

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

MLS Full-Scale Accelerated Pavement Test
of Asphalt Pavement

MLS足尺沥青路面 加速加载试验



田泽峰 聂鹏 著
张怀志 范兴华



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

MLS 足尺沥青路面加速加载试验

田泽峰 聂 鹏 著
张怀志 范兴华



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书系统地介绍了利用足尺路面加速加载试验设备 MLS66 开展试验的基本试验设计方法和数据采集方法,以及近年来开展的代表性足尺路面加速加载试验项目主要成果。全书共分为 6 章,第 1~3 章主要介绍路面加速加载试验的背景、方法,包括沥青路面与加速加载试验、MLS66 的加速加载试验设计与实现、加速加载试验数据的采集;第 4~6 章为利用 MLS66 开展足尺沥青路面加速加载试验的实例,包括钢桥面铺装加速加载试验、高速公路沥青路面加速加载试验和微表处加速加载试验。本书是对国内首次采用第三代直线式足尺路面加速加载设备的总结,可为未来拟选用此类设备开展相关研究的科研机构在试验设计、设备使用、路面性能检测与评价以及试验数据分析方面提供借鉴。

本书可供道路工程技术人员以及路面试验设备研制人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

MLS 足尺沥青路面加速加载试验/田泽峰等著. —
北京:人民交通出版社股份有限公司,2015. 1
(交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护)
ISBN 978-7-114-12029-9

I. ①M… II. ①田… III. ①沥青路面—路面试验
IV. ①U416. 217. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 020864 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

书 名:MLS 足尺沥青路面加速加载试验

著 者:田泽峰 聂 鹏 张怀志 范兴华

责任编辑:曲 乐 郑蕉林

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:9

彩 插:2

字 数:205 千

版 次:2015 年 4 月 第 1 版

印 次:2015 年 4 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12029-9

定 价:38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输建设科技丛书编审委员会

主任：庞 松

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委员：郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王昌顺

2014年7月28日

前 言

现行的沥青路面设计通常将车辆荷载视为静荷载或近似等效静荷载，这使得现行的沥青路面设计参数不能全面反映实际交通荷载下的路面结构行为，经常出现沥青路面的实际使用寿命低于其设计寿命的现象。特别是在我国经济快速发展的今天，重、超载现象较为普遍，现行沥青路面设计的这种局限性尤显突出。通过长期观测路面性能，总结导致路面发生损坏的原因，分析路面结构的损伤机理，进而修正沥青路面材料和结构设计参数，这是改善沥青路面设计可靠性的有效手段。然而，值得注意的是，开展路面长期性能（Long-Term Pavement Performance, LTPP）研究受到资金投入、研究周期和实施条件的限制，并不易被普遍接受。在这种情况下，路面加速加载试验（Acceleration Pavement Test, APT）成为一种切实可行的路面性能检验和研究手段。

20世纪初，英国建造的“道路机器”首次让世界认识了针对路面结构的“加速加载”试验思想，在此之后，美国铺筑的阿林顿试验车道使路面加速加载试验受到了普遍关注。经过近百年的发展，路面加速加载试验手段和方法得到不断完善。截至目前，利用大型可移动直线式路面加速加载设备开展试验成为该领域的主流趋势。

我国于20世纪80年代引进足尺路面加速加载试验设备，到目前已有多家研究机构拥有路面加速加载试验系统。这些设备或设施为我国的路面设计和路面性能评价提供了大量颇具参考价值的学术成果和经验数据。2009年，笔者所在的高速公路养护技术交通行业重点实验室（沈阳）引进了第三代大型可移动式足尺路面加速加载设备MLS66。时至今日，此台设备已经累计完成加载2000余万次，完成了11项针对不同沥青路面结构的试验项目。

