



LUJI LUMIAN  
GONGCHENG

高等学校教材

# 路基路面工程

(公路与城市道路专业用)

邓学钧

主编

张登良

主审



人民交通出版社

高等学校教材

Luji Lumian Gongcheng

# 路基路面工程

(公路与城市道路工程专业用)

邓学钧 主编  
张登良 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书共分为 17 章,其主要内容分别为:总论,行车荷载、环境因素和材料的力学性质,一般路基设计,路基边坡稳定性设计,路基防护与加固,挡土墙设计,路基路面排水,土质路基施工,石质路基爆破施工,碎、砾石路面,块料路面,无机结合料稳定路面,沥青路面,水泥混凝土路面等。

本书为高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的教材,也可供从事公路与城市道路建设及交通部门有关人员学习参考。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

路基路面工程/邓学钧编. —北京:人民交通出版社,  
2000.1

ISBN 7-114-03566-7

I. 路… II. 邓… III. ①公路路基-基本知识②路面-基本知识 IV. U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 10053 号

高等学校教材

路基路面工程

(公路与城市道路工程专业用)

邓学钧 主编

张登良 主审

责任印制:张 凯 版式设计:周 园 责任校对:刘高彤

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国纺织出版社印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张 30 字数:749 千字

2000 年 2 月 第 1 版

2001 年 2 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数 6001~11000 册 定价:38.00 元

ISBN7-114-03566-7

U·02569

# 前 言

《路基路面工程》是高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的一个重要必修课。课程涉及内容广泛并与工程实践联系密切,具有一定的地区特点。

本书力争反映本领域最新的科学技术成就,吸收国内外成功的经验和成熟的理论与方法,并且以我国最新出版的有关工程技术标准、规范为依据,叙述路基路面工程中的关键技术,以达到理论联系实际的目的。

与路基路面工程相关的科学很多,如材料科学、岩土工程、结构分析、管理科学等,从高等学校本科教育的培养目标出发,本书尽量对相关科学的基本概念、基本理论叙述清楚,若需要引用更为深刻的内容,则授课时,可以在保证主干教学内容的前提之下,适当补充加强。

本课程是一门理论与实践并重、工程性较强的课程,讲授本课程除了系统的课堂教学之外,应配合组织实地参观、实物鉴别、课程作业、施工实习等辅助教学环节,以提高学生的感性认识和系统的接受能力。

本书是根据高等学校路桥及交通工程专业教学指导委员会于1994年10月召开的教材编写大纲审定会议审议通过的《路基路面工程》教材编写大纲编写的。全书共17章,第一、二、三章由东南大学邓学钧编写,第四、五、六、十一、十二、十五、十六、十七章由东南大学黄晓明编写,第七、八、九、十、十三、十四、十八章由东南大学黄卫编写。

全书由东南大学邓学钧主编,并担任全书统稿工作,由西安公路交通大学张登良主审。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。进行公制与国际单位制换算时,为计算简便,重力加速度一律取为 $10\text{m/s}^2$ 。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧

1999年5月于东南大学

# 目 录

<b>第一章 总论</b> .....	1
§ 1-1 道路工程发展概况 .....	1
§ 1-2 路基路面工程的特点 .....	5
§ 1-3 影响路基路面稳定的因素 .....	7
§ 1-4 路基土的分类 .....	8
§ 1-5 公路自然区划 .....	12
§ 1-6 路基水温状况及干湿类型 .....	15
§ 1-7 路面结构及层位功能 .....	22
§ 1-8 路面的等级与分类 .....	25
<b>第二章 行车荷载、环境因素、材料的力学性质</b> .....	27
§ 2-1 行车荷载 .....	27
§ 2-2 环境因素影响 .....	36
§ 2-3 土基的力学强度特性 .....	40
§ 2-4 土基的承载能力 .....	45
§ 2-5 路基的变形、破坏及防治 .....	48
§ 2-6 路面材料的力学强度特性 .....	50
§ 2-7 路面材料的累积变形与疲劳特性 .....	55
<b>第三章 一般路基设计</b> .....	59
§ 3-1 路基设计的一般要求 .....	59
§ 3-2 路基的类型与构造 .....	59
§ 3-3 路基设计 .....	61
§ 3-4 路基附属设施 .....	70
<b>第四章 路基边坡稳定性设计</b> .....	73
§ 4-1 边坡稳定性分析原理与方法 .....	73
§ 4-2 陡坡路堤稳定性 .....	87
§ 4-3 浸水路堤稳定性 .....	89
<b>第五章 路基防护与加固</b> .....	94
§ 5-1 概述 .....	94
§ 5-2 坡面防护 .....	95
§ 5-3 冲刷防护 .....	98
§ 5-4 地基加固 .....	101
<b>第六章 挡土墙设计</b> .....	106
§ 6-1 概述 .....	106
§ 6-2 挡土墙土压力计算 .....	109

