中华人民共和国国家标准

地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范

Code on geotechnical investigations for
metro and light rail transit

GB 50307—1999

主编部门：首都规划建设委员会办公室
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：2000年6月1日

关于发布国家标准《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》和《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》的通知

建标〔1999〕318号

根据我部《关于印发一九九八年工程建设标准规范制订、修订计划（第二批）的通知》（建标〔1998〕224号）的要求，由首都规划建设委员会办公室会同有关部门共同制订的《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》和《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》，经有关部门会审，批准为强制性国家标准，编号分别为：GB 50307—1999和GB 50308—1999，自2000年6月1日起施行。

本规范由首都规划建设委员会办公室负责管理，北京市城建勘察测绘院负责具体解释工作，建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部

一九九九年十二月十五日

前　言

本规范是根据中华人民共和国建设部建标〔1998〕224号文《关于印发一九九八年工程建设标准规范制订、修订计划（第二批）的通知》要求编制的。

本规范共有17章、11个附录及条文说明，主要内容有：

一、对各勘察阶段工作布置的原则和要求。

二、岩土和地下水技术参数测定的方法。

三、不同施工方法的勘察要点。

四、特殊土及高架线路、桥涵的勘察内容。

五、勘察报告的编制及工程监测。

经授权，负责本规范具体解释的单位是：北京市城建勘察测绘院，院址：北京市朝阳区安慧里五区六号，邮编：100101，http://www.cki.com.cn，E-mail：webmaster@cki.com.cn。希望各单位在使用中注意积累经验，并将建议和意见寄给北京市城建勘察测绘院，以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人：

主编单位： 北京市城建勘察测绘院

参编单位： 北京市城建设计研究院
广州市地下铁道总公司
上海岩土工程勘察设计研究院
北京市勘察设计研究院
西北综合勘察设计研究院
沈阳市勘察测绘研究院
青岛市勘察测绘研究院
建设部综合勘察研究设计院
铁道部科学研究院
深圳市勘察测绘院

主要起草人： 衰绍武　王元湘　刘官熙　史存林
庄宝璠　吴成孝　林在贯　张乃瑞
金　淮　周士鉴　罗梅云　顾宝和
顾国荣　贾信远　傅遁鑫　彭家骏
鞠世健　陈玉梅

目　　次

1　总则 …… 2—13—5
2　术语和符号 …… 2—13—5
2.1　术语 …… 2—13—5
2.2　符号 …… 2—13—5
3　基本规定 …… 2—13—5
4　岩土定名、描述与围岩分类 …… 2—13—6
4.1　岩石分类 …… 2—13—6
4.2　土的分类 …… 2—13—6
4.3　隧道围岩分类 …… 2—13—7
4.4　土、石可挖性分级 …… 2—13—7
4.5　岩土的描述 …… 2—13—7
5　勘察阶段工作内容 …… 2—13—7
5.1　一般规定 …… 2—13—7
5.2　可行性研究阶段 …… 2—13—8
5.3　初步勘察阶段 …… 2—13—8
5.4　详细勘察阶段 …… 2—13—8
5.5　施工中的岩土工程勘察工作 …… 2—13—8
6　工程地质调查与测绘 …… 2—13—9
7　勘探与取样 …… 2—13—9
7.1　一般规定 …… 2—13—9
7.2　钻探 …… 2—13—9
7.3　井探、槽探 …… 2—13—10
7.4　取样 …… 2—13—10
7.5　地球物理勘探 …… 2—13—10
8　地下水 …… 2—13—10
8.1　一般规定 …… 2—13—10
8.2　调查与评价 …… 2—13—10
8.3　地下水参数的测定 …… 2—13—10
8.4　水样的采取与试验项目 …… 2—13—11
8.5　工程降水 …… 2—13—11
9　原位测试 …… 2—13—12
9.1　一般规定 …… 2—13—12
9.2　标准贯入试验 …… 2—13—12
9.3　动力触探试验 …… 2—13—12
9.4　旁压试验 …… 2—13—12
9.5　静力触探试验 …… 2—13—13
9.6　载荷试验 …… 2—13—13
9.7　十字板剪切试验 …… 2—13—13
9.8　波速试验 …… 2—13—13
10　岩土试验 …… 2—13—14
10.1　一般规定 …… 2—13—14
10.2　土的常规试验 …… 2—13—14
10.3　基床系数 …… 2—13—14
10.4　热物理指标 …… 2—13—14
10.5　土的动力性质试验 …… 2—13—14
10.6　岩石试验 …… 2—13—14
11　特殊土的勘察 …… 2—13—14
11.1　软土 …… 2—13—14
11.2　湿陷性土 …… 2—13—15
11.3　膨胀土 …… 2—13—16
11.4　风化岩与残积土 …… 2—13—16
11.5　填土 …… 2—13—17
12　明挖法勘察 …… 2—13—17
12.1　一般规定 …… 2—13—17
12.2　放坡开挖 …… 2—13—17
12.3　支护开挖 …… 2—13—17
12.4　盖挖法 …… 2—13—18
13　暗挖法勘察 …… 2—13—18
13.1　一般规定 …… 2—13—18
13.2　矿山法 …… 2—13—18
13.3　盾构法 …… 2—13—19
14　岩土加固工程勘察 …… 2—13—19
14.1　一般规定 …… 2—13—19
14.2　岩体加固 …… 2—13—20
14.3　土体加固 …… 2—13—20
15　路基、高架线路与桥涵勘察 … 2—13—20
15.1　一般规定 …… 2—13—20
15.2　路基勘察 …… 2—13—20
15.3　高架线路勘察 …… 2—13—21
15.4　桥涵勘察 …… 2—13—21
16　成果分析与勘察报告 …… 2—13—22
16.1　一般规定 …… 2—13—22
16.2　参数确定 …… 2—13—22
16.3　勘察报告的基本要求 …… 2—13—22
16.4　勘察报告内容 …… 2—13—23
17　工程监测 …… 2—13—23
17.1　一般规定 …… 2—13—23
17.2　施工前的监测 …… 2—13—23

17.3 施工中的监测 …… 2—13—24
17.4 施工后的监测 …… 2—13—24
附录 A 岩石按风化程度分类 …… 2—13—25
附录 B 土、石可挖性分级 …… 2—13—25
附录 C 地球物理勘探方法的原理、特点及应用范围 …… 2—13—26
附录 D 渗透系数的计算 …… 2—13—27
附录 E 降水引起的地面附加沉降计算 …… 2—13—27
附录 F 基床系数 K 的经验值 …… 2—13—27
附录 G 岩土热物理指标 …… 2—13—28
附录 H 工程地质类比法的黄土分类 …… 2—13—28
附录 J 花岗岩残积土细粒土试验 …… 2—13—29
附录 K 土体加固方法的适用范围 …… 2—13—29
附录 L 常用图例 …… 2—13—30
本规范用词说明 …… 2—13—30

1 总　　则

1.0.1 为统一地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察的技术标准，做到确保质量、安全适用、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于地下铁道、轻轨交通的隧道、车站、路基、桥涵、车辆段及附属建筑物岩土工程勘察工作。

1.0.3 在地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察中应重视环境保护，防止或减少对环境平衡的破坏。并应预测和控制对市政工程安全产生的危害。

1.0.4 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察必须广泛搜集已有的勘察、设计与施工资料，针对不同的施工方案和施工影响范围安排工作量和测试手段，提供勘察资料，提出工程建议。

1.0.5 勘察阶段宜与设计阶段相适应。可分为可行性研究勘察阶段，初步勘察阶段，详细勘察阶段，在地质复杂地区可配合施工阶段进行施工中的岩土工程勘察。

1.0.6 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察，除应执行本规范外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.1 地下铁道　metro 或 underground railway 或 subway tube

在城市中修建的高速、大运量的用电力机车牵引的铁道，远期单向高峰小时客流量超过 30000 人次，线路通常设在地下的隧道中，有时也从地下延伸至地面，或设在高架桥上。

2.1.2 轻轨交通　light rail transit

在城市修建的高速、中运量的轨道交通客运系统，远期单向高峰小时客流量在 10000～30000 人次之间，线路设在地面、高架桥上或地下。

2.1.3 工程环境　engineering environment

工程环境指工程所处的自然环境、人文环境，以及由于工程建设产生的新环境。研究环境与工程建设的相互影响、相互制约的作用，通过勘察、预测、评估使工程建设和环境的改善，同步进行，以达到工程建设走可持续发展道路的目的。

2.1.4 围岩　surounding rock

指隧道周围一定范围内，对其稳定性产生影响的岩土。

2.1.5 基床系数　coefficient of subgrade reaction

基床系数是地基土在外力作用下，产生单位变位时所需的压力，也称弹性抗力系数或地基反力系数。有水平基床系数和垂直基床系数之分。

2.1.6 热物理指标　thermophysical index

岩土热物理指标主要包括导热系数、导温系数和比热容。

2.2 符　　号

a ——压缩系数
b ——基础底面宽度
c ——粘聚力
C_c ——压缩指数
C_e ——回弹指数
d ——土粒粒径
d_{10} ——有效粒径
d_{50} ——中值粒径
D_r ——相对密实度
E ——弹性模量
E_e ——回弹模量
E_d ——动弹性模量
E_o ——变形模量
E_s ——压缩模量
e ——孔隙比
f_o ——地基承载力基本值
f_k ——地基承载力标准值
f_r ——岩石饱和单轴抗压强度
G ——地基剪切模量；土的比重
G_d ——动剪切模量
H ——高度
I_L ——土的液性指数
I_p ——土的塑性指数
K_o ——静止土压力系数
K_a ——主动土压力系数
K_p ——被动土压力系数
k ——土的渗透系数
K ——基床系数
N ——标准贯入试验锤击数
N_{10} ——轻型动力触探锤击数
$N_{63.5}$ ——重型动力触探锤击数
N_{120} ——超重型动力触探锤击数
OCR ——超固结比
P ——总压力
P_c ——先期固结压力
Q ——出水量
q_c ——静力触探锥头阻力
q_p ——桩端土承载力标准值
q_s ——桩周土摩擦力标准值
q_u ——无侧限抗压强度
s ——沉降量
S_r ——土的饱和度
S_t ——土的灵敏度
V ——地下水流速
V_p ——地层压缩波波速
V_s ——地层剪切波波速
w ——土的天然含水量
w_L ——液限
w_p ——塑限
γ ——土的重力密度（重度）
γ_d ——土的干重度
ν ——泊松比
ρ ——土的密度
φ ——内摩擦角

3 基 本 规 定

3.0.1 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察，应按不同设计阶段的精度要求，实施相应的勘察工作。

3.0.2 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察，应结合不同的施工方法，为工程设计提出岩土分布及其技术参数的评价，并应提出工程建议与监测措施。

3.0.3 工程安全等级应根据工程破坏后果和工程类型来确定，安

全等级划分可按表 3.0.3 确定：

表 3.0.3 工程安全等级

安全等级	破坏后果	工 程 类 型
一级	很严重	隧道及出入口、高架桥、大中桥梁、30 层以上高层建筑及其它重要构筑物
二级	严重	路基、检修库、停车库
三级	不严重	次要建筑物

3.0.4 隧道通风设计或冻结法施工，应测定岩土的热物理指标。

3.0.5 应搜集和分析地表水系的水情要素，并应提供沿线地下水参数。

3.0.6 采用人工降低地下水位的施工地段，对附近土体变形和重要建筑物的沉降，应提出监控措施。

3.0.7 对沿线重要的自然景观和人文景观应进行调查，并应提出保护措施。

3.0.8 对地下有害、可燃气体、突水、涌砂等危险地段应进行调查，并应进行必要的勘察测试。

3.0.9 地下铁道、轻轨交通的场地复杂程度，宜按表 3.0.9 划分：

表 3.0.9 场地复杂程度

类 别	地貌特征	岩 土 性 状
简单场地	开阔平坦 平缓坡地	地层较稳定，岩性变化不大，地下水位较低 为坚硬场地土或中硬场地土所构成
中等复杂场地	基本平坦 一般斜坡	地层变化较大，岩性多变，地下水位较高 多为中硬场地土和中软场地土所构成
复杂场地	高差较大兼容多种地貌	岩土成分复杂，土质软弱，起伏较大，地下水位高，具有多种类型的地下水

3.0.10 地下铁道、轻轨交通应按当地基本烈度设防。

3.0.11 场地土类型划分、建筑场地类别划分、地基土液化判别，地下铁道、轻轨交通工程构筑物应执行现行国家标准《铁道工程抗震设计规范》GBJ 111 的有关规定。凡对地面建筑物，应执行现行国家标准《建筑抗震设计规范》GBJ 11。其划分深度应满足设计的需要。

3.0.12 车辆段及其附属建筑勘察可与正线勘察同步实施。通风道、通风井及水源井的勘察宜在详细勘察阶段实施。

3.0.13 应对岩土的变形和应力变化、围岩稳定、降水效果、支护结构状态以及对邻近建筑和市政设施的影响等提出监测建议。

4 岩土定名、描述与围岩分类

4.1 岩 石 分 类

4.1.1 岩石按成因应分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

4.1.2 岩石应根据饱和极限抗压强度 f_r 按表 4.1.2 划分。

表 4.1.2 岩石的分类(MPa)

岩 石 类 别		f_r
硬质岩石	极硬岩	$f_r>60$
	硬质岩	$30<f_r\leqslant 60$
软质岩石	软质岩	$5\leqslant f_r\leqslant 30$
	极软岩	$f_r<5$

4.1.3 岩石的风化程度应按本规范附录 A 分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化。

4.1.4 按软化系数 K_r 分为软化岩石 $K_r\leqslant 0.75$ 和不软化岩石 $K_r>0.75$。

注：K_r 为饱和状态与风干状态岩石单轴极限抗压强度之比。

4.2 土 的 分 类

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

1 老沉积土：第四纪晚更新世 Q_3 及其以前沉积的土层。

2 一般沉积土：第四纪全新世(文化期以前 Q_4)沉积的土层。

3 新近沉积土：文化期以来新近沉积的土层 Q_4。

4.2.2 按地质成因应分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土、风积土。

4.2.3 按土中有机质含量 W_u 分为无机土、有机质土、泥炭质土和泥炭(有机质含量 W_u 为 550℃时的灼失量)，按表 4.2.3 确定。

表 4.2.3 按有机质含量(W_u)分类(%)

土 的 名 称	有机质含量
无 机 土	$W_u<5$
有机质土	$5\leqslant W_u\leqslant 10$
泥炭质土	$10<W_u\leqslant 60$
泥 炭	$W_u>60$

4.2.4 土的分类按颗粒级配应分为碎石土、砂土并应符合下列规定：

1 碎石土：粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量 50%的土。

2 砂土：粒径大于 2mm 颗粒的质量少于总质量 50%且粒径大于 0.075mm 颗粒的质量超过总质量 50%的土。

3 对碎石土和砂土的分类应按表4.2.4-1 和表4.2.4-2确定：

表 4.2.4-1 碎石土的分类

土的名称	颗 粒 形 状	颗 粒 含 量
漂 石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 200mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
块 石	棱角形为主	
卵 石	圆形和亚圆形为主	粒径大于 20mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
碎 石	棱角形为主	
圆 砾	圆形和亚圆形为主	粒径大于 2mm 颗粒的质量超过总质量的 50%
角 砾	棱角形为主	

表 4.2.4-2 砂土的分类

土 的 名 称	颗 粒 含 量
砾 砂	粒径大于 2mm 颗粒占总质量大于 25%，且少于 50%
粗 砂	粒径大于 0.5mm 颗粒超过总质量的 50%
中 砂	粒径大于 0.25mm 颗粒超过总质量的 50%
细 砂	粒径大于 0.075mm 颗粒超过总质量的 85%
粉 砂	粒径大于 0.075mm 颗粒超过总质量的 50%

4.2.5 按塑性指数分类分为粉土和粘性土。

1 粉土：塑性指数 I_p 大于 3 小于或等于 10 的土。

2 粘性土：塑性指数 I_p 大于 10 的土，按表 4.2.5 确定。

表 4.2.5 粘性土的分类

土 的 名 称	塑性指数 I_p
粉质粘土	$10<I_p\leqslant 17$
粘 土	$I_p>17$

4.2.6 特殊土：按其特殊性质分为湿陷性土、膨胀土、软土、残积土和人工填土。

1 湿陷性土：在干旱、半干旱环境中堆积形成，固结程度低、孔隙比大，随着含水量的增加或浸水会产生显著、大量附加压缩变形的土，主要是黄土和黄土类土。但也包括在类似环境中形成的一

部分碎石类土、砂土与混合土。湿陷性土有自重湿陷性和非自重湿陷性之分。

2 膨胀土：含较多或大量亲水粘土矿物，具有显著的吸水膨胀和失水收缩并往复可逆的变形特性的粘性土。

3 软土：天然含水量大于或等于液限，天然孔隙比大于或等于1.0，外观常为灰色或灰黑色的粘性土，具有压缩性高(a_{1-2}>0.5MPa^{-1})强度低(C_u<30kPa)灵敏度高与透水性低等技术特性。天然含水量大于液限，孔隙比大于或等于1.5且含大量有机质的粘性土称淤泥；天然孔隙比小于1.5，但大于或等于1.0的称淤泥质土。

4 残积土：岩石的组织结构已全部破坏，除石英外其矿物成分已完全风化成土但未经搬运的物质。

5 人工填土：由人类活动而堆填的土，根据其物质成分和堆填方式，可分为下列三类：

1）素填土：由碎石、砂质、粉土质、粘土质等一种或多种材料组成的填土，不含杂质或含杂质不多。按主要组成物质，素填土分为碎石素填土、砂质素填土、粉土质素填土与粘土质素填土等。

2）杂填土：含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物的填土，按组成物质成分又可分为建筑垃圾填土、工业废料填土与生活垃圾填土。

3）冲填土：利用水力运移吹填泥砂形成的填土，亦称吹填土。

4.3 隧道围岩分类

4.3.1 隧道围岩应按表4.3.1划分。

表4.3.1 隧道围岩分类

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态（单 线）
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态	
Ⅵ	硬质岩石（饱和极限抗压强度 f_r>60MPa），受地质构造影响轻微，节理不发育，无软弱面（或夹层），层状岩层为厚层，层间结合良好	呈巨块状整体结构	围岩稳定，无坍塌，可能产生岩爆
Ⅴ	硬质岩石（f_r>30MPa），受地质构造影响较重，节理较发育，有少量软弱面（或夹层）和贯通微张节理，但其产状及组合关系不致产生滑动；层状岩层为中层或厚层，层间结合一般，很少有分离现象；或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈大块状砌体结构	暴露时间长，可能会出现局部小坍塌，侧壁稳定，层间结合差的平缓岩层，顶板易塌落
	软质岩石（f_r≈30MPa），受地质构造影响轻微，节理不发育；层状岩层为厚层，层间结合良好	呈巨块状整体结构	
Ⅳ	硬质岩石（f_r>30MPa），受地质构造影响较重，节理发育，有层状软弱面（或夹层），但其产状及组合关系尚不致产生滑动；层状岩层为薄层或中层，层间结合差，多有分离现象；或为硬、软质岩石互层	呈块（石）碎（石）状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌，侧壁基本稳定，爆破震动过大易坍塌
	软质岩石（5MPa<f_r≤30MPa），受地质构造影响较重，节理较发育；层状岩层为薄层、中层或厚层，层间结合一般	呈大块状砌体结构	
Ⅲ	硬质岩石（f_r>30MPa），受地质构造影响很严重，节理很发育，层状软弱面（或夹层）已基本被破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时可产生较大的坍塌，侧壁有时失去稳定
	软质岩石（5MPa<f_r≤30MPa）；受地质构造影响较重，节理发育	呈块（石）碎（石）状镶嵌结构	
	土：1.密实的粘性土和胶结的砂土 2.黄土（Q_1、Q_2） 3.一般钙质或铁质胶结的碎、卵石土，大块石土	1、2呈大块状压密结构，3呈巨块状整体结构	
Ⅱ	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内，裂隙杂乱，呈石夹土或土夹石状	呈角（砾）碎（石）状松散结构	围岩易坍塌，处理不当会出现大坍塌，侧壁经常小坍塌，浅埋时易出现地表下沉（陷）或坍塌至地表
	一般第四系的坚硬至硬塑的粘性土及稍湿至潮湿的一般砂、卵石土，漂砾、角砾土及黄土（Q_3、Q_4）	呈松散或松软状	
Ⅰ	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内，呈角砾、砂、泥松软体	呈松软状	围岩极易坍塌变形，有水时土、砂常与水一齐涌出，浅埋时易坍塌至地表
	软塑状粘性土及粉土、潮湿的粉细砂等	粘性土易蠕动，砂性土潮湿松散	
注：软质岩石Ⅰ、Ⅱ类围岩遇有地下水时，可根据具体情况和施工条件适当降低围岩分类。			

