

Research on Temperature Control Technology of Mass Concrete Construction in Abutment

Ji Ding

First Engineering Co. Ltd., China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group, Dalian Liaoning
Email: 719698432@qq.com

Received: Nov. 26th, 2019; accepted: Dec. 23rd, 2019; published: Dec. 30th, 2019

Abstract

Temperature crack is the main form of mass concrete crack, mass concrete cracks have a great hazard to structure service life. Taking the Zhaolongba bridge as the engineering background, the principle and standard of concrete temperature control during the construction of large-volume concrete abutment of CFST arch bridge are introduced. Take a series of temperature control measures and effectively monitored by the developed temperature control plan, it shows clearly that comprehensive plan of adjustment of concrete pouring sequence, concrete mix ratio optimization, aggregate shading, ice-adding operation, and during monitoring adjust cooling water flow can control the internal temperature and the table difference in temperature of the concrete. The implementation of the project scheme achieves good results and there are no obvious harmful cracks, complying with the expected temperature control target.

Keywords

Concrete Temperature Crack, Mass Concrete, Temperature Control, Temperature Monitoring

拱座大体积混凝土施工温控技术研究

丁吉

中铁建大桥工程局集团第一工程有限公司, 辽宁 大连
Email: 719698432@qq.com

收稿日期: 2019年11月26日; 录用日期: 2019年12月23日; 发布日期: 2019年12月30日

摘要

温度裂缝是大体积混凝土裂缝的主要形式, 大体积混凝土裂缝对其使用寿命有很大的危害。以找龙坝河

特大桥工程为工程背景,介绍了钢管混凝土拱桥大体积混凝土拱座施工过程中混凝土温度控制的原则和标准。通过制定的温控方案采取了一系列温控措施并进行有效监控,充分说明采用混凝土浇筑顺序的调整、混凝土的配合比的优化、骨料遮阳、加冰作业、监控过程中调整冷却水流量的综合方案能够控制混凝土内部温度和内表温差。工程方案实施后取得了良好的效果,未出现明显可见的危害性裂缝,达到了预期的温控目标。

关键词

混凝土温度裂缝, 大体积混凝土, 温度控制, 温度监控

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,在拱座大体积结构混凝土的裂缝分析中,大体积混凝土开裂[1] [2] [3]的主要原因有水化热、外加剂使用不足、养护工作不到位等,影响到桥梁整体施工质量,对此需要采取有效防治措施。本文以温控标准为依据,结合实际工程,从大体积拱座混凝土控裂难点入手,制定具体温控方案来实现预期的温控目标。

2. 工程概况

找龙坝河特大桥为主跨 225 m 的上承式钢管混凝土拱,两岸拱座位于陡崖上,采用整体式钢筋混凝土结构。建始岸拱座尺寸: $17 \times 21.5 \times 15.877$ m,配 4 根直径 2.4 m 的基桩(距离拱座底 5.8 m 处有一溶洞)。恩施岸拱座尺寸: $18 \times 21.5 \times 20.877$ m,基底呈台阶状。拱座与拱脚结合处 4.8 m 范围内采用 C40 混凝土,其余部位及桩基础采用 C30 混凝土。基础施工完毕后即可采用对开挖面进行防护,防护面为横桥向以桥中心线为准 20 m,采用挂网喷浆普通锚杆防护,喷射混凝土 C20 厚 10 cm,锚杆间距 1 m,因边坡为稳定性良好的硬质岩(坚石、次坚石)边坡,主锚杆采用 $\Phi 16$ 钢筋,长度 0.8 m;辅助锚杆采用 $\Phi 12$ 钢筋,长度 0.6 m。桥梁总体布置图如图 1 所示。

