



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
21世纪交通版高等学校教材

路基工程

Subgrade Engineering

凌建明 主 编
邱延峻 徐林荣 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
21 世纪交通版高等学校教材

Subgrade Engineering

路基工程

凌建明 主编
邱延峻 徐林荣 主审

人民交通出版社

21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘书长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21 世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21 世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001 年 12 月

前 言

路基是支撑铺面的岩土结构物,有共性的使用要求,也有明显的区域差异,很难穷尽各地的路基工程问题和各类路基工程技术。本书重点阐述路基工程的基本概念与特点、性能指标与参数、分析理论与方法、工程技术与要领,并尽可能反映这一领域的新进展。

路基工程是一门实践性很强的课程。教学中,应结合基础理论和工程技术进行讲授,辅以内、外试验、参观实习和课程设计等环节,加深学生对路基工程的系统认识,提高学生解决实际问题的能力。

本书共9章,主要内容包括:引论、路基土分类及路基湿度状况、路基荷载—变形特性、路基压实与处治、一般路基设计、路基变形分析与稳定性验算、特殊路基设计、路基挡土墙设计、路基建筑等。第一、二、三、四章由凌建明编写,第五、六、八章由钱劲松编写,第七章由赵鸿铎编写,第九章由黄琴龙编写。

本书由同济大学凌建明主编并统稿,由西南交通大学邱延峻教授和中南大学徐林荣教授主审。

本书编著过程中,重点借鉴了姚祖康教授编著的《道路路基和路面工程》、邓学钧教授主编的《路基路面工程》这两部道路工程领域经典教材的思想和内容,在此谨表衷心感谢!

本书如有错误和疏漏之处,敬请批评指正。

凌建明

2010年12月于上海

目 录

1 引论	1
1.1 道路路基及其基本要求	1
1.2 路基构造形式	2
1.3 路基工程的内容和特点	4
小结	6
习题	6
2 路基土分类及路基湿度状况	7
2.1 路基土的工程分类	7
2.2 公路自然区划	11
2.3 路基湿度状况及其预估	15
小结	20
习题	21
3 路基荷载-变形特性	22
3.1 路基土的应力-应变关系	22
3.2 路基荷载-弯沉关系	24
3.3 路基性能指标	27
小结	31
习题	31
4 路基压实与处治	32
4.1 路基压实	32
4.2 路基处治	34
4.3 路基加筋	38
小结	42
习题	42
5 一般路基设计	43
5.1 一般路基设计内容	43
5.2 路基断面设计	43
5.3 路基填料选择	45
5.4 路基边坡设计	45
5.5 路基排水设计	48
5.6 路基防护设计	56
小结	63
习题	63

6 路基变形分析与稳定性验算	64
6.1 路基变形组成与分析方法	64
6.2 路基稳定性分析基本方法	68
6.3 路基稳定性验算	76
6.4 失稳路基的整治措施	82
小结	84
习题	84
7 特殊路基设计	85
7.1 软土地基上的路堤设计	85
7.2 冻土地区路基设计	97
7.3 膨胀土地区路基设计	101
7.4 黄土地地区路基设计	106
7.5 盐渍土地区路基设计	112
7.6 其他特殊路基设计	115
小结	120
习题	120
8 路基挡土墙设计	121
8.1 挡土墙的结构和构造	121
8.2 土压力计算	129
8.3 挡土墙设计原则	141
8.4 一般挡土墙稳定性验算	143
8.5 加筋土挡土墙设计	148
小结	154
习题	154
9 路基建筑	156
9.1 基本任务与质量控制	156
9.2 土质路基施工	158
9.3 石质路基施工	167
小结	173
习题	173
参考文献	175

1 引 论

1.1 道路路基及其基本要求

1.1.1 路基的定义与分类

对道路工程而言,路基是在地表按照道路路线设计的线形(位置)和横断面(几何尺寸)要求开挖或填筑而成的带状岩土结构物。公路、城市道路、林区道路、厂矿道路、机场飞行区场道、码头堆场、广场等交通基础设施的作用荷载有所不同,但其结构均由路基和铺面组成。路基作为铺面的支撑结构物,承受由铺面传递下来的各种交通荷载。

