

文章编号: 0451—0712(2003)12—0062—03

中图分类号: U416. 217

文献标识码: A

具有柔性过渡层的沥青混凝土路面 半刚性基层顶部温度状况的理论模拟

胡 珊¹, 任瑞波², 栾 海¹, 王哲人²

(1. 吉林省公路勘测设计院 长春市 130021; 2. 哈尔滨工业大学交通科学与工程学院 哈尔滨市 150090)

摘 要: 半刚性基层沥青混凝土路面反射裂缝产生的原因之一是半刚性基层温度变化引起的, 半刚性基层和沥青混凝土面层之间加入柔性过渡层可有效地防止沥青混凝土路面出现反射裂缝。根据传热学原理, 采用有限单元法对吉林省通化试验路 3 种路面结构半刚性基层顶部温度状况进行了对比分析, 结果表明无论夏季或冬季, 柔性过渡层都能有效地改善沥青混凝土路面半刚性基层的温度状况, 从而减少或消除沥青混凝土路面出现反射裂缝。

关键词: 沥青混凝土路面; 半刚性基层; 柔性过渡层; 反射裂缝; 热传导; 温度场; 有限单元法

采用柔性过渡层能有效地消除或减少半刚性基层沥青混凝土路面出现反射裂缝, 原因之一是柔性过渡层改善了半刚性基层的温度状况^[1]。本文采用路面结构二维温度场有限元分析方法^[2], 对交通部优秀青年专业技术人才专项经费资助项目吉林省通化试验路的 3 种路面结构半刚性基层顶部冬季和夏季温度状况进行了对比分析, 3 种路面结构如图 1、图 2 和图 3 所示。其中, 路面结构 1 采用大粒径沥青碎石和级配碎石作为柔性过渡层, 路面结构 2 只采用级配碎石作为柔性过渡层, 路面结构 3 为常规不设柔性过渡层的半刚性基层沥青混凝土路面结构。

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
AM-30	10 cm
级配碎石	15 cm
二灰土	30 cm
砂砾	15 cm
土基	

图 1 通化试验路路面结构 1

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
级配碎石	20 cm
二灰碎石	25 cm
砂砾	25 cm
土基	

图 2 通化试验路路面结构 2

上面层 SMA16	4 cm
下面层 AC25- I	6 cm
二灰碎石	25 cm
二灰土	15 cm
砂砾	30 cm
土基	

图 3 通化试验路路面结构 3

1 温度场计算理论

1.1 热传导方程^[3,4]

假设 N 层路面结构如图 4 所示, 各层的导热系数、导温系数和密度不随温度的变化而变化, 则路面结构的二维瞬态温度场热传导方程如下:

收稿日期: 2003—09—09

应用, 收到良好的效果, 因而其他高速公路面层养护维修也采用 FC—13 级配。

参考文献:

[1] 沙庆林. 弯拉板桥沥青混凝土的重大影响[J]. 国外公

路, 2001, 21(1).

[2] 张婧娜. 基于数字图象处理技术的沥青混合料微观结构分析方法研究[D]. 上海: 同济大学道路与交通工程系博士学位论文, 1999.

$$\begin{cases} \frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right) & 0 \leq y \leq H_1 \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right) & H_1 \leq y \leq H_2 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial T_n}{\partial t} = a_n \left(\frac{\partial^2 T_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_n}{\partial y^2} \right) & H_{n-1} \leq y \leq H_n \end{cases} \quad (1)$$

式中: $H_i = \sum_k^i h_k$; t 为时间变量, h; T_i 为温度变量, 随 x 、 y 和 t 变化; a_i 为各层的导温系数, 根据传热学原理, 各层导温系数 a_i 、导热系数 λ_i 、比热 c_i 和密度 ρ_i 之间关系式为 $a_i = \lambda_i / (c_i \rho_i)$ 。