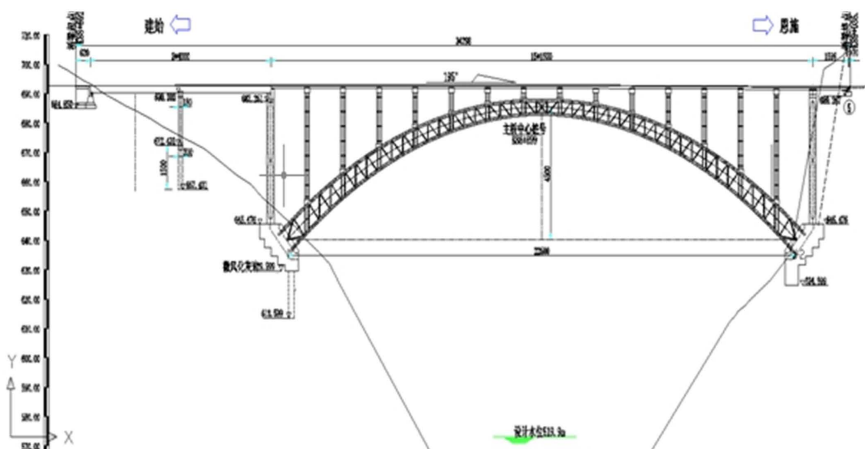


Figure 1. General layout of the bridge

图 1. 桥梁总体布置图

3. 控裂重难点

- 1) 拱座混凝土方量大，混凝土绝热温升高；混凝土温升控制不当时，极易因内表温差产生较大温度应力而导致开裂；
- 2) 拱座施工期在 7 月~10 月，属于高温期施工，浇筑温度控制难度大；
- 3) 拱座为基岩支护，后期易于拱座与基岩交界面产生约束应力集中而开裂。

4. 标准温控

找龙坝河特大桥拱座混凝土温度控制原则主要有四个方面：

- 1) 控制混凝土浇筑温度；
- 2) 尽量降低混凝土的温升、延缓温峰出现时间；
- 3) 控制温峰过后混凝土的降温速率；
- 4) 降低混凝土中心和表面之间、新老混凝土之间的温差以及控制混凝土表面温度和气温之间的差值[4]。

为确保大体积混凝土的抗裂安全度，根据应力分布及各项影响因素综合计算分析，拱座混凝土的温控标准按下表 1 中的数值进行控制。

Table 1. Main index of temperature control standard for mass concrete of abutment

表 1. 拱座大体积混凝土温控标准主要指标

混凝土内外温差控制值	$\leq 25^{\circ}\text{C}$
混凝土降温速率控制值	$\leq 2.0^{\circ}\text{C/d}$
进、出口温度差控制值	$\leq 10^{\circ}\text{C}$
水温与内部混凝土温差控制值	$\leq 25^{\circ}\text{C}$
混凝土入模温度	$\leq 28^{\circ}\text{C}$
混凝土最高温升	$\leq 70^{\circ}\text{C}$
养护水与混凝土表面温差	$\leq 15^{\circ}\text{C}$

5. 现场温控措施

针对拱座控裂重难点，根据现场施工情况，采取一系列现场温控措施，主要通过控制混凝土的质量，浇筑温度，冷却水管的埋设和保温保湿养护来实现控裂目标。

5.1. 原材料优选及配合比优化

混凝土物理、热学性能是影响大体积混凝土温控效果最基本、最重要的因素，配制出性能优良的混凝土已使温控工作成功了一半。大体积混凝土原材料选取和配合比设计应以抗裂为核心，并满足水化热低、可泵性好、体积稳定性好及耐久性优良等要求。

1) 原材料优选

根据表 2 和表 3 要求结合自产及地方材料优选原材料如下：

水泥：建始泰丰 P·O42.5；

粉煤灰：湖南石门 F 类 I 级；

外加剂：中交二航 CP-J 型减水剂；

粗骨料：大龙潭 4.75~9.5 mm、9.5~19 mm；

细骨料：杉木坝 0~4.75 mm；
拌合水：地方深井水。

Table 2. Consideration of selection of concrete raw materials
表 2. 混凝土原材料选取考量因素

原材料	考量因素	参考规范
水泥	比表面积、强度、C3A 含量、碱含量、温度	《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175)
粉煤灰	烧失量、需水量比	《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》
磨细矿渣粉	强度活性、烧失量	《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》
细骨料	含泥量、细度模数	《建筑用砂》(GB/T14684)
粗骨料	含泥量、级配	《建筑用卵石、碎石》(GB/T14685)
外加剂	减水率、适应性、凝结时间	《聚羧酸系高性能减水剂》(JG/T 223)

