

公路工程特殊地基

处理技术

GONGLU

GONGCHENG TESHU DIJI

CHULI JISHU

秦勤 徐建东 程华龙 程友明 编著

合肥工业大学出版社



公路工程特殊地基处理技术

编 著 秦 勤 徐建东
程华龙 程友明

主 审 张庆龙

合肥工业大学出版社

内容提要

公路工程特殊地基问题是影响公路工程质量、造价和工期的重要问题,也是公路建设部门、设计和施工单位经常遇到的难点问题。本书较系统地总结了公路工程中常见的特殊路基、桥基、隧道的处理技术,具有较强的实用性、先进性和可操作性。

本书可作为高等院校公路工程专业的教材和在职工程技术人员的培训教材,还可作为从事土木工程勘察、设计、施工技术人员及科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程特殊地基处理技术/秦勤等编著.——合肥:合肥工业大学出版社,2007.11

ISBN 978-7-81093-677-4

I. 公… II. 秦… III. 道路工程—地基处理 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 165944 号

公路工程特殊地基处理技术

秦 勤 等编著

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	发 行	全国新华书店
地 址	合肥市屯溪路 193 号	版 次	2007 年 11 月第 1 版
邮 编	230009	印 次	2007 年 11 月第 1 次印刷
电 话	总编室:0551-2903038	开 本	787×1092 1/16
	发行部:0551-2903198	印 张	12.25
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	320 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	合肥现代印务有限公司

ISBN 978-7-81093-677-4

定价:26.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

公路是国民经济持续发展的基础,也是衡量一个国家经济实力强弱和现代化水平高低的重要标志之一。进入 21 世纪后,我国公路建设迎来了良好的发展机遇,公路交通建设事业得到了前所未有的发展,公路的修建已不仅仅集中在经济发达的沿海地区和大城市周围,尤其是西部大开发战略和农村公路建设战略的实施,公路已从经济繁荣的城市延伸到地处崇山峻岭的山乡、渺无人烟的沙漠和戈壁、水草丰美的辽阔草原。随着公路的延伸和建设范围的扩大以及现代交通运输对公路质量和运营要求的提高,在公路设计、施工过程中遇到一些特殊地形、土壤、地质和自然气候条件的情况越来越多,也越来越复杂。过去在公路设计施工中很少遇到或未予重视的一些路基工程问题,目前在各种自然环境条件下的公路设计施工中已变得较为常见,一般的路基设计施工技术措施已难以解决这些特殊条件下的路基设计施工问题,因此必须采取特殊的工程技术措施,甚至使用新材料、新工艺、新结构才能满足公路工程质量要求和运营要求,这给公路路基设计、施工、教学和科研提出了新的研究课题。为此,本书根据公路工程地基设计施工中经常遇到的且又特殊的地形、土壤、地质和气候环境条件,结合公路路基设计施工的特点,较系统而全面地介绍了这些特殊自然环境条件下的膨胀土路基、黄土路基、多年冻土路基、软土路基、滑坡地段路基以及崩塌、岩堆、隧道塌方、泥石流、岩溶等病害的处理技术,供从事公路工程 and 土木工程的设计、教学及施工技术人员参考。

本书由秦勤、徐建东、程华龙、程友明编著,南京大学博士生导师张庆龙教授主审。全书由秦勤统稿。本书在撰写过程中参考了大量的相关文献,在此,谨向这些文献的作者一并表示感谢。本书是安徽省交通科技进步计划项目(项目号:2005-05)的主要成果,并由该项目资助出版。

限于编著者水平,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2007 年 11 月

目 录

第一章 膨胀土路基处理技术	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 膨胀土的勘察	(5)
第三节 膨胀土地基评价	(6)
第四节 膨胀土路基施工	(6)
第五节 安徽省江淮地区膨胀土的工程性质研究实例	(14)
第六节 膨胀土病害处理及其实例	(19)
第二章 黄土路基处理技术	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 黄土地基勘察	(34)
第三节 黄土湿陷性评价	(34)
第四节 黄土路基施工	(35)
第五节 工程实例	(46)
第三章 多年冻土路基处理技术	(50)
第一节 概述	(50)
第二节 防治冻胀与翻浆的原则	(57)
第四章 软土路基处理技术	(66)
第一节 软土的概念及鉴别	(66)
第二节 软土勘察	(67)
第三节 软土地基稳定性评价	(68)
第四节 软土的类型及工程性质	(69)
第五节 软土地基常用处理方法	(70)
第六节 常用软土地基处理方法的组合	(72)
第七节 垫层与浅层处理	(73)
第八节 竖向排水法	(77)
第九节 粉喷桩法	(96)