4.4 土、石可挖性分级

4.4.1 土、石可挖性可按本规范附录B分为松土、普通土、硬土、软石、次坚石和坚石。

4.5 岩土的描述

4.5.1 岩石应描述名称、颜色、成分、结构与构造、风化程度、节理发育程度、充填物、有无岩脉侵入等。

4.5.2 碎石土应描述颗粒级配、形状、母岩成分、风化程度、充填物和充填程度、密实度、层理特征等。

4.5.3 砂土应描述颜色、颗粒级配、矿物组成、形状、粘性土含量、湿度、密实度及层理特征等。砂土的密实度根据标准贯入实测锤击数N值按表4.5.3-1确定。粉土密实度根据孔隙比e按表4.5.3-2确定。

表4.5.3-1 砂土密实度

密 实 度	N值
松 散	N≤10
稍 密	10<N≤15
中 密	15<N≤30
密 实	N>30

表4.5.3-2 粉土密实度

密 实 度	e值
密 实	e<0.75
中 密	0.75≤e≤0.90
稍 密	e>0.90

4.5.4 粉土应描述颜色、含有物、湿度、密实度及层理特征等，粉土的湿度按表4.5.4确定。

表4.5.4 按含水量确定粉土湿度(%)

湿 度	W
稍 湿	W<20
湿	20≤W≤30
很 湿	W>30

4.5.5 粘性土应描述颜色、含有物、土的结构和结构性、层理特征及状态、断面状态、粘性土的状态根据液性指数I_L按表4.5.5确定。

表4.5.5 粘性土状态的划分

状 态	I_L值
坚 硬	I_L≤0.00
硬 塑	0.00<I_L≤0.25
可 塑	0.25<I_L≤0.75
软 塑	0.75<I_L≤1.00
流 塑	I_L>1.00

4.5.6 特殊土应描述其特殊成分、状态和结构特征等。

5 勘察阶段工作内容

5.1 一般规定

5.1.1 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察工作阶段应分为可行性研究阶段、初步勘察阶段、详细勘察阶段及施工中的岩土工程勘察工作。

5.1.2 各勘察阶段所提供的工程地质及水文地质资料必须满足相应设计阶段需要的设计参数和有关技术资料，并应对工程环境进行预测、评价。

5.2 可行性研究阶段

5.2.1 可行性研究阶段应调查和搜集有关勘察资料，必要时可适当进行勘探工作。

5.2.2 可行性研究阶段工作应包括下列内容：

1 勘察前应根据建设单位和设计人员提出的勘察任务书、制定工作计划。

2 应搜集区域性的地质构造、工程地质、水文地质、气象、地震、地貌、地下水动态、古河道等有关资料以及物探资料和有关图片(卫片、航片)。

3 应调查研究沿线重要及高大建筑物的地基资料，沿线岩土工程施工经验。

4 每个车站、区间、每个地貌单元应有勘探资料。

5 对地下水动态进行长期观测时可布置一定数量的观测孔。

6 评价比选方案。

5.2.3 可行性研究阶段应提交下列文件：

1 可行性研究阶段岩土工程勘察报告。

2 钻孔平面位置图。

3 工程地质纵剖面图。

4 必要的测试资料及附图、附表。

5 复杂地段的工程地质、水文地质及市政环境资料。

5.3 初步勘察阶段

5.3.1 初步勘察阶段应初步查明沿线的区域地质、水文地质及工程地质条件，并应对线路通过地区的工程地质、水文地质条件进行评价；应初步查明控制线路方案的不良地质、特殊地质的性质、特征、范围，并应初步提出对不良地质的治理措施。

5.3.2 初步勘察阶段应包括下列内容：

1 初步查明沿线区域地质条件、地貌、地层、岩性、地质构造、水文地质条件，地下有害气体。

2 划定构造复杂地段、不良地质和特殊地质地段，并初步查明其成因、类型、性质、发生、发展、分布规律及对线路的危害程度，并提出治理意见。

3 初步查明沿线河湖淤积物的发育、分布，古建筑遗址，并结合工程要求提出初步评价。

4 调查沿线重要建筑物的地基条件、基础类型、上部结构和使用状态，并预测由于地铁修建可能引起的变化及预防措施。

5 分析已有地震资料，划分场地土类型和场地类别。

6 初步确定沿线土、石可挖性分级、围岩分类。

7 对沿线的重要车站、区间及不良地段，必要时可单独提供勘察资料。

8 初步查明沿线的地表水水位、流量、水质，以及补给、排泄条件与地下水的相互关系。

9 初步查明地下水类型、埋藏条件、补给来源、历年最高水位、水质、流速、流向，了解地下水动态和周期变化规律，提出水质评价，进行水文地质分区。

10 按地貌单元选择代表性地段进行水文地质试验，提出有关技术参数。需要进行地下水动态观测时，应设长期观测孔。

5.3.3 初步勘察阶段的勘探工作应符合下列规定：

1 在隧道一侧或两侧宜交叉布点，当需要在隧道范围内钻孔时应回填封孔。勘探点间距宜为100～200m，并可根据地质条件复杂程度及设计需要确定。

2 取试验样品和进行原位测试的孔不宜少于勘探孔总数的2/3。

3 控制性勘探孔深度：在松散地层中，应在隧道结构底板下不宜小于20m。在微风化及中等风化岩石地层中孔深应进入底板以下3～5m，在强风化带、全风化带中深度可根据地质条件、设计和施工的要求而定。

5.4 详细勘察阶段

5.4.1 根据初步设计鉴定意见，应详细查明沿线的工程地质及水文地质条件。

5.4.2 详细勘察阶段应包括下列内容：

1 对工程地质、水文地质复杂地段、特殊地段或有施工特殊要求的区段，应进行重点勘察，并应提出评价及处理方案。

2 对车站、出入口、通风道、水源井、车辆段等应进行单独详细勘察。

3 车站横剖面图不得少于3个。在地质条件复杂地段的区间应布置横剖面。

4 依据工程地质和水文地质条件，结合设计及施工方法的要求，按车站、区间综合各项指标以数理统计的方法分层，提出设计所需要的技术参数。

5 查明水文地质条件，补充初步勘察的不足。进一步查明地下水的性质，并做出评价。需要降水施工时，应分车站、区间提出降水方法及有关计算参数。

6 分析沿线建筑物、地下构筑物及管线在施工过程中的稳定性，并提出防护措施。

5.4.3 详细勘察阶段勘探点的数量、勘探孔深度应符合下列要求。

1 勘探孔间距可按表5.4.3确定：

表5.4.3 勘探孔间距(m)

类　别	区　间	车　站
简单场地	100～50	80～40
中等复杂场地	50～30	40～25
复杂场地	＜30	＜25

2 勘探孔深度：

1)第四纪松散地层中控制性钻孔的深度应根据区间、车站的埋深，地层、地下水等地质条件、设计要求、施工方法及降水工程的需要确定，其它钻孔可钻至基础底下6～10m；

2)基岩地区控制性钻孔：微风化带应钻入3～5m，但每个车站、区间必须有进入基底下1～3m的钻孔。在中等风化带应进入基底下3～5m。

3 取样试验及原位测试孔数量不应少于勘探孔总数的1/2。

4 必要时各车站、区间及每个地貌单元进行水文地质试验。

5 水源井勘探应根据设计要求进行。

6 车辆段内线路勘察应按本规范第15章的有关规定执行，除应绘制地质纵剖面图外，必要时还应绘制地质横剖面图。勘探深度可钻到基底下4～8m，地质条件复杂或有特殊要求时可适当加深。

5.4.4 应分车站、区间提供沿线地下水类型、补给和排泄条件、流速、流向、渗透系数、历年最高水位、枯水位、勘察时水位、水质等水文地质资料。

5.5 施工中的岩土工程勘察工作

5.5.1 施工中的岩土工程勘察工作宜包括下列内容：

1 验证勘察资料的准确性，根据实际情况及时调整勘察报告中提供的技术参数。

2 解决施工中遇到的工程地质及水文地质问题。

3 对沿线重要高大建筑物及附近地面沉降进行监测。

4 绘制隧道竣工地质剖面图。

5 对地下水动态进行长期观测。

6 对围岩或衬砌中进行岩体应力及变形观测。

6 工程地质调查与测绘

6.0.1 工程地质调查与测绘宜采用下列方法：

1 根据任务要求对已有的地质资料进行分析研究，编写纲要。必要时选择有代表性的地段进行实地踏勘。

2 对线路所处第四系覆盖地段，宜先使用物探方法进行探测，对解释成果应选择性地进行验证，并应提供实测地质剖面和必要的岩土测试资料。

3 基岩裸露、半裸露区，宜采用路线地质追索法与横穿法相结合进行调查与测绘，必要时可进行适量的勘探与测试。

4 地质复杂，宜采用填图的方法进行。当地质条件简单或既有地质资料比较充分时，可采用编图方法进行。编图地段应有剖面总数1/3的实测地质剖面。

5 对线路设计与施工有重要影响的地质问题，设专题进行研究。

6.0.2 工程地质调查与测绘的范围应符合下列规定：

1 应按规划的线路、附属建(构)筑物及其邻近地段开展工作。

2 以线路中线向两侧扩展宽度：车站、弯道不应少于100m，直线段不应少于50m。

3 为满足线路方案比选和附属建(构)筑物选址的需要所确定的地段，以及因工程建设可能诱发地质灾害所能影响的范围。

4 为研究和解决对工程建设有影响的不良工程地质和特殊地质，所扩展的范围。

5 受断裂构造、地下富水区、放射性矿体、污染土以及地下类似工程等因素的影响对线路的稳定性、适宜性产生直接或潜在的危害的地段，或建筑物的基础已影响线路的合理埋深时的地段。

6 当需要比较两岸工程地质条件时确定的范围。

7 当地质条件特别复杂时，所确定的扩大调查与测绘的范围。

6.0.3 工程地质调查与测绘宜包括下列内容：

1 研究地貌的基本特征，划分地貌基本成因类型和成因形态类型，分析其与基底岩性和新构造运动的关系。

2 调查可液化土层及新、老堆积土、特殊土工程地质特征。

3 岩层、岩体的岩性特征，宜按其成因、岩体结构的不同，划分地质单元体，了解岩石风化程度、岩石坚固程度。

4 调查构造类型、形态、产状、分布规律。对断裂、节理构造进行分类，确定主要结构面的走向与线路夹角的关系。

5 对主干断裂、强烈破碎带，宜进行适量的勘探与测试，调查软弱结构面的形态、规模、物质组成、地下水软化作用对隧道围岩稳定性的危害程度。

6 调查地表水及河床演变历史，搜集主要河流的最高洪水位、流速、流量、淹没范围等。调查地下水类型、基本特征、补给来源和排泄条件，以及地下水动态变化与地表水系的联系。评价地下水对混凝土和钢结构有无腐蚀性。

7 调查岩溶、滑坡、崩塌、岸边冲刷、地下古河道、暗浜、含沼气地层等不良地质现象的形成、形态、规模、分布、发展趋势及其对工程建设的影响。

8 根据地震基本烈度区划资料，调查历史地震活动状况，划分对工程建设抗震有利、不利或危险的地段。

9 调查线路及其邻近已发生或者可能发生地面沉降的范围、原因及其发展趋势。

10 调查线路及其周边建(构)筑物对工程建设的影响，并对场地稳定性作出评价。

11 当线路通过采空区，以搜集资料、调查访问为主。圈定已施工的采空区和设计采空区的范围，了解其规模、洞室埋深以及上覆岩土层的稳定性，可进行物探测试和钻探验证。

12 调查线路不同地段的土石成分和可挖性等级。

13 搜集当地水文、气象、植被及土的冻结深度资料。

6.0.4 工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求：

1 测绘用图比例尺选用比最终成果图大一级的线路地形图作底图，在可行性研究勘察阶段选用1∶1000～1∶2000；初步勘察阶段或详细勘察阶段选用1∶500～1∶1000；工程地质条件复杂地段应适当放大比例尺。

2 在可行性研究勘察阶段地层单位划分到"阶"或"组"；岩体年代单位划分到"期"；初步勘察阶段或详细勘察阶段均划分到"段"。第四系应划分不同的成因类型，时代应划分到"统"。

3 地质界线、地质观察点测绘在图面上的位置误差，不应大于图面比例尺2mm。

4 地质单元体在图上的宽度等于或大于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，应采用超比例尺方法适当扩大标示并加注明。

6.0.5 地质观察点的布置应满足下列要求：

1 地质观察点应布置在不同类型的地质界线上，在不良地质现象和特殊地质分布地段内，应有适量的地质观察点。

2 地质观察点应利用岩石露头。当岩石出露稀少时，应布置一定数量的勘探点。

3 地质观察点密度应根据技术要求、地质条件的复杂程度和成图比例尺等因素综合确定。其密度应能控制不同类型地质界线和地质单元体的变化。

6.0.6 工程地质调查与测绘的原始资料应准确可靠、图文相符。对工程设计、施工有影响的工程地质现象，应拍彩色照片并附文字说明。

6.0.7 可按车站、区间或以地质单元体为单位，选择有代表性的岩芯妥善保存，并拍彩色照片及说明。

6.0.8 工程地质调查与测绘提交的主要成果应包括全线实际材料图、工程地质分区图、隧道围岩分类平面图、线路纵横地质剖面图、岩土测试成果一览表、照片及综合工程地质资料、调查与测绘报告。

7 勘探与取样

7.1 一 般 规 定

7.1.1 勘探与取样工作应根据任务要求，确保分层准确、取样符合规定，且资料必须完整、可靠。

7.1.2 钻探、井探、槽探等方法的选择，应根据地层、深度、取样、原位测试及场地现状确定。

7.1.3 岩土试样的采取方法应结合地层条件、岩土试验技术要求确定。

7.1.4 勘探工作应考虑对工程及周围环境的影响，并应了解各种地下管线、地下构筑物的分布情况。钻孔、探井、探槽用完后应及时回填。

7.2 钻 探

7.2.1 钻探方法可根据岩土类别，水样、土样采取，原位测试和地下水观测等要求选择，并应符合下列要求：

1 根据工程的特点、设计要求及地质情况可采用回转、冲击、振动等钻探方法。

2 钻探应根据单孔技术要求进行。

3 鉴别地层及天然湿度的钻孔或需分层观测地下水位和采取水样时，应进行干钻。

4 钻探的回次进尺，应在保证获得准确地质资料的前提下，根据地层条件和钻头长度确定：在粘性土及粉土层中钻进时不超过钻头或管钻的长度；在砂土及碎石土中钻进时，应控制其进尺，以确保分层与描述的要求；在岩石中钻进时，回次进尺不得超过岩心管净空长度，必要时可限制回次进尺或回次时间。

7.2.2 钻孔直径应依据钻探目的和用途确定。

7.2.3 钻进深度、岩土分层界面深度、地下水位量测允许误差为±20mm。

7.2.4 岩芯采取率，应符合勘察设计任务要求，当需确定岩石质量指标(*RQD*)时，应采用75mm口径(N型)双层岩芯管和金刚石钻头。

7.2.5 对重要的钻孔，应妥善保存岩芯、土样，分段拍摄彩色照片。

7.3 井探、槽探

7.3.1 在建筑物密集、地下管网复杂、卵石地层等难以钻进的区域或地点以及技术上合理时，可采用挖探的方法，并宜在地下水位以上进行。

7.3.2 井探宜采用圆形或方形断面，在井内取样应随挖探工作及时进行。在松散地层中掘进时应进行护壁，且应每隔0.5～1.0m设一检查孔。井探施工时，应根据实际情况，向井中送风并应监测井内有害气体含量。

7.3.3 对井探、槽探的描述记录应按本规范第4章的有关规定执行。

7.4 取 样

7.4.1 土试样质量等级应根据用途按表7.4.1划分为四级：

表7.4.1 土试样质量等级

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

7.4.2 取样的工具、方法，应根据土试样质量等级和土的类别按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定选用。对特殊土的取样应符合本规范第11章的有关规定。

7.4.3 取原状土，宜采用静力压入法，取原状砂宜用取砂器。

7.4.4 对特殊试验项目的取样要求，应按表7.4.4执行。

表7.4.4 特殊试验项目的取土要求

试验项目	取 样 要 求	备 注
比热容、导热系数、导温系数	砂土取样数量应大于试验用料0.025m³并应保持其含水量，注明土的密度；岩石样应大于试件*L*×*D*×*H*(cm)15×10×5一块，另一块应大于试件直径2.5cm×高5.5cm然后加工成试件尺寸，外表应光滑	砂土应封装在密闭器内或塑料袋中
基床系数	垂直基床系数：土两筒，扰动砂应满足制备土样数量的要求，水平基床系数同上，均应注明地下水位	粘性土样应为原状土、砂样可取扰动样，应注明密度
动三轴	动模量及阻尼比各一筒，砂不少于10kg，注明密度、含水量，并应注明地下水位	主要原状土、砂可取扰动样

7.5 地球物理勘探

7.5.1 采用地球物理勘探方法时，应具备以下条件：

1 被探测对象与围岩之间有明显的物理性质差异。

2 被探测对象具有一定的埋藏深度和规模，且地球物理异常有足够的强度。

3 能抑制各种干扰，区分有用信号和干扰信号。

7.5.2 各种地球物理勘探方法的特点及使用范围，应符合本规范附录C的有关规定。

7.5.3 在应用地球物理勘探方法时，应进行方法有效性试验，试验地段应选择在对比资料有代表性的地段。

7.5.4 地球物理勘探的成果，应根据任务的性质和要求，进行对比验证。

8 地 下 水

8.1 一 般 规 定

8.1.1 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察中应查明沿线与工程有关的水文地质条件，并应根据工程需要和水文地质的特点，评价地下水对岩土体及建筑物的作用和影响，预测地下水对工程施工可能产生的后果并提出防治措施。

8.2 调查与评价

8.2.1 应调查历年最高水位、最低水位和回灌水位，且分层查明地下水位、水量及含水层层位、地下水与地表水的水力联系和补给条件，测定有关地层的渗透性，并应按下列内容评价地下水对工程的影响：