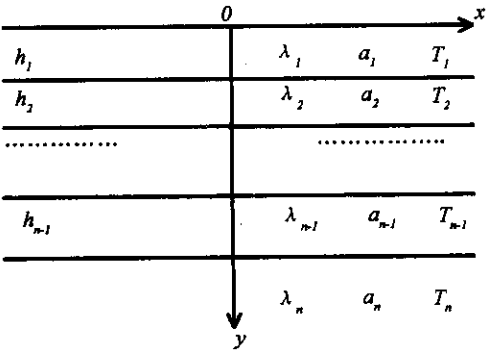


图 4 路面结构截面示意

1.2 层间接触边界条件

设路面各结构层接触良好, 则在层间接触的上、下 2 层温度 T_i 、 T_{i+1} 以及热流是连续的, 则有:

$$\begin{cases} \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \Big|_{y=H_1} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \Big|_{y=H_1} \\ T_1 \Big|_{y=H_1} = T_2 \Big|_{y=H_1} \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \Big|_{y=H_2} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} \Big|_{y=H_2} \\ T_2 \Big|_{y=H_2} = T_3 \Big|_{y=H_2} \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_{n-1} \frac{\partial T_{n-1}}{\partial y} \Big|_{y=H_{n-1}} = \lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial y} \Big|_{y=H_{n-1}} \\ T_{n-1} \Big|_{y=H_{n-1}} = T_n \Big|_{y=H_{n-1}} \end{cases}$$

1.3 路表面边界条件

路表暴露在大气作用当中, 不可避免地要经受气温对流换热、太阳辐射和路面有效辐射的作用。对于路面有效辐射, 根据文献[5], 采用扩大气温振幅的方法来考虑其对路面结构的影响。考虑路面有效辐射后的气温日变化可表示为:

$$T_a(t) = \overline{T_a} + (\tilde{T}_a + C_F \alpha_s) (0.96 \sin(\omega(t - t_0)) + 0.146 \sin(2\omega(t - t_0))) \quad (2)$$

式中: $T_a(t)$ 为考虑有效辐射影响后的计算气温, $^{\circ}\text{C}$; t 为时间, 早晨 6 点时 $t=0$, h; $\overline{T_a}$ 为日平均气温, $\overline{T_a} = \frac{1}{2} (T_a^{\max} + T_a^{\min})$, $^{\circ}\text{C}$; \tilde{T}_a 为气温振幅, $\tilde{T}_a = \frac{1}{2} (T_a^{\max} - T_a^{\min})$, $^{\circ}\text{C}$; T_a^{\max} 、 T_a^{\min} 为日最高气温和最低气温, $^{\circ}\text{C}$; ω 为频率, 当 t 以小时计时, $\omega = \frac{\pi}{12} (1/\text{h})$; t_0 为最大太阳辐射与最高气温出现时间差加 1, 一般情况下该时间差为 2 h, 故 $t_0=3$, h; C_F 为考虑有效辐射的影响系数, 晴天为 5, 阴天为 2, $^{\circ}\text{C}$; α_s 为路面材料对太阳光的吸收率, 与路表面的粗糙度有关, 根据实测[5], 本文取值为 0.85。

对太阳辐射的影响, 采用文献[5]的方法, 日最大辐射 Q_0 取太阳日总辐射 Q 的 0.131 倍, 路表面吸收的热量等于太阳辐射乘以路表面的热吸收率 α_s 得出, 这样每时刻作用在路表面的热量 $Q(t)$ 可表示为:

$$\begin{cases} Q(t) = \frac{Q_0 \alpha_s}{\pi} + \frac{Q_0 \alpha_s}{2} \sin \omega t + \frac{2 Q_0 \alpha_s}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{1 - (2k)^2} \cdot \sin(2k\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (n = 1) \\ Q(t) = \frac{Q_0 \alpha_s}{n\pi} + \frac{2n Q_0 \alpha_s}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{\pi k}{2n}}{n^2 - k^2} \sin(k\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{k\pi}{2}) \quad (n \neq 1) \end{cases}$$

式中: $n = \frac{12}{c}$, c 为当日实际日照时间, c 的单位为 h; 其他符号意义同前。

路表面对流换热热量 $P(t)$ 按牛顿公式确定为: $P(t) = B(T_a(t) - T_0(t))$

式中: B 为路表面对流换热系数, 与风速有关[5,6], 可查表 1 得出; $T_0(t)$ 为 t 时刻路表温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 对流换热系数取值

