

第二届国际路面工程讨论会



The 2nd International Symposium on Pavement Engineering

永久性沥青路面

和

力学经验法沥青路面设计

Perpetual Asphalt Pavements and ME Asphalt Pavements Design

● 主 编 刘效尧 Linbing Wang

中国科学技术大学出版社

第二届国际路面工程讨论会

永久性沥青路面和力学经验法沥青路面设计

中国科学技术大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

永久性沥青路面和力学经验法沥青路面设计/刘效尧, Linbing Wang 主编. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2008. 9

ISBN 978-7-312-02395-8

I. 永… II. ①刘…②L… III. 沥青路面—道路工程—国际学术会议—文集
IV. U416.217-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140946 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编: 230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 889mm × 1194mm 1/16
印张 7.5
字数 248 千
版次 2008 年 9 月第 1 版
印次 2008 年 9 月第 1 次印刷
定价 58.00 元

编 委 会

主 编： 刘效尧 Linbing Wang

编 辑： 朱炳朋 王靖靖 王 旒 孙 健

陆 杨 王 栋 张 兵 李 雪

“第二届国际路面工程讨论会”组织

主 席： 李永铎 安徽省公路学会理事长

副主席： Mr. John D'Angelo 美国联邦公路管理局

发起人： Anhui Highway Association (AHA) 安徽省公路学会

North America China Overseas Transportation Association (NACOTA)

北美海外华人交通协会

地 点： 安徽 合肥

时 间： 2007 年 6 月 21 日 ~ 23 日

秘书处： 刘效尧 安徽省公路学会副理事长

Linbing Wang Virginia Polytechnic Institute and State University

方正华 安徽省公路学会秘书长

王生国 安徽省公路学会副秘书长

谭立新 安徽省公路学会副秘书长

前 言

由安徽省公路学会(AHA)和北美海外华人交通协会(NACOTA)共同发起的“国际路面工程讨论会”于2005年召开了第一次会议,主题是一般公路和高速公路的养护。参加会议的有美国、新加坡、我国台湾省和安徽省等地区的路面专家。

2007年召开了第二次会议,主题是永久性路面和力学经验法的原理、设计和实践。这次会议尝试扩大会议范围,吸收了浙江省公路学会的代表出席会议、参加讨论。这次会议还采用了中、英文同步投影方式,效果很好。弗吉尼亚理工大学做了大量的投影翻译和重新制作的工作。

会议由中美双方根据会议主题来选择报告人,报告人有技术官员、大学教授、研究人员、设计人员、施工管理人员。会议还组织外地人员考察安徽的公路施工现场,听取工程汇报、交流技术经验。

这次会议结束以后,根据报告人的演讲稿整理、编辑成文并出版,供必要时参考。整理、编辑成文后未经报告人审阅,若有不当之处,请反馈给编者。

安徽省公路学会
2007年7月

目 录

前言	(1)
力学—经验法路面设计指南:我们现在哪里,将向何处去	Gary Crawford(1)
用 MEPDG 法描述沥青材料的特性	John D'Angelo(6)
用 MEPDG 设计骨料基层	Chris Wagner(12)
永久路面设计	John D'Angelo(19)
永久性路面	Louay Mohammad(25)
永久路面设计中自上而下裂缝和反射裂纹的考量	汪林兵(31)
路面排水原理及其应用	Mohamed Elfino(36)
案例分析:弗吉尼亚州混凝土路面基层的排水和渗透破坏	Mohamed Elfino,Shabbir Hossain(41)
市区道路平坦度养护管理	周家蓓(45)
市区道路平坦度验收规范之研究	周家蓓(50)
Perpetual Hot Mix Asphalt Pavements in the US	David Newcomb,John D'Angelo(55)
大粒径透水性沥青混合料(LSPM)组成设计方法	黄晓明,赵永利,王松根,张玉宏(60)
高强沥青混凝土在钢桥桥面铺装中的应用研究	倪富健(68)
浙江省高速公路沥青路面合理结构形式研究	浙江省高速公路沥青路面合理结构形式研究课题组(78)
不同沥青抗车辙实验研究	张玉斌,陈修和,李静,谢明贤(83)
市政道路交叉口车辙防治研究	张玉斌,谢添,张辉(88)
沥青感温性能合理性评价研究	陆学元,孙立军(93)
沥青路面压实度变异性及其影响因素分析	扈惠敏(99)
旧水泥混凝土路面改造的力学法设计与工程实例	刘荣,刘效尧,黄晓明(105)

