



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

沥青混合料疲劳性能 评价与对比

黄明 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

沥青混合料疲劳性能评价与对比

黄明 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

沥青混合料的疲劳性能关系到路面的多种损坏,此性能纳入规范指标是今后混合料设计的大势所趋。此前的研究经验多集中于基质沥青,而我国在较高等级公路的路面均采用改性沥青,因此本书主要对改性沥青混合料的疲劳性能进行研究。将常用改性沥青和新型改性沥青混合料疲劳性能展开评价与对比的研究,涵盖 70#基质沥青、SBS 改性沥青、橡胶沥青、Terminal Blend 胶粉改性及其复合改性沥青和环氧改性类沥青,给出了基于性能分级的设计建议。另外对疲劳性能试验方法、定义、判断标准、疲劳性能影响因素、自愈合对疲劳性能的补偿等进行了相关方面的系统研究。

本书适合高等院校交通运输工程等相关专业的高年级本科生和研究生阅读,也可供从事沥青路面技术的设计、施工等专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

沥青混合料疲劳性能评价与对比/黄明著. —北京:科学出版社,2016
(博士后文库)

ISBN 978-7-03-050310-7

I. ①沥… II. ①黄… III. ①沥青拌和料-疲劳-研究 IV. ①U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 258102 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张伟 / 封面设计:陈敬

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>

北京教图印制有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016 年 10 月第一次印刷 印张: 18 1/4

字数: 355 000

定价: 100.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

《博士后文库》序言

博士后制度已有一百多年的历史。世界上普遍认为，博士后研究经历不仅是博士们在取得博士学位后找到理想工作前的过渡阶段，而且也被看成是未来科学家职业生涯中必要的准备阶段。中国的博士后制度虽然起步晚，但已形成独具特色和相对独立、完善的人才培养和使用机制，成为造就高水平人才的重要途径，它已经并将继续为推进中国的科技教育事业和经济发展发挥越来越重要的作用。

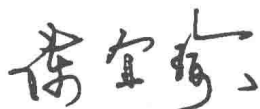
中国博士后制度实施之初，国家就设立了博士后科学基金，专门资助博士后研究人员开展创新探索。与其他基金主要资助“项目”不同，博士后科学基金的资助目标是“人”，也就是通过评价博士后研究人员的创新能力给予基金资助。博士后科学基金针对博士后研究人员处于科研创新“黄金时期”的成长特点，通过竞争申请、独立使用基金，使博士后研究人员树立科研自信心，塑造独立科研人格。经过30年的发展，截至2015年底，博士后科学基金资助总额约26.5亿元人民币，资助博士后研究人员5万3千余人，约占博士后招收人数的1/3。截至2014年底，在我国具有博士后经历的院士中，博士后科学基金资助获得者占72.5%。博士后科学基金已成为激发博士后研究人员成才的一颗“金种子”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员取得了众多前沿的科研成果。将这些科研成果出版成书，既是对博士后研究人员创新能力的肯定，也可以激发在站博士后研究人员开展创新研究的热情，同时也可以使博士后科研成果在更广范围内传播，更好地为社会所利用，进一步提高博士后科学基金的资助效益。

中国博士后科学基金会从2013年起实施博士后优秀学术专著出版资助工作。经专家评审，评选出博士后优秀学术著作，中国博士后科学基金会资助出版费用。专著由科学出版社出版，统一命名为《博士后文库》。

资助出版工作是中国博士后科学基金会“十二五”期间进行基金资助改革的一项重要举措，虽然刚刚起步，但是我们对它寄予厚望。希望

通过这项工作，使博士后研究人员的创新成果能够更好地服务于国家创新驱动发展战略，服务于创新型国家的建设，也希望更多的博士后研究人员借助这颗“金种子”迅速成长为国家需要的创新型、复合型、战略型人才。



中国博士后科学基金会理事长

序

沥青路面在车辆行驶过程中，承受着压缩、拉伸和弯拉等作用，路面材料将出现不同程度的应变。研究表明，沥青混合料即使在远小于材料极限应变的情况下，长期反复地作用也会导致材料的疲劳破坏，其表现为路面出现裂缝，影响路面使用寿命。因此，研究沥青材料的疲劳特性已成为国内外道路工作者关注的热点。

