

铁路工程特殊岩土勘察规程

TB 10038—2001 J 126—2001 2001 年 12 月 1 日起施行

第一章 总则及其条文说明

第一节 总 则

1.0.1 为统一铁路工程特殊岩土勘察的技术要求,保障勘察质量,适应铁路工程建设的需要,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建铁路勘测设计阶段的特殊岩土勘察,也可用于施工与运营阶段地质病害监测及工程整治中的特殊岩土勘察。

1.0.3 铁路工程特殊岩土勘察,应按勘测设计阶段循序渐进地进行,逐步查清特殊岩土工程地质条件和病害的成因、规模,提供可行的整治方案,满足设计需要。

1.0.4 补充定测阶段的特殊岩土勘察,应结合整治工程需要,补充和完善定测阶段勘察中存在的不足,勘察的技术要求与定测阶段相同。

1.0.5 改建铁路的特殊岩土勘察,应搜集既有铁路的有关资料,分析、利用既有铁路病害预防和整治的经验,参照新建铁路勘测阶段的不同要求,有所侧重地进行。绕行地段应按新建铁路要求开展工作。

1.0.6 铁路工程特殊岩土勘察,应运用综合勘探和综合分析方法,积极采用新技术、新方法等。

1.0.7 铁路工程特殊岩土勘察,除应符合本规程外,尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

第二节 总则条文说明

1.0.3 特殊岩土工程地质勘察按踏勘、初测、定测、补充定测开展工作,并与预可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图四阶段相对应。

1.0.4 补充定测工程地质勘察,应根据初步设计审批意见,在熟悉、分析定测阶段地质资料的基础上,针对定测阶段工作中尚未达到施工图设计要求的部分、局部线路优化及各类工程建筑场地等,进行必要的补充工程地质勘察,为编制施工图文件,提供准确、完整的工程地质资料。

第二章 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 特殊岩土 special rock and soil

对本身具有特殊的物理、力学、化学性质,并影响工程地质条件的岩土统称。主要包括黄土、膨胀土、膨胀岩、红黏土、软土、盐渍土、多年冻土、填土等。

2.1.2 黄土的湿陷性 collapsibility of loess

黄土在自重或一定压力下受水浸湿,主体结构迅速破坏,并发生显著附加下沉的性质。具有这种湿陷性质且湿陷系数达到或超过 0.015 时称为湿陷性黄土。

2.1.3 饱和黄土 saturated loess

饱和度大于 80%,并且湿陷性退化的黄土。

2.1.4 新近堆积黄土 recently accumulated loess

沉积年代短(近 500 年内形成),压缩性高、承载力低、均匀性差,在 150kPa 压力下变形敏感的全新 Q_4 黄土。

2.1.5 大气影响深度 depth effect on atmosphere

自然气候条件下,由降水、蒸发、地温等气候因素引起土的胀缩变形的有效深度。

2.1.6 大气影响急剧层深度 depth effect sharply on atmosphere

大气影响特别显著的深度,一般为大气影响深度的 45%。

2.1.7 胀缩潜势 compressional-dilatational potentiality

膨胀潜势和收缩潜势的总称。膨胀潜势是指土在充分吸水饱和时发生膨胀的潜在能力,收缩潜势是指土失水收缩的潜在能力。

2.1.8 极限胀缩性 ultimate compressibility-dilatatability

原状土试样或扰动土制样在缩限状态下吸水膨胀的最大膨胀率和膨胀力,以及在胀限状态下失水收缩的最大收缩率特性。

2.1.9 前期固结压力 Preconsolidation Pressure

土体在历史上经受过的最大垂直有效压力。

2.1.10 压缩层的计算深度 computational depth of compressed layer

地基土在荷载的竖向附加应力作用下产生固结压缩的计算深度。

2.1.11 毛细水强烈上升高度 height of capillary rise sharply

受地下水直接补给的毛细水上升高度。

2.1.12 毛细水上升高度 maximum capillary reight

毛细水所能达到的最大高度。包括毛细水强烈上升高度和毛细水破裂带的高度。

2.1.13 多年冻土人为上限 artificial permafrost table

人为条件影响下,多年冻土层顶面的埋藏深度。

2.1.14 多年冻土天然上限 natural permafrost table

天然状态下,多年冻土层顶面的埋藏深度。

2.1.15 季节融化层 seasonally thawed layer

多年冻土地区每年冬季冻结,暖季融化,年平均地温小于 0°C 的地壳表层,其下垫层为多年冻土层。

2.1.16 相对含冰率 relative ice content

冰的质量与冻土中全部水的质量之比。

2.1.17 未冻含水率 unfrozen-water content

在一定负温条件下,冻土中未冻水质量与干土质量之比。

2.1.18 年平均地温 mean annual ground temperature

年龄较差深度处的地温。

2.1.19 地温年变化深度 depth of zero annual amplitude of ground temperature

地表至地温在一年内相对不变处的深度,也称年零较差深度。

2.1.20 融化下沉系数 thaw-settlement coefficient

冻土融化过程中,在自重作用下产生的融化下沉量与其相应的融化前厚度之比。

2.1.21 融化压缩系数 thaw-compressibility coefficient

冻土融化后,在单位荷载下产生的压缩变形量与冻土试样高度之比。

2.1.22 不良冻土现象 unfavokable phenomena features related to frozen ground

土体中水的冻结和融化作用所产生的对工程有不良影响的地质现象,如冰椎、冻胀丘、融冻泥流和热融滑塌等。

2.2 符 号

$\text{CEC}(\text{NH}_4^+)$ ——阳离子交换量

c ——黏聚力

C_h ——水平固结系数

CD ——固结排水抗剪强度

CU ——固结不排水抗剪强度

C_v ——垂直固结系数

DT ——易溶盐含量

\overline{DT} ——平均含盐量

e ——天然孔隙比

e_{sl} ——线缩率

e_s ——体缩率

F_s ——自由膨胀率

H_c ——毛细水强烈上升高度

H_k ——毛细水上升高度

k ——渗透系数

OCR ——土的超固结比

P_c ——土的前期固结压力

P_p ——膨胀力

q_u ——无侧限抗压强度

S_r ——饱和度

S_v ——十字板抗剪强度

V_H ——膨胀率

w ——天然含水率

w_A ——多年冻土总含水率

w_u ——未冻水含水率

Z_n ——地基压缩层的计算深度

δ_0 ——冻土融化下沉系数

φ ——内摩擦角

第三章 黄土及其条文说明

第一节 黄土

3.1 一般规定

3.1.1 黄土是第四纪干旱、半干旱气候条件下,陆相沉积的一种特殊土,一般具有下列特征:

- 1 颜色为淡黄、灰黄、棕黄或棕红色;
- 2 具有多孔性、有肉眼能看到的大孔隙,孔隙比一般为 $0.7 \sim 1.1$;
- 3 质地均匀,颗粒成分以粉粒($0.075 \sim 0.005 \text{ mm}$)为主,约占 $50\% \sim 75\%$,一般不含粗大颗粒;
- 4 碳酸钙含量多在 $10\% \sim 30\%$ 之间,部分含钙质结核,并含有少量中溶盐和易溶盐;
- 5 一般无明显层理,有堆积间断的剥蚀面和埋藏的古土壤层;
- 6 具垂直节理,在天然状态下边坡能保持直立;
- 7 天然状态下,含水率低,遇水易崩解、剥蚀;
- 8 表层多具湿陷性,易产生潜蚀形成陷穴。

当遇具有上述大部分特征的土层时,应按黄土进行勘察。

3.1.2 黄土地貌类型划分应符合表 3.1.2 的规定。

3.1.3 黄土地层应根据黄土区域地质资料,结合黄土地层的分布、地层层序、古土壤的特征及工程性质等进行划分。一般应划分到“统”,岩性差异大、对工程影响显著时,可划分到“组”。具体划分应结合勘测阶段、成图比例、工程类型及工程性质差异按表 3.1.3 确定。

表 3.1.2 黄土地貌类型

地貌类型		亚 类	地形形态基本特征
堆 积 地 貌	黄 土 高 原	黄土塬	黄土高原受现代沟谷切割后 ,保存下来的大型平坦地面 ,周边为沟谷环绕
		黄土梁	顶面平坦 ,两侧为深切冲沟 ,中部为长条状的黄土低丘。长数百米、数千米到上千米 ,宽数十米到上百米
		黄土峁	孤立的黄土丘陵 ,顶面平坦或微有起伏 ,呈圆穹状 ,大多数是由黄土梁进一步切割而成
	黄土平原		分布于新构造运动下降区 ,是由黄土堆积形成的低平原 ,局部发育沟谷 ,无梁、峁
	河谷阶地		沿河谷及大型沟谷两岸分布(或断续分布) ,表层全部由冲积—洪积黄土等沉积物堆积的阶地
侵 蚀 地 貌	大型河谷		形成及发展与一般侵蚀河谷相似 ,但其形成发展过程有时还伴随有风积黄土堆积
	冲 沟		因黄土土质疏松 ,常伴有重力崩塌、潜蚀作用 ,因此发展快 ,其特征是沟深、壁陡、向源侵蚀作用显著
潜 蚀 地 貌	黄土碟形洼地		流水聚集 ,使黄土层内发生湿陷或潜蚀 ,引起地面下沉后的一种直径数米至数十米的凹地 ,它是陷穴和冲沟发育的初期标志
	黄土陷穴		地表水沿黄土孔隙、裂隙下渗潜蚀形成的黄土洞穴。若成串分布则称串珠状陷穴
	黄 土 井		黄土陷穴向下发展 ,形成深度大于宽度若干倍的洞穴
	黄 土 桥		两个黄土陷穴之间被水流串通 ,在陷穴崩塌之后残存的土体呈桥状洞穴
	黄 土 柱		黄土沿垂直节理崩塌后残存的土柱
重 力 地 貌	崩塌堆积体		由于黄土冲沟深切 ,岸坡高陡 ,土体突然迅速地向下崩落 ,在坡脚下形成的地貌形态
	黄土滑坡		黄土斜坡地段 ,土体在重力和地下水作用下产生山坡变形的地貌形态

表 3.1.3 黄土地层按堆积时代划分

时 代		地 层 名 称			说 明
全新世 Q_4	近期 Q_4^2	新 黄 土	—	新近堆积黄土	一般有湿陷性 ,常具有高压缩性
	早期 Q_4^1		—	湿陷性黄土	有湿陷性
晚更新世 Q_3			马兰黄土		
中更新世 Q_2		老 黄 土	离石黄土	—	一般不具湿陷性
早更新世 Q_1			午城黄土	—	

注： Q_2 离石黄土层顶面以下的湿陷性 ,应根据建筑物的实际压力或上覆土的饱和自重压力进行室内湿陷性试验或现场浸水性试验确定。

3.1.4 黄土成因类型应根据黄土所在地貌单元、地层特征、成因标志等确定。常见黄土

成因类型有：风积、冲积、洪积、坡积、崩积等。

3.1.5 黄土土质应依据土的塑性指数进行分类。当塑性指数不大于 10 时，应定为砂质黄土；当塑性指数大于 10 时，应定为黏质黄土。

3.1.6 黄土湿陷性类型和湿陷等级，可采用总湿陷量、实测自重湿陷量和计算自重湿陷量进行评价。

3.2 工程地质选线

3.2.1 黄土地区线路应选择在地层单一、土质干燥、湿陷性较小地带，避开地层复杂、土质软弱、含水率大和地下水发育地段，避免与长大干渠近距离并行。

3.2.2 黄土塬、梁、峁及丘陵区的线路，宜选择在山坡稳定、排水条件较好的地带，避开地形零乱、沟谷深切、冲沟发育等侵蚀强烈地带和下伏地层层面倾向不利及地下水发育地带。斜坡地段应根据山坡稳定程度确定线路通过部位、形式和应采取的工程措施。黄土沟、梁相间地段，应做路堑与隧道、路堤与桥梁等方案的比选。

3.2.3 河谷区线路宜利用宽谷阶地，并远离低阶地缺失的高陡谷坡。在高陡黄土坡脚挖方应在与隧道方案比较后确定。

3.2.4 跨沟（河）谷线路应选择在沟床下切缓慢、沟（河）谷顺直、岸坡稳定地段通过，应避开谷坡零乱及山坡变形较多地段，不宜在狭窄的三侧临空的山嘴设置桥墩、桥台。当必须通过泥流沟谷或有草坡变形的沟谷时，应做多种线路方案比较。

3.2.5 线路通过黄土地区既有及拟建水库、池塘地段时，除应考虑水库溃坝、坍岸影响外，还应重视其蓄水后可能引起黄土湿陷性问题。

3.2.6 黄土隧道的洞门应选择在山体稳定，地表排水条件较好的山坡，洞身应选择在塬、梁顶面平整或地形凸起地带，避免在黄土与黏土分界处和软、硬地层的界面附近以及山坡零乱、陷穴发育，有封闭洼地的塬边、塬顶地段通过。

3.2.7 线路宜绕避地质复杂的黄土滑坡、崩塌、陷穴、人为坑洞等不良地质发育地段。

3.3 地质调绘

3.3.1 黄土地区地质调绘前应搜集下列资料：

- 1 地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质和地区性黄土资料等；
- 2 遥感图像及解译资料；
- 3 气象、地震、自然灾害等资料；

4 既有建筑物（如水库、大型渠道、地下洞室、道路等）的地质资料及使用情况，黄土边坡、地基基础、桥梁、隧道等工程勘测、处理的资料。

3.3.2 黄土地区遥感图像解译应包括下列内容：

- 1 黄土的分布范围，地形地貌特征，侵蚀及堆积形态特征；

2 滑坡、泥流、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；

- 3 地表水体的分布范围及形态，地下水露头及湿地范围；

4 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地貌形态、不良地质现象等的动态变化等资料，为确定线路位置和工程地质条件提供依据；

5 遥感图像解译资料经重点调查核实后,必要时可编制成工程地质解译图件。

3.3.3 黄土地区地貌调绘应包括下列内容:

- 1 黄土的分布、地貌及微地貌类型及发育特征;
- 2 黄土的侵蚀、堆积发育特征;
- 3 核实新构造运动形迹、地震活动情况及与地貌形态、不良地质分布的关系;
- 4 大气降水的汇集、径流对塬、梁、阶地、山坡的作用及对山坡稳定的影响;
- 5 沟床的变迁和地表水对谷坡的侵蚀情况。

3.3.4 黄土地区地层特征调绘应包括下列内容:

- 1 黄土地层的年代、成因、土质特征;
- 2 地层层序、结构、夹层、古土壤的分布及特征、层间接触面形态;
- 3 黄土与下伏岩层接触面形态,下伏岩层的岩性及风化程度;
- 4 黄土节理、裂隙的形态及贯通情况;
- 5 与线路有关的既有填土场地黄土的厚度、密实程度、堆填时间、沉降特征、湿陷性、边坡及基底稳定性;
- 6 既有大面积挖土场地的挖深、边坡坡度及稳定情况。

3.3.5 黄土地区水文地质调绘应包括下列内容:

- 1 黄土层地下水位埋深、径流条件,特别是与下伏地层接触处的赋水情况及其动态变化,地下水对山坡稳定的影响;
- 2 水库、池塘、渠道的浸没情况,渗漏情况,对地下水位的影响,水库坍岸、渠道变形情况;
- 3 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。

3.3.6 黄土地区不良地质调绘应包括下列内容:

- 1 滑坡、崩塌、错落、陷穴、泥石流、地裂缝、坑洞等不良地质的分布、性质、范围、规模、下伏地层及特征,并分析其产生原因及发展趋势;
- 2 黄土塬、梁、阶地顶面及塬边碟形洼地的分布、形态、产生的原因、环境条件及发展趋势;
- 3 既有建筑物的现状、变形情况及原因,人为活动情况及人为坑洞分布,不良地质治理工程情况及效果。

3.4 勘探与测试

3.4.1 黄土地区的勘探宜采用以物探为先导,原位测试、挖深等与钻探相结合的综合勘探方法。

3.4.2 黄土地层中采取原状土样,宜采用挖探或原位静压的方法。钻探取样时应遵照操作规程采用大口径回转钻进,并使用专门的薄壁取土器,并应有一定数量探坑(井)取样与钻探取样作核对。

3.4.3 黄土地区勘探应符合下列要求:

- 1 勘探深度及取样应满足地基稳定性评价的需要。
- 2 勘探深度及取样应满足黄土地基湿陷性评价的要求:
 - 1)非自重湿陷性黄土场地,勘探深度应至基础底面下 5 m;

- 2)自重湿陷性黄土场地应根据地区、建筑物类型和湿陷性土层厚度确定勘探深度及取样 ,陇西、晋南、豫西、陇东和陕北地区 ,当基础底面下的湿陷性黄土厚度大于 10 m 时 ,勘探深度应在基础底面下不小于 15 m ;其他地区 ,不小于 10 m ;
- 3)对重要建筑物应有一定数量的勘探孔穿透湿陷性黄土地层。
- 3 高桥及其他重要建筑物的场地勘探深度应根据黄土层的厚度和预估的压缩层深度确定 ,在 Q_4 、 Q_3 黄土中均应取样 ,必要时对地基压缩层范围内的 Q_2 黄土也应取样做湿陷性试验。
- 4 黄土地区挖方地段勘探孔深应至路基面以下 3 m ,当需查明与下伏地层接触面形态时 ,应适当加深 ,在路堑边坡及路基面以下分层取原状土样进行相关试验。
- 5 黄土隧道勘探孔宜布置在中心线两侧 5 ~ 7 m 处 ,孔深应至路基面以下 3 m ;并在隧道洞身、顶部及底部分别取原状土样做土工试验。
- 3.4.4 用于湿陷性评价的原状土样 ,竖向采样间距宜为每 1 ~ 2 m 一组(不少于 2 筒) ,当层次清晰、土质均匀、地层规律性较强时也可分层取样 ,若分层厚度大于 5 m 时 ,竖向取土样间距不应大于 3 m。原状土样应及时密封 ,避免冻、晒和振动 ,并尽快试验。
- 3.4.5 勘探点使用完毕后 ,应立即用原土分层回填夯实 ,使其不小于原土层密度。
- 3.4.6 黄土的测试应根据工程类型等 ,选择原位测试和室内试验方法 ,试验项目应根据工程设置情况按表 3.4.6 选择。

表 3.4.6 黄土测试、试验的一般项目

试验项目	符号	单位	挖方边坡	地基 (桥、房建)	隧道围岩
颗 粒 分 析		%	(+)	(+)	(+)
天然含水率	w	%	+	+	+
天 然 密 度	ρ	g/cm^3	+	+	+
天然孔隙比	e		+	+	+
饱 和 度	S_r	%	(+)	+	(+)
液 限	w_L	%	+	+	+
塑 限	w_p	%	+	+	+
塑 性 指 数	I_p		+	+	+
液 性 指 数	I_L		+	+	+
剪 切 试 验	c 、 φ		+	(+)	+
压 缩 系 数	$a_{0.1 \sim 0.2}$	MPa^{-1}		+	(+)
湿 陷 系 数	δ_s		(+)	+	(+)
自重湿陷系数	δ_{zs}		(+)	+	(+)
湿陷起始压力	P_{sh}	kPa	(+)	(+)	(+)

试验项目	符号	单位	挖方边坡	地基 (桥、房建)	隧道围岩
碳酸钙含量	CaCO ₃	%	(+)	(+)	(+)
静力触探	P_s	kPa		+	
标准贯入	N	击/30 cm		+	
轻型动探	N_{10}	击/30 cm		+	
大面积剪切	$c、\varphi$		(+)		(+)
旁压试验		kPa		(+)	

注：“+”为必做项目；“(+)”为选做项目。

3.4.7 黄土湿陷系数试验压力应符合下列规定：

1 一般建筑物地基自基础底面(初测时,自地面下 1.5 m)算起,10 m 以内的土层使用 200 kPa,10 m 以下至非湿陷性土层顶面,使用其上覆土层的饱和自重土压力,当大于 300 kPa 时,仍用 300 kPa;基底压力大于 300 kPa 的桥梁及重要建筑物湿陷系数试验压力应按实际压力,采用双线法测定。

2 新近堆积黄土湿陷系数试验压力使用 150 kPa。

3.4.8 在黄土填土上修建建筑物时,应取样作湿陷性及其他相关试验。

3.4.9 位于地震动峰值加速度为 0.1 g 及以上地区的饱和砂质黄土应按有关规定进行地震液化判定。

3.5 场 地 评 价

3.5.1 黄土湿陷系数小于 0.015 时,为非湿陷性黄土;湿陷系数等于或大于 0.015 时,为湿陷性黄土。在上覆土的自重压力下受水浸湿发生湿陷的湿陷性黄土应定为自重湿陷性黄土;在大于上覆土的自重压力(包括附加压力和土自重压力)下受水浸湿发生湿陷的湿陷性黄土应定为非自重湿陷性黄土。

3.5.2 黄土计算自重湿陷量应符合下列要求：

1 自重湿陷量按下式计算：

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} \cdot h_i$$

(3.5.2—1)

式中 Δ_{zs} ——自重湿陷量(cm)；

δ_{zsi} ——第 i 层土在上覆土的饱和($S_r \geq 0.85$)自重压力下的自重湿陷系数；

h_i ——第 i 层土的厚度(cm)；

β_0 ——因地区而异的修正系数,计算时对陇西地区可取 1.5,对陇东地区可取 1.2,对关中地区可取 0.7,对其他地区可取 0.5。

2 计算自重湿陷量的累计,应自天然地面算起(当挖、填方的厚度和面积较大时,应自设计地面算起),至其下全部湿陷性黄土层的底面为止,其中自重湿陷系数小于 0.015 的土层不累计。

3.5.3 黄土计算总湿陷量应符合下列要求：

1 总湿陷量按下式计算：

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \cdot \delta_{si} \cdot h_i$$

(3.5.3—1)

式中 Δ_s ——总湿陷量(cm)；
 δ_{si} ——第 i 层土的湿陷系数；
 β ——考虑地基土的侧向挤出或浸水机率等的修正系数 ,计算时基础底面下 5 m (或压缩层)深度内可取 1.5 ;5 m(或压缩层)深度以下 ,在非自重湿陷性黄土场地 ,可不计算 ;在自重湿陷性黄土场地 ,可按 3.5.2 条第 1 款的 β_0 取值。

2 总湿陷量应自基础底面(初测及定测综合评价时 ,自地面以下 1.5 m)算起。在非自重湿陷性黄土场地 ,累计至基础底面下 5 m(或压缩层)深度止 ;在自重湿陷性黄土场地 ,对大桥、特大桥及重要建筑物等应累计至非湿陷性土层顶面止。对铁路其他建筑物 ,当基础底面下的湿陷性土层厚度大于 10 m 时 ,其累计深度可根据所在地区确定。陇西、晋南、豫西、陇东和陕北地区 ,不应小于 15 m ;其他地区不应小于 10 m。其中湿陷系数小于 0.015 的土层不累计。

3.5.4 黄土地区场地湿陷性评价应符合下列要求：

- 1 黄土地区场地的湿陷类型按实测自重湿陷量或室内压缩试验累计的计算自重湿陷量判定。当实测或计算自重湿陷量小于或等于 7 cm 时 ,应定为非自重湿陷性黄土场地 ;当实测或计算自重湿陷量大于 7 cm 时 ,应定为自重湿陷性黄土场地。
- 2 湿陷性黄土地基的湿陷等级 ,应根据基底下各土层累计的总湿陷量和计算自重湿陷量的大小等因素按表 3.5.4 判定。

表 3.5.4 湿陷性黄土地基的湿陷等级

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

注： 1 当 $30\text{ cm} < \Delta_s < 50\text{ cm}$, $7\text{ cm} < \Delta_{zs} < 30\text{ cm}$ 时 ,可判为 II 级；
2 $\Delta_s \geq 50\text{ cm}$, $\Delta_{zs} \geq 30\text{ cm}$ 时 ,可判为 III 级。

3.5.5 黄土的力学指标、地基承载力宜采用静力触探方法(有条件时 ,应与标准贯入试验相配合)确定。长大干线或新工作地区应在初测时建立或验证静力触探承载力计算公式。

3.5.6 黄土地区各类工程场地评价应在综合分析黄土物理力学性质、水文地质条件、环境地质条件的基础上 ,针对工程特点进行 ,并应符合下列要求：

- 1 黄土地基评价包括地基土层均匀程度、黄土的湿陷性、承载力、位于地震动峰值加

速度为 $0.1g$ 及以上地区的饱和砂质黄土的地震液化,并据此提出工程措施意见。

高桥基础置于 Q_2 黄土层顶面,必要时应进行湿陷性评价。

2 黄土挖方工程地质条件评价,包括自然山坡形态、地层结构特征与基岩接触面的形态等,提供设计所需的挖方边坡形式和坡率;当不利于边坡稳定的因素时,应有针对性工程措施意见。

3 黄土隧道工程地质条件评价,包括自然山坡形态、黄土地层的结构及特征、洞口山坡稳定性和洞身围岩工程地质条件,提出洞口堑坡、仰坡坡率和隧道围岩级别,预测施工中可能发生的地质灾害及应采取的工程措施;应特别注意岩、土界面,新、老黄土界面附近是否有含水率较高的软塑带存在,及其对工程的影响。

3.5.7 对黄土地区不良地质现象,应根据其类型、特点及与线路的关系,有针对性地进行工程地质条件评价,并应符合下列要求:

1 对冲沟、陷穴、碟型洼地,应评价其黄土的物理性质(包括颗粒组成、含盐量)、湿陷性、分布范围、发育特点、水文地质条件等,提出其发展趋势、对工程的影响及工程措施意见。

2 对滑坡、错落、崩塌等,应评价其地形地貌、地层特征、水文地质条件、变形类型、分布范围、规模、变形原因、裂隙(面)发育程度及产状、滑动面(带)形态及土质特征、稳定程度等,提出对工程的影响及工程措施意见。

3 对泥流应评价其流域地质条件、物质来源、泥流规模、危害程度、发展趋势,并结合线路通过位置分析对工程的危害程度,提出工程措施意见。

3.6 踏 勘

3.6.1 踏勘阶段黄土地区工程地质勘察应包括下列内容:

1 搜集区域地质、地形地貌、地层、气象、地震、遥感图像等资料。

2 通过遥感图像解译,从宏观上了解黄土的分布、地貌类型、不良地质类别、范围及稳定性。

3 分析研究既有资料,初步确定黄土地貌分区、地层结构、影响线路方案的不良地质类型及分布,了解集中的墓穴、陷穴、已建及拟建大型工程(如水坝、干渠、公路、矿坑等)情况及其与线路的关系。

4 根据区域地质资料及遥感图像解译,进行重点地段的踏勘,按地貌单元进行湿陷性的初步评价。

3.6.2 踏勘阶段黄土地区资料编制应包括下列内容:

1 工程地质说明,应阐明黄土的分布、地形地貌特征、地层划分、各层土的工程地质特性和湿陷性、不良地质、水文地质等情况及其对线路的影响,并对线路方案作出评价。

2 全线工程地质图,比例为 $1:50\,000 \sim 1:200\,000$,填绘控制线路方案的黄土滑坡、错落、陷穴等不良地质。

3.7 初 测

3.7.1 初测阶段黄土地区地质调绘应符合下列要求:

1 重点调查沿线黄土的分布、地貌形态、地层划分、成因类型、土质分类、土层结构、与下伏地层接触面形态、湿陷类型和等级及分布规律、水文地质特征,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。

2 对代表性设计工点地质调绘应根据工程类型的要求有侧重地进行,应注意工程场地比选和场地条件工程适宜性的调绘。

3.7.2 初测阶段黄土地区勘探、测试应符合下列要求:

1 一般地段应根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等,并结合代表性设计工点的分布,布置勘探、取样和原位测试工作。勘探点间距不宜大于 1 000 m。当地段较长和湿陷性差异较大时,应适当增加取样孔。

2 代表性设计工点,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,至少应有 2 个取样孔。当场地复杂、湿陷性差异较大时,应增加勘探孔。

3.7.3 初测阶段应按一般地段和代表性设计工点分别评价黄土的湿陷性。一般地段按沿线地貌单元、地层年代、成因类型、土质分段评价黄土的湿陷类型和等级;代表性设计工点按场地评价黄土湿陷性类型和等级。

3.7.4 初测阶段黄土地区资料编制应包括下列内容:

1 综合资料

1) 工程地质勘察报告,应阐明测区内黄土的分布、地形地貌、地层划分、成因类型、土质分类、水文地质特征、工程地质条件(包括地基强度评价、黄土湿陷性评价、斜坡稳定性分析等)、各类不良地质的分布、发展趋势及对铁路工程的影响,各线路方案评价及比选意见。提出对黄土地区的共性问题、重要建筑物及地质条件复杂工程的措施意见。

2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,填绘不良地质界线,不同时代黄土的界线等。

3) 详细工程地质图,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000,填绘不良地质界线、地层年代、成因类型等。在线路纵断面图的工程地质特征栏中应说明黄土湿陷类型、等级及湿陷土层厚度。

4) 沿线工程地质分段说明,按地貌单元、地层年代、成因类型、湿陷类型和等级及湿陷土层厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施分段编写。

2 工点资料

1) 工程地质说明,除阐明工点的地质和水文地质条件外,还应作出工程场地评价并重点评价场地的黄土湿陷类型和等级以及湿陷土层厚度,提出工程处理措施。

2) 工程地质图,比例为 1:500 ~ 1:2 000,填绘黄土地层时代、成因类型、地质分界线,湿陷性分区界线,不良地质界线等。

3) 工程地质横断面,比例为 1:200,填绘黄土的类型、成因、地下水位线。

4) 工程地质纵断面,比例为横 1:500 ~ 1:5 000,竖 1:100 ~ 1:1 000,填绘黄土的类型、成因、地下水位线等。

5) 勘探、测试、试验等资料。

3.8 定 测

3.8.1 定测阶段黄土地区地质调绘应符合下列要求:

1 宜沿线按工点开展工作,调绘内容根据工程类型应有所侧重;

2 调绘宽度应以满足工程设计和不良地质的评价、整治为原则,地质条件复杂的工点应扩大调绘范围,满足环境工程地质评价的要求;

3 有工程方案比选的工点,地质调绘内容应满足各方案工程设计的要求。

3.8.2 定测阶段黄土地区勘探、测试应符合下列要求。

1 勘探、测试点的布置除应考虑工程性质、基础类型、场地地质条件外,还应考虑黄土场地湿陷性评价的需要。

2 一般路基和小桥涵工程用于黄土地基强度及湿陷性评价的勘探取样孔,可根据黄土地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征分段布置。相同地质条件地段取样孔数不应少于3个,当地段较长或短距离内变化较大时,应增加取样孔数。

3 大、中桥原则上每个墩、台应有1个勘探点。但当地层简单,岩性单一,地层层序有规律时,可结合桥跨、基础类型酌情减少。隧道洞口和通过岩、土界面的洞身应有勘探点。房屋建筑物勘探点布置应按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25)办理。

3.8.3 定测阶段黄土湿陷性应根据工程类型进行黄土湿陷性评价。路基、大、中桥、隧道、站场及房建工程应按场地评价黄土的湿陷性,地质条件复杂的大型工程场地应分区评价(黄土湿陷类型和等级);一般路基及小桥涵工程宜根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质及湿陷性差异等分段评价。

3.8.4 定测阶段黄土地区资料编制应包括下列内容:

1 综合资料

1)工程地质勘察报告,应阐明沿线黄土分布、地形地貌、地层划分、水文地质条件、各层土的物理力学指标和与各类工程设计有关的地质参数,黄土场地的湿陷性类型和等级、湿陷土层厚度及分段情况,各类不良地质的稳定性评价和工程处理措施,施工注意事项。

2)全线工程地质图,比例为1:10 000~1:200 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改。

3)详细工程地质图,比例为1:2 000~1:5 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改。

4)详细工程地质纵断面图,比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000,与线路详细纵断面图合并或单独绘制。