力学—经验法路面设计指南： 我们现在哪里，将向何处去

Gary Crawford

(联邦公路管理局, Washington DC)

摘要：设计指南的实施小组、联邦公路局专题讨论会、联邦公路局其他活动、推广力学—经验法领先的州、将来的实施活动。

关键词：力学经验法；路面设计；推广与培训

1 设计指南的实施小组 (DGIT)

是联邦公路局下属的一个小组，为各州公路局、路政部门提供支持和培训，帮助发展和推广力学—经验路面设计方法。

目的是促进力学—经验路面设计方法的推广。

2 设计指南推广实施小组 (DGIT) 机构组成

(1) 路面技术办公室

Gary Crawford—混凝土小组—团队领导

(空缺)—沥青小组

(2) 资产管理办公室

Nastaran Saadatmand

(3) 政策办公室

Harshad Desai—执行监察与调查部门

(4) 资源中心

Chris Wagner—TST 小组

Angel Correa—TST 小组

(5) 部门办公室

John Sullivan—部门管理员—NC

(6) 高速公路研究中心

Jim Sherwood—先进模型小组

Eric Weaver—先进模型小组

3 施行策略：培训、提高、实施

4 设计指南推广实施小组 (DGIT) 培训活动

力学—经验设计法入门研讨会

力学—经验设计法中的交通流研讨会

力学—经验设计法中的材料参数研讨会

EICM 研讨会

查询网址：www.fhwa.dot.gov/pavement/dgit/htm

设计指南推广实施小组的活动范围：30 多个州，1 700 多名参与者，400 多名网上参与者。还有中国、墨

西哥、加拿大、欧洲、印度和美国中南部。

(1) 联邦公路局设计指南推广小组研讨会

将要举行的研讨会：局部调试研讨会、PMS 数据库输入参数研讨会、对下一代交通流数据影响的程度研讨会。

已经举行的研讨会：DG-8* 入门、交通流-4* 研讨会、材料-11* 研讨会、气候输入数据-12*、使用 PMS 数据的局部调试-1* 等研讨会。

(2) 联邦公路局研讨会

联邦公路局研讨会网址：www.fhwa.dot.gov/pavement/dgit/dgitcast.cfm

先进技术研讨会，设计指南执行小组主页可以通过康涅狄格州交通局连接登陆

历时 1 天的环境参数研讨会，www.ct.gov/dot/CIW

历时 1 天的交通流参数研讨会，www.ct.gov/dot/TDW

历时 1 天的用 PMS 校准力学—经验法研讨会，www.ct.gov/dot/PMS

(3) 国家公路研究所 (NHI) 课程

NHI #131064——力学设计法入门 (已开放)

NHI #131109——使用力学—经验公路设计法软件 (正在开发)

NHI #132040——从岩土工程角度看路面设计 (已开放)

NHI #151018——交通监测指南的应用 (开放)

(4) 将要举行的联邦公路局研讨会

用力学—经验法路面设计软件分析新建和重建路面性能——国家公路研究所，NHI 课程 #131109，试讲于 2007 年 6 月。内容是计算机软件手动输入格式，注意力集中在用户而不是原理，目标是让学员能亲手完成柔性、刚性和重建复合路面的设计。

评价力学—经验法对下一代交通流数据的影响——发展与联邦公路局高速公路政策信息办公室的合作，试行计划于 2007 年夏天开始，目的是为了培训学员应对交通流荷载对路面设计和基础设施服务寿命的影响，学员是路面设计师、交通工程师、评估执行官员。

力学—经验法模型的本地化调整——直到从 NCHRP 1-40 B 获得合适的模型，试行计划于 2007 年秋季开始，目的是讨论输入数据和调整数据的敏感性，培训公路设计师和公路管理者。