1 评价施工采取降、排水措施可能引起的两侧建筑物变形、市政道路的下沉、塌陷、地下水动态的变化和地下管线及各种设施的变形等不利影响，并提出防治措施。

2 基坑下有承压水含水层时，评价承压水头对基坑稳定性的影响。

3 线路通过含水粉细砂、粉土层时，评价开挖引起潜蚀、流砂、涌土的可能性。

4 评价地下水对岩土的软化、崩解、湿陷、潜蚀等有害作用，必要时建议进行抗浮验算。

5 调查沿线人防工程、人工洞室的充水情况，评价对基坑及隧道的影响。

6 评价地下水对支挡构筑物、路堑、边坡及路基稳定性的影响。

8.2.2 对有关含水层，应采取水样进行水质分析，评价地下水水质对建筑材料的腐蚀性。评价标准应符合现行国家有关标准的规定。

8.3 地下水参数的测定

8.3.1 地下水参数测定项目，宜根据工程需要与岩土特性确定。

8.3.2 地下水水位，可在钻孔、探井中测得，并应符合下列规定：

1 凡遇地下水的钻孔、探井，均应测定初见水位和静止水位。多层含水层的水位，应采取止水措施分层测定。承压含水层应测定承压水头。

2 抽水试验孔必须及时进行洗井。抽水试验前应测量自然静止水位。

8.3.3 地下水的流向宜利用等水位线图采用几何法确定。地下水真流速的测定，可采用指示剂法。

8.3.4 含水层的渗透系数及导水系数宜采用钻孔或探井抽水试验、注水试验求得；含水层的透水性根据渗透系数*k*值，按表8.3.4划分。

表8.3.4 含水层的透水性(m/d)

类 别	特强透水	强透水	中等透水	弱透水	微透水	不透水
*k*值	*k*>200.000	10.000≤*k*≤200.000	1.000≤*k*<10.000	0.010≤*k*<1.000	0.001≤*k*<0.010	*k*<0.001

8.3.5 含水层的给水度宜采用抽水试验确定。松散岩类含水层的给水度，宜采用实验室法确定；岩石裂隙、岩溶的给水度，可采用裂隙率、岩溶率代替。有经验地区，可采用经验值。

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

8.3.7 孔隙水压力，在中等和中等以上渗透性的土层中可采用立管式测压计。在弱渗透性土层中宜采用孔隙水压力探头测定。

8.3.8 布置抽水试验和注水试验应符合下列规定：

1 试验孔应布置在不同地貌单元、不同含水层(组)且富水性较强的地段，并应距隧道外侧 3～5m。

2 人工降低地下水位施工的区间、车站。

3 评价降水对环境产生影响的区段。

4 评价含水层的渗透性，抽水试验的观测孔宜垂直或平行地下水流向。

5 抽水试验孔的水位下降深度，应与施工降水状态接近。

6 在含水构造复杂且富水性较强的地段，应分层或分段进行抽水试验；潜水与承压水、咸水与淡水应分别进行抽水试验。

8.3.9 抽水试验和注水试验，应同时观测水位和水量。

8.3.10 抽水稳定应根据出水量和水位降深与时间关系曲线在一定范围内微小波动，且没有持续上升或下降趋势的原则确定。稳定延续时间不应少于 8h。

8.3.11 抽水结束后，应进行恢复水位观测直至稳定。

8.3.12 注水试验的注水稳定时间宜为 4～6h。

8.3.13 在含水构造简单，且富水性不强的区段，可采用提水试验。

8.3.14 渗透系数，应在分析水文地质条件的基础上计算确定。当根据水位恢复速度计算渗透系数时，可按本规范附录 D 选用计算公式。

8.4 水样的采取与试验项目

8.4.1 水质分析的水样，应代表天然条件下的客观水质情况，并应符合下列要求：

1 地下水试样应在不同的地貌单元不同含水层采取。

2 采取水试样的钻孔，应无泥浆、无外界物质。

3 盛水容器宜采用带磨口玻璃塞的玻璃瓶或塑料瓶，取水样时必须先彻底清洗。

4 采取水样深度宜在水面 0.5m 以下。

5 水样采取数量不应少于 750ml，其中一瓶为 250～300ml 进行分析侵蚀性 CO_2，应立即加入 2～3g 大理石粉。

6 水样采取后应立即用蜡或火漆封口，并按有关规定填好水样标签和送样单。

7 水样应避免阳光直接照射，且试样存放时间不应超过有关规定。

8.4.2 水质分析项目宜包括：pH 值、酸度、碱度、游离 CO_2、侵蚀性 CO_2、矿化度、硬度、溶解氧、导电率、Na^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、Fe^{2+}、Fe^{3+}、NH_4^+、Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^-、NO_3^-、CO_3^{2-}、OH^-及有机质。

8.4.3 有特殊用途的水样采取与分析，应按有关规定进行。

8.5 工程降水

8.5.1 工程降水勘察应搜集当地降水经验及有关水文地质资料，且应与勘察阶段同步进行。

8.5.2 工程降水勘察应查明下列内容：

1 地层、岩性、构造、含水层与隔水层的分布、地下水类型、水质、水量、渗透系数、补给、径流、排泄条件。

2 沿线重要建筑物地基基础情况，各种构筑物的分布，以及自然景观、人文景观和市政设施的分布。

8.5.3 降水方法的适用范围可按表 8.5.3 选用。

表 8.5.3 降水方法适用范围

名称		适用地层	渗透系数(m/d)	降低水位(m)
集水坑明排		风化基岩、粘性土、砂土	<20.0	<2
井点降水	电渗井点	粘性土	<0.1	<6
	喷射井点	填土、粘性土、粉土、粉砂	0.1～20.0	8～20
	真空井点	粘性土、粉土、粉砂、细砂	0.1～20.0	单级<6、多级<20
管井		砂类土、碎石土、岩溶裂隙	1.0～200.0	>5
大口井		砂类土、碎石土	1.0～200.0	5～20
辐射井		粘性土、砂土、砾砂	0.1～20.0	<20
引渗井		粘性土、砂土	0.1～20.0	将上层水引渗到下层含水层

8.5.4 采用本规范表 8.5.3 所列降水方法不能满足降水深度要求时，可与堵、截等方法组合使用。

8.5.5 地面有重要建筑、自然景观或人文景观等条件限制，不宜在地面降水时，可在隧洞内采用降水措施。

8.5.6 降水时应计算出水量，对地下水资源、地面沉降有影响时，应将水质符合标准的地下水回灌到地层深处。

8.5.7 工程降水引起的地面附加沉降量，可采用本规范附录 E 的方法计算。

8.5.8 应根据地下水类型、基坑形状与含水构造的特点、完整性等条件，选用计算公式预测基坑出水量，并提出降水方案的建议。

1 块状基坑，可简化为圆形，其基坑出水量，可采用“大井法”选择表 8.5.8-1 中的计算公式。

表 8.5.8-1 圆形基坑出水量计算公式

计算公式 / 地下水类型 / 基坑(井)类型		潜水	承压水
完整井		$Q=\frac{1.366k(2H-S)S}{\lg R-\lg r_0}$	$Q=\frac{2.73kMS}{\lg R_0-\lg r_0}$
非完整井	基坑(井)底进水	$Q=4kSr_0$	$Q=2\pi kSr_0$
非完整井	基坑(井)壁进水	$Q=\frac{\pi k(H^2-h^2)}{\lg\frac{R_0}{r_0}+\frac{\bar{h}-l}{l}(1-0.2\frac{\bar{h}}{r_0})}$	$Q=\frac{2\pi kMS}{\lg\frac{R_0}{r_0}+\frac{M-l}{l}(1+0.2\frac{M}{r_0})}$

注：1 式中 Q——基坑出水量(m^3/d)；
k——渗透系数(m/d)；
r_0——基坑等效半径(m)；
R——影响半径(m)；
R_0——引用影响半径(m)；
S——设计水位降深(m)；
H——静止水位或承压水头至含水层底板的距离(m)；
h——动水位至含水层底板的距离(m)；
$\bar{h}$——平均动水位(m)；
M——承压含水层厚度(m)；
l——基坑中进水段厚度(m)。

2 $R_0=R+r_0$；
$\bar{h}=(H+h)/2$。

2 流向切穿含水层的条形基坑，出水量可选择表 8.5.8-2 中的公式计算。

表 8.5.8-2 条形基坑出水量计算公式

地下水类型	计算公式
潜水	$Q=\frac{Lk(2H-S)S}{R}+\frac{1.366k(2H-S)S}{\lg R-\lg\frac{B}{2}}$
承压水	$Q=\frac{2kMLS}{R}+\frac{2.73kMS}{\lg R-\lg\frac{B}{2}}$

注：式中 L——条形基坑长度(m)；
B——条形基坑宽度(m)；
其余见表 8.5.8-1 注。

8.5.9 管井降水单井出水量应根据地下水类型和井群排列方式等条件，利用干扰井群理论选用计算公式。均质无界含水层、完整井井群的单井出水量，可选用表 8.5.9 中的公式计算。

表 8.5.9 降水井群单井出水量计算公式

计算公式 / 地下水类型 / 基坑(井)类型	潜水	承压水
封闭干扰井群	$Q'=\dfrac{1.366k(2H-S_w)S_w}{n\lg R_o-\lg(r_1\cdot r_2\cdots r_n)}$	$Q'=\dfrac{2.73kMS_w}{n\lg R_o-\lg(r_1\cdot r_2\cdots r_n)}$
单排直线井群	$Q'=\dfrac{nk(2H-S_w)S_w}{\ln\dfrac{d}{\pi r_w}+\dfrac{\pi R}{2d}}$	$Q'=\dfrac{2\pi kMS_w}{\ln\dfrac{d}{\pi r_w}+\dfrac{\pi R}{2d}}$

注：式中 Q' ——单个降水井出水量(m^3/d)；

S_w ——设计降水井中水位降深(m)；

$(r_1\cdot r_2\cdots r_n)$ ——计算降水井至井群中其余各井的距离(m)；

n ——降水井井数；

d ——降水井井距之半(m)；

r_w ——降水井半径(m)。

8.5.10 管井降水水位，可按含水层与降水井性质及井群排列方式计算，块状基坑，出水量相同的管井，按下列公式选用：

1 任意点的水位降深：

潜水完整井

$$S=H-\sqrt{H^2-\frac{nQ'}{1.366k}\lg\frac{R_o}{\sqrt[n]{\chi_1\chi_2\cdots\chi_n}}} \tag{8.5.10-1}$$

承压完整井

$$S=\frac{nQ'}{2.73kM}\lg\frac{R_o}{\sqrt[n]{\chi_1\chi_2\cdots\chi_n}} \tag{8.5.10-2}$$

2 基坑中心的水位降深：

潜水完整井

$$S=H-\sqrt{H^2-\frac{nQ'}{1.366k}\lg\frac{R_o}{r_o}} \tag{8.5.10-3}$$

承压完整井

$$S=\frac{nQ'}{2.73kM}\lg\frac{R_o}{r_o} \tag{8.5.10-4}$$

式中 S ——水位降深(m)；

$\chi_1\chi_2\cdots\chi_n$ ——降深计算点至各降水井的距离(m)；

H ——降水前水位或水头高度(m)；

Q' ——单个降水井出水量(m^3/d)。

8.5.11 工程降水应进行降水水位、出水量及水质和环境监测，并应做好观测记录。

9 原位测试

9.1 一般规定

9.1.1 原位测试方法应根据工程要求、岩土条件、设计对参数的需要、地区经验和试验方法等因素结合确定。

9.1.2 原位测试应与室内土工试验和工程经验结合使用，并应进行综合分析。

9.1.3 原位测试方法应遵照有关测试规程的规定。

9.2 标准贯入试验

9.2.1 标准贯入试验适用于砂土、粉土、粘性土、残积土、全风化岩及强风化岩。

9.2.2 标准贯入试验可用于下列目的之一：

1 取扰动样，鉴别和描述土的类别。

2 确定砂土密实度、天然地基土承载力和地基土变形参数。

3 估算单桩极限承载力和锚杆抗拔力，判断沉桩的可能性。

4 判定饱和砂土、粉土的地震液化的可能性及液化等级。

9.2.3 标准贯入试验可在钻孔全深度范围内或在个别土层内以1～2m 间距进行，并应清除孔底残土，进行预贯 15cm。

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

$$N=30n/\Delta S \tag{9.2.4}$$

式中 N ——实测标贯击数；

n ——所取击数为 50 击；

ΔS ——相应于 n 的贯入深度(cm)。

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

9.2.6 每个车站、区间在同一地质单元内，每层标准贯入试验次数不应少于 10 个。

9.3 动力触探试验

9.3.1 动力触探(圆锥)试验类型应符合表 9.3.1 的规定。轻型动力触探试验适用于一般粘性土及填土。重型动力触探试验和超重型动力触探试验适用于强风化、全风化的硬质岩石、各种软质岩石及砂土、圆砾(角砾)和卵石(碎石)。

表 9.3.1 动力触探试验类型

类型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量(kg)	10±0.2	63.5±0.5	120±1
	落距(cm)	50±2	76±2	100±2
探头	直径(mm)	40	74	74
	锥角(°)	60	60	60
探杆直径(mm)		25	42	50～60
贯入指标	深度(cm)	30	10	10
	锤击数	N_{10}	$N_{63.5}$	N_{120}

9.3.2 动力触探试验可用于下列目的之一：

1 划分土层及评定土的均匀性和密实度。

2 确定承载力和变形模量。

3 选择桩基持力层和估算单桩承载力。

4 检验地基加固与改良的效果。

5 进行基坑验槽。

9.3.3 动力触探试验应结合地区经验并与其它方法相配合使用。

9.3.4 单孔动力触探可绘制动探击数与深度曲线或动贯入阻力与深度曲线，进行力学分层，不宜使用单孔击数对土的工程性能作出评价。

9.3.5 每个车站、区间在同一地质单元内，每层动力触探试验次数不应少于 10 个。

9.4 旁压试验

9.4.1 旁压试验适用于粘性土、粉土、砂土、碎石土、软质岩石和风化岩等。

9.4.2 旁压试验可用于下列目的之一：

1 确定土的临塑压力和极限压力，以评定地基土的承载力。

2 自钻式旁压试验可确定土的原位水平应力或静止侧压力系数。

3 估算土的旁压模量、旁压剪切模量、水平基床系数。

4 估算软粘性土不排水抗剪强度和砂土内摩擦角。

5 估算基础沉降、单桩承载力等。

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

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

9.4.5 旁压试验的加荷方式可采用快速法。每一级压力持续1min或3min，再施加下一级压力。

9.4.6 旁压试验成果分析应包括下列内容：

1 对各级压力及相应的扩张体积或半径增量分别进行约束力及体积的修正后，绘制压力与体积曲线，需要时可作蠕变曲线。

2 根据压力与体积曲线，结合蠕变曲线确定初始压力、临塑压力和极限压力，计算地基承载力。

3 根据压力与体积曲线的直线段斜率计算旁压模量。

9.4.7 每个车站、区间在同一地质单元内，其每层岩土旁压试验数据不应少于10个。

9.5 静力触探试验

9.5.1 静力触探试验适用于粘性土、粉土、砂土，可测定比贯入阻力、锥尖阻力、侧壁摩阻力和孔隙水压力。

9.5.2 静力触探试验可用于下列目的之一：

1 可按贯入阻力曲线的形态特征或数值变化幅度划分土层。

2 估算土的强度、压缩性等力学参数和确定地基土的承载力。

3 选择桩基持力层，估算单桩承载力，判定沉桩的可能性和判定场地地震液化势。

9.5.3 静力触探探头可根据工程所需测定的参数选用单桥探头、双桥探头或孔压探头。

9.5.4 当贯入深度超过30m，或穿过厚层软土再贯入硬土层时，应采用导向装置，防止孔斜或断杆，当偏斜角超过15°时宜停止贯入。

9.5.5 静力触探试验成果分析应包括下列内容：

1 绘制比贯入阻力与深度曲线、锥尖阻力与深度曲线、侧壁摩阻力与深度曲线、侧壁摩阻力与锥尖阻力之比与深度曲线、孔隙水压力与深度曲线以及超孔隙水压力与深度曲线。

2 根据贯入曲线的线型特征，结合相邻钻孔资料和地区经验划分土层。计算各土层静力探触有关试验数据的平均值。

3 根据静力探触资料，利用地区经验估算土的强度、变形参数等。

9.5.6 每个车站、区间在同一地质单元内，其静力触探试验孔数量不应少于4个。

9.6 载荷试验

9.6.1 载荷试验包括平板载荷试验和螺旋板载荷试验。平板载荷试验适用于浅层地基土；螺旋板载荷试验适用于深层地基土或地下水位以下的土层。

9.6.2 载荷试验可用于下列目的之一：

1 确定地基土的临塑荷载、极限荷载，为评定地基土的承载力提供依据。

2 估算土的变形参数。

3 估算土的不排水抗剪强度。

4 估算土的基床系数。

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

9.6.4 载荷试验应满足下列技术要求：

1 平板载荷试验的承压板，应为圆形或方形板，面积宜为2500～5000cm²，不应小于1000cm²。

2 螺旋板载荷试验的承压板，应为刚性圆形板，面积宜为200～500cm²。

3 平板载荷试验宜在基坑坑底进行，坑底宽度不应小于承压板直径或宽度的3倍，并应减小坑底开挖和修整对土层的扰动，缩短开挖与试验的间隔时间。

4 螺旋板载荷试验应保持螺旋板头竖直下旋，每旋转一周，板头应下旋一个螺距，板头旋至试验深度后，应静止5min以上。

5 试验加荷方式可采用分级维持荷载沉降相对稳定法（慢速法）或沉降非稳定法（快速法）或等沉降速率法。

6 荷载的量测精度不应超过最大荷载的1%，沉降值的量测精度不应大于0.01mm。

7 沉降相对稳定标准应为连续2h的每1h沉降量不大于0.1mm，或为连续1h的每30min沉降量不大于0.05mm。

9.6.5 试验点附近应取土样提供土工试验指标，或其它原位测试资料，试验后应在承压板中心向下开挖取土试验，并描述2.0倍承压板直径或宽度范围内土层的结构变化。

9.6.6 根据载荷试验压力 P 与沉降 s 及沉降 s 与时间 t 的关系曲线的特征点，可综合分析确定临塑压力和极限压力，评定地基土承载力。

9.6.7 进行载荷试验时试验点数不应少于3个。

9.7 十字板剪切试验

9.7.1 十字板剪切试验适用于均质饱和软粘性土。

9.7.2 十字板剪切试验可用于下列目的之一：

1 测定原位应力条件下软粘性土的不排水抗剪强度及灵敏度。

2 计算地基承载力、确定软粘性土地区土坡的临界高度及判定软粘性土的固结历史。

9.7.3 试验点竖向间距可取1～2m，或根据静力触探试验等资料布置。

9.7.4 十字板剪切试验成果分析应包括下列内容：

1 计算软粘性土的不排水抗剪强度峰值、残余值和灵敏度。

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

3 根据土层条件及地区经验，对不排水抗剪强度应进行修正。

9.7.5 每个车站、区间在同一地质单元内，每层土十字板剪切试验数据不应少于10个。

9.8 波速试验

9.8.1 波速试验可采用跨孔法、单孔法和面波法。

9.8.2 波速试验可用于下列目的之一：

1 划分场地土类型、计算场地卓越周期、判别地基土液化的可能性，提供地震反应分析所需的场地土动力参数。

2 计算设计动力机器基础和计算结构物与地基土共同作用所需的动力参数。

3 判定碎石土的密实度，评价地基土加固处理的效果。

4 利用岩体纵波速度与岩石单轴极限抗压强度对比划分围岩类别，确定岩石风化程度，并初步确定基床系数，围岩稳定程度。

9.8.3 跨孔法应设置2个或3个试验孔，且成一条直线，在第四系覆盖层地段孔距宜为3～5m，在基岩地段孔距宜为8～15m。试验钻孔应圆直，并应下定向套管，套管与孔壁间应灌浆或填砂。

