

# 重庆大佛寺长江大桥 主塔墩承台混凝土施工与温度监控

朱云翔, 罗行静

(铁道部大桥局五桥处, 江西 九江 332001)

**摘 要:** 重庆大佛寺长江大桥为一座主跨 450 m 的预应力混凝土斜拉桥, 介绍了该桥主塔墩嵌固式承台大体积混凝土施工, 分析了混凝土裂缝产生的机理, 提出了防止温度裂缝产生的监控措施。

**关键词:** 斜拉桥; 承台; 混凝土灌注; 温度监测; 裂缝; 温度应力

中图分类号: U443.25

文献标识码: A

文章编号: 1003-4722(2000)02-0032-04

## 1 工程概况

重庆大佛寺长江大桥位于重庆市区下游, 是重庆—湛江高速公路跨越长江的一座双塔双索面斜拉桥, 见图 1, 塔高 164.68 m, 桥宽 30.6 m, 主跨 450 m, 主桥全长 1 176 m。该桥北主塔即 4 号主塔墩全高 206.68 m, 其

基础为 8 根  $\phi 3.8 \sim \phi 4.8$  m 变截面挖孔桩, 承台为嵌固式钢筋混凝土基础, 长 38.5 m, 宽 19.6 m, 厚 5 m, 混凝土强度等级 C30, 混凝土设计浇注量 3 773 m<sup>3</sup>。承台混凝土内布置 5 层循环冷却水管, 预埋墩身钢筋、避雷针等结构物。

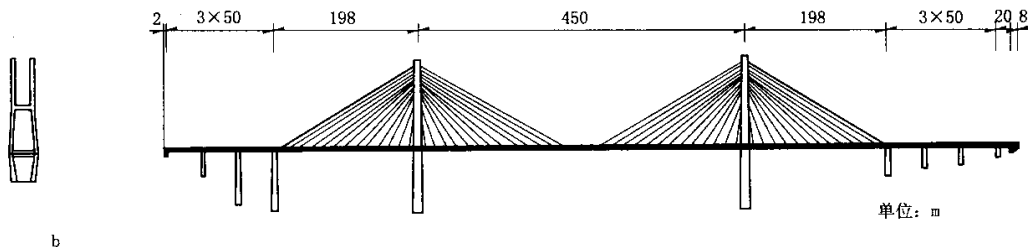


图 1 重庆大佛寺长江大桥简图

本承台工程为超长、超厚大体积混凝土施工, 钢筋密集, 场地狭窄, 要求采用一次性连续浇注, 不留施工缝, 同时必须满足强度、刚度和抗渗等级的要求。因此, 对施工准备、组织设计和现场监控都提出了较高的要求, 特别是严格控制大体积混凝土在硬化过程中水化热而引起的内外温差 (规范要求控制在 25℃ 以内), 防止由于过大的温度应力而导致温度裂缝的产生。按照规范和监理要求, 设计并布置了混凝土温度检测设备, 专人记录温度数据, 监控操作降温系统。经过周密的理论计算、精心组织、协同配合, 连续作业 110 h 完成了混凝土浇注任务。通过系统的测温监控, 防止了裂缝的产生, 取得了基础施工的成功。

## 2 混凝土裂缝产生的机理与预防措施

### 2.1 混凝土水化热温度裂缝产生的机理

在承台承受荷载之前, 混凝土水化热、干缩、施工原因等等均会造成承台出现裂缝。由混凝土水化热产生的温度裂缝主要分为自由板收缩的水化热温度裂缝和受基础约束产生的水化热温度裂缝两种, 大佛寺 4 号墩承台嵌固在人工开挖的微风化砂岩基坑内, 其温度裂缝属于第二种情况。

承台嵌固在基岩内, 混凝土浇注在刚性基础上, 受到基础的刚性约束, 温度沿厚度方向变化。混凝土浇注后, 在水化热作用下, 板内温度迅速上升、体积膨胀, 受刚性接触面的约束, 板内出现压应力。由于初期弹性模量较小, 压应力数值相应较小。当浇注体温度下降, 混凝土逐渐冷却收缩, 其弹性模量较初期有较大增长, 使冷却收缩产生的拉应力超过早期的压应力, 混凝土处于受拉状态。板的底面和表面散热较快, 温度较低, 相应的应力较小, 板中心温升最高, 冷却后的拉应力也最大。

综上所述,对于此次承台施工,浇注厚度较大,内部水化热温升值也大。由于约束作用,冷却收缩的拉应力也大,当超过混凝土的抗拉强度时,将产生内部裂缝,部分地切断了结构断面,具有一定的危害性;表面温度骤降和干缩将产生拉应力。二者叠加,可能导致表面裂缝发展为贯穿裂缝,对结构的整体性和稳定性产生不良影响。因此,这类裂缝必须加以预防和控制。

