

总主编 罗固源

# 路基路面工程

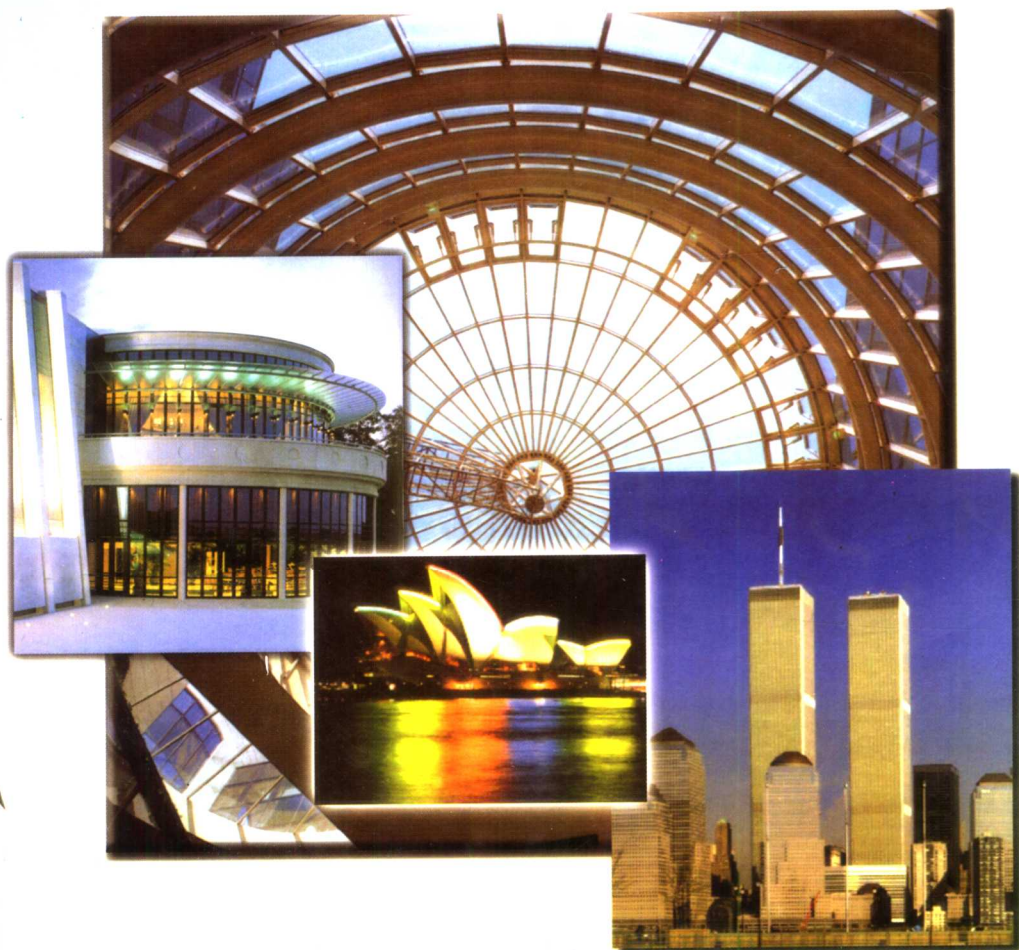
(下)

## 路面工程

(47)

何兆益 杨锡武 主编

廖正环 主审



重庆大学出版社

# 路基路面工程

(下)  
路面工程

何兆益 杨锡武 主编  
廖正环 主审

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本书分为上、下两册共15章,上册主要内容为:路基工程总论、一般路基设计、路基边坡稳定性设计、挡土墙设计、土质路基施工、石质路基爆破施工,下册主要内容为:路面工程总论、行车荷载、环境因素、路面基(垫)层、沥青类路面、路面材料的力学性质、沥青路面设计、水泥混凝土路面、水泥混凝土路面设计、路面的评定与养护管理等。

本书为高等院校土木工程类公路与城市道路工程、桥梁与隧道工程、机场工程等相关专业的教材,也可供从事公路与城市道路工程、市政工程等部门相关专业的工程技术人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

路基路面工程/何兆益,杨锡武主编. —重庆:重庆大学出版社,  
2001.11

土木工程专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2399-7

I. 路... II. ①何...②杨... III. ①路基—道路工程—高等学校—教材  
②路面—道路工程—高等学校—教材 IV. U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 075788 号

## 路基路面工程

(下)

何兆益 杨锡武 主编

责任编辑:曾令维 版式设计:曾令维

责任印制:张立全

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12.25 字数:306千

2001年11月第1版 2003年5月第3次印刷

印数:8 001—11 000

ISBN 7-5624-2399-7/TU·98 定价:18.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

# 前言

《路基路面工程》是高等院校土木工程类的公路与城市道路工程、机场工程和桥梁与隧道工程等专业方向的一门重要专业课。本书是根据我国最新颁布的公路工程技术标准及有关规范编写的。全书分为上下两册,上册主要介绍路基工程的基本概念,路基设计理论和方法,主要内容包括:路基工程总论,一般路基设计,路基边坡稳定性设计,挡土墙设计,土质路基施工与路基石方爆破等;下册主要介绍路面设计理论和方法,主要内容包括:行车荷载,环境因素和路面材料特性,路面基层,沥青类路面,水泥砼路面,沥青路面与水泥砼路面设计等。

