

文章编号: 0451-0712(2005)10-0050-06

中图分类号: U443.25

文献标识码: B

# 灌河大桥索塔承台大体积混凝土的施工与温度控制

田克平, 付欣, 任威, 王锋林

(路桥集团第一公路工程局 北京市 100024)

**摘要:** 介绍了灌河大桥索塔承台大体积混凝土施工的技术与工艺、温度控制标准和温控措施, 阐述了温控监测的内容、方法和效果。结果表明, 工程中采用的工艺和温度控制措施合理, 效果显著; 温控监测结果准确, 实测值与计算值有较好的相符性, 为温度控制提供了可靠信息, 同时也为工程的质量评估提供了可靠依据。

**关键词:** 大体积混凝土; 施工工艺; 温度控制; 温控监测

## 1 概述

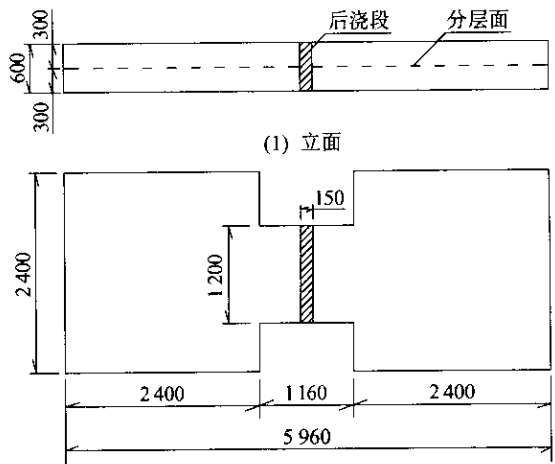
灌河大桥是江苏省连(云港)盐(城)高速公路上的—座特大型桥梁, 主桥为钢与混凝土组合梁双塔双索面半漂浮体系斜拉桥, 主跨为340 m。索塔承台呈哑铃形, 承台平面尺寸为24 m×24 m+12 m×11.6 m+24 m×24 m, 厚度为6.0 m, 混凝土方量7 747.2 m<sup>3</sup>, 属于大面积、多方量的大体积混凝土。大体积混凝土在水泥水化热的作用下, 将产生较高的水化热温升, 形成不均匀非稳定温度场, 产生非均匀的温度变形。温度变形在下部结构和自身的约束之下将产生较大的温度应力, 极易导致混凝土开裂。承台是整座桥梁的基础, 承受着桥梁自重和所有外荷载, 其安全性和耐久性至关重要。为保证工程质量, 减轻或避免温度裂缝, 除应采取合理的施工方法和工艺外, 还必须进行温度控制和温控监测。温度控制是控制温度、防止裂缝的手段; 温控监测是检验温控效果、改善温控措施的依据, 温控监测结果则是评价混凝土温控质量的依据。

## 2 施工方法与施工工艺

### 2.1 工程简况

灌河大桥在江苏省响水县城东约4 km处跨越灌河, 其索塔分别位于南、北两岸, 两座索塔承台的尺寸完全相同。北岸承台(编号为22号), 采取钢板桩围堰方式施工; 南岸承台(编号为23号), 采取锁

口钢管桩围堰方式施工。承台下部的围堰用C25混凝土封底, 厚度为1 m, 根据现场混凝土浇筑方量的要求和拌和站的供应能力, 结合围堰内支撑设置的位置, 确定采取分层分块的方式施工, 每座承台分为2层浇筑, 每层厚度为3 m, 并在承台系梁的中部设置1.5 m宽的后浇段。即每座承台分为4大块体进行施工, 连同后浇段共分5次浇筑, 每个块体的最大浇筑方量为1 909.8 m<sup>3</sup>, 后浇段方量为108 m<sup>3</sup>, 同时按照分层分块的要求进行温控设计, 分层分块示意图1所示。



