**云南省工程建设地方标准** DB

DBJXXXX—20XX

**云南省轨道交通岩土工程勘察规程**

Yunnan code for geotechnical investigations of urban rail transit

（征求意见稿)

20XX—XX —XX 发布 20XX—XX—01 实施

**云南省住房和城乡建设厅 发布**

前 言

根据《云南省住房和城乡建设厅关于印发云南省2019年工程建设地方标准编制计划（第一批）的通知》的要求，由中铁二院昆明勘察设计研究院有限责任公司、云南省设计院集团勘察院有限公司为主编，并会同省内有关勘察、设计、高校和建设等单位，经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国家标准和地方标准，制定本规程。

根据昆明市城市快速轨道交通线网规划，昆明市轨道交通远景规划线网全长562km，由14条线路组成放射普线网+穿越快线的线网形态。目前，昆明市已建成运营轨道交通线路6条，通车里程累计达189.1km。另外，云南省已有15个市、县规划了有轨电车约2000km，蒙自轨道交通1号线已建成运营、保山中心城市有轨电车、文山州城市轨道交通现代有轨电车示范项目4号线及丽江城市综合轨道交通项目一期工程（1号线主线）已开工建设。云南省轨道交通建设方兴未艾。

云南省地域差别大，地貌类型多样，不良地质及特殊岩土发育，地质条件复杂。为反映和总结云南省轨道交通岩土工程勘察的技术水平、研究成果和成功经验，统一云南省轨道交通岩土工程勘察技术要求、标准及内容等，更好地服务于云南省轨道交通岩土工程勘察工作，有必要编制一本突出地方和专业特色的轨道交通岩土工程勘察规范。编制组以多种形式在全省范围内广泛征求了勘察、设计、施工、科研、教学、建设及管理部门的意见，经反复讨论、修改，并与国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307等有关标准协调、衔接，完成了本规程的编制。

本规程分为18章、9个附录和条文说明，内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 区域地质环境；5. 可行性研究勘察；6. 初步勘察；7. 详细勘察；8.施工勘察、专项勘察和周边环境专项调查；9. 地下水；10. 不良地质作用；11. 特殊性岩土；12. 工程地质调查和测绘；13. 勘探与取样；14. 原位测试；15. 室内试验；16. 岩土工程分析评价和勘察报告；17. 勘察风险控制；18. 现场检验和监测；附录A—G；条文说明。

本规范由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由中铁二院昆明勘察设计研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。请各单位在执行过程中，结合工程实践，不断积累经验和资料，并将意见和建议寄至：云南省昆明市官渡区春城路福德立交西北角中铁二院昆明公司技术中心，《云南省轨道交通岩土工程勘察规程》编制组；邮编：650200，以供今后修编时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人：

主 编 单 位：中铁二院昆明勘察设计研究院有限责任公司

云南省设计院集团勘察院有限公司

参 编 单 位：（排名不分先后）

云南地质工程勘察设计研究院

云南建投第一勘察设计有限公司

西南有色昆明勘测设计（院）股份有限公司

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司

云南地质工程第二勘察院

云南安泰兴滇建筑设计有限公司

云南省建筑工程设计院

昆明理工大学

昆明轨道交通集团有限公司

昆明地铁建设管理有限公司

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc43128805)

[2 术语和符号 2](#_Toc43128806)

[2.1 术语 2](#_Toc43128807)

[2.2 符号 4](#_Toc43128808)

[3 基本规定 7](#_Toc43128809)

[3.1 一般规定 7](#_Toc43128810)

[3.2 岩土工程勘察大纲 10](#_Toc43128811)

[4 区域环境 12](#_Toc43128812)

[4.1 气象水文 12](#_Toc43128813)

[4.2 地形地貌 12](#_Toc43128814)

[4.3 区域地质 12](#_Toc43128815)

[4.4 地层 13](#_Toc43128816)

[4.5 水文地质条件 13](#_Toc43128817)

[5 可行性研究勘察 15](#_Toc43128818)

[5.1 一般规定 15](#_Toc43128819)

[5.2 目的和任务 15](#_Toc43128820)

[5.3 勘察工作量布置 16](#_Toc43128821)

[6 初步勘察 18](#_Toc43128822)

[6.1 一般规定 18](#_Toc43128823)

[6.2 目的与任务 18](#_Toc43128824)

[6.3 地下工程 20](#_Toc43128825)

[6.4 高架工程 22](#_Toc43128826)

[6.5 路基、涵洞工程 23](#_Toc43128827)

[6.6 地面车站、车辆基地工程 25](#_Toc43128828)

[7 详细勘察 26](#_Toc43128829)

[7.1一般规定 26](#_Toc43128830)

[7.2 目的与任务 26](#_Toc43128831)

[7.3 地下工程 29](#_Toc43128832)

[7.4 高架工程 33](#_Toc43128833)

[7.5 路基、涵洞工程 35](#_Toc43128834)

[7.6 地面车站、车辆基地工程 38](#_Toc43128835)

[8 施工勘察、专项勘察和周边环境专项调查 39](#_Toc43128836)

[8.1 施工勘察 39](#_Toc43128837)

[8.2 专项勘察 40](#_Toc43128838)

[8.3 周边环境专项调查 42](#_Toc43128839)

[9 地下水 45](#_Toc43128840)

[9.1 一般规定 45](#_Toc43128841)

[9.2 地下水的勘察要求 45](#_Toc43128842)

[9.3 水文地质参数测定 47](#_Toc43128843)

[9.4 地下水的作用 49](#_Toc43128844)

[9.5 地下水的控制 50](#_Toc43128845)

[10 不良地质作用 52](#_Toc43128846)

[10.1 一般规定 52](#_Toc43128847)

[10.2 滑坡 52](#_Toc43128848)

[10.3 危岩和崩塌 55](#_Toc43128849)

[10.4 岩溶 58](#_Toc43128850)

[10.5 泥石流 61](#_Toc43128851)

[10.6 活动断裂 65](#_Toc43128852)

[10.7 有害气体 66](#_Toc43128853)

[10.8 场地和地基的地震效应 67](#_Toc43128854)

[11 特殊性岩土 69](#_Toc43128855)

[11.1 一般规定 69](#_Toc43128856)

[11.2 填土 69](#_Toc43128857)

[11.3 软土 71](#_Toc43128858)

[11.4 膨胀岩土 74](#_Toc43128859)

[11.5 红黏土 79](#_Toc43128860)

[11.6 混合土 82](#_Toc43128861)

[11.7 污染土 84](#_Toc43128862)

[11.8 风化岩和残积土 86](#_Toc43128863)

[12 工程地质调查及测绘 89](#_Toc43128864)

[12.1 一般规定 89](#_Toc43128865)

[12.2 工作方法 89](#_Toc43128866)

[12.3 工作范围 90](#_Toc43128867)

[12.4 工作内容 91](#_Toc43128868)

[12.5 工作成果 92](#_Toc43128869)

[13 勘探与取样 94](#_Toc43128870)

[13.1 一般规定 94](#_Toc43128871)

[13.2 勘探点的定位与测量 95](#_Toc43128872)

[13.3 钻探 95](#_Toc43128873)

[13.4 井探、槽探 97](#_Toc43128874)

[13.5 洞探 98](#_Toc43128875)

[13.6 取样 99](#_Toc43128876)

[13.7 地球物理勘探 101](#_Toc43128877)

[14 原位测试 103](#_Toc43128878)

[14.1 一般规定 103](#_Toc43128879)

[14.2 标准贯入试验 103](#_Toc43128880)

[14.3 圆锥动力触探试验 104](#_Toc43128881)

[14.4 旁压试验 105](#_Toc43128882)

[14.5 静力触探试验 107](#_Toc43128883)

[14.6 十字板剪切试验 108](#_Toc43128884)

[14.7 载荷试验 109](#_Toc43128885)

[14.8 扁铲侧胀试验 112](#_Toc43128886)

[14.9 岩体原位应力测试 114](#_Toc43128887)

[14.10 现场直接剪切试验 115](#_Toc43128888)

[14.11 波速测试 117](#_Toc43128889)

[14.12 地温测试 119](#_Toc43128890)

[15 室内试验 121](#_Toc43128891)

[15.1 一般规定 121](#_Toc43128892)

[15.2 土的物理性质试验 122](#_Toc43128893)

[15.3 土的力学性质试验 123](#_Toc43128894)

[15.4 土的动力性质试验 124](#_Toc43128895)

[15.6 水和土的腐蚀性分析 125](#_Toc43128896)

[16 岩土工程分析评价和勘察报告 128](#_Toc43128897)

[16.1 一般规定 128](#_Toc43128898)

[16.2 岩土工程分析与评价 129](#_Toc43128899)

[16.3 勘察报告的基本要求 132](#_Toc43128900)

[16.4 勘察报告的内容 135](#_Toc43128901)

[17 勘察风险控制 137](#_Toc43128902)

[17.1 一般规定 137](#_Toc43128903)

[17.2 勘察风险的界定和辨识 137](#_Toc43128904)

[17.3 勘察风险评估 139](#_Toc43128905)

[17.4 勘察风险控制 140](#_Toc43128906)

[18 现场检验和监测 144](#_Toc43128907)

[18.1 一般规定 144](#_Toc43128908)

[18.2 现场检验 144](#_Toc43128909)

[18.3 现场监测 146](#_Toc43128910)

[18.4 不良地质作用和地质灾害的监测 148](#_Toc43128911)

[附录A 地层 151](#_Toc43128912)

[附录B 岩土分类与鉴定 153](#_Toc43128913)

[附录C 岩土施工工程分级 158](#_Toc43128914)

[附录D 隧道围岩分级 160](#_Toc43128915)

[附录E 云南省不良地质分类和特征 162](#_Toc43128916)

[附录F 云南省特殊性岩土分类和特征 168](#_Toc43128917)

[附录G 常用图例 169](#_Toc43128918)

[本规范用词说明 174](#_Toc43128919)

[引用标准名录 175](#_Toc43128920)

附：条文说明．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．177

# 1 总则

**1.0.1** 为贯彻执行国家和云南省有关的技术经济政策，服务于云南省轨道交通工程建设，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境和文物、确保工程质量和安全、控制风险，根据云南省工程地质特点，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于云南省轨道交通工程的岩土工程勘察。

**1.0.3** 轨道交通工程设计和施工前必须按照国家和地方基本建设程序进行岩土工程勘察。

**1.0.4** 轨道交通工程岩土工程勘察应搜集已有的勘察、设计、施工与工程周边环境资料，按工程建设各勘察阶段的要求，科学制订勘察方案，精心勘察，查清建设场地的工程地质条件、环境特征，提供资料完整、数据可靠、评价正确、建议合理的勘察报告。

**1.0.5** 云南省轨道交通岩土工程勘察除应符合本规程外，尚应符合国家、行业和地方现行有关规范和标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 城市轨道交通 urban rail transit,mass transit

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

**2.1.2** 工程周边环境 environment around engineering

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

**2.1.3** 围岩 surrounding rock

由于开挖，地下洞室周围初始应力状态发生了变化的岩土体。

**2.1.4** 围岩分级 classification of surrounding rock

根据岩体完整程度和岩石坚硬程度等主要指标，按坑道开挖后的围岩稳定性对围岩进行等级划分。

**2.1.5** 基床系数 coefficient of subgrade reaction

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

**2.1.6** 热物理指标 thermophysical index

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

**2.1.7** 工法勘察 geotechnical investigations for construction methods

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

**2.1.8** 明挖法 cut and cover method

由地面开挖基坑修筑城市轨道交通工程的方法。

**2.1.9** 矿山法 mining method

在岩土体内采用新奥法或浅埋暗挖法修筑城市轨道交通隧道工程的施工方法统称。

**2.1.10** 盾构法 shield tunneling method

在岩土体内采用盾构机修筑城市轨道交通工程隧道的施工方法。

**2.1.11** 沉管法 immersed tube method

采用预制管段沉放修筑隧道的方法。

**2.1.12** 冻结法 freezing method

用人工制冷的方法，将待开挖地下空间周围土体中的水冻结为冰的一种岩土特殊施工办法。

**2.1.13** 不良地质作用 unfavorable geological condition

由于地球内力或外力作用和人类活动而造成的滑坡、危岩、崩塌、岩堆、泥石流、岩溶、人为坑洞（采空区）、水库坍岸、地面沉降、地震液化等地质现象的统称。

**2.1.14** 特殊性岩土 special rock and soil

对本身具有特殊的物理、力学、化学性质，并影响工程地质条件的膨胀岩土、红黏土、软土、混合土、污染土、风化岩、残积土、盐渍土、盐岩及盐渍岩、冻土、填土等岩土的统称。

**2.1.15** 抗浮设防水位 anti-floating water level

基础砌置深度内起主导作用的地下水层在建筑物运营期间的最高水位。

**2.1.16** 风险管理 risk management

对工程建设进行风险界定、风险辨识、风险估计、风险评价与风险控制。

**2.1.17** 岩土参数标准值 standard value of geotechnical parameter

岩土参数的基本代表值，通常取概率分布的0.05分位数。

## 2.2 符号

E—孔隙比；

IL—液性指数；

IP—塑性指数；

n—孔隙度，孔隙率；

Sr—饱和度；

ω—含水量，含水率；

ωP—塑限；

ωL—液限；

Wu—有机质含量；

γ—重力密度（重度）；

ρ—质量密度（密度）；

ρd—干密度；

d10—有效粒径；

d50—中值粒径；

α—导温系数；

λ—导热系数；

C—比热容；

Ch—水平固结系数；

Cv—垂直固结系数；

a—压缩系数；

Es—压缩模量；

C—凝聚力；

φ—内摩擦角；

Q—涌水量；

K—渗透系数；

R—影响半径；

u—孔隙水压力；

fak—地基承载力特征值；

N—标准贯入锤击数；

N63.5—重型圆锥动力触探锤击数；

N120—超重型圆锥动力触探锤击数；

Ps—静力触探比贯入阻力；

qc—静力触探锥头阻力；

p0—旁压试验初始压力；

pL—旁压试验极限压力；

py—旁压试验临塑压力；

fL—地基极限强度；

fy—地基临塑强度；

fs—静力触探侧壁摩阻力；

cu—原状土的十字板剪切强度；

cu’—重塑土的十字板剪切强度；

Ed—动弹性模量；

E0—变形模量；

ED—侧胀模量；

Em—旁压模量；

fr—岩石饱和单轴抗压强度；

K—基床系数；

Kh—水平基床系数；

Kv—垂直基床系数；

υp—压缩波波速；

υs—剪切波波速；

St—土的灵敏度；

μ—泊松比；

δef—自由膨胀率。

# 3 基本规定

## 3.1 一般规定

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

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

**3.1.4** 轨道交通岩土工程勘察应取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图等资料，分析工程与环境的相互影响，提出工程周边环境保护措施的建议。必要时根据任务要求开展工程周边环境专项调查工作。

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

**3.1.6** 轨道交通岩土工程勘察应根据工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级制定勘察方案，采用综合的勘察方法，布置合理的勘察工作量，查明工程地质条件、水文地质条件，进行岩土工程评价，提供设计、施工所需的岩土参数，提出岩土治理、环境保护以及工程监测等建议。

**3.1.7** 工程重要性等级可根据工程规模、建筑类型和特点以及因岩土工程问题造成工程破坏的后果，按照表3.1.7的规定进行划分：

**表3.1.7 工程重要性等级**

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

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

1 符合下列条件之一者为一级场地（或复杂场地）：

1）地形地貌复杂；

2）对建筑抗震危险和不利地段；

3）不良地质作用强烈发育；

4）特殊性岩土需要专门处理；

5）地基、围岩或边坡的岩土性质较差；

6）地下水对工程的影响较大需要进行专门研究和治理。

2 符合下列条件之一者为二级场地（或中等复杂场地）：

1）地形地貌较复杂；

2）对建筑抗震一般地段；

3）不良地质作用一般发育；

4）特殊性岩土不需要专门处理；

5）地基、围岩或边坡的岩土性质一般；

6）地下水对工程的影响较小。

3 符合下列条件之一者为三级场地（或简单场地）：

1）地形地貌简单；

2）抗震设防烈度小于或等于6度或对建筑抗震有利地段；

3）不良地质作用不发育；

4）地基、围岩或边坡的岩土性质较好；

5）地下水对工程无影响。

**3.1.9** 工程周边环境风险等级可根据工程周边环境与工程的相互影响程度及破坏后果的严重程度进行划分：

1 一级环境风险：工程周边环境与工程互相影响很大，破坏后果很严重。

2 二级环境风险：工程周边环境与工程互相影响大，破坏后果严重。

3 三级环境风险：工程周边环境与工程互相影响较大，破坏后果较严重。

4 四级环境风险：工程周边环境与工程互相影响小，破坏后果轻微。

**3.1.10**  岩土工程勘察等级，可按下列条件划分：

1 甲级：在工程重要性等级、场地复杂程度等级和工程周边环境风险等级中，有一项或多项为一级的勘察项目。

2 乙级：除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目。

3 丙级：在工程重要性等级、场地复杂程度等级均为三级且工程周边环境风险等级为四级的勘察项目。

**3.1.11** 轨道交通线路工程和地面建筑工程的场地土类型划分、建筑场地类别划分、地基土液化判别应分别执行现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》GB50111、《建筑抗震设计规范》GB50011、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909的有关规定。

## 3.2 岩土工程勘察大纲

**3.2.1** 岩土工程勘察工作开始前，应根据相关规定或委托单位（建设单位）的要求、工程设置和岩土工程条件等，编制岩土工程勘察大纲。详细勘察阶段应按照工点编制岩土工程勘察大纲。

**3.2.2** 岩土工程勘察大纲应包括下列内容：

1 岩土工程勘察工程概况，包括编制依据、工程概况、重大工程的分布情况及以往勘察情况，勘察目的及任务、岩土工程勘察等级、执行标准及参考资料等。

2 地质概况，包括分析、利用收集到的区域地质资料、工程周边环境资料，对沿线地形及地貌特征、主要岩性及地质构造、工程地质和水文地质概况、沿线不良地质作用、特殊岩土的分布状况进行论述；

3 技术要求及勘察工作原则，包括主要技术要求，勘察工作的主要内容和原则，重大工程、重要不良地质作用及特殊岩土的勘察原则，不同工法勘察的重点。

4 勘探方法的选用，勘探点的布置原则及预计主要工作量。

5 组织机构，人员及设备配置。

6 勘察工作的质量目标及保证措施。

7 计划进度安排及保证措施。

8 安全文明施工保证措施及环境保护措施。

9 勘察成果资料编制的原则及主要内容，应交成果资料和数量等。

10 其他需要说明的问题。

11 附勘探点平面布置图及钻孔任务书。

**3.2.3** 岩土工程勘察大纲在执行过程中应根据岩土工程条件、工程设置和技术要求的变化进行调整。

# 4 区域环境

## 4.1 气象水文

**4.1.1** 应搜集区域所处气候类型、降水量、蒸发量、气温、日照天数、风向风速、相对湿度及变化等气象资料，并评价对工程建设的不利影响。

**4.1.2** 应搜集区域水系分布特征、水位、水量、流速、水质及流向的变化，河流的宽度、深度、河床结构等水文资料，并评价对工程建设的不利影响。

## 4.2 地形地貌

**4.2.1** 应搜集和调查沿线地貌形态特征，结合物质组成和结构条件，确定地貌成因和形成过程。

**4.2.2** 应对沿线的地貌单元进行划分和描述，调查外动力地质现象的分布规律、发育程度与规模，对区域地表稳定性进行评价，并评价其对工程的影响。

## 4.3 区域地质

**4.3.1** 应搜集和调查工作区地质构造，特别是区域性断裂、活动断裂、地震活动，应调查新构造活动的痕迹、特点和地震活动的关系，应对区域地壳稳定性作出评价，并评价其对工程建设的影响。

**4.3.2** 应搜集和调查工作区新构造运动、大地构造单元、地震带分布情况，评价对轨道交通工程的影响。

**4.3.3** 应搜集和调查沿线地层时代成因、岩性及分布，特殊岩土层特性及对轨道交通工程的影响。

## 4.4 地层

**4.4.1** 岩体地层单元的划分应根据工作阶段、成图比例、岩性与工程的关系确定。全线工程地质图，地层单元宜划分到统，影响线路方案的地层应划分到组，详细工程地质图，地层单元宜划分到统，地质条件复杂的应划分到段；工点工程地质图，地层单元宜划分到统，当构造复杂、不良地质发育受地层控制时，地层单元应划分至段。具体可按附录A进行执行。

**4.4.2** 第四系地层应根据野外编录、原位测试、室内岩土试验成果，结合成因类型、沉积规律和地层层序综合确定工程地质单元层的划分及定名。时代成因可按附录A进行划分。

**4.4.3** 轨道交通岩土的分类、鉴定按附录 B执行。

## 4.5 水文地质条件

**4.5.1** 应调查了解区内地表水系的分布及特点，搜集地表水的水位、流量、水质、含沙量、洪水淹没范围等有关资料，查明地表水动态变化和地表水与地下水转化关系。

**4.5.2** 应搜集地下水的埋藏条件及各类含水层（组）的类型，调查了解地下水的补给、径流、排泄条件与运动规律，并掌握地下水动态变化规律与控制因素。

**4.5.3** 应根据地形地貌、地质构造、地层岩性、地下水运动特征等水文地质因素，划分水文地质单元，并应分别进行各水文地质单元描述评价，确定水文地质复杂程度。

# 5 可行性研究勘察

## 5.1 一般规定

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

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

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

## 5.2 目的和任务

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

**5.2.2** 可行性研究勘察应进行下列工作：

1 搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震、矿产等资料，以及沿线的工程地质条件、水文地质条件、工程周边环境条件和相关工程建设经验。

2 调查线路沿线的地层岩性、地质构造、地下水埋藏条件等，划分工程地质单元，进行工程地质分区，评价场地稳定性和适宜性。

3 对控制线路方案的工程周边环境，分析其与线路的相互影响，提出规避、保护的初步建议。

4 对控制线路方案的不良地质作用、特殊性岩土，了解其类型、成因、范围及发展趋势，分析其对线路的危害，提出规避、防治的初步建议。

5 研究场地的地形、地貌、工程地质、水文地质、工程周边环境等条件，分析路基、高架、地下等工程方案及施工方法的可行性，提出线路比选方案的建议。

**5.2.3** 可行性研究勘察的资料搜集应包括下列内容：

1 工程所在地的气象、水文以及与工程相关的水利、防洪设施等资料。

2 区域地质、构造、地震及液化等资料。

3 沿线地形、地貌、地层岩性、地下水、特殊性岩土、不良地质作用和地质灾害等资料。

4 沿线古城址及河、湖、沟、坑的历史变迁及工程活动引起的地质变化等资料。

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

## 5.3 勘察工作量布置

**5.3.1** 可行性研究勘察的勘探工作应符合下列要求：

1 勘探点间距不宜大于1000m，每个车站应有勘探点。

2 勘探点数量应满足工程地质分区的要求；每个工程地质单元应有勘探点，在地质条件复杂地段应加密勘探点。

3 当有两条或两条以上比选线路时，各比选线路均应布置勘探点。

4 控制线路方案的江、河、湖等地表水体及不良地质作用和特殊性岩土地段应布置勘探点。

5 利用勘察孔，既有孔须与研究线路处于同一地貌地质单元，其距离拟建方案线路轴线不宜大于100m。

6 勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要。

**5.3.2** 可行性研究勘察勘探孔深度应符合场地稳定性、适宜性评价及线路方案设计和工法选择等需要。

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

# 6 初步勘察

## 6.1 一般规定

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

6.1.2 初步勘察应搜集拟建线路平面、纵断面图、施工方法等有关设计文件、可行性研究勘察报告、沿线新老地形图、地下障碍物、管线、坑道、采空区、古河道、暗浜等相关资料。

6.1.3 初步设计阶段存在不同的线路敷设方案时，初步勘察应对每个线路方案分别开展勘察工作，为初步设计方案比选提供地质依据。

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

6.1.5 初歩勘察工作应根据沿线地质条件、周边环境条件、设计方案等条件选择适宜的勘察方法，采用工程地质调査与测绘、勘探与取样、原位测试、水文地质试验、室内试验、遥感、物探等多种手段相结合的综合勘察方法。

## 6.2 目的与任务

6.2.1 初步勘察应初步查明轨道交通工程线路、车站、车辆基地和相关附属设施的工程地质和水文地质条件，分析评价地基基础形式和施工方法的适宜性，预测可能出现的岩土工程问题，提供初步设计所需的岩土参数，提出不良地质作用和特殊性岩土的治理初步建议。

6.2.2 初步勘察应进行下列工作：

1 调查工程沿线周边环境条件，并对可能影响工程建设的环境因素进行初步分析评价。

2 初步查明沿线地形地貌、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，需要时进行工程地质分区。

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

4 查明沿线场地不良地质作用的类型、成因、分布、规模，预测其发展趋势，分析其对工程的危害程度。

5 初步查明沿线地表水的水位、流量、水质、河湖淤积物的分布，以及地表水与地下水的补排关系。

6 初步查明地下水水位，地下水类型，补给、径流、排泄条件，历史最高水位，地下水动态和变化规律。

7 对场地和地基的地震效应做出初步评价，提供拟建场区的场地类别、场地土类型、抗震设防烈度、设计地震加速度、设计地震分组等。

8 评价场地稳定性和工程适宜性。

9 初歩评价水和土对建筑材料的腐蚀性。

10 对可能采取的地基基础方案、地下工程开挖与支护方案、地下水控制方案进行初步分析评价。

11 季节性冻土地区，应调查场地土的最大冻结深度、标准冻结深度。

12 对环境风险等级较高的工程周边环境，分析可能出现的工程问题,提出预防措施的建议。

13 根据初步勘察的结果，提出是否需要针对不良地质和特殊岩土进行专项勘察的建议。

## 6.3 地下工程

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

1 初步划分车站、区间隧道的围岩分级和岩土施工工程分级。

2 根据车站、区间隧道的结构形式及埋置深度，结合岩土工程条件，提供初步设计所需的岩土参数，提出地基基础方案的初步建议。

3 每个水文地质单元应选择代表性地段进行水文地质试验，提供水文地质参数，必要时设置地下水位长期观测孔。

4 初步查明地下有害气体、污染土层、具有放射性危害地层的分布、成分，评价其对工程的影响。

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

**6** 提供设计要求深度范围内的地温资料，地热发育地区初步分析、评价地热对工程的影响。

**7** 矿山法区间隧道应初步查明覆盖层厚度、岩体的风化和破碎程度、含水情况、结构面的产状，分析评价洞口边、仰坡稳定性。

**8** 矿山法区间设置有横洞、平行导坑、斜井、竖井等辅助坑道时，应初步查明其地质条件。

**6.3.2** 地下车站勘察工作量布置应符合下列要求：

1 地下车站的勘探点宜按结构轮廓线布置，宜布置在基坑结构边线外2m～3m，左右交叉布置，每个车站勘探点数量不宜少于4个，且勘探点间距不宜大于100m，地貌、地质单元交界位置应布置勘探点**。**

**2** 勘探孔深度在土层内不宜小于3倍基坑开挖深度，并满足桩基设计要求。勘探孔深度在结构埋深范围内如遇全风化、强风化岩石地层时进入结构底板以下不应小于15m，在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层宜进入结构底板以下5m～8m，遇岩溶和破碎带时钻孔深度应适当加深。

**6.3.3** 地下区间勘察工作量布置应符合下列要求**：**

**1** 明挖区间勘探点可沿基坑边线布置，宜布置在基坑结构边线外2m～3m，宜左右交叉布置；盾构法和矿山法区间勘探点宜布置在隧道边线外侧3m～5m范围内，敷设方式为单线双洞的区间，双线中心间距不超过20m时，或敷设方式为双线单洞时，勘探点宜左右线交叉布置在隧道结构边线外侧；敷设方式为单线双洞的区间，双线中心间距超过20m时，应按两条线分别布置勘探点。

**2** 勘探点间距可根据场地地基复杂程度及设计方案确定，明挖区间、盾构区间、全断面位于土层及全、强风化岩层内的矿山法区间勘探点间距宜为100m～200m，在地貌、地质单元交界位置、地层变化较大地段以及不良地质和特殊岩土发育地段应加密勘探点。

**3** 矿山法区间分布地层为土层或全风化、强风化岩石的洞口应布置勘探孔，浅埋段和不良地质作用发育地段应有勘探孔。洞身应根据工程地质调查或物探解译在构造线和异常带布置勘探验证孔。

**4** 矿山法区间应采用工程地质调查与测绘、物探及钻探等综合手段进行综合勘察。

**5** 矿山法区间工程地质调查与测绘应控制隧道纵横方向的地质条件，其范围沿边线两侧各不少于200m。

**6** 明挖法区间的勘探孔深度在土层内不宜小于3倍基坑开挖深度，并满足桩基设计要求。盾构法区间的勘探孔深度在土层内不应小于隧道底板以下3.0倍隧道直径。矿山法区间勘探孔深度不应小于隧道底板以下3m～5m。勘探孔深度在结构埋深范围内如遇全风化、强风化岩石地层进入结构底板以下不应小于15m，在结构埋深范围内如遇中等风化、微风化岩石地层宜进入结构底板以下5m～8m，遇岩溶和破碎带时钻孔深度应适当加深。

**6.3.4** 顶管法通道工作量布置参照盾构法区间执行。

**6.3.5** 地下主变电站及单独布置的风井、盾构井、顶管接收井应布置勘察工作量，且不宜少于1个勘探点。

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

## 6.4 高架工程

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

1 重点查明对高架方案有控制性影响的不良地质体、断层破碎带的分布范围，指出工程设计应注意的事项。

2 采用天然地基时，初步评价墩台基础地基稳定性和承载力，提供地基变形、基础抗倾覆和抗滑移稳定性验算所需的岩土参数。

3 采用桩基时，初步查明桩基持力层的分布、厚度变化规律，提出桩型及成桩工艺的初步建议，提供桩侧土层摩阻力、桩端土层端阻力建议值，分析成桩的可能性，并初步评价桩基施工对工程周边环境的影响。

4 对跨河桥，还应初步查明河流水文条件，提供冲刷计算所需的颗粒级配等参数。

6.4.2 高架车站与附属设施勘察工作量平面布置应符合下列要求**：**

1 高架车站勘探点间距不宜大于100m，且每站不宜少于3个勘探点。

**2** 过街天桥宜布置勘探点。

**3** 附属设施应根据规模布置适当勘察工作量，且不宜少于1个勘探点。

6.4.3 高架区间勘探点应沿区间轴线布置于拟设墩台位置，勘探点间距宜为80m～150m，地貌、地质单元交界位置及断层破碎带位置应布置勘探点**。**

6.4.4 勘探孔深度应符合下列规定：

1 控制性勘探孔深度应满足墩台基础或桩基沉降计算和软弱下卧层验算的要求，一般性勘探孔应满足查明墩台基础或桩基持力层和软弱下卧土层分布的要求。

2 墩台基础置于无地表水地段时，应穿过最大冻结深度达持力层以下；墩台基础置于地表水以下时，应穿过水流最大冲刷深度达持力层以下。

3 覆盖层较薄，下伏基岩风化层不厚时，勘探孔应进入中等风化、微风化岩层5m～8m。为确认是基岩而非孤石，应将岩芯同当地岩层露头、岩性、层理、节理和产状进行对比分析，综合判断。

6.4.5 取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3。

## 6.5 路基、涵洞工程

6.5.1 路基工程初歩勘察除应符合本规范第6.2.2条的规定外，尚应符合下列规定：

1 初步查明各岩土层的岩性、分布情况及物理力学性质，重点查明对路基工程有控制性影响的不稳定岩土体、软弱土层等不良地质体的分布范围。

2 初步评价路基基底的稳定性，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 对高路堤应初步查明软弱土层的分布范围和物理力学性质，提出天然地基的填土允许高度或地基处理建议，对路堤的稳定性进行初步评价。必要时进行取土场勘察。

5 对深路堑，应初步查明岩土体的不利结构面，调査沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件，评价边坡稳定性，提出边坡治理措施的建议。

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

7 初步查明高液限土的分布范围、性质，初步评价其对路基工程的影响。

6.5.2 涵洞工程初歩勘察除应符合本规范第6.2.2条的规定外，尚应符合下列规定：

1 初歩查明涵洞场地地貌、地层分布和岩性、地质构造、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩倾斜面、不良地质作用和特殊性岩土。

2 初步查明涵洞地基的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数。

3 初步评价涵洞地基稳定性，提供涵洞设计、施工所需的岩土参数。

6.5.3 路基、涵洞工程勘探点间距应符合下列要求：

1 每个地貌、地质单元均应布置勘探点，在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段应加密勘探点。

2 路基的勘探点间距宜为100m～150m，支挡结构、涵洞应有勘探点控制。

3 高路堤、深路堑应布置横断面，每条横断面勘探点数量不宜少于2个。

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

6.5.5 路基、涵洞工程的控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求；一般性勘探孔宜进入基底以下5m～10m，基底以下分布软土或遇岩溶时应适度加深。

## 6.6 地面车站、车辆基地工程

6.6.1 地面车站、车辆基地的路基工程初步勘察要求应符合本规范第6**.**5节的规定。

6.6.2 车辆设施及综合基地工程勘察工作量布置应符合下列规定：

**1** 勘探点可结合建（构）筑物特点采用网格状布置，勘探线间距不宜大于150m，勘探点间距不宜大于100m，且主要设施均应有勘探点控制。

**2** 勘探点深度应根据建（构）筑物性质及地质条件综合确定。

**3** 采用桩基础时，孔深应满足桩基设计要求。

6.6.3 地面车站、车辆基地的建（构）筑物初歩勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的有关规定。

6.6.4 出入段线应根据具体的工程类型及工法，参照地下工程、高架工程、路基工程等布置勘探点。

# 7 详细勘察

## 7.1一般规定

7.1.1 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对轨道交通各类工程的建筑类别、结构形式、埋置深度和施工方法，提出勘察要求，选择合适的勘察手段，开展勘察工作。

7.1.2 详细勘察工作应根据各类工程场地的地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质等条件，分工点开展勘察工作。

7.1.3 详细勘察应采用勘探与取样、原位测试、室内试验为主，辅以工程地质调查与测绘、工程物探的综合勘察方法。

7.1.4 各工点采取岩土试样、现场测试工作应满足下列要求：

**1** 每一工点主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于10件（组），且每一地质单元的土层原状土试样或原位测试数据不应少于6件（组）。

**2** 波速测试孔不应少于3个。

**3** 对判别液化而布置的勘探点不应少于3个，勘探孔深度应大于液化判别深度。

7.1.5 每个工点应采取地表水、地下水水试样及地下水位以上土样进行腐蚀性试验，地表水每处不应少于1组，每层地下水试样和地下水位以上每层土样不应少于2组。

## 7.2 目的与任务

7.2.1 详细勘察应查明各类工程场地的工程地质和水文地质条件，分析评价地基、围岩及边坡稳定性，预测可能出现的岩土工程问题，预判地质条件可能造成的工程风险，提出地基基础、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护方案建议，提供设计、施工所需的岩土技术参数。

7.2.2 详细勘察工作前应搜集附有坐标和地形的拟建工程的平面图、纵断面图、线路和场区的地面整平标高，建（构）筑物荷载、结构类型与特点、施工方法、基础形式及埋深、地下工程埋置深度及上覆土层的厚度、变形控制要求等资料。

7.2.3 详细勘察应进行下列工作：

**1** 查明场地不良地质作用的类型、分布、规模、成因、特征，分析发展趋势和危害程度，评价其对拟建场地的影响，提出治理方案的建议。

**2** 查明沿线地形、地貌和场地范围内岩土层的类型、年代、成因、分布范围、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载能力。

**3** 查明特殊性岩土、河湖沟坑及暗浜的分布范围，调查工程周边环境条件，分析其对设计和施工的影响。对需进行沉降计算的建（构）筑物、路基等，提供地基变形计算参数，提出天然地基、地基处理或桩基等地基基础方案的建议。

**4** 分析地下工程围岩的稳定性和可挖性，对围岩进行分级和岩土施工工程分级，提出对地下工程有不利影响的工程地质问题及防治措施的建议，提供基坑支护、隧道初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。

**5** 结合场地不良地质作用和特殊性岩土，分析边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出边坡支挡防护治理的工程措施建议。

**6** 查明对工程有影响的地表水体的分布、水位、水深、水质、防渗措施、淤积物分布及地表水与地下水的水力联系等。分析地表水体对工程可能造成的危害。

**7** 查明地下水的埋藏条件，提供场地的地下水类型、勘察时水位、水质、岩土渗透系数、地下水位变化幅度等水文地质资料，分析地下水对工程的作用，提出地下水控制措施的建议。

**8** 判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性。

**9** 分析工程周边环境与工程的相互影响，提出环境保护措施的建议。

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

7.2.4 不同工法勘察尚应进行下列工作：

**1** 明挖法勘察应重点查明填土、暗滨、软弱土夹层及饱和砂层的分布，基岩埋深较浅地区的覆盖层厚度、基岩起伏、坡度及岩层产状。

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

**3** 盾构法勘察应重点高灵敏度软土层、松散砂土层、高塑性黏性土层、含承压水砂层、软硬不均地层、含漂石或卵石地层等的分布和特征。在基岩地区应查明岩土分界面位置、岩石坚硬程度、岩石风化程度、结构面发育情况、构造破碎带、岩脉的分布与特征，分析评价其对盾构施工的影响。

4 对盾构始发（接收）井及区间联络通道的地质条件进行分析和评价，预测可能发生的岩土工程问题，提出岩土加固范围和方法的建议。

**5** 矿山法勘察应重点查明隧道通过土层的性状、密实度及自稳性，古河道、古湖泊、地下水、饱和粉细砂层、有害气体的分布，填土的组成、性质及厚度。预测施工可能产生开挖面坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、岩爆、滑坡、围岩松动等风险，并提出防治措施的建议。

**6** 沉管法勘察应搜集河流的流量、流速、含砂（泥）量、最高洪水位、最大冲刷线、汛期等水文资料，查明河道变迁、冲淤的规律、水底以下软弱地层的分布、工程特性，以及隧道位置处的障碍物。

**7** 沉井法勘察应重点查明影响沉井施工的基岩面起伏、软弱岩土层中的坚硬夹层、球状风化体、漂石等，提供岩土层与沉井侧壁的摩擦系数、侧壁摩阻力。

**8** 冻结法勘察应查明冻结土层的物理力学性质及周围含水层的分布，提供地下水流速、地下水中的含盐量。分析冻结法施工冻胀、融沉对周边环境的影响。

## 7.3 地下工程

7.3.1 地下车站主体、出入口、风井、通道，地下区间、联络通道及泵房等地下工程的详细勘察，除应符合本规范第7.1.4条、第7.1.5条、第7.2.3条的规定外，尚应符合本节规定。

7.3.2 地下工程详细勘察尚应符合下列规定：

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

**2** 查明不良地质作用、特殊性岩土及对工程施工不利的饱和粉土层、砂层、圆砾层、卵石层、漂石层等地质条件的分布与特征，分析其对工程的危害和影响，提出工程防治措施的建议。

**3** 在基岩地区应查明岩石风化程度，岩层层理、片理、节理等软弱结构面的产状及组合形式，断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型，分析隧道偏压的可能性及危害。

**4** 对隧道围岩的稳定性进行评价，进行隧道围岩分级、岩土施工工程分级。分析隧道开挖、围岩加固及初期支护等可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供隧道围岩加固、初期支护和衬砌设计与施工所需的岩土参数。

**5** 对基坑边坡的稳定性进行评价，分析基坑支护可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供基坑支护设计所需的岩土参数。

**6** 分析地下水对工程施工的影响，预测基坑和隧道突水、涌砂、流土、管涌的可能性及危害程度。

**7** 分析地下水对工程结构的作用，对需采取抗浮措施的地下工程，提出抗浮设防水位的建议，提供抗拔桩或抗浮锚杆设计所需的各岩土层的侧摩阻力或锚固力等计算参数，必要时对抗浮设防水位进行专项研究。

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

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

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

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

**表7.3.3 勘探点间距（m）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地复杂程度 | 复杂场地 | 中等复杂场地 | 简单场地 |
| 地下车站勘探点间距 | 10～20 | 20～40 | 40～50 |
| 地下区间勘探点间距 | 10～30 | 30～50 | 50～60 |

7.3.4 勘探点的平面布置应符合下列规定：

**1** 车站主体勘探点宜沿结构轮廓线布置，结构角点以及出入口、换乘通道与换乘厅、风井与风亭、暗挖通道、风道、施工竖井与施工通道等附属工程部位应有勘探点控制。车站长轴向中柱或抗拔桩位置应布置钻孔。盖挖法车站每个柱位应有钻孔控制。有条件时结构外侧基坑深度1倍～2倍范围宜布置钻孔。

**2** 车站主体结构控制性钻孔与一般性钻孔宜相间布置，对侧错开，端头井处均布置为控制性钻孔。

**3** 放坡开挖的车站勘探范围应包括坡面区域和坡面外围一定的区域，到坡顶的水平距离等于1～1.5倍边坡高度范围应布置钻孔。

**4** 每个车站不应少于2条纵剖面，标准车站应有3条代表性的横剖面，加长车站应有不少于5条有代表性的横剖面。结构变化位置、出入口和地质条件复杂地段横剖面应适当加密。

**5** 车站采用承重桩时，勘探点的平面布置宜结合承重桩的位置布设。

**6** 盾构区间勘探点宜在隧道结构外侧3m～5m的位置交叉布置。隧道采用单线单洞时，左右线距离大于3倍洞径，或者左右线距离虽然小于3倍洞径，但地质条件差异较大时应采用双排孔布置（左右线分别布孔），左右线距离小于3倍洞径或隧道采用双线单洞时可交叉布点。

**7** 明挖区间及过渡段平面勘探点按车站基坑工程布置。

**8** 在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、泵房、渡线、横洞、平行导坑、斜井、施工竖井等应有勘探点控制，并布设剖面。遇地层变化较大时，应加密勘探点。

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

7.3.5 勘探孔深度应符合下列规定：

**1** 控制性勘探孔的深度应满足地基、隧道围岩、基坑边坡稳定性分析、变形计算以及地下水控制的要求。

**2** 对车站工程，土质基坑控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于25m，同时勘探孔深度不应小于开挖深度的3倍；一般性勘探孔深度进入结构底板以下不应小于15m，同时勘探孔深度不应小于开挖深度的2倍。岩质基坑控制性勘探孔进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于5m；一般性勘探孔进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于3m。

**3** 放坡开挖车站边坡控制性勘探孔深度应进入最下层潜在滑面下5.0m，一般性勘探孔深度应进入最下层潜在滑面下3.0m。

**4** 盾构区间工程，控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于3倍隧道直径（宽度）或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于5m，一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于2倍隧道直径（宽度）或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于3m。

**5** 明挖区间工程，勘探孔深度应按照车站基坑工程考虑。

**6** 当采用承重桩、抗拔桩或抗浮锚杆时，勘探孔深度应满足其设计的要求。

**7** 当预定深度范围内勘探孔底部存在软弱土层时，勘探孔应加深钻穿软土层，进入稳定的硬土层后方可终孔。

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

7.3.7 应根据需要和地区经验选取适合的原位测试手段，每个车站或区间工程的电阻率测试孔不宜少于2个。

7.3.8 室内试验除应符合本规范第15章的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 抗剪强度室内试验方法应根据施工方法、施工条件、设计要求等确定。

**2** 静止侧压力系数和热物理指标试验数据每一主要土层不宜少于3组。

**3** 宜在基底以下压缩层范围内采取岩土试样进行回弹再压缩试验，每层试验数据不宜少于3组。

**4** 对隧道范围内的碎石土和砂土应测定颗粒级配，对粉土应测定黏粒含量。

**5** 在基岩地区应进行岩块的弹性波波速测试，并应进行岩石的饱和单轴抗压强度试验，必要时尚应进行软化试验；对软岩、极软岩可进行天然湿度的单轴抗压强度试验。每个场地每一主要岩层的试验数据不应少于6组。

7.3.9 在有经验的地区基床系数可通过原位测试、室内试验结合地区经验值综合确定，必要时通过专题研究或现场K30载荷试验确定。

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

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

7.3.12 当地下水对车站和区间工程有影响时应布置长期水文观测孔，对需要进行地下水控制的车站和区间工程宜进行水文地质试验。

## 7.4 高架工程

7.4.1 高架工程详细勘察包括高架车站、高架区间、高架广场、高架出入段线及其附属工程的勘察，除应符合本规范第7.1.4条、第7.1.5条、第7.2.3条的规定外，尚应符合本节规定。

7.4.2 高架工程详细勘察尚应符合下列规定：

**1** 查明场地各岩土层类型、分布、工程特性和变化规律；推荐墩台基础与桩基的持力层，提供各岩土层的物理力学性质指标；分析桩基承载性状，提出桩基的类型、规格、入土深度的建议，结合当地经验提供桩基承载力计算和变形计算参数，估算单桩承载力。

**2** 查明不良地质和特殊性岩土的分布与特征，分析其对墩台基础和桩基的危害程度，评价墩台地基和桩基岸坡的稳定性，提出防治措施的建议。

**3** 采用基岩作为墩台基础或桩基的持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度及分带情况，确定岩石的坚硬程度、完整程度和岩体基本质量等级，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱夹层。

**4** 查明水文地质条件，评价地下水对墩台基础及桩基设计和施工的影响；判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性。

**5** 查明场地是否存在产生桩侧负摩阻力的地层，评价负摩阻力对桩基承载力的影响，并提出处理措施的建议。

**6** 分析桩基施工存在的岩土工程问题，评价成桩的可能性，论证桩基施工对工程周边环境的影响，并提出处理措施的建议。

**7** 对基桩的完整性和承载力提出检测的建议。

7.4.3 勘探点的平面布置应符合下列规定：

**1** 高架车站勘探点应沿结构轮廓线和柱网布置，勘探点间距宜为15m～35m。当桩端持力层起伏较大，地层分布复杂时，应加密勘探点。

**2** 高架区间勘探点应沿区间纵断面方向并结合墩台位置，在墩台基础轮廓线以内沿周边或中心布置。不良地质或特殊岩土发育地段，可能影响墩、台稳定时，勘探点的布置范围应酌情扩大。

**3** 原则上每柱、墩、台应有1个勘探点。当地层简单、地层层序有规律或覆盖层较薄、基岩面平缓且岩性单一时，勘探点可适当减少。地质条件复杂或跨度较大时，可根据需要增加勘探点。

7.4.4 勘探孔深度应符合下列规定：

**1** 墩台基础的控制性勘探孔应满足沉降计算和下卧层验算要求。

**2** 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下10m～15m或墩台基础底面宽度的2倍～3倍；在基岩地段，当风化层不厚或为硬质岩时，应穿透强风化层，进入基底以下稳定中等风化岩石地层2m～3m。

**3** 桩基的控制性勘探孔深度应满足沉降计算和下卧层验算要求，应穿透桩端平面以下压缩层厚度；对嵌岩桩，控制性勘探孔应达到预计桩端平面以下3倍～5倍桩身设计直径，并穿过溶洞、破碎带、地下采空区，进入稳定地层不应小于8m。

**4** 桩基的一般性勘探孔深度应达到预计桩端平面以下3倍～5倍桩身设计直径，且不应小于3m，对大直径桩，不应小于5m；对嵌岩桩，一般性勘探孔应达到预计桩端平面以下1倍～3倍桩身设计直径。

**5** 当预定深度范围内存在软弱土层时，勘探孔应适当加深。

7.4.5 高架工程控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的1/3。取样及原位测试孔的数量不应少于勘探点总数的1/2。

7.4.6 室内试验应符合本规范第15章的规定，并应符合下列规定：

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

**2** 需要进行沉降计算的桩基工程，应进行压缩试验，试验最大压力应大于自重压力与附加压力之和。

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

## 7.5 路基、涵洞工程

7.5.1 路基、涵洞工程勘察包括路基工程、涵洞工程、支挡结构及其附属工程的勘察，除应符合本规范第7.1.4条、第7.1.5条、第7.2.3条的规定外，尚应符合本节规定。

7.5.2 一般路基详细勘察应包括下列内容：

**1** 查明地层结构、岩土性质、岩层产状、风化程度及水文地质特征；分段划分岩土施工工程分级；评价路基基底的稳定性。

**2** 应采取岩土试样进行物理力学试验，采取水试样进行水质分析。

7.5.3 高路堤、陡坡路堤详细勘察应包括下列内容：

**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或软弱结构面的性质和形态，并评价其稳定性。

**2** 应采取岩土试样进行物理力学试验，提供验算地基强度及变形的岩土参数。

**3** 调查地下水活动对基底稳定性的影响。

**4** 分析基底和斜坡稳定性，提出路基和斜坡加固方案的建议。

7.5.4 深路堑、地质复杂路堑详细勘察应包括下列内容：

**1** 查明场地的地形、地貌、不良地质作用和特殊地质问题；调查沿线自然边坡、人工边坡的工程地质条件；分析边坡工程对周边环境产生的不利影响。

**2** 土质边坡应查明土层厚度、地层结构、成因类型、密实程度及下伏基岩面形态和坡度。

**3** 岩质边坡应查明岩层性质、厚度、成因、节理、裂隙、断层、软弱夹层的分布、风化破碎程度；主要结构面的类型、产状及充填物。

**4** 查明影响深度范围的含水层、地下水埋藏条件、地下水动态，评价地下水对路堑边坡及结构稳定性的影响，需要时应提供路堑结构抗浮设计的建议。

**5** 建议路堑边坡坡度，分析评价路堑边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出路堑边坡治理措施的建议。

**6** 调查雨期、暴雨量、汇水范围和雨水对坡面、坡脚的冲刷及对坡体稳定性的影响。

7.5.5 支挡结构详细勘察应包括下列内容：

**1** 查明支挡地段地形、地貌、不良地质作用和特殊性岩土，地层结构及岩土性质，评价支挡结构地基稳定性和承载力，提供支挡结构设计所需的岩土参数，提出支挡形式和地基基础方案的建议。

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

7.5.6 涵洞详细勘察应符合下列规定：

**1** 查明地形、地貌、地层岩性、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩斜坡、不良地质作用和特殊性岩土。

**2** 查明涵洞场地的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数。

**3** 应采取勘探、测试和试验等方法综合确定地基承载力，提供涵洞设计所需的岩土参数。

**4** 调查雨期、雨量等气象条件及涵洞附近的汇水面积。

7.5.7 勘探点的平面布置应符合下列规定：

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

**表7.5.7 勘探点间距（m）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地复杂程度 | 复杂场地 | 中等复杂场地 | 简单场地 |
| 勘探点间距（m） | 15～30 | 30～50 | 50～60 |

