

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—XXXX

城市轨道交通工程特殊土勘察规范

Specification for Investigation of Special Soils in Urban Rail Transit
Engineering

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025.3）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 3

5 填土 4

6 湿陷性黄土 9

7 膨胀土 16

8 软土 26

9 盐渍土 35

10 混合土 48

11 残积土 55

12 红黏土 60

13 季节性冻土 68

14 污染土 73

15 勘察报告 81

附 录 A 84

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

我国具有一定分布区域和特殊工程意义的特殊土主要包括填土、湿陷性黄土、膨胀土、软土、盐渍土、混合土、残积土、红黏土、季节性冻土、污染土等。在城市轨道交通工程的建设中，这些特殊土的存在可能会导致工程风险。

为规范城市轨道交通工程特殊土勘察技术要求，保障特殊土地区城市轨道交通工程的勘察质量，降低因特殊土导致的各类工程灾害风险，编制本规范。

城市轨道交通工程特殊土勘察规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通工程的填土、湿陷性黄土、膨胀土、软土、盐渍土、混合土、残积土、红黏土、季节性冻土、污染土等的勘察技术要求。
本文件适用于新建、改建城市轨道交通工程特殊土的工程勘察工作。

2 规范性引用文件

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

- GB3838 地表水环境质量标准
- GB/T14848 地下水质量标准
- GB/T36197 土壤质量 土壤采样技术指南
- GB50021 岩土工程勘察规范
- GB50025 湿陷性黄土地区建筑规范
- GB50111 铁路工程抗震设计规范
- GB50112 膨胀土地区建筑技术规范
- GB50123 土工试验方法标准
- GB50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- GB50909 城市轨道交通结构抗震设计规范
- GB/T50942 盐渍土地区建筑技术规范
- GB55002 建筑与市政工程抗震通用规范
- HJ1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则
- HJ/T164 《地下水环境监测技术规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市轨道交通 urban rail 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、自动导向、磁浮、市域快速轨道交通等轨道交通的统称。

3.2

填土 fill

由人为活动堆填、一般具有成分复杂、固结时间短等特征的土。

[来源:GB50021-2001]

3.3

湿陷性黄土 collapsible loess

在一定压力下浸水时，土体结构可迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。

[来源:GB50025-2018]

3.4

膨胀土 expansive soil

土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的黏性土。

[来源:GB50112-2013]

3.5

软土 soft soil

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

[来源:GB50021-2001]

3.6

盐渍土 saline soil

易溶盐含量大于等于 0.3%且小于 20%，具有溶陷或盐胀等工程特性的土。

[来源: GB/T50942-2014]

3.7

混合土 mixed soil

由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土。

[来源:GB50021-2001]

3.8

残积土 residual soils

受地壳浅表物理、化学和生物作用，使岩石不同程度地崩解、分解，成分、硬度、颜色等发生不同程度的变化的岩石和残留在原地形成的土。

[来源:JGJ/T84-2015]

3.9

红黏土 laterite

碳酸盐岩等经风化作用形成褐红色为主、富含铁铝氧化物的黏性土。

[来源:TB10038-2022]

3.10

季节冻土 *seasonally frozen ground*

寒季冻结、暖季全部融化的土。

[来源:JTGT D31-06-2017]

3.11

污染土 *polluted soil*

由于致污物质的侵入,使土的成分、结构或性质发生了显著变异的土。

[来源:TB10038-2022]

4. 总体要求

4.1 城市轨道交通工程特殊土应主要包括填土、湿陷性黄土、膨胀土、软土、盐渍土、混合土、残积土、红黏土、季节性冻土、污染土。为规范城市轨道交通工程特殊土勘察技术要求,保障勘察质量,制定本规范。

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

4.3 城市轨道交通工程特殊土勘察宜划分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察、施工勘察阶段,且应符合下列要求:

- a) 可行性研究勘察应针对城市轨道交通工程线路方案开展工程地质勘察工作,研究线路沿线的特殊地质条件,为线路方案比选提供地质依据,应调查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特殊地质问题和重要周边环境,为线位、站位、线路敷设形式、施工方法等方案的设计和比选提供经济、技术、环境保护等提供论证和可行性报告提供地质资料;
- b) 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上,针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构形式、施工方法等工作,为初步设计提供地质依据,初步查明城市轨道交通工程线路、车站、车辆基地、相关附属设施的特殊土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,预测可能发生的地质问题,提供初步设计所需的特殊土参数、提出特殊土地段治理的初步建议;
- c) 详细勘察应在初步勘察的基础上,针对城市轨道交通各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等工作,满足施工图设计要求,查明轨道交通工程线路、车站、车辆基地、相关附属设施、建筑物工程场地特殊土的工程地质和水文地质条件,分析特殊土地基和边坡稳定性,预测可能出现的岩土问题,提出特殊土治理、周边环境保护方案建议,提供设计、

施工所需岩土参数；

- d) 施工勘察应对施工期出现的工程地质问题进行补充论证，对施工中的岩土工程问题提出处理建议，对优化设计和施工提出岩土工程建议，应针对施工方法、施工工艺的特殊要求，以及施工过程中出现地质问题开展勘察工作，提供地质资料，满足施工方案调整和风险控制的的要求。

4.4 城市轨道交通工程特殊土勘察的工程地质调查与测绘、勘探与测试，应符合下列要求：

- a) 工程地质调查与测绘应包括工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件、不良地质作用和特殊性岩土等，掌握场地主要工程地质问题，结合区域地质资料，对城市轨道交通工程场地的稳定性、适宜性作出评价，划分场地复杂程度，分析工程建设中存在的岩土工程问题，提出防治措施的建议，并为各勘察阶段的勘探与测试工作布置提供依据；
- b) 勘探与测试，应根据特殊土差异、主要技术标准和设计参数的需要、地区经验和方法的适用性综合选择确定。

4.5 城市轨道交通工程特殊土勘察应取得工程沿线的地形图、管线及地下设施的分布图等资料，分析工程与环境的相互影响，提出周边环境保护措施，必要时根据任务要求，开展周边环境调查研究。

4.6 城市轨道交通工程特殊土勘察应根据沿线工程地质环境条件，采用工程地质调绘、勘探与取样、原位测试、室内试验等方法，且充分利用物探方法等多种手段相结合的综合勘察方法。

4.7 城市轨道交通工程特殊土勘察应积极采用新技术、新方法和新设备。

4.8 城市轨道交通工程特殊土勘察应根据特殊土类型、线路方案、施工工艺等开展特殊土勘察工作布置。

5 填土

5.1 一般规定

5.1.1 遇到人为活动堆积、弃置或填筑的天然土、建筑垃圾、生活垃圾和工业废料时，应按填土进行工程地质勘察。

5.1.2 填土可根据其组成物质成分或堆填方式，可分为素填土、杂填土、冲填土和压实填土。

5.1.3 生活垃圾、有害工业废料填埋场作为建筑场地时，应在调查了解填埋物质、填埋历史的基础上，开展场地稳定、地基处理措施的专项研究，必要时按照第 15 章的规定进行污染土的工程地质勘察。

5.1.4 填土地段应根据填土的各类工程地质环境、填土的类型和勘察阶段，采用勘探与取样、原位测试、室内试验，辅以工程地质调绘、工程物探的综合勘察方法。

5.2 可行性研究勘察

5.2.1 可行性研究勘察应完成下列任务：

- a) 了解控制线路方案和重点地段的填土类型、工程特性、分布范围及其对工程产生的危害；
- b) 初步评价场地稳定性和工程建设适宜性；

- c) 分析填土对路基、桥梁、地下等工程方案及施工方法的影响；

5.2.2 可行性研究勘察阶段填土地段的工程地质勘察，应包括下列内容：

- a) 搜集所经地区填土范围的历史地形图、航片及有关工程性质、规模的资料，了解填土的分布、类型、年代和堆填方法、物质来源等；
- b) 调查线路附近或位于线路上游山谷的生活垃圾、工业废料填土场的分布和特征，评价其对线路方案的影响；
- c) 了解填土的工程性质及与工程的关系，对线路方案提出评价意见；
- d) 可行性研究勘察可辅以少量钻探、槽探，当拟建工程场地地质条件复杂时，应进行必要的勘探、测试工作。

5.2.3 可行性研究勘察阶段填土地段的资料，应包括下列内容：

- a) 填土的分布、类型和地形地貌特征；
- b) 各类填土的工程特性、场地稳定性、环境地质条件及其对线路的影响；
- c) 生活垃圾填土对环境的影响；
- d) 全线工程地质图应填绘填土的类型及分布范围，比例为 1:10000 ~ 1:100000；
- e) 线路方案评价。

5.3 初步勘察

5.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构类型及施工方法开展工程勘察，重点勘察控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段的填土发育分布特征及工程性质，并提出岩土工程防治和风险控制初步建议。

5.3.2 填土的初步勘察应包括下列内容：

- a) 搜集带地形图的拟建线路平面图、线路纵断面图、施工方法等有关设计文件及可行性研究勘察报告、沿线地下设施分布图；
- b) 初步查明填土的类型、成因、分布、规模、工程性质；
- c) 对环境风险等级较高的工程周边环境，分析可能因填土引发的工程地质问题，提出预防措施的建议。

5.3.3 初步勘察阶段填土地段的地质调绘、勘探、测试，尚应符合下列要求：

- a) 重点核实沿线填土的类型、分布范围、厚度、物质来源和堆填场地的原始地形地貌和地层岩性，并评价其压缩特性；
- b) 控制线路方案或需作代表性设计的地段，应初步查明填土的类型、层位厚度、物理力学性质等工程地质特征，初步分析其变形特征和稳定性；
- c) 控制线路方案的范围大、填土层厚、处理费用高的地段，或需作代表性设计的填土地段，应根据工程类型进行代表性勘探，每处布置 1~2 个勘探断面，每个断面布置 1~3 孔，必要时可增加探井；
- d) 地下工程勘探可采用综合物探手段，对物探异常部位应布置钻孔验证，孔深应穿透填土层；
- e) 高架工程勘探应结合桥位分布情况，沿桥轴线及墩台位置布置物探断面，主墩、高墩、桥台部

位应布置钻孔；

- f) 路基、涵洞工程勘探应在工程地质调绘的基础上初步查明填土分布情况，结合各路段地质条件沿线路纵向开展必要的综合勘察；
- g) 采用钻探及原位测试等综合勘察手段确定填土的物理、力学性质；根据需要采取水、土试样作填土的化学侵蚀性评价。

5.3.4 初步勘察阶段填土地段的综合资料，应符合下列规定：

- a) 阐明填土地段的地质条件，填土的成因、年代、类型，各类填土的主要物理力学指标，分布规律及其对线路的影响；
- b) 填绘填土的分布范围、厚度、有关图例符号，比例为 1:10000~1:25000；
- c) 填绘填土的地层界线、成因类型等，在线路纵断面图的工程地质特征栏中说明填土的类型和厚度，比例为 1:2000~1:5000；
- d) 线路纵断面图合并绘制，用花纹图例或文字标注填土的厚度、成因类型、地下水位线等内容，横向比例尺为 1:10000，竖向比例尺为 1:100~1:1000；
- e) 按地貌单元、地层时代、填土类型、厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施分段编写。

5.4 详细勘察

5.4.1 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对城市轨道交通工程的各建（构）筑物、基础形式、埋置深度和施工方法等进行勘察，查明填土的分布范围及类型，查明填土分布特征、工程特性，评价其对城市轨道交通工程的影响，并提出相关处理措施及建议。查明生活垃圾及有害垃圾，提出填土的物理力学指标及参数取值，预测可能出现的岩土工程问题，对基础型式和填土的治理提出建议。

5.4.2 详细勘察阶段填土勘察应包括下列内容：

- a) 搜集资料，调查地形和地物的变迁，填土的来源、堆积年限和堆积方式；
- b) 查明沿线填土的分布、类型、厚度、基底岩性及坡度、物质成分、颗粒级配，判定填土的均匀性、密实性；
- c) 查明暗塘、暗浜、渗井、废土坑、旧基础及古墓穴的分布范围和埋深；
- d) 查明地下水的水位、动态变化和周围地表水体的水力联系；
- e) 如素填土为黏性土，尚应注意素填土与天然沉积土的区别以及新老填土的区别；
- f) 对冲（吹）填土尚应了解其冲填进土口位置、排水条件和固结程度；
- g) 对压实填土，勘察内容可根据工程实际情况确定；
- h) 判定地下水对建筑材料的腐蚀性；
- i) 必要时按厚度、强度和变形特性分层或分区评价。

5.4.3 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，并应选择有代表性的地层布设探井或探槽。采用物探方法物探测线可按拟建场地方格网布设，或沿线路走向布设，测线宽度根据物探方法和测试要求确定。

5.4.4 填土详细勘察的勘探、测试应满足下列要求：

- a) 建筑、构筑物地基为填土场地时，应根据填土的类型、范围和建筑物类型、位置，根据复杂场地布置勘探孔。可能有暗埋的塘、浜、沟、坑地段及杂填土分布边缘区域，勘探间距应加密；
- b) 填土勘察勘探孔应根据城市轨道交通的工程类型、规模、施工方法、基础形式布置，对工程

有重大影响或需要处理时，勘探孔间距宜为 10~20m，填土层厚度突变部位，应加密勘探孔。对暗埋的塘、浜、沟、坑，应圈定分布范围和埋深，根据工程需要，可适当布置探井。勘探孔的深度应穿透填土层，取样或原位测试间距宜为 1.0~1.5m；

- c) 填土范围的边缘附近应适当加密勘探孔，查明填土厚度的勘探孔深度，达到填土层底以下不应小于 5m；
- d) 路基基底应进行纵、横断面的勘探、测试。填土的横断面或勘探孔间距不宜大于 50m，每个横断面勘探、测试点不宜少于 2 处；
- e) 站房等其他建筑物的地基，勘探孔应布置在建筑物轴线或角点上，勘探孔间距宜为 10m~25m，每个横断面应布置 2 个以上勘探孔；一般建筑物孔距可加大到 30m；勘探孔深度应满足基础设计和沉降计算的需要；
- f) 小桥涵应根据填土的厚度和类型布置 1~3 个勘探孔；中桥以上多孔桥梁遇填土场地平坦、填土厚度较小、下伏地层层序有规律或基岩覆盖层较薄时，可隔墩布置一个勘探孔；地质条件复杂或高墩、大跨及特殊结构的桥梁应逐墩、台布置勘探孔。钻孔深度应进入基础底面或桩端以下 5m~20m；
- g) 有机质含量较多的生活垃圾场、对基础有化学侵蚀性的工业废料场地，应根据需要对有毒物质、放射性污染进行分析，并应对环境水、土进行化学侵蚀性及有害气体的分析和评价；
- h) 按不同的填土类型或厚度分段，结合建筑、构筑物类型布置勘探孔，并分层、分段取样作物理、力学性质的试验，必要时应进行现场载荷试验；
- i) 进行原位测试和取样的坑、孔数应占勘探孔总数的 2/3，且每个场地不少于 2 孔。
- j) 试验土样或原位测试数据，在地基持力层深度内竖向间距应每隔 1~2m 一组；在地基持力层以下宜每隔 2~3m 一组。

5.4.5 详细勘察阶段填土地段路基、桥涵、站场等代表性设计工点的资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质应说明填土的类型、范围、厚度和填筑的时间、方法等填土要素，评价填土的工程性能和环境地质条件。
- b) 工程地质图应填绘填土的地层时代、成因类型、地质分界线，小柱状图，比例应为 1:500~1:2000。
- c) 工程地质纵断面应填绘填土的类型、厚度、地下水位线；横向比例应为 1:500~1:5000，竖向比例应为 1:100~1:500。
- d) 工程地质横断面应填绘填土的类型、厚度、地下水位线，比例为 1:200。
- e) 勘探、测试、试验等资料。

5.4.6 详细勘察阶段填土地区的工程地质综合资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线填土和垃圾填埋土的分布范围、厚度、各类填土的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，各类填土的稳定性评价和工程处理措施意见，评价垃圾填埋土对环境的影响及施工应注意的问题。
- b) 全线工程地质图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善填土的边界，比例为 1:10000~1:200000。
- c) 工程地质图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改，完善，比例为 1:2000~1:5000。
- d) 工程地质纵断面图应根据各类工点的工程地质资料修改、补充完善，比例为横 1:10000，竖 1:100~1:1000。

5.5 施工勘察

5.5.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺结合施工过程中出现的工程地质问题等开展勘察，提供填土地段地质资料，满足施工方案和风险控制的要求。

5.5.2 施工阶段填土勘察应包括下列内容：

- a) 施工勘察应针对施工中出现的问题，有正对性的补充勘察；
- b) 核查填土的成分、密度和弃填方式，确认填土中是否有有害气体，通过地基验槽确定工程场地的适宜性及地基处理的合理性。

5.5.3 施工勘察阶段填土工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明应包括施工阶段弃、填土工点发生的工程地质变更问题，变更设计的范围、性质、原因分析，以及施工中的经验教训；
- b) 工程地质纵、横断面图，可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

5.6 工程地质调查和测绘

5.6.1 填土地段的地质调绘前宜搜集下列资料：

- a) 沿线地形地貌资料和原始地形图等资料；
- b) 场地的历史和地形、地物变迁资料；
- c) 线路位置附近既有填土地建（构）筑物的勘察设计、施工资料。

5.6.2 填土地段的地质调绘应包括下列内容：

- a) 填土的类型，弃、填的年代，弃填方式及物质来源；
- b) 填土的分布范围、厚度、分布规律及地面形态；
- c) 填土的物质成分、颗粒级配、均匀性、密实程度、压缩性、堆填时间；
- d) 冲填土冲填期间的排水条件和冲填后的固结条件及固结程度；
- e) 拟建场地暗埋的塘、滨、沟、坑的分布情况及水文地质条件；
- f) 填土上已建成的永久性或临时建筑物、构筑物的建筑年代、地基处理方法、采用的地基类型、沉降变形和使用情况及当地的建筑经验等；
- g) 有机质含量高的生活垃圾杂填土、有化学侵蚀性的工业废料杂填土，应调查有毒物质、有害气体、放射性和化学侵蚀性，并提出合理的防护措施建议；
- h) 大型垃圾填埋场、坑填垃圾场应调查场地斜坡变形稳定性及有害气体溢出、地下水污染等次生灾害的影响。

5.7 勘探与测试

5.7.1 填土的取样应符合下列要求

- a) 细颗粒素填土可采取原状样；
- b) 粗颗粒土、杂填土可采取扰动样；
- c) 大颗粒填土可在现场探井或探槽进行取样；
- d) 用于天然含水量和天然密度测定的填土试样，取样后应做好样品保湿措施。

5.7.2 填土的均匀性和密实度评价可采用下列方法：

- a) 黏性、粉性素填土可采用轻型动力触探或标准贯入试验；

- b) 冲填土、黏性和粉性素填土可采用静力触探试验；
- c) 粗颗粒填土、杂填土可采用重型动力触探试验；
- d) 地球物理勘探可采用地质雷达、微动、面波测试、剪切波速测试。

5.7.3 填土的力学特性宜采用下列方法测定：

- a) 压缩性、湿陷性和承载力特征值可采用现场载荷试验；黏性、粉性等细颗粒素填土也可采用室内固结试验、浸水固结试验；
- b) 杂填土的密度宜采用原位试验法；
- c) 填土的抗剪强度指标可采用原位直剪试验；
- d) 重要建筑杂填土地基的承载力特征值宜采用现场载荷试验。

5.7.4 有机质含量较多的生活垃圾场、对基础有化学侵蚀性的工业废料场地，有机质含量较多的生活垃圾场、对基础有化学侵蚀性的工业废料场地应按照污染土进行勘察和分析

5.7.5 填土地基为软土或填土本身松软时，应按照软土开展勘察工作。

5.8 场地评价

5.8.1 填土场地应在调查、现场勘察、现场测试、土工试验的基础上，结合工程特点、填土的可能利用方式和使用要求进行分析和评价。

5.8.2 填土的岩土工程评价应包括下列内容：

- a) 填土的类型、成分、分布、厚度和堆积年代、地基的均匀性、压缩性、密实度和湿陷性；
- b) 对填土地基承载力、抗剪强度、基床系数和天然密度等提出建议值；
- c) 当填土底面的天然坡度大于 20%时，应根据场地地基条件评价其稳定性；
- d) 欠固结的填土采用桩基础时应分析填土的负摩阻力；
- e) 填土作为地基时，应提出填土地基处理和基础方案的建议；
- f) 堆积年限较长的素填土、冲填土和建筑垃圾或性质稳定的工业废料组成的杂填土，当较均匀、较密实时可作为天然地基；
- g) 有机质含量较高的生活垃圾和对基础有腐蚀性的工业废料组成的杂填土，不宜作为天然地基，应进行避让或地基处理。

5.8.3 填土地基开挖应进行施工验槽，改良处理后的填土地基应进行质量检验。填土复合地基作为浅基础持力层时，宜进行现场平板载荷试验。

6 湿陷性黄土

6.1 一般规定

6.1.1 轨道交通线路在遇颗粒组成以粉粒为主，富含碳酸钙或钙质结核，具有大孔隙，土质均匀无层理，垂直节理发育，表层土体多具湿陷性，颜色为淡黄、灰黄、黄褐、棕褐色的粉土或粉质黏土时，应按黄土进行工程地质勘察。

6.1.2 当轨道交通线路通过区存在湿陷性土，且该地区的地质条件复杂或工程有特殊要求时，应进行湿

陷性黄土的专项勘察。

6.1.3 城市轨道交通工程湿陷性黄土勘察应包括下列内容：

- a) 黄土地貌的成因、类型、分布、形态特征；
- b) 黄土的成因、类型、地质时代、分布范围及厚度；
- c) 黄土的工程地质条件和主要工程地质问题。

6.2 可行性研究勘察

6.2.1 可行性研究勘察应完成下列任务：

- a) 了解控制线路方案和重点地段的黄土工程特性、分布范围及其对工程产生的危害；
- b) 初步评价场地稳定性和工程建设适宜性；
- c) 分析湿陷性黄土对路基、高架、地下等工程方案及施工方法的影响；
- d) 提出线路比选方案建议。

6.2.2 可行性研究勘察应包括下列工作：

- a) 收集当地消除黄土湿陷性的工程经验；
- b) 调查线路通过区黄土的地层结构、古土壤层的分布和发育情况；黄土的物理力学性质、湿陷类型、湿陷等级和承载力。了解黄土层与基岩的接触面形态、下伏地层的岩性和风化程度；
- c) 调查轨道交通线路通过区周边环境、房屋、管线、地下建构筑物、墓穴分布等周边环境，拟定勘察重点；
- d) 调查线路通过区的滑坡、崩塌、错落、陷穴、冲沟、湿陷洼地、地裂缝、断裂、人为坑洞、泥流、水流冲蚀等不良地质的分布、规模；
- e) 了解地表水的分布、积聚、排泄条件，洪水淹没范围及水流冲刷作用和影响；地下水的类型、埋深、季节性变化幅度、升降趋势及其与地表水体、灌溉、开采地下水强度的关系；
- f) 了解湿陷性黄土的工程性质及与工程的关系，对线路方案提出评价意见。

6.2.3 可行性研究勘察应针对轨道交通工程线路方案开展勘察，可采用资料分析、遥感工程地质解译、现场踏勘调查为主的方法，必要时布置少量钻探或坑槽探，并取样进行土工试验。

6.2.4 可行性研究阶段湿陷性黄土勘察应符合下列要求：

- a) 勘探孔的布置，应满足工程性质、地质条件和黄土场地湿陷性评价的要求，勘探孔宜布置在中心线两侧 8m~10m 处。勘探孔间距不宜大于 1000m，每个车站应有勘探孔；
- b) 勘探孔的位置和数量依据地形条件、黄土的湿陷性、建（构）筑物物类型和规模而定。地形平缓、地层简单、黄土湿陷性轻微的路段，勘探孔的数量每公里不宜少于 2 个；地形地貌复杂、地层变化大、黄土湿陷性中等及以上路段，应增加勘探孔数量。存在黄土陷穴、落水洞、湿陷洼地、古墓等不良地质发育的路段，宜开展横断面勘探；
- c) 在探坑（井）和钻孔中，应采取原状土样。在 Q_4 和 Q_3 地层中，应取样进行湿陷性试验。地基持力层范围内的 Q_2 黄土，应采取代表性试样进行湿陷性试验。采取的原状土样，应保持其天然的湿度、密度和结构。

6.2.5 可行性研究阶段勘察资料应包括下列内容：

- a) 黄土的分布、地形地貌特征、地层划分；
- b) 黄土的工程地质特性和湿陷性特征、不良地质、水文地质等条件对线路的影响；

- c) 全线工程地质图应填绘黄土的类型及分布范围，图件比例尺应为 1:10000 ~ 1:100000；
- d) 勘探、试验资料和现场照片；
- e) 线路方案评价。

6.3 初步勘察

6.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构类型及施工方法开展工程勘察，重点勘察控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段的黄土发育分布特征及工程性质，并提出岩土工程防治和风险控制的初步建议。

6.3.2 初步勘察阶段湿陷性黄土地区的勘察工作，应符合下列规定：

- a) 搜集带地形图的拟建线路平面图、线路纵断面图、施工方法等有关设计文件及可行性研究勘察报告、沿线地下设施分布图；
- b) 查明轨道交通线路沿线黄土的分布、成因类型、地貌形态、地层划分、土质分类、土层结构、下伏地层接触面的形态和水文地质特征。
- c) 初步查明湿陷类型、湿陷等级及其分布规律，影响线路方案的不良地质范围、性质、稳定情况及重大工程场地的地质条件；
- d) 初步查明沿线暗河、暗沟等，进行沿线水井调查，查明区域内地下水的分布情况。
- e) 对环境风险等级较高的工程周边环境，分析可能因黄土湿陷引发的工程地质问题，提出预防措施的初步建议。

6.3.3 初步勘察阶段应采用遥感解译、工程地质调绘、钻探取样、地球物理勘探、原位测试、土工试验等相结合的综合勘察方法。

6.3.4 初步勘察阶段湿陷性黄土的地质调绘、勘探、测试，除应符合 GB 50307 的规定外，尚应符合下列要求：

- a) 一般地段应根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等，结合代表性勘探孔的分布布置勘探、取样和原位测试。勘探孔平均间距不宜大于 1000m，地段较长和湿陷性差异较大时应适当增加取样孔；
- b) 非自重湿陷性黄土场地的勘探深度应至基底以下不小于 10m；自重湿陷性黄土场地，陇西、陇东、陕北、晋西地区不应小于 15m，其他地区不应小于 10m，且不小于压缩层厚度。对于重要建筑物，勘探深度不应小于持力层厚度，控制性勘探孔应至非湿陷性黄土层顶面；
- c) 代表性勘探孔应根据工程类型、工程场地条件布置勘探、取样及原位测试工作确定黄土的物理、力学性质；取样孔不应少于 2 个。场地条件复杂、湿陷性差异较大时应增加勘探取样孔。
- d) 高架工程勘探应结合桥位分布情况，沿桥轴线及墩台位置布置物探断面，主墩、高墩、桥台部位应布置钻孔；

6.3.5 初步勘察阶段的地质评价应符合下列要求：

- a) 地质评价应按一般地段和代表性勘探孔分别评价黄土的湿陷性；
- b) 一般地段应按沿线地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征分段评价黄土地基的湿陷类型和湿陷等级；
- c) 代表性勘探孔应按建筑场地评价黄土的湿陷类型和湿陷等级。

6.3.6 初步勘察阶段黄土地区的综合资料应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线黄土的分布、地形地貌、地层层序、成因类型、土质分类、水文地质特征、工程地质条件、各类不良地质的分布、发展趋势及对城市轨道交通工程的影响，提出各线路方案评价及比选意见，并对地质条件复杂勘探孔提出工程措施建议；
- b) 全线工程地质图应填绘黄土滑坡、错落、陷穴群等不良地质界线或类型符号，不同时代黄土地层的分界线，比例为 1: 10000~1: 200000。填绘控制性勘探孔的黄土层时代、成因类型、分层界线，湿陷性分区界线，不良地质界线等，比例为 1: 500~1: 2000；
- c) 工程地质图应填绘地层界线，地层年代、成因类型符号，代表性地层柱状图，各种不良地质界线和类型符号等，比例为 1: 2000~1: 5000；
- d) 工程地质纵断面图应根据地质调绘及初勘成果填绘黄土的地层岩性与层序构造花纹图例，也可用文字与花纹结合的方式绘制断面图；地质特征栏应按地貌单元结合地层结构分段说明黄土的地层年代、成因类型、湿陷类型、湿陷等级和湿陷土层厚度、岩土施工分级、围岩级别、基本承载力等工程地质条件及工程处理措施建议；比例为横 1: 10000、竖 1: 100~1: 1000,可与线路详细纵断面图合并绘制；
- e) 沿线工程地质分段说明应按地貌单元、地层年代、成因类型、湿陷类型、湿陷等级、湿陷土层厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施分段编写。

