

基于 Midas Civil 的承台大体积混凝土温度控制及数值分析

李 城, 陶甫先, 刘梦伟

(长安大学公路学院, 西安 710064)

摘 要:大体积混凝土结构在施工过程中,由于混凝土的水化热反应,易出现内外温差,产生过大的温度应力,进而引起温度裂缝。针对混凝土水化热问题,以兑房河特大桥 5#墩为例,提出承台大体积混凝土布设冷却管的温控方案,利用有限元软件 Midas Civil 进行水化热数值分析,并将理论计算值与现场温度监测结果进行对比分析。实践表明,兑房河特大桥承台在施工过程中采取的温控措施,取得了较好的效果,并为类似工程提供一定的指导意义。

关键词:大体积混凝土;水化热;冷却管;有限元;温度控制

中图分类号:TU528.1

文献标志码:A

随着我国桥梁施工技术的不断发展,大体积混凝土承台在桥梁结构中的应用日趋广泛,尤其是高墩大跨连续刚构桥。然而大体积混凝土结构由于施工期水泥的水化热反应,会引起混凝土内部温度急剧上升,且内部水化热不易散失,外部混凝土受气温影响散热较快,使混凝土内外形成一定的温度梯度,产生温度应力,即混凝土内部产生压应力,混凝土表面产生拉应力,当其大于混凝土当时的抗裂强度时,就会产生温度裂缝,影响结构安全^[1]。因此,需采取有效措施来降低混凝土水化热,并对结构进行温度监控。文章以在建的兑房河特大桥 5#承台为依托工程,利用有限元软件 Midas Civil 进行仿真分析,预测混凝土内部的温度分布规律,并将合理布设冷却管作为关键技术,进行现场温度监控,并结合监测结果进行对比分析,验证布设冷却管降温的效果^[2]。

1 工程概况

K14+060 桥位于云南省道 S228 线六库~跃进桥段二级公路 3 合同段,为跨越兑房河而设,3 合同段的控制性工程。主桥上部结构为 100 m+180 m+100 m 预应力混凝土连续刚构,主墩高 105 m,桥墩基础为群桩承

台,采用 C30 混凝土,分两层浇筑,尺寸为 18.2 m×18.2 m×5 m(图 1、图 2),体积 1656.2 m³。属于大体积混凝土结构,必须对结构进行温度监控。

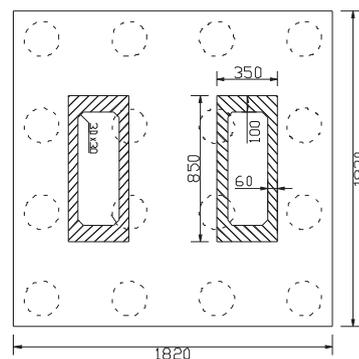


图 1 K14+060 主墩承台平面图(单位:cm)

2 温控设计方案

2.1 温控标准

针对兑房河特大桥承台大体积混凝土自身特点,综合考虑混凝土入模温度、混凝土水化热的发展变化规律、养护条件、通水散热等因素,制定温控标准^[3-4]:

(1)混凝土浇筑时入模温度: $5\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

收稿日期:2014-04-01

作者简介:李城(1989-),男,山东日照人,硕士生,主要从事桥梁检测、加固及监控方面的研究,(E-mail)546517093@qq.com

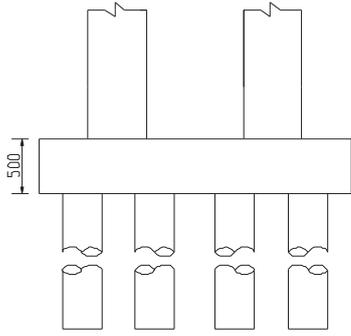


图 2 承台顺桥向立面图(单位:cm)

