

2008

辽宁省公路学会学术论文集

辽宁省公路学会



东北大学出版社
Northeastern University Press

2008 辽宁省公路学会学术论文集

辽宁省公路学会

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 辽宁省公路学会 2009

图书在版编目 (CIP) 数据

2008 辽宁省公路学会学术论文集 / 辽宁省公路学会编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2009.4
ISBN 978-7-81102-679-5

I. 2… II. 辽… III. 道路工程—学术会议—文集 IV. U41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057501 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第六印刷厂书画彩印中心

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 210mm×297mm

印 张: 11.5

字 数: 340 千字

出版时间: 2009 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2009 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 潘佳宁 刘宗玉

封面设计: 唐敏智

责任校对: 晓 慧

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-679-5

定 价: 40.00 元

《2008 辽宁省公路学会学术论文集》

编审委员会

主 任 孙秋玉

副主任 刘志明 熊 义 张 辉

委 员 (以姓氏笔画为序)

任 冰 曲向进 刘长辉

李小花 周 谦 赵 波

徐同连 聂 鹏

编 辑 张 辉 田雪棠

目 录

第一编 道路工程

超薄磨耗层矿料级配试验研究	南雪峰 (3)
超载作用对沥青路面结构的力学影响研究	梁宝富 (9)
CFG 桩复合地基施工技术	姜玉兵 韩丽霞 (13)
粉煤灰混凝土的设计与应用	石玉峰 (20)
高等级公路软弱地基处理对策及分析	周悦波 (25)
高模量沥青混凝土施工工艺及其应用	刘志雨 柳大宇 董金文 (28)
高速公路拓宽工程路基变形有限元分析	于国锋 (32)
“路宝牌”高模量外掺剂在本辽辽高速公路的应用	高 明 (37)
粉喷桩的施工质量控制	高宏新 (40)
浅谈砼排水沟施工质量控制	李 兵 (43)
浅谈水泥稳定级配碎石配合比设计与应用	石玉峰 (49)
浅谈多锤头水泥砼路面施工工艺	李明杰 (53)
水泥稳定冷再生基层质量控制	刘志雨 柳大宇 邓 强 (56)
SMA 沥青混凝土施工技术	赵玉凡 (59)
同步碎石封层技术的工艺流程和质量控制	郑宝堂 杨志武 关 浩 (65)
温拌沥青混合料的性能试验与分析	杨彦海 柳晓东 吴耀东 (70)
甬台温高速公路 K112 边坡恢复方案	周悦波 董英杰 要兴雷 (76)
应力吸收层低温抗裂性能试验结果分析	李 迎 (81)

第二编 桥梁工程

CAD 和 3DSMAX 交互桥梁三维建模的应用	唐玉勃 (87)
铰接桥梁单板受力分析与加固方法	孙璞凤 (92)
桥面防水材料性能分析与研究	吴耀东 高 爽 (96)
浅谈水泥混凝土施工的质量控制	李 兵 (101)
沈北某公铁立交桥顶进施工技术	卞明星 刘立志 陈志超 (105)
现行桥规受弯构件斜截面承载力计算内容的变化及使用建议	马 亮 李立军 高宏利 (110)

第三编 交通工程与机电

ATCA 标准的刀片服务器在机电系统中的应用	刘振全 (117)
------------------------------	-----------

PLC 网络通信技术在高速公路供电系统中的应用	王晓阳 (122)
浅谈高速公路数字视频监控发布系统设计	才智 (130)
新国标架构下的组合式电子收费 (ETC) 关键设备技术研究	张毅 (135)
浅谈汽车不解体油耗检测的几种方法	金雷 (142)

第四编 交通运输与物流

高速公路经营公司资本运营战略分析	王凌艳 孔月红 章良 (151)
交通信息化建设探讨	章良 孔月红 (154)
收益现值法确定公路特许经营权价值分析	梁锋 王凌艳 (157)
物流通道构建问题探讨	孔月红 章良 王凌艳 (161)

第五篇 综 合

公路工程质量监督工作中监理市场管理执法工作的相关法律问题的探讨	张世权 (167)
关于公路市场开发工作的几点思考	田东 (171)
公路工程的计量支付与管理	宫丽莉 (175)

