

# 公路建设质量通病 分析与防治

黄晓明 张晓冰 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Gonglu Jianshe Zhiliang Tongbing  
Fenxi Yu Fangzhi

# 公路建设质量通病 分析与防治

黄晓明 张晓冰 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了公路工程质量通病的病害分析和防治措施,包括软土地基处理与路基沉降防治、路基稳定与病害防治、沥青混凝土路面病害与防治、水泥混凝土路面病害与防治、隧道结构病害与防治、路基边坡与小型构造物病害与防治、桥梁工程病害与防治等内容。本书以大量调查为基础,对病害产生的原因从理论和实践两方面进行了深入分析与探讨,并详细介绍了病害防治的基本途径和方法。

本书可供从事公路工程设计、施工、监理、检测人员、学习使用,也可供大专院校相关专业师生学习参考。

### 图书在版编目 ( C I P ) 数据

公路建设质量通病分析与防治 / 黄晓明, 张晓冰编著.  
北京: 人民交通出版社, 2002.5

ISBN 7 - 114 - 04281 - 7

I . 公... II . ①黄...②张... III . 道路工程—工程  
质量—质量控制 IV . U415.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031654 号

### 公路建设质量通病分析与防治

黄晓明 张晓冰 编著

正文设计:姚亚妮 责任校对:刘晓方 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:526 千

2002 年 8 月 第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—5000 册 定价:32.00 元

ISBN 7 - 114 - 04281 - 7

U·03141

# 前 言

公路建设质量保证是一个综合的过程,它涉及设计、施工、管理等每一个环节。经过十多年的建设,我国高速公路至2001年底已经达到1.9万多公里,居世界的第二位,在高速公路建设方面已经积累了一定的经验。但是由于我国的气候、交通、管理和运营的特殊性,道路和结构物的质量在某些方面还存在一定的技术问题,有的问题已经成为一种质量通病,如软土地基处理的工程效果、路堤和路堑的局部失稳、沥青路面的早期病害、水泥混凝土路面的断板和唧泥、隧道的渗水、防护工程和小型结构物的破坏、桥梁的裂缝和碳化等。本书通过大量的调查,分析了公路建设质量通病的类型及其产生原因,并提出防治的基本途径和原则方法。

本书第一章介绍地基处理设计、路基设计、路面设计、桥梁设计的基本方法,为阅读本书提供基础知识。第二章介绍软土地基处理的基本方法,尤其介绍粉体喷射搅拌桩的设计与施工管理。第三章介绍路堤设计与稳定性分析方法,重点介绍格栅加筋路基的分析方法,通过某条路出现纵向失稳的处理实例,详细分析了出现纵向失稳的分析和处理设计方法。第四章分析了沥青路面早期病害的种类和产生的原因,从设计、施工、材料应用和管理等方面分析了目前高速公路早期病害的预防和处理的途径,同时介绍了沥青路面加铺层设计和美国优质路面(Superpave)的沥青混合料设计方法。第五章分析了水泥混凝土路面断板产生的原因和防治技术及路面评价的方法,从功能性破坏和结构性破坏两方面提出病害处治的方法和基本原理,同时介绍了水泥混凝土路面加铺层设计的基本方法和工程实例。第六章介绍了隧道结构的主要病害,从防水和排水两方面提出处治隧道病害的技术。第七章介绍了防护工程和小型结构物的主要病害,对土质边坡和石质边坡的病害处治技术进行分析,同时介绍小型结构物的主要病害处治技术。第八章主要介绍公路桥梁的主要病害的处治技术和分析方法。

本书第一章至第四章由东南大学黄晓明编写;第五章至第八章由河南省交通厅张晓冰组织编写,并负责统稿。全书由黄晓明负责统稿。参加编写的还有河南省交通厅李强、高建立同志,焦作市公路局李小对、许昌市公路局孙泰周同志等。

由于经验和时间的限制,本书难免有不周之处,敬请读者批评指正。

编著者

2002年2月

# 目 录

第一章 概述	1
第一节 地基与地基处理概述	2
第二节 路基设计概述	8
第三节 路面设计与施工概述	21
第四节 桥梁设计与施工概述	37
第二章 软土地基处理及路基沉陷防治方法	44
第一节 软土地基路堤的主要变形破坏及关键技术	44
第二节 软土地基沉降与沉降计算	47
第三节 软土地基的处理方法	60
第四节 公路路基沉降的防治与对策	79
第五节 公路路基与桥梁等结构物差异沉降的防治与对策	84
第三章 路基稳定与病害防治	90
第一节 软土地基路基稳定与病害防治	90
第二节 高填方路基稳定与病害防治	132
第三节 土石混填路基与病害防治	139
第四节 特殊地基路基与病害防治	150
第四章 沥青混凝土路面病害与防治	157
第一节 沥青混凝土路面的病害及其分类	157
第二节 沥青混凝土路面病害调查与评价	161
第三节 沥青混凝土路面破坏的预防与处理	176
第四节 沥青混凝土路面的加铺层设计与施工实例	193
第五节 优质路面(Superpave)沥青混凝土设计	200
第五章 水泥混凝土路面病害与防治	211
第一节 水泥混凝土路面的病害及其分类	211
第二节 水泥混凝土路面病害调查与评价	215
第三节 水泥混凝土路面断板的预防与处理	220
第四节 水泥混凝土路面功能性破坏的预防与处理	221
第五节 水泥混凝土路面的加铺层设计与施工实例	225
第六章 隧道结构的病害与防治	237
第一节 概述	237
第二节 常见病害	238
第三节 防排水设计	254
第四节 施工防排水措施	259
第五节 衬砌防水工程质量控制	263

