



The Design Theory
and Methodology
of Asphalt Pavement Based
on the Cross-Anisotropy

基于横观各向同性的
沥青路面设计理论及方法

栗振锋 Erol Tutumluer 著



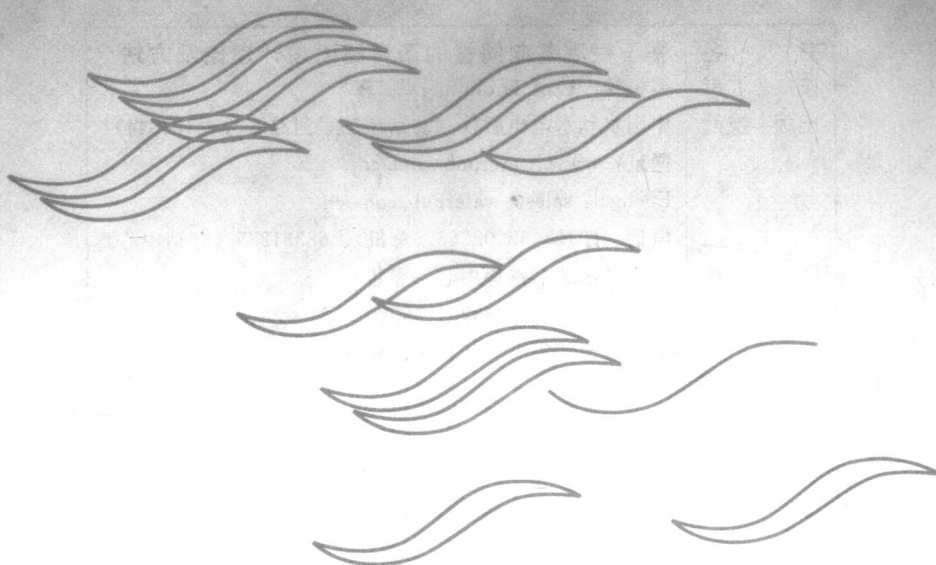
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



The Design Theory
and Methodology
of Asphalt Pavement Based
on the Cross-Anisotropy

基于横观各向同性的
沥青路面设计理论及方法

栗振锋 Erol Tutumluer 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

基于横观各向同性的沥青路面设计理论及方法/栗振锋, (美) 图图穆勒 (Tutumluer, E.) 著. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4328-7

I. 基... II. ①栗... ②图... III. 沥青路面—设计—研究 IV. U416.217.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 155765 号

书 名	基于横观各向同性的沥青路面设计理论及方法
作 者	栗振锋 Erol Tutumluer 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 11.5 印张 301 千字
版 次	2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

半刚性基层沥青路面一直是我国传统的常用路面结构,对于此类路面结构的研究我国一直处于国际先进水平。无论是高速公路还是县乡道路,也无论是北方还是南方,大都采用此类路面结构,而且结构类型和厚度也变化不大。但由此造成的一些问题也是无法避免的,如我国主要以路表弯沉为主要的指标,因此,生产单位较多时候依靠增加水泥剂量来人为地降低弯沉;也有一些单位为了减少表面的混合料离析,人为地增加细料含量。但这些做法有可能造成一些恶劣的后果,如基层裂缝增加、路表水渗入等,而半刚性基层排水效果及水敏感性较差,再加上此类结构一旦开始破坏,路面寿命将呈现出急剧减少的趋势,常使得半刚性基层沥青路面结构出现寿命短、早期破坏等状况。为此,我国交通部于2005年底专门发布了《关于防止高速公路沥青路面早期破坏指导意见的通知》(交公路发〔2005〕523号)。由于世界主要的发达国家大都使用柔性基层沥青路面,而且越重要交通也越少使用半刚性基层沥青路面结构,因此我国交通部的上述文件也提出“鼓励各地加强柔性基层试验研究,在试验路段铺筑成功的基础上加以推广”。柔性基层具有较少早期开裂、较好水敏感性,以及在路面破坏后期所具有的“韧性”,因此在发达国家得到普遍使用。柔性基层主要有沥青类稳定粒料基层和碎石基层两种,我国对其研究较少,因此,尽管很多设计部门及施工单位等提出使用此类路面结构,但限于种种原因,并不能使其有较广泛的推广和应用,其中较为重要的瓶颈就是柔性基层路面结构的设计理论和方法的问题。尽管在国际上普遍使用柔性基层路面结构,但其基于的关键性设计指标和我国的较大差异,因此柔性基层设计理论和方法的研究将是我国现在或将来交通重点研究的课题。尤其是碎石类基层沥青路面结构,尽管国际上在一些较重交通情况下也采用这种结构,但由于我国对于此类材料认识不足,再加上弯沉指标的限制,往往推广起来较为困难。作者认为,柔性基层路面在我国不能较广泛地推广和应用的主要原因,是缺乏对此类材料特性的研究和基于此种特性的设计理论的研究。