§ 6-3	挡土墙设计	125
§ 6-4	浸水路堤挡土墙设计	140
§ 6-5	地震地区挡土墙设计	144
§ 6-6	轻型挡土墙	146
§ 6-7	加筋挡土墙	158
<b>第七章</b>	<b>路基路面排水设计</b>	<b>167</b>
§ 7-1	路基路面排水要求及设计一般原则	167
§ 7-2	路基排水设备的构造与布置	168
§ 7-3	路面排水设计	179
§ 7-4	明渠的水文水力计算	189
§ 7-5	暗沟的水文水力计算	197
<b>第八章</b>	<b>土质路基施工</b>	<b>206</b>
§ 8-1	概述	206
§ 8-2	施工要点	208
§ 8-3	路基压实	213
<b>第九章</b>	<b>石质路基爆破施工</b>	<b>219</b>
§ 9-1	爆破作用原理	219
§ 9-2	药包量的计算原理	223
§ 9-3	设计参数的选择及有关数据的计算	231
§ 9-4	综合爆破方法	238
§ 9-5	大爆破设计及施工	244
<b>第十章</b>	<b>碎、砾石路面</b>	<b>255</b>
§ 10-1	碎、砾石路面的力学特性	255
§ 10-2	碎石路面与基层	258
§ 10-3	级配砾(碎)石路面	261
§ 10-4	优质级配碎石基层	263
§ 10-5	碎(砾)石路面的养护	265
<b>第十一章</b>	<b>块料路面</b>	<b>269</b>
§ 11-1	概述	269
§ 11-2	天然块料路面	271
§ 11-3	机制块料路面	273
<b>第十二章</b>	<b>无机结合料稳定路面</b>	<b>275</b>
§ 12-1	概述	275
§ 12-2	无机结合料稳定材料的力学特性	275
§ 12-3	石灰稳定类基层(底基层)	278
§ 12-4	水泥稳定类基层	285
§ 12-5	工业废渣稳定基层	290
§ 12-6	半刚性路面面层	294
<b>第十三章</b>	<b>沥青路面</b>	<b>296</b>
§ 13-1	概述	296

§ 13-2	沥青路面材料的力学特性与温度稳定性 .....	298
§ 13-3	对沥青路面材料的要求 .....	312
§ 13-4	沥青路面的施工与质量控制 .....	318
<b>第十四章</b>	<b>沥青路面设计</b> .....	<b>332</b>
§ 14-1	弹性层状体系理论概述 .....	332
§ 14-2	沥青路面的破坏状态与设计标准 .....	337
§ 14-3	沥青路面结构组合设计 .....	339
§ 14-4	新建沥青路面的结构厚度计算 .....	342
§ 14-5	路面结构的剪应力计算 .....	371
§ 14-6	沥青路面改建设计 .....	377
§ 14-7	AASHTO 和 Shell 设计方法概述 .....	379
<b>第十五章</b>	<b>水泥混凝土路面</b> .....	<b>386</b>
§ 15-1	概述 .....	386
§ 15-2	水泥混凝土路面构造 .....	386
§ 15-3	水泥混凝土路面施工工艺 .....	396
§ 15-4	其它类型混凝土路面简介 .....	404
<b>第十六章</b>	<b>水泥混凝土路面设计</b> .....	<b>409</b>
§ 16-1	概述 .....	409
§ 16-2	弹性地基板体系理论概述 .....	410
§ 16-3	水泥混凝土路面荷载应力分析 .....	412
§ 16-4	水泥混凝土路面温度应力分析 .....	419
§ 16-5	水泥混凝土路面板厚设计方法 .....	423
§ 16-6	水泥混凝土路面的平面尺寸和接缝设计 .....	432
§ 16-7	复合式混凝土路面厚度设计 .....	432
§ 16-8	水泥混凝土路面上加铺层设计 .....	434
§ 16-9	其它设计方法简介 .....	437
<b>第十七章</b>	<b>路面使用品质及路况评定</b> .....	<b>445</b>
§ 17-1	路面功能及其评价 .....	445
§ 17-2	路面结构承载能力的评定 .....	445
§ 17-3	路面结构损坏状况评定 .....	450
§ 17-4	路面行驶质量 .....	453
§ 17-5	路面抗滑性能 .....	455
<b>第十八章</b>	<b>路面养护与管理</b> .....	<b>458</b>
§ 18-1	路面管理系统概述 .....	458
§ 18-2	沥青路面的病害与防治 .....	463
§ 18-3	水泥混凝土路面维修与养护 .....	465
<b>主要参考文献</b> .....		<b>469</b>

# 第一章 总 论

## § 1-1 道路工程发展概况

中国是一个有 5 000 多年文明史的国家。在这历史的长河中,我国勤劳、智慧的各族人民,在道路、桥梁的修建和车辆制造以及交通管理等方面,都取得过辉煌的成就,是我国古代灿烂文化的一部分。道路交通对于繁荣经济和交流文化,对于维护民族团结和国家统一,都做出了巨大贡献。中国古代道路和桥梁建筑,在世界上曾处于过领先地位,在世界道路交通史上留下了光辉的篇章。

