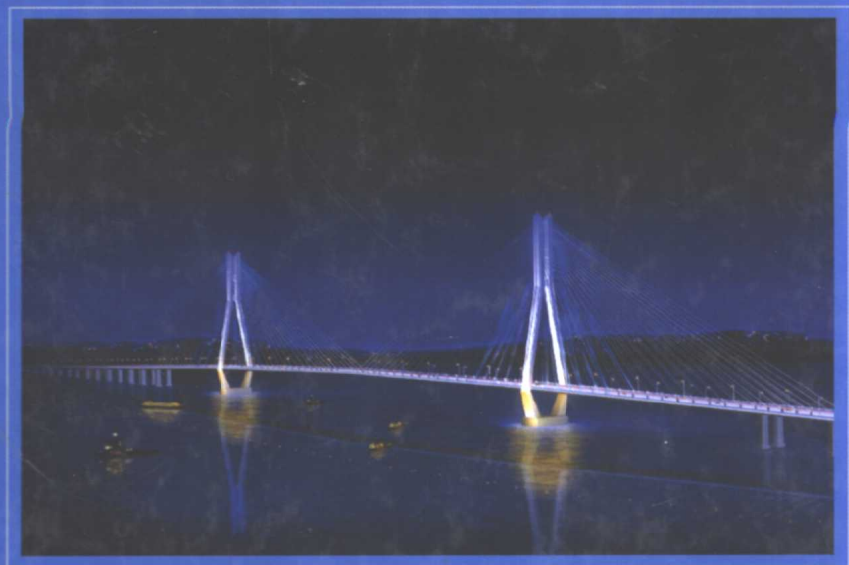


高等沥青路面 设计理论与方法

黄 卫 钱振东 著



科学出版社

高等沥青路面 设计理论与方法

黄 卫 钱振东 著

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书从基层材料特性、沥青混合料组成设计及疲劳特性、沥青路面结构计算等方面,系统地阐述了高等级沥青路面设计理论和方法的最新研究成果以及国内外高等级沥青路面的实践经验。此外,对沥青路面设计可靠度分析、钢箱梁桥桥面铺装等进行了研究和探索。

本书可作为道路工程专业研究生教材或大学高年级学生学习参考书,亦可供从事高等级路面工程科研、教学和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高等沥青路面设计理论与方法/黄卫,钱振东著. -北京:科学出版社,2001.3

ISBN 7-03-008904-9

I. 高… II. ①黄…②钱… III. 沥青路面-设计 IV. U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 54590 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年8月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2001年8月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—2 500 字数:449 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

高等级公路中大多数路面属于沥青混凝土路面,鉴于高等级公路在国民经济中的重要地位,沥青混凝土路面结构的使用性能具有举足轻重的地位。随着新型面层材料、基层材料的面世和工程实践的进一步深入,道路工程界开展了有关材料组成设计、材料性能试验、新型路面结构设计理论与方法等方面的研究。本书根据工程实践从高等级公路沥青路面的基层材料、沥青混合料的组成设计及特性、沥青路面结构设计方法等方面全面介绍国内最新研究成果,并介绍了国外最新沥青研究项目成果。另外,对沥青路面结构的可靠性设计、钢箱梁桥桥面铺装等作了研究和探讨。

本书总结了作者以及部分合作者多年来的科研成果,同时涉及国内外沥青路面结构和材料的最新研究成果。全书共分为十章。第一章沥青路面设计理论的发展,介绍国内外沥青路面设计理论和方法的沿革。第二章沥青路面结构分析,介绍弹性层状体系和黏弹性层状体系基本理论,编制了沥青路面结构弹性层状体系计算程序 DRFP,提出了沥青路面结构近似计算公式。第三章沥青路面设计指标分析,研究沥青路面设计指标间的关系,以及疲劳试验荷载模式与路面应力应变状态的关系。第四章沥青混合料组成设计与特性分析,结合现代高速公路工程建设,进行沥青混合料合理级配分析,研究 SMA 材料级配设计及混合料性能试验。介绍了水泥基复合半刚性面层材料的组成设计方法及性能试验成果。最后,介绍了美国公路战略研究计划(SHRP)的沥青混合料设计方法。第五章沥青混合料的疲劳特性,用能量方法详细研究了沥青混合料的疲劳特性,并基于能耗过程的方法建立了沥青混合料疲劳响应的新模型。第六章土基和基层材料特性,介绍半刚性基层材料特性的研究成果。此外,对优质级配碎石基层防止和

