

Temperature Control and Crack Prevention Technology of Mass Concrete

Shengwei Sun^{1,2*}, Xin Huang²

¹School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin

²Doctoral Research Center of China Railway Eighteen Bureau Group Co., Ltd., Tianjin

Email: ssw5256081@163.com

Received: Dec. 6th, 2018; accepted: Dec. 21st, 2018; published: Dec. 28th, 2018

Abstract

Due to the large amount of concrete, cement hydration heat and heat, uneven heat dissipation in the concrete inside and outside and under the conditions of internal and external constraints, large volume concrete in the construction process is easy to produce large temperature stress in the concrete resulting in concrete cracking. Based on the stiffened reinforced concrete arch bridge of the South Pan River special bridge project, the heat release process of simulated concrete pouring and hydration is calculated and the temperature of the concrete is controlled by the arrangement of the heat dissipation tube in order to prevent the formation of the large volume concrete temperature cracks in the arch foundation pit.

Keywords

Mass Concrete, Crack Control, Temperature Control, Heat of Hydration

大体积混凝土温控防裂技术

孙胜伟^{1,2*}, 黄欣²

¹天津大学, 建筑工程学院, 天津

²中铁十八局集团有限公司, 博士后工作站, 天津

Email: ssw5256081@163.com

收稿日期: 2018年12月6日; 录用日期: 2018年12月21日; 发布日期: 2018年12月28日

摘要

大体积混凝土在施工过程中, 由于混凝土的量, 水泥的水化热热量大, 在混凝土内外散热不均匀以及

*第一作者。

文章引用: 孙胜伟, 黄欣. 大体积混凝土温控防裂技术[J]. 土木工程, 2019, 8(1): 13-20.

DOI: 10.12677/hjce.2019.81003

受到内外约束的情况下, 混凝土内部易产生较大的温度应力, 导致混凝土发生开裂。以南盘江特大桥工程的劲性骨架钢筋混凝土拱桥为依托, 为防止拱座基坑大体积混凝土温度裂缝的产生, 通过计算进行模拟混凝土浇筑和水化的放热过程并布置散热管控制混凝土的温度。

关键词

大体积混凝土, 防裂, 温控, 水化热

Copyright © 2019 by authors 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

从以往大体积混凝土的施工经验中可知, 大体积混凝土在施工过程中, 由于混凝土的量, 水泥的水化热热量大, 在混凝土内外散热不均匀以及受到内外约束的情况下, 混凝土内部易产生较大的温度应力, 导致混凝土发生开裂[1] [2] [3] [4]。因此, 大体积混凝土施工中的温度控制是防止混凝土开裂的关键, 如何进行混凝土的温度控制即采取那些技术措施防止混凝土开裂, 是桥拱座大体积混凝土施工前必须研究解决的重要课题[5] [6] [7]。

2. 混凝土产生开裂的原因分析

2.1. 水泥水化热的影响

混凝土浇筑后, 水泥在水化过程中要释放大量的水化热, 而大体积混凝土结构断面较厚, 热量聚集在结构内部不易散发, 使结构内部温度升高。由于混凝土的导热性能较差, 浇筑初期混凝土强度及弹性模量都很低, 对水化热引起的急剧温升约束不大。随着混凝土龄期的增长, 弹性模量的增高, 对混凝土内部降温收缩的约束也就越来越大, 以致产生很大的拉应力, 当混凝土的抗拉强度不足以抵抗这种拉应力时, 便开始出现温度裂缝。

2.2. 外界气候的影响

大体积混凝土浇筑时间较长, 外界气温昼夜变化大。气温越高, 混凝土浇筑温度越高, 同时高温条件下, 混凝土不易散热。昼夜温差或混凝土浇筑后气温突然下降, 使混凝土内外产生较大温差($>25^{\circ}\text{C}$), 而温度应力则是由温差所引起的温度变形造成的, 因此温差越大, 温度应力也越大, 就越容易出现裂缝。

2.3. 混凝土的收缩变形影响

混凝土中的水分要蒸发, 会引起混凝土体积的干缩。在高温下, 混凝土中水分蒸发快, 很容易引起干缩变形。如拌合、浇筑、振捣等方法不当, 混凝土内粗细骨料分配不匀, 密实度不等, 收缩系数不一, 在约束不同的情况下, 即可在脆弱部位引起开裂。