6.4 详细勘察

6.4.1 湿陷性黄土详勘勘察应在初步勘察的基础上开展，查明并评价城市轨道交通工程黄土路段及车站、车辆基地和相关附属设施的湿陷性，地质条件复杂的大型工程场地应分区评价黄土的湿陷类型和等级，分析其对工程的危害和影响，提出工程措施建议，提供施工图设计、工程施工所需的岩土参数。

6.4.2 湿陷性黄土详勘勘察应包括下列内容：

- a) 查明沿线黄土的分布、地形地貌、地层划分、水文地质条件；
- b) 查明土层的分布，提供各土层的物理力学参数和基床系数、静止侧压力系数；
- c) 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；
- d) 地震动峰值加速度为 0.1g 及以上地区的饱和砂质黄土地基，房屋建筑、高架工程应分别进行地震液化的判断。

6.4.3 详勘阶段勘探孔布置宜结合工程分段布置，其点位与数量应满足城市轨道交通主体工程和附属工程设计的要求，并应符合下列规定：

- a) 地下车站和地下区间的勘探孔应按照复杂场地、工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等特点的规定综合确定，勘探孔间距宜为 10~30m。车站主体宜沿结构轮廓线布置，结构角点以及出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道、联络通道等附属工程部位应有勘探孔控制，每个车站不应少于 2 条纵剖面 and 3 条有代表性的横剖面；车站区间勘探孔宜在隧道结构外侧 3~5m 的位置交叉布置，在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、渡线、施工竖井等应有勘探孔控制，并布设剖面；
- b) 高架车站勘探孔应沿结构轮廓线和柱网布置，勘探孔间距宜为 15~35m，可根据黄土地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等分段布设，勘探孔的平面布置宜结合立柱桩的位置布

设；相同地质条件地段的取样孔数不应少于 3 个，地段较长或短距离内变化较大时，应适当增加取样孔数；

- c) 黄土路堑地段的勘探孔深，应根据挖方深度及湿陷土层的厚度确定，并应满足路基基地湿陷性评价的要求；
 - d) 高路堤、支挡结构勘探孔间距为 15~30m；高路堤、深路堑应根据基底和边坡特征，结合土层湿陷性程度确定代表性工程地质断面的位置和数量，每个断面的勘探孔数量不宜少于 3 个；
 - e) 黄土隧道的勘探孔位，应布置在轨道交通中心线两侧 8~10m 处；隧道洞口和通过岩、土界面的洞身位置应布置勘探孔；隧道洞身及路肩以下应分别取原状土样，分别进行物理、力学性质试验分析；顶部的土与洞身和洞门工程无关时，可不进行湿陷性下相关试验；
 - e) 特殊设计可根据地层情况开展湿陷、渗透、固结系数试验。
 - f) 每个取土场的勘探数量不宜少于 3~5 孔，勘探断面不应少于 2 个；
- 6.4.4 勘探孔的深度应满足地基、基坑、边坡稳定性分析、变形计算以及黄土地基湿陷性评价的要求，并应满足下列要求：
- a) 路基工程的钻孔深度不宜小于 25m 或应穿透湿陷性土层；
 - b) 高架工程墩台基础的控制性勘探孔应穿透湿陷性土层或达到桩端以下 10~20m；
 - c) 隧道工程勘探深度根据地层岩性确定，宜钻至路肩以下不小于 5m 或穿透湿陷性地层；
 - d) 根据工程设计的需要，必要时应在现场布置静载荷试验、浸水试验、实测试坑浸水自重湿陷下沉量，并与室内试验自重湿陷量计算值进行对比分析，确定黄土的力学性能。

6.4.5 湿陷性黄土详勘勘察的地质评价应符合下列要求：

- a) 根据工程类型进行评价。
- a) 路基、隧道及房屋建筑应按场地评价黄土的湿陷性；
- a) 地质条件复杂的工程场地应分区评价黄土的湿陷类型和等级；
- a) 一般路基宜根据地貌单元、地层年代、成因类型、图纸及湿陷性差异等分段评价。

6.4.6 湿陷性黄土详勘勘察的资料应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应详细阐明沿线黄土的分布、地形地貌、地层划分、水文地质条件、各层土的物理力学指标、与各类工程设计有关的地质参数，黄土场地的湿陷类型和等级、湿陷土层厚度及分段情况，以及各类不良地质的稳定性评价和工程处理措施建议，施工注意事项；
- b) 全线工程地质图应在初勘的基础上根据各类勘探孔的工程地质资料补充、修正，比例为 1: 10000~1: 200000；
- c) 详细工程地质图应在初勘的基础上根据各类勘探孔的工程地质资料补充、修正，比例为 1: 2000~1: 5000；
- d) 工程地质纵断面图可与线路纵断面图合并绘制，根据地质调绘及代表性勘探孔填绘黄土的地层岩性与层序构造花纹图例；地质特征栏分段说明黄土的地层年代、成因类型、湿陷类型、湿陷等级和湿陷土层厚度、岩土施工分级、围岩级别、基本承载力等工程地质条件及工程处理措施的建议，比例为横 1: 10000，竖 1: 100~1: 1000。

6.5 施工勘察

6.5.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中出现的工程地质问题等工作，提供

地质资料，满足施工方案调整和风险控制的要求。

6.5.2 湿陷性黄土的施工勘察，应包括下列内容：

- a) 核对各类勘探孔地质资料，有较大变化时应分析变化的原因，提出工程措施建议；必要时进行补充勘探、测试；
- b) 注意施工用水的管理，防止临时蓄水池跑、冒、渗、漏，恶化湿陷性黄土场地的工程地质条件。

6.5.3 湿陷性黄土的施工勘察资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质应说明黄土勘探孔工程地质条件、变更设计的范围、性质、原因分析，处理措施和效果，以及施工中的经验和教训；
- b) 工程地质纵、横断面图可利用设计文件中的相应图件修正、补充；
- c) 施工中的各项地质资料。

6.6 工程地质调查和测绘

6.6.1 湿陷性土地区地质调绘前，应搜集下列资料：

- a) 区域地质、工程地质、水文地质图件及地区性黄土研究等资料；
- b) 遥感图像及解译资料；
- c) 气象、地震、自然灾害等资料；
- d) 既有水库、大型渠道、地下洞室、道路、边坡、桥梁、隧道等构筑物的地质资料及使用现状；
- e) 当地消除湿陷性的建筑经验。

6.6.2 湿陷性土地区的遥感图像解译，应包括下列内容：

- a) 黄湿陷性土的分布范围，地形地貌特征，侵蚀及堆积形态特征；
- b) 滑坡、泥石流、陷穴群、地震裂缝、山崩堵塞河流与道路的遗迹等不良地质的分布、范围及水土流失情况；
- c) 地表水体的分布范围及形态，地下水露头及湿地范围；
- d) 地质复杂地段、重点工程和大型不良地质地段，应利用大比例尺和不同时期的图像解译对比、现场核对分析研究黄土的地貌形态与不良地质现象的动态变化等资料；
- e) 遥感图像解译资料应重点调查核实，必要时可编制工程地质解译图件。

6.6.3 湿陷性土地地区的地貌调绘，应包括下列内容：

- a) 湿陷性土的地貌及微地貌类型；
- b) 湿陷性土的侵蚀、堆积特征；
- c) 核实新构造运动形迹、地震活动遗迹；
- d) 调查地貌形态与不良地质分布的关系；
- e) 大气降水的积聚与排泄条件，地下水位季节变化幅度及升降趋势；
- f) 沟床的变迁和地表水对谷坡的侵蚀情况。

6.6.4 湿陷性土地地区的地层特征，调绘应包括下列内容：

- a) 湿陷性土地层的堆积年代、成因、土质特征；
- b) 地层层序、结构、古土壤及其他夹层的分布特征；
- c) 湿陷性土与下伏岩层接触面形态，下伏岩层的岩性及风化程度；
- d) 湿陷性土节理、裂隙的形态及贯通情况；

e) 既有人工边坡及大型取土场地的边坡坡度及稳定情况。

6.6.5 湿陷性土层地区的水文地质调绘，应包括下列内容：

- a) 湿陷性土层地下水位的埋深、径流条件；
- b) 湿陷性土与下伏地层接触面附近的赋水情况及地下水对山坡稳定的影响；
- c) 水库、池塘、渠道的水位、渗漏情况及其对地下水位的影响；
- d) 水库坍岸、渠道变形的情况；
- e) 城市抽、排水对地下水位的影响，地下水位升降引起的地基病害情况。

6.6.6 湿陷性土层地区的不良地质调绘，应包括下列内容：

- a) 滑坡、崩塌、错落、陷穴、泥石流、地裂缝、坑洞、坡面溜坍等不良地质的分布、性质、范围、规模、下伏地层及特征，并分析其产生的原因及发展趋势；
- b) 黄土塬、梁、阶地顶面及塬边碟形洼地的分布、形态、产生原因、环境条件及发展趋势。
- c) 既有建筑、构筑物的现状、变形情况及原因；
- d) 人为活动情况及人为坑洞的分布特征；
- e) 既有不良地质治理工程的方式及效果。

6.7 勘探与测试

6.7.1 湿陷性黄土场地勘察应采用原位测试、井（坑）探、钻探、洛阳铲为主的勘探方法，必要时可辅以物探等综合勘探。

6.7.2 湿陷性黄土地层宜采用挖探或原位静压的方法采取原状土样。钻探取样时应遵照操作规程采用大口径回转钻进开孔，使用专门的薄壁取土器，采用静压取样或重锤少击法取样，并应有一定数量的探井（坑）取样与钻探取样作核对。

6.7.3 湿陷性黄土地区勘探孔的勘探、取样深度，应符合下列规定：

- a) 湿陷性土的探井数量宜占取土勘探孔总数的 1/3~1/2；
- b) 取土勘探孔的数量应为勘探孔总数的 1/2~2/3，当勘探孔间距较大或数量较少时，宜将所有勘探孔作为取土勘探孔；
- c) 勘探孔的深度，除应大于地基压缩层深度外，在非自重湿陷性场地尚应达到基础底面以下不小于 10m；在自重湿陷性场地尚应大于自重湿陷性土层的深度，并应满足工程设计与施工的特殊需要。

6.7.4 用于湿陷性评价的原状土样，竖向取样间距宜为每 1m~2m 一组，每组不少于 2 筒；当层次均匀、地层规律性较强时也可分层取样、分层评价；分层厚度大于 5m 时，竖向取土样间距不应大于 3m。原状土样应及时密封，避免冻、晒和振动，保持其天然的湿度、密度和结构。

6.7.5 勘探孔使用完毕后，应立即采用原土分层回填夯实，回填土的干密度不应小于 1.5g/cm³，并恢复原地貌形态。

6.7.6 湿陷性土的测试应符合下列规定：

- a) 室内试验除应获取黄土物理及力学参数外，尚应进行湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力等试验，对浸水可能性大的工程，应进行饱和状态下的压缩和剪切试验；
- b) 黄土的基坑稳定性计算与支护设计所需抗剪强度参数宜采用三轴固结不排水剪试验，在初步设计阶段可采用固结快剪试验；

- c) 根据工程需要可进行现场试坑浸水实验和现场载荷试验;
- d) 湿陷性土的室内压缩试验、现场静载荷试验、现场试坑浸水试验等室内及原位试验应按 GB 50025 的规定执行。

6.7.7 黄土湿陷系数的试验压力应符合下列规定:

- a) 一般建筑物的地基自基础底面算起, 10m 以内的土层采用 200kPa, 10m 以下至非湿陷性土层的顶面, 采用其上覆土层的饱和自重压力, 试验压力大于 300kPa 时仍采用 300kPa; 基底压力大于 300kPa 的桥梁及其他重要建筑物的湿陷系数试验压力, 应按实际压力采用双线法测定;
- b) 新近堆积黄土湿陷系数的试验压力, 基底以下 5m 内采用 100~150kPa; 5~10m 采用 200kPa; 10m 以下至非湿陷性黄土层顶面, 采用上覆土的饱和自重压力。

6.8 场地评价

6.8.1 湿陷性土地区的场地评价应包括地貌特征、堆积时代、地层结构、湿陷特征、不良地质现象等内容。

6.8.2 黄土的湿陷性评价及湿陷性黄土场地的分类, 应按室内压缩试验取得的湿陷系数、自重湿陷量计算值或现场自重湿陷量实测值进行判定。

6.8.3 湿陷性土地基的力学指标、地基承载力, 应采用静力触探的方法测定, 并结合标准贯入试验的成果、室内试验指标综合分析后确定。必要时应在初勘阶段建立或验证静力触探承载力的计算公式。

6.8.4 湿陷性土地区的工程地质条件评价应根据不良地质的类型与特点, 结合与城市轨道交通线路的关系有针对性地进行, 并应符合下列规定:

- a) 冲沟、碟型洼地, 应说明黄土的物理性质、湿陷性、分布范围、发育特点、水文地质条件, 预测发展趋势等, 并评价对工程的影响, 提出工程措施意见。
- b) 滑坡、错落、崩塌等不良地质现象, 应调查其变形类型和变形原因, 查明不良地质体的边界和厚度、水文地质条件和稳定性; 评价不良地质现象对工程的影响, 提出工程措施意见。
- c) 泥石流沟谷, 应评价该沟谷流域的水文地质条件、物质来源、泥流规模及频率、危害程度、发展趋势, 并结合线路通过的位置分析对工程的危害程度, 提出工程措施意见。
- d) 应提出消除地基湿陷性措施的建议。
- e) 应对黄土中可能存在的钙质结核及钙质富集层对隧道施工的影响进行分析评价。

7 膨胀土

7.1 一般规定

7.1.1 当城市轨道交通工程线路遇到黏粒成分主要由蒙脱石、伊利石等亲水矿物组成, 土体具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂、硬结现象, 并能产生反复胀缩变形的高液限土时, 应开展膨胀土工程勘察。

7.1.2 膨胀土地区遇到下列情况时, 应开展专项勘察:

- a) 当地下水、地表水对拟建城市轨道交通工程的车站、区间及附属工程或新建工程对已有建筑物

或周围环境有较大影响时，应进行水文地质专项勘察。

- b) 当遇到地裂缝、大型滑坡等影响工程安全的不良地质作用时，应进行工程地质专项勘察。

7.2 可行性研究勘察

7.2.1 可行性研究勘察应初步查明轨道交通工程沿线膨胀土的工程地质特征和重要工程周边环境，对沿线膨胀土的稳定性和适宜性做出初步评价。

7.2.2 膨胀土可行性研究勘察应包括下列内容：

- a) 搜集沿线的区域地质构造、工程地质、水文地质、地貌、地震、遥感图像以及与工程相关的水利、防洪设施等资料；
- b) 初步调查膨胀土的地质时代、成因、类型、分布范围；
- c) 收集当地不少于 10 年的气象资料，包括降水量、蒸发量、干旱和降水持续时间以及气温、地温等，了解其变化特点；
- d) 采取适量原状土样和扰动土样，分别进行自由膨胀率试验，初步查明膨胀土的膨胀潜势；
- e) 调查线路方案的重要建筑物、桥涵、隧道、既有轨道交通设施等周边已建工程的勘察、设计与施工资料；
- f) 调查既有建筑、构筑物的变形、破坏情况，分析膨胀土对拟建工程的影响，提出规避和防治的初步建议；
- g) 调查区域常见的滑坡、溜塌、地裂等不良地质的范围、原因，提出初步治理建议。

7.2.3 膨胀土可行性研究阶段工程勘察应符合下列要求：

- a) 采用地质调绘、挖探、标准贯入为主，钻探为辅的方法进行必要的勘探试验。地质测绘所用比例尺宜采用 1/1000~1/2000；
- b) 勘探孔间距不宜大于 1000m，每个车站应有勘探孔，影响线路方案的强膨胀土地段以及重点工程，勘探孔应适当加密；
- c) 勘探孔宜结合地貌单元和构造物分布情况等选择代表性线路进行布置，一般情况下，每个代表性路段或工程地质单元不宜少于 1 个勘探孔；
- d) 当有多条比选线路时，各比选线路均应布置勘探孔；
- e) 勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要，且不应小于大气影响层深度。

7.2.4 可行性研究勘察阶段膨胀土地区的资料应包括下列内容：

- a) 工程地质说明应阐述各方案中膨胀土的成因、类型、工程性质、分布范围，与膨胀土有关的不良地质现象和建筑、构筑物的变形情况，评价膨胀土对城市轨道交通工程的影响及危害程度，提出方案比选意见和对于初步勘察阶段的工作建议；
- b) 全线工程地质图应填绘膨胀土的分布范围及控制线路方案的不良地质体，工程地质平面图和断面图的比例尺宜为 1:5000~1:10000，重要工点比例尺宜为 1:2000~1:10000；
- c) 其他资料应包括试验及测试资料、地质柱状图等。

7.3 初步勘察

7.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上开展，初步查明城市轨道交通工程膨胀土路段及车站、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,预测可能出现的膨胀土工程问题,提供初步设计所需的岩土参数,提出复杂或特殊地段岩土治理的初步建议。

7.3.2 膨胀土初步勘察阶段的勘察工作,应包括下列内容:

- a) 初步查明膨胀土的地形地貌条件,如自然坡度、沟谷发育程度及植被生长情况等;
- b) 初步查明城市轨道交通工程线路、车站、车辆基地和相关附属设施的工程膨胀土的成因类型、分布范围、工程性质、膨胀潜势、地基均匀性等情况,分析其对工程的危害程度;
- c) 初步查明不良地质现象的性质、成因和范围;
- d) 控制线路方案或需作代表性设计的工点,应根据工程类别的不同要求,重点查明膨胀土的结构特征,软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律;
- e) 初步查明地下水的分布及其埋藏条件和运动规律,地表水汇集与排泄条件;预估地下水位季节性变化幅度和对地基土胀缩性、强度等性能的影响;
- f) 对地震设防烈度大于或等于6度的线路,应按照GB50909和GB55002初步评价轨道沿线和地基的地震效应;
- g) 初步查明周围建(构)筑物、公路、铁路、既有轨道交通等的影响;
- h) 地质测绘所用比例尺宜采用1/500~1/1000。

7.3.3 膨胀土初勘阶段的勘探与取样应符合下列规定:

7.3.3 初勘阶段膨胀土的勘探与取样应符合下列规定:

- a) 每个地貌、地质单元均应布置勘探孔,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孔。
 - 1) 地下车站的勘探孔宜按结构轮廓线布置,每个车站不宜少于4个勘探孔,且勘探孔间距不宜大于100m;
 - 2) 地下区间勘探孔宜沿区间线路布置,勘探孔间距宜为100~200m,影响线路方案的强膨胀土地段和土层结构复杂的地段,以及重点工程,勘探孔应适当加密;
 - 3) 高架工程和路基的勘探孔间距应根据场地复杂程度和设计方案确定,宜为80~150m,高架车站勘探孔数量不宜少于3个;
 - 4) 支挡结构、涵洞勘探孔数量不宜少于1个;
 - 5) 高路堤、深路堑应布置横向勘探断面,每条勘探断面勘探孔的数量不宜少于2个。
- b) 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定。
 - 1) 地下工程控制性钻孔深度在第四纪地层应进入结构底板以下不小于30m,在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层应进入结构底板以下不小于15m,微风化岩石地层宜进入结构底板以下5~8m;一般性钻孔深度在第四纪地层应进入结构底板以下不小于20m,在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层应进入结构底板以下不小于10m,微风化岩石地层宜进入结构底板以下5m;
 - 2) 高架工程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;覆盖层较薄,下伏基岩风化层不厚时,勘探孔应进入微风化地层3~8m;
 - 3) 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、软弱下卧风验算的要求,一般性勘探孔宜进入基底以下5~10m,膨胀土勘探孔钻孔深度不应小于大气影响深

度，宜穿透膨胀土至下伏地层不小于 3m。

- c) 取样、原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 2/3，且不应少于 3 个勘探孔。膨胀土地区的代表性勘察设计工点，钻探时应进行适量坑探，查明地层结构、裂隙发育情况、软弱夹层及大气影响深度，并取代表性试样。

7.3.4 膨胀土初步勘察阶段的测试试验，应符合下列规定：

- a) 一般地段确定膨胀土的特征时，应选取代表性试样进行自由膨胀率、膨胀力、一定压力下的膨胀率等试验，判定有无膨胀土及其膨胀潜势；
- b) 重大工点和有特殊要求的工程场地，宜进行现场浸水载荷试验、剪切试验或旁压试验。对各向异性的膨胀岩土，应测定其不同方向的膨胀率、膨胀力和收缩系数。

7.3.5 膨胀土初步勘察阶段的轨道交通工程线路、车站、车辆基地等代表性设计工点的工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明线路的工程地质条件，内容应包括膨胀土的物理力学性质，提出基础埋深、地基处理、施工开挖的挡护措施及防水保湿措施等建议；
- b) 工程地质图应该填绘膨胀土的地层时代、成因、地质分界线等，比例为 1:500~1:2000；
- c) 工程地质断面图应填绘膨胀土的地层时代、成因、类型、厚度、地下水位线等，比例为 1:200~1:500；
- d) 勘探、测试，试验等资料。

7.3.6 膨胀土初步勘察的综合资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明膨胀土的地层时代、成因、分布范围和规律性，以及主要物理力学指标、发展趋势等地质条件及其对线路方案的影响，提出线路方案的评价和地基处理的比选意见；
- b) 全线工程地质平面图应填绘膨胀土的分布范围、膨胀潜势分级及控制线路方案的大型不良地质等，比例为 1:2000~1:10000；
- c) 工程地质纵断面图应填绘膨胀土的地层时代、成因、地质分界线、厚度、地下水位线等，水平比例尺宜为 1:2000~1:5000，垂直比例尺宜为 1:200~1:1000；
- d) 沿线工程地质分段说明应按地貌单元分段编写，内容应包括地形地貌、植被情况、气象特征、膨胀土的地层时代、成因、性质、厚度、结构、分布范围、水文地质特征、工程地质条件评价、地质参数、大气影响深度和大气影响急剧层深度、工程措施等；
- e) 附件资料应包括试验及测试资料、地质柱状图、其他有关图件等。

7.4 详细勘察

7.4.1 详细勘察应在初步勘察的基础上开展，查明城市轨道交通工程膨胀土路段及车站、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、围岩及边坡稳定性，预测可能出现的膨胀土工程问题，提出地基基础、边坡治理、地下水控制、周边环境保护方案的建议，提供施工图设计、工程施工所需的岩土参数。

7.4.2 详勘阶段膨胀土工程勘察应包括下列内容：

- a) 膨胀土的矿物成分、物理力学性质和与膨胀土有关的工程特性及膨胀特性的空间变化规律，判别膨胀潜势大小，确定膨胀土地基的胀缩等级；
- b) 查明场地地表形态，滑坡、地裂、溜塌、小冲沟等特征、成因、分布范围、发展趋势和危害程

度，提出治理方案的建议；

- c) 分析地下工程膨胀围岩的稳定性和可挖型，对岩土施工工程分级，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；
- d) 分析膨胀土边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出膨胀土边坡治理的工程措施建议；
- e) 查明地表水的集聚、排泄情况，地下水的类型、埋藏条件、水位高程及其变化幅度，岩土体含水率的变化规律及植被发育情况，分析地表水、地下水对工程可能造成的危害，提出控制措施的建议。
- f) 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；
- g) 提供场地的大气影响层深度。

7.4.3 详细勘察阶段勘探孔布置宜结合工程分段布置，其点位与数量应满足城市轨道交通主体工程和附属工程设计的要求，并应符合下列规定：

- a) 地下车站和地下区间的勘探孔应按照复杂场地、工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等特点的规定综合确定，勘探孔间距宜为 10~30m。车站主体宜沿结构轮廓线布置，结构角点以及出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道、联络通道等附属工程部位应有勘探孔控制，每个车站不应少于 2 条纵剖面 and 3 条有代表性的横剖面；车站区间勘探孔宜在隧道结构外侧 3~5m 的位置交叉布置，在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、渡线、施工竖井等应有勘探孔控制，并布设剖面；
- b) 高架车站勘探孔应沿结构轮廓线和柱网布置，勘探孔间距宜为 15~35m，勘探孔的平面布置宜结合立柱桩的位置布设；每条勘探断面上的钻孔或探坑数量不宜少于 2 个；
- c) 路基、涵洞工程一般路基勘探孔间距为 50~100m；
- d) 高路堤、深路堑、支挡结构勘探孔间距为 15~30m；高路堤、深路堑应根据基底和边坡特征，结合膨胀土胀缩等级和裂隙发育程度确定代表性工程地质断面的位置和数量，每个断面的勘探孔数量不宜少于 3 个；深路堑遇软弱夹层或不利结构面时，勘探孔应加密；支挡结构的勘探孔不宜少于 3 个；涵洞不宜少于 2 个；
- e) 每个取土场的勘探数量不宜少于 3~5 孔，勘探断面不应少于 2 个；
- f) 膨胀土地区钻探时还应进行适量坑探，探查地层结构、裂隙发育情况、膨胀土的层厚、软弱夹层及大气影响深度，并根据需要采取物理力学性质和膨胀性判定的原状、扰动土试样。

7.4.4 勘探孔的深度应满足地基、基坑、边坡稳定性分析、变形计算以及地下水控制的要求，并应满足下列要求：

- a) 车站工程控制性勘探孔应进入结构底板以下不小于 25m，或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m，一般性勘探孔深度应进入结构底板以下不小于 15m，或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 3m；
- b) 区间工程控制性勘探孔的深度应进入结构底板以下不小于 3 倍洞径或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m，一般性勘探孔应进入结构底板以下不小于 2 倍洞径，或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 3m；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；
- c) 高架工程墩台基础的控制性勘探孔应达到基底以下 10~15m 或基础宽度的 2~3 倍，在基岩段，

应进入基底以下中风化岩石地层 2~3m。桩基控制性钻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，嵌岩桩应达到桩端平面以下 3~5 倍桩身直径，并穿过溶洞、破碎带，进入稳定地层；一般性钻孔应达到桩端平面以下 3~5 倍桩身直径，且不应小于 3.0m，嵌岩桩应达到桩端平面以下 1~3 倍桩身直径；

- d) 路基和涵洞工程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。一般性勘探孔深度不应小于 5m；高路堤不应小于 8m；路堑边坡应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 2~3m，地下水发育地段应根据排水工程需要适当加深；支挡结构深度应达到基底以下不应小于 5m；涵洞勘探孔深度应在结构底板以下 8~15m；膨胀土勘探孔钻孔深度不应小于大气影响深度，宜穿透膨胀土至下伏地层不小于 3m。

7.4.5 详勘阶段膨胀土的取样、测试，应符合下列规定：

- a) 地下工程、高架工程、路基工程的控制性勘探孔的数量不应少于勘探孔总数的 1/3。采取岩土试样及原位测试勘探孔的数量，车站工程、高架工程、路基工程不应少于勘探孔总数的 1/2，区间工程不应少于勘探孔总数的 2/3，且不得少于 3 个勘探孔；
- b) 采取岩土试样和进行原位测试应满足膨胀土评价的要求。每个车站或区间工程每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 10 件(组)，且每一地质单元的每一主要土层不应少于 6 件(组)；
- c) 室内试验方法和数量应根据施工方法、施工条件、设计要求等确定；
 - 1) 抗剪强度试验、静止侧压力系数、热物理指标试验每一主要土层不宜少于 3 组；
 - 2) 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；
 - 3) 地表水、地下水水试样或地下结构范围内的亚岩土试样进行腐蚀性试验，地表水每处不应少于 1 组，地下水岩土试验或每层不应少于 2 组；
 - 4) 每个场地每一主要岩层的天然湿度的单轴抗压强度试验不应少于 3 组；
 - 5) 膨胀土自由膨胀率、膨胀率、膨胀力、收缩系数等试验，每种土样不应少于 3 组；
 - 6) 桩基工程应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验，桩端持力层为基岩时，尚应进行饱和单轴抗压强度试验、软化试验等。
- d) 原位测试，载荷试验或浸水载荷试验每个区域不应少于 3 组，静力触探、标准贯入、动力触探或波速测试试验每个区域不应少于 3 孔。

