

UPC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50307 – 2012

---

# 城市轨道交通岩土工程勘察规范

Code for geotechnical investigations of urban rail transit

2012 – 01 – 21 发布

2012 – 08 – 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

# 城市轨道交通岩土工程勘察规范

Code for geotechnical investigations of urban rail transit

**GB 50307 - 2012**

主编部门:北京市规划委员会

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期:2012年8月1日

中国计划出版社

2012 北 京

中华人民共和国国家标准  
城市轨道交通岩土工程勘察规范

GB 50307-2012

☆

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

北京世知印务有限公司印刷

---

850×1168 毫米 1/32 9 印张 227 千字

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—10100 册

☆

统一书号:1580177·870

定价:50.00 元

# 中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1269 号

## 关于发布国家标准 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》的公告

现批准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》为国家标准,编号为 GB 50307—2012,自 2012 年 8 月 1 日起实施。其中,第 7.2.3、7.3.6、7.4.5、10.3.2、11.1.1 条为强制性条文,必须严格执行。原《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》GB 50307—1999 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一二年一月二十一日



# 前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2007 年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》(建标〔2007〕125 号)的要求,由北京城建勘测设计研究院有限责任公司会同有关单位,在原国家标准《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》GB 50307—1999(以下简称:原规范)的基础上修订完成的。

本规范在修订过程中,编制组认真总结实践经验,重点修改的部分编写了专题报告,与正在实施和正在修订的有关国家标准进行了协调,经多次讨论,反复修改,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分为 19 章和 11 个附录,主要技术内容:总则,术语和符号,基本规定,岩土分类、描述与围岩分级,可行性研究勘察,初步勘察,详细勘察,施工勘察,工法勘察,地下水,不良地质作用,特殊性岩土,工程地质调查与测绘,勘探与取样,原位测试,岩土室内试验,工程周边环境专项调查,成果分析与勘察报告,现场检验与检测等。

本规范修订的主要内容是:

1. 修订了场地复杂程度等级划分标准,增加了工程周边环境风险等级及岩土工程勘察等级;
2. 增加了岩体完整程度分类和岩土基本质量等级,修订了围岩分级及岩土施工程等级;
3. 修订了各阶段的勘察要求并独立成章;
4. 修订了工法勘察要求,将原规范“明挖法勘察”和“暗挖法勘察”合并为“工法勘察”;
5. 增加了沉管法施工的勘察要求;

6.增加了“不良地质作用”章节；

7.增加了扁铲侧胀试验、岩体原位应力测试、现场直接剪切试验、地温测试；

8.增加了工程周边环境调查。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，北京市规划委员会负责日常管理，北京城建勘测设计研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中，请各单位认真总结经验，注意积累资料，如发现需要修改和补充之处，请将意见和建议寄至北京城建勘测设计研究院有限责任公司（地址：北京市朝阳区安慧里五区六号；邮政编码：100101），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司

参 编 单 位：北京城建设计研究总院有限责任公司

广州地铁设计研究院有限公司

西北综合勘察设计院

铁道第三勘察设计院集团有限公司

建设综合勘察研究设计院有限公司

上海岩土工程勘察设计院有限公司

北京市勘察设计院有限公司

中铁二院工程集团有限责任公司

中航勘察设计院有限公司

北京轨道交通建设管理有限公司

广州市地下铁道总公司

广东有色工程勘察设计院

主要起草人：金 淮 高文新 马雪梅 刘志强 刘永勤

许再良 张荣成 张 华 李书君 李静荣

杨俊峰 杨石飞 杨秀仁 沈小克 林在贯

周宏磊	竺维彬	罗富荣	赵平	徐张建
郭明田	顾宝和	顾国荣	彭友君	谢明
燕建龙	鞠世健			
主要审查人:施仲衡	张雁	翁鹿年	袁炳麟	万姜林
刁日明	王笃礼	史海鸥	冯永能	

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术语和符号 .....	( 2 )
2.1	术语 .....	( 2 )
2.2	符号 .....	( 3 )
3	基本规定 .....	( 5 )
4	岩土分类、描述与围岩分级 .....	( 8 )
4.1	岩石分类 .....	( 8 )
4.2	土的分类 .....	( 9 )
4.3	岩土的描述 .....	( 11 )
4.4	围岩分级与岩土施工工程分级 .....	( 14 )
5	可行性研究勘察 .....	( 15 )
5.1	一般规定 .....	( 15 )
5.2	目的与任务 .....	( 15 )
5.3	勘察要求 .....	( 16 )
6	初步勘察 .....	( 17 )
6.1	一般规定 .....	( 17 )
6.2	目的与任务 .....	( 17 )
6.3	地下工程 .....	( 18 )
6.4	高架工程 .....	( 19 )
6.5	路基、涵洞工程 .....	( 20 )
6.6	地面车站、车辆基地 .....	( 22 )
7	详细勘察 .....	( 23 )
7.1	一般规定 .....	( 23 )
7.2	目的与任务 .....	( 23 )

7.3	地下工程	(24)
7.4	高架工程	(28)
7.5	路基、涵洞工程	(30)
7.6	地面车站、车辆基地	(33)
8	施工勘察	(34)
9	工法勘察	(36)
9.1	一般规定	(36)
9.2	明挖法勘察	(36)
9.3	矿山法勘察	(38)
9.4	盾构法勘察	(40)
9.5	沉管法勘察	(41)
9.6	其他工法及辅助措施勘察	(42)
10	地下水	(44)
10.1	一般规定	(44)
10.2	地下水的勘察要求	(44)
10.3	水文地质参数的测定	(45)
10.4	地下水的作用	(47)
10.5	地下水控制	(48)
11	不良地质作用	(50)
11.1	一般规定	(50)
11.2	采空区	(50)
11.3	岩溶	(53)
11.4	地裂缝	(55)
11.5	地面沉降	(57)
11.6	有害气体	(59)
12	特殊性岩土	(61)
12.1	一般规定	(61)
12.2	填土	(61)
12.3	软土	(63)

12.4	湿陷性土 .....	(65)
12.5	膨胀岩土 .....	(68)
12.6	强风化岩、全风化岩与残积土 .....	(70)
13	工程地质调查与测绘 .....	(73)
13.1	一般规定 .....	(73)
13.2	工作方法 .....	(73)
13.3	工作范围 .....	(74)
13.4	工作内容 .....	(74)
13.5	工作成果 .....	(75)
14	勘探与取样 .....	(77)
14.1	一般规定 .....	(77)
14.2	钻探 .....	(77)
14.3	井探、槽探 .....	(79)
14.4	取样 .....	(80)
14.5	地球物理勘探 .....	(81)
15	原位测试 .....	(83)
15.1	一般规定 .....	(83)
15.2	标准贯入试验 .....	(83)
15.3	圆锥动力触探试验 .....	(84)
15.4	旁压试验 .....	(85)
15.5	静力触探试验 .....	(87)
15.6	载荷试验 .....	(88)
15.7	扁铲侧胀试验 .....	(91)
15.8	十字板剪切试验 .....	(92)
15.9	波速测试 .....	(93)
15.10	岩体原位应力测试 .....	(94)
15.11	现场直接剪切试验 .....	(95)
15.12	地温测试 .....	(97)
16	岩土室内试验 .....	(99)

16.1	一般规定 .....	(99)
16.2	土的物理性质试验 .....	(99)
16.3	土的力学性质试验 .....	(100)
16.4	岩石试验 .....	(101)
17	工程周边环境专项调查 .....	(102)
17.1	一般规定 .....	(102)
17.2	调查要求 .....	(102)
17.3	成果资料 .....	(103)
18	成果分析与勘察报告 .....	(105)
18.1	一般规定 .....	(105)
18.2	成果分析与评价 .....	(106)
18.3	勘察报告的内容 .....	(108)
19	现场检验与检测 .....	(110)
附录 A	岩石坚硬程度的定性划分 .....	(112)
附录 B	岩石按风化程度分类 .....	(113)
附录 C	岩体按结构类型分类 .....	(114)
附录 D	碎石土的密实度 .....	(116)
附录 E	隧道围岩分级 .....	(118)
附录 F	岩土施工工程分级 .....	(121)
附录 G	不同等级土试样的取样工具和方法 .....	(124)
附录 H	基床系数经验值 .....	(126)
附录 J	工法勘察岩土参数选择 .....	(128)
附录 K	岩土热物理指标经验值 .....	(130)
附录 L	常用图例 .....	(132)
	本规范用词说明 .....	(136)
	引用标准名录 .....	(137)
	附:条文说明 .....	(139)

# Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms and symbols .....	( 2 )
2.1	Terms .....	( 2 )
2.2	Symbols .....	( 3 )
3	Basic requirements .....	( 5 )
4	Classification & description of rock & soil and grading of surrounding rock .....	( 8 )
4.1	Classification of rock .....	( 8 )
4.2	Classification of soil .....	( 9 )
4.3	Description of rock and soil .....	( 11 )
4.4	Grading of surrounding rock and geotechnical construction engineering .....	( 14 )
5	Feasibility study investigation .....	( 15 )
5.1	General requirement .....	( 15 )
5.2	Purpose and task .....	( 15 )
5.3	Requirement of investigation .....	( 16 )
6	Preliminary investigation .....	( 17 )
6.1	General requirement .....	( 17 )
6.2	Purpose and task .....	( 17 )
6.3	Underground engineering .....	( 18 )
6.4	Viaduct project .....	( 19 )
6.5	Subgrade engineering and culvert engineering .....	( 20 )
6.6	Ground station, vehicle base .....	( 22 )
7	Detailed investigation .....	( 23 )



7.1	General requirement .....	(23)
7.2	Purpose and task .....	(23)
7.3	Underground engineering .....	(24)
7.4	Viaduct project .....	(28)
7.5	Subgrade engineering and culvert engineering .....	(30)
7.6	Ground station, vehicle base .....	(33)
8	Construction investigation .....	(34)
9	Geotechnical investigations for construction methods .....	(36)
9.1	General requirement .....	(36)
9.2	Cut and cover method .....	(36)
9.3	Mining method .....	(38)
9.4	Shield tunnelling method .....	(40)
9.5	Immersed tube method .....	(41)
9.6	Other methods and auxiliary measures .....	(42)
10	Underground water .....	(44)
10.1	General requirement .....	(44)
10.2	Investigation requirements of underground water .....	(44)
10.3	Mensurement of hydro - geological parameters .....	(45)
10.4	Action of underground water .....	(47)
10.5	Control of underground water .....	(48)
11	Adverse geological actions .....	(50)
11.1	General requirement .....	(50)
11.2	Goaf .....	(50)
11.3	Karst .....	(53)
11.4	Ground fissure .....	(55)
11.5	Ground subsidence .....	(57)
11.6	Harmful gas .....	(59)
12	Special rock & soil .....	(61)

12.1	General requirement .....	(61)
12.2	Fill .....	(61)
12.3	Soft soil .....	(63)
12.4	Collapsible soil .....	(65)
12.5	Expansive rock & soil .....	(68)
12.6	Highly weathered and fully weathered & residual soil .....	(70)
13	Engineering geological investigation and mapping ...	(73)
13.1	General requirement .....	(73)
13.2	Working methods .....	(73)
13.3	Working range .....	(74)
13.4	Working contents .....	(74)
13.5	Working achievement .....	(75)
14	Exploration and sampling .....	(77)
14.1	General requirement .....	(77)
14.2	Drilling .....	(77)
14.3	Well and trench .....	(79)
14.4	Sampling .....	(80)
14.5	Geophysical exploration .....	(81)
15	In-situ tests .....	(83)
15.1	General requirement .....	(83)
15.2	Standard penetration test .....	(83)
15.3	Cone dynamic penetration test .....	(84)
15.4	Pressuremeter test .....	(85)
15.5	Cone penetration test .....	(87)
15.6	Loading test .....	(88)
15.7	Dilatometer test .....	(91)
15.8	Vane shear test .....	(92)
15.9	Wave velocity test .....	(93)
15.10	In-situ stress test of rock mass .....	(94)

15.11	Field direct shear test .....	(95)
15.12	Geothermal test .....	(97)
16	Laboratory test of rock & soil .....	(99)
16.1	General requirement .....	(99)
16.2	Tests of the physical properties of the soil .....	(99)
16.3	Tests of the mechanical properties of the soil .....	(100)
16.4	Rock test .....	(101)
17	Investigation of engineering surrounding environment .....	(102)
17.1	General requirement .....	(102)
17.2	Investigation requirements .....	(102)
17.3	Achievement data .....	(103)
18	Analysis of achievement and investigation report .....	(105)
18.1	General requirement .....	(105)
18.2	Achievement analysis and assessment .....	(106)
18.3	Contents of investigation report .....	(108)
19	In-situ inspection and checking & engineering monitoring .....	(110)
Appendix A	Qualitative boundaries of rock hardness .....	(112)
Appendix B	Weathering degree classification of rocks .....	(113)
Appendix C	Rock mass classification in terms of structural type .....	(114)
Appendix D	Compactness of gravelly soil .....	(116)
Appendix E	Grading of tunnel surrounding rock .....	(118)
Appendix F	Grading of geotechnical construction engineering .....	(121)
Appendix G	Sampling tools and methods for sampling of	

	different grades .....	(124)
Appendix H	Empirical value of subgrade reaction coefficient .....	(126)
Appendix J	Geotechnical parameters choice in working methods of investigation .....	(128)
Appendix K	Empirical value of geotechnical thermophysical index .....	(130)
Appendix L	Used legends .....	(132)
	Explanation of wording in this code .....	(136)
	List of quoted standards .....	(137)
	Addition: Explanation of provisions .....	(139)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范城市轨道交通岩土工程勘察的技术要求,做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境、确保质量、控制风险,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于城市轨道交通工程的岩土工程勘察。

**1.0.3** 城市轨道交通岩土工程勘察应广泛搜集已有的勘察设计与施工资料,科学制订勘察方案、精心组织实施,提供资料完整、数据可靠、评价正确、建议合理的勘察报告。

**1.0.4** 城市轨道交通岩土工程勘察除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 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、市域快速轨道交通等轨道交通的统称。

#### 2.1.2 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。

#### 2.1.3 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。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 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。

#### 2.1.6 工法勘察 geotechnical investigations for construction methods

为施工方法和工艺选择、设备选型及施工组织设计提供有针对性的工程地质、水文地质资料进行的勘察工作。

#### 2.1.7 明挖法 cut and cover method

由地面开挖基坑修筑城市轨道交通工程的方法。

### 2.1.8 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。

### 2.1.9 盾构法 shield tunnelling method

在岩土体内采用盾构机修筑城市轨道交通工程隧道的施工方法。

### 2.1.10 沉管法 immersed tube method

采用预制管段沉放修筑水底隧道的方法。

## 2.2 符 号

$\rho$ ——质量密度(密度);

$w$ ——含水量,含水率;

$e$ ——孔隙比;

$W_u$ ——土中有机质含量;

$I_L$ ——液性指数;

$I_P$ ——塑性指数;

$d_{10}$ ——有效粒径;

$d_{50}$ ——中值粒径;

$\alpha$ ——导温系数;

$\lambda$ ——导热系数;

$C$ ——比热容;

$N$ ——标准贯入锤击数;

$N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探锤击数;

$N_{120}$ ——超重型圆锥动力触探锤击数;

$q_c$ ——静力触探锥头阻力;

$p_0$ ——旁压试验初始压力;

$p_L$ ——旁压试验极限压力;

$p_y$ ——旁压试验临塑压力;

$f_L$ ——地基极限强度;

$f_y$ ——地基临塑强度；  
 $c_u$ ——原状土的十字板剪切强度；  
 $c_u'$ ——重塑土的十字板剪切强度；  
 $E_d$ ——动弹性模量；  
 $E_0$ ——变形模量  
 $E_D$ ——侧胀模量；  
 $E_m$ ——旁压模量；  
 $f_r$ ——岩石饱和单轴抗压强度；  
 $K$ ——基床系数；  
 $K_h$ ——水平基床系数；  
 $K_v$ ——垂直基床系数；  
 $v_s$ ——剪切波波速；  
 $S_t$ ——土的灵敏度；  
 $\mu$ ——泊松比；  
 $\delta_{ef}$ ——自由膨胀率；  
 $\Delta_s$ ——湿陷量；  
 $\Delta_{zs}$ ——自重湿陷量。



### 3 基本规定

**3.0.1** 城市轨道交通岩土工程勘察应按规定、设计阶段的技术要求,分阶段开展相应的勘察工作。

**3.0.2** 城市轨道交通岩土工程勘察应分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察。施工阶段可根据需要开展施工勘察工作。

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

**3.0.4** 城市轨道交通岩土工程勘察应取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图等资料,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。

**3.0.5** 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。

**3.0.6** 城市轨道交通岩土工程勘察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制订勘察方案,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、环境保护以及工程监测等建议。

**3.0.7** 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 3.0.7 的规定进行划分:

表 3.0.7 工程重要性等级

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

续表 3.0.7

工程重要性等级	工程破坏的后果	工程规模及建筑类型
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、盾构始发(接收)井
三级	不严重	次要建筑物、地面停车场

**3.0.8** 场地复杂程度等级可根据地形地貌、工程地质条件、水文地质条件按照下列规定进行划分,从一级开始,向二级、三级推定,以最先满足的为准。

**1** 符合下列条件之一者为一级场地(或复杂场地):

- 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。

**2** 符合下列条件之一者为二级场地(或中等复杂场地):

- 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。
- 6) 地下水对工程的影响较小。

**3** 符合下列条件者为三级场地(或简单场地):

- 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。

**3.0.9** 工程周边环境风险等级可根据工程周边环境与工程的相

互影响程度及破坏后果的严重程度进行划分：

1 一级环境风险：工程周边环境与工程相互影响很大，破坏后果很严重。

2 二级环境风险：工程周边环境与工程相互影响大，破坏后果严重。

3 三级环境风险：工程周边环境与工程相互影响较大，破坏后果较严重。

4 四级环境风险：工程周边环境与工程相互影响小，破坏后果轻微。

**3.0.10** 岩土工程勘察等级，可按下列条件划分：

1 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。

2 乙级：除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目。

3 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。

**3.0.11** 城市轨道交通线路工程和地面建筑工程的场地土类型划分、建筑场地类别划分、地基土液化判别应分别执行现行国家标准《铁道工程抗震设计规范》GB 50111、《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

## 4 岩土分类、描述与围岩分级

### 4.1 岩石分类

4.1.1 岩石按成因应分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

4.1.2 岩石坚硬程度应按表 4.1.2 分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。现场工作中可按本规范附录 A 的规定进行定性划分。

表 4.1.2 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)	$f_r > 60$	$30 < f_r \leq 60$	$15 < f_r \leq 30$	$5 < f_r \leq 15$	$f_r \leq 5$

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,换算方法按现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 执行。

2 当岩体完整程度为极破碎时,可不进行坚硬程度分类。

4.1.3 岩体完整程度可根据完整性指数按表 4.1.3 的规定进行分类。

表 4.1.3 岩体完整程度分类

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

注:完整性指数为岩体压缩波速度与岩块压缩波速度之比的平方,选定岩体和岩块测定波速时,应注意其代表性。

4.1.4 岩体基本质量等级应根据岩石坚硬程度和岩体完整程度按表 4.1.4 的规定进行划分。

表 4.1.4 岩体基本质量等级分类

完整程度 坚硬程度	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

续表 4.1.4

完整程度 坚硬程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
软 岩	Ⅳ	Ⅳ	V	V	V
极软岩	V	V	V	V	V

4.1.5 岩石风化程度应按本规范附录 B 分为未风化岩石、微风化岩石、中等风化岩石、强风化岩石和全风化岩石。

4.1.6 当软化系数小于或等于 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,如易溶性岩石、膨胀性岩石、崩解性岩石、盐渍化岩石等。

4.1.7 岩石可根据岩石质量指标(RQD)进行划分,RQD 大于 90 为好的、RQD 为 75~90 为较好的、RQD 为 50~75 为较差的、RQD 为 25~50 为差的、RQD 小于 25 为极差的。

## 4.2 土 的 分 类

4.2.1 土按沉积年代分为老沉积土、一般沉积土、新近沉积土并应符合下列规定:

- 1 老沉积土:第四纪晚更新世( $Q_3$ )及其以前沉积的土。
- 2 一般沉积土:第四纪全新世早期沉积的土。
- 3 新近沉积土:第四纪全新世中、晚期沉积的土。

4.2.2 土按地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土、风积土等。

4.2.3 土根据有机质含量( $W_u$ )可按表 4.2.3 的规定进行分类。

表 4.2.3 土按有机质含量( $W_u$ )分类

土 的 名 称	有机质含量(%)
无机土	$W_u < 5$
有机质土	$5 \leq W_u \leq 10$
泥炭质土	$10 < W_u \leq 60$
泥炭	$W_u > 60$

注:有机质含量  $W_u$  为 550℃ 时的灼失量。

4.2.4 土按颗粒级配或塑性指数可分为碎石土、砂土、粉土和黏性土。

4.2.5 粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量 50% 的土,应定名为碎石土,并按表 4.2.5 的规定进一步分类。

表 4.2.5 碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	颗 粒 含 量
漂石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 200mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 20mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形和亚圆形为主	粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

注:分类时应根据粒组含量由大到小,以最先符合者确定。

4.2.6 粒径大于 2mm 颗粒的质量不超过总质量 50%、粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量 50% 的土,应定名为砂土,并按表 4.2.6 的规定进一步分类。

表 4.2.6 砂土的分类

土的名称	颗 粒 含 量
砾砂	粒径大于 2mm 颗粒的质量占总质量大于 25%,且小于 50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 颗粒的质量超过总质量 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 颗粒的质量超过总质量 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量 50%

注:分类时应根据粒组含量由大到小,以最先符合者确定。

4.2.7 粒径大于 0.075mm 颗粒的质量不超过总质量 50%,且塑性指数  $I_p$  小于或等于 10 的土,应定名为粉土。粉土可按表 4.2.7 的规定进一步划分为砂质粉土和黏质粉土。

表 4.2.7 粉土的分类

土 的 名 称	塑性指数 $I_p$
砂质粉土	$3 < I_p \leq 7$
黏质粉土	$7 < I_p \leq 10$

注：塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。当有地区经验时，可结合地区经验综合考虑。

4.2.8 塑性指数  $I_p$  大于 10 的土应定名为黏性土，并按表 4.2.8 的规定进一步分类。

表 4.2.8 黏性土分类

土 的 名 称	塑性指数 $I_p$
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$
黏土	$I_p > 17$

注：塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

4.2.9 土按特殊性质可分为填土、软土（包括淤泥和淤泥质土）、湿陷性土、膨胀岩土、残积土、盐渍土、红黏土、多年冻土、混合土及污染土等。

### 4.3 岩土的描述

4.3.1 岩石的描述应包括地质年代、名称、风化程度、颜色、主要矿物、结构、构造和岩石质量指标(RQD)。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结晶大小和结晶程度。

4.3.2 岩体的描述应包括结构面、结构体、岩层厚度和结构类型，并应符合下列规定：

1 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、充填情况和充填物性质以及充水性等。

2 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。

3 结构类型可按本规范附录 C 进行分类。

4 岩层厚度分类应按表 4.3.2 的规定执行。

表 4.3.2 岩层厚度分类

层厚分类	单层厚度 $h(\text{m})$	层厚分类	单层厚度 $h(\text{m})$
巨厚层	$h > 1.0$	中厚层	$0.1 < h \leq 0.5$
厚层	$0.5 < h \leq 1.0$	薄层	$h \leq 0.1$

4.3.3 对岩体基本质量等级为Ⅳ级和Ⅴ级的岩体,鉴定和描述除按本规范第 4.3.1 条、第 4.3.2 条执行外,尚应符合下列规定:

1 对软岩和极软岩,应注意是否具有可软化性、膨胀性、崩解性等特殊性质。

2 对极破碎岩体,应说明破碎原因。

3 开挖后是否有进一步风化的特性。

4.3.4 土的描述应符合下列规定:

1 碎石土宜描述颜色、颗粒级配、最大粒径、颗粒形状、颗粒排列、母岩成分、风化程度、充填物和充填程度、密实度、层理特征等。

2 砂土宜描述颜色、矿物组成、颗粒级配、颗粒形状、细粒含量、湿度、密实度及层理特征等。

3 粉土宜描述颜色、含有物、湿度、密实度、摇震反应及层理特征等;

4 黏性土宜描述颜色、状态、含有物、光泽反应、土的结构、层理特征及状态、断面状态等。

5 特殊性土除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、密实度和厚度的均匀程度等。

6 对具有互层、夹层、夹薄层特征的土,尚应描述各层的厚度和层理特征。

4.3.5 土的密实度可按下列规定划分:

1 碎石土的密实度可根据圆锥动力触探锤击数按表 4.3.5-1



和表 4.3.5-2 的规定确定。表中的  $N'_{63.5}$  和  $N'_{120}$  是根据实测圆锥动力触探锤击数  $N_{63.5}$  和  $N_{120}$  按本规范附录 D 中第 D.0.2 和第 D.0.3 条的规定进行修正后得到的锤击数。定性描述可按本规范附录 D 中第 D.0.1 条的规定执行。

表 4.3.5-1 碎石土密实度按  $N'_{63.5}$  分类

重型动力触探锤击数 $N'_{63.5}$	密实度	重型动力触探锤击数 $N'_{63.5}$	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小于或等于 50mm，且最大粒径小于 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用野外观察鉴别。

表 4.3.5-2 碎石土密实度按  $N'_{120}$  分类

超重型动力触探锤击数 $N'_{120}$	密实度	超重型动力触探锤击数 $N'_{120}$	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	—	—

2 砂土的密实度应根据标准贯入试验锤击数实测值  $N$  划分为密实、中密、稍密和松散，并应符合表 4.3.5-3 的规定。

表 4.3.5-3 砂土密实度分类

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

3 粉土的密实度应根据孔隙比  $e$  划分为密实、中密和稍密，并符合表 4.3.5-4 的规定。

表 4.3.5-4 粉土密实度分类

孔隙比 $e$	密实度
$e < 0.75$	密实
$0.75 \leq e \leq 0.90$	中密
$e > 0.9$	稍密

注：当有经验时，也可用原位测试或其他方法划分粉土的密实度。

**4.3.6** 粉土的湿度应根据含水量  $w(\%)$  划分为稍湿、湿和很湿，并符合表 4.3.6 的规定。

**表 4.3.6 粉土湿度分类**

含水量 $w(\%)$	湿 度
$w < 20$	稍湿
$20 \leq w \leq 30$	湿
$w > 30$	很湿

**4.3.7** 黏性土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，并符合表 4.3.7 的规定。

**表 4.3.7 黏性土状态分类**

液性指数 $I_L$	状态	液性指数 $I_L$	状态
$I_L \leq 0$	坚硬	$0.75 < I_L \leq 1.00$	软塑
$0 < I_L \leq 0.25$	硬塑	$I_L > 1.00$	流塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可塑	—	—

#### **4.4 围岩分级与岩土施工工程分级**

**4.4.1** 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 E 划分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级和Ⅵ级。

**4.4.2** 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、钻探难度按本规范附录 F 分为松土、普通土、硬土、软质岩、次坚石和坚石。

## 5 可行性研究勘察

### 5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 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。

5.1.3 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。

### 5.2 目的与任务

5.2.1 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。

5.2.2 可行性研究勘察应进行下列工作:

1 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。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

### 5.3 勘察要求

5.3.1 可行性研究勘察的资料搜集应包括下列内容:

1 工程所在地的气象、水文以及与工程相关的水利、防洪设施等资料。

2 区域地质、构造、地震及液化等资料。

3 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。

4 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。

5 影响线路方案的重要建(构)筑物、桥涵、隧道、既有轨道交通设施等工程周边环境的设计与施工资料。

5.3.2 可行性研究勘察的勘探工作应符合下列要求:

1 勘探点间距不宜大于 1000m,每个车站应有勘探点。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

5.3.3 可行性研究勘察的取样、原位测试、室内试验的项目和数量,应根据线路方案、沿线工程地质和水文地质条件确定。

## 6 初步勘察

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 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。

**6.1.2** 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。

**6.1.3** 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。

### 6.2 目的与任务

**6.2.1** 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。

**6.2.2** 初步勘察应进行下列工作:

1 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。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

6 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。

7 对抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地,应初步评价场地和地基的地震效应。

8 评价场地稳定性和工程适宜性。

9 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性。

10 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。

11 季节性冻土地区,应调查场地土的标准冻结深度。

12 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。

## 6.3 地 下 工 程

6.3.1 地下车站与区间工程初步勘察除应符合本规范第 6.2.2 条的规定外,尚应满足下列要求:

1 初步划分车站、区间隧道的围岩分级和岩土施工工程分级。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

**6.3.2** 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。

**6.3.3** 地下区间的勘探点应根据场地复杂程度和设计方案布置,并符合下列要求:

1 勘探点间距宜为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。

2 勘探点宜沿区间线路布置。

**6.3.4** 每个地下车站或区间取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3。

**6.3.5** 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定,并符合下列规定:

1 控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于30m;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5m~8m。

2 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。

3 遇岩溶和破碎带时钻孔深度应适当加深。

## **6.4 高架工程**

**6.4.1** 高架车站与区间工程初步勘察应符合本规范第6.2.2条的规定外,尚应满足下列要求:

1 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。

2 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。

3 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,并评价桩基施工对工程周边环境的影响。

4 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。

6.4.2 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;高架车站勘探点数量不宜少于3个;取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3。

6.4.3 勘探孔深度应符合下列规定:

1 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。

2 墩台基础置于无地表水地段时,应穿过最大冻结深度达持力层以下;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。

3 覆盖层较薄,下伏基岩风化层不厚时,勘探孔应进入微风化地层3m~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。

## 6.5 路基、涵洞工程

6.5.1 路基工程初步勘察应符合本规范第6.2.2条的规定外,尚应符合下列规定:

1 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。

2 初步评价路基基底稳定性,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。

3 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。

4 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。

5 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。

6 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。

**6.5.2** 涵洞工程初步勘察应符合本规范第 6.2.2 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 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。

2 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。

3 初步评价涵洞地基稳定性和承载力,提供涵洞设计、施工所需的岩土参数。

**6.5.3** 路基、涵洞工程勘探点间距应符合下列要求:

1 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。

2 路基的勘探点间距宜为 100m~150m,支挡结构、涵洞应有勘探点控制。

3 高路堤、深路堑应布置横断面。

**6.5.4** 取样、原位测试的勘探点数量不应少于路基、涵洞工程勘探点总数的 2/3。

**6.5.5** 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；一般性勘探孔宜进入基底以下5m~10m。

## **6.6 地面车站、车辆基地**

**6.6.1** 车辆基地的路基工程初步勘察要求应符合本规范第 6.5 节的规定。

**6.6.2** 地面车站、车辆基地的建(构)筑物初步勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

## 7 详细勘察

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 详细勘察应在初步勘察的基础上,针对城市轨道交通各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等工作,满足施工图设计要求。

**7.1.2** 详细勘察工作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、工程物探的综合勘察方法。

### 7.2 目的与任务

**7.2.1** 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、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护方案建议,提供设计、施工所需的岩土参数。

**7.2.2** 详细勘察工作前应搜集附有坐标和地形的拟建工程的平面图、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、变形控制要求等资料。

**7.2.3** 详细勘察应进行下列工作:

1 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。

2 查明场地范围内岩土层的类型、年代、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的建议,对需进行沉降计算的建(构)筑物、路基等,提供地基变形计算参数。

3 分析地下工程围岩的稳定性和可挖性,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、隧道初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。

4 分析边坡的稳定性,提供边坡稳定性计算参数,提出边坡治理的工程措施建议。

5 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。

6 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,分析地下水对工程的作用,提出地下水控制措施的建议。

7 判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性。

8 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。

9 应确定场地类别,对抗震设防烈度大于 6 度的场地,应进行液化判别,提出处理措施的建议。

10 在季节性冻土地区,应提供场地土的标准冻结深度。

## 7.3 地下工程

7.3.1 地下车站主体、出入口、风井、通道,地下区间、联络通道等地下工程的详细勘察,除应符合本规范第 7.2.3 条的规定外,尚应符合本节规定。

7.3.2 地下工程详细勘察应符合下列规定:

1 查明各岩土层的分布,提供各岩土层的物理力学性质指标及地下工程设计、施工所需的基床系数、静止侧压力系数、热物理指标和电阻率等岩土参数。

2 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、漂石层等地质条件的分布与特征,分析其对工程的

危害和影响,提出工程防治措施的建议。

3 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。

4 对隧道围岩的稳定性进行评价,按照本规范附录 E、附录 F 进行围岩分级、岩土施工工程分级。分析隧道开挖、围岩加固及初期支护等可能出现的岩土工程问题,提出防治措施建议,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。

5 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。

6 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。

7 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。

8 分析评价工程降水、岩土开挖对工程周边环境的影响,提出周边环境保护措施的建议。

9 对出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道、联络通道等附属工程及隧道断面尺寸变化较大区段,应根据工程特点、场地地质条件和工程周边环境条件进行岩土工程分析与评价。

10 对地基承载力、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。

7.3.3 勘探点间距根据场地的复杂程度、地下工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等特点可按表 7.3.3 的规定综合确定。

表 7.3.3 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

7.3.4 勘探点的平面布置应符合下列规定：

1 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与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道等附属工程部位应有勘探点控制。

2 每个车站不应少于 2 条纵剖面 and 3 条有代表性的横剖面。

3 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置。

4 区间勘探点宜在隧道结构外侧 3m~5m 的位置交叉布置。

5 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、渡线、施工竖井等应有勘探点控制，并布设剖面。

6 山岭隧道勘探点的布置可执行现行行业标准《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 的有关规定。

7.3.5 勘探孔深度应符合下列规定：

1 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。

2 对车站工程，控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于 5m，一般性勘探孔深度进入结构底板以下不应小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于 3m。

3 对区间工程，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石不应小于 5m，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石不应小

于 3m。

4 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。

5 当预定深度范围内存在软弱土层时,勘探孔应适当加深。

7.3.6 地下工程控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的 1/3。采取岩土试样及原位测试勘探孔的数量:车站工程不应少于勘探点总数的 1/2,区间工程不应少于勘探点总数的 2/3。

7.3.7 采取岩土试样和进行原位测试应满足岩土工程评价的要求。每个车站或区间工程每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 10 件(组),且每一地质单元的每一主要土层不应少于 6 件(组)。

7.3.8 原位测试应根据需要和地区经验选取适合的测试手段,并符合本规范第 15 章的规定;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。

7.3.9 室内试验除应符合本规范第 16 章的规定外,尚应符合下列规定:

1 抗剪强度室内试验方法应根据施工方法、施工条件、设计要求等确定。

2 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。

3 宜在基底以下压缩层范围内采取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。

4 对隧道范围内的碎石土和砂土应测定颗粒级配,对粉土应测定黏粒含量。

5 应采取地表水、地下水水试样或地下结构范围内的岩土试样进行腐蚀性试验,地表水每处不应少于 1 组,地下水岩土试样或每层不应少于 2 组。

6 在基岩地区应进行岩块的弹性波波速测试,并应进行岩石的饱和单轴抗压强度试验,必要时尚应进行软化试验;对软岩、极

软岩可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。每个场地每一主要岩层的试验数据不应少于 3 组。

**7.3.10** 在基床系数在有经验地区可通过原位测试、室内试验结合本规范附录 H 的经验值综合确定,必要时通过专题研究或现场  $K_{30}$  载荷试验确定。

**7.3.11** 在基岩地区应根据需要提供抗剪强度指标、软化系数、完整性指数、岩体基本质量等级等参数。

**7.3.12** 岩土抗剪强度指标宜通过室内试验、原位测试结合当地的工程经验综合确定。

**7.3.13** 当地下水对车站和区间工程有影响时应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。

## **7.4 高架工程**

**7.4.1** 高架工程详细勘察包括高架车站、高架区间及其附属工程的勘察,除应符合本规范第 7.2.3 条的规定外,尚应符合本节要求。

**7.4.2** 高架工程详细勘察尚应符合下列规定:

1 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。

2 查明溶洞、土洞、人工洞穴、采空区、可液化土层和特殊性岩土的分布与特征,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。

3 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、破碎岩体或软弱岩层。



4 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。

5 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。

6 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。

7 对桩基的完整性和承载力提出检测的建议。

#### 7.4.3 勘探点的平面布置应符合下列规定:

1 高架车站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。

2 高架区间勘探点应逐墩布设,地质条件简单时可适当减少勘探点。地质条件复杂或跨度较大时,可根据需要增加勘探点。

#### 7.4.4 勘探孔深度应符合下列规定:

1 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。

2 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,应进入基底以下中等风化岩石地层 2m~3m;

3 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,并穿过溶洞、破碎带,进入稳定地层。

4 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。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。

5 当预定深度范围内存在软弱土层时,勘探孔应适当加深。

#### 7.4.5 高架工程控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的

**1/3。取样及原位测试孔的数量不应少于勘探点总数的 1/2。**

**7.4.6** 采取岩土试样和原位测试应符合本规范第 7.3.7 条的规定。

**7.4.7** 原位测试应根据需要和地区经验选取适合的测试手段,并符合本规范第 15 章的规定;每个车站或区间工程的波速测试孔不宜少于 3 个。

**7.4.8** 室内试验应符合本规范第 16 章的规定,并应符合下列规定:

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

2 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。

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

## **7.5 路基、涵洞工程**

**7.5.1** 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。路基、涵洞工程勘察除应符合本规范第 7.2.3 条的规定外,尚应符合本节规定。

**7.5.2** 一般路基详细勘察应包括下列内容:

1 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等级;评价路基基底的稳定性。

2 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。

**7.5.3** 高路堤详细勘察应包括下列内容:

1 查明基底地层结构,岩土性质,覆盖层与基岩接触面的形

态。查明不利倾向的软弱夹层,并评价其稳定性。

2 调查地下水活动对基底稳定性的影响。

3 地质条件复杂的地段应布置横剖面。

4 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。

5 分析基底和斜坡稳定性,提出路基和斜坡加固方案的建议。

#### 7.5.4 深路堑详细勘察应包括下列内容:

1 查明场地的地形、地貌、不良地质作用和特殊地质问题;调查沿线天然边坡、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。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

6 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。

#### 7.5.5 支挡结构详细勘察应包括下列内容:

1 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。

2 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。

### 7.5.6 涵洞详细勘察应符合下列规定:

1 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。

2 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。

3 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。

4 调查雨期、雨量等气象条件及涵洞附近的汇水面积。

### 7.5.7 勘探点的平面布置应符合下列规定:

1 一般路基勘探点间距为 50m~100m,高路堤、深路堑、支挡结构勘探点间距可根据场地复杂程度按表 7.5.7 的规定综合确定。

表 7.5.7 勘探点间距(m)

复杂场地	中等复杂场地	简单场地
15~30	30~50	50~60

2 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。

3 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。

4 支挡结构的勘探点不宜少于 3 个。

5 涵洞的勘探点不宜少于 2 个。

7.5.8 控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的 1/3,取样及原位测试孔数量应根据地层结构、土的均匀性和设计要求确定,不应少于勘探点总数的 1/2。

### 7.5.9 勘探孔深度应满足下列要求:

1 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。

2 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。

3 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 2m~3m,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。

4 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。

5 基础置于土中的涵洞一般性勘探孔深度应按表 7.5.9 的规定确定。

表 7.5.9 涵洞勘探孔深度(m)

碎石土	砂土、粉土和黏性土	软土、饱和砂土等
3~8	8~15	15~20

注:1 勘探孔深度应由结构底板算起。

2 箱型涵洞勘探孔应适当加深。

6 遇软弱土层时,勘探孔应适当加深。

## 7.6 地面车站、车辆基地

7.6.1 车辆基地的详细勘察包括站场股道、出入线、各类房屋建筑及其附属设施的勘察。

7.6.2 车辆基地可根据不同建筑类型分别进行勘察,同时考虑场地挖填方对勘察的要求。

7.6.3 地面车站、各类建筑及附属设施的详细勘察应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定执行。

7.6.4 站场股道及出入线的详细勘察,可根据线路敷设形式按照本规范第 7.3 节~第 7.5 节的规定执行。

## 8 施 工 勘 察

**8.0.1** 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工过程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 and 风险控制的要求。

**8.0.2** 施工阶段施工单位宜开展下列地质工作:

1 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。

2 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。

3 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。

4 绘制边坡和隧道地质素描图。

5 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。

6 必要时对地下水动态进行观测。

**8.0.3** 遇下列情况宜进行施工专项勘察:

1 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。

2 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。

3 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。

4 场地地下水位变化较大或施工中发现不明水源,影响工程施工或危及工程安全。

5 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。

6 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。

7 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。

8 需进行施工勘察的其他情况。

8.0.4 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。

8.0.5 施工专项勘察工作应符合下列规定:

1 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。

2 搜集和分析工程检测、监测和观测资料。

3 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。

4 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作量。

5 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。

## 9 工 法 勘 察

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.1** 采用明挖法、矿山法、盾构法、沉管法等施工方法修筑地下工程时,岩土工程勘察除符合本规范第6章、第7章的规定外,尚应根据施工工法特点,满足本章各节的相应要求,为施工方法的比选与设计提供所需的岩土工程资料。

**9.1.2** 各勘察阶段均应开展工法勘察工作,满足相应阶段工法设计深度的要求。原位测试、室内试验方法及所提供的岩土参数应结合施工方法、辅助措施的特点综合确定。

### 9.2 明挖法勘察

**9.2.1** 明挖法勘察应提供放坡开挖、支护开挖及盖挖等设计、施工所需要的岩土工程资料。

**9.2.2** 明挖法勘察应为下列工作提供勘察资料:

- 1 基坑支护设计与施工。
- 2 土方开挖设计与施工。
- 3 地下水控制设计与施工。
- 4 基坑突涌和基底隆起的防治。
- 5 施工设备选型和工艺参数的确定。
- 6 工程风险评估、工程周边环境保护以及工程监测方案设计。

**9.2.3** 明挖法勘察应符合下列要求:

- 1 查明场地岩土类型、成因、分布与工程特性;重点查明填土、暗浜、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。



2 根据开挖方法和支护结构设计需要按照本规范附录 J 提供必要的岩土参数。

3 土的抗剪强度指标应根据土的性质、基坑安全等级、支护形式和工况条件选择室内试验方法;当地区经验成熟时,也可通过原位测试结合地区经验综合确定。

4 查明场地水文地质条件,判定人工降低地下水位的可能性,为地下水控制设计提供参数;分析地下水位降低对工程及工程周边环境的影响,当采用坑内降水时还应预测降低地下水位对基底、坑壁稳定性的影响,并提出处理措施的建议。

5 根据粉土、粉细砂分布及地下水特征,分析基坑发生突水、涌砂流土、管涌的可能性。

6 搜集场地附近既有建(构)筑物基础类型、埋深和地下设施资料,并对既有建(构)筑物、地下设施与基坑边坡的相互影响进行分析,提出工程周边环境保护措施的建议。

9.2.4 明挖法勘察宜在开挖边界外按开挖深度的 1 倍~2 倍范围内布置勘探点,当开挖边界外无法布置勘探点时,可通过搜集、调查取得相应资料。对于软土勘察范围尚应适当扩大。