黄明在攻读博士学位期间，就沥青混合料的疲劳性能进行了大量的试验研究，该书主要就是在此基础上撰写完成的。该书详细论述了为试验选取的多种改性沥青（如 SBS 改性沥青、橡胶沥青、Terminal Blend 胶粉沥青、复合改性沥青、泡沫环氧沥青等）和不同级配类型的混合料，采用四点弯曲小梁进行疲劳试验，并与中点加载试验进行对比。为判断是否发生疲劳破坏，作者采用 AASHTO TP-8 的 N_{750} 法、ASTM D7460 归一化劲度次数峰值法、耗散能法以及应力-应变 R^2 等四种评价标准，并根据实验结果指出不同方法的适用性。鉴于沥青混合料疲劳寿命受多种因素的影响，其中既涉及材料本身的性能，又有试验方式，如试验温度、加载频率等外在因素的影响，通过回归分析判定了影响疲劳寿命的主要因素，进而建立了几种改性沥青混合料的疲劳寿命预估方程。

近年来，国内外学者都注意到沥青混合料疲劳微裂缝具有自愈合的特性，为此作者对改性沥青混合料的自愈性能进行了试验研究，研究中考虑了不同应变、温度、放置间隙时间等对自愈性的影响，结果发现自愈合特性对延长沥青混合料的疲劳寿命具有积极的贡献，因此对于沥青混合料要正确而全面地评价其疲劳寿命，必须考虑其自愈性，并加以必要的修正。

这里还特别需要提出的是，作者在取得博士学位后，又开展了环氧沥青混凝土施工工艺的创造性研究。环氧沥青混凝土是热固性材料，强度高、刚度大，国内外多用做大跨径钢桥的桥面铺装，但这种材料的最大缺点是施工要求非常高，温度、施工时间都有严格的限制，否则将会严重影响施工质量。作者为了降低其施工温度，延长施工时间，将沥青发泡技术应用到环氧沥青工艺上，使拌和温度降低了 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。由于施工温度大幅降低，因此大大延长了可施工时间，使施工质量得到有效保证。发泡环氧沥青工艺的开发可以说是一种重要的技术创新。

沥青混合料疲劳试验需要耗费大量的时间和精力，作者不仅具有严谨的科学态度，而且具有不怕疲劳、不怕艰苦的敬业精神，才能够获得如此丰富而有价值

的研究成果，应该说作者为深入探究沥青混合料疲劳性能作出了重要贡献。相信该书的出版将为业界同仁提供颇具价值的参考资料。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王伟强' (Wang Weiqiang), written in a cursive style.

2016年6月6日

前 言

随着交通量的增大，刚性、半刚性基层所带来的面层反射裂缝的增多，路面的损坏由之前单一的车辙问题变成多以疲劳开裂为主、车辙损坏为辅的形式。但无论从混合料性能评价、混合料设计研究，还是从路面结构设计，我国目前对混合料疲劳性能的关注都较为缺乏；再者国内外对疲劳性能研究多集中于基质沥青混合料，对改性沥青混合料的疲劳性能的研究尚不成熟，研究也跟不上我国高等级公路大量采用改性沥青面层设计的脚步。本书将针对这些问题，对基质沥青和多种常用改性沥青混合料进行多种因素影响下全面系统的疲劳性能研究。

本书以沥青混合料的疲劳性能为研究对象，选用当下最为流行且稳定性最高的四点弯曲小梁弯曲疲劳试验方法，此法为美国 AASHTO T321-03 标准，后被我国 JTG E20—2011 纳入规范进行标准化。本书作者进行了大量的疲劳试验，这些疲劳试验均采用了多因素全面设计。读者可通过查阅试验结果，对沥青混合料的疲劳性能在某一种影响因素下进行全面的了解，并且研究过程考虑了沥青混合料的自愈合对疲劳性能的补偿作用。通常而言，高温和疲劳性能是矛盾的，这导致推行考虑高温和疲劳兼顾的混合料设计方法时，不能有失偏颇；现如今的混合料设计，多以高温性能为主，导致疲劳性能会有所缺失，路面体现出来的因疲劳开裂所带来的破坏比比皆是，而如果考虑疲劳性能更多，那么会不会出现高温性能的不足？因此，在进行混合料设计时，混合料的疲劳性能自愈合效果是值得认真思考的，只有更加全面地分析疲劳性能，才能在设计中做到两者兼顾。自愈合的研究日渐增多，定量地分析方能指导混合料的精确设计，今后的高温、疲劳兼顾设计中亦值得推崇开来。

