

文章编号:0451-0712(2007)02-0131-03

中图分类号:U414.18

文献标识码:B

# 大体积混凝土水化热的控制方法及效果

赵文觉, 赵维汉

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

**摘要:** 详细介绍了在广东湛江海湾大桥2座近万m<sup>3</sup>混凝土斜拉桥主墩承台混凝土施工中,所采用的控制混凝土水化热的措施和效果。在工程监理和施工实践中,有很好的参考价值。

**关键词:** 大体积混凝土; 水化热; 控制

## 1 工程概况

广东湛江海湾大桥主桥是一座双塔空间双索面钢箱梁半漂浮体系斜拉桥。主跨480 m。两座主墩基础分别为31根长106 m,φ2.5~φ3.1 m变截面摩擦桩。承台呈椭圆型,长48.4 m,宽30.3 m,高度6.5 m,面积1 238 m<sup>2</sup>。加上1.2 m厚封底混凝土,一个承台有C30混凝土9 533 m<sup>3</sup>。

如何防止近万m<sup>3</sup>混凝土在浇注施工时,不因水化热过高而引起承台开裂,是施工和监理重点控制的问题之一。

承台采用单壁有底钢套箱施工。为了减少水化热,也为了保证承台钢套箱吊挂系统的安全,以及便于承台顶层索塔塔柱预埋钢筋的安装,经设计院同意,打算将6.5 m高的承台分成三次浇注,第一次层高1.5 m,第二次层高3 m,第三次层高2 m,层与层

之间的施工缝增加φ32 mm钢筋插筋,提高施工缝之间的联系和结合。

本文仅介绍承台大体积混凝土的施工控制方法和效果。

## 2 水化热的理论计算和实测

在施工前,首先对混凝土的水化热进行了理论分析。

(1)施工采用广西鱼峰32.5(R)水泥,通过试验,每kg水泥水化热为:3 d 218 kJ,7 d 227 kJ。

(2)计算绝热温升。

①水泥水化热随时间的变化温升 $Q_t$ 为:

$$Q_t=Q_o(1-e^{-mt}) \tag{1}$$

式中: $Q_o$ 为质量水泥的最终发热量,kJ/kg; $m$ 为散热速率; $t$ 为龄期。

收稿日期:2006-09-28

# Research on Anti-Aging Performance of AW, BLE amd Carbon Black Modified Asphalt

ZHENG Yuan, YE Fen

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The experiments are implemented on several contents of AW, BLE, Carbon Black and SBR modified asphalt. The changes of penetration, ductility, softening point and viscosity at different aging test are analyzed. The influence of the modifier is determined based on these test results. The study shows that 0.8%AW, 0.8%BLE could enhance the aging resistance of modified asphalt, and the low temperature performance of carbon black modified asphalt decreases too much.

**Key words:** aging resistance; aging resisting agent of rubber; modified asphalt

根据水泥水化热资料列方程:

$$218 = Q_o(1 - e^{-3m}) \quad (2)$$

$$227 = Q_o(1 - e^{-7m}) \quad (3)$$

得:  $Q_o = 227.14$

$$m = 1.071$$

②计算混凝土的最终绝热温升  $T_h$  为:

$$T_h = WQ/C \cdot \rho = 31.22^\circ\text{C} \quad (4)$$

式中:  $W$  为每  $\text{m}^3$  混凝土中水泥用量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $Q$  为每  $\text{kg}$  水泥水化热量,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;  $C$  为混凝土的比热, 可取  $0.97 \text{ kJ}/\text{kg}$ ;  $\rho$  为混凝土的容重, 可取  $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$

③计算混凝土的浇筑温度  $T_j$  为:

$$T_j = T_c + (T_q - T_c) \cdot (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (5)$$

式中:  $T_c$  为混凝土拌和温度;  $T_q$  为混凝土运输和浇注时的室外温度;  $A_1 \sim A_2$  为温度损失系数。

通过计算, 混凝土的拌和温度为  $23^\circ\text{C}$ , 室外气温取  $30^\circ\text{C}$ , 计算得浇注温度为  $23.25^\circ\text{C}$ 。