2) 配合比优化

Table 3. Mass concrete proportion of abutment (kg/m³)
表 3. 拱座大体积混凝土配合比(kg/m³)

构件	标号	水泥	粉煤灰	砂	碎石	水	减水剂
建始侧 3#拱座	C40	240	140	795	1055	160	4.0
恩施侧 4#拱座垂直面	C30	225	150	805	1071	145	3.8
恩施侧 4#拱座斜面	C40	240	140	795	1055	160	4.0

5.2. 控制混凝土浇筑温度

找龙坝河特大桥桥梁施工过程中为保证混凝土浇筑温度，根据现场实际情况采取以下多项措施：

- 1) 骨料温度控制：骨料仓搭棚遮阳，碎石洒深井水降温；
- 2) 水泥温度控制：控制进场温度，跟踪测温，夏季设置遮阳棚；
- 3) 水温控制：夏季高温时加冰降温。

5.3. 冷却水控制

采用 $\Phi 42 \times 2.5$ mm 型冷却水管，现场每层间距 1 m (设计 1.5 m) 布置冷却水管，现场水管水平间距为 1.5 m (设计 2 m)。每根冷却水管采用阀门和增压箱连接冷却水管进水口并统一布置，利于综合性管理。

前期采用循环水补充凉水降温，后期依靠循环水内循环降温，适时补充凉水来控制降温速率。各层冷却水管标高在浇筑混凝土以后进行通水，为了控制下层混凝土因为上层混凝土浇筑而产生温度回升，需要进行二次通水冷却，根据测温结果来确定通水时间；根据进、出口温度差控制值来控制减缓通水，可以使用水阀来实现，减少流速，形成平缓的水流，促使混凝土以层流状态进行冷却；为了对进出水温度进行有效控制，冷却水的温度需要控制在 14℃~16℃ 左右。

5.4. 保温保湿养护

拱座混凝土养护措施主要为顶面洒水保湿养护，侧面覆盖土工布保温养护。

水的温度不低于混凝土温度 10℃ 以上，对混凝土和模板覆盖保温；对混凝土不造成损伤时及时拆模，在混凝土外露表面洒水；混凝土温度峰值出现时间为 2~3 天龄期，至浇筑第 3 天全部用土工布和塑料布铺设完毕。

5.5. 匀质性施工

拱座为大体积混凝土，拱座混凝土采用分层分块浇筑[5]。建始侧 3#拱座采用一台天泵，水平分层浇筑。恩施侧 4#拱座由于高差较大，采用 2 台地泵接力水平分层浇筑。

建始侧 3#拱座垂直面分 5 m + 6 m + 4.88 m 三次浇筑，斜面分 3.5 m + 8.38 m 两次浇筑，合计 5 次浇筑。恩施侧 4#拱座垂直面分 3 m + 4 m + 2 m + 3 m + 4 m + 4.88 m 六次浇筑，斜面分 3.5 m + 8.38 m 两次浇筑，合计 8 次浇筑。

6. 监控结果及分析

对现场混凝土温度进行监控并对温度结果进行分析，以此来判定采取的温控措施效果。

6.1. 建始侧 3#、恩施侧 4#拱座各层混凝土温度监控结果

混凝土温度监测建始侧 3#、恩施侧 4#拱座各层混凝土温度监测数据如下表 4 所示。

Table 4. Monitoring data of temperature characteristic values of each layer of Jianshi side 3# and Enshi side 4# abutments
表 4. 建始侧 3#、恩施侧 4#拱座各层温度特征值监测数据

部位	内部最高温度(°C)	温峰到达时间(°C)	最大内表温差(°C)	降温速率(°C/d)
3#拱座第一层	70.3	57	19.4	1.0~1.6
3#拱座第二层	74.7	51	18.7	0.2~2.3
3#拱座第三层	74.9	52	24.8	0.2~2.8
3#拱座第四层	69.4	30	23.9	2~3.5
3#拱座第五层	74.9	46	24.5	0.6~3.1
4#拱座第一层	69.2	57	17.3	2.3~3.1
4#拱座第二层	71	53	24.6	1.3~2
4#拱座第三层	66.5	50	24.3	1.2~3.5
4#拱座第四层	66.7	54	24.6	1.5~2.6
4#拱座第五层	70	41	18	1.7~2.0
4#拱座第六层	70.7	56	24.7	1~2.4
4#拱座第七层	67.8	40	20.7	0.7~3.5
4#拱座第八层	64.9	38	23.4	0.9~3.3