(2) 浇筑过程中,混凝土的水化热最大温升不大于 25 ℃。

(3) 浇筑完成后,混凝土内部与表面温差不大于 20 ℃。

(4) 冷却管进口水温与混凝土内部最高温度温差控制在 25 ℃ 以内。

(5) 内部最高温度不大于 75 ℃。

(6) 养护水与砼表面温差不大于 15 ℃。

2.2 冷却管布设

为了降低混凝土内部温度,在混凝土内部布设冷却管。冷却管采用 32 mm 铸铁水管,管道连接密封防止漏水,冷却管在竖向分四层布置,层间距 1.4 m,水平单层采用蛇形走向,上下两层蛇形走向沿桥纵横交错布置。冷却水的流量控制在 1.42 m³/h。平面布置如图 3、图 4 所示。

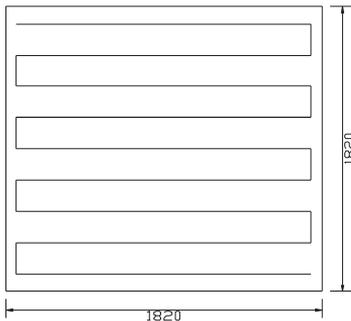


图 3 第一、三层冷却管布置示意图(单位:cm)

2.3 温度监控

根据承台结构及水化热温度场分布规律,深度上按两层布置,表面层深 1.25 m,第二层深 2.5 m,考虑承台平面的对称性,在承台平面 1/4 位置沿水平方向布置温度传感器。根据测温点数量和深度选用长度规格合适的测温线,预埋时以直径 25 mm 镀锌钢管作支承物,将测温线按照测温点距离放在镀锌钢管内,采用便携式建筑电子测温仪进行测试。具体测点布置位置如图 5、图 6 所示。

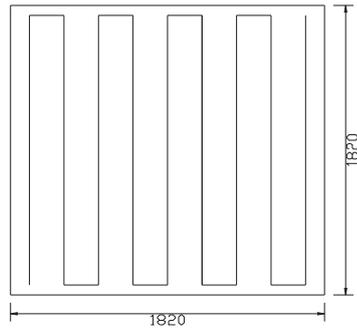


图 4 第二、四层冷却管布置示意图(单位:cm)

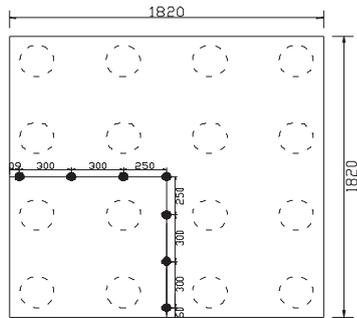


图 5 温度传感器平面布置图(单位:cm)

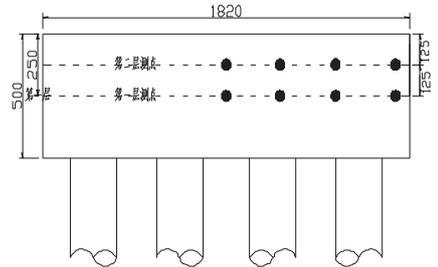


图 6 温度传感器立面布置图(单位:cm)

承台温度监测在混凝土浇筑后立即开始,直至混凝土浇筑完成后持续监测 20 天,监测期间根据现场混凝土的温度监测值进行实时分析,并采取不同的测试频率。根据以往经验大体积混凝土水化热主要发生在混凝土浇筑后的 72 h 内,因此为了保证温度监测的准确性,在浇筑完成后的 72 h 内,增加监测频率,每 2 h 采集一次数据;等到温度上升到最大值并开始下降时,每 5 h 采集一次温度数据,待温度下降均匀后,一天采集一次数据,根据现场监测数据在大体积混凝土内部温度与外界温差小于 20 ℃ 时停止温度监测^[5]。

3 有限元分析

3.1 基本假定

利用 Midas Civil 对兑房河特大桥 5#墩承台进行有限元分析时做如下假定^[6]：

(1) 假定混凝土为均质体,忽略钢筋的影响。

- (2) 忽略冷却管的体积,只考虑其冷却效用。
- (3) 假设同一浇筑层混凝土的初始温度一致。
- (4) 忽略外界环境的对混凝土表面放热系数引起的差异,假定混凝土表面放热系数一致。

