

# 高温入模承台大体积砼水化热监测分析

杨勇, 彭昆

(广东省长大公路工程有限公司, 广东 广州 510620)

**摘要:** 珠海市洪鹤大桥 3<sup>#</sup> 主墩承台平面尺寸为 43 m×17 m, 高 6 m, 承台砼浇筑量为 4 386 m<sup>3</sup>, 在 30 ℃ 左右的高温季节进行施工。为确保承台大体积砼的施工质量, 避免大体积砼结构产生温度裂缝, 对承台大体积砼温度进行监测, 发现承台第一层砼的施工温控指标超过规范建议值; 针对其产生原因进行温控措施调整, 并将调整后的温控措施应用于承台第二层砼施工, 达到了较好的温控效果。

**关键词:** 桥梁; 承台; 大体积砼; 水化热; 温控措施; 高温条件

中图分类号: U445.559

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)01-0102-04

大体积砼的水化热较大, 结构散热困难, 易导致结构物产生温度裂缝, 影响工程结构的质量及耐久性。因此, 温度控制是保证大体积砼施工质量的重要措施。研究和工程实践表明, 控制砼的入模温度是十分有效的措施。珠海市洪鹤大桥 3<sup>#</sup> 主墩承台大体积砼需在 30 ℃ 左右的高温季节进行施工, 为确保其施工质量, 避免产生温度裂缝, 对承台大体积砼温度进行监测, 根据监测结果指导现场施工。

## 1 工程概况

珠海市洪鹤大桥主航道桥为双塔双索面叠合梁斜拉桥, 跨径布置为 (73+162+500+162+73) m, 全长 970 m。3<sup>#</sup> 主墩承台平面尺寸为 (43×17) m, 高 6 m (见图 1), 承台砼浇筑量为 4 386 m<sup>3</sup>, 砼标号为 C40。承台砼沿高度方向分 2 层浇筑, 每层浇筑厚度为 3 m, 单次浇筑量为 2 193 m<sup>3</sup>。

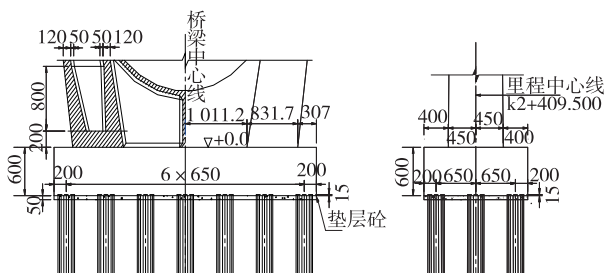


图 1 珠海市洪鹤大桥 3<sup>#</sup> 主墩承台结构示意图 (单位: cm)

砼原材料如下: 水泥为广东英德海螺 P. II 42.5 水泥; 粉煤灰为台山电厂的 I 级粉煤灰; 矿渣粉为唐山曹妃甸盾石新型建材有限公司的 S95; 外加剂为江苏苏博特缓凝减缩型聚羧酸减水剂; 粗骨料为 5

~10、10~25 mm 级配碎石; 细骨料为 II 区中砂; 拌和水采用饮用水。砼设计强度等级为 C40, 按海工大体积砼的相关要求进行配合比设计 (见表 1)。

表 1 珠海市洪鹤大桥 3<sup>#</sup> 主墩承台大体积砼配合比

| 材料  | 用量/<br>(kg · m <sup>-3</sup> ) | 材料  | 用量/<br>(kg · m <sup>-3</sup> ) |
|-----|--------------------------------|-----|--------------------------------|
| 水泥  | 189                            | 碎石  | 1 115                          |
| 粉煤灰 | 105                            | 水   | 147                            |
| 矿粉  | 126                            | 减水剂 | 5.04                           |
| 砂   | 713                            |     |                                |

## 2 大体积砼温度监测方案

该桥 3<sup>#</sup> 主墩承台大体积砼施工时间为 8—9 月, 气温较高, 对大体积砼施工不利。为了解砼温度变化及高温入模对砼温度的影响, 采用智能化数字多回路温度巡检仪对砼温度进行监测, 温度传感器采用热敏电阻传感器, 其主要性能指标如下: 测温范围为 -50~+150 ℃; 工作误差为 ±1 ℃; 分辨率为 0.1 ℃; 巡检点数为 32 点; 显示方式为 LCD (240×128); 功耗为 15 W; 外形尺寸为 (230×130×220) mm; 重量 ≤1.5 kg。

根据结构的对称性和温度变化的一般规律, 在主塔中心线对称的一侧布设测点, 温度传感器布置在每层砼中心线上, 该区域基本能代表整个砼断面的最高温度分布。选取 1/4 结构布置测点, 在平面内, 靠近表面区域温度梯度较大, 测点布置较密, 而中心区域砼温度梯度较小, 测点布置减少。承台分次浇筑砼底面以上 100 cm 高度布置测温点监测内

