

Hydration Heat Effect of the Ultra-Wide Separated Concrete Box Girder in the Winter Construction

Weiping Xie

Gansu TieKe Construction Engineering Consulting Co. Ltd., Lanzhou Gansu
Email: 953588858@qq.com

Received: May 7th, 2017; accepted: May 22nd, 2017; published: May 27th, 2017

Abstract

Based on the hydration heat effect of the ultra-wide separated concrete Box Girder in the winter construction, and combining field test with theoretical analysis, this article draws the conclusion that decreasing the temperature about injecting concrete into mold reasonably does good to controlling temperature difference of concrete hydration heat and can decrease the cold damage after taking effective thermal insulation measurement. Through monitoring the concrete inside, outside, and environmental temperature, we obtain the effective method about controlling the crack quantities and promoting the anti-freezing characteristic of the concrete in the low temperature simultaneously. The results of this research have guiding significance to controlling the crack quantities in the construction.

Keywords

Ultra-Wide Box Girder, Winter Construction, Hydration Heat, Theoretical Analysis, Application

超宽分离式混凝土箱梁冬季施工水化热效应研究

谢维平

甘肃铁科建设工程咨询有限公司, 甘肃 兰州
Email: 953588858@qq.com

收稿日期: 2017年5月7日; 录用日期: 2017年5月22日; 发布日期: 2017年5月27日

摘 要

本文通过对超宽分离式箱梁在冬季混凝土施工过程中水化效应的现场实测, 结合现场实验及理论分析,

合理降低混凝土入模浇筑温度, 使有利于控制混凝土水化热的温差, 在采取有效的保温措施后降低早期冻害风险, 通过对混凝土内部、表面、环境的温度监测, 得出既可以控制裂纹又可以控制低温环境下混凝土不受冻的措施与方法, 研究结果对混凝土表面的裂纹控制在施工中有指导意义。

关键词

超宽箱梁, 冬季施工, 水化热, 理论分析, 应用

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

随着密索体系斜拉桥的出现, 主梁越来越纤细, 主梁横截面形式从传统的封闭式箱形断面逐步向扁平的双主肋断面演变。分离式混凝土箱梁具有抗扭刚度大、抗风性能好等优点而适用于城市斜拉桥主梁。由于分离式混凝土箱梁顶板较宽, 浇筑时温度散失较快; 而横隔板截面较高, 水化热较大[1] [2]。因此, 冬季施工时一方面要防止顶板混凝土出现早期冻害, 另一方面还要控制温差、防止横隔板出现裂缝。提高混凝土浇筑温度可以降低早期冻害的风险, 而降低混凝土浇筑温度又有利于控制混凝土水化热温差[3] [4]。因此, 选择合理的分离式混凝土箱梁冬季施工方法, 是解决防冻与防裂的主要途径。

目前, 大多学者对连续刚构和连续梁桥零号块浇筑过程中的温度场研究较多, 主要分析采用合理的施工方法、管冷措施等来降低零号块横隔板水化热[5] [6] [7] [8]。对于超宽分离式箱梁冬季施工水化热效应研究还比较少见。本文通过理论分析和现场实测对超宽分离式箱梁冬季施工水化热效应进行分析, 已指导现场施工。

2. 工程背景

西一大桥主跨结构形式为 120 m + 120 m 预应力混凝土独塔双索面斜拉桥, 主梁采用分离式混凝土箱梁开口截面, 箱梁顶面全宽 37.6 m, 箱梁中心处梁高 3.2m, 标准段箱梁顶板厚 30 cm, 底板以及两侧边腹板厚 40 cm, 外侧边腹板与顶板交汇处实体段为拉索锚固区与风嘴区, 合计厚 250 cm, 箱梁底板宽之和 8 m, 如图 1 所示。每 6 m 设置一道厚度为 50 cm 横隔梁。

主梁混凝土标号为 C55, 设计配合比(每立方混凝土各项材料用量)为水 149 kg、水泥 437 kg、矿粉 15 kg、粉煤灰 62 kg、砂 640 kg、石子 1137 kg、减水剂 7.71 kg。

主梁施工采用支架现浇, 标准施工节段为 18 m。支架模板采用厚度为 2 cm 的竹胶板, 冬季施工时, 主梁顶面采用厚度为 5 cm 棉被保温。

3. 水化热效应计算原理

混凝土水化热效应计算分温度场和应力场两部分[9]。大体积混凝土水化热早期温度场是一个随时间 t 和空间内(x,y,z)变化的有内热源的瞬态温度场, 其热传导方程为[1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q}{\rho c} \quad (1)$$

