

文章编号:1671-8879(2007)01-0007-04

水泥混凝土路面板厚设计的温度应力系数计算

马 峰¹, 傅 珍¹, 沈月强²

(1. 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;

2. 西安方舟计算机有限责任公司, 陕西 西安 710068)

摘 要:针对编制水泥混凝土路面设计程序中的温度应力计算问题,给出了水泥混凝土路面厚度设计中温度应力系数的数值计算方法。首先从诺模图读取关键数据点,然后使用内插方法计算温度翘曲应力系数 C_x 与综合温度应力系数 B_x ,以 Delphi 7.0 为开发工具编制相应设计程序,并进行了验算。结果表明,该方法计算结果与查诺模图得出结果相比,其相对误差在 3% 以内,能够满足工程设计的要求,从而减小了人为因素的影响,提高了设计效率。

关键词:道路工程;水泥混凝土路面;厚度;设计;温度应力系数计算

中图分类号:U416.216

文献标志码:A

Calculation of temperature stress coefficient on board thickness design of cement concrete pavement

MA Feng¹, FU Zhen¹, SHEN Yue-qiang²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xi'an Fangzhou Computer Co Ltd, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: This paper puts forward a simple method to calculate temperature stress coefficient in the procedure of board thickness design of cement concrete pavement. Firstly, the key data are obtained from the nomogram, then temperature warp stress coefficient C_x and integration temperature stress coefficient B_x are determined by interpolation. At last, the program is developed by Delphi 7.0 to calculate the board thickness of cement pavement. The result shows that this method meets the requirement of engineering with relative error range in 3%, and it can improve the efficiency of design. 5 tabs, 13 refs.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; thickness; design; temperature coefficient calculation

0 引 言

综合温度应力系数 B_x 是由设计人员手工查诺模图确定的,导致温度应力的计算结果不唯一,增大了人为因素对设计结果的影响。同时,这种方法也

不利于编制计算机设计程序。由于查诺模图增加了人为因素对设计结果的影响,文献[1]改进了基层顶面回弹模量的计算方法,由原来的诺模图改为公式计算。但是, B_x 综合了温度翘曲应力和内应力的作用,并考虑了两者的非同步性^[2-8],使温度应力计算

收稿日期:2005-10-25

基金项目:河南省交通科技项目(2003P106)

作者简介:马 峰(1978-),男,安徽宿州人,博士研究生, E-mail: mafeng524@126.com。

非常复杂和不规则,目前还没有提出计算公式。鉴于这种情况,文献[1]⁴²仍然采用了查诺模图确定 B_x 的计算方法。板厚的设计过程,沿用推荐厚度范围,选择具体厚度值,在某一确定的变异水平下,以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态进行验算。 B_x 的确定成为编制混凝土路面设计程序的一个难点。文献[9]提出了分段进行数学回归拟合 B_x 的数学方程,方法较为复杂并且没有提到双层板的温度应力计算。为此,本文提出了原理简单明确、方法简便易行的数值计算方法,并编制了界面友好、使用方便的水泥混凝土路面板厚度设计程序^[10-13]。

1 综合温度应力系数 B_x 的数值计算

在文献[1]⁴¹中,温度翘曲应力系数 C_x 是与板

长和刚度半径的比值 L/r 有关的函数,即 $C_x = f(L/r)$ 。 B_x 是 C_x 与厚度 h 有关的函数,即 $B_x = f(C_x, h)$,其中每个厚度值对应一条曲线,即对某一具体 h 值有 $B_x = f(C_x)$ 。现行的设计过程,也是按此顺序查诺模图确定 B_x 值。 $C_x = f(L/r)$ 曲线不规则, $L/r \leq 4.5$ 时曲线是单调递增的; $4.5 < L/r \leq 7.4$ 时曲线是单调递增的,但增长幅度变缓; $7.4 < L/r \leq 11$ 时,曲线是单调递减的。文献[10]¹⁵采用了分段回归的方法确定 C_x ,然后由经验公式得到 B_x 值。由于温度应力的计算综合考虑了混凝土板内应力与温度翘曲应力不同步的共同作用,用回归得到的显式公式进行计算,可能造成某些数据点误差较大,若提高精度必然导致函数分段过多,形式复杂。