本书的目的是总结利用MLS66开展足尺沥青路面加速加载试验的实践经验，以求为业内同行提供借鉴和参考。

全书共分6章，在总结已开展的足尺沥青路面加速加载试验取得成果的基础上，参考国内外足尺路面加速加载试验的研究发展现状，阐述了开展路面加速加载试验的基本设计方法与实现以及试验过程中的数据采集内容及流程。

第1章从沥青路面的设计方法入手,阐述了足尺路面加速加载试验的概念与在沥青路面性能检验及深入研究中的作用,总结了国内外具有代表性的足尺路面加速加载试验设备(设施)。

第2章从MLS66的组成、原理、核心部件、环境控制装置等方面阐述了MLS66的设备特点,总结了利用MLS66进行路面加速加载试验的设计流程、试验参数和环境模拟方法。

第3章围绕开展路面加速加载试验时需要采集的主要路面性能指标,说明针对路面加速加载试验的数据采集系统的构成和功能,并说明主要的数据采集方法;同时介绍“足尺路面加速加载试验综合信息系统(FAPTIS)”。

第4~6章主要介绍了辽宁省利用足尺路面加速加载设备MLS66开展试验的情况。

第4章钢桥面铺装加速加载试验,是MLS66运抵中国后开展的第一个足尺路面加速加载试验,本次试验以MLS66模拟行车荷载,对两种铺装结构的钢桥模型加载,考察了铺装层与钢桥面板的协同变形能力,铺装层抗车辙、抗水损害、抗疲劳特性,为确定滨海路辽河特大桥钢桥面铺装方案提供了决策依据。

第5章高速公路沥青路面加速加载试验,该试验以在路面结构内部埋设大量力学传感器为突出特点,利用埋设于路面结构内部的力学传感器采集重复荷载作用下,路面结构的应力应变数据,以分析不同加载阶段沥青路面的力学响应特性。

第6章微表处加速加载试验,该试验是将MLS66应用于预防性养护技术方案性能评价的尝试,考察重复荷载作用下微表处填补车辙的耐久性。试验监测了微表处填补车辙后,重载、高温条件下的微表处层车辙变化规律;同时,利用预先在原路面(即高速公路半刚性基层沥青路面)结构内部埋设的力学传感器监测到了微表处层发生较大程度推拥变形的时机。

本书的出版得到了辽宁省交通运输厅以及辽宁省高速公路建设局、高速公路管理局、交通规划设计院、交通运输厅公路管理局的领导、专家和同事们的大力支持,在此对上述单位同仁表示衷心感谢。

限于作者水平有限,书中错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者
2014年5月

目 录

第 1 章 沥青路面与加速加载试验	001
1.1 引言	001
1.2 沥青路面设计及其性能	002
1.3 代表性的 APT 设备/设施	010
1.4 结语	018
本章参考文献	018
第 2 章 MLS66 的 APT 设计与实现	019
2.1 MLS66 的组成与原理	019
2.2 MLS66 的操作	026
2.3 APT 设计与实现	030
2.4 结语	047
本章参考文献	047
第 3 章 APT 数据采集及其信息系统构建	049
3.1 APT 数据采集系统	049
3.2 力学响应数据的采集	050
3.3 车辙与环境数据的采集	056
3.4 路面破损及其记录	058
3.5 APT 信息系统的搭建	068
3.6 结语	085
本章参考文献	085
第 4 章 钢桥面铺装足尺加速加载试验	087
4.1 钢桥模型与铺装结构	087
4.2 试验内容和加载方案	091
4.3 试验过程与结果	092
4.4 结语	097
本章参考文献	097
第 5 章 高速公路沥青路面加速加载试验	098
5.1 试验内容与路面结构	098
5.2 加载方案与数据采集	099
5.3 车辙变化规律	100
5.4 路面承载能力的变化	108
5.5 力学响应特性	113

5.6 结语	121
本章参考文献.....	122
第6章 微表处加速加载试验	123
6.1 加载方案与数据采集	127
6.2 表面服务功能检测结果与讨论	127
6.3 力学响应监测结果与讨论	131
6.4 结语	134
本章参考文献.....	134