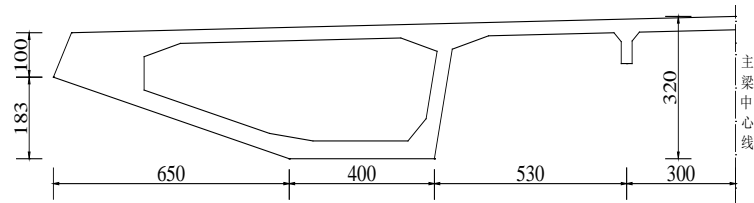


Figure 1. Main girder cross section arrangement
图 1. 主梁截面布置

式中, T 为混凝土瞬时温度, $^{\circ}\text{C}$; α 为导温系数, m^2/h ; c 混凝土比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$; ρ 混凝土密度, kg/m^3 ; Q 为混凝土单位体积释放出的热量。

由于水化作用, 在绝热条件下, 混凝土的温度上升速度为:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{Wq}{c\rho} = \frac{Q}{c\rho} \quad (2)$$

式中, θ 为混凝土的绝热温升, $^{\circ}\text{C}$; W 为水泥用量, kg/m^3 ; q 为单位质量水泥在单位时间内放出的热量, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。

热传导方程建立后, 为了得到确定的温度场, 还要确定结构的初始条件和边界条件[10]。在水化热温度场分析中, 初始条件为混凝土入模时的温度分布, 边界条件为结构表面与周围环境的温度相互作用。通常有 4 类边界条件, 对于箱梁水化热分析, 由于热量交换均为固体与空气接触产生的传热, 为第三类边界条件。即, 假定经过混凝土表面的热流量与混凝土表面温度 T 和气温差 T_a 成正比, 如下式所示:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \beta(T - T_a) \quad (3)$$

式中, λ 为导热系数, $\text{kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$; n 为表面外法线方向; β 表面放热系数, $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

当表面放热系数 β 趋于无限时, $T = T_a$, 即转化成第一类边界条件。当表面放热系数 $\beta = 0$ 时, $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$, 又转化为绝热条件。

4. 水化热温度场计算与分析

混凝土水化热温度场的计算, 主要根据工程所在地的气候条件、工程的施工和养护方案及混凝土的热学性质, 假设混凝土连续、均匀、各项同性, 按照热传导基本理论来进行[3]。

4.1. 有限元模型的建立

利用有限元软件 Midas FEA 的水化热分析模块, 建立分离式箱梁局部实体模型, 通过自由体网格划分, 形成单元尺寸为 0.2 m 的三维有限元模型, 如图 2 所示。有限元模型共划分节点个, 单元个。

4.2. 计算参数

混凝土的导热系数和比热根据试验数据确定, 模型中采用 $\lambda = 9.75 \text{ kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$, $c = 1.776 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

混凝土出机温 T_0 度根据各原材料的比热 c_i 、重量 W_i 和温度 T_i 按照公式(4)进行计算, 入模温度 T_1 根据出机温度 T_0 、装卸混凝土次数 ϕ_1 、运输方式及时间 ϕ_2 、气温 T_a 等因素按照公式(5)计算确定。模型中采用混凝土入模温度为 15°C 。

$$T_0 = \frac{\sum c_i W_i T_i}{\sum c_i W_i} \quad (4)$$

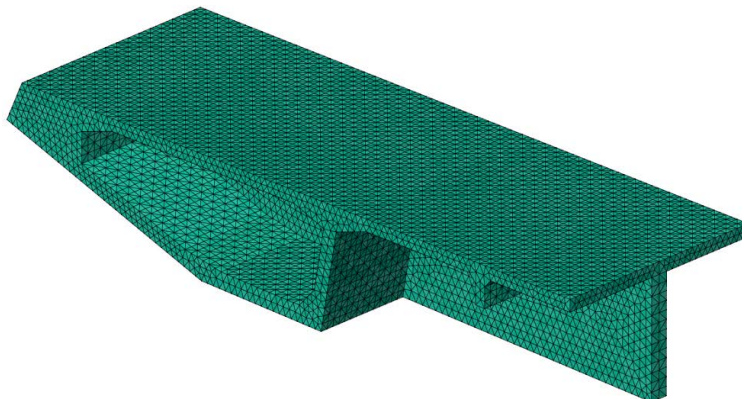


Figure 2. Three-dimensional finite element structure model
图 2. 结构三维有限元模型

$$T_1 = T_0 + (T_a - T_0)(\phi_1 + \phi_2) \quad (5)$$

表面等效放热系数 β_s 与模板(保温层)材料的导热系数 λ_i 、厚度 h_i 、表面粗糙程度、风速 v_a 有关, 按照公式(6)~公式(8)计算, 模型中各散热边界采用的表面等效放热系数如表 1 所示。