单位: cm

图1 承台分层分块示意

2.2 承台钢筋与模板

承台钢筋主要有 $\phi 32$ 、 $\phi 25$ 和 $\phi 20$ 三种规格,共布置 7 层,其中承台顶部 3 层,底部 4 层,主筋间距为 15 cm,层间距为 20 cm,底部的主筋为双根束筋布置。主筋的连接采用墩粗直螺纹平口型套筒,连接的质量要求须符合现行《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ107—2003)的规定。由于每层钢筋的重量大,层与层之间必须加设较强的支撑筋,实际施工时多采用 $\square 10$ 号槽钢及部分 $\phi 32$ 短钢筋配合安装。

承台模板采用了两种形式,即 22 号承台的组合钢模板和 23 号承台的 5 号角钢框架与竹胶板组成的大模板。为减少材料用量,节省成本,模板按 1/4 个承台进行配置。模板的支撑采用 $\square 10$ 号槽钢作为纵横背楞,可调碗扣支架顶托配合钢管作为支撑,一端支撑在模板型钢背楞上,另一端支撑在围堰钢管(板)桩内侧。从使用情况看,竹胶板做模板板面较组合钢模的保温效果要好,混凝土成品外观也较好,但成本要高于组合钢模。

2.3 冷却水管的布设与安装

冷却水管采用热传递性能较好的输水黑铁管,公称直径为 32 mm,共布置 5 层,其中第 1 级混凝土 2 层,第 2 级混凝土 3 层。同层水管的水平间距为 0.9 m,第 1 级混凝土层间距为 1 m,第 2 级混凝土层间距为 0.7 m。为便于通水降温,同层水管设 3 对进出水口,所有进出水口均高出承台顶面 1 m,并用竖向水管接出。水箱容量为 8~10 m<sup>3</sup>,位置高出承台顶面 3~4 m,为便于控制通水流量,冷却水管进水口安装有控制阀门。

按照冷却水管布置图,从每一层的一侧依次接长连接水管,用铁丝将水管固定在钢筋上,水管接头采用自来水管中的 90°弯头。为确保冷却水管连接牢固不漏水,每个接头均在顺螺纹方向缠绕 3~5 圈生胶带。冷却水管安装完成后,进行试通水,以检查接头的密封情况,发现漏水,及时处理。

2.4 混凝土浇筑工艺

因承台混凝土分层分块施工,每一块体的浇筑方量为 1 908.8 m<sup>3</sup>,故在考虑满足浇筑强度要求的基础上,遵循“分段定点、薄层浇筑、循序推进”的原则进行施工。

施工时每岸各配备 2 台拌和站,这样既可加快混凝土的搅拌速度,又可以相互作为备用设备应急。北岸 22 号承台采用 HBZ50 型混凝土拌和站,南岸 23 号承台采用 HBZ75 型混凝土拌和站。混凝土搅拌时

间为 90 s,坍落度控制在 150~200 mm,缓凝时间为 18~20 h。

混凝土采用直接泵送方式输送,即分别将 2 台卧泵置于拌和站出料口下,通过长距离泵送入模。

承台施工时已进入冬季,外界气温及砂石料的温度均较低,因此混凝土按冬季施工的要求进行浇筑,通过对混凝土拌和用水加热、材料覆盖等保温措施,确保混凝土入模温度高于 5℃。实际上,低温季节对降低混凝土入模温度、减小大体积混凝土内部的最大温升是十分有利的。施工时混凝土入模温度一般控制在 10℃左右,为降低混凝土的内部温度创造了良好的条件,同时也对温控起到了关键作用。

3 温控措施

承台施工之前,对大体积混凝土的温度控制进行了方案设计,按照温控设计方案的要求,每个承台都在中心位置布置了温控监测仪器,监测仪器的位置和数量完全相同。监测仪器选择铜电阻温度计,22 号承台布置在右半部,23 号承台布置在左半部。

温控监测块体的浇筑时间及气温见表 1。

表 1 温控监测块体的浇筑时间及气温

部位		浇筑时间	气温/℃	
			变幅	平均
22 号承台	下层	2004/12/18 10:00~12/19 10:00	8.0~10.0	9.2
	上层	2005/1/10 ~1/11		
23 号承台	下层	2004/12/6 10:00~12/7 19:00	3.0~13.5	7.9
	上层	2004/12/24 15:00~12/25/ 22:00	-6.0~5.0	-2.7

