

# 大体积承台混凝土温度监测控制技术的应用

刘离榕<sup>1</sup>, 梁峰<sup>2</sup>

(1. 中交三公局第四工程分公司, 重庆 401147; 2. 上海先行建设监理有限公司, 上海 200070)

**摘要:** 大体积混凝土的温度监测与控制对于避免或减轻其温差裂缝具有至关重要的意义。文中以某桥梁承台大体积混凝土为例, 进行了混凝土参数计算, 并根据结果分析提出了通过温控实现减轻温差裂纹的混凝土选材与浇筑工艺, 施工措施和检测方案, 有效防止了混凝土结构裂缝的产生, 保证了工程质量, 为后续工程的顺利实施提供了可靠保障。

**关键词:** 大体积混凝土; 参数计算; 控制措施; 监测方案

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2012)01-0083-05

## Application of Temperature Monitoring and Control Technologies for Massive Concrete Slab

LIU Li-rong<sup>1</sup>, LIANG Feng<sup>2</sup>

(1. CCCC - THB Fourth Engineering Co., Ltd., Chongqing 401147, China;

2. Shanghai Xianxing Construction Supervision Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

**Abstract:** The temperature monitoring and control of massive concrete are of vital importance to avoid or reduce the cracks caused by differential temperature in the concrete. Taking the massive concrete of a bridge bearing for example, the parameter calculations of the concrete are made here, and based on the analysis results, the material selection and pouring process, the construction practices and the monitoring program for the concrete to control the temperature and reduce the temperature cracks are proposed, thus to effectively prevent the generation of cracks in concrete structures, ensure the quality of the project, and provide a reliable guarantee for the smooth implementation of follow-up projects.

**Keywords:** mass concrete; parameter calculation; control measure; monitoring program

大体积混凝土温度裂缝产生的主要原因是混凝土内外温差引起的温度应力<sup>[1-3]</sup>所致。新浇筑的混凝土在水泥化过程中产生的水化热累积引起混凝土内部温度急剧上升, 而受气温影响的混凝土体表层部分温度较低, 断面上较低的温差使混凝土的内部产生压应力, 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, 对混凝土结构产生不同程度的危害。鉴于此, 本文以位于我国西南山区的某大桥为例, 根据相关计算分析, 从材料选择、现场施工等技术层面提出大体积混凝土温度控制措施及相应的监测方案。该大桥南引桥采用组合跨径设计, 即 4 × 35 m 先简支后结构连续 T 梁 + 2 × 90 m T 构箱梁, 桥梁全长 326 m。南塔承台为矩形, 平面尺寸为 20.5 m × 20.5 m, 厚 6.0 m; 承台采用

C30 混凝土。单个承台混凝土方量为 2 521.5 m<sup>3</sup>, 采用一次浇筑成型。

## 1 混凝土温控参数计算

不同的原材料参数对混凝土的水化热和大体积承台内外温差具有不同程度的影响, 因此, 有必要对该工程所选材料的相关参数进行介绍。各指标的计算依据文献<sup>[4-5]</sup>进行。

### 1.1 绝热温升计算

混凝土绝热最高升温:

$$T_{\max} = \frac{WQ_0}{c\rho} = \frac{350 \times 260 \times 10^3}{1 \times 10^3 \times 2450} = 37.1^\circ\text{C} \quad (1)$$

$W$  = 水泥 + 粉煤灰 + 矿渣粉 = 350 kg, 添加粉煤灰的水泥灰放热量  $Q_0 = 260$  kJ/kg。

取混凝土的入模温度为 24℃, 中心最高温度为 24 + 37.1 = 61.1℃。

绝热温升数值模型取双曲线函数:

$$T(\tau) = T_{\max}(1 - e^{-\alpha\tau^\beta}) \quad (2)$$

式中:  $T_{\max}$  为绝热最高温升,  $\alpha, \beta$  为绝热温升变化系数。

### 1.2 弹性模量

弹性模量随着时间的增长曲线采用四参数双指数形式, 即

$$E(\tau) = E_0 + E_1(1 - e^{-\alpha\tau^\beta}) \quad (3)$$

式中:  $E_0$  为初始弹性模量,  $E_1$  为最终弹性模量与初始弹性模量之差,  $\alpha, \beta$  为与弹性模量增长速率有关的两个参数。

