

文章编号:1671-8879(2006)01-0012-04

路面板断裂尺寸对沥青加铺层应力的影响

杨斌^{1,2}, 陈拴发¹, 胡长顺¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064; 2. 广西大学 土木建筑工程学院, 南宁 530004)

摘 要:采用冲压技术断裂稳固路面板, 再加铺沥青面层是旧水泥混凝土路面维修改造的方法之一。采用三维有限元法, 分析了水泥混凝土路面板断裂尺寸与沥青加铺层的荷载应力、温度应力、耦合应力及基层顶面的压应力之间的关系, 并在试验路研究的基础上, 提出了旧水泥混凝土路面板合理的断裂尺寸。研究表明, 路面板的断裂尺寸选择在 80~100 cm 较为合理。

关键词:道路工程; 水泥混凝土路面; 断裂尺寸; 沥青加铺层; 应力

中图分类号:U416.2

文献标识码:A

Influence of Cracking Size of Concrete Pavement on Stress of Asphalt Overlay

YANG Bin^{1,2}, CHEN Shuan-fa², HU Chang-shun¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil and Architecture Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: It is one of ways to reconstruct the old concrete pavement by paving asphalt pavement on the cracking and seating concrete slab. This paper uses the 3-D finite element method to analyze the relationships of cracking size with load stress, thermal stress, coupling stress in asphalt overlay and pressure stress on base. On the basis of the achievements of theoretic analysis and testing section, it is found that the reasonable cracking size of old concrete pavement is 80~100 cm. 2 tabs, 8 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; concrete pavement; cracking size; asphalt overlay; stress

0 引言

当旧水泥混凝土路面断板率较高、损坏面积较大时, 对损坏板进行换板或压浆修复后再采用其他措施已不经济时, 可采用冲压技术对旧水泥混凝土板进行断裂稳固处理后, 加铺沥青面层的方法进行改建。该方法具有施工速度快、施工工序少、造价低、对环境污染小等优点。虽然旧水泥混凝土路面断裂稳固技术在国内已进行了较多的试验路研究, 但对于旧水泥混凝土路面板应断裂到何种程度,

道路工程界尚未达成共识, 中国也无相应的设计及施工规范对此作出规定。文献[1]提出的建议是“旧水泥混凝土路面的断裂结果, 边长应为 45~60 cm 大小的块”。文献[2]对断裂尺寸的建议是“应用混凝土破碎机, 将面层板分解成 60~100 cm 的碎块, 然后用重型轮胎碾路机在碎块上碾压数遍”。美国各州对混凝土路面采用的断裂尺寸相差更大, 最小为 45 cm, 最大为 180 cm。由于目前对混凝土路面板断裂的合理尺寸未有统一认识, 给设计及施工部门的具体操作带来了很大困难。因此, 本文采用三

收稿日期: 2005-01-20

作者简介: 杨斌(1968-), 男, 广西南宁人, 广西大学副教授, 长安大学工学博士研究生。

维有限元法对混凝土板断裂尺寸与沥青加铺层的荷载应力、温度应力、耦合应力及基层顶面的压应力之间的关系进行深入分析,以探求旧水泥混凝土板合理的断裂尺寸。

1 计算模型与参数

旧水泥混凝土路面板的断裂尺寸对沥青加铺层的使用性能有很大的影响,若板的断裂尺寸过大,达不到减少接缝或裂缝处沥青加铺层应力集中的目的,且大尺寸的断裂板难以压实稳固;若路面板的断裂尺寸过小,则基层顶面的压应力又会增大,降低路面结构的整体强度,并会延长施工时间及增加工程费用。因此,确定合理的断裂尺寸就显得尤为重要。以下对不同尺寸的破碎板加铺层结构进行应力分析。

视路面结构为弹性层状体系,研究对象是由沥青加铺层、不同尺寸的断裂稳固板及地基组成,建立空间三维模型,取长度方向为 x 轴,宽度方向为 y 轴,深度方向为 z 轴。为反映半无限大地基的特性,地基采用扩大尺寸进行模拟。

水泥混凝土路面板未断裂前的平面尺寸为 $500\text{ cm} \times 375\text{ cm}$,断裂后的板块平均尺寸为 $250\text{ cm} \times 188\text{ cm}$ 、 $100\text{ cm} \times 94\text{ cm}$ 、 $50\text{ cm} \times 54\text{ cm}$ 3种,如图1所示。

