 采取岩、土、水试样除应符合本标准第21章及第12.1节的相关规定外,尚应符合下列要求:
- a) 车站开挖深度及其以下1倍开挖深度范围内、隧道洞身及其上下1倍洞径范围内的取岩土试样的间距宜为1~2m。其他部位间距可适当放宽,取样孔每孔每层不少于1件(组)。
 - b) 应采用地表水、地下水水试样和地下结构范围内的岩土试验进行腐蚀性试验,地表水每处不应少于1组,地下水或岩土试样每层不应少于2组。
- 12.3.7 原位测试应根据需要和地区经验选取合适的测试手段,并符合本标准第20章及第12.1节相关规定;尚应符合下列要求:
- a) 每个车站或区间工程的波速测试孔不宜少于3个,电阻率测试孔不宜少于2个,大地导电率测试孔不宜少于1个。
 - b) 每个车站工程的地温测试孔不宜少于1个。
 - c) 山岭隧道洞身孔宜进行钻孔波速测试。
- 12.3.8 室内试验除应符合本标准第21章及第12.1节的相关规定外,尚应符合下列要求:
- a) 基床系数、静止侧压力系数和热物理指标试验数据每一主要土层不宜少于3组。
 - b) 宜在基底以下压缩层范围内采用岩土试样进行回弹再压缩试验,每层试验数据不宜少于3组。
- 12.3.9 当地下水对车站和区间工程有影响时宜布置长期水文观测孔。对需要进行地下水控制的车站和区间工程宜进行水文地质试验,分层分段获取水文地质参数,分析评价其涌水、突泥的可能性,评价其富水性、预测其最大涌水量和正常涌水量。

12.4 高架工程

12.4.1 高架车站、高架区间及其附属工程等的详细勘察除应符合本标准第12.1、12.2节的要求外,尚应符合下列要求:

- a) 查明场地各岩土层类型、分布、工程特性和变化规律;确定墩台基础与桩基的持力层,提供各岩土层的物理力学性质指标;分析桩基承载性状,结合当地经验提供桩基承载力计算和变形计算参数。
- b) 查明溶洞、土洞、人工洞穴、采空区、可液化土层等不良地质和软土、填土、膨胀土等特殊岩土分布与特征,分析其对墩台基础和桩基的危害程度,评价墩台地基和桩基的稳定性,提出防治措施的建议。
- c) 采用基岩作为墩台基础或桩基的持力层时,应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度,确定岩石的坚硬程度、完整程度和岩体基本质量等级,判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱夹层。
- d) 查明水文地质条件,评价地下水对墩台基础及桩基设计和施工的影响;判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性。
- e) 查明场地是否存在产生桩侧负摩阻力的地层,评价负摩阻力对桩基承载力的影响,并提出处理措施的建议。

- f) 分析桩基施工存在的岩土工程问题,评价成桩的可能性,论证桩基施工对工程周边环境的影响,并提出处理措施的建议。
- g) 对基桩的完整性和承载力提出检测的建议。
- 12.4.2 高架工程详细勘察需提供的主要地基岩土参数可按本标准附录 N 选取。
- 12.4.3 勘探点的平面布置应符合下列规定:
- a) 高架车站及附属工程勘探点应沿结构轮廓线和柱网布置,勘探点间距宜为 15m~35m。当桩端持力层起伏较大,地层分布复杂时,应加密勘探点。
- b) 高架区间勘探点应逐墩布设,地质条件复杂或跨度较大时,可根据需要增加勘探点。
- 12.4.4 勘探孔深度应符合下列规定:
- a) 墩台基础的控制性勘探孔应满足沉降计算和下卧层验算要求。
- b) 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下 10m~15m 或墩台基础底面宽度的 2 倍~3 倍;在基岩地段,当风化层不厚或为硬质岩时,应穿透强风化层,进入基底以下稳定中等风化岩石地层 2m~3m。
- c) 桩基的控制性勘探孔深度应满足沉降计算和下卧层验算要求,应穿透桩端平面以下压缩层厚度;对嵌岩桩,控制性勘探孔应达到预计桩端平面以下 3 倍~5 倍桩身设计直径,在预计深度内若遇溶洞、破碎带,应穿过溶洞、破碎带,并进入桩端平面以下不应少于 10m;若遇串珠状溶洞或破碎带厚度大时,勘探孔深度宜结合基础施工的可行性及设计需求确定。
- d) 桩基的一般性勘探孔深度应达到预计桩端平面以下 3 倍~5 倍桩身设计直径,且不应小于 3m,对大直径桩,不应小于 5m;对嵌岩桩,一般性勘探孔应达到预计桩端平面以下 1 倍~3 倍桩身设计直径,在预计深度内若遇溶洞、破碎带,应穿过溶洞、破碎带,并进入桩端平面以下不应少于 10m;若遇串珠状溶洞或破碎带厚度大时,钻孔深度宜结合基础施工的可行性及设计需求确定。
- e) 当预定深度范围内存在软弱土层时,勘探孔应适当加深。
- 12.4.5 采取岩土试样和原位测试除应符合本标准第 19 章及第 12.1 节的相关规定外,尚应符合下列要求:
- a) 对每个取土试样孔,每一主要土层取样数量不少于 1 件,厚度大于 2m 时每层不少于 2 件。标准贯入试验等原位测试孔试验间距参照取土试样孔要求执行。以中等风化、微风化基岩为持力层的试样孔,持力层每层取样数量不少于 2 件。
- b) 每个车站或区间工程的波速测试孔不宜少于 3 个,电阻率测试孔不宜少于 2 个。
- 12.4.6 室内岩土试验应符合本标准第 21 章及第 12.1 节的相关规定,对需要进行沉降计算的桩基工程,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。

12.5 路基、涵洞工程

- 12.5.1 路基、涵洞工程勘察包括路基工程、涵洞工程、支挡结构及其附属工程的勘察,除应符合本标准第 12.1、12.2 节的要求外,尚应符合本节规定。
- 12.5.2 一般路基详细勘察应包括下列内容:
- a) 查明地层结构、岩土性质、岩层产状、风化程度及水文地质特征;分段划分岩土施工工程分级;评价路基基底的稳定性。
- b) 查明不良地质作用和特殊性岩土的性质、分布及对工程的影响。
- c) 应采取岩土试样进行物理力学试验,采取水试样进行水质分析。
- 12.5.3 高路堤详细勘察应包括下列内容:
- a) 查明地面坡度、基底地层结构,岩土工程性质,覆盖层与基岩接触面的形态。查明不利倾向的软弱夹层或软弱结构面的性质和形态,并评价其稳定性。
- b) 查明不良地质作用和特殊性岩土的性质、分布及对工程的影响。
- c) 分段布置地质横断面。
- d) 应采取岩土试样进行物理力学试验,提供验算地基强度及变形的岩土参数。
- e) 调查地下水活动对基底稳定性的影响。
- f) 分析基底和斜坡稳定性,提出路基和斜坡加固方案的建议。

12.5.4 深路堑详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明场地的地形、地貌、不良地质作用和特殊地质问题；调查沿线自然边坡、人工边坡的工程地质条件；分析边坡工程对周边环境产生的不利影响。
- b) 土质边坡应查明土层厚度、地层结构、成因类型、密实程度及下伏基岩面形态和坡度。
- c) 岩质边坡应查明岩层性质、厚度、成因、节理、裂隙、断层、软弱夹层的分布、风化破碎程度；主要结构面的类型、产状及充填物。
- d) 查明影响深度范围的含水层、地下水埋藏条件、地下水动态，评价地下水对路堑边坡及结构稳定性的影响，需要时应提供路堑结构抗浮设计的建议。
- e) 建议路堑边坡坡度，分析评价路堑边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出路堑边坡治理措施的建议。
- f) 调查雨期、暴雨量、汇水范围和雨水对坡面、坡脚的冲刷及对坡体稳定性的影响。

12.5.5 支挡结构详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明支挡地段地形、地貌、不良地质作用和特殊性岩土，地层结构及岩土性质，评价支挡结构地基稳定性和承载力，提供支挡结构设计所需的岩土参数，提出支挡形式和地基基础方案的建议。
- b) 查明支挡地段水文地质条件，评价地下水对支挡结构的影响，提出处理措施的建议。

12.5.6 涵洞详细勘察应符合下列规定：

- a) 查明地形、地貌、地层岩性、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩斜坡、不良地质作用和特殊性岩土。
- b) 查明涵洞场地的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数。
- c) 应采取勘探、测试和试验等方法综合确定地基承载力，提供涵洞设计所需的岩土参数。
- d) 调查雨期、雨量等气象条件及涵洞附近的汇水面积。

12.5.7 路基、路堤、涵洞、路堑等工程详细勘察需提供的主要地基岩土参数可按本标准附录 N 选取。

12.5.8 勘探点的平面布置应符合下列规定：

- a) 一般路基勘探点间距宜为 50m~100m，当地层变化较大时，应适当增加勘探点，宜布置横断面勘探。高路堤、深路堑、支挡结构、桩板结构的勘探点间距可根据场地复杂程度按表 22 的规定综合确定。

表22 勘探点间距 (m)

场地复杂程度	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
勘探点间距	15~30	30~50	50~60

- b) 高路堤、深路堑应根据基底和边坡的特征，结合工程处理措施，确定代表性工程地质断面的位置和数量。每个断面的勘探点不宜少于 3 个，地质条件简单时不宜少于 2 个。深路堑工程遇有软弱夹层或不利结构面时，勘探点应适当加密。
- c) 支挡结构每个断面的勘探点不宜少于 3 个。
- d) 桩板结构每个断面的勘察点不宜少于 2 个。
- e) 每道涵洞的勘探点不宜少于 2 个。

12.5.9 勘探孔的深度应符合下列规定：

- a) 控制性勘探孔深度应满足地基、边坡稳定性分析及地基变形计算的要求。
- b) 一般路基的一般性勘探孔深度不应小于 5m，高路堤不应小于 8m。
- c) 路堑的一般性勘探孔深度应能探明软弱层厚度及软弱结构面产状，且穿过潜在滑动面并深入稳定地层内 3m~5m，满足支护设计要求；在地下水发育地段，根据排水工程需要适当加深。
- d) 支挡结构的一般性勘探孔深度应达到基底以下不应小于 5m。
- e) 桩板结构的一般性勘探孔深度应达到桩端以下不应小于 5m。
- f) 基础置于土中的涵洞一般性勘探孔深度应按表 23 的规定确定。

表23 涵洞勘探孔深度 (m)

碎石土	中密及以上的砂(粉)土、黏性土	中密以下的砂(粉)土、软土等
3~8	8~15	15~20
注1: 勘探孔深度应由结构底板算起。 注2: 箱型涵洞勘探孔应适当加深。 注3: 当采用桩基础时, 勘探孔深度应满足桩基设计要求。		

g) 遇软弱土层时, 勘探孔应适当加深。

12.5.10 取样、原位测试及室内试验应符合本标准第 19 章、第 20 章及第 12.1 节的相关规定

12.6 地面房屋建筑及构筑物

12.6.1 地面房屋建筑及构筑物的详细勘察应执行《岩土工程勘察规范》(GB50021)、《岩土工程勘察规范》(DGJ32/TJ208)及《建筑地基基础设计规范》(GB50007)等有关标准和规范。

12.6.2 变电所的构筑物详细勘察除应符合本标准第 12.1、12.2 节的要求外, 尚应符合《变电站岩土工程勘测技术规程》(DLT5170)及下列规定:

- 勘探点的平面布置应根据建(构)筑物特点及场地复杂程度确定, 并应符合下列要求:
- 每台变压器区域的勘探点数量不应少于 1 个;
- 构架、支架场地可结合基础位置按网格布置, 勘探点间距宜为 30m~50m。
- 自基础底面算起的勘探孔深度应符合下列要求:
- 一般性勘探孔深度应能控制地基主要受力层, 当基础宽度不大于 5m 时, 勘探孔深度对于条形基础不应小于基础底宽度的 3 倍, 对于独立基础不应小于基础底宽度的 1.5 倍, 且不应小于 5m。
- 控制性勘探孔深度应大于地基变形计算深度, 一般宜为 8m~20m。
- 在预定勘探深度内遇到基岩时, 一般性勘探孔在达到确认的基岩后即可终孔, 控制性勘探孔入岩深度不宜小于 3m。
- 在预定勘探深度内遇到软弱地层时, 勘探孔深度应适当加深或穿透软弱地层。
- 电阻率量测应符合下列规定:
- 宜采用对称四极电测深法量测土层电阻率。
- 电阻率测点应结合主变电所规模、场地复杂程度、电性层特性和设计要求均匀布置, 量测密度每 1000m²不宜低于 1 个点。地质地貌单元及地层较复杂地段应增加测点。
- 当地层电阻率各向异性较大时, 应在测点相互垂直的两个方向上布设测线量测。
- 土层剪切波速测试应符合下列要求:
- 站址位于同一地质单元时, 剪切波速测试钻孔不宜少于 3 个。
- 当站址位于不同地质单元时, 剪切波速测试钻孔位置及数量应按地质单元确定。

12.7 电缆通道

12.7.1 架空线路工程详细勘察宜符合现行行业标准《220kV 及以下架空送电线路勘测技术规程》DL/T 5076 的有关规定。详细勘察阶段根据现场地形地貌与岩土工程条件, 结合前期工作成果, 结合具体塔位逐基进行勘察。

12.7.2 地下电缆通道工程详细勘察应符合现行行业标准《市政工程勘察规范》CJJ 56 有关城市室外管道工程详细勘察的规定。

- 详细勘察的勘探点平面布置应符合下列要求:
- 明挖管道勘探点宜沿管道中线布置, 当条件不许可时, 点位不宜偏离管道外边线 3m; 顶管、定向钻施工管道的勘探点宜沿管道两侧 5m~10m (水域 8m~15m) 范围内交叉布置。
- 管道穿越河流时, 河床及两岸均应布置勘探点; 穿越铁路、公路时, 铁路和公路两侧应布置勘探点。

- d) 管道直向转角处宜布置勘探点；矩形工作井和接收井应布置在井的角点，圆形井勘探点沿周边均匀布置。
- e) 勘探点间距应符合表 24 的规定。

表24 勘探点间距 (m)

场地或岩土条件 复杂程度	埋深小于 5m, 明挖法施工	埋深 5m~8m, 明挖法施工	埋深大于 8m, 明挖法施工	顶管、定向钻施工
一级	50~100	40~75	30~50	20~30
二级	100~150	75~100	50~75	30~50
三级	150~200	100~200	75~150	50~100

- f) 管道穿越暗埋的河、塘、沟浜地段和可能产生流砂和地震液化地段，勘探点应适当加密；在管道穿越铁路、公路和河流地段，勘探点间距应能控制地层变化。
- g) 详细勘察的勘探孔深度应符合下列规定：
- h) 明挖管道勘探孔深度应满足开挖、地下水控制、支护设计及施工的要求，且应达到管底设计高程以下不少于 3m；非开挖敷设管道，勘探孔深度应达到管底设计高程以下 5m~10m。
- i) 当管道穿越河流时，勘探孔深应达到河床最大冲刷线深度以下 3m~5m。
- j) 当基底下存在松软土层或厚层填土，或存在可能流砂、潜蚀、管涌或地震液化地层时，勘探孔应适当加深，必要时钻穿该层。
- k) 当采取降低地下水位施工时，勘探孔深度应钻至基底以下 5m~10m。
- l) 应在管顶和管底部位采取土、水试样进行腐蚀性试验。对钢、铸铁金属管道，尚应对管道埋设深度范围内各岩土层进行电阻率测试。
- 12.7.3 电缆通道工程详细勘察需提供的主要地基岩土参数可按本标准附录 N 选取。
- 12.7.4 采取岩土试样和原位测试除应符合本标准第 20 章及第 12.1 节的相关规定外，尚应符合下列要求：
- a) 采取土、水试样进行腐蚀性试验时，同一水文地质单元采取水试样不应少于 2 件；同一工程地质单元采取土试样不应少于 2 件，当土中盐的成分和含量分布不均匀时，应分单元、分层取样，每单元每层不应少于 2 件。
- b) 同一地质单元剪切波速测试钻孔不宜少于 3 个。

13 专项勘察

13.1.1 城市轨道交通工程的专项勘察包括但不限于以下方面：

- 不良地质作用及特殊性岩土专项勘察；
- 水文地质专项勘察；
- 冻结法施工专项勘察。

13.1.2 专项勘察根据工程需要可在不同的勘察阶段进行。影响线路方案的不良地质作用及特殊性岩土专项勘察可在可行性研究勘察阶段进行，水文地质专项勘察、冻结法施工专项勘察可在详细勘察阶段实施。

13.1.3 专项勘察应符合下列要求：

- 充分了解工程地质条件，分析需要解决的工程地质问题；
- 根据工程地质问题的复杂程度、已有的勘察工作和场地条件等确定专项勘察的方法和工作量；
- 针对具体的工程地质问题进行分析评价，并提供所需岩土参数，提出工程处理措施的建议。

13.1.4 遇下列情况时，可进行不良地质作用及特殊性岩土专项勘察：

- 当工程沿线存在可能影响拟建线路走向、平面与空间布置及施工工法选择的不良地质作用及特殊性岩土需要特别查明；
- 对应的勘察阶段对不良地质作用及特殊性岩土的勘察精度不能满足设计要求，需要进一步查明。

13.1.5 遇下列情况时，可进行水文地质专项勘察：

- a) 当水文地质条件复杂且对工程及地下水控制有重要影响；
- b) 需要查明各含水层补给关系及需测定地下水流向和流速等特殊要求；
- c) 对应的勘察阶段对水文地质的勘察精度难以满足工程要求。

13.1.6 当工程明确采用冻结法进行施工，原有勘察资料不满足设计要求时，应进行冻结法专项勘察。冻结法专项勘察应符合下列规定：

- a) 查明需冻结土层的分布及物理力学性质，其中包括含水量、饱和度、固结系数、抗剪强度等。
- b) 查明需冻结土层周围含水层的分布，提供地下水流速、流向、地下水中的含盐量等。
- c) 提供地层温度、热物理指标、冻胀率、融沉系数等参数，冻土物理力学试验可按煤炭行业标准《人工冻土物理力学性能试验规程》（MT/T593）要求进行，试验所需土样数量详见附录 F。
- d) 分析冻结法施工对周边环境、建构物、地下管线等的影响。

14 施工勘察

14.1.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中出现的工程地质问题等工作，提供地质资料，满足施工方案调整和风险控制的要求。

14.1.2 施工阶段施工单位宜开展下列地质工作：

- a) 研究工程勘察资料，掌握场地工程地质条件及不良地质作用和特殊性岩土分布情况，预测施工中可能遇到的岩土工程问题。
- b) 调查了解工程周边环境条件变化、周边工程施工情况、场地地下水位变化及地下管线渗漏情况，分析地质与周边环境条件的变化对工程可能造成的危害。
- c) 施工中应通过观察开挖面岩土成分、密实度、湿度，地下水情况，软弱夹层、地质构造、裂隙、破碎带等实际地质条件，核实、修正勘察资料。
- d) 必要时对地下水动态进行观测。
- e) 施工勘察应根据施工需要、地质条件和遇到的岩土工程问题，根据工程地质问题的复杂程度、已有的勘察工作和场地条件等确定施工勘察的勘察方法、手段及工作量。
- f) 绘制边坡和隧道地质素描图。
- g) 对复杂地质条件下的地下工程应开展超前地质探测工作，进行超前地质预报。

14.1.3 遇下列情况宜进行施工勘察：

- a) 场地地质条件复杂、施工过程中出现地质异常，对工程结构及工程施工产生较大危害。
- b) 场地存在暗浜、古河道、空洞、岩溶、土洞等不良地质条件影响工程安全。
- c) 场地存在孤石、漂石、球状风化体、破碎带、风化深槽等特殊岩土体对工程施工造成不利影响。
- d) 场地地下水位变化较大或施工中发现不明水源，影响工程施工危及工程安全。
- e) 施工方案有较大变更或采用新技术、新工艺、新方法、新材料，详细勘察资料不能满足要求。
- f) 基坑或隧道施工过程中出现桩（墙）变形过大、基底隆起、涌水、坍塌、失稳等岩土工程问题，或发生地面沉降过大、地面塌陷、相邻建筑开裂等工程环境问题。
- g) 工程降水，土体冻结，盾构始发（接收）井端头、联络通道的岩土加固等辅助工法需要时。
- h) 需进行施工勘察的其他情况。

14.1.4 对抗剪强度、基床系数、桩端阻力、桩侧摩阻力等关键岩土参数缺少相关工程经验的地区，宜在施工阶段进行现场原位试验。

14.1.5 施工专项勘察工作应符合下列规定：

- a) 搜集施工方案、勘察报告、工程周边环境调查报告以及施工中形成的相关资料。
- b) 搜集和分析工程检测、监测和观测资料。
- c) 充分利用施工开挖面了解工程地质条件，分析需要解决的工程地质问题。
- d) 根据工程地质问题的复杂程度、已有的勘察工作和场地条件等确定施工勘察的方法和工程量。
- e) 针对具体的工程地质问题进行分析评价，并提供所需岩土参数，提出工程处理措施的建议。

15 不良地质作用和地质灾害

15.1 一般规定

15.1.1 拟建工程场地或其附近场地存在对工程安全有不利影响的不良地质作用且无法规避时，应进行专项勘察工作。

15.1.2 江苏省常见不良地质作用包括滑坡、危岩和崩塌、岩溶、采空区和坑洞、地面沉降和地裂缝、活动断裂及有害气体等，勘察应符合本章规定。对工程有影响的其他不良地质作用应按照国家现行有关规范、规程进行勘察。

15.1.3 应查明对工程安全有影响的不良地质作用的成因类型、分布范围、规模及特征，评价对工程的影响，以及工程建设对不良地质作用的加剧、诱发，提出避让或防治措施的建议，满足工程设计、施工和运营的需要。

15.1.4 不良地质作用的勘察应采用遥感解译、工程地质调查与测绘、工程勘探、野外与室内试验、现场监测相结合的综合勘察手段，确定具体工作内容、勘察方法，有针对性地开展勘察工作。

15.1.5 对城市轨道交通地下工程附近的燃气，油气管道渗漏、化学污染、人工有机物堆积、化粪池等产生、储存有害气体地段，应参照本章第 15.8 节的规定进行有害气体的勘察与评价，并提出处理建议。

15.2 滑坡

15.2.1 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，应进行滑坡勘察，其勘察方法及技术要求应符合现行国家标准《滑坡防治工程勘察规范》GB/T 32864 的有关规定。

15.2.2 滑坡勘察应查明滑坡的类型、范围、规模、性质及其危害程度，分析产生的条件和原因，并判断其稳定程度，预测其发展趋势，提出预防与治理方案的建议。

15.2.3 滑坡勘察应采用工程地质测绘和调查、物探、钻探、槽探等手段相结合的综合勘察方法，调查范围应包括滑坡及其邻近地段。比例尺宜选用 1:200~1:1000，用于整治设计时选用 1:200~1:500。

15.2.4 滑坡区的工程地质测绘，应遵守《城市轨道交通岩土工程勘察规范》规定外，尚应调查下列内容：

- a) 搜集地质、水文、气象、地震和人类活动等相关资料；
- b) 斜坡地质结构、易滑地层的分布，微地貌形态及其演化过程；
- c) 圈定滑坡周界、滑坡壁、滑坡平台、滑坡裂缝、滑坡鼓丘等要素；
- d) 地表水、地下水、泉和湿地等的分布；
- e) 树木的异态、既有建筑物与工程设施的变形、位移及其破坏时间和过程等；
- f) 对滑坡的重点部位应摄影或录像；
- g) 滑坡灾害影响范围，承灾体类型、数量及危险性；
- h) 既有防治工程的结构、现状、功效以及当地治理滑坡的经验。

15.2.5 勘探线和勘探点的布置应根据工程地质条件、地下水情况、滑坡体的结构、滑坡复杂程度和滑坡形态确定，并符合下列规定：

- a) 滑坡体的地形测量，比例尺宜为 1:200~1:500；
- b) 采用主-辅剖面法，并遵循先勘探主剖面、后勘探辅助剖面的原则；
- c) 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的横勘探线，当同一滑坡有多个次级滑体时，各次级滑体均应平行主滑线布置勘探线；
- d) 滑坡两主剖面之间的间距根据滑坡地质环境复杂程度及滑坡宽度选择，不宜大于 40m，辅助剖面之间及辅助剖面与主剖面之间的间距，一般为 20m~30m；
- e) 每条纵勘探线上的勘探点不应少于 3 个，后缘边界以外稳定岩土体上至少布置 1 个勘探点，纵勘探线上勘探点的间距宜为 20m~40m，主勘探线和滑坡纵向变化大及滑坡前后部宜取较小值；
- f) 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。

15.2.6 勘探深度的确定应符合下列规定：

- a) 对岩质滑坡或最低滑面为岩土界面的土质滑坡，勘探孔深度应穿过最下一层滑面，并进入滑床不少于 3m；滑坡有无深层滑面难以判断时，个别控制性勘探点可根据需要加深；

- b) 对土层内部滑坡，钻孔进入滑坡体以下的稳定地层内不小于 5m；
 - c) 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、锚杆地段的钻孔进入滑床的深度宜大于滑体厚度 1/2 并不小于 5m。
- 15.2.7 应根据滑坡体类型及滑动面（带）的岩土体性质选择合适的勘探方法。土质滑坡应采用干钻、双层岩芯管钻探或全断面取样等方法；土岩交界面的浅层滑坡宜采用坑、槽、井探，深层滑坡宜辅以必要的双层岩芯管钻探手段；岩质滑坡主要采用地质调查与物探手段，辅以必要的双层岩芯管钻探等手段。
- 15.2.8 钻探发现地下水时应分层止水并测定水位，必要时进行水文地质试验；并对地表水、地下水等分别采样进行测试。
- 15.2.9 应在滑坡体及滑床地层中，分层采取岩、土、水试样，滑动面（带）应采取试样，每一岩土层取样数量不得少于 9 件。
- 15.2.10 物探断面宜与钻探断面一致，采用的物探方法应在可行性试验的基础上确定。
- 15.2.11 土的强度试验宜符合下列要求：
- a) 滑带土中粗颗粒含量较高时，其抗剪强度指标宜以原位大面积直剪试验测试值为主，并参考室内试验值确定。
 - b) 土的抗剪强度试验方法宜采用与滑动受力条件相似的方法，采用室内、野外滑面重合剪，滑带宜作重塑土或原状土多次剪，并求出多次剪和残余剪的抗剪强度，重要工程宜进行现场剪切试验。
 - c) 滑带土抗剪强度，应根据试验成果，结合滑坡所处变形滑动阶段及含水状态，通过反演分析方法检算和相似工程类比，综合确定。
- 15.2.12 滑坡稳定性分析评价应进行定性分析评价和定量分析评价，并符合下列要求：
- a) 定性分析评价包括滑坡的成因、类型、范围、规模、滑动面位置及形态等；
 - b) 定量分析评价应根据滑动面的类型和物质成分，选择相应的计算方法，计算时应考虑下列因素；
 - c) 滑坡推力计算采用极限平衡条分法、有限元强度折减法。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；
 - d) 当用反分析方法检验滑动面抗剪强度指标时，应采用滑动后实测主断面计算，对正在滑动的滑坡体，稳定系数 F_s 可取 0.95~1.00，对处于暂时稳定的滑坡体，稳定系数 F_s 可取 1.00~1.05；
 - e) 当滑坡体内已形成地下水位面时，应计入浮托力和水压力；
 - f) 地震、降雨、冲刷、人类活动等影响。
 - g) 应根据滑坡的规模、主导因素、滑坡区的工程地质和水文地质条件以及稳定性验算结果进行综合评价。
- 15.2.13 滑坡勘察报告除应符合本标准第 23 章的规定外，尚应包括下列内容：
- a) 滑坡的地质背景和形成条件；
 - b) 滑坡的形态要素、性质和演化；
 - c) 提供滑坡的平面图、剖面图和岩土工程特性指标；
 - d) 滑坡稳定分析；
 - e) 滑坡防治和监测的建议。
- ### 15.3 危岩和崩塌
- 15.3.1 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的危岩和崩塌时，应进行专门的危岩和崩塌勘察。
- 15.3.2 危岩和崩塌勘察宜在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明产生危岩或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。
- 15.3.3 崩塌勘察方法以工程地质测绘和调查为主，土质崩塌可适当辅以探槽、探井或小口径钻探。调查范围应包括崩塌及其邻近地段。比例尺宜选用 1:500~1:1000，崩塌方向主剖面的比例尺宜采用 1:200。着重查明下列内容：
- a) 崩塌类型、范围、崩塌体的大小和崩落方向及影响范围。
 - b) 地面坡度、台阶位置、平台宽度、陡坎高度等地形地貌变化情况。
 - c) 岩土层结构、状态，岩体基本质量等级，岩性特征和风化程度。

- d) 地质构造, 岩体结构类型, 结构面的产状、组合关系、闭合程度、力学属性、延展及贯穿情况。
 - e) 陡崖卸荷带范围、几何特征、力学性质, 裂隙充填、胶结情况, 基座地层岩性、风化剥蚀特征、岩腔与洞穴发育情况、变形特征等。
 - f) 危岩位置、形态、规模、数量、分布高程、岩块直径、滚落方向, 危岩周边裂隙发育特征, 危岩变形历史。
 - g) 崩塌堆积体的形成时间、崩塌源位置、崩塌堆积体分布范围、坡度、形态、规模、物质组成、堆积物块度、架空、分选情况、植被生长情况, 堆积体内地下水分布、运移特征、堆积体变形特征等。
 - h) 土质崩塌区应调查土体组成、结构、垂直节理、洞穴发育特征、坡体稳定坡角等。
 - i) 气象(重点是大气降水)、水文、地震和地下水的活动。
 - j) 分析崩塌变形迹象和崩塌原因。
 - k) 搜集当地防治崩塌的经验。
- 15.3.4 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、危害范围等作出预报。
- 15.3.5 各类危岩和崩塌的岩土工程评价应符合下列规定:
- a) 规模大, 破坏后果很严重, 难于治理的, 不宜作为工程场地, 线路应绕避;
 - b) 规模较大, 破坏后果严重的, 应对可能产生崩塌的危岩进行加固处理, 线路应采取防护措施;
 - c) 规模小, 破坏后果不严重的, 可作为工程场地, 但应对不稳定危岩采取治理措施。
- 15.3.6 危岩和崩塌区的岩土工程勘察报告除应遵守本标准第 20 章的规定外, 尚应包括下列内容:
- a) 阐明危岩、落石和崩塌的勘探过程和结果;
 - b) 阐明危岩和崩塌区的范围、类型;
 - c) 评价工程场地的适宜性,
 - d) 工程设计所需参数;
 - e) 提出防治方案的建议。

15.4 岩溶

- 15.4.1 地表或地下分布可溶性岩层并存在各种岩溶现象, 以及可溶岩地区的上覆土层曾发生过地面塌陷或有土洞, 存在对工程安全有影响的岩溶时, 应进行岩溶勘察。
- 15.4.2 根据岩溶埋藏条件可分为裸露型岩溶、覆盖型岩溶和埋藏型岩溶三类; 根据岩溶发育程度可分为强发育、中等发育、微发育三个等级。具体发育等级应按表 25 确定。

表25 场地岩溶发育等级

岩溶强发育	① 地表岩溶塌陷、漏斗、洼地、土洞发育。溶沟、溶槽、石芽密布。 ② 钻孔见洞隙率>30%、线岩溶率>20%、土洞率≥10%。 ③ 相邻柱基之间基岩起伏面相对高差>5m。 ④ 岩溶裂隙或串珠状溶洞发育深度>20m。 ⑤ 地下有暗河、伏流。岩溶裂隙水丰富, 地表泉眼多有分布。
岩溶中等发育	①地表岩溶塌陷、漏斗、洼地、土洞较发育。溶沟、溶槽、石芽较发育。 ② 钻孔见洞隙率 10~30%、线岩溶率 5%~20%、土洞率<10%。 ③ 相邻柱基之间基岩起伏面相对高差 2m~5m。 ④ 岩溶裂隙或串珠状溶洞发育深度< 20m。 ⑤ 无地下有暗河、伏流。岩溶裂隙水丰富, 地表泉眼有分布。
岩溶微发育	① 无岩溶塌陷、漏斗。溶沟、溶槽较发育。 ② 钻孔见洞隙率<10%、线岩溶率<5%、无土洞。 ③ 相邻柱基之间基岩起伏面相对高差<2m。 ④ 岩溶裂隙或串珠状溶洞发育深度<5m。 ⑤ 岩溶裂隙多被充填, 地下水不丰富。
注1: 各等级的5项条件中, 有一项符合者即可判定为相应岩溶发育等级。 注2: 考虑到小型洞穴对地基稳定性的影响有限、且易于处理, 钻孔见洞隙率统计时, 只统计尺寸大于等于0.3m的岩溶洞穴。	

注3: 当钻孔见洞隙率为0, 基岩面起伏高差 $>5\text{m}$ 、 $5\sim 20\text{m}$ 、 $<20\text{m}$ 时, 可分别定为表生岩溶强发育、中等发育和微发育。

注4: 线岩溶率: 沿岩层倾向测量线上的溶洞、溶隙累计长度与测量线长度的百分比。

15.4.3 岩溶勘察应查明下列内容:

- a) 可溶岩地表岩溶形态特征、溶蚀地貌类型。
- b) 可溶岩地层分布、地层年代、岩性成分、地层厚度、结晶程度、裂隙发育程度、单层厚度、产状、所含杂质及溶蚀、风化程度。
- c) 可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系。
- d) 地下岩溶发育程度, 较大岩溶洞穴、暗河的空间位置、形态、深度及分布和充填情况, 岩溶与工程的关系。
- e) 断裂的力学性质、产状, 断裂带的破碎程度、宽度、胶结程度、阻水或导水条件, 以及与岩溶发育程度的关系。
- f) 褶曲不同部位的特征, 节理、裂隙性质, 岩体破碎程度, 以及与岩溶发育程度的关系。
- g) 溶洞或暗河发育的层数、标高、连通性, 分析区域侵蚀基准面、地方侵蚀基准面与岩溶发育的关系。
- h) 岩溶地下水分布特征及补给、径流、排泄条件, 岩溶地下水的流向、流速, 地表岩溶泉的出露位置、水量及变化情况, 岩溶水与地表水的联系。
- i) 岩溶发育强度分级, 圈定岩溶水富水区。

15.4.4 覆盖型岩溶发育地区还应查明下列内容:

- a) 查明覆盖层成因、性质、厚度。
- b) 地下水补给来源、埋藏深度, 各含水层间的水力联系, 地下水开采量、开采方式。
- c) 土洞和塌陷的分布、形态和发育规律。
- d) 土洞和塌陷的成因及其发展趋势。
- e) 治理土洞和塌陷的经验。

15.4.5 岩溶发育地区的下列部位宜查明土洞和土洞群的位置:

- a) 土层较薄、土中裂隙及其下岩体洞隙发育部位;
- b) 岩面张开裂隙发育, 石芽或外露的岩体与土体交接部位;
- c) 两组构造裂隙交汇处和宽大裂隙带;
- d) 隐伏溶沟、溶槽、漏斗等, 其上有软弱土分布的负岩面地段;
- e) 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;
- f) 低洼地段和地表水体近旁。

15.4.6 岩溶勘察宜采用工程地质测绘和调查、物探、钻探等多种手段结合的方法进行。当地基础设计等级为甲级且场地岩溶中等及强烈发育时, 应采用综合物探, 可根据附录 L 选择物探方法,

15.4.7 岩溶勘探点布置应根据勘察阶段、工法、建(构)筑物类型与岩溶发育程度等综合确定, 应符合下列规定:

- a) 勘探线一般沿线路走向或建(构)筑物轴线布置, 需要时布置垂直线路走向或建(构)筑物轴线方向的勘探断面。
- b) 地下工程勘探点间距不应大于《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307 中相应工程类型的规定, 岩溶发育地段应予加密。岩溶发育的地下工程宜采用综合物探圈定异常类型、异常范围, 再采用钻探验证物探异常, 查明溶洞、暗河空间分布。
- c) 高架工程详细勘察勘探点布置应符合下列规定:
- d) 对大直径嵌岩桩和一柱一桩的基础, 宜逐桩布置勘探点;
- e) 高墩、大跨桥梁的明挖基础应在基础对角布置 2 孔, 发育溶洞应增加钻孔数量。
- f) 沉井基础宜布置 5 孔, 基岩溶蚀严重或基岩面参差不齐时应增加钻孔。
- g) 路基勘探宜先开展综合物探圈定异常范围, 再采用钻探验证物探异常, 查明基底岩溶洞穴、溶蚀破碎带和土洞。路基工程勘探点距离不宜大于 50m。

- h) 地面车辆段及其他建(构)筑物勘探孔应沿建(构)筑物线、周边和角点布置,如有高层建筑,中心宜布置勘探孔,勘探孔间距可按建(构)筑物对应相关规范执行,岩溶发育地段应予加密。
- 15.4.8 岩溶区钻探深度进入结构底板或桩端平面以下不应小于 10m,揭露溶洞时应根据工程需要适当加深。
- 15.4.9 岩溶勘探应符合下列要求:
- a) 岩溶地区勘探可采用综合物探、钻探、钻孔电视等综合勘探方法。
 - b) 浅层溶洞和覆盖土层厚度可用挖探查明或验证,土洞和塌陷发育地段可用轻便型、密集型勘探查明或验证。
 - c) 当需查明地质构造、地质界线、洞隙和土洞、塌陷的分布形态、范围时,应根据场地环境、物性条件和岩溶发育等采用有效的物探方法。对异常点应加密勘探点并采用钻探、探槽或探井进行验证。
 - d) 岩芯采取率:①完整岩层大于或等于 80%;②破碎带大于或等于 50%;③溶洞充填物大于 50%(软塑、流塑体除外)。
 - e) 勘探中应测定岩芯中的岩溶率。
 - f) 岩溶发育且形态复杂时,施工阶段应结合工程开挖和处理措施,采用探灌结合的方法进一步查明岩溶发育形态。
- 15.4.10 岩溶勘察的测试、试验和观测,应包括下列内容:
- a) 地表水、地下水的分析除进行一般项目外,必要时进行放射性同位素分析。
 - b) 覆盖层土样应进行物理力学性质、膨胀性、渗透性试验,必要时进行矿物与化学成分分析;溶洞充填物样应进行物理力学性质试验,必要时进行黏土矿物成分分析。
 - c) 代表性岩样试验应进行物理力学性质试验,必要时进行镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验;泥灰岩应增加软化系数试验。
 - d) 与线路有关的暗河、大型溶洞、岩溶泉等应进行连通试验,查明其分布规律、主发育方向。
 - e) 水文地质复杂的岩溶地段,应进行水文地质试验或地下水动态监测,对于重点工程区段,必要时应选择一定数量的钻孔与岩溶泉(井),进行不应少于一个水文年的水文地质动态观测。
- 15.4.11 岩溶勘察报告除应符合本规范第 23 章的规定外,尚应包括下列内容:
- a) 岩溶发育的地质背景和形成条件;
 - b) 洞隙、土洞、塌陷的形态、平面位置和顶底标高;
 - c) 溶稳定性分析;
 - d) 岩溶治理和监测的建议。