根据《史记》记载,早在 4 000 多年前,中国已有了车和行车的路。商代(约公元前 16 世纪~约公元前 1066 年)开始有驿道传送。西周(公元前 1066 年~公元前 771 年)开创了以都市为中心的道路体系,还建立了比较完善的道路管理制度。秦代(公元前 221 年~公元前 206 年)修驰道、直道,建立了规模宏大的道路交通网,总里程约有 1.2 万多公里。西汉时期(公元前 206~公元前 23 年)设驿亭 3 万处,道路交通呈现出更加繁荣的景象。特别是连接欧亚大陆的“丝绸之路”的开通,为东西方经济文化交流作出了贡献。唐代(公元 618~907 年)是中国古代经济和文化的昌盛时期,建成了以长安城(今西安)为中心约 2.2 万多公里的驿道网;到了宋、元、明、清各代(公元 960~1911 年)道路交通又有发展。

尽管中国曾经创造了领先于世的古代道路文化,但是由于长期的封建制度和近百年帝国主义列强的侵略和掠夺,束缚了生产力的发展,中国公路的兴建迟至本世纪初才开始,并且在旧中国发展十分缓慢。

清末,在原有驿道上修建了一些很简陋的公路。1912~1949 年中华民国时期,公路有了初步发展。全国先后共修建了 13 万公里。这些公路大多标准很低,设施简陋,路况很差。到 1949 年能够维持通车的仅有 8 万公里,全国有 1/3 的县不通公路,西藏地区没有一条公路。汽车运输是从 1901 年由国外输入第一辆汽车开始的。到 1949 年全国汽车保有量约 5 万辆,且大多数已破旧不堪,全国大部分地区主要还是依靠人力和畜力运输。

1949 年建国以来,我国进入了社会主义建设的伟大时代。由于工农业生产迅速发展,人民生活逐步提高,尤其是建立和发展了汽车工业和石油工业,使我国公路交通事业得到了迅速的发展。特别是 1978 年以后,国家执行了以经济建设为中心的政策,开始了建设有中国特色的社会主义的新时期。公路建设也开创了崭新的局面。到 1998 年底,全国公路通车里程达到 127.8 万公里,其中高速公路总里程为 8733 公里,全国汽车保有量约为 1500 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。

自 80 年代中期开始,中国大陆开始兴建高速公路,10 年来,陆续投入运行的主要高速公路有京石、京津塘、沈大、合宁、济青、开洛、广深、太旧、合芜、成渝、沪宁、桂柳、呼包、哈大、泉厦、石安、安新等 20 余条线路,1998 年底总里程为 8733km。高速公路的建设和使用,为汽车快速、高效、安全、舒适地运行提供了良好的条件,标志着我国的公路运输事业和科学技术水平进



入了一个崭新的时代。

路基路面直接承受行驶车辆的作用,是道路工程的重要组成部分,通常都根据车辆行驶的需要,选用优质材料建成。如我国古代曾以条石、块石或石板等铺筑道路路面,以提供人畜以及人力、畜力车辆的运行。欧洲在公元前 3 500 年,在美索不达米亚(Mesopotamia),继发明了车轮后不久,即用石料修筑了第一条有硬质路面的道路。进入 20 世纪后,随着汽车工业和交通运输的发展,现代化公路的路基路面工程逐步形成了新的学科分支。它主要研究公路、城市道路和机场跑道路基路面的合理结构、设计原理、设计方法、材料性能要求以及施工、养护、维修和管理技术等。

半个世纪以来,我国广大道路工程科技工作者,从我国实际和建设需要出发,引进外国先进技术,刻苦钻研、反复实践,在路基路面工程建设和科学研究中,取得了许多突破性的系列成果。现作简要介绍:

**公路自然区划** 我国幅员辽阔,各地自然条件和道路的工程性质差异很大。为此将自然条件大致相近者划分为区,在同一区划内从事公路规划、设计、施工、管理时,有许多共性因素可以相互参照。我国现行的《公路自然区划标准》分三级区划,一级区划是根据地理、地貌、气候、土质等因素将我国划分为 7 个大区,二级区划以气候和地形为主导因素,三级区划以行政区域作为界限。

**土的工程分类** 土是填筑公路路基的主要材料,由于天然成因的差异,不同的路基土表现出截然不同的工程特性。我国依据土颗粒组成特征、土的塑性指标(塑限、液限和塑性指数)、土中有机质存在情况,将公路用土按不同的工程特性划分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四大类,并细分为 11 种土。确认土的类别需应用标准的仪器,按统一的规程进行测试界定。为了在野外勘查中能对不同土类作鉴别,系统地总结了“简易鉴别、分类和描述”的方法与细节。

**路基强度与稳定性** 路基作为路面结构的基础应具有足够的强度和稳定性,我国较早就确定以回弹模量作为评价路基强度与稳定性的力学指标,并形成了成套的室内外试验标准方法与仪器。为了在施工中以物理量指标控制工程质量从而保证达到规定的强度指标,广泛开展了不同土种的最佳含水量与最大密实度相关关系的研究,并且统一以重型击实试验法作为基本控制标准。为了提高路基的强度与稳定性,根据不同类别土壤的特性,研究了粒料加固、石灰加固、水泥加固、专用固化剂加固等行之有效的技术措施。在多年冻土地区、膨胀土地区、沙漠地区、黄土地区、盐渍土地区等特殊地区,通过研究采用各种有效技术修建公路路基取得十分宝贵的经验。

