

文章编号:1671-6833(2010)04-0011-04

非稳对流模式下混凝土箱梁内生热场与计算方法

张 岗, 贺拴海

(长安大学 交通行业旧桥检测与加固重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要: 针对高墩混凝土箱梁墩顶块水化热温度场分布状况, 考虑风速的影响, 建立了非稳定对流热传导模式, 利用有限元程序对8种风况的混凝土箱梁水化热温度场进行分析, 总结了非稳定对流模式下混凝土箱梁墩顶块水化热温度场的分布规律, 利用 MATLAB 分布拟合温度峰值和温差峰值随风速变化的计算公式。研究表明: 非稳定计算模式适合计算高墩混凝土箱梁墩顶块的水化热温度场; 水化热温升效应明显、衰减缓慢、约48 h达到温度峰值; 风速影响各个时间点的水化热温度数值, 然对其变化趋势无影响, 风速对温升影响小, 对温度的衰减影响大; 随着风速的增大, 水化热温度衰减趋势逐渐降低, 薄厚差异明显的结构温度衰减具有阶跃现象; 当风速较大时, 温度衰减变化幅度减小, 有靠拢之趋势; 风速对温差峰值的影响与风速对温度峰值的影响呈相反趋势; 温差64 h左右达到峰值、其值约24℃; 减小风速, 有利于控制温差, 旨在达到控制温度应力的目的。

关键词: 桥梁工程; 混凝土箱梁; 高墩; 水化热; 风速; 温度场; 计算方法

中图分类号: U441.5 **文献标识码:** A

0 引言

混凝土箱梁墩顶块在浇注过程中, 由于混凝土是多相材料的混合物, 受水泥水化热反应的影响, 导致混凝土各相界之间产生微裂纹, 叠加后期施工及运营等不稳定因素的相互作用, 微裂纹继而失稳扩展, 形成贯通, 给结构的安全生产和安全服役带来不利结果。刘文燕^[1]探讨了混凝土表面对流换热系数的测试方法、建立了风速与对流换热系数之间的关系; 同济大学张建荣^[2]采用多种方法反复测试了混凝土的表面对流换热系数, 由实验结果回归分析得到混凝土表面受迫对流换热系数、混凝土表面热辐射系数、混凝土表面总热交换系数的计算公式; 王志春^[3]运用统计软件对全国部分地区不同高度的风速进行了参数估计; 外国学者^[4-6]对混凝土水泥水化热反应机理、不同材料配合状况下的水化热效应及开裂状况进行了试验分析。笔者^[7-11]根据对不同墩高度的连续梁和刚构桥的监控资料, 建立了时变对流热传导模式, 利用 ANSYS 分别对时变对流换热系数下和稳定对流换热系数下混凝土箱梁墩顶块水化热温度场进行了分析, 总结了时变对流模式下混凝土箱

梁墩顶块水化热温度场的分布规律。总之, 有关混凝土的水化热反应研究颇多, 但对各种风速影响下的混凝土箱梁墩顶块水化热温度场分布研究资料匮乏, 笔者综合风速对对流热传导模式的影响, 建立了非稳定对流热传导模式, 对不同风况下高墩混凝土箱梁墩顶块的内生热场分布进行了研究, 总结了温度峰值与温差峰值和风速之间的变化规律从而控制温度应力, 以指导施工。

1 非稳定对流模式

依据变分原理^[7-10], 任意时刻温度场子域的计算取如下泛函数:

$$\iiint_{\Delta\Omega} \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial T(t)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T(t)}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T(t)}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{\rho}{kc} \left(\frac{\partial T(t)}{\partial t} - \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} \right) T(t) dx dy dz + \iint_{\Delta\Gamma} \left(\frac{1}{2} \frac{\beta}{k} T^2(t) - \frac{\beta}{k} T(t) T_*(t) \right) ds = 0 \quad (1)$$

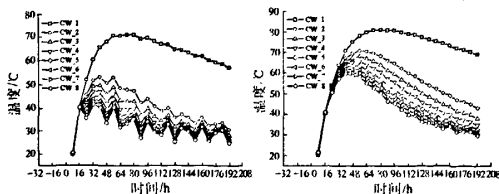
式中: k 为导热系数; c 为比热容; ρ 为密度; $\theta(t)$ 为绝热温升; $T_*(t)$ 为环境温度, 按现场温度测试值得到; $T(t)$ 为域温度函数; β 为放热系数; ds 为面积微元; $\Delta\Omega$ 为空间域; $\Delta\Gamma$ 为域之边界。边界条件

收稿日期: 2010-01-10; 修订日期: 2010-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50908017); 中央高校基本科研业务专项资金项目(CHD2009JC015)

作者简介: 张岗(1980-), 男, 博士后, 长安大学讲师, 研究方向为桥梁结构热效应研究与安全评价, E-mail: zhangg_2004@126.com.

