



嘉绍大桥主墩承台大体积混凝土裂缝控制

张洪波, 陈 胜, 秦明强, 房艳伟
(中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 嘉绍大桥主墩承台结构尺寸大, 混凝土内部散热较慢, 易导致内表温差较大, 同时受封底混凝土及桩基强约束, 施工过程中处理不当极易出现裂缝, 且承台全部没于水下, 混凝土一旦开裂难以修补。针对上述特点, 在混凝土温度场及温度应力场仿真计算的基础上, 制定了严格的温控标准, 通过采取混凝土浇筑温度控制, 内部埋设冷却水管并通水冷却、有效保温保湿养护、加强混凝土质量控制等措施, 使各承台未出现有害裂缝, 达到了预期的控制效果。

关键词: 主墩承台; 大体积混凝土; 裂缝控制

中图分类号: U 44

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2012)08-0183-04

Cracks controlling for mass concrete of main pier pile caps of Jiashao bridge

ZHANG Hong-bo, CHEN Sheng, QIN Ming-qiang, FANG Yan-wei
(CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

Abstract: According to the case that mass concrete of the main pier pile caps of Jiashao bridge is easy to crack in construction, because of the enormous section size, slow heat dissipation, easily inducing high inner-outer temperature difference, strong constraint of bottom concrete and piles, and it is difficult to repair the cracks on the pile are, because that the pile caps are all underwater, we design the standard of temperature controlling on the basis of simulated result of temperature and thermal stresses distribution of mass concrete. By taking some temperature control measures, such as controlling pouring temperature of concrete, applying recycling cool water, insulated and humidity curing, and controlling the quality of concrete, harmful cracks don't appear in the main pier pile caps of Jiashao bridge and anticipated controlling effect is achieved.

Key words: main pier pile cap; mass concrete; cracks controlling

嘉绍大桥北起海宁尖山围垦区, 跨钱塘江水域, 至上虞九六围垦区, 被誉为“杭州湾第二通道”。大桥全长10.137 km, 其中主航道桥为六塔独柱四索面分幅钢箱梁斜拉桥, 其跨径布置为70 m+200 m+5×428 m+200 m+70 m=2 680 m。索塔墩基础采用对水流适应性较强的圆形承台, 直径为39.0~40.6 m, 高为6 m, 混凝土方量为7 167~7 767 m³, 采用C30海工高性能混凝土。承台结构尺寸庞大并在夏季施工, 混凝土内部温升高, 同时受水下4 m厚C20封底混凝土及32根直桩基强约

束, 加之干湿循环、温度因素等影响, 施工中处理不当极易造成较大的温度及干缩应力, 混凝土结构容易出现裂缝。承台顶面高程设计为-4.5 m, 整个结构全部没于水下, 混凝土一旦开裂, 极难修补, 致使外界侵蚀介质侵入极易穿过混凝土表面渗透到钢筋, 导致钢筋截面减小, 混凝土胀裂剥落, 危及建筑物的正常运行。

为保证承台混凝土施工质量, 避免产生有害裂缝, 确保大桥的使用寿命和运行安全, 对主墩承台大体积混凝土施工期温度场及应力场进行仿

收稿日期: 2012-03-02

作者简介: 张洪波(1980—), 男, 工程师, 从事项目管理工作。

真计算, 根据计算结果制定了严格的温控标准, 并依据现场混凝土内部温度监测数据及时调整措施, 以保证主墩承台混凝土的施工质量^[1-3]。

1 混凝土配合比设计

由于混凝土内部温度变化是产生温度应力的根本原因, 而水泥水化热量及其用量直接影响到混凝土的水化热温升, 所以混凝土配合比设计的

原则为控制水泥中C3A含量(≤8%)以降低水泥水化热, 同时在满足混凝土施工要求的基础上尽量降低水泥用量, 控制水化热温升。利用矿物掺合料大掺量复掺技术, 用粉煤灰和矿粉取代部分水泥, 以降低混凝土的水化热温升, 有效降低混凝土内部最高温度, 防止内表温差超过标准要求。通过大量的试验优选出混凝土配合比, 如表1所示。

表1 承台混凝土配合比

强度等级	kg/m ³						
	水泥	粉煤灰	矿粉	砂	碎石	水	减水剂
	海螺P. II 42.5	谏壁 I 级	万兴S95	赣江中砂	上虞东关	自来水	浙江五龙
C30	132	188	80	765	1057	138	4.4

2 温控方案设计

2.1 温度场及温度应力场仿真计算分析

结合承台的结构特点, 同时考虑施工期间大气温度、养护方式、冷却水管降温、环境温度变化、外部约束条件以及混凝土徐变等复杂因素影响, 依据实际工况确定相关计算参数, 采用大型有限元分析软件对承台结构施工期间的温度场及温度应力场进行仿真计算。仿真计算依据及主要参数如下: 承台高6 m, 分2层(2.5 m+3.5 m)进行浇筑; 施工时间在8—9月份, 气温为25~36℃, 混凝土浇筑温度需采取相关措施控制, 按不超过30℃计算; 混凝土物理力学及热学参数依据配合比(表1)进行计算并参考经验值(表2); 承台混