对于路面结构的研究,其实最为关键的是路面材料特性的研究,也是较

难研究的。碎石材料现阶段还主要被认为是以各向同性特性为主，但较多的试验证明，碎石材料具有极其明显的横观各向同性（各向异性中的一种，Cross - Anisotropy），对于砂和碎石类粒料，其水平模量与垂直模量比降到 0.2（Graham and Houldby, 1983; Gazetas, 1982; Lo and Lee, 1990; Semmelink and Beer, 1995; Zamhari, 1998）；美国伊利诺斯大学的研究也表明，传统柔性路面的碎石类材料的水平刚度普遍比垂直方向的要低（Tutumluer, 1998）；对于密级配粒料材料，试验表明，若假定材料为各向同性体，其泊松比常常大于 0.5（Allen, 1973; Crockford, 1990; Uzan, 1992）；一些碎石类材料的试验也表明，随着主应力比的增加，材料的横观各向同性特性将更加明显（Lo and Lee, 1990）；通过对不同类型粒料的研究分析，基层碎石类材料的水平向弹性模量与垂直向的比值在 3%~21% 之间，其剪切模量与垂直向的比值在 18%~35% 之间（Tutumluer, 1998）。现行的绝大多数路面分析方法是基于各向同性的线性弹性层状体系，但对于一些路面材料，如松散状的粒状类基层（碎石基层等）和土质路基，一些研究却表明其具有非线性特性（Brown and Pappin, 1981; Thompson and Elliot, 1985）。现所用的大部分解析法，如 AI 法和 FAA 法等，在采用各向同性线性弹性材料模型来预测碎石基层底面的横向拉应力时，数值很大，但基层并没破坏。国际上的一些研究建议采用具有方向依赖性或非横观各向同性的弹性模型来预测碎石类基层底部拉应力，效果较好（Tutumluer, 1995）。横观各向同性的碎石类基层能很好地预测路面的使用性能（Barksdale et al., 1989; Tutumluer et al., 2001），但对于此类路面材料的横观各向同性弹性模量和此种路面结构的响应模型（Response Model），由于试验条件和技术问题，却很少有人涉足。澳大利亚设计法（Austroads）虽然考虑了碎石材料和土基的横观各向同性特性，但其使用的方法是 FEM 法，而且 CIRCLY 程序只能考虑上述两种材料水平模量与垂直模量之比为 0.5 的情况，具有较大的局限性。因此，基于横观各向同性沥青路面设计理论的建立就显得更加重要。

我与美国伊利诺斯大学香槟分校（University of Illinois at Urbana - Champaign）土木与环境工程系（Civil Engineering 北美排名第一）的 Erol Tutumluer 博士研究方向基本一致，Erol Tutumluer 博士于太原科技大学学术访问期间，我们达成了一起著书的协议。本书的主要内容反映了我们近 10 年来，对横观各向同性理论在路面结构设计中应用研究工作。

