

国际交通论坛

International Traffic Forum

主 编：王元庆

西安地图出版社

国际交通论坛

International Traffic Forum

主 编：王元庆

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

国际交通论坛/王元庆主编. —西安:西安地图出版社,
2005.3

ISBN 7-80670-779-4

I. 国... II. 王... III. 交通运输经济—世界—文
集 IV. F511—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 024325 号

国际交通论坛

王元庆 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码:710054)

新华书店经销 长安大学雁塔印刷厂印刷

880 毫米×1230 毫米·1/16 开本 8 印张 250 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—10000

ISBN 7-80670-779-4/Z·16

定价:58.00 元

时 代 公 路 网

<http://www.timehighway.com.cn>

时代公路网初建于1998年,是目前国内交通行业最大的网站。时代公路网专注于中国公路的建设、管理、规划等方面的信息交流与服务,为国内外公路专业相关的广大用户提供多层次、专业化的信息处理与整合,使用户能够迅速掌握行业动态,洞悉前沿技术,了解最新的项目信息,在信息化的时代中始终领先一步。

时代公路网与国内大多数相关的企事业单位保持着良好的合作关系,这都使时代公路网在公路交通行业的信息发布和交流上形成了得天独厚的优势。时代公路网在行业动态、供求信息、科研院所及知名企业资料查询等方面为用户提供系统、及时、个性化的多项信息服务,构建一个公路企业与企业之间、企业与用户之间的信息平台。

凭借良好的信息服务,时代公路网已经成为全国各地公路相关单位的决策者、管理人员、工程技术人员快速了解业内动态首选的网络媒体之一,影响日渐扩大,网站用户和日访问量稳步攀升,并在国内同类网站中居领先地位。时代公路网在行业中的独特地位为企业进行形象宣传和产品广告提供了广阔的空间舞台,时代公路网竭诚欢迎广大公路行业的企事业单位加盟。

时代公路网永远以满足用户的要求为自己的最大目标。在广泛听取广大用户的意见和建议的基础上,时代公路网将不断为网站增加新的功能模块,使网站更加贴近用户的实际需求。时代公路网致力于公路行业信息的整合与交流,借助于广泛的信息资源和专业的采编制作,时代公路网力图在业内提供全面、及时、系统、准确、专业及个性化的信息服务和资料检索。

时代公路网聘请业内专家和专业人士对行业大事、传媒热点进行深入研究和探讨,尽力使用户对国家最新政策、行业发展方向有一个完整的把握,专业化的信息服务和 market 分析会把领先一步的信息迅速转化为财富。

时代公路网配备了资深的专业编辑,每日对收到的各种信息进行审核与编辑,去伪存真,评判轻重,并将相关信息关联起来,将信息纳入统一的信息资料库中,使时代公路网的信息形成一套完整系统的网状数据库结构,从而保证了信息的系统和准确。

主要栏目有:西部项目、国家高速、行业动态、国际会议、国内会展、公路科研、招投标信息、供求信息、公路软件、政策法规、在建项目、筹建项目、高等院校、科研院所、知名企业、筑路机械、路用材料、公路期刊、业内名录、企业建站、公路论坛、行业咨询、信息邮件、求职招聘、广告发布、公路书城等近三十个精彩纷呈的栏目。

目 次

·权威观点·

高速公路沥青路面的早期破坏·····	沙庆林(1)
多孔混凝土疲劳性能的研究·····	王秉纲,郑木莲(9)
杭州湾跨海大桥工程建设管理·····	吕忠达(15)
土壤模量导论·····	Jean-Louis Briand(20)
运用经济杠杆长效治理超载超限运输·····	陈荫三(24)
公路建设投资乘数的算法研究·····	王元庆,张志敏,周伟(30)
国外工程总承包和项目管理的考察现状及几点建议·····	王宁,逢宗展,张秀东(35)

·学术前沿·

公路设计发展趋势·····	纪辉彬(42)
高压旋喷注浆技术在高速公路软弱地基上的应用·····	唐 炯,刘建超,王天林(47)
路基压实度、含水量和强度的相互关系·····	王永安,孙凤宾(52)
应变式传感器的标定·····	蔡同俊,张琳(55)
高速公路交通事故成因分析与对策·····	李 杰(59)
中国沥青路面设计指标分析·····	李铜川(63)
公路建设项目声环境后评价方法研究·····	李志宏,李 军,周 洁,赵庆娟(67)
高等级公路路线线形设计研究·····	李建军(71)
委托代建制运营特征及其法律关系分析·····	黄一航(78)
美国 SHRP 中沥青混合料的试验方法·····	叶 松,张琳(83)
内蒙古夏热冬寒区沥青混合料配合比设计研究·····	白金泉,廖志高(86)
沥青混合料工作性能路用性能的探索·····	刘建超,唐 炯,王天林(90)

·实用技术·

隧道新奥法施工中光面爆破技术的应用·····	杨贞贵(93)
油田专用公路沥青路面的养护与管理·····	李文华,张建华,赵 刚(99)
公路建设与环境保护·····	吴育忠(104)
路基路面压实的检测技术·····	李铜川(108)
土基回弹模量对路面设计的影响及其在国内外发展·····	曹建平(111)
工程量清单计价模式对公路工程造价管理的影响·····	刘建超,赵 勃,谢淑琴(114)
数据库在道路工程中的运用·····	奚东良(117)
公路质量检测新技术研究·····	张国文(120)