凝土受4 m厚C20封底混凝土及32根直桩基约束; 采用双壁钢围堰施工, 壁厚6 mm, 壁间宽度1.5 m, 经热工计算其等效保温系数取为1 840 kJ/(m²·d·℃), 考虑到承台位于围堰中, 防风效果较好, 风速按2.7 m/s, 混凝土表面散热系数取为1 200 kJ/(m²·d·℃); 计算时考虑徐变对混凝土应力松弛作用, 混凝土的徐变取值按经验数值模型, 如式(1)所示:

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

式中: $C_1=0.23/E_2$, $C_2=0.52/E_2$, E_2 为最终弹模。下塔柱实心段混凝土施工期间内部温度包络图及温度应力仿真计算结果分别见图1及表3。

表2 承台混凝土物理力学及热学参数

结构部位	劈裂抗拉强度/MPa				最终弹模/ GPa	热胀系数/ (1·℃ ⁻¹)	导热系数/ (kJ·m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	比热/ (kJ·kg ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	绝热温升/ ℃
	3 d	7 d	28 d	180 d					
承台	1.20	1.80	2.90	3.30	35.0	8.0 × 10 ⁻⁶	264.0	1.0	41.0

表3 承台混凝土最高温度及温度应力结果

结构部位	最高温度/℃	最大主拉应力/MPa			
		3 d	7 d	28 d	180 d
第1层混凝土	64.8	1.05	1.11	1.72	1.60
第2层混凝土	68.3	1.12	1.01	1.26	1.24
最小安全系数		1.07	1.62	1.69	2.06

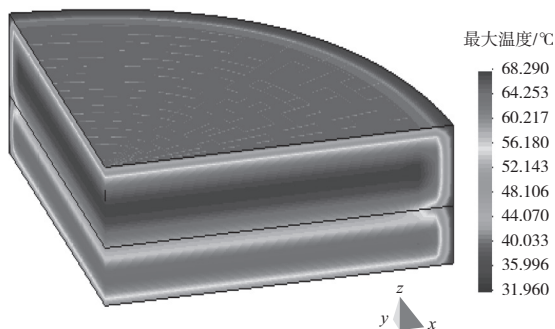


图1 承台混凝土最高温度包络图

分析混凝土最高温度包络图及温度应力计算结果可知, 承台混凝土内部温度较高、散热较慢, 应密化承台中间部位冷却水管排布, 加强冷却循环水系统管理, 保证冷却效果。3 d的最

小抗裂安全系数为1.07,早期抗裂安全系数偏低(<1.3),抗开裂能力不足,早期龄期需采取较严格的温控措施,加大浇筑初期尤其是第二层浇筑时的通水流量,增强混凝土升温期的降温效果,同时做好混凝土表面保温,减小内表温差注意表面保温。

2.2 温控标准

依据温度场及温度应力场仿真计算结果,结合相关规范要求及以往工程经验,制定出主墩承台混凝土不产生有害温度裂缝的温控标准,其要求如下:1)混凝土浇筑温度不宜高于30℃;2)混凝土内部最高温度≤69℃;3)混凝土内表温差不超过25℃;4)混凝土降温速率不应大于2.0℃/d。

3 现场裂缝控制措施

主墩承台尺寸庞大,混凝土水化热温升高,受封底混凝土及桩基强约束,施工期暴露面多,因此,在施工过程中,从混凝土拌制、运输、浇筑到通水、保温、养护整个过程实施全程有效监控,特别对混凝土浇筑温度、通水冷却、保温保湿养护及施工质量进行了严格控制,保证承台施

工质量。

3.1 浇筑温度控制

承台混凝土施工集中于8月和9月,日最高气温达40℃,现场测试各原材料温度,经热工计算得到混凝土浇筑温度约为36℃^[4],超过温控标准要求值。故施工过程中对混凝土浇筑温度进行了严格的控制。具体措施为:砂石骨料堆场搭设遮阳棚,避免骨料受阳光曝晒,施工前2h用地下水喷淋碎石,利用水分的蒸发作用降低碎石温度,并将骨料堆高至6m以上,拌合混凝土时底层取料;拌合水采用地下水,并采取加冰降温措施,控制拌合水温低于15℃;尽量在夜间低温时段浇筑;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;避免模板和新浇筑混凝土受阳光直射,通过洒水保证入模前的模板与钢筋温度以及附近的局部气温不超过40℃。因混凝土用量多,浇筑用时较长,横跨昼夜时段,夜间浇筑温度较低,而白天高温时段混凝土的浇筑温度稍高,混凝土浇筑温度控制在25~32℃(表4),建议高温季节对于方量较小的构件可利用温度较低时段施工。

表4 主墩承台大体积混凝土温控监测指标

结构部位	浇筑厚度/m	浇筑温度/℃	内部最高温度/℃	水化热温升/℃	最高温度出现时间/h	最大内表温差/℃
1#承台1层	2.5	31.3	67.5	36.2	64	16.1
2#承台1层	2.5	32.1	66.9	34.8	56	14.4
3#承台1层	2.5	30.0	63.5	33.5	56	10.6
1#承台2层	3.5	25.7	59.4	33.7	70	13.9
2#承台2层	3.5	30.8	64.1	33.3	66	17.8
3#承台2层	3.5	25.6	58.3	32.7	76	17.4

