广东省标准

DBJ 15-XXX-20XX

备案号J XXXXX-XXXX

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

城市轨道交通岩土工程勘察规范

Code for geotechnical investigations of urban rail transit

**（征求意见稿）**

202X—XX—XX 发布 202X—XX—XX 实施

|  |
| --- |
| 本标准不涉及专利 |

广东省住房和城乡建设厅 发布

广东省标准

**城市轨道交通岩土工程勘察规范**

Code for geotechnical investigations of urban rail transit

DBJ 15-XXX-20XX

住房和城乡建设部备案号：

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

批准日期：202 年 月 日

XXX出版社

202X XX

广东省住房和城乡建设厅关于发布广东省标准

《城市轨道交通岩土工程勘察规范》的公告

粤住建公告[2020]x号

现批准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》为广东省地方标准，编号为DBJ xx-xx-20xx。本标准自20xx年x月x日起实施。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，广州地铁设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。

广东省住房和城乡建设厅

年 月 日

**前言**

根据《广东省住房和城乡建设厅关于发布＜2017年广东省工程建设标准制订、修订计划＞的通知》（粤建科函〔2017〕2904号）的要求，本规范由广州地铁设计研究院股份有限公司会同有关单位经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准和国内外先进经验，并在广泛征求意见的基础上制定本规范。

本规范的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.工程地质调绘和工程地质单元划分；5.岩土分类、描述和围岩分级；6.可行性研究勘察；7.初步勘察；8.详细勘察；9.施工勘察；10.不良地质作用与地质灾害；11.特殊性岩土；12.岩溶勘察；13.断裂勘察；14.球状风化体勘察；15.勘探与取样；16.原位测试；17.室内试验；18.地下水；19.岩土工程分析评价与成果报告；20.勘察安全；21.勘察信息化。

本规范不涉及专利。

本规范由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由广州地铁设计研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州地铁设计研究院股份有限公司城市轨道交通岩土工程勘察规范编制组（地址：广州市越秀区环市西路204号，邮编：510010，Email：[weiyongmei@dtsjy.com](mailto:weiyongmei@dtsjy.com)）。

主编单位：广州地铁设计研究院股份有限公司

参编单位：广州地铁集团有限公司

广东省建筑设计研究院

广东省重工建筑设计院有限公司

广东有色工程勘察设计院

广州市城市规划勘测设计研究院

深圳市市政设计研究院有限公司

深圳市勘察测绘院有限公司

主要起草人：张 华 陈晓丹 刘成军 王 典 竺维彬 孙成伟

黄 辉 苏 艺 丘建金 李爱国 陈 鸿 陈发波

石汉生 吕 军 林 健 连长江 李静荣 曾令浓

彭卫平 刘 伟

主要审查人：

目 次

[1 总则 1](#_Toc44193816)

[2术语和符号 2](#_Toc44193817)

[2.1 术 语 2](#_Toc44193818)

[2.2 符号 4](#_Toc44193819)

[3 基本规定 7](#_Toc44193820)

[3.1 一般规定 7](#_Toc44193821)

[3.2 勘察分级 8](#_Toc44193822)

[3.3 勘察大纲 9](#_Toc44193823)

[3.4 工程地质单元划分 11](#_Toc44193824)

[4 工程地质调绘 12](#_Toc44193825)

[4.1 一般规定 12](#_Toc44193826)

[4.2 调查与测绘工作方法 12](#_Toc44193827)

[4.3 调查与测绘工作范围 13](#_Toc44193828)

[4.4 调查与测绘工作内容 13](#_Toc44193829)

[4.5 工作成果 14](#_Toc44193830)

[5 岩土分类、描述与围岩分级 16](#_Toc44193831)

[5.1 一般规定 16](#_Toc44193832)

[5.2 岩石分类 16](#_Toc44193833)

[5.3 岩体分类 17](#_Toc44193834)

[5.4 岩石和岩体的描述 20](#_Toc44193835)

[5.5 土的分类 20](#_Toc44193836)

[5.6 土的鉴定与描述 23](#_Toc44193837)

[5.7 隧道围岩分级 26](#_Toc44193838)

[5.8 岩土施工工程分级 28](#_Toc44193839)

[6 可行性研究勘察 29](#_Toc44193840)

[6.1 一般规定 29](#_Toc44193841)

[6.2 勘察基本要求 29](#_Toc44193842)

[7 初步勘察 31](#_Toc44193843)

[7.1 一般规定 31](#_Toc44193844)

[7.2 勘察基本要求 31](#_Toc44193845)

[7.3 地下工程 32](#_Toc44193846)

[7.4 高架工程 34](#_Toc44193847)

[7.5 路基、涵洞工程 34](#_Toc44193848)

[7.6 地面车站、车辆基地 35](#_Toc44193849)

[8 详细勘察 37](#_Toc44193850)

[8.1 一般规定 37](#_Toc44193851)

[8.2 勘察基本要求 37](#_Toc44193852)

[8.3 地下工程 38](#_Toc44193853)

[8.4 高架工程 42](#_Toc44193854)

[8.5 路基、涵洞工程 43](#_Toc44193855)

[8.6 地面车站、车辆基地 45](#_Toc44193856)

[9 施工勘察 46](#_Toc44193857)

[10 不良地质作用 47](#_Toc44193858)

[10.1 一般规定 47](#_Toc44193859)

[10.2 采空区 47](#_Toc44193860)

[10.3 有害气体 50](#_Toc44193861)

[10.4 地面沉降 51](#_Toc44193862)

[11 特殊性岩土 52](#_Toc44193863)

[11.1 一般规定 52](#_Toc44193864)

[11.2 填土 52](#_Toc44193865)

[11.3 软土 54](#_Toc44193866)

[11.4 风化岩和残积土 56](#_Toc44193867)

[11.5 污染土 58](#_Toc44193868)

[12 岩溶勘察 60](#_Toc44193869)

[12.1 一般规定 60](#_Toc44193870)

[12.2 勘察要求 60](#_Toc44193871)

[12.3 岩土工程分析与评价 63](#_Toc44193872)

[13 断裂勘察 65](#_Toc44193873)

[13.1 一般规定 65](#_Toc44193874)

[13.2 勘察要求 65](#_Toc44193875)

[13.3 岩土工程分析与评价 66](#_Toc44193876)

[14 球状风化体勘察 68](#_Toc44193877)

[14.1 一般规定 68](#_Toc44193878)

[14.2 勘察要求 68](#_Toc44193879)

[14.3 岩土工程分析与评价 70](#_Toc44193880)

[15 勘探与取样 71](#_Toc44193881)

[15.1 一般规定 71](#_Toc44193882)

[15.2 钻探 71](#_Toc44193883)

[15.3 井探、槽探 73](#_Toc44193884)

[15.4 取样 73](#_Toc44193885)

[15.5 地球物理勘探 75](#_Toc44193886)

[16 原位测试 79](#_Toc44193887)

[16.1 一般规定 79](#_Toc44193888)

[16.2 标准贯入试验 79](#_Toc44193889)

[16.3 圆锥动力触探试验 80](#_Toc44193890)

[16.4 旁压试验 81](#_Toc44193891)

[16.5 静力触探试验 82](#_Toc44193892)

[16.6 载荷试验 83](#_Toc44193893)

[16.7 扁铲侧胀试验 85](#_Toc44193894)

[16.8 十字板剪切试验 86](#_Toc44193895)

[16.9 波速测试 87](#_Toc44193896)

[16.10 岩体原位应力测试 89](#_Toc44193897)

[16.11 现场直接剪切试验 89](#_Toc44193898)

[16.12 地温测试 91](#_Toc44193899)

[16.13 钻孔全景光学成像 91](#_Toc44193900)

[16.14 视电阻率测井 92](#_Toc44193901)

[16.15 土壤氡气浓度检测 93](#_Toc44193902)

[16.16 大地导电率测量 94](#_Toc44193903)

[17 室内试验 95](#_Toc44193904)

[17.1 一般规定 95](#_Toc44193905)

[17.2 土的物理性质试验 95](#_Toc44193906)

[17.3 土的力学性质试验 96](#_Toc44193907)

[17.4 岩石试验 96](#_Toc44193908)

[17.5 水和土的腐蚀性试验 97](#_Toc44193909)

[18 地下水 98](#_Toc44193910)

[18.1 一般规定 98](#_Toc44193911)

[18.2 地下水的勘察要求 98](#_Toc44193912)

[18.3 水文地质参数的测定 100](#_Toc44193913)

[18.4 地下水作用 102](#_Toc44193914)

[18.5 地下水控制 102](#_Toc44193915)

[19 岩土工程分析评价与成果报告 104](#_Toc44193916)

[19.1 一般规定 104](#_Toc44193917)

[19.2 岩土参数数理统计 104](#_Toc44193918)

[19.3 成果分析与评价 105](#_Toc44193919)

[19.4 勘察报告的基本要求 107](#_Toc44193920)

[19.5 勘察报告的内容 109](#_Toc44193921)

[20勘察安全 111](#_Toc44193922)

[20.1 一般规定 111](#_Toc44193923)

[20.2 勘察安全生产要求 111](#_Toc44193924)

[21 勘察信息化 115](#_Toc44193925)

[21.1 一般规定 115](#_Toc44193926)

[21.2 勘察作业信息化 115](#_Toc44193927)

[21.3 勘察项目管理信息化 116](#_Toc44193928)

[21.4 勘察成果信息化 116](#_Toc44193929)

[附录A 岩土施工工程分级 118](#_Toc44193930)

[附表B 圆锥动力触探击数修正 119](#_Toc44193931)

[附录C 人工冻土试验取样及试样制备要求 121](#_Toc44193932)

[附录D 勘探孔注浆封孔技术要点 123](#_Toc44193933)

[附录E 热物理指标试验要点 125](#_Toc44193934)

[本规范用词说明 134](#_Toc44193935)

[引用标准名录 135](#_Toc44193936)

[附：条文说明 137](#_Toc44193936)

Contents

1 General Provisions 1

2 Terminology and Symbols 2

2.1 Terminology 2

2.2 Symbols 4

3 Basic Requirements 7

3.1 General Provisions 7

3.2 Investigation Grade 8

3.3 Outline of Investigation 9

3.4 Engineering Geological Element Division 11

4 Engineering Geological Survey and Mapping 12

4.1 General Provisions 12

4.2 Working Methords 12

4.3 Working Range 13

4.4 Working Contents 13

4.5 Working Achievement 14

5 Classification & Description of Rock & Soil and Granding of Surrounding Rock 16

5.1 General Provisions 16

5.2 Classification of Rock 16

5.3 Classification of Rock Mass 17

5.4 Description of Rock and Rock Mass 20

5.5 Classification of Soil 20

5.6 Description of Rock 23

5.7 Granding of Surrounding Rock 26

5.8 Granding of Geotechnical Construction Engineering 28

6 Feasibility Study Investigation 29

6.1 General Provisions 29

6.2 Basic Requirements of Investigation 29

7 Preliminary Investigation 31

7.1 General Provisions 31

7.2 Basic Requirements of Investigation 31

7.3 Underground Engineering 32

7.4 Viaduct Engineering 34

7.5 Subgrade Engineering and Culvert Engineering 34

7.6 Ground Station and Vehicle Base 35

8 Detailed Investigation 37

8.1 General Provisions 37

8.2 Basic Requirements of Investigation 37

8.3 Underground Engineering 38

8.4 Viaduct Engineering 42

8.5 Subgrade Engineering and Culvert Engineering 43

8.6 Ground Station and Vehicle Base 45

9 Construction Investigation 46

10 Adverse Geological Actions 47

10.1 General Provisions 47

10.2 Goaf 47

10.3 Harmful Gas 50

10.4 Ground Subsidence 51

11 Special Rock and Soil 52

11.1 General Provisions 52

11.2 Fill 52

11.3 Soft Soil 54

11.4 Weathered Rock and Residual Soil 56

11.5 Contaminated Soil 58

12 Karst Investigation 60

12.1 General Provisions 60

12.2 Requirements of Investigation 60

12.3 Geotechnical engineering analysis and Assessment 63

13 Fault Investigation 65

13.1 General Provisions 65

13.2 Requirements of Investigation 65

13.3 Geotechnical engineering analysis and Assessment 66

14 Onion Weathering Investigation 68

14.1 General Provisions 68

14.2 Requirements of Investigation 68

14.3 Geotechnical engineering analysis and Assessment 70

15 Exploration and Sampling 71

15.1 General Provisions 71

15.2 Drilling 71

15.3 Well and Trench 73

15.4 Sampling 73

15.5 Geophysical Exploration 75

16 In-situ Tests 79

16.1 General Provisions 79

16.2 Standard Penetration Test 79

16.3 Cone Dynamic Penetration Test 80

16.4 Pressuremeter Test 81

16.5 Cone Penetration Test 82

16.6 Loading Test 83

16.7 Dilatometer Test 85

16.8 Vane Shear Test 86

16.9 Wave Velocity Test 87

16.10 In-situ Stress Test of Rock Mass 89

16.11 Field Direct Shear Test 89

16.12 Geothermal Test 91

16.13 Borehole Panoramic Optical Imaging 91

16.14 Apparent Resistivity Logging 92

16.15 Radon Concentration Test In Soil Gas 93

16.16 Field Electric Conductivity Test 94

17 Laboratory Test of Rock and Soil 95

17.1 General Provisions 95

17.2 Tests for Physical Properties of the Soil 95

17.3 Tests for Mechanical Properties of the Soil 96

17.4 Test of Rock 96

17.5 Corrosivity Test of Water and Soil 97

18 Underground Water 98

18.1 General Provisions 98

18.2 Investigation Requirements 98

18.3 Mensurement of Hydro-geological Parameters 100

18.4 Action of Underground Water 102

18.5 Control of underground water 102

19 Analysis of Achievement and Investigation Report 104

19.1 General Provisions 104

19.2 Statistis of Geotechnical Parameters 104

19.3 Achievement Analysis and Assessment 105

19.4 Basic Requirements of Investigation Report 107

19.5 Contens of Investigation Report 109

20 Investigation Safety 111

20.1 General Provisions 111

20.2 Requirements of Investigation Safety 111

21 Investigation Informationalization 115

21.1 General Provisions 115

21.2 Informationalization During Investigation Operation 115

21.3 Informationalization of Project Management 116

21.4 Informationalization of Achievement and Investigation Report 116

Appendix A Granding of Geotechnical Construction Engineering 118

Appendix B Cone Dynamic Contact, Standard Penetration Test Hammer Number Correction 119

Appendix C Requirements of Artificial Frozen Soil Sampling and Test Specimens Preparation 121

Appendix D Main Points of Grouting for Liquidation of Hole 123

Appendix E Main Points of Geothermal Physical Test 125

Explanation of Wording in This Code 134

List of Quoted Standards 135

Addition：Explanation of Provisions 137

# 1 总则

**1.0.1** 为了统一广东省城市轨道交通工程岩土工程勘察的技术要求，做到安全可靠、技术先进、经济合理、保护环境，确保勘察质量，特制定本规范。

**1.0.2**  本规范适用于广东省城市轨道交通岩土工程勘察。

**1.0.3**  城市轨道交通岩土工程勘察应搜集区域地质、气象水文、工程周边环境及影响区内既有工程的勘察设计及施工等资料，按各勘察阶段要求，科学制定勘察方案，精心组织实施，提供资料完整、数据可靠、评价正确、结论明确、建议合理的勘察报告。

**1.0.4** 岩土工程勘察工作应采用综合勘察和综合分析方法，积极应用新技术、新方法。

**1.0.5** 岩土工程勘察工作应遵守有关环境保护、水土保持及安全生产法律、法规。

**1.0.6** 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、行业和地方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

在不同形式轨道上运行的大、中运量城市公共交通系统，是当代城市中地铁系统、轻轨系统、单轨系统、自动导向系统、磁浮系统、市域快速轨道交通系统、有轨电车等轨道交通系统的统称。

**2.1.2** 明挖法 cut and cover method

从地面开挖基坑修筑地下工程的施工方法。

**2.1.3**  矿山法 mining method

使用钻孔爆破、构件支撑作业方式修筑地下工程的施工方法。因借鉴矿山开拓巷道的方法而得名。

**2.1.4** 盾构法 shield tunneling method

在岩土体内采用盾构机修筑工程隧道的施工方法。

**2.1.5** 顶管法 pipe jacking method

在岩土体内采用顶管推进修筑地下隧道或管道的施工方法。

**2.1.6** 沉管法 immersed tube method

采用预制管段沉放修筑水底隧道的施工方法。

**2.1.7** 冻结法 freezing method

采用冷冻的方法固结地层土体，提高土体强度的施工方法。

**2.1.8** 不良地质作用 adverse geologic actions

由地球内力或外力产生的对工程可能造成危害的地质作用。

**2.1.9** 特殊性岩土 special rock and soil

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

**2.1.10** 勘察大纲 outline of investigation

根据工程特点、场地条件和任务要求，编制的包括勘察依据、目的、方法、工作量、预期成果、进度安排等内容的技术文件。

**2.1.11** 复合地层 complex formation

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

**2.1.12** 球状风化体 onion weathering,spheroidal weathering body

自然界中受不同方向节理切割的岩块经长期风化作用后，岩块边缘和隅角逐渐消失，最终形成的球状或椭球状岩石。俗称孤石。

**2.1.13** 球状风化体揭示率 reveal rate of ornion weathering

在花岗岩类场地勘察中揭示出球状风化体的钻孔数量占全部钻孔数量的百分比。

**2.1.14** 球状风化体线发育率 linar ratio of ornion weathering

在花岗岩类场地勘察中球状风化体进尺之和占花岗岩类残积土和全、强风化岩总进尺的百分比。

**2.1.15** 岩溶 karst

可溶性岩石受水和二氧化碳等溶蚀、侵蚀形成的各种地质现象和地貌形态的总称，又称喀斯特。

**2.1.16** 溶洞 karst cave

可溶性岩石被水溶蚀形成的空洞。

**2.1.17** 土洞 earth cavity

发育在可溶岩上覆土层中的空洞。

**2.1.18** 岩溶塌陷 collapsed karst

受岩溶作用或影响，地表岩、土体因自然或人为因素失去平衡产生下沉或塌落，在地面形成塌陷坑（洞）的现象。

**2.1.19** 地面沉降 ground subsidence

因自然因素或人为活动引起的地层压缩变形导致的地面高程下降的地质现象。

**2.1.20** 车辆段 depot

停放车辆，以及承担车辆的运用管理、整备保养、检查工作和承担定修或架修车辆检修任务的基本生产单位。

**2.1.21** 停车场 parking lot,stabling yard

停放配属车辆，以及承担车辆的运营管理、整备保养、检查工作的基本生产单位。

**2.1.22** 联络通道 connecting bypass

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

**2.1.23** 工点 work point

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

**2.1.24** 专项勘察 specific investigation

在常规勘察基础上，为满足工程某方面需要，进一步查明工程地质和水文地质条件而开展的勘察。

**2.1.25** 勘察信息化 investigation informationalization

在工程的规划、勘察、设计、施工、运营维护等阶段，以及相关的政府监管、企业管理等环节，利用信息技术，推动工程全生命期勘察管理，提升勘察技术与管理水平的活动。

2.2 符号

1. **岩土物理性质和颗粒组成**

*C*——比热容；

*e*——孔隙比；

*I*l——液性指数；

*I*p——塑性指数；

n——孔隙度、孔隙率；

*S*r——饱和度；

*w*——含水量，含水率；

*w*L——液限；

*w*p——塑限；

*W*u——有机质含量；

*α*——导温系数；

*λ*——导热系数；

*γ*——重力密度（重度）；

*ρ*——质量密度（密度）；

*ρ*d——干密度。

1. **岩土变形参数**

*a* ——压缩系数；

*C*c——压缩指数；

*C*e——再压缩系数；

*C*s——回弹指数；

*E*0——变形模量；

*E*D——侧胀模量；

*E*m——旁压模量；

*E*s——压缩模量；

*G*——剪切模量；

*K*——基床系数；

*K*h——水平基床系数；

Kv——垂直基床系数；

K0——静止侧压力系数；

*p*c——先期固结压力；

*s*——沉降量；

*μ*——泊松比。

1. **岩土强度和承载力指标**

*c*——粘聚力；

*f*a——岩石地基承载力特征值；

*f*ak——地基承载力特征值；

*f*c——岩石天然单轴抗压强度；

*f*d——岩石干燥单轴抗压强度；

*f*r——岩石饱和单轴抗压强度；

*p*0——载荷试验比例界限压力，旁压试验初始压力；

*p*f——旁压试验临塑压力；

*p*L——旁压试验极限压力；

*p*u——载荷试验极限压力；

*q*pa——桩端土的承载力特征值；

*q*sa——桩周土的摩擦力特征值；

*q*u——无侧限抗压强度；

*R*a——单桩竖向承载力特征值；

*τ*——抗剪强度；

*φ*——内摩擦角。

1. **触探及标准贯入试验指标**

*f*s——静力触探侧阻力；

*N*——经过修正的标准贯入试验锤击数；

*N’*——实测的标准贯入试验锤击数；

*N*63.5——重型圆锥动力触探试验锤击数；

*N*120——超重型圆锥动力触探试验锤击数；

*p*s——静力触探比贯入阻力；

*q*c——静力触探锥头阻力；

*R*f——静力触探摩阻比。

1. **水文地质参数**

*B*——越流系数；

*k*——渗透系数；

*Q*——流量，涌水量；

*R*——影响半径；

*S*——释水系数；

*T*——导流系数；

u——孔隙水压力。

1. **其他符号**

*F*s——边坡稳定系数；

*m*——土的水平抗力系数的比例系数；

*S*t——土的灵敏度；

*v*p——压缩波波速；

*v*s——剪切波波速；

*δ*——变异系数；

*σ*——标准差。

# 3 基本规定

3.1 一般规定

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

**3.1.2** 城市轨道交通岩土工程勘察应根据工作阶段依次开展可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察。

**3.1.3** 城市轨道交通工程线路或场地附近存对工程有重大影响的采空区、岩溶、球状风化体、断裂带、地面沉降、有害气体、河流或古河道等特殊或复杂的地质条件时，应进行专项勘察。

**3.1.4** 城市轨道交通岩土工程勘察应取得工程沿线地形图、管线及地下建（构）筑物分布图等资料，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，必要时应根据任务要求开展工程周边环境专项调查工作。

**3.1.5** 城市轨道交通岩土工程勘察应搜集当地已有的区域地质、地貌、地震、气象、水文、地球物理勘探和遥感数据等资料，在线路已有的勘察资料、建设经验的基础上，针对线路敷设方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。

**3.1.6** 城市轨道交通岩土工程勘察利用收集到的勘察资料时，应复核资料的真实性、可靠性，并进行必要的验证。

**3.1.7** 城市轨道交通岩土工程勘察应根据不同的勘察阶段、工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级、设计要求，编制勘察大纲，提交勘察成果。

**3.1.8** 城市轨道交通岩土工程勘察宜遵循所在地区统一的岩土层划分、命名及编号规则。

**3.1.9** 城市轨道交通岩土工程勘察实施前，应核查钻孔附近的地下建（构）筑物和管线情况，勘察过程中应确保地下建（构）筑物和管线安全。

**3.1.10** 城市轨道交通线路地下及高架工程的场地土类型划分、建筑场地类别划分、地基土液化判别应执行国家标准《城市轨道交通结构抗震设计规范》（GB50909），地面工程的场地土类型划分、建筑场地类别划分、地基土液化判别应执行国家标准《建筑抗震设计规范》（GB 50011）。

**3.1.11** 城市轨道交通线路工程和地面建筑工程的边坡工程勘察等级、岩质边坡的岩体分级应执行国家标准《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）。

**3.1.12** 城市轨道交通岩土工程勘察成果应有针对性地根据勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法对勘察工作的要求，提供以下内容：

**1** 工程场地的工程地质和水文地质情况，岩土工程分析与评价，岩土治理、环境保护、工程监测措施与建议，以及关岩土参数。

**2** 结合工程实际及工程周边环境资料，说明地质条件可能造成的工程风险。

**3.1.13** 城市轨道交通岩土工程勘察应按照国家标准《岩土工程勘察安全标准》（GB/T 50585），开展岩土工程勘察安全作业与管理。

3.2 勘察分级

**3.2.1** 岩土工程勘察等级应根据工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级，按照表3.2.1的规定进行划分：

**表3.2.1 岩土工程勘察等级划分**

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

**3.2.2** 工程重要性等级可根据工程规模、建筑类型和特点以及因岩土工程问题造成工程破坏的后果，按照表3.2.2的规定进行划分：

**表3.2.2 工程重要性等级划分**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工程重要性等级 | 工程破坏  的后果 | 工程规模及建筑类型 |
| 一级 | 很严重 | 车站主体、各类通道、地下区间、高架区间、大中桥梁、地下停车场、控制中心、主变电站、含30层以上高层或大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场）的城市轨道交通车辆段和停车场 |
| 二级 | 严重 | 路基、涵洞、小桥、车辆基地内的各类房屋建筑（含30层以上高层或大面积的多层地下建筑物时除外）、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、城市轨道交通地面停车场 |

**3.2.3** 场地复杂程度等级可划分为一级场地（复杂场地）、二级场地（中等复杂场地）、三级场地（简单场地）。具体应根据地形地貌、工程地质和水文地质条件、场地抗震地段类别等因素参照表3.2.3的规定进行划分：

**3.2.4** 工程周边环境风险等级宜根据工程周边环境发生变形或破坏的可能性和后果的严重程度，采用工程风险评估的方法确定，也可根据工程周边环境的类型、重要性、与工程的空间位置关系和对工程的危害性按表3.2.4划分。

**表3.2.3 场地复杂程度等级划分**

| 场地复杂程度等级 | 划分条件 |
| --- | --- |
| 一级场地  （复杂场地） | 符合下列条件之一：  1）地形地貌复杂。  2）建筑抗震危险和不利地段。  3）不良地质作用强烈发育。  4）特殊性岩土需要专门处理。  5）地基、围岩或边坡的岩土性质较差。  6）地下水对工程的影响较大需要进行专门研究和治理。 |
| 二级场地  （中等复杂场地） | 符合下列条件之一：  1）地形地貌较复杂。  2）建筑抗震一般地段。  3）不良地质作用一般发育。  4）特殊性岩土不需要专门处理。  5）地基、围岩或边坡的岩土性质一般。  6）地下水对工程的影响较小。 |
| 三级场地  （简单场地） | 符合下列条件：  1）地形地貌简单。  2）抗震设防烈度小于或等于6度或对建筑抗震有利地段。  3）不良地质作用不发育。  4）地基、围岩或边坡的岩土性质较好。  5）地下水对工程无影响。 |

注： 1、从一级开始，向二级、三级推定，以最先满足的为准；

2、场地抗震地段类别划分应符合3.1.10条规定。

**表3.2.4 工程周边环境风险等级划分**

| 周边环境  风险等级 | 划分条件 |
| --- | --- |
| 一级 | 主要影响区内存在高速铁路、既有轨道交通设施、重要建(构)筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊 |
| 二级 | 符合下列条件之一：  1）主要影响区内存在一般建(构)筑物、桥梁与隧道、铁路、高速公路或重要地下管线；  2）次要影响区内存在既有轨道交通设施、重要建（构）筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊；  3）隧道工程上穿既有轨道交通设施。 |
| 三级 | 符合下列条件之一：  1）主要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施；  2）次要影响区内存在一般建(构)筑物、一般桥梁与隧道、高速公路或重要地下管线；  3）次要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施 |

注：1 对于基坑工程，基坑周边取*0.7H*和*H·tan（45°-φ/2*）二者较大值范围为主要影响区指，主要影响

区外边界至*（2.0～3.0）H*范围为次要影响区，基坑周边*（2.0～3.0）H*范围外为可能影响区，其

中*H*为基坑开挖深度。

2 对于隧道工程，隧道正上方至隧道中心线外*0.7z*0范围为主要影响区指，主要影响区外边界至隧

道中心线外*z*0范围为次要影响区，隧道中心线*z*0范围外为可能影响区，其中*z*0为隧道底板埋深。

3 隧道、基坑周边以软土为主或处于断裂破碎带、岩溶、花岗岩残积土或全～强风化带时，或采用

锚杆支护、注浆加固、高压旋喷、降水措施时，应调整工程影响分区界线。

3.3 勘察大纲

**3.3.1** 岩土工程勘察实施前应编制勘察大纲，详勘阶段应按工点编制详细勘察大纲。

**3.3.2** 勘察大纲应在充分搜集、分析已有资料和现场踏勘的基础上，依据勘察目的、工程的特点编写。依据勘察目的、任务和相应技术标准的要求，针对拟建工程的特点编写。

**3.3.3** 勘察大纲由文字与图表构成。

**3.3.4** 勘察大纲的文字部分宜包括下列内容：

**1** 编制依据；

**2** 工程概况及岩土工程勘察概况；

**3** 概述拟建场地环境地质条件，包括地形地貌、区域地质、岩土类型、不良地质作用及特殊性岩土、地表水体等基本特征；

**4** 勘察阶段、勘察目的与任务及需解决的主要技术问题；

**5** 执行的技术标准；

**6** 风险调查、风险源识别和风险评价；

**7** 选用的勘探方法及布置原则，尤其说明不良地质作用及特殊性岩土勘探布置原则；

**8** 勘探工作量布置；

**9** 勘探孔（槽、井、洞）回填；

**10** 拟采取的质量控制措施及拟投人的仪器设备；

**11** 人员安排、勘察进度计划；

**12** 质量、环境和职业健康保证措施；

**13** 安全生产及文明施工保证措施；

**14** 勘察应急预案；

**15** 勘察成果资料的编制和整理要求等；

**16** 其他需要说明的问题。

**3.3.5** 勘察大纲图表应包括拟建工程勘探点平面布置图，需要时，还应附勘探及原位测试、室内岩土水试验计划表等。

**3.3.6** 勘察大纲的计划工作量宜包括下列内容：

**1** 钻探(井探、槽探等)间距、深度、数量；

**2** 地球物理勘探、原位测试的种类、方法、深度或间距、数量；

**3** 取样器类型、取样方法；

**4** 岩样、土样和水样取样间距或数量；

**5** 室内试验内容、方法、数量；

**6** 需要进行工程地质测绘和调查时，应明确测绘范围、比例尺、测绘方法。

**3.3.7** 当场地情况变化大或设计方案变更等原因，拟定勘察工作不能满足要求时，应及时调整勘察大纲或编制补充勘察大纲。

**3.3.8** 勘察大纲及其变更应按质量管理程序审批，由相关责任人签署。

**3.3.9** 单独进行专项勘察时，应明确专项勘察的目的与任务，编制专项勘察大纲。

3.4 工程地质单元划分

**3.4.1** 工程地质单元划分，是根据地貌单元、微地貌单元、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件等将建设场地进行进一步的细分，即将地质条件相同或相似的场地划分为同一工程地质单元，以便对建设场地进行客观评价。

**3.4.2** 在可行性研究勘察阶段和初步勘察阶段应进行工程地质单元划分。

**3.4.3** 工程地质单元划分工作应符合以下规定：

**1** 根据搜集的区域地质资料、实地地质踏勘调绘资料、地质钻探取得的实际资料，结合轨道交通工程特征，对建设场地进行工程地质单元划分，把地质条件相同或相似的场地划分为同一工程地质单元。

**2** 应按工程地质单元布置勘探试验工作，按照工程地质单元统计及整理各种试验成果，真实反映建设场地的客观情况。

**3** 按照工程地质单元对建设场地进行科学、准确的分析评价，为线路比选、各阶段工程设计、工程施工提供合理的岩土工程参数。

**3.4.4** 工程地质单元划分成果应包括下列内容：

**1** 工程场地内划分出的不同地质单元的范围。

**2** 提供各工程地质单元的地貌单元、微地貌单元、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件等。

**3** 对建设场地进行综合评价，并按照不同的工程地质单元为工程设计、施工提供合理的岩土工程参数，提供工程措施建议。

# 4 工程地质调绘

4.1 一般规定

**4.1.1** 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、不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土等。

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

4.2 调查与测绘工作方法

**4.2.1** 工程地质调查与测绘应搜集工程场地的既有资料，并进行综合分析和研究。搜集的资料应包括：区域性卫星影像和航空遥感解释资料、地形地貌资料、地层岩性资料、地质构造资料、工程地质和水文地质资料、不良地质作用和特殊性岩土资料，现状地质灾害、地质遗迹、古河道等资料。重点是搜集与工程建设紧密相关的地形地貌、地层、岩石、断裂构造、工程地质和水文地质等资料。

**4.2.2** 在工程地质调查与测绘工作中，根据工程需要可进行适量的勘探、物探和测试工作。

**4.2.3** 在采用遥感技术的地段，应对室内解译结果进行现场核实。

**4.2.4** 地质调查点的布置应符合下列规定：

**1** 地质调查点应布置在具有代表性的岩土露头、地层分界线、断层及重要的节理、地下水露头、不良地质作用点、特殊岩土界线等位置；

**2** 地质调查点密度应根据技术要求、地质条件和成图比例尺等因素综合确定，其密度应能控制不同类型地质界线和地质单元变化；

**3** 地质调查点的定位应根据精度要求和地质复杂程度选用目测法、半仪器法、仪器法。对构造线、地下水露头、不良地质作用等重要的地质调查点，应采用仪器定位。

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

**4.2.6** 搜集沿线已有的地下管线资料及建（构）筑物基础资料。

4.3 调查与测绘工作范围

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

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

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

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

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

4.4 调查与测绘工作内容

**4.4.1** 搜集工程地质调查与测绘的资料应包括下列内容：

**1** 区域性的地质、水文、气象、航卫片、建（构）筑物、植被等资料；

**2** 既有建（构）筑物的岩土工程勘察资料和施工经验；

**3** 历史上已发生的岩土工程事故案例，了解其发生的原因、处理措施和整治效果。

**4.4.2** 工程地质调查与测绘工作应包括下列内容：

**1** 调查、测绘地形与地貌形态，划分地貌单元及微地貌单元，确定地形地貌成因类型，分析其与基底岩性和新构造的关系；

**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（断裂、褶皱）类型、形态、产状、分布，对断裂、节理等构造进行分类，确定主要结构面与线路的关系；对于主干断裂、强烈破碎带，应调查其分布范围、形态和物质组成，分析地下水软化作用对隧道围岩稳定性的影响和危害程度；

**5** 调查地表水体分布范围、水深、水位动态变化及演变历史，搜集主要江、河的最高洪水水位、流速、流量、河床标高、淹没范围等，对海水收集潮汐资料；

**6** 调查地下水各含水层类型、水位、变化幅度、水力联系、补给来源和排泄条件，地下水动态变化与地表水系的联系、对建筑材料腐蚀性情况、历年地下水位的长期观测资料等；

**7** 调查填土的堆积年代、坑塘淤积层的厚度，软土、盐渍岩土、膨胀性岩土、花岗岩风化岩和残积土等特殊性岩土的分布范围和工程地质特征；

**8** 调查岩溶、人工空洞（防空洞、采空区）、崩塌/滑坡、岸边冲刷、地面沉降、地下古河道、暗滨、含放射性或有害气体地层等不良地质的形成、规模、分布、发展趋势及对工程建设的影响。

4.5 工作成果

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

**4.5.2** 工程地质调查与测绘成果资料应符合下列要求：

**1**  应反映第四系地层、基岩、构造、古河道、古地形地貌等，资料包括文字说明资料、综合地质图；

**2** 对搜集的区域地质资料进行综合分析和研究，并将拟建线路叠加进区域地质图中；

**3** 综合地质图应图面清晰，图中各类地质要素分明、图层清晰，并有主要地质元素图例。

**4.5.3** 工程地质调查与测绘地质图比例尺和精度要求：

**1** 测绘用图比例尺宜选用比最终综合成果图大一级的地形图作底图，在可行性研究勘察阶段选用比例尺1:1000～1:2000；在初步勘察阶段、详细勘察阶段和施工勘察阶段选用比例尺1:500～1:1000；在工程地质复杂地段应适当放大比例尺；

**2** 在可行性研究勘察阶段地层单位划分到“群”或“组”；在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段均划分到“组”或“段”；地层、岩浆岩年代单位与地史年代对应；第四系地层应划分不同的成因类型，年代应划分到“世”。

**3** 岩性地层界线、地质观察点、实测断裂构造、现状地质灾害点绘制在图上的位置误差不应大于2mm；

**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。

**4.5.4** 工程地质调查与测绘的成果资料宜符合下列规定：

**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，应专门编制工程地质调查与测绘报告。报告内容包括文字报告、综合工程地质平面图、纵横地质断面图、地质柱状图、遥感地质解译资料、岩矿鉴定资料、素描图和照片等。

# 5 岩土分类、描述与围岩分级

5.1 一般规定

**5.1.1** 岩土分类应采用现场鉴定与室内外试验，定性划分与定量评定相结合的方法。

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

**5.1.3** 工程岩体分级应采用定性与定量相结合的方法，并分两步进行，先确定岩体基本质量等级，再结合具体工程的特点确定工程岩体级别。

5.2 岩石分类

**5.2.1** 岩石按成因应分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

**5.2.2** 岩石坚硬程度分类可根据岩石饱和单轴抗压强度，参照表5.2.2分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。

**表5.2.2 岩石坚硬程度分类**

| 岩石类别（MPa） | | 定性鉴定 | 代表性岩石 |
| --- | --- | --- | --- |
| 硬  质  岩 | 坚硬岩  *f*r＞60 | 锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应 | 未风化～微风化的A类岩石 |
| 较硬岩  30＜*f*r≤60 | 锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎；浸水后有轻微吸水反应 | 微风化的A类岩石；未风化～微风化的B、C类岩石 |
| 软  质  岩 | 较软岩  15＜*f*r≤30 | 锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后指甲可刻出印痕。 | 强风化的A类岩石；中风化的B、C类岩石；未风化～微风化的D类岩石 |
| 软岩  5＜*f*r≤15 | 锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后手可掰开 | 强风化的A类岩石，中风化～强风化的B、C类岩石；中风化的D类岩石；未风化～微风化的E类岩石 |
| 极软岩  *f*r≤5 | 锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后可捏成团 | 全风化的各类岩石和成岩作用差的岩石 |

注：1 A至D类岩石的划分见条文说明5.2.2。

2 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，换算方法按国家标准《工程岩体分级标准》（GB50218）执行；

3 当岩体完整程度为极破碎时，可不进行坚硬程度分类。

**5.2.3** 岩石的风化程度可按表5.2.3，分为未风化、微风化、中风化、强风化和全风化。

**表5.2.3 岩石风化程度的划分**

| 风化程度 | 特 征 | 风化程度参数指标 | |
| --- | --- | --- | --- |
| 波速比  *K*V | 风化系数  *K*f |
| 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，用于钻不易钻进 | 0.4～0.6 | ＜0.4 |
| 全风化 | 1．结构基本破坏，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KV为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比；

2 风化系数Kf为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比；

3 花岗岩类的岩石风化岩、其他岩石的风化岩划分，参见表14.4.2.2。

4 泥岩和半成岩，可不进行风化程度划分。

**5.2.4** 岩石的软化性质按软化系数分类，应符合表5.2.4的规定。

**表5.2.4 岩石软化性分类**

| 名称 | 不易软化岩石 | 软化岩石 |
| --- | --- | --- |
| 软化系数 | ＞0.75 | ≤0.75 |

注：软化系数是指岩石饱和单轴抗压强度与干燥状态的单轴抗压强度的比值。

**5.2.5**  岩石质量可根据岩石质量指标RQD按表5.2.5进行岩石质量分类。

**表5.2.5 岩石质量指标（RQD）分类**

| 岩石质量分类 | 好的 | 较好的 | 较差的 | 差的 | 极差的 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩石质量指标  （RQD） | ＞90 | 75～90 | 50～75 | 25～50 | ＜25 |

**5.2.6** 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、崩解性岩石等。

5.3 岩体分类

**5.3.1** 工程影响范围内的岩体，可按结构类型、岩层厚度、节理发育程度、受地质构造影响程度、完整程度、风化程度等进行分类或分带。

**5.3.2** 应按表5.3.2规定，确定岩体的结构类型。

**表5.3.2 岩体按结构类型划分**

| 岩体结构类型 | 岩体地质类型 | 结构体形状 | 结构面发育情况 | 岩土工程特征 | 可能发生的岩土工程问题 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 整体状  结构 | 巨块状岩浆岩和变质岩，巨厚层沉积岩 | 巨块状 | 以层面和原生、构造节理为主，多呈闭合型，间距大于1.5m，一般为1组～2组，无危险结构 | 岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体 | 局部滑动或坍塌，深埋洞室的岩爆 |
| 块状  结构 | 厚层状沉积岩，块状岩浆和变质岩 | 块状  柱状 | 有少量贯穿性节理裂隙，结构面间距0.7m～1.5m。一般为2组～3组，有少量分离体 | 结构面互相牵制，岩体稳定，接近弹性各向同性体 |
| 层状  结构 | 多韵律薄层、中厚层状沉积岩，副变质岩 | 层状  板状 | 有层理、片理、节理，常有层间错动 | 变形和强度受层面控制，可视为各向异性弹塑性体，稳定性较差 | 可沿结构面滑塌，软岩可产生塑性变形 |
| 碎裂状结构 | 构造影响严重的破碎岩层 | 碎块状 | 断层、节理、片理、层理发育，结构面间距0.25m～0.50m，一般3组以上，有许多分离体 | 整体强度很低，并受软弱结构面控制，呈弹塑性体，稳定性很差 | 易发生规模较大岩体失稳，地下水加剧失稳 |
| 散体状  结构 | 断层破碎带，强风化及全风化带 | 碎屑状 | 构造和风化裂隙密集，结构面错综复杂，多充填黏性土，形成无序小块和碎屑 | 完整性遭极大破坏，稳定性极差，接近松散体介质 |

**5.3.3** 岩体完整程度可根据岩体完整性指数参照表5.3.3进行定量分类，当缺乏试验资料或不能进行该项试验时，可在现场按表5.3.3的规定进行定性划分。

**表5.3.3 岩体完整程度的分类**

| 名称 | 结构面发育程度 | | | 主要结构面  的结合程度 | 主要结构面类型 | 相应结  构类型 | 岩体完整性指数 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 定性描述 | 组数 | 平均间距（ m） |
| 完整 | 不发育 | 1～2 | ＞1.0 | 结合好或结合一般 | 节理、裂隙、层面 | 整体状或巨厚层状结构 | *K*V＞0.75 |
| 较完整 | 1～2 | ＞1.0 | 结合差 | 节理、裂隙、层面 | 块状或厚层状结构 | 0.55＜*K*V≤0.75 |
| 较发育 | 2～3 | 1.0～0.4 | 结合好或结合一般 | 块状结构 |
| 较破碎 | 2～3 | 1.0～0.4 | 结合差 | 节理、裂隙、劈理、层面、小断层 | 裂隙块状或中厚层状结构 | 0.35＜*K*V≤0.55 |
| 发育 | ≥3 | 0.4～0.2 | 结合好 | 镶嵌碎裂结构 |
| 结合一般 | 中、薄层状结构 |
| 破碎 | ＞3 | 0.4～0.2 | 结合差 | 各种类型结构面 | 裂隙块状结构 | 0.15＜*K*V≤0.35 |
| 很发育 | ＜0.2 | 结合一般或结合差 | 碎裂状结构 |
| 极破碎 | 无序 | 无序 |  | 结合很差 |  | 散体状结构 | *K*V≤0.15 |

注：1 平均间距指主要结构面(1～2组)间距的平均值。

2 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。

**5.3.4**结构面的结合程度，应根据结构面特征确定。

**5.3.5** 岩体基本质量分级应符合以下要求：

**1** 应根据岩体基本质量的定性特征和岩体基本质量指标BQ两者相结合，并应按表5.3.5确定。

**表5.3.5 岩体基本质量分级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩体基本  质量级别 | 岩体基本质量的定性特征 | 岩体基本指标（BQ） |
| Ⅰ | 坚硬岩，岩体完整 | ＞550 |
| Ⅱ | 坚硬岩，岩体较完整；  较坚硬岩，岩体完整 | 550～451 |
| Ⅲ | 坚硬岩，岩体较破碎；  较坚硬岩，岩体较完整；  较软岩，岩体完整 | 450～351 |
| Ⅳ | 坚硬，岩体破碎；  软岩，岩体较破碎～破碎;  较软岩，岩体较完整～较破碎;  软岩，岩体完整～较完整 | 350～251 |
| Ⅴ | 较软岩，岩体较完整～较破碎;  软岩，岩体完整～较完整；  全部极软岩及全部极破碎岩 | ≤250 |

**2** 岩体基本质量指标*BQ*，应根据岩石坚硬程度、岩体完整程度分级因素的定量指标*f*r和*K*v，按下式计算：

*BQ*＝100+3 *f*r +250*K*v  (5.3.5)

式中: *BQ* ------岩体基本质量指标；

*f*r -------岩石饱和单轴抗压强度(MPa)；

*K*v------岩体完整性指数,为岩体压缩波速度与岩块压缩波速度之比的平方；

使用公式(5.3.5)计算时，当 *f*r＞90 Kv+30时，应以*f*r=90 *K*v +30和*K*v代入计算*BQ*值；当*K*v＞0.04 *fr*＋0.4时，应以*K*v＝0.04 *f*r ＋0.4和*f*r代入计算*BQ*值。

**3** 当定性划分与岩体基本质量指标*BQ*划分的级别不一致时，应通过对定性划分和定量指标的行综合分析，确定岩体基本质量级别。当两者的级别划分相差达1级及以上时，应进一步补充测试。

**5.3.6** 地下工程、边坡工程和地基工程的岩体级别，应按国家标准《工程岩体分级标准》（GB/T 50218）确定。

5.4 岩石和岩体的描述

**5.4.1** 岩石的描述应包括地质年代、地质名称、风化程度、颜色、主要矿物、结构、构造、岩芯状态和岩石质量指标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，对易溶岩还应描述溶蚀程度。对岩浆岩和变质岩应着重描述矿物结晶大小和结晶程度。

**5.4.2** 岩体的描述应包括结构面、结构体、岩层厚度和结构类型，并宜符合下列规定：

**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质等；

**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** 岩层厚度分类应按表 5.4.2执行。

**表 5.4.2 岩层厚度分类**

| 厚度分类 | 单层厚度 *h* (m) | 厚度分类 | 单层厚度 *h*(m) |
| --- | --- | --- | --- |
| 巨厚层 | *h*＞1.0 | 中厚层 | 0.5 ≥ *h*＞0.1 |
| 厚层 | 1.0≥*h*＞0.5 | 薄层 | *h*≤0.1 |

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

**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，应说明破碎的原因，如断层、全风化等。

**3** 开挖后是否有进一步风化的特性。

5.5 土的分类

**5.5.1** 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（Q3）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。

**5.5.2** 土按地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、海积土等。

**5.5.3** 土根据有机质含量（Wu）可按表5.5.3的规定进行分类。

**表5.5.3 土按有机质含量（***W*u**）分类**

| 分类名称 | 有机质含量*W*u(%) | 现场鉴别特征 |
| --- | --- | --- |
| 无机土 | *W*u＜5％ |  |
| 有机质土 | 5％≤*W*u≤ 10％ | 灰色，有光泽，味臭，除腐殖质外尚含少量未完全分解的动植物体，浸水后水面出现气泡，干燥后体积收缩 |
| 泥炭质土 | 10％＜*W*u≤60％ | 深灰或黑色，有腥臭味，能看到未完全分解的植物结构，浸水体胀，易崩解，有植物残渣浮于水中，干缩现象明显。  可根据地区特点和需要按Wu细分为：弱泥炭质土（10％＜*W*u≤25％）、中泥炭质土（25％＜*W*u≤40%）、强泥炭质土（10％＜*W*u≤60％）。 |
| 泥炭 | *W*u＞60％ | 除有泥炭质土特征外，结构松散，土质很轻，暗无光泽，干缩现象极为明显。 |

注：有机质含量*W*u按灼失量试验确定。

**5.5.4** 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。

**1** 碎石土：粒径大于2mm颗粒的质量超过总质量50％的土，并按表5.5.4.1的规定进一步分类；

**表5.5.4.1 碎石土的分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒形状 | 颗 粒 级 配 |
| 漂石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于 200mm 的颗粒质量超过总质量 50% |
| 块石 | 棱 角 形 为 主 |
| 卵石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于 20mm 的颗粒质量超过总质量 50% |
| 碎石 | 棱 角 形 为 主 |
| 圆砾 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量 50% |
| 角砾 | 棱 角 形 为 主 |

注：定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

**2** 砂土：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，并按表5.5.4.2的规定进一步分类；

**表5.5.4.2砂土的分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 土的名称 | 颗 粒 级 配 |
| 砾砂 | 粒径大于 2mm的颗粒质量占总质量 25%～50% |
| 粗砂 | 粒径大于 0.5mm 的颗粒质量超过总质量 50% |
| 中砂 | 粒径大于 0.25mm 的颗粒质量超过总质量 50% |
| 细砂 | 粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 85% |
| 粉砂 | 粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50% |

注：定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

**3** 粉土为介于砂土和黏性土之间，塑性指数*I*P≤10且粒径大于0.075mm的颗粒含量不超过总质量50%的土；

**4** 黏性土：塑性指数*I*P大于10的土，并按表5.5.4.3的规定进一步分类。

**表5.5.4.3 黏性土分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 土的名称 | 塑性指数*I*p |
| 黏 土 | *I*p＞17 |
| 粉质黏土 | 10＜*I*p≤17 |

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

**5.5.5**  土按特殊性质可分为填土、软土(包括淤泥和淤泥质土)、膨胀土、残积土、红粘土、混合土及污染土等。

**5.5.6** 填土根据物质组成和堆填方式，可分为下列四类：

**1** 素填土：由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种材料组成，不含杂物或含杂物很少；

**2** 杂填土：含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物；

**3** 冲填土：由水力冲填泥砂形成；

**4** 压实填土：按一定标准控制材料成分、密度、含水量，分层压实或夯实而成。

**5.5.7** 软土包括淤泥、淤泥质土和有机质土等饱和软黏土。淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于1.5的黏性土。当天然含水量大于液限而天然孔隙比小于1.5但大于或等于1.0的黏性土或粉土应为淤泥质土。需按有机质含量进一步划分时应符合表5.5.3规定。

**5.5.8** 花岗岩残积土为花岗岩风化的产物，残留在原地未经搬运，除石英外其他矿物均已变为土状。具有孔隙比较大、液性指数较小、压缩性较低和遇水易崩解的特点，可根据其大于2mm的颗粒含量（%）按表5.5.8分为：砾质粘性土、砂质粘性土和粘性土。

**表5.5.8 花岗岩残积土分类表**

| 土的名称 | ≥2mm颗粒含量 |
| --- | --- |
| 砾质粘性土 | ＞20% |
| 砂质粘性土 | 5%～20% |
| 粘性土 | ＜5% |

