

沥青混凝土黏弹性损伤 与防裂控制

Viscoelastic Damage and Cracking
Controll of Asphalt Concrete

孙雅珍 王金昌◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国家自然科学基金项目 (51478276) 资助

沥青混凝土黏弹性损伤 与防裂控制

Viscoelastic Damage and Cracking
Control of Asphalt Concrete

孙雅珍 王金昌◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书研究沥青混凝土的黏弹性损伤演化过程和发生机理,通过添加土工合成材料加铺层和采取纤维增强等措施达到沥青混凝土防裂控制的目的。全书共6章,主要内容包括绪论,黏弹性理论基础,沥青混凝土材料黏弹性损伤理论与求解方法,沥青混合料分数阶导数型黏弹性本构模型的研究,含裂缝沥青混凝土黏弹性损伤演化数值模拟分析,以及基于黏弹性损伤断裂耦合理论的沥青混凝土的防裂控制研究等。

本书可供普通高等院校工程力学、材料科学、土木工程等有关学科和技术工程领域的科研人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

沥青混凝土黏弹性损伤与防裂控制/孙雅珍,王金昌著. —
北京:中国电力出版社,2016.11

ISBN 978-7-5198-0062-8

I. ①沥… II. ①孙… ②王… III. ①沥青混凝土—粘弹性—研究 IV. ①TU528.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 284874 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9.75 印张 237 千字

定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

沥青混凝土结构的损伤演化是伴随开裂过程发生的, 沥青混凝土为黏弹性体, 研究沥青混凝土的损伤演化必须考虑沥青混凝土的黏弹性行为。本书研究沥青混凝土的黏弹性损伤演化过程和发生机理, 通过添加土工合成材料加铺层和采取纤维增强等措施达到沥青混凝土防裂控制的目的。

全书共分 6 章。第 1 章为绪论; 第 2 章为黏弹性理论基础; 本书第 3 章以后的主要内容是作者及所在的研究组近几年参加国家基金项目和部分重要工程研究任务取得的研究成果。第 3 章为沥青混凝土材料黏弹性损伤理论与求解方法, 主要应用黏弹性力学、断裂力学和损伤力学耦合的方法来研究沥青混凝土材料的破坏(损伤断裂)理论。首先应用黏弹性理论确定沥青混凝土的黏弹性参数; 然后应用断裂与损伤耦合的方法确定已含裂缝沥青混凝土材料的破坏准则; 在此基础上构建出沥青混凝土材料破坏的黏弹性损伤耦合分析过程。第 4 章为沥青混合料分数阶导数型黏弹性本构模型的研究, 选用反映黏弹性材料力学特性的分数阶导数型黏弹性本构模型, 丰富了黏弹性理论。应用分数阶导数理论建立了沥青混凝土分数阶导数黏弹性应力强度因子本构方程, 考虑沥青混凝土面层的松弛特性, 对称载荷、非对称载荷和温度载荷的作用, 通过数值计算的方法分析含反射裂缝沥青路面应力强度因子的松弛效应。第 5 章为含裂缝沥青混凝土黏弹性损伤演化数值模拟分析, 主要内容包括: 考虑沥青混凝土的黏弹性, 分析了温度作用下的含表面裂缝沥青混凝土路面松弛特性; 分析了行车载荷作用下的含反射裂缝沥青混凝土路面松弛特性; 考虑松弛与损伤的耦合, 对含裂缝沥青混凝土路面的黏弹性损伤演化进行了数值模拟分析。第 6 章

为基于黏弹性损伤断裂耦合理论的沥青混凝土的防裂控制研究。本章重点探讨了两种沥青路面的防裂控制方法。重点讨论了两种防裂控制，一是土工合成材料加铺层的抗裂效果；二是纤维增强沥青混凝土路面的力学性能和耐久性及其低温抗裂能力。