温度和最大温度时程曲线。



(a) 最小温度

(b) 最大温度

图3 顶层浇注时的最小温度和最大温度时程曲线

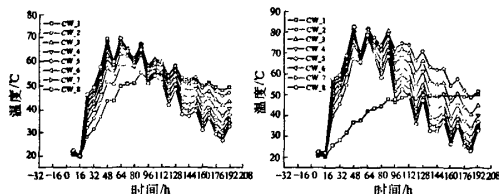
Fig.3 Time - dependent curves of the min and max temperature for the upper casting

由图3可知,顶层混凝土浇注时的最小温度和最大温度时程曲线与底层混凝土浇注状况相似。顶层混凝土水化热温度时程曲线受风速影响比底层混凝土水化热温度时程曲线受风速影响大,然各个风况下水化热时程曲线走势相同;因墩顶块顶层结构有翼缘板、薄厚差异较大,风速为1.0 m/s时各时间点水化热温度远高于其它风况值,风速对升温曲线部分影响小,对衰减部分影响大;相对于底层温度时程曲线,当风速超过2.0 m/s时后,顶层水化热温度衰减曲线具有阶跃现象,靠拢趋势明显。

5 时程温差

混凝土箱梁墩顶块按施工程序分两层浇注,分别研究不同风况下两层浇注的最高温度差值。 $B_ΔT_{max}$ 和 $T_ΔT_{max}$ 分别为顶底层浇注时的最大温度差值。

图4为混凝土箱梁墩顶块顶底层浇注时的温差峰值时程曲线。由图4可知,风速对温差峰值的影响与风速对温度峰值的影响呈相反趋势。随着风速的增加,温差峰值相对各风况时间点值增大;温差峰值曲线包括升温曲线和降温曲线两部分,升温曲线较陡,64 h左右达到峰值,其最大值约为24℃,降温曲线平缓,与温度曲线变化规律相似,受温度最小值的影响,温差时程曲线呈波折状变化。



(a) $B_ΔT_{max}$

(b) $T_ΔT_{max}$

图4 顶底层浇注时的温差峰值时程曲线

Fig.4 Time - dependent curves of the temperature difference for the upper and floor casting

6 公式提出

利用MATLAB编制程序对混凝土箱梁墩顶块水化热温度峰值与温差峰值受风速影响的曲线进行拟合,得到实用公式。

$$T_{max} = av^2 - bv + c \quad (6)$$

式(6)为温度峰值随风速变化的计算公式,式中 a, b, c 分别为实用公式的系数,各系数值参见表2,其余值可采用内插外延的方法求得。

表2 公式参数

Tab.2 Formula parameters

参数	a	b	c	R^2
Coef1	0.290 4	-5.166 8	81.948 0	0.980 8
Coef2	0.104 0	-2.809 0	78.389 1	0.999 9

注: R^2 为相关系数。

$$\Delta T_{max} = d \ln v + e \quad (7)$$

式(7)为温差峰值随风速变化的计算公式,式中 d, e 分别为实用公式的系数,其值分别为4.675 3, 14.725, 相关系数 R^2 为0.967 5。

由公式(6)可知,温度峰值随着风速的增加而减小;由公式(7)可知,温差峰值随着风速的增加而增大,因此,减小风速,有利于控制温差峰值和温差应力。

7 结论

(1)非稳定计算模式考虑了风速的影响,适合于高墩混凝土箱梁墩顶块的水化热温度场分析,能够描绘出不同风况下高墩混凝土箱梁墩顶块的水化热温度场分布。

(2)水化热升温快、降温慢、约48 h达到温度峰值;最小温度值出现在混凝土结构的边缘,受环境温度和相邻温度区传热的影响,温度变化呈波折状态;最大温度值出现在混凝土结构的内部,温度变化平滑。