3.2 计算参数

根据现场试验、经验以及查阅相关文献得到兑房河特大桥承台结构有限元模拟分析参数^[7-8](表1)。

表1 结构有限元模拟分析参数表

特性	基础	地基
比热(kcal/kg °C)	0.25	0.2
容重(KN/m ³)	25	18
热传导率(kcal/m hr °C)	2.3	1.7
对流系数(kcal/m ² hr °C)外表面	12	12
对流系数(kcal/m ² hr °C)钢模板	12	-
外界温度(°C)	30	-
28天抗压强度(Mpa)	30	-
强度发展系数(ACI)	$a = 4.5 \quad b = 0.95$	-
28天弹性模量(kN/m ²)	3.0×10^7	1.0×10^6
热膨胀系数	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
泊松比	0.18	0.2

3.3 计算模型

由于5#墩结构对称,为了提高建模速度、缩短分析时间,只取1/4部分利用实体单元进行建模和分析^[9],而且这样也便于查看内部温度分布以及应力发生状况。模型共划分为10 820节点9036单元,计算模型如图7所示。

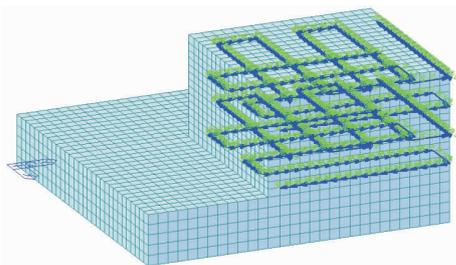


图7 1/4承台有限元仿真计算模型

通过对兑房河特大桥5#承台水化热进行有限元仿真分析,发现在采取了冷却管降温措施后,承台内部最高温为70.24 °C,内外温差最大为17.14 °C,小于温控标准,起到了控制水化热的作用。

4 温度监控结果分析

根据温控方案,通过精密的监控,得到准确的测试结果,绘制混凝土理论及实测断面平均温度时程曲线进行对比分析(图8、图9)。其中,外部温度是指图5、图6中靠近承台侧边的测点的温度平均值;内部温度是指除了靠近承台侧边的各测点温度平均值^[10]。同时给出混

凝土浇筑后50 h的温度云图及具有内部高温代表性的节点N1471的温度时程曲线,如图10、图11所示。

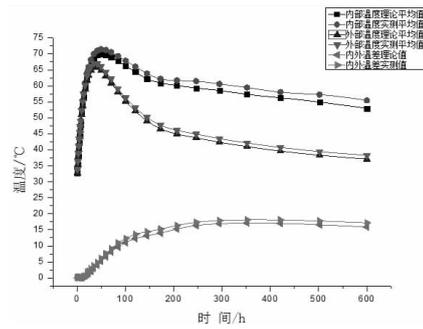


图8 混凝土浇筑后第一层温度测点平均温度时程曲线图

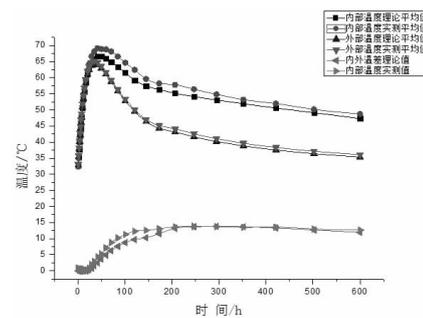


图9 混凝土浇筑后第二层温度测点平均温度时程曲线图

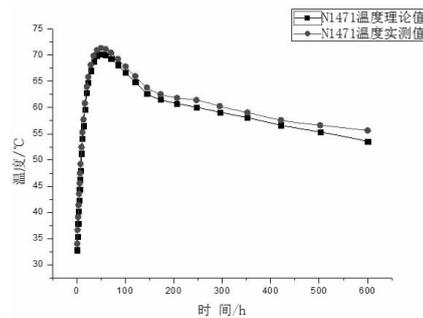


图10 N1471温度时程曲线图

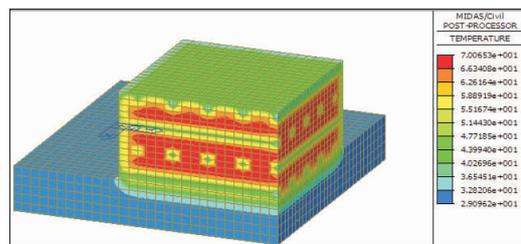


图11 混凝土浇筑后第50 h时温度云图

由图8~图11可知,承台混凝土温度变化都有三个阶段:(1)急剧的升温阶段;(2)缓慢的的温降阶段;(3)温度稳定阶段。其中,第1阶段的升温主要发生在浇筑混凝土后三天内,达到最大值后,峰值持续约4~10 h。通过现场实测值得知兑房河特大桥5#承台混凝土内部