限于编者的水平和经验，书中难免存在错误和不当之处，恳请同行专家和广大读者批评指正。在此表示深深谢意。

孙雅珍

2016年4月 于沈阳

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外研究综述	1
1.1.1 关于沥青路面黏弹性损伤断裂分析方面	1
1.1.2 关于防裂控制研究方面	3
1.1.3 存在的问题	6
1.2 本书内容概述	6
第 2 章 黏弹性理论基础	8
2.1 基本概念	8
2.1.1 黏弹性理论	8
2.1.2 黏弹性	9
2.1.3 蠕变	10
2.1.4 松弛	11
2.1.5 蠕变与松弛本构关系的等效性	12
2.2 黏弹性模型理论	12
2.2.1 基本元件	12
2.2.2 几种常见的模型	13
2.2.3 广义 Maxwell 模型和广义 Kelvin 模型	19
2.2.4 微分型本构方程	21
2.3 积分型本构理论	24
2.3.1 线性叠加原理	24
2.3.2 蠕变型本构方程	25

2.3.3 松弛型本构方程	27
2.4 动态性能和温度效应	28
2.4.1 黏弹性模型对于交变应力的影响	28
2.4.2 时温等效性	31
第3章 沥青混凝土材料黏弹性损伤理论与求解方法	33
3.1 沥青混凝土的松弛模量	34
3.2 沥青混凝土黏弹性损伤理论	36
3.2.1 损伤力学求解方法	36
3.2.2 蠕变型损伤本构方程	37
3.2.3 松弛型损伤本构方程	37
3.3 单向拉伸条件下的裂纹扩展准则	38
3.3.1 初始损伤区与断裂区的确定	38
3.3.2 断裂区边界上开裂角的确定	42
3.3.3 三型裂纹损伤区和断裂区的分布及起裂点的坐标	44
3.4 单轴压缩条件下裂纹的破坏模式分析	47
3.4.1 初始扩展	47
3.4.2 翼型裂纹	47
3.5 沥青混凝土材料的黏弹性损伤求解方法	50
3.5.1 沥青混凝土材料的黏弹性损伤分析参数的确定	50
3.5.2 沥青混凝土材料的黏弹性损伤分析过程	50
本章小结	53
第4章 沥青混合料分数阶导数型黏弹性本构模型的研究	55
4.1 分数阶导数理论	55
4.1.1 分数阶微积分的定义	55
4.1.2 两个重要的函数	56
4.2 分数阶导数模型	58
4.2.1 Abel 模型	58
4.2.2 几种常见的分数导数模型	59
4.3 基于广义 Maxwell 模型的黏弹性损伤本构方程	64

4.4	基于分数阶导数黏弹性应力强度因子本构方程的建立	66
4.5	沥青路面松弛应力强度因子分析	67
4.5.1	路面结构层参数及荷载作用	67
4.5.2	应力强度因子数值计算	68
4.5.3	结论	71
	本章小结	71
第5章	含裂缝沥青混凝土黏弹性损伤演化数值模拟分析	72
5.1	含裂缝沥青混凝土路面力学模型的建立	72
5.1.1	基本假定	72
5.1.2	荷载场与温度场的确定	72
5.1.3	两种裂缝模型的建立	74
5.1.4	模型尺寸的确定	76
5.1.5	单元类型的选择	79
5.2	模拟沥青混凝土的损伤断裂演化方法	80
5.2.1	模拟裂缝扩展的方法	80
5.2.2	模拟路面损伤断裂演化的局部加密法	83
5.3	含裂缝沥青混凝土材料松弛特性分析	84
5.3.1	温度作用下含表面裂缝沥青混凝土路面松弛特性分析	84
5.3.2	行车载荷作用下含反射裂缝沥青混凝土路面松弛特性分析	96
5.4	含裂缝沥青混凝土的黏弹性损伤演化分析	104
5.4.1	含裂缝沥青混凝土路面黏弹性损伤因子分析	104
5.4.2	含裂缝沥青混凝土路面的损伤演化分析	105
5.4.3	含裂缝沥青混凝土路面的损伤区半径和断裂区半径计算与分析	105
	本章小结	107
第6章	基于黏弹性损伤断裂耦合理论的沥青混凝土的防裂控制研究	109
6.1	土工合成材料防裂控制研究	109
6.1.1	土工合成材料概述	109
6.1.2	土工合成材料的抗裂机理	112