2 各类建筑物的工程地质资料与初测工点的要求相同。

第二节 黄土条文说明

3.1.4 常见黄土成因类型有风积(eol)、冲积(al)、洪积(Pl)、坡积(dl)、崩积(col),其地形地貌和地层岩性特征见说明表3.1.4。

说明表 3.1.4

黄土成因类型

成因类型 \ 特 征	地 形 地 貌 特 征	地 层 岩 性 特 征
风积黄土	分布在黄土高原的顶部(特别是分水岭地带)和山坡上,堆积厚度大	土质比较均匀,一般没有层理,具大孔隙,垂直节理发育,在厚度较大地区,有 1~2 层的古土壤,一般不含钙质结核
冲积黄土	分布在大河河谷的阶地上,一般阶地愈高,厚度愈大	具明显的层理,土质不甚均一,夹粉土、黏土及砂土、卵、砾石土等薄层,具孔隙,厚度较大的土层,可见古土壤层,很少或不含钙质结核
洪积黄土	分布在山间盆地和山前平原地带,厚度不大	有不规则的层理,土质不均一,具孔隙,夹透镜体,岩性较紧密,含古土壤层,沉积时间长的则含有较多的钙质结核
坡积黄土	分布在黄土塬、梁、峁的坡脚,一般厚度不大	一般成分不均一,土质松散,可见层理和团粒状结构,不含古土壤层
崩积黄土	分布在黄土陡崖下部	岩性同陡崖上部黄土,土质较杂乱,无规律

3.2.1 黄土地层基本特征是土质均匀、干燥、具直立性,若出现土质软弱,含水率大,说明地下水发育,若有临空面或不利倾向的结构面,则具备了产生山坡变形的因素和条件,具有上述特征的山坡有的本身就是变形山坡,也可能虽没有变形但条件稍有变化即可产生山坡变形。工程地质选线时,既应重视宏观调查,也应重视微观调查和分析,注意从黄土地层的土质特征、结构面状态等微观特征中,发现影响山坡稳定因素,当山坡地质条件复杂,又受多种不利因素影响,工程艰巨,处理后往往遗留后患时,则应避免为宜。长大干渠的渗漏使黄土的状态、物理、力学性质发生变化,可造成地基、隧道、边坡变形。因此,应避免与长大干渠近距离平行或渠道在隧道顶部通过。

3.2.2 黄土塬、梁、峁及丘陵地区,山坡稳定性评价是铁路选线工作中的重点之一,常见山坡变形类型有滑坡、错落、崩塌等。地形零乱地段可能是土层结构疏松遭受坡面水侵蚀的结果,也可能是山坡变形再遭受侵蚀所致,深切沟谷的高陡山坡坡脚临空,给山坡变形创造了条件,黄土冲沟的快速形成,常使岸顶卸荷裂隙发育形成地表水下渗的通道,继而发育成陷穴,造成山坡不稳,这些都属黄土地区受强烈侵蚀的迹象表露。若该类山坡再有地下水发育,则更增添了山坡的不稳定因素,在这些条件和因素的共同作用下有的山坡已是变形山坡,有的虽未变形,修建工程即可能引起山坡变形,因此,该类山坡都应列为选线慎重考虑地段。沿山坡或通过山坡应先查明山坡是否稳定,山坡稳定还应考虑工程修建后对其的影响,不稳定的山坡则应考虑在什么位置,以什么方式采取什么样措施,可以消除或减小山坡不稳定对工程的影响。

黄土沟梁相间地段,应选择地区稳定性较好的地段,同时还应考虑可能采用工程方案的适宜条件,局部地段工程地质调绘应考虑各类工程设置条件,只有这样才能真正作好工程地质选线工作。

3.2.3 黄土地区沿河谷展线,首先应考虑选择河谷,其次应考虑选择河谷两岸。选择具有低级阶地的宽阔河谷展线是区域性选线必须考虑的问题,宽谷阶地一般有可供展线的

低级阶地 地形平坦 地层单一 工程地质条件较好 工程简单 是选线的良好场地。河谷内选线要注意作好两岸地质条件的比选 选择有低级阶地分布一侧展线 其地形平坦 地质条件单一 工程量小 而低级阶地缺失地段是受现代河床侵蚀或曾受侵蚀形成的岸坡陡峻地段 也常是线路方案的控制地段 其中高陡山坡脚挖方 中心挖方尽管不大 但边坡一般较高 其坡脚还有受水流侵蚀的可能 尽管工程上经常是上挡下护 技术上仍缺乏十分把握 一旦产生病害 由于倚山临水病害处理十分困难。因此 本条作了若线路通过该类地段时 应考虑挖方和隧道方案比较的规定。选择隧道方案时 既要考虑避开冲蚀影响 又要避开高陡山坡坡顶裂隙发育地段。

3.2.4 黄土地区跨沟(河)线路方案主要有位置选择和通过方式选择。线路跨沟(河)谷位置选择 是基于工程安全 防患未然为前提。选择在沟床下切缓慢、沟谷顺直、岸坡稳定 区域构造活动相对稳定地段 是线路跨沟(河)设桥涵或路堤工程的必备环境地质条件 不然后患无穷。通过黄土冲沟的桥址比选 经常是控制性工程方案比选。因为黄土冲沟一般深切 再经河床变迁存留阶地 形成的河谷既深又宽 跨沟谷多为高桥、大桥、特大桥。桥址只有选择在沟床顺直、岸坡稳定地段 才能保证桥梁工程稳固可靠。

3.2.5 黄土地区水库坝高而多为土坝 在选线中应考虑上游水库、池塘是否有溃坝的可能 线路从周边附近通过时 应考虑水库岸坡坍岸影响 在预测坍岸线外适当距离通过 在拟建水库地段通过时 应考虑水库建成蓄水后地下水位升高 可能引起沉陷及山坡变形等。

3.2.6 黄土隧道是黄土地区重点工程之一。隧道进出口位置选择应从地貌形态、地层特征、水文地质条件调查入手 选择稳定性好的山坡为隧道进出口位置 洞身地段从黄土塬、梁地貌形态、顶面微地貌形态、地层层序、地层特征、水文地质条件去分析隧道洞身工程地质条件 并应注意红黏土和卵石、砂层、基岩与黄土的接触关系。洞顶山梁平整或地形微凸地带说明山梁相对稳定 是洞身免受地表水侵蚀影响的较好地段 洞顶的封闭洼地常常是由于上部地层为自重湿陷性黄土在地表水的作用下出现湿陷的结果 如再发展就会产生陷穴或暗洞 威胁或影响洞身安全。

3.2.7 在黄土地区工程地质选线中 应注重不良地质的分布与地形地貌、区域地质条件、水文地质条件等的关系。应解剖几个控制线路方案的不良地质 查明其产生原因 根据分布特点及地质条件的类同情况 找出不良地质发育的规律 做到绕有依据 过有措施。

大型不良地质 一般成因复杂 处理工程艰巨 处理不当复发可能性大 在选线时应考虑诸多影响因素 免留后患 通过时没有稳妥措施宜采用绕避方案。

3.3

在该类地区进行铁路勘察工作应根据路基、隧道、桥梁、站场、房建工程来考虑场地地质条件及环境地质条件对工程的影响 查明区域工程地质条件是开展地质调绘工作的基础 应结合工程和区域地质情况 目的明确地进行地质工作 是铁路工程地质调绘工作的特点。

黄土地区地质调绘工作多采用“远观了解其貌 近察了解其因”的地质调绘方法。在区域性地质调查中 应沿线路或沿某一冲沟进行带状调查 了解其表 解剖工程集中、地质条件复杂地段和线路方案受不良地质条件控制地段 查明它们的工程地质条件及其对工

程的影响,然后把各地段地质情况综合分析、比较,认识区域地质条件,在此基础上进一步认识场地地质条件、区域地质条件,并为合理有效的布置勘探、测试工作提供依据。

3.4.1 黄土地区勘探的同时要进行勘探取样,评价黄土地基湿陷性。工程类型不同、地质条件千变万化使勘探手段必须采取综合勘探方法才能达到目的。黄土地区工作经验表明,以查明地层层序、地下水情况、黄土物理力学性质、湿陷性为目的的勘探工作宜选用挖探、钻探与原位测试相结合的方法,有条件时可配合物探方法,浅层勘探和洞穴勘探,宜采用洛阳铲、钎探等简易勘探方法。

3.4.2 黄土原状土样的质量直接影响土工试验指标的准确程度,关系到黄土地基评价的可靠程度。因此,黄土地区原状土样的采取是工程地质勘察中必须重视的问题。

黄土地区铁路工程地基勘察采取原状土样的方法有挖探、原位静压取土、钻探等。

采取黄土原状土样试验结果表明,原位静压取土和挖探采取的原状土样都能保证原状土样的质量。因此,原位静压取土也列为本规程推荐采取原状土样的方法之一。钻探方法采取的原状土样因控制因素多、易遭受机械扰动,质量往往难以保证。因此,钻探采取原状土样时,应严格按现行《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25)附录五规定要求执行。

3.4.3 自重湿陷性黄土场地取样深度,根据铁路建设在豫西三门峡和晋南侯月线遇到的自重湿陷土层深达13~16m,因此,规定了该地区一般建筑物自重湿陷性场地勘探取样深度至基础底面不小于15m的要求。

黄土地基勘探深度应能满足区域地质条件和场地地质条件分析的要求,取样深度也应能满足地基评价要求,避免顾此失彼。黄土地基评价包括地基强度评价和地基湿陷性评价。增加了高桥及其他重要建筑物勘探深度要求,以保证重要建筑物对地基土层的特殊要求。

黄土地区应了解挖方地段黄土分层及其影响边坡稳定的物理力学性质。湿陷性不是影响边坡稳定的决定因素,因此,取样时以分层了解影响边坡稳定的物理力学性质为主,其湿陷性可只作有无湿陷性及湿陷场地类型的评价。

黄土隧道勘探的目的是了解隧道洞身通过地层及其围岩性质。

3.4.4 黄土地区湿陷性试验原状土样的竖向间距要求:当层次清晰、土质均匀、地层规律性较强时,为保证黄土湿陷性评价精度增加了上述土层“若分层厚度大于5m时,竖向取土样间距不得大于3m”的要求。这项要求是根据黄土微观结构在分层时容易被忽视而提出的。

3.4.6 适用于黄土地区的原位测试方法有静力触探(CPT)、旁压试验(PMT及SBPMT)、十字板剪切试验(VST)、载荷试验(PLT)、标准贯入试验(SPT)、轻型动力触探等,根据工程类型和原位测试手段的适用性合理选择测试手段与室内试验相结合,以取得完整的地质测试数据。

3.4.7 本条对新近堆积黄土湿陷系数压力采用《铁路工程地质勘察规范》(TB10012—2001)规定的要求。

3.4.9 位于地震动峰值加速度为0.1g及以上地区的饱和砂质黄土地震液化判定,按现行《建筑抗震设计规范》(GBJ11)、《铁路工程抗震设计规范》(GBJ111)规定进行工作。

3.5.1 湿陷系数是评价黄土湿陷性的重要参数,它用于黄土湿陷性判别、湿陷性场地类

型划分、湿陷等级判别等方面。根据湿陷系数试验时所施加压力的大小,将其分为自重湿陷系数(δ_{zs})和湿陷系数(δ_s)两种。

(1) 黄土湿陷系数 δ_s 计算式如下:

$$(\delta_s) = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (\text{说明 } 3.5.1-1)$$

式中 h_p ——保持天然湿度和结构的土样,加压至一定压力时,下沉稳定后的高度(cm);

h'_p ——上述加压稳定后的土样,在浸水作用下,下沉稳定后的高度(cm);

h_0 ——土样的原始高度(cm)。

(2) 自重湿陷系数 δ_{zs} 计算式如下:

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (\text{说明 } 3.5.1-2)$$

式中 h_z ——保持天然湿度和结构的土样,加压至土的饱和自重压力时,下沉稳定后的高度(cm);

h'_z ——上述加压稳定后的土样,在浸水作用下,下沉稳定后的高度(cm)。

(3) 湿陷系数应用应注意的问题:

① 湿陷系数(或自重湿陷系数)用于计算总湿陷是(或计算自重湿陷量)时,只计算等于或大于 0.015 者,小于 0.015 者不计;

② 用湿陷系数计算总湿陷量时,自基础底面(初测自地面下 1.5m)起计算;用自重湿陷系数计算自重湿陷量时,自地面起计算。

3.5.4 湿陷变形是在水与压力共同作用下使黄土结构破坏,发生迅速而显著的下沉,是正常压缩以外的附加下沉。湿陷变形的产生,往往引起工程建筑物的不均匀沉降、开裂、倾斜、甚至严重影响安全使用。因此对黄土湿陷变形特性的研究,具有重要的现实意义。在工程设计中常使用的湿陷变形量有实测自重湿陷量、计算自重湿陷量、总湿陷量。它们是确定黄土场地湿陷性类型、湿陷等级的依据。

3.5.6 黄土地区不同类型工程地质条件评价应根据工程对环境地质条件的要求进行。

1 黄土地区地基特定评价内容 承载力、压缩性、湿陷性和地震液化判定。这些数据都有测试手段,评价指标,但在工作中应注意其数据的可靠性、准确性,其检验方法是将不同手段取得的地质数据综合分析。地基土的均匀性评价应从地层分布、层序、各层物理力学性质等指标综合分析。

特大桥、高墩桥、高层建筑及其他重要建筑工程的黄土地基湿陷性评价是依据黄土地区重大工程地基实际情况提出来的。黄土地区的高桥有的墩高达百米以上,仍采用湿陷性评价 5~15m 的土层厚度显然是不合适的。蒲城电厂资料表明,黄土湿陷性土层厚达 38m, Q_2 黄土层上部也具湿陷性;侯西线汾河三级阶地暴露的 Q_2 黄土层,在 400kPa 压力下湿陷系数 $\delta_s = 0.0824$ 。因此,本规程规定了在“基础压力影响范围”的深度内,不仅评价 Q_4 黄土、 Q_3 黄土湿陷性,对于上述深度内 Q_2 黄土也应做湿陷性评价。

2 黄土地区挖方地段地质特定评价内容 边坡坡率和形式。黄土边坡坡率在高度不大于 20m 时, Q_1 、 Q_2 黄土一般采用 1:0.3~1:0.75; Q_3 、 Q_4 黄土一般采用 1:0.5~1:1.25; 华北、东北(包括内蒙古)地区 Q_4 黄土一般采用 1:0.5~1:1; Q_3 黄土一般采用 1:0.3

~1:0.75 ; Q_2 黄土一般采用 1:0.75 ~ 1:1。边坡高度大于 12m 时 ,可采用阶梯式 ,中部设平台 ,阶梯高度一般为 8 ~ 12m。边坡坡率评价需采用综合分析、类比的方法 ,由各类地质条件及当地经验提出具体数据。与基岩地层接触面的形态、水文地质条件是影响山坡稳定的重要因素 ,具有上述两种不利因素的山坡应首先考虑其本身的稳定 ,再进一步考虑不利因素对工程的影响程度及应采取的措施。

3 黄土隧道地质条件评价包括 :进出口山坡地质条件评价和洞身围岩地质条件评价。进出口山坡地质条件评价可按上述黄土挖方地段地质条件评价方法考虑。洞身围岩地质条件评价主要是确定围岩级别。围岩级别影响因素众多 ,主要应考虑以下几个方面 :

(1) 地层年代对黄土工程性质影响明显。据既有隧道证明通过 Q_1 黄土的隧道 ,施工安全、稳定性较好。 Q_3 、 Q_4 黄土土体疏松、大孔隙发育、柱状节理发育、渗透性强 ,对洞身影响较大 ,施工中经常出现变形、开裂等现象。 Q_2 黄土介于两者之间。一般完好的 Q_1 黄土为Ⅳ级围岩 ; Q_4 、 Q_3 黄土为Ⅴ级围岩 ; Q_2 黄土根据具体情况确定围岩级别。

(2) 洞身的埋深可以从分析得出地表环境条件对洞身围岩影响程度。由于地层工程特征不同、环境条件不一样 ,洞身围岩受埋深影响也不尽相同。隧道施工经验表明 :当 Q_4 、 Q_3 黄土层中埋深小于 30m , Q_2 、 Q_1 黄土层内埋深小于 20m 时 ,洞身受外界因素影响明显。当隧道埋深大于以上数据时 ,则受外界影响较小。因此 ,隧道洞身受外界因素的影响程度应作为确定围岩级别的主要因素。

(3) 水文地质条件对洞身围岩影响最为显著 ,这与黄土的工程特征密不可分。经验证明有微量水就会使黄土的工程性质变坏。因此 ,在隧道勘探时应十分注意洞身黄土地层的含水情况及水文地质条件的细微变化。在对洞身围岩进行评价时 ,受地下水影响的黄土相应围岩级别可考虑降低 1 ~ 2 等级。

(4) 人为活动影响在黄土地区十分明显。窑洞、水窖、掏沙洞等是黄土地区常见的人为坑洞 ,应查明其开挖特点、分布及对隧道洞口、洞身的影响程度 ,酌情降低围岩级别及对洞口边坡采取相应措施。

3.7.1 初测地质调绘重点是查明黄土地区工程地质条件 ,为线路方案比选提供依据。黄土地区铁路展线地域宽 ,方案多 ,特别在黄土冲沟发育 ,沟谷深切地段 ,线路方案经常迂回展线在沟梁之间常造成地质调查隔沟相望 ,对岸地物清晰可辨 ,而要抵达对岸则须翻越多个几十米及至百余米的深沟。在此种情况下若沿线路走向进行带状调查 ,钻沟爬坡体力消耗不少 ,但对地区工程地质条件认识 ,收效却不一定很大 ,经常是事倍功半。

如何做好这类地区初测线路方案工程地质调绘是该阶段一项十分重要的工作。线路方案比选阶段的地质调绘工作 ,应抓住黄土地区特点和了解线路可能展线范围 ,采用遥感图像解译与地质调绘相结合的方法是行之有效的。利用遥感图像直观 ,视域大 ,内涵信息多的优点 ,先进行室内解译 ,然后现场重点调查、核实。遥感图像解译可弥补对野外地质调查未及地段地质条件认识的不足。

野外工程地质调绘、核实工作宜采用沿沟‘左看右顾’的调查方法。即 ,站在右山坡远观左山坡地貌形态特征 ,近看右山坡微地貌形态、地层特征、水文地质条件等 ,然后站在左山坡采用同样方法远观右山坡近察左山坡。这样‘之’字形沿沟调绘可全貌了解两岸 ,了解不同沟段黄土冲沟的同异 ,全面了解冲沟工程地质条件 ,为顺沟、跨沟等展线方式提出

评价及位置选择意见。通过对几个黄土冲沟的调查、对比、分析,即可得到调查范围内工程地质条件规律性的认识,为线路方案比选提供地质依据。因此,黄土沟梁相间地段,该方法在初测线路方案比选地质调绘中是行之有效的。

3.7.2 初测黄土地区的勘探、测试工作不仅应考虑查明区域地质条件、不良地质、地质条件复杂地段及代表性设计工点的工程地质特征,还要查明沿线黄土湿陷性特征及分布规律。

取样孔、原位测试孔(点)的代表性要强,地貌单元、地层年代、成因类型、地质特征四个方面缺一不可。否则,就没有比较的实际意义。为能在初测中对区域地质条件评价准确、提供的地质资料可靠、工程处理措施合理、使工程预算准确,提出当场地复杂、相同地质条件地段较长及湿陷性差异较大时应增加取样孔和勘探孔数量。

3.7.4 初测黄土地区资料编制应根据黄土地区特点,黄土工程地质特征,评价区域工程地质条件,做好方案比选,评价场地工程地质条件,为可行性研究报告提供依据,对黄土的物理力学性质、湿陷性等,应结合取样地段特点去综合分析,以保证地段划分合理、代表性强。

黄土属特殊土,由于分布地域大,经常一条长大干线,或数百公里地段都位于黄土地区,为突出其中不良地质、特殊地质分布,黄土的特性仅在说明中阐述,其界线仍采用地层界线符号圈划。

黄土地区代表性设计工点的黄土湿陷性按场地评价,地质条件复杂的工点跨沟穿梁,可能经几个微地貌单元和不同成因类型,湿陷性场地评价应注意不同地貌单元、成因类型及不同时代黄土的区划。

3.8.1 黄土地区定测地质调绘工作是为各类工程建筑和不良地质整治搜集初步设计地质基础资料,按工点开展工作。调绘工作的深度和广度比初测需更进一步,应在认识区域地质条件的基础上,对工程场地地质条件进一步深入调查、认识。调绘时一方面应根据工程类型有侧重地搜集场地地质资料;另一方面应分析环境地质条件对工程的影响。在调查中,应结合对地质条件的初步认识及工程类型、场地的要求去考虑如何合理使用勘探、测试手段,合理、有效地布置勘探、取样、测试工作。

调绘宽度应满足工程设计和场地地质条件分析要求是对铁路工程地质调查测绘的基本要求。地质条件复杂的场地及不良地质地段,不仅要查明工程场地范围内的地质条件,还要查明影响或可能影响场地的地质构造、工程地质及水文地质等条件。地质条件复杂地段、大型不良地质地段的场地地质调绘,仅在场内范围内进行地质调绘是远远不够的,必须扩大调查范围,对比、分析相邻地段地质条件,查明复杂地质条件的诸因素或不良地质现象产生原因、发展趋势,才能深化认识场地地质条件,为工程建筑物和不良地质处理提供准确的地质资料。因此,场地调绘的范围必须满足场地地质条件分析要求。

黄土地区的工点设计常要进行多方案比选,如隧道与深挖路堑,高填路堤与桥的比较等。工程设计方案的比较往往与地质条件密切相关,因此,在场地调绘时,两类工程所需地质资料及范围都应搜集齐全,以保证各种工程设计方案的地质基础资料可靠、准确、齐全,避免不必要的返工或重复工作。

3.8.2 定测阶段黄土地区勘探、测试工作的目的不仅要详细查明工程建筑场地地质条

件,满足初步设计所需工程地质资料,而且还要提出切实可行的工程措施。因此,布置勘探、取样、测试工作时,对地层层序、岩土工程特征、水文地质特征等项内容的精度及了解的广度都要更深入一步。

一般路基、小桥涵地段由于工程简单,对地基无特殊要求,根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等分类划段,去布置湿陷性评价的取样孔已能满足需要,但关键是分类划段的精度,因此规定地质条件相同地段取样孔不应少于3个的要求,是评价黄土湿陷性所需最少孔数。地质条件相同或不同地质条件交错出现时,布孔时应充分考虑其代表性及地层不均匀性,取样太稀,地质条件不容易控制,往往造成评价与工点资料不能对口。

第四章 膨胀土(岩)和红黏土及其条文说明

第一节 膨胀土(岩)和红黏土

4.1 一般规定

4.1.1 膨胀土是指土中黏粒成分主要由亲水矿物组成,具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂,并能产生往复胀缩变形的黏性土。遇具有上述性质、特征的黏性土时,应按膨胀土进行勘察。

4.1.2 膨胀岩是指含有较多亲水矿物,含水率变化时发生较大体积变化的岩石,其具有遇水膨胀、软化、崩解和失水收缩、开裂的特性。遇具有上述性质、特征的软岩时,应按膨胀岩进行勘察。

4.1.3 红黏土是指经红土化作用形成的棕红、褐黄等色并覆盖于碳酸盐岩系地层之上,具有表面收缩、上硬下软、裂隙发育和较显著的胀缩性、液限 $w_L \geq 50\%$ 的黏性土;其经搬运、沉积后仍保留上述基本特征,且液限 $w_L > 45\%$ 的土则称为次生红黏土。遇具有上述性质、特征的黏土时,应按红黏土进行勘察。

4.2 工程地质选线

4.2.1 膨胀土(岩)地区工程地质选线应符合下列要求:

- 1 宜线路宜避开山前斜坡及不同地貌单元的结合带,选在地形平缓、坡面完整、植被良好的地带,并宜垂直于垄岗轴线通过;
- 2 线路宜避开中、强膨胀土区,避开土层呈多元结构或有软弱夹层的地带,无法绕避时,应以短距离通过;
- 3 线路与既有重要建筑物应有一定距离;
- 4 线路应以浅挖、低填的方式通过,高填、深挖地段应与桥、隧方案比较;
- 5 线路宜绕避地下水发育的膨胀土(岩)地段;
- 6 线路宜垂直岩层走向和大断裂带或呈大角度相交,避开顺层地带和易产生工程滑坡的地带。

4.2.2 红黏土地区工程地质选线应符合下列要求:

- 1 红黏土地区选线,应符合本规程第 4.2.1 条第 1~5 款的要求;
- 2 线路宜选在土层厚度大及岩溶发育较弱的地段通过;
- 3 线路宜避开地裂密集带或深、长地裂地段。

4.3 地质调绘

4.3.1 膨胀土(岩)和红黏土地质调绘前应搜集下列资料:

- 1 地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质、地震及自然灾害等区域性膨胀土(岩)和红黏土资料;
- 2 遥感图像及解译资料;
- 3 气象资料:包括降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响深度等资料;
- 4 既有建筑物的勘察设计与变形、破坏情况及病害整治资料。

4.3.2 膨胀土(岩)和红黏土遥感图像解译应包括下列内容:

- 1 地层岩性、地貌类型及形态特征、分布范围、所处的地质环境和地貌部位;
- 2 不良地质现象,如冲沟、滑坡、坡面冲刷、泥石流及岩溶漏斗、洼地、落水洞、暗河等的分布、范围及规模;
- 3 植被发育情况,井、泉点及地表水体;
- 4 地质构造类型、形态、产状等;
- 5 必要时,经现场核对后,可编制遥感解译图。

4.3.3 膨胀土(岩)地质调绘应包括下列内容:

- 1 地形地貌特征,尤其是微地貌特征,包括斜坡自然坡度、高度、冲沟、坡面冲刷、剥落、地表植被生长状况等;
- 2 地层时代、成因、岩性、结构、分布范围,有无软弱夹层,湿度及包含物等,膨胀岩风化程度;
- 3 膨胀土(岩)中的裂隙发育程度、形态、分布密度、产状、充填物性质及裂面特征,膨胀土下伏基岩的岩性、结构面特征;
- 4 不良地质现象的类型、形成原因、分布范围、规模及对工程的危害程度;
- 5 地表水的集聚情况和排泄条件,地下水的类型、埋藏深度和变化规律;
- 6 当地建筑经验,既有建筑物变形和破坏情况,基础类型和埋深,膨胀土(岩)人工边坡高度、坡率以及防治病害的经验。

4.3.4 红黏土地质调绘除应符合本规程第 4.3.3 条的要求外,还应查明地裂形态特征、分布范围、形成原因和发育规律,以及与季节降雨、岩溶的关系等。

4.4 勘探与测试

4.4.1 膨胀土(岩)和红黏土勘探,应采用物探、钻探、挖探、原位测试和室内试验相结合的综合勘察方法。

4.4.2 膨胀土(岩)地区勘探应符合下列要求:

- 1 勘探点、线的布置,应根据膨胀土(岩)的成因类型、分布特征、地貌单元,并结合建筑物的类型和勘察阶段而定,一般地段宜沿线路带状布孔,重要工程的勘探点、线应加密。
- 2 勘探深度应根据膨胀土(岩)厚度及建筑物类型而定,当土(岩)厚度不大时,宜穿过膨胀土(岩)至下伏地层,若土(岩)层厚度较大,勘探深度应满足:
 - 1)钻至路基面设计高程(或建筑物基础底面)以下不应小于 3 m;
 - 2)应大于大气影响深度,一般性勘探孔深度不应小于 5 m,控制性孔深度不应小于 8 m。
- 3 膨胀土(岩)地段宜采用干钻或泥浆钻进。

4 膨胀土(岩)地段取原状样必须干钻或采用挖探。原状样应从地面以下 1 m 开始分层采取,每 1~2 m 取 1 组,遇有灰绿、灰白色土层,应增加取样数量。膨胀岩地段应按岩性和风化带分别取代表性样品。

4.4.3 膨胀土(岩)测试应符合下列要求:

- 1 测试岩土常规物理、力学性质指标;
- 2 膨胀土应测定自由膨胀率、蒙脱石含量和阳离子交换量。必要时,作矿物成分和化学成分、pH 值、先期固结压力及残余强度等的测试和分析;
- 3 膨胀岩应测试膨胀率、膨胀力、饱和吸水率,并宜做风干样或烘干样的崩解试验;
- 4 膨胀土的地基承载力测试宜采用静力触探、旁压试验,膨胀岩的地基承载力可采用点荷载试验、旁压试验;
- 5 重要和特殊的工程场地,宜进行现场浸水载荷试验、大面积剪切试验、旁压试验以及三轴试验、固结试验等。

4.4.4 红黏土地区勘探、测试应符合下列要求:

- 1 红黏土为膨胀土时,其勘探应符合本规程第 4.4.2 条第 1~2 款的规定。
- 2 红黏土为非膨胀土时,应根据红黏土结构特征、软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律、地裂与岩溶的关系等特征,结合勘察阶段、建筑物类型布置勘探点。
- 3 红黏土的钻探宜采用干钻,对地裂的勘探应采用挖探。
- 4 红黏土原状土样的采取,应符合本规程第 4.4.2 条第 4 款的规定。
- 5 红黏土测试应符合下列要求:
 - 1)测试土的一般物理、力学性质指标;
 - 2)测定自由膨胀率、水平和垂直收缩率、蒙脱石含量、阳离子交换量并进行粒度分析,必要时作矿物成分和化学成分分析;
 - 3)裂隙发育的红黏土,必要时应进行三轴剪切、无侧限抗压强度、灵敏度测试及重复慢剪试验。

4.5 场 地 评 价

4.5.1 膨胀土(岩)地区场地评价应满足下列要求:

- 1 膨胀土应根据工作阶段进行初判和详判。
 - 1)膨胀土应根据地貌、颜色、结构、土质情况、自然地质现象和土的自由膨胀率等特征,按表 4.5.1-1 初步综合判定。

表 4.5.1-1 膨胀土初判标准

地 貌	具垄岗式地貌景观,常呈垄岗与沟谷相间,地形平缓开阔,无自然陡坎,坡面沟槽发育
颜 色	多呈棕、黄、褐色,间夹灰白、灰绿色条带或薄膜,灰白、灰绿色多呈透镜体或夹层出现
结 构	具多裂隙结构,方向不规则。裂面光滑,可见擦痕。裂隙中常充填灰白、灰绿色黏土条带或薄膜
土质情况	土质细腻,具滑感,土中常含有钙质或铁锰质结核或豆石,局部可富集成层

地 貌	具垄岗式地貌景观 ,常呈垄岗与沟谷相间 ,地形平缓开阔 ,无自然陡坎 ,坡面沟槽发育
自然地质现象	坡面常见浅层溜坍、滑坡、地面裂缝。当坡面有数层土时 ,其中膨胀土层往往形成凹形坡。新开挖的坑壁易发生坍塌
自由膨胀率 F_s	$F_s \geq 40\%$

2)膨胀土应根据自由膨胀率、蒙脱石含量、阳离子交换量 3 项指标详判。当符合表 4.5.1－2 中 2 项指标时 ,应判定为膨胀土。

表 4.5.1－2 膨胀土评判指标

名 称	判 定 指 标
自由膨胀率 F_s (%)	$F_s \geq 40\%$
蒙脱石含量 M (%)	$M \geq 7$
阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	$CEC(NH_4^+) \geq 170$

注： CEC 表示 1 kg 干土的阳离子交换量。

2 膨胀土的膨胀潜势分级应符合表 4.5.1－3 的规定。

表 4.5.1－3 膨胀潜势分级

分 级 指 标	弱 膨 胀 土	中 等 膨 胀 土	强 膨 胀 土
自由膨胀率 F_s (%)	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
蒙脱石含量 M (%)	$7 \leq M < 17$	$17 \leq M < 27$	$M \geq 27$
阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	$170 \leq CEC(NH_4^+) < 260$	$260 \leq CEC(NH_4^+) < 360$	$CEC(NH_4^+) \geq 360$

注： 当有 2 项指标符合时 ,即判定为该等级。

3 膨胀岩的判别应根据表 4.5.1－4 野外地质特征和表 4.5.1－5 室内试验指标综合判定。

表 4.5.1－4 膨胀岩的野外地质特征

地 貌	一般形成波状起伏的低缓丘陵 ,相对高度 20 ~ 30 m ,丘顶多浑圆 ,坡面圆顺 ,山坡坡度缓于 40° ,岗丘之间为宽阔的 U 形谷地 ,当具有砂岩夹层时 ,常形成一些陡坎
岩 性	主要为灰白、灰绿、灰黄、紫红和灰色的泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、风化的基性岩浆岩、蒙脱石化的凝灰岩以及含硬石膏、芒硝的岩石等。岩石由细颗粒组成 ,遇水时多有滑腻感。泥质膨胀岩的分布地层以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主
结构构造	岩层多为薄层和中、厚层状 ,裂隙发育 ,裂隙多被灰白、灰绿色等富含蒙脱石物质充填