本课程是一门理论与实践并重,实践性较强的课程。教学中应辅以生产实习、实验和课程设计等教学手段,以培养学生综合运用理论知识解决工程实际问题的能力。

本书由何兆益、杨锡武主编,杨锡武负责路基工程部分,并编写第1、2、3、4、5章,冯晓编写第6章;何兆益负责路面工程部分,并编写第7、12、15章,方琴编写第8、9、10、11章,叶巧玲编写第13、14章。全书由何兆益统稿,廖正环教授主审。

限于编者水平,本书不足和错误之处在所难免,敬请使用本书的单位或个人多提宝贵意见,来信请寄重庆交通学院道路工程系(邮编400074),以便再版时修改。

编者

2001年10月

# 目录

第7章 路面工程总论 .....	1
7.1 路面的功能及对路面的要求 .....	1
7.2 路面的结构及组成 .....	3
7.3 路面的等级与分类 .....	7
7.4 路面工程的发展 .....	8
第8章 行车荷载、环境因素 .....	11
8.1 行车荷载 .....	11
8.2 环境因素对路面的影响 .....	17
第9章 路面基(垫)层 .....	21
9.1 路面基(垫)层分类及特点 .....	21
9.2 碎(砾)石基(垫)层 .....	22
9.3 无机结合料稳定类基层 .....	30
第10章 沥青类路面 .....	41
10.1 沥青类路面分类及基本特征 .....	41
10.2 沥青类路面对材料的基本要求 .....	43
10.3 沥青混合料技术性质与组成设计 .....	47
10.4 沥青类路面的施工工艺及质量控制 .....	55
第11章 路面材料的力学性质 .....	65
11.1 碎(砾)石材料的力学性质 .....	65
11.2 稳定土材料的力学性质 .....	67
11.3 沥青混合料的力学性质 .....	71
第12章 沥青路面设计 .....	79
12.1 弹性层状体系理论分析 .....	79
12.2 沥青路面破坏状态与设计标准 .....	92
12.3 沥青路面结构组合设计 .....	95
12.4 新建沥青路面的结构设计 .....	99

12.5	沥青路面改建设计 .....	115
<b>第 13 章 水泥混凝土路面 .....</b>		
13.1	水泥混凝土路面分类与特点 .....	119
13.2	普通水泥混凝土路面的构造 .....	121
13.3	面层混凝土材料要求 .....	130
13.4	水泥混凝土路面施工工艺与质量控制 .....	133
<b>第 14 章 水泥混凝土路面设计 .....</b>		
14.1	弹性地基板力学分析 .....	146
14.2	水泥混凝土路面温度应力分析 .....	153
14.3	水泥混凝土路面的破坏形式和设计标准 .....	158
14.4	水泥混凝土路面板厚确定 .....	159
14.5	复合式混凝土路面板厚计算 .....	167
14.6	其他几种混凝土路面板厚计算简介 .....	168
14.7	水泥混凝土路面加铺层设计 .....	171
<b>第 15 章 路面的评定与养护管理 .....</b>		
15.1	路面行驶质量评定 .....	175
15.2	路面结构承载能力评定 .....	177
15.3	路面抗滑性能评定 .....	179
15.4	路面结构损坏状况评定 .....	181
15.5	路面管理系统概述 .....	184
<b>主要参考文献 .....</b>		<b>190</b>

# 第7章

## 路面工程总论

### 7.1 路面的功能及对路面的要求

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保证。路面结构的铺筑则一方面隔离了路基,使之避免了直接承受车辆和环境因素的破坏作用,确保路基长期处于稳定状态;另一方面,铺筑路面后,提高了平整度,改善了道路条件,从而保证汽车能以一定的速度、安全、舒适而经济地在道路上全天候通行。

路基路面是构成道路线形主体结构密不可分的主要组成部分,其中路面是直接供车辆行驶之用的部分,它的好坏直接影响行车速度、安全和运输成本。高等级公路铺筑了良好的路面,就能够保证车辆高速、安全、舒适地行驶,并且可以节约运输成本,充分发挥高等级道路的功能。但是,高级路面的造价较高,路面工程占道路造价的比重较大,因此根据公路等级和任务,合理选择路面结构,精心设计,精心施工,使路面在设计使用年限内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。

现代化公路运输,要求路面能满足行车的使用要求,提高行车速度,增强安全性和舒适性,降低运输费用和延长路面使用年限,为此,要求路面具有下述一系列基本性能。

#### 7.1.1 强度和刚度

汽车在路面上行驶时,车辆通过车轮把垂直力和水平力传递给路面,水平力又分为纵向和横向两种,此外,路面还受到车辆震动力和冲击力作用。

在上述外力的作用下,路面结构内就会产生应力、应变及位移。当路面结构整体或某一组成部分(如某一层)的强度或抗变形能力不足以抵抗这些应力、应变及位移时,路面就会出现断裂、沉陷、车辙及波浪等破坏,使路况恶化,服务水平下降。为避免行车荷载产生的这些破坏,路面结构整体及其各组成部分都应具有足够的强度和刚度。