本书不求达到理论和方法的多而全，而力求研究能够新颖和实用，本书内容主要为作者近年来攻读硕士、博士以及在博士后工作站期间所完成的有关混合料疲劳性能研究成果的提炼，并吸收了国内外同行的研究成果。在本书的研究、试验和撰写过程中，得到了同济大学黄卫东研究员的悉心指导和帮助，是他引领我进入了沥青这个斑斓的世界。在相关课题和论文开题过程中，作者曾经得到上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司的温学钧教授级高级工程师、徐健教授级高级工程师，同济大学吕伟民教授、李立寒教授和李淑明副教授的指导和帮助，另外，同济大学博士研究生李本亮为 1.2 节～1.6 节的部分内容提供了宝贵的科研资料。作者在此向他们表示深深的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

黄 明

2016 年 6 月于上海

目 录

《博士后文库》序言

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 研究现状	3
1.2.1 多影响因素下沥青混合料的疲劳性能	3
1.2.2 疲劳寿命定义标准的研究	7
1.2.3 疲劳演变规律与损伤规律及表达	13
1.2.4 不同沥青混合料的疲劳性能对比	15
1.2.5 沥青混合料设计中对疲劳性能的考虑	16
1.2.6 自愈合性能的研究	17
1.3 学术构想与思路、主要研究内容	24
1.3.1 学术构想与思路	24
1.3.2 主要研究内容	26
1.3.3 技术路线	27
第 2 章 试验方法与判断标准	30
2.1 疲劳试验方法的对比分析	30
2.2 疲劳试验方案选取	32
2.2.1 MTS 试验机	32
2.2.2 BFA 试验机	35
2.2.3 方案对比试验结果分析	40
2.3 疲劳试验判断标准分析	48
2.3.1 疲劳试验结果分析	48
2.3.2 判断标准	48
2.4 高温性能试验	54
2.5 本章小结	55
第 3 章 疲劳性能的影响因素研究	57
3.1 原材料选取	57
3.1.1 沥青	57
3.1.2 石料和级配	58

3.2	DSR 试验指标验证基质沥青的性能稳定性	59
3.2.1	疲劳因子复现率误差分析	62
3.2.2	车辙因子复现率误差分析	65
3.2.3	BBR 试验	68
3.2.4	马歇尔目标空隙率试验	70
3.2.5	比选试验结果	72
3.3	影响因素分类	73
3.3.1	针入度	73
3.3.2	软化点	73
3.3.3	疲劳因子	74
3.3.4	黏度	75
3.3.5	黏结强度	75
3.3.6	沥青膜厚度	76
3.3.7	空隙率	77
3.3.8	沥青用量	77
3.3.9	初始劲度模量	77
3.4	疲劳试验	77
3.5	相关性分析	79
3.6	本章小结	82
第4章	基质沥青混合料的疲劳性能分析	83
4.1	AC13 沥青混合料	83
4.1.1	试验方案	83
4.1.2	级配与沥青用量范围	84
4.1.3	AC13 试验结果	84
4.1.4	单一因素的影响	87
4.1.5	疲劳方程的回归	89
4.1.6	高温车辙试验	89
4.2	AC20 沥青混合料	91
4.2.1	设计概述	91
4.2.2	级配与沥青用量范围	91
4.2.3	AC20 疲劳试验结果	92
4.2.4	单一因素的影响	95
4.2.5	疲劳方程的回归	96
4.2.6	高温车辙试验的验证	97
4.3	AC25 沥青混合料	98
4.3.1	设计概述	98