**高路堤修筑技术与支挡结构** 为了提高高路堤路基的稳定性,研究提出的技术措施包括减轻路堤自重,采用轻质粉煤灰,或采用轻质塑料块修筑路基;修筑轻型路基支挡结构,特别是加筋土挡墙的研究和工程建设在我国取得了许多成果。例如条带加筋、网络加筋、土工织物加筋等均取得良好效果。

**软土地基稳定技术** 在软土地基上修筑路基路面,天然地面的自然平衡状态将发生改变,在很长时间内路基将处于不稳定状态。为此广泛研究了软土的调查与判别方法,改变软土性质的技术措施,如沙井或塑料板排水固结法;沙层排水加载预压法;无机结合料深层加固法等。在力学分析的研究方面,通过现场跟踪观测与建立预测分析模型,来预估与控制软土地基加固后的工后沉降,从而提高路基的稳定性。

**岩石路基爆破技术** 利用爆破技术开山筑路在我国有悠久的历史。但是在最近几十年中

我国在山区筑路工程中有新的发展,创造了系统的大爆破技术,每次总装炸药量多达数 10t,一次爆破可清除岩石数 10 万立方米。大爆破以现代爆破理论为基础,事先进行周密的勘测与调查,经过精心设计的大爆破不仅能降低造价,缩短工期,而且能够使爆破后形成的坡面状况十分接近路基横断面设计要求。

**沥青路面结构** 60 年代初,随着我国石油资源的大规模开发,揭开了用国产沥青筑路的序幕。早期的沥青路面主要是铺设在现有中级路面上的薄层表面处治层,以改善其行车条件。70 年代末,逐步形成了以贯入式路面为主的沥青路面承重结构。80 年代末,开始兴建高速公路,沥青路面作为一种主要型式,大量采用总厚度超过 70 cm 的重型沥青路面结构。通过长期的科学研究形成了适合我国实际的沥青路面整套技术,包括沥青原材料的生产工艺、装备;沥青材料的技术指标与标准、试验设备及方法;沥青混合料的技术指标与标准、混合料设计技术、混合料性能检测设备及方法;沥青路面现代化施工整套设备、施工技术与施工管理等。

**水泥混凝土路面结构** 70 年代中期,交通运输发展加快,部分干线公路、城市道路及厂矿道路为提高承重能力,相继采用水泥混凝土路面结构。随后,针对水泥混凝土路面各方面存在的问题,开展了系统而具有相当规模的科学研究,从而在我国形成了关于水泥混凝土路面结构的整套技术,包括道路水泥的性能、指标、标准以及生产工艺;水泥混凝土路面基层的作用,水泥混凝土路面结构性能与设计方法;接缝构造、工作原理以及接缝设计方法;水泥混凝土路面小规模施工和大规模现代化施工成套装备及施工方法、施工组织管理等。

**柔性路面设计理论与方法** 半个世纪来,中国道路科技工作者通过广泛的调查研究和理论探索,形成了符合中国实际的柔性路面设计理论与方法体系,它吸取了世界上各种流派的学术思想,以及各个国家设计方法的优点。在力学理论基础方面,建立了弹性力学多层结构承受多个圆形荷载的分析系统及相应的计算机程序;提出了能控制路面结构主要性能的设计指标体系;形成了符合我国当前交通状况的荷载模式及交通分析方法;形成了完整的设计参数指标、标准、测试仪器与方法;建立了切实可行的设计计算方法系统。近年来,在路面功能设计、可靠度设计等方面的研究取得了明显的进展,将不断地充实到现有的系统中去。

**刚性路面设计理论与方法** 70 年代起,我国道路科技工作者对刚性路面设计进行了较系统而具有相当规模的研究。在力学基础理论方面,运用解析法及有限元法建立了弹性力学层状结构,弹性地基板体结构模型,形成了整套分析计算方法与计算机程序;建立了以弹性力学为基础,以混凝土弯拉应力为设计控制指标,综合考虑荷载应力与温度应力作用的设计体系与方法;研究并建立了地基支承、疲劳效应、动力效应等一整套设计参数的取值与测试方法;对钢纤维混凝土路面、连续配筋混凝土路面、碾压混凝土路面、复合结构混凝土路面等新型路面结构开展系统研究并取得一批实用性研究成果。

**半刚性路面结构** 利用石灰、水泥、工业废料等无机结合料修筑半刚性路面始于 60 年代初,30 多年间,对半刚性路面的强度发展规律、强度机理、路用性质等进行了广泛的研究。由于这种路面结构具有很多优势,目前已广泛用于高等级公路与城市道路,成为一种主要的结构型式。目前对它的长期使用性能和变形规律等问题正在作深入的研究。此外对于面层结构的半刚性技术途径也正在研究之中。

**路面使用性能与表面特性** 路面的平整度、破损程度、承载能力及抗滑性能是路面使用性能的重要方面。目前,我国已对这些性能对行车的影响;这些性能与路面结构设计、材料、施工的关系;量测手段与量测方法;评价的指标与标准;在车辆的反复作用下性能的衰减及恢复等开展了广泛的研究,有的已成功地应用于工程之中。