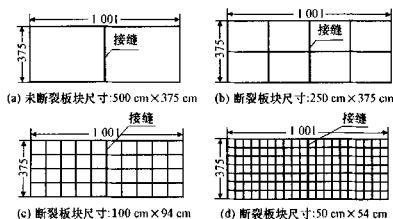


图1 旧水泥混凝土路面板断裂尺寸平面图(单位:cm)

交通荷载采用标准轴载 BZZ-100, 轮胎内压 0.7 MPa , 经过不同荷位计算分析比较, 车轮荷载作用在接缝一侧的偏荷载对沥青加铺层最为不利。由试验路所在地气温观测站历年月平均气温统计结果可知, 1月份的月平均气温最低为 $-4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此在温度应力计算时, 近似地取最不利的低温 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为参考温度, 路面结构以此参考温度为基准进行升温及降温。考虑到该地区最大日温差一般不超过 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即以日平均气温为参考温度, 每日的升温及降温分别为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因为负温差对路面结构的影响更为不利。因此, 按加铺层表面降温 $\Delta T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 来计算温度应力。主要计算参数见表1。

表1 主要计算参数

结构层	厚度 h/cm	弹性模量 E/MPa	泊松 比 μ	导热系数 $\lambda/(\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})^{-1})$	线膨胀系数 $\alpha/10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
沥青加铺层	12	1 200	0.25	1.2	2.1
断裂稳固板	22	30 000	0.15	1.5	1.0
基础	—	100	0.35	1.0	0.5

2 断裂板裂缝接触对荷载应力的影响

旧水泥混凝土路面断裂稳固板的承载力主要来源于两个方面:一是地基对断裂板的支承力,其值在路面使用过程中变化不大;二是断裂板裂缝间的嵌锁力,即作用在某一块板的车辆荷载可通过断裂板裂缝间不平整接触面形成的嵌锁力向周围板块传递,起到扩散荷载的作用。在混凝土板断裂初期,板间裂缝间距很小,板块接触紧密,裂缝间传荷能力较高,随着行车荷载冲击作用次数的增加,裂缝间凹凸不平的表面逐渐趋于平滑,加之温度及横坡的影响,裂缝间距逐渐增大,传荷能力也随之降低。

由于断裂板裂缝间可传递剪力,但不能传递弯矩及拉力,因此在计算加铺层车辆荷载应力时,考虑断裂板裂缝间接触情况的影响,而在计算降温情况下加铺层温度应力时,则不考虑裂缝间接触情况的影响。现以断裂板尺寸 $100\text{ cm} \times 94\text{ cm}$ 为例,分析偏荷载作用下裂缝接触情况对加铺层荷载应力的影响程度,裂缝间摩擦系数 f 为 $0 \sim 1$ 。当摩擦系数 $f=0$ 时,裂缝2个侧壁面为完全光滑接触;当摩擦系数 $f=1$ 时,裂缝两侧垂直变形量完全相等。在进行接触面有限元分析时,将裂缝的一个侧壁面当作“目标”面,另一个侧壁面当作“接触”面。一个目标单元和一个接触单元构成一个“接触对”。断裂板裂缝间不同接触情况对沥青加铺层荷载应力的影响程度见图2。

由图2可知,在车辆偏荷载的作用下,随着断裂板裂缝间摩擦系数的增大,沥青加铺层的等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 随之降低。当 $f=0$ 时, σ_e 及 τ_{\max} 最大,加铺层处于最不利状态;当 $f=1$ 时, σ_e 及 τ_{\max} 最小,加铺层处于最有利状态,此时断裂板荷载扩散能力最强。因此,以下所进行的计算分析均按加铺层最不利的受力状况(裂缝间摩擦系数为0)来考虑。

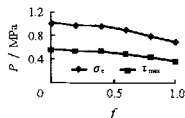


图2 加铺层荷载应力 P 随断裂板($100\text{ cm} \times 94\text{ cm}$)裂缝摩擦系数 f 的变化

3 断裂尺寸对沥青加铺层应力的影响

当车辆荷载为 100 kN,路面的结构参考温度为 -5°C ,沥青加铺层表面降温幅度为 -10°C 时,分别计算路面板断裂尺寸对加铺层荷载应力、温度应力及耦合应力的影响程度,计算结果见表 2。