第1章 沥青路面与加速加载试验

1.1 引言

改革开放 30 多年来,尤其是 20 世纪 90 年代以来,国家将加快交通运输发展作为优先发展的战略目标,实现了交通基础设施规模总量的快速增长。截至 2013 年,全国公路总里程达到 435.62 万公里,是新中国成立初期的 54 倍;高速公路通车总里程达到 10.44 万公里,形成了“五纵七横”的骨架格局,建成了沟通东中西三大地带、纵贯区域南北、通江达海、连接周边国家的公路交通大通道,由此创造了世界高速公路发展的奇迹。根据我国《交通运输“十二五”发展规划》,“十二五”期间,交通运输基础设施建设将进入一个新的发展时期,公路路网规模进一步扩大,技术质量明显提升,公路总里程预计达到 450 万公里,国家高速公路网基本建成,高速公路总里程将达到 10.8 万公里,覆盖 90% 以上的 20 万以上城镇人口城市^[1]。

我国公路交通建设所取得的巨大成就,离不开公路交通领域的技术进步和科技创新,也正是因为改革开放 30 多年时间里,大量的技术难题不断被攻克,才使得我国公路建设由最初的对国外先进技术全盘引进,逐渐过渡到消化、吸收,最终达到自主创新并形成了符合我国国情的公路工程技术和质量体系,由此保障我国公路建设水平和能力的不断提高。

在我国已大量应用的道路结构形式中,沥青路面由于无缝、整体强度高、行车平稳性好、噪声低、振动小、维修方便等特点,成为目前我国公路交通的主要路面形式。纵观我国沥青路面的发展历史,由于受交通政策、施工技术、施工能力以及路面材料等因素的制约,沥青路面,特别是高等级公路沥青路面的发展与国外相比,起步较晚。20 世纪 60 年代以前,我国公路主要是砂石路面,晴天扬尘、雨天泥泞,不能全天候通车;60 年代,随着大庆原油的开发,道路渣油这种不合格的沥青材料登上了历史舞台,这段时期,渣油表处石灰土稳定基层成为最主要的道路结构形式;直到 80 年代中期,以沈大、京津塘高速公路建设为契机,石化和交通科研部门通过引进、消化和吸收国外技术研制出了国产重交通道路石油沥青,才使得我国大规模铺装各级沥青路面成为可能。今天,在建成通车的各级公路中,沥青路面正发挥着其特有的性能优势,为保障我国国民经济持续快速地发展提供强有力的支撑^[2]。

值得注意的是,随着我国公路通车里程的不断增加,早期建成通车的沥青路面也即将达到设计使用寿命,出现了大量沥青路面道路病害,由此在接下来的一段时期,对现有沥青路面的养护、维修、改造和扩容也成了亟待解决的问题。要较好地平衡沥青路面通车里程增长速度与现役路面大量维护任务之间的矛盾,更为深入地研究沥青路面性能,特别是沥青路面长期使用性能,是十分重要的前提和基础。只有更好地把握沥青路面长期使用性能的衰减变化规律,才能有针对性地改善现有的路面设计,提出适宜的维修改造方案,提高路面施工水平,获得性能更为优良、更为耐久的沥青路面。

1.2 沥青路面设计及其性能

相对于其他形式的路面结构,沥青路面设计较为复杂。其原因,一方面是由沥青材料的黏弹性特征所决定的其力学本构关系的不确定性;另一方面是由于沥青路面使用环境以及路面性能检测评价手段的多尺度和多角度的复杂性。由此,在沥青路面的设计上提出了基于不同理论的设计方法。但是,这些设计方法都很难从最初就确切地估测沥青路面实际的使用效果及其耐久性,由此也使得沥青路面设计与沥青路面性能成为长久研究的课题。