INTERNATIONAL TRAFFIC FORUM

Vol. 1

Mar. 2005

CONTENTS

Incipient failure for asphalt pavement of expressway	SHA Qing-lin(1)
Study of fatigue property of porous concrete	WANG Bing-gang, ZHENG Mu-lian(9)
Construction management of Hangzhouwan bridge engineering for sea - crossing	LU Zhong-da(15)
Presumption and discussion of soil modul	Jean-Louis Briand(20)
Long-term effective solution to the overload transportation with economic lever	CHEN Yin-san(24)
Arithemtic research of investment multiplier in highway construction investment	 WANG Yuan-qiang, ZHANG Zhi-min, ZHOU Wei(30)
Exploration status and advice for contract project and program administration abroad	 WANG Ning, PANG Zong-zhan, ZHANG Xiu-dong(35)
Development tendency of highway design	JI Hui-bin(42)
Application of churning and grouting technology with high pressure at the soft foundation of expressway	 TANG Xian, LIU Jian-chao, WANG Tian-lin(47)
The relation of moisture content, subgrade compaction degree and deflection of the rail base	 WANG Yong-an, SUN Feng-bin(52)
Demarcation of the strain sensor	CAI Tong-jun, ZHANG Lin(55)
Expressway traffic safety analysis and measuremen	LI Jie(59)
Analysis for designed indexes of our country's asphalt pavement	LI Tong-chuan(63)
Research on method of acoustic environmental post assessment of highway construction project	 LI Zhi-hong, LI Jun, ZHOU Jie, ZHAO Qing-juan(67)
Research on the route design of standard highway	LI Jian-jun(71)
Analysis on the operation feature of consignment and agency system and the law relationship	HUANG Yi-hang(78)
Test methods of asphalt mixtures in SHRP of America	YE Shong, ZHANG Lin(83)
Study of the HMA design method in Xing's an League, Inner Mongolia	BAI Jin-quan, LIAO Zhi-gao(86)
Exploring of workability of asphalt mixture pavement performance	LIU Jian-chao, TANG Xian, WANG Tian-lin(90)
Appliance of smooth demolition technology in the New Austrian Tunnelling Construction Method	YANG Zhen-gui(93)
Maintenance and management of asphalt pavement in the oil field accommodation highway	 LI Wen-hua, ZHANG Jian-hua, ZHAO Gang(99)
Construction and environmental protection of highway	WU Yu-zhong(104)
Test technology for the compaction of embankment and pavement	LI Tong-chuan(108)
Effect of resilience modulus of embankment on pavement design and international or national development	 CAO Jian-ping(111)
The influence on the fabrication cost management of the highway engineering by implementation of pricing with bills of quantities	 LIU Jian-chao, ZHAO Bo, XIE Shu-qin(114)
The appliance of database in the road engineering	XI Dong-liang(117)
The new technique of highway quality monitor	ZHANG Guo-wen(120)

高速公路沥青路面的早期破坏

沙庆林

(交通部公路科学研究所,北京 100088)

摘 要:针对中国半刚性基层沥青路面早期破坏这种现象,分析了引起路面破坏的不同原因,从而提出了解决路面早期破坏的主要措施。

关键词:高速公路;沥青路面;早期破坏;结构;辙槽;措施

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

1 概 述

中国高速公路半刚性基层沥青路面的早期破坏有多种形式,它们是由多种不同原因引起的。例如:

1.1 软土地基沉降

由地基特别是软土地基沉降引起路面产生很大的不均匀沉降。使路面纵断面产生大的变化。在软土地基上的高速公路虽然一般都采用软基处理措施。由于多种原因,仍产生很大沉降。如沪嘉高速公路通车六年后,一桥头由于多次用沥青混凝土找平,沥青混凝土总厚达到100cm、实际竣工面层只厚12cm。共经过八年后软土地基才稳定。另一杭甬高速公路,通车仅两年,在某一桥头产生的沉降量就超过150cm。

1.2 桥头跳车

桥头跳车是每条高速公路都有的很普遍的现象。它既包含地基沉降,又包含桥头填土的进一步压密。

1.3 结构性破坏、水破坏和严重辙槽等

以下主要讨论对路面使用性能和使用寿命影响最大的结构性破坏、水破坏和严重辙槽。

2 路面结构性破坏

所谓路面结构性破坏,是指路面结构的承载能力不能抵抗现有行车荷载的反复作用,而产生路面结构整体性破坏。其外观特征为轮迹带上产生纵向网裂形变带,路面的代表弯沉值与其竣工弯沉值比大幅度增加。路面结构性破坏是最严重的一种早期破坏。路面一旦发生结构性破坏,其他使用性能就根本谈不上,路面必须翻修重建。它不但严重影响交通运输,而且翻修路面比新建路面的工程还繁重。高速公路局部路段产生早期路面结构性破坏的现象较多。大部分路段先后产生早期结构性破坏的高速公路有,但并不多。

原沈大高速公路1990年底全线通车,由于设计的水泥稳定砂砾半刚性基层只有20cm厚,其下为砂砾或矿渣底基层;半刚性基层是用铧犁和平地机路拌完成的,经常拌不到底,半刚性基层的实际厚度只有12~14cm。虽然沥青面层厚15cm,解决不了承载能力不足问题。因此开放交通两年后,一些路段就开始产生路面结构性破坏。随后路面结构性破坏路段逐年增加。

京津塘高速公路1993年9月全线通车。由于最后实施的路面结构比原先的路面结构方案有了较大改变,如半刚性基层的厚度由30cm改为20cm,半刚性底基层的厚度由30~35cm改为20~30cm(而且相当一

部分路段是石灰土),取消了软土地基段路基上部 30cm 厚的改善层,虽然沥青面层厚度大部分都增加了 5cm(实际厚度为 18cm、20cm、23cm 三种),无助于上述减薄对路面承载能力造成的不利影响。原设计方案基层顶面的承载能力按 20 年的累计标准轴次考虑,沥青面层按 15 年的累计标准轴次考虑。由于实际半刚性材料层的厚度只有 40~50cm,显著偏薄,因此实际通车不到 9 年,行车道几乎全线都产生了结构性破坏。2001 年 4 月的路面代表弯沉值比 1994 年 4 月的代表弯沉值增大了 50% 多。

1999 年 6 月开放交通的潍莱高速公路,沥青面层取得了优秀成绩。平整度总体达到国内二流水平,抗滑性能达到一流水平,特别是表面构造深度大部分在 0.8~0.9mm 之间,仅很少部分在 0.7~0.8mm 之间。通车四年产生的水破坏不足万分之一。由于设计的半刚性基层为 20cm 厚水泥碎石,半刚性底基层为 26cm 厚的水泥稳定砂(有时掺碎石),显然半刚性材料层太单薄,虽铺有厚 12cm 的沥青面层,通车四年后局部路段就开始产生路面结构性破坏。目前正在进行翻修,重铺刚性组合式路面。

1997 年 11 月底开放交通的安新高速公路。虽然刚通车时由于沥青面层优秀,受到多方面的赞扬,但由于三年工期实际两年完成,抢工使路基路面的质量受到很大影响。水泥稳定碎石基层的整体性不好,常取不出完整的钻件。沥青面层透水较严重。开放交通几个月,一些路段就开始产生路面结构性破坏。随后路面结构性破坏越来越多,由于破坏仅产生在行车道上,只好人工先逐块挖除原基层,用水泥混凝土补平到基层顶面后,重铺沥青面层,见图 1 和图 2。