6.2. 建始侧 3#拱座各层混凝土温度发展情况

由表 4 所示，拱座各层混凝土 30~57 h 左右期间相继到达温峰，内部最高温度 69.4°C~74.9°C。

第一层、第四层混凝土最高温度符合 $\leq 70^\circ\text{C}$ 的温控标准，第二层、第三层、第五层混凝土最高温度不符合 $\leq 70^\circ\text{C}$ 的温控标准。分析原因：1、气温较高局部气温高的时段达到 40°C，导致混凝土入模温度较高；2、混凝土凝结时间偏短，测点区域混凝土普遍在覆盖后的 4~5 个小时做开始迅速水化升温，水化反应快。

混凝土内表温差前期随内部温度增加而增加，后期随表面温度波动而波动，各层混凝土最大内表温差为 18.7°C~24.8°C，最大内表温差符合 $\leq 25^\circ\text{C}$ 的温控标准。

温峰过后通过调节冷却水控制降温速率约为 1.0°C/d~3.5°C/d，第 1、2 层混凝土降温速率基本符合 $\leq 2.0^\circ\text{C/d}$ 的温控标准。第 3~5 层部分时段超出 $\leq 2.0^\circ\text{C/d}$ 的温控标准，降温速率过快时段为降温初期的 3

天左右, 由于内部温度过高, 表面温度下降较快, 适当延长通水加快内部降温来降低内表温差。降温 3 天后降温速率基本符合 $\leq 2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的温控标准。

6.3. 恩施侧 4#拱座各层混凝土温度发展情况

由表 4 所示, 拱座各层混凝土于 38~57 h 左右期间相继到达温峰, 内部最高温度 $64.9^{\circ}\text{C}\sim 71^{\circ}\text{C}$, 各层混凝土最高温度基本符合 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ 的温控标准。

混凝土内表温差前期随内部温度增加而增加, 后期随表面温度波动而波动, 各层混凝土最大内表温差为 $17.3^{\circ}\text{C}\sim 24.7^{\circ}\text{C}$, 最大内表温差符合 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 的温控标准。

温峰过后通过调节冷却水控制降温速率约为 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{d}\sim 3.5^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 第 2、4、5、6 层混凝土降温速率基本符合 $\leq 2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的温控标准。第 1、3、7 和 8 层部分时段超出 $\leq 2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的温控标准, 降温速率过快时段为降温初期的 3~4 天左右, 由于内部温度过高, 表面温度下降较快, 适当延长通水加快内部降温来降低内表温差。降温 3 天后降温速率基本符合 $\leq 2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的温控标准。

7. 研究取得主要技术成果

找龙坝河大桥拱座监测工作历时 4 个月, 按照上述温控方案落实施工, 温控措施实施情况良好。从现场情况来看, 未出现明显可见的危害性裂缝, 达到了预期的温控目标。该施工工艺解决了大体积混凝土裂缝问题, 可供同类桥梁大体积混凝土施工参考。

参考文献

- [1] 卢天亮. 对木兰松花江公路大桥中大体积混凝土温度监控应用的研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2018.
- [2] 张宇鑫. 大体积混凝土温度应力仿真分析与反分析[D]: [博士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [3] 赵金枝. 公路桥梁拱座大体积混凝土施工技术研究[J]. 交通世界, 2019, 498(12): 132-133.
- [4] 秦宇. 大小井特大桥拱座大体积混凝土温度控制与施工技术[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 287(1): 114-115.
- [5] 钊传华, 毕波, 赵忠斌. 大体积混凝土温度控制技术在永乐油田桥梁工程中的应用[J]. 油田地面工程, 2018(9): 91-94.