3.1 混凝土性能

3.1.1 混凝土材料的配合组成

承台大体积混凝土的设计强度等级为 C30,选用 32.5(R)水泥和 I 级粉煤灰;石料为 5~31.5 mm 连续级配花岗岩碎石;砂子为中砂;外加剂为 L—M9 奈系缓凝减水剂,混凝土材料用量见表 2。

表 2 混凝土材料用量

材料名称	水泥	粉煤灰	砂	碎石	水	外加剂	合计
材料用量 kg/m <sup>3</sup>	286.0	123.0	670.0	1 068.0	180.0	6.14	2 333.14
相对用量/%	12.26	5.27	28.72	45.78	7.71	0.26	100.00

3.1.2 混凝土抗压强度

混凝土 3 d、7 d 和 28 d 的抗压强度分别为: $R_3=$

20.1 MPa,  $R_7=24.5$  MPa,  $R_{28}=38.4$  MPa。

### 3.1.3 混凝土弹性模量

混凝土 3 d、7 d 和 28 d 的弹性模量分别为:  $E_3=2.97 \times 10^4$  MPa,  $E_7=3.23 \times 10^4$  MPa,  $E_{28}=3.51 \times 10^4$  MPa。

### 3.2 温度控制标准

根据温控设计, 施工中采用以下温控标准:

(1) 混凝土的内表温差  $\leq 24$  °C;

(2) 混凝土的浇筑温度应小于  $T+4$  °C ( $T$  为浇筑期旬平均气温), 混凝土最高温升不超过 29 °C。

### 3.3 温度控制措施

(1) 在满足混凝土设计强度的前提下, 优化配合比, 减少水泥用量, 掺用适量的粉煤灰, 降低混凝土的水化热温升。

(2) 调整施工时间, 尽量选择气温较低的日子施工, 同时安排承台的中下层混凝土在夜间浇筑。

(3) 尽量减少泵送管道的长度, 加快运输和入仓速度, 减少混凝土在运输和浇筑过程中的温度回升。

(4) 承台分层、分块浇筑, 在系梁中间设置了后浇段。

(5) 采用冷却水管:

① 冷却水管的水平间距和上下层间距小于或等于 1.0 m;

② 单根水管长度小于 230 m;

③ 冷却水管采用导热性能好的薄金属管, 管内径大于 30 mm;

④ 水管内通水流量为 16~20 L/min, 并根据混凝土的温升情况调整通水流量的大小, 冷却水的进水口水温一般为 9~12 °C;

⑤ 通水从混凝土浇筑后开始, 通水时间一般为 7 d。

(6) 加强表面保温与养护, 混凝土浇筑完毕后, 立即在上表面用土工布覆盖保温, 并用从冷却水管流出的温水养护, 在承台四周与围堰钢管(板)桩之间也用土工布覆盖保温。

(7) 注意施工质量, 提高混凝土的均匀性和抗裂性。

(8) 加强温度监控, 随时为施工提供温控信息, 及时调整和改进温控措施, 使温度控制满足温控标准。

## 4 温控监测设计与温控监测

### 4.1 温控监测设计

#### 4.1.1 仪器的选择

仪器选择依据实用、可靠和经济的原则, 在满足监测要求的前提下, 选择操作方便、价格适宜的仪器。根据大量水电工程和近几年国内大型桥梁监测经验与使用效果, 选择铜电阻温度计作为温度传感器, 经多个工程的应用证明, 此种仪器效果很好。

#### 4.1.2 仪器的布点

仪器的布点按照突出重点、兼顾全局的原则, 在满足监测要求的前提下, 以尽量少的仪器获得所需的监测资料。根据结构的对称性和温度变化的一般规律, 仪器主要布置在相互垂直的两个中心断面上, 每个中心断面又以其中半个断面为重点。为配合施工, 22 号承台的温度计布置在右幅, 23 号承台的温度计布置在左幅, 每幅埋设 60 支温度计, 仪器的布点如图 2 所示。每幅承台中, 仪器的位置和数量完全相同。