**2** 高路堤、陡坡路堤、深路堑、地质复杂路堑应根据基底和边坡的特征，结合工程处理措施，确定代表性工程地质断面的位置和数量。每个工点不应少于1个代表性地质横断面，每个代表性地质横断面的勘探点不宜少于3个，地质条件简单时不宜少于2个。

**3** 深路堑工程遇有软弱夹层或不利结构面时，勘探点应适当加密。

**4** 支挡结构的勘探点不宜少于3个。

**5** 涵洞的勘探点不宜少于2个。

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

7.5.9 勘探孔深度应满足下列要求：

**1** 控制性勘探孔深度应满足地基、边坡稳定性分析，及地基变形计算的要求。

**2** 一般路基的一般性勘探孔深度应大于路基开挖基底标高，并达到基底标高以下不小于5m，高路堤勘探深度应至基底持力层下或基岩面以下不小于8m；基底以下存在软弱地层或潜在滑动面时，勘探孔深应进入软层或潜在滑面以下5～8m。

**3** 路堑的一般性勘探孔深度应能探明软弱层厚度及软弱结构面产状，且穿过潜在滑动面并深入稳定地层内3m～5m，满足支护设计要求；在地下水发育地段，根据排水工程需要适当加深。

**4** 支挡结构的一般性勘探孔深度应达到基底以下不应小于5m。

**5** 基础置于土中的涵洞一般性勘探孔深度应按表7.5.9的规定确定。

**表7.5.9 涵洞勘探孔深度（m）**

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

注：1 勘探孔深度应由结构底板算起。

2 箱型涵洞勘探孔应适当加深。

**6** 遇软弱土层时，勘探孔应适当加深。

## 7.6 地面车站、车辆基地工程

7.6.1 地面车站、车辆基地（停车场）的详细勘察包括车场线路基（包括有砟道床、无砟道床）、涵洞、支挡结构、出入段线、各类房屋建筑及其附属设施的勘察。

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

7.6.3 地面车站、车辆基地（停车场）的各类建筑及其附属设施的详细勘察应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）的有关规定执行。

7.6.4 站场股道及出入线的详细勘察，可根据线路敷设形式按照本规范第7.4节～第7.5节的规定执行。

# 8 施工勘察、专项勘察和周边环境专项调查

## 8.1 施工勘察

8.1.1 遇下列情况时应进行施工勘察：

**1** 场地地质条件复杂、施工过程中出现地质异常，对工程结构及工程施工可能产生较大影响时。

**2** 地质条件变化大，对施工方法、施工工艺的选择有影响，需要进一步查清地质条件。

**3** 设计、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。

**4** 地质条件与详细勘察时相比已发生变化，对施工方法、施工工艺的选择有影响，需要重新查清地质条件。

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

**6** 需进行施工勘察的其他情况。

8.1.2 施工勘察应结合施工工艺、施工方法的要求，充分考虑施工中可能出现的工程地质问题开展工作，提供地质资料，以满足施工方案调整和风险控制的要求。

8.1.3 施工勘察应进行下列工作

**1** 研究已有的工程勘察资料，分析场地工程地质和水文地质条件、不良地质作用及特殊性岩土的空间展布，预测施工中可能出现的工程问题。

**2** 调查了解场地周边工程施工情况、地下水变化情况、地下管线等周边工程环境条件，分析并预测周边工程环境条件变化对拟建工程可能造成的危害。

**3** 观察施工过程中岩土成分、密实度、湿度、地下水等情况，实测地质构造、裂隙、破碎带、软弱夹层等空间分布情况，并及时修正勘察资料。

**4** 对于边坡、隧道工程应绘制素描图或以影像资料记录开挖情况。

**5** 对于地质条件复杂的地下工程开展地质探测、超前地质预报、地下水动态监测等工作。

**6** 按照本规程第16章的要求编制施工勘察报告。

## 8.2 专项勘察

8.2.1 当遇到有害气体、岩溶发育、地下水发育、地温异常等不良地质作用、特殊性岩土及需要进行专项勘察的其他情况时，根据需要应当进行相应的专项勘察工作，以便为专项设计和治理提供可靠地质依据。

8.2.2 专项勘察工作应符合下列规定

**1** 搜集设计方案、已有的勘察报告、工程周边环境调查报告及施工中形成的相关资料，搜集和分析已有的工程检测监测资料。

**2** 对已有的工程地质勘察资料进行详细分析。

**3** 根据工程地质问题的复杂程度、已有的勘察工作和场地条件等确定专项勘察的方法及工作布置，并有针对性地实施。

**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。

8.2.3 当勘察发现工程区分布有害气体，并对场地的稳定性、工程施工及运营安全存在较大危害时，应进行有害气体专项勘察。有害气体专项勘察除应执行本规程10.6的要求外，还应符合下列规定：

1 分析相关区域地质资料，结合已有的勘察成果，划分有毒有害气体的分布范围，确定专项勘察的区段。

2 采用合适的方法和手段查明影响范围内的有害气体类型、含气层及覆盖层特征、特埋藏深度、分布范围、气体压力、流量等。

3 勘探点应以已发现有害气体的勘探点为中心，采用方格网按一定间距进行加密。

4 勘探时遵循“先内后外”、“无则取消”的原则。即：先进行已有点周围的勘探及取样分析工作，当勘探点中无有害气体时，该勘探点外侧的勘察点可取消。

5 勘探点成孔后，进行相关取样测试工作，安放设施进行监测。

6 根据各勘探点的测试成果，划分相应的分区，评价有害气体对施工、运营安全的影响，以及应采取的防护和处置措施建议。

8.2.4 当工程影响范围内岩溶强烈发育，对工程施工及运营存在较大安全隐患时，应进行岩溶专项勘察。岩溶专项勘察除应满足本规程第10章的要求外，还应符合下列规定：

1 应针对性的采取合适的勘察方法和手段，根据工程类型和特征合理布置勘探点和勘探线。

2 详细查明岩溶发育的特征、空间分布规律、成因、侵蚀基准面，对岩溶发育强度进行分级，圈定岩溶不同发育区及岩溶易塌陷区。

3 查明岩溶地下水分布特征及补给、迳流、排泄条件，岩溶地下水的流向、流速，岩溶水与地表水的联系。

4 分析预测岩溶发展趋势，对工程的危害做出定性及定量评价。

5 对岩溶提出合理的治理措施，为岩溶专项设计和治理提供可靠的地质依据。

8.2.5 当水文地质条件复杂且对工程及地下水控制有重要影响时，应进行专项水文地质勘察工作。水文地质专项勘工作除满足本规程第9章的要关要求处，还应符合下列规定：

1 查明地下水的类型和赋存状态、含水层的分布规律，划分水文地质单元。

2 查明地下水的补给、径流和排泄条件，地表水与地下水的水力联系。

3 提供地下水控制所需的水文地质参数。

4 评价地下水对工程结构及工程施工的作用和影响，提出相应的处理措施及建议。

8.2.6 当区域资料显示地温异常，地下工程附近分布有温泉时应进行地温异常专项勘察。地温异常专项勘察应符合下列规定：

1 进行地温异常区域的相关参数测试及复核工作，包括空气温度、岩土体温度、水质、水温及流速等。

2 分析地温异常的原因，划分地温分级。

3 提出工程措施及建议。

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

1 查明需冻结土层的分布及物理力学以性质，其中包括含水量、饱和度、固结系数、抗剪强度等。

2 查明需冻结土层周围含水层的分布，提供地下水流速、流向、地下水中的含盐量等。

3 提供地层温度、热物理指标、冻胀率、融沉系数等参数。

4 分析冻结法施工对周边环境、建构筑物、地下管线等的影响。

8.2.8 特殊性岩土专项勘察应按本规程第11章的相关要求进行勘察工作，查明特殊性岩土的空间分布规律，分析预测其发展趋势，并提出相应的处理措施及建议。

## 8.3 周边环境专项调查

8.3.1 周边环境专项调查应根据工程设计方案、环境风险等级、施工工法并结合工程地质和水文地质条件等综合确定调查范围、调查对象及调查内容。

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

8.3.3 周边环境专项调查的内容应包括但不限于以下内容：环境类型、权属单位、使用单位、管理单位、使用性质、建设年代、设计使用年限、地质资料、设计文件、变形要求、与拟建工程项目的空间关系、相关影像资料等。

8.3.4 对于已有建（构）筑物应重点调查建（构）筑物的平面位置、结构形式、基础形式与埋深、持力层性质、基坑支护、桩基或地基处理设计图纸、施工参数、建（构）筑物的沉降观测资料等。

8.3.5 地下构筑物及人防工程应重点调查工程的地下分布范围、结构形式、顶板和底板标高、施工方法及使用、充水情况等。

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

8.3.7 既有城市轨道交通线路与铁路应重点调查以下内容：

**1** 地下结构调查应包括结构的平面图、剖面图、基础形式与埋深，隧道断面形式与尺寸、支护形式与参数、施工方法。

2 高架线路调查应包括桥梁的结构形式、墩台跨度与荷载、基础桩位、桩长及桩径等。

**3** 地面线路调查应包括路基的类型、结构形式、道床类型，涵洞与支挡结构形式、基础形式与埋深等。

8.3.8 城市道路及高速公路应重点调查以下内容：

**1** 路基调查应包括道路的等级、路面材料、路堤高度、路堑深度、支挡结构形式及基础形式与埋深。

**2** 桥涵调查应包括桥涵的类型、结构形式、基础形式、跨度、桩基或地基加固设计、施工参数等。

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

8.3.10 水工构筑物应重点调查构筑物的类型、结构形式、地基基础形式与埋深、使用现状等。

8.3.11 架空线缆应重点调查架空线缆的类型、走廊宽度、线塔基础形式与埋深、线缆与轨道交通的交汇点坐标、悬高等。

8.3.12 地表水体应重点调查水位、水深、水体底部淤积物及厚度、防渗措施、河流的流量、水质及河床宽度、河床冲刷深度等。

8.3.13 周边环境专项调查成果资料整理应符合下列规定：

**1** 应编制调查报告，报告包括文字报告、调查对象成果表、调查对象平面位置图、调查对象的影像资料等。

**2** 文字报告主要包括：工程概述、调查依据、调查范围、调查对象及内容、调查方法、工作量及调查成果汇总，初步分析工程与建（构）筑物的相互影响、划分环境风险等级、提出有关的措施和建议，说明调查工作遗留问题。

**3** 调查对象成果表主要包括：名称、产权单位、使用单位、使用性质、修建年代、地上和地下层数、基础形式与埋深等。

**4** 调查对象应在平面位置图上进行标识。

**5** 报告中应说明资料获取方式及来源。

# 9 地下水

## 9.1 一般规定

9.1.1 轨道交通岩土工程勘察应查明沿线与工程有关的水文地质条件，并应根据工程需要和水文地质条件，评价地下水对工程结构和工程施工可能产生的作用，或在后期运营使用过程中可能存在的隐患，提出防治措施和建议。

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

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

## 9.2 地下水的勘察要求

9.2.1 地下水的勘察应符合下列规定：

**1** 搜集区域气象、周边工程建设及规划资料、水文资料、评价其对地下水的影响。

**2** 查明地下水的类型和赋存状态、含水层的分布规律，划分水文地质单元。

**3** 查明地下水的动态条件（补给、径流和排泄条件，地表水和地下水的水力联系）。

**4** 查明勘察时的地下水位，调查历史最高水位、近3年～5年最高地下水位、地下水水位年变化幅度、变化趋势和主要影响因素。

**5** 提供地下水控制所需的水文地质参数。

**6** 评价地下水对工程结构及工程施工的作用和影响，提出防治措施和建议。

**7** 必要时评价地下工程修建对地下水环境的影响。

9.2.2 山岭隧道或基岩隧道工程地下水的勘察还应符合下列规定：

**1** 查明不同岩性接触带、断层破碎带及富水带的位置与分布范围。

**2** 当隧道通过可溶岩地区时，查明岩溶的类型、蓄水构造和垂直渗流带、水平径流带的分布位置及特征。

**3** 预测隧道通过地段施工中可能发生集中涌水段、点的位置以及对工程的危害程度。

**4** 分段预测施工阶段可能发生的最大涌水量和正常涌水量，并提出工程措施和建议。

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

9.2.4 应对工程建设有影响的每一个含水层进行水文地质试验，其试验数量应根据勘察阶段、水文地质单元及工程特点综合确定。承压水可在水位观测孔内或抽水试验孔内采取水样。

9.2.5 具体工程勘察中，应首先根据地层岩性组合及其水文地质特征、工程构筑物埋置深度及其施工工法的不同确定地下水作用的评价内容，明确水文地质条件参数及其测定方法。

9.2.6 地下水取样

**1** 水样采取前应用地下水洗涤容器不少于3遍，同一水样取两瓶，并在水样标签上注明。水样放置时间不应超过72小时；

**2** 水样采取数量每个工点初勘、详勘均不少于2组，停车场等大面积场地水样采取数量初详勘均不宜少于3组。有污染或腐蚀性等级差异较大的场地应加密取样。

**3** 对工程结构可能造成腐蚀的地下水应采取水试样进行水质分析，水质分析应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的有关规定。

9.2.7 针对地下水位变化较大、地表水体较近、含水层较复杂的地段宜设水文地质长期观测孔。当分布有承压含水层且对工程建设有影响时，应根据需要布设一定数量水文地质观测孔，进行地下水动态长期观测，观测期限不少于一个水文年。长期观测孔宜在初步勘察阶段布置。临近地下水供水源地或重要地下水露头的地段，应加强地下水动态监测。

## 9.3 水文地质参数测定

9.3.1 当水文地质条件复杂且对工程影响重大时，应通过现场试验确定水文地质参数。对地下车站应根据车站层数及基坑深度确定试验方法，提供满足设计要求的水文地质参数。

9.3.2 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，精度不得低于±2cm；初见水位和稳定水位的量测，可在钻孔、探井和测压管内直接量测，精度不得低于±2cm，并注明量测时间。量测稳定水位的间隔时间应根据地层的渗透性确定。从停钻至量测的时间，砂土和碎石土不宜少于0.5h，粉土和黏性土不宜少于8h，并宜在勘探结束后统一量测稳定水位。对位于河边和岸边的工程，地表水与地下水应同时量测。

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

9.3.4 含水层的渗透系数宜采用抽水试验、注水试验测得。含水层的透水性应根据渗透系数按表9.3.4-1的规定划分。

**表9.3.4 含水层的透水性**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 特强透水 | 强透水 | 中等透水 | 弱透水 | 微透水 | 不透水 |
| （m/d） |  |  |  |  |  |  |

9.3.5 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。

9.3.6 越流系数宜采用带观测孔的多井抽水试验或群井抽水试验确定。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。

9.3.7 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 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。

9.3.8 抽水试验和注水试验布置应符合下列规定：

1 试验孔应结合地貌单元、含水层及工程布置综合确定，并应布置在距隧道、车站轮廓外侧3m～5m。

2 在需人工降低地下水位的车站、区间宜布置试验孔，车站和区间宜统筹考虑。

3 抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向，每条观测线上的观测孔不宜少于2个。

4 在含水构造复杂且富水性较强的地段以及对工程有影响的多层地下水，应分层或分段进行抽水试验。

9.3.9 抽水试验应符合下列规定：

1 抽水试验适用于渗透性良好的粉土和砂土地层；试验应在单一含水层中进行，并采取措施，避免其他含水层的干扰。抽水试验方法可按表9.3.9的规定确定：

**表9.3.9 抽水试验的方法和应用范围**

|  |  |
| --- | --- |
| 试验方法 | 应用范围 |
| 钻孔或探井简易抽水 | 粗略估算弱透水层的渗透系数 |
| 不带观测孔抽水 | 初步测定含水层的渗透系数 |
| 带观测孔抽水 | 较准确确定含水层的各种参数 |

2 宜进行三次不同水位降深的抽水，最大降深宜接近工程设计所需的地下水位降深标高。

3 水位量测应采用同一方法与仪器，读数单位对抽水孔为cm，观测孔为mm。

4 当涌水量与时间关系曲线和动水位与时间关系曲线在一定范围内波动，而没有持续上升或下降时，可认为已经稳定。稳定水位的持续时间：卵石、圆砾和粗砂含水层为8h，中砂、细砂和粉砂含水层为16h，基岩含水层宜为24h，稳定标准应以最远的观测孔为准。

5 抽水试验应同时观测水位和水量，抽水结束后应量测恢复水位。

6 抽水试验资料整理应包括下列内容：水位、流量与时间过程曲线，曲线图，水位恢复曲线图，钻孔岩性柱状图和井孔结构图以及参数计算表，编制单孔抽水试验综合成果图。

9.3.10 注水试验可在试坑或钻孔中进行，注水稳定时间宜为4h～6h。注水试验应符合下列规定：

1 注水试验适用于水位埋深较深，不便于抽水的粉土、砂土含水层。

2 注水试验应根据地层特点选择常水头法和变水头法注水。

3 试验孔应根据试验要求选择合适的止水措施和过滤设备。

4 注水稳定时间宜为4h～6h。

5 成果资料整理应包括以下内容：绘制曲线；绘制试验钻孔岩性柱状图和井孔结构图；计算试验段渗透系数。

9.3.11 压水试验应根据工程要求，结合工程地质测绘和钻探资料确定试验孔位，并按岩层的渗透特性划分试验段。

## 9.4 地下水的作用

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

9.4.2 地下水力学作用的评价应包括下列内容：

**1** 对地下结构物和挡土墙应考虑在最不利组合情况下，地下水对结构物的上浮作用，提供抗浮设防水位；对节理不发育的岩石和黏土可根据地方经验或实测数据确定。有渗流时，地下水的水头和作用宜通过渗流计算进行分析评价。

**2** 验算边坡稳定时，应考虑地下水对边坡稳定的不利影响。

3 在地下水位下降的影响范围内，应分析地面沉降及其对工程和周边环境的影响。

**4** 在有水头差的粉细砂、粉土地层中，应分析潜蚀、流土、管涌和突涌的可能性。

**5** 在断裂、地裂缝及地表水体发育区段，应考虑其产生突涌、突泥及塌方冒顶的可能性。

**6** 轨道交通岩土工程勘察应提供抗浮设防水位。

9.4.3 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，应评价地下水对建筑材料的腐蚀性。

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

9.4.4 地下水、土对建筑材料的腐蚀性评价应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的相关规定。

## 9.5 地下水的控制

9.5.1 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，评价地下水对地下工程、周边环境和工程施工的影响，建议适宜的地下水控制方法。

9.5.2 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下列岩土工程问题：

**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** 需要减压降水时，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。

9.5.3 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。

9.5.4 采用引渗方法时，应评价上层水的下渗效果及对下层水环境的影响。

9.5.5 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，避免产生水质型水资源损失。

# 10 不良地质作用

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 拟建工程场地或其附近场地存在对工程安全有影响的不良地质作用时，应进行不良地质勘察工作。

**10.1.2** 云南省常见不良地质作用包括滑坡、危岩和崩塌、泥石流、岩溶、活动断裂、有害气体和地震效应等，勘察应符合本章规定。对工程有影响的其他不良地质作用应按照国家现行有关规范、规程进行勘察。

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

**10.1.4** 勘察前应搜集和分析气象、水文、植被、区域地质、地震、矿产、人类工程活动、当地的工程地质、岩土工程和建筑经验等资料。

**10.1.5** 在搜集和分析已有资料的基础上，通过踏勘了解场地的地层、构造、岩性、不良地质作用和地下水等工程地质条件，根据不良地质作用的特征、成因类型、规模、分布范围等，采用遥感解译、工程地质调查与测绘、工程勘探、工程物探、野外与室内试验、现场监测相结合的综合勘察手段，确定具体工作内容、勘察方法，有针对性地开展工作。

## 10.2 滑坡

**10.2.1** 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的滑坡或有滑坡可能时，应进行滑坡勘察。

**10.2.2** 滑坡勘察应进行工程地质测绘和调查，调查和测绘的范围应包括后缘壁至前缘剪出口及两侧缘壁之间的整个滑坡，并外延到滑坡可能影响的范围，滑坡勘察应选用合适的比例尺。

**10.2.3** 滑坡区的工程地质测绘，除符合本规程第12章规定外，尚应调查下列内容：

1 滑坡的形态要素和演化过程，圈定滑坡周界。

2 滑坡区地面及其附着物变形特征。

3 滑坡所处地貌部位、斜坡形态、地面坡度、高程。

4 岩土接触界线、软硬岩的组合与分布、软弱夹层、风化层及松散层的分布及其特征。

5 地表水、地下水、泉和湿地的分布情况。

6 结构面产状、形态、规模及与临空面和结构面间相互组合关系。

7 树木的异态、工程设施的变形等。

8 滑坡灾害影响范围，承灾体类型、数量及危险性。

9 既有防治工程的结构、现状、功效以及当地治理滑坡的经验。

**10.2.4** 勘探线和勘探点的布置应根据滑坡区工程地质条件复杂程度、滑坡规模及滑坡形态确定，并符合下列规定：

1 控制性纵向主勘探线应沿主滑方向布置，长度应超过滑坡影响范围；横向主勘探线宜布置在滑坡中部至前缘剪出口之间，且重点布置在防治工程实施部位。

2 滑坡的主滑方向两侧或滑坡体外应根据滑坡的规模和特征布置辅助勘探线。

3 勘探点应布设在重点勘查和设计的治理工程部位，并限制在勘探线范围内。

4 控制性勘探线上勘探点间距宜为30m~50m，其数量不宜少于3个，在滑坡体转折处和预计采取工程措施的位置，应布置勘探点，辅助勘探线上勘探点间距可视地质条件适当放宽。

5 勘探孔的深度应穿过最下一层滑面，进入稳定地层，拟布设抗滑桩或锚索部位的钻孔，进入滑床的深度宜大于滑体厚度的1/2，并不小于5.0m，满足滑坡治理工程的需要。

**10.2.5** 滑带、滑体、滑床岩（土）试样物理、水理及力学指标试验除应符合本规程第15章规定外，尚应符合下列要求：

1 滑带土中粗颗粒含量较高时，其抗剪强度指标宜以原位大面积直剪试验测试值为主，并参考室内试验值确定。

2 土的抗剪强度试验方法宜采用与滑动受力条件相似的方法，采用室内、野外滑面重合剪，滑带宜作重塑土或原状土多次剪，并求出多次剪和残余剪的抗剪强度。

3 滑带土抗剪强度，应根据试验成果，结合滑坡所处变形滑动阶段及含水状态，通过反演分析方法检算和相似工程类比，综合确定。

10.2.6 滑坡勘察尚应符合下列规定：

1 勘探方法除钻探和触探外，应有一定数量的探井。

2 查明各层滑坡面（滑带）的位置。

3 查明各层地下水的位置、流向和性质。

4 在滑坡体、滑坡面（滑带）和稳定地层中采取岩土试样进行试验。

5 勘探孔终孔孔径不宜小于110mm，钻孔施工宜采用干钻法或双管单动岩芯管，并应全断面采取芯样；采用干法钻进时，在预计滑带及其上下5m范围内，回次进尺不得大于0.3m。滑体、滑床和滑带的岩心采取率应分别大于80%、85%、90%。

6 验收后不需保留的钻孔、探井、探槽，应及时进行封填。

10.2.7 滑坡的稳定性计算应符合下列规定：

1 选择有代表性的分析剖面，划分牵引段、主滑段和阻滑段。

2 根据滑面（滑带）条件，按平面、圆弧或折线，选用计算模型。

3 强度指标的选用宜根据滑坡稳定状态、测试方法、测试成果、反演分析和当地经验综合确定。

4 有地下水作用时，应计入浮托力和水压力。

5 地震基本列度为7度及7度以上地区，应计入地震力。

6 当有局部滑动时，除验算整体稳定外，尚应验算局部滑动。

7 当有多层滑面时，每层滑面的稳定性，均应计算。

8 当有河流冲刷、建筑物附加荷载、机械振动动荷载等因素影响时，应考虑这些因素对稳定的影响。

10.2.8 滑坡岩土工程评价应根据滑坡的规模、主导因素、滑坡前兆、滑坡区的工程地质、水文地质条件，以及稳定性验算结果进行，并应分析发展趋势和危害程度，提出治理方案的建议。

10.2.9 滑坡勘察报告除应符合本规程第16章的规定外，尚应包括如下内容：

1 滑坡的地质背景和形成条件。

2 滑坡的变形特征、形态要素、性质和演化。

3 滑坡稳定性分析。

4 滑坡防治方案和监测建议。

5 提供滑坡的工程地质平面图、剖面图、稳定性计算图和岩土工程特性指标。

## 10.3 危岩和崩塌

**10.3.1** 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的危岩和崩塌时，应进行危岩和崩塌勘察。

**10.3.2** 危岩和崩塌勘察宜在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明产生崩塌的条件及其规模、类型、范围，并对工程建设适宜性进行评价，提出防治方案的建议。

10.3.3 危岩和崩塌工程地质调查和测绘除符合本规范第12章规定外，尚应调查下列内容：

1 地形地貌、崩塌类型、规模、范围、崩塌体的大小和崩落方向。

2 岩体的基本质量等级、岩性特征和风化程度。

3 地质构造，岩体的结构类型，结构面性质、产状、发育、充填、延展、贯穿特征，结构面或软弱层与斜坡临空面组合关系等。

4 陡崖卸荷带范围、几何特征、力学性质，裂隙充填、胶结情况，基座地层岩性、风化剥蚀特征、岩腔与洞穴发育情况、变形特征等。

5 危岩位置、形态、规模、数量、分布高程、岩块直径、滚落方向，危岩周边裂隙发育特征，危岩变形历史。

6 崩塌堆积体的形成时间、崩塌源位置、崩塌堆积体分布范围、坡度、形态、规模、物质组成、堆积物块度、架空、分选情况、植被生长情况，堆积体内地下水分布、运移特征、堆积体变形特征等。

7 土质崩塌区应调查土体组成、结构、垂直节理、洞穴发育特征、坡体稳定坡角等。

8 降雨、地表水、地下水、人类活动情况。

9 崩塌影响内的人口、建筑、交通、水利设施等情况。

10 当地防治崩塌的经验。

10.3.4 危岩和崩塌勘探应满足确定危岩形态，评价危岩、陡崖及崩塌堆积体稳定性，布设治理工程的要求。

10.3.5 崩塌勘探线和勘探点的布置应根据工程地质条件及崩塌形态确定，并符合下列规定：

1 控制性勘探线应沿主崩落方向布置，长度应超过崩塌影响范围，勘探点数量不少于3个，勘探点间距不宜大于40m。

2 大型以上危岩和有重要保护对象的中小型危岩，均应布置控制性勘探线；其他危岩布置一般勘探线。

3 勘探点宜布置在危岩后缘、临空面及软弱基座等关键部位。

4 勘探深度应穿过危岩体、崩塌堆积体，穿过最下层崩滑面（带），进入稳定岩土体不少于3.0m，且满足治理工程的要求。

10.3.6 崩塌评价应包括稳定性评价和崩塌影响范围分析，稳定性评价的对象应包括陡崖、危岩和既有崩塌堆积体，并符合下列规定：

1 陡崖稳定性可根据陡崖形态、结构面组合、岩体结构特征、变形特征等，进行工程地质类比和赤平投影分析定性评价。

2 危岩和崩塌堆积体应同时进行定性评价和定量评价，结合定性分析和稳定性计算结果综合判定稳定性。

3 危岩稳定性计算可结合破坏模式，正确选择计算模型，参照《崩塌防治工程勘查规范》T/CAGHP011进行计算。当危岩破坏模式难以确定时，对危岩的各种可能破坏模式均应进行稳定性计算。

4 崩塌堆积体稳定性评价可根据《滑坡防治工程勘查规范》GB/T32864进行。评价时，应考虑上方崩塌冲击或加载的作用，分析在暴雨等条件下向泥石流转化的条件和可能性。

5 崩塌影响范围可采用历史调查法和崩塌运动学分析法计算确定。最大弹跳高度、最大滚动距离和最大冲击力可参照《崩塌防治工程勘查规范》T/CAGHP011进行计算。

10.3.7 危岩和崩塌的岩土工程评价，应根据危岩和崩塌分布范围、规模、形成条件、成因机理、破坏模式、滚落方向、影响范围以及稳定性验算结果进行，分析发展趋势和危害程度，划定危岩崩塌可能造成的灾害范围，并提出治理方案的建议。

10.3.8 危岩和崩塌勘察报告除应符合本规程第16章的规定外，尚应包括如下内容：

1 危岩和崩塌的地质背景和形成条件。

2 危岩和崩塌堆积体的形态特征及边界条件，变形及破坏特征。

3 危岩和崩塌体稳定性分析，发展趋势、影响范围和危险性分析。

4 危岩和崩塌作为工程场地的适宜性，提出防治方案和监测的建议。

5 提供崩塌的工程地质平面图、剖面图、稳定性计算图、危岩立面图、危岩陡崖区裂隙统计图和岩土工程特。

## 10.4 岩溶

10.4.1 地表或地下分布可溶性岩层并存在各种岩溶现象，以及可溶岩地区的上覆土层曾发生过地面塌陷或有土洞，存在对工程安全有影响的岩溶时，应进行岩溶勘察。

10.4.2 根据岩溶埋藏条件可分为裸露型岩溶、覆盖型岩溶和埋藏型岩溶三类；根据岩溶发育程度可分为强发育、中等发育、微发育三个等级。

10.4.3 岩溶场地的工程地质调查和测绘，除符合本规程第 12 章规定外，尚应调查下列内容：

1 岩溶洞隙的分布、形态和发育规律。

2 岩面起伏、地表岩溶形态特征。

3 覆盖层土性、物质组成、厚度。

4 覆盖土体结构特征、裂隙的密度、深度、延展方向及发育规律，地裂分布、发育特征及成因。

5 地下水赋存条件、水位变化和运动规律。

6 岩溶发育与地貌、地质构造、地层岩性、地下水的关系。

7 土洞和塌陷的分布、形态和发育规律。

8 土洞和塌陷的成因及其发展趋势。

9 地表附着物开裂、变形情况

10 当地治理岩溶、土洞和塌陷的经验。

10.4.4 岩溶勘察除符合本规程第5、6、7章规定外，尚应查明下列内容：

1 地表岩溶形态特征、地貌类型。

2 地下岩溶发育特征，岩溶洞穴、暗河的空间位置、形态、连通、充填情况。

3 土洞和塌陷的分布、形态和发育规律；

4 可溶岩与非可溶岩的分布特征、组合、接触关系；

5 覆盖层成因、性质、厚度、结构特征；

6 岩溶发育规律、发育程度与地层岩性、地质构造的关系；

7 岩溶地下水分布特征，补给、径流、排泄条件，各含水层间的水力联系，岩溶泉性质、出露位置、涌水量及变化情况，岩溶水与地表水相互转换关系；

8 岩溶发育程度，岩溶水富集区。

10.4.5 岩溶强发育、中等发育的场地，应结合基础型式、布局进行施工勘察。

**10.4.6** 岩溶勘探工作应符合下列规定：

1 岩溶地区勘探应采用综合物探、钻探、孔间层析成像及钻孔电视等综合勘探方法。浅层溶洞和覆盖层土层厚度可用挖探查明或验证，土溶可用轻便型、密集型勘探查明或验证。

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

3 勘探线应沿建筑物轴线布置，勘察点的间距除符合第7章的规定外，岩溶发育地段还应加密，并且每个独立基础均应有勘探点控制。测绘和物探发现的异常地段，应选择有代表性的部位布置验证性钻孔。

4 钻孔深度进入结构底板或桩端平面以下不应小于10m，揭露溶洞时应根据工程需要适当加深。

5 岩溶发育且形态复杂时，施工阶段应结合工程开挖和处理措施，采用探灌结合的方法进一步查明岩溶发育形态。

10.4.7 岩溶发育地区的下列部位宜查明土洞和土洞群的位置：

1 土层较薄、土中裂隙及其下岩体洞隙发育部位。

2 岩面张开裂隙发育，石芽或外露的岩体与土体交接部位。

3 两组构造裂隙交汇处和宽大裂隙带。

4 隐伏溶沟、溶槽、漏斗等，其上有软弱土分布的负岩面地段。

5 地下水强烈活动于岩土交界面的地段和大幅度人工降水地段。

6 低洼地段和地表水体近旁。

10.4.8 岩溶勘察的测试和观测，除符合本规程第14、15章规定外，尚应包括下列内容：

1 地表水、地下水的分析除进行一般项目外，尚应增加游离CO2和侵蚀性CO2含量分析，必要时进行放射性同位素分析。

2 覆盖层、充填物土样的试验均应进行物理力学性质、膨胀性、渗透性试验，必要时进行矿物与化学成分分析、湿化及可溶性试验。

3 岩样试验应进行物理力学性质试验，必要时进行镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验，泥灰岩应增加软化系数试验。

4 与线路有关的暗河、大型溶洞、岩溶泉等，以及需要追索隐伏洞隙的联系时，可采用连通试验查明其分布规律及主发育方向。

5 评价洞隙的稳定性，必要时可进行现场顶板岩体的载荷试验。

6 水文地质复杂的岩溶地段，应进行水文地质试验或地下水动态监测，对于重点工程区段，必要时应进行不少于一个水文年的地下水动态观测。

10.4.9 岩溶的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 应阐明岩溶的空间分布、岩溶形态、发育程度、发育规律、对各类工程的影响。

2 估算基坑、隧道涌水量，分析岩溶突水、突泥的可能性和危险性，预测地下水位下降对地下水、地表水、周边环境的影响。

3 根据岩溶发育程度、岩土层结构、地下水情况，预测岩溶地面塌陷的可能性和危险性。

4 评价隐伏溶洞的稳定性。

5 溶蚀继续作用的不利影响，变化发展趋势。

10.4.10 岩溶场地的勘察报告除应符合本规程第16章的规定外，尚应包括如下内容：

1 岩溶发育的地质背景和形成条件。

2 洞隙、土洞、塌陷的形态、平面位置、顶底标高、顶板厚度、岩土特征和洞隙充填情况。

3 岩溶稳定性分析。

4 岩溶治理和监测的建议。

## 10.5 泥石流

10.5.1 拟建场地或附近有发生泥石流的条件并对工程安全有影响时，应进行泥石流勘察。

10.5.2 泥石流勘察应在可行性研究或初步勘察阶段进行，应查明泥石流的形成条件和泥石流的类型、规模、发育阶段、活动规律，并对工程场地做出适宜性评价，提出防治方案的建议。

10.5.3 泥石流勘察应以工程地质调查和测绘为主。测绘范围应包括沟谷至分水岭的全部地段和可能受泥石流影响的地段。

10.5.4 泥石流工程地质调查和测绘除符合本规范第12章规定外，尚应符合下列要求：

1 资料收集：在现场调查之前，应收集调查区的气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、地震活动、泥石流活动的历史记录、前人调查研究成果、已有勘查资料、泥石流防治工程及与泥石流有关的人类工程活动等资料，作为调查工作的基础。

2 调查方法：宜采用遥感图像地质解译与野外地质调绘相结合的方法进行。

3 地质环境条件调查：应调查与泥石流有关的地形地貌、地层岩性、地质构造、新构造运动与地震活动、土壤、植被等流域地质背景条件，以及开矿弃渣、工程切坡、砍伐森林、陡坡开荒和过度放牧等人类活动情况；。

4 物源调查：对全流域物源进行调查和测绘，特别是不良地质体与坡面、沟道、人类工程活动弃渣等松散固体物源的位置、储量、稳定性和补给方式；

5 沟道条件的调查，应包括沟谷形态、沟道冲淤情况、堆积扇特征方面的调查：

1）沟谷的发育程度、切割情况，岸坡坡度、稳定程度、沟谷弯曲、粗糙程度等，重点调查测绘沟道的纵坡、卡口、跌水、弯道、集中揭底和主支沟交汇等微地貌特征及其对泥石流运动的影响；

2）泥石流历史淹没区范围、沟道冲淤特征、泥石流痕迹、桥涵过流断面、与主河交切汇入情况、主河输砂能力等；

3）堆积区的堆积扇分布范围、表面形态、纵坡、植被、沟道变迁和冲淤情况；新老堆积扇的堆积叠置特征，堆积物的性质、层次、厚度、一般粒径和最大粒径；堆积区的形成历史、堆积速度，一次最大堆积量等。

6 水源条件的调查，应包括大气降水、地表水、地下水三方面的调查：

1）大气降水：调查水源类型、水量、汇水情况，收集流域及临近的雨量站建站以来的雨量观测资料，尤其是发生泥石流期间的降雨资料、1h、6h的降雨和历史最大降雨资料；

2）地表水：流域内的溪沟、水库、山坪塘、堰塞湖、冰湖、冰川以及引水、调水工程等水体的分布、蓄水量、流量及动态变化，高海拔沟域尚应调查雪线以上和雪线以下降水类型及流量转化关系；

3）地下水：调查流域内地下水溢出带、大泉、暗河分布情况、流量、动态变化特征，对岩溶发育的沟道及松散堆积层厚度较大的堆积区，尚应调查洪水、泥石流水体沿沟向地下渗漏情况，包括渗漏地段、渗漏量、渗透系数等。

7 泥石流活动调查，包括沟谷历史、沟道痕迹、堆积物特征方面的调查：

1）泥石流沟谷的历史、历次泥石流的发生时间、频数、规模、形成过程、爆发前的降雨情况、过流特征、一次冲出量、冲刷及淤积区、危险区范围；

2）物源区泥石流物源启动部位、方式、规模；流通区泥石流堵溃点（段）、堵塞方式；堆积区冲刷淤积及河流堵塞情况；支沟汇入主沟、主沟汇入主河、弯道、典型主沟段两岸泥痕、液面高度，沟道纵坡、曲率半径等；

3）主沟、支沟沟道堆积物特征，大颗粒物的分布、来源、块度、比例等特征，堆积扇大小、堆积扇与主河的关系、扇面冲淤变化、扇区堆积物特征等。

8 泥石流灾情、险情和既有防治工程的调查：

1）调查统计历次泥石流造成的人员伤亡、财产损失情况，泥石流淹没、淤积范围，危险区范围；

2）已有工程类型、结构、尺寸、分布位置、建设单位、建设时间，防灾减灾效果，受损情况、原因及可利用性。

9 治理工程区条件调查：包括地形地貌、地形坡度、沟床特征、沟道冲积和淤积特征、岩土条件、地表水、地下水分布等方面的调查。

10.5.5 当需要对泥石流采取防治措施时，应进行勘探测试，进一步查明泥石流堆积物的性质、结构、厚度、固体物质含量、最大粒径、冲出量和淤积量，拟设治理工程区的工程地质条件，提供泥石流治理工程相关的泥石流运动特征参数和拟建工程区地基岩土参数。

10.5.6 泥石流的类型应根据泥石流的流域形态、固体物质成分、规模、流体性质及爆发频率进行分类，类型划分标准可按照现行《泥石流灾害防治工程勘查规范》DZ/T0220相关规定。泥石流的工程分类，遵照本规程附录E的规定。

10.5.7 泥石流地区工程建设适宜性的评价，应符合下列要求：

1 Ⅰ1与Ⅱ1类泥石流沟谷不应作为工程场地。

2 Ⅰ2与Ⅱ2类泥石流沟谷不宜作为工程场地，当必须利用时应采取治理措施。

3 Ⅰ3与Ⅱ3类泥石流沟谷可利用其堆积区作为工程场地，但应避开沟口。

4 当上游大量弃渣或进行工程建设，改变了原有供排平衡条件时，应重新判定产生新的泥石流的可能性和危害性。

10.5.8 泥石流的岩土工程分析和评价应包括如下内容：

1 泥石流基本特征分析。

2 泥石流特征值计算。

3 泥石流活动性和危险性分析。

4 泥石流物源堵沟及溃决风险分析。

5 泥石流发展趋势预测。

6泥石流防治可行性分析和治理思路、防治工作方向。

10.5.9 泥石流场地的勘察报告除应符合本规程第16章的规定外，尚应包括如下内容：

1 泥石流发育的地质背景和形成条件。

2 形成区、流通区、堆积区的分布和特征，绘制专门的工程地质图件。

3 划分泥石流类型，评价其对工程建设的适宜性。

4 泥石流治理和监测、预警建议。

5 拟设治理工程区工程地质条件分析，提供与泥石流治理工程的相关岩土参数和泥石流特征参数。

## 10.6 活动断裂

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

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

**10.6.3** 活动断裂的勘察应在搜集和分析有关文献档案资料（包括卫星航空相片，区域构造地质，强震震中分布，地应力和地形变，历史和近期地震等）基础上，通过工程地质测绘和调查的方法，查明活动断裂经过地区的地形地貌、地质和地震特征。

**10.6.4** 对并行活动断裂的轨道交通，应预测活动断裂活动时发生地震造成的滑坡、崩塌、液化震陷等对轨道工程造成的影响。

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

## 10.7 有害气体

**10.7.1** 在轨道交通地下工程通过厚层湖沼积富含有机质的软土地区、工业垃圾和生活垃圾，以及煤、天然气层，曾发现过有害气体的地区，应开展有害气体勘察工作。

**10.7.2** 有害气体的勘察工作应查明下列内容：

**1** 地层成因、沉积环境、岩性特征、结构、构造、分布规律、厚度变化。

**2** 含气地层的物理化学特征、具体位置、层数、厚度、产状及纵横方向的变化特征、圈闭构造。

**3** 有害气体生成、储藏和保存条件，确定有害气体运移、排放、液气相转换和储存的压力、温度及地质因素。

4 地下水水位与变化幅度、补给、径流、排泄条件，含水层分布位置、孔隙率与渗透性，地下水与有害气体的共存关系。

**5** 有害气体的分布、范围、规模、类型、物理化学特性。

**6** 当地有关有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

**10.7.3** 有害气体的勘探应符合下列要求：

1 应采用钻探、物探和现场测试等综合勘探手段。勘探点应结合地层复杂程度、含气构造和工程类型确定，勘探线宜按线路纵、横断面方向布置，并应有部分勘探点通过生气层、储气层部位。勘探点的数量应根据实际情况确定。

2 勘探点深度宜结合生气层、储气层深度确定。

3 各生气层、储气层应取样不少于2组，隔气顶、底板各不少于1组。

**10.7.4** 有害气体的测试应包括下列内容：

1 有害气体的类型、含量、浓度、压力、温度及物理化学性质。

2 生气层、储气层的密度、含水量、液限、塑限、有机质含量、孔隙率、饱和度、渗透系数。煤层的密度、孔隙率、水分、挥发分、全硫、坚固性系数、瓦斯放散初速度、等温吸附常数、自燃倾向性、煤尘爆炸性。

3 封闭有害气体的顶、底板的物理力学性质。

4 水的腐蚀性。

**10.7.5** 有害气体的分析与评价应包括下列内容：

1 地下工程通过段的工程地质与水文地质条件，有害气体生气层、储气层的埋深、长度、厚度、与线路交角、分布趋势、物理化学性质及封闭圈特征。

2 地下工程通过段的有害气体类型、含量、浓度、压力，预测施工时有害气体突出危害性、突出位置、突出量，评价有害气体对施工与运营的影响，提出工程措施的建议。

3编制详细工程地质图、工程地质纵、横断面图，应填汇有害气体的类型、分布范围及生气层、储气层的具体位置、有关测试参数等。

## 10.8 场地和地基的地震效应

**10.8.1** 在抗震设防烈度等于或大于6度地区的轨道工程勘察，应进行场地和地基地震效应评价，并应根据国家批准的地震动参数区划和有关的规范，提出勘察场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度、设计地震分组和设计特征周期分区。

**10.8.2** 在抗震设防烈度等于或大于6度的地区进行勘察时，应确定场地类别。当场地位于抗震危险地段时，应根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011和《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909的要求，提出专门研究和采取适当安全措施的建议。

**10.8.3** 为划分场地类别布置的勘探孔，当缺乏资料时，其深度应大于覆盖层厚度，并分层测定剪切波速。标准设防类构筑物，当无实测剪切波速时，可按现行国家规范《建筑抗震设计规范》GB50011和《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909的规定，按土的名称和性状估计土的剪切波速。

**10.8.4** 当抗震设防烈度大于或等于7度时，场地地震液化判别经初步判别认为有液化可能时，应再作进一步判别。液化的判别应符合现行国家规范《建筑抗震设计规范》GB50011和《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909的规定，判定场地液化等级并评价其危害性，同时尚应包括下列内容：

1 分析场地地形、地貌、地层、地下水等与液化有关的场地条件。

2 当场地及其附近存在的历史地震液化遗迹时，应分析液化重复发生的可能性。

3 倾斜场地或液化倾向水面或临空面时，应评价液化作用引起土体滑移的可能性。

**10.8.5** 抗震设防烈度等于或大于7度的厚层软土分布区，宜判别软土震陷的可能性，并评价对轨道交通工程的危害。

**10.8.6** 场地或场地附近有滑坡、崩塌、泥石流、采空区等不良地质作用及高陡边坡时，应分析评价其在地震作用时的稳定性。

# 11 特殊性岩土

## 11.1 一般规定

11.1.1 轨道交通工程建设中常见的特殊性岩土主要有填土、软土、膨胀岩土、红黏土、混合土、污染土、风化岩和残积土，若工作中遇到多年冻土、盐渍岩土和湿陷性土等特殊性岩土，应按国家现行有关规范、规程进行岩土工程勘察。

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

11.1.3 在分布特殊性岩土的场地勘察，勘探点的种类、数量、间距和深度等，应能查明特殊性岩土的分布特征，其原位测试和室内试验的项目、方法和数量等，应能查明特殊性岩土的工程特性。

11.1.4 特殊性岩土的勘探与测试方法、工艺和操作要点等，应确保能充分反映特殊性岩土的工程特性。

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

## 11.2 填土

11.2.1 填土是指由人类活动而堆积的土。根据其物质组成和堆填方式可把填土分为素填土、杂填土、冲填土和压实填土。填土的分类可根据本规范附录F表F.1的特征划分。

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、物质成分、堆填方式。

2 不同物质成分填土的分布、厚度、深度、均匀程度及相互接触关系。

3 不同物质成分填土的堆填时间与加载、卸荷经历。

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

5 地下水的赋存状态、补给、径流、排泄方式及腐蚀性等。

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分填土的分布、厚度、工程性质及其变化。

2 勘探孔的深度应能应能穿透填土层，并应满足工程设计及地基加固施工的需要。

3 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成分的素填土和杂填土，宜采用动力触探、钻探，在具备施工条件时，可适当布置一定数量的探井。对原地取土回填的素填土，宜选取部分勘探点进行全孔动力触探，查明填土分布情况。

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取触探法，并辅以室内试验。

2 填土的压缩性和湿陷性宜采用室内固结试验或现场载荷试验。

3 杂填土的密度试验宜采用大容积法。

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

5 填土的承载力可采用原位测试方法结合当地经验确定，必要时应做载荷试验。

11.2.5 填土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 阐明填土的成分、分布、厚度与岩土工程性质及其变化。

2 对填土的承载力、抗剪强度、基床系数和天然密度等提出建议值。

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

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

5 提出填土开挖时应进行验槽，必要时应补充勘探及测试工作的要求和建议。

## 11.3 软土

11.3.1 天然孔隙比大于或等于1.0，且天然含水量大于液限的细粒土应定名为软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

11.3.2 软土勘察应包括下列内容：

1 软土的成因类型、形成年代、岩性、分布规律、厚度变化、地层结构及均匀性。

2 软土分布区的地形、地貌特征，尤其是沿线微地貌与软土分布的关系，以及古牛轭湖、埋藏谷，暗埋的塘、浜、坑、穴、沟、渠等分布范围及形态。

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

4 软土的沉积环境、固结程度、强度、压缩特性、灵敏度、有机质含量等。

5 地下水类型、埋藏深度与变化幅度、补给与排泄条件，软土中各含水层的分布、颗粒成分、渗透系数；地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等。

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

11.3.3 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轨道交通的工程类型、施工方法、基础形式及软土的地层结构、成因类型、成层条件和岩土工程治理的需要确定；勘探点的密度应满足相应勘察阶段岩土工程评价、工程设计的需要，一般宜为30m～50m。当需要查明重要的局部变化时，可加密勘探点。

3 勘探孔的深度应满足设计要求，一般应穿透软土层，进入硬层或下伏基岩内3m～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，在每一工程地质单元中每层的试样数量不应少于10组。

11.3.4 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，应分别按照垂直和水平方向进行试验并提供渗透系数和固结系数。

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。

11.3.5 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，计算土的超固结比和判定土的历史固结程度。

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

3 软土地基主要受力层中有薄的砂层或软土与砂土互层时，应根据其固结排水条件，判定其对地基变形的影响。

4 应根据软土的成层、分布及物理力学性质对影响或危及轨道交通工程安全的不均匀沉降、滑动、变形作出评价，提出加固处理措施的建议。

5 判定地下水位的变化幅度和承压水头等水文地质条件对软土地基和隧道围岩稳定性和变形的影响。

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

7 评价软土特别是泥炭、泥炭质土对基坑开挖及水泥土加固设计施工的影响。

8 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它原位测试成果，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。

