

分步浇筑大体积混凝土冷却水管 一体化布置控裂技术

李维洲¹, 王成启², 刘刚³, 谷坤鹏²

(1. 中国交通建设股份有限公司, 北京 100088; 2. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200030; 3. 中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对混凝土工程在分步施工过程中施工缝附近存在较高的温度梯度问题, 在传统冷却水管基础上提出了一种基于分步浇筑的大体积混凝土冷却水管一体化布置控裂技术, 并通过埋设温度测点的方式对比研究了冷却水管一体化布置技术对混凝土内部温度的影响。结果表明, 采用冷却水管一体化布置控裂技术, “二步”混凝土在温升过程中可以均匀地、同步地提高“一步”已浇筑混凝土的温度, 加强了分步浇筑混凝土温度变化的均匀性; 可以显著降低施工缝两侧的温差, 提高温度均匀性, 裂缝的数量、宽度、长度均有明显减少。

关键词: 分步浇筑; 大体积混凝土; 冷却水管; 施工缝; 温度差; 温度均匀性

中图分类号: U655.56 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2020)07-0033-05

doi: 10.7640/zggwjs202007008

Integrated cooling water pipe crack control technology for step-by-step casting of mass concrete

LI Wei-zhou¹, WANG Cheng-qi², LIU Gang³, GU Kun-peng²

(1. China Communications Construction Co., Ltd., Beijing 100088, China; 2. CCCC Shanghai Third Harbor Scientific Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200030, China; 3. CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In order to solve the problem of high temperature gradient near the construction joints in the step-by-step construction process of concrete engineering, an integrated cooling water pipe crack control technology based on step-by-step casting was proposed based on the traditional cooling water pipe, and the influence of the technology on the internal temperature of concrete was studied by embedding temperature measuring points. The results show that in the process of "two-step" concrete temperature rising, the temperature of "one-step" concrete can be raised evenly and synchronously with the integrated cooling water pipe crack control technology, which strengthens the uniformity of temperature change of step-by-step casting of concrete. It can significantly reduce the temperature difference on both sides of the of construction joints, improve the uniformity of temperature, and significantly reduce the number, width and length of cracks.

Key words: step-by-step casting; mass concrete; cooling water pipe; construction joint; temperate difference; temperature uniformity

0 引言

大体积混凝土因具有良好的抗压、耐久性等优点在各类工程中应用广泛^[1-2]。然而, 在混凝土强度生成过程中会产生较为明显的温度差导致混

凝土产生温度裂缝, 从而影响结构物的使用寿命。对于温度裂缝的控制, 降低分步浇筑构件的温差是关键^[3]。混凝土冷却水管降温方法因具有施工方便、降温效果显著等优点受到研究者和施工人员的关注^[4]。研究表明^[5-6], 冷却水温度、管径、管长、水管布置方式等都会对降温效果产生影响, 在降温阶段, 混凝土内外仍将产生一定温差, 这

收稿日期: 2020-04-08 修回日期: 2020-05-25

作者简介: 李维洲 (1974—), 男, 博士, 江苏南京人, 教授级高级工程师, 土木建筑工程专业。E-mail: 287411859@qq.com

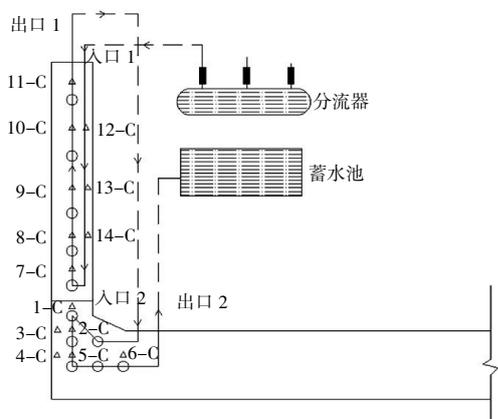
在冬季施工等低温条件下更加明显，因此在混凝土内部温度降低的同时仍需要进行表面保温措施^[7-8]。