最高温度为 71.46 °C,最大内外温差为 18.13 °C,小于 20 °C 的最大内外温差控制要求,且与理论计算的内部最高温度 70.24 °C、最大温差 17.14 °C 相差不大,吻合较好。在温度监测的同时,现场对拆模以后的承台进行外观检测,未发现温度裂缝。因此可以说明本承台的温控措施取得了较好效果。

5 结论

以兑房河特大桥 5#墩承台为依托工程,利用 Midas Civil 对承台大体积混凝土进行有限元仿真分析,将布设冷却管作为关键技术,通过现场监测,对承台大体积混凝土水化热反应进行研究,主要得到以下结论:

(1) 利用有限元软件对大体积混凝土水化热进行仿真计算,可以较好地模拟并预测水化热的实际发生情况,对大体积混凝土的温度控制及施工具有指导意义。

(2) 通过对兑房河特大桥 5#墩承台合理布设 4 层冷却管进行温度控制的现场监测结果发现,全部温度指标均未超过相应规范标准,说明将布设冷却管作为降温措施是可行的,且效果较好。

(3) 通过对拆模以后的承台进行外观检测,未发现有害温度裂缝产生,说明对于大体积混凝土结构采取合理的措施控制其水化热温升,也能够有效地控制温度裂缝的产生,为结构的安全提供保障。

参考文献:

- [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] 李长瑞,杜嘉林.Midas Civil 在大体积混凝土承台水化热控制中的应用[J].山东交通科技,2011(1):58-61.
- [3] 杨雅勋.桥梁承台大体积混凝土施工温度控制及数值分析[J].四川建筑科学研究,2012,38(5):333-335.
- [4] 刘沐宇,徐黎明,汪峰,等.广州黄埔大桥承台大体积混凝土温度控制与监测分析[J].华中科技大学学报:城市科学版,2008,25(1):12-15.
- [5] 宋群国,杨雅勋,孙磊.桥梁承台大体积混凝土施工温度控制[J].公路交通科技:应用技术版,2011(10):72-74.
- [6] 刘耀东,白应华,余天庆,等.基于 Midas 的大体积混凝土承台管冷技术优化研究[J].混凝土:实用技术,2009(9):110-112.
- [7] 邱顺东.桥梁工程软件 Midas Civil 应用工程实例[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [8] 卢二侠.大体积混凝土承台水化热温度分析与控制[D].长沙:湖南大学,2007.
- [9] 解荣.大体积混凝土温度监控的研究[D].西安:长安大学,2011.
- [10] 刘离榕,梁峰.大体积承台混凝土温度监测控制技术及应用[J].水利与建筑工程学报,2012,10(1):83-87.

Temperature Control and Numerical Analysis for Massive Concrete of Cushion Cap Based on Midas Civil

LI Cheng, TAO Fuxian, LIU Mengwei

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: As a result of the concrete hydration thermal, it is easy to appear larger temperature difference between inside and outside and produce excessive temperature stress which will cause the temperature cracks in the process of construction of massive concrete structure. In view of the problem of concrete hydration, the article uses the bridge of Duifang River as an example to analyze the temperature values of theoretical calculation and field monitoring results through set cooling pipe as the temperature-lowering measure and use finite element software Midas Civil for numerical analysis. Practice shows that the cushion cap of the bridge of Duifang River' temperature control measure in the construction process has achieved good results, and can provide certain guiding significance for similar projects.

Key words: massive concrete; heat of hydration; cooling pipe; finite element; temperature control