3. 温控防裂措施

3.1. 大体积泵送混凝土配合比优化

- 1) 选用中热硅酸盐水泥, (目前低水化热得矿渣硅酸盐水泥基本不生产), 充分利用混凝土后期强度,

减少水泥用量。

2) 采用北京建恺混凝土外加剂有限公司 JKPCA-01 聚羧酸高效减水剂。

可用更多的粉煤灰取代水泥。

3) 掺加 30% 的粉煤灰, 降低水泥用量, 减少水泥水化热。

4) 选用质量优良的粗细集料: 粗集料根据泵送要求, 选择了 5~20 mm 连续级配, 且石子的含泥量 $\leq 1\%$, 其中泥块含量 $\leq 0.5\%$; 细集料采用级配良好的中砂, 特别控制砂的含泥量 $\leq 2\%$, 其中泥块含量 $\leq 1\%$ 。增加混凝土的抗裂性。

3.2. 降低浇注温度

浇筑温度低可以降低混凝土的最高温升, 一是选择弥勒气温低的 1~4 月分浇筑, 二是施工用砂、石料均存放在拌合站的料棚内, 三是与厂家协调尽可能水泥温度低的时候运至施工现场, 四是施工用水避免太阳长时间的暴晒。

3.3. 改进搅拌工艺和浇筑方案

在搅拌混凝土时改变以往的投料方式, 采取先把水、水泥和砂搅拌后, 再投放碎石进行搅拌的方法(即二次投料法)。这种搅拌工艺的优点是无泌水现象, 使硬化后的混凝土界面过渡层的结构致密, 粘结加强。

一是拱座混凝土实行分块分层浇筑, 分块浇筑层高控制在 400 cm 以内, 分层要做到第一层浇筑完成后, 第二层开始浇筑时, 第一层混凝土尚未凝固, 如此逐层连续进行, 直至浇筑完毕。且分层浇筑摊铺厚度不大于 50 cm; 二是分层连续浇筑不得随意留施工缝, 其层间的间隔时间应尽量缩短, 必须在前层混凝土初凝之前, 将其次层混凝土浇筑完毕。三是在混凝土浇筑过程中, 应及时进行混凝土表面的处理: 在大体积混凝土浇筑过程中, 由于混凝土表面泌水现象普遍存在, 为保证混凝土的浇筑质量, 要及时清除混凝土表面泌水; 在混凝土初凝前用铁磙筒碾压二遍, 再用木抹子搓平、压实, 三次成活, 可以有效防止混凝土表面龟裂。

3.4. “内排外保”, 减少混凝土内外温差

大体积混凝土内外温差控制在 25℃ 以内, 可避免混凝土出现温度收缩裂缝, 为此我们采取了以下措施:

3.4.1. “内排”

尽快排出混凝土内部热量, 降低混凝土内部温度。在混凝土浇注以前, 预先在混凝土内安设循环水管道作散热管, 混凝土浇筑中和浇筑后开启水循环散热, 连续养 9~12 天, 混凝土达 28 天后用不低于结构混凝土标号的水泥净浆将散热管灌浆。

1) 散热管布置

散热采用 $\phi 42 \times 2.5$ mm 焊接钢管, 层间分别布置。厚度为 4 m 浇筑块沿竖直方向水平面置 4 层, 厚度为 2.5 m 浇筑块水平布置 3 层, 层间管间距上下、左右均为 1 m 左右, 层间上下间距满足层内要求, 个别为 0.75 m; 具体见图 1~4。由于 C30 混凝土只设护面钢筋, 散热管需与架立角钢就近固定, 或再设架立钢筋固定, 架立钢筋位置及规格依现场情况而定, 能满足稳定即可。

2) 冷却水池的布置

为了满足冷却水管中连续通水要求, 在基坑上方设置两个高位水池, 在下方设置一个低位出水集水池。利用高、低位水池的高差压力使冷水从冷却管进口流入到出水集水池, 在出水集水池内安设水泵, 将出水集水池的水向高位水池抽入, 完成冷却水的循环, 具体布置见图 5。冷却水管的进出口与进出水