9.2.5 明挖法勘探点间距及平面布置应符合本规范第 7.3.3 条和第 7.3.4 条的要求,地层变化较大时,应加密勘探点。

9.2.6 明挖法勘探孔深度应满足基坑稳定分析、地下水控制、支护结构设计的要求。

9.2.7 放坡开挖法勘察应提供边坡稳定性计算所需岩土参数,提出人工边坡最佳开挖坡形和坡角、平台位置及边坡坡度允许值的建议。

9.2.8 盖挖法勘察应查明支护桩墙和立柱桩端的持力层深度、厚度,提供桩墙和立柱桩承载力及变形计算参数。

9.2.9 勘察报告除应符合本规范第 18 章的要求外,尚应包括下列内容:

1 提供基坑支护设计、施工所需的岩土及水文地质参数。

- 2 指出基坑支护设计、施工需重点关注的岩土工程问题。
- 3 对不良地质作用和特殊性岩土可能引起的明挖法施工风险提出控制措施的建议。

### 9.3 矿山法勘察

9.3.1 矿山法勘察应提供全断面法、台阶法、洞桩(柱)法等施工方法及辅助工法设计、施工所需要的岩土工程资料。

9.3.2 矿山法勘察应为下列工作提供勘察资料:

- 1 隧道轴线位置的选定。
- 2 隧道断面形式和尺寸的选定。
- 3 洞口、施工竖井位置和明、暗挖施工分界点的选定。
- 4 开挖方案及辅助施工方法的比选。
- 5 围岩加固、初期支护及衬砌设计与施工。
- 6 开挖设备选型及工艺参数的确定。
- 7 地下水控制设计与施工。
- 8 工程风险评估、工程周边环境保护和工程监测方案设计。

9.3.3 矿山法勘察应符合下列要求:

1 土层隧道应查明场地岩土类型、成因、分布与工程特性;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。

2 在基岩地区应查明基岩起伏、岩石坚硬程度、岩体结构形态和完整状态、岩层风化程度、结构面发育情况、构造破碎带特征、岩溶发育及富水情况、围岩的膨胀性等。

3 了解隧道影响范围内的地下人防、地下管线、古墓穴及废弃工程的分布,以及地下管线渗漏、人防充水等情况。

4 根据隧道开挖方法及围岩岩土类型与特征,按照本规范附录J提供所需的岩土参数。

5 预测施工可能产生突水、涌砂、开挖面坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、岩爆、滑坡、围岩松动等风险的地段,并提出防治措

施的建议。

6 查明场地水文地质条件,分析地下水对工程施工的危害,建议合理的地下水控制措施,提供地下水控制设计、施工所需的水文地质参数;当采用降水措施时应分析地下水位降低对工程及工程周边环境的影响。

7 根据围岩岩土条件、隧道断面形式和尺寸、开挖特点分析隧道开挖引起的围岩变形特征;根据围岩变形特征和工程周边环境变形控制要求,对隧道开挖步序、围岩加固、初期支护、隧道衬砌以及环境保护提出建议。

9.3.4 矿山法勘察的勘探点间距及平面布置应符合本规范第7.3.3条和第7.3.4条的要求。

9.3.5 采用掘进机开挖隧道时,应查明沿线的地质构造、断层破碎带及溶洞等,必要时进行岩石抗磨性试验,在含有大量石英或其他坚硬矿物的地层中,应做含量分析。

9.3.6 采用钻爆法施工时,应测试振动波传播速度和振幅衰减参数;在施工过程中进行爆破振动监测。

9.3.7 采用洞桩(柱)法施工时,应提供地基承载力、单桩承载力计算和变形计算参数,当洞内桩身承受侧向岩土压力时应提供岩土压力计算参数。

9.3.8 采用气压法时,应进行透气试验。

9.3.9 采用导管注浆加固围岩时,应提供地层的孔隙率和渗透系数。

9.3.10 采用管棚超前支护围岩施工时,应评价管棚施工的难易程度,建议合适的施工工艺,指出施工应注意的问题。

9.3.11 勘察报告除应符合本规范第18章的要求外,尚应包括下列内容:

- 1 开挖方法、大型开挖设备选型及辅助施工措施的建议。
- 2 分析地层条件,提出隧道初期支护形式的建议。
- 3 对存在的不良地质作用及特殊性岩土可能引起矿山法施

工风险提出控制措施的建议。

## 9.4 盾构法勘察

9.4.1 盾构法勘察应提供盾构选型、盾构施工、隧道管片设计等所需要的岩土工程资料。

9.4.2 盾构法勘察应为下列工作提供勘察资料：

- 1 隧道轴线和盾构始发(接收)井位置的选定。
- 2 盾构设备选型、设计制造和刀盘、刀具的选择。
- 3 盾构管片及管片背后注浆设计。
- 4 盾构推进压力、推进速度、盾构姿态等施工工艺参数的确定。
- 5 土体改良设计。
- 6 盾构始发(接收)井端头加固设计与施工。
- 7 盾构开仓检修与换刀位置的选定。
- 8 工程风险评估、工程周边环境保护及工程监测方案设计。

9.4.3 盾构法勘察应符合下列要求：

1 查明场地岩土类型、成因、分布与工程特性；重点查明高灵敏度软土层、松散砂土层、高塑性黏性土层、含承压水砂层、软硬不均地层、含漂石或卵石地层等的分布和特征，分析评价其对盾构施工的影响。

2 在基岩地区应查明岩土分界面位置、岩石坚硬程度、岩石风化程度、结构面发育情况、构造破碎带、岩脉的分布与特征等，分析其对盾构施工可能造成的危害。

3 通过专项勘察查明岩溶、土洞、孤石、球状风化体、地下障碍物、有害气体的分布。

4 提供砂土、卵石和全风化、强风化岩石的颗粒组成、最大粒径及曲率系数、不均匀系数、耐磨矿物成分及含量，岩石质量指标(RQD)，土层的黏粒含量等。

5 对盾构始发(接收)井及区间联络通道的地质条件进行分

析和评价,预测可能发生的岩土工程问题,提出岩土加固范围和方法的建议。

6 根据隧道围岩条件、断面尺寸和形式,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,并按照本规范附录J提供所需的岩土参数。

7 根据围岩岩土条件及工程周边环境变形控制要求,对不良地质体的处理及环境保护提出建议。

9.4.4 盾构法勘察勘探点间距及平面布置应符合本规范第7.3.3条和第7.3.4条的要求,勘探过程中应结合盾构施工要求对勘探孔进行封填,并详细记录钻孔内遗留物。

9.4.5 盾构下穿地表水体时应调查地表水与地下水之间的水力联系,分析地表水体对盾构施工可能造成的危害。

9.4.6 分析评价隧道下伏的淤泥层及易产生液化的饱和粉土层、砂层对盾构施工和隧道运营的影响,提出处理措施的建议。

9.4.7 勘察报告除应符合本规范第18章的要求外,尚应包括下列内容:

1 盾构始发(接收)井端头及区间联络通道岩土加固方法的建议。

2 对不良地质作用及特殊性岩土可能引起的盾构法施工风险提出控制措施的建议。

## 9.5 沉管法勘察

9.5.1 沉管法勘察应为下列工作提供勘察资料:

1 沉管法施工的适宜性评价。

2 沉管隧道选址及沉管设置高程的确定。

3 沉管的浮运及沉放方案。

4 沉管的结构设计。

5 沉管的地基处理方案。

6 工程风险评估、工程周边环境保护及工程监测方案设计。

### 9.5.2 沉管法勘察应符合下列要求：

1 搜集河流的宽度、流量、流速、含砂(泥)量、最高洪水位、最大冲刷线、汛期等水文资料。

2 调查河道的变迁、冲淤的规律以及隧道位置处的障碍物。

3 查明水底以下软弱地层的分布及工程特性。

4 勘探点应布置在基槽及周围影响范围内,沿线路方向勘探点间距宜为 20m~30m,在垂直线路方向勘探点间距宜为 30m~40m。

5 勘探孔深度应达到基槽底以下不小于 10m,并满足变形计算的要求。

6 河岸的管节临时停放位置宜布置勘探点。

7 提供砂土水下休止角、水下开挖边坡坡角。

### 9.5.3 勘察报告除应符合本规范第 18 章的要求外,尚应包括下列内容：

1 水体深度、水面标高及其变化幅度。

2 管节停放位置的建议。

3 对存在的不良地质作用及特殊性岩土可能引起沉管法施工风险提出控制措施的建议。

## 9.6 其他工法及辅助措施勘察

9.6.1 其他工法及辅助措施的岩土工程勘察应提供采用沉井、导管注浆、冻结等工法及辅助措施设计、施工所需的岩土工程资料。

### 9.6.2 沉井法勘察应符合下列要求：

1 沉井的位置应有勘探点控制,并宜根据沉井的大小和工程地质条件的复杂程度布置 1 个~4 个勘探孔。

2 勘探孔进入沉井底以下的深度:进入土层不宜小于 10m,或进入中等风化或微风化岩层不宜小于 5m。

3 查明岩土层的分布及物理力学性质,特别是影响沉井施工的基岩面起伏、软弱岩土层中的坚硬夹层、球状风化体、漂石等。

4 查明含水层的分布、地下水位、渗透系数等水文地质条件，必要时进行抽水试验。

5 提供岩土层与沉井侧壁的摩擦系数、侧壁摩阻力。

9.6.3 导管注浆法勘察应符合下列要求：

1 注浆加固的范围内均应布置勘探点。

2 查明土的颗粒级配、孔隙率、有机质含量，岩石的裂隙宽度和分布规律，岩土渗透性，地下水埋深、流向和流速。

3 宜通过现场试验测定岩土的渗透性。

4 预测注浆施工中可能遇到的工程地质问题，并提出处理措施的建议。

9.6.4 冻结法勘察应符合下列要求：

1 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。

2 查明需冻结土层周围含水层的分布，提供地下水流速、地下水中的含盐量。

3 提供地层温度、热物理指标、冻胀率、融沉系数等参数。

4 查明冻结施工场地周围的建(构)筑物、地下管线等分布情况，分析冻结法施工对周边环境的影响。

## 10 地 下 水

### 10.1 一 般 规 定

**10.1.1** 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水文地质条件,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。

**10.1.2** 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。

**10.1.3** 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。

### 10.2 地下水的勘察要求

**10.2.1** 地下水的勘察应符合下列规定:

- 1 搜集区域气象资料,评价其对地下水的影响。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 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、地下水水位年变化幅度、变化趋势和主要影响因素。
- 5 提供地下水控制所需的水文地质参数。
- 6 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。
- 7 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。

8 必要时评价地下工程修建对地下水环境的影响。

**10.2.2** 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：

1 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。

2 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。

3 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。

4 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。

**10.2.3** 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。

**10.2.4** 地下水对地下工程有影响时，应根据工程实际情况布设一定数量的水文地质试验孔和长期观测孔。

**10.2.5** 对工程有影响的地下水应采取水试样进行水质分析，水质分析试验应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

### **10.3 水文地质参数的测定**

**10.3.1** 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。

**10.3.2** 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。

**10.3.3** 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 $\pm 2\text{cm}$ ，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。对位于江

边、岸边的工程,地表水与地下水应同时量测。

**10.3.4** 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)。地下水流速的测定可采用指示剂法或充电法。

**10.3.5** 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 10.3.5 的规定划分。

表 10.3.5 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
$k(\text{m/d})$	$k > 200$	$10 \leq k \leq 200$	$1 \leq k < 10$	$0.01 \leq k < 1$	$0.001 \leq k < 0.01$	$k < 0.001$

**10.3.6** 含水层的给水度宜采用抽水试验确定。松散岩类含水层的给水度,可采用室内试验确定;岩石裂隙、岩溶的给水度,可采用裂隙率、岩溶率代替。有经验的地区,可采用经验值。

**10.3.7** 越流系数宜进行带观测孔的多孔抽水试验确定。影响半径可通过计算法求得,当工程需要时,可用实测法确定。

**10.3.8** 土中孔隙水压力的测定应符合下列规定:

1 测试点位置应根据地质条件和分析需要选定。

2 测压计的安裝和埋设应符合有关技术规定。

3 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。

**10.3.9** 抽水试验和注水试验布置应符合下列规定:

1 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,并应距隧道外侧  $3\text{m} \sim 5\text{m}$ 。

2 在需人工降低地下水位的车站、区间宜布置试验孔。

3 抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向。

4 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。

**10.3.10** 抽水试验应符合下列规定:

1 抽水试验方法可按表 10.3.10 的规定确定。

2 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水位降深的标高。

3 水位量测应采用同一方法与仪器,读数单位对抽水孔为厘米,对观测孔为毫米。

4 当涌水量与时间关系曲线和动水位与时间关系曲线,在一定的范围内波动,而没有持续上升或下降时,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。

5 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 10.3.10 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

10.3.11 注水试验可在试坑或钻孔中进行,注水稳定时间宜为 4h~6h。

10.3.12 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,并按岩层的渗透特性划分试验段。

## 10.4 地下水的作用

10.4.1 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。

10.4.2 地下水力学作用的评价应包括下列内容:

1 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。

2 验算边坡稳定时,应考虑地下水对边坡稳定的不利影响。

3 在地下水位下降的影响范围内,应分析地面沉降及其对工程和周边环境的影响。

4 在有水头压差的粉细砂、粉土地层中,应分析产生潜蚀、流土、管涌的可能性。

#### 10.4.3 地下水的物理、化学作用的评价应包括下列内容:

1 对地下水位以下的工程结构,应评定地下水对建筑材料的腐蚀性。

2 对软质岩、强风化岩、残积土、湿陷性土、膨胀岩土和盐渍岩土,应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用。

3 在冻土地区,应评价地下水对土的冻胀和融陷的影响。

10.4.4 地下水、土对建筑材料的腐蚀性评价应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

### 10.5 地下水控制

10.5.1 城市轨道交通岩土工程勘察应根据施工方法、开挖深度、含水层岩性和地层组合关系、地下水资源和环境要求,建议适宜的地下水控制方法。

10.5.2 降水方法可按表 10.5.2 的规定选用。

表 10.5.2 降水方法的适用范围

名称		适用地层	渗透系数 $k$ (m/d)	水位降深(m)
集水坑明排		风化岩石、黏性土、砂土	$<20.0$	$<2$
井点降水	电渗井点	黏性土	$<0.1$	$<6$
	喷射井点	填土、黏性土、粉土、粉砂	$0.1 \sim 20.0$	$8 \sim 20$
	真空井点	黏性土、粉土、粉砂、细砂	$0.1 \sim 20.0$	单级 $<6$ 、多级 $<20$
管井		砂类土、碎石土、岩溶、裂隙	$1.0 \sim 200.0$	$>5$
大口井		砂类土、碎石土	$1.0 \sim 200.0$	$5 \sim 20$
辐射井		黏性土、粉土、砂土	$0.1 \sim 20.0$	$<20$
引渗井		黏性土、粉土、砂土	$0.1 \sim 20.0$	将上层水 引渗到下层含水层

**10.5.3** 采用降水方法进行地下水控制时,应评价工程降水可能引起的岩土工程问题:

1 评价降水对工程周边环境的影响程度。

2 评价降水形成区域性降落漏斗和引发地下水补给、径流、排泄条件的改变。

3 采用辐射井降水方法时,应评价土层颗粒流失对工程周边环境的影响。

4 采用减压井降水方法时,应分析评价基底稳定性和水位下降对工程周边环境的影响。

**10.5.4** 采用帷幕隔水方法时,应分析截水帷幕的深度、施工工艺的可行性,并分析施工中存在的风险。

**10.5.5** 采用引渗方法时,应评价上层水的下渗效果及对下层水水环境的影响。

**10.5.6** 采用回灌方法时,应评价同层回灌或异层回灌的可能性,异层回灌时应评价不同含水层地下水混合后对地下水环境的影响。

## 11 不良地质作用

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 拟建工程场地或其附近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。

**11.1.2** 采空区、岩溶、地裂缝、地面沉降、有害气体等不良地质作用的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。

**11.1.3** 应查明工程沿线不良地质作用的成因类型、分布范围、规模及特征,评价对工程的影响程度,以及工程施工对不良地质作用的诱发,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。

**11.1.4** 不良地质作用的勘察应采用遥感解译、地质调查与测绘、工程勘探、野外及室内试验、现场监测相结合的综合勘察手段和资料综合分析,根据不同的成因类型,确定具体工作内容、勘察方法,有针对性地开展工作的。

**11.1.5** 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 11.6 节的规定进行有害气体的勘察与评价,并提出处理建议。

### 11.2 采空区

**11.2.1** 采空区根据开采现状可分为古老采空区、现代采空区和未来采空区;根据采空程度可分为大面积采空区和小窑采空区。

**11.2.2** 遇下列情况应按采空区开展工作:

1 正在开采的各类大型和小型矿区。

- 2 已废弃的各类大型和小型矿区。
- 3 尚未开采但已规划好的矿区。
- 4 沿沟、河岸有矿线露头、矿点分布的地带。
- 5 线路附近分布有连续防空洞的地段。

### 11.2.3 采空区地段工程地质调查与测绘应符合下列要求：

1 调查与测绘前搜集各种地质图，矿床分布图，矿区规划图，地表变形和有关变形的观测、计算资料，地表最大下沉值、最大倾斜值、最小曲率半径、移动角等资料，了解加固处理措施及效果。

#### 2 工程地质调查与测绘宜包括下列内容：

- 1) 地层层序、岩性、地质构造，矿层的分布范围、开采深度、厚度。
- 2) 采空区的开采历史、开采计划、开采方法，开采边界、顶板管理方法、工作面推进方向和速度，巷道平面展布、断面尺寸及相应的地表位置，顶板的稳定情况，洞壁完整性和稳定程度。
- 3) 地下水的季节与年变化幅度、最高与最低水位及地下水动态变化对坑洞稳定性的影响；了解采空区附近工业、农业抽水和水利工程建设情况及其对采空区稳定的影响。
- 4) 采空区的空间位置、塌落、支撑、回填和充水情况。
- 5) 有害气体的类型、分布特征、压力和危害程度。在调查与测绘过程中应注意有害气体对人体造成的危害。

#### 3 地表变形调查宜包括下列内容：

- 1) 地表变形的特征和分布规律，地表塌陷、裂缝、台阶的分布位置、高度、延伸方向、发生时间、发展速度，以及它们与采空区、岩层产状、主要节理、断层、开采边界、工作面推进方向等的相互关系。
- 2) 移动盆地的特征和边界，划分均匀下沉区、移动区和轻微变形区。

#### 4 建(构)筑物变形调查宜包括下列内容：

- 1)建(构)筑物变形的特征,变形开始时间,发展速度,裂缝分布规律、延伸方向、形状、宽度等。
- 2)建(构)筑物的结构类型、所处位置与采空区、地质构造、开采边界、工作面推进方向的相互关系。

#### 11.2.4 采空区地段勘探与测试应符合下列要求:

1 在采空区分布无规律、地面痕迹不明显、无法进入坑洞内进行调查和验证的地区,应采用电法、地震和地质雷达等综合物探,并用物探结果指导钻探,必要时进行综合测井。各种方法的勘探结果应得到相互补充和验证。

2 勘探线、勘探点应根据工程线路走向、敷设形式,并结合坑洞的埋藏深度、延伸方向布置,勘探孔数量和深度应满足稳定性评价与加固、治理工程设计的要求。

3 对上覆不同性质的岩土层应分别取代表性试样进行物理力学性质试验,提供稳定性验算及工程设计所需岩土参数;应分别取地下水和地表水试样进行水质分析;对可能储气部位,必要时应进行有害气体含量、压力的现场测试。

11.2.5 当缺乏资料且难以查明采空区的基本特征时应进行定位观测。

#### 11.2.6 采空区地段岩土工程分析与评价应包括下列内容:

- 1 采空区的稳定性。
- 2 采空区的变形情况和发展趋势。
- 3 采空区对工程建设可能造成的影响。
- 4 采空区中残存的有害气体、充水情况及其造成危害的可能性。
- 5 线路通过采空区应采取的工程措施。
- 6 施工和运营期间防治措施的建议。

7 必要时编制采空区地段的工程地质图(比例尺 1:2000~1:5000)、工程地质横断面图(比例尺 1:100~1:200)、工程地质纵断面图(比例尺横 1:500~1:5000、竖 1:200~1:500)、坑洞平面图(比例尺 1:200~1:500)等。



## 11.3 岩 溶

**11.3.1** 对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地面塌陷或有土洞存在的地段或地区,应按岩溶地段开展岩土工程勘察。

**11.3.2** 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;根据岩溶发育程度可分为强烈发育、中等发育、弱发育和微弱发育的岩溶。

**11.3.3** 岩溶勘察应查明下列内容:

- 1 可溶岩地表岩溶形态特征、溶蚀地貌类型。
- 2 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。
- 3 可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系。
- 4 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。
- 5 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。
- 6 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。
- 7 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。
- 8 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。
- 9 岩溶发育强度分级,圈定岩溶水富水区。

**11.3.4** 覆盖型岩溶发育地区还应查明下列内容:

- 1 查明覆盖层成因、性质、厚度。
- 2 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。

3 土洞和塌陷的分布、形态和发育规律。

4 土洞和塌陷的成因及其发展趋势。

5 治理土洞和塌陷的经验。

#### 11.3.5 岩溶勘探应符合下列要求：

1 岩溶地区勘探应采用综合物探、钻探、钻孔电视等综合勘探方法。

2 浅层溶洞和覆盖土层厚度可用挖探查明或验证，土洞可用轻便型、密集型勘探查明或验证。

3 岩溶勘探点布置、勘探深度、钻孔护壁方法及材料应根据勘察阶段并结合物探方法和水文地质试验的要求确定。

4 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)。

5 勘探中应测定岩芯中的岩溶率。

6 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。

7 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。

#### 11.3.6 岩溶测试、试验应符合下列要求：

1 地表水、地下水水样除进行一般试验项目外应增加游离  $\text{CO}_2$  和侵蚀性  $\text{CO}_2$  含量分析,必要时进行放射性同位素测试。

2 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。

3 代表性岩样应进行物理力学性质试验,必要时选样进行镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验;泥灰岩应增加软化系数试验。

4 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。

5 水文地质条件复杂的岩溶地段应进行水文地质试验或地下水动态观测,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。

**11.3.7 岩溶的岩土工程分析与评价应包括下列内容:**

1 应阐明岩溶的空间分布、发育程度、发育规律、对各类工程的影响和处理原则、存在问题及施工中注意事项等。

2 岩溶地段基坑、隧道涌水量应采用多种方法计算比较确定,并应对岩溶突水、突泥位置和强度、地下水位下降的可能性、对地表水和工程周边环境的影响、可能发生地面塌陷的地段等岩土工程问题作出预测和评估,提出可行的设计、施工措施建议。

3 岩溶地面塌陷应根据岩溶发育程度、土层厚度与结构、地下水位等主要因素综合评价,分析塌陷的主要原因,提出处理措施的建议。

4 线路工程跨越、置于隐伏溶洞之上时,应评价隐伏溶洞的稳定性。

5 必要时编制岩溶工程地质平面图(比例尺 1:500~1:5000)、工程地质纵断面图(比例尺横向 1:200~1:2000、竖向 1:100~1:500)、工程地质横断面图(比例尺 1:200~1:500)及隐伏岩溶、洞穴或暗河的平面、纵横剖面图(比例尺视需要确定,纵、横比例宜一致),图中应标出各类岩溶形态分布位置、与线路工程相互关系。

## **11.4 地 裂 缝**

**11.4.1** 本节适用于由构造、地震、地面沉降或人工采空等原因造成的长距离地裂缝的岩土工程勘察。地裂缝包括在地表出露的地裂缝和未在地表出露的隐伏地裂缝。

**11.4.2** 地裂缝勘察主要应包括下列内容:

1 搜集研究区域地质条件及前人的工作成果资料,查明地裂

缝的性质、成因、形成年代、发生发展规律。

2 调查场地的地形、地貌、地层岩性及地质构造等地质背景,研究其与地裂缝之间的关系;对有显著特征的地层,可确定为勘探时的标志层。

3 调查场地的新构造运动和地震活动情况,研究其与地裂缝之间的关系。

4 调查场地的地下水类型、含水层分布、地下水开采及水位变化情况,研究其与地裂缝之间的关系。

5 调查场地人工坑洞分布及地面沉降等情况,研究其与地裂缝之间的关系。

6 查明地裂缝的分布规律、具体位置、出露情况、延伸长度、产状、上下盘主变形区和微变形区的宽度、次生裂缝发育情况。

7 查明地裂缝形态、宽度、充填物、充填程度。

8 查明地裂缝的活动性、活动速率、不同位置的垂直和水平错距。

9 查明地裂缝对既有建(构)筑物的破坏情况及针对地裂缝破坏所采取工程措施的成功经验。

10 对地裂缝进行长期监测。

#### 11.4.3 地裂缝勘察应符合下列要求:

1 地裂缝勘察宜采用地质调查与测绘、槽探、钻探、静力触探、物探等综合方法。

2 每个场地勘探线数量不宜少于3条,勘探线间距宜为20m~50m,在线路通过位置应布置勘探线。

3 地裂缝每一侧勘探点数量不宜少于3个,勘探线长度不宜小于30m;对埋深30m以内标志层错断,勘探点间距不宜大于4m;对埋深20m以下标志层错断,勘探点间距不宜大于10m。

4 勘探孔深度应能查明主要标志层的错动情况,并达到主要标志层层底以下5m。

5 物探可采用人工浅层地震反射波法,并应对场地异常点进

行钻探验证。

**11.4.4 地裂缝场地岩土工程分析与评价应包括下列内容：**

1 工程地质图中应标明地裂缝在地面的位置、延伸方向及相应的坐标，分出主变形区和微变形区。

2 工程地质剖面图中应标明地裂缝的倾向、倾角及主变形区和微变形区。

3 评价地裂缝的活动性及活动速率，预估地裂缝在工程设计周期内的最大变形量。

4 提出减缓或预防地裂缝活动的措施。

5 地上工程不宜建在地裂缝上，应根据其重要程度建议合理地避让距离，必须建在地裂缝上时，应建议需采取的工程措施。

6 地下工程宜避开地裂缝，应根据其分布情况建议合理地避让距离，无法避开时，宜大角度穿越，并应建议需采取的工程措施。对于活动地裂缝，尚应建议工程线路的通过方式。

7 应评价地裂缝对工程开挖、隧道涌水的影响，建议需采取的工程措施。

8 提出对工程结构和地裂缝进行长期监测的建议。

## **11.5 地 面 沉 降**

**11.5.1** 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的岩土工程勘察。

**11.5.2** 对已发生地面沉降的地区，地面沉降勘察应查明其原因及现状，并预测其发展趋势，评价对城市轨道交通既有线路或新建线路的影响，提出控制和治理方案；对可能发生地面沉降的地区，应预测发生的可能性，并对可能的固结压缩层位作出估计，对沉降量进行估算，分析对城市轨道交通线路可能造成的影响，提出预防和控制地面沉降的建议。

**11.5.3** 对地面沉降原因应调查下列内容：

1 场地的地貌和微地貌。

2 第四系堆积物的年代、成因、厚度、埋藏条件和土性特征,硬土层和软弱压缩层的分布。

3 地下水位以下可压缩层的固结应力历史、最大历史压力和固结变形参数。

4 含水层和隔水层的埋藏条件和承压性质,含水层的渗透系数、单位涌水量等水文地质参数。

5 地下水的补给、径流、排泄条件、含水层间或地下水与地表水的水力联系。

6 历年地下水位、水头的变化幅度和速率。

7 历年地下水的开采量和回灌量,开采或回灌的层段。

8 地下水位下降漏斗及回灌时地下水反漏斗的形成和发展过程。

**11.5.4 对地面沉降现状的调查,应符合下列要求:**

1 搜集城市轨道交通通过地段地面沉降及地下水位的监测资料。

2 按精密水准测量要求进行长期观测,并按不同的结构单元设置高程基准标、地面沉降标和分层沉降标。

3 对地下水的水位升降,开采量和回灌量,化学成分,污染情况和孔隙水压力消散、增长情况进行观测。

4 调查地面沉降对建筑物、既有城市轨道交通线路的影响,包括建筑物和既有城市轨道交通线路的沉降、倾斜、裂缝及其发生时间和发展过程。

5 绘制不同时间的地面沉降等值线图,并分析地面沉降中心与地下水位下降漏斗形成、发展的关系及沉降缓解、地面回弹与地下水位回升的关系。

6 绘制以地面沉降为特征的工程地质分区图。

**11.5.5 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,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。**

## 11.6 有害气体

**11.6.1** 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。

**11.6.2** 有害气体的勘察应查明下列内容:

1 地层成因、沉积环境、岩性特征、结构、构造、分布规律、厚度变化。

2 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。

3 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。

4 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。

5 有害气体的分布、范围、规模、类型、物理化学性质。

6 当地有关有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

**11.6.3** 有害气体的勘探应符合下列要求:

1 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。

2 勘探孔深度宜结合生气层、储气层深度确定。

3 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%。

4 各生气层、储气层应取样不少于 2 组,隔气顶、底板各不少于 1 组。

**11.6.4** 有害气体的测试应包括下列内容:

1 有害气体的类型、含量、浓度、压力、温度及物理化学性质。

2 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。

3 封闭有害气体的顶、底板的物理力学性质。

4 水的腐蚀性。

#### 11.6.5 有害气体的分析与评价应包括下列内容：

1 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。

2 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。

3 必要时编制详细工程地质图（比例尺 1：500～1：5000）、工程地质纵、横断面图（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。



## 12 特殊性岩土

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 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、湿陷性土、膨胀岩土、强风化岩、全风化岩与残积土,若工作中遇到红黏土、混合土、多年冻土、盐渍岩土和污染土等特殊岩土,应按国家现行有关规范、规程进行岩土工程勘察。

**12.1.2** 在分布特殊性岩土的场地,应通过踏勘、搜集已有工程资料和进行工程地质调查与测绘等,初步判断勘察场地的特殊性岩土种类和场地的复杂程度,结合工程的重要程度,制定合理的岩土工程勘察方案。

**12.1.3** 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。

**12.1.4** 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。

**12.1.5** 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。

### 12.2 填 土

**12.2.1** 填土的勘察应查明下列内容:

- 1 地形、地物的变迁,填土的来源、物质成分、堆填方式。
- 2 不同物质成分填土的分布、厚度、深度、均匀程度及相互接触关系。
- 3 不同物质成分填土的堆填时间与加载、卸荷经历。

4 填土的含水量、密度、颗粒级配、有机质含量、密实度、压缩性、湿陷性及腐蚀性等。

5 地下水的赋存状态、补给、径流、排泄方式及腐蚀性等。

#### 12.2.2 填土的勘探应符合下列要求：

1 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分填土的分布、厚度、工程性质及其变化。

2 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。

3 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成分的素填土和杂填土，宜采用动力触探、钻探，在具备施工条件时，可适当布置一定数量的探井。

#### 12.2.3 填土的工程特性指标宜采用下列方法确定：

1 填土的均匀性和密实度宜采用触探法，并辅以室内试验。

2 填土的压缩性和湿陷性宜采用室内固结试验或现场载荷试验。

3 杂填土的密度试验宜采用大容积法。

4 对压实填土应测定其干密度，并应测定填料的最优含水量和最大干密度，计算压实系数。

5 填土的承载力可采用原位测试方法结合当地经验确定，必要时应做载荷试验。

#### 12.2.4 填土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 阐明填土的成分、分布、厚度与岩土工程性质及其变化。

2 对填土的承载力、抗剪强度、基床系数和天然密度等提出建议值。

3 暗挖工程应评价填土及其含水状况对隧道围岩稳定性的影响，提出处理措施和监测工作的建议。

4 明挖、盖挖工程应评价填土对边坡坡度、支护形式及施工的影响，提出处理措施和监测工作的建议。

5 填土开挖时应进行验槽,必要时应补充勘探及测试工作。

## 12.3 软 土

### 12.3.1 软土勘察应包括下列内容:

1 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。

2 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。

3 软土硬壳层的分布、厚度、性质及随季节变化情况;硬夹层的空间分布、形态、厚度及性质;下伏硬底层的岩土组成、性质、埋深和起伏。

4 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。

5 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、颗粒成分、渗透系数;地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等。

6 调查基坑开挖施工、隧道掘进、桩基施工、填筑工程、工程降水等造成的土性变化、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。

### 12.3.2 软土的勘探应符合下列要求:

1 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。

2 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、成层条件和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 25m~50m。当需要圈定重要的局部变化时,可加密勘探点。必要时进行横断面勘探。

3 勘探孔的深度应满足设计要求,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的计算深度和围护结构计算的要求。

4 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量不应少于 10 组。

### 12.3.3 软土的室内试验应符合下列要求:

1 试验项目应根据不同勘察阶段、不同工程类别和处理措施选定。

2 除常规项目外,一般还应包括:渗透系数、固结系数、抗剪强度、静止侧压力系数、灵敏度、有机质含量等。

3 在每一地貌单元应有代表性高压固结试验,成果按  $e-\lg p$  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。

### 12.3.4 软土的岩土工程分析与评价应包括下列内容:

1 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。

2 邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时,或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。

3 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。

4 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,提出加固处理措施的建议。

5 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。

6 对软土地层基坑和隧道的开挖、支护结构类型、地下水控制提出建议,提供抗剪强度参数、土压力系数、渗透系数等岩土参数。

7 根据建(构)筑物对沉降的限制要求,采用多种方法综合分析评价软土地基的承载力: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,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。

8 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。

9 抗震设防烈度大于或等于 7 度的厚层软土,应判别软土震陷的可能性。

10 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和围岩稳定性、变形及施工的影响。

11 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。

## 12.4 湿陷性土

### 12.4.1 湿陷性土的勘察应查明下列内容:

1 湿陷性土的年代、成因、分布及其与地质、地貌、气候之间的关系。

2 湿陷性土的地层结构、厚度变化以及与非湿陷性土层的关系。

3 湿陷系数、自重湿陷系数随深度的变化。

4 湿陷类型和不同湿陷等级的平面分布。

5 古墓、井坑、井巷、地道等的分布。

6 大气降水的积聚与排泄条件,地下水位季节变化幅度及升降趋势。

7 当地消除湿陷性的建筑经验。

### 12.4.2 湿陷性土的勘探应符合下列规定:

1 探井数量宜占取土勘探点总数的  $1/3 \sim 1/2$ 。

2 取土勘探点的数量应为勘探点总数的  $1/2 \sim 2/3$ ,当勘探点间距较大或数量不多时,宜将所有勘探点作为取土勘探点。

3 勘探孔的深度,除应大于地基压缩层深度外,在非自重湿陷性场地尚应达到基础底面以下不小于 10m;在自重湿陷性场地尚应大于自重湿陷性土层的深度,并应满足工程设计与施工的特殊需要。

4 土试样应为 I 级土样,并应在探井中取样,竖向间距宜为 1m,土样直径不应小于 120mm;取样应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定执行。

5 探井和钻孔应分层回填夯实,回填土的干密度不应小于  $1.5\text{g/cm}^3$ 。

#### 12.4.3 湿陷性土的试验应符合下列规定:

1 室内试验除应满足本规范第 16 章的要求外,尚应进行湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力等试验,对浸水可能性大的工程,应进行饱和状态下的压缩和剪切试验。

2 黄土的基坑稳定性计算与支护设计所需抗剪强度指标宜采用三轴固结不排水剪试验(CU),在初步设计阶段可采用固结快剪试验。

3 根据工程需要可进行现场试坑浸水试验和现场载荷试验。

4 湿陷性土的原位及室内试验应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定执行。

#### 12.4.4 湿陷性土的岩土工程分析与评价应包括下列内容:

1 判定场地湿陷类型:当实测自重湿陷量  $\Delta_{zs}$  或计算自重湿陷量  $\Delta_{zs}$  大于 70mm 时应判定为自重湿陷性场地;小于或等于 70mm 时应判定为非自重湿陷性场地。

2 湿陷性黄土地基湿陷量  $\Delta_s$  计算方法按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定执行;对不能采取不扰动土试样的湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等,地基湿陷量  $\Delta_s$  计算方法按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定执行。

3 湿陷性黄土地基的湿陷等级应根据场地的湿陷类型、计算

自重湿陷量  $\Delta_{zs}$  和湿陷量  $\Delta_s$  按表 12.4.4-1 的规定确定；湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等地基的湿陷等级应根据湿陷量  $\Delta_s$  和湿陷性土总厚度按表 12.4.4-2 的规定确定。

表 12.4.4-1 湿陷性黄土地基的湿陷等级

<div> 湿度类型 自重湿陷量 <math>\Delta_{zs}</math> (mm) 湿陷量 <math>\Delta_s</math> (mm) </div>	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$
$\Delta_s \leq 300$	I (轻微)	II (中等)	—
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	* II (中等) 或 III (严重)	III (严重)
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)

注：\* 当湿陷量的计算值  $\Delta_s$  大于 600mm、自重湿陷量的计算值  $\Delta_{zs}$  大于 300mm 时，可判为 III 级，其他情况可判为 II 级。

表 12.4.4-2 湿陷性碎石土等其他湿陷性土地基的湿陷等级

湿陷量 $\Delta_s$ (mm)	湿陷性土总厚度 (m)	湿陷等级
$50 < \Delta_s \leq 300$	$> 3$	I
	$\leq 3$	II
$300 < \Delta_s \leq 600$	$> 3$	
	$\leq 3$	III
$\Delta_s > 600$	$> 3$	
	$\leq 3$	IV

4 应提出消除地基湿陷性措施的建议。

5 湿陷性黄土的承载力应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定确定。湿陷性碎石土、湿陷性砂土、湿陷性粉土和湿陷性填土等的承载力宜按载荷试验确定。

6 应对自重湿陷性场地的桩基设计提出关于负摩阻力值的建议。测定负摩阻力宜进行现场试验。当进行现场试验有困难

时,可参照《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定进行估算。

7 应对黄土中可能存在的钙质结核及钙质结核富集层对隧道施工的影响进行分析评价。

## 12.5 膨胀岩土

12.5.1 膨胀土的勘察应查明下列内容:

1 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。

2 膨胀土分布区的地形、地貌特征。

3 膨胀土分布区不良地质作用的发育情况与危害程度。

4 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。

5 地表水的排泄条件,地下水位与变化幅度。

6 多年的气象资料及大气的影响深度。

7 当地的建筑经验,建筑物与道路的破坏形式,发生发展特点与防治措施等。

12.5.2 膨胀土的勘探应符合下列要求:

1 勘探点宜结合地貌特征和工程类型布置,采用钻探和井探相结合,钻探宜采用干钻。

2 取土试样钻孔、探井的数量不应少于钻孔、探井总数的  $1/2$ 。

3 勘探孔深度,除应超过压缩层深度外,尚应大于大气影响深度。勘探孔深度还应满足各类工程设计的需要。

4 在大气影响深度内的土试样,取样间隔宜为  $1\text{m}$ ,在大气影响深度以下,取样间隔可适当增大。

5 钻孔、探井应分层回填夯实。

12.5.3 膨胀土室内试验应符合下列要求:

1 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。

2 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。

3 必要时,进行三轴剪切试验、残余强度试验等。

#### 12.5.4 膨胀岩的勘察应符合下列要求:

1 除满足本规范第 12.5.1 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。

2 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。

3 按岩性、风化带分层采取代表性样品,进行密度、含水量、自由膨胀率、膨胀力、岩石的饱和吸水率等试验。

#### 12.5.5 膨胀岩土的工程分析与评价应包括下列内容:

1 膨胀土膨胀潜势应按表 12.5.5-1 的规定进行分类:

表 12.5.5-1 膨胀潜势分类

膨胀潜势 分类指标	弱	中	强
自由膨胀率 $\delta_{ef}(\%)$	$40 \leq \delta_{ef} < 60$	$60 \leq \delta_{ef} < 90$	$\delta_{ef} \geq 90$
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。

2 场地应按下列条件进行分类:

1) 平坦场地:地形坡度小于  $5^\circ$ ;地形坡度大于  $5^\circ$ 、小于  $14^\circ$  而距坡肩的水平距离大于 10m 的坡顶地带。

2) 坡地场地:地形坡度大于或等于  $5^\circ$ ;地形坡度虽小于  $5^\circ$  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。

3 膨胀土地基胀缩等级应按表 12.5.5-2 的规定进行划分:

表 12.5.5-2 膨胀土地基胀缩等级

级 别	地基分级变形量 $s_c$ (mm)
I	$15 \leq s_c < 35$
II	$35 \leq s_c < 70$
III	$s_c \geq 70$

注:1 测定膨胀率的试验压力应为 50kPa;

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》GBJ 112 的有关规定进行。

4 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。

5 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。

6 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、基坑支护和防水、保湿措施等。

7 应对建(构)筑物、工程设施、边坡等的变形、岩土的含水量变化及气候等环境条件变异的监测提出建议。

## 12.6 强风化岩、全风化岩与残积土

12.6.1 强风化岩、全风化岩与残积土的勘察应着重查明下列内容:

- 1 母岩的地质年代和名称。
- 2 强风化岩、全风化岩与残积土的分布、埋深与厚度变化。
- 3 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度。
- 4 强风化岩、全风化岩与残积土的不均匀程度,破碎带和软弱夹层的分布、特征。
- 5 强风化岩、全风化岩与残积土中岩脉的分布。
- 6 强风化岩、全风化岩与残积土的透水性和富水性。
- 7 强风化岩、全风化岩与残积土的物理力学性质及参数。
- 8 当地强风化岩、全风化岩与残积土的工程经验。

**12.6.2 强风化岩、全风化岩与残积土的勘探与测试应符合下列要求:**

1 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手段进行勘察工作。

2 应有一定数量的探井。

3 勘探点间距应按照本规范第 7.3.3 条的规定取小值。

4 在强风化岩、全风化岩与残积土中应取得 I 级试样。

5 根据工程需要按本规范第 16 章的规定,对全风化岩、残积土和呈土状的强风化岩进行土工试验,对呈岩块状的强风化岩进行岩石试验,对残积土必要时进行湿陷性和湿化试验。

**12.6.3 强风化岩、全风化岩与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  $E$  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》GB 50007 的有关规定确定。**

**12.6.4 对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:**

1 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土可按表 12.6.4 的规定划分。

2 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。

表 12.6.4 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土划分

测试项目及指标 岩土名称	标准贯入 $N$ 值(实测值)	剪切波波速 $v_s$ (m/s)
强风化岩	$N \geq 50$	$v_s \geq 400$
全风化岩	$50 > N \geq 30$	$400 > v_s \geq 300$
残积土	$N < 30$	$v_s < 300$

3 除满足本规范第 12.6.1 条的规定外,尚应着重查明花岗岩分布区强风化岩、全风化岩与残积土中球状风化体(孤石)的分布。

4 对花岗岩类残积土和全风化岩进行细粒土的天然含水量、塑性指数、液性指数等试验。

12.6.5 强风化岩、全风化岩与残积土的岩土工程分析与评价应包括下列内容:

1 评价强风化岩、全风化岩与残积土的地基及边坡稳定性,并提出工程措施的建议。

2 评价强风化岩、全风化岩与残积土中的桩基承载力和稳定性。

3 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。

4 评价强风化岩、全风化岩与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,提出地下水控制措施的建议。