4.3.2	级配与沥青用量范围	99
4.3.3	AC25 疲劳试验结果	99
4.3.4	单一因素的影响	102
4.3.5	疲劳方程的回归	103
4.4	疲劳方程的对比	104
4.5	本章小结	105
第 5 章	SBS 改性沥青混合料的疲劳性能分析	106
5.1	SBS 沥青面层混合料设计	106
5.1.1	设计概述	106
5.1.2	混合料设计与成型	107
5.1.3	SBS-AC13 混合料试验结果	108
5.1.4	单一因素的影响	111
5.1.5	回归分析	113
5.1.6	高温车辙试验的验证	114
5.2	SBS 改性沥青混合料的高疲劳性能设计与应用研究	116
5.2.1	设计概述	116
5.2.2	Strata 混合料	117
5.2.3	SBS 沥青应力吸收层试验	118
5.2.4	结果分析	120
5.3	本章小结	122
第 6 章	橡胶沥青混合料的疲劳性能分析	123
6.1	橡胶沥青面层	123
6.1.1	橡胶沥青	123
6.1.2	级配的选择	124
6.1.3	沥青用量与空隙率取值范围	125
6.1.4	ARAC-13 疲劳试验结果	125
6.1.5	单一因素的影响	128
6.1.6	疲劳方程的回归	129
6.1.7	高温车辙试验的验证	129
6.2	橡胶沥青混合料的高疲劳性能设计与应用研究	131
6.2.1	混合料的初步设计	132
6.2.2	试验结果	133
6.2.3	相关性与设计指标分析	133
6.3	应力吸收层试验段	135
6.3.1	试验路设计	136

6.3.2	橡胶沥青混合料设计	137
6.3.3	橡胶沥青应力吸收层施工工艺	140
6.3.4	试验室检测	143
6.4	本章小结	144
第7章	Terminal Blend 胶粉改性沥青混合料的疲劳性能分析	146
7.1	Terminal Blend 胶粉改性沥青面层混合料设计	146
7.1.1	Terminal Blend 胶粉改性沥青介绍	146
7.1.2	Terminal Blend 胶粉改性沥青与普通橡胶沥青的区别	150
7.1.3	混合料初步设计	155
7.1.4	TB-AC13 混合料试验结果	157
7.1.5	单一因素的影响	160
7.1.6	回归分析	162
7.1.7	高温车辙试验	163
7.2	Terminal Blend 的复合改性	165
7.2.1	复合过程与沥青性能检测	165
7.2.2	疲劳试验结果	166
7.2.3	车辙试验结果	167
7.2.4	对比分析	168
7.3	本章小结	169
第8章	环氧沥青混合料的疲劳性能分析	171
8.1	环氧沥青简介	171
8.2	试验材料与前期工作	172
8.3	应变控制疲劳试验	173
8.4	应力控制疲劳试验	174
8.4.1	试件的成型与小梁试件的力学特征	174
8.4.2	疲劳试验结果	177
8.5	试验结果的分析与疲劳方程推导	178
8.5.1	单一因素的影响	178
8.5.2	疲劳方程的回归	179
8.6	行为方程的验证	180
8.7	泡沫环氧沥青	181
8.7.1	研发的背景	181
8.7.2	材料与试验	182
8.7.3	固化过程的针入度评价	189
8.7.4	固化剂与添加剂配比的黏度评价	192

8.8 泡沫环氧的应用	193
8.8.1 配合比设计	193
8.8.2 泡沫环氧沥青的疲劳性能检测	194
8.8.3 关于泡沫施工建议	197
8.9 本章小结	197
第9章 混合料设计中的自愈合补偿问题	199
9.1 自愈合现象	199
9.1.1 即时自愈合	199
9.1.2 后期自愈合	202
9.1.3 不同时机自愈合效果	206
9.2 考虑自愈合的 SBS 改性沥青和橡胶沥青混合料疲劳性能	207
9.2.1 试验材料与试验方法	207
9.2.2 外因——环境（条件）的影响	208
9.2.3 内因的影响	213
9.2.4 考虑自愈合补偿下的疲劳行为方程	218
9.3 本章小结	219
第10章 考虑自愈合补偿的疲劳性能全面对比与混合料设计分析	221
10.1 不同工况要求的混合料的疲劳性能对比与分级	221
10.1.1 相同沥青用量的疲劳性能对比	221
10.1.2 不同粒径的对比	226
10.1.3 相同体积设计目标的疲劳性能分级	230
10.1.4 最优设计下的疲劳性能分级	234
10.1.5 相同高温性能的疲劳性能分级	240
10.2 考虑疲劳性能的混合料设计建议方案	242
10.2.1 设计概述	242
10.2.2 设计水平与流程	243
10.2.3 设计方法的实例评价	249
10.3 满足不同工况的混合料适用方案	257
10.4 本章小结	258
第11章 结论与展望	260
11.1 结论	260
11.2 本书的创新点	262
11.3 需进一步研究的问题	262
参考文献	264
编后记	274