总管之间的连接需设置阀门, 具体见图 6。

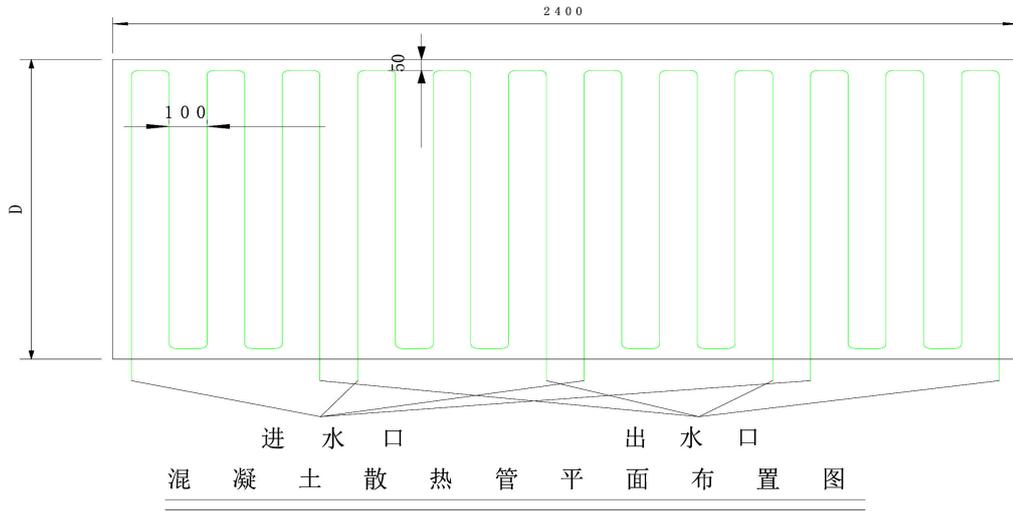


Figure 1. Layout graph of concrete cooling tubes
图 1. 混凝土散热管平面布置图

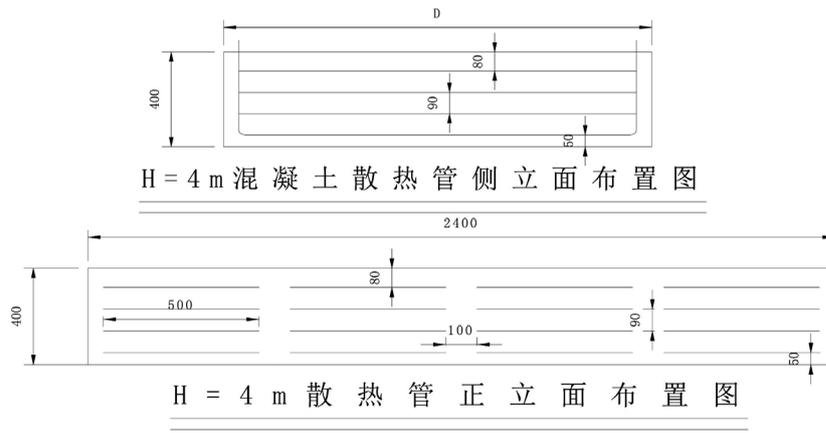


Figure 2. Layout graph of 4 meters storey height concrete cooling tubes
图 2. 4 m 层高混凝土散热管布置图

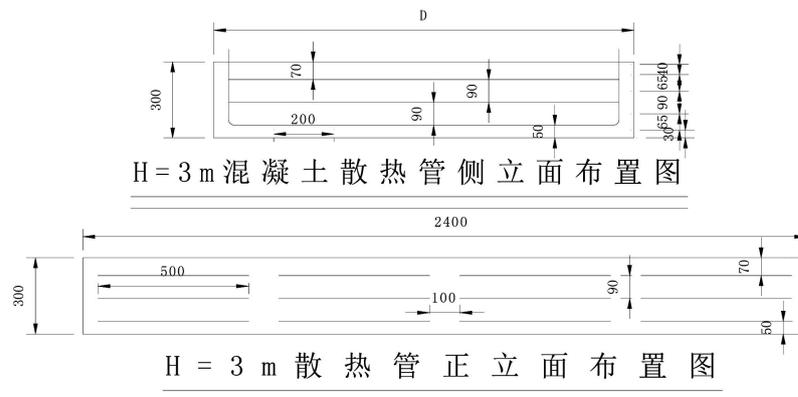


Figure 3. Layout graph of 3 meters storey height concrete cooling tubes
图 3. 3 m 层高混凝土散热管布置图