6.1.3	土工合成材料加铺层的防裂效果的数值分析	113
6.1.4	土工合成材料加铺层抗裂性能试验研究	118
6.1.5	小结	127
6.2	纤维增强沥青混凝土疲劳寿命分析	128
6.2.1	纤维沥青混凝土劲度模量的确定	129
6.2.2	纤维增强沥青混凝土路面疲劳寿命分析	133
6.3	纤维增强沥青混凝土松弛损伤演化分析	134
6.3.1	纤维增强沥青混凝土松弛模量的确定	134
6.3.2	纤维增强沥青混凝土路面松弛损伤演化分析	135
	本章小结	136
	参考文献	138
	作者简介	145

绪 论

沥青路面裂缝一直是困扰公路建设和养护的主要问题。因为沥青混合料为黏弹性材料,沥青路面的损伤演化又是伴随着路面开裂过程发生的,所以,研究沥青路面的黏弹性损伤和防裂控制成为交通领域和力学领域的热点和难点问题。本书基于黏弹性与损伤耦合的方法研究沥青路面的黏弹性损伤断裂过程和发生机理;应用理论、数值模拟和室内试验的方法研究沥青混凝土黏弹性损伤与防裂控制。

1.1 国内外研究综述

1.1.1 关于沥青路面黏弹性损伤断裂分析方面

关于沥青混合料的黏弹性损伤力学特性方面。郑建龙等^[1,2]用 Weibull 函数来描述沥青内部缺陷的分布,将 Burgers 黏弹性模型与连续损伤因子模型二者耦合建立了沥青的黏弹性损伤模型。表明在沥青黏弹性性能评价过程中考虑损伤效应的影响是必要的。向晋源等^[3]提出基于耦合损伤力学模型的混合料高温性能评价新指标蠕变度和平均车辙深度。张久鹏等^[4,5]综合运用黏塑性力学和损伤力学理论,同时引入应变硬化变量和损伤软化变量,建立了基于应变硬化理论的沥青混合料损伤蠕变模型。得到了弹黏塑性损伤力学模型的相关参数。关宏信等^[6]提出了沥青混合料黏弹性疲劳损伤演化模型参数的试验方法和沥青路面黏弹性疲劳损伤分析简化方法,运用该方法分析了沥青路面在重复汽车荷载作用下疲劳损伤的演化进程,结果表明该黏弹性疲劳损伤演化模型是可以用

来分析沥青路面疲劳寿命的。熊华等^[7]进行了单轴压力下沥青混合料黏弹性及损伤特性试验研究,拟合得到了 AC13 及 SMA-13 疲劳损伤的非线性演化模型方程,较好地模拟了沥青混合料的疲劳损伤演化过程。朱浩然等^[8]基于热力学理论提出的沥青混合料黏弹-黏塑性损伤本构模型能够表征沥青混合料在多种压缩加载模式下的力学行为特征。杨新华等^[9~12]对沥青混合料黏弹塑蠕变损伤本构模型进行了实验研究,利用三维随机模型分析了沥青混合料的蠕变行为。朱洪洲等^[13]建立了沥青混合料疲劳-蠕变交互作用损伤模型。叶永等^[14]对沥青混合料稳态本构模型进行了实验研究。

Yong-Rak Kim^[15]等应用有限元方法建立了能预测沥青混合料的非线性黏弹性损伤和破坏过程的本构模型,同时对热沥青混合料的损伤特性进行了实验研究。Fujie Zhou, Tom Scullion, Eyad Masad, Jiupeng Zhang 等^[16~18]评价了沥青混合料的永久变形行为。Qingli Dai 等^[19]应用离散元模型预测了沥青混合料的蠕变损伤刚度。E. R. Brown 等^[20]对热沥青混合料进行了限定和非限定蠕变对比研究。Maria Castro, Ghassan R., Lu Sun^[21~23]等研究了沥青混合料的黏弹塑性本构模型。从国内外研究成果可以看出:研究沥青混合料的黏弹性应该考虑损伤的影响。因此需建立材料的黏弹性损伤理论来真正地描述沥青混合料的力学特性。为此本课题应用黏弹性损伤理论研究沥青混合料的黏弹性损伤本构关系。