9.8.4 竖向测试点间距宜为1～2m，三分量传感器应紧贴套管壁，同一深度的剪切波，锤击应正反向重复激振，并应互换激振孔

与接收孔，经重复试验，确定剪切波的初至时间。

9.8.5 当钻孔深度大于15m时，应对试验孔进行测斜，测斜点竖向间距宜为1m，测得每一试验深度的倾斜角与方位。

9.8.6 单孔法剪切波速试验，激振板长2～3m应放置在距孔口1～3m处，且应与地面紧密接触，激振板上压重500kg，试验时对木板两端应分别水平激振。

9.8.7 面波法波速试验，可根据测定的不同激振频率下瑞利波的波长，确定地表以下一个波长深度范围内土的平均波速。

9.8.8 波速试验成果分析应包括下列内容：

1 在波形记录上识别压缩波和第一个剪切波的初至时间。

2 根据压缩波和剪切波的传播时间和距离，确定压缩波与剪切波的波速。

3 确定地层小应变的剪切模量、弹性模量、泊松比和动刚度。

9.8.9 压缩波速 V_p 值和剪切波速 V_s 值的测试深度，应按表9.8.9确定。

表9.8.9 波速测试深度 h_c(m)

场地土类型	V_s 值测试至基底下的深度	V_p 值测试至基底下的深度
坚硬场地土	$h_c \leqslant 10$	按设计要求确定
中硬场地土	$10 < h_c \leqslant 15$	
中软场地土	$15 < h_c \leqslant 20$	
软弱场地土	$h_c > 20$	

9.8.10 每个车站、区间在同一地质单元内，其波速试验孔数不应少于4个。

10 岩土试验

10.1 一般规定

10.1.1 室内试验求得的技术参数，在工程评价时应与原位测试相结合，进行分析研究。

10.2 土的常规试验

10.2.1 土的常规物理性质试验应测定颗粒级配、比重、天然含水量、重力密度、最大和最小密度、液限、塑限、有机质含量。

土的常规力学性质试验应测定内摩擦角、粘聚力、压缩系数、压缩模量。

10.2.2 采用灌砂法或其它方法求得干密度，控制回填土质量。

10.2.3 剪切试验的试验方法应根据设计、施工要求，选用快剪或三轴不固结不排水剪，对排水条件较好或施工速度较慢的土层，宜采用固结快剪或三轴固结不排水剪。

10.2.4 固结试验最大加压值应大于自重压力与附加压力之和。高压固结试验，施加的最大压力应满足绘制完整的 $e-\lg P$ 曲线的要求。

10.2.5 土的比重，可直接测定也可根据经验值确定。

10.3 基床系数

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

10.3.2 在室内宜采用三轴试验或固结试验的方法测得地基土的基床系数 K_v。

10.3.3 在初步勘察阶段可根据地基土的分类、密实度，按照本规范附录F选用。

10.3.4 在详细勘察阶段应通过试验方法确定。

10.4 热物理指标

10.4.1 岩土热物理指标，应在详细勘察阶段通过试验确定。

10.4.2 岩土热物理指标的测定，可采用面热源法、热线比较法及热平衡法。

10.4.3 三个热物理指标有下列相互关系：

$$\alpha = \frac{\lambda}{C\rho} \tag{10.4.3}$$

式中 ρ ——密度(kg/m³)；

α ——导温系数(m²/h)；

λ ——导热系数(W/m·K)；

C ——比热容(kJ/kg·K)。

10.4.4 在初勘阶段，可根据岩土的含水量、密度按本规范附录G选用。

10.5 土的动力性质试验

10.5.1 土的动力性质试验，可采用动三轴试验、动单剪试验或共振柱试验。

10.5.2 动三轴和动单剪试验适用分析测定土的下列动力性质：

1 动弹性模量、动阻尼比及其与动应变的关系。

2 既定循环周数下的动应力与动应变关系。

3 饱和土的液化剪应力与动应力循环周数关系。当出现孔隙水压力上升达到初始固结压力时，或轴向动应变达到5%时，即可判定土样液化。

10.5.3 共振柱试验可用于测定小动应变时的动弹性模量和动阻尼比。

10.6 岩石试验

10.6.1 岩石的试验内容宜包括比重、密度、吸水率、软化或崩解试验、膨胀试验、极限抗压强度、泊松比、抗剪试验、抗拉试验等，并应根据工程需要确定。

10.6.2 试验数量：每一地质单元宜做3组，每组3块，破碎带地段应加做或用其它方法测定。

10.6.3 单轴抗压强度应分别测定干燥和饱和状态下的强度，并应提供有关参数。

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

10.6.5 岩石抗拉强度试验可在试件直径方向上，施加一对线性荷载，使试件沿直径方向破坏，间接测定岩石的抗拉强度。

11 特殊土的勘察

11.1 软 土

11.1.1 软土勘察应查明下列内容：

1 软土的成因类型、分布规律、厚度变化与地层结构及其砂土夹层与含砂层、硬土层或基岩的埋深及地表硬壳层等。

2 潜水的埋深与变化幅度，软土中各含水层的分布、颗粒成分、渗透系数与地下水位。

3 软土的固结应力史，强度、压缩特性、灵敏度。

4 软土向邻近河湖、洼地或基坑蠕滑的可能性。

5 暗埋的塘、浜、坑穴、填土、管线或工程设施。

6 与基坑开挖施工、隧道掘进、设桩、填筑工程、降水等有关的土性变异、土体位移、地面下沉及由此引起的工程设施受损或破坏的经验。

11.1.2 软土的勘探应符合下列要求：

1 钻探取样应与原位测试相结合；取样宜采用薄壁取土器，取一级土样；原位测试宜采用静力触探，十字板剪切试验等。当软土中有砂土或粉土夹层时，宜采用孔压静力触探。

2 勘探点的平面布置与深度宜符合下列规定：

1)线路的横剖面间距宜为 25～50m，每一断面上的勘探点数宜为 2～6 个；

2)勘探深度应满足设计要求；

3)当需要圈定重要的局部变化时，可以加密勘探点。

3 钻进、取样工艺、取土器的种类、规格应与拟取的试样质量等级相匹配。

4 对重要工段或工点，重要的建筑物，在工程地质单元中每层的试样数不应少于 10 个。

11.1.3 软土的力学性质参数宜采用室内试验与原位测试相结合的方法确定；室内试验方法测定软土的力学性质时，应符合下列要求：

1 为地基承载力计算测定强度参数时，当加荷速率高，土中超孔隙水压力消散慢，宜采用自重压力预固结的不固结不排水剪 *UU* 试验或快剪试验。当加荷速率低，土中孔隙水压力消散快，可采用固结不排水剪 *CU* 试验或固结快剪试验。

2 支护结构设计中土压力计算所需用的抗剪强度参数应根据不同条件和要求选用总应力强度参数或有效应力强度参数。后者可用固结不排水剪 *CU* 测孔隙水压力试验确定。

3 固结试验方法，各土样的最大试验压力及所取得的系数应符合沉降计算的需要。

11.1.4 对软土的岩土工程分析与评价，应包括下列内容：

1 应按土的先期固结压力与上覆有效土自重压力之比，判定土的历史固结程度。

2 按灵敏度 S_t 对软土进行结构性的分类，应符合表 11.1.4 的规定。

表 11.1.4 结构性分类

灵敏度 S_t	结构性
$S_t<2$	不灵敏
$2\leqslant S_t<4$	中灵敏
$4\leqslant S_t<8$	高灵敏
$8\leqslant S_t<16$	极灵敏
$S_t\geqslant 16$	流性

3 当邻近有河湖、洼地、基坑或暗挖时，应分析软土发生滑移或过大变形的可能性。

4 对软土地层基坑的开挖、支护结构类型、抗剪强度参数、土压力图形、土压力系数、渗透系数及降水方法提出建议。

5 软土地基的承载力评价应根据建(构)筑物对沉降的限制要求综合分析。

6 桩基设计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。

11.2 湿陷性土

11.2.1 湿陷性土的勘察应查明下列内容：

1 湿陷性土的年代、成因、分布与地质、地貌、气候之间的关系。

2 湿陷性土的地层结构、厚度变化以及与非湿陷性土层的关系。

3 湿陷系数与自重湿陷系数随深度的变化。

4 湿陷类型和不同湿陷等级的平面分布。

5 古墓、井坑、井巷、地道等的分布。

6 降水的积聚与排泄条件；地下水位季节变化幅度及升降趋向。

7 当地消除湿陷性的建筑经验。

11.2.2 湿陷性土的勘探应满足下列要求：

1 在自重湿陷性场地内高湿陷等级的地基土，探井数量宜占取土勘探点总数的 1/3～1/2。

2 取土勘探点的数量不应少于勘探点总数的 1/2～2/3，当勘探点间距较大或数量不多时，宜将所有勘探点作为取土勘探点。

3 勘探点的深度，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 5m；在自重湿陷性场地尚应大于自重湿陷性土层的深度，并应满足工程设计与施工的特殊需要。

4 土试样应为Ⅰ级土样，并应在探井中取样，竖向间距宜为 1m，土样直径不应小于 100mm；在钻孔中取样，应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25 的要求执行。

5 探井和钻孔应分层回填夯实，回填土的干密度不应小于 1.5g/cm³。

11.2.3 对湿陷性土的岩土工程分析和评价应包括下列内容：

1 判定场地湿陷类型：当实测自重湿陷量 Δ_{zs} 或计算自重湿陷量 Δ_{zs} 大于 7cm 时应判定为自重湿陷性场地；小于或等于 7cm 时应判定为非自重湿陷性场地。

2 地基总湿陷量 Δ_s 计算方法按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25 执行。

3 确定湿陷性土地基的湿陷等级是根据场地的湿陷类型、计算自重湿陷量 Δ_{zs} 和总湿陷量 Δ_s，按表 11.2.3-1 确定。

表 11.2.3-1 湿陷性土地基的湿陷等级

计算自重湿陷量(cm) / 总湿陷量(cm) / 湿陷类型	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs}\leqslant 7$	$7<\Delta_{zs}\leqslant 35$	$\Delta_{zs}>35$
$\Delta_s\leqslant 30$	Ⅰ(轻微)	Ⅰ(中等)	…
$30<\Delta_s\leqslant 60$	Ⅱ(中等)	Ⅰ或Ⅱ	Ⅱ(严重)
$\Delta_s>60$	—	Ⅲ(严重)	Ⅳ(很严重)

4 应提出消除地基湿陷性措施的建议。

5 湿陷性黄土的承载力应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25 的有关规定确定。碎石类、砂土类等其它湿陷性土的承载力宜按载荷试验确定。

6 宜对自重湿陷性场地的桩基设计提出关于负摩擦力的建议，测定负摩擦力宜进行现场试验。当进行现场试验有困难时可按表 11.2.3-2 中的数值估算：

表 11.2.3-2 桩侧平均负摩擦力(kPa)

自重湿陷量(cm)	钻、挖孔灌注桩	预制桩
7～20	10	15
>20	15	20

7 黄土的边坡允许坡度可按表 11.2.3-3 结合当地建筑经验确定，对其它湿陷土应根据试验确定其允许坡度。

表 11.2.3-3 黄土的边坡允许坡度

地层时代	允许坡度(高：宽)		
	坡高在 5m 以内	坡高 5～10m	坡高 10～15m
次生黄土	1：0.50～1：0.75	1：0.75～1：1.00	1：1.00～1：1.25
马兰黄土(Q_3)	1：0.30～1：0.50	1：0.50～1：0.75	1：0.75～1：1.00
离石黄土(Q_2)	1：0.20～1：0.30	1：0.30～1：0.50	1：0.50～1：0.75
午城黄土(Q_1)	1：0.10～1：0.20	1：0.20～1：0.30	1：0.30～1：0.50

8 当对黄土暗挖法进行稳定性评价时，可按本规范附录 H 工程地质类比法的黄土分类进行。

11.3 膨 胀 土

11.3.1 膨胀土的勘察应查明下列内容：

1 与膨胀土有关的地形、地层、地下水与气象特点。

1)地层结构、时代、成因、分布与厚度变化。

2)地形形态。

3)浅层滑坡的存在、分布、发生发展规律与治理经验。

4)地表水的排泄条件，地下水位与变化幅度。

5)多年的气象资料及大气的影响深度。

6)当地的建筑经验，建筑物与道路的破坏形式、发生发展特点与防治措施等。

2 土的自由膨胀率、膨胀率、收缩系数与膨胀力等特性指标。必要时，宜进行土的粘土矿物成分鉴定。

3 膨胀土的膨胀潜势分类、地形条件分类与地基的胀缩等级。

11.3.2 膨胀土的勘探应符合下列要求：

1 在勘探点中应有足够的探井，必要时可以井探为主。

2 取土勘探点的数量不应少于全部勘探点的1/2。必要时全部勘探点均可用于取试样。

3 勘探深度，除应超过压缩层深度外，尚应大于大气影响深度。对于桩基，勘探深度还应满足桩基设计的需要。

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

5 钻孔、探井应分层回填夯实。

11.3.3 进行在荷载作用下的地基膨胀量计算时，应测定土样在自重与附加压力之和作用下的膨胀率。

11.3.4 对膨胀土的岩土工程分析与评价，尚应包括下列内容：

1 膨胀潜势应按表11.3.4-1进行分类：

表11.3.4-1 膨胀潜势分类

膨胀潜势	自由膨胀率 δ_{ef}(%)
弱	$40\leqslant\delta_{ef}<65$
中	$65\leqslant\delta_{ef}<90$
强	$\delta_{ef}\geqslant90$

2 场地应按下列条件进行分类：

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

2)坡地场地：地形坡度等于或大于5°；地形坡度虽小于5°但同一座建筑物或工程设施范围内的局部地形高差大于1m。

3 膨胀土地基胀缩等级应按表11.3.4-2进行划分：

表11.3.4-2 膨胀土地基胀缩等级

级 别	地基分级变形量 S_c(mm)
Ⅰ	$15\leqslant S_c<35$
Ⅱ	$35\leqslant S_c<70$
Ⅲ	$S_c\geqslant70$

注：1 测定膨胀率的试验压力应为50kPa；

2 分级变形量的计算应按现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112的有关规定进行。

4 确定地基土的承载力应按下列要求进行：

1)重要建筑物或工程设施的地基承载力宜采用载荷试验或浸水载荷试验确定；

2)一般建筑物或工程设施的地基承载力宜根据三轴不固结不排水剪 UU 试验结果计算确定。

5 应对建筑物、工程设施、边坡等的变形、土的含水量的变化及气候等环境条件的变异的监测提出建议。

11.4 风化岩与残积土

11.4.1 风化岩划分为未风化岩、微风化岩、中等风化岩、强风化岩、全风化岩与残积土。

11.4.2 风化岩与残积土的勘察应查明下列内容：

1 不同岩石的各风化带的分布、埋深与厚度变化。

2 风化岩与原岩矿物、组织结构的变化程度。

3 风化岩的透水性和富水性。

4 风化岩内软弱夹层的分布范围、厚度与产状。

5 风化岩与残积土的岩土技术性质。

6 当地的建筑经验。

11.4.3 风化岩与残积土的勘探有下列要求：

1 勘探工作，除钻孔外，应有一定数量的探井，并应与标贯试验、超重型动力触探试验 N_{120}、旁压试验等原位测试相结合。

2 勘探点间距宜为15～30m，并可有一定数量的追索、圈定用的勘探点。钻孔深度：一般性钻孔应穿透残积土和全风化岩；控制性钻孔应穿透强风化岩。

3 在残积土、全风化岩与强风化岩中应取得Ⅰ级试样，在中等风化岩与微风化岩中岩心采取率不应低于90%。

4 岩土技术性质指标和参数的确定应重视室内试验结果与原位测试的结合。

11.4.4 在室内试验中，对风化岩应进行重力密度、比重、吸水率、天然状态和饱和状态单轴抗压强度试验；对花岗岩类残积土和全风化岩应进行细粒土的天然含水量、塑性指数、液性指数等试验，其值可按本规范附录J计算确定。

11.4.5 对风化岩与残积土的岩土工程分析与评价尚应包括下列内容：

1 对岩石风化程度进行分类。花岗岩风化程度与残积土亦可按表11.4.5的规定分类：

表11.4.5 花岗岩风化程度与残积土分类

测试项目及指标 / 土的名称	标准贯入 N 值(击数)(修正值)	单轴抗压强度 f_r(风干样)(kPa)	剪切波速 V_s(m/s)
强风化岩	$N\geqslant50$	$f_r\geqslant800$	$V_s\geqslant350$
全风化岩	$50>N\geqslant30$	$800>f_r\geqslant600$	$350>V_s\geqslant250$
残积土	$N<30$	$f_r<600$	$V_s<250$

2 风化岩与残积土的承载力宜采用原位测试方法，结合理论公式计算确定；亦可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7的有关规定确定。

3 风化岩与残积土的变形计算参数：

1)风化岩与残积土地基的变形模量 E_0 可采用载荷试验确定，亦可采用旁压试验、标贯试验或超重型动力触探 N_{120} 试验结果结合类比验证确定；

2)花岗岩残积土的变形模量 E_0，可用标贯试验的杆长修正击数 N 按下式，并结合建筑经验确定。

$$E_0=2.2N \tag{11.4.5}$$

4 评价设在风化岩与残积土中的桩的承载力和桩基的稳定性。

5 残积土和不同风化程度岩石的透水性、地下水的富水性与不同层位间的水力联系，分析其对土压力计算、地下设施防水、明挖、盖挖与暗挖施工时的土体稳定性及降水对周围环境的影响。

6 分析风化岩岩体内的软弱结构面的组合情况，并就其中与开挖面关系上的不利组合进行稳定性评价。

7 对易风化岩石进行稳定性评价，并提出支护建议。

11.5 填　　土

11.5.1　填土的勘察应查明下列内容：

1　地形、地物的变迁，填土的来源、物质成分、堆填方式、堆填年限、荷载大小及其面积等。

2　不同物质成分的填土分布、厚度、深度及相互接触关系。

3　填土的重力密度、含水量、有机物含量、压缩性、湿陷性及对金属管线的腐蚀性等。

4　地下水的赋存状态、补给及水质对混凝土的腐蚀性等。

11.5.2　填土的勘探应符合下列要求：

1　勘探点密度应根据查明不同种类与物质成分填土的分布、厚度、工程性质及其变化的要求综合确定。

2　勘探点的深度应穿透填土层，并应满足地基加固或设桩的需要。

3　除应布置勘探钻孔外，宜有一定数量的探井，并宜采用便携钻具进行追索圈定。

4　对填土的岩土技术性质测试宜以原位测试方法为主，结合室内试验确定。

11.5.3　对填土的工程分析与评价应包括下列内容：

1　填土的成分、平面分布、厚度与岩土技术性质上的多变性，并提出处理措施。

2　填土的堆填年代和固结程度。

3　填土的承载力可主要用原位测试方法结合当地经验确定，必要时应作载荷试验。

4　在明挖、盖挖或暗挖时应就边坡坡度、支护措施类型及应有的监测工作提出建议。

5　填土开挖时应进行验槽，必要时应补充勘探测试工作。

12　明挖法勘察

12.1　一 般 规 定

12.1.1　明挖法施工的隧道在进行岩土工程勘察前，应取得下列资料：

1　线路平面图、隧道结构平面图和剖面图。

2　隧道结构类型、荷载、预埋深度及有关基础的设计方案。

3　施工方案。

12.1.2　明挖法的岩土工程勘察应提供比选采用放坡开挖、支护开挖及盖挖设计、施工方法所需要的场地环境条件、工程地质、水文地质、不良地质及特殊地质等资料以及岩土工程设计参数。