④计算混凝土的中心温度  $T_n$ :

$$T_n = T_j + T_h - \xi \quad (6)$$

式中:  $\xi$  为不同浇注厚度在龄期  $\tau$  时的降温系数。

计算出在 3 d 时, 浇注 1.5 m 厚混凝土的中心温度为:

$$T_N = 23.25 + 31.22 \times 0.49 = 38.55^\circ\text{C}$$

浇注 3 m 厚混凝土的中心温度为:

$$T_N = 23.25 + 31.22 \times 0.68 = 44.48^\circ\text{C}$$

(3)通过现场实测, 了解混凝土的中心温度。

对于计算出来的混凝土中心温度, 我们还不放心, 又在现场对水中引桥小型承台的混凝土中心温度进行实测。此承台为  $7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$ , 高 2.5 m, 通过实测中心处温度为  $61^\circ\text{C}$ , 比计算值高  $16^\circ\text{C}$ 。

由此, 决定按  $61^\circ\text{C}$  作为最高温度, 来进行水化热的控制, 采取有效措施, 降低混凝土内外温差。

### 3 控制混凝土内外温差, 防止混凝土开裂的措施。

为了防止水化热过高引起混凝土开裂, 总的思路是以下几点。

(1)在混凝土内降低温升, 包括降低混凝土入模温度, 在混凝土内采取降温措施。

(2)保持或提高混凝土外表的温度, 减小内外温差。从中心温度  $60^\circ\text{C}$  的情况出发, 设想内部降温到  $55^\circ\text{C}$  以下, 而外部温度保温在  $30^\circ\text{C}$  以上, 使内外温差控制在  $25^\circ\text{C}$  以内。

(3)提高混凝土的早期强度, 包括减小水灰比,

加强振捣等, 提高它的早期抗裂能力。

为此, 我们又认真进行了混凝土内冷却系统的设计, 保证混凝土内的降温效果。

在现场施工中, 具体做法如下。

(1)合理调整混凝土的配合比, 减小水化热和提高强度。

①采用高效减水剂。采用意大利第 4 代新型高效减水剂, 把水胶比降到 0.33 左右。

②减少水泥用量。由于水胶比降低, 混凝土强度提高, 可以减少水泥用量, 将原来  $350 \text{ kg}/\text{m}^3$  减少到  $310 \sim 320 \text{ kg}/\text{m}^3$  (另有粉煤灰)。

③掺配粉煤灰, 减少早期水化热。每  $\text{m}^3$  混凝土中掺入  $130 \sim 140 \text{ kg}$  粉煤灰。

④提高混凝土强度。通过调整混凝土配比后, 混凝土 28 d 强度达到  $46 \text{ MPa}$  左右, 提高了它的抗裂能力。

(2)控制料温和混凝土出仓温度。

①拌和水采用冰水。提前 8 h 将冰块投入水泥中, 使水温降至  $4^\circ\text{C}$  左右再用。

②对晒热的砂、石料采用淋水降温。

(3)在承台内安装冷却管。

冷却管使用  $\phi 50 \text{ mm}$  钢管, 在第一层 1.5 m 厚混凝土中设 1 层; 在第二层 3 m 厚混凝土中设 2 层; 在第三层 2 m 厚混凝土中设 1 层。每层冷却水管的管距为 1 m, 每层分为 8 段, 分别设进、出水口, 以防水温过高, 影响冷却效果。

(4)每层混凝土顶面蓄水养生。

在每层混凝土顶面蓄水  $25 \sim 30 \text{ cm}$ , 利用冷却管出来的温水进行蓄水保温。蓄水保温  $5 \sim 7 \text{ d}$ , 直至混凝土内外温差低于  $20^\circ\text{C}$ 。

(5)控制混凝土的坍落度, 并加强振捣。

承台混凝土试配时的坍落度为  $18 \text{ cm}$ , 在施工时, 为了进一步提高混凝土强度, 要求适当减少用水量, 把坍落度调整到  $15 \text{ cm}$  左右。同时加强振捣, 保证密实。这样就有效地提高了混凝土的强度。

(6)加强混凝土内的温度测量。

在每个承台内设置了 8 层半导体温度传感器, 每层为 11 个测点。因此, 一个承台内的测温点达到 121 个, 成立专门测温小组, 每隔 2 h 进行一次测量。测量结果及时整理上报。