第十节 土工合成材料法	(103)
第五章 滑坡处理技术	(107)
第一节 滑坡的组成要素及分类	(107)
第二节 滑坡的工程地质勘察	(109)
第三节 滑坡稳定性评价	(112)
第四节 滑坡处理与工程措施	(117)
第五节 滑坡的监测	(126)
第六节 工程实例	(127)
第六章 崩塌、岩堆与隧道塌方处理技术	(130)
第一节 崩塌处理技术	(130)
第二节 岩堆处理技术	(139)
第三节 隧道塌方处理技术	(145)
第七章 泥石流处理技术	(149)
第一节 泥石流的勘察	(149)
第二节 泥石流的分类	(150)
第三节 泥石流的防治	(152)
第八章 岩溶处理技术	(165)
第一节 岩溶的形态特征	(165)
第二节 岩溶的形成条件及发育规律	(167)
第三节 岩溶地区工程地质问题及防治措施	(169)
第九章 特殊地基施工技术实例	(172)
第一节 芜湖长江大桥双壁钢围堰大直径钻孔桩施工技术	(172)
第二节 荆竹岭隧道石膏地层施工技术	(178)
第三节 马安大桥岩溶地基的设计与施工	(182)

第一章 膨胀土路基处理技术

膨胀土分布广泛,并对工程建设有特殊危害。我国过去修建的公路一般等级较低,膨胀土灾害问题不太突出。但是,随着近年来高等级公路的兴建,不少地区都遇到了膨胀土施工问题,许多新建公路在施工过程中就开始出现各种变形病害,有的地段土基一边施工开挖,一边溜塌、坍滑,有的地段土基刚刚施工建成,则出现整段土基吸水膨胀软化,地基表层膨胀,导致无法铺筑路面等现象。这种从施工开始就病害不断的膨胀土,如果处理不好,将会造成严重的经济损失,严重影响行车安全。本章针对膨胀土特有的工程特性,重点介绍膨胀土地段的施工方式。

第一节 概 述

一、膨胀土的定义及特征

膨胀土是一种吸水膨胀、失水收缩开裂的特种粘性土;其矿物成分以强亲水性矿物蒙脱石和伊利石为主;在自然条件下,多呈硬塑或坚硬状态,裂隙较发育,常见光滑面和擦痕,裂缝随气候变化张开和闭合,并具有反复胀缩的特性;多出露于二级及二级以上的阶地、山前丘陵和盆地边缘;地形坡度平缓,无明显自然陡坎。主要特征有胀缩性、裂隙性和超固结性。

膨胀土在我国分布范围较广,主要分布于我国广西、云南、四川、陕西、贵州、广东、安徽、江苏、黑龙江和湖南等 20 多个省(区)的 180 多个市、县,总面积在 10 万 km^2 以上。从地理位置来看,我国膨胀土主要集中分布在珠江、长江、黄河中下游以及淮河和海河流域的广大平原、盆地、河谷地段、河间地块、平缓丘陵等地带。膨胀土常呈地毯式大面积覆盖于地表或地表下浅层,与公路建设关系极为密切。

二、膨胀土的判别

膨胀土的判别标准,国内外尚不统一,各行业亦不统一。一般来说,根据工程地质特征,采用现场定性和室内试验指标相结合的方法判别较为合理。在工程中大多采用自由膨胀率 F_s 与其他指标相配合的判别方法。自由膨胀率 F_s 是以一定体积的扰动风干土,在水中增加的体积与原有体积的百分比来表示的土的膨胀性。采用自由膨胀率的缺点是忽略了土的结构性。

1. 初判

根据地形地貌、土的天然结构特征以及膨胀土具有的裂隙性和胀缩性等特征,进行初步判别。

(1)建筑、水电等系统提出的临界判别值

自由膨胀率 $F_s \geq 40\%$;

液限 $w_L \geq 40\%$ 。

(2)铁路系统提出的临界判别值

自由膨胀率 $F_s \geq 30\%$;