第六节	隧道渗漏处理	268
<b>第七章</b>	<b>路基边坡与小型构造物的病害与防治</b>	<b>270</b>
第一节	概述	270
第二节	公路边坡病害	270
第三节	公路边坡病害侵蚀机理分析	274
第四节	公路边坡防护类型及路用性能研究	278
第五节	公路植物边坡防护	286
第六节	公路边坡综合防护	290
第七节	小型构造物病害与防治	291
<b>第八章</b>	<b>桥梁工程的病害与防治</b>	<b>304</b>
第一节	概述	304
第二节	病害的分类及产生的原因	305
第三节	公路桥梁病害的检查及检测	314
第四节	病害的处治及预防	319
<b>参考文献</b>		<b>327</b>

# 第一章 概述

自改革开放以来,我国公路建设进入了快速发展时期,尤其在“八五”、“九五”期间,其建设速度取得了突飞猛进的发展,并取得了举世瞩目的成就。2000年底全国公路总里程已达到140.27万公里,比“八五”末的1995年增加24.57万公里。“九五”期间年均增长公路里程4.91万公里(图1-1)。2001年我国新增公路3.2万公里,其中高速公路3017km。截止到2001年,我国已建成的高速公路突破了1.9万公里,居世界第二位。在公路总里程中,按公路技术等级分,高速公路达到了1.63万公里、一级公路2.01万公里、二级公路15.27万公里、三级公路27.67万公里、四级公路75.03万公里,等外公路18.67万公里。按公路路面等级分,高级路面里程达到了19.14万公里、次高级路面40.41万公里、中级路面33.97万公里、低级路面38.77万公里,无路面7.99万公里。按公路行政管理等级分,国道公路里程达到了12.05万公里、省道19.73万公里、县道40.67万公里、乡道62.35万公里、专用公路5.46万公里。

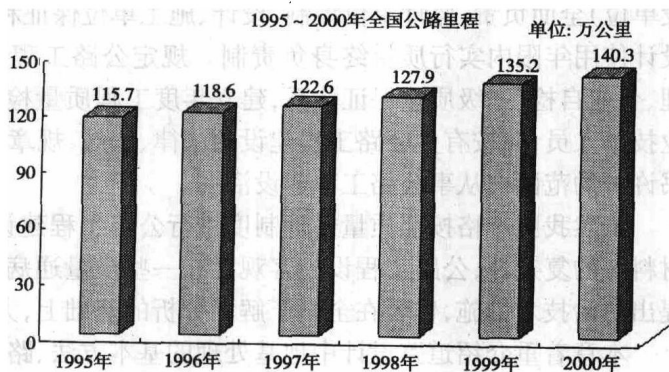


图1-1 公路里程变化曲线

公路技术结构进一步改善。全国等级公路占公路总里程的比重达到了86.69%,二级及以上技术等级公路达到18.9万公里,占公路总里程的比重达到13.48%。

公路路面等级进一步提高。有路面公路里程达到132.3万公里,占总里程94.3%。其中高级、次高级路面公路里程达到59.6万公里,占公路总里程42.5%。

2000年共新增高速公路4709km,超过“九五”期间年均增加2835km的水平。全国拥有高速公路的省(自治区、直辖市)达到了28个,通车里程超过1000km以上的省(自治区、直辖市)达到了6个(山东、河北、广东、江苏、辽宁、四川),其中山东省高速公路里程达到了2006km。

“五纵七横”国道主干线建设速度加快。2001年年底已建成规划里程的一半,全长分别为658km和1262km的京沈、京沪两条重要交通干线年内相继全线通车,使连通东北、华北、华东的交通运输通道进一步完善。

一批具有世界先进水平的公路桥梁及长大隧道相继建成。2000年全国公路桥梁达到24.06万座、865.5万延米,特大桥梁达到1139座、108.2万延米,公路隧道达到1360座、50.05万米,特长隧道达到15座、5.8万米,交通投资大幅度增加(如图1-2)。

到2000年底,全国汽车保有量约为1580万辆。公路运输已渗入到经济建设和社会生活的各个方面,在国民经济中占有越来越重要的地位。

公路基础设施和运输装备的改善,不仅促进了运输量持续以较高速增长,也使公路旅客和货物平均运距继续延长。2001年一季度公路客运量共计完成35.7亿人,旅客周转量完成

1 817.6亿人公里。在综合运输体系中,公路客运量增长幅度居第一位,公路客运平均运距达到 50.9km,公路货运量完成 24 亿吨,货物周转量完成 1 468 亿吨公里,公路货运平均运距达到 61.2km。良好的公路客运和货运前景依赖于完善的公路运输体系和优良的公路建设质量。