7.4.6 详勘阶段膨胀土工程勘察综合资料应符合下列规定：

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线膨胀土的分布范围、地形地貌、工程地质条件、水文地质条件，与膨胀土相关的不良地质发育的类型及规模，提出物理力学指标与各类工程设计有关的地质参数，以及工程处理措施及施工注意事项等；
- b) 全线工程地质平面图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改等，比例尺宜为 1:2000~1:10000；
- c) 全线工程地质纵断面图应填绘膨胀土的地质时代、成因、类型、分布层位、厚度、地下水位线等，比例尺宜为水平 1:2000~1:5000，垂直 1:200~1:500；
- d) 附件资料应包括试验及测试资料、地质柱状图、其他有关图件等。

7.5 施工勘察

7.5.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中出现的膨胀土工程问题等工作，完善地质资料，满足施工方案调整和风险控制的要求。

7.5.2 遇下列情况宜进行施工专项勘察：

- a) 施工过程中出现地质异常，对工程结构及工程施工产生较大危害；
- b) 场地存在裂隙、软弱结构面、破碎带、风化深槽、滑坡、崩塌等不良地质条件影响工程安全，对施工造成不利影响；
- c) 场地地下水位变化较大或施工中发现不明水源，影响工程施工或危及工程安全；
- d) 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；
- e) 需进行施工勘察的其他情况。

7.5.3 膨胀土施工阶段的工程地质工作，应包括下列内容：

- a) 研究膨胀土地区的岩土特征，核对各类工点的工程地质资料，预测施工中可能遇到的膨胀土问题，提出施工注意事项；
- b) 调查了解工程周边环境条件变化、周边工程施工情况、场地地下水位变化等，分析地质与周边环境的变化对工程可能造成的危害；
- c) 施工中应通过观察开挖面岩土成分、密实度、湿度，地下水情况，软弱夹层、地质构造、裂隙、破碎带等实际地质条件，核实、修正地质资料；
- d) 监测工程施工后的地层变形情况，必要时补充勘探和测试。

7.5.4 膨胀土地区施工阶段的工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明应说明施工中膨胀土工点发生的工程地质变更情况，包括变更设计的范围、性质和原因分析，补充勘探、试验的资料，总结施工中的经验教训，提出工程处理措施等；
- b) 工程地质纵、横断面图可利用设计文件中的相应图件修正、补充；
- c) 各项施工地质原始资料的整理。

7.6 工程地质调查与测绘

7.6.1 膨胀土地区的地质调绘前，应搜集下列资料：

- a) 地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质、地震地质、矿产地质等与区域性膨胀土有关的资料；
- b) 遥感图像及解译资料；
- c) 降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响深度等气象资料；
- d) 既有建筑、构筑物、道路与膨胀土有关的勘察设计及病害整治的资料。

7.6.2 膨胀土的遥感图像解译，应包括下列内容：

- a) 地层岩性、地貌类型及形态特征、线路位置的地质环境 和地貌部位；
- b) 冲沟坡面溜坍、滑坡、崩塌、坡面冲刷、泥石流等不良地质的分布范围及规模；
- c) 植被发育情况，井、泉点及地表水体的分布及特征；
- d) 地质构造的类型、形态、产状等；
- e) 必要时，经现场核对后可编制遥感解译图件。

7.6.3 膨胀土地区工程地质调绘应包括下列内容：

- a) 地形地貌、微地貌特征，包括斜坡自然坡度、高度、冲沟、坡面冲刷、剥落、地表植被的生长状况等；
- b) 地层时代、成因、岩性、结构、分布范围，有无软弱夹层、泉水露头等；
- c) 膨胀土裂隙的发育程度、分布密度、形态、充填物性质及裂面特征，下伏基岩的岩性、结构面特征；；
- d) 不良地质现象的类型、形成原因、分布范围及规模；
- e) 地表水的集聚和排泄条件，地下水的类型、埋藏深度和变化规律；
- f) 既有建筑物的使用、变形和破坏情况，基础类型和埋深，边坡高度、坡率以及防治病害的经验等。

7.6.4 膨胀土地区工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 膨胀土地区的工程地质测绘应与城市轨道交通线路、车站及附属设施的布置相结合，并辅以必要的勘探和测试手段；
- b) 地层界限、不良地质、沟谷、挖方边坡和陡坎等部位应布置工程地质测绘点；
- c) 应选择代表性区域取样测试膨胀土的湿度状态和膨胀特性，调查膨胀土的风化和裂隙发育情况及大气影响层深度。

7.7 勘探与测试

7.7.1 膨胀土地区的勘探，应符合下列规定：

- a) 勘探孔的布置应根据膨胀土的成因类型、分布特征、地貌单元，结合建筑、构筑物的类型，在勘察阶段确定；
- b) 膨胀土地段的原状土样应用干钻或挖探的方法采取，并符合下列规定：
 - 1) 干钻时不应采用振动和冲击方法钻进，取土器的入土深度应小于其直径的 3 倍，土样直径不得小于 89mm，并应保持土样的天然湿度和天然结构，不发生吸水膨胀或失水收缩；
 - 2) 原状土样应从地面以下 1m 开始分层采取，在地表下 1m 至大气影响深度内，取样间距不宜大于 1.0m；土层有明显变化宜增加取土数量；大气影响深度以下，取土间距不宜大于 2.0m；遇有灰绿、灰白色土层，应增加取样数量；同一地层的取样数量，应不少于 6 组；
 - 3) 采用边进尺边取样的方法采集原状土样，采集的土样应密封，避免湿度变化和扰动，并尽快试验。

7.7.2 膨胀土的室内试验和原位测试，除应遵守常规试验规定外，尚应测试下列指标：

- a) 膨胀土的判别及分级应测试自由膨胀率、一定压力下的膨胀率、标准吸湿含水率。必要时，还应测定黏土矿物成分和化学成分、阳离子交换量、pH 值、先期固结压力、收缩率及残余强度等；
- b) 膨胀土填料应测定土的最优含水率、最大干密度、膨胀土承载比、标准吸湿含水率、胀缩总率、膨胀力及浸水剪切强度等；
- c) 膨胀土路堑边坡勘察应进行原状土的抗剪强度试验、已变形边坡的残余抗剪强度试验以及结构面的抗剪强度试验、干湿循环和低应力条件下的抗剪试验，具体要求如下：
 - 1) 表面风化层宜采用干湿循环试验确定；
 - 2) 地下水位以下或坡面无封闭、有雨水、地表水渗入，宜采用浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定；
 - 3) 地下水位以上或坡面及时封闭、无雨水、无地表水渗入，宜采用非浸水条件下的直剪仪慢剪试验确定；
 - 4) 裂隙面强度宜采用无侧限抗压强度试验或直剪仪裂面重合剪切试验确定。
- d) 膨胀土的地基承载力可采用载荷试验、静力触探试验、标准贯入试验、旁压试验等原位测试，并结合工程实践经验综合确定。重要建筑、构筑物场地宜进行现场浸水荷载试验，一般建筑物或工程设施的地基承载力宜根据三轴不固结不排水剪试验结果计算确定；
- e) 膨胀土的大气影响层深度可按湿度参数法、裂隙深度法、力学参数法、地温参数法确定。大气显著影响层深度宜按大气影响层深度的 2/3 进行取值。

注 1：湿度参数法是测定一个地区在一年内各个季节土层含水率，并将土层含水率随深度的变化绘制成曲线，将含水率由急剧变化到基本稳定的临界深度作为膨胀土的大气影响层深度；

注 2：裂隙深度法，将膨胀土裂隙或地裂的可见深度作为膨胀土大气影响层深度；

注 3：力学参数法，将静力触探比贯入阻力由小变大并保持相对稳定的临界深度作为膨胀土大气影响层深度；

注 4：地温参数法，将某一地区膨胀土在一年或多内地温沿土层深度的变化绘制成曲线，将变化幅度由大变小到基本稳定的临界深度作为膨胀土的大气影响层深度。

7.8 场地评价

7.8.1 膨胀土地区的场地评价应查明膨胀土的分布及地形地貌条件，并应根据工程地质特征及土的膨胀潜势和地基胀缩等级等指标，对场地进行综合评价和分区。

7.8.2 场地具有下列工程地质特征及建筑物破坏形态，且土的自由膨胀率大于等于 40% 的黏性土，应判定为膨胀土，具体特征如下：

- a) 多分布在二级及二级以上阶地、山前丘陵和盆地边缘。地形平缓、无明显自然陡坡、坡面沟槽发育。地层以第四系中、上更新统为主；
- b) 土的裂缝发育，呈网纹状，常有光滑面和擦痕；裂缝中常充填灰白、灰绿色黏土。自然条件下多呈坚硬或硬塑状态；
- c) 土体多呈棕、黄、褐色，间夹灰白、灰绿色薄层，土质细腻、有滑感。土中常含有钙质或铁锰质结核或豆石，局部可富集成层；
- d) 常见有浅层滑移、浅层溜塌、滑坡、地裂，新开挖坡（槽、坑）壁易坍塌等；

e) 建（构）筑物多呈“倒八字”、“X”或水平裂缝，裂缝随气候变化而张开和闭合。

7.8.3 膨胀土场地分类，应符合下列规定：

- a) 地形坡度小于 5°，或地形坡度为 5°~14°且距坡肩水平距离大于 10m 的坡顶地带，应为平坦场地；
- b) 地形坡度大于等于 5°，或地形坡度小于 5°且同一建筑物范围内局部地形高差大于 1m 的场地，应为坡地场地。

7.8.4 膨胀土的定量判别指标，应符合下列规定。

- a) 膨胀土的膨胀潜势应符合表 1 的规定进行分类；

表 1 膨胀潜势分类

分类指标	弱	中	强
自由膨胀率 δ_{ef} （%）	$40 \leq \delta_{ef} < 60$	$60 \leq \delta_{ef} < 90$	$\delta_{ef} \geq 90$
蒙脱石含量 M' （%）	$7 \leq M' < 17$	$17 \leq M' < 27$	$M' \geq 27$
阳离子交换量 CEC(NH4+)(mmol/kg)	$170 \leq \text{CEC}(\text{NH}_4^+) < 260$	$260 \leq \text{CEC}(\text{NH}_4^+) < 360$	$\text{CEC}(\text{NH}_4^+) \geq 360$

- 注： 1) 当有两项指标符合时，即判定为该等级；
- 2) 表中蒙脱石含量为干土全重含量的百分数，采用次甲基蓝吸附法测定；
- 3) 对不含碳酸盐的土样，采用醋酸铵法测定其阳离子交换量；对含碳酸盐的土样，采用氯化钱 醋酸钱法测定其阳离子交换量。
- b) 预测膨胀土地基变形量时，膨胀变形量、收缩变形量、胀缩变形量的计算方法应符合 GB 50112 的规定。膨胀土地基胀缩等级应按表 2 中分级变形量进行分类；

表 2 膨胀土地基胀缩等级

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

注： 测定膨胀率的试验压力应为 50kPa。

- c) 膨胀土应按表 3 的规定进行分级；

表 3 膨胀土分级

分级指标	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土
------	------	------	------

标准吸湿含水率 ω_r (%)	$2.5 \leq \omega_r < 4.8$	$4.8 \leq \omega_r < 6.8$	$\omega_r \geq 6.8$
------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------

7.8.5 结合线路和工程地质条件场地评价，应包括内容：

- a) 工程建设场地的稳定性、适宜性评价；
- b) 地下工程、高架工程、路基及附属工程的地基基础形式、地基承载力及变形的分析与评价；
- c) 膨胀土及滑坡、地裂等不良地质对工程影响的分析与评价，避让或防治措施的建议
- d) 划分场地土类型和场地类别，抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地，评价地震液化和震陷的可能性；
- e) 围岩、边坡稳定性和变形分析，支护方案和施工措施的建议；
- f) 工程建设与周边环境相互影响的预测及防治对策的建议；
- g) 地下水、地表水对工程的静水压力、浮托作用等分析。

8 软土

8.1 一般规定

8.1.1 当城市轨道交通工程线路或场地遇到天然孔隙比大于等于 1.0，且天然含水率大于液限的细粒土，应开展软土工程勘察。

8.1.2 软土遇到下列问题，应开展软土专项勘察：

- a) 城市轨道交通工程沿线软土需要专门处理的工程；
- b) 城市轨道交通工程沿线软土对周边已有建筑物或环境有较大影响；

8.2 可行性研究勘察

8.2.1 可行性勘察应调查城市轨道交通工程线路和场地的软土不良地质问题和重要工程周边环境，对场地的稳定性和适宜性做出初步评价。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。

8.2.2 软土可行性研究勘察阶段的工程地质勘察，应包括下列内容：

- a) 搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震、矿产等资料，以及沿线的工程地质条件、水文地质条件、工程周边环境条件和相关工程建设经验；
- b) 调查线路沿线古河道、暗塘、暗浜、沟谷等分布和变迁情况，以及线路有无洪水、海潮、地下水等不良地质因素，有无斜坡或起伏大的浅埋基岩，分析存在滑坡的不利因素；
- c) 了解控制线路方案和重点地段的软土成因类型、性质、分布范围及其对工程产生的危害，分析其与线路的相互影响，提出规避、保护的方案；
- d) 软土地区沿线堤防、涵闸、桥梁、道路及房屋等既有建筑物应进行重点调查，了解其结构和基础类型、地基处理措施、施工过程、变形及稳定状况；
- e) 调查地震时软土地区有无地裂、地陷、液化的情况；
- f) 对控制线路方案周边环境、分析与线路的相互影响，提出规避、保护初步建议；
- g) 研究场地的地形、地貌、水文地质、周边环境条件，分析路基、高架、地下工程方案的可行性，

提出线路比选建议。

8.2.3 软土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,必要时采取少量勘探与取样、原位测试、室内试验等工作。

8.2.4 软土可行性研究勘察的勘探工作,应符合下列要求:

- a) 控制线路方案的江、河、湖等地表水体及不良地质作用和软土地段应布置勘探孔;
- b) 勘探孔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孔,在地质条件复杂地段应加密勘探孔;
- c) 勘探孔间距不宜大于 1000m,每个车站应有勘探孔;
- d) 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。

8.2.5 软土地区可行性研究勘察阶段的资料,应包括下列内容:

- a) 阐明软土的成因、类型、分布、工程性质、与软土有关的不良地质现象,以及构筑物的变形情况等,评软土的工程特性、场地稳定性、环境地质条件及其对线路的影响和危害程度,提出线路方案比选意见和初步勘察阶段的工作建议;
- b) 全线工程地质图:填绘软土的类型及分布范围,比例为 1:1000 ~1:2000;
- c) 其他资料应包括试验及测试资料、地质柱状图等。

8.3 初步勘察

8.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上,针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构形式、施工方法等开展软土勘察工作,初步查明城市轨道交通工程线路遇到的软土工程地质和水文地质问题,分析评价地基基础形式和施工方法的适宜性,预测可能出现的软土工程问题,提供初步设计所需的岩土参数,提出软土的治理初步建议。

8.3.2 软土初步勘察阶段的勘察,应进行下列工作:

- a) 初步查明沿线地形地貌以及周边环境,古河道、暗塘、暗浜的分布,以及沿线地下设施分布图、以及植被情况等;
- b) 初步查明城市轨道交通工程软土地段的软土成因、类型、分布规律和埋藏条件层位、层厚、物理、力学、化学、水理特性等,初步分析软土不良地质现象和范围;
- c) 初步查明线路和站点的地表水分布,水位、流量、淤积物等,地下水的类型、补给方式、水位变化,以及地下水和地表水的补排关系。对跨河桥还应查明河流水文条件,提供冲刷计算所需的颗粒级配参数;
- d) 初步查明桩基持力层的分布、厚度变化规律,提出桩型及成桩工艺的初步建议,提供桩侧土层摩阻力、桩端土层端阻力初步建议值,并评价桩基施工对工程周边环境的影响;
- e) 对地震设防烈度大于或等于 6 度的场地,应按照 GB50111 初步评价场地和地基的地震效应;

8.3.3 软土初步勘察阶段的勘探和原位测试,应符合下列规定:

- a) 勘探孔的平面布置应根据城市轨道交通的工程类型、施工方法、基础形式及软土的地层结构、成因类型、成层条件和岩土工程治理的需要确定;勘探孔的间距应满足初勘的岩土工程评价和工程设计的需要,当需要圈定重要的局部变化时,可加密勘探孔;
- b) 地下车站工程勘察时,每个车站勘探孔不宜少于 4 个点,勘探间距不宜大于 100m;地下区间

工程，勘探孔宜沿线路布置，间距为 100-200m；高架车站勘探孔不宜少于 3 个点，应沿线布置勘探孔，间距宜为 80m~150m；路基涵洞等工程应沿线路布置勘探孔，勘探间距宜为 100m~150m；

- c) 地下工程、区间工程、高架、路基涵洞等，取样、CPTU、十字板剪切试验等原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 2/3。

8.3.4 初步勘察阶段勘探孔深度应根据地质条件和设计方案综合确定，并符合下列规定：

- a) 地下工程控制性钻孔应进入地下工程结构性底板以下 30m，结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石，进入底板下不应小于 15m，微风化岩石地层不小于 5m~8m。高架控制性钻孔深度应满足墩台基础、桩基、路基等的沉降计算和软弱层的验算要求；路基、涵洞工程控制性钻孔深度应满足稳定性评价、路基等的变形计算和软弱层的验算要求；
- b) 一般性钻孔深度应满足设计下列要求：
 - 1) 地下工程钻孔应进入结构底板下 20m，结构埋深范围内遇到强风化、全风化岩石地层，进入底板下不小于 10m，遇到中风化、微风化岩石，进入底板深度不小于 5m；
 - 2) 墩台基础置于无地表水地段时，应穿过最大冻结度达持力层以下，墩台基础置于地表水水下时应穿过水流最大冲刷深度达持力层以下；覆盖层较薄下伏基岩风化层不厚时，勘探孔应进入微风化地层 3m~8m；
 - 3) 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；

8.3.5 初勘阶段软土地段的综合资料编制，应包括下列内容：

- a) 地质勘察报告应重点分析软土的工程地质特征及分布规律对线路和建筑物方案的影响，提出方案比选意见及其处理措施建议；
- b) 全线工程地质图应填绘软土的分布范围、成因、类型及厚度，比例为 1:10000~1:200000；
- c) 工程地质图应填绘软土的范围界线、成因类型及厚度，比例为 1:2000~1:5000。
- d) 工程地质纵断面图可与线路纵断面图合并或单独绘制。图面应用花纹图例或文字标示软土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容，比例为横 1:10000，竖 1:100~1:1000；
- e) 沿线工程地质分段说明应根据软土的地貌单元、成因类型、工程特性分段编写，其内容除工程地质和水文地质特征外，应对沿线沉降及线路方案、可能出现的地质危害，地基处理措施提出评价和建议。

8.4 详细勘察

8.4.1 软土详细勘察应查明软土地段的工程地质和水文地质条件，分析评价场地的稳定性，预测可能出现的不良地质问题，提出地基基础、基坑支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护的方案建议，提供施工图设计和施工所需的岩土参数。

8.4.2 软土详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明软土地区各类场地的工程地质条件，不良地质作用的类型，成因、分布范围、发展趋势和危害程度、提出整治方案的建议；
- b) 查明城市轨道交通工程范围内软土层的类型、成因、分布范围、工程特性，分析和评价地基的稳定性，均匀性和承载力，提出天然地基、地基处理或桩基等地基基础方案的建议，对需沉

降计算的建（构）筑物、路基等提供地基变形计算参数；

- c) 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;
- d) 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;
- e) 判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性;
- f) 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;
- g) 应确定场地类别,对抗震设防烈度大于 6 度的场地,应进行液化判别,提出处理措施的建议;
- h) 详细勘察应论证地下水在施工期间对工程和环境的影响,对情况复杂的重要工程,论证使用期间水位变化和需提出抗浮设防水位时,应进行专门研究。

8.4.3 软土详细勘察阶段软土地区的勘探与原位测试应符合下列规定:

- a) 地下车站应根据场地复杂程度布置勘探孔,按照 10m~20m 布置,每个车站不应少于 2 条纵断面和 3 条代表性横剖面;车站主体轮廓、结构角点、出入口、风井风道、施工通道等附属部位均应有勘探孔控制,
- b) 地下区间工程间距应根据场地复杂程度布置勘探孔,按照 10m~30m 布置,勘探孔宜在隧道外侧 3m~5m 位置交叉布置,在隧道洞口、陡坡段、大断面、异性断面、工法变换等部位,以及联络通道、渡线、施工竖井等部位应布置勘探控制,并设置剖面;
- c) 高架车站勘探孔应沿结构轮廓线和柱网布置,勘探孔间距宜为 15m~35m。当桩端持力层起伏较大、地层分布复杂时,应加密勘探孔;
- d) 一般路基勘探孔间距为 50m~100m,高路堤、深路堑、支挡结构勘探孔间距可按照 15m~30m 布置;
- e) 桥涵工程原则上每个涵洞有一个勘探孔,涵洞较长时增加勘探孔数量;
- f) 详细勘察阶段车站工程原位试验取土、CPTU、十字板剪切试验数量不应少于勘探孔总数的 1/2,区间工程不应少于勘探孔总数的 2/3。

8.4.4 软土详细勘察阶段软土地区的勘探深度应符合下列规定:

- a) 勘探孔的深度应满足地基、隧道、基坑边坡稳定性分析、变形计算、地下水控制的要求;
- b) 软土详细勘察应采用钻探、静力触探、十字板剪切试验、物探等手段,其它原位测试相结合的综合勘探方法。采用静力触探的地区,应有钻孔或其他原位测试手段验证,代表性软土地段应至少有 2 处对比孔,主要受力层起伏较大时,应增加钻孔;
- c) 勘探孔深度应能控制地基主要受力层,钻孔深度应大于基础宽度的 3 倍,且不小于 5m,深度应满足工程沉降计算和下卧层验算要求,以及路堤等稳定性计算要求,如地下建筑有抗浮设计要求时,钻孔深度应满足设置抗浮桩或锚杆的要求,勘探孔深度满足抗拔承载力评价的要求;
- d) 对车站工程,控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于 5m,一般性勘探孔深度进入结构底板以下不应小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应小于 3m;
- e) 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;

- f) 高架墩台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,并穿过洞破碎带进入稳定地层。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;高架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 倍桩身直径,且不应小于 3m,对大直径桩,不应小于 5m。嵌岩桩一般性勘探孔应达到预计桩端平面以下 1 倍~3 倍桩身设计直径;
- g) 路基、涵洞工程的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。一般路基的一般性勘探孔深度不应小于 5m,高路堤不应小于 8m。路堑的一般性勘探孔深度应能探明软弱层厚度及软弱结构面产状,且穿过潜在滑动面并深入稳定地层内 2m~3m,满足支护设计要求;在地下水发育地段,根据排水工程需要适当加深,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,涵洞钻孔深度 15m~20m;
- h) 在高层建筑密集区域、多线路连通车站或大型交通枢纽站,大型泵房等地工程地质勘察,应满足 GB50021 的有关规定,
- i) 详细勘察阶段取土、CPTU、十字板剪切试验在地基受力层内每隔 1~2m 采取一个土样和取得一组原位试验数据,在同一场地内每一主要受力土层参加统计的试样和原位试验数据不应少于 10 组,每一地质单元的每一主要土层不应少于 6 组。

8.4.5 详勘阶段软土地区的综合地质资料,应包括下列内容:

- a) 工程地质勘察报告:重点说明软土高压缩性、低强度、触变性等,及其分布规律、物理、力学性质对各类工程建筑物稳定、变形的影响,并对施工方案、基坑支护方案的等的适宜性作出评价,以及施工方案对周围建筑以及环境的影响等提出设计方案优化建议、工程措施意见以及施工应注意的问题;
- b) 全线工程地质图:根据各类工点的工程地质资料补充、修改,比例为 1:10000~1:200000;
- c) 工程地质图:根据各类工点的工程地质资料补充、修改,比例为 1:2000~1:5000;
- d) 工程地质纵断面图:图面应标示软土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容。可与线路纵断面图合并或单独绘制,比例为横 1:10000,竖 1:100~1:1000。

8.5 施工勘察

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

8.5.2 软土施工勘察阶段应包括下列内容:

- a) 研究工程勘察资料,掌握场地工程地质条件及不良地质作用和软土的分布情况,预测施工中可能遇到的岩土工程问题;
- b) 调查了解工程周边环境条件变化、周边工程施工情况、场地地下水位变化及地下管线渗漏情况,分析软土工后变形大和承载力不足与周边环境条件的变化对工程可能造成的危害;
- c) 施工中应通过观察开挖面岩土成分、湿度,地下水情况,软弱夹层等实际地质条件,核实、修正勘察资料;
- d) 对复杂地质条件下的地下工程应开展超前地质探测工作,进行超前地质预报;

e) 必要时提出地基沉降和地下水监测的建议。

8.5.3 遇下列情况宜进行施工专项勘察：

- a) 场地地质条件复杂、施工过程中出现地质异常,对工程结构及工程施工产生较大危害；
- b) 场地存在暗浜、古河道、土洞等不良地质条件影响工程安全；
- c) 场地存在文物或历史遗迹等情况，存在或涉及文物保护的；
- d) 场地地下水位变化较大或施工中发现不明水源，影响工程施工及安全的；
- e) 施工方案有较大变更或采用新技术、新工艺、新方法、新材料,详细勘察资料不能满足要求；
- f) 基坑或隧道施工过程中出现桩(墙)变形过大、基底隆起涌水、坍塌、失稳等岩土工程问题，或发生地面沉降过大、地面塌陷、相邻建筑开裂等工程环境问题；
- g) 工程降水，土体冻结,盾构始发(接收)井端头、联络通道的岩土加固等辅助工法需要时；
- h) 需进行施工勘察的其他情况。

8.5.4 软土施工勘察的工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明，阐明施工中发生的软土工程地质变更问题的范围、性质和原因，处理的经过、措施和效果；施工阶段地基变形的监测情况、监测结果和运营中应长期加强监测的意见；施工中的经验教训等；
- b) 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件 修正、补充；路基、站场应标明软土地基的加固范围和措施；桥涵、房屋等建筑应标明基础的类型及实际埋置深度；
- c) 各项施工地质原始资料的整理。

8.6 工程地质调查和测绘

8.6.1 软土地区应通过调查和测绘掌握交通工程场地的复杂程度、软土稳定性、适宜性，分析工程建设中存在的岩土工程问题，提出防治措施和建议，并为各阶段勘探和测试工作布置提供依据。

8.6.2 软土地区工程地质调查与测绘应包括：场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件、水文地质条件、不良地质作用等，对工程建设可能诱发地质灾害地段，工作范围应包含可能的地质灾害范围。

8.6.3 软土地区地质调绘前，应搜集以下资料：

- a) 搜集气象、水文、土的标准冻结深度等资料，调查轨道沿线最高水位发生时间和积水范围。
- b) 沿线近代地形地貌资料、古地形地貌图或历史河流变迁图，区域地质、遥感图像及解译资料等；
- c) 沿线既有建筑、既有道路的勘察、设计、施工、观测资料、科研成果等；
- d) 地震动参数区划、震害等资料；

8.6.4 软土地区的地质调绘，应包括下列内容：

- a) 调查地形、地貌及第四纪沉积层的特征，划分地貌单元和工程地质单元，分析各地貌单元的形成过程与地层、场地稳定性的关系；以及暗埋的沟、渠的分布范围及形态；
- b) 调查软土的分布范围和分布规律；
- c) 调查软土场地各土层的岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、地层结构、相变特征及其物理、力学、水理性质；
- d) 厚层和相对均质的软土，应查明其抗剪强度随深度的变化规律；
- e) 调查人类活动对场地稳定性的影响，包括防空洞、大填大挖、地下排水、人工管线等，以及周