15.5 采空区和坑洞

- 15.5.1 当场地及附近分布有以下不利于城市轨道交通工程安全和场地稳定的采空区和坑洞情况时,应进行专项岩土工程勘察,专项勘察主要工作应在初勘阶段或之前完成。
- a) 正在开采的各类大型和小型矿区,已废弃的各类大型和小型矿区以及尚未开采但已规划好的矿区;
 - b) 沿沟、河岸有矿线露头、矿点分布的地段;
 - c) 线路附近 50m 范围内分布有人防工程、地下工程、枯井、采砂(石)洞及古墓等其他人为坑洞。
- 15.5.2 采空区和坑洞勘察应坚持以收集资料和调查测绘为主、物探和钻探验证为辅的原则。在充分搜集地质采矿背景资料的基础上,以工程地质调查与测绘为先导,有针对性选择物探、钻探、现场测试等勘查手段予以验证,必要时可选择槽探、井探、洞探等方法。查明其地质特征,提出工程措施意见,并满足下列要求:
- a) 采空区和坑洞勘察应充分收集区域地质、矿井地质、资源储量报告、采矿及采空区资料、人为坑洞分布资料,以及压覆资源、地灾评估报告等资料,收集到的资料的完整性、可靠性应进行分析和验证。
 - b) 对有规划、有设计、有计划开采的矿区应采用区域地质资料、矿井地质勘探报告、矿井设计、井上下对照图等资料综合分析和采空区和坑洞专项调查测绘为主的勘察方法,视采空区复杂程度、煤矿资料完整性及可信度等情况,可适当布设钻孔,验证采空区要素等。

- c) 古窑、小窑采空区和时间久远的其他人为坑洞地带宜采用区域地质资料分析、实地调查访问、坑洞测量和物探与勘探相结合方法，查明开采情况、开采的层位、坑道的宽度及高度、顶板岩体性质、采空特征、地面变形情况。
- 15.5.3 人为坑洞的勘察以收集资料、调查访问为主，并应查明下列内容：
- 人为坑洞分布的范围、深度、宽度、高度，上覆土层的厚度、密实程度等，有无塌落的可能性。
 - 场地的地表变形特征和分布规律，包括地表陷坑、台阶、裂缝位置、形状、大小、深度、延伸方向及其与地质构造、坑洞边界、工作面推进方向等的关系。
 - 坑洞附近的抽、排水情况及对坑洞稳定性的影响。
 - 收集场地内和附近建筑物变形及其处理措施等资料。
- 15.5.4 人为坑洞分布地段岩土工程分析与评价应包括下列内容：
- 人为坑洞与线路的三维立体关系，人为坑洞的使用情况及线路建设影响后果。
 - 人为坑洞中残存的有害气体、充水情况及其造成危害的可能性。
 - 对位于线路上方的人为坑洞应分析其对下方线路施工的影响；对位于线路下方的人为坑洞应评价人为坑洞的稳定性，预测其变形特征和发展趋势；对采用桩基可能穿越的人为坑洞，应评价人为坑洞的稳定性，预测其对桩基施工的影响。对于枯井等竖向地下坑洞应评价其井壁稳定性和可能的竖向导水对城市轨道交通工程的影响。
 - 线路通过人为坑洞应采取的防治措施建议。
 - 施工和运行期间的防治措施建议。
- 15.5.5 采空区勘察应查明采空区工程地质条件、垮落裂隙带特征及岩（土）体物理力学性质，评价采空区场地稳定性、采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响程度和工程建设适宜性，提供采空区处理、城市轨道交通工程基础设计、施工所需的岩土工程参数和地基处理、采空区治理方案的建议。应包括下列内容：
- 查明可采矿层的分布、开采矿层上覆岩层和地基土的地层岩性、区域地质构造等工程地质条件。
 - 拟建城市轨道交通工程附近 500m 范围内采矿权、探矿权、开采矿井的分布情况；查明采空区开采历史、开采现状和开采规划，开采方法，开采范围和深度。
 - 查明采空区的井巷分布、断面尺寸及相应的地表对应位置，采掘方式和顶板管理方法。
 - 查明采空区覆岩及垮落类型、发育规律、岩性组合及其稳定性。
 - 查明采空区的充水情况；查明采空区场地地下水的赋存类型、分布、补给排泄条件及其变化幅度，分析评价地下水对采空区场地稳定性的影响。
 - 查明地表移动特征和变形分布，裂缝、台阶、塌陷分布特征和规律。
 - 查明采空区有害气体的类型、分布特征和危害程度。
 - 评价采空区与拟建城市轨道交通工程的空间位置关系、地面变形可能影响范围和变化趋势。分析及预测采空区地表移动变形特征和规律。
 - 对于时间因素判定处于不稳定的采空区，应布置地表变形观测网，并按周期进行观测；对于基本稳定采空区，宜进行地表移动变形监测。
 - 收集场地已有建（构）筑物变形和防治措施经验。
 - 评价采空区场地的稳定性、采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响程度，评价其作为工程建设场地的适宜性。
 - 提供采空区治理工程设计所需的参数，提出采空区治理和地基处理建议。
- 15.5.6 采空区专项调查应包括以下内容：
- 矿层的分布、层数、厚度、深度、埋藏特征和开采层的岩性、结构等。
 - 矿产的经营性质、开采矿种、规模、层位、方式、回采率、顶板管理方式、工作面的推进方向和速度、始采及终采时间、年度及累计采出量等。
 - 采空区的埋深、采高、开采范围、空间形态、巷道支护方式、顶板稳定情况，塌落、支撑、回填及充水情况，洞壁完整性和稳定程度。
 - 井下水害或有毒气体（类型、浓度、分布特征、压力）等赋存情况。
 - 对矿山井口（废弃洞口）位置、倾向、倾角、深度进行测量，调查井筒砌筑形式。

- f) 有条件时应深入井下对巷道和采空区内部进行测绘,描述巷道及矿柱的断面、支护情况,采空区顶板冒落状况。
 - g) 地表变形特征和分布规律。包括:地面塌陷、裂缝、台阶的分布位置、形状、大小、深度、延伸方向、发生时间、发展速度;划分中间区、内边缘区和外边缘区。
 - h) 采空区附近的抽、排水情况及对采空区稳定的影响。
 - i) 采空区地表建(构)筑物变形情况。包括:变形的类型(倾斜、下沉、开裂)、变形开始时间、发展速度、裂缝分布规律、延伸方向、形状、大小等;建(构)筑物的结构类型、所处位置及长轴方向与采空区和坑洞、地质构造、开采边界、工作面推进方向的相互关系。
 - j) 地区既有建(构)筑物的变形地基加固处理经验教训。
- 15.5.7 采空区和坑洞勘察地球物理勘探应符合下列规定:**
- a) 对拟建城市轨道交通工程采空区和坑洞场地,当资料缺乏或可靠性较差时,应进行物探工作。
 - b) 物探方法的选择应综合考虑物性条件、地形条件、勘探任务及要求、洞隙埋深与分布、采空区埋深、覆岩性质、周围介质的物性差异、现场探测条件等(可参考表 L.2)。对于地质条件复杂,单一方法不易探测的采空区,应采用两种及以上物探方法综合探测。
 - c) 地面地球物理勘探工作布置应符合下列规定:
 - d) 布置测网时,应根据探测采空区和坑洞需要及防治工程要求进行,测网密度应保证异常的连续、完整和便于追踪。
 - e) 测线宜平行路线布置,每个测区内不应少于 3 条测线,路线中线应有 1 条测线。测线有效长度不应小于采空区长度,宽度应根据初步调查的采空区埋深及分布范围确定。除平行线路布置测线外,应垂直或大角度相交于采空区和坑洞或已知异常的走向布置测线,测线长度应保证异常的完整和具有足够的异常背景。地球物理勘探测线间距应按先疏后密的布置,并根据勘查要求适当加密。
 - f) 探测范围内有已知点时,测线应由已知点追踪布置。
 - g) 孔内(间)地球物理勘探方法选择应考虑孔壁粗糙度、充水性、距离、岩性等,孔径(孔间距)应与探头(仪器)相匹配,保证测试效果。
 - h) 探查深度应根据采空区和坑洞特点及防治工程综合确定,一般情况下探查深度应到影响场地稳定性的最下层采空区底板以下 15m~30m。
 - i) 地球物理勘探资料解译应重点关注采空空间分布、垮落带和断裂带发育高度、采空区密实及充水状态。
- 15.5.8 采空区和坑洞钻探应按下列要求进行:**
- a) 钻孔工程量应根据搜集资料的完整性、准确性及地球物理勘探成果等综合确定,经初步分析评价对场地稳定有不利影响的采空区钻探工程量布置应满足下列要求:①每个地球物理勘探异常区块不宜少于 1 个钻孔;②当资料缺乏,无法精准确定采空区和坑洞的位置及范围时,高架桥梁范围内应每墩台布孔,采空区隧道范围内钻孔不得少于 2 个/200m,路基范围内的钻孔不得少于 2 个/300m。地面其他重要建(构)筑物不宜少于 2 个钻孔;
 - b) 勘察深度应根据采空区和坑洞特点及防治工程综合确定,一般情况下勘察深度应到初步评价对场地稳定性有不利影响的底部开采矿层底板以下 3~5m,且应满足构造物勘探深度要求。
 - c) 孔径不仅要满足地球物理勘探要求,还要满足原位测试、取样等要求,终孔直径不宜小于 89 mm,孔斜小于 1°/100 m。
 - d) 钻探过程中发现涌水或漏水应立即停钻,测量孔内水位。准确记录冲洗液漏失位置、漏失量或涌水位置、涌水量及突然漏失、颜色改变、冒气等其他异常,终孔时应测定稳定水位。
 - e) 采空区和坑洞中的有毒、有害气体应作专项测试和评价。
 - f) 钻孔验收后对不需保留的钻孔应进行封孔处理。土体中的钻孔一般用黏土封孔,岩体中的钻孔宜用水泥砂浆封孔。
- 15.5.9 采空区和坑洞区勘察地表变形监测应按符合下列规定:**
- a) 当拟建场地地下伏新采空区时,应进行地表移动变形监测;当拟建场地地下伏老采空区时,宜进行地表移动变形监测。采空区变形监测应查明地表变形特征、基本规律和发展趋势。

- b) 勘察阶段采空区变形监测宜从可行性研阶段或初勘阶段开始，并宜与后期的施工阶段监测、运营阶段监测相衔接。变形监测延续时间应根据变形发展趋势至满足采空区稳定性分析评价要求。
- c) 采空区变形监测内容应包括场地地表水平位移、垂直位移、裂缝监测等。
- d) 监测线宜结合拟建城市轨道交通线位平行和垂直于移动盆地主断面布设，监测断面数量不宜少于 2 条，并满足场地稳定性评价需要。监测范围应大于对线路有影响的采空区地表移动变形范围。

15.5.10 采空区场地稳定性分析评价应根据采空区类型和特征采用定性与定量相结合的方法，应综合考虑煤层开采方法、顶板管理方式、终采时间、地表剩余变形特征以及采空区的类型、规模、埋深、采深采厚比和覆岩特征、煤岩柱稳定性、地面前下沉速度等因素，有针对性地选用评价标准和评价方法，划分为稳定、基本稳定和不稳定三个等级。采空区场地稳定性判别方法见本标准附录 G。

15.5.11 采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响程度，应根据采空区场地稳定性、建筑物重要程度和变形要求、地表变形特征及发展趋势、地表移动变形值、采深或采深采厚比、垮落裂隙带的密实状态、活化影响因素、采空区与城市轨道交通工程的相互空间关系、荷载影响深度等，采用工程类比法、采空区特征判别法、活化影响因素分析法、地表剩余变形判别法等方法。采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响程度判别方法见本标准附录 H。

15.5.12 采空区场地工程建设适宜性，应根据采空区场地稳定性、采空区与拟建工程的相互影响程度、拟采取的抗采动影响技术措施的难易程度等按表 26 划分。采空区对各类工程的影响程度判别方法见本标准附录 H。

表26 采空区场地工程建设适宜性评价分级表

级别	分级说明
适宜	采空区垮落裂隙带密实，采空区场地稳定，对拟建工程影响小；工程建设对采空区稳定性影响小；采取一般工程防护措施（限于规划、建筑、结构措施）可以建设
基本适宜	采空区垮落裂隙带基本密实，采空区场地基本稳定，对拟建工程影响中等；工程建设对采空区稳定性影响中等；采取规划、建筑、结构、地基处理等措施可以控制采空区剩余变形对拟建工程的影响，或虽需进行采空区地基处理，但处理难度小
适宜性差	采空区垮落不充分，采空区场地不稳定，存在地面发生非连续变形的可能，工程建设对采空区稳定性影响大或者采空区剩余变形对拟建工程的影响大，需规划、建筑、结构、采空区治理和地基处理等的综合措施，处理难度大

15.5.13 对于未经处理的基本适宜建设的场地和适宜性差、经过处理后可以建设的场地，宜划分为对建筑抗震不利地段。

15.5.14 报告内容除应符合本规范第 23 章的规定外，尚应满足下列要求：

- a) 勘察报告文字尚应包括下列内容：
 - 1) 采空区勘察成果，包括资料收集与分析成果，线路及影响范围矿产、矿区分布，区域地质调绘、采空区测绘、物探、钻探、试验等成果，采空区的影响长度，采矿层数、埋深、采厚、顶板岩性、开采时限、采空区开采方法、回采率、顶板管理方法、有害气体、采空区充水、地表变形及塌陷情况、采空区剩余孔隙率等采空区基本要素特征。
 - 2) 线路压覆资源情况及预留保护带的位置、宽度及坐标。
 - 3) 采空区稳定性、采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响及采空区路段建设场地的适宜性分析与评价。
 - 4) 采空区处治方案建议。包括建设期间线路通过采空区应采取的治理措施及地基处理建议，施工和运行期间的防治措施建议。
 - 5) 附表应包括采空区调查表、采空区变形参数表
- b) 勘察报告图件除常规内容外，尚应包括下列内容：
 - 1) 工程地质平面图。应标出路线、矿界、井口、采空区（含巷道）位置、地表塌陷及裂缝分布、地表移动盆地范围及分区、地表移动变形等值线图（实测及预测）、工程建设适宜性分区界线等。

- 2) 工程地质纵、横断面图。应标出拟建各类城市轨道交通工程的位置及基底埋深、矿界、采空区(含巷道)位置、垮落带、断裂带、弯曲带及地表塌陷、裂缝位置及深度,标注城市轨道交通工程类型、规模。
- 3) 钻孔柱状图。应标注煤层或采空区编号,地层岩性及其物理力学性质、含水情况,划分垮落带、断裂带及弯曲带,并应描述钻进速度、掉钻、漏水等情况。

15.6 地面沉降和地裂缝

15.6.1 本节适用于抽吸地下水引起水位或水压下降而造成大面积地面沉降及其引起的地裂缝的岩土工程勘察。

15.6.2 对已发生地面沉降和出现地裂缝的地区,应搜集地面沉降的相关资料,查明其原因和现状,预测其发展趋势,提出控制和治理方案。对可能发生地面沉降的地区,应分析地面沉降发生的层位,预估沉降量,提出预防和控制地面沉降的建议。对出现地裂缝地区,勘察应查明场地内地裂缝的分布情况及活动性,评价地裂缝对工程建设可能产生的影响,并对相应的设防措施提出建议。

15.6.3 地面沉降勘察应以收集资料、调查和监测为主,当资料缺乏时,可辅以必要的钻探、物探、水文地质试验等手段。

15.6.4 开展勘察工作前,搜集下列相关资料:

- a) 场地的地貌和微地貌。
- b) 第四纪堆积物的年代、成因、厚度、埋藏条件和土性特征,硬土层和软弱层的分布。
- c) 地下水位以下可压缩层的固结状态和变形参数。
- d) 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。
- e) 地下水的补给、径流、排泄条件,含水层间或地下水与地表水的水力联系。
- f) 历年地下水位、水头的变化幅度和速率。
- g) 历年地下水的开采量和回灌量,开采或回灌的层段。
- h) 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。
- i) 地面沉降与分层沉降资料、地面沉降与地下水采灌量的关系曲线等。
- j) 场地及附近地区地表破裂情况、建设工程的破坏情况、已有勘察及地裂缝研究等资料。

15.6.5 对已发生地面沉降或出现地裂缝的地区,勘察工作应包括下列内容:

- a) 进行现场调查,了解对建设工程的影响程度,包括建(构)筑物的沉降、倾斜、裂缝及其发生时间和发展过程。
- b) 根据搜集资料、现场调查,分析产生地面沉降的原因,绘制工程建设区域不同时间的地面沉降等值线图,以及以地面沉降为特征的工程地质分区图。
- c) 分析地面沉降对建设工程的影响程度,提出下列控制或治理地面沉降的建议:
 - 1) 减少地下水开采量和水位降深,调整开采层次,合理开发地下水资源;
 - 2) 对地下水进行回灌时,应控制回灌水源的水质标准,防止地下水被污染;
 - 3) 条件许可时,可限制工程建设中的人工降低地下水位;
 - 4) 加强重点区域地面沉降的观测工作,并满足专门的水准测量精度要求。发现剧烈地面沉降时,应及时报警,并暂停地下水的开采。
- d) 出现地裂缝时,查明场地地裂缝的位置、产状及活动性,标志层的分布及错断情况,测量地裂缝平面位置的坐标并标示在地裂缝分布图上。

15.6.6 对可能发生地面沉降的地区,应进行下列工作:

- a) 根据场地工程地质、水文地质条件,以及地下水的开采量,预测地面沉降发生的可能性与发生的层位,分析引发地裂缝的可能性。
- b) 根据抽水试验、渗透试验、固结试验、先期固结压力试验等,预测地面沉降量和发展趋势。
- c) 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,分析地面沉降可能对工程建设的不利影响,并可采取下列预测和防治措施:
 - 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。

15.6.7 地面沉降评价应包括下列内容：

- a) 地面沉降与地质环境的关系。
- b) 地面沉降区域的岩性、厚度和埋藏条件，硬土层和软弱压缩层的分布，主要可压缩层和含水层的变形特征。
- c) 地下水埋藏条件，含水层渗透系数、地下水补给、径流、排泄条件，地下水位、水头升降变化幅度和速率。各含水层之间及地下水与地表水的水力联系。
- d) 既有建（构）筑物和地下管线等受影响情况，沉降、倾斜、裂缝大小、管线断裂及其发生过程。
- e) 分析地面沉降产生原因、变化规律和发展趋势，分析地面沉降影响因素，评价城市轨道交通线路工程建设的适宜性、稳定性。
- f) 可能发生地面沉降的地区，应结合水资源开采评价发生地面沉降的可能性。
- g) 地面沉降预测和防治措施。
- h) 城市轨道交通线路通过已发生地面沉降或可能发生地面沉降的地区时：
 - 1) 应考虑轨道工程使用寿命内因地面沉降引起的高程损失，提出合理预留设计高程的建议；
 - 2) 应根据地面沉降特别是沉降漏斗发生的区域，提出采取合适的地基基础方案或结构措施，避免轨道工程各类建（构）筑物发生开裂或倾斜等建议；
 - 3) 应评价地面沉降对工程线路的影响，提出建设和运营期间的工程措施建议。

15.6.8 对建设在地裂缝场地的轨道工程，应根据其结构形式及地裂缝的活动性质，建议合理的避让距离；建设在地裂缝变形区内的轨道工程和临近地裂缝变形区的轨道工程，应在结构主体上埋设沉降观测点，长期监测地裂缝的活动性对轨道工程的影响。

15.6.9 对于无法避让而必须跨越地裂缝的轨道工程，应进行专门的地裂缝勘察研究工作，并采取专门的防治措施。

15.7 活动断裂

15.7.1 城市轨道交通在抗震设防烈度等于或大于 7 度的场地应进行活动断裂勘察。活动断裂勘察应对其中影响城市轨道交通安全的活动断裂进行勘察。查明断裂的位置和类型，分析其活动性和地震效应，评价活动断裂对城市轨道交通安全可能产生的影响，提出处理方案。

15.7.2 活动断裂的地震工程分类及全新活动断裂分级执行《岩土工程勘察规范》GB50021 现行标准相关内容规定。

15.7.3 活动断裂的勘察应在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）基础上，通过工程地质测绘和调查、现场勘探等手段，查明活动断裂性质、位置和类型、规模，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。

15.7.4 断裂勘察工程地质测绘，应遵守《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307 规定外，尚应包括下列内容的调查：

- a) 地形地貌特征：非岩性影响的陡坡、峭壁；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。
- b) 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 (C14) 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。
- c) 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。

15.7.5 断裂勘察的现场调查和勘察内容，主要包括断层的位置、产状、性质和规模（长度、宽度和断距），破碎带中构造岩的特点，断层上下盘的地层岩性、破碎情况及错动方向，主断裂和伴生与次生构造形迹的组合关系，断层形成的时代、应力状态及活动性。并应在调查研究的基础上正确的定性，采取必要的避让措施。

15.7.6 对并行活动断裂的城市轨道交通，应预测活动断裂活动时发生地震造成的滑坡、崩塌、液化震

陷等对轨道工程造成的影响。

15.7.7 城市轨道交通在可行性研究勘察时,宜避让全新活动断裂和发震断裂。对城市轨道交通工程场地内存在发震断裂时,应对断裂的工程影响进行评价,并符合《建筑抗震设计规范》GB50011 现行标准相关条款要求。对通过活动断裂的轨道工程,应选择在活动断裂位移和断裂带宽度最小的地段通过,并提出抗震措施建议。

15.8 有害气体

15.8.1 在城市轨道交通地下工程通过工业垃圾和生活垃圾地段、富含有机质的软土地区,以及煤、石油、天然气层或曾发现过有害气体的地区应开展有害气体勘察工作。

15.8.2 有害气体的勘察应查明下列内容:

- a) 地层成因、沉积环境、岩性特征、结构、构造、分布规律、厚度变化。
- b) 含气地层的物理化学特征、具体位置、层数、厚度、产状及纵、横方向上的变化特征、圈闭构造。
- c) 有害气体生成、储藏和保存条件,确定有害气体运移、排放、液气相转换和储存的压力、温度及地质因素。
- d) 地下水水位与变化幅度、补给、径流、排泄条件,含水层分布位置、孔隙率与渗透性,地下水与有害气体的共存关系。
- e) 有害气体的分布、范围、规模、类型、物理化学性质。
- f) 当地有关有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

15.8.3 有害气体的勘探应符合下列要求:

- a) 应采用钻探、物探和现场测试等综合勘探手段。勘探点应结合地层复杂程度、含气构造和工程类型确定,勘探线宜按线路纵、横断面方向布置,并应有部分勘探点通过生气层,储气层部位。勘探点的数量应根据实际情况确定。
- b) 勘探孔深度宜结合生气层、储气层深度确定。
- c) 岩层、砂层岩芯采取率不宜小于 80%,黏性土、粉土、煤层不宜小于 90%。

15.8.4 有害气体的测试应包括下列内容:

- a) 有害气体的类型、含量、浓度、压力、温度及物理化学性质。
- b) 生气层、储气层的密度、含水量、液限、塑限、有机质含量、孔隙率、饱和度、渗透系数。煤层的密度、孔隙率、水分、挥发分、全硫、坚固性系数、瓦斯放散初速度、等温吸附常数、自燃倾向性、煤尘爆炸性。
- c) 封闭有害气体的顶、底板的物理力学性质。
- d) 水的腐蚀性。

15.8.5 有害气体的分析与评价 应包括下列内容:

- a) 地下工程通过段的工程地质与水文地质条件,有害气体生气层、储气层的埋深、长度、厚度、与线路交角、分布趋势、物理化学性质及封闭圈特征。
- b) 地下工程通过段的有害气体类型、含量、浓度、压力,预测施工时有害气体突出危险性、突出位置、突出量,评价有害气体对施工及运营的影响提出工程措施的建议。
必要时编制详细工程地质图(比例尺 1:500~1:5000)、工程地质纵、横所而图(比例尺 1:200~1:2000),应填绘有害气体的类型、分布范围及生气层、储气层的具体位置、有关测试参数等。

16 特殊性岩土

16.1 一般规定

16.1.1 城市轨道交通工程建设中常见的特殊性岩土主要有填土、软土、膨胀岩土、污染土、混合土、风化岩与残积土,若工作中遇到其他特殊性岩土,应按国家现行有关规范、规程进行岩土工程勘察。

16.1.2 在分布特殊性岩土的场地,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，制定合理的岩土工程勘察方案。

16.1.3 在分布特殊性岩土的场地，应结合城市轨道交通工程特点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。

16.1.4 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。

16.1.5 应评价特殊性岩土对城市轨道交通工程建设和运营的影响，提供设计与施工所需的特殊性岩土的物理力学参数。

16.2 填土

16.2.1 当填土对城市轨道交通工程有影响时，应进行填土勘察。

16.2.2 填土根据物资组成和堆填方式可划分为素填土、杂填土、冲（吹）填土和填筑土。

16.2.3 填土的勘察应查明下列内容：

- a) 地形、地物的变迁，填土的来源、物质成份、堆填方式。
- b) 不同物质成份填土的分布、厚度、深度、均匀程度及相互接触关系。
- c) 不同物质成份填土的堆填时间与加载、卸荷经历。
- d) 填土的含水率、密度、颗粒级配、有机物含量、密实度、压缩性及腐蚀性等。
- e) 地下水的赋存状态、补给、径流、排泄方式及水质的腐蚀性等。

16.2.4 填土的勘探应符合下列要求：

- a) 勘探点的密度应能查明暗埋的塘、浜、坑的范围，查明不同种类与物质成份填土的分布、厚度、工程性质及其变化，填土层厚度突变部位，应加密勘探点。
- b) 勘探孔的深度应穿透填土层，并应满足工程设计及地基加固施工的需要。
- c) 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的细粒素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成份的素填土和杂填土，宜采用动力触探、钻探，在具备施工条件时，可适当布置一定数量的探井。

16.2.5 填土的工程特性指标应采用原位测试和室内试验相结合的方法，宜采用下列方法确定：

- a) 填土的均匀性和密实度宜采用触探法，并辅以室内试验。
- b) 填土的压缩性宜采用室内固结试验或现场载荷试验。
- c) 杂填土的密度试验宜采用大容积法。
- d) 对压实填土应测定其干密度，并应测定填料的最优含水率和最大干密度，计算压实系数。
- e) 填土的承载力可采用原位测试方法结合当地经验确定，必要时应作载荷试验。
- f) 填土室内试验项目包括：密度、含水量、颗粒分析、塑性指数、比重、压缩指标、抗剪强度指标、有机质含量等。

16.2.6 填土的岩土工程评价尚应符合下列要求：

- a) 物质成分：评价物质成分与其物理力学性质相关性，评价对岩土工程设计、处理方法的选择的影响。
- b) 堆填时间与方式：分析和评价堆填时间与方式对填土的密实度、强度、均匀性、压缩性等的影响。
- c) 均匀性：分析和评价填土物质组成的差异性、填土分布范围与堆填厚度等的变化。
- d) 压缩性：分析和评价填土的压缩特性。
- e) 地基承载能力：为基础结构设计、地基处理、桩基础设计提供参考依据。
- f) 抗剪强度：为基坑边坡支护设计计算提供依据。
- g) 地下水：分析评价对基础材料的腐蚀性，对地基处理、桩基础施工及基坑开挖的影响。

16.3 软土

16.3.1 当软土对城市轨道交通工程有影响时，应进行软土勘察。

16.3.2 软土可按物理性质、有机质含量进行分类。

- a) 软土按物理性质可分为：淤泥、淤泥质土。

- b) 软土按有机质含量可分为：有机质土、泥炭质土、泥炭，分类可按本标准附录 D 表 D.4 执行。
- 16.3.3 软土勘察应包括下列内容：**
- a) 软土的成因类型、形成年代、岩性、分布规律、厚度变化、地层结构及均匀性。
 - b) 软土分布区的地形、地貌特征，尤其是沿线微地貌与软土分布的关系，以及古牛轭湖、埋藏谷，暗埋的塘、浜、坑穴、沟、渠等分布范围及形态。
 - c) 软土硬壳的分布、厚度、性质及随季节变化情况；硬夹层的空间位置、形态、厚度及性质；下伏硬底的岩土组成、性质、埋深和起伏。
 - d) 软土的沉积环境、固结程度、强度、压缩特性、灵敏度、有机质含量等。
 - e) 地下水类型、埋藏深度与变化幅度、补给与排泄条件，软土中各含水层的分布、颗粒成份、渗透系数；地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等。
 - f) 调查基坑开挖施工、隧道掘进、基桩施工、填筑工程、降水等有关的土性变化、土体位移、地面变形及由此引起的工程设施受损或破坏及处理的情况。
- 16.3.4 软土的勘探应符合下列要求：**
- a) 应采用钻探取样和原位测试相结合的综合勘探方法。原位测试可采用静力触探试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、旁压试验、螺旋板载荷试验等方法。
 - b) 勘探点的平面布置应根据城市轨道交通的工程类型、施工方法、基础形式及软土的地层结构、成因类型、成层条件及岩土工程治理的需要确定；勘探点的密度应满足相应勘察阶段岩土工程评价、工程设计的需要，一般宜为 25~50m。当需要圈定重要的局部变化时，可以加密勘探点。
 - c) 勘探孔的深度应满足应满足各类工程设计的需要，一般应穿透软土层，钻至硬层或下伏基岩内 2m~5m。当软土层较厚时，勘探、测试孔深度应满足地基压缩层计算深度和围护结构计算的要求。
 - d) 软土应采用薄壁取土器采取 I 级土样，应严格按相关要求进行钻探、取样和及时送样、试验。对重要工点和重要的建筑物，在工程地质单元中每层的试样数不应少于 10 组。
- 16.3.5 软土室内试验应符合下列要求：**
- a) 室内试验的项目，应根据不同的工程类别和地基处理措施选定。除物理指标项目外，一般还应包括：渗透系数、压缩系数、压缩模量、先期固结压力、压缩指数、回弹指数、固结系数、抗剪强度、静止侧压力系数、灵敏度、有机质含量等。
 - b) 室内力学试验应以直剪、三轴剪切试验、无侧限抗压强度、压缩固结试验为主，每一地貌单元应有代表性高压固结试验，成果按 e-lgp 曲线的形式整理，确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数；必要时应进行次固结试验。
 - c) 原状土样的样品宜在 3 天内开样试验。
- 16.3.6 软土的岩土工程分析与评价应符合下列规定：**
- a) 应按土的先期固结压力与上覆有效土自重压力之比，判定土的历史固结程度。
 - b) 当邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时，或当软土围岩和地基受力范围内有起伏、倾斜的基岩、硬土层或存在较厚的透镜体时，应分析软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度，分析软土发生变形、不均匀变形的可能性，并提出工程处理措施建议。
 - c) 软土地基主要受力层中有薄的砂层或软土与砂土互层时，应根据其固结排水条件，判定其对地基变形的影响。
 - d) 应根据软土的成层、分布及物理力学性质对影响或危及城市轨道交通工程安全的不均匀沉降、滑动、变形作出评价，提出加固、处理措施建议。
 - e) 判定地下水位的变化幅度和承压水头等水文地质条件对软土地基和隧道围岩稳定性和变形的影响。
 - f) 对软土地层基坑的开挖、隧道施工、支护结构类型、抗剪强度参数、土压力系数、渗透系数及降水方法提出建议。
 - g) 软土地基的承载力宜采用多种方法综合确定；一般建筑物可利用静力触探及其他原位测试成果，结合地区经验确定，也可根据软土的物理力学参数确定，或采用工程地质类比法确定；对重要建筑物和缺乏经验的地区，宜采用载荷试验方法确定。

- h) 桩基评价应考虑软土继续固结所产生的负摩擦力。当桩基邻近有堆载时，还应分析桩的侧向位移或倾斜。
- i) 抗震设防烈度等于或大于 7 度的软土，应判别软土震陷的可能性。
- j) 对含有沼气等有害气体的软土地基、围岩，应判定有害气体逸出对地基稳定性、变形及施工的影响。
- k) 对软土场地因施工、取土、运输等原因产生的环境地质问题应作出评价，并提出相应措施。

16.4 膨胀岩土

16.4.1 岩土被初判为膨胀岩土，且对工程设计和施工有重大影响时，应按本节的要求进行工程勘察。

16.4.2 膨胀岩土的成因类型划分，应符合下列规定：

- a) 由流水搬运、分选、堆积而成时，应划分为冲积、洪积、冰水沉积相膨胀土。
- b) 由泥岩、页岩、石灰岩等沉积岩或基性、中酸性火成岩风化而成时，应划分为残积、坡积相膨胀土。
- c) 膨胀岩按岩性特征进行分类。

16.4.3 膨胀土的勘察应查明下列内容：

- a) 膨胀土的地层岩性、形成年代、成因、结构、分布及节理、裂隙等特征。
- b) 膨胀土分布区的地形、地貌特征。
- c) 膨胀土分布区不良地质作用的发育情况与危害程度。
- d) 膨胀土的强度、胀缩特性及不同膨胀潜势、胀缩等级的分布特征。
- e) 地表水的排泄条件，地下水位与变化幅度。
- f) 多年的气象资料及大气的影响深度。
- g) 当地的工程建设经验，破坏形式，发生发展特点与防治措施等。

16.4.4 膨胀土的勘探应符合下列要求：

- a) 勘探点宜结合地貌特征和工程类型布置，采用钻探、坑探等，钻探宜采用干钻。
- b) 取土试样钻孔、坑探的数量不应少于钻孔、坑探总量的 1/2。
- c) 勘探深度，除应超过压缩层深度外，尚应大于大气影响深度。勘探深度还应满足各类工程设计的需要。
- d) 在大气影响深度内的土试样，取样间隔宜为 1m，在大气影响深度以下，取样间隔可适当增大。
- e) 钻孔、坑探应分层回填夯实。

16.4.5 膨胀土室内试验应符合下列要求：

- a) 一般应包括常规物理力学指标、无侧限抗压强度、自由膨胀率、一定压力下的膨胀率、收缩系数、膨胀力等特性指标，必要时可测定蒙脱石含量和阳离子含量。
- b) 计算在荷载作用下的地基膨胀量时，应测定土样在自重与附加压力之和作用下的膨胀率。
- c) 必要时，进行三轴剪切试验、残余强度试验等。

16.4.6 膨胀岩的勘察应符合下列要求：

- d) 勘察除满足 16.4.3 条的规定外，尚应查明膨胀岩的地质构造、岩层产状、风化程度。
- e) 勘探点应结合工程类型布置，勘探孔深度应大于大气影响深度和满足各类工程设计的需要。
- f) 按岩性、风化带分层采取代表性样品，进行密度、含水率、自由膨胀率、膨胀力、岩石的饱和吸水率等试验。

16.4.7 膨胀岩土的岩土工程分析与评价，符合下列规定：

- a) 膨胀土膨胀潜势应按表 27 进行分类：

表27 膨胀潜势分类

分类指标	膨胀潜势		
	弱	中	强
自由膨胀率 δ_{ef} (%)	$40 \leq \delta_{ef} < 60$	$60 \leq \delta_{ef} < 90$	$\delta_{ef} \geq 90$
蒙脱石含量 M' (%)	$7 \leq M' < 17$	$17 \leq M' < 27$	$M' \geq 27$
阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	$170 \leq CEC(NH_4^+) < 260$	$260 \leq CEC(NH_4^+) < 360$	$CEC(NH_4^+) \geq 360$

注：当有两项指标符合时，即判定为该等级。

b) 膨胀岩的判定应符合表 28 的规定，当两项及两项以上指标符合时，可判定为膨胀岩。

表28 膨胀岩的室内试验判定标准

试验项目		判定指标
不易崩解的岩石	自由膨胀率 V_H (%)或 V_D (%)	$V_H \geq 3$ 或 $V_D \geq 3$
易崩解的岩石	自由膨胀率 F_S (%)	$F_S \geq 30$
膨胀力 P_P (kPa)		$P_P \geq 100$
饱和吸水率 ω_{sa} (%)		$\omega_{sa} \geq 10$
注1：不易崩解的岩石，应取轴向 V_H 或径向 V_D 自由膨胀率中的大值进行判定；		
注2：易崩解的岩石应将其粉碎，过0.5mm的筛去除粗粒后，比照土的自由膨胀率的试验方法进行试验。		

c) 场地应按下列条件进行分类：

- 1) 平坦场地：地形坡度小于 5° ；地形坡度大于 5° 小于 14° 而距坡肩的水平距离大于 10m 的坡顶地带。
- 2) 坡地场地：地形坡度等于或大于 5° ；地形坡度虽小于 5° 但同一座建筑物或工程设施范围内的局部地形高差大于 1m。

d) 膨胀土地基胀缩等级应按表 29 进行划分：

表29 膨胀土地基胀缩等级

级别	地基分级变形量 S_e (mm)
I	$15 \leq S_e < 35$
II	$35 \leq S_e < 70$
III	$S_e \geq 70$
注1：测定膨胀率的试验压力应为50kPa；	
注2：分级变形量的计算应按现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112的有关规定进行。	

e) 确定地基土的承载力应按下列要求进行：

- 1) 重要建（构）筑物或工程设施的地基承载力宜采用载荷试验或浸水载荷试验确定。
- 2) 一般建（构）筑物或工程设施的地基承载力宜根据三轴不固结不排水剪（UU）试验结果计算确定。

f) 确定土体抗剪强度应按下列要求进行：

- 1) 表面风化层宜采用干湿循环试验确定。
- 2) 地下水位以下或坡面无封闭、有雨水、地表水渗入，宜采用浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定。
- 3) 地下水位以上或坡面及时封闭、无雨水、无地表水渗入，宜采用非浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定。
- 4) 裂隙面强度宜采用无侧限抗压强度试验或直剪仪裂面重合剪试验确定。

g) 分析膨胀岩土对工程的影响，建议相应的基础埋深、地基处理及隧道、边坡、基坑挡护和防水、保湿措施等。

h) 应对建（构）筑物、工程设施、边坡等的变形、岩土含水率的变化及气候等环境条件的变异的监测提出建议。

16.5 污染土

16.5.1 本节内容适用于工业污染、尾矿污染土和垃圾填埋场渗滤液引起的污染土的勘察。

16.5.2 污染土地和地基的勘察，应根据工程特点和设计要求选择适宜的勘察手段，并应符合下列要

求:

- a) 以现场调查为主,对工业污染应着重调查污染源、污染史、污染途径、污染物成分、污染场地已有建筑物受影响程度、周边环境等。对尾矿污染应重点调查不同的矿物种类和化学成分,了解选矿所采用工艺、添加剂及其化学性质和成分等。对垃圾填埋场应着重调查垃圾成分、日处理量、堆积容量、使用年限、防渗结构、变形要求及周边环境等。
 - b) 采用钻探或坑探采取土试样,现场观察污染土颜色、状态、气味和外观结构等,并与正常土比较,查明污染土分布范围和深度。
 - c) 在可行性研究勘察时,应对拟建线路通过区域是否分布污染土进行调查;初步勘察时应以现场调查为主,配合少量勘探测试,查明污染源性质、污染途径,并初步查明污染土分布和污染程度;详细勘察应在初步勘察的基础上,有针对性地布置勘察工作量,查明污染土的分布范围、污染程度、物理力学和化学指标,为污染土处理提供参数。
- 16.5.3 污染土的勘探应符合下列规定:
- a) 以现场调查为主,对工业污染应着重调查污染源、污染史、污染途径、污染物成分、污染场地已有建筑物受影响程度、周边环境等。对尾矿污染应重点调查不同的矿物种类和化学成分,了解选矿所采用工艺、添加剂及其化学性质和成分等。对垃圾填埋场应着重调查垃圾成分、日处理量、堆积容量、使用年限、防渗结构、变形要求及周边环境等。
 - b) 采用钻探或坑探采取土试样,现场观察污染土颜色、状态、气味和外观结构等,并与正常土比较,查明污染土分布范围和深度。
 - c) 在可行性研究勘察时,应对拟建线路通过区域是否分布污染土进行调查;初步勘察时应以现场调查为主,配合少量勘探测试,查明污染源性质、污染途径,并初步查明污染土分布和污染程度;详细勘察应在初步勘察的基础上,有针对性地布置勘察工作量,查明污染土的分布范围、污染程度、物理力学和化学指标,为污染土处理提供参数。
- 16.5.4 污染土的试验应符合下列规定:
- a) 污染土和水的室内试验,应根据污染情况和任务要求,进行污染土和水的化学成分、物理力学性质、对建筑材料腐蚀性、对环境的影响的评价指标等相关试验;力学试验项目和试验方法应充分考虑污染土的特殊性质,进行相应的试验,如膨胀、湿化、湿陷性试验等。
 - b) 对需要确定地基土工程性能的污染土,宜采用以原位测试为主的多种手段;当需要确定污染土地基承载力时,宜进行载荷试验。
 - c) 直接接触试验样品的取样设备应严格保持清洁,每次取样后均应用清洁水冲洗后再进行下一个样品的采取;对易分解或易挥发等不稳定组分的样品,装样时应尽量减少土样与空气的接触时间,防止挥发性物质流失并防止发生氧化;土样采集后宜采取适宜的保存方法并在规定时间内运送试验室。
 - d) 场地应设置监测井进行地下水水质监测,监测井主要针对易受污染的主要含水层进行布设,当深层地下水也可能受到污染时,应同时监测相关层位的地下水;监测井数量应能反映场地的污染特征。
- 16.5.5 污染土的岩土工程分析和评价应包括下列内容:
- a) 污染源的位置、成分、性质、污染史及对周边的影响。
 - b) 污染土分布的平面范围和深度、地下水受污染的空间范围。
 - c) 污染土的物理力学性质,污染对土的工程特性指标的影响程度。
 - d) 工程需要时,提供地基承载力和变形参数,预测地基变形特征。
 - e) 污染土和水对建筑材料的腐蚀性及其对工程建设的影响。
 - f) 污染土和水对环境的影响。
 - g) 分析污染发展趋势。
 - h) 对已建项目的危害性或拟建项目适宜性的综合评价。
 - i) 根据污染土、水分布特点与污染程度,结合拟建工程采用的基础形式或施工工法,提出对污染土、水处置措施的建议。
- 16.5.6 污染对土的工程特性的影响程度可按照表 30 划分。根据工程具体情况,可采用强度、变形、

渗透等工程特性指标进行综合评价。

表30 污染对土的工程特性的影响程度

影响程度	轻微	中等	大
工程特性指标变化率(%)	<10	10~30	>30
注：“工程特性指标变化率”是指污染前后工程特性指标的差值与污染前指标之百分比。			

16.6 混合土

16.6.1 混合土是指由细粒土和粗粒土组成且缺乏中间粒径的土。混合土可按土中粗细颗粒组成分为粗粒混合土和细粒混合土，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；当粉土或黏性土中粒径大于2mm的粗粒土质量超过总质量的25%时，应定名为细粒混合土。混合土对工程建设有影响时，应按本节要求进行岩土工程勘察。

16.6.2 混合土的勘察应符合下列要求：

- a) 查明混合土的名称、物质组成、来源。
- b) 查明混合土的组成、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律。
- c) 查明混合土中粗大颗粒的风化情况，细颗粒的成分和状态。
- d) 勘探点的间距和勘探孔的深度除应符合本标准的相关要求外，对于变化较大的混合土分布区域尚应适当加密加深。
- e) 混合土的地基承载力应采用载荷试验、动力触探并结合当地经验确定。

16.6.3 混合土的勘探应符合下列要求：

- a) 宜采用动力触探试验和钻探相结合，必要时采用探井对比检验。
- b) 勘探点的间距和勘探孔的深度除应符合本标准的相关要求外，对于变化较大的混合土分布区域尚应适当加密加深。

16.6.4 混合土的原位测试和室内试验应符合下列要求：

- a) 对粗粒混合土由于在钻孔内难以采取原状土样，有条件进行坑探、槽探时应优先选用坑探、槽探，并采取大体积试样进行室内相关项目试验，或采用现场载荷试验、现场压缩试验、现场直剪试验等原位测试方法测定其物理力学参数。
- b) 混合土的地基承载力应采用载荷试验、动力触探并结合当地经验确定。现场载荷试验的承压板直径和现场直剪试验的剪切面直径都应大于试验土层最大粒径的5倍，且满足载荷试验的承压板面积不应小于 0.5m^2 ，直剪试验的剪切面面积不宜小于 0.25m^2 。
- c) 对细粒混合土宜主要采用钻探取样进行室内试验，测定其物理力学参数，并应有一定数量的原位测试进行对比检验。
- d) 混合土中粗颗粒对室内试验数据影响较大，室内试验应参照本标准及《土工试验方法标准》GB/T50123中粗颗粒土的试验方法进行。

16.6.5 混合土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

- a) 混合土的物质成分、颗粒大小，含有物的性质、含量和大小等。
- b) 混合土的空间分布、厚度、含水率、密实度（容重、孔隙比）、压缩模量、均匀性、承载力、当颗粒较大时应提供抗压强度等。
- c) 地下水类型、水位、含水层厚度、水力的联系等。
- d) 对混合土的天然密度、抗剪强度、基床系数等提出建议值。
- e) 评价混合土对基坑开挖和隧道掘进、桩基施工等的影响。

16.7 风化岩和残积土

16.7.1 当风化岩和残积土对城市轨道交通工程建设有影响时，应按本节要求进行岩土工程勘察。

16.7.2 风化岩和残积土的勘察应着重查明下列内容：

- a) 母岩的地质年代和名称。
- b) 风化岩和残积土的分布、埋深与厚度变化。

- c) 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度。
 - d) 风化岩和残积土的不均匀程度，破碎带和软弱夹层的分布、特征。
 - e) 风化岩和残积土中的岩脉的分布。
 - f) 风化岩和残积土的透水性和富水性。
 - g) 风化岩和残积土的物理力学指标及参数。
 - h) 当地风化岩和残积土的工程经验。
 - i) 地下水赋存条件。
- 16.7.3 风化岩和残积土的勘探与测试应符合下列要求：
- a) 采用钻探与标准贯入试验、重型动力触探试验、波速测试等原位测试相结合的勘察方法进行勘察工作，宜有一定数量的探井。
 - b) 勘探点间距应取本标准相关章节规定的小值，对于球状风化发育的地段应加密勘探孔。
 - c) 风化岩和残积土应取得 I 级试样。
 - d) 室内试验根据工程需要按本标准第 21 章的规定，对相当于土状的风化岩体，可按土工试验要求进行；对呈岩块状的强风化岩进行岩石试验；对残积土，必要时应进行湿陷性和湿化试验。
- 16.7.4 风化岩和残积土的技术指标和参数宜采用原位测试与室内试验相结合的方法确定。其承载力和变形模量 E_0 宜采用原位测试方法确定，亦可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定确定。
- 16.7.5 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土的勘察，应符合下列要求：
- a) 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土可按表 31 的规定划分。

表31 花岗岩类及片麻岩类的风化岩与残积土划分标准

判定方法	强风化	全风化	残积土
标准贯入锤击实测值 N (击)	$N \geq 70$	$N \geq 40$	$N < 40$
剪切波速 V_s (m/s)	$V_s \geq 350$	$V_s \geq 250$	$V_s < 250$

注：满足 1 条即可作划分标准。

- b) 可根据含砾或含砂量将花岗岩类残积土划分为砾质黏性土、砂质黏性土和黏性土。
 - c) 勘察除满足 16.7.2 条的规定外，尚应着重查明花岗岩分布区球状风化体（孤石）的分布。
 - d) 对花岗岩类残积土和全风化岩进行细粒土的天然含水率、塑性指数、液性指数等试验。
- 16.7.6 泥质岩类的强风化岩、全风化岩与残积土按表 32 划分。

表32 泥质岩类风化岩与残积土划分标准

判定方法	强风化	全风化	残积土
标准贯入锤击实测值 N (击)	$N \geq 50$	$50 > N \geq 30$	$N < 30$

- 16.7.7 风化岩和残积土的分析与评价内容应包括下列方面：
- a) 评价风化岩和残积土的地基及边坡稳定性，并提出工程措施的建议。
 - b) 评价风化岩和残积土中的桩基承载力和稳定性。
 - c) 分析岩土的不均匀程度，尤其是破碎带和软弱夹层的分布，指出隧道和基坑开挖、桩基施工中存在的岩土工程问题，提出工程措施的建议。
 - d) 评价风化岩和残积土的透水性和地下水的富水性，分析在不同工法下，地下水对岩土体稳定性的影响，提出对地下水的控制措施的建议。
 - e) 分析岩脉、孤石和球状风化体对工程的影响，提出工程措施的建议。
 - f) 对全风化岩和残积土，应分析评价其遇水软化崩解对施工的影响，并提出相应的建议。

17 场地和地基的地震效应

17.1 一般规定

- 17.1.1 城市轨道交通岩土工程勘察应进行场地和地基的地震效应分析与评价。
- 17.1.2 抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组，应按现行国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306)、《建筑抗震设计规范》(GB50011)规定执行。对已完成抗震防灾规划的城市，可按批准的抗震防灾区划进行抗震设防。
- 17.1.3 场地和地基的地震效应评价除符合本规范要求外，根据建(构)筑物结构类型尚应符合相关行业规范、规程等要求。
- 17.1.4 需要采用时程分析法补充计算的建筑，应根据设计要求提供土层剖面、场地覆盖层厚度和土层剪切波速等有关参数。必要时进行室内共振柱或动三轴试验，提供初始剪切模量、剪切模量比与剪应变关系曲线及阻尼比与剪应变关系曲线。
- 17.1.5 城市轨道交通结构应划分为标准设防类、重点设防类和特殊设防类三个抗震设防类别，应符合下列规定：
- 标准设防类：除特殊设防类、重点设防类以外的其他城市轨道交通结构；
 - 重点设防类：除特殊设防类以外的高架区间结构、高架车站主体结构、区间隧道结构和地下车站主体结构；
 - 特殊设防类：在城市轨道交通网络中占据关键地位、承担交通量大的大跨度桥梁和车站的主体结构。
- 17.1.6 进行岩土工程勘察时，应根据表 33 划分抗震有利、一般、不利和危险的地段。

表33 工程场地抗震地段划分

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
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，陡坡，陡坎，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（含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基），地表存在结构性裂缝等
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分

17.2 场地类别

- 17.2.1 工程场地类别应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度进行划分。
- 17.2.2 测定土层剪切波速的钻孔数量应满足下列要求：
- 同一地质单元测试孔数量不宜少于 2 个，每个工点测试孔数量不宜少于 3 个。
 - 不同地质单元分界线附近或地质条件变化较大时，可适量增加。
- 17.2.3 岩土类型可按表 34 划分。

表34 场地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)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软或较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土， $f_{ak} > 130$ 的填土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{ak} \leq 130$ 的填土	$v_s \leq 150$

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。

17.2.4 工程场地覆盖层厚度的确定，应符合下列要求：

- 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m/s 且其下卧各层岩土层的剪切波速均不小于 500m/s 的土层顶面的距离确定。
- 当地面 5m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层，且该层及其下卧各层岩土层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。
- 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体，应视同周围土层。
- 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。

17.2.5 土层的等效剪切波速，应按下列公式计算：

$$v_{se} = d_o/t \dots\dots\dots (17.2.5-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{v_{si}} \right) \dots\dots\dots (17.2.5-2)$$

式中：

- v_{se} ——土层等效剪切波速(m/s)；
 d_o ——计算深度，取覆盖层厚度和20m二者的较小值(m)；
 t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间(s)；
 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)；

17.2.6 工程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 35 划分为四类，其中 I 类分为 I₀、I₁两个亚类。特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 36 采用。

表35 工程场地类别划分

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 (m/s)	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		<5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 150$		<3	3~15	15~80	>80

注：表中数据为场地覆盖层厚度(m)；表中 v_s 系岩石的剪切波速； v_{se} 系土层等效剪切波速。

表36 特征周期值(s)

设计地震分组	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

17.2.7 工程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：

- 对符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对建（构）建筑物的影响：
 - 抗震设防烈度小于 8 度
 - 非全新世活动断裂；
 - 抗震设防烈度为 8 度时，隐伏断裂的土层覆盖厚度大于 60m。
- 对不符合本条 1 款规定的情况，应避开主断裂带，并根据建（构）建筑物类型确定避让距离。

17.3 液化土和软土地基

17.3.1 当抗震设防烈度为 6 度时，对标准设防类结构物可不进行场地地震液化判别和处理；对特殊设防类、重点设防类结构物可按照抗震设防烈度为 7 度的要求进行场地地震液化判别和处理。当抗震设防

烈度为7度、8度时，重点设防类、标准设防类结构物可按本地区的抗震设防地震动分档的要求或采用经主管部门批准的工程场地地震安全性评价的结果进行场地地震液化判别；特殊设防类结构物应进行专门的场地液化和处理措施研究。对特殊设防类、重点设防类结构物，宜对遭遇E3地震作用时的场地液化效应进行评价。

17.3.2 对砾粒含量较高的饱和砂土、饱和粉土、饱和粉细砂与粉质黏土互层土、饱和混砂土，其液化可能性宜做专门研究。

17.3.3 液化判别宜采用有成熟经验的多种方法，综合判定液化可能性和液化程度。

17.3.4 可液化土的场地地震液化初步判别应符合下列规定：

- a) 当地质年代为第四纪晚更新世(Q₃)及其以前时，且抗震设防烈度为7度、8度时，可判为不液化。
- b) 当粒径小于0.005mm的粉土的黏粒含量百分率对应抗震设防烈度为7度、8度分别不小于10、13时，可判为不液化土。黏粒含量分析采用六偏磷酸钠作为分散剂。
- c) 当土层为粉土或粉砂与黏性土互层且以黏性土为主时，可不考虑液化影响。
- d) 对浅埋天然地基的结构物，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：

$$d_u > d_0 + d_s - 2 \dots\dots\dots (17.3.4-1)$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \dots\dots\dots (17.3.4-2)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \dots\dots\dots (17.3.4-3)$$

式中：

d_w ——地下水位埋深(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37采用。

表37 液化土特征深度(m)

饱和土类别	7度	8度
粉土	6	7
砂土	7	8

注：当区域的地下水位处于变动状态时，应按不利的情况考虑。

17.3.5 场地地震液化的进一步判别可采用标准贯入试验判别法，并应符合下列规定：

- a) 液化判别的土层深度应达到地面以下20m。当饱和土标准贯入锤击数(未经杆长修正)小于等于液化判别标准贯入锤击数临界值时，应判为可液化土。
- b) 在地面下20m深度范围内，液化判别标准贯入锤击数临界值可按下式计算：

$$N_{cr} = N_o \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \dots\dots\dots (17.3.5)$$

式中：

N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值；

N_o ——液化判别标准贯入锤击数基准值，可按表38采用；

d_s ——饱和土标准贯入点深度(m)；

d_w ——地下水位埋深(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；

ρ_c ——黏粒含量百分率，当小于3或为砂土时，应采用3；

β ——调整系数，设计地震第一组取0.80，第二组取0.95，第三组取1.05。

表38 液化判别标准贯入锤击数基准值 N_o

设计基本地震加速度 (g)	0.10	0.15	0.20	0.30
液化判别标准贯入锤击 数基准值	7	10	12	16

- c) 为判别地基液化而布置的勘探孔不得少于 3 个，勘探孔深度应同时满足不同判别方法的深度要求。
- d) 用于液化判别的标准贯入试验点竖向间距宜为 1.0m~1.5m，每层土的试验点数不宜少于 6 个。
- e) 每一试验点应取其贯入器中有代表性的扰动土样进行颗粒分析试验。
- 17.3.6 当有成熟经验时，尚可采用其他判别方法，如采用静力触探试验、剪切波速、动三轴试验等多种方法进行液化判别。
- 17.3.7 对存在可液化土层地基，应探明各液化土层的深度和厚度，按式 17.3.7 计算每个钻孔的液化指数，并按表 39 综合划分地基的液化等级：

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{cri}}\right) d_i W_i \dots\dots\dots (17.3.7)$$

式中：

- I_{LE} ——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} —— 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；
- 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^{-1} ）。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，5m~20m时应按线性内插法取值。

17.3.8 地基液化等级划分时，应符合下列规定：

- a) 逐点判别，按孔计算每个试验孔的液化指数。
- b) 按照每个孔的计算结果，结合场地地质条件，综合确定地基液化等级。当各孔液化指数差别较大，综合评价难以确定地基液化等级时，应进行液化等级分区，每个分区内用于液化判别的钻孔不少于 3 个。

表39 液化等级与液化指数的对应关系

液化等级	轻微	中等	严重
液化指数 I_{LE}	$0 < I_{LE} \leq 6$	$6 < I_{LE} \leq 18$	$I_{LE} > 18$

17.3.9 不宜将未经处理的可液化土层作为天然地基持力层。对可液化土层根据结构物抗震设防类别及地基液化等级采取相应的地基抗液化措施。

17.3.10 对可液化土层应根据土层的液化程度对地基的变形模量、基床系数、地基承载力、桩周边土的承载力、桩周边土的摩阻力和水平抗力等土层设计参数进行修正，土层的液化折减系数可按表 40 取值。

表40 土层液化影响折减系数

实测标贯锤击数/临界标贯锤击数	深度 d_s (m)	折减系数
≤ 0.6	$d_s \leq 10$	0
	$10 < d_s \leq 20$	1/3
0.6~0.8	$d_s \leq 10$	1/3
	$10 < d_s \leq 20$	2/3
0.8~1.0	$d_s \leq 10$	2/3
	$10 < d_s \leq 20$	1

17.3.11 抗震设防烈度不小于 7 度时，对平均厚度不小于 3m 的软土应判别软土震陷的可能性。

- a) 当地基承载力特征值或剪切波速大于表 41 数值时，可不考虑震陷影响；

表41 临界承载力特征值和剪切波速

抗震设防烈度	7 度	8 度
承载力特征值 f_a (kPa)	80	100
剪切波速 v_s (m/s)	90	140

- b) 8 度 (0.30g) 时，对饱和粉质黏土，当符合表 42 条件之一时，可不考虑震陷影响。

表42 饱和粉质黏土震陷评价指标

塑性指数 I_p	天然含水率 w	液性指数 I_L
≥ 15	$< 0.9W_L$	< 0.75

注： W_L —液限含水率，采用液、塑限联合测定法测定。

18 地下水

18.1 一般规定

18.1.1 城市轨道交通岩土工程勘察应查明沿线与工程有关的水文地质条件，并应根据工程需要和人文地质条件，评价地下水对工程结构和工程施工可能产生的作用并提出防治措施的建议。

18.1.2 当水文地质条件复杂且对工程及地下水控制有重要影响时应进行水文地质专项勘察。

18.1.3 地下水勘察应在搜集已有工程地质和水文地质资料的基础上，采用调查与测绘、钻探、物探、试验、动态观测等多种手段相结合的综合勘察方法。

18.2 地下水的勘察要求

18.2.1 地下水的勘察应符合下列规定：

- 搜集区域气象资料，评价其对地下水的影响。
- 查明地下水的类型和赋存状态、含水层的分布规律，划分水文地质单元。
- 查明地下水的补给、径流和排泄条件，地表水与地下水的水力联系。
- 查明勘察时的地下水位，调查历史最高地下水位、近 3 年~5 年最高地下水位、地下水位年变化幅度、变化趋势和主要影响因素。
- 提供地下水控制所需的水文地质参数。
- 调查是否存在污染地下水和地表水的污染源及可能的污染程度。
- 评价地下水对工程结构、工程施工的作用和影响，提出防治措施的建议。
- 必要时评价地下工程修建对地下水环境的影响。

18.2.2 山岭隧道或基岩隧道工程地下水的勘察还应符合下列规定：

- 查明不同岩性接触带、断层破碎带及富水带的位置与分布范围。
- 当隧道通过可溶岩地区时，查明岩溶的类型、蓄水构造和垂直渗流带、水平径流带的分布位置及特征。
- 预测隧道通过地段施工中可能发生集中涌水段、点的位置以及对工程的危害程度。
- 分段预测施工阶段可能发生的最大涌水量和正常涌水量，并提出工程措施的建议。

18.2.3 应根据地下水类型、基坑形状与含水构造特点等条件，提出地下水控制措施的建议。

18.2.4 对缺乏常年地下水位监测资料的地区，当地下水对工程有重大影响时，初步勘察阶段应根据工程实际情况布设长期观测孔，每个水文地质单元不少于 1 个，观测周期不宜少于 1 个水文年。

18.3 水文地质参数的测定

18.3.1 当水文地质条件复杂且对工程影响重大时，应通过现场试验确定水文地质参数。

18.3.2 勘察时遇地下水应量测水位。当场地存在对工程有影响的多层含水层时，应分层量测。

18.3.3 初见水位和稳定水位的量测，可在钻孔、探井和测压管内直接量测，精度不得低于±2cm，并注明量测时间。量测稳定水位的间隔时间应根据地层的渗透性确定。从停钻至量测的时间：砂土和碎石土不宜少于0.5h，粉土和黏性土不宜少于8h。并宜在勘察结束后统一量测稳定水位，量测读数至厘米。对位于江、河、湖、海、岸边的工程，地表水和地下水应同时量测。

18.3.4 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），且应同时量测水位，测点间距按岩土体的渗透性、水力梯度和地形坡度确定，宜为50m~100m。

18.3.5 含水层的渗透系数及导水系数宜采用抽水试验、注水试验求得；含水层的透水性根据渗透系数 k 按表43的规定划分。

表43 含水层的透水性

类别	特强透水	强透水	中等透水	弱透水	微透水	不透水
$k(\text{m/d})$	$k > 200$	$10 \leq k \leq 200$	$1 \leq k < 10$	$0.01 \leq k < 1$	$0.001 \leq k < 0.01$	$k < 0.001$
$k(\text{cm/s})$	$k > 2.3 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-2} \leq k \leq 2.3 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-3} \leq k < 1.2 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-5} \leq k < 1.2 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-6} \leq k < 1.2 \times 10^{-5}$	$k < 1.2 \times 10^{-6}$

18.3.6 土中孔隙水压力的测定应符合下列要求：

- 测试点位置应根据地质条件和分析需要选定。
- 测压计的安装和埋设应符合有关技术规定。
- 当需要评价土中孔隙水压力沿深度方向的变化趋势时，宜通过现场孔压试验或消散试验来确定。
- 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。

18.3.7 抽水试验和注水试验布置应符合下列规定：

- 试验应布置在不同地貌单元、不同含水层（组）且富水性较强的地段，并应距离隧道外侧3m~5m。
- 在需要人工降低地下水位的车站、区间宜布置试验孔。
- 抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向。
- 在含水构造复杂且富水性较强的地段应分层或分段进行抽水试验；对潜水与承压水应分别进行抽水试验。

18.3.8 抽水试验应符合下列规定：

- 抽水试验方法可按表44的规定确定；抽水试验技术要求应符合本规范附录J的规定。
- 抽水试验宜三次降深，最大降深宜接近工程设计所需的地下水位降深的标高。
- 水位量测应采用同一方法与仪器，抽水孔读数到厘米，观测孔读数到毫米。
- 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。稳定水位的延续时间：卵石、圆砾和粗砂含水层为8h，中砂、细砂和粉砂含水层为16h，基岩含水层（带）为24h。
- 抽水试验应同时观测水位和水量，抽水结束后应量测恢复水位。

表44 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

18.3.9 注水试验可在试坑或钻孔中进行，注水稳定时间宜为4h~6h。

18.3.10 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，绘制压力与压入水量的关系曲线，计算试验段的透水率，确定P-Q曲线的类型。压水试验技术要求应符合本规范附录K的规定。

18.4 地下水的作用

18.4.1 城市轨道交通岩土工程勘察应评价地下水的作用，包括地下水力学作用和物理、化学作用。

18.4.2 地下水力学作用的评价应包括下列内容：

- a) 对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，提供抗浮设防水位；对节理不发育的岩石和黏土可根据地方经验或实测数据确定。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。
- b) 验算边坡稳定时，应考虑地下水对边坡稳定的不利影响。
- c) 在地下水位下降的影响范围内，应分析地面沉降、岩溶地面塌陷及其对工程和周边环境的影响。
- d) 在有水头压力差的粉细砂、粉土地层中，应分析产生潜蚀、流土、管涌的可能性。
- e) 在地下水位下进行基坑开挖及地下工程施工时，应根据岩土的渗透性、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施工、基坑稳定和周边环境的影响。

18.4.3 地下水的物理、化学作用的评价应包括下列内容：

- a) 对地下水位以下的工程结构，应评定地下水对建筑材料的腐蚀性，评价方法按本规范第 18.5 节执行。
- b) 对软质岩、强风化岩、残积土、膨胀岩土、红黏土和盐渍岩土，应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、胀缩和潜蚀等有害作用。

18.5 水和土腐蚀性评价

18.5.1 当有足够经验或充分资料，认定工程场地及其附近的土或水（地下水或地表水）对建筑材料为微腐蚀时，可不取样试验进行腐蚀性评价。否则，应取水试样或土试样进行试验，并按本章评定其对建筑材料的腐蚀性。土对钢结构腐蚀性的评价可根据任务要求进行。

18.5.2 采取水试样和土试样应符合下列规定：

- a) 混凝土结构处于地下水位以上时，应取土试样作土的腐蚀性测试；
- b) 混凝土结构处于地下水或地表水中时，应取水试样作水的腐蚀性测试；
- c) 混凝土结构部分处于地下水位以上、部分处于地下水位以下时，应分别取土试样和水试样作腐蚀性测试；
- d) 水试样和土试样应在混凝土结构所在的深度采取，每个工点不应少于 2 件。当土中盐类成分和含量分布不均匀时，应分区、分层取样，每区、每层不应少于 2 件。

18.5.3 水和土腐蚀性的测试项目和试验方法应符合下列规定：

- a) 水对混凝土结构腐蚀性测试项目包括：pH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、侵蚀性 CO_2 、游离 CO_2 、 NH_4^+ 、 OH^- 、总矿化度；
- b) 土对混凝土结构腐蚀性测试项目包括：pH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的易溶盐（土水比 1:5）分析；
- c) 土对钢结构的腐蚀性的测试项目包括：pH 值、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失；
- d) 腐蚀性测试项目的试验方法应符合表 69 的规定。

18.5.4 水和土对建筑材料的腐蚀性，可分为微、弱、中、强四个等级，并可按本规范第 18.5.6~18.5.9 条进行评价。

18.5.5 环境类型的划分应符合表 45 的规定。

表45 环境类型分类

环境类别	场地环境地质条件
II	各气候区湿、很湿的弱透水层；湿润区直接临水；湿润区强透水层中的地下水
III	各气候区稍湿的弱透水层；各气候区地下水位以上的强透水层
注：强透水层是指碎石土和砂土；弱透水层是指粉土和黏性土。	

18.5.6 受环境类型影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价，应符合表 46 的规定。

表46 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	
		II	III
微弱 中 强	硫酸盐含量 SO_4^{2-} (mg/L)	<300 300~1500 1500~3000 >3000	<500 500~3000 3000~6000 >6000
微弱 中 强	镁盐含量 Mg^{2+} (mg/L)	<2000 2000~3000 3000~4000 >4000	<3000 3000~4000 4000~5000 >5000
微弱 中 强	铵盐含量 NH_4^+ (mg/L)	<500 500~800 800~1000 >1000	<800 800~1000 1000~1500 >1500
微弱 中 强	苛性碱含量 OH^- (mg/L)	<43000 43000~57000 57000~70000 >70000	<57000 57000~70000 70000~100000 >100000
微弱 中 强	总矿化度 (mg/L)	<20000 20000~50000 50000~60000 >60000	<50000 50000~60000 60000~70000 >70000
注1: 表中的数值适用于有干湿交替作用的情况, II类腐蚀环境无干湿交替作用时, 表中硫酸盐含量数值应乘以1.3的系数;			
注2: 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;			
注3: 表中苛性碱(OH^-)含量应为NaOH、KOH中 OH^- 含量之和。			

18.5.7 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 47 的规定

表47 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_2 (mg/L)		HCO_3^- (mmol/L)
	A	B	A	B	A
微	>6.5	>5.0	<15	<30	>1.0
弱	6.5~5.0	5.0~4.0	15~30	30~60	1.0~0.5
中	5.0~4.0	4.0~3.5	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。强透水层是指碎石土和砂土; 弱透水层是指粉土和黏性土。					
注2: HCO_3^- 含量是指水的矿化度低于0.1g/L的软水时, 该类水质 HCO_3^- 的腐蚀性。					
注3: 土的腐蚀性评价只考虑pH值指标; 评价其腐蚀性时, A是指强透水土层; B是指弱透水土层。					

18.5.8 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价, 应符合表 48 的规定。

表48 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 ⁻ 含量(mg/L)		土中的 Cl ⁻ 含量(mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	A	B
微	<10000	<100	<400	<250
弱	10000~20000	100~500	400~750	250~500
中	-	500~5000	750~7500	500~5000
强	-	>5000	>7500	>5000
注: A是指地下水位以上的碎石土、砂土, 稍湿的粉土, 坚硬、硬塑的黏性土; B是指湿、很湿的粉土, 可塑、软塑、流塑的黏性土。				

18.5.9 土对钢结构的腐蚀性评价，应符合表 49 的规定。

表49 土对钢结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH	氧化还原电位 (mV)	视电阻率 ($\Omega \cdot m$)	极化电流密度 (mA/cm ²)	质量损失 (g)
微	>5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱	5.5~4.5	400~200	100~50	0.02~0.05	1~2
中	4.5~3.5	200~100	50~20	0.05~0.20	2~3
强	<3.5	<100	<20	>0.20	>3

注：土对钢结构的腐蚀性评价，取各指标中腐蚀等级最高者。

18.5.10 当按照表 46~49 评价的腐蚀等级不同时，应按下列规定综合判定：

- 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；
- 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；
- 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。

18.5.11 水、土对建筑材料腐蚀的防护，应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50046) 的规定。

18.5.12 当设计需要判定结构所处环境类别与作用等级时，应符合《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476) 和《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB10005) 的规定。

19 工程地质调查和测绘

19.1 一般规定

19.1.1 工程地质调查和测绘主要在可行性研究或初步勘察阶段进行，在详细勘察阶段可对某些专门地质问题进行补充调查和测绘工作。

19.1.2 工程地质调查与测绘应包括工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件、不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土等。

19.1.3 应通过调查与测绘手段掌握场地主要工程地质问题，结合区域地质资料对拟建城市轨道交通工程场地的稳定性、工程建设适宜性作出评价，划分场地复杂程度，分析工程建设中存在的岩土工程问题，提出防治措施的建议，并为各勘察阶段的勘探与测试工作布置提供依据。

19.2 工作方法

19.2.1 工程地质调查与测绘应搜集工程场地的既有资料，并进行综合分析和研究。搜集的资料应包括：区域性卫星影像和航空遥感解释资料、地形图、地貌资料、地层岩性资料、地质构造资料、工程地质和水文地质资料、不良地质作用和特殊性岩土资料，现状地质灾害、地质遗迹、古河道等资料。

19.2.2 在工程地质调查与测绘工作中，必要时可进行适量的勘探、物探和测试工作。

19.2.3 在采用遥感技术的地段，应对室内解译结果进行现场核实。

19.2.4 地质调查点的布置应符合下列规定：

- 地质调查点应布置在具有代表性的岩土露头、地层分界线、断层及重要的节理、地下水露头、不良地质作用点、特殊岩土界线等位置；
- 地质调查点密度应根据技术要求、地质条件和成图比例尺等因素综合确定，其密度应能控制不同类型地质界线和地质单元变化；
- 地质调查点的定位应根据精度要求和地质复杂程度选用目测法、半仪器法、仪器法。对构造线、地下水露头、不良地质作用等重要的地质调查点，应采用仪器定位。

19.2.5 当地质条件复杂时，宜采用地质填图的方法进行调查与测绘；当地质条件简单或既有地质资料比较充分时，可采用编图方法进行调查与测绘。

19.3 工作范围

19.3.1 应按照勘察阶段所确定的线路、建（构）筑物平面范围及邻近地段开展地质调查与测绘工作，调查测绘范围应满足线路方案比选和建（构）筑物选址、地质条件评价的需要。

19.3.2 一般区间直线段向两侧不应少于 100m；车站、区间弯道段、车辆基地向外侧不应少于 200m。

19.3.3 对工程建设有影响的不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土、断裂构造、地下水富集区、既有建筑工程地段、山区，应适当扩大工作范围。

19.3.4 城市轨道交通工程建设可能诱发地质灾害地段，其工作范围应包含可能的地质灾害发生的范围。

19.3.5 当地质条件特别复杂或需要进行专项研究时，工作范围应专门研究确定。

19.4 工作内容

19.4.1 搜集工程地质调查与测绘的资料应包括下列内容：

- a) 区域性的地质、水文、气象、航卫片、建（构）筑物、植被等资料；
- b) 既有建（构）筑物的岩土工程勘察资料和施工经验；
- c) 历史上已发生的岩土工程事故案例，了解其发生的原因、处理措施和整治效果。

19.4.2 工程地质调查与测绘工作应包括下列内容：

- a) 调查、测绘地形与地貌形态，划分地貌单元，确定地形地貌成因类型，分析其与基底岩性和新构造的关系；
- b) 调查天然和人工边坡的形式、坡率、防护措施和稳定情况；
- c) 调查地层的岩性、结构、构造、产状，岩体的结构特征和风化程度，了解岩石的坚硬程度和岩体的完整程度；
- d) 调查构造（断裂、褶皱）类型、形态、产状、分布，对断裂、节理等构造进行分类，确定主要结构面与线路的关系；对于主干断裂、强烈破碎带，应调查其分布范围、形态和物质组成，分析地下水软化作用对隧道围岩稳定性的影响和危害程度；
- e) 调查地表水体及演变历史，搜集主要江、河的最高洪水水位、流速、流量、河床标高、淹没范围等，对海、河收集潮汐资料；
- f) 调查地下水各含水层类型、水位、变化幅度、水力联系、补给来源和排泄条件，地下水动态变化与地表水系的联系、对建筑材料腐蚀性情况、历年地下水位的长期观测资料等；
- g) 调查填土的堆积年代、坑塘淤积层的厚度，软土、盐渍岩土、膨胀性岩土、风化岩和残积土等特殊岩土的分布范围和工程地质特征；
- h) 调查岩溶、人工空洞（防空洞、采空区）、滑坡、岸边冲刷、地面沉降、地下古河道、暗滨、含放射性或有害气体地层等不良地质的形成、规模、分布、发展趋势及对工程建设的影响。

19.5 工作成果

19.5.1 工程地质调查与测绘成果资料应准确可靠、图文相符。对工程设计、施工有影响的工程地质现象，应用照片或素描图记录并附文字说明。

19.5.2 工程地质调查与测绘成果资料应符合下列要求：

- a) 应反映第四系地层、基岩、构造、古河道、古地形地貌等，资料包括文字说明资料、综合地质图；
- b) 对搜集的区域地质资料进行综合分析和研究，并将拟建线路叠加进区域地质图中；
- c) 综合地质图应图面清晰，图中各类地质要素分明、图层清晰，并有主要地质元素图例。

19.5.3 工程地质调查与测绘地质图比例尺和精度要求：

- a) 测绘用图比例尺宜选用比最终综合成果图大一级的地形图作底图，在可行性研究勘察阶段选用比例尺 1:1000~1:2000；在初步勘察阶段、详细勘察阶段和施工勘察阶段选用比例尺 1:500~1:1000；在工程地质复杂地段应适当放大比例尺；
- b) 在可行性研究勘察阶段地层单位划分到“群”或“组”；在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段均划分到“组”或“段”；地层、岩浆岩年代单位与地史年代对应；第四系地层应划分不同的成因类型，年代应划分到“世”；