关于沥青路面的黏弹性损伤断裂分析方面。国内外关于路面裂缝的研究在 20 世纪 30 年代就开始了,到六七十年代有了很大进展。80 年代初 K. Majdzadeh 等提出在路面结构设计中应用断裂力学理论,之后的三十年,国内专家从温度、湿度变化,行车荷载以及路基条件等多方面探讨裂缝产生机理,无论从实验和理论研究上都取得可喜的成就。罗辉等^[24]基于断裂力学理论,利用无网格伽辽金/有限元耦合方法,对沥青路面表面裂纹的扩展进行了数值模拟,通过对表面裂纹扩展过程中的应力强度因子变化规律和裂纹扩展路径的分析,以及面层、基层设计参数对裂纹扩展的影响的研究,探讨沥青路面表面裂纹扩展机理。杨斌等^[25]采用三维有限元法对设置普通沥青混凝土与特粗粒径沥青碎石两种类型裂缝缓解层的加铺结构进行力学对比分析。毛成^[26]等基于线弹性断裂力学有限元方法和窗口移动技术,编写了能同时处理四边形 8 结点等参单元和三角形 6 结点奇异等参单元的二维沥青路面裂纹扩展路径模拟程序——APCPPS2D,能同时考虑交通荷载和温度荷载的作用,也能同时模拟多

条裂纹的扩展行为。徐华^[27]等利用改进的 Williams 级数、等参元和广义参数有限元法提出并建立了半刚性基层路面荷载型反射裂缝应力强度因子分析的广义参数 Williams 单元计算路面结构反射裂缝扩展的疲劳寿命。王宏畅, 黄晓明^[28]等采用奇异等参元法及断裂力学理论, 计算分析具有级配碎石基层的半刚性基层沥青路面反射裂缝的扩展规律, 并按裂缝产生和裂缝扩展两阶段方法, 计算预估其相应的疲劳寿命。以往的研究成果中, 用断裂力学的方法来研究路面损伤的比较多, 而用损伤研究路面演化的成果相对少。文献^[29]应用黏弹性和黏塑性损伤本构模型, 研究了柔性路面的损伤演化。文献^[30]应用黏弹性和黏塑性损伤本构模型研究温度载荷下的沥青混凝土裂缝扩展。文献^[31]研究了沥青路面的疲劳损伤。文献^[32,33]应用非线性黏弹性和黏塑性损伤本构模型研究沥青路面的永久变形。

断裂力学只研究固体中裂纹性缺陷扩展的规律, 无法研究分析宏观裂纹出现以前材料中的微缺陷或微裂纹的形成及其发展对材料力学性能的影响, 而且许多微裂纹的存在并不能简化为宏观裂纹, 这是断裂力学的缺陷。材料中由于损伤形成了宏观裂纹, 在外载荷作用下, 裂纹从萌生、扩展到最后的失稳扩展, 这是一个过程。损伤力学则研究材料或构件从原生缺陷到形成宏观裂纹直至断裂的全过程。所以研究路面裂缝的扩展必须用断裂力学与损伤力学相结合的方法。

1.1.2 关于防裂控制研究方面

1. 关于高黏弹性沥青混合料的黏弹性损伤模型研究方面

(1) 关于沥青混合料蠕变模型的研究方面。沥青混合料由沥青基质 2.36mm 以下细集料组成, 选用不同模型描述沥青混合料的蠕变特性, 助于理解其黏弹性行为, 实验得到的蠕变数据可用于确定模型的材料参数^[34,35]。最常用的黏弹性模型是麦克斯韦模型和开尔文模型、具有瞬时弹性特征的三参数固体模型、具有流体流动特征的三参数流体模型和具有瞬时弹性固体特征的四参数固体模型, 兼顾瞬时弹性和流体流动特征^[36], 可表征沥青混合料的加速蠕变特征的指数模型^[37,38]。文献^[39]描述不同应力水平下沥青混合料的蠕变特性, 并通过与实验结果比较, 评价模型的适用性。文献^[40]进行了沥青混合料在不同实验温度和不同应力条件下压缩和蠕变实验。分析沥青混合料稳态蠕变行为, 得出其稳态蠕变应力与应变率关系具有与纯沥青相似规律。通过引入劲度因子,