**路面养护管理** 将系统工程的理论与方法用于协调路面养护,形成路面管理系统是 80 年代后的新动向。10 多年来,我国在路面性能的非破损快速跟踪检测,路面性能预估模型的建立,路面管理网络系统的建立以及项目级和路网级优化管理决策等方面取得了系列研究成果。

综上所述,路基路面工程作为一个学科分支,在我国随着交通运输的发展,正在以较快的速度逐步接近国外同类学科的前沿。进入 21 世纪,交通运输不论是在中国,还是在其他发达国家,仍然是一个重要的科技领域。我国道路科技工作者将会从中国的实际出发,不断吸取交叉学科的新成就以及世界各国的有用经验,全面推动路基路面工程学科的发展,为我国交通运输现代化做出贡献。根据当前路基路面工程科学技术的发展趋势,对于以下几方面学科的交叉与发展特别应该引起重视。

**1. 材料科学** 回顾历史,路基路面工程每一项新技术的出现,首先在材料方面有所突破。如路基土壤的改良与稳定路基的技术措施、沥青材料、水泥材料的改性研究,路用塑料等都与材料科学有关。材料微观结构研究,复合材料研究的许多成果也正在被引入路基路面工程。

**2. 岩土工程学** 路基路面作为地基结构物依托天然地表的岩石与土壤构筑而成,因此路基路面工程在诸多方面借鉴于岩土工程学的科技成果,如土力学、岩石力学、地质学、土质学、水文地质学等都是路基路面工程学科的重要基础理论。

**3. 结构分析理论** 路基路面设计由经验为主的方法演变成以结构分析理论为主的方法是一次飞跃。由于结构的复杂性以及车辆荷载与环境因素变化的复杂性,目前多数国家的设计方法所依据的静力线弹性力学分析理论还是不能完全满足要求,许多学者仍致力于路基路面结构分析的力学基础研究,如动力荷载与结构动力效应,非线性、粘弹性等数学、力学模型的建立以及适用于各种要求、各种边界条件的数学分析方法和数值解方法。今后进一步发展有可能使宏观结构分析与材料的组成、材料的特性以及材料的微观结构与微观力学相融为一体,成为路基路面工程设计的重要基础。

**4. 机电工程** 现代化道路与机场路基路面工程的固有性能及使用品质越来越多地依赖于施工装备的性能与施工工艺。如振动压路机的吨位,频率与振幅对于各种结构层产生的效果截然不同。许多专用施工设备就是根据结构强度形成理论和工艺要求专门进行设计的,因此有些国家在研究一项路面工程新技术时,将施工工艺与施工装备也列入研究计划作同步开发研究。

**5. 自动控制与量测技术** 为确保路基路面的工程质量和良好的使用品质,必须在施工过程中严格控制各项指标,如材料用量、加热温度、碾压吨位、碾压质量等,竣工以及开放运行后在使用过程中也需要长期作跟踪监测。所有这些控制与量测都在逐步采用高新技术,如配料自动控制、平整度自动控制等,以达到较高的精确度,在量测技术方面引用高速摄影、激光装置、红外线装置等量测材料和构造物的各项质量指标及性能指标等。

**6. 现代管理科学** 从现代管理科学的角度来看,路基路面工程在一个区域范围内属于一个大系统,而且从规划、设计、施工、养护、维修、管理全过程来看,延续数 10 年之久。通过大型的管理系统,对区域范围内路基路面工程各个阶段的信息进行跟踪、采集、存储、处理、定期作评估和预测,必要时提出维修决策,投放资金进行维修养护,使路基路面始终具有良好的使用性能,这是现代化管理的总概念,有许多国家已在这方面取得实质性的进展,用于工程实践。这对于节约维修养护投资,提高运输效率有重要作用。

## § 1-2 路基路面工程的特点

路基和路面是道路的主要工程结构物。路基是在天然地表面按照道路的设计线形（位置）和设计横断面（几何尺寸）的要求开挖或堆填而成的岩土结构物。路面是在路基顶面的行车部分用各种混合料铺筑而成的层状结构物。路基是路面结构的基础，坚强而又稳定的路基为路面结构长期承受汽车荷载提供了重要的保证，而路面结构层的存在又保护了路基，使之避免了直接经受车辆和大气的破坏作用，长期处于稳定状态。路基和路面相辅相成，实际上是不可分离的整体，应综合考虑它们的工程特点、综合解决两者的强度、稳定性等工程技术问题。

路基与路面工程是道路工程的主要组成部分，工程数量十分可观，例如微丘区的三级公路，每公里土石方数量约  $8\,000 \sim 16\,000\text{m}^3$ ，山岭、重丘区的三级公路每公里可达  $20\,000 \sim 60\,000\text{m}^3$ ，对于高速公路，数量更为可观。路面结构在道路造价中所占比重很大，一般都要达到 30% 左右。因此精心设计，精心施工，使路基路面能长时期具备良好的使用性能，对节约投资，提高运输效益，具有十分重要的意义。

路基路面是一项线形工程，有的公路延续数百公里，甚至上千公里。公路沿线地形起伏，地质、地貌、气象特征多变，再加上沿线城镇经济发达程度与交通繁忙程度不一，因此决定了路基与路面工程复杂多变的特点。工程技术人员必须掌握广博的知识，善于识别各种变化的环境因素，恰当地进行处理，建造出理想的路基路面工程结构。