注：定名时可根据土的塑性指数Ip加以确定粘性土的名称。

**5.5.9** 颜色为棕红或褐黄，覆盖于碳酸盐岩系之上，其液限大于或等于50%的高塑性黏土，应判定为原生红黏土。原生红黏土经搬运、沉积后仍保留其基本特征，且其液限大于45%的黏土，可判定为次生红黏土。

**5.5.10** 膨胀土为土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩特性，其自由膨胀率（δef）大于或等于40%时的黏性土。

**5.5.11** 由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土应定名为混合土。当碎石土中粒径小于0.075mm的细粒土质量超过总质量的25%时，应定名为粗粒混合土；当粉土或黏性土中粒径大于2mm的粗粒土质量超过总质量的25%时，应定名为细粒混合土。

**5.5.12** 由于致污物质侵入，使土的成份、结构和性质发生了显著变异的土，应判定为污染土。污染土的定名可在原分类名称前冠以“污染”二字。

**5.5.13** 除按颗粒级配或塑性指数定名外，土的综合定名应符合下列规定：

**1** 对特殊成因和年代的土类应结合其成因和年代特征定名；

**2** 对特殊性土，应结合颗粒级配或塑性指数定名；

**3** 对混合土，应冠以主要含有的土类定名；

**4** 对同一土层中相间呈韵律沉积，且明显有层状构造特征时，宜按表5.5.13的规定划分。

**表5.5.13 韵律沉积按厚度比分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 分层名称 | 划分标准 |
| 互层 | 当薄层与厚层的厚度比大于1/3时 |
| 夹层 | 厚度比为1/10～1/3时 |
| 夹薄层 | 厚度比小于1/10的土层，且多次出现时 |

**5** 当土层厚度大于0.5m时，宜单独分层。

5.6 土的鉴定与描述

**5.6.1** 土的鉴定应在现场描述的基础上，结合室内试验的开土记录和试验结果综合确定。土的描述应符合下列规定：

**1** 碎石土宜描述颗粒级配、颗粒形状、颗粒排列、母岩成分、风化程度，充填物的性质和充填程度，密实度等；

**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、密实度等；

**3** 粉土宜描述颜色、包含物、湿度、密实度等；

**4** 黏性土宜描述颜色，状态，包含物、土的结构等；

**5** 特殊性土除应描述上述相应土类规定的内容外，尚应描述其特殊成分和特殊性质，如对淤泥尚应描述嗅味，对填土尚应描述物质成分、堆积年代、密实度和均匀性等；

**6** 具有互层、夹层、夹薄层特征的土，应描述各层的厚度和层理特征；

**7** 根据目力鉴定土的摇震反应、光泽反应、干强度和韧性等，区分粉土或黏性土。

**5.6.2** 碎石土的密实度可根据圆锥动力触探锤击数按表5.6.2.1确定，也可按表5.6.2.2的规定进行定性描述。

**表5.6.2.1 碎石土密实度**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密实度 | 松散 | 稍密 | 中密 | 密实 | 很密 |
| 重型动探 | *N*63.5≤5 | 5＜*N*63.5≤10 | 10＜*N*63.5≤20 | *N*63.5＞20 | - |
| 超重型动探 | *N*120≤3 | 3＜*N*120≤6 | 6＜*N*120≤11 | 11＜*N*120≤14 | *N*120＞14 |

注：1 重型动力触探适用于平均粒径等于或小于50mm，且最大粒径小于100mm的碎石土。

2 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。

3 动力触探锤击数为修正击数，圆锥动力触探击数修正见本规范附录B。

**表5.6.2.2 碎石土密实度野外鉴别**

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

注：密实度应按表列各项特征综合确定。

**5.6.3** 砂土的密实度可根据标准贯入试验锤击数实测值*N'*或静力触探单桥比贯入阻力*ps*和双桥锥尖阻力值*qc*按表5.6.3规定划分。

**表5.6.3 砂土密实度分类**

| 密实度 | 松散 | 稍密 | 中密 | 密实 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *N’* | *N’*≤10 | 10＜*N’*≤15 | 15＜*N’*≤30 | *N’*＞30 |
| *N*63.5 | *N*63.5≤4 | 4＜*N*63.5≤6 | 6＜*N*63.5≤9 | *N*63.5＞9 |
| *P*s（MPa） | *P*s≤4.0 | 4.0＜*P*s≤6.5 | 6.5＜*P*s≤13.0 | *P*s＞13.0 |
| *q*c（MPa） | *q*c≤3.5 | 3.5＜*q*c≤6.0 | 6.0＜*q*c≤12.0 | *q*c＞12.0 |

注：1 表内N’值为未经杆长修正的锤击数；*N*63.5为经杆长修正的锤击数;

2 表内用*p*s*、q*c值划分砂土的密实度仅适用于粉细砂层。

**5.6.4** 粉土的密实度可根据孔隙比e、标准贯入试验锤击数实测值*N’*或静力触探锥尖阻力值*q*c按表5.6.4.1的规定划分；其湿度可根据含水量*w*（%)）表5.6.4.2划分。

**表5.6.4.1 粉土密实度分类**

| 密实度 | 松散 | 稍密 | 中密 | 密实 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 孔隙比 *e* | -- | *e*＞0.90 | 0.75≤*e*≤0.90 | *e*＜0.75 |
| N’ | N’≤5 | 5＜N’≤10 | 10＜N’≤15 | N’＞15 |
| *q*c(MPa) | *q*c≤2.0 | 2.0＜*q*c≤4.5 | 4.5＜*q*c≤7 | *q*c＞7 |

**表5.6.4.2 粉土湿度分类**

| 含水率*w*（%） | 湿度 |
| --- | --- |
| w＜20 | 稍湿 |
| 20≤w≤30 | 湿 |
| w＞30 | 很湿 |

**5.6.5** 黏性土的状态可根据液性指数IL划分，野外可参考原位实测标贯击数N’和修正后的重型圆锥动力触探击数N63.5按表5.6.5分类。

**表5.6.5 黏性土状态分类**

| 状态 | | 液性指数*I*L | 实测标准贯人试验  锤击数N’ | 修正后的重型圆锥动力触探锤击数N63.5 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 流塑 | | *I*L＞1.00 | N’≤3 | N63.5≤1.5 |
| 软塑 | | 0.75＜*I*L≤ 1.00 | 3＜N’≤5 | 1.5＜N63.5≤3 |
| 可塑 | 软可塑 | 0.50＜*I*L≤ 0.75 | 5＜N’≤10 | 3＜N63.5≤7.5 |
| 硬可塑 | 0.25＜*I*L≤ 0.50 | 10＜N’≤15 |
| 硬塑 | | 0＜*I*L≤ 0.25 | 15＜N’≤20 | 7.5＜N63.5≤10 |
| 坚硬 | | *I*L≤ 0 | N’＞20 | N63.5＞10 |

**5.6.6** 黏性土可按灵敏度划分为五类，按表5.6.6黏性土按灵敏度的划分。

**表5.6.6 黏性土按灵敏度的划分**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 灵敏度 | *S*t≤2 | 2＜*S*t≤4 | 4＜*S*t≤8 | 8＜*S*t≤16 | *S*t＞16 |
| *S*t | 低灵敏 | 中等灵敏 | 高灵敏 | 极灵敏 | 流性 |

**5.6.7** 土的压缩性可按*p*1为lOOkPa，*p*2为200kPa时相对应的压缩系数值*a*1-2划分为低、中、高压缩性，或按照压缩模量的大小进行压缩性划分，并符合表5.6.7规定：

**表5.6.7 土的压缩性分类**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 压缩性等级 | 低压缩性 | 中低压缩性 | 中高压缩性 | 高压缩性 |
| 压缩系数值*a*1-2  （MPa-1） | *a*1-2＜0.1 | 0.1＜*a*1-2≤0.3 | 0.3＜*a*1-2≤0.5 | 0.5＜*a*1-2 |
| 压缩模量Es1-2 （MPa） | *E*s＞15 | 15≥*E*s＞10 | 10≥*E*s＞5 | *5≥E*s |

注：压缩模量Es取自重压力至自重压力与附加压缩之和的压力段计算。

**5.6.8** 对淤泥、淤泥质土及饱和软粘土，可根据超固结比*OCR*，按下列规定确定土的固结状态。

**表5.6.8 土的固结状态分类**

| 超固结比*OCR* | 土的固结状态 |
| --- | --- |
| *OCR*＜1.0 | 欠固结土 |
| 1.0≤*OCR*≤1.2 | 正常固结土 |
| *OCR*＞1.2 | 超固结土 |

注：超固结比*OCR*为先期固结压力*pc*与土的有效自重压力*pz*的比值。

5.7 隧道围岩分级

**5.7.1** 隧道围岩分级应在隧道围岩基本分级基础上，考虑隧道工程特点、地下水出水状态、围岩初始地应力状态、主要结构面产状状态等因素进行隧道围岩分级修正，综合隧道拱顶、边墙和隧底部位修正后的围岩分级，分段落（或里程范围）确定隧道围岩综合分级。

**5.7.2** 隧道围岩基本分级应按表5.7.2确定。

**表5.7.2 隧道围岩基本分级表**

| 围岩  级别 | 围岩主要工程地质条件 | | 围岩开挖后的稳定状态（小跨度） | 岩体基本质量指标BQ | 各类岩性围岩纵波速度υp(km/s) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 主要工程地质特征 | 结构形态和完整形态 |
| Ⅰ | 极硬岩；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。  岩体特征：极硬岩，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 | ＞550 | A：＞5.3 |
| Ⅱ | 硬质岩：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。  岩体特征：极硬岩，岩体较完整；硬岩，岩体完整。 | 呈巨块状或大块状结构 | 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 | 550～451 | A：4.5～5.3  B：＞5.3  C：＞5.0 |
| Ⅲ | 硬质岩：受地质构造影响较重，节理发育，有层状软弱面（或夹层），但其产状及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；硬、软质岩石互层。  岩体特征：极硬岩，岩体较破碎；硬岩或软硬岩互层，岩体较完整。 | 呈块（石）碎（石）状整体镶嵌结构 | 拱部无支护时可产生小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易塌 | 450～351 | A：4.0～4.5  B：4.3～5.3  C：3.5～5.0  D：＞4.0 |
| 软质岩：受地质构造影响轻微，节理不发育；层状岩层为厚层、巨厚层，层间结合良好或一般。  岩体特征：较软岩，岩体完整。 | 呈大块状结构 |
| Ⅳ | 硬质岩：受地质构造影响极严重，节理很发育；层状软弱面（或夹层）已基本破坏。  岩体特征：极硬岩，岩体破碎；硬岩，岩体较破碎或破碎。 | 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 | 350～251 | A:3.0～4.0  B：3.3～4.3  C：3.0～3.5  D：3.0～4.0  E：2.0～3.0 |
| 软质岩：受地质构造影响较重或严重，节理较发育或发育。  岩体特征：较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整或较破碎；软岩，岩体完整或较完整。 | 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、粉土及碎石类土；2）一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土。 | 1 ）呈大块状压密结构，2） 呈巨块状整体结构 |
| Ⅴ | 岩体：较软岩、岩体破碎；软岩、岩体较破碎至破碎；全部极软岩及全部极破碎岩（包括受构造影响严重的破碎带）。 | 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，侧壁经常出现小坍塌；浅埋时易出现地表下沉（陷）或塌至地表 | ≤250 | A：2.0～3.0  B：2.0～3.3  C：2.0～3.0 |
| 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、角砾土及粉土。 | 非黏性土呈松散结构，黏性土呈松软状结构 |
| Ⅵ | 岩体：受构造影响严重呈碎石、角砾及粉末、泥土状的富水断层带，富水破碎的绿泥石或炭质千枚岩 | 黏性土呈易蠕动的松软结构，砂性土呈潮湿松散结构 | 围岩极易变形坍塌，有水时土砂常与水一起涌出；浅埋时易塌至地表 | -- | ＜1.0（饱和状态的土＜1.5） |
| 土体：软塑状黏性土，饱和的粉土、砂类土等，风积沙 |

注：1 岩体完整程度按本规范第5.3.3条确定。

2 各类岩性参照表5.2.2岩石坚硬程度分类

**5.7.3** 根据地下水出水状态、初始地应力状态、主要结构面产状等因素进行隧道围岩级别修正，应符合《铁路隧道设计规范》（TB10003）有关规定。

**5.7.4** 岩溶隧道围岩分级还应符合以下规定：

**1** 岩溶不发育或微弱发育的可溶岩体的隧道围岩分级，应与一般非可溶岩隧道围岩分级一致；

**2** 岩溶中等或强发育的可溶岩体的隧道围岩分级，应根据隧道施工期间揭露的岩溶发育状况具体分析，对隧道围岩分级进行修正。

5.8 岩土施工工程分级

**5.8.1** 应根据岩土性质和施工的难易程度进行岩土施工工程分级。

**5.8.2** 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A进行岩土施工工程分级，分为松土、普通土、硬土、软质岩、次坚石和坚石。

# 6 可行性研究勘察

6.1 一般规定

**6.1.1** 应针对线路方案，研究线路场地的地质条件，为工程可行性研究提供依据。

**6.1.2** 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地质条件。

**6.1.3** 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。

6.2 勘察基本要求

**6.2.1** 应搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震、矿产等资料，调查沿线的工程地质及水文地质条件、工程周边环境条件、当地轨道交通及相关工程建设经验，并研究搜集成果资料的可靠性、时效性和可利用程度。

**6.2.2** 应分析已有资料基础上，应开展工程地质调绘，布置适量的勘探工作，了解场地的地质构造、地层岩性、不良地质作用、特殊性岩土和水文地质条件。

**6.2.3** 应研究线路场地的地质条件，尤其是控制线路方案的主要工程地质问题和重要的工程周边环境，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。本阶段应进行下列工作：

**1** 结合地层岩性、地质构造、水文地质条件等，划分工程地质单元；

**2** 评价场地的稳定性和适宜性；

**3** 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；

**4** 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；

**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，提出线路比选方案的建议。

**6.2.4**可行性研究勘察的勘探工作布置应符合以下要求：

**1** 勘探点数量应满足工程地质单元划分的要求，每个工程地质单元应有勘探点；

**2** 原则上沿线路纵向勘探点间距为300～500m，各车站、区间均应有不少于1个勘探点；

**3** 车辆段和停车场各不少于3个勘探点；

**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宜布置勘探点；

**5** 在地质条件复杂地段或对线路选线和工法研究有重大影响的地段应加密勘探点；

**6** 当存在比选线路时，各比选线均宜有勘探点；

**7** 搜集利用的勘探点应与对应线路场地处于相同的工程地质单元；

**8** 可根据工程需要，布置适量的地球物理勘探工作；

**9** 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。

**6.2.5** 可行性研究勘察的勘探点深度应符合以下要求：

**1**  满足场地稳定性、适宜性评价和线路敷设方案、工法比选需要；

**2** 勘探点深度不小于35m或连续进入基岩中～微风化带不少于5m；

**3**  揭穿填土、软土、砂土、碎石土、溶洞、球状风化体和断裂带等软弱地层和中等～强透地层后进入稳定岩土层，如不满足则应与设计人员共同确定和确定勘探点深度。

# 7 初步勘察

7.1 一般规定

**7.1.1** 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对线路敷设形式、各类工程基础及结构型式、施工方法等开展工作，为初步设计提供依据。

**7.1.2** 勘察方法应以钻探、取样、原位测试、室内试验为主，井探、槽探和地球物理勘探等为辅。岩溶、球状风化体、断裂、采空区等复杂地质条件区域，应开展地球物理勘探工作。

**7.1.3**  控制性勘探点数量应不少于勘探点总数的1/3，每个工程地质单元取样和原位测试勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3，其中取样勘探点不少于1/2。各工程地质单元地下水分层取样数量不少于3组。

**7.1.4** 当预定深度范围内遇软弱夹层、溶洞、断层时，应适当加深勘探点深度。

**7.1.5** 每个钻孔宜进行标准贯入试验，试验点间距宜2m～3m，液化判别时试验点间距宜1.0m～1.5m。

**7.1.6** 每个工程地质单元主要岩土层的取样数量应不少于10件（组），波速测试孔不宜少于3个，电阻率测试孔不宜少于2个。

7.2 勘察基本要求

**7.2.1** 应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阶段岩土工程勘察报告、沿线地下设施分布图。

**7.2.2** 应初步查明车站、区间、车辆段及停车场等场地的工程地质和水文地质条件，初步评价地基条件并分析基础选型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，提出复杂和特殊地质条件治理的初步建议，并结合工程周边环境提出岩土工程防治和风险控制的初步建议。初步勘察应进行下列工作：

**1** 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，进行工程地质单元划分；

**2** 查明沿线不良地质作用与地质灾害的类型、成因、分布、规模、工程性质，预测其发展趋势，分析其对工程的危害程度；

**3** 初步查明沿线特殊性岩土的类型、成因、分布、规模、工程性质，分析其对工程的危害程度；

**4** 搜集和调查沿线土壤氡浓度，结合调查成果初步实测沿线各车站、车辆段、停车场和区间发育断层部位的土壤氡浓度；

**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、类型，地下水补给、径流、排泄条件，历史最高水位，地下水动态和变化规律；

**7** 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，初步划分工程场地类型；

**9** 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性，水和土的腐蚀性及环境作用等级评价按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定执行；

**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** 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，提出预防措施的初步建议。

7.3 地下工程

**7.3.1** 地下工程初步勘察除符合本章7.2节规定外，尚应符合下列规定：

**1** 初步划分岩土施工工程分级及暗挖车站、暗挖隧道的围岩分级；

**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，视工程需要设置地下水位长期观测孔；

**4** 初步查明地下有毒有害气体分布、类型和物理化学性质；

**5** 污染土勘察执行《岩土工程勘察规范》（GB 50307）有关规定；

**6** 岩浆岩、变质程度较深的区域变质岩开展岩石放射性调查和测试；

**7** 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、围岩开挖支护、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。

**7.3.2** 地下车站勘探点沿车站纵向主体结构轮廓线布置成两排，各排相邻勘探点间距宜为50～70m，复杂场地可加密至30～40m，每个车站勘探点不少于6个。

**7.3.3** 地下区间地质纵剖面图数量和勘探点布置应根据场地复杂程度和设计方案确定，并符合下列要求：

**1**当线间距（明挖区间除外）小于2倍隧道外径时，采用左、右线勘探点合并绘制地质纵剖面图，左、右线勘探点交叉布置，分别布置于左线外轮廓线左侧、右侧外轮廓线右侧3～5m（水域5～8m）；

**2** 当线间距（明挖区间除外）大于或等于2倍且小于3倍隧道外径时，左、右线分别绘制地质纵剖面图，左、右线勘探点分别沿左、右线隧道交叉布置于隧道外轮廓线左侧、右侧3～5m（水域5～8m），绘制左、右线地质纵剖面图时均需利用位于左、右线之间的勘探点；

**3** 当线间距（明挖区间除外）大于或等于3倍隧道外径，左、右线分别绘制地质纵剖面图，左、右线勘探点分别沿左、右线隧道交叉布置于隧道外轮廓线左侧、右侧3～5m（水域5～8m），绘制左、右线地质纵剖面图时不利用位于左、右线之间的另一线路的勘探点；

**4** 对于明挖区间，沿明挖区间围护结构中心线布置一条勘探线，勘探点沿明挖结构左、右外轮廓线外侧3～5m（水域5～8m）交叉布置；

**5** 地质剖面图上相邻勘探点沿线路中心线投影间距宜为90～150m，具体间距根据场地复杂程度确定。

**7.3.4** 对于城市山岭隧道工程，应采用以工程地质调查和测绘及物探为主的勘探方法，并辅以井探、槽探进行勘察和验证。

**7.3.5** 对于沉管隧道工程，地质条件复杂的隧道，勘探点总数不应少于5个，长隧道和特长隧道勘探点间距宜为100～300m。

**7.3.6** 勘探点深度应根据工程地质条件及设计方案综合确定，并符合下列规定：

**1** 地下车站或区间控制性勘探点应进入结构底板下第四系土层不小于30m，或进入结构底板下全～强风化带不小于15m，或进入结构底板下中等～微风化带不小于8m；

**2** 地下车站或区间一般性勘探点应进入结构底板下第四系土层不小于20m，或进入结构底板下全～强风化带不小于10m，或进入结构底板下中等～微风化带不小于5m；

**3** 地下工程勘探点应穿透填土、软土、溶洞、球状风化体和断裂带等层位，明挖工程应有勘探点穿透砂土、碎石土等透水地层，进入相对隔水层。

**4** 对于沉管隧道，控制性勘探孔应进入隧道底板以下松散地层不应小于2.5倍隧道高度，一般性勘探孔应进入隧道底板以下松散地层不应小于1.5倍隧道高度；在此深度内遇中等～微风化岩层时，勘探孔深度应进入隧道底板以下中等～微风化岩层1倍隧道高度且不小于5m，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。

7.4 高架工程

**7.4.1** 高架工程初步勘察除符合本章7.2节规定外，尚应符合下列规定：

**1** 重点查明对高架方案有重大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** 初步提出成桩工艺建议，初步提供桩侧土层摩阻力、桩端土层端阻力建议值，并评价桩基施工对工程周边环境的影响；

**4** 采用桥梁跨越河道时，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。

**7.4.2** 高架工程（含区间和车站）的勘探点宜布置在初拟墩位上，高架区间勘探点间距宜为80～150m；高架车站勘探点间距宜为40～50m，同时每车站不宜少于6个勘探点，沿左、右线双排布置。

**7.4.3** 勘探点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，应到达持力层以下；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** 当覆盖层较薄、下伏基岩风化带不厚时，勘探孔应进入微风化地层3～8m；

**4** 嵌岩桩勘探点深度穿过断裂破碎带、节理裂隙密集带、球状风化体，进入连续中～微风化岩层不少于5m。当断裂破碎带、节理裂隙密集带厚度较大且可作为基础持力层，应钻入裂破碎带、节理裂隙密集带不少于8m；

**5** 岩溶区高架工程钻孔深度应符合本规范12.2.11条的规定。

7.5 路基、涵洞工程

**7.5.1** 路基工程初步勘察除应符合本规范第7.2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重大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** 初步评价路基基底的稳定性，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** 高路堤应重点查明软弱土层的分布范围和物理力学性质，应提出天然地基的填土允许高度和地基处理意见，对路堤的稳定性应进行初步评价；必要时应进行取土场勘察；

**5** 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** 支挡结构应初步评价地基稳定性和承载能力，提出地基基础形式及地基处理措施的建议。路堑挡土墙还应提供墙后岩土体物理力学性质指标。

**7.5.2** 涵洞工程初步勘察除应符合本规范第7.2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、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能力，提供涵洞设计、施工所需的岩土参数。

**7.5.3** 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100～150m，支挡结构、涵洞应有勘探点控制；

**3** 高路堤、陡坡路堤、深路堑应布置横断面。

**7.5.4** 控制性勘探点的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5～10m。

**7.5.5** 一般性勘探点的深度应进入基底以下5～10m并穿透填土、软土、液化砂土、溶洞和断裂带。

7.6 地面车站、车辆基地

**7.6.1** 车辆基地可根据不同建筑类型分别进行勘察，同时应考虑场地挖方、填方对勘察的要求。

**7.6.2** 地面车站、各类建筑及其附属设施的初步勘察应按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定执行。

**7.6.3** 应根据地基复杂程度按网格状布置勘探点，勘探线、勘探点间距可按表7.6.3确定，空地、绿化带等位置可适当减少勘探点布置。

表7.6.3 地面车站、车辆基地初步勘察勘探线、勘探点间距

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地基复杂程度等级 | 勘探线间距（m） | 勘探点间距（m） |
| 一级（复杂） | 50～80 | 30～50 |
| 二级（中等复杂） | 70～120 | 40～80 |
| 三级（简单） | 100～150 | 80～150 |

**7.6.4** 站场股道及出入段线工程应按照本章7.1～7.5节相关规定执行。

**7.6.5** 变电站岩土工程勘察尚应符合《变电站岩土工程勘测技术规程》（DL/T 5170）的有关规定。

# 8 详细勘察

8.1 一般规定

**8.1.1** 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对建构筑物类型、施工方法、场地复杂程度和环境条件，合理选择勘察方法及相应工作量布置。

**8.1.2** 勘察方法应以钻探、取样、原位测试、室内试验为主，井探、槽探和物探等为辅。

**8.1.3** 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点数量不应少于勘探点总数的2/3。其中，车站工程、区间工程采取岩土试样的勘探点应分别不少于勘探点总数的1/2、2/3，地下水分层取样时各工点、各含水层水试样数量不应少于3组。

**8.1.4** 勘探过程中揭露软弱夹层、溶洞或破碎带时，应结合设计需求适当加深勘探点深度。

**8.1.5** 标准贯入试验按照7.1.5条要求执行。

**8.1.6** 每个工点主要层位的有效岩土样数量不应少于10件（组）；波速试验不宜少于3个，电阻率测试孔不宜少于2个。

**8.1.7** 土层电阻率测试深度不应小于结构底板下5.0m，高架车站土层电阻率测试深度不应小于地面下5.0m，接地有特殊要求时，可根据设计要求确定。

**8.1.8** 软土发育的场地，应布置适量的十字板剪切、静力触探等原位试验。

**8.1.9** 车站、车辆段、停车场应对场地土壤氡进行调查和测定，测定和评价应符合《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB50325）的要求。

8.2 勘察基本要求

**8.2.1**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。

**8.2.2** 应详细查明建设场地的工程地质、水文地质条件，提供岩土物理力学指标和岩土设计参数，结合施工工法作出岩土工程分析和评价，并提出适宜的技术措施及建议，为施工图设计、工程施工提供依据。

**8.2.3** 详细勘察应符合下列基本要求：

**1** 查明建设场地范围内地形、地貌、岩土层的类型、年代、成因、分布范围及物理力学性质，必要时分区段进行评价；

**2** 应查明基岩岩性、产状、力学强度、风化程度、完整性、结构面特征及岩体基本质量等级等；

**3** 查明不良地质作用的特征、成因、分布范围和发展趋势，分析评价其危害程度及对工程的影响，并提出防治措施的建议；

**4** 查明特殊性岩土的类型、成因、分布及工程性质，并提出防治措施的建议；

**5** 查明断层产状、性质、破碎带厚度及富水性等，并提出防治措施的建议；

**6** 分析车站、隧道等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，提供基坑支护、隧道结构计算的岩土参数，提出相关的工程措施和建议；

**7** 分析边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数和工程措施建议；

**8** 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；

**9** 查明水文地质条件，提供水文地质参数，评价水和土对建筑材料的腐蚀性，分析地下水对工程的作用，提供地下水控制措施建议，必要时对抗浮设防水位进行专项研究；

**10** 对场地和地基的地震效应作出评价；

**11** 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、桩基等地基基础方案建议，对需进行沉降计算的建构筑物，提供地基变形计算参数；

**12** 分析评价周边环境与工程的相互影响，提出环境保护措施建议；

**13** 查明古河道、采空区、防空洞及地下管线等地下埋藏物的分布范围、埋藏深度，评价其对工程的影响；

**14** 必要时分区段查明、分析和评价上述内容。

**8.2.4** 不良地质作用、特殊性岩土、岩溶、断裂、球状风化体勘察尚应符合第10至第15章的要求。

8.3 地下工程

**8.3.1** 地下工程详细勘察除符合本章8.2节规定外，尚应符合下列规定：

**1** 应搜集场地周边既有建（构）筑物的基础类型、埋深形式和地下管线的类型、分布、埋深等资料，分析建（构）筑物和地下管线与工程的相互影响；

**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** 在基岩地区应查明软弱面结构面的类型及其力学性质、发育程度，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，提出围岩加固措施的建议；

**5** 对基坑边坡和支护结构的稳定性进行评价，提出基坑支护方案建议；

**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；需进行地下水控制时，提出措施和建议；

**7** 分析地下水对工程结构的作用，提出抗浮措施的建议；

**8** 分析评价工程降水、岩土开挖对周边环境的影响，提出防护措施的建议；

**9** 对出入口与通道、风井与风道、施工竖井、联络通道等附属工程及隧道断面尺寸变化较大区段，应进行岩土工程分析与评价；

**10** 对地基承载能力、地基处理和围岩加固效果等的工程检测提出建议；对工程结构、工程周边环境、岩土体的变形及地下水位变化等的工程监测提出建议；

**11** 存在有毒有害气体时，应查明其分布、成分和压力。

**8.3.2** 勘探点应根据工程的结构特点、施工方法和场地条件布置，平面布置应符合下列要求：

**1** 明挖车站勘探点宜沿结构轮廓线布置，暗挖车站勘探点宜沿结构轮廓线外侧2m布置，结构角点以及通道、风道、风井、出入口等附属工程部位应有勘探点控制；

**2** 明挖法车站宜在开挖边界线外2 ～3倍开挖深度范围内布置适量勘探点，开挖边界外线外无法进行勘探的区域应调查收集相应的资料；

**3** 每个车站应不少于2条纵剖面和3～5个有代表性的横剖面，每个横剖面不少于3个勘探点；

**4** 明挖区间勘探点宜沿结构轮廓线布置；

**5** 车站和明挖区间采用承重桩或抗拔桩时，勘探点的平面布置应结合桩的位置布设；

**6** 暗挖隧道详勘阶段左、右线分别绘制地质纵剖面图；当线间距小于2倍隧道外径时，主要沿左、右线之间布置勘探点，并在左、右线轮廓线外侧3～5m（水域5～8m）适量布置勘探点；当线间距大于或等于2倍且小于3倍隧道外径时，在左、右线隧道轮廓线外侧3～5m（水域5～8m）和左、右线中间布置勘探点；当线间距大于或等于3倍隧道外径时，沿左、右线隧道轮廓线外侧3～5m（水域5～8m）分别交叉布置勘探点；

**7** 在区间洞口、施工竖井、联络通道、渡线、隧道陡坡段、大断面和异型断面、工法变换部位应有勘探点控制，并布设横剖面，每条横剖面宜布置不少于3个勘探点（单洞隧道可布置2个勘探点）；

**8**  同一地质纵剖面图上相邻勘探点间距结合场地的复杂程度，按照表8.3.2确定；

**表8.3.2 详细勘察勘探点间距（m）**

| 类别 | 复杂场地 | 中等复杂场地 | 简单场地 |
| --- | --- | --- | --- |
| 地下车站 | 10～20 | 20～30 | 30～40 |
| 隧道 | 10～30 | 30～40 | 40～50 |

**9** 山岭隧道应根据前期勘察成果，在隧道埋深超过30m且洞顶中等～微风化岩层厚度大于3倍洞跨的洞身段，勘探点间距可取隧道埋深的1.5～3倍，且不宜大于300m，主要的地质界线、断层、风化深槽等位置应有勘探点控制；

**10** 沉管隧道勘探点应布置在基槽及周边影响范围内，沿线路方向勘探点间距宜为20～30m，在垂直线路方向勘探点间距宜为30～40m。

**8.3.3** 勘探深度应满足下列要求：

**1** 控制性勘探孔的深度应满足变形计算、稳定性分析以及地下水控制的要求；

**2** 基坑工程勘探孔深度应根据场地条件和设计要求确定，宜为2～3倍基坑开挖深度，并应穿过主要的软弱土层和含水层，其中控制性勘探孔进入结构底板以下不小于25m或进入结构底板以下中、微风化软岩不小于10m（硬质岩不小于5m），一般性勘探孔进入结构底板以下不小于15m或进入结构底板以下中、微风化软岩不应小于5m（硬质岩不应小于3m）；

**3** 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要求；

**4** 对暗挖隧道工程，控制性勘探孔的深度进入结构底板以下不小于3倍洞径或进入结构底板以下中、微风化岩不小于5m；一般性勘探孔应进入结构底板以下不小于2倍洞径或进入结构底板以下中、微风化岩不小于3m；

**5** 对于沉管隧道，控制性勘探孔应进入隧道底板以下松散地层不应小于2.5倍隧道高度，一般性勘探孔应进入隧道底板以下松散地层不应小于1.5倍隧道高度，且不小于10m；在此深度内遇中等～微风化岩层时，勘探孔深度应进入隧道底板以下中等～微风化岩层0.5倍隧道高度且不小于5m，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。

**6** 当预定深度范围内存在软弱土层时，勘探孔深度应适当加深。

**8.3.4** 明挖基坑勘察尚应符合下列要求：

**1** 厚度大于3.0m的填土层，应了解填筑时间、填料的主要成分、填筑的方式等，宜采取土样进行室内试验和原位测试，查明填土的工程特性；

**2** 除提供室内试验常规岩土参数外，还应根据设计需要，提供土的三轴固结不排水剪、三轴不固结不排水剪强度指标、渗透系数、静止侧压力系数、基床系数、无侧限抗压强度、回弹模量、回弹指数、岩石单轴抗压（拉）强度、桩基设计参数、锚杆设计参数、土层电阻率及热物理指标等指标；

**3** 当场地水文地质条件复杂，在基坑开挖过程中需要对地下水进行控制（降水或隔渗），且已有资料不能满足要求时，应进行专门的水文地质勘察；

**4** 对于岩质边坡，应查明结构面（尤其是外倾软弱面）的类型及其力学性质、发育程度；

**5**  查明基坑开挖影响范围内是否有构造破碎带或软弱夹层。

**8.3.5** 矿山法隧道勘察尚应符合下列要求：

**1** 土层隧道应重点查明土层的性状、密实度、均匀性、渗透性及含水层、有害气体的分布；

**2** 岩石隧道应查明岩层的岩性、产状、结构面发育程度、岩体坚硬程度、完整性、渗透性及构造破碎带特征；

**3** 除提供室内试验常规岩土参数外，还应根据设计需要，提供岩土层的渗透系数、无侧限抗压强度、岩石单轴抗压(拉)强度、软化系数、RQD值、弹性模量、泊松比、基床系数、吸水膨胀率、热物理指标等指标；

**4** 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、岩爆及围岩松动等风险地段，并提出防治措施的建议；

**5** 查明场地水文地质条件，分析地下水对工程施工的危害，提出地下水控制的措施和建议；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；

**6** 隧道下穿地表水体时应查明地表水与地下水之间的水力联系；

**8.3.6** 盾构法隧道勘察尚应符合下列要求：

**1** 土层隧道应重点查明软土层、粘性土层、富水砂土层及漂石或卵石层分布和特征，提供漂石、卵石的直径，分析评价其对盾构施工的影响；

**2** 岩石隧道应查明基岩的岩性、矿物组成、裂隙发育情况、岩土分界面位置及构造破碎带、岩脉分布与特征；

**3** 除提供室内试验常规岩土参数外，还应根据设计需要，提供岩土层的渗透系数、静止侧压力系数、黏粒含量、无侧限抗压强度、灵敏度、先期固结压力、次固结系数、基床系数、不均匀系数及d70、岩石单轴抗压强度、RQD值、软岩泥质含量、砂卵石地层及硬质岩石的石英含量及热物理指标；

**4** 查明岩溶、球状风化体、地下障碍物、古河道和有害气体的分布；

**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；

**6** 对盾构始发（接收）井及区间联络通道的地质条件进行分析评价，预测可能发生的岩土工程问题，提出岩土加固的方法和建议；

**7** 分析评价软土及复合地层对盾构施工的影响，提出工程措施的建议。

**8.3.7** 沉管法隧道勘察尚应符合下列要求：

**1** 搜集河流的宽度、流量、流速、含砂（泥）量、最大洪水位、最大冲刷线、汛期时间等水文资料；

**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** 查明水底下软弱地层的分布及工程特性；

**4** 提供砂土水下休止角、水下开挖边坡坡角；

**5** 管节浮运区域需疏浚时，疏浚范围内应布设勘探孔，勘探孔深度应满足疏浚工程量计算需要，勘探孔间距根据区域地质环境具体确定；

**6** 当河（海）底存在淤泥时应实测淤泥层厚度及各分层浮泥密度；

**7** 水域段的水文勘察应包括水流速度、水位、水重度等内容。

**8.3.8** 冻结法勘察尚应符合下列要求：

**1** 重点查明含水层埋深、厚度、地下水位、地下水流速与流向、地下水氯离子含量及其变化幅度；

**2** 除提供室内试验常规岩土参数外，还应提原始土层的渗透系数、含盐量、原始地温、导热系数、导温系数及比热容等指标；

**3** 提供冻土的结冰温度、弹性模量、泊松比、抗压强度、剪切强度、抗折强度、蠕变参数、融沉率、冻胀率、导热系数等；

**4** 冻土有关试验可按煤炭行业标准《人工冻土物理力学性能试验》（MT/T593）要求进行，试验取样及试样制备要求详见附录C；

**5** 提出冻结法施工引起结构本身变形及周边环境监测的建议。

8.4 高架工程

**8.4.1** 高架工程详细勘察除符合本章8.2节规定外，尚应符合下列规定：

**1** 确定桩基和墩台基础的持力层，提供各岩土层的物理力学性质和基承载力、变形计算所需的参数；

**2** 岩溶地区应查明基础影响范围内岩溶的发育程度，评价桩基和墩台地基的稳定性，提出防治措施的建议；

**3** 花岗岩地区应查明基础影响范围内球状风化体分布情况；

**4** 当采用基岩作为桩基持力层时，应查明基岩的岩性、风化程度及岩面倾斜情况；

**5** 查明水文地质条件，评价地下水对基础设计和施工的影响；

**6** 遇欠固结软土或大面积填土时，应分析、评价负摩阻力的影响；

**7** 分析沉（成）桩可行性，提出桩基施工注意及相关措施建议。

**8.4.2** 勘探点的平面布置符合下列规定：

**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15～30m，地质条件复杂时，可按逐桩或逐墩布设；

**2** 高架区间勘探点应逐墩布设，每墩布置不少于1个勘探点，地质条件复杂时可增加勘探点。

**8.4.3** 勘探深度应符合下列规定：

**1** 控制性勘探孔应满足沉降计算和下卧层验算要求；对需要验算沉降的桩基，勘探孔深度应超过地基变形计算深度；当钻至预估深度遇软弱层时，勘探孔深度应予以加深；在预计深度内遇稳定坚实岩土时，勘探孔深度可适当减浅；

**2** 一般性勘探孔深度应达到预估桩端以下3～5倍桩身设计直径，且不应小于桩端下3m，对大直径桩不应小于桩端下5m；

**3** 对嵌岩桩，勘探孔深度应达到预估嵌岩面以下3～5倍桩身设计直径，且不应小于5m，并穿过软弱夹层、溶洞、破碎带，进入稳定地层应满足3d且不小于5m；花岗岩地区的嵌岩桩，勘探孔深度应进入中等风化或微风化岩5～8m；

**4** 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下10～15m或底面宽度的2～3倍，当基岩为硬质岩时，进入微风化层2～3m。

8.5 路基、涵洞工程

**8.5.1** 路基、涵洞工程详细勘察除符合本章8.2节规定外，尚应符合本节规定。

**8.5.2**一般路基详细勘察应符合下列规定：

**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；

**2** 查明不良地质作用和特殊性岩土的性质、分布及对工程的影响；

**3** 划分岩土施工工程等级，评价路基基底的稳定性，提出处理措施建议；

**4** 采取土样的竖向间距应按地基的均匀性和代表性确定，在原地面或路面设计标高以下1.5m和软土地区原地面或路面设计标高以下3.0m的深度范围内，取土间距宜为0.5m，上述深度以下的取土间距可适当放宽。

**8.5.3** 高路堤详细勘察应符合下列规定：

**1** 查明地面坡度、地层结构、岩土工程性质，覆盖层与基岩接触面的形态。查明不利倾向的软弱夹层，并评价其稳定性；

**2** 查明不良地质作用和特殊性岩土的性质、分布及对工程的影响；

**3** 查明地下水活动情况及其对基底稳定性的影响；

**4** 分析基底和斜坡稳定性，提出处理措施建议；

**5** 提供验算地基强度及变形的岩土参数。

**8.5.4** 深路堑详细勘察应符合下列规定：

**1** 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；

**2** 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、风化破碎程度及主要结构面的类型、产状和充填物；

**3** 查明地下水出露位置、流量、活动特征，评价其对路堑边坡及基底稳定的影响，需要时应提供路堑结构抗浮设计的建议；

**4** 查明不良地质作用和特殊性岩土的性质、分布及对工程的影响；

**5** 分析边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出边坡治理措施的建议。

**8.5.5** 支挡结构详细勘察应符合下列规定：

**1** 查明地层结构及岩土性质，提供支挡结构计算所需的岩土参数；

**2** 查明水文地质条件，评价地下水对支挡结构的影响，提出处理措施的建议。

**8.5.6** 涵洞详细勘察应符合下列规定：

**1** 查明地貌、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** 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。

**8.5.7** 勘探点的平面布置应满足下列要求：

**1** 勘探点的间距可根据路基工程的特点和场地的复杂程度按照表8.5.7的规定综合确定；

**表8.5.7 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 |

注**：**一般路基可取大值，高路堤、深路堑、支挡结构宜取小值。

**2** 高路堤、深路堑、支挡结构应布置有代表性的工程地质断面，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** 支挡建筑物勘探点不宜少于3个；

**5** 涵洞勘探点不宜少于2个。

**8.5.8** 勘探的深度应满足以下要求：

**1** 控制性勘探孔深度应满足地基、边坡稳定性分析及变形计算的要求；

**2** 一般路基勘探孔深度不应小于5m，高路堤不应小于8m；

**3** 路堑勘探孔深度应穿过潜在滑动面，并深入稳定地层内2～3m；地下水发育地段，根据排水工程需要适当加深；

**4** 支挡结构勘探孔深度应达到基底以下不少于5m；

**5** 涵洞勘探孔深度应按表8.5.8的规定确定。

**表8.5.8 涵洞勘探孔深度（m）**

| 碎石土 | 砂土、粉土和粘性土 | 软土、饱和砂土等 |
| --- | --- | --- |
| 3～8 | 8～15 | 15～20 |

注：1 勘探深度应由结构底板算起；

2 箱型涵洞勘探深度应适当加深；。

**6** 遇软弱土层或溶土洞时，勘探孔应穿过该层并到达稳定地层。

**8.5.9** 应按照《铁路路基设计规范》（TB10001）的要求提供普通土的填料组别。

8.6 地面车站、车辆基地

**8.6.1** 车辆基地可根据不同建筑类型分别进行勘察，基地内的路基勘察应符合8.5节要求。

**8.6.2** 地面车站、各类建筑及其附属设施勘察应执行《岩土工程勘察规范》（GB50021）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007）等有关标准和规范。

**8.6.3** 变电站勘察执行《变电所岩土工程勘测技术规程》（DL/T5170）。

# 9 施工勘察

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

**9.0.2** 当遇到下列情况时，可根据需要进行施工勘察：

**1** 场地地质条件复杂，施工中出现地质条件异常并对工程产生较大影响；

**2** 施工方案有较大变更，原有详细勘察资料不能满足施工要求；

**3** 基坑或隧道施工过程中出现桩（墙）变形过大、基坑隆起、涌水、坍塌、失稳等岩土工程问题，或发生地面沉降过大、地面坍塌、相邻建筑开裂等工程环境问题；

**4** 场地存在球状风化体、破碎带、岩溶、土洞、采空区、岩面埋深剧烈起伏、风化软弱夹层等影响工程的工程地质或水文地质条件；

**5** 岩面起伏剧烈或发育岩溶的场地，施工阶段需要进一步查明地质条件以确定围护桩、地下连续墙深度以及确定嵌岩桩持力层；

**6** 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；

**7** 地质条件复杂、预测可能发生地质灾害的工程，以及需开展洞内超前地质预报的山岭隧道工程；

**8** 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；

**9** 其他需要开展施工勘察的情况。

**9.0.3** 施工勘察宜符合下列要求：

**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** 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；

**3** 根据施工需要、地质条件和遇到的岩土工程问题，结合已有的勘察工作和场地条件有针对性地选择勘察方法和手段；

**4** 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。

# 10 不良地质作用

10.1 一般规定

**10.1.1** 应查明对城市轨道交通建设有影响的不良地质作用，包括采空区、岩溶、地面沉降、断裂、有害气体等。

**10.1.2** 应根据不同的不良地质作用类型，采用有效的方法，有针对性地开展工作；宜综合采用资料收集与分析、区域调查、现场勘察等多种方法开展工作。

**10.1.3** 应查明各类不良地质作用的成因、分布范围、规模（或大小）、特点，宜按可行性研究阶段、初步勘察阶段、详细勘察阶段开展工作，逐步查明。

**10.1.4** 应分析不良地质作用对城市轨道交通建设产生的不利影响，为可行性研究、初步设计、施工图设计等工作提出建议；应在详细勘察阶段分析不良地质作用对工程施工的不利影响，提出工程措施建议；宜分析不良地质作用对城市轨道交通运营可能产生的不利影响，提出运营阶段注意事项的建议。

**10.1.5**  采空区、有害气体、地面沉降的调查与勘察，应符合本章规定；岩溶专项勘察应符合本规范第12章的规定，断裂专项勘察应符合本规范第13章的规定。

**10.1.6**  对城市轨道交通建设有不利影响的其他的不良地质作用按照有关的现行国家标准或国家行业标准的规定开展工作。

10.2 采空区

**10.2.1** 当场地及附近分布有不利于城市轨道交通工程场地稳定和工程安全的采空区时，应进行采空区岩土工程勘察。

**10.2.2** 采空区勘察一般应包括下列内容：

**1** 查明矿层上覆岩土层岩性、区域地质构造等工程地质条件；

**2** 查明采空区开采历史、开采现状和开采规划，以及开采方法、开采范围和深度；

**3** 查明采空区的井巷分布、断面尺寸及相应的地表对应位置，采空区与拟建轨道交通工程的位置关系，采掘方式和顶板管理方法；

**4** 查明采空区覆岩及垮落类型、发育规律、岩性组合；

**5** 对于已回填采空区，应调查采空区的坍塌历史、回填和加固处理情况；

**6** 查明地下水的赋存类型、分布、补给排泄条件及其变化幅度，查明各含水层层位、厚度、水位及水力联系，查明地下水的水质、污染程度和腐蚀性，查明采空区的充水条件、充水方式和采空区的积水程度；

**7** 查明地表移动变形盆地特征和分布，裂缝、台阶、塌陷分布特征；

**8** 收集场地己有建筑物变形和防治措施经验。

**10.2.3** 可行性研究勘察应符合以下要求：

**1** 勘察方法应以资料搜集、采空区调查及工程地质调绘为主，以适量的物探和钻探工作为辅。调绘范围应包括对拟建场地及其周边不小于500m范围内有影响的采空区；

**2** 搜集拟建场地地形地质图、区域地质报告、区域水文地质报告、勘察区矿产资源详查地质报告、勘探报告、矿井生产地质报告以及交通、气象、地震资料；

**3** 搜集拟建场地及其周边煤层分布、采掘及压覆资源情况、采掘中发生气体事故情况、采空区分布及其要素特征、地表移动变形和建筑物变形观测资料，以及由于地表塌陷、变形引起的其他不良地质作用情况；

**4** 在充分搜集和分析已有资料的基础上，通过踏勘了解场地地层、构造、岩性、不良地质作用和地下水等工程地质条件；

**5** 搜集与调查采空区已有的勘察、设计、施工资料等，对其危害程度和发展趋势作出判断，并对场地的稳定性和工程建设的适宜性进行初步评价；

**6** 当有两个或以上拟选场地时，应进行比选分析。

**10.2.4** 初步勘察应符合以下要求：

**1** 勘察方法应以采空区专项调查、工程地质测绘、工程物探为主，辅以适当的钻探工作验证、水文地质观测试验；

**2** 在可行性研究搜集资料的基础上，开展采空区专项调查，查明采空区分布、开采历史和计划、开采方法、开采边界、顶板管理方法、覆岩种类及其破坏类型等基本要素；

**3** 初步查明地质构造、地貌、地层岩性、工程地质条件、地下有害气体；

**4** 初步查明地下水类型、埋藏条件、补给来源等水文地质条件，了解地下水位动态和周期变化规律，必要时可进行地下水长期动态观测；

**5** 分析计算采空区地表已完成的移动变形量及剩余变形量，进行场地稳定性及工程建设的适宜性评价与分区；

**6** 对可能采取的采空区治理方案进行分析评价。

**10.2.5** 初步勘察阶段工程物探方法应根据场地地形与地质条件、采空区埋深与分布及其与周围介质的物性差异等综合确定，探测有效范围应超出拟建场地一定范围，并应满足稳定性评价的需要，物探测线不宜少于2条；对于资料缺乏或资料可靠性差的采空区场地，应选用两种物探方法且至少选择一种物探方法覆盖全部拟建工程场地；物探点、线距的选择应根据回采率、采深采厚比等综合确定，解译深度应达到采空区底板下15m～25m。

**10.2.6** 初步勘察阶段钻孔应根据采空区收集资料的完整程度、轨道交通工程的平面布置等综合确定，对于资料丰富、可靠的采空区场地，当采空区对拟建工程影响程度中等或影响大时，钻探验证孔的数量不应少于5个；当采空区对拟建工程影响程度小时，钻探验证孔的数量不应少于3个。对于资料缺乏、可靠性差的采空区场地，应根据物探成果，对异常地段加密布置。

**10.2.7** 详细勘察应符合以下要求：

**1** 勘察方法以钻探为主；浅部岩土层的工程性质、地基承载力等的确定，宜采用载荷试验、静力触探、动力触探、标准贯人试验、旁压试验、十字板剪切试验、现场直接剪切试验等原位测试方法；可根据需要在钻孔中对拟建场地深部岩土体进行波速测试；必要时辅助以物探、调查和测绘工作；

**2** 详细查明对工程建设有影响的采空区分布、规模、历史及其他要素特征，覆岩破坏类型及分布、地表塌陷、移动变形特征；

**3** 详细查明采空区上覆岩、土体地层结构及岩性，地基岩（土）体物理力学指标及地基基础设计参数；

**4** 详细查明地下水类型、埋藏条件、补给来源及腐蚀性，采空区充水情况及赋水变化对采空区稳定性的影响；

**5** 详细查明有害气体的类型、浓度及其对工程施工和建设的影响。

**10.2.8** 详细勘察阶段工程物探宜采用综合测井、跨孔物探、孔内电视、钻孔成像等方法。

**10.2.9** 详细勘察阶段钻孔布置应符合以下要求：

**1** 对于场地稳定且采空区与拟建工程的相互影响小的采空区场地，可仅针对地基压缩层范围内的地基土开展勘察工作，其勘探线、点间距应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）等的有关规定；