5 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。

## 13 工程地质调查与测绘

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 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、不良地质作用和特殊性岩土等。

**13.1.2** 应通过调查与测绘掌握场地主要工程地质问题,结合区域地质资料对城市轨道交通工程场地的稳定性、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。

### 13.2 工作方法

**13.2.1** 工程地质调查与测绘应搜集工程沿线的既有资料,并进行综合分析研究。

**13.2.2** 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。

**13.2.3** 在采用遥感技术的地段,应对室内解译结果进行现场核实。

**13.2.4** 地质观测点的布置应符合下列规定:

1 地质观测点应布置在具有代表性的岩土露头、地层界线、断层及重要的节理、地下水露头、不良地质、特殊岩土界线等处。

2 地质观测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体的变化。

3 地质观测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

等重要的地质观测点,应采用仪器定位。

**13.2.5** 当地质条件复杂时,宜采用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。

### **13.3 工 作 范 围**

**13.3.1** 应按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,其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。

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

**13.3.3** 对工程建设有影响的不良地质作用、特殊性岩土、断裂构造、地下富水区、既有建筑工程等地段应扩大工作范围。

**13.3.4** 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。

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

### **13.4 工 作 内 容**

**13.4.1** 工程地质调查与测绘的资料搜集应包括下列内容:

- 1 区域性的地质、水文、气象、航卫片、建筑及植被等资料。
- 2 既有建(构)筑物的岩土工程勘察资料 and 施工经验。
- 3 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。

**13.4.2** 工程地质调查与测绘工作应包括下列内容:

- 1 调查、测绘地形与地貌的形态,划分地貌单元,确定成因类型,分析其与基底岩性和新构造运动的关系。
- 2 调查天然和人工边坡的形式、坡率、防护措施和稳定情况。
- 3 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。

4 调查构造类型、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。

5 对主干断裂、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。

6 调查地表水体及河床演变历史,搜集主要河流的最高洪水位、流速、流量、河床标高、淹没范围等。

7 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、腐蚀性情况,以及历年地下水位的长期观测资料。

8 调查填土的堆积年代、坑塘淤积层的厚度,以及软土、盐渍岩土、膨胀性岩土、风化岩和残积土等特殊岩土分布范围和工程地质特征。

9 调查岩溶、人工空洞、滑坡、岸边冲刷、地面沉降、地裂缝、地下古河道、暗浜、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。

### 13.5 工 作 成 果

**13.5.1** 工程地质调查与测绘的资料应准确可靠、图文相符。对工程设计、施工有影响的工程地质现象,应用素描图或照片记录并附文字说明。

**13.5.2** 工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求:

1 测绘用图比例尺宜选用比最终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 1:1000~1:2000;在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段选用 1:500~1:1000;在工程地质条件复杂地段应适当放大比例尺。

2 在可行性研究勘察阶段地层单位划分到“阶”或“组”;岩体年代单位划分到“期”;在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段均划分到“段”。第四系应划分不同的成因类型,年代应划分到“世”。

3 地质界线、地质观察点测绘在图上的位置误差不应大于 2mm。

4 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。

### 13.5.3 工程地质调查与测绘的成果资料应符合下列规定:

1 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。

2 对地质条件复杂地段,应编制工程地质调查与测绘报告。报告内容包括文字报告、地质柱状图、工程地质图、纵横地质剖面图、遥感地质解译资料、素描图和照片等。



## 14 勘探与取样

### 14.1 一般规定

14.1.1 钻探、井探、槽探、物探等勘探方法的选择,应根据地层、勘探深度、取样、原位测试及场地现状确定。

14.1.2 勘探应分层准确,不得遗漏对工程有影响的软弱夹层、软弱面(带)。

14.1.3 勘探点测量应采用与设计相符的高程、坐标系统,引测基准点应满足其精度要求。

14.1.4 岩土试样的采取方法应结合地层条件、岩土试验技术要求确定。

14.1.5 勘探作业应考虑对工程及环境的影响,防止对地下管线、地下构筑物和环境的破坏,并采取有效措施,确保勘探施工安全。

14.1.6 钻孔、探井、探槽用完后应及时妥善回填,并记录回填方法、材料和过程;回填质量应满足工程施工要求,避免对工程施工造成危害。

### 14.2 钻 探

14.2.1 钻探方法可根据岩土类别和勘察要求按表 14.2.1 的规定选用。

表 14.2.1 钻探方法的适用范围

钻进方法		钻进地层					勘察要求	
		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	螺纹钻探	○	△	△	—	—	○	○
	无岩芯钻探	○	○	○	△	○	—	—
	岩芯钻探	○	○	○	△	○	○	○

续表 14.2.1

钻进方法	钻进地层					勘察要求	
	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
冲击钻探	—	△	○	○	—	—	—
锤击钻探	○	○	○	△	—	○	○
振动钻探	○	○	○	△	—	△	○
冲洗钻探	△	○	○	—	—	—	—

注:○代表适用;△代表部分情况适用;—代表不适用。

**14.2.2** 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。

**14.2.3** 钻探应符合下列规定:

1 钻进深度、岩土分层深度允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ,地下水位量测允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$ 。

2 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。

3 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。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。

4 工程地质钻探的岩芯采取率应符合表 14.2.3 的规定。

表 14.2.3 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、粉土	$\geq 90$
	砂土	$\geq 70$
	碎石土	$\geq 50$

续表 14.2.3

岩土类型		岩芯采取率(%)
基岩	滑动面及重要结构面上下 5m 范围内	$\geq 70$
	微风化带、中风化带	$\geq 70$
	强风化带、全风化带, 构造破碎带	$\geq 65$
	完整岩层	$\geq 80$

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。

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。

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

#### 14.2.4 岩芯整理应符合下列规定:

1 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。

2 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。

3 对重要的钻孔,应装箱妥善保存岩芯、土样,分箱拍摄彩色照片。

#### 14.2.5 钻探记录和编录应符合下列规定:

1 钻探现场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。

2 钻探记录应包括回次进尺和深度、钻进情况、孔内情况、钻进参数、地下水位、岩芯记录等内容。

### 14.3 井探、槽探

14.3.1 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。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。

**14.3.2** 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 0.5m~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。

**14.3.3** 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。

## 14.4 取 样

**14.4.1** 土试样质量等级应根据用途按表 14.4.1 的规定划分为四级:

表 14.4.1 土试样质量等级

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

注:不扰动土样是指虽然土的原位应力状态改变,但土的结构、密度、含水量变化很小,可满足各项室内试验要求的土样。

**14.4.2** 土试样采取的工具和方法可按本规范附录 G 选取。

**14.4.3** 对特殊土的取样应符合本规范第 12 章的有关规定。

**14.4.4** 在钻孔中采取 I、II 级砂试样时,可采用原状取砂器。

**14.4.5** 在钻孔中采取 I、II 级土试样时,应满足下列条件:

1 在软土、砂土中,宜采用泥浆护壁;如使用套管,应保持管内水位等于或稍高于地下水位,取样位置应低于套管底 3 倍孔径的距离。

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

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

4 采取土试样宜用快速静力连续压入法。在硬塑和坚硬的黏性土和密实的粉土层中压入法取样有困难时,可采用击入法,并应重锤少击。

**14.4.6** I、II、III级土试样应妥善密封,防止湿度变化,严防暴晒或冰冻,保存时间不宜超过两周。在运输中应避免振动,对易于振动液化和水分离析的土试样宜就近进行试验。

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

**14.4.8** 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。

## **14.5 地球物理勘探**

**14.5.1** 城市轨道交通岩土工程勘察宜在下列方面采用地球物理勘探:

1 探测隐伏的地质界线、界面、不良地质体、地下管线、地下空洞、土洞、溶洞等。

2 在钻孔之间增加地球物理勘探点,为钻探成果的内插、外推提供依据。

3 测定沿线大地导电率、岩土体波速、岩土体电阻率、放射性辐射参数等,计算动弹性模量、动剪切模量、卓越周期。

**14.5.2** 采用地球物理勘探方法时,应具备下列条件:

1 被探测对象与其周围介质间存在一定的物性(电性、弹性、磁性、密度、温度、放射性等)差异。

2 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。

3 能抑制各种干扰,区分有用信号和干扰信号。

**14.5.3** 在应用地球物理勘探方法时,应进行方法的有效性试验;试验地段应选择在有对比资料,且具有代表性的地段。

**14.5.4** 解译地球物理勘探资料时,应考虑其多解性。当需要时,应采用多种勘探手段,包括多种地球物理勘探方法,并应有一定数量的钻探验证孔,在相互印证的基础上,对资料进行综合解译。

**14.5.5** 提交地球物理勘探解译成果图及解译报告内容、格式应满足设计要求,必要时还应交付地震时间剖面图、电阻率断面图等原始资料。

## 15 原位测试

### 15.1 一般规定

15.1.1 原位测试方法应根据岩土条件、设计对参数的需要、地区经验和测试方法的适用性等因素综合确定。

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

15.1.3 原位测试的仪器设备应定期检验和标定。

15.1.4 原位测试应符合国家或行业有关测试规程的规定。

### 15.2 标准贯入试验

15.2.1 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。

15.2.2 标准贯入试验的设备应符合表 15.2.2 的规定。

表 15.2.2 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

**15.2.3** 标准贯入试验可在钻孔全深度范围内或在个别土层内以 1m~2m 的间距进行。标准贯入试验孔采用回转钻进,水位下试验时应保证孔内水位不低于原地下水位。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。

**15.2.4** 当在 30cm 内锤击数已达 50 击时,可不再强行贯入,但应记录 50 击时的贯入深度,试验成果可按下式换算为相当于 30cm 的锤击数。

$$N = 30n/\Delta S \quad (15.2.4)$$

式中:  $N$ ——实测标准贯入锤击数;

$n$ ——所取锤击数为 50 击;

$\Delta S$ ——相应于  $n$  的贯入深度(cm)。

**15.2.5** 标准贯入试验成果,应采用实测值,按数理统计方法进行统计。不宜使用单孔的  $N$  值对土的工程性质作出评价。

**15.2.6** 标准贯入试验成果资料整理应包括下列内容:

1 标准贯入试验成果  $N$  可直接标在工程地质剖面图上,也可绘制单孔标准贯入锤击数  $N$  与深度关系曲线或直方图。统计分层标准贯入锤击数平均值时,应剔除异常值。

2 应用  $N$  值时是否修正和如何修正,应根据建立统计关系时的具体情况确定。

### 15.3 圆锥动力触探试验

**15.3.1** 圆锥动力触探类型应符合表 15.3.1 的规定。轻型圆锥动力触探试验适用于浅部的黏性土、粉土、砂土及填土。重型圆锥动力触探试验和超重型圆锥动力触探试验适用于强风化、全风化的硬质岩石、各种软质岩石及砂土、圆砾(角砾)和卵石(碎石)。

表 15.3.1 圆锥动力触探类型

类 型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量(kg)	10	63.5	120
	落距(cm)	50	76	100



续表 15.3.1

类 型		轻型	重型	超重型
探头	直径(mm)	40	74	74
	锥角(°)	60	60	60
探杆直径(mm)		25	42	50~60
贯入指标	贯入深度(cm)	30	10	10
	锤击数符号	$N_{10}$	$N_{63.5}$	$N_{120}$

**15.3.2** 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。

**15.3.3** 不宜使用单孔锤击数对土的工程性质作出评价。

**15.3.4** 圆锥动力触探试验成果资料整理应包括下列内容：

1 单孔连续圆锥动力触探试验应绘制锤击数与贯入深度关系曲线。

2 计算单孔分层贯入指标平均值时,应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

3 根据各孔分层的贯入指标平均值,用厚度加权平均法计算场地分层贯入指标平均值和变异系数。

## 15.4 旁 压 试 验

**15.4.1** 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。

**15.4.2** 旁压试验应在有代表性的位置和深度进行,旁压器的量测腔应在同一土层内,试验点的垂直间距不宜小于 1m,每层土的测点不应少于 1 个,厚度大于 3m 的土层测点不应少于 3 个。

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

**15.4.4** 在饱和软黏性土层中宜采用自钻式旁压试验,在试验前宜通过试钻确定最佳回转速率、冲洗液流量、切削器的距离等技术

参数。

**15.4.5** 加荷等级可采用预期临塑压力的  $1/7 \sim 1/5$  或极限压力的  $1/12 \sim 1/10$ , 如不易预估临塑压力或极限压力时, 可按表 15.4.5 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 15.4.5 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	$\leq 15$
软塑黏性土, 新黄土, 稍密的粉土及砂土	15~25
可塑—硬塑黏性土, 一般黄土, 中密的粉土、砂土	25~50
坚硬黏性土, 老黄土, 密实的粉土、砂土	50~150
软质岩, 风化岩	100~600

注: 为确定  $P-V$  曲线上直线段起点对应的压力  $P_0$ , 开始的 1 级~2 级加载增量宜减半施加。

**15.4.6** 每级压力应保持相对稳定的观测时间, 对黏性土、砂土宜为 3min, 对软质岩石和风化岩宜为 1min。维持 1min 时, 加荷后 15、30、60s 测读变形量; 维持 3min 时, 加荷后 15、30、60、120、180s 测读变形量;

**15.4.7** 旁压试验成果资料整理应包括下列内容:

1 对各级压力及相应的扩张体积或半径增量分别进行约束力及体积的修正后, 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  $f_y$ , 按下列公式计算:

$$f_L = p_L - p_0 \quad (15.4.7-1)$$

$$f_y = p_t - p_0 \quad (15.4.7-2)$$

式中:  $p_0$ ——旁压试验初始压力(kPa);

$p_L$ ——旁压试验极限压力(kPa);

$p_t$ ——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:

$$E_m = 2(1 + \mu) \left( V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (15.4.7-3)$$

式中:  $E_m$ ——旁压模量(kPa);

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

$V_c$ ——旁压器量测腔初始固有体积( $\text{cm}^3$ );

$V_0$ ——与初始压力  $p_0$  对应的体积( $\text{cm}^3$ );

$V_f$ ——与临塑压力  $p_f$  对应的体积( $\text{cm}^3$ );

$\Delta p / \Delta V$ ——旁压曲线直线段的斜率( $\text{kPa} / \text{cm}^3$ )。

## 15.5 静力触探试验

**15.5.1** 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。静力触探可根据工程需要和地区经验采用单桥探头、双桥探头或带孔隙水压力量测的单桥、双桥探头,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( $u$ )。

**15.5.2** 当贯入深度较大,或穿过厚层软土后再贯入硬土层或密实砂层时,应采取措施防止孔斜或断杆,也可配置测斜探头,量测触探孔的偏斜角,校正土层界线的深度。

**15.5.3** 水上触探应有保证孔位不致发生偏移以及在试验过程中不发生探头上下移动的稳定措施,水底以上部位应加设防止探杆挠曲的装置。

**15.5.4** 当在预定深度进行孔压消散试验时,应量测停止贯入后不同时间的孔压值,其计时间隔由密而疏合理控制。

**15.5.5** 静力触探试验成果资料整理应包括下列内容:

1 绘制比贯入阻力与深度曲线、锥尖阻力与深度曲线、侧壁摩阻力与深度曲线、侧壁摩阻力与锥尖阻力之比与深度曲线、孔隙

水压力与深度曲线以及超孔隙水压力与深度曲线。

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。计算各土层静力探触有关试验数据的平均值。

3 根据静力探触资料,利用地区经验估算土的强度、变形参数和估算单桩承载力等。

## 15.6 载 荷 试 验

15.6.1 载荷试验一般包括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;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。

15.6.2 刚性承压板根据土的软硬或岩体裂隙密度选用合适的尺寸,土的浅层平板载荷试验承压板面积不应小于  $0.25\text{m}^2$ ,对软土和粒径较大的填土不应小于  $0.5\text{m}^2$ ;土的深层板载荷试验承压板面积宜选用  $0.5\text{m}^2$ ;岩石载荷试验承压板的面积不宜小于  $0.07\text{m}^2$ ;螺旋板载荷试验承压板直径根据土性分别取  $0.160\text{m}$  或  $0.252\text{m}$ 。

15.6.3 基床系数在现场测定时宜采用  $K_{30}$  方法,即采用直径  $30\text{cm}$  的荷载板垂直或水平加载试验,可直接测定地基土的垂直基床系数  $K_v$  和水平基床系数  $K_h$ 。

15.6.4 载荷试验应布置在围岩内或基础埋置深度处,当土质不均匀或多层土时,应选择有代表性的地点和深度进行,必要时,宜在不同土层深度进行试验。

15.6.5 浅层平板载荷试验的试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的 3 倍;深层平板载荷试验的试井直径应等于承压板直径,试坑或试井底的岩土应避免扰动,保持其原状结构和天然湿度;螺旋板头入土时,应按每转一圈下入一个螺距进行操作,减少对土的扰动。

15.6.6 载荷试验加荷方式应采用分级维持荷载沉降相对稳定

法(常规慢速法);有地区经验时,可采用分级加荷沉降非稳定法(快速法)或等沉降速率法;加荷等级宜取 10 级~12 级,并不应少于 8 级;当极限荷载不易估计时,可按表 15.6.6 的规定取值。

表 15.6.6 荷载增量取值

试验土层及特性	荷载增量(kPa)
淤泥,流塑黏性土,松散粉土、砂土	<15
软塑黏性土,新近沉积黄土,稍密粉土、砂土	15~25
硬塑黏性土,新黄土( $Q_4$ ),中密粉土、砂土	25~50
坚硬黏性土,老黄土,新黄土( $Q_3$ ),密实粉土、砂土	50~100
碎石类土,软岩及风化岩	100~200

15.6.7 试验点附近宜取土试验提供土工试验指标,或其他原位测试资料,试验后应在承压板中心向下开挖取土试验,并描述 2 倍承压板直径或宽度范围内土层的结构变化。

15.6.8 载荷试验成果资料整理与计算应符合下列规定:

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

2 当  $p$ - $s$  呈缓变曲线时,可按表 15.6.8-1 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 15.6.8-1 各类土的相对沉降值( $s/d$  或  $s/b$ )

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

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

3 土的变形模量应根据  $p$ - $s$  曲线的初始直线段,可根据均质

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:

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pd}{s} \quad (15.6.8-1)$$

深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验的变形模量  $E_0$  (MPa), 可按下式计算:

$$E_0 = \omega \frac{pd}{s} \quad (15.6.8-2)$$

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

$\mu$ ——土的泊松比按式(15.4.7-3)取值;

$d$ ——承压板直径或边长(m);

$p$ —— $p$ - $s$  曲线线性段的压力(kPa);

$s$ ——与压力  $p$  对应的沉降(mm);

$\omega$ ——与试验深度和土类有关的系数, 可按表 15.6.8-2 的规定选用。

表 15.6.8-2 深层载荷试验计算系数  $\omega$

土类 $d/z$	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
0.30	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
0.25	0.469	0.480	0.482	0.506	0.514
0.20	0.460	0.471	0.474	0.497	0.505
0.15	0.444	0.454	0.457	0.479	0.487
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:  $d/z$  为承压板直径或边长和承压板底面深度之比。

### 15.6.9 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,并按极差剔除准则补充试验和剔除异常值。

## 15.7 扁铲侧胀试验

15.7.1 扁铲侧胀试验适用于软土、一般黏性土、粉土、黄土和松散或稍密的砂土。

15.7.2 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。

15.7.3 扁铲侧胀试验应符合下列规定:

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 $\Delta A$ 为5kPa~25kPa;

率定时膨胀至1.10mm的气压实测值 $\Delta B$ 为10kPa~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。

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0.05、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1、2、4、8、15、30、90min,以后每90min测读一次,直至消散结束。

15.7.4 扁铲侧胀试验成果资料整理应包括下列内容:

1 对试验的实测数据进行膜片刚度修正:

$$p_0 = 1.05(A - z_m + \Delta A) - 0.05(B - z_m - \Delta B) \quad (15.7.4-1)$$

$$p_1 = B - z_m - \Delta B \quad (15.7.4-2)$$

$$p_2 = C - z_m + \Delta A \quad (15.7.4-3)$$

式中:  $p_0$ ——膜片向土中膨胀之前的接触压力(kPa);

$p_1$ ——膜片膨胀至 1.10mm 时的压力(kPa);

$p_2$ ——膜片回到 0.05mm 时的终止压力(kPa);

$z_m$ ——调零前的压力表初读数(kPa)。

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

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (15.7.4-4)$$

$$K_D = (p_0 - u_0)/\sigma_{v0} \quad (15.7.4-5)$$

$$I_D = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_0) \quad (15.7.4-6)$$

$$U_D = (p_2 - u_0)/(p_0 - u_0) \quad (15.7.4-7)$$

式中:  $E_D$ ——侧胀模量(kPa);

$K_D$ ——侧胀水平应力指数;

$I_D$ ——侧胀土性指数;

$U_D$ ——侧胀孔压指数;

$u_0$ ——试验深度处的静水压力(kPa);

$\sigma_{v0}$ ——试验深度处土的有效上覆压力(kPa)。

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

## 15.8 十字板剪切试验

15.8.1 十字板剪切试验适用于均质饱和软黏性土。

15.8.2 试验点竖向间距可取 1m~2m,或根据静力触探试验等资料布置。

15.8.3 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 倍~5 倍;插入至试验深度后,至少应静止 2min~3min,方可开始试验;扭转剪切速率宜采用  $1^\circ/10s \sim 2^\circ/10s$ ,并应在测得峰值强度后继续测记 1min;在峰值强度或稳定值测试完后,顺扭转方向连续转动大于或等于 6 圈后,测定重塑土的不排水抗剪强度。

15.8.4 十字板剪切试验成果资料整理应包括下列内容:

1 计算土的不排水抗剪强度峰值、残余值和灵敏度。

2 绘制不排水抗剪强度峰值和残余值随深度的变化曲线,



需要时,绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线。

3 根据土层条件及地区经验,对不排水抗剪强度应进行修正。

15.8.5 根据原状土的十字板强度  $c_u$  和重塑土的十字板强度  $c'_u$ , 土的灵敏度  $S_r$ ,按下式计算:

$$S_r = c_u / c'_u \quad (15.8.5)$$

## 15.9 波速测试

15.9.1 波速测试可采用单孔法、跨孔法或面波法;波速测试可用于下列目的:

1 确定场地类别、判断场地地震液化的可能性,提供地震反应分析所需的场地土动力参数。

2 计算设计动力机器基础和计算结构物与地基土共同作用所需的动力参数。

3 判定碎石土的密实度,评价地基土加固处理效果。

4 利用岩体纵波速度与岩石单轴极限抗压强度进行围岩分级,确定岩石风化程度,并初步确定基床系数,围岩稳定程度。

15.9.2 单孔法波速测试的技术要求应符合下列规定:

1 测试孔应垂直。

2 将三分量检波器固定在孔内预定深度处,并紧贴孔壁。

3 可采用地面激振或孔内激振。

4 应结合土层布置测点,测点的垂直间距宜取 1m~3m。层位变化处加密,并宜自下而上逐点测试。

15.9.3 跨孔法波速测试的技术要求应符合下列规定:

1 应设置 2 个或 3 个试验孔,且成一条直线,在第四系覆盖层地段孔距宜为 2m~5m,在基岩地段孔距宜为 8m~15m。

2 试验钻孔应圆直,并应下定向套管,套管与孔壁间应灌浆或填砂。

3 当钻孔深度大于 15m 时,应对试验孔进行测斜,测斜点竖

向间距宜为 1m,测得每一试验深度的倾斜角与方位。

4 竖向测试点间距离为 1m~2m,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。

15.9.4 面波法波速测试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。

15.9.5 波速测试成果资料整理应包括下列内容:

1 在波形记录上识别压缩波和第一个剪切波的初至时间。

2 根据压缩波和剪切波传播时间和距离,确定压缩波与剪切波的波速。

3 确定地层小应变的动剪切模量、动弹性模量、动泊松比和动刚度。

4 稳态面波法尚应提供波长、波速。

15.9.6 土层的动剪切模量  $G_d$  和动弹性模量  $E_d$  可按下列公式计算:

$$G_d = \rho \cdot v_s^2 \quad (15.9.6-1)$$

$$E_d = 2(1 + \mu_d)\rho \cdot v_s^2 \quad (15.9.6-2)$$

式中:  $\mu_d$ ——土的动泊松比;

$\rho$ ——土的质量密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$v_s$ ——剪切波波速( $\text{m}/\text{s}$ )。

## 15.10 岩体原位应力测试

15.10.1 岩体应力测试适用于无水、完整或较完整的岩体。可采用孔壁应变法、孔径变形法和孔底应变法测求岩体空间应力和平面应力。

15.10.2 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。

15.10.3 测试岩体原始应力时,测点深度应超过应力扰动影响

区;在地下洞室中进行测试时,测点深度应超过洞室直径的 2 倍。

**15.10.4 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。

**15.10.5 岩芯应力解除后的围压试验应在 24h 内进行;压力宜分 5 级~10 级,最大压力应大于预估岩体最大主应力。**

**15.10.6 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/T 50266 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。

**15.11 现场直接剪切试验**

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

**15.11.2 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  $0.25\text{m}^2$ , 试体最小边长不宜小于 50cm, 高度不宜小于最小边长的 0.5 倍。试体之间的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  $0.3\text{m}^2$ , 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  $1/4\sim 1/3$ 。

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

**15.11.4** 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。

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

**15.11.6** 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。

**15.11.7 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。

## **15.12 地温测试**

**15.12.1** 地温测试可采用钻孔法、贯入法、埋设温度传感器法,地温长期观测宜采用埋设温度传感器法。

**15.12.2** 温度传感器的测量范围宜为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ,测量误差宜不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ;温度传感器和读数仪使用前应进行校验。

**15.12.3** 每个地下车站均宜进行地温测试,测试点宜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。

**15.12.4** 钻孔法测试应符合下列规定:

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℃。

**15.12.5** 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;插入至测试深度后,至少应静止5min~10min,方可开始观测。

**15.12.6** 地温长期观测周期应根据当地气温变化确定。

**15.12.7** 测试成果资料整理应符合下列要求:

1 地温测试前应记录测试点气温、天气、日期、时间以及光线遮挡情况,钻孔法应记录地下水稳定水位。

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。

## 16 岩土室内试验

### 16.1 一般规定

**16.1.1** 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/T 50123 和《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。

**16.1.2** 岩土室内试验项目应根据岩土性质、工程类型和设计、施工需要确定。

**16.1.3** 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。

### 16.2 土的物理性质试验

**16.2.1** 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、有机质含量等。

**16.2.2** 土的比重,可直接测定也可根据经验值确定。

**16.2.3** 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。

**16.2.4** 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。

**16.2.5** 结合地质条件和工程类型,必要时应进行土的腐蚀性试验。

**16.2.6** 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:

$$\alpha = 3.6 \frac{\lambda}{C\rho} \quad (16.2.6-1)$$

式中： $\rho$ ——密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$\alpha$ ——导温系数( $\text{m}^2/\text{h}$ )；

$\lambda$ ——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 K。

### 16.3 土的力学性质试验

**16.3.1** 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、湿陷性试验、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。

**16.3.2** 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。

**16.3.3** 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。

**16.3.4** 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)。

**16.3.5** 必要时应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。

**16.3.6** 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。

**16.3.7** 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。

**16.3.8** 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。



**1 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。

**2 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。**

## **16.4 岩石试验**

**16.4.1 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。**

**16.4.2 单轴抗压强度应分别测定干燥和饱和状态下的强度,软岩可测定天然状态下的强度,并提供有关参数。**

**16.4.3 岩石抗剪试验,应沿节理面、层面等薄弱环节进行。应在不同法向应力下测定。**

**16.4.4 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。**

**16.4.5 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。**

## 17 工程周边环境专项调查

### 17.1 一般规定

**17.1.1** 工程周边环境专项调查范围、对象及内容,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。

**17.1.2** 工程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。

### 17.2 调查要求

**17.2.1** 工程周边环境专项调查的内容主要包括环境类型、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。

**17.2.2** 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。

**17.2.3** 地下构筑物及人防工程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。

**17.2.4** 地下管线应重点调查管线的类型、平面位置、埋深(或高程)、铺设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、阀门位置等。

**17.2.5** 既有城市轨道交通线路与铁路应重点调查下列内容:

1 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。

2 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。

3 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。

**17.2.6 城市道路及高速公路应重点调查下列内容:**

1 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。

2 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。

**17.2.7 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。**

**17.2.8 水工构筑物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。**

**17.2.9 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、线缆与轨道交通线路的交汇点坐标、悬高等。**

**17.2.10 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。**

### **17.3 成果资料**

**17.3.1 建(构)筑物调查成果资料的整理应符合下列规定:**

1 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。

2 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、工作量完成情况及调查成果汇总,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。

3 调查对象成果表主要包括: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。

4 调查对象应在平面位置图上进行标识。

5 工程环境调查报告中应详细说明资料获取方式及来源。

**17.3.2** 地下管线探测成果资料整理应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 有关报告书编制的要求。

**17.3.3** 其他各类环境对象的调查成果资料可参照本规范第 17.3.1 条的有关规定进行整理。

## 18 成果分析与勘察报告

### 18.1 一般规定

**18.1.1** 城市轨道交通岩土工程勘察报告,应在搜集已有资料,取得工程地质调查与测绘、勘探、测试和室内试验成果的基础上,根据勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法对勘察工作的要求,进行岩土工程分析与评价,提供工程场地的工程地质和水文地质资料。

**18.1.2** 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现行有关标准的规定。

**18.1.3** 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》GB 50021 的有关规定。

**18.1.4** 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。

**18.1.5** 勘察成果资料整理应符合下列规定:

- 1 各阶段勘察成果应具有连续性、完整性。
- 2 相邻区段、相邻工点的衔接部位或不同线路交叉部位的勘察成果资料应互相利用、保持一致。
- 3 勘探点平面图宜取合适的比例尺,应包含地形、线位、站位、里程、结构轮廓线等。

4 绘制工程地质断面图时,勘探点宜投影至线路断面上,断面图应包含里程标、地面高程、线路及车站断面等。

5 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。

**18.1.6** 勘察报告中的图例应符合本规范附录 L 的规定。

## **18.2 成果分析与评价**

**18.2.1** 勘察报告中的岩土工程分析评价应包括下列内容:

1 工程建设场地的稳定性、适宜性评价。

2 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。

3 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。

4 划分场地土类型和场地类别,抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地,评价地震液化和震陷的可能性。

5 围岩、边坡稳定性和变形分析,支护方案和施工措施的建议。

6 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。

7 地下水对工程的静水压力、浮托作用分析。

8 水和土对建筑材料腐蚀性的评价。

**18.2.2** 明挖法施工应重点分析评价下列内容:

1 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案的建议。

2 支护桩墙类型分析,连续墙、立柱桩的持力层和承载力。

3 软弱结构面空间分布、特性及其对边坡、坑壁稳定的影响。

4 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。

5 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。

### **18.2.3 矿山法施工应重点分析评价下列内容：**

1 分析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。

2 指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等风险的地段,提出防治措施的建议。

3 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。

4 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。

### **18.2.4 盾构法施工应重点分析评价下列内容：**

1 分析岩土层的特征,指出盾构选型应注意的地质问题。

2 分析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。

3 提出在软硬不均地层中的开挖措施及开挖面障碍物处理方法的建议。

4 分析盾构施工可能造成的土体变形,对工程周边环境的影响,提出防治措施的建议。

### **18.2.5 高架工程应重点分析评价下列内容：**

1 分析岩土层的特征,建议天然地基、桩基持力层,评价天然地基承载力、桩基承载力,提供变形计算参数。

2 评价成桩的可能性,指出成桩过程应注意的问题。

3 分析评价岩溶、土洞等不良地质作用和膨胀土、填土等特殊岩土对桩基稳定性和承载力的影响,提出防治措施的建议。

### **18.2.6 地面建(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》GB 50021 的有关规定。**

### **18.2.7 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：**

1 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。

2 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。

3 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。

### 18.3 勘察报告的内容

18.3.1 勘察报告应包括文字部分、表格、图件,重要的支持性资料可作为附件。

18.3.2 勘察报告的文字部分宜包括下列内容:

1 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。

2 区域地质概况及勘察场地的地形、地貌、水文、气象条件。

3 场地地面条件及工程周边环境条件等。

4 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。

5 地下水类型,赋存、补给、径流、排泄条件,地下水位及其变化幅度,地层的透水及隔水性质。

6 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。

7 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、液化判别。

8 场地稳定性和适宜性评价。

9 按本规范第 18.2 节的要求进行岩土工程分析评价,并提出相应的建议。

10 其他需要说明的问题。

18.3.3 勘察报告的表格宜包括下列内容:

1 勘探点主要数据一览表。

2 标准贯入试验、静力触探等原位测试,岩土室内试验,抽水试验,水质分析等成果表。



3 各岩土层的原位测试、岩土室内试验统计汇总表；地震液化判别成果表。

4 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表。

5 其他的相关分析表格。

**18.3.4** 勘察报告的图件宜包括下列内容：

1 区域地质构造图、水文地质图。

2 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。

3 水文地质试验成果图。

4 勘探点平面位置图，工程地质纵、横断(剖)面图。

5 钻孔柱状图，岩芯照片。

6 室内土工试验、岩石试验成果图。

7 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。

8 填土、软土及基岩埋深等值线图。

9 其他相关图件。

**18.3.5** 勘察报告可附室内土工试验、岩石试验、岩矿鉴定等试验原始记录。

**18.3.6** 专项勘察报告的内容，可根据专项勘察的目的、要求参照本规范第 18.3.2 条～第 18.3.5 条执行。工程周边环境调查报告应符合本规范第 17.3 节的要求。

## 19 现场检验与检测

**19.0.1** 现场检验、检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。

**19.0.2** 基槽、基坑、路基开挖后及隧道开挖过程中,应检验地基和围岩的地质条件与勘察报告是否一致,遇到异常情况时,应提出处理措施或修改设计的建议,当与勘察报告有较大差异时宜进行施工勘察。

**19.0.3** 地基检验应包括下列内容:

1 岩土分布、均匀性和特征。

2 地下水情况。

3 检查是否有暗浜、古井、古墓、洞穴、防空掩体及地下埋设物,并查清其位置、深度、性状。

4 检查地基是否受到施工的扰动,及扰动的范围和深度。

5 冬季、雨季施工时应注意检查地基的防护措施,地基土质是否受冻、浸泡和冲刷、干裂等,并查明影响的范围和深度。

6 对土质地基,可采用轻型圆锥动力触探进行检验。

**19.0.4** 隧道围岩检验应包括下列内容:

1 开挖揭露的围岩性质、分布和特征。

2 地下水渗漏情况。

3 工作面岩土体的稳定状态。

4 围岩超挖或坍塌情况。

5 根据开挖揭露的岩土情况,对围岩分级进行确认或修正。

**19.0.5** 高架工程的桩基应通过试钻或试打,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。对大直径人工挖孔桩,应检验孔底尺寸和岩土情况。

**19.0.6** 现场检验应填写检验报告,必要时绘制开挖面实际地层素描图或拍照。

**19.0.7** 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》JGJ 106 的有关规定。

**19.0.8** 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》GB 50202 和现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行。

**19.0.9** 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。

**19.0.10** 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》JGJ 120 的有关规定。

**19.0.11** 应对隧道围岩加固的范围、效果等进行检测,可采用钻芯、原位测试或物探等检测方法。检测工作宜包括下列内容:

- 1 盾构始发(接收)井加固体的强度、抗渗性、完整性。
- 2 隧道衬砌或管片背后注浆的范围和充填情况。
- 3 止水帷幕的强度、完整性和止水效果。
- 4 冷冻法加固土体的范围、强度、温度等。

**19.0.12** 遇下列情况应对城市轨道交通工程结构进行沉降观测:

- 1 地质条件复杂、地基软弱或采用人工加固地基。
- 2 因地基变形、局部失稳影响工程结构安全时。
- 3 受力条件复杂的工程结构、设计有特殊要求的工程结构。
- 4 采用新的施工技术时。
- 5 地面沉降等不良地质作用发育区段。
- 6 受附近深基坑开挖、隧道开挖、工程降水等施工影响的工程结构。

**19.0.13** 沉降观测方法和要求应符合国家现行标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897、《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308及《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

## 附录 A 岩石坚硬程度的定性划分

表 A 岩石坚硬程度等级的定性划分

名 称		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆,有回弹,振手,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、硅质灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆,有轻微回弹,稍振手,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;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、砂质泥岩、泥灰岩等
	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

## 附录 B 岩石按风化程度分类

表 B 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	风化系数
未风化	结构和构造未变,岩质新鲜,偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构和构造基本未变,仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色,有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9
中等风化	1. 组织结构部分破坏,矿物成分基本未变,沿节理面出现次生矿物,风化裂隙发育; 2. 岩体被节理、裂隙分割成块状 200mm~500mm;硬质岩,锤击声脆,且不易击碎;软质岩,锤击易碎; 3. 用镐难挖掘,用岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	1. 组织结构已大部分破坏,矿物成分已显著变化; 2. 岩体被节理、裂隙分割成碎石状 20mm~200mm,碎石用手可以折断; 3. 用镐可以挖掘,用干钻不易钻进	0.4~0.6	<0.4
全风化	1. 结构已基本破坏,但尚可辨认; 2. 岩石已风化成坚硬或密实土状,可用镐挖,干钻可钻进; 3. 需用机械普遍刨松方能铲挖满载	0.2~0.4	—
残积土	组织结构全部破坏,已风化成土状,锹镐易挖掘,干钻易钻进,具可塑性	<0.2	—

注:1 波速比为风化岩石与新鲜岩石压缩波速之比。

2 风化系数为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比。

3 岩石风化程度,除按表列野外特征和定量指标划分外,也可根据经验划分。

4 花岗岩类岩石, $N \geq 50$  为强风化; $30 \leq N < 50$  为全风化; $N < 30$  为残积土。

5 泥岩和半成岩,可不进行风化程度划分。

## 附录 C 岩体按结构类型分类

表 C 岩体按结构类型分类

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
整体块状结构	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, 块状岩浆岩和变质岩	块状柱状	具少量贯穿性节理裂隙, 结构面间距 0.7m~1.5m 一般 2 组~3 组, 有少量分离体	结构面互相牵制, 岩体基本稳定, 接近弹性各向同性体	
层状结构	多韵律的薄层、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~0.5m, 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	易发生规模较大的岩体失稳, 地下水加剧失稳

续表 C

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
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,多填充黏 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	易发生规 模较大的岩 体失稳,地下 水加剧失稳

## 附录 D 碎石土的密实度

**D.0.1** 碎石土的密实度野外鉴别可按表 D.0.1 的规定执行。

**表 D.0.1 碎石土密实度野外鉴别**

密实度	骨架颗粒的质量和排列	可挖性	可钻性
密实	骨架颗粒的质量大于总质量的 70%，呈交错排列，连续接触，孔隙为中、粗、砾砂等填充	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁较稳定	钻进极困难，冲击钻探时钻杆、吊锤跳动剧烈，孔壁较稳定
中密	骨架颗粒的质量等于总质量的 60%~70%，呈交错排列，大部分接触，孔隙为砂土或密实坚硬的黏性土、粉土填充	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒后能保持颗粒凹面形状	钻进较困难，冲击钻探时钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
稍密 (松散)	骨架颗粒的质量小于总质量的 60%，排列较乱，大部分不接触，孔隙为中密的砂土或可塑的黏性土填充	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，砂土立即塌落	钻进较容易，冲击钻探时钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌

**D.0.2** 当采用重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数  $N'_{63.5}$  应按下式修正：

$$N'_{63.5} = \alpha_1 \times N_{63.5} \quad (\text{D.0.2})$$

式中： $N'_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

$\alpha_1$ ——修正系数，按表 D.0.2 的规定取值；

$N_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数。



表 D. 0. 2 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	$\geq 50$
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。

**D. 0. 3** 当采用超重型圆锥动力触探确定碎石土密实时, 锤击数  $N'_{120}$  应按下式修正:

$$N'_{120} = \alpha_2 \times N_{120} \quad (D. 0. 3)$$

式中:  $N'_{120}$  ——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数;

$\alpha_2$  ——修正系数, 按表 D. 0. 3 的规定取值;

$N_{120}$  ——实测超重型圆锥动力触探锤击数。

表 D. 0. 3 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 E 隧道围岩分级

**表 E 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)	围岩压缩波波速 $v_p$ (km/s)
	主要工程地质特征	结构形态和完整状态		
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	$3.5 \sim 4.5$
	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		

续表 E

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)	围岩压缩波波速 $v_p$ (km/s)
	主要工程地质特征	结构形态和 完整状态		
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. 黄土(Q1、Q2) 3. 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、2 呈大块 状压密结构; 3 呈巨块状 整体结构		

续表 E

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)	围岩压缩波波速 $v_p$ (km/s)
	主要工程地质特征	结构形态和 完整状态		
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,侧壁经常小坍塌;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(Q3、Q4)	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,有水时土砂常与水一齐涌出,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	黏性土呈易蠕动的松软结构,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。

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。

## 附录 F 岩土施工工程分级

表 F 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 钻分钟)	手 持 风 枪 湿 式 凿 岩 合 金 钻 头(净钻 分钟)	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,脚蹬一 下到底的松 散土层,机 械能全部直 接铲挖,普 通装载机可 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,Q3、Q4 黄 土,稍密、中密的 细角砾土、细圆 砾土、松散的粗 角砾土、碎石土、 粗圆砾土、卵石 土,压密的填土, 风积沙	—	—	—	—	部分用镐 刨松,再用 锹挖,脚蹬 连蹬数次才 能挖动的。 挖掘机、带 齿尖口装载 机可满载、 普通装载机 可直接铲挖, 但不能满载

续表 F

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 钻分钟)	手 持 风 枪 湿 式 凿 岩 合 金 钻 头(净钻 分钟)	双 人 打 眼 (工日)		
Ⅲ	硬土	坚硬的黏性土、膨胀土, Q1、Q2 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、各种风化成土状的岩石	—	—	—	—	必须用镐先全部松动才能用锹挖。挖掘机、带齿尖口装载机不能满载、大部分采用松土器松动方能铲挖装载
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、单钩裂土器松动, 部分需借助液压冲击镐解碎或部分采用爆破方法开挖

续表 F

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 钻分钟)	手 持 风 枪 湿 式 凿 岩 合 金 钻 头(净钻 分钟)	双人 打眼 (工日)		
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

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,多年冻土一般可定为Ⅳ级。

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。

# 附录 G 不同等级土试样的取样工具和方法

表 G 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	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
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		++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+



续表 G

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	
Ⅳ	标准贯入器	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	—
	螺纹钻头	++	++	++	++	++	+	—	—	—	—	—
	岩芯钻头	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

注：++表示适用；+表示部分适用；—表示不适用；采取砂土试样应有防止试样失落的补充措施；有经验时，可用束节式取土器代替薄壁取土器。

## 附录 H 基床系数经验值

表 H 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

续表 H

岩土类别	状态/密实度	基床系数 $K(\text{MPa/m})$	
		水平基床系数 $K_h$	垂直基床系数 $K_v$
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 J 工法勘察岩土参数选择