狭义的路基是指铺面结构的基础,即铺面结构以下承受交通荷载作用的岩土结构物,俗称路基本体。而广义的路基除本体外,还包括路基的地基、上边坡和下边坡、各类路基排水构造物与防护设施、各类支挡结构。

根据道路沿线的工程地质与水文地质条件,以及路基的填挖高度,可将路基分为一般路基和特殊路基。一般路基的工程地质条件和水文地质条件均良好,且填挖不大,因而设计中不必作个别论证和验算。特殊路基包括:

(1)稳定性不佳的路基,如高填、深挖路基,陡坡填方路基与填挖交界等。

(2)不良地质地段的路基,如滑坡、崩塌、泥石流、岩堆、雪害、涎流冰等地段的路基,岩溶地区和采空区的路基,沿河、滨海和水库区的路基等。

(3)特殊土路基,如软土、高液限土、膨胀土、黄土、盐渍土、风积沙和冻土等地区的路基。

1.1.2 路基的基本要求

道路路基和路面相互作用,相辅相成。一方面,路基为路面长期承受行车荷载提供了最基本的条件,而路面的覆盖可以减轻路基所受的荷载作用 and 环境影响;另一方面,路基性能不佳可直接引起路面变形、开裂等损坏,而路面的各种病害往往会加剧路基性能的衰变,导致道路整体性能和服务水平进一步下降。因此,路基性能应满足以下基本要求。

1) 足够的强度和整体稳定性

开挖或填筑路基,势必改变原有岩土体的受力平衡状态,形成二次应力场,并可能导致路基失稳。譬如,软土地基上的高路堤,当路堤产生的附加应力超出软土地基的承载能力时,就会造成路堤滑动或沉落;山坡上开挖的深路堑,当路堑边坡的坡体支撑不足时,就会出现滑坡或坍塌;在陡坡或存在软弱夹层的倾斜地层上填筑的路基,当基底界面或软弱夹层的抗剪强度不满足相关要求时,就会产生滑坡。此外,道路运行期间的车辆荷载、地震荷载等会增加路基和地基中的附加应力,而含水率的增大又会降低路基岩土体的强度,从而改变路基原有的平衡状态。各种路基失稳都将破坏道路的整体性和通行条件,甚至威胁交通安全。因此,在道路设计、施工和运行管理过程中,应采取必要的工程措施,确保路基在不利的荷载组合和环境条件

下具有足够的强度和整体稳定性。

2) 足够的抗变形能力

路基和地基在各种自重应力和附加应力作用下会产生变形,包括弹性变形和塑性变形。典型的塑性变形包括:地基的固结变形、路堤的压密变形,以及行车荷载引起的路基永久变形。弹性变形对路基本身的影响不大,但过大的弹性变形会增大路面的挠度和应力,缩短其使用寿命。路基和地基的塑性变形,尤其是不均匀的塑性变形,将导致路面出现过量的变形和附加结构应力,促使路面过早损坏,并影响行驶的舒适性。因此,路基工程应选择合适的填料,进行充分的压实,并布置合理的防排水系统,采取必要的加固软弱地基等措施,确保路基具有足够的抗变形能力,从而保证道路的使用寿命和服务水平。

3) 良好的耐久性

道路作为一种交通基础设施,工程投资大,使用年限长,需要长期满足车辆和行人的使用要求。因此,路基和路面都应具有良好的耐久性。

道路竣工后的整个使用过程中,路基的湿度和温度状况并非一成不变。许多地区的地下水位呈季节性波动而使路基湿度发生季节性变化;有的路段在道路竣工后两三年内路基含水率逐步上升;有的路段则因地表水渗入或地下水渗透而使路基含水率明显增大。路基湿度的增大,将导致其强度和抗变形能力下降,进而引起路基路面使用性能的衰变。季节性冰冻地区年复一年的冻融循环使路基性能逐年下降,并引起翻浆冒泥等道路病害。路基在行车荷载反复作用下会产生累积塑性变形,从而增大路面的结构应力和变形,导致路面结构损坏。此外,路基边坡也因长期经受雨水冲刷、风蚀、冻融等自然作用而使其稳定性逐步削弱。因此,路基性能的耐久性不仅需要合理设计、精心施工来实现,更需要科学监测、适时养护、及时维修来保障。