风速/(m/s)	$B/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}))$	
	光滑表面	粗糙表面
0	5.129	5.850
0.5	7.967	8.711
1	9.932	10.734
2	13.723	14.724
3	17.526	18.771
4	21.306	22.841
5	25.039	26.865
6	28.680	30.831
7	32.238	34.692
8	35.716	38.460
9	39.100	42.147
10	42.415	45.869

2 通化试验路 3 种路面结构半刚性基层顶部温度日变化计算结果比较

采用有限单元法对式(1)进行离散并施加边界条件,计算时采用平面四结点单元^[7]。根据文献^[5]和^[6],3 种路面结构各层材料参数取值见表 2。通过气象部门了解到,近年来吉林省通化地区 6 月份(夏季)和 1 月份(冬季)某日典型气候条件见表 3。

3 种路面结构半刚性基层顶部温度日变化计算结果如图 5 和图 6 所示,路面结构 1 半刚性基层顶部是指二灰土顶部,路面结构 2 和路面结构 3 是指二灰碎石顶部。

表 2 3 种路面结构各层材料参数取值

材料	$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot\text{C}))$	$C/(\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{C}))$	$\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$
SMA16	1.163	921.10	2 150
AC25-I	1.163	921.10	2 150
AM-30	1.163	921.10	2 150
级配碎石	1.396	921.10	1 800
二灰碎石	1.163	1 004.83	1 900
二灰土	1.163	1 004.83	1 800
砂砾	1.396	921.10	1 800
土基	1.396	1 046.7	1 600

表 3 吉林省通化地区 6 月份(夏季)和 1 月份(冬季)某日典型气候条件

	最高气温 T_a^{\max}/C	最低气温 T_a^{\min}/C	太阳总辐射 $Q/(\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d}))$	风速 $v/(\text{m}/\text{s})$	日照时间 c/h
6 月份	32	16	24	2	11
1 月份	-10	-20	10	2	7

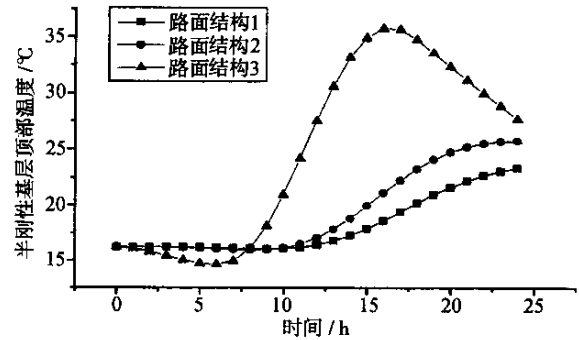


图 5 6 月份(夏季)某日典型气候条件下 3 种路面结构半刚性基层顶部温度变化情况

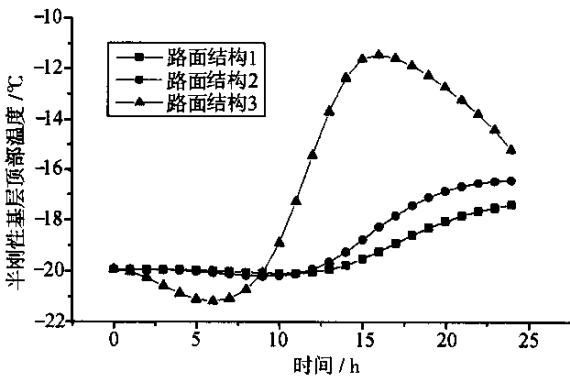


图 6 1 月份(冬季)某日典型气候条件下 3 种路面结构半刚性基层顶部温度变化情况

3 结论

(1)当不设柔性过渡层时(路面结构 3),半刚性基层顶部温度日变化幅度比设柔性过渡层时(路面结构 1 和路面结构 2)大得多;6 月份(夏季)路面结构 3 温度日变化幅度为 18℃左右,路面结构 1 和路面结构 2 变化幅度分别为 6℃和 8℃左右;1 月份(冬季)路面结构 3 温度日变化幅度为 10℃左右,路面结构 1 和路面结构 2 变化幅度分别为 2℃和 3℃左右。

(2)大粒径沥青碎石和级配碎石(柔性过渡层)的隔离作用,大大改善了半刚性基层的温度和湿度变化(尤其是温度),极大地消除或减轻了半刚性基层的温缩和干缩,减少了沥青混凝土路面的反射裂缝。

参考文献:

[1] 何兆益. 半刚性路面防止裂缝及其路用性能研究[D]. 东南大学博士论文,1997.