液限 $w_L \geq 40\%$ 。

(3)塑性图判别法

塑性图是以塑性指数 I_p 为纵轴,以液限 w_L 为横轴的直角坐标图。《公路土工试验规程》(JTJ 051—1993)对膨胀土的判别为:膨胀土为高液限粘土(CHE),分布范围为 $w_L > 50\%$, A 线以上 $I_p = 0.73(w_L - 20)$ 。

2. 详判

膨胀土分类较为复杂,目前尚难统一。若采用蒙脱石含量和阳离子交换量作为鉴别指标,那么测试较为困难。为解决膨胀土地区路基修筑的关键技术问题,交通部在西部科研项目专门为此立项进行研究。交通部第二公路勘察设计研究院在“膨胀土地区公路勘察设计技术研究”课题中,通过对膨胀土的各种判别分类方法的优缺点以及全国膨胀土工程性质及内在关系研究,初步提出了按标准吸湿含水量和塑性指数进行判别与分类的方法,其标准可参考采用。

标准吸湿含水量的物理意义:在标准温度下(通常为 25°C)和标准相对湿度下(通常为 60%),膨胀土试样恒重后的含水量。标准吸湿含水量与比表面积、阳离子交换量、蒙脱石含量之间存在线性相关的关系。

标准吸湿含水量与比表面积之间的关系式: $w_t = 0.0298x - 0.4214 (R^2 = 0.9724)$;

标准吸湿含水量与阳离子交换量之间的关系式: $w_t = 0.0296x - 0.4917 (R^2 = 0.873)$;

标准吸湿含水量与蒙脱石含量之间的关系式: $w_t = 0.2889x + 0.0918 (R^2 = 0.9945)$ 。

交通部《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)对膨胀土详判采用自由膨胀率、标准吸湿含水率、塑性指数三项指标来进行,见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 膨胀土的详判指标

名 称	判定指标
自由膨胀率 $F_s(\%)$	≥ 40
标准吸湿含水率 $w_t(\%)$	≥ 2.5
塑性指数 I_p	≥ 15

注:当符合表中的两项指标时,即应判定为膨胀土。

表 1-2 膨胀潜势的分级

级 别	非膨胀土	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
分级指标				
自由膨胀率(%)	$F_s < 40$	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
标准吸湿含水率(%)	$w_l < 2.5$	$2.5 \leq w_l < 4.8$	$4.8 \leq w_l < 6.8$	$w_l \geq 6.8$
塑性指数	$I_p < 15$	$15 \leq I_p < 28$	$28 \leq I_p < 40$	$I_p \geq 40$

注：非膨胀土是指土的膨胀特性未达到定义为膨胀土的程度。

三、膨胀土主要工程性质及其对路基稳定性的影响

1. 胀缩性与收缩性

影响膨胀土胀缩性的因素有矿物成分、颗粒组成、初始含水量、压实度及附加荷重等。其中除了矿物成分和颗粒组成的内在因素影响外，初始含水量、压实度及附加荷重的外在因素影响也很大。

(1) 初始含水量的影响

膨胀土的膨胀量与含水量成反比，含水量越小，遇水后土体吸水越多，膨胀量越大。收缩量与含水量成正比，含水量越小，干燥失水后收缩量越小。公路沿线土体的天然含水量是变化的，各处膨胀土的膨胀量和收缩量不是定值，同一种土的膨胀量随当地的含水量变化而变化。

(2) 压实度的影响

采用重型压实标准，由不同压实度下膨胀量试验可知，压实度增大，膨胀量有所增加，而压实度对收缩量影响很小。

(3) 附加荷重的影响

土体膨胀量受附加荷重(压力)控制，压力越大，膨胀量越小，当压力为 0~0.05MPa 时，影响最显著。工程施工中可采用增加上覆压力来减少膨胀量。膨胀土填方路堤因土的自重压力作用，下部、内部的膨胀是很小的，膨胀量大的部位是路堤顶部和边坡表层，路堤破坏往往先从这些地方发生。

2. 抗剪强度特性

(1) 膨胀土胀缩等级的影响

膨胀土随胀缩等级的提高，土体内摩擦角降低，粘聚力却与等级无关。因此，为保证膨胀土路基的稳定性，对膨胀等级不同的膨胀土应加以区别对待，分别采用相应措施，强膨胀土不能作为路基填料。