- c) 岩性地层界线、地质观察点、实测断裂构造、现状地质灾害点绘制在图上的位置误差不应大于 2mm;
 - d) 地质单元体在图上的宽度大于或等于 2mm 时, 均应在图上表示, 有特殊意义或对工程有重要影响的地质单元体, 在图面上宽度小于 2mm 时, 应采用扩大比例尺的方法标示并加以注明。
- 19.5.4 工程地质调查与测绘的成果资料应符合下列规定:
- a) 对地质条件简单地段, 工程地质调查与测绘的成果可纳入相应阶段的岩土工程勘察报告;
 - b) 对地质条件复杂地段, 应专门编制工程地质调查与测绘报告。报告内容包括文字报告、综合工程地质平面图、纵横地质断面图、地质柱状图、遥感地质解译资料、岩矿鉴定资料、素描图和照片等。

20 勘探取样和原位测试

20.1 一般规定

- 20.1.1 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的目的和岩土的特性。
- 20.1.2 勘探应符合下列要求:
- a) 能正确鉴别岩土名称及其基本性质, 并确定其埋藏深度及厚度。
 - b) 能采取符合质量要求的岩土试样或进行原位测试。
 - c) 能查明勘探深度内地下水的赋存情况。
- 20.1.3 勘探与测试应分层准确, 不得遗漏对工程有影响的软弱夹层、软弱面(带)和透镜体。
- 20.1.4 岩土试样的采取方法、原位测试方法应结合地层岩性条件、岩土试验技术要求和地区经验综合确定。
- 20.1.5 勘探与原位测试作业时, 应对场地存在的危险源进行识别, 并采取有效措施, 防止对人身安全造成损害, 确保勘探与原位测试作业安全。同时应考虑对工程和环境的影响, 避免对地下管线、地下工程和环境造成破坏。
- 20.1.6 钻孔、探井和探槽完工后应及时按要求回填并有相应记录, 回填方法、材料和过程满足工程施工和正常运行需要。

20.2 勘探点定位和测量

- 20.2.1 勘探点的定位与测量应采用与设计相符且不受人为影响的基准点, 引测基准点应满足其精度要求, 并选择合适的测量仪器和方法进行勘探点定位和孔口高程测量。勘探点的定位, 应根据建设单位或委托方提供的坐标和高程控制点由专业测量人员测放。
- 20.2.2 勘探点测设定位应根据勘察阶段、场地条件等确定, 并符合下列规定:
- a) 可行性研究勘察阶段: 可利用适当比例尺的地形图, 依据地形、地物特征确定勘探点位和孔口高程;
 - b) 初步勘察阶段: 陆域平面位置允许偏差 $\pm 0.5\text{m}$, 高程允许偏差 $\pm 0.10\text{m}$; 水域平面位置允许偏差 $\pm 2\text{m}$, 高程允许偏差 $\pm 0.20\text{m}$;
 - c) 详细勘察阶段: 陆域平面位置允许偏差 $\pm 0.25\text{m}$, 高程允许偏差 $\pm 0.05\text{m}$; 水域平面位置允许偏差 $\pm 1\text{m}$, 高程允许偏差 $\pm 0.10\text{m}$ 。
- 20.2.3 勘探点位应设置醒目标志和编号, 实施前应与场地地形、地物进行校核。
- 20.2.4 水域勘探孔的孔口标高测量应根据水位、水深、潮汐资料确定。
- 20.2.5 当勘探点位调整时, 应重新进行测定孔位和高程。

20.3 钻探、井探、槽探和洞探

- 20.3.1 钻探工作应根据勘探技术要求、地层岩性、场地及环境条件, 选择合适的钻机、钻具和钻进方法, 提高岩芯采取率, 保证钻探质量。
- 20.3.2 钻探方法可根据岩土类别和勘探要求按表 50 选用。

表50 钻探方法的适用范围

钻探方法		钻进地层					勘探要求	
		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别、 采取不扰动 试样	直观鉴别、 采取扰动试 样
回转	螺旋钻探	++	+	+	-	-	++	++
	岩芯钻探	++	++	++	+	++	++	++
冲击	冲击钻探	-	+	++	++	-	-	-
	锤击钻探	++	++	++	+	-	++	++
振动钻探		++	++	++	+	-	+	++
冲洗钻探		+	++	++	-	-	-	-

注1：++：适用；+：部分适用；-：不适用；
注2：螺旋钻探不适用于地下水位以下的松散粉土和饱和砂土。

20.3.3 钻探应符合下列规定：

- a) 钻孔直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、原位测试、水文地质试验、综合测井和钻进工艺的要求；
- b) 严格控制钻进的回次进尺，钻进深度和岩土分层深度的精度不应低于 $\pm 5\text{cm}$ ；地下水位量测允许偏差为 $\pm 20\text{cm}$ 。
- c) 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；
- d) 钻探的回次进尺，应在保证获得准确地质资料的前提下，根据地层条件和岩芯管长度确定。钻进时回次进尺不应超过岩芯管的长度，不得超管钻进。在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时，应控制回次进尺或回次时间，以确保分层与描述的要求。
- e) 工程地质钻探的岩芯采取率应符合表 51 的规定。

表51 工程地质钻探岩芯采取率

岩土类型		岩芯采取率 (%)
土类	黏性土	≥ 90
	粉土	≥ 90
	砂土	≥ 70
	碎石土	≥ 50
基岩	滑动面及重要结构面上下 5m 范围内	≥ 70
	全风化带、强风化带、构造破碎带	≥ 65
	中风化带、微风化带	≥ 70
	完整岩层	≥ 80

注1：岩芯采取率：圆柱状、圆片状及合成柱状岩芯长度与破碎岩芯装入同径岩芯管中高度之总和与该回次进尺的百分比。
注2：滑动面及重要结构面在第四系土中时，岩芯采取率应符合相应土类的规定。

- f) 当需确定岩石质量指标 RQD 时，应采用 75mm 直径 (N 型) 双层岩芯管和金刚石钻头。

20.3.4 岩芯整理应符合下列规定：

- a) 采取的岩芯应按上下顺序装箱摆放，填写回次标签，在同一回次内采得两种不同岩芯时应注明变层深度，分箱拍摄彩色照片。
- b) 当发现滑动面、软弱结构面或薄层时，应加填标签注明起止深度，放在岩芯相应位置。
- c) 对重要的钻孔，应装箱妥善保存岩芯、土样。

20.3.5 钻探记录和编录应符合下列规定：

- a) 岩芯鉴别可采用肉眼鉴别和手触方法，有条件或勘探工作有明确要求时，可采用微型贯入仪等定量化、标准化的方法。

- b) 钻探记录应包括回次进尺和深度、钻进情况、孔内情况、地下水位、钻进参数、取样及原位测试的编号、深度位置、取样工具名称规格、原位测试类型及其结果等内容。岩芯应按回次描述，内容满足相关要求。
- c) 岩土特性鉴别应符合现行国标《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 的规定。

20.3.6 在建筑物密集、地下管线复杂等工程周边环境条件下，可采用挖探的方法查明地下情况。当钻探作业不具备或采用钻探方法难以查明地下情况时，常采用井探、槽探勘探方法。对卵石、碎石、漂石、块石等粗颗粒土钻探难以查明岩土性质或需要做大型原位测试时，应采用挖探的方法。挖探宜在地下水位以上进行。

- a) 井探宜采用圆形或方形断面，在井内取样应随挖探工作及时进行。在松散地层中掘进时应进行护壁，且应每隔 0.5~1.0m 设一检查孔。井探施工时，应根据实际情况，向井中送风并应监测井内有害气体含量。遇地下水时，应采取相应的排水和降水措施。
- b) 槽探挖掘深度不宜大于 3m，槽底宽度不应小于 0.6m；大于 3m 时，改用井探方法。
- c) 对井探、槽探除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图等反映井、槽壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位测试位置，并辅以代表性部位的彩色照片。
- d) 井探、槽探作业时，应采取相应的安全措施。井探、槽探宜采用原土回填，并分层夯实。

20.3.7 当需要详细查明深部岩层性质、构造特征时，可采用洞探方法。洞探施工前，应收集施工地段基本地质资料，并根据施工地段地形地质条件和任务的要求，结合安全和环保的相关规定，确定洞口段的防护方案。洞探应及时进行支护，施工过程中，应及时进行观测和地质编录。

20.3.8 钻孔、探井、探槽和探洞回填应符合下列规定：

- a) 钻孔、探井、探槽和探洞结束后，应根据工程要求选择适宜的材料及时妥善回填。回填质量应满足工程施工和相关主管单位的要求，避免对工程施工及市民安全出行造成危害。回填材料及回填方法可按表 52 的要求选择。

表52 回填材料及方法

回填材料	回填方法
原土	每 0.5m 分层夯实
直径 20mm 左右黏土球	均匀回填，每 0.5~1.0m 分层捣实
水泥、膨润土（4:1）制成浆液或水泥浆	均匀泵入孔底，逐步向上灌注
素混凝土、水泥砂浆	分层捣实
灰土、水泥石	每 0.3m 分层捣实
冷料沥青	分层捣实
热料沥青	分层捣实

- b) 临近堤防及水域的钻孔应采用黏土球回填，并应边回填边捣实；有套管护壁的钻孔应边拔套管边回填。
- c) 特殊地质或特殊场地条件下的钻孔、探井、探槽和探洞的回填，应按有关主管部门的规定进行。

20.4 取样

20.4.1 土试样质量应根据试验目的按表 53 分为四个质量等级。

表53 土试样质量等级

级别	扰动程度	试验内容
I	不扰动	土类定名、含水率、密度、强度试验、固结试验
II	轻微扰动	土类定名、含水率、密度
III	显著扰动	土类定名、含水率
IV	完全扰动	土类定名

注：不扰动是指原位应力状态虽已改变，但土的结构、含水率、密度变化很小，能满足室内试验各项要求。

20.4.2 不同等级土试样的采取，应根据土类、状态、颗粒大小等采用不同的取样工具和方法，可按表

54 选择。

表54 不同等级土试样的取样工具和方法

土试样 质量等 级	取样工具和 方法		适用土类											
			黏性土					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	++	++	+	-	-	+	+	-	-	--	-	
			++	++	+	-	-	+	+	-	-	--	-	
		自由 活塞 敞口	-	+	++	--	--	+	+	-	-	-	-	
		+	+	+			+	+	-	-	-	-		
	回转 取土 器	单动 三重 管双 动三 重管	-	+	++	++	+	++	++-	++	-	-	-+	
		-	-	-	+	++	-		-	++	++			
	探井(槽)中 刻取块状土 样		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
I~II	束节式取土 器		+	++	++	-	-	+	+	-	-	-	-	
	原状取砂器		-	-	-	-	-	++	++	++	++	++	+	
II	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	-	+	++	++	+	++	++	++	-	-	-	
		-	-	-	+	++	-	-	-	++	++	++		
	厚壁敞口取 土器		+	++	++	++	++	+	+	+	+	+	-	
III	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;
注2: 采取砂土试样应有防止试样失落的补充措施;
注3: 有经验时, 可用束节式取土器代替薄壁取土器。
注4: 取土器的技术规格可按《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87) 的相关规定执行。

20.4.3 对特殊土的取样应符合本标准第 16 章的有关规定。

- 20.4.4 在粉土、砂土中采取 I、II 级试样，宜采用原状取砂器。砂土扰动样可从贯入器中采取。
- 20.4.5 在钻孔中采取 I、II 级土试样时，应满足下列要求：
- 在软土、粉土、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；
 - 采用冲洗、冲击、振动等方式钻进时，应在预计的取样位置 1m 以上改用回转钻进；
 - 下放取土器前应仔细清孔，清除扰动土、孔底残留土厚度不应大于取土器废土筒段长度（活塞取土器除外）；
 - 采取土试样对薄壁取土器宜用快速静力连续压入法；在硬塑或坚硬的黏性土和密实的粉土层中压入法取样有困难是，可采用击入法，并应重锤少击。
 - 探井、探槽、探洞中取样时，应与开挖同步进行，且样品应有代表性。采取的 I、II 级试样宜用盒装。对于含有粗颗粒的非均质土及岩石样，可按试验设计要求确定尺寸。采取断层泥、滑动带（面）、较薄土层等的试样，可用试验环刀直接压入取样。
 - 具体操作方法应符合《建筑工程地质勘探与取样技术规程》（JGJ/T87）规定。
- 20.4.6 取土器提出地面之后，应小心将土样从取土器中取出，及时密封并标识，避免暴晒或冰冻，保存时间不宜超过两周。土样运输和保存时应竖直安放，严禁倒置或平放，防止受振扰动。对于易振动液化和水分离析的土试样宜就近进行试验。
- 20.4.7 岩石试样的采取和保管，应符合下列规定：
- 岩石试样可利用钻探岩芯截取制作或在探井、探槽、竖井和平硐中采取，采取的样品尺寸应满足试件加工的要求；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；
 - 岩石试样应填写标签，标明上下方向。对需进行含水率试验的岩石试样，采取后应及时蜡封。
- 20.4.8 比热容、导热系数、导温系数，基床系数、动三轴特殊试验项目的取样，应满足试验的要求。
- 20.4.9 水试样的采取和保管应符合下列规定：
- 采取的水试样应代表天然条件下的水质情况；
 - 当有多层含水层时，应做好分层隔水措施，并应分层采取水样；
 - 取水试样前，应洗净盛水容器，不得有残留杂质；
 - 取水试样过程中，应尽量减少水试样的暴露时间，及时封口；对需测定不稳定成分的水样时，应及时加入稳定剂；
 - 采取水试样后，应做好取样记录，记录内容应包括取样时间、取样深度、取样人、是否加入稳定剂等；
 - 水试样应及时送验，放置时间应符合试验项目的相关要求
- 20.5 工程物探
- 20.5.1 工程物探可用于解决下列问题：
- 探测覆盖层、风化带厚度及基岩面的起伏形态；
 - 探测隐伏断层、破碎带及裂隙密集带的空间分布，以及隧道超前预报地质构造和松动圈范围；
 - 探测地下管线、地下隐蔽工程、古墓及其他埋藏物的空间分布；
 - 探测滑坡、洞穴、岩溶、采空区等；
 - 探测地下水的埋深、流速、流向和地表水与地下水的补给关系及地下咸淡水的界线。
- 20.5.2 应用工程物探应具备下列条件：
- 被探测对象与周围介质之间有明显的物理性质（电性、弹性、磁性、密度、温度等）差异；
 - 被探测对象具有一定的埋藏深度和规模，被探测对象的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不应小于 1/10，且地球物理异常有足够的强度，现有物探仪器设备能可靠的观测到其异常分布；
 - 物探仪器能抑制干扰，区分有用信号和干扰信号；
 - 外业场地应具备足够的作业空间；
- 20.5.3 开展工程物探前应通过有代表性地段进行方法的有效性试验，或在同类勘察实践中已证实该方法的有效性。
- 20.5.4 物探方法可按本规范附录 L 选择，并应遵循以下原则：

- a) 明确勘察目的, 通过现场踏勘和资料搜集, 已基本掌握工区地形、地质、工程状况的前提下, 根据探测对象的埋深、规模及其与周围介质的物性差异, 选择有效的物探方法;
- b) 通过现场已知点试验、或借鉴以往同类勘察任务和相近场地条件的实践基础上, 选择有效的物探方法;
- c) 单一物探推断存在多解性时, 可采用综合物探方法;
- d) 坚持方法技术可行、技术条件具备、勘察效果保障、工作周期允许、经济效益最佳的原则筛选物探方法;
- e) 对于地质条件复杂的情况下, 应选择两种及两种以上的物探方法进行综合异常解释, 并应有已知物性参数或一定数量的钻孔验证。
- 20.5.5 工程物探测线布置应符合下列规定:
- a) 物探测线布置范围要略大于设定的探测范围, 一般要求测线以直线方式分布, 相邻线尽量平行;
- b) 物探测线应尽量避免地形起伏、建筑物和干扰源(振动噪声, 电磁干扰)影响;
- c) 测线与探测目标体走向垂直, 要有 2~3 条物探测线穿过探测目标体的异常分布区, 每条测线上至少有 3~5 个以上的异常测点, 地质条件复杂时可适当加密。
- 20.5.6 工程物探资料解译应满足下列要求:
- a) 应首先校验原始数据的真实性、可靠性与完整性, 剔除异常数据, 进行必要的地形校正和数据处理。
- b) 应利用各种已知资料, 在分析物性资料的基础上, 按照从已知到未知, 由浅及深、点面结合, 定性指导定量的原则解译, 解译结论应明确。如果解译结论不够充分时, 应作必要的外业补充工作。
- c) 应根据工程物探异常的特征确定地质体的性质及分布范围, 建立工程物探异常与地质体的对应关系。
- d) 宜利用已有的钻探、测井及物性参数测试成果等已知资料作为解译的约束条件。
- e) 各种工程物探方法的解译结果应相互补充、相互验证、综合分析。
- 20.5.7 物探工作的成果宜包括计划书、物探报告、有关图件以及现场原始记录。工程物探报告内容宜包括概况, 地形、地质简况及地球物理特征, 工作方法与技术, 资料解译与成果分析, 结论与评价, 问题与建议。

20.6 原位测试

20.6.1 一般规定

- a) 原位测试方法应根据工程性质、岩土条件、设计要求、测定参数、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定, 可按表 55 选用。

表55 常用原位测试项目应用一览表

目	测定参数	主要用途
标准贯入试验	标准贯入实测击数 N (击)	1 判别土层均匀性和划分土层和风化带; 2 判别地基液化可能性及等级; 3 估算砂土密实度、地基承载力、压缩模量和变形模量; 4 选择桩基持力层、估算单桩承载力; 5 判断沉桩的可能性。
圆锥动力触探试验	动力触探击数 N_{10} 、 $N_{63.5}$ 、 N_{120} (击)	1 判别土层均匀性和划分地层; 2 估算地基土承载力、变形模量; 3 选择桩基持力层、估算单桩承载力。
旁压试验	初始压力 p_0 (kPa)、临塑压力 p_l (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, 估算地基承载力; 2 测求地基土的变形模量; 3 计算岩土的水平基床系数; 4 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;

		5 估算桩侧阻力和单桩承载力。
静力触探试验	单桥比贯入阻力 $p_s(\text{MPa})$, 双桥锥尖阻力 $q_c(\text{MPa})$ 、侧壁摩阻力 $f_s(\text{kPa})$, 孔压静力触探的孔隙水压力 $u(\text{kPa})$	1 判别土层均匀性和划分土层; 2 选择桩基持力层、估算单桩承载力; 3 估算地基承载力、压缩模量和变形模量; 4 划分砂性土密实度、判断沉桩可能性; 5 判别地基土液化可能性及等级; 6 CPTU 可测定渗透系数与固结系数。
浅层平板载荷试验	比例界限压力 $p_0(\text{kPa})$ 、极限压力 $p_u(\text{kPa})$	1 确定地基承载力; 2 确定地基土的变形模量; 3 计算岩土的基础系数。
深层平板载荷试验	比例界限压力 $p_0(\text{kPa})$ 、极限压力 $p_u(\text{kPa})$	1 确定地基承载力; 2 确定地基土的变形模量; 3 计算岩土的基础系数; 4 确定桩的端阻力。
螺旋板载荷试验	比例界限压力 $p_0(\text{kPa})$ 、极限压力 $p_u(\text{kPa})$	1 确定地基承载力; 2 确定地基土的变形模量。
十字板剪切试验	不排水抗剪强度峰值 $c_u(\text{kPa})$ 和残余值 $c_u(\text{kPa})$	1 测求饱和软黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度; 2 估算软土地基承载力; 3 计算边坡稳定性; 4 判断软黏性土的应力历史。
扁铲侧胀试验	侧胀模量 $E_D(\text{kPa})$ 、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 确定静止侧压力系数; 2 计算土的水平基础系数。
波速测试	压缩波速 $v_p(\text{m/s})$ 、剪切波速 $v_s(\text{m/s})$	1 划分场地类别; 2 划分岩石风化带; 3 提供地震反应分析所需的场地土动力参数; 4 评价岩体完整性; 5 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。
岩体现场直接剪切试验	岩体的摩擦角 φ_p (°)、残余摩擦角 φ_R (°)、黏聚力 c (kPa)	1 确定岩体抗剪强度; 2 计算岩质边坡的稳定性。
地温测试	地温 (°C)	测定地表下一定范围内温度。
视电阻率测井	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	测定岩土体的电阻率。
大地导电率测定	大地电导率 (s/m)	测定岩土体的电导率。

- b) 根据原位测试成果估算岩土工程特性参数和对岩土工程问题做出评价时, 应与室内试验和地区性经验作对比, 评估其可靠性。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。
- c) 原位测试的仪器、设备应定期检验和标定、校准。
- d) 分析原位测试成果资料时, 应考虑仪器设备、试验条件和方法等对试验的影响, 结合地层条件, 剔除异常数据。

20.6.2 标准贯入试验

- a) 标准贯入试验适用于砂土、粉土、黏性土、残积土、全风化岩及强风化岩。
- b) 标准贯入试验设备应符合表 56 的规定。

表56 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)	1.6
钻杆		直径(mm)	42
		相对弯曲	<1/1000

c) 标准贯入试验应符合下列要求:

- 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 and 侧向晃动, 保持贯入器、探杆、导向杆连结后的垂直度, 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:

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \dots\dots\dots (20.6.2)$$

式中:

ΔS —50 击时的贯入度 (cm)。

d) 对贯入器中采得的土样应进行详细的描述、鉴别, 必要时可留取扰动土样进行颗粒分析等室内试验。

- 1) 标准贯入试验击数 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与深度关系曲线或直方图。
- 2) 标贯击数分层统计时, 应剔除异常值, 分别提供实测和修正击数的平均值和标准值。

20.6.3 圆锥动力触探试验

a) 圆锥动力触探试验分为轻型、重型和超重型三种类型, 试验设备规格和适用土类应符合表 57 的规定。

表57 圆锥动力触探试验设备规格

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、黏性土	砂土、中密以下的圆砾(角砾)、卵石(碎石)、极软岩、全风化和强风化的硬质岩石	密实和很密的圆砾(角砾)、卵石(碎石)、软岩、极软岩、全风化和强风化的硬质岩石

b) 圆锥动力触探试验应符合下列要求:

- 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;应保持探杆垂直度，防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动;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) 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;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。
- c) 圆锥动力触探试验应结合地区经验并与其他方法配合使用。
 - d) 单孔圆锥动力触探可绘制动力触探击数与深度曲线或动贯入阻力与深度曲线，进行力学分层，不宜使用单孔锤击数对岩土的工程性质作出评价。
 - e) 圆锥动力触探试验资料整理与分析应符合下列要求:
 - f) 单孔连续圆锥动力触探试验锤击数与贯入深度关系曲线;
 - g) 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和超前与滞后影响范围内的异常值;
 - h) 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;
 - i) 需要时，圆锥动力触探试验锤击数可参照附录 E 修正。
- 20.6.4 旁压试验
- a) 旁压试验适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩和软岩等。
 - b) 试验设备应符合下列规定:
 - 1) 试验设备可按表 58 选用;
 - 2) 试验前应对弹性膜的约束力、仪器综合变形进行校正;
 - 3) 压力表最小分度值不应大于满量程的 1%;量测测管水位刻度的最小分度值不应大于 1mm;量测体积变化刻度的最小分度值不应大于 0.5cm^3 。

表58 常用旁压器结构形式和主要参数

型号		旁 压 器 参 数					试验荷载 (MPa)
		结构形式	总长度 (mm)	测量腔外径 (mm)	测量腔长度 (mm)	测量腔体积 (cm^3)	
预 钻 式 旁 压 仪	PM-1A	单腔式	560	50	350	687.2	0~3.0
	PM-1B	单腔式	720	88	360	2189.5	0~3.0
	PM-2B	单腔式	720	88	360	2189.5	0~5.5
	PY 型	三腔式	500	50	250	490.9	0~2.5
	Menard G-AM	三腔式	650	58	200	528.4	0~10
	TEXAM	单腔式		74	700	3053.5	0~10
	Etastmeter	单腔式		62	520	1569.9	0~20
自 钻 式 旁 压 仪	PYHL-1	三腔式	980	90	200	1271.7	0~2.5
	MIM-A	三腔式	1100	90	650	4133	0.4~2.5
	Cambridge Insitu Camkometer	单腔式	1175	82.86			0~0.75
	Mazieer PAF-76	三腔式	1500~2000	132	500	6838.9	0~2.5

- c) 旁压试验应符合下列要求:
 - 1) 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质条件和工程要求确定，但不宜小于 1.0m 或不少于旁压器膨胀段长度的 1.5 倍距离，试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1m;
 - 2) 保证预钻式旁压试验的成孔质量，钻孔直径与旁压器直径相匹配，防止孔壁坍塌;预钻式旁压试验应与钻探交替进行，严禁一次成孔多次试验，每个试验段在成孔后及时

进行试验，时间间隔不宜超过 15min。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通过试验确定；

- 3) 加荷等级应采用预期临塑压力的 1/7~1/5 或预期极限压力的 1/12~1/10，如不易预估临塑压力或极限压力时，可按表 59 的规定确定加载增量。初始阶段加荷等级可取小值，必要时，可做卸荷再加荷试验，测定再加荷旁压模量。

表59 试验加载增量

土性特征	加载增量 (kPa)
淤泥、淤泥质土，流塑黏性土，松散的粉土及砂土	≤15
软塑黏性土，稍密的粉土及砂土	15~25
可塑—硬塑黏性土，中密的粉土、砂土	25~50
坚硬黏性土，密实的粉土、砂土	50~150
全、强风化岩、软质岩	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级~2级加载增量宜减半施加。

- 4) 每级压力应维持相对稳定的观测时间，对黏性土、粉土、砂土宜为 2min，对碎石土、残积土、极软岩和软岩等宜为 1min。当稳定时间维持在 1min 时，加荷后宜按 15s、30s、60s 测读变形量，维持 2min 时，加荷后宜按 15s、30s、60s、90s、120s 测读变形量；
- 5) 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。
- d) 旁压试验资料整理与分析应符合下列要求：
- 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，地基极限强度 f_L 和临塑强度 f_y ，按式 20.6.4-1、式 20.6.4-2 计算：

$$f_L = p_L - p_0 \dots\dots\dots (20.6.4-1)$$

$$f_y = p_f - p_0 \dots\dots\dots (20.6.4-2)$$

式中：

p_0 —旁压试验初始压力 (kPa)；

p_L —旁压试验极限压力 (kPa)；

p_f —旁压试验临塑压力 (kPa)。

- 3) 根据压力与体积曲线的直线段斜率，按下式计算旁压模量：

$$E_m = 2(1 + u)(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2}) \frac{\Delta p}{\Delta v} \dots\dots\dots (20.6.4-3)$$

$$G_M = (V_c + (V_c + \frac{V_0 + V_f}{2})) \frac{\Delta p}{\Delta v} \dots\dots\dots (20.6.4-4)$$

式中：

E_m —旁压模量 (kPa)；

G_M —旁压剪切模量 (kPa)；

μ —土的泊松比 (碎石土取0.27，砂土取0.30，粉土取0.35，粉质黏土取0.38，黏土取0.42)；

V_c —旁压器量测腔初始固有体积 (cm^3)；

V_0 —与初始压力 p_0 对应的体积 (cm^3)；

V_f —与临塑压力 p_f 对应的体积 (cm^3)；

$\Delta P/\Delta V$ —旁压曲线直线段的斜率(kPa/cm³)。

20.6.5 静力触探试验

- a) 静力触探试验适用于软土、一般黏性土、粉土、砂土和含少量碎石的土，可根据工程需要采用单桥静力触探试验、双桥静力触探试验、孔压静力触探试验。可测定比贯入阻力(p_s)、锥头阻力(q_c)、侧壁摩阻力(f_s)和贯入时的孔隙水压力(μ)。
- b) 静力触探试验设备应符合下列规定：
 - 1) 最初5根探杆的偏斜小于0.5mm/m，其余小于1mm/m；
 - 2) 反力装置应根据设备和现场条件及探测深度确定，宜采用触探车自重或地锚等，必要时可将多种方法联合使用，确保平稳贯入；
 - 3) 单、双桥探头圆锥锥底面积应采用10cm²或15cm²，孔压探头圆锥锥底面积应采用10cm²，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150cm²~300cm²，孔压探头侧壁面积应采用150cm²；锥尖锥角应为60°；
 - 4) 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、归零允许误差不大于1%，现场试验归零误差不大于3%；绝缘电阻不小于500MΩ，孔压静探用于现场测试的探头，其绝缘电阻不得小于50MΩ；
 - 5) 孔压静探探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测试值的0.3%；
 - 6) 在满负荷水压条件下，孔压传感器的应变腔的体(容)积变化不大于4mm³，体变率宜小于0.2%；
 - 7) 孔压静力触探测试期间，零点读数应在探头温度与地面温度接近的条件下读取；标定时与工作时的温度变化不宜大于20℃。探头传感器温度敏感性应优于表60。

表60 传感器温度敏感性表

锥尖阻力	≤2.0 kPa/℃
侧壁摩阻力	≤0.1 kPa/℃
孔隙水压力	≤0.05 kPa/℃

- 8) 探头使用一定时间后，当发现锥头的锥面刻痕明显或出现不平整、有明显凹面，双桥探头侧壁摩擦筒直径明显小于锥头直径时应予以更换。探头使用一定时间后，当发现锥头的锥面刻痕明显或出现不平整、有明显凹面，双桥探头侧壁摩擦筒直径明显小于锥头直径时应予以更换。
- c) 单、双桥探头静力触探试验应符合下列要求：
 - 1) 试验前应将设备调平，贯入系统与地面垂直；静力触探试验时，应对探头进行归零(零漂)检查；
 - 2) 贯入速率为1.2±0.3m/min。深度记录的误差不大于触探深度的±1%；
 - 3) 当贯入深度超过30m，或穿过厚层软土后再贯入硬土层时，应采取防止孔斜或断杆，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；
 - 4) 静力触探孔位附近已有其他勘探孔时，应将静力触探孔布置在距已有勘探孔25倍孔径以外的范围。进行对比试验时，孔距不宜大于2m，并应先进行静力触探，然后进行其他勘探、试验；
 - 5) 水上静力触探应有保证孔位不致发生移动的的稳定措施。水底以上部位应加设防止探杆挠曲的装置。
- d) 孔压静力触探试验应符合下列要求：
 - 1) 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；
 - 2) 贯入速率为(1.2±0.3)m/min；
 - 3) 软黏土中应做孔压消散试验，孔压消散试验应符合下列规定：

- 4) 当贯入到预定深度进行孔压消散试验时，应从探头停止贯入之时起，记录不同时刻的孔压值。在此试验过程中，不得松动、碰撞探杆，也不得施加使探杆产生上、下位移的力；
- 5) 孔压消散试验数据的记录频率应符合表 61 的规定；

表61 孔压消散试验数据记录频率

持续时间 (min)	记录频率 (s/次)
0~1	0.5
1~10	1
10~100	2
> 100	5

- 6) 孔压消散试验的持续时间至少为对应超静孔隙水压力消散达到 50%的时间；
 - 7) 当地下水位或土层不确定时，至少应有一个触探孔做到孔压消散达到稳定值为止。
- e) 试验资料整理与分析应符合下列要求：
- 1) 绘制各种贯入曲线静力触探应绘制 p_s - z 曲线、 q_c - z 曲线、 f_s - z 曲线、 R_f - z 曲线，孔压静力触探尚应绘制 u_2 - z 曲线、 q_t - z 曲线、 f_s - z 曲线、 R_f - z 曲线、 B_q - z 曲线、 I_c - z 曲线和孔压消散曲线 u_2 - lgt ；
其中 R_f —摩阻比；
 u_2 —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_s —侧壁摩阻力；
 B_q —静探孔压系数， $B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_w)$ ；
 u_0 —试验深度处静水压力(kPa)；
 σ_w —试验深度处总上覆压力(kPa)；
 I_c —土类指数；
 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、代表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。
 - 3) 根据静力触探资料，利用地区经验估算土的强度、承载力、变形参数和估算单桩承载力等，根据孔压消散曲线可估算土的固结系数和渗透系数。

20.6.6 载荷试验

- a) 载荷试验包括平板浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基土；深层平板载荷试验适用于深层地基土和大直径桩的桩端土，试验深度不应小于 5m。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。
- b) 平板载荷试验设备应符合下列规定：
 - 1) 载荷试验宜采用刚性承压板，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并应符合下列规定：土的浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.25m^2 ，对软土和粒径较大的填土不应小于 0.5m^2 ；土的深层平板载荷试验承压板面积宜选用 0.5m^2 。岩基载荷试验承压板的面积不宜小于 0.07m^2 ；螺旋板载荷试验承压板直径根据土性分别取 0.160m 或 0.252m。
 - 2) 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定；也可采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级；
 - 3) 承压板的沉降可采用百分表或电测位移计量测，其精度不应低于 $\pm 0.01\text{mm}$ ；
 - 4) 加载反力装置提供的反力不得小于预估最大加载量的 1.2 倍。

- c) 浅层平板载荷试验应符合下列要求:
- 1) 载荷试验应布置在有代表性的位置,每个场地不宜少于3个,当场地内岩土体不均时,应适当增加。试验位置宜布置在基础底面标高处;
 - 2) 试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的三倍;
 - 3) 应避免试坑或试井底的岩土扰动,保持其原状结构和天然湿度,并在承压板下铺设不超过20mm的砂垫层找平;
 - 4) 加荷等级宜为10~12级并不少于8级,最大加载量不小于设计要求的2倍;荷载量测精度不应低于最大荷载的±1%;
 - 5) 每级荷载施加后,按间隔5min、5min、10min、10min、15min、15min测读一次,以后每隔30min测读,当连续两小时内每小时沉降量小于等于0.1mm时,可认为沉降已达相对稳定标准,可施加下一级荷载;当试验对象是岩体时,间隔1min、2min、2min、5min测读一次,以后每隔10min测读,当连续三次读数差小于等于0.01mm时,可认为沉降已达相对稳定标准,可施加下一级荷载;
 - 6) 当出现下列情况之一时,可终止试验:
 - (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) 沉降急剧增大,荷载-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。
- d) 深层平板载荷试验应符合下列要求:
- 1) 载荷试验应布置在有代表性的位置,每个场地不宜少于3个,当场地内岩土体不均时,应适当增加;
 - 2) 紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径;
 - 3) 加荷等级可按预估极限承载力的1/10~1/15分级施加;荷载量测精度不应低于最大荷载的±1%;
 - 4) 每级荷载施加后测读间隔与加载要求同20.6.7条第c款;
 - 5) 当出现下列情况之一时,可终止试验:
 - (1) 沉降急剧增大,荷载-沉降曲线上有可判定极限承载力的陡降段,且沉降量超过0.04d(d为承压板直径);
 - (2) 在某级荷载下24小时沉降速率不能达到相对稳定标准;
 - (3) 本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的5倍;
 - (4) 当持力层土层坚硬,沉降量很小时,最大加载量不小于设计要求的2倍。
- e) 螺旋板试验设备应符合下列规定:
- 1) 试验应采用标准型螺旋形承压板,承压板厚度为5mm、投影面积为0.02m²、螺距为45mm,或厚度为5mm、投影面积为0.05m²、螺距为60mm;
 - 2) 板头传感器的精度、防水性能、工作温度、过载能力应符合要求。
- f) 螺旋板载荷试验应符合下列要求:
- 1) 板头旋入前,宜通过钻探或静力触探查明附近的土层特征与地下水埋深,当试验深度以上的土层不易旋入时,可先预钻孔,孔直径不大于0.7d(d为承压板头直径),板头旋至试验深度后用细中砂填实孔隙;
 - 2) 2螺旋板每转一圈的入土深度应等于一个螺距。同一试验孔在垂直方向上的试验点间距宜为1m,土层均匀、厚度较大时,试验点间距可取2~3m;
 - 3) 试验施加压力可按预估极限承载力的1/10~1/12分级施加;
 - 4) 每加一级荷载后,按间隔1、1、2、2、4min测读沉降,以后为每隔10min测读一次沉降。当连续2h内的沉降量小于0.1mm/h,可认为达到稳定标准,可施加下一级荷载;
 - 5) 当出现下列情况之一时,可终止试验:
 - (1) 沉降急剧增大,荷载-沉降曲线出现陡降段;
 - (2) 在某级荷载下24小时沉降速率不能达到相对稳定标准;

g) 试验资料整理与分析应符合下列要求:

- 1) 根据实测数据绘制 p-s 曲线。根据 p-s 曲线拐点,必要时结合 s-lgt 和 s-lgp 曲线特征,确定比例界限压力和极限压力。
- 2) 当 p-s 呈缓变曲线时,可按表 62 的规定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,但其值不应大于最大加载量的一半

表62 各类土的相对沉降值 (s/d 或 s/b)

土名	黏性土					粉土			砂土			
	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=0.001~0.002所对应的压力为地基土承载力。												

3) 土的变形模量应根据 p-s 曲线的初始直线段,按均质各向同性半无限弹性介质的弹性理论计算;浅层平板载荷试验的变形模量 E_0 (MPa) 可按下式计算:

浅层平板载荷试验的变形模量 E_0 (MPa) 可按下式计算:

$$E_0 = I_0(1 - \mu^2) \frac{pd}{s} \dots\dots\dots (20.6.6-1)$$

深层平板载荷试验的变形模量 E_0 (MPa), 可按下式计算:

$$E_0 = \omega \frac{pd}{s} \dots\dots\dots (20.6.6-2)$$

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;

μ —土的泊松比(碎石土取0.27,砂土取0.30,粉土取0.35,粉质黏土取0.38,黏土取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);

ω —与试验深度和土类有关的系数,可按表63选用。

4) 基准基床系数 K_{30} 可根据承压板直径为 30cm 的平板载荷试验按下式计算:

$$K_{30} = p/s \dots\dots\dots (20.6.6-3)$$

表63 深层载荷试验计算系数 ω

土类 d/z	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
	0.30	0.477	0.489	0.491	0.515
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
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。					

h) 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小于或等于其平均值的 30%时, 可采用平均值作为地基土承载力; 当极差大于其平均值的 30%时, 应查找、分析出现异常值原因, 并按极差别除准则补充试验和剔除异常值。