图 1

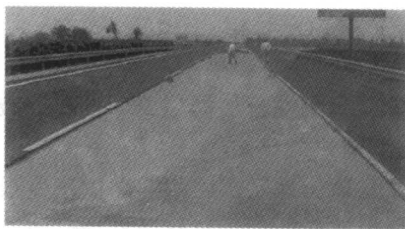


图 2

3 水破坏

中国早期高速公路都用重交沥青做沥青混凝土面层。在 20 世纪 80 年代和 90 年代上半期,所用矿料级配绝大多数是传统连续式密级配(即 I 型),沥青混凝土的孔隙率为 3%~6%,少数采用了规范中的抗滑表层和 II 型级配,沥青混凝土的孔隙率常在 8% 以上。90 年代有的高速公路开始使用中国自主研究成功的粗集料断级配密实式 SAC,其孔隙率<5%,有的高速公路开始使用改性沥青 SMA,在 90 年代末有的高速公路开始使用 Superpave(SUP)。

1998 年冬到 1999 年春,笔者调查那时已开放交通近两年的 30 条高速公路的早期破坏现象后,发现水破坏有以下几种不同情况。

其一是,雨水透入沥青混凝土表面层后,由于下层比较密实,在进入表面层的水还未来得及往下层渗透前,表面层就开始产生水破坏。如长 120km 的广深高速公路,其沥青面层厚 32cm,从上往下为 4cm II 型沥青混凝土、8cm I 型沥青混凝土、10cm II 型沥青混凝土和 10cm 沥青碎石。1994 年 6 月通车后,每连续下 4~5 天雨就要产生 2000 多个坑洞,但其中涉及中面层的坑洞极少,不到 5%,几乎没有涉及第三层和第四层的水破坏。有的高速公路通车仅一年,表面层就产生了不少坑洞,但中面层很完整。其他表面层用 I 型沥青混凝土, SAC 和重交沥青 SMA 的高速公路上也有类似情况,见图 3。

其二是,透过表面层的水较快渗入中面层,滞留在中面层的水因难于或来不及透过中面层进入底面层之前中面层沥青混凝土强度变弱,沥青剥落,甚至松散,导致表面层首先在行车道的轮迹带上产生网裂形变;有的甚至产生明显辙槽。在随后的降雨过程中,可能产生两种不同情况一种是原网裂形变进一步恶化直到产生坑洞和表面松散,见图 4。第二种是在仅产生辙槽的情况下,如有更多的雨水进入并滞留在中面层内。在行车荷载作用下,滞留在中面层内的水向上侵蚀表面层的底部,使底部沥青混凝土的沥青剥落变成松散,同时辙槽深度显著增加到 5cm 以上。将上面两层挖除后,看到底面层完整,仅外露碎石表面的沥青已经剥落。

雨水进一步透入中层面后,水向下侵蚀底面层的上部,使上部沥青混凝土中的沥青剥落,沥青混凝土变成松散并逐渐向下发展直到底面层的底部。此时表面的辙槽深度达到最大值约 10cm。将三层沥青面层挖除后,基层完好无损。

其三是,透入表面层的水透过中面层进入底面层。如果在底面层顶面有粘结防水层,或有质量好的下封层,同时进入的水量不大,则滞留在底面层内的水会使底面层沥青混凝土强度减弱,进而沥青剥落,甚至沥青混凝土松散,它导致沥青面层表面产生网裂形变。在基层顶面没有粘结防水层或虽做了下封层,但质量不好的情况下,进入底面层的水直接滞留在基层顶面。行车荷载产生的水压力,使滞留水首先冲刷基层表层的水泥细料或二灰细料,接着向下冲刷并形成白浆,在行车荷载的泵吸作用下,白浆被唧到面层表面,浆被唧出的过程中,沿途的沥青混凝土碎石上沥青剥落,轻者表面产生网裂形变,重者很快产生坑洞。碎石被甩出洞外,洞中积水,见图 5。

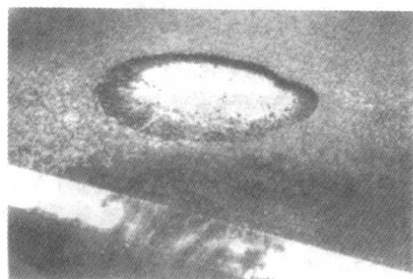
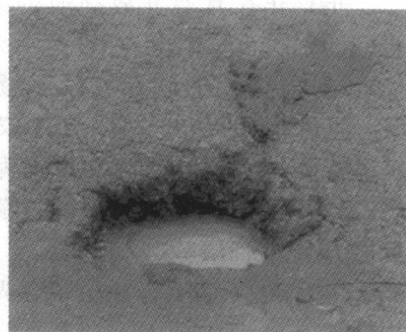


图 3



照片 4



照片 5

早期竣工的高速公路中,有一部分半刚性基层用路拌法施工,而且有的用农用机械拌和,有的用平地机配合农用机械拌和,半刚性基层的质量不好,沥青混凝土面层用小型非现代化机械拌和,摊铺和碾压。所用沥青混凝土的矿料级配难以实现,沥青混凝土面层的不均匀较大,透水性大,因此第三种水破坏现象较多。

以上的调查表明,沥青面层的表面层、中面层和底面层哪一层都不能让水侵入和滞留。只要水能侵入哪一层并滞留在该层就会产生水破坏。

近三四年来,在中国表面层用改性沥青 SMA、中面层用改性沥青 AC20I 的高速公路较多。国道主干线有,非国道主干线也有,虽然沥青面层的总厚度达 16~18cm,半刚性材料层一般达到 60cm 厚,但没有取得优良效果。正式开放交通几个月或不到一年,这些高速公路行车道的沥青面层就产生大面积的严重水破坏。为保持行车正常、安全和舒适,不得不将行车道大量铣刨两层,少部分甚至铣刨三层后,重铺新面层。例如:

东部地区某高速公路的两个标段,于 2001 年年底通车。由于材料和施工原因,改性沥青 SMA 表面层的孔隙率较大,水透过表面层进入并滞留在改性沥青中面层内,使中面层沥青混凝土的沥青剥落,强度大幅度降低甚至变成松散。2002 年春季,面层表面就产生多种早期破坏现象,既有坑洞、松散,又有推挤、拥包和辙槽。不得不铣刨两层后,重铺原设计的面层。但到六七月份,新铺沥青面层又产生了与上述相似的过早水破坏现象。

2002 年秋末通车的北方某高速公路长约 130km,沥青面层结构同上。2003 年春季,面层就开始产生水破坏。到七八月份,水破坏发展得很严重。当年将行车道沥青面层铣刨两或三层后重铺相同面层的路段约占 20%。2004 年水破坏继续增加,挖补或铣刨重铺也在继续进行。