现代化公路运输，不仅要求道路能全天候通行车辆，而且要求车辆能以一定的速度，安全、舒适而经济地在道路上运行，这就要求路面具有良好的使用性能，提供良好的行驶条件和服务水平。

为了保证公路与城市道路最大限度地满足车辆运行的要求，提高车速、增强安全性和舒适性，降低运输成本和延长道路使用年限，要求路基路面具有下述一系列基本性能。

### 一、承载能力

行驶在路面上的车辆，通过车轮把荷载传给路面，由路面传给路基，在路基路面结构内部产生应力、应变及位移。如果路基路面结构整体或某一组成部分的强度或抗变形能力不足以抵抗这些应力、应变及位移，则路面会出现断裂，路基路面结构会出现沉陷，路面表面会出现波浪或车辙，使路况恶化，服务水平下降。因此要求路基路面结构整体及其各组成部分都具有与行车荷载相适应的承载能力。

结构承载能力包括强度与刚度二方面。路面结构应具有足够的强度以抵抗车轮荷载引起的各个部位的各种应力，如压应力、拉应力、剪应力等，保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。路基路面整体结构或各个结构层应具有足够的刚度，使得在车轮荷载作用下不发生过量的变形，保证不发生车辙、沉陷或波浪等各种病害。

### 二、稳定性

在天然地表面建造的道路结构物改变了自然的平衡，在达到新的平衡状态之前，道路结构物处于一种暂时的不稳定状态。新建的路基路面结构坦露在大气之中，经常受到大气温度、降水与湿度变化的影响，结构物的物理、力学性质将随之发生变化，处于另外一种不稳定状态。

路基路面结构能否经受这种不稳定状态,而保持工程设计所要求的几何形态及物理力学性质,称为路基路面结构的稳定性。

在地表上开挖或填筑路基,必然会改变原地面地层结构的受力状态。原来处于稳定状态的地层结构,有可能由于填挖筑路而引起不平衡,导致路基失稳。如在软土地层上修筑高路堤,或者在岩质或土质山坡上开挖深路堑时,有可能由于软土层承载能力不足,或者由于坡体失去支承,而出现路堤沉落或坡体坍塌破坏。路线如选在不稳定的地层上,则填筑或开挖路基会引发滑坡或坍塌等病害出现。因此在选线、勘测、设计、施工中应密切注意,并采取必要的工程措施,以确保路基有足够的稳定性。

大气降水使得路基路面结构内部的湿度状态发生变化,低洼地带路基排水不良,长期积水,会使得矮路堤软化,失去承载能力。山坡路基,有时因排水不良,会引发滑坡或边坡滑塌。水泥混凝土路面,如果不能及时将水分排出结构层,会发生唧泥现象,冲刷基层,导致结构层提前破坏。沥青混凝土路面中水分的侵蚀,会引起沥青结构层剥落,结构松散。砂石路面,在雨季时,会因雨水冲刷和渗入结构层,而导致强度下降,产生沉陷、松散等病害,因此防水、排水是确保路基路面稳定的重要方面。

大气温度周期性的变化对路面结构的稳定性有重要影响,高温季节沥青路面软化,在车轮荷载作用下产生永久性变形,水泥混凝土结构在高温季节因结构变形产生过大内应力,导致路面压曲破坏。北方冰冻地区,在低温冰冻季节,水泥混凝土路面、沥青路面、半刚性基层由于低温收缩产生大量裂缝,最终失去承载能力。在严重冰冻地区,低温引起路基的不稳定是多方面的,低温会引起路基收缩裂缝,地下水源丰富的地区,低温会引起冻胀,路基上面的路面结构也随之发生断裂。春天融冻季节,在交通繁重的路段,有时引发翻浆,路基路面发生严重的破坏。

### 三、耐久性

路基路面工程投资大,从规划、设计、施工至建成通车需要较长的时间,对于这样的大型工程都应有较长的使用年限,一般的道路工程使用年限至少数 10 年。承重并经受车辆直接碾压的路面部分要求使用年限 20 年以上,因此路基路面工程应具有耐久的性能。

路基路面在车辆荷载的反复作用与大气水温周期性的重复作用下,路面使用性能将逐年下降,强度与刚度将逐年衰变,路面材料的各项性能也可能由于老化衰变,而引起路面结构的损坏。至于路基的稳定性,也可能在长期经受自然因素的侵袭后,逐年削弱。因此,提高路基路面的耐久性,保持其强度、刚度,几何形态经久不衰,除了精心设计、精心施工、精选材料之外,要把长年的养护、维修、恢复路用性能的工作放在重要的位置。

### 四、表面平整度

路面表面平整度是影响行车安全,行车舒适性以及运输效益的重要使用性能。特别是高速公路,对路面平整度的要求更高。不平整的路表面会增大行车阻力,并使车辆产生附加的振动作用。这种振动作用会造成行车颠簸,影响行车的速度和安全,驾驶的平稳和乘客的舒适。同时,振动作用还会对路面施加冲击力,从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损,并增大油料的消耗。而且,不平整的路面还会积滞雨水,加速路面的破坏。因此,为了减少振动冲击力,提高行车速度和增进行车舒适性、安全性,路面应保持一定的平整度。