20.6.7 十字板剪切试验

- a) 十字板剪切试验可用于测定饱和软黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度等参数。
- b) 试验设备应符合下列规定:
 - 1) 十字板板头形状宜为矩形, 径高比 1:2, 板厚宜为 2~3mm;
 - 2) 十字板头和轴杆主要规格应符合表 64 的规定。

表64 十字板头和轴杆主要规格

型号	板宽 D/mm	板高 H/mm	板厚 e/mm	刃角 α / (°)	轴杆		面积比 A _r (%)
					直径 d/mm	长度 s/mm	
I	50	100	2	60	13	50	14
II	75	150	3	60	16	50	13

- c) 十字板剪切试验应符合下列要求:
 - 1) 试验点的间距可根据土层均匀情况确定。均质土竖向间距可为 1m, 非均质土或夹薄层粉细砂的软黏性土, 宜先作静力触探, 选择软黏性土进行试验;
 - 2) 在选定的孔位上将十字板均匀贯入至试验深度, 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; 加压设备应安置水平, 压入时保证探杆的垂直度;
 - 3) 十字板插入至试验深度后, 至少应静止 2~3min, 方可开始试验;
 - 4) 扭转剪切速率宜采用 (1°~2°)/10s, 并应在测得峰值强度后继续剪切 1min, 在峰值强度或稳定值测试完后, 顺扭转方向连续转动 6 圈, 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。
- d) 十字板剪切试验资料整理与分析应符合下列要求:
 - 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, 绘制单孔土的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;
 - 2) 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。
- e) 根据原状土的十字板强度 C_u 和重塑土的十字板强度 C_u' ; 按式 20.6.7 计算土的灵敏度 S_t :

$$S_t = C_u / C_u' \dots\dots\dots (20.6.7)$$

20.6.8 扁铲侧胀试验

- a) 扁铲侧胀试验适用于软土、一般黏性土、粉土和松散~中密的砂土。主要用于判别土类, 确定土的状态, 测得土的水平基床系数、静止侧压力系数等;
- b) 扁铲侧胀试验应在有代表性的地点进行, 测试点间距一般为 0.2m~0.5m。
- c) 试验设备应符合下列规定:
 - 1) 扁铲探头长 230~240mm, 宽度 94~96mm, 厚度 14~16mm, 探头前缘刃角 12~16°; 探头侧面圆形钢膜片直径 60mm;
 - 2) 探头不能有明显弯曲, 探杆弯曲度不大于 0.2%, 不得有裂纹和损伤。
- d) 扁铲侧胀试验应符合下列要求:
 - 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 $\Delta A = 5 \sim 25kPa$; 率定时膨胀至 1.10mm 的气压实测值 $\Delta B = 10 \sim 110kPa$;
 - 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; 试验点间距可取 20~50cm; 保持探杆垂直度;
 - 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。
- e) 试验资料整理与分析应符合下列要求:
- 1) 对试验的实测数据进行膜片刚度修正:

$$p_0 = 1.05(A - Z_m + \Delta A) - 0.05(B - Z_m - \Delta B) \dots\dots\dots (20.6.8-1)$$

$$p_1 = B - Z_m - \Delta B \dots\dots\dots (20.6.8-2)$$

$$p_2 = C - Z_m + \Delta A \dots\dots\dots (20.6.8-3)$$

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:

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \dots\dots\dots (20.6.8-4)$$

$$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma_{v0} \dots\dots\dots (20.6.8-5)$$

$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0) \dots\dots\dots (20.6.8-6)$$

$$U_D = (p_2 - u_0) / (p_0 - u_0) \dots\dots\dots (20.6.8-7)$$

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);

σ_{v0} —试验深度处土的有效上覆压力 (kPa)。

20.6.9 波速测试

- a) 波速测试适用于压缩波、剪切波或瑞雷波在各类岩土体中的传播速度, 可根据任务要求或测试条件, 采用单孔法、跨孔法、面波法等。

- b) 波速测试设备应符合下列规定:

1) 震源

(1) 单孔法测试时, 孔外、孔内激发剪切波振源宜分别采用锤与上压重物的木板、电磁式激振器; 压缩波振源宜采用锤和金属板;

(2) 跨孔法测试时, 剪切波振源宜采用剪切波锤, 也可采用标准贯入试验装置; 压缩波振源宜采用电火花或爆炸等;

(3) 面波法测试时, 可采用锤、电火花、爆炸, 稳态激振器。

2) 检波器

(1) 采用速度型检波器, 其固有频率宜小于地震波主频率的 1/2; 用于面波法测试宜采用固有频率不大于 4.0Hz 的低频检波器;

(2) 同一排列多个检波器之间其固有频率差不应大于 0.1Hz, 灵敏度和阻尼系数差别不应大于 10%。

- c) 波速测试试验应符合下列要求:

1) 单孔法

(1) 测试孔应垂直且保证孔壁不坍塌掉块；

(2) 剪切波震源可采用地面激振或孔内激振；当采用贴壁式三分量检波器测量时，应将检波器紧贴在孔内壁预定深度处；测试工作宜自下而上进行，测点间距宜1~3m，层位变化处加密；

(3) 当采用孔中激发，地面接收方式测量时，应将地面接收传感器放在第一层土中，并去除周边杂物，必要时，将检波器放在挖好的坑中进行接收；

(4) 当采用串式检波器PS测井时保证孔内有充盈的井液，井液的浓度应保证悬浮式检波器串能顺利下到孔底；检波器串中震源不少于1个，接收检波器不少于2个，每个间距为1m。

2) 跨孔法

(1) 振源孔和所有测试孔，应布置在一条直线上；测试孔应垂直，当测试深度大于15m时，应量测激振孔和测试孔的倾斜度和倾斜方位；

(2) 测试孔间距应根据岩性、地层厚度和测试要求而定，在土层中宜取2~5m，在岩层中宜取8~15m，测点垂直间距宜取1m；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，并且尽量离开地层分界面，减少因折射波带来的时间判读误差。

(3) 三分量传感器应紧贴孔壁，同一深度的剪切波，锤击应正反向重复激振，并应互换激振孔与接收孔，经重复试验，确定剪切波的初至时间。

3) 面波法

可采用瞬态法或稳态法，宜采用低频检波器，道间距可根据场地条件通过试验确定；

4) 波速测试应有重复观测的记录，一般重复观测比例应不少于 10%，重复观测的相对误差应小于 5%。

d) 试验资料整理与分析应符合下列要求：

1) 在波形记录上识别压缩波和剪切波的初至时间，提供波列曲线；

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；单孔法的波速确定宜采用斜距校正法。

20.6.10 岩体原位应力测试

a) 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。

b) 孔壁应变法、孔径变形法和孔底应变法的选用应根据岩体条件、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。

c) 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 2 倍。

d) 岩体应力测试技术要求应符合下列规定：

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 $5\mu\epsilon$ 。

4) 同一钻孔内的测试读数不应少于 3 次。

e) 岩芯应力解除后的围压试验应在 24h 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。

f) 岩体原位应力测试成果资料整理应符合下列要求：

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 的有关规定。

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。

20.6.11 现场直接剪切试验

a) 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。

- b) 现场直剪试验布置应符合下列规定：
- 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) 每组岩体不宜少于 5 个。剪切面积不得小于 0.25m^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。试体之间的最小间距应大于最小边长的 1.5 倍。
 - 4) 每组土体试验不宜少于 3 个。剪切面不宜小于 0.3m^2 ，高度不宜小于 20cm 或为最大粒径的 4 倍~8 倍，剪切面开缝应为最小粒径的 $1/4\sim 1/3$ 。
- c) 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。
- d) 试验前应对试体及所在试验地段进行描述与记录下列内容：
- 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、洞底高程、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、高程及周围的地形、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。
- e) 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。
- f) 现场直剪试验的技术要求应符合下列规定：
- 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 级~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 $8\%\sim 10\%$ 分级等量施加，或按法向荷载的 $5\%\sim 10\%$ 分级等量施加；岩体按每 5min~10min，土体按每 30s 施加一级剪切荷载。
 - 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。
- g) 现场直剪试验成果资料整理应包括下列内容：
- 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。
- 20.6.12 地温测试
- a) 地温测试主要用于测定地表下一定深度范围内地层的温度，为设计提供依据；可采用钻孔法、贯入法、埋设温度传感器法测求不同深度土体温度。
 - b) 温度传感器的测量范围宜为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，测量误差不宜大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，温度传感器和读数仪使用前应进行校验。
 - c) 地温测试点宜选择在空旷、无热源影响区域。每个地下车站均宜进行地温测试，区间隧道地温测试点宜竖向布设在隧道上下各一倍洞径深度范围；发现有热源影响区域，采用冻结法施工或设计有特殊要求的部位应布置测试点。
 - d) 钻孔法地温测试要点：

- 1) 在钻孔中进行瞬态测温时, 地下水位静止时间不宜小于 24h, 稳态测温时, 地下水位静止时间不宜小于 5d。
- 2) 重复测量应在观测后 8h 内进行, 两次测量误差不超过 0.5℃。
- 3) 稳态测温应采取护壁措施, 保留长期观测孔, 进行反复测温。
- e) 贯入法测试时, 温度传感器插入钻孔底的深度不应小于钻孔或套管直径的 3 倍~5 倍; 插入至试验深度后, 至少应静止 5min~10min, 方可开始观测。
- f) 地温长期观测周期应根据当地气温变化确定。
- g) 测试成果资料整理应包括以下内容:
 - 1) 测试前测试点气温、天气、日期、时间以及光线遮挡情况, 钻孔法应记录地下稳定水位。
 - 2) 绘制地温随深度变化曲线图, 对照不同深度土性、孔隙比、含水量、饱和度及热物理指标变化情况; 一年期测试结果宜绘制不同深度温度随时间变化曲线图。
 - 3) 不同气温条件下地层测温结果对比, 推算地层稳态温度。

20.6.13 视电阻率测井

- a) 根据城市轨道交通工程电源系统及设备供电、防雷与接地等设计需要, 开展岩土层视电阻率测试。
- b) 视电阻率测井应符合下列规定:
 - 1) 精确测定地层顶底界面位置时宜选用梯度电极系, 岩层大角度倾斜时宜选用电位电极系;
 - 2) 非数字测井仪器的电极系类型和电极距应根据仪器探头结构和探测要求, 通过试验确定;
 - 3) 三侧向电流测井应保证地面电极接地良好且供电稳定, 记录电流曲线时应检查并确定增量方向;
 - 4) 地面电极设置在远离高压线和无工业游散电流干扰的地点, 采用两极装置时地面电极间距大于 50 倍并下电极距;
 - 5) 曲线出现负位或在金属套管中不归零时, 应查明原因、消除故障后重新测量;
 - 6) 测速宜小于 1m/min, 直读电阻率的测量相对误差为求取电参数应有井径曲线配合, 取完整、厚层围岩中段的电阻率作为近似值。
- c) 视电阻率测井成果的整理应符合下列规定:
 - 1) 测井柱状图与钻孔柱状图并列绘制, 钻孔深度应以孔口为深度零点, 测井深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致;
 - 2) 重点井段应作详细分层解释。

20.6.14 大地导电率测量

- a) 大地导电率测量数据主要用于电气化线路和铁路通讯的抗干扰设计。
- b) 测量大地导电率可选择直流电法、电流互感法、线圈法、偶极法或地质资料判定法。
- c) 宜选择直流电法采用温纳测深装置。由于客观原因无法进行现场测量或工程前期需要参考时可采用地质资料判定法。
- d) 大地导电率测量应符合下列规定:
 - 1) 测点应布置在距离地铁线路中心线 100m 范围内, 地形条件限制时不宜超过 300m, 并与线路对应位置处于同一地层中。
 - 2) 最大 AB/2 应达到 50HZ 电流的影响深度, 并大于电测深曲线与解释曲线交点所对应的装置长度。
 - 3) 依据探测要求和现场地形条件可只测与解释全线交点附近 3~4 个电极距的视电阻值。
 - 4) 车站应布置测点, 区间可根据需要和岩性特征布置测点; 相邻测点的 800HZ 和 50HZ 大地导电率值相差大于 3 倍时应加密测点。
- e) 大地导电率成果可用图示或数值表示, 并注明测点地名、里程位置及测区的地层和岩性。

21 室内试验

21.1 一般规定

21.1.1 岩土室内试验的试验方法、操作和采用的仪器设备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 的有关规定。

21.1.2 岩土室内试验项目应根据岩土性质、工程类型和设计、施工需要，并结合地区经验确定。岩土力学性质的试验条件应接近工程实际情况，并应考虑岩土的非均质性、非等向性和不连续性以及由此产生的岩土体与岩土试样在工程上的差别。

21.1.3 应正确分析整理岩土室内试验的资料，为工程设计、施工提供准确可靠的参数。

21.1.4 对特种试验项目，应制定专门的试验方案。

21.1.5 制备试样前，应对岩土的重要性状做肉眼鉴定和简要描述。

21.2 土的物理性质试验

21.2.1 土的物理性质试验应测定颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、塑限、液限、有机质等。

21.2.2 当需进行渗流分析，基坑降水设计等要求提供土的透水性参数时，可进行渗透试验。常水头试验适用于砂土和碎石土；变水头试验适用于粉土和黏性土；透水性很低的软土可通过固结试验测定固结系数、体积压缩系数，计算渗透系数。土的渗透系数取值应与抽水试验或注水试验的成果比较后确定。

21.2.3 当需对填筑工程进行质量控制时，应进行击实试验，确定最大干密度和最优含水量。

21.2.4 岩土热物理指标的测定，可采用面热源法、热线法或热平衡法。三个热物理指标有下列相互关系：

$$\alpha = 3.6\lambda / (C_p) \dots\dots\dots (21.2.4-1)$$

式中：

ρ ——密度 (kg/m^3)；

α ——导温系数 (m^2/h)；

λ ——导热系数 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]；

C ——比热容 [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]。

岩土热物理指标的经验值，见本规范附录O。

21.2.5 土的物理性质试验项目和测定参数见表 65，试验项目应根据工程需要确定。

表65 土的物理性质试验项目和测定参数

试验项目	测定参数	试验方法	适用条件或用途
含水率试验	含水率 w	烘干法	换算各项物理指标
界限含水率试验	液限 W_L 塑限 W_P	1 液、塑限联合测定法； 2 碟式仪液限试验； 3 滚搓法塑限试验	1 计算液限指数 I_L 、塑性指数 I_P ； 2 评价土的状态； 3 评价地基承载力、桩基承载力
比重试验	比重 G_s	1 比重瓶法； 2 浮称法； 3 虹吸筒法	换算各项物理指标
密度试验	天然密度 ρ	1 环刀法； 2 蜡封法； 3 灌水法； 4 灌砂法； 5 大容积法	1 换算各项物理指标； 2 计算土压力、荷载； 3 大容积法适用于碎石土、杂填土等
相对密度试验	最大干密度 ρ_{\max} 最小干密度 ρ_{\min} 相对密度 D_r	1 最大干密度：振动锤击法； 2 最小干密度：漏斗法或量筒法	1 划分砂土密实度； 2 估算内摩擦角
颗粒分析试验	颗粒级配曲线 不均匀系数 C_u 曲率系数 C_c	1 筛分法； 2 密度计法； 3 移液管法	1 土的定名； 2 计算不均匀系数、曲率系数； 3 液化判别； 4 降水工程及渗透变形评价；

			5 盾构选型
渗透试验	渗透系数 k_h 、 k_v	1 变水头法； 2 常水头法	1 透水性评价； 2 降水方案评价； 3 涌水量计算； 4 地基处理的评价； 5 盾构选型
有机质含量试验	有机质含量 W_u	1 重铬酸钾容量法； 2 烧灼失重法	1 土的分类； 2 软土处理方法的评价
热物理性质试验	导温系数 α 导热系数 λ 比热容 C	1 面热源法； 2 热线法； 3 热平衡法	1 地下建构筑物通风等计算； 2 地源热泵系统设计； 3 冻结法设计

21.3 土的力学性质试验

21.3.1 土的力学性质试验一般包括固结试验、直剪试验、三轴压缩试验、膨胀试验、无侧限抗压强度试验、静止侧压力系数试验、回弹试验、基床系数试验等。

21.3.2 压缩试验的最大压力值应大于土的有效自重压力与附加压力之和。

21.3.3 需确定先期固结压力时，施加的最大压力应满足绘制完整的 e - $\lg p$ 曲线的要求，必要时测定回弹模量和回弹再压缩模量。

21.3.4 内摩擦角、黏聚力在有经验地区可采用直接快剪和固结快剪的方法测定。采用三轴试验方法测定时：当排水条件不好或施工速度较快时，宜采用三轴不固结不排水剪（UU）；当排水条件较好或施工速度较慢时，宜采用三轴固结不排水剪（CU）。

21.3.5 必要时进行无侧限抗压强度试验，确定灵敏度时应进行重塑土的无侧限抗压强度试验。

21.3.6 当工程需要时可采用侧压力仪测定土体的静止侧压力系数。

21.3.7 在有经验的地区可采用三轴试验或固结试验的方法测得土的基床系数。

21.3.8 当需要测定土的动力性质时，可采用动三轴试验、动单剪试验或共振柱试验。

a) 动三轴和动单剪试验适用分析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；
- 2) 既定循环周数下的动应力与动应变关系；
- 3) 饱和砂土、粉土的液化剪应力与动应力循环周数关系。当出现孔隙水压力上升达到初始固结压力时，或轴向动应变达到 5% 时，或振动次数在相应的预计地震震级限度之内，即可判定土样液化。

b) 共振柱试验可用于测定小动应变时的动弹性模量和动阻尼比。

21.3.9 土的力学性质试验项目和测定参数见表 66，试验项目应根据工程需要确定。

表66 土的力学性质试验项目和测定参数

试验项目	测定参数	试验方法	适用条件或用途
直接剪切快剪试验	黏聚力 c_q 内摩擦角 ϕ_q	直接剪切试验	1 土压力及边坡稳定性计算可采用固结快剪指标； 2 地基长期稳定性验算采用慢剪试验指标
直接剪切固结快剪试验	黏聚力 c_{cq} 内摩擦角 ϕ_{cq}		
直接剪切慢剪试验	黏聚力 c_s 内摩擦角 ϕ_s		
反复直接剪切试验	残余黏聚力 c_r 残余内摩擦角 ϕ_r	反复直接剪切强度试验	确定滑动带或潜在滑动带的强度
三轴压缩不固结不排水剪（UU）试验	黏聚力 c_{uu} 内摩擦角 ϕ_{uu}	—	加荷速率较快的饱和黏性土（包括软土）
三轴压缩固结不排水剪（CU）试验	总应力黏聚力 c_{cu} 总应力内摩擦角 ϕ_{cu} 有效应力黏聚力 c' 有效应力内摩擦角 ϕ'		1 对经预压处理的（软土）地基、排水条件好的地基、加荷速率慢的工程；

			2 加荷速率较快但土的超固结程度较高的工程; 3 需验算水位迅速下降时的土坡稳定性
三轴压缩固结排水剪 (CD) 试验	黏聚力 c_{cd} 内摩擦角 φ_{cd}		施工速度缓慢、排水条件良好的地基长期稳定性验算
无侧限抗压强度试验	原状土无侧限抗压强度 q_u 重塑土无侧限抗压强度 q_u'	—	1 计算土的无侧限抗压强度; 2 计算灵敏度 S_r
无黏性土休止角试验	水上休止角 α_c 水下休止角 α_m	—	推算砂土内摩擦角
固结试验	压缩系数 a_v 压缩模量 E_s	1 标准固结试验 2 快速固结试验	1 评价土的压缩性; 2 提供 $e-p$ 曲线, 进行沉降计算。
	压缩指数 C_c 回弹指数 C_s 体积压缩系数 m_v 先期固结压力 P_c		1 计算超固结比 OCR , 评价土的应力历史; 2 考虑应力历史的沉降计算
	回弹再压缩模量 E_c		开挖土体回弹量估算
	固结系数 C_v 、 C_h 次固结系数 C_a		黏性土沉降速率和固结度的计算

表66 土的力学性质试验项目和测定参数 (续表)

试验项目	测定参数	试验方法	适用条件或用途
土的静止侧压力系数试验	静止侧压力系数 K_0	—	1 计算泊松比 μ 2 土压力计算
承载比试验	承载比 $CBR_{2.5}$ 承载比 $CBR_{5.0}$	贯入试验法	路面基层和底层材料以及各种土料的强度检测
击实试验	最大干密度 ρ_{dmax} 最优含水率 w_{opt}	1. 轻型击实法; 2. 重型击实法。	回填土压实度控制
胀缩性质试验	自由膨胀率 δ_{ef}	自由膨胀率试验	膨胀土分析、计算
	有荷膨胀率 δ_{ep}	有荷膨胀率试验	
	无荷膨胀率 δ_e	无荷膨胀率试验	
	线收缩率 δ_{si} 体缩率 δ_v 收缩系数 λ_n	收缩试验	
	膨胀力 P_e	膨胀力试验	
土的动力性质试验	动弹性模量 E_d 动剪变模量 G_d 阻尼比 ζ_1 动强度 σ_d	1 动三轴试验 2 动单剪试验 3 动扭剪试验 4 共振柱试验	1 动力反应分析; 2 地基液化分析
注1: 快速固结试验仅适用于渗透性较大的细粒土; 注2: 土的静止侧压力系数、泊松比、基床系数经验值见附录N; 注3: 静止侧压力系数 K_0 也可以由固结试验设备、三轴压缩仪结合试验得到			

21.3.10 冻结法施工中的人工冻土物理力学性质试验可按现行行业标准《人工冻土物理力学性能试验》(MT/T593) 执行。常温下原状土及冻土 (-10°C) 热物理性质试验项目中的导温系数、导热系数和比热容试验方法见表 65; 其余物理力学性质试验项目和测定参数见表 67。

表67 冻土的物理力学性质试验项目和测定参数

测定参数	试验方法	适用条件或用途
------	------	---------

单轴抗压强度 R	单轴抗压强度试验/ $-5^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 选三种不同温度	盾构进出洞、旁通道冻结法设计施工
弹性模量 E 泊松比 μ	单轴压缩变形试验/ $-5^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 选三种不同温度	
冻土内聚力 c 冻土内摩擦角 φ	三轴剪切试验/ 10°C	
蠕变参数	冻土蠕变试验/ -10°C	
融沉系数 α_0	融沉试验	
冻胀率 η	冻胀率试验	
抗折强度 f_t	冻土抗折强度/ -10°C	
土体起始冻结温度 T	起始冻结温度试验	
注：由于受目前试验条件的限制，可以不要求每项工程都进行土层热物理特性试验和冻土物理力学特性试验。但应当采用可靠的工程类比方法对冻结法设计的安全性进行评估。		

21.4 岩石试验

21.4.1 岩石的试验包括颗粒密度、块体密度、吸水性试验，软化或崩解试验，膨胀试验，抗压、抗剪、抗拉试验等，具体项目应根据工程需要确定。

21.4.2 单轴抗压强度应分别测定干燥和饱和状态下的强度，黏土质岩和极软岩可测定天然状态下的强度，并提供有关参数。

21.4.3 岩石直接剪切试验测定岩石以及岩石裂隙面、层理面等软弱结构面的抗剪强度应在不同法向应力下测定。

21.4.4 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。

21.4.5 当间接测定岩石的力学性质时，可采用点荷载试验和波速测试方法。

21.4.6 岩石的物理力学性质试验项目和测定参数见表 68，试验项目应根据工程需要确定。

表68 岩石的物理力学试验项目和测定参数

试验项目	测定参数	试验方法	适用条件或用途
岩矿鉴定	矿物成份 石英含量	综合测定	定名为盾构刀盘选用提供参考
块体密度试验	块体密度 ρ	量积法、水中称量法或蜡封法	—
吸水性试验	吸水率 ω_a	自由浸水法	—
饱和吸水率试验	饱和吸水率 ω_{sa}	煮沸法、真空抽气法	—
耐崩解性试验	耐崩解指数 I_{d2}	干燥、浸水称重	黏土类岩石、风化岩
膨胀性试验	岩石轴向自由膨胀率 V_H 岩石径向自由膨胀率 V_D 岩石侧向约束膨胀率 V_{HP} 膨胀压力 p_s	—	膨胀岩
单轴抗压强度试验	天然单轴抗压强度 R 饱和单轴抗压强度 R_c 干燥单轴抗压强度 R_d	无侧限轴向受压	确定岩石的强度，一般进行饱和单轴抗压强度试验，黏土质岩和极软岩可采用天然单轴抗压强度试验，当需考虑岩体软化时，需进行干燥单轴抗压强度试验，计算软化系数
点荷载试验	点荷载强度 $I_{s(50)}$	—	确定岩石的强度，一般用于破碎岩石
直接剪切试验	岩石内聚力 C 岩石内摩擦角 φ 结构面内聚力 C 结构面内摩擦角 φ	直接剪切	用于洞室（体）、岩质边坡的稳定评价等；结构面直接剪切强度应采用室内结构面（重合）直接剪切试验。

变形试验	弹性模量 E 变形模量 E_0 泊松比 μ	单轴压缩变形试验	变形特性评价
岩石抗拉强度试验	岩石抗拉强度 σ_t	劈裂法、直接法	用于洞室（体）、岩质边坡的稳定评价等

21.5 水和土的腐蚀性试验

21.5.1 结合地质条件和工程类型，必要时应进行水和土的腐蚀性试验。水和土的腐蚀性试验参数及试验方法见表 69。

表69 水和土的腐蚀性试验方法和测定参数

测定参数	试验方法	用途
pH 值	电位法或锥形玻璃电极法	混凝土结构、钢结构腐蚀
Ca^{2+}	EDTA 容量法	—
Mg^{2+}	EDTA 容量法	混凝土结构腐蚀
Cl^-	摩尔法	混凝土结构中的钢筋腐蚀
SO_4^{2-}	EDTA 容量法或质量法	混凝土结构腐蚀
HCO_3^-	酸滴定法	混凝土结构腐蚀
CO_3^{2-}	酸滴定法	—
侵蚀性 CO_2	盖耶尔法	混凝土结构腐蚀
游离 CO_2	碱滴定法	—
NH_4^+	钠氏试剂比色法	混凝土结构腐蚀
OH^-	酸滴定法	混凝土结构腐蚀
总矿化度	计算法	混凝土结构腐蚀
氧化还原电位	铂电极法	钢结构腐蚀
极化电流密度	原位极化法	钢结构腐蚀
电阻率	四极法	钢结构腐蚀
质量损失	管罐法	钢结构腐蚀

22 参数的分析与选用

22.1 一般规定

22.1.1 岩土的设计参数应在室内试验、原位测试数据分析统计的基础上，结合本地区类似工程经验综合确定。

22.1.2 岩土参数应根据工程特点和地质条件选用，并按下列内容评价其可靠性和适用性：

- 取样方法和其他因素对试验结果的影响。
- 采用的试验方法和取值标准。
- 不同测试方法所得结果的分析比较。
- 测试结果的离散程度。
- 物理性质指标、力学性质指标、原位测试指标间的相关性分析。
- 测试方法与计算模型的配套性。

22.2 岩土参数数理统计

22.2.1 通过室内试验和原位测试获得的岩土参数进行统计时，应符合下列要求：

- 应按工程地质单元和层位分别统计。
- 子样的取舍应先分析产生偏差的原因，后考虑数据的离散程度和已有的工程经验。

22.2.2 岩土参数统计应符合下列要求：

- 应按下列公式计算平均值 ϕ_m 、标准差 σ_r 和变异系数 δ ：

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \dots\dots\dots (22.2.2-1)$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \phi_i)^2}{n} \right]} \dots\dots\dots (22.2.2-2)$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \dots\dots\dots (22.2.2-3)$$

式中：

ϕ_m ——岩土参数的平均值；

σ_f ——岩土参数的标准差；

δ ——岩土参数的变异系数。

b) 岩土参数的标准值 ϕ_k 可按下列方法确定：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \dots\dots\dots (22.2.2-4)$$

$$\gamma_s = 1 \pm \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \dots\dots\dots (22.2.2-5)$$

式中：

γ_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。

22.2.3 在岩土工程勘察报告中，应按下列不同情况提供岩土参数值：

a) 一般情况下，应提供岩土参数的范围值、平均值、标准差、变异系数和试验数据的子样数。

b) 岩土工程特性指标的代表值可分为标准值、平均值、最大平均值、最小平均值及特征值。

22.3 岩土参数代表值的选用

22.3.1 土的含水率、饱和度、天然密度、重度、孔隙比、塑限、液限、塑性指数、液性指数、颗粒级配等土的物理性质指标取平均值。

22.3.2 土的抗剪强度指标用于承载能力极限状态时应取标准值，压缩系数、压缩模量、固结系数等土的变形类指标取平均值。

22.3.3 静载荷试验确定的承载力应取特征值；旁压试验确定的承载力应取标准值；静力触探阻力、剪切波速取平均值，标准贯入锤击数应取标准值。重型（超重型）动力触探应取厚度加权平均值。

22.3.4 岩石密度、吸水率等的物理性质指标取平均值，岩石的变形类指标取平均值，岩石的强度指标应取标准值。

22.3.5 岩石物理指标和泊松比可视为岩体物理指标和泊松比。岩体变形模量或弹性模量可由岩石变形模量或弹性模量平均值（当岩石变形指标的变异系数 $\delta > 0.4$ 时，变形指标可取经验值）乘以0.66~0.80的折减系数确定。

22.3.6 岩体抗拉强度可由岩石抗拉强度标准值乘以0.20~0.40的折减系数确定，折减系数应根据裂隙的发育程度、裂隙产状与受拉方向的关系综合确定。

22.3.7 岩体黏聚力和内摩擦角有条件时可由现场原位剪切试验确定，或由岩石黏聚力和内摩擦角根据岩体完整性乘以相应的折减系数确定。破碎和极破碎的岩体黏聚力和内摩擦角标准值可参照相应土类黏聚力和内摩擦角标准值并结合地质条件相似的邻近工程经验确定。

22.3.8 对基坑稳定有影响的岩体软弱结构面黏聚力和内摩擦角，有条件时可进行现场原位剪切试验或由采集包含结构面的试样进行室内试验确定。当无条件进行试验时，结构面的抗剪强度指标标准值在初步设计时可按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330并结合类似工程经验确定。

22.3.9 室内试验渗透系数应统计平均值和最大值，用于渗透性评价和降水设计的代表值应结合经验值，以及必要时布设的水文地质试验成果综合确定。

22.3.10 热物理参数、电阻率可取平均值。基床系数、静止侧压力系数一般可取平均值，当用于承载能力分析时，按不利组合考虑，可取最大平均值或最小平均值。

22.3.11 地下水位选用可参照本标准第 18 章的要求。

22.4 地基承载力

22.4.1 岩土地基的承载力宜采用载荷试验、原位测试、土工试验及江苏各地区经验方法等确定，并应符合下列要求：

- 对素填土、黏性土、粉土可根据室内土工试验和原位测试成果综合确定。
- 对冲填土、砂土、碎石土、全风化岩、强风化岩和残积土等，宜根据原位测试成果或静载荷试验成果综合确定。
- 对中等风化岩和微风化岩，可根据室内岩石单轴抗压试验成果或岩基载荷试验成果综合确定。
- 当杂填土、混合土作为基础持力层或主要受力层时，其地基承载力特征值宜采用静载荷试验方法确定，其他情况可采用地区经验或原位测试方法确定。
- 地基基础设计等级为甲级的高层建筑，当以土层或全风化、强风化岩及破碎岩作为天然地基基础持力层时，基础持力层的承载力特征值应通过现场载荷试验确定。

22.4.2 根据静载荷试验确定地基承载力应符合下列规定：

- 浅层平板载荷试验：同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当实测试验值的极差不超过其平均值的 30% 时，可取其平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} ，超过 30% 时，应增加相应数量的试验点；本试验得到的地基承载力特征值 f_{ak} 可进行深宽修正。
- 深层平板载荷试验、螺旋板载荷试验：同一土层同一深度参加统计的试验点不应少于 3 点，当实测试验值的极差不超过其平均值的 30%，可取其平均值作为该土层既定深度的地基承载力特征值 f_a ，超过 30% 时，应增加相应数量的试验点；本试验得到的地基承载力特征值 f_a 为土体既定深度的地基（原位）承载力，不再进行深度修正，可作为大直径桩端土承载力特征值 q_{pa} 。
- 岩石地基载荷试验：同一场地同一岩层的试验数量不应少于 3 个，应取试验值的最小值作为岩石地基承载力特征值 f_{ak} ，且不进行深宽修正。

22.4.3 当按旁压试验确定地基土承载力特征值 f_{ak} 时，同一土层参加统计的试验点不应少于 6 点，可取其统计标准值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} ， f_{ak} 可进行深宽修正。

22.4.4 根据岩土参数确定地基承载力特征值时应符合下列规定：

- 根据岩土试验或原位测试指标统计结果，确定地基承载力特征值时，可按各地区成熟的经验进行，所采用的岩土试验参数应按本标准 22.2 节的相关要求进行统计。
- 当有同类工程检测资料，并且其岩土工程条件等相类似时，宜采用类比法确定地基承载力特征值。
- 当偏心距 e 小于或等于 0.033 倍基础底面宽度，根据地基土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值可按下式计算，并应满足变形要求：

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k \dots\dots\dots (22.4.4-1)$$

式中：

f_a ——由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值（kPa）；

M_b 、 M_d 、 M_c ——承载力系数，按表 70 确定；

b ——基础底面宽度（m），大于 6m 时按 6m 取值；对于砂土，小于 3m 时按 3m 取值；

c_k ——基底下 1 倍短边宽度的深度范围内土的黏聚力标准值（kPa）。

表 70 承载力系数 M_b 、 M_d 、 M_c

土的内摩擦角标准值 φ_k (°)	M_b	M_d	M_c
0	0.00	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
36	4.20	8.25	9.97
38	5.00	9.44	10.80
40	5.80	10.84	11.73

注： φ_k ——基底下1倍短边宽度的深度内土的内摩擦角标准值（°）。

d) 中等风化及微风化完整或较完整的岩石地基承载力特征值可根据室内饱和单轴抗压强度，按下式计算：

$$f_{ak} = 1000\psi f_{rk} \dots\dots\dots (22.4.4-2)$$

式中：

f_{ak} ——岩石地基承载力特征值（kPa）；

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值（MPa），对于泥岩，在确保施工及使用期不致遭水浸泡时，也可采用天然湿度岩样的单轴抗压强度标准值；

ψ ——折减系数，可按表71确定。

表71 折减系数 ψ 及岩石地基承载力特征值 f_{ak}

岩石单轴抗压强度标准值 f_{rk} (MPa)	折减系数 ψ	岩石地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)
0.5~1.0	0.80	400~800
1.0~2.0	0.75~0.80	800~1500
2.0~5.0	0.50~0.75	1500~2500
5.0~10.0	0.35~0.50	2500~3500
10.0~20.0	0.30~0.35	3500~6000
20.0~30.0	0.25~0.30	6000~7500
>30.0	0.25	>7500

注1：对较破碎岩， ψ 值按2/3折减；破碎岩 ψ 值按1/3折减。
 注2：上述折减系数值未考虑施工因素及建筑物使用后风化作用的继续。
 注3：3当有经验时，可适当调整岩石地基承载力。

22.4.5 设计需要时，线路工程地基承载力亦可按现行行业标准《铁路工程地质勘察规范》TB10012 确定。

22.5 桩基承载力

22.5.1 根据静载荷试验确定单桩承载力特征值，应符合下列规定：

- a) 单桩竖向静载荷试验参加统计的试桩数量不得少于 3 根，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，应取其平均值作为单桩竖向极限承载力。极差超过平均值的 30%时，宜增加试桩数量并分析其原因，结合工程具体情况确定极限承载力。
- b) 单桩竖向极限承载力除以安全系数即为单桩竖向承载力特征值，安全系数 K 一般取 2.0。

22.5.2 估算单桩承载力，应符合下列规定：

- a) 1 根据岩土试验和原位测试指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向极限承载力，可根据各地区成熟的经验确定。无经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94 确定。

- b) 2 设计需要时,高架区间线路桩的设计参数及单桩容许承载力亦可按现行行业标准《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10093)确定。
- 22.5.3 当桩基承受上拔力时,应提供抗拔系数,可根据岩土性状取竖向抗压桩侧阻力的0.5~0.8倍。

22.6 地基变形

- 22.6.1 详细勘察阶段应根据工程需要提供与地基变形分析及验算相匹配的变形参数,包括压缩系数、压缩模量、变形模量、回弹模量及 $e\sim p$ 曲线、 $e\sim \lg p$ 曲线等。
- 22.6.2 天然地基最终沉降量可采用分层总和法计算;桩基最终沉降量可按实体基础方法估算。
- 22.6.3 当考虑应力历史对地基土的影响时,最终沉降量计算可根据地基土的固结状态,按正常固结土、超固结土、欠固结土分别进行计算。
- 22.6.4 当建筑物地下室及地下车站基础埋置较深时,宜考虑开挖基坑地基土的回弹。

23 岩土工程分析评价和勘察报告

23.1 一般规定

- 23.1.1 城市轨道交通岩土工程勘察报告,应在搜集已有资料、工程地质调查与测绘、勘探、测试和室内试验成果的基础上,结合勘察阶段、工程特点、施工方法和设计要求进行岩土工程分析与评价,提供工程场地的工程地质及水文地质资料。
- 23.1.2 勘察报告应资料完整,数据真实,内容可靠,逻辑清晰,文字、表格、图件互相印证;文字、标点符号、术语、数字和计量单位等应符合国家有关标准的规定。
- 23.1.3 勘察报告中的岩土工程分析评价,应论据充分、针对性强,所提建议应技术可行、经济合理、安全适用。岩土参数的分析与选用应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的有关规定。
- 23.1.4 可行性研究阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制,初步勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制或按照地质单元、线路敷设形式编制,详细勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照车站、区间、车辆基地等分别编制;报告中应统一全线地质单元、工程地质和水文地质分区、岩土分层的划分标准。