围建筑的变形情况和工程经验；

- f) 埋藏有古软土层的地区，应查明其分布范围、埋藏深度、下伏硬土层或古软土层的超固结比等工程特性；
- g) 地下水的类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件；
- h) 既有堤防、涵洞、桥梁、道路、房屋、地下洞室等建筑、构筑物的修建时间、地基处理措施、施工方法、处理效果、工后沉降等。

8.6.5 工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 地质界线、地质观察点测绘在图上的位置误差不应大于 2mm；
- c) 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。

8.6.6 工程地质调查与测绘的成果资料应符合下列规定：

- a) 对地质条件简单地段，工程地质调查与测绘的成果可纳入相应阶段的岩土工程勘察报告。
- b) 对地质条件复杂地段，应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。

8.7 勘探与测试

8.7.1 软土地层的埋藏边界、分布厚度和物理、力学、水理性质的勘探和测试，应采用静力触探、轻型螺旋钻探、十字板剪切试验、钎探、物探、钻探和室内试验相结合的综合勘探方法。必要时可采用扁铲侧胀试验、应力铲试验、孔压静力触探、预钻式旁压试验、孔内旁压、螺旋板载荷试验等原位测试方法。

8.7.2 软土地区的勘探，应符合下列规定：

- a) 软土勘探孔的布置应根据地层结构、成因类型、成层条件、硬底横坡等情况，并结合建筑物的类型、规模和基础类型确定；
- b) 勘探孔的密度应依据轨道交通的等级标准，满足各勘察阶段方案比选、地质评价、工程设计的需要。当地层结构复杂、土质不均匀、下伏硬层顶面坡度较大，有古河道、渠时，勘探、测试孔应酌情加密，对线路内建筑物基础及地下设施应探明边界，也可结合物探手段，进行大面积探测，再进行重点区域验证；
- c) 查明软土层厚度的钻孔，应布置在有代表性的部位。软土深厚或厚度变化不大时，应布置在线路中心；下伏硬层的顶面坡度较大时，宜布置在下坡一侧。路基与桥涵过渡段应布置钻孔。钻孔应穿透软土钻至硬层、主要持力层或下伏基岩内 2-5m；穿透软土层的钻孔宜不少于勘探孔总数的 20%。当软土层较厚无法穿透时，钻孔应达到变形影响深度以下不小于 5m，控制性钻孔应达到一般钻孔深度的 2 倍；
- d) 钻进深度和岩土层分层厚度的量测精度，不应低于±5cm；
- e) 钻孔及记录和编录应由经过专业训练的人员担任，逐段记录，不应追记。

8.7.3 初勘阶段软土地区取样、室内试验项目和试验方法，应符合下列规定：

- a) 软土应测定土的物理力学性质，应包括颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、塑限、液限、

有机质含量、固结试验、直剪试验、三轴试验、无侧限抗压强度试验、静止土压力试验、基床系数试验等；

- b) 当需要进行渗流分析，软土应通过固结试验测定土的固结系数，土的体积压缩系数，计算渗透系数；
- c) 需确定先期固结压力时，施加的最大压力应满足绘制完整的 e - $\lg p$ 曲线的要求，必要时测定土体的回弹模量和回弹再压缩模量；
- d) 代表性工点应对硬壳、硬层及软土分层进行压缩系数、固结系数、渗透系数、天然抗剪强度或固结快剪强度、无侧限抗压强度等测试；
- e) 采用砂井或塑料排水板加固软土地基时，应进行水平方向的固结系数测试；采用水泥土桩、水泥土搅拌桩或旋喷桩时，应进行软土的化学特性、组分等特性的测试；
- f) 判定软土的触变性时，宜采用现场原位试验测定软土的灵敏度。

8.7.4 软土场地的取样应符合下列规定：

- a) 钻孔直径 应满足取样、原位测试或其他试验工作的需要，同时应采取有效措施，确保施工安全；
- b) 软土中应采用泥浆护壁，使用套管时，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 倍直径的距离，在较深位置取样时应安置钻杆扶正器；
- c) 采取原状土样时应使用薄壁取土器，取土器的内径不宜小于 89 mm；
- d) 采取土试样宜用 快速静力连续压入法；
- e) 为减少对软土的扰动，应配合采用静力触探、十字板剪切试验、深层载荷试验、地球物理探测等原位手段配合勘测；
- f) 软土应采用薄壁取土器采取 I 级土样，应严格按相关要求要求进行钻探、取样和及时送样、试验，每层土试样数量不少于 6 组。对重要工点和重要的建筑物，在工程地质单元中每层的试样数量不应少于 10 组。

8.7.5 软土的室内试验，应符合下列规定：

- a) 土的常规物理力学性质 试验应测定土的比重，含水率，重度、液限、塑限、渗透系数、有机质含量，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；
- b) 在每一地貌单元应有代表性高压固结试验，成果按 e - $\lg p$ 曲线的形式整理，确定先期固结压力并计算压缩指数和回弹指数；
- c) 分析地下工程软土稳定性和可挖性，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。
- d) 室内力学试验应以直剪、三轴剪切试验、无侧限抗压强度、压缩固结试验 为主，每一地貌单元应有代表性高压固结试验，必要时进行动力特性试验；
- e) 原状土样的样品应在 3d 以内开样试验；不能按时试验的样品应妥善保管，不得露天堆放。

8.7.6 软土地区进行静力触探时，应有钻探或其他原位测试验证。代表性软土地段和大型枢纽场地应至少有两处对比孔，孔间距不应小于钻孔孔径的 25 倍。

8.7.7 十字板剪切试验应在具有代表性的场区进行，每 1m 深度应测一组以上剪切指标，当与钻探相结合时，其测试间距可视具体情况而定。

8.8 场地评价

8.8.1 软土地区的场地评价，应包括地质条件、地基稳定性、场地环境影响评价等内容。

8.8.2 软土地区应根据地质调绘、勘探、测试的成果，分析研究区域地质条件、水文地质条件、工程地质特征和软土的成因，并对场地方案进行综合评价和比选。

8.8.3 软土地区的线路方案确定后，结合工程类型评价场地的工程地质条件时，应符合下列规定：

- a) 对地表硬壳层提出利用的条件及可能性；
- b) 场地有人防工程、暗沟、管线等，无法避开时应提出工程处理措施建议；
- c) 轨道线路或站点离池塘、人为沟坑、河岸、边坡、填土场地较近时，应判定软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度，并对其稳定性影响进行评价；
- d) 软土地基主要受力层中有薄的砂层或软土与砂类土互层时，应根据其固结排水条件判定其对地基变形的影响；
- e) 判定地下水位变化和承压水等对软土地基稳定性和变形的影响，评价地下水对混凝土等建筑材料的化学侵蚀性；
- f) 软土地基的基本承载力，一般建筑物可利用静力触探及其他原位测试成果，结合地区经验确定；也可根据软土的物理、力学参数确定，或采用工程地质类比法确定；重要建筑物和缺乏经验的地区，应采用载荷试验确定；
- g) 试验数据应结合空间相关性分层、分段或按工点进行数理统计分析；
- h) 建筑场地的地震动峰值加速度为 $0.1g$ 及以上地区应判定场地和地基的地震效应；
- i) 含有沼气的地基应判定沼气逸出对地基稳定性和变形的影响。

8.8.4 软土地基的场地评价，应符合下列规定：

- a) 应按土的先期固结压力与上覆有效土自重压力之比，判定土的历史固结程度；
- b) 邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时，或软土围岩和地基受力范围内有起伏、倾斜的基岩、硬土层或存在较厚的透镜体时，应分析软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度，分析软土发生变形、不均匀变形的可能性，并提出工程处理措施建议；
- c) 软土地基主要受力层中有薄的砂层或软土与砂土互层时，应根据其固结排水条件，判定其对地基变形的影响；
- d) 应根据软土的成层、分布及物理力学性质对影响或危及城市轨道交通工程安全的不均匀沉降、滑动、变形作出评价，提出加固处理措施的建议；
- e) 判定地下水位的变化幅度和承压水头等水文地质条件对软土地基和隧道围岩稳定性和变形的影响；
- f) 对软土地层基坑和隧道的开挖、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；
- g) 根据建(构)筑物对沉降的限制要求，可采用多种方法综合分析评价软土地基的承载力，一般建筑物可利用静力触探及其他原位测试成果，结合地区经验确定。或采用工程地质类比法确定，对重要建筑物和缺乏经验的地区，宜采用载荷试验方法确定；
- h) 桩基评价应考虑软土继续固结所产生的负摩擦力。当桩基邻近有堆载时，还应分析桩的侧向位移或倾斜；

- i) 抗震设防烈度大于或等于 7 度的厚层软土,应判别软土震陷的可能性;
 - j) 对含有沼气等有害气体的软土地基、围岩, 应判定有害气体逸出对地基和围岩稳定性、变形及施工的影响;
 - k) 对软土场地因施工、取土、运输等原因产生的环境地质问题应作出评价, 并提出相应措施。
- 8.8.5 软土的岩土工程评价应符合下列规定。
- a) 软土的岩土工程评价应对土的物理力学性质指标统计, 统计应遵循土的一般统计方法, 并剔除土中夹层和含有结核、砂砾、贝壳等包含物部位的指标, 强度指标由室内试验、原位测试并结合当地经验确定, 厚层状软土根据指标的变化分层统计;
 - b) 软土应分析评价其触变、流变性质、结构性对工程的影响;
 - c) 软土岸坡应分析产生侧向变形或滑移的可能性;
 - d) 灵敏度较高的软土岸坡应评价打桩震动和挤土作用对岸坡稳定的影响;
 - e) 当软土下卧的基岩面或硬土层面倾斜时, 应分析评价软土沿硬层面产生滑移、不均匀变形以及打桩偏位的可能性;
 - f) 软土应评价其在固结过程中变形对桩基产生负摩阻力的可能性;
 - g) 在软土中进行开挖、降水、回填、地基加固时,应考虑施工对软土应力状态强度和压缩性的影响;
 - h) 提出软土地基处理的建议。

9 盐渍土

9.1 一般规定

- 9.1.1 当轨道交通线路通过场地的地表呈现白色或灰白色盐结皮、盐霜、盐结壳或蓬松粉土, 地表以下 1.0 m 深度内的土层易溶盐平均含量大于 0.3%, 可判定为盐渍土地区或场地, 应开展盐渍土地区工程勘察。
- 9.1.2 盐渍土可根据含盐成分类别及其含量, 划分为氯盐渍土、亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土、硫酸盐渍土、碱性盐渍土, 含盐成分分类应符合表 4 的规定。各类盐渍土的盐渍化程度可根据平均含盐量大小划分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土、超盐渍土, 盐渍化程度分级应符合表 5 的规定。

表 4 含盐成分分类

盐渍土分类	$D_1 = \frac{c(Cl^-)}{2c(SO_4^{2-})}$	$D_2 = \frac{2c(CO_3^{2-})+c(HCO_3^-)}{c(Cl^-)+2c(SO_4^{2-})}$
氯盐渍土	$D_1 > 2.0$	-
亚氯盐渍土	$1.0 < D_1 \leq 2.0$	-
亚硫酸盐渍土	$0.3 \leq D_1 \leq 1.0$	-
硫酸盐渍土	$D_1 < 0.3$	-
碱性盐渍土	-	$D_2 > 0.3$

注：表中 c (Cl) 代表 Cl 在 100g 土中的毫摩尔数，单位为 mmol/100g，其它离子相同。

表 5 盐渍化程度分级

盐渍土的 盐渍化程度分级	土层平均含盐量 D_{av} (%)		
	氯盐渍土及 亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土
弱盐渍土	$0.3 < D_{av} \leq 1.0$	-	-
中盐渍土	$1.0 < D_{av} \leq 5.0$	$0.3 < D_a \leq 2.0$	$0.3 < D_a \leq 1.0$
强盐渍土	$5.0 < D_{av} \leq 8.0$	$2.0 < D_{av} \leq 5.0$	$1.0 < D_{av} \leq 2.0$
超盐渍土	$D_{av} > 8.0$	$D_{av} > 5.0$	$D_{av} > 2.0$

9.1.3 场地土的含水率宜选择在潮湿季节测定，含盐量宜在干旱季节测定，并按盐的化学成分和含盐量进行盐渍土分类分级评价。

9.2 可行性研究勘察

9.2.1 盐渍土可行性研究勘察阶段应针对轨道交通工程线路方案开展勘察工作，对盐渍土地场的稳定性和适宜性作出评价，为线路方案和建设方案比选提供依据。

9.2.2 盐渍土可行性研究阶段勘察应进行下列工作：

- 调查搜集沿线有关地表水地下水分布，盐渍土季节变化情况，以往工程建设和治理经验，以及既有建（构）筑物损坏情况等；
- 现场踏勘应对遥感图像解译成果进行重点核对和验证；
- 根据野外地调和资料分析，明确地面盐霜、盐壳的分布范围、厚度、坚硬程度，初步判断盐渍土成因、类型、盐渍化程度及其季节变化情况；
- 提供可行性研究所需的盐渍土物理力学指标及其他技术参数。

9.2.3 可行性研究勘察应以搜集、利用工程沿线既有资料、遥感解译和工程地质调查测绘为主，辅以适当的物探、勘探与取样、原位测试和室内试验工作。

9.2.4 可行性研究阶段的盐渍土勘察应符合下列规定：

- 勘探孔间距不宜大于 200m，每个站点不少于 1 个勘探孔，取样点数不少于总勘探孔的 1/3；
- 勘探孔深度应控制在地下水位以下能取出水样，地下水位较深时，探坑深度宜不小于 2m，能够满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择的需要；
- 原位测试和室内试验的项目和数量应根据线路方案、沿线工程地质和水文地质条件确定。

9.2.5 可行性研究阶段盐渍土勘察资料除满足 GB50307 的一般要求外，还应包括下列内容：

- 阐明地面盐霜、盐壳的分布范围、厚度、坚硬程度，盐渍土成因、类型及盐渍化程度；
- 评价盐渍土对线路方案的影响，提出方案比选意见；评价控制线路方案盐渍土地段的工程地质条件，对下阶段勘察工作重点提出建议；
- 全线工程地质图应填绘盐渍土的分布范围及盐渍化程度，比例尺 1:1000~1:2000。

9.3 初步勘察

9.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构形式和施工方法等工作，提出盐渍土工程风险防控的初步建议，为初步设计提供地质依据。

9.3.2 初步勘察阶段盐渍土勘察，应进行下列工作：

- a) 详细调查沿线地形、地貌、植被、气象、水文、地质及盐渍土病害等情况，配合必要的勘探与取样、原位测试、室内试验多种手段，初步查明盐渍土成因、类型、盐分积聚特点、分布规律及其对建（构）筑物可能产生的不良效应；
- b) 对于控制线路方案或需作代表性设计的盐渍土地段，应初步查明地层结构、各类型盐渍土在水平、垂直方向上的分布；
- c) 初步查明沿线水文地质特征，包括地表水径流、排泄和积聚情况，地下水类型、埋藏条件、水质、毛细水强烈上升高度及地下水位季节性变化规律，地表水与地下水的补给关系等；滨海盐渍土地区，应调查咸水区的分布范围；
- d) 提出盐渍土地基设计参数、地基处理和防护的初步方案。

9.3.3 初步勘察阶段应采用工程地质调查与测绘、勘探与取样、原位测试和室内试验多种手段相结合的综合勘察方法。

9.3.4 初步勘察阶段盐渍土勘察应符合下列规定：

- a) 地下车站和区间工程、高架工程、路基涵洞工程、地面场站工程的勘探孔布置间距、勘探深度和勘探孔数量应在 GB50307 的基础上适当加密；
 - 1) 地下区间勘探孔宜沿区间线路布置，间距不宜大于 100m，在盐渍土地表特征有明显变化的区段应加密布设勘探孔；控制性勘探孔深度应满足贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不应小于 3 倍隧洞直径或进入结构底板以下强风化、全风化岩石地层不小于 15m 或进入中等风化、微风化岩石地层不小于 5m~8m 的要求；一般性勘探孔深度应满足贯穿盐渍土层、进入结构底板以下不应小于 2 倍隧洞直径或进入结构底板以下强风化、全风化岩石地层不小于 10m 或进入中等风化、微风化岩石地层不小于 5m 的要求；如盐渍土层巨厚无法揭穿，应满足结构底板深度要求；
 - 2) 地下车站勘探孔宜按结构轮廓线布置，勘探横剖面不宜少于 2 条，每个车站勘探孔数量不宜少于 4 个，间距不宜大于 100m；控制性勘探孔深度应贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不应小于 30m 或进入结构底板以下强风化、全风化岩石地层不小于 15m 或进入中等风化、微风化岩石地层不小于 5m~8m；一般性勘探孔应贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不应小于 20m 或进入结构底板以下强风化、全风化岩石地层不小于 10m 或进入中等风化、微风化岩石地层不小于 5m；如盐渍土层巨厚无法揭穿，应满足结构底板深度要求；
 - 3) 高架区间勘探孔间距不宜大于 80m，每个高架车站勘探孔数量不宜少于 3 个；一般性勘探孔应贯穿盐渍土层，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；控制性勘探孔深度应贯穿盐渍土层，满足墩台基础或桩基沉降计算和软弱下卧层验算的要求；

- 4) 路基工程勘探孔间距不宜大于 100m, 每个地貌地质单元应布置勘探孔, 支挡结构和涵洞工程应布置控制性勘探孔; 控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算和软弱下卧层验算的要求; 一般性勘探孔进入基底以下 5m~10m;
- b) 每个地下车站或区间、高架车站、路基涵洞工程的取样、原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 2/3;
- c) 在代表性纵、横断面上取土样作盐渍土试验, 具体试验项目可参照表 7 选定, 试验方法应符合 GB50123 的规定, 易溶盐含量包含 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 离子;
- d) 取代表性地表水和地下水水样进行水质分析, 取样数量每一场地不少于 3 件, 每件不少于 1000mL; 测试指标和测试方法按本文件中 9.7.4 的规定。

9.3.5 初步勘察阶段盐渍土地区勘察资料应包括下列内容:

- a) 工程地质勘察报告, 应阐明盐渍土地区的区域地质条件、盐渍土的成因、物理、化学、力学指标、分布规律和发展趋势, 进行盐渍土溶陷性、盐胀性、腐蚀性的初步评价; 对区间线路和代表性设计工点提出方案评价和比选意见, 提出控制盐渍化措施建议;
- b) 全线综合工程地质图: 填绘盐渍化范围界线和符号, 内陆盆地或冲积平原盐渍土地区的线路方案较多时, 应有说明各线路方案特征的代表性地质示意剖面图和各类盐渍土的范围界线, 比例尺为 1:500~1:1,000;
- c) 工程地质图, 以不良地质界线填绘盐渍化范围界线, 地层小柱状图标注地下水位、标注盐渍化程度的符号, 比例尺为水平 1:500~1:1,000;
- d) 工程地质纵断面图: 用花纹图例或文字说明盐渍土的厚度及其他特征。可与线路纵断面图合并或单独绘制, 比例尺为水平 1:2,000~1:5,000, 垂直 1:200~1:1,000;
- e) 工程地质横断面图: 标注最高地下水位线, 比例尺为 1:500~1:1,000;
- f) 沿线工程地质分段说明: 按地貌单元、盐渍土的类型、地下水等工程地质条件分段编写; 内容包括地形地貌、地层岩性、盐渍土类型、盐渍化程度、地表形态、地下水位深度及矿化度、补给排泄条件、毛细水强烈上升高度, 强、超盐渍土的厚度以及工程处理措施建议等。

9.4 详细勘察

9.4.1 详细勘察应在初步勘察基础上复核并详细查明盐渍土地区的含盐性质、含盐量、盐分分布规律、变化趋势等, 根据各单项工程建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等, 结合盐渍土类型和含盐特点, 进行岩土工程分析评价, 提出盐渍土综合治理方案。

9.4.2 盐渍土详细勘察应包括下列工作:

- a) 提供各类建(构)筑物稳定性、承载力、沉降、桩基础、墩台等分析所需的盐渍土物理、化学、力学等参数指标, 满足工程设计和施工需要;
- b) 对初步判定为溶陷性的土, 应根据现场土体类型、按照重要复杂场地测定盐渍土的溶陷系数。变形敏感和带水运行的建(构)筑物, 同一地质单元或建设场地, 溶陷系数测定应不少于 3 处;
- c) 对以硫酸盐含量为主、初步判定为盐胀性的土, 应根据现场土体类型、场地复杂程度、工程重要性等级, 采用现场单点法、多点法、室内试验等方法测定盐渍土的盐胀系数;
- d) 应开展盐渍土对各类建(构)筑物的腐蚀性评价, 可参考 GB/T 50942 有关规定, 取地表、

地下水样和地基土样做化学分析后进行评价。

9.4.3 详细勘察阶段应采用勘探和取样、原位测试、室内试验，辅以工程地质调查与测绘、工程物探的综合勘察方法。

9.4.4 详细勘察阶段盐渍土勘察应符合下列规定：

- a) 地下区间工程的勘探孔布置间距、勘探深度、数量应符合下列要求：
 - 1) 勘探孔宜沿区间线路布置，间距不宜大于 50m，在隧道结构外侧 3m~5m 的位置交叉布置，在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、渡线、施工竖井等应有勘探孔控制，并布设剖面；
 - 2) 控制性勘探孔深度应满足贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不小于 3 倍隧洞直径或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m 的要求；一般性勘探孔应满足贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不小于 2 倍隧洞直径或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 3m 的要求；控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；
- b) 地下车站的勘探孔布置间距、勘探深度、数量应符合下列要求：
 - 1) 勘探孔宜沿结构轮廓线布置，在结构角点及出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道等附属工程部位应有勘探孔控制；每个车站的代表性横剖面不应少于 3 条，纵剖面不应少于 2 条；勘探孔数量不宜少于 4 个，间距不宜大于 40m；
 - 2) 控制性勘探孔深度应贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不应小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 5m；一般性勘探孔应贯穿盐渍土层、进入地下水位以下、进入结构底板以下不应小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不小于 3m；控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的 1/3；
- c) 高架工程的勘探孔布置间距、勘探深度、数量应符合下列要求：
 - 1) 勘探孔应逐墩布设，地质条件复杂或跨度较大时可根据需要增加勘探孔，高架车站勘探孔应沿结构轮廓线和柱网布置，勘探孔间距宜为 15m~35m，当桩端持力层起伏较大、地层分布复杂时应加密勘探孔；每个高架车站勘探孔数量不宜少于 3 个；
 - 2) 控制性勘探孔深度应贯穿盐渍土层、满足墩台基础或桩基沉降计算和软弱下卧层验算的要求，墩台基础的一般性勘探孔应贯穿盐渍土层、达到基底以下 10m~15m 或墩台基础底面宽度的 2 倍~3 倍，或进入基底以下中等风化岩层 2m~3m，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 倍桩身直径且不小于 3m，大直径桩不小于 5m，对嵌岩桩应达到预计桩端平面以下 1 倍~3 倍桩身直径；控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；
- d) 路基涵洞工程的勘探孔布置间距、勘探深度、数量应符合下列要求：
 - 1) 勘探孔间距宜为 50m~100m，高路堤、深路堑、支挡结构和涵洞工程应布置控制性勘探孔，间距不宜大于 50m，高路堤、深路堑部位应布置代表性工程地质断面，每个断面上勘探孔不宜少于 3 个，支挡结构的勘探孔不宜少于 3 个，涵洞勘探孔不宜少于 2 个；
 - 2) 控制性勘探孔深度应揭穿盐渍土层、满足稳定性评价、变形计算和软弱下卧层验算的要求；一般路基的一般性勘探孔不应小于 5m，高路堤不应小于 8m，路堑的一般性勘探孔应能揭穿盐渍土层厚度穿过潜在滑动面深入稳定地层 2m~3m，满足支护设计要求，支挡结构的

一般性勘探孔应达到基底以下不小于 5m，涵洞的一般性勘探孔应不大于 15m；控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；

- e) 地下车站工程、高架工程、路基涵洞工程的取样及原位测试勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/2，地下区间工程不应少于勘探孔总数的 2/3；取原状土样的勘探孔数不应少于总勘探孔数的 1/3；勘探孔中应有一定数量的探井（槽）；
- f) 在初勘试验的基础上对增加的勘探孔进行试验，且采取土样和进行原位测试应满足盐渍土溶陷性、盐胀性、腐蚀性评价的要求；每个车站或区间工程每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 10 件（组），且每一地质单元的每一主要土层不应少于 6 件（组）。

9.4.5 详细勘察阶段盐渍土的勘察资料应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告，应阐明沿线各类盐渍土及地下水的分布特征，盐渍土的工程特性，包括颗粒组成、含水率、密度、强度、易溶盐含量和主要离子含量、酸碱度、电导率等指标，各类土层毛细水强烈上升高度，不良地质作用评价包括溶陷性、盐胀性和腐蚀性评价，提出工程措施、施工注意事项和防止恶化环境的措施意见；
- b) 根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善全线工程地质图，比例尺为 1:500~1:1,000；
- c) 根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善工程地质图；
- d) 工程地质纵断面图：可与线路详细纵断面图合并绘制。

9.5 施工勘察

9.5.1 施工勘察阶段应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工过程中出现的盐渍土工程地质问题等工作，提供地质资料，满足施工方案调整和风险控制的要求。

9.5.2 施工勘察阶段应通过观察和监测开挖面岩土成分、密实度、湿度、地下水情况等实际地质条件，核实修正前期勘察资料，提出针对性处理方案建议，包括以下内容：

- a) 复核前期工程地质勘察资料，根据盐渍土分布情况预测施工中可能遇到的工程地质问题，提出施工应注意的地质风险和工程措施建议；
- b) 复核场地周边环境条件变化、周边工程施工情况、场地地下水位变化、地表水渗漏情况等，掌握沿线盐渍土工点的不同特点及工程处理措施，预测施工和运行期间可能发生的工程安全隐患等问题，必要时提出场地监测建议；
- c) 复核各类工点的工程地质水文地质资料，发现地下水位及含盐量明显超过季节变迁的变化幅度、勘察资料的相关设计参数将影响工程设计质量时，应补充勘探测试，提出相应的工程处理措施；
- d) 场地水文条件复杂或施工抽排水对周边环境的影响较大时，应对场区及周边地下水动态进行观测。

9.5.3 施工勘察阶段地质工作宜采用下列方法：

- a) 地质巡视，编写施工日志和简报；
- b) 采用观察、素描、实测、摄影、录像等手段编录和测绘施工揭露的地质现象；
- c) 根据需要采用波速、点荷载强度、回弹值等测试方法鉴定岩体质量；
- d) 根据需要复核盐渍土各项物理化学力学性质参数。

9.5.3 场地出现以下情况时，宜补充施工专项勘察：

- a) 场地条件复杂、施工过程中出现地质异常，对工程结构及施工安全产生较大危害；

- b) 场地地下水位变化较大或施工过程中出现不明水源或周边地表水体出现异常,影响工程施工、可能危及工程安全;
- c) 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;
- d) 需进行施工专项勘察的其他情况。

9.5.3 施工专项勘察应符合下列规定:

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

9.5.5 施工勘察阶段盐渍土勘察资料应包括下列内容:

- a) 沿线盐渍土分布范围、含盐类型、盐渍化程度及地下水、地表水等情况;
- b) 施工揭示情况,补充勘察要求及完成的工作量;
- c) 场地地基土的强度参数、变形参数、地基承载力的建议值;
- d) 工程地质、水文地质条件及对环境变化影响分析和评价;
- e) 盐渍土地基的溶陷性、盐胀性、腐蚀性评价;
- f) 工程地质说明应包括施工中盐渍土工点发生的工程地质变更问题,变更设计的范围、性质、原因、处理经过,采用的工程措施和效果,施工风险控制机制等;
- g) 工程地质纵、横断面图可利用设计文件中的相应图件修正、补充完善;
- h) 各项施工地质原始资料。

9.6 工程地质调查和测绘

9.6.1 盐渍土地区的地质调绘前,应搜集下列资料:

- a) 区域地质、第四纪地质、水文地质、遥感图像等既有资料;
- b) 气温、地温、湿度、降雨量、蒸发量,土的最大冻结深度和冻结初终期、干燥度等主要气象资料;
- c) 当地耐盐碱指示性植物的生长情况;
- d) 当地工程建设、盐碱防护方面的经验。

9.6.2 盐渍土地区的地质调绘,应采用遥感图像解译和地面调绘相结合的方法,调查盐渍土的分布范围、岩性、含盐程度和含盐类型、地下水的埋藏条件和地表水的积聚、排泄条件、遥感图像解译应包括下列内容:

- a) 盐渍土地区的地形、地貌特征,道路及居民点等情况;
- b) 盐渍土的分布范围;
- c) 地表组成物质、植被分布及覆盖率情况;
- d) 地表水分布形态、地表的积水情况;
- e) 井、泉、地下水露头点等;
- f) 有条件的情况下可利用不同时相的遥感图像,判释盐渍土的发展趋势。

9.6.3 盐渍土地区的工程地质调绘，应包括下列内容：

- a) 盐渍土地区的地形地貌条件，分析各类盐渍土的分布与地貌形态之间的联系；
- b) 地面特征，包括石膏漠、龟裂土、蓬松土、盐霜、盐结皮、盐壳及盐盖在平面的分布范围、厚度和坚硬程度；
- c) 地表土层的成因类型、土质成分、结构特征，含盐类型及盐渍化程度、盐渍特点及盐分的季节迁移规律；雨季勘察时，还应在旱季补充调查地表的泛盐情况；
- d) 盐渍土地区植物的种类，特别是耐盐碱指示性植物的分布情况，包括生态特征、覆盖度、均匀度、分布规律、代表性植物及与盐渍土发育的关系；
- e) 地表渗漏或排灌不当等引起的次生盐渍化情况；
- f) 既有道路、房屋及其他建筑物的使用情况与被腐蚀程度、防护措施及效果。

9.6.4 盐渍土地区的水文地质调绘，应包括下列内容：

- a) 地表水和地下水的分布状况、补给、径流、排泄条件，地下水与地表水的补给关系；
- b) 不同地貌单元地下水的赋存条件，地表、地下水的化学成分及其与上部土层盐渍化的关系；
- c) 地下水动态变化规律调查，包括地下水位季节变化幅度和逐年变化趋势，冻结前地下水最高水位，常年地下水最高水位；必要时应建立地下水观测站、直接观测；
- d) 地下水的开发利用引起的生态问题；
- e) 采用排水疏干、降低地下水位措施时，应查明地下水的流向、流速或相关地层的渗透系数。

9.6.5 盐渍土地区地质调查和测绘的范围，应包括盐渍土地段及其附近地段。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 1:1,000~1:2,000；在初步勘察阶段、详细勘察阶段和施工勘察阶段选用 1:500~1:1,000；条件复杂时，比例尺可适当放大。

9.7 勘探与测试

9.7.1 盐渍土地区针对含盐性质、盐渍化程度评价的勘探，宜采用挖探、钻探、井探、槽探相结合的综合勘探方法，且满足下列要求：

- a) 需了解地基性状及地层结构的，宜采用钻探方法，根据勘察技术要求、地层类别、场地及环境条件，选择适宜的钻机、钻具和钻进方法；
 - 1) 浅部盐渍土层可采用小口径钻、小口径螺旋麻花钻和洛阳铲等方法；
 - 2) 对于需要鉴别土层天然湿度、含盐特征、颗粒组成和划分地层的钻孔，地下水位以上应采用干法钻探；
 - 3) 地下水位以上易坍塌的岩土层钻探宜采用套管护壁；
 - 4) 钻探回次进尺宜为 0.5m~0.8m，并应满足鉴别厚度小于 0.2m 的薄层的要求。
- b) 需了解浅表层地基土结构及易溶盐分布特性，满足取样要求的，可采用井探或槽探方法，根据岩土层稳定性、坍塌情况采取支护措施，相应的勘探深度不宜超过地下水位；
- c) 场地简单情况下，宜以挖探为主，配合使用洛阳铲、小口径麻花钻、静力触探等方法；
- d) 勘探、取样完成后，应及时完成勘探井、孔的填实封闭。

9.7.2 盐渍土地区的勘探深度应根据盐渍土的厚度、建（构）筑物荷载大小与重要性、地下水位等因素确定，以揭穿盐渍土层或至地下水位以下 2m~3m 为宜，且不应小于建（构）筑物地基压缩层计算深

度，当地下水位较深时，探坑深度宜不小于 2m。当盐渍土层厚度很大时，宜有一定量的勘探孔钻穿盐渍土层。

9.7.3 盐渍土样的采取，应符合下列规定：

- a) 取样应在干旱季节进行，取样地点应具代表性；
- b) 盐渍土分析的均质细粒土，扰动土试样的重量不应少于 500g；对于粗粒土，粒径小于 2mm 颗粒的重量不应少于 500g，粒径小于 5mm 颗粒的重量不应少于 1000g；非均质土不应少于 3000g；
- c) 测定盐渍土含盐量的土样应沿垂直剖面逐段连续采集，从地表开始向下分层取扰动样，取样间距和取样孔数量的具体要求如下：
 - 1) 土层深度小于 5m 时，初步勘察阶段取样间距为 0.5m，详细勘察阶段 1.0m，取样孔占勘探孔总数的 100%；
 - 2) 取样深度在 5m~10m 内的，初步勘察阶段取样间距为 1.0m，详细勘察阶段 2.0m，取样孔占勘探孔总数的 50%；
 - 3) 取样深度超过 10m 的，初步勘察阶段取样间距为 3.0~5.0m，取样孔占勘探孔总数的 20%，详细勘察阶段取样间距为 2.0~3.0m，取样孔占勘探孔总数的 20%。
- d) 黏性土和粉土的原状盐渍土样取样间距应从地表以下 0.3m 处开始，在 10m 深度内取样间距为 1.0m~2.0m，在 10m 深度以下为 2.0m~3.0m；初步勘察阶段取大值，详细勘察阶段取小值；
- e) 进行腐蚀性评价所采取的水试样和土试样的具体要求如下：
 - 1) 混凝土结构处于地下水位以上时，应取土试样作土的腐蚀性测试；
 - 2) 混凝土结构处于地下水或地表水中时，应取水试样作水的腐蚀性测试；
 - 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测试；
 - 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。
- f) 在地层分界处及地下水位附近、及易溶盐富集层处应加密取样；遇地下水时，应取地下水试样进行室内水质分析；
- g) 试坑中取样应在开挖当天完成，按规定的取样深度，在侧壁等量刮取或分段挖槽铲取；洛阳铲取样应分段按深度标记提取土样，单独堆放；同一深度的土样混合后用四分法取样。

9.7.4 盐渍土地区的测试应符合下列规定：

- a) 根据盐渍土的分布、场地情况和工程要求，结合工程设置采取扰动或原状土样，进行盐渍土的室内物理、化学、力学性质试验，具体试验项目应符合表 6 的要求；试验方法应符合 GB50123 的规定；
 - 1) 盐渍土物理性质试验应分别测定天然状态和洗盐后的物理性质指标；对于以中溶盐为主的盐渍土，也宜测定洗盐后的物理性质指标；
 - 2) 盐渍土的化学成分分析应包括：酸碱度 pH、易溶盐含量、中溶盐含量、总盐量；易溶盐中的 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 离子含量；中溶盐 CaSO_4 的含量；

表 6 盐渍土工程性质的试验项目

项目	天然含水率	天然密度	天然孔隙比	液限	塑限	液性指数	塑性指数	颗粒分析	渗透系数	压缩系数	毛细水上升高度	最大分子吸水量	酸碱度	黏土矿物分析	含盐量	强度		击实		原位测试	
																黏聚力	内摩擦角	最优含水率	最大干密度	静力触探	荷载试验
	ω %	ρ g/cm ³	e	ω_L %	ω_P %	I_L	I_P		k cm/s	α_{1-2} MPa ⁻¹	H_k cm		pH		DT %	c kPa	φ °	ω_{OPT} %	ρ_{dmax} g/cm ³	CPT	PLT
线路	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	±	±	±	+	+	+	+	+	+	±
站场	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	±	±	±	+	+	+	+	+	+	±
桥涵	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	+	+	+				±
路基	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	±	±	±	+	+	+	+	+	+	±
房屋建筑	+		+		+	+	+	+	+	±	+	±	±	±	+	+	+			+	±

b) 盐渍土地应采取地表水和地下水作水质分析，大范围盐渍土地地区的地下水取样间距不宜大于 2 km。水质分析项目包括酸碱度 pH、总矿化度、总碱度、蒸发残渣、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NH₄⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、OH⁻、游离 CO₂、侵蚀性 CO₂、CO₃²⁻、HCO₃⁻离子含量，测试方法应符合 GB50123 的规定；

c) 有关水和土腐蚀性的测试项目应包括：

- 1) 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括酸碱度 pH 值、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻、侵蚀性 CO₂、游离 CO₂、NH₄⁺、OH⁻、总矿化度；测试方法应符合 GB50123 的规定；
- 2) 土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括酸碱度 pH、总矿化度、易溶盐 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻、侵蚀性 CO₂、游离 CO₂、NH₄⁺、OH⁻；测试方法应符合 GB50123 的规定；
- 3) 土对钢结构和钢筋混凝土中的钢筋腐蚀性的测试项目除上述外，还包括氧化还原电位、视电阻率、极化电流密度和质量损失；测试方法可参考 DB21/T 3355 的规定；

d) 工程需要时宜设置一定数量的勘探孔，通过原位测试或取样室内试验测定毛细水强烈上升高度。可根据场地条件采用试坑直接观测法、曝晒前后含水率曲线交会法、或塑限与含水率曲线交会法；黏性土宜采用塑限含水率判定。无测试条件时，毛细水强烈上升高度经验值可按表 7 取值。

注：含盐量包括易溶盐含量和八大离子分析，有必要的情况下补充中溶盐分析。+为必做项目，±为选做项目。

表 7 毛细水强烈上升高度经验值

土的类别	毛细水强烈上升高度（m）
含砂黏土	3.00~4.00
含黏砂土	1.90~2.50
粉砂	1.40~1.90
细砂	0.90~1.20

中砂	0.50~0.80
粗砂	0.20~0.40

- 9.7.5 盐渍土地区的观测，应包括下列内容：
- a) 地下水位的动态变化、毛细水强烈上升高度、盐渍土的含盐量及含水率变化情况；
 - b) 场地和既有路基的稳定情况，次生盐渍化发育情况，盐渍土对各类建筑物的腐蚀情况；
 - c) 缺少气象资料的地区宜进行简易的气象观测。
- 9.7.6 盐渍土地区如地下水位变化幅度较大或变化趋势对构筑物不利的地段，应从初步勘察阶段开展地下水动态长期观测，并应符合下列规定：
- a) 观测井、泉、钻孔的地下水位，进行水质分析；
 - b) 观测时间宜选择在地下水位上升及盐渍土中水、盐含量变化最明显的季节进行；
 - c) 每个测区的观测孔应不少于 3 个，需观测地下水与地表水的联系时，应布置垂直等高线的观测断面，并同时观测地表水的水位变化。

9.8 场地评价

- 9.8.1 盐渍土地区的场地分析与评价应符合 GB50021 的相关规定，在工程地质调绘、勘探、测试及收集已有资料的基础上，结合城市轨道交通工程的特点和要求进行，应充分考虑当地气候、汇水条件、集盐环境以及建（构）筑物基础埋深与变形要求等条件和地区工程经验。
- 9.8.2 盐渍土地区场地分析除满足一般要求外，尚应补充总盐量、易溶盐含盐性质、易溶盐含盐量、中溶盐含盐量、盐渍化程度、化学侵蚀性等分析内容。
- 9.8.3 盐渍土应按照盐分成分和盐渍化程度进行分类，应符合以下规定：
- a) 易溶盐含盐成分的分类应符合表 8 的规定；
 - b) 盐渍化程度分类应符合表 9 的规定。
- 9.8.4 盐渍土场地的溶陷性评价，应符合以下规定：
- a) 当盐渍土状态是饱和的碎石土、砂土以及粉土，或软塑～流塑状的黏性土，且工程使用环境条件不变时，可不考虑溶陷性对建（构）筑物的影响；
 - b) 当无条件进行现场浸水载荷试验时，可通过测定地基土粒度成分、易溶盐含量、地基土渗透系数等定性分析地基土的溶陷性：
 - 1) 洗盐后地层中大于 2mm 颗粒粒径质量大于地基土质量的 70%，且地层中不存在层状或窝状的易溶盐分布时，可不考虑溶陷性对建（构）筑物的影响；
 - 2) 地基持力层的渗透系数小于 $1.0\times10^{-5}\text{cm/s}$ 时，在保持地层原状结构的形态下，可不考虑盐渍土的溶陷性；

- c) 当盐渍土初步判定为溶陷性土时,应根据现场土体类型、场地复杂程度和工程重要性等级,采用现场浸水载荷试验法、室内压缩试验法、或液体排开试验法测定盐渍土的溶陷系数,试验方法应符合 GB/T50942 的规定。
- d) 当溶陷系数 δ_{rx} 大于等于 0.01 时,应判定为溶陷性盐渍土,其溶陷程度分类应符合表 8 的规定:

表 8 盐渍土的溶陷性分类

指标	轻微溶陷性	中等溶陷性	强溶陷性
溶陷系数 δ_{rx}	$0.01 < \delta_{rx} \leq 0.03$	$0.03 < \delta_{rx} \leq 0.05$	$\delta_{rx} > 0.05$

- e) 盐渍土的总溶陷量 s_{rx} 可以通过现场浸水载荷试验法测得,如可取得原状土样,也可按下式计算:

$$s_{rx} = \sum_{i=1}^n \delta_{rxi} h_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

式中:

- s_{rx} ——盐渍土地基的总溶陷量计算值 (mm);
- δ_{rxi} ——室内试验测定的第 i 层原状样土的溶陷系数;
- h_i ——第 i 层土的厚度 (mm);
- n ——基础底面以下可能产生溶陷的土层层数。

- f) 盐渍土地基的溶陷等级分为三级,溶陷等级的确定应符合表 9 的规定。

表 9 盐渍土地基的溶陷性等级划分

溶陷等级	总溶陷量 s_{rx} (mm)
I 级 弱溶陷	$70 < s_{rx} \leq 150$
II 级 中溶陷	$150 < s_{rx} \leq 400$
III 级 强溶陷	$s_{rx} > 400$

9.8.5 盐渍土地场的盐胀性评价,应符合以下规定:

- a) 当盐渍土中硫酸钠含量低于 1%时,且不存在富集层时,工程使用环境条件不变时,可不考虑盐胀性对建(构)筑物的影响;
- b) 当盐渍土初步判定为盐胀性土时,应根据现场土体类型、场地复杂程度、建筑物类别和工程重要性等级,采用现场单点法或多点法盐胀试验、室内盐胀性试验测定盐渍土的盐胀系数,试验方法应符合 GB/T50942 的规定;
- c) 盐渍土的盐胀性可结合硫酸钠含量和盐胀系数 δ_{yz} 的大小进行分类,应符合表 10 的规定;

表 10 盐渍土的盐胀性分类

指标盐胀性	非盐胀性	弱盐胀性	中盐胀性	强盐胀性
-------	------	------	------	------

盐胀系数 δ_{yz}	$\delta_{yz} \leq 0.01$	$0.01 < \delta_{yz} \leq 0.02$	$0.02 < \delta_{yz} \leq 0.04$	$\delta_{yz} > 0.04$
硫酸钠含量 $C_{SO4}(\%)$	$C_{SO4} \leq 0.5$	$0.5 < C_{SO4} \leq 1.2$	$1.2 < C_{SO4} \leq 2.0$	$C_{SO4} > 2.0$

注：当盐胀系数和硫酸钠含量两个指标判断的盐胀性不一致时，应取更不利指标进行判定。

d) 盐渍土地基的总盐胀量 s_{yz} 可根据现场单点法或多点法试验测定，如可取得原状土样，也可按下式计算：

$$s_{yz} = \sum_{i=1}^n \delta_{yzi} h_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

式中： s_{yz} ——盐渍土地基的总盐胀量计算值（mm）； δ_{yzi} ——室内试验测定的第*i*层原状土样的盐胀系数；*n*——基础底面以下可能产生盐胀的土层层数；

e) 盐渍土地基的盐胀等级分为三级，盐胀等级的确定应符合表 11 的规定。

表 11 盐渍土地基的盐胀等级

盐胀等级	总盐胀量 $s_{yz}(\text{mm})$
I 级 弱盐胀	$30 < s_{yz} \leq 70$
II 级 中盐胀	$70 < s_{yz} \leq 150$
III 级 强盐胀	$s_{yz} > 150$

9.8.6 盐渍土地区建（构）筑物的腐蚀性评价应结合环境类型、水和土中的盐分类型及含量进行综合评价，应符合以下规定：

- a) 腐蚀性等级可分为强、中、弱和微腐蚀性四个等级；
- b) 当土层为弱盐渍土、土体含水量小于 3%且工程使用环境条件不变时，可初步认定工程场地及其附近的土为弱腐蚀性，可不进行腐蚀性评价；
- c) 对钢结构、混凝土结构中的钢筋及混凝土结构腐蚀的评价应符合现行国家标准 GB50021 的规定。
- d) 对砌体结构、水泥和石灰的腐蚀性评价应符合现行国家标准 GB/T 50942 的规定。

9.8.7 盐渍土地基的承载力宜采用载荷试验确定，当采用其他原位测试方法时，应与载荷试验结果进行对比。

9.8.8 盐渍土发育趋势的评价，应根据气候和地表水体的变迁、地下水位升降、植物演变、地表盐分的迁移等情况综合分析。

9.8.9 盐渍土场地工程地质勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点、地质条件和盐渍化状态等具体情况进行编写，包括文字部分、表格、图件，重要的支持性文件可作为附件。除按 GB50307 的规定之外，还应满足以下要求：

- a) 从大地构造、新构造活动概述盐渍土形成的地形、地貌条件，从气象、水文、地质角度论述盐渍土的形成与演化条件，以及与人为活动的联系；
- b) 阐述沿线盐渍土的分布范围，地面盐渍化特征，耐盐指示性植物的种类、群落分布，盐渍土含盐类型和盐渍化程度；
- c) 阐明沿线地下水分布特征、矿化度、补给排泄条件，各类土层毛细水强烈上升高度等；
- d) 阐明盐渍土的工程特性，包括主要物理、化学、力学指标综合统计表及参数建议值表；
- e) 阐明盐渍土的溶陷性、盐胀性、腐蚀性分析评价；
- f) 指出盐渍化的发展趋势，提出有关盐渍化防治的工程措施建议、注意事项等。
- g) 盐渍土工程地质平面图比例尺为 1:500~1:2,000；工程地质纵断面图比例尺，水平为 1:500~1:2,000，垂直为 1:200~1:1,000；
- h) 岩土工程勘察报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位、标点、均应符合国家有关标准的规定。

10 混合土

10.1 一般规定

10.1.1 当城市轨道交通工程线路或场地遇到细粒土和粗粒土混杂切缺乏中间粒径的土时，应开展混合土工程勘察。

10.1.2 混合土地区遇到下列情况时，应开展专项勘察：

- a) 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，应按粗粒混合土进行勘察；
- b) 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，应按细粒混合土进行勘察。

10.2 可行性研究勘察

10.2.1 可行性研究勘察应调查城市轨道交通工程线路场地的岩土工程条件、周边环境条件，研究控制

线路方案的主要工程地质问题和重要工程周边环境，为线路、线站、线路敷设形式、施工方法等方案的设计与比选、技术经济论证、工程周边环境保护及编制可行性研究报告提供地质资料。

10.2.2 可行性研究勘察应包括下列内容：

- a) 收集工程所在地的气象、水文、区域地质等资料；
- b) 混合土地段应进行现场踏勘，必要时进行简易的勘探、测试；
- c) 了解控制线路方案和重点地段的混合土成因类型、性质、分布范围及其对工程产生的危害。

10.2.3 可行性研究勘察应针对城市轨道交通工程线路方案开展勘察工作，以资料收集和工程地质调绘为主，并宜辅以少量钻探、槽探。

10.2.4 可行性研究勘察应符合下列要求：

- a) 控制线路方案的混合土地段应布置勘探孔；
- b) 勘探孔深度应满足线路方案设计、工法选择等需要，勘探孔深度应进入结构底板以下不少于 30m，在结构埋深范围内遇中风化基岩宜进入结构底板以下不少于 8m。

10.2.5 可行性研究勘察阶段混合土地区的工程地质综合资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线混合土的分布范围、厚度、混合土的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，混合土的稳定性评价和工程处理措施意见，初步评价混合土对施工的影响；
- b) 全线工程地质图应根据全线确定工程地质资料补充、修改、完善混合土的边界，比例为 1:2000；
- c) 工程地质纵断面图应根据全线的工程地质资料补充、修改、完善，横向比例 1:2000，纵向比例 1:1000。

10.3 初步勘察

10.3.1 初步勘察应针对线路形式、工程的结构类型及施工方法开展勘察工作，初步查明混合土的分布范围、工程特性等特征，评价混合土对线路、工程结构及施工方案的影响，预测可能出现的工程问题，提出初步设计所需的岩土参数，提出针对混合土治理的初步建议。

10.3.2 初步勘察应包括下列内容：

- a) 初步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；
- b) 初步查明混合土的组成、均匀性及其水平方向和垂直方向上的变化规律；

- c) 初步查明地下水的情况;
- d) 初步查明混合土是否具有湿陷性、膨胀性;
- e) 初步查明混合土场地是否存在崩塌、滑坡、潜蚀和洞穴等不良地质作用。

10.3.3 混合土初勘察宜采用工程地质调绘、综合物探并结合钻探、取样、原位测试、室内试验等多种手段进行综合查明工程地质条件, 尚应符合下列要求:

- a) 粗粒混合土宜采用动力触探, 细粒为主的混合土宜采用静力触探, 且动力触探、静力触探试验资料均应有一定数量的探井或钻孔予以验证;
- b) 初步勘察应布置一定数量的探井、探坑, 并采取大体积土试样进行颗粒分析和物理力学性质试验;
- c) 混合土的承载力宜采用现场载荷试验确定。

10.3.4 混合土初步勘察应符合下列规定:

- a) 每个地貌、地质单元均应布置勘探孔, 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孔, 勘探孔平面布置尚应符合下列规定:
 - 1) 地下车站勘探孔宜按结构轮廓线布置, 地下车站勘探孔数量不宜少于 4 个, 且勘探孔间距不宜大于 100m;
 - 2) 地下区间的勘探孔宜按 100m~200m;
 - 3) 高架工程勘探孔间距宜为 80m~150m, 车站勘探孔数量不少于 3 个。
- b) 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定:
 - 1) 地下车站及区间勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定, 控制性孔勘探孔进入结构底板以下不应小于 30m, 在结构埋深范围内遇强风化、全风化岩石地层时进入结构底板以下不少于 15m; 一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于 20m, 在结构埋深范围内遇强风化、全风化岩石地层时进入结构底板以下不少于 10m。
 - 2) 高架工程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; 覆盖层较薄, 下伏基岩风化层不厚时, 勘探孔应进入微风化地层 3~8m。

10.3.5 混合土初步勘察阶段的工程地质综合资料, 应包括下列内容:

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线混合土的分布范围、厚度、混合土的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，混合土的稳定性评价和工程处理措施意见，评价填土对环境的影响及施工应注意的问题；
- b) 全线工程地质图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改、完善混合土的边界，比例为 1:1000~1:2000；
- c) 工程地质纵断面图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改、完善，横向比例 1:1000~1:2000，纵向比例 1:500~1:1000。

10.4 详细勘察

10.4.1 详细勘察应充分利用初勘资料，查明混合土的分布范围、工程特性等特征，分析评价混合土的物理力学指标，预测可能出现的岩土工程问题，提供施工图设计、施工所需的岩土参数，对地基基础的设计和混合土处理提出建议。

10.4.2 混合土的详细勘察应包括下列内容：

- a) 详细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；
- b) 详细查明地下水的情况；
- c) 详细查明混合土是否具有湿陷性、膨胀性；
- d) 详细查明混合土场地是否存在崩塌、滑坡、潜蚀和洞穴等不良地质作用；
- e) 详细查明混合土的组成、均匀性及其水平方向和垂直方向上的变化规律。

10.4.3 混合土的详细勘察应符合下列规定：

- a) 每个地貌、地质单元均应布置勘探孔，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孔，勘探孔平面布置尚应符合下列规定：
 - 1) 地下车站勘探孔宜按结构轮廓线布置，地下车站勘探孔数量不宜少于 4 个，且勘探孔间距宜按 20m~40m；
 - 2) 地下区间的勘探孔宜按 30m~50m；
 - 3) 高架车站勘探孔应沿结构轮廓和柱网布置，勘探孔间距宜为 15m~35m，当桩端持力层起伏较大时、地层分布复杂时，应加密勘探孔；高架区间勘探孔宜逐墩布置。

b) 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定：

- 1) 对于车站工程，控制性孔勘探孔进入结构底板以下不应小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应少于 5m，一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应少于 3m。
- 2) 对于区间工程，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。
- 3) 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下 10m~15m 或墩台基础底面宽度的 2 倍~3 倍；在基岩地段，当风化层不厚或为硬质岩时，应进入基底以下中等风化岩石地层 2m~3m；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；桩基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，对于大直径桩，不应小于 5m。

10.4.4 混合土详细勘察勘探孔平面布置应符合下列规定：

- a) 每个地貌、地质单元均应布置勘探孔，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孔；
- b) 地下车站勘探孔宜按结构轮廓线布置，地下车站勘探孔数量不宜少于 4 个，且勘探孔间距宜按 20m~40m；
- c) 地下区间的勘探孔宜按 30m~50m；
- d) 高架车站勘探孔应沿结构轮廓和柱网布置，勘探孔间距宜为 15m~35m，当桩端持力层起伏较大时、地层分布复杂时，应加密勘探孔；高架区间勘探孔宜逐墩布置。

10.4.5 混合土详细勘察勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定：

- a) 对于车站工程，控制性孔勘探孔进入结构底板以下不应小于 25m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应少于 5m，一般性勘探孔进入结构底板以下不应小于 15m 或进入结构底板以下中等风化或微风化岩石不应少于 3m。
- b) 对于区间工程，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。

- c) 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下 10m~15m 或墩台基础底面宽度的 2 倍~3 倍；在基岩地段，当风化层不厚或为硬质岩时，应进入基底以下中等风化岩石地层 2m~3m；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；桩基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，对于大直径桩，不应小于 5m。

10.4.6 混合土详细勘察的工程地质综合资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明沿线混合土的分布范围、厚度、各类混合土的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，混合土的稳定性评价和工程处理措施意见，评价混合土对环境的影响及施工应注意的问题；
- b) 全线工程地质图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改、完善混合土的边界，比例为 1:1000；
- c) 工程地质图应根据各类工点的工程地质资料补充、修改、完善，比例为 1:1000；
- d) 工程地质纵断面图：根据各类工点的工程地质资料补充、修改、完善，横向比例 1:1000，纵向比例 1:100~1:500。

10.5 施工勘察

10.5.1 对于工程施工险情或事故处理需要进行施工勘察的，应采用钻探、原位测试及物探等多种勘察方法进行相互验证，并进行不同状态及边界条件下的分析评价。

10.5.2 施工勘察阶段混合土工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 提供工程地质说明，内容包括施工阶段混合土发生的工程地质变更问题，变更设计的范围、性质、原因分析，以及施工中的经验教训等；
- b) 提供工程地质纵、横断面图，可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

10.6 工程地质调查与测绘

10.6.1 地质条件较为复杂的场地应进行工程地质测绘，对地质条件简单的场地，可用调查代替工程地质测绘。

10.6.2 工程地质测绘和调查宜在可行性研究或初步勘察阶段进行。可行性研究阶段收集资料时，宜包括航空相片、卫星相片的解译结果。在详细勘察阶段可对专门地质问题作补充调查。

10.6.3 工程地质测绘和调查的范围，应包括场地及其附近地段。测绘的比例尺，可行性研究勘察可选用 1:2000~1:5000；初步勘察阶段可选用 1:1000~1:2000；详细勘察阶段可选用 1:500~1:1000；条件复杂时，比例尺可适当放大。

