

UDC

中华人民共和国行业标准

P

**TB**

TB 10038—2012  
J 1408—2012

## 铁路工程特殊岩土勘察规程

Code for Special Soil and Rock Investigation  
of Railway Engineering

2012-04-09 发布

2012-06-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

中华人民共和国行业标准

## 铁路工程特殊岩土勘察规程

Code for Special Soil and Rock Investigation  
of Railway Engineering

TB 10038—2012

J 1408—2012

主编单位：中铁第一勘察设计院集团有限公司

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2012年6月1日

中 国 铁 道 出 版 社

2012年·北京

## 关于发布《铁路工程不良地质勘察规程》 等 2 项标准的通知

铁建设〔2012〕72 号

现发布《铁路工程不良地质勘察规程》(TB 10027—2012)、《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB 10038—2012),自 2012 年 6 月 1 日起施行(另发单行本)。铁道部原发《铁路工程不良地质勘察规程》(TB 10027—2001)、《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB 10038—2001)同时废止。

本标准由铁道部建设管理司负责解释,铁路工程技术标准所、中国铁道出版社负责组织出版发行。

中华人民共和国铁道部  
二〇一二年四月九日

中华人民共和国行业标准  
铁路工程特殊岩土勘察规程  
TB 10038—2012  
J 1408—2012

\*

中国铁道出版社出版发行  
(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850 mm×1 168 mm 1/32 印张:6.5 字数:161 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

---

统一书号:15113·3646 定价:36.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部联系调换。

联系电话:路(021)73170,市(010)51873172

出版社网址:<http://www.tdpress.com>

## 前 言

本规程是根据铁道部“关于印发《2007 年铁路工程建设标准编制计划》的通知”(铁建设函〔2006〕1112 号)的要求,在《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB 10038—2001)的基础上全面修订而成。

本规程在修订过程中,总结了近年来铁路工程特殊岩土的勘察经验,吸纳了路内外特殊岩土工程的科研成果。

本规程的内容包括:总则、术语和符号、基本规定、黄土、膨胀土(岩)、软土及松软土、盐渍土、多年冻土、填土、盐岩及盐渍岩等 10 章,另有 4 个附录。

本次修订的主要内容如下:

1. 新增了第 3 章基本规定,规定了资料收集、地质调绘、勘探取样、岩土测试、踏勘、初测、定测、补充定测及资料整理等的原则要求和特殊岩土勘察的重点工作;

2. 在各类特殊岩土章节中,根据各种特殊岩土类型的特点,对施工、运营阶段的地质勘察工作及监测工作做出了较为具体的规定;

3. 新增了适用于高速铁路(含客运专线铁路)勘察的规定,调整了特殊岩土场地各类工程的勘探间距;

4. 新增了第 10 章盐岩及盐渍岩,规定了石膏、硬石膏、石盐、天然碱、芒硝、无水芒硝、钾盐、光卤石等蒸发化学沉积岩及盐渍岩的勘察规定;

5. 新增了附录 A 黄土的地貌类型划分表、附录 B 黄土地层的堆积时代与特征划分表、附录 C 多年冻土的含水率与融沉等级对照表和附录 D 多年冻土季节融化土层的冻胀性分级划分表;

6. 结合近年来特殊岩土的勘察经验和科研成果,对原规程中的技术内容进行了全面梳理和完善。

本规程以黑体字标识的条文为强制性规定条文,必须严格执行。

在执行本规程的过程中,希望各单位结合工程实践,总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见及有关资料寄交中铁第一勘察设计院集团有限公司(陕西省西安市西影路 2 号,邮政编码:710043),并抄送铁路工程技术标准所(北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号,邮政编码:100038),供今后修订时参考。

本规程由铁道部建设管理司负责解释。

本规程主编单位:中铁第一勘察设计院集团有限公司。

本规程参编单位:中铁二院工程集团有限责任公司、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司。

本规程主要起草人:张照财、李 响、孟祥连、舒 磊、陈元元、李法昶、龚重远、胡力学、王华江、苗晓岐、王子江、甄庆廷、阚京梁、曾长贤、黄恒均、秦立新。

本规程主要审定人:米 隆、吴明友、周诗广、韩文雷、刘 珣、何振宁、肖道坦、顾湘生、荆志东、杜文山、楚华栋、曹化平。

## 目 次

1 总 则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术 语 .....	2
2.2 符 号 .....	4
3 基本规定 .....	7
4 黄 土 .....	9
4.1 一般规定 .....	9
4.2 工程地质选线 .....	10
4.3 地质调绘 .....	11
4.4 勘探与测试 .....	12
4.5 场地评价 .....	15
4.6 踏 勘 .....	19
4.7 初 测 .....	20
4.8 定 测 .....	22
4.9 施工阶段 .....	24
4.10 运营阶段 .....	25
5 膨胀土(岩) .....	26
5.1 一般规定 .....	26
5.2 工程地质选线 .....	27
5.3 地质调绘 .....	28
5.4 勘探与测试 .....	29
5.5 场地评价 .....	30
5.6 踏 勘 .....	33
5.7 初 测 .....	34

5.8 定 测 .....	36
5.9 施工阶段 .....	38
5.10 运营阶段 .....	38
6 软土及松软土 .....	40
6.1 一般规定 .....	40
6.2 工程地质选线 .....	41
6.3 地质调绘 .....	42
6.4 勘探与测试 .....	43
6.5 场地评价 .....	47
6.6 踏 勘 .....	48
6.7 初 测 .....	49
6.8 定 测 .....	51
6.9 施工阶段 .....	55
6.10 运营阶段 .....	55
7 盐 渍 土 .....	57
7.1 一般规定 .....	57
7.2 工程地质选线 .....	58
7.3 地质调绘 .....	59
7.4 勘探与测试 .....	60
7.5 观测与场地评价 .....	62
7.6 踏 勘 .....	64
7.7 初 测 .....	65
7.8 定 测 .....	67
7.9 施工阶段 .....	68
7.10 运营阶段 .....	69
8 多年冻土 .....	70
8.1 一般规定 .....	70
8.2 工程地质选线 .....	70
8.3 地质调绘 .....	72



8.4	勘探与测试	73
8.5	观测与场地评价	76
8.6	踏勘	80
8.7	初测	81
8.8	定测	83
8.9	施工阶段	86
8.10	运营阶段	86
9	填土	88
9.1	一般规定	88
9.2	工程地质选线	89
9.3	地质调绘	89
9.4	勘探与测试	90
9.5	场地评价	91
9.6	踏勘	92
9.7	初测	92
9.8	定测	94
9.9	施工阶段	95
9.10	运营阶段	96
10	盐岩及盐渍岩	97
10.1	一般规定	97
10.2	工程地质选线	98
10.3	地质调绘	99
10.4	勘探与测试	100
10.5	场地评价	101
10.6	踏勘	102
10.7	初测	103
10.8	定测	104
10.9	施工阶段	106
10.10	运营阶段	106

附录 A	黄土的地貌类型划分表	108
附录 B	黄土地层的堆积时代与特征划分表	110
附录 C	多年冻土的含水率与融沉等级对照表	111
附录 D	多年冻土季节融化土层的冻胀性分级划分表	113
本规程用词说明		115
《铁路工程特殊岩土勘察规程》条文说明		116

## 1 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，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于新建、改建铁路勘察设计、施工和运营阶段的特殊岩土勘察工作。

**1.0.3** 铁路工程特殊岩土勘察应按勘察设计阶段的要求循序渐进，逐步查清特殊岩土的工程地质条件和地质病害成因、规模及发展趋势，提供工程设计所需的岩土参数及工程措施建议。

**1.0.4** 铁路工程特殊岩土勘察应根据地层岩性的区域性差异和铁路的建设标准，采用综合勘探、综合分析的方法。

**1.0.5** 铁路工程特殊岩土勘察应积极采用新技术、新方法和新设备。

**1.0.6** 铁路工程特殊岩土勘察应遵守国家、地方和相关部门有关环境保护、水土保持及安全生产等方面的法律法规，并做到文明勘察，保障人身及机具的安全。

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

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 特殊岩土 special rock and soil

指含有特殊的矿物成分和结构，具有特殊的物理、力学和化学性质，并影响工程地质条件的岩石与土体。主要种类有黄土、膨胀土、膨胀岩、红黏土、软土及松软土、盐渍土、盐渍岩、多年冻土、人工填土、盐岩（石膏、硬石膏、石盐、天然碱、芒硝）等。

#### 2.1.2 湿陷性黄土 collapsible loess

具有疏松的粒状架空胶结结构体系，含水率较低时具有较高的结构强度，在自重和一定压力下浸水时，土体结构可迅速破坏，并产生明显的湿陷下沉现象的黄土。

#### 2.1.3 湿陷系数 coefficient of collapsibility

单位厚度的环刀内保持天然湿度和结构的试样，在一定压力下下沉稳定后的高度和上述加压稳定后试样浸水（饱和）附加下沉稳定后的高度之差与试样原始高度的比值。

#### 2.1.4 自重湿陷系数 coefficient of self-weight collapsibility

单位厚度的环刀内试样，保持天然湿度和结构，加压至该试样上覆土的饱和自重压力时下沉稳定后的高度和上述加压稳定后试样在浸水（饱和）作用下附加下沉稳定后高度之差，与试样原始高度的比值。

#### 2.1.5 大气影响深度 depth of atmosphere effect

自然气候条件下，由降水、蒸发、地温等气候因素引起岩土层胀缩变形的有效深度。

### 2.1.6 大气影响急剧层深度 depth of sharp atmosphere effect

大气影响特别显著的地层深度,一般为大气影响深度的45%。

### 2.1.7 胀缩潜势 swelling - shrinkage potential

膨胀潜势和收缩潜势的总称。膨胀潜势为土在充分吸水饱和时发生膨胀的潜在能力,收缩潜势为土体失水收缩的潜在能力。

### 2.1.8 自由膨胀率 free swelling ratio

烘干的黏性土或软质岩试样在水中膨胀后的体积与原体积的比值,以百分率表示。

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

在荷载的竖向附加应力作用下,地基土产生固结压缩时的计算深度。

### 2.1.10 红黏土 laterite

石灰岩或其他熔岩经风化作用形成褐红色为主、富含铁铝氧化物的黏性土。

### 2.1.11 毛细水上升高度 capillary rise height

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。

### 2.1.12 毛细水强烈上升高度 sharp capillary rise height

受地下水直接补给的毛细水上升高度。

### 2.1.13 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。

### 2.1.14 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。

### 2.1.15 季节融化层 seasonally thawed layer

多年冻土区每年冬季冻结,暖季融化的地壳表层岩土。

### 2.1.16 年平均地温 mean annual ground temperature

地表以下,地温在一年内相对恒定深度处的地温,即年零较

差深度处的地温。它与纬度、高程、地层岩性、地表植被等地热条件密切相关。

### 2.1.17 地温年变化深度 depth of annual ground temperature change

地表向下至地温在一年内相对不变处的深度,也称地温年零较差深度。

### 2.1.18 连续片状多年冻土 continuous permafrost zone

在平面上大面积连续分布的多年冻土,其中可以包含部分融区。

### 2.1.19 岛状多年冻土 patch permafrost zone

在平面上呈岛状形式分布于非多年冻土区的多年冻土。

### 2.1.20 涎流冰 salivary flow ice, extruded ice

高海拔、高纬度寒冷地区泉水出露点附近形成的逐渐叠层状增厚和逐渐向下游扩张的冻胀性冰椎或冰幔,按出水点的不同分山坡涎流冰和河谷涎流冰。

### 2.1.21 盐岩 salt rock

在极度干热环境的封闭凹地或湖塘,由于地表水、地下水的补给和蒸发不平衡,根据流域周边地层岩性淋出物质的不同,集聚的地表水逐渐浓缩形成不同化学成分的高矿化度卤水,因水分蒸发而结晶形成的化学沉积岩,亦称蒸发岩(Evaporite)。常见矿物有石膏(Gypsum)、硬石膏(Anhydrite)、石盐(Halite)、天然碱(Trona)、芒硝(Mirabilite)、无水芒硝(Thenardite)、钾盐(Sylvite)、光卤石(Carnallite)等。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 岩土的物理指标

CEC ( $\text{NH}_4^+$ ) ——阳离子交换量

DT ——易溶盐含量

$\overline{\text{DT}}$  ——平均易溶盐含量

e ——天然孔隙比

$F_s$ ——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  
 $I_p$ ——土的塑性指数  
 $I_L$ ——土的液性指数  
 $M$ ——蒙脱石含量  
 $V_H$ ——膨胀率  
 $S_r$ ——土的饱和度  
 $\omega$ ——土的天然含水率  
 $\omega_A$ ——多年冻土的总含水率  
 $\omega_p$ ——土的塑限  
 $\omega_l$ ——土的液限  
 $\rho$ ——岩土的天然密度  
 $\delta$ ——颗粒密度

## 2.2.2 岩土の力学指标

CU——固结不排水抗剪强度  
 CD——固结排水抗剪强度  
 $E_s$ ——压缩模量  
 $N$ ——标准贯入锤击数  
 $P_e$ ——土的前期固结压力  
 $P_p$ ——膨胀力  
 $P_{sh}$ ——湿陷起始压力  
 $q_u$ ——无侧限抗压强度  
 $R$ ——岩石单轴抗压强度  
 $S_v$ ——十字板剪切强度  
 $S_l$ ——土的灵敏度  
 UU——不固结不排水抗剪强度  
 $\sigma_0$ ——地基基本承载力  
 $\phi$ ——内摩擦角

## 2.2.3 岩土の测试参数

$\alpha_{0.1-0.2}$ ——压力为 0.1 ~ 0.2 MPa 时的压缩系数  
 $a_v$ ——垂直压缩系数  
 $C_h$ ——水平固结系数  
 $C_v$ ——垂直固结系数  
 $k_v$ ——垂直渗透系数  
 $k_h$ ——水平渗透系数  
 $\delta_0$ ——冻土融化下沉系数  
 $\delta_s$ ——湿陷系数  
 $\delta_{zs}$ ——自重湿陷系数  
 $\eta$ ——多年冻土冻胀率  
 $\zeta$ ——多年冻土的盐渍化程度  
 $\xi$ ——多年冻土的泥炭化程度



### 3 基本规定

**3.0.1** 铁路工程特殊岩土勘察应按踏勘、初测、定测和补充定测开展工作，并与预可行性研究、可行性研究、初步设计和施工图四个设计阶段相适应。施工、运营阶段应根据需要开展工程地质勘察工作。

**3.0.2** 铁路工程特殊岩土勘察，应充分研究地区性特殊岩土的 types 和特征，了解和掌握铁路、公路、水利、矿山及其他建筑工程的处理措施、病害预防及整治经验。

**3.0.3** 铁路工程特殊岩土勘察应按地质调绘、勘探测试、资料综合分析、图件编制的工作流程，查明特殊岩土的工程地质特征。

**3.0.4** 铁路工程特殊岩土勘察前应充分搜集区域地质、构造地质、矿产地质、遥感地质、水文地质、工程地质、地理、气象信息等资料，在勘察大纲中提出特殊岩土的勘察原则、方法和技术质量要求。

**3.0.5** 特殊岩土勘察的观测点、勘探点、测试点等地质点的布置应具有代表性，其数量和深度应满足特殊岩土的评价需要和工程设计需要。

**3.0.6** 铁路工程特殊岩土勘察应在地质调绘的基础上，充分利用遥感、物探、原位测试、钻探、井（坑）探、洛阳铲勘探等方法，结合室内试验进行综合勘探和综合分析。

**3.0.7** 特殊岩土分布区应加强工程地质选线，线路应选择在特殊岩土分布范围小、岩土性质相对简单的地段通过；特殊岩土的性 质复杂且线路难以绕避时，地质勘察应满足工程类型比选、采取工程处理措施的要求。

**3.0.8** 改建铁路工程的特殊岩土勘察，应搜集本地区既有工程的勘察、设计、施工和运营维护资料，分析研究既有铁路特殊岩土的地质特征，结合特殊岩土病害预防、整治的地区性经验，按照勘察设计的阶段要求和工程设置进行勘察工作。

**3.0.9** 踏勘阶段应初步了解线路方案通过区的地形、地貌、地层和地质构造，以及控制线路方案的特殊岩土的 types 和分布。控制线路方案或岩土性质特别复杂的地段，应提出针对特殊岩土勘察的专题地质研究或初测前加深地质工作的建议。

**3.0.10** 初测阶段应收集和 research 前一阶段的成果资料，结合现场地质调绘、勘探和试验，初步查明特殊岩土的工程地质特征。

**3.0.11** 定测阶段应详细查明特殊岩土的 types、成因、分布等特征，分析评价其工程地质条件，提出工程措施建议。

**3.0.12** 补充定测应完善初步设计推荐方案桥涵、隧道、路基、车站等各类工点的定测资料，并进行车站建筑及其他建筑地基的特殊岩土勘察。

**3.0.13** 施工、运营阶段，在特殊岩土分布地段必要时开展地质监测工作，及时发现和整治影响施工质量以及运营安全的特殊岩土病害。出现病害的新增工点应进行补充工程地质勘察工作。

## 4 黄 土

### 4.1 一 般 规 定

**4.1.1** 遇土质均匀、粉粒为主并含碳酸钙及少量易溶盐，土体具有肉眼可见孔隙、垂直节理发育、冲沟多见天然直立岸坡，平地具有碟形洼地等湿陷下沉现象、斜坡水流汇集处易产生潜蚀和陷穴，以浅黄色调为主的粉土或粉质黏土时，应按黄土进行工程地质勘察。

**4.1.2** 黄土地区地貌类型的划分，应符合本规程附录 A 的规定。

**4.1.3** 黄土地层的堆积时代划分，应符合本规程附录 B 的规定。

**4.1.4** 黄土地层依据堆积时代应划分为老黄土和新黄土；依据黄土的塑性指数应划分为砂质黄土 ( $I_p \leq 10$ ) 或黏质黄土 ( $I_p > 10$ )。

**4.1.5** 黄土场地的湿陷类型，应根据室内试验指标计算自重湿陷量或现场实测自重湿陷量，采用单指标判定。黄土场地的湿陷等级，应根据湿陷量计算值、自重湿陷量计算值或实测值，采用双指标综合评价。

**4.1.6** 高墩大跨桥梁、大型站房或水塔地基，以及设计荷载较大或沉降限量要求高的其他重要建筑、构筑物，应对老黄土地基进行湿陷性评价。

**4.1.7** 湿陷性黄土场地上对沉降量限制特别严的重要建筑、构筑物地基，必要时应采用现场浸水试验实测自重湿陷量，评价工程场地的湿陷类型。

### 4.2 工程地质选线

**4.2.1** 黄土地区的线路应选择在地层单一、土质干燥、湿陷性较小的地带；应避免与长大干渠、输水管道等近距离并行。线路应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。

**4.2.2** 线路通过黄土地区既有或拟建水库、池塘地段时，应考虑水库溃坝、坍岸的影响，以及地下水位升高引起黄土地基的湿陷下沉问题。

**4.2.3** 黄土塬、梁及丘陵区，线路优先选择在山坡稳定、排水条件较好的地带；应绕避地形地貌复杂、深切冲沟发育、向源侵蚀趋势明显的沟头地带和下伏地层层面向不利、地下水发育的斜坡地段。斜坡地段应根据山坡的稳定性确定线路的通过部位、形式和应采取的工程措施。黄土沟、梁相间地段，应进行路堑与隧道、路堤与桥梁等方案比选。

**4.2.4** 河谷区线路优先选择地形平坦、地层单一、工程地质条件较好的宽阔阶地，不宜靠近坡面不稳的高陡黄土谷坡。在高陡黄土边坡挂线或设置较深路堑时，应与隧道方案作比选。

**4.2.5** 横跨沟（河）谷线路应选择在地段下切缓慢、沟（河）谷顺直、岸坡稳定的地段通过；不可在狭窄的不稳定三面临空山嘴设置桥墩、桥台；应绕避凹凸不平的谷坡及坡面滑动、错落变形明显的地段。通过泥石流沟谷或有岸坡变形的沟谷时，应进行多种线路方案的比选。

**4.2.6** 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，不宜选择在山坡零乱、陷穴发育的斜坡部位。洞身应选择在地段埋深较大、顶面平整的塬、梁等地形凸起地带，不宜在有封闭洼地的地段浅埋，以及黄土与黏土、黄土与基岩、黄土与沙砾、卵石土的分界面或其他含水层的分界面通过。

### 4.3 地质调绘

#### 4.3.1 黄土地区地质调绘前应搜集下列资料：

1 区域地质、工程地质、水文地质图件及地区性黄土研究等资料。

2 遥感图像及解译资料。

3 气象、地震、自然灾害等资料。

4 既有水库、大型渠道、地下洞室、道路、边坡、桥梁、隧道等构筑物的地质资料及使用现状。

#### 4.3.2 黄土地区的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、泥石流、陷穴群、地震裂缝、山崩堵塞河流与道路的遗迹等不良地质的分布、范围及水土流失情况。

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的地貌形态与不良地质现象的动态变化等资料。

5 遥感图像解译资料应重点调查核实，必要时可编制工程地质解译图件。

#### 4.3.3 黄土地区的地貌调绘应包括下列内容：

1 黄土的地貌及微地貌类型。

2 黄土的侵蚀、堆积特征。

3 核实新构造运动形迹、地震活动遗迹。

4 调查地貌形态与不良地质分布的关系。

5 大气降水的汇集、径流对塬、梁、阶地等地貌的剥蚀作用及对山坡稳定的影响。

6 沟床的变迁和地表水对谷坡的侵蚀情况。

#### 4.3.4 黄土地区的地层特征调绘应包括下列内容：

1 黄土地层的堆积年代、成因、土质特征。

2 地层层序、结构、古土壤及其他夹层的分布特征。

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 既有人工边坡及大型取土场地的边坡坡度及稳定情况。

#### 4.3.5 黄土地区的水文地质调绘应包括下列内容：

1 黄土层地下水位的埋深、径流条件。

2 黄土与下伏地层接触面附近的赋水情况及地下水对山坡稳定的影响。

3 水库、池塘、渠道的水位、渗漏情况及其对地下水位的影响。

4 水库坍岸、渠道变形的情况。

5 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。

#### 4.3.6 黄土地区的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、坡面溜坍等不良地质的分布、性质、范围、规模、下伏地层及特征，并分析其产生的原因及发展趋势。

2 黄土塬、梁、阶地顶面及塬边碟形洼地的分布、形态、产生原因、环境条件及发展趋势。

3 既有建筑、构筑物的现状、变形情况及原因。

4 人为活动情况及人为坑洞的分布特征。

5 既有不良地质治理工程的方式及效果。

### 4.4 勘探与测试

4.4.1 黄土地区的勘探应采用原位测试、井（坑）探、钻探、洛阳铲为主的勘探方法，必要时可辅以物探等综合勘探。

4.4.2 黄土地区采取原状土样和原位测试的勘探孔，应根据工程类型按地貌单元和代表性地段确定，其数量不应少于该段全部



勘探点总数的 1/3；独立工点的勘探点不足 3 个时，勘探孔均应取样。

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

**4.4.4** 黄土地区勘探点的勘探、取样深度，应满足黄土场地湿陷性、工程场地稳定性及建筑结构沉降分析评价的要求，并应符合下列规定：

1 勘探、测试点的布置，应满足工程性质、基础类型、地质条件和黄土场地湿陷性评价的要求。

2 非自重湿陷性黄土场地各类工程的勘探孔深度应至基底或桩端以下 10 m，并应有适量穿透湿陷性土层的勘探孔，且满足评价要求。

3 自重湿陷性黄土场地应根据地区、建筑、构筑物类型和湿陷性土层的厚度确定勘探深度：

- 1) 陇西、陇东—陕北—晋西地区，一般勘探孔深度应在基础底面或桩端以下不小于 15 m；
- 2) 陇西、陇东—陕北—晋西以外的其他地区一般勘探孔深度应在基础底面或桩端以下不小于 10 m；
- 3) 独立工点、连片工程场地应有适量深度穿透湿陷性土层的取样勘探孔。

4 隧道洞口和通过岩、土界面的洞身应有勘探点控制。

5 高桥、水塔等重要建筑物的地基勘探深度，应根据黄土层的厚度和预估的压缩层深度确定，并应穿透湿陷性黄土层。

**4.4.5** 用于湿陷性评价的原状土样，竖向取样间距宜为每 1 ~ 2 m 一组，每组不少于 2 筒；当层次均匀、地层规律性较强时也可分层取样、分层评价；分层厚度大于 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，保持

其天然的湿度、密度和结构。

**4.4.6** 勘探点使用完毕后，应立即用原土分层回填夯实，恢复原地貌形态。

**4.4.7** 黄土的测试应根据工程类型选择原位测试和室内试验的方法，土工试验项目应符合表 4.4.7 的规定。

表 4.4.7 黄土地基的测试试验项目一览表

试 验 项 目		挖方边坡	路基、桥涵、房屋建筑地基	隧道
颗粒分析	%	±	±	±
天然含水率 ( $\omega$ )	%	+	+	+
天然密度 ( $\rho$ )	g/cm <sup>3</sup>	+	+	+
天然孔隙比 ( $e$ )		+	+	+
饱和度 ( $S_r$ )	%	±	+	±
液 限 ( $\omega_L$ )	%	+	+	+
塑 限 ( $\omega_P$ )	%	+	+	+
塑性指数 ( $I_p$ )		+	+	+
液性指数 ( $I_L$ )		+	+	+
剪切试验 ( $c$ 、 $\phi$ )		+	±	±
压缩系数 ( $a_{0.1-0.2}$ )	MPa <sup>-1</sup>		+	±
湿陷系数 ( $\delta_s$ )		±	+	±
自重湿陷系数 ( $\delta_{zs}$ )		±	+	±
湿陷起始压力 ( $P_{sh}$ )	kPa	±	±	±
碳酸钙含量 ( $\text{CaCO}_3$ )	%	±	±	±
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 ( $c$ 、 $\phi$ )	°、kPa	±		±
旁压试验 (PMP、SBPMP)	kPa		±	

注：“+”为必做项目；“±”为选做项目。



4.4.8 黄土湿陷系数的试验压力应符合下列规定:

1 一般建筑物的地基自基础底面(初测时,自地面下1.5 m)算起,10 m 以内的土层采用 200 kPa,10 m 以下至非湿陷性土层的顶面,采用其上覆土层的饱和自重压力,试验压力大于 300 kPa 时仍采用 300 kPa;基底压力大于 300 kPa 的桥梁及其他重要建筑物的湿陷系数试验压力,应按实际压力采用双线法测定。

2 新近堆积黄土湿陷系数的试验压力,基底以下 5 m 内采用 100~150 kPa;5~10 m 采用 200 kPa;10 m 以下至非湿陷性黄土层顶面,采用上覆土的饱和自重压力。

3 高速铁路(含客运专线)路基地段压缩试验的试验压力,应根据黄土的地区性特征专门研究确定。

4.4.9 黄土素填土场地上修建建筑物时,应取样作湿陷性及其他相关试验。

4.4.10 地震动峰值加速度为 0.1g 及以上地区的饱和砂质黄土地基,房屋建筑、桥涵、路基工程应分别参照有关规定进行地震液化的判定。

4.5 场地评价

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

4.5.2 黄土的湿陷性评价及湿陷性黄土场地的分类,应按室内压缩试验取得的湿陷系数、自重湿陷量计算值或现场自重湿陷量实测值进行判定,并符合表 4.5.2—1、表 4.5.2—2 的规定。

表 4.5.2—1 黄土的湿陷性分类及湿陷程度分级

湿陷性评价		评价指标湿陷系数
湿陷性分类	非湿陷性黄土	$\delta_s < 0.015$
	湿陷性黄土	$\delta_s \geq 0.015$

续表 4.5.2—1

湿陷性评价		评价指标湿陷系数
湿陷程度分级	轻微湿陷性黄土	$0.015 \leq \delta_s \leq 0.03$
	中等湿陷性黄土	$0.03 < \delta_s \leq 0.07$
	强烈湿陷性黄土	$\delta_s > 0.07$

表 4.5.2—2 湿陷性黄土地场分类

湿陷性场地类型	自重湿陷量计算值或自重湿陷量实测值 (cm)
非自重湿陷性黄土场地	$\Delta_{zs} \leq 7$ 或 $\Delta'_{zs} \leq 7$
自重湿陷性黄土场地	$\Delta_{zs} > 7$ 或 $\Delta'_{zs} > 7$

4.5.3 自重湿陷量的计算值  $\Delta_{zs}$ ,应自天然地面(当挖、填方的厚度和面积较大时,应自设计地面)算起,至其下非湿陷性黄土层的顶面为止,按式(4.5.3)计算。

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (4.5.3)$$

式中  $\Delta_{zs}$ ——自重湿陷量计算值 (cm);

$\delta_{zsi}$ ——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,  $\delta_{zs}$  小于 0.015 的土层不累计;

$h_i$ ——第  $i$  层土的厚度 (cm);

$\beta_0$ ——因地区土质而异的修正系数,在缺乏实测资料时,陇西地区可取 1.5;陇东—陕北—晋西地区可取 1.2;关中地区可取 0.9;其他地区可取 0.5。

4.5.4 湿陷性黄土地基受水浸湿饱和,其湿陷量的计算应符合下列规定:

1 湿陷量的计算值,应按式(4.5.4)计算:

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{si} h_i \quad (4.5.4)$$

式中  $\Delta_s$ ——湿陷量计算值 (cm);

$\delta_{si}$ ——第  $i$  层土的湿陷系数,  $\delta_s$  (10 m 以下采用  $\delta_{zs}$ ) 小

于 0.015 的土层不累计；

$h_i$ ——第  $i$  层土的厚度 (cm)；

$\beta$ ——考虑基底地基土的受水浸湿的可能性和侧向挤出等因素的修正系数。基础底面下 0~5 m 深度内可取  $\beta = 1.5$ ；基底下 5~10 m 深度内可取  $\beta = 1$ ；基底下 10 m 以下深度至非湿陷性黄土层顶面，在自重湿陷性黄土场地，可按工程所在地区的  $\beta_0$  取值。

2 湿陷量计算值的计算深度，应自基础底面（如基底高程不确定时，自地面下 1.5 m）算起，非自重湿陷性黄土场地应计算至基底下 10 m（或地基压缩层）；自重湿陷性黄土场地应计算至非湿陷性黄土层的顶面。

3 高速铁路（含客运专线铁路）路堤工程进行沉降检算时，湿陷量计算值的计算深度应自天然地面算起。

4.5.5 湿陷性黄土地基的湿陷等级划分应符合表 4.5.5 的规定。

表 4.5.5 湿陷性黄土地基的湿陷等级

湿陷等级 湿陷量		场地分类 非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
实测自重湿陷量、自重湿陷量计算值 (cm)		$\Delta_{zs} \leq 7$	$7 < \Delta_{zs} \leq 35$	$\Delta_{zs} > 35$
湿陷量计算值 (cm)	$\Delta_s \leq 30$	I (轻微)	II (中等)	—
	$30 < \Delta_s \leq 70$	II (中等)	* II (中等) 或 III (严重)	III (严重)
	$\Delta_s > 70$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)

注：\* 湿陷量计算值  $\Delta_s \geq 60$  cm、自重湿陷量计算值  $\Delta_{zs} \geq 30$  cm 时，可判为 III 级；其他情况可判为 II 级。

4.5.6 黄土地基的力学指标、地基承载力，应采用静力触探的方法测定，并结合标准贯入试验的成果、室内试验指标综合分析

后确定。必要时应在初测阶段建立或验证静力触探承载力的计算公式。

4.5.7 黄土地区各类工程场地的评价，应在综合分析黄土的物理力学性质、湿陷性特征、水文地质条件、环境地质条件的基础上，针对工程特点进行，并应符合下列规定：

1 地基的地质条件评价包括地基土层的均匀程度、分层承载力以及黄土场地的湿陷类型和湿陷等级；分布在地震动峰值加速度大于和等于 0.1g 地区的饱和砂质黄土，应作地震液化判定。

2 路堑工程地质条件的评价应包括自然山坡形态、地层结构特征、黄土与基岩接触面的形态，以及新老黄土界面、土石界面的地下水赋存状态及含水层或饱和黄土软弱带对工程的影响，提供设计所需的挖方边坡形式和坡率建议；有不利于边坡稳定的因素时，应提出针对性的工程措施意见；高边坡防、排水系统应作工程地质条件评价。

3 桥梁、涵洞地基地质条件的评价包括自然山谷、岸坡形态，黄土地层的结构特征和地质条件，以及滑坡、错落、落水洞等其他不良地质条件对桥涵地基的稳定性影响；提出桥涵地基基础类型的建议和地基承载力等设计参数；高墩、大跨桥梁的地基，必要时还应针对  $Q_2$  老黄土进行湿陷性评价。

4 隧道工程地质条件的评价包括自然山坡形态、黄土地层的结构特征及其水文地质条件，以及黄土陷穴和落水井、滑坡、错落等不良地质对洞口山坡的稳定性影响；评价新老黄土界面、土石界面的地下水赋存状态及含水层或饱和黄土软弱带对工程的影响，预测施工中可能发生的地质灾害和提出对应的工程措施建议；提出洞口仰坡坡率及防护措施的建议、划分隧道围岩级别。

5 桥、涵、路基、隧道和房屋建筑等工点资料，应结合工程的类型和规模，按地貌单元、地层时代、成因类型和结构特征，分别进行湿陷性、物理力学指标的汇总和统计分析。

4.5.8 黄土地区的工程地质条件评价应根据不良地质的类型与



特点,结合与线路的关系有针对性地进行,并应符合下列规定:

1 冲沟、陷穴、碟型洼地,应说明黄土的物理性质、湿陷性、分布范围、发育特点、水文地质条件,预测发展趋势等,并评价对工程的影响,提出工程措施意见。

2 滑坡、错落、崩塌等不良地质现象,应调查其变形类型和变形原因,查明不良地质体的边界和厚度、水文地质条件和稳定性;评价不良地质现象对工程的影响,提出工程措施意见。

3 泥石流沟谷,应评价该沟谷流域的水文地质条件、物质来源、泥流规模及频率、危害程度、发展趋势,并结合线路通过的位置分析对工程的危害程度,提出工程措施意见。

#### 4.6 踏 勘

4.6.1 踏勘阶段黄土地区的工程地质勘察,应包括下列内容:

1 搜集沿线区域地质、工程地质、水文地质和气象、地震、遥感图像等资料。

2 通过遥感图像解译,了解测绘区黄土的分布,划分地貌类型,判释不良地质的类别、范围及稳定性。

3 分析研究既有资料,初步确定黄土的地貌分区、地层结构、影响线路方案的不良地质类型及分布范围,了解已建及拟建大型工程(如水坝、干渠、公路、矿坑等)对线路的影响。

4 根据区域地质资料及遥感图像解译,对重点地段进行踏勘,参照既有资料按地貌单元进行湿陷性的初步评价。

4.6.2 踏勘阶段黄土地区的资料编制,应包括下列内容:

1 工程地质说明:阐明黄土的分布、地形地貌特征、地层划分、工程地质特性和湿陷性特征、不良地质、水文地质等条件对线路的影响,并对线路方案作出评价。

2 全线工程地质图:填绘控制线路方案的黄土滑坡、错落、陷穴群、大型泥石流等不良地质边界,比例为1:10 000~1:200 000。

#### 4.7 初 测

4.7.1 初测阶段黄土地区的地质调绘,应符合下列规定:

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、下伏地层接触面的形态和水文地质特征,初步查明湿陷类型、湿陷等级及其分布规律,影响线路方案的不良地质范围、性质、稳定情况及重大工程场地的地质条件。

2 代表性设计工点的地质调绘应根据工程类型的要求进行,应注意工程场地比选和场地适宜性的调绘。

4.7.2 初测阶段黄土地区的勘探、测试,应符合下列规定:

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,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。勘探点平均间距不宜大于1 000 m,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,取样孔不应少于2个。场地条件复杂、湿陷性差异较大时应增加勘探取样孔。

4.7.3 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。一般地段应按沿线地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征分段评价黄土地基的湿陷类型和湿陷等级;代表性设计工点应按建筑场地评价黄土的湿陷类型和湿陷等级。

4.7.4 初测阶段黄土地区路基、桥涵、隧道、站场等代表性设计工点的地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明:阐明工点的地质和水文地质条件,查明湿陷土层厚度,评价工程场地的适宜性,重点评价湿陷性黄土场地的湿陷类型和湿陷等级,提出工程处理措施建议。

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

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

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

5 勘探、测试、试验等资料。

#### 4.7.5 初测阶段黄土地区的综合资料应包括下列内容：

1 工程地质勘察报告：阐明沿线黄土的分布、地形地貌、地层层序、成因类型、土质分类、水文地质特征、工程地质条件(包括地基强度评价、黄土场地的湿陷性评价、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，提出各线路方案评价及比选意见，以及黄土地区的共性问题、重要建筑物及地质条件复杂工点的工程措施建议。

2 全线工程地质图：填绘黄土滑坡、错落、陷穴群等不良地质界线或类型符号，不同时代黄土地层的分界线，比例为 1:10 000~1:200 000。

3 工程地质图：填绘地层界线，地层年代、成因类型符号，代表性地层柱状图，各种不良地质界线和类型符号等，比例为 1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图：根据地质调绘及初测成果，填绘黄土的地层岩性与层序构造花纹图例，也可用文字与花纹结合的方式绘制断面图；地质特征栏应按地貌单元结合地层结构分段说明黄土的地层年代、成因类型、湿陷类型、湿陷等级和湿陷土层厚度、岩土施工分级、围岩级别、基本承载力等工程地质条件及工程处理措施建议；比例为横 1:10 000、竖 1:100~1:1 000，可与线路详细纵断面图合并绘制。

5 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、湿陷等级、湿陷土层厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施分段编写。

## 4.8 定 测

### 4.8.1 定测阶段黄土地区的地质调绘，应符合下列规定：

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 调绘宽度满足工程设计和不良地质的评价、整治要求，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 进行工程方案比选的工点，地质调绘的范围应同时满足不同方案工程设计的要求。

### 4.8.2 定测阶段黄土地区的勘探、测试，应符合下列规定：

1 一般路基和小桥涵工程，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、土质特征等分段布置。相同地质条件地段的取样孔数不应少于 3 个，地段较长或短距离内变化较大时，应适当增加取样孔数。

2 黄土路堑地段的勘探孔深，应根据挖方深度及湿陷土层的厚度确定，并应满足路基基底湿陷性评价的要求；路堑边坡范围及路肩以下应分层采取原状土样，分别进行物理、力学性质试验分析。

3 大、中桥及特大桥工程，地层单一或层序有规律、黄土厚度较薄、基岩面平缓时，可结合桥跨、基础类型隔墩布置 1 个勘探点；桥址地形地貌、地层复杂或高墩大跨及特殊结构的桥梁，每个墩、台应布置 1 个勘探点，双线以上桥墩台下伏基岩横坡较陡时应在墩台范围内增加 1 个勘探点；勘探孔的深度应至基底或桩端以下不少于 10~15 m。

4 黄土隧道的勘探孔位，宜布置在中心线两侧 8~10 m 处；隧道洞口和通过岩、土界面的洞身位置应布置勘探点；隧道洞身及路肩以下应分别取原状土样做物理、力学性质实验。顶部的土层与洞身和洞门工程无关时，可不做与湿陷性有关的试验。特殊

设计可根据地层情况做湿陷、渗透、固结系数的试验。

**5** 房屋建筑的勘探点布置应符合《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025) 的规定。

**4.8.3** 定测阶段的黄土湿陷性应根据工程类型分工点进行评价。路基、大中桥、隧道、站场及房屋建筑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的湿陷类型和等级；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。

**4.8.4** 高速铁路（含客运专线铁路）的勘探，除应满足各类工程地基稳定性评价的需要和黄土地基湿陷性评价的要求外，还应符合下列规定：

**1** 路基工程的勘探间距，一般场地宜不大于 100 m，简单场地可适当加大；复杂场地宜不大于 50 m。路基工程的钻孔深度不宜小于 25 m 或应穿透湿陷性土层。

**2** 桥梁工程位于地层单一或层序有规律、厚度较薄、基岩面平缓时，可结合桥跨、基础类型等隔墩布置 1 个勘探点；桥址地形地貌、地层复杂或高墩大跨及特殊结构的桥梁，每个墩、台应布置 1 个勘探点；桥基勘探点的深度应穿透湿陷土层或达到桩端以下 10~20 m；涵洞工程可结合路基工程按工点布置勘探点。

**3** 隧道洞门、填挖过渡段应布置 1 个勘探点；埋深小于 100 m 的隧道，勘探间距应不大于 500 m；埋深大于 100 m 的隧道，勘探间距应不大于 2 000 m；洞身通过岩土分界面、地下水通道、地质构造带等复杂地质条件时，勘探间距应加密；勘探深度根据地层岩性确定，宜钻至路肩以下不小于 5 m 或穿透湿陷性土层。

**4** 根据工程设计的需要，必要时应在现场布置静荷载试验、浸水试验，实测试坑浸水自重湿陷下沉量，并与室内试验自重湿陷量计算值进行对比分析，确定黄土的力学性能。

**4.8.5** 定测阶段黄土地区路基、桥涵、隧道等各类工点工程地

质勘察资料的编制，应符合本规程第 4.7.5 条的规定。

**4.8.6** 定测阶段黄土地区综合资料应包括下列内容：

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

**2** 全线工程地质图：在初测的基础上根据各类工点的工程地质资料补充、修正，比例为 1:10 000~1:200 000。

**3** 详细工程地质图：在初测的基础上根据各类工点的工程地质资料补充、修正，比例为 1:2 000~1:5 000。

**4** 工程地质纵断面图：可与线路纵断面图合并绘制。根据地质调绘及代表性勘探点填绘黄土的地层岩性与层序构造花纹图例；地质特征栏分段说明黄土的地层年代、成因类型、湿陷类型、湿陷等级和湿陷土层厚度、岩土施工分级、围岩级别、基本承载力等工程地质条件及工程处理措施的建议，比例为横 1:10 000，竖 1:100~1:1 000。

**5** 勘探、测试、试验等资料。

## 4.9 施工阶段

**4.9.1** 施工阶段黄土地区的工程地质工作，应包括下列内容：

**1** 熟悉设计文件，提出施工注意事项。

**2** 核对各类工点地质资料，有较大变化时应分析变化的原因，提出工程措施建议；必要时进行补充勘探、测试工作。

**3** 注意施工用水的管理，防止临时蓄水池跑、冒、渗、漏，恶化湿陷性黄土场地的工程地质条件。

**4.9.2** 施工阶段黄土地区的工点资料应包括下列内容：

**1** 工程地质说明：说明黄土工点工程地质条件、变更设计的范围、性质、原因分析，处理措施和效果，以及施工中的经验

和教训等。

2 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

#### 4.10 运营阶段

4.10.1 运营阶段黄土地区的工程地质工作，应包括下列内容：

1 运营过程中发生的黄土病害工点应认真分析原因。

2 根据工程建筑物的具体情况，选择适宜的监测方法进行下沉、位移和变形监测。

3 整理监测资料，分析病害的发展趋势。

4 发展趋势恶化的工点应及时发出预报，提出整治措施建议。

5 需进行病害整治的黄土工点，应按本规程第4.8节的相关规定进行。

4.10.2 运营阶段黄土地区的工点资料应包括下列内容：

1 及时绘制各种图表、曲线，进行分析研究，提出阶段性或最终结论意见，各项监测资料应按统一格式记录。

2 病害整治工点应按本规程第4.7.4条的相关要求，编制工点地质资料。

## 5 膨胀土（岩）

### 5.1 一般规定

5.1.1 遇黏粒成分主要由蒙脱石、伊利石等亲水矿物组成，土体随环境的干湿变化，具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂、硬结现象，并能产生往复胀缩变形的高液限黏性土时，应按膨胀土进行工程地质勘察。

5.1.2 遇含有较多的蒙脱石或硬石膏、无水芒硝等亲水矿物，具有含水率增加、体积膨胀、岩质软化、饱水后崩解泥化和失水体积收缩、岩体破裂、新鲜岩石在空气中具有鳞片状剥落特性的软质岩石时，应按膨胀岩进行工程地质勘察。

5.1.3 遇石灰岩或其他熔岩的风化物，经红土化作用后形成富含铁铝氧化物的残积、坡积或洪积相成因，且具有压缩性较低、液限和强度较高，自然坡面平缓、土体裂隙发育，黏土矿物以伊利石、蒙脱石为主的褐红、棕红色黏性土时，应按膨胀土进行工程地质勘察。

5.1.4 膨胀土的成因类型划分，应符合下列规定：

1 由泥岩、页岩、石灰岩等沉积岩或基性、中酸性火成岩风化而成时，应划分为残积、坡积相膨胀土。

2 由流水搬运、分选、堆积而成时，应划分为冲积、洪积、冰水沉积相膨胀土。

5.1.5 膨胀岩的岩性特征分类，应符合下列规定：

1 泥岩、页岩、泥质粉砂岩类膨胀岩，应划分为沉积型泥质膨胀岩。

2 低温热液型中基性侵入岩体蒙脱石化后形成的膨胀岩，



应划分为火成岩类膨胀岩。

3 凝灰岩蚀变后形成的膨胀岩，应划分为蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩。

4 区域性活断层柔性剪切带形成的半成岩断层泥膨胀岩，应划分为固结断层泥类膨胀岩。

5 红色沉积岩系中夹有层状硬石膏或无水芒硝时，应划分为含硬石膏或无水芒硝类膨胀岩。

## 5.2 工程地质选线

5.2.1 膨胀土地区的工程地质选线，应符合下列规定：

1 线路应选在地形平缓、坡面完整、植被良好的地带，并宜垂直垄岗的轴线通过；宜绕避山前斜坡及不同地貌单元的结合带。

2 线路应绕避中、强膨胀土发育区，不宜深挖方通过膨胀土地段。填方通过地面横坡较陡的膨胀土山坡时，地基应作稳定性检算。

3 线路应绕避红黏土或膨胀土覆盖下的岩溶发育带。无法绕避时，应以最短距离通过。

4 线路不宜在红黏土地区的地裂密集带或深长地裂缝、裂隙含水层地段以浅埋隧道或深挖方通过；必要时路基应以浅挖、低填的方式通过地裂发育带。

5 线路宜绕避地下水发育的膨胀土地段。

6 路堑边坡外建有重要建筑物时，应留出一定的安全距离。

5.2.2 膨胀岩地区的工程地质选线，应符合下列规定：

1 线路应绕避地下水发育的膨胀岩地段。

2 线路应绕避稳定性较差的顺层山坡地段。

3 线路应绕避具有临空面、易产生工程滑坡的倾斜结构面和倾角较大的不同岩层接触地段。

4 隧道、深挖方工程宜绕避盐岩富集的膨胀岩地段。

5 线路或重要建筑物位于较陡的膨胀岩边坡上部时，应留出一定的安全距离。

## 5.3 地质调绘

5.3.1 膨胀土（岩）地区的地质调绘前，应搜集下列资料：

1 地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质、地震地质、矿产地质等与区域性膨胀土（岩）有关的资料。

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、构筑物与膨胀性变形有关的勘察设计病害整治的资料。

5.3.2 膨胀土（岩）的遥感图像解译，应包括下列内容：

1 地层岩性、地貌类型及形态特征、线路位置的地质环境和地貌部位。

2 冲沟坡面溜坍、滑坡、崩塌、坡面冲刷、泥石流等不良地质的分布范围及规模。

3 植被发育情况，井、泉点及地表水体的分布及特征。

4 地质构造的类型、形态、产状等。

5 必要时，经现场核对后可编制遥感解译图件。

5.3.3 膨胀土的地质调绘，应包括下列内容：

1 地形地貌、微地貌特征，包括斜坡自然坡度、高度、冲沟、坡面冲刷、剥落、地表植被的生长状况等。

2 地层时代、成因、岩性、结构、分布范围，有无软弱夹层、泉水露头。

3 膨胀土裂隙的发育程度、分布密度、形态、充填物性质及裂面特征，下伏基岩的岩性、结构面特征。

4 不良地质现象的类型、形成原因、分布范围及规模。

5 地表水的集聚和排泄条件，地下水的类型、埋藏深度和

变化规律。

6 既有建筑物的使用、变形和破坏情况，基础类型和埋深，人工边坡高度、挖方、填方的坡率以及防治病害的经验等。

#### 5.3.4 膨胀岩的地质调绘，应包括下列内容：

1 地形地貌特征，包括斜坡的自然坡度与高度，冲沟、坡面冲刷、剥落的特征，人工边坡的稳定坡度及风化剥落特征。

2 地层时代、成因、岩性、结构，有无软弱夹层，岩体的含水程度。

3 不良地质现象的类型、形成原因、分布范围及规模大小。

4 地表水的集聚和排泄条件，地下水的类型、埋藏深度和变化规律。

### 5.4 勘探与测试

5.4.1 膨胀土（岩）地区的勘察，应采用钻探、挖探、原位测试、物探和室内试验相结合的综合勘探方法。

5.4.2 膨胀土地区的勘探及取样，应符合下列规定：

1 勘探点的布置应根据膨胀土的成因类型、分布特征、地貌单元，结合建筑、构筑物的类型和勘察阶段确定。

2 深路堑应布置有代表性的勘探横断面。

3 勘探深度根据膨胀土的厚度及建筑物的基础设计类型确定，土层厚度不大时，宜穿透膨胀土至下伏地层；土层厚度较大时，应大于大气影响层深度。

4 膨胀土地段的原状土样应用干钻或挖探的方法采取。原状土样应从地面以下1 m开始分层采取，每1~3 m取1组；遇有灰绿、灰白色土层，应增加取样数量；同一地层的取样数量，应不少于6组。

5 红黏土型膨胀土发育的地段应采用物探和钻探相结合的方法，查明其下部覆盖型岩溶的发育情况。

5.4.3 膨胀岩地区的勘探及取样，应符合下列规定：

1 勘探点的布置应根据膨胀岩的成因类型、分布特征、地貌单元，结合建筑物的基础类型和勘察阶段确定。

2 勘探深度应满足膨胀岩的评价要求和工程设计需要。

3 膨胀岩宜采用干钻或泥浆快速钻进取样。

4 膨胀岩的试验样品可在刚提取的长柱状岩心中选取，并立即蜡封包装，防止失水、风化开裂。

5.4.4 膨胀土（岩）地区应测试岩土의常规物理、力学性质指标，并符合下列规定：

1 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，还应测定黏土矿物成分和化学成分、pH值、先期固结压力、收缩率及残余强度等。

2 膨胀岩应测定膨胀率、膨胀力和饱和吸水率，宜做风干或烘干样的崩解试验；必要时应测定矿物成分和化学成分分析、薄片鉴定、抗压强度等。

3 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、天然含水率试件的抗压试验等综合判定。

4 重要建筑、构筑物场地宜进行现场浸水荷载试验、剪切试验及旁压试验。

5 红黏土试样应按膨胀土的试验项目进行试验，判定其膨胀性特征。

### 5.5 场地评价

5.5.1 膨胀土、膨胀岩地区的场地评价，应包括地质条件、地基稳定性、膨胀潜势、场地环境影响评价、岩土工程的设计、施工建议等内容。

5.5.2 膨胀土地区的场地评价，应符合下列规定：

1 膨胀土的初判：当土质符合表5.5.2—1的规定时，应初步判定为膨胀土。



表 5.5.2—1 膨胀土的初判标准

地 貌	山前丘陵、盆地边缘的堆积、残积地貌，常呈垄岗与沟谷相间景观；地形平缓开阔，坡脚少见自然陡坎，坡面沟槽发育
颜 色	多呈棕、黄、褐色，间夹灰白、灰绿色条或薄膜；灰白、灰绿色多呈现出透镜体或夹层出现
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，自然状态下常呈坚硬或硬塑状态
土质情况	土质细腻，有滑感，土中常含有钙质或铁锰质结核或豆石，局部可富集成层
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。膨胀土上浅基础建筑的墙体裂缝，有随气候的变化而张开或闭合的现象
自由膨胀率 $F_s$	$F_s \geq 40\%$

2 膨胀土的详判：当土质符合表 5.5.2—2 中任意 2 项以上指标时，应判定为膨胀土。

表 5.5.2—2 膨胀土的详判指标

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。

3 膨胀土的膨胀潜势分级，应符合表 5.5.2—3 的规定。

表 5.5.2—3 膨胀土的膨胀潜势分级

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：当土质符合表列任意 2 项以上指标时，即判定为该等级。

4 预测膨胀土地基变形量时，膨胀变形量、收缩变形量的计算方法应符合《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《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）的挡护措施和防水、保湿措施等应提出建议。

5.5.3 膨胀岩地区的场地评价，应符合下列规定：

1 膨胀岩的野外地质特征，应根据表 5.5.3—1 判别。

表 5.5.3—1 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、风化的基性岩类、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
风化现象	风化节理、裂隙多沿构造面、结构面进一步发展，导致已被结构面切割的岩体更加破碎；地表岩石碎块风化为鸡粪土，斜坡岩层剥落现象明显；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、碎片或土状；柱状岩石暴露于空气中，数小时至几天内，易破裂分解为碎屑或土状

2 膨胀岩的室内试验判定指标，应符合表 5.5.3—2 的规定。

表 5.5.3—2 膨胀岩的室内试验判定指标

试 验 项 目		判 定 指 标
不易崩解岩石的	膨胀率 $V_H$ (%)	$V_H \geq 3$
易崩解的岩石	自由膨胀率 $F_s$ (%)	$F_s \geq 30$

续表 5.5.3—2

试 验 项 目	判 定 指 标
膨胀力 $P_p$ (kPa)	$P_p \geq 100$
饱和吸水率 $\omega_{sa}$ (%)	$\omega_{sa} \geq 10$

注：1 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 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的试验方法进行试验；

3 当有 2 项及 2 项以上符合表列指标时，可判定其为膨胀岩。

3 膨胀岩地区可结合边坡、洞室的病害现象、水文地质条件、病害的发展趋势、同类岩性的地区性差异研究膨胀岩的特征，划分膨胀类型，进行场地的综合评价。

## 5.6 踏 勘

5.6.1 踏勘阶段膨胀土（岩）地区的工程地质勘察，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 了解膨胀土或膨胀岩的时代、成因类型、岩性、分布范围，以及既有建筑、构筑物的变形、破坏情况。

3 根据野外地质调查和既有资料的分析，初步判断是否存在膨胀性土（岩）。必要时，取膨胀土或膨胀岩样品作判别试验。

4 红黏土分布区，必要时应根据地层特征取样，做膨胀土判别试验。

5.6.2 踏勘阶段膨胀土（岩）地区的资料应包括下列内容：

1 工程地质说明：阐述各方案中膨胀土或膨胀岩的成因类型、工程性质、分布范围，说明与膨胀土、膨胀岩有关的不良地质现象和建筑、构筑物的变形情况，评价膨胀土或膨胀岩对铁路工程的影响及危害程度，提出方案比选意见和初测工作建议。

• 33 •

2 全线工程地质图：填绘膨胀土、膨胀岩的分布范围及控制线路方案的大型地裂或地裂密集区，比例为 1:10 000 ~ 1:200 000。

## 5.7 初 测

5.7.1 初测阶段膨胀土（岩）地区的地质调绘，应符合下列规定：

1 查明沿线膨胀土、膨胀岩的时代、成因类型、分布范围、工程性质、膨胀潜势、地基均匀性及地裂的分布情况，与膨胀土、膨胀岩发育有关的地质病害。

2 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、膨胀岩的结构特征，软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律；膨胀岩还应查明岩层的节理、结构面的产状等。

5.7.2 初测阶段膨胀土（岩）地区的勘探与取样，应符合下列规定：

1 一般路基地段勘探点间距不宜大于 500 m；影响线路方案的强膨胀土、膨胀岩地段和土层、岩层结构复杂的地段，以及重点工程场地，勘探点应适当加密。

2 膨胀土地区的代表性勘察设计工点，钻探时应进行适量坑探，查明地层结构、裂隙发育情况、软弱夹层及大气影响深度，并取代表性试样。

3 膨胀岩地段应取代表性试样，进行物理、力学性质及膨胀性试验。

5.7.3 初测阶段膨胀土地区的测试，应符合下列规定：

1 一般路基地段调查确定黏性土具有膨胀土的特征时，应选取代表性试样作膨胀土的判别，测试自由膨胀率、蒙脱石含量和阳离子交换量。

2 重大工点应取膨胀土原状样，测试黏性土的一般物理力

• 34 •

学指标和膨胀土的详判指标,进行膨胀潜势分级,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。

#### 5.7.4 初测阶段膨胀岩地区的测试,应满足下列要求:

1 一般地段调查确定泥岩、页岩、化学沉积岩及部分火成岩具有膨胀岩的特征时,应取样作膨胀岩的判别测试,进行自由膨胀率、膨胀力、饱和吸水率、崩解试验等,并选代表性岩样测定蒙脱石含量和阳离子交换量。

2 重大工点应取膨胀岩原状样进行岩石的一般物理力学指标和膨胀岩判别;风化呈土状的第三系、白垩系地层,必要时应进行现场浸水载荷试验、剪切试验以及三轴试验和固结试验等。

#### 5.7.5 初测阶段膨胀土(岩)地区路基、桥涵、隧道等代表性设计工点的地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明:阐明场地的工程地质条件,内容应包括膨胀土、膨胀岩的物理力学性质,提出基础埋深、地基处理、施工开挖的挡护措施及防水保湿措施等建议。

2 工程地质图:填绘膨胀土、膨胀岩的地层时代、成因、地质分界线等,比例为1:500~1:2 000。

3 工程地质断面图:填绘膨胀土、膨胀岩的地层时代、成因、类型、厚度、地下水位线等,比例为1:200~1:500。

4 勘探、测试,试验等资料。

#### 5.7.6 初测阶段膨胀土(岩)地区的综合资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告:阐明膨胀土、膨胀岩的地层时代、成因、分布范围和规律性,以及主要物理力学指标、发展趋势等地质条件及其对线路方案的影响,提出线路方案的评价和地基处理的比选意见。

2 全线工程地质图:填绘膨胀土、膨胀岩的分布范围及控制线路方案的大型不良地质等,比例为1:10 000~1:200 000。

3 工程地质图:填绘膨胀土、膨胀岩的地层时代、成因、

地质分界线,比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路详细纵断面图合并绘制,根据地质调绘及初测成果,填绘膨胀土或膨胀岩的地层岩性与层序构造花纹图例,可用文字与花纹结合的方式绘制断面图;地质特征栏按地貌单元结合地层结构,分段说明膨胀土(岩)的地层年代、成因类型、厚度、岩土施工分级、围岩级别、地基基本承载力等工程地质条件及工程处理措施。比例为1:2 000~1:10 000。

5 沿线工程地质分段说明:按地貌单元分段编写,内容包括地形地貌、植被情况、气象特征、膨胀土、膨胀岩的地层时代、成因、性质、厚度、结构、分布范围、水文地质特征、工程地质条件评价、地质参数、大气影响深度和大气影响急剧层深度、工程措施等。

## 5.8 定 测

#### 5.8.1 定测阶段膨胀土(岩)地区的地质调绘,应符合下列规定:

1 详细查明采用方案沿线及位于膨胀土(岩)场地上各类建筑物地基的工程地质条件和水文地质条件。

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、不良地质和特殊岩土评价的需要。

#### 5.8.2 定测阶段膨胀土(岩)地区的勘探与测试,应符合下列规定:

1 勘探、测试点宜结合工程分段布置,其点位与数量应满足铁路主体工程和防护加固工程设计的要求。

2 大型场地及重要建筑、构筑物的地基取样孔、坑的数量,不宜少于勘探孔、坑总数的1/2,重大工程地基应作原位测试。

3 工程场地膨胀土、膨胀岩的测试项目,应满足对膨胀土、膨胀岩进行详判,分级评价和整治设计的要求。



**5.8.3 膨胀土（岩）地区各类工点的勘探，应符合下列规定：**

**1** 膨胀土地区钻探时应进行适量坑探，探查地层结构、裂隙发育情况、膨胀土（岩）的层厚、软弱夹层及大气影响深度，并根据需要采取物理力学性质和膨胀性判定的原状、扰动土试样。

**2** 路基地段宜沿线路带状布孔，勘探点的间距不宜大于200 m；高速铁路（含客运专线铁路）勘探点的间距宜为100 m，简单场地可适当加大；复杂场地的勘探点间距宜为50 m；斜坡路堑代表性勘探横断面至少应有2个勘探点。

**3** 一般地段勘探深度应大于大气影响深度，桥涵、房屋建筑的勘探深度应根据膨胀土的厚度及基础类型确定。厚度较大时孔深应至基础底面或桩端以下不小于5~8 m；土层厚度不大时，宜穿透膨胀土（岩）至下伏地层不小于3 m。

**4** 隧道、深路堑的勘探孔深，应钻至路肩设计高程以下不小于5 m。

**5.8.4 定测阶段膨胀土（岩）地区路基、桥涵、隧道等各类工点工程地质资料的编制，应符合本规程第5.7.5条的规定。**

**5.8.5 定测阶段膨胀土（岩）地区各类建筑、构筑物综合资料的编制，应符合下列规定：**

**1** 工程地质勘察报告：阐明沿线膨胀土、膨胀岩的分布范围、地形地貌、工程地质条件、水文地质条件，与膨胀土（岩）和红黏土相关的不良地质发育的类型及规模，提出物理力学指标与各类工程设计有关的地质参数，以及工程处理措施及施工注意事项等。

**2** 全线工程地质图：根据各类工点的工程地质资料补充、完善膨胀土（岩）的边界与标示符号，比例为1:10 000~1:200 000。

**3** 工程地质图：根据各类工点的工程地质资料补充、完善膨胀土（岩）的标示，比例为1:2 000~1:5 000。

**4** 工程地质纵断面图：可与线路纵断面图合并或单独绘制，填绘膨胀土（岩）的分布层位；地质特征栏简要说明膨胀土（岩）地层时代、成因、类型、厚度、地下水位线及等地质参数，比例为横1:10 000，竖1:100~1:1 000。

## 5.9 施 工 阶 段

**5.9.1 施工阶段膨胀土（岩）地区的工程地质工作，应包括下列内容：**

**1** 研究膨胀土（岩）地区的岩土特征，核对各类工点的工程地质资料，提出施工注意事项。

**2** 监测隧道及其他各类工程施工后的地层变形情况，必要时补充勘探和测试。

**5.9.2 施工阶段膨胀土（岩）地区的工程地质资料，应包括下列内容：**

**1** 工程地质说明：说明施工中膨胀土（岩）工点发生的工程地质变更情况，包括变更设计的范围、性质和原因分析，补充勘探、试验的资料，总结施工中的经验教训等。

**2** 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

**3** 各项施工地质原始资料的整理。

## 5.10 运 营 阶 段

**5.10.1 运营阶段膨胀土（岩）地区的工程地质工作，应包括下列内容：**

**1** 运营过程中已发生病害的膨胀土（岩）工点，应根据工程建筑、构筑物的具体情况，进行地面、墙体开裂，构筑物位移和其他变形的监测，并根据产生破坏的速率和发展趋势及时发出预报，提出整治措施建议。

**2** 膨胀土（岩）病害工点需进行整治时，应按本规程第

5.8 节的相关规定进行。

**5.10.2** 运营阶段膨胀土（岩）地区的工程地质资料的编制，应包括下列内容：

1 绘制各种图表、曲线，并进行分析研究，提出阶段性或最终结论意见。各项监测资料应按统一格式记录。

2 病害整治工点勘察资料的编制，应符合本规程第 5.7.5 条的相关要求。

6 软土及松软土

6.1 一般规定

**6.1.1** 遇在静水或缓慢流水的环境条件下沉积，或在地势低洼、地表积水或山腰鞍部、斜坡地下水位出露地段沉积的具有天然含水率高、孔隙比大、压缩性高，有机质含量较多、土体呈软塑到流塑状态，抗压、抗剪强度低的软黏性土、软粉土、淤泥或淤泥质土、泥炭及泥炭质土时，应按软土进行工程地质勘察。

**6.1.2** 高速铁路（含客运专线铁路）的路基地段勘察时，遇压缩性较高、抗剪强度和承载力较低，呈软塑或饱状态以及结构松散的黏性土、粉土、粉、细砂、新黄土等地层时，应按松软土进行工程地质勘察。

**6.1.3** 软土的成因类型，应依据地理、地貌和沉积特征，可划分为滨海相、泻湖相、溺谷相、三角洲相、湖相、牛轭湖相、河漫滩相、沼泽相和残积相、坡积相。

**6.1.4** 软土的分类及其物理力学指标，应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 软土的分类及其物理力学指标

指标 \ 分类		软黏性土 (软粉土)	淤泥质土类	淤泥	泥炭质 土类	泥炭
有机质含量 ( $\omega_u$ )	%	$\omega_u < 3$	$3 \leq \omega_u < 10$		$10 \leq \omega_u \leq 60$	$\omega_u > 60$
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 ( $\omega$ )	%	$\omega \geq \omega_L$			$\omega \gg \omega_L$	
渗透系数 ( $k$ )	cm/s	$k < 10^{-6}$			$k < 10^{-3}$	$k < 10^{-2}$
压缩系数 ( $a_{0.1-0.2}$ )	MPa <sup>-1</sup>	$a_{0.1-0.2} \geq 0.5$			—	

续表 6.1.4

分类		软黏性土 (软粉土)	淤泥质土类	淤泥	泥炭质 土类	泥炭
指标						
不排水抗 剪强度 (CU)	kPa	CU < 30			CU < 10	
静力触探比贯入 阻力 ( $P_s$ )	kPa	$P_s < 800$			—	
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。

2 有机质含量测试采用灼失量法。

**6.1.5** 在地下水溢出的山坡、垭口等横坡较陡的高含水率黏性土分布区，地下水位以下的全风化炭质岩、岩浆岩类地层以及断层挤压破碎带的细粒土地段，其岩性特征和软土相近时，应按照软土或松软土进行地质条件、地基稳定性、场地环境影响的评价。

## 6.2 工程地质选线

**6.2.1** 线路应选择在软土、松软土分布较窄、厚度较小、埋藏不深、硬底横坡较缓的地段通过；应绕避厚度大、分布广、处理困难的软土、松软土地带。

**6.2.2** 新建铁路宜选择在地势较高，软土的顶、底硬壳较厚，填、取土条件较好的地带。

**6.2.3** 增建二线铁路与既有线距离较近时，应符合下列规定：

1 增建工程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较低的一侧。

**6.2.4** 软土、松软土地区的路基应以路堤通过，宜限制零断面和浅路堑路基。

**6.2.5** 软土、松软土地区采用高路堤通过方案时，应与桥梁方

案进行综合经济、技术比选。

**6.2.6** 滨海平原、冲积平原和湖积平原区，线路位置的选择应符合下列规定：

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

**6.2.7** 丘陵和山间谷地区，线路位置的选择应符合下列规定：

- 1 宜避开有软土、松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。

**6.2.8** 线路应绕避泥沼地区。无法绕避时，应按照本规程第 6.2.1 条～第 6.2.4 条的规定进行优化。

**6.2.9** 桥位应选择在两岸地势较高的部位，路桥分界点不应设置在淤泥、软土、古河道等地段，路桥过渡段应选择在基岩或硬土埋藏浅、软弱地层厚度较薄的地段。

## 6.3 地质调绘

**6.3.1** 软土、松软土地区地质调绘前，应搜集以下资料：

- 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、遥感图像及解译资料等。
- 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 地震动参数区划、震害等资料。

**6.3.2** 软土、松软土地区的地质调绘，应包括下列内容：

- 1 调查地形、地貌及第四纪沉积层的特征，划分地貌单元和工程地质单元，分析各地貌单元的形成过程与地层、场地稳定性的关系；考证微地貌的变化，辨别古牛轭湖、埋藏谷以及暗埋



的塘、浜、沟、渠的分布范围及形态。

2 调查软土、松软土的分布范围和分布规律。

3 调查软土、松软土地各土层的岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、地层结构、相变特征及其物理、力学、水理性质。

4 厚层和相对均质的软土、松软土，应查明其抗剪强度随深度的变化规律。

5 调查砂类土夹层或透镜体的分布范围和厚度，判定其对工程稳定性和变形的影响。

6 谷地、河谷边缘、河沟交汇地段、山间盆地及斜坡边缘的软土、松软土，应重点查明软土、松软土层的厚度变化，以及下伏硬层的顶面形态、横坡大小等。

7 埋藏有古软土层的地区，应查明其分布范围、埋藏深度、下伏硬土层或古软土层的超固结比等工程特性。

8 地下水的类型、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、构筑物的修建时间、地基处理措施、施工方法、处理效果等。

10 沼泽地段的地质调绘应调查：喜水植物的分布及生长情况；地表水的汇流和水位的季节变化、疏干条件，相关河流的水文情况，地下水露头及其季节变化，地下水与地表水的关系等。

## 6.4 勘探与测试

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

试方法。

6.4.2 软土、松软土地区的勘探，应符合下列规定：

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

2 勘探点的密度应依据铁路的等级标准，满足各勘察阶段方案比选、地质评价、工程设计的需要。当地层结构复杂、土质不均匀、下伏硬层顶面坡度较大，有古河道、古牛轭湖、暗埋塘、浜、渠时，勘探、测试孔应酌情加密。一般滨海平原地区可以较疏，谷地应适当加密；湖积平原地区，中部可以较疏，边缘应加密；河谷平原地区，平行河谷方向可较疏，垂直河谷方向应加密。

3 查明软土、松软土层厚度的钻孔，应布置在有代表性的部位。软土、松软土深厚或厚度变化不大时，应布置在线路中心；下伏硬层的顶面坡度较大时，宜布置在下坡一侧。路基与桥涵过渡段应布置钻孔。钻孔应穿透软土、松软土钻至硬层、主要持力层或下伏基岩内一定深度；穿透软土、松软土层的钻孔宜不少于勘探孔总数的20%。