J.0.1 明挖法勘察所提供的岩土参数可从表 J.0.1 中选用。

表 J.0.1 明挖法勘察岩土参数选择表

开挖 施工方法		密度	黏聚力	内摩擦角	静止侧压力系数	无侧限抗压强度	十字板剪切强度	水平床系数	水平抗力系数的比例系数	回弹及回弹再压缩模量	弹性模量	渗透系数	土体与锚固体粘结强度	桩基设计参数
放坡开挖		√	√	√	—	√	○	—	—	—	—	√	—	—
支护开挖	土钉墙	√	√	√	—	√	○	—	—	—	—	√	√	—
	排桩	√	√	√	√	√	○	√	○	○	○	√	○	○
	钢板桩	√	√	√	○	√	○	√	○	○	—	√	○	—
	地下连续墙	√	√	√	√	√	○	√	○	√	√	√	○	○
	水泥土挡墙	√	√	√	—	√	○	—	—	—	—	√	—	—
盖挖		√	√	√	√	√	○	√	√	○	√	√	—	√

注：表中○表示可提供，√表示应提供，—表示可不提供。

J.0.2 矿山法勘察所提供的岩土参数可从表 J.0.2 中选用。

表 J.0.2 矿山法勘察岩土参数选择表

类别	参 数	类别	参 数	
地下水	1. 地下水位、水量; 2. 渗透系数	物理性质	1. 含水量、密度、孔隙比; 2. 液限、塑限; 3. 黏粒含量; 4. 颗粒级配; 5. 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. 标准贯入锤击数; 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. 土的化学成分; 2. 有害气体成分、压力、含量

J.0.3 盾构法勘察所提供的岩土参数可从表 J.0.3 中选用。

表 J.0.3 盾构法勘察岩土参数选择表

类别	参 数	类别	参 数
地下水	1. 地下水位; 2. 孔隙水压力; 3. 渗透系数	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. 标准贯入锤击数; 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 1. 土的化学成分; 2. 有害气体成分、压力、含量

## 附录 K 岩土热物理指标经验值

表 K 岩土热物理指标

岩土类别	含水量 $w(\%)$	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	热物理指标		
			比热容 $C$ [kJ/(kg · K)]	导热系数 $\lambda$ [W/(m · K)]	导温系数 $a \times 10^{-3}$ (m <sup>2</sup> /h)
黏性土	$5 \leq w < 15$	1.90~2.00	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	0.65~1.55	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

续表 K

岩土类别	含水量 $w(\%)$	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	热物理指标		
			比热容 $C$ [kJ/(kg·K)]	导热系数 $\lambda$ [W/(m·K)]	导温系数 $a \times 10^{-3}$ ( $\text{m}^2/\text{h}$ )
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

## 附录 L 常用图例

### L.0.1 常用岩石图例(图 L.0.1)。

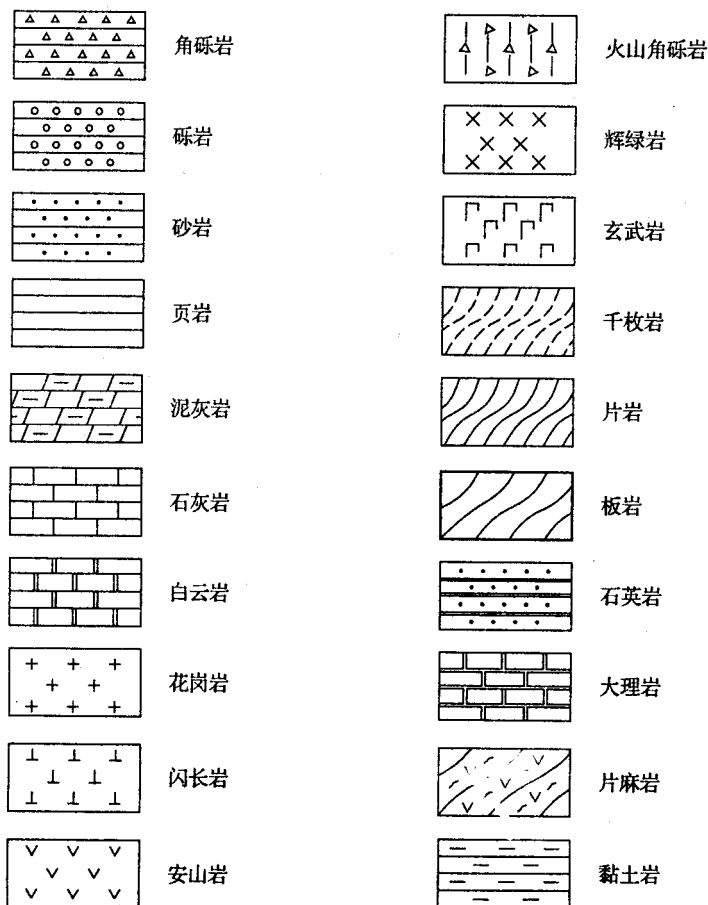
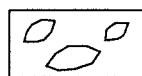


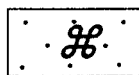
图 L.0.1 常用岩石图例



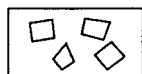
L.0.2 松散土层图例(图 L.0.2)。



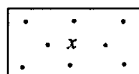
漂石



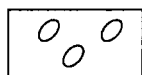
中砂



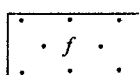
块石



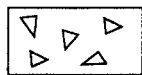
细砂



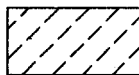
卵石



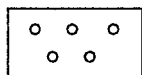
粉砂



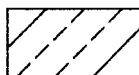
碎石



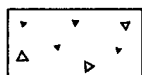
砂质粉土



圆砾



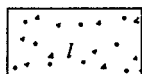
黏质粉土



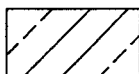
角砾



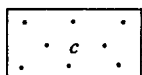
粉质黏土



砾砂



重粉质黏土



粗砂



黏土

图 L.0.2 松散土图例

L. 0.3 其他图例(图 L. 0. 3-1、图 L. 0. 3-2)。

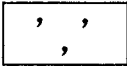

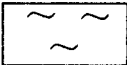

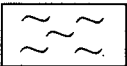
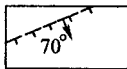
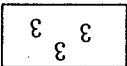
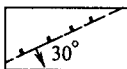
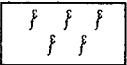
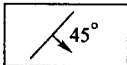
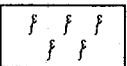

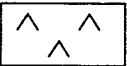
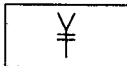

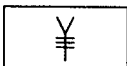



	新近沉积土 (与岩性图例叠加)		耕土
	淤泥质土 (与岩性图例叠加)		一、二、三级阶地
	淤泥		正断层的产状(齿侧为下落部分, 虚线为推断部分)
	有机质土 (与岩性图例叠加)		逆断层的产状(齿侧为下落部分, 虚线为推断部分)
	泥炭质土 (与岩性图例叠加)		层理产状
	泥炭		微风化
	素填土 (与岩性图例叠加)		中等风化
	杂填土		强风化
	炉灰		全风化
	变质炉灰		

图 L. 0. 3-1 其他图例(一)


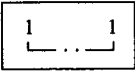

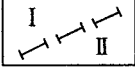




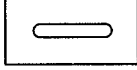
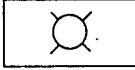
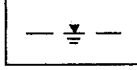

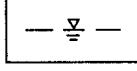
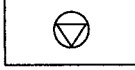


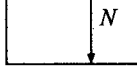

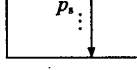

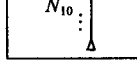
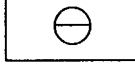
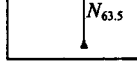

<div>勘探孔号 孔口标高</div> <div>○</div> <div>水位深度 水位标高</div>		<div></div>	压桩试验点
<div></div>	地质剖面线及编号	<div></div>	载荷试验点
<div></div>	工程地质分区线及编号	<div></div>	探井
<div></div>	勘探孔	<div></div>	取岩土试样探井
<div></div>	取岩土试样钻孔	<div></div>	探槽
<div></div>	取水试样钻孔	<div></div>	稳定水位
<div></div>	标准贯入试验孔	<div></div>	初见水位
<div></div>	静力触探试验孔	<div></div>	取岩土试样位置
<div></div>	轻型圆锥动力触探试验孔	<div></div>	标准贯入试验锤击数
<div></div>	重型圆锥动力触探试验孔	<div></div>	比贯入阻力值
<div></div>	波速试验孔	<div></div>	轻型圆锥动力触探试验锤击数
<div></div>	旁压试验孔	<div></div>	重型圆锥动力触探试验锤击数
<div></div>	利用已有资料钻孔		

图 L. 0. 3-2 其他图例(二)

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

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

## 引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025
- 《铁道工程抗震设计规范》GB 50111
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 《工程岩体分级标准》GB 50218
- 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308
- 《国家一、二等水准测量规范》GB 12897
- 《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112
- 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61
- 《铁路工程地质勘察规范》TB 10012

中华人民共和国国家标准

城市轨道交通岩土工程勘察规范

**GB 50307 - 2012**

条文说明

## 修 订 说 明

《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307—2011,经住房和城乡建设部 2012 年 1 月 21 日以第 1269 号公告批准发布。

本规范是在《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》GB 50307—1999 的基础上修订而成。由于近年来随着城市轨道交通的发展,出现了单轨交通、中低速磁悬浮轨道交通等新的制式,“地下铁道、轻轨交通”不能包含所有城市轨道交通的制式。“城市轨道交通”目前是业内约定俗成,能够代表包括地铁、轻轨、单轨、磁悬浮等制式在内的所有轨道类交通的名称。同时,已修编完成的《城市轨道交通工程测量规范》等规范也已更名,正在编制的《城市轨道交通工程监测技术规范》也按此定名;为了与城市轨道交通系列的规范定名相一致,将《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》更名为《城市轨道交通岩土工程勘察规范》。

上一版的主编单位是北京市城建勘察测绘院(改制后为北京城建勘测设计研究院有限责任公司),参编单位是北京市城建设计研究院、广州市地下铁道总公司、上海岩土工程勘察设计研究院、北京市勘察设计院、西北综合勘察设计院、沈阳市勘察测绘研究院、青岛市勘察测绘研究院、建设部综合勘察研究设计院、铁道部科学研究院、深圳市勘察测绘院,主要起草人员是袁绍武、王元湘、刘官熙、史存林、庄宝璠、吴成孝、林在贯、张乃瑞、金淮、周士鉴、罗梅云、顾宝和、顾国荣、贾信远、傅迺鑫、彭家骏、鞠世健、陈玉梅。

本规范修订过程中,编制组进行了细致深入的调查研究,开展了多项专题研究,总结了我国城市轨道交通岩土工程勘察的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,通过研究取得了

城市轨道交通岩土工程勘察的重要技术参数。

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



# 目 次

1	总 则 .....	(147)
3	基本规定 .....	(149)
4	岩土分类、描述与围岩分级 .....	(153)
4.1	岩石分类 .....	(153)
4.2	土的分类 .....	(154)
4.3	岩土的描述 .....	(156)
4.4	围岩分级与岩土施工工程分级 .....	(157)
5	可行性研究勘察 .....	(158)
5.1	一般规定 .....	(158)
5.2	目的与任务 .....	(158)
5.3	勘察要求 .....	(159)
6	初步勘察 .....	(160)
6.1	一般规定 .....	(160)
6.2	目的与任务 .....	(160)
6.3	地下工程 .....	(160)
6.4	高架工程 .....	(161)
6.5	路基、涵洞工程 .....	(162)
7	详细勘察 .....	(163)
7.1	一般规定 .....	(163)
7.2	目的与任务 .....	(163)
7.3	地下工程 .....	(165)
7.4	高架工程 .....	(172)
7.5	路基、涵洞工程 .....	(172)
7.6	地面车站、车辆基地 .....	(173)

8	施工勘察 .....	(175)
9	工法勘察 .....	(177)
9.1	一般规定 .....	(177)
9.2	明挖法勘察 .....	(177)
9.3	矿山法勘察 .....	(179)
9.4	盾构法勘察 .....	(186)
9.5	沉管法勘察 .....	(194)
9.6	其他工法及辅助措施勘察 .....	(194)
10	地下水 .....	(198)
10.1	一般规定 .....	(198)
10.2	地下水的勘察要求 .....	(198)
10.3	水文地质参数的测定 .....	(199)
10.4	地下水的作用 .....	(202)
10.5	地下水控制 .....	(204)
11	不良地质作用 .....	(206)
11.1	一般规定 .....	(206)
11.2	采空区 .....	(206)
11.3	岩溶 .....	(208)
11.4	地裂缝 .....	(211)
11.5	地面沉降 .....	(215)
11.6	有害气体 .....	(215)
12	特殊性岩土 .....	(219)
12.1	一般规定 .....	(219)
12.2	填土 .....	(219)
12.3	软土 .....	(221)
12.4	湿陷性土 .....	(225)
12.5	膨胀岩土 .....	(227)
12.6	强风化岩、全风化岩与残积土 .....	(230)
13	工程地质调查与测绘 .....	(236)

13.1	一般规定 .....	(236)
13.2	工作方法 .....	(236)
13.3	工作范围 .....	(238)
13.4	工作内容 .....	(238)
13.5	工作成果 .....	(238)
14	勘探与取样 .....	(240)
14.1	一般规定 .....	(240)
14.2	钻探 .....	(240)
14.3	井探、槽探 .....	(242)
14.4	取样 .....	(242)
14.5	地球物理勘探 .....	(242)
15	原位测试 .....	(246)
15.1	一般规定 .....	(246)
15.2	标准贯入试验 .....	(248)
15.3	圆锥动力触探试验 .....	(249)
15.4	旁压试验 .....	(250)
15.5	静力触探试验 .....	(251)
15.6	载荷试验 .....	(252)
15.7	扁铲侧胀试验 .....	(252)
15.8	十字板剪切试验 .....	(253)
15.12	地温测试 .....	(253)
16	岩土室内试验 .....	(256)
16.1	一般规定 .....	(256)
16.2	土的物理性质试验 .....	(256)
16.3	土的力学性质试验 .....	(260)
17	工程周边环境专项调查 .....	(262)
17.1	一般规定 .....	(262)
17.2	调查要求 .....	(262)
17.3	成果资料 .....	(263)

18	成果分析与勘察报告 .....	(264)
18.1	一般规定 .....	(264)
18.2	成果分析与评价 .....	(264)
18.3	勘察报告的内容 .....	(265)
19	现场检验与检测 .....	(266)

# 1 总 则

**1.0.1** 随着国民经济的发展,我国迎来了城市轨道交通工程建设的高潮,目前已有 27 个城市开展了城市轨道交通工程的建设工作。岩土工程勘察是为城市轨道交通工程建设提供基础资料的一个重要环节,根据构建和谐社会、科学发展的要求,岩土工程勘察应综合考虑生存、发展、环境、安全、效益诸方面的问题。

城市轨道交通工程属于高风险工程,安全事故时有发生,目前全国各个城市的轨道交通工程建设都开展了安全风险管理工作,因此,本规范在《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》GB 50307—1999(以下简称原规范)基础上增加了控制风险的原则。

**1.0.2** 本规范针对城市轨道交通工程的各种敷设形式、各种结构类型和施工方法,提出了具体的勘察要求,能够满足城市轨道交通新建和改、扩建工程的要求。

**1.0.3** 城市轨道交通工程多在大城市建设,城市中的勘察资料往往比较丰富,特别是各种大型工业与民用建筑工程的基础设计、施工、监测资料,均可供城市轨道交通工程参考和借鉴。所以收集与利用既有资料对城市轨道交通工程勘察工作是十分有益的。

城市轨道交通工程建设过程中基坑、隧道的坍塌,周边建筑物、管线等环境破坏,往往与地质条件密切相关。因此,应引起岩土工程勘察人员的重视,科学制订方案、精心组织实施。

城市轨道交通岩土工程勘察应密切结合工程特点进行工程地质、水文地质勘察,针对各类结构设计及各种施工方法,依据工程地质、水文地质条件进行技术论证和评价,提出合理可行的工程建议是十分重要的。

**1.0.4** 城市轨道交通工程各项岩土工程勘察工作,均应按照本规范执行。凡是本规范未涉及的内容,对于线路工程可根据城市轨道交通工程的特点,参照铁道部的有关规范执行。对于建筑工程可按照现行工业与民用建筑有关规范执行。

### 3 基本规定

**3.0.1** 城市轨道交通工程建设阶段一般包括规划、可行性研究、总体设计、初步设计、施工图设计、工程施工、试运营等阶段。由于城市轨道交通工程投资巨大,线路穿越城市中心地带,地质、环境风险极高,建设各阶段对工程技术的要求高,各个阶段所解决的工程问题不同,对岩土工程勘察的资料深度要求也不同。如:规划阶段应规避对线路方案产生重大影响的地质和环境风险。在设计阶段应针对所有的岩土工程问题开展设计工作,并对各类环境提出保护方案。

若不按照建设阶段及各阶段的技术要求开展岩土工程勘察工作,可能会导致工程投资浪费、工期延误,甚至在施工阶段产生重大的工程风险。根据规划和各设计阶段的要求,分阶段开展岩土工程勘察工作,规避工程风险,对轨道交通工程建设意义重大。

**3.0.2** 岩土工程勘察分阶段开展工作,就是坚持由浅入深、不断深化的认识过程,逐步认识沿线区域及场地的工程地质条件,准确提供不同阶段所需的岩土工程资料。特别在地质条件复杂地区,若不按阶段进行岩土工程勘察工作,轻者给后期工作造成被动,形成返工浪费,重者给工程造成重大损失或给运营线路留下无穷后患。

鉴于工程地质现象的复杂性和不确定性,按一定间距布设勘探点所揭示地层信息存在局限性;受周边环境条件限制,部分钻孔在详细勘察阶段无法实施;工程施工阶段周期较长(一般为2年~4年),在此期间,地下水和周边环境会发生较大变化;同时在工程施工中经常会出现一些工程问题。因此,城市轨道交通工程在施工阶段有必要开展勘察工作,对地质资料进行验证、补充或修正。

**3.0.3** 不良地质作用、地质灾害、特殊性岩土等往往对城市轨道交通工程线位规划、敷设形式、结构设计、工法选择等工程方案产生重大影响,严重时危及工程施工和线路运营的安全。不良地质作用、地质灾害、特殊性岩土等岩土工程问题往往具有复杂性和特殊性,采用常规的勘探手段,在常规的勘探工作量条件下难以查清。因此,对工程方案有重大影响的岩土工程问题应进行专项勘察工作,提出有针对性的工程措施建议,确保工程规划设计经济、合理,工程施工安全、顺利。

西安城市轨道交通工程建设能否穿越地裂缝,济南城市轨道交通工程建设能否避免对泉水产生影响,是西安和济南城市轨道交通工程建设的控制因素。因此,这两个城市在轨道交通工程建设中都进行了专项岩土工程勘察工作,专项勘察成果指导了城市轨道交通工程的规划、设计、施工工作。

**3.0.4** 城市轨道交通工程周边存在着大量的地上、地下建(构)筑物、地下管线、人防工程等环境条件,对工程设计方案和工程安全产生重大的影响,同时,轨道交通的敷设形式多采用地下线形式,地下工程的施工容易导致周边环境产生破坏。因此,岩土工程勘察前需要从建设单位获取地形图、地下管线及地下设施分布图,以便勘察单位在勘察期间确保地下管线和设施的安全,并在勘察成果中分析工程与周边环境的相互影响。

工程周边环境资料是工程设计、施工的重要依据,地形图及地下管线图往往不能满足周边环境与工程相互影响分析及工程环境保护设计、施工的要求。因此,有必要在工程建设中开展周边环境专项调查工作,取得周边环境的详细资料,以便采取环境保护措施,保证环境和城市轨道交通工程建设的安全。

目前,工程周边环境的专项调查工作,是由建设单位单独委托,承担环境调查工作的单位,可以是设计单位、勘察单位或其他单位。

**3.0.5** 搜集当地已有勘察资料和建设经验是岩土工程勘察的基



本要求,充分利用已有勘察资料和建设经验可以达到事半功倍的效果。

城市轨道交通工程线路敷设形式多,结构类型多,施工方法复杂;不同类型的工程对岩土工程勘察的要求不同,解决的问题不同。因此,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是十分必要的。

**3.0.6** 城市轨道交通岩土工程勘察等级的划分,主要考虑了工程结构类型、破坏后果的严重性、场地工程地质条件的复杂程度、环境安全风险等级等因素,以便在勘察工作量布置、岩土工程评价、参数获取、工程措施建议等方面突出重点、区别对待。

**3.0.7** 城市轨道交通工程本身是一个复杂的系统工程,是各类工程和建筑类型的集合体,为了使岩土工程勘察工作更具针对性,本规范根据各个工程的规模和建筑类型的特点以及破坏后果的严重性进行了重要性等级划分,并划分为三个等级。本条在原规范的基础上进行了适当的调整。

**3.0.8** 本条主要依据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021制定。考虑到城市轨道交通隧道工程的岩土工程问题主要是围岩的稳定性问题,因此在地基、边坡岩土性质的条款中增加了围岩。

对建筑抗震有利、不利和危险地段的划分,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定确定。

**3.0.9** 城市轨道交通工程周边环境复杂,不同环境类型与城市轨道交通工程建设的相互影响不同,工程环境风险与环境的重要性、环境与工程的空间位置关系密切相关。

目前,各个城市在城市轨道交通建设中,针对不同等级的环境风险采取的管理措施不同:一级环境风险需进行专项评估、专项设计和编制专项施工方案;二级的环境风险在设计文件中应提出环境保护措施并编制专项施工方案;三级环境风险应在工程施工方案中制订环境保护措施。不同级别环境风险的保护和控制对岩土

工程勘察的要求不同。

一般可行性研究阶段应重点关注一级环境风险,并提出规避措施建议;初步勘察阶段应重点关注一级和二级的环境风险,并提出保护措施建议;详细勘察阶段应关注所有环境风险,并提出明确的环境保护措施建议。

北京市城市轨道交通工程的环境风险分级如下:

1 特级环境风险:下穿既有轨道线路(含铁路)。

2 一级环境风险:下穿重要既有建(构)筑物、重要市政管线及河流,上穿既有轨道线路(含铁路)。

3 二级环境风险:下穿一般既有建(构)筑物、重要市政道路,临近重要既有建(构)筑物、重要市政管线及河流。

4 三级环境风险:下穿一般市政管线、一般市政道路及其他市政基础设施,临近一般既有建(构)筑物、重要市政道路。

**3.0.11** 城市轨道交通工程的结构类型大体可归属为铁路和建筑两大行业,两大行业对岩土工程设计参数的选取有一定的差异,岩土工程勘察时需要根据设计单位的要求参照相应的行业规范提供。

一般路基、隧道、跨河桥、跨线桥、高架桥、高架车站中与车站结构完全分开的线路、桥梁等岩土设计参数参照现行铁路行业规范;建筑、房屋等其他结构参照现行建筑行业规范。城市轨道交通工程沿线场地和地基地震效应的岩土工程评价,需要采用与结构设计相同行业类别的抗震设计规范。

## 4 岩土分类、描述与围岩分级

### 4.1 岩石分类

**4.1.2** 岩石坚硬程度的划分,现有国家和行业规范逐渐统一到现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218。从表 1 可看出,现行行业标准《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 中岩石坚硬程度的定量划分与现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 原则上一致,本次修订参照现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 进行分类,分为 5 类。

表 1 岩石坚硬程度的划分比较

《工程岩体分级标准》 GB 50218 和《岩土工程 勘察规范》GB 50021 中 坚硬程度划分	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
《铁路工程岩土分类标准》TB 10012 中坚硬程度 划分	极硬岩	硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度 $f_r$ (MPa)	$f_r > 60$	$30 < f_r \leq 60$	$15 < f_r \leq 30$	$5 < f_r \leq 15$	$f_r \leq 5$

**4.1.5** 风化程度分类参照现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 和《岩土工程勘察规范》GB 50021,残积土作为岩石风化后的残积物,具有土的特性,工程意义重大,为便于比较,附录中把残积土列出。

全风化岩石在工程中是常常遇到的岩石,国内外一些规范也有类似规定和提法。未风化岩石按工程岩体分级标准,含义是岩

质新鲜、结构未变。

**4.1.6** 软化系数是衡量水对岩石强度影响程度的判别准则之一,软化的岩石浸水后的承载力明显降低。分类标准和现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 一致,规定 0.75 作为不软化和软化的界限值。条文中增加了特殊性岩石的定名。

**4.1.7** 本条为本次修订增加的内容。岩体的完整程度反映了它的裂隙性,而裂隙性是岩体十分重要的特性,破碎岩石的强度比完整岩石大大削弱;RQD 指钻孔中用 N 型(直径 75mm)二重管金刚石钻头获取的大于 10cm 的岩芯段长度与该回次钻进深度之比,是国际上通用的鉴别岩石工程性质好坏的方法。英国岩石质量指标 RQD 分类见表 2,和国内分类是一致的,国内也有较多经验,本次修订按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 作了明确的规定。

表 2 岩体按岩石的质量指标(RQD)分类

岩体分类	岩石的质量指标 RQD(%)
很好(excellent)	>90
好的(good)	75~90
中等(fair)	50~75
坏的(poor)	25~50
极坏(very poor)	<25

注:摘自英国标准《英国岩土工程勘察规范》BS 5930:1981。

## 4.2 土 的 分 类

**4.2.1~4.2.8** 粉土在原规范和现行的国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中,没有进一步划分。本次修订是以塑性指数 7 为界,划分为黏质粉土和砂质粉土,主要考虑工程性质的差异,在存在地下水时砂质粉土和黏质粉土性状不同,尤其对地下开挖工程的影响,砂质粉土易产生流土等渗流变形,接近粉砂的性状,黏质粉土接近粉质黏土的性状。

对条文中粉土划分标准作如下说明:

1 在划分相当于粉质黏土和黏质粉土的问题上,一直存在两种意见,有人认为应以塑性指数  $I_p$  等于 10 为界线,同时也有人认为应以塑性指数  $I_p$  等于 7 为界线。两方面都有资料数据和实验结果为依据。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中以塑性指数  $I_p$  等于 10 为界,并将塑性指数  $I_p$  小于或等于 10 的土作为一个不属于黏性土的大类别划分出来,称为粉土。但塑性指数  $I_p$  等于 7 的确也还是一个界线,这可以从液限 ( $w_L$ ) 与塑限 ( $w_p$ )、液限 ( $w_L$ ) 与塑性指数 ( $I_p$ )、塑限 ( $w_p$ ) 与塑性指数 ( $I_p$ ) 关系图(长春地质学院学报《工程地质专辑》中《我国黏性土分类的研究》李克骥等著,1988)看出。因此,用塑性指数  $I_p$  等于 7 作为粉土类土的亚类划分界线是完全可以的。

2 据统计塑性指数  $I_p$  小于 7 的土,粘粒含量(粒径小于 0.005mm)一般小于 10%。塑性指数  $I_p$  小于 7 的土液化势较高。

3 北京市多年来用塑性指数  $I_p$  小于或等于 7 作为界线,划分出黏质粉土和砂质粉土,效果较好,积累了大量的野外鉴别和评价的经验及资料。

4 用塑性指数简单易行,可避免繁琐的颗粒分析工作,在有经验的地区可采用颗粒分析资料对粉土进行进一步划分。

5 一般在室内试验塑性指数  $I_p$  小于 3 的土的塑性指数已做不出来,故将塑性指数  $I_p$  等于 3 作为粉土与砂类土的界线。

其他土类定名与原规范一致。

#### 4.2.9 特殊土的划分具有重要的工程意义。

填土:在城市中填土分布很广,但规律性很差,成分复杂,对城市轨道交通工程设计和施工影响很大,在已有城市轨道交通工程建设中,由于对填土重视程度不够和相关措施不到位,工程事故时有发生。

湿陷性土:黄土是一种湿陷性土,在我国北方广泛分布的特殊土,主要分布在秦岭、伏牛山以北的华北、西北、东北广大地域。如

西安城市轨道交通工程存在着湿陷性黄土。

**膨胀岩土:**由于膨胀岩土富含亲水矿物,吸水显著膨胀、软化、崩解,失水急剧收缩;对工程结构和施工往往产生较大影响。高塑性指数的膨胀岩土,在盾构施工时,易形成泥饼,勘察时应高度重视。如在南宁和合肥地区的城市轨道交通工程勘察中发现了膨胀性岩土。

**混合土:**混合土是指颗粒级配极不连续,主要由黏粒、粉粒、砾粒和漂粒组成。如进行筛分,根据其颗粒组成可定名为碎石土或砂土,再将其细粒部分进行可塑性试验,根据其塑性指数又可定名为粉土或黏性土。这类土的性质,常处于粗粒土和细粒土之间,粗粒土和细粒土在施工中需要采取的工程措施不同,勘察过程中对隧道或基坑开挖不能简单地按照粗粒或细粒土进行评价。

**污染土:**随着城市建设的发展,历史或现状存在一些污染企业,如印染、造纸、制革、冶炼、铸造等,对岩土层产生污染和腐蚀,岩土性状发生变化。由于城市轨道交通工程线路不可避免会穿越城市历史或现状的工业场地,可能分布有污染土层,对于富集有毒成分(包括气体)的土层,对施工与运营安全带来潜在风险,特别是地下线路,在勘察过程中应引起重视。

## 4.3 岩土的描述

**4.3.1~4.3.3** 岩石和岩体的野外描述十分重要,规定应当描述的内容十分必要,岩石质量指标(RQD)是国际上通用的鉴别岩石工程性质好坏的方法。本规范的岩石和岩体的描述参照了现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 制定。

**4.3.4~4.3.7** 本规范的土的描述及土的密实度、粉土的湿度、黏性土的状态等划分标准参照了现行的国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 制定。

碎石土的最大粒径对地下隧道工程施工工艺的选择十分重要,砂卵石地层中卵石最大粒径的大小和含量的多少是盾构设备

选型和施工参数确定的关键因素。

#### **4.4 围岩分级与岩土施工工程分级**

**4.4.1、4.4.2** 现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 规定,暗挖结构的围岩分级按现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 确定。根据这一原则,本次岩土工程勘察规范的修订中围岩分级与现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 配套。

对于围岩等级为 V、VI 级的土层可结合地方经验进一步划分亚级,以更好的为工程建设服务。

岩土施工工程分级依据现行行业标准《铁路工程地质勘察规范》TB 10012 制定。

## 5 可行性研究勘察

### 5.1 一般规定

**5.1.1、5.1.2** 可行性研究阶段勘察是城市轨道交通工程建设的一个重要环节。城市轨道交通工程在规划可研阶段,就需要考虑众多的影响和制约因素,如城市发展规划、交通方式、预测客流等,以及地质条件、环境设施、施工难度等。这些因素是确定线路走向、埋深和工法时应重点考虑的内容。

制约线路敷设方式、工期、投资的地质因素主要为不良地质作用、特殊性岩土和线路控制节点的工程地质与水文地质问题。因此,这些地质问题是可行性研究阶段勘察工作的重点。

**5.1.3** 由于城市轨道交通工程设计中,一般可行性研究阶段与初步设计阶段之间还有总体设计阶段,在实际工作中,可行性研究阶段的勘察报告还需要满足总体设计阶段的需要。如果仅依靠搜集资料来编制可研勘察报告难以满足上述两个阶段的工作需要,因此强调应进行必要的现场勘探、测试和试验工作。

### 5.2 目的与任务

**5.2.1** 由于比选线路方案、完善线路走向、确定敷设方式和稳定车站等工作,需要同时考虑对环境的保护和协调,如重点文物保护单位的保护、既有桥隧、地下设施等,并认识和把握既有地上、地下环境所处的岩土工程背景条件。因此,可行性研究阶段勘察,应从岩土工程角度,提出线路方案与环境保护的建议。

**5.2.2** 轨道交通工程为线状工程,不良地质作用、特殊性岩土以及重要的工程周边环境决定了工程线路敷设形式、开挖形式、线路走向等方案的可行性,并影响着工程的造价、工期及施工安全。



## 5.3 勘察要求

**5.3.2** 可行性研究阶段勘察所依据的线路方案一般都不稳定和具体,并且各地的场地复杂程度、线路的城市环境条件也不同,所以编制组研究认为,可行性研究阶段勘探点间距需要根据地质条件和实际灵活掌握。

广州城市轨道交通工程可行性研究阶段勘察的做法是:沿线路正线 250m~350m 布置一个钻孔,每个车站均有钻孔。当搜集到可利用钻孔时,对钻孔进行删减。

北京城市轨道交通工程可行性研究阶段勘察的做法是:沿线路正线 1000m 布置一个钻孔,并满足每个车站和每个地质单元均有钻孔控制。对控制线路方案的不良地质条件进行钻孔加密。

## 6 初步勘察

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 初步设计是城市轨道交通工程建设非常重要的设计阶段,初步设计工作往往是在线路总体设计的基础上开展工点设计工作,不同的敷设形式初步设计的内容不同,如:初步设计阶段的地下工程一般根据环境及地质条件需完成车站主体及区间的平面布置、埋置深度、开挖方法、支护形式、地下水控制、环境保护、监控量测等的初步方案。初步设计阶段的岩土工程勘察需要满足以上初步设计工作的要求。

因此,本次修编在提出对初步勘察总的任务要求基础上,按照线路敷设方式,针对地下工程、高架工程和路基与涵洞工程、地面车站和车辆基地分别提出了初步勘察要求。

**6.1.2** 初步设计过程中,对一些控制性工程,如穿越水体、重要建筑物地段,换乘节点等往往需要对位置、埋深、施工方法进行多种方案的比选,因此,初步勘察需要为控制性节点工程的设计和比选,确定切实可行的工程方案,提供必要的地质资料。

### 6.2 目的与任务

本节对原规范进行了梳理,增加了“标准冻结深度”、“环境影响分析评价”、“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”、“评价场地稳定性和工程适宜性”等内容。同时将“土石可开挖性分级和围岩分级”调整到本规范第 6.3 节地下工程的勘察要求中。

### 6.3 地下工程

**6.3.1** 城市轨道交通工程初步设计阶段的地下工程主要涉及地

下车站、区间隧道,本条是在满足本规范第 6.2.2 条的基础上,针对地下工程的特点提出的勘察要求。勘察要求主要包括了围岩分级、岩土施工工程分级、地基基础形式、围岩加固形式、有害气体、污染土、支护形式和盾构选型等隧道工程、基坑工程所需要查明和评价的内容。

**6.3.2** 原规范对初勘勘探点间距确定为 100m~200m,未考虑敷设形式和车站与区间的差异,本次修订在综合各地初勘的经验和设计要求的基础上,对地下工程的车站和区间分别提出钻孔布置要求。其中地下车站至少布置 4 个勘探点,当地质条件复杂时,还需增加钻孔。例如,北京地区初勘阶段,每个车站一般布置 4 个~6 个钻孔。

**6.3.3** 地下区间初步勘察的勘探点间距与原规范一致,但增加了钻孔加密的条件。例如,广州地铁 1 号线广钢至广州东站,其地层为第四纪沉积层,下伏白垩系红层,多为中等风化或强风化,局部为海陆交互层,地层复杂,因此钻孔间距一般为 20m~30m。

**6.3.5** 地下区间、车站的勘探孔深度的制定原则在原规范的基础上进行了细化,考虑到满足设计方案调整以及初勘勘探孔的可利用性,将钻孔深度适当增加,并针对第四系和基岩的地质条件分别作出规定。

## **6.4 高架工程**

**6.4.1** 城市轨道交通工程初步设计阶段高架工程主要涉及高架车站、区间桥梁,本条是在满足本规范第 6.2.2 条的基础上,针对高架工程的特点提出的勘察要求。勘察要求主要考虑轨道交通高架结构对沉降控制较为严格,一般采用桩基方案,因此勘察工作的重点是桩基方案的评价和建议,关于桩基方案的勘察评价可参照相关的专业规范执行。

**6.4.2** 原规范对初勘勘探点间距确定为 100m~200m,未考虑敷设形式和车站与区间的差异,本次修订在综合各地初勘的经验和

设计要求的基础上,对高架工程的车站和区间分别提出钻孔布置要求。由于初步设计阶段的高架结构柱跨或桥墩台位置尚不确定,所以参考各地经验,提出勘探点的布置间距要求。对于已经基本明确桥柱位置和柱跨情况,初勘点位应尽量结合桥柱、框架柱布设。

**6.4.3** 高架区间、车站的勘探孔深度的制定原则在原规范的基础上进行了细化,分墩台基础和桩基础,并针对第四系和基岩的地质条件分别作出规定。

## **6.5 路基、涵洞工程**

**6.5.1** 城市轨道交通路基工程主要包括一般路基、路堤、路堑、支挡结构及其他的线路附属设施,本条是在满足本规范第 6.2.2 条的基础上,针对不同的路基形式和支挡结构提出了勘察要求。

**6.5.3** 本次修订在综合各地初勘的经验和设计要求的基础上,对路基勘探点间距进行了缩小,对高路堤、陡坡路堤、深路堑等提出了横断面的布置要求。

## 7 详细勘察

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 城市轨道交通工程结构、建筑类型多,一般包括:地下车站和地下区间、高架车站和高架区间、地面车站和地面区间,以及各类地上地下通道、出入口、风井、施工竖井、车辆段、停车场、变电站及附属设施等。不同的工程和结构类型的岩土工程问题不同,设计所需的岩土参数不同;地下工程的埋深不同,工程风险不同,因此,需要针对工程的特点、工程的建筑类型和结构形式、结构埋置深度、施工方法提出勘察要求。

本章按照线路不同的敷设形式即地下工程、高架工程、路基、涵洞工程、地面车站与车辆基地提出勘察要求。

### 7.2 目的与任务

**7.2.1** 城市轨道交通工程所遇到的岩土工程问题概括起来主要为各类建筑工程的地基基础问题、隧道围岩稳定问题、天然边坡人工边坡稳定性问题、周边环境保护问题等,为分析评价和解决好这些岩土工程问题,详细勘察阶段需要详细查明其地质条件,提出处理措施建议,提供所需的岩土参数。

**7.2.2** 为了使勘察工作的布置和岩土工程的评价具有明确的工程针对性,解决工程设计和施工中的实际问题,搜集工程有关资料,了解设计是十分重要的工作,也是勘察工作的基本要求。

**7.2.3** 本条为强制性条文,必须严格执行。本条规定了城市轨道交通工程详细勘察的具体任务,对其中的第1款~第5款和第8款分别作以下几点说明:

1 城市轨道交通工程建设,一般分布于大中城市人口稠密的

地区,对危害人类生命财产安全的重大地质灾害,如滑坡、泥石流、危岩、崩塌的情况比较少见,且多数进行了治理。但是,线路经过地面沉降区段、砂土液化地段、地下隐伏断裂和第四系地层中活动断裂、地裂缝等情况还是比较常见,这些常见的不良地质作用对城市轨道交通工程的施工安全和长期运营造成危害。

2 查明场地内的岩土类型、分布、成因等是岩土工程勘察的基本要求。由于城市轨道交通工程线路较长、结构类型多、地基基础类型多,差异沉降会给工程结构及运营安全带来危害,在软土地区和地质条件复杂地区已出现过此类问题。因此,需要提出各类工程地基基础方案建议并对其地基变形特征进行评价。

3 城市轨道交通地下工程结构复杂、施工工法工艺多,不同工法对地层的适应性不同,例如饱和粉细砂、松散填土层、高承压水地层等地质条件一般会造成矿山法施工隧道掌子面失稳和突涌;软弱土层会导致盾构法施工隧道管片错台、衬砌开裂、渗水等问题。这些工程地质问题会影响地下工程土方开挖、支护体系施工和隧道运行的安全。基坑、隧道岩土压力及计算模型,以及基坑、隧道的支护体系变形是地下工程设计计算的主要内容。岩土工程勘察需要为这些工程问题的解决提供岩土参数。

4 城市轨道交通在山区、丘陵地区或穿越临近环境以及开挖会遇到天然边坡和人工边坡问题。

5 城市轨道交通工程经常要穿越和跨越江、河、湖、沟、渠、塘等各种类型的地表水体。地表水体是控制线路工程的重要因素,而且施工风险极高,易产生灾难性的后果,如上海地铁4号线联络通道的坍塌导致江水灌入隧道,北京地铁也发生过雨后河水上漲灌入隧道的情况。因此查明地表水体的分布、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,对工程施工安全风险控制十分重要。

8 城市轨道交通工程一般临近或穿越地下管线、既有轨道交通、周边建(构)筑物、桥梁以及文物等工程周边环境,与城市轨道

交通工程存在着相互影响;工程周边环境保护是城市轨道交通工程建设的一项重要工作,也是一个难点。因此,根据岩土工程条件及城市轨道交通工程的建设特点分析环境与工程的相互作用,提出环境拆、改、移及保护等措施建议,是城市轨道交通工程勘察的一项重要工作。

### 7.3 地下工程

**7.3.2** 本条根据地下工程的特点规定了在详细勘察阶段需要重点勘察的内容。对其中的第1、2、7、9款分别作以下几点说明:

**1** 地下工程勘察主要包括基坑工程和暗挖隧道工程,除常规岩土物理力学参数外,基床系数、静止侧压力系数、热物理指标和电阻率等是城市轨道交通地下工程设计、施工所需要的重要岩土参数。

同时,由于各设计单位的设计习惯和采用的计算软件不同,勘察时应考虑设计单位的设计习惯提供基床系数或地基土的抗力系数比例系数。

在城市轨道交通运营期间,行车和乘客会散发出大量的热量,若不及时通风排出,将逐日积蓄热量,在围岩中形成热套。在冻结法施工中也涉及热的置换,为此尚需测定围岩的热物理指标,以作为通风设计和冻结法设计的依据。

**2** 饱和砂层、卵石层、漂石层、人工空洞、污染土、有害气体等对地下工程施工安全影响很大,应予以查明。例如杭州地铁1号线和武汉地铁2号线均在地下施工断面发现有可燃气态;北京地铁9号线的卵石、漂石地层,北京地区的浅层人工空洞等对工程的影响很大。

**7** 抗浮设防水位是很重要的设计参数,但要预测建(构)筑物使用期间水位可能发生的变化和最高水位有时相当困难,它不仅与气候、水文地质等因素有关,有时还涉及地下水开采、上下游水量调配、跨流域调水等复杂因素,故规定应进行专门研究。一般抗

浮设防水位的确定方法详见本规范第 10.4.2 条的条文说明。

9 出入口、通道、风井、风道、施工竖井等附属工程一般位于路口或穿越道路,工程周边环境复杂,通道与井交接部位受力复杂,经常发生工程事故,安全风险较高。因此应进行单独勘察评价。

7.3.3 表 7.3.3 所列钻孔间距比原规范规定的严格一些,主要是结合全国各地勘察的实际情况、城市地下工程的复杂性以及设计、施工的要求等进行修订。

7.3.4 本条要求勘探点在满足表 7.3.3 规定间距的基础上,勘探点平面布置还要考虑工程结构特点、场地条件、施工方法、附属结构、特殊部位的要求。

2 车站横剖面一般结合通道、出入口、风井的分布情况布设,数量可根据地质条件复杂程度和设计要求进行调整。

4 在结构范围内布置钻孔容易导致地下水贯通,给工程施工带来危害。隧道采用单线单洞时,左右线距离大于 3 倍洞径时采用双排孔布置,左右线距离小于 3 倍洞径或隧道采用双线单洞时可交叉布点。