(2) 含水量的影响

无论哪种等级的膨胀土，含水量减小，摩擦角、粘聚力则随之增大。当最佳含水量收缩到塑限时，抗剪强度成倍地增长。膨胀土变湿时抗剪强度比修筑时小得多，所以，当采用膨胀土修筑的路基边坡无覆盖时，其抗剪强度可能全部丧失，是造成边坡溜坍、坍塌和浅层滑动的主要原因。

(3) 上覆压力的影响

膨胀土随土层深度加大,其摩擦角、粘聚力值也增大。利用膨胀土的这种特性,填筑路堤时应充分考虑增大压力来提高抗剪性,许多路基产生变形从坍肩开始就是由于没有上覆压力而造成的。

(4) 填筑条件的影响

土体填筑干容重越大,抗剪强度越大;含水量越高,抗剪强度越低。但击实土在膨胀后摩擦角和粘聚力的最大值却是出现在最佳含水量击实到最大干容重的条件下。因此,为保证用膨胀土填筑路基在施工中及建成后都具有较高的强度和稳定性,仍应采用在最佳含水量条件下压实到最大干容重来控制施工。

3. 渗透特性

膨胀土的体积变化主要是土中水分变化引起的,了解土的渗透性对分析已成路基和边坡水分变化的原因有重要意义。膨胀土渗透性差,其渗透性与上部压力、土体密实度有关。压实度增大,膨胀性越强的土,渗透性越小。但膨胀土一经暴露于大气,并在风化营力作用下失水收缩开裂,透水性将会显著增大,这点在工程设计中应充分考虑。

四、膨胀土地区的公路病害及原因分析

1. 边坡风化剥落、坍塌和滑坡

无论是用膨胀土填筑的路堤或通过膨胀土地段的路堑,其滑坡都会时有发生,对公路危害较大。路堤滑坡有两种情况:一种是滑动面在用膨胀土填筑的路堤填土内;另一种是滑动面穿过路堤填土和地基土层而发生在地面下的淤泥或膨胀土的软土层内。路堑滑坡体则较易观察。

2. 路面纵向裂缝、溅浆冒泥、沉陷和鼓包

(1) 路面纵向裂缝

在填方路段,因路床填料采用未经改性的膨胀土,在碾压施工中含水量偏大,这是膨胀土产生收缩变形的内在因素。在未对上路堤顶部以上边坡进行有效封闭的情况下,路堤边坡临空条件一致,大气影响也相近,致使路床填料膨胀土在大气影响范围内明显收缩,形成拉开裂缝,并反射到路面结构,形成路面纵向裂缝。

(2) 路面溅浆冒泥、沉陷和鼓包

这种病害在挖方和填方路基均有发生,其原因有:①未对挖方路基的路床膨胀土进行超挖处理;②填高小于1m的路基未挖除地表以下膨胀土;③一般填方路基路床填料采用未改性膨胀土,CBR强度低。这样,在中央分隔带渗水、超高段左侧路缘带边部渗水、边沟渗水和路面结构渗水等综合因素影响下,致使路床膨胀土浸水或含水量增加,路床膨胀土软化或形成泥浆,在行车荷载反复作用下,较强的孔隙水压力造成溅浆冒泥。因渗水致使路床膨胀土软化和干湿循环胀缩变形,在行车作用下发生路面沉陷和鼓包。

第二节 膨胀土的勘察

膨胀岩土地区的勘察要着重注意以下内容:

一、工程地质测绘与调查

膨胀岩土地区工程地质测绘与调查宜采用 1:1000~1:2000 比例尺,应着重研究下列内容:

- (1)研究微地貌、地形形态及其演变特性,划分地貌单元,查明天然斜坡是否有胀缩剥落现象。
- (2)查明场地内岩土膨胀造成的滑坡、地裂、小冲沟等的分布。
- (3)查明膨胀岩土的成因、年代、竖向与横向分布规律及岩土体膨胀性的各向异性的程度。
- (4)查明膨胀岩节理、裂隙构造及其空间分布规律。
- (5)调查地表水排泄、积聚情况,地下水的类型、水位及其变化幅度,土层中含水量的变化规律。
- (6)搜集历年降雨量、蒸发量、气温、地温等气象资料。
- (7)调查当地建筑物的结构类型,基础型式和埋深,建筑物的损坏部位、破裂机制、破裂的发生发展过程及胀缩活动带的空间展布规律。
- (8)调查当地天然及人工植被的分布和浇灌方法。