受限于现场施工条件，目前多数建筑只能采用“底板-侧墙-顶板”的分步施工方法，在“二步”混凝土浇筑时，“一步”浇筑的混凝土已基本接近环境温度，随着“二步”混凝土的水化，温度升高，在新老混凝土施工缝附近会产生较大的温度梯度而产生开裂。由于传统冷却水管的布置方式问题，在“二步”混凝土浇筑过程中无法考虑“一步”已浇筑混凝土，因此，传统冷却水管技术无法解决施工缝附近温度差过大的问题。

基于此，本文提出了一种基于分步浇筑混凝土的冷却水管一体化布置施工技术，该技术将分步浇筑的混凝土作为一个整体考虑，在降低混凝土内部温度的同时可以减少施工缝附近的温差，提高分步浇筑的混凝土温度场的均匀性，从而减少“二步”混凝土的裂缝。

1 技术原理及温度监控

混凝土冷却水管一体化布置及温度测点布置如图 1 所示。侧墙冷却水管布置时，进水口(入口 1)位于底部冷却水管，出水口(出口 1)位于顶部冷却水管。侧墙冷却水管出口 1 和倒角区域入口 2 相连，侧墙入口 1 接分流器，倒角区域出口 2 接蓄水池。通水循环开始，冷却水流经侧墙区域带走大量热量变成高温水，高温水流经底板倒角区域对该区域进行加热升温后返回蓄水池。侧墙在拆模后做好保温措施，无需更换冷却水，待侧墙内部温度接近环境温度时即可停止通水。



注：○—冷却水管；△—温度测点；温度测点编号为 1~14 号。

图 1 冷却水管一体化布置原理及温度测点布置

Fig. 1 Principle of integrated cooling water pipe and arrangement of temperature monitoring points

由于“一步”施工的倒角和侧墙对称布置，因此在采用降温措施一侧的温度测点有“C”标志，例如 1-C。倒角区域有 6 根冷却水管，最下层冷却水管位于底板中部位置，竖向冷却水管位于侧墙中间位置，冷却水管间距 500 mm，混凝土浇筑高度超过最上层冷却水管 300 mm，循环水口位于底板位置。冷却水管端部距离底板端部 1.5 m。3 号、4 号测点布置在外侧钢筋位置，其余测点布置在两个冷却水管中部。

侧墙底部冷却水管位于已浇筑倒角上 300 mm，底部 2 根水管间距 300 mm，其余每根水管间距 500 mm，入水口连接底部冷却水管，出水口连接上部冷却水管。冷却水管两端距离侧墙端部 1.5 m。外部测点 12 号、13 号、14 号布置在钢筋外侧，中部测点位于 2 根水管之间。

2 工程概况

厦门市地铁 2 号线某车站为地下 2 层、局部 3 层岛式车站，双柱三跨闭合框架结构。车站宽 20.7 m，长 218 m。底板厚 1.0 m，侧墙厚 80 cm，高 4 m，中板厚 40 cm，顶板厚 80 cm。采用分步浇筑施工工艺，即底板、侧墙、中/顶板的施工顺序，分段长度 12~18 m。

根据施工计划安排，车站主体施工期间为夏季，根据前期对其他车站的调研，该季节施工的车站主体均存在不同程度开裂，侧墙裂缝数量 7~12 条，长度 2~4 m，采用冷却水管控裂效果一般。采用一体化冷管布置技术的侧墙分段长度 16 m。

3 通水及侧墙养护方案

由于不更换冷却水，侧墙温度下降较缓慢，在侧墙拆模后立即在表层覆盖保温被养护，避免混凝土表面温度下降过快产生较大的温差。根据监测结果，侧墙内部温度接近环境温度方可拆除养护措施。