4 钻孔深度应根据软土、松软土地基的土质情况，不小于地基压缩层的计算深度。

6.4.3 软土的土样采取，应符合下列规定：

1 钻孔直径应满足取样、原位测试或其他试验工作的需要。

2 取样宜采用均匀连续压入法或下击式重锤少击法。流塑状软土层钻探应下套管护孔，套管管靴高出取样部位10~20 cm。在较深位置取样时应安置钻杆扶正器。

3 采取原状土样时应使用薄壁取土器，取土器的内径不宜小于89 mm。

4 采取原状土样前，应将孔底残留岩心清除干净。

5 取土器的入土深度，应小于取土器的有效长度2~5 cm。

6 不得将钻探岩心替代取土器原状土样混入试验样品中。

7 取样时不应向孔内注水；钻孔中的水不浸泡或压入样品中。

8 分层采取代表性的原状土样，层厚时可按上、中、下分别取原状土样；必要时钻孔中应连续取芯，在每1 m孔深内均取土样1组2筒；同一地质分层内的土样，应不少于6组。

6.4.4 软土的原状土样，应符合下列规定：

1 土样周边扰动带厚度应小于10 mm，内部应无扰动现象。

2 开土样后如有析水或变形现象时，应降低土样质量等级，调整试验项目或重新取样。

3 采取的原状土样不符合质量要求时，应重新取样。

6.4.5 软土的室内试验，应符合下列规定：

1 室内试验的项目，应根据不同的勘察阶段、不同的工程类别和地基处理措施按表6.4.5确定。

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

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

6.4.6 黏性土等松软土的取样方法和试验项目，天然含水率较高时的取样和室内试验可参照软土进行；天然含水率较低时与松软土所属原始土类的勘察取样、试验要求相同。

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

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

表 6.4.5 软土地基的试验项目

工程类型	室内试验项目										原位测试																				
	物理性质试验										力学性质试验																				
	天然含水率	天然密度	颗粒密度	天然孔隙比	塑限	液限	塑性指数	液性指数	有机质含量	颗粒分析	渗透系数		压缩系数		先期固结压力	固结系数	直剪		三轴剪切		灵敏度	十字板剪切	静力触探	旁压试验	载荷试验	标准贯入试验	应力计	扁铲侧胀试验			
											垂直	水平	垂直	水平			垂直	水平	快剪	固结快剪									不固结不排水	固结不排水	固结排水
ω	ρ	ρ <sub>s</sub>	e	w <sub>p</sub>	w <sub>l</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	%			k <sub>v</sub>	a <sub>v</sub>	P <sub>c</sub>	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	τ <sub>eq</sub>	CU	CD	S <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>	CPT	PMT	PLT	SPT		DMT					
%	g/cm <sup>3</sup>			%	%			%			cm/s	MPa <sup>-1</sup>	kPa	cm <sup>2</sup> /s	kPa																
路堤	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
路新	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
天然地基	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
桥涵	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
厂房	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
桩基	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
复合地基	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					

注：“+”为必做项目；“-”为选做项目。



## 6.5 场地评价

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

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

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

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建议。

3 建筑物离池塘、人为沟坑、河岸、边坡、填土地较近时,应判定软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度,并对其稳定性影响进行评价。

4 软土、松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类土互层时,应根据其固结排水条件判定其对地基变形的影响。

6 判定地下水位变化和承压水等对软土、松软土地基稳定性和变形的影响,评价地下水对混凝土等建筑材料的化学侵蚀性。

7 软土、松软土地基的基本承载力,一般建筑物可利用静力触探及其他原位测试成果,结合地区经验确定;也可根据软土、松软土的物理、力学参数确定,或采用工程地质类比法确定;重要建筑物和缺乏经验的地区,应采用载荷试验确定。

8 试验数据应结合空间相关性分层、分段或按工点进行数理统计分析。

9 建筑场地的地震动峰值加速度为 $0.1g$ 及以上地区应判定场地和地基的地震效应。

10 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。

**6.5.4** 软土、松软土地基的场地评价,应符合下列规定:

1 场地评价主要包括地基承载力评价、滑动稳定性评价和沉降评价等。

2 根据软土、松软土的成层、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、处理措施建议。

3 软土、松软土路堑应对边坡稳定性和基底沉降变形作出评价。

4 应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管涌、潜蚀、流泥、流砂,以及动水压力对边坡稳定造成的不利影响作出评价。

**6.5.5** 预测软土场地因施工、取土、运输等原因可能产生的环境地质问题,并提出相应的工程措施意见。

## 6.6 踏 勘

**6.6.1** 踏勘阶段软土、松软土地地区的工程地质勘察,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、地震及遥感图像等资料。

2 软土、松软土地段应进行现场踏勘,必要时可进行简易勘探、测试。

3 了解控制线路方案和重点地段的软土、松软土成因类型、性质、分布范围及其对工程产生的危害。

4 软土、松软土地地区沿线堤防、涵闸、桥梁、道路及房屋等既有建筑物应进行重点调查,了解其结构和基础类型、地基处

理措施、施工过程、变形及稳定状况。

5 对室内遥感解译成果应进行现场核对、修改和补充。

#### 6.6.2 踏勘阶段软土、松软土地区的资料，应包括下列内容：

1 工程地质说明或预可研总说明书工程地质素材，应重点阐明推荐方案和主要比较方案软土、松软土的成因类型、特征、分布范围、规律性等对线路的影响，对线路方案作出评价，并提出初测阶段软土、松软土勘察工作的建议。

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

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

### 6.7 初 测

6.7.1 初测阶段软土、松软土地区的地质调绘，应符合下列规定：

1 查明沿线软土、松软土的分布范围、成因、类型、分布规律和埋藏条件以及古河道、暗塘、暗浜的分布；地下水的类型、埋藏深度、补给与排泄条件。

2 控制线路方案或代表性设计的软土、松软土地段，应查明软土、松软土的层位、层厚、类型以及物理、力学、化学、水理特性等，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、松软土地段，应扩大调绘范围。

6.7.2 初测阶段软土、松软土地区的勘探和原位测试，应符合下列规定：

1 一般软土、松软土地段应以挖探、钎探、轻型螺纹钻探等简便勘探及静力触探等方法为主，每个地貌单元应有勘探点

控制。

2 大面积软土、松软土地段，勘探点间距应不大于300 m；成层复杂、层厚变化大，以及山间洼地应适当加密。

3 控制线路方案或代表性设计的软土、松软土地段，宜采用静力触探、轻型螺纹钻、十字板剪切试验、物探、钻探等进行综合勘探。每个断面应有2~4个勘探、测试孔，并应有1~2个穿透软土、松软土层的钻孔。

6.7.3 初测阶段软土、松软土地区取样、室内试验项目和试验方法，除应满足本规程第6.4.5条规定外，尚应符合下列规定：

1 代表性工点应对硬壳、硬层及软土、松软土分层进行压缩系数、固结系数、渗透系数、天然抗剪强度或固结快剪强度、无侧限抗压强度等测试。

2 采用砂井或塑料排水板加固软土地基时，应进行水平方向的固结系数测试；采用水泥土桩、水泥土搅拌桩或旋喷桩时，应进行软土的化学特性、组分等特性的测试。

3 判定软土的触变性时，应测定灵敏度。

6.7.4 初测阶段软土、松软土地段路基、桥涵、隧道等代表性设计工点的地质资料，应包括下列内容：

1 工程地质说明：阐明软土、松软土的分布范围、分布规律、成因类型、工程地质特性，评价其对工程建筑物的影响及处理措施。

2 工程地质图：填绘软土、松软土的分布范围、层位、成因类型、厚度等，比例为1:500~1:5 000。

3 工程地质纵断面图：标示软土、松软土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容，比例为横1:500~1:5 000，竖1:50~1:500。

4 代表性工程地质横断面图：应标注地下水位，并分层标注该层的主要力学性质参数；比例为1:200。

5 硬壳底面或硬层顶面高程等高线图：必要时可在硬壳底

面、硬层顶面高程起伏,以及软土、松软土厚度变化大并控制线路方案时作。比例为1:500~1:5 000。

6 勘探、测试、试验等资料。

**6.7.5** 初测阶段软土、松软土地段的综合资料编制,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告:重点分析软土、松软土的工程地质特征及分布规律对线路和建筑物方案的影响,提出方案比选意见及其处理措施建议。

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

3 工程地质图:填绘软土、松软土的范围界线、成因类型及厚度,比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路纵断面图合并或单独绘制。图面应用花纹图例或文字标示软土、松软土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容,比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000。

5 沿线工程地质分段说明:根据软土、松软土的地貌单元、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、桥涵等工程的地基稳定、沉降及线路方案、地基处理措施提出评价和建议。

## 6.8 定 测

**6.8.1** 定测阶段软土、松软土地区的地质调绘,应符合下列规定:

1 详细查明采用方案沿线各类建筑场地软土、松软土分布的边界条件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、兼顾纵断面进行地质调绘,查明路基横向范围内硬壳、硬层及软土、松软土的厚度、埋藏深度的变化,搜集稳定分析、沉降计算和采取加固处

理措施所需的软土、松软土地基分层及物理、力学、化学、水理性质参数,提出边坡结构的形式和坡率,以及地基处理方案的建议。

3 桥涵工程应以桥址的纵断面为主进行地质调绘,下伏硬层顶面坡度较大的桥梁墩台地基应同时进行横断面地质调绘;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、松软土地基分层及物理、力学、化学、水理性质参数,评价地基的稳定性,并提出工程措施意见。

4 房屋建筑工程:查明软土、松软土分布的厚度变化及物理力学性质,软土、松软土的硬壳厚度及物理力学性质,分析硬壳作为天然地基的可行性;建筑物需采用人工地基时,应搜集软土、松软土地基的物理力学参数,提出软土、松软土地基进行处理或加固的措施意见。

**6.8.2** 定测阶段软土、松软土地区的勘探、测试,应符合下列规定:

1 勘探点的布置应根据地段长度、地层结构、成层复杂程度、下部硬层横坡,结合工程类型、地基处理措施确定。

2 应采用钻探、静力触探、十字板剪切试验为主,其他原位测试相结合的综合勘探方法。采用静力触探的地区,应有钻孔或其他原位测试手段验证,代表性软土、松软土地段应至少有2处对比孔。

**6.8.3** 定测阶段软土地段路基工程的勘探、测试,应符合下列规定:

1 路基基底应进行横断面勘探、测试,断面间距应不大于100 m。独立工点至少应有一个勘探、测试横断面;代表性工程地质横断面应有1~3个勘探、测试孔;每个工点中的取样或进行原位测试的勘探点不应小于勘探点总量的1/3。

2 软土的沉积环境条件单一、层厚变化较小且分布范围较大时,勘探、测试孔间距应不大于100 m;软土的沉积原因复



杂,层厚变化较大、埋藏条件不同时,勘探测试孔间距应不大于50 m。

3 查明软土硬底条件的地质横断面,至少布置2个勘探、测试孔;垭口、斜坡软土分布区应按地形的倾斜方向布置横断面。

4 区段站及区段站以上大站的勘探、测试横断面,宜按站区平面结合各类建筑设施的地基要求综合布置勘探点。

5 一般勘探、测试孔的深度应至软土、松软土的硬底或主要持力层以下5~10 m或基岩中3~5 m。当软土、松软土层深厚时,勘探测试孔的深度应不小于地基计算压缩层的深度。

6 高速铁路(含客运专线铁路)宜按复杂场地布置勘探、测试点;勘探孔深度不宜小于25 m,或至计算压缩层以下不小于5 m。路堤与桥台、路堤与小桥涵、路堤与路堑、路基与隧道的过渡段应有勘探、测试点或地质横断面控制。

**6.8.4** 定测阶段软土地区桥涵工程的勘探、测试,应符合下列规定:

1 软土地层简单、厚度变化较小、层次有规律、下卧硬层的顶面坡度平缓时,可结合桥跨、基础类型等条件隔墩钻探;大跨、高墩桥梁工程或软土地层结构复杂时,每个墩台应布置1个勘探、测试孔。软土的下卧硬层顶面坡度较大时,双线以上桥梁墩、台的勘探、测试孔应不少于2个,或按地形布置墩、台的横断面勘探。

2 在勘探、测试孔总量中,双桥静力触探孔应占一定比例,穿透软土层的深钻孔不应小于总勘探孔数量的20%。

3 勘探、测试深度应至桩端或持力层以下5~20 m,并不小于计算压缩层深度的要求。

4 每座涵洞应有一个勘探、测试孔;地质复杂的小桥、长度大于60 m的涵洞的勘探、测试孔应不少于2个;勘探测试孔的深度应至硬底以下不少于5 m。

5 采用桩基础或其他深层加固方法处理软土地基的桥梁附属工程或小桥涵工程,其勘探、测试深度应至持力层或桩端以下,并不小于计算压缩层的要求。

**6.8.5** 定测阶段软土、松软土地区车站一般房屋建筑、车站或站场构筑物工程的勘探、测试,应符合下列规定:

1 一般房屋建筑、构筑物的勘探、测试孔,可按建筑、构筑物的周边、角点或建筑群横断面布置,勘探测试点间距宜为20~50 m;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。

2 勘探、测试孔深度宜按地基计算压缩层确定,必要时应适当加深。

3 高层建筑、大型站房、大跨度建筑物和房屋集中片区的工程地质勘察,应按《岩土工程勘察规范》(GB 50021)的有关规定执行。

**6.8.6** 定测阶段软土、松软土地区的桥涵、路基、车站等各类建筑物的工点地质资料,应符合本规程第6.7.4条的规定。

**6.8.7** 定测阶段软土、松软土地区的综合地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告:重点说明软土、松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:根据各类工点的工程地质资料补充、修改,比例为1:10 000~1:200 000。

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

4 工程地质纵断面图:图面应标示软土、松软土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容。可与线路纵断面图合并或单独绘制,比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000。

## 6.9 施 工 阶 段

**6.9.1** 施工阶段软土、松软土地区的工程地质工作，应包括下列内容：

1 研究软土、松软土地区的工程地质资料，掌握沿线各类软土、松软土工点的不同特点及加固处理措施，预测施工中可能发生的工程地质问题，提出施工注意事项。

2 核对各类工点的工程地质资料，发现地下水位大幅度升高或降低，软土、松软土的天然含水率剧烈变化时，应及时分析原因，必要时进行补充勘察，提出工程措施建议。

3 必要时应提出软土、松软土地基变形、沉降监测的建议。

**6.9.2** 施工阶段软土、松软土地区的工程地质资料，应包括下列内容：

1 工程地质说明：阐明施工中发生的软土、松软土工程地质变更问题的范围、性质和原因，处理的经过、措施和效果；施工阶段地基变形的监测情况、监测结果和运营中应长期加强监测的意见；施工中的经验教训等。

2 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充；路基、站场应标明软土、松软土地基的加固范围和措施；桥涵、房屋等建筑应标明基础的类型及实际埋置深度。

3 各项施工地质原始资料的整理。

## 6.10 运 营 阶 段

**6.10.1** 运营阶段软土、松软土的工程地质勘察，应包括下列内容：

1 运营过程中的软土、松软土路基工点应根据建筑、构筑物的具体情况，选择适宜的监测项目进行下沉、位移等监测。

2 分析病害的发生原因、发展趋势。发展趋势恶化的工点，必要时应进行工程地质勘察，提出整治措施意见。

3 软土、松软土地质灾害易发的重点区段、路基过渡段，应建立巡查、监测系统。

**6.10.2** 运营阶段软土、松软土工点工程地质资料，应符合下列规定：

1 工程地质条件简单的增建和补强工程，可在既有资料的基础上，进行补充完善。

2 病害整治工点工程地质勘察资料的编制，应符合本规程第 6.7.4 条的规定。

## 7 盐 渍 土

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 遇含有层状或散粒状易溶盐或部分化学侵蚀性中溶盐类矿物，地表呈现白色盐霜、盐壳或蓬松粉土层，具有吸湿、溶陷、膨胀、腐蚀等特性的细粒土层时，应按盐渍土进行工程地质勘察。

**7.1.2** 土中的易溶盐含量大于 0.3% 的粉土、粉质黏土或砂类土，应定为盐渍土；当地表以下 1 m 深度内的土层易溶盐平均含量大于 0.3% 时，应定为盐渍土地。

**7.1.3** 盐渍土的分类和盐渍化程度分级，应符合表 7.1.3—1 和表 7.1.3—2 的规定。

**7.1.4** 盐渍土地区宜选择在潮湿的季节测定含水率、干旱的季节测定含盐量。

表 7.1.3—1 盐渍土分类表

盐渍土分 类	盐分比值	
	$D_1 = \frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})}$	$D_2 = \frac{2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}$
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	—	$D_2 > 0.3$

表 7.1.3—2 盐渍土的盐渍化程度分级

盐渍土的 盐渍化程度分级	土层的平均含盐量 $\overline{DT}$ (%)		
	氯盐渍土及 亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土
弱盐渍土	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$	—	—
中盐渍土	$1 < \overline{DT} \leq 5$	$0.3 < \overline{DT} \leq 2$	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$
强盐渍土	$5 < \overline{DT} \leq 8$	$2 < \overline{DT} \leq 5$	$1 < \overline{DT} \leq 2$
超盐渍土	$\overline{DT} > 8$	$\overline{DT} > 5$	$\overline{DT} > 2$

### 7.2 工程地质选线

**7.2.1** 盐渍土地区工程地质选线，应符合下列规定：

1 线路应选择排水条件较好、土中含盐量低及盐渍土分布范围小的部位通过，宜绕避强、超盐渍土、硫酸盐渍土和碱性盐渍土发育的地段。

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

3 线路以路堤通过时，应根据当地冻结前最高地下水位、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及采取的工程措施。

**7.2.2** 不同地貌和地形条件的盐渍土地区，线路位置选择应符合下列规定：

1 山前倾斜平原区的前缘，宜选择在灌丛沙堆与盐渍土的过渡地带。

2 山间盆地地区宜利用微地形条件、结合盐渍土的类型，选择在地势较高、盐渍化程度较轻的氯盐盐渍土地段。

3 河谷区宜选择在有利于排水的一侧。

4 平原区宜绕避积水洼地、背河洼地（地上悬河两岸之洼地）等存在地下水危害的地段和地下水位较高的地段。

5 滨海区宜绕避盐田、咸水区、虾池、鱼塘等地段。

6 在盐渍土和软土共生地段,除应考虑盐渍土选线的有关要求外,还应满足软土地区工程地质选线的要求。

### 7.3 地质调绘

7.3.1 盐渍土地区的地质调绘前,应搜集下列资料:

1 区域地质、第四纪地质、水文地质、遥感图像等既有资料。

2 气温、地温、湿度、降雨量、蒸发量,土的最大冻结深度和冻结初终期、干燥度等主要气象资料。

3 水文和水利工程方面的资料。

4 盐、碱矿产资源的开发利用范围和当地工程建设、盐碱防护方面的经验。

7.3.2 盐渍土地区的地质调绘,应采用遥感图像解译和地面调绘相结合的方法,查明盐渍土的分布范围、岩性、含盐程度和含盐类型、地下水的埋藏条件和地表水的积聚、排泄条件。

7.3.3 盐渍土地区的遥感图像解译,应包括下列内容:

1 盐渍土地区的地形、地貌特征。

2 盐渍土的分布范围、地表的积水情况。

3 地表组成物质、植被覆盖率及其分布情况。

4 地表水分布形态、地下水露头点、道路及居民点等。

5 利用不同时相的遥感图像,解译判释盐渍土的发展趋势。

7.3.4 盐渍土地区的工程地质调绘,应包括下列内容:

1 盐渍土地区的地形地貌条件,分析各类盐渍土的分布与地貌形态之间的联系。

2 盐霜、盐壳的分布范围、厚度、坚硬程度。

3 地表土层的成因类型、土质成分、结构特征,含盐类型及盐渍化程度、盐渍特点及盐分的季节迁移规律;雨季勘察时,还应在旱季补充调查地表的泛盐情况。

4 盐渍土地区植物的种类,包括生态特征、覆盖度、均匀

度、分布规律、代表性植物及与盐渍土发育的关系等。

5 水库、渠道渗漏水、排灌不当或用苦水灌溉等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。

7.3.5 盐渍土地区的水文地质调绘,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,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,地表、地下水的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调查,包括地下水位季节变化幅度和逐年变化趋势;农田水利工程的渗漏、灌水、排水及水库、河湖的水位变化对附近地下水位的影响。冻结前地下水最高水位,常年地下水最高水位;必要时应建立地下水观测站、点直接观测。

4 地下水的开发利用引起的生态问题。

5 采用排水疏干、降低地下水位的措施时,应查明地下水的流向、流速或相关地层的渗透系数。

### 7.4 勘探与测试

7.4.1 盐渍土地区针对含盐性质、盐渍化程度评价的勘探,应以挖探为主,配合使用简易勘探(洛阳铲、螺纹钻)、静力触探、钻探等方法。

7.4.2 盐渍土地区应根据盐渍土的分布特征、勘察阶段和工程类型,布置满足工程设计要求的勘探、测试点。

7.4.3 盐渍土地区的勘探深度应根据土石类别结合工程类型确定,并应有一定数量的勘探点测定毛细水强烈上升高度,满足路基等浅基础建筑、构筑物地基设计的要求。

7.4.4 盐渍土样品的采取,应符合下列规定:

1 取样地点应具代表性，做盐渍土分析的均质土样品质量每组不应少于0.5 kg，非均质土不应少于1 kg。

2 测定盐渍土含盐量的土样应沿垂直剖面逐段连续采集，从地表开始向下分别在0~0.05 m、0.05~0.25 m、0.25~0.50 m、0.50~0.75 m、0.75~1.00 m等深度分层取样，取样深度一般为1 m。地下水位埋深小于1 m时应取至地下水位；地下水位埋深大于1 m时，必要时应加大取样深度，在1 m深度以下可每隔0.5 m取样一组至地下水位。

3 试坑中取样应在开挖当天完成，按规定的取样深度，在侧壁等量刮取或分段挖槽铲取；洛阳铲取样应分段按深度标记提取岩心，单独堆放；同一深度的土样混合后用四分法采样。

7.4.5 盐渍土地区的测试除进行盐渍土化学分析外，尚应符合下列规定：

1 根据盐渍土的分布情况，结合工程设置采取扰动或原状土样，进行盐渍土的物理、力学性质试验，地基承载力宜采用原位测试的方法确定。

2 静力触探确定的盐渍土地基承载力公式，应与载荷试验或其他测试结果进行对比后使用。

3 载荷试验点的布置应具有代表性，宜靠近线路和桥涵等工程，其数量应满足建立回归公式的要求。

4 分别测定不同类型盐渍土及不同土层的毛细水强烈上升高度。

5 盐渍土场地应采取地表水和地下水作水质分析。大范围盐渍土地区的地下水取样间距不宜大于2 km。

6 根据盐渍土的类别和盐渍化程度，分别采取土样进行钢结构、钢筋混凝土结构的盐渍土化学侵蚀性分析。

7.4.6 盐渍土的试验项目应根据场地情况和工程要求参照表7.4.6选定，易溶盐含量（DT）包括 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 等主要离子，试验方法应符合

合现行《铁路工程土工试验规程》（TB 10102）的规定。

表 7.4.6 盐渍土工程性质的试验项目

工程类别	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	酸碱度	黏土矿物分析	易溶盐含量	膨胀		夯实		原位测试	
																	膨胀率	膨胀力	最优含水率	最大干密度	静力触探	荷载试验
		$\omega$	$\rho$	$e$	$\omega_L$	$\omega_P$	$I_L$	$I_P$		$k$	$a$	$H_k$		pH	DT		$V_H/V_D$	$P_p$	$\omega_{opt}$	$\rho_{dmax}$	CPT	PLT
		%	$\text{g/cm}^3$	%	%	%		%	$\text{cm/s}$	$\text{MPa}^{-1}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	%	%	%	%	%	kPa	%	$\text{g/cm}^3$		
路基		+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	+	+	+	±
桥涵		+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±						±
站场		+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	+	+	+	±
房屋建筑		+		+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±				+	±

注：“+”为必做项目；“±”为选做项目。

7.5 观测与场地评价

7.5.1 盐渍土地区的观测，应包括下列内容：

1 地下水水位的动态变化、毛细水强烈上升高度、盐渍土的含盐量及含水率变化情况。

2 既有路基的稳定情况，次生盐渍化发育情况，盐渍土对各类建筑物的腐蚀情况。

3 缺少气象资料的地区宜进行简易的气象观测。

7.5.2 盐渍土地区的地下水动态观测，应符合下列规定：

1 观测井、泉、钻孔的地下水位，进行水质分析。

2 观测时间宜选择在地下水位上升及盐渍土中水、盐含量变化最明显的季节进行。

3 每个测区的观测孔应不少于3个，需观测地下水与地表水的联系时，应布置垂直等高线的观测断面，并同时观测地表水的水位变化。



**7.5.3** 盐渍土毛细水强烈上升高度的现场或室内测试,可根据场地条件采用试坑直接观测法、曝晒前后含水率曲线交会法、或塑限与含水率曲线交会法;黏性土宜采用塑限含水率判定。

**7.5.4** 地表土层 1.0 m 深度内的易溶盐平均含盐量及含盐成分计算,应符合下列规定:

1 易溶盐的平均含盐量,应按式 (7.5.4) 计算:

$$\overline{DT} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i DT_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (7.5.4)$$

式中  $\overline{DT}$ ——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 地表 1.0 m 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;取样深度不足 1.0 m 时,应按实际取样深度计算。

**7.5.5** 盐渍土地区的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、化学侵蚀性等内容,并符合下列规定:

1 地表以下 1.0 m 深度内的土层易溶盐含量大于 0.3% 时,应按盐渍土场地评价。

2 盐渍土按易溶盐含盐成分的分类应符合表 7.1.3—1 的规定。盐分比值  $D_1$  和  $D_2$  的计算,应符合式 (7.5.5—1)、式 (7.5.5—2) 的要求:

$$\text{盐分比值} \quad D_1 = \frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})} \quad (7.5.5-1)$$

$$\text{盐分比值} \quad D_2 = \frac{2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})} \quad (7.5.5-2)$$

式中  $c$ ——与摩尔浓度有关的系

数,一般取 1;

( $\text{Cl}^-$ ), ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), ( $\text{HCO}_3^-$ )——物质的质量毫摩尔浓度 (mmol/kg)。

3 盐渍土的盐渍化程度分类,应符合表 7.1.3—1 的规定。

4 评价盐渍土地时,采用盐渍化程度和含盐成分的综合定名,应符合表 7.1.3—2 的规定。

5 盐渍土的化学侵蚀性评价,应符合《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)附录 F“环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准”的有关规定。

**7.5.6** 盐渍土发育趋势的评价,应根据气候和地表水体的变迁、地下水位升降、植物演变、地表盐分的迁移、农田垦植、矿产开发等情况综合分析。

## 7.6 踏 勘

**7.6.1** 踏勘阶段盐渍土地区的工程地质勘察,应包括下列内容:

1 搜集和研究沿线的区域地质、工程地质、水文地质、矿产地质、地形地貌、遥感图像、气象及盐渍土工程特性的资料。

2 了解线路通过地段盐渍土的分布范围、严重程度、地下水的埋藏条件等。

3 现场踏勘应对遥感图像解译成果进行重点核对和验证,必要时应进行简易勘探和取样试验,并调查盐渍土的季节变化情况。

4 调查了解线路附近石膏、芒硝、岩盐、天然碱等矿山、化工企业的原料基地和开采层位等资料。

**7.6.2** 新建铁路遇盐渍土分布广泛、含盐情况复杂、缺乏既有资料和工程建设经验,线路方案受盐渍土的环境地质影响严重时,应提出在初测前进行盐渍土的专题研究的建议。

**7.6.3** 踏勘阶段盐渍土地区的资料,应包括下列内容:

1 预可研总说明书素材,应阐明盐渍土的分布、成因及其

工程性质，盐渍土对线路方案的影响，提出方案比选意见，评价控制线路方案盐渍土地段的工程地质条件，对初测工作的重点提出建议。

2 全线工程地质图：填绘盐渍土的分布范围，比例为1:10 000~1:200 000。

## 7.7 初 测

7.7.1 初测阶段盐渍土地区的地质调绘，应符合下列规定：

1 调查沿线盐渍土的成因、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；滨海盐渍土地区，尚应调查咸水区的分布范围。

2 控制线路方案或需作代表性设计的盐渍土地段，应初步查明地层结构、各类型盐渍土在水平、垂直方向上的分布；地下水的常年最高水位或冻前地下水最高水位，水质及地下水位的年变化幅度和规律，地下水的流向，地表水与地下水的补给关系等；土层的毛细水强烈上升高度，最大季节冻结深度或有害冻胀深度等。

7.7.2 初测阶段盐渍土地区的勘探，应符合下列规定：

1 推荐方案及主要比较方案通过长距离的盐渍土地段，勘探点的间距宜为500~1 000 m，初步查明沿线盐渍土的工程地质和水文地质特征，满足代表性设计工点的要求。

2 每个代表性设计工点应有代表性地质横断面；每个断面的勘探点应不少于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、测试点控制纵、横断面图的勘察精度。

7.7.3 初测阶段盐渍土地区的试验，应包括下列内容：

1 在代表性纵、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水样进行水质分析。

3 取代表性土样做钢结构、钢筋混凝土的化学侵蚀性分析。

7.7.4 初测阶段盐渍土地地区路基、桥涵、站场等代表性设计工点资料，应包括下列内容：

1 工程地质说明：阐明盐渍土的分布范围、盐渍土的含盐类型及其盐渍化程度。

2 工程地质图：填绘不同含盐类型、不同含盐程度分区的工程地质分界线，标注盐渍化程度的符号，地层小柱状图应标注地下水位，比例为1:2 000~1:5 000。

3 工程地质纵断面图：填绘盐渍土的地层花纹符号、标注成因类型、厚度、地下水位线等，比例为横1:500~1:5 000，竖1:100~1:500。

4 工程地质横断面图：标注最高地下水位线，比例为1:200。

5 勘探、测试、试验等资料。

7.7.5 初测阶段盐渍土地区的综合资料，应包括下列内容：

1 工程地质勘察报告：阐明盐渍土地区的区域地质条件、盐渍土的成因、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；盐渍土地地区既有厂矿，水利工程、农田灌溉等因素对铁路工程的影响；提出方案评价和比选意见。

2 全线工程地质图：填绘盐渍土的范围界线和符号，内陆盆地或冲积平原盐渍土地地区的线路方案较多时，应有说明各线路方案特征的代表性地质示意剖面图和各类盐渍土的范围界线，比例为1:10 000~1:200 000。

3 工程地质图：以不良地质界线填绘盐渍土的界线、小柱状图应标注地下水位深度、具有盐渍化程度的盐渍土符号，比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图：用花纹图例或文字说明盐渍土的厚度及其他特征。可与线路纵断面图合并或单独绘制，比例为横

1:10 000, 竖 1:100 ~ 1:1 000。

5 沿线工程地质分段说明:按地貌单元、盐渍土的类型、地下水等工程地质条件分段编写;内容包括地形地貌、地层岩性、盐渍土的类型、盐渍化的程度、地表形态、地下水位深度及矿化度、补给排泄条件、毛细水强烈上升高度,强、超盐渍土的厚度以及工程处理措施建议等。

## 7.8 定 测

7.8.1 定测阶段盐渍土地区的地质调绘,应符合下列规定:

1 详细查明沿线路基及各类建筑、构筑物所在场地和地基的工程地质、水文地质条件,搜集物理、化学、力学性质和地基承载力资料。

2 调查盐渍土的毛细水强烈上升高度、有害冻胀深度。

3 调查分析既有建筑物的基础类型、基础材料、受盐渍化作用产生的腐蚀变形等情况。

7.8.2 定测阶段盐渍土地区的勘探、测试,应符合下列规定:

1 根据盐渍土的类型、分布,结合工程类型布置勘探、测试点,其间距不宜大于 200 ~ 500 m。

2 勘探、测试点的深度应满足桥涵等深基础建筑物的基础设计和疏排、降低路基地下水位工程的要求;一般路基地段的深度根据岩性的变化,应达到 3 ~ 6 m。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 高速铁路(含客运专线铁路)路基工程的勘探点间距宜为 100 m,黏性土地段的勘探深度应穿透盐渍土层且不宜小于 25 m。

4 结合建筑类型的不同要求,可参照《岩土工程勘察规范》(GB 50021)及铁道部有关混凝土结构耐久性设计的规定,取地表、地下水和地基土做有关化学侵蚀性的分析和评价。

7.8.3 定测阶段盐渍土地区的桥涵、路基、车站等各类建筑物的工点地质资料,应符合本规程第 7.7.4 条的规定。

7.8.4 定测阶段盐渍土地区的综合地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告:阐明沿线各类盐渍土及地下水的分布特征,盐渍土的工程特性,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:根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000。

3 工程地质图:根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善;比例为 1:2 000 ~ 1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路详细纵断面图合并绘制,比例为横 1:10 000,竖 1:100 ~ 1:1 000。

## 7.9 施 工 阶 段

7.9.1 施工阶段盐渍土地区的工程地质工作,应包括下列内容:

1 研究盐渍土地区的工程地质资料,掌握沿线盐渍土工点的不同特点及工程处理措施,预测施工中可能发生的工程地质问题,提出施工注意事项。

2 核各类工点的工程地质资料,发现地下水位及含盐量明显超过季节变迁的变化幅度,勘察资料的相关设计参数将影响工程设计质量时,应补充勘探测试,提出相应的工程处理措施。

7.9.2 施工阶段盐渍土地区工点资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明:说明施工中盐渍土工点发生的工程地质变更问题,变更设计的范围、性质、原因、处理经过,采用的工程措施和效果,施工中的经验教训等。

2 工程地质纵、横断面图:可利用设计文件中的相应图件修正、补充完善。

3 各项施工地质原始资料的整理。

## 7.10 运营阶段

**7.10.1** 运营阶段盐渍土地区的工程地质工作，应包括下列内容：

1 运营过程中由于环境地质条件的变化、地下水位升高等引起新增盐渍土工点，或恶化了原有盐渍土病害的，应根据工程建筑物的具体情况，进行地下水位、含盐量和化学侵蚀性变化的监测。

2 根据监测资料分析病害的发生和发展趋势。发展趋势恶化的工点应及时发出预报，提出整治措施意见。

3 盐渍土病害整治工点的勘察应充分利用既有资料，参照本规程 7.8 节的规定。

**7.10.2** 运营阶段盐渍土地区的资料，应包括下列内容：

1 各项监测资料应按统一格式记录，及时绘制各种图表、曲线并进行分析研究，提出阶段性或最终的结论意见。

2 病害整治工点的勘察资料编制，应符合本规程第 7.7.4 条的要求。

## 8 多年冻土

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 在高纬度或高海拔寒冷地区，遇地层温度在 0℃ 以下，冻结状态持续 2 年或 2 年以上并含有冰晶或冰层的土层或岩层时，应按多年冻土进行工程地质勘察。

**8.1.2** 多年冻土的分类应符合下列规定：

1 根据冻土形成与存在的地理位置特征，可分为高纬度多年冻土或高海拔多年冻土。

2 根据冻土平面的分布特征，可分为连续片状多年冻土、岛状融区和岛状多年冻土。

3 根据冻土剖面的分布特征，可分为衔接多年冻土和不衔接多年冻土。

4 根据冻土层的年平均地温特征，可分为高温多年冻土和低温多年冻土。

5 根据冻土中含有易溶盐和泥炭的特征，可分为盐渍化多年冻土或泥炭化多年冻土。

6 根据多年冻土层的含冰量特征，可分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和纯冰层。

**8.1.3** 多年冻土地区应结合工程规模设置一定数量的监测站点，研究冻土工程地质条件的变化规律，监测气温、地温的变化对多年冻土的影响。

### 8.2 工程地质选线

**8.2.1** 多年冻土地区的地质选线应重视生态环境的保护，并应



符合下列规定：

1 线路宜选择在地形平缓、干燥、含冰少的岩石、粗颗粒土地带，或在少冰、多冰冻土分布的阳坡地带通过。宜绕避泥炭化冻土、盐渍化冻土及富冰、饱冰冻土、含土冰层或纯冰层地段。