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

疲劳性能,即材料在重复荷载的作用下抵抗出现破坏的能力^[1]。鉴于交通量的增加、重载超载的出现、半刚性基层的普遍使用、水泥路面的黑色改造工程的深入等,疲劳破坏是目前沥青路面出现的最多的损坏之一^[2]。根据最新的报告和调研结果可知,实际情况是大部分路面出现的是开裂而不是车辙^[3-5]。这种破坏形式的关键在于混合料的疲劳性能的不足,疲劳性能的不足源自混合料设计中没有体现出疲劳性能的重要性。

目前国内外对基质沥青混合料的疲劳性能研究较为普遍,但对改性沥青混合料的疲劳性能的研究尚不成熟,也未形成一套规范的体系,这是由于改性剂的加入,改性沥青的组成变得十分复杂,影响沥青性能的因素变得更多,黏弹性状态的体现并没有基质沥青明显,之前的基质沥青的规律并不适合改性沥青^[6]。由于交通量的急剧增加,我国目前大量使用改性沥青,沿用国外的基质沥青研究经验已经不再适合,建立全面的评价现行多种改性沥青混合料疲劳性能的体系是十分有必要的。

在疲劳性能评价的过程中,值得注意的是:常规沥青混合料在疲劳损伤后具有一定的愈合功能,这已经得到了国内外广泛的认可,未考虑自愈合的疲劳寿命与实际路面疲劳寿命相差很大;此外,美国亚利桑那州的工程实践发现,橡胶沥青路面出现裂缝往往出在路肩或停车带上,行车带上的裂缝较少或较细^[7],这说明适当的行车荷载对于橡胶沥青路面的疲劳有一定的帮助。Kim 等也认为作为改性剂的聚合物是长分子链时,能够明显观测到沥青具有自愈合现象^[8],这说明相对基质沥青,改性沥青具有更好的自愈合性能。因此,有必要在设计过程中的疲劳性能中考虑自愈合的效果。

在混合料设计层面,我国的热拌沥青混合料设计采用马歇尔设计方法,设计过程中最常用的两个核心试验是马歇尔试验和车辙试验,试验指标要求在备选方案中马歇尔稳定度达到最大和车辙动稳定度尽量高,进而限制设计时的沥青用量与空隙率,在设计过程中考虑稳定度、流值,这导致设计出来的混合料沥青用量不能过高,空隙率不能过小^[9,10];在沥青胶结料层面,常用的是三大指标和黏度,或是一些科研单位使用的 SHRP 指标高低温分级^[11];这一套设计方法体现了对沥青混合料高温稳定性的重视,这主要是因为马歇尔设计取自国外多年基于柔性基

层的设计经验,柔性基层最大的隐患在于出现路面车辙损坏^[12];在路面设计层面,路表弯沉值的限制是对路基沉降和路面车辙的一个综合控制^[13],仅在层底拉应力的限制上体现了一定的对疲劳性能的担忧,但最大拉应力是一个极限破坏值,它与疲劳破坏之间有一定关联,但并不能直接转换^[14],故路面设计层面也不体现疲劳性能的重要性。

在改性沥青混合料的使用日渐广泛的情况下,不同沥青混合料的疲劳寿命是关注的方向之一,需要完善不同沥青混合料的疲劳寿命和一般规律认识^[15]。尽管各种改性沥青广泛应用于路面,但很多都是试验性质的,改性沥青用在路面上究竟性能如何?优异到何种程度?如何根据需要进行选择改性沥青?考虑与不考虑自愈合因素对沥青混合料疲劳寿命的影响程度有多大?不同材料的愈合能力对疲劳寿命的愈合能力定量影响程度如何?已知改性沥青混合料疲劳特性,如何针对性的进行路面应用设计?尽管已有部分研究对上述几个方面进行了探索,但其研究对象、研究深度均难以回答上述问题。需要对改性沥青材料的疲劳性能、疲劳演变规律、自愈合性能等进行系统研究。

已有研究大部分考察基质沥青混合料的疲劳性能,也有对改性沥青混合料的疲劳寿命研究,但研究零散,未成系统。改性沥青因其优异的性能,具有很好的疲劳性能,需要系统地比较不同改性沥青的疲劳性能。通过改变沥青用量、空隙率、应变水平等因素,考察改性沥青的疲劳特性,获得其疲劳方程,就为相同条件下不同该改性沥青的疲劳性能对比提供了基础,对于工程应用亦具有积极的参考意义。