5 设计指南执行小组提高阶段的活动

培训刚性路面设计步骤

NCAT 结构部分研究

与 NCHRP 一同工作

CTE 粗糙度研究——TFHRC

FWD 研究——TFHRC

沥青和混凝土拖车

6 联邦公路局其他活动

(1) 设计指南执行小组与高速公路政策信息办公室的交通监督与调查部门合作，发展一个更新的 HPMS 网络专题讨论会用来记录那些力学—经验路面设计法中使用过的输入数据，希望今后几年能开展其他与交通数据相关的网络讨论会。

(2) 设计指南执行小组与高速公路管理/运营办公室与 Auburn 大学的合同，在力学—经验设计法中建立卡车尺寸和重量的模型，评估载重极限提高后的影响。

(3) 联邦公路局跨专业合作小组，找到方法分配因提高公路载重极限后基础设施损坏的维护费用，努力提升这个课题在联邦公路局的官方地位。

(4) 设计指南执行小组与基础设施办公室合作研发，与 Pittsburgh 大学签订合同 (Julie Vandenbossche)，评估力学—经验设计法的混凝土模型及其详细的敏感特性，与一个州合作采用新的设计步骤。

(5) 与 Illinois 大学签订合同 (Imad Al - Qadi)，用粘弹性模型计算应力脉冲。

(6) 联邦公路局内部专家的研究 (DGIT)，采用动力荷载反应数据作为应力脉冲作用于柔性路面已经在弗吉尼亚智能公路和俄亥俄、纽约州 LTPP SPS 部门准备好了。

(7) 设计指南执行小组与基础设施办公室合作研发，为力学—经验设计法修复设计做 FWD 分析、用户指南和建议。

(8) Iowa 州立大学的研究员们正在致力于 EICM 热力学行为的微观力学模型研究。

7 为力学—经验路面设计法提供论坛

联邦公路局网上练习社区，已建成力学—经验路面设计法用户评论数据库，由力学—经验法推广小组维护，如果有问题或者不同技术观点请直接联系 NCHRP，成功事例需要积极反馈。

8 推广领先的州

LSG Web site: www.transportation.org/?siteid=77

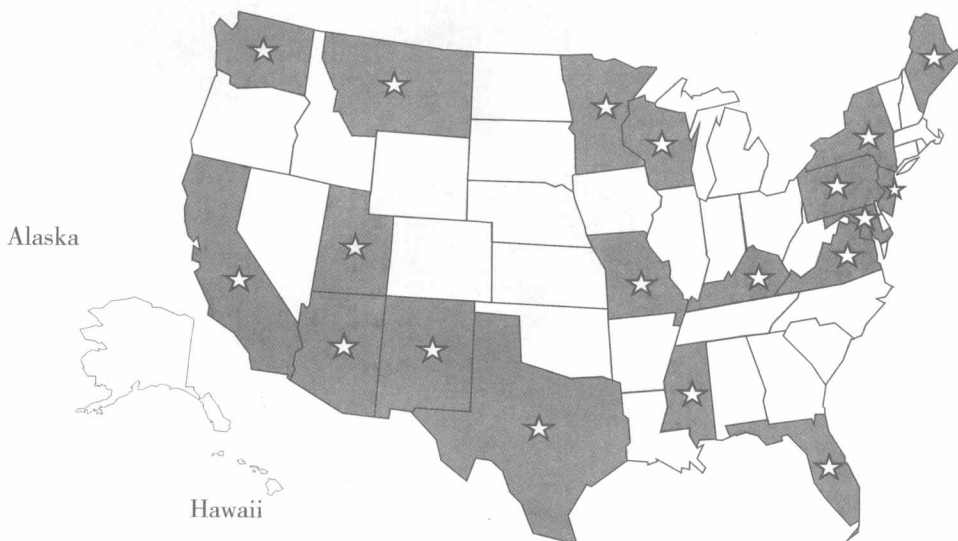


图 1

支持领先的州的办法：联邦公路局路面技术办公室对推广领先的州给予少量的经济补贴。

考察内容：

路面设计状态调查，2006~2007 年美国各个州路面设计状况的调查（对 2003 年部门办公室调查的更新）；搜集和概括各州交通局的实施计划，一些计划已经收到并将会公布在 LSG 主页上，但是不够简洁；分发技术概要。