2 线路宜采用路堤，不宜采用路堑；必须用路堑时，应降低挖方高度，且线路纵断面不宜采用平坡。

3 根据冻土类型采取与其相适应的路堤设计高度，不宜设置零断面或低填方。

4 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，宜选择在高阶地或台地上；应绕避大河融区及融区附近的多年冻土不稳定地带。

5 不宜设置高填、深挖路基工程，防止取土场或弃土堆积位置不当引起次生冻土环境地质问题。

**8.2.2** 多年冻土地区的线路宜绕避不良冻土地段，无法绕避时应符合下列规定：

1 厚层地下冰、冻土沼泽、冻土湿地、热融湖塘地段，线路宜选择在宽度较窄、冰层较薄、基底稳定处，应以高度不低于1.5 m的路堤或桥梁通过。

2 斜坡上方具有冰椎、冻胀丘及泉水露头的地下水发育地段，线路不宜设置路堑。

3 路堤左右具有冰椎、冻胀丘及泉水出露点时，应设置防止涎流冰漫上路基的导流工程。

4 沟口融冻泥流扇和山坡热融坍塌发育地段，线路宜选择在其外缘下方，以桥或路堤通过。

**8.2.3** 多年冻土地区的线路位置及高程，应结合工程类型按下列原则确定：

1 宜减少斜坡地段的路基工程。

2 跨越河流的桥梁宜选择在有河流融区的地段，并避免将

一座桥设在融区和多年冻土两种不同的地基上；桥址宜绕避有较大河冰堆积分布的地段。

3 隧道宜避免穿过地下水发育、有厚层地下冰分布的地层。洞口不宜设置在热融滑塌、冰椎、冻胀丘、含土冰层的发育地段。

4 大型站房、厂房、站场及生活房屋工程应考虑地表排水条件，选择在地形平坦、地层为基岩或粗颗粒土的地段。不宜设置在不良冻土现象发育的地段及地基为富冰、饱冰冻土、含土冰层及厚层地下冰分布的高温多年冻土地段。

### 8.3 地质调绘

**8.3.1** 多年冻土地区在地质调绘前，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等资料。

3 区域气象、气温、地温、年平均地温、地震、自然灾害等资料。

**8.3.2** 多年冻土地区的遥感图像解译，应包括下列内容：

1 多年冻土的分布范围、冻土类别、地表物质组成、地貌类型及形态特征。

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件。

### 8.3.3 多年冻土地区的地质调绘,应包括下列内容:

1 第四系地层的成因类型、地层结构、土质成分、斜坡的堆积厚度等特征。

2 结合地形、地貌及微地貌、斜坡坡度、朝向、植被、积水湖、塘的分布及形成条件,查明各类冻土的分布范围,确定多年冻土的边界。

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及冻土的上、下限深度。

4 通过勘探测试查明多年冻土的类别及冻土总含水率,地层的结构特征、物理力学性质,划分富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和纯冰层的分布范围或层位,确定冻土的融沉性分级。

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

6 调查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 调查大河桥渡融区的分布情况。

8 调查隧道地区地下水的埋藏、迁移条件,冻土融化圈对围岩强度的影响及冰层融化、水分转移可能引起的工程地质问题。

9 调查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、点进行长、短期观测。

11 配合有关专业确定取、弃土位置,避免选址不当引起环境工程地质问题。

## 8.4 勘探与测试

8.4.1 多年冻土地区应根据冻土的环境条件,采用以钻探及钻孔测温为主,物探、挖探为辅的综合勘探方法。

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

1 冻土类型及其分布特征。

2 季节融化层的深度及多年冻土的上限,必要时应探明多年冻土的下限深度。

3 厚层地下冰的类型及分布特征。

4 多年冻土地区地下水的类型及其赋存条件与变化规律。

5 多年冻土的波速、动弹性模量。

8.4.3 多年冻土地层的钻探,应符合下列规定:

1 冻土地层为含冰粗颗粒土时,宜采用低速干钻的方法,回次进尺不大于0.5 m。

2 冻土地层为含冰黏性土时,宜采用快速干钻的方法,回次进尺不大于0.8 m。

3 冻土地层为含冰块石、碎石土或基岩时,宜采用低温冲洗液钻进。

4 短期测温钻孔和长期观测钻孔,应进行钻孔结构设计和安装测温管。

8.4.4 多年冻土地区的勘探工作量可根据初测、定测和补充定测的阶段要求、地层的沉积特征、冻土的地温分区等环境地质条件综合确定。

8.4.5 多年冻土地区的勘探及取样,应符合下列规定:

1 多年冻土的物理地质现象、多年冻土下限的勘探宜在2~5月进行;多年冻土上限深度的勘探宜在9~10月进行。

2 勘探和测温期间应减少对场地地表植被的碾压破坏,不需要保留的观测、测温孔和试坑应及时回填,恢复地貌形态。

3 多年冻土地区的取样应自地表以下0.5 m开始逐层采取,不得从爆破的碎土块中取样。土层厚度小于1.0 m时,取样一个;土层厚度大于1.0 m时,每米取样一个;上限附近或含水率变化时应加密取样。

4 多年冻土地区的取样应满足表 8.4.5 的分级要求。

表 8.4.5 冻土试样的等级

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

8.4.6 多年冻土地区的室内试验，应包括下列内容：

- 1 冻土的颗粒分析、总含水率、液限、塑限、天然密度、含水率、盐渍度、有机质含量等物理性质试验。
- 2 冻土中的冻结水和地下水的水质分析。
- 3 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土的压缩系数等力学性质试验。
- 4 多年冻土的一般试验项目，可根据地层、工程类别按表 8.4.6 确定。

表 8.4.6 多年冻土地基的试验项目

土 的 类 别	工 程 类 别	总 含 水 率	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	饱 和 度	融 化 压 缩		融 化 后 密 度	融 化 后 剪 切	
						筛 分	大于 0.5 mm 含量	小于 0.075 mm 含量			融 沉 系 数	压 缩 系 数		黏 聚 力	内 摩 擦 角
											A	a		c	φ
						%	%	%			MPa <sup>-1</sup>	g/cm <sup>3</sup>		kPa	°
黏 性 土	隧道	+	+	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±
	桥涵、房屋、 高填陡坡路堤、 挡土墙	+	+	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±
	路堑	+	+	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±
粉 土	隧道	+	±	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±
	桥涵、房屋、 高填陡坡路堤、 挡土墙	+	±	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±
	路堑	+	±	+	+		+	+	±	±	+	+	±	±	±

续表 8.4.6

土 的 类 别	工 程 类 别	总 含 水 率	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	饱 和 度	融 化 压 缩		融 化 后 密 度	融 化 后 剪 切	
						筛 分	大于 0.5 mm 含量	小于 0.075 mm 含量			融 沉 系 数	压 缩 系 数		黏 聚 力	内 摩 擦 角
											A	a		c	φ
						%	%	%			MPa <sup>-1</sup>	g/cm <sup>3</sup>		kPa	°
砂 类 土	隧道	+	+		±	+	±	+	±	±	±	±	±	±	±
	桥涵、房屋、 高填陡坡路堤、 挡土墙	+	±		±	+	±	+	±	±	±	±	±	±	±
	路堑	+	±		±	+	±	+	±	±	±	±	±	±	±

注：“+”为应作项目；“±”为按需要选作项目。

8.4.7 多年冻土地区的现场测试宜根据工程需要确定，应包括下列项目：

- 1 地温测量、多年冻土上限、下限深度测量。
- 2 地下水位、季节融化层深度测量。
- 3 季节融化层岩土冻胀及融化过程测量。
- 4 动力触探试验、动弹性模量、波速测试等。

8.4.8 多年冻土地区的融区以及多年冻土区边缘冻季冻土区的勘探、测试，应按非多年冻土区进行地质勘察。

8.5 观测与场地评价

8.5.1 多年冻土地区的观测包括长期观测、勘察阶段观测、施工观测等。长期观测应定点、定期观测气温和地温的连续数值，观测时间及周期应根据工程要求确定。

8.5.2 勘察中应对多年冻土区的典型地貌单元或不同的工程地质分区、重要工程场地、面积较大的高温建筑等设置观测站、点，定期观测气温、地温及建筑物的地基基础和上部结构的变形情况。

8.5.3 地温观测孔,可分为长期观测孔和阶段性观测孔。

1 长期观测孔应安装适宜测温设备操作的全封闭金属套管,测温孔的深度应大于当地地温年变化深度,不宜小于 16 m。冻土地温的观测应在钻孔冻土温度状态恢复后进行,应在每年的暖季和寒季观测地温、气温各一次。

2 阶段性测温孔的测温间隔宜为 7~10 d。

3 地温监测的项目应包括:地温分层及地温年变化深度、冻土上限、冻土下限、季节融化层深度、地下水位、融化下沉现象、冻胀现象等多年冻土的各种工程地质条件参数。

8.5.4 多年冻土地区的地温分区,应符合表 8.5.4 的规定。

表 8.5.4 多年冻土的地温分区

地温分区	高温多年冻土		低温多年冻土	
	高温极不稳定区	高温不稳定区	低温基本稳定区	低温稳定区
年平均地温 $T_{CP}$ (°C)	$T_{CP} \geq -0.5$	$-1.0 \leq T_{CP} < -0.5$	$-2.0 \leq T_{CP} < -1$	$T_{CP} < -2$
地温分区等级	I	II	III	IV

8.5.5 多年冻土地区含冰量、融沉、冻胀性分级,盐渍化、泥炭化的界定,岩土施工分级、地基承载力等评价,应符合下列规定:

1 多年冻土天然含冰量与融沉等级的划分,应符合本规程附录 C 的规定。多年冻土地基的融化下沉系数应按式 (8.5.5—1) 计算。

$$\delta_0 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100\% \quad (8.5.5-1)$$

式中  $\delta_0$ ——融化下沉系数;

$h_1$ ——冻土试样融化前的高度 (mm);

$h_2$ ——冻土试样融化后的高度 (mm)。

2 多年冻土地基季节融化层的冻胀性分级,应符合本规程附录 D 的规定。多年冻土地基的平均冻胀率应按式 (8.5.5—2) 计算。

• 77 •

$$\eta = \frac{\Delta z}{Z_d} \times 100\% \quad (8.5.5-2)$$

$$Z_d = \frac{\Delta z}{h - \Delta z} \times 100\%$$

式中  $\eta$ ——多年冻土地基的平均冻胀率;

$\Delta z$ ——地表冻胀量 (mm);

$Z_d$ ——设计冻深 (mm);

$h$ ——冻结土层厚度 (mm)。

3 盐渍土分布区的多年冻土,根据其易溶盐的含量划分为盐渍化多年冻土时,其盐渍度界限值应符合表 8.5.5—1 的规定。

表 8.5.5—1 盐渍化多年冻土的盐渍度界限值

土类	碎石、砂类土	粉土	粉质黏土	黏土
盐渍度 $\zeta$ (%)	$\geq 0.10$	$\geq 0.15$	$\geq 0.20$	$\geq 0.25$

盐渍化多年冻土的盐渍度可按式 (8.5.5—3) 计算。

$$\zeta = \frac{m_g}{g_d} \times 100\% \quad (8.5.5-3)$$

式中  $\zeta$ ——多年冻土的盐渍度;

$m_g$ ——冻土中含易溶盐的质量 (g);

$g_d$ ——土骨架质量 (g)。

4 位于泥炭分布区的多年冻土,根据其泥炭化程度划分为泥炭化多年冻土时,其泥炭化程度界限值应符合表 8.5.5—2 的规定。

表 8.5.5—2 泥炭化多年冻土的泥炭化程度界限值

土类	碎石、砂类土	黏性土
泥炭化程度 $\xi$ (%)	$\geq 3$	$\geq 5$

泥炭化多年冻土的泥炭化程度可按式 (8.5.5—4) 计算。

$$\xi = \frac{m_p}{g_d} \times 100\% \quad (8.5.5-4)$$

式中  $\xi$ ——多年冻土的泥炭化程度;

• 78 •



$m_p$ ——冻土中含植物残渣和泥炭的质量 (g);

$g_d$ ——土骨架质量 (g)。

5 第四系地层多年冻土的岩土工程施工分级,应符合表 8.5.5—3 的规定。

表 8.5.5—3 第四系地层多年冻土的岩土施工工程分级

工程施工 分级	施工土石 类别	岩性特征及多年冻土类型
Ⅲ	硬土	砂类土,细圆砾、角砾土,粗圆砾、角砾土,卵石、碎石土构成的少冰冻土
Ⅳ	软石	粉土、黏性土冻结而成的各类冻土;砂类土,细圆砾、角砾土,粗圆砾、角砾土冻结的多冰、富冰、饱冰冻土;卵石、碎石土冻结的多冰冻土;漂石、块石土冻结的少冰冻土;各类土层冻结的含土冰层、纯冰层
Ⅴ	次坚石	卵石、碎石土冻结的富冰、饱冰冻土;漂石、块石土冻结的富冰、饱冰冻土

注:多年冻土地区的各类岩石,采用现行《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)附录 A 的施工分级标准。

6 多年冻土的地基承载力,应符合现行《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)附录 D 的规定。

8.5.6 多年冻土地区的工程地质环境评价,应包括下列内容:

1 施工及运营方式对环境的影响程度,季节融化层融化深度的变化范围。

2 自然环境的破坏因素,工程影响下以及消除雪盖和植被后,多年冻土的融化深度的可能变化。

3 工程修建后冻土地质条件的变化情况及预测,施工中产生的次生冻土工程地质问题。

4 预测区域气候条件的变化趋势及其对冻土工程的影响。

5 冰椎、冻胀丘、热融湖塘、热融溜坍等不良冻土现象的动态变化趋势研究和评价。

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

8.5.7 多年冻土边缘的深季节冻土区,可参照多年冻土的融沉、

冻胀性分级,评价深季节冻土的工程特性。

## 8.6 踏 勘

8.6.1 踏勘阶段多年冻土地区的工程地质勘察,应包括下列内容:

1 搜集和研究线路通过区的区域地质、冻土地质、遥感图像、工程地质、气象、水文、既有工程建筑物的使用情况等资料,拟定踏勘重点。

2 了解线路通过区的地层结构、地质构造、多年冻土分布、工程特性、不良冻土现象,以及影响线路方案的冻土工程地质类型、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,提出线路方案的比选意见。

8.6.2 踏勘阶段多年冻土地区资料,应包括下列内容:

1 预可研报告工程地质素材: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:标示多年冻土的分布范围及工程地质分区、地温分区等;控制线路方案的越岭地段、大河桥渡、重点隧道、地质条件复杂的斜坡地段应填绘冻土工程地质横断面示意图,比例为 1:10 000 ~ 1:200 000。

3 推荐方案及主要比较方案线路平面图:调查、填绘对线路方案有影响的多年冻土的类型、不良冻土现象的范围及主要地质构造线等,比例为 1:10 000 ~ 1:50 000。

8.6.3 新建铁路踏勘阶段,遇多年冻土的分布位置特殊、地质条件和气候环境复杂,缺乏既有资料和工程建设经验,线路方案受其影响严重时,应建议初测前开展多年冻土的专题研究工作。

## 8.7 初 测

**8.7.1** 初测阶段多年冻土地区的地质调绘,应包括下列内容:

1 冻土的区域地质、水文地质特征,冻土的分布范围、类型、上下限特征,富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和纯冰层的分布、成因和厚度。

2 控制线路方案的不良冻土现象的性质、特征和范围。

3 根据年平均地温进行多年冻土区的地温稳定性分区。

4 控制线路方案的重大路基工点、大桥、隧道、铁路区段站以上大站等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、力学参数及围岩级别、土石施工分级和基本承载力等。

**8.7.2** 初测阶段应根据沿线重点工程和地貌单元布置代表性观测孔,建立长期地温观测站、点,开展地温、气温的定期观测,并应符合下列规定:

1 观测孔的深度根据高原或高纬度多年冻土的特征确定,不宜小于16 m。

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要求确定。

**8.7.3** 初测阶段多年冻土地区的勘探,应符合下列规定:

1 重点勘探控制线路方案的地段、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、设计原则及冻土地区工程地质条件确定;一般路基地段勘探点间距不应大于500 m。

3 多年冻土高温不稳定区,应布置查明多年冻土下限的钻孔。

4 代表性多年冻土地段、重点工程应布置安装有测温管的

勘探孔,长期观测地温的变化。

**8.7.4** 初测阶段路基、桥涵、隧道、站场工程等代表性设计工点资料,应包括下列内容:

1 一般工点编写工程地质说明;复杂、重点工程编写工程地质勘察报告。

2 工程地质图:填绘冻土范围界线、类型、厚度和不良冻土现象类型,比例为1:500~1:2 000。

3 工程地质纵、横剖面图:填绘冻土地层结构、类型、上限、下限深度、季节融化层深度、地温特征等,比例为横1:200~1:5 000,竖1:50~1:500。

4 勘探、测试、试验、地温观测等资料。

**8.7.5** 初测阶段多年冻土地区的综合资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告: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、下限埋深、融沉性、冻胀性,不良冻土现象的类型、分布及处理意见;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;提出各线路方案的工程地质条件评价意见及比选意见;定测工作量、注意事项及有待进一步解决的问题。

2 全线工程地质图:填绘冻土类型、范围和地温分区,比例为1:10 000~1:200 000。

3 工程地质平面图: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、地温分区等,比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路纵断面图合并或单独绘制,用花纹图例或文字标多年冻土的厚度、地层时代、成因类型、地下水位线等内容;比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000。

5 沿线工程地质分段说明:按地形地貌或不同的冻土工程地质条件分段编写。

## 8.8 定 测

**8.8.1** 定测阶段多年冻土地区的地质调绘应在初测资料的基础上,详细查明沿线的多年冻土类型、分布范围、工程性质、物理和力学性质,以及各类不良冻土现象的分布、产生的原因与发展的规律,以及不良冻土现象对工程稳定性的影响;调查既有工程的使用、病害及治理情况。

**8.8.2** 多年冻土地区路基、站场工程的地质勘察,除应查明沿线地层的工程地质与水文地质条件外,尚应包括下列内容:

1 确定沿线多年冻土的上限,季节融化层的成分及冻胀性,地表植被的覆盖程度,评价自然边坡及基底的稳定性。

2 沿线不良冻土现象的分布及其对路基工程的影响。

3 进行建筑材料、取土场调查,确定沿线砂石料、取土场的地质条件。

4 应在代表性多年冻土地段、重点工程附近,设置定测阶段安装测温管的勘探孔,长期观测地温的变化。

5 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构筑物的类型确定,一般路基地段的勘探点间距宜为 200~300 m。

6 路基工程和各种不良冻土现象的勘探深度,应不小于 8 m,且不得小于 2 倍天然上限。挡土墙基础的勘探深度应不小于 2 倍天然上限,且不得小于 12 m。饱冰冻土、含土冰层地段的勘探点应适当加深。

7 多年冻土路堑及有地下水路堑的勘探深度,应不小于最大季节融化深度加 2.5 m。

**8.8.3** 多年冻土地区桥、涵工程的地质勘察,除应查明工程地质与水文地质条件外,尚应符合下列规定:

1 多年冻土的特征、水文地质条件,基础地层的物理力学特征。

2 冰锥、热融湖塘、河流融区等不良冻土现象的成因类型、分布特点及其对桥涵设施的危害程度。

3 桥梁工程地质条件简单时,一般可隔墩布置一个勘探点;高墩、大跨桥梁或工程地质条件复杂的桥梁应逐墩勘探。

4 涵洞工程应结合路基工程布置勘探点,特长涵洞或涵洞地质条件复杂时,应适当增加勘探点。

5 桥梁墩、台工程的基础采用保持冻结的设计原则时,勘探深度应至设计人为上限以下至少 2.5 m,涵洞则至少 1.0 m。设计人为上限不确定的大、中桥勘探孔深度应大于 3.5 倍天然上限,且不得小于 20 m;小桥涵应大于 2 倍天然上限,且不得小于 12 m。当遇有饱冰冻土或含土冰层时,还应适当加深。采用容许融化的设计原则时,部分融化时的勘探深度应至容许融化的人为上限深度处;全部融化时可按非多年冻土地区的勘探要求办理。

**8.8.4** 多年冻土地区隧道工程的地质勘察,除应查明隧道地层的工程地质与水文地质条件外,尚应符合下列规定:

1 隧道通过地段多年冻土的分布及特征,地下水的类型、补给、径流、排泄条件及动态特征;多年冻土的下限埋深及其洞身的冻土工程地质条件。

2 洞门附近不良冻土现象的类型及危害程度。

3 洞口应布置钻孔,洞身应根据地质条件的复杂程度布置钻孔。

4 勘探深度应至洞底融化圈以下 1~2 m,基底地层软弱时应适当加深;有地下水的隧道,其勘探深度应至设计泄水洞基础以下 4~5 m。

5 特长隧道、地质条件复杂隧道,宜根据需要进行地温、地下水和气温等项目的观测。

**8.8.5** 多年冻土地区生产、生活供水工程的地质勘察,除应查明管道、取水点地层的工程地质与水文地质条件外,尚应符合下



列规定:

1 冻土的分布规律,不良冻土现象的类型,成因和对场地稳定性的影响,查明地温活动层的厚度、岩土成分及其冻胀性,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露头涎流冰对工程建筑物的影响。

3 多年冻土环境地质条件对建筑场地的影响。

**8.8.6** 定测阶段多年冻土地区的站房、车间等生产、生活房屋等建筑物的勘探与测试,除应执行《冻土工程地质勘察规范》(GB 50324)外,尚应符合下列规定:

1 采用保持冻结的原则设计时,采暖房屋的勘探深度应至基底或桩端以下 2~3 m。

2 采用容许融化的原则设计时,站房、宿舍等建筑的勘探深度应大于计算融化盘深度 3~4 m,大型工业厂房等大跨度建筑物应适当加深。

3 需进行变形检算的各类建筑物的勘探深度,应按计算压缩层影响深度确定。

**8.8.7** 定测阶段多年冻土地区路基、桥涵、隧道、站场等各类工点地质资料的内容,应符合本规程第 8.7.4 条的规定。

**8.8.8** 定测阶段多年冻土地区的工程地质综合资料,应包括下列内容:

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

2 全线工程地质图:根据中线调查和各类工点的工程地质资料补充、修改、完善,比例为 1:10 000~1:200 000。

3 工程地质图:根据中线调查和各类工点的工程地质资料补充、修改和完善,比例为 1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路详细纵断面合并或单独绘制,填绘冻土地层结构、类型、冻土上限、季节融化层深度、地下水位线、地温特征等。比例为横 1:10 000,竖 1:100~1:1 000。

## 8.9 施工阶段

**8.9.1** 施工阶段多年冻土地区的工程地质工作,应包括下列内容:

1 研究多年冻土地区的工程地质资料,掌握多年冻土工点的特点及加固处理措施,预测施工中可能发生的工程地质问题,提出施工注意事项。

2 验证各类工点的工程地质资料,发现冻土上层和下限的变化范围超过正常变化值时应补充勘察,验证勘察期间确定地质条件的适宜性及设计的合理性。

3 施工验槽中发现多年冻土的含冰量明显增大,基底由少冰、多冰冻土变为饱冰、含土冰层或纯冰层时应补充勘察,确定变化的范围,分析含冰量变化的原因,核对原有工程措施的适宜性。

4 勘察期间预留的地温监测孔,应继续进行监测。

**8.9.2** 施工阶段多年冻土地区工程地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明:说明施工中多年冻土工点发生的工程地质变更问题,变更设计的范围、性质和原因,处理经过、措施和效果;施工中的经验教训等。

2 工程地质纵、横断面图:可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

## 8.10 运营阶段

**8.10.1** 运营阶段多年冻土地区的工程地质工作,应包括下列内容:



1 运营期间应根据环境地质条件的变化、气温升高或地下水位升高的趋势，对重要建筑物及高温极不稳定区和不稳定区的地基，进行气温、地温变化和地基沉降、建筑物变形的监测，评价其对工程的影响，及时提出加固处理的措施建议，并总结经验教训。

2 继续监测勘察、施工期间在重点工程附近设置的地温监测孔，并及时预报地温的变化情况，提出工程措施建议。

3 多年冻土病害整治工点的勘察应充分利用既有资料，参照本规程第 8.8 节的有关要求进行。

8.10.2 运营阶段多年冻土地区的资料，应包括下列内容：

1 各项监测资料应按统一格式记录，及时绘制各种图表、曲线，进行分析研究，提出阶段性或最终的结论意见。

2 病害整治工点的勘察资料编制，应符合本规程第 8.7.4 条的要求。

9 填 土

9.1 一 般 规 定

9.1.1 遇人为活动堆积、弃置或填筑的黏性土、粉土、砂类土、碎石、块石类土、建筑垃圾、生活垃圾和工业废料时，应按填土进行工程地质勘察。

9.1.2 填土应根据其组成物质的成分和堆填的方式，划分为素填土、杂填土、冲（吹）填土和填筑土，其分类应符合表 9.1.2 的规定。

表 9.1.2 填土的分类及特征

填土名称		填 土 的 特 征
素填土		堆填或弃置天然土的类型比较单一，不含杂质或只含少量的杂质，根据其主要组成物质，分为素填块石、碎石类土，砂类土，素填粉土或黏性土
杂填土	建筑垃圾杂填土	主要由建筑垃圾组成，土中含有大量的碎砖、瓦砾、混凝土块、墙皮灰碴、陶瓷、玻璃碴、朽木块等杂物，有机物含量较少
	工业废料杂填土	主要由工业生产的废料、废渣组成，土中含有大量的矿渣、煤矸石、灰煤渣、电石渣、下脚料等其他工业废料混有部分天然土类组成
	生活垃圾杂填土	主要由炉灰炭渣、碎骨菜根、残枝断木、塑胶残片、瓷玻碎器、金属残件等生活中废弃物组成，夹杂天然土和建筑垃圾，含有机质和未分解的腐殖质较多
冲（吹）填土		利用水力冲刷携带或管道吹扬运送泥砂或矿渣，到特定区域或地方堆积形成的填土或弃土。其土质成分随冲填或吹填的目的不同而变化，土层分布不均，多呈透镜体或扇形、椎体型出现
填筑土		按一定标准控制填料的成分、密度、含水量，经人工分层夯实或机械碾压后达到一定密度或承载力要求，满足稳定条件，作为水库大坝、公路、铁路路基或土筑城墙的墙体、大型建筑的地基等工程结构的压实、夯实填土

**9.1.3** 大型生活垃圾、有害工业废料填埋场作为建筑场地时，应在调查了解填埋物质、填埋历史的基础上，建议开展场地稳定、地基处理措施的专项研究。

## **9.2 工程地质选线**

**9.2.1** 线路应选择在地段填土分布较窄、厚度较薄、基底稳定、横坡平缓的地段通过；宜绕避堆填厚度大、基底横坡大、处理费用高、有机质含量较多的生活垃圾、有化学侵蚀性的工业废料以及弃、填时间短或未经处理且松散的填土地段。

**9.2.2** 线路应选择在大中型尾矿坝、弃渣场的沟谷上游通过；应绕避具有溃坝泥石流、渣堆滑坡、渣土泥石流威胁的高悬尾矿坝、弃渣堆下游的不安全地带。

## **9.3 地质调绘**

**9.3.1** 填土地段的地质调绘前，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。
- 3 遥感图像资料。
- 4 线路位置附近既有垃圾填埋场、废弃路基、站场等填土地段的勘察设计、施工资料。

**9.3.2** 填土地段的地质调绘，应包括下列内容：

- 1 填土的类型，弃、填的年代，弃填方式及物质来源。
- 2 填土的分布范围、厚度、分布规律及原地面形态。
- 3 填土的物质成分、颗粒级配、均匀性、密实程度、压缩性。
- 4 冲填土冲填期间的排水条件和冲填后的固结条件及固结程度。
- 5 拟建场地暗埋的塘、滨、沟、坑的分布情况及水文地质条件。

**6** 了解在填土上已建成的永久性或临时建筑物、构筑物的建筑年代、地基处理方法、采用的地基类型、沉降变形和使用情况及当地的建筑经验等。

**7** 有机质含量高的生活垃圾杂填土、有化学侵蚀性的工业废料杂填土，应调查有毒物质、有害气体、放射性和化学侵蚀性，并提出合理的防护措施建议。

**8** 大型垃圾填埋场、坑填垃圾场应调查场地斜坡变形稳定性及有害气体溢出、地下水污染等次生灾害的影响。

**9.3.3** 地质调绘的范围应满足线路方案比选、工程设计和填土地基处理的要求。线路附近地势较高处存在大型尾矿坝、弃渣场的地区，应扩大地质调绘的范围。

## **9.4 勘探与测试**

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

- 1 细粒素填土地段宜采用静力触探结合钻探的方法。
- 2 粗粒杂填土地段宜采用钻探结合挖探、物探，并辅以室内试验的综合勘探方法。
- 3 填土的压缩性、湿陷性宜采用室内固结试验、现场载荷试验或浸水试验。
- 4 确定杂填土的密度试验，宜采用现场试验法。
- 5 重要建筑杂填土地基的承载力，宜采用现场载荷试验确定。

**9.4.2** 填土地段的勘探、测试及取样，应符合下列规定：

**1** 路基基底为填土场地时，应进行横断面勘探、测试。填土范围的边缘附近（特别是坑填垃圾土场地、山谷型垃圾填埋场地）应适当加密勘探点。查明填土厚度的勘探孔深度，应至填土层底以下不小于 5 m。

**2** 建筑、构筑物地基为填土场地时，应根据填土的类型、

范围和建筑物类型、位置,根据复杂场地布置勘探孔。可能有暗埋的塘、浜、沟、坑地段及杂填土分布边缘区域,勘探间距应加密。

3 填土的地基承载力,应采用原位测试和室内试验等方法确定;取得测试资料困难的重要工程应进行现场载荷试验。

4 进行原位测试和取样的坑、孔数应占勘探孔总数的  $2/3$ ,且每个场地不少于 2 孔。

5 试验土样或原位测试数据,在地基持力层深度内竖向间距应每隔  $1 \sim 2 \text{ m}$  一组;在地基持力层以下宜每隔  $2 \sim 3 \text{ m}$  一组。

6 根据需要对环境水、土进行化学侵蚀性分析和评价。有机质含量较多的生活垃圾场、对基础有化学侵蚀性的工业废料场地,应取样对有毒物质、有害气体和放射性污染进行分析。

9.4.3 填土地基为软土或填土本身松软时应满足软土或松软土的勘探、测试要求。

## 9.5 场地评价

9.5.1 填土地区的场地评价,应包括环境地质条件、场地稳定性、填土的均匀性和化学侵蚀性评价等内容。

9.5.2 有机质含量较多的生活垃圾、有化学侵蚀性的工业废料,弃、填的年限不长,未经处理的填土不宜作为天然地基,应进行绕避和地基处理方案的比选。

9.5.3 素填土地段作为天然地基使用时,应符合以下规定:

1 以黏土、粉质黏土为主且堆积时间 10 年以上,或粉土堆积时间 5 年以上的素填土,其压缩模量  $E_s > 2 \text{ MPa}$  时,可作为一般房屋地基的持力层。斜坡弃土地段不宜直接用作地基持力层。

2 堆积 2 年以上的素填块石、碎石类土、素填砂类土,堆积 3 年以上的弃置碎石、块石类土、砂类土经勘探验证均匀性、密实度和承载力满足设计要求时,可作为一般房屋地基的持力层。

9.5.4 冲填土、建筑垃圾和性能稳定的工业废料杂填土,均匀性和密实度较好时,可作为一般房屋地基的持力层,其承载力参照当地建筑经验和有关规定验证后确定。

9.5.5 填土底面的地面横坡大于  $1:5$  的场地,应验算其稳定性。

9.5.6 填土的基本承载力应结合当地建筑经验和勘探、试验资料综合确定。

9.5.7 大型垃圾填埋场、大型尾矿坝、弃渣场,其溃坝、滑坡后可能影响线路安全时,应对其场地进行稳定性调查和评价,并提出工程措施建议。

## 9.6 踏勘

9.6.1 踏勘阶段填土地段的工程地质勘察,应包括下列内容:

1 搜集所经地区填土范围的各期地形图、航片及有关工程性质、规模的资料,了解填土的分布、类型、年代和堆填方法、物质来源等。

2 重点调查线路附近或位于线路上游山谷的生活垃圾、工业废料填土场的分布和特征,评价其对线路方案的影响。

3 必要时应通过对重点地段的简易勘探,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。

9.6.2 踏勘阶段填土地段的资料,应包括下列内容:

1 预可研报告的工程地质素材:阐述填土的分布、类型和地形地貌特征,评价各类填土的工程特性、场地稳定性、环境地质条件及其对线路的影响,并对线路方案做出评价。

2 全线工程地质图:填绘填土的类型及分布范围,比例为  $1:10\,000 \sim 1:200\,000$ 。

## 9.7 初测

9.7.1 初测阶段填土地段的地质调绘,应符合下列规定:

1 重点核实沿线填土的类型、分布范围、厚度、年代、堆

填方法、物质来源和堆填场地的原始地形地貌和地层岩性。

2 控制线路方案或需作代表性设计的地段,应初步查明填土的类型、层位厚度、物理力学性质等工程地质特征,初步分析其变形特征和稳定性。

**9.7.2 初测阶段填土地段的勘探、测试,应符合下列规定:**

1 控制线路方案的范围大、填土层厚、处理费用高的地段,或需作代表性设计的填土地段,应根据工程类型进行代表性勘探,每处布置1~2个勘探断面,每个断面布置1~3孔。

2 采用钻探、静探和原位测试等综合勘察手段确定填土的物理、力学性质;根据需要采取水、土试样作填土的化学侵蚀性评价。

**9.7.3 初测阶段填土地段路基、桥涵、站场等代表性设计工点的资料资料,应包括下列内容:**

1 工程地质说明:应说明填土的类型、范围、厚度和填筑的时间、方法等填土要素,评价填土的工程性能和环境地质条件。

2 工程地质图:填绘填土的地层时代、成因类型、地质分界线,小柱状图,比例为1:500~1:2 000。

3 工程地质纵断面:填绘填土的类型、厚度、地下水位线;比例为横1:500~1:5 000,竖1:100~1:500。

4 工程地质横断面:填绘填土的类型、厚度、地下水位线,比例为1:200。

5 勘探、测试、试验等资料。

**9.7.4 初测阶段填土地段的综合资料,应包括下列内容:**

1 工程地质勘察报告: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:填绘填土的分布范围、厚度、有关图例符号,比例为1:10 000~1:250 000。

3 工程地质图:填绘填土的地层界线、成因类型等,在线路纵断面图的工程地质特征栏中应说明填土的类型和厚度,比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路纵断面图合并绘制,用花纹图例或文字标注填土的厚度、成因类型、地下水位线等内容;比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000。

5 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。

## 9.8 定 测

**9.8.1 定测阶段填土地段的地质调绘,应符合下列规定:**

1 详细查明沿线填土的分布范围、类型、成因、厚度、基底岩性及坡度,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,应满足不同类型工程设计的要求。