**2** 对于稳定性差、需进行治理的采空区场地，勘探点布置应结合采空区治理方法确定，钻探孔深度应达到对工程建设有影响的采空区底板以下不小于3m，且应满足地基基础设计要求。

**10.2.10** 采空区地段岩土工程分析与评价应包括下列内容：

**1**  采空区的稳定性及作为工程建设场地的适宜性；

**2**  采空区及其地表变形情况和发展趋势；

**3**  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，分析评价地下水对采空区场地稳定性的影响；

**4**  线路通过采空区应采取的措施；

**5** 施工和运行期间的防治措施；

**6** 采空区治理和地基处理建议。

10.3 有害气体

**10.3.1** 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，应开展潜在有害气体勘察工作。

**10.3.2** 有害气体的勘察可采用钻探、物探、静探和可燃气体检测报警仪等综合勘探方法进行。

**10.3.3** 有害气体勘察一般应包括下列内容：

**1** 气源层的埋深、厚度、分布范围和物理化学特征；

**2**  气体生成、储藏和保存条件，确定储气层的物理化学特征、埋深、厚度、分布范围；

**3** 气体的成分、气体压力、流量；

**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、空隙率与渗透性，地下水与气体的共存关系；

**5**  当地有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

**10.3.4** 有害气体勘探应符合下列要求：

**1**  勘探线宜按线路纵、横断面方向布置，勘探点的数量、间距应根据地层复杂程度、含气构造和 工程类型确定，并应有部分勘探点通过气源层、储气层部位。勘探点的数量、间距应根据实际情况确定；

**2** 勘探孔深度应穿透气源层，并有部分勘探点进入气源层、储气层下一定深度；

**3** 各气源层、储气层取土样不应少于6组，隔气顶、底板取土样不少于3组。重点查明岩土的容 重、有机质含量、空隙率、饱和度、渗透系数等；

**4** 采集气源层、储气气体的数量不宜少于各3组。

**10.3.5** 有害气体的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

**1** 有害气体分布段的工程地质、水文地质条件，生气层和储气层的成因、埋深、长度、厚度等分 布特征；

**2** 有害气体类型、气压、气量等，预测气体突出位置及突出量，分析判定暗挖区间隧道的瓦斯隧道类型，评价其对轨道交通施工及运营的影响；

**3** 提出气体释放方式或线路避让建议。

10.4 地面沉降

**10.4.1** 当场地可能由于抽吸地下水引起地下水位、水压下降而造成的大面积或局部沉降，并可能对工程和周边环境造成影响时，或场地内及附近堆载填土、欠固结软土时，应开展地面沉降岩土工程勘察。

**10.4.2** 地面沉降勘察应以调查和钻探为主，必要时开展标准贯入试验、水文地质试验和工程物探；当软土发育且厚度较大时，应布置静力触探和十字板剪切试验。

**10.4.3** 地面沉降勘察一般应包括以下内容：

**1** 查明线路经过地区的沉积环境、地层层序、地层岩性、厚度、变形层位的分布、埋藏条件等；

**2** 调查已发生地面沉降的历史、现状及成因；

**3** 查明各含水层的埋藏深度和承压性，各含水层之间的或与地表水之间的水力联系；

**4** 查明天然条件下的地下水补给、径流、排泄条件及有关渗透性等参数；

**5** 查明地下水位特别是各含水层承压水头的变化幅度和速率等。

**10.4.4** 地面沉降勘察的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

**1** 地面沉降与地质环境的关系；

**2** 地面沉降区域的岩性、厚度和埋藏条件，硬土层和软弱压缩层的分布，主要可压缩层和含水层的变形特征；

**3** 第四系含水层的水文地质特征，特别是地下水的埋藏深度和承压性，各含水层之间及地下水与地表水的水力联系；

**4** 分析评价地面沉降的原因、现状以及危害程度，预测现状地面沉降的发展趋势，提出工程建设的适宜性、稳定性评价；

**5** 对可能发生地面沉降的区域，应预测基坑及隧道开挖、降水、施工加载等引起沉降的可能性，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可能造成的影响，提出预防和控制地面沉降的建议。

# 11 特殊性岩土

11.1 一般规定

**11.1.1** 应查明对修建城市轨道交通有影响的填土、软土、风化岩和残积土、污染土等特殊性岩土。

**11.1.2** 应根据特殊性岩土的类型，采用有效的方法，有针对性地开展工作；宜综合采用现场踏勘、区域调查、探勘、现场取样、室内试验、原位测试等多种手段开展工作。

**11.1.3** 应查明各类特殊性岩土的成因、分布范围和特点，宜按可行性研究阶段、初步勘察阶段、详细勘察阶段开展工作，逐步查明。

**11.1.4** 应分析特殊性岩土对城市轨道交通建设产生的不利影响，为可行性研究、初步设计、施工图设计等工作提出建议；应在详细勘察阶段分析特殊岩土对工程施工的不利影响，提出工程措施建议；宜分析特殊性岩土对城市轨道交通运营可能产生的不利影响，提出运营阶段注意事项的建议。

**11.1.5**  软土、填土、风化岩及残积土的勘察，应符合本章规定；花岗岩球状风化体勘察应符合本规范第14章的规定。

**11.1.6** 如发现其他对城市轨道交通建设有不利影响的特殊性岩土，应按照现行国家和行业标准的相关规定开展勘察工作。

11.2 填土

**11.2.1** 城市轨道交通沿线分布有厚度大于3.0m的填土时应进行填土勘察。填土层小于3m时，有条件时可采参照本章执行，无条件时要参照工程类比法。

**11.2.2** 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、物质成份、堆填方式；

**2**  不同物质成份填土的分布、厚度、深度、均匀程度及相互接触关系；

**3**  不同物质成份填土的堆填时间与加载、卸荷经历。对吹填土应确定其排水条件，固结性能及固结程度；

**4** 填土的含水率、密度、颗粒级配、有机物含量、密实度、压缩性、湿陷性及腐蚀性等。

**11.2.3** 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份填土的分布、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。对由粉土或粘性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成份的素填土和杂填土，宜采用动力触探、钻探，在具备施工条件时，可适当布置一定数量的探井；

**4** 详勘阶段勘探点间距宜为20～30m，勘探孔深度应穿透填土层；当填土厚度超过3m时应自上而下均匀进行取样及原位测试；填料为粘性土的素填土应采取静压方式取样；

**5** 填土勘察应根据工程需要提供击实试验指标、压实系数，孔隙比、触探指标、固结试验指标等，厚度大于3.0m的人工素填土应进行重度和抗剪强度试验；

**6** 结合工程需要，查明填土对建筑材料的腐蚀性；

**7** 分析评价填士对拟建工程的影响，并提出处理或加固措施建议；

**8** 生活垃圾填埋场的杂填土可参照污染土勘察进行。

**11.2.4** 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率和最大干密度，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，必要时应作载荷试验。

**11.2.5** 填土的岩土工程评价应符合下列要求：

**1**  阐明填土的成份、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** 分析或评价填土的分布、厚度、深度对城市轨道交通线路埋深、站位设置的影响；

**4** 当填土底面的天然坡度大于20% 时，应验算其稳定性；

**5** 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建议；

**6** 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建议；

**7** 对于天然地基、路基工程，应评价其用作基础持力层的可行性；

**8** 对于桩基工程，应评价填土对桩基施工和承载力的影响。

**11.2.6** 填土开挖后应进行验槽，必要时应补充勘探测试工作。

11.3 软土

**11.3.1** 软土的岩土勘察阶段应与设计阶段相适应。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** 软土硬壳的分布、厚度、性质及随季节变化情况；硬夹层的空间位置、形态、厚度及性质；下伏硬底的岩土组成、性质、埋深和起伏；

**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、颗粒成份、渗透系数；地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等；

**6** 调查基坑开挖施工、隧道掘进、基桩施工、填筑工程、工程降水等有关的土性变化、土体位移、地面变形及由此引起的工程设施受损或破坏及处理的情况。

**11.3.2** 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勘察阶段、工程重要性、场地复杂程度等级、工程类型、施工方法、基础形式及软土的地层结构、成因类型、成层条件及岩土工程治理的需要确定；勘探点的密度应满足相应勘察阶段岩土工程评价、工程设计的需要，一般宜为25m～50m。当需要圈定重要的局部变化时，可以加密勘探点。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不应少于10组。

**11.3.3** 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-lgp曲线的形式整理，确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数。

**11.3.4** 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** 当邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时，或当软土围岩和地基受力范围内有起伏、倾斜的基岩、硬土层或存在较厚的透镜体时，应分析软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度，分析软土发生变形、不均匀变形的可能性，并提出工程处理措施意见；

**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、处理措施意见；

**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**  抗震设防烈度等于或大于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。

11.4 风化岩和残积土

**11.4.1** 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、全风化岩及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。

**11.4.2** 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** 勘探点间距应按本规范相关规定执行，有条件时宜有一定数量的探井；

**3** 在全风化岩与残积土中应取得Ⅰ 级试样；

**4** 根据工程需要按本规范第17章的规定，对全风化岩、残积土和呈土状的强风化岩进行室内土工试验，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；

**5** 花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土可按表11.4.2.1的规定划分，其他岩石的强风化岩、全风化岩与残积土可按表11.4.2.2的规定划分；

**11.4.4.1 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 | 剪切波速Vs(m/s) |
| --- | --- | --- |
| 强风化岩 | N’≥70 | Vs≥400 |
| 全风化岩 | 40≤N’＜70 | 300≤Vs＜400 |
| 残积土 | N’＜40 | Vs＜300 |

**表11.4.2.1 其他岩石的强风化岩、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 | 剪切波速Vs(m/s) |
| --- | --- | --- |
| 强风化岩 | N’≥50 | Vs≥400 |
| 全风化岩 | 30≤N’＜50 | 300≤Vs＜400 |
| 残积土 | N’＜30 | Vs＜300 |

**6** 对于厚层的强风化岩，可结合当地经验进一步划分亚层。

**11.4.3** 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E0宜采用原位测试方法确定，亦可按国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007）的有关规定确定。

**11.4.4** 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**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；

**2** 除满足本规范第11.4.1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的分布；

**3** 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；

**4** 当强风化花岗岩厚度大于10m时，宜按表11.4.4分为强风化上（土状）、中（砂砾状）、下（碎石状）三个亚层。

**11.4.4 厚层强风化花岗岩分层表**

| 分带依据  分带名称 | 标准贯入试验  锤击数*N’* | 重型动触击数*N*63.5 | 超重型动触  击数*N*120 | 外观 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强风化上层 | 70～100 | 12～18 | 8～12 | 土状 |
| 强风化中层 | 100～130 | 18～30 | 12～30 | 砂砾状 |
| 强风化下层 | ＞130 | ＞30 | ＞30 | 碎石状 |

注：重型、超重型动力触探击数应进行杆长校正。

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

**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，提出对地下水控制措施的建议；

**5** 分析岩脉、球状风化体和球状风化体对工程的影响，提出工程措施的建议。

11.5 污染土

**11.5.1** 当场地内发育因工业、尾矿和垃圾填埋场渗滤液引起的污染土时，应开展污染土勘察。

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

**1** 以现场调查为主，对工业污染应着重调查污染源、污染史、污染途径、污染物成分、污染场地已有建筑物受影响程度、周边环境等。对尾矿污染应重点调查不同的矿物种类和化学成分，了解选矿所采用工艺、添加剂及其化学性质和成分等。对垃圾填埋场应着重调查垃圾成分、日处理量、堆积容量、使用年限、防渗结构、变形要求及周边环境等。

**2** 采用钻探或坑探采取土试样，现场观察污染土颜色、状态、气味和外观结构等，并与正常土比较，查明污染土分布范围和深度。

**3** 直接接触试验样品的取样设备应严格保持清洁，每次取样后均应用清洁水冲洗后再进行下一个样品的采取;对易分解或易挥发等不稳定组分的样品，装样时应尽量减少土样与空气的接触时间，防止挥发性物质流失并防止发生氧化;土样采集后宜采取适宜的保存方法并在规定时间内运送试验室。

**4** 对需要确定地基土工程性能的污染土，宜采用以原位测试为主的多种手段;当需要确定污染土地基承载力时，宜进行载荷试验。

**11.5.3** 对污染土的勘探测试，当污染物对人体健康有害或对机具仪器有腐蚀性时，应采取必要的防护措施。

**11.5.4** 拟建场地污染土勘察宜分为初步勘察和详细勘察两个阶段。条件简单时，可直接进行详细勘察。

**1** 初步勘察应以现场调查为主，配合少量勘探测试，查明污染源性质、污染途径，并初步查明污染土分布和污染程度。

**2** 详细勘察应在初步勘察的基础上，结合工程特点、可能采用的处理措施，有针对性地布置勘察工作量，查明污染土的分布范围、污染程度、物理力学和化学指标，为污染土处理提供参数。

**11.5.5** 勘探测试工作量的布置应结合污染源和污染途径的分布进行，近污染源处勘探点间距宜密，远污染源处勘探点间距宜疏。为查明污染土分布的勘探孔深度应穿透污染土。详细勘察时，采取污染土试样的间距应根据其厚度及可能采取的处理措施等综合确定。确定污染土与非污染土界限时，取土间距不宜大于1m。

**11.5.6** 有地下水的勘探孔应采取不同深度地下水试样，查明污染物在地下水中的空间分布。同一钻孔内采取不同深度的地下水试样时，应采用严格的隔离措施，防止因采取混合水样而影响判别结论。

**11.5.7** 污染土和水的室内试验，应根据污染情况和任务要求进行、污染土和水的化学成分、物理力学性质、对建筑材料腐蚀性、对环境影响的评价指标等相关试验。

**11.5.8** 污染土的岩土工程分析和评价应包括下列内容：

**1** 污染源的位置、成分、性质、污染史及对周边的影响；

**2** 污染土分布的平面范围和深度、地下水受污染的空间范围；

**3** 污染土的物理力学性质，污染对土的工程特性指标的影响程度；

**4** 工程需要时，提供地基承载力和变形参数，预测地基变形特征；

**5** 污染土和水对建筑材料的腐蚀性；

**6** 污染土和水对环境的影响；

**7** 分析污染发展趋势；

**8** 对已建项目的危害性或拟建项目适宜性的综合评价。

# 12 岩溶勘察

12.1 一般规定

**12.1.1** 城市轨道交通工程沿线发育岩溶时，应结合地质条件和设计、施工方案进行岩溶勘察。当岩溶对工程有重大影响时，应进行岩溶专项勘察。

**12.1.2** 岩溶勘察方案应结合岩溶区建设的工程类型、岩溶埋藏条件和岩溶发育程度编制。

**12.1.3** 岩溶发育程度宜按表12.1.3划分为岩溶强烈发育、中等发育和弱发育三个等级：

**表12.1.3 场地岩溶发育程度分级表**

| 岩溶发育程度 | 地表岩溶发育密度（个/km2） | 线岩溶率（%） | 钻孔见洞隙率（%） | 岩溶发育分布特征 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩溶强发育 | ＞5 | ＞20 | ＞30 | 岩溶洞穴分布广，地表有较多的洼地、漏斗、落水洞、泉眼，暗河发育，相邻钻孔存在临空面且高差大于5m。 |
| 岩溶中等发育 | 1～5 | 5～20 | 10～30 | 地表发育有洼地、漏斗、落水洞、泉眼，暗河稀疏，相邻钻孔存在临空面且高差大于2～5m。 |
| 岩溶弱发育 | ＜1 | ＜5 | ＜10 | 地表岩溶形态稀少，相邻钻孔临空面且高差小于2m。 |

注：发育程度从强烈发育到弱发育判定，满足其中一个条件即可定为该等级。

12.2 勘察要求

**12.2.1** 岩溶勘察应查明下列内容：

**1** 岩溶分布形态特征、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、溶蚀及风化程度；

**3** 岩溶发育与地貌、构造、岩性的关系，第四系地层的岩性、厚度、分布、与下伏岩溶的接触关系，不同岩性岩层的分布特征、接触关系、接触范围；

**4** 溶洞、暗河的空间位置、形态、分布和充填情况，节理裂隙发育程度，溶洞、裂隙的连通性；

**5** 溶蚀深槽的破碎程度、宽度、岩土层胶结程度和渗透性；

**6** 皱曲不同部位的特征以及岩溶发育程度的关系；

**7** 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，岩层水富水性，岩溶水与地表水、覆盖层或不可溶岩覆盖层地下水的水力联系，分析确定岩溶侵蚀面和地下水排泄基准面；

**9** 水文地质复杂的岩溶地段应进行水文地质试验或地下水动态观测，对于工程建设有重大影响地段，可选择一定数量的观测孔，进行不少于一个水文年的水文地质动态观测；

**10** 预测降水的影响，判断产生地面沉降、淘空、塌陷、突水的可能性。

**12.2.2** 覆盖型岩溶发育地区还应查明下列内容：

**1** 覆盖层成因、性质、厚度；

**2** 地下水补给来源，第四系孔隙水和岩溶水的水力联系，各含水层间的水力联系、水头高度，地下水的开采情况；

**3** 土洞和塌陷的成因、分布、形态发育规律和发展趋势；

**4** 评价和预测深基坑施工过程中可能产生突水、突泥、及由地下水引发的其他地质灾害，提出防治措施建议

**12.2.3** 岩溶勘察应符合下列要求：

**1** 岩溶区勘探应采用钻探、原位测试和物探等勘探手段；

**2** 土洞、溶洞填充状态检查，可采用钻探取芯、轻型动力触探、标贯等方法；

**3** 岩芯采取率要求完整岩层大于或等于80%，破碎带大于或等于50%，溶洞填充物大于50%（软塑、流塑状除外）；

**4** 应做好勘探孔回填封孔，具体可参照附录D进行。

**12.2.4** 各勘察阶段勘察重点内容如下：

**1** 可行性研究勘察应基本查明岩溶裂隙及土洞的发育条件，了解可溶性基岩的分布区域、埋藏深度，了解地下水特性，调查现状岩溶地质灾害的发育程度，了解其危害程度和发展趋势，对场地的稳定性和适宜性作出初步评价；

**2** 初步勘察应初步查明岩溶洞隙和土洞的分布规律、发育程度和发育规律，对岩溶发育程度进行初步分级，进行初步的岩土工程分析评价；

**3** 详细勘察应查明场地岩溶洞隙和土洞的平面位置、埋藏深度、规模、充填程度和充填物物理力学性质，查明岩溶水的埋藏条件、补给排泄条件、连通性、富水性和地层渗透性，对地基基础和地下工程设计和岩溶的治理措施提出建议；

**4** 施工勘察可根据需要具体确定桩长、连续墙深度等与设计相关的参数，或进一步提供确定施工工法、参数或解决施工问题的工程地质和水文地质资料，满足施工方案制定和风险控制的要求。

**12.2.5** 专项勘察应进一步查明拟建工程范围内岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深、充填情况、溶洞连通性、地下水特征等，对岩溶处理措施提出建议。

**12.2.6** 在施工阶段，覆盖性岩溶可结合岩溶处理采用探灌结合的方式，进一步查明溶洞边界和发育形态。

**12.2.7** 可行性研究勘察阶段，勘探点间距宜为100～150m；对线路选线和工法研究有重大影响的地段，勘探点间距可适当加密。

**12.2.8** 初步勘察阶段勘探点间距还应符合下列要求：

**1** 地下车站、明挖区间（含明挖井）勘探点宜按结构轮廓线分两排对称布置，每排勘探点间距30～40m；

**2** 地下区间勘探点沿左右线隧道分别布置，间距40～80m；

**3** 桩基工程宜逐墩布置勘探点。

**12.2.9** 详细勘察阶段勘探点间距应符合下列要求：

**1** 对于地下明挖车站、区间沿结构轮廓线布置，勘探点间距10～20m；

**2** 对于地下明挖附属结构，沿轮廓线两排对称布置。当车站主体和附属结构轮廓线距离较小时，可考虑勘探点的综合利用；勘探点间距10～20m；

**3** 当岩溶水对基坑开挖施工有直接影响时，在明挖基坑内部布置勘探点，间距宜控制在10～20m；当设置有柱（桩）时，宜逐柱（桩）布置勘探点；

**4** 暗挖地下区间左、右线中心线间距小于3倍隧洞外径时，应在左、右线外侧及中间各布置1排勘探点。勘探点间距控制在10～20m；

**5** 暗挖地下区间左、右线中心线间距大于或等于3倍隧洞外径时，在左、右线各自两侧分别布置2排勘探点，每排勘探点间距按10～20m控制；

**6** 桩基工程每墩应布置不少于1个勘探点，或逐桩布置勘探点。

**12.2.10** 施工阶段当需要进一步确定入岩条件或溶（土）洞处理范围时，宜根据设计需要参照下列要求布置勘探点：

**1** 明挖车站或区间工程进入岩层的地下连续墙，宜沿地连墙每3m布置一个超前钻勘探点。连续墙宽度大于3m时，按一槽两钻布置钻孔。转角位置可适当增加布孔；

**2** 对于明挖车站或区间工程进入岩层的围护桩，可隔桩实施超前钻勘探点，但应保证超前钻勘探点间距不大于3m；

**3** 对于地下暗挖区间工程，勘探点应布置在隧道结构轮廓外侧不超过3m范围；

**4** 嵌岩桩应逐桩进行超前钻，桩径较大时应增加超前钻孔或增加物探工作。

**5** 当勘探点揭示有溶、土洞时，可结合处理施工，按设计要求在已有勘探点继续在该勘探点周边2～3m范围内加密，按此循环推进至溶、土洞边界或设计指定范围；

**6** 对于地下水条件复杂或其他需要重点研究的地段，溶、土洞探查范围尚需根据实际情况适当加大。

**12.2.11** 初步勘察和详细勘察阶段，地面及地下工程勘探点深度应超过结构底板并进入中等～微风化岩不小于5m，当勘探点进入中等～微风化岩不小于5m仍为溶洞时，应钻穿溶洞并进入中等～微风化岩不少于2m；嵌岩桩勘探点深度应不小于桩端以下4倍桩径且不小于10m，当勘探点进入桩端以下4倍桩径且不小于10m仍为溶洞时，应钻穿溶洞并进入基岩面下不少于5m。

**12.2.12** 施工阶段当需要进一步确定入岩条件或溶（土）洞处理范围时，宜根据设计需要按下列要求确定勘探点深度：

**1** 对于地下车站工程，勘探点应钻至围护结构底、桩底或基底以下不小于5m连续稳定相对不透水层或完整岩体；

**2** 若围护结构底、桩底或基底以下遇串珠状溶洞或土洞时，需钻穿洞底，当穿越岩体厚度累计达5m，勘探点可在溶洞底入连续完整岩体2m后终孔；

**3** 对于地下区间工程，应进入底板下不小于10m，遇5m连续稳定相对不透水层或完整岩体可提前终孔；

**12.2.13** 岩溶勘察应实行动态勘察。勘察工作应符合以下要求：

**1** 结合勘察中揭示的岩溶发育状态调整勘察技术方案，动态调整勘察工作量、方法、手段和岩土工程分析评价。

**2** 钻探与地层物探，抽水或注（压）水试验与地下水参数的物（化）探探测成果应相互借鉴、验证和补充。

**3** 复杂场地的重要工程勘探宜采用从钻探到物探，再从物探到钻探等多次循环方式不断完善勘察成果，为设计、施工提供更充分的地质依据，满足工程建设需要。

**12.2.14** 岩溶的地球物探勘探应符合本规范15.5相关要求。

12.3 岩土工程分析与评价

**12.3.1** 岩溶勘察成果分析和评价应包括下列内容：

**1** 拟建场地岩溶地下水的赋存、动态、补给、径流、排泄条件，地表水、覆盖层地下水与岩溶地下水之间的水力联系；

**2** 岩溶发育的成因类型、发育程度、形态和分布特征；溶洞充填程度与充填物；覆盖层厚度、性质；

**3** 溶洞（隙）、溶沟（槽）、溶蚀漏斗、石芽、土洞、岩面形态、岩溶顶板和覆盖层等岩溶地基的稳定性评价；

**4** 溶洞、土洞和塌陷的成因及其发展趋势；

**5** 对岩溶中等发育和强烈发育的浅覆盖层岩溶地基，当基岩面上部存在软弱土、混合土和易产生潜蚀土层时，应评价地下水的渗流与土洞塌陷的形成、发育关系，分析评价地基土的稳定性；对稳定性不良地段，应提出工程治理措施；

**6** 溶洞（隙）地基、溶沟（槽）地基、溶蚀漏斗地基、石芽地基、土洞地基的处理措施和基础方案的建议，降水排水截渗方案的建议，基坑开挖与支护方案的建议等；

**7** 岩溶治理设计所需岩土参数，建筑地基基础、地下水等监测要求的建议。

**8** 分析和预测岩溶地质条件可能造成的工程风险，提出应对措施和建议。

**12.3.2** 岩溶勘察成果除满足本节要求外，尚应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定。

# 13 断裂勘察

13.1 一般规定

**13.1.1** 城市轨道交通线路场地或其附近存在对工程安全有影响的断裂时，应进行断裂勘察。当断裂对工程有重大影响时，应进行专项勘察。

**13.1.2** 断裂勘察应查明断裂的形成年代、类型、分布位置、产状、范围及与线路的关系，查明断裂破碎带岩土层物理力学性质和水文地质条件，分析其活动性和地震效应，评价断裂对工程建设可能产生的影响，提出处理建议。

**13.1.3**  断裂勘察应符合下列规定：

**1** 搜集和分析与断裂有关资料，包括卫星影像和航空遥感相片、区域构造地质、强震震中分布、地应力和地形变、历史和近期地震等资料；

**2** 开展受断裂活动影响的地形地貌、地质、地震特征等工程地质调绘；

**3** 根据工程建设要求、场地复杂程度和现场环境条件，采用工程地质测绘与调查、地球物理勘探、钻探、原位测试、取样与试验等综合勘察方法；

**4** 根据断裂带的岩层破碎情况开展区域水文地质调查和有针对性的水文地质试验，必要时可采用动态观测的方法，设置地下水位长期观测孔；

**5** 根据需要开展断裂及其影响范围的氡浓度和有毒有害气体测试。

13.2 勘察要求

**13.2.1** 可行性研究阶段，应结合收集资料和工程地质调绘成果，在邻近线路的实测或推测断裂部位布置勘探点。

**13.2.2** 初步勘察阶段应结合可行性研究勘察成果，在实测或推测断裂与线路相交部位及其前后范围，沿线路纵向布置勘探点，勘探点间距宜按照25～50m控制。

**13.2.3** 详细勘察阶段应结合初步勘察成果，在实测或推测断裂与线路相交部位及其前后沿断裂走向布置勘探线，勘探线间距宜为20～30m。勘探点宜沿勘探线布置，勘探点间距宜为10～20m，必要时可适当加密。勘探线和勘探点的布置应能查明断裂带空间展布，布孔范围宜达到车站及其附属结构或区间两侧各2～3倍结构埋深。

**13.2.4** 专项勘察阶段应结合特定勘察目的任务布置勘探点。

**13.2.5** 槽探或坑探用于断裂勘察时，宜布置在断裂破碎带地表露头或断裂错动第四系地层处。

**13.2.6** 断裂勘探的勘探点深度应符合下列要求：

**1** 原则上应钻穿断裂破碎带并进入稳定的基岩层；

**2** 勘探点深度还应同时满足原位测试、地球物理勘察要求；

**3** 当断裂带厚度很大难以钻穿断裂破碎带时，应结合设计、施工和研究需要，确定勘探点深度。

**13.2.7** 断裂破碎带波速测试孔和电阻率测试孔不宜少于2个，可根据需要在断裂破碎带及其两侧应进行氡气测试，必要时进行放射性γ测试。

**13.2.8**  当需要进行断层测年时，可采用放射性碳（*C*14）和热释光法（*TL*）测定断裂破碎带充填物的地质年龄，以确定断裂活动的最新时限。

**13.2.9** 各勘察阶段勘察重点内容如下：

**1** 可行性研究阶段结合搜集的资料，查明沿线的岩性类型，结合岩性变化和岩石埋深变化判定断裂大致位置；

**2** 初步勘察阶段结合地质构造图等收集资料、地形地貌、地质和地震特征调绘成果，开展钻探、地球物理勘探、取样和室内试验工作，初步查明断裂的位置、与线路关系及断裂部位岩土类型及其特征；

**3** 详细勘察阶段，结合断裂位置、岩土性质和特征，有针对性地布置钻探、原位测试、地球物理勘探、水文地质试验、室内试验等工作，详细查明断裂与线路的关系；查明断裂破碎带岩性特征、破碎带宽度、物质组成和胶结程度；查明断裂破碎带岩土层物理力学性质；查明断裂破碎带地下水埋藏条件、地下水类型、地下水位和动态变化规律，补给和排泄条件，富水性和渗透性、腐蚀性等。施工阶段如有需要，可进一步进行断裂勘察；

**4** 专项勘察应结合特定勘察目的任务，进一步查明断裂相应性质和特征。

13.3 岩土工程分析与评价

**13.3.1**  分析断裂的活动性和地震效应，评价断裂对工程建设可能产生的影响，并提出处理建议。

**13.3.2** 分析断裂带的性质特征，提供断裂带岩土层物理和力学性质参数。

**13.3.3** 分析评价断裂对地基承载力、稳定性和均匀性的影响。

**13.3.4** 分析断裂带对基坑、隧道和边坡稳定性及桩基承载力的影响，预测可能出现的岩土工程问题，提出工程措施建议。

**13.3.5** 分析和评价断裂带渗透性、富水性和地下水动态及对工程建设、运营期的影响，提供设计、施工所需的水文地质参数，提出地下水控制措施建议。

**13.3.6** 分析在断裂带区域工程建设对周边环境的影响，提出环境保护、监测措施建议。

**13.3.7** 各勘察阶段勘察重点内容如下：

**1** 可行性研究阶段结合搜集的资料，查明沿线的岩性类型，结合岩性变化和岩石埋深变化判定断裂大致位置；

**2** 初步勘察阶段结合地质构造图等收集资料、地形地貌、地质和地震特征调绘成果，开展钻探、地球物理勘探、取样和室内试验工作，初步查明断裂的位置、与线路关系及断裂部位岩土类型及其特征；

**3** 详细勘察阶段，结合断裂位置、岩土性质和特征，有针对性地布置钻探、原位测试、地球物理勘探、水文地质试验、室内试验等工作，详细查明断裂与线路的关系；查明断裂破碎带岩性特征、破碎带宽度、物质组成和胶结程度；查明断裂破碎带岩土层物理力学性质；查明断裂破碎带地下水埋藏条件、地下水类型、地下水位和动态变化规律，补给和排泄条件，富水性和渗透性、腐蚀性等。施工阶段如有需要，可进一步进行断裂勘察；

**4** 专项勘察应结合特定勘察目的任务，进一步查明断裂相应性质和特征。

# 14 球状风化体勘察

14.1 一般规定

**14.1.1** 城市轨道交通工程沿线岩土层发育球状风化体时，应结合地质条件和设计、施工方案进行球状风化体勘察。当球状风化体对工程有重大影响时，应进行专项勘察。

**14.1.2**  应重点查明盾构隧道洞身范围可能发育的球状风化体，其他工法视工程需要可开展球状风化体勘察。

**14.1.3** 球状风化体勘察应查明以下内容：

**1** 球状风化体的岩性、矿物组成、风化程度及顶底标高、揭露厚度、抗压强度；

**2** 场地球状风化体分布情况及球状风化体发育等级；

**3** 分析球状风化体与周围岩土体的物理、力学性质差异程度及其对工程的影响。

**14.1.4** 球状风化体勘察方法宜以钻探为主，有条件时结合地球物理勘探方法开展综合勘察。

**14.1.5**  应结合已完成的勘察成果，按下表要求划分球状风化体发育等级：

**表14.1.5 场地球状风化体发育程度分级表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 球状风化体发育等级 | 球状风化体揭示率（%） | 串珠状球状风化体孔数（个） | 球状风化体线发育率（%） | 球状风化体发育特征 |
| 强烈发育 | ≥10 | ≥4 | ≥3 | 常位于燕山期花岗岩发育区的山丘或丘间沟谷地带，风化壳较厚，球状风化体岩质新鲜、岩体完整且与围岩风化程度差异大；钻孔见球状风化体率高，串珠状球状风化体发育，揭露球状风化体的钻孔连续分布。 |
| 中等发育 | 5～10 | 2～3 | 1～3 | 介于强烈发育和弱发育之间。 |
| 弱发育 | ＜5 | 1 | 0～1 | 常位于混合花岗岩、花岗片麻岩发育区，揭露的球状风化体风化程度较深（以中风化或强风化为主），球状风化体与围岩风化程度差异小；区段未揭露或球状风化体零星揭露球状风化体；未揭露串珠状球状风化体发育，揭露球状风化体的钻孔未连续分布。 |

注：1 同一工点多个区段穿越花岗岩残积土和风化岩时，宜按不同区段划分等级；

2 发育程度从高到低判定，满足其中一个条件即可定为该等级。

14.2 勘察要求

**14.2.1** 可行性研究勘察阶段，可根据选线和工法研究需要，在可能发育球状风化体的地段适当加密勘探点。

**14.2.2** 初步勘察阶段勘探点的布置和深度应符合下列要求：

**1** 初勘过程中钻孔揭露球状风化体时，宜在揭露球状风化体部位区域加密勘探点。

**2** 地下工程勘探点深度应满足本规范7.3.6条要求。高架工程勘探点深度应取7.4.3条要求的大值。

**14.2.3** 详细勘察阶段勘探点的布置和深度应符合下列要求：

**1** 结合初步勘察及物探成果，根据球状风化体发育程度和设计施工需要，合理选定球状风化体加密勘探点布置范围，勘探点沿线路纵向间距宜为10～30m；

**2** 在球状风化体发育等级为中等发育和强烈发育地段，勘探点沿线路纵向间距宜为10～20m；

**3** 地下工程勘探点深度应满足本规范8.3.3条要求。高架工程勘探点深度应取8.4.3条要求的大值。

**14.2.4** 施工勘察阶段勘探点的布置应符合下列要求：

**1** 盾构隧道球状风化体加密钻孔宜布置于隧道正上方中部，明挖法球状风化体勘探点宜布置于围护结构投影范围，桩基工程球状风化体勘探点宜布置于桩体范围；

**2** 对于球状风化体弱发育、中等发育和强发育的盾构区段，宜沿线路纵向分别按10m、5m、5m间距布置球状风化体加密勘探点；

**3** 勘探过程中宜结合新完成的勘探点、地球物理勘探验证勘探点的揭露情况复核球状风化体发育等级，并根据施工和球状风化体处理的需要增加勘探点；

**4** 勘探点深度应到达结构底板以下不少于1m；当需要进行井内或井间地球物理勘探时，勘探点深度还应满足地球物理勘探的深度要求。

**14.2.5**  勘探揭露球状风化体时，应采取球状风化体岩样应进行天然状态单轴极限抗压强度试验，必要时进行球状风化体矿物组成及含量分析。

**14.2.6** 球状风化体勘察钻孔施工完成后，应结合地表水、地下水发育及球状风化孔内处理情况，及时封孔。

**14.2.7** 各勘察阶段勘察重点内容如下：

**1** 可行性研究勘察阶段，应初步查明花岗质岩类基岩的分布区域、埋藏深度、残积土和风化岩的厚度，初步查明断裂发育和地下水特性，调查现状地面球状风化体出露情况，初步判定场地球状风化体的发育程度，初步评价球状风化体对工程方案的影响，对工程选线提出建议；

**2** 初步勘察阶段，应初步查明球状风化体的分布规律、发育程度和发育规律，对场地球状风化体发育程度进行初步分级；

**3** 详细勘察阶段，应查明场地球状风化体的风化程度、平面位置、顶底标高、揭露厚度、抗压强度，统计场地见球状风化体率、串珠状球状风化体孔数、球状风化体线发育率，对场地球状风化体发育程度进行分级，对暗挖区间隧道盾构设计、基坑围护结构设计、高架工程桥梁桩基设计和球状风化体的处理措施提出建议；

**4** 施工勘察阶段，根据需要进一步解决暗挖区间隧道盾构施工问题，提供进一步的隧道洞身范围内球状风化体的分布情况，满足施工方案制定和风险控制的要求。

14.3 岩土工程分析与评价

**14.3.1** 应阐述球状风化体发育场地的地形地貌、地层岩性特征及水文地质条件，阐述球状风化体的岩性类别、矿物组成、风化程度及球状风化体空间分布、与拟建线结构的关系、抗压强度等特征。

**14.3.2** 分析球状风化体对地基基础、隧道围岩稳定性、边坡稳定性的影响，预测可能出现的岩土工程问题，提出工程措施建议，提供设计和施工所需的岩土参数；

**14.3.3** 分析球状风化体对盾构隧道施工的影响，提出工程措施建议。

**14.3.4** 分析球状风化体对明挖工程围护结构施工及地基承载力和地基均匀性的影响，提出球状风化体处理的措施和建议。

# 15 勘探与取样

15.1 一般规定

**15.1.1** 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。

**15.1.2** 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)。

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

**15.1.4** 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。

**15.1.5** 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。

**15.1.6** 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。

15.2 钻探

**15.2.1** 钻探方法可根据岩土类别和勘察要求按表15.2.1的规定选用。

**表15.2.1 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 | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ |
| 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。

**15.2.2** 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。

**15.2.3** 钻探应符合下列规定：

**1** 钻进深度、岩土分层深度对于陆域孔允许偏差为±0.05m，对于水域孔允许偏差为±0.20m；地下水位量测允许偏差为±0.02m；

**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15.2.3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。

**表15.2.3 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 | ≥90 |
| 粉土及砂土（地下水位以上） | ≥80 |
| 粉土及砂土（地下水位以下） | ≥70 |
| 碎石土 | ≥50 |
| 基岩 | 破碎和较破碎岩体 | ≥65 |
| 完整和较完整岩体 | ≥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。

**15.2.4** 岩芯摆放和标识应符合下列规定：

**1** 岩芯箱宜按1m×5规格制作，岩芯应在岩芯箱中分行摆放；

**2** 采取的岩芯应按上下顺序和在地层中所处的实际深度依次摆放，并及时填写回次标签；

**3** 当发现滑动面、软弱结构面、薄层、溶土洞或采空区时，应加填标签注明起止深度，放在岩芯相应位置；

**4** 应逐孔、逐箱拍摄岩芯照片。拍摄岩芯照片时，现场应清晰标记，标记内容宜包括工程名称、孔号、箱号、每箱结束深度、分层深度、取样深度和终孔深度等；

**5** 岩溶、断裂、球状风化体、滑动面等特殊岩芯，可单独放大拍摄，也可拍摄部分岩芯断面；

**6** 根据工程需要，保留代表性或重要的岩芯。

**15.2.5** 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。

15.3 井探、槽探

**15.3.1** 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。

**15.3.2** 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设一个检查孔。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。

**15.3.3** 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。

15.4 取样

**15.4.1** 土试样质量等级应根据用途按表15.4.1的规定划分为四级：

**表15.4.1 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。

**15.4.2** 土样采取的工具和方法按《岩土工程勘察规范》（GB50021）选取。

**15.4.3** 对特殊土的取样应符合本规范第11章的有关规定。

**15.4.4** 在钻孔中采取Ⅰ、Ⅱ级砂试样时，可采用原状取砂器。

**15.4.5** 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。

**15.4.6** 土样的取样间距应满足以下要求：

**1** 取样间距一般为2-3m，隧道洞身及其附近、各主要持力层应重点取样，遇土层变化时，应立即取样；

**2** 岩土层厚度大于6m时，可按上、中、下取3组样品；

**3** 对于厚度大于0.5m的岩土层，必须取样；

**4** 在厚度大于2m的土层（含全风化层），或厚度小于2m但分布较广的特殊土层中取不扰动样；纯净的砂取扰动样；

**5** 对于场地内连续发育的主要地层，可以适当减少取样数量。

**15.4.7** Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级土试样应妥善密封，及时送样至试验室。样品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做好运输保护。

**15.4.8** 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。

**15.4.9** 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。

**15.4.10** 初步勘察阶段每工程地质单元每层地下水样不得少于3组；地表水样每处（水系、河涌、湖等）不少于1组；

**15.4.11** 详细勘察阶段按工点采取地下水样，各含水层不少于3组；对于较大车站和较长区间应增加取水样数量；有地表水分布的，地表水样每处不少于2组。

**15.4.12** 水样采取应符合以下要求：

**1** 结构处于地表水或地下水中时，应取地表水、地下水试样作水的腐蚀性测试；混凝土或钢结构所处深度范围发育多层地下水时，应分层采取地下水样；

**2** 取水容器应采用带有磨口玻璃塞的玻璃瓶或化学稳定性好的聚乙烯瓶；

**3** 采样前应用合成洗涤剂将采样容器洗涤干净。采样时须用拟采集的水样冲洗采样容器3-4次，容器内应留有15-20ml空间。采集后及时密封样瓶、贴好标签，同时记录气温、水温、采样深度、时间、地点和水源周围污染情况等。

**4** 应确保所采取水样的代表性，水样中不应含有泥、砂或其他杂质，应避免采取被钻进液、取水装置等含有杂志干扰或二次污染的水样，应避免采集孔内或坑内混合水样。

**5** 简分析水样量宜为500ml～1000ml，全分析水样量宜为2000ml～3000ml；需测定侵蚀性CO2时，应另再取200ml～300ml水样，并添加2g～3g大理石粉，密封、反复倒转，使碳酸钙粉末混合均匀并在样品标签中注明；

**6** 采集的水样应及时封好瓶口，贴好标签，及时送往试验室分析。运输前应仔细检查水样瓶是否密封，运输中应采取防晒、防冻、防破损、防污染的措施。

**15.4.13** 对处于地下水位以上结构埋深范围内的土层，初步勘察阶段和详细勘察阶段应取土样进行易溶盐试验，每层土取样不少于2组。

15.5 地球物理勘探

**15.5.1** 应在收集、分析研究既有工程地质测绘和钻探资料的基础上，根据现场环境和工程地质条件开展地球物理勘探工作，选用适宜的方法。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明显的物性（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；

**4** 场地应具有相应的探测作业条件，应不存在影响基本数据采集和异常解释的不利的地形和地物。

**15.5.2** 地球物理勘探测线和测点布置应遵循先面后点、先疏后密、先地表后地下、先控制后一般的原则，根据不同阶段的需求及现场实施条件开展相关工作。

**15.5.3** 物探测线和测网应根据探测目的要求精度和方法综合确定，实际测线位置宜根据现场地形、地质条件适当调整，测线移动的允许距离在相应比例的图件上宜小于5mm。

**15.5.4**  测网密度应保证异常的连续、完整和便于追踪，测线长度应保证异常的完整和足够的正常背景。

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

**15.5.6** 解译地球物理勘探资料时，应考虑其多解性，应采取多种方法相互印证、综合判释岩溶地球物探勘探成果。

**15.5.7** 当发现物探异常时，应加密测点或选择代表性部位布置钻孔加以验证。当单一的物探方法不能达到勘探目的时，宜采用综合物探方法。未经验证的物探成果不应直接作为施工图设计和地基处理的依据。

**15.5.8** 常用地球物理勘探方法及应用范围见表15.5.8。

**表15.5.8 常用地球物理勘探方法及应用范围表**

| 探测目标  探测方法 | 地层及风化层分带、岩面埋深 | 隐伏断层、破碎带 | 地下洞穴、采空区 | 球状风化体、地下或水下隐埋物 | 含水层分布、地下水 | 掌子面前方地质条件 | 地下水流速、流向 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 自然电场法 |  |  | △ |  |  |  | ○ |
| 充电法 |  | △ | △ | △ |  |  | ○ |
| 直流电测深 |  | ○ |  |  | ○ |  |  |
| 高密度电阻率法 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  |
| 激发极化法 | △ | △ | △ | △ | ○ |  |  |
| 电磁测深法 | △ | ○ | △ | △ |  |  |  |
| 电磁剖面法 | △ | ○ | ○ | △ |  |  |  |
| 瞬变电磁法 | ○ | ○ | △ |  |  |  |  |
| 探地雷达法 | △ | △ | △ | △ |  | ○ |  |
| 浅层地震反射波法 | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  |  |
| 浅层地震透射波法 | ○ | △ | △ | △ |  |  |  |
| TSP法 |  |  |  |  |  | ○ |  |
| 面波法 | ○ | △ | △ |  |  |  |  |
| 微动勘探法 | ○ | ○ | ○ | ○ |  |  |  |
| 高精度磁法 |  | △ |  | ○ |  |  |  |
| 放射性测量法 |  | ○ | ○ |  |  |  |  |
| 声纳测深法 |  |  |  | △ |  |  | △ |
| 侧扫声纳法 |  |  |  | △ |  |  | △ |
| 水域地震法 |  |  |  | ○ |  |  |  |
| 水域直流电法 |  |  |  | ○ |  |  |  |
| 水域磁法 |  |  |  | ○ |  |  |  |
| 井间层析成像法 | △ | ○ | ○ | △ |  |  |  |
| 管波探测法 |  | △ | ○ |  |  |  |  |

注：○表示推荐方法，△表示可选方法。

**15.5.9** 在应用地球物理勘探方法前，应进行方法技术和数据采集参数的有效性试验；试验地段应选择在有对比资料，且具有代表性的地段。常用地球物理勘探方法的适用条件见表15.5.9。

**表15.5.9 常用地球物理勘探方法适用条件表**

| 探测方法 | 适用条件 |
| --- | --- |
| 自然电场法 | 地下水埋藏较浅，流速足够大，并有一定的矿化度。 |
| 充电法 | 含水层埋深小于50m，地下水流速大于lm/d；地下水矿化度微弱；覆盖层的电阻率均匀。 |
| 直流电测深法 | 被测岩层有足够厚度，岩层倾角小于20°；相邻层电性差异显著，水平方向电性稳定；地形平缓。 |
| 高密度电阻率法 | 被测地质体与围岩的电性差异显著，其上方没有极高阻或极低阻的屏蔽层;地形平缓，覆盖层薄。 |
| 激发极化法法 | 在测区内没有游散电流的干扰，存在激电效应差异。 |
| 电磁测深法 | 被测地质体有足够的厚度及显著的电性差异；电磁噪声比较平静；地形开阔、起伏平缓。 |
| 电磁剖面法 |
| 瞬变电磁法 |
| 探地雷达法 | 被测地质体上方没有极低阻的屏蔽层和地下水的干扰；没有较强的电磁场源干扰。 |
| 浅层地震反射波法 | 被探测地层与相邻地层有一定的波阻抗差异。 |
| 浅层地震透射波法 | 被测地层的波速应明显大于上覆地层波速。 |
| 面波法 | 被测地层与相邻层之间、不良地质体与围岩之间，存在明显的波速和波阻抗差异。 |
| 微动勘探法 | 被测地层与相邻层间、不良地质体与围岩之间，存在明显的横波波速和波阻抗差异。 |
| 井间层析成像法 | 被探测体与围岩有明显的物性差异；电磁波CT要求外界电磁波噪声干扰小。 |
| 管波探测法 | 测试段无金属套管、有孔液。 |

**15.5.10** 初步勘察及不具备钻探作业条件的详勘部位宜采用地面方法进行地球物理勘探，专项勘察阶段宜采用透视法进行孔间物探。

**15.5.11** 场地基岩面起伏或发育岩溶、球状风化体、断裂且对轨道交通工程建设有影响时，宜开展地球物理勘探。

**15.5.12** 岩溶地球物理勘探还应符合以下要求：

**1**  勘探测线一般应垂直于岩溶发育带布置。

**2**  复合对称四极剖面法辅以联合剖面法、浅层地震法（瑞雷面波法、横波反射法、地震映像法、微动勘探法）、高密度电法、地质雷达等，主要用于探测岩溶洞隙的分布、位置及相关的地质构造、基岩面起伏等；

**3** 无线电波透视法、探地雷达法、井间层析成像法（如弹性波CT、电磁波CT、电阻率CT等）、孔中电视、管波法等，主要用于探测岩溶洞穴的位置、形状、大小及充填状况等；

**4** 充电法、自然电场法可用于追索地下暗河河道位置、测定地下水流速和流向等。

**15.5.13**  断裂地球物理勘探还应符合以下要求：

**1**  测线宜垂直或大角度相交于断裂的走向，确定断裂走向时，应有2条以上的测线通过断裂；

**2** 对破碎带露头宜采用面波法进行测试。

**15.5.14** 球状风化体地球物理勘探还应符合下要求：

**1** 根据地球物理勘探具备的条件，可选用高密度电阻率法、探地雷达法、微动勘探法、浅层地震反射波法、高精度磁法、声纳法、井间层析成像法等开展球状风化体地球物理勘探。

**2** 初步勘察阶段地球物理勘探宜以地面方法为主，局部重点关注的部位可增加井内或井间地球物理勘探。

**3** 详细勘察阶段、施工阶段地球物理勘探宜以井内或井间方法为主。

可根据地球物理勘探验证的需要，布置勘探点。

**15.5.15** 地球物理勘探成果报告应包括文字报告、地球物理勘探成果图、地质解释图、平面图、成果表等，文件格式应满足国家和行业规范要求，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。

# 16 原位测试

16.1 一般规定

**16.1.1** 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。

**16.1.2** 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。

**16.1.3** 原位测试的仪器设备应定期检验和标定。

**16.1.4** 原位测试应符合国家或行业有关测试规程的规定。

16.2 标准贯入试验

**16.2.1** 标准贯入试验适用于砂土、粉土、黏性土、残积土、全风化岩及部分强风化岩。

**16.2.2** 标准贯入试验的设备应符合表16.2.2的规定。

**表16.2.2 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 | ＜1/100 |

**16.2.3** 标准贯入试验可在钻孔全深度范围内试验点间距宜2～3m、液化判别时试验点间距宜1m～1.5m，或在个别土层内1～2m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。

**16.2.4** 保持贯入器垂直状态打入土中15cm后，开始记录每打入10cm的锤击数，累计打入30cm的锤击数为标准贯入试验锤击数N。当在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。

(16.2.4)

式中：N’—实测标准贯入锤击数；

—相应于50击时的贯入深度(cm)。

**16.2.5** 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。

**16.2.6** 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；

**3** 当需要进行修正且钻杆长度大于3m时，经过修正的标准贯入试验锤击数按下式确定：

（16.2.5）

*N*——经过修正的标准贯入试验锤击数；

*α*——触探杆长校正系数，可按表16.2.6查表确定。

**表16.2.6 触探杆长度校正系数**

| 杆长（m） | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校正系数 | 1.00 | 0.92 | 0.86 | 0.81 | 0.77 | 0.73 | 0.70 |
| 杆长（m） | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | — |
| 校正系数 | 0.67 | 0.64 | 0.61 | 0.58 | 0.55 | 0.52 | — |

16.3 圆锥动力触探试验

**16.3.1** 圆锥动力触探类型应符合表16.3.1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16.3.1 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 |
| 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 | N10 | N63.5 | N120 |

**16.3.2** 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。

**16.3.3** 不宜使用单孔锤击数对土的工程性质作出评价。

**16.3.4** 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。

16.4 旁压试验

**16.4.1** 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。

**16.4.2** 旁压试验应在有代表性的位置和深度进行，试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于1m。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且不应小于旁压器测量腔长度的1.5倍，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。

**16.4.3** 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，防止孔壁拥塌；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。

**16.4.4** 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。

**16.4.5**加荷等级可采用预期临塑压力的1/7～1/5或极限压力的1/12～1/10，如不易预估临塑压力或极限压力时，可按表16.4.5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16.4.5 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 | ≤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。

**16.4.6** 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；

**16.4.7** 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fL和临塑强度fy，按下列公式计算：

（16.4.7-1）

（16.4.7-2）

式中：—旁压试验初始压力(kPa)；

—旁压试验极限压力(kPa)；

—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：

（16.4.7-2）

式中：—旁压模量(kPa)；

—泊松比(碎石土取0.27，砂土取0.30，粉土取0.35，粉质教土取0.38，黏性土取0.42)；

—旁压器量测腔初始固有体积(cm3)；

V0—与初始压力p0对应的体积(cm3)；

Vf—与临塑压力pf对应的体积(cm3)；

—旁压曲线直线段的斜率(kPa/cm3)。

16.5 静力触探试验

**16.5.1** 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（）、锥头阻力（qc）、侧壁摩阻力（）和贯入时的孔隙水压力（u）。

**16.5.2** 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。

**16.5.3** 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。

**16.5.4** 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。

**16.5.5** 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。

16.6 载荷试验

**16.6.1** 载荷试验一般包括浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基土；深层平板载荷试验适用于试验深度不小于5m的深层地基土和大直径桩的桩端土；螺旋板载荷试验适用黏土和砂土地基，用于深层地基土或地下水位以下的地基土。