$$\beta_s = \frac{1}{(1/\beta_i) + (h_i/\lambda_i)} \quad (6)$$

$$\text{粗糙表面: } \beta_i = 23.9 + 14.50v_a \quad (7)$$

$$\text{光滑表面: } \beta_i = 21.8 + 13.53v_a \quad (8)$$

混凝土水化热绝热升温与水泥品种、水泥用量、混合材料品种、用量和浇筑温度等因素有关, 绝热升温 $\theta(t)$ 与龄期 t 的关系可用指数形式表示, 如公式(9)所示。模型中最大绝热温度升高采用 $\theta_0 = 79.74$, 导温系数采用 $m = 1.225$ 。

$$\theta(t) = \theta_0 (1 - e^{-mt}) \quad (9)$$

4.3. 温度场分析结果

浇筑一天后分离式箱梁温度场分布如图 3 所示, 从图中可以看出横隔板温度最高, 顶板温度最低。

分离式箱梁混凝土内外温度对比如 4 图所示, 从图 4 中可以看出, 混凝土内外温差能够控制在 25°C 之内, 且内部最高温度不超过 75°C , 满足桥梁施工技术规范第 6.13.2 条。顶板在浇筑 10 天内的最低温度高于 10°C , 能够保证混凝土强度在达到设计强度的 40% 前不得受冻的要求。

为了验证有限元仿真分析的有效性, 选用热电阻温度传感器(型号 PT100, 如图 5a 所示)进行主梁的温度场监测, 温度测量采用配套专用采集模块(如图 5(b)所示)。温度传感器测点布置如图 6 所示, 温度传感器安装在梁段纵向受力钢筋的下缘。

以顶板温度测点 4 数据为例进行比较, 实测温度与理论计算温度如图 7 所示, 从图可以看出实测与理论值基本吻合, 表明采用有限元模拟结果能较为真实的反应混凝土浇筑过程中温度场。通过控制混凝土入模温度和采用合理的保温措施, 能有效的控制混凝土的温差裂缝。

5. 结论

分离式混凝土箱梁冬季施工时既要防止顶板混凝土出现早期冻害, 要控制防止横隔板出现裂缝。通过控制混凝土入模温度及采取合理的保温措施, 能够控制底板最低温度及混凝土内外温差。采用有限元

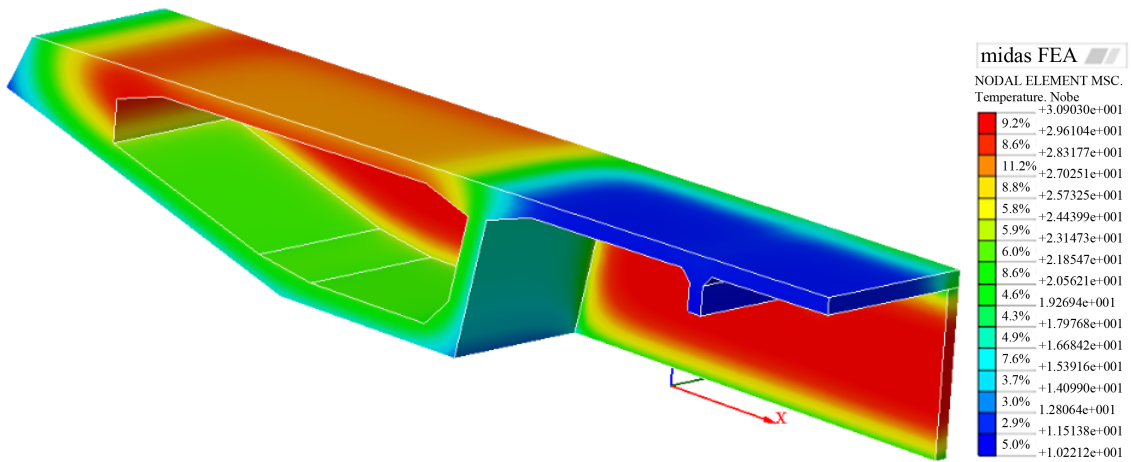


Figure 3. Temperature field of concrete after pouring
图 3. 混凝土浇筑一天后温度场

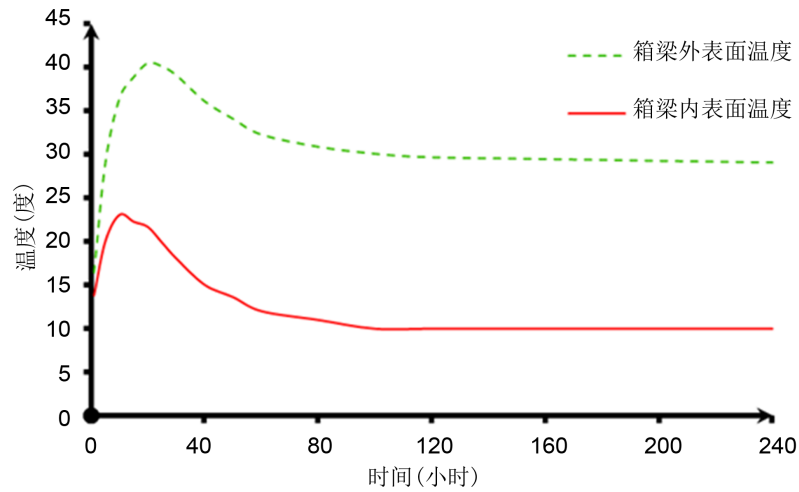


Figure 4. Concrete temperature difference between inner and outside of box girder
图 4. 混凝土箱梁内外温差对比