第一编 道路工程

超薄磨耗层矿料级配试验研究

南雪峰

(辽宁省交通科学研究院)

摘 要: 根据现行规范拟定 13 种 SMA-10 级配, 采用 Superpave 旋转压实仪制备混合料试件, 对比分析其关键体积指标与 2.36~4.75mm 集料质量分数之间的关系, 并对满足级配设计要求的沥青混合料进行路用性能评价。研究表明, 当 2.36~4.75mm 集料质量分数为 0~8% 或 20%~28% 时, 所获得混合料的体积指标更容易满足设计要求; 其中, 2.36~4.75mm 集料质量分数控制在 0~8% 时的矿料级配, 更适合用于超薄磨耗层路面。

关键词: 超薄磨耗层 SMA 旋转压实法 矿料级配

1 引 言

超薄磨耗层(Ultra-thin wearing course), 亦称超薄沥青磨耗层, 是一种铺装厚度为 15~25mm 的热拌沥青混凝土路面表层^[1], 20 世纪 80 年代末起源于法国, 主要用于新铺路面的表面层和旧路面的养护。继法国之后, 其他一些国家也随即开展了此项技术的研究^[2-4], 例如英国、波兰、瑞典、美国等。

超薄磨耗层的厚度较小, 在此基础上要求有较大的构造深度和密实度, 尤其对于密实型的沥青混合料, 超薄磨耗层厚度与其技术要求间的矛盾更为突出。因此, 解决超薄磨耗层的级配与其构造深度和密实度之间关系的问题是该项技术的关键之处。

SMA-10 是一种断级配密实型沥青混凝土, 与传统的连续密实型级配的细粒沥青混凝土相比, 其构造深度大、密实性好, 是目前超薄磨耗层常用的级配类型。对于 SMA-10 的矿料级配, 常以控制关键筛孔通过率的方式来满足 SMA-10 的技术要求。由表 1 可见, 美国、澳大利亚和德国的级配范围中在 4.75mm 筛孔通过率分别为“26%~60%”“30%~50%”及“30%~40%”, 我国的级配范围中在 4.75mm 筛孔通过率为“28%~60%”, 与美国级配范围相近, 即除德国仍将 4.75mm 作为控制点外, 其他三个国家均以 2.36mm 作为控制点。

对于目前我国 SMA-10 的级配范围, 由于 4.75mm 筛孔通过率为“28%~60%”, 即 2.36~4.75mm 的集料质量分数范围为 0~40%, 如此宽泛的选择范围增加了 SMA-10 设计的难度, 经常出现体积指标不能满足技术要求的情况^[5]。针对这一问题, 本文参照《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40-2004)》提供的 SMA-10 级配范围设计了 13 种 SMA-10 矿料级配, 采用 Superpave 旋转压实仪制作混合料试件, 通过研究 SMA-10 矿料级配范围中 2.36~4.75mm 集料质量分数与混合料关键体积指标(VV、VMA)之间的关系, 缩小了 2.36mm 筛孔通过率的选择范围, 从而为在实际工程中进行 SMA-10 级配设计提供了有力的借鉴。

表 1 一些国家 SMA-10 级配范围

筛孔尺寸/mm	筛孔通过率/%			
	美 国	澳大利亚	德 国	中 国
13.2	100	100	100	100
9.5	90~100	90~100	90~100	90~100
4.75	26~60	30~50	30~40	28~60
2.36	20~28	21~31	20~27	20~32
1.18	13~21	16~25		14~26
0.6	12~18	14~22		12~22
0.3	12~15	12~20		10~18
0.15		10~17		9~16
0.075	8~10	8~12	9~13	8~13

2 材料及试验方法

2.1 原材料

本文采用辽宁盘锦产昆仑牌 SBS 改性沥青, SBS 掺量为 5%, 其基本性能测试结果如表 2 所示。

表 2 改性沥青基本性能

项 目	测试结果
针入度(25℃, 100g, 5s)/0.1mm	61
延度(5cm/min, 5℃)/cm	46.4
软化点(环球法)/℃	76.5
闪点/℃	>230
黏 度 (135℃)/Pa·s	2.0
密度(15℃)/g·cm ⁻³	1.005
溶解度(三氯乙烯)/%	99.93
弹性恢复(RTFO, 25℃)/%	92
离析(48h)/℃	3.3