通过温度监测数据及时调整通水流量大小，避免混凝土内部温度降温过快。底板以及倒角和侧墙的通水方案见表 1。

表 1 侧墙及底板通水方案

Table 1 Water supply scheme for side wall and bottom plate

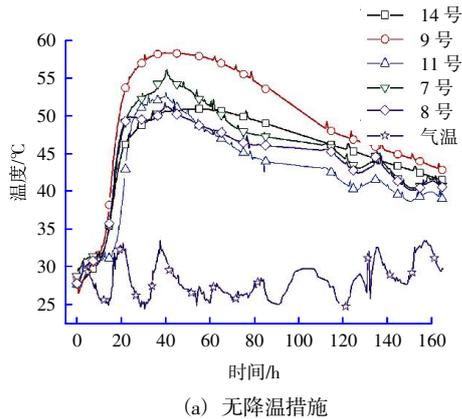
部位	入模温度/°C	通水时间及流量
底板、倒角	15~20	温峰前流速 6~10 m ³ /h，达到温峰后，调整通水流量为 2~4 m ³ /h，接近环境温度后停止通水
侧墙+倒角	15~20	温峰前流速控制在 6~10 m ³ /h；到达温峰后调整流速到 4~6 m ³ /h 持续 2 d，后调整流速到 2 m ³ /h，直到接近环境温度

4 应用效果

4.1 侧墙降温效果

侧墙在混凝土浇筑后的温度随时间变化见图2,其中,图2(a)未采用降温措施,图2(b)为冷却水管降温。没有降温措施时,侧墙温峰出现时间在34 h,温度峰值58.3℃,在开启冷却水管降温后,温峰出现时间延长至40 h,温度峰值49.6℃。

温升阶段前期混凝土内部温度同步上升。随



着水化反应进行,由于构件不同部位的散热条件不同,表面测点首先达到产热与散热平衡,随后随着外部测点散热较快,温升下降,而内部散热条件差,温度继续上升,开始产生温差。未采用降温措施时,侧墙的最大温差为14.8℃,出现在降温阶段。采用一体化冷却水管降温措施后最大温差为9.9℃,图2中的测点曲线也表明,采取降温措施后曲线之间更加紧凑,差距缩小。

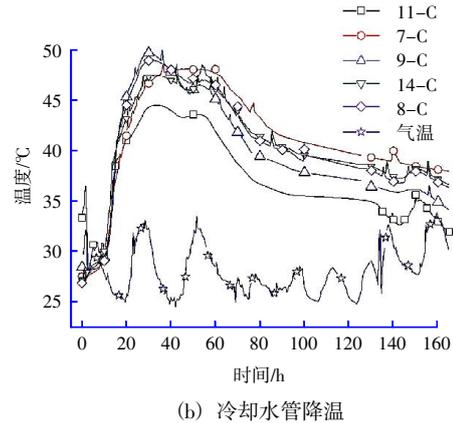


图2 侧墙降温效果

Fig. 2 Cooling effect of the side wall

可见,采用一体化布置的冷却水管可以降低混凝土内部的温度峰值,延长温度峰值出现时间,同时可以降低构件内部的最大温差。

4.2 倒角温升

底板及倒角浇筑完成7 d后开始浇筑侧墙,此时倒角温度已经接近环境温度,而侧墙由于水

泥水化,混凝土内部温度升高,引起施工缝两侧产生较大的温度梯度,从而产生较高的温度应力导致后浇混凝土开裂。因此,降低施工缝两侧的温度梯度是实现温度裂缝控制的重要措施。采用冷却水管一体化布置技术的倒角在侧墙温升过程中的温度变化见图3。

