



路面设计 原理与方法

Principles and Design Methods of Pavement

邓学钧 编著
黄晓明

人民交通出版社

路面设计原理与方法

邓学钧 黄晓明 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分十六章,其主要内容分别为:概论,车辆与交通,气候与环境,路基材料特性,路基结构排水,沥青路面应力分析,水泥混凝土路面应力分析,无机结合料稳定材料特性,沥青及沥青混合料特性,水泥混凝土材料特性,公路沥青路面设计方法,公路水泥混凝土路面设计方法,机场沥青混凝土道面设计方法,机场水泥混凝土道面设计方法,路面设计可靠度,路面使用品质及路况评定等。

本书为“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的选修课程教材,也可供从事公路、城市道路及机场工程建设、管理和科研部门人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

路面设计原理与方法/邓学钧,黄晓明编著. —北京:
人民交通出版社, 2001. 5
ISBN 7-114-03885-2

I. 路... II. ①邓...②黄... III. 路面-设计
IV. U416.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 09525 号

Principles and Design Methods of Pavement

路面设计原理与方法

邓学钧 黄晓明 编著

正文设计:王静红 责任校对:梁秀青 责任印制:张 凯

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

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 27.25 字数: 680 千

2001 年 5 月 第 1 版

2001 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 54.00 元

ISBN 7-114-03885-2

U · 02827

前言

“路面设计原理与方法”是道路与铁道工程二级学科研究生培养计划中的主要学位课程。东南大学自1979年恢复研究生招生以来,对这一门课程的教学内容和教学方法作了多次改进。1983年作者自美国进修回国,直接引进了美国多所大学采用的教材“Principles of Pavement Design”。在教学内容方面全面阐述了与路面设计有关的基本原理,即力学分析、材料特性、土基特性、环境影响等;在设计方法方面着眼于介绍世界各国有影响的方法,使得学生能够从历史的高度,客观地从现实出发评述各国的现行设计方法。通过第七个五年计划和第八个五年计划,我国公路运输进入高速公路发展阶段,有关路面设计基本理论与设计方法有许多突破和创新,同时积累了极为丰富的实践经验。国内各高等院校相继发表了许多有关路面设计方面的重要专著如“柔性路面结构设计方法”、“柔性路面设计理论与方法”、“刚性路面设计”等。作者在教学过程中不断将这些新的内容充实到教学内容之中,经过十八年教学实践积累形成了目前出版的“路面设计原理与方法”教材体系和全部内容。在教学方法方面,不再采用传统的以教师讲授为主的方法,而是采用启发教学与专题讨论相结合的教学方法,采用划分专题、课前阅读、课堂讨论、教师总结、重点讲解、书写心得等具体的方式组织教学。

全书共分为十六章,第二、三、四章介绍交通、环境、土基,是路面结构功能的外部条件;第五、六、七、八、九、十章介绍路面结构本身的内在特性,即排水、力学、材料特性;第十一、十二、十三、十四章介绍道路路面与机场道面设计方法。第十五、十六章介绍与路面设计密切相关的两个专题。

本书为“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考教材。也可以供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。在引用外国文献资料时,为了完整表达原作的意见,也有部分仍保留原有的计量单位制。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧 黄晓明

2001年3月于东南大学

目 录

第一章 概论	1
§ 1-1 历史的回顾	1
§ 1-2 路面类型与结构分层	5
§ 1-3 路面结构功能与使用品质	8
§ 1-4 路面设计方法简述	10
§ 1-5 机场道面简介	13
第二章 车辆与交通	14
§ 2-1 车辆对路面的作用及动力效应	14
§ 2-2 当量单轮荷载	20
§ 2-3 当量轴载系数($EALF$)	22
§ 2-4 美国道路试验	35
§ 2-5 交通统计与分析	38
第三章 气候与环境	44
§ 3-1 自然因素对路面的影响	44
§ 3-2 我国公路自然区划	45
§ 3-3 公路路面的温度状况	48
§ 3-4 公路路面温度场分析	52
§ 3-5 公路路面的湿度状况	68
§ 3-6 我国公路沥青路面气候分区	69
第四章 路基材料特性	70
§ 4-1 土的工程分类	70
§ 4-2 土基的变形特性	73
§ 4-3 土基的强度指标	76
§ 4-4 土基的干湿类型	81
§ 4-5 土基压实	83
§ 4-6 土基的稳定与处理	87
第五章 路面结构排水	90
§ 5-1 一般原理	90
§ 5-2 路表排水	94
§ 5-3 排水结构层	95
§ 5-4 路面结构排水系统	98
第六章 沥青路面应力分析	107
§ 6-1 古典应力分析	107
§ 6-2 沥青路面层状体系理论分析	108