**9.8.2 定测阶段填土地段的勘探、测试,应符合下列规定:**

1 按不同的填土类型或厚度分段,结合建筑、构筑物类型布置勘探点,并分层、分段取样作物理、力学性质的试验,必要时应进行现场载荷试验。

2 路基基底应进行纵、横断面的勘探、测试。填土的横断面或勘探孔间距不宜大于50 m,每个横断面勘探、测试点不少于2处。坑填垃圾场、山谷型垃圾填埋场等填土地段的边缘附近应适当加密勘探点。查明填土厚度的勘探孔深度,应至填土层底以下原始地层不小于2~5 m。

3 站房等其他建筑物的地基,宜按复杂场地布置勘探孔。勘探孔应布置在建筑物轴线或角点上,勘探孔间距宜为10~25 m,每个横断面应布置2个以上勘探孔;一般建筑物孔距可加



大到 40 m；可能有暗埋的塘、浜、沟、坑地段及杂填土分布边缘区域，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 5 m，并满足基础设计和沉降计算的需要。

4 小桥涵应根据填土的厚度和类型布置 1~3 个勘探孔；中桥以上多孔桥梁遇填土场地平坦、填土厚度较小、下伏地层层序有规律或基岩覆盖层较薄时，可隔墩布置一个勘探点；地质条件复杂或高墩、大跨及特殊结构的桥梁应逐墩、台布置勘探点。钻孔深度应进入基础底面或桩端以下 5~20 m。

5 有机质含量较多的生活垃圾场、对基础有化学侵蚀性的工业废料场地，应根据需要对有毒物质、有害气体、放射性污染进行分析，并应对环境水、土进行化学侵蚀性的分析和评价。

9.8.3 定测阶段填土地段路基、桥涵、站场等各类工点的地质资料，应符合本规程第 9.7.3 条的要求。

9.8.4 定测阶段填土地区的工程地质综合资料，应包括下列内容：

1 工程地质勘察报告：阐明沿线填土的分布范围、厚度、各类填土的物理力学指标及与工程设计有关的地质参数，各类填土的稳定性评价和工程处理措施意见，施工应注意的问题。

2 全线工程地质图：根据各类工点的工程地质资料补充、修改完善填土的边界，比例为 1:10 000~1:200 000。

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

4 工程地质纵断面图：根据各类工点的工程地质资料修改、补充完善，比例为横 1:10 000，竖 1:100~1:1 000。

## 9.9 施 工 阶 段

9.9.1 施工阶段填土地区工程地质工作，应包括下列内容：

1 研究填土的形成原因，了解弃、填土地段的地形地貌特点及加固处理措施，有针对性地提出施工注意事项。

2 施工中认真核查填土的成分、密度和弃填方式，通过地基验槽确定工程场地的适宜性及地基处理的合理性。

9.9.2 施工阶段填土工程地质资料，应包括下列内容：

1 工程地质说明：说明施工阶段弃、填土工点发生的工程地质变更问题，变更设计的范围、性质、原因分析，以及施工中的经验教训等。

2 工程地质纵、横断面图：可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

## 9.10 运 营 阶 段

9.10.1 运营阶段填土的工程地质勘察，应包括下列内容：

1 运营过程中发生填土病害的工点应分析原因，根据工程建筑物的具体情况进行补充勘察和监测。

2 整理监测资料，分析病害的发生原因和发展趋势。对发展趋向恶化，危及运营安全的工点，应及时发出预报，提出整治措施意见。

3 填土病害整治工点的勘察，应充分利用既有资料，参照本规程第 9.8 节的有关要求进行。

9.10.2 运营阶段填土地区的资料，应包括下列内容：

1 各项监测资料应按统一格式记录，及时绘制各种图表、曲线，进行分析研究，提出阶段性或最终的结论意见。

2 病害整治工点的勘察资料编制，应符合本规程第 9.7.3 条的要求。

## 10 盐岩及盐渍岩

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 遇质地较纯、形成于第四纪的盐壳或盐层，或在第四纪以前的沉积岩地层中遇富集易溶、中溶盐类矿物的泥岩、砂岩类地层，或在沉积岩中具有层状分布的石膏、硬石膏、芒硝、石盐、天然碱等蒸发性化学沉积岩时，应按盐岩开展工程地质勘察工作。

**10.1.2** 遇覆盖或间夹盐岩的沉积岩地层，通过化学侵染或淋滤作用导致岩体中分布薄膜层状、结核状、纤维状、丝网状易溶盐，以及裂隙中充填的泥土状易溶盐含量超过 0.3%，并遇水溶解对混凝土或钢筋、钢结构具有化学侵蚀性破坏时，应按盐渍岩开展工程地质勘察工作。

**10.1.3** 盐岩根据主要化学成分可按表 10.1.3 划分为氯盐类、硫酸盐类和碳酸盐类盐岩。

表 10.1.3 盐岩的类型

盐岩的类型	代 表 性 盐 岩 种 类
氯盐类盐岩	石盐 ( $\text{NaCl}$ )、钾盐 ( $\text{KCl}$ )、钙盐 ( $\text{CaCl}_2$ )、镁盐 ( $\text{MgCl}_2$ ) 等
硫酸盐类盐岩	石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )、硬石膏 ( $\text{CaSO}_4$ )、天然芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )、钙芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ ) 等
碳酸盐类盐岩	各种天然碱 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ )、一水碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )、七水碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 和十水碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 等

**10.1.4** 第四系湖相盐岩的基底为软土或膏盐碱化学沉积层，其含水、含泥量较高、结构软弱时，除应执行盐岩的勘察要求

外，尚应按软土的勘察要求，查明其工程地质条件。

**10.1.5** 第四系前基本成岩的石盐岩、石膏岩、硬石膏岩、芒硝岩、天然碱石岩以及属于易溶或中溶的化学沉积岩具有溶蚀性、膨胀性和化学侵蚀性的特征，除应按盐岩及盐渍岩的要求进行工作外，尚应按岩溶、膨胀岩及侵蚀性判定等要求，查明其工程地质条件。

**10.1.6** 新建铁路踏勘阶段，遇盐岩、盐渍岩分布范围广，沉积厚度大，环境变迁因素复杂，缺乏既有资料及工程建设经验，线路方案受其影响严重时，应在初测前进行盐岩、盐渍岩的专题研究。

### 10.2 工程地质选线

**10.2.1** 第四系盐岩、盐渍岩地段的工程地质选线，应符合下列规定：

1 线路应绕避低矿化度地下水出露、地表水集聚或正在开采卤水矿物的环境因素不稳定地带。

2 线路通过氯盐类岩盐沉积地段时，应选择在盐层厚、强度高、稳定性较好，没有溶洞或溶洞少的地带通过，宜绕避地下水位较高的封闭盆地中心地带。

3 线路通过硫酸盐、碳酸盐类盐岩地段时，应选择地势较高、地下水位较低、没有地表积水条件、结晶层清除后没有再生条件的地段通过；应绕避其分布广、结晶层厚的地段。

**10.2.2** 第四系前盐岩、盐渍岩地段的工程地质选线，应符合下列规定：

1 线路宜选择在排水条件较好，岩石中的易溶盐含量低、含盐地层分布范围小的部位；隧道应绕避洞身地层中含有岩盐、石膏、硬石膏、天然碱夹层等化学沉积岩地段。

2 线路宜选择在没有溶洞或溶洞少的地带通过，应避开地下暗河通道。

3 线路宜以路堤或桥梁通过盐岩、盐渍岩分布区,应避免在地下水位高、水质矿化度高的地段挖方。

### 10.3 地质调绘

10.3.1 盐岩、盐渍岩地区在地质调绘前,应搜集下列资料:

1 沿线的区域地质、矿产地质、水文地质、地质构造和地形地貌资料。

2 遥感图像及其解译成果资料。

3 区域气象、气温、降雨量、蒸发量、自然灾害等资料。

4 既有铁路、公路病害治理资料;既有建筑物的使用情况、建筑年代、地基处理方法、地基类型、沉降变形等资料。

5 以石膏、石盐、芒硝、碱石结晶体或卤水为原料的制盐、化肥、建材、化工原料采集和制造企业的相关矿产地质资料。

10.3.2 盐岩、盐渍岩地区的工程地质调绘,应包括下列内容:

1 研究形成盐岩、盐渍岩的古地理环境,分析石膏、石盐、天然碱等盐岩的分布与地貌形态、地层岩性之间的联系,区划盐岩、盐渍岩的分布范围。

2 盐岩的矿物种类和产出形态、厚度、坚硬程度、分布特点。

3 各类盐岩接触带岩层的成因类型,岩质成分、结构特征、含盐类型及盐渍特点。

4 盐渍岩地区的特有植物种类及其与盐渍岩发育的关系。

5 盐岩、盐渍岩地区的水文地质条件、泉水水量、溶洞、落水洞等岩溶特征的调查。

6 盐岩、盐渍岩分布区的有毒物质、强化学侵蚀性、溶蚀性调查。

7 了解在盐岩、盐渍岩沉积层上已建成的永久性或临时性建筑物的使用情况,包括构筑物的建筑年代、地基处理方法、采用的地基类型、沉降变形及当地建筑经验等。

### 10.4 勘探与测试

10.4.1 盐岩、盐渍岩地区的勘探应采用钻探、挖探、原位测试、物探和室内试验相结合的综合勘探方法。

10.4.2 盐岩、盐渍岩地区的勘探,应符合下列规定:

1 结合建筑、构筑物的类型,按不同盐岩的类型及厚度,分段布置勘探点,并取样作物理、力学性质的试验;必要时应进行现场载荷试验。

2 盐岩、盐渍岩地段应采用干钻;盐岩、盐渍岩的取样,宜在钻探岩心中选取。具有石膏、岩盐、芒硝等较纯化学沉积层时,宜分别采取盐岩和上下层位的代表性岩样。

3 每个独立工点进行原位测试或取样的坑、孔数量,不宜少于2孔。

10.4.3 盐岩、盐渍岩地区应布置查明含水层、隔水层位置及各层位水力联系的勘探孔,并应分层采样查明水质情况;勘探完成后应严格封孔,避免形成新的水力联系通道。

10.4.4 盐岩、盐渍岩的测试,应符合下列规定:

1 盐岩承载力宜采用现场平板载荷试验法,结合其物理、化学稳定性综合分析确定。

2 试验样品或原位测试数据,地基主要受力层深度内的竖向间距为每隔1~2m一组;地基主要受力层以下每隔2~5m一组。

3 盐岩、盐渍岩矿物、化学成分分析应按场地的中心和边缘,地层的上、中、下分别采样。

4 一般场地需进行环境水、土、岩的化学侵蚀性分析与评价的样品应不少于6组,小型工点每个场地的样品不宜少于3组。

10.4.5 盐岩、盐渍岩的试验项目,宜按表10.4.5确定。

表 10.4.5 盐岩、盐渍岩工程性质试验项目

工程类别	项目 及单位	天然含水率	天然密度	矿物成分分析	薄片鉴定	天然抗压强度	易溶盐分析	渗透系数	岩溶水酸碱度	崩解试验	最大分子吸水量	载荷试验	膨胀性	
		$\omega$	$\rho$			$R$		$k$	pH			PLT	膨胀率	膨胀力
		%	g/cm <sup>3</sup>	%		MPa		cm/s			%		%	kPa
路基		+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
桥涵		+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
隧道		+	+	+	+	±	+	±	+	+	±		+	+
房屋建筑		+	+	+	±	±	±	±	+	±	±	±	±	±

注：“+”为必做项目；“±”为按需要选作项目。

10.4.6 盐岩、盐渍岩地区的水质分析，应包括下列项目：总矿化度、总碱度、酸碱度、主要离子  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ，游离  $\text{CO}_2$ 、侵蚀性  $\text{CO}_2$ 、蒸发残渣等。

10.5 场地评价

10.5.1 盐岩、盐渍岩的场地评价，应包括下列内容：

- 1 岩盐场地的工程适宜性评价，包括环境地质条件和盐岩工程地质条件的评价。
- 2 评价地表水、地下水的补给与径流条件和侵蚀性类型，确定盐岩、盐渍岩地层分布的相对稳定地段，针对盐岩的不同特征，提出工程治理措施的建议。
- 3 厚层盐岩地层应进行岩溶地质条件的评价。
- 4 硬石膏、无水芒硝岩层除应进行膨胀性评价外，尚应进行化学侵蚀性评价。
- 5 与盐岩直接接触的沉积岩地层的盐渍化程度评价。

10.5.2 盐岩、盐渍岩地区场地评价除考虑其本身的工程地质条

件外，尚应考虑工程影响范围内其上、下岩土层的工程地质条件。

- 10.5.3 石盐、天然碱、石膏等易溶、中溶岩地层，不宜作为桥梁等重要建筑的地基持力层。
- 10.5.4 干旱无水地段采用石盐、石膏、硬石膏、天然碱地层作为路基的基底持力层时，其基本承载力应结合物理、化学稳定性和当地的建筑经验和勘探、试验资料综合评定。
- 10.5.5 盐岩、盐渍岩地段的施工弃渣、弃土场地，应评价其对环境生态的影响。

10.6 踏 勘

10.6.1 踏勘阶段盐岩、盐渍岩地区的工程地质勘察，应包括下列内容：

- 1 搜集所经地区盐岩沉积层的地形图、航片、矿产地质图及有关既有工程的地质情况和化工、建材企业的资料，了解盐岩化学沉积层的分布范围、类型、沉积年代、化学成分等资料。
- 2 干旱地区的大型封闭洼地或盆地，应调查盐岩、盐渍岩分布情况，并评价其对线路方案的影响。
- 3 控制线路方案的盐岩、盐渍岩地段，应布置简易勘探、测试点，了解其工程性质，对线路方案提出初步评价意见。

10.6.2 踏勘阶段盐岩、盐渍岩地区的资料，应包括下列内容：

- 1 预可研报告的工程地质素材：阐述盐岩的分布、类型和地形地貌特征，概略评价各类盐岩的工程特性、场地稳定性、环境地质条件等对线路的影响，并对线路方案做出评价。
- 2 全线工程地质图：填绘盐岩的类型及分布范围，必要时标示对工程有严重影响的盐渍岩的类型和分布范围，比例为 1:10 000 ~ 1:200 000。
- 3 分布范围大、性质不明、严重影响线路方案的盐岩地层，应提出初测前进行专题研究的建议。



## 10.7 初 测

**10.7.1** 初测阶段岩盐、盐渍岩地区的地质调绘,应符合下列规定:

1 重点调查沿线盐岩、盐渍岩的类型、分布范围、厚度、成矿年代及其变迁情况。

2 控制线路方案或需作代表性设计的地段,应初步查明盐岩、盐渍岩的类型、层位厚度、物理力学性质等工程地质、水文地质特征,并分析其变形特征和稳定条件。

**10.7.2** 初测阶段盐岩、盐渍岩地区的勘探、测试应符合下列规定:

1 控制线路方案的范围大、沉积层厚的盐岩地段,或需作代表性设计的盐岩地段,应根据工程类型进行代表性勘探,每处1~2个勘探断面,每个断面2~3个勘探点。

2 采用钻探、静探、钎探、原位测试、物探、坑探等综合勘察手段确定盐岩的力学性质和承载力值;取水、土、石试样作化学侵蚀性评价。

**10.7.3** 初测阶段盐岩、盐渍岩地区路基、桥涵、隧道、站场等代表性设计工点资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明,包括盐岩的类型、成因、分布范围及其地质条件,主要化学成分、物理力学指标等。

2 工程地质图:应填绘盐岩、盐渍岩的地层时代、成因类型、地质分界线,小柱状图;比例为1:500~1:2 000。

3 工程地质纵断面:应填绘盐岩、盐渍岩的类型、厚度,地下水位线。比例为横1:500~1:5 000,竖1:100~1:500。

4 工程地质横断面:应填绘盐岩的类型、厚度,地下水位线,比例为1:200。

5 勘探、测试、试验等资料。

**10.7.4** 初测阶段盐岩、盐渍岩地区的综合资料,应包括下列

内容:

1 工程地质勘察报告:阐明盐岩、盐渍岩地段的地质条件及其成因、年代、类型,各类盐岩的主要化学成分、物理力学指标,分布规律和特征,保持相对稳定的环境地质条件及其对线路的影响,提出线路方案的评价和比选意见。

2 全线工程地质图:填绘盐岩、盐渍岩的分布范围、厚度、有关图例符号,比例为1:10 000~1:200 000。

3 工程地质图:填绘盐岩、盐渍岩的界线、成因类型等,在线路纵断面图的工程地质特征栏中应说明盐岩的类型和厚度,比例为1:2 000~1:5 000。

4 工程地质纵断面图:可与线路纵断面图合并绘制,用花纹图例或文字标注盐岩、盐渍岩的厚度、成因类型、地下水位线等内容;比例为横1:10 000,竖1:100~1:1 000。

5 沿线工程地质分段说明:按地貌单元、地层时代、盐岩、盐渍岩的类型、厚度、地下水等工程地质条件及工程处理措施分段编写。

## 10.8 定 测

**10.8.1** 定测阶段盐岩、盐渍岩地区的地质调绘,应符合下列规定:

1 详细调查沿线盐岩、盐渍岩分布区的地形地貌、分布范围、类型、成因、厚度,各类盐岩、盐渍岩的物理力学指标。

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,调绘范围及勘察精度,应满足不同类型工程设计的要求。

**10.8.2** 定测阶段盐岩、盐渍岩地区的勘探、测试应符合下列规定:

1 路基基底应进行纵、横断面的勘探、测试。层厚、层位、

化学成分稳定的大面积盐湖沉积盐岩区，勘探点间距宜为 200 ~ 500 m，高速铁路（含客运专线铁路）的勘探点间距不宜大于 100 m；层厚、层位不稳定的复杂场地，勘探点间距不宜大于 50 ~ 100 m。查明盐岩沉积层厚度的勘探孔深度应至盐岩沉积层底以下不小于 10 m，且应满足计算压缩层的要求。

2 桥涵等建筑、构筑物地基应根据盐岩沉积层的类型和建筑物的几何形状布置勘探点，勘探孔的密度应按复杂场地布置。勘探孔的深度应穿透岩盐至其他岩土层以内不少于 10 m，且应满足基础设计和计算压缩层的要求。

3 隧道地段宜根据盐岩地层的构造布置勘探孔位，查明洞身和洞底地基的地层结构和岩性。

4 与建筑地基基础有关的地表、地下水，盐岩、盐渍岩应取样进行化学侵蚀性的分析与评价。

**10.8.3** 定测阶段盐岩、盐渍岩地区路基、桥涵、隧道、站场等各类工点的地质资料，应符合本规程第 10.7.3 条的要求。

**10.8.4** 定测阶段盐岩、盐渍岩地区综合工程地质资料，应包括下列内容：

1 工程地质勘察报告：阐明沿线盐岩、盐渍岩的分布范围、厚度、各类盐岩的物理力学指标和与工程设计有关的地质参数，各类盐岩的稳定性评价和工程处理措施意见，施工应注意的问题。

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

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

4 工程地质纵断面图：根据沿线各类工点的工程地质资料，补充、修正盐岩、盐渍岩的分布位置，比例为横 1:10 000，竖 1:100 ~ 1:1 000。

## 10.9 施工阶段

**10.9.1** 施工阶段盐岩、盐渍岩地区的工程地质工作，应包括下列内容：

1 核对各类工点的工程地质资料，预测施工中可能发生的工程地质问题，提出施工注意事项。

2 围岩、坑壁有膨胀性破坏或溶蚀现象地段，预测可能发生的工程地质问题及提出措施建议。

3 监测岩体中的化学侵蚀性、溶解性、膨胀性岩层，合理处置不良弃渣，防止环境污染。

**10.9.2** 施工阶段盐岩、盐渍岩地区的工程地质资料，应包括下列内容：

1 补充工程地质说明：应说明地质变更问题，变更设计的范围、性质、原因，经验教训等。

2 利用设计文件中的相应图件进行修正、补充和完善，编制施工地质图件。

## 10.10 运营阶段

**10.10.1** 运营阶段盐岩、盐渍岩的工程地质勘察，应包括下列内容：

1 运营期间应对重要工程建筑物的地基含盐量、化学侵蚀性、膨胀性及溶陷性变化进行监测，评价其影响，及时提出工程措施建议。

2 运营过程中发生病害的工点进行必要的监测，分析病害的发生原因和发展趋势，及时提出预报和工程整治措施意见。

3 盐岩、盐渍岩病害工点的勘察，应充分利用既有资料，参照本规程第 10.8 节的有关要求进行。

**10.10.2** 运营阶段盐岩、盐渍岩地区的工程地质资料，应包括下列内容：

1 各项监测资料应按统一格式记录，及时绘制各种图表、曲线，进行分析研究，提出阶段性或最终的结论意见。

2 病害整治工点勘察资料的编制，应符合本规程第 10.7.3 节的有关要求。

附录 A 黄土的地貌类型划分表

A.0.1 黄土地区地貌类型可分为堆积地貌、侵蚀地貌、潜蚀地貌和重力地貌，其分类特征应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 黄土的地貌类型划分表

地貌类型		亚类	地形地貌的基本特征
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	两侧为深切冲沟，中部为顶面平坦的长条状侵蚀黄土山脊。沟长数百米到上千米，梁顶宽数十米到上百米
		黄土峁	孤立的黄土丘陵，馒头状山丘顶面平坦或微有起伏，大多数是由黄土梁进一步切割而成
	黄土平原		由黄土堆积形成的平原，分布于山前或山间等新构造运动下降区
	黄土阶地		河谷及大型沟谷两岸，表层全部由风积、冲洪积黄土堆积的阶地
侵蚀地貌	黄土河谷		黄土分布区的侵蚀河谷，其形成和发展过程中伴随有新的黄土堆积
	黄土冲沟		因黄土土质疏松，水流下切速度快，常伴有重力崩塌、潜蚀作用，其特征是沟深、壁陡、向源侵蚀作用显著
潜蚀地貌	蝶形洼地		阶地或塬边流水聚集引起黄土地层发生自重湿陷或潜蚀，地面向下沉后形成直径数米至数十米的浅平凹地，它是陷穴和冲沟发育的初期标志
	黄土陷穴		陡坡边缘附近的地表水沿黄土孔隙和裂隙，垂直下渗潜蚀后形成的坑洞。下陷坑洞沿沟成串分布时称之为串珠状陷穴
	黄土井		黄土陷穴垂直向下发展，形成深度大于宽度若干倍的井状坑洞
	黄土桥		两个黄土陷穴的底部被水流通，崩塌剥蚀之后残存的拱桥状洞穴土体
	黄土柱		黄土陡崖、坎边沿垂直节理崩塌后残存的土柱

续表 A.0.1

地貌类型	亚类	地形地貌的基本特征
重力地貌	黄土堆积体	由于黄土冲沟深切，岸坡高陡，上部土体向下崩落滑塌，在坡脚下堆积形成的裙状地貌形态
	黄土滑坡	黄土斜坡土体，在重力或地下水作用下产生下滑变形后的簸箕状地貌形态

附录 B 黄土地层的堆积时代与特征划分表

B.0.1 黄土地层时代、地层名称、岩土名称的划分，应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 黄土地层的堆积时代与特征划分表

地层时代			地层名称	岩土名称	湿陷性及其他特征
第四系 Q	全新世 $Q_h$ ( $Q_4$ )	近期 $Q_4^2$ ( $Q_h^2$ )	新近堆积	黏质新黄土 砂质新黄土	一般为自重或非自重湿陷性黄土地基，常具有高压缩性
		早期 $Q_4^1$ ( $Q_h^1$ )	黄土状土		
			黄土状土		
	更新世 $Q_p$ ( $Q_{1-3}$ )	晚更新世 $Q_3$ ( $Q_p^3$ )	马兰黄土	黏质老黄土 砂质老黄土	部分土层上部具有湿陷性
		中更新世 $Q_2$ ( $Q_p^2$ )	离石黄土		
		早更新世 $Q_1$ ( $Q_p^1$ )	午城黄土		不具湿陷性



附录 C 多年冻土的含水率与融沉等级对照表

C.0.1 多年冻土的天然含水率与融沉等级，和冻土地层的总含水率及其表征地层持水能力的细粒土（包括黏粒和粉粒）含量密切相关，其含水率和融沉分级的对应关系应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 多年冻土的含水率与融沉等级对照表

多年冻土的类型	土的名称	总含水率 $\omega_A$ (%)	融化后的潮湿程度	融化下沉系数 $\delta_0$	融沉等级	融沉类别
少冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量小于15%）	$\omega_A < 10$	潮湿	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）	$\omega_A < 12$	稍湿			
	细砂、粉砂	$\omega_A < 14$				
	粉土	$\omega_A < 17$				
	黏性土	$\omega_A < \omega_P$	坚硬			
多冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量小于15%）	$10 \leq \omega_A < 15$	饱和	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）	$12 \leq \omega_A < 15$	潮湿			
	细砂、粉砂	$14 \leq \omega_A < 18$				
	粉土	$17 \leq \omega_A < 21$				
	黏性土	$\omega_P \leq \omega_A < \omega_P + 4$	硬塑			

续表 C.0.1

多年冻土的类型	土的名称	总含水率 $\omega_A$ (%)	融化后的潮湿程度	融化下沉系数 $\delta_0$	融沉等级	融沉类别
富冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量小于15%）	$15 \leq \omega_A < 25$	饱和出水（出水量小于10%）	$3 < \delta_0 \leq 10$	Ⅲ	融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）					
	细砂、粉砂	$18 \leq \omega_A < 28$	饱和			
	粉土	$21 \leq \omega_A < 32$				
	黏性土	$\omega_P + 4 \leq \omega_A < \omega_P + 15$				
饱冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量小于15%）	$25 \leq \omega_A < 44$	饱和出水（出水量小于10%）	$10 < \delta_0 \leq 25$	Ⅳ	强融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于15%）					
	细砂、粉砂	$28 \leq \omega_A < 44$	饱和			
	粉土	$32 \leq \omega_A < 44$				
	黏性土	$\omega_P + 15 \leq \omega_A < \omega_P + 35$	软塑			
含土冰层	碎石类土、砂类土、粉土	$\omega_A \geq 44$	饱和大量出水（出水量10% ~ 20%）	$\delta_0 > 25$	Ⅴ	融陷
	黏性土	$\omega_A \geq \omega_P + 35$	流塑			
纯冰层	厚度大于25 cm 或间隔2 ~ 3 cm 冰层累计超过25 cm					

- 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  $\omega_P$  为塑限含水率。

# 附录 D 多年冻土季节融化 土层的冻胀性分级划分表

**D.0.1** 多年冻土的季节融化土层具有夏季融化下沉、秋冬季再次冻结时具有体积膨胀的特性，其冻胀性分级应符合表 D.0.1 的规定。

表 D.0.1 多年冻土季节融化土层的冻胀性分级划分表

土的类别	冻前天然含水率 $\omega$ (%)	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 $\eta$ (%)	冻胀等级	冻胀类别
粉黏粒质量 $\leq 15\%$ 的粗颗粒土，粉黏粒质量 $\leq 10\%$ 的细砂	不考虑	不考虑	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
粉黏粒质量 $> 15\%$ 的碎石、砂类土，粉黏粒质量 $> 10\%$ 的细砂	$\omega \leq 12$	$> 1.0$			
粉砂	$\omega \leq 14$	$> 1.0$			
粉土	$\omega \leq 19$	$> 1.5$			
黏性土	$\omega \leq \omega_p + 2$	$> 2.0$			
粉黏粒质量 $> 15\%$ 的粗颗粒土，粉黏粒质量 $> 10\%$ 的细砂	$\omega \leq 12$	$\leq 1.0$	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < \omega \leq 18$	$> 1.0$			
粉砂	$\omega \leq 14$	$\leq 1.0$			
	$14 < \omega \leq 19$	$> 1.0$			
粉土	$\omega \leq 19$	$\leq 1.5$			
	$19 < \omega \leq 22$	$> 1.5$			
黏性土	$\omega \leq \omega_p + 2$	$\leq 2.0$			
	$\omega_p + 2 < \omega \leq \omega_p + 5$	$> 2.0$			

续表 D.0.1

土的类别	冻前天然含水率 $\omega$ (%)	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 $\eta$ (%)	冻胀等级	冻胀类别
粉黏粒质量 $> 15\%$ 的粗颗粒土，粉黏粒质量 $> 10\%$ 的细砂	$12 < \omega \leq 18$	$\leq 1.0$	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega > 18$	$> 0.5$			
粉砂	$14 < \omega \leq 19$	$\leq 1.0$			
	$19 < \omega \leq 23$	$> 1.0$			
粉土	$19 < \omega \leq 22$	$\leq 1.5$			
	$22 < \omega \leq 26$	$> 1.5$			
黏性土	$\omega_p + 2 < \omega \leq \omega_p + 5$	$\leq 2.0$	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega_p + 5 < \omega \leq \omega_p + 9$	$> 2.0$			
粉黏粒质量 $> 15\%$ 的粗颗粒土，粉黏粒质量 $> 10\%$ 的细砂	$\omega > 18$	$\leq 0.5$			
	粉砂	$19 < \omega \leq 23$			
粉土	$22 < \omega \leq 26$	$\leq 1.5$			
	$26 < \omega \leq 30$	$> 1.5$			
黏性土	$\omega_p + 5 < \omega \leq \omega_p + 9$	$\leq 2.0$			
	$\omega_p + 9 < \omega \leq \omega_p + 15$	$> 2.0$			
粉砂	$\omega > 23$	不考虑	$\eta > 12$	V	特强冻胀
粉土	$26 < \omega \leq 30$	$\leq 1.5$			
	$\omega > 30$	不考虑			
黏性土	$\omega_p + 9 < \omega \leq \omega_p + 15$	$\leq 2.0$			
	$\omega > \omega_p + 15$	不考虑			

- 注：1  $\eta$  为地表冻胀量与冻层厚度减地表冻胀量之比。  
2  $\omega_p$  为塑限含水率。  
3 盐渍化冻土不在表列。  
4  $\omega_p > 22$  时，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，其冻胀性按填充土类别判定。  
6 粗颗粒土指中、粗、砾砂和碎石类土，粉黏粒指粒径小于 0.075 mm 的颗粒。

## 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”。

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

## 《铁路工程特殊岩土勘察规程》 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明，不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

**1.0.3** 铁路建设项目特殊岩土的工程地质勘察阶段和建设项目的勘察、设计阶段相一致。勘察阶段分为：踏勘、初测、定测和补充定测；对应的设计阶段分为：预可行性研究、可行性研究、初步设计和施工图。

**1.0.6** 文明勘察，指勘察方法要适当。勘察方法不当容易引起新的地质病害。例如南疆铁路阿图什车站地区有承压水，钻探终孔后封水不当，导致勘探钻孔承压水蔓延，引起站外大片农耕地成为不能耕种的沼泽化盐碱地，形成新的地质灾害；青藏铁路增建二线时，德令哈附近某立交桥钻孔承压水外泄，集聚的承压水无处排泄形成湖塘，浸泡既有线路基，为止水而延误工期数月，止水的直接经济损失近 200 万元；除此之外还要注意勘探位置的选择，注意避开地下供水、供油管线，地下、地上通信、电力电缆，防止造成停水、停电、阻断通信、勘探人员触电、中毒等事故。

**3.0.2** 特殊岩土的分布面积和厚度大、工程地质环境较差、岩性恶化趋势明显、工程处理困难时，要及时提出绕避、以桥代路、加强支护等方面的工程措施建议。

特殊岩土勘察时，要参照区域地质资料，结合现场地质测绘、勘察获得的地层岩性特征与代表性样品的试验数据，确定特殊岩土的定性、定名、成因、厚度和范围。

工程地质平面图上的特殊岩土边界，对于出露面积大而广泛的黄土（湿陷性黄土）、松软土、盐渍岩、非膨胀性红黏土的边界，采用岩（地）层分界线划分，一般不用不良地质界线划分；其他特殊岩土可采用不良地质界线划分。

**3.0.9** 专题地质研究或初测前加深地质工作是针对建设项目遇到的某种特殊岩土，具有复杂的地质特征，严重影响技术层面的可行性或工程造价的经济性；或者由于前人对该种特殊岩土的认知较浅，在其他类似工程中出现较多，在初测的时间周期内难以查清其工程性质及其对铁路工程的影响，需要提前开展研究的工作项目。例如青藏铁路在初测前申报科研项目开展多年冻土的相关专题研究；郑西客专在初测前专题研究湿陷性黄土对高速铁路（含客运专线铁路）设计的影响。

**3.0.10** 初测阶段特殊岩土的勘察是在工程地质调查、测绘的基础上，以初步查明铁路沿线特殊岩土的一般工程地质条件、控制性工程的概略工程地质条件为目的，勘探、试验的重点是基本查明桥、涵、路基、隧道等工点的基础地质条件，为各类工程的地基基础的类型选择和埋置深度提供设计依据，为建设项目的投资估算服务。

**3.0.11** 定测阶段特殊岩土的勘察是在初测工程地质调查、测绘、勘探、测试资料的基础上，布置大量的勘探、测试工作，进一步详细查明铁路沿线特殊岩土的工程地质条件和桥、涵、路基、隧道、站场等工点的地质条件，为各类工程的施工图提供设计依据。

**3.0.12** 补充定测的工作重点，其一是根据初步设计审批意见，针对定测阶段工作中尚未达到施工图设计要求的部分补充完善资料；其二是局部线路优化、改线地段各类工程勘察资料的编制；

其三是站后各类工程建筑场地的勘察。

**4.1.1** 黄土是第四纪干旱、半干旱气候条件下，以风积或冲洪积为主形成的一种特殊土，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0.7~1.1。

(3) 质地均匀，颗粒成分以粉粒（0.075~0.005mm）为主，约占50%~75%，一般不含粗大颗粒。

(4) 碳酸钙含量多在10%~30%之间，部分含钙质结核，并含有少量中溶盐和易溶盐。

(5) 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。

**4.1.3** 黄土地层一般划分到“统”，岩性差异大、对工程影响显著时，可划分到“组”。具体划分结合勘察阶段、成图比例、工程类型及工程性质差异按本规程附录B确定。

黄土一般具有如下的物理力学特征：以粉粒为主，不含0.25mm以上粗颗粒。中更新统以前沉积的老黄土在天然状态下，压缩性较低，密度较高，一般多为黏质黄土，不具湿陷性或湿陷等级较低，是工程性能比较稳定的一般土类。中更新统以后沉积的新黄土，土质疏松、天然孔隙比较大；地基遇水浸湿饱和后，强度显著降低，是一种下沉量大、压缩性高、湿陷变形明显，湿陷等级高、工程性能较差的特殊土类。

**4.1.4** 黄土在国家标准《土的分类标准》（GBJ 145）中按塑性图定名为低液限黏土。《铁路工程岩土分类标准》（TB 10077）按塑性指数将黄土分为黏质黄土和砂质黄土两个类型。

**4.1.6** 一般桥涵、房屋建筑和其他构筑物的老黄土地基，作为黏性土勘察和设计，一般可不做有关湿陷性的取样、试验及评价



工作。

**4.1.7** 现场浸水试验耗时费力且费用较高。地质条件特别复杂场地的较大站房,高墩大跨桥梁等,一旦发生由于湿陷性引起的严重沉降变形,影响正常使用并危及群体性人员安全。现场浸水试验一般要经研究确定,一般情况下不做现场浸水试验。

**4.2.1** 黄土地层的基本特征是土质均匀、干燥、透水性较好,具直立性;若出现土质软弱,含水率大,则说明有地下水发育;若有临空面、向山坡下方倾斜的土层、岩层结构面,则具备了产生山坡变形的构造条件;如果黄土层的解理面向外倾斜甚至接近水平分布,说明山坡本身就是有过滑坡或错落变形的山坡;工程地质选线时,既要重视宏观调查,还要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,发现山坡的不稳定因素;当山坡的地质条件复杂,发育有大型滑坡、错落等不良地质体,具有多种不利因素影响,工程处理代价较高时则最好绕避。长大干渠的渗漏使附近黄土的含水状态、物理、力学性质发生变化,可造成地基、边坡和隧道变形,因此要避免线路与长大干渠近距离平行或渠道在隧道顶部通过。