10.7 勘探与测试

10.7.1 混合土地段应根据混合土的环境条件、混合土的类型和勘察阶段，选用不同的勘察方法，并符合下列规定：

- a) 粗粒混合土地段宜采用动力触探结合钻探的方法；
- b) 细粒混合土地段宜采用静力触探结合钻探的方法；
- c) 粗粒混细粒地段的混合土地段宜采用钻探结合挖探、物探，并辅以室内试验的综合勘探方法；
- d) 重要建筑物混合土地基的承载力，宜采用现场载荷试验确定，承压板直径和现场直剪试验的剪切面直径均应大于试验土层的最大粒径的 5 倍，载荷试验的承压板面积不应小于 0.5m^2 ，直剪试验的剪切面面积不宜小于 0.25m^2 。

10.7.2 混合土地段的勘探、测试及取样，应符合下列规定：

- a) 建筑、构筑物地基为混合土地段时，应根据混合土的类型、范围和建筑物类型、位置布置勘探孔，对于混合土起伏较大地段勘探孔间距应适当加密；
- b) 进行原位测试和取样的勘探孔应占勘探孔总数的 $2/3$ ，且每个场地不少于 2 个孔；
- c) 对于重要工程应进行现场载荷试验；
- d) 混合土勘察的勘探孔取样或原位测试间距适当加密，宜为 $1.0\sim 1.5\text{m}$ ；
- e) 混合土的取样应结合现场实际开展，细颗粒混合土可采取原状样；粗颗粒土可采取扰动样；大颗粒可在现场探井或探槽进行取样。如不能采取原状土试样时，则应多采取扰动试样，应注意土试样的代表性。

10.8 场地评价

10.8.1 混合土地段应在充分调查、现场勘察、现场测试、土工试验的基础上，结合工程特点进行分析

和评价。

10.8.2 混合土的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

- a) 混合土的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；
- b) 对混合土地基，应充分考虑其与下伏岩土接触面的性质，层面的倾向、倾角，混合土体中和下伏岩土中存在的软弱面的倾向、倾角，分析评价地基的整体稳定性。对于含巨大漂石的混合土，尤其是粒间充填不密实或为软弱土所充填时，要考虑漂石的滚动或滑动，影响地基稳定性；
- c) 混合土边坡的容许坡度值可根据现场调查和当地经验确定，对于重要工程应进行专题试验研究；
- d) 评价混合土对基坑和隧道开挖、桩基施工的影响。

11 残积土

11.1 一般规定

11.1.1 当城市轨道交通工程线路遇到受地壳浅表物理、化学和生物作用，使岩石不同程度地崩解、分解，成分、硬度、颜色等发生不同程度的变化的岩石和残留在原地形成的残积土时应开展残积土勘察。

11.1.2 残积黏性土的状态应根据液性指数 I_L 划分为坚硬、硬塑、可塑和软塑和流塑，并符合表 12 的规定。

表 12 残积黏性土状态分类

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

注：液限和塑限采用液塑限联合测定法，液限为 10 mm 液限。

11.2 可行性研究勘察

11.2.1 可行性研究勘察应调查线路场地的残积土条件、工程周边环境条件，研究残积土膨胀性、遇水软化崩解及伴生球状风化体、岩脉、土洞等工程特性，为编制可行性研究报告提供地质资料。

11.2.2 可行性研究勘察应包括下列内容：

- a) 搜集地形、地貌、气象、遥感、区域地质、地震、第四纪地质、工程地质、水文地质等资料，以及当地残积土相关工程建设经验；
- b) 研究控制线路方案的残积土类型、性质、母岩地质年代和名称、分布范围及其对工程的危害；

- c) 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、原位测试和室内试验工作。

11.2.3 可行性研究勘察应以资料收集和工程地质调绘为主,必要时辅以钻探、原位测试和室内试验工作。

11.2.4 残积土可行性研究勘察应符合下列规定:

- a) 勘探孔间距宜为 500~1000m,每个车站及车辆段、停车场应有勘探孔,每个工程地质单元应有勘探孔,遇球状风化体或地质条件复杂地段应加密勘探孔;
- b) 勘探孔深度应穿透球状风化体,且满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要;
- c) 取样、原位测试、室内试验的项目和数量,应根据线路方案、残积土的性质、水文地质条件确定;
- d) 各残积土的取样数量不应少于 10 组,且各工程地质单元主要残积土每层取样数量不应少于 6 组;
- e) 当存在比选线路时,各比选线均应布置勘探与测试工作。

11.2.5 残积土可行性研究勘察资料应符合下列规定

- a) 勘察报告应阐明残积土类型、性质、分布范围、工程特性,对线路方案作出评价;
- b) 工程地质平面图应标注搜集及实际完成的勘探孔位置、不同类岩母岩分布界线,比例尺宜为 1:2000~1:5000;
- c) 工程地质剖面图应结合推荐方案及主要比较方案分别绘制,并在工程地质特征栏初步说明残积土的类型和分布特征,水平向比例尺宜为 1:2000~1:5000,竖向比例尺宜为 1:200~1:500;
- d) 经过整理的搜集利用资料成果图表,以及必要的勘探、测试、试验、岩芯照片等资料。

11.3 初步勘察

11.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上,针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构形式、施工方法等工作,初步查明残积土的工程地质和水文地质条件,分析评价残积土地基基础形式和施工方法的适宜性,预测残积土及膨胀、遇水软化崩解以及残积土伴生的球状风化体、岩脉、土洞可能引发的岩土工程问题,提供初步设计所需的岩土参数,提出残积土及伴生球状风化体、岩脉、土洞的治理措施初步建议。

11.3.2 残积土初步勘察应包括下列内容:

- a) 初步查明沿线残积土的类型、分布范围、厚度、母岩的地质年代和名称;
- b) 初步查明残积土的工程性质,分析其对工程的危害程度;
- c) 初步查明残积土的物理和力学参数;
- d) 初步查明地表水和地下水条件,分析地表水和地下水对残积土的影响;
- e) 结合工程周边环境,分析残积土可能出现的工程问题,提出预防措施建议。

11.3.3 初步勘察应采用工程地质调绘、勘探与取样、原位测试、室内试验等多种手段相结合的综合勘察方法。岩溶、球状风化体、断裂、采空区等复杂地质条件区域,宜开展地球物理勘探工作。

11.3.4 残积土初步勘察应符合下列规定:

- a) 车站勘察点不宜少于 4 个,且勘探孔间距不宜大于 100m,区间勘探孔间距宜为 100m~200m,

车辆基地的勘探孔布置应符合 GB 50021 的有关规定；

- b) 当场地存在球状风化体、岩脉、土洞、断裂、采空区等复杂地质条件时，勘探孔间距应适当缩小；
- c) 勘探孔深度应根据结构底板埋深、工法比选、地下水控制等要求等确定，一般应进入结构底板、基础持力层或预计桩端平面以下足够深度，遇岩溶、球状风化体、岩脉和断裂带时应加深，控制性勘探孔深度还应满足沉降估算、软弱下卧层验算、地下水控制等要求；
- d) 应根据残积土分层鉴别、确定工程性质等需要，开展标准贯入试验、静力触探试验等原位测试；
- e) 在开展常规室内试验基础上，还应根据残积土的性质，开展膨胀试验、崩解试验、湿化试验等特殊试验。

11.3.5 初步勘察阶段残积土勘察资料编制，应符合下列规定：

- a) 勘察报告应阐明残积土的成因、类型、主要物理力学指标、分布规律及其对线路的影响，提出线路方案评价和比选意见；当勘察范围包括多个工程地质单元时，应分工程地质单元阐述和评价；
- b) 工程地质平面图应标注勘探孔和勘探线，填绘不同残积土平面界线，比例尺宜为 1:1000~1:2000；
- c) 工程地质剖面图应与线路剖面图合并绘制，用花纹图例和文字标注残积土的层位标高、标准贯入试验锤击数、地下水位线等内容；在工程地质特征栏说明残积土的厚度、工程特性、球状风化体、岩脉发育情况；水平向比例尺宜为 1:1000~1:2000，竖向比例尺宜为 1:200；
- d) 勘探、原位测试、室内试验、岩芯照片等成果资料和图表。

11.4 详细勘察

11.4.1 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对城市轨道交通各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等，查明残积土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，预测残积土可能引起的岩土工程问题，提出地基基础、围岩加固与支护、边坡治理、地下水控制、周边环境保护方案建议，提供设计、施工所需的岩土参数。

11.4.2 残积土详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明母岩的地质年代和名称；
- b) 查明残积土的类型、分布、埋深与厚度变化；
- c) 查明残积土中球状风化体、岩脉发育情况；
- d) 查明残积土的透水性和富水性；
- e) 查明残积土的物理和力学性质及参数；
- f) 查明地表水和地下水条件，分析地表水和地下水对残积土性质的影响；
- g) 分析场地残积土与工程周边环境的相互影响，提出环境保护措施建议。

11.4.3 详细勘察应根据各类工程场地的工程地质环境条件，采用勘探与取样、原位测试、室内试验，辅以工程地质调绘、工程物探的综合勘察方法。岩溶、球状风化体、断裂、采空区等复杂地质条件区域，宜开展地球物理勘探工作。

11.4.4 残积土详细勘察应符合下列规定：

- a) 勘探孔的间距可按照中等复杂场地，并结合工程类别、结构形式和特点等，按照表 13 的规定综合确定；

表 13 残积性土勘探孔间距（m）

工程类别	车站	区间	车辆基地
勘探孔间距	20~50	30~60	15~50

- b) 当场地存在球状风化体、岩脉、土洞、断裂、采空区等复杂地质条件时，勘探孔间距应适当缩小；
- c) 勘探孔深度应根据结构型式、埋深和施工方法确定，一般应进入结构底板、基础持力层或预计桩端平面以下足够深度，遇球状风化体、岩脉、土洞和断裂带时应加深；控制性勘探孔深度还应满足沉降计算、软弱下卧层验算、地下水控制等要求；
- d) 应结合初步勘察查明的残积土性质、结构形式和特点及设计要求，开展标准试验、旁压试验、波速测试、载荷试验等原位测试。
- e) 应根据结构形式和工法需要，开展室内试验，应针对初步勘察阶段初步查明膨胀性或遇水软化崩解等特性，有针对性地开展膨胀试验、崩解试验、湿化试验。

11.4.5 详细勘察阶段残积土勘察资料应包括下列内容：

- a) 勘察报告应阐明残积土的分布范围、厚度、物理力学参数，分析和评价残积土的稳定性及其可能造成的工程风险，提出残积土的工程处置建议，分析施工中应注意的残积土膨胀、遇水软化崩解及球状风化体、岩脉、土洞可能引起的场地及地基稳定性、地基变形、施工困难、工程周边环境破坏等工程问题；
- b) 工程地质平面图应根据详勘揭露情况绘制，在初步勘察基础上补充、修改、完善不同残积土的平面界线，标注详细勘察阶段勘探孔和勘探线，比例尺宜为 1:500~1:1000；
- c) 工程地质剖面图应与工点结构剖面图合并绘制，用花纹图例和文字标注残积土的层位标高、标准贯入试验锤击数、地下水位等内容；在工程地质特征栏详细说明残积土的厚度、工程特性、球状风化体、岩脉发育情况；水平向比例尺宜为 1:500~1:1000，竖向比例尺宜为 1:100~1:200；
- d) 勘探、原位测试、室内试验和岩芯照片，球状风化体、岩脉和土洞发育情况统计表，风化深槽分布情况统计表。

11.5 施工勘察

11.5.1 施工勘察应针对施工阶段残积土的膨胀性或遇水软化崩解特性引起的地基变形或沉降，以及残积土伴生的球状风化体、岩脉、土洞等引起施工困难、工程风险等工作。

11.5.2 遇下列情况时宜开展施工勘察：

- a) 施工揭露残积土地质条件异常，并对工程施工产生较大影响；
- b) 残积土中球状风化体、岩脉、土洞较为发育且造成施工困难；
- c) 残积土施工阶段出现地基变形或沉降过大、基坑隆起、隧道坍塌，或出现地面及周边建筑物沉降引发环境工程问题。

11.5.3 施工勘察应包括下列内容：

- a) 搜集施工方案及施工记录、工程周边环境调查报告、当地施工勘察经验等资料。
- b) 充分利用施工开挖面了解工程地质条件，分析需要解决的工程地质问题。
- c) 针对残积土及其球状风化体、岩脉、土洞等对工程施工的不利影响，开展勘探及测试工作，提出施工解决措施与建议。

11.5.4 施工勘察应符合下列规定：

- a) 根据残积土对施工的影响，选用钻探、工程物探、水文地质试验等勘察方法，辅以原位测试和室内试验；
- b) 球状风化体、岩脉和土洞边界探查宜采用钻探、螺纹钻或钎探；
- c) 球状风化体、岩脉时宜采取岩样进行抗压强度试验和磨蚀性试验。

11.5.5 施工勘察资料应包括下列内容：

- a) 勘察报告应阐明残积土的分布及厚度变化及球状风化体、岩脉和土洞的厚度、分布，以及球状风化体、岩脉的岩石风化程度、抗压强度、磨蚀性；
- b) 工程地质平面图应在详勘成果基础上绘制，结合施工要求标注球状风化体、岩脉和土洞的分布范围，比例尺宜为 1:200~1:1000；
- c) 工程地质剖面图应结合工法、施工阶段具体要求进行绘制，注明球状风化体、岩脉和土洞分布及球状风化体、岩脉的岩石风化程度、抗压强度；水平比例尺宜为 1:200~1:1000，竖向比例尺宜为 1:100~1:200；
- d) 勘探、原位测试、室内试验和岩芯照片，球状风化体、岩脉和土洞发育情况统计表，风化深槽分布情况统计表，球状风化体及岩脉的岩石抗压强度试验成果表。

11.6 工程地质调查和测绘

11.6.1 残积土工程地质调查和测绘应搜集下列资料：

- a) 地形地貌、区域地质、水文、气象、航卫片、建筑及植被等资料；
- b) 既有建（构）筑物的残积土勘察资料和施工经验；
- c) 已发生的残积土及球状风化体、岩脉、土洞等工程事故案例，了解其发生原因、处理措施和整治效果；

11.6.2 残积土工程地质调查和测绘应包括下列内容：

- a) 残积土的分布范围和分布规律；
- b) 残积土地各土层的母岩岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、地层结构、相变特征及其物理、力学、水理性质；
- c) 球状风化体、岩脉、土洞发育情况与特征；
- d) 地下水的类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件；
- e) 残积土地基处理措施、施工方法、处理效果等，调查球状风化体、岩脉、土洞的工程处理经验；
- f) 地貌单元的边界、地层接触线、基岩露头、残积土发育地带、地下水出露点、滑坡及坍塌等不良地质的发育部位，宜布置工程地质调绘点。

11.7 勘探与测试

11.7.1 残积土的勘探与测试应符合下列规定：

- a) 有条件时布置一定数量的探井；
- b) 具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂、硬结现象，并能产生往复胀缩黏性土时，应按膨胀土进行勘察；
- c) 采用标准贯入试验、重型动力触探试验、0.25~0.5m² 的平板载荷试验、螺旋板载荷试验等原

位测试方法确定承载力和变形模量，原位测试应符合 GB 50307 的规定；

- d) 进行室内试验，其中，具有遇水软化崩解性质的残积土还应进行湿化试验和崩解试验，具有膨胀性的残积土还应进行膨胀性试验。

11.7.2 花岗岩类残积土的勘探与测试还应符合下列规定；

- a) 根据含砾或含砂量，将残积土划分为砾质黏性土、砂质黏性土和黏性土；
- b) 重点查明残积土中的球状风化体、岩脉分布；
- c) 进行细粒土的天然含水量 ω_r 、塑限 ω_p 、液限 ω_L 试验。

11.8 场地评价

11.8.1 残积土的场地评价应包括下列内容：

- a) 残积土的颗粒组成、物理及力学性质以及遇水软化崩解、膨胀等特殊工程性质；
- b) 残积土的地基及边坡稳定性，残积土的桩基承载力和稳定性；
- c) 分析残积土的不均匀程度及球状风化体、岩脉、土洞等复杂地质条件，指出隧道和基坑开挖、桩基施工中存在的岩土工程问题，提出工程措施的建议。
- d) 建在软硬互层或厚度明显差异的残积土地基上的工程，应分析不均匀沉降对工程的影响。
- e) 评价残积土的透水性和地下水的富水性，分析在不同工法下，地下水对残积土稳定性的影响，提出地下水控制措施的建议。

12 红黏土

12.1 一般规定

12.1.1 碳酸盐岩类岩石在亚热带温湿气候条件下经风化、红土化后形成的颜色为棕红、褐红或褐黄色的残坡积粘土，直接覆盖于碳酸盐岩之上，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，且其液限大于 45% 的黏土，可判定为次生红黏土。当工程场地位于碳酸盐岩等基岩的残坡积层区域、地形起伏大、沟谷发育、场地存在土洞、岩溶等不良地质作用、红黏土厚度和状态变化显著时，需开展红黏土勘察。

12.1.4 红黏土并按下列要求划分：

- a) 红黏土的状态除按液性指数判定外，可按表 14 含水比 α_w 判定，进行静力触探时也可按比贯入阻力 P_s 进行判定；
- b) 红黏土的结构类型、综合灵敏度指标和裂隙发育特征可按表 15 分类；
- c) 红黏土的复浸水特性可按表 16 分类；
- d) 红黏土的地基均匀性可按表 17 分类。

表 14 红黏土的状态分类

状态	含水比 α_w	比贯入阻力 P_s (kPa)
坚硬	$\alpha_w \leq 0.55$	$P_s \geq 2300$
硬塑	$0.55 < \alpha_w \leq 0.70$	$2300 > P_s \geq 1300$
可塑	$0.70 < \alpha_w \leq 0.85$	$1300 > P_s \geq 700$
软塑	$0.85 < \alpha_w \leq 1.00$	$700 > P_s \geq 200$
流塑	$0.55 > 1.00$	$P_s < 200$
注: $\alpha_w = w/w_L$		

表 15 红黏土的结构类型、综合灵敏度指标和裂隙发育特征

土体结构	类型	灵敏度 S_t	裂隙发育特征
致密状	I	$S_t > 1.2$	偶见裂隙 (<1 条/m)
巨块状	II	$1.2 \geq S_t > 0.8$	较多裂隙 (1~2 条/m)
碎块状	III	$S_t \leq 0.8$	富裂隙 (>5 条/m)

表 16 红黏土的复浸水特性分类

类别	I_r 与 I'_r 关系	复浸水特性
I	$I_r \geq I'_r$	收缩后复浸水膨胀, 能恢复到原位
II	$I_r < I'_r$	收缩后复浸水膨胀, 能恢复到原位
注: $I_r = w_L/w$, $I'_r = 1.4 + 0.0066 w_L$		

表 17 红黏土的地基均匀性分类

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

12.2 可行性研究勘察

12.2.1 可行性研究勘察应调查沿线场地红黏土工程条件、周边环境条件, 研究红黏土可能引起的工程

地质问题，分析红黏土对城市轨道交通工程的影响，为线位、站位方案设计和施工方法比选论证提出工程建议与措施，编制可行性研究报告提供地质资料。

12.2.2 可行性研究勘察阶段红黏土地段的工程地质勘察，应包括下列内容：

- a) 搜集区域地质、地形、地貌水文、气象、地震、矿产等资料，以及沿线的工程地质条件、水文地质条件、工程周边环境条件和相关工程建设经验；
- b) 调查线路沿线的地层岩性、地质构造、地下水埋藏条件等，划分工程地质单元，进行工程地质分区，评价红黏土地段稳定性和适宜性；
- c) 对控制线路方案的红黏土，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；
- d) 研究红黏土的地形、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。

12.2.3 可行性研究勘察应以搜集、利用工程沿线既有资料、遥感解译和工程地质调查测绘为主，辅以适当的物探、勘探与取样、原位测试和室内试验工作。

12.2.4 可行性研究勘察的红黏土勘察工作，应符合下列要求：

- a) 勘探孔间距不宜大于 1000m；
- b) 勘探孔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孔，在地质条件复杂地段应加密勘探孔；
- c) 当有两条或两条以上比选线路时，各比选线路均应布置勘探孔；
- d) 控制线路方案的江、河、湖等地表水体及不良地质作用和红黏土地段应布置勘探孔；
- e) 勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要；
- f) 红黏土勘探孔的深度不宜单纯根据地基变形计算深度来确定，对于土岩组合的不均匀地基，勘探孔深度应达到基岩。

12.2.5 可行性勘察阶段红黏土地区的资料编制，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明：阐明红黏土的类型、性质、分布范围、发育规律及其对线路的影响和避开的可能性；
- b) 全线工程地质图应填绘红黏土的分布范围、成因类型及厚度，比例为 1:10000~1:200000；
- c) 推荐方案及主要比较方案工程地质图(必要时作)，比例为 1:10000~1:50000。

12.3 初步勘察

12.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构类型及施工方法开展勘察工作，初步查明重点勘察控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段的红黏土发育分布特征及工程性质，全面分析红黏土对轨道交通工程的影响，提出针对性的工程建议与措施，编制初步勘察报告。

12.3.2 红黏土地段的初步勘察，应包含以下内容：

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件；
- b) 红黏土的类型、分布、厚度、含水状态、土体结构；
- c) 红黏土的物理力学性质、膨胀与收缩性、地基的承载力；
- d) 地裂分布及成因、裂隙的密度、深度、延伸方向及发育规律；

- e) 地下水的类型、埋深、水质及水位变化情况;
- f) 坡面冲刷、剥落、滑坡、土洞等不良地质的发育情况;
- g) 既有公路及建筑物的使用情况;
- h) 采取代表性土样,测试其工程性质;
- i) 对于涵洞工程,应评价涵洞场地中红黏土的影响。

12.3.3 初步勘察应采用工程地质调查与测绘、综合物探并结合钻探、取样、原位测试、室内试验等多种手段。

12.3.4 初步勘察工作应符合下列要求:

- a) 初步勘察应沿拟定的路线及其两侧各宽约 200m 带状范围进行工程地质调绘,工程地质调绘的比例尺为 1:2000;
- b) 初步勘察勘探孔间距宜取 30m~50m;
- c) 初步勘察阶段勘探孔的深度应根据拟建建筑物性质及荷载确定,一般性孔深度应大于基础荷载应力影响范围的深度,控制性孔应揭穿底部岩土接触面上的软弱层,并进入基岩,
- d) 勘探测试应符合下列规定:
 - 1) 路基勘探:勘探测试点宜沿路线中线结合地貌单元布置,一般地段,勘探孔间距不宜大于 150m,做代表性勘探;土层结构复杂地段,勘探孔应根据实际情况加密;
 - 2) 涵洞、通道勘探:每座涵洞、通道勘探孔的数量不宜少于 1 个;有土洞、岩溶发育时,应辅以物探综合勘探;
 - 3) 桥梁勘探:宜按工程地质条件较复杂或复杂场地布置勘探孔;
 - 4) 隧道勘探:红黏土发育地段的隧道洞口应布置勘探孔,数量不应少于 1 个;地层结构复杂时,应增加勘探孔数量。
- e) 钻探遇地下水应量测初见水位和稳定水位。宜取样进行水质分析;

12.3.5 红黏土初步勘察应提供下列资料:

- a) 文字说明:应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行说明,对第本文件中 12.3.1 条红黏土勘察要求查明的内容进行说明,分析评价工程建设场地的适宜性,提出工程地质建议;
- b) 图表资料:应对红黏土的类型、状态、结构特征、地基的均匀性等进行图示和说明。

12.4 详细勘察

12.4.1 详细勘察应在初步勘察的基础上,针对城市轨道交通各类工程的建筑结构类型、结构形式、埋置深度和施工方法等工作,查明填土的分布范围及类型等特征,重点查明红黏土的物理力学指标,预测可能出现的岩土工程问题,提供设计、施工所需的岩土参数,对地基基础的设计和红黏土的治理提出建议。

12.4.2 详细勘察阶段红黏土的勘察内容应符合下列规定:

- a) 查明不同地貌单元原生红黏土与次生红黏土的分布、厚度、物质组成、土性、土体结构等特征及其差异;
- b) 查明红黏土的物理力学性质、膨胀与收缩性、地基的承载力;
- c) 查明下伏基岩岩性,及层组类型、产状、基岩面起伏状况、隐伏喀斯特发育特征及其与红黏土分布、物理力学性质的关系;

- d) 地下水的类型、埋深、水质及水位变化情况；查明地表水与地下水对红黏土湿度状态、垂直分带和物理力学性质的影响；
- e) 查明地裂分布及成因，裂隙的密度、深度、延伸方向及发育规律；调查土体中裂隙的发育情况，分析其对边坡稳定的影响；
- f) 收集红黏土地区勘察设计及施工处理经验；
- g) 查明坡面冲刷、剥落、滑坡、土洞等不良地质的发育情况；
- h) 查明红黏土对地下工程、墩台基础和桩基、深路堑和支护结构的危害和影响，提出工程防治措施的建议。

12.4.3 详细勘察采用工程地质调绘、物探、钻探、原位测试、室内试验等多种手段。对坚硬、硬塑、可塑的红黏土，原位测试宜采用载荷试验、静力触探试验；对软塑、流塑的红黏土，可采用旁压试验和十字板剪切试验。

12.4.4 红黏土详细勘察应符合下列规定：

- a) 详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核。红黏土详细勘察的勘探、测试，应按不同的红黏土类型或厚度分段，结合建筑、构筑物类型布置勘探孔，并分层、分段取样进行物理、力学性质的试验，必要时应进行现场载荷试验；当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，调绘的比例尺为 1:2000；
- b) 勘探孔的间距，对均匀地基宜取 12~24m，对不均匀地基宜取 6~12m。在土层厚度和状态变化大的地段，勘探孔应加密；独立基础宜一柱一点，基底面积大的墩基宜布置多个勘探孔；钻探孔施工顺序宜先疏后密，先鉴别土性后取土试样；
- c) 勘探深度应满足下列要求
 - 1) 对不均匀地基，所有勘探孔深度均应达到基岩；
 - 2) 对需作变形计算的地基，详细勘察控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的 1/3；控制性勘探孔的深度应超过地基变形计算深度；一般性勘探孔的深度应达基底 0.5~1.0 倍的基础宽度，且不应小于 5m；
 - 3) 当基础底面下红黏土层厚度小于地基变形计算深度时，详细勘察的一般性勘探孔应达到完整、较完整的基岩面，控制性勘探孔应深入完整、较完整的基岩 3~5m；
 - 4) 在基岩浅层岩溶发育地区，当红黏土中分布有土洞、软弱土层时，应适当加密勘探孔，查明土洞的成因、形态、规模、下卧岩溶发育情况，勘探孔应深入土洞或溶洞洞底完整岩土层 3~5m；
 - 5) 勘探孔深度应能控制红黏土地基主要受力层，当基础底面宽度不大于 5.0m 时，勘探孔的深度（自基础底面算起），对条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍，对单独柱基不应小于基础底面宽度的 1.5 倍，且不应小于 5m。
- d) 红黏土基础埋深的确定应充分利用硬层承载能力，宜尽量浅埋；但须深于大气影响急剧层深度，宜放弃天然地基，改用桩基；当拟用红黏土层之下的基岩作为桩端持力层时，宜在每个桩位布置勘探孔，并按岩溶地基有关规定进行桩基勘察；
- e) 详细勘察应充分利用初勘资料，在确定的路线及构筑物位置上进行，应符合下列规定：
 - 1) 路基勘探：一般地段，每段填、挖路基的勘探孔数量不得少于 1 个，平均间距不宜大于 200m；地层结构复杂时，应根据现场实际情况增加；

- 2) 涵洞、通道勘探：每座涵洞、通道勘探孔的数量不宜少于 2 个；
- 3) 桥梁勘探：应按工程地质条件较复杂或复杂的场地进行勘探；
- 4) 隧道勘探：隧道洞口有红黏土发育时，应布置挖探或钻孔进行勘探，数量不应少于 1 个；地层结构复杂时，应增加勘探孔数量。