路面的强度和刚度是两个既相互联系又相互区别的力学特性。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、拉应力和剪应力等,以保证路面结构不发生压碎、断裂、剪切等各种破坏,路面结构应具有足够的刚度,使得在车轮荷载作用下不发生过大的变形和位移,保证路面不发生沉陷、车辙或波浪等病害。

### 7.1.2 稳定性

路面不仅承受车轮荷载的作用,由于路面建筑在路基之上,袒露于大气之中,因此还经常受到水分湿度、大气温度等自然环境因素的影响,从而影响着路面的强度和刚度。

大气温度周期性的变化,对路面稳定性有重要影响,如沥青路面在高温季节软化,在车轮荷载作用下产生车辙、波浪等永久变形;低温时沥青面层出现收缩、变脆而开裂,半刚性基层低温收缩产生反射裂缝,而水泥混凝土路面高温时发生拱胀开裂,低温时出现收缩裂缝以及在温度梯度作用下产生翘曲而破坏等。在北方低温冰冻季节,温度和湿度的共同作用会引起路基路面结构的冻胀,春融季节在重交通路段产生翻浆。

大气降水使路面结构内部的湿度状态发生变化从而影响路面结构稳定性。水泥混凝土路面因排水不畅发生唧泥、冲刷基层导致结构破坏,沥青混凝土路面由于水分的侵蚀,引起沥青面层剥落、松散等水损害;砂石路面在雨季因雨水冲刷和渗入路面结构而导致强度下降,产生沉陷、松散等病害。

为了设计出适合当地气候条件、稳定性良好的路面结构,应充分调查和分析当地温度、湿度状况,在此基础上选择具有足够稳定性的路面材料及路面结构。

### 7.1.3 耐久性

路面在车辆荷载的反复作用下,路面使用性能将逐年下降,强度和刚度逐年衰减,如路面出现疲劳破坏和塑性变形累积。此外,路面在大气温度、湿度等自然环境因素的反复长期作用下,路面材料性能会由于老化衰变而导致路面结构的损坏。

为了保证和尽量延长路面使用年限,除了精心选择具有足够疲劳强度、抗老化和抗变形能力的材料和精心设计、精心施工外,还要重视路面的长年养护、维修及路用性能的恢复工作。

### 7.1.4 表面平整度

路面表面平整度是影响行车安全,行车舒适性及运输效益的重要指标。不平整的路表面会使行驶的车辆产生一附加的振动,这种振动会造成行车颠簸,影响行驶的安全性和舒适性。同时,振动作用对路面施加冲击力,从而加速路面损坏和车辆轮胎的磨损,增加耗油量,提高车辆的运行费用。不同等级的公路,对行驶速度和舒适性的要求不同,从而对路面平整度的要求也不同。高速公路,对路面平整度的要求更高。

优良平整的路面,要依靠优良的施工设备,精细的施工工艺,严格的施工质量控制,同时还应采取必要的养护措施。此外,随着行车荷载的反复作用,路面结构逐渐出现破坏和变形,如断裂、沉陷、车辙、推移和松散等,从而使路面表面平整度变差。因此,采用强度和刚度、稳定性好的路面结构和面层材料,对于长期保证路面优良的平整度,减小其衰变速度是非常重要的。

### 7.1.5 表面抗滑性

路面表面要求平整度好,但不宜光滑。光滑的表面,行驶的车轮与路面之间的附着力和摩擦力较小,当雨天高速行驶需紧急制动,或上下坡、转弯时,由于车轮与路面间附着力不足,容易造成车轮打滑或空转,从而引发严重的交通事故。路面的抗滑性能通常采用摩擦系数表征。



高速公路和一级公路,由于行驶速度高,因此要求具有较高的抗滑性能。

为了保证路面具有足够的抗滑性能,对于沥青路面,应采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料以及具有良好粘结力的沥青或改性沥青,并通过合理的组成设计来实现;对于水泥混凝土路面,可采取刷毛、刻槽等工艺措施提供保证。此外,对于影响路面抗滑性能的积雪、浮冰和污泥等,应及时予以清除。

### 7.1.6 不透水性(抗透性)

透水的路面,雨水容易渗入路面结构和土基,这些滞留于路面表层和路面结构内部的水分,在大量高速行驶荷载反复作用下,自由水产生很大的动水压力不断冲刷路面,路面会产生剥落、坑洞、唧浆和网裂等早期水破坏现象。在降水量大的潮湿多雨地区,交通量大,载重车辆多的高速公路沥青路面,水破坏更严重。

为避免路面水破坏,应尽量采用不透水的路面面层,设置路面结构排水层或有效防水层。

## 7.2 路面的结构及组成

### 7.2.1 路面横断面

路面横断面由行车道、硬路肩或土路肩组成。根据道路等级,可选择不同的路面横断面形式。通常将路面横断面分为槽式和全铺式两种,如图 7-1 所示。

#### (1) 槽式横断面

在路基上按路面行车道及硬路肩设计宽度范围,开挖与路面同厚度的浅槽,在槽内铺筑路面。也可采用培槽方法,在路基两侧培槽,或半填半挖的方法培槽。

#### (2) 全铺式横断面

在路基全部宽度内都铺筑路面。在盛产石料的山区或较窄的路基上铺筑中、低级路面,常采用全铺式横断面,如图 7-1b) 所示。在高等级公路路面中的排水基层,通常需要全宽范围铺筑以便横向排入边沟。此外,对于交通量增长较快的重要公路,也往往将硬路肩和土路肩按行车道标准,全宽铺筑面层。