1.2.1 沥青路面设计方法简述

近百年历史的沥青路面设计方法大致经历了“古典法”、“经验法”和“力学—经验法”三段历程。早期的经验法建立在对现役路面或试验路试验观测的基础上,建立路面结构、荷载和路面性能三者间的经验关系,根据所建立的经验关系获得更为完善的路面设计,具有代表性的如CBR设计法、AASHTO方法和英国 Road Note No. 29 等。

随着现代计算科学的发展,特别是计算机在路面设计中的应用,“力学—经验法”成为近年来沥青路面设计的主流方法,大量运用多层弹性体理论解的计算软件层出不穷,如BISAR、CHEV、ELSYM、PDMAP、VESYS等。同一时期,利用充分考虑材料特性的有限元方法进行路面结构计算分析也是在“力学—经验法”中受到普遍关注的方面。在“力学—经验法”中,最为著名的是壳牌公司的Shell设计法和美国沥青协会AI设计法^[3]。

1.2.1.1 经验法

(1) CBR 设计法

CBR设计法是20世纪20年代美国加利福尼亚州首先推荐使用的一种路面设计方法。根据多年实测结果得到一条土基(或路面材料)承载值与路面总厚度的关系曲线,而土基或路面材料的承载值用标准碎石承载能力的百分比表示,即CBR,因此也称之为CBR设计法。根据美国加利福尼亚州交通部1928—1929年的调查,发现路面破坏的主要类型包括如下三种:

- ①路面吸水导致土基发生侧向位移;
- ②路面下层不均匀沉陷;
- ③路面在多次重复荷载作用下产生过大的弯沉。

一般认为,前两种破坏是由于土基压实不够,而第3种破坏则是由于面层厚度不足或是基层抗剪强度不够所致^[4-5]。

CBR设计法以CBR值作为路基和路面材料的性能指标,通过对已破损或使用良好的路面的调查和CBR值测定,建立路基土“CBR—轴载—路面结构层厚度”三者间的经验关系,利用此关系曲线,可以按设计轴载和路基土CBR值确定所需的路面总厚度^[3]。

(2) AASHTO 方法

AASHTO方法采用现时服务能力指数(Present Serviceability Index, PSI)作为设计指标,其值可通过对路面的使用性能进行客观观测或主观评价确定。主观评价是指组成评分小

组,由评分小组成员对路面分别进行评分(0~5),所得到的评分值即服务能力指数 PSI 值;客观观测指量测路面的坡度变化、车辙深度、裂缝面积等状况^[6]。

$$PSI = 0.03 - 1.91\lg(1 + \overline{SV}) - 1.38 \overline{RD}^2 - 0.01\sqrt{C+P} \quad (1-1)$$

式中:PSI——路面现时服务指数,是一个无量纲量,反映道路使用者对路面服务质量的平均评价,其数值在 1~5 之间;

\overline{SV} ——平均坡度变化;

\overline{RD} ——车辙深度平均值(cm);

C——已发展成网状的裂缝面积($m^2/1000m^2$);

P——修补的面积($m^2/1000m^2$)。

该设计方法最初的基本设计方程是:

$$\lg W_{18} = 9.36\lg(SN+1) - 0.2 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \quad (1-2)$$

式中: W_{18} ——累计标准单轴荷载(ESAL)作用次数;

ΔPSI ——PSI 从路面新建至使用年限末的差值($4.2 - P_i$),依道路等级确定;

SN——路面结构数,表征路面结构的等效厚度(in, $1in=0.0254m$)。

$$SN = \sum a_i D_i \quad (1-3)$$

式中: a_i ——第 i 层的材料系数;

D_i ——第 i 层的厚度(in)。

路面结构数是 AASHTO 方法中特别定义的,用以反映路面各层(除路基外)的等效厚度。式(1-3)中的 a_i 与材料的类型和强度有关,可根据材料的弹性模量、马歇尔稳定度、CBR 值、三轴试验结果或无侧限压缩试验结果换算得到。根据预测设计年限内的累计等效单轴荷载作用次数,利用式(1-2)可以计算出需要的最小路面结构数 SN,再根据所采用的路面各结构层材料,利用式(1-3)确定路面各层的厚度。式(1-2)中的 ΔPSI 是路面初始 PSI 与使用年限末 PSI 的差值。在 AASHTO 设计方法中,假定新路面的 $PSI=4.2$,使用期末的 $PSI=1.5$ 。AASHTO 的设计方法表明,不同的路面结构,不管其结构组合如何,只要其结构数相同,则其使用寿命和使用性能是相同的^[3]。