§ 6-3	沥青路面结构的非线性分析	127
§ 6-4	沥青路面结构层的粘弹性分析	142
第七章	水泥混凝土路面应力分析	149
§ 7-1	早期荷载应力分析	149
§ 7-2	威斯特卡德荷载应力分析	150
§ 7-3	弹性地基板的荷载应力	156
§ 7-4	混凝土路面板荷载应力的有限元分析	162
§ 7-5	有接缝混凝土路面板的有限元分析	176
§ 7-6	水泥混凝土路面的温度应力分析	199
第八章	无机结合料稳定材料特性	212
§ 8-1	概述	212
§ 8-2	无机结合料稳定材料的强度特征	221
§ 8-3	无机结合料稳定材料的疲劳特性	229
§ 8-4	无机结合料稳定材料的干缩特性	232
§ 8-5	无机结合料稳定材料的温度收缩特性	234
§ 8-6	无机结合料稳定材料收缩机理分析	235
第九章	沥青与沥青混合料特性	238
§ 9-1	概述	238
§ 9-2	沥青材料性能及试验	242
§ 9-3	沥青混合料性能及试验	246
§ 9-4	沥青混合料配合比设计	253
§ 9-5	沥青与沥青混合料新技术	255
第十章	水泥混凝土材料特性	264
§ 10-1	概述	264
§ 10-2	水泥材料性能及试验	265
§ 10-3	水泥混凝土混合料性能及试验	270
§ 10-4	水泥混凝土混合料配合比设计	283
§ 10-5	特种水泥混凝土简介	285
第十一章	公路沥青路面设计方法	287
§ 11-1	沥青路面损坏的极限状态及设计原则	287
§ 11-2	AASHTO 沥青路面设计方法	290
§ 11-3	CBR 设计法	302
§ 11-4	壳牌(SHELL)设计法	310
§ 11-5	美国地沥青学会(TAI)设计法	320
§ 11-6	我国沥青路面设计	323
第十二章	公路水泥混凝土路面设计方法	329
§ 12-1	水泥混凝土路面损坏的极限状态及设计原则	329
§ 12-2	水泥混凝土路面平面及接缝设计	330
§ 12-3	水泥混凝土路面接缝传荷能力计算	335
§ 12-4	AASHTO 水泥混凝土路面设计方法	347

§ 12-5	美国波特兰水泥协会(PCA)设计方法	352
§ 12-6	我国水泥混凝土路面设计方法	356
§ 12-7	特种水泥混凝土路面设计方法	366
第十三章	机场沥青混凝土道面设计	369
§ 13-1	CBR 机场沥青混凝土道面设计	369
§ 13-2	美国联邦航空局(FAA)设计方法	372
§ 13-3	美国地沥青学会(AI)设计方法	376
第十四章	机场水泥混凝土道面设计方法	381
§ 14-1	美国波特兰水泥协会(PCA)设计方法	381
§ 14-2	美国联邦航空局(FAA)设计方法	383
§ 14-3	美国工程师兵团设计方法	385
§ 14-4	我国机场水泥混凝土道面设计方法	388
第十五章	路面设计可靠度	392
§ 15-1	可靠度设计理论简介	393
§ 15-2	路面结构参数的变异性分析	395
§ 15-3	路面结构可靠度分析	403
第十六章	路面使用品质及路况评定	409
§ 16-1	路面功能及路况评价	409
§ 16-2	路面结构承载力评定	409
§ 16-3	路面结构损坏状况评定	412
§ 16-4	路面行驶质量评定	416
§ 16-5	路面抗滑安全性能评定	418
§ 16-6	机场道面强度的通报方法	420
参考文献		425