地 貌	一般形成波状起伏的低缓丘陵 ,相对高度 20 ~ 30 m ,丘顶多浑圆 ,坡面圆顺 ,山坡坡度缓于 40° ,岗丘之间为宽阔的 U 形谷地 ;当具有砂岩夹层时 ,常形成一些陡坎
风化	风化裂隙沿构造面、层理面进一步发展 ,使已被结构面切割的岩块更加破碎 ,地表岩石碎块风化为鸡粪土 ,剥落现象明显 ;天然含水的岩石在暴晒时多沿层理方向产生微裂隙 ;干燥的岩块泡水后易崩解成碎块、碎片或土块

表 4.5.1 - 5 膨胀岩的室内试验判定指标

试 验 项 目		判 定 指 标
自由膨胀率 F_s (%)	不易崩解的岩石	$F_s \geq 3$
	易崩解的岩石	$F_s \geq 30$
膨胀力 P_p (kPa)		$P_p \geq 100$
饱和吸水率 w_{sa} (%)		$w_{sa} \geq 10$

- 注： 1 对于不易崩解的岩石 ,应取轴向或径向自由膨胀率中的大值进行判定；
- 2 对于易崩解的岩石应将其粉碎 ,过 0.5 mm 的筛去除粗颗粒后 ,比照土的自由膨胀率试验方法进行试验；
- 3 当有 2 项及以上符合表中所列指标时 ,在室内可判定为膨胀岩。

4 必要时应预测膨胀土地基变形量。膨胀变形量、收缩变形量、胀缩变形量的计算方法应符合现行《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)的规定。

5 大气影响深度和大气影响急剧层深度的计算应符合现行《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)的规定。

6 对基础埋深、地基处理、施工开挖(洞室、边坡、基坑)挡护措施和防水、保湿措施等 ,提出建议。

4.5.2 红黏土地区场地评价应满足下列要求：

- 1 红黏土达到膨胀土标准时 ,应按本规程第 4.5.1 条进行场地评价；
- 2 红黏土为非膨胀土时 ,应根据红黏土结构特征、软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律、地裂与岩溶的关系等特征 ,进行场地评价。

4.6 踏 勘

4.6.1 踏勘阶段膨胀土(岩)和红黏土地区工程地质勘察 ,应包括下列内容：

- 1 搜集沿线的区域地质、工程地质、水文地质、地貌、气象及遥感图像等资料 ,并进行室内分析、整理和解译；
- 2 现场踏勘 ,了解膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因类型、岩性、分布范围 ,以及既有建筑物的变形、破坏情况；
- 3 必要时 ,取膨胀土(岩)作简易判别试验；
- 4 了解红黏土地区岩溶、地裂发育情况 ,并取扰动土样 ,做膨胀土判别试验。

4.6.2 踏勘阶段膨胀土(岩)和红黏土地区资料编制 ,应包括下列内容：

- 1 工程地质说明 ,应阐述各方案中膨胀土(岩)和红黏土的成因类型、工程性质、分布

范围与膨胀土(岩)和红黏土有关的不良地质现象和建筑物的变形情况,评价膨胀土(岩)和红黏土对铁路工程的影响及危害程度,提出方案比选意见和对初测工作的建议;

2 全线工程地质图,比例为1:50 000~1:200 000,填绘膨胀土(岩)、红黏土的分布范围及控制线路方案的大型不良地质、大型地裂或地裂密集区。

4.7 初 测

4.7.1 初测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区的地质调绘,应符合下列要求:

1 查明沿线膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因类型、分布范围、工程性质、膨胀潜势级别、地基均匀性、地裂及岩溶发育分布情况,以及与膨胀土(岩)和红黏土有关的地质病害;

2 对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(岩)和红黏土的结构特征,软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律,膨胀岩还应查明岩层及节理、断层的产状等,红黏土则应查明其结构特征,软弱夹层的层位、厚度、空间分布,地裂的形态特征(长、宽、深及剖面上的变化)、数量、基岩出露情况及岩溶形态等。

4.7.2 初测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区勘探,应符合下列要求:

1 一般地段作代表性勘探,其间距不宜大于500 m,影响线路方案的强膨胀土(岩)地段、土(岩)结构复杂地段及重点工程,勘探点应适当加密;

2 对代表性设计地段进行坑探,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。

4.7.3 初测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区测试,应满足下列要求:

1 一般地段应取样作膨胀土(岩)判别与分级项目测定,进行自由膨胀率、饱和吸水率、崩解试验等,并选代表性的土样测定蒙脱石含量和阳离子交换量;

2 重点地段和重大工点应取膨胀土(岩)原状样进行一般物理力学指标和膨胀土(岩)判别、分组、分类指标的测试,必要时应作现场浸水载荷试验、剪切试验以及三轴试验和固结试验等。

4.7.4 初测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区资料编制,应包括下列内容:

1 综合资料

1)工程地质勘察报告,应阐明膨胀土(岩)和红黏土的区域地质条件、时代、成因、分布范围、规律、主要物理力学指标、发展趋势及其对线路方案的影响,提出各线路方案评价、比选意见。

2)全线工程地质图,比例为1:10 000~1:200 000,填绘膨胀土(岩)和红黏土的分布范围、膨胀潜势分级及控制线路方案的大型不良地质等;

3)详细工程地质图,比例为1:2 000~1:5 000,填绘膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因、地质分界线;

4)沿线工程地质分段说明,按地貌单元分段编写,其内容应包括地形地貌、植被情况、气象特征、膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因、性质、厚度、结构、分布范围、水文地质特征、地裂及岩溶发育情况、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。

2 工点资料

- 1) 工程地质说明,应阐明场地的工程地质条件,其内容包括土(岩)的物理力学性质、分级、分类、场地分类、地基胀缩等级、隧道围岩分级等,并提出基础埋深、地基处理、施工开挖的挡护措施及防水保湿措施等建议;
- 2) 工程地质图,比例为 1:500 ~ 1:2 000,填绘膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因、地质分界线、分区界线等;
- 3) 工程地质断面图,比例为 1:200 ~ 1:500,填绘膨胀土(岩)和红黏土的时代、成因、类型、厚度、地下水位线等;
- 4) 勘探、测试、试验等资料。

4.8 定 测

4.8.1 定测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区的地质调绘,应符合下列要求:

- 1 详细查明采用方案沿线及各建筑物(含防护加固工程)膨胀土(岩)和红黏土地带及地基的工程地质和水文地质条件;
- 2 宜按工点开展工作,调绘内容应根据工程类别有所侧重。调绘宽度应满足工程设计和不良地质评价和整治的需要。

4.8.2 定测阶段膨胀土(岩)和红黏土地区勘探与测试,应符合下列要求:

- 1 勘探、测试点宜采用分段布置与工程相结合的方法,其点位与数量应满足铁路各类工程和防护加固工程的需要;
- 2 大型场地及重要建筑物的地基取样坑、孔的数量不宜少于勘探坑、孔总数的 1/2,重大工程地基应作原位测试;
- 3 重大工程场地膨胀土(岩)的测试项目,应能满足对膨胀土(岩)进行详判、分级和设计要求。

4.8.3 定测阶段膨胀土(岩)和红黏土资料编制,应符合下列要求:

1 综合资料

- 1) 工程地质勘察报告,应阐明沿线膨胀土(岩)和红黏土的分布、地形地貌、水文地质条件、物理力学指标和与各类工程设计有关的地质参数,提出工程处理措施及施工注意事项等;
 - 2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改;
 - 3) 详细工程地质图,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改;
 - 4) 详细工程地质纵断面图,比例为横 1:10 000,竖 1:100 ~ 1:1 000,与线路详细纵断面图合并或单独绘制。
- 2 各类建筑物的工程地质资料与初测工点的要求相同。

第二节 膨胀土(岩)和红黏土条文说明

4.1.1 对膨胀土的定义,是多年来科研和生产实践的总结。土中所含的黏土矿物主要指蒙脱石、伊利石、高岭石等。膨胀土物质成分中蒙脱石含量、黏土矿物总量及小于 $2\mu\text{m}$ 的含量,是决定膨胀土膨胀潜势大小、物理力学性质及其变化的主要物质基础。自由膨胀率 F_s 是膨胀土的重要判别指标,规定 $F_s \geq 40\%$,符合现行《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)的规定。

4.1.2 中国科学院地质所曲永新等 1991 年 1 月《中国东部膨胀岩的研究》提出,中国膨胀岩按成因可分为 5 类。

(1)沉积型泥质膨胀岩《铁科院西北分院、西南交大、铁一院王小军等 1995 年 12 月《膨胀岩的工程特性及判别标准与分类》研究报告提出,该类膨胀岩地层时代以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主),可细分为 4 个亚类:

- ①晚二叠系泥质膨胀岩;
- ②上侏罗统——白垩系泥质膨胀岩;
- ③下第三系泥质膨胀岩;
- ④上第三系泥质膨胀岩。

(2)蒙脱石化中基性火成岩类膨胀岩。

(3)蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩。

(4)断层泥类膨胀岩。

(5)含硬石膏和无水芒硝类膨胀岩。

5 种类型膨胀岩中,前 4 种的膨胀实质是所含亲水矿物的吸水膨胀,第 5 种则是水化学作用产生的硬石膏→石膏、无水芒硝→芒硝的转化膨胀。5 种类型膨胀都与水的关系极大。

膨胀岩与膨胀土虽然在物质组成、成岩程度、结构构造及物理力学性质等方面差异都甚大,但均具有显著的吸水膨胀、失水收缩、开裂,并产生往复胀缩变形的性能,但膨胀岩的研究尚不充分,有待于在工程实践中进一步积累资料。

4.1.3 红黏土是我国红土的一个亚类。它形成的本质在于红土化作用。不论何种岩石,经红土化作用都可形成红土。而红黏土仅指碳酸盐类岩石和间夹其中的非碳酸盐类岩石,经红土化作用形成并覆盖于碳酸盐岩系之上的(残、坡积)红土,其液限 $w_L \geq 50\%$ 。红黏土经搬运沉积,仍保留其基本特征,液限 $w_L > 45\%$ 的土称次生红黏土。

经黏土中含有大量亲水性黏土矿物,其物质组成、地貌形态、工程特性等,与膨胀土有许多相同或相似之处,具有很强的胀缩性,其自由膨胀率 F_s 可远远超过 40%。红黏土的含水率一般是自上而下逐渐增大,至基岩面附近可呈软塑~流塑状,强度降低,故表现为上硬下软。红黏土具有很强的收缩性,且通常是水平收缩大于垂直收缩,因而又具有表面收缩、裂隙发育的特点,甚至产生深、大地裂。

当红黏土达到膨胀土标准时,应按膨胀土对待;未达到膨胀土标准的红黏土,按一般黏性土对待,应注意因其具有高液限、高塑性、高孔隙性、较高的强度和偏低的压缩性、较高的胀缩性,且水平收缩大于垂直收缩等特性。

4.2.1 膨胀土(岩)地区工程地质选线,应符合下列要求:

3 膨胀土(岩)边坡易变形、破坏,线路距重要建筑物应有一定距离,以免影响建筑物的安全。这个距离是指堑顶边缘至建筑物的距离,应视堑坡高度和膨胀岩土膨胀性强弱而定,不宜小于 20m。

4 浅挖、低填既是我国几十年来在膨胀岩土地区兴建铁路的一条成功经验,又是科学的总结。这是因为浅部的膨胀岩土受大气风化营力的作用,胀缩频繁、裂隙发育、结构遭破坏、强度低,当其被水浸润以后尤其如此,故在重力作用下,高边坡和高路堤容易变形、失稳;同时随着开挖深度的增大,坡脚岩土体的卸荷膨胀和随之而来的强度衰减将加剧,应力集中效应亦更为突出,因而高边坡和高路堤更易变形、失稳。所以线路应以浅挖、低填通过。挖方不宜超过 10m,填方不宜超过 8m。

6 膨胀岩多为软质岩,或在水的作用下易变软,当隧道轴线与区域最大主应力方向垂直或呈大角度相交时,地应力的作用会加剧隧道产生拱顶和侧壁开裂、坍方、侵限以及底鼓和漏水等病害,乃至施工和运营都难以进行,这在国内外都是有教训的。隧道轴线的最优方向应该是与区域最大主应力的方向一致。所以隧道在选线时必须考虑区域最大主应力方向,应尽量使隧道与区域最大主应力方向平行。

4.2.2 红黏土与膨胀土的工程性质相似,所以膨胀土地区的选线要求,同样适用于红黏土。红黏土地区选线,还应注意避开岩溶和地裂。

4.3.3

1 膨胀土(岩)地区具有较为独特的地貌形态,地形平缓、丘岗低矮、无自然陡坎、坡面沟槽发育、风化剥落严重、地表浅层滑坡、溜坍发育等,可据此初步判别膨胀土(岩),并圈定其分布范围,通过地貌单元的划分,可优化线路位置,通过自然斜坡(坡高、坡度)和人工边坡的调查,为工程设计提供依据。

3 膨胀土中的裂隙一般可分为垂直、水平和斜交(倾斜)裂隙三种。由于裂隙的存在,不仅影响土体的工程性质,而各裂隙的产状、裂面充填物的性质及裂隙组合交线的倾向、倾角等,对边坡的稳定性起着很重要的作用,不利的裂隙产状和组合交线,常常导致边坡失稳。因此,裂隙调查乃是工程地质调绘的重要内容之一。

4.3.4 红黏土和膨胀土无论是地貌形态、物质组成,或是工程性质,都很相似,或本身就是膨胀土,所以膨胀土的工程地质调绘要求,仍适用于红黏土。此外,尚应注意对地裂和岩溶的调绘。

4.4.2 膨胀土(岩)地区勘探点、线的布置及孔的深度、数量等,应视勘察阶段、场地复杂程度及建筑物的规模、重要性而定,以查明工程地质条件、满足不同阶段工程设计的需要为原则。工程实践中,简单场地和一般路基地段,勘探点间距可为 50~200m;复杂场地或重大工程,勘探点密度需加大,间距可为 20~100m。

大气影响深度是自然气候作用下,由大气降水、蒸发、地温等因素引起土层升降(胀缩)变形的有效深度,又称为膨胀土(岩)的活动带。可通过对该地区土层的不同深度的变

形观测、含水率观测及地温观测确定,亦可观测裂隙和地裂的可见深度确定。无观测资料时,可参照现行《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)。

大气影响深度可视为膨胀土(岩)地区的最小勘探深度。我国平坦场地的大气影响深度一般不超过 5m,故规定一般性勘探孔深度不应小于 5m。

取原状样应从地表以下 1m 开始的要求,是与膨胀土(岩)地区大气影响急剧层深度大于 1m 和基础埋深一般应大于大气影响急剧层深度相适应的。现行《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)规定,大气影响急剧层深度等于大气影响深度值乘以 0.45,而大气影响深度一般为 3~5m,所以大气影响急剧层深度均大于 1m。

取原状样必须干钻,其目的是为了保持岩、土的天然结构、天然湿度及密度,以免试验数据失真而造成不良后果。

膨胀土(岩)的测试项目,除与判别和分级相适应外,还应根据不同工程的需要,如隧道以及对沉降有特殊要求的大型和重要建筑物等,增加测试项目或进行现场原位测试。

4.4.3 红黏土的性质与膨胀土相似,或有的原本就是膨胀土,故其工程地质勘探、测试的要求与膨胀土基本相同,仅测试项目如收缩率(水平、垂直)、灵敏度、重复慢剪等有所不同。

4.5.1 膨胀土的场地评价,对于建筑物地基,应采用国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112)。

膨胀岩的判别尚无统一标准,参考国内有关资料并与现行《铁路工程岩土分类标准》(TB 10077—2001)和《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001)一致,仅规定膨胀岩的野外地质特征和室内试验判定指标,供膨胀岩判别使用。

下面介绍 2 种膨胀岩研究成果供勘察中参考:

(1)铁道部隧道局、西南交大董新平等在综合研究国内外大量研究成果的基础上,主要采用和发展了铁科院西北分院等的研究成果,1999 年 12 月《铁路膨胀岩隧道修建技术研究》中提出了膨胀岩的判别方法:

①膨胀岩按崩解特征分类,可按说明表 4.5.1-1 进行。

说明表 4.5.1-1 膨胀岩按崩解特征分类

类别	崩解特征及重量变化
非膨胀岩	泡水 24h 岩块完整、不崩解、重量增加小于 10%
弱膨胀岩	泡水后 ,有少量岩屑下落 ,几小时后岩块开裂成 0.5 ~ 1.0cm 碎块或大片 ,手可捏碎 ,重量可增加 10% 左右
中等膨胀岩	泡水后 ,1 ~ 2h 崩解为碎片 ,部分下落 ,碎片尚不能捏成土饼 ,重量可增加 30% ~ 50%
强膨胀岩	泡水后 ,即刻剧烈崩解 ,成土状撒落 ,水混浊 ,10min 可崩解 50% ,20 ~ 30min 崩解完毕

②膨胀岩按分级指标分类 ,可按说明表 4.5.1-2 进行。

说明表 4.5.1-2 膨胀岩分类

类别	膨胀率 V_H (%)	膨胀力 P_p (kPa)	饱和吸水率 w_{sa} %	自由膨胀率 F_s %
非膨胀岩	< 3	< 100	< 10	< 30
弱膨胀岩	3 ~ 15	100 ~ 300	10 ~ 30	30 ~ 50
中膨胀岩	15 ~ 30	300 ~ 500	30 ~ 50	50 ~ 70
强膨胀岩	> 30	> 500	> 50	> 70

③膨胀岩按数学函数式分类 ,可按说明表 4.5.1-3 进行。

说明表 4.5.1-3 膨胀岩判别与分类

类 别	判 别 与 分 类 函 数 式
非膨胀岩	$R = -2.3248 + 0.0013P_p + 0.0396V_H + 0.1306F_s + 0.0995w_{sa}$
弱膨胀岩	$R = -9.8345 + 0.0040P_p + 0.1485V_H + 0.2600F_s + 0.1319w_{sa}$
中膨胀岩	$R = -16.3251 + 0.0030P_p + 0.2959V_H + 0.3637F_s + 0.1335w_{sa}$
强膨胀岩	$R = -48.0108 + 0.0059P_p + 0.6397V_H + 0.5858F_s + 0.1630w_{sa}$

(2)铁二院、铁专院、铁科院西北分院、西南交大、中科院地质所、四川大学、柳州铁路局、铁二局、华东交大蒋忠信等 1997 年 12 月《南昆线膨胀土路基工程试验研究报告》,总结了百色盆地下第三系始新统、渐新统膨胀岩的研究成果 ,提出膨胀岩主要具有膨胀性、碎裂性、低强度性 3 种特征 ,推荐那百段膨胀岩工程地质分类的建议标准 ,如说明表 4.5.1-4 所示。

说明表 4.5.1－4 那百段膨胀岩工程地质分类建议标准

类型	膨胀性等级	结构面频度 (条/m)	现场无侧限强度 (kPa)	宏观地貌特征
A	弱	< 5	> 150	低丘,起伏 $h > 20\text{m}$,坡度 $\alpha > 10^\circ$,有陡坎与冲沟
B	弱~中	5~15	50~150	
C	中~强	> 15	< 50	缓岗, $h > 20\text{m}$, $\alpha > 10^\circ$ 无陡坎与冲沟

重点试验工点林逢,里程 DK145+886~DK146+760 段,试验工作全面,膨胀岩的膨胀性、碎裂性、低强度性特征明显,试验结果如下:

①膨胀性试验指标汇总如说明表 4.5.1－5。

说明表 4.5.1－5 膨胀性试验指标汇总

指 标	膨胀率 $V_{\text{H}}(\%)$	膨胀力 $P_{\text{p}}(\text{kPa})$	饱和吸水率 $w_{\text{sat}}\%$	自由膨胀率 $F_{\text{s}}\%$
界限值	17.1~58.0	339~511	33.9~50.5	53~97.5
平均值	33.5	400	45.1	75.5
样本数	5	3	5	20

②碎裂性表现为膨胀泥岩层理面微斜平直,间距约 3cm,构造节理面成组密集,间距一般 5~20cm,最密处 3~4cm,且方向性强,贯通性好,表面光滑,附次生易滑黏土矿物。

③低强度性由现场载荷试验结果确定,现场进行了 2 组 1000cm² 圆形板载荷试验,成果如说明表 4.5.1－6。经与室内试验成果比较,无侧限抗压强度值仅为室内试验平均值 235kPa 的 1/7。

说明表 4.5.1－6 膨胀岩现场载荷试验成果汇总

地 层	试验位置	容许承载力 (kPa)	无侧限抗压强度(kPa)	抗剪强度		变形模量 (MPa)
				$\alpha(\text{kPa})$	ψ°	
残积膨胀土	DK146+580 左 20m 深 1.2m	120	20	—	—	220
风化极严重泥岩	DK146+100 左 28m 深 1m	175	34	26	12	450

膨胀岩的分类及相对应的工程措施,还有待于在工程实践中积累资料,逐步完善。

4.7.1 膨胀土(岩)地区代表性设计工点,如(特)大桥、隧道(含一般隧道和长隧道)、区段站、编组站,重要的和大型建筑物等。

4.7.2 重点工程是指控制和影响线路方案的地段,如深、长路堑、高、长路堤、隧道、枢纽、区段站、编组站、大型滑坡工点等。代表性设计地段是指代表不同地质时代、不同成因类型、不同环境工程地质条件及不同地层结构的地段。

4.7.3 重点地段和重大工点系指对沉降有特殊限制的、大型的和重要的建筑物、深、长路堑和大型滑坡工点等。

4.7.4 建筑物基础埋深考虑的因素很多,从工程地质角度而言,仅考虑场地条件、土的胀缩等级、大气影响深度(大气影响急剧层深度等),而后者是必须考虑的因素,并据此提出建议和意见。

膨胀土(岩)地基处理,包括换填、铺底、土质改良和人工地基等。实践证明,土质改良中加入5%~10%的石灰效果较好,主要表现为土的液限降低、塑限提高、胀缩性明显减弱而强度显著提高。

4.8.2 膨胀土(岩)并非是均质的,即是同一场地,不同位置和不同深度的土层性质差异仍是很大的,不仅试验数据分散、离散度高,而且并非每个样品指标都达膨胀土(岩)标准。因此,为查明场地土的性质,不致错判、漏判,除剖面上取样间距按要求办理外,还必须保证平面上取样孔的数量,并合理分布。本规程规定取样孔的数量不少于全部孔数的1/2,这与现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021)是一致的。

4.8.3 膨胀土(岩)地区定测与初测工点(分段)说明的内容应是相同的,因为二者在查工程地质条件方面并无本质差别,仅是侧重点和详略程度不同。因此,在工程地质评价时,应有针对性、视工点的要求取舍。

第五章 软土及其条文说明

第一节 软 土

5.1 一般规定

5.1.1 遇在静水或缓慢的流水环境中沉积、具有含水率大($w \geq w_L$)孔隙比大($e \geq 1$)压缩性高($a_{0.1-0.2} \geq 0.5 \text{MP}_a^{-1}$)强度低($P_s < 800 \text{kP}_a$)等特点的黏性土、粉土地层时 ,应按软土进行勘察。

5.1.2 软土按其物理力学特征 ,可分为软黏性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土和泥炭等不同类型 ,其具体分类应符合表 5.1.2 的规定。当粉土和其他成因类型的黏性土物理、力学性质指标达到软土的大多数指标时 ,可比照软土进行勘察。

表 5.1.2 软土分类及物理、力学特征

分 类 指 标		软黏性土	淤泥质土		淤泥	泥炭质土	泥炭
有机质含量 w_u	%	$w_u < 3$	$3 \leq w_u < 10$			$10 \leq w_u \leq 60$	$w_u > 60$
天然孔隙比 e		$e \geq 1.0$	$1.0 \leq e \leq 1.5$	$e > 1.5$		$e > 3$	$e > 10$
天然含水率 w	%	$w \geq w_L$			$w \gg w_L$		
渗透系数 k	cm/s	$k < 10^{-6}$			$k < 10^{-3}$		$k < 10^{-2}$
压缩系数 $a_{0.1-0.2}$	MP_a^{-1}	$a_{0.1-0.2} \geq 0.5$			—		
不排水抗剪强度 CU	kP_a	CU < 30			CU < 10		
静力触探比贯入阻力 P_s	kP_a	$P_s < 800$			—		
标准贯入试验锤击数 N	击	$N < 4$	$N < 2$		—		

注： 1 软土及其类型的划分 ,应以天然孔隙比、天然含水率及有机质含量为主 ,并结合其他指标综合判别。外业勘察时 ,可用 P_s 作为初判标准。

2 有机质含量测试采用灼失量法。

5.2 工程地质选线

5.2.1 线路应绕避厚度大、分布广、治理难的软土地带。若绕避不经济或不可能时 ,宜选

择在软土分布最窄、厚度最小、埋藏不深、硬底横坡较缓地段。

5.2.2 线路宜选择在地势较高、硬壳较厚、取土条件较好的地带。

5.2.3 软土地区的路基宜采用路堤。路堤高度宜控制在设计临界高度以内,但不宜低于基床厚度。如软土层较厚,路堤较高,填料缺乏,占用良田太多,或者工后沉降难以控制时,应与建桥方案比较。

5.2.4 在滨海平原、冲积平原和湖积平原,线路位置的选择应符合下列要求:

- 1 宜远离湖塘、排灌渠道、河流及其河口地段;
- 2 宜绕避古牛轭湖、埋藏谷及溺谷等软土埋藏地带;
- 3 通过沿河谷分布的软土地带或古盆地时,应避免从其中部通过。

5.2.5 在丘陵和山间谷地,线路位置的选择应符合下列要求:

- 1 宜避开有软土分布的封闭或半封闭洼地;
- 2 宜避免在硬底横坡较陡处通过。

5.2.6 线路应绕避泥沼地区。若必须通过,应参照本规程第 5.2.1 ~ 第 5.2.3 条办理。

5.2.7 对基底软土层深厚、天然强度低且采用加速固结措施的高路堤地段,如需预留第二线,应作一次建成双线路基方案的经济技术比较。

5.2.8 桥位应选择在两岸地势较高的部位。桥台应避免通过淤泥、软土、古河道等地段,如无法避开,应选择在基岩或硬土埋藏浅、软弱地层厚度薄的地段。

5.3 地质调绘

5.3.1 软土地区地质调绘前应搜集下列资料:

- 1 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、遥感图象及解译资料;
- 2 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;
- 3 地震烈度、震害等资料,核定地震动峰值加速度为 $0.1g$ 及以上范围的分区界线。

5.3.2 软土地区地质调绘应包括下列内容:

- 1 调查地形、地貌及第四纪沉积层的特征,划分地貌单元并进行工程地质分区,分析各地貌单元的形成过程与地层、场地稳定性的关系;
- 2 软土的分布范围和分布规律,尤其是沿线微地貌与软土分布的关系,以及古牛轭湖、埋藏谷、暗埋的塘、浜、沟、渠分布范围及形态;
- 3 软土及地基各层的岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、物理、力学、水理及其地层结构、相变特征;
- 4 对厚层和相对均质的软土,应查明抗剪强度随深度的变化规律;
- 5 对谷地、河谷边缘、河沟交汇地段、山间盆地及斜坡边缘的软土,应重点查明软土层厚度变化,下卧硬层顶面形态、横坡大小等;
- 6 对埋藏有古软土层的地区,应查明其分布范围、埋藏深度、下卧硬层和古软土层的超固结比等工程特性;
- 7 判定有无砂类土夹层或透镜体存在及其形态、范围,并判定对工程稳定性和变形的影响;
- 8 地下水类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件;

9 既有堤防、涵洞、桥梁、道路、房屋、地下洞室等建筑物的修建时间、地基处理措施、施工方法、处理效果等；

10 沼泽地段地质调绘，尚应调查植物分布及生长情况，地表水的汇流和水位的季节变化、疏干条件及河流水文变化情况，地下水露头及其季节变化，地下水与地表水的关系等。

5.4 勘探与测试

5.4.1 软土地区勘探应采用钻探、物探和原位测试相结合的综合勘探方法。对厚层或难于取样的软土地层，可采用静力触探、十字板剪切试验、扁板侧胀试验、应力铲试验、孔内旁压试验、螺旋板载荷试验等原位测试方法。

5.4.2 软土地区勘探点的布置应符合下列要求：

1 软土勘探点的布置应根据地层结构、成因类型、成层条件、硬底横坡，并结合建筑物的类型、规模、基础类型确定。

2 勘探点的密度应满足勘察阶段地质评价、方案比选、工程设计的需要。当地层结构复杂，土质不均匀，下卧硬层顶面坡度较大，有古河道、古牛轭湖、暗埋的塘渠等时，勘探、测试孔应酌情加密。一般滨海平原地区可以较疏，谷地泥沼地区应适当加密，湖积软土地区，中部较疏，边缘应加密，河谷软土地区，平行河谷方向可较疏，垂直河谷方向则应加密。

3 控制性钻孔应布置在有代表性的部位。在软土深厚或厚度变化不大时，应布置在线路中心；当下卧硬层顶面坡度较大时，宜布置在下坡一侧。每一地貌单元或地质单元、重大工程、工点均应有控制性钻孔。控制性钻孔宜不少于勘探孔总数的 20%。

5.4.3 软土勘探深度应符合下列要求：

1 控制性钻孔应穿透软土钻至硬层、主要持力层或下伏基岩内一定深度。

2 为满足稳定分析，勘探、测试孔深度应至软土层硬底或主要持力层以下 2~5m；当软土层较厚时，为满足沉降计算，勘探、测试孔深度不应小于地基压缩层的计算深度。

3 当采用深基础时，勘探、测试孔深度应至桩尖或持力层 5m 以下。

5.4.4 软土取土样应符合下列要求：

1 软土地区钻孔直径应满足取样、原位测试或其他试验工作的需要，控制回次进尺，岩芯采取率应大于 90%。

2 软土取样宜采用均匀连续压入法及下击式重锤少击法。流塑软土层须跟下套管，套管管靴必须高出取样部位 10~20cm。当在较深位置取样时应安置钻杆扶正器。

3 采取原状土样应使用薄壁取土器。取土器的直径不宜小于 108mm。

4 采取原状土样前，应将孔内钻进过程中残存的余土清除干净。取土器的入土深度，严禁大于取土器的有效长度。

5 取样时，严禁向钻孔内注水。钻孔中的水也不能浸泡或压入样品中。

6 一般钻孔应分层采取代表性的原状土样，每一层采取的土样应不少于 2 筒。当同一土层较厚时，每 3m 采取原状土 4 筒，并保证上、下部位分别采取原状土样各 1 筒，中部取样 2 筒。控制性钻孔应连续采取原状土样，每 1m 孔深应有 2 筒土样。

5.4.5 软土原状土样应符合下列要求：

- 1 土样长度与采样长度之比应等于或近于 1 ;
- 2 土样周边扰动带厚度应小于 10mm ,内部应无扰动现象 ;
- 3 开土样后如有析水或变形现象时 ,应降低土样质量等级或重新取样 ;
- 4 采取的原状土样不符合要求时 ,应及时采取调整取样工艺或调换取土器等措施。

5.4.6 软土室内试验应符合下列要求 :

- 1 软土室内试验的项目 ,应根据不同勘察阶段、不同工程类别和处理措施按表

5.4.6 确定 ;

2 室内力学试验宜以直剪、三轴剪切试验、无侧限抗压强度、压缩固结试验为主 ,在每一地貌单元应有代表性高压固结试验 ,必要时 ,进行次固结试验 ;

3 原状土样样品应在 3d 以内开样试验 ,对不能按时试验的样品应妥善保管 ,不得露天堆放 ;

- 4 对试验数据应分段进行统计分析。

5.4.7 软土地区使用静力触探时 ,应有钻探或其他原位测试手段验证。在代表性软土地段和大型枢纽场地应至少有两处对比孔 ,进行对比的两孔间距 ,不应小于已有孔径的 25 倍。