本文采用的 5~10mm 集料为玄武岩碎石, 小于 5mm 的集料均采用石灰岩碎石, 填料采用石灰石矿粉, 试验所用纤维为辽宁省交通科学研究院提供的路宝牌木质素纤维。

以上原材料经试验测得各项指标均满足《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40-2004)》中的技术要求。

2.2 试验方法

对于混合料级配设计, 目前经常采用的方法为马歇尔法, 亦即击实法制作混合料试件。该法简单易行, 但所成试件的体积特性、物理性质与现场钻心取样的结果相关性不如旋转压实法。

试验采用的 Suprapave 旋转压实仪^[6] (Suprapave gyratory compactor, SGC)如图 1 所示, 制作试件时, 试件垂直轴线的运动轨迹呈圆锥状, 这种



图 1 旋转压实仪

运动方式可使混合料在试模中同时受到竖向压力和水平剪力的作用,集料定向性成骨架,贴近于现实路面的压实过程中荷载对混合料的搓揉和压实。因此,采用该法成形试件的体积指标更能反映工程实际情况^[7],其结果更具有参考价值。

按照表3所示的级配,采用旋转压实法制作混合料试件,混合料沥青用量均为6.5%,测试混合料试件的体积指标,对比分析不同级配条件下,混合料体积特性的变化趋势,并从中选出有代表性的4种级配进行路用性能评价。

表3 SMA-10 矿料级配

筛孔尺寸 /mm	通过率/%												
	级配1	级配2	级配3	级配4	级配5	级配6	级配7	级配8	级配9	级配10	级配11	级配12	级配13
13.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9.5	98.3	98.2	98.1	97.9	97.0	97.8	97.8	97.9	97.9	97.8	97.8	97.4	97.9
4.75	57.5	52.7	49.0	46.3	40.9	36.3	39.7	36.6	34.7	33.2	31.0	30.4	29.3
2.36	28.2	25.7	26.3	26.0	25.5	21.6	27.8	26.3	28.3	27.6	26.9	27.9	22.3
1.18	24.8	23.2	23.8	23.6	23.4	19.9	25.1	24.6	22.6	21.4	19.0	20.8	19.3
0.6	19.6	18.0	18.4	18.3	18.2	16.0	19.2	18.6	17.2	16.7	15.2	15.2	16.5
0.3	14.7	13.6	13.8	13.7	13.6	12.5	16.1	15.2	14.3	13.5	12.5	12.4	14.2
0.15	12.0	11.3	11.4	11.3	11.2	10.6	13.0	12.7	12.1	11.8	10.9	11.3	12.3
0.075	9.7	9.3	9.4	9.3	9.2	8.9	10.3	10.4	9.9	9.6	9.1	10.2	10.2

3 结果与讨论

3.1 体积性能

SMA是在间断级配碎石中的粗集料形成骨架后,由沥青、矿粉、纤维和细集料构成的沥青玛蹄脂填充于骨架之间,因而形成密实型骨架结构。骨架结构的形成和良好的结构密实度是实现其表面服务功能(抗滑性、耐磨性、降噪)的前提和基础。因此,SMA的设计通常采用控制关键筛孔通过率的方式进行调整,以满足SMA的结构特性。

在SMA-10混合料的构成中,大于2.36mm的集料是构成骨架结构的主体,2.36mm以下的集料与矿粉和纤维形成的玛蹄脂是保证SMA-10密实性的填充组分,因而在我国的技术规范中通常是以2.36mm筛孔通过率作为关键点进行控制。本文以2.36mm筛孔通过率作为关键点进行控制而得到的13种级配SMA-10混合料,其体积指标测试结果如表4所示。

在表4中, VCA_{DRC} 、 VCA_{MIX} 是反映SMA集料是否能够形成骨架结构的关键性指标,对比不同级配条件下的 VCA_{DRC} 和 VCA_{MIX} , VCA_{DRC} 均大于 VCA_{MIX} ,可见所列13种级配的SMA-10集料,其中的粗骨料间隙未被细集料拉开,都可较好地形成骨架结构。