进行劲度因子与实验温度相关性分析,得到了沥青混合料稳态蠕变本构模型方程。该模型预测值与实验结果吻合较好。

(2) 关于沥青混合料蠕变损伤模型的研究方面。在外载荷和环境因素的作用下,沥青混合料会随着微缺陷(或损伤)的扩展^[41]逐渐改变结构性能,这说明损伤是材料非线性的重要原因之一^[42]。因此,耦合损伤的沥青混合料非线性本构模型对于研究沥青混合料力学行为具有非常重要的意义。Park 等^[43]确立沥青混合料的黏弹性损伤模型,并利用单轴实验得到模型参数。郑健龙等^[44]用 Weibull 函数来描述沥青内部缺陷的分布,将 Burgers 黏弹性模型与连续损伤因子模型二者耦合建立了沥青的黏弹性损伤模型。张久鹏等^[45]以流变学模型为基础,综合考虑损伤和硬化效应,建立了一个统一的沥青混合料损伤蠕变模型。不过,目前研究重点大都主要集中在蠕变的前两个阶段,而对高载荷与高温下的加速蠕变阶段的研究尚不多见。Lu 和 Wright^[46]通过把沥青混合料的变形分解成弹性、黏弹性和黏塑性,采用不同模型描述这些变形分量,提出了一个黏弹塑微分型本构模型。Ye 等^[47]在沥青混合料单轴蠕变实验的基础上,对 Burgers 模型进行扩展,通过引入非线性黏性阻尼器构建黏塑性体,得到了适应单轴实验条件、反映沥青混合料整个蠕变特征的非线性蠕变模型。

2. 关于防裂控制研究方面

沥青混凝土路面防治反射裂缝的措施主要有如下几种:增加沥青面层的厚度,采用土工合成材料夹层,以及在沥青混合料中掺入纤维等阻裂材料。

(1) 土工合成材料加铺层防裂控制。RMCa 的实验结果表明^[48],当铺设土工合成材料于沥青面层底部时可减少沥青层底部的弹性拉应变 50%。Austin^[49]等研究了加筋对沥青路面性能的改善,试验进行了加筋与不加筋的对比研究,结果表明加筋对延缓反射裂缝的发展有非常好的效果。国内外在加筋罩面与防开裂方面的研究也有大量的报道^[50],主要是研究罩面的破坏性及其影响因素、加筋机理、筋材的选择、罩面厚度的确定、加筋罩面寿命预测等方面的问题。结果表明土工合成材料可以显著提高基层的承载力,延长路面疲劳寿命。在北美、欧洲和远东进行了大量足尺试验。结果表明,从减少反射裂缝和车辙的减小而言,铺设土工合成材料比未铺时可使路面结构的使用寿命平均提高 3 倍以上,就疲劳开裂而言,铺设土工合成材料的路面能延长使用寿命 10 倍^[51]。

周志刚等利用线弹性的断裂力学的平面有限元研究方法模拟加筋材料的薄膜单元,对土工加筋材料阻止沥青路面反射裂缝的桥联增韧效应进行了分

析^[52]。韩冰等^[53]对土工格栅位于基层下部进行了研究,也对含有土工格栅的改建路面结构力学作了分析研究并取得了很有价值的研究成果。重庆交通科研设计院通过室内试验,对铺设玻璃纤维格栅的沥青混合料进行了力学特性分析,结果表明玻璃纤维格栅用于沥青混合料能有效地提高沥青混合料的抗拉强度,减小低温劲度模量,提高抗疲劳能力^[54,55]。文献^[56,57]土工格栅加筋沥青路面的影响进行了数值分析,揭示了土工合成材料增强机理和防裂作用。