1.2 路基构造形式

1.2.1 路堤

路堤是指路基顶面高于原地面的填方路基,所以也称填方路基。其横断面由路基顶宽、边坡坡度、边沟、护坡道、支挡结构、坡面防护等组成,如图 1-1 所示。

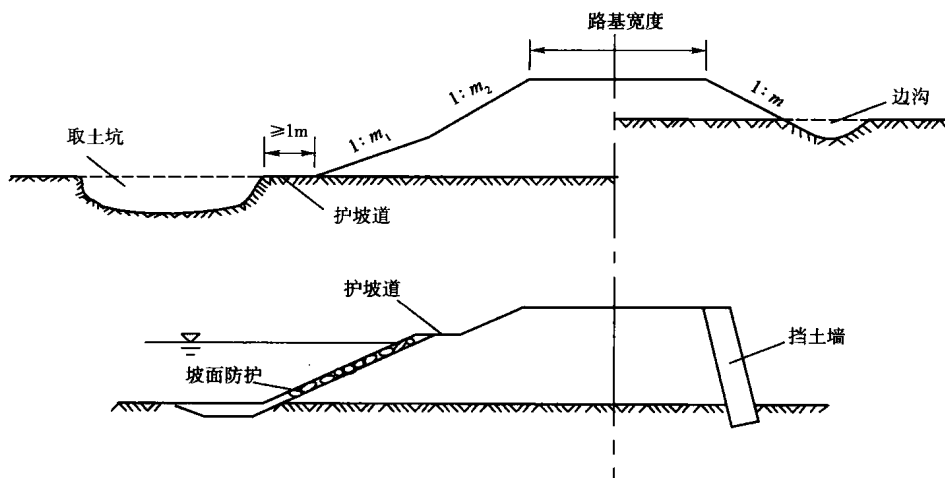


图 1-1 路堤的横断面形式

低路堤的边坡多采用单坡形式,并在其两侧设置边沟,以拦截和排除地表径流。而高路堤和浸水路堤的边坡则需采用上陡下缓的折线形式或台阶形式,并须采取适当的坡面防护和加固措施,以防止水流侵蚀和冲刷其坡面。高路堤的坡脚处或台阶处需设置平台,称为护坡道。