公路建设质量保证是一个综合的过程,它涉及设计、施工、管理等各个环节。设计质量的保证与设计深度和精度有关;施工质量保证与施工组织、施工进度、施工监理、费用控制等过程有关。

我国《公路工程质量管理办法》中规定:公路工程质量实行建设单位或项目法人(或统称建设单位)全面负责,监理单位控制,设计、施工单位保证和政府监督相结合的质量管理体系。在设计使用年限内实行质量终身负责制。规定公路工程项目必须建立“政府监督、社会监理、企业自检”三级质量保证体系,建立年度工程质量检查制度。从事公路工程建设活动的专业技术人员,应按有关公路建设的法律、法规、规章的规定取得相应资格证书,并在资格证书许可的范围内从事公路工程建设活动。

虽然我国严格按照质量管理制度进行公路工程建设及管理,但是由于地质、环境、交通和材料等的复杂性,公路设施客观存在一些质量通病,为了客观分析产生这些通病的原因,提出防治技术措施,作者在全面了解和分析的基础上,大量地收集资料,征求意见,编写此书。

本章着重介绍道路设计中地基处理的基本方法、路基设计的基本原理、路面设计与施工的要点、桥梁与隧道设计与施工的要点等内容,为本书的阅读提供一定的理论基础。

## 第一节 地基与地基处理概述

如何在软土地基上修筑好高速公路,是当前公路工程技术界的热门话题。在我国高速公路的建设中,软基处理既有成功的经验,也有失败的教训。

在软土地基上修筑高速公路,主要存在路基的稳定与沉降两大问题。软土地基上填筑路堤时,如果软土层滑动,路基就会失稳,将造成重大损失;在填土荷载的作用下,地基产生的不均匀沉降将导致路面结构和功能损坏,从而使路面使用品质下降;在与桥涵等结构物连接处产生差异沉降,不仅会直接影响结构物的安全,而且车辆的激烈跳动严重影响行车的平顺性和乘客的舒适性,甚至引起车祸。在国内已经建成的高速公路中,有的尽管已经采取了一些工程措施对软土地基进行了处理,如采用加载预压、砂井、竖向排水板等,但是完工后一段时间仍有明显的不均匀沉降。因此,必须深入研究高速公路沿线软土地基的分布、工程特性,通过理论、室内试验,探讨软基处理的实施方案,必要时修建试验工程,以便确定经济、适用、合理的处理措施。

### 一、软土地基的工程特点

#### 1. 地质年代的概念

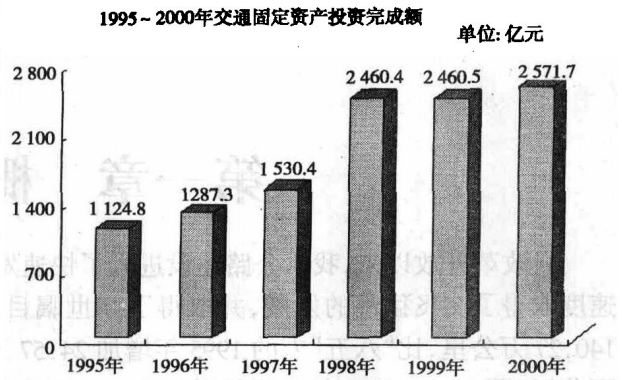


图 1-2 交通固定资产投资变化曲线



在描述公路工程地质状况时,经常用到地质年代。地质年代是指地壳发展历史与地壳运动、沉积环境及生物演化相应的时代段落。地球形成至今大约有 60 亿年的历史,在漫长的地质年代里,地壳经历了一系列复杂的演变过程,形成了各种类型的地质构造和地貌及复杂多样的岩石和土。

地质年代是根据古生物的演化和岩石形成的顺序,将地壳历史划分为一些自然阶段。在地质学中,根据地层对比和古生物学方法把地质相对年代划分为五大代(太古代、元古代、古生代、中生代和新生代),每代又分为若干纪,每纪又细分为若干世和期。在新生代中最新近的一个纪称为第四纪,由原岩风化产物碎屑物质,经外力地质作用(剥蚀、搬运、沉积)形成尚未胶结硬化的沉积物(层),通称“第四纪沉积物(层)”或“土”。它沉积在地表,覆盖在基岩之上,公路修建在它的上面,因此,对第四纪沉积物的工程性质要仔细研究。

## 2. 软土及软土地基

软土是指淤泥、淤泥质粘土、淤泥质亚粘土及少数淤泥混砂土。由一层或多层软土组成的地基称为软土地基。淤泥及淤泥质土一般是第四纪后期在滨海、湖泊、河滩、三角洲、冰碛等地质沉积环境下形成。这类土大部分含有机质,天然含水量大于液限,孔隙比大于 1。当天然孔隙比大于 1.5 时称淤泥;天然孔隙比大于 1 而小于 1.5 时称为淤泥质土。这类土广泛分布于我国东南沿海地区和内陆江河湖泊的周围。