(3)英国 Road Note No. 29

英国 Road Note No. 29 是英国运输部运输与道路研究所(TRRL)和公路工程处共同制定的方法,其全称是新建道路路面结构设计指南。1960年,通过调查世界各国设计方法和以往经验提出了该方法,用于中等和重交通量的道路结构设计,1965年、1970年进行过两次修订。该方法 1970 版的特点是,将沥青混凝土面层和基层的厚度仅作为累计和交通量的函数来考虑,而底基层的厚度则由路基承载力、设计交通量、冰冻情况等因素确定,路基承载力采取 CBR 试验确定。试验是在很高的天然含水率条件下进行的,因此所得 CBR 值较低。其设计程序是:先把卡车辆数换算成 80kN 标准轴荷载的累计通过次数,再从累计次数和路基 CBR 值求出底基层厚度(此时尚应考虑冰冻情况),最后根据已定的基层类型求出基层厚度和面层厚度^[5]。

1.2.1.2 力学—经验法

(1) Shell 设计法

Shell 设计法将路面视为多层线弹性体,各层材料以动态模量/劲度表征,以厚度 h_i 、模量 E_i 和泊松比 ν_i 表示路面特征。混合料的线弹性性质以其劲度模量体现,其值取决于沥青含量、沥青劲度和沥青混合料空隙率。路基模量受应力影响,路基动态模量在现场可用动态弯沉仪测定,测定模量时,所施加荷载及土基含水率须能代表实际土基工作状态。无结合料基层模量依赖于其受力状态,其值取决于路基模量和基层厚度^[3,7]。

在自然环境方面,仅考虑温度对沥青混合料材料特性的影响,采用如图 1-1 所示关系,把月平均气温转化为加权平均气温,依据沥青层厚和加权月平均气温可求得路面沥青层温度 T_{\max} ^[3]。

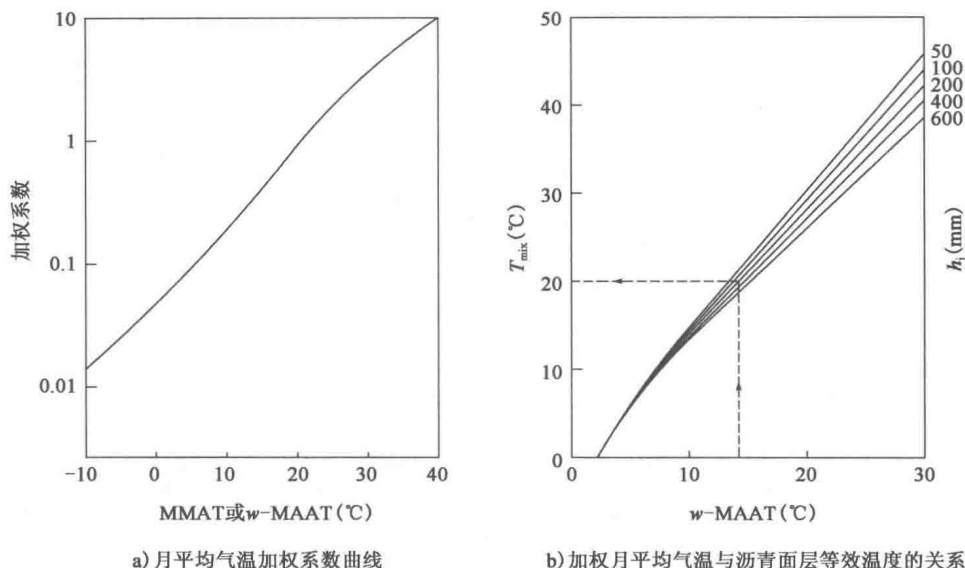


图 1-1 Shell 设计法中的温度加权与沥青面层等效温度关系^[3]