23.2 岩土工程分析评价的基本内容

- 23.2.1 勘察报告中的岩土工程分析评价应包括下列内容:
- 工程建设场地的稳定性、适宜性评价。
 - 地下工程、高架工程、路基及各类建筑工程的地基基础形式、地基承载力及变形的分析与评价。
 - 不良地质作用及特殊性岩土对工程影响的分析与评价,避让或防治措施的建议。
 - 划分场地土类型和场地类别,抗震设防烈度等于或大于6度的场地,评价地震液化和震陷的可能性。
 - 围岩、边坡稳定性和变形分析,支护方案和施工措施的建议。
 - 工程建设与工程周边环境相互影响的预测及防治对策的建议。
 - 地下水对工程的静水压力、浮托作用分析。
 - 水和土对建筑材料腐蚀性的评价。
 - 地质条件可能造成的工程风险。
- 23.2.2 明挖法施工应重点分析评价下列内容:
- 分析基底隆起、基坑突涌的可能性,提出基坑开挖方式及支护方式的建议。
 - 支护桩墙类型分析,连续墙、立柱桩的持力层和承载力。
 - 软弱结构面空间分布、特性及其对边坡、坑壁稳定的影响。
 - 分析岩土层的渗透性及地下水动态,评价排水、降水、截水等措施的可行性。
 - 分析基坑开挖过程中可能出现的岩土工程问题,以及对附近地面、邻近建(构)筑物和管线的影响。
- 23.2.3 矿山法施工应重点分析评价下列内容:

- a) 根据岩土及地下水的特性,进行围岩分级,评价隧道围岩的稳定性,提出隧道开挖方式、超前支护形式等建议;分析评价洞口仰坡及两侧边坡的稳定性,提出洞口边坡支护措施建议;评价分析隧道洞口危岩、落石的危害性,提出处理措施建议。
 - b) 分析不良地质作用和特殊岩土的情况,指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等问题的地段,提出防治措施的建议。
 - c) 分析隧道开挖引起的地面变形及影响范围,提出环境保护措施的建议。
 - d) 采用爆破法施工时,分析爆破可能产生的影响及范围,提出防治措施的建议。
 - e) 分析河流、湖泊等地表水体对矿山法施工的影响。
- 23.2.4 盾构法施工应重点分析评价下列内容:
- a) 根据岩土层特征及水文地质参数,提出盾构机选型应注意的地质问题。
 - b) 分析浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响,并提出防治措施建议。
 - c) 评价复杂地质条件以及河流、湖泊等地表水体对盾构施工的影响。
 - d) 提出在软硬不均地层中开挖措施及开挖面障碍物处理方法建议。
 - e) 分析联络通道、区间工作井等部位岩土工程条件,提出开挖支护工法等建议。
 - f) 分析盾构施工可能造成的土体变形,评价对工程周边环境的影响,提出防治措施建议。
- 23.2.5 高架工程应重点分析评价下列内容:
- a) 分析岩土层的特征,建议天然地基、桩端持力层,评价天然地基承载力、桩基承载力,提供变形计算所需的岩土参数。
 - b) 评价成桩的可能性,指出成桩过程中应注意的问题。
 - c) 分析评价岩溶、土洞等不良地质作用和膨胀土、填土特殊性岩土对桩基稳定性和承载力的影响,提出防治措施的建议。
- 23.2.6 路基、涵洞工程应重点分析评价下列内容:
- a) 路基持力层,支挡结构或涵洞天然地基持力层比选与建议。
 - b) 对路基的稳定性、沉降变形进行分析评价,提出地基处理建议。
 - c) 对不良地质和特殊性岩土地基处理方法的建议。
- 23.2.7 地面建筑物、构筑物的岩土工程分析评价,应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的有关规定。
- 23.2.8 工程建设对工程周边环境影响的分析评价可包括下列内容:
- a) 基坑开挖、隧道掘进和桩基施工等可能引起的地面沉降、隆起和土体的水平位移,对邻近建(构)筑物及地下管线的影响。
 - b) 工程建设导致地下水位变化、区域性降落漏斗、水源减少、水质恶化、地面沉降、生态失衡等情况,提出防治措施的建议。
 - c) 工程建成后或运营过程中,可能对周围岩土体、工程周边环境的影响,提出防治措施的建议。
- 23.3 勘察报告的基本要求
- 23.3.1 勘察报告应符合下列规定:
- a) 各阶段勘察成果应具有连续性、完整性。
 - b) 相邻区段、相邻工点的衔接部位或不同线路交叉部位勘察成果资料应互相利用、保持一致。
 - c) 勘探点平面图宜取合适的比例尺,图上应包含地形、线位、站位、里程、结构轮廓线等。
 - d) 绘制工程地质纵断面图时,勘探点宜投影至线路断面上,工程地质纵断面图应包含公里标、地面高程、线路及车站断面等。
 - e) 地质构造图、区域交通位置图等平面图应包括线路位置和必要的车站、区间名称的标识。
 - f) 勘察报告中的图例宜符合相关规定。
- 23.3.2 勘察报告的内容组成应包括文字部分、表格、图件,重要的支持性资料可作为附件。
- 23.3.3 勘察报告的文字部分宜包括下列内容:
- a) 勘察任务依据、拟建工程概况、执行的技术标准、勘察目的与要求、勘察范围、勘察方法、完成工作量等。
 - b) 区域地质概况及勘察场地的地形、地貌、水文、气象条件。

- c) 场地地面条件及工程周边环境条件等。
 - d) 岩土特征描述，岩土分区与分层，岩土物理力学性质、岩土施工工程分级、隧道围岩分级。
 - e) 地下水类型、赋存、补给、径流、排泄条件、地下水位及变化幅度，地层的透水及隔水性质。
 - f) 不良地质作用、特殊性岩土的描述，及其对工程危害程度的评价。
 - g) 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、液化判别。
 - h) 场地稳定性和适宜性评价。
 - i) 对各类工程和建筑结构进行岩土工程评价，并提出工程措施建议。
 - j) 地质条件造成的工程风险。
 - k) 其他需要说明的问题。
- 23.3.4 勘察报告的表格宜包括下列内容：
- a) 勘探点主要数据一览表。
 - b) 标准贯入试验、静力触探等原位测试，岩土室内试验、水质分析、抽水试验等成果表。
 - c) 标准贯入试验、静力触探等原位测试，岩土层室内试验统计汇总表，地震液化判别成果表。
 - d) 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表。
 - e) 其他的相关分析表格。
- 23.3.5 勘察报告的图件宜包括下列内容：
- a) 区域地质构造图、水文地质图。
 - b) 线路综合工程地质图、工程地质及水文地质单元分区图、工程地质及水文地质分区图。
 - c) 水文地质试验成果图。
 - d) 勘探点平面布置图，工程地质纵、横断（剖）面图。
 - e) 钻孔柱状图，岩芯照片。
 - f) 室内土工试验、岩石试验成果图。
 - g) 波速、电阻率测井试验成果图，静力触探、载荷试验等原位测试曲线图。
 - h) 必要时提供填土、软土及基岩埋深等值线图。
 - i) 其他相关图件。
- 23.3.6 勘察报告可附室内土工试验、岩石试验、岩矿鉴定、水质分析等试验原始记录和波速、电阻率测井等试验报告。
- 23.3.7 专项勘察报告的内容组成，可根据专项勘察的目的、要求参照本标准第 23.3.3 条～第 23.3.6 条执行。工程周边环境调查报告应符合本标准第 8 章的要求

24 勘察作业安全

24.1 一般规定

- 24.1.1 岩土工程勘察安全应符合《岩土工程勘察安全标准》（GBT50585）及江苏省《岩土工程勘察安全标准》（DB32/T3703）。
- 24.1.2 勘察安全生产管理应符合下列规定：
- a) 建立安全生产管理机构，配备经安全生产培训考核合格的专职安全生产管理人员。
 - b) 告知作业人员作业场所和工作岗位存在的危险源、安全生产防护措施和安全生产事故应急救援预案；作业人员在生产过程中应遵守安全生产操作规程。
 - c) 定期进行安全生产检查，制定并实施安全生产事故应急救援预案，每年组织一次综合应急预案演练，每半年至少组织一次现场处置方案演练。
 - d) 对从业人员定期进行安全生产教育和安全生产操作技能培训，未经培训考核合格的作业人员不得上岗作业。
 - e) 根据现行国家标准《个体防护装备选用规范》（GB/T 11651）的有关规定，为作业人员配备个体防护装备，勘察作业现场设置安全生产防护设施，每年度安排用于配备个体防护装备、安全生产防护措施、安全生产教育和培训等安全生产费用。

- f) 对有职业病危害的工作岗位或作业场所，应采取符合国家职业卫生标准的防护措施，并应符合现行国家标准《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001）和《环境管理体系要求及使用指南》（GB/T 24001）的有关规定。
- g) 勘察作业前，应对危险源进行辨识和评价，编写勘察纲要时根据危险源危险等级制定相应的安全生产防护措施。
- h) 与分包单位签订分包合同，明确分包单位安全生产管理责任人和各自在安全生产方面的权利和义务，对分包任务作业过程实施安全生产监督。
- i) 对从业人员在作业过程中发生的伤亡事故和职业病状况进行统计、报告和处理。

24.2 陆域作业安全

24.2.1 勘察作业前，勘察项目负责人应组织相关人员进行现场踏勘，了解作业条件，搜集勘察作业场地与安全生产有关的地质条件、地形地物以及各类地下管线、地上架空线、地下工程、水文和气象等资料。

24.2.2 勘察作业前，应结合踏勘情况编制勘察纲要。勘察纲要应包含下列内容：

- a) 建立项目安全生产组织机构。
- b) 对勘察作业现场存在的危险源进行辨识评价，制定相应的安全防护措施，对于重大危险源的安全防护措施应组织评审或专题论证。

24.2.3 勘察单位应如实告知作业人员作业场所和工作岗位存在的危险源、安全防护措施和安全生产事故应急预案。项目负责人应组织对作业人员进行安全交底，并通过书面文件方式予以确认。作业人员在生产过程中应严格遵守安全生产法规、标准和作业规程。总包单位或建设单位不得强制勘察单位在危险条件下进行作业。

24.2.4 勘察设备安装应平稳牢固可靠，现场防护设施应齐全完好。安装完毕，应经勘察项目负责人组织检查合格后，方可进行勘察作业；安全防护措施和个体防护装备未落实时不得实施勘察作业。

24.2.5 现场勘察作业应符合下列规定：

- a) 进入施工现场的作业人员应遵守施工现场各项安全生产管理规定。
- b) 作业人员应熟悉和掌握作业场地生存、避险和相关应急救援技能。
- c) 勘察期间，非作业人员未经许可不得进入勘察作业场地。
- d) 特种作业人员应持证上岗。
- e) 在大于 30° 的陡坡或者坠落高度 2m 及以上的无可靠安全防护设施的高处、探井、陡坡或临边作业，作业人员应系合格的安全带，穿防滑鞋。
- f) 作业现场入口处应设置重大危险源公示牌，主要作业区域、危险部位应设置相应的安全标志。
- g) 作业材料、构件、工具应按作业规范摆放；转动传动部位未完全停止前，不得触摸；应设置泥浆回收与排水设施。
- h) 作业现场不得打闹嬉戏，不得带病或酒后作业。
- i) 夜间作业时，作业现场照明应符合相关规定，应设置安全警示灯，作业人员应穿反光个体防护装备。
- j) 勘察仪器和设备接通电源后，作业人员不得离开作业岗位，非作业人员未经许可不得触碰勘察仪器和设备。
- k) 实行多班作业时，应执行交接班制度，认真填写交接班记录；设备经接班人员检查确认无误后，方可后续作业。
- l) 现场作业人员发现险情时，应按应急预案处置并及时撤离到安全地带。

24.2.6 在城市道路、公路、铁路等场地作业时，应得到相关部门许可，并应设置安全生产防护设施和安全标志，交通密集区尚应派专人指挥。具体的安全管控措施应符合下列要求：

- a) 勘察工作需占用城市道路时需在实施前编制交通疏解方案。
- b) 占用车行道的路段，宜按照“同一路段、同一时段只占用一条机动车道”的原则组织实施。
- c) 在满足勘察精度要求前提下，可根据道路交通疏解组织的需要适当调整钻孔位置。
- d) 交通拥堵的局部路段分布于不同车行道的钻孔可调整到同一车行道，避免同时影响多条车行道。

- e) 宜尽量避开公交车站进、出站车道，少占用转弯车道。
 - f) 勘察围护宜采用标准化围挡，四周封闭，宽度与车行道宽度相适应。
 - g) 对于部分人行道较窄的路段，钻探围挡占用人行道后，宜在围挡外靠近慢车道一侧使用交通锥及警示带围出保障行人正常通行的通道。
 - h) 勘察工作结束后，应及时封孔并回填探坑，按照道路管理部门要求恢复好路面后再撤除围挡及相应安全防护设施。
- 24.2.7 勘察作业时，勘察点与管线及设施之间的最小安全距离应符合相关管理部门的有关规定，当不符合时，应与相关地下管线设施管理单位或所有者商定安全保护措施，并负责安全保护措施的实施。
- 24.2.8 勘察作业过程中应重视地下管线的保护，在管线附近作业时应按下列规定执行：
- a) 钻探开孔前，宜按照收集核对管线资料、孔位物探探测、开挖探坑、物探再探测、确认开钻的流程进行实施。
 - b) 钻探前应做好地下管线资料的调查、收集，配合管线权属单位开展管线现场交底，结合现场情况合理采取现场调查、测量、物探等方法确定地下管线实际位置。
 - c) 勘探点现场定位应避开各类地下管线。
 - d) 在钻孔位置开挖探坑前及挖好探坑后均应采用物探方法对地下管线进行探查验证。
 - e) 探坑开挖应采用人工方式，并尽量利用洛阳铲等工具探挖至原状土层。探坑深度原则上不宜小于 2.5m，探坑口径不得小于套管直径。
 - f) 钻探时应避让架空管线，整体移动钻机时需确保安全。
- 24.2.9 使用起重机械装卸、搬迁设备和吊装构件时应遵守《起重机械安全规程》GB 6067 的相关规定。

24.3 水域作业安全

24.3.1 水域勘察作业前，应进行现场踏勘，搜集与水域勘察安全生产有关的资料。踏勘和搜集资料应包括下列内容：

- a) 作业水域水深、水下地形、地质条件和人工养殖情况。
 - b) 作业水域的水文、气象资料和江河上游水库或水力发电站泄洪、放水等信息。
 - c) 水下电缆、管道的分布及敷设情况。
 - d) 作业水域附近的码头、给养通道及避风港情况。
 - e) 航运及海事等部门的相关规定。
- 24.3.2 水域勘察纲要中的勘探安全防护措施应包括下列内容：
- a) 勘探平台的类型选择、建造、基本安全设施和勘察设备的选择、安装。
 - b) 辅助作业船舶的选择。
 - c) 勘探平台的锚泊方式及定位要求。
 - d) 水域作业技术方法。
 - e) 水下电缆、管道设施、航运和勘探设备安全防护及养殖生物保护。
 - f) 作业人员个体防护装备、安全救生培训要求，水域作业和宿住船舶安全规章制度等需交底内容。
 - g) 水域作业防火、防电、防大雾、防碰撞、防溺水和防台风措施及其安全应急救援预案。

24.3.3 水域勘探平台应符合下列规定：

- a) 应根据作业水域的水情、勘探深度、勘探设备类型和总载荷量等选择承载作业平台的船舶和勘探平台类型。
- b) 承载的总载荷量或勘探平台船舶的载重吨位的安全系数应大于 5；在流速小于 1m/s 和浪高小于 0.1m 的非通航的江河、湖泊、水库等水域，建造筏式勘探平台承载的总载荷量的安全系数应大于 3。
- c) 建造的结构应稳定牢固；勘探设备、勘探平台与建造勘探平台使用的船舶之间应联接牢固。双船联建造勘探平台的两船舶应有间距，船舶的几何尺寸、形状、高度、载重吨位应基本相同。
- d) 作业平台长度不应小于 6.5m，宽度不应小于 4m；四周应设置防撞设施和高度为 1.2m 的防护栏。
- e) 安装勘探设备与堆放勘探材料应均衡，应保持浮式勘探平台船舶的吃水深度和船体稳定。

- f) 架空式勘探平台底面应高出作业期间最大浪高的 1.5 倍与最高潮位之和；升降式勘探平台拖航移位时应将支腿提升至安全航行部位。
 - g) 钻塔高度不宜大于 9m，浮式勘探平台不得使用塔布或遮阳布。
 - h) 勘探平台应按照规定显示信号、悬挂锚泊信号和作业信号等安全标志，并配备声响信号、遇险信号仪器设备。在港口、河道等通航水域，锚位应按规定设置标志；应指定专人瞭望，管理安全标志和采取避碰措施。
 - i) 应配备救生、消防等水上救护安全生产防护设施。
- 24.3.4 水域勘察作业应符合下列规定：
- a) 通航水域的勘察纲要中的勘探方案和安全防护措施，应通过专项评审。
 - b) 在通航水域作业的勘探平台定位后，勘察项目负责人应组织检查勘探平台的建造质量，核实锚泊、作业信号和灯旗等安全标志。
 - c) 作业人员应遵守驻船和水域作业的安全规章制度、作业规程和水域交通安全规定。
 - d) 勘察单位与作业人员、船员和水域交通管理部门之间应保持有效通讯联络。
 - e) 应定人收集每天的海况、天气和水情资讯，并应采取相应的安全防护措施。
 - f) 作业人员应除穿戴本章一般规定的个体防护装备外，尚应穿戴水上救生器具，不得擅自跨越上下船或酒后登船。乘船时不得坐在船舷上。
 - g) 徒步涉水水深不得大于 0.6m，流速应小于 3m/s。不得单人独自涉水过溪河。
 - h) 勘探平台行驶、拖运、抛锚定位、调整锚绳和停泊等工序应由船员统一协调、勘探作业人员有序配合进行；勘察作业人员不得要求船员违章作业。
 - i) 安装勘探孔导向管应符合下列规定：
 - 1) 作业人员安装勘探孔导向管应系安全带；
 - 2) 在涨落潮水域作业应根据潮水涨落及时调整导向管的高度；
 - 3) 导向管不得紧贴船身，不得与浮式勘探平台固定连接。
 - j) 水域固定式勘探平台的锚绳应均匀绞紧，定位应准确稳固。
 - k) 应定人检查浮式勘探平台锚泊系统，根据水情变化调整锚绳，及时清除锚绳、导向管上的漂浮物和排除船舱内的积水。
 - l) 不得在勘探平台上游的主锚、边锚范围内进行水上或水下爆破作业。
 - m) 水上多勘探平台同时勘探作业，应统筹制定安全防护措施。
 - n) 建造式勘探平台的单体船舶横摆角度大于 3° 时，应停止勘察作业。
 - o) 待工或停工期间，勘探平台应留足值守船员。
- 24.3.5 潮间带勘察作业除应满足本标准第 23.3.4 条外，尚应符合下列规定：
- a) 筏式勘探平台不宜在潮间带地形地貌复杂、高程变化大的区域作业。
 - b) 勘探平台的类型和勘察作业时段应根据涨落潮时间、水流方向、水流速度、勘探点露出水面时段等水文条件、水底堆积条件、勘探点离岸距离、气象资讯确定。
 - c) 筏式勘探平台装载勘探设备、器材应保持均衡，不得将多余器材放置在勘探平台上。
 - d) 筏式勘探平台遇 4 级以上风力、大雾或浪高大于 0.5m 时，应停止勘察作业。
 - e) 潮间带作业应配备适宜的拖运及交通工具，必要时配备两栖交通设备。
- 24.3.6 筏式勘探平台不得夜间作业。
- 24.3.7 勘探平台暂时离开孔位时，应在孔位或孔口管上设置浮标和明显的安全标志。
- 24.3.8 水域勘察作业完毕，应及时清除埋设的套管、孔口管和留置在水域的其他障碍物。

25 现场检验和监测

25.1 一般规定

- 25.1.1 城市轨道交通施工过程应对岩土条件与周边环境进行现场检验，并对检验与监测中遇到的异常情况，应提出处理建议或修改设计意见。必要时进行施工勘察。
- 25.1.2 现场检验、监测方法可根据工程类型、岩土条件及周边环境采用现场观察、试验、仪器量测等

手段。

25.2 现场检验和检测

25.2.1 城市轨道交通工程检验主要内容包括岩土分布特征、地下水情况、地下埋设物、污染土及有害气体的分布，以及地基土的扰动与相关防护措施等。

25.2.2 明挖法施工检验应包括下列内容：

- a) 开挖揭露的岩土类型、成因、分布与工程特性。
- b) 地下水特征、降（止）水效果、基坑渗漏状况以及坑底土体突涌的可能性。
- c) 土体加固处理的效果。
- d) 坑底土体的承载力。
- e) 基坑下软弱土、岩溶或其他不良地质。

25.2.3 矿山法施工检验包括下列内容：

- a) 开挖揭露的岩土类型、成因、分布与工程特性，对围岩分级进行确认或修正。
- b) 地下水分布、地下水处理效果及渗漏情况。
- c) 地下不良地质作用及有害气体分布。
- d) 工作面岩土体的稳定状态。
- e) 围岩超挖或坍塌情况。

25.2.4 盾构法施工检验与检测应包括下列内容：

- a) 围岩性质、分布与工程特性。
- b) 地下水分布及渗漏情况。
- c) 始发（接收）井地基加固效果，包括加固体强度、抗渗性能、完整性。
- d) 地下障碍物、岩溶、土洞、孤石、有害气体的分布等。
- e) 冷冻法加固土体的状况。

25.2.5 桩基工程、支护结构和地基处理工程检验应包括下列内容：

- a) 通过试成孔、试成槽或试成桩，检验施工机械、施工工艺和施工参数等与地层的适用性以及施工过程的环境影响，检验岩土条件是否与勘察报告一致。如遇异常情况，应提出处理措施。
- b) 桩端或墙端进入持力层的状况，对大直径挖孔桩，应逐桩或逐段检验孔底尺寸及岩土情况。
- c) 地基加固体、桩身或墙身完整性及强度。
- d) 工程桩的竖向和水平承载力。

25.2.6 桩基检测内容包括桩身完整性和承载力，应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的有关规定。

25.2.7 地基处理效果检测的项目、方法、数量应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202和现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定执行。

25.2.8 路基工程可通过环刀法、灌砂法或核子密度仪法等对路基的密实度进行检测。

25.2.9 基坑支护结构监测与检测应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的有关规定。

25.2.10 城市轨道交通工程施工及运营过程出现险情时，应检验出现险情部位的岩土性状，分析其与原勘察结果的差异，为应急措施的采取提供依据。

25.3 现场监测

25.3.1 监测对象应根据项目的特点、设计要求、施工工法、工程地质条件、环境条件等因素综合确定。

25.3.2 明挖法基坑施工时应监测支护结构变形、竖井井壁支护结构净空收敛、支撑轴力、错杆拉力、地表沉降、深层土体的水平及竖向位移和地下水位等。

25.3.3 矿山法隧道施工时，应监测初始支护结构拱顶沉降及净空收敛、中柱结构竖向位移、地表沉降、地下水位等。

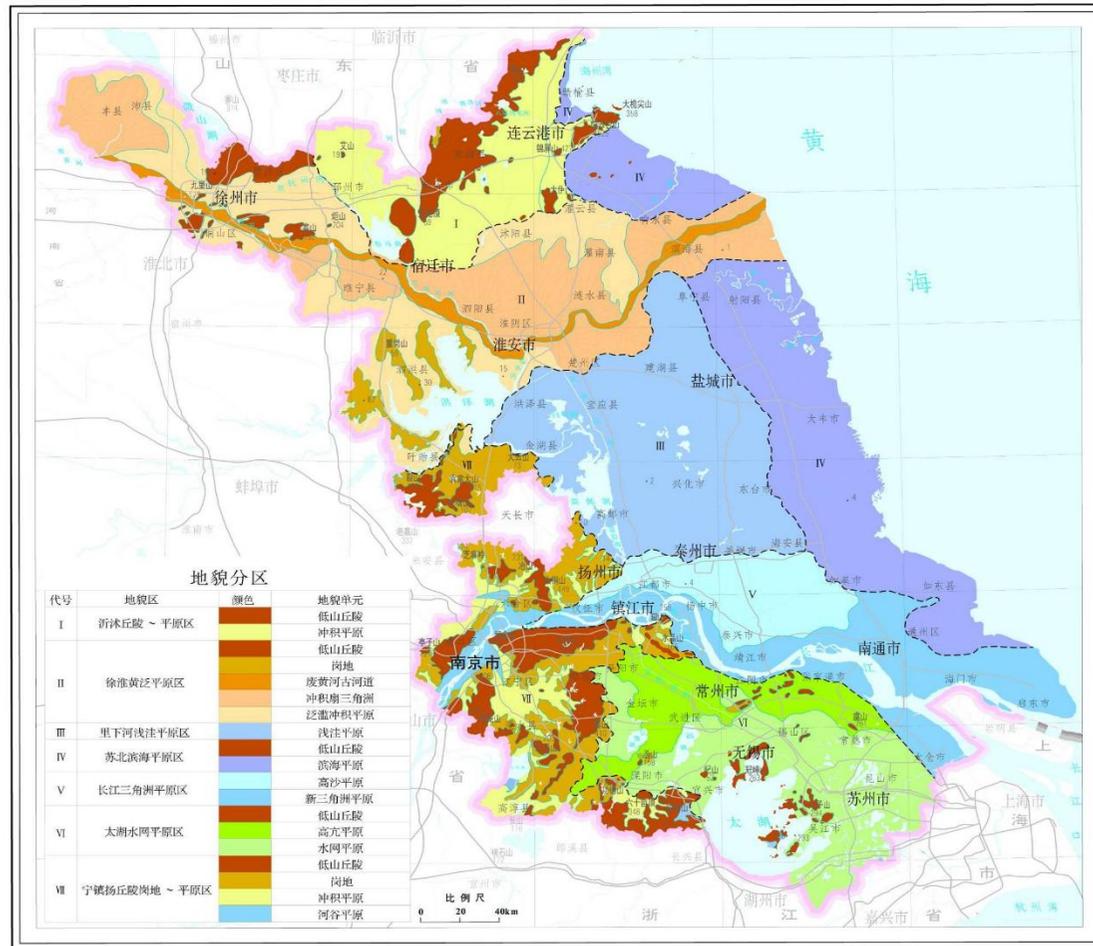
25.3.4 盾构法隧道施工时，应监测管片结构位移及净空收敛、地表沉降。

25.3.5 周边环境监测内容应符合下列规定：

- a) 对建（构）筑物，应监测沉降及裂缝，对高层、高耸建构筑物尚应监测倾斜。

- b) 对地下管线，应监测沉降及不均匀沉降，当支护结构产生较大变形或土体出现坍塌，地面出现裂缝迹象，并对地下管线造成危害时，应对地下管线进行水平位移监测。
 - c) 对高速公路与城市道路，应监测路面路基沉降、挡墙沉降及倾斜。
 - d) 对桥梁，应监测墩台沉降及差异沉降、墩柱倾斜，当桥梁自身安全状态差、墩台差异沉降大或设计要求时，应进行梁板结构应力监测。
 - e) 对既有城市轨道交通设施，应监测隧道结构水平及竖向位移、隧道结构净空收敛及变形缝差异沉降、轨道结构（道床）沉降、轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）等。
- 25.3.6 围护桩、地下连续墙、工程桩及地基加固等施工过程应进行周边环境的监测。
- 25.3.7 下列情况应进行不良地质作用和地质灾害的监测：
- a) 轨道工程场地及附近有不良地质作用活地质灾害，并可能危及轨道工程的安全或正常使用时。
 - b) 轨道建设和运行时，可能加速不良地质作用的发展或引发地质灾害时。
 - c) 轨道建设和运行时，对附近环境可能产生显著不良影响时。

附录 A
(资料性)
江苏省地貌分区图



附录 B (资料性)
江苏省第四纪地层特征

代号	地貌区	地貌单元	第四纪地层特征
I	沂沭丘陵～平原区	冲积平原	<p>浅部广泛分布全新世河湖相的灰黄色可～软塑粉质黏土，稍～中密粉土。</p> <p>中部广泛分布河湖相灰黄色稍～中密粉砂、粉土；局部分布滨海浅海相灰色、深灰色软～流塑粉质黏土、粉土。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相的青灰色、灰黄色、褐黄色硬～可塑黏性土，灰黄色、褐黄色细中砂、中粗砂，褐黄色含钙质结核黏性土。</p>
II	徐淮黄泛平原区	岗地	<p>广泛分布更新世河湖相冲积或风积灰黄色、褐黄色含钙质结核硬～可塑黏性土，局部地表浅部有全新世次生黏性土，广泛分布棕黄色、褐黄色中密～密实粉砂、中细砂，局部含砾石。黏性土与砂土多次交互出现。</p>
		废黄河古河道冲积扇三角洲泛滥冲积平原	<p>浅部为全新世河流相灰黄色稍～中密粉土，灰黄色可～软塑粉质黏土夹粉土，分布不稳定；局部为湖沼相灰色流塑淤泥质土。</p> <p>中部分布全新世河湖相灰黄色、灰色粉质黏土、粉土；滨海浅海相灰色、灰黄色稍～中密粉土、粉砂，常夹黏性土，分布不稳定，局部粉土、粉砂与黏性土交互出现。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相冲积或风积灰黄、褐黄色含钙质结核硬～可塑黏性土，棕黄色、褐黄色中密～密实细粉砂、中细砂，局部含砾石。</p>
III	里下河浅洼平原区	浅洼平原	<p>浅部为全新世河湖相灰黄色～灰色可～软塑黏性土夹粉土，广泛分布滨海相、泻湖相灰色淤泥质土。</p> <p>中部广泛分布全新世滨海浅海相灰色稍～中密粉土、粉砂夹粉质黏土；局部有河湖相灰～青灰色软塑黏性土。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相灰绿色～灰黄色硬～可塑黏性土，灰黄色、灰色可塑粉质黏土夹粉土；滨海浅海相灰色粉土夹粉质黏土，灰色～灰黄色中密粉土、粉细砂；黏性土与砂性土多次交互出现。</p>
IV	苏北滨海平原区	滨海平原	<p>浅部广泛分布全新世滨海浅海相灰黄色～灰色可～软塑黏性土夹稍密粉土，灰色流塑淤泥质土或淤泥，灰色稍密粉土、粉砂，局部夹粉质黏土。</p> <p>中部分布全新世滨海浅海相青灰色～灰色稍～中密粉土、粉砂，灰色～灰黄色中密粉土，软塑粉质黏土；局部分布河湖相灰黄色、灰色粉质黏土（夹粉土、粉砂）。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相青灰～灰黄色硬～可塑黏性土，局部有粉砂、中细砂；滨海浅海相灰色、青灰色中密～密实粉土、粉砂，灰色稍～中密粉土，灰色软塑粉质黏土；局部粉土、粉砂、黏性土多次交互出现。</p>
V	长江三角洲平原区	高沙平原	<p>浅部广泛分布全新世河流相灰黄色、灰色稍～中密粉土、局部夹粉质黏土；河湖相灰绿、灰黄色粉质黏土、粉土；滨海浅海相灰色～青灰色中密粉砂、夹粉土，局部有灰色软塑粉质黏土。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相灰黄色～褐黄色硬～可塑黏性土，灰黄色、灰色软塑～可塑粉质黏土（夹粉土或互层）；滨海浅海相灰色中密为主粉细砂，夹粉土、粉质黏土；局部为灰色软～可塑粉质黏土；以上地层有多个沉积旋律。</p>
		新三角洲平原	<p>浅部广泛分布全新世河口相灰黄色、灰色可塑～软塑粉质黏土或稍密粉土夹粉质黏土；滨海浅海相灰色流塑淤泥质土，灰色稍～中密粉土、粉细砂（局部夹粉质黏土）；粉土、粉细砂、粉质黏土常多次交互出现。</p> <p>深部分布更新世滨海浅海相或河口三角洲相灰色软塑粉质黏土、灰色～青灰色稍～中密粉土、粉砂，常为互层出现，局部分布灰色、青灰、灰白色密实细砂、粗砂。</p>

江苏省第四纪地层特征(续表)

代号	地貌区	地貌单元	第四纪地层特征
VI	太湖 水网 平原区	高亢平原	<p>浅部少量分布全新世河湖相灰黄色可塑粉质黏土，灰黄色~灰色稍~中密粉土、粉砂。</p> <p>中部广泛分布更新世河湖相灰黄色、褐黄色硬~可塑黏性土，灰黄色~灰色可~软塑粉质黏土，灰黄~灰色粉土、粉细砂；局部分布海陆交互相灰色粉土、粉砂、粉质黏土，常互层出现。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相暗绿色、灰黄色、褐黄色硬~可塑黏性土，灰黄~灰色可~软塑粉质黏土，灰黄色、灰色中密~密实粉土、粉砂、细砂、局部中粗砂；黏性土、砂土多次交互出现。</p>
		水网平原	<p>浅部广泛分布全新世河流相或湖沼相灰黄色可~软塑粉质黏土，灰色流塑淤泥质土，灰黄色、灰色稍密粉土，局部夹粉砂。</p> <p>中部广泛分布更新世河湖相灰黄色、褐黄色、暗绿色硬~可塑黏性土，灰黄色~灰色可~软塑粉质黏土、局部夹粉土；滨海浅海相灰色粉质黏土、稍~中密粉土、稍密~中密粉细砂(夹粉土)，局部分布灰色软土，常互层出现；以上地层往往有多个沉积旋律。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相暗绿色、灰黄色、褐黄色硬~可塑黏性土，灰黄~灰色可~软塑粉质黏土，灰黄色、灰色中密~密实粉土、粉砂、细砂、局部中粗砂。黏性土、砂土多次交互出现。</p>
VII	宁镇扬 丘陵岗 地~平 原区	岗地	<p>广泛分布更新世河湖相冲积或风积灰黄色、褐黄色含铁锰结核硬~可塑黏性土，局部地表浅部有全新世冲积灰黄色可塑次生黏性土，低洼、坳沟段分布全新世灰色软~流塑黏性土、灰色稍密粉土、流塑淤泥质土。</p>
		冲积平原	<p>浅部广泛分布全新世河湖相灰黄色可~软塑黏性土，灰黄色~灰色稍密粉土。</p> <p>深部广泛分布更新世河湖相冲积或风积灰黄色、褐黄色硬~可塑黏性土、局部含少量碎石、砾石。</p>
		河谷平原	<p>浅部广泛分布全新世河流相或湖沼相灰黄色~灰色可~软塑黏性土，灰色流塑淤泥质土，灰色稍~中密粉土、粉砂；黏性土、粉土、粉砂局部互层。</p> <p>中部常见全新世河流相灰色软~流塑粉质黏土、灰色中密粉土、粉砂，局部互层。</p> <p>深部常见全新世河流相灰色中密~密实粉细砂(有时夹粉质黏土)，局部灰~灰黄色中密~密实中粗砂(含砾)。</p>

附 录 C

(资料性)

江苏省第四纪晚更新世 (Q_3) 地层出露或浅埋区分布图

- C.1 沂沭丘陵~平原区第四纪晚更新世 (Q_3) 地层出露或浅埋区分布图见图C.1。
- C.2 徐淮黄泛平原区第四纪晚更新世 (Q_3) 地层出露或浅埋区分布图见图C.2。
- C.3 太湖水网平原区第四纪晚更新世 (Q_3) 地层出露或浅埋区分布图见图C.3。
- C.4 宁镇扬丘陵岗地~平原区第四纪晚更新世 (Q_3) 地层出露或浅埋区分布图见图C.4。