## 3. 软土地基的工程特性

### (1)含水量较高,孔隙比较大

因为软土的成分主要是由粘土粒组和粉土粒组组成,并含有机质。粘粒的矿物成分包括蒙脱石、高岭石和伊利石。这些矿物晶粒很细,呈薄片状,表面带负电荷,它与周围介质的水和阳离子相互作用,形成偶极水分子,并吸附于表面形成水膜。在不同的地质环境下沉积形成各种絮状结构。因此,这类土的含水量和孔隙比都比较高。据统计,一般含水量为 35% ~ 80%;孔隙比为 1 ~ 2。含水量愈大,土的抗剪强度愈小,压缩性愈大。欲要改善地基软土强度和变形特性,首先应考虑用何种地基处理方法,降低软土的含水量。

### (2)抗剪强度低

根据土工试验结果,我国软土的天然不排水抗剪强度一般小于 20kPa,其变化范围为 5 ~ 25kPa。有效应力内摩擦角  $\varphi = 20^\circ \sim 35^\circ$ ,固结不排水剪内摩擦角  $\varphi_{eu} = 12^\circ \sim 17^\circ$ 。在荷载作用下,如果地基能够排水固结,软土的强度将产生显著变化,土层的固结速率愈快,软土的强度增加愈大。

### (3)压缩性较高

一般正常固结的软土层的压缩系数( $\alpha_{1-2}$ )约为:0.5 ~ 1.5MPa<sup>-1</sup>,最大可达4.5MPa<sup>-1</sup>;压缩指数( $C_c$ )约为 0.35 ~ 0.75,它与天然含水量的关系为  $C_c = 0.0147\omega \sim 0.213\omega$ 。

一般  $\alpha_{1-2} < 0.1$  时为低压缩性土,  $0.1 \leq \alpha_{1-2} \leq 0.5$  时为中等压缩性土,  $\alpha_{1-2} > 0.5$  时为高压缩性土。

### (4)渗透性很小

软土的渗透系数一般约为  $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8}$ cm/s。所以在荷载作用下固结速度很慢。若软土层的厚度超过 10m,要使土层达到较大的固结度(如  $U = 90\%$ )往往需要 5 ~ 10 年之久。

### (5)具有明显的结构性

软土一般为絮状结构,尤以海相粘土更为明显。这种土一旦受到扰动(振动、搅拌、挤压),土的强度会显著降低,甚至呈流动状态。土的结构特性常用灵敏度  $S_l$ (原状结构的强度与结

构破坏后的强度之比)表示。我国沿海软土的灵敏度一般为4~10,属于高灵敏度土。

#### (6)具有明显的流变性

在荷载作用下,软土受剪应力的作用产生缓慢的剪切变形,并可能导致抗剪强度的衰减,在主固结沉降结束后还可能继续产生可观的次固结沉降。

#### (7)硬壳层

大部分地区在地表处由于风化、淋洗作用而存在厚度不等的硬壳层,该土层具有中等或低的压缩性,较高的强度。如在工程上合理地利用此土层,可以降低总的沉降量。

#### (8)软土地基的临界高度( $H_c$ )

临界高度指天然地基在不作任何处理和加固措施的情况下,所容许的路基最大填土高度。

$$\text{均质薄层软土地基} \quad H_c = \frac{c}{\gamma} N_w \quad (1-1)$$

$$\text{均质厚层软土地基} \quad H_c = 5.52 \frac{c}{\gamma} \quad (1-2)$$

式中:  $c$ ——软土的快剪粘结力(kPa);

$\gamma$ ——填土的容重(kN/m<sup>3</sup>);

$N_w$ ——稳定因素(可查图)。

## 二、软土地基的沉降计算

公路通过软土地基地区,软土层在路堤荷载的作用下,土体中的孔隙水排出,土孔隙体积相应减小,土颗粒排列逐渐紧密,土体密度增加,地基产生沉降,这就是土的固结现象。

地基的沉降由三部分组成,即:

$$S = S_d + S_c + S_s \quad (1-3)$$

式中:  $S_d$ ——瞬时沉降(初始沉降),即时产生的沉降,也称剪切变形沉降(cm);

$S_c$ ——主固结沉降,是孔隙水逐渐排出,孔隙体积减少所产生的沉降(cm);

$S_s$ ——次固结沉降,是随时间的增长,土颗粒骨架蠕动所产生的沉降(cm)。

### (一)土的变形特性指标(压缩系数、压缩模量、压缩指数等)

这些指标都是通过野外钻孔、挖掘取土,然后在室内进行压缩试验取得的,试验仪器为压缩仪(固结仪、渗压仪)。

将自然情况相同的土样放入不同侧向膨胀的金属环内,然后放入仪器内,前一级荷载稳定后,再加下一级荷载,根据压力和孔隙比的关系可以绘制压缩曲线(图 1-3)。

#### 1. 室内试验指标

##### (1)压缩系数( $\alpha$ )

土的压缩系数可以看成是压缩曲线上某段曲线的割线的正切(图 1-4)。

$$\alpha = \tan\beta = \frac{e_1 - e_2}{p_1 - p_2} = \frac{\Delta e}{\Delta p} \quad (1-4)$$