栗振锋博士自 1998 年起，师从长安大学已故著名道路工程专家胡长顺教授开展这方面的工作，也是我国在道路工程领域首次开展这方面的研究。后

自 2002 年起跟随母校同济大学郭忠印教授从事博士研究工作，现与长安大学王秉刚教授进行博士后合作工作。他们是我进行这方面研究工作的启蒙老师，也是他们孜孜不倦的教诲和鼓励，使我在此研究方向上不断地走下去。尽管条件相当艰苦，得到的资金资助也很少，尤其是对于突破现行的沥青路面设计理论之艰难，并且一边在施工一线进行技术指导和管理工作，一边进行此方面的研究，有段时间，白天在工地跑，晚上进行研究到子夜时分，经常伴随着第二天晨曦的第一缕阳光。此情此景，历历在目，也让人潸然泪下。回想起在长安大学和同济大学度过的美好时光，也使我从青年走向了中年。

Erol Tutumluer 博士很早就进行了道路工程材料横观各向同性特性的研究，并于 2000 年获得了国际著名的 TRB's Prestigious Fred Burgraff Award 奖，得到了包括 FAA、ICAR、FHWA、NCHRP、IDOT、AAR 以及 FRA 等的资助。

本书 Part 1 由栗振锋博士执笔，Part 2 由 Erol Tutumluer 博士执笔，最后由栗振锋博士统稿。

本书 Part 1 主要由基于横观各向同性的半空间体系理论、多层弹性体系理论、沥青路面结构计算与分析程序、考虑路基路面材料横观各向同性特性沥青路面结构设计与分析等组成，值得一提的是，在后面章节中，给出了较多而且全面的有关半刚性基层沥青路面结构（含半刚性基层两阶段设计法）、纯碎石类基层沥青路面结构、复合式沥青路面结构以及碎石下基层沥青路面结构的分析与设计例子，并对它们不同交通量情况下的适应性进行了分析。遗憾的是，由于得到的资金资助不足，实体工程的验证工作无法进行，因此，对于理论分析所得到的结论，有的给出总结，有的未给出，但读者可根据分析结果，得到一些极有意义的结论，也是笔者在此所欣慰的。在本部分中，根据国际流行的沥青路面设计指标，结合我国情况，所有分析都基本考虑了路表弯沉、沥青层底拉应变、半刚性基层底部拉应力、碎石基层底部拉应力以及路基顶部压应变等的影响，这也是本书的一大特色。

本书的 Part 2，Erol Tutumluer 博士主要从未粘结粒料基层（UAB）横观各向同性特性参数试验仪器的研制、室内试验验证、参数影响因素分析、实体工程的验证等方面进行了较为系统的研究与分析，可以说，他所做的一些工作在道路工程领域是开创性的，也与第一部分内容互补，形成本书一完整的体系。

为了较大限度地保持著者的原意，完整反映著者的思想，经商议，Part 1 采用中文出版，Part 2 采用英文出版。如果本书能够对于促进我国沥青路面的

发展起到一些作用，尤其是对于沥青路面设计理论与方法，以及碎石基层在我国的推广和应用起到一定的促进作用的话，将是我们所真心希望的。

非常感谢太原科技大学国际教育与交流合作办公室在外事的协调和组织等方面所做的工作。太原科技大学郭勇义教授、杨波教授、徐格宁教授、李志勤教授、孙大刚教授以及张洪教授等为本书的规划、写作和出版，付出了极其艰辛的劳动。郭勇义教授太原科技大学著作专项基金及博士后启动基金为本书的出版提供了资助。在此一并深表谢意。

也非常感谢同济大学许志鸿教授、吕伟民教授、黄彭教授、谈至明教授、杨群博士、丛林博士，东南大学黄晓明教授，哈尔滨工业大学王哲人教授，长安大学的郝培文教授、沙爱民教授，山西省交通厅王京荣处长、李贵顺处长，山西省交通科学研究院赵队家院长、韩萍总工以及刘少文主任等，在研究过程中，曾得到了他们的热情指导和帮助。中国水利水电出版社的宋晓编辑等为本书的出版给予了很多帮助，特别表示感谢。