为收缩高路堤坡脚以减少填方量或减少占地,可设置支挡结构。在陡斜坡上填筑的路堤也常需要设置支挡结构,以保证其稳定性。

1.2.2 路堑

路堑是指全部由原地面开挖而成的路基,所以也称挖方路基。路堑有全路堑(全挖式)、半路堑(台口式)和半山洞三种横断面形式,如图 1-2 所示。

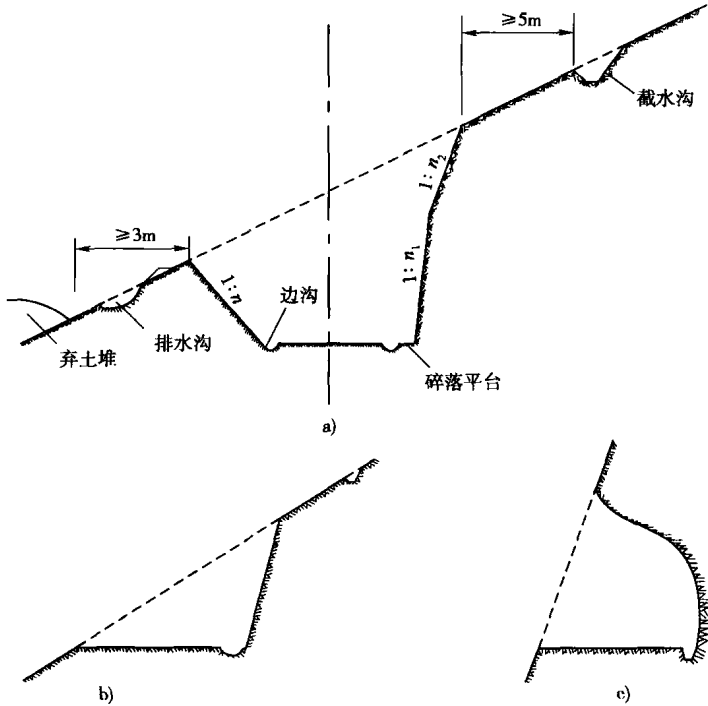


图 1-2 路堑的横断面形式
a) 全路堑; b) 半路堑; c) 半山洞

路堑边坡的坡度,可根据边坡高度以及坡体的工程地质条件和水文地质条件设置成直线形或折线形。路堑边坡的坡脚处须设置边沟,以汇集和排除路基范围内的地表径流。在挖方边坡的上方应设置截水沟,以拦截和排除流向路基的地表径流,并防止坡面冲刷和边沟溢流。对于坡面易风化或有碎落物的边坡,应在坡脚处设置宽 1.0 ~ 1.5m 的碎落台,或进行适当的坡面防护。对于坡体因开挖而可能失稳的边坡,须设置支挡结构,保证其稳定性。

遇到完整性良好的坚硬岩层,为减少石方开挖,在确保稳定的前提下,可采用半山洞路基。

1.2.3 半填半挖路基

横断面上部分填筑和部分开挖形成的路基称为半填半挖路基,如图 1-3 所示。对于斜坡上的路基,采用半填半挖形式可以避免深挖高填,减少土石方量,实现土石方的填挖平衡。

半填半挖路基兼有路堤和路堑的构造特点及要求,通常需要同时处理挖方边坡和填方边坡,根据地形、地质条件,采用坡面防护、护肩、砌石护坡或挡土墙等,保障路基的稳定性。此

外,由于挖方与填方之间存在性质差异,易形成不协调变形甚至开裂,导致路面损坏,因而需要加强填挖交界处的台阶开挖、加筋等工程措施。

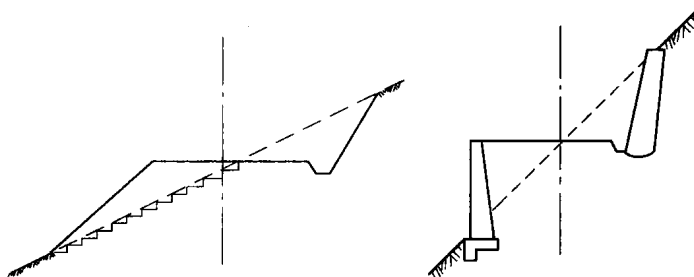


图 1-3 半填半挖路基的横断面形式

1.3 路基工程的内容和特点

1.3.1 路基工程的内容

路基是铺面的支撑结构物,并在运营期间承受行车荷载和自然因素的双重作用。因此,路基工程就是精心做好路基设计、施工、监测和维护管理等方面的工作,为铺面和车辆行驶提供满足各项性能要求的路基结构物。

1) 路基设计

路基设计是根据规划设定的道路等级和服务水平,综合考虑道路沿线的地形、地质、气候条件和铺面结构的要求,提出合理可行的路基设计方案,确定技术经济最优的路基设计参数。路基设计的主要包括以下内容。

(1) 对沿线自然、地质情况进行补充勘察,确定路基设计的各项条件,作为路基设计的依据。

(2) 依据路线设计确定的路基顶宽和填挖高度,结合沿线地形条件和岩土体状况,分段设计路基横断面形式和边坡。

(3) 依据道路等级及沿线的岩土条件,确定填挖方案、填料类型和压实度。

(4) 依据区域水文条件以及沿线地形条件、地表径流、地下水分布与赋存状况,进行道路排水系统布设以及地表和地下排水构筑物的设计。

(5) 针对特殊路基,根据所处的地质条件和路基初步设计方案,结合当地的气候、水文情况,进行路基稳定性验算和变形分析。必要时,采取边坡防护、支挡结构或地基加固等措施,并进行相应的设计。

(6) 对其他路基构造(如取土坑、弃土堆、护坡道、碎落平台等)进行设计。

2) 路基施工

路基施工主要是通过土石方作业,修筑满足性能设计要求的路基结构物,并为路面结构层施工提供平台。路基施工的主要包括以下内容。

(1) 开工前的组织、技术和物资准备工作包括:组织、落实施工队伍,开展现场调查,会审并核对设计文件,恢复定线和进行施工测量,编制施工组织设计,确定施工方案,选定机具设备和工程材料,修筑施工便道和临时设施,保证供水、供电等。