#### 4.2 仪器的埋设与观测

仪器的埋设参照 DL/T 5178—2003《混凝土大坝安全监测技术规范》执行, 并根据承台的特点加以改进, 由具有埋设技术和经验的专业人员指导操作。混凝土入仓后即由专人观测, 观测人员经过专门培训。观测频次为先密后疏, 以确保温度的连续性, 并以测得最大值和最小值为原则。混凝土入仓之前, 至少观测一次, 检查仪器埋入后有无损坏, 并观测仓内温度。总的观测时间约为 60 d, 正式观测从仪器被埋入开始, 第 5 d 前每 4 h 一次, 第 5~10 d 每 6 h 一次, 第 11~15 d 每 8 h 一次, 第 16~30 d 每 24 h 一次, 第 30 d 以后每 2 d 一次。

#### 4.3 监测效果

南岸 23 号承台按要求进行监测, 取得了好的效果, 且根据监测结果, 至观测结束时为止, 仪器完好率为 100%。从观测结果看, 所有测值均有很好的规律性, 正确地反映了混凝土的实际温度。为指导温度控制, 保证承台质量提供了科学数据。

## 5 温度监测结果

### 5.1 温度变化规律

图 3~图 6 分别给出了 23 号承台上、下层混凝土中部分典型测点的温度变化曲线, 这些点的温度变化过程基本上代表了混凝土各个部位的温度变化规律。

#### 5.1.1 一般变化规律

混凝土入仓之后, 8~15 h 开始升温, 升温速度较快, 一般 2.5~5.0 d 达到最高温度, 距表面愈近

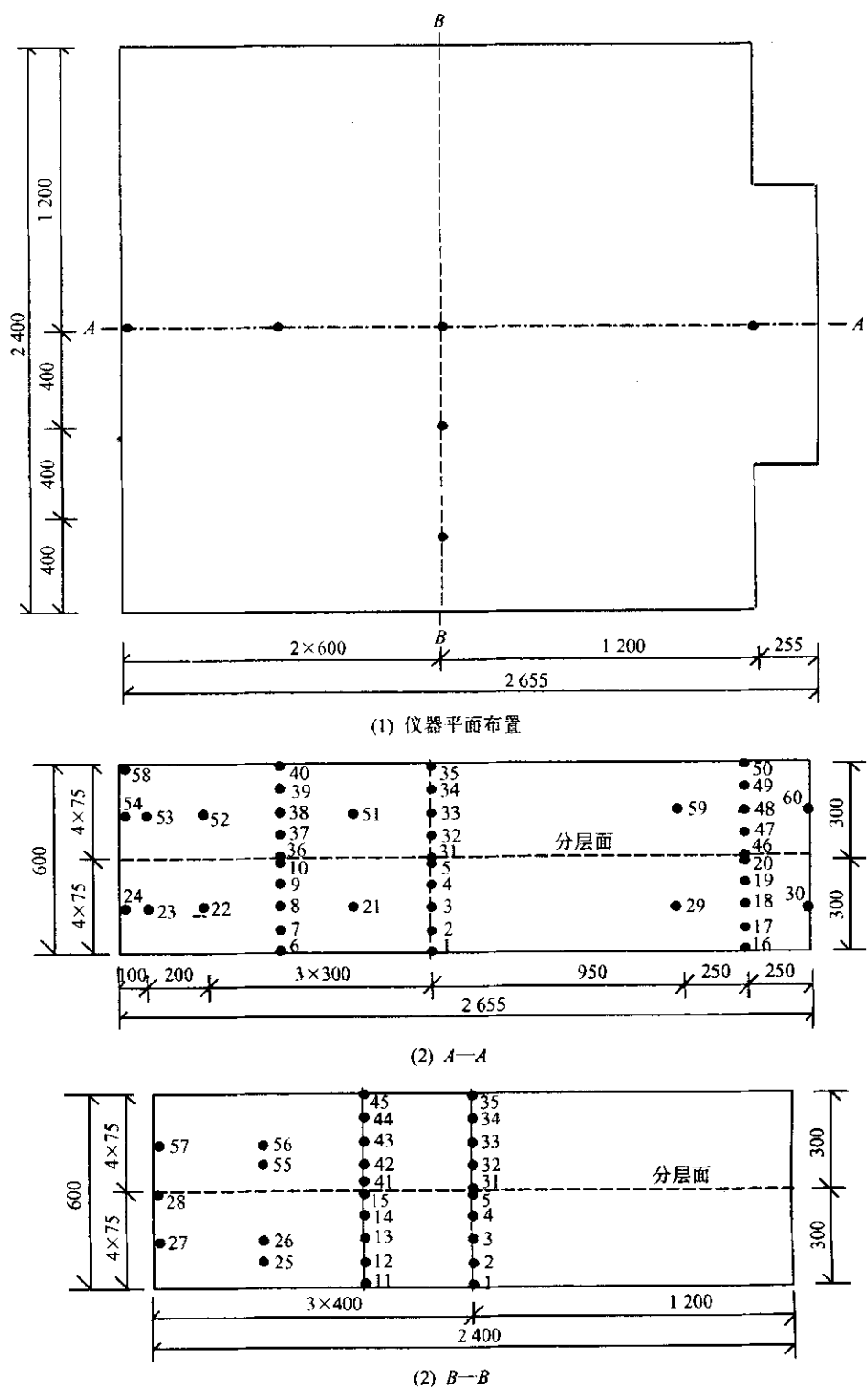


图 2 温度计布置

的点,升温时间愈短。温度峰值稳定6~24 h 后开始下降,其中,距表面愈近的点,峰值稳定时间愈短。降温速度受外界因素的影响较大,外界因素主要为水管冷却和表层温度;水管冷却期间降温速度快;外界温度愈低,降温速度愈快。

