

# 钢纤维混凝土路面板结构温度场一种近似计算

邵宝东, 程赫明

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 利用 Norsett 近似计算公式求解了钢纤维混凝土路面板结构的温度场, 文中没有考虑路面的表面换热系数及路表温度的变化, 并将所得公式编程计算. 计算结果表明钢纤维混凝土路面板结构的温度在其横截面沿厚度方向呈非线性分布.

关键词: 钢纤维混凝土; 温度场; Norsett 近似; 非线性分布

中图分类号: TB212 文献标识码: A 文章编号: 1007 - 855X(2003)04 - 0073 - 03

## An Approximate Calculation of the Temperature Field of SFRC Pavement Plank Structure

SHAO Bao-dong, CHENG He-ming

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: Norsett approximate formula is used to resolve the temperature field of SFRC pavement plank structure. The exchange - thermal coefficient in the surface of the road is not considered, and the formula gained is translated into programs to calculate. The results show that the temperature field of SFRC pavement structure is non - linearly distribution along its thickness direction.

Key words: SFRC; temperature field; Norsett approximate; non - linearly distribution

### 0 引言

在温度载荷的作用下, 钢纤维混凝土路面板结构内部会产生不均匀的温度场. 如何确定结构内部的温度分布, 是研究结构温度应力的前提. 本文不考虑路面的表面换热系数及路表的温度变化, 推导出结构温度场解析解的近似计算公式.

### 1 控制方程

首先假定路面结构为一均质半空间体系, 热量的流动沿着垂直于路面的方向, 经路面表面, 传入或传出路面结构. 文中所研究的钢纤维混凝土路面板位于整个路面结构的最上层, 顶面与大气直接接触, 底面与地基相接触. 假设某一时刻在深度为  $z$  的  $xy$  平面上的温度是均匀分布的, 则结构内部的温度  $T$  只是时间  $t$  和深度  $z$  的函数, 即

$$T = f(z, t) \tag{1}$$

则热传导微分方程<sup>[1]</sup>为:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (0 \leq z \leq L) \tag{2}$$

式中  $a = \lambda / c$  为温系数 ( $m^2/h$ );  $\lambda$  — 钢纤维混凝土的热传导率 [ $J/(m \cdot s \cdot h)$ ];  $c$  — 钢纤维混凝土的热容量系数 (比热) [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ];  $\rho$  — 钢纤维混凝土的密度 ( $kg/m^3$ );  $L$  — 钢纤维混凝土路面板的厚度 (m).

初始条件  $T_{t=0} = T_0$  (3)

边界条件  $T_{z=0} = T_A = \text{常数}$  (4)

收稿日期: 2002 - 12 - 09; 基金项目: 云南省自然科学基金项目 (项目编号: 2001A0008M); 云南省教育厅科技重点项目 (项目编号: 0012333).

第一作者简介: 邵宝东 (1971 ~), 男, 硕士, 讲师; 主要研究方向: 工程热应力.

其中:  $T_0$ —钢纤维混凝土路面的初始温度( );  $T_A$ —钢纤维混凝土路面表面的温度( )。

## 2 求解方程

为求解以上方程,引入新的参数

$$u = \frac{z}{2\sqrt{at}} \quad (5)$$

式(5)中:  $a$ —为导温系数( $\text{m}^2/\text{h}$ );  $z$ —温度计算点离开路面表面的距离(m);  $t$ —温度载荷作用的时间(h)。求得一般解<sup>[2]</sup>为:

$$T_z = C_1 e^{-u^2} du + C_2 \quad (6)$$

式中积分常数  $C_1, C_2$ , 可以根据初始条件和边界来确定, 在  $z = 0$  处

$$T_{z=0} = T_A = C_1 \left[ e^{-u^2} du \right]_{u=0} + C_2 \quad (7)$$

由于  $\left[ e^{-u^2} du \right]_{u=0} = 0$ , 所以,  $C_2 = T_A$ 。另外取深度为  $z = z_1$ , 时间  $t = 0$ , 则该点的温度等于钢纤维混凝土本身原来的温度  $T_0$ , 同路面表面的热源无关。此时  $u = \frac{z_1}{2\sqrt{at}} =$