12.1.3　勘探取样、原位测试及室内试验条件应与设计方案、施工工艺及运营时期的现场实际应力状态、地下水动态变化等相适应。

12.1.4　明挖法的岩土工程勘察应提出埋设隧道适宜地层、埋设深度及其平面位置的建议。

12.2　放 坡 开 挖

12.2.1　放坡开挖勘察应包括下列内容：

1　场地岩土种类、成因、性质及软弱土夹层、粉细砂层分布。在覆盖层地区应查明上覆地层厚度、下伏基岩产状、起伏及其坡度。

2　场地不良地质现象、特殊地质问题及古河道、地下洞穴、古文物等，并应判明有无可液化层。

3　地下水类型、水位、水量、流向；岩土渗透性、上层滞水及其补给源；地下水动水压力对边坡稳定的影响；水质对混凝土及金属材料的腐蚀性。

4　岩土物理力学性质，软弱结构面抗剪强度及边坡稳定性计算所需技术参数。

5　确定人工边坡最佳开挖坡形和坡角、平台位置及其边坡坡度允许值，并应符合表 12.2.1-1、表 12.2.1-2 的规定。

6　场地附近既有建筑物基础类型、埋深与地下设施现状，并对坡顶与既有建筑基础间的安全距离作出评价。

7　放坡开挖勘察范围应扩大到可能发生边坡滑体以外，勘探深度不宜小于基坑深度的 2 倍。

表 12.2.1-1　岩石边坡坡度允许值（高宽比）

岩石名称	风化程度	边坡高度(m)		
		<10	10～20	20～30
1. 各种岩浆岩 2. 厚层灰岩、硅(铁)质砂砾岩 3. 片麻岩、石英岩、大理岩	微风化	直立～1∶0.1	1∶0.10～1∶0.20	1∶0.10～1∶0.20
	中等风化	1∶0.1～1∶0.2	1∶0.10～1∶0.30	1∶0.20～1∶0.40
	强风化	1∶0.2～1∶0.3	1∶0.20～1∶0.40	1∶0.30～1∶0.50
1. 中薄层砂砾岩 2. 中薄层灰岩 3. 较软板岩、片岩、泥岩	微风化	1∶0.1～1∶0.2	1∶0.10～1∶0.30	1∶0.20～1∶0.40
	中等风化	1∶0.2～1∶0.3	1∶0.20～1∶0.40	1∶0.30～1∶0.50
	强风化	1∶0.3～1∶0.4	1∶0.30～1∶0.50	1∶0.30～1∶0.75
1. 薄层砂页岩互层 2. 板岩、片岩、泥岩	微风化	1∶0.2～1∶0.3	1∶0.20～1∶0.40	1∶0.30～1∶0.50
	中等风化	1∶0.3～1∶0.4	1∶0.30～1∶0.50	1∶0.50～1∶0.75
	强风化	1∶0.4～1∶0.5	1∶0.50～1∶0.75	1∶0.75～1∶1.00

表 12.2.1-2　土质边坡坡度允许值（高宽比）

土的名称	密实度或状态	边坡高度(m)	
		<8	8～15
碎石土	密实	1∶0.35～1∶0.50	1∶0.50～1∶0.75
	中密	1∶0.50～1∶0.75	1∶0.75～1∶1.00
	稍密	1∶0.75～1∶1.00	1∶1.00～1∶1.25
粉土	$S_r \leqslant 0.5$	1∶0.75～1∶1.00	1∶1.00～1∶1.25
粘性土	坚硬	1∶0.50～1∶0.75	1∶0.75～1∶1.00
	硬塑	1∶0.75～1∶1.00	1∶1.00～1∶1.25
	可塑	1∶1.00～1∶1.25	1∶1.25～1∶1.50

12.3　支 护 开 挖

12.3.1　基坑开挖深度大于自然稳定临界深度或放坡条件受限制时，应设置挡土结构支护。

12.3.2　支护开挖勘察应符合下列要求：

1　场地岩土种类、成因、性质及软弱土夹层、粉细砂层的分布。在覆盖层地区应查明上覆地层厚度、下伏基岩产状、起伏及其坡度。

2　场地不良地质现象、特殊地质问题及古河道、地下洞穴、古文物等；并应判明有无可液化层。

3　地下水类型、水位、水量、流向；隔水层、含水层分布及其渗透性；上层滞水及其补给源；水质对混凝土及金属材料的腐蚀性。

4　基坑内、外产生水头压差，对粉细砂层、粉土层的潜蚀、管涌、浮托破坏的可能性作出评价。

5　根据支护开挖工程特点应提供重力密度、粘聚力、内摩擦角、静止侧压力系数、基床系数、回弹模量、弹性模量及渗透系数等岩土参数。

6　支护开挖根据土的性质、工程类别和施工方法可分别采用不固结不排水剪、固结不排水剪和固结排水剪试验。

7　判断基坑开挖人工降低地下水位的可能性，提供地下水参数。由于降低水位对基底、坑壁以及地面建筑的稳定进行预测与评价。

8　场地附近既有建筑物基础类型、基础埋深、地下设施现状

及评价对明挖施工影响的承受能力。

12.4 盖 挖 法

12.4.1 盖挖法勘察除应执行本规范第12.3节中有关规定外，结合盖挖中地下连续墙、护坡桩与中间桩等特点还应补充部分勘察内容。

12.4.2 地下连续墙及护坡桩应作下列补充勘察：

1 盖挖中地下连续墙及护坡桩应提供：土的重度、粘聚力、内摩擦角、压缩模量、无侧限抗压强度、基床系数等设计参数及静水头高度。

2 对基坑抗倾覆的整体稳定性、抗隆起和抗管涌的稳定性及地下水浮托应进行预测与评价。

3 应查明墙端、桩端持力层及隔水层位置、厚度。

12.4.3 大直径中间桩尚应作下列勘察：

1 应查明桩基持力层及下卧软弱土层的埋深、厚度、性状及其变化。

2 当采用基岩作为桩基持力层时，应查明基岩岩性、构造、风化程度及厚度，并应取岩样进行饱和单轴抗压强度试验。

3 应估算桩的端承力、摩阻力。

4 计算桩基沉降的勘探孔，深度应超过桩端以下压缩层计算深度，并应取样试验确定变形计算参数。

5 相邻勘探孔的持力层层面高差大于1m，或岩土条件复杂时，勘探点可适当加密。

6 车站中间桩、中柱基桩或大型十字桩等大直径钻孔灌注桩的控制性勘探孔，其深度应达到持力层以内不少于3倍桩端直径，且不少于5m，一般勘探孔深应达到桩端以下2～3m。

13 暗挖法勘察

13.1 一 般 规 定

13.1.1 隧道的地质勘察，应查明水文地质条件及其有关参数，分析评价可能产生的后果，提出建议。

13.1.2 在复杂含水地层中，应加密勘探点，查明地层中有无古河道或使开挖面产生突发性涌水及坍塌的含水透镜体，并提供地质剖面。

13.1.3 隧道的勘察，应提供比选采用矿山法或盾构法施工所需地层稳定性的特征指标及有关参数。

13.1.4 钻孔取样和进行土工试验的方法，应与施工过程岩土的实际应力状态相接近。

13.1.5 应对隧道施工引发的环境问题进行监测。

13.1.6 隧道的勘察，宜结合施工监测，采用反分析或其它有效方法，对隧道通过地段地层的物理、力学指标、围岩稳定性作出合理评价。

13.2 矿 山 法

13.2.1 矿山法施工隧道的勘察，应为解决下列工程问题提供勘察资料：

1 选定隧道轴线位置。

2 确定洞口位置或明、暗挖施工的分界点。

3 开挖方案及辅助施工方法的比选。

4 衬砌类型及设计。

5 开挖设备的选型及设计。

6 施工组织设计。

7 不良地质条件下施工和运营中的工程问题预测。

8 环境保护。

13.2.2 矿山法施工隧道的勘察，应查明下列围岩条件及其形态：

1 滑坡等活动性围岩。

2 构造破碎带。

3 含水松散围岩。

4 膨胀性围岩。

5 岩溶现状。

6 可能产生岩爆的围岩。

7 有地热、温泉、有害气体等的围岩。

13.2.3 矿山法施工的隧道，应根据实际情况，从表13.2.3中选择所需进行的勘察项目。

表13.2.3 矿山法施工隧道的勘察项目

项 目	勘 察 内 容	项 目	勘 察 内 容
地 貌	1. 滑坡地貌	力学性质	4. 岩体的弹性模量
	2. 偏压地形		5. 土体的变形模量及压缩模量
地质构造	1. 地层分布、产状		6. 泊松比
	2. 断层、褶曲		7. 标贯击数
	3. 岩体结构		8. 静止侧压力系数
岩、土性质	1. 岩土名称、状态		9. 基床系数
	2. 岩相		10. 动弹性模量、动剪切模量
	3. 裂隙	物理性质	1. 含水量
	4. 风化变质		2. 液限、塑限
	5. 固结程度		3. 粘粒含量及颗分曲线
地下水	1. 地下水类型		4. 密度、孔隙比
	2. 地下水位、水量		5. 围岩的纵横波速、超声波波速
	3. 渗透系数	矿工物程组特成性及	1. 矿物组成
	4. 水质分析		2. 浸水崩解度
力学性质	1. 无侧限抗压强度		3. 吸水率、膨胀率
	2. 抗拉强度		4. 热物理指标
	3. 粘聚力、内摩擦角	其它	围岩分类、土石工程等级、酸碱度

13.2.4 当采用弹塑性有限元模型分析围岩稳定性时，应提供描述岩土与结构关系的参数。

13.2.5 浅埋土质隧道的勘察应查明下列内容：

1 表层填土的组成、性质及厚度。

2 隧道通过土层的性状、密实度及自稳性。

3 上层滞水及各含水层的分布、补给及对成洞的影响，产生流砂及隆起的可能性。

4 辅助施工方法所需的有关勘察资料。

5 古河道、古湖泊、古墓穴及废弃工程的残留物。

6 地下管线的分布及现状。

7 隧道附近建筑物、构筑物的基础型式、埋深及基底压力等。

13.2.6 当需要采用掘进机开挖隧道时，应查明沿线的地质构造、有无断层破碎带及溶洞等，并应进行岩石抗磨性试验，在含有大量石英或其它坚硬矿物的地层中，应作含量分析。

13.2.7 矿山法施工的隧道可采用超前导坑进行勘察。

13.2.8 当采用降低地下水位法施工，地层有可能产生固结沉降时，应进行固结试验。

13.2.9 当采用气压法施工时，可向钻孔内加压缩空气，进行透气试验。

13.2.10 当需要采用冻结法施工时，应提供以下参数：

1 地下水流速。

2 地下水中的含盐量。

3 地层温度。

4 地层的含水量，孔隙比和饱和度。

5 地层的热物理指标。

13.2.11 对岩石地层，应进行室内岩石试验，并结合野外工程地质测绘，对围岩进行分类、评价其稳定性。

13.2.12 在市区采用钻爆法施工时，应进行爆破振动监测。

13.2.13 矿山法隧道施工中的勘察应包括以下内容：

1 配合隧道开挖进行围岩岩性的编录。

2 绘制隧道轴线工程地质纵剖面图及工程地质横断面图。

3 测试点的地质描述、围岩变形及松动范围量测、现场取样试验。

4 围岩分类的确认与修正。

5 围岩稳定性分析。

6 施工超前地质预报及变更设计与施工方法的建议。

7 施工地质日志。

8 施工勘察报告。

13.2.14 勘察报告除应符合本规范第16章的要求外，尚应包括以下内容：

1 关于线路位置、埋置深度、洞口位置和明、暗挖隧道分界点的建议。

2 施工方法、开挖方法、大型开挖设备选型及辅助施工措施的建议。

3 隧道断面形式及支护型式的建议。

4 不良地质条件下施工和运营中的问题预测及建议。

5 开挖断面预留围岩变形量的建议。

13.3 盾 构 法

13.3.1 盾构法施工隧道的勘察，应为解决下列工程问题提供勘察资料：

1 选定隧道轴线位置。

2 确定隧道在陆地及江、河、湖、海大水体下的最小覆盖层厚度及其纵断面。

3 盾构类型及盾构正面支撑、开挖。

4 盾构施工方法及连通道等附属建筑的施工方法。

5 衬砌结构及竖井等地下结构的设计。

6 不良地质条件下施工阶段和运营中的工程问题预测。

7 辅助施工方法。

8 环境保护。

13.3.2 盾构法施工隧道的勘察，应查明以下复杂地层：

1 灵敏度高的软土层。

2 透水性强的松散砂土层。

3 高塑性的粘性土层。

4 含有承压水的砂土层。

5 含漂石或卵石的地层。

6 开挖面的软、硬地层。

13.3.3 盾构法施工的隧道，应根据实际情况，从表13.3.3中选择需要进行的勘察项目。

表13.3.3 盾构法施工隧道的勘察项目

项 目	勘 察 内 容	项 目	勘 察 内 容
地 形	丘陵、台地、洼地等	力学性质	4. 泊松比
地层组成	1. 地层分类		5. 静止侧压力系数
	2. 地层构造		6. 标贯击数
	3. 地层中充水洞穴、透镜体及障碍物		7. 基床系数
地下水	1. 地下水位	物理性质	1. 比重、含水量、重力密度、孔隙比
	2. 孔隙水压力		2. 颗粒分析(即含砾石量、含砂量、含粉砂量、含粘土量；d_{50}、d_{10}及不均匀系数d_{60}/d_{10}；最大粒径；砾石形状、尺寸、硬度)及颗分曲线
	3. 渗透系数		3. 液限、塑限
	4. 流速、流向		4. 灵敏度
	5. 水质分析		5. 膨胀
力学性质	1. 无侧限抗压强度	缺氧及有害气体	1. 土的化学组成
	2. 粘聚力、内摩擦角		2. 有害气体成分、压力、含量
	3. 压缩模量、压缩系数		

13.3.4 当采用降低地下水位法或气压法施工时，应进行固结试验或透气试验。

13.3.5 在含卵石或漂石地层中采用机械化密闭型盾构时，应探明卵石或漂石的最大粒径；当采用破碎方式排土时，应进行破碎试验。

13.3.6 盾构法隧道施工中的勘察，应包括以下内容：

1 在盾构试推进阶段或地面变形敏感的地带进行土体变形和地面垂直及水平位移监测。

2 工作面取样并观测土体移动及涌水量，验证已提供的工程地质和水文地质资料，预报前方地质条件的变化。

3 观测地下水位的变化。

4 隧道沉降槽范围的地表下沉和建筑物、构筑物及地下管线的变形观测。

5 采用气压法施工时，随时观察工作面的状态，测定涌水量，并对邻近水井、地下室等进行观测。

6 洞内有害气体含量及环境监测。

7 发生地质异常情况时的调查。

8 按本规范第13.2.13条的规定，绘制施工地质图件，填写施工地质日志并提出施工勘察报告。

13.3.7 位于饱和软土地层中的隧道，应进行竣工后的后期沉降观测；后期沉降观测期应根据地层特点及当地经验确定。

13.3.8 勘察报告除应符合本规范第16章的要求外，尚应包括以下内容：

1 预测施工及运营中隧道的纵向沉降。

2 预估在地震和动载作用下地层液化及震陷的可能性，提出预防的措施。

3 关于盾构选型及隧道最小埋深的建议。

14 岩土加固工程勘察

14.1 一 般 规 定

14.1.1 本章适用于隧道围岩的整体支护或局部加固补强；地下铁道、轻轨交通的线路、车站及地面建(构)筑物地基的加固处理；受施工影响的既有建筑物和构筑物地基的加固托换，以及基坑开挖时边坡支护或坑底土处理等的勘察。

14.1.2 岩土加固工程勘察应配合设计和施工解决下列工程问题：

1 对隧道的围岩进行初期支护，使围岩在施工开挖期间保持稳定。

2 增强地基土的强度。

3 湿陷性土地基的浸水湿陷。

4 地震和动载作用下地基土产生液化或震陷。

5 构筑物承受不均匀荷载造成不均匀变形和过大的结构内力。

6 由于隐伏的基岩滑坡、沟床内泥石流，以及其它不良地质现象引起的桥涵变形。

7 由于地下施工引起地面、建(构)筑物或市政管线变形影响正常使用或破坏。

8 基坑发生潜蚀、涌砂和基底粘性土被冲破或隆起以及边坡失稳。

9 暗挖法隧道出现的涌砂、涌水或坍塌。

10 采用矿山法施工的隧道，不良地质条件造成的围岩失稳。

11 采用盾构法施工的隧道，因遇灵敏度高、软弱粘性土层，透水性强的松散砂质土层或含承压水的砂土层，造成的施工开挖面的失稳。

12 隧道在竣工后渗水，造成的结构开裂或地面下沉。

14.1.3 岩土加固工程勘察应包括下列内容：

1 搜集和分析已有工程地质与水文地质资料，必要时可进行补充勘察，并应提供稳定或变形分析以及加固设计和施工所需的

岩土参数。

2 在既有建筑物下进行加固时，应详细调查既有建筑物结构、基础类型、埋深以及地基土等情况，搜集被加固建筑物竣工后沉降或变形观测资料。

3 配合设计进行围岩、边坡或坑底土的稳定性验算以及有关的变形计算，对稳定性和变形量作出评价。

4 搜集和了解本地区工程加固处理的经验，根据场地地质条件以及稳定和变形分析结果，经过方案比较，提出加固处理的范围以及方案的建议。

5 当场地条件复杂时，可对所选择的加固方法，在施工现场进行试验。

6 分析和评价加固处理给周围环境及邻近建筑物造成的影响，并提出减小影响的建议。

7 对在施工过程中出现或可能出现的围岩、边坡、坑底或开挖面坍塌失稳等，根据施工条件提出辅助施工加固措施的建议。

8 对加固处理效果检验和监测提出建议。

14.1.4 拟加固的围岩、深基坑坑壁或进行托换的建筑物等，应在加固处理前埋设观测点，开始对加固施工的全过程进行现场监控量测，必要时应进行长期观测。

14.2 岩体加固

14.2.1 岩体的加固勘察除应符合本规范第14.1.3条规定外，还应符合下列要求：

1 查明岩体的风化程度、节理发育、裂隙、软弱面或软弱夹层的状况及其组合关系、层状岩层厚度及层间结合程度、围岩体结构特征和完整状态。

2 提供加固设计所需要的岩体的弹性模量、粘聚力、内摩擦角、泊松比、重力密度以及围岩结构面的粘聚力、摩擦系数。

14.2.2 进行岩体围岩的稳定性评价时，应采用工程地质分析与理论计算相结合的综合评价方法，并应符合下列规定：

1 对于硬质、整体状结构的围岩，宜按弹性理论计算围岩压力，并评价其稳定性。

2 受结构面切割且在洞壁或洞顶产生分离体的岩体，当主要结构面走向平行洞轴且结构面张开或有充填物时，可按分离块体平衡理论评价其稳定性。

3 对受多组结构面切割的层状、碎裂状的硬质围岩，或整体状、块状的软质围岩，可按弹塑性理论进行松动围岩压力计算。

4 对受强烈构造作用、强烈风化的围岩，宜采用松散理论计算松动围岩压力。

5 当洞室穿过膨胀性岩土可能产生膨胀压力、地形地质条件复杂可能产生偏压以及埋深大或地应力高的脆性岩体可能产生岩爆时，围岩压力应专门研究确定。

14.2.3 凡属下列情况时应对围岩进行局部加固或采取加强措施：

1 对洞室的转角、交叉、断面变化以及局部围岩较差的部位。

2 Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ类围岩中存在的个别断层。

3 遇到岩溶时。

4 浅埋隧洞需考虑地形偏压影响时。

5 在隧洞开挖后，地质条件或围岩的类别比预计的差。

6 施工过程中，喷混凝土层的裂纹多、裂缝大，或者裂纹和裂缝不断扩展。

7 实测位移量超过允许值。

8 围岩的稳定特征出现异常或出现局部坍塌。

14.3 土体加固

14.3.1 土体加固勘察除应符合本规范第14.1.3条的规定外，还应符合下列要求：

1 应查明造成隧道或地面建筑过大不均匀沉降的软弱土层以及坚硬土层的分布规律、厚度变化。

2 应取土样做室内试验并进行原位测试，必要时可进行载荷试验。

3 查明地下水位、水量及含水层层位，并测定土层的渗透性、水压。

4 当隧道周围和建筑物基底下有湿陷性土时，应查明湿陷性土层分布，提供判定场地湿陷类型、地基湿陷等级的湿陷系数与自重湿陷系数，并就消除湿陷性土的范围、措施和方法提出建议。