### 1.3 徐变度

根据工程经验, 取混凝土徐变度如下(单位:

10<sup>-6</sup>/MPa):

$$C(t, \tau) = C_1(1 + 9.20\tau^{-0.45})(1 - e^{-0.30(t-\tau)}) + C_2(1 + 1.70\tau^{-0.45})(1 - e^{-0.005(t-\tau)}) \quad (4)$$

式中:  $C_1 = 0.23/E_2, C_2 = 0.52/E_2, E_2$  为最终弹性模量。

### 1.4 放热系数

混凝土表面通过保温层向周围介质放热的等效放热系数可由下式计算:

$$\beta_s = \frac{1}{(1/\beta) + \sum (h_i/\lambda_i)} \quad (5)$$

式中:  $\beta_s$  为等效放热系数,  $\beta$  为放热系数,  $h_i$  为保温层厚度,  $\lambda_i$  为保温材料导热系数。

通过上面混凝土温控参数计算结果看, 混凝土浇筑温度控制不高于 26℃, 大体积混凝土的内外温差一般不应超过 25℃<sup>[6-7]</sup>。混凝土的物理热学性能试验值见表 1。

表 1 混凝土物理、热性能参数

弹性模量 /MPa	弹性模量变化系数	线膨胀系数 × 10 <sup>-5</sup> /℃	泊松比	比重 /(kg·m <sup>-3</sup> )	导热系数 /(kJ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ·℃ <sup>-1</sup> )	比热 /(kJ·kg <sup>-1</sup> ·℃ <sup>-1</sup> )	绝热温升 /℃	绝热温升参数
3.5 × 10 <sup>4</sup>	0.5, 0.78	0.86	0.167	2450	10	1.0	37.1	0.69, 0.56

## 2 大体积承台温控措施

### 2.1 通过选材控温

由于水化热对大体积混凝土浇筑质量影响最大, 会引起内外温度不同, 温差过大时会产生一定的温度应力, 在其作用下混凝土可能会产生裂缝, 所以首先可以从混凝土原材料的角度来操作。

在满足施工要求的情况下, 优先选择自然连续级配的粗、细骨料, 合理骨料配制的混凝土具有较好的和易性、水和水泥用量较少。砂、石含泥量应分别小于 3% 和 1%, 这样可以减少用水量, 混凝土的收缩和泌水可随之减少, 粗骨料宜采用连续级配, 细骨料采用中砂, 应提高掺合料及骨料的含量, 并降低原材料的温度。

水泥应尽量选用水化热低、凝结时间长的水泥, 优先采用中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、大坝水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥等拌制混凝土。适当降低水灰比(可加粉煤灰)、水泥用量, 但必须保证混凝土设计强度等级。混凝土泌水性的大小与用水量有关, 用水量多, 泌水性大; 且与温度高低有关, 水完全析出的时间随温度的提高而缩短。所以, 在选用矿渣水泥时应尽量选择泌水性小的品种, 并应在混凝土中掺

入减水剂以降低用水量。

外加剂适量掺入在混凝土中, 可达到减小新拌混凝土的泌水率, 延缓混凝土的凝结和降低温升的目的, 在混凝土内掺加缓凝高效减水剂则可保证其有足够的缓凝时间, 并在不增加拌合用水量的条件下增大了混凝土的坍落度, 实现混凝土在浇筑过程中延缓内部温度峰值的出现; 增加了混凝土流动性, 从而获得良好的可泵性。

在混凝土浇筑的过程中, 可以根据施工现场条件, 制定切实可行混凝土浇筑方案: 按全面分层<sup>[8-10]</sup>。同时, 应降低混凝土入模温度, 降低拌合水的温度(比如拌合水中加冰块), 骨料用水冲洗降温, 避免曝晒等。

### 2.2 通过养护控温

保温养护更是大体积混凝土施工的关键环节。当承台拆模时, 要对拆模表面进行养护。一般采用浇温水或进行蒸汽养护。养护主要是保持适宜的温度和湿度, 降低混凝土块体的自约束应力, 以便控制混凝土内表温差, 降低大体积混凝土浇筑块体的降温速度, 防止混凝土裂缝的产生和发展。