第一章 概 论

§ 1-1 历史的回顾

据说,我国在夏禹时代,根据自然条件和地理形貌的特点,曾把所管辖的国土分成冀、兖、青、徐、扬、荆、豫、梁、雍等九州,规定了九州贡品、旧赋的运输道路。这就是历史上的禹贡九州,且有了道路里程的概念。周代已经有了明确的道路系统与城市道路规划。王朝与诸侯之间、诸侯与诸侯之间,都有大道相通,而且很重视道路工程建设、道路养护和环境保护。据《小雅·大东》说:“周道为砥,其直如矢,君子所履,小人所视。”说明周代的道路平坦和正直。特别是秦灭六国统一政权后,曾兴路政,修驰道。据《汉贾山·至言》中说:“秦为驰道于天下,东穷燕齐,南极吴楚,江湖之上,滨海之观毕至。道光五十步,三丈而树,厚筑其外,隐以金椎,树以青松,为驰道之丽至于此。”驰道以咸阳为中心,形成向全国辐射的道路交通网。汉代则继续扩大了修筑道路的范围,并向边陲地区发展,尤其是进一步修筑了西南以及南方的栈道,促进了对蜀、黔、滇和闽、粤、桂的开发。三国时期,“明修栈道,暗渡陈仓”的故事脍炙人口。隋代修筑车行大道也颇为可观。唐代道路交通里程,从《李吉甫元和郡县图志》所列贡道计算的驿站里程大致为 51 626 里(不包括支线里程)。宋代市际交通较前发展主要是水运方面,陆路交通较前代无甚差异。元代交通发展极快,则又体现在陆路交通方面,这与蒙古民族的游牧特点、以及武功扩展是分不开的。明代的道路交通基本上是在这个基础上进行扩展充实的。

清代盛时,管家车马大路约 46 000 里,步行之路 10 万里(不包括城市道路里程)。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 1999 年底,全国公路通车里程达到 127 万公里,其中高速公路总里程为 1.1 万公里,全国汽车保有量约为 1 500 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 20 世纪 80 年代中期开始,中国大陆兴建高速公路,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、泉夏、石安、安新等 20 余条线路,总里程为 1.1 万公里。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、兽力车辆的运行。欧洲在公元前 3500 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,广大道路工程科技工作者,经过刻苦钻研、反复实践,在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。

公路自然区划、温度区划与降雨区划 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七个大区,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。

同时根据沥青路面的使用要求,对沥青路面的温度及降雨进行分区,见图 1-1、图 1-2。

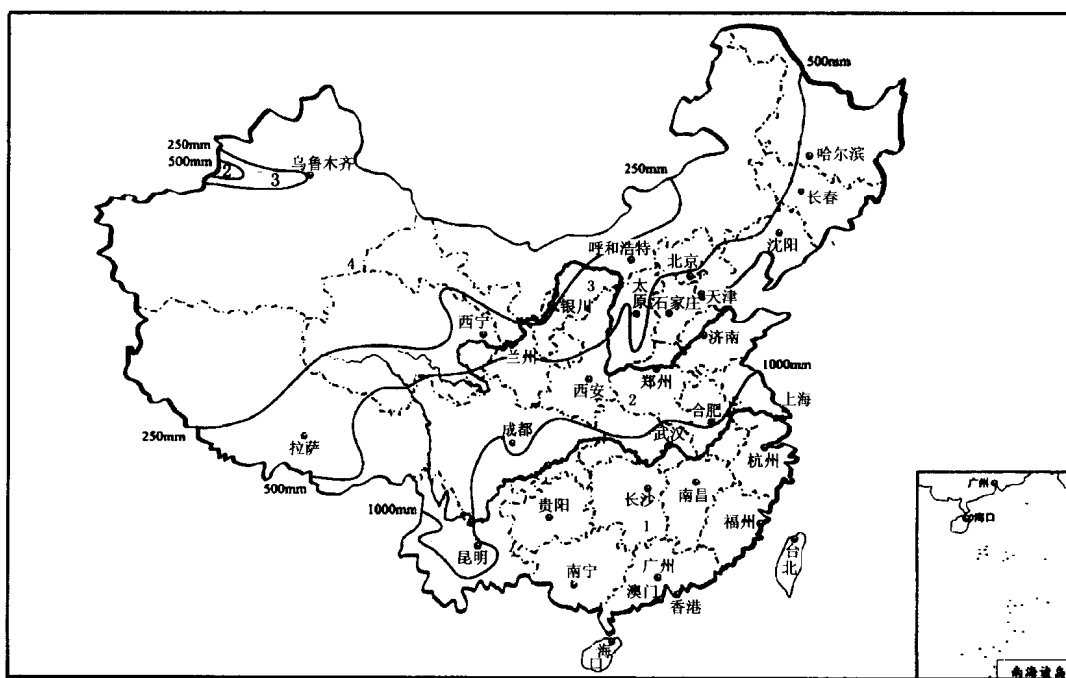


图 1-1 沥青路面气候分区——降雨

沥青路面的气候分区如表 1-1 所示。其主要说明如下:

1-1 夏炎热冬严寒区,这种气候型在我国所占范围很少,仅在新疆北部很小一范围准噶尔盆地为中心,极端最低气温 $< -37^{\circ}\text{C}$,气温由此冷中心向盆地四周升高。

1-2 夏炎热冬寒区,它包括内蒙古高原阴山山脉以西地区、西北准噶尔盆地西部、塔里木盆地东部地区,南疆受天山阻挡,冷空气不易侵入,加上纬度较低,因此南疆比北疆暖,塔里木盆地夏季炎热干燥,冬季冷。新疆东部、甘肃的西部,由于冷空气可以侵入,所以冬季要比塔里木

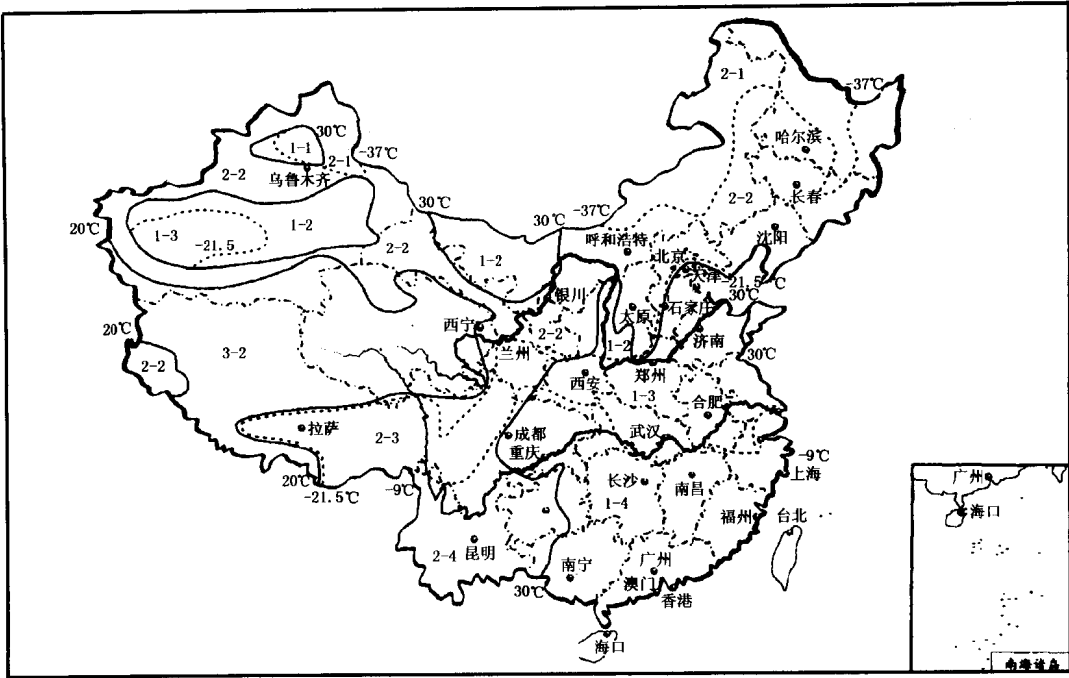


图 1-2 沥青路面气候分区——温度

盆地冷。

1-3 夏炎热冬冷区,分布在燕山以南,太行山以东华北平原、浙江北部、苏、鲁、皖、鄂、秦岭以北、渭水以南地区。

1-4 夏炎热冬温区。在秦岭山脉、四川盆地以南,因有高山围绕,阻滞北方冷空气的入侵,夜间云量又多,地面辐射冷却效应大为减弱,是我国同纬度上冬季最暖的地方,也是我国雨量最多的地方。

沥青路面施工的主要技术要求应根据气候分区确定。

气候分区指标

表 1-1

气候型	型 名	温 度 (°C)	
		七月平均最高气温	年极端最低气温
1-1	夏炎热冬严寒	> 30°C	< -37.0°C
1-2	夏炎热冬寒	> 30°C	-37.0°C ~ -21.5°C
1-3	夏炎热冬冷	> 30°C	-21.5°C ~ -9.0°C
1-4	夏炎热冬温	> 30°C	> -9.0°C
2-1	夏热冬严寒	20°C ~ 30°C	< -37.0°C
2-2	夏热冬寒	20°C ~ 30°C	-37.0°C ~ -21.5°C
2-3	夏热冬冷	20°C ~ 30°C	-21.5°C ~ -9.0°C
2-4	夏热冬温	20°C ~ 30°C	> -9.0°C
3-2	夏凉冬寒	< 20°C	-37.0°C ~ -21.5°C