9 桩基评价应考虑软土继续固结所产生的负摩阻力。当桩基邻近有堆载时，还应分析桩的侧向位移或倾斜。

10 抗震设防烈度大于或等于7度的地区，厚层软土应判别软土震陷的可能性。

11 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、变形及施工安全的影响。

12 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 膨胀岩土

11.4.1 膨胀岩土是指含有大量亲水性矿物，并且湿度变化时有相应的体积变化，变形受约束时会产生较大内应力的岩土。本节适用于云南省膨胀土地区建筑工程的勘察工作，膨胀土的初判、详判、膨胀潜势及膨胀土分类，应符合现行《云南省膨胀土地区建筑技术规程》DBJ 53/T-83的规定。

11.4.2 膨胀土勘察应着重查明下列内容：

1 场区自然地形坡度和微地形、地貌形态，划分地貌单元。

2 膨胀土层的类型、地质时代、成因类型、分布规律及工程特性，确定膨胀潜势及地基胀缩等级。

3 场区滑坡、地裂、岩溶等不良地质作用的发育情况、分布位置及规模。

4 地表水集聚、排泄情况；地下水的类型、埋深、地下水位季节性变化幅度。

5 当地建筑经验和建筑使用状况。

11.4.3 膨胀土地区岩土工程勘察手段和要求：

1 宜采用工程地质测绘和调查、工程钻探、原位测试、室内试验等手段进行勘察

2 初步勘察阶段，勘探点间距宜取30m～50m，在基岩埋深小于当地大气影响深度且层面起伏较大的地段、滑坡地段应适当加密勘探点；详细勘察阶段，宜沿建筑角点、周边线及高低层交接处布置，间距不应大于20m。

3 勘探点深度自场地整平标高起算，初步勘察阶段，勘探深度应大于大气影响深度，且不应小于5m，在预定深度内遇中风化基岩时可终止勘探；详细勘察阶段，勘探深度应超过大气影响深度，并满足场地地震效应评价、建筑物基础埋深和沉降变形计算的要求。

4 详勘阶段采取原状土试样的勘探点不应少于总数的1/2；对地基基础设计等级为甲级的建筑物，取土勘探点数量应适当增加，且单幢建筑不得少于3个；对同一地貌单元内的密集建筑群，当膨胀土分布较均匀时，取土孔数量可适当减少。

5 采取原状土试样应从场地整平地面标高以下1m开始，在大气影响深度范围内，每米取样1件，土层有明显变化处，宜加取土试样；大气影响深度以下，取样间距可为1.5m～2.0m。

11.4.4 室内土工试验项目除基本物理力学性质试验外，还应包括：自由膨胀率、50kPa压力下的膨胀率、收缩系数和膨胀力。需作胀缩变形计算的建筑，当需要时还应进行不同压力下的膨胀率试验，最大试验压力应大于土的有效自重压力与附加压力之和，并应提供-曲线图。

11.4.5 膨胀土场地类型分为不利场地和一般场地，并应符合下列规定：

1 具有下列条件之一者为不利场地：

1）地形坡度大于等于5°的坡地或同一建筑物范围内局部地形高差大于1m的场地；距冲沟、坡肩10m以内的坡顶地段；

2）严重地裂通过地段、古滑坡地段、浅埋岩溶地段和不稳定边坡地段；

3）膨胀土层分布厚度不均匀或同一建筑跨越两个地基胀缩等级的地段；

4）基岩埋深小于当地大气影响深度且岩面倾斜，顶板上有上层滞水或软塑状态土层分布的地段；

5）常年地下水位变化较大的地段和按11.4.6条判定桉树及银桦树对建筑物有影响的地段。

2 凡不属上述条件的场地均为一般场地。

**11.4.6** 桉树及银桦树对膨胀土地基变形影响可能造成的工程危害，可根据现场调查判断。也可按下式（式11.4.6-1、式 11.4.6-2）计算预测：

 （式11.4.6-1）

 （式 11.4.6-2）

式中：—土的天然孔隙比；

—地基土在自然条件下，达到收缩下限时的孔隙比；

—距地表1m处地基土可能达到的最大收缩率(%)。当≥10%时，应考虑蒸腾量较大的速生植物对其影响半径内（约为成年树高的1.4倍）可能造成的工程危害；

Ψw、—土的湿渡系数和塑限含水量（%）。

11.4.7 膨胀土湿度系数及大气影响深度、大气影响急剧层深度应根据《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112有关规定测定。当无资料时，可按表11.4.7选用。

**表11.4.7 云南主要膨胀土分布区湿度系数和大气影响深度**

| 地区 | 湿度系数 | 大气影响深度da  (m) | 大气影响急剧层深度  ds  (m) | 地区 | 湿度  系数 | 大气影响深度da  m) | 大气影响急剧层深度  Ds  (m) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 昆明 | 0.74 | 4.8 | 2.2 | 马关 | 0.70 | 4.0 | 1.8 |
| 蒙自 | 0.60 | 5.0 | 2.4 | 曲靖 | 0.82 | 3.8 | 1.7 |
| 个旧 | 0.62 | 5.3 | 2.4 | 沾益 | 0.80 | 3.5 | 1.6 |
| 鸡街 | 0.61 | 5.0 | 2.4 | 陆良 | 0.80 | 3.5 | 1.6 |
| 开远 | 0.61 | 5.0 | 2.4 | 临沧 | 0.70 | 4.0 | 1.8 |
| 建水 | 0.70 | 4.0 | 1.8 | 保山 | 0.65 | 4.5 | 2.1 |
| 弥勒 | 0.65 | 4.5 | 2.1 | 宾川 | 0.65 | 4.5 | 2.1 |
| 文山 | 0.70 | 4.0 | 1.8 | 楚雄 | 0.70 | 4.0 | 1.8 |
| 砚山 | 0.70 | 4.0 | 1.8 | 华宁 | 0.80 | 3.5 | 1.6 |
| 富宁 | 0.80 | 3.5 | 1.6 | 元江 | 0.65 | 4.5 | 2.1 |
| 广南 | 0.80 | 3.5 | 1.6 | 昭通 | 0.81 | 3.6 | 1.7 |
| 丘北 | 0.80 | 3.5 | 1.6 |  |  |  |  |

11.4.8 膨胀土地基的胀缩等级可根据膨胀土湿度系数和地基分级变形量（）按表11.4.8确定。其中地基分级变形量应根据膨胀土地基的变形特征确定，可按《云南省膨胀土地区建筑技术规程》DBJ 53/T-83进行计算，计算基准标高为场区整平标高，膨胀率采用50kPa压力下的膨胀率。

**表11.4.8 云南膨胀土地基的胀缩等级**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 胀缩等级  地基分级变形量  （mm）  湿度系数 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| 0.85<≤0.90 | 15≤﹤80 | 80≤﹤130 | ≥130 |
| 0.75<≤0.85 | 15≤﹤60 | 60≤﹤110 | ≥110 |
| 0.65<≤0.75 | 15≤﹤40 | 40≤﹤90 | ≥90 |
| ≤0.65 | 15≤﹤35 | 35≤﹤70 | ≥70 |

注：当地基分级变形量＜15mm时，可按一般地基设计。

11.4.9 膨胀土地基承载力特征值的确定，应符合下列要求：

1 荷载较大的重要建筑物，当采用膨胀土作为天然地基持力层时，地基承载力特征值宜采用现场浸水载荷试验确定。

2 荷载较小的一般建筑物，可采用饱和状态下不固结不排水三轴剪切试验指标计算或根据已有原位测试资料结合地区经验确定。

11.4.10 对边坡及位于边坡上的工程，应进行稳定性评价。评价时应考虑坡体内含水量变化的影响；均质土可采用圆弧滑动法，有软弱夹层及层状膨胀岩土应按最不利的滑动面验算；具有胀缩裂缝和地裂缝的膨胀土边坡，应进行沿裂缝滑动的验算。

## 11.5 红黏土

11.5.1 红黏土分为原生红黏土和次生红黏土。颜色为棕红或褐黄，覆盖于碳酸盐岩系之上，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，且液限大于45%的黏土，可判定为次生红黏土。

11.5.2 岩土工程勘察应着重查明下列内容：

1 不同地貌单元红黏土的成因、状态、结构、分布、厚度、物质组成、胀缩性、地基的均匀性等特征。

2 下伏基岩岩性、岩面起伏、岩溶发育特征及其与红黏土土性、厚度变化的关系。

3 地表裂缝分布、发育特征及其成因，土体中裂隙的密度、深度、延展方向及其发育规律。

4 地表水和地下水的分布、动态及其与红黏土状态垂向分带的关系，地下水的补给、排泄条件、土洞发育情况。

5 现有建筑物开裂原因分析，当地勘察、设计、施工经验等。

11.5.3 红黏土地区岩土工程勘察手段和要求：

1 岩土工程勘察宜采用工程地质测绘、钻探、标准贯入试验、动力触探试验、物探、室内试验等手段。对于石芽、溶沟（槽）或土洞发育的场地，宜布置一定数量小麻花钻、轻便动力触探、钎探（孔）点；对于裂隙较发育的场地，宜布置一定数量的探井。

2 初步勘查阶段，勘探点间距宜取30m～50m；详细勘察阶段，勘探点间距对于均匀地基宜取12m～24m；对不均匀地基宜取6m～12m。对厚度和状态变化大的地段，勘探点间距还可加密。各阶段勘探孔的深度按本规范各勘察阶段的要求执行。

3 对不均匀地基，勘探孔深度应达到基岩。溶沟、溶槽、石芽发育、基岩顶面起伏剧烈的不均匀地基、土洞发育或采用基岩面端承桩时，宜进行施工勘察，其勘探点间距和勘探孔深度根据需要确定。

11.5.4 红黏土的室内试验应满足本规范第15章的有关规定，对裂隙发育的红黏土应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验，必要时，可进行收缩试验和复浸水试验；评价红黏土边坡稳定性时，宜进行天然状态和浸水状态的剪切试验以及重复剪切试验。

11.5.5 红黏土地基的岩土工程评价应包括以下内容:

1 红黏土的状态除按液性指数判定外，尚可按表11.5.5-1判定。

**表11.5.5-1 红黏土的状态分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 状态 | 含水比*αw* |
| 坚硬 | *αw*≤0.55 |
| 硬塑 | 0.55＜*αw*≤0.70 |
| 可塑 | 0.70＜*αw*≤0.85 |
| 软塑 | 0.85＜*αw*≤1.00 |
| 流塑 | *αw*＞1.00 |

注：含水比*αw*=*w*/*w*L，根据统计结果，含水比*αw*与液性指数*I*L的关系如下：*α*w=0.45*I*L+0.55。

2 红黏土的结构特征可根据其裂隙发育特征按表11.5.5-2分类。

**表11.5.5-2 红黏土结构特征**

|  |  |
| --- | --- |
| 土体结构 | 裂隙发育特征 |
| 致密状 | 偶见裂隙（＜1条/m） |
| 巨块状 | 较多裂隙（1～2条/m） |
| 碎块状 | 富裂隙（＞5条/m） |

3 红黏土的复浸水特性可按表11.5.5-3分类。

**表11.5.5-3 红黏土复浸水特性**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | Ir与Ir ’关系 | 复浸水特性 |
| Ⅰ | Ir≥Ir ’ | 收缩后复浸水膨胀，能恢复到原位。 |
| Ⅱ | Ir＜I r’ | 收缩后复浸水膨胀，不能恢复到原位。 |

注：Ir ＝wL/wp，Ir ’＝1.4＋0.0066 wL。

4 红黏土地基的均匀性可按表11.5.5-4分类。

**表11.5.5-4 红黏土的地基均匀性分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 地基均匀性 | 地基压缩层范围内岩土组成 |
| 均匀地基 | 全部由红黏土组成 |
| 不均匀地基 | 由红黏土和岩石组成 |

5 红黏土地基承载力应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》的有关规定确定。当基础浅埋、外侧地面倾斜、有临空面或承受较大水平荷载时，应结合以下因素综合考虑确定红黏土的承载力：

1）土体结构和裂隙对承载力的影响。

2）开挖面长时间暴露，裂隙发展和复浸水对土质的影响。

6 对地裂缝、红黏土胀缩性的影响，基础选型、埋深，以及基坑、基础施工进行分析评价，提出措施建议。

11.5.6 红黏土地区地基基础分析与建议应符合下列要求：

1 建筑物不应跨越地裂缝密集带或深长地裂缝发育地段，否则，必须采取有效措施。

2 轻型建筑物的基础埋深应大于大气影响急剧层深度：高温设备的基础应考虑地基土不均匀收缩变形；开挖明渠应考虑土体干湿循环的影响；在石芽出露的地段，应考虑地表水下渗引起的地面变形；

3 存在软弱下卧层时应进行下卧层承载力的验算；不能满足承载力和变形要求时，应建议进行地基处理或采用桩基础。

## 11.6 混合土

11.6.1混合土是指由细粒土和粗粒土组成且缺乏中间粒径的土。混合土可进一步划分：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。

11.6.2混合土的勘察应符合下列要求：

1 查明地形和地貌特征，混合土的成因、分布，下卧土层或基岩的埋藏条件。

2 查明混合土的组成、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律。

3 对粗粒混合土宜主要采用动力触探试验，并应有一定数量钻孔或探井对比检验。

4 对细粒混合土宜主要采用钻探，并应有一定数量的动力触探试验或探井对比检验。

5 勘探点的间距和勘探孔的深度除应符合本规范第5章、第6章和第7章的要求外，对于变化较大的混合土分布区域尚应适当加密加深。

6 混合土的承载力宜采用现场载荷试验确定。

11.6.3混合土的原位测试和室内试验应符合下列要求：

1 对粗粒混合土由于在钻孔内难以采取原状土样，有条件进行坑探、槽探的应优先选用坑探、槽探，并采取大体积试样进行室内相关项目试验，或采用现场载荷试验、现场压缩试验、现场直剪试验等原位测试方法测定其物理力学参数。

2 现场载荷试验的承压板直径和现场直剪试验的剪切面直径都应大于试验土层最大粒径的5倍，且满足载荷试验的承压板面积不应小于0.5m2，直剪试验的剪切面面积不宜小于0.25m2；

3 对细粒混合土宜主要采用钻探取样进行室内试验，测定其物理力学参数，并应有一定数量的原位测试进行对比检验。

4 粗粒混合土中粒径小于0.075mm的细粒土含量大于25%，细粒土的含量和强度对粗粒混合土的强度影响较大甚至起决定作用，室内试验应准确测定粗粒混合土中细粒土的含量、含水率、塑液限、塑性指数和液性指数等物理性参数。

5 细粒混合土中粒径大于2mm的粗粒土含量大于25%，粗粒土的含量和强度对细粒混合土的强度影响较大，室内试验应准确测定细粒混合土中粗粒土的含量，分析其母岩成分、风化程度等。

6 混合土中粗颗粒对室内试验数据影响较大，室内试验应参照本规范及《土工试验方法标准》GB/T500113中粗颗粒土的试验方法进行。

11.6.4混合土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 混合土的承载力应采用载荷试验、动力触探试验并结合当地经验确定。

2 混合土边坡的容许坡度值可根据现场调查和当地经验确定，必要时应进行专门试验研究。

3 评价混合土对基坑和隧道开挖、桩基施工的影响。

4 应对工程建设改变地质环境，可能对混合土的物理力学性质产生的影响进行分析评价。

## 11.7 污染土

11.7.1 由于至污物质的浸入，使土的成分、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。

11.7.2 轨道交通经过路段，分布有工业污染土、尾矿污染土和垃圾填埋场渗滤液污染土时，应进行污染土勘察；对污染土的分类可根据本规范附录F表F.2的特征划分。

11.7.3 轨道交通建设时，可按下列污染土场地和地基类型分类，不同类型场地和地基勘察应突出重点。

1 已受污染的已建场地和地基。

2 已受污染的拟建场地和地基。

3 可能受污染的已建场地和地基。

4 可能受污染的拟建场地和地基。

11.7.4 污染土的场地和地基勘察，应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，了解污染源的历史、性质、成分，地下水对污染源的运移扩散情况，以及对场地已有建构筑物的影响程度。

2 采用钻探或坑探，查明污染土分布范围。

3 按规定采取土试样，并用清洁水清洗取样器后再进行下一个样品的采取；土样采集后宜采用适宜的保存方法并在规定时间内运送试验室；对具有挥发性污染物的试样，应存放在密封的容器中，试验时应采集污染物气体样品，并进行成份的测定。

4 对需要确定地基土工程性能的污染土，宜采取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。

11.7.5 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。

11.7.6 轨道交通在可行性研究勘察时，应对拟建路径通过区域是否分布污染土进行调查。初步勘察时应以现场调查为主，配合少量勘探测试，查明污染源性质、污染途径，并初步查明污染土分布和污染程度；详细勘察应在初步勘察的基础上，有针对性地布置勘察工作量，查明污染土的分布范围、污染程度、物理力学和化学指标，为污染土处理提供参数。

11.7.7 勘察测试工作量应结合污染源和污染途径的分布，并考虑轨道交通线状分布的特点来布置，勘察范围应覆盖污染土对轨道交通的影响区。

11.7.8 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，应采取严格的隔离措施，防止因采取混合水样而影响判别结论。

11.7.9 污染土和水的室内试验，应根据污染情况和任务要求进行试验。

11.7.10 污染土评价应根据轨道交通工程的任务要求进行，对场地和建（构）筑物地基的评价应符合下列要求：

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和拟建项目的适宜性的综合评价，后续运营过程中的影响评价。

11.7.11 轨道交通工程污染土和水对建筑材料的腐蚀性评价和腐蚀等级的划分，执行《岩土工程勘察规范》GB50021的有关规定。

11.7.12 污染对土的工程特性的影响程度，按照表11.7.12划分。

**表11.7.12 污染对土的工程特性的影响程度**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 影响程度 | 轻微 | 中等 | 大 |
| 工程特性指标变化率（%） | ˂10 | 10～30 | ˃30 |

注：“工程特性指标变化率”是指污染前后工程特性指标的差值与污染前指标之百分比，可根据工程具体情况，采用强度、变形、渗透等工程特性指标进行综合评价。

## 11.8 风化岩和残积土

11.8.1 岩石在风化营力作用下，其结构、成分和性质已产生不同程度的变异，应定名为风化岩。已完全风化成土而未经搬运的应定名为残积土。

11.8.2 风化岩和残积土的勘察应着重查明下列内容：

1 母岩的地质年代、类别和名称。

2 风化岩和残积土的分布、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 风化岩和残积土的不均匀程度，破碎带和软弱夹层的分布、特征。

5 岩脉和风化岩中球状风化体（孤石）的分布。

6 风化岩和残积土的赋水特征。

7 风化岩和残积土的物理力学性质及参数。

8 当地风化岩和残积土的工程经验。

11.8.3 风化岩和残积土的勘探与测试应符合下列要求：

1 采用钻探与标准贯入试验、重型动力触探试验、波速测试等原位测试相结合的手段进行勘察工作。

2 应有一定数量的探井。

3 勘探点间距应按结合勘察阶段照本规范第5、6、7章的规定取小值。

4 根据工程需要按本规范第15章的规定进行室内试验。对极软岩和极破碎的岩体，可按土工试验要求进行试验。对残积土必要时进行湿陷性和湿化试验。

11.8.4 风化岩和残积土的技术指标和参数宜采取原位测试与室内试验相结合的方法综合确定。其承载力和变形模量E0宜采用原位测试方法确定，亦可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定确定。

11.8.5 对风化岩可按本规范附录F表F.3划分岩石的风化程度；对花岗岩类的风化岩和残积土的勘察，尚应符合下列要求：

1 花岗岩类的强风化、全风化岩和残积土可按表11.8.5的规定划分。

**表11.8.5 花岗岩类的强风化、全风化岩和残积土划分**

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

2 可根据含砾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。

3 除满足本规范第11.8.2条的规定外，尚应着重查明花岗岩分布区强风化、全风化岩和残积土中球状风化体（孤石）的分布。

4 对花岗岩类残积土和全风化岩呈砾质黏性土、砂质黏性土等粗粒土状应进行颗粒分析试验，呈黏性土等细粒土状的应进行天然含水量、塑性指数、液性指数等试验。

11.8.6 风化岩和残积土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1 评价风化岩和残积土的地基及边坡稳定性，并提出工程措施的建议。

2 评价风化岩和残积土中的桩基承载力和桩端稳定性。

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 评价风化岩和残积土的透水性和地下水的富水性、分析在不同工法下，地下水对岩土体稳定性的影响，提出地下水控制措施的建议；

5 分析岩脉、孤石和球状风化体对工程的影响，提出工程措施的建议。

# 12 工程地质调查及测绘

## 12.1 一般规定

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

**12.1.2** 工程地质调查与测绘应包括工程场地的地形地貌、地质构造、地层岩性、工程地质条件、水文地质条件、不良地质作用、特殊性岩土、建筑物的变形和其它相关资料等。

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

## 12.2 工作方法

**12.2.1** 工程地质调查与测绘应充分搜集工程沿线的既有资料，以现场调查为主，并进行综合分析研究。

**12.2.2** 工程地质调查与测绘工作，必要时可辅以适量的勘探、物探和测试工作。

**12.2.3**  在采用遥感技术的地段，应对室内解译结果进行现场检查核实。应包括下列内容：检查解译标志；检查解译结果；检查外推结果；对室内解译难以判释的资料进行野外补充。

**12.2.4** 地质观测点的布置应符合下列规定：

1 每个地质单元体均应有地质观测点；观测点应布置在具有代表性的地质构造线、岩土露头、地层界线、断层及重要的节理、地下水露头、不良地质、特殊性岩土界线等处。

2 地质观测点密度应根据技术要求、地质条件和成图比例尺等因素综合确定。其密度应能控制不同类型地质界线和地质单元体的变化。

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

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

**12.3 工作范围**

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

**12.3.2** 一般区间直线段沿轴线及向两侧不应少于100m；车站、区间弯道段及车辆基地沿轴线及向两侧不应少于200m。

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

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

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

**12.4 工作内容**

**12.4.1** 工程地质调查与测绘的资料搜集应包括下列内容：

1 区域性的地质、水文、气象、遥感、地震等资料。

2 既有建（构）筑物、植被分布及周边环境的岩土工程勘察、施工经验等资料。

3 类似工程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。

**12.4.2**  工程地质调查与测绘工作应包括下列内容：

1 调查、测绘地形与地貌的形态，划分地貌单元，确定成因类型，分析其与基底岩性和新构造运动的关系。

2 调查地层的岩性、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。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。

3 对主干断裂、强烈破碎带，应调查其分布范围、形态和物质组成，分析地下水软化作用对隧道围岩稳定性的影响和危害程度。

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

5 调查地下水各含水层类型、水位、变化幅度、水力联系、补给、径流和排泄条件，地下水动态变化与地表水系的联系、腐蚀性情况，以及历年地下水位的长期观测资料。

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

7 调查岩溶、人工空洞、滑坡、地面沉降、地裂缝、地下古河道、暗浜、含放射性或有害气体地层等不良地质的形成、规模、分布、发展趋势及对工程建设的影响。

**12.5 工作成果**

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

**12.5.2** 工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求：

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

2 地质界线、地质观察点测绘在图上的位置误差不应大于2mm。

3 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其实际数据。

**12.5.3** 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成果可纳入相应阶段的岩土工程勘察报告。

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

# 13 勘探与取样

## 13.1 一般规定

**13.1.1** 勘探一般采用钻探、井探、槽探、洞探、物探等方法，勘探方法的选择，应根据地层、岩土特性、勘探深度、取样、原位测试、场地条件及勘察目的任务等确定。

**13.1.2** 勘探应符合下列要求：

1 能正确鉴别岩土名称及其基本性质，并确定其埋藏深度及厚度。

2 能采取符合质量要求的岩土试样或进行原位测试。

3 能查明勘探深度内地下水的赋存情况。

**13.1.3** 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）和透镜体。

**13.1.4** 岩土试样的采取方法应结合地层岩性条件、岩土试验技术要求确定。

**13.1.5** 布置勘探工作时应考虑勘探对工程及环境的影响，防止对地下管线、地下构筑物和自然环境造成破坏。

**13.1.6** 现场勘探记录应由专业的编录人员或工程技术人员承担，记录应真实及时，严禁事后追记。

**13.1.7**  在进行钻探、井探、槽探、洞探时，应采取有效措施，保护环境和节约资源，保障人身和施工安全，保证勘探和取样质量。

**13.1.8** 钻探、井探、槽探、洞探作业完成后应及时妥善回填，并记录回填方法、材料和过程；回填质量应满足工程施工和工程正常运营需要，避免对工程施工和工程正常运营造成危害。

## 13.2 勘探点的定位与测量

**13.2.1** 勘探点测量应采用与设计相符的高程和坐标系统，引测基准点应满足其精度要求。勘探点的定位，应根据建设单位或委托方提供的坐标和高程控制点由专业测量人员测放。

**13.2.2** 勘探点应采用满足精度要求的测量仪器测定位置和高程数据，并提供各勘探点的坐标和高程。

**13.2.3** 勘探点设计位置与实际位置的允许偏差应根据场地和工程情况以及勘探任务要求等确定。

**13.2.4** 勘探成果中的平面图应标明各勘探点点号、坐标、高程数据以及测量控制点坐标和基准点。

## 13.3 钻探

**13.3.1** 钻探工作应根据勘探技术要求、地层岩性、场地及环境条件，选择合适的钻机、钻具和钻进方法，提高岩芯采取率，保证钻探质量。

**13.3.2** 钻探应与原位测试、试验、物探等工作紧密配合，获取多方面地质参数。

**13.3.3** 钻探方法可根据岩土类别和勘察要求按表13.3.3的规定选用。

**表13.3.3 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。

**13.3.4** 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。

**13.3.5** 钻探应符合下列规定：

1 钻进深度、岩土分层深度允许偏差为±50mm，地下水位量测允许偏差为±20mm。

2 钻孔垂直度每50m应测量一次，每100m的允许偏差为±2°。

3 对于需要鉴别地层天然湿度和划分地层的钻孔，在地下水位以上应进行干钻；当必须加水或使用循环液时，可采用双层岩芯管钻进。

4 钻探的回次进尺，应在保证获得准确地质资料的前提下，根据地层条件和岩芯管长度确定。钻进时回次进尺不应超过岩芯管的长度，不得超管钻进。在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时，应控制回次进尺或回次时间，以确保分层与描述的要求。

5 工程地质钻探的岩芯采取率应符合表13.3.5的规定。

**表13.3.5-1 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 | ≥95 |
| 粉土 | ≥90 |
| 砂土 | ≥70 |
| 碎石土 | ≥60 |
| 基岩 | 滑动面及重要结构面上下5m范围内 | ≥75 |
| 构造破碎带 | ≥60 |
| 全风化带、强风化带 | ≥65 |
| 中风化带、微风化带 | ≥75 |
| 完整岩层 | ≥80 |

注：1 岩芯采取率：圆柱状、圆片状及合成柱状岩芯长度与破碎岩芯装入同径岩芯管中高度之总和与该回次进尺的百分比。

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。

6 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。

**13.3.6** 钻探应能满足水文地质参数测定、试验及观测等要求。

**13.3.7** 岩芯整理应符合下列规定：

1 采取的岩芯应按上下顺序装箱摆放，填写回次标签，在同一回次內采得两种不同岩芯时应注明变层深度。

2 当发现滑动面、软弱结构面或薄层时，应加填标签注明起止深度，放在岩芯相应位置。

3 对重要的钻孔，应装箱妥善保存岩芯、土样，分箱拍摄彩色照片。

**13.3.8** 钻探记录应包括下列内容：

1 钻进的使用方法、钻具名称、规格、护壁方式等。

2 钻进的回次进尺和深度、钻进情况、难易程度、进尺速度、钻进参数的变化情况等。

3 孔内情况，注意缩径、垮孔、地下水位及其变化等内容。

4 取样及原位测试的编号、深度位置、取样工具名称规格、原位测试类型及其结果。

**13.3.9** 钻探编录应符合下列规定：

1 钻探编录员应由培训合格人员或专业技术人员承担，记录应及时、真实。

2 岩芯应按回次描述，内容满足相关要求。

3 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。

4 岩土特性鉴别应符合现行国标《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307及《岩土工程勘察规范》GB50021的规定。

**13.3.10** 钻探工作完成后，应根据工程要求选择适宜的材料分层回填。回填材料及回填方法可按表13.3.10的要求用。

## 13.4 井探、槽探

**13.4.1** 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。当钻探作业不具备或采用钻探方法难以查明地下情况时，常采用井探、槽探勘探方法。对卵石、碎石、漂石、块石等粗颗粒土钻探难以查明岩土性质或需要做大型原位测试时，应采用挖探的方法。挖探宜在地下水位以上进行。

**13.4.2** 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0.5~1.0m设一检查孔。井探施工时，应根据实际情况，向井中送风并应监测井内有害气体含量。遇地下水时，应采取相应的排水和降水措施。

**13.4.3** 槽探挖掘深度不宜大于3m，大于3m时，应根据槽壁的稳定情况增加支撑或改用井探方法，槽底宽度不应小于0.6m。探槽两壁的坡度，应根据开挖深度及岩土性质确定，确保侧壁稳定、安全。

**13.4.4** 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。

**13.4.5** 井探、槽探作业时，应采取相应的安全措施。井探、槽探宜采用原土回填，并分层夯实。

## 13.5 洞探

**13.5.1** 当需要详细查明深部岩层性质、构造特征时，可采用洞探方法。

**13.5.2** 洞探施工前，应收集施工地段基本地质资料，主要包括地层岩性、地质构造、水文地质、地应力、地温状况、有害气体或放射性物质等。并根据施工地段地形地质条件和任务的要求，结合安全和环保的相关规定，确定洞口段的防护方案。

**13.5.3** 洞探断面可采用梯形、矩形和拱形，断面规格可根据勘察目的、地质条件、施工方法等因素确定。洞宽不宜小于1.2m，洞高不宜小于1.8m。

**13.5.4** 洞探施工应根据自然环境、工作条件和断面尺寸等因素选用设备和施工方法。

**13.5.5** 洞探应及时进行支护。支护设计应考虑洞室断面尺寸、围岩分类、开挖方法、围岩暴露时间等因素。

**13.5.6** 洞探施工过程中，应及时进行观测和地质编录。弃渣应作妥善处理。

**13.5.7** 洞探竣工后，经地质编录、照相、取样、试验后，对无需保留的应进行回填。洞口进行封堵处理。

## 13.6 取样

**13.6.1** 土试样质量等级应根据用途按表13.6.1的规定划分为四级：

**表13.6.1 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、含水量变化小，可满足各项室内试验要求的土样。

**13.6.2** 不同等级土试样的采取，应根据土类、状态、颗粒大小等采用不同的取样工具和方法，可参照表13.6.2选取。

**表13.6.2 不同等级土试样的取样工具和方法**

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

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

**13.6.3** 利用钻探方法采取原状土样时，应根据地层情况、选定钻孔孔径、取土器类型、规格及施钻方法，取样技术要求应符合有关技术规程要求。

**13.6.4** 在钻孔中采取Ⅰ、Ⅱ级砂试样时，可采用原状取砂器。Ⅳ级砂土扰动样可从贯入器中采取。

**13.6.5** 在钻孔中采取Ⅰ、Ⅱ级土试样时，应满足下列条件：

1 在软土、粉土、砂土中，宜采用泥浆护壁；如使用套管，应保持管内水位等于或稍高于地下水位，取样位置应低于套管底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。在硬塑和坚硬的粘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。

**13.6.6** 岩石试样可利用钻探岩芯制作。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。对软质岩石试样，应进行密封。

**13.6.7** 探井、探槽、探洞中取岩土试样，应与开挖同步进行，且样品应有代表性。

**13.6.8** 探井、探槽、探洞中采取的Ⅰ、Ⅱ级岩土试样宜用盒装。对于含有粗颗粒的非均质土及岩石样，可按试验设计要求确定尺寸。

**13.6.9** 采取断层泥、滑动带（面）、较薄土层等的试样，可用试验环刀直接压入取样。

**13.6.10** Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级土试样应妥善密封，防止湿度变化，严防暴晒或冰冻，保存时间不宜超过两周。土试样应直立放置，严禁倒放或平放。在运输中应采用土样箱包装，避免振动。对易于振动液化和水分离析的土试样宜就近进行试验。

**13.6.11** 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。

## 13.7 地球物理勘探

**13.7.1** 轨道交通岩土工程勘察宜在下列方面采用地球物理勘探：

1 探测隐伏的地质界线、界面、不良地质体、地下管线、含水层等。

2 在钻孔之间增加地球物理勘探点，为钻探成果的内插、外推提供依据。

3 测定岩土体波速、视电阻率、大地导电率、放射性、地温等，计算动弹性模量、动剪切模量、卓越周期等参数。

**13.7.2** 釆用地球物理勘探方法时，应具备下列条件：

1 被探测对象与其周围介质间存在一定的物性差异。

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。

**13.7.3** 地球物理勘探方法的选择应根据工程要求、物探方法适用条件、场地条件、设备性能等综合考虑，并对物探方法进行有效性分析和试验。在地质条件复杂地段应采用两种以上的综合地球物理勘探方法。

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

**13.7.5** 物探工作程序宜包括接受任务、工作准备、测量放线、数据采集、资料处理与解释、编制并提交成果资料等。工作准备应包括资料收集、现场踏勘、仪器检校、方法试验和技术设计书编写。

**13.7.6** 编制和提交地球物理勘探成果资料内容、格式应满足设计要求，必要时还应交付地震时间剖面图、电阻率断面图等原始资料。

成果资料包含：成果报告、物探平面图，各种定性分析和定量解释图件，平、纵断面成果图及数据表。

成果报告应包括：工程概况、目的任务、地质及地球物理特征、物探方法的选择、采取的技术措施、资料处理与解释、结论和建议等。

# 14 原位测试

## 14.1 一般规定

14.1.1 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。

14.1.2 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。分析原位测试成果资料时，应注意仪器设备、试验条件、试验方法对试验的影响。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。

14.1.3 原位测试的仪器设备应定期检验、标定和校准。

14.1.4 原位测试应符合国家或行业有关测试规程的规定。

## 14.2 标准贯入试验

14.2.1 标准贯入试验适用于砂土、粉土和一般黏性土。

14.2.2 标准贯入试验可在钻孔全深度范围内或在个别土层内以1m～2m间距进行。标准贯入试验孔采用回转钻进，并保持孔内水位略高于地下水位。当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁，钻至试验标高以上15cm处，清除孔底残土后再进行试验。

14.2.3 贯入器打入土中15cm后，开始记录每打入10cm的锤击数，累计打入30cm的锤击数为标准贯入试验锤击数N。当锤击数已达50击，而贯入深度未达30cm时，可记录50击的实际贯入深度，按式14.2.3换算成相当于30cm的标准贯入试验锤击数N，并终止试验。

 （式14.2.3）

式中：*N*—实测标准贯入锤击数；

Δ*S*—50击时的贯入深度（cm）。

**条文说明：**贯入器打入土中15cm时为预打阶段，之后的30cm为试验阶段。

14.2.4 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。

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

## 14.3 圆锥动力触探试验

14.3.1 圆锥动力触探试验的类型可分为轻型、重型和超重型三种。应根据测试岩土类型及深度等要求确定圆锥动力触探试验类型。轻型圆锥动力触探试验适用于填土、砂土、粉土及黏性土，重型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）。

14.3.2 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。

14.3.3 单孔圆锥动力触探可绘制动力触探击数与深度曲线或动贯入阻力与深度曲线，进行力学分层，不宜使用单孔锤击数对岩土的工程性质作出评价。

14.3.4 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。

## 14.4 旁压试验

14.4.1 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。

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

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

14.4.4 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。

14.4.5 加荷等级可采用预期临塑压力的1/7～1/8，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14.4.5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14.4.5 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，稍密的粉土及砂土 | 15～25 |
| 可塑—硬塑黏性土，中密的粉土、砂土 | 25～50 |
| 坚硬黏性土，密实的粉土、砂土 | 50～150 |
| 全、强风化岩、软质岩 | 100～600 |

注：为确定P-V曲线上直线段起点对应的压力P0，开始的1级～2级加载增量宜减半施加。

14.4.6 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，对软质岩石和全、强风化岩宜为1min。维持1min时，加荷后15s、30s、60s测读变形量；维持3min时，加荷后15s、30s、60s、120s、180s测读变形量。

14.4.7 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ƒ*L*和临塑强度ƒ*y*，按式14.4.7-1、式14.4.7-2计算：

 （式14.4.7-1）

 （式14.4.7-2）

式中：p0—旁压试验初始压力（kPa）；

P*L*—旁压试验极限压力（kPa）；

p*f*—旁压试验临塑压力（kPa）。

3 根据压力与体积曲线的直线段斜率，按式14.4.7-3计算旁压模量：

（式14.4.7-3）



式中：E*m*—旁压模量（kPa)；

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

V*c*—旁压器量测腔初始固有体积（cm3）

V0—与初始压力p0对应的体积（cm3)；

V*f*—与临塑压力pf对应的体积（cm3)；

Δp/ΔV—旁压曲线直线段的斜率（kPa/cm3)。

## 14.5 静力触探试验

14.5.1 静力触探试验适用于黏性土、粉土、砂土和含少量碎石的土。

14.5.2 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（ps)、锥头阻力（qc)、侧壁摩阻力（fs)和贯入时的孔隙水压力（μ）。

14.5.3 开孔贯入时，应清除影响垂直贯入的块状物，并仔细观察探头与土层接触时的情况，防止锥尖侧移，孔位偏斜。当贯入1m～2m后，探杆如有明显偏斜，应重新移位开孔。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断杆事故。

14.5.4 对比试验孔，应先进行静力触探试验，再进行其他勘探工作，且与静力触探孔的距离不宜大于2m。

14.5.5 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。

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

14.5.7 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。计算各土层静力触探有关试验数据的平均值。

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

## 14.6 十字板剪切试验

14.6.1 十字板剪切试验适用于均质饱和软黏性土。

14.6.2 试验点竖向间距宜为1m～2m，或根据静力触探试验等资料布置。

14.6.3 十字板头插入钻孔底的深度不应小于钻孔或套管直径的3倍～5倍；插入至试验深度后，至少应静止2min～3min，方可开始试验；扭转剪切速率宜采用（1～2度）/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。

14.6.4 十字板剪切试验成果资料整理应包括下列内容：

1 计算土的不排水抗剪强度峰值、残余值和灵敏度。

2 绘制不排水抗剪强度峰值和残余值随深度的变化曲线，需要时，绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线。

3 根据土层条件及地区经验，对不排水抗剪强度应进行修正。

14.6.5 根据原状土的十字板强度Cu和重塑土的十字板强度Cu´，按式14.6.5计算土的灵敏度St：

 （式14.6.5）

## 14.7 载荷试验

14.7.1 载荷试验一般包括平板载荷试验和螺旋板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基土；深层平板载荷试验适用于深层地基土和大直径桩的桩端土；螺旋板载荷试验适用于深层地基土或地下水位以下的地基土。

14.7.2 刚性承压板根据土的软硬或岩体裂隙密度选用合适的尺寸，一般黏性土的浅层平板载荷试验承压板面积不应小于0.25m2，对软土和粒径较大的填土不应小于0.5m2；土的深层板荷载试验承压板面积宜选用0.5m2；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。

14.7.3 基床系数在现场测定时宜采用K30方法，采用直径0.305m的荷载板垂直或水平加载试验，可直接测定地基土的水平基床系数Kh和垂直基床系数Kv。

14.7.4 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。

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

14.7.6 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14.7.6的规定取值。

**表14.7.6 荷载增量取值**

|  |  |
| --- | --- |
| 试验土层及特性 | 荷载增量（kPa） |
| 淤泥，流塑黏性土，松散粉土、砂土 | ＜15 |
| 软塑黏性土，新近沉积黄土，稍密粉土、砂土 | 15～25 |
| 硬塑黏性土，新黄土（Q4），中密粉土、砂土 | 25～50 |
| 坚硬黏性土，老黄土，新黄土（Q3），密实粉土、砂土 | 50～100 |
| 碎石类土，软岩及风化岩 | 100～200 |

14.7.7 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。

14.7.8 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14.7.8-1的规定取对应于某一相对沉降值（即s/d或s/b，d和b为承压板直径和宽度）的压力评定地基土承载力，但其值不应大于最大加载量的一半。

**表14.7.8-1 各类土的相对沉降值（s/d或s/b)**

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

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

3 土的变形模量应根据p-s曲线的初始直线段，可根据均质各向同性半无限弹性介质的弹性理论计算。

浅层平板载荷试验的变形模量E0（MPa)，可按式14.7.8-1计算：



（14.7.8-1）

深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验的变形模量E0（MPa)，可按式14.7.8-2计算：



（14.7.8-2)

式中：

*I*0—刚性承压板的形状系数，圆形承压板取0.785；方形承压板取0.886；

*μ*—土的泊松比；

*ｄ*—承压板直径或边长（m)；

*ｐ*—ｐ-s曲线线性段的压力（kPa)；

*ｓ*—与压力ｐ对应的沉降（mm)；

*ω*—与试验深度和土类有关的系数，可按表14.7.8-2的规定选用。

**表14.7.8-2 深层载荷试验计算系数*ω***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｄ/ｚ  土类 | 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。

14.7.9 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。

## 14.8 扁铲侧胀试验

14.8.1 扁铲侧胀试验适用于软土、一般黏性土、粉土和松散～稍密的砂土。

14.8.2 扁铲侧胀试验应在有代表性的地点进行，测试点间距一般为0.2m～0.5m。

14.8.3 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。

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。

14.8.4 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：

 （14.8.4-1）

 (14.8.4-2)

 (14.8.4-3)

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—凋零前的压力表初读数（kPa）；

2 根据p0、p1和p2计算下列指标：

 (14.8.4-4)

 (14.8.4-5)

 (14.8.4-6)

 (14.8.4-7)

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）；

σvo—试验深度处土的有效上覆压力（kPa）。

3 绘制ED、KD、ID和UD与深度的关系曲线。

## 14.9 岩体原位应力测试

14.9.1 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。

14.9.2 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。

14.9.3 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。

14.9.4 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。

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

14.9.6 岩体原位应力测试成果资料整理应符合下列要求：

1 根据测试成果计算岩体平面应力和空间应力，计算方法应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266的有关规定。

2 根据岩芯解除应变值和解除深度，绘制解除过程曲线。

3 根据围压试验资料，绘制压力与应变关系曲线，计算岩石弹性常数。

## 14.10 现场直接剪切试验

14.10.1 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。

14.10.2 现场直剪试验布置应符合下列规定：

1 现场直剪试验可在试洞、试坑、探槽或大口径钻孔内进行。当剪切面水平或近于水平时，可采用平推法或斜推法；当剪切面较陡时，可采用楔形体法。

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

3 每组岩体不宜少于5个。剪切面积不得小于0.25m2，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。

14.10.3 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。

14.10.4 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。

14.10.5 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。

14.10.6 现场直剪试验的技术要求应符合下列规定：

1 开挖试坑时应避免对试体的扰动和含水量的显著变化；在地下水位以下试验时，应避免水压力和渗流对试验的影响。

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

3 最大法向荷载应大于设计荷载，并按等量分级；荷载精度应为试验最大荷载的±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～l0min，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l0mm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。

**14.10.7** 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。

## 14.11 波速测试

14.11.1 波速试验可采用单孔法、跨孔法和面波法。

14.11.2 单孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：

1 测试孔应垂直。

2 将三分量检波器固定在孔内预定深度处，并紧贴孔壁。

3 可采用地面激振或孔内激振，当测试深度较大时，宜采用孔内激振。

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。

14.11.3 跨孔法波速测试的技术要求应符合下列规定：

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

2 试验钻孔应圆直，并应下定向套管，套管与孔壁间应灌浆饱满或填砂密实。

3 当钻孔深度大于15m时，应对激振孔和接收孔（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。

14.11.4 面波法波速测试可采用瞬态法或稳态法，宜采用低频检波器，道间距可根据场地条件和勘探深度通过试验确定。

14.11.5 波速测试成果资料整理应包括下列内容：

1 在波形记录上识别压缩波和第一个剪切波的初至时间，并附有波列剖面图。

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。

## 14.12 地温测试

14.12.1 地温测试主要用于测定地表下一定深度范围内地层的温度，为设计提供依据；可采用钻孔法、贯入法、埋设温度传感器法测求不同深度土体温度。

14.12.2 温度传感器的测量范围宜为-20℃～100℃，测量误差不宜大于±0.5℃，热惯性不大于3秒，温度传感器和读数仪使用前应进行校验。

14.12.3 地温测试点宜选择在空旷、无热源影响区域。每个地下车站均宜进行地温测试，区间隧道地温测试点宜竖向布设在隧道上下各一倍洞径深度范围且不少于3点；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。

14.12.4 钻孔法地温测试要点：

1 在钻孔中进行瞬态测温时，地下水位静止时间不宜小于24h，稳态测温时，地下水位静止时间不宜小于5d。

2 重复测量应在观测后8h内进行，两次测量误差不超过0.5℃。

3 稳态测温应采取护壁措施，保留长期观测孔，进行反复测温。

14.12.5 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；插入至试验深度后，至少应静止5min～10min，方可开始观测。

14.12.6 测试成果资料整理应包括以下内容：

1 测试前测试点气温、天气、日期、时间以及光线遮挡情况，钻孔法应记录地下稳定水位。

2 绘制地温随深度变化曲线图，对照不同深度土性、孔隙比、含水量、饱和度及热物理指标变化情况；一年期测试结果宜绘制不同深度温度随时间变化曲线图。

3 不同气温条件下地层测温结果对比，推算地层稳态温度。

# 15 室内试验

## 15.1 一般规定

**15.1.1** 岩土室内试验的试验方法、操作应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123和《工程岩体试验方法标准》GB/T50266的有关规定。室内试验采用的仪器设备应符合现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406的规定，计量设备仪器应按期进行检定校准。

**15.1.2** 岩土室内试验项目、试验方法应根据岩土性质、工程结构类型和设计、施工工艺需要确定。岩土力学性质的试验条件应接近工程实际情况，应考虑岩土的非均质性及岩土体与岩土试样在工程上的差别。室内主要土工试验项目、参数与工程应用见表15.1.2。

**表15.1.2 室内主要土工试验项目、参数与工程应用**

| 项目分类 | 试验  类别 | 试验项目 | | 主要参数 | 工程应用 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 常  规  项  目 | 物理性质 | 含水率、密度、比重 | | 含水率、密度、比重G | 土的基本参数 |
| 界限含水率 | | 液限、塑限、  塑性指数液性指数 | 黏性土的分类、判断黏性土的状态 |
| 颗粒分析 | | 各粒组百分含量，计算不均匀系数、曲率系数、黏粒含量Mc | 碎（卵）石土、砂土和粉土的分类，确定黏粒含量 |
| 力学性质 | 直剪快剪 | | 黏聚力Cq 、内摩擦角*φ*q | 地基快速加荷时的稳定性验算，适用于渗透系数小于10-6cm/s且均质的细粒土 |
| 固结快剪 | | 黏聚力*C*cq 、内摩擦角*φ*cq | 天然地基承载力计算，基坑及边坡的稳定性验算 |
| 快速固结 | | e-p曲线、压缩系数、压缩模量 | 沉降计算 |
| 特 殊 项 目 | 物理性质 | 有机质试验 | | 有机质含量Wu | 土按有机质含量分类 |
| 渗透试验 | 变水头 | 渗透系数kh、kv | 粗粒土渗透性的评价 |
| 常水头 | 渗透系数k | 细粒土渗透性的评价 |
| 力 学 性 质 | 三轴  压缩  试验 | 不固结不排水剪（UU） | 黏聚力cuu、内摩擦角*φuu* | 施工速度较快，排水条件较差的黏性土的地基稳定性验算；桩周土极限摩阻力计算；桩端软弱下卧层强度验算 |
| 固结不排水剪（CU） | 固结不排水：总应力黏聚力ccu、总应力内摩擦角*φcu；*  固结不排水测孔压：有效黏聚力c’、有效内摩擦角 | 施工速度较慢，考虑上部荷载引起地基强度增长，固结后地基稳定性验算 |
| 无侧限抗压强度 | | 原状土无侧限抗压强度qu  重塑土无侧限抗压强度qo  灵敏度St | 饱和软黏土施工期稳定性验算 |
| 静止侧压力系数 | | 静止侧压力系数K0 | 研究土中应力与应变的关系，进行静止侧压力计算 |
| 基床系数 | | 基床系数K  （水平基床系数Kh、垂直基床系数Kv） | 考虑土—结构的相互作用，一般用于计算围护桩、墙变形 |
| 天然休止角 | | 水上休止角a、水下休止角a | 砂土地基基坑开挖时，确定边坡坡率，用于粒径小于5mm无凝聚性砂土 |
| 固结 | | e-lgp曲线、先期固结压力pc、  超固结比OCR、压缩系数、  回弹指数、回弹模量 | 土的应力历史评价，考虑应力历史的沉降计算 |
| 固结系数、次固结系数 | 黏性土沉降速率和固结度计算 |
| 动力  性质 | 动三轴  动单剪 | | 动强度(和)、动弹性模量、  动阻尼比d | 地震反应分析，地基土液化判别 |
| 共振柱 | | 动剪切模量、动阻尼比d |

注：特殊岩土相关试验项目和参数按照国标和有关地方规范执行。

**15.1.3** 送样单应经勘察项目负责人签署，明确岩土水试验的具体试验项目、方法，样品交接验收清楚。

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

## 15.2 土的物理性质试验

**15.2.1** 土的物理性质试验，应针对具体土性测定其颗粒级配、天然含水量、天然密度、比重、液限、塑限、有机质含量等。

**15.2.2** 土的比重一般应实测，也可以依据地区经验确定。

**15.2.3** 应根据土试样的颗粒分布及土样性质分析判定颗粒分析的试验方法。粒径小于等于60mm、大于0.075mm的土样可采用筛析法；粒径小于0.075mm的土样宜采用密度计法及移液管法，或采取联合分析。提供颗粒分布曲线，计算不均匀系数、曲率系数等指标。