此外,沥青路面即使出现裂缝,但其在一定条件下可以自行愈合,从而延长其服务期限。由于愈合与沥青紧密相关,已有研究表明,高温、流动性、高沥青用量下愈合能力更好,对于沥青混合料的高沥青用量和改性沥青条件下更需要对其进行关注。所以,目前对混合料疲劳性能的评价体系不完全适用于我国的情况,本书将集中于各种常见的改性沥青混合料的疲劳性能评价、对比和规律分析,通过大量的客观试验数据,建立包括疲劳试验方法、试验标准、影响因子重要性、疲劳行为方程以及标准自愈合环境(条件)在内的系统评价改性沥青混合料疲劳性能的方案,最终提出基于评价和对比的混合料设计建议。对改性混合料的自愈合特性进行研究,并考察其影响条件和规律,对于充分发挥沥青混合料的疲劳寿命具有重要意义。这也是在进行了大量的疲劳试验中所认识的。而各种愈合条件对改性沥青混合料的自愈合能力的影响程度的定量分析与总结,有利于路面设计中疲劳寿命的选用。

在对沥青混合料的一般疲劳特性,以及自愈合特性的研究基础上,要考虑到沥青混合料综合疲劳方程的表达问题。尽管已有很对疲劳方程形式,但其表达或考虑改性沥青较少,或没有考虑沥青混合料的自愈合特性,或没有考虑到同样条

件下劲度模量的影响,则通过前述研究将这些因素考虑进疲劳方程中,以更好地表达沥青混合料的疲劳特性。在实践应用时,如果对混合料的疲劳性能有了准确的把握,在混合料设计中提出考虑自愈合的疲劳性能指标进行控制,待将来等效厚度的换算关系得到实际工程验证与确认后,设计出的混合料还可用于减薄沥青路面的结构厚度,这将会降低路面工程造价并延长路面寿命,可节省大量建设成本,产生巨大的社会与经济效益。

1.2 研究现状

1.2.1 多影响因素下沥青混合料的疲劳性能

沥青混合料的疲劳性能的研究经历了一个十分漫长的过程,文献可追述的对沥青混合料疲劳的研究性描述是在20世纪六七十年代美国的 Monismith、Pell 分别建立了建立沥青混合料疲劳性能预测方程,从而确立了按应变控制和应力控制疲劳试验模式下经典的疲劳寿命预估模型^[16]。他们认为劲度是各种影响因素的集中表现,它与骨料的种类、级配类型、基质沥青、沥青用量、空隙率、应力应变水平和试验温度都有密切的关系。在常应力控制模式下,随着沥青混合料的劲度模量的增加,加载过程中的应变会越来越小,单次破坏的力变小,疲劳寿命会逐渐增长;而在常应变控制模式下,试件在承受一定应变条件下产生的应力增大,导致疲劳寿命减小。因此, Monismith 认为厚沥青层路面,更符合常应力模式,为了获得高劲度的沥青混合料,应采用密级配和高黏沥青;而对于薄沥青层路面,应采用开级配和较软的沥青。另外,温度对沥青混合料的疲劳寿命存在显著的影响。在常应力的控制模式下,疲劳寿命随着试验温度的降低显著增长。但是,在采用控制应变的加载模式,当试验温度较低时,疲劳寿命的变化相对不如前者影响明显;当温度上升时,疲劳寿命增长明显。温度影响着混合料的劲度模量,而劲度模量与疲劳寿命直接相关。试验温度略下降一些,混合料劲度模量增大,在常应力疲劳试验中,相应的疲劳寿命会增长;但是在常应变疲劳试验中,疲劳寿命会缩短。此前的研究表明,温度较低时,加载模式下所检测到的疲劳寿命的结果基本接近。而在较高温度下,两种加载模式的试验结果的差值显著。

随后的美国 SHRP 计划及相关后续研究中,以加利福尼亚大学伯克利分校为代表又对疲劳性能进行了大量研究,并提出了各种各样的疲劳性能预估模型^[16,17],这些研究主要在路面结构设计层面上进行而较少在混合料层面上进行^[18]。

随着研究的深入,研究者逐渐将视野拓展到混合料影响因素层面,并有针对性地提出了许多基于这些影响因素的模型。

Finn 等认为沥青混合料的疲劳特性不仅与应变水平有关,也受混合料劲度模量的影响,建议将劲度模量引入疲劳预估模型;1985年, Monismith 等提出了采