二、勘探

勘察方法及工作量应根据工程的等级及勘察阶段决定。

- (1)膨胀岩土地区勘探点的深度应考虑基础埋深及土层湿度和土层湿度变化的影响深度,一般不小于 5m,部分勘探点深度小于 8m。
- (2)控制性勘探孔和一般勘探孔均应取岩土试样以测定天然含水量。
- (3)膨胀岩土应测定自由膨胀率、收缩系数以及膨胀压力。对膨胀土需测定 50kPa 压力下的膨胀率。对膨胀岩尚应测定粘粒、蒙脱石或伊利石含量、体膨胀量及无侧限抗压强度。为确定膨胀岩土的承载力、膨胀压力,还可进行浸水载荷试验、剪切试验及旁压试验等。

三、试验

对膨胀岩土除进行一般物理力学性质指标试验外,尚需进行自由膨胀率、膨胀率、收缩系数、膨胀压力等工程特性指标方面的试验。除上述外,为了确定地基土承载力和浸水时的膨胀变形量,还需进行野外现场浸水载荷试验,其试验要求请参阅《工程地质手册》。

第三节 膨胀土的地基评价

一、膨胀土的地基评价

按场地的地形地貌条件,可将膨胀土建筑场地分为两类:

第一类为平坦场地。平坦场地地形坡度小于 5° ;地形坡度大于 5° 小于 14° 且距坡肩水平距离大于10m的坡顶地带。

第二类为坡地场地。坡地场地地形坡度大于或等于 5° ;地形坡度小于 5° ,但同一类建筑物范围内局部地形高差大于1m。

二、膨胀土地基承载力的确定

膨胀土地基承载力的确定可以通过试验法、计算法(根据岩土工程勘察有关规定)、经验法(据已有的地区经验)来确定。

三、坡地膨胀岩土地基稳定性的验算

(1)土质均匀且无节理面时按圆弧动法验算。

(2)岩土层较薄,层间存在软弱层时,取软弱层面为潜在滑动面进行验算。

(3)层状构造的膨胀岩土,如层面与坡面斜交且交角小于 45° 时,验算层面的稳定性。

第四节 膨胀土路基施工

一、膨胀土路堤施工

高等级公路不得已时才允许采用膨胀土或经处理后的膨胀土作为填料填筑路堤。

1. 膨胀土路堤技术要求

(1)膨胀土路堤边坡形式

①直线式:一坡到顶的直线形边坡,适用于用弱膨胀土填筑的低路堤。

②折线式:填土较高或用不同土质分层填筑的路堤,可采用折线形边坡,一般为上陡下缓,但边坡太高则难以保证稳定。

(2)坡度

采用弱膨胀土及中膨胀土填筑路堤,其边坡坡率应根据路堤边坡的高度、填料重塑后的性质、区域气候特点,并参照既有路基的成熟经验综合确定。边坡高度不大于10m的路堤边坡坡率和边坡平台的设置,可按表1-3确定。

表 1-3 膨胀土路堤边坡坡率及平台宽度

膨胀性 边坡高度(m)	边坡坡率		边坡平台宽度(m)	
	弱膨胀	中等膨胀	弱膨胀	中等膨胀
<6	1:1.5	1:1.5~1:1.75	可不设	
6~10	1:1.75	1:1.75~1:2.0	2.0	≥2.0

(3)填方路基

高速公路及一、二级公路路基填土高度小于路面与路床的总厚度,基底为膨胀土时,宜挖除地表 0.30~0.60m 的膨胀土,并将路床换填非膨胀土或掺灰处理。若为强膨胀土,挖除深度应达到大气影响深度。

强膨胀土不应作为路堤填料。

高速公路及一、二级公路采用中等膨胀土作为路堤填料时应经改性处理后方可填筑。弱膨胀土作为路堤填料时,若胀缩总率不超过 0.7%,可直接填筑,并采取防水、保温、封闭、坡面防护等措施。否则,应按公路等级、气候、水文特点、填土层位等具体情况,结合实践经验进行处治。

膨胀土改性处理的掺灰最佳配比,以其掺灰后胀缩总率不超过 0.7%为宜。

路床应采用符合《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)中要求的最小强度和压实度(即表 1-4)的材料填筑。若采用弱膨胀土及中等膨胀土作为路床填料,应经改性处理后方可填筑,改性后的胀缩总率不得超过 0.7%。