由于压缩曲线并非直线,故压缩系数不同点是不一样的。工程中习惯用  $p_1 = 0.1\text{MPa}$  和  $p_2 = 0.2\text{MPa}$  的压缩系数来评价土的压缩特性,故记为  $\alpha_{1-2}$ ,对坚硬的土也可用  $\alpha_{1-3}$  表示。

压缩系数只能说明土的压缩性的高低,不能直接说明沉降的大小,因为沉降大小与应力分布及土层厚薄有关,但  $\alpha_{1-2}$  是计算沉降值的重要指标。

##### (2)压缩模量( $E_s$ )

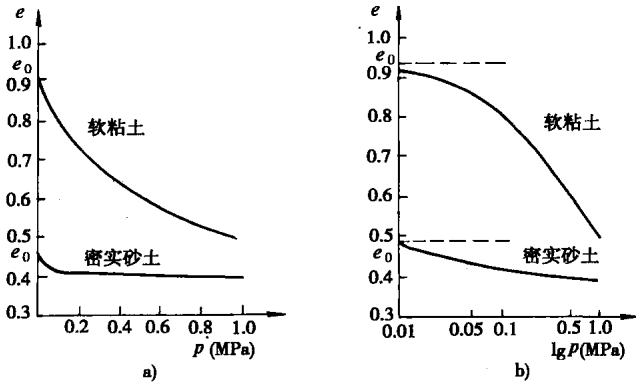


图 1-3 土的压缩曲线

压缩模量是土在不可侧向膨胀时应力增量与相对压缩增量之比。

$$E_s = \frac{\Delta p}{\frac{\Delta H}{H}} = \frac{1 + e_1}{\alpha} \quad (1-5a)$$

如用  $\alpha_{1-2}$ , 则上式中  $e_1$  即为  $p_1$  下的孔隙比。

$$E_{s_{1-2}} = \frac{1 + e_1}{\alpha_{1-2}} \quad (1-5b)$$

(3) 压缩指数 ( $C_c$ )

压缩系数  $\alpha$  与压缩模量  $E_s$  用于地基沉降时, 因  $e-p$  关系是曲线, 不是常数, 故美、英等国用  $e-\lg p$  曲线中的压缩指数  $C_c$ 。

$$C_c = \frac{e_2 - e_1}{\lg \frac{p_1}{p_2}} \quad (1-6)$$

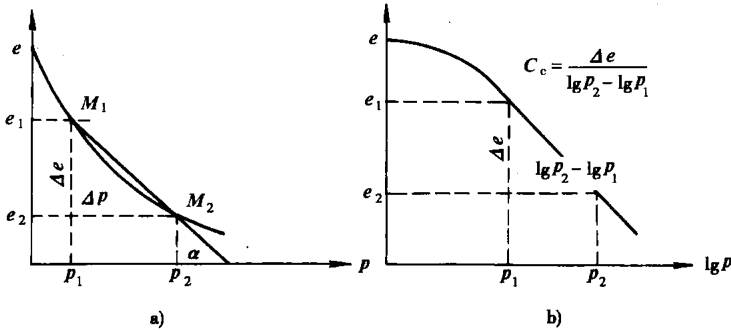


图 1-4 由压缩曲线确定压缩指标

a) 由  $e-p$  曲线确定压缩系数  $\alpha$ ; b) 由  $e-\lg p$  曲线确定压缩指数  $C_c$ 。

对原状土(不扰动), 采用  $\alpha$ 、 $E_s$ 、 $C_c$  可以很方便地预估沉降。压缩指数  $C_c$  与压缩系数  $\alpha$  不同,  $\alpha$  值随压力的变化而变化, 而  $C_c$  值在压力较大时为常数, 不随压力变化而变化。  $C_c$  值愈大, 土的压缩性愈高; 低压缩性土的  $C_c$  一般小于 0.2, 高压缩性土的  $C_c$  一般大于 0.4。

2. 野外试验指标

(1) 变形模量

$$E_0 = \frac{0.79pb(1 - \mu^2)}{S} \quad (1-7)$$

式中:  $p$ ——荷载强度(kPa);  
 $b$ ——承载板直径(cm);  
 $S$ ——相应于  $p$  的沉降总量(cm)。

(2) 土侧向膨胀系数( $\mu$ )和静止侧压力系数( $K_0$ )

$$\mu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (1-8)$$

$$K_0 = \frac{\sigma_x}{\sigma_z} = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \quad (1-9)$$

(3)变形模量( $E_0$ )与压缩模量( $E_s$ )的关系

$$E_0 = E_s \left( 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \quad (1-10)$$

(4)地基反应系数( $K$ )

$$K = \frac{p}{S} \quad (1-11)$$

(二)沉降计算

1. 主固结沉降  $S_c$  的计算

(1)单层沉降计算:

$$S_c = \frac{e_1 - e_2}{e_1 + 1} H \quad (1-12)$$

式中:  $e_1$ ——附加应力前的孔隙比;

$e_2$ ——附加应力变形稳定后的孔隙比;

$H$ ——单层厚度。

(2)多层地基沉降计算

$$S_c = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} \right) H \quad (1-13)$$