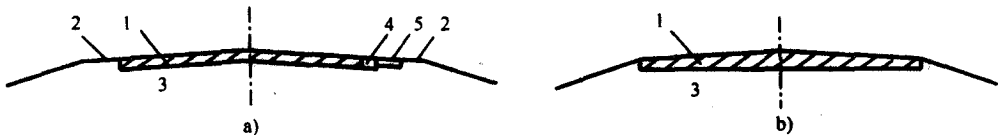


图 7-1 路面横断面形式

a) 槽式; b) 全铺式

1—路面; 2—土路肩; 3—路基; 4—路缘石(侧面); 5—加固路肩

### 7.2.2 路拱横坡度

为了保证路面上雨水及时排出,减少雨水对路面的浸湿和渗透,路面表面应做成两边低,

中间高的路拱。高级路面平整度和水稳定性好,透水性小,一般采用较小路拱横坡度和直线形路拱。低级路面,为利于迅速排除路面积水,通常采用较大的路拱横坡度和抛物线形路拱。表 7-1 为各种不同类型路面路拱平均横坡度值。

表 7-1 各类路面的路拱平均横坡度

路面类型	路拱平均横坡度/%
沥青混凝土、水泥混凝土	1~2
厂拌沥青碎石、路拌沥青碎(砾)石、沥青贯入碎(砾)石、沥青表面处治、整齐石块	1.5~2.5
半整齐石块、不整齐石块	2~3
碎、砾石等粒料路面	2.5~3.5
低级路面	3~4

路拱横坡度选择,应考虑有利于行车平稳和利于路面排水的要求。在干旱和有积雪、浮冰地区,应采用低值;多雨地区采用高值;道路纵坡较大或路面较宽,或行车速度较高,或交通量和车辆载重较大,或经常有拖挂车行驶时采用低值;反之取用高值。

路肩横坡度一般较路面横坡度大 1%。高速公路和一级公路当硬路肩采用与路面车道相同结构时,路肩与路面行车道采用相同的横坡度。

### 7.2.3 路面排水

设置排水设施的目的是,迅速地将路面范围内的水排出路基,以保证行车安全。一般公路的路面排水设施,通常由路拱坡度、路肩横坡和边沟组成。高速公路和一级公路的路面排水,一般由路面(路肩)排水、中央分隔带排水组成,必要时可采用路面结构排水。

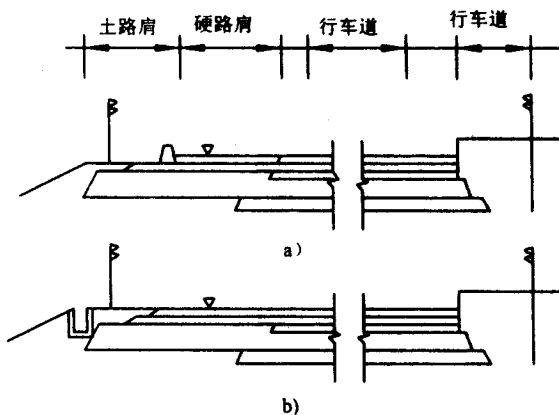


图 7-2 路面排水形式

a) 拦水带型; b) 边沟排水型

#### (1) 路面(路肩)排水

路面排水由路面横坡、路肩横坡、拦水带,或路肩矩形边沟、路肩排水沟、泄水口和急流槽等组成。如图 7-2 所示为高速公路常见的路面排水形式。

#### (2) 中央分隔带排水

中央分隔带的排水设施,一般由排水沟(明沟、暗沟)、渗沟、雨水井、集水井和横向排水管等组成。高速公路和一级公路设有中央分隔带。若分隔带未设置排水设施,则做成中间高、两侧路面低,并通过单向路面(路肩)坡度横向排水。若分隔带设置排水设施,则分隔带两侧路面分别单独做成中间