7.3.5 本条结合车站主体工程的一般宽度和以往全国各城市的勘察经验,给出了勘探孔深度的确定要求。城市轨道交通地下工程受各种因素的制约,埋置深度往往在施工图设计阶段还需进行调整,因此,勘探孔深度比原规范的要求适当加深。

7.3.6 本条为强制性条文,必须严格执行。原规范对控制性勘探孔及取样和原位测试的试验孔的数量未作规定,城市轨道交通工程设计年限长,为百年大计工程,且工程复杂,施工难度大,变形控制要求高等,必须有一定数量的控制性钻孔,以及取样及原位测试钻孔以取得满足变形计算、稳定性分析、地下水控制等所需的岩土参数,本条参照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定,并考虑到车站工程的钻孔数量比较多,且附属设施需要单独布置钻孔,测试、试验数据数量能满足统计分析要求,将取样



和原位测试孔的数量规定为不应少于 1/2；区间工程的取样测试孔数量要求严于现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，主要考虑区间工程孔间距较大，钻孔数量较少，因此将取样和原位测试孔的数量规定为不应少于 2/3。

**7.3.7** 本条规定的取样和测试的数量主要是考虑城市轨道交通工程为百年大计工程，同时周边的环境条件一般比较复杂，为了提高工程设计的可靠度，减小参数变异风险，将取样或原位测试数量定为不应少于 10 组。

**7.3.10** 基床系数是城市轨道交通地下工程设计的重要参数，其数值的准确性关系到工程的安全性和经济性；对于没有工程经验积累的地区需要进行现场试验和专题研究，当有成熟地区经验时，可通过原位测试、室内试验结合附录 H 的经验值综合确定。

本次修订对基床系数进行了专题研究，主要成果如下：

**1** 基床系数  $K$  的定义与  $K_{30}$  试验。

基床系数是地基土在外力作用下产生单位变形时所需的应力，也称弹性抗力系数或地基反力系数，一般可表示为：

$$K = P/s \quad (1)$$

式中： $K$ ——基床系数(MPa/m)；

$P$ ——地基土所受的应力(MPa)；

$s$ ——地基的变形(m)。

基床系数与地基土的类别(砾状土、黏性土)、土的状况(密度、含水量)、物理力学特性、基础的形状及作用面积有关。

基床系数用于模拟地基土与结构物的相互作用，计算结构物内力及变形。结构物是指受水平力、垂直力和弯矩作用的基础、衬砌及桩等。变形是指基础竖向变形、衬砌的侧向变形、桩的水平变形和竖向变形等。基床系数的确定方法如下：

地基土的基床系数  $K$  可由原位荷载板试验(或  $K_{30}$  试验)结果计算确定。考虑到荷载板尺寸的影响， $K$  值随着基础宽度  $B$  的增加而有所减小。

对于砾状土、砂土上的条形基础:

$$K = K_1 \left( \frac{B + 0.305}{2B} \right)^2 \quad (2)$$

对于黏性土上的条形基础:

$$K = K_1 \left( \frac{0.305}{B} \right) \quad (3)$$

式中:  $K_1$ ——0.305m 宽标准荷载板的标准基床系数或  $K_{30}$  值。

铁路常用的  $K_{30}$  荷载板试验是用直径为 30cm 的承载板,测定土的  $K_{30}$  值。其  $K_{30}$  值是指在  $p-s$  曲线上对应地基土变形为 0.125cm 时的  $p$  值与  $p_{0.125}$  变形的比值:

$$K_{30} = \frac{p_{0.125}}{0.125} \quad (4)$$

基床系数  $K$  这个指标,不同的试验方法和不同的试验条件,其结果会有较大的差别。为便于统一和比较,建议  $K_{30}$  荷载板试验值作为标准基床系数  $K_1$  值,即标准基床系数  $K_1$  值应用  $K_{30}$  荷载板试验。对于具体设计中基床系数  $K$  的取值,应考虑施工程序和施工过程中的结构变形,由设计人员修正确定。

## 2 基床系数的室内试验。

由于原位荷载板试验受试验方法的局限性,适合测定表层土和施工阶段基坑开挖深度范围内土体的基床系数,在勘察阶段对不开挖的表层以下各土层很难直接通过实测方法测定,具体岩土勘察过程中常用原位测试、室内试验、结合经验值等方法综合分析确定基床系数。

### 1) 原规范中规定的三轴试验法和固结试验法。

三轴试验法:三轴试验法是将土样经饱和处理后,在  $K_0$  状态下固结,对一组土样分别做试验:

$$\sigma_3 = K_0 \gamma h, \sigma_1 = \gamma h \quad (5)$$

$$n = \Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1 = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 \quad (6)$$

不同应力路径下的三轴试验(慢剪),得到  $\Delta \sigma_1' \sim \Delta h_0$  曲线,求得初始切线模量或某一割线模量,定义为基床系数  $K$ 。

固结试验法:根据固结试验中测得的应力与变形关系来确定基床系数  $K$ :

$$K = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{e_1 - e_2} \times \frac{1 + e_m}{h_0} \quad (7)$$

式中:  $\sigma_2 - \sigma_1$ ——应力增量(MPa);

$e_1 - e_2$ ——相应的孔隙比减量;

$e_m$ —— $e_m = (e_1 + e_2)/2$ ;

$h_0$ ——样品高度(m)。

## 2) 上述室内试验方法的现状和分析。

目前国内对于这两种试验方法都有采用。通过对国内北京、天津、沈阳、上海、深圳和西安等地铁室内试验项目固结法和三轴法试验的对比研究,特别是通过天津地铁大量数据统计分析:固结法试验结果大于三轴割线法;固结法比原位载荷板试验结果大4倍~20倍;三轴割线法比原位载荷板试验结果大2倍~8倍。由于试件尺寸及试验条件与实际工况的差别,室内试验应在与原位载荷板试验大量对比试验的基础上,各地区根据实际情况确定基床系数的取值。

原位载荷板试验与室内试验的对比分析:由于原位载荷板试验与室内试验除存在着试验尺寸的差异外,尚存在如下差异:第一,原位载荷板试验下的土体有侧限变形,而室内固结试验土样侧向受限,无侧限变形;第二,原位载荷板试验的压缩层厚度为影响深度范围内的土层厚度,而室内试验的土试样高度  $h_0$  即为压缩层厚度,在假定相同的压板面积下,室内试验下沉量要小。综合考虑上述因素,室内试验求得基床系数与原位载荷板试验数据存在差异。

通过以上国内各勘察单位室内试验结果综合分析,固结法和三轴割线法求取的基床系数数据与土体实际不一致,而且偏差很大。

## 3) 建议。

a. 由于固结法试验结果比原位载荷板试验结果大 4 倍~20 倍,三轴割线法比原位载荷板试验结果大 2 倍~8 倍,建议在以后的工作中进一步研究和积累经验。

b. 利用三轴法,操作过程模拟现场  $K_{30}$  原位平板载荷试验的试验原理,应是以后发展的方向。

c. 铁三院中心试验室通过模拟现场  $K_{30}$  试验的做法,在常规三轴仪上对土样按取样深度进行固结,地下水位以下固结压力  $P_1 = 10H$  ( $H$  为取样深度),地下水位以上固结压力  $P_2 = 20H$ ,这样模拟土的原始状态,试样制备和三轴试验法相同,通过土的静止侧压力系数  $K_0$  计算所施加围压  $\sigma_3$  (固结压力乘以静止侧压力系数  $K_0$  求得),静止侧压力系数  $K_0$  可以通过实测或经验值得到,试样施加围压  $\sigma_3$  后对试样进行压缩剪切,试验得出应变为 1.25mm 时对应的应力,通过计算得到基床系数值。该方法试验结果接近经验值。

d. 上海岩土工程勘察设计研究院有限公司使用三轴法测定基床系数。三轴法不同于原规范上的描述方法,具体如下:利用传统三轴仪,根据取样深度确定固结压力,进行等向固结。固结稳定后用固结排水剪方法进行试验,得出应力应变关系曲线。试验结果较接近经验值。

总之,研究表明在同一压力作用下,基床系数不是常数,它除了与土体的性质、类别有关外,还与基础底面积的大小、形状以及基础的埋深等因素有关。上述所列基床系数的室内试验方法仅提供了一个研究方向,后期的研究中还应加强现场  $K_{30}$  平板载荷试验数据与室内试验数据的对比分析,逐步积累资料和经验。同时,在施工过程中通过监测结构物的变形,反分析求解,不断积累数据形成经验推算公式,也是今后需进一步研究的方向。

### 3 确定基床系数的其他方法。

1) 基床系数值与地基土的标贯锤击数  $N$  的经验关系为:

$$K = (1.5 \sim 3.0)N \quad (8)$$

2)地基土的基床系数  $K$  与土体介质的弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$  及基础面积  $A$  的关系为:

$$K = \frac{E}{(1 - \mu^2) \sqrt{A}} \quad (9)$$

#### 4 有关基床系数经验值的说明:

本规范附录 H 的制定是在当前国内外部分基床系数试验成果的基础上综合确定的。本次修订工作统计了北京、上海、天津、广州、成都、深圳、西安、沈阳等地区的岩土工程勘察报告中提供的基床系数值、专项研究成果,并考虑了其他行业和地方标准的规定。

#### 5 岩石的基床系数。

1)北京地铁工程在 20 世纪 60 年代根据工程的需要,在公主坟第三纪红色砂砾岩中做了现场大型试验,根据试验成果提出了第三纪强风化—全风化砂砾岩基床系数  $K$  值为  $120\text{MPa/m} \sim 150\text{MPa/m}$ 。

2)青岛地铁花岗岩中等风化、微风化、未风化,岩体单位基床系数  $K$  计算及测试方法如下:

计算公式:

$$K = \frac{E}{(1 + \mu)100} \quad (10)$$

$K$  与岩体弹性模量  $E$  和泊松比,关系密切。测定  $E$  和  $\mu$ ,简便易行。因此,可根据  $E$ 、 $\mu$  与  $K$  值之间的关系,计算出  $K$  的值。

测试方法有两种:

一是用静力法测得  $E$ 、 $\mu$  值,是把岩芯加工成立方体、长柱体,贴应变片,以应变方法测出  $\mu$  值,计算出  $K$  为静基床系数。

二是用动力法测得  $E_d$ 、 $\mu_d$  值,是在岩芯上由超声波检测仪分别测出纵波速  $v_p$ 、横波速  $v_s$ ,然后计算出  $E_d$ 、 $\mu_d$ ,根据上述公式,可求得动基床系数。

$E_d$ 、 $\mu_d$  计算公式如下:

动弹性模量  $E_d$ ,

$$E_d = \frac{pv_s^2(3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad (11)$$

动泊松比  $\mu_d$ ,

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (12)$$

式中:  $\rho = 2.60 \sim 2.70$ 。

## 7.4 高架工程

**7.4.2** 本条根据高架工程大多采用桩基的特点规定了在详细勘察阶段对桩基工程需要重点勘察的要求。需要注意的是,高架线路桩基设计依据的规范主要有现行行业标准《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94;勘察时应根据设计单位选用的规范,并结合当地经验提出桩基设计参数。

**7.4.3** 高架车站的勘探点间距 15m~35m,主要是依据场地的复杂程度和柱网间距确定,同时与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相一致。

高架区间勘探点间距取决于高架桥柱距,目前各城市地铁高架桥的柱距一般采用 30m,跨既有铁路、公路线路采用大跨度的柱距一般为 50m。城市轨道交通工程高架桥对变形要求较高,一般条件下每柱均应布置勘探点;对地质条件复杂,且跨度较大的高架桥一个柱下可以布置 2 个~4 个勘探点。

**7.4.5** 本条为强制性条文,必须严格执行。城市轨道交通运营对变形要求高,需要进行变形计算,必须有一定数量的控制性钻孔、取样及原位测试钻孔,以取得桩侧摩阻力、桩端阻力及变形计算的岩土参数,为确保高架工程的结构安全,规定了对控制性钻孔及取样原位测试钻孔数量,其中取样与原位测试钻孔的数量与现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定相一致。

## 7.5 路基、涵洞工程

**7.5.3** 高路堤的基底稳定、变形等是路堤勘察的重点工作。既

有线调查表明,路堤病害绝大多数是由于路堤基底有软弱夹层或对地下水没处理好,其次是填料不合要求,夯实不紧密而引起的。为此需要查明基底有无软弱夹层及地下水出露范围和埋藏情况。在填方边坡高及工程地质条件较差地段岩土工程问题较多,设置路基横断面查清地质条件是非常必要的。勘探深度视地层情况与路堤高度而定。

**7.5.4** 深路堑在路基工程中是属于比较重要的工程,城市轨道交通工程路堑一般采用 U 型槽形式,路堑工程涉及挡墙地基稳定性、结构抗浮稳定性等诸多问题,在岩土工程勘察中不可忽视。

路堑受地形、地貌、地质、水文地质、气候等条件影响较大,且边坡又较高,容易出现边坡病害。为了路堑边坡及地基的稳固,避免工程病害出现,勘察工作需按本条基本要求详细查明岩土工程条件,并针对不同情况提出相应的处理措施。

**7.5.5** 挡土墙及其他支挡建筑物是确保路堑等边坡稳固的重要措施。当路堑边坡稳固条件较差,需要设置支挡构筑物时,勘察工作可在详勘阶段结合深路堑工程勘察同时进行。

## **7.6 地面车站、车辆基地**

**7.6.1** 车辆基地的各类房屋建筑一般包括停车列检库、物资总库、洗车库、办公楼、培训中心等,附属设施一般包括变电站、门卫室、供水井、地下管线、道路等。

**7.6.2** 车辆基地一般占地范围较大,多为近郊不适合开发的土地,甚至为垃圾场,一般地形起伏大,需要考虑挖填方等场地平整的要求。目前场地平整和股道路基设计时需要勘察单位提供场地的地质横断面图。在填土变化较大时需要提供填土厚度等值线图以及不良土层平面分布图等图件。

根据广州市轨道交通工程的经验,车辆基地一般需要提供如下图纸、文件:

**1** 为进行软基处理,勘察报告提供车辆段场坪范围内软土平

面分布图,软土顶面、底面等高线图;液化砂层分区图;中等风化岩面等高线图。

2 为满足填方需要,勘察报告提供填料组别。

3 车辆基地勘察完毕,尚应进行专门的工程地质断面填图,断面线间距 25m~30m,断面的水平比例为 1 : 200,竖直比例为 1 : 200。



## 8 施 工 勘 察

**8.0.1** 城市轨道交通工程尤其是地下工程经常发生因地质条件变化而产生的施工安全事故,因此施工阶段的勘察非常重要。施工阶段的勘察主要包括施工中的地质工作以及施工专项勘察工作。

**8.0.2** 施工地质工作是施工单位在施工过程中的必要工作,是信息化施工的重要手段。本条规定了施工中常开展的地质工作,在实际工作中不限于这些工作。

**8.0.3** 施工阶段需进行的专项勘察工作内容主要是从以往勘察和工程施工工作中总结出来的,这些内容往往对城市轨道交通工程施工的安全和解决工程施工中的重大问题起重要作用,需要在施工阶段重点查明。

1 由于钻孔为点状地质信息,地质条件复杂时在钻孔之间会出现大的地层异常情况,超出详细勘察报告分析推测范围。施工过程中常见的地质异常主要包括地层岩性出现较大的变化,地下水位明显上升,出现不明水源,出现新的含水层或透镜体。

2、3 在施工过程中经常会遇见暗浜、古河道、空洞、岩溶、土洞以及卵石地层中的漂石、残积土中的孤石、球状风化等增加施工难度、危及施工安全的地质条件。这些地质条件在前期勘察工作中虽已发现,但其分布具有随机性,同时受详细勘察精度和场地条件的影响,难以查清其确切分布状况。因此,在施工阶段有必要开展针对性的勘察工作以查清此类地质条件,为工程施工提供依据。

比如广州地铁针对溶洞、孤石等委托原勘察单位开展了施工阶段的专门性勘察工作,钻孔间距达到 3m~5m,北京地铁 9 号线针对卵石地层中的漂石对盾构和基坑护坡桩施工的影响,委托原

勘察单位开展了施工阶段的专门性勘察工作,采用了人工探井、现场颗分试验等勘察手段。

4 由于勘察阶段距离施工阶段的时间跨度较大,场地周边环境可能会发生较大变化,常见的包括场地范围内埋设了新的地下管线,周边出现新的工程施工,既有管线发生渗漏等。

6 地下工程施工过程中出现桩(墙)变形过大、开裂,基坑或隧道出现涌水、坍塌和失稳等意外情况,或发生地面沉降过大等岩土工程问题,需要查明其地质情况为工程抢险和恢复施工提供依据。

7 一般城市轨道交通工程的盾构始发接收井、联络通道加固,工程降水,冻结等辅助措施的施工方案在施工阶段方能确定,详细勘察阶段的地质工作往往缺乏针对性,需要在施工阶段补充相应的岩土工程资料。

8.0.4 施工阶段由于地层已开挖,为验证原位试验提供了良好条件,本规范建议在缺少工程经验的地区开展关键参数的原位试验为工程积累资料。

8.0.5 施工勘察是专门为解决施工中出现的問題而进行的勘察,因此,施工勘察的分析评价,提出的岩土参数、工程处理措施建议应具有针对性。

## 9 工 法 勘 察

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.1** 城市轨道交通工程勘察工作不仅要为工程结构设计服务,还需要满足施工方案和施工组织设计的需要。城市轨道交通工程施工的工法较多、工艺复杂,不同的工法工艺对地质条件的适应性不同,需要的岩土参数不同,对地下水的敏感性不同,需要解决的工程地质问题也不相同,因此,需要针对不同的施工方法提出具体的勘察要求。本次修订将原规范中的明挖法勘察和暗挖法勘察两章合并为工法勘察一章,同时增加了沉管法勘察和其他工法与辅助措施的勘察。

**9.1.2** 工法的选择往往会影响工程的成败,对工程造价、工期、工程安全均会产生较大的影响,在各阶段的勘察均要根据施工方法的要求开展相应的勘察工作。工法的勘察应结合工法的具体特点、地质条件选取合理的勘察手段和方法,并进行分析评价,提出适合工法要求的措施、建议及岩土参数。

### 9.2 明挖法勘察

**9.2.1** 盖挖法包括盖挖顺筑法和盖挖逆筑法,盖挖顺筑法是在地面修筑维持地面交通的临时路面及其支撑后自上而下开挖土方至坑底设计标高再自下而上修筑结构;盖挖逆筑法是开挖地面修筑结构顶板及其竖向支撑结构后在顶板的下面自上而下分层开挖土方分层修筑结构。

**9.2.3** 明挖法勘察内容与一般基坑工程勘察具有相同之处,但是城市轨道交通工程明挖法具有工程开挖深度大、周边环境复杂、变形控制要求严、存在明暗相接区段、明挖结构开洞较多等自身的

一些特点。本条规定了明挖法的重点勘察内容。

1 特别强调要查明软弱土夹层、粉细砂层的分布。实践证明这种岩土条件往往给支护工程带来极大麻烦,如沿软弱夹层产生整体滑动,产生流砂而造成地面塌陷等。因此,必须给予更多的投入查清其产状与分布,以便采取防范措施。

3 按工程施工情况和现场的饱和黏性土存在的不同排水条件,考虑究竟采用总应力法或有效应力法,以期更接近实际,取得较好效果。

如饱和黏性土层不甚厚,有较好的排水条件,工程进展较慢,宜采用排水剪的抗剪强度指标;一般土质或黏性土层较厚,工程进展较快,来不及排水,为分析此间地基失稳问题,宜采用不排水剪的抗剪强度指标。

有效应力法的黏聚力、内摩擦角用于分析饱和黏性土地基稳定性时,在理论上比较严密,但它要求必须求出孔隙水压分布、荷载应力分布。实践中由于仪器不尽完善,要测准孔隙水压力有一定难度。

总应力法比较方便,广为使用。但它要求地层统一,这在客观上是不多见的,所以它的计算成果较粗略。

4 人工降低水位与深基坑开挖密切相关。勘察工作首先要分析判断要不要人工降低水位,并应对降低水位形成地层固结导致地面沉降、建筑物变形以及潜蚀带来的危害等有充分估计。实践中这类教训是不少的,为此勘察中应充分论证和预测,以便采取有效措施,使之对既有建筑的危害减至最低限度。

9.2.7 边坡稳定性计算,可分段进行。勘察中应逐段提供岩土密度、黏聚力、内摩擦角及工程地质剖面图,粗估可能产生的破坏形式。

软弱结构面的方位是边坡稳定评价的重要因素。地下工程放坡开挖施工,基坑又深又长,临空面暴露又多,为此在软弱面上取样作三轴剪切求出黏聚力、内摩擦角是评价边坡稳定的重要依据。

对基岩结构面进行地质测绘了解产状、构造等条件,作出比较接近实际的稳定性计算与评价,也是很必要的。

为确定人工边坡最佳坡形及边坡允许值可考虑概念设计的原则,在定性分析的基础上,进行定量设计,较为稳妥。

**9.2.8 确定地下连续墙的入土深度及立柱桩的桩基持力层至关重要,因此需查明桩(墙)端持力层的性质、含水层与隔水层的特性。为有效控制地下连续墙与中间桩的差异沉降,设计时应考虑开挖的各个工况的变形规律(土体隆起与沉降),因此一般盖挖施工,其勘探孔深度较大,当地质条件复杂时,应加密钻孔间距,与常规基坑勘察要求有所不同。**

**9.2.9 对明挖法的勘察,其勘察报告除满足常规基坑评价内容,宜结合岩土条件、周边环境条件,提出其明挖法基坑围护方法的建议与相应的设计参数;根据大量地铁工程经验,对存在的不良地质作用,如暗浜、厚度较大的杂填土等,如果勘察未查明或施工处理不当,可能引起支护结构施工质量问题(如地下连续墙露筋、接头分叉,灌注桩缩径,止水结构断裂等),对周边环境产生不利影响(如地面塌陷,管道断裂,房屋倾斜等),因此,在勘察报告中应增加不良地质作用可能引起明挖法施工风险的分析,并提出控制措施及建议的要求。**

### **9.3 矿山法勘察**

**9.3.1 矿山法施工的工艺较多,工法名称尚没有统一的规定,目前常见的矿山法施工的开挖方法一般包括全断面法、上半断面临时封闭正台阶法、正台阶环形开挖法、单侧壁导坑正台阶法、双侧壁导坑法(眼镜工法)、中隔墙法(CD法、CRD法)、中洞法、侧洞法、柱洞法、洞桩法(PBA法)等方法开挖。**

**9.3.2 矿山法隧道轴线位置选定,隧道断面形式和尺寸,洞口、施工竖井位置和明、暗挖施工的分界点的选定,开挖方案及辅助施工方法,围岩加固、初期支护等与工程地质条件和水文地质条件密**

切相关。岩土工程条件对矿山法施工工法工艺的影响主要体现在以下几个方面:

1 矿山法隧道的埋置深度应根据运营使用 and 环境保护要求结合地层情况通过技术经济比较确定。无水地层中,在不影响地铁运营和车站使用的前提下,宜使区间隧道处于深埋状态,以节约工程费用。但在第四纪土层中往往难以做到。这种情况在选择隧道穿越的土层时,最好使其拱部及以上有一定厚度的可塑—硬塑状的黏性土层,以减少施工中的辅助措施费用,有条件时宜把隧道底板置于地下水位以上。在综合以上考虑的基础上,隧道的埋深宜选择较大的覆跨比(覆盖层厚度与隧道开挖宽度之比)。

2 矿山法地铁隧道的结构断面形式,应根据围岩条件、使用要求,施工工艺及开挖断面的尺度等从结构受力、围岩稳定及环境保护等方面综合考虑合理确定,宜采用连接圆顺的马蹄形断面。围岩条件较好时,采用拱形与直墙或曲墙相组合的形状,软岩及土、砂地层中应设仰拱或受力平底板。浅埋区间隧道,一般采用两单线平行隧道,岩石地层中则采用双线单洞断面较为经济,也有利于大型施工机具的使用。

土层中的车站隧道,一般采用三跨或双跨的拱形结构;岩石地层中的车站隧道,从减少施工对围岩的扰动和提高车站的使用效果等方面考虑,宜采用单跨结构。矿山法车站隧道,视需要也可做成多层。

视地层及地下水条件、环境条件、施工方法及隧道开挖断面尺寸的不同,矿山法隧道可选用单层衬砌或双层衬砌。轨道交通行车隧道不宜单独采用喷锚衬砌,当岩层的整体性好、基本无地下水,从开挖到衬砌这段时间围岩能够自稳,或通过锚喷临时支护围岩能够自稳时,可采用单层整体现浇混凝土衬砌或装配式衬砌。双层衬砌一般用于V、VI级围岩或车站、折返线等大跨度隧道中,其外层衬砌为初期支护,由注浆加固的地层、锚喷支护及格栅等组合而成,内层衬砌为二次支护,大多采用模筑混凝土或钢筋混凝土。

4 开挖方法对支护结构的受力、围岩稳定、周围环境、工期和造价等有重大影响。对一般的单双线区间隧道和开挖宽度在 15m 内的其他隧道,可根据地层条件、埋深、机具设备及环境条件等,从图 1 中选择合适的开挖方法。车站隧道的开挖方法则要根据结构型式、跨度及围岩条件等来选择。例如,埋置于第四纪地层中的北京西单地铁车站,采用双层三跨拱形结构覆盖层厚度 6m,隧道开挖尺寸为 26.14m(宽) $\times$ 13.5m(高)。采用侧洞法施工,首先开挖两侧的行车隧道,完成边洞的二衬及立柱后,再开挖中洞并施作中洞拱部及仰拱的二衬;侧洞采用双侧壁导洞法开挖。埋置于岩石地层中的大跨度单拱车站隧道,当地层较差或为浅埋时,多采用品字形开挖先墙后拱法施工;在 V、VI 类围岩中的深埋单拱车站,也可采用先拱后墙法施工。

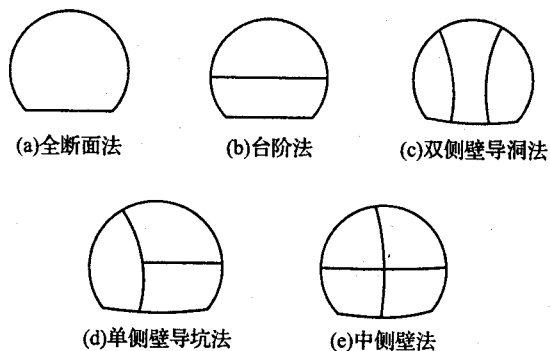


图 1 中小跨度单跨地铁隧道的开挖方法

关于辅助施工方法。在土、砂等软弱围岩中,遇下列情况在隧道开挖前应考虑使用辅助施工方法:

1) 采用缩短进尺、分部开挖和及时支护等时空效应的综合利用手段仍不能保证从开挖到支护起作用这段时间内围岩自稳时。

2) 在隧道上方或一侧有重要建(构)筑物或地下管线需要保护,采用以上时空效应综合利用手段或设置临时仰拱等常规方法仍不能把隧道开挖引发的地面沉降控制在允许范围以内时。

3)开挖及出渣等需要采用机械化作业或因工期要求,不允许通过以上缩短进尺等措施作为主要手段来稳定围岩和控制地表沉降时。

#### 4)需处理地下水时。

作为稳定围岩和控制地面沉降的辅助施工方法大致可分为预支护和围岩预加固两类。常用的预支护方法有超前杆或超前插板、小导管注浆、管棚、超前长桩、预切槽、管拱和超前盖板等;围岩预加固有垂直砂浆锚杆加固和地层注浆等。作为地下水处理的辅助施工方法有降排水法、气压法、地层注浆法和冻结法。

辅助施工方法的选择与地层条件、隧道断面大小及采用目的等因素有关,并对工程造价和施工机具的配置等产生直接影响。

5 预支护与围岩预加固。工程实践和理论分析证明,隧道开挖过程中,围岩应力状态的改变和松弛将波及开挖面前方一定范围内的地层。所以提高开挖面前方土体强度和改善其受力条件,是保证开挖面稳定和控制开挖产生过大沉降的重要手段。因此,预支护和围岩预加固就成为土质浅埋隧道中经常使用的施工措施。

所谓预支护,就是在隧道开挖前,预先设在隧道轮廓线以外一定范围内的支护,有的还与开挖面后方的支架等共同组成支护体系。超前杆和小导管注浆是一般土质隧道采用较多的预支护方法,前者适用于拱顶以上黏性土地层较薄或为粉土地层,后者多用于砂层或砂卵石地层。它们能有效地防止顶部围岩坍塌,在一定程度上也有利于提高开挖面的稳定度,但由于预支护长度短(一般 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ ),在特别松软的地层中,难以有效地支承开挖面前方破坏棱体上方的土体;此外,对限制土体变形的作用也不够明显。所以国外在对地层扰动大或开挖成型困难的超浅埋隧道、多连拱隧道和平顶直墙隧道,都无例外地采用了管棚等大型预支护手段。

管棚和超前长桩是对传统预支护手段的重大改进,不仅把预支护长度增加到 $10\text{m}\sim 20\text{m}$ 以上,有的还在开挖面前方形成空间



刚度很大、纵横两个方向均能传力的伞状预支护体系,因而对控制开挖产生的地面沉降特别有效。一种常见的超前长桩是意大利人开发的旋喷水平桩,利用专用设备,根据土层分别选用不同的注浆方法及注浆材料,可以在隧道外周构筑直径  $0.6\text{m}\sim 2.0\text{m}$  的砂浆桩(在砂性土中,采用单管法,使用水泥浆加固,砂浆桩的直径为  $0.6\text{m}\sim 0.8\text{m}$ ;在淤泥和黏性土中,采用双重管法,用压缩空气+水泥浆加固,砂浆桩的直径为  $1.2\text{m}$ ,若采用三重管法,用压缩空气+水+水泥浆加固,砂浆桩的直径可达  $2.0\text{m}$ )。

管拱实际上是一种直径达  $2\text{m}$  的巨型钢筋混凝土超前长桩,它同时又作为隧道主要承载结构的一部分。米兰地铁 verriezia 车站采用了这一技术。车站主体为净跨  $22.8\text{m}$ 、净高  $16\text{m}$  的单拱隧道,开挖宽度达  $28\text{m}$ ,覆盖层厚度为  $4\text{m}\sim 5\text{m}$ ,埋置于砂砾和粉细砂组成的地层中。先在墙脚处开挖两个侧导洞并浇筑混凝土;在车站两端的竖井内沿隧道顶部依次顶入 12 根覆盖整个车站的钢筋混凝土管,在管内充填混凝土;从侧导洞沿拱圈每隔  $6\text{m}$  开挖一个弧形导洞,施作支承顶管的钢筋混凝土拱肋;在管拱的下面开挖隧道,施作仰拱。实测施工引起的地面沉降为  $10\text{mm}\sim 14\text{mm}$ 。

预切槽法是在隧道开挖前,沿隧道外轮廓用专用设备切出一条  $1.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$  的深槽,当为土质隧道时必须用喷混凝土立即充填,形成一个预拱。它可用于开挖断面积为  $30\text{m}^2\sim 150\text{m}^2$ 、土质比较均匀的隧道。

围岩预加固多用于浅埋隧道或对地面沉降控制特别严格的隧道。其中垂直砂浆锚杆加固,是在地面按一定间距垂直钻孔后,设置一直伸到拱外缘的砂浆锚杆,用以加固地层。注浆法则常与封闭地下水的目的配合使用。

**7 地下水对矿山法施工隧道的设计、施工、使用以及由它引发的环境问题的影响,主要表现在以下两个方面:**

一是隧道施工中,地下水大量涌入,不仅影响正常作业,严重的还会导致开挖面失稳。事故统计资料表明:塌方总量的  $95\%$  都

与地下水有关。

二是在某些地层中由于施工降水措施不当,或在隧道建成后的运营过程中,由于长期渗漏造成城市地下水位的大幅度变化,引起周围建筑物因沉陷过大而破坏。此外,在粉状土中长期渗漏会把土颗粒带进隧道,最终将削弱对隧道的侧向和底部支撑,严重时可导致隧道破坏。

地下水的处理,必须因地制宜,结合隧道所处地质条件、环境条件及施工方法等,选择经济、适宜的方法。

### 9.3.3 本条规定了矿山法的重点勘察内容。

1~3 第四纪覆盖地区土层的密实度、自稳性、地下水、饱和粉细砂层等,基岩地区的基岩起伏、结构面、构造破碎带、岩层风化带、岩溶、地热、温泉、膨胀岩等,以及隧道分布范围内的古河道、古湖泊、地下人防、地下管线、古墓穴、废弃工程残留物等均是影响矿山法隧道施工安全的重要因素,应重点查明其分布和范围。

对人体带来不良影响的各种有毒气体,以及能形成爆炸、火灾等可燃性气体,统称为有害气体。除洞内作业生成的以外,从地层涌出的有害气体主要包括缺氧空气、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、二氧化氮( $\text{NO}_2$ )、有机溶液的蒸气及甲烷等天然气。

其中垃圾及沼池回填地中的甲烷属可燃性气体,由于它的比重仅约为空气比重的一半,极易沿地层的裂隙上升到地表附近,是隧道施工中遭遇频度最高的一种有害气体。硫化氢气体主要产生于火山温泉地带,它可燃,能引起人员中毒,还会腐蚀衬砌结构。

缺氧气体多出现在以下地层中:

1)在上部有不透水层的砂砾层或砂层中,由于抽取地下水或用气压法施工等原因,使地下水完全枯竭或含水量大量减少,如果地层中含有氧化亚铁等还原物质或有机物等,就会与空气产生氧化作用而消耗氧气,使之变为缺氧气体。

2)含有甲烷或其他可燃气体时,在通风不良的隧道或竖井中,因施工作业大量消耗氧气,使空气中氧气浓度降低,也会导致

缺氧。

人体吸入氧气浓度低于 18% 的缺氧空气而产生的各种病症，称为缺氧症；低于 10% 时能造成神志不清或窒息死亡。

5 隧道突水、涌砂、开挖面坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、岩爆、滑坡、围岩松动等是矿山法施工常见的工程地质问题，会给隧道施工带来灾难性的后果。勘察过程中应根据所揭露的地质条件，预测其可能发生的部位并提出防治措施建议，是矿山法勘察的重要内容之一。

9.3.5 掘进机是一种先进、高效的开挖设备，它根据以剪裂为主的滚刀破岩原理，充分利用了岩石抗剪强度较低的特点，尤其适用于长隧道的施工。但它也存在以下问题：

1 掘进机掘进速度取决于岩石硬度、完整性和节理情况。节理越密、掘进越快；节理方向与掘进方向的夹角在  $45^{\circ}$  左右，掘进速度较快；节理平行或垂直掘进方向，速度较慢；在软岩中 fastest，但在断层、溶岩发达区则问题较多，还出现过难以用正常方法掘进的实例。因此，事前对沿线地质进行深入细致的调查，对掘进机的选型、设计、估算工程进度等都至关重要。

2 工作中刀片消耗极大，需要经常更换。

9.3.6 爆破对地面建筑和居民的主要影响表现在爆破地震动效应和爆破噪声。爆破地震动在达到一定的量值之后，不仅引起建筑物的裂损和破坏，而且也会影响居民的正常生活。大量的试验观察结果表明，地震动对建筑物的破坏和对居民的影响与爆破产生的地面震动速度关系极大，爆破噪声也与爆破地面震动速度关系密切。所以各国大都把爆破产生的地面震动速度作为评价爆破次生效应的基础，制定出建筑物和人员所能承受的地面安全震动速度标准。

据现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 规定，不同类型建筑物地面安全震动速度为：

土窑洞、土坯房、毛石房屋： $1.0\text{cm/s}$ ；

一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物:2cm/s~3cm/s;

钢筋混凝土框架房屋:5cm/s。

**9.3.7 洞桩(柱)法**一般用于城市轨道交通工程的暗挖车站工程,通过先施工上下导洞,在上导洞中向下导洞中施作立柱或桩,柱下要施作基础。通常桩或柱需要承担上部荷载,边桩还要承担侧向岩土压力。在桩或柱体的支护下,再进行车站的开挖。这种开挖方式又称为PBA法或暗挖逆筑法。勘察时,根据该工法的特点提供地基承载力、桩基承载力及变形计算的岩土参数,以及侧向土压力计算参数是勘察工作的重要内容。

**9.3.8 气压法**是在软弱含水地层中,向开挖面输送能抵抗水压力的压缩空气,以控制涌水、保证开挖面稳定的一种开挖隧道的方法。

覆盖层厚度、土的粒径、颗粒组成、密度、土的透气性、地下水状态和隧道开挖断面的大小等对压气作用的效果影响很大。一般在黏性土地层中,压气效果显著。在粉土地层中,由于透水性小,压气效果较好,但当覆盖层薄和气压高时,有造成地表隆起的危险;而气压过低又容易使隧道底部呈现泥泞状态,引起开挖面松弛。这时,应结合实际情况,及时调整气压。在透水性和透气性大的砂土地层中,当开挖面的顶部有一层不透水的黏性土层时,也是一种使用气压法施工的较好条件;如果砂土中黏土成分占30%~40%,则有一定的压气效果;在黏土含量在15%~20%以下的砂层中,当覆盖层薄或上部无不透水层时,过高的气压有使地表喷发的危险,此时往往需要与注浆法或降低地下水位法同时使用;当隧道开挖断面较大时,由于隧道底部的气压无法平衡外部的水压力,有可能出现涌水甚至是流砂。而隧道顶部由于“过剩压力”而导致的地层过度脱水,又极易引起地层坍塌。

## 9.4 盾构法勘察

**9.4.2 盾构法隧道轴线和盾构始发井、接收井位置的选定**,盾构

设备选型和刀盘、刀具的选择,盾构管片设计及管片背后注浆设计,盾构推进压力、推进速度、土体改良、盾构姿态等施工工艺参数的确定,盾构始发井、接收井端头加固设计与施工,盾构开仓检修与换刀位置的选定等与工程地质条件和水文地质条件密切相关。

1 盾构隧道轴线和覆土厚度的确定,必须确保施工安全,并且不给周围环境带来不利影响,应综合考虑地面及地下建筑物的状况、围岩条件、开挖断面大小、施工方法等因素后确定。覆盖层过小,不仅可能造成漏气、喷发(当采用气压盾构时)、上浮、地面沉降或隆起、地下管线破坏等,而且盾构推进时也容易产生蛇行;过大则会影响施工的作业效率,增大工程投入。根据工程经验,盾构隧道的最小覆盖层厚度以控制在1倍开挖直径为宜。

2 由于盾构选型与地质条件、开挖和出渣方式、辅助施工方法的选用关系密切,各种盾构的造价、施工费用、工程进度和推进中对周围环境的影响差别又相当大,加之施工中盾构难以更换,所以必须结合地质条件、场地条件、使用要求和施工条件等慎重比选。

盾构机械根据前端的构造型式和开挖方式的不同,大致分为图2所示的几种基本型式:

1)全面开放型盾构:又称敞口盾构,是开挖面前方未封闭的盾构的总称。根据所配备的开挖设备,又区分为人工开挖式盾构、半机械开挖式盾构和机械开挖式盾构。

全面开放型盾构原则上适用于洪积层的密实的砂、砂砾、黏土等开挖面能够自稳的地层。当在含水地层或在冲积层的软弱砂土、粉砂和黏土等开挖面不能自稳的地层中采用时,需与气压法、降低地下水位法或注浆法结合使用。

其中人工开挖式盾构是利用铲、风镐、锄、碎石机等工具开挖地层,根据需要,开挖面可设置挡土千斤顶进行全断面挡土。它比较容易处理开挖面出现软硬不匀的地层或夹有漂石、卵石等的地层,清除开挖面前方的障碍物也较为便利。一般当开挖断面很大

时,可在盾构机内装备可动工作平台采用分层开挖,来保证开挖面的稳定。

半机械开挖式盾构是指断面的一部分或大部分的开挖和装渣使用了动力机械的盾构。由于在使用挖掘机和装渣机的部分采用挡土千斤顶等支护措施比较困难,只能实现部分挡土,且往往工作面的敞开比用人工开挖式盾构时大。因此对地层稳定性的要求比后者更为严格。

机械开挖式盾构采用旋转的切削头连续地进行开挖。刀头安装在刀盘或条幅上,前者可利用刀盘起到支护作用,对开挖面的稳定有利;后者工作面敞开较大,适用于可在相当长的时间内自稳的地层。

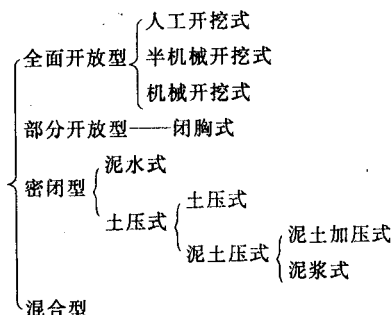


图2 盾构类型

2)部分开放式盾构:这种盾构在距开挖面稍后处设置隔墙,其部分是开口的,用以排除工作面上呈塑性流动状的土砂,是一种适合在冲积层的黏土和粉砂地层中使用的机种;不适用于洪积黏土层、砂土和碎石土地层。此种盾构对土层的含砂量及液性指数等有一定要求(见图3及表3)。从日本的工程实践看,多用于含砂量小于15%的地层;一般适用范围为含砂量小于25%、黏聚力小于45kPa、液性指数大于0.80的地层。如果超出以上范围,随着地层强度和含砂增大,盾构推进时的千斤顶推力亦增大,易造成对管片和盾构机的损伤,且会产生盾构方向控制和地表隆起问题。

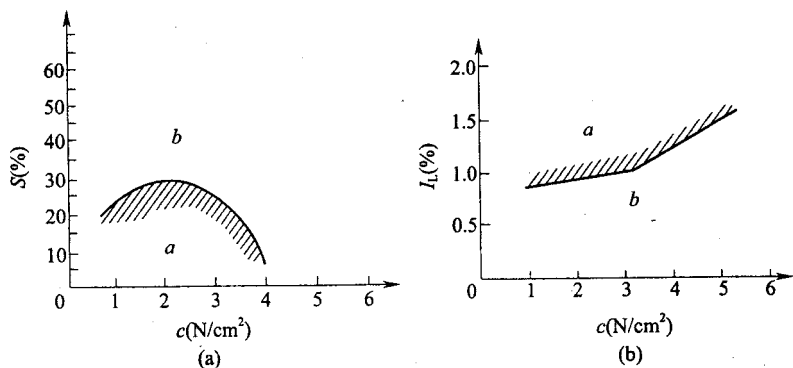


图 3 部分开放式盾构的适用范围

a—可用封闭; b—不能用封闭; S—含砂率; c—黏聚力;  $I_L$ —液性指数

表 3 部分开放式盾构适用的地层特性

项目	土 壤 参 数				
	名称		符号	单位	适用范围
1	颗粒组成	砂	S	%	<20
		粉土	M		>20
		黏土	C		>20
2	土的粒径	有效粒径	$d_{10}$	mm	<0.001
		60%的粒径	$d_{60}$		<0.030
3	天然含水量		w	%	40~60
4	天然含水量/液限		$w/w_L$	%	>1
5	内摩擦角(三轴)		$\varphi$	°	<12
6	黏聚力(三轴)		c	kPa	<20
7	无侧限抗压强度		$q_u$	kPa	<60