**16.6.2** 平板载荷试验一般采用圆形或正方形钢质板。土的浅层平板载荷试验承压板的面积不应小于0.25m2，对于软土和粒径较大的填土，不应小于0.50m2；对于含碎石的土，承压板宽度应为最大碎石直径的10～20倍；土的深层平板载荷试验承压板面积宜选用0.50m2，紧靠-承压板周围外侧的土层高度不应少于80cm；岩石载荷试验承压板的面积不宜小于0.07m2；螺旋板载荷试验承压板直径根据土性分别取0.160m或0.252m。

**16.6.3** 基床系数在现场测定时宜采用K30方法，即采用直径30cm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Kv和水平基床系数Kh。

**16.6.4** 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。

**16.6.5** 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；螺旋板头人土时，应按每转一圈下入一个螺距进行操作，减少对土的扰动。

**16.6.6** 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16.6.6的规定取值。

**表16.6.6 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，稍密粉土、砂土 | 15～25 |
| 硬塑黏性土，中密粉土、砂土 | 25～50 |
| 坚硬黏性土，密实粉土、砂土 | 50～100 |
| 碎石类土，软岩及风化岩 | 100～200 |

**16.6.7** 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。

**16.6.8** 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（lgt）曲线。应根据p-s曲线拐点，必要时结合s-lgt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16.6.8-1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）的压力评定土的承载力，但其值不应大于最大加载量的一半；

**表16.6.8.1 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＜/b=0.001～0.002所对应的压力为土的承载力。

**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E0（MPa），可按下式计算：

（16.6.8-1）

深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验的变形模量E0(MPa)，可按下式计算：

（16.6.8-2）

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

μ—土的泊松比按式(16.4.7-3)取值；

d—承压板直径或边长(m)；

ρ—p-s曲线线性段的压力(kPa)；

s—与压力ρ对应的沉降(mm)；

ω—与试验深度和土类有关的系数，可按表16.6.8-2的规定选用。

**表16.6.8.2 深层载荷试验计算系数ω**

| 土类  d/z | 碎石土 | 砂土 | 粉土 | 粉质黏土 | 黏土 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.30 | 0.477 | 0.489 | 0.491 | 0.515 | 0.524 |
| 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。

**16.6.9** 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。

16.7 扁铲侧胀试验

**16.7.1** 扁铲侧胀试验适用于软土、一般黏性土、粉土和松散～中密的砂土。

**16.7.2** 扁铲侧胀试验应在有代表性的地点进行，测试点间距般为0.2m～0.5m。

**16.7.3** 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的气压实测值为5kPa～25kPa，率定时膨胀至1.10mm的气压实测值为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。

**16.7.4** 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：

(16.7.4-1)

(16.7.4-2)

(16.7.4-3)

式中：P0—膜片向土中膨胀之前的接触压力(kPa) ；

P1—膜片膨胀至1.10mm时的压力(kPa)；

P2—膜片回到0.05mm时的终止压力(kPa)；

Zm—调零前的压力表初读数(kPa)。

**2** 根据p0、p1和p2计算下列指标z

(16.7.4-4)

(16.7.4-5)

(16.7.4-6)

(16.7.4-7)

式中：ED—侧胀模量（kPa）；

KD—侧胀水平应力指数；

ID—侧胀土性指数；

UD—侧胀孔压指数；

u0—试验深度处的静水压力(kPa)；

—试验深度处土的有效上覆压力(kPa)。

**3**绘制ED、ID、KD和UD与深度的关系曲线。

16.8 十字板剪切试验

**16.8.1** 十字板剪切试验适用于测定饱和软黏性土的不排水抗剪强度及灵敏度等参数，测试深度不宜大于30m。

**16.8.2** 试验点宜根据土层的静力触探分层情况，结合工程特点和要求进行布置，竖向测点间距可取1m～2m。

**16.8.3** 十字板剪切试验时，应始终保持机座处于水平状态，在地表水以下进行十字板剪切试验时，应有保证试验孔不产生偏斜和防止探杆弯曲的措施。试验孔对水平地面的垂直度偏差不应大于2%。

**16.8.4** 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°/10s～2°/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。

**16.8.5** 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。

**16.8.6** 根据原状土的十字板强度cu和重塑土的十字板强度c’u，土的灵敏度St，按下式计算：

（16.8.6）

16.9 波速测试

**16.9.1** 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。

**16.9.2** 应用条件应符合下列规定

**1** 测试钻孔井壁应光滑，不坍塌、不掉块，测试段应无金属套管；破碎地层的孔段可放置塑料套管；

**2** 波速测井的测试段应有井液，且井液浓度不大；测试段的纵波波速应高于井液波速，并具有足够厚度；

**3** 波速测试钻孔井壁地层层次不宜过多，并具有足够厚度；测试横波波速是宜为裸孔，如有塑料套管，管外空间应事先注入水泥砂浆或用水砂充填。

**16.9.3** 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。

**16.9.4** 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** 竖向测试点间距宜为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。

**16.9.5** 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。

**16.9.6** 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。

**16.9.7** 土层的动剪切模量Gd和动弹性模量Ed可按下列公式计算：

(16.9.7-1)

(16.9.7-2)

式中：μd—土的动泊松比；

ρ—土的质量密度(kg/m3)；

vs—剪切波波速(m/s)。

16.10 岩体原位应力测试

**16.10.1** 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。

**16.10.2** 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。

**16.10.3** 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。

**16.10.4** 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5με；

**4** 同一钻孔内的测试读数不应少于3次。

**16.10.5** 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。

**16.10.6** 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，计算方法应符合国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266）的有关规定；

**2** 根据岩芯解除应变值和解除深度，绘制解除过程曲线；

**3** 根据围压试验资料，绘制压力与应变关系曲线，计算岩石弹性常数。

16.11 现场直接剪切试验

**16.11.1** 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。

**16.11.2** 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平时，可采用平推法或斜推法；当剪切面较陡时，可采用楔体法；

**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0.25m2，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0.3m2，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1/4～1/3。

**16.11.3** 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。

**16.11.4** 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。

**16.11.5** 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。

**16.11.6** 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，应避免水压力和穆流对试验的影响；

**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土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%～10%分级等量施加，或按法向荷载的5%～10%分级等量施加；岩体按每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。

**16.11.7** 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。

16.12 地温测试

**16.12.1** 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。

**16.12.2** 温度传感器的测量误差不宜大于±0.5℃，温度传感器和读数仪使用前应进行校验。

**16.12.3** 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。

**16.12.4** 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℃。

**16.12.5** 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；插入至测试探度后，至少应静止5min～10min，方可开始观测。

**16.12.6** 地温长期观测周期应根据当地气温变化确定。

**16.12.7** 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。

16.13 钻孔全景光学成像

**16.13.1** 钻孔全景光学成像可用于观测地层岩性、岩石结构，进行地质分层；观测孔壁岩溶洞穴、采空区、球状风化体、软弱夹层、裂隙、断层、岩体破碎、地下水活动等地质现象；测定地层、断层、裂隙的倾向、倾角和厚度等产状要素及裂隙的密度、开闭程度；观察孔内套管的安装情况及完整性。

**16.13.2** 钻孔全景光学成像宜在干孔、清水孔中进行。当孔中、管中水质透明度不足时，应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清。观测钻孔井壁时，观测段不可埋设套管或其他管材。

**16.13.3** 钻孔全景光学成像仪器设备应符合下列规定：

**1** 摄像机分辨率不应低于500万像素，彩色低照度应达到0.1 lux；

**2** 摄像角度宜为360°，方位精度应达到1°；

**3** 深度或距离计数精度应大于0.1m。

**16.13.4** 钻孔全景光学成像数据采集应符合下列规定：

**1** 摄像应记录工程名称、孔号或井号、工作日期等参数；

**2** 图像显示的深度相对误差不应大于0.5%，与电缆标记的绝对误差不应大于100mm，每隔500mm应进行一次校正；

**3** 记录的图像应清晰可辨，且能读出罗盘显示的方位；

**4** 成像可相片与连续影像相结合，也可对异常部位静止拍摄影像，连续拍摄时的摄像机移动速度不宜大于30m/min。

**16.13.5** 钻孔全景光学成像成果整理应符合下列规定：

**1** 钻孔全景光学成像成果原始图像宜展开、拼接成分段连续的图片，横向应从左到右按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向应标注图片所处的深度或高程；

**2** 测井获取的图像宜用于计算地层、断层、裂隙的产状。

16.14 视电阻率测井

**16.14.1** 根据城市轨道交通工程电源系统及设备供电、防雷与接地等设计需要，开展岩土层视电阻率测试。

**16.14.2** 视电阻率测井应符合下列规定：

**1** 精确测定地层顶底界面位置时宜选用梯度电极系，岩层大角度倾斜时宜选用电位电极系；

**2** 非数字测井仪器的电极系类型和电极距应根据仪器探头结构和探测要求，通过试验确定；

**3** 三侧向电流测井应保证地面电极接地良好且供电稳定，记录电流曲线时应检查并确定增量方向；

**4** 地面电极设置在远离高压线和无工业游散电流干扰的地点，采用两极装置时地面电极间距大于50倍并下电极距；

**5** 曲线出现负位或在金属套管中不归零时，应查明原因、消除故障后重新测量；

**6** 测速宜小于1m/min，直读电阻率的测量相对误差为求取电参数应有井径曲线配合，取完整、厚层围岩中段的电阻率作为近似值。

**16.14.3** 视电阻率测井成果的整理应符合下列规定：

**1** 测井柱状图与钻孔柱状图并列绘制，钻孔深度应以孔口为深度零点，测井深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致；

**2** 重点井段应作详细分层解释。

16.15 土壤氡气浓度检测

**16.15.1** 土壤中氡气的浓度可采用电离室法、静电收集法、闪烁瓶法、金硅面垒型探测器等方法进行测量。

**16.15.2** 测试仪器性能指标应包括：

**1** 工作温度应为：－10℃～40℃之间；

**2** 相对湿度不应大于90％；

**3** 不确定度不应大于20％；

**4** 探测下限不应大于400Bq／m3。

**16.15.3** 测量区域范围应与工程地质勘察范围相同。

**16.15.4** 在岩土工程勘察范围内布点时，应以间距10m作网格，各网格点即为测试点，当遇较大石块时，可偏离±2m，但布点数不应少于16个。布点位置应覆盖基础工程范围。

**16.15.5** 在每个测试点，应采用专用钢钎打孔。孔的直径宜为20～40mm，孔的深度宜为500～800mm。

**16.15.6** 成孔后，应使用头部有气孔的特制的取样器，插入打好的孔中，取样器在靠近地表处应进行密闭，避免大气渗入孔中，然后进行抽气。宜根据抽气阻力大小抽气3～5次。

**16.15.7** 所采集土壤间隙中的空气样品，宜采用静电扩散法、电离室法或闪烁瓶法、高压收集金硅面垒型探测器测量法等方法测定现场土壤氡浓度。

**16.15.8** 取样测试时间宜在8:00～18:00之间，现场取样测试工作不应在雨天进行，如遇雨天，应在雨后24h后进行。

**16.15.9** 现场测试应有记录，记录内容应包括：测试点布设图，成孔点土壤类别，现场地表状况描述，测试前24h以内工程地点的气象状况等。

**16.15.10** 地表土壤氡浓度测试报告的内容应包括：取样测试过程描述、测试方法、土壤氡浓度测试结果等。

16.16 大地导电率测量

**16.6.1** 大地导电率测量数据主要用于电气化线路和铁路通讯的抗干扰设计。

**16.6.2** 测量大地导电率可选择直流电法、电流互感法、线圈法、偶极法或地质资料判定法。

**16.6.3** 宜选择直流电法采用温纳测深装置。由于客观原因无法进行现场测量或工程前期需要参考时可采用地质资料判定法。

**16.6.4** 大地导电率测量应符合下列规定：

**1** 测点应布置在距离地铁线路中心线100m范围内，地形条件限制时不宜超过300m，并与线路对应位置处于同一地层中。

**2** 最大*AB*/2应达到50*H*Z电流的影响深度，并大于电测深曲线与解释曲线交点所对应的装置长度。

**3** 依据探测要求和现场地形条件可只测与解释全线交点附近3～4个电极距的视电阻值。

**4**  车站应布置测点，区间可根据需要和岩性特征布置测点；相邻测点的800*H*Z和50*H*Z大地导电率值相差大于3倍时应加密测点。

**16.6.5** 大地导电率成果可用图示或数值表示，并应注明测点地名、里程位置及测区的地层和岩性。

# 17 室内试验

17.1 一般规定

**17.1.1**岩土水样品的室内试验项目类型，应根据工程特点、岩土性状和工程分析计算需要，由勘察项目负责人确定或技术负责人统筹、确定。

**17.1.2** 岩土室内试验的试验方法、操作和采用的仪器设备应符合国家标准《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。

**17.1.3** 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。

17.2 土的物理性质试验

**17.2.1** 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。

**17.2.2** 土的比重，可直接测定也可根据经验值确定。

**17.2.3** 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。

**17.2.4** 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。

**17.2.5** 结合地质条件和工程类型，必要时应进行土的腐蚀性试验。

**17.2.6** 对于采用水泥土搅拌桩处理的地基，应测定其有机质含量、PH值及塑性指数。

**17.2.7** 岩土热物理指标的测定，可采用热线法、瞬态平面热源法、热平衡法、平板热流计法或差式扫描量热法，各种方法的试验操作要点见附录E。热物理指标的三项参数有下列相互关系：

 (17.2.7-1)

式中：ρ—密度(kg/m3)；

α—导温系数(m2/h)；

λ—导热系数[W/(m·K)]；

C—比热容[kJ/(kg·K)]。

17.3 土的力学性质试验

**17.3.1** 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。

**17.3.2** 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。

**17.3.3** 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-lgp曲线的要求，必要时测定回弹模量和回弹再压缩模量。

**17.3.4** 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）。

**17.3.5** 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。

**17.3.6** 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。

**17.3.7** 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。

**17.3.8** 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回结压力时，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。

17.4 岩石试验

**17.4.1** 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。

**17.4.2** 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，并应提供有关参数。

**17.4.3** 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。

**17.4.4** 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。

**17.4.5** 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。

17.5 水和土的腐蚀性试验

**17.5.1** 当有足够经验或充分资料，认定工程场地及其附近的水（地下水或地表水）和土对建筑材料为微腐蚀时，可不取水土试样。否则，应取水、土试样进行试验，评价水、土对建筑材料的腐蚀性。

**17.5.2** 土对钢结构腐蚀性的试验及评价结合任务要求进行。

**17.5.3** 水和土的腐蚀性取样应符合本规范第15章要求。

**17.5.4**水和土腐蚀性的测试项目和试验方法应符合下列规定：

**1** 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、C1-、SO42-、HCO3-、CO32-、侵蚀性C02、游离C02、NH4+、OH-、总矿化度；

**2** 土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、C1-、SO42-、HCO3-、CO32-易溶盐（土水比1:5）分析；

**3** 土对钢结构的腐蚀性的测试项目包括：pH值、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失；

**4** 腐蚀性测试项目的试验方法应符合表17.5.4的规定。

**表17.5.4水、土腐蚀性试验方法**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 试验项目 | 试验方法 | 试验项目 | 试验方法 |
| pH值 | 酸度计 | OH- | 中和法 |
| Na+、K+ | 差减法 | NO3- | 水杨酸比色法 |
| NH4+ | 盐酸容量法 | 侵蚀性CO2 | 盖耶尔法 |
| Ca2+ | EDTA二纳综合滴定 | 游离CO2 | 中和法 |
| Mg2+ | EDTA二纳综合滴定 | 总矿化度 | 计算法 |
| Cl- | 硝酸银容量法 | 氧化还原电位法 | 铂电极法 |
| SO42- | EDTA二纳容量法 | 极化电流密度 | 原位激化法 |
| HCO3- | 酸滴定法 | 电阻率 | 四极法 |
| CO32- | 酸滴定法 | 质量损失 | 管罐法 |

注：EDTA是指乙二胺四乙酸，化学式为C10H16N2O8。

# 18 地下水

18.1 一般规定

**18.1.1** 城市轨道交通岩土工程勘察应查明沿线场地及其周边区域的水文地质条件，分析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建议，提供地下水控制设计、施工所需的水文地质参数。

**18.1.2** 当水文地质条件复杂且对工程及地下水控制有重大影响时，对于特殊场地或工程需要时，应进行专门的水文地质勘察。

**18.1.3** 地下水控制勘察应在搜集已有资料和现场踏勘后制定勘察方案，采用调查与测绘、钻探、物探、试验和动态观测等多种手段相结合的综合勘察方法。

**18.1.4** 地下水控制勘察的范围、内容和工作量应根据工程特点和场地水文地质复杂程度、地下水控制设计和施工的技术要求、地区经验等确定。

18.2 地下水的勘察要求

**18.2.1** 地下水控制勘察应包括下列主要内容：

**1** 搜集区域气象和沿线周边水文资料，评价其对地下水影响；

**2** 查明地下水的类型和赋存状态、含水层的分布规律和岩性特征；

**3** 查明地下水的补给、径流和排泄条件，地表水与工程场地的水力联系；

**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** 当场地有多层对工程影响的地下水位时，分层量测地下水位，并查明各含水层之间的补排关系；

**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，提出地下水控制方法的建议；

**8** 提供地下水控制设计所需的水文地质参数；

**9** 必要时，分析评价地下工程修建和所采取的地下水控制措施对区域地下水环境的影响。

**18.2.2** 山岭隧道或基岩隧道工程地下水勘察还应包括下列内容：

**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，查明岩溶类型、岩溶发育特征、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，分析因地下水变化引发的其他地质灾害，并提出防治措施建议。

**18.2.3** 基岩裂隙水地区勘察尚应符合下列规定：

**1** 勘察工作量应能控制主要含水构造和破碎带；

**2** 应充分利用物探查明基岩构造和裂隙发育；

**3** 查明构造裂隙性质、分布、发育情况、产状特征；

**4** 预测构造或断层破碎带突水的可能性。

**18.2.4** 地下水勘察工作布置应符合下列规定：

**1** 应满足对地下水控制设计和施工的要求；

**2** 抽水试验井应充分考虑地下水类型和含水层的富（透）水性，并结合地下水控制的需要确定；

**3** 观测孔的布置与抽水试验井的距离宜为（1～2）倍含水层厚度；

**4** 勘探孔、抽水试验井、观测孔的数量宜根据水文地质复杂程度按表18.2.4的规定布置；

**5** 勘探孔深度应能控制对工程有影响的含水层。

表18.2.4 地下水控制每个含水层勘察数量表

| 水文地质复杂程度 | 勘探孔（个） | 抽水试验井（个） | 观测孔（个） |
| --- | --- | --- | --- |
| 简单 | 1 | 1 | 1 |
| 中等 | 2～3 | 1～2 | 2～4 |
| 复杂 | ＞3 | ＞2 | ＞4 |

**18.2.5** 抽水试验井应符合下列规定：

**1** 深度应能控制对工程有影响的含水层；

**2** 抽水试验井宜为完整井；

**3** 井管直径在松散层中不应小于200mm,在基岩中不应小于110mm；

**4** 沉砂管长度宜为1m～2m；

**5** 水泵置入设计降水深度以下不应少于2m。

**18.2.6** 观测孔应符合下列规定：

**1** 观测孔底部宜进入最大降深水位以下3m；

**2** 钻径宜为50mm～100mm；

**3** 深度、过滤器位置与抽水试验井一致；

**4** 沉砂管长度宜为50cm～60cm。

**18.2.7** 当地下水对工程建设和运营有重要影响时，宜布置长期水文观测孔;长期观测孔宜在初步勘察阶段布置。

**18.2.8** 应分工点采取地下水水试样或土试样进行试验分析，水试样和土试样采取和试验方法应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）的有关规定。

18.3 水文地质参数的测定

**18.3.1** 水文地质参数的现场试验方法应根据含水层分布、渗透性、工程特点和地下水控制设计要求选择；当水文地质条件复杂且对工程影响重大时，应通过现场试验确定水文地质参数。

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

**18.3.3**  初见水位和稳定水位的量测，可在钻孔、探井和测压管内直接量测，精度不得低于±2cm，并注明量测时间。量测稳定水位的间隔时间应根据地层的渗透性确定，从停钻至量测的时间：砂土和碎石土不宜少于0.5h，粉土和黏性土不宜少于8h。对位于江边、岸边的工程，地表水与地下水应同时量测。

**18.3.4**  测定地下水流向可用几何法，量测点不应少于呈三角形分布的3个测孔（井）；地下水流速的测定可采用指标剂法或充电法。

**18.3.5** 抽水试验和注水试验孔（井）布置应符合下列规定：

**1** 在需人工降低地下水位的车站、区间应布置试验孔（井）；

**2** 试验孔宜布置在不同水文地质单元、对工程建设有影响的不同含水层（组）且富水性较强的地段，应距隧道外侧3～5m；

**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。

**18.3.6** 抽水试验应符合下列规定：

**1** 抽水试验方法可按表18.3.6的规定确定；

表18.3.6 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 |
| 不带观测孔的单孔抽水 | 初步测定含水层的渗透性系数 |
| 带观测孔的多孔抽水 | 较准确测定含水层的各种参数 |

**2** 简易抽水试验或单孔抽水试验可采用提水试验方法和稳定流抽水试验方法；

**3** 多孔抽水试验宜采用稳定流抽水试验方法；

**4**  稳定流抽水试验宜三次降深，稳定连续时间宜为8～24h，最大降深宜接近工程设计所需的地下水位降深的标高；

**5**  水位量测应采用同一方法与仪器，读数单位对抽水孔为cm，对观测孔为mm；

**6**  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16 h，基岩含水层（带）为24 h；

**7** 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；

**8** 抽水试验的渗透系数可根据国家标准《供水水文地质勘察规范》（GB50027）进行计算，当有成熟地区经验时，可根据其他经验公式计算。

**18.3.7** 试坑渗透试验和注水试验分别在试坑和钻孔中进行；对砂土和粉土，可采用试坑单环法，对粘性土可采用试坑双环法；试验深度较深时，可采用钻孔法；注水稳定时间宜为4h～6h。

**18.3.8**  压水试验应根据工程要求，结合工程地质测绘和钻探资料确定试验孔位，按岩土层的渗透性大致类型划分试验段。

**18.3.9**  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**  测压计的安装和埋设应符合有关技术规定；

**3** 安装完成后，应连续监测最少7d；

**4** 测试数据应及时分析整理，出现异常时应分析原因，采取相应措施。

**18.3.10** 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。

**18.3.11** 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。

**18.3.12**  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；含水层的渗水性根据k按表18.3.12的规定划分。

表18.3.12 含水层的渗透性

| 类别 | 特强透水 | 强透水 | 中等透水 | 弱透水 | 微透水 | 不透水 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| K（m/d） | K＞200 | 10≤K≤200 | 1≤K＜10 | 0.01≤K＜1 | 0.001≤K＜0.01 | K＜0.001 |

**18.3.13** 水文地质参数计算应采用与场地水文地质条件相适应的计算公式和地下水控制设计水位降深相近的水位变化值。

18.4 地下水作用

**18.4.1**  城市轨道交通岩土工程勘察应分析评价地下水对工程结构和工程施工可能产生的作用和影响，包括地下水的力学作用、物理和化学作用、对周边环境的影响。

**18.4.2**  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，提出截排水措施建议；

**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、粉土地层中或岩溶场地，应分析产生潜蚀、流土、管涌或坑底突水的可能性，提出预防措施建议；

**5**  在地下水位下开挖基坑或地下工程时，应分析评价降水或隔水措施的可行性及其对基坑稳定和周边环境的影响，提出适宜的地下水控制方法建议。

**18.4.3** 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、全风化岩、残积土和膨胀岩土，应评价地下水的聚集和散失所产生的软化、崩解、湿陷、和胀缩等有害作用。

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

**18.4.5**  当采用降水方法进行地下水控制时，应分析评价工程降水可能引起的环境岩土工程问题和风险，提出处理措施建议。

**18.4.6**  当采用帷幕隔水方法时，应分析截水帷幕的深度、施工工艺的可行性和施工中可能存在的风险。

18.5 地下水控制

**18.5.1** 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。

**18.5.2** 降水方法可按表18.5.2的规定选用。

表18.5.2 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、粘性土、砂土 | ＜20.0 | ＜2 |
| 井  点  降  水 | 电渗井点 | 粘性土 | ＜0.1 | ＜6 |
| 喷射井点 | 填土、粘性土、粉土、粉砂 | 0.1～20.0 | 8～20 |
| 真空井点 | 粘性土、粉土、粉砂、细砂 | 0.1～20.0 | 单级＜6、多级＜20 |
| 管井 | | 砂类土、碎石土、岩溶、裂隙 | 1.0～200.0 | ＞5 |
| 大口井 | | 砂类土、碎石土 | 1.0～200.0 | 5～20 |
| 辐射井 | | 粘性土、粉土、砂土 | 0.1～20.0 | ＜20 |
| 引渗井 | | 粘性土、粉土、砂土 | 0.1～20.0 | 将上层水引渗到下层含水层 |

**18.5.3**  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。

**18.5.4** 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。

**18.5.5** 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。

**18.5.6** 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。

# 19 岩土工程分析评价与成果报告

19.1 一般规定

**19.1.1** 岩土工程分析评价应在收集已有资料，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、施工方法和设计要求进行。

**19.1.2** 岩土工程分析评价应明确所依据的技术标准，内容和深度应符合所选用标准的技术要求，且应充分考虑省内地域特点和地方工程经验。

**19.1.3** 岩土工程分析评价应在定性分析的基础上进行定量分析，如岩土体的变形、强度和稳定性定量分析，但场地的稳定性和适宜性作定性分析。

**19.1.4** 岩土工程分析评价应论据充分、逻辑合理，所提建议应技术可行、经济合理。岩土参数的分析与选用应符合国标标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的相关规定。

**19.1.5** 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。

**19.1.6** 勘察报告应统一地质单元划分、工程地质水文地质分区、岩土分层的标准与代号。

**19.1.7** 可行性研究阶段及总体设计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、车辆段、停车场、变电所等分别编制。

**19.1.8** 详勘阶段，根据工程需要，可提供三维地质图或BIM地质信息模型。

19.2 岩土参数数理统计

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

**1** 应按不同工程地质单元进行分层统计，统计方法应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定；

**2** 按工程的性质及各类岩土参数在工程设计中的作用，可分别给定范围值、算术平均值（或最大、最小平均值）、子样数、标准差、变异系数等；

**3** 子样的取舍应先分析产生偏差的原因，后考虑数据的离散程度和已有的工程经验。

**19.2.2** 静力触探试验参数应以单孔为单位，每个孔每层应取一个指标参与统计，算术平均值应采用各孔穿越该层的厚度加权平均值。对不连续的标准贯入、旁压、十字板、波速试验等，应以试验点数据为单位进行分层统计。

**19.2.3** 土的工程特性指标应包括强度指标、压缩性指标、静力触探比贯入阻力或锥尖阻力、标准贯入试验击数、动力触探击数和载荷试验值等。岩石的工程特性指标应包括强度指标、载荷试验值等。

**19.2.4** 岩土工程特性指标代表值采用标准值、平均值、特征值等表达，其中岩土抗剪强度指标采用标准值，压缩性指标采用平均值，承载力指标采用特征值。

**19.2.5** 岩土的物理性质指标宜采用算术平均值，并计算相应的均方差与变异系数，给出范围值。当变异系数较大时，应记录异常数据，分析误差及异常数据产生的原因，提出建议值。

**19.2.6** 抗剪强度指标可按最小二乘分析法、作图法确定计算值。当变异系数大于30%时，宜剔除大值，取小值平均确定计算值。压缩变形指标应提供相应的压缩系数、压缩模量计算值。先期固结压力可给定范围值，并计算相应的超固结比，提供压缩指数和回弹指数。

**19.2.7** 岩土参数应根据原位试验、原位测试和室内试验等结果并结合本地区工程经验综合确定。

19.3 成果分析与评价

**19.3.1** 勘察报告中的岩土工程分析评价与建议，应包括下列内容：

**1** 工程项目场地的稳定性、适宜性评价；

**2** 地基稳定性与均匀性分析评价；

**3** 划分场地土类型和场地类别，评价地震液化和软土震陷的可能性，计算地震液化指数，提出相关设防措施建议；

**4** 土石可挖性分级，地下工程的围岩分级，围岩、边坡稳定性和变形分析，对施工方法、支护方案和施工措施的建议；

**5** 高架工程、路基及各类地面建筑工程的地基承载力及变形分析，对地基基础设计方案的建议；

**6** 评价不良地质作用及特殊性岩土对工程影响，提出治理方案的建议；

**7** 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；

**8** 地下水对工程的静水压力、浮托作用等分析，提出降水或截水方案的建议；

**9** 水和土对混凝土等建筑材料腐蚀性的评价及防治措施；

**10** 说明地质条件可能造成的工程风险。

**19.3.2** 明挖法施工应重点分析评价下列内容：

**1** 分析基坑隆起、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** 支护结构类型选择、连续墙槽壁稳定性、支护桩成桩可行性分析评价，连续墙、立柱桩的持力层选择和承载力分析，软弱下卧层稳定性评价；

**3** 岩体中软弱结构面特性、空间分布组合及其对边坡、坑壁稳定的影响；

**4** 分析岩土层的渗透性、富水性及水位变化，评价排水、降水、截水等措施的可行性；

**5** 分析地下连续墙、钻孔咬合桩、立柱桩等施工及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，提出防治措施建议；

**6** 在既有轨道交通线路安保区开挖基坑时，应分析评价基坑开挖、降水对既有线路结构的影响，提出防治措施建议。

**19.3.3** 矿山法施工应重点分析评价下列内容：

**1** 根据岩土及地下水的特性，评价隧道围岩的稳定性，进行围岩分级，提出隧道开挖方式、衬砌形式、超前支护方式等建议；分析评价洞口仰坡及两侧边坡的稳定性，提出洞口边坡支护措施建议；

**2** 在围岩分级的基础上，指出围岩破坏的可能形式和影响围岩稳定的薄弱部位；

**3** 分析不良地质作用和特殊性岩土的情况，指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等风险的地段，提出围岩加固或治理的建议；

**4** 根据隧道断面、埋深、岩土特性、施工方法等分析隧道开挖引起地面变形的特性和影响范围，提出环境保护措施建议；

**5** 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。

**19.3.4** 盾构法施工应重点分析评价下列内容：

**1** 根据岩土层的特点和岩土物理力学性质指标，提出盾构机选型应注意的地质问题；

**2** 提供岩土压力、水压力、土的颗粒组成及特征参数，土的渗透系数、岩石质量指标（RQD值）、岩石抗压强度、耐磨性指标等相关参数；

**3** 分析联络通道、区间工作井等部位岩土工程条件，提出开挖支护工法等建议；

**4** 评价复杂地质条件以及河流、湖泊、海水等地表水体对盾构施工的影响；

**5** 提出在软硬不均地层中开挖措施及开挖面障碍物处理方法建议；

**6** 分析浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响，并提出防治措施；

**7** 分析盾构施工可能造成的土体变形特征，评价地面隆起或下沉对工程周边环境的影响，提出防治措施建议。

**19.3.5** 高架工程应重点分析评价下列内容：

**1** 提供桩（墩）基承载力及变形计算所需的岩土参数，估算单桩（墩）承载力；

**2** 根据岩土层的特征和物理力学指标，提出桩（墩）的类型、持力层选择的建议；

**3** 分析影响桩（墩）基稳定和受力变形特性的不良地质作用和特殊性岩土，提出防治措施建议；

**4** 评价成桩的可能性，指出成桩过程应注意的问题，提出措施建议。

**19.3.6** 地面建筑物、构筑物的岩土工程分析评价，应符合国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021）的有关规定。

**19.3.7** 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及施工监测的要求；

**2** 施工降水导致地下水位变化，出现区域性降落漏斗、岩溶塌陷、水质恶化、地面沉降、生态失衡等情况，提出防治措施建议；

**3** 评价工程建成后或运营过程中，可能对周围的岩土、工程周边环境的影响，提出防治措施建议。

**19.3.8** 分析评价周边新建建筑物、基坑开挖、地面超载与卸载及其他工程活动可能对已建或在建轨道交通工程建设和运营的影响，提出预防和保护措施建议。

19.4 勘察报告的基本要求

**19.4.1** 勘察报告应符合下列规定：

**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，图上应包含地形、线位、站位、里程、结构轮廓线等；

**4** 勘探点宜投影到线路断面上绘制工程地质断面图，并应包含钻孔里程、线路里程及工点剖面等；

**5** 地震区划图、地质构造图、区域交通位置图等平面图应包括轨道交通线路位置和必要的工点标识。

**19.4.2** 规划勘察与可行性研究勘察报告除符合19.4.1条的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 提供区域性的地貌、地质构造、地层岩性、水文地质等资料，提供地震、水文、气象等资料；

**2** 对搜集的资料和勘察成果进行综合分析，初步划分工程地质单元，评价拟建场地稳定性和适宜性；

**3** 初步分析评价场地不良地质作用和特殊性岩土对线路方案、敷设形式及施工方法的影响，为编制规划与工程可行性研究报告提供基本的工程地质依据；

**4** 当有两个或者两个以上的拟选线路方案、站位方案、敷设方案时，应从工程地质、水文地质、工程周边环境等综合分析和评价，提出比选结论和建议；

**5** 提出初步勘察工作的建议。

**19.4.3** 初步勘察报告除符合19.4.1条的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 提供场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质，确定场地不良地质作用和特殊性岩土发育区段，评价其对工程的影响；

**2** 评价场地拟建地段稳定性和适宜性；

**3** 查明场地不良地质作用、特殊性岩土的分布与特性，分析评价其对工程的影响，并提出防治措施建议；

**4** 初步划定围岩分级，对岩土性状进行初步评价，提出岩土参数建议值；

**5** 初步确定地下水的类型、补给、径流和排泄条件，含水层和隔水层的分布，水位动态变化规律，初步评价地下水对工程的作用与影响；

**6** 结合工程周边环境调查结果，初步分析评价工程建设与重要环境对象的相互影响，提出处理措施建议；

**7** 对线路位置、隧道埋深、施工方法等提出建议；

**8** 提出详细勘察工作建议。

**19.4.4** 详细勘察报告除符合19.4.1条的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 提供场地地形、地貌、地层、地质构造，分层提供设计和施工需要的岩土特性指标与设计参数；

**2** 分析评价地基、围岩及边坡稳定性。划分场地土类型和场地类别，评价地震液化和软土震陷的可能性；

**3** 提供地下水水位、渗透系数、动态变化，评价地下水对工程的作用及对混凝土等建筑材料的腐蚀性；

**4** 划分地下工程的围岩级别和土石可挖性等级，并分段评价围岩的稳定性；

**5** 分析地基、围岩、边坡设计与施工中的岩土工程问题，预测岩土条件给工程施工带来的风险，提出地基基础、开挖、支护、地下水控制、岩土加固、不良地质及特殊性岩土治理的建议；

**6** 结合工程周边环境调查成果，分析评价工程建设与工程周边环境的相互影响，提出保护措施建议；

**7** 对工程施工和运营过程中可能产生的环境地质问题进行预测，提出防治措施的建议；

**8** 针对不同工点特性提出工程监测建议。

19.5 勘察报告的内容

**19.5.1** 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。

**19.5.2** 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、勘察要求与目的、勘察范围、勘察方法与执行标准等；

**2** 场地的地形、地貌、水文、气象、区域地质概况；

**3** 勘察场地地面条件及工程周边环境，地下管线情况等；

**4** 场地复杂程度划分、勘察分级、周边环境风险分级；

**5** 勘察技术要求、勘探工作量布置原则及完成工作量等；

**6** 岩土工程特征描述，岩土分区与分层，岩土物理力学性质、岩土施工工程等级、隧道围岩分级；

**7** 地表水分布情况、水化学特征、与场地地下水的水力联系情况，地下水类型、赋存、补给、排泄条件，地下水位及变化，水和土的腐蚀性评价，岩土层的透水性及富水性，最大涌水量预测；

**8** 场地不良地质作用、特殊性岩土的描述和对工程危害程度评价；

**9** 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、抗震地段类别、饱和砂土地震液化及软土震陷判；

**10** 场地稳定性和适宜性评价；

**11** 地基稳定性和均匀性评价；

**12** 场地工程周边环境条件分析和工程相互影响的评价，环境保护的工程措施和现场监测建议；

**13** 对各类工程进行岩土工程评价，并提出地基基础方案建议；

**14** 对设计、施工过程中可能出现的岩土工程问题进行预测，提出相应预防措施建议；

**15** 针对工程特点对地质条件风险进行评价，并提出相应的风险控制措施。因现场场地条件或现有技术手段的限制，存在无法探明的工程地质或水文地质情况时，应分析设计和施工中潜在的风险。

**19.5.3** 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** 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表；

**3** 原位测试成果汇总统计表；

**4** 土工试验成果汇总统计表；

**5** 岩石试验成果汇总统计表；

**6** 水质分析成果汇总表；

**7** 土的热物理指标测试成果汇总表；

**8** 其他的相关分析表格。

**19.5.4** 勘察报告的图件宜包括下列内容：

**1** 勘探点线平面位置图；

**2** 工程地质纵、横断（剖）面图；

**3** 钻孔地质柱状图；

**4** 原位测试成果图；

**5** 水文地质试验综合成果图；

**6** 必要时提供区域地质构造图、水文地质图、综合工程地质图及分区图、重要地层等值线图；

**7** 其他相关图件。

**19.5.5** 勘察报告的附件宜包括下列内容：

**1** 室内试验成果报告；

**2** 野外原位测试成果报告；

**3** 工程物探报告；

**4** 现场及岩芯照片；

**5** 其他重要的支持性材料。

**19.5.6** 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19.5.2条～第19.5.5条执行。工程周边环境调查报告应符合本规范第15.5节的要求。

# 20勘察安全

20.1 一般规定

**20.1.1** 勘察安全作业与管理应符合《岩土工程勘察安全标准》（GB50585）。

**20.1.2** 勘察安全生产管理应符合下列规定：

**1** 建立安全生产管理机构，配备经安全生产培训考核合格的专职安全生产管理人员；

**2** 告知作业人员作业场所和工作岗位存在的危险源、安全生产防护措施和安全生产事故应急救援顶案；作业人员在生产过程中应遵守安全生产操作规程；

**3** 定期进行安全生产检查，制定并实施安全生产事故应急救援预案，每年组织一次综合应急预案演练或专项应急预案演练；

**4** 对从业人.员定期进行安全生产教育和安全生产操作技能培训，未经培训考核合格的作业人员不得上岗作业；

**5** 根据现行国家标准《个体防护装备选用规范》（GB/T 11651）的有关规定,为作业人员配备个体防护装备，勘察作业现场设置安全生产防护设施，每年度安排用于配备个体防护装备、安全生产防护措施、安全牛产教育和培训等安全生产费用；

**6** 对有职业病危害的工作岗位或作业场所，应采取符合国家职业卫生标准的防护措施，并应符合现行国家标准《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001）和《环境管理体系要求及使用指南》（GB/T 24001）的有关规定;

**7** 勘察作业前，应对危险源进行辨识和评价；

**8** 与分包单位签订分包合同，明确分包单位安全生产管理责任人和各白在安全生产方面的权利和义务，对分包任务作业过程实施安全生产监督；

**9** 对从业人员在作业过程中发生的伤亡事故和职业病状况进行统计、报告和处理。

20.2 勘察安全生产要求

**20.2.1** 勘察项目安全生产管理应符合下列规定：

**1** 组织有关专业负责人到现场踏勘，了解勘察现场作业条件，搜集勘察作业场地与安全生产有关的各类地下管线、地上架个线、地下建（构）筑物、地质灾害、水文和气象等资料；

**2** 项目负责人应履行项目安全生产管理职责；

**3** 项目负责人应对作业人员进行安全技术文底；

**4** 作业人员应熟悉和掌握作业场地生存、避险和相关应急救援技能；

**5** 进入施工现场的作业人员应遵守施工现场各项安个生产管理规定；

**6** 保留作业过程安全生产记录。

**20.2.2** 编制岩土工程勘察大纲前，勘察项目负责人应组织有关专业负责人现场踏勘，并进行如下准备工作：

**1** 了解勘察现场作业条件；

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

**3** 开展专项地下障碍物、构筑物及地下管线调查工作；

**4** 搜集与勘探安全生产有关的气象和水文等资料；

**5** 按相关要求办理占道或水上钻探施工许可，并了解相关行政主管部门对于安全施工的要求。

**20.2.3** 勘察大纲中的勘察安全措施应包括下列内容：

**1** 勘探作业现场危险源辨识和危险源安全防护措施；

**2** 作业人员和勘察设备安全防护措施；

**3** 交通安全措施；

**4** 地下管线和地下设施安全措施；

**5** 水上作业安全措施；

**6** 夜间作业安全措施；

**7** 其他作业安全措施。

**20.2.4** 作业人员和勘察设备安全防护应符合以下要求：

**1** 进入勘探作业区，作业人员应穿戴工作服、工作鞋和安全帽等安全生产和劳动防护用品，高处作业应系安全带；

**2** 未按规定佩戴和使用劳动防护用品的勘察作业人员，严禁上岗作业；

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

**4** 遇台风、暴雨、雷电、冰雹、浓雾等气象灾害时，应停止现场勘察作业，并做好勘探设备和作业人员的安全生产防护工作；

**5** 钻探设备应定期维修保养，确保仪器设备性能；

**6** 钻探作业前，应对钻探设备安装质量、管材质量和安全防护设施等进行检查，并应在符合规定后再进行作业。

**20.2.5** 交通安全应符合以下要求：

**1** 外业钻探施工场地应设置安全可靠围挡，并设置警戒标识。在交通道路上作业的，应按规范《道路交通标志和标线第4部分：作业区》（GB5768.4）的规定，设置作业区交通标志；

**2** 作业期间，应保留并维持交通标志良好状态；

**3** 钻探作业机具、材料等放置在围挡范围内，摆放整齐；

**4** 位于道路的探坑或孔口应设置围挡等安全设施和安全标志；

**5** 在铁路和占用道路进行勘察作业点测放作业时，应遵守所在地政府有关部门的管理规定，并应有专人指挥作业和协助维持交通秩序；

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

**20.2.6** 地下管线避让与保护应符合以下要求：

**1** 根据已有管线图，勘探布点及现场测设应避开各种地下管线；

**2** 采用物探手段进行地下管线探查、验证；

**3** 核对勘探部位的地下管线图纸和现场标志，请管线权属部门现场指认；

**4** 可能分布地下管线的的孔位在机械钻进前先人工开挖至原状土层或不少于3m，之后采用压入法缓慢钻进至不少于6m，遇异常应停钻处理；

**5** 勘察作业时，导电物体外侧边缘与架空输电线路边线之间的最小安全距离应符合表20.2.6的有关规定；

表20.2.6 勘察作业导电物体外侧边缘与架空输电线路边线之间的最小安全距离

| 电压（kV） | 1 | 1～10 | 35～110 | 154～330 | 550 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 最小安全距离（m） | 4.0 | 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 |

**6** 除上述要求外，勘察作业点与各类地下管线及设施之间的最小水平安全距离还应符合相关管理部门的有关规定。

**20.2.7** 水上作业应符合以下要求：

**1** 作业期间应悬挂锚泊信号、作业信号和安全标志；

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

**3** 作业平台宽度不小于5m，作业平台四周应设置高度不小于0.9m的防护栏，平台周边设置防撞设施；

**4** 应采取措施确保钻探平台均衡，可采用堆放重物或注水压舱方式保持作业平台稳定；在通航水域，每个定位锚应设置锚漂和安全标志；

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

**6** 水上钻探作业完毕，应及时清除埋设的套管、井口管和留置在水域的其他障碍物。**20.2.8** 夜间作业应符合以下要求：

**1** 按20.2.4条、20.2.5条采取相应措施；

**2** 确保作业人员不疲劳作业；

**3** 夜间作业或交通道路上作业的，在作业区夜间宜设置照明或主动发光标志，同时应设置施工警告灯。施工警告灯设置在围挡顶部，也可同时设置在围绕作业区的其他设施上；

**4** 安排人员进行夜间巡视和检查。

# 21 勘察信息化

21.1 一般规定

**21.1.1** 城市轨道交通岩土工程勘察信息化，应根据工程特点和管理需求，通过移动互联网、物联网、地理信息系统、全球定位系统、云计算等信息化技术，运用BIM及三维有限元可视计算等方法，建立数据采集、分析、统计、处理和作业管理、监控的信息平台，实现勘察过程、勘察成果和项目管理的标准化、信息化、自动化、智能化。

**21.1.2** 岩土工程勘察信息化应包括勘察作业信息化、勘察项目管理信息化、勘察成果信息化及信息化平台的维护与运营，涵盖岩土勘察全流程，提高勘察作业信息化、智能化程度，减少人工参与。

**21.1.3** 应建立信息交换接口标准化，各个流程宜在同一平台系统完成，包括项目管理、人员管理、企业管理、权限管理等，并可在便携式移动设备上使用，信息化软件、勘察成果数据库的编制应遵循或兼容本章的规定执行。

**21.1.4** 信息化平台系统应对勘察数据的录入、修改过程实时记录，确保数据的可追溯性。

**21.1.5** 信息化平台维护与运营应符合《中华人民共和国保守国家秘密法》、《中华人民共和国网络安全法》、《互联网信息服务管理办法》等相关法律法规的规定。

21.2 勘察作业信息化

**21.2.1** 勘察作业信息化应建立数据标准格式，统一地层要素及编码，相关岩土分类、定名、描述等标准应符合本规范的相关规定。

**21.2.2** 外业数据采集系统应以手持智能终端为载体，可自动导入项目信息和技术要求，包括项目编号、钻孔编号、钻孔设计坐标与标高、终孔深度要求等，外业采集过程中可电子化录入岩土层分类、定名、深度、厚度、岩性描述、岩土水取样、原位测试结果、岩芯照片等数据和信息，录入后通过移动互联网实时传输至服务器。

**21.2.3** 外业数据采集系统应电子化录入现场岩土水样品的定名、取样深度、编号等基本信息，通过现场打印二维码标签对每个样品进行独立标识。

**21.2.4** 外业数据采集系统宜通过与钻探或原位测试设备建立数据采集及交互接口，自动记录标贯、动力触探等现场原位测试成果，实现旁压、波速、电阻率等原位测试数据自动上传等功能。

**21.2.5** 外业数据采集系统应具备一定的数据统计和分析功能，实时统计主要地层取样、原位测试的间距、数量等是否满足规范要求，分析原位测试深度是否跨层，分析终孔深度是否满足技术要求，出现异常应预警提示人工参与处理。

**21.2.6** 土工试验数据处理系统应具备扫描二维码标签读取样品基本信息和试验内容的功能，对样品进行分类，并按技术要求进行土工试验。

**21.2.7** 土工试验数据处理系统应与各土工试验设备建立交互接口，对试验数据自动采集、统计和处理，生成土工试验成果，并将数据传至服务器。

**21.2.8** 外业数据及土工试验数据采集、处理和归档等信息化作业流程应符合ISO、CMA等质量认证体系的相关要求。

21.3 勘察项目管理信息化

**21.3.1** 勘察项目管理信息化应实现勘察技术要求、钻孔布置图、管线图、地形图等文档便携式在线查阅，实现流程手续文件、勘察大纲、会议纪要等在线上传及审批，涵盖开工准备、方案审批、现场实施、成果编制、归档结算等全过程管理。

**21.3.2** 应实行分层级分版块权限管理，企业权限管理可以控制属于该企业的个人用户权限，可以创建角色，控制其所能访问和使用的功能；项目权限管理可以控制属于该项目的个人用户权限，可以创建项目角色，控制其能访问和使用的项目功能。

**21.3.3** 项目管理系统中应实时记录上传、校审或审批意见、文件或数据修改的过程，保证过程的可追溯性。

**21.3.4** 项目管理系统应实时记录设备的全球定位系统的定位信息，对勘察外业数据采集的过程及真实性进行监控。

**21.3.5** 勘察项目管理信息化应通过数字传输技术，将视频监控系统接入信息化管理平台，建立远程视频监控系统，对现场实施在线监控。

**21.3.6** 视频监控系统应具备云台控制、抓图、录像控制、预置点管理、监控点3D放大、视频存储、检索等功能，可对现场作业实施过程进行记录和回溯。

**21.3.7** 视频监控系统建设应符合国家有关网络监控安全的法律法规。

21.4 勘察成果信息化

**21.4.1** 勘察信息化系统应具备数据与图形转换功能，可自动生成钻孔平面布置图、钻孔柱状图，可根据指定的钻孔生成剖面图，形成图形文件初步成果，图例和线型符合勘察成果编制规范规定和总体技术要求。

**21.4.2** 勘察信息化系统应具备数据统计功能，可根据需要生成钻孔基本信息、室内试验数据和原位测试结果统计表格等，作为勘察成果的编制基础和附表资料。

**21.4.3** 勘察信息化系统应在外业采集数据与土工试验成果数据汇总基础上，自动生成规范格式的勘察报告文档，作为勘察报告编制的初稿。

**21.4.4** 勘察信息化系统应具备电子化归档功能，电子文件应采用通用存储格式，数据表格宜采用纯文本或XLS格式，文档文件宜采用PDF或DOC格式，CAD图形文件宜采用DWG或DXF格式，光栅图像文件宜采用JPG或TIFF格式。

**21.4.5** 宜结合工程需要，提供三维地质信息模型，可视化展示场地的岩土层分布及地层构造情况。

**21.4.6** 宜建立勘察成果数据云平台，对既有的成果数据进行规模化数字化管理。

# 附录A 岩土施工工程分级

**A.0.1** 岩土施工工程分级应符合表A.0.1规定：

表A.0.1岩土施工工程分级表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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  (工天) |
| 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、硬塑和软塑的粉质粘土、硬塑和软塑的粘土，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 |
| Ⅲ | 硬土 | 坚硬的粘性土、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 | 部分用橇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 |
| 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(软粘性土、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。

# 附表B 圆锥动力触探击数修正

**B.0.1** 当采用重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数应按下式修正：



式中——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

—— 修正系数，按表E.0.1的规定取值；

——实测重型圆锥动力触探锤击数。

表B.0.1重型圆锥动力触探锤击数修正系数

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

注：表中L为杆长。

**B.0.2** 当采用超重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数应按下式修正：



式中——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

 —— 修正系数，按表B.0.2的规定取值；

——实测超重型圆锥动力触探锤击数。

表B.0.2 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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C 人工冻土试验取样及试样制备要求**