9 用力学—经验法设计

发展输入数据或者文件的目录

指导如何使用缺省值，要能判定：这个重要吗？我能测试它吗？我将会测试它吗？

设计目录是一个选项

需要有内行专家

(1) 主要优势

标准的系统易于逐渐升级

带来更可靠的设计

不再依赖于外推那些过时的经验公式

非常有利于法庭辩论分析，能回答“假如……”的问题

(2) 集成分析

集“路面设计、材料选择、施工、路面管理”于一体

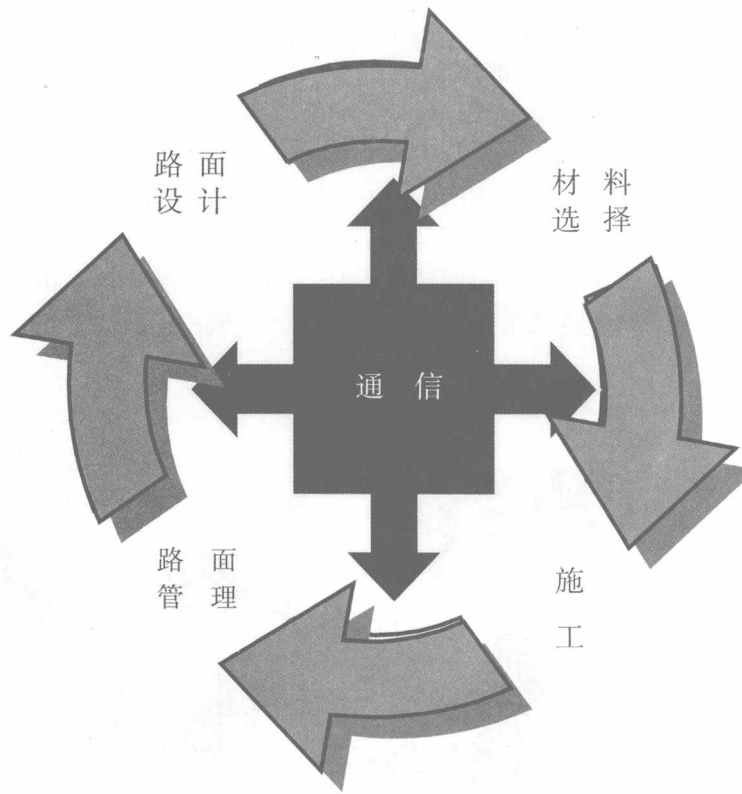


图 2

(3) 与创新合同的联系

保单

基于性能的说明书

LCCA

设计 / 建造

解决争执的分析

(4) 长期目标

(5) 需要记住的东西

所有路面设计系统需要:

材料建模的定性分析

交通流数据的定性分析

对当地条件进行校准

力学—经验法是设计师的一个工具:

关注结构设计方面

此方法也有缺陷

10 国家力学—经验法推广时间表

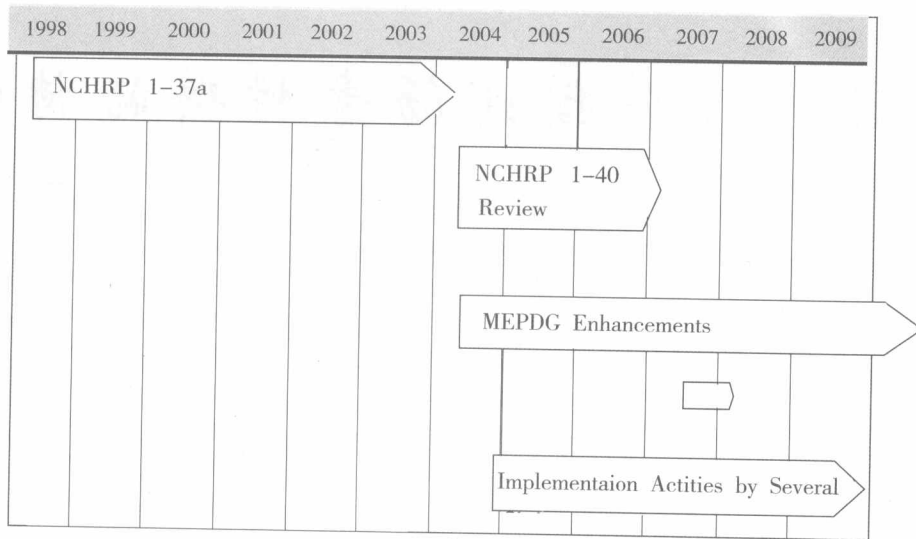


图3 国家力学—经验法推广时间示意图

11 未来的实施推广活动

(1) 支持推广力学—经验法的州并支持地区性研究

参数敏感度分析，在网上共享结果

适应本地化的调整，检测试验部门

鼓励对初始输入数据做材料性能测试

共同研究基金

(2) 为地区性活动提供便利

ETG/用户团队

努力为适应本地化做调整

更多的气候数据

为州实施推广活动提供交换信息的场所

设计指南目录

12 实施推广小组联系方式

dgitt@dot.gov

www.fhwa.dot.gov/pavement/dgitt/index.cfm

用 MEPDG 法描述沥青材料的特性

John D'Angelo

(联邦公路管理局, Washington DC)

摘要: 设计指南的实施小组、联邦公路局专题讨论会、联邦公路局其他活动、推广力学—经验法领先的州、将来的实施活动。

关键词: 力学经验法; 路面设计; 沥青材料

1 设计原理

沥青材料和土壤一样都承受着气候和交通荷载的作用。

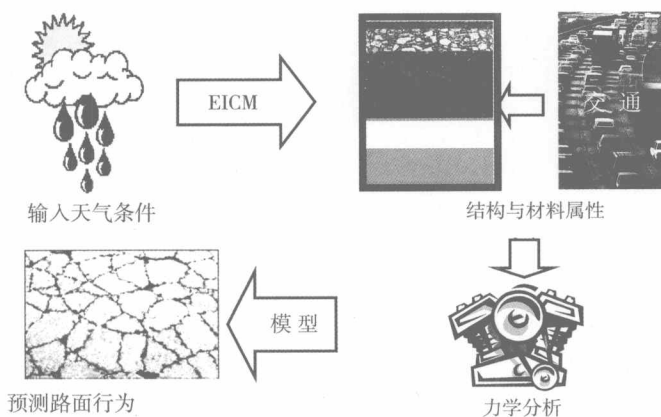


图1 沥青路面设计流程示意图

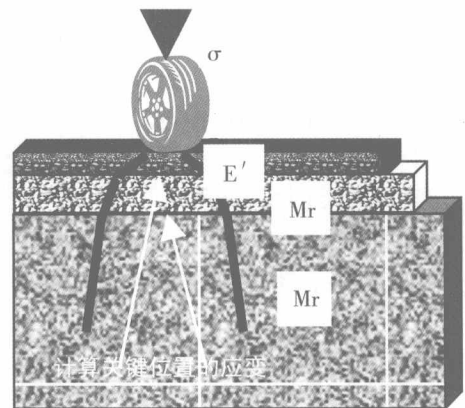


图2 计算原理示意图

给定荷载就可以计算应力，沥青材料的模量可以由 MEPDG 给出，由应力和模量可以解出路面上的临界荷载的应变。

2 沥青模量不是一个常数

沥青模量随时间和温度而变化，时间因素又随荷载脉冲的持续时间而变化、累计损伤、老化。

3 荷载脉冲

随深度增加，脉冲频率降低；脉冲也随车辆速度变化而变化，但是设计指南不考虑速度分布。由下图可见，顶层的回弹模量大于底层，这是由于加在路面顶层的荷载速率大于底层，同时注意到回弹模量随季节（温度）在变化。