5.4.8 十字板剪切试验应在具有代表性的和场区进行 ,每 1m 深度应测一组以土剪切指标。当与钻探相结合时 ,其测试间距可视具体情况确定。

5.5 场地评价

5.5.1 软土地区场地评价应包括场地地质条件、场地地基稳定性评价、场地环境影响评价等内容。

5.5.2 软土场地地质条件评价应符合下列要求 :

- 1 根据地质调绘、勘探、测试结果 ,在分析研究区域地质、水文地质条件和工程地质特征、软土基本规律的基础土 ,对场地方案进行综合评价和比选。

- 2 确定场地方案后 ,应结合工程评价场地的工程地质条件。

- 1)对地表硬壳层提出利用的条件及可能性 ;

- 2)场地有暗塘、暗浜 ,无法避开时应提出工程处理措施意见 ;

表 5.4.6

软 土 试 验 项 目

项目名称 符 号 及 单 位			室内试验项目																				原位测试										土的 PH值	水质 分析											
			物理性质试验										力学性质试验										十字板剪切	静力触探	旁压试验	载荷试验	标贯试验	动力触探	应力铲	扁板侧胀试验															
			天然含水率	天然密度	颗粒密度	天然孔隙比	塑限	液性指数	有机质含量	颗粒分析	击实试验	渗透系数		压缩系统		先期固结压力	固结系数		剪切试验												无侧限抗压强度	灵敏度													
												垂直	水平	垂直	水平		垂直	水平	垂直	水平	夯后快剪	快剪													固结快剪	不固结不排水	固结不排水	固结排水							
																																							直剪	三轴剪切					
工程类别及要求			w	ρ	ρ _s	e	w _L	w _P	I _P	I _L		k _v	k _h	a _v	a _h	P _c	C _v	C _h	τ _q	τ _{eq}	UU	CU	CU	CD	q _u	S _t																			
			%	(g/cm ³)			%			%		(cm/s)	(MP _a ⁻¹)	(kPa)	(cm ² /s)		(kPa)																												
路堤	稳定性	硬 层	+	+	+	+	±	±	±	±											+	(+)	+	(+)	(+)	+	(+)	+	(+)	+	+	+	+	+											
		软土层									±									+	(+)	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
	沉降	硬 层																	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)			(+)					(+)	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+		
		软土层									±								+	+	+	(+)	+	+	+	(+)			(+)					+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+	
	地基加固	硬 层									(±)(±)								+	(+)	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		软土层									±(±)								+	(+)	+		(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	黏性填料																				±							±																	
	砂 料																				±	±																							
路堑	稳定性	硬 层	+	+	+	+	±	±	±	±		(±)	+	+	(+)						+	+	+	+		+	(+)	+	(+)																
		软土层									±(±)	+	+	(+)					+	+	+	+		+	+	+	+		+	+	+	+		+	(+)				(+)(+)						
桥涵、厂房等地基	天然地基	硬 层	+	+	+	+	±	±	±	±					+	(+)	+	+	+		+		+		+	(+)	+	(+)	+	(+)(+)(+)(+)					(+)										
		软土层									(±)				+	(+)	+	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
	桩基	硬 层									(±)		(+)	+	(+)(+)	(+)(+)			+		+			+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
		软土层									±		(+)	+	(+)	(+)(+)	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
	复合地基	硬 层									(±)(±)		(+)	+	(+)	(+)(+)	+		+		+		+		+		+		+		+			+	(+)	+	(+)(+)(+)(+)				+	+			
		软土层									±(±)		(+)	+		(+)(+)	+	+	+		(+)(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		

注 1 本表所列项目考虑了各阶段的需要,实际工作中应根据不同阶段的具体要求和设计的需要选项并有所侧重。

2 室内剪切试验宜以三轴剪切试验为主。

3 有机质含量宜采用灼失量法。

4 “()”表示视需要作。

5 “±”表示可采用扰动土样。

6 有特殊要求的设计项目,还应根据设计的特殊需要选作本表以外的项目

- 3) 建筑物离池塘、河岸、边坡较近时,应判定软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度;
- 4) 当软土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,应判定地基产生滑移和不均匀变形的可能性;
- 5) 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;
- 6) 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其他建筑材料的腐蚀性;
- 7) 软土地基的基本承载力宜采用多种方法综合确定;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、力学参数查附录 A 确定,或采用工程地质类比法确定;对重要建筑物和缺乏经验的地区,宜采用载荷试验方法确定;
- 8) 建筑场地位于地震动峰值加速度为 $0.1g$ 及以上地区时,应判定场地和地基的地震效应;
- 9) 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。

5.5.3 软土地基稳定性评价应符合下列要求:

- 1 场地地基的稳定性评价主要包括滑动稳定性评价和沉降稳定性评价等;
- 2 应根据软土的成层、分布及物理力学性质对影响或危及建筑物使用的不均匀沉降、差异沉降、滑动、变形作出评价,提出加固、处理措施意见;
- 3 软土路堑除应对边坡稳定性和基底沉降变形稳定性作出评价外,还应注意对基底硬层和下伏承压含水层的水压差在施工过程中可能产生的溃涌、潜蚀、流砂,以及动水压力对边坡稳定造成的不利影响作出评价。

5.5.4 对软土地基因施工、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。

5.6 踏 勘

5.6.1 踏勘阶段软土地区工程地质勘察应包括下列内容:

- 1 搜集区域地质、第四纪地质、工程地质、水文地质、地形地貌、气象、地震烈度及遥感图象等资料;
- 2 软土地段应进行现场踏勘,必要时可进行简易勘探、测试工作;
- 3 控制线路方案和重点地段的软土,应了解成因类型、性质、分布范围及其对工程产生的危害;
- 4 对软土地区沿线堤防、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、基础类型、地基处理措施、施工过程、变形及稳定状况;
- 5 对室内遥感解译成果应进行现场核对、修改和补充。

5.6.2 踏勘阶段软土地区资料编制应包括下列内容:

- 1 工程地质说明,重点阐明各方案,尤其是推荐方案和主要比较方案软土的成因类型、特性、特征、分布范围和规律等对线路的影响,对线路方案作出评价,并提出初测软土工作的建议;

2 全线工程地质图 ,比例为 1:50 000 ~ 1:200 000 ,填绘软土的分布范围、成因类型及厚度 ;

3 推荐方案及主要比较方案工程地质图(必要时作) ,比例为 1:10 000 ~ 1:50 000 ;

4 控制线路方案的特别复杂软土地段、重点工程、特大桥等的工程地质平、纵断面示意图。

5.7 初 测

5.7.1 初测阶段软土地区地质调绘应符合下列要求 :

1 查明沿线软土的分布、范围、成因、类型、分布规律、埋藏条件及古河道、暗塘、暗浜的分布、地下水类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件 ;

2 对控制线路方案或需作代表性设计的软土地段 ,应查明软土的层位、层厚、类型、物理、力学、化学、水理特性等工程地质特征 ,初步分析其变形和稳定性 ;

3 地质调绘范围应满足线路方案比选的需要 ,地质条件复杂并控制线路方案选择的软土地段 ,必要时应扩大调绘范围。

5.7.2 初测阶段软土地区勘探和原位测试应符合下列要求 :

1 一般软土地段应以挖深、简便钻探、触探等方法为主 ,每个地貌单元必须有勘探点 ;大面积软土地段每 300m 以内应有勘探点 ;当软土成层复杂 ,变化大及有山间洼地时 ,应适当加密勘探、测试孔。

2 控制线路方案或需作代表性设计的软土地段 ,宜采用静力触探、轻型螺纹钻、十字板剪切试验、物探和钻探等勘探方法进行择优组合。每个断面布置 2 ~ 4 个勘探、测试孔 ,并应有 1 ~ 2 个控制性钻孔。

3 勘探、测试深度应符合第 5.4.3 条的规定。

5.7.3 初测阶段软土地区取样、室内试验项目和试验方法除应满足本规程第 5.4.6 条规定外 ,尚应符合下列要求 :

1 代表性工点应进行硬壳、硬层及每层软土的天然抗剪强度和固结快剪强度、无侧限抗压强度等强度指标测试 ,以及压缩系数、固结系数等土的压缩性指标 ,渗透系数等水理参数测试。

2 采用砂井或塑料排水板加固软土地基 ,应进行水平方向的固结系数测试 ;采用粉体喷射搅拌法或深层搅拌法时 ,应进行软土的化学特性、组分等特性测试。

3 判定软土触变性时 ,应测定灵敏度。

5.7.4 初测阶段软土地区资料编制应包括下列内容 :

1 综合资料

1) 工程地质勘察报告 ,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软土处理意见 ;

2) 全线工程地质图 ,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000 ,填绘软土的分布范围、成因类型及厚度 ;

3) 详细工程地质图 ,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000 ,填绘软土范围界线、成因类型及厚度 ;

4) 沿线工程地质分段说明 ,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 ,尚应对高路堤、桥涵等的地基稳定和沉降及

线路方案与地基处理提出评价和建议。

2 工点资料

- 1) 工程地质说明,应阐明软土的分布范围、分布规律、成因类型、工程地质特征,评价其对工程建筑物的影响及处理措施;
- 2) 工程地质图,比例为 1:500 ~ 1:1 000,填绘软土的分布范围、层位、成因类型、厚度等;
- 3) 代表性工程地质横断面图,比例为 1:200 ~ 1:500;
- 4) 工程地质纵断面图,比例为横 1:500 ~ 1:5 000,竖 1:50 ~ 1:500;
- 5) 硬壳底面或硬层顶面高程等高线图(当硬壳底面、硬层顶面高程起伏、软土厚度变化大,并控制线路方案比选时作),比例为 1:500 ~ 1:5 000;
- 6) 勘探、测试、试验等资料。

5.8 定 测

5.8.1 定测阶段软土地区地质调绘应符合下列要求:

1 详细查明采用方案沿线及各建筑物场地软土地段的分布及其工程地质和水文地质条件。

2 路基工程应沿线路中线,以横断面为主进行地质调绘。重点调查路基横向范围内硬壳、硬层及软土的厚度、埋藏深度的变化。确定路基基底的稳定性,边坡结构形式和坡度。

对路堤高度大于设计临界高度的工点,必须搜集稳定分析、沉降计算和采取加固处理措施所需的软土地基的分层、物理、力学、化学、水理性质参数;对于已确定存在沉降和稳定问题的高填路堤,应提供地基处理方案,应落实有关地层层位、层厚、岩土类别、分布范围。

3 桥涵工程应以桥址的纵断面为主进行地质调绘,下卧硬层顶面坡度较大的桥梁墩台地基,应同时进行横断面的调绘。

应查明桥址的工程地质条件,提供稳定分析、沉降计算和采取加固处理措施所需的软土地基分层、侧壁摩阻力、桩端阻力等物理、力学、化学、水理性质参数,评价地基稳定性和变形,并提出处理意见。

4 房屋等建筑工程

- 1) 查明软土分布的厚度变化及其物理力学性质,为可能造成地基不均匀沉降和变形分析提供依据;
- 2) 查明软土硬壳厚度及物理力学性质,分析作为天然地基的可能性;
- 3) 建筑物需采用人工地基时,应搜集软土地基物理力学参数,提出软土地基进行处理或加固的措施意见。

5.8.2 定测阶段软土地区勘探应符合下列要求:

1 路基工程

- 1) 长度小于 50m 的工点,应有一个勘探、测试横断面;
- 2) 长度 50 ~ 300m 的工点,应有 2 ~ 3 个勘探、测试横断面;
- 3) 长度大于 300m 的工点,勘探、测试横断面不应少于 3 个,较长和软土成层复杂

的工点尚应结合软土地质情况适当增加勘探、测试断面；

- 4) 勘探、测试横断面应有一定的代表性,每一横断面应有 2~4 个勘探、测试孔；
- 5) 每个工点勘探、测试孔总量中,钻孔不宜少于 1/3,重点工程应有一定数量的控制性钻孔,不宜少于 2 个。

2 小桥涵工程

- 1) 每座涵洞应有一个钻探或原位测试孔,小桥、较长的涵洞,勘探测试孔不宜少于 2 个；
- 2) 勘探、测试深度宜进入硬层不少于 2m,若硬层埋藏较深,则小桥的勘探、测试深度不宜小于 15m,涵洞不宜小于 8m,采用桩基础或其他深层加固方法处理软土地基的小桥涵工程,勘探、测试深度应至持力层或桩尖以下 5~6m,并不小于沉降计算深度。

3 大中桥、特大桥工程

- 1) 原则上每个墩台应有一个勘探、测试孔,但当软土地层简单、厚度变化不大、层次有规律、下卧硬层顶面坡度平缓时,可结合桥跨、基础类型等酌情减少,而当软土层的下卧硬层顶面坡度较大时,则每个桥台、桥墩的勘探、测试孔不应少于 2 个；
- 2) 勘探、测试深度,应符合本规程第 5.4.3 条的要求；
- 3) 附属工程的地基,可参照桥位工程地质资料进行类比,需要时,可采用钎探、静力触探、简易勘探等配合进行。

4 房屋等建筑工程

- 1) 房屋等建筑物的勘探、测试孔,可按建筑物周边或建筑群布置,间距宜为 25~45m,对面积小而荷重大或重心高的建筑物应单独布置,勘探、测试孔的数量应按表 5.8.2 执行；
- 2) 勘探、测试孔深度宜按地基沉降计算深度确定,有特殊要求时应适当加深。

表 5.8.2 勘探、测试孔数量

建 筑 物 名 称	孔 数
各种车库、动力车间、发电厂、1 000 人以上站房、5~6 层楼房	4~10
地道、天桥、信号楼、风雨棚、修配车间、3~4 层楼房、400~1 000 人站房	2~6
水鹤、给砂塔、煤塔、照明塔、灰坑、地磅、油罐、轨道衡、转车盘、水塔、烟囱(高 15~40m)	1~3

5.8.3 定测阶段软土地区资料编制应包括下列内容：

1 综合资料

- 1) 工程地质勘察报告,重点说明软土地基的特点与分布规律、物理、力学性质对各类工程建筑物稳定、变形的影响,并对方案的适宜性作出评价,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；
- 2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000~1:200 000,根据各类工点的工程地质资料,补充、修改；
- 3) 详细工程地质图,比例为 1:2 000~1:5 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改；

4)详细工程地质纵断面图,比例为横 1:10 000,竖 1:100 ~ 1:1 000,与线路详细纵断面图合并或单独绘制。

2 各类建筑物的工程地质资料与初测工点的要求相同。

5.9 改建铁路

5.9.1 软土地区改建铁路的选线应符合下列要求:

- 1 应不影响既有线的稳定,并有利于既有线软土地基病害的整治;
- 2 增建第二线宜选在硬层顶面下坡的一侧。

5.9.2 软土地区改建铁路工程地质勘察应包括下列内容:

- 1 搜集既有铁路勘察、设计、施工及运营期间积累的地质资料;
- 2 调查分析既有线的病害类型、产生原因、发展状况、整治效果,提出改建通过部位、方式和工程措施意见;
- 3 查明既有线及附近建筑物的工程地质条件,以及变形破坏的现象并分析其原因;
- 4 查明改建地段软土地基的工程特性,搜集新建、改建和加固处理建筑物所需地质资料;
- 5 查明既有路基填土类别、断面特征、天然含水率变化、稳定状况、地基沉降发展状况和剩余沉降量。

5.9.3 改建铁路的勘探、测试工作,应在利用既有资料的基础上,参照新建铁路勘探、测试的要求办理。

5.9.4 改建铁路的资料编制应符合新建铁路不同阶段的有关要求,并应包括下列内容:

- 1 工程地质勘察报告,重点说明改建线路方案位置选择的依据,新建工程的地质条件,各类建筑物的软土地基处理措施和现状,结合改建和增建工程提出对既有软土病害进行综合治理的意见;
- 2 工程地质图按新建铁路工程地质勘察的有关规定编制;
- 3 详细及放大工程地质纵断面,在工程地质特征栏内,除应阐明改建及增建地段软土工程地质条件外,尚应阐明既有工程的稳定情况和病害整治措施及效果;
- 4 病害调查表。

第二节 软土条文说明

5.1.2 铁路工程界所谓的“软土”泛指软黏性土、淤泥质土、淤泥和泥炭质土、泥炭等几种类型的软弱土类。它们的成因主要为冲积、湖积、海洋沉积和生物沉积。

软黏性土、淤泥质土和淤泥是在静水或缓慢的流水环境中沉积的以细粒土为主的沉积物。它们的成因类型、结构及土层构造虽然不同,但都具有含水率高、孔隙比大、含有机质、成分不均等特征,其工程性质表现为低渗透性、高灵敏度、高压缩性、强度低、流变性。

泥炭和泥炭质土主要是由水生植物的腐烂或半腐烂的纤维质组成,其水平成层、成分、结构及物理、力学性质具有其特殊性。大多数泥炭仍然保留了粗糙的植物结构,因骨

架疏松而具有的压缩性远高于上述三类土,而渗透性又远较其他类型的软土高。在荷载作用下,泥炭常因其中的自由水能较快地排出而压缩并强度增长。其破坏机理也与其他软土不尽相同,工程处理措施也有其特点。

我国铁路建设经常遇到的软土是软黏性土、淤泥质土和淤泥,所遇到的泥炭和泥炭质土一般较少且范围较小、深度也较浅(一般不超过5~6m),更多的情况是与其他类型的软土共生,成夹层或透镜体状分布,在大面积的泥炭沼泽地进行铁路工程地质勘察的经验也很少。本规程主要是针对软黏性土、淤泥质土和淤泥,泥炭和泥炭质土作为一种软弱地基,其选线原则、工程地质勘察的目的、要求、内容与其他类型软土有相似之处,其工程地质勘察工作可借鉴本规程,但应根据泥炭和泥炭质土有别于其他类型软土的特性,采取相应的勘探、测试手段。

软粉土承载力低,其判定指标、设计理论、稳定计算和沉降计算理论及处理措施等方面的研究还很不成熟,还需在工作中进一步积累经验,加强研究。目前,基于实际需要,可参照软土开展工作,但由于软土存在的问题主要是沉降和稳定问题,而软粉土存在的问题主要是稳定问题,另外还要根据地震动参数考虑地震液化问题,因此,应注意软粉土有别于软土的特性,采取相应的勘探、测试手段。

5.2.1 厚度大、分布广的软土地区处理难度大、费用高,对线路的危害大,技术要求高,耗资大,甚至留下难以根除的隐患,因此,应尽量绕避,即使绕避方案费用略高,也宜绕避。必须穿越或可以穿越时,应避重就轻,充分利用地质条件,降低处理难度,减少工程隐患。

5.2.3 软土地区地下水位高,若采用路堑形式,则堑坡稳定、基床处理等的费用会很大,且施工、运营养护也困难,故应避免。有条件时,路堤高度控制在设计临界高度以内可使地基加固处理大为减少。

临界高度:在软黏土地层的土坡稳定性分析的近似方法中,泰勒(Taylor)的稳定数图解法为土坡的临界高度提供了近似解。该法假设土坡和地基土为 $\varphi=0$ 的同一均质土,即土坡和地基土的重度 γ 、不排水抗剪强度 C_u 均相同。当软黏土深厚(地基部分的软黏土厚度与土坡部分的高度之比大于3)时,该方法临界坡高 H_c 的解与费兰纽斯(Fellenius)的解一样,即

$$H_c = 5.52C_u/\gamma$$

该式表明,此时的临界坡高仅与土坡所在地层的 C_u 、 γ 有关,且临界坡高时地面上的接触应力 $H_c \cdot \gamma$ 刚好为软土的极限承载力 $5.52C_u$ 。

上式中的系数5.52即为软土深厚时的泰勒稳定数图解法的稳定数 N_s 。如果地基部分的厚度与坡高之比在0.5~3时,则基底圆(软土路堤地基破坏时的滑动圆弧型式)的稳定数 N_s 与土坡坡率有关而大于5.52。

显然,将上述均质软黏土层中挖方土坡的稳定性分析解得的临界坡高 H_c 引伸到均质软黏土地基上另填一种与地基软土的 C_u 、 γ 均不相同的土堤临界高度上来,必然存在差异,但目前在路内一般都认为利用稳定数图解法估算软土地基上路堤的临界高度是完全可以的,这时上述算式中的 γ 为填土的重度, C_u 则为地基软土的不排水抗剪强度,其估算结果是偏安全的。

临界高度 H_c 主要取决于软土的极限承载力,而实际工程中,不可能让软土地基处于

这种极限平衡状态 ,临界高度不能直接作为线路纵断面设计的依据 ,而应该用设计临界高度来控制 ,因而 H_c 仅在踏勘、初测阶段的选线和方案比选时有一定的参考价值。设计临界高度可由稳定检算来确定 ,如果建筑物对沉降或后期沉降的要求较严 ,则必须同时考虑沉降的影响。

5.3.2 软土地区地质调绘的内容：

2 软土的分布范围指沿平面、深度的产出、变化等特征。

地貌的变化在很大程度上反映了地质情况的变化 ,特别是微地貌 ,往往是地层变化或软土分布在地表上的反映(例如 :在平原区地貌突变处 ,有可能有暗埋湖塘、洼浜或古河道) ,因此 ,注意微地貌的变化和在其异常处布置勘探点。

3 查明软土的成因类型(说明表 5.3.2-1) ,硬壳和软土的固结状态 ,可能埋藏的古软土层 ,对分析各类工程的稳定和变形具有重要意义。

不同成因的软土 ,由于其沉积环境不同 ,其分布范围、层位的稳定性、土层的厚度均有其特点。例如湖泊盆地中部的沉积软土 ,在较大范围内层位稳定 ,厚度也较大 ,具有反映季节变化的微层理 ,呈各向异性特征 ,而在湖盆边缘 ,则在软黏土层中会夹有较粗颗粒的沉积或间夹有坡积层 ,软土层厚度也较薄。在山区山前地带 ,软土成层条件复杂 ,要特别注意下伏基岩顶面的起伏和坡度 ,它对地基的抗滑稳定性和沉降特性的评价具有重要意义。滨海相的软土渗透系数相对较高 ,采用排水砂垫层就有可能满足路堤的稳定要求 ,而三角洲相软土的成层条件常使其水平渗透系数远大于垂直渗透系数 ,因而砂井或塑料排水板更为有效。因此 ,查明软土的成因类型及其特点有助于地基加固措施的选择。

说明表 5.3.2-1 软土的成因类型

地 貌 特 征	成因类型	沉 积 特 征
滨海平原	滨海相	土质不均匀、极疏松 ,具交错层理 ,常与砂砾层混杂 ,砂砾分选、磨圆度好 ,有时也有生物贝壳及其碎片局部富集
	泻湖相	颗粒细、孔隙比大、强度低 ,显示水平纹层 ,交错层不发育 ,常夹有泥炭薄层
	溺谷相	孔隙比大、结构疏松、含水量高
	三角洲相	分选性差 ,结构疏松、多交错层理 ,多粉砂薄层
湖积平原	湖相	沉积物中粉土颗粒成分高 ,季节韵律带状层理 ,结构松软 ,表层硬壳厚离不规律
河流冲积平原	河漫滩相	沉积物成层情况较复杂 ,呈特殊的洪水层理 ,成分不均一 ,以淤泥及软黏性土为主 ,间与砂或泥炭互层
	牛轭湖相	沉积物成层情况较复杂 ,成分不均一 ,以淤泥及软黏性土为主 ,间与砂或泥炭互层 ,下部含有各种植物物质和软体动物贝壳
山间谷地	谷地相	软土呈片状、带状分布、靠山边浅 ,谷地中心深 ,厚度变化大。颗粒由山前到谷地中心逐渐变细。下伏硬层坡度较大
泥沼泽地	沼泽相	以泥炭沉积为主 ,且常出露于地表。孔隙极大 ,富有弹性。下部有淤泥层或薄层淤泥与泥炭互层

我国主要软土地区的物理、力学性质指标如表说明 5.3.2－2 所示。

说明表 5.3.2－2 我国沿海地区典型软黏土的物理、力学指标
(魏汝龙,1987)

土类	地区	含水率 w (%)	重度 γ (kN/m ³)	孔隙比 e	液限 w_L (%)	塑限 w_p (%)	塑性指数 I_p	渗透系数 k ($\times 10^{-7}$ cm/s)	颗粒组成			压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ (MPa ⁻¹)
									砂粒	粉粒	黏粒	
淤泥	天津	71	15.9	1.98	58	31	27	0.1			45	1.53
	连云港	72	15.7	2.03	53	25	28				40~50	1.83
	温岭	56	16.7	1.68	51	26	25				54	1.58
	温州	63	16.2	1.79	53	23	30					1.93
	福州	68	15.0	1.87	54	25	29	0.8				2.03
	厦门	87	14.8	2.42	60	32	28		7	45	48	1.90
	深圳	83	15.2	2.23	54	30	24	0.4	8	42	50	2.19
	湛江	88	14.9	2.39	55	28	27	0.4				2.09
淤泥质黏土	天津	46	17.6	1.30	42	21	21	1				
	连云港	45	17.4	1.29	47	23	24					0.91
	上海	59	17.3	1.40	42	22	20	6				1.24
	杭州	47	17.3	1.34	41	22	19					
	舟山	51	17.3	1.38	40	21	19	3	6	58	36	0.86
	宁波	50	17.0	1.42	45	25	20	1				0.95
	镇海	47	17.5	1.31	40	20	20		5	55	40	0.97
	温岭	50	17.3	1.28	40	21	19				35	1.16
	温州	42	17.1	1.17	41	20	21	5				
	湛江	51	17.2	1.34	51 ~ 60	26 ~ 28	25 ~ 32					
淤泥质粉质黏土	天津	39	18.1	1.07	34	19	15					0.65
	上海	37	18.3	1.03	34	21	13	20				0.72
	杭州	35	18.4	1.02	33	18	15					
	舟山	36	18.6	1.03	34	20	14	15	4	62	34	0.65
	宁波	38	18.0	1.08	36	21	15					0.72
	镇海	40	18.1	1.10	38	24	14		4	63	33	0.66
淤泥混沙	深圳	32	18.5	0.90	34	21	13					0.50
	(五湾)											
	深圳	39	18.1	1.05	33	19	14		52	15	33	0.78
	(赤湾)											
	湛江	41	17.8	1.14	33	20	13					

我国各地的软土地层多数是处在正常固结状态,也有一些古软土层或由于上覆地层的剥蚀,或由于曾被冰川覆盖,或因风化作用形成了软土层风化壳,还有的曾经作过建筑物的地基等,都可能因先期固结压力大于现有土层的有效自重应力而表现为超固结。而海底新近沉积黏性土、新近吹填土以及地下水位降低不久的地区,因有效自重应力往往只

有部分转化为有效应力而尚未完成固结,故显示为欠固结状态。不同固结历史的软土的应力应变关系的特征不同,因此,为了正确估计软土地基的抗剪强度等力学性质和进行正确的沉降、稳定计算,正确判断软土的固结(压密)状态是非常重要的。

先期固结压力是反映土层固结特性的一个重要指标,先期固结压力前后,软土的变形特性有很大不同,因此,先期固结压力 P_c 是反映地基土应力历史和判别地基土压密程度的重要指标。先期固结压力 P_c 的确定可采用卡萨格兰地经验图解法进行近似估计。

本款中水理特性是指土体宏观渗透性(水平方向和深度方向),调查地下水补给排泄条件是为了判断地表水及地下水的排除或疏干的可能性。

在进行地基处理方案选择时,还应取得软土的组分和化学特性等。化学特性是指软土的 pH 值、离子交换吸附量、可溶盐(氯化物、硫酸盐等)含量的化学特性,组分是指有机物的类型及含量、黏土矿物的种类及含量、颗粒组成(尤其是较粗颗粒的含量)等。

5.4.1 软土地区的勘探应在地质调绘的基础上进行,地质调绘是布置和安排各项勘察工作的依据。通过地质调绘,既掌握了区域性的工程地质条件,又明确了场地地质条件,从而使工程地质勘探有的放矢,收到经济、合理、高效的效果。勘察内容和方法应根据勘察阶段、工程类别、满足设计的要求来确定。

(1)勘探(简易勘探、挖探、钻探等)和原位测试(静力触探、十字板剪切试验、旁压试验、螺旋板载荷试验等)应在地质调绘的基础上综合运用,一般情况下,宜先采用简易勘探、静力触探,再布置钻探、十字板剪切试验等。

(2)踏勘的工程地质勘察工作,应在搜集已有的地质资料的基础上,以地质调绘为主,并进行必要的勘探、测试工作。勘探、测试主要利用简易勘探方法和物探,必要时布置钻探。

(3)初测所采用的勘察方法主要为地质调绘及综合勘探。一般情况下,如果地形地质条件适宜时,应充分发挥物探的作用,并以此指导勘探、测试工作。

(4)定测的勘察方法主要是以钻探、原位测试与室内试验为主,必要时进行物探、地质调绘工作,以详细查明工程地质条件。

(5)施工、运营中的补充工程地质勘察是针对个别路段的方案或建筑物的位置、形式、埋深及处理方案等的变动或病害处理,以及对所增加的新项目进行的,勘察方法以勘探、测试为主。

对于各种勘探、测试方法,在有经验的地区,宜结合当地经验进行。

(6)一般第四系地层之间,例如黏砂土与砂黏土、细砂与中砂的电阻率、弹性波传播速度等物理性质差异较小,但砂卵石层、黏土层、软土层等与其他第四系地层比较,物理性质有较大差别,所以,当它们有足够厚度时是可以采用物探方法进行探测的,尤其是在丘陵和山间谷地的软土分布区以及为查明古河道、古牛轭湖、埋藏谷、溺谷及暗埋的塘、浜、沟、渠的范围时,应充分发挥物探的作用。

5.4.2 为达到经济合理的目的,钻探孔按技术要求可分为一般性钻孔和控制性钻孔。控制性钻孔是为详细取得地基勘探资料的钻孔,应布置在地貌、地质构造、地层变化大、有代表性或控制稳定检算、沉降计算断面等重要部位,其深度应达到所要求的最大深度,并在其中连续取原状土样,以便安排土工试验。控制性钻孔约占钻孔总数的 1/3。一般性钻

孔,多布置在地层分层和性质基本掌握的地方或视需要布置,在深度和取样数量要求上都低于控制性钻孔。总之,在某一勘察范围内,控制性钻孔和一般性钻孔在空间设置上和施钻顺序上要配合得当,以使用较少的勘探量获得较多的资料。

5.4.3 压缩层的计算深度即地基土在竖向荷载作用下,产生固结压缩的计算范围,其上限,对路堤来说为原地面,对桥涵等建筑物来说则为基础底面。其下限,亦即压缩层的计算深度 Z_n ,则视地层具体情况而定。目前压缩层的计算深度的确定有两种方法:应变比法和应力比法。应变比法实际上仍受“下部仍有较软土层”的控制,软土深厚时,也不能确定“应继续计算”到什么深度为止,在这种情况下,由于继续计算的变形比值进一步趋小,即使仍用应变比计算公式的计算来控制,也已经没有意义。应力比法确定压缩层计算深度则容易掌握,可操作性强,且该深度处引起压缩变形的附加应力仅为土层有效自重应力的10%~20%,产生的压缩量已经很小,常能同时满足应变比法的控制要求。因此,压缩层计算深度宜用应力比法控制,在实际工作中,软土地基计算压缩层的计算深度可作如下控制:

(1)对于均质厚层软土,软土地基附加应力为自重应力的比例为0.1~0.15时相应的深度;

(2)对于非均质分布的软土地层,软土地基附加应力为自重应力的比例为0.15~0.2时相应的深度,如果在影响深度范围内,软土层下出现有密实或硬塑的下卧硬层(如半坚硬黏土层等硬土层、砂层等)或岩质底板时,在查明其性质并确定有一定厚度后,可不再继续计算。

(3)对长路堤可用上限,对桥头路堤或构造物基础宜选用下限。

压缩层计算中应注意:对可透水性饱和土层的自重应力应用浮重度;当软土地基不均匀时,所确定的计算深度下如果还有软土层,则应继续向下计算,以避免计算深度下的软土层的变形使总变形量超过允许变形值。

对于一般断面的路堤,堤高3~9m时,地基压缩层的计算深度约为路堤高度的6~12倍(倍数随堤高而趋小),沉降计算所要求的勘探深度远较稳定检算所要求的深,因此,软土深厚或建筑物对沉降要求严格时,应有部分钻孔布置在控制沉降的地段,尤其是在定测阶段。