**15.2.4** 进行渗流分析、基坑降水设计等需要提供土的渗水性参数时，应进行渗透试验。常水头试验适用于粗粒土；变水头试验适用于细粒土；透水性很低的软土可通过固结试验测定固结系数、体积压缩系数，计算渗透系数。土的渗透系数取值应与抽水试验的成果比较后确定。

**15.2.5** 土料填筑工程进行质量控制时，应对填料样进行击实试验，确定最大干密度和最优含水量。

**15.2.6** 岩土热物理指标的测定，采用热源法、热线法或热平衡法。热物理指标之间有下列相互关系：

（15.2.6-1）

式中：—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)]。

## 15.3 土的力学性质试验

**15.3.1** 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。

**15.3.2** 固结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。

**15.3.3** 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。

**15.3.4** 内摩擦角、黏聚力在有经验地区可以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）。

**15.3.5** 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。

**15.3.6** 工程需要时可采用侧压力仪测定土体的静止侧压力系数，地下工程详细勘察阶段每一主要土层静止侧压力系数取样测试不少于3组。

**15.3.7** 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。

## 15.4 土的动力性质试验

**15.4.1** 当工程设计要求时，可采用动三轴试验、动单剪试验或共振柱试验测定土的动力性质。

**15.4.2** 动三轴和动单剪试验适用于测定土的下列动力性质：

1 动弹性模量、动阻尼比及其与动应变的关系。

2 既定循环周数下的动应力与动应变的关系。

3 饱和砂土、粉土的液化剪应力与动应力循环周数关系。

当出现孔隙水压力上升达到初始固结压力时，或轴向动应变达到5%时，或振动次数在相应的预计地震震级限度之内，即可判定土样液化。

**15.4.3** 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。

**15.5.1** 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，具体试验项目应根据工程需要确定。

**15.5.2** 岩石抗压强度应分别测试干燥和饱和状态下的单轴抗压强度，软岩可测试天然状态下的强度，并应提供有关参数。

**15.5.3** 岩石抗剪试验，应沿节理面、层面等薄弱面进行，应采用岩石直剪仪或抗剪断强度试验法，在不同法向应力下测定。

**15.5.4** 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。

**15.5.5** 当岩体破碎或节理裂隙发育不能制备单轴抗压强度试件时，可采用点荷载试验和波速测试方法间接测定岩石的力学性质。

## 15.6 水和土的腐蚀性分析

**15.6.1** 进行水和土的腐蚀性分析，水试样和土试样应符合下列规定：

1 混凝土结构处于地下水位以上时，应采取土试样作土的腐蚀性分析。

2 混凝土结构处于地表水中时，应取地表水试样作水的腐蚀性分析。

3 混凝土结构部分处于地下水位以上、部分处于地下水位以下时，应分别取土试样和水试样作腐蚀性分析。

4 水试样和土试样应在混凝土结构所在的深度采取，每个场地不应少于2件。当土中盐类成分和含量分布不均匀时，应分区、分层取样，每区、每层不应少于2件。

**15.6.2** 水和土腐蚀性的分析项目和试验方法应符合下列规定：

1 水对混凝土结构的腐蚀性的分析项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、Cl-、SO42-、HCO3-、CO32-、侵蚀性CO2、游离CO2、NH4+、OH-、总矿化度

2 土对混凝土结构的腐蚀性的分析项目包括：pH值、Ca2+、Mg2+、Cl-、SO42-、HCO3-、CO32-的易溶盐（土水比1：5）分析。

3 土对钢结构的腐蚀性的分析项目包括：pH值、氧化还原电位、极化电流密度、视电阻率、质量损失。

4 腐蚀性测试项目的试验方法应符合下表的规定。

**表15.6.2腐蚀性试验方法**

| 序号 | 试验项目 | 试验方法 |
| --- | --- | --- |
| 1 | pH值 | 电位法或锥形玻璃电极法 |
| 2 | Ca2+ | EDTA容量法 |
| 3 | Mg2+ | EDTA容量法 |
| 4 | Cl- | 摩尔法 |
| 5 | SO42- | EDTA容量法或质量法 |
| 6 | HCO3- | 酸滴定法 |
| 7 | CO32- | 酸滴定法 |
| 8 | 侵蚀性CO2 | 盖耶尔法 |
| 9 | 游离CO2 | 碱滴定法 |
| 10 | NH4+ | 钠氏试剂比色法 |
| 11 | OH - | 酸滴定法 |
| 12 | 总矿化度 | 计算法 |
| 13 | 氧化还原电位 | 铂电极法 |
| 14 | 极化电流密度 | 原位极化法 |
| 15 | 视电阻率 | 四级法 |
| 16 | 质量损失 | 管罐法 |

**15.6.3** 水、土对建筑材料的腐蚀性应按现行《岩土工程勘察规范》GB50021分为微、弱、中、强四个等级。水、土对建筑材料腐蚀的防护，应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476及《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005的规定。

# 16 岩土工程分析评价和勘察报告

## 16.1 一般规定

**16.1.1** 岩土工程分析评价应在搜集已有资料、工程地质调查与测绘、勘探、测试的基础上，结合拟建工程特点、勘察阶段、勘察等级、设计要求和施工方法进行。

**16.1.2** 岩土工程分析评价必须明确所依据的技术标准，分析评价的深度应符合所选用标准的技术要求，充分考虑省内地域特点和地方工程经验。

16.1.3 岩土工程分析评价应在定性分析基础上进行定量分析。涉及岩土体的强度、变形和稳定应定量分析，场地稳定性、适宜性可作定性分析。

**16.1.4** 岩土工程勘察报告应资料完整，数据真实，内容可靠，逻辑清晰，文字、表格、图件互相印证。文字、标点符号、术语、数字和计量单位等应符合国家有关标准的规定。

**16.1.5** 勘察报告应统一全线地质单元、工程地质水文地质分区、岩土分层的划分标准。

**16.1.6** 勘察报告中的岩土工程分析评价，应论据充分、逻辑合理、针对性强，所提建议应技术可行、经济合理、安全适用。岩土参数的分析与选用应符合《岩土工程勘察规范》GB50021的相关规定。

**16.1.7** 可行性研究阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制，初步勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制或按照地质单元、线路敷设形式编制，详细勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照车站、区间、车辆段、停车场等分别编制。

**16.1.8** 勘察报告中的图例宜符合本规范附录G的规定。

## 16.2 岩土工程分析与评价

**16.2.1** 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 岩土特征分析与评价。

2 不良地质作用及特殊性岩土对工程影响的分析、评价及防治措施的建议。

3 划分场地土类型和场地类别，抗震设防烈度大于6度的场地，评价地震液化和软土震陷的可能性，提出相关预防或处置建议。

4 地下水对工程的静水压力、浮托作用及对施工的影响分析，根据工程需要提供抗浮设计水位。

5 水和土对建筑材料腐蚀性的评价。

6 地基稳定性和均匀性评价。

7 场地稳定性和适宜性评价。

8 地下工程、高架工程、路基、涵洞及各类地面建筑工程的地基承载力及变形的分析，地基基础设计方案的建议。

9 围岩、边坡稳定性和变形分析，支护方案和施工措施的建议。

10 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。

**16.2.2** 明挖法施工应重点分析评价下列内容：

1 原位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。

2 分析岩土层的渗透性及地下水动态，评价排水、降水、截水等措施的可行性。

3 分析基底隆起、基坑突涌的可能性，提出基坑开挖方式及支护方案的建议。

4 支护桩墙类型选择、连续墙槽壁稳定性评价，连续墙、立柱桩持力层的承载能力，软弱下卧层稳定性评价。

5 分析地下连续墙、钻孔咬合桩、SMW工法桩等施工及基坑开挖中可能出现的岩土工程问题，以及对地面、邻近建（构）筑物和管线的影响，提出防治措施建议。

**16.2.3** 矿山法施工应重点分析评价下列内容：

1 分析岩土及地下水的特性，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、超前支护方式等的建议。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，提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岩土的情况，指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等问题的地段，提出围岩加固或治理的建议。

4 根据隧道断面尺寸及埋深、岩土特性、施工方法等分析隧道开挖引起地面变形的特性及影响范围，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范围，提出防治措施建议。

**16.2.4** 盾构法施工应重点分析评价下列内容：

1 根据岩土层特征，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、岩石质量指标等相关参数，提出盾构机选型应注意的地质问题。

2 分析浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响，并提出防治措施建议。

3 评价复杂地质条件以及河流、湖泊等地表水体对盾构施工的影响。

4 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。

5 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。

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

**16.2.5** 高架工程应重点分析评价下列内容：

1 分析不良地质作用和特殊性岩土对桩（墩）基稳定和受力变形特性的影响，提出防治措施建议。

2 分析评价各墩台边坡稳定性。

3 提出桩（墩）类型建议，评价成桩的可能性。

4 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。

**16.2.6** 地面建（构）筑物的岩土工程分析评价，应符合现行的国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

**16.2.7** 工程建设对工程周边环境影响的分析评价可包括下列内容：

1 基坑开挖、隧道掘进和桩基施工等可能引起的地面沉降或隆起和土体的水平位移，对邻近建（构）筑物、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。

**16.2.8** 分析评价周边新建建筑物、基坑开挖、地面超载与卸载及其它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。

## 16.3 勘察报告的基本要求

**16.3.1** 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；勘察报告中应统一全线工程地质单元、工程地质与水文地质分区、岩土分层的划分标准。

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、结构轮廓等。

4 勘探点应投影到线路里程上做工程地质纵剖面图，并包含钻孔里程、线路里程及工点剖面等。

5 地震、地质构造图等平面图宜包括轨道交通线路位置。

**16.3.2** 可行性研究勘察报告除符合16.3.1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、地表水文、气象等资料。

2 对搜集的资料和勘察结果进行综合分析，初步划分工程地质单元或进行工程地质分区，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、铺设方案时，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。

**16.3.3** 初步勘察报告除符合 16.3.1 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，评价对工程的影响。

2 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。

3 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。

4 初步评价地下水对工程的作用与影响、场地地震效应，划分场地土类型、场地类别。

5 初步评价场地稳定性和适宜性。

6 根据拟建工程特点对线路位置、隧道埋深、地基基础方案、边坡支护、地下水控制、施工方法等提出初步建议。

7 结合工程周边环境调查成果，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。

8 提出详细勘察工作建议。

**16.3.4** 详细勘察报告除符合 16.3.1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、施工需要的岩土指标与设计参数。

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，抗震设防烈度大于6度的场地，应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岩土施工工程等级，并分段评价围岩的稳定性。

5 分析地基、围岩、边坡设计、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、不良地质作用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。

## 16.4 勘察报告的内容

**16.4.1** 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。

**16.4.2** 勘察报告的文字部分宜包括下列内容：

1 勘察任务依据、拟建工程概况、执行的技术标准、勘察目的与要求、勘察范围、勘察方法、勘察过程及完成工作量等。

2 区域地质概况及勘察场地的地形、地貌、水文、气象条件。

3 场地地面条件及工程周边环境条件。

4 岩土特征描述，岩土分区、分层、物理力学性质，岩土施工工程分级，隧道围岩分级。

5 地下水类型，赋存、补给、径流、排泄条件，地下水及其变化幅度，岩土层的透水及富水性质。

6 不良地质作用、特殊性岩土的描述，及其对工程危害程度的评价。

7 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、液化判别。

8 水和土对建筑材料的腐蚀性评价。

9 地基稳定性和均匀性评价。

10 场地稳定性和适宜性评价。

11 场地工程周边环境条件和工程相互影响的评价，环境保护的工程措施建议。

12 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。

**16.4.3** 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 原位测试成果及统计表。

4 土工试验成果表。

5 水质分析成果表。

6 其他的相关分析表格。

**16.4.4** 勘察报告的图件宜包括下列内容：

1 工程地质及勘探点平面位置图。

2 工程地质纵、横剖面图。

3 钻孔柱状图。

4 现场岩芯照片。

5 原位测试成果图。

6 水文地质试验成果图。

7 必要时提供区域地质构造图，水文地质图、工程地质及水文地质单元分区图、重要地层等值线图。

8 其他相关图件。

**16.4.5** 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16.4.2条～第16.4.5条执行。工程周边环境调查报告应符合本规范第8.3节的要求。

# 17 勘察风险控制

## 17.1 一般规定

17.1.1 勘察风险管理应按《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652执行，主要内容包括：风险界定、风险辨识、风险评估和风险控制。

17.1.2 勘察风险管理的目标是针对勘察过程中的各类风险，制定控制措施，提供可靠的勘察资料，降低轨道交通工程勘察风险。

17.1.3 勘察风险管理应由建设单位组织实施，并明确工程参与各方的风险管理责任。

## 17.2 勘察风险的界定和辨识

17.2.1 勘察实施过程中风险类型有自然灾害风险、地质条件风险、工程周边环境风险、技术标准风险、施工安全风险、质量风险和其它风险等。应对可能出现的风险源进行识别和分级，并分析原因，采取相应的风险控制预防措施。

17.2.2 勘察风险辨识过程可分为风险定义、确定参与者、收集相关资料、风险识别、风险筛选、编制风险辨识报告等步骤。

17.2.3 自然灾害风险是指勘察工作中由自然灾害引起的风险。自然灾害包括气象灾害及地质灾害，气象灾害主要为台风、暴雨、雷击、寒潮、高温及干旱等，地质灾害主要为地震、泥石流、滑坡、崩塌、危岩落石、塌陷等。

17.2.4 地质条件风险是指由地形地貌、地层岩性、地质构造、水文条件、不良地质作用等地质条件引起的风险。地质条件对工程风险作用的机理可归结为稳定性问题、变形问题和渗流问题。稳定性问题主要包括区域、地基、边坡、围岩稳定等；变形问题主要包括基础、边坡、围岩、地面、建筑环境变形等；渗流问题主要包括渗流稳定性、渗流变形、渗流压力问题等。

17.2.5 工程周边环境风险是指工程建设中因周边环境对象自身特点（重要性、安全性等）和工程技术可控性限制等可能导致的环境对象保护难度较大、安全风险较高以及带来的相关损失的组合。工程周边环境主要是指与工程建设安全相互作用和影响、位于地面或地下的既有（或在建）建构筑物（含文物古建）、管线、桥梁、隧道、轨道交通设施、城市道路、地表水体等沿线城市工程环境，是动态环境体系中自然环境的组成部分。

应根据工程周边环境与工程的相互影响及破坏后果的严重程度合理确定环境风险等级。

17.2.6 技术标准风险主要是指因为采用的标准规范不适当或违反国家强制性技术条文而导致的风险。

17.2.7 勘察施工主要是指为获取相关地质资料及参数等在现场进行的钻探、测试及试验等工作。勘察施工安全风险应根据项目特点、场地施工及地质条件、勘察手段等对施工过程中危险源进行识别和分级，宜包括下列内容：

1 机械、设备和人员自身的安全风险。

2 由于施工不当，导致钻探过程中对地下设施、地下管线和周边环境的破坏引发的各类安全风险。

3 由于钻孔封堵不当、遗留钻具造成的风险。

4 因占地施工围挡，警示标志不齐导致的行人、行车安全风险。

17.2.8 质量风险主要为勘察资料缺陷引发的风险，包括但不限于下列：

1 勘察方案不全面、不合理，包括勘探点位布置与数量、深度、钻探与原位测试技术、室内土工试验方法、试验数量及数据分析等。

2 现场调查、编录和测量成果不当或错误的。

3 勘探、取样、原位测试和室内试验成果错误的。

4 填土、软土、红黏土和膨胀土等特殊性土特征及性质没有查明的。

5 滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、浅层气体及活动断裂等不良地质没有查明的。

6 水文地质条件及环境水土对建筑材料腐蚀性没有查明的。

7 对影响基坑或隧道施工的地质环境条件没有查明的。

8 勘察报告提供的岩土设计参数错误，工程地质评价和建议不当的。

9 提供的勘察资料不完整的。

## 17.3 勘察风险评估

17.3.1 勘察风险分析方法可采用定性分析、定量分析和综合分析。

17.3.2 轨道交通工程建设风险管理应根据工程建设阶段、规模、重要性程度及建设风险管理目标等制定风险等级标准。

17.3.3 轨道交通风险发生可能性等级标准、风险损失等级标准、工程建设人员和第三方伤亡等级标准、环境影响等级标准、工期延误等级标准、社会影响等级标准执行《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652的相关规定。

17.3.4 风险等级标准应根据风险发生的可能性和风险损失分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ共四级。

表17.3.4 风险等级标准

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 损失等级  可能性等级 | | A | B | C | D | E |
| 灾难性的 | 非常严重的 | 严重的 | 需考虑的 | 可忽略的 |
| 1 | 频繁的 | Ⅰ级 | Ⅰ级 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 |
| 2 | 可能的 | Ⅰ级 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅲ级 |
| 3 | 偶尔的 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 |
| 4 | 罕见的 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 | Ⅳ级 |
| 5 | 不可能的 | Ⅲ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 | Ⅳ级 | Ⅳ级 |

17.3.5 风险接受准则是针对不同等级风险，应采用不同的风险处置原则和控制方案，分为不可接受、不愿接受、可接受、可忽略四类。

表17.3.5 风险接受准则

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 接受准则 | 处置原则 | 控制方案 | 应对部门 |
| Ⅰ级 | 不可接受 | 必须采取风险控制措施降低风险，至少应将风险降低至可接受或不愿接受的水平 | 应编制风险预警与应急处置方案，或进行方案修正或调整等 | 政府主管部门、工程建设各方 |
| Ⅱ级 | 不愿接受 | 应实施风险管理降低风险，且风险降低的所需成本不应高于风险发生后的损失 | 应实施风险防范与监测，制定风险处置措施 |
| Ⅲ级 | 可接受 | 宜实施风险管理，可采取风险处理措施 | 宜加强日常管理与监测 | 工程建设各方 |
| Ⅳ级 | 可忽略 | 可实施风险管理 | 可开展日常审视检查 |

## 17.4 勘察风险控制

17.4.1 勘察风险控制必须坚持“安全第一、保护环境、预防为主”的原则，采取经济、可行、主动的处置措施来减少或降低风险的影响。

17.4.2 勘察风险管理控制处理措施包括：风险消除、风险降低、风险转移及风险自留。风险控制措施包括组织制度措施、教育培训措施、技术保障措施、经费保障和工程保险等措施。

17.4.3 自然灾害风险控制的措施包括下列内容：

1 收集当地气象资料，了解当地主要气象灾害，雨季需注意防雨防雷，夏季需防暑降温，冬季需防寒保暖。

2 山区作业需注意可能存在的地质灾害，对布置于斜坡、坡脚及沟槽中的钻孔需对场地及周边环境加强调查，避免遭受滑坡、崩塌、危岩落石及泥石等的危害，对不具备安全条件的钻孔需移孔或采取其它勘探手段。

3 市区作业遇极端天气（如大风、暴雨等），可能影响钻探人员及行人、行车安全时，应立即停止施工，待条件允许时开工。

17.4.4 地质条件风险控制的措施包括下列内容：

1 斜坡地段及开挖工程（基坑及路堑工程等）应分析自然边坡或人工边坡的稳定性。

2 存在软弱地基时应分析地基及周边建构筑物的变形问题。

3 地下水发育地段应分析地下水渗流引起的地质问题，特别是存在多层地下水时应重视深层承压水引起的突涌、抗浮等问题。

4 存在成层泥炭质土时除应分析地基及周边建构筑物变形问题外，还应分析该层土产生有害气体的可能性，针对性的提出设计施工建议。

17.4.5 轨道交通工程多处于城市及城市周边，工程周边环境条件复杂，对工程勘察及设计影响很大。工程周边环境风险控制的措施包括下列内容：

1 开展地下障碍物、构筑物及地下管线调查工作，查明地下建（构）筑物、地下障碍物和地下管线，勘探布点及现场测设应避开各种地下管线。

2 钻探中应避让高架、空中线路，禁止整体移机。

3 采用物探手段进行地下管线探查、验证。

4 现场放样后，应核对管线图纸和现场标志，并经管线权属部门现场确认。

5 人工开挖至原状土层或不少于2m，并对浅部10m采用压入法缓慢钻进，遇异常应停钻处理，防范发生地下管线破坏、停电、爆炸和火灾等风险。

6 外业钻探施工场地应设置安全可靠的围挡，并设置警示牌和交通引导牌等，钻孔完工后应做好场地清理，钻孔回填及场地恢复。

17.4.6 勘察施工现场安全风险技术保障措施宜包括下列内容：

1 现场技术交底。

2 钻孔开孔、终孔程序。

3 交通安全、文明施工措施。

4 地下管线和地下设施安全保证措施。

5 水上作业安全措施。

6 野外作业安全措施。

7 夜间作业安全措施。

8 其他作业安全措施。

17.4.7 勘察风险管理中，宜采用的质量风险控制措施包括：

1 实行勘察大纲、勘察报告评审和勘察外业监督检查制度。

2 检查试验方法与数据，抽查钻孔芯样。

3 地质条件变化较大时及时调整钻孔间距，增加钻孔数量，工程方案调整后应及时补充地质钻孔。

4 采取多种勘察手段，将地质钻探与物探相结合或对照参考。

5 采用多种勘察手段，进行不良工程地质与水文地质勘察工作及周边环境调查工作。

6 充分利用邻近已建建构筑物的勘察成果和经验。

17.4.8 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。

17.4.9 根据风险评估及分级结果，勘察单位应编写应急预案。对于重大风险应有专项风险应对措施，将风险降低到可接受水平。

# 18 现场检验和监测

## 18.1 一般规定

18.1.1 轨道交通施工过程中应对工程地质、水文地质及周边环境进行现场检验，并对检验与监测中遇到的异常情况，提出处理建议。必要时进行施工勘察。

18.1.2 现场检验和监测的方法，可根据工程类型、岩土条件及周边环境复杂程度采用现场观察、试验及仪器测量等手段。

18.1.3 现场检验和监测完成后，应提交成果报告。

## 18.2 现场检验

18.2.1 检验包括以下内容：

1 岩土分布、均匀性和特征。

2 地下水水位标高、随季节变化情况及渗流状况，与周边水体的水力联系。

3 检查是否有河道、采空区、暗浜、洞穴、防空掩体及地下埋设物等分布及性状。

4 污染土及有害气体的分布及特征。

5 检查地基是否受到施工的扰动，扰动的范围和深度。

18.2.2 桩基工程和地基处理工程的检验应包括以下内容：

1 应通过试成孔或试沉桩，检验岩土条件是否与勘察报告一致。

2 桩端及墙端进入持力层状况，对于大直径挖孔桩，应逐桩检验孔底尺寸和岩土情况。

3 对于抗拔桩及水平承载桩，应对单桩竖向抗拔及水平承载进行抽样检测。

4 地基加固体、桩身或墙体完整性及强度。

18.2.3 明（盖）挖法施工检验应包括下列内容：

1 开挖揭露的岩土类型、成因、分布与工程特性。

2 地下水渗流情况及降水效果。

3 截水帷幕截水效果、基坑渗漏状况以及坑底土体突涌的可能性。

4 土体加固处理的效果。

5 地下不良地质现象及有害气体分布。

6 岩溶发育区坑底下可采用物探进一步探测是否存在溶洞。

18.2.4 矿山法施工检验应包括下列内容：

1 开挖揭露的岩土类型、成因、分布与工程特性；涉及基岩时的基岩起伏、强度、岩体结构形态和完整形态、岩层风化程度、结构面发育情况、构造破碎带特征、岩溶发育及富水情况、围岩的膨胀性等。

2 地下水的特征、地下水的处理效果及渗漏情况。

3 工作面岩土体的稳定状态。

4 不良地质现象及有害气体分布。

5 根据开挖揭露的岩土情况，对围岩分级进行确认或修正。

18.2.5 盾构法施工检验应包括下列内容：

1 围岩岩土类型、成因、分布与工程特性，涉及基岩时的岩土分界面位置、强度等，涉及砂土、卵石和岩土时的颗粒组成、最大粒径及曲率系数、不均匀系数、耐磨矿物成分等。

2 接收（始发）井地基加固效果、包括加固体强度及抗渗性能。

3 地下障碍物、岩溶、土洞、孤石及有害气体的分布等。

4 联络通道可以采用冻结法的部位、地层温度、热物理指标、冻胀率及融沉系数等。

5 地下水的分布、流速及腐蚀性。

## 18.3 现场监测

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

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

18.3.3 盾构法隧道施工时，应监测管片结构位移及净空收敛、地表沉降。

18.3.4 周边环境监测内容应符合下列规定：

1 对建构筑物，应监测沉降及裂缝，对高层、高耸建构筑物尚应监测倾斜。

2 对地下管线，应监测沉降及不均匀沉降，当支护结构产生较大变形或土体出现坍塌，地面出现裂缝迹象，并对地下管线造成危害时，应对地下管线进行水平位移监测。

3 对高速公路与城市道路，应监测路面路基沉降、挡墙沉降及倾斜。

4 对桥梁，应监测墩台沉降及差异沉降、墩柱倾斜，当桥梁自身安全状态差、墩台差异沉降大或设计要求时，应进行梁板结构应力监测。

5 对既有城市轨道交通设施，应监测隧道结构水平及竖向位移、隧道结构净空收敛及变形缝差异沉降、轨道结构（道床）沉降、轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）等。

18.3.5 围护桩、地下连续墙、工程桩及地基加固等施工过程应进行周边环境的监测。

18.3.6 支护结构、周围岩土体、周边环境的监测点布设、监测频率、监测项目控制值的设定应符合国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911和国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB50308的相关要求。

18.3.7 地下水动态监测应符合下列规定：

1 遇到下列情况应进行地下水位动态监测：

1）地下水升降影响岩土稳定、软化及胀缩时，对地下室或地下构筑物的防潮、防水或稳定性产生较大影响时；

2）施工降水对拟建工程、相邻工程和周边环境有较大影响时；

3）施工或环境条件改变，造成孔隙水压力、地下水压力变化对工程设计或施工有较大影响时。

2 地下水监测方法：

1）地下水位的监测可设置专门的地下水位观测孔或利用水井；

2）孔隙水压力、地下水压力的监测可采用孔隙水压力计、测压计进行。

3 监测点的布置和监测频率：

1）每个施工场地的监测点不宜少于3个，深度不应小于最大可能降深以下1m；

2）区间隧道的观测点应根据工程的需要及地质条件布置；

3）动态监测时间不应少于一个水文年；并宜每周监测二次，雨天宜每天监测一次。

## 18.4 不良地质作用和地质灾害的监测

18.4.1 下列情况应进行不良地质作用和地质灾害的监测：

1 场地及其附近有不良地质作用或地质灾害，并可能危及工程的安全或正常使用时。

2 工程建设和运行，可能加速不良地质作用的发展或引发地质灾害时。

3 工程建设和运行，对附近环境可能产生显著不良影响时。

18.4.2 不良地质作用和地质灾害的监测，应根据场地及其附近的地质条件和工程实际需要编制监测纲要，按纲要进行。纲要内容包括：监测目的和要求，监测项目、测点布置、观测时间间隔和期限、观测仪器、方法和精度、应提交的数据、图件等，并及时提出灾害预报和采取措施的建议。

18.4.3 岩溶土洞发育区应着重监测下列内容：

1 地面变形。

2 地下水位的动态变化。

3 场区及其附近的抽水情况。

4 地下水位变化对土洞发育和塌陷发生的影响。

18.4.4 滑坡监测应包括下列内容：

1 滑坡体的位移。

2 滑面位置及错动。

3 滑坡裂缝的发生和发展。

4 滑坡体内外地下水位、流向、泉水流量和滑带孔隙水压力。

5 支挡结构及其他工程设施的位移、变形、裂缝的发生和发展。

18.4.5 当需判定崩塌剥离体或危岩的稳定性时，应对张裂缝进行监测。对可能造成较大危害的崩塌，应进行系统监测，并根据监测结果，对可能发生崩塌的时间、规模、塌落方向和途径、影响范围等做出预报。

18.4.6 对现采空区应进行地表移动和建筑物变形的观测，并应符合下列规定：

1 观测线宜平行和垂直矿层走向布置，其长度应超过移动盆地的范围。

2 观测点的间距可根据开采深度确定，并大致相等。

3 观测周期应根据地表变形速度和开采深度确定。

18.4.7 因城市或工业区抽水而引起区域性地面沉降，应进行区域性的地面沉降监测，监测要求和方法应按有关标准进行。

18.4.8 在勘察期间揭露有毒有害气体的区域，应该注意区域性的有害气体的监测及地面沉降监测，监测要求和方法应按有关标准进行。

18.4.9 冻土区应着重监测下列内容：

1 气温、冻土地温、冻土上限、季节性冻结深度、地下水位、融化下沉量及冻胀量、冻土现象的变化特征等。

2 所采用各种防止冻胀、消除融沉措施的适用性及效果。

3 在人为活动影响下冻土环境变化特点与稳定状态。

**附录A 地层**

A.0.1 云南省第四纪地层划分可按表A.0.1确定。

**表A.0.1 云南省第四纪地层划分表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地质时代 | | | 地层组 | 成因类型 | 时代及  成因代号 | 岩性简述 | 备注 |
| 纪 | 世 | 期 |
| 第四纪 | 全新统 | 晚 | 剑湖组 | 冲湖积 | Q4j | 灰黄色粉砂夹浅灰色砂砾石、黏土。 | 昆明盆地的海埂组相对于剑川盆地的秋木山组~剑湖组，通海杞麓湖通海组相当于剑川盆地的海门口组。 |
| 中 | 海门口组 | Q4h | 浅灰色、灰绿色黏土夹淤泥、粉砂。 |
| 早 | 上登组 | Q4s | 褐色粉砂夹粉土、粉质黏土、黏土 |
| 始 | 秋木山组 | Q4q | 杂色粉砂层、黑色淤泥夹粉砂、粉质黏土 |
| 更新世 | 晚 | 官渡组 | 冲湖积 | Q3g | 浅绿、暗灰、蓝灰色砂砾石夹黏土、淤泥、草煤等 | 相当于剑川盆地的甸南组，丽江盆地的木家桥组，昆明盆地山前台地的花果山组。 |
| 中 | 中营组 | 冲洪积冲湖积 | Q2z | 灰色及褐灰色砂砾、粉砂、粉砂质黏土为主，夹薄层黑色炭质黏土。 | 相当于东川区的拖布卡组，云某县的龙街组，剑川盆地的江尾河组，鹤庆、丽江的鹤云寺组 |
| 早 | 元谋组 | 冲洪积冲湖积 | Q1y | 紫红、棕黄、青灰色黏土、粉砂质黏土夹砂砾石层。 | 相当于昆明盆地的滇池组、杨方凹组，昭通盆地的海子组，开远等地的河头组，大理地区的松毛坡组，剑川盆地的东山组，丽江盆地的蛇山组 |
| 新第三纪 | 上新世 | 晚 | 昭通组 | 湖沼相沉积 | N2 | 灰色黏土岩、褐煤夹砾石 | 相当于沙沟组、茨营组等 |

A.0.2 昆明第四纪地层划分可按表A.0.2确定。

**表A.0.2 昆明市第四纪地层划分表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地质时代 | | 地层岩组 | 成因类型 | 时代  及成因代号 | 岩性简述 |
| 纪 | 世 |
| 第  四  纪 | 全新世 | 海埂组（Q4h） | 湖积 | Q4 | 主要由填土、灰褐色粉质黏土、淤泥质黏土组成，厚度0~37m。 |
| 上更新世 | 官渡组（Q3g） | 冲湖积 | Q3 | 以黑色泥炭、灰色黏土、浅蓝灰色粉砂质黏土、褐色及灰色粉砂、蓝灰色砾砂组成。厚度0~222m。 |
| 中更新世 | 中营组/横冲组（Q2z/Q2h） | 冲湖积 | Q2 | 以灰色及褐灰色砂砾、粉砂、粉砂质黏土为主，夹薄层黑色炭质黏土，厚度0~216m。 |
| 下更新世 | 松华坝组/滇池组（Q1s/Q1d） | 湖积 | Q1 | 为一套杂色黏土、粉砂质黏土夹灰黑色黏土、炭质黏土及褐煤，厚度0~468m。 |

**附录B 岩土分类与鉴定**

B.0.1 岩石坚硬程度等级应按表B.0.1划分。

**表B.0.1 岩石坚硬程度分类**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 坚硬程度 | 坚硬岩 | 较硬岩 | 较软岩 | 软岩 | 极软岩 |
| 饱和单轴抗压强度(MPa) | fr＞60 | 60≥fr＞30 | 30≥fr＞15 | 15≥fr＞5 | fr＜5 |

注：1 当无法取得饱和单轴抗压强度数据时，可用点荷载试验强度换算，换算方法按现行国家标准《工程岩体分级标准》GB50218执行。

2 当岩体整程度为极破碎时可不进行坚硬程度分类。

B.0.2 岩体完整程度分类应按表B.0.2划分。

**表B.0.2 岩体完整程度分类**

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

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

B.0.3 岩体基本质量等级应根据岩石坚硬程度和岩体完整程度按表B.0.3的规定进行划分。

**B.0.3 岩体基本质量等级应按表A.0.3划分**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 完整程度  坚硬程度 | 完整 | 较完整 | 较破碎 | 破碎 | 极破碎 |
| 坚硬岩 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ |
| 较硬岩 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅴ |
| 较软岩 | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅴ | Ⅴ |
| 软岩 | Ⅳ | Ⅳ | Ⅴ | Ⅴ | Ⅴ |
| 极软岩 | Ⅴ | Ⅴ | Ⅴ | Ⅴ | Ⅴ |

B.0.4 岩石质量指标(RQD）应按表B.0.4划分。

**表B.0.4 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 |

B.0.5 岩层厚度应按表B.0.5划分。

**表B.0.5 岩层厚度分类**

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

B.0.6 岩石风化程度按表B.0.6划分。

**表B.0.6 岩石风化程度分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风化程度 | 野外特征 | 风化程度参数指标 | |
| 波速比*Kv* | 风化系数Kf |
| 未风化 | 岩质新鲜，偶见风化痕迹；仅大的裂隙面偶见褪色；锤击发音清脆，开挖需用爆破 | 0.9～1.0 | 0.9～1.0 |
| 微风化 | 结构和构造基本未变；岩石表面或裂隙面有轻微褪色；有少量风化裂隙，大部分裂隙闭合或为钙质薄膜充填，沿大裂隙有风化蚀变现象，或有锈膜浸染；锤击发音清脆，开挖需用爆破 | 0.8～0.9 | 0.8～0.9 |
| 中等风化 | 结构部分破坏，沿节理面有次生矿物；岩石表面或裂隙面大部分变色，断口色泽较新鲜；风化裂隙发育，岩体被切割成岩块，裂隙壁风化较剧烈；沿裂隙铁镁矿物氧化锈蚀，长石变得浑浊、模糊不清；锤击发声较清脆，用镐难挖，岩芯钻方可钻进 | 0.6～0.8 | 0.4～0.8 |
| 强风化 | 结构大部分破坏，小部分岩石分解或崩解成土，大部分岩石呈不连续的骨架或心石；大部分变色，只有局部岩块保持原有颜色，矿物成分显著变化，除石英外，长石、云母和铁镁矿物已风化蚀变；风化裂隙很发育，有时含大量次生夹泥；锤击哑声，岩体易碎，用镐可挖，干钻不易钻进 | 0.4～0.6 | ＜0.4 |
| 全风化 | 结构基本破坏，但尚可辨认，已崩解或分解成松散的土状或砂状；全部变色，光泽消失；除石英外，其余矿物大部分风化蚀变为次生矿物；锤击有松软感，出现凹坑，矿物手可捏碎，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进 | 0.2～0.4 | — |

注：1 波速比*Kv*为风化岩石与新鲜岩石压缩波速之比。

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 岩石风化程度，除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据经验划分。

4 花岗岩类岩石，N≥50为强风化；30≤N<50为全风化。

5 半成岩可不进行风化程度划分

6 风化岩体厚度较大时，也可根据需要进一步划分。

B.0.7 粒径大于2mm的颗粒质量超过总质量50%的土，应定名为碎石土，并应按表B.0.7进一步分类。

**表B.0.7 碎石土分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒形状 | 颗粒级配 |
| 漂石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于200mm的颗粒质量超过总质量50％ |
| 块石 | 棱角形为主 |
| 卵石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于20mm的颗粒质量超过总质量50％ |
| 碎石 | 棱角形为主 |
| 圆砾 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于2mm的颗粒质量超过总质量50％ |
| 角砾 | 棱角形为主 |

注：定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

B.0.8 粒径大于2mm的颗粒质量不超过总质量的50%，粒径大于0.075mm的颗粒质量超过总质量50%的土，应定名为砂土，并应按表B.0.8进一步分类。

**表B.0.8 砂土分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒级配 |
| 砾砂 | 粒径大于2mm颗粒的质量占总质量大于25％，且小于50％ |
| 粗砂 | 粒径大于0.5mm颗粒的质量超过总质量50％ |
| 中砂 | 粒径大于0.25mm的颗粒的质量超过总质量50％ |
| 细砂 | 粒径大于0.075mm的颗粒的质量超过总质量85％ |
| 粉砂 | 粒径大于0.0075mm的颗粒的质量超过总质量50％ |

注：定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

B.0.9 粒径大于0.075mm的颗粒质量不超过总质量的50%，且塑性指数等于或小于10的土，应定名为粉土，并按表B.0.9进一步分类。

**表B.0.9 粉土分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒级配 | 塑性指数Ip |
| 黏质粉土 | 粒径大于0.075mm颗粒的质量不超过总质量50% | 7≤Ip ≤10 |
| 砂质粉土 | 粒径大于0.075mm颗粒的质量不超过总质量50% | Ip <7 |

注：以颗粒级配为主，塑性指数作参考。

B.0.10 塑性指数大于10的土应定名为黏性土，并按表B.0.10进一步分类。

**表B.0.10 黏性土分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 土的名称 | 塑性指数Ip |
| 黏土 | Ip＞17 |
| 粉质黏土 | 10＜Ip≤17 |

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

B.0.11 粉土或黏性土的目力鉴定应按表B.0.11确定。

**表B.0.11 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 |

B.0.12 碎石土的密实度可根据圆锥动力触探锤击数按表B.0.12确定。

表B.0.12 碎石土密实度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 重型动力触探锤击数N63.5 | 密实度 | 重型动力触探锤击数N63.5 | 密实度 |
| N63.5≤5 | 松散 | 10＜N63.5≤20 | 中密 |
| 5＜N63.5≤10 | 稍密 | N63.5＞20 | 密实 |

注：1 本表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。对于平均粒径大于50mm，或最大粒径大于100mm的碎石土，可用超重型动力触探或野外观察鉴别。

2 动力触探锤击数是修正后击数。

B.0.13 砂土密实度可根据标准贯入试验锤击数实测值*N*或静力触探锥尖阻力值*qc*按表B.0.13确定。

**表B.0.13 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 |
| qc(MPa) | qc≤3.0 | 3.0＜qc≤6.0 | 6.0＜qc≤12.0 | qc＞12.0 |

B.0.14 粉土密实度应按表B.0.14-1和表B.0.14-2确定。

**表B.0.14-1 粉土密实度分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 孔隙比e | 密实度 |
| e＜0.75 | 密实 |
| 0.75≤e≤0.9 | 中密 |
| e＞0.9 | 稍密 |

注：当有经验时，也可用原位测试或其它方法划分粉土的密实度。

表B.0.14-2 粉土密实度分类

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密实度 | | 松散 | 稍密 | 中密 | 密实 |
| 粉土 | N | N≤7 | 7＜N≤13 | 13＜N≤25 | N＞25 |
| qc(MPa) | qc≤2.0 | 2.0＜qc≤4.0 | 4.0＜qc≤6.0 | qc＞6.0 |

B.0.15 粉土湿度应按表B.0.15确定。

**表B.0.15 粉土湿度分类**

|  |  |
| --- | --- |
| 含水量ω | 湿度 |
| ω＜20 | 稍湿 |
| 20≤ω≤30 | 湿 |
| ω＞30 | 很湿 |

B.0.16 黏性土状态应按表B.0.16划分。

**表B.0.16 黏性土状态分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 液性指数 | 状态 | 液性指数 | 状态 |
| IL≤0 | 坚硬 | 0.75＜IL≤1.00 | 软塑 |
| 0＜IL≤0.25 | 硬塑 | IL＞1.00 | 流塑 |
| 0.25＜IL≤0.75 | 可塑 |  |  |

# 附录C 岩土施工工程分级

表C 岩土施工工程分级

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 分类 | 岩土名称  及特征 | 钻1m所需时间 | | | 岩石单轴饱和抗压强度  （MPa） | 开挖方法 |
| 液压凿岩台车、潜孔钻机（净钻分钟） | 手持风枪湿式凿岩合金钻头（净钻分钟） | 双人打眼（工天） |
| 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 | 硬塑、可塑、软塑的粉质黏土、硬塑、可塑、软塑的黏土，膨胀土，粉土，Q3、Q4黄土，稍密、中密的细角砾土、细圆砾土、松散的粗角砾土、碎石土、粗圆砾土、卵石土，压密的填土，风积沙 | — | — | — | — | 部分用镐刨松，再用锹挖，脚蹬连蹬数次才能挖动的。挖掘机、带齿尖口装载机可满载、普通装载机可直接铲挖，但不能满载 |
| Ⅲ | 硬土 | 坚硬的黏性土、膨胀土，Q1、Q2黄土，稍密、中密粗角砾土、碎石土、粗圆砾土、碎石土，密实的细圆砾土、细角砾土、各种风化成土状的岩石 | — | — | — | — | 必须用镐先全部松动才能用锹挖的。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 |

续表C 岩土施工工程分级

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 分类 | 岩土名称  及特征 | 钻1m所需时间 | | | 岩石单轴饱和抗压强度  （MPa） | 开挖方法 |
| 液压凿岩台车、潜孔钻机（净钻分钟） | 手持风枪湿式凿岩合金钻头（净钻分钟） | 双人打眼（工天） |
| 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（软黏性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土、泥炭）的施工工程分级，一般可定为Ⅱ级，多年冻土一般可定为Ⅳ级。  2 表中所列岩石均按完整结构岩体考虑，若岩体极破碎、节理很发育或强风化时，其等级应按表对应岩石的等级降低一个等级。 | | | | | | | |

# 附录D 隧道围岩分级

表D 隧道围岩分级

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩级别 | 围岩主要工程地质条件 | | 围岩开挖后的稳定状态（单线） | 围岩弹性纵波波速（km/s） |
| 主要工程地质特征 | 结构形态和  完整状态 |
| I | 坚硬岩（单轴饱和抗压强度*f*r >60MPa）；受地质构造影响轻微，节理不发育，无软弱面（或夹层）；层状岩层为巨厚层或厚层，层间结合良好，岩体完整 | 呈巨块状  整体结构 | 围岩稳定，无坍塌，可能产生岩爆 | ＞4.5 |
| II | 坚硬岩（*f*r >60MPa）：受地质构造影响较重，节理较发育，有少量软弱面（或夹层）和贯通微张节理，但其产状及组合关系不致产生滑动；层状岩层为中层或厚层，层间结合一般，很少有分离现象；或为硬质岩偶夹软质岩石；岩体较完整 | 呈大块状  砌体结构 | 暴露时间长，可能会出现局部小坍塌，侧壁稳定，层间结合差的平缓岩层顶板易塌落 | 3.5～4.5 |
| 较硬岩(30MPa<*f*r≤60MPa)受地质构造影响轻微，节理不发育；层状岩层为厚层，层间结合良好，岩体完整 | 呈巨块状  整体结构 |
| III | 坚硬岩和较硬岩：受地质构造影响较重，节理较发育，有层状软弱面（或夹层），但其产状组合关系尚不致产生滑动；层状岩层为薄层或中层，层间结合差，多有分离现象；或为硬、软质岩石互层 | 呈块石状  镶嵌结构 | 拱部无支护时可能产生局部小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易塌落 | 2.5～4.0 |
| 较软岩（15MPa<*f*r≤30MPa）和软岩（5MPa<*f*r≤15MPa）：受地质构造影响严重，节理较发育；层状岩层为薄层、中厚层或厚层，层间结合一般 | 呈大块状  结构砌石 |

续表D 隧道围岩分级

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 围岩级别 | 围岩主要工程地质条件 | | 围岩开挖后的稳定状态（单线） | 围岩弹性纵波波速（km/s） |
| 主要工程地质特征 | 结构形态和  完整状态 |
| IV | 坚硬岩和较硬岩：受地质构造影响极严重，节理较发育；层状软弱面（或夹层）已基本破坏 | 呈碎石状  压碎结构 | 拱部无支护时可产生较大坍塌，侧壁有时失去稳定 | 1.5～3.0 |
| 较软岩和软岩：受地质构造影响严重，节理较发育 | 呈块石、碎石状镶嵌结构 |
| 土体：  1、具压密或成岩作用的黏性土、粉土及碎石土  2、黄土（Q1、Q2）  3、一般钙质或铁质胶结的碎石土、卵石土、粗角砾土、粗圆砾土、大块石土 | 1、2呈大块状压密结构，3呈巨块状整体结构 |
| V | 软岩受地质构造影响严重，裂隙杂乱，呈石夹土或土夹石状，极软岩（*f*r≤5MPa） | 呈角砾、碎石状松散结构 | 围岩易坍塌，处理不当会出现大坍塌，侧壁经常小坍塌；浅埋时易出现地表下沉（陷）或塌至地表 | 1.0～2.0 |
| 土体：一般第四系的坚硬、硬塑的黏性土、稍密及以上、稍湿或潮湿的碎石土、卵石土，圆砾土、角砾土、粉土及黄土（Q3、Q4） | 非黏性土呈松散结构，黏性土及黄土松软状结构 |
| VI | 岩体：受地质构造影响严重，呈碎石、角砾及粉末、泥土状 | 呈松软状 | 围岩极易坍塌变形，有水时土砂常与水一齐涌出，浅埋时易塌至地表 | ＜1.0（饱和状态的土＜1.5） |
| 土体：可塑、软塑状黏性土、饱和的粉土和砂类土等 | 黏性土呈易蠕动的松软结构，砂性土呈流潮湿松散结构 |

注：1 表中“围岩级别”和“围岩主要工程地质条件”栏，不包括膨胀性围岩、多年冻土等特殊岩土。

2、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类围岩遇有地下水时，可根据具体情况和施工条件适当降低围岩级别。

# 附录E 云南省不良地质分类和特征

E.1 滑坡的分类

E.1.1 根据物质组成、成因类型、受力形式和发生年代，滑坡分类按表E.1.1执行。

**表E.1.1 物质组成、成因类型、受力形式和发生年代分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分类因子 | 滑坡类型 | 特征描述 |
| 物质组成 | 土质滑坡 | 滑坡物质主要由土质或松散堆积物组成的滑坡 |
| 岩质滑坡 | 滑坡前滑体主要由各种完整岩体组成的滑坡，岩体中有节理裂隙切割 |
| 成因类型 | 工程滑坡 | 由人类工程活动引发的滑坡 |
| 自然滑坡 | 由自然作用而产生的滑坡 |
| 受力形式 | 推移式滑坡 | 滑坡的滑动面前缓后陡，其滑动力主要来自于坡体的中后部，前部具有抗滑作用。来自坡体中后部的滑动力推动坡体下滑，在后缘先出现拉裂、下错变形，并逐渐挤压前部产生隆起、开裂变形等 |
| 牵引式滑坡 | 坡体前部因临空条件较好，或受其他外在因素（如人工开挖、库水位升降等）影响，先出现滑动变形，使中后部坡体失去支撑而变形滑动，由此产生逐级后退变形，也称为渐进后退式滑坡 |
| 发生年代 | 新近滑坡 | 现今发生或正在发生滑移变形的滑坡 |
| 老滑坡 | 全新世以来发生滑动，现今整体稳定的滑坡 |
| 古滑坡 | 全新世以前发生滑动，现今整体稳定的滑坡 |
| 滑体形态 | 近水平滑坡 | 由基岩构成，沿缓倾岩层或裂隙滑动，滑动面倾角≤10° |
| 顺层滑坡 | 沿岩层面或裂隙面滑动，或沿坡积体与基岩交界面及基岩间不整合面等滑动，大部分布在顺倾向的山坡上 |
| 切层滑坡 | 滑动面与岩层相切，常沿倾向山外的一组断裂面发生，滑坡床多呈折线状，多分布在逆倾向的山坡上 |
| 逆层滑坡 | 由基岩构成，沿倾向坡外的软弱面滑动，滑动面与岩层层面相切，且滑动面倾角大于岩层倾角 |
| 楔体滑坡 | 在花岗岩、厚层灰岩等整体结构岩体中，沿多组弱面切割形成的楔形体滑动 |
| 变形体 | 岩质变形体 | 由岩体构成，受多组软弱面控制，存在潜在滑面，已发生局部变形破坏，但边界特征不明显 |
| 堆积体变形体 | 由堆积体构成（包括土体），以蠕滑变形为主，边界特征和滑动面不明显 |
| 活动性 | 活滑坡 | 发生后仍在继续活动的滑坡。后壁及两侧有新鲜擦痕，体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等变形迹象，其上偶有旧房遗址，幼小树木歪斜生长等 |
| 死滑坡 | 发生后已停止发展，一般情况下不可能重新活动，坡体上植被茂盛，常有老建筑 |