将文献[1]⁴¹提出的 B_x 图扩大2倍后,读取数据点,建立曲线 $C_x = f(L/r)$ 的关系,如表1所示。

表1 C_x 与 L/r 读取诺模图数据

C_x	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25
L/r	0.300	0.475	0.620	0.760	0.860	0.924	0.942	0.968	0.990	1.012	1.020	1.048
C_x	6.50	6.75	7.00	7.25	7.40	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
L/r	1.048	1.056	1.062	1.068	1.070	1.063	1.059	1.055	1.048	1.042	1.036	1.030

对曲线变化幅度较大的 $4.5 < L/r \leq 7.4$ 段,采取增大数据点密度的方法,步长由0.5变为0.25,由此,曲线上的任一点都可以根据内插方法计算得到

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \tag{1}$$

采用同样的方法,对每个具体厚度值,建立曲线 $B_x = f(C_x)$ 的关系,数据点也是由扩大后的 B_x 读取得到,以 $h = 24$ cm为例,如表2所示,其他厚度值也可由同样方法得到。曲线上的任一点可以根据式(1)计算得到。

表2 B_x 与 C_x 读取诺模图数据($h = 24$ cm)

C_x	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
B_x	0.147	0.176	0.220	0.300	0.378	0.450	0.530	0.598	0.677

对双层混凝土板温度应力分析计算中,分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力计算式中的

表3 查诺模图与程序计算分别得到 C_x 数值

L/r	2.8	3.5	3.8	4.2	4.4	5.0	5.3	5.8	6.0	7.0	9.0
查诺模图 C_x 值	0.420	0.620	0.710	0.810	0.860	0.930	0.960	1.010	1.020	1.060	1.055
程序计算 C_x 值	0.413	0.620	0.704	0.808	0.856	0.924	0.950	0.994	1.012	1.062	1.055
误差	-0.007	0	-0.006	-0.002	-0.004	-0.006	-0.018	-0.016	-0.008	0.002	0

从表3数据可看出 C_x 的计算误差均小于2%,相比人工查诺模图的人为因素影响,这个误差还是可以接受的。从表4中的验算结果看,通过数据内插方法确定 B_x 的计算方法,其结果与通过文献

温度应力系数 B_{x1} 是由 B_x 修正得到的。确定修正系数 ξ_1 需要的 C_x 可由上述方法得到。文献[9]直接建立 B_x 与 L/r 的方法,忽略了 C_x 的计算,则不能处理这种情况。

2 验证分析

上述方法的计算结果精度与内插方法的原始数据点密度直接相关,现以表1、表2的数据关系编制相应的计算程序,随机抽取数据点进行验算。考虑到双层板混凝土板的温度应力分析,分别验算了 C_x 与 B_x 。表3为查诺模图与程序计算分别得到的 C_x 计算结果。表4中的数据在不同的路面板厚度情况下,分别选取3个 C_x 值:4.4、7、9,比较查诺模图与程序计算两种方法得到的 B_x 数值。

[1]⁴²推荐的查诺模图法得到的结果,相对误差在3%以内,证明该方法能满足工程设计的要求,同时也解决了编制混凝土路面设计程序的关键问题。该方法操作简单,编制计算程序后,根据不同的厚度值

表 4 不同厚度下查诺模图与程序计算分别得到 B_x 数值				
厚度/cm	L/r	查诺模图 B_x 值	程序计算 B_x 值	误差
14	4.4	0.78	0.788 4	-0.011
	7.0	1.00	1.011 5	-0.012
	9.0	0.99	1.008 6	-0.019
16	4.4	0.71	0.698 8	0.016
	7.0	0.91	0.922 0	-0.013
	9.0	0.90	0.915 0	-0.017
18	4.4	0.64	0.637 8	0.003
	7.0	0.85	0.843 2	0.008
	9.0	0.84	0.836 1	0.005
20	4.4	0.60	0.587 4	0.021
	7.0	0.78	0.775 8	0.005
	9.0	0.77	0.769 5	0.001
22	4.4	0.53	0.523 0	0.013
	7.0	0.71	0.707 1	0.004
	9.0	0.69	0.701 2	-0.016
24	4.4	0.49	0.484 0	0.012
	7.0	0.65	0.647 0	0.005
	9.0	0.64	0.641 5	-0.002
26	4.4	0.43	0.437 6	-0.018
	7.0	0.59	0.592 1	-0.004
	9.0	0.58	0.586 8	-0.012
28	4.4	0.40	0.399 8	0.001
	7.0	0.55	0.547 6	0.004
	9.0	0.54	0.542 0	-0.004
30	4.4	0.37	0.363 8	0.017
	7.0	0.50	0.492 9	0.014
	9.0	0.48	0.487 7	-0.016
32	4.4	0.34	0.338 4	0.005
	7.0	0.46	0.455 3	0.010
	9.0	0.45	0.450 8	-0.002