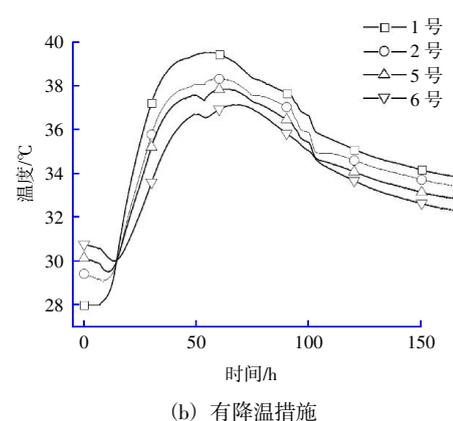
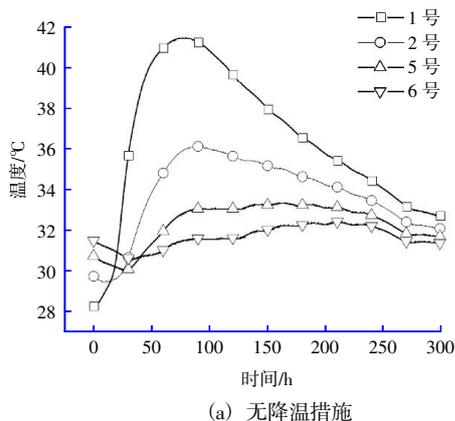


图3 倒角温升对比

Fig. 3 Contrast of chamfer temperature rise

其中,图3(a)无降温措施,图3(b)有降温措施。从图3(a)中可以看出,采用冷却水管一体化布置技术降温的侧墙引起的倒角温度峰值为39.5

℃(1-C测点),稍低于无降温措施侧墙引起的倒角温度峰值41.5℃(1号测点),这表明倒角温度峰值总体受到侧墙温升的控制。对比图3(a)和图

3(b)的其余测点温度曲线,采用冷却水管一体化布置技术后各测点温差较小,且变化规律一致;未采用降温措施的倒角温度随着与侧墙距离的增加而迅速降低,温度梯度增大,不利于混凝土裂缝控制。

结合图2可以看出,采用冷却水管一体化布置技术后,倒角与侧墙的温升几乎同步进行,各测点之间的变化规律一致;而未采用降温措施的侧墙引起的倒角温度变化中只有最上部测点与侧墙温升变化一致,其余测点随着距离侧墙位置的增加与侧墙温升的规律性变差。这表明冷却水管一体化布置技术的应用加强了侧墙和倒角温度变化的均匀性,有利于混凝土温度裂缝控制。

4.3 温度分布

温差是混凝土温度裂缝控制的一个重要指标,

其本质上是混凝土内部温度均匀性的反映,温差越大,温度的均匀性越差。因此,本文采用同一时间各测点之间的标准差反映混凝土内部各测点温度均匀性。倒角(选取测点1~6号)和侧墙(选取测点7~14号)在温升过程中各测点温度标准差随时间的变化见图4。可见,混凝土内部温度的均匀性随着时间延长呈现出先增加后降低的趋势,且混凝土内部温度越高,散热条件越差,温度均匀性越差,这是由于混凝土在较高温度下不容易保温而引起的。在无降温措施条件时,倒角由于散热条件差,温度标准差最大8.4℃,而侧墙各部分散热条件较为一致,最大标准差为3.5℃。采用冷却水管一体化布置技术后,侧墙和倒角的温度标准差有明显下降,尤其是倒角部分更是下降到了4.9℃,降幅达到42%。