$$T_{z=z_1} = T_0 = C_1 \left[ e^{-u^2} du \right]_{u=} + C_2 \quad (8)$$

将式(7)代入式(8)中,可解得

$$C_1 = (T_0 - T_A) = \frac{2}{\sqrt{a}} \quad (9)$$

将  $C_1, C_2$  值代入式(6),便得到了不考虑路面表面换热系数及路表温度变化时钢纤维混凝土路面热传导问题的解析解:

$$T_z = (T_0 - T_A) \frac{2}{\sqrt{a}} \int_0^u e^{-u^2} du + T_A \quad (10)$$

为计算式(10),现将式(10)中积分项  $\int_0^u e^{-u^2} du$  中的  $e^{-u^2}$  用 Norsett 近似计算式<sup>[3]</sup>代替:

$$e^{-u^2} = \sum_{k=0}^{n-1} L_k\left(\frac{1}{a}\right) \frac{(au^2)^k}{(1+au^2)^{k+1}} \quad (11)$$

其中:  $L_k(1/a)$  是  $1/a$  的  $k$  阶拉盖尔多项式; 由于取前两项算得的结果与实际情况相差很大,为增加计算的准确性,在这里作者取前三项,即

$$e^{-u^2} = L_0\left(\frac{1}{a}\right) \frac{1}{1+au^2} + L_1\left(\frac{1}{a}\right) \frac{au^2}{(1+au^2)^2} + L_2\left(\frac{1}{a}\right) \frac{(au^2)^2}{(1+au^2)^3} \quad (12)$$

其中:  $L_0\left(\frac{1}{a}\right) = 1; L_1\left(\frac{1}{a}\right) = 1 - \frac{1}{a}; L_2\left(\frac{1}{a}\right) = (2 - \frac{1}{a})^2 - 2, a = 1/(2 - \sqrt[3]{4})$ 。

则积分为:

$$\begin{aligned} \int_0^u e^{-u^2} du &= L_0\left(\frac{1}{a}\right) \int_0^u \frac{1}{1+au^2} du + L_1\left(\frac{1}{a}\right) \int_0^u \frac{au^2}{(1+au^2)^2} du + L_2\left(\frac{1}{a}\right) \int_0^u \frac{(au^2)^2}{(1+au^2)^3} du \\ &= L_0\left(\frac{1}{a}\right) \frac{1}{\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} + L_1\left(\frac{1}{a}\right) \left[ \frac{1}{2\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} - \frac{u}{2(1+au^2)} \right] \\ &\quad + L_2\left(\frac{1}{a}\right) \left[ \frac{3}{4} \left[ \frac{1}{2\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} - \frac{u}{2(1+au^2)} \right] - \frac{au^3}{4(1+au^2)^2} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

所以式(10)可以写成

$$T_z = (T_0 - T_A) \frac{2}{\sqrt{a}} \left\{ \begin{aligned} &L_0\left(\frac{1}{a}\right) \frac{1}{\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} + L_1\left(\frac{1}{a}\right) \left[ \frac{1}{2\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} - \frac{u}{2(1+au^2)} \right] \\ &+ L_2\left(\frac{1}{a}\right) \left[ \frac{3}{4} \left[ \frac{1}{2\sqrt{a}} \arctg \sqrt{au} - \frac{u}{2(1+au^2)} \right] - \frac{au^3}{4(1+au^2)^2} \right] \end{aligned} \right\} + T_A \quad (14)$$

(下转第78页)

3) 桁架斜拉式组合挂篮的材料用量如表2所示:

本例与菱形挂篮相比,主桁系统总重量减轻了约6t之多,且使用上,桁架斜拉式挂篮更适合于重载轻型悬臂浇筑施工。

## 5 结束语

桁架斜拉式组合挂篮是一种较为理想的重载轻型挂篮形式,在块件重量较大的大跨度桥梁的施工中有较大的优越性,尤其对保障山区大跨度桥梁混凝土浇筑质量有着极其重要的意义。由于该形式的挂篮还处于探讨阶段,故要应用于大跨度桥梁的施工,需做进一步的试验与检验,在今后实际施工过程中还要做进一步探索和总结实际经验,使之设计更趋合理。