### 2.3 通过布设冷却管控温

除了从选材角度降低混凝土的水化热和大体积承台的内外水化热外, 还可以可预埋冷水管, 通过循

环将混凝土内部热量带走,进行人工导热。南塔承台共设 5 层冷却水管,冷却水管为  $\Phi 40 \times 2$  mm 的薄壁钢管,其水平间距为 1 m,竖向间距 1.1 m ~ 1.2 m,冷却水管距混凝土侧面应大于 1.0 m,每根冷却

水管长度不超过 200 m。水管的出水口和进水口采取集中布置、统一管理,并标识清楚。水管由离心泵供水。承台冷却水管布置图见图 1 ~ 图 3。

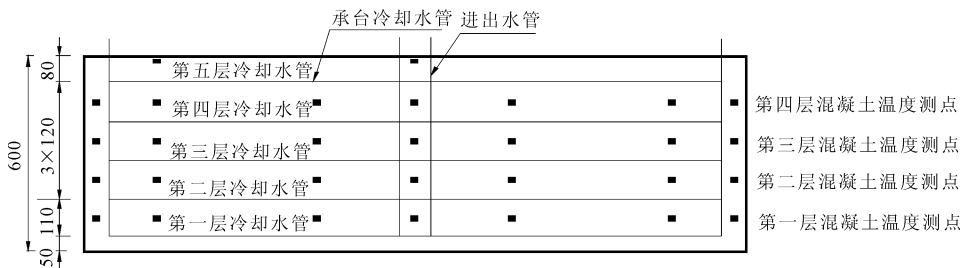


图 1 承台冷却水管与测温点竖向布置图(单位:cm)

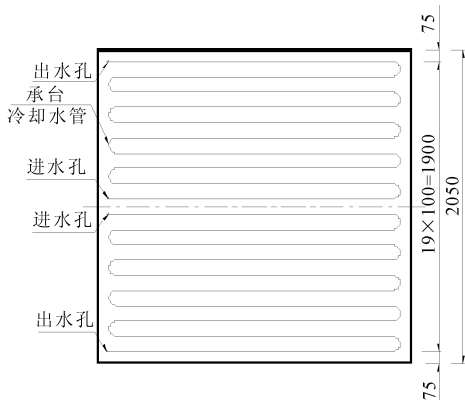


图 2 承台第一、三、五层冷却水管水平布置图(单位:cm)

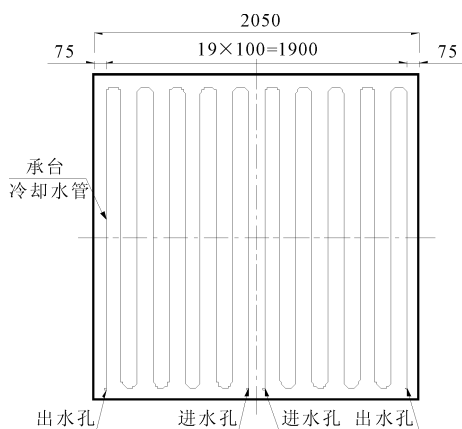


图 3 承台第二、四层冷却水管水平布置图(单位:cm)

根据每次所测的内外温差进行比较,内部温度达到 30℃ 时即开始试通水。当所测内部温度过高且内外温差较大时,将冷却水管内水流加大,同时承台外表面加强保温;当内部温度低于外部温度且温差较大时,内部冷却水管停止通水,对外表面采取适当的降温措施。根据所测数据及时采取相对应的措施,尽量减小混凝土内外温差,保证混凝土使用安全。

承台内部温度一般通过冷却水管内水流大小来控制,而承台表面温度则一般通过在上表面浇筑热水或覆盖稻草及在侧面铺塑料纸等措施来进行保温,也可通过在其表面浇江水使其降温。

冷却管的弯头采用弯管机加工,冷却管的接头采用橡胶套管并用铁丝绑扎牢固不漏水,每端冷却管伸入橡胶管 15 cm。冷却管进出口伸出承台 80 cm,后用橡胶套管连接伸出钢吊箱。进水管采用  $\Phi 125$  mm 钢管,位于钢吊箱箱壁顶面进水管附近,进水管与进水管连接。冷却管进出口集中布置,故需在进出口橡胶管上做出冷却管号标记。