部温度及表面温度,砼底面以上 200 及 230 cm 布设测温点进行校核(见图 2)。

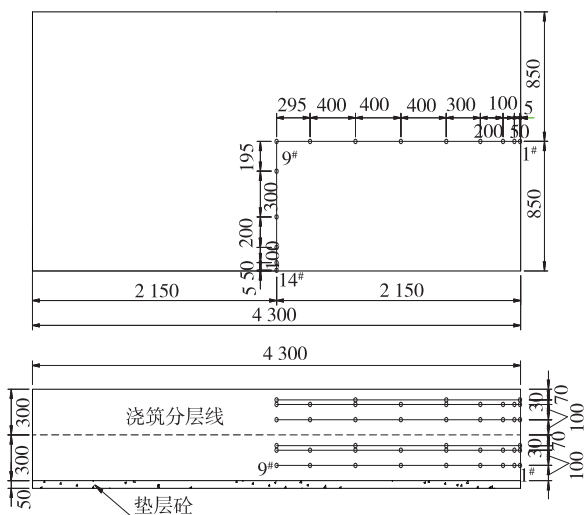


图2 主墩承台温度监测点布置(单位:cm)

砼浇筑前,将屏蔽信号线连接到测温仪器箱,传感器测头采用角钢保护。测试在砼浇筑后立即进行,连续不断。浇筑过程中,每 2 h 测量一次温度;砼浇筑完毕后至水化热升温阶段,每 2 h 测量一次;水化热降温阶段第一周,每 4 h 测量一次;之后每天选取气温典型变化时段测量,每天测量 2~4 次。

### 3 冷却水管布置

主墩承台按 3 m+3 m 分 2 次浇筑,每个浇筑层布设 3 层水管,水管水平管间距为 100 cm,垂直管间距为 100 cm,距离砼表面或侧面的距离不小于 50 cm,承台单层 4~5 套水管,每套水管长度不超过 200 m。水管采用  $\phi 48 \times 3.0$  mm 无缝钢管,接头采用“大管套小管”的方式焊接连接。安装完成后试通水进行水密性检查,确保冷却水管的水密性。

## 4 监测结果及分析

### 4.1 温度控制指标

JTG/T F50—2011《公路桥涵施工技术规范》对大体积砼的温度评价指标主要有:1) 大体积砼热期施工时,入模温度不宜高于 28 °C;2) 大体积砼内部最高温度不大于 75 °C,砼在入模温度的基础上实际温升值不大于 50 °C;3) 砼内部最高温度与同一时刻距表面 50 mm 处的砼最低温度之差(内表温差)控制在 25 °C 以内;4) 砼内部降温速率不宜大于 2 °C/d。

### 4.2 承台第一层砼温度监测结果

承台第一层砼浇筑时间为 8 月 5 日 19:00—6 日 15:00,历时 20 h,浇筑时气温为 28~34 °C,现场实测砼入模温度为 30~33 °C。砼温度监测于 8 月 5 日 19:00 开始,8 月 23 日 14:00 结束,监测结果见图 3。

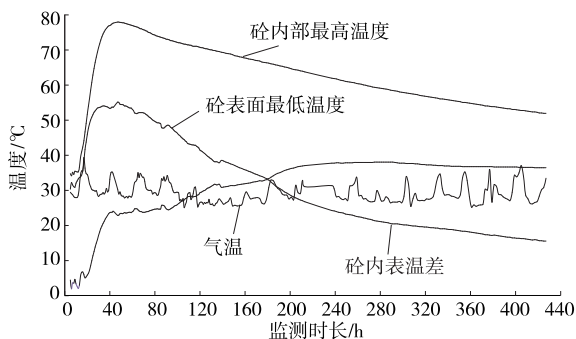


图3 承台第一层砼温度特征值历时曲线

由图 3 可知:砼浇筑完成后 8~9 h 开始快速升温,42 h 左右达到温度峰值;温度峰值后砼温度缓慢下降至基本稳定。砼内部最高温度为 77.9 °C,最大内表温差为 33 °C,温度峰值后 24 d 内降温速率为 2.3~3.0 °C/d,各项温控指标均超过规范建议值。砼浇筑后第 7~8 d,砼表面最低温度出现 33.3 °C 的极值点,同时内表温差达到最大值 33 °C。

### 4.3 原因分析

为了解承台大体积砼的温控变化规律,利用 MIDAS/FEA 软件进行模拟仿真计算,结果显示:气温为 25 °C、砼入模温度为 28 °C 时,承台第一层砼浇筑后,内部最高温度为 60.5 °C,最大内表温差为 19 °C,达到内部最高温度的时间为浇筑后 66 h。砼自身绝热温升为 32.5 °C,在规范建议值范围内。实际施工监测的砼入模温度为 30~33 °C,内部最高温度为 77.9 °C,最大内表温差为 33 °C,42 h 左右达到温度峰值。入模温度升高约 5 °C,内部最高温度升高 17.4 °C,内表温差升高 14 °C,温度峰值出现的时间提前 24 h。