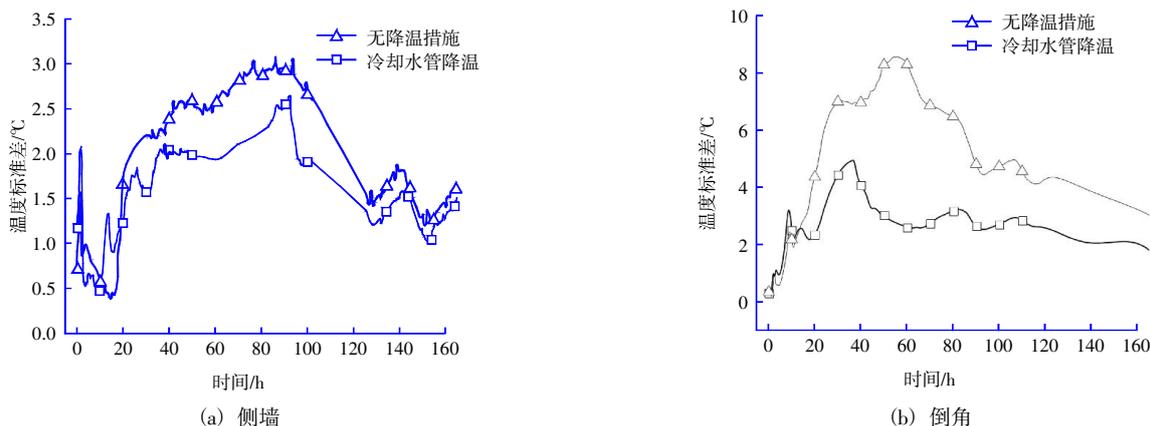


图4 侧墙和倒角温度离散程度

Fig. 4 Temperature dispersion degree of side wall and chamfer

为了研究施工缝附近的温度分布,选取具有代表性的构件中心测点温度进行研究。侧墙测点选取7号、8号、9号,倒角测点选取1号、2号、5号。图5是选取的侧墙温度测点均值与对应的倒角温度测点均值之差随时间的变化关系,图6是选取的侧墙温度测点(7号、8号、9号)与对应倒角温度测点(1号、2号、5号)在同一时刻的标准差随时间变化关系。可见,随着混凝土内部温度升高,侧墙与倒角温度均值之差增大,未采用降温措施最大温差可达21.2℃,采用冷却水管一体化布置技术后的最大温差为13℃,降幅达到38.7%;施工缝两侧的温度均匀性随着时间增加而增大,未采用降温措施的施工缝两侧的最大温度标准差为7.1℃,采用冷却水管一体化布置

技术的施工缝两侧的最大温度标准差为4℃,降幅43.7%。

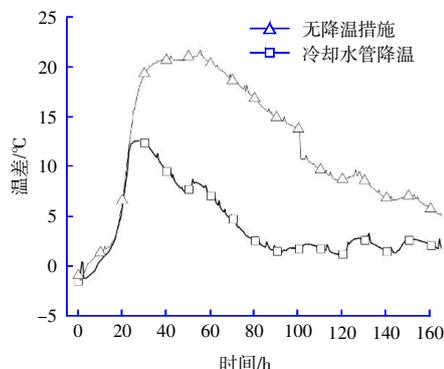


图5 施工缝附近侧墙和倒角温差

Fig. 5 Temperature difference of side wall and chamfer near construction joints

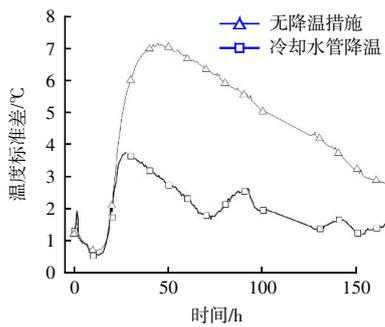


图6 施工缝附近侧墙和倒角温度均匀性

Fig. 6 Temperature uniformity of side wall and chamfer near construction joints

由于混凝土是热的不良导体, 在侧墙温升过程中侧墙的热量很难通过混凝土传到倒角更深的区域, 造成了在施工缝区域容易产生较大的温度梯度, 这在传统冷却水管技术中无法解决。冷却水管一体化布置技术通过合理布置的冷却水管, 在侧墙温升过程中将侧墙的热量导出到倒角区域, 均匀地提高了倒角区域的温度, 降低了施工缝两侧的温度差以及温度梯度水平, 加强了分步浇筑的混凝土之间温度变化的均匀性, 有利于混凝土裂缝的控制。