(4)路床填料最小强度和压实度要求

根据《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)要求,高速公路及其他等级公路路基填料最小强度见表 1-4。

表 1-4 路床土最小强度和压实度要求

项目 分类	路面底面 以下深度 (m)	填料最小强度(CBR)(%)			压 实 度(%)		
		高速公路、 一级公路	二 级 公 路	三、四级 公 路	高速公路、 一级公路	二 级 公 路	三、四级 公 路
填方 路基	0~0.3	8	6	5	≥96	≥95	≥94
	0.3~0.8	5	4	3	≥96	≥95	≥94
零填及 挖方路基	0~0.3	8	6	5	≥96	≥95	≥94
	0.3~0.8	5	4	3	≥96	≥95	/

注:①表列压实度系按《公路土工试验规程》(JTJ 051)中重型击实试验法求得的最大干密度的压实度;

②当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时,其压实度应采用二级公路的规定值。

当采用细粒土填筑时,路堤填料最小强度应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 路堤填料最小强度要求

项目分类	路面底面 以下深度 (m)	填料最小强度(CBR)(%)		
		高速公路、 一级公路	二 级 公 路	三、四级 公 路
上路堤	0.8~1.5	4	3	3
下路堤	1.5 以下	3	2	2

注:①当路堤填料的 CBR 值达不到表列要求时,可掺石灰或其他稳定材料处理;

②当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时,应采用二级公路的规定。

路堤应分层铺筑,均匀压实,压实度应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 路堤压实度

填挖类型	路面底面 以下深度 (m)	压 实 度(%)		
		高速公路、 一级公路	二 级 公 路	三、四级 公 路
上路堤	0.80~1.50	≥94	≥94	≥93
下路堤	1.50 以下	≥93	≥92	≥90

注:①表列压实度系按《公路土工试验规程》(JTJ 051)中重型击实试验法求得的最大干密度的压实度;

②当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时,应采用二级公路的规定值;

③路堤采用特殊填料或处于特殊气候地区时,压实度标准可根据试验路的状况在保证路基强度要求的前提下适当降低。

强膨胀土不得直接用于填筑路基,但是,由于公路所经膨胀土地区路线长,膨胀土分布范围广,找不到非膨胀土填料时,除强膨胀土外,中、弱膨胀土也可用于路堤填料,但必须采取以下相应的治理措施,增加其稳定性。

①在有多层膨胀土分布的地区,应选择膨胀性最弱的土层用做填料。蒙脱石含量高的白色、灰绿色膨胀土,由于土的亲水性特强,极易风化,强度衰减很快,不能用做填料。

②在有砾石层外露或膨胀土中有结核层分布的地区,应尽可能选用砾石料或结核料填筑路基。

③地表经过风化、流水淋滤和搬运,或已被耕种的表层土,一般膨胀性较弱,可用做路堤填料。但只用于路基下层,而不适用于路床(路面下 0~80cm 范围)。

④高速公路及一、二级公路采用中等膨胀土作为路床填料,应改性处理之后方可作为填料。限于条件,必须直接使用中、弱膨胀土填筑路堤时,路堤填成后,应立即做浆砌护坡封闭边坡;当填至路床底面时,应停止填筑,改用非膨胀土或用改性处理的膨胀土填至路床顶面设计标高,并压实。如当年不铺筑路面,作为封层的填筑厚度,不宜小于 30cm,并做成不小于 2%的横坡。

可用接近最佳含水量的中等膨胀土填筑路堤,但两边边坡部分与路堤顶面要用非膨胀土或经改性处理的膨胀土作为包心填方,外包层一般厚 1.2~1.5m。

⑤对于三、四级公路可直接用中等膨胀土作路基填料。当铺筑有铺装路面、简易铺装路面时,作为上路床填料应进行改性处理。如不得已全用膨胀土填筑时,可将膨胀性强的土填在最下面,膨胀性弱的土填在上面,同一种土填在同一层上,且厚度要均匀,以免引起

不均匀变形。

⑥膨胀土改性处理。膨胀土掺灰改性处理,石灰的剂量一般控制在 $6\%\sim 10\%$ (质量比),掺灰的最佳剂量,应根据公路不同等级对路基不同部位压实度及填表料最小强度的要求通过反复试验确定,经改性处理后,其胀缩总率不超过 0.7 ,自由膨胀率不大于 40% 为宜。