高两边低的路拱,向中间排水设施和路肩两个方向排水。如图 7-3 所示为中央分隔带排水形式。

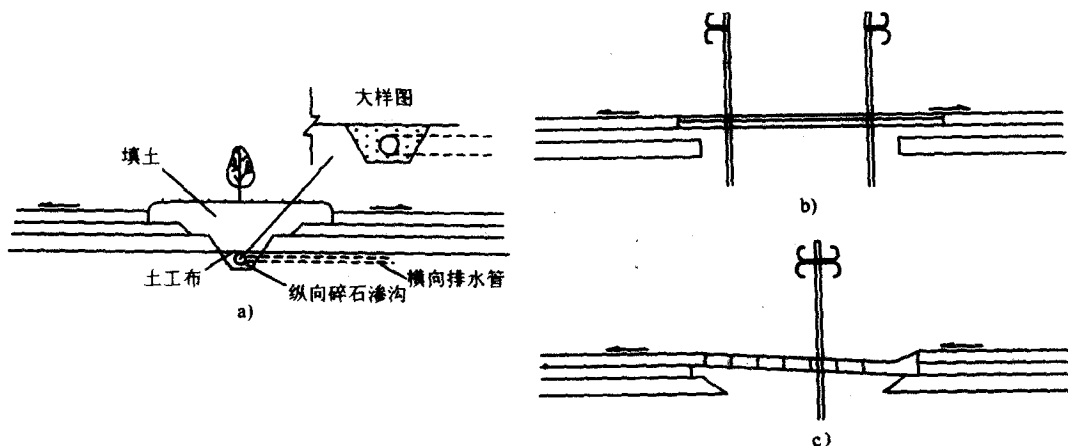


图 7-3 中央分隔带排水型式  
a)凸式,绿化型;b)封闭型;c)超高段浅碟式侧沟

### (3)路面结构排水

由于材料组成和施工等原因,要做到沥青路面面层不透水是比较困难的,水泥混凝土路面也由于接缝多和接缝易失效,而难免有少量的水渗入路面结构,影响路面强度。为迅速排除渗入路面结构的水,通常可采用开级配粒料(或结合料处治的开级配粒料)作排水基层,汇集渗入路面结构的水,并通过横坡排向外侧纵向排水管,再集中横向排出路基,如图 7-4 所示。

#### 7.2.4 路面结构层位及其功能

行车荷载和自然环境因素对路面的作用和影响,随着深度的增加而逐渐衰减。因此,对路面材料的强度、抗变形能力和稳定性的要求也随深度的增加而逐渐降低。为了适应这一特点,路面结构一般分多层铺筑,根据使用要求、受力状况、土基支承条件和自然因素影响程度的不同,分为若干不同的层次,各个层位分别承担不同的功能。通常将路面结构划分为面层、基层和垫层 3 个层次,如图 7-5 所示。

##### (1)面层

面层是路面结构最上面的一个层次,它直接承受行车荷载的垂直力、水平力和震动冲击力的作用,并受到大气降水、气温和湿度变化等自然因素的直接影响。因此,与其他层次相比,面层应具备较高的强度、抗变形能力,较好的温度稳定性、水稳定性,良好的平整度和表面抗滑

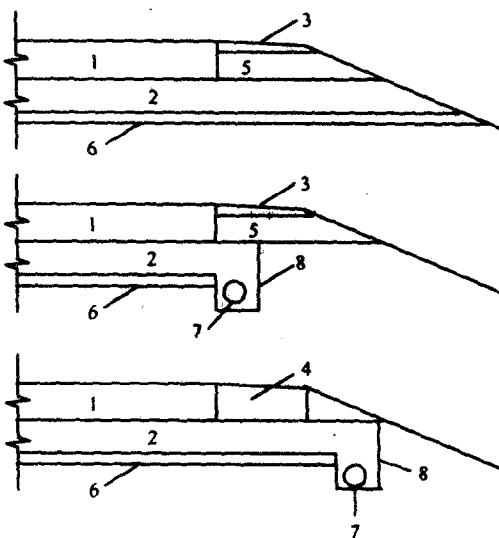


图 7-4 路面结构排水构造  
1—面层;2—透水基(垫)层;3—沥青路肩;4—混凝土路肩;5—路肩基层;6—过滤层;7—集水管;8—过滤织物

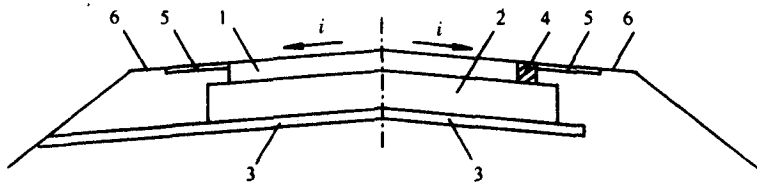


图 7-5 路面结构层次示意图

*i*—路拱横坡度;1—面层;2—基层(有时包括底基层);3—垫层;4—路缘石;5—加固路肩;6—土路肩

性,同时应具有较好的耐磨性和抗渗水性。

铺筑面层的材料主要有:水泥混凝土、沥青混凝土、沥青碎(砾)石混合料,碎(砾)石掺土或不掺土混合料以及块石等。

面层有时分两层或三层铺筑。高速公路和一级公路的沥青面层一般分 2~3 层,沥青面层总厚度 10~20cm,各层根据不同要求采用不同的级配组成。也有分上、下两层铺筑的复合式混凝土路面,此时上下两层分别采用不同标号的水泥混凝土和不同的施工工艺。碾压混凝土路面上加铺薄层沥青混凝土组成的复合结构是一种新的路面面层。需要指出的是,用作封闭表面空隙,防止水分浸入面层的封层和厚度不超过 3cm 的磨耗层,以及厚度不超过 1cm 的沥青表面处治不能作为一个独立的层次,而应看做面层的一部分。