**C.0.1** 土样采取应满足以下基本要求：

**1** 在冻结壁或现场未冻地层中采集时，每块土样尺寸不小于250mm×250mm×250mm；在钻孔中采取时，土样尺寸不小于φ90mm×200mm；

**2** 土样数量应满足试验项目的要求；

**3** 土样采集时应作好原始记录并对每块土样进行编号，贴上标签。

**C.0.2**冻土样的采集及送样应符合以下基本要求：

**1** 从冻结壁或冻土墙采集的冻土块，用修土刀修成所需尺寸，并作好土性、标高、层位及数量等土样记录；

**2** 将土样用双层塑料袋包装密封，标上标签，并用线绳捆扎好；

**3** 将捆好的冻土样，用保温材料（棉絮、玻璃棉或泡沫塑料）和双层塑料袋包严。再用绳捆扎好，标上标签并附土样记录装入土样集装箱。

**4** 用冷藏车（－30℃～－1℃）恒温运至试验地点。

**5** 试验人员根据土样记录验收土样，验收合格后在验收单上签字登记。

**6** 将土样按层位分别存放在－10℃以下恒温冷库的指定位置。

**7** 试验后的土样，应保存至提交试验报告后半年，如委托单位事先提出特殊要求，可协商确定。

**C.0.3** 未冻土样的采集及送样应符合以下基本要求：

**1** 从地质检查孔中取得芯样，刮去泥浆皮，或从现场未冻土地层中取得土样，用修土刀修成所需尺寸，并作好土性、标高、层位及数量等土样记录；

**2** 包装按C.0.2第2条规定进行；

**3** 将捆扎好的非冻土样浸入石蜡中，再次密封，标上标签并附土样记录装入土样集装箱，运至试验地点；

**4** 按照C.0.2第5条进行接收；

**5** 将土样按层位存放在常温试验室内；

**6** 试验后的土样管理按C.0.2第7条规定进行。

**C.0.4** 土的室内试样应满足以下要求：

**1** 规格：人工冻土单轴抗压强度试验、人工冻土单轴蠕变试验、人工冻土三轴剪切强度试验、人工冻土三轴蠕变试验，人工冻土静水压力下固结试验试样规格φ61.8mm×150mm和φ5Omm×100mm，应保证试样最小尺寸大于土样中最大颗粒粒径的10倍；土壤冻胀试验试样规格φ（50mm～150mm）×（25mm～75mm)，高径比为0.5；冻土抗折强度试验试样规格200mm×50mm×50mm；

**2** 精度：外形尺寸误差小于1.0%，试样两端面平行度误差不大于O.5mm；

**3** 配土：重塑土含水和粗细颗粒混合都应均匀，试样击实密度均匀；

**4** 含水率：重塑土含水率与天然含水率，当含水率小于40%时误差不大于1%，当含水率大于40%时误差不大于2%，或根据用户需要确定，同一组试样的含水率差值在±1.0%；

**5** 密度：重塑土密度与原状土密度两次测定的差值不大于0.03g/cm3，取两次测量值的平均值。

# 附录D 勘探孔注浆封孔技术要点

**D.0.1**  勘探孔注浆封孔可按以下步骤实施：材料准备-设备安装调试-浆液配置-封孔注浆-检查补浆-拔管-孔口检查--孔口填实封堵-恢复路面。

**D.0.2** 勘探孔注浆封孔实施应符合以下要求：

**1** 配置浆液应搅拌均匀，浆液采用水灰比宜为0.5～0.7：1的水泥浆。

**2** 配置浆液数量应不小于钻孔计算体积和预计超灌量，还应考虑漏浆等情况需要补充的浆液体积。

**3** 终孔后不拔取套管，利用钻杆作为封孔注浆通道。钻杆下部放至距孔底0.3m左右后，开始泵送水泥浆。注浆浆液通过钻杆从孔底往上返浆。

**4** 待孔口出现返浆水泥浆液，且浆液液面维持稳定不少于5分钟后，可停灌并起拔注浆管和套管。若浆液液面无法稳定，需维持注浆状态，直至液面稳定。

**5** 套管全部起拔，补充拔管损失浆液。

**6** 孔口封孔回填前，再次检查水泥浆体表面与孔口距离，若出现明显下沉，需查明原因并采取处理措施。

**7** 孔口封孔回填时，先清理孔口杂质，将孔口以下用水泥砂浆填实，抹平孔口。填实水泥砂浆厚度不少于20cm。

**8** 恢复路面至正常状态。

**D.0.3** 在岩溶区等复杂地层条件注浆时，应根据钻探揭示岩溶发育程度和渗漏情况等估算浆液用量，准备充足浆液。

**D.0.4** 因钻孔揭露溶洞裂隙注浆漏失明显的，可采用调整水灰比、回填黏土球、打入木塞或双液注浆工艺等手段先进行封堵，再采用注浆等方式处理。

**D.0.5** 对于埋设声测管、水位管的钻孔，注浆封孔前宜将埋管拔出，无法拔出的可进行扫孔处理。

**D.0.6** 采用压力注浆的应注意控制并记录注浆压力。

**D.0.7** 当采用新工艺，或缺乏经验，或因地层条件复杂、地下水流动性大或承压水水压大等因素可能影响封孔效果时，应通过试验性封孔确定具体的封孔施工参数和封孔工艺。

**D.0.8** 应记录封孔采用设备和型号、使用水泥等材料数量及规格、配比情况、配置及使用浆液数量、开始注浆时间、孔口反浆时间、浆液液面稳定时间、水泥砂浆封堵孔口时液面深度和孔口水泥砂浆填实厚度。详细记录出现的异常情况。

**表D.0.1 勘探孔注浆封孔记录表**

工点名称： 勘察单位：

| 勘察阶段 |  | 钻孔编号 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 勘探孔终孔时间 |  | 勘探孔孔径（mm）/深度（m） |  |
| 水泥浆搅拌设备 |  | 注浆设备及型号 |  |
| 水泥用量（kg） |  | 浆液数量（m3） |  |
| 水灰比 |  | 注浆管口下  放深度（m） |  |
| 注浆开始时间 |  | 注浆结束时间 |  |
| 注浆压力（MPa） |  | 超灌比（注浆量/勘探孔计算体积） |  |
| 拔管前水泥浆液面稳定时间（min） |  | 孔口回填时水泥浆面距孔口深度（cm） |  |
| 孔口回填时间 |  | 孔口回填材料 |  |
| 漏浆情况及  采取措施 |  | | |
| 影像记录 | □照片 □录像 | | |
| 备注 |  | | |

记录： 机长： 检查： 日期： 年 月 日

# 附录E 热物理指标试验要点

**E.0.1** 定义和适用范围

**1** 岩土的热物理指标一般包括导热系数、比热容、导温系数三个指标。导热系数是指在稳定传热条件下，1m厚的材料，两侧表面的温差为1摄氏度（或开尔文），在1秒内通过1平方米面积传递的热量，用λ表示，单位为瓦/米·度。比热容指单位质量的某种物质升高单位温度所需的热量，用C表示，单位是千焦/千克·开尔文。导温系数又称热扩散系数，表示岩土体在升温或冷却时，各部分温度趋于一致的能力，是表示传播温度变化能力大小的指标。

**2** 本试验的目的是测得岩土热物理指标，由于三个指标之间的关系，因此只需要测得其中两个指标，即可得到岩土的热物理指标。

**3** 本试验适用于大部分岩土类。

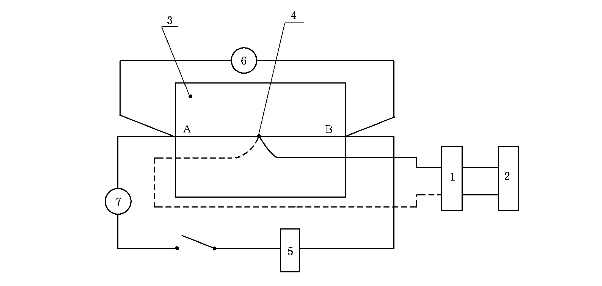
**E.0.2** 热线法

**1** 原理

热线法是测定材料导热系数的一种非稳态方法，其原理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。

**2** 仪器装置

热线法测定装置如下图所示，A、B点距试样边缘的距离应不小于5mm，距测温热电偶的距离应不小于60mm



1——补偿器2——记录仪3——待测试样4——热电偶测量端

5——电源6——电压表7——电流表

**图E.1 热线法装置示意图**

**3** 制样要求

1）试样为两块尺寸不小于40mm×80mm×114mm的互相叠合的长方体或为两块横断面直径不小于80mm，长度不小于114mm的半圆柱体叠合成的圆柱体。

2）试样互相叠合的平面应平整，其不平度应小于0.2%，且不大于0.3mm，以保证热线与试样贴合良好。

3）对于松散砂状材料的测定，应使用两个内部尺寸不小于40mm×80mm×114mm的盒子，将待测试样装填到盒中，两盒装填密度应各处均匀一致，并测定和记录试样的装填密度。

**4** 测量

1）将试样与测量探头的组合体置于加热炉内，把加热炉内温度调至测定温度，当热线中部的热电偶温度变化小于每5min为0.1K，且试样表面的温度与焊在热丝上的热电偶的指示温度的差值在热线最大温升的1%内，即认为试样达到了测定温度；

2）接通热线加热电源，同时开始记录热线温升，测定过程中，总温升宜控制不超过20K；

3）测量热线的电流I和电压U；

4）加热时间达预定测量时间为5min时，切断加热电源；

5）每一测量温度下，应重装测定探头测定三次。

**5** 结果计算

其中：

*λ*——导热系数（*W/m·K*）；

*I*——加热丝的电流（*A*）；

*U*——加热丝的电压（*V*）；

*L*——热线*AB*间长度（*m*）；

*θ1、θ2*——热线的两次测量温升（*K*）；

*t1、t2*——测*θ1*、*θ2*时的加热时间（*s*）。

**E.0.3** 瞬态平面热源法

**1** 原理

瞬态平面热源法测定材料热物性的原理是基于无限大介质中阶跃加热的圆盘形热源产生的瞬态温度响应。利用热阻性材料做成一个平面的探头，同时作为热源和温度传感器。将探头放置于两个样品中间，给探头施加恒定直流电。电流通过时，产生一定的温度上升，产生的热量同时向探头两侧的样品进行扩散，热扩散的速度依赖于材料的热传导特性。通过记录温度与探头的响应时间，由数学模型可得到导热系数和导温系数。

**2** 仪器装置

瞬态平面热源法测试装置如下图所示：



1——样品和探头2——样品仓3——真空泵4——温度控制器

5——电桥回路6——数字电压表7——输出电压8——控制器

**图E.2 瞬态平面热源法装置示意图**

**3** 制样

1）打开原状土试样或柱状岩芯，需制备一个相对平整的样品表面，配有专用试样装夹装置。Φ7.5mm探头所测样品最小尺寸（15×15×3.75mm），Φ15mm探头所测样品最小尺寸（30×30×7.5mm）；

2）对于松散砂状样品，直接装进专用试样测试盒。

**4** 测量

1）将探头放置于试样中间，使探头与试样充分接触；

2）打开控制器，电流通过探头时，产生一定的温度上升，产生的热量同时向探头两侧的样品进行扩散，记录温度与探头的响应时间。

**5** 结果计算

其中：

*α*——导温系数（m2/h）；

*τ‘*——距面热源d（m）温度升高θ’时的时间（h）

*y*——函数B（y）的自变量函数B（y）值：

其中：

*B（y）*——自变量为y的函数

*τ1*——关掉加热器的时间（h）

*τ2*——加热停止后，热源上温度升高θ2时的时间（h）

其中：

*λ*——导热系数（*W*/(*m·K*)）

*I*——加热电流（*A*）

*R*——加热器电阻（*Ω*）

*S*——加热器面积（*m2*）

**E.0.4** 平板热流计法

**1** 原理

平板热流计法采用热流计检测导热系数和热阻的方法，以稳定导热原理为基础，在试样的一面加入稳定的热面温度，热量通过试样传到冷面，当热板与冷板在恒定温度的稳定状态下，通过测量热流传感器上稳定的热流量，即可计算出试样的导热系数。

**2** 仪器装置

导热系数装置由测温系统、加热器、热流传感器、热板、冷板组成，在热板和冷板中分别放置测温热电偶，测量时试样夹在热板与冷板中间

**3** 制样

（1）用仪器配置的专用试样筒切取试样，如为柱状岩芯，按要求切割成高4～5cm饼状岩芯，要求试样不平行度小于0.5%，且不大于0.5mm；

（2）对于松散砂状样品，填进仪器专用的试样筒，并测定和记录试样的装填密度。

**4** 测量

（1）用游标卡尺测量试样厚度d（mm）；

（2）将试样放置在热板和冷板直接, 且使热流传感器与试样紧密接触；

（3）接通冷却装置，打开电源开关和加热开关，设置加热板的恒定温度及升温速率；

（4）启动升温，当达到设置温度，热板和冷板的温度稳定一段时间，且热流计显示值长时间不变，开始测定热流传感器的输出值。

**5** 结果计算:

其中：

*λ*——导热系数(*w/(m.K*)

*f*——热流传感器的标定系数( *W/ m2.mV*)

*e*——热流传感器的输出值(*mV*)

*d*——试样厚度(*m*)

*t1*——热面温度*(℃*)

*t2*——冷面温度(*℃*)

**E.0.5** 热平衡法

**1** 原理

热平衡法又称混合法、量热杯法，是测定岩土比热容的常用方法。原理是根据牛顿冷却定律，当不同温度的物体混合在一起时，高温物体向低温物体传递热量，如果与外界无任何热交换，则两种物体形成的系统最终会达到均匀、稳定的平衡温度，即达到了热平衡。此时高温物体放出的热量与低温物体吸收的热量相等，在其中一个物体为水，且已知水的比热容的情况下，就能得到待测物体的比热容。

**2** 仪器设备

1）比热容测试仪；

2）烘箱：温度能保持在105～110℃的电热恒温干燥箱，温度可调节；

3）电子天平：称量400g，感量0.01g，称量5100g，感量0.1g；

4）高精度测温仪表；

5）其它：保温桶、试样筒、搅拌棒、热电偶、干燥器等。

**3** 制样

1）采用四分法取有代表性试样200～300 g；

2）坚硬柱状岩芯切割打磨成4-5cm厚的圆饼状，并在试样中心钻小孔方便热电偶测温。

**4** 测量

1）将待测试样装入试样筒内，敲实，称试样筒＋试样质量，计算试样重量（试样重量＝总重－试样筒质量），如为柱状岩芯，将钻好孔的样品放入试样筒中，并记录试样质量*G2*；

2）将恒温箱中的热端热电偶插入试样的中心位置（或用钢针预先在试样中心插一个孔，再将热电偶插入）。将试样筒放入恒温箱中加热试样，恒温箱设定温度宜比室温高20℃左右，待恒温箱温度稳定后，记录试样的恒定温度*T1*；

3）称合适质量的水，并记录*G1*，倒入保温桶中，并将外侧热电偶插入水中，测量水的温度*T2*；

4）待2）中试样温度恒定后，快速将试样从铜盒中倒入装水的保温瓶中，盖紧盒盖。水和试样通过热传递，温度发生变化，待温度稳定后记录水的终温*T3*（必要时可摇动保温桶，以便热传递更充分）；

**5** 结果计算

C=4.2×

其中：

4.2——纯水在T3到T2温度范围内的平均比热容*(J/kg.K*)；

*T1*—土样下落时的初温（*℃*）；

*T2*—保温桶中水的初温（*℃*）；

*T3*—保温桶中水的计算终温（*℃*）；

*G1*—水质量（*g*）；

*G2*—试样重量（*g*）；

*T3-T2*——水温上升值；

*T1-T3*——试样温度下降值。

**E.0.6** 差式扫描量热法

**1** 原理

差式扫描量热法（DSC）测定岩土比热容的原理是被测试样在温度程序控制下，与标准样品（已知比热容）的热量信号进行比对，从而确定试样的比热值。一般采用技术成熟、批量生产的差式扫描量热仪进行测试。

**2** 仪器装置

差式扫描量热法的主要仪器装置和辅助材料包括DSC差式扫描量热仪、高精度电子天平、高纯度氮气。

**3** 制样

将待测物品碾碎，取代表性样品放入铝锅内。

**4** 测量

1）接通电源，打开氮气高压钢瓶，将流量计调在一定的刻度，接通DSC炉气管；

2）打开炉盖，将试样和参比物（标准样品）分别放入样品池和参比池中，关闭炉盖；

3）根据设置好的程序方法进行试验，由计算机自动记录标准物质和试样的DSC曲线，得到待测样品的比热容值。

**E.0.7** 典型岩土层热物理指标经验值

广东地区典型岩土层热物理指标统计结果参考表E.0.1。

**表E.0.1 广东地区常见岩土层热物理指标统计值**

| 岩土类别 | 样本数 | 含水率ω | 密度ρ | 导热系数λ | 比热容 C | 导温系数 α |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (%) | (g/cm3) | W/(m·k) | KJ /(kg·K) | (m2/h) |
| <1-2>素填土 | 19 | 2.2～15 | 1.46～2.56 | 0.71～1.76 | 0.51～1.65 | 0.0010～0.0044 |
| 33 | 15.7～25 | 1.56～2.33 | 0.89～2.73 | 0.75～1.89 | 0.0001～0.0047 |
| 9 | 25.4～35.4 | 1.73～2.08 | 1.32～1.98 | 0.87～1.47 | 0.0022～0.0036 |
| <2-1A>淤泥 | 5 | 17～25.9 | 1.88～2.1 | 1.29～2.52 | 0.74～1.42 | 0.0019～0.0037 |
| 13 | 26～35.3 | 1.65～2.04 | 1.00～1.69 | 1.04～2.24 | 0.0011～0.0024 |
| 27 | 36.2～44.3 | 1.55～1.94 | 0.70～1.74 | 1.27～2.16 | 0.0006～0.0024 |
| 42 | 45.5～55 | 1.57～1.85 | 0.69～2.02 | 0.71～2.03 | 0.0009～0.0027 |
| 40 | 55.5～64.9 | 1.54～1.83 | 0.64～1.73 | 1.00～2.09 | 0.0009～0.0026 |
| 29 | 65.7～74.7 | 1.5～1.73 | 0.78～1.59 | 1.01～2.38 | 0.0008～0.0023 |
| 16 | 75.2～183 | 1.27～1.73 | 0.73～1.05 | 1.03～2.38 | 0.0009～0.0020 |
| <2-1B>淤泥质土 | 18 | 9.5～25.2 | 1.61～2.07 | 1.06～3.22 | 0.89～1.92 | 0.0013～0.0059 |
| 48 | 25.1～35 | 1.69～2.03 | 0.97～2.33 | 0.91～1.75 | 0.0013～0.0039 |
| 128 | 35.1～44.9 | 1.53～1.98 | 0.82～2.55 | 1.01～2.32 | 0.0011～0.0037 |
| 122 | 45.1～55 | 1.51～2.14 | 0.79～1.87 | 1.11～2.23 | 0.0010～0.0028 |
| 68 | 55.2～65 | 1.48～1.76 | 0.73～1.80 | 1.00～2.18 | 0.0009～0.0028 |
| 15 | 65.7～74.3 | 1.51～1.62 | 0.78～1.55 | 1.68～2.02 | 0.0009～0.0019 |
| 18 | 76.1～98.1 | 1.39～1.9 | 0.83～1.49 | 0.87～2.17 | 0.0010～0.0027 |
| <2-2>淤泥质粉细砂 | 8 | 8.2～14.6 | 1.77～2.16 | 0.98～1.78 | 0.45～1.56 | 0.0018～0.0065 |
| 67 | 15.5～24.6 | 1.57～2.13 | 0.71～2.34 | 0.79～2.74 | 0.0012～0.0042 |
| 63 | 25.1～34.5 | 1.66～2.21 | 0.89～2.19 | 0.86～2.66 | 0.0008～0.0040 |
| 44 | 35.1～44.7 | 1.59～1.87 | 0.85～2.17 | 1.04～2.47 | 0.0007～0.0031 |
| 42 | 45.2～54.6 | 1.54～1.91 | 0.86～1.91 | 1.06～1.87 | 0.0011～0.0024 |
| 17 | 56.2～87 | 1.48～1.67 | 0.84～1.67 | 1.35～2.00 | 0.0011～0.0025 |
| <2-3>淤泥质中粗砂 | 7 | 9～14.6 | 1.57～2.1 | 1.19～2.24 | 1.01～1.37 | 0.0018～0.0049 |
| 15 | 15.9～23.1 | 1.72～2.18 | 1.24～1.86 | 0.79～1.33 | 0.0021～0.0032 |
| 8 | 25.5～35.1 | 1.54～1.98 | 0.98～1.79 | 0.92～1.75 | 0.0018～0.0027 |
| <3-1>冲洪积粉细砂 | 41 | 2.5～15 | 1.59～2.23 | 0.91～3.35 | 0.50～1.83 | 0.0018～0.0060 |
| 105 | 15.1～25 | 1.53～2.3 | 1.05～3.43 | 0.48～1.71 | 0.0016～0.0069 |
| 24 | 25.2～34.8 | 1.45～2.31 | 1.05～2.65 | 0.60～2.05 | 0.0017～0.0042 |
| <3-2>洪积积中粗砂 | 129 | 1.9～15 | 1.47～2.42 | 0.73～3.79 | 0.33～2.09 | 0.0015～0.0095 |
| 113 | 15.1～25.5 | 1.67～2.33 | 0.84～3.49 | 0.36～1.75 | 0.0017～0.0071 |
| <3-3>冲洪积砾砂 | 40 | 1.8～15 | 1.2～2.35 | 0.48～3.73 | 0.62～1.93 | 0.0008～0.0079 |
| 8 | 15.4～25.3 | 1.77～2.29 | 1.35～2.38 | 0.75～1.42 | 0.0019～0.0044 |
| <4N>冲洪积粉质黏土 | 39 | 7.8～15 | 1.62～2.29 | 0.82～3.47 | 0.59～1.65 | 0.0013～0.0057 |
| 453 | 15.1～25 | 1.47～2.35 | 0.73～3.80 | 0.41～1.95 | 0.0008～0.0071 |
| 380 | 25.1～35 | 1.59～2.31 | 0.71～2.74 | 0.35～2.35 | 0.0008～0.0059 |
| 98 | 35.1～44.9 | 1.37～2.32 | 0.72～2.53 | 0.61～1.85 | 0.0009～0.0039 |
| 38 | 45.1～53.7 | 1.58～2.2 | 0.79～2.48 | 0.98～2.03 | 0.0009～0.0046 |
| <5N>碎屑岩残积土 | 12 | 16.3～23.8 | 1.90～2.16 | 1.32～2.84 | 0.97～1.68 | 0.0018～0.0050 |
| 13 | 25.4～37.8 | 1.77～1.99 | 1.16～2.41 | 1.07～1.72 | 0.0013～0.0038 |
| <5H>残积砂质黏性土 | 7 | 8.7～14.7 | 1.78～2.21 | 1.13～3.58 | 0.75～2.19 | 0.0017～0.0076 |
| 60 | 15.2～25 | 1.76～2.19 | 1.04～3.60 | 0.70～1.43 | 0.0016～0.0060 |
| 85 | 25.1～34.5 | 1.43～2.01 | 0.96～2.73 | 0.71～1.62 | 0.0013～0.0058 |
| 10 | 35.2～48.4 | 1.64～1.85 | 1.12～2.13 | 0.74～1.86 | 0.0013～0.0042 |
| <6>软质岩全风化带 | 11 | 6.1～15 | 1.80～2.31 | 1.06～1.86 | 0.80～1.35 | 0.0017～0.0033 |
| 155 | 15.2～25 | 1.45～2.21 | 0.83～2.83 | 0.53～1.89 | 0.0010～0.0050 |
| 96 | 25.1～35 | 1.66～2.22 | 0.74～2.60 | 0.72～1.71 | 0.0010～0.0045 |
| 13 | 35.7～48.5 | 1.53～1.90 | 0.82～2.07 | 0.98～1.77 | 0.0014～0.0033 |
| <6H>花岗岩全风化带 | 10 | 13～15 | 1.68～2.08 | 1.15～2.34 | 0.77～1.38 | 0.0018～0.0053 |
| 77 | 15.2～24.9 | 1.78～2.75 | 0.98～2.78 | 0.40～1.70 | 0.0012～0.0063 |
| 42 | 25.1～37.9 | 1.70～2.04 | 0.94～2.42 | 0.83～1.74 | 0.0013～0.0055 |
| <6Z>变质岩全风化 | 13 | 14.4～24.7 | 1.88～2.11 | 0.87～2.67 | 0.85～1.41 | 0.0013～0.0043 |
| 11 | 25.3～36.5 | 1.71～1.98 | 1.12～2.72 | 0.55～1.34 | 0.0016～0.0051 |
| <7-1>强风化 | 35 | 4.2～25.7 | 1.68～2.27 | 0.60～1.88 | 0.59～1.29 | 0.0012～0.0038 |
| <7-2>强风化 | 52 | 6.3～30.7 | 1.73～2.35 | 0.62～1.72 | 0.57～1.44 | 0.0011～0.0031 |
| <7-3>强风化 | 183 | 3.9～33 | 1.73～2.49 | 0.64～2.30 | 0.57～1.42 | 0.0011～0.0040 |
| <7H>强风化 | 112 | 12.6～29.5 | 1.66～2.11 | 0.85～2.42 | 0.86～1.82 | 0.0010～0.0041 |
| <7Z>强风化 | 22 | 14.2～27.4 | 1.81～2.13 | 1.05～2.39 | 0.93～1.31 | 0.0018～0.0041 |
| <8-1>中风化 | 57 | 0.6～8.7 | 2.15～2.68 | 0.54～1.87 | 0.50～0.89 | 0.0010～0.0036 |
| <8-2>中风化 | 58 | 1.7～10.2 | 2.15～2.65 | 0.53～1.86 | 0.59～1.00 | 0.0010～0.0032 |
| <8-3>中风化 | 266 | 0.6～10.8 | 2.09～2.77 | 0.55～1.96 | 0.52～0.99 | 0.0012～0.0037 |
| <8H>中风化 | 39 | 0.1～2.5 | 2.40～2.75 | 0.78～2.16 | 0.54～0.86 | 0.0012～0.0052 |
| <8Z>中风化 | 23 | 0.1～3.3 | 2.36～2.72 | 0.52～1.69 | 0.40～0.97 | 0.0012～0.0047 |
| <8C>中风化 | 25 | 0.1～2.3 | 2.42～2.74 | 0.74～1.86 | 0.52～0.87 | 0.0014～0.0040 |
| <9-1>微风化 | 56 | 0.2～4 | 2.33～2.76 | 0.63～2.52 | 0.45～0.84 | 0.0014～0.0049 |
| <9-2>微风带 | 23 | 0.8～7.5 | 2.22～2.67 | 0.55～1.24 | 0.53～0.99 | 0.0010～0.0027 |
| <9-3>微风化 | 107 | 0.4～5.5 | 2.21～2.79 | 0.63～2.06 | 0.48～0.87 | 0.0012～0.0039 |
| <9H>微风化 | 30 | 0.04～1.6 | 2.51～2.80 | 0.94～2.59 | 0.52～0.77 | 0.0019～0.0050 |
| <9Z>微风化 | 20 | 0.06～0.4 | 2.57～2.72 | 1.14～2.32 | 0.31～0.70 | 0.0023～0.0055 |
| <9C>微风化 | 87 | 0～1.7 | 2.55～3.04 | 0.60～1.75 | 0.39～0.90 | 0.0011～0.0038 |

注：1 各基岩风化带地层代号对应的岩土层见3.1.8条文说明。

2 本表数据根据广州地铁设计研究院股份有限公司2016~2019年试验数据统计得出。

# 本规范用词说明

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

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

**2** 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为：

“应符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为：“可参照……”。

# 引用标准名录

《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307）

《岩土工程勘察规范》（GB 50021）《工程岩体分级标准》（GB 50218）《岩土工程勘察安全标准》（GB/T 50585）

《城市轨道交通结构抗震设计规范》（GB 50909）《城市轨道交通地下工程建设风险管理规理规范》(GB 50652)

《建筑抗震设计规范》（GB 50011）《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）

《土工试验方法标准》（GB/T 50123）

《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266）

《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）《供水水文地质勘察规范》（GB 50027）

《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911）

《煤矿采空区岩土工程勘察规范》（GB 51044）

《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325）《个体防护装备选用规范》（GB/T 11651）

《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001）

《环境管理体系要求及使用指南》（GB/T 24001）

《道路交通标志和标线第4部分：作业区》（GB 5768.4）

《铁路工程地质勘察规范》（TB 10012）

《铁路工程不良地质规程》（TB 10027）《铁路隧道设计规范》（TB 10003）

《铁路路基设计规范》（TB 10001）

《铁路工程岩土分类标准》（TB 10077）

《铁路工程地质原位测试规程》（TB 10018）

《铁路工程水质分析规程》（TB/T 10104）

《铁路瓦斯隧道技术规范》（TB 10120）

《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）

《高层建筑岩土工程勘察标准》（JGJ/T 72）

《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）

《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120）

《建设领域信息技术应用基本术语标准》（JGJ/T 313-2013）

《市政工程勘察规范》（CJJ 56）

《城市道路工程设计规范》（CJJ 37）

《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T 7-2017）

《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ 57-2012）

《城市地下管线探测技术规程》（CJJ 61-2003）

《变电所岩土工程勘测技术规程》（DL/T 5170）《地面沉降防治工程设计技术要求（试行）》（T／CAGHP 026）

《建筑地基基础检测标准》（DBJ 15-60）

《建筑基坑工程技术规程》（[DBJ/T 15-20](http://www.baidu.com/link?url=JWW6__IZ7tzOy0AtLolG1Twtkhy1I4KfI25iVa2GFvNwu8ZK2uF-d5wZIYpp-Ypb-dneOSO7wHXDPCTp_nsOwksfKbCvqAHtWe1GqlCWhAi" \t "_blank)）

《岩溶地区建筑地基基础技术规范》（DBJ/T 15-136）《建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-31）

《建筑基坑工程技术规程》（[DBJ/T 15-20](http://www.baidu.com/link?url=JWW6__IZ7tzOy0AtLolG1Twtkhy1I4KfI25iVa2GFvNwu8ZK2uF-d5wZIYpp-Ypb-dneOSO7wHXDPCTp_nsOwksfKbCvqAHtWe1GqlCWhAi" \t "_blank)）

《浙江省城市轨道交通岩土工程勘察规范》（[DB 33/T 1126](http://www.baidu.com/link?url=V0h9F8Qyd1WZVnJoJkvlQKZ1Hz4nWysT5pdsM4n-3qD09E01Qlc7uui-duh6aDIKbTolJsZkH4zE9yv5xy6n2q" \t "_blank)）

《岩土工程勘察规范》（DBJ 13-84）

《市政工程地质勘察规范》（DBJ 50-174）

《地基基础勘察设计规范》（SJG 01）

《Code of Practice for Site Investingation》（BS 5930）

广东省标准

**城市轨道交通岩土工程勘察规范**

**Code for geotechnical investigations of urban rail transit**

**DBJ 15-XXX-20XX**

条 文 说 明

**（征求意见稿）**

**目 次**

[1 总则 143](#_Toc44193562)

[2 术语和符号 144](#_Toc44193563)

[3 基本规定 145](#_Toc44193564)

[3.1 一般规定 145](#_Toc44193565)

[3.2 勘察分级 151](#_Toc44193566)

[3.3 勘察大纲 152](#_Toc44193567)

[3.4 工程地质单元划分 152](#_Toc44193568)

[4 工程地质调绘 153](#_Toc44193569)

[4.1一般规定 153](#_Toc44193570)

[4.2 调绘与测绘工作方法 153](#_Toc44193571)

[4.3 调查与测绘工作范围 154](#_Toc44193572)

[4.4 调查与测绘工作内容 154](#_Toc44193573)

[4.5 工作成果 154](#_Toc44193574)

[5 岩土分类、描述与围岩分级 159](#_Toc44193575)

[5.1 一般规定 159](#_Toc44193576)

[5.2 岩石分类 159](#_Toc44193577)

[5.3 岩体分类 159](#_Toc44193578)

[5.4 岩石和岩体的描述 162](#_Toc44193579)

[5.5 土的分类 162](#_Toc44193580)

[5.6 土的鉴定与描述 164](#_Toc44193581)

[5.7 隧道围岩分级 166](#_Toc44193582)

[6 可行性研究勘察 169](#_Toc44193583)

[6.1 一般规定 169](#_Toc44193584)

[6.2 勘察基本要求 169](#_Toc44193585)

[7 初步勘察 171](#_Toc44193586)

[7.1 一般规定 171](#_Toc44193587)

[7.2 基本要求 172](#_Toc44193588)

[7.3 地下工程 172](#_Toc44193589)

[7.4 高架工程 174](#_Toc44193590)

[7.5 路基、涵洞工程 174](#_Toc44193591)

[7.6 地面车站、车辆基地 175](#_Toc44193592)

[8 详细勘察 176](#_Toc44193593)

[8.1 一般规定 176](#_Toc44193594)

[8.2 勘察基本要求 177](#_Toc44193595)

[8.3 地下工程 177](#_Toc44193596)

[8.4 高架工程 181](#_Toc44193597)

[8.5 路基、涵洞工程 181](#_Toc44193598)

[8.6 地面车站、车辆基地 181](#_Toc44193599)

[9 施工勘察 182](#_Toc44193600)

[10 不良地质作用调查与勘察 183](#_Toc44193601)

[10.1 一般规定 183](#_Toc44193602)

[10.2 采空区调查与勘察 183](#_Toc44193603)

[10.3 有害气体 184](#_Toc44193604)

[10.4 地面沉降 185](#_Toc44193605)

[11 特殊性岩土 186](#_Toc44193606)

[11.1 一般规定 186](#_Toc44193607)

[11.2 填土 186](#_Toc44193608)

[11.3 软土 188](#_Toc44193609)

[11.4 风化岩和残积土 188](#_Toc44193610)

[11.5 污染土 189](#_Toc44193611)

[12 岩溶勘察 190](#_Toc44193612)

[12.1 一般规定 190](#_Toc44193613)

[12.2 勘察要求 190](#_Toc44193614)

[12.3 岩土工程分析与评价 192](#_Toc44193615)

[13 断裂勘察 193](#_Toc44193616)

[13.1 一般规定 193](#_Toc44193617)

[13.2 勘察要求 194](#_Toc44193618)

[13.3 岩土工程分析与评价 195](#_Toc44193619)

[14 球状风化体勘察 196](#_Toc44193620)

[14.1 一般规定 196](#_Toc44193621)

[14.2 勘察要求 198](#_Toc44193622)

[14.3 岩土工程分析与评价 198](#_Toc44193623)

[15 勘探与取样 199](#_Toc44193624)

[15.1 一般规定 199](#_Toc44193625)

[15.2 钻探 199](#_Toc44193626)

[15.3 井探、槽探 199](#_Toc44193627)

[15.4 取样 199](#_Toc44193628)

[15.5 地球物理勘探 200](#_Toc44193629)

[16 原位测试 201](#_Toc44193630)

[16.1 一般规定 201](#_Toc44193631)

[16.2 标准贯入试验 201](#_Toc44193632)

[16.3 圆锥动力触探试验 202](#_Toc44193633)

[16.4 旁压试验 202](#_Toc44193634)

[16.5 静力触探试验 204](#_Toc44193635)

[16.6 载荷试验 205](#_Toc44193636)

[16.7 扁铲侧胀试验 205](#_Toc44193637)

[16.8 十字板剪切试验 205](#_Toc44193638)

[16.9 波速测试 206](#_Toc44193639)

[16.10 岩体原位应力测试 206](#_Toc44193640)

[16.11 现场直接剪切试验 206](#_Toc44193641)

[16.12 地温测试 207](#_Toc44193642)

[16.13 钻孔全景光学成像 207](#_Toc44193643)

[16.14 视电阻率测井 207](#_Toc44193644)

[16.15 土壤氡测试 207](#_Toc44193645)

[16.16 大地导电率测量 208](#_Toc44193646)

[17 室内试验 209](#_Toc44193647)

[17.1 一般规定 209](#_Toc44193648)

[17.2 土的物理性质试验 209](#_Toc44193649)

[17.3 土的力学性质试验 210](#_Toc44193650)

[17.4 岩石试验 212](#_Toc44193651)

[17.5 水和土的腐蚀性试验 212](#_Toc44193652)

[18 地下水 213](#_Toc44193653)

[18.1 一般规定 213](#_Toc44193654)

[18.2 地下水的勘察要求 213](#_Toc44193655)

[18.3 水文地质参数的测定 215](#_Toc44193656)

[18.4 地下作用的分析评价 218](#_Toc44193657)

[19 岩土工程分析评价与成果报告 220](#_Toc44193658)

[19.1 一般规定 220](#_Toc44193659)

[19.2 岩土参数数理统计 220](#_Toc44193660)

[19.3 成果分析与评价 220](#_Toc44193661)

[19.4 勘察报告的基本要求 221](#_Toc44193662)

[19.5 勘察报告的内容 221](#_Toc44193663)

[20 勘察安全 222](#_Toc44193664)

[21 勘察信息化 223](#_Toc44193665)

[21.1 一般规定 223](#_Toc44193666)

[21.2 勘察作业信息化规定 223](#_Toc44193667)

[21.3 勘察项目管理信息化 224](#_Toc44193668)

[21.4 勘察成果信息化 225](#_Toc44193669)

# 1 总则

**1.0.2** 本规范结合城市轨道交通工程敷设形式、结构类型和施工方法，结合广东省主要城市的地质条件，提出了具体的勘察要求，能够满足广东省城市轨道交通新建和改、扩建工程的要求。

# 2 术语和符号

**2.1.19** 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009年版）地面沉降的术语条文是：大面积区域性的地面下沉，一般由地下水过量抽吸产生区域性降落漏斗引起。大面积地下采空和黄土自重湿陷也可引起地面沉降。《地面沉降防治工程设计技术要求（试行）》（T／CAGHP 026-2018）地面沉降的术语条文是：因自然因素或人为活动引起的地层压缩变形导致的地面高程下降的地质现象。广东城市地下水位普遍较高，地面高程下降影响因素通常包括：固结沉降、抽取地下水造成的水位下降或水土流失、地面荷载加大、地下工程开挖和震动等。本规范术语参照后者表述，包含上述各种原因造成的地层压缩变形导致的地面高程下降的地质现象。

**2.1.12**  《广州市轨道交通第三期建设规划（2017-2023）线路孤石勘察及处理技术指南》提出了球状风化体的参考判定标准：

当判定为孤石时，孤石应与周围土体存在明显的性状差异，半岩半土状强风化中夹杂的中、微风化岩块（体）不应判定为孤石。

孤石的饱和单轴抗压强度大于或等于15～30MPa（当中等～微风化岩石周围岩土层的风化程度接近残积土时取低值，接近土状强风化时取高值），且中等～微风化孤石岩石岩芯节长大于或等于25cm或较完整岩石段累计长度大于等于50cm。

**2.1.25** 本术语的描述借鉴了国家行业标准《建设领域信息技术应用基本术语标准》（JGJ/T 313-2013），勘察信息化是相对于传统的勘察技术和管理角度而言的，其核心本质是信息技术在岩土工程勘察工作中的深度应用。

# 3 基本规定

3.1 一般规定

**3.1.1** 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，各个阶段所着重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。

**3.1.2** 岩土工程勘察应分阶段开展工作，符合人们对自然的认识规律，即由粗而细、由浅而深，不断深化，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，轻则会造成返工浪费，给后期工作带来被动，重则可能 会给工程造成重大损失或给运营线路留下诸多后患。考虑在实际工作中，城市和工业建成区一般已经积累了大量工程勘察资料，即使复杂场地、复杂地基或特殊土地基勘察也可以视项目特点和业主要求，合并勘察阶段。对于设计方案已经稳定的工点，可根据实际情况，直接进行详细勘察。

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（长达几年），在此期间，地下水的时间效应，周边环境发生较大变化，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。

**3.1.3** 轨道交通工程沿线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，应开展专项勘察，专项勘察可结合工程需要，穿插在三个阶段或施工的不同时期进察，可以是单个岩土问题勘察，也可是专项问题研究或咨询。专项勘察成果可以为单独编写专项勘察报告，对于穿插各勘察阶段进行的专项勘察，也可以在勘察报告中单独设置专题勘察章节进行阐述总结。

**3.1.4** 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安全风险。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。

工程周边环境资料也是工程设计、施工的重要依据，地形图和地下管线图往往不能够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。

根据《城市地下管线探测技术规程》（CJJ 61-2003）第3.0.5条，地下管线探测任务宜由专业探测单位的上级主管部门以任务形式下达，或由用户单位以委托方式进行。不论何种委托方式，都应签订合同书，明确责任。广州、深圳等地城市轨道交通勘察设计阶段的地下管线探测、建（筑）物基础资料调查工作，一般由业主专门委托勘察设计单位承担，相关勘察设计单位提供地下管线探测和建（筑）物基础资料调查专项成果报告。

**3.1.5** 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了解区域地质情况、明确工作重点、节省勘察工作量，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。

**3.1.6** 由于收集到的勘察资料来源多样，勘察成果质量可能良莠不齐，部分试验成果可能具有时效性，如抽水试验成果等，勘察单位利用收集的勘察资料时，应复核利用资料的真实性和可靠性，同时还应复核已有勘察资料与拟建工程勘察技术标准的匹配性。参照广州地铁勘察经验，当局部勘探点无法按时实施或场地不具备钻探施工条件，可考虑利用沿线既有勘察成果资料；不良地质作用发育、岩面埋深变化大、断裂带发育等地质条件复杂的地段，应尽可能减少利用既有勘察成果资料；勘察实施阶段，勘察单位应经常组织现场踏勘和联系协调，及时掌握勘探进场条件变化，竭尽所能地创造条件，及时完成设计布置的勘探点。

广州地铁初步勘察阶段、详细勘察阶段利用勘探点距拟建线路结构外边线的允许垂直距离控制值分别见表1、表2，利用勘探点与设计布置相邻勘探点沿线路纵向的投影间距不得超过对应阶段勘探点间距的1/3。

表1 初勘阶段利用勘探点距拟建线路结构外边线垂直距离控制表

| 基岩类型  场地复杂程度 | 灰岩 | 花岗岩类 | （红层）碎屑岩 |
| --- | --- | --- | --- |
| 一级（复杂） | ≦20m | ≦30m | ≦40m |
| 二级（中等复杂） | ≦30m | ≦45m | ≦60m |
| 三级（简单） | ≦45m | ≦70m | ≦90m |

注：依据《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）判断场地复杂程度。

表2 详勘阶段利用勘探点距拟建线路结构外边线垂直距离控制表

| 基岩类型  场地复杂程度 | 灰岩 | 花岗岩类 | （红层）碎屑岩 |
| --- | --- | --- | --- |
| 一级（复杂） | ≦10m | ≦15m | ≦20m |
| 二级（中等复杂） | ≦12m | ≦20m | ≦25m |
| 三级（简单） | ≦15m | ≦25m | ≦30m |

注：1、依据《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）判断场地复杂程度。

2、详勘阶段的明挖工程原则上不利用除地铁工程外的既有勘察成果资料。

**3.1.7** 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，工程勘察首先要从工程结构类型破坏结果的严重性、场地工程地质条件的复杂程度、环境安全风险等级等因素来确定岩土工程勘察等级，按照工程的建设阶段分阶段进行岩土工程勘察工作，以便在勘察工作量布置合理、综合的勘察方法采用，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，提交不同阶段的岩土工程资料，解决不同设计阶段所侧重的岩土问题。

**3.1.8** 城市轨道交通岩土工程勘察中，为统一同一区域不同线路不同标段同一地层的地层划分、岩土分类和命名，以利于勘察成果的共享和方便使用，推动本区域工程地质的认识统一性，宜建立统一的岩土分层系统进行划分。

城市轨道交通岩土工程勘察相对而言，具有线路长, 勘察量大, 勘察阶段多, 勘察周期长和参建勘察单位多等特点,有关岩土的勘察、设计和施工文件多, 涉及线路中相邻工点的勘察资料相互衔接，后期勘察利用前期勘察资料频繁等特点, 没有统一的岩土分层系统, 易导致勘察设计文件混乱, 岩土勘察资料无法对比和利用。但城市轨道交通工程较之地面铁路和公路, 主要在城市区域及其郊区中修建, 线路相对而言，基本局限在城市区域地质内，没有跨越全国性的大地构造单元和地貌单元，勘察掌握的区域资料也比较详尽，有条件建立区域统一的岩土分层系统。同时，地铁建设作为一个系统工程, 建立统一的岩土分层系统，可为工程管理的各个环节( 土建) 提供相对统一的标准, 有利于减少因岩土问题而产生的错漏或误解,对提高管理质量具有重大意义和必要。

广州地区城市轨道交通岩土工程勘察，自地铁2号线首期工程（三元里～琶洲段）初步建立广州地铁岩土工程统一划分为 9 个大层，各大层划分为若干个亚层的方法，并逐步推广到地铁三号线首期工程、大学城专线等后续地铁线路，经过20多年的完善、修订和发展，形成轨道交通线网“九分法”岩土分层系统，该分层系统虽然未能完全体现广州第四纪地层演变的沉积环境和实际沉积分布的情况，但从工程实用性的角度，应用于广州地铁线网勘察，统一了地铁勘察分层标准，使不同线路、工点、勘察阶段各勘察单位完成的勘察成果具有了统一的技术接口，避免了地层划分和勘察成果的混乱，方便了地铁勘察成果的使用，也便于后续勘察工作对于前期勘察成果完善和利用。广州地铁沿线岩土分层系统的建立，同样加强和方便了设计和施工对岩土层的认识、对确保地铁建设的质量、投资和工期具有重要意义。

广州市轨道交通线网“九分法”岩土分层系统见表3。

表3 广州市轨道交通线网“九分法”岩土分层系统

| 岩土层号 | 岩土层名称 | 岩土亚层号 | 岩土亚层名称 | 时代与成因/岩性 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 填土层 | 〈1-1〉 | 杂填土 | Q4ml，人类活动 |  |
| 〈1-2〉 | 素填土 |
| 〈1-3〉 | 耕植土 |
| 2 | 淤泥层和淤泥质砂土层 | 〈2-1A〉 | 淤泥 | Q4mc，海陆交互相沉积（或新近河湖相沉积） |  |
| 〈2-1B〉 | 淤泥质土 | Q4mc，海陆交互相沉积 |
| 〈2-2〉 | 淤泥质粉细砂  （或灰色粉细砂） |
| 〈2-3〉 | 淤泥质中粗砂（或含蠔壳片中粗砂或灰色中粗砂） |
| 〈2-4〉 | 粉质黏土层、粉土 | （1） |
| 3 | 砂层、碎石土层 | 〈3-1〉 | 粉细砂 | Q3+4al+pl，海相冲积、陆相冲积-洪积 |  |
| 〈3-2〉 | 中粗砂 |
| 〈3-3〉 | 砾砂 |
| 〈3-3A〉 | 圆砾、角砾 |
| 〈3-4〉 | 卵石、碎石 |
| 4 | 冲积-洪积-坡积土层 | 〈4F-1〉 | 稍密粉土 | Q3+4al+pl，冲积，洪积 |  |
| 〈4F-2〉 | 中密粉土 |
| 〈4F-3〉 | 密实粉土 | Q3+4al+pl，冲积，洪积 |
| 〈4N-1〉 | 流塑-软塑状黏性土 |
| 〈4N-2〉 | 可塑状黏性土 |
| 〈4N-3〉 | 硬塑-坚硬状黏性土 |
| 〈4-2A〉 | 淤泥 | Q3+4al，河湖相沉积 | （2） |
| 〈4-2B〉 | 淤泥质土 |
| 〈4-3〉 | 坡积土 | Q3+4dl，坡积 |  |
| 5 | 残积土层 | 〈5F-1〉 | 稍密-中密状粉土 | Qel，沉积碎屑岩类残积(上层) |  |
| 〈5N-1〉 | 可塑状黏性土 |
| 〈5F-2〉 | 密实状粉土 | Qel，沉积碎屑岩类残积(下层) |
| 〈5N-2〉 | 硬塑-坚硬状黏性土 |
| 〈5H-1〉 | 可塑状黏性土 | Qel，岩浆岩残积(上层) |
| 〈5H-2〉 | 硬塑-坚硬状（砂质、砾质）黏性土 | Qel，岩浆岩残积(下层) |
| 〈5C-1A〉 | 软塑状黏性土(含红黏土） | Qel，石灰岩分布区残积 |
| 〈5C-1B〉 | 可塑状黏性土(含红黏土） |
| 〈5C-2〉 | 硬塑-坚硬状黏性土(含红黏土） |
| 〈5Z-1〉 | 可塑状黏性土 | Qel，变质岩分布区残积(上层) |
| 〈5Z-2〉 | 硬塑-坚硬状（砂质、砾质）黏性土 | Qel，变质岩分布区残积(下层) |
| 6 | 岩石全风化带 | 〈6〉 | 沉积碎屑岩类全风化 | 沉积碎屑岩 |  |
| 〈6H〉 | 岩浆岩全风化 | 岩浆岩 |
| 〈6C〉 | 灰岩类全风化 | 石灰岩类 |
| 〈6Z〉 | 变质岩全风化 | 震旦系变质岩 |
| 7 | 岩石强风化带 | 〈7-1〉 | 砾岩、粗砂岩、含砾粗砂岩强风化 | 沉积碎屑岩 |  |
| 〈7-2〉 | 泥岩、粉砂质泥岩、页岩强风化 |
| 〈7-3〉 | 粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩强风化 |
| 〈7C〉 | 石灰岩强风化 | 石灰岩类 |
| 〈7H-A〉 | 半岩半土状强风化 | 岩浆岩 |
| 〈7H-B〉 | 碎块状强风化 |
| 〈7Z-A〉 | 半岩半土状强风化 | 震旦系变质岩 |
| 〈7Z-B〉 | 碎块状强风化 |
| 8 | 岩石 中等风化带 | 〈8-1〉 | 砾岩、粗砂岩、含砾粗砂岩中等风化 | 沉积碎屑岩 |  |
| 〈8-2〉 | 泥岩、粉砂质泥岩、页岩中等风化 |
| 〈8-3〉 | 粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩中等风化 |
| 〈8H〉 | 岩浆岩中等风化 | 岩浆岩 |
| 〈8C-1〉 | 泥炭质灰岩、泥灰岩中等风化 | 石灰岩类 |
| 〈8C-2〉 | 石灰岩、硅质灰岩中等风化 | 石灰岩类 |  |
| 〈8Z〉 | 变质岩中等风化 | 震旦系变质岩 |
| 9 | 岩石微风化带 | 〈9-1〉 | 砾岩、粗砂岩、含砾粗砂岩微风化 | 沉积碎屑岩 |  |
| 〈9-2〉 | 泥岩、粉砂质泥岩、页岩微风化 |
| 〈9-3〉 | 粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩微风化 |
| 〈9H〉 | 岩浆岩微风化 | 岩浆岩 |
| 〈9C-1〉 | 泥炭质灰岩、泥灰岩微风化 | 石灰岩类 |
| 〈9C-2〉 | 石灰岩、硅质灰岩微风化 |
| 〈9Z〉 | 变质岩微风化 | 震旦系变质岩 |
| 0 | 溶、土洞 | <0-1> | 土洞 |  |  |
| <0-2> | 溶洞 |  |
| F | 断裂破碎带 | 〈F-1〉 | 土状、断层泥 |  |  |
| 〈F-2〉 | 角砾状 |  |
| 〈F-3〉 | 碎块状 |  |
| 说明：（1）该层夹在全新统海陆交互相淤泥、淤泥质土中。 | | | | | |
| （2）该层夹在冲积-洪积土层（Q3+4）中。 | | | | | |