减少半刚性沥青面层反射裂缝开展系统研究。第七章沥青路面设计可靠度分析,阐述可靠度设计理论,采用蒙特卡洛法研究沥青路面结构的可靠性分析,并编制了沥青路面可靠性设计程序 RDFP。第八章钢箱梁桥桥面铺装,结合承担的国家重点交通工程项目,对钢箱梁桥面铺装进行力学分析。研究环氧沥青混凝土等铺装材料的级配组成、混合料性能及疲劳特性。介绍浇注式沥青混凝土桥面铺装技术。第九章沥青路面设计方法,介绍我国沥青路面设计方法,提出沥青路面结构的优化设计。同时介绍美国 AI、AASHTO 和 SHELL 设计方法。第十章路面排水设计,结合工程应用,研究沥青路面内部排水,介绍沥青路面路界地表排水和桥面砼排水设计。

本书重点介绍了国内外的最新研究成果以及国内外高等级沥青路面的实践经验,可供从事道路和机场工程科研、教学和工程设计人员参考使用,也可作为相关专业研究生教材或学习参考书。希望本书对我国的重大交通工程建设具有参考价值,对于促进最新科研成果转化为现代生产力具有积极意义。

本书采用国际单位制,在介绍国外设计方法和作者在伯克利加州大学的部分研究成果时,为方便比较部分使用了英制,同时给出了换算方法。

限于作者的水平,书中难免会有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

黄 卫

2000 年 8 月

Preface

Most of advanced highways belong to asphalt concrete pavements. Because of the important status of advanced highway on national economy, the service ability of asphalt concrete pavement structure holds the balance station. With the development of new types of surface course material, base course material and the further deepness of engineering practice, the relative material composition, material performance test and design theories and methods of new types of pavement structure have been developed in the field of road engineering. The newest researches on base course material, composition design and performance of bituminous mixture, design methods of asphalt pavement structure in the engineering practice are introduced in this book, and latest asphalt project researches abroad are also involved. Moreover, the reliability design of asphalt pavement structure and paving of box-girder steel deck are discussed.

The scientific and technologic achievements of author and partners for many years are summarized in the book and the newest researches of structure and materials of asphalt pavement are involved. The book is divided into 10 chapters. Chapter 1 introduces the development of design theories and methods of asphalt pavement. Chapter 2 introduces the basic theories of elastic layered system and visco-elastic layered system, and presents the approximate calculated equation of asphalt pavement and makes the corresponding calculation program. Chapter 3 studies the relations among design indexes of asphalt pavement and influences of load

modes of fatigue test on stress-strain condition of pavement. Chapter 4, based on construction engineering of expressway, researches the reasonable grade design of bituminous mixture and SMA material and tests the performance of mixture, introduces the composition design method and performance test results of cement based Semi-rigid surface course composite. In the end, Chapter 4 introduces the design method of bituminous mixture in the American Strategic Highway Research Program (SHRP). Chapter 5 researches the fatigue characteristics of bituminous mixture using energy method in detail and establishes the new model of fatigue response of bituminous mixture based on the energy loss process. Chapter 6 introduces the research results of material properties of semi-rigid base course and researches systematically high-quality granular base course preventing and reducing the reflective cracking. Chapter 7 expounds the reliability design theory, analyzes the reliability of asphalt pavement using the method of Monte Carlo and makes the reliability design program of asphalt pavement. Chapter 8, integrating the important national transportation engineering project, analyzes the mechanical response of orthotropic steel deck paving, researches the grade design, mix performance and fatigue characteristics of paving material such as epoxy asphalt concrete, and introduces the steel deck paving techniques of pouring asphalt concrete. Chapter 9 introduces the design method of asphalt pavement in China, presents the optimum design of asphalt pavement structure, and introduces the methods of AI, AASHTO and SHELL. Chapter 10, according to engineering practice, researches the inner drainage design of pavement and introduces the roadside surface drainage of asphalt pavement and drainage design of deck concrete pavement.

The book emphasizes on introducing the latest research results

and practice experiences of advanced asphalt pavement. It is designed to provide references for researchers, teachers and engineers specializing in the highway and airport pavement design. It can also be used as a textbook or reference book for graduate students majoring in it. It is hoped that this book can have reference value for the construction of importation national transportation engineering and have significant effort on the latest scientific and technical research results transferring to modern productivity.