5.4.4

1 由于钻探的工时和费用相对较高,应做到一孔多用,钻孔直径的大小取决于采样或有利于原位测试工作的需要。

2 取样操作宜优先采用压入法,采用下击式重锤少击法时,应有导向装置,以免土样扰动。软土取样应用薄壁取样器,最好用连续式。在重复使用取土盒时,应注意保持其完整,将粘附在盒内外的蜡、土或锈斑予以清除。

3 为取原状土样,应以取土环刀决定孔径。目前,国内压缩试验取土环刀内径大者为79.8mm,小者61.8mm,若考虑土样周边扰动,取土器内径不宜小于89mm,因此,钻孔孔径不宜小于108mm。

在钻孔中进行触探试验和十字板剪切试验,孔径应与触探探头、标贯器($\phi 15\text{mm}$)、锥探头的外径($\phi 74\text{mm}$)、十字板最大直径($\phi 75\text{mm}$)相适应,一般在小于 $\phi 89\text{mm}$ 的孔径就可

满足试验要求。

4 钻探过程中必须采取防止地基土层结构发生变化的措施,如:控制钻进转速与给进加压力,取样前的钻进应在距取样顶部的适当距离停泵泥浆,清理孔内沉淀物。

6 钻孔取样时,如果尚未能准确掌握软土层分层位置及厚度,取样间距可按以下要求控制:地面下 10m 以内,每 1~1.5m 取样一组;10m 以下每 1.5~2m 取样一组。

5.4.5 原状土样也可以通过上提活阀式取土器或国内生产的某些薄壁取土器均可利用取土器端部的管靴(环刀)或紧靠取样筒(土样筒)外的多余原状土进行一定的鉴别,如土样周边扰动带的宽度、微层理是否平直、有无泥浆渗入、腐植物所形成的孔隙的挤压等。

5.4.6

1 室内试验应以现场和工程的具体情况为依据,以测试结果为基础,以土力学的基本理论为指导,并以数理统计等分析方法为工具,取得合适的参数。对天然含水率、重度、密度、颗粒组成、液限、塑限等作为确定土质分类或阐明其物理、力学特性的一般土质特性指标,由于其离散性较小,通常可以采用平均值,并计算相应的标准差和变异系数或绝对误差与精度指标;对于试验成果中的异常数据,在调查、分析、研究的基础上,以 3 倍的标准差作为舍弃标准。

对于凝聚力、内摩擦角、压缩系数、固结系数、压缩和回弹模量等稳定性、变形计算指标,由于仪器误差、试验理论和土力学理论本身的不完善、土体自身的不均匀性和力学性质的非线性、施工质量等原因,变异性较大。当试样组数较多时,可采用算术平均值;当试样组数较少时,考虑到构造物的重要性与勘察阶段的不同,为安全计,对初步设计或次要建筑物,可采用算术平均值;对定测阶段或重要建筑物,应根据试样组数的多少、土质的均匀程度、取样质量、试验水平等影响因素,以数理统计为分析手段,取保证率平均值,以满足施工图设计的需要。对于施工图阶段的路堤或初步设计阶段的大、中建筑物以及桥头路堤,指标的采用应视其不利影响,采用略高于或低于算术平均值(如抗剪强度、压缩模量取低值;压缩系数、变形量取高值),作为计算指标。其高于或低于算术平均值的幅度,应视测定次数的多少、土质不均匀程度或建筑物的重要程度而定,也可采用算术平均值加(或减)一个标准差;为提高指标的可信度,应向以保证率确定指标的方向努力。

2 为了满足设计中对工后沉降计算和高路堤设计的需要,本条款增加了“在每一地貌单元应有代表性高压固结试验,必要时进行次固结试验”内容。

3 原状土样应及时进行室内试验,以免长期存放导致水分的流失和蒸发以及低温下样品中孔隙水的冻结膨胀、融解,导致的试验结果失真。因此,样品存放期或不宜超过 3d。夏季原状土样应挖坑放置,冬季应严防受冻。

5.4.7 在软土地区应充分采用静力触探测定软土层在天然结构下的物理、力学性能,划分地层层次。按应用性质,静力触探孔也可分为参数孔和控制性孔。参数孔主要是作为与钻孔或深探坑对比,取得地基土土层性质与结构状态,供分析解释静力触探指标地质层性质的测试孔。控制性孔是将测试指标与参数孔对比后作出地质层解释的静力触探孔。

由于软土钻探采取原状土样比较困难,取土后又容易受震动失水,致使室内试验数据不准,而采用十字板剪切试验可以弥补这一缺陷,所以,为测定软土层在不排水状态下的抗剪强度指标应采用十字板剪切试验。

目前国内生产的旁压仪压力较小,测试深度限于 25m 以内,适用于测定浅层黏性土的力学性能。旁压试验点的布置应在了解地层剖面的基础上进行,最好先作触探或标贯,以便将其合理地布置在代表性位置上。

代表性的软土地段、大型枢纽等工程,勘探、测试的工作量相对集中,软土的成因类型相对单一,所以,某一勘测范围内静力触探和钻孔取样试验对比,以及与其他原位测试结果对比,验证相关经验公式在此范围内的可靠程度,将使各勘探方法的各自优势得到充分发挥,并保证勘探、测试结果的可靠性。

为避免对比试验的相互影响,静力触探和其他对比孔的间距不应小于已有孔孔径的 25 倍。但为保证对比试验的同等条件,孔间距又不宜过大,所以,先进行静力触探可减小孔间距,有利于试验的对比。

原位测试进行软土地基的勘探、测试虽然具有显著的优越性,但目前还只能通过各种相关方程的建立来提供软土的物理力学指标。所以,在有经验的地区,应充分利用当地的有关规则、规定和经验公式,以保证勘探结果的可靠性。

5.5.3 当用理论公式确定地基承载力时,建议采用临塑荷载公式,即不考虑基础宽度对地基承载力的影响,这是由于加宽荷载分布宽度将会增加深层的附加应力,从而增加深层软土的变形,从变形控制的角度来看是非常不利的。

5.7.1 为达到合理选择场地和正确确定设计方案的目的,本阶段工程地质勘察工作任务的重点是初步查明对工程方案优劣起控制作用的因素(主要是地基稳定性、沉降等),使选定场地和确定设计方案有充分的依据,避免在定测时出现不同的结论。

分布规律包括软土的分层情况及相变特征。埋藏条件包括地表硬壳层分布、厚度、下卧硬层或基岩的埋藏及顶面起伏情况。

3 初测阶段为了正确选定软土地区的线路通过方案,必要时,需扩大调绘面积。调绘宽度除应满足现行有关规范外,还应注意:

滨海平原、湖积平原、河流冲积平原的软土地区,在分析研究软土成因类型、分布的宏观规律的基础上,根据线路选线和不遗漏方案的需要确定。

山间谷地的软土地区和泥沼地区,为使线路选择合适位置和最佳跨越方案,调绘宽度宜包括谷地或泥沼范围,如果谷地、泥沼过大,可在充分研究既有资料的基础上,结合选线的需要确定。

特大桥、特别复杂的桥和处理困难的路基地段,其调绘范围和宽度应满足工程选址方案的需要。

一般场地的地质调绘宽度可控制在沿线两侧各为 100 ~ 200m 的宽度,当场地条件复杂,为合理确定线路或建筑物的位置、方案和处理措施,就不能局限于工程可能布设的位置,而应以查明软土及其对工程方案的影响、满足路线方案的选择、工程设计的需要和处理要求为原则,根据实际需要适当扩大,但在整个勘察范围内,勘察精度可视具体需要而定,不必强求一致。

5.7.2 软土工程地质勘察应采用综合勘探测试手段。但对不同的工作内容(如大面积方案比选、初步查明控制方案地段软土的工程地质条件等),针对其目的和要求,勘探、测试手段宜有所侧重。

原位测试,尤其是静力触探,是快速的现场勘探方法,在对软土地层的触探过程中,能连续反映土层的力学性质,并有较高的敏感性,特别是土层成层情况复杂时,对微层的判别与划分有较高的准确度。故对软土的判别和对软土地基进行力学分层,静力触探具有明显的优越性。再者由于贯入阻力小,触探深度可以达到 40m 或更深一些,工效高而费用较省。同时,静力触探对钻孔的布置和调整,确定采取原状土样的重点部位均有指导作用。为充分发挥其作用,在勘探量上应予保证,为此,初测阶段应将它作为主要的勘探、测试手段,而定测阶段的工点勘探、测试总量中,一般静力触探不少于 1/3。

钻探是取得软土分布特征及物理力学性质指标的重要手段。虽然原位测试能提供部分物理力学指标,钻探采取原状土样也难于绝对避免对饱和土原状结构的扰动,但就勘测设计现状而言,取得软土的物理力学指标仍然有赖于原状土样的室内土工试验。同时,原位测试和室内土工试验的成果也需要相互验证、补充,论证数据的可靠。所以,钻探仍是铁路软土工程地质勘测的重要手段。因此,初测阶段在充分发挥静力触探的前提下,在控制线路方案的地段,需作代表性设计的地段或重要建筑物的代表性勘探断面上,要求钻探控制在 1~2 孔。由于钻探量已控制得较小,又要求取得初测阶段必需的物理力学性质指标,以及便于定测阶段对初测钻探成果的利用,故要求初测钻探以技术孔为主。而在定测阶段的工点勘探、测试总量中,钻探则应有一定的比重,一般控制在 1/3 左右。

桥位钻探一般沿桥轴线或在其两侧布置,原则上应布置在地貌、地层变化大而又具有代表性意义的点,有条件时,可结合桥型方案的墩(台)位置布置。

初测期间路堤高度、基础类型并不一定能准确确定,对较均匀的厚层软土的勘探深度应达到预估的地基附加应力与地基土自重应力比为 0.1~0.15 时所对应的深度,当难以预估附加应力大小或处于桥头较高路堤位置时,建设控制性钻孔深度宜为 40m 左右,一般情况下,此值相当于 4m 左右的路堤高度的地基附加应力。

5.7.3 初测阶段的室内土工试验应充分考虑可能的地基加固方案所必需的主要物理力学性质指标的取得,以便进行方案的可行性和经济技术的比较。为此,试验项目宜考虑得全面一些。

5.7.4 在资料整编前,应对各类原始资料进行检查,以确保资料无遗漏并保证其正确性。成果资料和主要部分应在现场完成,以便能及时发现问题,在现场核实补充。

(1)地质调绘、勘探、测试等原始资料应记录清楚,及时整理,并经复核检查。

(2)主要图件的底图和文字报告的主要内容应在现场完成并经自检、复查无误。

(3)成果资料内容必须齐全、完整、签署完备,按要求分类整理,符合存档要求。

(4)资料整理时,勘探、测试结果各关系图的纵、横比例尺以较明显地表示出相关关系为宜,但同一类曲线的比例尺应力求统一,以易于进行相互比较。

5.8

定测工程地质勘察是初测工作的继续,它是在建设原则、设计方案、技术要求已明确的情况下进行的,具有鲜明的针对性,因此,勘察工作应根据初步设计的需要、可能采用的方案,按不同建筑物的具体要求并结合地质条件确定勘察内容、工作量和勘察手段,提供所需的详细工程地质资料和各项参数。在勘察过程中,勘察、设计应密切配合,根据地质条件的变化和设计的变动,及时调整勘察工作。

在工程地质勘察中,为设计提供的地质资料常常是简化的地质断面图,以此代替实际地质调绘与钻探记录;用平均指标综合取代试验成果。在场地条件越复杂的地区,这种简化和平均与实际的偏离越大。原位测试能在现场直接测试实际的土力学指标,所以本阶段应加强原位测试工作,以测定土的工程特性,提供可靠的设计参数。

对于天然含水率大于液限或在自重应力下不能保持原有结构形态的软黏土,以及为检验用室内抗剪强度试验指标计算稳定性的结果时,进行十字板剪切试验,以取得现场软土不排水抗剪强度及灵敏度指标。

5.8.2 软土地区定测阶段勘探应符合下列要求:

2 小桥涵工程的墩(台)锚、桩位的地基承载力是由室内试验的参数得出的。由于取样是代表性试样,具有局限性,原位测试可以弥补钻孔取样非全孔段取样的局限。原位测试成果一般都比室内试验成果直观,通过二者成果的分析对比,可以为设计提供更可靠的参化。

3 大中桥、特大桥工程,如桥跨小、墩台多,可以配合原位测试,隔墩(桩)布置钻孔。对跨径大的特大桥,基础形式为群桩深基础或沉井基础,每个墩台除配合原位测试外,还要适当增加布孔,一般布置2~3个钻孔。在墩(台)锚、桩处的钻孔,与原位测试工作相配合。当隔墩(桩)钻探时,在无钻孔的墩(桩)处需进行原位测试。

对于附属工程的工程地质勘探应视其地质情况而定,若与墩台一致时,可考虑参考该墩台的工程地质条件,提供设计所需的工程地质资料,若距离过远时,可适当布置勘探。

第六章 盐渍土及其条文说明

第一节 盐渍土

6.1 一般规定

6.1.1 遇埋藏较浅、矿化度较高的地下水沿土的毛细孔隙上升并不断蒸发,在表层 1m 内土层易溶盐的平均含盐量大于 0.5%,形成吸湿、膨胀、溶陷等工程特性,影响路基稳定、腐蚀建筑物等不良作用的特殊地层时,应按盐渍土进行勘察。

6.1.2 盐渍土地区的工程地质勘察,宜选择在最潮湿的季节测定含水率,在最干旱的季节(盐分积聚旺盛期)测定含盐量。

6.2 工程地质选线

6.2.1 盐渍土地区工程地质选线应符合下列原则:

1 线路应绕避强、超盐渍土地带,特别是硫酸盐渍土、碱性盐渍土发育地段,宜选择在排水条件较好,土中含盐量低及盐渍土分布范围小的部位;

2 线路应绕避低洼潮湿、地下水位高、水质矿化度高的盐沼地段,宜选择在地势较高、盐渍土处理工程简易地段通过;

3 当线路以路堤通过时,应根据当地冻前最高地下水位、基底及填土的毛细水强烈上升高度、最大冻结深度等因素,确定路堤的最小高度值及采取的工程措施。

6.2.2 在不同地貌单元和地形条件下,线路位置的选择应符合下列要求:

1 山前倾斜平原区,当线路通过山前倾斜平原前缘时,宜选择在灌丛沙堆与盐渍土的过渡地带;

2 盆地区,宜利用微地形条件,结合盐渍土的类型,宜选择在地面较高,盐渍化程度较轻的氯盐渍土地段;

3 河谷区,线路宜选择在有利于排水的一侧;

4 平原区,线路宜绕避积水洼地、水库、背河洼地(地上悬河两岸之洼地)等受地下水危害和地下水位较高的地段;

5 滨海区,线路宜绕避盐田、咸水区、虾池、鱼塘等,在软土和盐渍土共生地段,应在满足软土选线要求的同时,一并考虑对盐渍土的处理。

6.3 地质调绘

6.3.1 盐渍土地区地质调绘宜采用遥感图像解译和地面调绘相结合的方法,查明盐渍土的分布范围、岩性、含盐程度和性质、地下水的埋藏条件和地表水积聚、排泄条件。

6.3.2 盐渍土地区地质调绘前应搜集下列资料：

- 1 区域地质、地形地貌、第四纪地质、水文地质、区域遥感图象及既有解译资料；
- 2 气温、地温、湿度、降雨量、蒸发量、土的最大冻结深度和初终期、干燥度等主要气象资料；
- 3 水文和水利工程方面的资料；
- 4 盐碱资源开发及群众治盐改土的方法和经验，以及当地工程建设方面的经验。

6.3.3 盐渍土地区遥感图像解译应包括下列内容：

- 1 盐渍土地地区的地貌形态及其特征；
- 2 盐渍土的分布范围、含盐类型、发育程度；
- 3 地表组成物质、植被覆盖率及其均匀程度；
- 4 地表水分布形态、地下水露头点、道路及居民点等地物；
- 5 利用不同时相的遥感图象，解译盐渍土的发展趋势。

6.3.4 盐渍土工程地质调绘应包括下列内容：

- 1 盐渍土形成的地形地貌条件，分析各类盐渍土的分布与地貌形态之间的联系；
- 2 盐壳的形状、厚度、坚硬程度、分布特点；
- 3 地表土层的成因类型、土质成分、结构特征、含盐类型及程度、盐渍特点及季节迁移规律，若在雨季勘察，还应注意调查旱季地表泛盐情况；
- 4 盐渍土地区植物的种类、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等；
- 5 水库、渠道漏水、排灌不当或用苦水灌溉等所引起的次生盐渍化情况；
- 6 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。

6.3.5 盐渍土水文地质调绘应包括下列内容：

- 1 地表水和地下水的分布状况、补给、径流、排泄条件，不同季节地下水与地表水的补给关系。
- 2 不同地貌单元地下水的赋存条件、水化学成分及其与上部土层盐渍化的关系。
- 3 地下水动态变化规律：
 - 1) 地下水位季节变化幅度和逐年变化趋势；
 - 2) 农田水利工程的渗漏、灌水、排水及有关水库、河湖的水位变化对附近地下水水位的影响；
 - 3) 冻前地下水最高水位、常年地下水最高水位，可根据勘探、调查、观测资料综合分析确定，必要时应建立地下水观测站、点积累有关资料。
 - 4) 地下水的开发利用所引起的生态问题。
 - 5) 当采用排水疏干、降低地下水位的措施时，查明地下水的流向、流速或渗透系数。

6.4 勘探与测试

6.4.1 盐渍土勘探方法，应以挖探为主，轻型勘探（洛阳铲、螺纹钻）、钻探、静力触探可与其配合使用。

6.4.2 勘探点的深度应满足桥梁、房屋及其他建筑物工程设计要求，路基一般 3~6m，并应有一定数量的勘探点控制沿线地下水位变化。为测定毛细水强烈上升高度的取样勘探

及控制地下水位的勘探,应至地下水位。

6.4.3 盐渍土土样的采取应符合下列要求:

- 1 取样应具代表性,并有足够数量。作盐渍土分析的扰动土样,均质土每个应不少于 500g,非均质土每个应不少于 1000g。
- 2 作盐渍土分析的土样,必须逐段连续采集。取样深度一般为 10m,自地表向下分别在 0~0.05m、0.05~0.25m、0.25~0.50m、0.50~0.75m、0.75~1.00m 深度采取。
当地下水位埋深小于 1.0m 时,应取样至地下水位;当地下水位埋深大于 1.0m 时,必要时应加大取土深度,1.0m 深度以下可每隔 0.5m 取样一组至地下水位。
- 3 试坑中取样,必须随挖随取,按上述规定的深度,于试坑壁等量刮取或沿试坑壁分段挖槽铲取。
- 4 路堤填料试验的土样,应在该填料的取土点采取,取样深度至少与取土坑设计深度相同。

6.4.4 盐渍土地区测试除进行盐渍土分析外尚应符合下列要求:

- 1 根据盐渍土及土质分布情况,应采取代表性扰动或原状土样作盐渍土的物理、力学性质试验,并宜用原位测试方法确定地基承载力;采取扰动或原状土样数量,应根据现行《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102)有关规定办理。
- 2 静力触探确定的地基土承载力公式,缺乏使用经验时,应与载荷试验或其他测试成果进行对比后使用。
- 3 载荷试验点的布置宜靠近线路和工程所在地点,应具有代表性,其数量应满足建立公式的要求。
- 4 应测定不同类型盐渍土及不同土质的毛细水强烈上升高度。
- 5 沿线应采取地表水和地下水作水质分析。大范围盐渍土地区沿线地下水取样间距不宜大于 2km。

6.4.5 盐渍土的试验项目应根据场地情况和工程要求参照表 6.4.5 选定,其中盐土分析项目应包括:易溶盐含量(DT)、酸碱度(pH)、主要离子 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、($Na^+ + K^+$),试验方法应符合现行《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102)的规定。

6.4.6 盐渍土水质分析应包括下列内容:

- 1 分析项目:总矿化度、总碱度、酸碱度、主要离子 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、($Na^+ + K^+$)、游离 CO_2 、侵蚀性 CO_2 、蒸发残渣等。试验方法应符合现行《铁路工程水质分析方法》(TBJ 104)的规定。
- 2 水样取样数量应不少于 1kg,应用玻璃瓶或耐酸碱塑料瓶(或桶)盛装。测定侵蚀性 CO_2 的水样,应另取一瓶约 0.5kg 的水样,加入 3~5g 大理石粉($CaCO_3$),密封瓶口,并振荡 2~3min,以后每天不定时的振荡,3d 后再进行分析。

6.5 观测与场地评价

6.5.1 盐渍土的观测应包括下列内容:

- 1 地下水动态、毛细水强烈上升高度、盐渍土的含盐量及含水率;
- 2 路基稳定和次生盐渍化以及盐渍土对各类建筑物的腐蚀情况;
- 3 缺少气象资料地区进行简易的气象观测。

- 6.5.2 盐渍地下水动态观测 ,应符合下列要求 :
- 1 内容包括井、泉、钻孔的地下水位、流向、水温 and 水质 ;
 - 2 时间选择在地下水位上升及盐渍土中水、盐变化最明显的季节和月份进行 ,一年不应少于 4 次 ,必要时应增加观测次数。观测年限不应少于 2 个水文年 ;
 - 3 每个测区的观测孔不应少于 3 个 ,应利用勘察期间的观测孔 ,以保持观测资料的连续性、完整性 ;当需观测地下水与地表水的联系时 ,应布置垂直于等高线的观测断面 ,同时观测地表水的水位变化 ;
 - 4 对地下水位的观测及水质分析 ,应与其上部土层中的水、盐同时进行测定 ,相互验证 ;
 - 5 观测资料应逐次、逐年整理 ,绘制图表 ,并分析地下水动态和水质变化规律 ;
 - 6 观测孔应设立标志 ,并加设护孔结构。

表 6.4.5 盐渍土工程性质试验项目

项目 及单位	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	有机质含量	黏土矿物分析	易溶盐含量	湿化试验	膨胀		夯实		原位测试	
																	膨胀率	膨胀力	最佳含水率	最大干密度	静力触探	荷载试验
	w	ρ	e	w_L	w_p	I_L	I_p		k	a	H_k				DT		V/V_D^H	P_p	w_{opt}	ρ_{dmax}		
工程类别	%	g/cm ³		%	%		%	cm/s	MPa ⁻¹	cm	%	%		%	%	%	%	kPa	%	g/cm ³		
路堤、桥涵及厂房等地基	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+

注 1 表中带括号者视需要作 ;

2 表中膨胀试验 ,系指对硫酸盐渍土的低温膨胀试验 ;

3 为盐渍土的定名、颗粒分析的土样应洗盐测定。

6.5.3 盐渍土毛细水强烈上升高度的观测 ,可根据场地条件选用试坑直接观测法、曝晒前后含水率曲线交汇法和塑限与含水率曲线交汇法 ,黏性土用塑限含水率判定。

6.5.4 地表土层 1.0m 深度内易溶盐平均含盐量及含盐成分 ,应按下列规定计算 :

1. 易溶盐平均含盐量计算公式 :

$$DT = \frac{\sum_{i=1}^m h_i DT_i}{\sum_{i=1}^m h_i}$$

(6.4.5)

式中 DT ——易溶盐平均含盐量(%);

DT_i ——第 i 层土的含盐量(%);

h_i ——第 i 层土的厚度(cm);

n ——分层取样的层数。

2 易溶盐平均含盐成分 根据分层阴离子含量(mmol/kg) ,同样按取土厚度加权平均计算 ,计算方法见式(6.5.4)。

3 地表 1.0m 深度以下土的易溶盐含盐量及易溶盐含盐成分应单独计算 ,当取样不足 1.0m 时 ,应按实际取样深度计算。

6.5.5 盐渍土地区场地评价 ,应包括易溶盐含盐性质、易溶盐含盐量、盐渍化程度、路基基底土层及填料适用情况等内容 ,并符合下列要求：

1 地表以下 1.0m 深度内土层易溶盐含量大于 0.5% 时 ,属盐渍土场地。

2 盐渍土按易溶盐含盐成分分类应符合表 6.5.5—1 的规定。其中 ,确定含盐性质的盐分比值 D_1 和 D_2 的计算应符合下式要求：

$$D_1 = \frac{b(Cl^-)}{2b(SO_4^{2-})} \tag{6.5.5-1}$$

$$D_2 = \frac{2b(CO_3^{2-}) + b(HCO_3^-)}{b(Cl^-) + 2b(SO_4^{2-})} \tag{6.5.5-2}$$

式中 b ——与摩尔浓度有关的系数 ,一般取 1；
(Cl^-) , (HCO_3^-)——物质的质量摩尔浓度(mmol/kg)。

表 6.5.5-1 盐渍土按易溶盐含盐成分分类

盐法土名称	盐分比值 D_1	盐分比值 D_2
氯盐渍土	$D_1 > 2$	—
亚氯盐渍土	$1 < D_1 \leq 2$	—
亚硫酸盐渍土	$0.3 \leq D_1 \leq 1$	—
硫酸盐渍土	$D_1 < 0.3$	—
碱性盐渍土	—	$D_2 > 0.3$

3 盐渍土按易溶盐含盐量分类及修筑路基的可用性应符合表 6.5.5—2 的规定。

表 6.5.5—2 盐渍土按易溶盐含盐量分类

盐渍土程度	基底及被利用土层平均含盐量 \overline{DT} (%)			修筑路基的可用性
	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	$0.5 < \overline{DT} \leq 1$	—	—	可用
中盐渍土	$1 < \overline{DT} \leq 5$ ①	$0.5 < \overline{DT} \leq 2$ ①	$0.5 < \overline{DT} \leq 1.0$ ②	一般可用
强盐渍土	$5 < \overline{DT} \leq 8$ ①	$2 < \overline{DT} \leq 5$ ①	$1 < \overline{DT} \leq 5$ ②	可用 ,但应采取措施
超盐渍土	$\overline{DT} > 8$ ③	$\overline{DT} > 2$ ①	$\overline{DT} > 2$	不可用

注：① 作为填料其中硫酸钠的含量不得超过 2%；

- ② 作为填料其中易溶的碳酸盐含量不得超过 0.5% ；
- ③ 干燥度大于 50 ,年降水量少于 60mm ,年平均相对湿度小于 40% 的内陆盆地区 ,路基基底土 ,在不受地表水浸泡时 ,可不受氯盐含量的限制。

4 盐渍土按路基基底和填料容许易溶盐含盐量应符合表 6.5.5—3 的规定。

表 6.5.5—3 盐渍土路基基底和填料容许易溶盐含盐量

盐渍土名称	路基基底和填料容许含盐量 \overline{DT} (%)
氯盐渍土	$5 \leq \overline{DT} < 8$ (一般为 5% ,如加大夯实密度 ,可提高其含盐量 ,但不得大于 8% *)
亚氯盐渍土	$\overline{DT} \leq 5$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
亚硫酸盐渍土	$\overline{DT} < 5$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
硫酸盐渍土	$\overline{DT} < 2.5$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
碱性盐渍土	$\overline{DT} < 2$ (其中易溶的碳酸盐含量不得大于 2%)

注： * 干燥度大于 50 ,年降水量少于 60mm ,年平均相对湿度小于 40% 的内陆盆地区 ,路基填料和基底土 ,在不受地表水浸泡时 ,可不受氯盐含量的限制。

6.5.6 盐渍土发展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、地表盐分迁移等进行。

6.6 踏 勘

6.6.1 踏勘阶段盐渍土地区工程地质勘察应包括下列内容：

- 1 搜集和研究沿线通过地区的区域地质、工程地质、水文地质、地形地貌、遥感图像、气象、盐渍土及其工程特性的资料；
- 2 概略了解盐渍土分布范围、严重程度、地下水的埋藏条件等 ,拟定踏勘重点、踏勘路线及应解决的问题；
- 3 现场踏勘 ,对遥感图像解译成果进行重点核对验证 ,必要时应进行简易勘探和取样试验并调查盐渍土季节变化情况。

6.6.2 踏勘阶段盐渍土地区资料编制应包括下列内容：

- 1 工程地质说明 ,应阐明盐渍土分布、成因及其工程性质 ,对各线路方案的影响 ,提出方案比选意见 ,评价控制线路方案的盐渍土地段的工程地质条件 ,对初测工作的重点提出建议等；
- 2 全线工程地质图 ,比例为 1:50 000 ~ 1:200 000 ,填绘盐渍土的分布范围。

6.7 初 测

6.7.1 初测阶段盐渍土地区地质调绘应符合下列要求：

- 1 查明沿线盐渍土的成因、类型、性质、范围、发育程度、盐分积聚特点及分布规律；查明沿线水文地质特征及水库、人工渠道的渗漏情况 ,毛细水上升高度的一般规律 ,研究排除地表水和降低地下水位的可能条件 ,滨海盐渍土地区 ,必要时 ,尚应查明咸水区的分布范围。

2 对控制线路方案或需作代表性设计的盐渍土地段,应查明地层结构、各种盐渍土在水平、垂直方向上的分布、最高地下水位(常年地下水最高水位或冻前地下水最高水位)及其年变化幅度和规律、水质及地表水与地下水的补给关系、地下水流向、土层中毛细水强烈上升高度、最大冻结深度(或有害冻胀深度)和蒸发强烈影响深度。

6.7.2 初测阶段盐渍土地区勘探应符合下列要求:

1 控制线路方案及主要线路方案地段,勘探点的密度以查明沿线盐渍土的工程地质和水文地质特征,满足确定代表性设计工点的要求为原则,宜控制在 500 ~ 1 000m 有一个勘探点;

2 每个代表性设计工点不应少于 3 个代表性地质横断面,每个断面的勘探点不应少于 2 个;

3 区段站及区段站以上的大站、厂房集中区,应有一定数量的勘探点、测试点,以探制纵、横断面图的绘制。

6.7.3 初测阶段盐渍土地区试验应包括下列内容:

1 在代表性横断面上取土样,作盐渍土分析及物理力学性质试验;

2 取代表性地表水及地下水进行水质分析。

6.7.4 盐渍土的环境变迁短时间内难以查明,且影响线路方案确定时,应提前进行观测工作。

6.7.5 初测阶段盐渍土地区资料编制应符合下列要求:

1 综合资料

1)工程地质勘察报告,应阐明盐渍土地区的区域地质条件、盐渍土成因、各类盐渍土的主要物理力学指标、分布规律、发展趋势及其对线路的影响;盐渍土地区既有厂矿、水利工程、农田灌溉等对铁路工程影响,提出方案评价和比选意见;

2)全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,填绘盐渍土范围界线。较大范围的内陆盆地盐渍土或冲积平原盐渍土地区线路方案较多时,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;

3)详细工程地质图,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000,填绘各类盐渍土的范围界线、小柱状图(并标注地下水位深度);

4)沿线工程地质分段说明,按地貌单元、盐渍土类型、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、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等。

2 工点资料

1)工程地质说明;

2)工程地质图,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000,填绘不同含盐类型及含盐程度工程地质分界线,小柱状图(标注地下水位);

3)工程地质横断面图,比例为 1:200,填绘最高地下水位线;

4)工程地质纵断面图,比例为横 1:500 ~ 1:5 000,竖 1:100 ~ 1:500,填绘最高地下水位线;

5) 勘探、测试、试验等资料。

6.8 定 测

6.8.1 定测阶段盐渍土地区地质调绘应符合下列要求：

1 详细查明采用方案沿线及各类建筑物所在场地和地基的工程地质和水文地质条件,为工程设计搜集必要的物理、化学、力学、地基承载力资料；

2 调查盐渍土作为路基填料和隔断层材料的毛细水强烈上升高度、有害冻胀深度和蒸发强烈影响深度；

3 调查分析既有建筑物的基础类型、材料及其受盐渍化作用产生的变形、腐蚀等情况。

6.8.2 定测阶段盐渍土地区勘探、测试应符合下列要求：

1 应根据盐渍土的类型、分布,结合工程类型按工点布置勘探、测试点,长大范围盐渍土地段勘探点间距不应大于 500m；

2 勘探、测试点的深度应满足建筑物地基设计要求,并应取样作盐渍土分析和物理力学性质等方面的试验,必要时,硫酸盐渍土作低温膨胀试验,碱性盐渍土作湿化试验；

3 取地下水及地表水作水质分析。

6.8.3 初测设立的观测站点在定测中应延续观测。

6.8.4 定测阶段盐渍土地区资料编制应包括下列内容：

1 综合资料

1) 工程地质勘察报告,阐明沿线各种盐渍土及地下水的分布特征,盐渍土的工程特性,各类土层毛细水强烈上升高度,主要物理、力学指标,提出工程措施、施工注意事项和防止恶化环境的措施意见；