2.2 预防裂缝产生的措施

2.2.1 设计合理化配合比

经过多组对比试验证明,每 m<sup>3</sup> 混凝土的水泥用量每增减 10 kg,水化热将使混凝土温度变化 1℃。通过试验,合理选用低热水泥及其用量,掺入适量粉煤灰“超量”取代部分水泥,同时严格选择与控制粗、细骨料以及外加剂的规格和质量,降低原材料温度,这样既保证了混凝土强度和抗渗等级,还有效地改善了混凝土的可泵性,延长了凝结时间,推迟了水泥水化热释放,降低水泥水化热,从而降低了混凝土的温升峰值。

2.2.2 布置冷却管

在混凝土内部布置冷却管,通过循环冷却水携带大量的水化热,根据计算水化热绝对温升值及实测温度来控制调节水流量、流速和开停水时间。

2.2.3 薄层浇注

混凝土连续浇注,覆盖加厚,散热性差,会增加和加快混凝土内部最高温升产生,因此必须控制分层厚度,布设合理的浇注点,控制浇注速度。

3 施工准备

3.1 混凝土最高温升计算

混凝土内水化热是由水泥的水化热、混凝土比热及导热系数决定的。混凝土内部最高温升值  $T_{\max}(\text{℃})$  经验表达式为:

$$T_{\max} = T_0 + W/C_1 + F/C_2$$

其中,  $T_0$  为混凝土浇注温度(℃);

$W$  为每 m<sup>3</sup> 混凝土中水泥实际用量(kg);

$F$  为每 m<sup>3</sup> 混凝土中粉煤灰实际掺量(kg);

系数  $C_1$  取 10 kg/℃;

系数  $C_2$  取 50 kg/℃。

在本次混凝土施工中,  $T_0=23\text{℃}$ ,  $W=310\text{ kg/m}^3$ ,  $F=77.5\text{ kg/m}^3$ , 计算得  $T_{\max}=55.6\text{℃}$ 。

从经验公式知道:降低混凝土最高温升必须控制混凝土内部水化热总量和水化热释放速度以及散热速度。为此采取如下措施:控制混凝土入模温度,选用低水化热水泥,最大限度降低水泥用量,延缓混凝土终凝时间,减缓内部温升速度,减缓混凝土表面降温速率等等。

3.2 混凝土原材料的选择

经过精心选择和 14 组配合比对比试验,确定混凝土原材料如下。

(1) 水泥:425 号矿渣硅酸盐水泥,3 d 水化热 187 J/kg,7 d 水化热 255 J/kg,3 d 抗弯强度 6.72 MPa,3 d 抗压强度 40.1 MPa,28 d 抗弯强度 8.67 MPa,28 d 抗压强度 54.5 MPa。0.08 mm 筛筛余 7%,标准稠度用水量 24.8%,初凝时间 2.5 h,终凝时间 6.5 h,安定性合格;

(2) 掺和料:Ⅱ级粉煤灰,其三氧化硫含量 1.036%,烧失量 2.152%,含水量 0.25%,细度 0.045;

(3) 粗骨料:碎石,级配优良,粒径 5~31.5 mm,表观密度 2 730 kg/m<sup>3</sup>,堆积密度 1 480 kg/m<sup>3</sup>,紧密密度 1 508 kg/m<sup>3</sup>,针片状含量 9.0%,压碎指标 11.4%,含泥量 0.4%;

(4) 细骨料:中砂,细度模数 2.4,视比重 2 650 kg/m<sup>3</sup>,堆积密度 1 630 kg/m<sup>3</sup>,紧密密度 1 730 kg/m<sup>3</sup>;

(5) 附加剂:初凝时间 28 h;

(6) 水:江水。

3.3 混凝土理论配合比选用

配合比选用原则:在符合规范要求的前提下,尽量减少水泥用量,采用“双掺”技术,增大粉煤灰用量,改善混凝土和易性、可泵性,初凝时间控制在 20 h 以上。经过 14 组配合比试验,确定最终配合比为:水泥 C:砂 S:碎石 G:粉煤灰 F:水 W:外加剂(LW-5)=1:2.48:3.53:0.25:0.53:0.008,7 d 抗压强度为 33.0 MPa,28 d 抗压强度为 50.6 MPa,坍落度为 17.9 cm。