谨以此书献给我的父亲、母亲、妻子和儿子，他们在我求学、探索的路上给予了最大的支持和无私的奉献。

栗振锋

2006年11月

目 录

前言

Part 1 基于横观各向同性的沥青路面设计理论及应用

栗振锋

第 1 章 绪论	3
1.1 问题的提出	3
1.2 现阶段的研究	3
1.3 Part 1 研究概述	4
第 2 章 现行柔性路面设计理论及方法	6
2.1 路面设计理论	6
2.2 路面结构分析和计算程序	19
2.3 我国柔性路面设计理论	21
2.4 我国柔性路面设计新指标的构建和讨论	22
第 3 章 计算理论及方法	25
3.1 弹性力学的基本方程	25
3.2 状态空间的基本理论	32
第 4 章 轴对称横观各向同性层状弹性体系半空间问题	36
4.1 状态方程的推导	36
4.2 状态方程解的讨论	38
4.3 状态转移矩阵的求解	39
4.4 多层弹性体系的解法探讨	41
4.5 可蜕化为各向同性体的解	41
4.6 小结	41
第 5 章 轴对称横观各向同性半无限体表面位移的解及影响因素分析	42
5.1 轴对称横观各向同性半无限体表面位移的求解	42
5.2 可蜕化为轴对称各向同性半无限体表面位移的解	44
5.3 与已有解的对比	44
5.4 影响因素的分析	45
5.5 小结	48
第 6 章 轴对称横观各向同性半无限体的通解及应用	50

6.1	轴对称横观各向同性半空间体一般解的 Hankel 变换式	50
6.2	轴对称横观各向同性半空间体一般解	53
6.3	可化简为任意轴对称荷载作用下的“布辛尼斯克解”	55
6.4	半无限体表面位移的显式	57
6.5	半无限体理论的应用——弯沉盆分析	58
第 7 章	基于横观各向同性的多层体系计算理论及 ANISOLAYER 程序编制	61
7.1	轴对称横观各向同性多层体系初始值解的研究	61
7.2	轴对称横观各向同性多层体系的理论解	64
7.3	程序 ANISOLAYER 编制及与已有解的对比	67
7.4	小结	73
第 8 章	基于横观各向同性的我国半刚性路面结构分析	75
8.1	路面材料横观各向同性的研究	75
8.2	半刚性路面路表弯沉分析	76
8.3	半刚性路面结构分析	77
第 9 章	基于横观各向同性的碎石基层路面结构分析	81
9.1	问题的提出	81
9.2	路面材料特性的主要测试仪器	82
9.3	粒状类材料横观各向同性参数的影响因素分析	82
9.4	碎石类基层路表弯沉分析	83
9.5	碎石类基层路面结构分析	84
第 10 章	考虑土基横观各向同性特性的半刚性路面结构设计	89
10.1	路面模型	89
10.2	轴载换算	89
10.3	设计指标	91
10.4	考虑土基横观各向同性特性的路面厚度设计诺谟图	94
10.5	考虑土基横观各向同性特性的 ANISOLAYER 程序设计	95
10.6	山西省大运二级路弯沉调查及理论方法验证	98
10.7	小结	98
第 11 章	考虑土基和碎石基层横观各向同性特性的路面结构设计	100
11.1	路面模型	100
11.2	设计指标	100
11.3	考虑土基和碎石基层横观各向同性特性的路面厚度设计诺谟图	100
11.4	考虑土基和碎石基层横观各向同性特性的 ANISOLAYER 程序设计	101
11.5	小结	104
第 12 章	主要结论和建议	105
12.1	主要结论	105

12.2 进一步研究的建议	106
参考文献	107

Part 2 Laboratory and Field Validations of the Cross-Anisotropic Behavior of Unbound Aggregate Bases *Erol Tutumluer*