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,并细分为十一种土。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。为了在野外勘察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,如砂井或塑料板排水固结法;砂层排水加载预压法;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十吨,一次爆破可清除岩石数十万立方米。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 20世纪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70cm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 20世纪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20世纪60年代初,三十多年间,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。十多年来,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,全面推动路面工程学科的发展,为我国交通运输现代化做出贡献。

§ 1-2 路面类型与结构分层

一、公路分级

公路根据使用任务、功能和适用的交通量分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级。

高速公路为专供汽车分向、分车道行驶并全部控制出入的干线公路。

四车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 25 000~55 000 辆;

六车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 45 000~80 000 辆;

八车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 60 000~100 000 辆。

其他公路为除高速公路以外的干线公路、集散公路、地方公路,分四个等级。

一级公路为供汽车分向、分车道行驶的公路,一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 15 000~30 000 辆。

二级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 3 000~7 500 辆。

三级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 1 000~4 000 辆。

四级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为:双车道 1500 辆以下;单车道 200 辆以下。

二、公路等级的选用

公路等级应根据公路网的规划,从全局出发,按照公路的使用任务、功能和远景交通量综合确定。

一条公路,可根据交通量等情况分段采用不同的车道数或不同的公路等级。

各级公路远景设计年限:高速公路和一级公路为 20 年;二级公路为 15 年;三级公路为 10 年;四级公路一般为 10 年,也可根据实际情况适当调整。

对于不符合本标准规定的已有公路,应根据需要与可能的原则,按照公路网发展规划,有计划地进行改建,提高通行能力及使用质量,以达到相关等级公路标准的规定。

采用分期修建公路,必须进行总体设计,使前期工程在后期仍能充分利用。

三、路面分类

(一)按面层的使用品质分

通常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,将路面分为四个等级。

1. 高级路面

高级路面的特点是强度高,刚度大,稳定性好,使用寿命长,能适应较繁重的交通量,路面平整,无尘埃,能保证高速行车。高级路面养护费用少,运输成本低,但初期建设投资高,需要用质量高的材料来修筑。

2. 次高级路面

次高级路面与高级路面相比,强度和刚度较差,使用寿命较短,所适应的交通量较小,行车速度也较低,次高级路面的初期建设投资虽较高级路面低些,但要求定期修理。养护费用和运输成本也较高。

3. 中级路面

中级路面的强度和刚度低,稳定性差,使用期限短,平整度差,易扬尘,仅能适应较小的交

通量,行车速度低。中级路面的初期建设投资虽然很低,但是养护工作量大,需要经常维修和补充材料,才能延长使用年限。运输成本也高。

4. 低级路面

低级路面的强度和刚度最低,水稳定性差,路面平整性差,易扬尘,故只能保证低速行车,所适应的交通量最小,在雨季有时不能通车。低级路面的初期建设投资最低,但要求经常养护修理,而且运输成本最高。

(二)按路面结构力学特性分

路面类型可以从不同角度来划分,但是一般都按面层所用的材料区划,如水泥混凝土路面、沥青路面、砂石路面等。但是在工程设计中,主要从路面结构的力学特性和设计方法的相似性出发,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

柔性路面的总体结构刚度较小,在车辆荷载作用之下产生较大的弯沉变形,路面结构本身的抗弯拉强度较低,它通过各结构层将车辆荷载传递给土基,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和抗剪强度承受车辆荷载的作用。柔性路面主要包括各种未经处理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

刚性路面主要指用水泥混凝土作面层或基层的路面结构。水泥混凝土的强度高,与其他筑路材料比较,它的抗弯拉强度高,并且有较高的弹性模量,故呈现出较大的刚性,在车辆荷载作用下,水泥混凝土结构层处于板体工作状态,竖向弯沉较小,路面结构主要靠水泥混凝土板的抗弯拉强度承受车辆荷载。通过板体的扩散分布作用,传递给基础上的单位压力较柔性路面小得多。