Shell 设计法中考虑了两项主要设计指标和两项次要设计指标,主要设计指标为沥青层底面的容许水平拉应变 ϵ_r 和路基顶面的容许竖向压应变 ϵ_z ,控制标准如式(1-4)和式(1-5)所示^[3]。

$$\epsilon_r = C \cdot N^{-0.25} \quad (1-4)$$

$$\epsilon_z = \alpha \cdot N^{-0.25} \quad (1-5)$$

式中: N ——累计标准荷载作用次数;

C ——与沥青层模量有关的系数;

α ——保证率为 95% 时取 0.018, 保证率为 85% 时取 0.021。

Shell 设计法中的两项次要指标是水泥稳定类材料底面的弯拉应力和路表面的永久变形。水泥稳定类材料底面的弯拉应力采用式(1-6)控制^[3]。

$$\sigma_{r2} = \sigma_{r1} (1 - 0.075 \lg N) \quad (1-6)$$

式中: σ_{r2} ——容许弯拉应力;

σ_{r1} ——材料的极限弯拉强度。

(2) AI 设计法

与 Shell 设计法相类似, AI 设计法也把路面视为多层弹性体系, 各层材料以弹性模量和泊松比表征(沥青混合料以动态模量表征, 粒料以回弹模量表征)。沥青混合料的动态模量及粒料的模量依据回归方程式确定, 土基回弹模量 M_r 可由室内重复三轴抗压试验确定, 或根据 M_r 与 CBR 的关系式估算而得。交通荷载以两个双轮组表示, 与路面的接触面假定为圆形, 接触压力、半径和间距一定; 设计时的临界应变位置位于双轮荷载的对称轴上。环境的影响通过面层温度对混合料劲度值的影响得以体现, 以沥青面层厚 1/3 深处的温度作为沥青层的设计温度, 由月平均气温和月平均路面温度的关系式计算得到^[3]。

AI 设计法采用沥青层底的水平拉应变 ϵ_r 控制沥青层的裂缝, 路基表面的竖向压应变 ϵ_c 控制路面的永久变形, 沥青处治层的变形大小则通过材料的性质来控制。路面寿命与 ϵ_r 和 ϵ_c 的关系为^[3]:

$$N = a \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^b \quad (1-7)$$

$$N = a \left(\frac{1}{\epsilon_c} \right)^b \quad (1-8)$$

式中: N ——路面开裂时荷载的作用次数;

ϵ_r ——沥青面层底水平拉应变;

ϵ_c ——路基顶面的竖向压应变;

a, b ——回归系数。

1.2.2 路面性能及其检验

尽管“力学—经验法”的广泛应用使得沥青路面设计更为完善, 但是就其思想核心来说, 都是对现实情况的理想化“推理”和“演绎”, 由此对路面设计后的验证和评价始终伴随着沥青路面工程实践过程, 成为周而复始的循环, 而最终的目的是追求更为耐久的路面和超高品质的性能表现。

提及“路面性能”, 1962年, Caray 和 Irick 将其定义为“路面服务能力的演变过程”。1987年美国 SHRP 研究计划“基于性能”这一思想将路面性能概念的覆盖面不断扩大, 包含了路面行驶质量、损坏状况、结构力学行为、行驶安全性以及路面材料的疲劳、变形、开裂、老化等方面。由此, 路面性能成为了内容和含义十分宽泛的概念, 几乎所有表征路面服务能力的术语或指标都可归结于这一概念。也正是因为“路面性能”这一概念在含义上的宽泛性, 使得沥青路面设计后的验证和评价在尺度和指标上呈现出多样而复杂的特点, 跨越了从微观(微米级)到细观(毫米级), 直至宏观(米)的各个层面^[3]。