2. 膨胀土路堤施工要点

(1) 膨胀土路基的施工安排

①膨胀土路基施工应避免在雨季进行,并同时加强现场排水,以保证地基和填筑的土方工程不被水浸泡。

②膨胀土路基开挖后,各道工序必须紧密衔接,连续作业,分段完成,路基填筑后,其边坡防护等不能间隔时间过久以免边坡长期暴露,做好膨胀土路基的防水、保湿、防风化工作。

③膨胀土路堤施工前,应就地按规定作试验路段。

(2) 路堤基底处理要点

①应将路堤范围内的树根、灌木全部挖除,把坑穴填平夯实,排除积水,挖除淤泥,切断或降低地下水,清除草皮,清除深度一般不小于 30cm ,彻底清理后,对基底进行压实。

②高速公路及一、二级公路对填高不足 1m 的路堤,须挖去地表 $80\sim 100\text{cm}$ 的膨胀土,换填非膨胀土或改性处理的膨胀土,并按规定压实。

③原基底为过湿土时,应挖去湿软土层,换填砂砾土、砾石土、石碴或将土翻开,掺入石灰或 NCS 固化材料处理。其最佳掺入剂量,仍按上述要求处理。

④地面横坡为 $1:5\sim 1:2.5$ 时,原地面应挖成台阶,台阶宽度不小于 1m ,当地面横坡陡于 $1:2.5$ 时,为防止路堤沿基底滑动,可先将基底分段挖成不陡于 $1:2.5$ 的缓坡,再在缓坡上挖宽 $1\sim 2\text{m}$ 的台阶。

⑤高速公路和一级公路陡坡地段的半填半挖路基,必须在山坡上从填方坡脚起向上挖成向内倾斜的台阶,台阶宽度不小于 1m ,其中挖方一侧,在行车范围之内的宽度不足一个行车道宽度时,则应挖够一个行车道宽度,其上路床深度之内的原地面土应予挖除、换填,并按上路床填方的要求施工。

(3) 路堤填筑与压实要点

①路堤、零填、路堤基底均应进行压实,压实标准按《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)处理。

②最佳含水量与最大干密度标准值的修正。经改性处理后的膨胀土测定的最佳含水量和最大干密度的标准值应进行修正,即实施填筑的含水量大于最佳含水量的标准 $1\%\sim 2\%$,实施填筑最大干密度低于最大干密度的标准值 $0.05\sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$,并且要严格控制路基压实度,每一压实层检验合格后,方可填筑上一层。

③路堤填筑要求连续施工,每一施工段(长度视实际情况酌定)中间施工不暂停。对于已发生的暂停施工,恢复施工时,应采用刮除松层、晾晒、复压等措施,经压实检验合格,再填上层土。如果施工间隔时间较长,不采取防范措施,任其风吹日晒,土基水分蒸发,将

产生干缩现象,易产生裂缝,影响路堤密实度和整体强度。

④路堤与路堑分界处即填挖交界处,两者土内的含水量不一定相同,原有的密实程度也不相同,压实时应达到压实均匀、紧密,避免发生不均匀沉陷。因此,填挖交界处 2m 范围内的挖方地基表面应挖台阶翻松,并检查其含水量是否与填土接近;采用适当的压路机具,压实到规定的密实度。

⑤施工机械与压实工艺。一般以重型履带式铲运机或推土机,清除表层膨胀土,推土机可带松土器,进行翻松、晾晒,用平地机整平。采用三轮静力式压路机(18~21t)先进行碾压基底,达到规定压实度。

为使土块中水分易于蒸发,减少土块本身的膨胀率,有利于提高压实效率,土块应打碎至粒径 5mm 以下,压实土层松铺厚度不大于 30cm。

自由膨胀率越大的土应采用越重的压实机具。因此,分层建筑填平后,配合振动压路机分层碾压,并逐层检查压实度。

压实工作由低一级压实标准转变到高级压实标准(即由 90 区进入 93 区或进入 95 区)时,压实机械的重量与碾压遍数,应根据试验路段提供的数据作相应调整。

⑥压实度不足路段的补强。部分路基由于涨缩循环的影响,或者间隔一段时间再行填筑,而又未能进行复压处理,造成密实度不足的夹层,可用夯击板进行夯实,或用履带式吊车将重 1~3t 的钢板或钢筋混凝土块,吊高 1~3m 进行击实,使其达到规定的压实度。