2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改；

3) 详细工程地质图,比例为 1:20 000 ~ 1:5 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改；

4) 详细工程地质纵断面图,比例为横 1:10 000,竖 1:100 ~ 1:1 000,与线路详细纵断面图合并或单独绘制。

2 各类建筑物的工程地质资料与初测工点的要求相同。

第二节 盐渍土条文说明

6.2.1 盐渍土的工程性质,因所含的易溶盐性质不同而异,对铁路工程有着不同的影响和危害,见说明表 6.2.1。

氯盐渍土具有较强的吸湿性和保湿性,若路堤填土中氯盐含量不能为土中水分溶解时,过饱和的盐分便结晶析出,赋存于土颗粒之间协同土颗粒起着骨架作用,湿季随着土中含水量增加,盐晶溶解,土的孔隙度增加、密度降低,当土中氯盐含量大于 8% 时,干湿

季节的变化将影响路堤的稳定。如兰新铁路五华山、红光区段内,曾因氯盐含量过高,其吸湿、溶陷造成路堤填土软化下沉。但在特定干旱气候条件下,尽管土中氯盐含量超过规定标准,却不致酿成病害,如青藏铁路察尔汗盐湖南岸的路基,已建成多年,运营良好。

说明表 6.2.1 盐渍土路基病害一览表

盐渍土类别	病害类型	病害特征	病 害 产 生 原 因
硫酸盐渍土	松 胀	路基表层 0.3m 范围内,土体疏松,足踏下陷,路肩变窄,边坡失稳	土中硫酸钠含量超过 2%,在昼夜气温变化影响下,时而吸水结晶体积膨胀,时而脱水体积缩小,反复相变,致土体密度减小,结构破坏,产生松胀现象
硫酸盐渍土	膨 胀	深部土体膨胀,一般距地表 1m 左右,个别 3m 以下,致路面季节性隆起,坡脚产生纵向裂缝	土中硫酸钠含量超过 2%,在季节性气温变化影响下,引起路堤深部土体中硫酸钠吸水结晶,体积膨胀,一般高塑性土较低塑性土膨胀快且膨胀量大
碱性盐渍土	膨胀	路基土体松软,边坡坡塌,路肩泥泞不堪	易溶的碳酸盐含量超过半数 0.5%,因吸附性钠离子作用,使土的分散性增强,呈现过高的膨胀性,塑性及遇水崩解性
各种盐渍土	冻胀翻浆	冬季土体冻胀,路面隆起,春融季节土质松软,路基下沉,翻浆冒泥	在一定低温条件下,盐渍土同样会冻结,当土的含水量大于塑限,且水分补给来源充足时,形成层状冰,致土体膨胀,温度回升后冰层消融,含水量增加,土质松软。硫酸盐渍土因盐晶脱水滞缓延长翻浆时间;碱性盐渍土因 Na^+ 作用,路面更为泥泞不堪
氯盐渍土 碱性盐渍土	溶蚀	路肩及边坡冲沟累累,路堤内有大小不一的空洞,路基沉陷	氯盐溶解度大,不受温度的影响(除氯化钙外)极易淋失,碱性盐渍土遇水易崩解,抗冲刷能力差
各种盐渍土	基床病害	各种形状的道碴槽、道碴囊等	由于路堤填土中含水率高,土质持水性强,水分不易散失,土体长期处于软塑状态

硫酸盐渍土,最突出的工程特性是膨胀,又称盐胀。硫酸盐渍土中所含易溶盐的主要成分为硫酸钠,俗称芒硝,其溶解度受温度变化的影响,在温度 32.4℃时为最大,也是失去结晶水的临界温度,见说明表 6.2.1。低于此温度时,过饱和或粉末状的硫酸钠都吸收 10 个水分子变成晶体芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),体积增大,相当于无水硫酸钠的 3.1 倍;高于这个温度时,结晶的硫酸钠又失去结晶水变成无水芒硝,体积相对缩小。随着温度的升降,硫酸钠时而吸水体积膨胀,时而脱水体积缩小,如此反复相变致使土体结构破坏,强度降低。通过多年的科研成果及现场调查表明:当路堤填料中硫酸钠含量超过 2%,其膨胀量随含盐量增加显著增大,以致危害路基,膨胀量的大小还与土中含水量、温度、土质密切

相关,其中温度的变化是反复产生膨胀收缩的主导因素。如兰新铁路疏勒河至吐鲁番区段,60年代建成初期,硫酸盐渍土路基病害不断产生,每年入冬路基鼓胀,鼓胀高度一般数十毫米,翌年春季地温回升时,路基又发生下沉,严重地段钢轨爬行,危及行车安全。

碱性盐渍土,以含磷酸钠(Na_2CO_3)、碳酸氢钠(NaHCO_3)为主,其他易溶盐极少。碳酸盐水溶液呈强碱性反应,含有大量吸附性阳离子(钠离子),有较强的亲水性。在碱性盐渍土遇水后,钠离子与土中黏粒、胶体颗粒相互作用,在其周围形成稳固的结合水薄膜,颗粒间的黏聚力降低,因而相互分散,引起土体膨胀,呈现出过高的塑性、持水性、压缩性和崩解性。试验证明当土中易溶碳酸盐含量超过0.5%时,膨胀率会明显增大,故《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001)及《铁路特殊土路基设计规范》规定路基填料中易溶碳酸盐含量不得超过0.5%。

20世纪80年代曾对东北的通辽至让湖路、四平至齐齐哈尔、长春至白城、满洲里至哈尔滨四条铁路进行调研,发现这四条铁路均有不同程度的碱性盐渍土病害,尤以通让铁路最为严重。这条铁路建于20世纪60年代,病害年年发生,路堤填土取样分析含盐量只有0.5%~0.8%,而含水率却高达25%。其土质松软,用钢钎稍加压力便可插入土中,曾酿成翻车事故。

从上述三种盐渍土的工程性质来看,硫酸盐渍土及碱性盐渍土,尽管含量不高,但对铁路工程的危害极大,土的可利用程度低,因此在选线中,应尽量绕避。

盐渍土地区地下水位一般都较高,为避免挖方地段积水和处于毛细水强烈上升高度之内而加剧路基次生盐渍化,所以采用路堤形式通过盐渍土地区为宜。

6.2.2

1 在西北内陆盆地铁路选线中,经常遇到此类地貌。这时要充分利用内陆盆地所特有的带状地貌结构,既要避开流动沙丘,又要减少盐渍土的危害,权衡利弊,确定线路位置。如青新线格尔木至茫崖段,线路通过柴达木盆地南缘昆仑山山前倾斜平原,靠山前侧分布着大量的活动沙丘及波状沙地,风沙流危害严重,施工困难;旁盆地侧又发育着大面积不同渍盐程度盐渍土,地下水位高,矿化度大,水质对混凝土砌体亦有侵蚀性。唯有两者之间的低红柳沙堆与盐渍土的过渡地带,工程地质条件较好,红柳沙堆多为固定沙丘,对风沙流起屏障作用,风沙危害小,并且土层盐渍化轻,地下水水质好,可供机车和生活用水,是线路通过的较理想部位。

2 线路通过盆地中心部位,因地形低洼平坦,只能着重考虑微地貌对土中水、盐运移的影响,结合各种盐渍土对铁路工程的危害程度,选择线路位置。如青藏铁路穿过察尔汗盐湖南岸57 km的超、强盐渍土地段,选线中舍弃了东方案,虽然其方案线路顺直,但盐渍土中含水率很高,俗称湿盐渍土,乃积盐最活跃阶段,并有地面积水,施工困难,为此,采用了沿敦格公路行进的西方案,该方案地面相对稍高,地下水埋藏深度相对较深,土中含水率低,又可利用现有公路减少施工便道的工程费用,经多年运营,显示了这一方案的优越性。

4 “背河洼地”系指河流进入平原地区,因坡降减小,流速减缓,上游携带的大量泥沙发生淤积,抬高河床,使河床高出两岸地面,形成“地上悬河”,此与两岸河堤外侧毗邻的洼地,称为“背河洼地”。黄河自河南花园口以下河段均呈“地上悬河”形态,两岸多见这种洼

地。

6.3.2 为分析区内盐渍土的形成与气候条件的关系,通常收集气温、地温、湿度、降水、蒸发等五个主要气象要素,其中降水和蒸发两个要素最重要。极端干旱的气候条件,不仅能加速地表盐分的积累,同时由于气温的剧烈变化改变着盐类的溶解度和相态,影响盐渍土的工程性质。

干燥度是划分气候干旱程度的指标,目前多采用中国科学院自然区划工作委员会(1959年)采用的计算公式:

$$\text{干燥度} = E/r \quad (\text{说明 } 6.3.2)$$

式中 E ——可能蒸发量($0.16 \sum t$ mm);

$\sum t$ ——日平均气温不低于 10°C 时期内的积温($^{\circ}\text{C}$);

r ——同期降水量(mm)。

6.3.3 盐渍土遥感图像解译主要标志是色调和纹形。在全色航片上,不同盐渍化程度和类型有着不同的影像特征,强盐渍化土层地表色调紊乱,多呈灰、灰白色,其上往往无植物生长或大量枯死,氯盐渍土多见于低洼地或盐沼边缘,干旱时呈浅色或白色条斑,潮湿时呈深色或黑色斑块,肿胀性盐渍土(亚氯、亚硫酸、硫酸盐渍土)具有光泽和无光泽的雪粒状覆盖物,地表呈微微凹凸不平,碱性盐渍土多呈淡白色调,常有龟裂现象,盐沼多位于明显的低洼地中,季节性有水,表面具白色盐壳和盐分晶体,其上有深色的龟裂纹,很少有植物生长。

在解译中应注意用植物学方法,对植物的生长情况,包括密度、均匀度、生态特征等进行观测,进一步判释盐渍土的含量、含盐类型及潜水埋藏深度。

6.3.4

1 地形对盐渍土形成最主要的影响在于促使盐分沿地形剖面的重新分布,西北内陆盆地中不同类型的盐渍土之所以沿盆地周边呈水平带状分布,正是盆地环带状地貌结构制约的结果。如柴达木盆地南缘盐渍土从山前至湖区地形由陡变缓,地表覆盖层组成物质由粗变细,地下潜水埋藏深度由深变浅、矿化度由小变大,地表积盐程度由轻变重,盐类组成由溶解度较小的碳酸盐类逐渐过渡到较易溶的硫酸盐及极易溶的氯盐。

调查研究盆地盐渍土的水平分带性,将有助于选择合理的线路位置和采取相应的工程处理措施。

3 盐渍土地表形态是一定盐渍化程度和类型的外表特征,通过对地面的详细调查,能大致判断各种盐渍土的分布的规律,如说明表 6.3.4—1 所列内容。

说明表 6.3.4—1 不同盐渍土地表形态特征

盐渍土类型	地 表 形 态 特 征
氯盐渍土	地表常结成厚度几厘米至几十厘米的褐黄色坚硬盐壳,地表高低不平,波浪起伏,尤如刚犁过的耕地,足踏咔嚓咔嚓作响,盐壳厚者相对积盐较重,盐壳较薄或呈结皮状者积盐较轻
硫酸盐渍土	因盐胀作用,表面形成厚约 3~5 cm 的白色疏松层,似海棉,踏之有陷入感,白色粉末尝之有苦涩味
碱性盐渍土	地表常有白色的盐霜或结块,但厚度较小,仅数毫米,结块背面多分布有大量小孔,白色粉末尝之有咸味。胶碱土地表很少生长植物,干燥时龟裂,潮湿时则泥泞不堪

4 盐渍土地区植物生长和分布与土中含盐程度和类型、地下水位深度及矿化度等有密切关系,利用植物的这一特点,对于查明盐渍土的分布规律及地下水的赋存条件,矿化度都很有帮助,可节省勘探、试验工作量,收到事半功倍的效果。在植物调查中,要充分利用指示植物的作用,并掌握如下工作方法:

- (1)首先收集区域性各种盐渍土的指示植物的有关资料和标本,熟悉其名称、生态特征。
- (2)对已确定盐渍土类型的地段,应详细描述记录代表性植物的有关特征。
- (3)根据各种植物的生长变化情况和生态习性,研究植物分布与地下水、地表盐渍化程度和类型的关系。

6.4.3 盐渍土地区取样应符合下列要求:

当 1.0 m 以下土层中含盐量仍然很高,为了解盐渍土的厚度和确定可利用土层的深度时,应加大取土深度至地下水位。

6.5.3 盐渍土层中毛细水的上升可直接造成路堤填土吸水软化及次生盐渍化,促使冻胀、盐胀等病害的发生,为此,盐渍土地区筑路,必须查明土中毛细水强烈上升高度,为路基设计提供正确依据。本条规定了毛细水强烈上升高度的确定方法,这是铁一院多年来在南疆线、青藏线、南疆公路、和静及焉耆地区等观测试验的成果,其理论建立在土中水存在状态和转移途径的基础上。地下水向上运移主要通过下列方式:

- (1)由于毛细孔隙水与地下水表面压力梯度所引起的毛细水上升运动。
- (2)由于土孔隙中不同浓度的溶液的渗透压力梯度所引起的矿化水渗透运动。
- (3)由于土粒表面电分子的吸附力梯度所引起的薄膜水的楔入运动。
- (4)由于蒸气压力梯度所引起的汽态水的扩散运动。

在上述四种运动方式中,毛细水的上升运动和矿化水的渗透运动,是属于自由水运动,其运动速度快、溶盐能力强、参与运动的水量大,对土中的水、盐运移起着主导作用。

再从物理意义上看,当黏性土处于塑限、砂类土处于最大分子吸水率时,土中的水属于结合水,大于这个含水率界线便转化为自由运动的毛细水;从冻胀角度而言,当土中含水率超过塑限或最大分子吸水率时,就会出现显著的聚水现象,从而导致冻害,促进土中盐分的转移。

因此 ,只有当毛细水的上升运动 ,使土层中含水率大于塑限或最大分子吸水率时 ,对盐渍土路基才有危害。基于这点提出了黏性土以塑限含水率、砂性土以最大分子吸水率作为基底土及路堤填土毛细水强烈上升高度的界线。

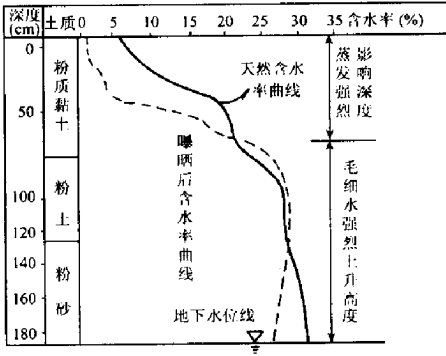
毛细水强烈上升高度的确定黏性土用塑限含水率 ,砂类土用最大分子吸水率判定。毛细水强烈上升高度 ,可用下列方法测定。

(5)直接观测法 :在开挖试坑 1~2 d 后 ,直接观测坑壁干湿变化情况 ,变化明显处至地下水位的距离 ,为毛细水强烈上升高度。

(6)曝晒法 :

①当测点地下水位深度大于毛细水强烈上升高度与蒸发强烈影响深度之和时 ,分别在开挖试坑的当时和曝晒 1~2 d 后 ,沿坑壁分层 (间距 15~20 cm)取样 ,测定其含水率并按说明图 6.5.3—1 格式绘制含水率曲线 ,两曲线最上面的交点至地下水位的距离为毛细水强烈上升高度 ,两曲线最上面的交点至地面的距离为蒸发强烈影响深度 ;

②当测点地下水位较浅 ,毛细水强烈上升高度超出地面 ,不能在天然土层中直接测出时 ,可利用测点附近的高地、土包或土工建筑物进行观测 ,不得已时 ,尚可人工夯填土堆 ,待土堆中含水率稳定后再进行观测 ,方法同①。

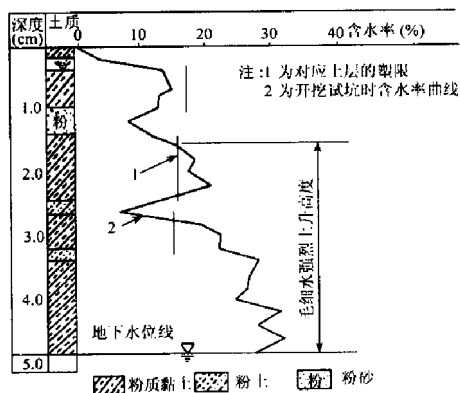


说明图 6.5.3—1

(7)塑限含水率曲线交汇法 :于试坑壁每隔 15~20 cm 取样作天然含水率测定 ,并根据土质成分 ,黏性土作塑限含水率、砂类土作筛分试验 ,并绘制天然含水率分布曲线 ,按说明图 6.5.3—2 所示 ,用竖直线段在图上标出相应土层的塑限竖直线段与含水率曲线最上面的交点 ,即为毛细水强烈上升高度的顶点 ,此点到地下水位的距离为毛细水强烈上升高度。

6.5.4 地表土层 1.0 m 深度内平均含盐量及含盐成分 ,是判定盐渍土场地的依据 ,以往由于对计算方法未作统一规定 ,曾给具体工作造成困难。为统一做法 ,本规程规定采用分层含盐量及含盐成分加权平均值的计算方法 ,力求计算结果符合剖面含盐天然情况。

现根据某铁路线盐渍土分析报告 ,举例计算平均含盐量(总含盐量) ,平均含盐成分 ,见说明表 6.5.4—1 和说明表 6.5.4—2。前者为一般情况的算例 (取样深度为 1.0 m) ;后者为地层有变化或地下水位埋深很浅 ,取样深度不足 1.0 m 时的算例。



说明图 6.5.3—2

当计算结果出现阴离子比值同时属于两种盐渍土定名指标时,应按对工程危害较大者定名,在处理措施上则要综合考虑。

6.5.5 土中所含的盐类,按其在中性水中的溶解程度,通常分为易溶盐、中溶盐和难溶盐三大类。

易溶盐,是指在中性水中溶解度较大的盐类,如硫酸钠(Na_2SO_4)、氯化钠(NaCl)、氯化钙(CaCl_2)、硫酸镁(MgSO_4)、碳酸钠(Na_2CO_3)、碳酸氢钠(NaHCO_3)等,对土的工程性质影响较大。

说明表 6.5.4—1

盐渍土分析报告

送样单位：_____线_____段_____测

工程名称：_____

报告编号：_____

报告日期：_____

试验编号	90 土 - 25		90 土 - 26		90 土 - 27		90 土 - 28		90 土 - 29	
送样编号	C ₇ 土 - 114		C ₇ 土 - 115		C ₇ 土 - 116		C ₇ 土 - 117		C ₇ 土 - 118	
取样位置	CK0 + 500 右 20 m		CK0 + 500 右 20 m		CK0 + 500 右 20 m		CK0 + 500 右 20 m		CK0 + 500 右 20 m	
深度(m)	0 ~ 0.05		0.05 ~ 0.25		0.25 ~ 0.50		0.50 ~ 0.75		0.75 ~ 1.00	
项目基本单元 B	测 定 结 果									
	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土
CO ₃ ²⁻	0.14	8.4	0.21	12.6	—	—	—	—	—	—
HCO ₃ ⁻	0.85	51.9	0.18	11.0	0.31	18.9	0.33	20.1	0.31	18.9
Cl ⁻	78.43	2 780.3	35.81	915.0	6.58	233.3	5.97	211.6	5.31	188.2
SO ₄ ²⁻	111.32	10 693.4	81.15	2 991.8	13.92	1 336.7	13.80	1 325.6	11.89	1 142.2
Ca ²⁺	6.33	253.5	5.57	223.0	5.69	228.3	5.14	205.8	3.37	134.9
Mg ²⁺	16.25	399.6	5.97	145.1	1.27	30.7	1.3	33.8	0.81	19.7
Na ⁺ + K ⁺	267.97	6 699.3	60.83	1 520.8	20.82	520.5	19.28	482.0	22.35	558.8
阴阳离子总和 Σ(B + A)	481.29	20 886.4	129.72	5 819.3	48.59	2 368.4	45.91	2 278.9	44.04	2 062.7
分层含盐量(%)		20.86		5.81		2.36		2.27		2.05
pH 值	8.3		8.8		7.9		7.7		7.6	
分层比值 (mmol/1000g 土)	[2ℳ CO ₃ ²⁻) + ℳ HCO ₃ ⁻)] / [ℳ Cl ⁻) + 2ℳ SO ₄ ²⁻)]									
	ℳ Cl ⁻) / 2ℳ SO ₄ ²⁻)									
	0.35		0.41		0.24		0.22		0.22	
分层定名	超亚硫酸盐渍土		超亚硫酸盐渍土		强硫酸盐渍土		强硫酸盐渍土		强硫酸盐渍土	
评 价	平均含盐量计算： $\overline{DT} = \frac{20.86 \times 0.05 + 5.81 \times 0.20 + (2.36 + 2.27 + 2.05) \times 0.25}{0.05 + 0.20 + 0.25 \times 3} = 3.875\%$ 查本规程表 6.5.5—2 ,属强盐渍土									
	含盐性质分类判别： $\frac{\ell(\text{Cl}^{-})}{2\ell(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{78.34 \times 0.05 + 25.81 \times 0.20 + (6.58 + 5.97 + 5.31) \times 0.25}{2[111.32 \times 0.05 + 81.15 \times 0.20 + (13.92 + 13.80 + 11.89) \times 0.25]} = 0.312$ 查本规程表 6.5.5—1 ,属亚硫酸盐渍土									
	最后评价为 强亚硫酸盐渍土									
	从本表明显看出 ,土中 CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ 含量极少 ,不可能出现碱性盐渍土定名 ,故不必作									
	$\frac{2\ell(\text{CO}_3^{2-}) + \ell(\text{HCO}_3^{-})}{[\ell(\text{Cl}^{-}) + 2\ell(\text{SO}_4^{2-})]}$ 的计算									

说明表 6.5.4—2

盐渍土分析报告

送样单位：_____线_____段_____测

工程名称：_____

报告编号：_____

报告日期：_____

试验编号	90 土 - 21		90 土 - 22		90 土 - 23		90 土 - 24			
送样编号	C ₇ 土 - 110		C ₇ 土 - 111		C ₇ 土 - 112		C ₇ 土 - 113			
取样位置	CK0 + 500 中心		CK0 + 500 中心		CK0 + 500 中心		CK0 + 500 中心			
深度(m)	0 ~ 0.05		0.05 ~ 0.25		0.25 ~ 0.50		0.50 ~ 0.75			
项目基本单元 B	测 定 结 果									
	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土	mmol/ 1000g 土
CO ₃ ²⁻	0.24	14.1	0.12	7.4	—	—	—	—		
HCO ₃ ⁻	0.73	44.5	0.25	15.3	0.38	23.2	0.38	23.2		
Cl ⁻	89.31	3 116.0	24.09	854.0	5.72	202.8	5.46	193.6		
SO ₄ ²⁻	103.10	9 903.8	21.28	2 043.7	14.06	1 350.1	12.21	1 172.6		
Ca ²⁺	6.07	243.3	6.07	243.3	6.02	241.3	4.89	195.8		
Mg ²⁺	19.97	436.5	4.46	108.3	0.76	18.5	1.19	28.8		
Na ⁺ + K ⁺	254.94	6 373.5	44.72	1 118.0	20.10	520.5	16.84	421.0		
阴阳离子总和 Σ(B + A)	472.36	20 181.7	100.99	4 389.8	47.04	2 338.4	40.99	2 034.8		
分层含盐量(%)		20.16		4.38		2.33		2.02		
pH 值	8.4		8.6		7.7		7.9			
分层比值 (mmol/1000g 土)	[2ℳ CO ₃ ²⁻) + ℳ HCO ₃ ⁻)] / (ℳ Cl ⁻) + 2ℳ SO ₄ ²⁻)]									
	ℳ Cl ⁻) / 2ℳ SO ₄ ²⁻)									
	0.43		0.57		0.20		0.22			
分层定名	超亚硫酸盐渍土		超亚硫酸盐渍土		强硫酸盐渍土		强硫酸盐渍土			
评 价	平均含盐量计算： $\overline{DT} = \frac{20.16 \times 0.05 + 4.38 \times 0.20 + (2.33 + 2.02) \times 0.25}{0.05 + 0.20 + 0.25 \times 2} = 3.96\%$ 查本规程表 6.5.5—2 ,属强盐渍土									
	含盐性质分类判别： $\frac{\ell(Cl^{-})}{2\ell(SO_4^{2-})} = \frac{89.31 \times 0.05 + 24.09 \times 0.20 + (5.72 + 5.46) \times 0.25}{2[103.10 \times 0.05 + 21.28 \times 0.20 + (14.96 + 12.21) \times 0.25]} = 0.378$ 查本规程表 6.5.5—1 ,属亚硫酸盐渍土									
	最后评价为 强亚硫酸盐渍土									
	从本表明显看出 ,土中 CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ 含量极少 ,不可能出现碱性盐渍土定名 ,故不必作									
	$\frac{2\ell(CO_3^{2-}) + \ell(HCO_3^{-})}{[\ell(Cl^{-}) + 2\ell(SO_4^{2-})]}$ 的计算									

填表：

复核：

审核：

单位(章)

中溶盐 是指在中性水中溶解度很小的盐类 , 如硬石膏(Na₂SO₄)及石膏(CaSO₄ ·

$2\text{H}_2\text{O}$)。

难溶盐是指在中性水中几乎不溶解的盐类,如碳酸钙(CaCO_3)、碳酸镁(MgCO_3)等。

本规程把“易溶盐的含量大于 0.5%”规定为盐渍土的含盐量标准,是因为土中的含盐量超过这个标准时,土的工程性质将受到盐分的影响而发生较大变化,与现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021)中的易溶盐含量标准是相同的。

表层 1 m 的土层是一般路基主要持力层,也是受地下水毛细作用、蒸发作用盐分迁移最明显的部位,对基础设施有直接影响。盐渍土地区,一般盐分表聚性强,多集中在 1 m 深度范围内,1 m 以下含盐量急剧减少,经工程实践证明使用这一标准是恰当的。因此本规程仍沿用以地表 1 m 土层中的易溶盐平均含盐量作为评价盐渍土场地的定量标准。

6.5.6 盐渍土发展趋势的主要判定标志如下:

(1)气候变化:如果年平均蒸发量与降水量的比值逐年增大,说明气候趋于干旱,地表盐渍化就会随之逐年加重,反之则变轻。

(2)地表水体变迁:内陆湖泊后退,沼泽干涸,地表径流不断减弱,其周围往往会形成大片盐渍土。

(3)植物演变:耐盐植物种属不断减少,植物大量死亡,则说明该地区地下水矿化度急剧升高,盐渍化程度增强;喜湿植物群落大量增加,说明地下水位不断升高。

(4)地表盐分迁移:氯盐溶解度大,不受温度的影响,在淋溶作用下,首先下移,当地表出现以硫酸盐为主时,则说明表层退盐作用在产生和发展中,最终发展成柱状碱土。

(5)水库上游地下水位壅升,农田洗盐、压盐及排灌系统渗漏,往往引起附近地下水位升高,逐渐使地表土层次生盐渍化。

6.7.1 初测阶段盐渍土地质调绘应包括下列内容:

(1)盐渍土的形成是所在地区自然条件综合作用的产物,其形成一般需具备如下条件:

①地形低洼,地表水及地下水径流条件差,排泄不畅;

②地下水矿化度较高,埋藏浅,毛细水作用能到达或接近地表;

③气候干旱,蒸发量大于降水量。这样才能使埋藏不深且矿化度高的地下水,沿毛细孔隙上升并不断蒸发,而导致盐分聚积于地表形成盐渍土。

通过对工作区的地形地貌、水文地质、地质以及地表水体的调查,方可全面了解和掌握区内盐渍土的成因和形成条件,为防治措施提供依据。

(2)在土层盐渍化过程中,不仅进行着盐分的积累,同时还发生着盐分的溶失,这一过程明显地表现在季节性积盐和脱盐土。在干旱季节,例如西北荒漠地区,地下潜水矿化度高,地面强烈蒸发,地表积盐显著增加,形成“返盐期”;雨季或春融季节,由于土中含水率增加,盐分部分溶解下渗,表层含盐量则相对减少,发生“脱盐”作用。我们曾在兰新铁路盐渍土路段,作过观测试验,表明不同季节路堤填土含盐量及含水率变化较大,如说明表 6.7.1。为准确掌握盐分季节性迁移规律,正确评价盐渍土的工程性质,所以在雨季勘测时,必须访问旱季地表泛盐情况。

说明表 6.7.1

兰新铁路盐渍土路段实测表

兰新铁路通过准葛尔盆地地段采样、观测地点	地下水位埋深 (m)		地下水矿化度 (g/L)		路堤填土含盐量 (%)	
	4 月	7 月	4 月	7 月	4 月	7 月
K2413 + 188	1.70	2.05	2.80	6.04	5.91	12.05
K2413 + 208	2.45	2.60	2.80	6.04	5.25	15.47
K2413 + 228	2.75	3.20	2.80	6.04	6.20	12.64
K2413 + 288	3.50	3.80	2.80	6.04	3.08	8.16

(3)常年地下水最高稳定水位或冻前地下水最高稳定水位、毛细水强烈升高度、最大冻结深度及蒸发强烈影响深度都是确定盐渍土路堤最小高度的依据,初测阶段应初步查明,以便为代表性设计工点提供这些参数。

6.7.2 初测阶段盐渍土勘探应符合下列要求：

盐渍土地段的勘探点应尽量结合桥涵工点布置,对于盐渍土路基也应有适量的代表性勘探点。勘探点的间距要求 500 ~ 1 000 m,是根据西北几条主要铁路干线勘测的实践经验提出的。当盐渍土地区微地貌变化大,地表形态、植物种类多变,盐渍土类型复杂时,勘探点的间距不宜大于 500 m。当盐渍土的上述特征在长距离内变化不大,勘探点的间距则可适当加大,但间距不宜超过 1 000 m,以免遗漏工点及难以控制盐渍土工点范围。

6.7.4 当盐渍土地区线路方案的确定受盐渍土环境变迁影响,初测或短时间内难以查明,又无既有资料和工程建筑经验可借鉴时,应提前组织人力进行观测和研究工作。观测研究工作通常有:盐分动态观测,地下水动态及水质变化观测,毛细水强烈上升高度试验观测,隔断材料及其效果的试验观测,防腐材料试验及效果观测,修筑盐渍土试验路基等。

6.8.1 定测阶段盐渍土地质调绘应包括下列内容：

盐类的聚积,一方面受地形地貌的影响,具有一定的水平地带性,另一方面由于各种盐类的溶解度不同,有着各自的沉积环境,在土层剖面上亦显示出一定的规律性,往往最易溶的氯化盐聚积于表层,随着深度的增加依次为硫酸盐富集带,碳酸盐富集带。掌握这个规律有助于判定盐渍土发展趋势和确定盐渍土可利用深度。

6.8.2

2 在硫酸盐渍土及碱性盐渍土地区进行重要建筑物(含区段站以上的大站)的勘察时,应进行硫酸盐渍土低温膨胀试验、碱性盐渍土湿化试验,以作为工程处理依据。

第七章 多年冻土及其条文说明

第一节 多年冻土

7.1 一般规定

- 7.1.1 遇冻结状态持续 2 年或 2 年以上的土层、岩层 ,应按多年冻土进行勘察。
- 7.1.2 根据平面分布特征 ,多年冻土可分为连续多年冻土和岛状多年冻土 ;根据剖面分布特征 ,事年冻土可分为衔接多年冻土和不衔接多年冻土 ;根据含冰量 ,多年冻土的类型可分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层(表 7.1.2);当冰层厚度大于 2.5cm ,且其中不含土时 ,应定名为纯冰层。