### (2) 基层

基层是面层的下卧层,它主要承受由面层传递的行车荷载垂直力,并将它扩散和分布到垫层和土基上。基层是路面结构中的主要承重层,因此,它应具有足够的强度和刚度,并具有良好的扩散应力的能力。虽然基层位于面层之下,但仍然难以避免雨水从面层渗入,同时它还会受到地下水的浸湿,因此基层应具有足够的水稳定性。同时为了保证面层具有优良的平整度,还要求基层也具有较好的平整度。

修筑基层的主要材料有:各种结合料(如石灰、水泥或沥青等)稳定土或碎(砾)石或各种工业废渣(如煤渣、粉煤灰、矿渣、石灰渣等)组成的混合料,贫水泥混凝土,各种碎(砾)石混合料,天然砂砾及片石、块石或圆石等。

高等级公路的基层通常较厚,基层一般分两层或三层铺筑,位于下层的称为底基层,对底基层材料质量和强度的要求相对较低,并应尽量使用当地材料修筑。

### (3) 垫层

垫层位于基层和土基之间,直接与土基接触,它的功能是改善土基的湿度和温度状况,保证面层和基层的强度、刚度和稳定性不受土基的影响。同时垫层还起到将基层传下的车辆荷载应力进一步加以扩散,从而减小土基顶面压应力和竖向变形的作用。另外它也能阻止路基土挤入基层。在地下水位较高的路基上,可能发生冻胀的路基,土质不良或冻深较大的路基上通常都应设置垫层。

垫层材料强度要求不一定高,但要求水稳定性和隔温性能好。常用的垫层材料有两类:一类为松散粒料,如砂、砾石、炉渣煤渣等组成的透水性垫层;另一类为石灰、水泥和炉渣稳定土等组成的稳定性垫层。

为了保护路面面层的边缘,一般公路的基层宽度应比面层每边至少宽出 25cm,垫层宽度应比基层每边至少宽出 25cm,或与路基同宽以利于排水。

## 7.3 路面的等级与分类

### 7.3.1 路面的分级

通常可按路面面层的使用品质,材料组成类型以及结构强度和稳定性,将路面分为4个等级,如表7-2所示。

表7-2 不同路面等级适应的各种路面类型及公路等级

路面等级	面层类型	所适用的公路等级
高级	水泥混凝土、沥青混凝土、厂拌沥青碎石、整齐石块或条石	高速、一级、二级公路
次高级	沥青贯入碎(砾)石、路拌沥青碎(砾)石、沥青表面处治、半整齐石块	二级、三级公路
中级	泥结或级配碎(砾)石、不整齐石块、其他粒料	三级、四级公路
低级	粒料加固土、其他当地材料改善土	四级公路

#### (1) 高级路面

适用于交通量大,行车速度高的道路,高级路面的特点是强度和刚度高,使用寿命长,路面平整无尘,能保证高速行驶。高级路面需要采用高质量的材料修筑,因此初期建设投资高,但路面养护费用少,运输成本低。

#### (2) 次高级路面

适用于交通量较大,行车速度较高的道路。与高级路面相比,它的强度、刚度和稳定性较差,使用寿命较短,行车速度也较低。它的初期建设投资较高级路面低些,但要求定期修理,养护费用和运输成本也较高。

#### (3) 中级路面

仅能适用较小的交通量,行车速度低。中级路面强度、刚度低,稳定性差,使用寿命短,平整度差,易扬尘。它的初期建设投资虽然很低,但是养护工作量大,需要经常养护和维修,运输成本也高。

#### (4) 低级路面

所适应的交通量最小,低级路面的强度、刚度最低,水稳定性差。路面平整度差,易扬尘,只能保证低速行车,有时雨季不能通车。低级路面可以大量使用当地材料,它的初期建设投资最低,但要求经常养护和修理,运输成本最高。

### 7.3.2 路面分类

路面的类型一般按路面所使用的主要材料划分,如水泥混凝土路面、沥青路面、砂石路面等。但在进行路面结构设计时,从路面结构在行车荷载作用下的力学特性出发,将路面划分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面三类。

#### (1) 柔性路面

柔性路面结构整体刚度较小,在行车荷载作用下产生的弯沉变形较大,路面结构层抗弯拉

强度较低,行车荷载通过各结构层传递给土基,因而使土基承受较大的单位压力。路基路面结构主要靠抗压强度、抗剪强度承受行车荷载的作用。柔性路面主要为:各种未经处治的粒料基层和各类沥青面层、碎(砾)石面层或块石面层组成的路面结构。

### (2)刚性路面

刚性路面主要指水泥混凝土作面层或基层的路面结构。与柔性路面相比,水泥混凝土具有抗压、抗弯拉强度高、弹性模量高的特点,它的板体刚度较大,具有较大的扩散应力的能力。因此在车辆荷载作用下,通过板体传递给基层或土基的单位压力要比柔性路面小得多。

### (3)半刚性路面

用水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定土或碎(砾)石而修筑的基层,称为半刚性基层。半刚性基层初期强度和刚度较小,具有柔性路面力学性质,后期强度和刚度增长幅度较大,具有刚性路面力学性质,但是最终的强度和刚度仍远小于水泥混凝土。由半刚性基层和铺筑在它上面的沥青面层所组成的路面结构称为半刚性路面。