5 当隧道周围和建筑物基底下为可液化土层时，应查明可液化土层的厚度与分布，提供液化指数，对液化等级作出评价，并提出抗液化措施的建议。

6 对深基坑边坡支护加固工程，勘察时应查明坑壁和坑底软弱土层、粉细砂层分布情况，提供各土层的有关技术参数，并应经过边坡、坑底土的稳定性验算后，对支护方案以及施工监测项目提出建议。

14.3.2 基坑底部土体有可能发生隆起失稳时，应进行坑底土的稳定验算，计算方法可按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定。

14.3.3 土体加固方法应根据本规范附录K提出建议。

14.3.4 基坑支护方法，应根据基坑开挖深度、施工场地条件、坑壁与坑底土质情况确定。

14.3.5 对于深基坑支护工程，必要时可建议采取下列措施：

1 增加围护结构刚度和支撑体系的稳定性，适当加深围护墙或围护桩的入土深度。

2 对坑内外土体进行注浆或深层搅拌加固，提高土的抗剪强度，增加土体抗力。

3 坑内外形成有效的止水幕墙，护墙有渗漏应及时堵漏。

4 基坑内分层、分段对称挖土和边支撑边挖土。

5 在砂土中应有效地控制地下水的水力梯度防止发生管涌或流砂。

6 缩短基坑暴露时间，及时浇注素混凝土垫层。

15 路基、高架线路与桥涵勘察

15.1 一般规定

15.1.1 高架线路勘察应根据地形、地质条件及各勘察阶段，沿线路每侧50m范围内进行。对控制线路方案的地质复杂地段，大型工点及不良地质工点，可适当扩大勘察范围。

15.2 路基勘察

15.2.1 路基勘察应包括路基、高路堤、深路堑及支挡建筑物。

15.2.2 路基勘察应包括下列内容：

1 查明地层结构、土、石性质、岩层产状、风化程度及水文地质特征；分段划分土、石可挖性等级；确定路堑边坡坡度；评价路基基底的稳定性。

2 工程地质纵剖面、横剖面上的勘探点，其数量与深度应满足设计需要。

3 应分段取岩土试样进行物理力学试验，取水样进行水质分析。

15.2.3 高路堤勘察应包括下列内容：

1 查明基底地层结构，土、石性质，覆盖层与基岩接触面的形态。查明不利倾向的软弱夹层，并应评价其稳定性。

2 调查地表水汇水面积及地下水活动对基底稳定性的影响。

3 查明基底和斜坡稳定性，地质复杂地区应布置横剖面。

4 应分段取岩土试样，进行物理力学试验，并应提供验算基底稳定性的技术参数。

5 应取水样进行水质分析。

15.2.4 深路堑勘察应包括下列内容：

1 查明地貌、植被、不良地质现象和特殊地质问题。调查沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件。

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

3 松散地层边坡应查明土层厚度、地层结构、成因类型、密实程度及下伏基岩面形态和坡度。

4 查明地下水类型、水位、水压、水量、补给和动态变化。评价岩土透水性及地下水出露情况对路堑边坡及地基稳定性的影响。

5 进行岩土物理力学试验和软弱面抗剪试验，提供边坡稳定性计算参数。

6 提出边坡最优开挖坡形和排水措施，边坡坡度允许值应按本规范第12章表12.2.1-1、表12.2.1-2的规定执行。

7 调查雨期、暴雨量及雨水对坡面、坡脚的冲刷和地震对坡体稳定性的影响。

8 勘探点间距不宜大于50m，遇有软弱夹层或不利结构面时，勘探点可适当加密。孔深应探明软弱层厚度及软弱结构面产状，且应穿过潜在滑动面并深入稳定地层内2～3m。

15.2.5 支挡建筑物勘察应包括下列内容：

1 查明支挡地段地貌、地质及不良地质现象和特殊地质问题，判定其稳定状态。

2 查明基底的地层结构及岩土性质，提供地基承载力。对路堑挡土墙应提供墙后岩土物理力学指标。

3 查明支挡地段水文地质条件，评价地下水对支挡建筑物的影响，提出处理地下水措施，并取水样进行水质分析。

4 查明地基与被支挡岩土体的地质条件，按其复杂程度可适当增减勘探孔，但不得少于3个，孔深应穿过潜在滑动面并深入稳定地层内2～3m。

15.2.6 路基工程勘察资料编制除应符合本规范第16章有关规定外尚应包括下列内容：

1 工程地质说明。

2 1∶500～1∶2000工程地质平面图。

3 工程地质纵剖面、横剖面图。

4 支挡建筑物、墙址工程地质图。

5 勘探、测试资料。

15.3 高架线路勘察

15.3.1 选址勘察应了解选择高架线路方案的工程地质条件和影响高架线路方案的主要工程地质问题，其工作应符合下列规定：

1 选址勘察以搜集资料为主，每地貌单元或每公里内应有勘探资料；初步了解区域地质、水文地质条件，对线路通过地区的工程地质条件进行初步评价。

2 对控制线路方案的地段，应了解地层、岩性、构造、水文地质及不良地质现象和特殊地质问题，并进行可行性评价。

15.3.2 初步勘察应在选址勘察基础上，进一步查明初定方案沿线的水文地质、工程地质条件。其主要内容应符合下列规定：

1 查明沿线的地形、地貌、地层、岩性、构造及水文地质对高架线路方案的影响。

2 查明不良地质、特殊地质的成因、类型、性质和范围，预测其发生和发展趋势及对高架线路危害程度和影响。

3 查明沿线岩土的分类、密实程度、含水特征、物理力学性质，初步确定地基承载力并提出基础埋深意见。

4 高架线路重点地段每100～200m应布置一个勘探孔，查明墩台地质情况，并初步提出基础类型意见。

5 取水样进行水质分析，取岩、土样进行物理力学试验。

15.3.3 详细勘察应根据初步设计方案进行勘察。应详细查明沿线工程地质、水文地质条件，提出编制施工设计所需的工程地质资料。详细勘察应包括下列内容：

1 应查明高架柱基地层分布、埋藏条件，溶洞、土洞、人工洞穴、采空区等不良地质现象；地下管网和地基中的有害气体。提供岩土、物理力学性质及有关技术参数，并应对柱基的稳定性作出评价，提出基础处理措施。

2 查明沿线水文地质条件，进行水文地质试验，确定施工设计需要的水文地质参数，提出控制地下水措施，判定地下水、地表水对混凝土和金属材料的腐蚀性。

3 对各类柱基持力层、单桩承载力，提出建议。

4 当抗震设防烈度等于或大于7度时，应判别地基土液化势，并应对柱基设防提出建议。

5 勘探点数量应满足编制详细工程地质纵剖面图的要求。地质简单的直线柱基地段，每3～4柱基布置一个勘探点。地质复杂、高架线路曲线以及大跨越地段，每个柱基应布置勘探点，并应进行原位测试。

6 勘探点深度应满足下列要求：

1)当基础置于无地表水地段时，应穿过最大冻结深度达持力层以下；

2)当基础置于地表水水下时，应穿过水流最大冲刷深度，并达到持力层以下；

3)当第四系覆盖层较薄时，应根据上部荷载的要求，结合基岩性质和风化带的强度确定。

7 测定有关技术参数和具有特殊要求的钻孔，可配合物探测井，其数量与孔深应根据需要确定。

15.3.4 各阶段的勘察报告，除应按本规范第16章有关规定执行外，还应包括以下内容：

1 选址勘察阶段，评价控制线路方案的不良地质、特殊地质和地质条件复杂地段的工程地质条件，对各方案做出简要的工程地质评价并提出方案比选意见。

2 初步勘察阶段，对各方案沿线工程地质条件，全线重大不良地质、特殊地质地段和高、大跨越地段的地基稳定性进行评价，提出最优线路方案。

3 详细勘察阶段，提出全线沿柱基的工程地质纵剖面图和丰水期带状等水位线图，按区段分析地基稳定性，对不良地质、特殊地质和重大工程地质问题作出评价，对施工中的工程地质问题作出预测，提出基础方案和工程措施建议。

15.4 桥涵勘察

15.4.1 小桥、涵洞勘察应包括下列内容：

1 查明地貌、地层、岩性、地质构造、天然沟床稳定状态、隐伏的基岩斜坡、不良地质和特殊地质。

2 查明小桥、涵洞地基水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提出地下水参数并取水样进行水质分析。

3 每座小桥、涵洞根据地形、地质复杂程度，勘探点可定为1～3个。各类土层应取样进行物理力学试验。

4 基础置于土中的小桥、涵洞勘探深度，可按表15.4.1确定。

表15.4.1 小桥涵洞勘探深度(m)

工程类别 \ 土的名称	碎石类土(角砾土、圆砾土、碎石土、卵石土)	砂类土及粘性土	流塑状态粘性土及饱和粉细砂、软土等
涵洞	3～6	4～8	6～15
小桥	4～8	6～12	12～20

注：1 勘探深度应由地面或新开挖地面算起；

2 箱形桥的勘探深度，可按涵洞要求适当加深。

5 资料编制包括工程地质说明、桥址工程地质纵剖面图或涵洞轴向工程地质纵剖面图及勘探、测试资料。

15.4.2 中桥、大桥、特大桥、高跨线桥勘察应包括下列内容：

1 桥渡位置应选在工程地质条件较好的地段。

2 查明桥渡区的地形、地貌、地层、岩性、地质构造及岸坡稳定性，查明断层破碎带及活动情况，查明墩台范围内有无软弱夹

层，提出地基稳定性评价及处理意见。

3 查明土层成因类型、物质成分、结构特征、密实度、含水程度及下伏基岩面的形态。

4 查明桥渡区不良地质、特殊地质范围及对墩台稳定的影响，提出工程措施建议。

5 查明墩台及调节建筑物基底岩土的物理力学性质，确定地基承载力。

6 查明桥渡区水文地质条件及地基土渗透性，预测基坑可能出现涌水、流砂、液化等情况。

7 粘性土和岩石应取样进行试验；砂类土地基应判别液化势。

8 地表水及地下水应取样进行水质分析，并应提供地下水参数。

9 每个墩台宜有一个钻孔。当地质条件复杂时，每个墩台可有 2～5 个钻孔。

10 钻孔深度宜按表 15.4.2 确定。

表 15.4.2 钻孔深度表(m)

钻孔深度 / 地层 / 基础类型	细砂、粉砂、粘性土	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂
桩基	25～35	15～30
扩大基础	15～20	10～15

注：1 深度应由地面或新开挖地面算起，遇特殊情况可适当增减；

2 对岩质地层，风化层不厚时，应穿透风化层至完整岩面下 2～3m；抗冲刷较差的岩层应适当加深。

11 资料编制应包括工程地质说明、桥址工程地质图(1∶500～1∶2000)、桥址工程地质纵剖面图(水平1∶200～1∶2000，垂直1∶20～1∶200)，必要时作墩台工程地质横剖面图，并应附勘探、测试资料。

16 成果分析与勘察报告

16.1 一 般 规 定

16.1.1 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察报告，应在工程地质测绘、勘探、测试及搜集已有资料的基础上编写；应提供工程场地及沿线邻近地带的工程地质及水文地质资料，并结合工程特点和要求，进行岩土工程分析评价。

16.1.2 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，宜包括下列内容：

1 工程场地的稳定性评价。

2 地下工程的围岩分类、围岩压力、稳定和变形分析，对施工和衬砌方案的建议。

3 地上工程的地基承载力及变形分析，对地基基础设计方案的建议。

4 不良地质现象及特殊地质条件对工程影响的评价及治理方案的建议，在强震区，应划分场地土类型和场地类别，评价地震液化和震陷的可能性。

5 工程建设对环境影响的预测及其防治对策的建议。

6 地下水对工程的静水压力、浮托作用等影响，对建筑材料腐蚀性的评价及其防治对策的建议。

16.1.3 岩土工程分析应符合下列要求：

1 充分了解工程结构的类型、特点、荷载组合、施工顺序和方法及对变形控制的要求。

2 掌握场地的地质历史，岩土的非均质性、各向异性和随时间的变化，评估岩土参数的不确定性，确定其最佳估值。

3 可借鉴类似工程及当地工程的经验。

4 对理论依据不足，实践经验不多的工程，可进行现场模型试验或足尺试验，进行专门性研究。

16.1.4 对地质条件复杂的地段，有代表性的地段及工程上需要的地段，宜提出监测的建议。

16.2 参 数 确 定

16.2.1 确定岩土参数时，应按下列内容评价其可靠性和适宜性：

1 取样、试验操作等因素对测试成果的影响。

2 采用的测试方法及取值标准。

3 测试方法与分析评价方法的配套性。

4 必要时采用多种方法测试，进行分析比较。

16.2.2 岩土的物理力学性质指标，应按岩土单元、区段和层位分别统计，对主要参数应按下列公式计算其平均值 f_m、标准差 σ_f 及变异系数 δ：

$$f_m=\left(\sum_{i=1}^{n}f_i\right)/n \tag{16.2.2-1}$$

$$\sigma_f=\sqrt{\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}f_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}f_i\right)^2}{n}\right]} \tag{16.2.2-2}$$

$$\delta=\frac{\sigma_f}{f_m} \tag{16.2.2-3}$$

式中 f_i —— 岩土参数测试值；

n —— 参加统计的子样数。

16.2.3 勘察报告应提供岩土参数的平均值、最小值、最大值、标准差、变异系数及子样数。当子样数少于 10 个时，附属建筑及中、小型桥少于 6 个时，可不提供标准差和变异系数，表示岩土性状的物理性指标及按正常使用极限状态计算的变形指标，可采用平均值；当按承载能力极限状态计算强度或稳定时，可用标准值及设计值。标准值 f_k 及设计值 f_d 可按下列公式计算：

$$f_k=\gamma_s\cdot f_m \tag{16.2.3-1}$$

$$\gamma_s=1\pm\left(\frac{1.704}{\sqrt{n}}+\frac{4.678}{n^2}\right)\delta \tag{16.2.3-2}$$

$$f_d=\frac{f_k}{\gamma} \tag{16.2.3-3}$$

式中 γ_s —— 统计修正系数，式(16.2.3-2)中的正负号按不利组合确定；

γ —— 分项系数。

16.3 勘察报告的基本要求

16.3.1 工程地质测绘、勘探、测试、监测及搜集所得的各项数据和资料，均应整理、检查、分析、鉴定。

16.3.2 初步勘察报告应满足初步设计线路方案比选、确定隧道埋深及施工方法的要求，并应符合下列规定：

1 确定不良地质现象严重发育区段，评价对工程的影响。

2 初步划定围岩类别，并对岩土性状进行初步评价。

3 初步确定地下水的类型、补给、径流和排泄条件，含水层和隔水层的分布，评价地下水对工程的影响。

4 对线路位置、隧道埋深、施工方法、不良地质现象的防治提出建议。

5 对详细勘察工作的建议。

16.3.3 详细勘察报告应满足施工图设计对支护计算、地基计算、涌水量和降水计算及其它设计计算的要求，并应符合下列规定：

1 详细划分地层，提供各项设计需要的岩土参数。

2 详细划定各地段的围岩类别。

3 提供地下水位及其变化规律，提供含水层的渗透系数，以及地下水对建筑材料的腐蚀性作出评价。

4 对围岩压力或土压力进行分析评价，对地基基础方案、支护方案、降水或截水方案、不良地质及特殊地质的治理提出建议。

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

16.3.4 施工勘察报告应针对工程的具体情况，对需要补充调查、勘察、测试的问题，提供补充勘察资料和数据，并应进行分析评价，提出建议。

16.3.5 对明挖法施工的分析评价宜包括下列内容：

1 软弱结构面空间分布、特性及其对边坡、坑壁稳定的影响。

2 岩土压力的计算参数，对岩土压力大小、特点的评价。

3 岩土透水性或隔水性的评价，对施工排水或截水方案的建议。

4 放坡开挖合理坡度、坡形、平台位置的建议。

5 深基坑开挖支护方式、支护设计及施工的建议，基坑整体稳定、坑底隆起、坑底突涌、邻近地面沉降可能性的分析评价。

6 地下连续墙持力层、嵌入深度及连续墙施工设备的建议，连续墙槽壁稳定性的评价，中间桩类型的选择，中间桩、护坡桩持力层及嵌入深度的建议，软弱下卧层稳定性的评价。

7 基坑开挖引起岩土体移动对邻近工程影响的分析评价，并提出防治措施的建议。

16.3.6 对矿山法施工的分析评价宜包括下列内容：

1 在围岩分类的基础上，进行结构面分析，指出冒顶、边墙失稳、洞底隆起、围岩破坏的可能形式和围岩稳定的薄弱部位，并提出防治措施。

2 对可能出现高地应力地段，进行地应力对工程影响的分析，并建议进行地应力观测。

3 指出可能涌水地段和突水地段，并提出防治建议。

16.3.7 对盾构法施工的分析评价宜包括下列内容：

1 对盾构选型的建议。

2 当采用普通盾构时，提出开挖方法、支护方法、辅助施工措施的建议，提出在软硬不均地层中开挖措施及开挖面障碍物处理方法的建议。

3 当采用密封型盾构时，提出选择排土方式的建议。

4 根据设计要求，提供岩土压力、水压力、土的颗粒组成及其特征参数，土的渗透系数和透气性等有关参数。

5 提出关于衬砌方案的建议。

6 预估盾构施工，土体固结造成的沉降和地面变形，分析评价地层移动地面变形对邻近工程的影响，提出防治措施。

7 预估出现有害气体的可能性，提出防治措施。

16.3.8 地面建筑物、构筑物的岩土工程分析评价，应按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定执行。