在骨架结构形成的基础上,规范中规定SMA混合料的空隙率VV为2%~4%、矿料间隙率VMA不小于17%时可保证其具有较好的密实度。对比表4中不同级配条件下的VV、VMA,级配1、级配5~8、级配11和级配13的VV都超出了规定的范围,其中级配1混合料的VV偏小而其余偏大。为此,结合表3中的数据,本文考察了VV和VMA与2.36~4.75mm集料质量分数的关系,如图2和图3所示。

在图2和图3中,不同的2.36~4.75mm集料含量条件下,混合料的VV和VMA呈现出相似的变化趋势,即随着2.36~4.75mm集料质量分数的增加,混合料的VV和VMA不断增大,当该档集料质量分数超过20%时,混合料的VV和VMA逐渐减小。

表 4 不同级配条件下 SMA-10 混合料试件体积指标

级 配	VCA _{DRC} /%	VCA _{MIX} /%	理论密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	毛体积密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	VV /%	VMA /%	VFA /%
级配 1	40.90	37.45	2.527	2.456	2.84	16.8	83.4
级配 2	41.08	35.62	2.532	2.454	3.08	17.3	82.7
级配 3	41.24	36.07	2.538	2.448	3.53	17.5	81.1
级配 4	41.37	36.40	2.541	2.442	3.88	17.7	79.3
级配 5	41.65	35.15	2.548	2.400	5.86	18.9	72.5
级配 6	42.20	35.03	2.555	2.391	6.42	20.1	68.9
级配 7	42.11	35.79	2.543	2.393	6.01	19.4	69.4
级配 8	42.28	35.57	2.546	2.402	5.65	18.8	73.6
级配 9	42.39	39.15	2.549	2.469	3.14	17.2	81.7
级配 10	42.55	37.58	2.550	2.464	3.36	17.5	80.5
级配 11	42.21	35.78	2.555	2.425	5.06	17.9	73.2
级配 12	43.94	36.18	2.558	2.456	4.00	17.6	76.7
级配 13	43.05	35.82	2.557	2.426	5.12	17.5	77.4

注：表中 VCA_{DRC}，VCA_{MIX}是以 2.36mm 作为关键控制筛孔测得的粗骨料捣实骨架间隙率和粗骨料间隙率。

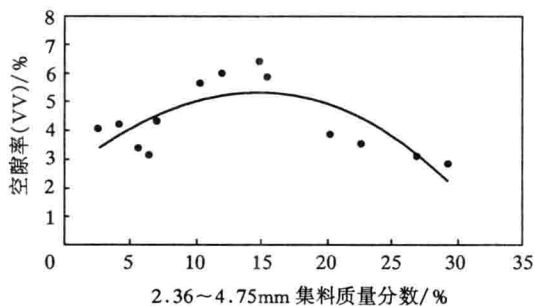


图 2 2.36~4.75mm 集料质量分数与
空隙率 VV 的关系

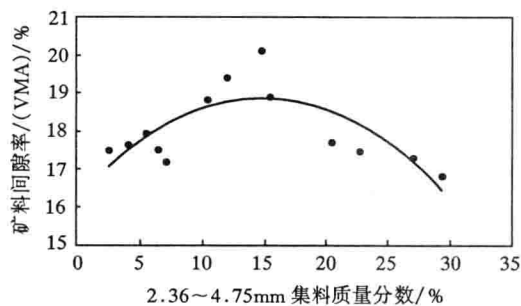


图 3 2.36~4.75mm 集料质量分数与
矿料间隙率 VMA 的关系

对照表 3 发现，级配 5~8 的混合料，其 2.36~4.75mm 集料质量分数为 10~15%，比较而言，级配 9~13 混合料中该档集料质量分数较小为 3%~7%，级配 1~4 混合料中该档集料质量分数较多为 20%~30%。

综合上述分析，尽管所列 13 种级配的混合料都形成了良好的骨架结构，但是混合料不一定具有良好的密实性，其中 2.36~4.75mm 集料质量分数对此存在显著的影响，当其质量分数在一定范围内变化时，混合料的 VV 和 VMA 偏大，超出此范围，VV 和 VMA 都有减小趋势。