2. 瞬时沉降量  $S_d$  的计算

$$S_d = \frac{H_E \gamma_E}{E_0} N_i \quad (1-14)$$

式中:  $H_E$ ——路基填土高度(m);

$\gamma_E$ ——填土的容量( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$N_i$ ——沉降参数(m),根据路基填土宽度,软土层厚度( $H$ )查图得到;

$E_0$ ——软土层的平均变形模量( $\text{kN}/\text{m}^2$ )。

3. 次固结沉降计算

$$S_s = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_{1i}} C_a \lg \frac{t_2}{t_1} \quad (1-15)$$

式中:  $C_a$ ——压缩系数;

$t_2$ ——次固结所需时间;

$t_1$ ——主固结达 100% 的时间,一般可不考虑。

次固结沉降与主固结沉降相比较小,所以  $S = S_c + S_d$ 。

(三)固结度

设  $S_{ct}$  为路基填筑后某一时间的沉降值(地基固结沉降),则固结度定义为:

$$U_t = \frac{S_{ct}}{S_c} \quad (1-16)$$

修筑路面时的固结度  $U_t$  至少要求达到 85%。

(四)软土地基处理的目的和标准

1. 软土地基处理的目的

(1)路堤不会产生局部和整体剪切破坏,满足强度和稳定性的要求。

(2)公路使用期间不会发生较大的沉降量和不均匀沉降,保证路面结构完整和车辆行使

平稳。

如软土以淤泥质土为主,含水量 35% ~ 50%,承载力 50 ~ 70kPa,土层较薄,且埋深达 5 ~ 8m,对路堤的沉降和稳定影响较小。

### 2. 处理标准

工程实践中确定采用何种处理方法的标准是工后沉降,而不是总沉降量。

沉降速率法:10mm/月;

固结度法:地基固结度达 80% ~ 90%;

工后沉降法:桥头小于 10cm,一般路堤小于 30cm。

在路堤填筑过程中,路堤沉降过程曲线存在一个拐点,即存在一个临界的填土高度。当填土高度较低时,沉降速率很低,超过临界高度时,沉降速率会有明显的增大。对各种排水条件有不同的临界填土高度,对表面排水及无排水的方案(除去铺设复合土工布外),此临界值约为 2.0m;对深层排水方案,临界高度约 2.5m;对粉体搅拌桩方案,临界高度达 3.0m。其余各项观测值,如侧向位移及孔隙压力系数,也以此临界高度为分界而有明显的变化。

## 三、软土地基处理方法

软土地基处理方法见表 1-1。

软土地基处理方法

表 1-1

序号	分类	处理方法	原理及作用	适用范围
1	碾压及夯实	重锤夯实,机械碾压,振动压实,强夯(动力固结)	利用压实原理,通过机械碾压夯击,把表层地基土压实;强夯则利用强大的夯击能,在地基中产生强烈的冲击波和动应力,迫使土动力固结密实	适用于碎石土、砂土、粉土、低饱和度的粘性土、杂填土等,对饱和粘性土应慎重采用
2	换土垫层	砂石垫层,素土垫层,灰土垫层,矿渣垫层	以砂石、素土、灰土和矿渣等强度较高的材料,置换地基表层软弱土,提高持力层的承载力,扩散应力,减少沉降量	适用于处理暗沟、暗塘等软弱地基
3	排水固结	天然地基预压,砂井预压,塑料排水带预压,真空预压,降水预压	在地基中增设竖向排水体,加速地基的固结和强度增长,提高地基的稳定性;加速沉降发展,使基础沉降提前完成	适用于处理饱和软粘土层,必须慎重对待
4	振冲挤密	振冲挤密,灰土挤桩、砂桩、石灰桩、爆破挤密	采用一定的技术措施,通过振动或挤密使土体的孔隙减少,强度提高;必要时,在振动挤密的过程中,回填砂、砾石、灰土、素土等,与地基土组成复合地基,从而提高地基的承载力,减少沉降量	适用于处理松砂、粉土、杂填土及湿陷性黄土
5	置换及拌入	振冲置换、深层搅拌,高压喷射注浆,石灰桩等	采用专门的技术措施,以砂、碎石等置换软弱土地基中部分软弱土,或在部分软弱土地基中掺入水泥、石灰或砂浆等形成加固体,与未处理部分土组成复合地基,从而提高地基承载力,减少沉降量	粘性土、冲填土、粉砂、细砂等,振冲置换法在不排水剪强度 $C_u < 20\text{kPa}$ 时慎用

序号	分类	处理方法	原理及作用	适用范围
6	加筋	土工聚合物加筋, 锚固, 加筋土	在地基或土体中埋设强度较大的土工聚合物、钢片等加筋材料, 使地基或土体能承受抗拉力, 防止断裂, 保持整体性, 提高刚度, 改变地基土体的应力场和应变场, 从而提高地基的承载力, 改善变形特性	软弱土地基、填土及陡坡填土、砂土
7	其他	灌浆, 冻结, 托换技术, 纠偏技术	通过独特的技术措施处理软弱土地基	根据实际情况确定