表 7.1.2 多年冻土的分类

多年冻土类型	土的名称	总含水量 w_A (%)	融化后的潮湿程度	融沉等级	融沉类型
少冰冻土	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%)	$w_A < 10$	潮 湿	I	不融沉
	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量大于 15%)	$w_A < 12$	稍 湿		
	细砂、粉砂	$w_A < 14$			
	粉 土	$w_A < 17$			
	黏性土	$w_A \leq w_p$	坚 硬		
多冰冻土	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%)	$10 \leq w_A < 15$	饱 和	II	弱融沉
	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量大于 15%)	$12 \leq w_A < 15$	潮 湿		
	细砂、粉砂	$14 \leq w_A < 18$			
	粉 土	$17 \leq w_A < 21$			
	黏性土	$w_p \leq w_A < w_p + 4$	硬 塑		
富冰冻土	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%)	$15 \leq w_A < 25$	饱和出水(出水 量小于 10%)	III	融沉
	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量大于 15%)		饱 和		
	细砂、粉砂	$18 \leq w_A < 28$			
	粉 土	$21 \leq w_A < 32$			
	黏性土	$w_p + 4 \leq w_A < w_p + 15$	软塑		

多年冻土类型	土的名称	总含水量 w_A (%)	融化后的潮湿程度	融沉等级	融沉类型
饱冰冻土	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量不大于 15%)	$25 \leq w_A < 44$	饱和大量出水 (出水量为 10% ~ 20%)	Ⅳ	强融沉
	碎石类土、砾砂、粗砂、中砂 (粉黏粒质量大于 15%)		饱和出水 (出水量小于 10%)		
	细砂、粉砂	$28 \leq w_A < 44$			
	粉 土	$32 \leq w_A < 44$			
	黏性土	$w_p + 15 \leq w_A < w_p + 35$	流塑		
含土冰层	碎石类土、砂类土、粉土	$w_A \geq 44$	饱和大量出水 (出水量为 10% ~ 25%)	Ⅴ	融陷
	黏性土	$w_A \geq w_p + 35$	流塑		

注： 1 总含水率包括冰和未冻水；
2 盐渍化冻土、泥炭化冻土、腐植土、高塑性黏土不在表列；
3 w_p 为塑限含水率。

7.1.3 盐渍化冻土和泥炭化冻土应分别根据易溶盐含量和泥炭化程度的界限值按表 7.1.3—1、表 7.1.3—2 进行划分, 并应符合下列要求：

1 盐渍化冻土的盐渍度(ζ)可按下式计算；

$$\zeta = \frac{m_g}{g_d} \times 100\%$$

(7.1.3 - 1)

式中

m_g ——冻土中含易溶盐的质量(g)；
 g_d ——土骨架质量(g)。

2 泥炭化冻土的泥炭化程度(ξ)可按下式计算：

$$\xi = \frac{m_p}{g_d} \times 100\%$$

(7.1.3 - 2)

式中

m_p ——冻土中含植物残渣和泥炭的质量(g)；
 g_d ——土骨架质量(g)。

表 7.1.3 - 1 盐渍化冻土的盐渍度界限值

土类	粗颗粒土	粉土	粉质黏土	黏土
盐渍度(%)	≥ 0.10	≥ 0.15	≥ 0.20	≥ 0.25

表 7.1.3 - 2 泥炭化冻土的泥炭化程度界限值

土 类	粗颗粒土	黏 性 土
泥炭化程度(%)	≥ 3	≥ 5

7.2 工程地质选线

7.2.1 线路宜选择地表干燥、少冰、地形平缓的地带通过。线路宜采用路堤, 少用路堑，

并注意减少零断面及低填方,山前线路应选择在缓坡地段上部以路堤通过,线路走向沿大河河谷时,宜选择在高台地上,并以较短距离通过多年冻土的不稳定地带,避免顺着大河融区附近的多年冻土不稳定地带定线。

7.2.2 线路宜绕避不良冻土现象分布的地段,当必须通过时应符合下列要求:

- 1 厚层地下冰及不稳定的山坡地段,线路宜从地下冰分布较窄、较薄处,以不低于1.5m的路堤通过;
- 2 冰椎、冻胀丘及地下水发育地段,线路不宜挖方,应离开一定距离,在其下方以路堤通过,路堤高度以保证积冰体不漫路堤为原则;
- 3 多年冻土沼泽、湿地区,线路宜从宽度较窄,冰层较薄,基底稳定处以路堤通过,其高度宜高出沼泽暖季积水水位以上不小于1.0m;
- 4 热融滑塌体及融冻泥流扇地段,线路应在其外缘下方以路堤通过;
- 5 热融湖塘地段,线路应以路堤通过。

7.2.3 大、中桥宜选择在河流融区或基底为少冰冻土地段,避免将一座桥设在融区和多年冻土两种不同地基上,并宜避免将大、中桥选在有较大河冰堆积分布处。

7.2.4 站场及房屋工程,应选择在地形平坦、地质良好、冻胀融沉小、易于处理的地段。避免选在富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层地段。大型站房、厂房和车库等应选择在地下水不发育的基岩和粗颗粒土等地带,避开不良冻土现象发育地段和多年冻土不稳定地带。

7.2.5 隧道宜避免穿过地下水发育的地层。洞口应避开热融滑塌、冰椎、冻胀丘及厚层地下冰发育地段。

7.3 地质调绘

7.3.1 多年冻土地区地质调绘前应搜集下列资料:

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

7.3.2 多年冻土地区遥感图像解译应包括下列内容:

- 1 多年浆土的分布范围、冻土类别、地表物质组成、地貌类型及形态特征;
- 2 热融湖塘、热融滑塌、融冻泥流、冻土沼泽、冻胀丘、冰椎等不良冻土现象的分布、范围和规模;
- 3 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;
- 4 区域地质构造、构造地热异常区、构造地热融区等的分布;
- 5 利用不同时相的遥感图像,解译多年冻土的发展趋势;
- 6 地质复杂,比选方案较多地段,宜编制遥感影像解译图。

7.3.3 多年冻土地区地质调绘应包括下列内容:

- 1 第四纪地层的成因类型、地层结构、土质成分,特别是斜坡堆积物及特征;
- 2 结合地形、地貌及微地貌、斜坡坡度、朝向、植被、地表保温状态、积水湖塘的分布及形成条件,查明各类冻土分布范围,确定多年冻土上限采用值;
- 3 研究区域气温和地温的分布特征,特别是平面和剖面上年平均地温的分布特征;
- 4 多年冻土类别及富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层的分布规律,冻土融沉性分级、冻

土总含水率以及结构特征和物理力学性质；

5 井、泉的分布规律，地表水与地下水的水文地质特征，矿化度，多年冻土层土水、层间水、层下水的存在形态、相互关系及其对工程建筑物的影响；

6 查明多年冻土地区各种不良冻土现象及厚层地下冰、冻土沼泽的形态特征、形成条件、分布范围、发生与发展规律；

7 大河桥渡融区的分布情况；

8 隧道地区有无地下水，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；

9 季节融化层土的成分，含水率以及最大融化深度；

10 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、点进行观测；

11 配合有关专业确定取土、弃土位置等，避免引起环境工程地质问题。

7.4 勘深与测试

7.4.1 多年冻土地区应根据勘测阶段要求和冻土特性，采用钻探、坑探、槽探、物探等相结合的综合勘探方法。

7.4.2 多年冻土地区勘探、取样应符合下列要求：

1 查明多年冻土物理地质现象、最大冻深变化的勘探，应在 2~5 月进行，查明多年冻土上限深度的勘探宜在 9~10 月进行。勘探工作量可根据勘察阶段按有关规定确定。

2 各类工程的勘探要求：

1) 路基工程和各种不良冻土现象的勘探深度，不浅于 8m，并不得浅于 2 倍天然上限；对饱冰冻土或含土冰层，部分勘探点应适当加深，冻土路堑及有地下水的路堑，勘探深度必须至路肩设计高程加最大季节融化深度以下 1~2m。

2) 桥梁墩、台及挡土墙等工程的基础，当采用保持冻结原则设计时，勘探深度应至设计的人为上限以下至少 2.5m，涵洞则至少 1.0m。当无法确定设计人为上限时，从地面算起的勘探深度：对于大、中桥应大于 3.5 倍天然上限，且不得小于 20m，对小桥涵和挡土墙应大于 2 倍天然上限，且不得小于 12m。当遇有饱冰冻土或含土冰层时，还应酌情加深。当采用容许融化原则设计时，勘探深度均应至容许融化的人为上限深度处，并可按非多年冻土地区的一般勘探要求办理。

3) 对于采暖房屋，当设计采用保持冻结原则时，其勘探深度至基底或桩尖下 2~3m。当采用容许融化原则设计时，民用住宅建筑勘探深度应大于计算融化盘深度 3~4m，大型工业厂房等大跨度建筑物，还需适当加深。

4) 隧道的勘探深度必须至洞底融化圈以下 1~2m，当土质不良时还应酌情加深，对有地下水的隧道，其勘探深度必须至设计泄水洞基础以下 4~5m。

5) 凡需进行变形计算的建筑物，勘探深度按压缩层影响深度确定。

3 浅部冻土层勘探可采用坑探、槽探和小螺钻等方法。

4 在勘探和测温期间，应减少对场地地表植被的破坏，已破坏的要在任务完成以后尽快恢复到天然状态。应按勘测阶段要求确定需要保留的观测孔、测温孔和试坑，不需要的应及时回填。

5 在初步查明冻土的分布特征和各种不良冻土现象,提供经济合理的钻探方案时,可先期开展物探,查明下列内容:

- 1)冻土类型及分布特征;
- 2)季节融化层深度,必要时了解多年冻土下限;
- 3)厚层地下冰的类型及分布特征;
- 4)多年冻土地区地下水类型及其赋存条件与变化规律;
- 5)多年冻土波速、动弹性模量。

6 根据冻土试验目的和要求,冻土试样可按表 7.4.2 划分为三级:

表 7.4.2 冻土试样等级分级

级别	冻融及扰动程度	试验内容
I	保持天然冻结状态	土类定名,冻土物理力学性质试验
II	保持天然含水率但容许融化	土类定名,含水率
III	不限制冻融扰动	土类定名

7 冻土取样应由地表以下 0.5m 开始逐层采取。当土层小于 1.0m 时,必须取一个样;土层大于 1.0m 时,必须每米取样一个,含水率变化时还需加取。为保证试样质量,不得从爆破的碎土块中取样。

7.4.3 冻土室内试验应包括下列内容:

表 7.4.3

多年冻土试验项目

土的类别	工程类别	总含水率	颗粒密度	天然密度	塑性指数	天然孔隙比	颗粒分析			有机质含量	盐渍度	体积含冰率	水的相对成分			融化压缩		融化后密度	融化后剪切		导线系数		导温系数		容积热容量	
							筛分	大于0.5mm含量	小于0.075mm含量				相对含水率	未冻含水率	饱和度	融化下沉系数	压缩系数		黏聚力	内摩擦角	融	冻	融	冻	融	冻
w_A	ρ_s	ρ	I_p	e				ζ	i_v	i_c	w_u	S_t	A	α	ρ_f	c	φ	λ_f	λ_u	α_f	α_u	C_f	C_u			
%		g/cm ³			%	%	%	%	%	%	%	%	%	MPa ⁻¹	g/cm ³	kPa	°	W/m℃		m ² /h		kJ/m ³ ℃				
黏性土	隧 道	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	桥涵、房屋、高填陡坡路堤、挡土墙等地基	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	路 堑	+	+	+	+	+		+	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	填 料	+		(+)	+			+	+		(+)									(+)		(+)		(+)		
粉土	隧 道	+	(+)	(+)	+	+		+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	桥涵、房屋、高填陡坡路堤、挡土墙等地基	+	(+)	(+)	+	+		+	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	路 堑	+	(+)	(+)	+	+		+	+	(+)	+	+	+		+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	填 料	+		(+)	+			+	+		(+)									(+)		(+)		(+)		
砂类土	隧 道	+		+			+			(+)	+			(+)	+	(+)	(+)		(+)	+	+	+	+	+	+	+
	桥涵、房屋、高填陡坡路堤、挡土墙等地基	+		(+)			+			(+)	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)		(+)	+	+	+	+	+	+	+
	路 堑	+		(+)			+			(+)		(+)	+	+		(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	
	填 料	+					+			(+)										(+)		(+)		(+)		

注： 1 (+)为需要时才做的试验项目；
2 * 指最大干密度 ,需要时还应做夯后的 w 、 ρ 、 c 、 φ ；
3 有机质含量一项 ,遇黑色土及泥炭时做。

- 1 冻土的粒度成分、总含水率、液限、塑限、颗粒密度、天然密度、含水率或未冻水含水率、盐渍度、有机质含量等物理性质；
- 2 冻土的骨架比热、土冻结和融化状态下的导热系数等热学性质；
- 3 冻土中水和地下水的化学成分等化学性质；
- 4 冻土的冻胀力、土的冻结强度、抗剪强度、抗压强度、冻胀性、冻土的融沉系数和融化后体积压缩系数等力学性质；
- 5 冻土试验项目 根据不同勘测阶段的实际需要,可从表 7.4.3 中选取；
- 6 冻土物理、力学、热学参数除根据取样试验结果,还可根据现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118)计算及查表选取。

7.4.4 冻土原位测试应包括下列内容：

- 1 地温、地下水位、多年冻土上限深度、季节融化层深度、季节融化层土的冻胀及融化过程；
- 2 载荷试验、桩基静载试验、波速试验、融化压缩试验等。

7.5 观测与场地评价

7.5.1 多年冻土观测包括年平均地温观测、建筑物勘察、施工阶段地基基础和上部建筑可能变化的监测,应符合下列要求：

- 1 分段建立年平均地温观测点,观测时间及周期由工程要求确定；
- 2 冻土区的代表性建筑场地、重点工程及建筑面积较大的高温车间等,从勘察工作开始就应设置定位观测站,并对气温、冻土地温、地温年变化深度、冻土上限、季节融化深度、地下水位、融化下沉量及冻胀量等进行系统观测。

7.5.2 多年冻土地区工程地质条件评价,应根据工程类型、勘测阶段分别进行,包括下列内容：

- 1 多年冻土类型及其分布、成分、组成、性质、厚度等；
- 2 多年冻土的温度状况,包括地表积雪、植被、水体、沼泽化、大气降水渗透作用、土的含水率、地形等对地温的影响；
- 3 多年冻土季节融化层的深度及其变化；
- 4 多年冻土地基的融沉性应根据土的融沉系数按表 7.5.2-1 的规定进行分级；
- 5 多年冻土地基季节融化层的冻胀性应根据土的类别、冻前天然含水率、冻结期间地下水位距冻结面的最小距离、平均冻胀率等按表 7.5.2-2 的规定进行分类；
- 6 冻土物理、力学和热学性质及其变化；
- 7 不良冻土现象及其动态变化；
- 8 环境变化对冻土工程地质条件的影响。

7.5.3 多年冻土地区工程地质环境评价应按下列内容进行：

- 1 人类工程活动作用形式(施工准备工作及施工方式)；
- 2 自然环境的破坏情况；
- 3 冻土地质条件的变化情况及预测；
- 4 预测区域气候条件变化趋势,对冻土及工程的影响；
- 5 不良冻土现象类型及变化情况；

6 根据预测的冻土工程地质条件及其变化 ,提出地基土的利用原则及其相应的保护和防治措施建议。

表 7.5.2-1

多年冻土的融沉性分级

融化下没系数 δ	$\delta_1 \leq$	$1 < \delta_0 \leq 3$	$3 < \delta_0 \leq 10$	$10 < \delta_0 \leq 25$	$\delta_0 > 25$
融沉性分级	I (不融沉)	II (弱融沉)	III (融沉)	IV (强融沉)	V (融陷)

表 7.5.2-2

季节融化土层的冻胀性分级

土的类别	冻前天然含水率 w (%)	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 γ (%)	冻胀等级及类别
粉黏粒质量不大于 15% 的粗颗粒土 (包括碎石类土、砾、粗、中砂 ,以下同) 粉黏粒质量不大于 10% 的细砂	不考虑	不考虑	$\eta \leq 1$	I 级 不冻胀
粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土 ,粉黏粒质量大 10% 的细砂	$w \leq 12$	> 1.0		
粉砂	$12 < w \leq 14$	> 1.0		
粉土	$w \leq 19$	> 1.0		
黏性土	$w \leq w_p + 2$	> 2.0		
粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土 ,粉黏粒质量大于 10% 的细砂	$w \leq 12$	≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II 级 弱冻胀
	$12 < w \leq 12$	> 1.0		
粉砂	$w \leq 14$	≤ 1.0		
	$14 < w \leq 19$	> 1.0		
粉土	$w \leq 19$	≤ 1.5		
	$12 < w \leq 22$	> 1.5		
黏性土	$w \leq w_p + 2$	≤ 2.0		
	$w_p + 2 < w \leq w_p$	> 2.0		
粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土 ,粉黏粒质量大于 10% 的细砂	$12 < w \leq 18$	≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III 级 冻胀
	$w > 18$	> 0.5		
粉砂	$14 < w \leq 19$	≤ 1.0		
	$14 < w \leq 23$	> 1.0		
粉土	$14 < w \leq 22$	≤ 1.5		
	$22 < w \leq 26$	> 1.5		
黏性土	$w_p + 2 < w \leq w_p + 5$	≤ 2.0		
	$w_p + 5 < w \leq w_p + 9$	> 2.0		

土的类别	冻前天然含水率 w (%)	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 γ (%)	冻胀等级及类别
粉黏粒质量大于 15% 的粗颗粒土 , 粉黏粒质量大于 10% 的细砂	$w > 18$	> 0.5	$6 < \gamma \leq 12$	Ⅳ 级 强冻胀
粉 砂	$19 < w \leq 23$	≤ 1.0		
粉 土	$22 < w \leq 26$	≤ 1.5		
	$26 < w \leq 30$	> 1.5		
黏性土	$w_p + 5 < w \leq w_p + 9$	≤ 2.0		
	$w_p + 9 < w \leq w_p + 15$	> 2.0		
粉 砂	$w \leq 23$	不考虑	$\gamma > 12$	Ⅴ 级 特强冻胀
粉 土	$26 < w \leq 30$	≤ 1.5		
	$w > 30$	不考虑		
黏性土	$w_p + 9 < w \leq w_p + 15$	≤ 2.0		
	$w > w_p + 15$	不考虑		

- 注： 1 平均冻胀率为地表冻胀量与冻层厚度减地表冻胀量之比
- 2 w_p 为塑限含水率；
- 3 盐渍化冻土不在表列；
- 4 塑性指数大于 22 ,冻胀性降低一级；
- 5 碎石类土当充填物大于全部质量的 40% 时 ,其冻胀性按填充物土的种类判定。

7.6 踏 勘

7.6.1 踏勘阶段多年冻土地区工程地质勘察应包括下列内容：

- 1 搜集和研究线路通过区的区域地质、区域冻土、遥感图像、工程地质、气象、水文、既有工程建筑物使用情况等资料 ,拟定踏勘重点；
- 2 概略了解线路通过区地层结构、地质构造、多年冻土分布、工程特性及不良冻土现象和影响线路方案的冻土工程地质问题、范围及其发生、发展的概况和危害程度；
- 3 了解控制线路方案的越岭地段、重点隧道、大河桥渡、地质复杂的斜坡地段冻土工程地质条件 ,提出越岭隧道、桥位等线路方案的比选意见 ,必要时可进行勘探。

7.6.2 踏勘阶段多年冻土地区资料的编制应包括下列内容：

- 1 工程地质说明 ,应阐明多年冻土的分布、类型、工程性质及其对线路方案的影响 ,对各方案的工程地质条件进行评价并提出比选意见。对初测工作的重点及勘探、测试工作量等提出建议；
- 2 全线工程地质图 ,比例为 1:50 000 ~ 1:200 000 ,重点反映冻土范围及分区等；
- 3 推荐方案及主要比较方案线路平面图 ,比例为 1:10 000 ~ 1:50 000 ,填绘对线路方案有影响的多年冻土的类型、类别、不良冻土现象的范围及主要地质构造线等；
- 4 对控制线路方案的越岭地段、大河桥渡、重点隧道等 ,应填绘冻土工程地质平、纵

断面示意图,比例为 1:5 000 ~ 1:10 000。

7.7 初 测

7.7.1 初测阶段多年冻土地区的地质调绘应符合下列要求:

1 对沿线多年冻土应查明:

- 1) 冻土区域条件、区域地质、水文地质、冻土分布、类型、特征,特别应注意富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层的分布、成因和厚度;
- 2) 对线路起控制作用的冻土现象的性质、特征和范围;
- 3) 应根据年平均地温进行多年冻土区的地温稳定性分区;
- 4) 根据沿线地震动参数区划资料,结合沿线岩性、构造、地貌、水文地质和多年冻土条件,确定地震动参数的分界线。

2 对控制线路方案的重大路基工点、大桥、隧道、铁路区段站及以上大站、各类代表性设计工点,应按有关工程的设计和方案比选要求,查明冻土工程地质及水文地质条件,提供多年冻土地基的物理、力学和热学等参数及围岩级别、基本承载力等。

7.7.2 根据沿线重点工程地段和大的地貌单元分布,布置代表性观测孔,建立长期地温观测站、点开展定位观测和地温观测,并应符合下列规定:

- 1 观测孔深度不应小于 16m;
- 2 地温观测应在钻孔冻土温度状态稳定后进行;
- 3 观测周期应根据工程设计的要求确定。

7.7.3 初测阶段多年冻土地区勘探应符合下列要求:

1 勘探的重点应是控制线路方案的工程地质条件与不良冻土现象分布地段和重点工程地段;

2 勘探点的数量和深度应根据工程类型、设计可能采用的原则及冻土工程地质条件的复杂程度确定;一般路基地段勘探点间距不应大于 500m;

3 在多年冻土不稳定的边缘地段和稳定地段,应结合工程需要,布置查明多年冻土下限的钻孔。

7.7.4 初测阶段多年冻土地区资料的编制应包括下列内容:

1 综合资料

- 1) 工程地质勘察报告,应阐明冻土地区的区域地质条件,多年冻土类别、特征、分布规律、发展趋势、上限埋深、融沉性、冻胀性及不良冻土现象的类型、分布及处理意见;多年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;提出对各线路方案的工程地质条件评价意见及方案比选意见;定测工作量、有关注意事项及有待进一步解决的问题;
- 2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:20 000,填绘冻土类型、范围和分区;
- 3) 详细工程地质平面图,比例为 1:2 000 ~ 1:5 000,可与线路平面图合并,填绘冻土和不良冻土现象的类型及范围、上限深度、季节融化层深度等;
- 4) 沿线工程地质分段说明,按地形地貌或冻土不同工程地质条件分段编写。

2 工点资料

- 1) 工点工程地质说明;

- 2) 工程地质图, 比例为 1:500 ~ 1:2 000, 填绘冻土范围界线、类型、厚度和不良冻土现象类型;
- 3) 工程地质纵、横剖面图, 比例为横 1:200 ~ 1:5 000, 竖 1:50 ~ 1:500, 填绘冻土地层结构、类型、上限深度、季节融化层深度、地温特征、融沉等级、冻胀等级等;
- 4) 勘探、测试、试验、地温观测等资料。

7.8 定 测

7.8.1 定测阶段多年冻土地区的地质调绘, 应详细查明采用方案沿线多年冻土的类型、分布范围、工程性质、物理力学和热物理性质; 各类不良冻土现象分布、产生原因、发生与发展的规律及对工程建筑物稳定性的影响; 对既有工程的使用、病害及治理情况进行调查。

7.8. 多年冻土地区各类工程的地质调绘, 除应查明一般冻土工程地质与水文地质条件外, 尚应包括下列内容:

1 路基工程

- 1) 沿线多年冻土上限的分布, 季节融化层的成分及冻胀性, 地表植被的覆盖程度, 评价自然达坡及基底稳定性;
- 2) 地基基底以下 2.0 ~ 3.0 倍多年冻土天然上限范围内多年冻土特征;
- 3) 沿线不良冻土现象的分布及对路基工程的影响;
- 4) 配合路基进行取土调查, 确定沿线集中取土点和大型取土场的多年冻土特征、岩石的物理力学性质、可供取土的数量。

2 小桥涵工程

- 1) 桥位范围内的多年冻土分布特征, 融区成因和水文地质条件;
- 2) 桥位范围内不良冻土现象类型、分布及危害程度;
- 3) 根据冻土工程地质条件, 提出小桥涵的基础型式、埋深和施工方法等建议。

3 大、中桥工程

- 1) 桥位区多年冻土的分布及物理力学特征;
- 2) 桥渡区融区的分布及特点;
- 3) 桥渡区不良冻土现象类型、分布及危害程度。

4 隧道工程

- 1) 隧道通过地段多年冻土的分布及特征, 地下水类型, 补给、径流、排泄条件及动态特征;
- 2) 隧道口处不良冻土现象的类型及危害程度;
- 3) 重点隧道视需要宜进行地温、地下水和简易气象等项目观测。

5 站场及房屋建筑工程、供水工程等

- 1) 冻土分布规律, 不良冻土现象的类型, 成因和对场地稳定性的影响, 特别注意查明活动层厚度、成分及冻胀性, 地下水及高含冰冻土的特征、分布范围、危害程度;
- 2) 地下水埋藏条件及其对工程建筑物的影响;
- 3) 地质构造、环境地质对建筑场地的影响。

7.8.3 在地质调绘的基础上,应提出地质条件变化的预报,其主要内容如下:

- 1 季节融化层融化深度的变化;
- 2 在工程影响下以及消除雪盖和植被后,多年冻土的融化深度;
- 3 建筑物施工中产生的冻土工程地质问题。

7.8.4 定测阶段多年冻土地区勘探应符合下列要求:

1 勘探点的数量应满足各类工程施工图对冻土工程地质资料的需要。勘探点的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建筑物的类型确定。桥梁工程原则上每个墩应有一个钻孔,隧道洞口必须有钻孔,洞身钻孔布置视地质条件复杂程度而定;一般路基工程,每公里不应少于4个勘探孔(点),挖方段钻孔间距以满足编制工点资料的需要为原则;工程建筑物勘探点间距,应按现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JBJ 118)办理。

- 2 勘探深度应视勘探目的和工点的具体情况确定。
- 3 岩、土物理力学数据的测试工作,应满足各类建筑物施工图设计要求。

7.8.5 定测阶段多年冻土资料的编制应包括下列内容:

1 综合资料

- 1)工程地质勘察报告,应阐明沿线多年冻土地形地貌、分布范围、水文地质条件、各类冻土的物理力学指标和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,沿线定位观测站(点)的设置及取得的观测成果,施工应注意的工程地质问题;
- 2)全线工程地质图,比例为1:10 000~1:200 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改;
- 3)详细工程地质图,比例为1:2 000~1:5 000,根据各类工点的工程地质资料补充、修改;
- 4)详细工程地质纵断面图,比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000,与线路详细纵断面图合并或单独绘制,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。

- 2 各类建筑物工程地质资料,与初测工点的要求相同。

第二节 多年冻土条文说明

7.1.2 本规程表7.1.2—1,即多年冻土分类表是在综合分析冻土内在规律的基础上,并考虑与建筑物基础的相互联系,按其工程性质分成若干个等级。它对于工程地质勘察和设计工作都有一定的指导意义。

(1)分类原则

①较充分地反映多年冻土对工程建筑物破坏的主要因素。由于多年冻土地区大量的工程破坏主要表现在融沉方面,因此分类时以考虑冻土的融沉性为主,并考虑其冻胀性和

强度问题。

②既适用于多年冻土又适用于多年冻土之上的季节活动层。

③以定量数据为依据 ,同时考虑现场应用的可能性和现实性。表中各个界限均以现场和室内观测数据。野外只需作一些简单的物理性质试验 ,如筛分、含水率测定等。

(2)多年冻土分类界限的划分

①根据上述原则 ,按冻土的工程性质将其划分为 :

I ——不融沉土(少冰冻土);

II ——弱融沉土(多冰冻土);

III ——融沉土(富冰冻土);

IV ——强融沉土(饱冰冻土);

V ——融陷土(含土冰层)。

I 类土 除基岩之外的最好地基土。一般建筑物可不考虑冻融问题。

II 类土 :为多年冻土较好的地基土。融化下沉量不大。

III 类土 :作为建筑物地基时 ,应采取专门措施 ,如深基、保温、防止基底融化等。

IV 类土 往往会造成建筑物的破坏 ,宜采用保持冻土的原则设计或采用桩基等。

V 类土 因含有大量的冰 ,所以不但不允许基底融化 ,还应考虑它的长期流变作用 ,需进行专门处理 ,如砂垫层等。

②在野外工程地质勘察时 ,可根据体积含冰量(单位体积内冰的质量与冻土中水的质量之比) ,参照说明表 7.1.2 初步判定多年冻土含冰的类型。

说明表 7.1.2 多年冻土含冰类型初判标准

多年冻土含冰的类型	体积含冰量 i_v (%)
少 冰 冻 土	$i_v < 25$
多 冰 冻 土	$25 \leq i_v < 40$
富 冰 冻 土	$40 \leq i_v < 60$
饱 冰 冻 土	$60 \leq i_v < 80$
含 土 冰 层	$80 \leq i_v < 100$

7.1.3 冻土中的易溶盐含量和泥炭化程度的限界值超过本规程表 7.1.3—1 和表 7.1.3—2 中的数值时 ,将会强烈地影响冻土的强度特性。这是因为 ,由于地基土中的易溶盐类被水溶解成不同浓度时 ,则可降低土的起始冻结温度 ,其未冻水含量比一般冻土大得多 ,因此使盐渍化冻土的强度明显降低。例如当盐渍度为 0.5% 时 ,单独基础与桩尖的承载力降低 1/5 ~ 1/3 ,基础侧表面的冻结强度降低 1/4 ~ 1/3。同样 ,泥炭化冻土的强度指标 ,在冻土工程地质勘察时 ,亦应慎重的按规定取值专门进行原位测试确定。

7.2

多年冻土地区有其特有的各种物理地质现象 ,而冻土本身又有其特殊的物理力学性质。因此在铁路选线中必须特别加以注意。本规程第 7.2.1 ~ 第 7.2.5 条均为东北大小

兴安岭及青藏高原多年铁路勘测的经验总结。特别是通过东北大、小兴安岭、牙林和嫩林铁路从勘测设计、施工、运营至今的实践检验,给我们提供了大量的而且是宝贵的经验与教训。例如第 7.2.1 条中尽量避免或减少低填浅挖及零断面地段长度,是因为这些地段的路基容易产生冻胀及融沉病害,而且一般均较路堤病害严重,不容易彻底根治,所以在多年冻土地区选线中应当多填少挖,尽量避免或减少这些地段长度,绕避和缩短多年冻土现象地段,把线路选择在良好的地基上。

7.3.3 多年冻土地质调绘主要是参照了现行《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001)并且作了少量修改补充。

2 由于朝向对多年冻土的分布、上限深度、厚度、地温、冻土总含水率、植物生长情况及土层地下水活动等都有很大影响,因此调查中必须加以说明,例如朝南的阳坡一般冻土上限较深,冻土层厚度薄,体积含冰量少,年平均地温较高。甚至没有冻土存在,北坡则与此相反。地表保温情况对多年冻土的存在同样关系密切,可分为保温良好,保温一般,保温差。例如地表密长塔头草或厚层苔藓的低地沼泽即属保温良好,植被稀疏的阳坡保温最差。

4 查明冻土总含水率,需要取冻土样做试验确定。因为这是确定冻土是少冰冻土(不融沉),多冰冻土(弱融沉),富冰冻土(融沉),饱冰冻土(强融沉),含土冰层(融陷)的主要依据。

8 查明隧道地下水情况的内容是多年冻土地区勘察的主要任务之一。从大兴安岭已通车线路隧道病害来看,以地下水造成的病害最为严重,形成衬砌开裂、掉落、洞顶挂冰、轨面积冰等病害。一般需要修建泄水洞,深埋水沟等排水设施予以处理。如牙林线岭顶隧道开始未注意对地下水的处理,致使衬砌大量开裂,洞内积冰挂冰,无法通车。在弄清地下情况后,修建了泄水洞,消除了病害。嫩林线西罗奇 2 号隧道,泄水洞设计、施工存在问题,通车不久即造成衬砌大片开裂掉落、冬季洞内大量积水,至今尚在整治处理中,呼中支线翠岭 2 号隧道,由于泄水洞处在多年冻土中,地下水在泄水洞中逐渐冻结,最后堵塞泄水洞,从路基面上冒出,最终采用鼓风机送入暖风,融化积冰。相反,没有地下水的隧道一般都没有病害。所以应着重调查清楚地下水情况,以便考虑是否改移线路位置或采取相应的防排水措施。