根据仿真计算结果,导致温控指标超过规范建议值的原因如下:1) 施工气温较高导致砼入模温度过高,过高的入模温度加速砼的水化反应,砼提前 24 h 达到温度峰值。水化热在砼浇筑完成后的短时间内集中释放,砼散热时间缩短,导致温峰值超过规范建议值。2) 承台采用钢模板施工,保温性能较差,虽然施工气温较高,但与砼内部温度相比,温差较大,砼表面散热较多,导致砼内表温差超过规范建议值。3) 由于前期砼内部温升较快,为增加温控效

果,采用较低温度的冷却水进行降温,当砼内部达到温度峰值后,砼水化反应基本完成,内部热量得不到补充,而冷却水温度没有及时调整,导致温度峰值后短期内降温速率过快。调整冷却水温度后,砼内部降温速率保持在 $1.5\sim 1.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。4) 砼外侧模板拆除,使砼表面水分迅速蒸发,砼表面温度加速降低,而砼内部降温无法同步,导致砼浇筑后第7~8 d表面最低温度出现极值点,同时内表温差达到最大值。模板拆除完成后,采用黏土回填承台侧面基坑,回填土对承台砼起到一定保温作用,使砼表面温度有一定回升,内表温差值同步减小。

#### 4.4 温控措施调整

根据承台第一层砼的施工经验对温控措施进行调整:砼浇筑前,采取措施控制砼入模温度;砼浇筑后,重点控制砼的内表温差,避免温差过大产生温度拉应力。事实上,当砼内部最高温度难以控制时,需采取保温措施控制砼表面温度和降温速率。具体措施如下:

(1) 控制原材料使用温度,尽量降低砼入模温度。选择夜间气温相对较低的时段施工;提前几天将水泥等胶凝材料存入储料罐,并在罐体外洒水降温;施工当天,提前在砂石料表面洒水,并利用大型鼓风机吹风降温;在拌和水池中加入冰块,降低拌和水温度。

(2) 延迟模板拆除时间。砼浇筑完成后,即回填钢板桩围堰与模板之间的空隙,提高砼周边的保温效果,待砼内部温度稳定后再开挖拆模。

(3) 承台顶面覆盖土工布,利用冷却水出口端的热水在承台表面蓄水养生,蓄水深度10 cm。

(4) 及时通冷却水并调整冷却水进口端的水温。砼完全覆盖本层冷却水管后即通水,进水温度按常水温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 控制,以尽量散去水化热;砼浇筑完成36 h后开始调整冷却水进水温度,控制水温比砼内部监测温度低 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,以免温度峰值后的短期内砼内部降温速率过快。

(5) 在确保砼配合比不变和砼施工性能的前提下,适当增加砼缓凝剂用量,延长砼水化时间。

#### 4.5 承台第二层砼温度监测结果

根据承台第一层砼施工经验及温控调整措施进行第二层砼浇筑,施工时间为9月6日18:00—7日17:00,浇筑时气温 $25\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,现场实测砼入模温度为 $25\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。砼温度监测于9月6日18:00开始,9月15日16:00结束,监测结果见图4。

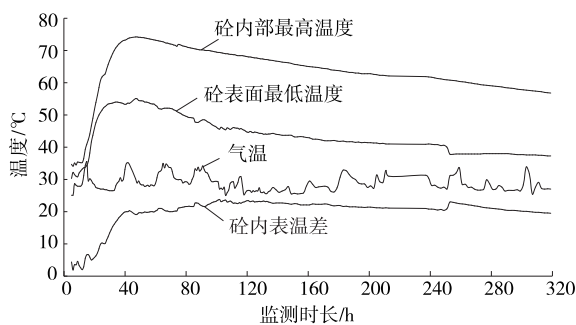


图4 承台第二层砼温度特征值历时曲线

由图4可知:砼浇筑后9~10 h开始快速升温,48 h左右达到温度峰值;温度峰值后砼温度缓慢下降至基本稳定。砼内部最高温度为 $74.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最大内表温差为 $23.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度峰值后砼内部降温速率为 $1.3\sim 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ,满足规范要求。

#### 4.6 结果分析

承台第二层砼施工时气温比第一层砼施工时低 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但砼入模温度降低 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,主要是因为第二次砼浇筑时降低了原材料使用温度,说明控制原材料使用温度能有效降低砼入模温度。