## 第二节 路基设计概述

自然界的土往往是各种不同大小粒组的混合物。在高速公路工程的勘察、设计与施工中, 需要对组成路基土的混合物进行分析、计算与评价。因此, 对地基土进行科学的分类与定名十分必要。

各国、各地区、各部门, 根据自己的传统与经验, 都有自己的分类标准。例如, 按照美国的统一分类体系, 把各种土分成砾石、砂、无机粉土和细砂、无机粘土、有机粉土和粘土等共 5 大组, 再细分为若干亚组。

世界各国公路用土的分类方法虽然不尽相同, 但是分类的依据则大致相近, 一般都根据土颗粒的粒径组成、土颗粒的矿物成分或其余物质的含量、土的塑性指标进行划分。我国公路用土依据土的颗粒组成特征、土的塑性指标和土中有机质存在的情况, 分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四类, 并进一步细分为十一种土。土的颗粒组成特征用不同粒径粒组在土中的百分含量表示。公路路基土分类采用《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 规定的分类方法。

### 一、土的分类依据

根据《公路土工试验规程》中对公路路基土的分类, 把以下特征作为土的分类依据。

(1) 土颗粒组成特征以土的级配指标的不均匀系数 ( $C_u$ ) 和曲率系数 ( $C_c$ ) 表示。

不均匀系数 ( $C_u$ ) 反映土的粒径分布曲线上土粒分布范围, 其计算公式为:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-17)$$

曲率系数 ( $C_c$ ) 反映土的粒径分布曲线上土粒分布形状, 其计算公式为:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-18)$$

式中:  $d_{10}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{60}$ ——土的粒径分布曲线上对应通过率 10%、30%、60% 的粒径。

当  $C_u \geq 5$ 、 $C_c = 1 \sim 3$  时, 属良好级配; 如不同时满足此条件, 则属不良级配。

(2) 土的塑性指标以塑限 ( $w_p$ )、液限 ( $w_L$ ) 和塑性指数 ( $I_p$ ) 表示。

(3) 土中有机质存在情况。

## 二、路基土的分类

首先按有机质含量分为有机土和无机土两大类;其次将无机土按粒组含量分为巨粒组、粗粒组和细粒组。表 1-2 所列为不同粒组的划分界限及范围。

粒组划分表

表 1-2

200		60		20		5		2		0.5		0.25		0.074		0.002			
巨粒组				粗粒组										细粒组					
漂石 (块石)		卵石 (小块石)		砾(角砾)						砂						粉粒		粘粒	
				粗		中		细		粗		中		细					

土分类总体系包括四类并且细分为十一种,如框图 1-5 所示。

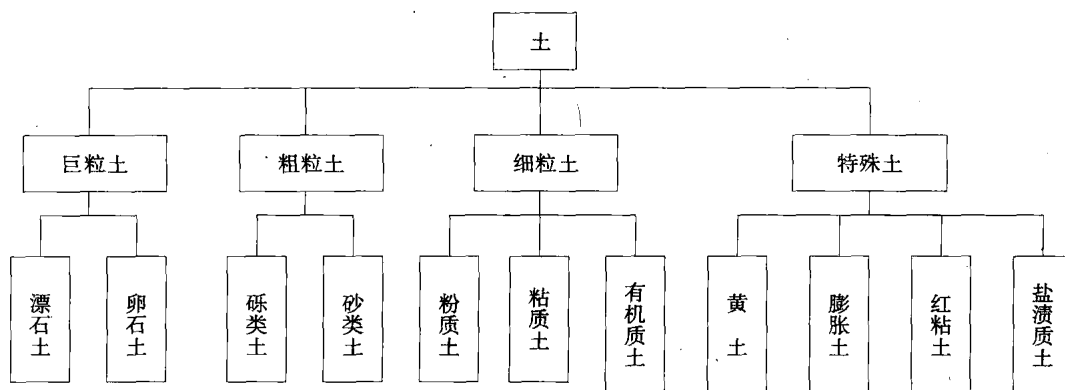


图 1-5 土分类总体系框图

公路用土分类的基本代号如表 1-3 所示。

土的基本代号表

表 1-3

土 类	巨粒土	粗粒土	细粒土	有机土
成分代号	漂石 B	砾 G	粉土 M	有机质土 O
	块石 B <sub>a</sub>	角砾 G <sub>a</sub>	粘土 C	
	卵石 C <sub>b</sub>	砂 S	细粒土(C和M合称)F	
	小块石 C <sub>b<sub>a</sub></sub>		粗细粒土合称 SI	
级配和液限高低代号	级配良好 W 级配不良 P		高液限 H 低液限 L	

说明:①土类名称可用一个基本代号表示。当由两个基本代号构成时,第一个代号表示土的主成分,第二个代号表示副成分(级配或液限)。当由三个基本代号构成时,第一个代号表示土的主成分,第二个代号表示液限(或级配),第三个代号表示土中所含次要成分;

②液限的高低以 50 划分;级配以不均匀系数( $C_u$ )和曲率系数( $C_c$ )表示,详见《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)。