**4.2.3** 黄土塬、梁、峁及丘陵地区,山坡的稳定性评价是铁路选线工作的重点之一,常见山坡变形的类型有表层溜坍、滑坡、错落、崩塌等。地形地貌复杂地段可能是土层结构疏松遭受坡面水侵蚀的结果,也可能是山坡变形后又遭受侵蚀所致;黄土冲沟的陡峭崖坎前缘,卸荷裂隙发育,常形成地表水下渗的通道,继而发育成陷穴,造成山坡不稳;黄土地层的下伏倾斜红黏土等层面,由于透水性不一致,往往是大型黄土滑坡的滑动面位置;不稳定山坡都需列为选线慎重考虑的地段,而且还要考虑工程修建后对其稳定性的影响。

黄土沟梁相间地段,建议选择稳定性较好的地段,同时还要考虑可能采用工程方案的适宜条件和各类工程的设置条件。

**4.2.4** 黄土地区沿河谷展线,要注意作好两岸地质条件的比选,

首先考虑选择地形平坦,地层单一,工程地质条件较好的宽阔阶地。低级阶地缺失地段是受现代河床侵蚀或曾受洪水侵蚀、将来还可能受洪水侵蚀的地段;在高陡山坡的坡脚挖方,中心挖方尽管不大,但边坡一般较高,工程需要上挡下护,一旦产生病害,由于倚山临水,工程处理的难度较大。若线路通过该类地段时,要考虑路基挂线和靠山隧道方案的比较。

**4.2.5** 黄土地区的跨沟(河)线路方案,关键是位置选择和通过方式选择。位置选择是基于工程安全,防患于未然。沟谷顺直、岸坡稳定是线路跨沟(河)设桥或路堤工程所需的环境地质条件。黄土地区的冲沟一般深切,河谷既深又宽,需进行高桥、大桥、特大桥与高填长路基多种通过方案的比选,以保证工程的稳固可靠。

**4.2.6** 黄土隧道洞身要绕避陷穴发育区,防止冒顶事故的发生。宝中线某黄土隧道进口浅埋段,掘进时由于施工掌子面通过山坡沟槽时,埋藏的老陷穴松土层突然竖井状冒顶,掩埋当班工人6名,抢险营救时又有17人又在二次塌方中遇难,最终酿成23人遇难的特大伤亡事故。

**4.3.4** 《区域地质调查技术要求》(1:250 000)规定:“第四纪沉积物的一般类型,当其宽度小于500 m或面积在20 km<sup>2</sup>以下的表示,”“基岩区内面积小于2.5 km<sup>2</sup>和沟谷中宽度小于250 m的第四系,在图上不予表示。”1:200 000地质图也有类似规定,在区域地质图的地层单元较粗,难以划分第四系地层时,可参照以下习惯做法和经验划分地层时代:

(1) 大型河谷及沟谷的一级阶地、高漫滩阶地,一般确定为Q<sub>4</sub><sup>1</sup>地层;大型河谷及沟谷的二级阶地,一般确定为Q<sub>3</sub>地层。

(2) 河漫滩低阶地、山间谷底的表层、黄土塬、梁的坡脚、山前坡积—洪积扇、裙、锥分布的疏松黄土状土,人工填、弃的黄土一般确定为Q<sub>4</sub><sup>2</sup>地层。

**4.4.1** 黄土地区的勘探,包括地层结构勘察和采取测试样品,

评价黄土地基的湿陷性和物理、力学特征。黄土地区工作经验表明：以查明地层层序、地下水情况、黄土的物理力学性质、湿陷性为目的的勘探工作优先选用井（坑）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，优先采用洛阳铲等简易勘探方法。

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，可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。

**4.4.3** 1983 年铁一院在新丰镇枢纽勘察时，采用挖探、静力触探机械原位静压、钻机取样对比试验，采取黄土原状土样的对比试验结果表明：挖探手工采取的原状土样和触探机械原位静压取土，都能有效地保证原状土样的质量，同一位置土样的试验指标基本一致。钻机采取的原状土样易遭受机械压密和扰动，土样的天然孔隙比和压缩性指标及湿陷系数，明显小于挖探样品，湿陷等级评价一般偏小 1 级，个别对比孔偏小 2 级。

钻探采取原状土样时，要严格执行《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB 50025）附录 D 的规定。对沉降要求严格的重要建筑，有取样勘探孔总数三分之一以上的探井取样或原位静压取样对比，确保湿陷性评价的准确性。“重锤少击法”，即钻探取样采用原位静压方法很难压入时，采用不小于 120 kg 的重锤，以一次锤击为好，一般不超过 3 次锤击的取样方法。

**4.4.4** 黄土地区的勘探深度考虑如下因素：

**1** 黄土场地的勘探、测试工作，不仅要详细查明工程建筑场地的地质条件，而且还要提出切实可行的工程措施。

分段提供资料地段的一般路基、小桥涵地段，由于工程简单对地基无特殊要求，可根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等分类划段，布置湿陷性评价的勘探取样孔。不同地质条件的段落交错出现时，布孔时要充分考虑代表性及地层的不均匀

性后合理确定孔数。

自重湿陷性黄土场地的取样深度，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 ~ 16 m，因此提出了一般建筑地基在自重湿陷性黄土场地的勘探取样深度至基础底面不小于 15 m 的要求。

郑西客专、宝兰客专在自重湿陷性黄土地区的勘探孔深度 45 ~ 80 m，局部地区湿陷土层的厚度达到 25 ~ 33 m，路基计算沉降层的深度达到 40 m；由于自重湿陷性黄土地基考虑负摩擦力影响，桥梁桩基的持力层主要是桩端以下地层，所以勘探深度需达到桩端以下 15 m。

一般场地指平坦开阔的同一沉积环境、同一沉积时代、同一地貌单元，如二级阶地的阶面；复杂场地指不同地貌单元的交接部位，如一、二级阶地之间的斜坡部位。

**4.4.5** 黄土地区湿陷性试验原状土样的竖向间距结合铁路工程线状分布、勘探点多、同一地层取样量大的特点，适当放大了国标取样间距的规定。

**4.4.6** 黄土地区的探井，有的深达 30 m 以上，由于黄土的特性所决定，井身能保持自身稳定不塌几十年，对当地人畜安全具有潜在的威胁；隧道洞身钻孔深达洞底以下，是一个恶化黄土隧道地质条件的地下水集水通道，因此黄土地区的勘探孔需用原土夯实回填，杜绝后患。

**4.4.8** 在  $Q_4$ 、 $Q_3$  黄土地区采用载荷试验、静力触探、土工试验等方法确定的地层物理力学指标，统计发现同一地层的土样试验时采用 200 kPa 和采用 300 kPa 压力做出的力学指标差异明显，考虑地层饱和自重压力在地层剖面上随深度变化的特征，为统一资料的编制，允许稍有沉降的普速铁路及相关工程的试验压力采用本条的规定。

沉降要求严格的客运专线（含高速铁路）路基地段，压缩试验的试验压力，根据郑西客专、石太客专的专题研究和设计、

施工、运营的经验，推荐按说明表 4.4.8 取值。

说明表 4.4.8 高速铁路（含客运专线铁路）路基压缩试验的  
试验压力一览表

试验压力 (kPa)	路堑堑底以下 (m)	路堤基底以下深度 (m)		
	原地面至堑底深度内	$H < 2\text{ m}$	$2\text{ m} < H < 4\text{ m}$	$H > 4\text{ m}$
200	0 ~ 10	0 ~ 6	0 ~ 4	—
400	10 ~ 18	6 ~ 18	4 ~ 15	0 ~ 12
800	18 ~ 40	18 ~ 40	15 ~ 35	12 ~ 35

4.4.10 位于地震动峰值加速度分区为 0.1g 及以上地区的饱和砂质黄土的地震液化判定，大型站房、厂房按现行《建筑抗震设计规范》（GB 50011）执行；其他铁路工程按《铁路工程抗震设计规范》（GB 50111）执行。

4.5.1 黄土在世界上的分布面积，大约有  $13 \times 10^6\text{ km}^2$  之多，约占陆地总面积的 9.3%。主要分布在纬度  $33^\circ \sim 47^\circ$  之间的干旱、半干旱地带。分布在温带及温带边缘，年平均降水量大于 750 mm 地带的黄土，一般不具湿陷性。

黄土的常见成因类型有风积、冲积、洪积、坡积、崩积，其地形地貌和地层岩性特征详见说明表 4.5.1。

说明表 4.5.1 黄土的成因类型

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、高阶地的顶部（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（黑炉土），新黄土一般不含钙质结核
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，土质不甚均匀，夹粉土、黏土及砂土、卵石土等薄层，具孔隙。老黄土可见多层古土壤、钙质结核；新黄土很少或不含钙质结核

续说明表 4.5.1

成因类型	特征	地形地貌特征	地层岩性特征
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、陡坡下部	岩性同陡崖上部黄土，土质较杂乱，无规律

4.5.2 湿陷变形是在水与压力的共同作用下使黄土的结构破坏，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。在工程设计中常使用的湿陷变形量有实测自重湿陷量、计算自重湿陷量和计算湿陷量。它们是确定黄土场地的湿陷性类型、湿陷等级的依据。

4.5.3 依照现行《铁路工程土工试验规程》（TB 10102）的规定，自重湿陷系数是评价黄土湿陷性的重要参数，它用于黄土的湿陷性判别、湿陷性场地的类型划分、湿陷等级判别等方面。压缩试验时对土样分级施加规定的压力，对土样加荷至上覆土的饱和自重压力下稳定后，再浸水饱和，附加下沉稳定后的计算值为自重湿陷系数。

自重湿陷系数  $\delta_{zs}$  计算式如下：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (\text{说明 4.5.3})$$

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，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）；

$h_0$ ——试验土样的原始高度 (cm)。

**4.5.4** 依照《铁路工程土工试验规程》(TB 10102) 的规定, 湿陷系数是评价黄土湿陷性的重要参数, 它用于黄土的湿陷性判别、湿陷程度、湿陷等级判别等方面。压缩试验时对土样分级施加规定的压力, 下沉稳定后, 再浸水饱和, 附加下沉稳定后的计算值为湿陷系数。

湿陷系数  $\delta_s$  计算式如下:

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (\text{说明 4.5.4})$$

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)。

**4.5.5** 湿陷性黄土场地的湿陷等级划分, 采用国标《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004) 的规定。

**4.5.6** 静力触探承载力的计算公式, 采用现场载荷试验的数据, 通过回归分析的方法建立。

**4.5.7** 黄土地区各类建筑工程的地质条件评价需根据工程对环境地质条件的要求进行。

**1** 黄土地基的特定评价内容: 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; 但在工作中要注意其数据的可靠性和准确性, 剔除异常值; 其检验方法是不同手段取得的地质数据综合分析。

特大桥、高墩桥、大型站房等重要建筑工程的湿陷性评价是依据黄土地区重大工程地基的实际情况提出来的。黄土地区的高桥有的墩高达百米以上, 仍采用湿陷性评价 5~15 m 的土层厚度显然是不合适的。蒲城电厂的资料表明, 黄土的湿陷性土层厚达 38 m,  $Q_2$  黄土层上部也具湿陷性; 侯西线汾河三级阶地的  $Q_2$  黄

土层, 在 400 kPa 压力下湿陷系数达到  $\delta_s = 0.0824$ 。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  $Q_2$  黄土也要做湿陷性评价。

**2** 黄土挖方地段的地质评价内容包括边坡坡率和形式。参考《铁路工程地质手册》、《铁路路基设计规范》和多年的设计实践, 黄土边坡的坡率, 在高度不大于 20 m 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 12 m 时, 可采用阶梯式, 中部设平台, 阶梯高度一般为 8~12 m。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首先考虑其自身稳定性, 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。

**4** 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。进出口仰坡的地质评价可比照黄土挖方边坡地质条件的评价方法。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, 主要考虑以下几个方面:

(1) 地层年代对黄土工程性质影响明显。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, 对洞身的稳定性影响较大, 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) 从洞身的埋深, 可以分析地表环境条件对洞身围岩的影响程度。隧道施工经验表明: 当  $Q_4$ 、 $Q_3$  黄土隧道埋深小于



30 m、 $Q_2$ 、 $Q_1$  黄土埋深小于 20 m 时,洞身受外界因素的影响明显。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可作为确定围岩级别的主要因素。

(3) 水文地质条件对黄土隧道围岩的影响最为显著,经验证明有微量水就会使黄土的工程性质变坏。因此,在隧道勘探时要十分注意洞身黄土地层的含水情况及水文地质条件的变化,受地下水影响的黄土隧道围岩级别,按《铁路工程地质勘察规范》说明表 4.3.2—6 降低 1~2 级。

**4.7.1** 初测地质调绘的重点是查明黄土地区的工程地质条件,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,地质调查时隔沟相望,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。

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,要抓住黄土地区特点和了解线路可能的展线范围,利用遥感图像直观、视域大、信息多的优点,先进行室内解译,然后现场重点调查、核实。遥感图像的解译可弥补对野外地质调查未及地段认识不足的问题。

野外工程地质调绘、核实工作可采用沿沟“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的方法远观右山坡,近察左山坡,全面了解冲沟、山坡的工程地质条件。

**4.7.2** 初测黄土地区的勘探、测试工作不仅要考虑区域地质条件、不良地质、特殊岩土、代表性设计工点的工程地质特征的特殊性和代表性,还要查明沿线黄土的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。既要控制数量,还要保证质量。

**4.7.5** 初测阶段黄土地区的资料编制要根据黄土的工程地质特征,评价区域工程地质条件,做好方案比选,为可行性研究报告提供支撑性材料;对黄土的物理力学性质、湿陷性等级,要结合取样地段综合分析,以保证等级划分合理、代表性强。

黄土属特殊土,由于分布地域广,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的分布,黄土的特性仅在说明中阐述,平面图上的界线仍采用地层界线圈划。

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的成因类型,湿陷性场地评价要注意不同地貌单元、成因类型及不同时代黄土的区划。

**4.8.1** 黄土地段的定测地质调绘工作,是为各类工程建筑和不良地质的整治搜集初步设计所需基础地质资料,按工点开展工作。

调绘宽度要满足工程设计和场地地质条件分析评价的要求,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安全的地质构造、工程地质及水文地质等条件。大型不良地质地段的地质调绘要扩大调查范围,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的原因、发展趋势。

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,因此在场地质调绘、勘探时,在按推荐方案勘察的基础上,兼顾工程方案变化的可能要求,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。

**4.8.2** 定测阶段黄土地段的勘探、测试工作,不仅要详细查明

工程建筑物场地的地质条件，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。

1 分段提供资料的一般路基、小桥涵地段，工程简单时，根据地貌单元、地层年代、成因类型、土质特征等分类划段，而后按段结合工点布置代表性湿陷性评价的勘探取样孔。不同地质条件的段落交错出现时，布孔时要充分考虑代表性及地层的不均匀性后合理确定孔数。

2 黄土地基的评价包括地基强度评价和地基湿陷性评价。黄土地基的勘探、取样深度要满足地基强度评价的要求。湿陷性不是影响路堑边坡稳定的决定因素，挖方地段的取样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。较浅路堑的路基基底要作湿陷性评价。

4 黄土隧道勘探的目的是了解隧道洞身通过的地层及其围岩性质。勘探点布置在中心线外 8~10 m 的目的，是避免勘探孔集水恶化隧道的施工条件。

4.8.4 高速铁路（含客运专线铁路）黄土地区各类工程的勘探点深度，结合郑西客专、哈大客专的勘察经验，可参照说明表 4.8.4 确定。

说明表 4.8.4 高速铁路（含客运专线铁路）黄土地基的勘探深度

工程类型	沉降检算深度（m）	明挖基础（m）	桩基础（m）
路基及挡护工程	25~45	25~35	25~40
桥 梁	50~80	20~40	40~70
涵 洞	25~45	15~25	25~40
隧 道	地面至路肩以下 5~10 m		

4.9.1 在基坑开挖后，除核对地层岩性之外，还要核对黄土层的天然含水率，目测土层的天然含水率及塑性状态明显与勘察资料不符时，需采样复查其湿陷性分级。当复查结果与地质资料不符时，则要通报设计单位研究确定采取相应处理措施。

2000 年 8 月，白兰高速公路 L4 标的桥涵工程主体部分已近完工，路基本体土方工程进入后期整理阶段，发现 K1673+550~K1674+250 段的涵洞和路基以及相临山坡，具有开裂、下沉或位移等病害现象。究其原因，是施工单位在 K1673+830 处的 1 孔 4.5 m 箱涵出口端地面，下挖 12 m×6 m，深约 2.5 m 的临时蓄水池，由于在长达几十天的施工期，蓄水下渗，导致地表湿陷开裂裂缝和埋藏的淘沙洞连通，加之农田灌溉水的注入，引起大面积湿陷性黄土路基的湿陷下沉。

5

原规程“膨胀土（岩）和红黏土”的章节名称，根据本次规程修订大纲 2007 年 10 月 9 日成都审查会的精神，确定为“膨胀性岩土”。2009 年 5 月的《铁路工程特殊岩土勘察规程》征求意见稿专家审查会，又定名为“膨胀土（岩）”。红黏土作为特殊岩土的一个类型，在长期的铁路勘察设计中，非膨胀性的红黏土，各设计院均没有将红黏土单独列为工点勘察和设计，由此说明红黏土在铁路工程中的特殊性不显著，因此在本次修订中，淡化或取消了各章节和红黏土相关的部分条款。

5.1.1 膨胀土的定义是多年勘察设计和科研实践的总结。20 世纪 60~70 年代，修建阳安线时发现汉中盆地的棕红色黏性土，挖方边坡具有干缩开裂、剥落溜坍的特性，性质不稳定，因此定名叫裂土。成昆铁路狮子山地区的挖方边坡产生滑动变形，即使在清方至边坡非常平缓的情况下，在施工期的雨季还反复活动，甚至发现路堑平地有鼓胀滑动现象，由于此处的黏土极不稳定，当时定名叫成都黏土。膨胀土中所含的黏土矿物主要指蒙脱石、伊利石、高岭石等。膨胀土矿物成分中的蒙脱石含量、黏土矿物

总量及小于  $2\ \mu\text{m}$  颗粒的含量,往往是决定膨胀土膨胀潜势的大小、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。

**5.1.2** 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、体积增大、失水收缩、岩体开裂破碎的特征。膨胀土具有往复胀缩变形的性能。据编者分析,膨胀岩一旦发生膨胀作用,就会发生由岩到土的转变,不会在短期内发生由土到岩的逆转,膨胀岩的工程性能,还需进一步研究。

近年来膨胀岩的研究在铁路系统没有开拓性的成果,分析其近 20 年上万公里铁路的勘察设计、建设中没有发现严重膨胀岩问题的根本原因,是由于在选线阶段,路基工程就重视了泥质岩路堑边坡的降低和支护工程的加强;隧道工程方面针对膨胀性软质岩隧道的设计,由 20 世纪 90 年代以前出现问题较多的直墙无仰拱素混凝土衬砌,普遍改为钢筋混凝土全断面蛋壳型防水衬砌。通过工程措施的加强,工程进度的加快,极大的缩短了膨胀岩吸水—膨胀的反应时间与变形空间,将边坡或隧道的膨胀性破坏消灭在了萌芽状态。以上原因导致铁路系统膨胀岩的研究停步不前,落在了地质研究、矿山、军工系统的后面。

**5.1.3** 红黏土是红土的一个亚类。红黏土的本质在于红土化作用,红土化的实质,就是脱钙、镁、钾、钠和硅,富集铁和铝的过程。不论何种岩石的风化残积黏性土,经红土化作用都可形成红土。特殊岩土规程中所说的的风化残积、坡积土结合《工程地质手册》(第四版)将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  $\omega_L \geq 50\%$  时定为原生红黏土。红黏土经水流搬运沉积后仍保留其基本特征,液限  $\omega_L > 45\%$  时,称次生红黏土。

红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,部分红黏土的自由膨胀率  $F_s$  可远远地超过 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,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,注意因其具有高液限、高塑性、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。

**5.1.5** 国际岩石力学协会膨胀岩委员会 1983 年指出膨胀岩有 4 种类型:①泥质膨胀岩;②含硬石膏、无水芒硝类膨胀岩;③断层泥类膨胀岩;④含黄铁矿等金属硫化物类膨胀岩。

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,中国境内的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),按地层时代可细分为 4 个亚类:①上二叠系泥质膨胀岩;②上侏罗统一白垩系泥质膨胀岩;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 种类型的膨胀岩中,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 种类型的膨胀岩都与水的关系密切,根据地质系统的研究成果,与含水率变化无关而发生体积增大的岩



石,不能称其为膨胀岩。

**5.2.1** 路基的浅挖、低填,既是我国几十年来在膨胀性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。所以路基优先以浅挖、低填通过。经过阳安、安康铁路膨胀土地段的设计、运营实践证明,浅挖、低填路基的稳定性明显优于深挖高填路基。

**6** 膨胀土边坡易变形、破坏,线路距重要建筑物要有一定距离,以免滑坍、胀缩影响建筑物的安全。堑顶边缘至建筑物的安全距离视堑坡高度、基础埋深和膨胀土的膨胀性强弱而定。

**5.2.2** 膨胀岩多为成岩作用差的软质岩,在水的作用下易变软,层间结合力衰减迅速,在顺层山坡的岩体坡脚开挖路堑后极易产生顺层滑动现象。

**5** 膨胀岩构成的较陡边坡,易发生软硬不均的差异风化现象,表层易风化剥落和滑坍、崩塌,线路或重要建筑物位于堑顶边缘时,视堑坡高度和岩层层理、节理、裂隙的发育方向以及发育程度和膨胀岩的膨胀性强弱而定。

**5.3.3** 膨胀土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、坡面浅沟槽发育、风化剥落严重、地表浅层滑坡、溜坍发育等,可据此初步判别为膨胀土,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。

**5.4.2** 膨胀土地区勘探点、线的布置及勘探孔的深度、数量等,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50~200 m;复杂场地或重大工程,勘探点密度需加大,间距可为20~100 m。

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胀缩变形的有效深度,又称为膨胀土的活动带。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)确定。

大气影响深度可视为膨胀土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5 m,故一般性勘探孔深度不宜小于5 m。

取原状样从地表以下1 m开始的要求,是与膨胀土地区大气影响急剧层深度大于1 m和基础埋深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3~5 m,所以大气影响急剧层深度均大于1 m。

取原状土样要求干钻,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。

**5.4.3** 用于岩石试验的岩心样品,其每节的长度要满足制样的最低要求,即没有节理、斜茬的完整岩段的长度要略大于岩芯直



径，同一岩性的岩心加起来的总长大于 120 cm，才可满足制备各项试验样品的要求。

**5.4.4 膨胀性岩土**的测试项目，除满足性质判别和胀缩潜势分级的需要外，还要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重要建筑物、高速铁路（含客运专线铁路）等，增加测试项目或进行现场原位测试。

**5.5.2 膨胀土的场地评价**，对于铁路主体工程以外的大型站房、车间、厂房等建筑物地基，参考《膨胀土地区建筑技术规范》（GBJ 112）确定。

红黏土或粉质黏土的胀缩性较小不属于膨胀土时的场地评价，需满足下列要求：

（1）绕避地表的深长裂隙发育地带；浅埋基础外侧地面倾斜或有临空面时，土的抗剪强度和承载力要作相应的折减；路堑边坡分布“裂隙含水层”时，边坡坡率可适当放缓。

（2）土层的裂隙发育时，桥涵、挡墙、洞门基础的埋深大于大气影响急剧层深度。

（3）下伏基岩岩溶发育时，在评价岩溶的同时兼顾覆盖层土洞的评价。

**5.5.3 膨胀岩的判别**，国际、国内尚无统一标准，可参考《铁路工程岩土分类标准》（TB 10077）和《铁路工程地质勘察规范》（TB 10012）。表 5.5.3—1 膨胀岩的野外地质特征，相当于膨胀岩的初判；表 5.5.3—2 室内试验判定指标，相当于膨胀岩的详判。

**1** 这次规程修订，增加王思敬、黄鼎成 2004 年主编出版的《中国工程地质世纪成就》一书介绍的膨胀岩的“膨胀势工程分级”，推荐以干燥岩块的饱和吸水率 10%，作为膨胀岩和非膨胀岩的分界指标；说明表 5.5.3—1 为参照膨胀土的判定指标确定的易崩解膨胀岩的室内试验指标；说明表 5.5.3—2 为参照中科院地质研究所的研究成果编制膨胀岩的膨胀潜势表，作为膨胀岩

评价时的参考。

说明表 5.5.3—1 易崩解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 $F_s$ (%)	$F_s \geq 30$
蒙脱石含量 $M$ (%)	$M \geq 7$
阳离子交换量 CEC ( $\text{NH}_4^+$ ) (mmol/kg)	$\text{CEC} (\text{NH}_4^+) \geq 170$

注：1 试验时将易崩解的岩石粉碎，过 0.5 mm 或 0.25 mm 的筛去除粗颗粒后，比照膨胀土的试验方法进行试验。

2 有 2 项及 2 项以上符合表列指标时，在室内可判定为膨胀岩。

说明表 5.5.3—2 膨胀岩的膨胀潜势分级

膨胀潜势分级 分级指标界限	岩石的膨胀潜势分级		
	弱膨胀	中等膨胀	强膨胀
干燥后饱和吸水率 $\omega_{sa}$ (%)	$10 \leq \omega_{sa} < 30$	$30 \leq \omega_{sa} < 50$	$\omega_{sa} > 50$

**2** 下面介绍 2 种铁路系统膨胀岩的研究成果，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) 膨胀岩的崩解特征分类，可按说明表 5.5.3—3 进行。

说明表 5.5.3—3 膨胀岩的崩解特征分类

类 别	崩解特征及重量变化
非膨胀岩	泡水 24 h 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 ~ 1.0 cm 碎块或大片，手可捏碎，重量可增加 10%
中膨胀岩	泡水后，1 ~ 2 h 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散落，水混浊，10 min 可崩解 50%，20 ~ 30 min 崩解完毕

2) 膨胀岩的膨胀性试验指标分类, 可按说明表 5.5.3—4 进行。

说明表 5.5.3—4 膨胀岩的膨胀性试验指标分类

类 别	膨胀率 $V_H$ (%)	膨胀力 $P_P$ (kPa)	饱和吸水率 $\omega_{sa}$ (%)	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

(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 月的《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, 见说明表 5.5.3—5。

说明表 5.5.3—5 那百段膨胀岩工程地质分类的建议标准

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 $h > 20$ 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, $h > 20$ 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见说明表 5.5.3—6。

说明表 5.5.3—6 膨胀性试验指标汇总

指 标	膨胀率 $V_H$ (%)	膨胀力 $P_P$ (kPa)	饱和吸水率 $\omega_{sa}$ (%)	自由膨胀率 $F_S$ (%)
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 3 cm; 构造节理面成组密集, 间距一般 5~20 cm, 最密处 3~4 cm, 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 1 000 cm<sup>2</sup> 圆形板载荷试验, 成果见说明表 5.5.3—7。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 235 kPa 的 1/7。

说明表 5.5.3—7 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)
				$c$ (kPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )	
残积 膨胀土	DK146+580 左 20 m 深 1.2 m	120	20	—	—	220
风化极 严重泥岩	DK146+100 左 28 m 深 1 m	175	34	26	12	450

3 膨胀岩的特性是有水浸泡才膨胀, 无水、无临空面则能长期保持稳定。一般路基、短隧道工程位于孤立山梁的较高部位, 在无地下水出露和连通排泄条件的膨胀岩层位, 而且没有区域性地下水位升高或地表水集聚的条件时, 可建议相关专业在设计中不作消除或抵御膨胀性的地基处理工程, 但裸露地表的路堑边坡需防护。

5.7.1 代表性设计工点, 包括路基工程、小桥涵、大中桥、隧道、车站等基本按施工图设计, 用于单体核算造价的建筑和构

筑物。

**5.7.2** 一般路基地段勘探点间距 500 m 是根据工程实践经验及现行规范确定。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。

代表性试样是地质专业划分的代表不同地质时代、不同成因类型、不同环境工程地质条件及不同地层结构或岩性的试样。

**5.7.3** 重大工点系指对沉降有严格限制、大型和重要的建筑、构筑物,深、长路堑和大型滑坡工点等。

**5.7.6** 建筑物基础埋深考虑的因素很多,从工程地质角度而言,仅考虑场地条件是不够的;土的胀缩等级、大气影响深度及大气影响急剧层深度等,是膨胀土地区必须考虑的因素,据此提出建议和意见。

膨胀土地基的处理,包括换填、铺底、土质改良和人工地基等。实践证明土中加入 5% ~ 10% 的石灰时,土质改良的效果较好,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。

铁建设〔2007〕152 号文颁布的《铁路建设项目预可行性研究、可行性和设计文件编制办法》(TB 10504)规定,第四篇附图有工程地质纵断面图,比例为 1:2 000 ~ 1:10 000,因此在初测阶段也需填绘膨胀土、膨胀岩的地层花纹图例。

**5.8.2** 膨胀土、膨胀岩并非是均质的,即是同一场地,不同位置 and 不同深度的岩土层,性质差异仍是很大的,不仅试验数据离散度高,而且并非每个样品的指标都达到膨胀土或膨胀岩的标准。因此,为查明场地的性质,不致错判、漏判,除剖面上取样间距按要求办理外,还必须保证平面上合理分布取样孔的位置。本规程规定取样孔的数量不少于全部孔数的 1/2,这与《岩土工程勘察规范》(GB 50021)的要求是一致的。

**6.1.1** 软土在踏勘或初勘时一般在积水洼地或其他地下水位较

高的地质环境,遇在静水或缓慢的流水环境中沉积的黏性土、粉土地层时,具有含水率  $\omega \geq 30\%$ 、孔隙比  $e \geq 0.8$ 、压缩系数  $a_{0.1-0.2} \geq 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 、渗透系数  $k = i \times (10^{-6} \sim 10^{-2}) \text{ cm/s}$ 、灵敏度  $S_L = 2 \sim 10$ 、静力触探比贯入阻力  $P_s < 800 \text{ kPa}$ 、不排水抗剪强度  $CU \leq 30 \text{ kPa}$  的各类细粒土,建议按软土开展勘察工作。

**6.1.2** 松软土不是严格意义上的地质学名词。松软土是针对京沪高速铁路设计时路基沉降变形要求高而提出在勘察时特殊对待的一类土的统称。《京沪高速铁路工程地质勘察暂行规定》参照日本新干线的设计资料,确定了松软土的界定指标,这次规范修订,参照郑西客专黄土专题的研究,在京沪客专松软土界定指标的基础上,置换了允许承载力的概念,增加了黄土类松软土的界定指标,有关松软土的规定,补充说明如下:

(1) 松软土的判定条件,参照说明表 6.1.2。

说明表 6.1.2 松软土场地的判定条件

岩 土 种 类	地 基 土 条 件
粉砂、细砂	$P_s < 5 \text{ MPa}$ , 或 $N < 10$
粉 土	$P_s < 3 \text{ MPa}$ , (不含软土) 或 $\sigma_o < 150 \text{ kPa}$
粉质黏土、黏土	$P_s < 1.2 \text{ MPa}$ , (不含软土) 或 $\sigma_o < 150 \text{ kPa}$
新黄土	$P_s < 3 \text{ MPa}$ , 或 $\sigma_o < 180 \text{ kPa}$

注:  $P_s$  为静力触探比贯入阻力;  $N$  为标准贯入试验锤击数;  $\sigma_o$  为基本承载力。

静力触探比贯入阻力  $P_s$  在不同地区和不同地层之间的差异较大,一般在现场直接测试,针对性较强,所以用比贯入阻力作为软土或松软土的评判指标简便易行。《京沪高速铁路工程地质勘察暂行规定》确定的松软土判定指标之一是“容许承载力  $[\sigma] \geq 0.15 \text{ MPa}$ ”的地基土。容许承载力  $[\sigma]$  值是经过基础深宽修正后的设计参数,基本承载力  $\sigma_o$  和允许承载力  $[\sigma]$  是两个不同的概念,但针对细粒土地层上的浅埋基础,其数值非常接近,软土或松软土一般分布在地表,因此说明表 6.1.2 推荐在

勘察阶段采用 $\sigma_0$ 值替代 $[\sigma]$ 值作为松软土的判定指标,更加方便操作。湿陷性黄土 $P_s < 3 \text{ MPa}$ ,或 $\sigma_0 < 180 \text{ kPa}$ 的判定指标,是根据郑西客运专线湿陷性黄土研究专题的研究成果和工程设计实践确定的新增指标。

(2) 松软土指那些天然含水率和压缩性较高,抗剪强度和承载力较低又有别于软土的呈软塑或饱状态、或者松散的黏性土及粉土、粉砂、细砂和湿陷性黄土。勘察时注意如下几点:

① 松软土一不具有特殊成因、二不具有特殊成分,物理力学指标也与一般土类相比没什么特殊性,它既可以是细砂、粉砂等砂类土,也可是粉土、粉质黏土、黏土及湿陷性黄土、盐渍土、填土等特殊土。由于松软土不具特殊性,因此无明显分界线。

② 松软土的定名是因高速铁路(含客运专线铁路)对地基沉降量控制要求高而产生的专用名词,但在“松软土及其场地”判定指标中,没有反映压缩系数及变形模量等表示变形大小的指标。

③ 高速铁路(含客运专线铁路)等路基沉降量的计算中,不只计算“松软土”层的沉降量,而是计算压缩影响深度(压缩层深度)内所有可压缩层(包括非“松软土”层)的沉降量。

④ 如果路基压缩层深度内都是非“松软土”层的可压缩土层,其沉降量并不是都满足高速铁路(含客运专线铁路)对沉降控制的要求,路基设计时也要计算。所以,工程地质勘察时,路基勘察不但要对“松软土”加强勘探测试工作,对压缩层内的所有可压缩土层,都要加强勘探测试工作;路基设计沉降量计算时,对压缩层内的各层土,即不仅要“松软土”层进行计算,也要对非“松软土”层的各压缩土层计算沉降量;不仅对有“松软土”分布的地段进行计算,对非“松软土”分布的可压缩土层也进行沉降量计算。

⑤ 注意不要将可压缩土层人为地分出“松软土”后削弱其他地层的测试,忽略对有厚层非“松软土”可压缩土层地段的

勘探测试工作,防止路基设计时对类似地段的沉降量计算工作出现失误,进而导致工程措施失当引起不良后果。

**6.1.4 “软土”**在铁路工程界泛指软黏性土、饱和粉土、淤泥质土、淤泥和泥炭质土、泥炭等几种类型的饱水软弱土类。他们的成因主要为冲积、湖积、海洋沉积或生物沉积。一般在某个工点所有指标同时满足软土指标的情况并不多见,可根据实际情况在主要物理力学指标 $e$ 、 $\omega$ 、 $CU$ 、 $\omega_L$ 、 $P_s$ 有3项以上满足本规程表6.1.4的规定时,可比照本规程表6.1.4的规定分类定名为软土。外业勘察时,可用 $P_s$ 作为初判标准;软粉土主要按 $CU$ 、 $P_s$ 值判定。