3. 半刚性路面

用水泥、石灰等无机结合料处治的土或碎(砾)石及含有水硬性结合料的工业废渣修筑的基层,在前期具有柔性路面的力学性质,后期的强度和刚度均有较大幅度的增长,但是最终的强度和刚度仍远小于水泥混凝土。由于这种材料的刚性处于柔性路面与刚性路面之间,因此把这种基层和铺筑在它上面的沥青面层统称为半刚性路面。这种基层称为半刚性基层。

刚性路面、柔性路面和半刚性路面,这种以力学特性为标准的分类方法主要是为了便于从功能原理和设计方法出发进行区分,并没有绝对的定量分界界限。近年来材料科学的发展正在逐步改变这种属性,如水泥混凝土的增塑研究正在使它的刚性降低而保留它的高强性质,沥青的改性研究使得沥青混凝土随气候而变化的力学性质趋向于稳定,大幅度提高其刚度。事物都在相互转化之中。

四、路面结构分层

路面结构一般由面层、基层、底基层组成,必要时在土基与基层(或底基层)设置垫层。面层是直接同行车和大气接触的表面层次,它承受较大的行车荷载的垂直力、水平力和冲击力的作用。同时还受到降水的浸蚀和气温变化的影响。因此,同其他层次相比,面层应具有较高的结构强度,抗变形能力,较好的水稳定性和温度稳定性,而且应当耐磨,不透水;其表面还应有良好的抗滑性和平整度。

修筑面层所用的材料主要有:水泥混凝土、沥青混凝土、沥青碎(砾)石混合料、砂砾或碎石掺土或不掺土的混合料以及块料等。

面层有时分两层或三层铺筑,如高速公路沥青面层总厚度 18~20cm,可分为上、中、下三层铺筑,并根据各分层的要求采用不同的级配等级。水泥混凝土路面也有分上下两层铺筑,分别采用不同标号的水泥混凝土材料。水泥混凝土路面上加铺 4cm 沥青混凝土这样的复合式结构也是常见的。但是砂石路面上所铺的 2~3cm 厚的磨耗层或 1cm 厚的保护层,以及厚度不超过 1cm 的简易沥青表面处治,不能作为一个独立的层次,应看作为是面层的一部分。

基层主要承受由面层传来的车辆荷载的垂直力,并扩散到下面的垫层和土基中去,实际上基层是路面结构中的承重层,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。基层遭受大气因素的影响虽然比面层小,但是仍然有可能经受地下水和通过面层渗入雨水的浸湿,所以基层结构应具有足够的水稳定性。基层表面虽不直接供车辆行驶,但仍然要求有较好的平整度,这是保证面层平整性的基本条件。

修筑基层的材料主要有各种结合料(如石灰、水泥或沥青等)稳定土或稳定碎(砾)石、贫水泥混凝土、天然砂砾、各种碎石或砾石、片石、块石或圆石,各种工业废渣(如煤渣、粉煤灰、矿渣、石灰渣等)和土、砂、石所组成的混合料等。

基层厚度太厚时,为保证工程质量可分为两层或三层铺筑。当采用不同材料修筑基层时,基层的最下层称为底基层,对底基层材料质量的要求较低,可使用当地材料来修筑。

底基层是设置在基层之下,并与面层、基层一起承受车轮荷载反复作用,起次要承重作用的层次,底基层材料的强度指标要求可比基层材料略低。

基层、底基层视公路等级或交通量的需要可设置一层或两层。当基层或底基层较厚需分两层施工时,分别称为上基层、下基层,或上底基层、下底基层。

垫层介于土基与基层之间,它的功能是改善土基的湿度和温度状况,以保证面层和基层的强度、刚度和稳定性不受土基水温状况变化所造成的不良影响。另一方面的功能是将基层传下的车辆荷载应力加以扩散,以减小土基产生的应力和变形。同时也能阻止路基土挤入基层中,影响基层结构的性能。

修筑垫层的材料,强度要求不一定高,但水稳定性和隔温性能要好。常用的垫层材料分为两类,一类是由松散粒料,如砂、砾石、炉渣等组成的透水性垫层;另一类是用水泥或石灰稳定土等修筑的稳定类垫层。

§ 1-3 路面结构功能与使用品质

路面的功能不仅能够保证汽车在道路上能够全天候行驶,而且能保证汽车以一定的速度安全、经济、舒适地行驶。

为了保证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,要求路面具有下述一系列基本性能:

1. 强度和刚度

行驶在路面上的车辆,通过车轮把荷载传给路面,在路面结构内部产生应力,应变及位移。如果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、沉陷、波浪或车辙,使路况恶化,服务水平下降。因此要求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。

2. 稳定性

路面结构暴露在大气之中,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,路面的稳定性包括高温稳定性、低温稳定性和水稳定性。

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。

大气降水和高速行驶的车辆使得路面结构内部的湿度状态和水压状态发生变化。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。

3. 耐久性

路面工程投资昂贵,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十年。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,因此路面工程应具有耐久的性能。

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。因此,提高路面的耐久性,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。

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。

5. 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,或紧急制动或突然启动,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,路面上的积雪、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。

§ 1-4 路面设计方法简述

一、水泥混凝土路面设计概述

水泥混凝土路面板具有较高的力学强度,同时又具有较高的弹性模量,在荷重作用之下变形微小,因此从力学观点出发,把水泥混凝土路面称之为刚性路面。水泥混凝土路面有许多种类,如不配筋素混凝土路面、配筋的钢筋混凝土路面、连续配筋混凝土路面、预应力混凝土路面、钢纤维混凝土路面等。由于它们具有相近的力学特征和工作特性,因此都归纳入水泥混凝土路面范畴,各类水泥混凝土路面的设计原理与方法基本上类同。混凝土路面板的弹性模量及力学强度大大高于基层或土基的弹性模量及力学强度,此外,混凝土材料的抗弯拉强度远小于其抗压强度,因此在外荷载作用下,路面板产生破坏的主要形式为局部位置弯拉应力超过容许应力而产生各种形式的板体断裂。

1876年法国初次修筑了水泥混凝土路面,44年后,欧尔德(C. Older)和哥尔德贝克(A. T. Goldbeck)根据材料力学原理,提出了最早的水泥混凝土路面荷载应力计算方法及路面应力计算和厚度设计方法。自20世纪20年代至60年代,水泥混凝土路面应力计算及厚度设计方法方面的研究日趋完善,1926年,韦斯特卡德(H. M. Westergaard),1938年,霍格(A. H. A. Hogg),1939年,舍赫捷尔(О. Я. Шехтеп),1943年,波米斯特(D. M. Burmister),1953年,柯岗(B. H. Koran)等人,在水泥混凝土路面荷载应力及厚度设计方法的研究与贡献为水泥混凝土路面设计方法奠定了基础。60年代中期,有限元法的应用使水泥混凝土路面应力分析与设计计算有了新的发展。张佑启和森克维琦(Zienkiewicz. O. C.)提出了弹性地基板的有限元分析法,敖德逊和玛特洛克(Hudson. W. R. And Matlock. H)用离散单元法分析了温克勒地基上水泥混凝土路面板存在脱空情况下的应力。70年代初沙捷斯(Sargiou. M.)和张佑启、黄仰贤和王先俊系统探讨了弹性地基水泥混凝土路面的有限元分析法。80年代初黄仰贤与邓学钧合作完成了由若干块板组成的多板系统的有限元分析及简化分析法。

随着有限元分析法研究工作的逐步深入,使得过去无法解决的工程计算问题有了解决的可能,如有限大矩形板在任意位置荷载作用下,计算任意位置的应力及位移,具有传力功能的多板系统的应力、位移计算,地基不均匀支承和地基部分脱空等。我国道路工程界在学习国内外研究成果的基础上开展了广泛的研究工作,并且将研究成果系统化,成为现行水泥混凝土路面设计规范的基础。

最近十年,水泥混凝土路面有限元分析又有了新的进展。如利用该方法对中厚板或厚板问题进行应力计算分析,对层间有软弱夹层的双层板的应力分析;采用有限元半分析法分析水泥混凝土路面应力状态等。这些研究工作将推动水泥混凝土路面应力分析与设计计算方法进入一个新的阶段。

二、水泥混凝土路面结构层组合设计

水泥混凝土路面结构层组合较为简单,一般由混凝土面板、基层或垫层组成。混凝土面板是最重要的结构层,它直接承受车轮荷载的水平方向和垂直方向作用,因此要求路面板具有足够的强度与一定的厚度。虽然应力分析的结果表明,在荷载相同的情况下,板中心受荷与板边缘受荷时应力并不相等,但是为了便于施工,都制成等厚式面板。当板的接缝传荷能力较好