结合 SMA-10 结构组成的特点，2.36~4.75mm 集料是介于粗骨料(4.75~9.5mm)和细集料(小于 2.36mm)之间的一档集料：当其质量分数较小时，此档集料趋向于骨架填充的作用，致使混合料的 VV、VMA 变小；当其质量分数较大时，接近于 4.75mm 的颗粒比例必然增加，颗粒间嵌挤作用表现突出，而其余接近于 2.36mm 的颗粒又易于进入骨架填充空隙，进而仍会使混合料的 VV 和 VMA 变小；当其质量分数在一定范围内变化(如本文确定的 10%~15%)时，此档集料中接近于 4.75mm 的颗粒与接近于 2.36mm 的颗粒相当，容易与 4.75~9.5mm 的粗集料形成干涉状态，拉开粗骨料间隙，故而使得混合料的 VV 和 VMA 增大。由此可见，2.36~4.75mm 集料在 SMA-10 结构组成中的作用复杂，是 SMA-10 设计难度的症结所在。根据本文的试验结果，综合考虑到骨架结构和密实度两方面的因素，若控制 2.36~4.75mm 集料质量分数在 0~8% 或 20%~28%，可使

SMA-10 的体积特性易于满足技术要求。此外,从本文的试验结果中还可看出,目前规范中单纯将 2.36mm 筛孔通过率作为控制点设计级配,容易出现上述问题,因此可在设计中同时考虑 4.75mm 筛孔通过率作为控制点。

3.2 路用性能

针对体积性能分析结果,课题组分别从 2.36~4.75mm 集料质量分数在 0~8% 和 20%~28% 范围内的级配中,各选出两种级配(级配 3、级配 4、级配 10 和级配 12),对其进行高温车辙、低温弯曲、水敏感性试验,试验均按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTJ052-2000)》要求进行,为了评价混合料的抗滑能,课题组对成型后的车辙试件进行了构造深度测试,试验结果如图 4 至图 7 所示。