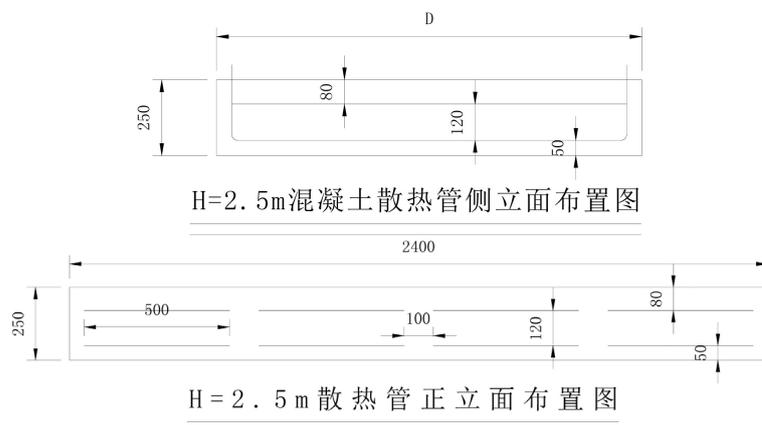


Figure 4. Layout graph of 5 meters storey height concrete cooling tubes
图 4. 2.5 m 层高混凝土散热管布置图

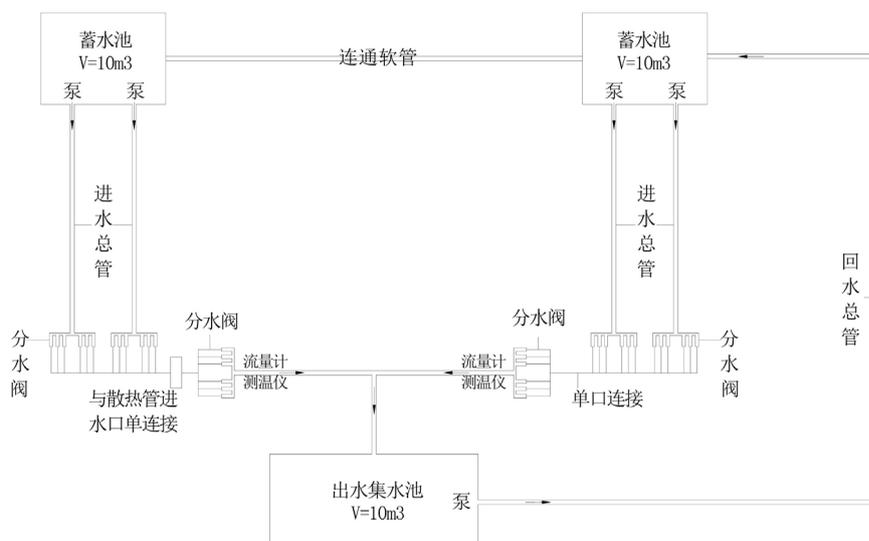


Figure 5. Diagram of water cooling circulation system
图 5. 水冷散热循环系统示意图

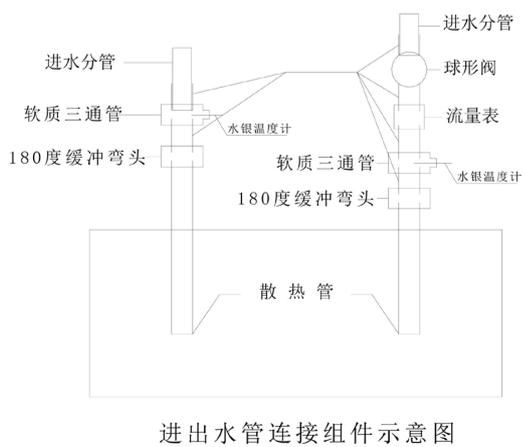


Figure 6. Diagram of connection of inlet and outlet pipes
图 6. 进水管连接示意图

3.4.2. “外保”

在混凝土表面采取保温措施, 控制混凝土内外温差及表面与环境温差, 避免出现深层裂缝和表面裂缝。拱座顶面和四周采用一层塑料薄膜和 5 cm 厚草袋覆盖保湿保温养护, 因为拱座于冬季施工, 大气温度较低, 根据情况需要在浇注的拱座顶面盖彩条布作暖棚, 减小混凝土的内外温差。

3.5. 混凝土浇筑块水化热分析及温度裂缝控制计算

在混凝土浇筑之前, 根据施工拟采取的防裂措施和现有的施工条件, 先计算混凝土的水泥水化热的绝热最高温升值、各龄期收缩变形值、收缩当量温差和弹性模量, 然后通过计算, 估量可能产生的最大温度收缩应力, 如不超过混凝土的抗拉强度, 则表示所采取的防裂措施能有效控制、预防裂缝的出现; 如超过混凝土的抗拉强度, 则可采取措施调整混凝土的入模温度、降低水化热温升值、降低混凝土内外温差、改善施工工艺和混凝土拌合物性能、提高抗拉强度或改善约束等技术措施重新计算, 直至计算的应力在允许的范围内为止。