软黏性土、淤泥质土、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。他们的成因类型、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、低抗剪强度,一般具有流变性。

泥炭和泥炭质土,主要由植物的腐烂或半腐烂的炭化纤维和腐殖质组成,其层理、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软黏性土、淤泥质土和淤泥;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;遇到泥炭和泥炭质土的线路较少且范围较小、深度也较浅(一般不超过5~6 m)。泥炭类土在大多数情况下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还很少。本规程主要针对软黏性土、淤泥质土和淤泥制订各项规定,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要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,天然孔隙比较小,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,要注意软粉土有别于软土的特性,采取相应的勘探、测试手段。

**6.1.5** 宝中铁路选线时,在六盘山的主峰东侧山坡中下部,发现大面积分布厚约2m的泥炭层;京九线岭南段施工时,发现多处地下水溢出的山坡、垭口等横坡较陡的高含水率黏性土分布区、边坡或基坑开挖后呈现软塑、甚至流塑现象,地层特征类似于软土。在部分地下水位以下的全风化炭质岩类、全风化粉砂岩、甚至粗粒花岗岩的全风化地层,由于长石风化的高岭土呈软膏状,岩性的工程特征和软土相类似。

**6.2.1** 厚度大分布广的软土、松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,建议尽量绕避,即使绕避方案费用略高,也最好绕避。必须穿越或可以穿越时,建议避重就轻,充分利用地质条件,降低处理难度,减少工程隐患。

**6.2.4** 软土、松软土地区地下水位高,若采用路堑形式,则维持堑坡稳定、基床处理的费用会很大,且施工、运营养护也困难,故最好避免。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的费用大为减少。

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 $\phi=0$ 的同一均质土,即土坡和地基土的重度 $\gamma$ 、不排水抗剪强度CU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:

$$H_c = \frac{5.52CU}{\gamma} \quad (\text{说明 6.2.4})$$

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

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CU、 $\gamma$ 均不相同的土堤临界高度上来,必然存在差异,但目前的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 $\gamma$ 为填土的重度,CU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,而采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。

**6.3.2** 一般在线路中线左右各100~200m的范围内开展地貌、地层岩性、井点等地质调绘。在软土和松软土工程地质调绘中,还要注意对“软粉土”的调查。软粉土在物理力学指标上不符合软土规定,但强度低、工程性质差,处理不当会造成病害,因此要查明其分布、厚度及特殊工程性质,以便采取针对性的工程措施。

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 6.3.2—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 6.3.2—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
	潮谷相	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

续说明表 6.3.2—1

地貌特征	成因类型	沉积特征
湖积平原	湖相	沉积物中粉土颗粒含量高，季节韵律带状层理，结构松软，表层硬壳厚度不规律
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，间与砂层或泥炭互层
	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，间与砂层或泥炭互层，下部含有各种植物腐殖质和软体动物贝壳
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
泥炭沼泽地	沼泽相	以泥炭沉积为主，且常出露于地表。孔隙极大，富有弹性。下部有淤泥层或薄层淤泥与泥炭互层

各种成因类型软土的物理、力学性质指标见说明表 6.3.2—2。

说明表 6.3.2—2 各类软土的物理力学性质指标

（工程地质手册·第四版）

成因类型	天然含水率 $\omega$ (%)	重度 ( $\text{kN/m}^3$ )	天然孔隙比 $e$	抗剪强度		压缩系数 $a_{1-2}$ ( $\text{MPa}^{-1}$ )	灵敏度 $S_t$
				$\phi$ (°)	$c$ (kPa)		
滨海沉积软土	40 ~ 100	15 ~ 18	1.0 ~ 2.3	1 ~ 7	2 ~ 20	1.2 ~ 3.5	2 ~ 7
湖泊沉积软土	30 ~ 60	15 ~ 19	0.8 ~ 1.8	0 ~ 10	5 ~ 30	0.8 ~ 3.0	4 ~ 8
河滩沉积软土	35 ~ 70	15 ~ 19	0.9 ~ 1.8	0 ~ 11	5 ~ 25	0.8 ~ 3.0	4 ~ 8
沼泽沉积软土	40 ~ 120	14 ~ 19	0.52 ~ 1.5	0	5 ~ 19	>0.5	2 ~ 10

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。

水理特性是指土体的宏观渗透性(水平方向和垂直方向);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,还需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、易溶盐(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。

查明松软土的分布、成因类型、地层结构和相变特征及其物理力学性质,对分析各类建筑物工程变形具有重要意义。松软土是由软塑状黏性土、黄土或松散的砂类土,其中黏性土以粉质黏土为主,局部为黏土、粉土,松散砂类土多为粉砂、细砂,极少量的中砂。

松软土的共性特征,据秦沈客运专线等地勘察资料:天然含水率较大 $\omega \geq 22.2\%$ ,天然孔隙比较大 $e \geq 0.7$ ,压缩性较高 $a_{0.1-0.2} \geq 0.3 \text{ MPa}^{-1}$ 、软塑~流塑状 $I_L \geq 0.5$ ,强度低:黏性土静力触探比贯入阻力 $P_s \leq 3.0 \text{ MPa}$ 或地基容许承载力 $\sigma_0 \leq 150 \text{ kPa}$ ,粉土 $P_s \leq 3.0 \text{ MPa}$ 或 $\sigma_0 < 150 \text{ kPa}$ ,砂类土 $P_s \leq 5.0 \text{ MPa}$ 或标准贯入试验锤击数 $N < 10$ 或地震时有液化可能。松软土广泛分布

于黄土高原,河流冲、洪积平原,湖积平原和滨海平原及山间谷地中,一般无硬壳或硬壳较薄,按不同成因类型、地层结构有区别,一般冲积平原、滨海平原地区多有似二元结构,上部为黏性土,以下为黏性土与砂类土互层,底部为中密砂类土或硬塑黏性土。松软土层的厚度在不同地区,不同成因类型,厚度的变化很大,根据秦沈、武广、郑武、京沪等线资料,松软土层厚度一般 $\leq 10 \text{ m}$ ;在长江中、下游的广大冲积平原中,松软土层厚度可达 $20 \text{ m}$ 以上,局部厚度大于 $30 \text{ m}$ 。针对客运专线和时速 $200 \text{ km}$ 以上客货共线铁路,松软土地基一般没有滑动失稳问题,但沉降变形不能满足设计要求,地基仍需处理,所以查明松软土的分布,厚度、成因类型、地层结构、相变特征及其物理力学性质,对工程建设是十分必要。

**6.4.1 软土、松软土地区的勘探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,又明确了场地的地质条件,从而使工程地质勘探有的放矢,收到经济、合理、高效的效果。勘察内容和方法根据勘察阶段、工程类别、满足设计的要求来确定。

对于各种勘探、测试方法,在有经验的地区,可结合当地经验进行。

(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)可在地质调绘的基础上综合运用,一般情况下,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,要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,要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。

(6) 一般第四系地层之间,例如粉土与粉质黏土、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,要充分发挥物探的作用。

**6.4.2** 为达到经济合理的目的,钻孔按技术要求可分为一般性钻孔和穿透软土层(控制性)的钻孔。穿透软土层的钻孔是为详细取得地基勘探资料的钻孔,建议布置在地貌、地质构造、地层变化大、有代表性或控制稳定性检算、沉降计算断面等重要部位,其深度需达到所要求的最大深度,并在其中连续取原状土样,安排土工试验。穿透软土层(控制性)的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。在某一勘察范围内的穿透软土层深钻孔和一般性钻孔,在空间设置或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。

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,压缩层计算深度建议用应力比法控制,在实际工作中,根据软土路基设计的相关规定和武广客专路基设计的经验总结,软土、松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、松软土,其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、松软土地层,其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、松软土层下出现有密实或硬塑的下伏硬层(如半坚硬黏土层等硬土层或砂层等)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,对桥头路堤或独立构造物的基础建议选用下限。

压缩层计算中要注意: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,则要继续向下计算,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,远大于稳定检算的要求,因此,软土、松软土深厚或建筑物对沉降要求严格时,需有部分钻孔布置在控制沉降的地段,尤其是在定测阶段。

(4) 高速铁路(含客运专线铁路)对路基工程的工后沉降量要求较高,对地基的要求相应较高:



① 路基地基条件

日本对东海道新干线在经过 10 年运营后, 对路堤基底的下沉量、路堤地基的状况、线路维修量多少及难易程度进行了分类调查, 根据调查结果, 提出了由地表起到约为路基宽度的 2 倍 (以 25 m 为限) 的深度范围内支承路堤的地基的必要条件。满足这些条件的地基其路堤处于良好状态, 没有发生有问题的下沉现象 (下沉量 < 10 cm), 作为支承路堤的地基是合适的, 并纳入了规范。

根据日本的经验, 当路堤基底以下 25 m 范围内的地基不符合说明表 6.4.2 的条件时, 需作工后沉降分析。但沉降量与路堤高度、地基土性质和压缩层厚度密切相关。

说明表 6.4.2 路基地基条件

地 层	地 基 条 件
基 岩	无 条 件
碎石类土	无 条 件
砂类土	$P_s \geq 5.0 \text{ MPa}$ 或 $N \geq 10$ , 且无地震液化可能
黏性土	$P_s > 1.2 \text{ MPa}$ 或 $\sigma_0 \geq 0.15 \text{ MPa}$ , 且无地震液化可能

注:  $N$  为标准贯入试验锤击数;  $P_s$  为静力触探比贯入阻力。

② 压缩层厚度

关于压缩层厚度的确定, 对于地基沉降控制设计具有非常重要的意义。我国沿用前苏联 HTy 127-55 规范, 以地基附加应力对自重应力之比为 0.2 或 0.1 作为控制计算深度的标准。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 则通过以下变形比法确定压缩层厚度:

$$\Delta S'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta S'_i \quad (\text{说明 6.4.2})$$

式中  $\Delta S'_i$ ——在计算深度范围内, 第  $i$  层土的计算变形值;

$\Delta S'_n$ ——在由计算深度向上取厚度为 1 m 的土层计算变形

值, 如确定的计算深度下部仍有较软土层时要继续计算。

根据国际咨询的有关情况, 法国以路堤底宽的 3 倍来确定压缩层厚度, 日本方面也表达了路堤底宽 3~5 倍的意见。

公路荷载形式与铁路有着很大的相似性。《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ 017-96) 规定采用地基附加应力对自重应力之比为 0.15, 根据其“条文说明”获知, 主要从节省钻探工作量考虑。

秦沈客运专线规定: 对松软土, 当地基土层的  $I_L \geq 0.5$  时, 计算至附加应力与自重应力比为 0.2 的深度; 当  $I_L < 0.5$  (即硬塑状), 当硬塑土层下有厚度大于 3.0 m 的软塑土时, 需计算至松软土层底。

根据应力比法采用地基附加应力对自重应力之比为 0.2 确定的压缩层厚度, 一般要大于根据变形比法确定的压缩层厚度。同时路堤底宽的 3 倍又远远大于附加应力对自重应力之比为 0.1 确定的压缩层厚度。由于深厚压缩层埋藏深, 加固难度大且固结时间长, 其沉降计算有可能在沉降控制设计和加固措施的选择中十分关键。由于各高速铁路 (含客运专线铁路) 沿线地基条件变化较大, 工后沉降分析时压缩层厚度不能笼统确定, 必须对各种地层进行详细地质勘察, 并加强对于地基土的各项参数的原位试验及室内试验分析, 提高计算参数的准确性。随着工后沉降控制标准的不断提高, 对于压缩层厚度确定的精度提出了更高的要求, 在今后的工程实践与科研中要不断积累资料, 找出切实准确的确定方法。

6.4.3 钻孔取样的控制因素:

1 由于钻探的工时和费用相对较高, 最好能做到一孔多用, 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 取样操作优先采用压入法, 采用下击式重锤少击法时, 要有导向装置, 以免土样扰动。软土取样采用薄壁取样器, 最好

用连续式。在重复使用取土盒时，要注意保持其完整，将黏附在盒内外的蜡、土或锈斑予以清除。

**3** 为取原状土样，需以取土环刀的直径决定孔径。目前国内压缩试验的取土环刀，内径大者为 79.8 mm，小者 61.8 mm，若考虑土样周边扰动，取土器内径不小于 89 mm，因此，钻孔孔径不小于 108 mm。

在钻孔中进行触探试验和十字板剪切试验，孔径要与触探探头、标贯器（ $\phi 51$  mm）、锥探头的外径（ $\phi 74$  mm）、十字板的最大直径（ $\phi 75$  mm）相适应，一般在小于  $\phi 89$  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压力；取样前的钻进建议在距取样顶部的适当距离停泵泥浆；清理孔内沉淀物。

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

**6.4.4** 原状土样也可以采用上提活阀式取土器或国内生产的某些薄壁取土器。原状土样扰动情况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。

#### **6.4.5 室内试验的控制因素：**

**1** 室内试验要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、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，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，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，要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。以查明各地层的应力历史，提供土的先期固结压力  $P_c$ 、压缩指数  $C_c$ 、回弹指数  $C_s$ 、次固结系数  $C_\alpha$ （必要时提供）以及 OCR 与深度的关系。软土、松软土试样的试验项目要能从其埋置深度的关系上反映软土、松软土的各项物理力学指标。对室内土工试验测得的成果要与原位测试结果进行对比分析后取值。软土的动三轴试验项目需根据软土对桥基动力特性的影响程度专门确定。

**3** 原状土样要及时进行室内试验，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，样品存放期不可超过 3 天。夏季原状土

样要挖坑放置，冬季要严防受冻。

**6.4.7** 在软土、松软土地区要充分采用静力触探测定软土、松软土层在天然结构下的物理、力学性能，划分地层层次。按应用的性质，静力触探孔也可分为参数孔和控制性孔。参数孔是与钻孔或深探坑的对比孔，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分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，可采用十字板剪切试验。

目前国内生产的旁压仪的压力较小，测试深度限于 25 m 以内，适用于测定浅层黏性土的力学性能。旁压试验点的布置要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、松软土地段、大型枢纽等工程，勘探、测试的工作量相对集中，软土、松软土的成因类型相对单一，所以，某一勘察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成果对比，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和保证对比试验的同等条件，静力触探和其他对比孔的间距不可太小，也不可过大。工序上先进行对地层扰动较小的静力触探，后进行钻探或挖探，有利于对比试验的真实、正确性的提高。

原位测试进行软土、松软土地基的勘察、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土层的物理力学指标。所以，在有经验的地区，要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。

**6.7.1** 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，是初步查明地基的稳定性、沉降等对工程方案的优劣和起控制作用的因素，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、松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、下伏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、松软土地区的线路通过方案，必要时，需扩大调绘面积。调绘宽度除满足现行有关规范外，还要注意：

滨海平原、湖积平原、河流冲积平原的软土、松软土地区，在分析研究其成因类型、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，调绘宽度需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，其调绘范围和宽度需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 100 ~ 200 m 的宽度内。场地条件复杂时，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，而要以查明软土、松软土对工程方案的影响，满足路线方案的选择、工程设计需要和处理要求为原则，调绘范围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。

**6.7.2** 软土、松软土工程地质勘察要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、松软土的工程地质条件等），针对其目的和要求，勘

探、测试手段要有所侧重。

原位测试,尤其静力触探是快速的现场勘探方法。在对软土、松软土地层的触探过程中,静探能连续反映土层的力学性质,并有较高的敏感性,特别在软土层成层情况复杂时,对薄层的判别与划分有较高的准确度。对软土、松软土的判别和软土、松软土地基进行力学分层时,静力触探具有明显的优越性。由于贯入阻力较小,触探深度可以达到 40 m 或更深一些,功效高而费用较省。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,初测阶段可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,但就勘察设计现状而言,取得软土、松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。原位测试和室内土工试验的成果需要相互验证和补充,论证数据的可靠性。所以钻探仍是铁路软土、松软土工程地质勘察的重要手段。因此初测阶段在充分发挥静力触探优势的前提下,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,要求具有钻探控制孔 1~2 孔。由于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,钻探则要有一定的比重,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,原则上需布置在地貌、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、松软土的勘探深度建议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,建议控制性钻孔深度为 40 m 左右,一般情况下,此值相当于 4 m 左右的路堤高度的地基附加应力。

**6.7.3** 初测阶段的室内土工试验要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,试验项目要考虑得全面一些。

**6.7.4** 在资料整编前,要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。成果资料的主要部分建议在现场完成,以便能及时发现问题,在现场核实补充。

(1) 地质调绘、勘探、测试等原始资料要记录清楚,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要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、测试成果各相关图的纵、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要力求统一,以易于进行相互比较。

## 6.8

定测工程地质勘察是在工程的设计方案、技术要求已明确的情况下进行的,具有鲜明的针对性,因此,勘察工作要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、设计要密切配合,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,



所以本阶段要加强原位测试工作,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。

**6.8.3 高速铁路(含客运专线铁路)对路基工程的工后沉降量要求较高,对地基勘探精度要求较高。软土、松软土地段较长,路基地质横断面的间距宜为100 m。为了查明地基的地质条件,复杂地段勘探孔间距宜为50 m,地质条件特别复杂时,不宜大于30 m,每个工点要有地质横断面控制,浅挖、低填路基地段,地基条件直接与基床有密切关系,路堤与桥台、路堤与横向结构物(立交框构、箱涵等)、路堤与路堑、路基与隧道连接的过渡段等地段,因工后沉降要求比一般路基地段要高、要严格,所以这些地段要有路基地质横断面控制,每个横断面需布置2~3个勘探测试孔,控制性钻孔宜占勘探孔总量的1/3,每个工点控制性钻孔不宜少于2个。**

由于钻孔取样是定位采取的代表性试样,具有局限性;原位测试可以弥补钻孔不连续取样的局限性。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数。

大中桥、特大桥工程,如桥跨小、墩台多,地层相对单一时,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。如隔墩(桩)钻探时,需在无钻孔的墩(桩)处进行原位测试。

对于附属工程的工程地质勘探要视其地质情况而定,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。

**6.9.1 软土、松软土特有的工程性质,决定了施工监测的重点是加荷过程中的地基变形。对于路堤工程,位移控制量按设计文件或铁道部现行的《铁路特殊路基设计规范》的有关规定执行。注意软土、松软土地区千变万化的地质情况,加固处理措施的不同,加荷速率的不同,可影响软土、松软土路基稳定和变形。所以在监测变形量的同时,要分析变形的趋势和相应采取的工程措施,指导施工。**

施工监测方法中的建筑物观察,对路堤工程要注意观察路堤外貌的微小变形、微小裂缝及其发展情况,坡脚附近地面的微小隆起和出水现象。对桥涵、房屋等建筑物,需观察墩、台、涵洞、柱、墙的轻微倾斜和相对下沉,涵洞洞身、房屋建筑的墙、板、梁开裂等。观察到的建筑物外表现象,结合变形监测资料,可综合分析正在施工的或已竣工的建筑物的稳定和变形状况。

高速铁路(含客运专线铁路)的建设、运营,对路堤工后沉降的控制要求十分严格。在地质灾害易发生地段或在不同工程连接的过渡段等部位,在施工中要严格按照设计要求施工,加强变形量监测,及时整理相关资料,有针对性地提出整治措施意见。

目前运营线上除了少量的科研性试验路堤以外,往往缺乏路基沉降方面的完整资料,长期性的系统观测资料则更少。因此软土、松软土地基加固措施的长期效果缺少最直接的佐证,亦给增建新线或改建既有线路时如何正确评价既有线路状况,采取何种增建或改建措施带来一定困难。为此而保留部分沉降观测点在运营期继续进行长期监测是非常必要的。

塘缘路堤,尤其是位于有堤围的塘缘路堤,由于堤身在塘内、塘外不同部位上,往往产生较大的差异沉降。填料本身的抗剪强度不足以平衡差异沉降在塘缘路堤内所产生的剪应力,从而导致以直立错台形式为主的坍塌、滑移。某线在软土路堤施工发生失稳的六个地段,即有两段为塘缘软土路堤。故对塘缘路堤要加强施工监测,并通过加荷速率的控制、调整分块加荷顺序,

以保证整体稳定性。

软土地区的桥台,要同时进行桥头路堤横向和桥台纵向的稳定变形监测,这是因为堤、桥的相互作用,对桥台的稳定和变形影响很大。某线位于软土地基上的中桥,桥台为桩基础,台后路堤高 6.5 m,台后 20 m 范围内采用间距 2 m、直径 0.3 m,长 9 m 的砂井,处理软土地基。桥头路堤在桥台竣工三个月后开始填筑,一个月即填到设计标高。填土过程中未作必要的变形测量,仅进行了路堤的外貌观察,未发现横向坍塌迹象。填土完成后的第二天,测量发现该桥台和中墩的跨距缩短了 0.3 m,并观察到台后约 13.5 m 处的堤顶有横向裂缝,台前 5~6 m 的地面有放射状分布的张裂隙,而桥头路堤横向一直无坍塌迹象。由于桥头路堤所处部位的特殊,所以,即使施工监测表明横向变形位移很小,也决不能忽视纵向变形的监测。因为此时软土地基的变形有可能集中到台前向纵向发展,引起桥台过大的前倾变位。

**6.10.2** 软土、松软土地地区线路方案是否合理,各类建筑物的软土、松软土地基加固措施是否得当,除要经过施工的检验,更主要的是经受运营期的长期检验。由于软土特有的工程性质,运营期间的工程地质工作也同样重要。比较典型的实例为:1927 年《铁道年鉴》记载“津浦线东葛花旗营间自从筑堤以后,高 20 英尺(约为 6.1 m)的路堤曾全部陷入泥中三次,经历年填修,基底已大部为石块所代替,建成 20 年后仍继续下沉,必须常年用道砟起道。”事实上该线在建成 50 年以后的 1951 年,还曾有一次突然下沉 3 m,幸好及时发现,未出现重大事故。软土地区铁路建筑物的下沉,尤其是路堤、涵洞的下沉和变形,在运营期是一个确为突出问题,也有在运营期出现地基土向两侧取土坑中挤出,影响行车安全的事例发生。因此,重视和加强运营铁路通过软土工点的地质情况调查、长期监测和发展过程的系统记录,是认识病害发生、发展和及时采取切实有效工程措施的基础,也

· 161 ·

是改建既有线和增建第二线时评价工程地质条件的重要依据;通过运营铁路软土工点的监测,也能为软土地区铁路的勘察设计及施工水平的改进和提高,反馈宝贵的资料。

高速铁路(含客运专线铁路)的运营安全对路基工后沉降的要求严格,因此除在施工中严格按设计要求进行监测外,在运营期间,对路基的变形也要进行严格的监测,尤其是在地质灾害易发地段和在各种不同工程的过渡段等重点部位,需建立行之有效的监测机制,积累资料,分析研究问题,提出整治措施意见。

**7.1.1** 土的易溶盐系指土中易溶于水的盐类,包括全部氯化物,易溶的硫酸盐(如钾、钠的硫酸盐)和易溶的碳酸盐(如钾、钠的碳酸盐)以及重碳酸盐等。中溶盐指石膏( $\text{CaSO}_4$ );难溶盐指碳酸钙( $\text{CaCO}_3$ )。

地下水埋藏较浅的干涸山间盆地湖塘、内陆平原或沿江、沿海浅滩洼地,矿化度较高的地下水通过土层的毛细孔隙上升,经蒸发作用导致盐分被析出、结晶并集聚于地表或地下土层中,含盐量较多时形成盐渍土,结晶盐层较厚时形成盐壳或盐岩。盐渍土根据含盐性质的不同,具有吸湿、溶陷、膨胀、腐蚀等特征,从而影响路基稳定,腐蚀建筑的基础,板结道床、腐蚀钢轨及道钉螺栓,增大铁路工程的养护、运营工作量,缩短钢轨等钢结构、混凝土结构的使用寿命。

**7.1.2** 盐渍土是指在地层中含有层状或散粒状易溶盐或部分化学侵蚀性中溶盐类矿物,具有吸湿、溶陷、膨胀、腐蚀等特性的粗、细颗粒土。盐渍土的含盐量标准,《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)修订时由 0.5% 改为 0.3%。0.5% 的标准是沿用前苏联的标准,现在的俄罗斯对不同土类分别定出不同的含盐量,其中最小的易溶盐含量定为 0.3%;中国石油天然气总公司《盐渍土建筑规定》也定为 0.3%。我国柴达木、准噶尔、塔里木地区的资料表明,“不少土样的易溶盐含量虽然小于 0.5%,但其溶陷系数却大于 0.01,最大的可达 0.09;我国的有些地区,

· 162 ·

如青海西部的盐渍土厚度很大，超过 20 m，浸水后累计融陷量大”。因此将易溶盐的含量标准由 0.5% 降为 0.3%，对保证工程的安全是必要的。

7.1.4 盐渍土分布区的地表，一般有厚度几毫米到几十厘米的白色盐霜、盐粒、盐壳或极其蓬松的粉土层，盐渍土的含盐量具有周期性的积聚或淋溶的变化过程。各种易溶盐类化合物具有在干旱季节地面蒸发量大时盐分向地表积聚沉淀，雨季地表水量充沛时盐分被冲淋溶解下渗或流失，地表的盐霜或盐壳具有随季节的变换而增加、减少或消逝的特征。

7.2.1 盐渍土的工程性质，因所含易溶盐的性质不同而异，对铁路工程有着不同的影响和危害，详见说明表 7.2.1。

说明表 7.2.1 盐渍土路基病害一览表

盐渍土类别	病害类型	病害特征	病害的产生原因
硫酸盐渍土	松胀	路基表层 0.3 m 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 1 m 左右，个别 3 m 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，边坡坍塌，路肩泥泞不堪	易溶的碳酸盐含量超过 0.3% 时，因钠离子的吸附性作用，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	在一定的低温条件下，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。硫酸盐渍土因盐晶的脱水滞缓，延长翻浆时间；碱性盐渍土因 $\text{Na}^+$ 作用，路面更为泥泞不堪

续说明表 7.2.1

盐渍土类别	病害类型	病害特征	病害的产生原因
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，抗冲蚀能力差
各种盐渍土	基床病害	各种形状的道砟槽、道砟囊等	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

氯盐渍土具有较强的吸湿性和保湿性，若路堤填土中含有的氯盐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的增加，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。但在特定的干旱气候条件下，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的石盐路基和南岸的盐渍土路基，已建成多年，运营良好；盐湖靠近北岸的地段由于地下承压水出露，对路基有溶蚀现象。

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。低于此温度时，过饱和或粉末状的硫酸钠吸收 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：路堤填料中硫酸钠含量超过 2% 时，其膨胀量随含盐量的增加而显著增大，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胀缩变形的主导因素。如兰新铁路疏勒河至吐鲁番区段,20世纪60年代建成初期,硫酸盐渍土路基病害不断产生,每年入冬路基的鼓胀高度达到数十毫米,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,以含碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )为主,其他易溶盐极少。碳酸盐水溶液呈强碱性反应,含有大量吸附性阴离子(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。

20世纪80年代曾对东北的通辽至让湖、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,尤以通辽铁路最为严重。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,要尽量绕避。

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的次生盐渍化,所以采用路堤形式通过盐渍土地区为宜。

### 7.2.2

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,施工及运营养护困难;旁盆地侧又发育着大面积的盐渍土,地下水位高,矿化度大,水质对混凝土圬工亦有化学侵蚀性。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,可供绿化和生活用水,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,是积盐的最活跃阶段,并有地面积水,施工困难,为此,采用了沿敦格公路前进的西方案,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。

7.3.1 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。

7.3.3 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；松胀性盐渍土（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。

7.3.4

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 盐渍土的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，见说明表 7.3.4 所列内容。

说明表 7.3.4 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，似海绵，踏之有陷入感，白色粉末或球粒尝之有苦涩味
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。碱土地表很少生长植物，干燥时龟裂，潮湿时则泥泞不堪

4 盐渍土地区的植物生长和分布，与土的含盐程度和类型、地下水位深度及矿化度等密切相关。利用植物的特点，对查明盐渍土的分布规律、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，要充分利用指示性植物的作用，并掌握如下工作方法：

(1) 收集或研究区域性各种盐渍土的指示性植物的有关资料和本地，熟悉其名称、生态特征。

(2) 对已确定盐渍土类型的地段，要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。

7.4.4 盐渍土地区，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，需加大取土深度至地下水位。

四分法采样：同一规定深度的土样，混合均匀堆成尖椎状，十字划分取出 1/4；再混合均匀堆成尖椎状，十字划分取出 1/4；直到 1/4 的土样和取样的重量大体相当时采取该组土样。

7.5.3 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。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、焉耆等地区观测试验的成果，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) 由于土粒表面静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气态水的扩散运动。

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。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直接观测法：在试坑开挖晾晒1~2 d后，直接观测坑壁表面的干湿变化情况，量测变化明显处至地下水位距离，即为毛细水强烈上升高度。

**7.5.4 地表土层1.0 m深度内平均含盐量及含盐成分**，是判定盐渍土地的依据。为统一计算方法，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的天然情况。

现根据某铁路盐渍土分析报告，举例计算平均含盐量（总含盐量），平均含盐成分，见说明表 7.5.4—1 和说明表 7.5.4—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。

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，建议按对工程危害较大者定名；在处理措施上则要综合考虑。

说明表 7.5.4—1 盐渍土分析报告

送样单位： 工程名称： 线 段 测 报告编号： 报告日期：

试验编号	90 ± -25	90 ± -26	90 ± -27	90 ± -28	90 ± -29	测 定 结 果					
	C <sub>γ</sub> ± -114 CK0 + 500 右 20 m 0 ~ 0.05	C <sub>γ</sub> ± -115 CK0 + 500 右 20 m 0.05 ~ 0.25	C <sub>γ</sub> ± -116 CK0 + 500 右 20 m 0.25 ~ 0.50	C <sub>γ</sub> ± -117 CK0 + 500 右 20 m 0.50 ~ 0.75	C <sub>γ</sub> ± -118 CK0 + 500 右 20 m 0.75 ~ 1.00	mmol/kg	mg/kg	mmol/kg	mg/kg	mmol/kg	mg/kg
项目基本											
单元 B											
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.14	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.85	0.18	0.31	18.9	20.1	0.33	20.1	0.33	20.1	0.31	18.9
Cl <sup>-</sup>	78.43	35.81	6.58	233.3	211.6	5.97	211.6	5.97	211.6	5.31	188.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	111.32	81.15	13.92	1336.7	1325.6	13.80	1325.6	13.80	1325.6	11.89	1142.2
Ca <sup>2+</sup>	6.33	5.57	5.69	228.3	205.8	5.14	205.8	5.14	205.8	3.37	134.9
Mg <sup>2+</sup>	16.25	5.97	1.27	30.7	33.8	1.3	33.8	1.3	33.8	0.81	19.7
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	267.97	60.83	20.82	520.5	482.0	19.28	482.0	19.28	482.0	22.35	558.8
阴阳离子总和 Σ (B + A)	481.29	129.72	48.59	2368.4	2278.9	45.91	2278.9	45.91	2278.9	44.04	2062.7

续说明表 7.5.4—1

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/ 1 000 g 土)	$\frac{[2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)]}{[c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})]}$				
分层定名	超亚硫酸盐渍土	超硫酸盐渍土	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: $\overline{\text{DT}} = \frac{20.86 \times 0.05 + 5.81 \times 0.20 + (2.36 + 2.27 + 2.05) \times 0.25}{0.05 + 0.20 + 0.25 \times 3} = 3.875\%$ 查本规程表 7.1.3—2, 属强盐渍土 含盐性质分类判别: $\frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{78.34 \times 0.05 + 35.81 \times 0.20 + (6.58 + 5.97 + 5.31) \times 0.25}{2[111.32 \times 0.05 + 81.15 \times 0.20 + (13.92 + 13.80 + 11.89) \times 0.25]} = 0.245$ 查本规程表 7.1.3—1, 属硫酸盐渍土 最后评价为: 强硫酸盐渍土 从本表看出, 土中 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 含量极少, 不可能出现碱性盐渍土定名, 故不必做 $[2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)] / [b(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})]$ 的定量计算				
填表:	复核:	审核:	单位 (章)		

说明表 7.5.4—2 盐渍土分析报告

送样单位:  
工程名称:

线 段 测

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 <sub>7</sub> 土 -110	C <sub>7</sub> 土 -111	C <sub>7</sub> 土 -112	C <sub>7</sub> 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	测 定 结 果				
单元 B	mmol/kg	mg/kg	mmol/kg	mg/kg	mmol/kg
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.24	14.1	0.12	7.4	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.73	44.5	0.25	15.3	—
Cl <sup>-</sup>	89.31	3 166.0	24.09	854.0	23.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	103.10	9 903.8	21.28	2 043.7	193.6
Ca <sup>2+</sup>	6.07	243.3	6.07	243.3	1 172.6
Mg <sup>2+</sup>	19.97	436.5	4.46	108.3	195.8
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	254.94	6 373.5	44.72	1 118.0	28.8
阴阳离子总和 Σ (B + A)	472.36	20 181.7	100.99	4 389.8	421.0
			47.04	2 338.4	2 034.8

续说明表 7.5.4—2

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/ 1 000 g 土)	$[2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)] / [c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})]$								
	$c(\text{Cl}^-) / 2c(\text{SO}_4^{2-})$								
分层定名	0.43		0.57		0.20		0.22		
	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: $\overline{\text{DT}} = \frac{20.16 \times 0.05 + 4.38 \times 0.20 + (2.33 + 2.02) \times 0.25}{0.05 + 0.20 + 0.25 \times 2} = 3.96\%$								
	查本规程表 7.1.3—2, 属强盐渍土								
	含盐性质分类判别: $\frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{89.31 \times 0.05 + 24.09 \times 0.20 + (5.72 + 5.46) \times 0.25}{2 \times [103.10 \times 0.05 + 21.28 \times 0.20 + (14.06 + 12.21) \times 0.25]} = 0.378$								
	最后评价为: 强亚硫酸盐渍土 从本表看出, 土中 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 含量极少, 不可能出现现碱性盐渍土定名, 故不必做 $[2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)] / [c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})]$ 的定量计算								

单位 (章)

审核:

复核:

填表:

7.5.5 盐渍土路基基底和路基填料的容许含盐量, 按照《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035) 的规定, 参照说明表 7.5.5 取值。

说明表 7.5.5 盐渍土路基基底或填料的容许含盐量指标

盐渍土名称	地基或填料的容许含盐量 $\overline{\text{DT}}$
氯盐渍土	$5\% \leq \overline{\text{DT}} < 8\%$ (一般为 5%, 如加大夯实密度, 可提高其含盐量, 但不得大于 8%, 其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
亚氯盐渍土	$\overline{\text{DT}} \leq 5\%$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
亚硫酸盐渍土	$\overline{\text{DT}} \leq 5\%$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
硫酸盐渍土	$\overline{\text{DT}} \leq 2.5\%$ (其中硫酸钠的含量不得大于 2%)
碱性盐渍土	$\overline{\text{DT}} \leq 2\%$ (其中易溶的碳酸盐含量不得大于 0.5%)

- 注: 1 路堤基床不得采用盐渍土作填料, 基床以下不可采用石膏土作填料。  
2 在干燥度大于 50, 年平均降水量少于 60 mm, 年平均相对湿度小于 40% 的西北内陆盆地, 当无地表水浸泡路堤填料和地基土的条件时, 可不受氯盐含量的限制。