E.1.2 根据滑体颗粒大小和物质成份，土质滑坡分类按表E.1.2执行。

**表E.1.2 颗粒大小和物质成份的土质滑坡分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 滑坡类型 | 物质成份分类 | 特征描述 |
| 粗粒土  滑坡 | 堆积层滑坡 | 滑体由各种成因的块碎石堆积体（如滑坡、崩塌、泥石流、冰水等）构成，沿基覆界面或堆积体内部剪切面滑动 |
| 残坡积层滑坡 | 滑体由基岩风化壳、残坡积土等构成，沿基覆界面或残坡积层内部剪切面滑动 |
| 人工堆积层滑坡 | 滑体由人工开挖堆积土、弃渣等构成，沿基覆界面或堆积层内部剪切面滑动 |
| 细粒土  滑坡 | 黏性土滑坡 | 发生在黏性土层中的滑坡 |
| 软土滑坡 | 滑坡土体以淤泥质土、淤泥、泥炭质土、泥炭等抗剪强度极低的土为主，塑流变形较大 |
| 膨胀土滑坡 | 滑坡土体富含蒙脱石等易膨胀矿物，内摩擦角很小，干湿效应明显 |
| 其它细颗粒土滑坡 | 发生于其他类型的细粒土（砂性土、粉土等）中的滑坡 |

E.1.3 根据滑坡的规模分类按表E.1.3执行。

**表E.1.3 滑坡规模分类**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 规模等级 | 巨型 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 滑坡体体积V(104m3) | V≥100 | 30≤V＜100 | 4≤V＜30 | V＜4 |

注：根据《铁路工程不良地质勘察规程》TB10027划分。

E.1.4 根据滑体厚度分类按表E.1.4执行。

**表E.1.4 滑体厚度分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 滑坡名称 | 深层滑坡 | 中层滑坡 | 浅层滑坡 |
| 滑坡体厚度H（m） | H＞20 | 6≤H＜20 | H＜6 |

注：根据《铁路工程不良地质勘察规程》TB10027划分。

E.2 崩塌的分类

E.2.1 根据物质组成和诱发因素分类按表E.2.1执行。

**表E.2.1 物质组成、诱发因素的崩塌分类**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分类因子 | 崩塌类型 | 特征描述 |
| 物质组成 | 土质崩塌 | 发生在土体中的崩塌，也称为土崩 |
| 岩质崩塌 | 发生在岩体中的崩塌，也称为岩崩 |
| 诱发因素 | 自然动力型崩塌 | 由降雨、冲蚀、风化剥蚀、地震等自然作用形成的崩塌 |
| 人为动力型崩塌 | 由工程扰动、爆破、人工加载等人为作用形成的崩塌 |

E.2.2 根据形成机理分类按表E.2.2执行。

**表E.2.2 形成机理的崩塌分类**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 倾倒式崩塌 | 滑移式崩塌 | 鼓胀式崩塌 | 拉裂式崩塌 | 错断式崩塌 |
| 岩性 | 直立或陡倾坡内的岩层 | 多为软硬相间的岩层 | 黏土、坚硬岩层下伏软弱层面 | 多见于软硬相间岩层 | 坚硬岩层 |
| 结构面 | 多为垂直节理，陡倾坡内～直立的层面 | 有倾向临空面的结构面 | 上部为垂直节理，下部为近水平结构面 | 多为风化裂隙和垂直拉张裂隙 | 垂直裂隙发育，通常无倾向临空的结构面 |
| 地貌 | 峡谷、直立岸坡、悬崖 | 陡坡通常大于55° | 陡坡 | 上部突出的悬崖 | 大于45°的陡坡 |
| 受力状态 | 主要受倾覆力矩作用 | 滑移面主要受剪切力 | 下部软岩受垂直挤压 | 拉张 | 自重引起的剪切力 |
| 起始运动形式 | 倾倒 | 滑移、坠落 | 鼓胀伴有下沉、滑移、倾倒 | 拉裂、垂落 | 下错、坠落 |
| 示意图 | 说明: C:\Users\Lenovo\AppData\Roaming\Tencent\Users\625968605\QQ\WinTemp\RichOle\D7VUH9(U)$(ION(04}IR4J3.png | 说明: C:\Users\Lenovo\AppData\Roaming\Tencent\Users\625968605\QQ\WinTemp\RichOle\~}YVQ2_2XU669LF32JO6251.png | 说明: C:\Users\Lenovo\AppData\Roaming\Tencent\Users\625968605\QQ\WinTemp\RichOle\}Q{}XO$}[1ANUTHAQ~M_PFS.png | 说明: C:\Users\Lenovo\AppData\Roaming\Tencent\Users\625968605\QQ\WinTemp\RichOle\$Z_X0R}8YV(1_SCCEPR_`]G.png | 说明: C:\Users\Lenovo\AppData\Roaming\Tencent\Users\625968605\QQ\WinTemp\RichOle\X)BXP`4[@CX]{6P{4EY9T]9.png |

E.2.3 根据崩塌（含危岩体）的规模分类按表E.2.3执行。

**表E.2.3 崩塌（含危岩体）的规模分类**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 规模 | 特大型崩塌 | 大型崩塌 | 中型崩塌 | 小型崩塌 |
| 体积V(104m3) | V≥100 | 10≤V＜100 | 1≤V＜10 | V＜1 |

E.2.4 根据危岩体顶端距离陡崖坡脚高差大小分类按表E.2.4执行。

**表E.2.4 危岩体的高度分类**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 特高危岩体 | 告危岩体 | 中危岩体 | 低危岩体 |
| 高差*H*(m) | *H*≥100 | 50≤*H*＜100 | 15≤*H*＜50 | *H*＜15 |

注：*H*为危岩体顶端距离陡崖坡脚高差

E.3 泥石流的分类

E.3.1 泥石流的工程分类应按表E.3.1执行。

**表E.3.1 泥石流的工程分类和特征**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类  别 | 亚类 | 严重程度 | 流域  面积(km²) | 固体物质一次冲出量(104m³) | 流量  (m²/s) | 堆积区面积(km²) | 泥石流特征 | 流域特征 |
| 高  频  率  泥  石  流  Ⅰ | Ⅰ1 | 严重 | ＞5 | ＞5 | ＞100 | ＞1 | 基本上每年均有泥石流发生。固体物质主要来源于沟谷的滑坡、崩塌。暴发雨强小于2mm/10min～4mm/10min。除岩性因素外，滑坡、崩塌严重的沟谷多发生黏性泥石流，规模大，反之多发生稀性泥石流，规模小 | 多位于强烈抬升区，岩层破碎，风化强烈，山体稳定性差。泥石流堆积新鲜，无植被或仅有稀疏草丛。黏性泥石流沟中下游沟床坡度大于4% |
| Ⅰ2 | 中等 | 1～5 | 1～5 | 30～100 | ＜1 |
| Ⅰ3 | 轻微 | ＜1 | ＜1 | ＜30 | — |
| 低  频  率  泥  石  流  Ⅱ | Ⅱ1 | 严重 | ＞5 | ＞5 | ＞100 | ＞1 | 暴发周期一般在10 年以上。固体物质主要来源于沟床，泥石流发生时“揭床”现象明显。暴雨时坡面产生的浅层滑坡往往是激发泥石流形成的重要因素。暴发雨强，一般大于4mm/10min。规模一般较大，性质有黏有稀 | 山体稳定性相对较好，无大型活动性滑坡、崩塌。沟床和扇形地上巨砾遍布。植被较好，沟床内灌木丛密布，扇形地多已辟为农田。黏性泥石流沟中下游沟床坡度小于4% |
| Ⅱ2 | 中等 | 1～5 | 1～5 | 30～100 | ＜1 |
| Ⅱ3 | 轻微 | ＜1 | ＜1 | ＜30 | — |

注：泥石流的工程分类宜采用野外特征与定量指标相结合的原则，定量指标满足其中一项即可。

E.3.2 泥石流单因素分类：

1 泥石流一次性暴发规模可按表E.3.2-1分类。

**表E.3.2-1 泥石流暴发规模分类**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分类指标 | 特大型 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 泥石流一次堆积总量（104 m3） | ＞100 | 100～10 | 10～1 | ＜1 |
| 泥石流洪峰量（m³/s） | ＞200 | 200～100 | 100～50 | ＜50 |

2 根据泥石流灾害一次造成的死亡人数或直接经济损失可按表E.3.2-2划分。

**表E.3.2-2 泥石流灾害危害性等级划分**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 危害性灾度等级 | 特大型 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 死亡人数（人） | ＞30 | 30～10 | 10～3 | ＜3 |
| 直接经济损失（万元） | ＞1000 | 1000～500 | 500～100 | ＜100 |

注：灾度的两项指标不在一个级次时，按从高原则确定灾度等级。

3 对潜在可能发生的泥石流，根据受威胁人数或可能造成的直接经济损失，可按表E.3.2-3划分危害性等级。

**表E.3.2-3 潜在泥石流灾害危害性等级划分**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 危害性灾度等级 | 特大型 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 直接威胁人数（人） | ＞1000 | 1000～500 | 500～100 | ＜100 |
| 直接经济损失（万元） | ＞10000 | 10000～5000 | 5000～1000 | ＜1000 |

注：灾度的两项指标不在一个级次时，按从高原则确定灾度等级。

E.3.3 泥石流发育阶段划分标准按表E.3.3执行。

**表E.3.3 泥石流发育阶段划分标准**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 发育阶段 | 发展期 | 旺盛期 | 衰退期 | 停歇期 |
| 形态特征 | 山坡以凸型为主，形成区分散，并见逐步扩大，流通区较短，扇面新鲜，淤积较快 | 山坡从凸型坡转为凹形坡，沟槽堆积和堵塞现象严重，形成区扩大，流通区向上延伸，扇面新鲜，漫流现象严重 | 山坡以凹型为主，形成区减少，流通区向上延伸，沟槽逐渐下切，扇面陈旧，生长植物，植被较好 | 全沟下切，沟槽稳定，形成区基本消失，逐渐变为普通洪流，植被良好 |
| 山坡块体运动 | 发展明显，多见新生沟谷，有少量滑坡、崩塌等 | 严重发台，供给物主要来自崩塌、滑坡、错落等，片蚀、侧蚀也很发育 | 明显衰退，坍塌渐趋稳定，以沟槽搬运及侧蚀供给为主 | 山坡块体运动基本消失 |
| 塌方面积率(%) | 1～10 | ≥10 | 10～1 | ＜1 |
| 单位面积固体物质储量（104m3） | 1～10 | ≥10 | 10～1 | ＜1 |
| 允淤性质与趋势 | 以淤为主，淤积速度增快 | 以淤为主，淤积值大 | 有冲有淤，淤积速度减小 | 冲刷下切 |
| 危害程度 | 较大 | 最大 | 较大 | 小 |

# 附录F 云南省特殊性岩土分类和特征

**表F.1 填土的分类和特征**

|  |  |
| --- | --- |
| 分类 | 特征 |
| 素填土 | 由碎石土、砂土、粉士和黏性主等一种或几种材料组成，不含杂物或含杂物很少 |
| 杂填土 | 含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物 |
| 冲填土 | 由水力冲填泥砂形成 |
| 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 |

**表F.2 软土的分类和指标**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分类  指标 | 软黏性土  （软粉土） | 淤泥质土 | 淤泥 | 泥炭质土 | 泥炭 |
| 有机质含量ωu（%） | ωu＜3 | 3≤ωu＜10 | | 10≤ωu≤60 | ωu＞60 |
| 天然孔隙比e | e≥1.0 | 1.0≤e≤1.5 | e＞1.5 | e＞3 | e＞10 |
| 天然含水率ω（%） | ω≥ωL | | | ω＞＞ωL | |
| 渗透系数k（cm/s） | k＜10-6 | | | k＜10-3 | k＜10-2 |
| 压缩系数  a0.1~0.2（MPa-1） | a0.1~0.2≥0.5 | | | — | |
| 不排水抗剪强度CU（kPa） | CU＜30 | | | CU＜10 | |
| 静力触探比贯入阻力Ps（kPa） | Ps＜800 | | | — | |

**表F.3 膨胀土的分类和判别指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土的类别 | 非膨胀土 | 弱膨胀土 | 中等膨胀土 | 强膨胀土 |
| 黏土 | δef＜40 | 40≤δef＜60 | 60≤δef＜90 | ≥90 |
| 粉质黏土 | δef＜35 | 35≤δef＜55 | 55≤δef＜80 | ≥80 |
| 红黏土 | δef＜35 | 35≤δef＜55 | 55≤δef＜80 | — |

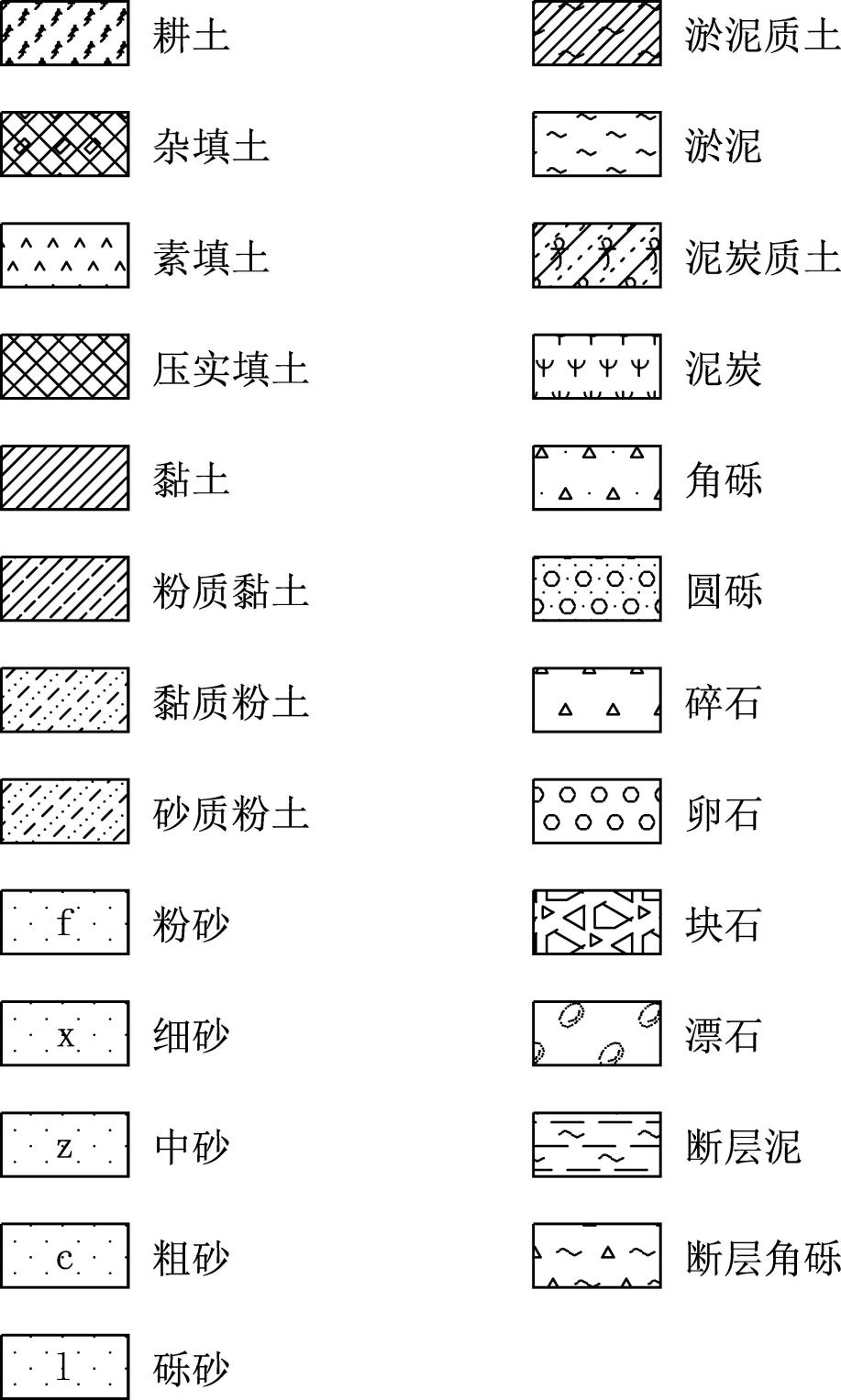
注：当地中自由膨胀率δef（%）低于各类土的弱膨胀潜势下限值5%以内，但野外调查具有膨胀土显著特征者，仍应判为膨胀土。

**表F.4 污染土的分类和特征**

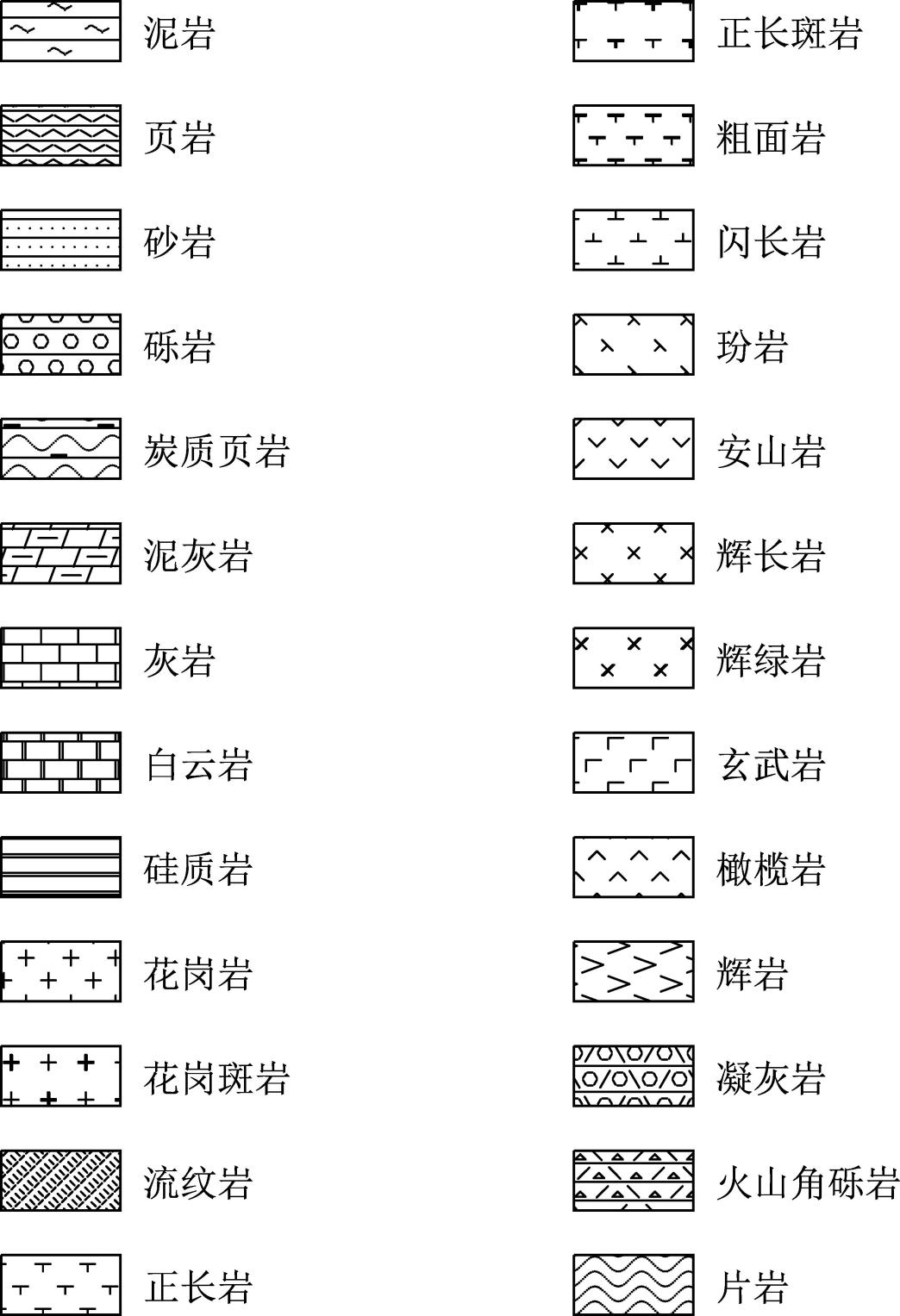
|  |  |
| --- | --- |
| 分 类 | 特 征 |
| 工业  污染土 | 工业废水废渣污染，因生产或储存中废水、废渣和油脂的泄漏，造成地下水和土酸碱度的改变，重金属、油脂及其他有害物质含量增加，导致基础严重腐蚀，地基土的强度急剧降低或产生过大变形，影响建构筑物的安全及正常使用，或对人体健康和生态环境造成严重影响。 |
| 尾矿  污染土 | 尾矿堆积污染，主要体现在对地表水、地下水的污染以及周围土体的污染，与选矿方法、工艺及添加剂和堆存方式等密切相关。云南省矿藏丰富，尾矿堆积点众多，城市附近亦有分布。 |
| 垃圾填埋场  渗滤液  污染土 | 垃圾填埋场渗滤液污染，因许多生活垃圾未能进行卫生填埋或卫生填埋不达标，生活垃圾的渗滤液污染土体和地下水，改变了原状土和地下水的性质，对周围环境也造成不良影响。 |

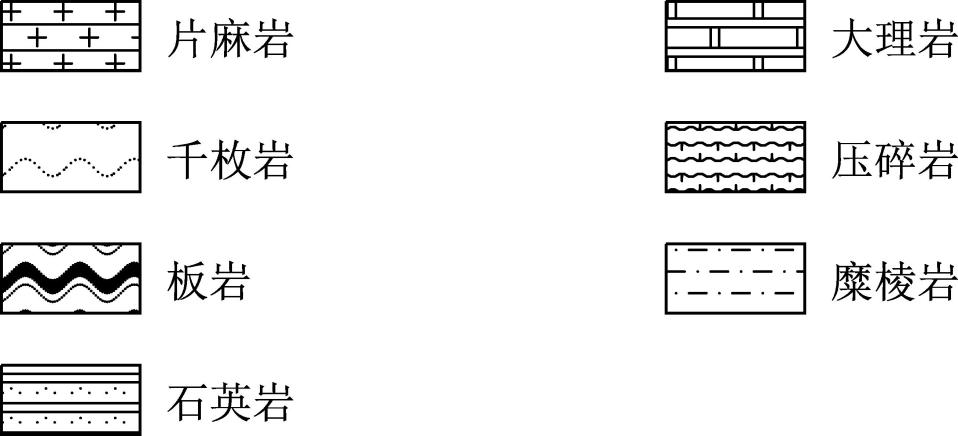
# 附录G 常用图例

**G.0.1 常用土层图例**



**G.0.2 常用岩石图例（一）**

****

****

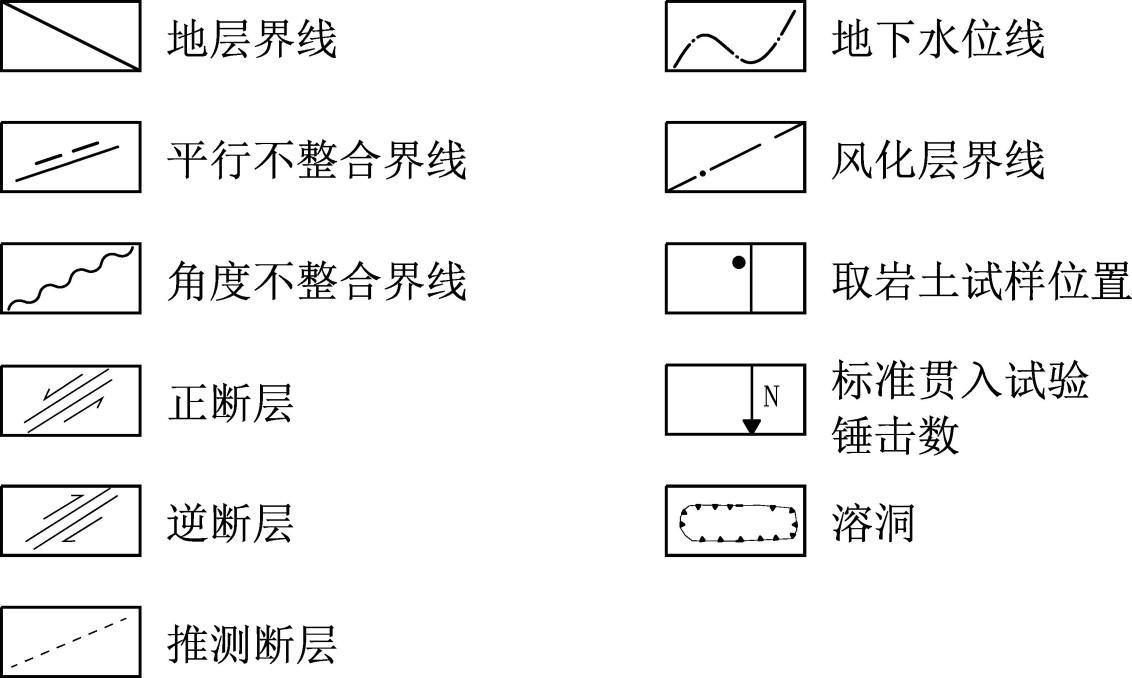
**G.0.3 常用平面图例（一）**

****

**G.0.3 常用平面图例（二）**

****

**G.0.4 常用剖面图例**

****

# 本规范用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1）**表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2）**表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3）**表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4）**表示有选择，在一定条件下可以这样做，采用“可”。

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

# 引用标准名录

1 《岩土工程勘察规范》GB 50021

2 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307

3 《铁路工程地质勘察规范》TB 10012

4 《工程岩体分级标准》GB 50218

5 《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909

6 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652

7 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911

8 《建筑地基基础设计规范》GB 50007

9 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

10 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

11 《建筑桩基技术规程》JGJ 94

12 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

13 《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ83

14 《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446

15 《天津市轨道交通岩土工程勘察规程》DB/ 29-247

16 《西安城轨道交通岩土工程勘察规程》

17 《浙江省城市轨道交通岩土工程勘察规范》DB 33/T 1126

18 《青岛城市轨道交通岩土工程勘察要求》

19 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111

20 《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027

21 《铁路工程特殊岩土勘察规程》TB 10038

22 《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018

23 《铁路工程地质钻探规程》TB 10014

24 《铁路路基设计规范》TB 10001

25 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093

26 《铁路隧道设计规范》TB10003

27 《云南省膨胀土地区建筑技术规程》DBJ 53/T-83

28 《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7

29 《水利水电工程物探规程》DL/T 5010

30 《崩塌防治工程勘查规范》TCAGHP 011

31 《滑坡防治工程勘查规范》DZ/T 0218

32 《泥石流灾害防治工程勘查规范》DZ/T0220

33 《城市轨道交通工程质量安全检查指南》

34 《岩土工程试验监测手册》

**云南省工程建设地方标准**

**云南省轨道交通岩土工程勘察规程**

DBJXXXX—20XX

条文说明

**目 次**

[1 总则 181](#_Toc43131042)

[3 基本规定 183](#_Toc43131043)

[3.1 一般规定 183](#_Toc43131044)

[3.2 岩土工程勘察大纲 187](#_Toc43131045)

[4 区域环境 188](#_Toc43131046)

[4.1 气象水文 188](#_Toc43131047)

[4.2 地形地貌 188](#_Toc43131048)

[4.3 区域地质 191](#_Toc43131049)

[4.4 地层 195](#_Toc43131050)

[4.5 水文地质条件 197](#_Toc43131051)

[5 可行性研究勘察 199](#_Toc43131052)

[5.1 一般规定 199](#_Toc43131053)

[5.2 目的和任务 199](#_Toc43131054)

[5.3 勘察工作量布置 200](#_Toc43131055)

[6 初步勘察 202](#_Toc43131056)

[6.1 一般规定 202](#_Toc43131057)

[6.2 目的与任务 202](#_Toc43131058)

[6.3 地下工程 202](#_Toc43131059)

[6.4 高架工程 205](#_Toc43131060)

[6.5 路基、涵洞工程 205](#_Toc43131061)

[6.6 地面车站、车辆基地工程 205](#_Toc43131062)

[7 详细勘察 206](#_Toc43131063)

[7.1一般规定 206](#_Toc43131064)

[7.2 目的与任务 206](#_Toc43131065)

[7.3 地下工程 209](#_Toc43131066)

[7.4 高架工程 212](#_Toc43131067)

[7.5 路基、涵洞工程 212](#_Toc43131068)

[7.6 地面车站、车辆基地工程 214](#_Toc43131069)

[8 施工勘察、专项勘察和周边环境专项调查 215](#_Toc43131070)

[8.1 施工勘察 215](#_Toc43131071)

[8.2 专项勘察 215](#_Toc43131072)

[8.3 周边环境专项调查 217](#_Toc43131073)

[9 地下水 218](#_Toc43131074)

[9.1 一般规定 218](#_Toc43131075)

[9.2 地下水的勘察要求 218](#_Toc43131076)

[9.3 水文地质参数测定 220](#_Toc43131077)

[9.4 地下水的作用 224](#_Toc43131078)

[9.5 地下水的控制 226](#_Toc43131079)

[10 不良地质作用 228](#_Toc43131080)

[10.1 一般规定 228](#_Toc43131081)

[10.2 滑坡 228](#_Toc43131082)

[10.3 危岩和崩塌 229](#_Toc43131083)

[10.4 岩溶 230](#_Toc43131084)

[10.5 泥石流 232](#_Toc43131085)

[10.6 活动断裂 234](#_Toc43131086)

[10.7 有害气体 235](#_Toc43131087)

[10.8 场地和地基的地震效应 237](#_Toc43131088)

[11 特殊性岩土 241](#_Toc43131089)

[11.1 一般规定 241](#_Toc43131090)

[11.2 填土 241](#_Toc43131091)

[11.3 软土 244](#_Toc43131092)

[11.4 膨胀岩土 249](#_Toc43131093)

[11.5 红黏土 250](#_Toc43131094)

[11.6 混合土 250](#_Toc43131095)

[11.7 污染土 251](#_Toc43131096)

[11.8 风化岩和残积土 253](#_Toc43131097)

[12 工程地质调查及测绘 258](#_Toc43131098)

[12.1 一般规定 258](#_Toc43131099)

[12.2 工作方法 258](#_Toc43131100)

[12.3 工作范围 260](#_Toc43131101)

[12.4 工作内容 260](#_Toc43131102)

[12.5 工作成果 260](#_Toc43131103)

[13 勘探与取样 262](#_Toc43131104)

[13.1 一般规定 262](#_Toc43131105)

[13.2 勘探点的定位与测量 263](#_Toc43131106)

[13.3 钻探 263](#_Toc43131107)

[13.4 井探、槽探 266](#_Toc43131108)

[13.5 洞探 266](#_Toc43131109)

[13.6 取样 266](#_Toc43131110)

[13.7 地球物理勘探 268](#_Toc43131111)

[14 原位测试 271](#_Toc43131112)

[14.1 一般规定 271](#_Toc43131113)

[14.2 标准贯入试验 272](#_Toc43131114)

[14.3 圆锥动力触探试验 273](#_Toc43131115)

[14.4 旁压试验 273](#_Toc43131116)

[14.5 静力触探试验 273](#_Toc43131117)

[14.6 十字板剪切试验 274](#_Toc43131118)

[14.7 载荷试验 274](#_Toc43131119)

[14.8 扁铲侧胀试验 275](#_Toc43131120)

[14.12 地温测试 275](#_Toc43131121)

[15 室内试验 276](#_Toc43131122)

[15.1 一般规定 276](#_Toc43131123)

[15.2土的物理性质试验 276](#_Toc43131124)

[15.3 土的力学性质试验 278](#_Toc43131125)

[15.4 土的动力性质试验 280](#_Toc43131126)

[15.5 岩石试验 280](#_Toc43131127)

[15.6 水和土的腐蚀性分析 280](#_Toc43131128)

[16 岩土工程分析评价和勘察报告 282](#_Toc43131129)

[16.1 一般规定 282](#_Toc43131130)

[16.2 岩土工程分析与评价 282](#_Toc43131131)

[16.3 勘察报告的基本要求 283](#_Toc43131132)

[16.4 勘察报告的内容 283](#_Toc43131133)

[17 勘察风险控制 284](#_Toc43131134)

[17.1 一般规定 284](#_Toc43131135)

[17.2 勘察风险的界定和辨识 284](#_Toc43131136)

[17.3 勘察风险评估 286](#_Toc43131137)

[17.4 勘察风险控制 287](#_Toc43131138)

[18 现场检验和监测 292](#_Toc43131139)

[18.2 现场检验 292](#_Toc43131140)

[18.3 现场监测 292](#_Toc43131141)

**1 总则**

**1.0.1** 云南省已进入轨道交通工程快速建设期，目前昆明、蒙自、文山、保山、丽江已开始进行建设工作，其它城市也已开始规划和前期筹建。轨道交通的岩土工程勘察涉及环境复杂、线路方案多、地质条件复杂、不同工点和不同工法对勘察资料要求不一、勘察难度大、要求高、过程复杂、风险大等问题，因此编制一本有地方特色的轨道交通勘察规程很有必要。

本规程是根据云南省工程地质、水文地质特点，参考国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307，以及《昆明市轨道交通管理条例》、《昆明轨道交通工程勘察质量管理办法（试行）》等，结合云南省轨道交通岩土工程勘察技术及相关领域所取得的成果和地方工程经验编写的一本地方标准。

轨道交通属于高风险工程，易发生安全事故。根据《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652，《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》等，本规程强调了控制风险的原则，并且增加第17章勘察风险控制，加强勘察工中的风险管理和控制。

**1.0.2** 本规范主要适用于云南省轨道交通工程的隧道、车站、高架、路基、车辆基地及附属工程的岩土工程勘察。当城际铁路采用城市轨道交通制式时，因其主要特点与城市轨道交通基本一致，固可以一并使用。但应注意城际铁路所涉及的地质条件更复杂、范围更广，遇到的工程地质问题可能会更多。

**1.0.3** 国务院《建设工程勘察设计管理条例》(国务院令第293号)明确规定“先勘察，后设计，再施工”是工程建设必须遵循的程序。

**1.0.4** 根据需要采用实地调查、资料调阅和现场勘察与探测等方法，搜集附有坐标和地形地物的工程线路平面布置图，线路纵断面，线路敷设形式、施工方法、地下工程埋置深度及覆土厚度、已有工程地质及水文地质条件等工程资料；调查工程周边环境的类型及现状情况，并根据工程周边环境与工程的相互关系及重要程度，对设计与施工可能涉及的岩土工程问题进行针对性评价，提出结论和建议及风险控制措施。

**3 基本规定**

**3.1 一般规定**

**3.1.1** 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，由于轨道交通工程投资巨大，线路穿越城市中心地带，地质、环境风险极高，建设各阶段对工程技术的要求高，各个阶段所解决的工程问题不同，对岩土工程勘察的资料深度要求也不同。如规划阶段应规避对线路方案产生重大影响的地质和环境风险。在设计阶段应针对所有的岩土工程问题开展设计工作，并对各类环境提出保护方案。

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

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

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

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

云南省地形地貌多种多样，工程地质条件和水文地质条件复杂，不良地质作用、地质灾害和特殊性岩土分布广泛，对轨道交通的建设有很大影响，因此应重视岩土工程专项勘察工作。

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

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

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

**3.1.5** 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较好地指导勘察工作，达到事半功倍的效果。

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

**3.1.7** 轨道交通工程本身是一个复杂的系统工程，是各类工程和建筑类型的集合体，为了使岩土工程勘察工作更具针对性，本规程根据各个工程的规模和建筑类型的特点以及破坏后果的严重性进行了重要性等级划分，并划分为三个等级。

**3.1.8** 本条主要依据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021制定。考虑到轨道交通隧道工程的岩土工程问题主要是围岩的稳定性问题，因此在地基、边坡岩土性质的条款中增加了围岩，并增加了考虑岩土性质来确定场地复杂程度。

对建筑抗震有利、不利和危险地段的划分，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定确定。

**3.1.9** 轨道交通工程周边环境复杂，不同环境类型与轨道交通工程建设的互相影响不同，工程环境风险与环境的重要性、环境与工程的空间位置关系密切相关。

目前，各个城市在城市轨道交通建设中，针对不同等级的环境风险采取的管理措施不同：一级环境风险需进行专项评估、专项设计和编制专项施工方案；二级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。

一般可行性研究勘察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。

**3.1.10**  本规程勘察等级的划分，执行《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307。

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

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

**3.2 岩土工程勘察大纲**

**3.2.1** 岩土工程勘察大纲既是勘察单位主要工作依据，也是建设单位和岩土工程勘察监理单位审查及监理勘察单位的重要内容。

根据《城市轨道交通工程质量安全检查指南》，对轨道交通勘察单位进行质量安全检查时要对勘察大纲的编制和审查等情况进行检查，因此勘察单位应编制岩土工程勘察大纲，并且需经委托单位（建设单位）主持评审，通过后方能作为勘察依据，指导勘察工作的开展。

**3.2.2** 《城市轨道交通工程质量安全检查指南》中对勘察大纲的检查内容，主要包括：是否按工点编制详细勘察大纲；勘察方案编制依据的规范标准是否适当；勘察手段选用是否合理；勘察方案制定是否考虑设计、施工需要；勘察方案审批、签署是否完善等。应在编制岩土工程勘察大纲时予以考虑。

**3.2.3** 岩土工程勘察工作条件变化时，应针对变化进行策划工作，并反应在岩土工程勘察大纲的调整中。

**4 区域环境**

**4.1 气象水文**

**4.1.1、4.1.2** 气象水文条件对工程建设有多方面的影响，前期工作掌握区域气象水文资料，宏观把控工程建设的不利影响因素。

**4.2 地形地貌**

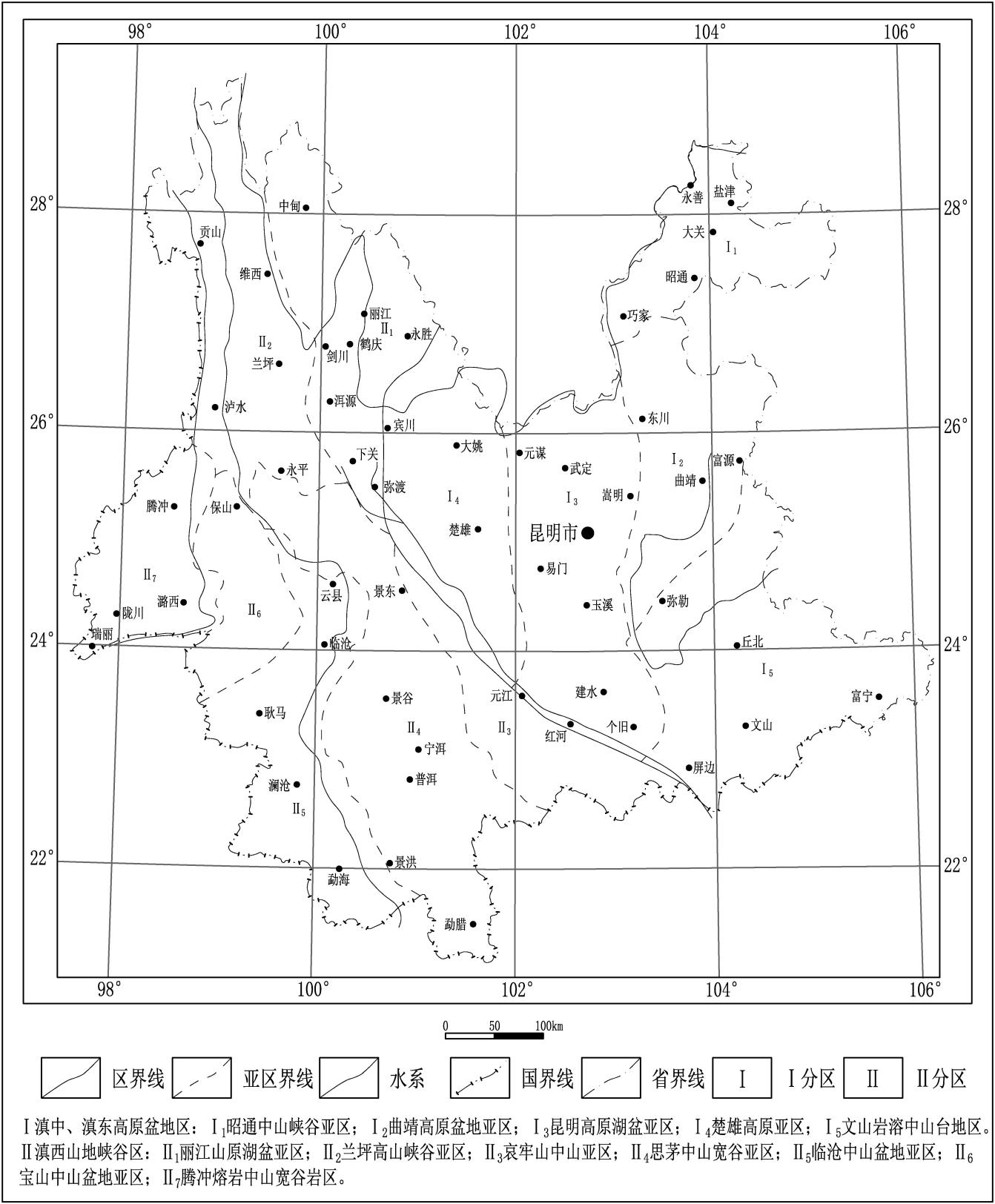
**4.2.1** 云南省地形地貌条件复杂，境内地貌类型可分为：极高山、高山、中山、低山、丘陵、高原、盆地，其海拔控制及分布地区详见下表。

**表1 云南省主要地貌类型表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地貌类型 | | 海拔（m） | 分布地区 |
| 山地 | 极高山 | ＞5000 | 滇西北德钦、香格里拉、丽江 |
| 高山 | 3500~5000 | 滇西北的大部分山地和滇东北的药山、拱王山 |
| 中山 | 1000~3500 | 滇中及滇东地区 |
| 低山 | 500~1000 | 滇东、滇东南、滇西南 |
| 丘陵 | ＜500 | 滇东、滇东南、滇西南 |
| 高原 | 高原 | ＞1000 | 滇中、滇东及滇东南、滇西南地区 |
| 山原 | 滇西及滇东北 |
| 盆地 | 断陷盆地 | 500~3000 | 陆良、昆明、玉溪、曲靖、昭通、元谋、宾川、大理、程海、蒙自、文山、丽江、保山盆地 |
| 构造侵蚀盆地 | 富民、开远、景洪、梁河盆地 |
| 向斜盆地 | 楚雄、饱满街和思茅盆地 |
| 河谷盆地 | 永仁、武定 |
| 溶蚀盆地 | 师宗、丘北、砚山、罗平、平远街 |
| 火山堰塞盆地 | 腾冲、固东、和顺等盆地 |

云南省地貌成因类型有构造地貌、侵蚀地貌、剥蚀地貌、溶蚀地貌、堆积地貌及上述诸类的过度类型，其中构造地貌尤为突出，山地、盆地、水系分布几乎都受地质构造控制。

**4.2.2** 不同的地貌类型，有不同的工程地质环境；同一类工程在不同的地貌单元，有不同的勘察要求和岩土工程评价。地貌类型的划分采取成因加形态的分类原则，并进行地貌单元的定名和相应的描述。侵蚀地貌是指由流水及其挟带的泥砂和砾石对地表的冲刷、破坏作用形成的地貌；剥蚀地貌是指由流水等外动力作用和强烈的风化作用共同形成的地貌；溶蚀地貌是指由岩溶作用形成的地貌。构造地貌分两种：一种是新构造强烈上升形成的地貌，如构造侵蚀断块中山；另一种是褶皱构造控制下形成的地貌，如侵蚀构造褶皱中山。平原地貌类型则以平原表层沉积物的成因类型进行划分。根据地貌类型和组合特点，全省可分为12个地貌亚区。详见下图。



**图1 云南省地貌分区图**

注：1 总体上可分为：Ⅰ滇中、滇东高原盆地区和Ⅱ滇西山地峡谷区两个区。

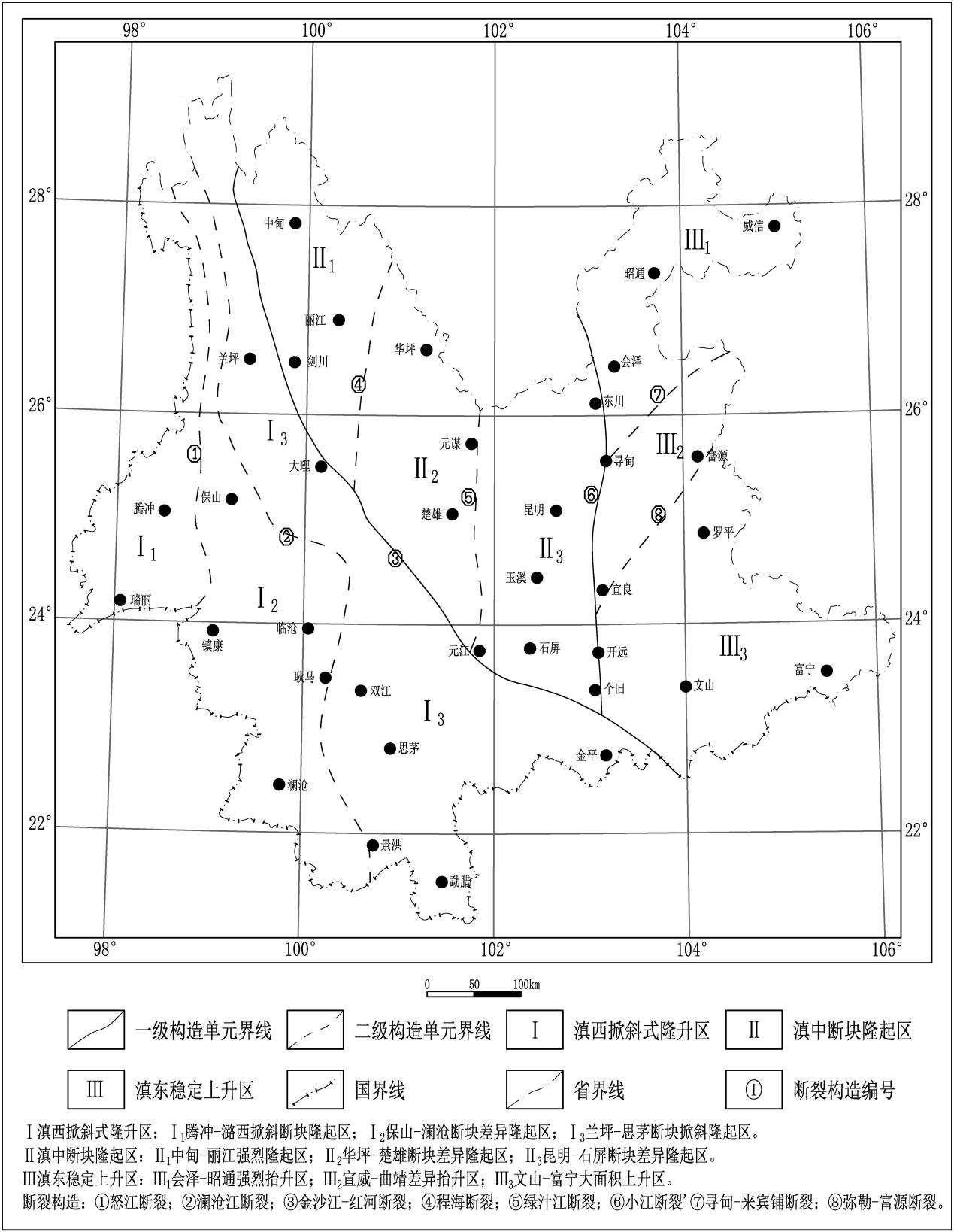
2 Ⅰ滇中、滇东高原盆地区可分为：Ⅰ1昭通中山峡谷亚区、Ⅰ2曲靖高原盆地亚区、Ⅰ3昆明高原湖盆亚区、Ⅰ4楚雄高原亚区、Ⅰ5文山岩溶中山台地区五个亚区。

3 Ⅱ滇西山地峡谷区可分为：Ⅱ1丽江山原湖盆亚区、Ⅱ2兰坪高山峡谷亚区、Ⅱ3哀牢山中山亚区、Ⅱ4思茅中山宽谷亚区、Ⅱ5临沧中山盆地亚区、Ⅱ6宝山中山盆地亚区、Ⅱ7腾冲熔岩中山宽谷岩区七个亚区。