(7)对施工材料和每道工序的温度进行定时测量。

在施工过程中, 监理和施工人员都安排专人对拌和水、砂、石料、混凝土出仓、入模温度、冷却水进

出口温度、气温和天然水温进行定时测量和记录,严格控制每道工序的升温。当发现冷却水温度过高时,加大循环速度和流量,提高冷却效果。

4 施工中的温度控制情况

实际施工时,白天气温为26~28℃,夜间为16~19℃左右。砂、石料温度为22~24℃,拌和水为4℃,混凝土出仓、入模温度为22~23℃左右。冷却水进水温度24℃,出水温度26~29℃。混凝土顶面蓄水温度为28~31℃左右。承台中混凝土最高平均温度为51℃。只有2号主墩第二层混凝土浇注后,因施工人员过早解除内模拉结,致使钢套箱胀开,蓄水漏尽,混凝土内温度升至58.7℃。现场立即用砂浆围堰30 cm高进行蓄水,并加大冷却水流量,迅速使混凝土内温度下降。各承台每层的最高温度和最高平均温度情况见表1。

表1 各承台每层的最高温度和平均高温

层次	1号主承台		2号主承台	
	最高温度/℃	平均高温/℃	最高温度/℃	平均高温/℃
第一层	47.8	45.2	54.4	51.1
第二层	52.2	49.2	58.7	56.6
第三层	54.1	50.5	54.6	50.7

在施工现场发现以下几点。

(1)1号主墩承台的混凝土温度明显低于2号承台。

分析原因,1号承台混凝土每m<sup>3</sup>用310 kg水泥、130 kg粉煤灰。而2号承台每m<sup>3</sup>混凝土用水泥320 kg、粉煤灰140 kg。水泥用量的增加,可能是引起温度升高的主要原因。

(2)混凝土内外温差基本控制在25℃以内,因

此,两座承台均未发现裂纹。

(3)混凝土最高温升时间约发生在浇注后35~55 h范围内。

(4)混凝土内温度梯度的分布,以中间温度最高,上面的温度又略高于下面的温度。这可能是温度向上传递的结果。

(5)混凝土内温度降至40℃左右时,大约在第4 d。

5 结论

通过实践,我们认为采用高效减水剂、控制水泥用量和混凝土材料温度,可降低混凝土内温度,外部采用保温措施和适当提高混凝土早期强度等方法,可以有效地控制大体积混凝土的水化热,防止发生温度裂缝。

在具体操作上,有以下建议。

(1)利用上述方法来降低混凝土水化热,是较经济可行的。

(2)单纯依靠公式计算混凝土的水化热,可能误差较大。应在现场进行实地测试,进行校核。

(3)采用高效减水剂,减少水泥用量,并适当代用粉煤灰,可以有效降低混凝土的水化热。

(4)混凝土内最高温升在浇注后35~55 h,因此,有关内部降温 and 外部保温措施必须保留相应时间,以防不测。最好保留4 d以后,待混凝土内部温度降至安全范围时才可停止。

(5)混凝土内的温度分布以中间最高,上层又略高于下层。因此,冷却管的布置可适当偏上。

(6)减小水灰(胶)比,加强振捣,提高混凝土早期抗裂强度,也是防裂的有效措施之一。

(7)加强外围套箱、模板的强度和刚度,防止因混凝土发热膨胀而开裂、变形,是施工中应注意的问题。

西宁至库尔勒公路青海省境内段完工

西部开发八条省际通道之一西宁至库尔勒公路青海省境内700多km建设路段,经过4年的紧张施工,目前主体工程全面告竣。

西宁至库尔勒公路起于青海省西宁市,经大通、青石咀、俄博、扁都口后出省进入甘肃,在甘肃省境内蜿蜒数百公里后,再由柴达木盆地北边缘处的当金山重入青海省境内,经冷湖、黄瓜梁、老茫崖、花土沟等地,在茫崖石棉矿处再次出省进入新疆境内,终点为新疆库尔勒市。该公路在青海省境内总长719 km。

西宁至库尔勒公路青海境内建设工程的全面完工,将国道227线、青海省道当黄公路、国道315线的部分路段串联起来,形成北进甘肃“河西走廊”、西通新疆南疆地区的快速通道,这对于加强西宁、张掖、敦煌、花土沟、库尔勒等西部重要城市之间的经济文化交流,改变我国西部地区交通落后的状况,带动沿线石油、钾盐、石棉等资源的开发等,均具有重要作用。