4 严重辙槽

众所周知,在其他条件相同的情况下,柔性路面的辙槽要比半刚性路面严重得多。因为,柔性路面的辙槽是由沥青面层、柔性基层、底基层和土基几部分的永久形变组成;而半刚性路面的辙槽实际上仅是沥青面层的永久形变,因为半刚性材料层不会产生压缩形变,其下的土基受的压应变很小,也不可能反映到面层表面。

近三年来,一些已通车多年的高速公路,如长平、石安等高速公路都产生了严重辙槽。一些新建的高速

公路,含用重交沥青做的面层和用改性沥青做的 SUP 面层,甚至表面层和中面层都使用了改性沥青,通车不到一年,行车道就产生了严重辙槽。就两层都用改性沥青 SUP 的高速公路来看,在国道主干线高速公路的行车道上产生了严重辙槽。不得不在槽深 $>25\text{mm}$ 的路段上铣刨一或两层后重铺面层。2002 年底通车的某段高速公路长约 180km。2003 年夏季过后,铣刨重铺段约超过 100km。

在 2002 年年底通车的某非国道主干线高速公路的行车道上,改性沥青 SUP(中面层也用改性沥青)表面层也是开放交通不到一年就产生了严重辙槽。在槽深大于 25mm 的路段上才铣刨一层重铺的情况下,共铣刨重铺了一半多。

2002 年 12 月底开放交通的面层仅用重交沥青的某高速公路的某段长约 70km。到 2003 年 9 月,不但行车道而且超车道上也产生了严重辙槽、槽深最大达 8cm。此时,正在铣刨后重铺面层,但后面已经重新铺过的面层又开始产生明显辙槽。

2003 年 6 月底开放交通的某山岭重丘区高速公路的一段长约 12km,沥青面层厚 16cm,表面层为 SAC16、中面层为 AC201、底面层为 AC251。有两个连续上坡段,分别包括 9 和 10 个小段,最小纵坡为 0.4%,最大纵坡为 4.7%。通车仅一个月,几乎全线的上坡段都产生了显著辙槽。辙槽深度最小的断面为 3~9mm,平均 5.7mm;最大的断面为 13~52mm,平均 28mm。据调查辙槽仅发生在中面层和底面层,并以中面层为主,表面层基本无形变。

多数高速公路行车道上常有两条辙槽,一条在外轮迹带上,另一条在内轮迹带上。京沪高速公路某省路段行车道上两条轮迹带的辙槽又各有两条小辙槽,呈 W 形,见图 6。

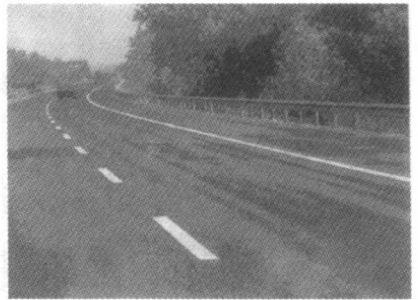


图 6

5 路面早期破坏的原因

5.1 重要外因

近几年来,行驶在高速公路上的车辆组成产生了很大变化,重型货车的数量显著增加,而且货车普遍超载。在部分高速公路的一些路段上,货车中比例较多的是轴载 140kN~150kN 的车,最大轴载达 240kN。多数货车的轮胎充气压力从 0.7MPa 增加到 0.9MPa,少数超过 1.0MPa,甚至高达 1.2MPa。这些货车是促使沥青路面产生早期或过早破坏的重要外因。

对于严重辙槽,夏季连续高温也是个重要外因。

对于严重水破坏,降雨量的大小和高速行车也是重要外因。

5.2 重要非技术内因

(1)不合理工期 在近十年,特别是近六、七年来,高速公路一旦立上项,批准开始建设,有关省市领导就要求提前完成任务。预定工期常要缩短三分之一左右。结果造成抢工抢料。抢料时,根本顾不上质量,只要有料就行。抢工时,不管气温高低,从清晨四五点钟开工直到午夜十二点,都在铺筑沥青混凝土。有时刚下过雨,下层顶面还潮湿,就往上铺筑沥青混凝土。有的甚至边下雪,边铺沥青混凝土,完全违背科学。这是造成多条高速公路路面产生严重早期破坏的重要内因之一。2004 年 1 月 5 日,在全国交通工作会议前,黄菊副总理曾指示:在保证合理工期和建设质量的前提下,要加快进度,抓紧做好前期工作……这是针对性很强的重要指示。

(2)不合理标价 现在执行低价中标的高速公路工程越来越多。现在有施工资质的单位也越来越多。互相压低投标价,竞争很激烈。有的比标底价降低 40% 中标,至少比标底价降 20% 才能中标。大单位拿了标,分给小单位做。小单位拿到工程后,还可能将某项单位工程再分包出去。这样实际花在工程上的钱比 80% 标底价还要明显减少。这样使一些工程只能靠偷工减料来完成。

5.3 水破坏的重要内因

水破坏的重要内因之一是所用沥青混凝土的孔隙率较大。

所用沥青混凝土,特别是表面层沥青混凝土的实际孔隙率较大,雨水较易进入表面层,并导致水破坏。

调查证明,凡是使用Ⅱ型或相当于Ⅱ型的抗滑表层级配做表面层的高速公路,其水破坏程度较密实式沥青混凝土要严重得多。

水破坏的另一重要内因是片面强调平整度,忽视了压实度。

最典型的第一条高速公路是沪宁高速公路江苏段。该段高速公路是国内率先提出并实现平整度指标要求的。由于没有经验,未能同时提出必须在保证压实度的前提下实现平整度要求。在开放交通的第二年夏天,一场大雨后,在长 20 km 的南京段就产生了 180 多个水破坏坑洞。虽然该段表面层采用了密实式 SAC16(室内最大孔隙率 4.6%),但事后的检测表明表面层的实际孔隙率达 13% 左右。它证明竣工表面层的压实度只有约 92%。沪宁高速公路平整度的成功促进了随后高速公路建设的质量意识明显提高。纷纷提出较高的平整度要求。但是仍一些高速公路面层施工不强调压实度。这些高速公路的沥青面层避免不了产生较多的水破坏坑洞。在第三者提醒的情况下,某工程负责人甚至说,现在先解决平整度,以后回过头来再解决压实度。结果该高速公路通车一年表面层就产生了不少水破坏坑洞。