**4.3 区域地质**

**4.3.1** 云南省地质构造、地震等，地质、地震部门都做过大量的工作，项目前期可以通过资料搜集进行评价，涉及发震断裂等特殊情况，提出进行断层安全性评价或地震安全性评价的建议。

**4.3.2** 云南省新构造运动表现突出，断块差异运动总体可分为：Ⅰ滇西掀斜式隆升区、Ⅱ滇中断块隆起区、Ⅲ滇东稳定上升区三个块区，详见下图。



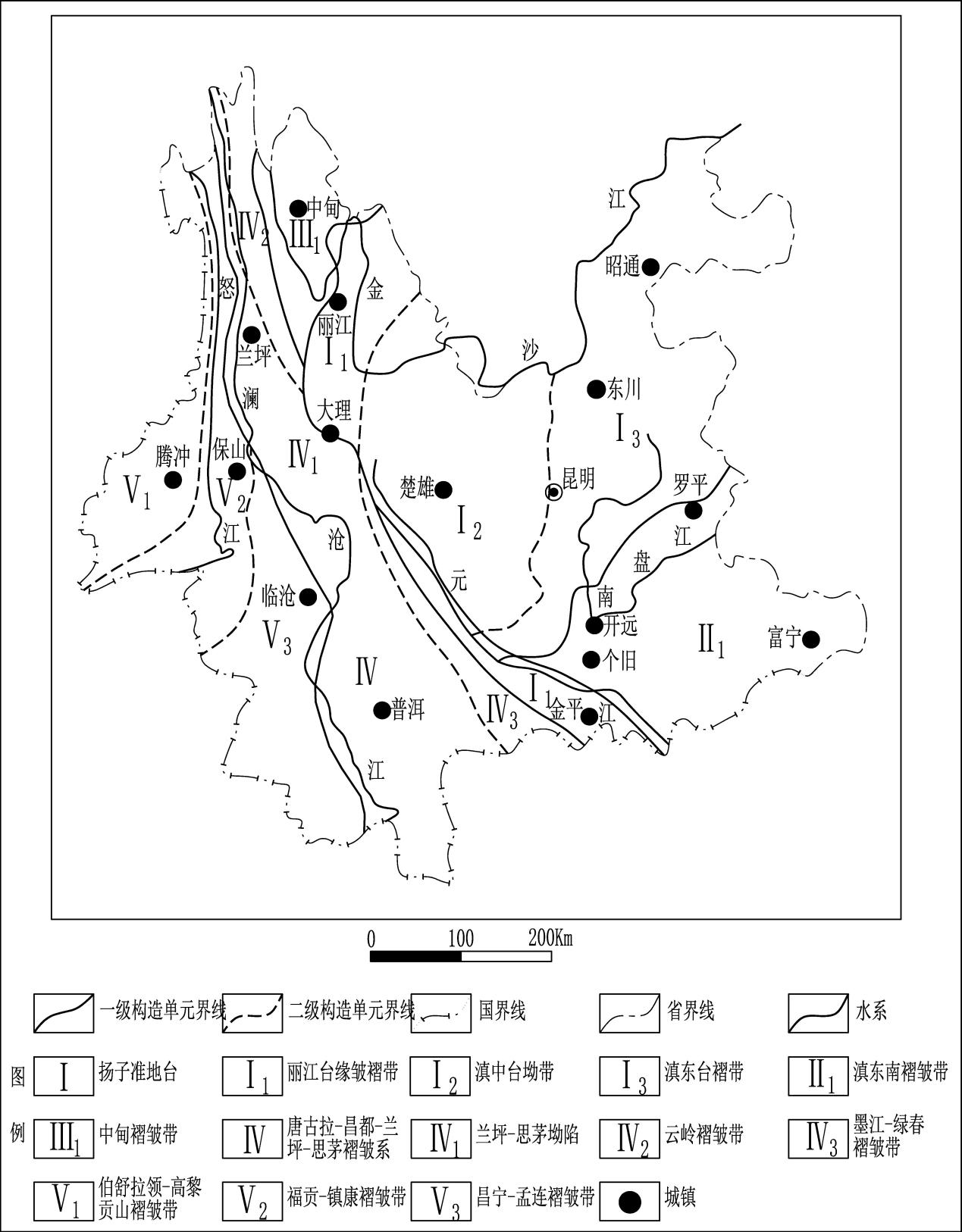
**图2 云南省新构造运动断块差异运动分区图**

注：1 Ⅰ滇西掀斜式隆升区可分为：Ⅰ1腾冲-潞西掀斜断块隆起区、Ⅰ2保山-澜沧断块差异隆起区、Ⅰ3兰坪-思茅断块掀斜隆起区三个亚区。

2 Ⅱ滇中断块隆起区：Ⅱ1中甸-丽江强烈隆起区、Ⅱ2华坪-楚雄断块差异隆起区、Ⅱ3昆明—石屏断块差异隆起区三个亚区。

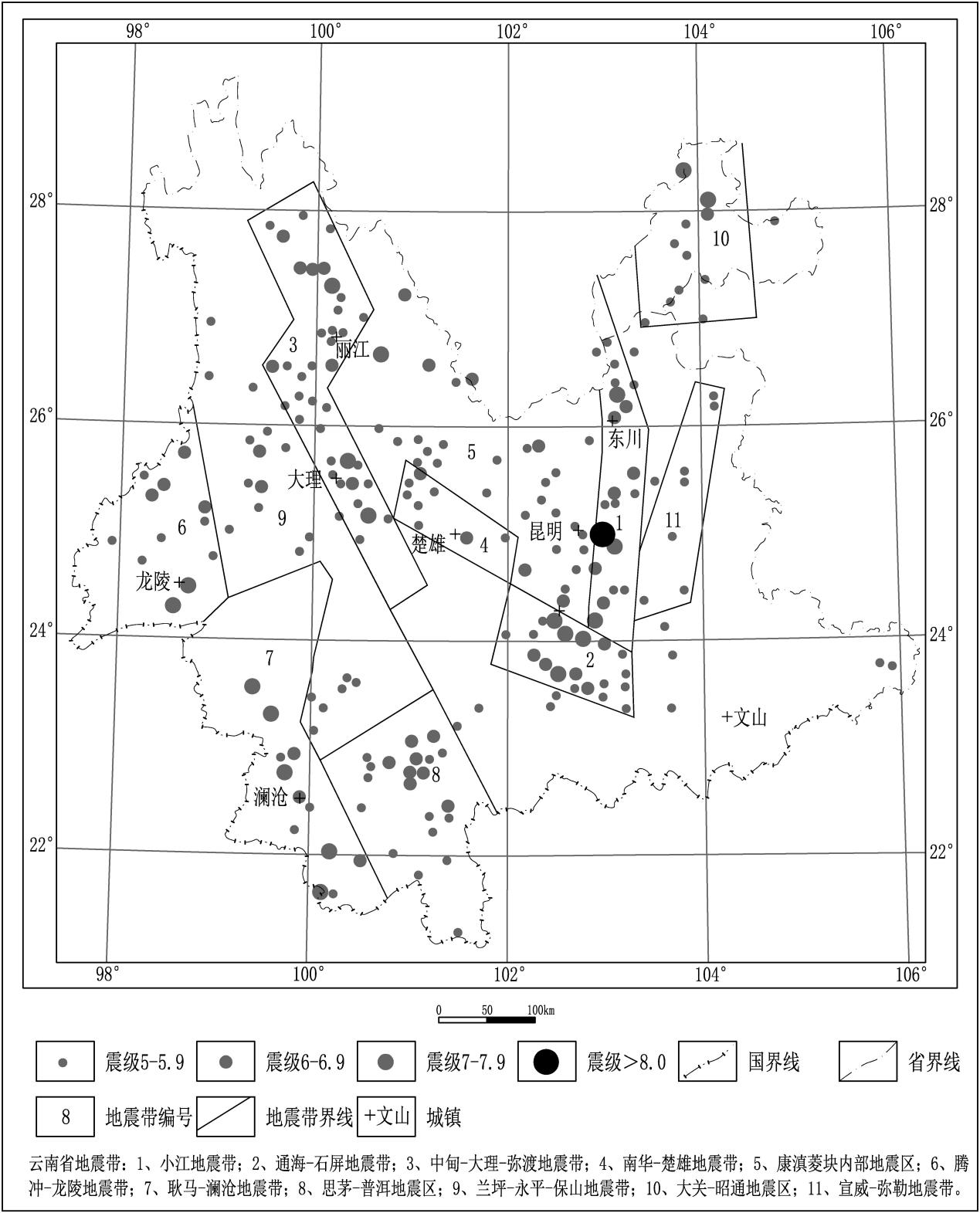
3 Ⅲ滇东稳定上升区：Ⅲ1会泽-昭通强烈抬升区、Ⅲ2宣威-曲靖差异抬升区、Ⅲ3文山—富宁大面积上升区三个亚区。

云南省可分为波密-腾冲褶皱系、左贡-耿马褶皱系、三江褶皱系、松潘甘孜褶皱系、扬子准地台、华南褶皱系六个大地构造单元，详见下图。



**图3 云南省大地构造单元分区图**

云南地处印度板块与欧亚板块中国大陆碰撞带东缘，地壳运动和构造运动剧烈，地震活动显著，属于典型的板缘、板内地震混合型地区。云南省分布有小江地震带、通海—石屏地震带、中甸—大理—弥渡地震带、南华—楚雄地震带、康滇菱块内部地震区、腾冲—龙陵地震带、耿马—澜沧地震带、思茅—普洱地震区、兰坪—永平—保山地震带、大关—昭通地震区、宣威—弥勒地震带等11个地震带，详见下图。



**图4 云南省地震带区划图**

**4.3.3** 云南沉积类型多样，地层出露齐全，新生界、中生界、古生界、元古界、太古界的地层均有出露，其间多期岩浆活动强烈，岩浆岩分布广泛，规模巨大，既有岩浆侵入、又有岩浆喷出和爆发，演化历史漫长。变质作用类型齐全，变质程度各异，是全国乃至全球具有重要地质特色的地区之一。总体云南沉积岩、变质岩、火成岩均有广泛分布，呈现出岩性多变、性质复杂的特点，全省碎屑岩约占42.1%，其中的“滇中红层”和“滇西红层”占26%，可溶岩约占28.1%、岩浆岩约占13.4%、变质岩约占12.5%。特殊岩土对工程建设存在特定的影响，地方上也积累了大量的处理特殊岩土的工程经验，工程初期对此要有一定的预判。

**4.4 地层**

**4.4.1** 鉴于本省前第四纪地层发育齐全，岩石种类繁多且物理力学性质差异很大，地质构造复杂，因此，对于基岩工程地质岩组的单元划分，本规范暂不作统一规定。

**4.4.2** 昆明地区轨道交通在地层划分方面做了大量的工作，基本遵循以下原则，可以在云南省内推广。其他地市在开展轨道交通岩土工程勘察前，建议立项进行第四纪地基土层序划分研究，统一地层划分标准，方便使用。

1 以区域地质资料为基础，根据各岩土层的成因年代和成因类型划分主层，第四系松散层年代划分到统，如第四系全新统、上更新统等，在同一个统内又分不同的成因类型，如第四系全新统冲洪积层、冲湖积层等。基岩的主层划分到组。

2 在同一主层内根据不同的岩性划分亚层：如黏土、粉质黏土、泥炭质土、粉土、粉砂等。同一组的基岩若岩性差异较大的根据区域图上的分段划分亚层。

3 根据岩土不同的状态或风化程度划分次亚层：如黏土划分为软塑、可塑、硬塑、坚硬；粉土划分为松散、稍密、中密、密实；砂类土及碎石类土划分为松散、稍密、中密及密实；基岩划分为全风化、强风化、中等风化及微风化等。

4 呈薄层透镜状分布于亚层及次亚层中的地层划分在夹层。

5 昆明市轨道交通4号线全线统一地层划分，共分为以下26个地层单元主层：

第1单元层<1>：第四系全新统人工堆积层（Q4ml）；

第2单元层<2>：第四系全新统冲洪积层（Q4al+pl）；

第3单元层<3>：第四系全新统冲湖积层（Q4al+l）；

第4单元层<4>：第四系全新统坡残积层（Q4dl+el）；

第5单元层<5>：第四系上更新统冲洪积层（Q3al+pl）；

第6单元层<6>：第四系上更新统冲湖积层（Q3al+l）；

第7单元层<7>：第四系中更新统冲洪积层（Q2al+pl）；

第8单元层<8>：第四系中更新统冲湖积层（Q2al+l）；

第9单元层<9>：第四系下更新统冲洪积层（Q1al+pl）；

第10单元层<10>：第四系下更新统冲湖积层（Q1al+l）；

第11单元层<11>：第四系洞穴堆积层（Qca）；

第12单元层<12>：第三系上新统茨营组（N2C）；

第13单元层<13>：断层破碎带（Fbr）；

第14单元层<14>：侏罗系中统上禄丰组（J2l）；

第15单元层<15>：侏罗系下统下禄丰组（J1l）；

第16单元层<16>：二叠系上统峨眉山组（P2e）；

第17单元层<17>：二叠系下统阳新组（P1y）；

第18单元层<18>：二叠系下统倒石头组（P1d）；

第19单元层<19>：石炭系中统威宁组（C2w）；

第20单元层<20>：石炭系下统大塘组（C1d）；

第21单元层<21>：泥盆系上统宰格组（D3z）；

第22单元层<22>：泥盆系中统海口组（D2h）；

第23单元层<23>：寒武系中统陡坡寺组（Є2d）；

第24单元层<24>：寒武系下统龙王庙组（Є1l）；

第25单元层<25>：寒武系下统沧浪铺组（Є1c）；

第26单元层<26>：寒武系下统筇竹组（Є1q）。

**4.4.3** 为简化规范文本，将勘察工作中重要的通用的岩石分类和鉴定、土的分类和鉴定等集合在一起，作为一个附录。分类、分级的主要依据是国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021、《工程岩体分级标准》GB 50218及《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307。

**4.5 水文地质条件**

**4.5.1** 项目穿越地表水体，地下水与地表水水力联系紧密，地表水体可能成为制约工程建设的主要因素，在前期工作中予以重视。

**4.5.2** 云南省地形地貌及地层岩性复杂，造成水文地质条件非常复杂，地下水类型齐全，项目前期工作可以从宏观上掌握区内地下水特征。昆明断陷盆地区第四系地下水属于典型的多层含水层孔隙潜水类型，除第一层含水层外，深部含水层多具承压性，因此要注重各含水层水位及渗透指标的获取。云南其他湖盆第四系地下水大多具备同样的特征，昆明地区的工作经验可以推而广之。地下水补给、径流、排泄条件，决定了地下水和工程的相互影响关系，掌握其运动变化规律与控制因素，评价其对工程建设的影响和受影响程度。

**4.5.3** 轨道交通项目线路较长，存在涉及多个水文地质单元的情况，各自具有不同的水文地质条件，与项目的相互影响关系不同，需要分别进行论述评价。

**5 可行性研究勘察**

**5.1 一般规定**

**5.1.1、5.1.2** 可行性研究阶段勘察是轨道交通工程建设的一个重要环节。轨道交通工程在规划可研阶段，就需要考虑众多的影响和制约因素，如城市发展规划、交通方式、预测客流等，以及地质条件、环境设施、施工难度等。这些因素是确定线路走向、埋深和工法时应重点考虑的内容。制约线路敷设方式、工期、投资的地质因素主要为不良地质作用、特殊性岩土和线路控制节点的工程地质与水文地质问题。因此，这些地质问题是可行性研究阶段勘察工作的重点。

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

**5.2 目的和任务**

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

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

**5.3 勘察工作量布置**

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

可行性研究要尽可能收集利用沿线已有勘察资料，加强对资料可利用程度的分析评价，利用钻孔与研究段线路应处于相同的地貌地质单元，能反映研究段线路地层结构性状特征，距离拟建方案线路轴线不宜大于100m。为保证利用资料的可追溯性，要注明利用资料来源。

没有或可利用资料不足，不良地质作用、特殊性岩土分布，江、河、湖等大型地表水体等条件控制、影响线路工程方案时，应布置或加密勘探点；对大面积均匀分布的软土地层及地面沉降区等，可按正常布置勘察工作量。

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

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

昆明城市轨道交通工程可行性研究阶段勘察的做法是：主要位于城区，临近场地勘探资料较为丰富，本阶段一般不布置勘探点，以搜集沿线已有项目钻孔资料，原则上利用钻孔离沿线两边线的控制距离不超过100m，且既有孔须与研究线路处于同一地貌地质单元，才具有可代表性。

**5.3.2** 可行性研究阶段勘察孔深度确定比较困难。一是云南省地质条件复杂，二是该阶段的工程特征尚不明确，难以按隧道直径或结构底板等来确定孔深。孔深确定的原则是满足场地稳定性、适宜性评价及设计方案和工法选择的要求。云南省城市轨道交通建设目前主要在湖盆区，建议孔深不宜小于50m，且要求根据实际地质情况增减，对软土比较厚地区，如昆明、大理、丽江，则要求钻穿软土层进入下部较好地层。

由于云南省基岩中等风化大多有一定厚度，局部甚至较厚，中等风化基岩一般均可作为重大工程的桩基持力层，因此若钻探孔深度内遇基岩时，则进入中等风化10m或微风化10m或进入中等风化微风化累计10m均可，孔深一般不宜小于30m。

**5.3.3** 可行性研究阶段对岩土性质能进行定性评价即可，因此对取样、原位测试、室内试验的项目和数量不做硬性规定。

**6 初步勘察**

**6.1 一般规定**

**6.1.2** 初步勘察应搜集的资料应不局限于本条正文所列的内容。云南省各地地形地貌及地质条件差异较大，当项目所处地区存在一些特殊的地质问题时，如地热、放射性等，收集资料应包括以上相关内容。

**6.1.3** 推荐方案之外比选方案的初步勘察深度可根据比选精度、各方案的地质条件复杂程度等因素综合确定。

**6**.**1.4** 初步设计过程中，对一些控制性工程，如穿越水体、穿越重要建筑物地段、换乘节点、长大隧道等往往需要对位置、埋深、施工方法等进行多种方案的比选，因此，初步勘察需要为控制性节点工程的设计和比选，确定切实可行的工程方案，提供必要的地质资料。

**6.2 目的与任务**

**6.2.2** 11 由于云南西北高海拔地区存在季节性冻土，所以本条完善了初勘阶段对于季节性冻土的勘察要求，相对于国标增加了调查最大冻结深度的内容。

**6.3 地下工程**

**6.3.1** 3 云南大部分城市都位于地下水位高的盆地地貌内，但许多城市缺乏地下水位的长期观测资料，特别是分层地下水位的长期观测资料。相对于北京、天津、宁波等地区，云南省的水文地质试验工作是一个薄弱环节。因此从初勘阶段就应重视地下工程的水文地质试验工作。

4 由于云南省部分地区分布放射性高的地层，对地下工程有不利影响，因此初勘阶段应采取收集资料、现场测试、取样分析等手段查明场地是否分布具有放射性危害的地层。

6 云南多个地区地热资源丰富，高地温、地下热水对地下工程有不利影响。初勘阶段一般可采用收集资料、工程地质测绘等手段初步查明其对工程的影响，在上述手段不能满足要求时，宜设置长期地温观测孔或进行专项地热勘察工作。

8 轨道交通项目的矿山法区间在初步设计阶段一般已基本确定横洞、平行导坑、斜井、竖井等辅助坑道的位置。在初勘阶段，辅助坑道场地的勘察工作往往会被遗漏或轻视，造成详勘阶段揭示的地质条件与初勘阶段有很大差异，从而增加投资，因此初勘阶段应重视矿山法区间辅助坑道的勘察工作。

**6.3.2 1** 每个车站勘探点数量不宜少于4个是指一般地质条件下的标准车站，当地质条件复杂、车站较长时需增加钻孔。钻孔布置于基坑结构边线外2m~3m主要是考虑到钻孔可能贯通地下含水层，对围护结构不利。

**6.3.3** 1 考虑到钻探施工存在钻具残留危害施工、结构范围内布置钻孔容易导致地下水贯通等风险，勘探点应尽量布置在基坑范围以外。

3 矿山法施工隧道浅埋段的定义可参考《铁路隧道设计规范》TB10003规定：当地表水平或接近水平，且隧道覆盖厚度满足下式要求时，应按浅埋隧道设计。当有不利于山体稳定的地质条件时，浅埋隧道覆盖厚度值应适当加大。

H<2.5ha （1）

式中：H—隧道拱顶以上覆盖厚度;

Ha—深埋隧道垂直荷载计算高度，ha =0.45×2S-1ω

S—围岩级别;

ω—宽度影响系数，ω=1+i(B-5) ;

B—坑道宽度(m) ;

i—B每增减1m 时的围岩压力增减率：当B<5m时，取i=0.2；B>5m时，可取i=0.1。

按《铁路隧道设计规范》TB10003的跨度划分标准，根据上式计算得出的浅埋隧道覆盖厚度见下表，大致是按2.5倍塌方高度确定的，表中数据确定的前提是山体基本稳定，且无其他不良地质。

**表2 隧道跨度分级表**

| 围岩级别 | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ |
| --- | --- | --- | --- |
| 小跨度隧道 | 5～7 | 10～14 | 18～25 |
| 中等跨度隧道 | 8～10 | 15～20 | 30～35 |
| 大跨度隧道 | 10～1l | 19～21 | 37～42 |

5 对长隧道、特长隧道和地质条件复杂的隧道，进行大面积的区域性工程地质水文地质调查与测绘，才能查清区域地质构造及工程地质和水文地质条件，提供隧道设计的依据，因此上述隧道工程地质调查与测绘范围应不局限于边线两侧200m。

6 目前城市地下空间建设有越来越往深部发展的趋势，许多地铁换乘站或地下综合交通枢纽的地下层数达到三层及以上，工程结构底板埋深超过25～30m，当围护结构插入深度超过基坑深度的1倍或1.5倍以上时，按照现行《轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307、《建筑基坑支护技术规程》JGJ120布置的勘探孔深度显然不能满足设计要求。此外，在软土厚度较大的基坑，基坑内很可能设置中柱桩，桩长可能超过基坑开挖深度的1.5～2倍。综合以上因素，考虑到初勘阶段的勘探孔为了便于详勘阶段利用，一般按控制孔孔深布置，因此规定土层内勘探孔深度不宜小于3倍基坑开挖深度。

**6.4 高架工程**

**6.5 路基、涵洞工程**

**6.5.1**  4 高路堤是指填方路堤边坡垂直高度大于20m的路基工程。

**5** 深路堑一般是指挖方土质边坡垂直高度大于20m、岩质边坡垂直高度大于30m的路基工程。

**7** 高液限土不能直接作为路基填料使用。当路堑工程开挖深度内分布高液限土层，且挖方有可能被利用为路基工程填料时，应查明高液限土的分布范围、性质，为设计确定高液限土是否作为路基填料使用或是否改良后使用提供依据。目前铁路、公路工程对高液限土的定义不同，轨道交通项目属于铁路项目，因此应采用铁路规范界定高液限土。现行的《铁路路基设计规范》TB10001规定液限≥40%为高液限土，并明确液限试验采用圆锥仪法，圆锥仪总质量为76g，入土深度10mm。

**6.6 地面车站、车辆基地工程**

**6.6.2** 1车辆设施及综合基地工程内建筑物位置、层数、荷载、柱距等要素在初步设计阶段一般不确定，方案变化一般较大，且基地边界一般设置支挡构筑物，因此初勘阶段勘探点的布置应以控制住整个场地的地质条件为原则，采用网格状布置是比较合理的方案，且网格边界应略大于场地边界。

**7 详细勘察**

**7.1一般规定**

**7.1.1** 轨道交通设计规范主要依据现行《地铁设计规范》GB50157。轨道交通工程结构、建筑类型多，其具体的结构设计规范依据有现行的工业与民用建筑结构设计、铁路设计、公路设计相关规范等。不同的工程和结构类型的岩土工程问题不同，设计所需的岩土参数不同，因此，需要针对工程的特点、工程的建筑类型和结构形式、结构埋置深度、施工方法提出勘察要求，侧重执行相应的勘察规范，以满足施工图设计各专业要求。

本章按照线路不同的敷设形式即地下工程、高架工程、路基、支挡工程、涵洞工程、地面车站、车辆基地、控制中心和主变电所提出勘察要求。

**7.1.2** 云南省地形地貌复杂，轨道交通工程勘察属于带状工程岩土工程勘察，详细勘察工作应分工点进行，比如正线一般分车站和区间，车辆基地（停车场）一般分为站场和工业与民用建筑，正线区间还需根据地形地貌和结构类型设置细分为桥梁、隧道和路基工程等。

**7.2 目的与任务**

**7.2.1** 轨道交通工程所遇到的岩土工程问题较多，详细勘察阶段需要详细查明其地质条件，提出处理措施建议，提供所需的岩土参数。根据住建部37号令和31号文（危险性较大的分部分项工程安全管理规定）要求，城市轨道交通工程多涉及危大工程，勘察还应当根据工程实际及工程周边环境条件，在勘察文件中分析地质条件可能造成的工程风险。

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

**7.2.3** **1** 盆地（坝区）场地一般存在砂土液化、软土震陷、隐伏断裂、活动断裂等不良地质作用，滑坡、泥石流、危岩、崩塌的情况一般分布于山区，这些常见的不良地质作用对城市轨道交通工程的施工安全和长期运营造成的危害较大。

**2** 云南省地区岩土种类多，性质复杂，场地的岩土工程问题与各时代地层的成因具有一定联系，比如：寒武系地层岩质脆硬、岩体完整性差，地基的稳定性和均匀性一般较差；二叠系砂、泥岩地层多含煤层，存在采空区和顺层的可能；侏罗系和白垩系地层多含石膏及盐岩夹层，地下水可能存在腐蚀性等。查明场地内的岩土类型、分布、成因等是岩土工程勘察的基本要求。

**3** 轨道交通工程线路长，结构类型多、地质条件变化大，地基基础类型多，基础出现过大沉降或不均匀沉降会给工程结构及运营安全带来危害。

**4** 轨道交通地下工程结构复杂，施工工法工艺多，不同工法对地层的适应性不同，例如饱和圆砾、砂土、粉土组成的高承压水地层等地质条件容易造成隧道涌水和涌泥；软弱土层会导致盾构法施工隧道管片错台、衬砌开裂、渗水等问题；风化岩地层易引起盾构机翘头或栽头，导致地面隆起或沉降过大。这些工程地质问题会影响地下工程土方开挖、支护体系施工和隧道运行的安全。基坑、隧道岩土压力及计算模型，以及基坑、隧道的支护体系变形是地下工程设计计算的主要内容。岩土工程勘察需要为这些工程问题的解决提供岩土参数。

**6** 轨道交通工程经常要下穿江、河、湖、沟、渠、塘等各种类型的地表水体。地表水体是控制线路工程的重要因素，而且施工风险极高，易产生灾难性的后果，如国内多条城市轨道交通线在施工期间发生雨季河水上涨灌入车站和隧道的情况。因此查明地表水体的分布、水位、水深、水质、防渗措施、淤积物分布及地表水与地下水的水力联系等，对工程施工安全风险控制十分重要。

**10** 受线路设计标高的要求，轨道交通工程车辆基地填、挖现象明显，尤其是高填深挖不仅改变覆盖层厚度，还能改变场地土类型。场地类别的划分从勘察地面确定是不合理的，应注意场地填挖现象带来的变化，按照设计场坪地面确定。

液化判别也应注意场地标高的改变对液化判别的影响。车辆基地在进行液化判别时应取设计场坪地面标高作为判别依据，以保证判别结论的合理性和经济性。

标贯法液化判别和计算中，地下水位深度不应采用每孔中实测水位，而应采用最高水位（或抗浮设计水位），黏粒含量应取标贯位置颗分实际值而非平均值。对于场地液化等级不同的区域，应划分出范围，并进行必要的评述。砾砂属于砂类土，应进行液化判别。

《工程地质手册》收录了《水利水电工程地质勘察规范》GB50487有关场地标高改变后标准贯入锤击数的修正方法如下：

当标准贯入试验贯入点深度和地下水位在勘察期间地面以下的深度，不同于设计场坪地面或正常运营地面时，实测标准贯入锤击数应按下式修正，并应以校正后的标准贯入锤击数N作为复判依据。



式中：N’—实测标准贯入锤击数（击）；

Ds—标准贯入点在设计场坪地面或正常运营地面以下的深度（m）；

Dw—地下水位在设计场坪地面或正常运营地面以下的深度（m）；

ds’—标准贯入点在勘察期间地面以下的深度（m）；

dw’—地下水位在勘察期间地面以下的深度（m）。

校正后标准贯入锤击数和实测标准贯入锤击数均不进行钻杆长度校正。

**7.2.4 3**盾构法施工设备选型与工程地质条件和水文地质条件密切相关，这是由于施工中盾构刀盘更换困难，刀具更换安全风险极大。本条列出了盾构法勘察的重点内容。

**7.3 地下工程**

**7.3.2** 本条根据地下工程的特点规定了在详细勘察阶段需要重点勘察的内容。

2 除了不良地质、特殊岩土，强富水地层如饱和粉土层、砂层、卵石层、漂石层等易引起涌水和涌泥，对地下工程施工安全影响很大，应予以查明。

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

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

1 地下车站的勘察勘探工作应满足基坑工程勘察相关规范要求。短边宽度大于10m的基坑勘探点沿基坑边线布置，短边宽度小于10m的基坑勘探点可沿基坑中线布置，且基坑端点应有勘探点控制。

3 放坡开挖车站勘探范围：对无外倾结构面控制的岩质边坡的勘探范围，到坡顶的水平距离一般不应小于边坡高度；存在顺层和外倾结构面控制的岩质边坡的勘探范围应根据组成边坡的岩土性质及可能破坏模式确定。对于可能按土体内部圆弧形破坏的土质边坡不应小于1.5倍坡高；对可能沿岩土界面滑动的土质边坡，后部应大于可能的后缘边界，前部应大于可能的剪出口位置。

4 车站一般分为标准站和加长站，其横剖面宜结合通道、出入口、风井的分布情况布设，标准站不应少于3条横剖面，加长站不应少于5条横剖面，结构变化和出入口位置岩土体受力情况较复杂，地质条件复杂和设计有要求时可进行加密调整。

6 在结构范围内布置钻孔容易导致地下水贯通，施工时易引起地面冒浆、隆起和沉降，给工程施工带来危害。

**7.3.5** 本条结合车站主体工程和城市轨道交通勘察经验，给出了勘探孔深度的确定要求。目前城市地下空间建设有越来越往深部发展的趋势，例如昆明轨道交通4号线火车北站为地下负四层车站，工程结构底板埋深达37m，设计地连墙深度达67～73m。同时考虑《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307、《岩土工程勘察规范》GB50021对基坑工程勘察的要求设计勘探孔深度更为合理。

**7.3.9** 基床系数是城市轨道交通地下工程设计的重要参数，其数值的准确性关系到工程的安全性和经济性，可通过原位测试、室内试验结合地区经验值综合确定。

1 基床系数K的定义与K30试验。

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

K=P/S （3）

式中：K—基床系数（MPa/m）；

P—地基土所受的应力（MPa）；

S—地基的变形（m）。

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

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

地基土的基床系数K可由原位载荷板试验（或K30试验）结果计算确定。考虑到荷载板尺寸的影响，K值随着基础宽度B的增加而有所减小。

对于砾状土、砂土上的条形基础：



对于黏性土上的条形基础：



式中：K1—0.305m宽标准荷载板的标准基床系数或K30值。

铁路常用的K30荷载板试验是用直径为30cm的承载板，测定土的K30值。其K30值是指在p-s曲线上对应地基土变形为0.125cm时的p值与变形量的比值：



基床系数K这个指标，不同的试验方法和不同的试验条件，其结果会有较大的差别。为便于统一和比较，建议K30荷载板试验值作为标准基床系数K1值，即标准基床系数K1值应用K30荷载板试验。对于具体设计中基床系数K的取值，应考虑施工程序和施工过程中的结构变形，由设计人员修正确定。

2 确定基床系数的其他方法。

1）基床系数值与地基土的标贯锤击数N的经验关系为：

K=（1.5～3.0）N （7）

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



**7.4 高架工程**

**7.4.1** 随着国家重视和加强土地资源综合利用开发，在车辆基地和停车场上方进行上盖物业建设，其中的高架广场亦应按照高架工程进行详细勘察。

**7.4.2** 需要注意的是，高架线路桩基设计依据的规范主要有现行行业标准《铁路桥涵设计基本规范》TB10002.1、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093和《建筑桩基技术规范》JGJ 94，上盖车辆基地和停车场的出入高架道路桥梁采用《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363。勘察时应根据设计单位采用的规范，并结合当地经验提出桩基设计参数。

**7.4.3** 高架车站的勘探点间距15m～35m，主要是依据场地的复杂程度和柱网间距确定，同时与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94相一致。

高架区间勘探点间距取决于高架桥柱、墩距，目前各城市地铁高架桥的墩距一般采用32m，深厚软土分布地段墩距一般采用24m，跨既有铁路、公路线路采用大跨度的墩距一般为50m。一般要求每个墩台不少于一个勘探孔，地质条件复杂时可布置2~5个勘探孔。

**7.5 路基、涵洞工程**

**7.5.2** 目前尚无明确的规范或规程界定一般路基的概念。在实际勘察过程中，指地质条件相对单一，无特殊地质条件，填挖相对不大，无须进行地基处理或挡护等其它措施的路基工程。

坡率应根据岩土的性质、岩土体结构、岩层产状、风化程度、地貌、水文地质等因素和边坡高度，并结合自然山坡和既有人工边坡的稳定程度综合确定。边坡高度不大于20m时，可参考表3、表4给出路堑边坡率建议值。

**表3 路堑边坡坡率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | | | 边坡坡率(H≤20m) |
| 均质黏性土,Ip>3的粉土 | | | 1:1.00～1:1.50 |
| 中砂、粗砂、砾砂 | | 中密、密实 | 1:1.50～1:1.75 |
| 漂石土，块石土，碎石土，卵石土，粗、细角砾土，粗、细圆砾土 | | 胶结或密实 | 1:0.50～1:1.25 |
| 中密 | 1:1.25～1:1.50 |
| 岩石 | 硬质岩 | 中风化 | 1:0.10～1:0.50 |
| 强风化 | 1:0.30～1:0.75 |
| 全风化 | 1:0.75～1:1.00 |
| 软质岩 | 中风化 | 1:0.30～1:0.75 |
| 强风化 | 1:0.50～1:1.00 |
| 全风化 | 1:0.75～1:1.50 |

**表4 膨胀土路堑边坡坡率和平台宽度**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 膨胀性  边坡  高度(m) | 边坡坡率 | | | 边坡平台宽度（m) | | |
| 弱 | 中 | 强 | 弱 | 中 | 强 |
| <6 | 1:1.5 | 1:1.5～1:1.75 | 1:1.75～1:2.0 | 可不设 | | |
| 6～10 | 1:1.75 | 1:1.75～1:2.0 | 1:2.0～1:2.5 | ≥2.0 | ≥3.0 | ≥3.0 |

注：膨胀土(岩)路堑边坡坡率应根据岩土的性质、软弱层和裂隙的组合关系、气候特点、水文地质条件，以及自然山坡、人工边坡的稳定程度综合确定。

**7.5.3** 高路堤是指填方路堤边坡垂直高度大于20m的路基工程；陡坡路堤是指修筑在地面横坡等于或大于1：2.5坡面上的路堤。高路堤、陡坡路堤的基底稳定、变形等是路堤勘察的重点工作。

**7.5.4** 深路堑一般是指挖方土质边坡垂直高度大于20m、岩质边坡垂直高度大于30m的路基工程。地质复杂路堑是指路堑边坡分布有较厚的不稳定坡积层、软弱夹层、全风化或强风化岩层、不利结构面发育且倾向线路、地下水发育等地质条件的路堑工程。深路堑在路基工程中是属于比较重要的工程，城市轨道交通工程路堑一般采用U型槽形式，路堑工程涉及挡墙地基稳定性、结构抗浮稳定性等诸多问题，在岩土工程勘察中不可忽视。

**7.5.5** 当路堑边坡稳固条件较差，需要设置支挡构筑物时，勘察工作可在详勘阶段结合深路堑工程勘察同时进行。

**7.5.7** 5 涵洞的勘探点不少于2个是指一般路基段的涵洞，对于车辆基地的长涵洞2个勘探点是不能满足要求的，长涵洞勘探点间距宜控制在30~50m，涵洞的勘探点一般要求沿涵洞轴线布置。

**7.6 地面车站、车辆基地工程**

**7.6.1** 车辆基地的各类房屋建筑一般包括运用和检修库、物资总库、洗车库、办公楼、培训中心等，附属设施一般包括牵引降压混合变电所、给水及消防泵房、门卫室、供水井、地下管线、道路等，部分附属工程带一层地下室，以满足地下管线设备铺设、给水消防和蓄水要求。

出入段线根据线路敷设方式、地质条件和周边环境条件，可设置为地面路基、高架桥、地下出入段线。地下出入段线一般采用盾构施工或明、暗挖施工，地下出入段线和车辆基地（停车场）站场股道间过渡段一般设置U型槽。

**7.6.2** 车辆基地一般占地范围较大，多为近郊不适合开发的土地，甚至为弃土场或垃圾场，一般地形起伏大，需要考虑挖填方等场地平整的要求。拟定车辆基地（停车场）勘察方案时，控制性勘探孔和一般性勘探孔深度除满足前述要求外，还需要充分考虑场地勘察时的地面和填挖方整平后地坪两者高差引起的实际孔深变化，确保勘探深度合理。

**8 施工勘察、专项勘察和周边环境专项调查**

**8.1 施工勘察**

**8.1.1**  对应进行施工勘察的情况进行了列举，但不限于以上内容。可由建设单位会同设计、施工、监理共同商确。

**8.1.2**、**8.1.3**  对施工勘察中应进行的工作方法、工作内容提出了具体要求，但不限于上述内容。勘察单位应结合上述要求及委托方的委托，有针对性地完成施工勘察任务，并按本规程相关章节要求进行施工勘察报告的编制。

**8.2 专项勘察**

**8.2.1**  1 对需要进行专项勘察的具体内容进行了规定，但不限于上述内容。不良地质作用包括岩溶、滑坡、崩塌、泥石流、场地和地基的地震效应等；特殊性岩土包括填土、软土（软弱土）、膨胀岩土、红黏土、混合土、污染土、风化岩和残积土等。

2 专项勘察不同于初步勘察、详细勘察和施工勘察。专项勘察不宜过早和过晚，应根据前期勘察对不良地质的性质、特征、规模和分布范围，以及危害程度的初步评价分析，结合轨道交通线路和站位方案稳定程度，及时开展专项勘察工作。

**8.2.2** 对专项勘察的具体工作方法、工作内容进行了规定。专项勘察工作应先仔细分析已有资料，再确定勘察方法及工作量，最终进行专项勘察的分析评价工作。

**8.2.3**  昆明轨道交通2号线详勘在福保路段及官南路段，5号线详勘在青少年宫站、怡心桥站至广福路区间、广福路站、滇池卫城站至金海新区站区间发现存在有害气体，并进行了有害气体专项勘察工作。

有害气体专项勘工作勘探孔布置是以出气点为中心，顺线路方向前后30m~40m、左右20m~30m范置按10m~15m间距网格状布置勘探孔，并在勘察过程中根据见气情况在有害气体高度异常区周边进行适当加密布置钻孔，加密孔间距5m，勘探深度为40m~50m。勘探孔为钻孔及孔压静力触探孔。

有害气体专项勘察采用“钻孔—监测—静力触探车压置监测专用管—连续监测”法进行有定气体种类测试分析、浓渡测试、有害气体顶底板埋深测定、压力及流量大小测定等。

有害气体专项勘察的主要结论及评价为：有害气体是以瓦斯（甲烷）为主要成分的小型、低压浅层生物气，伴生有CO、H2S等有毒气体；有害气体的来源既有浅部含有机质土层，也有深部散逸运移至浅部聚集形成；有害气体以游离态、吸附态存在于土层孔隙中；有害气体释放对盾构施工、周边建构筑物和工程后期运营产生显著影响的可能性小、影响程度低；气体释放将层强度，降低其承载力，当含气层位于建筑物基础应力变形影响范围内时，将对地基沉降产生影响。

2号线及5号线有害气体专项勘察工作可供参考。

**8.2.4** 昆明轨道交通4号线在初勘及详勘阶段发现金鼎山站至苏家塘站区间、苏家塘站多段发育可溶岩，岩溶中等及强烈发育，进行了岩溶专项勘察。

昆明轨道交通4号线岩溶专项勘察采用工程地质测绘、钻探、取样、水文地质试验、工程物探、高密度电法、地质雷达及孔间层析成像CT测试、原位测试、室内试验相结合的综合勘探方法进行勘察。

其中，城区段地表物探干扰大，主要采用钻探和孔间层析成像CT进行岩溶专项勘察。

勘探孔的布置原则为：地下车站勘探点纵向布置三排钻孔，左右两排布置于线路中线上，中间一排布置于左右线中间站台，孔排距约为10.0m，孔深进入结构底板下完整基岩不小于15.0m。中间一排错开约5.0m布置，针对岩溶强烈发育的车站，孔间距一般为10.0m；区间隧道沿左、右中线布置两排钻孔，孔间距一般为10.0～15.0m，孔深一般进入结构底板以下不应小于2.0倍隧道直径或进入结构底板以下中等风化层10.0～15.0m。

孔间层析成像CT布置：车站纵向三排钻孔均沿纵向以相邻两个钻孔为一对，逐对进行CT测试，横向以中间一排钻孔向左右两排前后钻孔为一对进行CT测试；区间相临两个钻孔均进行CT测式。

4号线岩溶专项勘察工作的主要结论为：4号线为覆盖型岩溶，岩溶主要发育于基岩面下15m范围，并以小于3.0m的充填型溶洞为主，钻孔平均遇洞率21%，平均线岩溶率3.29%，岩溶总体中等发育，局部强烈发育，属岩溶地面易塌陷区；基底岩溶治理一般采用注浆加固措施，对于埋深较小的岩溶可采取开挖揭露回填注浆措施进行治理，桩基需穿过岩溶置于下部稳定地层中。

4号线岩溶专项勘察工作可供其他线岩溶专项勘察工作参考。

**8.2.3～8.2.8** 针对有害气体、岩溶发育、水文地质条件复杂、地温异常等复杂地质问题的专项勘察工作应进行分析的主要内容进行了约定，但不限于上述内容，勘察单位应全面对专勘察勘察内容进行分析评价。

**8.3 周边环境专项调查**

**8.3.1～8.3.3** 对周边环境专项调查的依据、调查范围、调查对象，调查方法、调查内容等进行了规定。具体工作时可根据工程特点、规模进行适当调整，工作内容也应该有所侧重。

**8.3.4～8.3.12**  对各类调查对象所涉及的内容及要求进行了详细约定，约定仅是基本要求，在进行调查时，应仔细区分、细化调查内容。

**8.3.13** 对周边环境专项调查成果的具体内容进行了规定，勘察单位在编制成果时，可根据工程特点进行优化删减。

**9 地下水**

**9.1 一般规定**

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

**9.1.3** 水文地质条件简单时，在详细勘察工作中采取的一些水位观测、水文地质试验等可满足工程需要，鉴于地下水对轨道工程建设的重要性，对于复杂的水文地质条件和存在泉水等地下水景观时一般要通过采用专门水文地质钻探，专门地下水动态观测，水文地质试验试验孔等手段开展水文地质专项勘察工作。

**9.2 地下水的勘察要求**

**9.2.1** 本条是轨道交通工程地下水的勘察基本要求。

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

4 历史最高水位指长期观测孔中历年地下水达到的最高纪录，地质条件和工程条件复杂时应做专门研究。

5 轨道交通的地下工程一般应通过现场抽（注）水试验取得具体水文地质参数。

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

1 山岭隧道地下水类型主要为孔隙水、裂隙水和岩溶水。有的还根据岩性、构造分为亚类，如裂隙水分为不同岩性接触带裂隙水、断层裂隙水和节理裂隙密集带水，从已有隧道涌水类型看，以孔隙水、裂隙水为主，其次为综合性涌水，断层水和岩溶水也占一定比例。

2 岩溶水的垂直分带即垂直渗流带、水平径流带和深部缓流带可根据现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB10027划分。查明岩溶水的垂直分带与隧道设计高程的关系以及蓄水结构是至关重要的。

3 预测隧道施工中的集中涌水段、点的位置及其涌水量和对围岩影响是极其重要的。根据《铁路隧道设计规范》TB10003，地下水的出水状态可分为三级，以开挖面10m区间涌水量计：1级为潮湿或点滴状出水≤25 L/min •10m；2级为淋雨状或线流状出水25 L/min•10m～125 L/min•10m；3级为涌流状出水≥125 L/min•10m。

4集中涌水段或点在施工过程中可能发生的最大涌水量和正常涌水量的预测方法，可参考《铁路水文地质勘察规范》TB10049进行计算。

**9.2.4** 1 应分工点和分层采取地下水试样，作腐蚀性试验。对腐蚀性异常区段，应分析原因并增补水试样。水质分析试验应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

2 初步勘察阶段，按每个水文地质单元布置，其数量不宜少于1孔；

3 详细勘察阶段，每个地下车站或明挖区间不宜少于1孔。

4 由于各地水文地质条件差异较大，应保证取水质量。

**9.2.5** 勘察工作中，首先根据地层、岩性、透水性和工程重要性等条件的不同确定地下水作用的评价内容，并根据评价内容的要求，明确水文地质参数及其测定方法。

**9.2.6** 地下水样的采取应注意以下几点：

1 简分析水样取500ml两瓶，其中一瓶分析侵蚀性二氧化碳含量应加入大理石粉2～3g。

2 取水容器要洗净，取样前用试样水对水样瓶反复冲洗三次。

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

4 水样采取后要立即封好瓶口，贴好水样标签，及时送化验室。

**9.3 水文地质参数测定**

**9.3.1** 1 根据地层岩性可按表5选择水文地质试验方法。

**表5 主要含水介质水文地质试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 含水层介质 | 水文地质试验方法 |
| 黏性土、黏质粉土 | 注水试验 |
| 砂质粉土、粉砂 | 注水试验或抽水试验 |
| 中（细、粗）砂、砾砂、圆砾 | 抽水试验 |
| 基岩 | 压水试验、抽水试验 |

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

**表6 水文地质参数及测定方法**

|  |  |
| --- | --- |
| **参数** | **测定方法** |
| 水位 | 钻孔、探井或测压管测定 |
| 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 |
| 毛细上升高度 | 试坑观测、室内试验 |
| 流向 | 几何法 |
| 流速 | 指示剂或充电法 |

3 对地下车站可按表7选择方法确定水文参数。

**表7 试验方法、水文参数要求**

| 车站层数  （基坑深度） | 试验方法 | 提供参数 |
| --- | --- | --- |
| 地下一层  （一般小于14m） | 室内渗透试验、水位观测孔、单井 抽水试验、注水试 验 | 2～3倍基坑深度范围内土层渗透系数 |
| 潜水给水度 |
| 第一承压水水位、渗透系数、影响半径 |
| 地下二层及以上  （大于等于14m） | 室内渗透试验、至少带 2个观测孔抽水试验 | 2倍基坑深度范围内土层渗透系数 |
| 潜水给水度 |
| 第一承压水水位、释水系数 |
| 第二承压水水位、渗透系数、影响半径 |
| 注：各车站试验内容应根据基坑深度和地层分布结合设计要求综合确定。群井抽水试验在设计有特殊要求时进行。 | | |

**9.3.2** 地下水一般分层赋存于含水地层中，各含水层的地下水位多数情况下不同，多层地下水分层水位的量测，尤其是承压水水头的观测，对隧道设计与施工、地下车站基础和基坑支护设计与施工十分重要。

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

**9.3.3** 对地下水流向流速的测定作如下说明 ：

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

2 用指示剂法测定地下水流速，试验孔与观测孔的距离由含水层条件确定，一般细砂层为2m～5m，含砾粗砂层为5m～15m，裂隙岩层为10m～15m，岩溶地区可大于50m。指示剂可采用各种盐类、着色颜料、I131等，其用量决定于地层的透水性和渗透距离。

3 当工程对地下水流速精度要求不高时，可以采用水力梯度法。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：

**9.3.4** 为了使渗透系数等水文参数更接近工程实际情况，在城市轨道交通勘察工作中一般采用抽水试验、注水试验等现场测试方法,结合室内试验综合确定。表8的渗透系数经验值可供参考。

**表8 岩土的渗透系数经验值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩土名称 | 渗透系数 | |
| （m/d） | （cm/s） |
| 黏土 | <0.001 | <1.2×10-6 |
| 粉质黏土 | 0.001～0.100 | 1.2×10-6～1.2×10-4 |
| 粉土 | 0.1～0.5 | 1.2×10-4～6.0×10-4 |
| 粉砂 | 0.5～1.0 | 6. 0×10-4～1.2×10-3 |
| 细砂 | 1.0～5.0 | 1.2×10-3～6.0×10-3 |
| 中砂 | 5.0～20.0 | 6.0×10-3～2.4×10-2 |
| 均质中砂 | 35.0～50.0 | 4.0×10-2～6.0×10-2 |
| 粗砂 | 25.0～50.0 | 2.4×10-2～6.0×10-2 |
| 均质粗砂 | 65.0～70.0 | 7.0×10-2～8.2×10-2 |
| 圆砾 | 50.0～100.0 | 6.0×10-2～1.2×10-1 |
| 卵石 | 100.0～500.0 | 1.2×10-1～6.0×10-1 |
| 无填充卵石 | 500.0～1000.0 | 6.0×10-1～1.2 |
| 稍有裂隙岩石 | 20.00～60.0 | 2.4×10-2～7.0×10-2 |
| 裂隙多的岩石 | ＞60.0 | ＞7.0×10-2 |

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

**9.3.5** 岩土给水度可参考表9的经验值。

**表9 岩土的给水度经验值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土名称 | 给水度 | 岩土名称 | 给水度 |
| 淤泥质土 | <0.02 | 中砂 | 0.200～0.250 |
| 黏土 | 0.02～0.035 | 粗砂及砾砂 | 0.250～0.350 |
| 粉质黏土 | 0.03～0.045 | 粘土胶结的砂岩 | 0.020～0.030 |
| 粉土 | 0.035～0.050 | 裂隙灰岩 | 0.008～0.100 |
| 粉砂 | 0.05～0.06 |  |  |

**9.3.6** 采用计算法求影响半径时，表10列出了常用的计算公式。

表10 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 |

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

**9.3.9** 因地下水控制不力导致各种工程质量安全问题的情况时有发生，主要原因是含水层情况未查清，水文地质参数准确度不够，往往难以满足设计需求。

对于主干道路等试验条件难以具备的场地，须在各层水水位观测基础上，参照沿线相邻站点（距离不大于1.5km）的试验资料提供水文地质参数。当相邻站点无法参照时，可进行水文地质咨询。

抽水试验观测孔可视场地水文地质条件和设计要求适当增加或减小；距抽水井最近的第一个观测孔应避开三维流和紊流的影响，第二个观测孔距抽水井的距离宜为抽水试验目的含水层厚度的1.0倍～1.5倍，应满足最远观测孔内能观测到水位降深；观测孔除孔径外的结构应与抽水井相同。

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

**9.4 地下水的作用**

**9.4.1** 地下水对岩土体和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。

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

1 地下水对地下工程的浮力是最明显的一种力学作用。在静水环境中，浮力可以用阿基米德原理计算。一般认为，在透水性较好的土层中，计算结果即等于作用在基底的浮力。对于节理不发育的岩体，尚缺乏必要的理论依据，很难确切定量，故本款规定有经验或实测数据时按经验或实测数据确定。