选择分支入口,繁琐的计算过程就可完全由计算机完成,从而提高了设计效率。

3 水泥混凝土路面厚度设计程序

解决了 B_x 的数值计算问题后,以 Delphi 7.0 作为开发工具,实现水泥混凝土路面设计的程序化。程序界面为标准的 Windows 界面,数据输入界面友好,操作简单易学,方便直观;设计包括了温度应力、荷载应力及板厚设计值等,并且支持 Word 格式输出。本程序除了进行普通混凝土路面厚度设计、应力分析外,还可以进行双层混凝土板厚度设计与应力分析。

用编制的设计程序计算文献[1]⁸¹中例题,计算结果分析如表 5 所示。由表 5 可看出,温度疲劳应力程序计算结果的相对误差为 0.005 3,其中还包含了计算中舍入误差的影响。除了温度应力相关的计

表 5 主要计算结果比较			
项 目	文献[1] ⁸¹ 计算结果	程序计算结果	相对误差
标准轴载作用次数 N_e /万次	988.50	988.460 0	
基层顶面当量回弹 模量/MPa	165.00	165.550 0	0.003 3
综合温度应力系数 B_x	0.71	0.711 5	0.002 1
温度应力/MPa	2.13	2.133 1	0.001 5
温度疲劳应力/MPa	1.13	1.136 0	0.005 3
荷载疲劳应力/MPa	3.29	3.288 4	0.004 9

算,其余程序计算结果的误差主要是计算中舍入误差造成的,故本文设计程序的计算结果准确,可满足实际工程的需要。

4 结 语

(1)读取关键数据点,再以内插方法计算 B_x 代替查诺模图的方法,可以有效降低人为因素对设计结果的影响。

(2)本文方法简单易行,意义明确;计算精度建立在读取关键数据的基础之上,读取关键数据点的密度达到一定水平,完全可以满足工程设计的要求。编制的计算程序,通过与文献[1]⁴²推荐的查诺模图方法进行对比验证,误差均小于 3%。编制的水泥混凝土路面板厚度设计程序,可应用于路面设计,提高了设计效率。

(3)文献[1]⁴²中的温度应力计算,先确定 C_x ,再确定温度应力系数的方法,误差累计会降低数据精度。水泥混凝土路面设计程序中,温度应力系数的计算,也只能从图中读取数据进行回归或者内插计算。理想的解决方案是提出 B_x 的计算公式,如果现在研究水平难以提出计算 B_x 的公式,那么也可以采用以表格形式给出 B_x 的值,利用查表内插的方法计算 B_x ,可以减少人为因素的影响。

参考文献: References:

[1] JTG D40-2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
[2] 姚祖康.水泥混凝土路面设计理论与方法[M].北京:人民交通出版社,2003.
[3] 谈至明,姚祖康.非线性温度场下的水泥混凝土路面温度应力[J].中国公路学报,1993,6(4):9-17.
TAN Zhi-ming, YAO Zu-kang. Thermal stress in cement concrete pavements with non-linear temperature rerime[J]. China Journal Highway and Transport, 1993,6(4):9-17.
[4] 马 龔,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.
- [5] 谈至明, 姚祖康. 层间约束引起的双层水泥混凝土路面板的温度应力[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(1): 25-28.
- TAN Zhi-ming, YAO Zu-kang. Thermal stress in two-layer concrete slab due to restraint of interface[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1(1): 25-28.
- [6] 王 虎, 徐勤武. 混凝土桥水泥混凝土铺装荷载应力[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(3): 11-15.
- WANG Hu, XU Qin-wu. Load stress in concrete pavement on concrete bridges[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 11-15.
- [7] 陈拴发, 郑木莲, 杨 斌, 等. 破裂水泥混凝土路面板沥青加铺层温度应力影响因素[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(3): 25-30.
- CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, YANG Bin, et al. Thermal stress influence factors of asphalt overlay on cement concrete pavement cracking slab[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(3): 25-30.
- [8] 张占军, 王 虎, [胡长顺], 等. 水泥混凝土路面沥青铺装及防水层荷载弯曲应力分析[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 37-40.
- ZHANG Zhan-jun, WANG Hu, [HU Chang-shun], et al. Analysis of load bending stress of concrete bridge decks with asphalt pavement and water proofing layer[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 37-40.
- [9] 袁林阳, 张映雪, 杨智谋. 水泥混凝土路面板厚计算中温度应力系数 B_x 的数解法[J]. 公路, 2004, (2): 73-76.
- YUAN Lin-yang, ZHANG Ying-xue, Yang Zhimou. Mathematics analysis method of temperature stress coefficient B_x on calculation of board thickness of cement concrete pavement[J]. Highway, 2004, (2): 73-76.
- [10] 王 凯, 毛世怀. 公路水泥混凝土路面设计程序介绍[J]. 公路, 1995, (9): 15-18.
- WANG Kai, MAO Shi-huai. Introduction of program of concrete pavement design[J]. Highway, 1995, (9): 15-18.
- [11] 陈拴发, 高 蕾, 董小坤. 高性能混凝土配合比设计参数对温缩系数的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(4): 1-4.
- CHEN Shuan-fa, GAO Lei, DONG Xiao-kun. Influence of mix-designed parameters on temperature shrinkage features of high performance concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(4): 1-4.
- [12] 钟 铭, 王海龙, 王海良. 高强混凝土梁在疲劳荷载作用下的裂缝宽度计算[J]. 中国公路学报, 2005, 18(4): 48-53.
- ZHONG Ming, WANG Hai-long, WANG Hai-liang. Calculation of crack width of high-strength concrete beams under fatigue loading[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(4): 48-53.
- [13] 孙兴媛. 水泥混凝土路面质量病害问题探讨[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(2): 35-37.
- SUN Xing-yuan. Discussion of cement concrete pavement disease[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, 22(2): 35-37.

《长安大学学报》(自然科学版)2007 年征订通知

《长安大学学报》(自然科学版)系中华人民共和国教育部主管、长安大学主办的学术性双月刊,她在中国乃至世界范围内的公路交通科技领域具有广泛的影响,她是中国期刊方阵“双效”期刊,国务院学位委员会、国家教育部学位与研究生教育中文重要期刊,《中文核心期刊要目总览》(第四版)鉴定的中国公路运输类核心期刊,中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),EI 固定刊源,国际道路科研信息(IRRD)书目文献数据库固定刊源,中国道路文献服务中心(CRDS)核心报道期刊,自 1981 年创刊以来多次获国家交通部、教育部和陕西省奖励。

《长安大学学报》(自然科学版)以繁荣公路交通科技为己任,促进公路交通科技交流和转化。她主要刊载道路工程、桥梁工程、交通工程、隧道工程、汽车工程、筑路机械、交通控制、交通运输管理、基础学科等具有国内先进水平的论文,同时刊载公路交通科技动态方面的简要评述和通讯。

《长安大学学报》(自然科学版)的主要读者对象为大专院校师生、公路交通科研人员、公路交通管理决策人员、公路交通领域的勘测、设计和施工单位的技术人员。

《长安大学学报》(自然科学版)全年 6 期,大 16 开本,112 页,欢迎订阅,各地读者可在当地邮局订阅,每期定价 10.00 元,全年定价 60.00 元。

地 址:西安市南二环路中段,《长安大学学报》(自然科学版)编辑部

国内邮发代号:52-137

国外发行代号:BM5720

电 话:(029)82334383

邮政编码:710064

E-mail: xuebao@chd.edu.cn