水破坏的第三个重要内因是沥青混凝土的不均匀性大。

由于矿料质量、施工技术要求、工程管理等多方面的原因,中国面层用沥青混凝土的离析现象和不均匀性较大。在面层表面随机分布着数量不一的薄弱点。在降雨过程中,雨水在一些薄弱点被快速行驶车辆轮胎下产生的大动水压力(同济大学翟冬梅的研究表明,车速 40km/h 时动力水压力为 0.06MPa,车速 80km/h 时动力水压力为 0.24MPa,车速 120km/h 时动力水压力为 0.56MPa)压入表面层。在中、底面层沥青混凝土不是很密实的情况下,自由水会被一直压到底面层的底部。如基层顶面没有良好的防水层,自由水就滞留在基层顶面。在行车反复作用下,压力水首先冲刷基层顶面的水泥砂或二灰砂细料,接着往下冲刷,在基层顶面形成白浆。快速行车将白浆泵吸到面层表面,形成圆形白浆块。车轮粘上白浆往前开,形成一条含 8~10 个间隔式圆形白浆轮迹的带,见图 7。随交通量大小而变,在降雨过程中,表面水被继续通过薄弱点压入面层中,基层顶面的白浆也被行车经过相同的通道继续泵吸到表面。这种压入水和泵出浆的反复作用使通道附近沥青混凝土产生沥青剥落,继而变成松散,并形成圆形积水坑洞。行车通过,将洞中的碎石甩到硬路肩上。散落在硬路肩上的石灰岩碎石被冲洗得很干净,无一点沥青痕迹。坑洞中余留的碎石同样是被冲洗得很干净。一些开放交通一年左右的高速公路,沥青路面产生的水破坏常是这种形式。此时沥青路面还没有产生任何裂缝,所以水破坏坑洞与裂缝毫无关系。



图 7

沥青路面的不均匀性可反映在多个方面。如雨后路表的水印,现场用水检验时透水,不同位置钻件表面的孔隙率和粗细集料的分布状况等,见图 8~10。

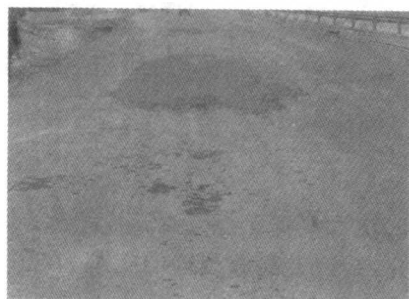


图 8

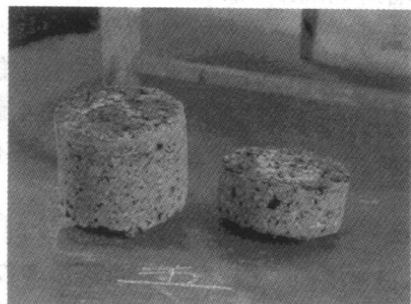


图 9

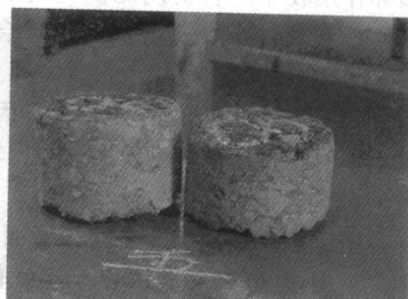


图 10

水破坏的第四个内因是沥青面层的裂缝。

由于沥青混凝土是一种热胀冷缩材料,它的温缩系数是半刚性基层材料的四倍左右。在北方冰冻地区,此种材料的抗拉强度又常小于实际产生的低温收缩应力。所以在冬季大风降温过程中,沥青面层就会产生低温裂缝,例如在北京地区新铺重交沥青混凝土面层常在第二个冬季开始产生横向裂缝,加有 PE 的改性沥

青混凝土面层可能在当年冬季就开始产生裂缝。1980 年建成的山西黄寨柔性试验路面的裂缝观测表明,即使在夏秋季,也有裂缝产生。因为夏秋季同样有昼夜温差,甚至小时温差存在。有温差,就会产生温度应力。温度应力的反复作用会使沥青面层产生温度疲劳裂缝。广深高速公路广州段长 20km,沥青面层厚 32cm,于 1993 年年底抢工通车。1995 年 1 月,笔者随意下车步行 1000m 察看路面状况,发现有 11 条贯通横缝,它不可能是“反射裂缝”。国外的柔性路面同样会产生很多横向温度裂缝。加拿大圣安妮柔性路面试验路第一个冬季的裂缝。该试验路每段长 122m,横向裂缝却有 30~70 多条。图 11 为美国德克萨斯州柔性路面的裂缝。实际上每个国家的沥青路面都有裂缝。所以美国某公路专家曾说,现在我们能将宇宙飞船送到太空去,但我们没有办法消灭沥青路面的裂缝。

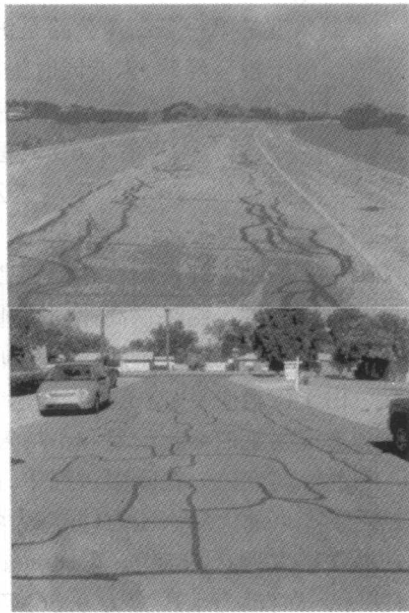


图 11

既然沥青混凝土层放在柔性基层上要产生温度裂缝,将其放在半刚性基层上,肯定也要产生温度裂缝。德国 18 年的跟踪调查研究表明,半刚性路面的裂缝最终与柔性路面的裂缝无明显差异。半刚性基层上的沥青面层,特别是较薄的单层沥青混凝土表面的裂缝会比柔性基层上沥青混凝土面层的裂缝多一些。多出的裂缝可能是反射裂缝。但针对当前中国半刚性基层上沥青面层厚 16~18cm 的具体情况,反射裂缝所占比例不大,甚至很小。京秦高速公路沥青面层厚 16cm,表面层有改性沥青 SMA16 和改性沥青 AC161 型。1999 年末通车三年后,不同类型面层产生的裂缝几乎相同。少者每千米长路段有 30 条横向裂缝,多者每千米长路段有 50 条左右横向裂缝,最多的达 60 条。1988 年 10 月底完成的京石高速公路正定试验路中有一段长 100m 的改性沥青 SAC16 面层,仅厚 4cm。到 1998 年 8 月,往上加铺面层时共有 6 条半横向裂缝。其裂缝数量仅略多于京秦高速公路。