C40 混凝土部分水化热分析及温度裂缝控制计算: 以拱座 C40 混凝土部分浇筑第三层为例计算(详见“混凝土部分水化热分析及温度裂缝控制计算”计算书), 此层计算能满足温度裂缝控制要求, 其它 C40 混凝土部分浇筑层也能满足要求, 通过计算可得:

$$1) \text{ 浇筑温度 } T_j = 21 + (15 - 21) \times (0.032 + 0.03 + 0.45) = 17.9^\circ\text{C}$$

$$\text{入模温度: } T_0 = 21 + (15 - 21)(0.032 + 0.03) = 20^\circ\text{C.}$$

2) 混凝土绝热温升($T(t)$) (表 1)。

Table 1. Adiabatic temperature rise of concrete

表 1. 混凝土绝热温升($T(t)$)

t (d)	度 T_j ($^\circ\text{C}$)	T_{MAX} ($^\circ\text{C}$)	$T(t)$ ($^\circ\text{C}$)
3	17.9	57	33.8
6	17.9	57	47.6
9	17.9	57	53.2
12	17.9	57	55.4
15	17.9	57	56.4
18	17.9	57	56.7
21	17.9	57	56.9
24	17.9	57	57.0
27	17.9	57	57.0
30	17.9	57	57.0

3) 用一层塑料薄膜加 5 cm 厚草袋保温养护内外温差和环境与表面温差: (符合小于 25°C 要求) (表 2)。

Table 2. Internal and external temperature difference and environmental and surface temperature difference of concrete with a layer of plastic film plus 5 cm thick grass bag insulation maintenance

表 2. 一层塑料薄膜加 5 cm 厚草袋保温养护内外温差和环境与表面温差

龄期(d)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
混凝土表面估算温度($^\circ\text{C}$)	17.9	27.1	31.4	32.9	31.9	29.7	27.6	25.4	23.7	22.5	22.2
混凝土中心温度估算($^\circ\text{C}$)	17.9	42.9	52.6	56.2	53.9	48.9	44.0	39.0	35.0	32.1	31.6
估算内外温差($^\circ\text{C}$)		15.8	21.2	23.3	22.0	19.2	16.4	13.6	11.3	9.6	9.4
估算环境与表面温差($^\circ\text{C}$)		12.1	16.4	17.9	16.9	14.7	12.6	10.4	8.7	7.5	7.2

4) 循环水水冷散热效果分析。

为了防止温度收缩裂缝产生, 对散热管的布置和散热循环水的流量进行了相关的分析, 如表 3、4 所示:

Table 3. Cooling effect of circulating water cooling heat dissipation**表 3.** 循环水水冷散热效果

循环散热日降温公式 $T(t) = (24 * \rho g * \Delta T * \Delta L * W) / (D * C * P), D = 74.9 \text{ m}^3$										
水的比重 ρg (kg/m ³)	进、出水口温差 ΔT (°C)	ΔL (m ³ /h)	水的比热 W (KJ/Kg-k)	混凝土比热 C (KJ/Kg-k)	混凝土密度 P (Kg/m ³)	d (天)	日降温 T (°C)	累计降温 (°C)	绝热温升 (°C)	通水后温 升(°C)
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	1	5.0	5.0		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	2	5.0	10.0		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	3	5.0	15.0	33.8	18.8
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	4	5.0	20.1		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	5	5.0	25.1		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	6	5.0	30.1	47.6	17.5
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	7	5.0	35.1		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	8	5.0	40.1		
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	9	5.0	45.1	53.2	8.0
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	12		45.1	55.4	10.3
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	15		45.1	56.4	11.3
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	18		45.1	56.7	11.6
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	21		45.1	56.9	11.8
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	24		45.1	57.0	11.9
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	27		45.1	57.0	11.9
1000	4	1.9	4.2	0.85	2400	30		45.1	57.0	11.9