3.1 断裂尺寸对加铺层荷载应力的影响

由表 2、图 3 可知,在车辆荷载的作用下,随着水泥混凝土路面板断裂尺寸的减小,接缝处沥青加铺层底部的最大主应力 σ_1 略有增加,但始终为负值,表明沥青加铺层一直处于受压的有利状态。而加铺层的等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 随路面板断裂尺寸的减小而呈缓慢下降的趋势,当路面板尺寸为 $500\text{ cm} \times 375\text{ cm}$ 时, σ_e 、 τ_{\max} 分别为 1.053 MPa、0.572 MPa;当路面板断裂尺寸缩小到 $50\text{ cm} \times 54\text{ cm}$ 时, σ_e 、 τ_{\max} 分别为 0.977 MPa、0.541 MPa。后者比前者分别减小了 7.2% 及 5.4%,说明缩小板块尺寸可在一定程度上减小旧水泥混凝土路面接缝处的荷载应力集中现象^[3]。

由图 4 可知,接缝两侧的弯沉及弯沉差随板块尺寸呈“凹”型抛物线变化规律,即板的断裂尺寸过

小或较大都会引起接缝两侧的弯沉及弯沉差过大,当路面板断裂尺寸为 $250\text{ cm} \times 188\text{ cm}$ 及 $100\text{ cm} \times 94\text{ cm}$ 时,接缝两侧的弯沉及弯沉差都较小^[4]。

图 5 表明在相同荷载作用下,路面板底基层顶面的压应力随板断裂尺寸的减小而增加,当混凝土板块尺寸为 $500\text{ cm} \times 375\text{ cm}$ 时,基层顶面的压应力为 0.096 MPa;当路面板断裂尺寸缩小为 $50\text{ cm} \times 54\text{ cm}$ 时,基层顶面的压应力增加到 0.194 MPa。相比之下,后者比前者增大了 102.1%,且当路面板断裂尺寸小于 $100\text{ cm} \times 94\text{ cm}$ 后,基层顶面的压应力会呈快速上升趋势。

3.2 断裂尺寸对加铺层温度应力的影响

加铺层温度应力计算结果见图 6。随着路面板断裂尺寸的减小,沥青加铺层的温度应力 σ_1 、 σ_e 、 τ_{\max} 迅速降低,当路面板块尺寸为 $500\text{ cm} \times 375\text{ cm}$ 时, σ_1 、 σ_e 、 τ_{\max} 分别为 3.616 MPa、3.098 MPa 和 1.718 MPa;当断裂板尺寸缩小为 $50\text{ cm} \times 54\text{ cm}$ 时, σ_1 、 σ_e 、 τ_{\max} 分别降低为 1.392 MPa、1.187 MPa 和 0.665 MPa。后者比前者分别减小了 61.5%、61.7% 和 61.3%,说明板块的平面尺寸对加铺层的温度应力有很大的影响。

表 2 沥青加铺层荷载应力、温度应力及耦合应力随路面板断裂尺寸的变化

断裂板尺寸/ (cm×cm)	荷载类型	应力 P/MPa									
		σ_x	σ_y	σ_e	τ_{xy}	τ_{yx}	τ_{yz}	σ_1	σ_2	σ_3	τ_{\max}
500×375	荷载	-1.165	-0.353	-0.276	-0.014	0.034	-0.354	-0.146	-0.359	-1.289	1.053
	温度	3.616	1.033	0.181	-0.002	0	0.011	3.616	1.033	0.181	3.098
	耦合	2.446	0.679	-0.094	-0.017	0.034	-0.343	2.491	0.680	-0.141	2.333
250×188	荷载	-1.115	-0.355	-0.273	-0.013	0.038	-0.339	-0.150	-0.362	-1.271	1.031
	温度	2.961	0.859	0.147	-0.001	-0.001	0.021	2.962	0.859	0.147	2.535
	耦合	1.815	0.507	-0.126	-0.014	0.037	-0.318	1.866	0.508	-0.178	1.802
100×94	荷载	-1.037	-0.326	-0.263	-0.010	0.039	-0.391	-0.093	-0.333	-1.200	1.009
	温度	2.138	0.639	0.104	0	0	-0.001	2.138	0.639	0.104	1.826
	耦合	1.119	0.317	-0.157	-0.010	0.039	-0.392	1.230	0.319	-0.270	1.309
50×54	荷载	-0.872	-0.285	-0.259	-0.012	0.034	-0.443	-0.022	-0.289	-1.105	0.977
	温度	1.392	0.437	0.064	-0.001	-0.001	0	1.392	0.437	0.064	1.187
	耦合	0.536	0.157	-0.195	-0.013	0.033	-0.443	0.747	0.156	-0.405	0.997