(4)路堤排水与边坡防护

①路堤排水

路堤排水对于膨胀土地区的路基路面的稳定具有特殊的重要意义。它可使地面径流形成良好的排水网系,防止地面径流冲蚀路基,消除膨胀土湿胀干缩的有害影响。对所有的排水工程都要采取浆砌加固。

②路堤边坡防护

膨胀土路堤边坡的防护,经改性处理或用非膨胀土外包封闭的可按一般路基防护处理。路堤的边坡防护通常采用植被防护和砌石防护。

二、膨胀土路堑施工

1. 膨胀土路堑施工技术要求

(1)膨胀土路堑边坡形式

①直线式

如图 1-1a 所示,一般在土质均匀、膨胀性较弱且边坡高度在 10m 以下的路堑采用。边沟外侧设平台,以防边沟水浸湿软化坡脚,同时避免剥落或溜塌的土堵塞边沟。

②折线式

如图 1-1b 所示,在土质较均匀或下部为砾卵石土、上部为膨胀土时采用。缺点是在变坡处附近易受水流冲蚀,同时临空面增加使土体更易风化。

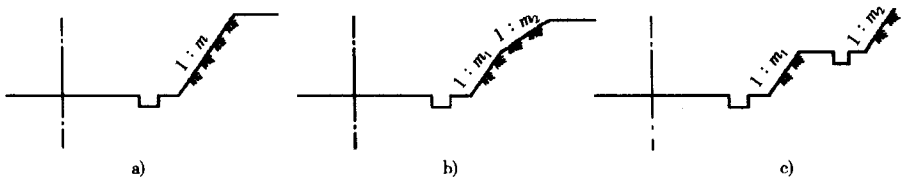


图 1-1 路堑边坡形式
a) 直线式; b) 折线式; c) 平台式

③平台式

如图 1-1c 所示,适用于边坡高度大于 10m 的任何类型膨胀土路基。平台的级数应视路堑边坡总的高度而定。平台的宽度应能保证上一级边坡的起坡线在一级边坡最危险破裂面以外 0.5m,一般不得小于 2.0m。各级平台的位置,在均质土层的单一边坡,可按其高度适当划分;在多种类型膨胀土组成的复合边坡,应按土体结构面设置。

(2)路堑边坡坡度

膨胀土路堑边坡坡度的确定,是一个比较复杂的工程地质问题,膨胀土路堑边坡应尽可能减小挖深。挖方边坡坡形和坡率应符合《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)的有关规定,按膨胀土类别、边坡高度确定边坡坡度,见表 1-7。

表 1-7 膨胀土路堑边坡设计参考值

膨胀土类别	边坡高度(m)	边坡坡度	边沟平台宽度(m)
弱膨胀土	<6	1 : 1.5	1.0
	6~10	1 : 1.5~1 : 2.0	
	>10	1 : 1.75~1 : 2.0	
中等膨胀土	<6	1 : 1.5~1 : 1.75	2.0
	6~10	1 : 1.75~1 : 2.0	
	>10	1 : 1.75~1 : 2.5	
强膨胀土	<6	1 : 1.75	2.0
	6~10	1 : 1.75~1 : 2.5	
	>10	1 : 0.0~1 : 2.5	

高速公路、一级公路除满足上述规定外,还应结合膨胀土斜坡破坏类型、路堑边坡形式及水文地质条件,考虑膨胀土变动强度和强度衰减的特性,对深路堑边坡应进行稳定性验算;层状构造膨胀土,如层面与坡面斜交,且交角小于 45°时,应验算层面稳定性。验算稳定时应取土体沿滑动饱和状态时的抗剪强度值,稳定系数取 1.2。

2. 膨胀土路堑施工要求

膨胀土地区挖方地段,由于路堑开挖,其上部或侧向荷载卸除以后,土体内部应力逐渐释放,孔隙水压力相应变小,再加上边坡开挖以后,增大了土体与大气的接触面,地表水很容易渗入,再被蒸发,形成反复胀缩作用,使土体强度衰退,从而造成边坡溜塌或滑坡等变形,即使施工期间及运营初期不发生变形破坏,经过几个雨季的反复作用,其土体强度大幅下降,仍会产生变形破坏。所以说,膨胀土路堑边坡的处理不是简单的坡比设计,或