需要加以说明的是,刚性路面、柔性路面和半刚性路面是从结构设计方法出发,以力学特性作为划分原则的,这种划分没有绝对的定量界限。随着材料科学的发展,刚性路面与柔性路面间的区别会变得模糊,如水泥混凝土添加聚合物,使得它在保留高强度的同时降低刚度,具有柔性路面的特性,而沥青改性的研究使得沥青混凝土随着气候的变化而变化的力学性质更加趋于稳定,从而具有刚性路面的特性。这说明不同的路面类型是处于发展和相互转化中的。

## 7.4 路面工程的发展

路面结构主要是供车辆行驶使用的,随着社会经济和交通量的发展,路基路面工程技术也在不断发展。古代的路面主要以条石、块石或石板等铺筑,其强度、刚度低,平整度差,只能供马车和人力车通行。20世纪初,第一辆汽车在德国诞生,才开始铺筑真正意义上的供汽车行驶的现代路面。20世纪20年代初,汽车输入我国后,我国开始铺筑砂石路面,并在少数大城市开始铺筑沥青、水泥混凝土和块料等高级和次高级路面。但是直到1949年解放前夕,我国也仅有高级和次高级路面315km。解放后,尤其是改革开放后的近二十年以来,我国高等级公路建设蓬勃发展,截止到2001年,我国公路通车里程达130多万km,其中高速公路通车里程已达1.2万km。高等级公路的建设,不断地推动着路面工程技术的进步和发展。

### 7.4.1 路面材料和结构

我国路面工程材料和结构的发展大致经历了3个阶段:

第一,以恢复原有的公路和加快建设一些干线道路,解决通车为特征。这个阶段的特征是公路交通量小,车辆轴载小,路线和路面等级低,主要以中级路面解决晴雨通车问题。路面施工水平较低,主要采用各种当地粒料、人工砸制碎(砾)石、软质石料、碎砖、碎石土等铺筑路面。路面结构主要是泥结碎石和级配碎(砾)石路面,路面厚度10cm左右。

第二,在公路里程快速增长的同时,以改善路面行驶质量,提高车速,减轻养护为特征。在这个阶段,随着交通量的增长,开始推行使用渣油表面处治。早期的渣油表面处治大多直接铺筑于泥结碎石和级配碎(砾)石基层之上,它的铺筑由于阻止了路面基层材料和土基中水分的

蒸发,从而使得这一结构的强度、刚度和稳定性受到影响,容易产生变形和破坏。为了提高和保证基层的水稳定性,随后出现了泥灰结碎石和级配砾石掺灰,一些道路开始试用水泥稳定砂砾和水泥稳定碎石,有些地区采用了含土量和塑性指数均符合规范严格要求的级配碎(砾)石和干压碎石,从而提高了路面基层强度和水稳定性,延长渣油表面处治的使用寿命。这个阶段路面结构的代表是渣油表面处治和石灰土基层路面。

第三,随着交通量迅速增长,以提高路线和路面等级,改建和新建高等级公路,开始建设高速公路为特征。由于交通量大,车辆轴载及重车比例增大,开始采用沥青铺筑较厚的贯入式面层、沥青碎石面层和沥青混凝土面层。在高等级公路上,则进一步要求采用质量好的沥青铺筑优质沥青混凝土面层,以提高路面的使用性能和耐久性。与此同时,水泥混凝土路面由于强度高,稳定性好、耐久而且能很好适应重载、高速、大交通量的要求,因而在一些城市道路、工矿道路、机场跑道已大量修筑了水泥混凝土路面,高等级公路建设中,水泥混凝土路面里程也在迅速增长。这个阶段的路面基层材料,尤其是高等级公路路面基层,要求采用新的强度更高的材料和施工工艺,采用无机结合料和工业废渣稳定集料或稳定土的所谓半刚性基层成为路面基层的突击代表。除少数水泥混凝土路面外,目前国内高等级公路大多采用半刚性基层沥青路面这一结构形式。

需要指出的是,随着交通量不断增长,车速不断提高和轴载的明显增大,对沥青路面强度、抗车辙及低温收缩等变形性能及沥青路面上行车的安全和降低噪声提出了更高的要求。一些新的沥青混合料或新的表面层结构开始推广应用,如沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)和多孔隙沥青混凝土或开级配磨耗层等。

#### 7.4.2 路面设计理论与方法

路面设计方法经历了从经验法到理论法的发展过程。我国自20世纪70年代开始研究适合我国国情的理论设计法,并取得了系统实用的成果。如柔性路面设计采用多层弹性层状体系理论为基础、以路表回弹弯沉值为设计控制指标,并对层底弯拉应力和上层破裂面剪应力进行验算的设计方法。刚性路面设计采用弹性半无限地基上小挠度薄板理论为基础,以混凝土疲劳强度为控制指标,采用有限元位移法分析结果进行设计。目前我国已制订出一套适用于我国实际情况的沥青路面和水泥混凝土路面设计方法和设计参数,并随着高等级公路的建设不断在实践中完善。为使我国的路面结构设计能考虑交通参数和结构参数不可避免的变异性,使路面设计与路面施工有机地结合起来,实现路面结构设计和计算从传统定型向概率型转变。国家“八五”重点科技项目“沥青路面结构的可靠性研究”和“水泥混凝土路面结构可靠性的研究”圆满完成并取得了重大成果。今后,在路面设计理论方面,应用弹、粘、塑性体系理论对沥青路面结构进行分析研究,同时考虑路面环境因素、材料、造价、使用性能评价、寿命估计、维修管理、运输效益等因素,把它们有机结合起来作为一个总的设计系统,运用电子计算机技术将获得更为优化和技术经济合理的路面设计结果。