表2 一套挂篮主桁工程数量表

构件名称	材料	长度/m	单重/t	数量	共重/t
前斜杆	I22b	7.43	0.271	2	0.542
后斜杆	I22b	7.43	0.271	2	0.542
立柱	HK300c	5.00	0.883	2	1.766
横联				1	1.821
主梁	2I36b	按13.0计	1.705	2	3.410
下纵梁	4I36a	按13.0计	3.120	2	6.240
前上横梁	2I32a	按6.5计	2.529	1	2.529
后上横梁	2I32a	按6.5计	2.529	1	2.529
主上横梁	2I45a	按6.5计	3.858	1	3.858
前下横梁	2I40a	按6.5计	1.756	1	1.756
后下横梁	2I40a	按6.5计	1.756	1	1.756
斜拉杆	300 ×60	14.12	1.98	2	3.96
合计					30.709

## 参考文献:

- [1] 李三珍,蒲怀仁,宁晓俊. 桁架三角型组合挂篮的可行性研究和设计[J]. 昆明理工大学学报, 2002, 27(5): 93~95.
- [2] 雷俊卿. 桥梁悬臂施工与设计[M]. 北京:人民交通出版社, 2000. 138~139; 145~149.
- [3] 赵青山. 菱形挂篮的研制及应用[J]. 施工技术, 1994, (5): 28~30.
- [4] 王武勤. PC桥梁悬臂灌注施工挂篮的发展[J]. 桥梁建设, 1997, (4): 55~57.

(上接第74页)

式(14)即为不考虑路面表面换热系数及路表温度变化时钢纤维混凝土路面板结构的温度场解析解的近似解。

## 3 计算结果

将(14)式编程计算,其中  $T_0 = 10$ ,  $T_A = 40$ , 钢纤维混凝土材料的热传导系数  $= 5.029.4 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{ )}$ , 密度  $= 2454 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 比热  $c = 910.8 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{ )}$ . 图1为利用式(14)计算所得的  $t = 1 \text{ h} \sim t = 4 \text{ h}$  时温度随路面板深度变化的结果;图2为利用式(14)计算所得的不同深度时温度随时间变化的结果。

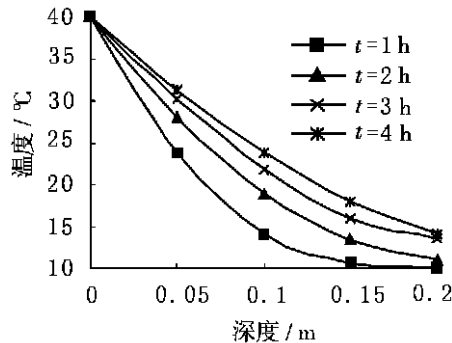


图1 不同时刻,温度随深度的变化

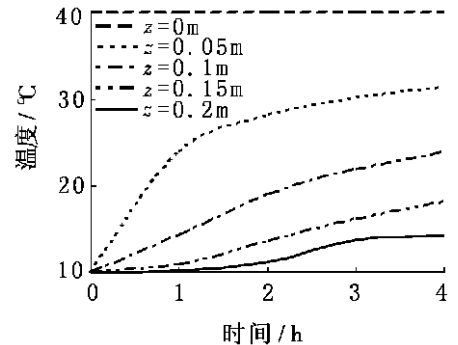


图2 不同深度处,温度随时间的变化

## 4 结论

从计算结果可以看出,钢纤维混凝土路面板结构的温度场沿路面板厚度方向呈非线性变换,而且,随着距离路面表面深度的增加,温度的变化逐渐变得缓慢,曲线呈下凸形,这与 Fritz Leonhardt 和 F. kenbeck 等学者得出得结论是一样的,同时也与实际情况相符合。

## 参考文献:

- [1] 王洪刚. 热弹性力学概论[M]. 北京:清华大学出版社, 1989. 168~178.
- [2] 邓学钧,等. 刚性路面设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1988. 138~145.
- [3] 刘北辰. 工程计算力学[M]. 北京:机械工业出版社, 1994. 345~346.