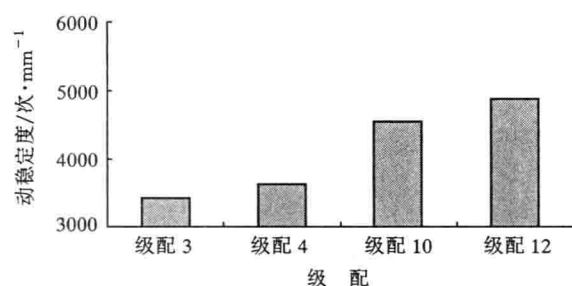


图 4 高温车辙试验结果

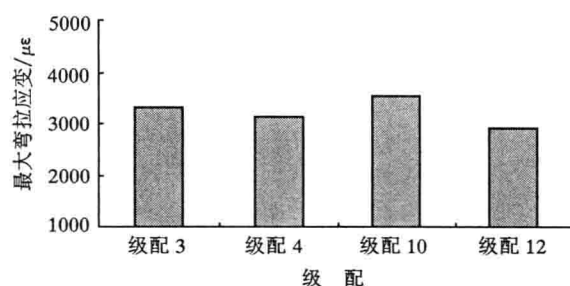


图 5 低温弯曲试验结果

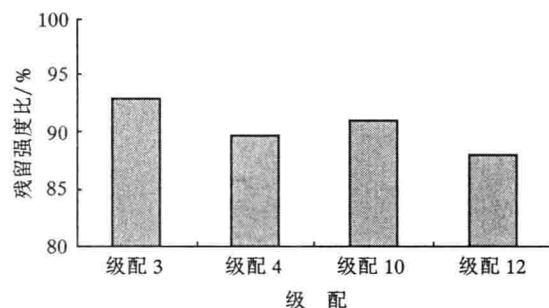


图 6 冻融劈裂试验结果

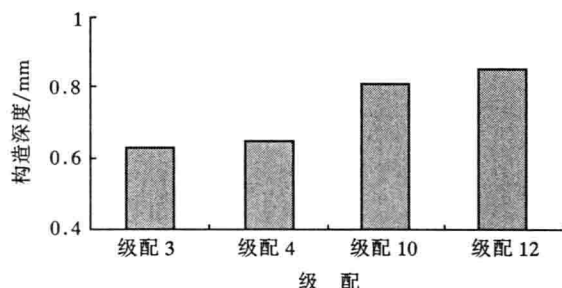


图 7 构造深度测试结果

由图 4~7 可以看出,级配 3、级配 4 的动稳定度和构造深度试验结果明显低于级配 10、12,而低温弯曲和冻融劈裂试验中,4 种级配的试验结果相差不是很大。这也充分反映出,在矿料级配各项指标满足设计要求的前提下,适当提高粗骨料中大粒径颗粒的质量分数,会增加其高温抗车辙性能以及抗滑能力。因此,在选择 SMA-10 矿料级配用于超薄磨耗层路面时,2.36~4.75mm 集料质量分数尽量控制在 0~8% 范围内,这样可以更好地发挥和改善路面的表面功能。

4 结 论

(1) SMA-10 是超薄磨耗层常用的级配类型,骨架结构和密实度是保证 SMA-10 实现表面服务功能的前提和基础,现行规范中 2.36~4.75mm 选择范围宽泛,为 SMA-10 设计增加了难度,易于出现 SMA-10 体积特性不易满足技术要求的情况。

(2) 2.36~4.75mm 集料质量分数显著影响 SMA-10 的体积特性:当其质量分数为 3%~7% 时,SMA-10 混合料的体积指标 VV、VMA 随质量分数的增加而增大;当其质量分数超过 20% 时,SMA-10 混合料的 VV 和 VME 随质量分数的增加而减小;当其质量分数为 10%~15% 时,SMA-10

混合料的 VV 和 VMA 较大, 超出规范要求的范围。

(3) 控制 2.36~4.75mm 集料质量分数在 0~8% 或 20%~28% 之间时, 可使 SMA-10 的体积特性易于满足技术要求, 并且单纯以 2.36mm 筛孔通过率作为 SMA-10 设计的控制点不全面, 还应综合考虑 4.75mm 筛孔通过率。

(4) 在选择 SMA-10 矿料级配用于超薄磨损层路面时, 2.36~4.75mm 集料质量分数尽量控制在 0~8% 范围内, 这样可以更好地改善路面表面功能。

参考文献

- [1] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2001: 57-69.
- [2] 余叔番. SMA 路面设计与施工 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002: 16-34.
- [3] 曹卫东, 沈建荣. 超薄沥青混凝土面层技术研究及应用简介 [J]. 石油沥青, 2005(8): 56-59.
- [4] Prithvi S, Kandhal, Larry Lockett. The Construction and Performance of Ultrathin Asphalt Friction Course [R]. NCAT Report No. 97-5, 1997(9): 86-88.
- [5] 李福普, 沈金安. 薄层小粒径 SMA 路面的研究与应用 [J]. 公路交通科技, 2004(12): 6-8.
- [6] 贾渝. 高性能沥青路面 Superpave 技术实用手册 [R]. 南京: 江苏省交通科学研究院, 2002(5): 22-36.
- [7] 郭秀华, 尤丽华, 等. 旋转压实仪及旋转压实参数的研究 [J]. 机械设计与制造, 2006(12): 38-40.

超载作用对沥青路面结构的力学影响研究

梁宝富

(抚顺县公路管理段)

摘要:重载路段路面的早期病害现象比较严重。根据调查,各种类型的裂缝,路面松散,路面推移等病害情况最为突出。重载车行驶在道路上时给道路带来的损坏远远大于标准轴载车。笔者通过轴载换算公式和超载作用下路面的力学响应分析两方面分析了超载对路面各层层底应力和路表实测弯沉的影响情况,进而解释了重载路段路面易损坏的力学机理。

关键词:沥青路面 路面损坏 重载 应力响应

1 前言

超载运输,是指运输车辆所装载的货物质量超过车辆额定荷载的质量。车辆荷载是影响路面使用寿命的关键因素之一,据调查,现在行驶在路面上的车辆普遍存在超载现象。路面在荷载作用下的垂直变形包括回弹弯沉和残余弯沉两部分,当车辆超载运输时,残余弯沉变大,所以超载运输会造成路面的永久变形,道路路面的早期损坏现象严重。