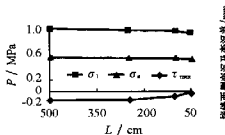


图 3 沥青加铺层荷载应力 P 随路面板断裂尺寸 L 的变化

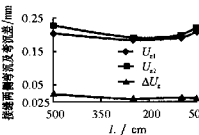


图 4 接缝两侧弯沉及弯沉差随路面板断裂尺寸 L 的变化

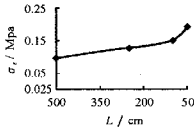


图 5 板底压应力 σ_x 随路面板断裂尺寸 L 的变化

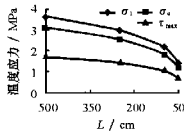


图 6 沥青加铺层温度应力随路面板断裂尺寸 L 的变化

3.3 断裂尺寸对加铺层耦合应力的影响

由表2及图7可知,沥青加铺层由荷载及温度共同作用所产生的耦合应力 σ_1 、 σ_r 、 τ_{max} 随着水泥混凝土路面板断裂尺寸的减小而减小,当路面板尺寸为500 cm×375 cm时, σ_1 、 σ_r 、 τ_{max} 分别为2.491 MPa、2.333 MPa和1.316 MPa;当路面板断裂尺寸缩小为100 cm×94 cm时, σ_1 、 σ_r 、 τ_{max} 分别降低为0.747 MPa、0.997 MPa和0.576 MPa,减小幅度分别达到了70.0%、57.3%和56.2%。计算结果表明,将水泥混凝土路面板断裂分解成小板块后,沥青加铺层的耦合应力也随之大幅度降低。

图8为路面板断裂尺寸100 cm×94 cm时沥青加铺层的荷载应力、温度应力及耦合应力对比图。由图8可看出,沥青加铺层的耦合应力值介于荷载应力与温度应力值之间,说明在降温过程中,受温度梯度的影响,水泥混凝土路面板产生向上的翘曲变形,使接缝产生张开变形,而接缝附近车辆荷载的作用又部分抵消了混凝土板的翘曲变形。因此,沥青加铺层的耦合应力要略小于仅由温度作用时所产生的温度应力。

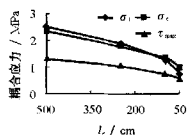


图7 沥青加铺层耦合应力随路面板断裂尺寸 L 的变化

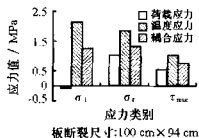


图8 沥青加铺层荷载应力、温度应力及耦合应力对比图

4 结语

(1)路面板断裂尺寸对沥青加铺层荷载应力有一定的影响,加铺层等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{max} 随路面板断裂尺寸的减小略有降低。路面板断裂尺寸对基层顶面的压应力影响较大,基层顶面的压应力随路面板断裂尺寸的减小而增大。

(2)路面板断裂尺寸对沥青加铺层的温度应力及耦合应力的影响程度要远大于对荷载应力的影响程度,随着路面板断裂尺寸的减小,沥青加铺层的温度应力及耦合应力迅速降低,接缝或裂缝处应力集中现象明显减弱。

(3)综合考虑路面板不同断裂尺寸对加铺层荷载应力、温度应力、耦合应力及基层顶面压应力、接缝两侧的弯沉及弯沉差等的影响,采用中压技术断裂稳固水泥混凝土路面板时,路面板的断裂尺寸选为80~100 cm是较合理的。

参考文献:

References:

- [1] 李华, 缪昌文, 金志强. 水泥混凝土路面修补技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.
LI Huan, MIAO Chang-wen, JIN Zhi-qiang. Repair Technique of Old Concrete Pavement[M]. Beijing: People's Communications Press, 1997.
- [2] 姚祖康. 路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
YAO Zu-kang. Highway Pavement[M]. Beijing: People's Communications Press, 1999.
- [3] 王辉, 武和平. 沥青路面按弯沉等效轴载换算的研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 19-21.
WANG Hui, WU He-ping. Research on Axle Exchange Based on Deflection Equivalent for Asphalt Pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1): 19-21.
- [4] 陈先华, 黄卫, 王建伟, 等. 浇注式沥青混凝土铺装破坏原因[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 5-9.
CHEN Xian-hua, HUANG Wei, WANG Jian-wei, et al. Damage Causes of Mastic Asphalt Pavement on Orthotropic Steel Deck Plate[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(4): 5-9.
- [5] 苏凯, 武建民, 陈忠达, 等. 山区公路沥青路面基层推移破坏研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(3): 22-26.
SU Kai, WU Jian-min, CHEN Zhong-da, et al. Research on Cutting-slippage between Surface and Base about Mountain Asphalt Pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 22-26.
- [6] 马斌, 胡长顺. 超薄水泥混凝土路面结构设计方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(4): 1-5.
MA Biao, HU Chang-shun. Structure Design Method for Ultra-thin Whitetopping Pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(4): 1-5.