The international standard unit is adopted in this book. Otherwise, part of the book uses English unit in order to be easy to compare with the foreign design methods and the author's research results in Berkley, California University.

We would appreciate criticism and suggestions from our readers.

Huang Wei
Southeast University
Aug. 2000

目 录

前言

第一章 沥青路面设计理论的发展	(1)
第一节 沥青路面设计沿革	(1)
第二节 早期的重要研究	(5)
第三节 理论设计方法的回顾	(13)
第四节 我国沥青路面设计方法的发展	(22)
第二章 沥青路面结构分析	(26)
第一节 弹性层状体系基本理论	(26)
第二节 黏弹性层状体系基本理论	(29)
第三节 弹性层状体系计算程序(DRFP)	(38)
第四节 沥青路面结构近似计算	(42)
第五节 材料参数和层间结合状态分析	(57)
第三章 沥青路面设计指标分析	(60)
第一节 弯沉和路基压应变	(60)
第二节 疲劳试验的荷载模式分析	(78)
第三节 试验荷载模式与路面疲劳特性分析	(80)
第四节 路面应力应变状态与荷载模式的分析	(82)
第四章 沥青混合料组成设计与特性分析	(88)
第一节 沥青混合料组成设计	(88)
第二节 沥青混合料合理级配分析	(93)
第三节 SMA 设计和材料试验	(111)
第四节 水泥基复合半刚性面层材料研究	(137)
第五节 SHRP 沥青混合料设计方法	(153)
第五章 沥青混合料的疲劳特性	(165)
第一节 周期荷载与材料响应滞回曲线	(166)
第二节 沥青混合料的滞后回路方程与能耗	(167)

第三节	沥青混合料的疲劳试验	(170)
第四节	沥青混合料的疲劳响应模型	(191)
第六章	土基和基层材料特性	(203)
第一节	土基材料特性	(203)
第二节	半刚性基层材料特性	(213)
第三节	级配碎石材料特性	(238)
第七章	沥青路面设计可靠度分析	(271)
第一节	路面设计与可靠度理论	(271)
第二节	沥青路面设计参数的变异性分析	(280)
第三节	基于弯沉指标的可靠性分析	(308)
第四节	基于弯拉应力的可靠性分析	(315)
第五节	可靠性设计方法	(319)
第八章	钢箱梁桥桥面铺装	(330)
第一节	钢箱梁桥桥面铺装的基本要求	(330)
第二节	钢箱梁桥桥面铺装的力学分析	(342)
第三节	浇注式沥青混凝土桥面铺装	(363)
第四节	环氧沥青混凝土桥面铺装	(369)
第九章	沥青路面设计方法	(389)
第一节	我国沥青路面设计方法	(389)
第二节	沥青路面结构优化设计	(422)
第三节	美国 AI 设计法	(431)
第四节	AASHTO 设计法	(451)
第五节	SHELL 设计法	(465)
第十章	路面排水设计	(472)
第一节	路面路界地表排水	(472)
第二节	沥青砼桥面排水	(486)
第三节	沥青路面内部结构排水研究	(498)
参考文献		(529)

Contents

Preface

1 DEVELOPMENT OF DESIGN THEORIES OF ASPHALT PAVEMENT	(1)
1.1 Historical Development of Asphalt Pavement Design	(1)
1.2 Early Important Research	(5)
1.3 Review of Theoretic Design Methods	(13)
1.4 Development of Design Method of Asphalt Pavement in China	(22)
2 STRUCTURAL ANALYSIS OF ASPHALT PAVEMENT	(26)
2.1 Basic Theory of Elastic Layered System	(26)
2.2 Basic Theory of Viscoelastic Layered System	(29)
2.3 Calculation Program of Elastic Layered System	(38)
2.4 Approximate Calculation of Asphalt Pavement Structure	(42)
2.5 Material Parameters and Bond Status Analysis among Layers	(57)
3 DESIGN INDEXES ANALYSIS OF ASPHALT PAVEMENT	(60)
3.1 Deflection and Compressive Strain of Subgrade	(60)
3.2 Load Mode Analysis of Fatigue Test	(78)