在渗流条件下，由于单元土体的体积V上存在与水力梯度i和水的重力密度γw呈正比的渗透力（体积力）J：

J=iγwV （9）

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

在工程设计中，抗浮设防水位的确定十分重要。由于地下水位变化影响的因素很多，主要有：

1）地下含水层的水位与大气降水入渗的关系；

2）城市规划中地下水的开采量变化对该地下水的影响；

3）建筑物周围的环境，与周围水系的联系。

一般抗浮设防水位可采用综合方法确定：

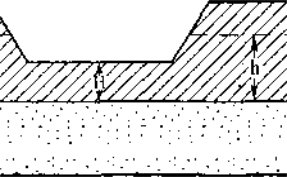
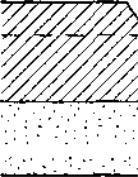
1）当有长期水位观测资料时，抗浮设防水位可根据该层地下水实测最高水位和地下工程运营期间地下水的变化来确定；无长期水位观测资料或资料缺乏时，按勘察期间实测最高稳定水位并结合场地地形地貌、地下水补给、排泄条件等因素综合确定；

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

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

4 当渗流作用可能产生潜蚀、流土或管涌现象，当渗透力达到一定值时，岩土中一些颗粒、甚至整体就发生移动，从而引起岩土体的变形和破坏，出现渗透变形现象，如流土、管涌或潜蚀。具体的判别方法可参考有关规定和文献。

在防止由于深处承压水的水压力而引起的基坑隆起即突涌，需验算基坑底不透水层厚度与承压水水头压力，见图 1，并按下述公式进行验算：



**图5 基坑突涌验算示意图**

*γ*H=*γ*w•*h*

基坑开挖后不透水层的安全厚度按式（3）计算：

H≥（*γ*w/*γ*）·*h*  （10）

式中： H—基坑开挖后不透水层的安全厚度（m）；安全系数不应小于 1.1；

*γ*—土的重度（g/cm3）；

*γ*w—水的重度（g/cm3）；

*h*—承压水头高于含水层顶板的高度（m）。

**9.5 地下水的控制**

**9.5.2** 降水对周边环境的影响主要有降水引起的地面沉降、地下水资源的消耗。降水方法可按表11确定：

**表11 降水方法的适用范围**

| 名称 | | 适用地层 | 渗透系数  K（m/d） | 水位降深  （m） |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 集水坑明排 | | 风化岩石、黏性土、砂土 | ＜20.0 | ＜2 |
| 井点降水 | 电渗井点 | 黏性土 | ＜0.1 | ＜6 |
| 喷射井点 | 填土、黏性土、粉土、粉砂 | 0.1～20.0 | 8～20 |
| 真空井点 | 黏性土、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 | | 黏性土、粉土、砂土 | 0.1～20.0 | ＜20 |
| 引渗井 | | 黏性土、粉土、砂土 | 0.1～20.0 | 将上层水引渗到下层含水层 |

**9.5.3~9.5.5** 地下水控制不管采用什么方法都是有利有弊的：

1 帷幕截水方法以现有的技术当属地下连续墙最为可靠，但造价偏高，目前，采用的薄壁地下连续墙，已经在城市建设中有所应用，由于造价降低不少，是值得研究应用的方法。

2 采用旋喷桩帷幕截水，虽然每根桩深度不受过多限制，但由于成桩过程中存在的垂直度不能保证达到要求，可能会出现局部缝隙，在施工开挖时会造成严重后果。因此深大基坑应慎重选择旋喷桩截水帷幕，如选择旋喷桩截水帷幕，应强调施工的质量要求。

3 目前国内许多城市的浅层地下水污染较严重，深部地下水质量相对较好。引渗方法降低地下水位就是把上层水通过自渗井导入下层水，在不考虑地下水环境的情况下，是施工降水比较节省的方法。如上层水导入下层水可能恶化下层水的水质，则不宜采用这类方法。

4 地下水回灌具有两方面作用：一是保障基坑周边地面不发生沉降；二是保障地下水资源量不受施工降水的影响。采用回灌方法是与抽水方法相伴生的。回灌可在同层进行，也可以在异层进行。同层回灌应保证回灌井回灌的水量不能过多地流入抽水井，加重注抽水量。这就要保证在工程场区存在同层回灌的条件，即存在设置回灌井的位置，能够保证回灌井与抽水井的距离。异层回灌虽然不受场地大小的限制，但考虑到上层水水质往往较差，在选择采用异层回灌前应评价不同层位地下水混合后对地下水环境的影响，避免产生水资源损失。

**10 不良地质作用**

**10.1 一般规定**

**10.1.1** 不良地质作用和地质灾害严重威胁工程安全，可能造成重大人身伤亡和经济损失，造成严重后果，故本条指出应该进行不良地质勘察。

**10.1.2** 根据工程实践，云南盆地区第四系湖积、湖沼沉积层常含有沼气等有害气体，对工程造成较大影响，本规程增加了浅层有害气体勘察的要求。若在工程勘察中发现存在本条未列的其它不良地质作用时，应按照有关规定进行勘察。

**10.1.4** 不良地质作用和地质灾害成因机理复杂，影响因素较多，采用搜集工程地质、水文地质、气象等资料和多种勘察手段相结合的综合方法进行勘察，目的是更加全面、准确地查明产生的条件、机理，对稳定性分析和评价具有重要作用。

**10.2 滑坡**

**10.2.1** 具备下列条件或特征的坡体，应按滑坡进行工程地质勘察：沿软弱地层或结构面整体下移的坡体；坡体后缘呈明显的圈椅状地貌，有较陡的后壁，其上有时可见擦痕；坡面不顺直呈无规则的台阶状，其上有洼地分布，坡脚有时可见鼓张裂缝；前缘侵占或挤压沟（河）床，呈舌状突出，多出露水或湿地；两侧坡脚地层多有扰动和松动现象；有产生滑坡的记录。

**10.2.2** 合理确定工程地质测绘比例尺，对查清滑坡特征、成因机理和满足治理工程需要至关重要，建议滑坡勘察比例尺可选用1:200～1:1000，用于整治设计时，比例尺应选用1:200～1:500。

**10.2.4** 滑坡勘察的工作量只作了基本的规定，勘察时应根据实际情况进行调整，工作量的布置以查清滑坡的形态、性质、规模为目的，滑坡区工程地质条件复杂时，勘探点间距宜取小值。

**10.2.5** 当用反分析方法检算时，应采用滑动后实测主断面计算。对处于蠕滑变形、临界滑动状态的滑坡，稳定系数Fs可取0.95~1.00，对处在暂时稳定的滑坡，稳定系数Fs可取1.00~1.05。可根据经验，给定c、φ中的一个值，反求另一值。

**10.2.6** 地下水的活动对滑坡的产生具有不可忽视的作用，同时也是关键因素之一，勘察时应对地下水引起足够的重视。全断面采取芯样的目的是为了更好地对岩芯进行观察和描述，尤其是滑坡带附近的芯样辨别判定，是确定滑带的位置、形状、特征的重要方法之一。

**10.3 危岩和崩塌**

**10.3.1** 符合下列情况时，应按危岩和崩塌进行工程地质勘察：坡面高陡，不平整，上陡下缓；岩土层节理、裂隙发育，结构面多张开；坡脚及坡面有崩塌物堆积。

**10.3.3** 崩塌勘察的主要方法是进行工程地质测绘和调查，本节对调查的内容作了详细要求。

**10.3.4** 崩塌的稳定性分析，是确定治理方案的基础和依据，应包括危岩、崩塌后缘陡崖和崩塌堆积体三者的稳定性分析。

**10.3.6** 3 危岩的稳定性计算应先确定破坏模式，结合破坏模式选取相应公式计算。常见的危岩破坏模式有滑移式、坠落式、倾倒式三类，其中，滑移式危岩还可结合后缘是否有陡倾裂隙细分为有陡倾裂隙的滑移式危岩、无陡倾裂隙的滑移式危岩两类；坠落式危岩还可结合折断方式细分为下切坠落式危岩、折断坠落式危岩两类；倾倒式危岩还可结合危岩重心位置细分为底部折断倾倒式危岩、后部拉断式危岩。危岩的破坏模式比较复杂，有的危岩难以确定破坏模式，或者有多种破坏模式，各种可能的破坏模式均应进行稳定性计算，治理设计时采用最不稳定的模式计算结果进行设计。危岩稳定性可参照《崩塌防治工程勘查规范》T/CAGHP011附录E进行计算。

4 崩塌的评价应给出崩塌体运动途径和危岩运动可能到达的最大范围，划定危岩崩塌可能造成的灾害范围，进行险情的分析与预测。影响范围可采用历史调查法和崩塌运动学分析法计算确定，必要时还可采用现场落石试验法确定。危岩最大弹跳高度、最大滚动距离和最大冲击力可参照《崩塌防治工程勘查规范》T/CAGHP011附录F、附录G进行计算。

**10.3.7** 规模大，破坏后果很严重，难于治理的，不宜作为工程场地，线路应绕避；规模较大，破坏后果严重的，应对可能产生崩塌的危岩进行加固处理，线路应采取防护措施；规模小，破坏后果不严重的，可作为工程场地，但应对不稳定危岩采取治理措施。

**10.4 岩溶**

**10.4.1** 岩溶亦称喀斯特，是指可溶性岩层如碳酸岩类的石灰岩、白云岩以及硫酸岩类的石膏等受水的化学和物理作用产生沟槽、裂隙和空洞，以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等侵蚀及堆积地貌形态特征和地质作用的总称。云南省可溶岩分布广泛，岩溶发育，岩溶对轨道交通工程影响较大，应加强岩溶勘察。

**10.4.2** 按埋藏条件的岩溶分类参考表12，按岩溶发育程度的分级参考说明表13。

**表12 按埋藏条件的岩溶分类及其特征**

|  |  |
| --- | --- |
| 岩溶类型 | 岩溶特征 |
| 裸露型岩溶 | 可溶性岩石直接出露于地表，地表岩溶显著，裸露型岩溶多出露于新构造运动上升区 |
| 覆盖型岩溶 | 可溶性岩石被第四系松散堆积层覆盖，覆盖层厚度一般小于50m，覆盖层下的岩溶常对地表形态有影响，如地地表形成洼地、漏斗、浅塘、塌陷坑等 |
| 埋藏型岩溶 | 可溶性岩石被上覆基岩埋深达几百米至一、二千米，在地下深处发育岩溶，属于古岩溶，地表上无岩溶现象 |

**表13 岩溶发育程度分级表**

|  |  |
| --- | --- |
| 等级 | 岩溶场地条件 |
| 岩溶强发育 | 地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼  溶沟、溶槽、石芽密布，相邻钻孔间存在临空面且基岩面高差大于5m  地下有暗河、伏流  钻孔见洞率大于30%或线岩溶率大于20%  溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达20m以上 |
| 岩溶中等发育 | 介于强发育和微发育之间 |
| 岩溶微发育 | 地表无岩溶塌陷、漏斗  溶沟、溶槽较发育  相邻钻孔间存在临空面且基岩面相对高差小于2m  钻孔见洞率小于10%或线岩溶率小于5% |

注：1 基岩面相对高差以相邻钻孔的高差确定。

2 钻孔见洞率=（见洞隙钻孔数量/钻孔总数）×100%。

3 线岩溶率=（见洞隙的钻探进尺之和/钻探总进尺）×100%。

**10.4.3** 本条规定了岩溶场地工程地质测绘应着重查明的内容，均与岩土工程分析评价密切有关。岩溶洞隙、土洞和塌陷的形成发展，与岩性、构造、土质、地下水等条件有密切关系。因此，在工程地质测绘时，不仅要查明形态和分布，更要注意研究机制和规律。只有做好了工程地质测绘，才能有的放矢地进行勘探测试，为分析评价打下基础。土洞和塌陷的发生，往往与人工抽吸地下水有关，进行工程地质测绘时应特别注意。

**10.4.6** 岩溶地区勘探点间距宜适当加密，勘探点应沿建筑物轴线布置，对地质条件复杂或荷载较大的独立基础应布置一定深度的钻孔。对一柱一桩的基础，应一柱一孔予以控制。当基底以下土层厚度不符合岩溶场地稳定性要求时，应根据荷载情况，将部分或全部钻孔钻入基岩；当在预定深度内遇见洞体时，应钻入洞底以下岩体2m~3m。

**10.4.7** 土洞与塌陷对工程的危害远大于岩体中的洞隙，查明其分布尤为重要。但是，对单个土洞逐一查明，难度及工作量都较大。土洞和塌陷的形成和发展，是有规律的。本条根据实践经验，提出在岩溶发育区中，土洞可能密集分布的地段，在这些地段上重点勘探，使勘察工作有的放矢。

**10.5 泥石流**

**10.5.1** 符合下列情况时应按泥石流进行工程地质勘察：沟口或坡脚存在大量无分选的洪流堆积物；沟内或山坡存在滑坡堆积物或大量松散物质；有泥石流暴发的历史记录或泥石流活动的痕迹。

**10.5.2** 泥石流对工程威胁很大，泥石流问题若不在前期发现和解决，会给以后工作造成被动或在经济上造成损失，故本条规定泥石流勘察应主要在可行性研究或初步勘察阶段完成。泥石流虽然有其危害性，但并不是所有泥石流沟谷都不能作为工程场地，而决定于泥石流的类型、规模，当前所处的发育阶段，暴发的频繁程度和破坏程度等，因而勘察的任务应认真做好调查研究，做出确切的评价，正确判定作为工程场地的适宜性和危害程度，并提出防治方案的建议。

**10.5.3** 泥石流勘察在一般情况下，重点是进行工程地质测绘和调查。测绘和调查的范围应包括沟口至分水岭的全部地段，即包括泥石流的形成区、流通区和堆积区。

**10.5.4** 本条对泥石流的形成条件、活动历史、泥石流特征等方面的调查内容作了细化规定。

**10.5.5** 泥石流堆积物的性质、结构、厚度、固体物质含量百分比，最大粒径、流量、流速、冲积量和淤积量等指标，是判定泥石流类型、规模、强度、频繁程度、危害程度的重要标志，也是泥石流治理工程设计的重要指标。勘查目的是为了满足治理的需要，查清治理工程区的工程地质条件，提供与设计相关的岩土参数，是泥石流勘查的主要任务之一。

**10.5.6** 泥石流的工程分类是要解决泥石流沟谷作为工程场地的适宜性问题。本分类首先根据泥石流特征和流域特征，把泥石流分为高频率泥石流沟谷和低频率泥石流沟谷两类；每类又根据流域面积，固体物质一次冲出量、流量、堆积区面积和严重程度分为三个亚类。

**10.5.7** 泥石流地区工程建设适宜性评价，一方面应考虑到泥石流的危害性，确保工程安全，不能轻率将工程建设在有泥石流影响的地段；另一方面也不能认为凡属泥石流沟谷均不能兴建工程，而应根据泥石流的规模、危害程度等区别对待。因此，本条根据泥石流的工程分类，分别考虑建筑的适宜性。

**1** 考虑到I1类和II1类泥石流沟谷规模大，危害性大，防治工作困难且不经济，故不能作为各类工程的建设场地。

**2** 对于I2类和II2类泥石流沟谷，一般地说，以避开为好，故作了不宜作为工程建设场地的规定，当必须作为建设场地时，应提出综合防治措施的建议；对线路工程宜在流通区或沟口选择沟床稳定、沟形顺直、沟道纵坡比较一致、冲淤变化较小的地段设桥或墩通过，并尽量选择在沟道比较狭窄的地段以一孔跨越通过，当不可能一孔跨越时，应采用大跨径，以减少桥墩数量；沟道主流线上，不宜布置桥墩。

**3** 对于I3类和II3类泥石流沟谷，由于其规模及危害性均较小，防治也较容易和经济，堆积扇可作为工程建设场地；线路工程可以在堆积扇通过，但宜用一沟一桥，不宜任意改沟、并沟，根据具体情况做好排洪、导流等防治措施。

**10.6 活动断裂**

**10.6.1** 活动断裂的勘察和评价是轨道交通工程在选址时进行的一项重要工作。考虑到断裂勘察的主要研究问题是断裂的活动性和地震，断裂主要在地震作用下才会对场地稳定性产生影响。因此，本条规定在抗震设防烈度等于或大于7度的地区应进行活动断裂勘察。

**10.6.3~10.6.4** 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，在工程中勘察与评份活动断裂一般都可以通过搜集、查阅文献资料，进行工程地质测绘和调查就可以满足要求，只有在必要的情况下，才进行专门的勘探和测试工作。

工程地质测绘除符合常规工作要求外，尚应包括下列内容的调查：

1 地形地貌特征：山区或高原不断上升剥蚀或有长距离的平滑分界线；非岩性影响的陡坡、峭壁，深切的直线形河谷，一系列滑坡、崩塌和山前叠置的洪积扇；走向断续线形分布的残丘、洼地、沼泽、芦苇地、盐碱地、湖泊、跌水、泉、温泉等；水系定向展布或同向扭曲错动等。

2 地质特征：近期断裂活动留下的第四系错动，地下水和植被的特征；断层带的破碎和胶结特征等；深色物质宜采用放射性碳14（C14）法，非深色物质宜采用热释光法或铀系法，测定己错断层位和未错断层位的地质年龄，并确定断裂活动的最新时限。

3 地震特征：与地震有关的断层、地裂缝、崩塌、滑坡、地震湖、河流改道和砂土液化等。

**10.6.5** 本条对断裂的处理措施作了原则的规定。除对可能影响工程稳定性的全新活动断裂建议避让的处理措施外，同时也可根据工程和活动断裂的情况，对通过活动断裂的轨道线路工程，一般可采用其它抗震措施建议：选择在活动断裂位移和断裂宽度较小的地段通过；轨道线路与断裂错动方向成斜交相交（交角宜为30°～70°）等。

**10.7 有害气体**

**10.7.1** 对人体或工程造成危害的有害气体种类较多，云南省常见的有在有机质、工业垃圾、生活垃圾地层中产生的沼气、毒气，煤层中的瓦斯，及缺氧空气。有害气体造成可燃气体的爆炸事故，缺氧气体的缺氧事故，毒性气体的中毒事故等危害。

有害气体勘察前，应十分重视对区域地质和有害气体资料的收集和分析，了解线路通过地区是否存在有害气体及其种类、分布情况，对指导下一步的勘察工作非常有益。目前云南省轨道交通工程有害气体的勘察、设计资料积累不多，需要在今后的工作中不断地去总结和完善。

遇到煤层可按照现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027进行工程地质勘察。

**10.7.3** 有害气体的勘探以钻探为主，并在钻孔中测定有害气体的压力、温度，采（岩）土样、气样进行有害气体的类型、含量、浓度及物理力学、化学指标分析，取得的资料需综合分析、互相验证。勘探点的布置、数量、深度应以查明有害气体的分布范围、空间位置和有关参数为目的，一般应结合各地下工程类型的勘察，必要时增加纵、横向勘探点。

**10.7.4** 目前测试土层中有害气体的方法较多，有抽水后孔内气体浓度测定法、孔内水取样法、气液分离法、泥水探测法、BAT系统法，前4种方法均存在弊病，而由B.A.Torstensson开发的BAT系统法，能较好地测定土中气体含量和浓度。BAT系统法的取样装置主要有过滤头、导管、取样筒、压力计组成；操作流程为过滤头设置、取样筒准备（充He气）→土中气体的取样、回收（测定气压、孔内温度）→减压→用气相色谱对气体作气相、液相分析→评价。

**10.7.5** 有害气体的评价应重点说明有害气体的类型、含量、浓度、压力、是否会发生突出，其突出的位置、突出量和危害性。盾构隧道施工段，当土层中甲烷浓度CH4≥1.5%、氧气浓度O2≤18%时，应制订必要的通风、防爆等安全措施。

浅层沼气可进行预先控制排气，经勘察查明的浅层沼气，在隧道施工前3~6个月采用套管钻井，安置减压阀，控制放气，其控制标准为不导致对放气周围地层显著扰动，不出现放气过程中带走泥砂现象。排气孔尺寸与数量应根据气囊的大小、气压与连通性确定，其位置应离隧道一定距离。预先控制排气措施是预防浅层沼气对隧道施工和今后运营中产生不利影响的较好方法，但一次性提前放气可能不彻底，且沼气可能有一定程度的回聚，故仍需要在施工中加强监测和采取安全措施。

目前，城市轨道交通工程勘察中遇到的有害气体主要为甲烷，其需要说明如下：

**1** 甲烷（CH4）气体，别名沼气，其一般性质如下表。

**表14 甲烷气体一般性质**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 内容 | | |
| 分子量 | | 16.03 | | |
| 0℃ 1大气压 1mol的容积 | | 22.361L/mol | | |
| 1m3的质量 | | 0.7168kg | | |
| 0℃ 1大气压下的相对密度 | | 0.5545 | | |
| 1大气压下的水中溶解度 | 温度（℃） | 15 | 20 | 25 |
| 亨利定数  （atm/mol） | 3.28E+4 | 3.66E+4 | 4.04E+4 |
| 危险程度 | | 爆炸，着火点为537℃，爆炸界限5% | | |
| 性质 | | 可燃性，无色，无味，无臭，与氧气结合发生爆炸的危险 | | |
| 中毒症状 | | 呼吸困难，呈缺氧症状 | | |

**2** 甲烷在海相、海陆交互相、滨海相、湖沼相等有机质土层中产生，称为生气层，储存于孔渗性较好的砂、贝壳、颗粒状多孔粉质黏土等土层中，称为储气层，各土层大多交互沉积，呈现条带透镜体状、扁豆体状、薄层状砂与黏土互层等形态。

**3** 查明生气层、储气层的具体位置和特征，对评价有害气体的分布、范围是十分重要的，勘察中还应注意生气层、储气层可能具有多层性的特点。

**4** 甲烷生成后，以溶存于地下水中的溶存气体及存在于土颗粒空隙中的游离气体两种形式存在于土层中，其扩散与地层的渗水特性有关。当压力和温度变化时，部分溶存气体与游离气体可相互转换。

**5** 水文地质特征影响着甲烷在土中的存在形式。饱和土中仅存在溶存甲烷，非饱和土中存在溶存甲烷和游离甲烷。甲烷气体的运移与地下水的补给、径流、排泄条件有较密切的关系。

**10.8 场地和地基的地震效应**

**10.8.1** 本条规定在抗震设防烈度等于或大于6度的地区勘察时，应考虑地震效应问题，现作如下说明：

**1** 《建筑抗震设计规范》GB 50011规定了设计基本地震加速度的取值，6度为0.05g，7度为0.10（0.15）g，8度为0.20（0.30）g，9度为0.40g；为了确定地震影响系数曲线上的特征周期值，通过勘察确定建筑场地类别是必须做的工作。

**2** 饱和和砂土和粉土的液化判别，6度时一般情况下可不考虑，但对液化沉陷敏感的乙类建筑应判别液化，并规定可按7度考虑。

**3** 对场地和地基地震效应，不同的烈度区有不同的考虑，所谓场地和地基的地震效应一般包含以下内容：

1）相同的基底地震加速度，由于覆盖层厚度和土的剪切模量不同，会产生不同的地面运动；

2）强烈的地面运动会造成场地和地基的失稳或失效，如地裂、液化、震陷、崩塌、滑坡等；

3）地表断裂造成的破坏；

4）局部地形、地质结构的变异引起地面异常波动造成的破坏。

由国家批准，中国地震局主编的《中国地震动参数区划图》GB 18306。由地震烈度区划向地震动参数区划过渡是一项重要的技术进步。《中国地震动参数区划图》GB 18306的内容包括“中国地震动峰值加速度区划图”、“中国地震动反应谱特征周期区划图”和“关于地震基本烈度向地震动参数过渡的说明”等。同时，《建筑抗震设计规范》GB 50011规定了我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计特征周期分区。勘察报告应提出这些基本数据。

**10.8.2～10.8.3** 对这几条做以下说明：

**1** 划分建筑场地类别，是岩土工程勘察在地震烈度等于或大于6度地区必须进行的工作，现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011根据土层等效剪切波速和覆盖层厚度划分为四类，当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度值而场地类别处于类别的分界线附近时，可按插值方法确定场地反应谱特征周期。

**2** 勘察时应有一定数量的勘探孔满足上述要求，其深度应大于覆盖层厚度，并分层测定土的剪切波速；当场地覆盖层厚度已大致掌握并在以下情况时，为测量土层剪切波速的勘探孔可不必穿过覆盖层，而只需达到20m即可：

1）对于中软土，覆盖层厚度能肯定不在50m左右；

2）对于软弱土，覆盖层厚度能肯定不在80m左右。

如果建筑场地类别处在两种类别的分界线附近，需要按插值方法确定场地反应谱特征周期时，勘察时应提供可靠的剪切波速和覆盖层厚度值。

**3** 测量剪切波速的的勘探孔数量，可参照《建筑抗震设计规范》GB50011有规定执行。

**4** 划分对抗震有利、一般、不利或危险的地段和对抗震不利的地形，《建筑抗震设计规范》GB50011有明确规定，应遵照执行。

当场地位于抗震危险地段时，常规勘察往往不能解决问题，应提出进行专门研究的建议。

**10.8.4** 地震液化的岩土工程勘察，应包括三方面的内容，一是判定场地土有无液化的可能性；二是评价液化等级和危害程度；三是提出抗液化措施的建议。

地震震害调查表明，6度区液化对建（构）筑物结构和其他各类工程所造成的震害是比较轻的，故本条规定抗震设防烈度为6时，一般情况下可不考虑液化的影响剔。强调三点：

**1** 液化判别应先进行初步判别，当初步判别认为有液化可能时，再作进一步判别。

**2** 液化判别宜用多种方法结合判定，这是因为地震液化是由多种内因(土的颗粒组成、密度、埋藏条件、地下水位、沉积环境和地质历史等)和外因（地震动强度、频谱特征和持续时间等）综合作用的结果；例如，位于河曲凸岸新近沉积的粉细砂特别容易发生液化，历史上曾经发生过液化的场地容易再次发生液化等；目前各种判别液化的方法都是经验方法，都有一定的局限性和模糊性，故强调“综合判别”。

1）当采用标准贯入试验进行液化判别时，按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909的相关规定进行判别。

2）当采用静力触探试验进行液化判别时，按照现行规范《铁路工程抗震设计规范》GB50111、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909和《铁路工程地质原位测试规程》TB10018的相关规定进行判别。

**3** 河岸和斜坡地带的液化，会导致滑移失稳，对工程的危害很大，应予特别注意；目前尚无简易的判别方法，应根据具体条件专门研究。

**10.8.5** 强烈地震时软土发生震陷，不仅被科学实验和理论研究证实，而且在宏观震害调查中，也证明了它的存在，但研究成果尚不够充分，较难进行预测和可靠的计算，主要根据唐山地震经验及天津等沿海地区经验提出下列标准，可作为参考：

当临界等效剪切波速大于表15的数值时，可不考虑震陷影响。

**表15 临界等效剪切波速**

| 抗震设防烈度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| --- | --- | --- | --- |
| 等效剪切波速Vsr（m/s） | ＞90 | ＞140 | ＞200 |

**11 特殊性岩土**

**11.1 一般规定**

**11.1.1** 由于多年冻土、盐渍岩土和湿陷性土等特殊性岩土在云南省分布不是很普遍，且一般不会分布在城市及附近，对轨道交通工程建设影响较小，故本规程中没有作具体规定。若在勘察时遇到，应执行相关标准。

**11.1.3**~**11.1.4**  我国特殊性岩土种类繁多，对分布范围较广的特殊性岩土已进行了深入的研究，先后制定了不少国家标准、行业标准和地方标准，如国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025、《膨胀土地区建筑技术规范》GB50112、《冻土工程地质勘察规范》GB50324，行业标准《软土地区工程地质勘察规范》JGJ83，以及地方标准《云南省膨胀土地区建筑技术规程》DBJ53/T-83等，这些标准都是从特殊性岩土的工程特性出发，对勘察工作量、勘察方法、勘察手段和勘察成果等进行了较为详细的规定，本规程制定第11.1.3、11.1.4条之目的，也是要求在特殊性岩土场地勘察时，要有针对性地开展勘察工作。

**11.2 填土**

**11.2.1**  填土的成分和堆填方式不同，其物理力学性质差异很大，因此应进行分类。

**11.2.2** 对本条主要说明以下两点：

1 掌握填土的堆填年限和固结程度，特别是填土是否经过超载，在对填土的岩土工程评价中有重要意义。一般而言，填土之所以“松”、压缩性高，主要是由于它只经过自重压力（这一压力还是不大的）固结或（对新近的填土）仍在经受自重压力固结。归纳言之，一是固结压力小，二是固结时间短，填土一般处于欠固结的状态，这就是填土常常难以直接作为地基土的主要原因。若填土在历史上曾有过超载，则它是超固结的；超载愈大，超固结比愈大。有过这样经历的填土就有被直接利用作为天然地基的可能性。填土年代愈久，经受过超载的概率愈高，因此，往往年代和超载指的是同一过程和效应。

2 强调查明填土的种类和物质成分，是为了划分素填土、杂填土和冲填土，而这三个基本种类还可细分。在本款中，还要求对其厚度变化予以特别注意。这是因为填土不是自然过程形成的物质，它不但成分多变，厚度也不稳定。将本款与上款的内容归纳之，填土的主要特点是：成分不一，厚薄不均，固结程度低，往往系欠固结的（即高压缩性的）。

**11.2.3** 填土与湿陷性土、软土、膨胀土与残积土、风化岩等特殊性岩土一样，对勘探与取样亦有其特殊要求；下面就第1款、第3款依次给予必要说明：

1 于填土的物质成分和厚度多变，勘探点的密度自然宜大于一般情况，但在具体布置上不应一步到位而宜采取逐步加密和有目的的追索、圈定的方法。

3 像其他特殊土一样，填土的勘探与取样也应有一定数量的探井，这既是对填土成分和组织结构进行直接观察的需要，也是采取高质量等级的土样和进行大体积密度测定的需要。便携钻具由于成本低、能进入到钻机不易去的地方等，在圈定填土范围时能发挥较大作用。由于填土“松”的特性，导致取样困难，因此原位测试成为填土勘察的主要勘探手段。对于原地取土回填的填土，其成分与原土一致，钻探过程中难以区分填土和原土，采用连续动力触探能较好地查明原土和填土分界线，是良好的勘探手段。

**11.2.4**  由于填土的物质成分多变，取高质量等级的土样不但不易而且所测得的岩土技术性质参数变异性大，为弥补这些不足应充分利用原位测试技术，特别是轻便型的原位测试设备。只有勘探取样和原位测试结合起来，才能取得好的效果。

**11.2.5**  填土的岩土工程分析与评价应结合填土的前述主要特点。

1 如前指出，填土的历史超载程度与其压缩性高低和强度大小有直接关系。填土是否有过超载和超载程度，除进行调查和经验分析外，有时还可通过室内试验解决。在有相似建筑经验的地区，轻便静力触探、动力触探等测试数据有时亦能反映超载效应是否存在。

2 对于轨道交通工程而言，除了地基问题外主要就是基坑和隧道开挖问题，因此填土的承载力、抗剪强度、基床系数和天然密度等物理力学指标是必不可少的。

3 暗挖工程如遇填土，其中易赋存上层滞水或潜水，地下水对隧道围岩稳定性的影响较大，应进行评价和建议。

4 有较厚填土分布场地，基坑坑壁局部或大范围坍塌是深基坑开挖时的常遇现象，特别当填土形成年代较短和成分复杂时更为常见。

5 施工验槽是针对填土的物理成分和分布厚度多变的现实情况提出来的。坚持施工验槽能揭露勘探过程中遗漏的重要现象（即使勘探工作密度和数量可观时）。补充勘探测试工作可以修改岩土工程评价和建议中的不当、不足之处，防止事故，总结经验。

**11.3 软土**

**11.3.1** 云南省的湖积盆地区广泛分布有湖相沉积的软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土，本条列出了判别标准。泥炭和泥炭质土中含有大量未分解的腐殖质，有机质含量大于60%为泥炭，有机质含量10%～60%为泥炭质土。软土的工程特性是高压缩性、高孔隙比、低强度、高灵敏度、低透水性和高流变性，在较大的地震力作用下易出现震陷，在施工开挖或沉桩等外力作用下会出现触变性。昆明地区的软土地层往往具有良好的水平层理，分布范围深达百米以上，对轨道交通工程基坑开挖、深基础及盾构区间影响较大，勘察中应仔细判别与测试，充分反映其特性和对工程的影响。

软土的判定应满足三个条件：天然孔隙比大于或等于1.0、天然含水量大于液限、细粒土，一般包括淤泥、淤泥质土和流塑状的泥炭、泥炭质土等。

云南省的岩土层种类繁多，实际工作中的很多土层，例如软塑状黏性土、流塑以外的泥炭及泥炭质土等，达不到软土的判定条件而又具备软土高压缩性、高孔隙比、低强度、高灵敏度、低透水性等一般特征，实测剪切波速值小于150m/s，这类土统称为软弱土。

天然孔隙比大于或等于1.0，高压缩性，软塑状态的细粒土和松散状态的砂土应判定为软弱土，包括软黏性土、流塑以外的泥炭及泥炭质土、有机质大于5%的稍密粉土、松散砂土、松散填土等。

软弱土在我省分布广泛，具有软土的一般特征，存在和软土类似的岩土工程问题，应参照软土勘察要求进行相应的勘察工作。

**11.3.2** 本条的各款内容是针对软土形成的地理—地质环境条件和主要的岩土技术特性提出的，现对有关内容加以说明：

1 云南省“软土”的主要成因类型和分布见表16：

**表16 软土的成因类型和分布**

| 地貌特征 | 成因类型 | 沉积特征 | 主要分布区域 |
| --- | --- | --- | --- |
| 湖积平原 | 湖相 | 沉积物中粉土颗粒成分高，季节韵律带状层理，结构松软，表层硬壳厚度不规律。 | 主要分布于昆明、曲靖、陆良、丽江、通海、昭通、祥云、保山等盆地内，以及阳宗海、澄江、洱海、星云湖等高原湖泊周边。 |
| 河流冲积平原 | 河漫滩相 | 沉积物成层情况较复杂，呈特殊的洪水层理，成分不均一，以淤泥和软黏性土为主，间与砂或泥炭互层。 | 主要分布于金沙江、澜沧江、怒江、小江、螳螂江、红河、盘龙江、南盘江等河流沿线，例如水富、临沧、东川、富民等。 |
| 牛轭湖相 | 沉积物成层情况较复杂，成分不均一，以淤泥和软黏性土为主，间与砂或泥炭互层，下部含有各种植物物质和软体动物贝壳。 | 主要分布于江河沿线地区。 |
| 山间谷地 | 谷地相 | 软土呈片状、带状分布，靠山边浅，靠谷地中心深，厚度变化大，颗粒由山前到谷地中心逐渐变细，下伏硬层坡度较大。 | 主要分布于狭长型的山间谷地地带，例如丽江永胜、禄劝转龙、寻甸倘甸马街至嵩明阿子营一带。 |
| 泥炭沼泽地 | 沼泽相 | 以泥炭沉积为主，且常出露于地表，孔隙极大，富有弹性，下部有淤泥层或薄层淤泥与泥炭互层。 | 主要分布于沼泽地，例如会泽大海草山、腾冲北海湿地等。 |

不同成因的软土，由于其沉积环境不同，其分布范围、层位的稳定性、土层的厚度均有其特点。

软土的厚度及其变化对沉降和差异沉降的预测，地基处理与结构措施的选择，桩基设计及基坑开挖与支护方法关系甚大，其中应特别重视查明砂层和含砂交互层的存在与分布，因为这涉及软土地层的排水固结条件，沉降历时长短与强度在荷载作用下的递增速度，甚至会关系到一个工程项目的可行性。

2 地貌的变化在很大程度上反映了地质情况的变化，特别是微地貌，往往是地层变化或软土分布在地表上的反映（例如：在平原区地貌突变处，有可能有暗埋湖塘、洼浜或古河道），因此，应注意微地貌的变化。

3 查明软土的硬壳和硬底状态，对分析各类工程的稳定和变形具有重要意义。

4 软土的团结应力历史及反映这个历史的不排水抗剪强度，先期固结压力（亦称最大历史压力），e–lgP曲线上的回弹指数与压缩指数等对确定软土的承载力，选择地基处理方法及预测地基性状与表现等是重要的依据。将软土按超固结比OCR划分为欠固结土、正常固结土与超固结土（后者还可进一步划分）对反映软土固结应力历史具有实用意义。

5 软土中的含水层数量、位置、颗粒组成与各层的水头高度是深基坑降水、开挖与支护设计及地下结构的防水所需要的资料。

6 应指出施工或相邻工程的施工（包括降水、开挖、设桩或大面积填筑等）会导致软土中应力状态的突变或孔隙水压的骤升，使土体和已竣工工程变形、位移或破坏。软土的勘察应特别注意此类问题的分析，并提出措施建议。

**11.3.3** 本条主要针对软土的特殊性，提出的勘探与取样要求。

1 勘探（简易勘探、挖探、钻探等）和原位测试（静力触探、十字板剪切试验、旁压试验、螺旋板载荷试验等）应在地质调绘的基础综合运用，一般情况下，宜先采用简易勘探、静力触探，再布置钻探、十字板剪切试验等。在软土地区应充分采用静力触探测定软土层在天然结构下的物理力学性能，划分地层层次。原位测试进行软土地基的勘探、测试虽然具有显著的优越性，但目前还只能通过各种相关关系的建立来提供软土的物理力学指标。所以，对各种勘探、测试方法、设计参数的选取，在云南地区，由于岩土种类繁多且变化大，不能依赖于单一的勘探手段，应采用多种勘探手段相互印证和对比，以保证勘探结果的可靠性。

云南地区大量的工程经验证明静力触探、十字板剪切试验及自钻式旁压试验是软土地区行之有效的原位测试方法，它们能大大弥补钻探取样与室内试验的不足。

由于软土钻探采取原状土样比较困难，取土后又容易受震动失水，致使室内试验数据不准，而采用十字板剪切试验可以弥补这一缺陷，所以，为测定软土层在不排水状态下的抗剪强度指标一般采用十字板剪切试验。

2 软土分布区勘探点的布设应根据需要综合确定。

3 压缩层计算深度宜用应力比法控制，在实际工作中，软土地基计算压缩层的计算深度可作如下控制：

1）对于均质厚层软土，软土地基附加应力为自重应力的比例为0.1～0.15时相应的深度；

2）对于非均质分布的软土地层，软土地基附加应力为自重应力的比例为0.15～0.2时相应的深度；如果在影响深度范围内，软土层下出现有密实或硬塑的下卧硬层（如半坚硬黏土层等硬土层、砂层等）或岩质底板时，在查明其性质并确定有一定厚度后，可不再继续计算。

**11.3.4** 本条对软土的试验类型、方法提出要求。

1 为地基承载力计算测定强度参数时，当加荷速率高，土中超孔隙水压力消散慢，宜采用自重压力预固结的不固结不排水剪（UU）试验或快剪试验。当加荷速率低，土中孔隙水压力消散快，可采用固结不排水剪（CU）试验或固结快剪试验。

2 支护结构设计中土压力计算所需用的抗剪强度参数应根据不同条件和要求选用总应力强度参数或有效应力强度参数。后者可用固结不排水剪（CU）测孔隙水压力试验确定。

3 固结试验方法，各土样的最大试验压力及所取得的系数应符合沉降计算的需要。

4 我省广泛分布的泥炭、泥炭质土等软土，水平和垂直方向上的固结系数和渗透系数差异较大，按照水平方向和垂直方向分别进行试验和提供参数，有利于准确分析和判定其特性和对工程的影响。

**11.3.5** 本条中各款的规定，对软土而言是有很强的针对性的，按超固结比划分软土，对确定承载力和预测沉降有启发、指导作用，掌握了软土的灵敏度有助于重视挖土方法，选好支护措施或合理布置打桩施工程序，以防止出现坑底隆起、土体清移或桩基变位等事故；大量的工程实践经验证明，我省广泛分布的泥炭、泥炭质土等有机质土不利于与水泥的拌合和凝固，应充分认识到该类土层对水泥土隔水帷幕和加固措施的不利影响。

关于软土震陷问题，按10.7.5条判别。

很多城市软土地区的轨道交通运营线路已经出现了过量沉降问题，并导致隧道结构开裂、渗漏水等问题。产生过量沉降的因素很复杂，一般包括施工扰动、自然固结以及运营震动影响等。因此，软土地区的轨道交通工程的沉降问题应引起勘察与设计人员的高度重视。

**11.4 膨胀岩土**

**11.4.1** 对大部分岩石而言，由于岩石结构内力克服了其膨胀力，膨胀岩的胀缩性表现不出来；而对于软岩和极软岩，吸水软化后，降低了岩石的结构内力，在膨胀力的作用下，易膨胀崩解，当失水后，收缩已不能恢复原生结构，其胀缩表现出来的特性和膨胀土是有很大区别的。

目前，膨胀岩的胀缩特性对工程影响不象膨胀土影响面大，业界对膨胀岩的认识和研究深度还不够，资料也较少，膨胀性的判定标准也不统一。例如，中国科学院地质研究所将钠蒙脱石含量5%~6%，钙蒙脱石含量11%~14%作为判定标准。铁道部第一勘测设计院以蒙脱石含量8％、或伊利石含量20%作为标准。此外，也有将粘粒含量作为判定指标的，例如铁道部第一勘测设计院以粒径小于0.002mm含量占25%或粒径小于0.005mm含量占30％作为判定标准。还有将干燥饱和吸水率25%作为膨胀岩和非膨胀岩的划分界线。对膨胀岩的研究，尚待以后生产中积累经验，所以本节规定了主要适用于云南地区的膨胀土。膨胀岩的判别可参考《铁路工程不良地质勘察规程》TB10027中的相关规定。

**11.5 红黏土**

**11.5.1** 本节所指的红黏土是我国红土的一个亚类，在云南地区分布也较广泛，即母岩为碳酸盐系经湿热条件下的红土化作用形成的特殊土类。

**11.6 混合土**

**11.6.1** 混合土在颗粒分布曲线形态上反映出呈不连续状。云南省混合土主要分布于山区洪积扇及山前坡地，盆地周边山区城镇比较常见，专门性的研究较少。混合土中细粒土的含水量、状态及粗颗粒土的含量对地基土强度影响明显，只有当粗颗粒土超过总质量的25%或细颗粒土超过25%时才能明显影响其力学性质。

**11.6.2** 本条是从混合土的特点出发，提出了勘察时应重点注意的问题。动力触探对粗颗粒混合土是很好的勘察手段，但应有一定数量的钻孔或探井配合。

**11.6.3** 本条是结合混合土的特点对其原位测试和室内试验做出规定，混合土中的粗颗粒对室内试验数据影响较大，参照《土工试验方法标准》GB/T500113中粗颗粒土的试验方法进行相关项目试验，便于得出准确的试验数据。

**11.6.4** 各地混合土的物理力学性质差异较大，现目前本省对混合土的研究成果较少，实际勘察工作中现场载荷试验、动力触探试验以及现场直剪试验等原位测试，以及混合土边坡的容许坡度值等应根据现场调查并结合当地经验确定，必要时应进行专门试验研究。

**11.7 污染土**

**11.7.1**  本规程污染土的定名原则，与《岩土工程勘察规范》GB50021一致。

**11.7.2**本节定义的污染土，不包括核污染土的勘察。轨道交通实际工程中如遇核污染问题时，应进行专题研究。

**11.7.3** 本规程污染土场地和地基类型分类，与《岩土工程勘察规范》GB50021一致。

**11.7.4** 本条列出污染土现场勘察的适用手段，其中现场调查和取样分析是必要手段，以现场调查为主；因人类活动所致的地基土污染一般在地表下一定深度范围内分布，部分地区地下潜水位高，地基土和地下水同时污染。因此在具体工程勘察时，污染土和地下水的调查应同步进行。

**11.7.5** 勘察时应重视对人员健康安全的保护，采取适合的防护措施。

**11.7.6**  轨道交通由于多数埋设于地下，污染土对运营阶段的影响更重要，尤其是对人体健康造成的影响，因此在可行性研究勘察阶段调查路径通过区域是否有污染土的分布尤为重要，当污染土对轨道交通影响较大时，宜建议适当调整路径，加以避让。当确实无法避让时，应对污染土进行初步勘察和详细勘察。

**11.7.7**  轨道交通线路通过污染土的分布区域时，勘察范围应适当扩大，以便查明污染土对轨道交通的影响。

**11.7.8** 地下水是污染物扩散的途径，轨道交通埋设于地下时，污染土对其影响较大，因此应分层查明地下水的污染情况。

**11.7.9** 《岩土工程勘察规范》GB50021对试验内容进行了规定，轨道交通工程对污染土勘察时应遵照执行。

**11.7.10** 对污染土的评价，应根据污染土的物理、水理和力学性质，综合原位测试和室内试验结果，进行系统分析，用综合分析方法评价场地稳定性和地基适宜性。

污染土和水对建筑材料的腐蚀程度、污染对土的工程特性（强度、变形、渗透性）指标的影响程度、污染土和水对环境的影响程度三方面的判别标准不同，污染等级划分标准不同，且后期处理方法也有差异，勘察报告中宜分别评价。

污染土的岩土工程评价应突出重点：对基岩地区，岩体裂隙和不良地质作用要重点评价。如有些垃圾填埋场建在山谷中，垃圾渗滤液是否沿岩体裂隙特别是构造裂隙扩散或岩体滑坡导致污染扩散等；对松散土地区，渗透性、土的力学性（强度和变形）评价则相对重要。

评价宜针对可能采用的处理方法突出重点，如挖除法处理，则主要查明污染土的分布范围；对需要提供污染土承载力的地基土，则其力学性质（强度和变形参数）评价应作为重点；对污染源未隔离或隔离效果差的场地，污染发展趋势的预测评价是重点。

轨道交通工程多埋设于地下，污染土评价应考虑污染土对轨道交通工程建（构）筑物的建设和运营期间的影响。

**11.7.12** 强度、变形、渗透等工程特性指标对轨道交通工程的建设和运营有不同的影响程度，应根据工程特点来选取指标分别评价，并在分别评价的基础上根据工程要求进行综合评价。

**11.8 风化岩和残积土**

**11.8.2** 风化岩和残积土的勘察着重点与其它岩土层的勘察着重点有明显不同。

1 确定母岩的地质年代、岩石的类别，是风化岩和残积土勘察的基本要求。

2 风化岩和残积土的分布、埋深与厚度变化对线路敷设方式、线路埋深、施工工法选择都有重要影响。

3 原岩矿物的风化程度、组织结构的变化程度是岩石定名的基本依据。

4 岩土的不均匀程度，岩块和软弱夹层的分布、特征对岩体的整体强度和稳定性常起着控制作用。

5 由于风化岩和残积土中的球状风化体及孤石对隧道工程施工的影响很大，应给于查明。

**11.8.3** 本条规定了风化岩和残积土的勘探、测试的基本要求。

1 本款强调钻探与原位测试，特别是标准贯入试验和重型动力触探试验相结合。这是由于风化岩和残积土的I级试样采取困难，数量有限。国内外常用标准贯入试验等方法，通过击数等指标与风化岩的工程性质建立相关关系，以更好地进行风化岩的分级并推求工程技术性质指标。除标准贯入试验外，在有些国家旁压试验用的较多，并已较系统地总结了经验。我国的超重型动力触探（N120）在碎石、卵石地层中应用颇有成就，宜通过比较试验，建立相关关系，可推广应用到风化岩和残积土的勘察评价上来。

4 因极软岩和极破碎的岩体性质接近土的性质，故规定可按土工试验的要求进行试验。

**11.8.4** 鉴于取得I级土样比较困难，而且有的试验（如压缩试验）不易在试验室内完成，原位测试作为取样试验的必要补充，迄今几乎已是必不可缺。例如：

1 用旁压试验确定地基土的承载力、变形模量等岩土技术参数，以计算建筑物的沉降，为锚杆或土钉设计确定土的抗拔摩阻力等，在一些国家（如法国、加拿大、澳大利亚等）已成常规之一。原苏联也有类似做法。在我国推广应用旁压试验的条件首先是要有能提供足够工作压力（如大于或等于15000kPa）测试设备；其次是进行必要数量的对比试验，建立旁压试验指标（临塑压力Pf、极限压力P1、旁压模量Em等）和岩土技术设计参数（承载力、抗拔摩阻力、不排水剪强度、变形模量等）之间的相关关系。

《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T72的旁压模量Em与压缩模量Es的关系见式11～式14：

一般黏性土：Es=(0.7～1)Em （11）

粉土：Es=(1.2～1.5) Em （12）

粉细砂：Es=(2～2.5) Em （13）

中、粗砂：Es=(3～4) Em （14）

式11～式14的适用深度为>10m，此压缩模量为有效自重压力至有效之中压力加附加压力之和段的压缩模量；

2 用标准贯入测试击数确定风化岩和残积土的变形模量或压缩模量有不少经验公式，如《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T72的关系见式15、式16：

粉土及粉细砂压缩模量：Es=(1～1.2)N （15）

中、粗砂压缩量：Es=(1.5～2)N （16）

式15、式16的适用深度为<120m，适用范围为10≤N≤50（击），此压缩模量为有效自重压力至有效之中压力加附加压力之和段的压缩模量。

对于花岗岩残积土、全风化与强风化岩的变形模量可用标准贯入试验实击值N按式17，结合当地经验和类比验证确定。

E0=0.4N～1.4N（N<100） （17）

式17系来自日本的一份内容较丰富的总结性材料。它综合反映了花岗岩残积土、全风化岩与强风化岩的压缩性（变形模量）与标准贯入试验实击值之间的关系。

E0=2.2N' （18）

式18系我国部分地区根据标贯试验和载荷试验的约30个对比资料总结出来的，N'为标准贯入试验锤击数校正值。用此式计算E0值时需结合当地经验，必要时可进行载荷试验确定。