Table 4. Temperature of concrete center after circulating water cooling heat dissipation**表 4.** 循环水散热后混凝土中心温度

t (d)	T_j (°C)	T_{MAX} (°C)	$T(t)$ (°C)	ζ	$\zeta^*(t)$ (°C)	T 中(°C)	散热后 T 中(°C)
3	17.4	50.3	29.8	0.74	22.1	39.5	29.8
6	17.4	50.3	42.0	0.73	30.6	48.0	29.0
9	17.4	50.3	46.9	0.72	33.8	51.2	23.0
12	17.4	50.3	48.9	0.65	31.8	49.2	23.7
15	17.4	50.3	49.7	0.55	27.4	44.8	23.2
18	17.4	50.3	50.1	0.46	23.0	40.4	22.4
21	17.4	50.3	50.2	0.37	18.6	36.0	21.5
24	17.4	50.3	50.3	0.3	15.1	32.5	20.7
27	17.4	50.3	50.3	0.25	12.6	30.0	20.2
30	17.4	50.3	50.3	0.24	12.1	29.5	20.1

从上表计算看出, 通水后降温可以通过循环水管的进水流量控制, 实际施工时可根据实测温度值来控制循环水冷却的周期(本计算按 9 天通水循环散热考虑); 按计算结果分析要将各龄期内外温差、环境和表面温差控制在 20°C 以内完全可以做到。其它浇筑的混凝土层均按此法调整水流量来满足降温速度要求, 通水后降温宜控制在 1.5°C/d 以内, 温度陡降不超过 10°C 为混凝土监测报警值。本计算书中第 6 天至第 9

天平均每天降温 2.0℃, 略大于 1.5℃/d。

5) 温度应力的验算(混凝土浇筑前裂缝控制计算)(表 5)。

Table 5. Calculation of temperature Stress

表 5. 温度应力的验算

龄期(天)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
T_0 (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$T_{(t)}$ (°C)	18.8	17.5	8.0	10.3	11.3	11.6	11.8	11.9	11.9	11.9
$T_{y(t)}$ (°C)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.9	3.4	3.8	4.2	4.6
T_q (°C)	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
ΔT_i (t)	15.9	15.6	9.8	11.8	12.9	13.6	14.1	14.6	15.0	15.4
$E_{(t)}$ ($\times 10^4$ MPa)	0.769	1.356	1.804	2.146	2.407	2.607	2.759	2.875	2.964	3.032
α ($\times 10^{-6}$ MPa)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ν	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
S	0.5	0.45	0.42	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32	0.31	0.3
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
σ (温度应力(MPa))	0.72	1.12	0.87	1.19	1.39	1.50	1.56	1.58	1.62	1.65
抗拉应力(MPa)	2.1	1.86								2.01
安全系数	2.9	1.66								1.2

由上述计算结果可知: 采取上述“内排外保”措施后, 大体积混凝土温度应力不大于抗拉应力且抗裂安全系数均大于 1.15, 满足要求, 混凝土不会产生裂缝。

4. 结论

通过以上研究, 可以得出如下结论:

- 1) “内排外保”的温度控制方式, 可以减少混凝土内外温差。
- 2) 通水后降温可以通过循环水管的进水流量控制, 实际施工时可根据实测温度值来控制循环水冷却的周期; 按计算结果分析要将各龄期内外温差、环境和表面温差控制在 20℃以内完全可以做到。
- 3) 采取“内排外保”措施后, 大体积混凝土温度应力不大于抗拉应力且抗裂安全系数均大于 1.15, 满足要求, 混凝土不会产生裂缝。

参考文献

- [1] 邓华伟, 陈梦义, 孔维, 等. 厦漳同城大道主桥大体积混凝土温控防裂技术研究[J]. 施工技术, 2016(s1): 302-304.
- [2] 黄文国, 丁得志, 周海峰. 浅谈悬索桥锚碇大体积混凝土温控技术[J]. 铁道建设, 2014(2): 15-19.
- [3] 李少彬. 某特种结构大体积混凝土温控技术简介[J]. 混凝土与水泥制品, 2012(10): 69-71.
- [4] 王刘洋, 潘星. 马鞍山长江大桥塔座大体积混凝土温控技术[J]. 工程与建设, 2011, 25(3): 404-406.
- [5] 付焯, 韩海. 奉节长江公路大桥主墩承台大体积混凝土温控技术[J]. 建筑技术, 2004, 35(1): 53-54.
- [6] 刘家彬, 郭正兴, 韦世国, 等. 润扬长江大桥南锚碇超大体积混凝土温控技术[J]. 建筑技术, 2003, 34(1): 41-43.
- [7] 杨胜江, 江守恒, 黄盛, 等. 某桥锚碇大体积混凝土温控技术[J]. 低温建筑技术, 2007(1): 143-144.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org