冷却管进口采用每管一阀,每阀单独控制流量。上、下游承台各布置一台 CJDA80 - 17.5 型二级离心泵(另备用一台)。冷却水管安装时,将其按设计位置固定在支架上,并做到管道通畅,接头可靠,不漏水、阻水。冷却水管安装完成后,进行通水检查。混凝土浇筑到盖住一层冷却水管后,即可开始通水降温,并且在进出水口温差较大时,采取倒换进出水口,使混凝土均匀降温。

混凝土浇筑到各层冷却水管标高后,待混凝土终凝便开始通水,各层混凝土峰值过后应停止通水,通水流量应达到 30 L/min,为防止上层混凝土浇筑后下层混凝土温度的回升,可采取二次通水冷却,通水时间根据测温结果确定。

应严格控制进出水温度,在保证冷却水管进水温度与混凝土内部最高温度之差不超过 28℃ 条件下,尽量使进水温度最低;如果温差超过这个标准,可设置水箱,进行循环水冷却。

### 3 温控测点布设与测试方法

在南塔承台混凝土中布设 5 层温度测点,位于

两层冷却水管中间,冷却水管上也适当布置测温传感器。承台测温点竖向布置示意图 1,水平布置见图 4。温度传感器为高阻值高灵敏度温度传感器,直接埋入混凝土中。温度检测仪采用自行研制的 KJ8312A 型数字温度测试仪(图 5),温度传感器的主要技术性能:①测温范围:  $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ;②工作误差:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

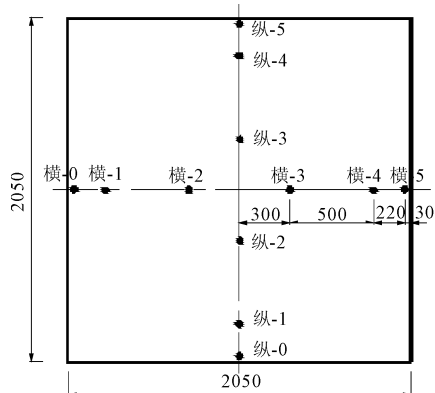


图 4 承台测温点水平布置(单位:cm)



图 5 数字温度测试仪及温度传感器

现场各项测试项目均在混凝土浇筑后立即进行,连续不断。混凝土的温度监测,峰值以前每 2 h 监测一次,峰值出现后每 4 h 监测一次,持续 5 d,然后转入每天测 2 次,直到温度变化基本稳定,每次观测完成后及时填写记录表。混凝土的监测,当温度达到  $30^{\circ}\text{C}$  时,对冷却水管进行试通水,当温度达到  $35^{\circ}\text{C}$  时必须通水。混凝土浇筑结束后,其温度达到峰值后稳定下降,当温度达到  $40^{\circ}\text{C}$  以下冷却水管停止通水,让混凝土缓慢冷却,当每层混凝土温度均达到  $35^{\circ}\text{C}$  时即可停止温度监测。

## 4 承台温度监控结果分析

承台温度实测结果见图 6~图 9。需要说明的是,图中的“外”代表的的数据是图 4 中位于承台各侧边的 4 个测点温度的几何平均值;图中的“内”代表的的数据是图 4 中除了位于承台各侧边的 4 个测点以