5. 1. 2 内部点的温度变化

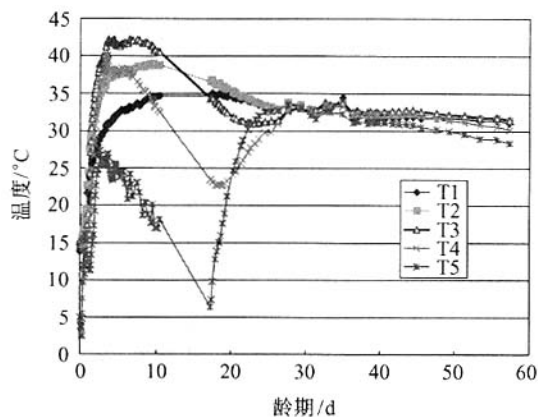


图3 23号承台下层中心线上测点温度变化曲线

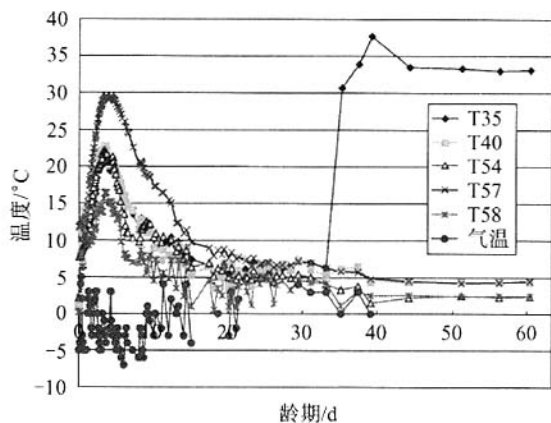


图6 23号承台上层边界点温度变化曲线

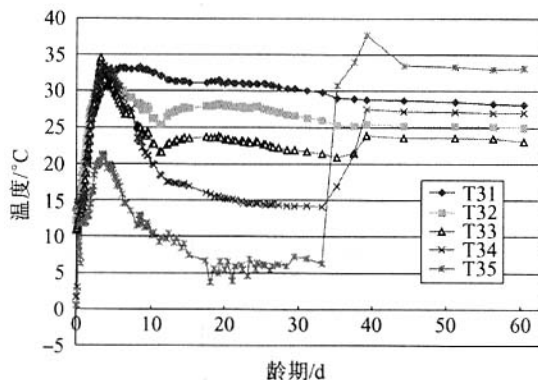


图4 23号承台上层中心线上测点温度变化曲线

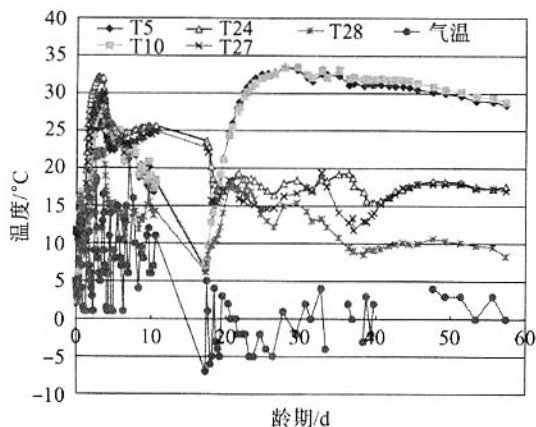


图5 23号承台下层边界点温度变化曲线

图3中的T2、T3、T4和图4中的T32、T33、T34分别为承台下层与上层的内部测点,这些内部测点都有以下相似的变化规律:混凝土浇筑后温度很快上升,达到最高温度后又以较快的速度下降。当冷却水管停水以后,混凝土温度有所回升,其中,下层回升 $0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ,上层回升 $2.0 \sim 3.0^{\circ}\text{C}$ 。当上层混凝土浇筑后,受上层混凝土水化热的影响,温度又有不

同程度地升温 and 降温的过程,越靠近上层的点,温度回升越高,最大的回升可达 $14^{\circ}\text{C}$ 。一个半月后,温度开始均匀而缓慢地下降,并逐渐趋于稳定。

### 5.1.3 底面点的温度变化

图3中的T1和图4中的T31分别为承台下层与上层底面上的点,它们受地基或下层混凝土温度的影响大,受水管冷却和上层混凝土的影响较小,温度变化曲线光滑,无突变现象。温度达到高峰后稳定时间最长,降温速度也很平缓。