2 超载对路面损坏的影响

首先,单从轴载换算方面来讨论超载车辆对路面的影响。目前,我国采用双轮单轴 100kN 为标准轴载形式,将各种车辆轴载作用次数换算为 100kN 的标准轴载作用次数,分析标准轴载对路面结构的损耗。换算公式为

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 C_2 \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35} \quad (1)$$

式中: N ——以设计弯沉值和沥青层层底拉应力为指标时的标准轴载的当量轴次;

P ——标准轴载, kN;

P_i ——被换算车型的各级轴载, kN;

C_1 ——被换算车型的轴数系数,当轴间距大于 3m 时,按单独的一个轴载计算;当轴间距小于 3m 时,双轴或多轴的轴数系数按式(2)计算,即

$$C_1 = 1 + 1.2(m - 1); \quad (2)$$

C_2 ——被换算车型的轮组系数,双轮组为 1.0,单轮组为 6.4,四轮组为 0.38;

K ——被换算车型的轴载级别。

由式(1)可以看出,当车辆荷载增加时,被换算车型换算为标准轴载作用次数是按 4.35 次方增加,可见,荷载呈线性增加时,换算为标准轴载次数不是呈线性增长的。超载加速了公路的损坏。

3 超载作用下路面的力学响应分析

超载对路面结构的影响若从力学角度考虑,路面损坏状态主要是:路面表面的过大弯沉变形,路面结构层被拉裂以及路面结构层的剪切破坏。其中疲劳开裂是沥青混凝土面层、基层及底基层的主要破坏状态之一。车载的反复作用是路面疲劳开裂的主要原因,同时超载作用使路面各结构层底部受弯拉应力远远大于标准轴载作用下的弯拉应力,可见,超载对路面结构的影响很大。因此,为了研究超载对路面结构的影响,笔者又从力学角度考虑,验算沥青混凝土面层,水泥稳定沙砾基层在车辆荷载重复作用下产生的弯拉应力,面层层内剪应力峰值及路表的实测弯沉值。通过这些数据了解面层,基层及底基层各自的应力状况以及路面各层的应力特点,有助于了解超载对路面结构的影响情况。

3.1 路面结构及相应参数

路面结构形式及物理力学计算参见表 1。表中数据均根据规范查出,细粒式沥青混凝土材料层在进行结构层层底拉应力验算时,采用 15℃ 结构层模量计算;在进行路表弯沉验算时,采用 20℃ 结构层模量计算。

表 1 路面结构参数表

结构层材料类型	结构层厚度/cm	20℃ 结构层模量/MPa (弯沉计算用)	15℃ 结构层模量/MPa (拉应力计算用)	泊松比
细粒式沥青混凝土	4	1400	1800	0.25
水泥稳定沙砾	20	1500	3200	0.25
天然沙砾	25	200	200	0.25
土 基		23	23	0.35

确定不同超限荷载作用下的荷载图式:单轴双轮、双圆荷载。双圆中心距离保持不变,接触压力和接触面积可变,其大小见表 2。

表 2 荷载作用形式表

轴 载 P/kN	单轮荷载 P/kN	轮胎接地压强 P/MPa	单轮传压当量圆半径 D/cm	两轮中心距 R_L/cm
100	25	0.70	10.65	31.95
125	31.25	0.877	10.65	31.95
150	37.5	1.05	10.65	31.95
175	43.75	1.228	10.65	31.95
200	50	1.40	10.65	31.95

3.2 计算结果

结构分析中,只计算荷载应力,不考虑温度及湿度变化引起的应力。荷载应力计算采用 Shell 公司的 Bisar3 程序,计算结果见表 3。

表 3 各层层底应力和弯沉值表

	$P = 100\text{kN}$	$P = 125\text{kN}$	$P = 150\text{kN}$	$P = 175\text{kN}$	$P = 200\text{kN}$
面层层底拉应力/MPa	-0.30	-0.37	-0.44	-0.52	0.59
基层层底拉应力/MPa	0.38	0.47	0.56	0.66	0.75
路表实测弯沉/0.01mm	68.7	85.9	103.2	120.4	137.6
面层最大剪应力/MPa	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47