国内外的研究成果表明,土工合成材料能起提高疲劳寿命、提高基层的承载能力到加筋作用、桥联增韧作用、提高沥青混合料的抗拉强度,减小低温劲度模量和防裂作用。但是,选取不同的土工合成材料,材料的弹性模量差异很大,弹性模量对抗裂性能的敏感性分析研究的很少,所以本文针对这一点来研究加铺层的抗裂性能。

(2) 纤维增强沥青混凝土的防裂控制。国外对于纤维的路用性能的研究,始于20世纪80年代,Tonry, C A. 通过对交通量大和车辆转弯集中的十字路口处的路面进行跟踪研究,发现加入聚酯纤维后的路面耐久性能明显增强。随后世界各国对于聚酯纤维的路用性能研究的大量工作也相继展开。Jeb, S, Ting^[58,59]等学者对纤维的性质及在沥青混凝土路面中的工程性质做了大量的研究。试验证明聚酯纤维、聚丙烯纤维应用于沥青混凝土路面,能够使沥青混凝土有较好的路用性能。Shiou-San Kuo^[60]教授做了纤维沥青混凝土罩面的研究。此项目通过聚烯烃和聚丙烯腈两种纤维沥青混凝土路面的对比研究得出结论,加入纤维后能够有效地阻止路面裂缝的发展。

在国内,张争奇,胡长顺等^[61]对聚酯纤维沥青混凝土的研究做了大量工作。主要的研究成果包括:验证了聚酯纤维在纤维沥青混凝土中的增强作用,并分析了纤维增强沥青混凝土的作用机理。赵海滨^[62]通过将掺加聚丙烯腈纤维沥青混合料与普通沥青混合料的路用性能进行试验对比,得出结论认为掺加聚丙烯腈纤维对提高沥青混合料的低温抗裂性能是有一定的帮助的,并且它对提高沥青混合料的抗疲劳性能有明显的效果。陈华鑫^[63]从不同纤维的微观特性和纤维沥青胶浆的沉锤试验出发,通过比较聚酯纤维跟聚丙烯腈纤维的沥青混合料低温弯曲蠕变试验,分析了纤维和级配对沥青混合料低温抗裂性能的影响,并从复合材料的角度对纤维的增强机理进行了剖析,认为纤维的加入可明显地提高沥青混合料的低温抗裂性能,其中聚酯纤维的作用效果最为显著。

综上所述,纤维对沥青混凝土路面的增强作用已经被众多研究人员所认

可,同时,大量的科研工作仍在继续进行。从最初确定最佳掺量及混合料性能的实验研究,到后期的增强机理研究。但是纤维增强沥青混合料的黏弹性研究却很少。因此本文通过试验和理论相结合的方法研究纤维增强沥青混合料的黏弹性。

1.1.3 存在的问题

国内外关于混凝土类材料的损伤断裂演化研究、沥青混凝土黏弹性损伤理论、沥青混凝土路面裂缝扩展的研究和沥青混凝土路面防裂控制研究已经取得了一些成果。然而,仍存在如下问题:

(1) 关于混凝土类材料的损伤断裂演化研究。仍用线弹性断裂力学的方法,即用断裂韧度来判断是否破坏;模型对损伤区和断裂区的判断只适用于裂纹尖端的初始损伤区,因为在裂纹尖端一旦有损伤发生,裂纹尖端的应力场就不再由应力强度因子所控制了,接下来裂纹就带着损伤区向前扩展;由于损伤的存在,损伤区内的材料表现出非线性,同时损伤区的边界也随裂纹扩展而变化;损伤区是个面或空间域,即使了解宏观裂纹已满足了扩展条件,但是仍然无法确定向哪个方向扩展。

(2) 关于沥青混凝土黏弹性损伤模型和方法。黏弹性损伤参数不明确,黏弹性损伤分析过程不清晰。

(3) 关于沥青混凝土路面黏弹性损伤演化。由于损伤与断裂的耦合作用,路面损伤的演化机理十分复杂,如裂尖出现应力弱化区等无法用断裂理论解释的现象,这方面的研究成果很有限。

(4) 关于土工合成材料加铺层的研究,选取不同的土工合成材料,材料的弹性模量差异很大,弹性模量对抗裂性能的敏感性分析研究的很少,所以本文针对这一点来研究加铺层的抗裂性能。