### 5.1.4 边界点的温度变化

图5和图6分别为承台下层与上层边界上不同点的温度变化曲线,这些测点早龄期具有以下相似的变化规律:混凝土浇筑后温度很快上升,但温升不高,达到最高温度后又迅速下降,一般18 d龄期后接近外界气温,并随外界温度变化。由于各点所处的位置不同,它们后期的变化相差较大。图5中的T5、T10和图6中的T35为浇筑层的上表面点,当上层混凝土浇筑之后它们变为内部点,温度大幅度回升,回升值可达 $30^{\circ}\text{C}$ 以上,此后和其他内部点一样,均匀而缓慢地降温;图5中的T28和图6中的T58为浇筑层的边角点,它们受气温的影响大,温升最小,升降温速度特快,8 d之后即随外界温度变化,它们与气温最接近,但T28在上层混凝土浇筑之后也有温度回升;图5中的T24、T27和图6中的T57为承台的侧表面点,它们旁边有钢管桩保温,在边界点中温升最高,降温速度较慢,后期随气温变化的幅度也较小。

### 5.1.5 沿承台厚度的温度分布

图7为23号承台不同龄期的温度沿承台厚度的分布,即沿承台中心线上的温度分布,图中龄期是指上层混凝土的龄期,高度由下层底面算起。由图可

知,3 d 龄期时,上层混凝土温度呈抛物线分布,最高温度在中层面上,此时内部的温度以分层面以下 75 cm 处最低;7 d 龄期时,上层温度由上到下逐渐增高,以分层面的温度最高;14 d 龄期后,温度曲线变得光滑,最高温度下降到 225 cm 高度处。