外各测点温度的几何平均值。

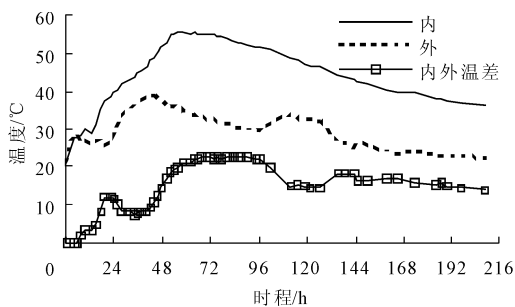


图 6 上游第一层温度时变曲线

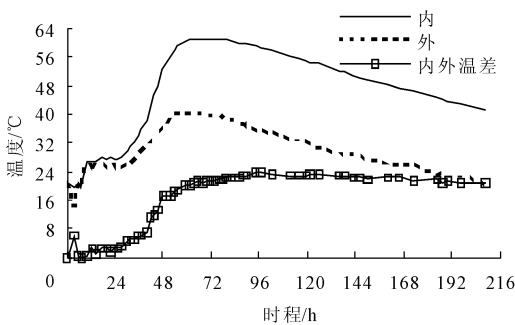


图 7 上游第二层温度时变曲线

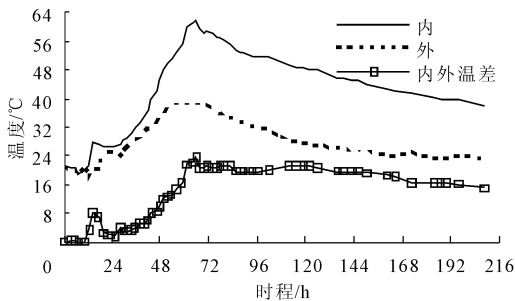


图 8 上游第三层温度时变曲线

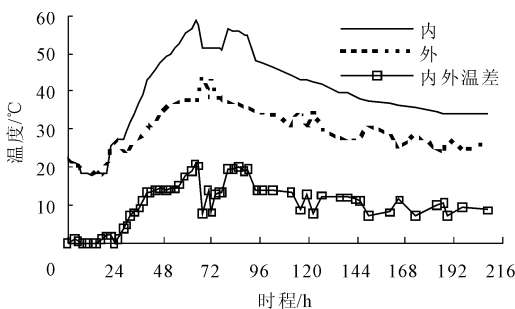


图 9 上游第四层温度时变曲线

从图 6~图 9 各层温度变化及内外温差变化曲线分析得知,各层温度变化曲线基本类似,数据变化具有系统性。每层各测点温度变化趋势基本变化一致,混凝土温度达到高峰值后,呈降低趋势,最后趋于稳定。具体而言,监控结果显示,承台最大内外温差为  $23.7^{\circ}\text{C}$ ,满足规范要求的最大值控制限值  $25^{\circ}\text{C}$ ;承台混凝土内部最高温度为  $62.2^{\circ}\text{C}$ ,接近第

一节温控计算所得混凝土中心最高温度  $61.1^{\circ}\text{C}$ ;且最高温度出现在浇筑后约  $60\text{ h} \sim 96\text{ h}$  之间,也就是浇筑开始后约  $2\text{ d} \sim 4\text{ d}$  时间后达到峰值,之后缓慢下降,趋于平缓。经对承台混凝土进行外观检查,未发现温差裂缝产生,说明温控措施达到了预期的效果。

## 5 结 语

(1) 对大体积混凝土的相关参数进行计算,依据降低水化热和温差原则,拟定了工程所采用的混凝土材料类型及浇筑参数。

(2) 通过对采用一次浇筑的南塔承台混凝土布设五层冷却水管作为降温措施,监测结果表明,全部指标均未超过施工期内保证承台不出现有害温度裂缝而制定的温控标准,温控效果良好,且在混凝土浇筑  $7\text{ d}$  后拆模,经外观检查承台表面未发现有害温度裂缝,说明大体积混凝土的温控措施是行之有效的,对类似工程的大体积混凝土施工亦具有一定的参考价值。

### 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,1999.

- [2] 黎生南.桥墩承台大体积混凝土抗裂计算与温度控制[J].武汉理工大学学报,2010,32(24):63-65.
- [3] 田克平,付欣,任威,等.灌河大桥索塔承台大体积混凝土的施工与温度控制[J].公路,2005,(10):50-56.
- [4] 周水兴,何兆益,邹毅松.路桥施工计算手册[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 刘志勇.马岭河特大桥承台温度控制方案[J].贵州工业大学学报,2007,36(4):136-140.
- [6] 中交第一公路工程局有限公司.JTG TF50-2011.公路桥涵施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [7] 中华建筑科学研究院.GB50204-2002.混凝土结构工程施工质量验收规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [8] 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):12-16.
- [9] 杨斌财,庄宏胜.思贤窖特大桥承台大体积混凝土温度控制[J].公路交通科技(应用技术版),2010,(11):354-357.
- [10] 孙宪魁,杨三强,刘涛,等.桥梁承台混凝土温度应力场及裂缝控制[J].北华大学学报,2010,11(5):454-456.