巨粒组(大于 60mm 的颗粒)质量多于总质量 50% 的土称为巨粒土,巨粒土分类如表 1-4

所示。

巨粒土分类表

表 1-4

土 组		土组代号	漂石粒(>200mm 颗粒)含量(%)
漂(卵)石 (大于 60mm 颗粒 > 75%)	漂石	B	> 50
	卵石	Cb	≤ 50
漂(卵)石夹土 (大于 60mm 颗粒占 75% ~ 50%)	漂石夹土	BS1	> 50
	卵石夹土	CbS1	≤ 50
漂(卵)石质土 (大于 60mm 颗粒占 50% ~ 15%)	漂石夹土	S1B	> 卵石粒含量
	卵石夹土	S1Cb	< 卵石粒含量

粗粒土分砾类土和砂类土二种,砾粒组(60~2mm 的颗粒)质量多于总质量 50% 的土称为砾类土,如表 1-5 所示。砾粒组含量少于或等于 50% 的土称为砂类土,如表 1-6 所示。

砾类土分类表

表 1-5

土 组		土组代号	漂石粒(<0.074mm 颗粒)含量(%)
砾	级配良好砾	GW	< 5
	级配不良砾	GP	
含细粒土砾		GF	5 ~ 15
细粒土质砾	粉土质砾	GM	15 ~ 20
	粘土质砾	GC	

砂类土分类表

表 1-6

土 组		土组代号	漂石粒(<0.074mm 颗粒)含量(%)
砂	级配良好砂	SW	< 5
	级配不良砂	SP	
含细粒土砂		SF	5 ~ 15
细粒土质砂	粉土质砂	SM	15 ~ 50
	粘土质砂	SC	

细粒组(小于 0.074mm 的颗粒)质量多于总质量 50% 的土总称为细粒土。细粒土中粗粒组(2~60mm 颗粒)质量少于总质量 25% 的土称为细粒土,粗粒组质量为总质量 25% ~ 50% 的土称为含粗粒的细粒土,含有机质的细粒土称为有机质土。

细粒土的分类及性质很大程度上与土的塑性指标相关联。图 1-6 为土的塑性图,表明土的塑性指数( $I_p$ )与液限( $\omega_L$ )的相关关系。图中以 A 线 [ $I_p = 0.73(\omega_L - 20)$ ] 和 B 线 [ $\omega_L = 50\%$ ] 将坐标空间划分为四个区,大致区分了细粒土的塑性性质。细粒土的分类如表 1-7 所示。



细粒土的分类

表 1-7

土 组	土组代号	粗粒组含量(%)	砾料含量
粉质土	高液限粉土	MH	≤25
	低液限粉土	ML	
	含砾高液限粉土	MHG	25 ~ 50
	含砾低液限粉土	MLG	
	含砂高液限粉土	MHS	
	含砂低液限粉土	MLS	
粘质土	高液限粘土	CH	≤25
	低液限粘土	CL	
	含砾高液限粘土	CHG	25 ~ 50
	含砾低液限粘土	CLG	
	含砂高液限粘土	CHS	
	含砂低液限粘土	CLS	
有机质土	有机质高液限粘土	CHO	土的塑性图上的 A 线以上
	有机质低液限粘土	CLO	
	有机质高液限粉土	MHO	土的塑性图上的 A 线以下
	有机质低液限粉土	MLO	

特殊土主要包括黄土(Y)、膨胀土(E)、红粘土(R)和盐渍土 St。黄土、膨胀土、红粘土按图 1-7 所示,在塑性图上的位置定名。黄土属低液限粘土(CLY),分布范围大部分在 A 线以上,  $w_L < 40\%$ ;膨胀土属高液限粘土(CHE),分布范围大部分在 A 线以上,  $w_L > 50\%$ ;红粘土属高液限粉土(MHR),分布位置大部分在 A 线以下,  $w_L > 55\%$ 。

盐渍土按照土层中所含盐的种类和质量百分率进行分类,如表 1-8 所示。

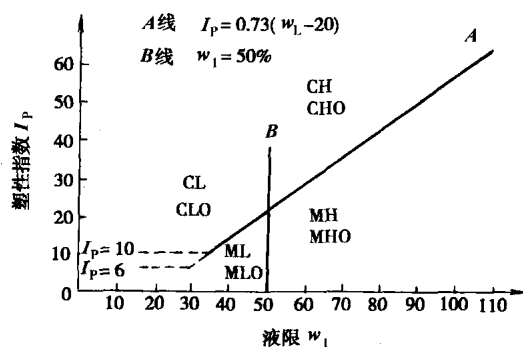


图 1-6 塑性图

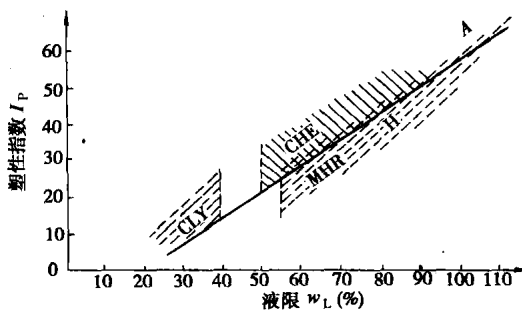


图 1-7 特殊塑性图