3) 密闭型盾构: 包括土压平衡盾构和泥水平衡盾构两大类。它们是现代盾构技术发展的结晶, 具有施工安全可靠、掘进速度快, 在大多数情况下可不用辅助施工方法等特点。这两类盾构在工法形成的基本条件方面有许多共同点, 前端都有一个全断面的

切削刀盘和设在刀盘后面的密封舱,把从液状到半固体状的各种状态的弃土充满在舱室内,用以保持开挖面的稳定,并通过适当的手段把密封工作面的弃土排除掉。

土压平衡盾构:其特点是利用与密封舱相连的螺旋输送机排土,通过充填在密封舱内的弃土并调节螺旋输送机的排土量以平衡开挖面上的水、土压力。为了达到上述目的,对密封舱内的弃土最基本要求是应具有一定的流动性和抗渗性。前者至少要有使土颗粒容易移动的尽可能适度的孔隙量(含水量、孔隙比)。此孔隙量随地层而异,作为大致的标准,黏性土是液性界限、砂性土是最大孔隙比。此外渗透系数  $k=10^{-5}$  cm/s 被认为是土压平衡盾构操作的一个经验限制值。如果土质的渗透性过高,地下水可能穿透密封舱和螺旋输送机的土壤。因此,在不具备流动性或渗透性能过高的土层中,需要通过对密封舱内的弃土注入附加剂的方法改善其特性。这种措施使得土压平衡盾构可以适用于多种地层。包括砂砾、砂、粉砂、黏土等固结度低的软弱地层和软、硬相兼的地层。视地层条件的不同,可以采用不同类型的土压平衡盾构,其中:

土压式适用于一般的软黏土和含水量及颗粒组成适当、有一定黏性的粉土。弃土经刀盘搅拌后已具备较大的流动性,能以流态充满密封舱。

泥土加压式适用于无流动性的砂、砂砾地层或洪积黏土层中。通过对舱内弃土添加水、膨润土、黏土浆液、气泡、高级水性树脂等外加剂,经强制搅拌使挖土获得必要的流动性和抗渗性。

泥浆式适用于松散、透水性大,易于崩塌的含水砂砾层或覆土较薄、泥土易于喷出地面的情况。将压力泥浆送入密封舱,与弃土搅拌后成为高浓度泥浆(比重为 1.6~1.8),用以平衡开挖面的水、土压力。

泥水平衡盾构:此种盾构的特点是向密封舱内注入适当压力的泥浆用以支撑开挖面,将弃土和泥水混合后用排泥泵及管道输



送至地面进行排泥处理。泥水盾构不仅适用于砂砾、砂、粉土、黏土等固结度低的含水软弱地层及软、硬相间的地层,并且对上述地层中上部有河流、湖泊、海洋等高水压的情况也是有效的。但是对渗透系数  $k \geq 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、细粒含量在 10% 以下的土层难以通过泥水取得加压效果,并可能使地层产生流动化。

泥水盾构的主要缺点是需要配备一套昂贵的泥水处理设备,且占地较大。

4) 混合型盾构:为适应沿线地质条件有明显差异的长隧道的施工而开发的新型盾构。实质是根据具体工程的地质、水文、隧道、环境等方面的实际条件将土盾构和硬岩掘进机的功能和结构,合理地加以组合与改进,可以适应从饱和软土到硬岩的开挖。例如,带有伸缩式刀盘并设有土压平衡设施,刀盘上备有能分别适应于软、硬岩切削的刮刀和滚刀两种刀具,还装备有横向支撑等。当盾构在硬岩中掘进时,横向支撑将盾构固定在围岩中,刀盘旋转并向前伸进,弃土进入土舱后经螺旋输送机排除,此时土舱中的弃土不充满,也不需要进行土压平衡控制。当遇不稳定含水地层时,利用盾构千斤顶顶进,弃土全部充满土舱,必要时施加添加剂,采用土压平衡盾构的方式工作。

#### 9.4.3 从以下几方面理解盾构法岩土工程勘察的要求。

1 常见的不良岩土条件对盾构法施工的影响主要为以下几个方面:

1) 灵敏度高的软土层:由于土层流动造成开挖面失稳;

2) 透水性强的松散砂土层:涌水并引起开挖面失稳和地面下沉;

3) 高塑性的黏性土地层:因黏着造成盾构设备或管路堵塞,使开挖难以进行;

4) 含有承压水的砂土层:突发性的涌水和流砂,随着地层空洞的扩大引起地面大范围的突然塌陷;

5) 含漂石或卵石的地层:难以排除,或因被切削头带动而扰动

地层,造成超挖和地层下沉;

6) 上软下硬复合地层:因软弱层排土过多引起地层下沉,并造成盾构在线路方向上的偏离。

因此,以上岩土条件是盾构法的重点勘察内容。

4 当盾构穿越含有漂石或卵石的地层时,粒径大小、含量及强度对盾构机的选型、设计,以及设备配置等有直接影响。随着盾构技术的发展,在此种含水地层中,采用密闭型盾构施工的实例正在增多,但也不乏因情况不明或设计不周导致机械故障,造成难以推进的例子。所以,当用常规钻孔无法搞清情况时,就应该采用大口径勘探孔以便摸清地质情况,据此设计盾构机切削刀头的前面形状、支承方式,确定刀盘的开口形状和尺寸,刀头的材质和形状,螺旋输送机或其他水力输送机的直径、结构等。由于受到盾构内部作业空间的限制,输送管道允许采用的口径与盾构内径有关。一般当粒径大于输送管道直径的  $1/3$  时,就容易出现堵塞现象,需在盾构中设置破碎机。

5 盾构始发井、到达井及联络通道是盾构施工中最容易出现事故的部位,因此,盾构法的岩土工程勘察工作需要对盾构始发、接收井及盾构区间联络通道的地质条件进行分析和评价,预测可能发生的岩土工程问题,提出岩土加固范围和方法建议。

6 盾构勘察中各项勘察试验目的见表 4。

表 4 各项勘察试验目的

勘察项目	勘察试验目的
地下水位	计算水压力(衬砌及盾构设计用);决定气压盾构的气压和最小覆土厚度;盾构选型
孔隙水压力	计算水压力
渗透系数	决定降水方法及抽水量;判定注浆难易;选择注浆材料及注浆方法;盾构选型;推求土层的透气系数
地下水流速、流向	分析注浆法和冻结法的可行性
无侧限抗压强度	推算黏性土的抗剪强度;评价开挖面的稳定性

续表 4

勘察项目	勘察试验目的
土的黏聚力	计算土压力;盾构选型;推算黏性土强度
内摩擦角	计算土压力;盾构选型;推算砂性土强度;确定剪切破坏区
变形系数	有限元分析的输入参数;计算地层变形量
泊松比	有限元分析的输入参数;计算地层变形量
标贯击数	盾构选型(表示土的强度及密实度);液化判定
基床系数	计算地层反力
土的重力密度	计算土压力
孔隙比	了解土孔隙的大小;估计注浆率;计算黏性土的固结下沉量
含水量	计算浆体充填量;施工稳定性分析
颗粒分布曲线	明确颗粒粗细;推算渗透系数;测算注入率;选择注浆材料和压注方式;判定砂土液化;开挖面自稳性分析
液限	推算土的稳定性;结合土的灵敏度,选择注入率;黏性土固结下沉量估算
塑限	推算土的稳定性;结合土的灵敏度,选择注入率
岩石的岩性和风化程度	盾构设计和刀具选择
岩石的单轴抗压强度	盾构设计和刀具选择
岩石的 RQD 值	盾构刀具的配置
岩石的结构、构造和矿物成分	施工参数的选择和刀具磨损的评估

**9.4.4 盾构法施工管片背后注浆压力比较大**,如钻孔封填不密实,浆液可能沿钻孔喷出地面。此类现象在北京、成都、深圳、广州的城市轨道交通工程盾构施工中均出现过。因此,需要按照要求对勘探孔封填密实,广州市城市轨道交通工程勘察中一般采用水泥砂浆通过钻杆注浆回填至地面。

**9.4.5 盾构下穿地表水体时**,尤其是盾构处在掘进困难时,受到

地表水体危害的可能性是较大的,因此,岩土工程勘察应对这种情况进行分析。

**9.4.6 淤泥层、可液化的饱和粉土层及砂层等对盾构施工产生很大影响,而且这种影响会持续到运营期间,严重时会影响盾构隧道的稳定性。因此,岩土工程勘察不仅需要分析评价淤泥层、可液化的饱和粉土层及砂层对盾构施工安全的影响,还要提出这些不良地层对将来运营期间隧道稳定性可能产生的影响。**

## **9.5 沉管法勘察**

**9.5.1 沉管法已应用于城市轨道交通工程地下工程穿越河流等水体的施工,例如,广州市城市轨道交通工程建设中曾有应用。本条规定了沉管法勘察应解决的设计、施工问题。**

**9.5.2 在符合本规范详细勘察要求的基础上,沉管隧道、水下基槽开挖、管节停放等是沉管法的重要勘察部位。有关说明如下:**

**1 钻孔的布置范围一般包括水下开挖基槽、管节停放、临时停放的范围。**

**2 一般钻孔的布设可按网格状布置钻孔,揭示基槽及两侧的岩土情况。钻孔间距的规定来源于广州市轨道交通工程勘察,已应用于工程实践。**

**3 管节位置是指水下开挖基槽中沉放管节的部位,条款强调钻孔深度应达到水下开挖基槽以下 10m 并穿过压缩层,以满足计算沉降量的需要。**

**4 河岸的管节临时停放位置,需要布置少量钻孔,揭示此处土层的承载力。**

**5 干坞是管节预制的场所,属于临时工程,干坞的勘察要求视干坞的规模、场地条件等而确定,未列入本规范。**

## **9.6 其他工法及辅助措施勘察**

**9.6.1 沉井、导管注浆、冻结等工法及辅助措施在一定程度上决**

定了城市轨道交通工程建设成败,其勘察工作一般在车站、区间的详细勘察中完成。当辅助施工需要补充更为详细的岩土资料时,可在详细勘察的基础上进行施工勘察。本规范未涉及的高压旋喷、搅拌桩等辅助工法可参照其他有关规范进行勘察。

**9.6.2** 沉井可用于矿山法竖井或盾构法竖井的施工。本条特别说明了沉井或沉箱的勘察要求,主要包括钻孔布置、终孔深度,以及查明岩土层的分布、物理力学性质和水文地质条件,特别提及可能遇到对沉井施工不利情况的勘察要求。钻孔数量不宜多,一般1个~4个钻孔可满足要求。

**9.6.3** 导管注浆法是将水泥浆、硅酸钠(水玻璃)等液体注入地层使之固化,用以加固围岩,提高其止水性能的一种施工方法。为此需根据围岩的渗透系数、孔隙率、地下水埋深、流向和流速等,选定与注浆目的相适应的注浆材料和施工方法,决定注浆范围、注浆压力和注浆量等。

**9.6.4** 冻结法是临时用人工方法将软弱围岩或含水层冻结成具有较高强度和抗渗性能的冻土,以安全地进行隧道作业的一种施工方法。由于成本较高,一般是在其他辅助施工方法不能达到的时方可采用。

冻结法可用于砂层和黏土地层中,但当土层的含水率在10%以下或地下水流速为 $1\text{m/d} \sim 5\text{m/d}$ 时,难以获得预期的冻结效果。对于后一种情况,可以通过注浆来降低水流速度。采用本法时,必须对围岩的含水量、地下水流速、土的冻胀特性及冻土解冻时地层下沉等问题进行充分地调查与研究。

土壤冻结时产生的体积膨胀与土壤的物理力学性质、有无上覆荷载及所采用的冻结方法等有关,一般在砂层和砂砾层中几乎不会产生,在黏土和粉砂中较大。通常人工冻土的体积膨胀不会超过5%,产生的冻胀力可达 $2500\text{kN/m}^2 \sim 3000\text{kN/m}^2$ 。为了获得黏性土的冻胀量,可进行不扰动土取样的室内试验。

在接近建筑物或地下管线处采用冻结法施工时,必要时可采

取以下措施:

- 1 控制冻土成长;
- 2 限定冻结范围,设置冻胀吸收带,使建筑物周围不冻结;
- 3 对建筑物进行临时支撑或加固等。

解冻产生的地层下沉主要出现在黏性土中。解冻时,由于土颗粒的结合被切断而产生的孔隙,在上覆荷载和自重的作用下就会产生下沉。下沉量可比冻胀量大 20%。为此,可配合注浆法加以克服。

冻土强度与温度和地层的含水量有关。同一温度下的饱和土,冻土强度大小依次按砂砾大于砂大于黏土的顺序排列。表 5 的数值可供参考。

表 5 冻土强度(kN/m<sup>2</sup>)

土质	-10℃			-15℃		
	单轴抗压强度	弯曲抗拉强度	抗剪强度	单轴抗压强度	弯曲抗拉强度	抗剪强度
黏土、粉砂	4000	2000	2000	5000	2500	2500
砂	7000	2000	2000	10000	3000	2000

例如,2000 年广州市地下铁道二号线纪念堂至越秀公园区间隧道过清泉街断裂采用水平冻结法施工(冻结长度 64m),2006 年广州市轨道交通三号线天河客运站折返线隧道在燕山期花岗岩残积层中采用水平冻结法加固地层,均为矿山法开挖。

冻结法勘察需要着重解决以下几个问题:

1 冻结使土体的物理力学性质发生突变,与未冻结相比,主要表现在:土体的黏聚力增大、强度提高,压缩量明显减小,体积增大,原来松散的含水土体成为不透水土体。因此,特别强调查明需冻结土层的物理力学性质,其中包括含水量、孔隙比、固结系数、剪切强度。

2 冻结法利用冻结壁隔绝岩土层中的地下水与开挖体的联

系,以便在冻结壁的保护下进行开挖和衬砌施工。因此,查明需冻结土层周围含水层的分布及含水量是勘察的重要工作内容。

**3** 地温、导温系数、导热系数和比热容等热物理指标是影响冻结温度场的主要因素。勘察工作中需要依据本规范第 15.12 节测试需冻结土层的地温,依据第 16.2.6 条测定土层的热物理指标。

**4** 冻结土层的冻胀率、融沉率等冻结参数需在冻结施工中测定。尽可能收集已有的冻结法施工经验,包括不同土层的冻结参数,以及冻胀、融沉对环境的影响程度,为指导施工提供依据。在冻结法施工中,应防止严重的冻胀和融沉。

**5** 冻结和解冻过程中,土体的物理力学性质发生突变,要求查明冻结施工周围的地面条件、建(构)筑物分布、地下管线等分布情况。

**6** 在施工前,要求分析冻结法施工对周围环境的影响,并将影响减至最小。

## 10 地 下 水

### 10.1 一 般 规 定

**10.1.1** 在城市轨道交通工程建设中,地下水对工程影响重大,如结构抗浮问题、抗渗问题、施工方法选择、地下水控制、结构水土压力计算等均与地下水密切相关,在施工过程中因地下水问题产生的工程事故频发,地下水勘察是岩土工程勘察的重要组成部分。

**10.1.2** 水文地质条件简单时,在详细勘察工作中采取的一些水位观测、水文地质试验等可满足工程需要;鉴于地下水对城市轨道交通工程建设的重要性,对于复杂的水文地质条件和存在泉水等地下水景观时,一般通过采用专门水文地质钻孔,专门地下水动态长期观测孔,抽水试验孔等手段开展水文地质专项勘察工作。

### 10.2 地下水的勘察要求

**10.2.1** 本条是城市轨道交通工程地下水的勘察基本要求。

2 由于地下含水透镜体分布的复杂性,在勘察中不但要查明稳定含水层分布规律,还应查明地下含水透镜体的分布。

4 历史最高水位指长期观测孔中历年地下水达到的最高纪录。

5 城市轨道交通的地下工程勘察一般通过现场勘察、试验取得具体水文地质参数。

**10.2.2** 山岭隧道中不同岩性接触带、断层带和富水带是隧道施工中最易发生大量涌水的地段和部位,为此查明“三带”是非常重要的。

1 山岭隧道地下水类型主要为孔隙水、裂隙水和岩溶水。有的还根据岩性、构造分为亚类,如裂隙水分为不同岩性接触带裂隙



水、断层裂隙水和节理裂隙密集带水,从已有隧道涌水类型看,以孔隙水、裂隙水为主,其次为综合性涌水,断层水和岩溶水也占一定比例。

2 岩溶水的垂直分带即垂直渗流带、水平径流带和深部缓流带可根据现行行业标准《铁路工程不良地质规程》TB 10027 划分。查明岩溶水的垂直分带与隧道设计高程的关系以及蓄水结构是至关重要的。

3 预测隧道施工中的集中涌水段、点的位置及其涌水量和对围岩影响是极其重要的。所谓集中涌水,国内尚无量的规定,日本的《隧道地质学》,将隧道施工中开挖面的涌水划分为四个等级,以开挖面 10m 区间涌水量计,1 级为无水或涌水量 1L/min,2 级为滴水或涌水量 1L/min ~ 20L/min,3 级为涌水量 20L/min ~ 100L/min,4 级为全面涌水 100L/min 以上。

4 集中涌水段或点在施工过程中可能发生的最大涌水量和正常涌水量的预测方法,目前国内外尚无固定的计算模型,主要根据地质、水文地质条件综合分析确定。

### 10.3 水文地质参数的测定

10.3.1 具体工程勘察中,首先根据地层、岩性、透水性和工程重要性等条件的不同确定地下水作用的评价内容,并根据评价内容的要求,明确水文地质参数及其测定方法,表 6 是各种水文地质参数常用的测试方法。

表 6 水文地质参数及测定方法

参 数	测 定 方 法
水位	钻孔、探井或测压管观测
渗透系数、导水系数	抽水试验、提水试验、注水试验、压水试验、室内渗透试验
给水度、释水系数	单孔抽水试验、非稳定流抽水试验、地下水位长期观测、室内试验
越流系数、越流因数	多孔抽水试验
单位吸水率	注水试验、压水试验
毛细水上升高度	试坑观测、室内试验

**10.3.2** 本条为强制性条文,必须严格执行。地下水一般分层赋存于含水地层中,各含水层的地下水位多数情况下不同,多层地下水分层水位的量测,尤其是承压水水头的观测,对隧道设计与施工、地下车站基础和基坑支护设计与施工十分重要,目前不少勘察人员忽视这项工作,造成勘察资料的欠缺,本次修订作了明确的规定。

多层地下水分层水位的量测要注意钻探过程中套管是否隔开上层水的影响,这是需要在现场进行判断的,如果无法取得准确的各层水水位,就需要设置分层观测孔。

**10.3.4** 对地下水流向流速的测定作如下说明:

1 用几何法测定地下水流向的钻孔布置,除应在同一水文地质单元外,尚需考虑形成锐角三角形,其中最小的夹角不宜小于 $40^\circ$ ;孔距宜为50m~100m,过大和过小都将影响量测精度。

2 用指示剂法测定地下水流速,试验孔与观测孔的距离由含水层条件确定,一般细砂层为2m~5m,含砾粗砂层为5m~15m,裂隙岩层为10m~15m,岩溶地区可大于50m。指示剂可采用各种盐类、着色颜料、 $I^{131}$ 等,其用量决定于地层的透水性和渗透距离。

3 当工程对地下水流速精度要求不高时,可以采用水力梯度法计算。水力梯度法是间接求得场区地下水流速的方法,只要知道场区含水层的渗透系数 $k$ 和水力梯度 $i$ ,则流速为:

$$v = ki \quad (13)$$

**10.3.5** 为了使渗透系数等水文参数更接近工程实际情况,在城市轨道交通勘察工作中一般采用抽水试验、注水试验等现场测试方法确定。表7的渗透系数经验值可供参考。

由于渗透系数大于200m/d的含水层的水量往往很大,这类地层中进行施工降水时,常配合采用堵水、截水等方法才能满足设计和施工的要求,所以本规范中特别列出“特强透水”一类。

**10.3.6** 松散类岩土给水度可参考表8的经验值。

表 7 岩土渗透系数经验值

岩土名称	渗透系数 $k$	
	(m/d)	(cm/s)
黏土	$<0.001$	$<1.2 \times 10^{-6}$
粉质黏土	$0.001 \sim 0.100$	$1.2 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-4}$
粉土	$0.100 \sim 0.500$	$1.2 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$
黄土	$0.250 \sim 0.500$	$3.0 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$
粉砂	$0.500 \sim 1.000$	$6.0 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$
细砂	$1.000 \sim 5.000$	$1.2 \times 10^{-3} \sim 6.0 \times 10^{-3}$
中砂	$5.000 \sim 20.000$	$6.0 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$
均质中砂	$35.000 \sim 50.000$	$4.0 \times 10^{-2} \sim 6.0 \times 10^{-2}$
粗砂	$20.000 \sim 50.000$	$2.4 \times 10^{-2} \sim 6.0 \times 10^{-2}$
均质粗砂	$60.000 \sim 75.000$	$7.0 \times 10^{-2} \sim 8.6 \times 10^{-2}$
圆砾	$50.000 \sim 100.000$	$6.0 \times 10^{-2} \sim 1.2 \times 10^{-1}$
卵石	$100.000 \sim 500.000$	$1.2 \times 10^{-1} \sim 6.0 \times 10^{-1}$
无充填的卵石	$500.000 \sim 1000.000$	$6.0 \times 10^{-1} \sim 1.2$
稍有裂隙岩石	$20.000 \sim 60.000$	$2.4 \times 10^{-2} \sim 7.0 \times 10^{-2}$
裂隙多的岩石	$>60.000$	$>7.0 \times 10^{-2}$

表 8 岩土给水度的经验值

岩土名称	给水度	岩土名称	给水度
粉砂与黏土	$0.100 \sim 0.150$	粗砂及砾砂	$0.250 \sim 0.350$
细砂与泥质砂	$0.150 \sim 0.200$	黏土胶结的砂岩	$0.020 \sim 0.030$
中砂	$0.200 \sim 0.250$	裂隙灰岩	$0.008 \sim 0.100$

10.3.7 采用计算法求影响半径时,表 9 列出了常用的计算公式:

表 9 影响半径计算公式

计 算 公 式		适用条件	备注
潜水	承压水		
$\lg R = \frac{s_w(2H-s_w)\lg r_1 - s_1(2H-s_1)\lg r_1}{(s_w-s_1)(2H-s_w-s_1)}$	$\lg R = \frac{s_w \lg r_1 - s_1 \lg r_w}{s_w - s_1}$	1 完整井 2 一个观测孔	结果偏大
$\lg R = \frac{s_1(2H-s_1)\lg r_2 - s_2(2H-s_2)\lg r_1}{(s_1-s_2)(2H-s_1-s_2)}$	$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2}$	两个观测孔	精度可靠
$\lg R = \frac{1.366k(2H-s_w)s_w}{Q} \lg r_w$	$\lg R = \frac{2.73kMs_w}{Q} + \lg r_w$	单孔	一般偏大
$R = 2s\sqrt{Hk}$	$R = 10s\sqrt{k}$	单孔	概略计算

**10.3.8** 孔隙水压力对土体的变形和稳定性有很大影响。在隧道开挖阶段,采取工程降水时,为了控制地面沉降,对有关土层进行孔隙水压力的监测有利于地面沉降原因的分析。

**10.3.9、10.3.10** 城市轨道交通工程地下水控制往往是决定工程成败的关键,地下工程往往埋深大、涉及多个含水层,仅靠经验参数进行地下水控制的设计不能满足要求,因此需要在现场布置一定数量的抽水试验,通过现场试验获取可靠的参数满足地下水控制设计与施工的需要。

## 10.4 地下水的作用

**10.4.1** 地下水对岩土体和城市轨道交通工程的作用,按其机制可以划分为两类。一类是力学作用;一类是物理、化学作用。

**10.4.2** 地下水对城市轨道交通工程的力学作用及评价方法主要包括以下几个方面:

**1** 地下水对地下工程的浮力是最明显的一种力学作用。在静水环境中,浮力可以用阿基米德原理计算。一般认为,在透水性较好的土层或节理发育的岩体中,计算结果即等于作用在基底的

浮力。对于节理不发育的岩体,尚缺乏必要的理论依据,很难确切定量,故本款规定,有经验或实测数据时,按经验或实测数据确定。

在渗流条件下,由于土单元体的体积  $V$  上存在与水力梯度  $i$  和水的重力密度  $\gamma_w$  呈正比的渗透力(体积力)  $J$ :

$$J = i\gamma_w V \quad (14)$$

造成了土体中孔隙水压力的变化,因此,浮力与静水条件下不同,应该通过渗流分析求出。

在工程设计中,抗浮设防水位的确定十分重要,目前,设计工程师希望勘察报告中能准确给出抗浮设防水位。由于地下水位变化影响的因素很多,主要有:

- 1) 地下含水层的水位与大气降水入渗的关系;
- 2) 城市规划中地下水的开采量变化对该地下水的影响;
- 3) 建筑物周围的环境,与周围水系的联系;
- 4) 其他各层地下水与其补给排泄的影响。

从其影响因素看,抗浮设防水位的确定十分复杂,本次修订在第 7.3.2 条中规定应进行专项工作。

一般抗浮设防水位可采用综合方法确定:

1) 当有长期水位观测资料时,抗浮设防水位可根据该层地下水实测最高水位和地下工程运营期间地下水的变化来确定;无长期水位观测资料或资料缺乏时,按勘察期间实测最高稳定水位并结合场地地形地貌、地下水补给、排泄条件等因素综合确定;

2) 场地有承压水且与潜水有水力联系时,应实测承压水水位并考虑其对抗浮设防水位的影响。

2 验算边坡稳定性时需考虑地下水渗流对边坡稳定的影响。对基坑支护结构的稳定性验算时,不管是采用水土合算还是水土分算,都需要首先将地下水的分布搞清楚,才能比较合理地确定作用在支护结构上的水土压力。

4 渗流作用可能产生潜蚀、流土或管涌现象,造成破坏。以上几种现象,都是因为基坑底部某个部位的最大渗流梯度大于临

界梯度,流土和管涌的判别方法可参阅有关规范和文献。

在防止由于深处承压水的水压力而引起的基坑隆起即突涌,需验算基坑底不透水层厚度与承压水水头压力,见图4,并按平衡式(15)进行计算:

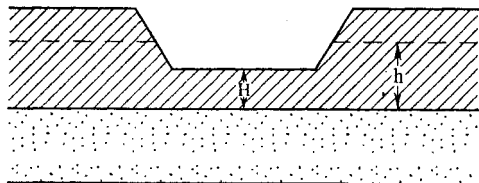


图4 突涌验算示意

$$\gamma H = \gamma_w \cdot h \quad (15)$$

基坑开挖后不透水层的安全厚度按式(16)计算:

$$H \geq (\gamma_w / \gamma) \cdot h \quad (16)$$

式中:  $H$ ——基坑开挖后不透水层的安全厚度(m);

$\gamma$ ——土的重度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\gamma_w$ ——水的重度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$h$ ——承压水头高于含水层顶板的高度(m)。

## 10.5 地下水控制

**10.5.3** 降水对周边环境的影响主要有降水引起地面沉降、地下水资源的消耗。关于降水引起地面沉降的估算可参考相关规范、手册。

**10.5.4~10.5.6** 地下水控制不管采用什么方法都是有利有弊:

1 帷幕截水方法以现有的技术当属地下连续墙最为可靠,但造价偏高,目前采用的薄壁地下连续墙已经在城市建设中有所应用,由于造价降低不少,是值得研究应用的方法。

2 采用旋喷桩帷幕截水,虽然每根桩深度不受过多限制,但由于成桩过程中存在的垂直度不能保证达到要求,可能会出现局部缝隙,在施工开挖时会造成严重后果。因此深大基坑应慎重选

择旋喷桩截水帷幕,如选择旋喷桩截水帷幕,应强调施工的质量要求。

3 目前,国内许多城市的浅层地下水污染较严重,深部地下水质量相对较好。自渗方法降低地下水位就是把上层水通过自渗井导入下层水,在不考虑地下水环境的情况下,是施工降水比较节省的方法。如上层水导入下层水可能恶化下层水的水质,则不宜采用这类方法。

4 地下水回灌具有两方面作用:一是保障基坑周边地面不发生沉降;二是保障地下水资源量不受施工降水的影响。采用回灌方法是与抽水方法相伴生的。回灌可在同层进行,也可以在异层进行。同层回灌应保证回灌井回灌的水量不能过多地流入抽水井,加重抽取水量。这就要保证在工程场区存在同层回灌的条件,即存在设置回灌井的位置,能够保证回灌井与抽水井的距离。异层回灌虽然不受场地大小的限制,但考虑到上层水水质往往较差,在选择采用异层回灌前,应评价不同层位地下水混合后对地下水环境的影响,避免产生水质型水资源损失。

## 11 不良地质作用

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。本规范所列人的不良地质作用是城市轨道交通工程建设中常见的地质现象,对城市轨道交通工程的线路方案、施工方案、工程安全、工程造价、工期等会产生重大影响,同时不良地质作用随时空的变化而变化,伴随在城市轨道交通工程建设和运营的全过程中,因此,应对不良地质作用进行专项的勘察工作。

**11.1.2** 本规范列入的不良地质作用有采空区、岩溶、地裂缝、地面沉降、有害气体,是目前勘察中遇到的。随着国内城市轨道交通工程的不断发展,在今后勘察工作中可能遇到滑坡、危岩落石、岩堆、泥石流、活动断裂等不良地质作用,国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027 对勘察有明确规定。

### 11.2 采空区

**11.2.1** 采空区是指有地层规律可循,并沿某一特征地层挖掘的坑洞。如煤矿(窑)、掏金洞、掏沙坑、坎儿井等。采空区的采空程度和稳定性分区是该类地段工程地质勘察必须解决的问题。由于开采矿体不同和开采时期不同,采空程度差异很大,影响采空区稳定性的因素众多,地质勘察积累的资料较少,在规范中一直未列出划分标准。近几年随着城市轨道交通工程建设的发展,通过和即将通过开采矿区、规划矿区、地下人防等越来越多,上述问题更加突出。为适应工程建设需要,本规范规定按采空程度和开采现状的分类方法,并希望在使用过程中积累资料,补充完善分类



标准。

**11.2.2** 城市轨道交通工程由于主要分布在城市及近郊,这些地区人类活动频繁,多留有人类活动的痕迹,如防空洞、枯井、墓穴、采砂坑等,这些人工坑洞大部分分布较浅,对城市轨道交通工程建设影响较大,因此将其也纳入人工坑洞的勘察范围,勘察时参照采空区的相关规定执行。

**11.2.3** 有设计、有计划开采的矿区和规划矿区,将矿区设计、实施资料移放在线路平面图上与该段区域地质资料综合分析后圈定移动盆地或保留煤柱。

小窑采空区,开采多为乱采乱挖,要确定其采空范围则必须经过实地调查、坑洞测量、结合该段区域地质资料,初步圈定采空范围,用钻探和物探查明坑洞含水和采空范围,根据区域地质资料和钻探资料获取采空层位的埋深和顶板地层的物理力学性质。

时间久远的古窑采空区,由于时间久远知情人少,坑洞坍塌又不能实地测量,采空范围和采空程度确定十分困难。为达勘察目的,可采用广泛访问、了解地区开采历史、开采方式、开采能力、开采设备、年开采量、开采时段,分析区域地质资料和水文地质情况,初步确定开采层位,圈定采空范围和采空程度。有条件时,应以物探为先导指导钻探验证采空范围。

**11.2.6** 采空区稳定性评价,应根据采空程度和坑洞顶板地层的物理力学性质进行。大面积采空,根据开采矿体的范围、矿层的倾斜程度、上覆地层的物理力学性质确定移动盆地。根据工程性质确定线路通过位置。小窑采空区,根据上覆地层物理力学性质进行评价。浅埋的人防空洞应根据其与城市轨道交通工程的空间位置关系和土层的物理力学性质进行评价。

铁一院通过在陕西、山西煤系地层小窑采空区的铁路建设,根据前述的小煤窑开采情况和该地区煤层主要位于石炭、二叠系泥页岩夹砂岩地层的特点,提出了该地区小煤窑采空稳定性评价标准。即当基岩顶板厚度小于 30m 时,为可能塌陷区,要求所有工

程均需处理;当基岩顶板厚度等于 30m~60m 时,为可能变形区,重点工程应处理;当基岩顶板厚度大于 60m 时,为基本稳定区,一般工程不处理,重大工程结合其重要性单独考虑。其中顶板为第四系土层时,按 3:1 换算为基岩(即 3m 土层换算为 1m 基岩)。依据上述标准,在孝柳、侯月、神朔等线小煤窑采空区进行工程处理,经过施工、运营考验尚未发生工程地质问题。

### 11.3 岩 溶

**11.3.1** 岩溶亦称喀斯特,是指可溶性岩层如碳酸盐类的石灰岩、白云岩以及硫酸盐类的石膏等受水的化学和物理作用产生沟槽、裂隙和空洞,以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等侵蚀及堆积地貌形态特征和地质作用的总称。

**11.3.2** 按埋藏条件的岩溶分类参考表 10:

表 10 按埋藏条件的岩溶分类及其特征

岩溶类型	岩 溶 特 征	分 布 特 征
裸露型岩溶	可溶性岩石直接出露于地表,地表岩溶显著,裸露型岩溶多出现于新构造运动上升地区	我国绝大部分岩溶均属此类
覆盖型岩溶	可溶性岩石被第四系松散堆积物所覆盖,覆盖层厚度一般小于 50m,覆盖层下的岩溶常对地表地形有影响,如在地面形成洼地、漏斗、浅塘、塌陷坑等	多分布于广西、云贵高原等地
埋藏型岩溶	可溶性岩石被上覆基岩深埋达几百米至一、二千米,在地下深处发育岩溶,属于古岩溶,地表上无岩溶现象	分布于四川盆地、华北平原

岩溶发育程度按表 11 进行分级:

表 11 岩溶发育强度分级

级别	岩溶强烈发育	岩溶中等发育	岩溶弱发育	岩溶微弱发育
岩溶形态	以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主	沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀、中小型串珠状洞穴发育	沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴	以裂隙状岩溶或溶孔为主
连通性	地下洞穴系统基本形成	地下洞穴系统未形成	裂隙连通性差	溶孔、裂隙不连通
地下水	有大型暗河	有小型暗河或集中径流	少见集中径流,常有裂隙水流	裂隙透水性差

11.3.5 岩溶地区的地质条件一般都很复杂,勘察难度大,采用综合勘探手段取得的地质资料相互补充、相互验证,是岩溶地区勘察的基本原则。

岩溶地区的钻探深度应结合工程类别考虑,作为地基时从溶洞的顶板安全厚度考虑,太薄则不安全;作为建筑物环境,一方面应考虑环境条件的要求,另一方面还应考虑基底岩层顶板的安全厚度;对于覆盖型岩溶一般应穿透覆盖层至下伏完整基岩。

11.3.7 岩溶岩土工程分析与评价包括岩土工程勘察报告和各类图件。不同勘察阶段,岩溶岩土工程分析与评价的内容、深度不同:

1 可行性研究阶段,岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件,对线路工程的影响程度、方案比选意见,宜采取的对策措施。

2 初勘阶段,岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件,对线路方案评价意见及比选建议,重点工程的评价和处理原则,基坑及隧道涌水量的预测和评价,存在问题及下阶段勘察中注意事项。

3 详勘阶段,岩土工程勘察报告主要包括可溶岩地层岩性、空间分布、岩溶发育的形态特征、岩溶地下水类型及补、径、排条件,岩溶对各类工程的影响程度及采取的相应处理措施,基坑及隧道涌水量的预测和评价,存在问题及施工中应注意事项。

4 施工阶段,岩土工程勘察报告主要是具体分析与评价报告,应阐明隐伏岩溶、洞穴或暗河的空间走向、与工程的空间关系,评价对工程的影响程度、采取的工程处理措施建议。

关于岩溶地面塌陷可按表 12 进行综合评价:

表 12 岩溶地面塌陷预测分析参考标准

基本条件	主要影响因素	因素的水平	指标分数
水—— 塌陷动力	水位(40 分)	水位能在土、石界面上下波动	40
		水位不能在土、石界面上下波动	20
覆盖层—— 塌陷物质	土的性质与土层结构(20 分)	黏性土	10
		砂性土	20
		风化砂页岩	10
		多元结构	20
	土层厚度(10 分)	<10m	10
		10m~20m	7
		>20m	5
岩溶—— 塌陷与 储运条件	地貌(15 分)	平原、谷地、溶蚀洼地	15
		谷坡、山丘	5
	岩溶发育程度(15 分)	漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、溶洞较多	10~15
		漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、溶洞稀少	5~9

注:1 累计指标分大于或等于 90 为极易塌陷区,71~89 为易塌陷区,小于或等于 70 为不易塌陷区。

2 近期产生过塌陷区,累计指标分应为 100。

3 地表降水入渗至塌陷地区,水的指标分为 40。

## 11.4 地 裂 缝

**11.4.1** 历史上我国许多地方都出现过地裂缝。唐山地震前后,华北广大地区出现地裂缝活动,涉及 10 余省 200 多个县市,发育达上千处之多;山西运城鸣条岗早在 20 世纪 20 年代就出现地裂缝,到 1975 年该地裂缝还在活动,总体走向为北东向,全长约 12000m,宽度一般 200mm~300mm;陕西的礼泉、泾阳、长安也曾出现地裂缝;最具有代表性的属于西安地裂缝,到目前为止已发现 13 条。西安地裂缝是指在过量开采承压水,产生不均匀地面沉降的条件下,临潼—长安断裂带西北侧(上盘)存在的一组北东走向的隐伏地裂缝的被动“活动”,在浅表形成的破裂。西安地裂缝的基本特征有以下几点:

1 西安地裂缝大多是由主地裂缝和分枝裂缝组成的,少数地裂缝则由主地裂缝、次生地裂缝和分枝裂缝组成。

2 主地裂缝总体走向北东,近似于平行临潼—长安断裂,倾向南东,与临潼—长安断裂倾向相反,倾角约为  $80^{\circ}$ ,平面形态呈不等间距近似平行排列。次生地裂缝分布在主地裂缝的南侧,总体倾向北西,在剖面上与主地裂缝组成“Y”字形。

3 地裂缝具有很好的连续性,每条地裂缝的延伸长度可达数公里至数十公里。

4 地裂缝都发育在特定的构造地貌部位(现在可见的和地质年代存在过的构造地貌),即梁岗的南侧陡坡上,梁间洼地的北侧边缘。

5 地裂缝的活动方式是蠕动,主要表现为主地裂缝的南侧(上盘)下降,北侧(下盘)相对上升。次生地裂缝则表现为北侧(上盘)下降,南侧(下盘)相对上升。

6 地裂缝的垂直位移具有单向累积的特性,断距随深度的增大而增大。

从上述情况看,地裂缝的形成往往与构造、地震、地面沉降等

因素有关。

这里对地裂缝的规模提出了要求。“长距离地裂缝”原则上指长度超过 1000m 的地裂缝。山西运城鸣条岗地裂缝、陕西的礼泉地裂缝、泾阳地裂缝以及西安地裂缝的长度都超过了 1000m。这也是为了区分由地下采空、边坡失稳、挖填分界、黄土湿陷及地震液化等原因造成的小规模地裂缝。

从西安地裂缝的长期研究结果看,地裂缝既有地表可见到的地裂缝,也有地表看不到的隐伏地裂缝。

#### 11.4.3 对本条的有关内容说明如下:

1 地裂缝调查是地裂缝勘察中非常重要的手段,因为地裂缝的活动往往是周期性的,延续时间也较长,而我们的城市轨道交通工程都建设在城市中及近郊,这些地段人类活动频繁,对地形地貌的改造较为剧烈,地裂缝活动的痕迹难以保留,只有通过深入细致的调查才能了解地裂缝的基本分布情况,指导进一步的勘察工作。确定地裂缝的历史活动性及错距,主要是通过对标志层的对比来实现的,因此在地裂缝调查时,应确定出哪些层位可作为标志层。西安地裂缝场地勘察时主要采用三类标志层。

第一类标志层为地表层,其场地特征主要为:场地内地裂缝是活动的,在地表已形成破裂;地表破裂具有清晰的垂直位移,地面呈台阶状;地表破裂有较长的延伸距离;地表破裂与错断上更新统或中更新统的隐伏地裂缝位置相对应。

第二类标志层为上更新统和中更新统红褐色古土壤层,其场地特征主要为:场地内的地裂缝现今没有活动,或活动产生的地表破裂已被人类工程活动所掩埋;场地内埋藏有上更新统或中更新统红褐色古土壤层。

第三类标志层主要指埋藏深度 40m~80m 的中更新统河湖相地层和 60m~500m 深度内可连续追索的六个人工地震反射层组。

采用人工浅层地震反射波法勘探时,宜进行现场试验,确定合

理的仪器参数和观测系统。野外数据采集系统的基本要求为：覆盖次数不宜少于 24 次，道距 3m~5m，偏移距不小于 50m。对区域地层结构不清楚的场地，不宜采用人工浅层地震反射波法勘探。

对地表出露明显的地裂缝，宜以地质调查与测绘、槽探、钻探、静力触探等方法为主；对隐伏地裂缝，宜以地质调查与测绘、钻探、静力触探、物探等方法为主。

2 若地层分布较稳定，结构清楚，采用静力触探能较准确地查明地裂缝两侧的地层错距。西安市广泛分布的上更新统红褐色古土壤层（地面下第一层古土壤层），层底一般有钙质结核富集层，静力触探曲线上该层呈非常突出的峰值，是比较好的标志层。且静力触探施工方便，速度快。

3 由于城市轨道交通工程呈线状工程，且主要沿城市已有交通要道布设，线位选择余地少，因此在线位与地裂缝走向基本正交时，对地裂缝勘察的勘探线有 2 条就基本能确定地裂缝的走向。若有左右线，左右线的勘探线也就是地裂缝的勘探线。但线路通过位置应布置勘探线。若线位与地裂缝走向基本平行，地裂缝的勘探线要根据实际情况增加。

4 这些规定是保证发现地裂缝及确定其位置的最基本要求，也是西安地裂缝长期勘察的经验。

5 勘探孔深度主要根据标志层深度确定，以能查明标志层错位情况为原则。

6 人工浅层地震反射波法反映的异常，不一定都是由地裂缝造成的，因此需要用钻探验证。

#### 11.4.4 对本条的有关内容说明如下：

西安市地方标准《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》DBJ 61—6—2006 对地裂缝影响区范围和建（构）筑物总平面布置以及工程设计措施主要有以下规定：

地裂缝影响区范围上盘 0~20m，其中主变形区 0~6m，微变

形区 6m~20m;下盘 0~12m,其中主变形区 0~4m,微变形区 4m~12m。以上分区范围均从主地裂缝或次生地裂缝起算。

在地裂缝场地,同一建筑物的基础不得跨越地裂缝布置。采用特殊结构跨越地裂缝的建筑物应进行专门研究;在地裂缝影响区内,建筑物长边宜平行地裂缝布置。

建筑物基础底面外沿(桩基时为桩端外沿)至地裂缝的最小避让距离,一类建筑应进行专门研究或按表 13 采用;二类、三类建筑应满足表 12 的规定,且基础的任何部分都不得进入主变形区内;四类建筑允许布置在主变形区内。