Figure 5. Field temperature acquisition. (a) Thermal resistance temperature sensor; (b) temperature measurement acquisition module

图 5. 现场温度采集。(a) 热电阻温度传感器；(b) 温度测量采集模块

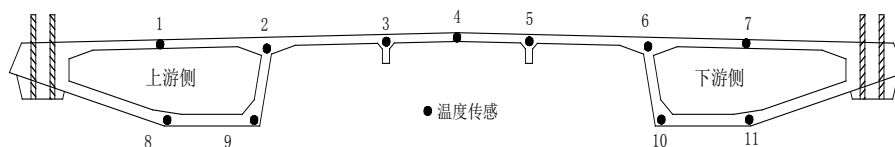


Figure 6. Temperature sensor measuring point arrangement
图 6. 温度传感器测点布置

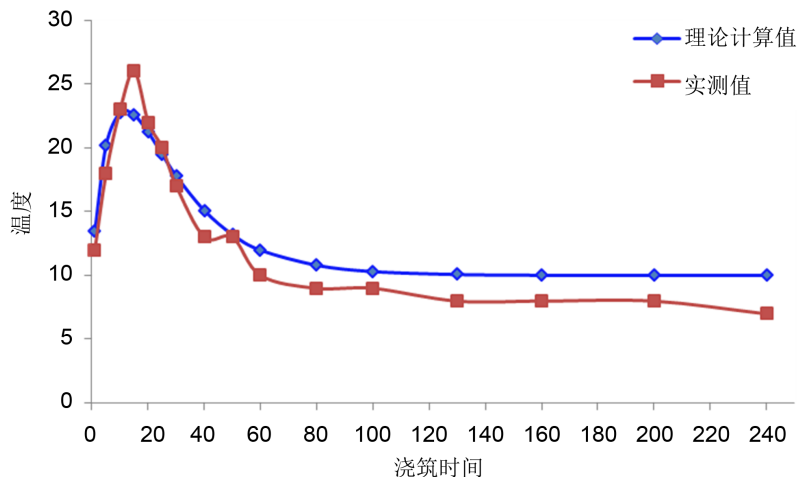


Figure 7. Comparison of measured roof surface temperature and theoretical value
图 7. 顶板表面温度实测与理论值

Table 1. Surface equivalent heat release coefficient

表 1. 表面等效放热系数

| 散热边界 | 主梁顶面 | 主梁外侧面 | 箱室内侧面 |
|----------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 模板(保温)形式 | 5 cm 厚棉被 | 2 cm 厚木模板 | 2 cm 厚木模板 |
| 表面粗糙程度 | 粗糙 | 粗糙 | 粗糙 |
| 风速 | 4m/s | 4m/s | 0 m/s |
| 表面等效放热系数 | 3.08 kJ/(m ² ·h·°C) | 23.38 kJ/(m ² ·h·°C) | 14.0 kJ/(m ² ·h·°C) |

模拟能够较为真实的反应混凝土浇筑过程中温度场分布及变化情况，能够较好的指导冬季施工。

参考文献 (References)

- [1] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 刘小燕, 章龙, 张峰等. 箱梁大体积混凝土冬季施工水化热效应研究[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2012, 25(1): 65-70.
- [3] 陈志坚, 顾斌. 大型混凝土箱梁水化热温度场的数值模拟[J]. 公路交通科技, 2012, 29(3): 64-69.
- [4] 张益多, 郭义全, 张国云. 预制混凝土箱梁水化热温度场数值分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2015, 9(9): 44-47.
- [5] 仇明. 大跨度预应力混凝土箱梁桥温度场与水化热效应的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [6] 俞亚南, 张巍, 申永刚. 大体积承台混凝土早期表面开裂控制措施[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, 44(8): 1621-1627.
- [7] 缪长青, 孙传智, 李爱群. 混凝土箱梁桥零号块水化热过程分析研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(4): 407-412.

-
- [8] 赵顺波, 刘森, 陈记豪, 等. 连续箱梁桥混凝土冬季施工技术研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2014, 35(5): 48-50.
- [9] 陈志清, 刘荣桂, 蔡东升, 等. 青弋江某特大桥箱梁零号块水化热温度场分析[J]. 混凝土(实用技术), 2015, 9: 142-146.
- [10] 于向清. 清河大桥桥梁混凝土冬季施工技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2012.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org