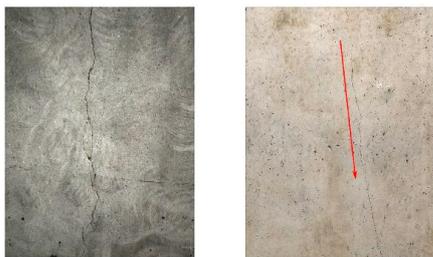
4.4 裂缝控制效果

根据既定方案进行厦门市地铁2号线某车站地下层主体结构施工应用, 并在侧墙浇筑完成后60 d时对两段侧墙的裂缝情况进行统计。侧墙裂缝状况统计结果见表2, 典型裂缝形态见图7。可见, 采用冷却水管一体化布置技术后侧墙的裂缝状态有显著改善。

表2 侧墙混凝土裂缝状况

Table 2 Condition of concrete cracks in side walls

工况	数量/条	平均长度/m	平均宽度/mm	平均间距/m
无降温措施	12	2.7	0.33	1.0
冷却水管一体化布置	5	1.1	0.16	2.4



(a) 无降温措施 (b) 冷却水管降温

图7 典型裂缝形态

Fig. 7 Typical morphology of cracks

5 结语

冷却水管一体化布置施工技术可以降低施工缝附近的温度差, 从而降低施工缝两侧因温度不均匀而产生的温度应力, “二步”混凝土的裂缝的数量、宽度、长度有明显减少。

参考文献:

[1] 余以明, 王虑, 吴柯, 等. 海洋环境下大体积混凝土裂缝控制施工技术[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(4): 65-67.
 YU Yi-ming, WANG Lü, WU Ke, et al. Crack control construction technology of mass concrete in marine environment[J]. China Harbour Engineering, 2018, 38(4): 65-67.

[2] 权伟博, 麻鹏飞. 大体积防辐射混凝土的试验研究及工程应用[J]. 新型建筑材料, 2019, 46(1): 29-32, 61.
 QUAN Wei-bo, MA Peng-fei. Experimental research and application of large volume anti-radiation concrete[J]. New Building Materials, 2019, 46(1): 29-32, 61.

[3] 朱耀台, 詹树林. 混凝土裂缝成因与防治措施研究[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(5): 727-730.
 ZHU Yao-tai, ZHAN Shu-lin. Study on reasons and prevention measures of cracking in concrete structure[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2003, 21(5): 727-730.

[4] 赵辉, 谷坤鹏, 陈克伟. 港珠澳大桥东人工岛敞开段隧道侧墙大体积混凝土温度控制[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(7): 21-25.
 ZHAO Hui, GU Kun-peng, CHEN Ke-wei. Temperature control for massive concrete for side walls of open tunnel in east artificial island of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(7): 21-25.

[5] 陈渴鑫, 田斌, 陈博夫, 等. 大体积混凝土冷却水管优化研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2019, 41(2): 31-34.
 CHEN Ke-xin, TIAN Bin, CHEN Bo-fu, et al. Optimization of mass concrete cooling water pipe[J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences, 2019, 41(2): 31-34.

[6] 宾熊, 林章虎. 多回路冷却水管通水时机对大体积混凝土的影响[J]. 施工技术, 2015, 44(S2): 159-162.
 BIN Xiong, LIN Zhang-hu. The influence of water supply time of multi loop cooling water pipe on mass concrete[J]. Construction Technology, 2015, 44(S2): 159-162.

[7] 王振宇, 王起才, 代金鹏, 等. 冬季大体积混凝土水化热温度场数值模拟研究[J]. 混凝土, 2018(11): 140-144.
 WANG Zhen-yu, WANG Qi-cai, DAI Jin-peng, et al. Research on the analogy of temperature field figure on the heat of hydration in mass concrete in winter[J]. Concrete, 2018(11): 140-144.

[8] 刘德慧. 大温差环境下不同养护方式对混凝土桥墩早期开裂的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2018(7): 83-86.
 LIU De-hui. The influence of different curing methods on the early cracking of concrete piers in the environment of large temperature difference[J]. China Concrete and Cement Products, 2018(7): 83-86.