表 13 地裂缝场地建筑物最小避让距离(m)

结构类别	构造位置	建筑物重要性类别		
		一	二	三
砌体结构	上盘	—	—	6
	下盘	—	—	4
钢筋混凝土结构、 钢结构	上盘	40	20	6
	下盘	24	12	4

注:使用表 13 时,应同时满足下列条件:

- 1 底部框架砖砌体结构、框支剪力墙结构建筑物的避让距离应按表中数值的 1.2 倍采用。
- 2  $\Delta k$  大于 2m 时,实际避让距离等于最小避让距离加上  $\Delta k$ 。
- 3 桩基础计算避让距离时,地裂缝倾角统一采用  $80^\circ$ 。

主地裂缝与次生地裂缝之间,间距小于 100m 时,可布置体型简单的三类、四类建筑;间距大于 100m 时,可布置二类、三类、四类建筑。

地裂缝场地的建筑工程设计,采取减小地裂缝影响的措施主要有:采取合理的避让距离;加强建筑物适应不均匀沉降的能力;采取防水措施或地基处理措施,避免水浸入地裂缝产生次生灾害;在地裂缝影响区范围内,不得采用用水量较大的地基处理方法;在地裂缝影响区内的建筑,应增加其结构的整体刚度与强度,体型应简单,体型复杂时,应设置沉降缝将建筑物分成几个体型简单的独



立单元,单元长高比不应大于 2.5;在地裂缝影响区内的砌体建筑,应在每层楼盖和屋盖处及基础设置钢筋混凝土现浇圈梁;在地裂缝影响区内的建筑宜采用钢筋混凝土双向条基、筏基或箱基等整体刚度较大的基础。

采用路堤方式跨越地裂缝时,除查明地裂缝外,应定期监测地裂缝的活动,及时调整线路坡度。桥梁工程场地及附近存在地裂缝时,除查明地裂缝外,还需采取以下设防措施:

1)当桥梁长度方向与地裂缝走向重合时,应适当调整线位,宜置于相对稳定的下盘;

2)桥墩基础的避让距离,单孔跨径大、中、小桥可按三类建筑物的避让距离确定,单孔跨径特大桥可按二类建筑物的避让距离确定;

3)跨越地裂缝的桥梁上部结构应采用静定结构,特大桥宜选用柔性桥型,并采取适当的预防措施,定期监测地裂缝的活动,及时进行调整。采用隧道结构穿越地裂缝时,宜采用大角度穿越,必要时采用柔性结构设计,定期监测地裂缝的活动,及时进行调整。

## 11.5 地面沉降

本节是按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定修订。

## 11.6 有害气体

**11.6.1** 对人体或工程造成危害的有害气体种类较多,常见的有在有机质、工业垃圾、生活垃圾地层中产生的沼气、毒气,煤层中的瓦斯,油气田中的天然气,及缺氧空气。有害气体常造成可燃气体的爆炸事故,缺氧气体的缺氧事故,毒性气体的中毒事故等危害。

有害气体勘察前,应十分重视对区域地质和有害气体资料的收集和分析,了解线路通过地区是否存在有害气体及其种类、分布情况,对指导下一步的勘察工作非常有益。目前有害气体的勘察、设计资料积累不多,需要在今后的工作中不断地去总结和完善。

遇到煤、石油、天然气层可参照现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027 进行工程地质勘察。

**11.6.3** 有害气体的勘探以钻探为主,并在钻孔中测定有害气体的压力、温度,采岩土样、气样进行有害气体的类型、含量、浓度及物理力学、化学指标分析,取得的资料需综合分析、相互验证。勘探点的布置、数量、深度应以查明有害气体的分布范围、空间位置和有关参数为目的,一般应结合各地下工程类型的勘探,必要时增加纵、横向勘探点。

**11.6.4** 目前测试土层中有害气体的方法较多,有抽水后孔内气体浓度测定法、孔内水取样法、气液分离法、泥水探测法、BAT 系统法,前 4 种方法均存在弊病,而由 B. A. Torstensson 开发的 BAT 系统法,能较好地测定土中气体含量和浓度。BAT 系统法的取样装置主要由过滤头、导管、取样筒、压力计组成;操作流程为过滤头设置、取样筒准备(充 He 气)→土中气体的取样、回收(测定气压、孔内温度)→减压→用气相色谱仪对气体作气相、液相分析→评价。

**11.6.5** 有害气体的评价应重点说明有害气体的类型、含量、浓度、压力、是否会发生突出,其突出的位置、突出量和危害性。盾构隧道施工段,当土层中甲烷浓度  $\text{CH}_4 \geq 1.5\%$ 、氧气浓度  $\text{O}_2 \leq 18\%$  时,应制订必要的通风、防爆等安全措施。

目前,上海等城市对土层中勘察查明的浅层沼气进行预先控制排气,即在隧道施工前 3~6 个月采用套管钻井,安装减压阀,控制放气,其控制标准为不导致对放气孔周围地层显著扰动,不出现放气过程中带走泥砂现象。排气孔尺寸与数量应根据气囊的大小、气压与连通性确定,其位置应离隧道一定距离。预先控制排气措施是预防浅层沼气对隧道施工和今后运营中产生不利影响的较好方法,但一次性提前放气可能不彻底,且沼气可能有一定程度的回聚,故仍需要在施工中加强监测和采取安全措施。

目前,城市轨道交通工程勘察中遇到的有害气体主要为甲烷,

需要说明如下:

1 甲烷( $\text{CH}_4$ )气体,别名沼气,其一般性质如表 14。

表 14 甲烷气体一般性质

项 目		内 容		
分子量		16.03		
0℃ 1 大气压 1mol 的容积		22.361L/mol		
1m <sup>3</sup> 的质量		0.7168kg		
0℃ 1 大气压下的相对密度		0.5545		
1 大气压下的 水中溶解度	温度(℃)	15	20	25
	亨利定数 (atm/mol)	3.28E+4	3.66E+4	4.04E+4
危险程度		爆炸,着火点为 537℃,爆炸界限 5%		
性质		可燃性,无色,无味,无臭,与氧气结合有发生爆炸的危险		
中毒症状		呼吸困难,呈缺氧症状		

2 甲烷在海相、海陆交互相、滨海相、湖沼相等有机质土层中产生,称为生气层,储存于孔渗性较好的砂、贝壳、颗粒状多孔粉质黏土等土层中,称为储气层,各土层大多交互沉积,呈现条带透镜体状、扁豆体状、薄层状砂与黏土互层等形态。

3 查明生气层、储气层的具体位置和特征,对评价有害气体的分布、范围是十分重要的,勘察中还应注意生气层、储气层可能具多层性的特点。

4 甲烷生成后,以溶存于地下水中的溶存气体及存在于土颗粒空隙中的游离气体两种形式存在于土层中,其扩散与地层的渗水特性有关。当压力或温度变化时,部分溶存气体与游离气体可相互转换。

5 水文地质特征影响着甲烷在土中的存在形式。饱和土中仅存在溶存甲烷,非饱和土中存在溶存甲烷和游离甲烷。甲烷气体的运移与地下水的补给、径流、排泄条件有较密切的关系。

## 12 特殊性岩土

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 由于红黏土、混合土、多年冻土和盐渍岩土等特殊性岩土在大、中城市分布不是很普遍,且分布深度较浅,对城市轨道交通工程建设影响较小,故本规范中没有作具体规定。若在勘察时遇到,应执行相关标准。

**12.1.3、12.1.4** 我国特殊性岩土种类繁多,对分布范围较广的特殊性岩土已进行了深入的研究,先后制定了不少国家标准、行业标准和地方标准,如国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025、《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112、《冻土工程地质勘察规范》GB 50324、《软土地区工程地质勘察规范》JGJ 83 等,这些标准都是从特殊性岩土的工程特性出发,对勘察工作量、勘察方法、勘察手段和勘察成果等进行了较为详细的规定。本规范制定第 12.1.3 条和第 12.1.4 条之目的,也是要求在特殊性岩土场地勘察时,要有针对性地开展勘察工作。

### 12.2 填 土

**12.2.1** 对本条主要说明以下两点:

1 掌握填土的堆填年限和固结程度。特别是填土是否经过超载,在对填土的岩土工程评价中有重要意义。一般而言,填土之所以“松”、压缩性高,主要是由于它只经过自重压力(这一压力还是不大的)固结或(对年轻的填土)仍在经受自重压力的固结。归纳言之,一是固结压力小,二是正常固结或欠固结的。这就是填土常常难以直接作为地基土的主要原因。若填土在历史上曾有过超载,则它是超固结的;超载愈大,超固结比愈大。有过这样经历的

填土就有被直接利用作为天然地基的可能性。填土年代愈久,经受过超载的概率愈高,因此,往往年代和超载指的是同一过程和效应。

2 强调查明填土的种类和物质成分,是为了划分素填土、杂填土和冲填土,而这三个基本种类还可细分。在本款中,还要求对其厚度变化予以特别注意。这是因为填土不是自然过程形成的物质。它不但成分多变,厚度也极不稳定。将本款与上款的内容归纳之,填土的主要特点是:成分不一,厚薄多变,固结程度低,往往系欠固结的(即高压缩性的)。

**12.2.2 填土与湿陷性土、软土、膨胀土与残积土、风化岩一样,**对勘探与取样亦有其特殊要求;下面就第1款、第3款依次给予必要说明:

1 由于填土的物质成分和厚度多变,勘探点的密度自然宜大于一般情况,但在具体布置上不应一步到位而宜采取逐步加密和有目的追索、圈定的方法。

3 像其他特殊土一样,填土的勘探与取样也应有一定数量的探井,这既是对填土成分和组织结构进行直接观察的需要,也是采取高质量等级的土样和进行大体积密度测定的需要。便携钻具由于成本低、能进入到钻机不易去的地方等,在圈定填土范围时能发挥较大的作用。

**12.2.3 由于填土的物质成分多变,取高质量等级的土样不但**不易而且所测得的岩土技术性质参数变异性大,为弥补这些不足应充分利用原位测试技术,特别是轻便型原位测试设备。只有勘探取样和原位测试结合起来,才能取得好的效果。

**12.2.4 填土的岩土工程分析与评价应结合填土的前述主要**特点。

1 如前指出,填土的历史超载程度与其压缩性高低和强度大小有直接关系。填土是否有过超载和超载程度,除进行调查和经验分析外,有时还可通过室内试验解决。在有相似建筑经验的地

区,轻便静力触探、动力触探等测试数据有时亦能反映超载效应是否存在。

2 对于城市轨道交通工程而言,除了地基问题外主要就是基坑和隧道开挖问题,因此填土的承载力、抗剪强度、基床系数和天然密度等物理力学指标是必不可少的。

4 有较厚填土分布场地,基坑坑壁局部或大范围坍塌是深基坑开挖时的常遇现象,特别当填土形成年代较短和成分复杂时更为常见。

5 施工验槽是针对填土的物质成分和分布厚度多变的现实情况提出来的。坚持施工验槽能揭露勘探过程中遗漏的重要现象(即使勘探工作密度和数量可观时)。补充勘探测试工作可以修改岩土工程评价和建议中的不当、不足之处,防止事故,总结经验。

## 12.3 软 土

12.3.1 本条的各款内容是针对软土形成的地理—地质环境条件和主要的岩土技术特性提出的,现对有关内容加以说明:

1 所谓的“软土”泛指软黏性土、淤泥质土、淤泥和泥炭质土、泥炭等几种类型的软弱土类。它们的成因类型见表 15:

表 15 软土的成因类型

地貌特征	成因类型	沉 积 特 征
滨海平原	滨海相	土质不均匀、极疏松,具交错层理,常与砂砾层混杂,砂砾分选、磨圆度好,有时也有生物贝壳及其碎片局部富集
	泻湖相	颗粒细、孔隙比大、强度低,显示水平纹层,交错层不发育,常夹有泥炭薄层
	溺谷相	孔隙比大、结构疏松、含水量高
	三角洲相	分选性差,结构疏松,多交错层理,多粉砂薄层

续表 15

地貌特征	成因类型	沉 积 特 征
湖积平原	湖相	沉积物中粉土颗粒成分高,季节韵律带状层理,结构松软,表层硬壳厚度不规律
河流冲积平原	河漫滩相	沉积物成层情况较复杂,呈特殊的洪水层理,成分不均一,以淤泥及软黏性土为主,间与砂或泥炭互层
	牛轭湖相	沉积物成层情况较复杂,成分不均一,以淤泥及软黏性土为主,间与砂或泥炭互层,下部含有各种植物物质和软体动物贝壳
山间谷地	谷地相	软土呈片状、带状分布,靠山边浅,谷地中心深,厚度变化大;颗粒由山前到谷地中心逐渐变细;下伏硬层坡度较大
泥炭沼泽地	沼泽相	以泥炭沉积为主,且常出露于地表,孔隙极大,富有弹性,下部有淤泥层或薄层淤泥与泥炭互层

不同成因的软土,由于其沉积环境不同,其分布范围、层位的稳定性、土层的厚度均有其特点。

软土的厚度及其变化对沉降和差异沉降的预测,地基处理与结构措施的选择,桩基设计及基坑开挖与支护方法关系甚大,其中应特别重视查明砂层和含砂交互层的存在与分布,因为这涉及软土地层的排水固结条件,沉降历时长短与强度在荷载作用下的递增速度,甚至会关系到一个工程项目的可行性。

2 地貌的变化在很大程度上反映了地质情况的变化,特别是微地貌,往往是地层变化或软土分布在地表上的反映(例如:在平原区地貌突变处,有可能有暗埋湖塘、洼浜或古河道),因此,注意微地貌的变化。

3 查明软土的硬壳和硬底状态,对分析各类工程的稳定和变形具有重要意义。

4 软土的固结应力历史及反映这个历史的不排水抗剪强度,先期固结压力(亦称最大历史压力), $e-\lg P$  曲线上的回弹指数与



压缩指数等对确定软土的承载力,选择地基处理方法及预测地基性状与表现等是重要的依据。将软土按超固结比  $OCR$  划分为欠固结土、正常固结土与超固结土(后者还可进一步划分)对反映软土固结应力历史具有实用意义。

5 软土中的含水层数量、位置、颗粒组成与各层的水头高度是深基坑降水、开挖与支护设计及地下结构的防水所需要的资料。

6 应指出施工或相邻工程的施工(包括降水、开挖、设桩或大面积填筑等)会导致软土中应力状态的突变或孔隙水压的骤升,使土体和已竣工工程变形、位移或破坏。软土的勘察应特别注意此类问题的分析,并提出措施建议。

**12.3.2** 本条主要针对软土的特殊性,提出的勘探与取样要求。

1 勘探(简易勘探、挖探、钻探等)和原位测试(静力触探、十字板剪切试验、旁压试验、螺旋板载荷试验等)应在地质调绘的基础上综合运用,一般情况下,宜先采用简易勘探、静力触探,再布置钻探、十字板剪切试验等。在软土地区应充分采用静力触探测定软土层在天然结构下的物理力学性能,划分地层层次。原位测试进行软土地基的勘探、测试虽然具有显著的优越性,但目前还只能通过各种相关关系的建立来提供软土的物理力学指标。所以,对各种勘探、测试方法、设计参数的选取,在有经验的地区,应充分利用当地的有关规则、规定和经验公式,宜结合当地经验进行,以保证勘探结果的可靠性。

国内外经验证明静力触探、十字板剪切试验及自钻式旁压试验是软土地区行之有效的原位测试方法,它们能大大弥补钻探取样与室内试验的不足。

由于软土钻探采取原状土样比较困难,取土后又容易受震动失水,致使室内试验数据不准,而采用十字板剪切试验可以弥补这一缺陷,所以,为测定软土层在不排水状态下的抗剪强度指标一般采用十字板剪切试验。

3 压缩层计算深度宜用应力比法控制,在实际工作中,软土

地基计算压缩层的计算深度可作如下控制:

1) 对于均质厚层软土, 软土地基附加应力为自重应力的比例为  $0.1 \sim 0.15$  时相应的深度;

2) 对于非均质分布的软土地层, 软土地基附加应力为自重应力的比例为  $0.15 \sim 0.2$  时相应的深度; 如果在影响深度范围内, 软土层下出现有密实或硬塑的下卧硬层(如半坚硬黏土层等硬土层、砂层等)或岩质底板时, 在查明其性质并确定有一定厚度后, 可不再继续计算;

3) 压缩层计算中应注意: 对可透水性饱和土层的自重应力应用浮重度; 当软弱土地基不均匀时, 所确定的计算深度下如果还有软土层, 则应继续向下计算, 以避免计算深度下的软土层的变形使总变形量超过允许变形值。

**12.3.3 室内试验方法测定软土的力学性质时, 应合理进行试验方法的选取:**

1 为地基承载力计算测定强度参数时, 当加荷速率高, 土中超孔隙水压力消散慢, 宜采用自重压力预固结的不固结不排水剪(UU)试验或快剪试验。当加荷速率低, 土中孔隙水压力消散快, 可采用固结不排水剪(CU)试验或固结快剪试验。

2 支护结构设计中土压力计算所需用的抗剪强度参数应根据不同条件和要求选用总应力强度参数或有效应力强度参数。后者可用固结不排水剪(CU)测孔隙水压力试验确定。

3 固结试验方法, 各土样的最大试验压力及所取得的系数应符合沉降计算的需要。

**12.3.4 本条中各款的规定, 对软土而言是有很强的针对性的, 按超固结比划分软土, 对确定承载力和预测沉降有启发、指导作用, 掌握了软土的灵敏度有助于重视挖土方法, 选好支护措施或合理布置打桩施工程序, 以防止出现坑底隆起、土体滑移或桩基变位等事故。**

软土地区的城市轨道交通运营线路已经出现了过量沉降问

题,并导致隧道结构开裂、渗漏水等问题。产生过量沉降的因素很复杂,一般包括施工扰动、自然固结以及运营震动影响等。因此,软土地区的城市轨道交通工程的沉降问题应引起勘察与设计人员的高度重视。

## 12.4 湿陷性土

12.4.1 本条所列的7个重点是重要的经验总结,现对前三款给予说明:

1 土的湿陷性是否显示和显示大小与所施加的压力有密切关系。一般的情况是土的形成时间愈早,使其在浸水时显示湿陷性所需的压力愈大。例如新近堆积黄土( $Q_4^2$ )和一般湿陷性黄土( $Q_4^1+Q_3^2$ )在200kPa的压力下就较充分地显示其湿陷性,较之为老的离石黄土( $Q_2^2$ 和 $Q_2^1$ )则不然,要它们显示出湿陷性需要较高的压力,而且时代愈早所需的压力愈大。成因与土的湿陷性高低也有一定关系。例如,在形成时代相同的条件下,坡积土的湿陷性一般要比冲积土高。

2 地层结构系指不同时代湿陷性土的序列分布及它们与其中的非湿陷性土层的位置关系,包括基岩、砂砾层等下卧地层的深度与起伏。这与湿陷性场地的岩土工程评价,防止湿陷事故与消除湿陷性措施的选取关系密切。

3 查明湿陷系数与自重湿陷系数沿深度的变化,既有助于对地基的岩土工程的深入评价,也有助于针对性地选取工程技术措施。图5中所示的是陕北洛川坡头和河南陕县的黄土自重湿陷系数 $\delta_{zs}$ 、先期固结压力(也是自重湿陷系数起始压力) $P_{cw}$ 与自重压力 $P'_{ow}$ 三者沿深度方向变化的比较。可见前者的自重湿陷系数起始压力 $P_{cw}$ 到50多米深仍小于自重压力,这与 $\delta_{zs}$ 一直大于0.015一致。后者的自重湿陷系数起始压力 $P_{cw}$ ,到20多米等于或略小于自重压力 $P'_{ow}$ ,再深则一直大于自重压力,故可被认为基本上是非自重湿陷性场地。其 $\delta_{zs}$ 值的变化与之一致。

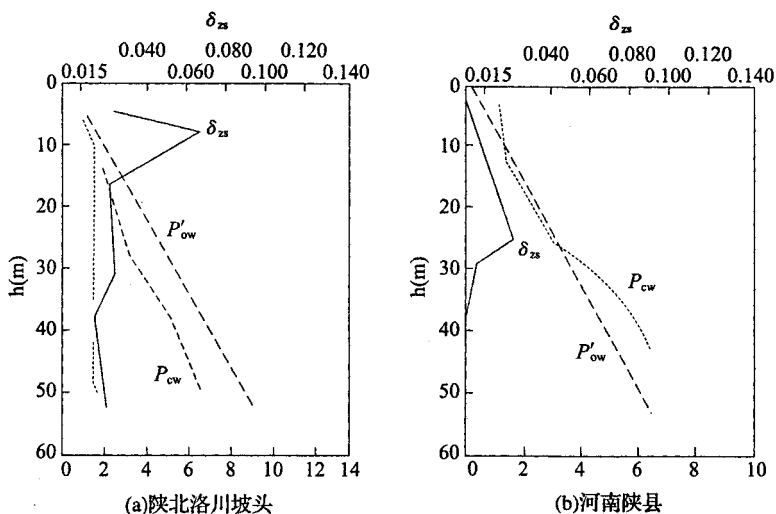


图5 黄土  $\delta_{zs}$ 、 $P_{cw}$  与  $P'_{ow}$  三者沿深度的变化与相互关系的比较  
 $P'_{ow}$ —自重压力;  $P_{cw}$ —先期固结压力;  $h$ —深度;  $\delta_{zs}$ —黄土自重湿陷系数

**12.4.2 本条的特殊要求系基于湿陷性土的特殊结构与该结构的易破坏性。现作如下说明：**

1 由于湿陷性土的结构易破坏,迄今无论国外或国内,探井仍是采取原状黄土样不可缺少的手段,有时还可以作为主要的手段。

2 湿陷性土的地层结构的持续性一般好于其他土类,故勘探点间距可比别的土类的间距大些。同理,不取样的“鉴别”钻孔作用有限,不宜很多。在这种情况下,取土勘探点的比例就应大些或可将所有勘探点当作取土勘探点,以保证满足湿陷性评价的需要。

4 为了保证湿陷性评价的准确性,湿陷性土样的质量等级必须是I级,否则可能错误地歪曲或降低地基的湿陷等级,严重时还会将等级本属严重湿陷性的地基错定为非湿陷性或轻微湿陷性地基。对黄土钻探取样必须采用专用的黄土薄壁取土器和相应的钻

进取样工艺(见现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025附录D)。

**12.4.3** 由于湿陷性土的特殊性,在浸水情况下强度降低很多,因此对有浸水可能性或地下水位可能上升的工程,除进行天然状态下的试验外,建议进行饱和状态下的压缩和剪切试验。

**12.4.4** 本条中相关款的说明可参阅现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 条文说明的相关部分。

## **12.5 膨胀岩土**

**12.5.1** 本条的内容十分强调微地貌、当地气象特点和建筑物破坏情况的调查,这对膨胀岩土来说是有针对性的,不同于其他土类的情况,因而也是对膨胀岩土进行评价所必需的。

膨胀岩土包括膨胀土和膨胀岩,目前尚无统一的判定标准,一般采用综合判定,分初判和详判两步。初判主要根据野外地质特征和自由膨胀率,详判是在初判的基础上,作进一步的室内试验分析。常见的膨胀岩有泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、蒙脱石化的凝灰岩、含硬石膏、芒硝的岩石等。

**12.5.2** 由于膨胀土中有众多裂隙,钻探取样难免扰动,而且在膨胀土中钻进难度较大,而用水是绝对不允许的,故为了取得质量等级为 I 级的土样,必须有一定数量的探井。关于钻探、探井中取土钻探、探井的比例,考虑问题的依据同湿陷性土。

气候的干湿周期性交替对膨胀土的胀缩有直接的影响。多年一周期的气候干湿大变化的影响能达到较大的深度,称之为大气影响深度,国外常称之为活动层(Active zone)。经多年观测,我国膨胀土分布区内平坦场地的大气影响深度一般在 5m 以内,再往下土的含水量受气候变化影响很小,以至消失。显而易见,勘探取样深度必须超过这个深度的下限,而且在这个深度范围内应采取 I 级土样,取样间隔宜为 1m,往下要求可以放宽。

**12.5.3** 关于在设计(实际)压力作用下的地基胀缩量计算,应按现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 的有关规定执行。

**12.5.5** 对本条的岩土工程分析与评价说明如下:

1 铁路系统对膨胀土采用自由膨胀率、蒙脱石含量、阳离子交换量作为详判指标,经过了大量的工程实践,证明是可行的,而城市轨道交通工程与铁路具相似性,故参照纳入,这样既充分考虑了线路工程的特点,又避免采用自由膨胀率单一指标可能造成的漏判。膨胀土的判定尚处于研究、总结阶段,建议参照膨胀土的判定方法或现行行业标准《铁路工程特殊岩土勘察规程》TB 10038 进行综合判定。

2 调查和长期观测证明,在坡地场地上建筑物的损毁程度较平坦场地要严重得多,因此认为有必要将原简单场地改称平坦场地,而将原中等复杂场地和复杂场地改划为坡地场地。现举一些数据和实例:

1)在坡地场地上的建筑物破坏程度和数量较在平坦场地上更大,据统计:

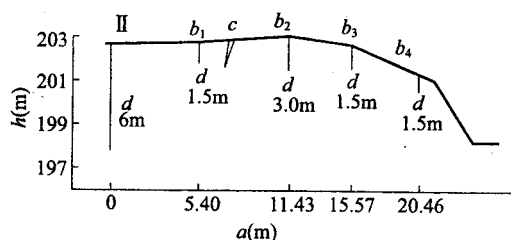
对坡顶上的 324 栋建筑物的调查,损坏的占 64%,其中程度严重的占 24.8%;

在 291 栋建于坡腰的建筑物中,损坏的占 77.4%。其中程度严重的占 30.6%;

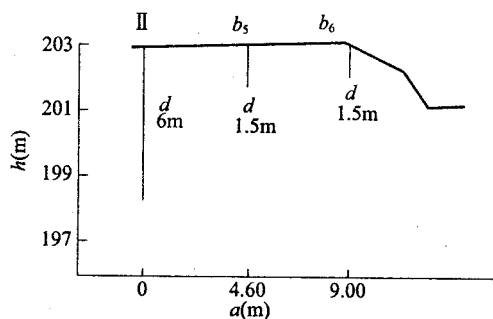
在 36 栋建于坡脚的建筑物中,损坏的占 6.8%,其程度仅为轻微一中等;

在阶地上和盆地中部的建筑物,除少量的遭到了破坏,大多数完好。

2)边坡变形的特点以湖北郧县法院边山为例。从图 6 和表 16 可见,在边坡上的观测点不但有升降变化而且有水平位移。它们都以坡面上的为最大,随着离坡面距离的增大而减小,水平位移还导致坡肩附近裂缝的产生。



(a) 剖面A—A



(b) 剖面B—B

图 6 湖北郧县法院变形观测剖面

$h$ —高程; $a$ —水平距离; $b$ —边坡; $c$ —裂缝; $d$ —桩深

表 16 湖北郧县法院边坡变形观测结果

剖面长度(m)	点号	距离(m)	水平位移(mm)		点号	升降变形幅度 (mm)
			“+”	“-”		
20.46(Ⅱ—b4)	Ⅱ—b1	5.40	4.00	3.10	Ⅱ	10.29
	Ⅱ—b2	11.43	—	9.90	b1	49.29
	Ⅱ—b3	15.57	20.60	10.70	b2	34.66
	Ⅱ—b4	20.46	34.20	—	b3	47.45
9.00(Ⅱ—b6)	Ⅱ—b5	4.60	3.00	6.10	b4	47.07
	Ⅱ—b6	9.00	24.40	—	b5	45.01
					b6	51.96

注:“+”表示位移增大;“-”表示位移减小。

3)坡地上建筑物变形特点,以云南个旧东方红农场小学的教室和该市冶炼厂5栋在 $5^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 斜坡上的升降观测结果为例,临坡面的变形与时间关系曲线是逐年渐次下降的,在非临坡面则基本上是波状升降。这说明边坡的影响加剧了建筑临坡面的变形,导致建筑物的破坏。

6 为了防止膨胀岩土地基的过量胀缩变形引起的对建筑物的影响和破坏,集中起来是“防水保湿”四个字,做到了这点,便没有膨胀岩土의 胀缩变形。这一点对开挖的基坑的保护也完全适用。

20世纪70年代我国的几条通过膨胀土地区铁道的修筑中经验教训十分深刻。由于忽视了及时的必要支护与防水保湿措施,膨胀土开裂严重,滑坡频繁(以中小型浅层为多)。以后花了多年的科研与治理的时间和巨额的补充投资才基本完成了整治。至于支护结构遭膨胀岩土的膨胀压力而变形开裂的实例也不鲜见。

## 12.6 强风化岩、全风化岩与残积土

12.6.1 强风化岩、全风化岩与残积土的勘察着重点与其他岩土层的勘察着重点有明显不同。

1 确定母岩的地质年代、岩石的类别,是强风化岩、全风化岩与残积土勘察的基本要求。

2 强风化岩、全风化岩与残积土的分布、埋深与厚度变化对线路敷设方式、线路埋深、施工工法选择都有重要影响。

3 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度是岩石定名的基本依据。

4 岩土的不均匀程度,岩块和软弱夹层的分布、特征对岩体的整体强度和稳定性常起着控制作用。

5 由于强风化岩、全风化岩与残积土中的球状风化体及孤石对隧道工程施工的影响很大,应给以查明。

6 由于原岩矿物成分的不同和节理裂隙密度与发育程度的



差别,强风化岩、全风化岩与残积土的透水性和富水性有很低的,也有很高的,必须予以查明。而且,在水的作用下,强风化岩、全风化岩与残积土往往具有遇水易崩解的工程特征。

**12.6.2** 本条规定了强风化岩、全风化岩与残积土的勘探、测试的基本要求。

1 本款强调钻探与原位测试,特别是标准贯入试验相结合。这是由于强风化岩、全风化岩与残积土的Ⅰ级试样采取困难,数量有限。国内外常用标准贯入试验等方法,通过击数等指标与风化岩的工程性质建立相关关系,以更好地进行风化岩的分级并推求工程技术性质指标。除标准贯入试验外,在有些国家旁压试验用得较多,并已较系统地总结了经验。我国的超重型动力触探( $N_{120}$ )在碎石、卵石地层中应用颇有成效,亦宜通过比较试验,建立相关关系,可推广应用到强风化岩、全风化岩与残积土的勘察评价上来。

4 强风化岩、全风化岩与残积土的结构极易受到扰动。本款规定在强风化岩、全风化岩与残积土中应取Ⅰ级试样,以保证取样质量。为了取得质量等级属Ⅰ级的试样,现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 规定,应采用三重管(单动)取样器,其中的第三重管是衬管。利用三重管取样器达到100%的岩心采取率并取得Ⅰ级试样,这在国外已很普及或成定规。

5 本款根据轨道交通的工程实践,对强风化岩、全风化岩与残积土的岩土试验方法作了明确规定,即对全风化岩、残积土和呈土状的强风化岩进行土工试验,对呈岩块状的强风化岩进行岩石试验,对残积土必要时进行湿陷性和湿化试验,还可以进行现场点荷载试验。

**12.6.3** 鉴于取得Ⅰ级土样比较困难,而且有的试验(如压缩试验)不易在试验室内完成,原位测试作为取样试验的必要补充,迄今几乎已是必不可缺。例如:

1 用旁压试验确定地基土的承载力、变形模量等岩土技术参

数,以计算建筑物的沉降,为锚杆或土钉设计确定土的抗拔摩阻力等,在一些国家(如法国、加拿大、澳大利亚等)已成常规或常规之一。原苏联也有类似做法。在我国推广应用旁压试验的条件首先是要有能提供足够工作压力(如大于或等于 15000kPa)测试设备;其次是进行必要数量的对比试验,建立旁压试验指标(临塑压力  $P_l$ 、极限压力  $P_l$ 、旁压模量  $E_m$  等)和岩土技术设计参数(承载力、抗拔摩阻力、不排水剪强度、变形模量等)之间的相关关系。

2 用标准贯入击数确定风化岩与残积土的变形模量或压缩模量国外也有不少实例,如 Decourt(1989)等提出根据标准贯入实击值( $N$ )可按下式计算残积土的变形模量  $E_0$ :

$$E_0 = 3N \quad (17)$$

但计算结果可能较实际偏高。

每一种原位测试方法都有其最佳适用范围,为此在选用时应区别不同要求,有针对性地选用最适用的方法或方法组合,以获得最佳效果。除此之外,本条还规定可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定承载力和变形模量  $E_0$ 。

对于花岗岩残积土、全风化与强风化岩的变形模量可用标准贯入试验实击值  $N$  按下式,结合当地经验和类比验证确定。

$$E_0 = 0.4N \sim 1.4N \quad (N < 100) \quad (18)$$

式 18 系来自日本的一份内容较丰富的总结性材料。它综合反映了花岗岩残积土、全风化岩与强风化岩的压缩性(变形模量)与标准贯入试验实击值之间的关系。

$$E_0 = 2.2N' \quad (19)$$

式 19 系我国部分地区根据标贯试验和载荷试验的约 30 个对比资料总结出来的。用此式计算  $E_0$  值时需结合当地经验,必要时可进行载荷试验确定。

**12.6.4 工程实践表明**,若处理不慎,花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土会对工程实施造成严重影响。因此,在第 12.6.1 条的基础上,本条专门规定了花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积

土的勘察要求。某些以花岗岩为母岩的变质岩或其他类似岩石的强风化岩、全风化岩与残积土的勘察,可参照本条规定执行。

1 关于花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土划分,修改情况如下:

1)原规范采用标准贯入击数修正值划分花岗岩风化程度与残积土,并在条文说明解释了采用该方法的理由,但是,它列举的情况现在已经发生了变化。现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021和广东省地方标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15—31已明确采用标准贯入试验实测值划分花岗岩强风化、全风化岩和残积土。为与现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021等协调一致,本款修改了原规范关于花岗岩风化程度的划分指标,现以标准贯入试验实击值作为花岗岩强风化、全风化岩和残积土的划分指标之一。按标准贯入试验确定地基承载力时,是否修正以及如何修正实击值,可根据当地经验选择确定。

2)原采用单轴抗压强度( $f_c$ )作为划分指标之一,实际难以操作,予以删除。

3)根据工程实践经验,调整了作为划分指标之一的剪切波速值。例如,广州地铁一号线越秀公园站的花岗岩类强风化岩、全风化岩与残积土的剪切波速分别为 1105m/s、349m/s、286m/s,轨道交通三号线 A 标段的分别为 433m/s、361m/s、182m/s~225m/s,轨道交通四号线海傍至黄阁区间的分别为 474.3m/s~508m/s、369.5m/s~389m/s、259.8m/s~263.2m/s,轨道交通六号线东湖至燕塘区间的分别为 518.2m/s、352.3m/s、206.5m/s~283.7m/s。

2 本款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。根据广东省的经验,在花岗岩类残积土中,当大于 2mm 颗粒含量超过总质量 20% 的为砾质黏性土,当大于 2mm 颗粒含量在 5%~20% 的为砂质黏性土,当大于 2mm 颗粒含量小于 5% 的为黏性土。

3 花岗岩类岩石多沿节理风化,风化厚度大,且以球状风化

为主,在强风化岩、全风化岩与残积土中易形成球状风化核。花岗岩及某些以花岗岩为母岩的变质岩,其全风化岩与残积土的孔隙比通常较大,液性指数较小,压缩性较低,但易扰动,遇水易软化崩解。岩脉和花岗岩球状风化体往往较周围岩石坚硬,造成地层的软硬不均,隧道掘进困难;花岗岩球状风化体也会影响桩基持力层的确定。因此,除满足本规范第 12.6.1 条的规定外,本款特别规定,勘察尚应着重查明花岗岩分布区球状风化体(孤石)的分布,强风化岩、全风化岩与残积土的工程特性及其水文地质条件。特别说明,在大多情况下是指花岗岩类或以花岗岩为母岩的强风化岩、全风化岩与残积土遇水易软化崩解等特征。

4 残积土细粒土的天然含水量  $w_t$ , 塑性指数  $I_p$ , 液性指数  $I_L$  分别按下列公式计算:

$$w_t = \frac{w - w_A 0.01 P_{0.5}}{1 - 0.01 P_{0.5}} \quad (20)$$

$$I_p = w_L - w_p \quad (21)$$

$$I_L = \frac{w_t - w_p}{I_p} \quad (22)$$

式中:  $w$ ——花岗岩残积土(包括粗、细粒土)的天然含水量(%);

$w_A$ ——土中粒径大于 0.5mm 颗粒吸着水含水量(%),可取 5%;

$P_{0.5}$ ——土中粒径大于 0.5mm 颗粒质量占总质量的百分数(%);

$w_L$ ——土中粒径小于 0.5mm 颗粒的液限含水量(%);

$w_p$ ——土中粒径小于 0.5mm 颗粒的塑限含水量(%)。

**12.6.5** 本条规定应对强风化岩、全风化岩与残积土进行岩土工程分析与评价,并根据岩土工程特性和轨道交通工程实践,列举了可能包括的分析与评价内容,但不限于这些内容。

1.2 这两款所称的“评价稳定性”,主要针对强风化岩、全风化岩与残积土遇水易软化崩解的工程特征而言。

**3** 工程实践表明,强风化岩、全风化岩与残积土的不均匀程度,尤其是岩块和软弱夹层的分布,对隧道掘进和基坑、桩基施工的影响很大。在强风化岩或全风化岩中往往夹有中风化岩块,桩基施工遇到这种情况时,切勿认为已经挖到中等风化岩层。

**4** 强风化岩、全风化岩和残积土本身的渗透系数不一定较大,但经过扰动之后,其中的含水量不论多寡,会使岩土体迅速崩解。因此,本款提出了对地下水的评价要求。

**5** 为进一步查明球状风化体(孤石),可在地面和隧道内进行超前钻。

## 13 工程地质调查与测绘

### 13.1 一般规定

**13.1.1、13.1.2** 针对城市轨道交通工程的特点,工程地质调查与测绘工作是极其必要的,是岩土工程勘察的基础工作内容,是从宏观上获取场地地质条件的主要手段。工程地质调查与测绘工作主要在可行性研究和初步勘察阶段进行,在详细勘察和施工勘察阶段主要进行专题性的调绘工作。由于轨道交通工程的特殊性,勘察设计的各个阶段线、站位置会有调整或变化,因此,工程地质调查与测绘工作要贯穿勘察设计各阶段的始终。

加强工程地质调查与测绘工作有助于增加地质信息量,指导后期勘探量布置,在岩土勘察工作中起到事半功倍的作用。

对工程有重大影响的地质问题,如活动性断裂、滑坡和采空区等,常规的工程地质调查与测绘是不够的,应进行专项工程地质调查与测绘工作。

### 13.2 工作方法

**13.2.1** 对搜集的各种资料进行综合分析,不仅可在岩土工程勘察资料编制过程中加以利用,也是合理布置勘探量、制订勘察大纲等工作的必要的前期工作。

**13.2.2** 工程地质调查与测绘过程中原则上不投入大量勘探工作量,必要时可适量进行勘探、物探和原位测试工作,勘探一般以简易勘探为主。

**13.2.3** 利用航片、卫片等遥感判释手段尤其适用于可行性研究和初步勘察阶段的方案比选工作。如地貌单元的划分、地质构造、不良地质和特殊岩土的判释等。遥感地质解译应按“建立解译标

志,分析解释成果,确定调查重点,实地核对、修改,补充解译,复判”的程序开展工作。利用遥感手段可以宏观性掌控区域地质条件,减少外业调绘强度,提高大面积调绘的工作质量。

#### 13.2.4 对本条作以下说明:

1 地质观察点的布置是否合理,对于调绘工作质量、成果质量以及岩土工程评价至关重要。地质观察点应布置在不同类型的地质界线上,例如:地层、岩体、岩性、构造、不整合面、不同地貌成因类型等地质界线。

地质观察点的布置要充分利用岩石露头。例如,采石场、路堑、基坑、基槽、冲沟、基岩裸露等。它们可以提供有关岩土体的工程地质性状,包括:岩性、物质成分、粒度成分、层序及其变化、岩石风化程度、岩体结构类型、构造类型、结构面形态及其力学性质、地下水等。当地质体隐蔽时或天然露头、人工露头稀少时,应根据具体情况(场地的地形、工作环境、技术要求等),选择适宜的手段、布置一定数量的勘探与测试工作。

2 在工程地质调查与测绘中关于地质观察点的密度,国内外未有统一的规定。本款只是从原则上作出这一规定,具体实施时,应从实际出发,根据技术要求,工程地质条件和成图比例尺等因素综合确定。

3 地质观测点的定位,直接影响成图的质量,常用的定位方法如下:

目测法:适用于小比例尺的地质调绘,主要是根据地形、地物以目估或步测距离进行标测。

半仪器法:适用于中比例尺的地质调绘,主要是使用罗盘仪测定方位、气压计测定高程、步测或量绳确定距离。

仪器法:适用于大比例尺的地质调绘,主要是使用高精度的经纬仪测定方位、水准仪测定高程。

卫星定位系统(GPS):根据精度要求选择使用。

#### 13.2.5 工程地质调查与测绘的最终产品是图件和文字报告。

生产图件的工作方法基本上有两种,一是填图、二是编图。填图与编图不仅是工程地质调查与测绘常用的方法,而且也是在区域地质调绘或地质普查与勘探过程中常用的传统方法。

### 13.3 工 作 范 围

**13.3.1、13.3.2** 工程地质调查与测绘的宽度以往没有具体的规定。第13.3.2条的要求根据国内一些城市轨道交通工程岩土勘察的经验总结出来的。

**13.3.5** 工程地质调查与测绘具有多学科、多工种、综合性强、服务领域广的特点。根据国内地铁岩土勘察实践经验,设专题研究的目的是为了把影响设计施工的重大地质问题研究透彻,使提供的结论经济合理。

### 13.4 工 作 内 容

**13.4.1** 各种既有资料的搜集是地质调绘重要工作,必须在岩土工程勘察前期统筹规划、全面考虑和认真落实。

调查搜集以往岩土工程事故发生的原因、处理的措施和整治效果,在岩土勘察工作中有重要意义。

### 13.5 工 作 成 果

**13.5.1** 对工程有重要意义的工程地质现象,应拍彩色照片附文字说明,存档备查。这项工作在国内外都是常用的,这样做有利于地质资料的分析研究与综合整理,也有利于后期工作开展。

**13.5.2** 工程地质测绘比例尺的选择和精度,一般与轨道交通工程设计的需要及工程地质条件的复杂程度有关,同时与本地区在城区规划、勘察、设计、施工等常用比例尺和精度的要求相一致,以利于使用。为了达到精度要求,在测绘工作中习惯采用比提交成果图大一级的地形图作为测绘的底图,或者直接采用城区建设常用的1:500的比例尺地形图作底图,待外业完成后根据设计需要



可缩成提交成果图所需要的比例尺图件。

地质界线、地质观察点在图面上的位置误差,目前各行业的规定一般为 2mm 或 3mm。本条提出:“在图上不应大于 2mm”,主要是考虑轨道交通工程的特点和精度要求。