INTRODUCTION	111
SUMMARY OF RESEARCH EFFORTS IN STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF UABS	112
ORGANIZATION	115
LABORATORY DETERMINATION OF ANISOTROPIC AGGREGATE MODULI	118
PREVIOUS LABORATORY STUDIES ON CROSS-ANISOTROPY	119
UNIVERSITY OF ILLINOIS FASTCELL (UI-FC) -DESCRIPTION AND CAPABILITIES	120
MATERIALS TESTED	122
<i>Material Selection and Properties</i>	122
<i>Sample Preparation</i>	124
RESILIENT MODULUS TESTING	124
INTERPRETATION OF TEST RESULTS	126
<i>Resilient Moduli from UI-FC Triaxial Testing</i>	126
<i>Validation of Testing Approach</i>	126
<i>Anisotropy of Aggregate Moduli</i>	127
<i>Effects of Different Procedures on Anisotropic Moduli</i>	129
SUMMARY OF LABORATORY FINDINGS ON ANISOTROPY	130
FIELD VALIDATIONS WITH FULL-SCALE PAVEMENT TEST SECTIONS	132
GT-PAVE FINITE ELEMENT PROGRAM	132
<i>Nonlinear Solution Technique</i>	134
GEORGIA TECH FULL-SCALE PAVEMENT TEST STUDY	135
<i>Test Section Construction</i>	137
<i>Performance of the Test Sections</i>	138
LABORATORY EVALUATION OF NORCROSS CRUSHED STONE AT THE UNIVERSITY OF ILLINOIS	139
<i>Material Properties</i>	139
<i>Resilient Modulus Testing</i>	141
MODELING OF GA TECH PAVEMENT TEST SECTIONS	143
<i>Material Properties Assigned In the Early Work by Tutumluer (1995)</i>	144

<i>Test Section Resilient Response Predictions by Tutumluer (1995)</i>	146
<i>Test Section Response Predictions From Linear Elastic Analyses</i>	147
<i>Test Section Response Predictions From Nonlinear Isotropic Analyses</i>	149
<i>Test Section Response Predictions From Nonlinear Anisotropic Analyses</i>	151
<i>Stress States from Anisotropic Modeling</i>	158
SUMMARY AND CONCLUSIONS	161
LABORATORY DETERMINATION OF ANISOTROPIC	
AGGREGATE MODULI	161
FIELD VALIDATIONS WITH FULL-SCALE PAVEMENT TEST	
SECTIONS	162
RESEARCH NEEDS FOR IMPLEMENTATION	165
REFERENCES	167

LIST OF TABLES

Table 1	Compaction properties of the four aggregates tested	123
Table 2	Test procedures and stress states applied on aggregate samples	125
Table 3	The geometry and performance summary of GA tech pavement test sections (after Barksdale and Todres, 1983)	136
Table 4	Aggregate gradations and material properties used in flexible pavement test sections	137
Table 5	Detailed summary of resilient test section response	139
Table 6	Modified proctor (AASHTO T-180) properties of GA tech base course aggregates	140
Table 7	Achieved dry densities and moisture contents for all modulus test samples	141
Table 8	Model parameters for vertical moduli; ICAR protocol and AASHTO T294 - 94 or the new AASHTO T307 - 99 stress state tests	142
Table 9	Material properties and model parameters used in modeling pavement test section response (after Tutumluer, 1995)	145
Table 10	Comparison of predicted and measured response variables (after Tutumluer, 1995)	146
Table 11	Linear elastic base properties used in modeling pavement test section response	147
Table 12	Comparison of predicted and measured response variables for conventional pavement sections - linear elastic analyses	148

Table 13	Comparison of predicted and measured response variables for inverted pavement sections - linear elastic analyses	148
Table 14	Isotropic model parameters used in modeling pavement test section response	149
Table 15	Comparison of predicted and measured response variables for conventional pavement sections - nonlinear isotropic	150
Table 16	Comparison of predicted and measured response variables for inverted pavement sections - nonlinear isotropic	150
Table 17	Anisotropic model parameters used in modeling pavement test section response	152
Table 18	Comparison of predicted and measured response variables for conventional pavement sections-nonlinear anisotropic	155
Table 19	Comparison of predicted and measured response variables for inverted pavement sections-nonlinear anisotropic	156