优良的路面平整度,要依靠优良的施工装备,精细的施工工艺,严格的施工质量控制以及

经常和及时的养护来保证。同时,路面的平整度同整个路面结构和路基顶面的强度和抗变形能力有关,同结构层所用材料的强度、抗变形能力以及均匀性有很大关系。强度和抗变形能力差的路基路面结构和面层混合料,经不起车轮荷载的反复作用,极易出现沉陷、车辙和推挤破坏,从而形成不平整的路面表面。

## 五、表面抗滑性能

路面表面要求平整,但不宜光滑,汽车在光滑的路面上行驶时,车轮与路面之间缺乏足够的附着力或摩擦力。雨天高速行驶,或紧急制动或突然起动,或爬坡、转弯时,车轮也易产生空转或打滑,致使行车速度降低,油料消耗增多,甚至引起严重的交通事故。通常用摩擦系数表征抗滑性能。摩擦系数小,则抗滑能力低,容易引起滑溜交通事故。对于高速公路高速行驶车道,要求具有较高的抗滑性能。

路面表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料组成路面表层材料来实现,有时也可以采用一些工艺措施来实现,如水泥混凝土路面的刷毛或刻槽等。此外,路表面的积雪、浮冰或污泥等,也会降低路面的抗滑性能,必须及时予以清除。

### § 1-3 影响路基路面稳定的因素

路基路面裸露在大气中,其稳定性在很大程度上由当地自然条件所决定。因此,应深入调查公路沿线的自然条件,从总体到局部,从大区域到具体路段的自然情况,分析研究,掌握其规律及对路基路面稳定性的影响,因地制宜地采取有效的工程措施,以确保路基路面具有足够的强度和稳定性。

路基路面的稳定性与下列因素有关。

#### 1. 地理条件

公路沿线的地形、地貌和海拔高度不仅影响路线的选定,也影响到路基与路面的设计。平原、丘陵、山岭各区地势不同,路基的水温状况也不同。平原区地势平坦,排水困难,地表易积水,地下水位相应较高,因而路基需要保持一定的最小填土高度,路面结构层应选择水稳定性良好的材料,并采用一定的结构排水设施;丘陵区和山岭区,地势起伏较大,路基路面排水设计至关重要,否则会导致稳定性下降,出现破坏现象,影响路基路面的稳定性。

#### 2. 地质条件

沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理,风化程度和裂隙情况,岩石走向,倾向、倾角、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层,以及有无断层或其它不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震等)都对路基路面的稳定性有一定的影响。

#### 3. 气候条件

气候条件如气温、降水、湿度、冰冻深度、日照、蒸发量、风向、风力等都会影响公路沿线地面水和地下水的状况,并且影响到路基路面的水温情况。

在一年之中,气候有季节性的变化,因此路基路面的水温状况也随之变化。气候还受地形的影响,例如山顶与山脚,山南坡与山北坡气候有很大的差别,这些因素都会严重影响路基路面的稳定性。

#### 4. 水文和水文地质条件

水文条件如公路沿线地表水的排泄,河流洪水位,常水位,有无地表积水和积水时期的长

短,河岸的淤积情况等。水文地质条件如地下水位,地下水移动的规律,有无层间水、裂隙水、泉水等。所有这些地面水及地下水都会影响路基路面的稳定性,如果处理不当,常会引起各种病害。

### 5. 土的分类

土是建筑路基和路面的基本材料,不同的土类具有不同的工程性质,因而将直接影响路基和路面的强度与稳定性。

不同的土类含有不同粒径的土颗粒,砂粒成分多的土,强度构成以内摩擦力为主,强度高,受水的影响小,但施工时不易压实。较细的砂,在渗流情况下,容易流动,形成流砂。粘粒成分多的土,强度形成以粘聚力为主,其强度随密实程度的不同,变化较大,并随湿度的增大而降低。粉土类土毛细现象强烈,路基路面的强度和承载力随着毛细水上升、湿度增大而下降。在负温度坡差作用下,水分通过毛细作用移动并积聚,使局部土层湿度大幅度增加,造成路基冻胀,最后导致路基翻浆,路面结构层断裂等各种破坏。

## § 1-4 路基土的分类

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,土的塑性指标进行区划。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 11 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。表 1-1 所列为不同粒组的划分界限及范围。

粒组划分表

表 1-1

200		60		20		5		2		0.5		0.25		0.074		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	粘粒					
		粗	中	细	粗	中	细										