**3.1.9**  一般说来，拟建城市轨道交通沿线的地下管线、管道很多，在工程项目的勘察、施工中，曾屡屡发生地下管线、管道遭到意外破坏的情况，甚至地下铁道隧道也曾遭受钻探的意外破坏。而软土、填土分布区，是地下管线、管道等埋藏物分布较多的区域，勘探开始之前，应探查勘探部位的管道、管线分布，避免管线、管道遭到意外破坏。

勘察前应搜集沿线的地下管线资料，城市地下管线包括：

**1**  管道：燃气管、供水管、下水道、排污管等；

**2** 管线：电力管线、通信管线、有线电视电缆等；

**3** 其他：过街通道、防洪地下水道、人民防空洞室、地下铁道等。

**3.1.12** 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规理规范》(GB 50652)规定了勘察风险管理主要流程包括：风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价和风险控制；2018年3月8日住建部《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》第37号文规定勘察单位应当根据工程实际及工程周边环境资料，在勘察文件中说明地质条件可能造成的工程风险，2018年5月22日再次发文建办质［2018］31号文对危大工程的范围和专项施工方案的内容予以明确，本条文规定了大纲中应包含勘察风险管理内容。

3.2 勘察分级

**3.2.1**  城市轨道交通工程本身是一个复杂的系统工程，为了使岩土工程勘察工作更具针对性，《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307）进行了重要性等级划分，并划分为三个等级。

岩土工程勘察等级划分时，应注意场地复杂程度和工程周边环境风险等级划分应从最高等级开始，向下推定，以最先满足的为准。

**3.2.2** 考虑到含TOD综合物业开发的城市轨道交通车辆段和停车场越来越多，这种车辆段或停车场发生工程破坏时后果很严重，因此本条参照国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB 50007），提高了含30层以上高层或大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场）的城市轨道交通车辆段和停车场工程重要性等级。

**3.2.3**  本条主要依据现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307）制定。

城市轨道交通隧道工程的岩土工程问题主要是不良地质作用、特殊性岩土、围岩和地下水问题。

对建筑抗震有利、一般、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。

**3.2.4**  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。针对不同等级的环境风险采取管理措施不同：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。

工程周边环境风险等级划分，参考了国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652），同时考虑了影响区内存在高速铁路等情况。《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652）将工程周边环境风险等级划分为四级，考虑到我国岩土工程勘察一般分为三个等级，为便于操作，本规范将工程周边环境风险等级划分为三个等级。

表3.2.4脚注中影响区域界线的确定原则，参考了国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911）及广州、深圳地区经验。

3.3 勘察大纲

**3.3.1～3.3.9** 国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652-2011）第7.2.2条条文说明，“工程勘察开展前，工程设计单位应根据地下结构类型和施工方法提出工程勘察要求，勘察单位结合工程地质和水文地质条件进行方案深化，编制工程勘察大纲，重点应包括与不良水文地质或工程地质相关的风险因素”。

2014 年 4月28日发布的《铁路建设项目勘察设计管理办法》铁总建设【2014】124号第二十八条规定，“铁路勘察实行地质勘察大纲审查制度。勘察单位应依据项目建议书批复意见、规程规范编制地质勘察大纲，建设管理单位应对地质勘察大纲组织审查。审查后的地质勘察大纲为工程勘察合同的组成部分”。广州地铁集团有限公司建设事业总部《轨道交通岩土工程勘察管理及考核办法》也对勘察大纲的编制、内容、审批和执行进行了规定。

3.4 工程地质单元划分

**3.4.1** “工程地质单元划分”是本规范新增内容，“工程地质单元划分”是根据地貌单元、微地貌单元、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件等将建设场地进行进一步的细分，将地质条件相同或相似的场地划分为同一工程地质单元，以便对建设场地进行科学、客观的评价，以增强岩土工程勘察报告的实际运用效果。其中地貌单元、地层岩性、工程地质条件为工程地质单元划分的主要因素，对于地质条件特别复杂的地段，应进一步划分亚单元。

**3.4.2** 在可行性研究勘察阶段和初步勘察阶段中进行工程地质单元划分，主要是考虑线路工程为长条带状的特点，将整个工程划分为若干段，分段进行岩土工程评价和分段提供岩土工程参数。

**3.4.3** 本条规定了应按照工程地质单元统计及整理各种试验成果，这样规定的目的在于保证统计样本的代表性，避免统计对象中混杂不同的岩土类型。按照工程地质单元统计及整理各种试验成果适用于各个勘察阶段。对于可行性研究阶段及初步勘察阶段，由于钻孔间距大、样品数量和试验数据相对较少，因此一般按照工程地质单元统计和整理试验成果。详勘阶段，当工点处于同一工程地质单元时，由于样品数量和试验数据充足，按工点统计试验成果一般能够满足勘察对于统计样本数量的要求；当工点范围包括多个工程地质单元时，如果本点内某工程地质单元试验数据的数量不足，可参考利用相邻工点同一工程地质单元的试验成果合并统计。

# 4 工程地质调绘

4.1一般规定

**4.1.1、4.1.2** 区域地质资料包括区域地层和岩石、地质构造、工程地质和水文地质、地质灾害分布等综合地质资料；工程地质单元是根据地层岩性特征、工程地质和水文地质条件等将建设场地进行进一步的细分，地质条件相同或相似的场地划分为同一工程地质单元。

区域地质和工程地质单元划分是本规范增加的新内容，主要是要了解清楚工程建设项目与区域地质条件的关系。勘察报告中的区域地质资料应满足工程可行性研究、线路方案比选、车辆段和停车场选址等的需要。

4.2 调绘与测绘工作方法

**4.2.1** 区域地质资料搜集的内容和要求，主要是根据区域地质调查、《铁路工程地质勘察规范》（TB 10012-2007）、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）中“13 工程地质调查与测绘”的“工程地质调绘”工作内容，采用搜集当地区域性卫星影像和航空遥感解释资料，区域地形地貌资料，区域地层岩性资料，区域地质构造资料，区域工程地质和水文地质资料，区域不良地质作用和特殊性岩土资料，现状地质灾害、地质遗迹、古河道等资料。重点是搜集与工程建设紧密相关的地层、岩浆岩、断裂构造、工程地质和水文地质等资料。

地质调绘内容包括：

**1**  沿线地形、地貌特征；

**2** 地层层序、成因、时代、厚度、岩土名称、胶结物；

**3** 岩层产状、接触关系、节理、裂隙等发育情况，断裂构造和褶皱构造位置，断裂产状、类型、活动程度、破碎带范围、富水性等，新构造痕迹及特征；

**4**  沿线地表水系、出露泉涌及用水量；

5 不良地质作用的种类、性质、分布规律，特殊性岩土的类型、性质、分布范围；

**6** 现状地质灾害的类型、规模、发育规律等。

**4.2.3**区域性卫星影像、航空遥感解释资料，重点是对区域地形地貌、区域断裂和褶皱构造、现状地质灾害的室内解译，在资料使用之前，应实地核实室内解译结果。

**4.2.4** 野外观测常用方法有之字形穿越法、追踪法。

地质观测点应布置在具有代表性的岩土层露头、地层分界线、断层露头、重要的岩石节理、地下水露头、不良地质点、特殊岩土点等位置。

地质调查、测绘布置的工作量应根据地面环境条件、岩层出露情况、地下水露头、现状地质灾害等进行确定，在岩土层露头、地层分界线、断层露头、重要的岩石节理、地下水露头点、不良地质点、特殊岩土点、现状地质灾害点等位置应布置地质调绘点。

4.3 调查与测绘工作范围

**4.3.3、4.3.4** 城市轨道交通工程是重要建设项目，存在不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土、断裂构造、地下水富集区、既有建筑工程地段，应适当扩大工作范围。地质条件复杂的山区容易发生崩塌、滑坡、泥石流灾害，当轨道交通工程处于山区时，应扩大调查与测绘范围，从轨道交通工程下游100m位置至山坡分水岭范围应纳入调查范围。

4.4 调查与测绘工作内容

**4.4.1** 搜集工程地质调查与测绘的资料应通过气象部门、地质部门、工程建设主管部门等进行收集，并将收集资料进行分类。

地下管线及建（构）筑物基础资料调查不属于工程地质调绘范围，这些资料一般由建设单位委托专业机构开展调查、探测后专门编制，岩土工程勘察需要参考和利用这些资料。

**4.4.2** 由于搜集资料有一定的局限性，要取得更详细的地质资料，还要有工程地质调查与测绘的实物工作量，这些主要实物工作包括岩层（岩浆岩）露头调查、断裂构造实地调查、地下水出露点调查、地质灾害点调查、复杂地段的针对性调查等。

4.5 工作成果

**4.5.1 、4.5.2** 工作成果包括工程地质调查与测绘成果及工程地质单元划分结果，成果内容包括文字报告、图件、表格、照片、素描图、试验资料等。工程地质调查与测绘成果及工程地质单元划分结果资料可以单独出具报告，也可以纳入不同勘察阶段的勘察报告中。

**4.5.3**  可行性研究勘察阶段地层单位划分到“群”或“组”，初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段均划分到“组”或“段”参考了《 公路工程地质勘察规范 JTG C20—2011》的有关做法。

根据新版1：25万区域地质资料和1：5万区域地质资料，地层、岩浆岩年代与地史年代对应，即岩浆岩时代也是按照沉积岩时代定名，如第三纪花岗岩、白垩纪花岗岩、侏罗纪花岗岩、石炭纪花岗岩；岩石代号采用地史年代+岩性名称，如晚侏罗世花岗岩，代号为J3γ，早白垩世花岗闪长岩K1γδ。

花岗岩新旧时代名称、符号对照见表4，广东省部分地级市区域地质资料概况见表5。

表4 花岗岩新旧时代名称、符号对照表

| 一 | 喜马拉雅期（古近纪—第四纪） |  |
| --- | --- | --- |
|  | 新生代花岗岩（γ6） | 第四纪-- 喜马拉雅晚期 |
|  | 新近纪（晚第三纪，Eγ62）--喜马拉雅中期（γ62） |
|  | 古近纪（早第三纪，Eγ61）--喜马拉雅早期（γ61） |
| 二 | 燕山期（侏罗纪—白垩纪） |  |
|  | 中生代花岗岩（γ5）： | 白垩纪（kγ53）--燕山晚期（γ52（3）） |
|  | 侏罗纪（kγ52）--燕山早期（γ52（2）） |
| 三 | 印支期（侏罗纪—白垩纪） |  |
|  | 中生代花岗岩（γ5）： | 三叠纪（Tγ51）--（γ51） |
| 四 | 华力西期（二叠纪—泥盆纪） |  |
|  | 晚古生代花岗岩（γ4）： | 二叠纪（Pγ43）--华力西晚期（γ43） |
|  |  | 石炭纪（Cγ42）--华力西中期（γ42） |
|  |  | 泥盆纪（Dγ41）--华力西早期（γ41） |
| 五 | 加里东期（志留纪---奥陶纪—寒武纪） |  |
|  | 中古生代花岗岩（γ3）： | 志留纪（Sγ33）--加里东晚期（γ33） |
|  | 早古生代花岗岩（γ3）： | 奥陶纪（Oγ32）--加里东中期（γ32） |
|  | 寒武纪（эγ31）--加里东中期（γ32） |
|  | 元古代花岗岩（γ2）： | 晚元古代（Zγ22） --加里东早期（γ22） |
|  | 早元古代（Zγ21） --加里东早期（γ21） |
| 六 | 前寒武纪 |  |
|  | 前寒武纪花岗岩（γ1）： | 晚太古代（Ptγ12） |
|  | 早太古代（Arγ11） |

表5 广东省部分地级及以上市区域地质资料概况表

| 地区 | 地貌特征 | 主要地层/岩石时代 | 主要断裂构造 | 水文地质  特征 | 潜在地质  灾害 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 广  州  市 | 主要为珠江三角洲冲积平原、剥蚀残丘、丘陵、中低山地貌 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层，残坡积层，古近系砂岩、粉砂岩、砂砾岩；白垩系泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩等碎屑岩；侏罗系砂岩、粉砂岩；三叠系粉砂岩、页岩、泥灰岩、灰岩；二叠系粉砂岩、炭质泥岩等；石炭系灰岩、炭质灰岩、粉砂岩、炭质页岩等；泥盆系粉砂岩、砂岩；震旦系长石石英砂岩、片岩、千枚岩、混合岩；岩浆岩有白垩纪、侏罗纪、三叠纪、志留纪花岗岩、流纹岩、英安斑岩 | 广从断裂、广三断裂、瘦狗岭断裂、白坭-沙湾断裂、海珠断裂、新市断裂、清泉街断裂、北亭断裂、狮子洋断裂、东莞-南沙断裂、化龙-南沙断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、块状岩裂隙水、岩溶水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、岩溶地面塌陷、泥石流 |
| 深  圳  市 | 深圳全境地势东南高，西北低。表现为低山、丘陵、平缓台地、河流阶地、滨海冲积平原和海积平原 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层，古近系砂岩、粉砂岩、砂砾岩；白垩系泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩等碎屑岩；侏罗系砂岩、粉砂岩；石炭系灰岩、炭质灰岩、粉砂岩、炭质页岩等；泥盆系粉砂岩、砂岩；志留-奥陶纪混合花岗岩；岩浆岩有白垩纪、侏罗纪花岗岩、流纹岩 | 横岗-罗湖断裂、莲塘断裂、温塘-观澜断裂、惠阳-深圳断裂（莲花山断裂） | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、块状岩裂隙水、岩溶水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、岩溶地面塌陷、泥石流 |
| 珠  海  市 | 珠海市陆地上山地、丘陵、平原为主，其次为滨海冲积平原和海积平原 | 第四系海陆交互相沉积、海积层、冲洪积相沉积层、残坡积层；侏罗系纪石英砾岩、含砾砂岩、砂岩和页岩；泥盆系石英砾岩、含砾砂岩和砂岩；寒武统系八村群变质的砂岩、粉砂岩、页岩和少量炭质页岩；岩浆岩有侏罗纪细粒黑云母花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩 | 五桂山南麓断裂、平沙断裂、南屏断裂；山塘一那洲断裂、南屏一唐家断裂、深井断裂、鱼弄断裂和高栏断裂；西江断裂、翠微断裂、牛头一隘洲断裂；洲仔断裂、三灶中断裂和海区断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、块状岩裂隙水 | 崩塌、滑坡、滚石、地面沉降、堤岸坍塌、泥石流 |
| 佛  山  市 | 佛山市全主要为珠江三角洲冲积平原（盆地沉积区）、河流阶地，西部少数为剥蚀残丘、丘陵、低山地貌 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层，古近系砂岩、粉砂岩、砂砾岩；白垩系泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩等碎屑岩；三叠系粉砂岩、页岩、泥灰岩、灰岩；石炭系灰岩、炭质灰岩、粉砂岩、炭质页岩等。岩浆岩有三叠纪花岗岩 | 雷岗断裂、雷岗东断裂、雷岗西断裂、石碣断裂、广三断裂、白坭-沙湾断裂带、顺德断裂、番禺-新会断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、岩溶水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、岩溶地面塌陷 |
| 东  莞  市 | 东莞市地势东南高、西北低。地貌以丘陵台地、冲积平原为主，近东江河滨为陆地和河谷平原；西南部是滨临珠江口的江河冲积平原，地势平坦低洼，受潮汐影响 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层；古近系砂岩、粉砂岩、砾岩、砂砾岩；白垩系泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩等碎屑岩；三叠系含砾砂岩、砂岩、粉砂岩；震旦系石英砂岩、片岩、千枚岩等变质岩，元古代片麻岩、云母石英片岩；岩浆岩有白垩纪、侏罗纪花岗岩、花岗斑岩，志留纪-奥陶纪花岗岩，元古代片麻岩 | 南岗-福田断裂带的瘦狗岭-罗浮山断裂、广州-福田断裂；东江断裂；东莞-厚街断裂（东莞断裂）；横沥-虎门断裂；化龙-南沙断裂；狮子洋断裂等 | 第四系松散层孔隙水、红层孔隙裂隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、泥石流 |
| 惠  州  市 | 北依九连山，南临南海，地势北、东部高，中、西部低，中部低山、丘陵、台地、平原相间，在丘陵、台地周围及江河两岸为冲积阶地 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层，下第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系砂岩、粉砂岩、砂砾岩、凝灰岩、炭质页岩等；石炭系、泥盆系碎屑岩、灰岩、炭质页岩等；奥陶系、寒武系、震旦系变质岩、含砾岩屑杂砂岩等。岩浆岩主要有白垩纪、侏罗纪和三叠纪的花岗岩、黑云母花岗岩、二长花岗岩 | 紫金-博罗大断裂、河源深断裂、人字石断裂、潼湖断裂、樟木头断裂、五华-深圳深断裂、惠州断裂、霞涌断裂、佛岗-丰良深断裂 | 第四系松散层孔隙水、红层孔隙裂隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水、岩溶水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、岩溶地面塌陷、泥石流 |
| 中  山  市 | 地势为中间高，四周低且平坦，低山、丘陵、台地，珠江口三角洲冲积平原，海滩， | 第四系海陆交互相沉积、海积层、冲洪积相沉积层、残坡积层；白垩系、侏罗系粉砂岩、泥质粉砂岩、含砾砂岩、砂岩和页岩；泥盆系含砾砂岩和砂岩、砂砾岩、含钙质砂岩、页岩夹灰岩；寒武统系八村群变质的砂岩、长石石英砂岩、炭质页岩；岩浆岩有白垩纪、侏罗纪、奥陶-志留纪细粒黑云母花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩、花岗闪长岩 | 北东向张家边断裂、湖州-横门断裂、五桂山断裂、雍陌断裂 | 第四系松散层孔隙水、红层孔隙裂隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、堤岸坍塌 |
| 清  远  市 | 是粤北山区与珠江三角洲的过渡地带，北部为中、低山，南部为冲积平原，北江两侧主要为河流阶地地貌 | 第四系冲洪积相沉积层、残坡积层；白垩系砂砾岩、粉砂岩、泥岩；石炭系泥质粉砂岩、灰岩、泥灰岩、钙质泥岩；泥盆系泥质粉砂岩、含钙质泥岩、炭质灰岩、泥质灰岩、角砾状灰岩、炭质页岩等；寒武系细砂岩、粉砂岩、泥岩、含炭质泥岩；岩浆岩有白垩纪、侏罗纪花岗岩、黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩 | 四会-吴川断裂、蟠龙断裂、潖江断裂、岭边断裂、藏霞洞断裂、清远-飞来峡断裂、峡山断裂、龙门坑断裂、白家塱断裂、凤尾村断裂、飞来寺断裂、高田断裂 | 第四系松散层孔隙水、红层孔隙裂隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水、石灰岩类岩溶水 | 崩塌、滑坡、岩溶地面塌陷、泥石流、地面沉降 |
| 肇  庆  市 | 地貌特点西北高，南部、东部较低，以中低山、低山丘陵为主，平原较少，岩溶地貌发育。中心城区以河谷平原为主 | 第四系沉积层、残坡积层；古近系长石石英砂砾岩、粉砂岩、泥钙质页岩、泥灰岩、砾岩；侏罗系凝灰质砾岩、砂岩夹凝灰岩和页岩；石炭系灰岩、白云岩化灰岩、炭质灰岩、砂质页岩、灰岩夹粉砂岩等；泥盆系砾岩、石英砂岩、粉砂岩、灰岩、白云质灰岩；志留系粉砂岩、石英砂岩、炭质页岩；奥陶系砾岩、石英砂岩、粉砂岩；寒武系石英砂岩、粉砂质页岩；岩浆岩为二叠纪二长花岗岩、混合花岗岩、花岗岩 | 吴川-四会深断裂带、高要～惠来深断裂带，郴县－怀集大断裂、罗定－悦城大断裂、三水断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、块状岩裂隙水、岩溶水 | 崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、岩溶地面塌陷、堤岸坍塌 |
| 湛  江  市 | 雷州半岛丘陵、平缓台地、河流阶地、滨海冲积平原、冲积洼地、海滩 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层；白垩系砂岩、粉砂岩、凝灰岩；石炭系石英砂岩、砂质页岩、泥质页岩、灰岩、白云岩；泥盆系砂岩、粉砂岩、炭质泥岩；泥盆纪混合花岗岩；寒武系八村群变质砂岩、粉砂岩；岩浆岩有白垩纪玄武岩、侏罗纪二长花岗岩 | 四会-吴川断裂、遂溪断裂、湖光断裂等 | 第四系松散层孔隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水、熔岩孔洞裂隙水 | 崩塌、滑坡、岩溶地面塌陷、地面沉降、地裂缝 |
| 茂  名  市 | 地势北东高、西南低。以中、低山、丘陵为主，中心城区主要为丘陵和构造盆地，南部少量为海滩和洼地 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层；白垩系砂岩、粉砂岩、凝灰岩；石炭系石英砂岩、砂质页岩、油页岩、泥质页岩、灰岩、白云岩；泥盆系砂岩、粉砂岩、炭质泥岩；泥盆纪混合花岗岩；寒武系八村群变质砂岩、粉砂岩；岩浆岩有白垩纪玄武岩、侏罗纪二长花岗岩、闪长岩 | 四会-吴川断裂（玦花江断裂）、信宜-廉江断裂、高州-羊角断裂、金垌-河唇断裂、 | 第四系松散层孔隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水 | 崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝 |
| 汕  头  市 | 地势西南高、东北低。表现为低山、丘陵、平缓台地、河流阶地、滨海冲积平原和海积平原 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层；岩浆岩有白垩纪黑云母花岗岩、石英闪长岩；侏罗纪黑云母钾长石花岗岩、斑状黑云母粒花岗岩 | 主要断裂构造有潮安—普宁断裂、饶平—惠来断裂、榕江断裂、达濠断裂 | 第四系松散层孔隙水、块状岩裂隙水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、地裂缝 |
| 潮  州  市 | 丘陵主要分布在饶平县和潮安县北部，市区、南部和东南部为河流冲积平原和海积平原 | 第四系海陆交互相和冲洪积相沉积层、残坡积层；侏罗系火山碎屑岩、砂岩、粉砂岩、砂砾岩、凝灰质砂岩、流纹质凝灰岩；三叠系泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩、火山碎屑岩等；岩浆岩有白垩纪钾长石花岗岩、英安班岩、流纹斑岩等；侏罗纪黑云母花岗岩，花岗闪长岩、斑状黑云母花岗岩等 | 南坑洋断裂、水美断裂、坑美断裂、大坑断裂、大塘坝断裂、狮尖岭断裂、白秀塘山断裂；田中断裂、万峰断裂、安溪断裂、韩江断裂、东岗寨断裂、田东－古巷断裂、清泉溪断裂、双溪断裂、漳溪断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩裂隙水、块状岩裂隙水 | 崩塌、滑坡、地面沉降、地面塌陷 |
| 韶  关  市 | 市区以山地、丘陵、河谷盆地、河流阶地为主，部分为平原台地，岩溶较发育；中心城区为冲积平原和河流阶地 | 第四系冲洪积相沉积层、残坡积层；古近系砾岩、砂砾岩；白垩系粉砂岩、砾岩、粉砂质泥岩、凝灰质粉砂岩；侏罗系泥岩、粉砂岩、泥岩、石英砂岩、煤层；三叠系泥灰岩；二叠系粉砂岩、泥岩、砂岩夹煤层、灰岩、泥晶灰岩；石炭系生物屑泥晶灰岩、白云质灰岩、白云岩、灰岩、粉砂岩、泥岩夹薄煤层；泥盆系粉砂岩、泥岩、泥质灰岩、泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、灰岩、白云质泥质灰岩；岩浆岩有侏罗纪黑云母花岗岩 | 芙蓉山－龙归断裂、观音坐莲断裂、宝岭断裂、鹧鸪石断裂、仁化断裂、洞头源断裂、崇义-仁化断裂、江湾断裂、望城岭断裂、青头坪断裂、山子背断裂、瑶岭-曲江断裂 | 第四系松散层孔隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水、脉状裂隙水、岩溶裂隙水 | 崩塌、滑坡、泥石流、岩溶地面塌陷、堤岸坍塌、地面沉降 |

# 5 岩土分类、描述与围岩分级

5.1 一般规定

**5.1.1~5.1.3** 列出了岩土分类、描述与工程岩体分级的一般规定。

5.2 岩石分类

**5.2.2** 岩石坚硬程度分类参照国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307）定性划分，共分为五类，代表性岩石部分参考了国家标准《工程岩体分级标准》（GB 502188）。本表中，A～E类代表性岩石如下：

A类代表性岩石：岩浆岩（花岗岩、闪长岩、正长岩、辉绿岩、安山岩、玄武岩、石英粗面岩、石英斑岩等），变质岩（片麻岩、石英岩、片岩、蛇纹岩等），沉积岩（熔结凝灰岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等）；

B类代表性岩石：沉积岩（石灰岩、白云岩等碳酸盐类）；

C类代表性岩石：变质岩（大理岩、板岩等），沉积岩（钙质砂岩、铁质胶结砾岩及砂岩等）；

D类代表性岩石：第三纪沉积岩类（页岩、砂岩、砾岩、砂质泥岩、凝灰岩等），变质岩（云母片岩、千枚岩等）且岩石单轴饱和抗压强度fr > 15MPa。

E类代表性岩石：晚第三纪～第四纪沉积岩类（泥岩、页岩、砂岩、砾岩、凝灰岩等），且岩石单轴饱和抗压强度*f*r＜15MPa。

**5.2.3** 岩石风化程度分类参照现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307），按附录B岩石按风化程度分类进行划分。残积土作为岩石风化后的残积物，具有土的特性，工程意义重要，广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-31-2016）规定了花岗岩类的风化岩和其它岩类风化岩，可采用实测标准贯入击数划分。

**5.2.4**  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。分类标准参照现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021），规定0.75作为软化岩石的分界限值,软化系数大于0.75的,参照行业标准《铁路工程岩土分类标准》（TB10077）确定为不易软化岩石。

5.3 岩体分类

**5.3.1** 对厚层强风化花岗岩，宜分为强风化上（土状）、中（砂砾状）、下（碎石状）三个亚层，参考深圳市《地基基础勘察设计规范》（SJG 01-2010）附录，当强风化花岗岩厚度大于10m时，宜分为强风化上（土状）、中（砂砾状）、下（碎石状）三个亚层。

**5.3.3** 岩体完整程度分类主要参照国家标准《工程岩体分级标准》（GB 50218-2014），表3.2.3岩体完整程度的定性划分与表3.3.4岩体完整性指数与岩体完整程度的对应关系；结构面发育程度定性描述参考了行业标准《铁路隧道设计规范》（TB 10003-2016），表 B 1.3-1岩体完整程度的划分的有关内容。

岩体完整程度是决定岩体基本质量的另一个重要因素，影响岩体完整性的因素很多，从结构面的几何特征来看，有结构面组数、产状，密度和延伸程度，以及各组结构面相互切割关系；从结构面性状特征来看，有结构面的张开度、粗糙度，起伏度、充填情况，充填物、水的赋存状态等，如将这些因素逐项考虑，用来对岩体完整程度进行划分，显然是困难的，从工程岩体的稳定性着眼，应抓住影响岩体稳定的主要方面，使评判划分易于进行。经分析综合，将结构面几何特征诸项综合为“结构面发育程度”；将结构面性状特征诸项综合为“主要结构面的结合程度”。表5.3.5岩体完整程度的分类中，规定了用结构面发育程度，主要结构面的结合程度和主要结构面类型作为定性划分岩体完整程度的依据。在定性划分时，应注意对这三者作综合分析评价，进而对岩体完整程度进行定性划分并定名。

岩体完整程度的定量指标，普遍采用的有：岩体完整性指数、岩体体积节理数Jv、岩石质量指标RQD、节理平均间距dp、岩体与岩块动静弹模比、岩体龟裂系数、1.0m长岩心段包括的裂隙数等。这些指标均从某个侧面反映了岩体的完整程度,目前国内的诸多岩体分级方法中，大多数认为前三项指标能较全面地体现岩体的完整状态。

岩体内普遍存在的各种结构面及充填的各种物质，使得声波在它们内部的传播速度有不同程度的降低，岩体弹性纵波速度(Vpm)反映了由于岩体不完整性而降低了的物理力学性质。岩块则认为基本上不包含明显的结构面，测得的岩石弹性纵波速度(Vpr)反映的是完整岩石的物理力学性质。所以，岩体完整性指数既反映了岩体结构面的发育程度，又反映了结构面的性状，是一项能较全面地并比较方便能从量上反映岩体完整程度的指标。另外，考虑勘察阶段一般较难取得岩体体积节理数Jv，并且，它不能反映结构面的结合程度，特别是结构面的张开程度和充填物性状等，而这些恰是决定岩体完整程度的重要方面。因此，本标准推荐以岩体完整性指数值为主要定量指标。在施工阶段，当缺少岩体完整性指数Kv，有条件取得Jv实测值时，须按下表查得对应的岩体完整性指数后再使用。

**表6** Jv**与岩体完整性指数的对应关系**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩体体积节理  数Jv（条/m3） | ＜3 | 3～10 | 10～20 | 20～35 | ≥35 |
| 完整性指数 | ＞0.75 | 0.55～0.75 | 0.35～0.55 | 0.15～0.35 | ＜0.15 |
| 完整程度 | 完整 | 较完整 | 较破碎 | 破碎 | 极破碎 |

**5.3.4** 结构面的结合程度可参考表7确定。

**表7 结构面结合程度的划分**

|  |  |
| --- | --- |
| 结合程度 | 结构面特征 |
| 结合好 | 张开度小于1mm，为硅质、铁质或钙质胶结，或结构面租糙，无充填物；  张开度1～3mm，为硅质或铁质胶结；  张开度大于3mm，结构面粗糙，为硅质胶结 |
| 结合一般 | 张开度小于1mm，结构面平直，为钙泥质或无充填物  张开度 1～3mm，为钙质胶结  张开度大于3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结 |
| 结合差 | 张开度 1～3mm，结构面平直，为泥质或钙质胶结  张开度大于3mm，多为泥质胶结或充填岩屑 |
| 结合很差 | 泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差 |

**5.3.5~5.3.6** 岩体基本质量等级进行定性划分时，依据岩体坚硬程度和岩体完整程度两方面因素。在工程建设的不同阶段，地质勘察和参数测试等工作的深度不同，对分级精度的要求也不尽相同。可行性研究阶段，以定性分级为主；初步设计、技术设计和施工设计阶段，必须进行定性和定量相结合的分级工作。在工程施工期间，有条件的还应根据开挖所揭露的岩体情况，补充勘察及测试资料，对已划分的岩体等级加以检验和修正。

5.3.6条参照《工程岩体分级标准》（GB/T 50218 – 2014），第4.2.2条，规定了岩体基本质量指标BQ的计算方法及应遵守的限制条件。限制条件之一是对公式(5.3.9)中*f*r值上限的限制，这是注意到岩石的*f*r值很大，而岩体的Kv值不大时，对于这样坚硬但完整性较差的岩体，其质量和稳定性仍然是比较差的，*f*r值虽高但对质量和稳定性起不了那么大的作用，如果不加区别地将测得的*f*r值代入公式，过大的*f*r值将使得岩体基本质量指标BQ大为增高，造成对岩体质量等级及实际稳定性作出错误的判断。使用这一限制条件，可获得经修正过的fr-值。例如，当 Kv＝0. 55时，fr=90×0.55+30= 79.5MPa，如实测*f*r值大于79.5MPa，则直接取用79.5MPa，而不应取用实测值。本条给出的第二个限制条件，是对公式(5.3.9)中Kv值上限的限制，这是针对岩石的*f*r值很低，而相应的岩体 Kv值过高的情况下给定的。这是注意到，完整性虽好但甚为软弱的岩体，其质量和稳定性也是不好的，将过高的实测 Kv值代入公式也会得出高于岩体实际稳定性或质量等级的错误判断。使用这一限制条件，可获得经修正过的Kv值。例如，当 *f*r=l0MPa时，Kv =0.04×10+0.4=0.8，如实测 Kv值大于0.8，则取用0.8，而不应取用实测值。

5.4 岩石和岩体的描述

**5.4.1～5.4.3** 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。

野外对钻孔岩芯状态的描述，可参考岩芯块度进行划分，大于20cm的为长柱状，10-20cm的为短柱状，小于10cm的为扁柱状，大于5cm的为块状，2-5cm的为碎块状，小于2cm的为碎屑状或土状。若为块状，对块体形态宜做大致描述。

5.5 土的分类

**5.5.4** 粉土的性质介于砂土和黏性土之间，具有一定塑性，但又同时具有某些砂类土特性。这种土具有较特殊的工程性质，如不具有典型的塑性，干强度较低，有明显的摇振反应，易液化等。因此，应采用不同的试验方法对其进行评价，有针对性地提出这类土的设计参数和工程措施意见。本标准对粉土的定名采用了两个指标，即塑性指数小于或等于10和粒径大于0.075 mm颗粒的质量不超过全部质量的50%。在实际工作中可先进行塑性指数的判定，当塑性指数小于3时，为与粉砂相区别，应再做颗粒分析试验，以确定大于0.075mm颗粒的含量。关于粉土的划分，仍然采用现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）中的规定，未进行亚类的划分。

**5.5.5～5.5.6** 上世纪末，城市外拓建设过程中，在较多开发区道路、或滨海围海造地过程项目中，采用了抛石挤淤和地基处理等技术，而处理后的地基土在目前地铁建设过程中，逐渐产生新的工程问题，这类土虽不常见,本次规范编制建议对此类土层推荐给与定名为复合地基土和处理地基土。

参考省标准《建筑地基基础检测标准》（DBJ15-60），将处理地基分为处理土地基和复合地基。为提高地基的承载力、改善变形特性或渗透性质，对土体进行人工处理后的地基称为处理土地基，处理土地基主要包括换填垫层、预压地基、压实地基、强夯处理地基和注浆加固地基等。部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的处理地基称为复合地基。复合地基涉及增强体，主要包括水泥土搅拌桩地基、高压喷射注浆桩地基、砂桩地基、振冲桩地基、CFG桩地基等。

填土按物质组成,除杂填土、素填土外，有时还会遇到人工填石；按堆填方式，除冲填土、压实填土外，填海工程还会涉及抛填石。按物质组成不同可参考表8划分类别。

**表8填土物质组成分类**

| 分类 | 名 称 | | 填 土 特 征 |
| --- | --- | --- | --- |
| 物质  组成 | 素填土 | | 由碎石类土、砂类土、粉土、黏性土组成，不含杂质或杂质很少。 |
| 杂填土 | 建筑垃圾杂填土 | 主要由建筑垃圾组成，土中含有大量的碎砖、瓦砾、混凝土块、墙皮灰碴、陶瓷、玻璃碴、朽木块等杂物，有堵机物含量较少。 |
| 工业废料杂填土 | 主要由工业生产的废料、废渣组成，土中含有大量矿渣、煤矸石、灰媒渣、电石渣、下脚料等其他工业废料,混有部分天然土。 |
| 生活垃圾杂填土 | 主要由炉灰炭渣、碎骨菜根、残枝断木、塑胶残片、瓷玻碎器、金属残件等生活中废弃物组成，夹杂天然土和建筑垃圾，含有机质和未分解的腐殖质较多。 |
| 人工填石 | | 以开山块石为主，混合有部分碎石类土、砂类土和黏性土混合料。 |

**5.5.8** 花岗岩的主要矿物成分是石英、钾长石、斜长石，次要矿物为黑云母及角闪石，不同的矿物成分组合、结晶体大小的不同，构成不同颗粒结构的母岩, 风化残积土与母岩结构有直接关系。花岗岩在原地风化后残留的物质就是花岗岩残积土，它残存有花岗岩的结构和构造特征，包括矿物晶粒间的联结和断层、节理构造特征。花岗岩中矿物的风化顺序依次为：云母、斜长石、钾长石和石英, 花岗岩残积土的主要矿物成分是石英和高岭石,颗粒粒度呈“两头多、中间少”的分布特征，即为＞0.5 mm颗粒的矿物成分石英，物理化学性质很稳定，不容易风化成中细砂及粉砂，而 0.5 mm 以下颗粒，尤其是 0.25～0.075 mm 颗粒，主要是长石风化的产物，物理化学性质的稳定性较差，且因粒度较小，比表面积较大，活动性较高，比较容易继续风化成粉粒和粘粒。

一般中粗粒-粗粒花岗岩风化成的残积土易成为砾质黏性土,中-细粒花岗岩风化成的的残积土易为砂质黏性土,由于粒度成分的不同，抗剪强度值与渗透系数也有较大变化，且花岗岩残积土土样极易扰动，试样要保持其原有结构，使之不被破坏和扰动，取样是至关重要的环节。由于受取样质量和样品中粗颗粒影响，通过室内土工试验获得的土的压缩性和抗剪强度指标（粘聚力和内摩擦角）常常出现可信度很低现象，在工程中应予以重视。

**5.5.9** 20世纪50年代末，云贵地区岩土工作者首先提出了由碳酸盐岩类风化残、坡积形成的红色黏土的承载力问题，并且把这种土称为红黏土。根据《岩土工程勘察规范》（GB 50021）所指的这种土主要为碳酸盐岩（石灰岩、白云岩）风化残、坡积并经过红土化作用后形成，这一类型的土的颗粒很细，粘粒含量很高，石英碎屑颗粒较少，孔隙比高于一般黏性土，而强度则比一般黏性土高，但其具有以下几方面工程性质，一是具有高收缩性和低膨胀性，二是红黏土受所处的位置和形成条件等因素影响，其性质与厚度变化较大。在深度方向上，红黏土的含水率、孔隙比、压缩系数随深度的增加都有较大的增高，稠度状态由坚硬、硬塑变为可塑、软塑，强度大幅度降低。在水平方向上，地势较高处，红黏土的含水率和压缩性较低，强度较高，而地势低洼处则相反。三是强烈的失水收缩使红黏土表层裂隙很发育，破坏了土体的完整性，降低了土体的强度，增强了透水性，对于浅埋基础或边坡的稳定性都有一定影响。四是红黏土与下伏碳酸盐类岩石的岩溶关系密切，常有“土洞”存在，有上硬下软的特征，对地基稳定性不利。

从红土发育的程度来看，国内的红土并不十分典型，国外称为真红土（硅铝比小于1.33)的土在我国似乎除了雷州半岛和海南岛之外，其他地方很少有分布；而称为红土性土（硅铝比介于1.33和2.0之间）的土也只是在北回归线附近才有。红黏土作为红土的一个亚类，如按国外对红土的划分方法，显然这种土不能算是典型的红土，然而从工程地质性质和力学特性来分析，应当予以重视。但就目前在建城市轨道交通的广东各大城市，这种土并不典型，本标准不进行专门鉴定与分类，如在工作中确有需要，请参照《岩土工程勘察规范》（GB 50021）相关条款执行。

5.6 土的鉴定与描述

**5.6.1** 在进行岩土分类时，本标准强调采用现场鉴定与室内、外试验，定性划分与定量评定相结合的方法。“现场鉴定”是指在地质调查的基础上，主要通过肉眼、简单的勘探手段，并结合实践经验进行的定性鉴定，它具有宏观、快速、方便和实用的优点，但量化程度往往不够。而“室内、外试验”则是对现场鉴定的验证、核对和补充，是对岩土分类提供定量指标和认识深的重要依据，两者缺一不可。

砂类土的野外鉴别方法可参考表9。

**表9 砂土名称野外鉴别方法**

| 名称 | 野外鉴别 | 名称 | 野外鉴别 |
| --- | --- | --- | --- |
| 砾砂 | 大部分颗粒类似高梁粒 | 细砂 | 颗粒用目力仅能辨别 |
| 粗砂 | 大部分颗粒类似小米粒 | 粉砂 | 用手捻摸时有类似玉米面或灰尘的感觉 |
| 中砂 | 大部分颗粒类似砂糖粒或白菜籽粒 |  |  |

粉土或黏性土的野外鉴别方法可参考表10。

**表10 粉土或黏性土的目力鉴定**

| 土的名称测试内容 | 粉土 | 粉质黏土 | 黏土 |
| --- | --- | --- | --- |
| 摇震反应 | 迅速 | 缓慢 | 无 |
| 光泽反应 | 土面粗糙 | 土面光滑 | 土面有油脂光泽 |
| 干强度 | 低 | 中等 | 高 |
| 韧性 | 低 | 中等 | 高 |

野外工作的目力鉴定，是一种重要的工作方法，也是野外勘探工作的有机组成部分。关于土的目力鉴定，现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）对于黏性土和粉土的描述新增加了摇震反应、光泽反应、干强度、韧性的描述内容，补充了以前习惯的已有鉴别方法，可以有效地将黏性土和粉土区别开来。土的目力鉴别试验方法如下：

摇震反应即通过摇动试验，将含水量接近饱和的土搓成小球，放在手掌上左右摇晃，并以另一手震击该手，如土球表面有水渗出并呈现光泽，但用手指捏土球时水分与光泽很快消失。反应迅速的表示粉粒含量较多，反之黏粒含量较多。

光泽反应：用小刀切开稍湿的土，并用小刀抹过土面，观察土面有无光泽以及粗糙的程度。

干强度试验：将风干的小土球，用手指捏碎的难易程度来划分。

韧性试验：将士调成含水量略高于塑限、柔软而不黏手的土膏，在手掌中搓成约3mm的土条，再搓成土团二次搓条，根据再次搓条的可能性，分为低韧性、中等韧性和高韧性三种。

**5.6.2** 碎石土密实度野外鉴别方法可参考表11。

**表11碎石土密实度野外鉴别**

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

注：密实度应按表列各项特征综合确定。

**5.6.3** 采用标准贯入试验的方法来划分砂类土的密实程度，这种方法准确、简便易行。因此，在确定砂类土的密实程度时，应将标准贯入试验作为主要手段。静力触探单桥比贯入阻力ps和双桥锥尖阻力值 qc的经验关系，参考了王钟琦 孙广忠等《岩土工程测试技术》中国建筑工业出版社1986年2月,国内外利用Ps或qc评定砂土密实度的界限值表6.3.3的资料、原铁道科学研究院铁建所在各类土中建立了qc～Ps的经验关系式qc=0.91Ps，另外参考了《铁路工程地质原位测试规范》（TB 10018）、华东地区的有关勘察规范成果，以及结合广东省地方工程经验。

**5.6.4** 粉土一般70%以上的粒组是粉粒和细、极细砂粒，具有砂类土的某些特性，其比表面积不大，但毛细现象活跃，塑限试验搓条时，毛细压力使土粒聚合在一起，呈现“假塑性”，导致当粉土中黏粒含量相对增加时，塑限反而减少的反常现象；另一方面，由于粉土结构性较差，在野外钻探取土和运输过程中极易扰动失水；在地下水位较高的地区，钻探易于坍塌，几乎难于采样，取上的土样振动水析现象严重，从而使室内试验结果失真，造成塑限、液限表现出高的变异性，可比性差，因此用液性指数IL来划分粉土的状态，不能反映其真实性质，《岩土工程勘察规范》（GB 50021）提出按孔隙比评价粉土的密实状态，但粉土取原状土样比较困难，室内试验时粉土容易失水同样使孔隙比减小，土工试验指标的测试结果与实际出入较大，不易评价正确。因此，还是通过原位测试来划分粉土的密实状态为好。在粉土中采用标准贯入试验划分密实状态积累有较多地方经验，粉土中采用qc划分主要参考浙江省标准《工程建设岩土工程勘察规范》（DB33/T 1065）成果和结合本省工程经验。

粉土湿度分类，根据经验证由于粉土低塑性的特征，其潮湿程度如采用液性指数，比照砂类土采用饱和度指标很难反映粉土的情况，因此目前宜采用含水率指标来进行划分，划分的依据参照《岩土工程勘察规范》（GB 50021）有关内容。

**5.6.5** 修正后的重型圆锥动力触探锤击数 N'63.5划分黏性土状态，主要依据广东省建筑设计研究院《重型(2)动力触探试验的推广和应用》的经验成果，并参考广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DB 15-31-2016）的条款4.2.14有关内容。

5.7 隧道围岩分级

**5.7.1** 目前本省在建的城市轨道交通隧道工程埋深不大，一般不需考虑初始地应力状态隧道围岩级别修正。当存在极高或高初始地应力隧道时，应按照《铁路隧道设计规范》（GB 50218）进行地应力影响修正。

主要结构面是指对围岩稳定性起主要影响的结构面，如层状岩体的泥化层面，一组很发育的裂隙，次生泥化夹层，含断层泥、糜棱岩的小断层等。

**5.7.2** 地下工程围岩是指地层中受开挖作用影响，致使洞室周围一部分区域岩土体发生应力重分布的那一部分岩体。隧道的埋置深度不同，对围岩处理在隧道的设计和施工方法也会有很大区别。隧道的深埋或浅埋，并非单纯指洞顶地层厚度而言，还应结合上覆地层的水文地质与工程地质特征，松散状况，围岩构造特征，风化、破碎、断层影响的程度与结构强度以及地下水等因素综合判定。洞顶的稳定与否对施工方法有直接的影响，但考虑上述因素，要严格判定隧道的深埋、浅埋界限是困难的。深埋隧道围岩松动压力值是以施工塌方高度（即等效荷载高度值）为根据，为了能形成此高度值，隧道上覆岩体就应有一定的厚度，否则塌方会扩展到地面。为此，深、浅埋隧道分界深度至少应大于塌方的平均高度且有一定余量。根据经验，这个深度通常为2～2.5倍的塌方平均高度值，在松软的围岩中取高限，而在较坚硬围岩中取低限。

在勘察阶段进行围岩分级时，很多因素尚不能掌握和同时给与综合考虑，很难达到设计要求的深度进行围岩等级划分。广东地层普遍在垂直和水平方向变化较大，对于6～12m中小跨度深埋隧道进行隧道拱顶围岩基本分级时，可综合多因素参考广州地铁经验，宜结合0.5倍隧洞跨度范围内分布的土层和1倍隧洞跨度范围内分布的富水砂层和软土层，进行综合判定。在隧道设计过程中，对于有特殊要求（如有隧道偏压荷载等）或隧道浅埋时，设计单位应根据设计需要对勘察单位提供的围岩分级进行复核修正。

**5.7.3** 由于勘察钻孔布点间距、勘察手段和勘察调查范围的局限性，勘察阶段围岩分级相对比较粗糙，利用勘察阶段围岩分级进行的隧道设计，带有预设计的性质，其正确性和实际开挖的符合程度，都有待施工中的检验。施工阶段围岩分级，应在勘察阶段围岩基本分级的基础上，对于采用矿山法施工工法的,可通过开挖暴露出来的地质状态，进行地质调查、掌子面观察及量测，并结合隧道工程的特点，考虑地下水出水状态、初始地应力状态、主要结构面产状状态或超前预报成果等因素进行修正。因此，通过施工阶段围岩分级，才能更客观地、更全面和比较可靠地了解在施工过程中的一些现象和问题，才能得以进行动态信息化施工，修正设计采取最符合地质状态的施工和支护措施。施工阶段围岩分级宜参照《铁路隧道设计规范》（TB 10003）进行。

**5.7.4** 发育有岩溶的岩体属特殊围岩,因此岩溶围岩分级与现行的隧道围岩分级有共性，但也有一定的差别。岩溶岩体常发育有结构面和各种形态岩溶 ,如节理、裂隙、溶隙、溶缝、溶孔、溶槽、溶洞、暗河等，尤其对于岩溶空洞、粘土充填溶洞、块石充填溶洞 ,甚至岩溶暗河等地段 ,在勘察阶段进行准确围岩分级是相当有难度。常规的在隧道勘察阶段一般将围岩级别划分为Ⅱ级或Ⅲ级,有些溶洞在隧道施工中虽也不构成施工危害，但由于较发育和发育的岩溶存在，在实际施工时施工安全经常饱受考验和威胁,甚至留下运营安全隐患。如何应对复杂的岩溶形态，采取合适施工措施，勘察阶段需要对岩溶围岩特性有一个合理的认识和评价，并划分岩溶围岩级别，特别在隧道施工阶段对所揭露的岩溶岩体级别要有一个客观定量的分析、细化处理，或修正。

根据中铁西南科学研究院研究成果，专门针对岩溶发育状态围岩的岩体量分级进行质量分级修正，岩溶围岩岩体基本质量指标修正值可按下式计算：

*KBQ=BQ×(1-CkD)*

式中KBQ-一岩溶围岩岩体基本质量指标修正值

BQ-一岩溶围岩岩体作为一般岩体的基本质量指标；（可参照表 5.3.8.2岩体基本质量定量分级或按式5.3.9式计算）

CkD——岩溶发育程度修正系数

初步建立的岩溶发育程度修正系数的计算可按下式进行：

*CkD = 0. 3 × CkDq + 0. 7 × CkD l*  （1）

CkDq -岩溶发育程度定性评价系数；

CkD l-一岩溶发育程度定量评价系数。

岩溶发育程度评价定性评价系数与可溶岩性、构造切割情况和地下水径流循环条件对岩溶发育程度的影响相关，岩溶发育程度定量评价系数与岩溶发育形态及规模对隧道安全的影响系数、岩溶充填物影响系数和地下水影响系数相关。

岩溶发育程度定性评价系数（CkDq）和 岩溶发育程度定量评价系数（CkD l）可参照表12和表13取值，具体定量计算可参考中铁西南科学研究院王石春等《隧道工程岩体分级》。

**表12 岩溶发育程度定性评价与岩溶发育程度定性评价系数的关系**

| 岩溶发育程度 | 很发育 | 发育 | 较发育 | 轻微发育 | 不发育 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 主要的岩溶形态 | 大型溶洞  或暗河 | 一般溶洞 | 溶槽 | 溶缝、溶隙 | 溶孔 |
| CkDq | 0.8～1.0 | 0.4～0.8 | 0.1～0.4 | 0.05～0.10 | 0～0.05 |

**表13 岩溶发育程度评价的建议标准**

| 岩溶发育程度 | 围岩特性及岩溶发生的可能性 | CkDl |
| --- | --- | --- |
| 不发育 | 岩石坚硬，岩体完整，构造不发育，一般不会发生岩溶 | 0.0～0.10 |
| 轻微发育 | 在地下水径流条件好的地方，可能发育少量的细小溶缝、溶隙或溶孔 | 0.10～0.20 |
| 较发育 | 可能发育溶糟、溶管 | 0.20～0.40 |
| 发育 | 岩性为可溶岩的情况下，极可能发育溶洞或暗河 | 0.40～0.80 |
| 很发育 | 对隧道可能造成灾害性的安全影响的特大型填溶洞或特大型暗河 | 0.80～1.00 |