12.5 施工勘察

12.5.1 施工阶段勘察应针对施工方法、施工工艺结合施工过程中出现的工程地质问题等工作，提供红黏土地段地质资料，满足施工方案和风险控制的要求。

12.5.2 施工勘察阶段红黏土地区工程地质工作，应包括下列内容：

- a) 研究红黏土的形成原因，了解红黏土地段的地形地貌特点及加固处理措施，有针对性地提出施工注意事项；
- b) 施工中认真核查红黏土厚度在水平方向上的变化，必要时提出红黏土地基变形、沉降监测的建议；
- c) 密切关注红黏土的收缩变形，发现红黏土的天然含水率剧烈变化时，应及时分析原因，必要时进行补充勘察，提出工程措施建议；
- d) 基岩面上土层特别软弱，有土洞发育或基岩面高低不平时，为确保安全，应进行施工阶段补充施工勘察；
- e) 对于重要等级的工程，应补充水文地质勘察、试验和观测工作。

12.5.2 施工勘察阶段红黏土工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明应说明施工阶段红黏土工点发生的工程地质变更问题，变更设计的范围、性质、原因分析，以及施工中的经验教训等；
- b) 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

12.6 工程地质调查和测绘

12.6.1 红黏土地区的工程地质调查和测绘应着重查明下列内容：

- a) 不同地貌单元红黏土的分布、厚度、物质组成、土性等特征及其差异；
- b) 下伏基岩岩性、岩溶发育特征及其与红黏土土性、厚度变化的关系；
- c) 地裂分布、发育特征及其成因，土体结构特征，土体中裂隙的密度、深度、延展方向及其发育规律；
- d) 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；
- e) 现有建筑物开裂原因分析，当地勘察、设计、施工经验等；
- f) 岩石露头、地层界线、地裂、地下水露头，原生红黏土与次生红黏土界线、裂隙发育的代表性地段、土洞、滑坡等不良地质应布置工程地质调绘点；
- g) 斜坡与人工边坡的土性、坡率、坡度、裂隙分布及变形破坏特征的调查统计；
- h) 采取代表性土样，测试其工程性质。红黏土场区采取土试样的数量，宜按已划分的土质单元控制，保证各主要土层取样数量不少于 6 个。

12.6.2 红黏土工程地质调查和测绘应符合下列规定：

- a) 红黏土地区的工程地质测绘应与城市轨道线路、车站及附属设施的布置相结合，并辅以必要的勘探和测试手段；
- b) 地层界限、不良地质、沟谷、挖方边坡、陡坎等部位应布置工程地质测绘点；
- c) 应选择代表性区域取样测试红黏土的湿度状态、膨胀特性和裂隙特征，调查膨胀土的风化和裂隙发育情况及大气影响层深度。

12.7 勘探与测试

12.7.1 勘探与测试应按下列规定执行：

- a) 钻探施工应干作业，回次钻进深度应小于螺纹钻头长度或取土管长度，用岩芯管钻进每回次不宜超过 0.5m，50mm 螺纹钻限于鉴别土层且深度不得超过 6.0m；
- b) 原位测试与取试样应按土质单元进行，各土质单元参加统计的测定值不少于 6 个；采取质量等级为I-II级的原状土，必须使用与质量等级相对应的取土器，采取软塑、流塑土试样应使用活塞取土器，并采用快速静力连续压入或重锤少击法取样；为鉴别土的状态可连续采取III级保湿土试样；
- c) 对坚硬状态、硬塑状态及可塑状态的红黏土，原位测试宜采用载荷试验、静力触探试验；对软塑、流塑红黏土，可采用旁压试验和十字板剪切试验。对浅部红黏土地基还可采用轻型圆锥动力触探试验；
- d) 需要进行地基变形验算、地基承载力或稳定验算时，除测定土的物理力学性质指标外，对裂隙发育的红黏土应作三轴剪切及无侧限抗压强度试验。评价边坡稳定还可进行重复慢剪等试验。判别红黏土胀缩性应进行收缩和复浸水试验。

12.7.2 红黏土室内试验应符合下列要求：

- a) 常规试验，当建筑场地比较简单，建筑物体型简单，荷载不大且对地基基础设计、施工无特殊要求时，可在野外取适量保湿土试样做常规试验，计算红黏土的含水比(α)和液塑比(I_p)，判别红黏土状态，划分土质单元，并确定红黏土地基承载力特征值及沉降计算；
注：常规试验项目包括含水量、重度、比重、液限、塑限、压缩模量及剪切试验。
- b) 其他试验，三轴剪切试验可用于评价裂隙发育的红黏土中裂隙对强度和地基承载力的影响；收缩试验和复浸水试验；用于评价红黏土在天然状态下和复浸水状态下的胀缩性；50kPa 压力下的膨胀量、收缩量及不同失水量条件下的同胀量试验，用于了解红黏土的水理特性。

12.7.3 红黏土室内测试项目可按表 18 执行。

表 18 红黏土室内测试项目表

测试项目	构筑物类型		
	路基	桥涵路基	隧道围岩
颗粒分析	+	+	+
天然含水率 $w(\%)$	+	+	+
密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	+	+	+
液限 $w_L(\%)$	+	+	+
塑限 $w_P(\%)$	+	+	+

剪切试验	粘聚力 $c(\text{kPa})$	+	(+)	+
	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$			
压缩系数 $a(\text{MPa}^{-1})$		(+)	+	
自由膨胀率 $F_s(\%)$		(+)	(+)	(+)
收缩试验		(+)	(+)	(+)
注：“+”-必作项目；“(+)”-选做项目。				

12.7.4 红黏土工程地质测试,应根据地层条件及构筑物的类型选择原位测试和室内测试方法，并符合下列规定:

- a) 对路堑边坡宜做饱水剪切试验、重复慢剪试验、无侧限抗压强度试验;
- b) 红黏土的地基承载力特征值应结合地区经验按有关标准综合确定。可结合地区经验采用旁压试验、标准贯入试验、扁铲侧胀试验等原位测试方法按有关标准综合确定;
- c) 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。
- d) 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。当需评价边坡稳定性时，宜进行重复剪切试验。

12.8 场地评价

12.8.1 红黏土场地评价应包括下列内容:

- a) 根据工程需要划分出红黏土类型的空间分布，并分别提出特性参数及工程评价;
- b) 基坑开挖和边坡工程应及时采取保湿措施和维护，防止失水干裂；石芽出露地段应考虑地表水下渗、冲蚀形成地面变形的可能性；干旱季节在大范围挖方区，建筑物周围地面应尽快恢复植被，加强保湿，并宜在推土整平后经历一个水文年后再作基础施工；
- c) 基础埋置深度大于大气影响急剧层的深度时，应尽量浅埋，若浅埋的深度小于大气影响急剧层的深度时，宜进行地基处理或利用下卧岩石作桩(墩)端持力层。
- d) 地基均匀性评价应按照下列要求进行：
 - 1) 红黏土地区地基均匀性差别很大，当地基压缩层范围内均为红黏土时，为均匀地基，可不考虑地基不均匀沉降的影响；
 - 2) 红黏土和岩石组合地基时，为不均匀地基，其压缩层厚度一般应根据建筑物结构类型、基础形式，荷载综合分析确定。

12.8.2 红黏土地基承载力评价应包括下列内容:

- a) 红黏土地基承载力特征值的确定，可根据土体力学指标内摩擦角和内聚力确定，根据物理指标孔隙比、含水比和液塑比查表确定，根据静力载荷试验确定;根据静力触探试验、旁压试验等原位试验确定，还可采用理论公式计算并结合工程实践经验综合确定;
- b) 当基础浅埋、外侧地面倾斜或有临空面以及存在较大的水平荷载时，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;

3) 地表水体下渗的影响。

12.8.3 红黏土中地表水及地下水评价

- a) 地表水渗入土体并长期作用于土层中, 使红黏土中裂隙产生软化, 在其浸润范围内, 坚硬、硬塑土的湿度明显增大, 致使地基承载力明显降低, 压缩性增大;
- b) 地基开挖后, 使原来埋藏于深处含水量高的土体外露于地表, 失水收缩, 裂隙发育, 一旦浸水软化, 造成地基失稳;
- c) 研究地下水埋藏、运动条件与土体裂隙特征的关系, 地表水、上层滞水、地下水之间的连通性, 根据赋存于土中宽大裂隙的地下水流分布的不均匀性、季节性, 评价其对建筑物的影响, 同时还应分析地表水、上层滞水、土岩界面裂隙水, 及岩溶水的不均匀分布及其间的连通性和补给关系及其对基础施工及建筑物正常使用的影响。

13 季节性冻土

13.1 一般规定

13.1.1 轨道交通线路在高纬度或高海拔寒冷地区, 遇有负温或零温度并含有冰晶或冰层的土层或岩层, 或寒季冻结暖季又全部融化的土时, 应按冻土进行工程地质勘察。

13.1.2 当轨道交通线路通过区存在冻土, 且该地区的冻土的分布位置特殊、地质条件和气候环境复杂, 缺乏既有资料和工程建设经验, 线路方案受其影响严重时, 应进行冻土的专项勘察。

13.1.3 季节性冻土勘察应采用遥感解译、工程地质调绘、钻探、地球物理勘探、原位测试等相结合的综合勘察方法, 对线路的冻土工程地质条件进行研究。

13.2 可行性研究勘察

13.2.1 可行性研究勘察应完成下列任务:

- a) 了解控制线路方案和重点地段的冻土工程特性、分布范围及其对工程产生的危害;
- b) 初步评价场地稳定性和工程建设适宜性;
- c) 分析冻土对路基、高架、地下等工程方案及施工方法的影响;
- d) 提出线路比选方案建议。

13.2.2 可行性研究勘察阶段冻土地段的工程地质勘察, 应包括下列内容:

- a) 调查线路通过区的地层结构、地质构造、季节性冻土分布、工程特性、不良冻土现象, 以及影响线路方案的季节性冻土工程地质类型、范围及其发生、发展的概况和危害程度;
- b) 调查轨道交通线路通过区周边环境, 评估季节性冻土工程地质条件及主要冻土工程地质问题;
- c) 了解季节性冻土的工程性质及与工程的关系, 对线路方案提出评价意见。

13.2.3 季节性冻土可行性研究勘察应符合下列规定:

- a) 勘探孔的数量和位置应根据地形地质条件、季节性冻土类型及构筑物的设置等确定;
- b) 季节性冻土层中的取样间距宜为 0.5m, 在上限附近不应大于 0.3m;
- c) 可行性研究阶段遇冻土的分布位置特殊、地质条件和气候环境复杂, 缺乏既有资料和工程建设经验, 线路方案受其影响严重时, 应建议可行性研究前开展冻土的专题研究工作。

13.2.4 可行性研究阶段勘察资料编制应包括下列内容：

- a) 对拟建线路的地形地貌、地质构造、水文地质条件、地震动参数等基本地质条件进行说明；阐明冻土及冻土现象的类型、分布范围、发育规律及其对工程的影响和避让的可能性；提供工程方案论证、比选所需的参数。
- b) 重点控制性工程的冻土工程地址平面图和剖面图、附图、附表等，比例尺应为 1:2000~1:10000。
- c) 勘探、试验及冻土工程地质照片等资料。

13.3 初步勘察

13.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，针对城市轨道交通工程线路敷设形式、各类工程的结构类型及施工方法开展工程勘察，初步重点勘察控制线路平面、埋深及施工方法的关键工程或区段的冻土发育分布特征及工程性质，融区的分布情况，并提出岩土工程防治和风险控制的初步建议。

13.3.2 初步勘察阶段冻土地区的勘察工作，应符合下列规定：

- a) 地貌单元边界、冻土界线、冻土现象发育区域、融区、构造异常区域、泉眼等路段，应加密布置调绘点；
- b) 查明轨道交通线路沿线地表水和地下水的发育情况及其与冻土的关系；
- c) 工程地质图应在实地填绘，对线路方案和工程有影响的地质界线、地质点，应采用仪器测绘；
- d) 调绘比例尺应为 1:2000~1:10000，调绘范围应为线路中线两侧 200m~500m；
- e) 初步勘察应对工程建设可能诱发的冻土地质灾害和冻土环境工程地质问题进行分析、预测，评价其对工程的影响。

13.3.3 初步勘察阶段冻土的地质调绘、勘探、测试，除应符合 GB 50307 的规定外，尚应符合下列要求：

- a) 勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件、冻土类型及构筑物的设置等确定；勘探孔平均间距不宜大于 1000m，地段较长和冻土界线处应适当增加取样孔；
- b) 季节性冻土的勘探深度应大于年最大冻结深度；
- c) 隧道的勘探深度应至洞底设计高程以下不小于 2 倍天然上限；对有地下水发育的隧道，勘探深度应至泄水洞基础底面以下 4~5m；
- d) 桥梁墩台及挡土墙基础，勘探深度应至设计的人为上限以下不少于 2.5m。

13.3.4 初步勘察阶段冻土地区的综合资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质勘察报告应阐明冻土地区的区域地质条件，冻土类别、特征、分布规律、发展趋势、上限、下限埋深、融沉性、冻胀性，不良冻土现象的类型、分布及处理意见；冻土年平均地温稳定性分区情况；各类冻土的主要物理力学指标提出各线路方案的工程地质条件评价意见及比选意见；详细勘察阶段工作量、注意事项及有待进一步解决的问题；
- b) 全线工程地质图应填绘冻土类型、范围和地温分区，比例为 1:10000~1:25000；
- c) 填绘冻土和不良冻土现象的类型及范围、上限深度、季节融化层深度、地温分区等，比例为 1:2000~1:5000；
- d) 工程地质纵断面图可与线路纵断面图合并或单独绘制用花纹图例或文字标冻土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容；横向比例尺为 1:10000，竖向比例尺为 1:100~1:1000；
- e) 沿线工程地质分段说明按地形地貌或不同的冻土工程地质条件分段编写，重点评价冻土类型、

冻胀类型、冻胀等级，冻土上限、季节冻结融化深度等内容；

- f) 钻（挖）探柱状图、低温测试资料、水质分析资料、地球物理勘探解译成果、岩土物理力学指标汇总表以及其他测试资料、附图、附表、照片等。

13.4 详细勘察

13.4.1 冻土详细勘察应在初步勘察的基础上开展，查明并评价城市轨道交通工程冻土路段及车站、车辆基地和相关附属设施的湿陷性，地质条件复杂的大型工程场地应分区评价冻土工程地质条件，分析其对工程的危害和影响，提出工程措施建议，提供施工图设计、工程施工所需的岩土参数。

13.4.2 冻土详细勘察应包括下列内容：

- 在初步勘察基础上，分段进行详细勘察工作，对初步勘察资料进行复核补充和修改，提供详细冻土工程地质资料；
- 对冻土现象分布地段应查明其成因、分布、范围、规模、发生发展规律及对隧道和其他建筑物稳定的影响，提出相应的工程措施意见；
- 季节性冻土的分布及特征，地下水的类型补给、径流、排泄条件及动态特征；季节性融化层的深度；
- 洞门附近不良冻土现象的类型及危害程度；
- 特长隧道、地质条件复杂隧道，宜根据需要进行地温、地下水和气温等项目的观测。

13.4.3 详勘阶段勘探孔布置宜结合工程分段布置，其点位与数量应满足城市轨道交通主体工程和附属工程设计的要求，并应符合下列规定：

- 地下车站和地下区间的勘探孔应按照复杂场地、工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等特点的规定综合确定；
- 高架车站勘探孔间距应根据冻土工程地质条件的复杂程度和不良冻土现象的性质以及构筑物的类型确定，一般地段的勘探孔间距宜为 200~300m；
- 各种不良冻土现象的勘探深度应不小于 8m，且不得小于 2 倍天然上限。

13.4.4 勘探孔的深度应满足地基、基坑、边坡稳定性分析、变形计算以及冻土评价的要求，并应满足下列要求：

- 采用容许融化的原则设计时，站房等建筑的勘探深度应大于计算融化盘深度 3~4 m，大跨度建筑物应适当加深；
- 洞口应布置钻孔，洞身部位应根据地质条件的复杂程度布置钻孔；深度应至洞底融化圈以下 1~2 m，基底地层软时应适当加深；有地下水的隧道，其勘探深度应至设计泄水洞基础以下 4~5m；
- 需进行变形验算的各类建筑物的勘探深度，应按计算压缩层影响深度确定；
- 冻土地区的取样应自地表以下 0.5m 开始逐层采取，不得从爆破的碎土块中取样。土层厚度小于 1.0m 时，取样一个；土层厚度大于 1.0m 时，每米取一个；含水率变化时应加密取样。

13.4.5 季节性冻土详细勘察的工程地质综合资料应包括下列内容：

- 工程地质勘察报告应阐明沿线季节性冻土的地形地貌、各类冻土的分布范围、水文地质条件、各类冻的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，各类不良冻土现象的稳定性评价和工程处理措施建议；沿线观测站（点）的设置及取得的观测成果；施工应注意的工程地质问题；

- b) 全线工程地质图应根据中线调查和各类勘探孔的工程地质资料补充、修改、完善，比例为 1: 10 000~1: 200 000;
- c) 工程地质图应根据中线调查和各类勘探孔的工程地质资料补充，修改和完盖，比例为 1: 2 000~1: 5 000;
- d) 工程地质纵断面图可与线路详细纵断面合并或单独绘制，填绘冻土地层结构、类型、冻土上限、季节融化层深度、地下水位线、地温特征等。比例为横 1: 10000，竖 1: 100~1: 1 000。

13.5 施工勘察

13.5.1 施工阶段冻土地区的工程地质工作，应包括下列内容：

- a) 研究冻土地区的工程地质资料，提出冻土勘探孔的特点及加固处理措施建议，预测施工中可能发生的工程地质问题，并提出施工注意事项；
- b) 验证各类勘探孔的工程地质资料，发现冻土层上限和下限的变化范围超过正常变化值时应补充勘察，验证勘察期间确定地质条件的适宜性及设计的合理性；
- c) 勘察期间预留的地温监测孔，应继续进行监测。

13.5.2 施工阶段冻土地区工程地质资料，应包括下列内容：

- a) 工程地质说明应说明施工中冻土勘探孔发生的工程地质变更问题，变更设计的范围、性质和原因，处理经过、措施和效果；施工中的经验教训等；
- b) 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充；
- c) 对施工中的各项地质资料的整理。

13.6 工程地质调查和测绘

13.6.1 季节性冻土地区地质调绘前，应搜集以下资料：

- a) 地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质、遥感图像等资料；
- b) 冻土研究成果及既有工程建筑使用情况等资料；
- c) 区域气象、气温、地温、年平均地温、地震、自然灾害等资料。

13.6.2 冻土地区的地质调查和测绘，应重点查明下列内容：

- a) 冻土的分布范围、冻土类别、地表物质组成、地貌类型及形态特征；
- b) 植被发育情况、地表水分布及形态、地下水露头点、道路及居民点等；
- c) 第四系地层的成因类型、地层结构、土质成分等特征。结合地形、地貌及微地貌、植被的分布及形成条件，查明各类冻土的分布范围，确定冻土的边界；调查季节融化层土的成分、含水率以及最大融化深度；
- d) 查明冻土的类别和总含水量、地层的结构特征、物理力学性质，确定冻土的融沉性分级；
- e) 调查井、泉的分布规律；地表水及地下水的水文地质特征、矿化度；冻土层上水、层间水、层下水的存在形态、相互关系及对工程的影响；
- f) 调查城市轨道交通沿线地下水的埋藏、迁移条件，冻土融化圈对围岩强度的影响及冰层融化、水分转移可能引起的工程地质问题；
- g) 分析研究气候条件的变化趋势，预测冻土变化及其对工程的影响，必要时应设置站、点进行长、短期观测；

- h) 提出确定取、弃土位置建议，避免选址不当引起环境工程地质问题。

13.7 勘探与测试

13.7.1 冻土地区勘探宜根据冻土环境条件采用钻探、坑探、槽探、地球物理勘探相结合的综合勘探方法。冻土工程地质勘探应结合冻土特点、工程类型、勘探目的、交通条件、机具设备和勘探对自然环境的影响等选择在适宜的时间内进行。勘探孔的布置应在冻土工程地质调查与测绘、遥感解译和地球物理勘探等工作的基础上确定。

13.7.2 采用物探查明冻土的分布特征和各种不良冻土现象，应包括下列内容：

- a) 冻土类型及其分布特征；
- b) 季节融化层的深度及冻土的上限，必要时应探明冻土的下限深度；
- c) 冻土地区地下水的类型及其赋存条件与变化规律；
- d) 冻土的波速、动弹性模量。

13.7.3 冻土地层的钻探，应符合下列规定：

- a) 冻土地层为含冰粗颗粒土时，宜采用低速干钻的方法，回次进尺不大于 0.5m；
- b) 冻土地层为含冰黏性土时，宜采用快速干钻的方法，回次进尺不大于 0.8m；
- c) 冻土地层为含冰块石、碎石土或基岩时，宜采用低温冲洗液钻进。

13.7.4 冻土地区的勘探及取样，应符合下列规定：

- a) 冻土的物理地质现象、冻土下限深度的勘探宜在 2~5 月进行；冻土的上限深度的勘探宜在 9~10 月进行；
- b) 勘探期间应减少对场地地表植被的碾压破坏，不需要保留的观测孔和试坑应及时回填，恢复地貌形态；
- c) 冻土区的取样应自地表以下 0.5m 开始逐层采取，不应从爆破的碎土块中取样。土层厚度小于 1.0m 时，取样一个；土层厚度大于 1.0m 时，每米取样一个；上限附近或含水率变化时应加密取样；
- d) 动土地区的取样等级应满足表 26 的要求：

表 26 冻土试样的等级

试样级别	冻融及扰动程度	实验内容
I	保持天然扰动状态	冻土的各项物理、力学性质试验
II	保持天然含水率，容许融化	土类定名，含水率
III	不限制冻融扰动	土类定名

13.7.5 冻土的室内试验，应包括下列内容

- a) 冻土的颗粒分析、总含水率、液限、塑限、天然密度、含水率、盐渍度、有机质含量等物理性质试验。
- b) 冻土中的冻结水和地下水的水质分析。
- c) 冻土的冻胀力、土的冻结强度、抗剪强度、抗压强度、冻胀性、融沉系数和融化土的压缩系数等力学性质试验。

13.7.6 冻土地区的现场试验宜根据工程需要确定，应包括下列项目：

- a) 地温测量、冻土上限、下限深度测量；
- b) 地下水位、季节融化层深度测量；
- c) 季节融化层岩土冻胀及融化过程测量；
- d) 动力触探试验、动弹性模量、波速测试等。

13.8 场地评价

13.8.1 冻土地区的工程地质环境评价，应包括下列内容：

- a) 施工及运营方式对环境的影响程度，季节融化层融化深度的变化范围；
- b) 自然环境的破坏因素，工程影响下以及消除雪盖和植被后，多冻土的融化深度的可能变化；
- c) 工程修建后冻土地质条件的变化情况及预测，施工中产生的次生冻土工程地质问题；
- d) 预测区域气候条件的变化趋势及其对冻土工程的影响；
- e) 根据预测的冻土工程地质条件变化，提出冻土的利用原则及其相应的环境保护和防治措施建议。

13.8.2 多年冻土边缘的深季节冻土区，可按照多年冻土的融沉、冻胀性分级，评价季节冻土的工程特性。

14 污染土

14.1 一般规定

14.1.1 污染土勘察应在搜集区域及场地工程地质与水文地质资料、环境资料的基础上，针对环境风险管控和治理修复要求分阶段开展勘察工作；当已明确场地污染物种类时，可直接进行详细勘察。

14.1.2 当场地环境水文地质条件复杂或污染治理修复设计有特殊要求时，应进行专项勘察；

14.1.3 根据污染土地和周边环境的敏感性、污染风险程度，可将污染土地等级分为三级：

- a) 符合下列条件之一者为一级场地：
 - 1) 污染风险程度高、周边或后期规划为环境敏感区，污染风险程度大的场地；
 - 2) 原为含制药、农药、焦化、石油加工等化工、印染、电镀、制革、铅蓄电池制造、有色金属矿采选、有色金属冶炼、危险废物经营或垃圾填埋场等场地。
- b) 二级场地为除一级场地和三级场地以外的场地；
- c) 同时符合下列条件者为三级场地：
 - 1) 污染风险程度小且周边规划为非环境敏感区的场地；
 - 2) 场地及周边原为无污染或污染风险程度低的一般用地。

14.1.4 根据污染土地工程地质、水文地质特征，可按将污染土地环境水文地质条件复杂程度分为三级：

- a) 符合下列条件之一，污染土地环境水文地质条件复杂程度确定为复杂场地：
 - 1) 场地地形地貌形态多，地层类型及地质构造复杂；
 - 2) 含水层结构复杂且分布不稳定，地下水补径排条件、水动力特征复杂或水质类型复杂、地下水可能被污染的场地。
- b) 中等复杂场地：除复杂场地和简单场地以外的场地；

c) 同时符合下列条件的，污染土地环境水文地质条件复杂程度确定为简单场地：

- 1) 场地地形简单、地貌单一，地层及地质构造简单；
- 2) 含水层类型少且分布较稳定，地下水的补径流排条件简单，水质类型单一、地下水污染可能性较小。

14.1.5 根据污染土地等级和场地环境水文地质条件复杂程度，可按表 27 污染土地勘察等级确定表，划分不同的勘察等级和布设勘察工作量。

表 27 污染土地勘察等级确定表

场地等级		一级	二级	三级
场地环境水文 地质 条件	复杂场地	甲级	甲级	甲级
	中等复杂场地	甲级	乙级	乙级
	简单场地	甲级	乙级	丙级

14.1.6 污染土勘察作业应考虑勘察工作对周围环境的影响，并采取措施防止污染物损失、交叉污染以及对环境造成二次污染，作业人员应具备相应的安全卫生防护知识，装备必要的防护用品。

14.2 可行性研究勘察

14.2.1 可行性研究勘察应针对轨道交通控制线路方案和重点地段、周边环境是否存在污染土开展工作，为线路比选、站位、线路敷设、施工方法等设计提供资料；

14.2.2 污染土勘察前应完成下列工作：

- a) 资料收集：包括场地利用及历史变迁资料、场地环境资料、场地相关记录、场地规划变迁等政府文件、场地所在区域的自然和社会信息等；
- b) 现场踏勘：调查范围应以场地及相邻地块为主，当场地或周边存在可能相互影响的污染源时，应适当扩大范围至周边区域，周边区域的范围由现场调查人员根据污染源可能迁移的距离来确定；
- c) 资料复核：调查人员应对资料中的错误和不合理的信息进行识别，当资料缺失对线路选取有较大影响时，应布置勘探、测试等工作量。

14.2.3 污染土可行性研究勘察应包括下列内容：

- a) 搜集地形地貌、气象、区域地质、第四纪地质、工程地质、水文地质、地震及遥感图像等资料；
- b) 了解控制线路方案和重点地段的污染土类型、性质、分布范围及其对工程产生的危害；
- c) 线路应避免污染土分布区，无法避让的应选择在污染土分布较窄、厚度较薄、基底稳定、横坡平缓的地段通过。

14.2.4 污染土地可行性研究勘察的方法应以资料调查搜集、现场踏勘、人员访谈为主，初步了解场地内可能存在的污染源和污染物特征，必要时可布置适当的勘探、取样等工作。

14.2.5 污染土可行性研究勘察的成果资料应包括下列内容：

- a) 对本阶段勘察资料进行分析，评估场地存在污染土的可能性，无法判断场地是否存在污染土时，应作为疑似污染场地，并说明场地可能存在的污染类型、污染状况、污染来源和污染区域；
- b) 初步评估场地污染的可能性及对工程产生的影响，提出线路比选方案和一步工作的建议；

- c) 判定场地存在污染土时，应重点阐明污染土类型、特征、分布范围及规律性，评价污染土对线路的影响，提出是否需要调整线路的走向或初勘阶段污染土勘察工作的建议；
- d) 对判定为非污染土场地时，可不进行后续阶段的污染土勘察工作；
- e) 绘制污染土勘察工程地质图，比例尺宜为 1:10000~1:50000。

14.3 初步勘察

14.3.1 初步勘察阶段应针对线路形式、工程的结构类型及施工方法开展勘察工作，对场地土的污染特征及水文地质特征进行初步评价，初步划分污染范围，分析路基、高架、地下等工程建设方案及施工方法的可行性，并提出初步设计所需的岩土参数和污染土治理措施建议。