7.5.6 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) 地表盐分迁移规律: 氯盐溶解度大, 不受温度的影响, 分布在盐湖周边; 当地表出现硫酸盐渍土时, 则说明表层退盐作用在产生和发展中, 分布在盐渍土场地的中部; 碱性盐渍土分布在盐渍土场地的外边缘。



(5) 水库周边地下水位壅升, 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, 逐渐使地表土层产生次生盐渍化。

**7.6.1 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。

**7.6.2 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, 要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。

**7.7.1 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。

具备上述条件, 才能使埋藏不深且矿化度高的地下水, 沿孔隙上升并不断蒸发, 而导致盐分聚积于地表形成盐渍土。在土层的盐渍化过程中, 盐分的积累和溶失交替发生, 这一过程明显地表现在季节性积盐和脱盐上。在干旱季节, 地下潜水矿化度高, 地面水强烈蒸发, 地表积盐显著增加, 形成“泛盐期”; 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。

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

水强烈上升高度、最大冻结深度、蒸发强烈影响深度是确定盐渍土路堤最小高度的依据, 初测阶段要初步查明, 以便为代表性设计工点提供这些参数。

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的含盐量及含水率变化较大, 如说明表 7.7.1 所示。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, 在雨季勘察时有必要复查或访问旱季地表的泛盐情况。

说明表 7.7.1 兰新铁路盐渍土路段含盐量变化实测表

兰新铁路通过准噶尔盆地地段采样、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

**7.7.2 盐渍土地段的勘探点**需尽量结合桥涵工点布置, 对于盐渍土路基也要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察的实践经验提出的。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, 勘探点的间距不建议大于 500 m。

**7.8.2 硫酸盐渍土作低温膨胀试验, 碱性盐渍土作湿化试验**, 一般适用于重要建筑物 (含区段站以上的大站) 的勘察, 其成果作为工程处理的依据。

**8.1.2 多年冻土的分类**, 按照具体情况确定:

**1 高纬度多年冻土**一般指纬度 48°至极地之间分布的多年冻土, 中国主要分布在东北大、小兴安岭和西北的阿尔泰地区, 面积约  $39 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 高海拔多年冻土主要分布在西部的青藏高原和喜马拉雅山、天山、祁连山和东北的长白山, 面积约  $150 \times$

$10^4 \text{ km}^2$ 。

2 连续片状多年冻土指冻土的分布区域面积广大；岛状融区是在多年冻土区内有岛状融区分布；岛状多年冻土指呈孤岛状分布在不冻区域内部较小面积的多年冻土块体。

3 不衔接多年冻土指在剖面上冻土层的上限和季节冻土层的下限不衔接，中间有一层不冻结层。

4 多年冻土含冰量的多少，在环境温度发生改变时，直接与土层融沉、冻胀的尺度大小相关，对建筑地基的稳定性影响极大，因此细分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层、纯冰层；其划分标准参照《铁路工程岩土分类标准》(TB 10077)。

5 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 8.5.5—1 和表 8.5.5—2 中的数值时，将会强烈地影响冻土的强度特性。这是因为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，导致未冻结水的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，单独基础与桩端的承载力降低  $1/5 \sim 1/3$ ，基础侧表面的冻结强度降低  $1/4 \sim 1/3$ 。同样，泥炭化冻土的强度指标也有类似问题，在冻土工程地质勘察时，亦要慎重的按规定取值，或专门进行原位测试确定。

## 8.2

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 8.2.1 条～第 8.2.3 条均为东北大小兴安岭及青藏高原多年铁路勘察的经验总结。特别是通过东北大、小兴安岭、牙林和嫩林铁路从勘察设计、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 8.2.1 条规定尽量避免或减少浅挖、低填、零断面地段的长度，是因为这些地段的路基容易产生冻胀、融沉等病害，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要多填少挖，尽量避免或减少浅挖、低填地段的长度，绕避和缩短具有不良多年冻土现象的地段，把线路选择在地基上。

充分考虑斜坡不对称路堤地热条件的改变对路基稳定的影响。

8.3.3 多年冻土地质调绘内容，主要是参照《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)，并且作了少量补充。

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，冻土层厚度较薄，体积含冰量较少，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。例如地表森林覆盖、塔头草茂密或厚层苔藓覆盖的低地沼泽，即属保温良好；土石裸露、植被稀疏的阳坡保温最差。

4 查明冻土总含水率，需要分段取冻土样品做试验确定。总含水率是划分和确定多年冻土类别的主要指标，即划分少冰冻土（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。在弄清地下水情况后，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，整治及处理工程耗时数年；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。所以要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。青藏线证明,隧道衬砌防水措施到位,可以杜绝地下水冻害。

**8.4.1** 物探优先选用和多年冻土勘察相适应的地震、电法和地质雷达等方法,配合钻探或坑探,查明多年冻土的类型与边界、天然上限深度、地下冰的厚度及分布范围、地下水的埋藏条件、融区的类型及边界,提供多年冻土的波速、动弹性模量等参数。

挖探虽能直观冻土的结构、构造和地下冰的分布特征,但不利于高原的生态恢复,因此挖探要慎用。

**8.4.5** 多年冻土地区的勘探、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为3~4月。

**2** 桥涵、挡土墙按保持冻结的原则设计时,其勘探深度需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,因此勘探深度要适当超过设计的人为上限深度,查清基础底面以下有无冰层,遇有饱冰冻土或含土冰层时还要酌情加深。

人为上限值可以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。勘察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。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的研究成果,第2项中规定“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、中桥建议大于3.5倍天然上限,且不得小于20 m;对小桥涵和挡土墙建议大于2倍天然上限,且不得小于12 m”。

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,对基底融化盘的变化规律已基本掌握。但大跨度的建筑还很少研究,对其底融化盘的深度及规律尚不了解,因此需与有关专业共同根据具体情况研究决定。

根据青藏铁路的做法,多年冻土地区隧道如遇有地下水时,一般采用泄水洞或保温水沟排水,因此其勘探深度需至泄水洞或保温水沟基础以下4~5 m。

**4** 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。按工程的要求和现场条件,还可采取保持天然含水率并允许融化的原状冻结土样以及扰动土样。

保持天然冻结状态的土样采取,主要受控于钻进方法、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的地层,不受钻进方法的扰动或压力作用所产生的热力影响。要求取样前要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)。取出的冻结土样要及时装入具有保温性能的容器或专门的冷藏车内送验。

**8.4.6** 特殊设计需要的多年冻土导热系数、导温系数、容积热容量、比热等热学参数,可专门试验确定。

8.5.4 多年冻土的地温分区，采用科研单位的最新研究成果，经青藏铁路的勘察设计实践，证明地温分区对采取工程措施具有指导意义。

8.5.5 本规程附录 C “多年冻土含冰量与融沉性分类对照表”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。

(1) 含冰量的分类原则

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 既适用于多年冻土也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。

(2) 融沉等级划分原则

I 类：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：为多年冻土较好的地基土，融化下沉量不大。

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

IV 类：往往会造成建筑物的破坏，建议采用保持冻土状态的原则设计或采用桩基等。

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

多年冻土地基的工程分类主要以融化下沉为指标，说明表 8.5.5 在一定程度上反映了冻土的构造和力学特征。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%。此修订结论经青藏铁路的勘察设计实践证明是可行的。

说明表 8.5.5 冻土的融沉性与冻土强度及构造的对应关系

融沉性分级		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 $\delta_0$	$\delta_0 \leq 1$	$1 < \delta_0 \leq 3$	$3 < \delta_0 \leq 10$	$10 < \delta_0 \leq 25$	$\delta_0 > 25$
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 $\omega_A$		$\omega_A < \omega_p$	$\omega_p \leq \omega_A < \omega_p + 4$	$\omega_p + 4 \leq \omega_A < \omega_p + 15$	$\omega_p + 15 \leq \omega_A < \omega_p + 35$	$\omega_A \geq \omega_p + 35$

一般对 I、II 级融沉 ( $1 \leq \delta_0 < 3$ )，建筑物结构设计时，无须考虑多年冻地基融沉的影响。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。

(3) 季节冻土或多年冻土季节融化层地基土的冻胀，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。

影响地基土冻胀的地下水深度和与各类土毛细水上升高度有关的临界深度。黏土、粉质黏土的临界深度为 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，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。

**5** 《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)附录 A “表 A.0.1 岩土施工工程分级”系统,没有考虑第四系地层多年冻土的施工难度。本规程表 8.5.5—3 第四系地层多年冻土的岩土施工工程分级,采用自铁道部《青藏铁路多年冻土工程地质勘察暂行规定》,经青藏铁路的大规模施工验证,证明是切实可行的。

**8.5.7** 季节冻土的分类目前没有查到国内外的统一规定,冻土学术界认为:0~1 m,浅季节冻土;1~2 m,中季节冻土;大于 2 m,深季节冻土。工程技术界的学者认为,大于 1.5 m,即为深季节冻土。本规程的深季节冻土深度,建议按大于 1.5 m 考虑。

**8.6.1** 冻土地质资料系指科研、勘察、设计单位有关多年冻土的科研报告、专题论著、技术总结等,通过上述资料了解、研究多年冻土的分布、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;不良冻土现象的产生过程和成因;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。

**8.7.2** 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的温度状况和变化规律,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。

在专门的地温观测孔钻探时,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。当钻孔达到预定深度后,建议立即进行首次地温观测,以了解地温逐渐恢复平衡的全过程和评价冻土的稳定性。

**8.7.3** 多年冻土的工程性质除取决于它的岩性成分外,还取决于它的含冰量、结构和温度,以及设计时采用的保持冻结的设计原则或允许融化的设计原则。因此,从工程角度看,多年冻土在平面和剖面上的变化比非多年冻土要复杂得多。为了查明多年冻土的条件及其对工程的影响,其勘探点的数量和深度较一般地区要大。

**8.8.2** 多年冻土区的工程实践表明,路基工程对多年冻土的热力影响深度,一般在 1~3 倍的上限深度范围内。因此要查明路基基底 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要给予足够重视,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。若在多年冻土区取土,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,多年冻土的融化将引起严重的地面下沉,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要从保护冻土地质环境出发,合理布置,严格控制。

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。为了减少对多年冻土的热干扰,保护冻土的地质环境建议集中取土。取土场需远离线路,在取土场调查时,要查明取土地点多年冻土的特性,而后确定取土范围和深度。

**8.8.3** 多年冻土区的大河河道,一般均有融区存在。融区按剖面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,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。但桥头引线设计要注意冻土向融土地段的过渡。若为一般非贯通融区,则可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。

**8.8.4 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，地下水危害是其主要原因。由于地下水侵入隧道，造成衬砌开裂、掉块、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，致使衬砌开裂，洞内漏水挂冰侵限，导致无法通车。该隧道在查明地下水、修建了泄水洞后，消除了病害。又如嫩林线（嫩江—西林吉）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、挂冰，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，要着重查明多年冻土的水文地质条件。

**9.1.1 按照堆填方法和堆填目的不同**，填土分为人工弃土、人工填土和填筑土三个类型。人工弃土是由人类生产、生活所废弃的物质，无计划地堆弃或填埋而成，例如铁路、公路路堑、隧道的施工弃方，开发矿产的剥离土层，生活垃圾场的垃圾等，是一种未经压实的堆积土。人工填土和填筑土是人类为某种生产或改造自然的需要，有目的、有计划的堆填、夯实、碾压各种土在预定的位置，例如城市、工厂的建筑场地，大规模平整农田时的填低场地，以及铁路、公路路基、城墙墙体或大型建筑的土质地基，填土的成分和填土方式具有一定的规律性。

**9.1.2 填土的分类和自然形成各类土相比**，多而复杂。

杂填土的成因十分复杂，近些年随着经济社会的发展，杂填土的堆填方式又有新的形式，如坑填垃圾土、垃圾填埋场垃圾土等。

所谓坑填垃圾土，是指在原取土坑、采砂采石坑等人工形成的坑内，从地形高处向下随意倾倒垃圾形成的杂填土。除具有厚

度变化大、成分混杂、填料分布不均匀、固结程度差异大等特点之外，还具有因“重力分筛”作用形成的下部杂填土的颗粒粗、上部颗粒细，杂填土的上层和下层的力学性质差异很大。

当代城市垃圾填埋场的杂填土一般为城市生活垃圾组成，其成分非常复杂，常具有地域特点且与当地的经济社会发展水平、生活习惯等有关。时间较长的杂填土，生活废弃物中的有机物一般已经腐烂变质，颜色呈黑色，有臭味，肉眼已无法辨别其成分。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。

由于生活垃圾的降解过程一般比较缓慢，并伴随一系列物理及化学变化，产生沼气等有害气体或有害渗滤液，污染填埋场附近的地下水水质，并可能导致地面发生较大的沉降，从而对工程造成较大的不良影响，因此必要时要对大型生活垃圾填土进行详细分类，其分类方法可参照有机土的分类方法。

冲填土的类型也比较复杂。在沿海、沿江地区的冲填土，其一是由于整治港口或疏浚江河航道，用高压泥浆泵抽取河底泥砂，通过输泥管排送到可以弃置或需要填高的地段，经过沉淀排水后形成大片冲填土层；其二是专门抽取河道泥沙，充填、抬升河岸附近湖、塘等低洼地，改造为生产或建设用地；在某些使用水力选矿的矿山、产生大量细颗粒灰渣的火电厂、化工厂等设置的尾矿坝、灰渣池沉积物，本质上也是一种冲填土；在某些山区河谷，农民改造河道，截湾筑坝造田时采用的引流到高坡冲刷山坡泥沙，冲填、沉淀到拦河坝等预定区域的沉积物，也是一种冲填土的类型，这种冲填土和洪积层相类似。

**9.2.1 填土地区线路和建筑物位置选择的基本原则是**：在保证既有建筑物和新建路基、建筑物稳定的前提下，选择填土稳定性较好或稳定性虽然稍差，但经过采取措施后即能保证稳定的地段。符合上述要求的人工填土有：弃、填多年的素填土、冲



(吹)填土、建筑垃圾杂填土、性能稳定的工业废料杂填土,上述类型的人工填土经过冻融、浸水的反复作用,自重固结程度较好,地基承载力一般可以达到 60~150 kPa。

在既有现代矿山尾矿堆积场、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,对填土地段的斜坡稳定性,要进行工程地质条件评价,预防溃坝、滑坡、泥石流的威胁。

**9.2.2 大型尾矿坝、弃渣场的溃坝泥石流、渣堆滑坡是一种现代工业化生产带来的新的地质灾害。近年来这类事故的典型案例如下:**

(1) 2006 年 4 月 23 日,河北省迁安市庙岭沟铁矿尾矿库发生溃坝事故,有 6 人被泥石流掩埋。

(2) 2006 年 4 月 30 日,陕西省镇安县黄金矿业有限责任公司对其尾矿库实施加坝增容施工时,部分主体坝垮塌,奔涌而出的尾矿泥浆将坝下 9 户群众 40 间房屋吞噬,造成 17 名群众下落不明,5 名群众受伤。

(3) 2008 年 8 月 1 日山西太钢公司尖山铁矿位于娄烦县寺沟村山坡高处的弃砵土场,发生弃砵堆滑坡事故,滑坡摧毁坡下民房及掩埋抢救矿渣人员,初步认定 41 人在此次事故中遇难。

(4) 2008 年 9 月 8 日,山西襄汾县新塔矿业公司尾矿库突然溃坝。溃坝事故泄洪容量为 268 000 m<sup>3</sup>,混杂着矿渣的泥水流从 100 多米高的半山腰狂泻而下,泥石流覆盖面积 30.2 公顷,波及下游 500 m 左右的矿区办公楼、集贸市场和部分民宅,损坏大量建筑物,造成居民 254 死 34 伤的特大灾害事故。

**9.3.2 对人工填土地段进行调绘,目的在于确定人工填土的类型、厚度,并评价其作为天然地基的适宜性,根据填土地地的具体情况,提出有针对性的工程措施建议。**

填土的成分和堆填方式,可决定人工填土的类型。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。

**9.4.2 通过勘探、测试手段来了解填土的结构和成分、厚度、物理力学性质,以便进行填土地地的工程地质评价,为地基处理提供相关参数。**

作为路基基底和建筑物地基来讲,不同工程对填土地基的要求也不相同,要根据工程类型和地基沉降检算的需要合理确定勘探深度。

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 1~2 m。断面间距可参考现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021)第 6.5.3 条的要求确定。

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

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。

**9.5.3 填土的弃置年限及填土的土质成分,对填土的密实程度有密切的影响,粗颗粒土在自重压力下所需的压密时间较细粒土所需时间要短。一般认为填土堆积 5~10 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的类型及密实程度,一般情况填土的形成年限愈长,其承载力愈高。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。

**9.5.4 填筑土地地具有可靠的设计、施工资料和验证性勘探测试数据,承载力或稳定性满足设计要求时,可作为建筑、构筑物 and 路基的人工地基或天然地基直接使用。**

**10 “盐岩及盐渍岩”**是本次规程修订时的新增章节。2007 年 10 月 9 日,成都《铁路工程特殊岩土勘察规程》编制大

纲审查会议的专家意见提出,在《铁路工程特殊岩土勘察规程》中“增加‘岩盐(膏岩)’章节内容”。经编制组研究,石盐、石膏地层,在青藏线都有长距离、大范围的遇见,而且石膏地层在雁石坪路段造成了严重的路基岩溶塌陷病害。石膏、硬石膏地层曾造成成昆铁路百家岭、沙木拉达、法拉、黑井等隧道的地质病害,都是典型的盐岩引起工程病害的实例;芒硝地层在柳敦铁路选线时已有接触,虽然厚层天然碱地层在铁路勘察项目中尚无报道,但兰新铁路西段的艾比湖是新疆著名的咸水湖,艾比湖水盐、芒硝和碱的含量都很高,滨湖铁路有遭遇盐、碱灾害改线的记录。本着未雨绸缪的原则,本规程增加盐岩及盐渍岩一章是完全必要的。

现行《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012)在“6 特殊岩土工程地质勘察”中新增“6.5 岩盐”一节,本规程根据编制大纲的专家意见,将岩盐一节作了适当的扩充,并将“岩盐”一词置换为“盐岩”,涵盖各种化学沉积岩组成的特殊岩类,其理由说明如下:

(1) 在化学分类上,酸根离子和金属离子组成的化合物叫盐。因此盐岩是碱金属类(含镁盐)卤素矿物组成岩层的总称,在岩石学的范畴属化学沉积岩;在矿产地质学上,由于盐岩的生成和蒸发作用密切相关,因此也叫蒸发岩。

(2) 岩盐就是石盐,别称食盐、盐、钠盐、原盐、山盐、井盐、湖盐、氯化钠等,为蒸发岩的代表矿物之一,化学分子式NaCl,Na的理论含量39.34%、Cl含量60.66%。晶体常呈立方体贝壳状断口,性脆,硬度2~2.6,密度2.1~2.2 g/cm<sup>3</sup>,易溶于水。

(3) 盐岩是化学沉积岩的一个复杂类型。在极度干热环境的封闭凹地或湖塘,由于地表水、地下水的补给和蒸发不平衡,根据流域周边地层岩性淋出物质的不同,集聚的地表水逐渐浓缩形成不同化学成分的高矿化度卤水,因水分蒸发而结晶,最后形成

的化学沉积岩,常见的矿物有石膏(Gypsum)、硬石膏(Anhydrite)、石盐(Halite)、天然碱(Trona)、芒硝(Mirabilite)、无水芒硝(Thenardite)、钾盐(Sylvite)、光卤石(Carnallite)等。

第四系常见的石盐、石膏、芒硝、天然碱结晶体等为半成岩化学沉积层;第四系前基本成岩的盐岩、石膏、硬石膏、天然碱等属于易溶或中溶的化学沉积岩。这些化学沉积层的共同特征是在干旱环境下强烈蒸发结晶成层产出,和红层有不可分割的联系。裸露地表的一般和第四系的盐湖、碱湖及盐渍岩土伴生;间夹于砂岩、泥岩、页岩等沉积岩层中时,遇水具有强烈的喀斯特岩溶现象;而且硬石膏、无水芒硝等还具有膨胀岩的特性;盐岩地区的地下水溶液一般对地下工程的钢筋混凝土结构具有程度不同的化学化学侵蚀性。

**10.1.1 盐岩沉积层**主要指天然石盐、石膏、芒硝、碱的结晶体。第四系以来新近沉积的膏盐碱地层,主要分布于干旱地区干涸的盐湖、碱湖地表或有水盐湖、碱湖卤水下。第四系前盐岩地层主要以夹层状分布于新生界沉积砂岩、泥岩、页岩或石灰岩地层中。干旱季节盐湖、碱湖水面蒸发,促使矿物质浓缩结晶,盐岩具有一定的晶体结构和力学强度;在雨季湖面降水或有淡水补给后,膏盐碱晶体融化形成高矿化度卤水。由于青藏铁路、青藏公路通过察尔汗盐湖,铁路、公路的勘察设计系统对盐湖比较熟悉,但对碱湖比较生疏。为使《规程》具有一定的前瞻性,因此将有关湖水水质分类、天然盐、碱、石膏、芒硝的概况做些介绍,供新开项目收集资料和勘察设计时参考。

湖水以矿化度的大小为依据分为:淡水湖(fresh lake),矿化度小于1 g/L;咸水湖(salt lake),矿化度1~35 g/L;盐湖(saline lake),矿化度大于35 g/L。(中国农业大学的教科书规定矿化度在1 000~10 000 mg/L的湖泊为咸水湖;湖水矿化度大于10 000 mg/L的湖泊为盐湖。青海湖是著名的咸水湖,湖水平均矿化度12.32 g/L,据此规定划分为盐湖)。中国在西藏、青海、



新疆、内蒙古等其他 10 个省区分布有面积  $1 \text{ km}^2$  以上的盐湖 800 多个。青海的盐湖主要分布在柴达木盆地，有察尔汗、茶卡、达布逊、大柴旦、小柴旦等 30 多个盐湖，湖中含有 40 余种化学成分的卤水（矿化度大于  $50 \text{ g/L}$ ），是我国无机盐工业的重要宝库。盐类的形状十分奇特，有的像璀璨夺目的珍珠，有的像盛开的花朵，有的像水晶，有的像宝石，因此才有珍珠盐、玻璃盐、钟乳盐、珊瑚盐、水晶盐、雪花盐、蘑菇盐等许多美丽动人的名称。青藏铁路通过的察尔汗盐湖，东西长  $168 \text{ km}$ ，南北宽  $48 \text{ km}$ ，察尔汗是中国第一、世界第二（仅次于美国盐湖城盐湖）的大盐湖，最大盐层厚度  $23 \text{ m}$ ，盐资源总储量多达 600 多亿 t。铁路 K720 + 300 ~ K752 + 680 段长约  $32.38 \text{ km}$  通过盐湖，石盐层厚  $3 \sim 17 \text{ m}$ 。和察尔汗盐湖铁路并行的敦煌—格尔木公路号称“万丈盐桥”。

天然的矿物碱，主要来自碱湖和固体碱矿。通常所说的天然碱，是指主要化学成分为碳酸钠和碳酸氢钠的矿物聚合体。倍半碳酸钠（ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），是常见的典型天然碱矿物，故有时专称它为天然碱，又叫做碱石。我们知道，碳酸钠和碳酸氢钠都是无机盐，只因溶于水产生氢氧根离子  $\text{OH}^-$  显强碱性，才称为碱。我国已发现天然碱矿产地有 152 处，储量近 4 亿 t。以内蒙古的碱湖最多，西藏高原是现代盐碱湖的集中地。河南的吴城碱矿，是我国储量最大的矿床，其次是内蒙古的查干诺尔碱矿。

河南省桐柏县吴城天然碱矿，含矿面积  $4.66 \text{ km}^2$ ，矿区  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  平均品位 41.68%，碳酸钠储量 1 769.5 万 t。含矿层位为老第三系核桃园组，埋深  $642.76 \sim 974.78 \text{ m}$ ，碱层厚  $0.1 \sim 4.56 \text{ m}$ 。上矿段为含盐天然碱矿段，平均品位 33.96%，分为 4 个矿组 12 个工业矿层。下矿段为天然碱矿段，平均品位 54.9%，分为 3 个矿组 15 个工业矿层；吴城天然碱是世界上第二个发现的古天然碱矿，其储量现为世界第三。排名世界第一的

肯尼亚马加迪碱湖，晶体碱石矿的平均层厚  $20 \text{ m}$ 。

石膏矿在世界上分布广泛，遍布于五大洲 60 多个国家和地区。中国的石膏矿资源分布广泛，已发现矿产地 600 多处，但新疆、辽宁、江西、贵州、吉林等省区可供近期利用的储量少，浙江、福建、海南、黑龙江等省尚无保有储量。规模最大的是山东大汶口盆地，与盐类矿共生的硬石膏矿石储量近 300 亿 t。其次是内蒙古鄂托克旗苏级矿，保有储量 32 亿 t。除历年消耗矿石储量 3 亿 t 外，全国保有石膏矿石储量 576 亿 t，居世界第 1 位。

中国石膏矿床中占 88% 的为单一矿产，也有近 20 处矿产地石膏与盐类矿及硫、铁、铜、铅锌等矿共生。与盐类矿产共生规模最大的是山东大汶口盆地硬石膏矿，其次与钙芒硝共生的石膏或硬石膏矿分布于青海西宁、互助、平安和湖南衡阳、衡南及云南禄劝等地，四川农乐石膏矿共生杂卤石，与铁矿共生的硬石膏矿分布于河北武安、沙河和安徽庐江、马鞍山、濉溪及新疆哈密市库姆塔格等地，山东泰安朱家庄自然硫与石膏共生，安徽贵池东湖硬石膏与铜矿共生，云南兰坪石膏与铅锌矿共生。

芒硝在盐湖、碱湖水中与盐、石膏和碱共生。芒硝又称硫酸钠矿，是含钠硫酸盐类矿物为主要组成的非金属矿产，有固相矿和晶间卤水矿两种。主要工业矿物为芒硝、无水芒硝、钙芒硝。钠芒硝矿一般含硫酸钠 30% 以上，晶间卤水矿一般含硫酸钠  $50 \text{ g/L}$  以上。芒硝是制取硫酸钠、硫酸铵、化学纤维、硫化钠、洗衣粉、硅酸钠、泡沫材料等的重要原料。

**10.1.2 岩石中所含的易溶盐、中溶盐和难溶盐的分类**，参见本规程条文说明第 7.5.6 条。

本规程把“易溶盐的含量大于 0.3%”规定为盐渍岩的含盐量标准，是因为岩石中的易溶盐含盐量超过这个标准，作为基础持力层时，直接和盐渍岩接触的混凝土或钢结构，将受到盐分的影响而发生腐蚀，对基础的使用寿命将有一定的影响。硫酸盐对混凝土的化学侵蚀性原理，是水中的硫酸根（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）通过毛细

作用进入混凝土,和水泥中的钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )结合,形成石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ),由于石膏的体积膨胀而造成混凝土的结构破坏。同理,无水芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )溶液进入混凝土后,结晶形成芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ),芒硝结晶膨胀后的体积理论上可增大10倍,导致混凝土的破坏和腐蚀。

盐渍岩的含盐量标准,国标《岩土工程勘察规范》(GB 50021)统称为盐渍岩土,对盐渍岩未作专门规定。《工程地质手册》第四版、《中国工程地质世纪成就》等专著,盐渍岩的含盐量和盐渍土规定一致。盐渍岩的盐胀、沉降、溶蚀等不良地质因素,对地基的稳定性影响,轻于盐渍土,一般对地基的强度不构成影响。盐渍岩的易溶盐及易溶盐浸出液,对混凝土、钢筋、钢结构等具有化学侵蚀性,盐渍岩的评价重点,是对地基基础、边坡防护、隧道衬砌的化学侵蚀性评价。

盐渍岩的定名,建议在沉积岩的岩石名称前加前缀“盐渍化”,例如盐渍化砂岩,盐渍化泥灰岩,等等。

**10.1.4** 第四系石盐、石膏、芒硝、天然碱的结晶体或半晶体,属半成岩的化学沉积层,一般分布于干旱的现代内陆盆地浅表层,其物理性质极不稳定,具有遇淡水溶解成为高矿化度卤水、而卤水又具有遇蒸发浓缩结晶为固体的特性。盐岩和盐湖、碱湖、盐渍土、盐渍岩具有共生关系和相关的水文地质条件。

**10.1.5** 执行《铁路工程不良地质勘察规程》(TB 10027)“岩溶”的规定,查明盐岩的溶解、溶蚀和岩溶洞穴的发育特征。

执行本规程第5章有关膨胀岩的规定,查明硬石膏、无水芒硝的膨胀性特征。

执行《铁路工程地质勘察规程》(TB 10012)“附录F 环境水、土对混凝土侵蚀性的判定标准”,查明盐岩、盐渍岩的侵蚀性特征。

**10.2.1** 天然盐、石膏、芒硝、碱的结晶体,虽然干燥无水时具有一定的力学强度,一定时期内可以作为地基持力层使用,但有

水时均为物理、化学、力学性能极不稳定的易溶物质,铁路工程遇有此类地层,绕避是铁路选线的最佳原则。

兰新线西段艾比湖畔 K2301 + 000 ~ K2303 + 800、K2326 + 000 ~ K2341 + 800 段以硫酸盐渍土为主,氯盐渍土次之,弱、中、强、超盐渍土均有。虽然在设计施工中采取了相应的工程措施,但出现的新问题是道床碱害,其中 K2333 + 500 ~ K2339 + 800 改线,原因是由阿拉山口刮来的大风,携带大量干涸的艾比湖底含盐碱沙土,逐渐聚集在道床,经吸附空气中的水汽或降水后,与道砟板结成块,道床失去应有的弹性,扣件锈蚀,轨枕容易破损,养路捣固机,甚至大型养路机械都无法养路作业。

青藏线在察尔汗盐湖地段水平如镜,有 32.38 km 长的线路以低路堤铺筑在厚度 3 ~ 17 m 厚的石盐层上,经过近 30 年的运行,除北部边缘承压淡水出露地段有岩溶空洞出现,影响路基稳定之外,没有发生其他地质病害。雨水充沛的年份,在铁路两侧积满高浓度卤水,一条铁路漂浮在一望无际的湖面上,实有万丈盐桥的景象。

**10.2.2** 隧道工程位于含有岩盐、石膏、硬石膏、天然碱夹层的砂岩、泥岩、页岩、泥灰岩地层时,工程修建后一旦水文地质环境有所改变,地下水将引起易溶的化学沉积层溶蚀,轻微的发生岩溶孔洞,降低地基的受力条件;严重的地段,石膏、硬石膏、芒硝、天然碱的淋滤浸出液对混凝土和钢结构具有强化学侵蚀性和膨胀性,膨胀、腐蚀破坏隧道的防水衬砌结构,强度降低,混凝土衬砌破损如豆腐渣样,一旦发生病害整治的难度很大。

石膏岩溶路基塌陷的事例,在既有铁路已有发生的事例:某线发生岩溶塌陷的路段,地层的上部为坡积角砾、碎石土,层厚 8 ~ 20 m,夹有石膏团块;下伏基岩为侏罗系石膏、硬石膏和砂岩、泥岩地层。勘察时间隔 100 m 的钻孔未见溶洞,处理塌陷勘察时发现  $Q_4$  地层及下伏侏罗系石膏层在 10 ~ 20 m 的不同深度处有 0.4 ~ 3.5 m 高的溶洞。



硬石膏地层的膨胀变形和化学侵蚀性病害的典型事例，首推竣工于1966年8月1日，成昆铁路DK196+195全长2 046.52 m的百家岭隧道。百家岭隧道建成通车30余年，隧道衬砌病害时有发生，进行过多次病害整治，均未彻底根除。它的病害特征有两类，其一是膨胀性变形，导致边墙的外鼓，开裂掉块，局部拱顶漏水成线；典型的有DK196+566.6~+588.6段右侧边墙中部外挤量达15 cm，边墙、拱部开裂掉块的尺寸达800 cm×70 cm×10 cm；其二是化学侵蚀性变形，引起混凝土衬砌的大面积失效，结构疏松、鳞片状剥落；条石衬砌地段的水泥砂浆胶结失效的现象。回顾百家岭病害的原因，是勘察设计时工程地质界对硬石膏的工程性能还没有认知，施工单位又误将隧道施工时从隧道开挖出的硬石膏当作白云岩、石灰岩碎石，作为衬砌混凝土的骨料使用，导致隧道在施工还没有结束前，就已经发现衬砌混凝土像生疮一样星星点点的膨胀破坏，经取样化验发现硫酸根含量严重超标，进而才发现T<sub>1</sub>白云岩地层中含有硬石膏。

**10.3.2 盐岩类沉积层**通常形成在蒸发量大于降水量的干热气候条件下，在某些内海、海湾、泻湖或内陆沙漠、半沙漠地带的湖区、封闭洼地，根据盐类的溶解度，盐岩沉淀的先后次序为：石膏或硬石膏、岩盐和其他氯化物，就化学成分而言，从硫酸钙→氯化钠→钾盐及镁盐，依序晶出。

蒸发岩经常与红色砂岩、页岩、粉砂岩类，即所谓的“红层”在一起。根据所含矿物种类的不同，可将蒸发岩划分为石膏岩—硬石膏岩、石盐岩、光卤石岩、钾盐岩、芒硝泥岩等。值得注意的是，陆成的蒸发岩多含硼酸盐矿物、天然碱与芒硝，而海成的蒸发岩则多含硫酸镁化合物，且含钾量也高。

第四系前基岩中的石盐矿石常见的共生盐类有石膏、硬石膏、钙芒硝、无水芒硝、天青石、方解石、白云石、光卤石、钾石盐、杂卤石、天然碱等。据其主要矿物组分含量可分为9种矿石类型：石盐矿石，硬石膏—石盐矿石，泥灰岩—石盐矿石、泥

岩、砂砾岩质石盐矿石，泥岩、砂砾岩质钙芒硝—石盐矿石，泥砾质钾石盐—石盐矿石等。矿石结构一般有自形—半自形结构、中粒—细粒结构（部分粗粒—巨粒结构）、斑晶结构等；在低品位岩盐矿石中可见砂状结构、粉状结构、泥质结构等。矿石构造常有：块状构造、条带状构造、层状构造，其次还有斑状构造、角砾状构造、脉状构造、浸染状构造等。岩盐矿石按品位可分为富矿石，NaCl含量大于85%；中等矿石，NaCl含量为50%~85%；贫矿石，NaCl含量为20%~50%。

石盐可是人们日常食物中不可或缺的一种调味料，同时，它也是重要的化工原料，可以提炼钠和氯，以制造盐酸或其他氯化物；石膏或硬石膏可用来制造消石膏、建筑材料、模型、油漆及水泥添加剂、造纸填料等；钾盐则可作为肥料之用。

**10.4.1 膏盐碱化学沉积层的勘探、测试、取样**，需根据现场条件布置综合勘探，为揭示地层结构，正确评价地质条件，要有一定数量的探坑和钻孔做对比；布置适量的载荷试验、原位动探、标贯试验和室内试验工作量，积累和建立相关的经验，综合分析判定盐岩的工程特性。

**10.4.5 第四系前地层**含有盐岩、石膏、硬石膏、天然碱石、芒硝等夹层时，有无地下水是地层稳定的关键因素。有水则有岩溶、膨胀、化学侵蚀性，地下工程要慎重对待。