3 《铁路工程地质原位测试规程》TB10018中也有变形模量与动力触探试验的相关关系规定。

4 每一种原位测试方法都有其最佳适用范围，为此在选用时应区别不同要求，有针对性地选用适用的方法或方法组合，以获得最佳效果。除此之外，本条还规定了可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定确定承载力和变形模量。

**11.8.5** 工程实践表明，若处理不慎，花岗岩类的强风化、全风化岩和残积土会对工程实施造成严重影响。因此，在第11.8.2条的基础上，本条专门规定了花岗岩类的强风化岩、全风化岩与残积土的勘察要求。某些以花岗岩为母岩的变质岩或其他类似岩石的强风化、全风化岩和残积土的勘察，可参照本条规定执行。

1 关于花岗岩采用标准贯入击数实测值划分强风化、全风化岩和残积土的标准，与国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021和《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307一致。波速值划分标准与国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307一致。

2 砾质黏性土、砂质黏性土属于混合土范畴，应结合混合土的定名原则具体确定土的名称。

3 花岗岩类岩石多沿节理风化，风化厚度大，且以球状风化为主，在强风化岩、全风化岩和残积土中易形成球状风化核。云南省的花岗岩系的残积土常呈中砂、粗砂状，较松散。岩脉和花岗岩球状风化体往往较周围岩石坚硬，造成地层的软硬不均，隧道掘进困难；花岗岩球状风化体也会影响桩基持力层的确定。因此，除满足本规范第11.8.2条的规定外，本款特别规定，勘察尚应着重查明花岗岩分布区球状风化体（孤石）的分布，强风化岩、全风化岩与残积土的工程特性及其水文地质条件，应关注其遇水易软化崩解的特征。

4 对花岗岩类残积土和全风化岩的试验应符合国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123的规定。

**11.8.6** 本条规定应对风化岩和残积土进行岩土工程分析与评价，并根据岩土工程特性和轨道交通工程实践，列举了可能包括的分析与评价内容，但不限于这些内容。

1、2这两款所称的“评价稳定性”，主要针对风化岩和残积土遇水易软化崩解的工程特性而言。

3 工程实践表明，强风化、全风化岩和残积土的不均匀程度，尤其是岩块和软弱夹层的分布，对隧道掘进和基坑、桩基施工遇到这种情况时，切勿认为已经挖到中等风化岩层。

4 强风化、全风化岩和残积土本身的渗透系数不一定较大，但经过扰动之后，其中的含水量不论多少，会使岩土体迅速崩解。因此，本款提出了对地下水的评价要求。

**12 工程地质调查及测绘**

**12.1 一般规定**

**12.1.1**~**12.1.3** 针对轨道交通工程的特点，工程地质调查与测绘工作是极其必要的，是岩土工程勘察的基础工作内容，是从宏观上获取场地地质条件的主要手段。工程地质调查与测绘工作主要在可行性研究和初步勘察阶段进行；详细勘察和施工勘察阶段，可在初步勘察调查与测绘的基础上，对某些专门地质问题（如滑坡、断裂等）作必要的补充调绘工作。由于轨道交通工程的特殊性，勘察设计的各个阶段线、站位置会有调整或变化，因此，工程地质调查与测绘工作要贯穿勘察设计各阶段的始终。

加强工程地质调查与测绘工作有助于增加地质信息量，指导后期勘探量布置，在岩土勘察工作中起到事半功倍的作用。

对工程有重大影响的地质问题，如活动性断裂、滑坡和采空区等，常规的工程地质调查与测绘是不够的，应进行专项工程地质调查与测绘工作。

**12.2 工作方法**

**12.2.1** 对搜集的各种资料及现场调查成果资料进行综合分析，不仅可在岩土工程勘察资料编制过程中加以利用，也是合理布置勘探量、制订勘察大纲等工作的必要前期工作。

**12.2.2** 工程地质调查与测绘过程中原则上不投入大量勘探工作量，勘探一般以简易勘探为主。

**12.2.3**  利用航片、卫片等遥感判释手段尤其适用于可行性研究和初步勘察阶段的方案比选工作。如地貌单元的划分、地质构造、不良地质和特殊岩土的判释等。利用遥感手段可以宏观性掌控区域地质条件，减少外业调绘强度，提高大面积调绘的工作质量。

**12.2.4** 对本条作以下说明：

1 地质观察点的布置是否合理，对于调绘工作质量、成果质量以及岩土工程评价至关重要。地质观察点应布置在不同类型的地质界线上，例如：地层、岩体、岩性、构造、不整合面、不同地貌成因类型等地质界线。

地质观察点的布置要充分利用岩石露头。例如，采石场、路堑、基坑、基槽、冲沟、基岩裸露等。它们可以提供有关岩土体的工程地质性状，包括：岩性、物质成分、粒度成分、层序及其变化、岩石风化程度、岩体结构类型、构造类型、结构面形态及其力学性质、地下水等。当地质体隐蔽时或天然露头、人工露头稀少时，应根据具体情况（场地的地形、工作环境、技术要求等），选择适宜的手段、布置一定数量的勘探与测试工作。

2 在工程地质调查与测绘中关于地质观察点的密度，国内外未有统一的规定。本款只是从原则上作出这一规定，具体实施时，应从实际出发，根据技术要求，工程地质条件和成图比例尺等因素综合确定。

**12.2.5** 工程地质调查与测绘的最终产品是图件和文字报告。生产图件的工作方法基本上有两种，一是填图、二是编图。填图与编图不仅是工程地质调查与测绘常用的方法，而且也是在区域地质调绘或地质普查与勘探过程中常用的传统方法。

**12.3 工作范围**

**12.3.1**~**12.3.2** 工程地质调查与测绘的范围要求根据国内一些城市轨道交通工程岩土勘察的经验总结出来。

**12.3.5**  根据国内城市轨道交通岩土勘察实践经验，专题研究的目的是为了把影响设计施工的重大地质问题研究透彻，使提供的结论经济合理。

**12.4 工作内容**

**12.4.1** 各种既有资料的搜集是地质调绘重要工作，必须在岩土工程勘察前期统筹规划、全面考虑和认真落实。

调查搜集以往岩土工程事故发生的原因、处理的措施和整治效果，在岩土勘察工作中有重要借鉴意义。

**12.5 工作成果**

**12.5.1** 对工程有重要意义的工程地质现象，应拍彩色照片附文字说明，存档备查。这样做有利于地质资料的分析研究与综合整理，也有利于后期工作开展。

**12.5.2** 工程地质测绘比例尺的选择和精度，一般与轨道交通工程设计的需要及工程地质条件的复杂程度有关，同时与本地区在城区规划、勘察、设计、施工等常用比例尺和精度的要求相一致，以利于使用。为了达到精度要求，在测绘工作中习惯采用比提交成果图大一级的地形图作为测绘的底图，或者直接采用城区建设常用的1:500的比例尺地形图作底图，待外业完成后根据设计需要可缩成提交成果图所需要的比例尺图件。

地质界线、地质观察点在图面上的位置误差，目前各行业的规定一般为2mm或3mm。本条提出：“在图上不应大于2mm”，主要是考虑轨道交通工程的特点和精度要求。

在测绘时图面所表示地质单元体的最小尺寸，尚无统一规定。“有特殊意义或对工程有重要影响的地质单元体，在图面上宽度小于2mm时，应采用扩大比例尺方法标示并加以注明其实际数据”。这样可确保重要地质现象不遗漏，提高测绘精度。

**12.5.3** 工程地质调查与测绘，一般成果资料可纳入相应的岩土工程勘察报告中，不必单独编制调绘报告。为了解决某一专题性的岩土工程问题，可编制专项用途的成果资料。对于各种文字报告、图件和图表的表示内容，可按设计的需要和有关规定执行。

**13 勘探与取样**

**13.1 一般规定**

**13.1.1** 为满足勘察技术要求，达到理想的技术经济效果，宜将勘探手段配合使用，如钻探加触探，钻探加静探，钻探加地球物理勘探等。动力触探、静力触探作为勘探手段时，应与钻探等其它勘探方法配合使用。当需要查明深部岩土特性、构造特征、结构面性质等时，可采用井探、洞探。

**13.1.3** 软弱夹层、软弱面（带）和透镜体对工程影响大，特别重要，不得遗漏。

**13.1.5** 轨道交通工程勘探多在城市街道上进行，勘探实施过程中，可能会影响交通，甚至危及生命安全；可能会碰到地上有高压电线，地下有各种设施（如地下人防、电力、通信、给水排水管道等）；可能会破坏环境、污染地下水等，如不小心，钻坏地下管网，其后果不堪设想。所以在施钻前应搜集街道管网分布图，在布孔时躲避各种地下设施，并采用地下管道探测仪了解地下设施，或用探坑查明，确无设施时，再行钻探，在可能分布有地下设施的深度范围内宜采用静力压入式钻探，避免或减少事故发生。

安装钻机除要避开地下设施外，还要注意钻架距高压线要有一定的安全距离，防止发生触电事故。

**13.1.6** 现场勘探记录是勘察工作的一项重要内容，是编写勘察报告的基础资料之一，为确保第一手资料的真实性、准确性，应由专业技术人员记录。

**13.1.7**  本条强调保护环境和节约资源的重要性，强调以人为本，保障操作人员的人身安全，确保勘探施工安全。勘探应符合现行国家标准《岩土工程勘察安全标准》GB／T50585的规定。

**13.1.8** 若回填不好，将成为地下水涌入车站、隧道的通道，可能对施工造成严重影响乃至事故；或者隧道衬砌背后注浆时，浆液通过钻孔喷出地面，对环境造成污染。特别是处于地下工程结构范围内的钻孔应采用水泥浆进行封孔，并确保封孔质量。

**13.2 勘探点的定位与测量**

**13.2.1** 本规程所指的勘探点主要是钻探、井探、槽探和洞探。勘探点定位与测量所引测的基准点或基准系统，应注意与设计所要求的坐标系统、高程相一致。勘探点的施工放样与高程测量所依据的坐标和高程控制点应由建设单位或委托方提供。

**13.2.3** 勘探点设计位置与实地位置允许偏差因工程特点、地质情况等会有不同要求，实际工作中可根据勘察任务书的要求进行。

**13.3 钻探**

**13.3.1** 钻探质量的好坏直接影响到地质基础资料的完整准确。钻探工作受地形地质条件、场地条件、环境条件的限制，根据实际情况，合理选择钻机、钻具和钻进方法，提高岩芯采取率，保证勘探任务顺利完成。施钻前应查明孔位处地下、空中管线，地下构筑物，障碍物，并采取相应的安全措施。

**13.3.2** 钻探是勘探工作的主要手段之一，劳力和材料消耗大，成本较高。因此，需与其它勘探手段密切配合，在满足设计要求前提下，尽可能减少钻孔，实现一孔多用，获取多方面地质参数，节省勘探费用。钻探应积极采用新技术、新工艺、新方法、新材料。

**13.3.3** 选择钻进方法应考虑的因素是：

1 地层特点及钻探方法的有效性。

2 能保证以一定的精度鉴别地层，了解地下水的情况。

3 尽量避免或减轻对取样段的扰动影响。

4 能满足原位测试的钻探要求。

钻探是岩土工程勘察的重要手段，其方法和工艺应根据岩土类别、钻探深度和勘探要求合理选用。实际工作中不仅要考虑钻进的有效性，而且要满足勘察技术要求。

**13.3.4** 钻孔成孔直径既要满足钻孔技术的一般要求，也要满足取样、原位测试、试验要求以及勘察技术要求。

**13.3.5** 轨道交通工程勘探在技术上要求较高，为充分取得有效的地质资料，通过勘察纲要对孔位、钻孔深度、钻孔垂直度、钻探方法、回次进尺、岩芯采取率、取样、原位测试等提出具体技术要求。

钻进中，特别是深孔钻进应加强钻孔倾斜的预防，采取防止孔斜的各种措施。

在砂土、碎石土等取芯困难地层中钻进时，可通过控制回次进尺提高岩芯采取率。钻探回次进尺可参照表17。

**表17 工程地质钻探回次进尺长度**

|  |  |
| --- | --- |
| 岩土类型 | 回次进尺（m） |
| 黏性土、粉土 | 1.0~1.5 |
| 薄层黏性土与薄层砂类土互层 | 1.0~1.5 |
| 砂类土 | 泥浆钻进1.0~1.5 |
| 跟管回转钻进0.3~0.5 |
| 碎石类土 | 双管钻具钻进0.5~1.0 |
| 无泵反循环钻软质岩石1.0~1.5 |
| 无泵反循环钻破碎岩石0.5~0.7 |
| 冻土 | 0.3~0.5 |
| 软土 | 0.3~1.0 |
| 膨胀性岩层 | 0.5~1.0 |
| 滑动面及重要结构面上下5m | 预计滑动面及其以上5m范围小于或等于0.3 |
| 重要结构面上下5m为0.3~0.5 |
| 软硬互层、软硬不均风化带及硬、脆、碎基岩 | 0.5~1.0 |
| 较完整、轻微风化基岩 | 1.0~2.5 |
| 完整基岩 | ＜3.5 |

轨道交通主要位于盆地及丘陵地带，粉土分布较为普遍；云南地质构造复杂，构造破碎带常见。故本规程对粉土和构造破碎带单独分类。根据云南省特点，并结合实际工程经验，本规程钻探岩芯采取率在现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307、《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87规定的基础上有所变化和调整。

**13.3.6** 量测地下水的水量、流向、流速、渗透系数、影响半径等水文地质参数时，钻孔应按有关规定进行提水或抽水试验及观测工作，必要时进行压水或注水试验。含水层较多，各层水质、承压性、水量变化较大时，应结合工程需要分层止水进行测定及试验。进行长期观测的勘探孔应加固孔口，并设标志桩，按要求定期观测。

**13.3.7** 岩芯应逐孔装箱拍摄岩芯彩色照片，每箱岩芯拍摄1张照片，照片上的标记（工程名称、位置、孔号、箱号、分层深度、终孔深度、岩性定名等）应清晰。使用数码相机拍摄，以便于计算机保存。

一般钻孔岩芯经验收合格后可进行处理，但重要工程和复杂钻孔的岩芯必要时可留存至工程竣工验收完成。

**13.3.10** 本条规定的不同回填方式和要求，可根据钻探现场的具体情况和工程要求选用，必要时需采取综合处理措施。

**表18 回填材料及方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 回填材料 | 回填方法 |
| 原土 | 每0.5m分层夯实 |
| 直径20mm左右黏性土球 | 均匀回填，每0.5m～1m分层捣实 |
| 水泥、膨润土（4:1）制成浆液或水泥浆 | 均匀泵送入孔底，逐步向上灌注 |
| 素混凝土、水泥砂浆 | 分层捣实 |
| 灰土 | 每0.3m分层夯实 |

**13.4 井探、槽探**

**13.4.1** 在无条件进行钻探的地点，利用人工挖探可达到技术要求。目前井探、槽探已广泛应用而且能保证质量，便于鉴定、描述和取样。

**13.4.2** 井探应根据地层条件设支护措施。井探的支护可根据地质情况及当地施工经验，采取不同方法，并符合当地政府主管部门的规定。

**13.4.5** 作业过程中做好安全技术措施，达到既能满足勘探任务的技术要求，又能保证作业人员的人身安全。

**13.5 洞探**

**13.5.2** 洞探施工中出现最多的问题都与地质因素有关，因而施工前应收集详细的地质资料，并制定符合地质条件的施工组织设计，保证施工顺利进行。

**13.5.3** 洞探不宜过宽，否则会增加不必要的开挖工作量和支护的难度，但要确保便于开挖和观察。

**13.5.4** 当涉及到爆破作业时应按照当地及国家相关规定办理。

**13.5.6** 为保证作业人员的安全，施工过程中应加强围岩观察和进行必要的监测。监测项目包括地下水、围岩变形、岩爆、塌落及有害物质等。

地质编录是洞探工作的重要目的，应随着洞探工作的进行而进行。对复杂的不稳定地层段，需要进行支护，其地质编录应在支护前进行。

**13.6 取样**

**13.6.1** 轨道交通工程为线状长距离工程，且大部分为地下工程，线路会穿越不同的地貌和地质单元，规定取样和试验的目的，是为了满足不同性质岩土层指标的代表性与合理性的要求。

土试样的质量要求，应根据工程的需要而定。在工程的关键部位取样质量，需要Ⅰ级土样，进行热物理指标的土样可用Ⅱ级土样，进行颗粒分析的土样质量可用Ⅳ级土样。

**13.6.3** 钻探取样与原位测试的具体操作应按现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87等执行；安全与文明施工要求应按现行国标《岩土工程勘察安全标准》GB／T 50585等执行。

**13.6.4** 过去对砂层的压缩模量、密度等技术指标，多根据其他方法换算求得，准确度不高。而砂土的压缩模量和密度是轨道交通工程勘察的重要指标之一。所以要推广取砂器，在取砂器内放置环刀，将环刀取出后，即可求得砂的密度，并放入压缩仪，直接试验砂土的压缩模量。

**13.6.5** 在实际工作中经常会发生下设套管后因水头控制不当引起

孔底管涌的现象，此时土层受扰动的范围和程度更大、更严重。因此在软土、粉土、砂土中钻进，泥浆护壁比套管效果好。

使用套管对土层的扰动和取样质量有影响，一般情况下，套管底以下约三倍管径范围内的土层会受到严重的扰动，在这一范围内不能采取原状土样。

采用贯入取土器取土试样时，优先采用压入法。

**13.6.7** 探井、探槽、探洞中取样与开挖同步进行，可减少样品暴露时间，减少含水量变化，减少样品的应力状态变化。

**13.6.8** 试验容器可采用φ120mm×200mm或φ120mm×120mm×200mm、φ150mm×200mm或φ120mm×150mm×200mm等规格。试验容器宜做成装配式，并应具有足够刚度，避免土试样因自重过大而产生变形。容器应有足够净空，以便采取相应的密封和防扰动措施。

**13.6.9** 取样时先将取样位置削平，然后将环刀刃口垂直下压，边削边压至土样高出环刀，再用取土刀削掉两端土样。

**13.6.11** 满足比热容、导热系数、导温系数、基床系数、动三轴试验的土试样直径应不小于89m，有效长度应不小15cm。

**13.7 地球物理勘探**

**13.7.1** 物探利用的物理场源有电场、磁场、电磁场、地震波或弹性波、温度场、重力场、放射源等，包括天然场和人工场，可探查的目标体包括地层、破碎带、断层、含水层、洞穴、人工埋设物等。

**13.7.2** 物探并不是直接揭露目标体，而是根据物性差异和地质规律综合解释和推断，是一种间接的勘探手段。物探工作之前，应全面了解和分析测区的地形、地质条件和物性特征以及已有技术成果，作为测试前的指导和参考。

**13.7.3** 物探发展迅速、方法众多，各种物探方法所利用的参数，工作原理，应用范围、适用条件等均不相同。近年隧道超前地质预报TSP、弹性波层析成像CT、电磁波层析成像CT、地质雷达GPR、瑞雷面波法等物探方法在轨道交通工程岩土工程勘察中取得了较好的效果。各种物探方法具体方案的制订与实施，应满足现行行业标准《铁路工程物理勘探规程》TB10013、《城市工程地球物理探测规范》CJJ7、《水利水电工程物探规程》SL326等的有关规定。

云南地质条件复杂，初步拟定物探方法后应依据相邻地区或其他条件类似的地区的实际工作成果、以测区物性参数为基础的正演运算或模拟实验结果、野外踏勘结果、已有的勘查成果等对物探方法的有效性进行分析论证。必要时应对物探方法进行有效性试验，试验地段应选择在地质条件比较清楚、地形平坦、干扰背景平静地区，在条件许可时，宜选择在天然露头或工程揭露或钻孔旁。

对于隐伏的地质界线、界面、不良地质体、地下管线、含水层等，采用常规勘察方法难以査明时，应采用地球物理勘探方法予以查明：勘探线应根据探测体的位置、走向及规模，尽量垂直于探测体的走向布置，测线应尽量重合（或平行）于地质勘探线；每个探测体应不少于3条勘探线，每条勘探线不少于3个测点，当地形坡度大于15°时应进行地形修正；测网密度与工作比例尺应根据探测目的、探测体的规模、空间位置及异常特征等因素确定，并尽量与工作区以往地质工作或其它物探工作比例尺一致；异常未追索完毕时应延长测线长度，需进一步了解异常特征时应加密测点间距。

视电阻率是用来反映岩石和矿石导电性变化的参数，在地下存在多种岩石的情况下用电阻率法测得的电阻率不是某一种岩石的真实电阻率，它除受各种岩石电阻率的综合影响外，还与岩、矿石的分布状态（包括一些构造因素）、电极排列等具体情况有关，所以称它为视电阻率。通过直流电法（电阻率测深法、电阻率剖面法、高密度电阻率法等）可得到视电阻率的变化情况。而交流电法（大地电磁测深法MT、音频大地电磁测深法AMT、可控源音频大地电磁测深法CSAMT等）通过在地面观测不同频率交变电磁场相互正交的电场分量和磁场分量，并进而求得视电阻率随频率变化关系。可控源音频大地电磁测深法常用的设备有EH4，是较先进的常用方法。

云南造山运动显著，岩溶发育，当基岩裸露时，探测岩溶的分布、规模、延伸方向、充填情况可选用地质雷达、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法；当覆盖层较薄时，探测溶沟、溶槽、土洞等可选用电剖面法、高密度电法、浅层折射波法；探测浅埋藏的岩溶洞穴和构造可选用高密度电法、瞬变电磁法、地震反射波法和瑞雷波法；当覆盖层较厚时，探测岩溶的分布、规模、延伸方向可选用可控源音频大地电磁测深法；探测隧洞四周的岩溶分布可选用地质雷达；探测孔间深埋藏岩溶洞穴及充填情况可选用层析成像；探测孔壁岩溶地层溶蚀情况、地下岩溶暗河或泉水的出水点位置、岩溶地下水位和观察钻孔揭示规模小的岩溶洞穴可选用综合测井；对于探测场地狭窄的建筑物地基宜选用地质雷达、高密度电法。

**13.7.4** 物探具有单方法的多解性和应用条件局限性的特点，解决的主要办法有排除法和综合物探法，排除法主要收集地质资料，将取得的资料互相验证、互相补充，成本相对较低，在没有可利用的地质资料时，只能选用综合物探法。

**13.7.6** 具体各物探方法成果资料的编制及提交除应满足设计要求外尚应符合相关现行方法技术规程的规定，如《电阻率测深法技术规程》DZ／T0072、《电阻率剖面法技术规程》DZ/T 0073等。

**14 原位测试**

**14.1 一般规定**

**14.1.1**  在轨道交通岩土工程勘察中，原位测试是十分重要的手段，基本上是在原位的应力条件下对土体进行测试，其测试结果有较好的可靠性和代表性。但原位测试评定土的工程参数主要是建立在统计的经验基础上，有很强的地区性和土类的局限性。在选择原位测试方法时，需考虑的因素包括土类条件、设备要求、勘察阶段等，而地区经验的成熟程度最为重要。原位测试的试验项目、测定参数、主要试验目的参见表19。

**表19 原位测试项目一览表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验项目 | 测定参数 | 主要试验目的 |
| 标准贯入试验 | 标准贯入  锤击数N（击） | 1. 判别土层均匀性和划分土层； 2. 判别地基液化可能性及等级（标准贯入试验）； 3. 估算砂土密实度、黏性土状态； 4. 估算土体基床系数和比例系数； 5. 估算土体强度指标； 6. 选择桩基持力层、估算单桩承载力； 7. 判断沉桩的可能性 |
| 动力触探试验 | 动力触探锤击数  N10、N63.5、N120（击） |
| 旁压试验 | 初始压力p0（kPa）、  临塑压力py（kPa）、  极限压力pL（kPa）、  旁压模量Em（kPa） | 1. 估算地基土强度和变形指标； 2. 计算土的侧向基床系数； 3. 估算桩基承载力； 4. 确定土的原位水平应力和静止侧压力系数（自钻式旁压试验） |
| 静力触探试验 | 单桥比贯入阻力ps（MPa），双桥锥尖阻力qc（MPa）、侧壁摩阻力ƒs（kPa）、  摩阻比Rf（%）、  孔压静力触探的孔隙水压力μ（kPa） | 1. 判别土层均匀性和划分土层； 2. 估算地基土强度和变形指标； 3. 估算土的侧向机床系数和比例系数； 4. 判断盾构推进难易程度； 5. 估算桩基承载力； 6. 判断沉桩可能性； 7. 判别地基土液化可能性及等级 |
| 荷载试验  （平板、螺旋板） | 比例界限压力p0（kPa），极限压力pu（kPa）  压力与变形关系、  地基基床系数Kv（kPa/m） | 1. 评定岩土承载力； 2. 估算土的变形模量； 3. 计算土体竖向基床系数 |
| 扁铲侧胀试验 | 侧胀模量ED（kPa），  侧胀土性指数ID、  侧胀土性指数ID、  侧胀水平应力指数KD、侧胀孔压指数UD | 1. 划分土层和区分土层； 2. 计算土的侧向基床系数； 3. 判别地基土液化可能性 |
| 十字板剪切试验 | 不排水抗剪强度Cu（kPa）、重塑土不排水抗剪强度C＇u（kPa） | 1. 测求饱和黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度； 2. 估算地基土承载力和单桩侧阻力； 3. 计算边坡稳定性； 4. 判断软黏性土的应力历史 |
| 波速测试 | 压缩波波速υp（m/s）、  剪切波速υs（m/s） | 1. 划分场地类别； 2. 提供地震反应分析所需的场地土动力参数； 3. 评估岩体完整性； 4. 估算场地卓越周期 |
| 岩体现场直接剪切试验 | 岩体的摩擦角φp（°）、  残余摩擦角φR（°）、  黏聚力c（kPa）、 | 1. 确定岩体抗剪强度； 2. 计算岩质边坡的稳定性 |
| 岩体原位  应力测试 | 岩体空间应力、  平面应力 | 1. 岩体应力与应变关系； 2. 测求岩石弹性常数 |

**14.1.2** 布置原位测试，需考虑配合钻探取样进行室内试验，其目的是建立统计经验公式并有助于缩短勘察周期和提高勘察质量。原位测试成果的应用，以地区性经验的积累为依据，经过工程实践的验证建立地区性的经验关系。

**14.2 标准贯入试验**

**14.2.1** 标准贯入试验不适用于软塑～流塑软土，对残积土和强风化岩也实用性不强，对砂土、粉土和一般黏性土较为适用，特别是砂土。

**14.2.3** 贯入器打入土中15cm时为预打阶段，之后的30cm为试验阶段。

**14.2.4** 由于N值离散性大，在利用N值解决工程问题时，需持慎重态度，个别异常的N值需剔除，单孔标贯资料必须与其他试验综合分析。

**14.3 圆锥动力触探试验**

**14.3.1** 本规程列入三种圆锥动力触探类型（轻型、重型和超重型），重型动力触探是应用最广泛的一种。

**14.3.4** 在整理触探资料时，需剔除异常值。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。

**14.4 旁压试验**

**14.4.1** 旁压试验包括预钻式、自钻式和压入式三种。

**14.4.2** 旁压试验点的布置，先通过静力触探试验或标准贯入试验了解地层分布，再合理的选择有代表性的位置进行试验。布置时要保证旁压器的量测腔在同一土层内，并建议试验点的垂直间距至少为1m。

**14.4.3**  预钻式旁压试验时成孔质量是成败的关键，成孔质量差会使旁压曲线反常失真；软弱土层需用泥浆护壁；钻孔孔径应略大于旁压器外径，一般宜大2～8mm。

**14.4.5**  旁压试验加荷等级一般为10级～12级。

**14.4.6**  目前国内有“快速法”和“慢速法”两种加荷速率，据一些单位的对比试验表明，两种不同加荷速率对试验结果影响不大。在操作和读数熟练的情况下，尽可能采用短的加荷时间，快速加荷所得旁压模量相当于不排水模量。

**14.5 静力触探试验**

**14.5.1** 静力触探试验不适用于碎石土。

**14.5.2**  目前国内常用的静力触探探头以单桥和双桥居多，双桥静力触探优于单桥静力触探。圆锥截面面积国际通用标准为10cm2，国内大多数单位广泛使用15cm2，两种贯入阻力相差不大。

**14.5.3**  贯入过程中，如果遇到过于密实的地层、含碎石颗粒较多或钙质结核富集的地层不能贯穿时，可配合钻机进行引孔，并使用套管防止孔壁坍塌或探杆弯曲。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。

**14.5.7** 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、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。

**14.6 十字板剪切试验**

**14.6.1** 十字板剪切试验有机械式和电测式两种，目前大多采用电测式十字板剪切试验。十字板剪切试验我国工程经验限于饱和软黏性土，对于其它的土误差较大。

**14.7 载荷试验**

**14.7.1** 浅层平板荷载试验和深层荷载试验的区别，在于测试土是否存在边载，荷载作用于半无限体的表面还是内部。深层平板荷载试验的深度不应小于5m。

**14.7.9** 载荷试验在各种原位测试中是最为可靠的。分析和应用荷载试验成果时，应特别注意承压板影响深度范围内土层的不均匀性。

**14.8 扁铲侧胀试验**

**14.8.1** 扁铲侧胀试验最适宜在软弱、松散土中进行，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。

**14.12 地温测试**

**14.12.1**  地温测试主要为满足环控设计要求进行，其深度按影响深度范围确定。

**15 室内试验**

**15.1 一般规定**

**15.1.1** 岩土室内试验的方法、操作和采用的仪器设备要与现行国家标准相一致。确保试验遵循共同的试验准则，试验结果具有一致性和可比性。

**15.1.2** 岩土工程勘察的目的是为了设计、施工服务的，试验项目的选择要结合岩土特性、工程与结构类型和设计、施工需要综合确定。岩土力学性质试验方法、试验条件应尽量考虑实际工程情况，试验方法应尽量模拟实际工况。

**15.1.3** 岩土水试样交接验收是试验工作的重要环节。试样符合试验要求，试验项目、试验方法具体明确，是试验顺利开展，试验结果符合工程勘察要求的基础。

**15.1.4** 试验资料的分析，对提供准确可靠的试验指标是十分重要的，内容涉及成果整理，试验指标的选择等。对不合理数据要分析原因，有条件时，进行一定的补充试验，以便决定对可疑数据的取舍或更正。

在使用和评价岩土试验数据时，必须注意到，岩土试验与实际状态是存在着差别的，评价成果时，宜结合原位测试成果和既有的经验数据进行比较分析，综合给出合理的推荐值。

**15.2土的物理性质试验**

**15.2.1** 本条所述土的物理性质试验，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。

**15.2.2** 土粒比重变化幅度不大，有经验的地区可以根据经验确定。但对缺乏经验的地区，仍应直接测定。

**15.2.3** 颗粒大小分布曲线应按《土工试验方法标准》GB/T 50123有关规定绘制，当筛析法和密度计法联合分析时，应将试样总质量折算以后绘制颗粒大小分布曲线，并将两段曲线连成一条平滑的曲线。提供d60、d50、d30、d10，计算不均匀系数、曲率系数等级配指标。移液管法因过程繁琐、效率低，目前很少采用。

**15.2.6** 热物理指标是轨道交通岩土工程勘察需要提供的一个参数：

1 岩土热物理指标是轨道交通工程通风负荷设计计算需要的参数。岩土的热物理性能与其密度、湿度及其化学成份有关。导热系数、导温系数随着密度和湿度的增大而变大，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，由于化学成份不同，其值也相差很大，因此，应通过试验取得数据。

2 可行性研究和初步勘察阶段，岩土的热物理指标可根据岩土的密度、含水量的实际情况按《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307附录K选用。在详细勘察和施工勘察阶段，应在地下车站开挖深度范围、地下区间隧道洞身及洞身上下一倍洞径范围的主要岩土层取样进行热物理指标试验；由于岩土的热物理指标与其密度和含水率等状态密切相关，为真实反应地下岩土层的热物理特性，保证试验成果的可靠性，应采取不扰动土样进行热物理指标试验，每一主要岩土层取样试验数不少于3组。

3 测定热物理指标的试验方法较多，各种不同的方法都有一定的适用范围。根据岩土自身的特性，本规范选用三种方法测定岩土的热物理指标：面热源法能够一次测得岩土的导温系数和导热系数，并计算出比热容，但测试仪器及操作计算较复杂；热线法和热平衡法分别适用于测定潮湿土质材料的导热系数和比热容，利用关系式计算出导温系数，这两种组合测试方法测试装置简单，测试快捷方便。三种方法的具体原理和计算过程可参考《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307）16.2.6条文说明。

**15.3 土的力学性质试验**

**15.3.1** 结合云南实际，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和膨胀土地基的胀缩等级分级。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，给出合理推荐值。

**15.3.2** 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。

**15.3.3** 当采用土的应力历史进行沉降计算时，试验成果应按e-lgp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-lgp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。

**15.3.4** 直剪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，仍可以有条件使用。快剪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。选用不同的三轴压缩试验方法所取得c、*φ*值差别很大，故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。

**15.3.5** 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）。主要适用于侧试饱和软黏性土，用于估算土的承载力和抗剪强度。

**15.3.6** 土在不允许有侧向变形的条件下，试样在轴向压力增量△б1’的作用下将引起侧向压力的相应增量△б3’，其比值△б3’/△б1’称为土的侧压力系数（ξ）或静止土压力系数（K0），试验仪器采用侧压力仪。

**15.3.7** 轨道交通地下工程详细勘察需要提供基床系数，关于基床系数的概念，如何通过室内试验和原位测试等综合确定基床系数推荐值，可参见本规程7.3.9及《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307中7.3.10的条文说明。

**15.4 土的动力性质试验**

**15.4.1~15.4.3** 动三轴、动单剪、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。

用动三轴仪测定动弹性模量、动阻尼比及其与动应变的关系时，在施加动荷载前，宜在模拟原位应力条件下先使土样固结。动荷载的施加应从小应力开始，连续观测若干循环周数，然后逐渐加大动应力。测定既定的循环周数下轴向应力与应变关系，一般用于分析饱和砂土的液化。

**15.5 岩石试验**

**15.5.2** 岩石抗压强度一般以饱和单轴抗压强度RC为基本参数。软岩和极软岩遇水软化或崩解、烘干可能开裂，可进行天然状态试验，提供天然单轴抗压强度指标供参考。

**15.6 水和土的腐蚀性分析**

**15.6.1** 混凝土结构或基础处于地下水位以上时，规定只取土样进行腐蚀性分析，但应注意地下水位的季节变化，如果混凝土结构或基础处于地下水位季节变化深度范围，仍应取水试样进行水的腐蚀性分析，当有多层地下水时，应分层采取水试样进行腐蚀性分析。

**15.6.2** 序号13～16属原位测试，是评价土对钢结构的腐蚀性测试项目。试验方法、评价标准可参见《岩土工程试验监测手册》（林宗元主编）。

**15.6.3** 按现行《岩土工程勘察规范》GB50021，水和土对建筑材料的腐蚀性分为微、弱、中、强四个等级，与现行国标《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046腐蚀性分级协调一致。岩土工程勘察中，城市轨道交通线路工程和地面建筑宜分别按《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476评价环境类别和环境作用等级。

水、土的腐蚀性试验，《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB10005要求应按《铁路工程水质分析规程》（TB10104）和《铁路工程岩土化学分析规程》（TB10103）测试；地面建筑执行《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476。为协调一致，建议水土腐蚀性试验统一执行《铁路工程水质分析规程》TB10104和《铁路工程岩土化学分析规程》TB10103，具体的试验项目、试验方法应符合表15.6.2的要求。

**16 岩土工程分析评价和勘察报告**

**16.1 一般规定**

**16.1.1** 本条主要提出了岩土工程分析评价的总要求。

**16.1.5** 轨道交通工程线路长，勘察单位较多，为了便于勘察资料的使用和各勘察阶段资料的延续性，需要统一地质单元、工程地质水文地质分区、岩土分层的划分标准。

**16.2 岩土工程分析与评价**

**16.2.1** 本条主要针对轨道交通工程结构提出分析评价的综合要求，即分不同的敷设形式提出成果分析与评价的要求，地下工程主要是围岩和土体的稳定和变形问题，高架工程和地面工程主要是地基的承载力和变形问题，并特别强调了工程建设对环境的影响和地下水作用的分析评价。

**16.2.2** 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，列举并分析连续墙、钻孔咬合桩、SMW工法桩等不同支护方式可能出现的工程问题，提出相应防治措施的建议要求。

**16.2.3** 矿山法施工的分析评价，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要求。

**16.2.4** 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，强调了对浅层气等不良地质对盾构掘进的不利影响的评价要求。此外，盾构区间隧道中通常还涉及到联络通道或工作风井等，分析评价还需提供颗粒分析曲线、砂土的不均匀系数d60/d10及d70等特殊指标、参数等；当联络通道采用冷冻法施工，而附近含水层地下水活动频繁、地下水流速可能超过5m/d时，还应提供地下水流向、流速等资料。针对冷冻法施工，必要时需提供盾构影响范围内（取1D，D为盾构直径）地基土的原始地温、结冰温度、导热系数、导温系数、比热容、冻土的抗压强度等指标，冻土的抗压强度、剪切强度、抗折强度、蠕变强度和融沉率。

**16.2.5** 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及墩台边坡的稳定性分析，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要求。

**16.2.7** 轨道交通工程建设通常对城市环境影响较大，勘察报告应作这方面的分析、评价和预测，并提出相应防治措施的建议。环境问题涉及面广，本条仅限于涉及岩土工程方面的内容。

**16.3 勘察报告的基本要求**

**16.4 勘察报告的内容**

**16.4.1**本条概括规定了轨道交通岩土工程勘察报告的内容组成，将勘察报告的内容组成分为文字部分、表格、图件、附件。

**16.4.2～16.4.4**  相关内容可根据勘察阶段、工程规模和任务要求适当调整。

**17 勘察风险控制**

**17.1 一般规定**

**17.1.1** 轨道交通建设风险管理，应通过风险界定、风险辨识、风险评估和风险控制，对工程建设风险进行风险评估和管理，以保障人员安全，减小对周边环境影响，确保工程安全，将建设风险造成的各种不利影响、破坏和损失降低到合理、可接受的水平。

**17.1.2** 由于云南地质条件复杂，轨道交通建设中面临较大的地质风险因素。在岩土工程勘察中，应针对不同的地质风险因素，分别采取具有针对性的勘察手段及措施，综合利用各种技术手段，对所取得的成果进行综合分析，以避免因为地质风险因素而导致事故发生。

遵照《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652规定，对于重大风险应采取规避或采取专项应对措施降低风险等级至正常设计或管理措施可以应对水平。可接受水平是指采取专项应对措施降低风险等级至正常设计或管理措施可以应对水平。

**17.1.3**  轨道交通工程勘察风险管理应由建设单位负责组织，岩土工程勘察单位是勘察阶段质量安全风险控制的责任主体，对工程建设期的风险控制承担勘察合同规定的相应责任，勘察单位应对其勘察的质量负责。

**17.2 勘察风险的界定和辨识**

**17.2.1** 勘察实施过程中风险类型较多，但与勘察工作有关的主要有自然灾害风险、地质条件风险、工程周边环境风险、技术标准风险、施工安全风险、质量风险和其它风险等。另外，作为工程勘察主要研究对象的岩土体千变万化，本身具有很大的不确定性及隐蔽性，而勘察资料总是有限的，勘察实施过程存在随机风险。客观上讲，利用有限的勘察资料去推测的地质情况与实际的地质情况必然存在一定的差异，再加上大多数工程项目的建设周期比较短，工程勘察的周期尤其紧张，地质情况必然存在一定的误差。

**17.2.3**  勘察工作前，应详细收集工程区的气象及地质灾害资料，合理识别可能存在的气象灾害和地质灾害。

**17.2.4** 勘察工作中，应通过收集到的地质资料，合理识别可能因地质条件引起的工程风险，重点是稳定性问题、变形问题和渗流问题。

**17.2.5**  勘察工作中，应通过收集资料、现场调查等工作，合理识别工程周边环境可能造成的风险，特别应注意地下建构筑物和管线等的分布。

**17.2.6** 我国与工程勘察有关的各种技术标准种类繁多，据不完全统计，各种国标、行标、地标2000多种。由于工程勘察具有较强的地域性和行业特点，各行业、各地区标准之间都存在一定的差异性，有的差异还较大，甚至不同国标之间的规定也不一致，给规范的实际应用带来较大的不便。实际工作中，往往会出现各种规范标准的误用或引用不当、不全等问题。当前，国家对工程建设标准采用强制性条文的方式代替技术标准，这些条文分散在各种规范、标准中。因此，在实际勘察工作，应注意采用标准的适宜性，认真执行相关国家强制性技术条文。在勘察大纲中应详细列出采用的现行国家、地方、行业标准、规范、规程及规定等。

**17.2.8**  质量风险是勘察工作中最重要的风险，勘察中应注意以下几点：

1 详勘阶段勘察方案中区间联络通道没有勘探点控制；基坑边缘外侧勘探点平面控制范围不够；勘探点的控制深度不够；控制性勘探点密度不足。

2 勘察设备没有校准标定；遗留钻具没有进行打捞、记录和测量；位于结构内已完成勘探孔没有封孔或封孔不严、坐标不准；取样试验数量不够；岩土参数统计时变异系数超标。

3 人工填土、软土、膨胀土等特殊性土的分布范围及性质勘察不清，物理力学指标不全。

4地下水对建筑腐蚀性没有查明；没有分层抽水、没有分层提供水文参数、没有分层取水进行腐蚀性分析。

5 暗埋的沟、塘等分布范围勘察不清。

6 对影响基坑或隧道施工的地质环境条件没有查明。

7 本阶段勘探点由于各种原因尚有未经施工，或虽然未施工孔数量不多但对勘察精度影响较大的勘察成果作为设计、施工依据；线、站位结构等发生较大变化，仍用原勘察资料开展设计施工，补勘不及时。

**17.3 勘察风险评估**

**17.3.1** 轨道交通工程勘察宜采用检查表、专家调查法、事件树或事故树、理论及数值计算等方法进行风险分析与评估。

**17.3.3** 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652对城市轨道交通风险发生可能性等级标准、风险损失等级标准、工程建设人员和第三方伤亡等级标准、环境影响等级标准、工期延误等级标准、社会影响等级标准做出了详细规定，涉及到相关风险等级划分以该规范为准。

**17.4 勘察风险控制**

**17.4.1** 由于轨道交通工程本身所具有的地质条件及施工环境的复杂性、不确定性和特殊性，在其建设的整个过程中，经济、安全、工期、环境等各方面都存在巨大的风险，容易造成大量的人员伤亡与经济损失，甚至引起严重的环境影响与社会影响。因此，轨道交通地下工程建设风险控制必须坚持“安全第一、保护环境、预防为主”的原则，积极采取经济、可行、主动的处置措施来减少或降低风险至可接受的水平。

轨道交通工程建设风险管理的目标是保障工程建设安全，降低工程建设风险损失，因此，工程建设各方的总体目标应该是一致的。风险管理实施前应由建设单位说明工程建设风险管理要求，建设风险管理实施制度，明确工程建设各方职责，均衡工程建设各方的风险效益，协调工程建设各方的风险管理目标。

风险控制方案编制应由工程建设单位负责组织，其他工程建设各方一起参与，采取经济、可行、主动的处置措施来减少或降低风险，将各类风险降低到预期的目标。

**17.4.2** 风险管理是各经济、社会单位在对其生产、生活中的风险进行识别、估测、评价的基础上，优化组合各种风险管理技术，对风险实施有效的控制，妥善处理风险所致的结果，以期以最小的成本达到最大的安全保障的过程。转移风险是指通过某种安排，把自己面临的风险全部或部分转移给另一方。通过转移风险而得到保障，是应用范围最广、最有效的风险管理手段，保险就是其中之一。

风险管理的基本目标是以最小的经济成本获得最大的安全保障效益，即风险管理就是以最少的费用支出达到最大限度地分散、转移、消除风险，以实现保障人们经济利益和社会稳定的基本目的。这又可以分为：损失发生前的风险管理目标—避免或减少风险事故发生的机会；损失发生中的风险管理目标—控制风险事故的扩大和蔓延，尽可能减少损失；损失发生后的风险管理目标—努力使损失的标的恢复到损失前的状态。

**17.4.5** 轨道交通工程多处于城市及城市周边，多为线状工程，线长面广，钻探中应避让高架、空中线路，禁止整体移机，以有效降低勘探机械高度，确保与高架、空中线路的安全距离，在有地下设施及管线地段施工时，为防止对地下管线和地下设施的破坏，应严格相关钻孔开孔程序。

**17.4.6** 对本条作以下说明：

1 开孔前应根据钻孔任务书进行检查，进行孔位复测，钻机孔位、开孔要求等是否与钻孔任务书的规定相符合。

2 终孔应检查验收任务的目的是否已达到，取样是否符合要求，测试、试验是否完成，孔深是否达到终孔要求等。

**17.4.7** 勘察风险管理中，本规程在质量风险控制措施基础上，针对各阶段主要质量风险，提出了软土勘察、地下管线探查，暗埋的沟、塘、地下水控制、勘探、取样和试验、勘察成果资料的具体控制措施。

1 软土勘察质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）查明软土的成因类型、形成年代、岩性、分布规律、厚度变化、地层结构及其均匀性；

2）查明软土分布区的地形地貌特征，重点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、坑穴和沟渠等分布范围及形态；

3）软土的硬壳、硬夹层和硬底的分布、厚度、性质及其随季节变化情况。

2 地下管线探查质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）根据地下管线权属单位成果图对勘察成果进行确认，必要时进行补充详查或采用挖探等方法判定地下管线的位置，以保证施工的安全；

2）埋深大、管径大、非金属、特殊工艺工业管道、无电磁信号、综合物探手段采用仪器不能探测的地下管线，成果资料依据调查资料上图，应标注清楚。施工开始后组织管线权属单位配合施工单位进行挖探，确定管线准确位置，确保工程安全；

3）采用调查资料成图时，应调查到具体线位附近的工程竣工资料，将调查资料的范围扩大到管线的设计和施工部门。对无法得到具体资料的，应在成果图和报告中明确说明管线的探测调查过程、权属单位、联系电话、探测程度和不确定原因，提醒设计、施工人员使用时注意。

3 暗埋的沟、塘等勘察质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）暗埋的沟、塘等工前空洞应作为勘察工作的重点，工后空洞在施工勘察阶段应进行专项勘察；

2）容易形成工前空洞的地段包括：雨污水管线周边、深基坑工程附近、地下水位动态变化较大地段、原有空洞部位、管线渗漏地段、黏性土与砂类土接触部位等；

3）工后空洞探测重点部位应为施工降水部位、塌陷特征地层分布区、地面沉降异常部位及出现出土量大、注浆量异常、注浆压力小等施工异常部位。

4 地下水控制质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）应根据地下施工工法、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，提出适宜的地下水控制方法；

2）采用帷幕隔水方法时，应评价截水帷幕的深度和存在的风险；

3）合理采用抽水试验方法及计算公式，为基坑、隧道设计与施工提供准确的涌水量、各土层渗透系数及降水措施建议；

4）应分析评价颗粒级配不良或粉土、砂类土含水层中降水易引起的地表沉陷，及可能诱发的地质灾害。

5 勘探、取样和试验质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）各种勘探和土工试验设备应经过检定或校准，确保设备状态良好，保证勘探试验质量；

2）针对地层特点，宜采用地质调绘、钻探、静力触探、动力触探、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、旁压试验和物探等综合勘探手段，并对所取得的各类数据综合分析；

3）对遗留钻具的勘探点，应在钻探日志中准确记录遗留钻具的类型、尺寸、埋置深度，并准确测量孔位坐标。勘察报告中要有准确的表述；

4）位于结构线内的已完成勘探点，严禁用岩芯封孔，封孔材料应采用干燥的黏土球或水泥浆液，并从下到上捣固密实，准确确定坐标。位于结构线内或对设计施工有影响的勘探点，勘察报告中应详细说明、并建议施工单位进一步采取封堵措施；

5）每一地层应加大取样的数量，确保主要地层、主要试验项目的有效统计数据≥10组，保证足够数量的抗剪强度指标，以便统计提供标准值。岩土参数统计时要保证变异系数在规范许可的范围内；

6）勘察时要加大粉土、砂类土和特殊土的取样数量和质量，准确确定其分布范围，为结构设计、施工提供准确数据；

7）对盾构区间进出洞设计加固范围，结合设计加固方案应进行水泥土强度试验；

8）取样后应及时送样。

6 勘察成果资料质量风险控制措施宜包括以下内容：

1）遗留较多勘探点的工点，所编制的岩土中间成果无法保证所提岩土参数的准确性。应对上述问题在勘察报告中说明相关内容的准确性，并明确设计注意事宜；

2）当已提供勘察报告的工点后期线站位发生变化时，勘察单位应及时补勘，并向设计单位提供补充勘察报告。

**17.4.8** 因工程地质及水文地质的复杂性，有些地质问题即使采取了现有的各种技术手段，也难以准确查清，如采空区、岩溶、有害气体等问题，因此勘察报告中需预测存在的潜在风险，提请设计和施工重视。

**17.4.9** 根据风险评估及分级结果，建设方需要评估对风险的可能性和影响的效果，以及成本效益，选择能够使剩余风险处于期望的风险容限以内的应对。建设方应识别所有可能存在的机会，从主体范围或组合的角度去认识风险，以确定总体剩余风险是否在主体的风险容量之内。

**18 现场检验和监测**

**18.2 现场检验**

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

**18.3 现场监测**

**18.3.1**  明挖法基坑施工，基坑支护监测应符合现行行业规范《建筑基坑工程监测技术规范》JGJ120和地方标准《建筑基坑工程监测技术规程》（DBJ53/T-67进行现场监测，并对监测中遇到的异常情况，应提出处理建议。必要时进行施工勘察。