14.3.2 污染土初步勘察应包括下列内容：

- a) 初步查明场地地形地貌、地层岩性和环境地质条件；
- b) 初步查明场地地下水类型、补给条件、动态特征以及与地表水之间的联系；
- c) 初步查明沿线污染土的分布、污染物类型、来源、污染年代、范围、厚度、污染程度；
- d) 初步查明污染土物理力学性质特征，分析其变形特征和稳定性；
- e) 分析判断场地污染途径及污染扩散迁移特征，并提出下一步的工作建议；
- f) 判定污染土、水对建筑材料的腐蚀性。

14.3.3 污染土初步勘察的方法宜采用工程地质调绘、综合物探并结合钻探、取样、原位测试、室内试验等多种勘探手段。

14.3.4 初步勘察勘探孔的平面布置应符合下列规定：

- a) 污染土场地初步勘察勘探孔数量应视污染土场地面积确定，当场地面积大于 5000m² 时，勘探孔数量不应少于 6 个；场地面积小于 5000m² 时，勘探孔数量不应少于 3 个；其中采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量不宜少于勘探孔总数的 2/3，取样孔不宜少于勘探孔总数的 1/3；控制性勘探孔不宜少于勘探孔总数的 1/2；
- b) 当地区有污染土场地勘察经验时，可根据地区经验布置勘探孔；地区无勘察经验时，宜根据勘察等级采用方格网形式布置勘探孔，初步勘察勘探孔的平面布置宜符合表 28 初步勘察勘探孔间距的要求；

表 28 初步勘察勘探孔间距

勘察等级	甲级	乙级	丙级
间距（m）	20~50	50~100	100~200

- c) 当场地跨越不同地质单元时，应适当增加取样监测点；
- d) 当污染土与地下水存在渗流，应跟踪监测地下水质量或水位变化，设置地下水长期监测井并进行地下水、渗滤液量测和水文地质试验；监测井布置应考虑地下水的渗流路径；当涉及多层地下含水层时，应分别设置；
- e) 当场地位于垃圾填埋区时，应收集与渗滤液相关的监测资料，无相关资料时，应设置渗滤液监测井。

14.3.5 勘探孔平面位置布置应符合下列要求：

- a) 根据可研阶段勘察取得的成果，并结合工程地质和水文地质条件布置勘探孔；
- b) 污染源明确的场地，勘探孔应布置在污染区中央、有明显污染的部位及污染可能影响的范围；

14.3.6 污染土初步勘察勘探孔的深度应根据地层结构、水文地质条件和污染土及污染特征等因素确定，并符合下列规定：

- a) 勘探孔深度应穿透场地可能的污染深度；
- b) 场地浅表部为微弱透水性土层时，一般性勘探孔深度不宜小于 6m，控制性勘探孔深度不宜小于 9m，遇基岩时可适当减小；
- c) 场地浅表部为中等或以上透水性地层时，勘探孔深度应穿透透水性土层，一般性勘探孔进入微弱透水性土层深度不小于 3~5m，控制性勘探孔进入微弱透水性土层深度不宜小于 5~8m；
- d) 当场地处于垃圾填埋区时，勘探孔深度应穿透垃圾堆体，一般性勘探孔进入微弱透水性土层不小于 3~5m，控制性勘探孔深度不小于 5~8m；当堆填区底部铺设防渗膜时，应调整孔深，避免破坏防渗膜；
- e) 地下水监测井深度应根据地下水位和含水层分布特征确定，其深度应大于场地污染深度，并应满足地下水采样和监测的要求。

14.3.7 污染土初步勘察的综合成果资料应包括下列内容：

- a) 岩土工程勘察报告应阐明污染土地段的地质条件，污染土的成因、年代、类型、厚度、分布范围、污染物类型和污染物来源，污染土的主要物理力学指标，分布规律，评价污染土的工程性能和环境地质条件，分析评价污染土对线路方案的影响；对污染土涉及的路基、桥涵、站场等代表性工点可编制工点成果资料；
- b) 沿线工程地质分段说明按地貌单元、地层时代、污染土类型、厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施建议等进行分段编写；
- c) 全线工程地质图比例尺宜按 1:2000~1:10000，各工点工程地质图比例尺宜按 1:1000~1:5000；
- d) 线路工程地质横、纵断面图比例尺宜按 1:200~1:5000，各工点工程地质横、纵断面图比例尺宜按 1:200~1:2000；
- e) 勘探、测试、试验等资料。

14.4 详细勘察

14.4.1 污染土详细勘察应在初步勘察的基础上，根据各工点的结构类型及施工方法，详细查明各工点的地质环境条件和污染土特征，分析评价场地污染风险，提出岩土工程治理的建议。

14.4.2 污染土详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明污染场地的地质环境和水文地质条件，包括地形地貌、地层结构、岩土层物理力学性质，地下水类型与分布、补给条件、动态和流场特征，地下水与邻近地表水的关系等；详细查明场地土及地下水的污染状况；
- b) 查明场地污染物的种类、浓度、空间分布、迁移状况等，分析场地污染途径，确定污染范围；
- c) 分析场地环境水文地质条件及污染特征，提供场地环境风险评估和污染土治理修复设计所需的工程地质、水文地质和污染扩散暴露等参数；
- d) 对比污染土的物理力学指标的变化，分析评价污染土对工点建设及施工方法的影响，并提出污染土防治方案的建议。

14.4.3 污染土详细勘察应采用现场调查、钻探、取样、物探、原位测试和室内试验相结合的方法，必要时进行地下水分层长期观测。

14.4.4 污染土详细勘察的勘探孔布置应符合下列规定：

- a) 在初步勘察确定的污染土分布范围内，结合建构筑物轮廓线按横、纵方向分别布置勘探线，勘探线数量不宜少于 2 条，勘探线间距不宜大于 30m；每条勘探线勘探孔数量不应少于 2 个，其中控制性勘探孔不宜少于勘探孔总数的 1/3；取样孔和原位测试孔的数量不宜少于勘探孔总数的 2/3，其中取样孔不宜少于勘探孔总数的 1/2；
- b) 详细勘探孔的平面布置宜符合表 29 详细勘察勘探孔间距的要求。

表 29 详细勘察勘探孔间距

勘察等级	甲级	乙级
间距（m）	10~20	20~50

- c) 遇岩土层性质变化大或污染土分布不均时应适当加密勘探孔；
- d) 在污染土与非污染土边界及不同污染区边界布设勘探孔时，宜增设布置探井或小螺旋钻孔以查明污染土的边界。

14.4.5 勘探孔深度应根据地层结构、水文地质条件和污染物及污染特征等因素确定，并应符合下列要求：

- a) 勘探孔深度应穿透场地可能的污染深度，并满足污染土治理的要求；
- b) 场地浅表部为微弱透水性土层时，一般性勘探孔深度不宜小于 6m，控制性勘探孔深度不宜小于 9m，遇基岩时可适当减小；
- c) 场地浅表部为中等或以上透水性地层时，勘探孔深度应穿透透水性土层，一般性勘探孔宜进入微弱透水性土层深度不小于 1~3m，控制性勘探孔宜进入微弱透水性土层深度不小于 3~5m；
- d) 当场地处于垃圾填埋区时，孔深应穿透垃圾堆体，一般性勘探孔应进入微弱透水性土层不小于 1~3m，控制性勘探孔深度应不小于 3~5m；当堆填区底部铺设防渗膜时，应调整孔深，避免破坏防渗膜；
- e) 地下水监测井深度应根据地下水位和含水层分布特征确定，其深度应大于场地污染深度，并满足地下水治理和监测的要求。

14.4.6 详细勘察的取样和原位测试应符合下列规定：

- a) 现场原位测试宜采用静力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验等方法，必要时可采用现场载荷试验。
- b) 取样应根据污染土类型或污染程度分层、分段采取，在污染土主要分布区和污染土与非污染土界线附近宜加密取样；
- c) 垃圾堆填区内揭露有生活垃圾的勘探孔应进行气体检测；
- d) 当场地及其附近地表水存在污染且与地下水存在水力联系时，应对地表水质进行监测。
- e) 当污染范围内存在地下水时，应设置地下水长期监测井进行地下水位、水质的监测，监测井布置应考虑地下水的渗流路径；涉及多层地下含水层时，应分别布设。

14.4.7 污染土详细勘察的综合成果资料宜按工点分别编制，并应包括下列内容：

- a) 岩土工程勘察报告应阐明污染土地段的工程地质水文地质条件，污染土的成因、类型，污染土的分布范围、厚度；对污染区域的污染程度及污染土的稳定性进行评价，必要时进行污染风险程度分区；提出污染土的主要物理力学性质指标与工程设计有关的岩土参数；分析地下水与污染区的相互影响；判定污染土、水对建筑材料腐蚀性；预测污染发展的趋势；提出工程处理措

施的建议和施工注意的问题；

- b) 工点工程地质图比例尺宜按 1:500~1:2000；
- c) 工程地质纵、横断面图比例尺宜按 1:100~1:1000。

14.5 施工勘察

14.5.1 施工勘察应针对建构筑物位置的局部调整、施工方法、施工工艺的特殊要求进行，当施工过程中出现周边环境变化、施工工法的改变影响污染土治理以及污染土分布范围、深度或污染物成分、污染程度与详细勘察有明显不同需特别处理时，应开展污染土的施工勘察工作。

14.5.2 施工勘察应包括下列内容：

- a) 研究工程勘察资料，掌握场地工程地质及污染土分布情况，预测施工中可能出现的问题；
- b) 调查周边环境变化、周边工程施工情况、地下管网渗漏对污染土处理形成的危害；
- c) 污染土分布地段的地形地貌特点及加固处理措施，有针对性地提出施工方法及注意事项；
- d) 核查污染土的成分、密度和污染物来源，通过地基验槽确定污染土处理的合理性。

14.5.3 施工勘察的成果资料应包括下列内容：

- a) 岩土工程勘察报告：开展施工勘察的原因、范围及工作量，阐明污染土分布情况以及工程地质水文地质特征，提出是否需要改变污染土处理设计参数、处理方法、处理范围、处理深度的建议等；
- b) 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

14.6 勘探与测试

14.6.1 勘探方法宜根据场地环境条件、工程地质水文地质特征、污染类型，取样及原位测试等要求选用钻探、静探、井探、槽探、物探等，当污染物埋藏较浅且位于地下水位以上时，可采用槽探、井探识别观察，快速检测污染物特征与浓度；

14.6.2 钻探除符合相关规范要求外，尚应符合下列规定：

- a) 钻探前应查明各类地下管线、构筑物的分布及使用情况，钻探过程中应将产生的废弃土及废水分别统一收集并妥善处置，钻探结束后，所有钻孔应采用无污染、低渗透材料及时回填，确保周围环境安全；
- b) 优先选择采用干钻施工；监测井钻探宜采用清水钻进或跟管钻进；
- c) 需钻穿污染含水层下伏隔水层底板时，宜采用多级套管、分层灌浆回填的钻探方式，避免造成污染土层中的地下水相互连通；
- d) 钻探垃圾填埋堆体时，应采取防止堆体内压力的释放措施，防止渗滤液喷发、气体燃烧、爆炸等危害；
- e) 水文井钻探时应采取措施防止污染物损失、交叉污染以及对环境造成二次污染；
- f) 应记录污染土及孔隙液颜色、气味、状态等感官鉴别结果，以及污染痕迹等信息。

14.6.3 取样除符合相关规范要求外，尚应符合下列规定：

- a) 采取污染土岩土试样和进行原位测试的数量应满足岩土工程评价的要求，每个工点每个主要土层数量不宜少于 6 组；
- b) 用衬管材质与污染物不产生化学反应的取土器；采集用于污染物检测的土样时，应使用一次性

采样器；

- c) 用干钻法采取污染土样和污染土层上下层位的土样：采取挥发性和半挥发性有机物、易分解有机物等污染的土样时，应采用无扰动的取样方法和工具；
 - d) 用于环境指标检测的土样，应考虑污染物性质、污染物可能迁移的深度、土层特征、地下水位等因素确定取样孔位置及取样深度；
 - e) 用于污染物检测的土试样应符合 GB/T36197 和 HJ1019 的相关规定；
 - f) 用于污染土化学成分分析的土样，应按污染场地的中心和边缘，地层的上、中、下分别采取；
 - g) 土试样的保存和运输应采取措施避免因保存不当引起土试样污染或失效；
 - h) 浅层地下水样可采用渗（试）坑方式，取样时应采取措施防止地表水侵入；利用地下水监测井采取地下水样时，取样前应进行洗井；每个水试样的采集不应少于 1000ml。
- 14.6.4 原位测试除符合相关规范外，尚应符合下列规定：
- a) 中等和污染风险高的场地土承载力、变形指标宜采用静力载荷试验确定；
 - b) 采用场地监测试验井进行地下水位、渗滤液量测和确定水文地质参数；
 - c) 地球物理勘探宜根据场地条件及污染特征选取适当的方法，解译成果应通过钻探取样验证。
- 14.6.5 室内试验与检测除符合相关规范外，尚应符合下列规定：
- a) 室内分析与试验的对象主要包括勘探所取岩、土、水、气样、场地固体废物等；
 - b) 室内分析与试验内容应根据污染场地类型、勘察阶段、风险评价和污染物治理与管理要求综合确定；
 - c) 土样的物理性质试验与检测：包括颗粒级配、比重、天然含水量天然密度、液限、塑限、渗透系数、有机质含量等；
 - d) 土样的化学性质检测项目与方法应符合 HJ25.1 的规定；
 - e) 污染土的物理力学性质试验需要考虑土与污染物相互作用的时间效应及温度效应，存在时间效应时应考虑做浸泡污染物不同时间的试验。
 - f) 垃圾土样品的试验与检测：包括物理成分、容重、粒径、含水率、有机质等，必要时，还应进行化学分析试验、可燃分及灰分、热值试验，分析方法应符合 CJ/T 313 和 CJJ/T 204 的规定；
 - g) 地下水样品的试验与检测项目与方法应符合 GB/T14848 和 HJ/T 164；
 - h) 对污染土场地的气体进行化学成分分析；
 - i) 室内试验所产生废液与废物、余留试样应分类收集、设置明显标志、妥善保存，并定期回收处理。
- 14.6.6 地下水试验井施工应符合 HJ/T 164 的相关规定。
- 14.7 工程地质调查和测绘
- 14.7.1 污染场地工程地质调查应采用收集场地污染的历史资料、现场调查及人员访谈等方法，场地地质条件复杂时应进行水文地质与工程地质测绘，对地质条件简单的场地可采用工程地质调查代替测绘。
- 14.7.2 污染土地区工程地质调查前，宜搜集以下资料：
- a) 沿线近代地形地貌资料、古地形地貌图或历史河流变迁图，区域地质、遥感图像及解译资料等。场地及其相邻区域的开发及活动状况的航片或卫星图片；

- b) 沿线既有建筑、既有道路的勘察、设计、施工、观测资料、科研成果等；
- c) 场地及其相邻区域的土地利用规划资料、有助于评价地块污染的历史资料等；
- d) 场地土壤及地下水污染记录、 场地危险废物堆放记录以及场地与自然保护区和水源地保护区等的位置关系；
- e) 区域环境保护规划、 环境质量公告、 企业环境备案和批复文件以及生态和水源保护区的规划文件等资料。

14.7.3 污染土地地区的工程地质调查，宜包括下列内容：

- a) 调查污染土的分布范围和分布规律；
- b) 调查污染土地各土层的岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、地层结构、相变特征及其物理、力学、水理性质；
- c) 调查污染物的来源、污染途径、污染历史等；
- d) 调查地下水的类型、埋藏深度、补给与排泄条件以及水质变化情况；
- e) 调查既有堤防、涵洞、桥梁、道路、房屋、地下洞室等构筑物的修建时间、基础类型、地基处理措施、施工方法、处理效果、沉降变形及使用情况。

14.7.4 污染土地地区的测绘，宜包括下列内容：

- a) 场地及其周边一定范围内的地形地貌特征，地质年代、构造与不良地质作用；
- b) 岩体结构类型、各类结构面性质、岩体风化程度等；
- c) 含水层的岩性特征、埋藏深度、地下水的类型、补给来源、排泄条件、水位变化、污染情况及其与地表水体的关系；
- d) 测绘比例尺可根据勘察阶段成图要求选用 1:500~1:10000，污染土分布复杂时，比例尺宜适当放大；

14.7.5 测绘点的布设应符合下列要求：

- a) 在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、标准层位和每个地质单元体应有观测点；
- b) 观测点的密度应根据场地的地形地貌、地质条件、成图比例尺、工程要求和场地污染源分布等确定；
- c) 观测点应充分利用天然和已有的人工露头，当露头少时，应布置一定数量的探坑或探槽；
- d) 观测点的定位应按精度要求选用适当方法；地质构造线、地层接触线、岩性分界线、软弱夹层、地下水露头、不良地质作用及污染源分布等特殊观测点，宜用仪器定位。

14.8 场地评价

14.8.1 根据建设用土壤污染风险筛选值和管控值，可将场地污染风险程度按照如下分级：

- a) 污染风险程度大场地，污染物含量超过污染风险管控值得场地；
- b) 污染风险程度中等场地，污染物含量超过污染风险筛选值但未超过污染风险管控值的场地；
- c) 污染风险程度小场地，污染物含量未超过污染风险筛选值的场地。

14.8.2 建设用土壤污染风险筛选值和管控值参见附录 A。

14.8.3 场地分析与评价宜包括下列要求：

- a) 污染土评价应包括污染物类型、空间分布、污染运移路径及趋势、污染风险程度、场地固体废物鉴别、浸出液的毒性特征及地下水受污染的空间范围等；

- b) 结合工程特点对场地土污染前与污染后的工程性质进行对比,确定污染土的物理力学性质,评价污染对土的工程特性指标的影响及对周边环境的影响;
- c) 判定污染土和水对建筑材料的腐蚀性,评价水对环境的影响;
- d) 预测污染发展趋势及对工程的影响,提出治理设计参数及风险管控和治理修复建议;
- e) 必要时进行污染场地风险的专项评价,划分污染等级,绘制污染等级分区图。

14.8.4 场地水质评价宜符合 GB/T14848 和 GB3838 的规定。

14.8.5 污染场地勘察成果报告应根据任务要求、勘察阶段、场地特点、地质条件和污染特征等情况编写,勘察报告要求及内容参见本文件第 15 章。

15 勘察报告

15.1 一般规定

15.1.1 城市轨道交通工程特殊土岩土工程勘察报告,应在搜集已有资料,取得工程地质调查与测绘、勘探、测试和室内试验成果的基础上,根据勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法对勘察工作的要求,并按照本文件各章第 8 节进行岩土工程分析与评价,提供工程沿线的工程地质和水文地质资料。

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

15.1.3 勘察报告中的岩土工程分析评价,应论据充分、针对性强,所提建议应技术可行、经济合理、安全适用。岩土参数的分析与选用应 GB50021 的有关规定。

15.1.4 可行性研究阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制,初步勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照线路编制或按照地质单元线路敷设形式编制,详细勘察阶段岩土工程勘察报告宜按照车站、区间、车辆基地等分别编制;报告中应统一全线地质单元、工程地质和水文地质分区、岩土分层的划分标准。

15.1.5 勘察成果资料整理应符合下列规定:

- a) 各阶段勘察成果应具有连续性、完整性;
- b) 相邻区段、相邻工点的衔接部位或不同线路交叉部位的勘察成果资料应互相利用、保持一致;
- c) 勘探孔平面图宜取合适的比例尺,应包含地形、线位、站位、里程、结构轮线等。
- d) 绘制工程地质断面图时,勘探孔宜投影至线路断面上,断面图应包含里程标、地面高程、线路及车站断面等;
- e) 地质构造图、区域交通位置图等平面图应包括线路位置和必要的车站、区间名称的标识。

15.1.6 勘察报告中的图例宜符合 GB50307 的规定。

15.2 成果分析与评价

15.2.1 特殊土的勘察报告中的岩土工程分析评价应包括下列内容:

- a) 工程建设场地的稳定性、适宜性评价;
- b) 地下工程、高架工程、路基及各类建筑工程的地基基础形式、地基承载力及变形的分析与评价;
- c) 不良地质作用及特殊性岩土对工程影响的分析与评价,避让或防治措施的建议;
- d) 划分场地土类型和场地类别,抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地,评价地震液化和震陷的可能性;

- e) 围岩、边坡稳定性和变形分析, 支护方案和施工措施的建议;
- f) 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;
- g) 地下水对工程的静水压力、浮托作用分析;
- h) 水和土对建筑材料腐蚀性的评价。

15.2.2 明挖法施工应重点分析评价下列内容:

- a) 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;
- b) 支护桩墙类型分析, 连续墙、立柱桩的持力层和承载力;
- c) 软弱结构面空间分布、特性及其对边坡、坑壁稳定的影响;
- d) 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;
- e) 分析基坑开挖过程中可能出现的岩土工程问题, 以及对附近地面、邻近建(构)筑物和管线的影响。

15.2.3 矿山法施工应重点分析评价下列内容:

- a) 分析岩土及地下水的特性, 进行围岩分级, 评价隧道围岩的稳定性, 提出隧道开挖方式、超前支护形式等建议;
- b) 指出可能出现坍塌、冒顶、边墙失稳、洞底隆起、涌水或突水等风险的地段, 提出防治措施的建议;
- c) 分析隧道开挖引起的地面变形及影响范围, 提出环境保护措施的建议。

15.2.4 盾构法施工应重点分析评价下列内容:

- a) 分析岩土层的特征, 指出盾构选型应注意的地质问题;
- b) 分析复杂地质条件以及河流、湖泊等地表水体对盾构施工的影响;
- c) 提出在软硬不均地层中的开挖措施及开挖面障碍物处理方法的建议;
- d) 分析盾构施工可能造成的土体变形, 对工程周边环境的影响, 提出防治措施的建议。

15.2.5 高架工程应重点分析评价下列内容:

- a) 分析岩土层的特征, 建议天然地基、桩基持力层, 评价天然地基承载力、桩基承载力, 提供变形计算参数;
- b) 评价成桩的可能性, 指出成桩过程应注意的问题;
- c) 分析评价土的不良地质作用和特殊性岩土对桩基稳定性和承载力的影响, 提出防治措施的建议。

15.2.6 地面建(构)筑物的岩土工程分析评价, 应符合 GB 50021 的有关规定。

15.2.7 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:

- a) 基坑开挖、隧道掘进和桩基施工等可能引起的地面沉降隆起和土体的水平位移对邻近建(构)筑物及地下管线的影响;
- b) 工程建设导致地下水位变化、区域性降落漏斗、水源减少水质恶化、地面沉降、生态失衡等情况, 提出防治措施的建议;
- c) 工程建成后或运营过程中, 可能对周围岩土体、工程周边环境的影响, 提出防治措施的建议。

15.3 勘察报告

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

15.3.2 勘察报告的文字部分宜包括下列内容:

- a) 勘察任务依据、拟建工程概况、执行的技术标准、勘察目的与要求、勘察范围、勘察方法、完

成工作量等；

- b) 区域地质概况及勘察场地的地形、地貌、水文、气象条件；
- c) 场地地面条件及工程周边环境条件等；
- d) 岩土特征描述,岩土分区与分层,岩土物理力学性质、岩土施工工程分级、隧道围岩分级；
- e) 地下水类型,赋存、补给、径流、排泄条件,地下水位及其变化幅度,地层的透水及隔水性质；
- f) 不良地质作用、特殊性岩土的描述,及其对工程危害程度的评价；
- g) 场地土类型、场地类别、抗震设防烈度、液化判别；
- h) 场地稳定性和适宜性评价；
- i) 按本文件中的要求,进行岩土工程分析评价,并提出相应的建议；
- j) 其他需要说明的问题。

15.3.3 勘察报告的表格宜包括下列内容：

- a) 勘探孔主要数据一览表；
- b) 标准贯入试验、静力触探等原位测试,岩土室内试验、抽水试验、水质分析等成果表；
- c) 各岩土层的原位测试、岩土室内试验统计汇总表,地震液化判别成果表；
- d) 各岩土层物理力学性质指标综合统计表及参数建议值表
- e) 其他的相关分析表格。

15.3.4 勘察报告的图件宜包括下列内容

- a) 区域地质构造图、水文地质图；
- b) 线路综合工程地质图、工程地质及水文地质单元分区图工程地质及水文地质分区图；
- c) 水文地质试验成果图；
- d) 勘探孔平面位置图,工程地质纵、横断(剖)面图；
- e) 钻孔柱状图；
- f) 室内土工试验成果图；
- g) 波速、电阻率测井试验成果图,静力触探、载荷试验等原位测试曲线图；
- h) 特殊土及基岩埋深等值线图；
- i) 其他相关图件。

15.3.5 勘察报告可附室内土工试验等试验原始记录。

15.3.6 专项勘察报告的内容,可根据专项勘察的目的、要求参照本文件第 15.3.2 条第 15.3.5 条执行。

附 录 A

(规范性)

建设用地土壤污染风险筛选值和管控值

A.0.1 建设用地土壤污染风险和管控可按表 A.0.1 取值

表 A.0.1 建设用地土壤污染风险筛选值和管控值（基本项目）

单位：mg/kg

序号	污染物项目	CAS 编号	筛选值		管制值	
			第一类用地	第二类用地	第一类用地	第二类用地
重金属和无机物						
1	砷	7440-38-2	20	60	120	140
2	镉	7440-43-9	20	65	47	172
3	铬（六价）	18540-29-9	3	5.7	30	78
4	铜	7440-50-8	2000	18000	8000	36000
5	铅	7439-92-1	400	800	800	2500
6	汞	7439-97-6	8	38	33	82
7	镍	7440-02-0	150	900	600	2000
挥发性有机物						
8	四氯化碳	56-23-5	0.9	2.8	9	36
9	氯仿	67-66-3	0.3	0.9	5	10
10	氯甲烷	74-87-3	12	37	21	120
11	1,1-二氯乙烷	75-34-3	3	9	20	100
12	1,2-二氯乙烷	107-06-2	0.52	5	6	21
13	1,1-二氯乙烯	75-35-4	12	66	40	200
14	顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	66	596	200	2000
15	反-1,2-二氯乙烯	156-60-5	10	54	31	163
16	二氯甲烷	75-09-2	94	616	300	2000
17	1,2-二氯丙烷	78-87-5	1	5	5	47
18	1,1,1,2-四氯乙烷	630-20-6	2.6	10	26	100
19	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	1.6	6.8	14	50
20	四氯乙烯	127-18-4	11	53	34	183
21	1,1,1,-三氯乙烷	71-55-6	701	840	840	840

22	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	0.6	2.8	5	15
23	三氯乙烯	79-01-6	0.7	2.8	7	20
24	1,2,3-三氯丙烷	96-18-4	0.05	0.5	0.5	5
25	氯乙烯	75-01-4	0.12	0.43	1.2	4.3
26	苯	71-43-2	1	4	10	40
27	氯苯	108-90-7	68	270	200	1000
28	1,2-二氯苯	95-50-1	560	560	560	560
29	1,4-二氯苯	106-46-7	5.6	20	56	200
30	乙苯	100-41-4	7.2	28	72	280
31	苯乙烯	100-42-5	1290	1290	1290	1290
32	甲苯	108-88-3	1200	1200	1200	1200
33	间-二甲苯+对-二甲苯	108-38-3, 106-42-3	163	570	500	570
34	邻-二甲苯	95-47-6	222	640	640	640
半挥发性有机物						
35	硝基苯	98-95-3	34	76	190	760
36	苯胺	62-53-3	92	260	211	663
37	2-氯酚	95-57-8	250	2256	500	4500
38	苯并[a]蒽	56-55-3	5.5	15	55	151
39	苯并[a]芘	50-32-8	0.55	1.5	5.5	15
40	苯并[b]荧蒽	205-99-2	5.5	15	55	151
41	苯并[k]荧蒽	207-08-9	55	151	550	1500
42	蒽	218-01-9	490	1293	4900	12900
43	二苯并[a,h]蒽	53-70-3	0.55	1.5	5.5	15
44	茚并[1,2,3-cd]芘	193-39-5	5.5	15	55	151
45	蔡	91-20-3	25	70	255	700