(5) 关于纤维增强沥青混凝土路面防裂控制研究。纤维增强沥青混凝土是黏弹性材料,但对纤维增强沥青混凝土黏弹性研究的很少。



1.2 本书内容概述

本书结合道路损伤破坏特征,针对国内外研究现状,应用理论、数值模拟与实验相结合的方法,研究沥青混凝土路面的黏弹性损伤演化过程和发生机



理,通过添加土工合成材料加铺层和采取纤维增强等措施达到沥青混凝土路面的防裂控制的目的,并在有关方面给出最新的研究成果。

第1章为绪论,介绍了国内外研究现状等。

第2章为黏弹性理论基础,分别介绍了黏弹性理论的基本概念、模型理论、积分型本构理论、动态性能和温度效应。

第3章为沥青混凝土材料黏弹性损伤理论与求解方法,主要应用黏弹性力学、断裂力学和损伤力学耦合的方法来研究沥青混凝土材料的破坏(损伤断裂)理论。首先应用黏弹性理论确定沥青混凝土的黏弹性参数;然后应用断裂与损伤耦合的方法确定已含裂缝沥青混凝土材料的破坏准则;在此基础上构建出沥青混凝土材料破坏的黏弹性损伤耦合分析过程。

第4章为沥青混合料分数阶导数型黏弹性本构模型的研究,选用反映黏弹性材料力学特性的分数阶导数型黏弹性本构模型,丰富了黏弹性理论。应用分数阶导数理论建立了沥青混凝土分数阶导数黏弹性应力强度因子本构方程,考虑沥青混凝土面层的松弛特性,对称载荷、非对称荷载和温度载荷的作用,通过数值计算的方法分析带反射裂缝沥青路面应力强度因子的松弛效应。

第5章为含裂缝沥青混凝土黏弹性损伤演化数值模拟分析,主要内容包括:考虑沥青混凝土的黏弹性,分析了温度作用下的含表面裂缝沥青混凝土路面松弛特性;分析了行车载荷作用下的含反射裂缝沥青混凝土路面松弛特性;考虑松弛与损伤的耦合,含裂缝沥青混凝土路面的黏弹性损伤演化进行了数值模拟分析。

第6章为基于黏弹性损伤断裂耦合理论的沥青混凝土的防裂控制研究。本章重点探讨了两种沥青路面的防裂控制方法。重点讨论了两种防裂控制:一是土工合成材料加铺层的抗裂效果;二是纤维增强沥青混凝土路面的力学性能和耐久性及其低温抗裂能力。



第2章

黏弹性理论基础

2.1 基 本 概 念

2.1.1 黏弹性理论

黏弹性材料广泛应用于能源、航天、化工、机械、建筑和交通等行业中,已经越来越受到力学、材料和工程技术界的共同关注。物质的黏弹性与温度、时间、加载速率、应变幅值和其他环境因素密切相关,有明显的蠕变和松弛行为。黏弹性力学的发展已有40年的历史,从20世纪70年代以来,国际上已有许多学者开始考虑应用材料的流变性质。

黏弹性力学又称黏弹性理论,研究物质或材料的时间相关力学行为、本构关系和破坏过程,研究黏弹性物体与结构在外部作用下随时间变化的应力、变形和失效规律。黏弹性理论是连续介质力学的基本内容,同时又是连续体力学的重要分支。因而,黏弹性力学体现力学、现代数学、物理、化学、材料科学和工程学科的相互渗透与交融,有新兴学科分支的特征,且与先导工业和高新技术有密切的联系。黏弹性力学是系统描述黏弹性材料力学响应特征及其规律的一门学科^[64]。

黏弹性力学包含两方面基本内容:一是物质的黏弹性能描述与本构关系;二是黏弹性物体边值问题的建立及其求解。黏弹性理论着重从宏观唯象的观点讨论物质的黏弹性能,表述黏弹性物体的力学行为与本构方程。研究黏弹性固体随时间变化的性能,一般讨论蠕变、应力松弛、等应变率或等应力率作用下的响应。