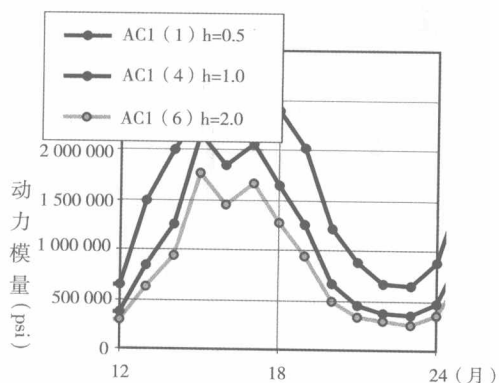


图3 动力模量与荷载脉冲持续时间示意图

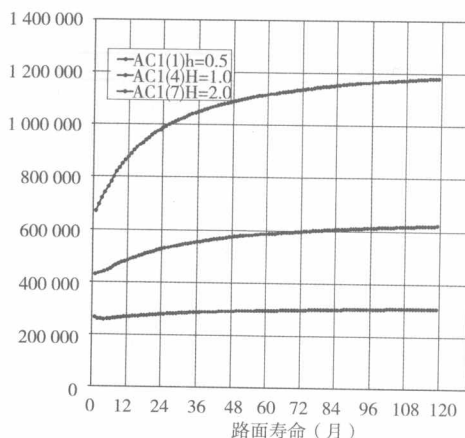


图4 老化曲线示意图

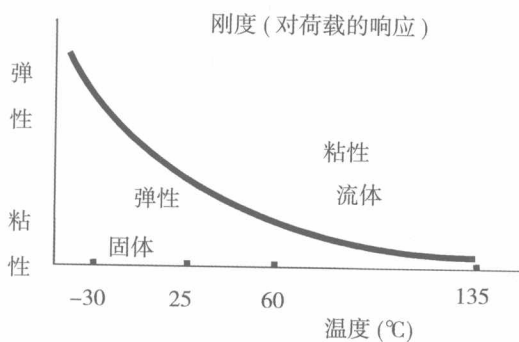


图5 温度曲线示意图

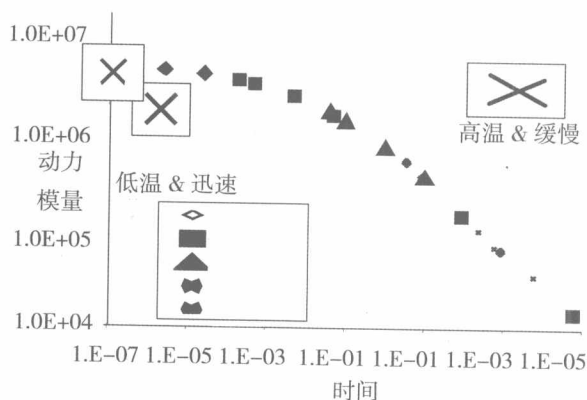


图6 沥青混合物刚度散点示意图

4 老化系统

场地老化 (表面硬化) 由年平均气温决定

$$\log - \log \eta = A + VTS \log TR$$

5 动力模量

图6、图7中表示了沥青模量和加载速率的关系, 可以看到模量随温度下降而上升的关系。等级1 沥青, 直接测试动力模量; 等级2&3 沥青, 用 Witzak 关系公式计算。动力测试按 AASHTO TP62 执行, 样本参数见下表。

这个试验是用来测定类似真实外界条件下的沥青劲度。注意, 最下一行的 130°F, 相应于沥青路面的最高期望值。可以得到图9 的动力模量温度散点图。

参数	建议值
直径 (mm)	100 to 104
高度 (mm)	147.5 to 152.5
直径标准差	SD < 1
最终平行度 (deg)	± 1°
最终平行度 (mm)	± 0.3