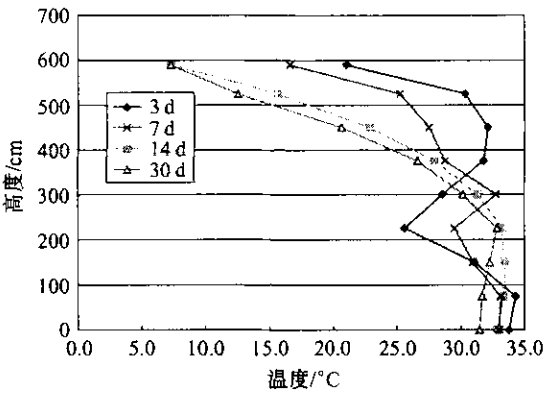


图7 23号承台温度沿厚度分布

5.1.6 沿承台水平向的温度分布

图8为承台沿水平方向的温度分布,即是沿承台上层1/2高度截面中心线(顺水流)上的温度分布,由于温度分布对称,图中仅示出1/2,0点为截面中点。由图看出,尽管龄期不同,沿水平向各测点的温度都基本相同,但距截面中心300 cm的点和边界点除外。距截面中心300 cm点的温度较其他点偏低,可能是距冷却水管近,散温更多所致,边界点温度偏低则是由于外部气温的影响。14 d龄期后,距边界100 cm的点也受到气温的影响。由此得出,承台温度分布与板的热传导理论相符,只有距边界小于100 cm的点受气温的影响较大。

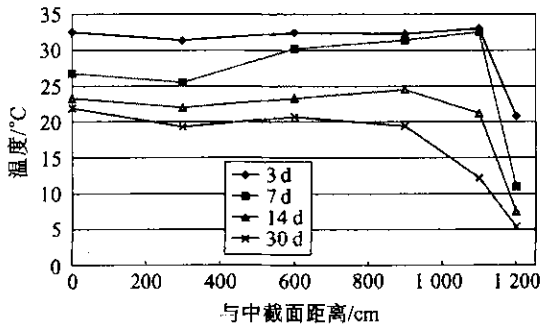


图8 23号承台温度沿水平向分布

5.2 温度特征值

23号承台上、下层的温度特征值如表3所示。表中的浇筑温度为浇筑期内不同时间测值的平均值,

最高温升是最高平均温度与浇筑温度之差,内表温差为浇筑块内平均最高温度与表面温度之差,上下层温差系指上层混凝土最高平均温度与新混凝土开始浇筑时下层实际平均温度之差。表中结果表明,各项结果均满足温控标准,特别是23号承台上层,因为浇筑混凝土时气温较低,各项特征值都明显降低,大大低于温控标准。所以,选择气温较低的日期施工,并采取薄层浇筑的方式,都是非常有效的温控措施。

表3 23号承台温度特征值 C

部位	浇筑温度	平均最高温度	最高温度	最高温升	内表温差	上下层温差
下层	13.1	41.4	43.8	28.3	21.5	
上层	10.5	33.9	35.5	23.4	17.1	2.78

6 温控效果分析

6.1 温控效果

表3中的温度特征值说明,承台的内表温差、上下层温差和最高温升均满足温控设计提出的温控标准。承台内表温差最大为21.5℃,较温控标准低2.5℃;最高温升为28.3℃,较温控标准低0.7℃。

从防裂效果看,虽经冬季寒潮的考验,承台未发现裂缝。

从满足温控标准和防裂效果说明,施工中采用的温控措施是合理的、适用的、有效的,取得了很好的温控效果。

6.2 冷却水管的降温效果

通过冷却水管进出口水温的测量可知,进口水温一般为9~12℃,出口水温一般为20~36℃,出口水温一般较进口水温高12~19℃,最高可达25℃。说明冷却水带走了混凝土的不少热量,具有明显的降温效果。另外,从23号承台上、下层冷却水温的测量记录可知,23号承台上层冷却水管经改进后,克服了下层流量不稳的状况,流量控制更好,它的各项特征值都比下层明显降低,水管冷却的效果好也是原因之一。所以,正确地使用水管冷却,是承台温度控制中关键而有效的措施,可以达到预期的降温效果。