新铺沥青面层刚产生的裂缝,往往仅深入表面层的上部。过一个冬季或一定时间后,裂缝又会深入到面层底面,甚至引发基层在相同的位置开裂。所以通车两三年后沥青面层的裂缝往往已贯穿面层,甚至进入基层。

降雨过程中,雨水会自由流入并充满裂缝直到面层底面及滞留在基层顶面,同时向缝的两侧扩散。在行车荷载反复作用下,滞留在基层顶面的自由水冲刷基层顶部的细料并逐渐向深处冲刷,形成白浆。反复作用的行车荷载将白浆通过裂缝唧到表面,沿裂缝呈条状分布。车轮粘上白浆后,向前行驶就在面层表面形成。

条块状间隔式的横向白色痕迹,见图 12。由于雨水自由流入裂缝以及白浆也是较自由地通过裂缝被唧到表面。所以它对沿途沥青混凝土的破坏作用较小。它初期能使裂缝下陷约 3mm,然后会导致裂缝两侧碎裂。如不及时养护,这种条形破碎会逐渐扩宽。这类水破坏至少在通车仅一年左右的高速公路上很少发现。在通车三四年以上的高速公路上能看到,但数量比圆形坑洞少得多。因为并不是多数裂缝会产生这种水破坏。而且这种水破坏的发展过程比较缓慢。在这类高速公路上与裂缝有关的圆坑洞很少。



图 12

中国多条早期高速公路沥青面层的裂缝很多,但水破坏很少。例如,沈大高速公路 1986 年完成的辽阳—鞍山段 50 多 km,1987 年春就有很多横向裂缝,极少数间距短者仅几米,绝大部分裂缝的间距为 20~30m,还有极少数间距达 70~80m。但裂缝逐年增加,到 1998 年,也就是十二年以后绝大多数裂缝间距已不足 5m。尽管如此,该段路面很少水破坏。1988 年 10 月通车的沪嘉高速公路,一年后面层就开始产生横向裂缝。然后裂缝逐年增加。据说十年后已有近 1000 条横向裂缝。但没有产生多少水破坏。1993 年 9 月全线通车的京津塘高速公路河北段是裂缝最多的,也很少水破坏,北京段长 35km,1994 年没有横缝和纵缝,出现水破坏坑洞 20 个,到 1997 年横缝产生 594 条,纵缝 35 条,水破坏坑洞产生 52 个。补的面积共 5m²。1998 年新增横缝 621 条和纵缝 37 条,共产生坑洞 12 个,补的面积共 3m²。上述这些坑洞都与裂缝无关。前

述沪宁高速公路 1996 年 9 月中通车,1997 年沥青面层还没有横向横缝,8 月上旬一次大雨后南京段 20km 一下就产生了 180 多个水破坏坑洞。1994 年 12 月抢通车的石安高速公路东侧 100km 左右,一个冬季过后一条裂缝都没有,但 1995 年 5 月第一场雨后,就开始产生水破坏唧浆坑洞。到雨季,路面唧浆坑洞现象就产生得很多。据说当年修补面积超过 0.1%。有的位置虽有唧浆,但没有坑洞,仅表面产生网裂形变。到第二个雨季,在同样的位置又产生唧浆,网裂形变更严重甚至形成断续的纵向网裂形变带,犹如路面产生了结构性破坏。已通车六年的某某高速公路上也常看到将面层铣刨及清扫基层后,基层顶面无裂缝,整体完好,但表面很粗糙,二灰碎石中的大中碎石有半颗以上外露,碎石与碎石间隙中的二灰已被冲刷成浆唧到路表面,余下的细集料,在清扫基层时已被清除,余下的粗集料仅下部还结合在一起。如不重铺面层,再过一个雨季,基层上部几厘米厚将会松散。

5.4 严重辙槽的内因

造成基因上部冲刷甚至松散的原因,是表面水的反复进入和冲刷的结果,不是基层本身“衰老”的结果。

(1)沥青混凝土的矿料级配不合适 中国已通车的多数高速公路都使用规范中的连续式密级配,如 AC161、AC201 和 AC251 等做沥青面层的各层。这些沥青混凝土的高温抗形变能力较差,不同单位的试验结果,它们的动稳定度常小于 1000 次/毫米,有时只有 500 次/毫米左右。不能承受重载交通的反复作用,容易产生严重辙槽。

(2)为避免产生水破坏,有意在沥青混凝土中多用细集料和沥青。某高速公路采用这种措施后通车一两年就产生严重的辙槽。随通车时间增长,辙槽更加重。不得不逐段铣刨 2~3 层后重铺面层。

(3)未经认真试验研究,就大量使用美国的 SUP。虽然同时使用改性沥青,意图提高沥青混凝土的高温抗形变能力。由于 SUP 仅是一种密实结构,其粗集料含量明显少,形不成骨架结构。所以用在重载高速公路上,仍会产生严重辙槽。

(4)自由水进入并长期滞留在中面层内,使中面层沥青混凝土强度显著减弱、沥青剥落直到松散。表面开始产生较严重辙槽。辙槽两侧鼓起。在降雨过程中,雨水能更快更多地进入面层。最终造成深达 5~10cm 的严重辙槽。将三层沥青面层都挖除后,二灰碎石基层都完整无损,还没有受到水的侵蚀。这种外观是严重辙槽,实质是严重水破坏的另一种形式。

6 解决早期破坏的主要措施

6.1 解决水破坏的主要措施

1998 年笔者总结沪宁高速公路沥青面层正反两方面的经验后,提出了解决水破坏的综合措施如下:

(1)沥青面层的各层都要用孔隙率不大于 4% 的密实沥青混凝土;

(2)提高沥青与矿料的粘结力要求:表面层为五级,中、底面层为四级;

(3)提高沥青混凝土层的压实度要求:表面层不小于 98%,中、底面层不小于 97%。同时增加一个现场孔隙率指标:表面层不大于 6%;中、底面层不大于 7%;

(4)采取各种措施提高沥青混凝土的均匀性;

(5)近两三年来又增加一个措施:在中面层上设置改性沥青粘结防水层,防止水进入下层。

采取这些措施后,取得了满意的优良效果。例如在广东等省先后实施了多条高速公路。

(1)广东机荷高速公路长约 70km,表面层使用了重交沥青 SAC16,1997 年通车至今很少产生水破坏。

(2)1999 年 12 月开放交通的广珠东线高速公路逸仙大道段长 17km 多,各层都使用了重交沥青。表面层采用了既密实高温抗形变能力强,表面抗滑性能又好的 SAC16;底面层和调平层采用了相同性能的 SAC25。2003 年底,即通车四年整时观测各种大小坑洞(含滴油产生的小洞)面积不到二十万分之一。