#### 7.4.3 路面施工技术

随着高等级公路的建设,路面施工设备、工艺方面,近年来也有很大发展。“七五”、“八五”期间,我国沥青路面施工机械的发展尤为突出。我国生产的400t/h稳定土厂拌设备和稳定土拌和机,240t/h沥青混凝土搅拌设备,8m摊铺宽度高密度沥青混凝土摊铺机,沥青洒布车,沥

## 路基路面工程(下)路面工程

青稀浆封层机等产品,技术水平已达到 20 世纪 90 年代初国外先进水平。沥青路面施工已实现了各机械设备合理地选型配套,有机地组合在一起,进行科学的组织管理,以实现沥青路面施工的机械化。水泥混凝土路面施工技术,发展也较快,从传统的小型机具施工到目前高等级公路建设中的轨道式摊铺机施工,滑模式摊铺机施工以及新的施工工艺,如水泥混凝土路面真空吸水工艺等,不仅提高了施工生产效率,而且保证了水泥混凝土的质量。

### 7.4.4 路面测试与评价技术

路面测试方面,各公路与城市道路部门研制了多种路面检测仪器装置,其中包括弯沉仪、曲率半径仪、平整度仪、摩擦系数仪、透水仪等,并制定了不同类型路面现场测试规程以及验收技术规范。此外,沥青混合料的路用性能,如流变、低温收缩、抗老化、高温抗车辙和低温抗裂性能等试验方法和性能评价技术也取得了良好的成果。

随着科学技术的进步,一些更为快捷、准确、简便、先进的检测新技术开始在路基路面工程中推广使用。如用于弯沉检测的自动弯沉仪和落锤式弯沉仪;用于平整度检测的颠簸累积仪和激光平整度仪;用于抗滑性能检测的横向力系数测定车和测定路面构造深度的激光构造深度仪;用于路面厚度无损检测和探伤的路面雷达测试系统等。在路面检测技术发展的同时,近年来路面评价与路面养护管理系统的研究已取得较大成果,并应用于实际。



# 第8章

## 行车荷载、环境因素

### 8.1 行车荷载

#### 8.1.1 汽车轴型与接地压力

汽车是路面的服务对象,同时又是路面结构产生损坏的主要原因。要保证汽车能够以一定的速度,在道路上安全而舒适地行驶,就要研究行车荷载的特性及其对路面的作用。

##### (1) 汽车轴型

作用在路面上的行车荷载,即使其车重相同,而轴型不一样,对路面产生的损坏效果也不一样。因此,路面工程中的行车荷载是以“轴载”为单位的。当汽车总重增加时,轴数与轮数也相应增加,以利于扩大荷载的分布面积。按照轮轴的组合形式,大致可以将行驶在道路上的车辆分为三大类(见图 8-1)。

①固定车身类 这是最大量最普通的一类。其车轴可区分为前轴和后轴。绝大部分车辆的前轴为两个单轮组成的单轴,轴载约为汽车总重的三分之一。少数汽车的前轴由双轴单轮组成,双前轴的载重约为汽车总重的一半。汽车的后轴有单轴和双轴两种。绝大部分汽车的后轴由双轮组成,少数载重量轻的汽车由单轮组成后轴。每一根后轴的轴载大约为前轴轴载的两倍。目前,我国公路和城市道路上行驶的载重车的后轴轴载,一般变动在 30~130kN 范围内,绝大多数为 60kN 以上。

②牵引车类 通过铰接装置,在牵引车后附加拖车。牵引车可分为单后轴和双后轴,拖车可由单轴和多轴组成,各轴则由一对单轮、一对双轮或两对双轮组组成,视载重大小的需要而定。

③挂车类 在载重车车身后附加挂车。挂车配有前后两根单轴,各轴由单轮或双轮组组成。

##### (2) 轮胎接地压力

轴载经由轮胎传给路面。轮胎与路面接触面上的平均竖向压力  $p$  受下述因素的影响:

- ①充气轮胎的内压力  $p_i$ ;
- ②轮胎的类型(斜线或子午线)和性质(新或旧);
- ③轮载的大小(同轮胎的标准负载相比)。

一般情况下,轮胎与路面接触面上的压力  $p$  小于内压力  $p_i$ ,为  $(0.8\sim 0.9)p_i$ 。只是在轮胎软而旧,或者实际内压力比标准内压力低得多,或者轮载超过规定的标准负荷情况下,接触压力  $p$  才会大于  $p_i$ ,为  $(1.1\sim 1.3)p_i$ 。车轮在行驶过程中,内压力会因轮胎内气温的升高而