(2) 路基土石方作业,主要是开挖路堑,填筑路堤,包括土石方开挖、运输、填筑、处治、压

- [28] NCHRP Project 1-37A. Guide for Mechanistic- Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures- Final Report [R]. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, March, 2004.
- [29] Monismith, C. L. , Ogawa, N. , Freeme, C. R. Permanent Deformation Haracteristics of Subgrade Soils due to Repeated Loading[J]. TRR 537, Washington D. C. , TRB, 1-17.
- [30] Li, D. , Selig, E. T. Cumulative Plastic Deformation for Fine-grained Subgrade Soils[J], J. of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122(12) : 1006-1013.
- [31] Chai J C, Miura N. Traffic-load-induced Permanent Deformation of Road on Soft Subsoil[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2002, 128(11) : 907-916.
- [32] Barry R. Christopher, Charles Schwarta and Richard Boudreay. Geotechnical Aspects of Pavements[R]. FHWA NHI-05-037, National Highway Institue, 2006.
- [33] Gerritsen, A. H. and Koole, R. C. Seven years' experience with the structural aspects of the Shell pavement design manual[C]. Proceedings, 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, Ann Arbor, 1987: 94-106.
- [34] Shook, J. K. , Finn, F. N. , Witzak, M. W. , Monismith, C. L. Thickness design of asphalt pavements—the Asphalt Institute Method[C]. Proceedings, 5th International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 1, Delft, 1982: 17-44.
- [35] Brunton, J. M. , Brown, S. F. and Pell, P. S. Developments to the Nottingham analytical design method for asphalt pavements[C]. Proceedings, 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, Ann Arbor, 1987: 366-377.
- [36] Verstraeten, J. , Ververka, V. and Franken, L. Rational and practical design of asphalt pavements to avoid cracking and rutting[C]. Proceedings, 5th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, Ann Arbor, 1982: 45-58.
- [37] Jameson, G. , Sharp, K. , and Potter, D. New guidelines for the design of flexible pavements for Australia conditions[C]. Proceedings, 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, 2002.
- [38] Pidwerbesky, B. D. and Arnold, G. Subgrade strain criterion for limiting rutting in asphalt pavements[C]. Proceedings, 8th International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 2, Seattle, 1997: 1529-1544.
- [39] Judycki, J. Comparison of fatigue criteria for flexible and semi-rigid pavements[C]. Proceedings, 8th International Conference on Asphalt Pavements, Vol. 2, Seattle, 1997: 919-937.

4) 路基设计、施工和维护相互关联

在一定的环境条件和交通条件下,路基性能及其衰变规律,既取决于路基的设计指标和参数,还取决于路基的施工控制和维护水平。路基的设计指标越高,参数取值越合理,施工控制越严格,维护工作越到位,路基的性能衰变就越慢,运营期内的服务水平就越高。因此,路基的设计、施工和维护相互关联,共同影响。

路基的各项设计目标均通过现场施工得以实现,其使用性能直接与施工技术水平和质量控制水平有关。由于沿线建设条件的差异,路基施工还需要有效控制其变异性。一方面,路基设计中,应当充分考虑现有施工技术和施工质量控制的实际水平,以及施工变异性所带来的影响。否则,路基的实际使用性能不能达到设计要求,将严重影响路基路面的长期性能和使用寿命。另一方面,路基施工必须充分领会并认真贯彻设计思想,严格按照设计要求及其规定的变异范围进行施工和质量控制,从而保障路基的各项性能。

道路投入运营以后,在交通荷载和环境因素共同作用下,路基性能逐渐衰变。路基的维护水平和投入将决定路基使用性能的衰变速率。科学的预防性养护、全面的日常养护与修复、及时的病害处治等措施,可以有效延缓路基使用性能的衰变时间,阻止路基病害的进一步产生和发展,确保路基路面的使用寿命。

小 结

路基是铺面的支撑结构物,承受行车荷载和自然因素的双重作用,应具有足够的强度与整体稳定性、足够的抗变形能力和良好的耐久性。路基有三种典型的横断面形式,各具特点和适用条件,在路基设计中应根据路线设计的要求,结合沿线的地形地质条件合理选取。路基工程应针对路基作为岩土结构物的显著特点,充分考虑路基与铺面、环境等的相互作用和相互影响,合理设计,精心施工,科学维护,系统管理。

习 题

- 1-1 什么是路基?路基性能的基本要求有哪些?为什么做这些要求?
- 1-2 路基设计和施工的主要内容有哪些?
- 1-3 如何理解路基与铺面、路基与环境之间的相互作用和相互影响?