(3)广东其他几条使用 SAC16 表面层的高速公路,开放交通两三年来也很少水破坏。

(4)2003 年元月,在广东两座跨径约 100m 的旧水泥混凝土大桥桥面上铺设粘结防水层后,分别铺了厚 3cm 和 4cm 的 SAC10 改性沥青薄面层。开放交通至今没有产生任何破坏现象。

(5)1999 年底通车的四川成雅高速公路中有 100km 表面层使用了重交沥青 SAC13。通车四年半来水破坏(主要产生在混凝土桥面上)修补总面积不到二十万分之一;表面均匀美观,构造深度仍大于 0.6mm,见

图 13。

(6) 2000 年 5 月完成的济青高速公路上 2400m 长、厚 25mm 的 SAC10 很薄磨损层试验路。其中约 2270m 长使用了 SBS 改性沥青, 130m 长使用了 AH-70 沥青。至今没有产生水破坏和严重辙槽。

以上这些路面的成功主要归功于业主、施工单位和监理的共同努力。

在此期间, 由于多种原因, 也有几条使用了 SAC16 面层的高速公路没有取得满意的结果。例如, 1997 年底通车的石安高速公路, 第二年夏季就开始泛油。随后泛油现象逐年严重。三年后开始产生辙槽, 2002 年夏季开始辙槽发展很快。不得不开始逐段铣刨一两层, 重铺新面层。此外, 还有安新高速公路和铜黄高速公路的长 1100m 的 SAC16 试验路等。

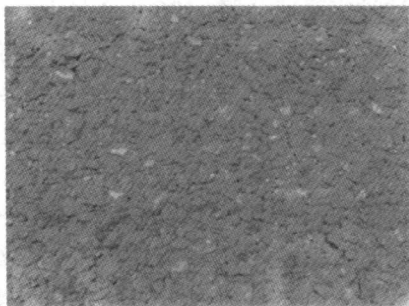


图 13

6.2 解决严重辙槽的主要措施

可以说, 现在已比较有把握用较少的资金来解决严重辙槽问题, 例如:

- (1) 使用骨架密实结构的 SAC 系列做面层的各层;
- (2) 在重载交通高速公路上, 沥青面层的表面层可以使用改性沥青或重交沥青;
- (3) 中面层使用的沥青标号要比表面层所用沥青低 1~2 号;
- (4) 底面层可用 30 号沥青, 特别在华北南部以及南方地区, 底面层应用较硬的 30 号沥青;
- (5) 重交沥青混凝土也能防止产生严重辙槽。

前面提到的广深高速公路, 四层沥青混凝土或沥青碎石全部使用了重交沥青。近几年的交通量折合成全程车流量每年约 1600 多万, 平均 4 万多辆/昼夜, 其中轴载接近 100kN 及其以上的约 10000 辆/昼夜, 按每侧三个车道的折减系数考虑, 设计车道的重车数量也超过 3000 辆/昼夜。它是国内交通量最大的高速公路。但通车 10 年来没有产生严重辙槽, 仅局部小段有深 15~25mm 的辙槽。

从资料上看到, 重交 AH-70 沥青 AC201 的动稳定度常不超过 1000 次/毫米。最近用骨架密实结构选定 SAC20 级配, 用加德士 AH-70 做成试件测得的动稳定度(60℃, 0.7MPa)平均为 2980 次/毫米。用 30 号沥青时, 沥青混凝土的动稳定度约 7000 次/毫米, 试验轮作用 3000 时的相对形象为 1.01%。用路安特改性沥青时, 沥青混凝土的动稳定度虽接近 10000 次/毫米, 但荷载轮作用 3000 次时的相对形变却略大于 30 号沥青, 为 1.08%。

参 考 文 献

- [1] 郭天星, 王艳凤. 改善沥青路面使用性能的途径与方法. 科技情报开发与经济, 2004.
- [2] 薛连旭, 林江淮. 浅析青路面的早期破坏及防治. 广东公路交通, 2004.
- [3] 岳福青, 杨春风, 魏连雨. 半刚性基层沥青路面反射裂缝形成扩展机理与防治. 河北工业大学学报, 2004.
- [4] 何兆益. 碎石基层防止半刚性路面裂缝及其路用性能研究. 南京: 东南大学, 1997.
- [5] 同济大学道路与交通工程研究所. 半刚性基层沥青路面. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [6] 王福君. 浅析沥青路面早期破坏原因. 呼伦贝尔学院学报, 2004.

多孔混凝土疲劳性能的研究

王秉纲, 郑木莲

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:多孔混凝土作为路面的基层,和面层一起受到车辆荷载和温度的反复作用,结构设计中需考虑其疲劳性能。通过室内小梁弯拉疲劳试验,分析疲劳寿命试验数据的概率分布,得出多孔混凝土疲劳寿命服从双参数威布尔分布,以此建立了不同应力水平和等效应力水平下两种形式的疲劳方程;分析了疲劳寿命变异性的影响因素及减小变异性的相应措施,比较得出其疲劳性能优于半刚性基层材料。利用得出的疲劳方程,建立了以多孔混凝土作为水泥混凝土路面下面层荷载应力计算的疲劳应力系数,以及作为沥青路面基层时,进行层底弯拉应力验算的弯拉强度结构系数,可用于路面结构计算。

关键词:道路工程;多孔混凝土疲劳性能;疲劳试验;疲劳方程;疲劳应力系数;弯拉强度结构系数

中图分类号:U416.216

文献标识码:A

0 引言

多孔混凝土是由水泥、粗集料和水拌制而成的贫混凝土。由于这种混合料无砂或少砂,其硬化后存在较多和较大的孔隙,正是由于这些孔隙的存在,使得多孔混凝土具有良好的排水性能。为解决路面结构水损坏问题,采用多孔混凝土排水基层便成为重要途径之一。作为路面基层的多孔混凝土,和面层一起受到车辆荷载和温度的反复作用,结构设计中需考虑其疲劳性能。

1 疲劳试验及疲劳方程

1.1 疲劳试验

目前,各国进行的疲劳试验主要有两种类型:一是测试实际路面在真实汽车荷载作用下的疲劳性能,这以美国 AASHO 试验路为典型代表,以及用足尺路面结构试验模拟汽车荷载对路面的疲劳作用,如美国华盛顿州立大学室外大型环道试验及中国重庆交通科研设计院的室内大型环道试验等;二是室内小型试件材料的疲劳试验。第一类方法能较好反映路面的实际疲劳性能,但耗资巨大、周期长,且试验结果受当地环境及所用路面结构影响较大。因此,使用较多的还是室内小型试件材料的疲劳试验。笔者采用室内小梁弯拉疲劳试验,得出多孔混凝土的疲劳方程。