将表 3 中的计算结果数据绘成图 1 至图 4。其中图 1 为面层层底拉应力随荷载的变化规律图，图 2 为基层层底拉应力随荷载大小变化规律，图 3 为面层层内剪应力峰值随荷载的变化规律图，图 4 为路表实测弯沉值随荷载变化规律图。

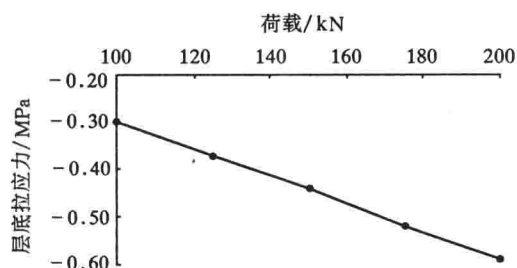


图 1 面层层底拉应力随荷载的变化规律

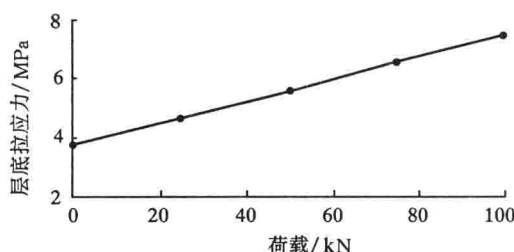


图 2 基层层底拉应力随荷载大小变化规律

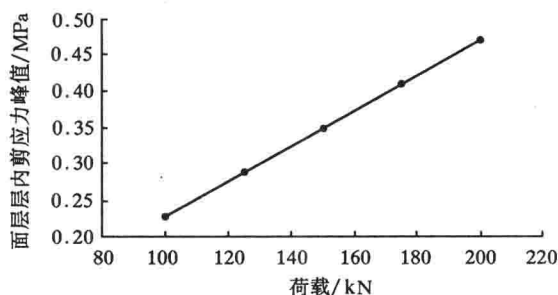


图 3 面层层内剪应力峰值随荷载的变化趋势

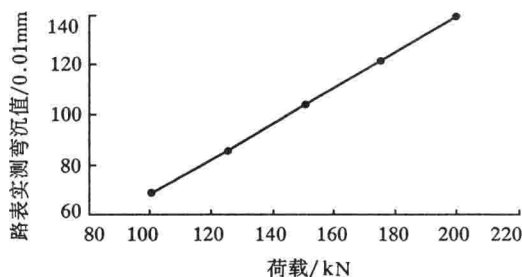


图 4 路表实测弯沉值随荷载的变化规律

由表 3 的结果及图 1 至图 4 表明，细粒式沥青混凝土面层层底受压应力作用，且压应力随荷载作用的增大而增加，面层层内的剪应力峰值、基层层底压应力和路表实测弯沉值均随荷载作用的增加而增加。荷载的增加加大了路面结构层的负担，使路面很容易损坏，在重载交通的作用下，道路路面结构很短时间内就可能发生疲劳破坏。可见，重载交通无论从自身的载重还是换算为标准轴载作用次数上都加速了公路的破损速度。

4 结 语

(1) 路表弯沉值随车辆轴载 P 的增长而增长，当超限量较大时，由于其弯沉值大于设计弯沉值，容易造成路面的病害，因此，汽车超限是造成路面破坏尤其是路面早期损坏的主要原因之一。另外，最大弯沉值发生在面层表面，在超限车辆荷载反复作用下，过大的路表变形必然造成过大的弯拉应力，这样很容易造成路面由内向外逐步发展的疲劳开裂。

(2) 超重荷载引起路面结构内的应力大幅增加，使路面结构产生较大的弯拉变形、压密变形及剪切形变。这些变形的综合作用会使路面的损坏过程加快，损坏程度加深，将会大大缩短路面的使用寿命。

参考文献

- [1] 胡小弟. 考虑非均匀布轮载效应时超载对沥青路面结构的力学影响 [J]. 长安大学学报: 2003, 23(2): 32-36.
- [2] 邓学钧. 路基路面工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] Transportation Association of Canada. Pavement Design And Management guide [M]. Ottawa: TAC, 1997.