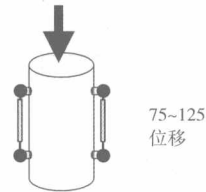


图7 动力模量测试示意图

温度		频率 (Hz)
°C	°F	
-10	14	0.1
		0.5
4.4	40	1
21.1	70	5
37.8	100	10
54.4	130	25

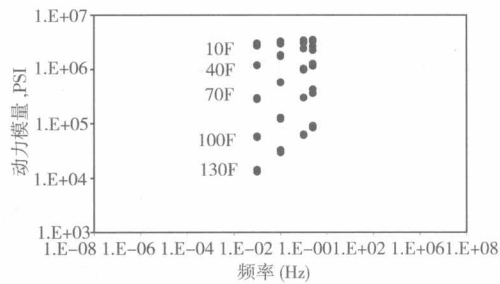


图8 动力模量散点示意图

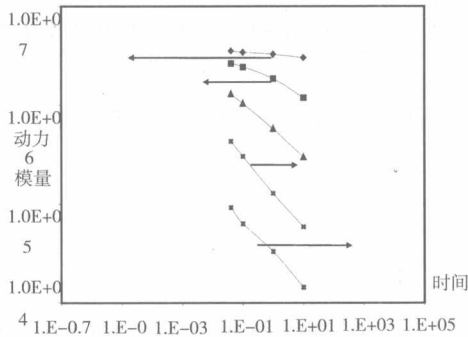


图9 线性散点示意图

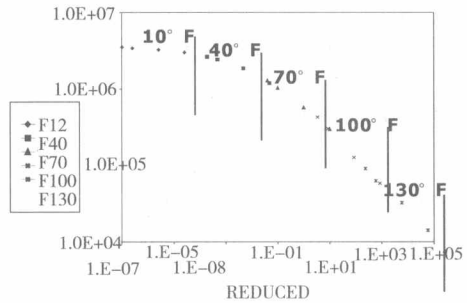


图10 动力模量散点示意图

动力模量计算公式如下，计算得散点图见图10。

$$\log (E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log t_r)}}$$

等级2、等级3 沥青混合物可用 Witczak 方程计算动力模量 E^* ， f (变化程度，体积和粘滞性质)，将体积和粘滞性质与动力模量联系起来。

$$\log(E^*) = 3.75 + 0.029 \rho_{200} - 0.0018 (\rho_{200})^2 - 0.0028 \rho_4 - 0.058 V_a - 0.8022 \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) + \frac{3.872 - 0.002 \rho_4 + 0.004 \rho_{38} - 0.00002 (\rho_{38})^2 + 0.0055 \rho_{34}}{1 + e^{(-0.603 - 0.313 \log(f) - 0.393 \log(\eta))}}$$

6 温度裂缝

低温热拌沥青属性是用来分析温度裂缝。温度裂缝特征：(1) 没有外载作用，(2) 由于受冻（低温）或者季节循环（热疲劳），(3) 开始于横向裂缝，(4) 随着沥青老化表现出脆性后，路面被越来越多的裂缝分割为大块碎片。可计算每小时的温度变化用来计算温度裂缝。