1.1.1 试验概况

试验采用陕西秦岭 32.5 级普通硅酸盐水泥、石灰岩碎石,级配见表 1。每立方米多孔混凝土拌和物中集料、水泥和水分别为 1651.3、183.5、82.6kg。

试验采用应力控制模式,在 MTS850 机上进行,加载波形统一采用正弦波,基本接近于路面上行车荷载作用的实际波形。荷载作用频率当应力水平 $S < 0.85$ 时为 15Hz, $S \geq 0.85$ 时为 1Hz,加载时间间隔为零。

循环特征值采用式(1)

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

式中: R 为循环特征值, 即低高应力比; $\sigma_{\min}$ 为作用于试件的最小荷载; $\sigma_{\max}$ 为作用于试件的最大荷载。

疲劳试验的低高应力比可参考汽车最小和最大质量比例并考虑温度应力的大小取值。本次疲劳试验中, 采用 0.08、0.20 和 0.50 三种低高应力比。

表 1 碎石集料级配

筛孔直径 /mm	25	20	10	5
通过率 /%	100	95	37.5	0

1.1.2 试验结果

(1) 一次荷载试验

疲劳试验前需要进行一次荷载强度试验, 为了减小测定误差, 试验过程中增加了小梁试件的个数, 取 10 根与疲劳试验相同配比、相同龄期的试件进行弯拉强度的测定, 其结果如表 2 所示。

表 2 一次荷载试验结果

试验项目	试验结果										均值	标准差	变异系数
极限荷载 /kN	15.0	14.4	15.6	14.6	14.4	14.0	14.2	14.6	14.0	16.0	14.68	0.67	0.05
弯拉强度 /MPa	2.00	1.92	2.08	1.95	1.92	1.87	1.89	1.92	1.95	2.13	1.96	0.08	0.04

(2) 疲劳试验结果

为使试验误差尽可能小, 测定了 49 根同种材料、同种配比的小梁试件不同应力水平、不同低高应力比的疲劳寿命, 其结果如表 3 所示。

1.2 疲劳方程

1.2.1 试验数据处理

多孔混凝土疲劳寿命是一个随机量, 从表 3 可以看出其离散性较大, 需要研究其概率分布, 才能较为准确、全面地建立疲劳方程。已有研究表明, 普通混凝土疲劳寿命 N 和等效疲劳寿命 $\bar{N} = N^{1-R}$ 均服从双参数威布尔分布, 后者即

$$\rho = F(\bar{N}) = 1 - \exp\left(-\frac{\bar{N}^m}{t_0}\right) \quad (\bar{N} \geq 1; m, t_0 > 0) \quad (2)$$

或变形为

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(\bar{N})} = m \ln \bar{N} - \ln t_0 \quad (3)$$

式中: m 和 t_0 分别为形状参数和尺度参数。

对表 3 中多孔混凝土的疲劳试验结果进行威布尔分布检验, 得到各相应水平下的系数 m 和 t_0 , 见表 4。

由表 4 的分析结果可知, $\ln \bar{N}$ 与 $\ln \ln \frac{1}{1 - F(\bar{N})}$ 的线性关系良好, 相关系数较高。因此, 对于多孔混凝土, 其等效疲劳寿命 $\bar{N}$ 服从双参数威布尔分布检验, 即失效概率满足式(2), 可以用此数学模型处理所得试验资料。

1.2.2 疲劳方程的建立

本次多孔混凝土的疲劳试验结果经过分析之后, 建立了如下形式的疲劳方程

$$\lg S = \lg \left(\frac{\sigma_{\max}}{f_r} \right) = \lg a - b(1 - R) \lg N \quad (4)$$

或

$$\lg \frac{S(1 - R)}{1 - SR} = \lg a - b \lg N \quad (5)$$

式中: a 、 b 为疲劳试验待定系数; f_r 为多孔混凝土的弯拉强度; 其余符号意义同前。

现建立如式(4)所示的疲劳方程。将回归所得的系数 m 和 $\ln t_0$ 代入式(3),计算得到各应力水平上相应于不同失效概率 ρ 的等效疲劳寿命 $\bar{N}$ 。进而可以建立不同失效概率下的疲劳方程,其回归系数及相关系数如表 5 所示。其中失效概率为 50% 的疲劳方程为

$$\lg S = \lg 1.0216 - 0.046(1 - R)\lg N$$

(6)

此外,为了便于由疲劳方程推导出荷载疲劳应力系数,将 $\frac{S(1-R)}{1-SR}$ 看作等效应力水平 $\bar{S}$,再次应用双参数威布尔分布模型建立如式(5)所示的疲劳方程。不同失效概率下疲劳方程的回归系数及相关系数如表 6 所示。其中失效概率 50% 的疲劳方程为

$$\lg \bar{S} = \lg 1.0493 - 0.0486\lg N$$

(7)

表 3 疲劳试验原始数据

低高应力比 R	应力水平 S	疲劳寿命 N	低高应力比 R	应力水平 S	疲劳寿命 N	低高应力比 R	应力水平 S	疲劳寿命 N
0.08	0.65	3506	0.08	0.80	206	0.2	0.70	205918
		32003			275			523708
		55069			1562		0.75	375
		56258			2260			4071
		58500			13673			4691
	0.70	654	0.85	0.85	49			5665
		1415			109			70165
		2453			170		0.80	81
		66506	0.2	0.65	3608			251
		267484			18042			573
		-			193368			966
	0.75	502			313491			4952
		1083		0.70	617500	0.5	0.85	6
		1345			1019			31
		1670			3117		0.70	104
		2969			32823			195751
		3337			-		0.80	5825

表 4 WEIBULL 检验的回归系数及相关系数

应力水平 S	回归系数 m	回归系数 $\ln t_0$	相关系数 R
0.65	0.6821	6.7832	0.94726
0.70	0.4392	4.0227	0.92369
0.75	0.9118	6.6683	0.93664
0.80	0.6208	4.0191	0.93408
0.85	0.7659	3.0880	0.98752

2 疲劳分析

2.1 疲劳寿命的变异性

2.1.1 影响因素

多孔混凝土疲劳性能的影响因素较多,故其疲劳寿命的变异性较大。在疲劳方程中采用的应力水平 S