土分类总体系包括四类并且细分为 11 种,如图 1-1 所示。

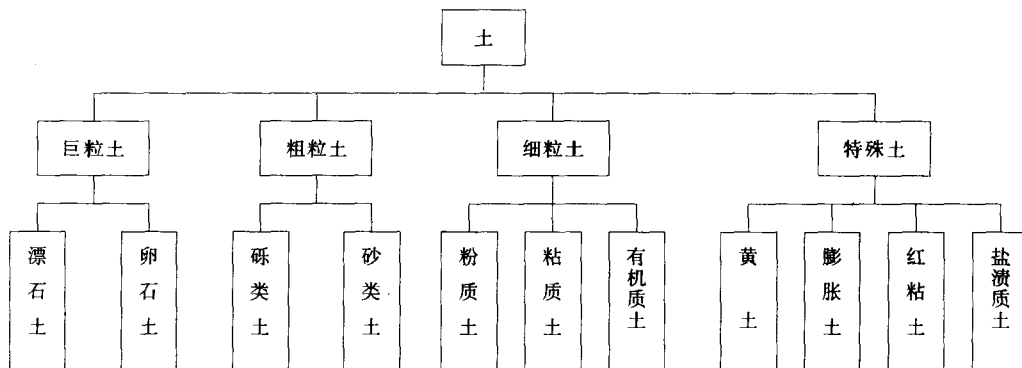


图 1-1

公路用土分类的基本代号如表 1-2 所示。

土的基本代号表

表 1-2

土类 代号 特征	巨粒土	粗粒土	细粒土	有机土
成分代号	漂石 B 块石 B <sub>a</sub> 卵石 Cb 小块石 Cb <sub>a</sub>	砾 G 角砾 G <sub>a</sub> 砂 S	粉土 M 粘土 C 细粒土(C和M合称)F 粗细粒土合称 SI	有机质土 O
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	

注: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 1-3 所示。

巨粒土分类表

表 1-3

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
	卵石	Cb
漂(卵)石夹土 (大于 60mm 颗粒占 75% ~ 50%)	漂石夹土	BSI
	卵石夹土	CbSI
漂(卵)石质土 (大于 60mm 颗粒占 50% ~ 15%)	漂石质土	SIB
	卵石质土	SICb

粗粒土分砾类土和砂类土二种,砾粒组(2~60mm 的颗粒)质量多于总质量 50% 的土称为砾类土,如表 1-4 所示。砾粒组质量小于或等于 50% 的土称为砂类土,如表 1-5 所示。

砾类土分类表

表 1-4

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

砂类土分类表

表 1-5

土组	土组代号	细粒组(<0.074 颗粒)含量(%)
砾	级配良好砂	SW
	级配不良砂	SP
含细粒土砂	SF	5 ~ 15
细粒土质砂	粉土质砂	SM
	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)质量小于总质量 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与土的塑性指标相关联。图 1-2 为土的塑性图,表明土的塑性指数( $I_p$ )与液限( $w_L$ )的相关关系。图中以 A 线 [ $I_p = 0.73(w_L - 20)$ ] 和 B 线 [ $w_L = 50\%$ ] 将坐标空间划分为四个区,大致区分了细粒土的塑性质。细粒土的分类如图 1-3 所示。

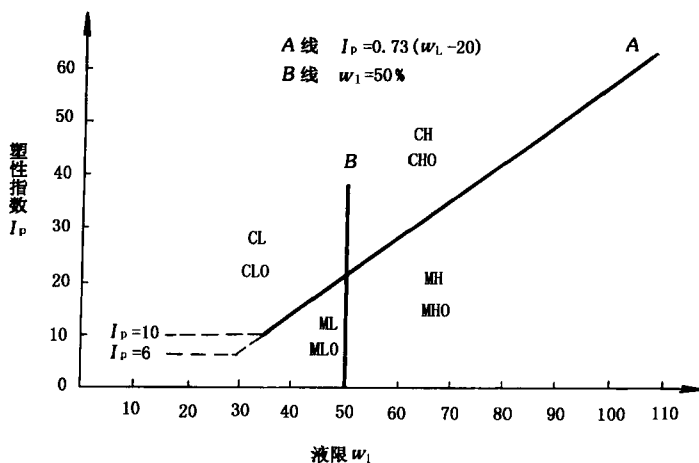


图 1-2 塑性图

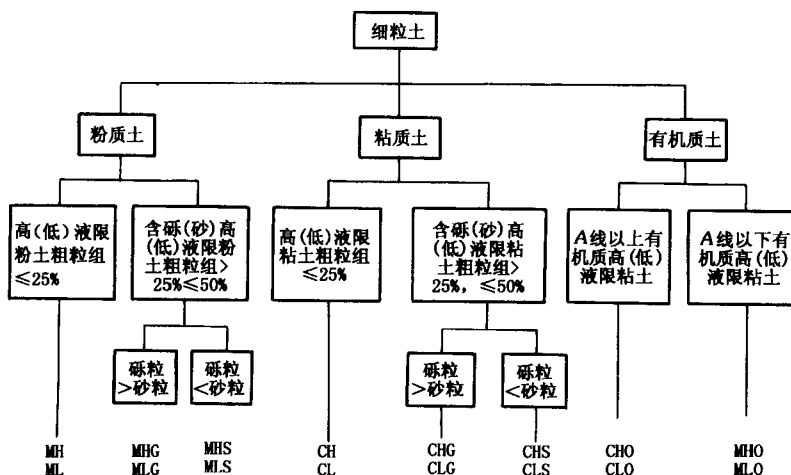


图 1-3

特殊土主要包括黄土、膨胀土、红粘土和盐渍土。黄土、膨胀土、红粘土按图 1-4 所示的特殊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 1-6 所示。