7 沥青粘性

沥青粘性测定设备。

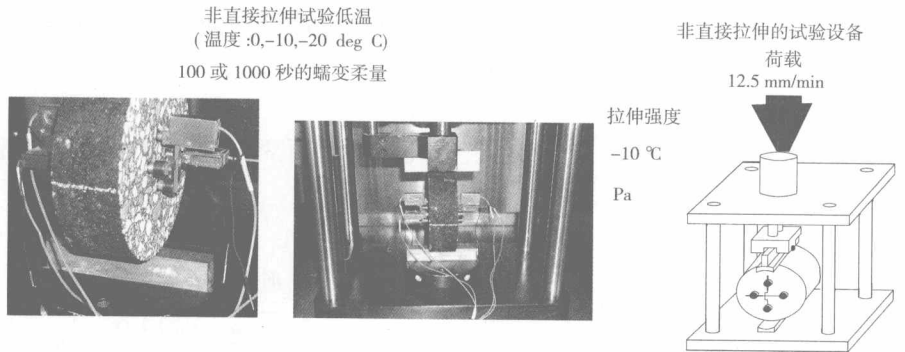


图 11 温度裂缝非直接拉伸试验示意图



图 12 沥青粘性测定设备示意图

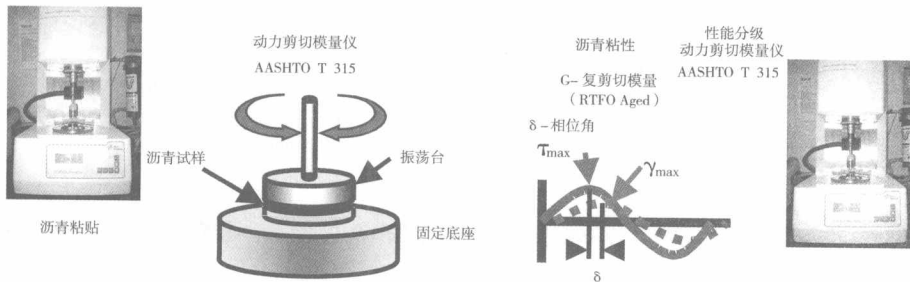


图 13 沥青粘性测定示意图

以上测定的沥青属性用于老化模型、动力模量转换系数、Witzak 方程、温度裂缝模型。传统的沥青测试可以用于对性能分级。

8 力学——经验法设计指南模型

温度：每 6 min 计算一次，最高可用于 7 层沥青路面；交通流：假设将标准正态分布分成 5 个区域，每个区域作用 20% 的交通荷载，取其代表温度。

见图 14。按月计算的，路面上层，五个分区中温度最高和最低区域的模量见图 15。

9 性能预测

敏感性分析的结果，高的孔隙率会导致从下向上的裂缝比例相应会增加，见图 16。

高的孔隙率也会导致模量下降，见图 17。

10 气候与性能

在美国西南、东南、西部、北部四个典型地区调查，不同面层厚度的沥青路面 20 年龟裂百分比见图 19，车辙深度见图 20。特别寒冷的 Minnesota 温度裂缝见图 21。

11 结论

沥青模量不是常数，随荷载脉冲时间、累计损伤、老化、温度而变化。力学—经验法是参照气候和交通荷载的变化从而调整并确定沥青模量。

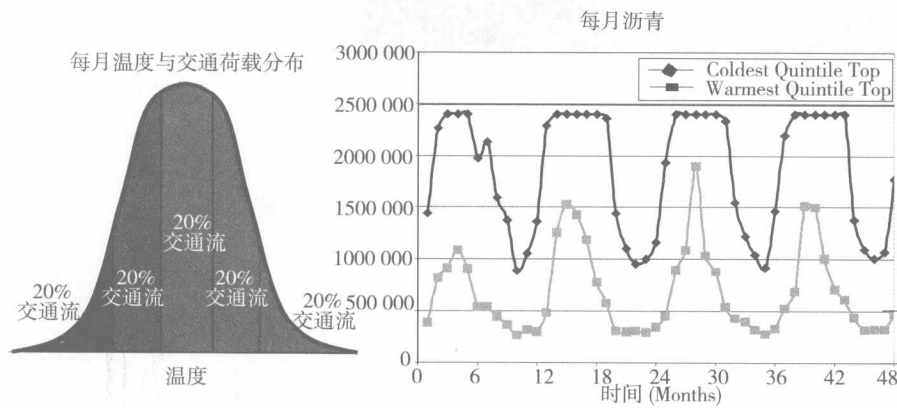


图 14 每月温度与交通荷载分布示意图

图 15 温度最高和最低区域的模量示意图

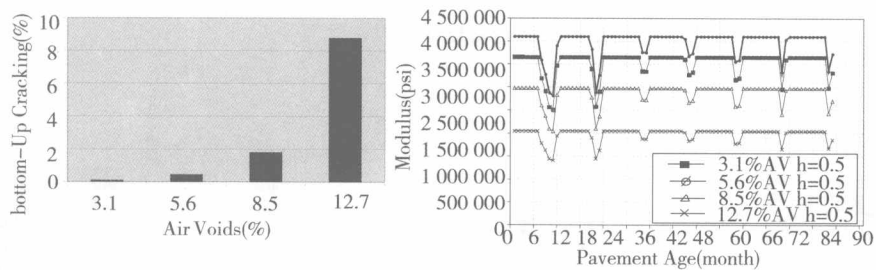


图 16 由下而上的裂缝与孔隙率相关示意图

图 17 孔隙率—模量—时间关系示意图