16.3.9 分析评价工程建设对环境的影响应包括下列内容：

1 基坑开挖或隧道掘进，引起地面下沉、隆起或水平位移，可能导致对邻近建筑物及地下管线的影响。

2 施工降水导致地下水位变化，出现区域性的降落漏斗，水源枯竭、水质恶化、地面固结沉降、生态失衡的预测并提出防治措施建议。

3 隧道建成后，在其上部及两侧一定范围内，对新建建筑物、大面积地面超载及其它影响隧道安全施工活动的评价。

4 工程建成后造成的环境问题评价。

16.4 勘察报告内容

16.4.1 勘察报告内容应符合本规范 16.3 节的要求，并应包括正文和附件两部分。

16.4.2 正文应根据工程规模、地质条件及对勘察工作要求编写，并应包括下列内容：

1 拟建工程概述。

2 勘察目的、任务和要求。

3 勘察工作量及工作方法。

4 区域地质概况。

5 勘察场地的地形、地貌、水文、气象概况。

6 场地环境，包括拟保留的和拟拆除的各种地面工程、地下工程、道路、管线等。

7 勘察场地的地质构造及地层的年代、成因、产状、性质及分布。

8 岩土的物理力学性质、围岩分类、岩土设计参数。

9 地下水的类型、赋存、补给、径流、排泄条件、水位及其变化，地层的透水和隔水性质。

10 不良地质现象及其发展趋势，特殊地质条件分析评价。

11 按本规范第 16.1.3 条的要求进行岩土工程分析评价，并提出相应的建议。

16.4.3 勘察报告的附件应包括下列内容：

1 勘察任务书。

2 勘察大纲。

3 勘探点平面布置图。

4 综合工程地质图。

5 岩土物理力学性质综合统计表。

6 工程地质纵剖面图、工程地质横剖面图。

7 工程地质柱状图。

8 原位测试成果图表。

9 各种室内试验图表。

10 其它图表。

16.4.4 沿线路应有纵剖面图；车站、大型构筑物及复杂地段应有横剖面图；特殊测试项目、专门研究项目、地质复杂地段及大型单体工程，应单独提出报告。

16.4.5 勘察报告中的图例宜按本规范附录 L 执行。

17 工程监测

17.1 一般规定

17.1.1 地下铁道、轻轨交通岩土工程应根据工程需要进行监测。

17.1.2 当收集研究与地面沉降有关的施工参数时，并应根据工程的具体情况对下列项目进行监测。

1 地下水位长期观测及施工中水位、水质、水量的监测。

2 验槽、验洞、验桩。

3 对沿线重大建筑物及重要管线进行沉降观测。

4 地面沉陷量。

5 围岩压力。

6 拱顶沉降及周边收敛。

7 桩、墙沉降及测斜。

8 土体回弹量。

9 土体分层沉陷及水平位移。

17.2 施工前的监测

17.2.1 施工前应制定监测计划，并应符合下列规定：

1 监测计划应根据勘察设计意图、工程的规模、施工方法、地形地质条件、地面和地下设施特征及其它有关条件制定。

2 监测计划的内容应包括量测项目和量测方法、量测仪器的选择、测点的布置、量测频率、数据处理以及人员的组成等。

3 应根据地质条件的变化或施工异常，修改监测计划。

17.2.2 量测点的埋置应符合下列规定：

1 地表量测点应埋置在硬质路面或冻土带及易受不同季节

降水量影响的软土层以下。

2 永久结构、临时结构量测点应固定在结构体上，且应牢固，易于量测。

3 永久性基标应埋在基岩上或稳定的砂卵石地层中或其它不受施工降水影响的地带。

17.2.3 施工前应完成观测点的初始值量测，对施工过程中潜在的风险提出预测报告。

17.3 施工中的监测

17.3.1 施工过程中观测内容和要求应符合下列规定：

1 开挖工作面的观察，应包括地质条件的变化，渗漏情况，支护系统状况，工作面的稳定性。对开挖工作面的观察应每天进行一次，必要时绘制实际地层素描图，并与勘察资料进行对比。

2 对已完成的永久结构或临时结构的观察应每天进行一次。其内容应包括地下水渗漏情况、预制管片的变形、喷射混凝土、现浇混凝土、锚杆、支架的状况等，可提出建议。

3 施工现场周边环境的观察内容应包括地面、地面建筑和地下设施的状况，以及邻近工程施工对本工程的影响等。

17.3.2 地面和建筑物的沉降监测应符合下列要求：

1 监测应包括下列内容：

1)对地面、地下设施、地面建筑物沉降量、沉降速率和沉降分布特点的量测；

2)对建筑物和构筑物裂缝的量测。

2 量测点的布置：

1)根据地质条件和隧道埋深，在隧道中心线上方及其两侧15～25m的范围内应设置量测点。每20～100m设置一个观测断面，每个断面至少应设置3个量测点。

2)建筑物沉降量测点应根据工程的需要设置在建筑物的转角、桩基、建筑物沉降缝两侧、新旧建筑物连接处两侧等处，每幢建筑物上至少应有2个量测点，间距宜为8～12m。

3 监测频率：在工作面前30m，应每周一次；在工作面前10m，应每天一次；在工作面后30m，应每周二次。并应根据建筑物沉陷速率作适当调整。

4 观测精度：对一级建筑物，观测允许误差为变形测量一等±0.3mm；对一般高层建筑物，观测允许误差为变形测量二等±0.5mm；对一般建筑物，观测允许误差为变形测量三等±1.0mm。

17.3.3 暗挖法施工隧道拱顶下沉和净空水平收敛量测应符合下列要求：

1 净空量测断面的间距宜为10m。

2 拱顶下沉量测和净空水平收敛量测应在同一断面内进行，宜采用相同的量测频率。量测频率可按表17.3.3的规定执行。

表17.3.3 量测频率

量测过程	1～15d	16d～1个月	1～3个月	3个月以上
量测频率	1～2次/d	1次/2d	1～2次/周	1～3次/月

3 采用全断面开挖时，可设一条测线；采用台阶式开挖时，可在拱腰和边墙部位各设一条水平测线。

17.3.4 明挖法和盖挖法施工监测应符合下列要求：

1 根据基坑工程的安全等级和具体特点选择下列监测内容：

1)雨、雪、冻融、地震等；

2)地下水位的变化及基坑的渗、漏、冒水、冲刷、管涌等；

3)边坡土体顶部及基坑周围地表的水平位移、垂直位移和开裂等；

4)基坑附近的建筑物、地下设施；

5)支护系统、墙体和桩基等的应力和应变。

2 量测点的布置和量测频率：

1)边坡量测点应沿基坑周边布置，并应设置在每边的中部和端部，间距不宜大于20m；

2)距基坑周边$3H$(H为开挖深度)的建筑物和地下设施应设置量测点，间距宜为8m；

3)量测点每天至少观测一次。

17.3.5 盾构法施工隧道内的监测应包括下列内容：

1 对管片破损、开裂的情况逐环量测。

2 管片之间、环与环之间的安装偏差。

3 盾构机的空间位置及推进速度、推力、扭力等。

4 出土量、出土物质成分和物理特性等。

5 工作面使用泥浆、添加剂、水、压缩空气情况。

6 盾尾注浆量及注浆时间、位置、物质和物理特性等。

7 管片防水和渗漏特点。

8 启用人闸和材料闸时，对压缩空气的控制必须时刻进行监测。

9 始发和到达竖井洞门时，对附近的土体稳定性应时刻进行监测。

17.3.6 地下水动态监测应符合下列规定。

1 下列情况应进行地下水动态监测：

1)当地下水位的升降影响施工时；

2)当地下水位的上升对构筑物产生浮托力或对地下结构的防水、防潮有较大影响时；

3)当施工排水对邻近工程设施或建筑物有影响时。

2 应根据工程需要选取下列监测内容：

1)地下水位的变化及其与地表水、大气降水的水力联系；

2)对开挖深基坑、掘进隧道、洞室的地下水监测；

3)工程降水对区域地下水的影响；

4)潜蚀、管涌及对工程的影响；

5)水质、水量的监测。

3 量测点的布置和监测频率：

1)每个施工场地的观测点不宜少于3个，深度不应小于最大可能降深以下1m；

2)区间隧道的观测点应根据工程的需要及工程地质和水文地质特点布置量测点和确定测量频率；

3)动态监测不应少于一个水文年，并宜每周监测二次，雨天宜每天监测一次；

4)地下水位长期观测在每个站、段均应有观测孔，并应按上层滞水、潜水、承压水分别设置，每周应监测一次，雨季应增加观测次数。

17.4 施工后的监测

17.4.1 施工后和运营期的监测，应在充分研究竣工工程地质资料的基础上，监测不良地质现象的发展变化，发现新的地质病害，并应提出防治措施和补充勘察意见。

17.4.2 监测工作应包括下列内容：

1 收集、整理区域地质、工程地质和水文地质的最新资料，研究区域地质变化可能对地铁永久结构和运营的影响。

2 监测附近工程施工可能对线路工程和运营造成的影响。

3 在不良地质和特殊地质病害地段应对永久结构、地面建筑物和土体变形进行监测。与地下水有关的不良地质工点，应布置相应的地下水动态观测点。

监测频率和持续时间，应根据实际需要确定。

17.4.3 对不良地质和病害工点应建立专门的地质档案。

附录A　岩石按风化程度分类

表A　岩石按风化程度分类

岩石类别	风化程度	野外特征	风化程度参数指标		
			压缩波速度 V_p (m/s)	波速比 K_v	风化系数 K_f
硬质岩石	未风化	岩质新鲜，未见风化痕迹	>5000	0.9～1.0	0.9～1.0
	微风化	组织结构基本未变，仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色，有少量风化裂隙	4000～5000	0.8～0.9	0.8～0.9
	中等风化	组织结构部分破坏，矿物成分基本未变化，仅沿节理面出现次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成20～50cm的岩块，锤击声脆，且不宜击碎，不能用镐挖掘，岩芯钻方可钻进	2000～4000	0.6～0.8	0.4～0.8
	强风化	组织结构已大部分破坏，矿物成分已显著变化，长石、云母已风化成次生矿物。裂隙很发育，岩体破碎，岩体被切割成2～20cm的岩块，可用手折断，用镐可挖掘，干钻不易钻进	1000～2000	0.4～0.6	<0.4
	全风化	组织结构已基本破坏，但尚可辨认，并且有微弱的残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进	500～1000	0.2～0.4	—
残积土		组织结构已全部破坏，矿物成分除石英外大部分已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性	<500	<0.2	—
软质岩石	未风化	岩质新鲜，未见风化痕迹	>4000	0.9～1.0	0.9～1.0
	微风化	组织结构基本未变，仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色、有少量风化裂隙	3000～4000	0.8～0.9	0.8～0.9
	中等风化	组织结构部分破坏，矿物成分发生变化，节理面附近的矿物已风化成土状。风化裂隙发育，岩体被切割成20～50cm的岩块，锤击易碎，用镐难挖掘，岩芯钻方可钻进	1500～3000	0.5～0.8	0.3～0.8
	强风化	组织结构已大部分破坏，矿物成分已显著变化，含大量粘土质粘土矿物。风化裂隙很发育，岩体被切割成碎块，干时可用手折断或捏碎，浸水或干湿交替时可较迅速地软化或崩解，用镐或锹可挖掘，干钻可钻进	700～1500	0.3～0.5	<0.3
	全风化	组织结构已基本破坏，但尚可辨认，并且有微弱的残余结构强度，可用镐挖。干钻可钻进	300～700	0.1～0.3	—
残积土		组织结构已全部破坏，矿物成分已全部改变并已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性	<300	<0.1	—

注：1　波速比 K_v 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比；
2　风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比；
3　岩石风化程度，除按表列野外特征和定量指标划分外，亦可根据地区经验按点荷载试验资料划分；
4　花岗岩类的强风化与全风化、全风化与残积土的划分，宜采用标准贯入试验，其划分标准 $N\geq50$ 为强风化；$50>N\geq30$ 为全风化；$N<30$ 为残积土。

附录B　土、石可挖性分级

表B　土、石可挖性分级

土石等级	土石类别	土石名称	钻1m所需时间			爆破1m³所需炮眼长度(m)		开挖方法
			湿式凿岩一字合金钻头(净钻分钟)	湿式凿岩普通淬火钻头(净钻分钟)	双人打眼(d)	路堑	隧道导坑	
Ⅰ	松土	砂类土、种植土、粉土和软塑粉质粘土、弃土、未经压实的填土	—	—	—	—	—	用铁锹挖，脚蹬一下到底的松散土层。机械能全部直接铲挖满载者
Ⅱ	普通土	坚硬的、硬塑的粉土和粉质粘土、可塑的粘土、可塑的膨胀土(裂土)、新黄土、中密的碎石类土(不包括块石土、漂石土)、压实的填土、风积砂	—	—	—	—	—	部分用镐刨松，再用锹挖，以脚蹬锹需连蹬数次才能挖动的。机械需部分刨松方能铲挖满载者，或可直接铲挖，但不能满载者
Ⅲ	硬土	坚硬的粘土、坚硬的膨胀土(裂土)、老黄土、含块石、漂石≥30%～50%的土及其它密实的碎石类土，各种风化成土状的岩石	—	—	—	—	—	必须用镐先整个刨过才能用锹挖的。机械须普遍刨松或部分爆碎方能铲挖满载者
Ⅳ	软石	块石土、漂石土、岩盐、各种软质岩土：泥岩、泥质页岩、泥质砂岩、泥质砾岩，煤、泥灰岩、凝灰岩、云母片岩、千枚岩等	—	<7	<0.2	<0.2	<2.0	部分用橛棍或十字镐及大锤开挖，部分用爆破法开挖
Ⅴ	次坚石	各种硬质岩：硅质页岩、钙质砂岩、钙质砾岩、白云岩、石灰岩、坚实的泥灰岩、软玄武岩、片岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	≤15	7～20	0.2～1.0	0.2～0.4	2.0～3.5	用爆破法开挖
Ⅵ	坚石	各种极硬岩：硅质砂岩、硅质砾岩、致密的石灰岩、大理岩、石英岩、硬玄武岩、闪长岩、正长岩、细粒花岗岩	>15	>20	>1.0	>0.4	>3.5	用爆破法开挖

注：软土(软粘性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土、泥炭)和多年冻土等应结合具体施工情况另定。

附录C　地球物理勘探方法的原理、特点及应用范围

表C　地球物理勘探方法的原理、特点及应用范围

方法名称		基本原理	特点	应用范围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电法	自然电场法	利用在一定水文地质环境下，地下自行产生的电流场解决某些地质问题	不需人工供电，装置简单，工作效率高，成本低，能用于测定地下水流向、地下水与地表水之间的补给关系和裂隙带的发育情况			△				△			
	充电法	利用天然的或人工揭露的良导体露头，进行充电，测量充电电场的变化情况，解决某些地质问题	对地下良导体目标物充电，增强了目标物引起异常，探测精度高，能用于测定地下水流速、流向，滑坡体的滑动方向和滑动速度，追索岩溶暗河的位置				△			☆		△	☆
	电阻率测深	在地面的每一测点上，用改变供电电极距的办法控制不同的勘探深度，测定地下介质在垂直方向上的电阻率变化	可探测地下介质在垂直方向上的电阻率变化，解决许多地质问题，并可进行层状介质的定量解释	☆	△	△	△	△	△			△	
	电阻率剖面法	用固定极距的电极排列，沿剖面线逐点测量视电阻率，用于了解一定勘探深度范围内岩性沿测线水平方向的电阻率变化	装置灵活多变，可探测地下介质在水平方向的变化规律，特别是利用联合剖面装置确定断层破碎带的位置，精确度较高	△		☆	△					△	
	高密度电阻率法	利用一组排列密集的电极，通过开关组合成一系列电极装置进行视电阻率测量，在一条剖面线上同时获得一组多种不同装置的视电阻率曲线	一次测量可以获得多种不同装置的视电阻率曲线，便于综合解释，提高解释的可靠性和精确度，提高工作效率	☆	△	☆	△	△	△			△	
	激发极化法	利用在一次场激发下，由于地质体的激发极化感应，研究二次场衰减特性来解决某些地质问题	用一定的电极装置，在测定视电阻率的同时，测定激发极化场衰减特性，用以区分地层的含水特性			△	△	△	☆			△	
电磁法	甚低频	利用甚低频无线电发射台的电磁场在地质体或目标物中感应产生的电流所引起的电磁场来解决地质问题或探测目标物	方法简便，成本低，效率高，但精度低，受干扰大，其信号强度与无线电台与地质体的相对方向有关			△						△	△
	频率测深	通过发射线圈或接地电极向地下发射不同频率的交变电磁场，在地面上测量相应二次场的频率特性，解决地下介质在不同深度上的变化规律	装置轻便，灵活多变，工作效率高，只要通过改变发射电磁场的频率就可得到不同深度地下介质的电性变化	△	△	△	△	☆			△	△	△
	电磁感应法	利用发射线圈或接地电极向地下发射一定频率的交变电磁场，用接收线圈接收由地质体或目标物引起的二次场来解决地质问题或探测金属目标物	装置轻便、灵活，工作效率高，对于探测地下良导地质体或金属目标物有显著的优点	△		△	△				△	△	☆

续表C

方法名称		基本原理	特点	应用范围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电磁法	地质雷达	利用高频电磁波（主频几十兆赫至几百兆赫），以宽频带短脉冲形式，由地面通过天线发送入地下，经地下地质体或目标物反射后返回地面，用另一天线接收，用于探测地质体或目标物	仪器设备轻便，适应性强，可沿剖面线连续测量，工作效率高，抗干扰能力强，可在城市内各种噪声环境下工作，具有较高的探测深度和分辨率，现场直接提供实测剖面记录图，图像清晰直观	☆	△	☆	☆	△	△		△	☆	△
	地下电磁波法	将发射线圈和接收线圈分别安置在不同钻孔或坑道的不同深度位置上，利用电磁波在地下介质中的辐射、传播、散射特性，探测目标物的空间位置	可利用发射线圈和接收线圈在钻孔或坑道的不同空间位置，探测地下复杂形状目标物的空间形态，具有较高的准确度和分辨率			△	☆					☆	△
地震波法和声波法	折射波法	利用入射波以临界角射到下层介质波速大于上层介质波速的界面时，产生沿界面的滑行波，并以折射波的形式返回地面根据地面接收到的折射波时距曲线，求得地下界面的埋藏深度和波速等参数	受浅部干扰小，工作方法较简便，可以通过叠加技术增强信号，提高信噪比，勘探成本较低，解释精度较高，但在盲区或具有软弱夹层时，不能接收到折射波	☆	△			☆	△		△		
	反射波法	利用入射波在不同波阻抗的界面上产生反射，在地面上接收反射波，用于探测反射界面的埋藏深度和起伏变化	通过多次覆盖和数字处理技术，可取得时间剖面，图像清晰直观，探测精度高，特别是横波反射法分辨率高	☆	☆	△	△	☆	△		△	△	△
	直达波法	利用单孔或跨孔，直接测量纵波和横波在地层中的传播速度	测定地层的横波和纵波波速，精度高，并可利用波速资料计算不同深度地层的弹性参数		☆			△					
	瑞雷波法	通过稳态或瞬态人工激震，产生不同频率的地震波，在震源附近埋设两个检波器，测定相应不同频率瑞雷波到达的时间差，求得不同深度的瑞雷波波速	对场地要求低，可在狭窄的场地测量，抗交流电干扰和微振干扰的能力强，通用于城市勘测，尤其对空洞和地下隐埋物体反应敏感	△	△	△	☆	△				☆	△
	声波法	利用发射机发射声波或超声波信号（频率一般1000Hz～10MHz），通过岩石传播、吸收、衰减，由接收机接收，测出岩石的声波波速	分辨度高，可对几十米，几米，甚至几厘米范围内的岩体进行测定，利用波速推算其物理力学性质或小构造的特征	△	☆	☆	△	△				△	△
	声纳浅层剖面法	利用电声换能器将电能转变为声能以声脉冲的形式向水下传播，当声脉冲遇到水下声阻抗界面时，被反射回来，用水听器接收，将声能转变为电信号，经信号处理，计算出地下声阻抗界面的空间位置	适用于水上工作，探测水深和泥沙沉积的厚度和水下隐埋物									☆	☆
磁法勘探		利用地质体或目标物与周围介质之间的磁性差异，测量磁场强度或磁场梯度的变化	仪器轻便，工作效率高，对铁磁性物体敏感，适用于探测地下铁磁性隐埋物体									☆	△
放射性勘探		利用岩石的天然或人工放射性，通过地面γ测量、射气测量、α径迹测量以及α卡等方法来解决地质问题	方法简单，轻便，成本低，工作效率高，不受地形因素的干扰，适用于探测断层或构造裂隙带的位置		☆	△	△					△	