3.3	Load Mode of Test and Fatigue Characteristic Analysis of Pavement	(80)
3.4	Stress-strain Status of Pavement and Load Mode Analysis	(82)
4	COMPOSITION DESIGN AND PERFORMANCE	
	ANALYSIS OF BITUMINOUS MIXTURE	(88)
4.1	Composition Design of Bituminous Mixture	(88)
4.2	Reasonable Grade Analysis of Bituminous Mixture	(93)
4.3	Grade Design and Material Test of SMA	(111)
4.4	Material Research of Cement Based Semi-rigid Composite Surface Course	(137)
4.5	Design Method of Bituminous Mixture in SHRP	(153)
5	FATIGUE CHARACTERISTICS RESEARCH OF BITUMINOUS MIX	(165)
5.1	Cycle Load and Response Stagnant Regression Curve of Material	(166)
5.2	Stagnant Loop Equation and Energy Loss of Bituminous Mixture	(167)
5.3	Fatigue Test of Bituminous Mixture	(170)
5.4	Fatigue Response Model of Bituminous Mixture	(191)
6	MATERIAL PROPERTIES OF SUBGRADE AND BASE COURSE	(203)
6.1	Material Properties of Subgrade	(203)
6.2	Material Properties of Semi-rigid Base Course	(213)
6.3	Material Properties of Graded Granular	(238)

7	RELIABILITY ANALYSIS OF ASPHALT	
	PAVEMENT DESIGN	(271)
7.1	Pavement Design and Reliability Theory	(271)
7.2	Variability Analysis of Design Parameters of Asphalt Pavement	(280)
7.3	Reliability Analysis Based on Deflection Index	(308)
7.4	Reliability Analysis Based on Flexural Stress	·· (315)
7.5	Reliability Design Method	······ (319)
8	PAVING OF BOX-GIRDER STEEL DECK	······ (330)
8.1	Basic Requirements of Box – girder Steel Deck Paving	······ (330)
8.2	Mechanical Analysis of Box – girder Steel Deck Paving	······ (342)
8.3	Deck Paving of Pouring Bituminous Concrete	(363)
8.4	Deck Paving of Epoxy Asphalt Concrete	······ (369)
9	DESIGN METHODS OF ASPHALT PAVEMENT	······ (389)
9.1	Design Method of Asphalt Pavement in China	(389)
9.2	Optimal Structure Design of Asphalt Pavement	(422)
9.3	Design Method of AI	······ (431)
9.4	Design Method of AASHO	······ (451)
9.5	Design Method of SHELL	······ (465)
10	DRAINAGE DESIGN OF PAVEMENT	······ (472)
10.1	Roadside Surface Drainage of Pavement	······ (472)
10.2	Bridge Surface Drainage of Asphalt Concrete	(486)

10.3	Internal Structure Drainage of Asphalt Pavement	
		(498)
References		(529)

第一章 沥青路面设计理论的发展

第一节 沥青路面设计沿革

沥青路面的起源可追溯到 1850 年前后,法国首先把岩沥青用于道路路面,1845 年马娄(L. Malo)在巴黎修筑了接近现在的薄层沥青路面,这是最早的热铺岩沥青路面。1900 年以后一段时期,汽车数量快速增长,快速行驶的汽车致使道路严重扬尘,因而美国开始使用油料来镇尘。1905 年在杰克逊和田纳西两地的路面建筑中,试验研究使用煤焦油和原油来镇尘。1906 年罗得岛州修筑了沥青碎石路面,试验结果表明,对于繁重的高速行驶汽车的公路应修建沥青碎石路面。

目前,沥青路面常常分成两类,一类是半刚性路面,另一类是柔性路面。凡在沥青路面各结构层中有一层或一层以上用水硬结合料(或称无机结合料)处治过,且该层具有一定的厚度(例如 10 cm 以上)并能发挥其特性时,此路面就称做半刚性路面。沥青路面中的另一类是柔性路面,柔性路面中的各个结构层或是用沥青结合料处治的、或是不用结合料的级配集料或嵌锁型碎石。

路面设计方法的起源大概要追溯到 20 世纪初。1901 年,在美国麻省道路委员会第八次年会上提出了第一个路面设计的公式,以后 40 年中提出了各种各样的设计公式,到 1940 年苟德培(Goldheh)公式,这些公式均属于初期的古典理论公式,其特点都是以轮载分布到土基上应力大小为依据,可以说这是路面设计方法的第一代。

古典设计法未能发展,一方面是因为理论基础薄弱,另一方面更主要的是因为没有正确测定土基承载力的方法。因此,路面设计只好依靠经验判断,研究重点转到土基承载力的评价上。