7.4.2 冻土勘探取样

1 调查时间为 2~5 月。上述时间中 2 月太冷不适于野外工作,5 月份气温已转暖,冻胀丘、冰椎等已部分消融,实际上最适宜的时间应为 3~4 月。

2 桥涵、挡土墙当按保持冻结原则设计时,其勘探深度应至设计的人为上限以下至少 2.5 m,涵洞至少 1 m。这是考虑到桥涵规范中规定了桥涵基础和承台座板底面必须埋置在稳定人为上限以下,因此勘探深度应适当超过设计的人为上限深度以查清基础底面以下有无冰层。当遇有饱冰冻土或含土冰层时还应酌情加深。人为上限值本可根据建筑物及其基础形式通过热力计算决定。但因其受多种因素影响,如气温、水温、地温、海拔高度、纬度、地貌、朝向、土的颗粒组成、地表水潜流程度和施工条件等,目前一般热传导计算方法均不适用于桥涵地基多维传热的情况,同时有关参数误差较大,目前还缺乏理论解法,亦无成熟的经验公式和可靠资料。勘测时可结合各地区冻土的稳定情况,深入调查已

成桥涵建筑物人为上限的变化规律及其与天然上限的关系 ,作为确定该地区桥涵地基冻土人为上限的依据。第 2 项中“当无法确定设计人为上限时 ,从地面算起的勘探深度 :对于大、中桥应大于 3.5 倍天然上限 ,且不得小于 20 m ;对小桥涵和挡土墙应大于 2 倍天然上限 ,且不得小于 12 m ”的规定是根据《青藏铁路多年冻土区工程勘察暂行规定》审查会上专家对冻土地区研究的成果确定的。

有关采暖房屋的勘探深度 ,目前对一般民用住宅等小跨度房屋 ,已做了较多的研究工作 ,对基底融化盘变化规律已基本掌握。但大跨度的建筑还很少研究 ,对其底融化盘深度及规律尚不了解。因此需与有关专业人员共同根据具体情况研究决定。

多年冻土地区隧道如遇有地下水时 ,一般采用泄水洞排水 ,因此其勘探深度应至泄水洞基础以下 4~5 m。多年冻土区隧道围岩一般均为岩石 ,因此如无地下水时 ,钻探深度到路肩设计高程以下 4~5 m 即可。

6 在冻土工程地质勘察中 ,采取保持天然冻结状态 ,供试验室分析试验的土样 ,是钻探工作的主要目的之一 ,也是对冻土地基作出正确工程地质评价的基础。但是 ,按工程要求和现场条件 ,还可采取保持天然含水率并允许融化的冻结土样以及不受冻融影响的扰动土样。

保持天然冻结状态的土样采取 ,主要取决于钻进方法、取样方法以及取土工具 3 个环节。为取得保持天然冻结状态的土样必须保证孔底待取土样 ,不受因不适当的钻进方法受到扰动或压大作用所产生的热影响。要求取样前应使孔底待取土样有恢复天然温度状态的时间(最好测量钻孔底部土壤温度) ,然后在接近取样深度时控制每一回次的进尺(深度视土层情况决定) ,以保证取出的土样仍保持冻结状态(粗颗粒土及大块碎石土除外) 。取出的冻结土样应及时装入具有保温性能的容器或专门的冷藏车内送验。如不能及时送验时 ,应在现场测定土样在冻结状态时的密度。

7.5.2 多年冻土地基的工程分类主要以融化下沉为指标 ,并在一定程度上反映了冻土的构造和力学特征(见说明表 7.5.2) 。本规程采用了现行《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118)所用冻土的融沉性分级 ,在弱融沉档次上将原先的融化下沉系数 1%~5% 修改为 1%~3%。

说明表 7.5.2 冻土的融沉性与冻土强度及构造的对应关系

级 别		I	II	III	IV	V
融沉 评价	名 称	不融沉	弱融沉	融 沉	强融沉	融 陷
	融化下沉系数 σ_0	$\sigma_0 \leq 1$	$1 < \sigma_0 \leq 3$	$3 < \sigma_0 \leq 10$	$10 < \sigma_0 \leq 25$	$\sigma_0 > 25$
强度 评价	名 称	少冰冻土	多冰冻土	富冰冻土	饱冰冻土	含土冰层
	相对强度值	< 1	1		0.8~0.4	< 0.4
冷生构造		整体构造	微层微 网状构造	层状构造	斑状构造	基底状构造
黏性土总含水率 $w_A(\%)$		$w_A < w_p$	$w_p \leq w_A$ $< w_p + 4$	$w_p + 4 \leq w_A$ $< w_p + 15$	$w_p + 15 \leq w_A$ $< w_p + 35$	$w_A \geq w_p + 35$

一般对Ⅰ、Ⅱ级融沉($1 \leq \sigma_0 < 3$)建筑物结构设计时,无须考虑多年冻土地基融沉的影响。因为一般建筑物的主要承重结构在设计和使用过程中都容许有一定变形量,以适应地基的融沉性。但是,当Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级融沉土的融沉量超过建筑物的容许变形值时,对建筑物而言必须采取相应的设计原则、适当的基础形式以及能适应不均匀沉降的柔性结构等特殊措施。路基工程除采用保持冻结状态的设计原则外,还必须保证有一个合理的路基最小填土高度,注意环境保护以及路基排水等措施。冻土的融化下沉系数 σ_0 可按下式计算:

$$\sigma_0 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100\% \quad (\text{说明 } 5.5.2)$$

式中 h_1 ——冻土试样融化前的高度(mm);

h_2 ——冻土试样融化后的高度(mm)。

5 地基土的冻胀 除与气温条件有关外,主要与土的类别、冻前含水率和地下水位有关。当粉土、黏土颗粒增多时,土的冻胀性显著增大。如土中含水率超过起始冻胀含水率时,在没有地下水补给的情况下,土层仍有水分迁移现象存在,含水率发生重分布,并产生冻胀。

季节冻结与季节融化层土,根据土冻胀率 η 的大小可分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五类,冻结层的平均冻胀率 η 应按下式计算:

$$\eta = \frac{\Delta z}{Z_d} \times 100\% \quad (\text{说明 } 7.5.2-1)$$

$$Z_d = h' - \Delta z \quad (\text{说明 } 7.5.2-2)$$

式中 Δz ——地表冻胀量(mm);

Z_d ——设计冻深(mm);

h' ——冻层厚度(mm)。

影响地基土冻胀的地下水深度是各类土毛细水高度有关的临界深度,黏土、粉质黏土为1.2~2.0 m,粉土为1.0~1.5 m,砂土为0.5 m。当地下水位低于临界深度时属封闭系统,可不考虑地下水对冻胀的影响,仅考虑土中含水率的影响,当地下水位高于临界深度时,可按敞开系统考虑土中含水率和地下水补给的影响。如多年冻土活动层黏性土冻胀问题可按封闭系统处理,即在无地下水补给的条件下,冻土中总含水率和冻胀率的关系为

$$\eta = \frac{1.09\rho_d}{2\rho_w} (w - w_p) \approx 0.8 (w - w_p) \quad (\text{说明 } 7.5.2-3)$$

式中 η ——冻胀率;

ρ_d ——土的干密度,取 1.5 g/cm^3 ;

ρ_w ——水的密度,取 10 g/cm^3 ;

w, w_p ——含水率和塑限含水率。

但是,当季节冻结的冻胀性问题按敞开系统考虑时,即在有地下水补给情况下,冻胀性将会提高,如本规程表7.5.2—2中黏性土当 $w > w_p + 15$ 时为特强冻胀。

7.6.1 区域冻土资料系指多年冻土分布、成分、结构、年平均地温、地温年变化深度、融区的形态和成因、季节融化层和季节冻结层的成分、性质和深度、结构产生过程和成因、多年冻土分布地区的地质构造等。

影响线路方案的主要冻土工程地质问题系指冻土现象的危害、多年冻土边缘地带和高温冻土带的退化、高含冰量冻土分布地区的热融下沉以及地基基础严重冻胀等。

7.7.2 多年冻土的温度状况和变化特性是多年冻土稳定与否的标志。地温年变化深度是一般工程建筑的热力影响深度。因此,了解和掌握年变化深度内多年冻土温度的状况和变化规律,对于评价多年冻土的稳定性是极其重要的。地温观测孔的深度不小于地温年变化深度的规定就是基于上述理由提出的。

在地温孔钻探时,钻具旋转切削所作的功有相当部分转变为热能,从而使多年冻土的温度状况破坏。当钻孔成孔后,应立即进行地温观测、以了解地温逐渐恢复平衡的全过程和评价冻土的稳定性。

7.7.3 多年冻土的工程性质除取决于它的岩性成分外,更重要的还取决于它的含冰量、结构和温度。因此,从工程角度看,多年冻土在平面和剖面土的变化较非多年冻土要复杂得多。为了查明多年冻土条件及其对工程的影响,其勘探孔(点)的数量和深度较一般地区要大。路基勘探孔、地温观测孔以及房屋钻孔的数量和深度便是基于上述理由和多年来的实践提出的。

7.8.2 多年冻土地区路基、小桥涵、大、中桥、隧道、站场及房屋建筑工程,除应查明一般冻土工程地质与水文地质条件外,尚应包括下列内容:

1 多年冻土区的工程实践表明,路基工程对多年冻土的热影响深度一般在1~3倍上限深度范围。所以,在这里提出路基工程地质调查时,应查明路基基底下1~3倍上限深度范围内的多年冻土特征,以满足路基设计需要。

冻土地质环境的保护应给予足够重视,冻土区地质环境是地质历史时期的产物,保护好地质环境就保护了多年冻土,从而保障多年冻土上工程建筑的稳定。在多年冻土区取土,即减少了地面覆盖的热阻。因而通过地面传入地中的热量增加,多年冻土将产生退化。如果在含冰冻土或厚层地下冰分布地段取土,多年冻土融化将引起严重地面下沉,并可能形成热融洼地或热融湖塘,这对工程建筑和生态环境将产生不利影响。因此,多年冻土区的取土和弃土都应从保护冻土地质环境出发,合理布置,严格控制。

多年冻土区沿线取土坑的取土与一般地区不同,在多年冻土区,取土坑可供取土的最大厚度一般为活动层厚度。活动层下的多年冻土一般不宜作为路基填料。为了减少对多年冻土的热干扰,保护冻土地质环境应集中取土。当取土坑下多年冻土为少冰冻土时,在不影响周围冻土地质环境的前提下,允许取土深度达活动层底部。在含土冰层和厚层地下冰分布地段,不允许取土。因此,在路基取土坑调查时,应查明取土地点多年冻土的特性,而后确定取土范围和深度。

3 多年冻土区的大河,一般均有融区存在。融区按情况和形态可分为贯通融区和非贯通融区。贯通融区是指融区已贯通多年冻土层,与多年冻土层下的融土连在一起。非贯通融区是指融区下仍有多多年冻土存在。若为贯通融区或融区厚度很大的非贯通融区,桥梁的设计可按季节冻土区或一般地区考虑。但桥头引线设计应注意冻土向融土地段的

过渡。若为一般非贯通融区,则应根据融区的厚度和其下多年冻土的特性确定桥梁基础的类型、结构以及埋置深度,并采取措施确保地基基础的稳定。

4 隧道通过地段的多年冻土及其水文地质条件是隧道工程地质勘察的重点,据多年冻土地区已有隧道工程建筑的经验,处理好地下水是保证多年冻土区隧道工程稳定的关键。从大兴安岭已通车的隧道病害情况看,地下水危害是主要的。由于地下水侵入隧道,造成衬砌开裂、掉落、洞顶挂冰、轨面积冰等。如牙林线(牙克石——满归)岭顶隧道,由于修建时未注意对地下水处理,致使衬砌大量开裂,洞内积水挂冰无法通车。在查明地下水情况后,在隧道下方修建了泄水洞,消除了病害。又如嫩林线(嫩江——西林子)西罗奇2号隧道和呼中支线翠岭2号隧道,都是由于地下水未处理好,致使洞内积水,衬砌开裂,严重影响行车。与此相反,在没有地下水时,多年冻土区隧道一般都没有病害。所以,在进行隧道工程地质勘察时,应着重查明多年冻土的水文地质条件。

第八章 填土及其条文说明

第一节 填 土

8.1 一般规定

8.1.1 遇人为活动难填的建筑垃圾、生活垃圾、工业废料等各类土时,应按填土进行勘察。

8.1.2 填土按其物质组成和难填方式可划分为素填土、杂填土、冲(吹)填土和填筑土。其含义应符合下列要求:

1 素填土:不含杂质或只含少量的杂质,按其主要的组成物质分为碎石类土、砂类土、粉土、黏性土等。

2 杂填土:主要由建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等组成的填土。按其物质成分可分为:

1)建筑垃圾填土——建筑垃圾填土的主要组成物质是碎砖、瓦砾、混凝土块、灰渣、朽木等,有机物含量较少,比较容易鉴别;

2)工业废料填土——主要由工业生产的废料、废渣堆积而成;

3)生活垃圾填土——主要由人类生活废弃物,如炉灰、蔬菜根、菜叶、果皮、布片、陶瓷片等夹少量土组成,一般含有机质和未分解的腐植质较多。

3 冲(吹)填土:由人工利用水力冲吹泥砂堆积形成的填土,其组成成分随原地的物质成分而变化,土层分布不均、多呈透镜体或薄片状出现。

4 填筑土:经分层碾压或夯实而填筑的土,一般成分单一,土质均匀,工程地质条件较好。

8.2 工程地质选线

8.2.1 线路应绕避地段长、堆填厚、松散、基底横坡较大的填土地段,宜选择在填土分布较窄、厚度较薄、基底土质较好、横坡平缓的地段通过。

8.2.2 线路应避开有机质含量较多的生活垃圾、有侵蚀性的工业废料、弃土时间短、未经处理的填土地段。

8.3 地质调绘

8.3.1 地质调绘前应搜集下列资料:

1 沿线地形地貌资料和原始地形图等资料;

2 场地的历史和地形、地物变迁资料。

8.3.2 填土地段地质调绘应包括下列内容；

- 1 填土类型、弃填年代、堆积方式、物质来源；
- 2 填土分布范围、厚度、分布规律及原地面坡度；
- 3 填土物质成分、颗粒级配、均匀性、密实程度、压缩性；
- 4 对冲填土应查明冲填期间的排水条件和冲填完后的固结条件和固结程度；
- 5 拟建场地范围内暗埋的塘、沟、浜、坑的分布情况及水文地质条件；
- 6 了解在填土上已建的永久或临时建筑物、构筑物的建筑年代、采用的地基类型、沉降变形和使用情况及当地建筑经验等；
- 7 对有机质含量高的生活垃圾填土，应注意是否储存着有毒物质、有害气体，并提出合理的措施建议。

8.4 勘探与测试

8.4.1 填土地段勘探、测试、取样应符合下列要求：

- 1 作为路基基底时，应进行横断面勘探，断面间距不宜大于 50m，每断面勘探孔不少于 2 孔。勘探深度应穿透填土层，深入下卧层 1~2m。
- 2 作为建筑物地基时，根据填土类型、范围和建筑物类型、位置，布置勘探孔。对于重要建筑物，应进行横断面勘探，断面间距宜为 10~25m，每个断面应布置 2~3 个勘探孔，对一般建筑物孔距可加大到 40m，对可能有暗埋的塘、浜、沟、坑地段，勘探点应适当加密，勘探孔深度应穿透填土层至原地面以下不少于 3m。
- 3 填土的物理力学性质，应采用原位测试和取样室内试验等方法确定，当难以取得测试资料而又为重要工程时，应进行现场载荷试验。
- 4 进行原位测试或取样的坑、孔数应占勘探孔总数的 2/3，且每个场地不得少于 2 孔。
- 5 试验土样或原位测试数据，在地基主要受力层深度内竖向间距为每隔 1~2m 一组，在地基主要受力层以下，每隔 2~3m 一组。
- 6 根据需要对环境水、土进行侵蚀性分析评价。必要时应取样分析是否存在有毒物质、有害气体。

8.4.2 当填土基底为软土或填土本身软弱时，应按软土地质勘察要求进行调绘、勘探、测试和编制资料。

8.5 场地评价

8.5.1 有机质含量较多的生活垃圾，有侵蚀性的工业废料，弃填年限不长、未经处理的填土，不宜作为天然地基。

8.5.2 一般堆积年限较长（黏土、粉质黏土 10 年以上，粉土 5 年以上）和压缩模量 $E_s > 2000$ kPa 黏性素填土，可作为房屋地基的持力层，其承载力的标准值按现行《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7）选用或用轻便触探试验锤击数确定。

8.5.3 冲填土、建筑垃圾和性能稳定的工业废料杂填土，当均匀性和密实度较好时，可作为房屋地基的持力层，其承载力参照当地建筑经验和有关规定确定。

8.5.4 当填土底面的天然坡度大于 20% 时应验算其稳定性。

8.5.5 填土的基本承载力应结合当地建筑经验和勘探、试验资料综合评定。

8.6 踏 勘

8.6.1 踏勘阶段填土地段工程地质勘察应包括下列内容：

- 1 搜集所经地区填土范围的地形图及有关工程性质、规模的资料,概略了解填土的分布情况、类型、年代、堆填方法、物质来源等；
- 2 必要时,应通过重点地段的踏勘和简易勘探,了解填土的工程性质及与工程的关系,对线路方案提出初步评价意见。

8.6.2 踏勘阶段填土地段资料的编制应包括下列内容：

- 1 工程地质说明,应阐明填土的分布、类型、地形地貌特征、各类填土的工程特性、水文地质条件等对线路的影响,并对线路方案作出评价；
- 2 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,填绘填土的类型及分布范围。

8.7 初 测

8.7.1 初测阶段填土地段地质调绘应符合下列要求：

- 1 重点核实沿线填土类型、分布范围、厚度、年代、堆填方法、物质来源；
- 2 对控制线路方案或需作代表性设计的地段,应详细查明填土的类型、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。

8.7.2 初测阶段填土地段勘探、测试应符合下列要求：

- 1 对控制线路方案的大范围、巨厚的、难以处理或需作代表性设计的填土地段,应进行代表性勘探,每处 1 ~ 2 个勘探断面,每个断面 2 ~ 3 孔；
- 2 采用钻探、静探、钎探和原位测试等综合勘察手段确定填土的力学性质和承载力值,取水、土试样作侵蚀性评价,勘探深度、取样和测试工作应符合本规程第 8.4 节的有关规定。

8.7.3 初测阶段填土地段资料的编制应包括下列内容：

1 综合资料

- 1) 工程地质勘察报告,应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,提出线路方案评价和比选意见；
- 2) 全线工程地质图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000,填绘填土的分布范围、厚度、有关图例符号；
- 3) 详细工程地质图,比例为 1:2 000 ~ 1:50 000,填绘填土地质界线、地层年代、成因类型等,在线路纵断面图的工程地质特征栏中应说明填土类型、厚度；
- 4) 沿线工程地质分段说明,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。

2 工点资料

- 1) 工程地质说明；
- 2) 工程地质图,比例为 1:500 ~ 1:2 000,应填绘填土地层时代、成因类型、地质分界线,小柱状图(标注地下水位线)；
- 3) 工程地质横断面,比例为 1:200,应填绘填土的类型、厚度、地下水位)；
- 4) 工程地质纵断面,比例为横 1:500 ~ 1:5 000,竖 1:100 ~ 1:500,应填绘填土的类

型、厚度、地下水位线；

5) 勘探、测试、试验等资料。

8.8 定 测

8.8.1 定测阶段填土地段地质调绘应符合下列要求：

- 1 详细查明沿线填土的分布范围、类型、成因、厚度，各类填土的物理力学指标；
- 2 地质条件复杂的工点应扩大调绘范围，满足环境工程地质评价的要求；
- 3 有工程方案比选的工点，应满足各类工程设计的要求。

8.8.2 定测阶段填土地段勘探、测试应符合下列要求：

1 结合建筑物类型、按不同填土类型及厚度分段布置勘探点，并取样做物理力学性质等方面的试验，对重要建筑物，必要时应进行现场载荷试验；

- 2 对环境水、污染土取样进行侵蚀性分析。

8.8.3 定测阶段填土地段资料的编制应包括下列内容：

1 综合资料

1) 工程地质勘察报告，应阐明沿线填土的分布范围、厚度、各类填土的物理力学指标和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，施工应注意的问题；

2) 全线工程地质图，比例为 1:10 000 ~ 1:200 000，根据各类工点的工程地质资料补充、修改；

3) 详细工程地质图，比例为 1:2 000 ~ 1:5 000，根据各类工点的工程地质资料补充、修改；

4) 详细工程地质纵断面图，比例为横 1:10 000，竖 1:100 ~ 1:1 000，与线路详细纵断面图合并或单独绘制。

- 2 各类建筑物的工程地质资料，与初测工点的要求相同。

第二节 填土条文说明

8.1.1 填土是由人类生产、生活活动所废弃的物质，无计划地弃填而成的，是一种未经压实的堆积土。主要特点是成分复杂、固结时间短、结构松散、均质性和密实程度差，一般具有较大的压缩性和湿陷性。

填土形成年限、成分、方式、填土附近水文地质条件等，都影响填土的密实度。

有计划进行分层夯填的填筑土，不包括在本条之内。但在工程建设活动中，如遇到此类土作为地基时，其工程地质勘察，可比照本章要求进行。

8.2

填土地区线路和建筑物位置选择基本原则是：在保证既有建筑物和新建路基（建筑物）稳定前提下，选择填土稳定性较好或稳定性虽然稍差，但经过采取措施后仍能保证稳定的地段。符合上述要求的人工填土有弃填多年的素填土、冲（吹）填土、建筑杂填土、性

能稳定的工业杂填土,这些人工填土经过冻融、浸水反复作用下自重固结程度较好,地基承载力一般为 $60 \sim 150 \text{ kPa}$ 。

在既有矿山尾矿堆积场、弃土场附近或在既有铁路附近修建不等高铁路路基或建筑物时,对上述地段的斜坡稳定性要进行工程地质评价。

生活垃圾填土其组成物质十分复杂,在北方,居民生活用的煤球、煤砖、蜂窝煤等燃烧后形成的炉灰也是一种常见的生活垃圾填土,而经过地面水的淋溶作用变为褐色的稍有黏性的粉状土时称为变质炉灰填土。

冲填土是我国沿海地区常见的一种填土,主要是由于整治或疏通江河航道,用高压泥浆泵将泥砂通过输泥管排送到需要填高的地段,经过沉淀排水后形成大片冲填土层。

8.3

对人工填土地段进行调绘,目的在于确定人工填土类型、厚度并评价其作为天然地基的适宜性,据以提出工程措施建议。

填土成分和弃土方式,可决定人工填土类型。填土厚度及其基底坡度是否不利于建筑物稳定,取决于原始地形及人工填土的类型与密实程度。

8.4

通过勘探、测试手段来了解填土组成成分、厚度、物理力学性质,以便进行填土工程地质评价和为地基处理提供数据。

作为路基基底和建筑物地基来讲,不同工程对不同的填土要求也不同。路基与建筑物相比对沉降要求稍低,荷载影响深度也较浅。另外,填土地区冻结深度一般不大于 2 m ,所以对路基工程一般只要求勘探 3 m ,断面间距是参考北京市及浙江省经验,结合路基工程上述特点确定的。

工业与民用建筑物对沉降反应比较敏感,填土地基往往因为疏松而超出其允许沉降值,因此勘探深度一般要穿透填土,进入良好土层 $1 \sim 2 \text{ m}$ 。断面间距是参考现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021)第 5.5.3 条的要求确定的。

在填土底部如发现软土时,基底工程地质条件发生变化,应按软土地区工程地质勘测要求办理。

暗埋的塘、浜沟、坑中软弱的填土易造成建筑物不均匀沉降,同时这些储水体的水质都有不同程度的污染,对地下的各类混凝土砌体有无侵蚀性,要取环境水进行水质分析。

8.5

弃土年限及填土成分对填土密实程度有密切的影响,粗颗粒土在自重压力下压密时间较细粒土所需时间短。一般认为弃填 $5 \sim 10$ 年后,其沉降就已趋于稳定。

地基承载力主要取决于人工填土类型及密实程度,一般讲填土形成年限愈长,承载力愈高。国内各地所积累的经验多是工业与民用建筑方面的,铁路部门目前尚无成熟经验,对测试及评价缺乏明确的规定,因此搜集填土地区有关单位的建筑经验,对我们评价勘察区域内的人工填土是有一定帮助的。

附录 A 地基承载力

A.0.1 岩土地基承载力分为基本承载力 σ_0 、容许承载力 $[\sigma]$ 和极限承载力 P_u 。岩土地基的基本承载力,可按表 A.0.1-1~表 A.0.1-4 确定。当有经验或用原位测试方法确定时,可不受附表限制。对重点工程应采用载荷试验、理论公式计算及其他原位测试方法综合确定。

表中的地基基本承载力,只适用于铁路路基、桥涵、隧道等工程。房屋、厂房等建筑工程的地基承载力,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25)等的有关规定执行。

1 黄土地基的基本承载力可按表 A.0.1-1 及表 A.0.1-2 确定。

表 A.0.1-1 新黄土(Q_3, Q_4)地基基本承载力 σ_0 (kPa)

w_L	$e \backslash w$	5	10	15	20	25	30	35
24	0.7	—	230	190	150	110	—	—
	0.9	240	200	160	125	85	(50)	—
	1.1	210	170	130	100	60	(20)	—
	1.3	180	140	100	70	40	—	—
28	0.7	280	260	230	190	150	110	—
	0.9	260	240	200	160	125	85	—
	1.1	240	210	170	140	100	60	—
	1.3	220	180	140	110	70	40	—
32	0.7	—	280	260	230	180	150	—
	0.9	—	260	240	200	150	125	—
	1.1	—	240	210	170	130	100	60
	1.3	—	220	180	140	100	70	40

- 注： 1 非饱和 Q_3 新黄土,当 $0.85 < e < 0.95$ 时 σ_0 值可提高 10%；
2 本表不适用于坡积、崩积和人工堆积等黄土；
3 括号内 σ_0 值供内插用。

表 A.0.1-2 老黄土(Q_1, Q_2)地基基本承载力 σ_0 (kPa)

$w/w_L \backslash e$	< 0.7	0.7 ~ 0.8	0.8 ~ 0.9	> 0.9
< 0.6	700	600	500	400
0.6 ~ 0.8	500	400	300	250
> 0.8	400	300	250	200

- 注： 1 老黄土黏聚力小于 50 kPa,内摩擦角小于 25°,表中数值应降低 20%左右；
2 w ——天然含水率； w_L ——液限； e ——天然孔隙比。

2 软土地基的承载力

1)容许承载力可按下式计算：

$$[\sigma] = \frac{1}{k}5.14CU + \gamma h$$

(A.0.1)

式中 h ——基础底面的埋藏深度(m) ;对于一般受水流冲刷的桥墩台 ,由一般冲刷线算起 ;不受水流冲刷者 ,由天然地面算起 ;

γ ——基底以上土的天然重度的平均值(kNm^3) ;如持力层在水面以下 ,且为透水性者 ,水中部分应采用浮重度 ;如为不透水者 ,无论基底以上水中部分土的透水性质如何 ,应采用饱和重度 ;

CU ——固结不排水抗剪强度(kPa) ;

k ——安全系数 ,可视软土的灵敏度及建筑物对变形的要求等因素 ,选用 1.5 ~ 2.5 ;

$[\sigma]$ ——地基容许承载力(kPa)

2)一般建筑物基础 ,其基本承载力 ,可按表 A.0.1 - 3 确定。

表 A.0.1 - 3

软土地基基本承载力 σ_0 (kPa)

天然含水率 w (%)	36	40	45	50	55	65	75
基本承载力 σ_0	100	90	80	70	60	50	40

3 多年冻土地基基本承载力可按表 A.0.1 - 4 确定。

表 A.0.1 - 4

多年冻土地基基本承载力 σ_0 (kPa)

序号	基础底面的月平均 最高土温($^{\circ}\text{C}$)						
	土 名	- 0.5	- 1.0	- 1.5	- 2.0	- 2.5	- 3.0
1	块石土、卵石土、碎石土	800	950	1 100	1 250	1 380	1 650
2	圆砾土、角砾土、砾砂、粗砂、中砂	600	750	900	1 050	1 180	1 450
3	细砂、粉砂	450	550	650	750	830	1 000
4	粉土	400	450	550	650	710	850
5	粉质黏土、黏土	350	400	450	500	560	700
6	饱冰冻土	250	300	350	400	450	550

注： 1 本表序号 1 ~ 5 栏地基承载力适用于少冰冻土、多冰冻土 ,当序号 1 ~ 5 栏地基为富冰冻土时 ,表列数值应降低 20% ；

2 含土冰层的承载力应实测确定 ；

3 基础置于饱冰冻土的土层时 ,基础底面应敷设厚度不小于 0.20 ~ 0.30m 的砂垫层 ；

4 表列数值不适用于盐渍化冻土和泥炭化冻土。

A.0.2 岩土地基的极限承载力应根据现场载荷试验及静力触探计算公式获取 ,也可按表 A.0.2—1 ~ 表 A.0.2 - 4 确定。

1 新、老黄土地基的极限承载力。

表 A.0.2-1 新黄土(Q_3, Q_4)地基极限承载力 p_u (kPa)

液限 w_L	天然含水率 孔隙比 e	5	10	15	20	25	30	35
	w							
24	0.7		460	380	300	220		
	0.9	480	400	320	250	170	(100)	
	1.1	420	340	260	200	120	(40)	
	1.3	360	280	200	140	80		
28	0.7	560	520	460	380	300	220	
	0.9	520	480	400	320	250	170	
	1.1	480	420	340	280	200	120	
	1.3	440	360	280	220	140	80	
32	0.7		560	520	460	360	300	
	0.9		520	480	400	300	250	
	1.1		480	420	340	260	200	120
	1.3		440	360	280	200	140	80

注：1 非饱和 Q_3 新黄土 ,当 $0.85 < e < 0.95$ 时 , p_u 值可提高 10% ；
2 本表不适用于坡积、崩积和人工堆积等黄土 ；
3 括号内表值供内插用。

表 A.0.2-2 新黄土(Q_1, Q_2)地基极限承载力 p_u (kPa)

w/w_L	e	< 0.7	0.7 ~ 0.8	0.8 ~ 0.9	> 0.9
< 0.6		1 400	1 200	1 000	800
0.6 ~ 0.8		1 000	800	600	500
> 0.8		800	600	500	400

注：1 老黄土黏聚力小于 50KPa ,内摩擦角小于 25° ,表中数值应适应降低 20% 左右 ；
2 w ——天然含水率 ； w_L ——液限 ； e ——天然孔隙比。

2 软土地基的极限承载力。

表 A.0.2-3 软土地基的极限承载力 p_u (kPa)

天然含水率(%)	36	40	45	50	55	65	75
极限承载力 p_u	179	161	143	125	107	90	72

3 多年冻土地基的极限承载力 ,表列数值不适用于含盐量和泥炭化程度分别超过表 7.1.3—1 及表 7.1.3—2 中数值的多年冻土。

表 A.0.2-4 多年冻土地基极限承载力 p_{ik} (kPa)

序号	土 名	基础底面的月平均 最 高 土 温					
		- 0.5	- 1.0	- 1.5	- 2.0	- 2.5	- 3.5
1	块石土、卵石土、碎石土	1 600	1 900	2 200	2 500	2 760	3 300
2	圆石土、角砾土、砾砂、粗砂、中砂	1 200	1 500	1 800	2 100	2 360	2 900
3	细砂、粉砂	900	1 100	1 300	1 500	1 660	2 000
4	粉土	800	900	1 100	1 300	1 420	1 700
5	粉质黏土、黏土	700	800	900	1 000	1 120	1 400
6	饱冰冻土	500	600	700	800	900	1 100

注： 1 本表序号 1~5 类适合于少冰冻土 ,多冰冻土 ,当序号 1~5 类为富冰冻土时 ,表列数值应降低 20% ；
2 含土冰层的承载力应实测确定 ；
3 基础置于饱冰冻土的土层时 ,基础底面应敷设厚度不小于 0.20~0.30m 的砂垫层 ；
4 表列数值不适用于含盐量大于 0.3% 的冻土和泥炭化冻土。

本规程用词说明

执行本规程条文时 ,对于要求严格程度的用词说明如下 ,以便在执行中区别对待。

(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 ,采用“ 可 ”。