6.3 表面保温的温控效果

承台浇筑后,都及时在表面用土工布覆盖保温,在承台四周与钢管(板)桩之间也用土工布覆盖保温。这对于减小温度梯度和内表温差有很好的作用,各浇筑块的内表温差都不大,特别是23号承台上层

文章编号: 0451-0712(2005)10-0056-05

中图分类号: U445.35

文献标识码: B

# 嘉陵江大桥重庆岸现浇段支架的设计与施工

翟庆龙, 彭正勇

(路桥集团第一公路工程局三公司 北京市 101102)

**摘 要:** 介绍了 61 m 高支架的设计构思和施工要点。采用该法施工, 不仅可以节省人力、物力, 同时还可做到安全快捷, 该支架的设计对类似工程有一定的参考价值。

**关键词:** 支架; 设计; 施工

## 1 工程概况

嘉陵江大桥主桥为 3 跨一联长达 520 m 的连续刚构桥, 其跨径布置为 140 m+240 m+140 m。重庆岸边跨长的 132.235 m, 其中 111.5 m 为在单 T 状态下由轻型挂篮悬臂浇注, 有 18.735 m 长的现浇段和 2 m 长的合拢段是在落地支架上浇注。

主桥上部构造为三向预应力混凝土箱梁, 纵向、横向预应力束采用高强低松弛钢绞线, 竖向预应力束采用精轧螺纹钢。现浇段内的箱梁断面, 梁高为 3.6 m, 底宽为 8 m, 顶宽为 15.36 m, 现浇段与合拢

段混凝土方量为 300 m<sup>3</sup>, 总重约 780 t。

现浇段位于河床漫滩, 基岩埋置较浅, 地表层为卵石类土(约 2 m 厚), 其下为砂质泥岩。嘉陵江洪水期大约在 5 月~10 月。

## 2 支架设计

依据地质特点和现有材料, 现浇段支架采用独柱基础, 平面钢管桁架墩柱, 型钢盖梁、贝雷纵梁组合形式支架, 见图 1 所示。支架高 61 m, 支架总重约 300 t。

收稿日期: 2005-09-14

和 22 号承台下层, 内表温差之小是其他工程少见的。

## 7 结语

灌河大桥索塔承台大体积混凝土的施工已经结束, 通过工程实践, 可得出如下结论。

(1) 从 2004 年 12 月到 2005 年 3 月, 历经多次寒潮的袭击, 承台未出现裂缝, 根据温度应力的变化规律, 以后再产生温度裂缝的可能性已很小。说明本工程的温度控制是成功的, 收到了预期的防裂效果, 保证了混凝土的质量。

(2) 温控监测结果表明, 温度特征值全部满足温控标准, 说明施工中采用的施工工艺和温控措施是有效的、合理的、成功的。

(3) 冷却水管是非常有效的降温措施, 对于降低承台混凝土的最高温升具有明显效果。

(4) 表面保温与养护对于减小内表温差、防止表面裂缝有重要作用。

(5) 避免了温度裂缝是对承台温度控制的综合效果, 除冷却水管和表面保温与养护外, 本工程中采用的其他温控措施亦起到了应有的防裂效果。

(6) 温控监测成功率高, 数据规律性好, 真实地反映了混凝土内各部位的温度变化, 正确地揭示了承台的温度变化规律。

(7) 温控监测为施工及时提供了温度信息, 对及时改进温控措施、确保温控标准、防止裂缝等发挥了重要作用, 达到了温控监测目的。

## 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] 干坞设计规范[S].
- [3] SDJ 21-78, 混凝土重力坝设计规范[S].
- [4] JTJ 041-2000, 公路桥涵施工技术规范[S].