续表 C

方法名称		基本原理	特点	应用范围									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
红外辐射法		利用岩石的红外线辐射特性，研究地质或目标物的热辐射场、温度场，以解决有关地质问题或追索目标物	方法简单，不受地形因素干扰，适用于探测裂隙破碎带、空洞、热力管道等的位置		☆	△	△					△	△
测井	地球物理测井	将各种地球物理勘探方法移到钻孔中去应用，按原理不同可分为：电测井、放射性测井、声波测井、热测井等	可以研究地球物理场随深度的变化规律，确定深部地质体或目标物埋藏深度的精度高，但必须打钻孔，成本高，效率低	☆	△	△	△	☆	△			△	
	井径、井斜测量	将井径仪、井斜仪放到井里，沿井轴线测量井径、井斜随深度的变化	测量精度高，可用于测量钻孔的井径、井斜随深度的变化，作为施工质量监测的手段										

注：1 "应用范围"分为10类，用阿拉伯数字代表的意义如下：
1—测定覆盖层的厚度及基岩的起伏形态；
2—测定基岩的风化程度及风化层厚度的变化；
3—探测隐伏断层、裂隙破碎带的位置、宽度及延伸方向；
4—探测岩溶及地下洞穴的位置、埋深和大小；
5—划分松散沉积地层的层序；
6—测定潜水面的深度和地下含水层的分布；
7—测定地下水的流速、流向；
8—探测河床水深及沉积泥沙厚度的变化；
9—探测地下或水下障碍物体的位置；
10—探测地下管线的位置、性质及埋深。
2 表中"☆"代表应用广泛，效果较好；"△"代表在一定条件下可以应用或效果一般。

附录D 渗透系数的计算

D.0.1 根据水位恢复速度计算渗透系数(见表D.0.1)。

表D.0.1 根据水位恢复速度计算渗透系数

计算公式	适用条件
$k=\frac{1.57r_w(h_2-h_1)}{t(S_1+S_2)}$	1. 承压含水层 2. 大口径平底井底(或试坑)进水
$k=\frac{r_w(h_2-h_1)}{t(S_1+S_2)}$	1. 承压含水层 2. 大口径半球状井底(或试坑)进水
$k=\frac{3.5r_w^2}{t(H+2r_w)}\ln\frac{S_1}{S_2}$	潜水完整井
$k=\frac{\pi r_w}{4t}\ln\frac{S_1}{S_2}$	1. 潜水非完整井 2. 大口径井底进水，井壁不进水

注：1 式中 r_w——井半径(m)；
h_1、h_2——井中水柱高度(m)；
t——计算水位恢复时间间隔(h)；
S_1、S_2——井中剩余水位降低(m)；
k——渗透系数(m/h)。
2 当求得一系列的水位恢复时间有关的 k 值后，应作 $k=f(t)$ 曲线，根据曲线确定 k 值。

D.0.2 当利用水位下降资料计算渗透系数时，可根据适用条件按承压水、潜水、完整井、非完整井等水文地质学原理，选择相应的计算公式。

附录E 降水引起的地面附加沉降计算

E.0.1 因地下水位下降引起的土层附加荷载，可按下式计算：

$$\Delta P=\gamma_w(h_1-h_2) \tag{E.0.1}$$

式中 ΔP——降水引起的土层附加荷载(kPa)；
h_1——降水前土层的水头高度(m)；
h_2——水位下降后的水头高度(m)；
γ_w——水的重度(kN/m³)。

E.0.2 降水引起的地面附加沉降量，可采用分层总和法，按下式计算：

$$S=\sum_{i=1}^{n}S_i=\sum_{i=1}^{n}\frac{\Delta P_i}{E_i}H_i \tag{E.0.2}$$

式中 S——降水引起的地面总附加沉降量(m)；
S_i——第 i 计算土层的附加沉降量(m)；
ΔP_i——第 i 计算土层降水引起的附加荷载(kPa)；
E_i——第 i 计算土层的压缩模量(kPa)；
H_i——第 i 计算土层的土层厚度(m)。

E.0.3 公式E.0.2中的 E_i，对于砂土，应为弹性模量 E；对于粘土和粉土，可按下式计算：

$$E_i=(1+e_0)/a_v \tag{E.0.3}$$

式中 e_0——土层的原始孔隙比；
a_v——土层的体积压缩系数(MPa⁻¹)，应取自土的有效自重压力至土的有效自重压力与附加压力之和的压力段。

附录F 基床系数 K 的经验值

表F 基床系数 K 的经验值(MPa/m)

岩土类别	状态	K 值
软土、淤泥质土、有机土		1～8
粘性土	软塑	8～15
	可塑	15～35
	硬塑	35～70
	坚硬	70～90
砂土	松散	5～10
	稍密	10～15
	中密	15～25
	密实	25～40
圆砾、角砾	中密	25～40
	密实	40～95
黄土、黄土质土		30～60

注：本表系垂直基床系数。

附录G　岩土热物理指标

表G　岩土热物理指标

序号	岩土名称	天然含水量 w (%)	密　度 ρ (kg/m³)	导热系数 λ (W/m·K)	导温系数 a (m²/h)	比热容 C (kJ/kg·K)
1	粉　土	16.3	1590	0.63	0.00129	1.11
2	粉　土	22.9	1920	1.26	0.00158	1.50
3	粉　土	26.9	2130	1.79	0.00264	1.15
4	粉　土	25.3	1850	1.45	0.00178	1.59
5	粉　土	26.0	1930	1.61	0.00222	1.35
6	粘性土	26.3	1990	1.41	0.00164	1.56
7	粘性土	19.0	2000	1.20	0.00152	1.42
8	粘性土	29.8	2050	1.66	0.00171	1.71
9	粘性土	30.1	2110	1.63	0.00197	1.41
10	粘性土	27.0	2170	1.55	0.00183	1.41
11	粘性土	29.0	2020	1.69	0.00184	1.64
12	粘性土	31.4	2140	1.85	0.00223	1.40
13	粘性土	20.0	2090	1.19	0.00136	1.51
14	细　砂	22.1	1800	1.60	0.00209	1.53
15	细　砂	11.1	1570	0.73	0.00165	1.02
16	细　砂	5.5	1310	0.64	0.00176	1.00
17	细　砂	8.0	1420	0.65	0.00196	0.84

续表G

序号	岩土名称	天然含水量 w (%)	密　度 ρ (kg/m³)	导热系数 λ (W/m·K)	导温系数 a (m²/h)	比热容 C (kJ/kg·K)
18	细　砂	16.1	1460	0.86	0.00210	1.01
19	中　砂	7.0	1490	0.79	0.00201	0.95
20	中　砂	13.8	1510	1.06	0.00255	0.99
21	粗　砂	12.4	1260	1.06	0.00285	1.06
22	砾　砂	8.9	1950	1.41	0.00281	0.93
23	砾　砂	5.3	1600	1.04	0.00280	0.84
24	粗砾砂	23.3	2130	1.88	0.00228	1.39
25	粗砾砂	21.9	2200	1.75	0.00188	1.52
26	圆　砾	9.5	1860	1.44	0.00318	0.88
27	圆　砾	10.5	1830	0.94	0.00198	0.93
28	卵石十砂	9.8	1840	1.62	0.00358	0.89
29	砂　岩	—	2250	1.84	0.00350	0.84
30	石灰岩	—	2700	3.14	0.00460	0.91
31	石灰岩	—	2250	1.28	0.00245	0.84
32	石灰岩	—	2000	1.16	0.00227	0.92
33	石灰岩	—	1700	0.93	0.00214	0.92
34	大理石、花岗岩	—	3000	3.60	0.00517	0.84
35	大理石、花岗岩	—	2800	3.45	0.00487	0.91
36	花岗岩	—	2700	3.14	0.00460	0.91
37	石灰质凝灰岩	—	1300	0.52	0.00157	0.92
38	灰质页岩	—	1760	0.83	0.00166	1.02

附录H　工程地质类比法的黄土分类

表H　工程地质类比法的黄土分类

特征 / 分类	工程地质特征			物理力学性质												
	地貌	地层	构造	含水量 (%)		干密度 (g/cm³)		粘聚力 (kPa)		内摩擦角 (°)		无侧限抗压强度(kPa)		$S-P$ 曲线比例极限 (kPa)	变形模量 (MPa)	侧压力系数 K_0	湿陷性	毛洞围岩稳定情况
				一般	平均	一般	平均	一般	平均	一般	平均	一般	平均					
甲类黄土	一般在基岩沟壁两侧出露，沟壁陡峭，一般大于45°～70°	一般为黄土下部（Q_1、Q_2）	一般夹有数层至十余层古土壤，下部钙质结核密集成层，层位比较复杂，节理多	17～24	20	1.45～1.66	1.57	49～160	90	24.8～33.4	30.1	270～650	460	1000～1700	60～130	0.21～0.31	无	埋深≤10m，毛跨≤4m时，毛洞稳定时间较长；毛跨为6m，进深小于4m时可暂时稳定
乙类黄土	一般在沟壁有少量冲蚀冲沟沟壁较陡，一般大于30°～45°	一般为黄土下部（Q_2、Q_3）	一般夹有数层古土壤，钙质结核一般不成层，层间较疏，层位稳定，节理较多	11～22	18	1.34～1.69	1.47	25～85	62	22.8～31.6	26.3	130～230	180	400～700	30～60	0.30～0.36	轻微～无	埋深≤10m，毛跨≤3m时，毛洞稳定时间较长；毛跨为6m，进深小于3m时可暂时稳定
丙类黄土	一般地见冲蚀沟壁出露，常见冲沟较缓	一般为黄新土（Q_3）	一般无层理，节理少	10～20	16	1.16～1.36	1.26	21～27	24	26.7～31.5	28.5	40～160	100	100～300	5～20		一般～强烈	埋深≤10m，毛跨≤3m时，毛洞稳定时间较长；毛跨小于4m，进深小于2m时可暂时稳定

附录J　花岗岩残积土细粒土试验

J.0.1　残积土细粒土的天然含水量W_f，塑性指数I_P，液性指数I_L分别按下列公式计算：

$$W_f=\frac{W-W_A 0.01P_{0.5}}{1-0.01P_{0.5}} \tag{J.0.1}$$

$$I_P=W_L-W_P \tag{J.0.2}$$

$$I_L=\frac{W_f-W_P}{I_P} \tag{J.0.3}$$

式中　W ——花岗岩残积土(包括粗、细粒土)的天然含水量(%)；

W_A ——土中粒径大于0.5mm颗粒吸着水含水量(%)，可取5%；

$P_{0.5}$ ——土中粒径大于0.5mm颗粒质量占总质量的百分数(%)；

W_L ——土中粒径小于0.5mm颗粒的液限含水量(%)；

W_P ——土中粒径小于0.5mm颗粒的塑限含水量(%)。

附录K　土体加固方法的适用范围

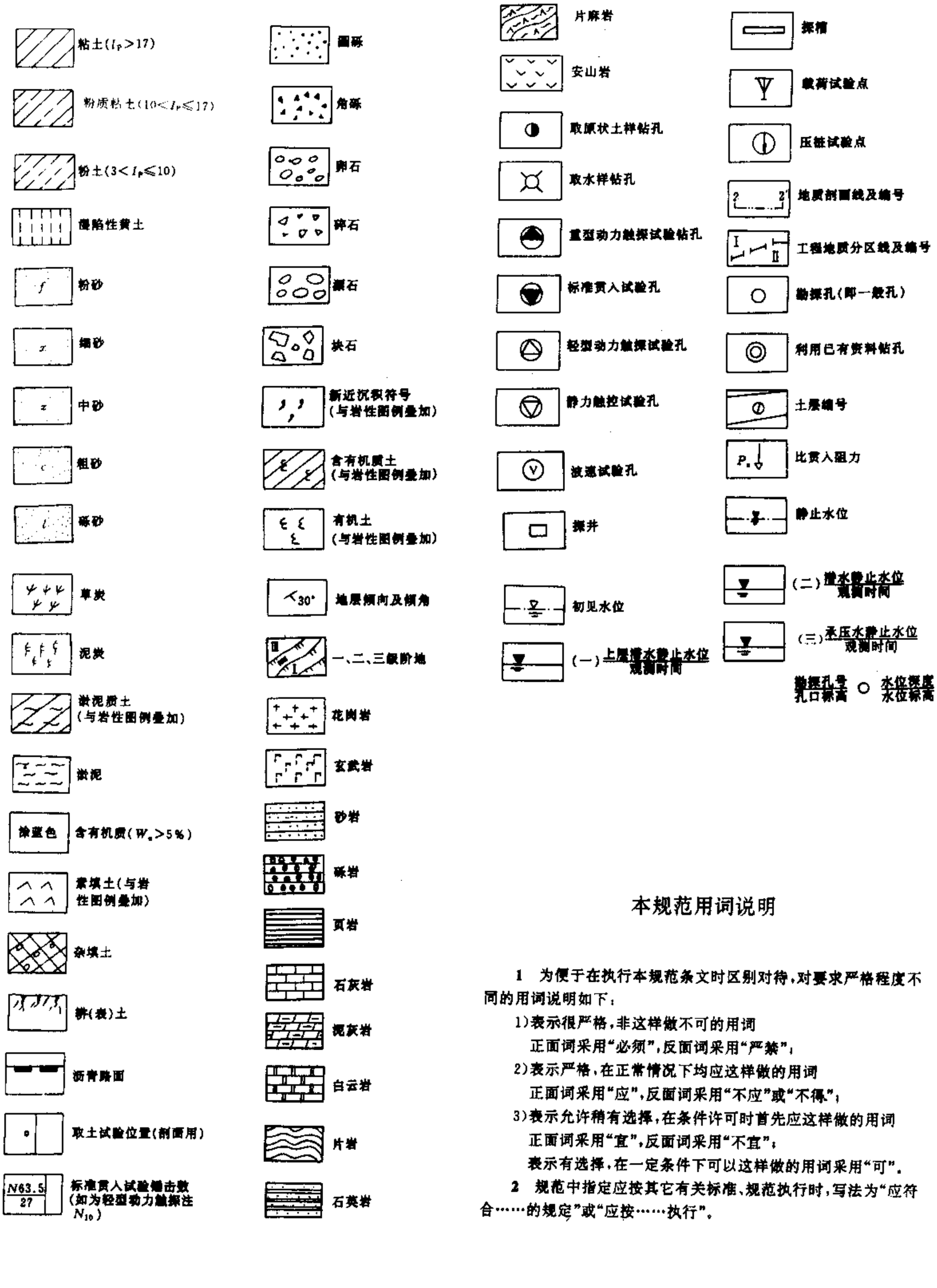
表K　土体加固方法的适用范围

加固处理方法	适用范围	所需参数与资料	检验与检测内容
颗粒级配法	浅层土处理	原土的颗粒级配和天然结构特征，掺加料的级配	
加筋土法	宜用于垫层、桥台、挡土结构和岸边防护	土与加筋间的摩阻力、土的静止侧压力系数，土工织物的力学强度、耐久性、透水性及填土压实性	地基变形和建筑物沉降、水平位移的检测
开挖置换法和垫层法	暗埋的塘、浜、沟、穴等局部软弱地基处理和淤泥、淤泥质土、湿陷性土、膨胀性土、季节性冻土、素填土和杂填土的浅层处理	下卧土层的承载力和压缩模量以及换土或垫层材料的最优含水量、最大干密度、相应的强度和变形模量	用环刀法、灌砂法等方法测试压实系数或采用贯入仪和钢筋贯入试验，使达到控制压实系数值或与其相应的贯入度
预压法	厚度较大的淤泥、淤泥质土、冲积土和饱和粘性土地基	土层成层条件和排水砂层、砂夹层的分布，提出土的先期固结压力、固结系数、孔隙比和固结压力关系、压缩指数、三轴试验抗剪强度以及原位十字板抗剪强度等	十字板抗剪强度试验和室内土工试验，必要时进行载荷试验
强夯法	碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、杂填土、素填土和湿陷性黄土地基	土的颗配、密实程度、饱和度和地下水位	根据土性选用原位测试和室内土工试验，必要时进行现场大压板载荷试验
冻结法	饱和砂土、粉土和粘性土，当遇流砂或泥炭等不良土层时，宜采用此法进行施工	土的比热、导热系数，地下温度场，土的冰点、土层均匀性、地下水流向及流量、冻胀压力、冻土和融冻土的长期强度与应力应变关系	冻结时间和强度
深层搅拌法	适用于淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且承载力不高的粘性土加固，可用于既有建筑地基处理、深基坑支护与地下防水工程	被加固土含水量和有机质含量、地下水的侵蚀性	轻便触探检验必要时桩身取样或开挖检验，当承受竖向荷载时，宜进行单桩载荷试验或复合地基载

续表K

加固处理方法		适用范围	所需参数与资料	检验与检测内容
土与灰土挤密桩法		地下水位以上的湿陷性土、素填土和杂填土地基。当以消除地基湿陷性为主要目的时宜采用土挤密桩法；当以提高地基承载力或水稳性为目的时宜采用灰土挤密桩法；当地基土的含水量大于23%和饱和度大于65%时不宜采用	土的干密度、含水量、饱和度、湿陷性土的湿陷性类别与等级	检验桩和桩间土的干密度、承载力，对重要和大型工程应进行载荷试验或其它原位测试，必要时在处理的深度范围内取土样测定桩间土的压缩性或湿陷性
振冲法	振冲置换法	处理不排水抗剪强度不小于20kPa的粘性土、粉土、饱和黄土和人工填土等地基	土的不排水抗剪强度、桩与桩间土的承载力标准值	对于重大工程或场地复杂的振冲置换地基，宜用单桩或多桩复合地基载荷试验进行检验
	振冲密实法	处理砂土和粉土地基，不加填料的振冲密实法仅适用于处理粘粒含量小于10%的粗砂和中砂地基	土的颗粒级配、桩与桩间土的承载力标准值	用标准贯入或静力触探等对桩间土进行处理前后对比，并进行单桩载荷试验检验
灌浆法	粒状料灌浆法	宜用于中、粗砂和卵石层地基、隧道围岩以及深基坑边坡加固	土的颗粒级配、孔隙性、渗透性、酸碱含量和有机质含量、地下水的埋深、流向和流速	开挖检验和处理前后原位测试的对比检验或通过开挖或钻孔取样，测定强度、压缩性、湿陷性等
	化学剂灌浆法	宜用于砂土、粉土、粘性土、填土和湿陷性黄土等的地基、隧道围岩以及深基坑边坡加固		
砂石桩法		挤密松散砂土、素填土和杂填土等地基，宜用于加固可液化砂层	砂土的相对密度	标准贯入、静力触探或动力触探等方法检测桩间土的挤密质量，对于重大工程应进行载荷试验或采用其它有效手段综合评定处理效果
高压喷射注浆法		处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、砂土、黄土、人工填土和碎石土地基，当土中含有较多的大粒径块石、坚硬粘性土、大量植物根茎或有过多的有机质时应经现场试验确定其适用程度，可用于既有建筑物和新建建筑物的地基处理、深基坑侧壁挡土或挡水、基坑底部加固、防止管涌与隆起、坝和隧道围岩加固以及防水帷幕等，对于地下水流速过大和已涌水的工程应慎用	土的常规试验指标或标准贯入值	采用开挖检验、钻孔取芯、标准贯入、复合地基载荷试验或压水试验等方法进行检验
锚固法		岩土体与填土加固，用于边坡支挡和围岩支护	锚杆极限抗拔力、岩土的粘结力	锚杆的抗拔试验，对于粘性土中的锚杆进行蠕变和松弛试验
树根桩法		地铁穿越的既有建筑物的托换加固和深基坑边坡加固	拟加固体的地基、基础与上部结构状况	加固体的变形监测

附录L 常用图例



本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1)表示很严格，非这样做不可的用词

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2)表示严格，在正常情况下均应这样做的用词

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3)表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

2 规范中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。