按照目的和研究尺度范围不同, 对路面性能检验和评价大致可归纳为以下 4 个层面:

(1) 沥青路面组成材料试验。从组成沥青路面结合料和集料的材料性质或性能出发, 在强度和界面特性方面判定沥青路面组成材料满足沥青路面设计要求的的能力, 揭示沥青路面的损伤机理。此类试验常深入至微观层面的研究。

(2) 考虑温、湿度条件的沥青路面结构层材料试验。以评价沥青路面组成材料的组合体力学特性为目标, 从强度、变形和疲劳特性方面分析沥青路面材料满足沥青路面设计目标的能力。此类试验一般在细观层面上进行研究和分析。

(3)模拟自然环境和行车荷载作用的路面结构试验。以控制影响路面性能的行车荷载和环境因素为前提,从路面结构组合的承载能力、变形特性和疲劳特性角度分析路面结构组合体满足设计要求的能力。这类试验的研究结论一般将涵盖路面性能从微观到细观层面上的变化。

(4)现实情况下路面长期性能的观测。从宏观的层面上,通过对海量路面性能监测数据的统计和分析,获取路面性能的变化规律。

显然,现实情况下对路面长期性能观测所得到的研究结论是较为客观和真实的,由此也引发了研究者对沥青路面性能检验和评价不同层面所获得结论之间联系的关注。

Fred Hugo 按照路面性能研究方法的投入和研究收益,描述了上述 4 个层面路面性能检验和评价之间的差别与联系,如图 1-2 所示^[8]。

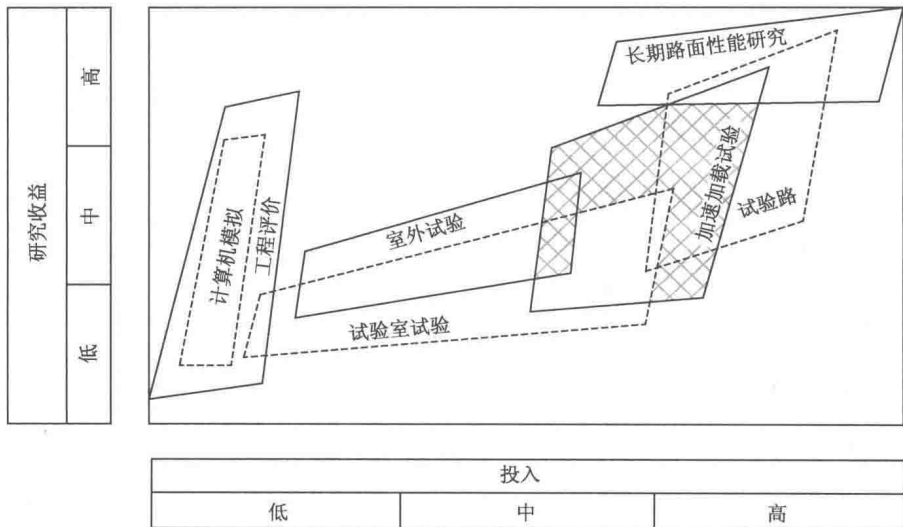


图 1-2 不同层面路面性能检验和评价之间的差别和联系^[8]

1.2.2.1 路面长期使用性能研究

继 AASHTO 道路试验之后,路面长期性能(Long-Term Pavement Performance, LTPP)研究计划对路面性能研究产生了意义深远的影响,获得了显著的研究收益。LTPP 是 SHRP 研究计划的一个子项目,其目的是对目前的道路技术进行全面客观的了解和评价,研究提出能够解释路面使用性能变化过程的模型,确定不同的设计特点、交通状况、气候环境、材料特性、施工质量和养护水平对路面性能的影响。这一计划的研究目标涉及各种路面结构的大量数据积累,其研究周期长达 20 年(1987—2007 年),其具体研究目标是:

- (1)评价现有的设计方法;
- (2)研究和改进路面设计方法和旧路面的维修策略;
- (3)研究提出新建和重建道路路面的设计方程;
- (4)确定荷载、环境、材料特性和变异性、施工质量和养护水平对路面性能的影响;
- (5)确定具体的设计特点对路面性能的影响;
- (6)建立全美国路面长期性能数据库以支持 SHRP 的研究目标和将来的需求。

LTPP 试验路段包含的路面类型十分广泛,除了新建的沥青路面、水泥路面外,还包括旧

沥青路面上加罩沥青路面、旧沥青路面上加罩水泥路面、旧水泥路面上加罩不同的水泥路面等复杂的路面结构。LTPP 计划已经积累了海量的路面性能数据,由于数据量多、采集人员多和持续时间长,致使数据的可比性并不理想,数据分析困难。迄今为止,LTPP 尚未发表过一份较为系统完整的分析报告和模型报告^[3]。

1.2.2.2 路面加速加载试验

从理论上讲,LTPP 计划能够获得全面而可靠的路面性能经验数据,以此为基础完善路面设计,基于 LTPP 研究结论的路面设计的可靠性是毋庸置疑的。但是,LTPP 计划的局限性也是不容回避的。

(1)即便其研究成果对路面设计、施工和管理具有突出的指导作用,长达 15~20 年的研究周期也很难使其研究成果在当前的工程设计中发挥作用,特别是在经济飞速发展的今天,人们更希望尽快地改善路面设计。

(2)在研究的过程中,由于问题的复杂性,选择的技术路线、检测手段显著地影响最终的研究结论,一旦通过长期的观测所取得的试验或研究结论与理论分析结果大相径庭,很难尽快找到问题的原因而再次开展相同的观测,进而极大地增大了路面性能研究的风险性;同时,在通车的道路上进行路面性能观测需要考虑试验人员、检测设备、过往车辆及人员的安全,而大多数时候,这些是不可能兼顾的。

(3)道路使用者更希望其旅程安全而高效,不希望存在各种原因的道路封闭而延长驾驶时间,因此很难为路面研究封闭交通数个小时用于路面性能的检测。

为了平衡路面性能研究投入和收益之间的矛盾,避免更大的研究风险,路面加速加载试验(Accelerated Pavement Testing, APT)逐渐受到广大道路研究者的普遍关注。

(1) 足尺路面加速加载试验的概念

足尺路面加速加载试验是指在很短的时间内和可控条件下,采用原型轮载重复施加于按与实际路面 1:1 比例专门修筑的试验车道或现役路面,以研究路面结构的行为。

由 APT 的概念可知,开展 APT 研究的 4 个基本条件是加载设备或设施、环境控制、试验对象和路面性能检测方法。

①与 LTPP 最大的差别是,APT 在研究周期上强调“短期”。为了实现这一目标,APT 所采用的加载手段常常是固定载质量的货车或轴载可调节的加载悬架装置,以较高的频率反复对固定长度的路面施载。

②在环境控制方面,APT 为了实现对自然环境影响的可控性,将自然环境的作用抽象为几项影响要素,如温度、降水、日照、冻融等,试验中通过对加载段控温、洒水、紫外线老化、人工冻融等方式模拟这些作用。

③在试验对象上,LTPP 针对的是设计、工况、材料等存在较大差异的现役路面,APT 则针对专门铺筑的原型路面,由此,APT 在试验对象的抽样空间上要小于 LTPP。

④在路面性能检测方法上,LTPP 和 APT 并不存在本质上的差别,只是为了不影响交通,LTPP 在路面性能检测方法的选择上需要强调操作的简便和高效。

根据上述 LTPP 和 APT 的比较,可理解图 1-2 所示的不同研究方法在研究收益上的差异。LTPP 无疑是最能反映现实路用性能的最佳研究方法,而 APT 则是“快速”和“简化”了的 LTPP 研究方法。