砼内部最高温度比第一次降低 $3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这与砼入模温度降低有关,但并未随入模温度降低 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这是因为在承台第二层砼浇筑时,第一层砼内部温度仍有 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,第二层砼入模时吸收了部分来自第一层砼的热量;第二层砼水化反应温度升高后,第一层砼又限制了其底面热量的散出,从而导致第二层砼内部最高温度降低量未与入模温度降低量一致。

在砼结构外侧采取保温措施,利用冷却水蓄水养生,使砼表面温度基本稳定,减小砼内表温差;浇筑完成后第10 d砼结构表面温度突然降低,是由拆模导致保温措施失效所致;降温速率减小则与冷却水温度调整有关。

砼快速升温时间延迟约1 h,砼内部温度峰值出现时间延迟6 h,这与增用砼缓凝剂有关;28 d龄期时,对砼试块进行强度抗压试验,现场进行回弹试验,砼强度均达到设计强度;通过目测,承台表面裂纹极少,仅在承台长边靠中间位置的两侧面各发现2条裂缝,裂缝宽度均在 $0.15\text{ mm}$ 以下。经过持续1个多月的跟踪观察,裂缝长度及宽度基本稳定,随后进行了封闭处理。

## 5 结论

珠海市洪鹤大桥3<sup>#</sup>主墩承台在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的高

温季节施工,施工中对承台大体积砼的温度变化进行监测,发现承台第一层砼施工温控指标超过规范建议值。为此,对其原因进行分析,调整温控措施,并在承台第二层砼施工中采用调整后的温控措施,达到了较好的温控效果。主要结论如下:

(1) 高温环境下进行大体积砼结构施工,宜在夜间气温相对较低的时段进行,并采取有效措施控制原材料温度,降低砼入模温度。

(2) 遵循“降内温、保外温”的原则,减小大体积砼内表温差,避免内表温差过大导致砼结构产生温度拉应力。

(3) 根据砼内部温度监测结果及时调整冷却水通水情况,控制砼内部降温速率。

(4) 适当增加砼缓凝剂用量,延长砼水化反应时间,避免水化热集中释放。

(5) 配合比设计时采取有效措施,降低砼自身绝热温升。

#### 参考文献:

- [1] 湛超,刘松,邓华伟,等.大体积混凝土温度及温度应力影响研究[J].材料导报,2015,29(增刊2).
- [2] 吴乾坤,南飞.基于实测数据的大体积混凝土温控分析评价[J].世界桥梁,2017,45(4).
- [3] 汪建群,方志,刘杰.大跨预应力混凝土箱梁水化热测试与分析[J].桥梁建设,2016,46(5).
- [4] 王伟正,文曦.水上大体积混凝土墩台冬季温控技术[J].水运工程,2018(8).
- [5] 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,1999.

- [6] GB 50496—2018,大体积混凝土施工标准[S].
- [7] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].
- [8] 蒋科.承台大体积混凝土温度及应力场有限元分析[J].公路交通技术,2017(5).
- [9] 刘长海.大体积混凝土水化热温度场试验与仿真分析[J].广东土木与建筑,2018,25(7).
- [10] 张桂芳,梁天贵,曾有艺,等.大体积砼水化热分析及温控措施[J].公路与汽运,2018(5).
- [11] 詹元林,杨勇,谢朝君.基于 MIDAS/FEA 的大体积混凝土水化热仿真计算[J].混凝土世界,2019(5).
- [12] 沈凡,吕寅,赵明宇,等.入模温度对大体积混凝土胶凝材料体系水化放热特性的影响研究[J].混凝土,2014(9).
- [13] 王甲春,阎培渝.混凝土绝热温升的影响因素[J].混凝土与水泥制品,2005(3).
- [14] 占玉林,段增强,张强,等.承台大体积混凝土水化热及温度控制措施研究[J].世界桥梁,2018,46(3).
- [15] 南进江.大体积砼施工过程关键控制因素分析[J].公路与汽运,2016(6).
- [16] 曾有艺,周健,曹云龙.预应力砼箱梁水化热作用分析及施工控制[J].公路与汽运,2016(1).
- [17] 蔡文俊.高温季节下桥梁承台大体积混凝土温度控制研究[D].成都:西南交通大学,2018.
- [18] 蔡文俊,马建林,李军堂,等.桥梁承台大体积混凝土温度控制数值模拟研究[J].铁道建筑,2017(3).
- [19] 魏胜新,王强.超大体积承台混凝土性能研究与温控技术[J].混凝土,2014(1).

收稿日期:2019-05-06

\*\*\*\*\*

## 关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱,它们盗用“公路与汽运”的名称,非法向外征稿并收取审稿费、版面费,严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗,本刊郑重声明:

(1) 本刊没有官网,也从未以任何方式授权其他单位和个人在互联网上建立网站,互联网上以“公路与汽运”名义建立的网站都是假冒的,此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。

(2) 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyun@163.com,除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。

(3) 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为,并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。

公路与汽运