(3)风速对各个时间点的水化热温度值影响较大,对温度变化趋势无影响,风速对升温影响小,对衰减部分影响大;随着风速的增大,水化热温度衰减趋势相对走低,薄厚差异明显的结构温度衰减具有阶跃现象;当风速达到一定程度后,温度衰减变化幅度减小,并有靠拢之趋势。

(4)风速对温差峰值的影响与风速对温度峰值的影响呈相反趋势;随着风速的增加,温差峰值相对各风况时间点值增大;温差峰值上升较快,64 h左右达到峰值,其最大值约为24℃;减小风速,

有利于控制温差峰值和温差应力。

(5) 利用 MATLAB 分布拟合了温度峰值随风速变化的计算公式和温差峰值随风速变化的计算公式,两公式的系数可直接反映出温度峰值和温差峰值随风速的变化规律。

参考文献:

- [1] 刘文燕,黄鼎业,华毅杰.混凝土表面对流换热系数测试方法探讨[J].四川建筑科学研究,2004,30(4):87-89.
- [2] 张建荣,刘照球.混凝土对流换热系数的风洞实验研究[J].土木工程学报,2006,39(9):39-43.
- [3] 王志春,宋丽莉,何秋生,等.风速随高度变化的曲线拟合[J].广东气象,2007,29(2):13-15.
- [4] MO L W, DENG M. Thermal behavior of cement matrix with high-volume mineral admixtures at early hydration age[J]. Cement and Concrete Research, 2006, 36(10):1992-1998.
- [5] SONG H W, KWON S J, BYUN K J, et al. Park predicting carbonation in early-aged cracked concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2006, 36(5):979-989.
- [6] SCHUTTER G D. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws[J]. Computers and Structures, 2002, 80(2):2035-2042.
- [7] 张岗,贺拴海,宋一凡.混凝土箱梁水化热温度损伤修正耦合方法[J].交通运输工程学报,2008,8(1):13-17.
- [8] 张岗,贺拴海,宋一凡.混凝土箱梁水化热温度损伤安全评价模型研究[J].安全与环境学报,2007,7(4):143-147.
- [9] 张岗,任伟,贺拴海,等.箱梁水化热温度场时效模式及时变应力场[J].长安大学学报:自然科学版,2008,28(4):51-56.
- [10] 张岗,贺拴海.时变对流模式下混凝土厚壁结构内生热场分布[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(2):64-69.
- [11] 张岗,王新敏,贺拴海.子模型技术在混凝土箱梁悬臂板分析中的应用[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(4):28-32.

Distribution of Hydration Heat Temperature Fields for Concrete Thick-wall Box Girders Exposed to Non-stable Convection Model and its Calculation Methods

ZHANG Gang, HE Shuan-hai

(Key Laboratory of Old Bridge Detection and Reinforcement Technique in Traffic Industry, Chang'an university, Xi'an 710064, China)

Abstract: Being aimed to temperature fields distribution problem of concrete box girders on high piers, the wind speed was considered, the non-stable convection heat conduction model was built, finite element procedure was applied to analyze hydration heat temperature distribution for concrete box girders under condition of the eight kinds of winds speed, the distribution laws of hydration heat temperature distribution for concrete box girders under non-stable convection heat conduction was generalized. The procedure of MATLAB was applied to fit a formula for the peak value of temperature and temperature difference with variation of wind speed. The results indicated: non-stable convection heat conduction model is suitable for the calculation of hydration heat fields of concrete box girders on high piers; temperature rise effect of hydration heat is obvious, attenuation is gradual, temperature peak value is reached in the 48th hour, wind speed has an influence on hydration heat temperature value in each time, has little influence on its variation tendency, has a little influence on temperature rise, has little influence on temperature attenuation; with increment of wind speed, attenuation tendency becomes low, phase phenomenon occurs about temperature attenuation for structures with obvious thickness; while wind speed is violent, the attenuation argument becomes low, and they are close to each other; the influence of wind speed on temperature peak value and temperature difference peak value present reverse tendency; the temperature difference peak value can reach 24℃ near the 64th hour; the temperature can be controlled by decreasing wind speed, Therefore, the plural stresses are decreased.

Key words: bridge engineering; concrete box girder; high pier; hydration heat; wind speed; temperature field; calculation method