LIST OF FIGURES

Figure 1	University of Illinois FastCell (UI-FC) advanced triaxial testing device	122
Figure 2	Gradation curves for the four aggregates tested	123
Figure 3	Variation of vertical and horizontal moduli with deviator stress for an isotropic synthetic specimen	127
Figure 4	Variation of vertical and horizontal moduli with deviator stress from two different test procedures for CA-6	128
Figure 5	Variation of vertical and horizontal moduli with deviator stress from two different test procedures for CA-11	129
Figure 6	Variation of vertical and horizontal moduli with deviator stress from two different test procedures for CL-3sp	129
Figure 7	Variation of vertical and horizontal moduli with deviator stress from two different test procedures for pea gravel	130
Figure 8	Resilient modulus search technique using secant stiffnesses for the stress hardening granular material behavior	134
Figure 9	Gradation curves for norcross crushed stone and other GA tech base materials	140
Figure 10	Variations of vertical moduli with deviator stresses from AASHTO T294-94 or the new AASHTO T307-99 stress state tests	142

Figure 11	<i>K-θ</i> Models showing variation of vertical moduli with bulk stresses	143
Figure 12	Typical cross sections of GA tech pavement test sections	143
Figure 13	Variation of constant ratios in horizontal and shear stiffness ratio models (after Tutumluer and Thompson, 1998)	153
Figure 14	Variation of stress exponents in the horizontal stiffness ratio model (after Tutumluer and Thompson, 1998)	154
Figure 15	Variation of stress exponents in the shear stiffness ratio model (after Tutumluer and Thompson, 1998)	154
Figure 16	Vertical modulus distribution within the base predicted by Texas-3 model	157
Figure 17	Modular ratio (M_k^H/M_k^V) distribution within the base predicted by Texas-3 model	158
Figure 18	Vertical modulus distribution within the base predicted by AASHTO T294-94 model	158
Figure 19	Distribution of centerline radial stresses within the base predicted by different analyses	159

Part 1

基于横观各向同性的沥青 路面设计理论及应用

栗振锋

太原科技大学

第1章 绪论

1.1 问题的提出

目前,世界各国的路面设计方法可分为两大类:一类是以使用经验或试验路试验结果为依据的经验法;另一类是以弹性理论为基础并由试验确定计算参数的力学经验法。

在我国,现行的路面设计理论基础有:对于水泥混凝土路面为弹性地基板理论;对于柔性路面为弹性层状体系理论。

美国现行路面设计规范是由现场试验路的情况统计得到的以经验法为主的设计方法,它具有明显的地区性、特定的气候性和明显的路面材料和结构性要求等,已不能满足现代交通和材料的发展需求;现代微机和力学方法的发展,也为制定新的具有普适性的力学——经验路面设计方法奠定了基础(美国的2002-PDG, NCHRP1-37A项目)。无论何种方法,都要求能够很好地描述路面所用材料的特性,这才是路面分析和设计中最复杂的问题之一。

在荷载作用下的路面结构各层次的力学表现为是不一样的。沥青材料具有弹粘性,对时间和温度具有依赖性,而现在的一些试验也已证明,土及碎石类材料对应力的等级等具有很大的敏感性,其方向依赖性很强。

现行的绝大多数路面分析方法是基于各向同性的线性弹性层状体系,但对于一些路面材料,如松散状的粒状类基层(碎石基层等)和土质路基,一些研究却表明其具有非线性特性(Brown and Pappin, 1981; Thompson and Elliot, 1985)。现所用的大部分解析法,如AI法和FAA法等,在采用各向同性线性弹性材料模型来预测碎石基层底面的横向拉应力时,数值很大,但基层并没有被破坏。国外的一些研究建议采用具有方向依赖性或横观各向同性的弹性模型来预测碎石类基层底部拉应力,效果较好(Tutumluer, 1995)。横观各向同性的碎石类基层能很好地预测路面的使用性能(Barksdale et al., 1989; Tutumluer et al., 2001),但对于此类路面材料的横观各向同性弹性模量和此种路面结构的响应模型,由于试验条件和技术问题,却很少有人涉足。