图 C.1 沂沭丘陵~平原区第四纪晚更新世 (Q₃) 地层出露或浅埋区分布图见图

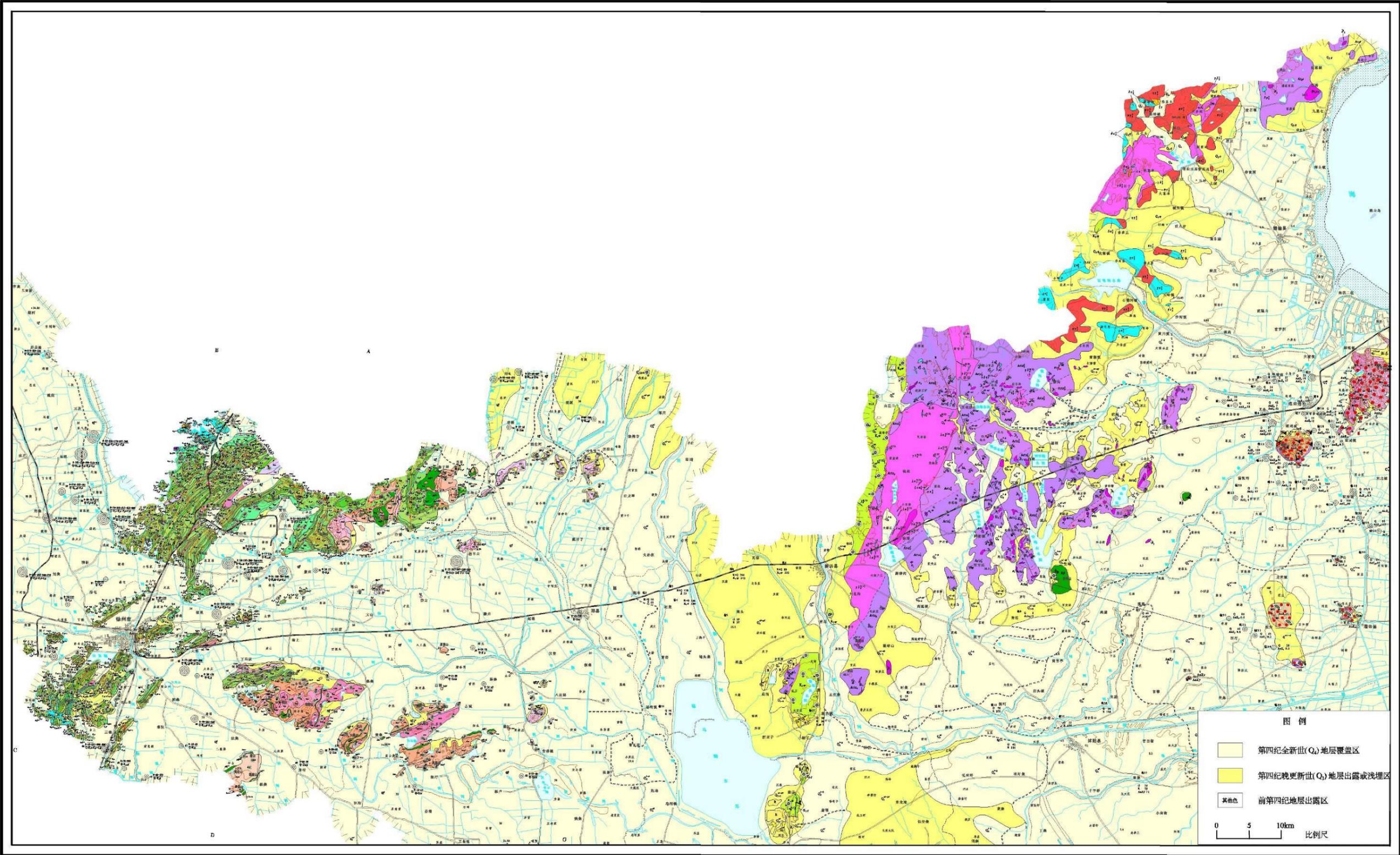


图 C.2 徐淮黄泛平原区第四纪晚更新世 (Q₃) 地层出露或浅埋区分布图

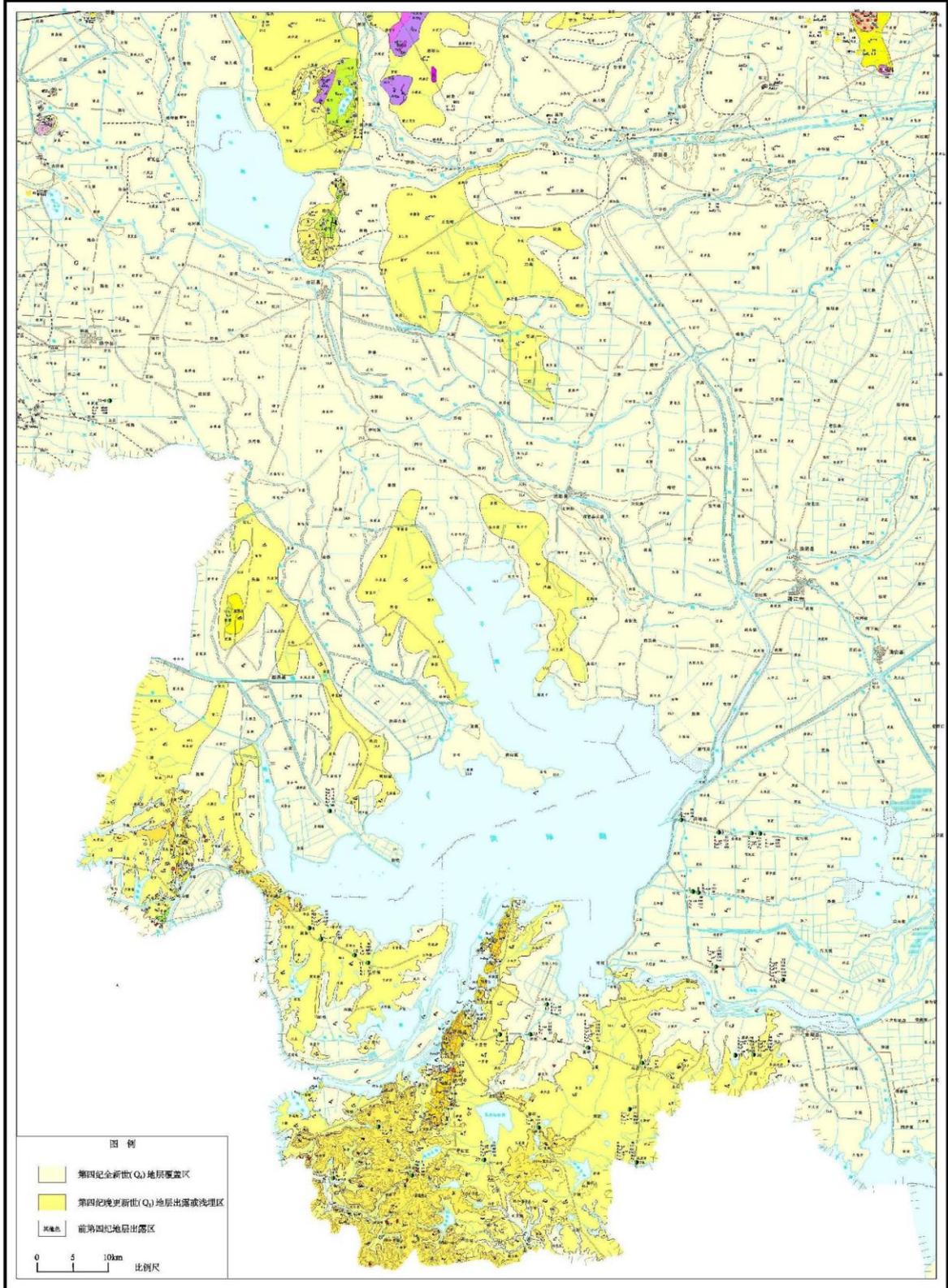


图 C.3 太湖水网平原区第四纪晚更新世 (Q₃) 地层出露或浅埋区分布图

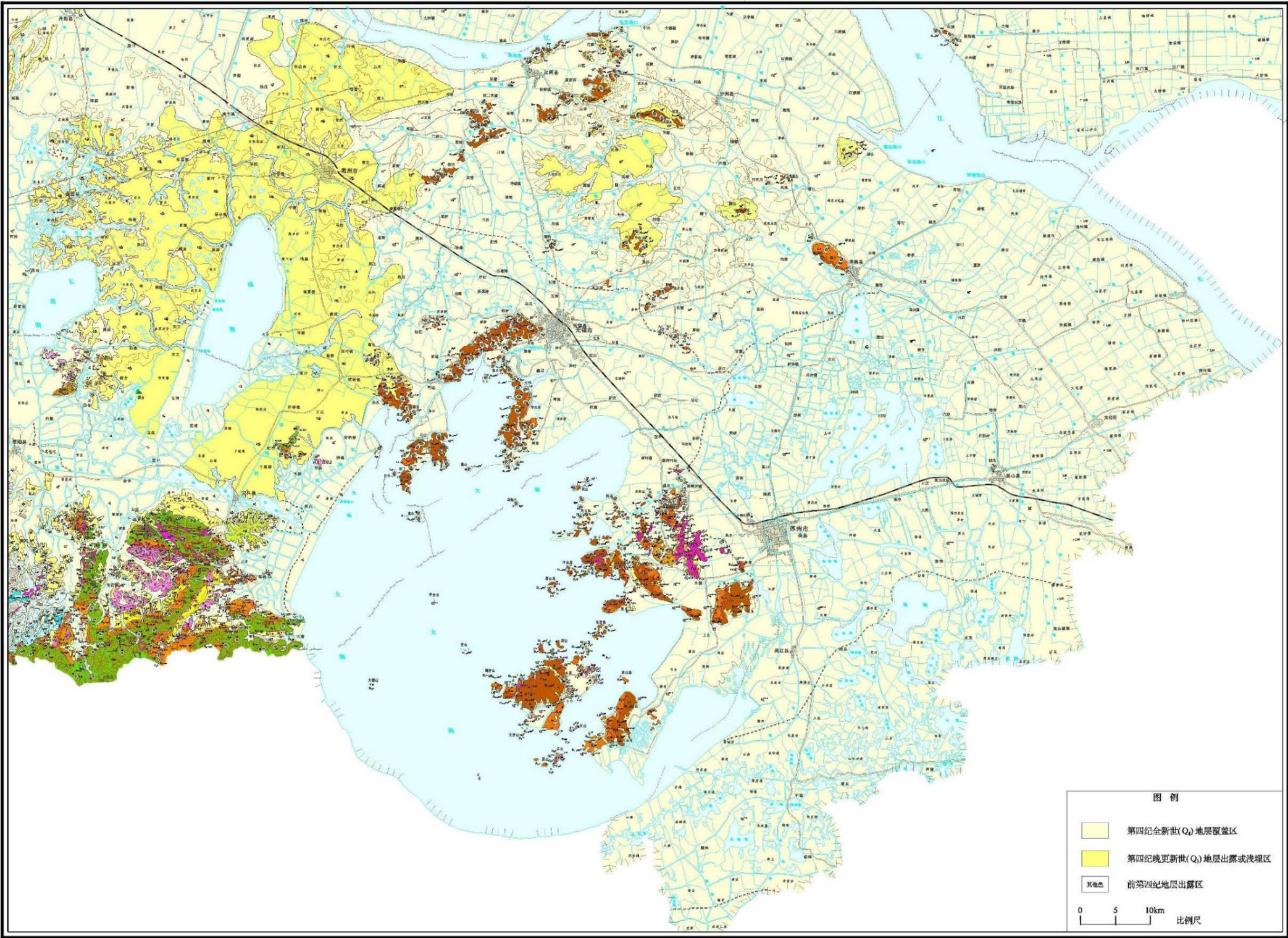
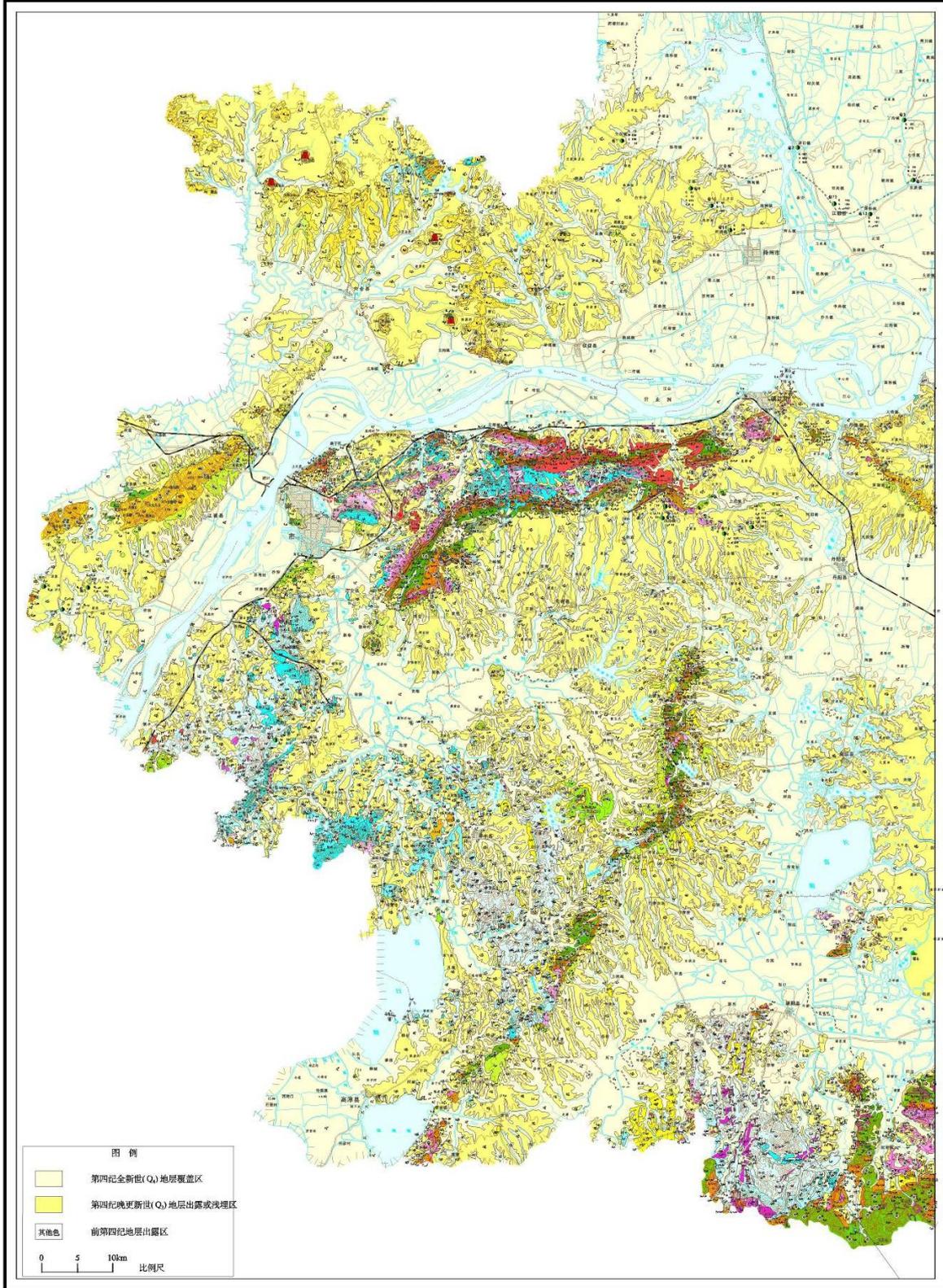


图 C.4 宁镇扬丘陵岗地~平原区第四纪晚更新世 (Q₃) 地层出露或浅埋区分布图



附录 D
(资料性)
岩土分类和鉴定

D.1 岩石坚硬程度等级可按表 D.1 定性划分：

表 D.1 岩石坚硬程度等级的定性分类

坚硬程度等级		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎，基本无吸水反应。	未风化~微风化的花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等。
	较硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎，有轻微吸水反应。	1 微风化的坚硬岩；2 未风化~微风化的大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等。
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎，浸水后指甲可刻出印痕。	1 中等风化~强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 未风化~微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等。
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎，浸水后手可掰开。	1 强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 中等风化~强风化的较软岩； 3 未风化~微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等。
极软岩		锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎，浸水后可捏成团。	1 全风化的各种岩石； 2 各种半成岩。

D.2 岩体完整程度等级可按表 D.2 定性划分：

表 D.2 岩体完整程度的定性分类

完整程度	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 m)			
完整	1~2	>1.0	结合好或结合一般	裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1~2	>1.0	结合差	裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	1.0~0.4	结合好或结合一般		块状结构
较破碎	2~3	1.0~0.4	结合差	裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.4~0.2	结合好		镶嵌碎裂结构
			结合一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.4~0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂状结构
极破碎	无序		结合很差		散体状结构

注：平均间距指主要结构面(1组~2组)间距的平均值

D.3 岩体根据结构类型可按表 D.3 划分：

表 D.3 岩体按结构类型划分

岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩和变质岩，巨厚层沉积岩	巨块状	以层面和原生、构造节理为主，多呈闭合型，间距大于 1.5m，一般为 1 组~2 组，无危险结构	岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体	局部滑动或坍塌，深埋洞室的岩爆

块状结构	厚层状沉积岩，块状岩浆和变质岩	块状柱状	有少量贯穿性节理裂隙，结构面间距 0.7 m~1.5m。一般为 2 组~3 组，有少量分离体	结构面互相牵制，岩体稳定，接近弹性各向同性体	
层状结构	多韵律薄层、中厚层状沉积岩，副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理，常有层间错动	变形和强度受层面控制，可视为各向异性弹塑性体，稳定性较差	可沿结构面滑塌，软岩可产生塑性变形
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、节理、片理、层理发育，结构面间距 0.25m~0.50m，一般 3 组以上，有许多分离体	整体强度很低，并受软弱结构面控制，呈弹塑性体，稳定性很差	易发生规模较大岩体失稳，地下水加剧失稳
散体状结构	断层破碎带，强风化及全风化带	碎屑状	构造和风化裂隙密集，结构面错综复杂，多充填黏性土，形成无序小块和碎屑	完整性遭极大破坏，稳定性极差，接近松散体介质	

D.4 土根据有机质含量可按表 D.4 分类：

表 D.4 土按有机质含量分类

分类名称	有机质含量 W_u	现场鉴别特征	说明
无机土	$W_u < 5\%$		
有机质土	$5\% \leq W_u \leq 10\%$	深灰色，有光泽，味臭，除腐殖质外尚含少量未完全分解的动植物体，浸水后水面出现气泡，干燥后体积收缩	1 如现场能鉴别或有地区经验时，可不作有机质含量测定； 2 当 $\omega > \omega_L$, $1.0 \leq e < 1.5$ 时称淤泥质土； 3 当 $\omega > \omega_L$, $e \geq 1.5$ 时称淤泥。
泥炭质土	$10\% < W_u \leq 60\%$	深灰或黑色，有腥臭味，能看到未完全分解的植物结构，浸水体胀，易崩解，有植物残渣浮于水中，干缩现象明显	可根据地区特点和需要按 W_u 细分为： 弱泥炭质土（ $10\% < W_u \leq 25\%$ ） 中泥炭质土（ $25\% < W_u \leq 40\%$ ） 强泥炭质土（ $40\% < W_u \leq 60\%$ ）
泥炭	$W_u > 60\%$	除有泥炭质土特征外，结构松散，土质很轻，暗无光泽，干缩现象极为明显	
注：有机质含量 W_u 测定应符合相关试验标准的要求，当 W_u 不超过 15% 时可用重铬酸钾容量法，大于 15% 时可用烧失量法。			

D.5 碎石土密实度野外鉴别可按表 D.5 执行：

表 D.5 碎石土密实度野外鉴别

密实度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可钻性
松散	骨架颗粒质量小于总质量的 60%，排列混乱，大部分不接触	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，立即塌落	钻进较易，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌
中密	骨架颗粒质量等于总质量的 60%~70%，呈交错排列，大部分接触	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持凹面形状	钻进较困难，钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
密实	骨架颗粒质量大于总质量的 70%，呈交错排列，连续接触	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁较稳定	钻进困难，钻杆、吊锤跳动剧烈，孔壁较稳定

D.6 隧道围岩分级可按表 D.6 执行。

表 D.6 隧道围岩分级

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态（单线）	围岩压缩波速 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构形态和完整形态		
I	坚硬岩（单轴饱和抗压强度 $f_r > 60\text{MPa}$ ）；受地质构造影响轻微，节理不发育，无软弱面（或夹层）；层状岩层为巨厚层或厚层，层间结合良好，岩体完整	呈巨块状整体结构	围岩稳定，无坍塌，可能产生岩爆	> 4.5
II	坚硬岩（ $f_r > 60\text{MPa}$ ）：受地质构造影响较重，节理较发育，有少量软弱面（或夹层）和贯通微张节理，但其产状及组合关系不致产生滑动；层状岩层为中层或厚层，层间结合一般，很少有分离现象；或为硬质岩偶夹软质岩石；岩体较完整	呈大块状砌体结构	暴露时间长，可能会出现局部小坍塌，侧壁稳定，层间结合差的平缓岩层顶板易塌落	3.5~4.5
	较硬岩（ $30\text{MPa} < f_r \leq 60\text{MPa}$ ）受地质构造影响轻微，节理不发育；层状岩层为厚层，层间结合良好，岩体完整	呈巨块状整体结构		
III	坚硬岩和较硬岩：受地质构造影响较重，节理较发育，有层状软弱面（或夹层），但其产状组合关系尚不致产生滑动；层状岩层为薄层或中层，层间结合差，多有分离现象；或为硬、软质岩石互层	呈块石状镶嵌结构	拱部无支护时可能产生局部小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易塌落	2.5~4.0
	较软岩（ $15\text{MPa} < f_r \leq 30\text{MPa}$ ）和软岩（ $5\text{MPa} < f_r \leq 15\text{MPa}$ ）：受地质构造影响严重，节理较发育；层状岩层为薄层、中厚层或厚层，层间结合一般	呈大块状砌体结构		
IV	坚硬岩和较硬岩：受地质构造影响极严重，节理较发育；层状软弱面（或夹层）已基本破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时可产生较大坍塌，侧壁有时失去稳定	1.5~3.0
	较软岩和软岩：受地质构造影响严重，节理较发育	呈块石、碎石状镶嵌结构		
	土体：1 具压密或成岩作用的黏性土、粉土及碎石土 2 一般钙质或铁质胶结的碎石土、卵石土、粗角砾土、粗圆砾土、大块石土	1 呈大块状压密结构； 2 呈巨块状整体结构		
V	软岩受地质构造影响严重，裂隙杂乱，呈石夹土或土夹石状，极软岩（ $f_r \leq 5\text{MPa}$ ）	呈角砾、碎石状松散结构	围岩易坍塌，处理不当会出现大坍塌；浅埋时易出现地表下沉（陷）或塌至地表	1.0~2.0
	土体：一般第四系的坚硬、硬塑的黏性土，稍密及以上、稍湿或潮湿的碎石土、卵石土、圆砾土、角砾土、粉土及黄土（ Q_3 、 Q_4 ）	非黏性土呈松散结构，黏性土及黄土松软状结构		
VI	岩体：受地质构造影响严重，呈碎石、角砾及粉末、泥土状	呈松软状	围岩极易坍塌变形，有水时砂常与水一起涌出，浅埋时易塌至地表	< 1.0 （饱和状态的土 < 1.5 ）
	土体：可塑、软塑状黏性土、饱和的粉土和砂类土等	黏性土呈蠕动的松软结构，砂性土呈潮湿松散结构		

注1：表中“围岩级别”和“围岩主要工程地质条件”栏，不包括膨胀性围岩、多年冻土等特殊岩土。
注2：III、IV、V级围岩遇有地下水时，可根据具体情况和施工条件适当降低围岩级别。

D.7 岩土施工工程分级可按表D.7执行。

表 D.7 岩土施工工程分级

等级	分类	岩土名称及特征	钻 1m 所需时间			岩石单轴 饱和抗压 强度 (MPa)	开挖方法
			液压凿岩 台车、潜 孔 钻 机 (净 钻 min)	手持风枪 湿式凿岩 合金钻头 (净 钻 min)	双人打眼 (工日)		
I	松土	砂类土、种植土、未经压实的填土	—	—	—	—	用铁锹挖，脚踏一下到底的松散土层，机械能全部直接铲挖，普通装卸机可满载
II	普通土	坚硬的、硬塑和软塑的粉质黏土、硬塑和软塑的黏土，膨胀土，粉土， Q_3 、 Q_4 黄土，稍密、中密的细角砾土、细圆砾土、松散的粗角砾石、碎石土、粗圆砾石、卵石土，压密的填土，风积沙	—	—	—	—	部分用镐刨松，再用锹挖，脚踏连蹬数次才能挖动的。挖掘机、带齿尖口装卸机可满载、普通装卸机可直接铲挖，但不能满载
III	硬土	坚硬的黏性土、膨胀土、 Q_1 、 Q_2 黄土，稍密、中密粗角砾土、碎石土、粗圆砾土、碎石土，密实的细圆砾土、细角砾土、各种风化土状的岩石	—	—	—	—	必须用镐先全部松动才能用锹挖。挖掘机、带齿尖口装卸机不能满载、大部分采用松土器松动方能铲挖装卸
IV	软质岩	块石土、漂石土、含块石、漂石 30%~50%的土及密实的碎石土、粗角砾土、卵石土、粗圆砾土；岩盐、各类较软岩、软岩及成岩作用差的岩石：泥质砾岩，煤、凝灰岩、云母片岩、千枚岩	—	<7	<0.2	<30	部分用撬棍及大锤开挖或挖掘机、单沟裂土器松动，部分需借助液压冲击镐解碎或部分采用爆破方法开挖
V	次坚石	各种硬质岩：硅质页岩、钙质岩、白云岩、石灰岩、泥灰岩、玄武岩、片岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	≤10	7~20	0.2 ~ 1.0	30~60	能用液压冲击镐解碎，大部分需用爆破法开挖
VI	坚石	各种极硬岩：硅质砂岩、硅质砾岩、石灰岩、石英岩、大理岩、玄武岩、闪长岩、花岗岩、角岩	>10	>20	>1.0	>60	可用液压冲击镐解碎，需用爆破法开挖
<p>注1：软土（软黏性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土、泥炭）的施工工程分级，一般可定为II级。</p> <p>注2：表中所列岩石均按完整结构岩体考虑，若岩体极破碎、节理很发育或强风化时，其等级应按表对应岩石的等级降低一个等级。</p>							

附录 E（规范性）
圆锥动力触探击数修正

E.1 当采用重型圆锥动力触探确定碎石土密实时，锤击数 $N_{63.5}$ 应按下式修正：

$$N_{63.5} = \alpha_1 \cdot N'_{63.5} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

$N_{63.5}$ —修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

α_1 —修正系数，按表E.1取值；

$N'_{63.5}$ —实测重型圆锥动力触探锤击数。

表 E.1 重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$N'_{63.5}$ L (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	≥ 50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

注：表中L为杆长。

E.2 当采用超重型动力触探确定碎石土密实时，锤击数 N_{120} 应按下式修正：

$$N_{120} = \alpha_2 \cdot N'_{120} \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

N_{120} —修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

α_2 —修正系数，按表E.2取值；

N'_{120} —实测超重型圆锥动力触探锤击数。

表 E.2 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数

N'_{120} L (m)	1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
3	0.94	0.88	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

注：表中L为杆长。

附录 F
(规范性)

冻结法试验所需原状土样数量及规格

表 F.1 冻结法试验所需原状土样数量及规格表

指标	试样尺寸	数量	需样总长 (m)
冻土抗压强 (冻土弹模、冻土泊松比)	$\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$	14	4 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 的薄壁取样或 14 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
抗剪强度	$\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$	6	2 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 6 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
蠕变参数	$\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$	5	1.5 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 5 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
冻胀率	$\Phi 80\text{mm} \times 40\text{mm}$	3	0.5 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 2 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
融沉系数	$\Phi 80\text{mm} \times 40\text{mm}$	3	0.5 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 2 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
原状土及冻土导热系数	$\Phi 70\text{mm} \times 100\text{mm}$	3	1 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 3 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
原状土及冻土比热容	$\Phi 70\text{mm} \times 100\text{mm}$	3	1 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 3 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
抗折强度	$200\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$	4	采用重塑土样进行
土体冻结温度试验	$\Phi 30\text{mm} \times 50\text{mm}$	3	0.5 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 1 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样
注: 每层土所需数量: 土样为 11 个 $\Phi 90 \times 500\text{mm}$ 薄壁样或 17 个 $\Phi 90 \times 300\text{mm}$ 薄壁样或 17 个 $\Phi 108 \times 300\text{mm}$ 铁皮样或 36 个 $\Phi 108 \times 200\text{mm}$ 铁皮样。			

附录 G
(规范性)
采空区场地稳定性判别方法

G.1 采空区场地的稳定性划分为稳定、基本稳定和不稳定。评价方法可采用开采条件判别法、地表移动变形判别法、煤（岩）柱稳定分析法等进行评价。

G.2 开采条件判别法判别标准以工程类比和本区经验为主，综合各类评价因素判别。无类似经验时，宜以采空区终采时间为主要因素，结合地表移动变形特征、顶板岩性及松散层厚度等因素参照表 G.1 综合判别。

表 G.1 采空区场地稳定性等级评价标准

稳定等级 评价因子	不稳定	基本稳定	稳定
采空区终采时间 t	$t < 0.8T$ (天) 或 $t \leq 1$ 年	$0.8T \leq t \leq 1.2T$ (天) 且 $t > 1$ 年	$t > 1.2T$ (天) 且 $t > 2$ 年
地表变形特征	非连续变形	连续变形	连续变形
	抽冒或切冒型	盆地边缘区	盆地中间区
	地面有塌陷坑、台阶	地面倾斜、有地裂缝	地面无地裂缝、台阶、塌陷坑
顶板岩性	无坚硬岩层分布或为薄层或软硬岩层互层状分布	有厚层状坚硬岩层分布且 $15.0\text{m} > \text{层厚} > 5.0\text{m}$	有厚层状坚硬岩层分布且 $\text{层厚} \geq 15.0\text{m}$
松散层厚度 h (m)	$h < 10$	$10 \leq h \leq 50$	$h > 50$
注：T为地表移动的延续时间。当矿区有实测资料时应以实测资料为准。当无实测资料时，地表移动的延续时间 T (天)可按下列公式确定：当 $H_0 \leq 400\text{m}$ 时 $T = 2.5H_0$ ；当 $H_0 > 400\text{m}$ 时 $T = 1000 \exp(1 - \frac{400}{H_0})$ ， H_0 为开采深度。			

G.3 地表移动变形判别法判别标准宜以地面下沉速度为主要指标，并结合其它参数按照表 G.2 综合判别。

表 G.2 按地表移动变形值确定场地稳定性等级评价标准

稳定状态	评价因子				备注
	下沉速率 V_w (mm/d)	倾斜 Δi (mm/m)	曲率 $\Delta K (\times 10^{-3}/\text{m})$	水平变形 $\Delta \varepsilon$ (mm/m)	
稳定	$< 1.0\text{mm/d}$ ，且连续 6 个月累计下沉 $< 30\text{mm}$	< 3	< 0.2	< 2	
基本稳定	$< 1.0\text{mm/d}$ ，但连续 6 个月累计下沉 $\geq 30\text{mm}$	$3 \sim 10$	$0.2 \sim 0.6$	$2 \sim 6$	
不稳定	≥ 1.0	> 10	> 0.6	> 6	

G.4 煤（岩）柱安全稳定性系数确定场地稳定性等级，按照表 G.3 判别。

表 G.3 按煤(岩)柱安全稳定性系数确定场地稳定性等级

稳定状态	不稳定	基本稳定	稳定
煤（岩）柱安全稳定性系数 K_p	$K_p < 1.2$	$1.2 \leq K_p \leq 2$	$K_p > 2$

G.5 采空区场地位于下列地段宜划分为不稳定场地：

- a) 采空区地表出现塌陷坑、台阶状裂缝等非连续变形的地段。
- b) 特厚煤层（层厚大于 8m）、倾角大于 55° 的厚煤层（层厚大于 3.5m）及过火煤层的浅埋及露头地段。
- c) 由于地表移动和变形引起的边坡失稳、山崖崩塌和坡脚隆起地段。
- d) 非充分采动顶板塌落不充分、采深小于 150m，且存在大量抽取地下水的地段。

附录 H (规范性)

采空区与城市轨道交通工程相互影响程度判别

H.1 采空区与各类城市轨道交通工程的相互影响程度，应根据采空区场地稳定性、建筑物重要程度和变形要求、地表变形特征及发展趋势、地表移动变形值、采深或采深采厚比、垮落裂隙带的密实状态、活化影响因素、采空区与城市轨道交通工程的相互空间关系、荷载影响深度等，采用工程类比法、采空区特征判别法、活化影响因素分析法、地表剩余变形判别法等方法。

H.2 按场地稳定性及工程重要性等级定性分析采空区对工程的影响程度，见表 H.1。

表 H.1 按场地稳定性及工程重要性等级定性分析采空区对城市轨道交通工程的影响程度

场地稳定性	主体工程、变形要求高	附属工程、变形要求一般
稳定	中等	中等~小
基本稳定	大~中等	中等
不稳定	大	大~中等

H.3 按工程类比法定性分析采空区对工程的影响程度，见表 H.2。

表 H.2 采用工程类比法定性分析采空区对工程的影响程度

影响程度	类比工程或场地的特征
大	地面、建（构）筑物开裂、塌陷，且处于发展、活跃阶段
中等	地面、建（构）筑物开裂、塌陷，但已经稳定 6 个月以上且不再发展
小	地面、建（构）筑物无开裂；或有开裂、塌陷，但已经稳定 2 年以上且不再发展；邻近同类型采空区场地有类似工程的成功经验

H.4 根据采空区特征及活化影响因素定性分析采空区对工程的影响程度，见表 H.3。

表 H.3 根据采空区特征及活化影响因素定性分析采空区对工程的影响程度

影响程度	采空区特征			活化影响因素	备注
	采空区采深 H(m)	采空区的密实状态及充水状态	地表变形特征及发展趋势		
大	$H < 50\text{m}$ 或 $H/M < 30$	存在空洞，钻探过程中出现掉钻、孔口串风	正在发生不连续变形；或现阶段相对稳定，但存在发生不连续变形的可能性大	活化的可能性大，影响强烈	
中等	$50\text{ m} \leq H \leq 200\text{ m}$ 或 $30 \leq H/M \leq 80$	基本密实，钻探过程中采空区部位大量漏水	现阶段相对稳定，但存在发生不连续变形的可能	活化的可能性中等，影响一般	
小	$H > 200\text{ m}$ 或 $H/M > 80$	密实，钻探过程中不漏水、微量漏水但返水或间断返水	残余变形小且为连续变形	活化的可能性小，影响小	

H.5 根据采空区地表剩余变形确定采空区对工程的影响程度，见表 H.4。

表 H.4 根据采空区地表剩余移动变形值确定采空区对城市轨道交通工程的影响程度

地表剩余移动变形	影响程度	城市轨道交通工程类型		
		路基工程、地面车辆段	高架桥梁	区间隧道、车站

剩余下沉值 ΔW (mm)	小	<100	<40	<20
	中等	100~200	40~80	20~40
	大	>200	>80	>40
剩余倾斜值 Δi (mm/m)	小	<3.0	<2.5	<2
	中等	3.0~6.0	2.5~5.0	2~4
	大	>6.0	>5.0	>4
剩余水平变形值 $\Delta \epsilon$ (mm/m)	小	<2.0	<1.5	<1
	中等	2.0~4.0	1.5~3.0	1~2
	大	>4.0	>3.0	>2
剩余曲率值 ΔK ($\times 10^{-3}/m$)	小	<0.2	<0.2	<0.2
	中等	0.2~0.6	0.2~0.5	0.2~0.4
	大	>0.6	>0.5	>0.4
注：采空区地表剩余变形是指地下采空引起的可能全部地面变形扣除已经发生的变形后地表的剩余变形，不包括结构荷载引起的工后地基变形。				

H.6 根据采空区和坑洞与城市轨道交通工程的空间关系确定采空区与城市轨道交通工程的相互影响程度，宜符合下列规定：

- a) 当采空区和坑洞位于城市轨道交通工程的上方时，应评价采空区和坑洞底板围岩完整性、积水、有毒有害气体等对隧道工程的影响。评价标准见表 H.5。

表 H.5 根据采空区与城市轨道交通工程相互空间关系评价采空区影响程度的评价标准

影响因素	影响程度	城市轨道交通区间隧道、车站工程
采空区 底板围岩	小	$H_d > 3H_{df}$
	中等	$1.5H_{df} < H_d \leq 3H_{df}$
	大	$H_d \leq 1.5H_{df}$
采空区 积水	小	采空区不积水
	中等	采空区积水，但隧道顶板与采空区之间存在良好的隔水层，隧道顶板透水可能性小
	大	采空区积水，且存在隧道顶板透水可能
采空区有毒有害气体	小	采空区不含有毒有害气体或含量低，不影响施工安全
	中等	采空区含有毒有害气体，但隧道顶板与采空区之间存在良好的隔气层，隧道顶板透气可能性小
	大	采空区含有毒有害气体，且存在隧道顶板透气可能
轨道工程 施工	小	采空区底板破坏不影响隧道围岩质量及其支护工程施工与质量
	中等	采空区底板破坏不影响隧道围岩质量，但对隧道围岩支护工程施工与质量有轻微影响
	大	采空区底板破坏影响隧道围岩质量，对隧道围岩支护工程施工与质量有影响
注： H_d (m) - 隧道或地下暗挖车站松动圈与采空区底板破坏深度之间的距离； H_{df} (m) - 采空区底板破坏深度。		

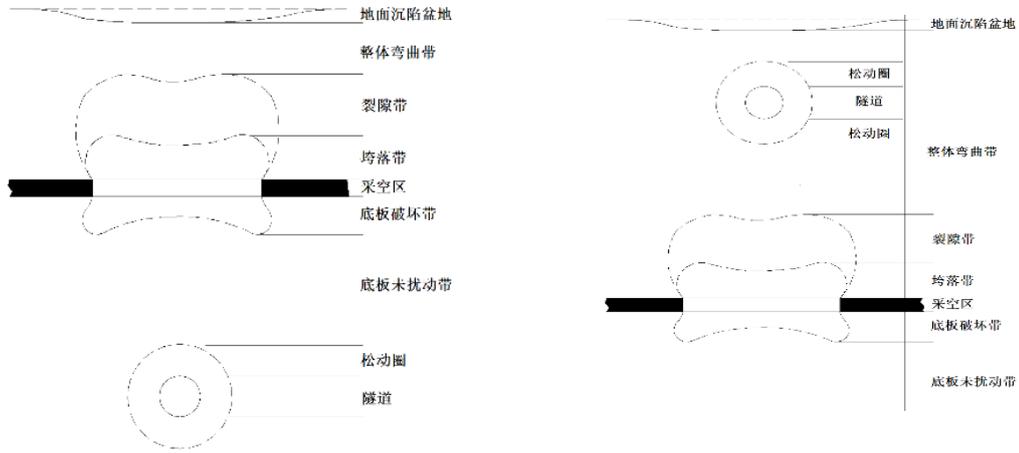


图 H.1 采空区位于隧道上方评价示意图图 图 H.2 采空区位于隧道下方评价示意图

b) 当采空区和坑洞位于城市轨道交通工程的下方时，应评价采空区和坑洞顶板覆岩完整性、有毒有害气体等对城市轨道交通工程的影响。评价标准见表 H.6

表 H.6 根据采空区与城市轨道交通工程相互空间关系评价采空区影响程度的评价标准

影响因素	影响程度	城市轨道交通工程类型		
		路基工程、地面车辆段	高架桥梁、地面车站	区间隧道、车站
采空区顶板围岩	小	$H > 2H_D$ 或 $H_{1f} > 2H_a$	$H > 3H_D$ 或 $H_{1f} > 3H_a$	$H_{dL} > 3H_{df}$
	中等	$1.5H_D < H \leq 2H_D$ 或 $H_a < H_{1f} \leq 2H_a$	$1.5H_D < H \leq 3H_D$ 或 $1.5H_a < H_{1f} \leq 3H_a$	$1.5H_{df} < H_{dL} \leq 3H_{df}$
	大	$1.5H_D \geq H$ 或 $H_a \geq H_{1f}$	$1.5H_D \geq H$ 或 $H_a \geq 1.5H_{1f}$	$H_{dL} \leq 1.5H_{df}$
采空区有毒有害气体	小	采空区不含有毒有害气体或含量低，不影响施工安全		
	中等	采空区含有毒有害气体，但隧道底板与采空区之间存在一定的隔气层，隧道底板透气可能性小		
	大	采空区含有毒有害气体，且存在隧道底板透气可能		
轨道工程施工	小	采空区顶板覆岩破坏不影响隧道围岩质量及其支护工程施工与质量，隧道施工的震动、注浆(水)等不影响采空区的稳定性		
	中等	采空区顶板覆岩破坏不影响隧道围岩质量，但对隧道围岩支护工程施工与质量有轻微影响，隧道施工的震动、注浆(水)等不影响采空区的稳定性		
	大	采空区顶板覆岩破坏不影响隧道围岩质量，但对隧道围岩支护工程施工与质量有影响，隧道施工的震动、注浆(水)等影响采空区的稳定性		
注1: $H(m)$ -采空区深度，指巷道（采空区）等的埋藏深度，对于条带式开采和穿巷开采指垮落拱顶的埋藏深度； $H_D(m)$ -荷载临界影响深度，是从地面至基础底面(桩基础是指桩端)以下荷载影响范围的深度。 注2: H_a -附加应力影响深度； H_{1f} -垮落断裂带深度，指采空区垮落断裂带的埋藏深度， $H_{1f} = \text{采空区采深}H - \text{垮落断裂带高度}H_{if}$ ，宜通过钻探及其岩芯描述并辅以测井资料确定；当无实测资料时，也可根据采厚、覆岩性质及岩层倾角等按本规范附录I计算确定。 注3: $H_{dL}(m)$ -隧道或地下暗挖车站松动圈与采空区顶板垮落裂隙带之间的距离； $H_{df}(m)$ -采空区底板破坏深度，按本规范附录I确定。				