# 6 可行性研究勘察

6.1 一般规定

**6.1.1** 可行性研究勘察成果是城市轨道交通项目建设从岩土工程角度研究和论证方案可行性的依据，可行性研究勘察应针对可行性研究阶段的线路方案，对沿线场地典型地质条件进行勘察。

**6.1.2** 不良地质作用和特殊性岩土常常是影响城市轨道交通结构安全、经济投资和周边环境保护的重要因素，本阶段应重点研究影响线路方案的不良地质作用和特殊性岩土。

**6.1.3** 可行性研究勘察应搜集沿线已有地质资料，开展工程地质调查与测绘，了解沿线场地地质条件。对于搜集到的已有资料，应从可靠性、时效性等角度分析其可利用程度，确保搜集到的资料可靠、有效、能为工程所用。应布置必要的勘探、取样、测试和试验工作，一方面能够用于弥补搜集资料在内容或深度上不足，另一方面能够用来验证搜集资料。

6.2 勘察基本要求

**6.2.1**  地震、矿产和地质灾害等因素影响线路规划和设计，沿线周边工程防洪排涝资料是城市轨道交通确定车站出入口和区间竖井、风井及车辆段、停车场地面设计标高和勘察设计阶段地下工程抗浮水位取值的重要参考依据，可行性勘察阶段应搜集上述资料。

**6.2.2** 在分析和利用已有资料基础上，有条件时均应布置一定数量的勘探工作，通过搜集资料和勘探实物工作相结合，保证勘察结论正确可靠。

**6.2.3**  岩溶、花岗岩球状风化、采空区、填土、软土、污染土等不良地质作用和特殊性岩土以及重要的工程周边环境，制约工程线路走向、敷设形式和施工方法，影响工程建设安全、投资和工期。

轨道交通工程为线状工程，沿线可能存在多种不同类别的地质条件，应划分工程地质单元，分单元分析和评价工程地质条件和工程地质问题，并初步提出工程措施建议。

**6.2.4** 本条规定了可行性研究勘察的勘探点布置、勘探点深度及试验和测试要求。

**1**  总体而言，广东省各地地貌和岩性种类多变，同一城市轨道交通线路往往经过多个工程地质单元，本勘察阶段应保证各车站、区间、车辆段和停车场均应有勘探点，应保证各工程地质单元均有勘探点。

**2**  对于主变电站等配套工程，由于本勘察阶段其选址一般不明确，因此一般不布置勘探点。

**3** 搜集利用的勘探点与线路经过的场地应处理于同一工程地质单元，否则，即使搜集利用的勘探点距离拟建工程很近也难有参考利用价值。

**4** 可行性研究勘察阶段，可根据研究和比选的实际需要开展适当的地球物理勘探工作，例如借助地球物理勘探方法进行断层勘察、覆盖层厚度勘察、地下水分布勘察、地下空洞位置和形态勘察等。

**6.2.5**  结合广东地区城市轨道交通地质条件特点，本要对勘探点深度作出规定，以满足本阶段城市轨道交通工程线路埋深、基础选型、地下水控制方案可行性研究需要。

实际工作中，可能会遇到岩层埋深很大或软弱地层或透水层很厚的情况，《广州市轨道交通线网岩土工程勘察总体技术要求》规定，若勘探点深度达到车站底板下30m或区间底板下20m仍未满足技术要求时，视工程需要，报业主、设计、咨询、总体共同确定终孔深度

# 7 初步勘察

7.1 一般规定

**7.1.1**  初步勘察不仅应在可行性研究勘察成果基础上进一步查明沿线地质、水文和地基条件，还应针对拟选用或拟比选的线路敷设形式、基础及结构型式和施工方法开展工作，为初步设计阶段确定车站和区间平面位置、敷设方式、支护型式、施工方法、地下水控制、环境保护、监测检测及大型工程技术风险控制的初步方案提供勘察依据。实际工作中，初步勘察成果常常还是土建工程招标设计和土建施工招标的依据，此时初步勘察成果还应满足上述招标要求。

**7.1.2** 广东地区地下水位埋深一般较浅，地表土层自稳性较差，探井和探槽能开挖的深度不大，因此规定初步勘察阶段勘察方法以钻探、取样、原位测试和室内试验为主。对于基岩埋深浅、钻探设备难以到达的场地，如山岭地段勘察，可辅以井探、槽探对第四系和基岩的厚度、埋深进行勘察。

广州、深圳、佛山等地城市轨道交通建设经验表明，岩溶、球状风化体、断裂、采空区地质条件对确定初步设计方案、工程投资和工期控制、工程技术风险控制影响很大，因此本条规定初步勘察阶段应针对上述地质条件开展地球物理勘探工作，通过钻探、地球物理勘探、测试和试验相结合，进一步查明上述地质条件，同时也通过初步勘察阶段地球物理勘探揭露的成果，指导后续勘察阶段勘探工作布置。

**7.1.3**  广东地区相同时代成因的岩土层物理、力学性质常常差异较大，因此本条对取样勘探点的比例作出规定，以保证岩土样品的代表性。

**7.1.4** 一般要求勘探点钻穿软弱夹层、溶洞和断层，到达下部稳定地层。当无法满足时，应结合实际情况具体研究勘探点深度。

**7.1.5** 广东地区标准贯入试验锤击数是划分残积土和全风化岩、强风化岩的依据，因此本条规定每个钻孔宜进行标准贯入试验，并应保证标准贯入试验的间距不宜过大。

**7.1.6**  工程地质单元的岩土层类型、物理和力学性质存在差异，因此本条规定了每个工程地质单元主要岩土层的最少取土样、波速测试和原位测试数量。鉴于初步勘察阶段岩土工程参数对于初步设计和土建工程招标的重要性，实际工作中，原则上可适当提高岩土层取样和试验数据的数量要求，不宜以最低数量要求来控制，防止取样和试验数量偏少造成初步勘察阶段岩土参数与后续勘察阶段差异过大引起设计方案和经济投资大的修改。

7.2 基本要求

**7.2.2**  就本条第4款、第9款作出如下说明：

**4** 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325）以土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率作为测试和评价指标，由于广东省岩土工程勘察普遍测定土壤中氡浓度，较少测定土壤表面氡析出率，因此本规范规定以土壤中氡浓度作为勘察测试和评价指标。

初步勘察阶段宜搜集和调查沿线周边工程土壤氡浓度实测资料，当搜集和调查资料不能满足要求时，宜在车站、车辆段和停车场布置适量的土壤氡浓度实测工作。当搜集和调查资料表明场地氡浓度指标异常时，初步勘察阶段宜布置适量的实测工作量进行验证。国内外大量的实测资料表明，土壤中的氡深度除了由土壤本身所含的放射性物质引起外，往往与地质断层密切相关，因此本规范规定在区间发育断层的部位测定土壤氡浓度。

水和土的腐蚀性评价方面，目前，目前勘察规范与设计规范对于腐蚀性的判定和选用规则不一致：《岩土工程勘察规范》（GB 50021）规定，应分别评价水和土对于混凝土、混凝土结构中的钢筋和钢结构的腐蚀性，腐蚀性等级共分为“微”、“弱”、“中等”和“强”四个等级；《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）和《混凝土结构设计规范》（GB 50010）等设计规范进行耐久性设计时，规定根据环境类别和环境作用等级进行耐久性设计，其中环境类别分为一般环境、冻融环境、海洋氯化物环境、除冰盐等其他氯化物环境和化学腐蚀环境共五类，各类环境类别下根据环境作用程度不同进一步区分等级，并根据环境作用等级开展耐久性设计。

设计人员在具体工作中，应按照岩土工程勘察报告提供的水质分析、土的易溶盐分析成果，结合选用的设计规范、工程的具体特点和环境条件，判定结构耐久性设计所处的环境类型和作用等级。

7.3 地下工程

**7.3.1**  就本条第5款、第6款作出如下说明：

**5**  近年部分城市轨道交通建设过程中，遇到因矿冶加工、化工、制药、垃圾填埋等产生的污染土。初步勘察阶段应查明污染源性质、污染途径，并初步查明污染土分布范围和污染程度。

**6** 区域变质岩是在区域变质作用下形成的岩石，是由于区域性的地壳活动，在大面积内发生的一种变质作用，本类岩石多形成于前寒武纪结晶基底和后期的造山带中。它与这些地区的地热异常和一定的应力作用有关。在区域变质作用过程中，温度、压力、应力和溶液等物理化学因素的变化都比较复杂。可出现不同类型的递增变质带，不少地区混合岩、花岗质岩石和片麻岩相伴生。

**7.3.2** 相邻勘探点间距应结合场地复杂程度考虑，对于简单场地勘探点间距取大值，对于复杂场地勘探点间距取小值。对于本规范涉及勘探点间距范围值的其它条文，无特殊说明时均按本条说明执行。

**7.3.3** 本条所述的左、右线线间距是指左线和右线的中心线沿水平面投影线之间的距离，本规范其它条文中线间距含义均与此相同。

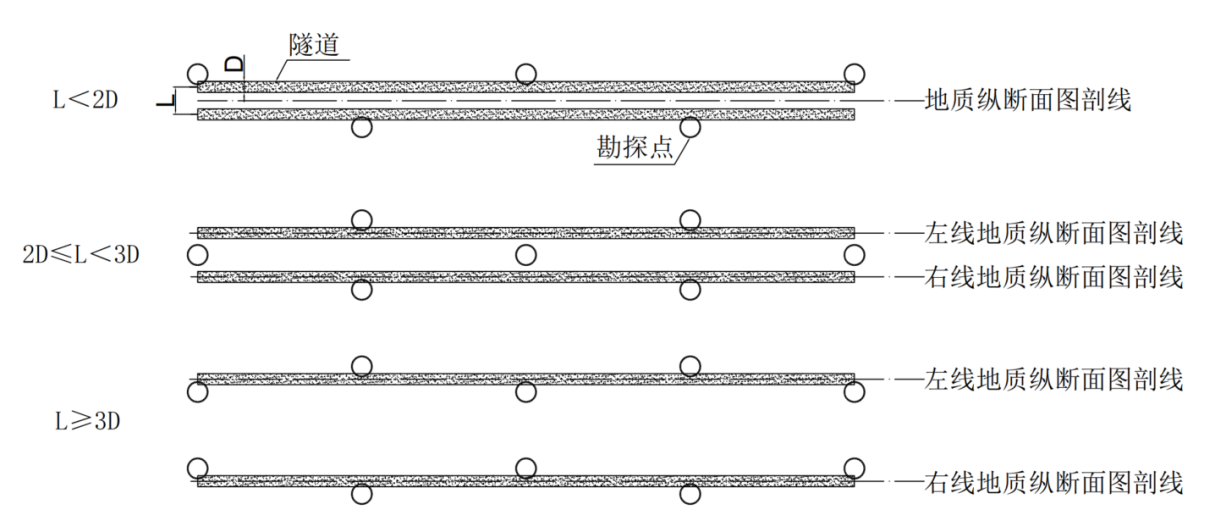
由于广东地区地形地貌复杂、岩土种类和岩土分界深度富于变化，实际工程中左、右线隧道地质条件往往存在差异，甚至同一隧道不同方位的地质条件存在突变，沿隧道同一侧布置勘探点有可能导致漏查隧道另一侧对工程建设有影响的地质条件。本条规定通过明确勘探线数量和位置来指导区间工程合理布置勘探点，使勘探范围涵盖区间两侧范围，保证区间工程勘探点位的代表性和地质断面成果图精度。

本条规定适用于外径为6～8m左右的一般城市轨道交通工程，对于超大尺寸的城市轨道交通隧洞工程，可结合实际情况研究勘探点布置方案。

当左、右线中心线间距大于3倍隧洞外径时，左、右线勘探线不宜共用勘探点，以避免引用较远的勘探点而不能反应隧道洞身实际的地质条件。

对于区间明挖工程，一般左、右线在同一基坑内并排布置，区间基坑宽度不大，因此本规范规定区间明挖工程初步勘察阶段布置一条勘探线。当因明挖区间设置配线或因其它原因基坑横向宽度较大时，可根据充分查明地质条件和抗浮初步设计等需要，参照本条第2、3款提供多条地质纵剖面图。

初步勘察阶段区间（明挖区间除外）勘探点布置示意图见图1。



**图1 初步勘察阶段区间勘探点布置示意图**

**7.3.4**  城市山岭基岩常常出露地表，地表第四系厚度一般不大，由于地形及交通原因钻探设备一般难以运达现场，因此本条规定参照国家行业标准《市政工程勘察规范》（CJJ 56）要求，规定采用以工程地质调查和测绘及地球物理勘探为主的勘探方法，同时为了获取岩土样品和实测数据、确保勘察成果可靠性，要求具备条件时开展井探、槽探工作对地质调查和测绘、地球物理勘察的成果进行补充和验证。

**7.3.5**  沉管隧道勘探点布置采用了与国家行业标准《市政工程勘察规范》（CJJ 56）相同的规定。根据国家行业标准《城市道路工程设计规范》（CJJ 37），根据隧道暗埋段长度将隧道分为短隧道、中隧道、长隧道和特长隧道四类。

**表14 隧道按长度分类**

| 隧道分类 | 特长隧道 | 长隧道 | 中隧道 | 短隧道 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 暗埋段长度L（m） | L＞3000 | 3000≥L＞1000 | 1000≥L＞500 | 500＞L |

**7.3.6**  砂土、碎石土等地层由于常常具有中等～强透水性，对明挖工程止水帷幕设计、渗透破坏验算影响很大，因此规定明挖工程应有勘探点穿透砂土、碎石土等透水层后进入相对隔水层。

7.4 高架工程

**7.4.2**  广东地区城市轨道交通高架工程一般采用嵌岩桩，由于基岩性、岩面埋深变化大，灰岩和碎屑岩岩层中有时分别发育溶洞或风化软弱夹层，为了查明桩位处的地质条件，提高初步勘察钻探成果在施工图阶段的参考和利用价值，本规范规定初步勘察的勘探点宜布置在初拟墩位范围以内，实际勘察时可结合场地环境与管线等情况适当移位施工。

**7.4.3** 部分断裂、节理裂隙倾角较陡，有时候勘探钻孔较难钻穿断裂破碎带、节理裂隙密集带。广州地铁规定，当断裂带厚度很大难以揭穿时，由建设单位、设计单位和勘察设计咨询三方共同研究后确定终孔深度。

深圳市《地基基础勘察设计规范》（SJ G01）规定，对于建筑工程勘察，当断裂破碎带厚度较大且可为建筑物基础持力层时，应钻入断裂破碎带不少于5m。考虑到城市轨道交通高架工程基桩数量少、单桩承受的荷载大，本规范规定当断裂带可作桩基础持力层时，初步勘察勘探点应钻入断裂破碎带不少于8m。

7.5 路基、涵洞工程

**7.5.4** 路基、涵洞工程的地基变形计算深度，可参考《岩土工程勘察规范》（GB 50021）对于房屋建筑和构筑物勘察要求，即对中、低压缩性土层可取附加压力等于上覆土层有效自重压力20%的深度，对于高压缩性土层可取附加压力等于上覆土层有效自重压力10%深度。

7.6 地面车站、车辆基地

**7.6.1**  挖方和填方工程完成后，由于地形变化和土体加载、卸载，可能会改变场地地下水位，导致加载、卸载影响范围内土层物理力学性质变化，并且改变场地覆盖层百度，初步勘察应考虑挖方、填方工程可能造成的地质条件变化对勘察的影响，尤其对于大范围或深厚挖方、填方工程。

当地面车站、车辆基地场地范围同步建设高层建筑时，勘察工作还应满足《高层建筑岩土工程勘察标准》（JGJ/T 72）相关要求。

**7.6.3**  《岩土工程勘察规范》（GB 50021）已明确，该规范中关于房屋建筑和构筑物初步勘察阶段勘探线、勘探点布置的规定，适用于平原区的土质地基；对岩质地基，勘探线和勘探点的布置、勘探孔的深度应根据地质构造、岩体特性、风化情况等，按地方标准或当地经验确定。

本条结合广州、深圳等地房屋建筑勘察及城市轨道交通车辆基地勘察工作经验，减少了勘探线间距及勘探点间距，表7.6.3中勘探线和勘探点间距与深圳市标准《地基基础勘察设计规范》（SJG 01）一致。

初步勘察阶段当具备车辆基地建筑物初拟方案时，勘探点宜结合初拟的建筑物周边线和角点布置。

# 8 详细勘察

8.1 一般规定

**8.1.1** 城市轨道交通工程结构形式、建筑类型多样，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、各类通道、出入口、风井、施工竖井、车辆段、停车场、变电站及附属设施等。勘察时应针对场地条件和不同的结构形式、建筑类型、埋深及工程风险，选择合理的勘察的方法，并布置相应的工作量。

**8.1.2** 一般情况下勘察方法以钻探、取样、原位测试、室内试验为主，但在特殊情况下，如遇断裂、岩溶发育等不良地质条件下，物探可作为主要勘察方法之一。

**8.1.3** 本条规定了各类结构形式及建筑类型的统一要求，在取样数量方面相比国标《城市轨道岩土工程勘察规范》（GB 50307）更加明确，要求取样孔的数量不少于1/2，避免了在取样和原位测试孔勘探点数量满足的情况下，取样数量可能偏少或不足。

**8.1.4** 遇软弱夹层、溶洞、破碎带时，一般要求钻穿，具体钻孔深度由设计决定。

**8.1.5** 标准贯入试验是重要的勘察手段之一，它可用于岩土分层、液化判别，经换算，可提供岩土的有关参数。广州地铁勘察技术要求规定了所有钻孔必须进行标准贯入试验，可见其重视程度。在实际操作中不要盲目进行标准贯入试验，应根据工法、结构埋深和岩土条件，具体分析，如山岭隧道除洞口外可以不做，对于有覆盖层的岩石隧道可以少做。

**8.1.6** 取样和试验数量与国家标准《城市轨道岩土工程勘察规范》（GB 50307）一致，但强调了试样的有效性。考虑到个别土层取原样的困难，如砂层，没有要求所有的土样必须是原状的，这点与国标有所不同。取样的层位应重点考虑设计计算的要求，如区间隧道取样重点应放在洞身上下各1倍洞径范围。

波速与电阻率测试工作布置时，对于长度较大的车站和区间，应适当增加工作量。当区间设置变电所时，电阻率测试宜布置于变电所接地部位。

**8.1.7** 地铁车站有许多设备，为了设备安全及正常运营，必须满足接地要求。车站一般采用综合接地系统，系统包括接地网、接地线、端子排等，接地网的接地电阻不大于0.5Ω。接地电阻与接地网处土壤电阻率成正比，与接地网包围面积成反比。勘察阶段土壤电阻率应采用孔内测试，车站接地网布置在结构底板下，测试深度达到结构底板下5m，可以满足设计要求。

**8.1.8** 软土因取原状土样困难，加上样品运输、制样易对土样造成扰动，试验数据常常失真。原位测试不仅能有效鉴别、划分土层，而且能获取原位土层力学性质参数，测试结果比较真实可靠，有效地弥补了土工室内试验的不足，故在轨道交通勘察中，应根据地基土特点尽可能多地布置原位测试孔。我国华东地区，静力触探试验孔一般不少于勘探孔总数的1/3。

现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120）中相关条文规定土压力计算时采用三轴试验指标或直剪固快指标，凸显三轴试验的重要性，因此对于强度指标的特殊试验有效统计子样数尽可能保证不少于6件（组）。其它特殊试验也要有一定的有效子样数要求，才能保证统计结果的可靠性。

**8.1.9** 土壤氡一旦超标，对民用建筑室内造成污染，影响公众健康，因此在勘察阶段应对土壤氡进行调查和测定，测定指标包括土壤中氡浓度和土壤表面氡析出率。未进行过土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率区域测定的，必须进行建筑场地土壤中氡浓度的测定或土壤氡析出率测定。

广州地铁勘察技术要求规定每个车站土壤氡测定点数不少于十六个，了解场地土壤氡的大致情况，在施工前委托专业的检测机构进行详细测定土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率。

深圳市规定，新建项目建设单位可以对周边临近建筑进行调查，取得新建项目周边不少于三个方向的临近建筑土壤氡检测报告，作为新建项目氡防护设计的依据。未能取得临建建筑土壤氡检测报告的或者未进行调查的，必须进行新建场地土壤中氡浓度的测定或土壤表面氡析出率测定。

8.2 勘察基本要求

**8.2.2**  本条阐述了详细勘察的目的。为了达到目的，应详细查明场地地质条件，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，结合工法提出地基基础、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护方案等的措施和建议，并提供设计所需的岩土参数。

8.3 地下工程

**8.3.1**  本条对地下工程勘察提出了基本要求。

**1** 关于第1款，地下工程施工时不仅需保证自身的安全，还需要保证周边环境的安全，而城区周边环境条件往往非常复杂，反过来会制约工程的实施，如燃气管、人防工程、隧道等，一旦遭到破坏，后果严重。因此建（构）筑物和地下管线资料必须准确，尽可能搜集竣工图纸。

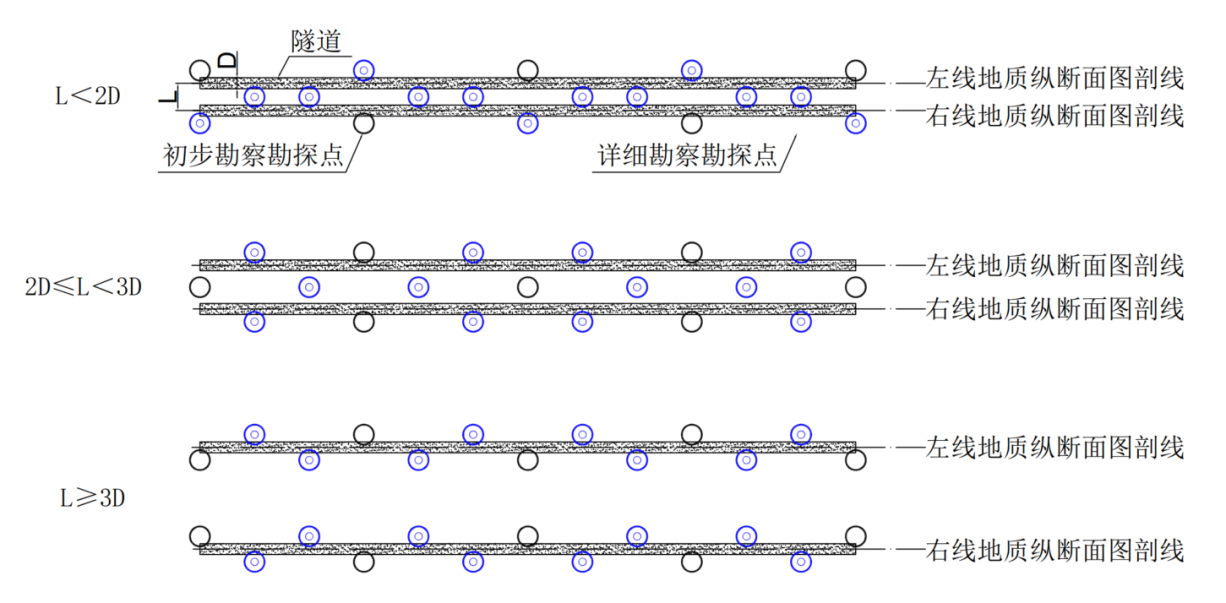
**8.3.2**  本条要求勘探点平面布置要考虑工程结构特点、场地条件、施工方法、附属结构、特殊部位的要求。

**1**  关于第1款，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、6** 在明挖、暗挖隧道结构范围内布置钻孔时，如果封孔质量差，容易导致地下水贯通造成基坑内管涌或透水，或造成盾构施工时地面冒浆，给工程施工带来危害；如果能确保封孔质量，必要时可在隧道结构范围内布置钻孔，如厦门地铁为了查明隧道范围内球状风化体的分布，钻孔一般布置在隧道结构范围内，封孔质量控制较好，尚未发生盾构施工造成地面冒浆现象。

广东省轨道交通岩土工程常常发现，相邻部位左线、右线的岩土层类型和埋深常常出现变化，本规范规定详勘阶段左、右线分别绘制地质纵剖面图。

当左、右线线间距小于或等于3倍隧道外径时，左、右线之间勘探点需同时参与左、右线地质纵剖面图绘制，因此左、右、线之间的勘探点宜与两侧的勘探点呈梅花状布置。详细勘察阶段暗挖隧道勘探点布置示意图见图2。



**图2 详细勘察区间勘探点布置示意图**

**8** 勘探点平面布置要考虑工程结构特点、场地条件、施工方法、附属结构、特殊部位的要求外，地质剖面图上相邻勘探点沿线路或结构线的投影间距还应符合表8.3.2要求。本款要求相比国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）的勘探点间距作出了更严格的规定，主要是考虑广东地区的复杂地质条件以及工程实际经验教训进行适当调整。

**9** 山岭隧道应根据初步勘察阶段钻探及物探勘察成果，在隧道一侧或两侧交叉布置勘探点。关于山岭隧道勘探点间距，重庆市《市政工程地质勘察规范》（DBJ50-174-2014）规定，埋深大于3倍洞跨的岩质隧道，详细勘察间距可按隧道埋深的1～2倍确定（复杂场地取小值），但不超出表15规定的范围值。

**表15 重庆市埋深大于3倍洞跨的岩质隧道详勘阶段勘探点间距（m）**

| 场地类别 | 简单场地 | 中等复杂场地 | 复杂场地 |
| --- | --- | --- | --- |
| 勘探点间距 | 80～600 | 60～400 | 40～200 |

考虑广东省实际情况和广州轨道交通二十一号线等勘察经验，在隧道埋深超过30m且洞顶岩层厚度大于3倍洞跨的洞身段，勘探点间距取隧道埋深的1.5～3倍，且不大于300m。

**8.3.3**  本条是根据我省及全国各城市轨道工程勘察经验，给出了勘探孔深度的确定要求。由于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，勘探深度相比一般地下工程（如民用建筑基坑）适当加深。

**8.3.4**  本条是依据广东省《建筑基坑工程技术规程》（[DBJ/T 15-20-2016](http://www.baidu.com/link?url=JWW6__IZ7tzOy0AtLolG1Twtkhy1I4KfI25iVa2GFvNwu8ZK2uF-d5wZIYpp-Ypb-dneOSO7wHXDPCTp_nsOwksfKbCvqAHtWe1GqlCWhAi" \t "_blank)）关于勘察要求及《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012），结合广州、深圳等城市的地铁勘察经验确定的。

明挖基坑包括明挖车站和明挖区间隧道。

**1**  关于第1款，填土厚度一般不大，在勘察过程中往往不重视，没有取样和进行原位测试，导致土的相关参数缺失，影响设计施工。广东省《建筑基坑工程技术规程》（[DBJ/T 15-20-2016](http://www.baidu.com/link?url=JWW6__IZ7tzOy0AtLolG1Twtkhy1I4KfI25iVa2GFvNwu8ZK2uF-d5wZIYpp-Ypb-dneOSO7wHXDPCTp_nsOwksfKbCvqAHtWe1GqlCWhAi" \t "_blank)）明确规定，厚度大于3.0m的填土层应进行原位测试并取土样进行室内试验。实际工作中，对于杂填土，由于常常难以取原状样，即使取到原状样后由于杂填土成分不均匀，室内试验难以制备满足要求的试样，此外建（构）筑物及地下管线复杂的地区，机械钻进前常常采用人工挖探开孔，地表填土层有时不能在填土层中采取原状土或进行原位测试，此时应以钻探安全为首要目标，不宜对填土层取样和原位测试作硬性规定。

**8.3.5**  矿山法施工的工艺繁多，常见的矿山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）等，本条规定了矿山法的重点勘察内容。

**1**  关于第1～2款，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(H2S)、二氧化碳 (CO2)、二氧化氮(NO2)、有机溶液的蒸气及甲烷等天然气。

**2** 关于第4款，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。

**3**  关于第6款，由于受勘察条件和勘察方法制约，复杂地质条件难以查明，隧道施工时可能发生涌水、涌砂、塌方等地质灾害，对施工人员、施工机具造成安全威胁，为解决预防地质灾害的发生，在隧道施工前采用综合探测方法查明掌子面前方的地质情况，便于采取有效的预防措施。常用的探测方法有地质调查法、物探法和超前水平钻探。

**8.3.6**  本条规定了盾构法的重点勘察内容。

**1** 关于第1款，常见的不良岩土条件对盾构法施工的影响主要有：软弱土层开挖面易失稳造成地面下沉，黏性土层和软岩易结泥饼造成推进困难，漂石或卵石因难以排出而扰动地层，造成超挖和地层下沉。

**2**  关于第5款，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，必须查明地表水与地下水的水力联系。

**3**  关于第6款，盾构始发井、接收井及联络通道是盾构施工中最容易出现事故的部位，因此，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是必要的，并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。

**4**  关于第7款，复合地层在盾构施工中比较常见，一般为上软下硬，掘进过程中因上部层土层排土过多易地面下沉或塌陷，因此遇到复合地层应进行分析评价，提出措施和建议。

**8.3.7**  本条是根据广州地铁一号线芳村沉管隧道勘察设计经验总结而来，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。

**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。

**8.3.8**  参考《浙江省城市轨道交通岩土工程勘察规范》（[DB33T 1126-2016](http://www.baidu.com/link?url=V0h9F8Qyd1WZVnJoJkvlQKZ1Hz4nWysT5pdsM4n-3qD09E01Qlc7uui-duh6aDIKbTolJsZkH4zE9yv5xy6n2q" \t "_blank)），应在-5℃、-10℃、-15℃状态下分布提供冻土的单轴抗压强度、弹性模量和泊松比等试验指标，试验取样及试样制备要求详见附录C。

8.4 高架工程

**8.4.1**  岩溶地区和花岗岩球状风化体发育地区应建议钻探、物探等综合方法查明桩底范围的溶洞和球状风化体分布情况，确保工程的安全。其他参考国标城轨勘察规范相关条文说明。

**8.4.2**  勘探点布置应根据前期勘察成果，判断场地地质条件复杂程度，有针对性布置钻孔，复杂场地应逐墩布孔，对于多桩承台，可逐桩布孔。

8.5 路基、涵洞工程

**8.5.3**  高路堤的基底稳定、变形等是路堤勘察的重点工作。路堤病害绝大多数与路堤基底软弱夹层或地下水有关。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。

**8.5.4**  城市轨道交通工程路堑一般采用U型槽形式，路堑工程涉及到挡墙地基稳定性、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，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，勘察工作须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。

**8.5.5**  挡土墙及其它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。

8.6 地面车站、车辆基地

**8.6.1** 地面车辆基地内建筑物一般应单独勘察，路基范围应包括车辆基地的出入段线。

**8.6.2**  当车站、车辆段、停车场等部位修建高层建筑时，还应执行国家标准《高层建筑岩土工程勘察标准》（JGJ/T72）。

# 9 施工勘察

**9.0.2**  本条列举了一些可以根据土建施工需要开展勘察的情形。

岩溶、球状风化体、岩面起伏等地质条件对城市轨道交通施工影响很大，近年广州市轨道交通工程在施工阶段针对岩溶区、花岗岩区地下连续墙开展了“一槽两钻”施工勘察，即每幅地下连续墙实施两个钻孔，根据这两个钻孔揭露的岩土条件确定本幅地下连续墙的持力层和嵌入深度。

当盾构法隧道洞身范围为花岗岩类残积土或全风化、强风化岩层时，为查明潜在的球状风化体以便盾构到达前先进行预处理，减少球状风化体对盾构法施工的影响。广州、深圳、福州、厦门等地在土建施工阶段开展了盾构法球状风化体勘察。

# 10 不良地质作用调查与勘察

10.1 一般规定

**10.1.1**  本条是在广东省范围内对城市轨道交通建设有影响的不良地质作用调查与勘察的总要求。在广东省已修建或拟修建城市轨道交通的城市范围内，尚未对修建城市轨道交通构成影响的不良地质作用调查与勘察，暂不列入。

**10.1.2** 本条规定了不良地质作用调查与勘察的一般方法，要求采用具有针对性的方法。

**1**  文献、资料查阅。这是目前各行业进行采空区调查与勘察普遍采用的方法之一。这种方法虽然不是很准确，但是，通过这种方法首先可以得到“存在采空区”或“不存在采空区”的初步结论。这种方法比较节省人力、物力，在前期工作和可行性研究阶段，通常采用这种方法。

**2** 区域地质调查与测绘。这是常用的地质方法，可用该方法查明采空区所处的地质单元和地貌单元，揭示采空区的宏观分布；揭示采空区所处范围的地貌特征、地质构造特征，地层的成因、分布、层序、地质年代，岩层的产状、接触关系等。

**3**  工程测量。可用工程测量的方法，非常直接地查明（测量）采空区引起地面变形的现状，包括移动盆地和凹陷、下沉、坍塌、错落等的位置、范围、大小、深度等；可直接查明（测量）挖掘活动在地面留下的大面积洼地的形状、面积、深度（高程）。

**4** 岩土工程勘察。包括了物理勘探、钻探、采样与测试等多种手段，是工程建设常用的、主要的方法。

**10.1.3**  本条规定，可逐步查明（按工程阶段查明）各类不良地质作用，并不要求一次勘察全部查明，尽可能避免因线路变化造成的勘察工作量浪费。

**10.1.4** 本条说明了工程阶段对不良地质作用调查与勘察的总要求。

**10.1.6** 不排除在广东省还有对城市轨道交通建设有不利影响的其他不良地质作用尚未列入本规范的勘察范围。

10.2 采空区调查与勘察

**10.2.1**  本规范所称采空区，是指人类的挖掘活动在地面以下的岩层、土层中留下的坑洞，以及坑洞围岩失稳而引起的地表变形，包括移动盆地和凹陷、下沉、坍塌、错落等。为便于勘察，本规范将人类的挖掘活动在地面留下的露天的大面积洼地，也称为采空区。

本节条文，包含了采空区调查与勘察的目的要求和操作要求。

目的要求说明了城市轨道交通工程可行性研究和工程设计对采空区调查与勘察的要求，超出此范围的要求不列入本规范。

操作要求力求可实施。在目前经济技术条件下，可以采用简单有效的方法满足目的要求的，不再要求采用其他方法，建设单位和勘察单位也可以采用其他更有效的调查与勘察方法，实现目的要求。

采空区覆岩破坏类型应根据矿区资料确定，当无相关资料时，参照《煤矿采空区岩土工程勘察规范》（GB 51044）确定。

**10.2.3**  工程可行性研究报告应包含初步查明的采空区情况。有条件时，宜在开展工程可行性研究之前开展采空区的初步调查。

**10.2.7** 拟建场地浅部岩土层的工程性质、地基承载力等的确定，宜采用载荷试验、静力触探、动力触探、标准贯人试验、旁压试验、十字板剪切试验、现场直接剪切试验等原位测试方法。可根据需要在钻孔中对拟建场地深部岩土体进行波速测试。

**10.2.10**  编写采空区调查报告或岩土工程勘察报告，应避免堆砌庞杂的调查资料而没有分析，应给出明确的初步调查结论。如果没有明确的初步调查结论，就不可能有针对性地进行后续工作，这样的调查报告或岩土工程勘察报告，无法作为工程可行性研究和工程设计的依据。

本条给出了调查报告或岩土工程勘察报告关于采空区初步调查结论的基本表达方式，在实际工作中，不限于这种表达方式。

10.3 有害气体

**10.3.1**  一般说来，有害气体是指对人体健康或工程施工产生不利影响的气体。

对于从地层或岩层中逸出（冒出）的气体，煤炭系统称为瓦斯，石油系统多称为天然气（气田气、油田气、煤田气等）；工程建筑行业统称为有害气体，其中，将第四系沉积中有机质产生的有害气体称为浅层生物气或沼气。

该气体的称呼虽然较多，其主要成分为甲烷（CH4）、二氧化碳（CO2）、氮气（N2），还有少量的硫化氢（H2S）、一氧化碳（CO）、氢气（H2）、二氧化硫（SO2），及其它碳氢化合物（多为烷烃）和稀有气体。其中，甲烷是可燃气体，硫化氢、一氧化碳是毒性气体。

本规范从工程角度，将在施工过程中从地层或岩层中逸出（冒出）的对人体或工程会造成危害的气体统称为有害气体，也包括可能由人类活动产生的存在于地层或岩层中的毒性气体。

根据成因和特征，有害气体一般可分为生物气、煤成气、油成气、深源气、缺氧气体、毒性气体。

在广东省的城市轨道交通建设中，可能主要遇到生物气（第四系沉积中有机质产生的有害气体、生活垃圾产生的有害气体）和煤成气（煤矿或煤窑中产生的有害气体）。这些气体的主要成分均为甲烷。

关于甲烷气体的一般特征，详见《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）第11.6.5条条文说明第1款。

为便于操作，本节条文主要按勘察工作顺序，规定有害气体的调查与勘察要求。

**10.3.5**  依据《铁路瓦斯隧道技术规范》（TB 10120），瓦斯隧道可分为微瓦斯隧道、低瓦斯隧道、高瓦斯隧道及瓦斯突出隧道，瓦斯类型应按区的最高等级确定。微、低、高瓦斯工区可根据全工区绝对瓦斯涌出量（*Q*绝）按表16确定。

**表16 瓦斯工区绝对瓦斯涌出里判定指标表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 分类 | 判定指标 | |
| 中等、大、特大跨度 | 小跨度 |
| 隧道  工 区 | 非瓦斯工区 | 0 | |
| 微瓦斯工区 | *Q*绝＜0.5 m3 / min | *Q*绝＜0.3 m3 / min |
| 低瓦斯工区 | 0.5 m3 / min≤*Q*绝＜1.5 m3 / min | 0.3 m3 / min≤*Q*绝＜1.0 m3 / min |
| 高瓦斯工区 | *Q*绝≥1.5 m3 / min | *Q*绝≥1.0 m3 / min |

注：表中工区跨度依据国家标准《铁路隧道设计规范》（TB 10003）确定，隧道开挖横断面的水平最大宽度5～8.5m为小跨度，8.5～12m为中等跨度，12～14m为大跨度，14m以上为特大跨度。

10.4 地面沉降

本节是按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）的相关规定结合广东省地区城市轨道交通工程建设的工程经验进行修订。

**10.4.1**  现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）对地面沉降的规定是较大范围的地面沉降，一般面积在100km2以上；但是考虑到城市轨道交通建设的过程中岩溶引起的地面局部塌陷、抽吸地下水、填土层及软土层的固结引起的局部沉降都对工程有较大的影响，因此本节中把抽吸地下水、填土及软土层的固结引起的局部沉降也归入了地面沉降勘察的范围之内，以便更好的指引城市轨道交通工程的设计与施工。

**10.4.2** 地面沉降勘察中搜集有地面沉降长期监测的观测资料是较主要的方法之一，效果较好。必要时开展InSAR遥感（合成孔径雷达干涉测量技术），InSAR遥感技术进行地面沉降分析评价已较成熟，应用较普遍。

# 11 特殊性岩土

11.1 一般规定

**11.1.1**  广东省常见的对修建城市轨道交通构成影响的特殊性岩土有填土、软土、风化岩和残积土和污染土，如揭露其他对修建城市轨道交通构成影响的特殊性岩土，应按现行相关规范、标准要求予以查明。

**11.1.2** 本条规定了特殊性岩土勘察一般采用的手段，要求具有针对性。

**11.1.3**  本条规定，可逐步查明（按工程阶段查明）各类特殊性岩土，并不要求一次勘察全部查明，尽可能避免因线路变化造成的勘察工作量浪费。

**11.1.4**  本条说明了工程阶段对特殊性岩土勘察的总要求。

**11.1.5** 在特殊性岩土勘察的内容中，花岗岩球状风化体列入本规范第14章。

**11.1.6** 不排除在广东省还有其他对城市轨道交通建设有不利影响的特殊性岩土尚未列入本规范。当发现这些特殊性岩土时，应按国家和行业标准的相关规定进行勘察工作。

11.2 填土

**11.2.1**  根据目前城市轨道交通的建设经验，线路多沿城市主干线铺设，地下3m范围多为路基及地下管线层，勘察过程一般需要人工开挖及破除路面，取样及测试有难度较大，一般采用现场经验判断，可以满足工程需要。勘察通过踏勘或搜集沿线工程资料，比较容易判断填土的分布范围。沿线路踏勘，也是拟建城市轨道交通岩土工程勘察现场工作的第一步。

**11.2.2** 本条内容，是要求查明的内容，并且通过踏勘、资料搜集、钻探是可以查明的。综合说明如下：

**1** 填土的物质组成包括碎石土、砂土、粉土、黏性土、杂物等。堆填方式是填土分类的基础。

**2**  填土的物质组成、堆填方式，分布、厚度、深度，可以通过钻孔编录直接获得。

**3**  一般说来，填土不同物质组成（成分）是不均匀的，不同物质成分的填土，厚度是不均匀的（厚薄不一）；填土密实性差，固结时间短，是欠固结的（高压缩性的）。

**4**  通过钻孔编录，可以直接观察填土的密实性和压缩性（定性描述）；通过标准贯入试验，客观描述填土的密实性（定量描述）。一般说来，经过工程处理的素填土（压实填土），颗粒级配比较合理，具有较大的密实性和较小的压缩性。

**5**  对于有机质的含量，主要是杂填土中含有有机物，可通过钻孔编录直接观察。

**11.2.3**  对于本条第3、4款进行以下说明：

**3**  一般说来，填土的工程特性指标差异较大。需要通过综合的方法，即条文所称的“钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法”，测定或获得工程特性指标。

不论从工程需要或者资料的完整性而言，仍然需要一定数量的填土室内试验。视工程需要和填土的性质，选取合适的内容，一般是常规试验项目、常规固结试验、固结快剪试验，即天然含水量、天然重力密度、土粒比重、液限、塑限，压缩系数、压缩模量，内摩擦角、黏聚力。

标准贯入试验是常用的原位测试方法。

**4**  本规范第6～8章已经明确了不同勘察阶段的勘探孔深度要求。本条在此基础上增加“应穿透填土层”的要求，这也是国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 0307-2012）第12.2.2条第2款的要求。根据目前广东省城市轨道交通工程建设揭示的情况，勘探孔穿透填土层是做得到的。

**11.2.4** 结合本条文，按填土类别，给出更多的测定填土工程特性指标的方法。综合说明如下：

**1**  按国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 0307-2012）第15.2节进行静力触探试验，按第15.3节进行圆锥动力触探试验，按第15.6节进行载荷试验，按第15.7节进行十字板剪切试验。

**2**  杂填土成分复杂，颗粒大小不均，按常规室内试验的方法制作的试件及测试结果，通常不具有代表性，故采用比环刀大得多的容器制作具有代表性的试样，进行室内试验（密度测试）。

**3**  国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 0307-2012）第12.2.2条第3款还规定，“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。”在广东省的城市轨道交通工程勘察中，尚未遇到这种情况，在具备条件时，可适当布置一定的探井。

**4** 国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版局部修订）第6.5.4条第4款规定，“对压实填土，在压实前应测定填料的最优含水量和最大干密度，压实后应测定其干密度，计算压实系数。”国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 0307-2012）第12.2.3条第4款规定，“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。”

其实，上述规范所称，是测定施工填方（填土）密实度的方法。一般说来，首先在施工现场采取填料试样，送试验室进行击实试验，测定填料的最优含水量、最大干密度；然后，在经过施工压实的填方（填土）中取样或现场测试，测定其干密度（控制密度），从而计算出经过施工压实的填方（填土）的密实度（压实系数）。这种方法，广泛用于公路路基和铁路路基的施工测试。

确切地说，上述规范所称，更多的是施工填方（填土）的测试要求，是施工过程验收的一部分，主要不是为设计服务的勘察工作。

查国家行业标准《公路工程地质勘察规范》（JTG C20-2011）和《铁路工程地质勘察规范》（TB 10012-2007）,并没有测定施工压实的填方（填土）压实系数的要求。在广东省的城市轨道交通工程勘察中，尚未有此需求。故本规范暂不做出规定。

**11.2.5** 本条要求岩土工程勘察报告应对勘察范围内填土自身特性（勘察获得的原始结果和参数）进行岩土工程分析与评价。

一般说来，填土来源复杂、成分不均、厚薄不一，固结时间短，密实性差、压缩性大，富含地下水，渗透性强。在城市轨道交通岩土工程勘察报告中，一般会要求在施工中将填土挖除，或者对填土采取换填方式处理。

11.3 软土

本节是按照现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）的相关规定修订。

11.4 风化岩和残积土

**11.4.4**  对于本条进行以下2点说明：

**1** 花岗岩类及其他岩石的强风化、全风化及残积土的划分按广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-13-2016）的有关规定进行，根据广东地区的工程经验，这样划分对工程的设计及施工是有比较好的指导作用。

**5**  花岗岩风化岩和残积土的性质有关。广州轨道交通勘察将花岗岩、混合花岗岩和花岗岩片麻岩强风化带划分为半岩半土状强风化带、碎块状强风化带两个亚层。深圳市依据实测标准贯入击数、重型动力触探或超重型动力触探锤击数，将厚度大于10m时的强风化花岗岩划分为强风化上层、强风化中层、强风化下层三个分带，外观分别为土状、砂砾状和碎石状；本规范对厚层的强风化花岗岩参照深圳市规定划分成了三个亚层。

需要说明的是，国内《岩土工程勘察规范》（GB 50021）等勘察规范将“岩体结构大部分破坏、矿物成分显著变化”定义为强风化，英国标准《Code of Practice for Site Investingation》（BS 5930）将“超过一半的岩石被分解成土，新鲜或褪色岩石作为一个不连续的骨架或岩芯而存在”的情况定义为强风化，因此，按国内和国际划分标准，完全风化成土状的花岗岩不应划入强风化带。本规结合广东地区工程实践，考虑到部分花岗岩场地的风化岩和残积土很厚，为了便于区分不同层位的土状风化物性质差异，将强度较高的土状风化物划分为花岗岩强风化带的上层。

11.5 污染土

本节是按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）的相关规定修订。

# 12 岩溶勘察

12.1 一般规定

**12.1.1**  广东省可溶灰岩占全省面积约1/6，广泛分布于粤北曲江—仁化盆地、英德盆地、连阳盆地和广东中部的广花盆地等，已修建城市轨道交通的城市岩溶埋藏条件大部分为覆盖型。岩溶不良地质作用对工程建设的影响很大，是需要认真控制的主要地质风险因素。多年来我省在岩溶区建设了一定数量的城市轨道交通建设项目，积累了一定的经验，认识到需要切实加强岩溶地质勘察。

**12.1.3** 《建筑地基基础技术标准》（GB 5007-2011）、《岩溶地区建筑地基基础技术规范》（DBJ/T 15-136-2018）对场地岩溶发育程度分级中，钻孔见洞隙率指标划分指标有一定差别，其中岩溶强发育程度按钻孔见洞隙率的划分指标分别为>30（%）和>45（%）。《岩溶地区建筑地基基础技术规范》（GB/T 51238-2018）沿用了《岩溶地区建筑地基基础技术规范》（GB 5007-2011）的划分办法。城市轨道交通工程为线性交通工程，岩溶发育对工程建设与运营安全维护影响大，本规范按不低于国标原则，结合工程实际情况从严考虑。

《岩溶地区建筑地基基础技术规范》（GB/T 51238-2018）条文说明还提供了单位涌水量的岩溶发育程度分级指标：大于1（L/m.s）为岩溶强发育，0.1～1（L/m.s）为岩溶中等发育，小于0.1（L/m.s）为岩溶弱发育，但未提供单位涌水量的测量标准。

12.2 勘察要求

**12.2.3** 岩溶地区勘探孔可能成为上覆土层特别是砂层塌落孔洞，形成新的土洞甚至塌陷，情况严重时在钻探过程或者拔出套管后即造成地面下沉或塌陷。勘探孔还容易形成新的水力通道，对地下工程施工或地基基础施工造成不良影响。因此，岩溶区勘探孔封孔工作尤为重要。当预计拔管造成的塌陷影响安全可能难以控制时，应慎重，或不拔套管，做好记录。

**12.2.4** 广州市轨道交通第三期建设规划（2017-2023）线路岩溶处理总体技术要求中提出，施工单位实施的岩溶加密勘察是在详细勘察的基础上，根据施工中所需解决的问题作进一步的探查，主要应用于①查找施工中遇到的异常点、涌（漏）水点；②进一步确认溶（土）洞的发育深度及影响范围；③验证和复核详细勘探中判定的地质异常点及疑问；④进一步查明盾构掘进前方仰拱的岩溶发育状况。

施工单位实施的岩溶加密勘察实施的重点范围如下：①详勘钻孔揭示溶土洞直径大于3m的地段；②呈串珠状溶洞集中发育的地段；③线路上方有建（构）筑物阻碍，无法钻孔的地段；④盾构掘进时工程风险较大、一旦出现问题较难处理的地段；⑤其它需要在施工前提前查清岩溶发育条件的地段。

实际工作中，当工程问题较复杂时，施工阶段钻探资料与初、详勘资料的整合分析，建设单位往往要求掌握场地地质情况、技术力量较强的详勘单位来处理。同时由于岩溶发育的特殊性等因素影响，实际工程中不同勘察单位、不同勘察阶段的勘察结果有可能出现认识上的差异。为了尽量减少协调处理工作，保持技术标准的连续性，施工阶段勘察宜由详勘单位实施。

**12.2.7～12.2.9** 根据广东地区城市轨道交通勘察和设计施工经验，查明岩溶的具体分布、查明地下水的联通性对工程施工特别重要，在勘察不同阶段加大了勘探工作量的布置，为设计施工提供尽可能详细的岩溶裂隙和土洞分布情况。

不同阶段的勘察合理结合，有利于尽快查明岩溶地质条件。例如，岩溶区详细勘察阶段一柱一孔的钻孔布置，可结合施工阶段一桩一孔或一桩多孔、或钻孔结合物探的超前钻实施，合理安排工作量。

12.2.8、12.2.9条规定了间距范围值，当岩溶发育情况相对复杂时取小值，当岩溶发育情况相对简单时取大值。

**12.2.10** 喀斯特地形岩面起伏难以预测，基岩中发育溶洞裂隙，常规详细勘察工作完成后，设计人员往往无法确定围护结构深度和工程桩的终孔位置，留待超前钻解决会影响工期和工程风险管控等。因此，广州城市轨道交通在总结多条线路经验的基础上，提出在施工阶段开展为设计进一步确定设计参数的勘察要求，作为详细阶段勘察阶段的补充勘察，切合工程需要。

广州市轨道交通第三期建设规划（2017-2023）线路岩溶处理总体技术要求中提出了施工单位实施的岩溶加密勘察和溶洞探边勘探点布置原则：①岩溶发育区的基坑工程和隧道工程，施工单位根据详勘报告按照岩溶处理的原则对溶土洞完成处理后，施工单位评估施工风险，提出需要加密勘探的区域，设计单位提交加密勘探方案，监理和业主审查同意后，施工单位按照加密勘探方案在明挖基坑或隧道投影外扩3m范围内实施加密勘探；②当岩溶加密勘察的勘探点揭示有溶洞或土洞时，应结合已完成岩溶加密勘探点揭露的情况，继续以揭露到溶洞或土洞的勘探点为中心按2m间距往外侧沿梅花形布置溶洞探边勘探点，并以此类推，直至溶洞探边勘探点未揭露到岩溶时终止。明挖基坑、隧道工程岩溶探边外扩3m线范围内如存在障碍物及管线无法探边时，应由设计单位分析工程风险并确定专项处理方案；③施工单位实施的勘探孔主要以探明溶洞分布为主要目的，由设计单位根据需要提出加密勘探方案及土工试验方案。