因此,建立基于横观各向同性的柔性路面设计理论与方法,已显得极其重要。

1.2 现阶段的研究

在国内,对于横观各向同性弹性力学的研究,我国的浙江大学和同济大学等高校有较深入的探讨,在岩土工程方面的应用取得了很大的进展。使用状态空间理论,曾得到了基于横观各向同性的半空间体系解,为基于横观各向同性的层状体系理论在路面设计中的应用奠定了基础。

在国外,对于材料的横观各向同性参数的试验研究已有很大的进展。一些研究表明,对于粘性土,其水平方向与垂直方向的弹性模量比为 $0.9\sim 4$ 之间,而对于砂和碎石类粒料,其模量比降到 0.2 (Graham and Houldby, 1983; Gazetas, 1982; Lo and Lee, 1990; Semmelink and Beer, 1995; Zamhari, 1998)。美国伊利诺斯大学的研究也表明,传统柔性路面的碎石类材料的水平刚度普遍比垂直方向的要低 (Tutumluer, 1998)。对于密级配粒料材料,试验表明,若假定材料为各向同性体,其泊松比常常大于 0.5 (Allen, 1973; Crockford, 1990; Uzan, 1992)。一些碎石类材料的试验也表明,随着主应力比的增加,材料的横观各向同性特性将更加明显 (Lo and Lee, 1990)。通过对不同类型粒料的研究分析,基层碎石类材料的水平向弹性模量与垂直向的比值在 $3\%\sim 21\%$ 之间,其剪切模量与垂直向的比值在 $18\%\sim 35\%$ 之间 (Tutumluer, 1998)。

对于测定横观各向同性弹性参数的仪器开发方面,我国的同济大学曾自制了真三轴仪。美国伊利诺斯大学的 Tutumluer 开发了具有创新意义的三轴仪 (UI-FastCell),能较好地解决在测定碎石类材料横观各向同性弹性参数时所遇到的一些问题,而且稳定性和精度都较好。作为美国国家合作公路研究项目 NCHRP4-23 的一部分,粒状类材料的试验特性的研究中,UI-FastCell 仪器被用作确定不同应力比条件下的材料的横观各向同性的弹性模量,用以调查材料的横观各向同性弹性模量与粒料质量和强度特性之间的关系。

1.3 Part 1 研究概述

本书 Part 1 针对路面材料本身具有各向异性的特征,建立了基于横观各向同性的路面响应模型,探讨在路面结构分析中应用此理论进行分析的方法。本部分在收集、分析现有国内外研究成果的基础上,针对路面材料各向异性的特征,进行了理论推导、程序编制、路面结构计算与分析,建立了基于横观各向同性路面结构设计方法,并成功运用于我国传统的半刚性基层沥青路面以及含碎石材料层的路面结构中。

第2章首先在评述现行柔性路面设计理论和设计方法的基础上,讨论了现有路面结构分析程序,对其材料模型和相关理论体系进行了分析。然后,对我国的柔性路面设计方法进行了评述,结合现在正在修订的沥青路面设计方法,提出了构建新的柔性路面设计指标的设想。

第3~第6章主要针对基于横观各向同性的半空间体理论和实际应用进行了研究和分析。

第3章针对本研究所基于的设计理论与方法进行了介绍,详细推导了刚度系数和工程弹性参数之间的关系。

第4章在上述理论的基础上,给出了基于横观各向同性的轴对称层状弹性体系的状态方程,并对状态方程的解进行了讨论,对此种情况下的多层体系解法进行了初步的探讨,给出了解法的整体思路,经弹性参数的蜕化,与各向同性的理论解进行了对比,验证了方法的可靠性。

第5章推导出状态转移矩阵的显式,经过复杂的计算,给出了轴对称荷载作用下半无限体表面位移的统一解(转化公式),并与已有的解进行了对比,验证了本研究的结果。同时,采用双因素的分析方法,全面系统地对半无限体表面位移的影响因素进行了分析,