附录 I
(规范性)

采空区垮落带、断裂带高度及底板破坏深度计算方法

1.1 当矿层倾角 $\alpha < 55^\circ$ 时，采空区垮落带及断裂带高度计算，应符合下列规定：

- a) 当矿层顶板覆岩内存在坚硬岩层，矿层回采后能形成悬顶，而开采空间及垮落岩层本身的空间只能由碎胀的岩石填满时，垮落带最大高度可按下列公式计算：

$$H_m = \frac{M}{(k-1)\cos\alpha} \dots\dots\dots (I. 1-1)$$

式中：

k —垮落岩石的碎胀系

- b) 当矿层顶板为硬质岩、软质岩层或其互层时，开采空间和垮落岩层本身的空间可由顶板的下沉和垮落岩石的碎胀填满，开采单一矿层时垮落带的最大高度可按下列公式计算：

$$H_m = \frac{M-W}{(k-1)\cos\alpha} \dots\dots\dots (I. 1-2)$$

- c) 当矿层顶板为硬质岩、软质岩层或其互层时，厚层矿分层开采的垮落带最大高度，可按表 I. 1 中的公式计算。

表 I. 1 厚矿层分层开采的垮落带最大高度计算公式

饱和单轴抗压强度 f_r (MPa) 及主要岩石名称	计算公式 (m)
$40 \leq f_r < 80$, 石英砂岩、石灰岩、砂质页岩、砾岩	$H_m = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5$
$20 \leq f_r < 40$, 砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩	$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2$
$10 \leq f_r < 20$, 泥岩、泥质砂岩	$H_m = \frac{100 \sum M}{6.2 \sum M + 19} \pm 1.5$
$f_r < 10$, 铝土岩、风化泥岩、黏土、含砂黏性土	$H_m = \frac{100 \sum M}{7.0 \sum M + 63} \pm 1.2$
注： $\sum M$ 为累计开采厚度；公式应用范围为单层开采厚度不超过3m，累计采厚不超过15m；计算公式中“ \pm ”号项为中误差。	

表 I. 2 厚矿层分层开采的垮落断裂带最大高度计算公式

饱和单轴抗压强度 f_r (MPa)	计算公式之一 (m)	计算公式之二 (m)
$40 \leq f_r < 80$	$H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.2 \sum M + 2.0} \pm 8.9$	$H_{li} = 30\sqrt{\sum M} + 10$
$20 \leq f_r < 40$	$H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6$	$H_{li} = 20\sqrt{\sum M} + 10$
$10 \leq f_r < 20$	$H_{li} = \frac{100 \sum M}{3.1 \sum M + 5.0} \pm 4.0$	$H_{li} = 10\sqrt{\sum M} + 5$
$f_r < 10$	$H_{li} = \frac{100 \sum M}{5.0 \sum M + 8.0} \pm 3.0$	—

- d) 当矿层顶板为硬岩、软岩或其互层时，厚矿层分层开采的垮落断裂带最大高度 (H_{li})，可按表 I. 2 中的公式计算。

1.2 当矿层倾角 $\alpha \geq 55^\circ$ ，矿层顶板、底板为硬质岩、软质岩层，用垮落法开采时，采空区垮落带和垮落断裂带最大高度 (H_m 、 H_{li})，可按表 I. 3 中的公式计算。

表 1.3 急倾斜矿层开采垮落带和垮落断裂带最大高度计算公式

饱和单轴抗压强度 f_r (MPa)	垮落带高度 (m)	垮落断裂带高度 (m)
$40 \leq f_r < 80$	$H_m = (0.4 \sim 0.5)H_{li}$	$H_{li} = \frac{100Mh_c}{4.1h_c + 133} \pm 8.4$
$f_r < 40$	$H_m = (0.4 \sim 0.5)H_{li}$	$H_{li} = \frac{100Mh_c}{7.5h_c + 293} \pm 7.3$
注：式中 h_c 为开采阶段垂高。		

1.3 近距离矿层垮落带和垮落断裂带高度计算（图 1.3），应符合下列规定：

- a) 上、下矿层的最小垂距 大于回采下层矿的垮落带高度 时，上、下层矿的垮落断裂带最大高度，可按上、下层矿的厚度分别按表 1.2 中的公式计算，并应取其中标高最高者作为两层矿的垮落断裂带最大高度。

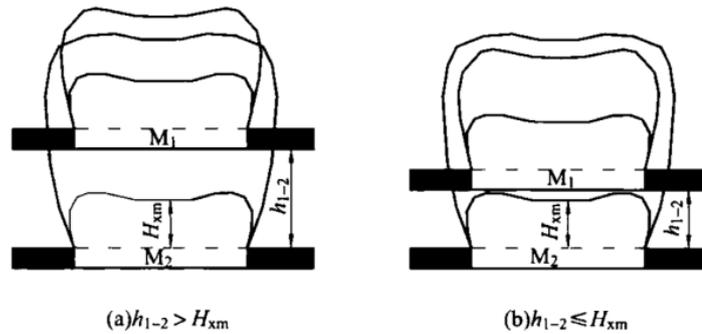


图 1.3 近距离矿层垮落断裂带高度计算示意

- b) 下层矿的垮落带接触到或完全进入上层矿范围内时，上层矿的垮落断裂带最大高度应采用本层矿的开采厚度计算，下层矿的垮落断裂带最大高度应采用上、下层矿的综合开采厚度计算，并应取其中标高最高者为两层矿的垮落断裂带最大高度。上、下层矿的综合开采厚度可按下式计算：

$$M_{Z1-2} = M_2 + \left(M_1 - \frac{h_{1-2}}{y_2} \right) \quad (\text{I. 3-1})$$

式中：

M_1 —上层矿开采厚度 (m)；

M_2 —下层矿开采厚度 (m)；

h_{1-2} —上、下层矿之间的法向距离 (m)；

y_2 —下层矿的垮落带高度与采厚之比。

- c) 上下层矿之间的距离很小时，综合开采厚度可按下式计算：

$$M_{Z1-2} = M_1 + M_2 \quad (\text{I. 3-2})$$

1.4 煤层开采底板破坏深度确定宜以实测资料为准，如无实测资料时可按以下经验公式计算确定：

$$H_{df} = 0.0085H + 0.1665\alpha + 0.1079L - 4.3579 \quad (\text{I. 4-1})$$

式中：

H —开采深度，取工作面平均深度 (m)；

α —地层倾角，取工作面平均地层倾角；

L —工作面斜长 (m)；

附 录 J
(规范性)
抽水试验技术要求

- J.1 抽水试验类型按抽水孔与观测孔的数量可分为单孔抽水、多孔抽水（1孔抽水、多孔观测）、群孔抽水（多孔抽水、观测）；按含水层的厚度和数量可分为分层抽水和混合抽水；抽水孔滤水管长度与含水层厚度的比值可分完整井抽水和非完整井。抽水方法可分为稳定流抽水试验和非稳定流抽水试验。
- J.2 抽水孔的布置应根据工程特点、地质与水文地质条件、设计和施工要求等因素确定。对多层含水层，需分层研究时，应进行分层抽水试验。
- J.3 观测线的布置应根据试验目的和计算公式的要求确定，并宜符合下列要求：
- a) 均质松散含水层中的多孔试验，宜布置一条观测线，其方向应垂直地下水流向；当含水层中地下水水力坡降较大时，可布置两条观测线，其方向应一条垂直地下水流向，另一条平行地下水流向。
 - b) 在非均质各向异性的松散含水层中的多孔试验，应布置两条观测线，其中一条应沿渗透性最大方向布置，另一条应与前一条相垂直。
 - c) 裂隙岩体或岩溶岩体的多孔试验，应布置两条观测线，其中一条应沿构造发育方向或强透水方向布置，另一条应与前一条垂直。当岩体各向异性突出、水文地质条件复杂时，宜在各主要渗透方向上均布置观测线。
- J.4 松散含水层中的多孔试验，每条观测线上的观测孔宜为3个；承压含水层中抽水还应考虑在上、下弱透水和上、下越流补给含水层中布置观测孔。裂隙岩体或岩溶岩体中，每条观测线上的观测孔宜为2~5个。
- J.5 观测孔至抽水孔的距离应符合下列规定：
- a) 当抽水孔为完整井时，第一个观测孔距抽水孔距离宜为2m~3m，第二、第三个观测孔距抽水孔距离宜分别为含水层厚度的1倍~1.5倍和2倍~3倍；
 - b) 当抽水孔为非完整井时，应根据抽水孔类型及拟选公式的要求确定；
 - c) 最远观测孔孔距不宜太大，应能保证该观测孔内有一定降深；
 - d) 裂隙岩体或岩溶岩体中多孔抽水观测孔至抽水孔的距离，宜根据场区的地质结构、地质构造、地下水分布、含水层透水性和富水性确定。
- J.6 松散含水层抽水孔中的过滤器外壁应设置测压管，其有眼部分长度应与抽水孔过滤器一致。
- J.7 多孔试验可在与试验含水层或相邻含水层中布置观测分层水位的观测孔，其过滤器部分的长度和深度，可根据实际情况确定。
- J.8 试验过程中，应对附近可能受到影响的孔、洞和泉、地表水体等同步进行水位或流量观测。
- J.9 稳定流抽水试验时，应符合下列规定：
- a) 水位下降的次数应根据试验目的确定，一般宜进行3次，最大水位降深应接近设计动水位，其余二次宜分别为最大降深的1/3和2/3，每次水位降深宜大于1.0m，以在抽水孔测压管内测得的水位下降值为准。当抽水孔出水量很小，试验时的出水量已达到抽水孔极限出水能力时，水位下降次数可适当减少。
 - b) 抽水试验的稳定标准应符合在抽水稳定延续时间内，抽水孔出水量和动水位与时间关系只在一定的范围内波动，且没有持续上升或下降的趋势。当有观测孔时，应以最远观测孔的动水位判定。在判定动水位有无上升或下降趋势时，应考虑自然水位的影响。
 - c) 试验时抽水开始后的第5min、10min、15min、20min、30min、40min、50min、60min，宜各观测一次动水位和出水量，以后每隔30min观测一次。
 - d) 抽水试验结束后，应立即量测地下水恢复水位，抽水孔和观测孔同步进行。一般地区观测时间宜在抽水结束后第1min、3min、5min、10min、15min、20min、30min各测1次，以后每隔30min各测1次至水位稳定。

- e) 动水位稳定标准应符合下列要求:
- 1) 采用地面离心泵和潜水电泵抽水时, 抽水孔的水位波动值不应大于 3cm; 观测孔的水位波动值不应大于 1cm。
 - 2) 采用空压机抽水时, 抽水孔的水位波动值不应大于 10cm; 观测孔的水位波动值不应大于 1cm。
- f) 试验中的每次降深稳定延续时间应符合下列规定:
- 1) 单孔抽水试验稳定延续时间不应少于 4h; 多孔试验稳定延续时间不应少于 8h, 并应以最远观测孔的动水位波动情况确定。
 - 2) 弱透水性地层抽水, 宜适当延长稳定延续时间。
- g) 在抽水稳定延续时间内, 出水量稳定标准应符合下列规定:
- 1) 实测出水量最大值与最小值之差小于平均出水量的 5%。
 - 2) 出水量无持续增大或变小的趋势。

J. 10 非稳定流抽水试验应符合下列规定:

- a) 试验中应控制抽水孔出水量, 使之保持常量, 其稳定标准应符合本规范 J. 1. 9 条第 7 款规定。
- b) 抽水试验延续时间应根据降深与时间 $[s(\Delta h^2) - lgt]$ 关系曲线确定, 并应符合下列要求:
 - 1) $s(\Delta h^2) - lgt$ 关系曲线呈直线状, 其水平投影在 lgt 轴上的数值不少于两个对数周期。
 - 2) 当 $s(\Delta h^2) - lgt$ 关系曲线有拐点时, 则宜延续至拐点后出现水平线的最初时刻。
- c) 抽水试验时, 出水量和动水位的观测时间, 宜在抽水开始后第 1min、2min、3min、4min、6min、8min、10min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、80min、100min、120min 各观测 1 次, 以后每隔 30min 观测一次, 直至结束。

J. 11 抽水试验资料的综合整理应符合下列要求:

- a) 抽水试验过程中, 应在现场绘制出水量、降深与时间的关系曲线:
 - 1) 稳定流抽水: $Q \cdot s - t$ 过程曲线、 $Q - f(s)$ 关系曲线、抽水孔与观测孔水位下降历时曲线;
 - 2) 非稳定流抽水: $s - t$ 过程曲线、 $s - lgt$ 关系曲线(水位下降—时间对数过程曲线)、 $s - lgr$ 关系曲线(观测孔水位下降—主孔距离对数关系曲线)。
- b) 室内资料整理主要有抽水试验平面布置图、剖面图、井孔结构图、抽水试验综合成果表、水文地质参数计算, 编写抽水试验报告。
 - 1) 水文地质参数的计算, 应在分析工程场区水文地质条件的基础上, 合理地选用公式。当根据观测孔资料, 采用本附录潜水含水层多孔抽水试验公式计算渗透系数时, 其适用范围应限制在抽水孔水位下降漏斗坡度小于 1/4 处。
 - 2) 根据单孔(多孔)稳定流完整井抽水试验资料计算渗透系数时, 可采用下列方法:

J. 12 水文地质参数的计算, 应在分析工程场区水文地质条件的基础上, 合理地选用公式。当根据观测孔资料, 采用本附录潜水含水层多孔抽水试验公式计算渗透系数时, 其适用范围应限制在抽水孔水位下降漏斗坡度小于 1/4 处。

J. 13 根据单孔(多孔)稳定流完整井抽水试验资料计算渗透系数时, 可采用下列方法:

- a) 单孔稳定流完整井抽水试验, 当利用抽水孔的水位下降资料计算渗透系数时, 若 $Q - s$ (或 $Q - \Delta h^2$) 关系曲线呈直线, 可按下列公式计算:

$$\text{潜水} \quad K = \frac{0.732Q(\lg R - \lg r)}{(2H - s)s} \dots\dots\dots (J. 13-1)$$

$$\text{承压水} \quad K = \frac{0.366Q(\lg R - \lg r)}{M_s} \dots\dots\dots (J. 13-2)$$

式中:

K ——渗透系数 (m/d);

Q ——出水量 (m^3/d);

- s ——抽水孔水位下降值 (m) ;
 H ——自然情况下潜水含水层的厚度 (m) ;
 M ——承压水含水层的厚度 (m) ;
 r ——抽水孔过滤器的半径 (m) ;
 R ——影响半径 (m) 。

b) 多孔稳定流完整井抽水试验, 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 s (或 Δh^2) 值在 s (或 Δh^2) — $\lg r$ 关系曲线上能连成直线, 可按下列公式计算:

$$\text{潜水 (一个观测孔)} \quad K = \frac{0.732Q(\lg r_1 - \lg r)}{(2H - s - s_1)(s - s_1)} \dots\dots\dots (\text{J. 13-3})$$

$$\text{潜水 (两个观测孔)} \quad K = \frac{0.732Q(\lg r_2 - \lg r_1)}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \dots\dots\dots (\text{J. 13-4})$$

$$\text{承压水 (一个观测孔)} \quad K = \frac{0.366Q(\lg r_1 - \lg r)}{M(s - s_1)} \dots\dots\dots (\text{J. 13-5})$$

$$\text{承压水 (两个观测孔)} \quad K = \frac{0.366Q(\lg r_2 - \lg r_1)}{M(s_1 - s_2)} \dots\dots\dots (\text{J. 13-6})$$

式中:

- r_1 、 r_2 ——观测孔至抽水孔中心的距离 (m) ;
 s_1 、 s_2 ——分别为两个观测孔的水位下降值 (m) 。

J. 14 根据其它类型抽水试验资料或利用恢复水位资料计算渗透系数等水文地质参数时, 可按《供水水文地质勘察规范》(GB 50027) 和《水利水电工程钻孔抽水试验规程》(SL 320) 的有关规定执行。

附录 K
(规范性)
压水试验技术要求

K.1 压水试验应符合下列基本规定:

- a) 压水试验一般随钻孔的加深自上而下采用单栓塞分段隔离进行。对于岩体完整、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。
- b) 试段长度宜为 5m。含断层破碎带、裂隙密集带、溶蚀带等强透水带的孔段，应根据具体情况确定试段长度。同一试段不应跨越透水性相差悬殊的两种岩层。相邻试段应互相衔接，可少量重叠，但不应漏段。
- c) 单栓塞试验时，残留岩芯可计入试段长度之内，但其长度不宜超过 0.2m。
- d) 压水试验宜按三级压力五个阶段进行，即按 P1—P2—P3—P4 (=P2)—P5 (=P1) 进行，其中 P1<P2<P3。P1、P2、P3 三级压力宜分别为 0.3MPa、0.6MPa 和 1MPa。
- e) 当试段位于基岩面以下较浅或岩体软弱时，应适当降低压水试验压力。
- f) 试段压力的确定方法如下：

- 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 K.1-1 计算：

$$P = P_p + P_z \dots\dots\dots (K.1-1)$$

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 K.1-2 计算：

$$P = P_p + P_z - P_s \dots\dots\dots (K.1-2)$$

式中：

P_s ——管路压力损失 (MPa)；其余符号同式 K.1-1。

- g) 7 压力计算零线的确定方法如下：

- 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。

- h) 8 管路压力损失的确定方法如下：

- 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 K.1-3 计算：

$$P_s = \lambda \frac{L_p v^2}{d 2g} \dots\dots\dots (K.1-3)$$

式中：

- λ ——摩擦系数， $\lambda=2 \times 10^{-4} \text{MPa/m} \sim 4 \times 10^{-4} \text{MPa/m}$ ；
 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，管路压力损失应根据实测资料确定。实测方法可按现行国家行业标准《水利水电工程钻孔压水试验规程》（SL 31）的有关规定执行。

K.2 压水试验钻孔应符合下列要求：

- a) 压水试验钻孔的孔径宜为 59mm~150mm。
- b) 压水试验钻孔宜采用金钢石或合金钻进，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。试验钻孔的套管脚止水必须可靠。
- c) 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。

K.3 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。

K.4 止水栓塞长度不小于 8 倍钻孔直径，止水可靠、操作方便。

K.5 根据具体条件可选择不同类型的栓塞。气压式、水压式栓塞止水的可靠性较好，宜优先选用。

K.6 试验用的水泵应达到 1MPa 压力下流量不小于 100L/min，压力稳定，出水均匀，工作可靠。水泵出口应安装容积大于 5L 的稳压空气室。

K.7 吸水龙头上应设置 1 层~2 层孔径小于 2mm 的过滤网。吸水龙头至水池底部的距离不小于 0.3m。供水调节阀门应灵活可靠，不漏水，且不宜与钻进共用。

K.8 压力表应反应灵敏，卸压后指针回零，压力表的工作压力应保持在极限压力值的 1/3~3/4 范围内。压力传感器的压力范围应大于试验压力。

K.9 流量计应能在 1.5MPa 压力下正常工作，量测范围应与供水设备的排水量相匹配，并能测定正向和反向流量。

K.10 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。

K.11 宜采用能自动测量压力和流量的记录仪进行压水试验。

K.12 试验用的仪表应专门保管，不得与钻进共用，并定期进行检定。

K.13 现场试验工作包括试验准备、洗孔、下置栓塞隔离试段、水位观测、试验性压水、压力和流量观测等步骤。

K.14 试验前应对各种设备、仪表的性能和工作状态进行检查，发现问题立即处理。

K.15 洗孔应采用压水法，洗孔钻具应下到孔底，流量应达到水泵的最大排水量。洗孔至孔口回水清洁时即可结束。当孔口无回水时，洗孔时间不得少于 15min。

K.16 下栓塞前应对压水试验工作管进行检查，不得有破裂、弯曲、堵塞等现象。接头处应可靠密封，不得有渗漏。

K.17 栓塞定位要准确，并宜安设在岩石较完整的部位。采用气压式或水压式栓塞时，充气（水）压力应大于最大试验压力（ P_3 ）0.2MPa~0.3MPa，在试验过程中充气（水）压力应保持不变。

K.18 试验前应先观测孔内水位，试段隔离后，再观测工作管内水位。水位观测每隔 5min 进行一次。当水位下降速度连续两次均小于 5cm/min，观测工作即可结束，用最后的观测结果确定压力计算零线。

K.19 水位观测过程中如发现承压水时，观测时间应延长至水位稳定。当承压水位高于孔口时，应进行承压水水头观测和涌水量观测。

K.20 试验性压水压力应采用设计的最大压力值，延续时间宜为 15min。在试验性压水过程中，应观测孔内水位变化情况，检查栓塞止水是否可靠、管路是否畅通、仪表工作及机械运行是否正常等。

K.21 当栓塞隔离无效时，应分析原因，采取移动栓塞、起塞检查、更换栓塞或灌制混凝土塞位等措施加以处理。移动栓塞时只能向上移，其范围不应超过上一次试验的塞位。灌制混凝土塞位的方法可参照现行国家行业标准《水利水电工程钻孔压水试验规程》（SL 31）。

- K. 22 试验性压水成功后，方可进行该试段正式压水试验。
- K. 23 打开排气阀，向试段送水，应充分排气，排气阀连续出水后，将其关闭。调整调节阀，使试验压力达到预定值并保持稳定后，方可进行流量观测。
- K. 24 流量观测工作应每隔 1min~2min 进行一次。当流量无持续增大趋势，且五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。
- K. 25 将试验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。
- K. 26 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，流量达到本附录 K. 24 规定的要求后方可结束本阶段试验。
- K. 27 在试验过程中，应对受影响的井、洞、孔、泉等进行水位或流量观测。
- K. 28 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。
- K. 29 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 曲线类型和计算试段透水率等。P—Q 曲线类型划分可参照现行国家行业标准《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL 31)。
- K. 30 试段透水率采用最大压力阶段（第三阶段）的压力值（ P_3 ）和流量值（ Q_3 ）按式 (K. 30) 计算

$$q = \frac{Q_3}{LP_3} \dots\dots\dots (K. 30)$$

式中：

- q ——试段的透水率 (L_u)；
- L ——试段长度(m)；
- Q_3 ——第三阶段的压入流量 (L/min)；
- P_3 ——第三阶段的试段压力(MPa)。
- 试段透水率取两位有效数字。

K. 30.1 每个试段的试验成果，应采用试段透水率和 P—Q 曲线的类型代号（加括号）表示，如 0.23 (A)、12 (B)、8.5 (D) 等。

K. 30.2 当需要根据压水试验成果计算岩体渗透系数时，按下列要求进行。

- a) 当试段位于地下水位以下，透水性较小 ($q < 10L_u$)、P—Q 曲线为 A(层流)型时，可按式 (K. 32) 计算岩体渗透系数：

$$K = \frac{Q}{2\pi HL} \ln \frac{L}{r_0} \dots\dots\dots (K. 32)$$

式中：

- K ——岩体渗透系数 (m/d)；
- Q ——压入流量 (m^3/d)；
- H ——试验水头(m)；
- r_0 ——钻孔半径(m)；

b) 当试段位于地下水位以下，透水性较小、P—Q 曲线为 B(紊流)型时，可用第一阶段的压力 P_1 (换算成水头值，以米计)和流量 Q_1 代入式 (K.32) 近似地计算渗透系数。

c) 当透水性较大时，宜采用其他水文地质试验方法测定岩体渗透系数。

附录 L
(规范性) 工程物探方法的适用范围

L.1 工程物探方法及适用范围可按表 L.1 选择

表 L.1 工程物探方法的适用范围

应用范围 探测范围		覆盖层、风化带及基岩面的起伏形态探测	隐伏断层、破碎带及裂隙密集带探测	第四系砂砾石层及软土层探测	滑坡、洞穴、岩溶探测	地下水探测	地下管线地下工程、古墓及其他埋藏物探测	
直流电法	电测深法	○	○	●	○	●	○	
	电剖面法	○	●	○	●	○	○	
	高密度电阻率法	●	●	●	●	●	●	
	自然电场法					●	○	
	充电法		○		○	●	○	
	激发极化法		○	●	○	●	○	
电磁法	音频大地电场法		●		●	●	○	
	甚低频电磁法		○		●	●	●	
	电磁剖面法	○	●	○	●	○	●	
	可控音频大地电磁法	○	●	○	○	○	○	
	瞬变电磁法	○	●	○	●	○	○	
	探地雷达	●	●	●	●	○	●	
	地面核磁共振法					●		
	浅层地震	透射波法		○		○		○
		折射波法	●		○	○	○	
		反射波法	●	●	●	●	○	●
瑞雷波法		●		●	●		○	
天然放射性测量法			●	○	●	●	○	
高精度重力法		○	○		○		○	
井中探测法	电测井	○		○	○	○		
	声波测井	○	○	○	○			
	放射性测井	○			○			
	电磁波(雷达)测井	○	○	○	●	○	○	
	钻孔电视	○	○	○	○	○	○	
	超声成像测井	○		○				
	地震波测井	○		○	○		○	
井间层析成像		○	●	○	●		○	

注：●推荐方法；○可选方法。

L.2 采空区工程物探方法及适用范围可按表 L.2 选择。

表 L.2 采空区地球物理勘探方法及应用范围

方法名称		成果形式	适用条件	有效深度 (m)	干扰及缺陷	
地面物探	电法勘探	高密度电阻率法	平、剖面	任何地层及产状，其上方没有极高阻或极低阻的屏蔽层；地形平缓，覆盖层薄。	≤ 200	高压电线、地下管线、游散电流、电磁干扰
		电剖面法	平、剖面	被测岩层有足够厚度，岩层倾角小于 20° ；相邻层电性差异显著，水平方向电性稳定；地形平缓	≤ 500	
		充电法	平面	充电体相对围岩应是良导体，要有一定规模，且埋深不大	≤ 200	
	电磁法	瞬变电磁法	平、剖面	被测目标相对规模较大，且相对围岩呈低阻；其上方没有极低阻屏蔽层	50~600	
		可控源音频大地电磁法		被测目标有足够厚度及显著的电性差异，电磁噪音比较平静；地形开阔、起伏平缓	500~1000	
		探地雷达	剖面	被测目标与周围介质有一定电性差异，且埋深不大或基岩裸露区	地面一般 ≤ 30 等效钻孔深度	
	地震法	折射波法	平、剖面	折射波法适用于被测目标的波速大于上覆地层波速；	深部采空区探测	黄土覆盖层较厚、古河道砾石、浅水面埋深大的区域
		反射波法	平、剖面	反射波法要求地层具有一定波阻抗差异，采空区面积较大	100~1000	
		瑞雷波法	平、剖面	覆盖层较薄，采空区埋深浅，地表平坦、无积水	≤ 40	
		地震映像	剖面	覆盖层较薄，采空区埋深浅	≤ 150	
	重力法	微重力勘探	平面	地形平坦，无植被，透视条件好	≤ 100	地形、地物
	放射法	放射性勘探	平、剖面	探测对象要具有放射性		
	井内(间)物探	井地 CT 层析成像 (弹性波、电阻率、电磁波、声波)	平、剖面	井况良好、井径合理，激发与接受配合良好	2/3 等效钻孔深度	游散电流、电磁干扰
		测井(电、声波、反射性)	剖面	在无套管、有井液的孔段进行	等效钻孔深度	
井间 CT 层析成像 (弹性波、电阻率、电磁波、声波)		剖面	井况良好、井径合理，激发与接受配合良好			
孔内电视摄像		视频图像	在无套管的干孔和清水钻孔中进行	等效钻孔深度		井液污浊干扰
孔内光学成像		柱状				
孔内超声波成像		柱状				

附 录 M
(规范性)
静止侧压力系数、基床系数经验值
表 M.1 土的静止侧压力系数经验值

土的种类和状态		静止侧压力系数 k_0
碎石土		0.18~0.33
砂土		0.35~0.55
粉土		0.36~0.60
粉质黏土	坚硬	0.30~0.40
	硬-可塑	0.40~0.55
	软-流塑	0.55~0.75
黏土	坚硬	0.30~0.40
	硬-可塑	0.40~0.60
	软-流塑	0.60~0.80

表 M.2 基床系数经验值

岩土类别		状态/密实度	基床系数 K (MPa/m)	
			水平基床系数 K_h	垂直基床系数 K_v
新近沉积土	黏性土	软塑	10~20	5~15
		可塑	12~30	10~25
	粉土	稍密	10~20	12~18
		中密	15~25	10~25
软土(软黏性土、软粉土、淤泥、淤泥质土、泥炭和泥炭质土等)		—	1~12	1~10
黏性土		流塑	3~15	4~10
		软塑	10~25	8~22
		可塑	20~45	20~45
		硬塑	30~65	30~70
		坚硬	60~100	55~90
粉土		稍密	10~25	11~20
		中密	15~40	15~35
		密实	20~70	25~70
砂类土		松散	3~15	5~15
		稍密	10~30	12~30
		中密	20~45	20~40
		密实	25~60	25~65
圆砾、角砾		稍密	15~40	15~40
		中密	25~55	25~60
		密实	55~90	60~80
卵石、碎石		稍密	17~50	20~60
		中密	25~85	35~100
		密实	50~120	50~120
新黄土		可塑、硬塑	30~50	30~60
老黄土		可塑、硬塑	40~70	40~80
软质岩石		全风化	35~39	41~45
		强风化	135~160	160~180
		中等风化	200	220~250
硬质岩石		强风化或中等风化	200~1000	
		未风化	1000~15000	

注：基床系数宜采用 K_{30} 试验结合原位测试和室内试验以及当地经验综合确定。

附录 N
(规范性)
工法、工点勘察岩土参数选择

N.1 明挖法勘察所提供的岩土参数可从表 N.1 中选用。

表 N.1 明挖法勘察岩土参数选择表

类别	参数	类别	参数
地下水及水土腐蚀性	1. 地下水位、水量; 2. 渗透系数; 3. 水与土的化学成分	物理性质	1. 含水量、密度、孔隙比; 2. 液限、塑限; 3. 颗粒级配、黏粒含量; 4. 围岩的纵、横波速度 5. 热物理指标 6. 车站土层电阻率
力学性质	1. 无侧限抗压强度; 2. 十字板剪切强度 3. 黏聚力、内摩擦角 4. 土体的压缩模量、压缩系数 5. 回弹及回弹再压缩模量 6. 弹性模量 7. 静止侧压力系数 8. 水平基床系数 9. 岩石单轴抗压强度 10. 岩石质量指标 (RQD) 11. 水平抗力系数的比例系数 12. 岩土体与锚固体粘结强度 13. 桩基设计参数		有害气体

N.2 矿山法勘察所提供的岩土参数可从表 N.2 中选用。

表 N.2 矿山法勘察岩土参数选择表

类别	参数	类别	参数
地下水及水土腐蚀性	1. 地下水位、水量; 2. 渗透系数; 3. 水与土的化学成分	物理性质	1. 含水量、密度、孔隙比; 2. 液限、塑限; 3. 颗粒级配、黏粒含量; 4. 围岩的纵、横波速度
力学性质	1. 无侧限抗压强度; 2. 抗拉强度; 3. 黏聚力、内摩擦角; 4. 岩体的弹性模量; 5. 土体的变形模量及压缩模量; 6. 泊松比; 7. 标准贯入击数; 8. 静止侧压力系数; 9. 基床系数; 10. 岩石质量指标 (RQD)	矿物组成及工程特性	1. 矿物组成; 2. 浸水崩解度; 3. 吸水率、膨胀率; 4. 热物理指标
		有害气体	1. 有害气体成分、压力、含量

N.3 盾构法勘察所提供的岩土参数可从表 N.3 中选用。

表 N.3 盾构法勘察岩土参数选择表

类别	参数	类别	参数
地下水及水土腐蚀性	1. 地下水位; 2. 孔隙水压力; 3. 渗透系数 4. 水与土的化学成分	物理性质	1. 比重、含水量、密度、孔隙比; 2. 含砾石量、含砂量、含粉砂量、含黏土量; 3. d ₁₀ 、d ₅₀ 、d ₆₀ 及不均匀系数 d ₆₀ /d ₁₀ ; 4. 砾石中的石英、长石等硬质矿物含量; 5. 最大粒径、砾石形状、尺寸及硬度; 6. 颗粒级配; 7. 液限、塑限; 8. 灵敏度; 9. 围岩的纵、横波速度; 10. 岩石岩矿组成及硬质矿物含量
力学性质	1. 无侧限抗压强度 2. 黏聚力、内摩擦角 3. 压缩模量、压缩系数 4. 泊松比 5. 静止侧压力系数 6. 标准贯入击数 7. 基床系数 8. 岩石质量指标 (RQD) 9. 岩石天然湿度抗压强度		有害气体
注: 顶管法通道岩土参数参照盾构法执行。			

N.4 地面线路、车辆基地勘察需所提供的岩土参数可从表 N.4 中选用。

表 N.4 地面线路、车辆基地勘察岩土参数选择表

类别	参数	类别	参数
地下水及水土腐蚀性	1. 地下水位; 2. 渗透系数 3. 水与土的化学成分	物理性质	1. 含水率、密度、孔隙比、液限、塑限; 2. 颗粒分析; 3. 岩土体波速、岩块波速 4. 主变电站土层电阻率
力学性质	1. 无侧限抗压强度; 2. 三轴剪切试验; 3. 压缩模量、压缩系数、固结系数、先期固结压力; 4. 基床系数; 5. 静止侧压力系数; 6. 岩石质量指标 (RQD); 7. 岩石单轴抗压强度、弹性模量、软化系数		

N.5 高架线路勘察所提供的岩土参数可从表 N.5 中选用。

表 N.5 高架线路勘察岩土参数选择表

类别	参数	类别	参数
地下水及水土腐蚀性	1. 地下水位; 2. 渗透系数 3. 水与土的化学成分	物理性质	1. 含水率、密度、孔隙比、液限、塑限; 2. 颗粒分析; 3. 岩土体波速、岩块波速; 4. 车站土层电阻率
力学性质	1. 无侧限抗压强度; 2. 三轴剪切试验; 3. 压缩模量、压缩系数、先期固结压力; 4. 岩石质量指标 (RQD); 5. 岩石单轴抗压强度、弹性模量、泊松比、软化系数		

附 录 0
(规范性) 岩土热物理指标经验值

表 0.1 岩土热物理指标

岩土类别	含水量	密度	热物理指标		
	W (%)	ρ (g/cm ³)	比热容 C [KJ/kg·K]	导热系数 W [W/m·K]	导温系数 $\alpha \times 10^{-3}$ (m ² /h)
黏性土	$5 \leq w < 15$	1.9~2.00	0.82~1.35	0.25~1.25	0.55~1.65
	$15 \leq w < 25$	1.85~1.95	1.05~1.65	1.08~1.85	0.80~2.35
	$25 \leq w < 35$	1.75~1.85	1.25~1.85	1.15~1.95	0.95~2.55
	$35 \leq w < 45$	1.70~1.80	1.55~2.35	1.25~2.05	1.05~2.65
粉土	$w < 5$	1.55~1.85	0.92~1.25	0.28~1.05	1.05~2.05
	$5 \leq w < 15$	1.65~1.90	1.05~1.35	0.88~1.35	1.25~2.35
	$15 \leq w < 25$	1.75~2.00	1.35~1.65	1.15~1.85	1.45~2.55
	$25 \leq w < 35$	1.85~2.05	1.55~1.95	1.35~2.15	1.65~2.65
粉、细砂	$w < 5$	1.55~1.85	0.85~1.15	0.35~0.95	0.90~2.45
	$5 \leq w < 15$	1.65~1.95	1.05~1.45	0.55~1.45	1.10~2.55
	$15 \leq w < 25$	1.75~2.15	1.25~1.65	1.20~1.85	1.25~2.75
中砂、粗砂、砾砂	$w < 5$	1.65~2.30	0.85~1.05	0.45~1.05	0.90~2.85
	$5 \leq w < 15$	1.75~2.25	0.95~1.45	0.65~1.65	1.05~3.15
	$15 \leq w < 25$	1.85~2.35	1.15~1.75	1.35~2.25	1.90~3.35
圆砾、角砾	$w < 5$	1.85~2.25	0.95~1.25	0.65~1.15	1.35~3.35
	$5 \leq w < 15$	2.05~2.45	1.05~1.50	0.75~2.55	1.55~3.55
卵石、碎石	$w < 5$	1.95~2.35	1.00~1.35	0.75~1.25	1.35~3.45
	$5 \leq w < 10$	2.05~2.45	1.15~1.45	0.85~2.75	1.65~3.65
全风化软质岩	$5 \leq w < 15$	1.85~2.05	1.05~1.35	1.05~2.25	0.95~2.05
	$15 \leq w < 25$	1.90~2.15	1.15~1.45	1.20~2.45	1.15~2.85
全风化硬质岩	$10 \leq w < 15$	1.85~2.15	0.75~1.45	0.85~1.15	1.10~2.15
	$15 \leq w < 25$	1.90~2.25	0.85~1.65	0.95~2.15	1.25~3.00
强风化软质岩	$2 \leq w < 10$	2.05~2.40	0.57~1.55	1.00~1.75	1.30~3.50
强风化硬质岩	$2 \leq w < 10$	2.05~2.45	0.43~1.46	0.90~1.85	1.50~4.50
中风化软质岩	$w < 5$	2.25~2.45	0.85~1.15	1.65~2.45	1.60~4.00
中风化硬质岩	$w < 5$	2.25~2.55	0.75~1.25	1.85~2.75	1.60~5.50

T/XXX XXXX-XXXX