在测绘时图面所表示地质单元体的最小尺寸,尚无统一规定。“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,应采用扩大比例尺方法标示并加以注明”。这样可确保重要地质现象不漏失,提高测绘精度。

**13.5.3 工程地质调查与测绘**,一般成果资料可纳入相应的岩土工程勘察报告中,不必单独编制调绘报告。如果为了解决某一专题性的岩土工程问题,也可编制专项用途的成果资料。对于各种文字报告、图件和图表的表示内容,可按设计的需要和有关规定执行。

## 14 勘探与取样

### 14.1 一般规定

**14.1.5** 城市轨道交通工程勘探多在大城市的繁华街道上进行。其特点是地上有高压电线,地下有各种管网。还可能有地下构筑物、地下古迹。如不小心,钻坏地下管网,其后果不堪设想。所以在施钻前应搜集街道管网分布图,在布孔时躲避各种地下设施,并采用地下管道探测仪了解地下设施,或用探坑查明,确无设施时,再行钻探。

安装钻机除要避开地下设施外,还要注意钻架距高压线要有一定的安全距离,防止发生触电事故。

**14.1.6** 钻孔完成后,根据地层情况,分层回填,孔口要用不透水黏性土封好孔,以免地上污水污染地下水。位于隧道结构线范围内的勘探点应列为回填的重点,因为若回填不好,将成为地下水涌入隧道的通道,可能对施工造成严重的影响;或者隧道衬砌背后注浆时,浆液通过钻孔喷出地面,对环境造成污染。

### 14.2 钻 探

**14.2.1** 选择钻探方法应考虑的原则是:

- 1 地层特点及钻探方法的有效性;
- 2 能保证以一定的精度鉴别地层,了解地下水的情况;
- 3 尽量避免或减轻对取样段的扰动影响。

条文中表 14.2.1 就是按照这些原则编制的。通过勘察工作纲要规定钻探方法,不仅要考虑钻进的有效性,而且要满足勘察技术要求。钻探单位应按任务书指定的方法钻进,提交成果中也应说明钻进方法。

**14.2.3 城市轨道交通工程勘探在技术上要求较高,为充分取得有效的地质资料,通过勘察纲要对孔位、孔深、钻探方法、岩芯采取率、取样、原位测试等提出具体技术要求。**

在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时,可通过控制回次进尺提高岩芯采取率,回次进尺可参照表 17。

**表 17 工程地质钻探回次进尺长度**

岩 层	回次进尺(m)
黏性土、粉土	1.0~1.5
薄层黏性土与薄层砂类土互层	1.0~1.5
砂类土	泥浆钻进 1.0~1.5
	跟管回转钻进 0.3~0.5
碎石类土	双管钻具钻进 0.5~1.0
	无泵反循环钻软质岩石 1.0~1.5
	无泵反循环钻破碎岩石 0.5~0.7
冻土	0.3~0.5
软土	0.3~1.0
黄土	钻进取芯时 1.0~1.5;取原状土时,1m 三钻,第一钻 0.5~0.6,第二钻 0.2~0.3,第三钻取样
膨胀性岩层	0.5~1.0
滑动面及重要结构面上下 5m	预计滑动面及其以上 5m 范围小于或等于 0.3
	重要结构面上下 5m 为 0.3~0.5
软硬互层、软硬不均风化带及硬、脆、碎基岩	0.5~1.0
较完整、轻微风化基岩	1.0~2.5
完整基岩	<3.5

### 14.3 井探、槽探

**14.3.1** 在无条件进行钻探的地点,利用人工挖探可达到技术要求。目前井探已广泛应用而且能保证质量,便于鉴定、描述和取样。

**14.3.2** 井探的支护可根据地质情况及当地施工经验,采取不同方法,并符合当地政府主管部门的规定。

### 14.4 取 样

**14.4.1** 土试样的质量要求,应根据工程的需要而定。在工程的关键部位取样质量,需要Ⅰ级土样。进行热物理指标的土样可用Ⅱ级土样。进行颗粒分析的土样质量可用Ⅳ级土样。

**14.4.4** 过去对砂层的压缩模量、密度等技术指标,多根据其他方法换算求得,准确度不高。而砂土的压缩模量和密度是城市轨道交通工程勘察的重要指标之一。所以要推广取砂器,在取砂器内放置环刀,将环刀取出后,即可求得砂的密度,并放入压缩仪,直接试验砂土的压缩模量。

### 14.5 地球物理勘探

本节内容仅涉及采用地球物理勘探方法的一般原则与注意事项。目的在于指导非地球物理勘探专业的岩土工程勘察技术人员结合工程特点选择适宜的地球物理勘探方法。强调岩土工程勘察人员与地球物理勘探人员的密切配合,共同制订方案,分析解释成果。各种地球物理勘探方法具体方案的制订与实施,应执行现行地球物理勘探规程,如现行行业标准《铁路工程物理勘探规程》TB 10013、《城市工程地球物理探测规范》CJJ 7 的有关规定。

近 20 年来,在城市轨道交通工程岩土工程勘察中,作为综合勘探的重要手段之一,地球物理勘探已在地质界线、断层、岩溶、小煤窑采空区及地下管线的探测和隧道围岩级别、场地土类型及类

别的划分方面得到了广泛应用,取得了较好的勘探效果。

地球物理勘探发展很快,不断有新的技术方法出现,如近十几年发展迅猛的隧道超前地质预报(TSP)、弹性波层析成像(CT)、电磁波层析成像(CT)、地质雷达、瑞雷面波法等,在城市轨道交通工程岩土工程勘察中取得了较好的效果。

当前常用的物探方法详见表 18。

表 18 地球物理勘探方法应用范围表

方法名称		应用范围
直 流 电 法	自然电场法	1. 探测隐伏断层、破碎带; 2. 测定地下水流速、流向
	充电法	1. 探测地下洞穴; 2. 测定地下水流速、流向
	电阻率测深法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测含水层分布; 5. 探测地下或水下隐埋物体; 6. 测定沿线大地导电率和牵引变电所土壤电阻率
	电阻率剖面法	探测隐伏断层、破碎带
	高密度电阻率法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测含水层分布; 5. 探测地下或水下隐埋物体
	激发极化法	1. 探测隐伏断层、破碎带; 2. 探测地下洞穴; 3. 划分松散沉积层序; 4. 测定潜水面深度和含水层分布; 5. 探测地下或水下隐埋物体

续表 18

方法名称		应用范围
交流电法	频率测深法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测河床水深及沉积泥沙厚度; 5. 探测地下或水下隐埋物体; 6. 探测地下管线
	电磁感应法	1. 探测基岩埋深; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下或水下隐埋物体; 4. 探测地下洞穴; 5. 探测地下管线
	地质雷达法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测地下或水下隐埋物体; 5. 探测河床水深及沉积泥沙厚度; 6. 探测地下管线
	跨孔电磁波层析成像(CT)法	1. 探测岩溶洞穴; 2. 探测隐伏断层
地震波法	折射波法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测河床水深及沉积泥沙厚度
	反射波法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测河床水深及沉积泥沙厚度; 5. 探测地下或水下隐埋物体

续表 18

方法名称		应用范围
地震波法	跨孔透射波 层析成像(CT)法	1. 探测小煤窑采空洞穴; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 划分松散沉积层序及基岩风化带
	瑞雷面波法	1. 探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带; 2. 探测隐伏断层、破碎带; 3. 探测地下洞穴; 4. 探测地下管线
	TSP 法	1. 探测隧道掌子面前方地层界线; 2. 探测隧道掌子面前方断层、破碎带; 3. 探测隧道掌子面前方岩溶发育情况
	声呐浅层剖面法	1. 探测河床水深及泥沙厚度; 2. 探测地下或水下隐埋物体
地球物理测井(含电测井、放射性测井、电视测井、声波测井、地震压缩波测井、地震剪切波测井等)		1. 划分地层界线; 2. 划分含水层; 3. 测定潜水面深度和含水层; 4. 划分场地土类型和类别; 5. 计算动弹性模量、动剪切模量及卓越周期等; 6. 测定放射性辐射参数; 7. 测定土对金属的腐蚀性
红外辐射法		1. 探测热力管道; 2. 探测断层、破碎带; 3. 探测地下水

## 15 原位测试

### 15.1 一般规定

**15.1.1、15.1.2** 原位测试基本上是在原位的应力条件下对土体进行测试,其测试结果有较好的可靠性和代表性,但原位测试评定土的工程参数主要是建立在统计的经验基础上,有很强的地区性和土类的局限性,因此,在选择原位试验方法时应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和试验方法的适用性等确定。原位测试的试验项目、测定参数、主要试验目的可参照表 19。

表 19 原位测试项目一览表

试验项目	测定参数	主要试验目的
标准贯入试验	标准贯入锤击数 $N$ (击)	1. 判别土层均匀性和划分土层; 2. 判别地基液化可能性及等级(标准贯入试验); 3. 估算砂土密实度、黏性土状态;
动力触探试验	动力触探锤击数 $N_{10}$ 、 $N_{63.5}$ 、 $N_{120}$ (击)	4. 估算土体基床系数和比例系数; 5. 估算土体强度指标; 6. 选择桩基持力层、估算单桩承载力; 7. 判断沉桩的可能性
旁压试验	初始压力 $p_0$ (kPa)、 临塑压力 $p_y$ (kPa)、 极限压力 $p_L$ (kPa) 和 旁压模量 $E_m$ (kPa)	1. 估算地基土强度和变形指标; 2. 计算土的侧向基床系数; 3. 估算桩基承载力; 4. 确定土的原位水平应力和静止侧压力系数(自钻式旁压试验)



续表 19

试验项目	测定参数	主要试验目的
静力触探试验	单桥比贯入阻力 $p_s$ (MPa), 双桥锥尖阻力 $q_c$ (MPa)、侧壁摩阻力 $f_s$ (kPa)、摩阻比 $R_f$ (%), 孔压静力触探的孔隙水压力 $u$ (kPa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 判别土层均匀性和划分土层;</li> <li>2. 估算地基土强度和变形指标;</li> <li>3. 估算土的侧向基床系数和比例系数;</li> <li>4. 判断盾构推进难易程度;</li> <li>5. 估算桩基承载力;</li> <li>6. 判断沉桩可能性;</li> <li>7. 判别地基土液化可能性及等级</li> </ol>
载荷试验 (平板、螺旋板)	比例界限压力 $p_0$ (kPa)、极限压力 $p_u$ (kPa) 和压力与变形关系, 地基基床系数 $K_v$ (kPa/m)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 评定岩土承载力;</li> <li>2. 估算土的变形模量;</li> <li>3. 计算土体竖向基床系数</li> </ol>
扁铲侧胀试验	侧胀模量 $E_D$ (kPa)、侧胀土性指数 $I_D$ 、侧胀水平应力指数 $K_D$ 和侧胀孔压指数 $U_D$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 划分土层和区分土类;</li> <li>2. 计算土的侧向基床系数;</li> <li>3. 判别地基土液化可能性</li> </ol>
十字板剪切 试验	不排水抗剪强度 $c_u$ (kPa) 和重塑土不排水抗剪强度 $c'_u$ (kPa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 测求饱和黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度;</li> <li>2. 估算地基土承载力和单桩侧阻力;</li> <li>3. 计算边坡稳定性;</li> <li>4. 判断软黏性土的应力历史</li> </ol>
波速测试	压缩波波速 $v_p$ (m/s)、剪切波速 $v_s$ (m/s)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 划分场地类别;</li> <li>2. 提供地震反应分析所需的场地土动力参数;</li> <li>3. 评价岩体完整性;</li> <li>4. 估算场地卓越周期</li> </ol>

续表 19

试验项目	测定参数	主要试验目的
岩体现场直接 剪切试验	岩体的摩擦角 $\varphi_p$ (°)、残余摩擦角 $\varphi_R$ (°)、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
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

布置原位试验,应注意配合钻探取样进行室内土工试验,其目的是建立统计经验公式并有助于缩短勘察周期和提高勘察质量。

原位测试成果的应用主要应以地区性经验的积累为依据,建立相应的经验关系,这种经验关系必须经过工程实践的验证。

原位测试中的第 15.7 节扁铲侧胀试验,第 15.9 节波速测试,第 15.10 节岩体原位应力测试,第 15.11 节现场直接剪切试验是按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定修订。

## 15.2 标准贯入试验

**15.2.1** 标准贯入试验对砂土、粉土和一般黏性土较为适用,尤其对砂土,标准贯入试验是可行的重要测试手段。目前,国内的一些地方在残积土及强风化岩也采用标准贯入试验,并取得了这方面的经验,故适用范围也将残积土及强风化岩列入其中。

**15.2.3** 本条文对标准贯入试验间距作了一般性的规定,并提出了相应的钻探施工工艺要求,以保证标准贯入试验锤击数的准确性。

**15.2.4** 标准贯入试验要求分两段进行:

- 1 预打阶段:先将贯入器打入土中 15cm,并记录锤击数。
- 2 试验阶段:将贯入器打入土中 30cm,记录每打入 10cm 锤

击数;累计打入 30cm 的锤击数即为标准贯入试验  $N$  值;当累计锤击数已达 50 击,而贯入度未达 30cm,可不再强行贯入,但应记录 50 击时的贯入深度,试验成果以大于 50 击表示或换算为相当于 30cm 的锤击数。

**15.2.5** 由于  $N$  值离散性大,故在利用  $N$  值解决工程问题时,应持慎重态度,依据单孔标贯资料提供设计参数必须与其他试验综合分析。

### 15.3 圆锥动力触探试验

**15.3.1** 动力触探(圆锥)试验是利用一定的锤击动能,将一定规格的圆锥探头打入土中,根据其打入击数,对土层进行力学分层,它对难以取样的砂土、粉土、碎石类土等是一种有效的勘探测试手段,本规范列入了目前国内常用的三种动力触探试验规格(轻型、重型、超重型),并对其岩土条件的适用性作了规定。

**15.3.2** 动力触探试验由于不能采取土样对土进行直接鉴别描述,试验误差较大、再现性差等缺点,故在使用试验成果时,应结合地区经验并与其他方法相配合使用。

**15.3.4** 动力触探试验成果分析:

1 根据触探击数、曲线形态,结合其他钻孔资料可进行力学分层,分层时注意超前滞后现象。

2 在整理触探资料时,应剔除异常值,在计算土层的触探指标平均值时,超前滞后范围内的值不反映土性的变化,所以不应参加统计。

3 整理多孔触探资料时,应结合钻探地质资料进行分析,对土质均匀,动探数据离散性不大时,可取各孔分层平均动探值,用厚度加权平均法计算场地分层平均动探值;当动探数据离散性大时,可采用多孔资料或与钻探资料及其他原位测试资料综合分析。

4 采用动力触探指标进行评定土的工程性能时,必须建立在地区经验的基础上。

## 15.4 旁压试验

**15.4.1** 旁压试验包括预钻式旁压试验、自钻式旁压试验和压入式旁压试验。预钻式旁压试验适用于易成孔的土层；自钻式旁压试验适用于软黏性土以及松散一稍密的粉土或砂土，但含碎石的土不适用；压入式旁压试验适用于一般黏性土、粉土和软土，但硬土和密实土不易压入。

**15.4.2** 旁压试验点的布置，先做静力触探试验或标准贯入试验，以便能合理地在有代表性的位置上进行试验。布置时使旁压器的量测腔在同一土层内，并建议试验点的垂直间距不宜小于1m。

**15.4.3** 预钻式旁压试验成孔要求孔壁垂直、光滑、呈规则圆形，尽可能减少对孔壁的扰动；在软弱土层（易缩孔、坍孔）需用泥浆护壁；钻孔孔径应略大于旁压器外径，但一般不宜大于8mm。

当采用自钻式旁压试验，应先通过试钻，以便确定各种技术参数及最佳的匹配，保证对周围土体的扰动最小，保证试验质量。

**15.4.5** 旁压试验的加荷等级，一般可根据土的临塑压力和极限压力而定，加荷等级一般为10级~12级。

**15.4.6** 旁压试验加荷速率，目前国内有“快速法”和“慢速法”两种。一般情况下，为求土的强度参数时，常用“快速法”；而为求土的变形参数往往强调采用“慢速法”。据国内一些单位的对比试验，两种不同加荷速率对试验结果影响不大。为提高试验效率，本规范规定使用每一级压力维持1min或3min的快速法。

**15.4.7** 旁压试验成果分析：

1 在绘制压力与扩张体积 $\Delta V$ 或 $\Delta V/V_0$ 、水管水位下沉量 $s$ 、或径向应变曲线前，应先进行弹性膜约束力仪器管路体积损失的校正。由于约束力随弹性膜的材质、使用次数和气温而变化，因此新装或用过若干次后均需对弹性膜的约束力进行标定。仪器的综合变形，包括调压阀、量管、压力计、管路等在加压过程中的变

形。国产旁压仪还需作体积损失的校正。

2 旁压模量。由于加荷采用快速法,相当于不排水条件。预钻式的旁压试验所测定的旁压模量由于原位侧向应力经钻孔后已释放,一般所得的旁压模量偏小,建议采用卸荷再加荷方法确定再加荷旁压模量,可减少孔壁扰动对试验的影响;或采用自钻式旁压试验。

## 15.5 静力触探试验

15.5.1 静力触探试验主要用于黏性土、粉土、砂土,对杂填土、碎石是不适用的。它可测定比贯入阻力(单桥探头)、锥尖阻力、侧壁摩擦力(双桥探头)和孔隙水压力(孔压静探探头)。

静力触探探头除当前广泛采用的单桥探头、双桥探头外,增加了孔压探头,孔压探头在国际上已成为取代双桥探头的换代新探头。考虑到国内一些单位已经引进国外的孔压探头,同济大学等单位已研制了孔压探头,并在一些工程中成功地使用了孔压探头,所以在本规范中列入。

静探探头圆锥截面积,国际上通用标准为  $10\text{cm}^2$ ,但与国内大多数单位广泛使用  $15\text{cm}^2$  探头测得的比贯入阻力相差不大。

15.5.2、15.5.3 根据工程经验,当静力触探试验贯入硬层,易发生触探孔的偏斜及发生断杆事故。孔斜使土层界线及比贯入阻力发生失真,影响桩基持力层埋深的判定,因此,对静力触探试验的孔斜作了规定。参照国外的多功能探头的产品技术标准,测斜传感器所能测的偏斜角最大  $14^\circ$ ,为避免发生断杆及失真分层界线和阻力,要求采取导管护壁,防止孔斜或断杆。或装配测斜装置,量测探头偏斜角,校正土分层界线,当偏斜角超过  $15^\circ$  时宜停止贯入。

### 15.5.5 静力触探试验成果分析:

1 利用静力触探试验比贯入曲线划分土层,可根据锥尖阻力、侧壁摩阻力与锥尖阻力之比曲线参照钻孔的分层资料划分土

层;利用孔隙水压力曲线,可以提高土层划分的精度并能分辨薄夹层。

2 利用静力触探资料,结合地区经验估算土的强度、变形参数等。由于经验关系有地区局限性,因此只有当经验关系经过检验已证实是可靠的,则可以提供设计参数。

3 利用孔压静力触探试验资料,可评定土的应力历史、估算土的渗透系数和固结系数,一般均采用半理论半经验公式计算,在这方面有待于积累经验。

根据孔压静探的孔压消散曲线资料,可按式 23 估算土的固结系数  $C_v$  值:

$$C_v = (T_{50}/t_{50})r_0^2 \quad (23)$$

式中:  $T_{50}$ ——相当于 50% 固结度的时间因数,当滤水器位于探头锥尖后时,  $T_{50}$  可取为 6.87;当滤水器位于探头锥尖上时,  $T_{50}$  可取为 1.64;

$t_{50}$ ——超孔隙水压力消散达 50% 时的历时时间(min);

$r_0$ ——孔压探头的半径(cm)。

## 15.6 载 荷 试 验

15.6.7 本条的目的是建立载荷试验与室内土工试验指标或其他原位测试结果的相关经验公式,有利于缩短勘察周期和提高勘察质量。

15.6.8 对载荷试验成果的分析 and 应用,应特别注意承压板影响深度范围内土层的不均匀性,否则会降低试验成果的使用价值。

## 15.7 扁铲侧胀试验

扁铲侧胀试验(dilatometer test, DMT),也有译为扁板侧胀试验,系 20 世纪 70 年代意大利 Silvano Marchetti 教授创立。扁铲侧胀试验是将带有膜片的扁铲压入土中预定深度,充气使膜片向孔壁土中侧向扩张,根据压力与变形关系,测定土的模量及其他

有关指标。因能比较准确地反映小应变的应力应变关系,测试的重复性较好,引入我国后,受到岩土工程界的重视,进行了比较深入的试验研究和工程应用,已列入现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 中。

## 15.8 十字板剪切试验

**15.8.1** 十字板剪切试验适用范围,大部分国家规定限于饱和软黏土( $\varphi_u \approx 0$ )。虽然有的国家把它扩大到非饱和土,但需进一步的研究和实践。

美国 ASTM-STP1014(1988)提出十字板剪切试验适用于灵敏度  $S_t \leq 10$ , 固结系数  $C_v \leq 100 \text{m}^2/\text{a}$  的均质饱和软黏性土,对于其他的土(如夹有薄层粉细砂或粉土的软黏性土)十字板剪切试验会有相当大的误差。

**15.8.2** 十字板剪切试验点的布置,对均质土试验点竖向间距可取  $1\text{m} \sim 2\text{m}$ ,对于非均质土,根据静力触探等资料选择有代表性的点布置,不宜机械地按等间距布置试验点。

**15.8.4** 十字板剪切试验成果分析:

1 实践证明,正常固结的天然饱和软黏性土的不排水抗剪强度是随深度增加,室内抗剪强度的试验成果,由于取样扰动等因素,往往不能反映这一变化规律。

2 十字板剪切试验所测得的不排水抗剪强度峰值,一般认为是偏高的,土的长期强度只有峰值强度的  $60\% \sim 70\%$ ,因此在使用过程中,需对十字板测定的强度值作必要的修正。

## 15.12 地温测试

**15.12.1** 地温是地铁设计时结构温度应力、暖通设计等所需参数,但目前地铁勘察中地温测试手段仍相对单一,可靠性尚待提高。目前地温测试主要有三种方法:一种是采用电阻式井温仪,通过测量钻孔水温确定土体温度,主要用于深层地温探测;一种是将

温度传感器附设于静探、十字板等传感器上,通过贯入设备,在进行其他原位测试时同步完成;另一种是直接将温度计或温度传感器埋入地下,测量地表一定深度范围内温度。上述三种方法可归纳为钻孔法、贯入法和埋设法。

地表一定深度范围内土体温度主要受大气影响,研究表明,地温在地表以下 10m 范围内受大气温度影响较为敏感,因此变化幅度较大,10m 以后趋于稳定,其影响因素主要包括土性(砂性、黏性)、孔隙比、含水量和饱和度等,一般而言,土颗粒越密实、孔隙越少,导热系数就越大,温度变化越明显。图 7 是美国弗吉尼亚州矿产能源部对土体温度长期监测结果,图中横坐标表示与平均温度差异值,纵坐标表示深度;图 8 是一年不同时期不同深度平均温度变化情况。

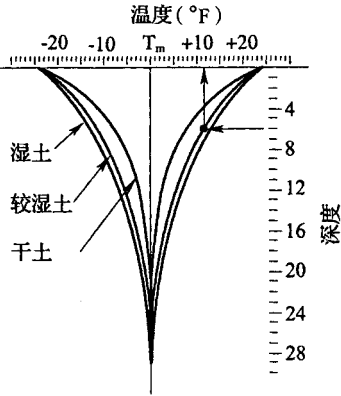


图 7 土体温度随深度变化曲线

地铁车站以及区间段一般都在地温变化范围内,因此地温测量原则上应超过车站或区间段埋深,当埋深超过 10m 后可认为温度稳定。

**15.12.3** 本条规定了地温测试的范围和部位。

**15.12.5** 贯入法测温静置目的是减少贯入过程中产生热量对测温结果影响,对比试验表明,其对结果影响比较明显。



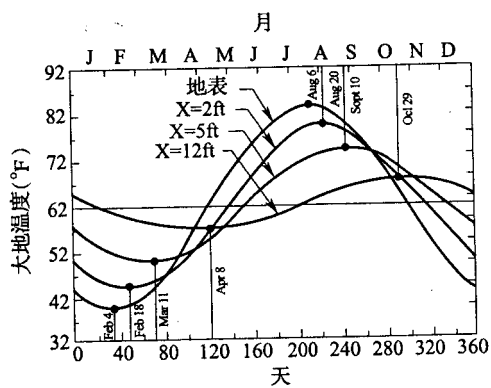


图 8 土体温度随时间变化曲线

## 16 岩土室内试验

### 16.1 一般规定

**16.1.1** 本章未对室内试验方法作出具体规定,室内试验的试验方法、操作和采用的仪器设备要与现行国家标准相一致。确保岩土试验遵循共同的试验准则,使试验结果具有一致性和可比性。

在使用和评价岩土试验数据时,必须注意到,岩土试样与实际状态是存在着差别的,试验方法应尽量模拟实际,评价成果时,宜结合原位测试成果和既有的经验数据进行比较分析,综合给出合理的推荐值。

**16.1.2** 岩土工程勘察的目的是为设计、施工服务的,试验项目的选择要结合工程类型和设计、施工需要综合确定。

**16.1.3** 试验资料的分析,对提供准确可靠的试验指标是十分重要的,内容涉及成果整理、试验指标的选择等。对不合理的数据要分析原因,有条件时,进行一定的补充试验,以便决定对可疑数据的取舍或更正。

### 16.2 土的物理性质试验

**16.2.1** 土的物理性质试验,主要应满足岩土工程勘察过程中所要求的土的常规物理试验项目。

采用原状土或扰动土进行土的物理性质试验一般需要保持其天然含水状态。试样制备首先对土样进行描述,了解土样的均匀程度、含夹杂物等,保证物理性质试验所选用的试样一致,并作为统计分层的依据。

**16.2.2** 土粒比重变化幅度不大,有经验的地区可根据经验判定。但对缺乏经验的地区,仍应直接测定。

**16.2.6** 热物理指标是城市轨道交通岩土工程勘察需要提供的  
一个特殊参数,对本条作如下说明:

1 城市轨道交通工程通风负荷计算方法确定后,合理地选择  
岩土热物理指标,对保证城市轨道交通工程建筑良好的使用功能  
及降低工程造价和运行管理有着不可忽视的影响。而岩土的热物  
理性能是与密度、湿度及化学成分有关。导热系数、导温系数随着  
密度和湿度的增加而变大,而湿度对比热容的影响较大。此外,在  
相同密度及湿度的情况下,由于化学成分不同,其值也相差很大。  
因此,应通过试验取得数据,以保证设计合理。

2 由于土的热物理指标与土的密度和含水率等状态密切相  
关,因此需要对原状土的级别进行鉴别。为了真实反映地下土层  
的热物理特性,保证试验成果的可靠性,质量不符合要求的土样不  
能做该项目试验。

3 测定热物理性能试验方法较多,各种不同的方法都有一定的  
适用范围。因此,根据岩土自身的特性,本规范选用了三种方法  
测定岩土的热物理性能。面热源法能够一次测得岩土的导温系数  
和导热系数,并计算出比热容。但测试仪器及操作计算较复杂,中  
山大学采用此方法试验。热线法和热平衡法分别适用于测定潮湿  
土质材料的导热系数和比热容,利用关系式计算出导温系数。这  
两种组合测试方法测试装置简单,测试快捷方便,北京城建勘测设  
计研究院有限责任公司采用此方法试验。

1)面热源法:是在被测物体中间作用一个恒定的短时间的平  
面热源,则物体温度将随时间而变化,其温度变化是与物体的性能  
有关。通过求解导热微分方程,并通过试验测出有关参数,然后按  
下列一些公式就可计算出被测物体的导温系数、导热系数和比热  
容。

导温系数:

$$\alpha = \frac{d^2}{4\tau' y^2} \quad (24)$$

式中:  $\alpha$ ——导热系数( $\text{m}^2/\text{h}$ );

$\tau'$ ——距热源面  $d(\text{m})$  温度升高  $\theta'$  时的时间( $\text{h}$ );

$y$ ——函数  $B(y)$  的自变量。

函数  $B(y)$  值:

$$B(y) = \frac{\theta'(\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_2 - \tau_1})}{\theta_2 \sqrt{\tau'}} \quad (25)$$

式中:  $B(y)$ ——自变量为  $y$  的函数值;

$\tau_1$ ——关掉加热器的时间( $\text{h}$ );

$\tau_2$ ——加热停止后, 热源上温度升高为  $\theta_2$  时的时间( $\text{h}$ )。

导热系数:

$$\lambda = \frac{I^2 R \sqrt{\alpha} (\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_2 - \tau_1})}{S \theta_2 \sqrt{\pi}} \quad (26)$$

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

$I$ ——加热电流( $\text{A}$ );

$R$ ——加热器电阻( $\Omega$ );

$S$ ——加热器面积( $\text{m}^2$ )。

比热容:

$$C = 3.6 \frac{\lambda}{\alpha \rho} \quad (27)$$

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

$\rho$ ——密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

2) 热线法: 是在匀温的各向同性均质试样中放置一根电阻丝, 即所谓的“热线”, 当热线以恒定的功率放热时, 热线和其附近试样的温度将会随时间升高。根据其温度随时间变化的关系, 可确定试样的导热系数。通过试验测出有关参数后, 按下式计算岩石的导热系数。

$$\lambda = \frac{I \cdot V}{4\pi L} \cdot \frac{\ln \frac{t_2}{t_1}}{\theta_2 - \theta_1} \quad (28)$$

$$\text{或} \quad \lambda = \frac{I^2 \cdot R}{4\pi L} \cdot \frac{\ln \frac{t_2}{t_1}}{\theta_2 - \theta_1} \quad (29)$$

式中:  $\lambda$ ——导热系数[W/(m·K)];

$V$ ——热线 A、B 段的加热电压(V);

$R$ ——加热丝的电阻( $\Omega$ );

$I$ ——加热丝的电流(A);

$L$ ——热线 A、B 间的长度(m);

$\theta_1$ 、 $\theta_2$ ——热线的两次测量温升( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_1$ 、 $t_2$ ——测  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  时的加热时间(s)。

3) 热平衡法: 是测定岩土比热容的常用方法。在试样中心插入热电偶, 通过测量试样与水的初温及热量传递到温度均衡状态时的温度, 按下式计算岩土的比热容。

$$C_m = \frac{(G_1 + E) \cdot C_w (t_3 - t_2)}{G_2 (t_1 - t_3)} - \frac{G_3}{G_2} \cdot C_b \quad (30)$$

式中:  $C_m$ ——岩土在  $t_3$  到  $t_1$  温度范围内的平均比热容[J/(kg·K)];

$C_b$ ——试样筒材料(黄铜)在  $t_3$  到  $t_1$  温度范围内的平均比热容[J/(kg·K)];

$C_w$ ——杜瓦瓶中水在  $t_2$  到  $t_3$  温度范围内的平均比热容[J/(kg·K)];

$E$ ——水当量(用已知比热的试样进行测定, 可得到  $E$  值)(g);

$t_1$ ——岩土下落时的初温( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_2$ ——杜瓦瓶中水的初温( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_3$ ——杜瓦瓶中水的计算终温( $^{\circ}\text{C}$ );

$G_1$ ——水重量(g);

$G_2$ ——试样重量(g);

$G_3$ ——试样筒重量(g)。

4 本规范附录 K 是常见的 12 类岩土的热物理指标, 来源于

北京、广州、天津等地区近 30 年的试验值。其数值的大小与密度、含水量有关,在可行性研究和初步勘察阶段可根据岩土密度、含水量的实际情况按附录 K 选用。在详细勘察和施工勘察阶段有特殊要求的工点需取样试验确定,对于有工程经验的地区,可通过试验和经验值综合分析确定。

### 16.3 土的力学性质试验

#### 16.3.1 本条列举了土的主要力学试验内容。

膨胀土地区应取样做膨胀性试验,根据试验指标作出场地的膨胀潜势分析。水位以上黄土应取样做湿陷性试验,确定黄土的湿陷性。固结试验、直剪试验、三轴压缩试验、无侧限抗压强度试验、静止侧压力系数试验、回弹试验、基床系数试验等应根据工程类型,设计、施工需要和岩土条件综合确定。

选用试验数据时,宜结合原位测试成果和既有的经验数据进行综合分析研究,给出合理的推荐值。

**16.3.2** 条文中的要求是考虑当采用压缩模量进行沉降计算时,压缩系数和压缩模量一般选取有效自重压力至有效自重压力与附加压力之和的压力段,才能使计算结果更接近工程实际情况。

**16.3.3** 当采用土的应力历史进行沉降计算时,试验成果应按  $e-\lg p$  曲线整理,确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数。施加的最大压力应满足绘制完整的  $e-\lg p$  曲线的要求。回弹模量和回弹再压缩模量的取样测试主要是为了计算基底卸荷回弹量,做固结试验时要考虑基坑的开挖深度,要对土的有效自重压力进行分段取整,获得回弹和回弹再压缩曲线,利用回弹曲线的割线斜率计算回弹模量,利用回弹再压缩曲线的割线斜率计算回弹再压缩模量。实际工作中,若两者差别不大,可用前者代替后者。

**16.3.4** 直接剪切试验包含快剪、固结快剪和慢剪。直接剪切试验由于设备和操作都比较简单,试验结果存在明显的缺点,但由于已经积累了大量的勘察和设计经验,仍可以有条件地使用。快剪

试验所得到的抗剪强度指标最小,用于设计计算结果偏于安全,对于基坑工程而言可代表性进行快剪试验。基坑工程施工一般都属于加荷固结速度缓慢,土体在排水条件下有一定的自重固结时间,因此选择固结快剪试验是适合的。

选用不同的三轴试验方法所取得  $c$ 、 $\varphi$  值数据差别很大,故本条规定采用的试验方法应尽量与工程施工的加荷速率、排水条件相一致。

**16.3.5** 土在侧面不受限制的条件下,抵抗垂直压力的极限强度称为土的无侧限抗压强度( $q_u$ )。主要适用于测试饱和软黏性土,用于估算土的承载力和抗剪强度。

**16.3.6** 土在不允许有侧向变形的条件下,试样在轴向压力增量  $\Delta\sigma_1$  的作用下将引起的侧向压力的相应增量  $\Delta\sigma_3$ ,其  $\Delta\sigma_3/\Delta\sigma_1$  的比值称为土的侧压力系数( $\xi$ )或静止土压力系数( $K_0$ ),水利水电设计规范中称为静止侧压力系数。本规范统一称为土的静止侧压力系数( $K_0$ ),试验仪器采用侧压力仪。

**16.3.7** 关于基床系数的说明参见本规范第 7.3.10 条的条文说明。

**16.3.8** 动三轴、动单剪和共振柱是土的动力学性质试验中较常用和较成熟的三种方法。不但土的动力学参数随动应变而变化,不同的试验仪器或试验方法有其应变值的有效范围,故在提出试验要求时,应考虑动应变的范围和仪器的适用性。

## 17 工程周边环境专项调查

### 17.1 一般规定

**17.1.1、17.1.2** 工程周边环境是影响城市轨道交通工程规划、设计和施工的重要因素,一旦对某一环境因素没有查清,可能引起线路埋深、车站结构等的变更,严重时引发工程事故和人员伤亡。北京市轨道交通建设管理有限公司为避免和减少环境安全事故的发生制定了《北京市轨道交通工程建设工程环境调查指南》。由于各个设计阶段对环境调查的范围和深度要求不同,因此,需要分阶段开展环境调查工作,满足各个阶段的设计要求。

### 17.2 调查要求

**17.2.2** 建筑物一般指供人们进行生产、生活或其他活动的房屋或场所。例如,工业建筑、民用建筑、农业建筑和园林建筑等,工程周边环境调查涉及的建筑物主要是房屋建筑和工业厂房。

构筑物一般指人们不直接在内进行生产和生活活动的场所。如水塔、烟囱、堤坝、蓄水池、人防工程、化粪池、地下油库、地下暗渠以及各种地下管线隧道等。

**17.2.4** 在国内城市轨道交通工程施工过程中,经常发生因地下管线与线路发生冲突的情况,导致线路无法穿越,造成管线改移,以及施工过程中对管线的直接破坏,或由于管线的渗漏造成基坑边坡和隧道的坍塌,给工程带来了很大的工期和经济损失。因此,地下管线的调查对城市轨道交通工程的设计、施工是非常重要的。

**17.2.6** 城市道路包括高速公路、城市快速路、城市主干道、次干道、支路等。桥涵包括城市立交桥、跨河桥、过街天桥、过街地道以及涵洞等。



**17.2.9** 架空线缆是泛指,还包括其他的架空电线或电缆。

### **17.3 成果资料**

**17.3.1~17.3.3** 成果资料的核心内容是查明影响范围内已有建(构)筑物、道路、地下管线等设施的位置、现状,根据它们和轨道交通工程在空间上的相互关系,结合工程地质和水文地质条件,预测由于开挖和降水等工程施工对工程周边环境的影响,提出必要的预防、控制和监测措施。

## 18 成果分析与勘察报告

### 18.1 一般规定

**18.1.1** 本条明确提出了对岩土工程勘察报告两方面的基本要求:

1 提供工程场地及沿线的工程地质、水文地质及岩土性质资料。

2 结合工程特点和要求,进行岩土工程分析评价。

**18.1.4** 城市轨道交通工程线路较长、勘察单位比较多;目前多数地区没有勘察总体单位或勘察监理单位总体把关。为了便于勘察资料的使用和各勘察阶段资料的延续性,需要制订地质单元、工程地质水文地质分区、岩土分层的统一标准。

### 18.2 成果分析与评价

**18.2.1** 本条主要针对城市轨道交通工程结构提出分析评价的综合要求,即分不同的敷设形式提出成果分析与评价的要求。地下工程主要是围岩和土体的稳定和变形问题,高架工程和地面工程主要是地基的承载力和变形问题,并特别强调了工程建设对环境的影响和对地下水作用的分析评价。

**18.2.2** 对于明挖法施工的分析评价,侧重于分析岩土层的稳定性、透水性和富水性,这关系到边坡、基坑的稳定;分析不同支护方式可能出现的工程问题,提出防治措施的建议。

**18.2.3** 对于矿山法施工的分析评价,侧重于分析不良地质和地下水的情况,以及由此带来的工程问题,提出防治措施的建议。

**18.2.4** 对于盾构法施工的分析评价,侧重于盾构机选型应注意的地质问题,指出影响盾构施工的地质条件。

**18.2.5** 对于高架工程的分析评价,侧重于桩基设计所需的岩土参数,指出影响桩基施工的不良地质和特殊岩土,提出防治措施的建议。

**18.2.7** 本条基本保留了原规范的内容。轨道交通工程建设对城市环境的影响较大,勘察报告通过分析、评价和预测,提出防治措施的建议。环境问题涉及面广,本条仅涉及属于岩土工程方面的内容。

### **18.3 勘察报告的内容**

**18.3.1** 本条概括规定了轨道交通岩土工程勘察报告的内容组成,将勘察报告的内容组成为文字部分、表格、图件和附件。

**18.3.2~18.3.4** 根据轨道交通工程勘察的实践,列出了勘察报告的内容组成,这是根据完整的报告要求列出的。各地地质条件差别很大,勘察报告的内容组成不可能相同。根据工程规模和任务要求等,选择适合于实际勘察的内容组成编写报告。其中,勘察任务依据、拟建工程概况、勘察要求与目的、勘察范围、勘察方法与执行标准、完成工作量等,是勘察文字报告必备的基本内容。

**18.3.6** 鉴于施工勘察报告、专项勘察报告的特殊性,其内容组成难以统一,可根据勘察的要求、目的在本规范第 18.3.2 条~第 18.3.5 条中合理选取。

## 19 现场检验与检测

**19.0.1** 现场检验与检测是保证工程质量与安全的重要手段之一,为保证工程周边环境安全、工程结构安全以及工程施工安全,岩土工程勘察报告中需要根据工程岩土特点、结构特点和施工特点,提出工程检验与检测的建议。目前现场检验与检测的方法主要有现场观察、试验和仪器量测等。

**19.0.2** 城市轨道交通工程地基、路基及隧道的现场检验,是工程建设中对地质体检查的最后一道关口,通过检验发现异常地层,及时采取措施确保工程施工和结构的安全。该项工作是必须做的常规工作,通常由地质人员会同建设、设计、施工、监理以及质量监督部门共同进行。

检验时,一般首先核对基础或基槽的位置、平面尺寸和坑底标高,是否与图纸相符。对土质地基,可用肉眼、微型贯入仪、轻型动力触探等简易方法,检验土的密实度和均匀性,必要时可在槽底普遍进行轻型动力触探。但坑底下埋有砂层,且承压水头高于坑底时,应特别慎重,以免造成冒水涌砂。当岩土条件与勘察报告出入较大或设计有较大变动时,可有针对性地进行施工专项勘察。

**19.0.3、19.0.4** 这两条所列检验内容,都是以往工程实践中发现的,影响地基、路基和围岩稳定和变形的重要因素,在现场检验时需要给予充分的重视。

**19.0.5** 桩长设计一般采用地层和标高双控制,并以勘察报告为设计依据。但在工程实践中,会有实际地层情况与勘察报告不一致的情况,故应通过试打试钻,检验岩土条件是否与设计时预计的一致,在工程桩施工时,也应密切注意是否有异常情况,以便及时采取必要的措施。大直径挖孔桩,一般设计承载力很高,对工程影

响重大,所以应逐桩检验孔底尺寸和岩土情况,并且人工挖孔也为检验提供了良好的条件。

**19.0.7** 现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 对施工完成后的工程桩的检验范围和方法作了明确的规定。确定桩的承载能力虽然有多种方法,但目前最可靠的仍是载荷试验。

目前在桩身质量检验方面,动力测桩技术已较为成熟,普遍使用,但对操作人员和仪器要求较高,必须符合有关规范和规定。

**19.0.8** 地基处理施工前,应根据设计文件,现场核查设计图纸、设计参数、设计要求、施工机械、施工工艺及质量控制指标等;复合地基的竖向增强体,尚应试打或试钻,通过试打或试钻检验岩土条件与勘察成果的相符性,确定沉桩或成孔的可能性,确定施工机械、施工工艺的适用性以及质量控制指标。对于有经验的工程场地,试打或试钻可结合工程桩进行。发现问题及时与有关部门研究解决。对缺乏施工经验的场地或采用新工艺时,应进行地基处理效果的测试。

**19.0.10** 基坑支护体系的检测是为了确保其施工质量达到设计要求,具体检测方法和技术执行现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关要求。

**19.0.11** 对围岩加固范围、加固效果进行检测是确保工程施工安全的重要环节,本条对目前城市轨道交通涉及围岩加固检测的情况和采用的检测方法进行了归纳总结。

**19.0.12** 对城市轨道交通工程结构进行沉降观测,一方面为城市轨道交通工程施工及运营的安全提供保证;另一方面可以起到积累建筑经验或对工程进行设计反分析的作用。本条对城市轨道交通工程需要进行沉降观测的情况进行了规定。