**12.2.12** 本条总结广州、佛山等地城市轨道交通工程岩溶水处理施工经验提出，要求较目前已建成工程有所提高。

12.3 岩土工程分析与评价

广东地区地下水位高，岩溶区地下水活动、洞体稳定性等城市轨道交通建设影响很大。进行勘察成果分析与评价时，需阐明岩溶的空间分布、发育程度等情况，在此基础上析和评估岩溶地下水、洞体稳定性的影响，提示岩溶地质条件可能造成的工程风险。

# 13 断裂勘察

13.1 一般规定

**13.1.1** 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009版）5.8.1条规定：抗震设防烈度等于或大于7度的重大工程场地应进行活动断裂勘察。城市轨道交通工程属于重大工程，断裂的勘察和评价是其选址和建设时应进行的一项重要工作。根据广东省区域地质构造情况，大部分断裂带均为非活动断裂，少量断裂带活动性微弱，但既有的轨道交通工程建设经验表明，当线路穿越断裂破碎带时，断裂破碎带的走向、产状、破碎带特性、地下水往往带来很多的工程问题，对工程建设和后期的运营均产生较大的影响。因此，本条规定城市轨道交通线路场地或其附近存在对工程安全有影响的断裂时，不考虑其活动性，均应进行断裂勘察。有重大影响时，应进行有针对性的专项勘察。

**13.1.2** 本条在《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009版）5.8.1条的基础上，对断裂勘察应查明的内容做了更为详细的明确，指导现场工作开展。

**13.1.3** 当前国内外地震地质研究成果和工程实践经验都较为丰富，应在充分搜集已有文献资料、进行卫星影像和航空遥感相片解译、野外调查和追踪断裂迹象的基础上，开展断裂勘察工作。

断裂勘察工程地质测绘，应在《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009版）5.8.5条的基础上，重点包括下列内容的调查：

**1**  地形地貌迹象：非岩性影响的陡坡、峭壁，深切的直线形河谷，一系列滑坡、崩塌和山前叠置的洪积扇；山区中或平原山地交界处具有定向断续线形分布的残丘、洼地、跌水、泉、温泉等；河流水系走向排列展布或同向扭曲错动等现象。

**2**  地层地质迹象：断裂两侧第四纪地层变动及错位，地下水活动异常（温泉）和地表植被的不同特征，断裂带的破碎程度和胶结特征，破碎带组成物质及性质等。

**3**  地震迹象：区域历史地震遗迹或古地震遗迹，如与地震有关的断层、地裂缝、崩塌、滑坡、地震湖、河流改道和砂土液化等。

断裂勘察应采用综合的勘察手段，在野外调查和工程地质测绘基础上，首先采用地球物理勘探手段，对断裂的分布、走向和破碎带特性进行普查，圈定重点异常区，再辅以钻探进行验证，钻探过程中应对断裂破碎带有针对性的取样、原位测试，以查明破碎带岩土层物理力学性质，分析断裂的形成年代及活动性

断裂带地下水的情况是断裂勘察工作的重点，应结合区域水文地质调查和前期地球物理勘探结果，开展有针对性的水文地质试验，对于地下水情况复杂或富水性强的断裂破碎带，建议根据工程建设需求，设置长期水位观测井，动态观测地下水变化情况。

13.2 勘察要求

**13.2.1** 可行性研究阶段，断裂勘察以搜集资料为主，对线路或场地选址有重大影响的断裂带，宜在分析资料和野外调查工作的基础上，在实测或推测断裂部位布置1~2个勘探点，初步调查断裂的分布及与线路的关系。

**13.2.2** 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-2012）6.3.2条和6.3.3条分别对初步勘察阶段勘探点间距进行了规定，地下车站勘探点间距不宜大于100m，地下区间勘探点间距宜为100～200m，沿线路布置，在地貌、地质单元交界部位、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。根据中华人民共和国区域地质调查报告（广州市幅F49C001004，比例尺1:25万，广东省地质调查院，2000年）第四章“地质构造”中对各条断裂的破碎带宽度均有描述，如瘦狗岭断裂，断裂破碎带一般宽十几到几十米，于广州五山科技干部进修学院处可见宽达85m；广从断裂破碎带一般宽约4～20m，宽可达50～150m；其他一些规模较小的断裂带，其破碎带宽度通常在几米到几十米范围。考虑到断裂破碎带的宽度相对长大线路工程而言是有限的，初勘阶段勘探点布置应重点查明断裂破碎带与线路相交的范围，因此对初勘阶段断裂勘察勘探点间距适当加密至25～50m，断裂带与线路并行时的勘探点间距取高值，断裂带与线路正交时取低值。

**13.2.3** 详勘阶段应在初勘的基础上进一步加密勘探点，按《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-2012）7.3.3条中最严要求10~20m执行，必要时还可适当加密。勘探线和勘探点的布置应考虑断裂带和线路的空间展布关系，大于断裂破碎带对轨道交通工程的影响范围。

**13.2.4** 专项勘察阶段的勘探孔布置应具针对性，结合特定勘察目的任务进行，如旨在查明断裂破碎带地下水情况的，勘探孔布置应重点布置在推测地下水赋存丰富的裂隙发育带，旨在查明隧道断面范围内断裂破碎带工程特性的，勘探孔应重点布置在隧道断面范围内进行取样和试验。

**13.2.5** 槽探或坑探应用于断裂勘察，主要针对断裂露头或断裂错动第四系地层处的野外地质测绘调查无法满足要求且无条件进行钻探时，采用槽探或坑探进一步查明断裂露头或错动处的分布及特性。

**13.2.6** 断裂勘察钻孔深度除满足各阶段勘察钻孔深度技术要求外，原则上应钻穿断裂破碎带并进入稳定基岩层，但考虑到很多断裂破碎带厚度非常大，如广州地铁5号线东延段工程与瘦狗岭断裂交汇处，钻孔揭露断裂破碎带，孔深接近100m依然未揭穿断裂破碎带，而隧道结构埋深仅约20m，这种情况下针对断裂破碎带的设计处理深度也有限，钻孔深度应结合设计、施工的需要综合确定。少量钻孔为了查明断裂的产状、特性，可适当加深。

**13.2.8**  断裂测年推荐采用放射性碳（*C*14）和热释光法（*TL*），如有其它更为先进和准确的测试方法，也可尝试使用和推广。

**13.2.9** 现行《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009版）和《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-2012）分别对建筑物和城市轨道交通岩土工程提出了分阶段勘察的要求，并指出各设计阶段对勘察成果也有不同的要求，因此，本条从可行性研究、初步勘察、详细勘察等各个阶段对断裂勘察重点了解和需要查明的内容进一步进行细分，以便各阶段断裂勘察参照执行。施工阶段的勘察在第9章已有具体要求，可根据需要开展断裂勘察工作。

部分采用特殊施工工法或存在对工程设计方案和施工有重大影响的特殊环境条件场地，如采用TBM工法的山岭隧道或水文地质条件复杂的过江段隧道等，应结合特定勘察目的任务，进一步开展专项勘察。各阶段的断裂勘察工作内容在相关勘察报告中具体体现即可，专项断裂勘察应出具专项勘察报告。

线路或场地附近已有相关断裂的岩土工程资料，满足可行性研究和初步勘察阶段要求时，可根据实际情况，直接进行详勘阶段断裂勘察或专项断裂勘察。

13.3 岩土工程分析与评价

本节主要提出了断裂勘察成果分析与评价的具体要求，指出断裂勘察成果分析与评价重点关注断裂带的性质特征，尤其是破碎带的地基承载力、围岩的稳定性和变形问题，并特别强调了地下水作用和工程建设对环境影响的分析评价。

# 14 球状风化体勘察

14.1 一般规定

**14.1.1**  广东省花岗岩分布广泛，其分布面积约占全省陆地面积的40％。而花岗岩在形成演化过程中，常受构造应力和风化营力等作用形成多组相互正交的节理，由此切割形成的花岗岩块状岩石经长期风化作用后，岩块边缘和隅角逐渐消失，最终形成的球状或椭球状岩石，俗称孤石。

据深圳市市政设计研究院有限公司曹权等《深圳地区花岗岩球状风化体分布及对地铁盾构施工的影响》，花岗岩球状风化体的直径从几十厘米至几米不等，在残积土、全～强风化层中常发育有微风化或中风化球状风化体，与周围的岩土体存在较大的强度差异。球状风化体的分布具有离散性大、埋藏深度大、空间赋存特征不规则的特点。

盾构施工具有全封闭、快掘进、边掘进边衬砌的特征，盾构推进过程中，很容易出现球状风化体不能被滚刀破碎，造成掘进困难，并频繁卡刀盘，致使刀具磨损非常严重，刀圈崩断，刀座、刀盘变形，盾构机姿态难以控制等现象。

目前国内香港、广州、深圳、东莞、长沙、厦门、青岛等地在修建轨道交通过程中遇到球状风化体问题，国外新加坡、葡萄牙等国在地铁建设过程中也碰到了球状风化体，并给地铁建设带来了巨大影响。因此，城市轨道交通工程沿线岩土层发育球状风化体时，有必要进行球状风化体勘察。

**14.1.2** 球状风化体对隧道盾构工法影响较大，甚至可能会颠覆工程方案。同时，球状风化体也可能对基坑围护结构、高架工程桥梁桩基设计和施工造成较大影响。其它工法也应视工程需要开展球状风化体勘察。

**14.1.3** 在花岗岩球状风化体形成过程中，区域构造分布、岩性特征以及气候、地下水条件等均是其形成的重要因素。其中地质构造对球状风化体的发育起着宏观控制作用，而气候和地下水条件是球状风化体区域分布的重要环境条件。

**14.1.4** 花岗岩地层中存在的球状风化体，是一种十分复杂的不良地质现象，仅仅采用单一的一种勘察手段和方法是很难完全解决这个难题的。应采用工程地质测绘与物探、钻探相结合的综合勘察方法进行花岗岩球状风化体的探查。首先，对花岗岩地段进行详细工程地质调绘，并按照球状风化体发育和不发育两种类型对花岗岩地段进行初步分区；其次，针对地表球状风化体发育的地段，采用跨孔超高密度电阻率法、探地雷达法、二维微动剖面法等物探手段，从宏观上掌握测区花岗岩风化界面的深度，为钻探深度提供指导性意见；最后，根据物探的指导性深度展开钻探工作，揭示局部的球状风化体的发育情况，从而为工程设计和施工提供参数和处理意见。

**14.1.5** 深圳市市政设计研究院有限公司曹权等共收集了深圳地区216个工点的勘察报告，筛选出90个揭示有球状风化体的工程勘察项目，统计到854个球状风化体详细分布数据，包括每一个球状风化体的工点名称、孔（桩）号、孔口高程、孔口坐标、球状风化体风化类型、球状风化体分布层位、球状风化体埋深、球状风化体层面分布高程、揭示厚度和勘探时间等10个指标进行了数理统计分析，得出了球状风化体的一些分布规律：

（1）深圳地区三分之二以上的花岗岩球状风化体成份为微风化花岗岩，不到三分之一的为中风化花岗岩；

（2）深圳地区花岗岩球状风化体60%以上分布在强风化花岗岩层中，30%左右分布在残积层和全风化层中，中风化层出现很少；

（3）深圳地区花岗岩球状风化体层顶埋深集中在10.00～20.00m范围内，层顶分布高程主要在40.00～70.00m区间内，两者出现频率均接近40%；

（4）深圳地区80%的球状风化体揭示“厚度”不超过2.50m；

（5）深圳地区三分之二花岗岩球状风化体主要发育一层，随着发育层数的增多，出现频率锐减。

根据目前在建的深圳地铁12号线同乐站至新安公园站区间勘探数据统计，初步勘察阶段总钻孔数量12个，揭露球状风化体钻孔数量2个，球状风化体总厚度11.20m，残积土厚度44.92m，全风化厚度23.10m，强风化厚度53.30m，见球状风化体率16.67%，串珠状球状风化体钻孔2个，球状风化体线发育率9.23%，场地球状风化体发育等级判定为强烈发育；详细勘察阶段总钻孔数量97个，揭露球状风化体钻孔数量6个，球状风化体总厚度16.30m，残积土厚度572.10m，全风化厚度256.10m，强风化厚度571.30m，见球状风化体率6.19%，串珠状球状风化体钻孔1个，球状风化体线发育率1.16%，场地球状风化体发育等级判定为中等发育；施工勘察阶段总钻孔数量71个，揭露球状风化体钻孔数量0个，球状风化体总厚度0m，残积土厚度305.10m，全风化厚度282.50m，强风化厚度308.20m，见球状风化体率0%，串珠状球状风化体钻孔0个，球状风化体线发育率0%，场地球状风化体发育等级判定为弱发育。

广州市轨道交通工程施工勘察阶段球状风化体勘察的勘探点间距一般为5～10m，由施工单位结合工程需要自行决定。球状风化体发育等级为弱时，一般可不开展球状风化体勘察探。

14.2 勘察要求

**14.2.2** 结合广州、深圳等地勘察实践经验，球状风化体发育与地形、地貌有密切关系，且球状风化体往往以“孤石群”的形态“成堆”发育，因此本规范以揭露球状风化体的钻孔为中心，向大小里程方向进一步加密勘探点。

广州地铁当新增的加密钻孔或物探验证孔揭露到球状风化体时，继续以新揭露球状风化体的加密钻孔或物探验证孔为中心，向未加密侧外扩2倍初勘钻孔间距范围。

14.3 岩土工程分析与评价

**14.3.3** 球状风化体对隧道盾构施工的影响较大，甚至可能会因为球状风化体处理的费用太高而对工法做出调整。

结合球状风化体与隧道结构的空间位置关系，以及球状风化体的风化程度、完整性、天然状态单轴抗压强度等，分析球状风化体对工程的影响。

# 15 勘探与取样

15.1 一般规定

本节内容与《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）一致，无条文说明。

15.2 钻探

**15.2.4** 本条规定岩芯摆放的要求，目的是通过查看岩芯照片能够较直观的判定各岩土层实际所处的地层深度，更便捷地发挥岩芯照片作为勘察成果的分析利用价值。

整理勘察成果过程中，不宜降低岩芯照片分辨率，以便设计和施工阶段使用勘察成果时能通过岩芯照片，查看岩芯的实际形态、结构和性质特征。

15.3 井探、槽探

本节无条文说明。

15.4 取样

**15.4.6**  本条述及的主要地层，是指在平面或埋深范围内分布较广且与本工程岩土工程活动有较密切影响的岩土层，如基坑侧壁及围护结构嵌固深度范围、地基或基础持力层范围、地下水治理范围内的主要岩土层。这里的“分布较广”是相对的，一般来说揭露层厚平均大于2m或揭露钻数点总孔数的比例超过三分之一时，可视为主要岩土层。

**15.4.10、15.4.11** 可行性研究阶段，可搜集利用已有水、土腐蚀性分析成果。对于车辆段、停车场等大面积场地或复杂水文地质条件场地，可增加水土腐蚀性取样数量。

勘察实施过程中，若发现水样存在中、强腐蚀性，应开展必要的污染源调查与分析，并宜在原取样点附近加密采取样品进行测试，进行外部平行对比试验，最终确定水的腐蚀性。

广州地铁的做法是：初步勘察阶段每地质单位（地质分区）每层地下水样不得少于3组，地表水样每处（水系、河涌、湖等）不少于1组；详细勘察阶段按工点（车站、区间）采取地下水样，每层不少于2组，另要求每0.5公里线路长度选择1孔分层取水样，有地表水分布的地表水样每处不少于1组（不含初步勘察）。

勘察实施过程中，若发现水样存在中、强腐蚀性，应开展必要的污染源调查与分析，并宜在原取样点附近加密采取样品进行测试，进行外部平行对比试验，最终确定水的腐蚀性。

15.5 地球物理勘探

**15.5.1～15.5.2** 地球物理勘探工作程序应循序渐进，在搜集和分析研究已有资料的基础上，先采用物探方法进行扫面，对断裂破碎带的分布、走向有大致的了解，各阶段勘察可结合需要再在物探成果基础上布置勘探孔，进行配合验证，查明断裂破碎带特性。

本规范规定了地球物理勘探的基本要求，各种地球物理勘探的具体工作要求，还应符合《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T 7）等有关规定。实际工作中，应结合工程场地环境、探测对象的特点选用适宜的地球物理勘探方法。地球物理勘探方案编制、成果分析和整理宜由地球物探勘探专业人员会同岩土工程勘察专业人员，共同完成。

**15.5.3～15.5.4** 物探网的布置通常受到地形条件的限制，因此条文中要求测网密度保证异常的连续、完整和便于追踪，测线长度应保证异常的完整和足够的正常背景。例如，断裂测线的布置应尽量垂直或大角度相交于推测的断裂走向，并要求至少2条以上的测线通过断裂，以便确定断裂的走向。

**15.5.6**  由于探测对象具有多种物理性质，根据与相邻介质的不同物性差异选择两种或两种以上有效的物探方法，相互补充、相互印证可以减少物探的多解性，取得好的物探效果。因此建议当采用单一物探方法无法满足要求时，应采用综合的物探方法。

**15.5.12** 地面工作可采用高密度电法、浅层地震法，探测球状风化体的大致位置与分布情况；单孔可采用管波探测法，探明钻孔的一定范围内球状风化体的发育和分布情况；孔间可采用跨孔CT法，探明钻孔之间球状风化体的位置、形状、大小等情况。

# 16 原位测试

16.1 一般规定

**16.1.1** 在岩土工程勘察中，原位测试是十分重要的手段，在探测地层分布，测定岩土特性，确定地基承载力等方面，有突出的优点。

原位测试应与钻探取样、室内试验配合使用。具备条件和经验的地区，可以加在原位测试的工作量占比，例如，对于以软土、粘性土、砂类土为主的场地可增加静力触探工作量布置，适当减少钻孔，对于残积土和全风化带较厚的场地，可增加标准贯入试验或动力触探试验，适当减少取土样。

**16.1.2** 对于填土、混合土和基岩强风化带，由于土的组成不均匀，难以进行取样和室内土工试验，具备实施条件时宜采用标准贯入试验、圆锥动力触探、载荷试验等原位测试方法，为评价土层性质和承载力等提供勘察依据。

16.2 标准贯入试验

**16.2.1** 标准贯人试验（SPT)（standard penetration test)是用质量为63.5kg的穿心锤，以76cm的落距，将标准规格的贯人器，自钻孔底部预打15cm，记录再打人30cm的锤击数，判定土的力学特性。

本条提出标准贯入试验仅适用于砂土、粉士和一般黏性土，不适用于软塑～流塑软土。

**16.2.2** 正文表16.2.2是考虑了国内各单位实际使用情况，并参考了国际标准制定的。贯人器规格，国外标准多为外径51mm，内径35mm，全长660～810mm。贯人器内外径的误差，欧洲标准确定为±lmm是合理的。

本规范采用42mm钻杆。钻杆的弯曲度小于1%，应定期检查，剔除弯管。实际工作中，还应注意检查贯入器管靴的规格，当管靴刃口缺损、卷曲或刃口磨损厚度明显变大时，应及时更换成合格的管靴。

**16.2.3** 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。

**16.2.4** 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时，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。

**16.2.5** 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，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。

**16.2.6**  本节修改内容，参考了广东省《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-31），将标准贯入试验的杆长修正深度范围扩大至39米。

16.3 圆锥动力触探试验

**16.3.1** 圆锥动力触探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。

**16.3.2** 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。

**16.3.4** 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。

16.4 旁压试验

**16.4.1**  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。

本地区应用较为广泛的是预钻式旁压试验，采用预钻式旁压试验时，注意钻孔直径满足16.4.3条要求。

**16.4.2**  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。为了减小钻探和旁压试验对相邻地层的干扰，旁压试验孔布置时，一般要求试验孔与已有钻水平距离不小于1m，且同一旁压试验孔内的试验点的垂直间距不宜小于1m。

为了获得目标地层的真实数据，试验时还应保证旁压器的量测腔处于同一土层内。旁压器长度一般为450mm～800mm，加上一个200mm～300mm的连接接手，其总长度接近1.0m，若最小试验深度小于1.0m，则旁压器就不能放置到预定的深度。

**16.4.3** 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。

**16.4.4** 由于饱和软黏土层中钻孔容易缩径，影响旁压试验操作，因此这类地层建议采用自钻式旁压试验。

**16.4.5** 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10～12级。

**16.4.6**  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。

**16.4.7** 旁压试验成果分析：

**1**  在绘制压力与扩张体积△V或△V/V0、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。

16.5 静力触探试验

**16.5.1** 静力触探试验主要用黏性土、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）。

静探探头圆锥截面积，国际上通用标准为10 cm2，但与国内大多数单位广泛使用15 cm2探头测得的比贯入阻力相差不大。

**16.5.2、16.5.3** 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°，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°时宜停止贯入。

**16.5.5** 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Cv值：

Cv＝（T50/t50）r02 （2）

式中：——相当于50％固结度的时间因数，当滤水器位于探头锥尖后时，可取为6.87；当滤水器位于探头锥尖上时，T50可取为1.64；

——超孔隙水压力消散达50％时的历时时间（min）；

——孔压探头的半径（cm）。

16.6 载荷试验

**16.6.1** 载荷试用于测定承压板下应力主要影响范围内岩土的承载力和变形模量。一般每个场地试验点不宜少于3个，土体不均匀时，应适当增加试验点。

平板载荷试验方法适用于各类土，它所反映的相当于承压板下1.5～3.0倍承压板直径或宽度的深度范围内地基土的强度、变形的综合性状。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试验深度不小于5m的深层地基土和大直径桩的桩端土。

螺旋板载荷试验适用于软土、一般黏性土、粉土及砂类土，用于深层地基土或地下水位以下的地基土。

**16.6.7** 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。

**16.6.8** 对载荷试验成果的分析和应用，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。

16.7 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，引入我国后已列入行业规范《铁路工程地质原位测试规程》（TB 10018）和国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）。

扁铲侧胀试验最适宜在软弱、松散土中进行，随着土的坚硬程度或密实程度增加，适宜性渐差。当采用加强型薄膜片时，也可应用于密实的砂土。

上海市扁铲侧胀试验已广泛应用于下列目的：划分土层、判别土类；估算静止侧压力系数、估算水平基床系数；估算黏性土的不排水抗剪强度；估算土的压缩模量；判别地基土的液化。

16.8 十字板剪切试验

**16.8.2** 十字板剪切试验点的布置，对均质土试验点竖向间距可取1～2m，对于非均质土，例如对夹有薄层粉砂的软土层进行剪切试验时，得到的抗剪强度值往往偏高或失真，此时应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。

**16.8.5** 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％～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。

16.9 波速测试

本节内容编写时，以《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T 7）、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307)有关要求为基础编写。

**16.9.2** 本节主要规定了应用波速测井应满足的钻孔条件。本节主要强调如下条件：

**1**  金属套管对弹性波存在屏蔽作用，故要求测试段无金属套管；

**2**  除横波的测试外，其他弹性波测井均需要井液耦合，且井液浓度不大，具备条件是采用清水。测试横波是，要求裸孔或塑料套管管外空间的充填是为了保证横波的接收。

16.10 岩体原位应力测试

广东省城市轨道交通岩土工程目前很少开展岩体原位应力测试工作，如需开展可按照本节有关要求及国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266）行。

16.11 现场直接剪切试验

**16.11.1**  现场超前试验也时也被称为原位直剪试验，本试验方法可分为岩土体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）和法向应力为零时岩体剪切的抗剪试验。由于试验岩土体远比室内试样大，试验获得的成果更符合实际。

**16.11.2** 现场直接剪切试验应注意以下要求：

保持岩土样的原状结构不受扰动非常重要，爆破、开挖和切样过程中均应避免岩土样或软弱结构面破坏和含水量的显著变化；对软弱岩土体，应在顶面和周边加护层（钢或混凝土），护套底边应在剪切面以上。

在地下水位以下试验时，应先降低水位，安装试验装置恢复水位后，再进行试验。

法向荷载和剪切荷载应尽可能通过剪切面中心；试验过程中注意保持法向荷载不变；对于高含水量的塑性软弱层，法向荷载应分级施加，以免软弱层挤出。

16.12 地温测试

**16.12.2**  选择温度传感器时，应注意传感器的量程范围应满足气温、环境和地层温度要求。温度测量传感器的测量误差应满足要求，因此不宜选用量程范围过大的温度传感器测试地温。

16.13 钻孔全景光学成像

钻孔全景光学成像包含孔壁数字成像、孔内电视、管道内窥等。除了可以在勘察钻孔、基桩钻芯孔中应用外，还可在管桩、管道、地下空洞、洞穴、裂隙等环境中应用。

16.14 视电阻率测井

视电阻率测井属于电测井，是最常用的测井方法之一，城市工程中一般采用直流电。主要用于划分地层、区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带位置及厚度，确定含水层的位置、厚度，划分咸淡水分界面，也可用于测试岩层电阻率。

16.15 土壤氡测试

**16.15.1** 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325）规定，新建、扩建的民用建筑工程设计前，应进行建筑工程所在城市区域土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率调查，并提交相应的调查报告。未进行过区域土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率测定的，应进行建筑场地土壤中氡浓度或土壤氡析出率测定，并提供相应的检测报告。

本节中列出了土壤中氡气浓度的现场测试方法和操作要求，实际工作中，还可通过测量土壤表面氡析出率、调查城市区域性土壤氡水平获得场地或地区的土土壤氡浓度水平。具体要求可执行《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325）。

16.16 大地导电率测量

**16.6.1** 在地铁线路项目中，通过对沿线大地导电率的测试，为设计采取必要的措施消除输电线路对邻近走向的通讯线运营时产生静电干扰，提供基础资料依据。

**16.6.2**  大地导电率的测点布置除应遵照本规范的规定外，还应复核参数使用专业的要求，当参数使用专业的要求与本规范的规定矛盾时，应遵照参数使用专业的要求执行。

# 17 室内试验

17.1 一般规定

**17.1.1** 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。

选择样品的室内试验项目时，应注意试验项目类型选择和数量分配合理。实际工作中，容易出现岩土水试验项目类型、数量分配不合理的情况，如土的物理性质试验项目的数量很多而力学性质试验的数量偏少，只进行土的直接快剪试验而不进行固结快剪试验，岩石单轴极限抗压强度试验对于含水率状态选择不合理，各岩土层的试验项目数量与岩土层在场地的分布广泛程度不匹配等，因此，本条规定岩土水样品的室内试验项目类型选择应由勘察项目负责人确定或技术负责人统筹、确定。

**17.1.2** 室内试验的试验方法、操作和采用的仪器设备应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。

城市轨道交通工程岩土试验主要执行国家标准《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），水质分析主要执行《铁路工程水质分析规程》（TB/T 10104）。当遇特殊情况上述规范难以满足工程要求时，也可参考国家、行业相关试验规范。

**17.1.3** 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。对异常或不合理的数据要分析原因，并通知勘察项目负责人或技术负责人，有条件时由勘察现场补取岩土水样品进行补充试验，以便对可疑数据进行取舍或复核、更正。

17.2 土的物理性质试验

**17.2.1**  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。

**17.2.2**  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或本地区轨道交通工程新揭露的土层，仍应直接测定。

**17.2.3** 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。岩土工程勘察报告中土的渗透系数取值建议值，应由室内试验与现场水文地质试验的成果比较后确定。

**17.2.6** 国家行业标准《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）已做出说明，水泥作为加固料时，对有机质含量高、pH值较低的酸性土加固效果较差，对塑性指数IP＞25时，搅拌桩施工时容易在搅拌头叶片上形成泥团，无法完成水泥土的拌和。因此本条规定了水泥土搅拌桩处理的地基特殊试验项目试验要求。

**17.2.7**  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，本规范选用了五种方法测定岩土的热物理性能。各种具体试验方法的操作要求见本规范附录F。

17.3 土的力学性质试验

**17.3.1**  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。

**17.3.2** 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。

**17.3.3** 当采用土的应力历史进行沉降计算时，试验成果应按e-1gp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-1gp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。

**17.3.4** 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、φ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：对饱和黏性土或施工速度较快、排水条件差的土，可采用不固结不排水剪；对饱和软黏土，应对试样在有效自重压力预固结后再进行试验，总应力法提供不固结不排水条件下的黏聚力、内摩擦角参数；经过预压固结的地基，可根据其固结程度采用固结不排水剪，总应力法提供固结不排水条件的黏聚力、内摩擦角指标。三轴压缩试验应提供摩尔圆及其强度包线。

**17.3.5** 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（qu）。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。

**17.3.6** 土在不允许有侧向变形的条件下，试样在轴向压力增量△σ1的作用下将引起的侧向压力的相应增量△σ3，其△σ3/△σ1的比值称为土的侧压力系数（ξ）或静止土压力系数（K0），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（K0），试验仪器采用侧压力仪。

**17.3.7** 关于基床系数的说明参见本规范第7.3.10条的条文说明。

**17.3.8**  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。

17.4 岩石试验

**17.4.1** 岩石试验所采取的岩样应具有地质代表性。本地区野外采集岩样时，常常会挑选风化岩中岩质相对新鲜、岩芯尺寸相对较大的岩芯，以方便进行室内制样和试验，此得测得的岩石力学强度数据会偏高。此外，广东地区碎屑岩、岩浆岩结构复杂多变，造成同一大类岩性的物理和力学性质差异较大，野外采取岩石样品和室内岩石试验应注意岩样代表性对试验结果的影响。

**17.4.2** 当需根据室内岩石试验结果确定嵌岩桩单桩竖向极限承载力时，应进行饱和单轴抗压强度试验。对于在地下水位以下、多韵律薄层状的黏土质沉积岩或变质岩，可采用天然湿度试样，不进行饱和处理；对较为破碎的中等风化带岩石，取样确有困难时，可取样进行点荷载强度试验，其试验标准及与岩石单轴抗压强度的换算关系应分别按现行国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266）和《工程岩体分级标准》（GB/T 50218）执行。

**17.4.4** 由于岩石对于拉伸的抗力很小，所以岩石的抗拉强度是岩石的重要特征之一。测定岩石抗拉强度的方法很多，但比较常用的有劈裂法和直接拉伸法。国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）推荐的是劈裂法。

17.5 水和土的腐蚀性试验

**17.5.1**  广东地区降水丰沛，地下水活动复杂，工业生产和工程建设容易改变地下水的化学特征。因此，除非有足够经验或场地范围有近期充分可靠的资料判定水土腐蚀性，否则勘察均应采取水、土试样进行试验分析，为水、土对建筑材料的腐蚀性判定依据依据。

# 18 地下水

18.1 一般规定

**18.1.1** 地下水对城市轨道交通工程建设和运营影响重大，如结构抗浮和抗渗问题、施工方法选择、地下水控制方法、结构水土压力计算等；在施工过程中因地下水而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，查明场地及其周围的水文地质条件、获取可靠的水文地质参数等是地下水控制方案合理选择的重要依据。

**18.1.2** 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。对具有二元结构或砂层与石灰岩直接接触的覆盖型岩溶分布场地、浅层采空区、断裂破碎带等复杂场地，考虑到地下水位变化对周边环境产生不利影响，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、地下水示踪试验等手段开展水文地质专项勘察工作。

**18.1.3** 本条强调通过资料的收集和分析利用，采用综合勘察方法；条件许可时，对复杂岩溶场地、断裂破碎带等，宜采用合适的物探技术确定含水层的分布特征。

**18.1.4** 应根据城市轨道交通工程具体情况、场地主要含水层的分布规律、地下水类型和赋存条件、主体结构施工方法、地下水控制方法及地区经验等，合理确定勘察范围、内容、采取的勘察测试手段和工作量。

18.2 地下水的勘察要求

**18.2.1** 本条是城市轨道交通工程地下水控制勘察的基本要求。由于含水层分布和透水性的复杂性，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。场地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；对多层分布相对独立的地下水，一般通过现场勘察、试验取得具体水文地质参数。

**18.2.2** 山岭隧道和基岩中不同岩性接触带、断裂破碎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，查明“三带”是非常重要的。

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。

预测隧道施工中的可能集中涌水段、点的位置和涌水量及其对围岩稳定性的影响是极其重要的。所谓集中涌水，国内尚无量的规定，日本出版的《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lL/min ～ 20L/min , 3 级为涌水量20L/min～100L/ min ，4级为全面涌水100L/min 以上。

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。

**18.2.3、18.2.4** 基岩裂隙水和岩溶水分布极不均匀，受裂隙和岩溶管道发育分布情况控制，勘察工作应以查明贮水构造分布为重点。

**18.2.5** 在覆盖型岩溶地区，因工程施工降水引发周围地面不均匀沉降或坍塌灾害事故层出不穷，应注意第四系砂层与灰岩的接触关系、砂层孔隙水和岩溶水的水力联系、深层和浅层岩溶发育带的状况，特别是溶洞和土洞规模、充填情况。

**18.2.6** 考虑到城市轨道交通工程一般呈线状分布，水文地质钻孔、抽水试验孔等布置，应能揭示场地水文地质条件、控制各含水层的空间分布；对地下水补给径流方向、地表水体补给方向、基岩裂隙构造和岩溶发育方向、基坑降水条件下可能发生补给的越流含水层等特殊地段和地层，要有足够的勘察资料和勘察井孔。应能为不同的施工工法进行地下水控制设计提供可靠依据。

观测孔与抽水试验井之间应有一定的间距，主要是尽量避免抽水井周围三维流和紊流的影响。

观测孔的平面布置，一般沿垂直于地下水流向布置一条观测线；如布置两条观测线时，其中一条要求平行于地下水流向布置，主要是为了测定含水层不同方向的非均质性或确定不同方向的影响半径。

**18.2.7**、**18.2.8** 本条规定抽水试验孔和观测孔的成井结构要求。

抽水试验井为完整井时的水文地质参数计算较简单成熟，对于巨厚含水层，井中降深与含水层厚度相比较小时，可转化为完整井计算。考虑到不同规格观测孔会产生差异结果，本条提出深度、过滤器位置应与抽水试验井一致等要求。

**18.2.9**  在复杂水文地质条件场地，对地下水位下降容易导致周边发生地面不均匀沉降而影响相邻建（构）筑物和地下管线等安全、或诱发地面塌陷，或因地铁工程建设改变地下水的补给径流条件而导致地下水质环境恶化等时，宜结合地区经验布置长期水文观测孔。

**18.2.10** 轨道交通工程一般呈线状分布特征，延伸范围长；考虑到地质结构和地下水分布的复杂性，应按工点如车站、区间、附属结构、停车场等分别提取地下水和土试样进行腐蚀性分析，对长距离区间隧道应结合地区经验分段取样。

18.3 水文地质参数的测定

**18.3.1** 水文地质试验方法包括抽水试验、注水试验；具体工程勘察中，应根据地层、岩性、地下水的赋存状态、含水层的透水性、工程建设内容和重要性、地下水控制方法等条件，明确所需水文地质参数及其测定方法，表17是各种水文地质参数常用的测试方法。

**表17 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 |

**18.3.2**  工程施工期间或者之后，地下水压力对地层性质有着深刻的影响。欧美地区为了精确地测定地下水压力，通常要安装专门的水压力计，可以在一个长时期对其观察测量地下水压力可能随季节、潮汐或其它因素的变化而变并研究这些变化。由于观察钻孔水位简单直观且成本经济，我国勘察普遍采用观测地下水位的方法向设计提供水压力计算依据。

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。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，如果无法取得准确的各层水水位，且地下水对工程建设有重大影响时，需要设置分层观测孔。

**18.3.3**  地下水渗入钻孔中至水位稳定的过程，实质是地层中的孔隙水压力与钻孔内水位压力逐渐平衡的过程。地层中的地下水流速取决于渗透系数，对于不同地层，观测钻孔水位前应留置足够的时间，确保钻孔水位趋于稳定。

**18.3.4** 用几何法测定地下水流向的钻孔布置，除应在同一水文地质单元外，尚需考虑形成锐角三角形，其中最小的夹角不宜小于40°；孔距宜为50m～100m，过大和过小都将影响量测精度。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、着色颜料等，其用量决定于地层的透水性和渗透距离。

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：

（3）

**18.3.5、18.3.6** 城市轨道交通工程往往埋深大，周边环境复杂，地下水控制是决定工程成败的关键，因此需要在现场布置一定数量的抽水试验孔，特别是水文地质条件较复杂的场地，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。

**18.3.7** 本条所列注水试验的方法是国内外测定饱和松散土渗透性能的常用方法。试坑法和试坑单环法只能近似地测得土的渗透系数，而试坑双环法因排除侧向渗透的影响，测试精度较高；试坑试验时坑内注水水层厚度常用10cm。

**18.3.8** 对山岭隧道或基岩隧道或位于基岩中的地下工程，可考虑采用压水试验测定水文地质参数。压水试验的试验段长度一般采用5m，根据岩层厚度、裂隙发育程度以及工程要求等因素确定。应按工程需要确定试验最大压力、压力施加的分级数及起始压力，试验时应经常观测工作管外的水位变化及附近可能受影响的坑、孔、井、泉的水位和水量变化，出现异常时应分析原因，并及时采取相应措施。

**18.3.9** 广东地区地下水埋深普遍较浅，高承压含水层分布有限，轨道交通工程主要采用截水或止水方式；可考虑地层性质、工程要求和基础型式等因素进行孔隙水压力试验点的布置。

**18.3.10** 采用计算法求影响半径时，表18列出了常用的计算公式：

**表18 影响半径计算公式**

| 计算公式 | | 适用条件 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 潜水 | 承压水 |
|  |  | 1完整井  2一个观测孔 | 结果  偏大 |
|  |  | 两个观测孔 | 精度  可靠 |
|  |  | 单孔 | 一般  偏大 |
|  |  | 单孔 | 概略  计算 |

**18.3.11** 松散类岩土给水度可参考表19的经验值。

**表19 岩土给水度的经验值**

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

**18.3.12** 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渗透系数。表20的渗透系数经验值可供参考。

渗透系数大于200m/d的含水层，地下水量往往很大，在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要求，所以本规范中特别列出“特强透水”一类。

**表20 岩土的渗透系数经验值**

| 岩土名称 | 渗透系数*k* | |
| --- | --- | --- |
| （m/d） | （cm/s） |
| 黏土 | <0.001 | <1.210-6 |
| 粉质黏土 | 0.001～0.100 | 1.210-6～1.210-4 |
| 粉土 | 0.100～0.500 | 1.210-4～6.010-4 |
| 黄土 | 0.250～0.500 | 3.010-4～6.010-4 |
| 粉砂 | 0.500～1.000 | 6.010-4～1.210-3 |
| 细砂 | 1.000～5.000 | 1.210-3～6.010-3 |
| 中砂 | 5.000～20.000 | 6.010-3～2.410-2 |
| 均质中砂 | 35.000～50.000 | 4.010-2～6.010-2 |
| 粗砂 | 20.000～50.000 | 2.410-2～6.010-2 |
| 均质粗砂 | 60.000～75.000 | 7.010-2～8.610-2 |
| 圆砾 | 50.000～100.000 | 6.010-2～1.210-1 |
| 卵石 | 100.000～500.000 | 1.210-1～6.010-1 |
| 无充填的卵石 | 500.000～1000.000 | 6.010-1～1.2 |
| 稍有裂隙岩石 | 20.000～60.000 | 2.410-2～7.010-2 |
| 裂隙多的岩石 | >60.000 | >7.010-2 |

**18.3.13** 目前，因水文地质条件的复杂性，且影响因素多样，水文地质参数计算的经验还不够成熟，在实际选择计算方法和计算公式时，应根据具体的水文地质条件和计算公式的适用范围合理选用计算公式，结合地区经验用多种方法计算对比，避免盲目套用。

实践证明，利用观测孔水位资料计算渗透系数，比较符合地下水层流运动的假设条件，所计算的参数较符合实际。

18.4 地下作用的分析评价

**18.4.1** 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。

**18.4.2** 地下水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，可用阿基米德原理计算。因忽视地下水浮力或抗浮地下水位确定错误导致地下室结构破坏的现象偶有发生；广东地区地下水位埋深浅，受降水和地表水影响大，在基础底部与地基持力层之间往往存在薄膜式透水层，水压力不应折减。有经验或实测数据时，可按经验或实测数据确定。

详细勘察应分析地下水对结构的作用，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参数，必要时对抗浮设防水位进行专项研究。广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-31）对抗浮设计水位确定提出了明确的方法，可依照执行。

**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，都需要首先查明地下水的赋存状态和分布特征，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，其判别方法可参阅有关规范和文献。

**5** 基坑开挖需采取措施降低地下水位时，应分析：1) 能否疏干基坑内的地下水，得到便利安全的作业面；2) 在造成水头差条件下，基坑侧壁和底部土体是否稳定；3) 由于地下水的降低，是否会对临近建筑、道路和地下设施造成不利影响；4）可行的降水或隔水措施及其施工可行性。

**18.4.3** 地下水对岩土体和结构基础的作用往往是一个渐变的过程，如桩端岩土体软化、地下水对混凝土和钢筋的腐蚀、全强风化花岗岩类崩解软化等，开始可能不为人们所注意，一旦危害明显就难以处理；另外，由于受环境，特别是人类活动的影响，地下水位和水质还可能发生变化。所以在勘察时要注意调查研究，在充分了解地下水赋存环境和岩土条件的前提下做出合理的预测和评价。

**18.4.5** 降水对周边环境影响主要是地面不均匀沉降、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。

**18.4.6** 采用帷幕隔水方法，可有效预防因地下水位下降引起周边环境恶化，但改变了地下水的赋存和运移条件。

帷幕隔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、多轴水泥土搅拌桩、双轮铣水泥土墙等已经在城市建设中广泛应用，造价降低不少，是值得推广应用的方法。

旋喷桩施工深度虽不受过多限制，但成桩垂直度和成桩质量难以保证，特别是在中密以上砂土层中失败案例多，造成许多重大安全事故。因此深大基坑应慎重选择旋喷桩隔水帷幕，如选择旋喷桩隔水帷幕，应强调施工质量要求。

# 19 岩土工程分析评价与成果报告

19.1 一般规定

**19.1.1**  本条主要提出了岩土工程分析评价的总要求，其中岩土工程分析评价应具有针对性、重点性、有效性和完整性。

19.2 岩土参数数理统计

**19.2.1**  本条主要提出通过室内试验和原位测试获取的岩土参数进行统计的要求。

**19.2.5**  异常数据有时候是影响工程设计、施工中的关键因素，因此要求对异常数据进行记录并分析。

19.3 成果分析与评价

**19.3.1**  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，应区分不同的敷设形式进行分析与评价。地下工程主要是围岩和岩土体的稳定与变形问题，高架工程和地面工程主要为地基承载力和变形问题。

**1**  参照《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ 57-2012），场地稳定性可划分为不稳定、稳定性差、基本稳定和稳定四个等级，工程建设适宜性可划分为不适宜、适宜性差、较适宜和适宜四个等级。

**2**  地基稳定性评价是评价地基在荷载作用下不发生过大变形或滑动的能力，地基均匀性评价是从可能导致基础的差异沉降角度评价岩土空间分布均匀程度。应结合高架、地面及地下工程的基础特点，评价地基稳定性和均匀性。

**19.3.2**  对于明挖工法的分析评价，着重于分析岩土体的稳定性、透水性和富水性；分析连续墙、钻孔咬合桩等不同支护方式可能出现的工程问题，提出相应控制措施的建议。

**19.3.3**  对于矿山工法的分析评价，侧重于分析不良地质作用和地下水作用的情况，以及由此带来的工程问题，提出相应防治措施的建议。

**19.3.4**  对于盾构工法的分析评价，着重于盾构机选型、联络通道和区间工作井等部位须注意的地质问题。

**19.3.5**  对于高架工程的分析评价，侧重于桩（墩）基设计所需的岩土参数的确定，指出影响桩基施工的不良地质作用和特殊性岩土，提出相应防治措施的建议。

19.4 勘察报告的基本要求

**19.4.1**  城市轨道交通工程建设前期中多存在线网规划阶段，其功能与可行性研究相似，故本条对其勘察报告内容要求一起给出说明。

19.5 勘察报告的内容

**19.5.1**  本条概括规定了城市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分为文字部分、表格、图件和附件。

**19.5.2~19.5.5**  相关内容可根据勘察阶段、工程规模和任务要求适当调整。

# 20 勘察安全

城市轨道交通项目岩土工程勘察场地一般位于城区，做好勘察安全生产是顺利推进勘察各项工作的必要保证，继而也是确保勘察质量、从业人员安全和职业健康的保证，本章结合国家标准《岩土工程勘察安全标准》（GB/T 50585）等，总结广东地区轨道交通工程勘察安全文明施工管理经验，提出本地区勘察安全生产要求。

# 21 勘察信息化

21.1 一般规定

**21.1.1**  目前，互联网信息化技术已渗透到各行各业，引领新的工业革命，勘察行业在钻探设备、数据采集、项目管理和成果应用各方面尚较为落后，作业模式相对传统。勘察信息化旨在将信息化技术利用到勘察工作的各个环节，改善传统人工作业模式，提高工作效率，促进行业发展。

**21.1.2** 勘察工作主要包括作业、管理和应用三个环节，岩土工程勘察信息化应包括以上三个方面，实现勘察工作全流程信息化。

**21.1.3** 勘察工作的环节较多，如针对不同环节开发多种信息化系统软件而不能无缝连接和数据自由传送，则信息化效应将大打折扣，因此本条规定勘察信息化应建立交换结构标准化，实现各个环节的信息化系统在同一个平台完成操作和应用，能切实提高勘察工作的效率和质量，确保勘察信息化软件能真正为技术人员接受、应用和推广。

**21.1.4** 勘察信息化作业旨在脱离传统的纸质作业模式，但是数据的原始性和过程记录无法很好的体现，容易被质疑，因此本条提出勘察信息化软件应记录下数据采集、录入和修改等每一步过程的时空信息，实现勘察数据的原始性和可追溯性。

21.2 勘察作业信息化规定

**21.2.1** 勘察作业信息化主要包括外业数据采集和处理、土工试验数据采集和处理等，数据采集信息化系统必须建立在数据标准格式的基础上，对岩土层分类和定名进行编码，统一岩土描述的各项要素。

**21.2.2** 本条规定了外业数据采集的具体内容。

**21.2.3** 目前勘察外业进行岩土水取样时，通常采用纸质的岩土标签记录样品的编号、定名、取样深度和取样日期等基本信息，并贴在样盒上进行标识，同时再填写一份送样单，注明样品的基本信息及需进行的试验项目，与样品一起送实验室。上述工作均人工进行，样签和送样单重复记录，效率低，容易混淆，且运输过程中容易破损或遗失。勘察信息化应实现电子化录入，通过二维码标签记录样品的所有信息及需实施的试验内容，将样签和送样单合二为一，提高现场效率，减少人为失误、样单破损和遗失。

**21.2.4** 目前勘察外业的很多原位测试工作，需要人工记录读数，比如标贯、动力触探等，另有部分原位测试数据则自动记录在测试设备中，需到室内重新导入电脑中再进行人工处理。勘察信息化系统应能对接各原位测试设备，实现原位测试数据自动记录、上传和处理，减少人工记录引起的误差，实现数据自处理功能，提高工作效率和质量。

**21.2.5** 目前勘察外业数据采集基本由现场技术人员完成，或多或少存在失误或差错，如常见的“标贯跨层”现象、钻孔深度不满足要求、取样和原位测试的间距和数量不满足规范或总体技术要求等，而数据查验工作通常由室内校审人员进行，发现问题之后已经相对比较滞后，缺乏实时性。因此本条对勘察信息化软件的数据统计和分析功能提出要求，在数据采集后可自动进行统计和分析，发现异常可实时提醒现场技术人员，进行人工干预处理。

**21.2.6** 目前勘察作业过程中，实验室接收样品后，要根据送样单先进行排样、对样工作，然后依据送样单分类安排岩土水试验。勘察信息化系统通过二维码标签录入样品信息和试验内容，实验室只需扫码即可了解该样品的基本信息和需开展的试验项目，节省大量的排样、对样和试验安排的时间，减少人为失误，大大提高工作效率和工作质量。

**21.2.7** 目前土工试验设备种类繁多，勘察作业信息化应实现对所有土工试验数据对口采集，并进行统计和处理，形成土工试验成果，提交技术人员使用。

**21.2.8** 本条规定提出勘察作业信息化流程和记录应符合当前勘察行业各类认证体系的相关要求。

21.3 勘察项目管理信息化

**21.3.1** 本条对勘察项目管理信息化应实现的功能提出了具体要求。

**21.3.2** 用户权限分级管理，对于勘察项目管理非常重要，一方面加强软件使用的便捷性和导向性，一方面保护数据和信息的原始性和真实性，避免多用户交叉使用引起混乱。

**21.3.3** 实时记录勘察作业及校审或审批的每一个过程，有利于勘察项目管理的过程追溯，查找问题源头。

**21.3.4** 通过项目管理信息系统自动记录设备的时空信息，监控外业数据采集时的时间和地点，一定程度上控制数据采集过程的真实性。

**21.3.5** 目前施工工地基本上已实现视频监控全覆盖，而勘察外业由于流动性大的特点，一直以来存在实时监管难、盲点多、安全文明施工亟待提高的问题，本条对勘察作业现场或室内试验远程视频监控提出要求，通过视频监控手段，记录现场作业情况，对现场作业人员有一定的监管和震慑作用，有利于提高现场作业的安全文明施工水平及钻探质量。

21.4 勘察成果信息化

**21.4.1** 目前的勘察工作模式，成果生成效率相对较为低下，通常由外业技术人员完成钻孔编录后，将编录成果提交室内制图员二次输入电脑，才能生成柱状图和剖面图等成果。勘察信息化应实现现场数据录入后，可自动生成钻孔柱状图和剖面图，形成初步成果供现场技术人员参考使用。

**21.4.2** 本条对勘察信息化系统的数据统计功能提出了要求，钻孔数据录入系统后，能根据需要自动生成勘察报告所需的相关统计表格。

**21.4.3** 目前技术人员编写报告通常是在各单位现有的标准版本上进行，将统计好的钻孔信息和岩土层数据填写到报告中去，并进行分析、总结，成果编制效率相对较低，且如果报告版本不唯一，同一单位不同技术人员编制出来的勘察报告或多或少会存在差异。勘察信息化系统应将报告版本制式化，在基础数据录入并统计、处理完后，自动生成报告的初稿，技术人员只需在报告初稿基础上进行修改，确保勘察报告标准统一，提高编制效率。

**21.4.4** 本条规定对勘察报告电子化归档和文本格式提出了要求。

**21.4.5** 目前的勘察成果报告主要通过柱状图、二维剖面图来展示岩土层的分布情况，三维成果非常少，在建筑、轨道交通专业大力推广BIM的大环境下，地质三维模型也需大力推广，并实现与设计专业无缝连接，从而提高勘察成果的展示水平，推动行业发展。

**21.4.6**  目前轨道交通勘察成果管理较为分散，主要掌握在各勘察单位手中，成果归档基本以纸质报告和电子光盘的形式为主，缺乏统一的信息化平台汇总和展示已有的勘察成果数据，不利于成果数据的规模化管理和二次开发应用。