1929年美国公路管理局提出了土的道路工程分类法(PRA 分类法),同年,美国加州道路局开创了路基土与粒料材料加州承载比(CBR)的相对强度试验法,并于1928年~1944年进行了十多年的道路路面调查。到了20世纪四五十年代,随着土质学和土力学的进步,已经能有把握地确定土基和材料的强度,即能掌握其在现场或室内的物理、力学性质与实际路面耐久性作比较,从而得出路面的经验厚度,这就是通常所说的经验法。

1942年波特(O. J. Porter)根据道路实际使用状况进行了总结,将土的CBR值与路面的经验厚度间建立了关系,得出了图解,提出了CBR法。CBR法是一种典型的且最具影响的经验法,除CBR法外,代表性的经验法有从1929年开始至1947年完成的按土的分类指数法为基础的经验厚度法;从美国地沥青协会的哈费氏(Hubbard-Field)的土基承载板试验法开始发展至1943~1947年形成的加拿大马克里奥(McLeod)设计法;1948年的美国加州维姆(Hveem)法;1949年的美国Kansas州的三轴仪法等。这类经验法都是在一定强度的土基上(如以CBR为指标)修筑一定厚度的面层,以防止在一定交通量条件下在规定的使用年限内路面过分的平整和过深的车辙(永久变形)。它考虑了土基和面层的强度、轮载和交通量,核心内容是解决土地基强度问题,较之古典法大大前进了一步,这是第二代的路面设计方法。

以CBR设计法为代表的第二代路面设计方法只能决定路面的总厚度,而且是从粒料基层为主的薄沥青面层类路面总结而得,对面层、基层的质量难以反映。二次世界大战以后,交通量激增,轮载加重,设计方法急需改进。

1946年根据美国各州公路工作者协会(AASHO)的建议,美国各地开始进行大规模的道路试验。1955年美国西部各州公路工作者协会(WASHO)提出试验成果,同年AASHO试验路也开始施工,积累了大量的实践经验,并于1961年提出了系统成果。AASHO试验路不是采用理论先行实验辅助的一般研究途径,而是根据大规模试验路的实际行车运行结果,总结出对路面有破坏

影响的主要因素,例如不平整度,裂纹,车辙等,把它组合成模型,并根据实验结果予以统计分析,作出评价。作为经验设计方法,它是世界各国最有影响的,成为近代经验设计方法的基础。以后的几十年里,许多国家的道路技术人员对此成果做了许多进一步的研究工作,提出了各自的经验设计方法。AASHO 设计方法是柔性路面设计法中第三代的代表。

AASHO(American Association of State Highway Officials 现改称 American Association of State Highway and Transportation Officials,简称 AASHTO)方法随着道路建设的不断实践以及进一步的研究工作,不断提出新版本的设计方法。1972 年和 1981 年先后进行修订研究工作,1986 年颁布了很有影响的 1986 年版 AASHO 路面设计指南。该路面设计指南的一个显著特点是将概率设计的概念引入到路面设计方法中。1993 年又以 1986 年设计指南为基础,修订颁布了 1993 年版的 AASHTO 路面设计指南。

以试验路为基础的路面设计经验法,尽管试验路工作很有价值,也解决了一些设计、工作中的问题,但是试验路终究不能包括所有因素。更主要的是,由于当代重型交通的发展,各种稳定材料被大量使用,在很多场合下代替了传统的粒料基层,路面结构发生了很大的变化,过去把理论作为配角的经验设计方法感到无能为力,急需研究新的合理的设计方法。力学理论和计算机技术的发展为路面理论研究创造了条件。1943 年 Burmister 发表了双层弹性体系理论且于 1945 年发表了三层弹性体系理论,解决了经验设计法无从反映路面层状性质的局限性,为柔性路面设计理论分析法奠定了基础,推动了路面设计理论研究的发展。

1948 年福克斯(Fox)和亨格(Hank)等给出了应力的数值解,1949 年奥德曼(Odemark)进行了弯沉量与曲率半径的研究,1951 年阿勘姆(Acum)和福克斯求得三层体系各界面中心上的应力,直至 1962 年琼斯(Jones)和皮蒂(Peattie)发表了方便实用的计算图表,使理论法进入了实用阶段。

我国在 1964 年也完成了双层和三层体系应力与位移的数值