3.2 通水冷却

为有效降低承台混凝土内部温度,依据温度场仿真计算结果,承台第1层混凝土(2.5m)内部埋设2层冷却水管,第2层混凝土(3.5m)内部埋设3层冷却水管,冷却水管采用直径为 $\phi 32 \times 2.8$ mm、具有一定强度、导热性能好的钢管制作,其水平间距和垂直间距分别为0.8m和0.9m,承台冷却水管布置如图2所示。冷却水采用后场自来水,水温较恒定,在20℃左右。进出水口集中布置,每层冷却水管设置一个分水器,以利于统一管理,分水器设置相应数量的独立水阀以控制各套水管冷却水流量。委派专人管理调节每套冷却水管的流

量,以控制不同部位的降温速率,防止温度梯度过大。混凝土浇筑前确保进行不少于半个小时的通水试验,查看水流量大小是否合适,发现管道漏水、阻水现象要及时修补至可正常工作。

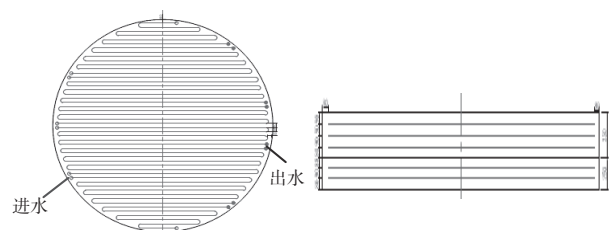


图2 承台冷却水管布置

3.3 保温、保湿养护

为有效控制承台混凝土内表温差,防止有害温度裂缝的产生,同时避免混凝土表面干燥收缩裂缝的出现,待承台混凝土终凝后,在其顶面蓄水30 cm以上,以达到保温、保湿的养护效果。养护用水均使用冷却水管出来的温水,以减小养护水与承台表面混凝土之间的温差,承台混凝土养护时间为7 d^[5]。

3.4 混凝土质量控制

有效控制混凝土质量,保证其均匀性,减少薄弱区域出现的概率,增强混凝土抵抗裂缝产生的能力,对防止大体积混凝土出现裂缝具有非常重要的作用。承台施工过程中利用新拌混凝土单位水量测定仪(W-Checker)对混凝土拌合物用水量、含气量及坍落度进行监控,以保证浇筑过程中新拌混凝土的均匀性。同时加强混凝土施工过程中的布料及振捣工作控制,采取分层布料、分层振捣,分层高度控制在30~50 cm。振捣方式为插入式振捣器垂直点振,移动距离不能大于振捣器作用半径的1.5倍,且插入下层混凝土内的深度需在5 cm以上,定员作业,防止漏振、欠振及过振现象,保证混凝土振捣密实,尽量减小薄弱区域出现的概率。

4 现场温度检测

为做到信息化施工,及时了解承台各层混凝土的温控效果,以便根据现场温控情况及时采取调整措施,采用TR32-SD型现场定时自动测温记录仪对混凝土内部温度进行实时监测、记录,传感器为PN结温度传感器。温度测点布置如图3所示,测温于混凝土覆盖测温点开始,并持续监测15 d至温度基本稳定。

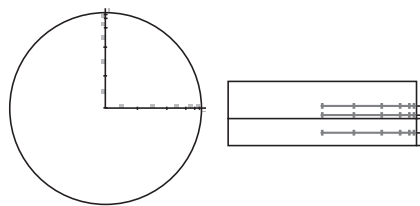


图3 温度测点布置示意图

主墩承台混凝土内部温度场监测结果(表4)可知,承台混凝土浇筑温度介于25.6~32.1℃,部分混凝土的浇筑温度稍高于温控标准要求。混凝土平均水化热温升为43.0℃,较仿真计算值(38.3℃)稍高。各层混凝土内部最高温度介于58~68℃,最大内表温差介于10~18℃,均满足温控标准的要求,控制效果良好。

5 结语

在嘉绍大桥主墩承台大体积混凝土施工中,结合承台的结构特点,对混凝土施工期温度场及温度应力场进行仿真计算,并依据仿真计算结果制定严格的温控标准,通过混凝土浇筑温度控制,埋设冷却水管并通水降温、表面保温保湿养护及混凝土施工质量控制等措施,确保了承台混凝土各项温控指标满足温控标准要求,防止承台出现有害裂缝,达到了预期的控制效果。

参考文献:

- [1] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京:中国建筑业出版社, 2004.
- [2] 郭之章, 傅华. 水工建筑物的温度控制[M]. 北京:水利水电出版社, 1990.
- [3] 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.
- [4] 江正荣. 建筑施工计算手册[M]. 北京:中国建筑业出版社, 2001.
- [5] 贺茂生, 任回兴, 聂青龙, 等. 苏通大桥南塔墩承台超大体积混凝土施工温控关键技术[J]. 公路, 2006(5): 90-95.

(本文编辑 郭雪珍)