[2] 王勛成,邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 清华大学出版社,1997.

[3] 朱谷君. 传热传质学[M]. 航空工业出版社,1990.

[4] 吴赣昌. 半刚性路面温度应力分析[M]. 科学出版社,1995.

[5] 严作人. 层状路面温度场分析[D]. 同济大学硕士论文,1982.

[6] 任瑞波. 潮湿路基温度场、湿度场和应力场的理论计算[D]. 哈尔滨建筑大学硕士论文,1996.

[7] 谭建国. 使用 ANSYS6.0 进行有限元分析[M]. 北京大学出版社,2002.

文章编号: 0451—0712(2003)12—0065—03

中图分类号: U415

文献标识码: B

低造价路面铺筑技术的探索与实践

于仁杰, 柴 广, 孙建民

(内蒙古晟昱公路工程监理有限公司 乌兰浩特市 137400)

摘 要: 西部地区受资金限制和交通量小的原因, 乡、村公路建设进度缓慢。本文针对不同地区的实际, 对现有乡、村公路路基进行整平或补强处理, 然后加铺简易沥青混凝土面层, 实现乡、村公路大量“黑色化”, 以缩短建设周期, 提高经济效益和社会效益。

关键词: 乡村公路; 排水系统; 路基强度; 简易沥青混凝土面层

2002年, 交通部在西部地区实施了“旗(县)通沥青道路工程”, 而今年的全国交通厅、局长会议上, 又确立了“用三年时间, 集中对西部地区县际之间、中部地区县乡之间和东部地区乡村之间的公路进行改建”的目标。这就意味着三年后, 西部地区将开始乡、村公路的大量建设。然而, 西部地区乡、村公路建设里程相当长(仅以内蒙古自治区兴安盟地区为例, 乡、村公路里程就为县际公路里程的3.6倍), 受资金限制和交通量小的原因, 不可能在短期内将其全部改建为较高等级的公路。因此, 如何提高现有乡、

村公路(主要是砂石路)的整体强度, 并在其上加铺简易沥青混凝土薄层, 实现乡、村公路“黑色化”(即低造价路面), 使其既能满足现有的交通运输的需要, 又能保证将来改建时节省投资且不影响技术标准的提高, 这是摆在我们每个基层公路建设者面前的重大课题。自1995年以来, 我们在内蒙古自治区交通厅的大力支持下, 经过不懈努力, 在低造价路面的铺筑技术方面, 进行了大胆的实践, 并取得了一些成功的经验。

收稿日期: 2003—09—22

Theoretical Simulation of Semi-Rigid Base Top Temperature on Asphalt Concrete Pavement with Flexible Transition Base

Hu Shan¹, Ren Rui-bo², Luan Hai¹, Wang Zhe-ren²

(1. Jinlin Provincial Highway Reconnaissance Design Institute, Changchun 130021, China;

2. School of Communications Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: One reason of semi-rigid asphalt concrete pavement reflecting cracks is caused by semi-rigid base temperature change. Flexible transition base between semi-rigid base and asphalt concrete surface could efficiently avoid or reduce reflecting cracks of asphalt concrete pavement. According to heat exchange theory, temperature status of semi-rigid base top in Tonghua test road of Jilin Province three kinds of pavements are contrasted by finite element method. The results indicate that flexible transition base could efficiently ameliorate temperature status of asphalt concrete pavement semi-rigid base, therefore it could reduce or avoid reflecting cracks of asphalt concrete pavement.

Key words: asphalt concrete pavement; semi-rigid base; flexible transition base; reflecting crack; heat exchange; temperature field; finite element method