从对比试验知道:掺加粉煤灰既可以取代部分水泥用量,降低水化热,又可以改善混凝土的和易性,增加流动性,延迟混凝土终凝时间,对降低混凝土温升速率大有好处。

4 施工工艺

4.1 钢筋、模板

承台浇注以开挖基坑为模板(北侧少部分以 40 mm 木模加固),测量基坑尺寸、中线和平整度,符合设计要求后,安装承台钢筋、预埋墩身钢筋冷却管、布设测温元件。清洗坑壁,做好大深度基坑的防坍塌加固处理。

4.2 混凝土浇注与震捣

本承台混凝土浇注量的 3/4 由水上混凝土泵送,另外 1/4 由 2 台 350 L<sup>3</sup> 搅拌机完成,混凝土浇注采用“分段定点、一个坡度、薄层浇注、逐渐覆盖、一次到顶、局部补充”的薄层浇注方法,要求在初凝时间内上层混凝土

必须覆盖下层混凝土,且分层厚度小于 30 cm。

大流动性混凝土在浇注、震捣过程中,泌水和浮浆会顺混凝土坡面下流到坑底,因此事先在北侧预留汇水井,将泌水和浮浆通过潜水泵排出。泵送混凝土坍落度大,在浇注中自然流淌形成一个坡度,保持这一坡度层层浇注,逐渐覆盖,一次到顶,加强全面震捣,保证上、下层在初凝时间内连续浇注。

混凝土出口处布置 3~4 台插入式震捣器,引导混凝土流向,确保混凝土密实,提高混凝土与钢筋握裹力,减小内部微裂缝和混凝土的徐变。

#### 4.3 表面处理

掺加了粉煤灰的泵送混凝土,水泥浆较多,在浇注 2~4 h 后,按设计标高用长木刮尺刮平,然后用木搓板反复搓压,使表面密实,闭合收缩裂缝,在初凝前用铁抹子压光。这样较好地控制了表面裂纹,减少了表面水分的散发。

#### 4.4 养护

为了防止内外温差过大,造成温度应力大于同期混凝土抗拉强度而产生裂纹,养护工作尤其重要,应加强混凝土保温保湿的养护。在顶层混凝土开始降温时先在表面覆盖一层薄膜,一层草袋,然后覆盖一层薄膜,最后再覆盖一层草袋。下层薄膜用来防止水分蒸发,上层薄膜用来隔离低温雨水,同时使表面已升高的温度不易散失,有效地减小混凝土的内外温差。

### 5 混凝土的测温

#### 5.1 测温布控

对大体积混凝土施工进行温度监控,是为了掌握混凝土内部的最高温升及中心与表面的温度差,以便采取内部降温、外部保温蓄热的技术措施,降低并控制混凝土内外温差,实现信息化施工。

根据承台对称的平面形状,考虑材料的节约和数据的可靠性、代表性,本次测温共布置 30 个测点;每层 7 个测点,共 4 层,另外在冷却水出水口和大气中各有 1 个测点,每层的 5 号点布置在冷却管旁。平面上每一个测点,有 8 个不同的温度值;环境温度、草袋薄膜下(混凝土表层)温度和混凝土中 6 个温度值。测点的平面和立面布置见图 2。

以热电偶元件作温度传感器,将其密封并牢固绑扎在承台水平钢筋上,并通过电缆连接到多点数字显示仪(XMM-20)上,测出各测点从混凝土浇注到养护全过程的温度值。

混凝土覆盖测温元件后即开始测温工作,测温 28 d,测试频率为:第 1~3 d,每 2 h 测温 1 次;第 4~7 d,

每 4 h 测温 1 次;第 8~14 d,每 8 h 测温 1 次;第 14~21 d,每 12 h 测温 1 次;第 22~28 d,每 24 h 测温 1 次。

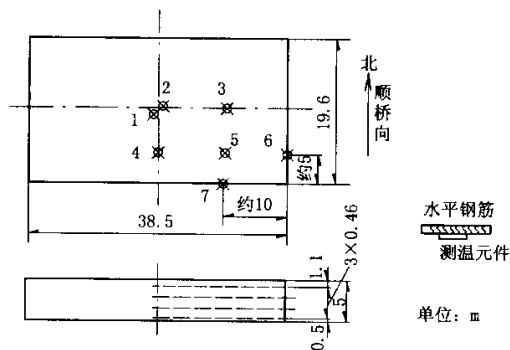


图 2 温度测点布置

#### 5.2 测温结果分析

(1) 冷却管旁绑扎的测温点,平均温度值为  $27^{\circ}\text{C}$ ,普遍比同期混凝土温度值低  $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,这也可以从出水口与进水口温差最高达  $10^{\circ}\text{C}$  得到验证。

(2) 图 3 以第 4 层的 1 号、3 号和 4 号测点为例,示出同一水平面内中心点、1/4 纵、横断面点的温度随龄期的变化曲线。如果不考虑被覆盖时间的先后,3 条曲线基本吻合。