2 路基土分类及路基湿度状况

2.1 路基土的工程分类

2.1.1 路基土分类体系

作为建筑路基的基本材料,土由固体颗粒、水和气三相组成。土的固体颗粒包括原生矿物、次生矿物、可溶盐类、易分解的矿物及有机质等。各种路基土的颗粒大小和矿物成分差异较大,三相间的比例也有所不同,而且土颗粒与孔隙水及环境水之间存在复杂的物理化学作用,因而,不同的路基土具有不同的工程性质。例如,漂石和卵石强度高、变形小、透水性强、稳定性好,是修筑路基的良好材料;细粒土质砂含有一定数量的粗颗粒和细颗粒,级配适宜,强度、稳定性等易满足要求,往往是理想的路基填筑材料;粉质土因含有较多的粉土颗粒,毛细作用强烈,容易引起路基病害;而对于像富含有机质、易溶盐、膨胀性矿物等特殊土类,一般不直接用于填筑路基,不得已使用时应当经过试验论证和相应处治。因此,有必要从公路工程角度将路基土进行分类。

公路工程的路基土分类,各国的方法不尽相同,但所依据的原则总体相近,主要是根据土颗粒的粒径组成与矿物成分、其余物质的含量以及土的塑性指标进行划分。我国按照土的颗粒组成特征、土的塑性指标以及土中的有机质情况,将公路路基土划分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四大类,并细分为 12 个小类,如图 2-1 所示。

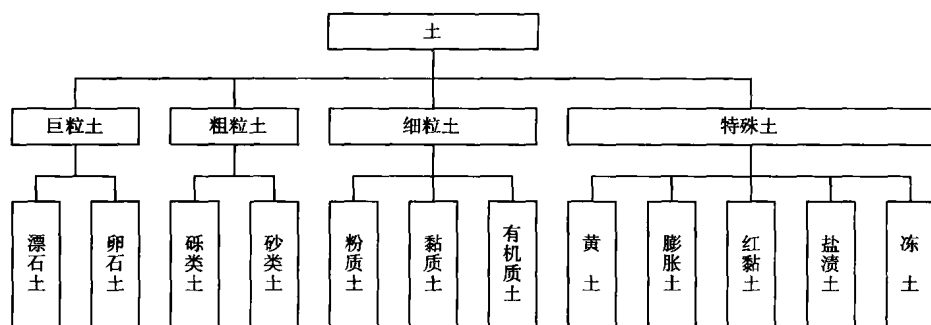


图 2-1 土分类总体系

土颗粒按其粒径大小进行粒组划分,划分界限如图 2-2 所示。

路基土的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,分别以式(2-1)和式(2-2)进行计算。其中,不均匀系数 C_u 反映的是粒径分布曲线上的土粒分布范围,而曲率系数 C_c 反映的则是粒径分布曲线上的土粒分布形状。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-1)$$

200		60		20		5		2		0.5		0.25		0.075		0.002(mm)	
巨 粒 组		粗 粒 组										细 粒 组					
漂石 (块石)	卵 石 (小块石)	砾 (角砾)						砂						粉粒	黏粒		
		粗		中		细		粗		中		细					

图 2-2 土颗粒粒组划分图

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

式中: d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} ——土的特征粒径 (mm), 在土的粒径分布曲线上, 小于该粒径的土粒质量分别为总土质量的 10%、30%、60%, 分别为有效粒径、中值粒径和限定粒径。

土的成分、级配、液限和特殊土等基本代号如表 2-1 所示。

土的基本代号

表 2-1

特 征	基 本 代 号
土的成分代号	巨粒组: 漂石 B 块石 B _a 卵石 C _b 小块石 Cb _a
	粗粒组: 砾 G 角砾 G _a 砂 S
	细粒组: 粉土 M 黏土 C 细粒土 (C 和 M 合称) F (混合) 土 (粗、细粒土合称) SI 有机质土 O
土的级配代号	级配良好 W 级配不良 P
土液限高低代号	高液限 H 低液限 L
特殊土代号	黄土 Y 膨胀土 E 红黏土 R 盐渍土 St 冻土 Ft