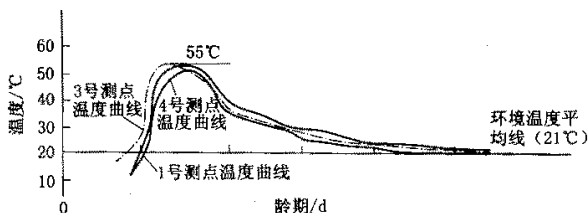


图 3 第 4 层测点 1 号、3 号、4 号点温度曲线

(3) 根据原始记录,承台混凝土最高温升值出现在承台顶部横桥向 1/4 断面点(第 4 层 3 号测点),时间在混凝土开始浇注的第 7 d,即该测点被混凝土覆盖的第 3 d。实测最高温升  $55^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 选取具有代表性的测点第 1、4 层 1 号测点,分析其温度随时间的变化规律,见图 4。

第 1 层 1 号测点代表承台底部温升变化,其规律大致分为 4 个阶段:升温阶段(5 d 内),平均每昼夜温度升高  $5^{\circ}\text{C}$  左右;保持阶段,温度维持在  $35^{\circ}\text{C}$  (3~4 d);降温阶段,一般降温速率为  $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ,到 20 d 趋于稳定;稳定阶段,降温速率缓慢,无大的起伏,逐渐接近环境平均温度。从这个规律看出,前 10 d 内部与表面温差达到最大,是出现裂纹的危险期。此后温差递减,混凝土强度逐步增长,裂缝出现的可能性相对较小。

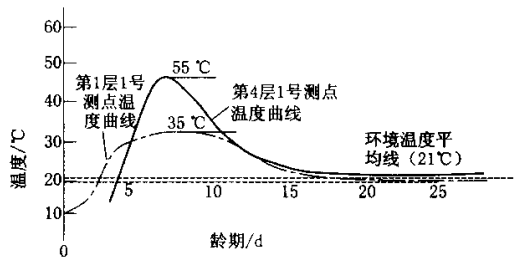


图 4 第 1、4 层 1 号测温点的温度曲线

第 4 层 1 号测点代表承台顶部温升规律。除去覆盖时间的先后,底部、顶部两点同时达到峰值,但顶部代表最高温升值,最高温升维持时间较短,升温、降温速率较快,这与承台水化热量向上传递和顶板的散热条件相印证。承台混凝土施工时,受四周基岩的约束,四周与基底散热条件较差,已浇注混凝土水化热量绝大部分由底部向顶部往上传递,与后浇注上层混凝土水化热叠加,增加温升,这种规律随着混凝土的逐层覆盖、硬化过程的逐步产生及浇注速度的变化而逐渐向上传递。

6 结 语

(1) 重庆大佛寺长江大桥 4 号主塔墩承台整个浇

注过程耗时 110 h,比预期的 8 d 节省 82 h。经过 14 d 的养护,承台表面光滑平整,无微裂缝;经检测,所有混凝土试件抗压强度大于 40 MPa,平均值为 48.1 MPa,真正达到了内实外美的工艺要求。

(2) 对超长、超厚大体积混凝土的施工,需要根据施工条件和方法进行理论计算,验算各阶段的温度差和温度拉应力。最高温升出现在承台顶层,说明温度随高度递增,所以可将冷却管的布置向上移动,布管密度相应增加。

(3) “双掺”技术改善了混凝土的工艺特性,提高了可泵性,节约了水泥用量,降低了成本。

参 考 文 献:

[1] GB50204—92,混凝土工程及验收规范[S].  
[2] JTJ041—89,公路桥涵施工技术规范[S].  
[3] 刘长俊. 混凝土配合比实际计算手册[M],1994.  
[4] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社,1997.  
[5] 王亚斌. 大体积混凝土温度预测与裂缝控制[J]. 桥梁建设,1997,(4):44—47.

Construction and Temperature Monitoring for Pylon Base Concrete of Chongqing Dafusi Changjiang River Bridge

ZHU Yun-xiang, LUO Xing-jing

(The 5th Bridge Construction Division of Major Bridge Engineering Bureau, the Ministry of Railways, Jiujiang 332001, China)

**Abstract:** Chongqing Dafusi Changjiang River Bridge is a PC cable-stayed bridge with a main span of 450 m. Construction of massive concrete of the built-in pylon base of the bridge is described. The mechanism of crazing of the concrete is analyzed, and monitoring measures against the crazing due to temperatures are proposed.

**Key words:** cable-stayed bridge, pylon base, concrete placing, temperature monitoring, crazing, temperature stress