依据土的成分、级配及液限高低, 即可确定各土类的名称及基本代号, 具体如表 2-2 所示。

土类的名称及其基本代号

表 2-2

名 称	代 号	名 称	代 号	名 称	代 号
漂石	B	级配良好砂	SW	含砾低液限黏土	CLG
块石	B _a	级配不良砂	SP	含砂高液限黏土	CHS
卵石	Cb	粉土质砂	SM	含砂低液限黏土	CLS
小块石	Cb _a	黏土质砂	SC	有机质高液限黏土	CHO
漂石夹土	BSI	高液限粉土	MH	有机质低液限黏土	CLO
卵石夹土	CbSI	低液限粉土	ML	有机质高液限粉土	MHO
漂石质土	SIB	含砾高液限粉土	MHG	有机质低液限粉土	MLO
卵石质土	SiCb	含砾低液限粉土	MLG	黄土 (低液限黏土)	CLY
级配良好砾	GW	含砂高液限粉土	MHS	膨胀土 (高液限黏土)	CHE
级配不良砾	GP	含砂低液限粉土	MLS	红土 (高液限粉土)	MHR
细粒质砾	GF	高液限黏土	CH	红黏土	R
粉土质砾	GM	低液限黏土	CL	盐渍土	St
黏土质砾	GC	含砾高液限黏土	CHG	冻土	Ft

注: ①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 (土的液限或土的级配); 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的高低 (或级配的好坏), 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。

2.1.2 巨粒土分类

巨粒组(>60mm 的土颗粒)质量大于总质量 15% 的土称为巨粒土。依据巨粒组的含量以及漂石粒组质量与卵石粒组质量的相对多少可将巨粒土细分为漂(卵)石、漂(卵)石夹土和漂(卵)石质土,其分类体系如图 2-3 所示。对于漂(卵)石及漂(卵)石夹土,巨粒在土中起骨架作用,决定着土的主要性状;对于漂(卵)石质土,土占优势,巨粒部分起骨架作用,部分起充填作用。

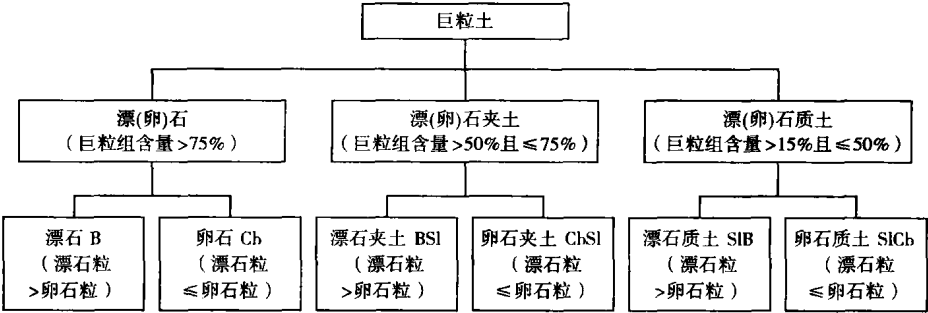


图 2-3 巨粒土分类体系

2.1.3 粗粒土分类

巨粒组土粒质量少于或等于总质量 15% ,且巨粒组土粒与粗粒组土粒质量之和大于总土质量 50% 的土称为粗粒土。粗粒土可分为砾类土和砂类土,其中,砾粒组质量多于砂粒组质量的土称为砾类土,反之则称为砂类土。两者均根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类,分类体系分别如表 2-3 和表 2-4 所示。

砾类土分类体系表 表 2-3

土 组		土 组 代 号	细粒组含量 $F(\%)$
砾	级配良好砾	GW	$F \leq 5$
	级配不良砾	GP	
含细粒土砾		GF	$5 < F \leq 15$
细粒土质砾	粉土质砾	GM	$15 < F \leq 50$
	黏土质砾	GC	

砂类土分类体系表 表 2-4

土 组		土 组 代 号	细粒组含量 $F(\%)$
砂	级配良好砂	SW	$F \leq 5$
	级配不良砂	SP	
含细粒土砂		SF	$5 < F \leq 15$
细粒土质砂	粉土质砂	SM	$15 < F \leq 50$
	黏土质砂	SC	

2.1.4 细粒土分类

细粒组土粒质量多于或等于总质量 50% 的土称为细粒土。细粒土中粗粒组质量少于或