

不同材质冷却水管在大体积砼温度监控中的应用

段武兵¹, 翁学新¹, 侯云江¹, 蒋正武²

(1.贵州省公路工程集团有限公司, 贵州 贵阳 550008; 2.同济大学, 上海 200092)

摘要: 采用 PVC 管及钢管作为大体积砼冷却水管, 对比分析两种水管对大体积砼内部温度场分布的影响, 评价其对大体积砼的冷却效果。结果表明, PVC 管作为冷却水管对大体积砼内部温度场的影响与钢管基本一致, 且更有利于稳定控制砼内部最高温度, PVC 管能代替钢管作为冷却水管在大体积砼中推广应用。

关键词: 桥梁; 大体积砼; 承台; 冷却水管; PVC 管; 温度监控

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)06-0126-05

大体积砼裂缝控制长期以来是工程界关注的问题。大体积砼温度裂缝产生原因为约束条件下砼内部温度应力超过大体积砼相应龄期的抗拉强度, 控制大体积砼结构内部因温度变化引起的拉应力能避免温度裂缝的产生。目前, 大体积砼裂缝控制途径分为两类, 一是通过优选原材料、优化配合比提高砼本身的抗裂性能, 二是采取水管冷却、原材料控温等措施降低大体积砼施工、养护过程(主要是砼的降温过程)中内部及表面的温度拉应力, 其中水管冷却由于可控性强及温控效果显著而得到大量使用。由于钢管导热性能较好, 加上其热膨胀系数与砼相近, 能与砼协同工作, 对砼有增强作用, 国内冷却水管仍以钢管为主, 国外有的工程采用铝管。虽然塑料管与钢管、铝管相比导热性较差, 但其成本低, 施工方便, 近年来塑料管作为冷却水管的应用也有报道。

峰林特大桥是贵州兴义环城高速公路上的一座特大桥, 为主跨 555 m 悬索桥。该桥二标段 5# 墩左右两幅承台的尺寸均为 8.2 m×8.2 m×3 m, 砼强度等级为 C30, 砼设计总量为 200 m³, 属于大体积砼。施工季节为 3 月下旬, 日最高气温 29℃、最低

12℃, 平均最高气温 24℃、最低气温 14℃, 昼夜温差大。对 5# 墩承台采用水管冷却控温, 左右两幅承台冷却水管分别采用 PVC 管和钢管, 分析比较 PVC 管、钢管作为冷却水管对大体积砼内部温度场的影响, 并对温控效果进行评价。

1 原材料

采用 C30 泵送砼, 砂率为 50%, 水胶比为 0.43。设计坍落度 160~180 mm, 实测坍落度为 180 mm。砼配合比见表 1。

表 1 砼施工配合比 kg/m³

材料	用量	材料	用量
P. O42.5 水泥	222	机制砂	955
粉煤灰	148	5~31.5 mm 碎石	955
水	160	外加剂(科建)	2.96

2 温控方案

2.1 冷却水管材质与性能

PVC 管与钢管的性能参数见表 2, 冷却水管外径为 50 mm, 壁厚 2 mm。

表 2 冷却水管的物理性能参数

冷却水管类型	比重/ (g·cm ⁻³)	位伸强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	冲击强度/ (kJ·m ⁻²)	热变形温度/ 熔点/℃	维卡软化 点/℃	热膨胀系数/ [m·(m·K) ⁻¹]	洛氏硬度/ mm	阻燃性
PVC 管	1.41	49	82	14	74	90	>4.1×10 ⁻⁵	—	不燃
钢管	7.85	300~500	200~450	240~400	1 535	—	(1~1.2)×10 ⁻⁵	207~227	—

2.2 冷却水管布置

该桥 5# 墩承台共设 3 层冷却水管, 竖直间距为 0.75 m, 距砼上下面 0.75 m, 水平间距为 1.2 m, 相邻两层水管交错布置(见图 1)。进水口设一个进水

箱, 保证两幅承台进水口水温、流量一致。左右两幅承台分别布置 PVC 管、钢管作为冷却水管。

2.3 砼浇筑与养护

砼连续分层浇筑, 为避免环境因素的影响, 两幅

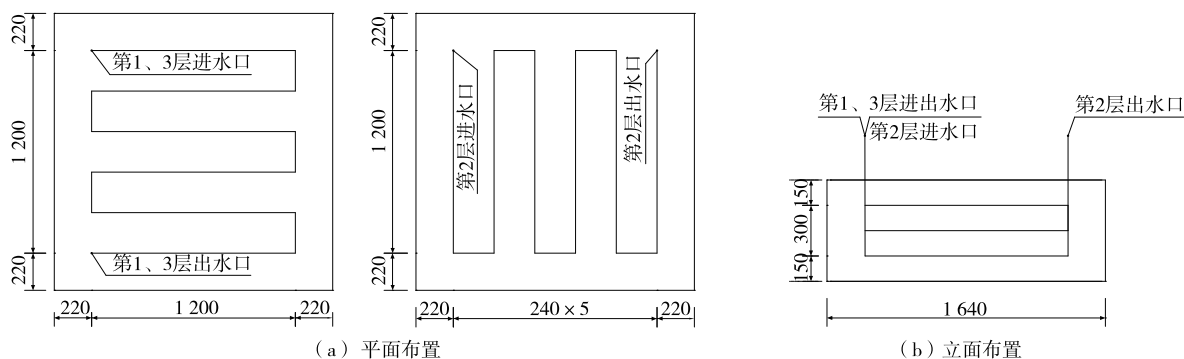
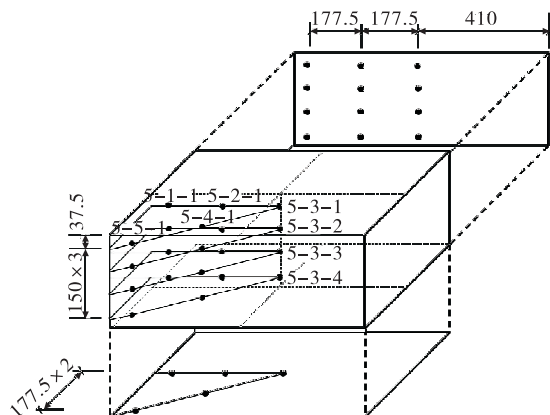


图 1 冷却水管布置示意图(单位:cm)

承台砼浇筑同步进行。在砼浇筑成型后、砼终凝前,对砼表面覆盖土工布,并定期洒水保持土工布湿润。此外,砼带模养护,以减少砼表面热量散失及水分蒸发(见图 2)。



图 2 承台的养护



5-3-1 表示 5#墩 3号测点的第 1 层温度传感器,其他类似

图 3 温度传感器布置示意图(单位:cm)

3 温度监测方案

3.1 测温元件及测试布点

采用 JMZX-3001L 型综合测试仪进行温度监测,温度传感器采用 JMT-36B 型半导体温度传感器,量程为 $-30 \sim 120^{\circ}\text{C}$,灵敏度为 0.1°C ,精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

根据承台的对称性,选择承台的 1/4 进行温度场测定。埋入承台的温度传感器共分为 4 层,每层设置 5 个测点,承台中共埋入 20 个温度传感器(见图 3)。

3.2 温度监测方法

从砼开始浇筑至砼浇筑完成后 14 d 对承台浇筑进行监测。根据砼的温度观测值采取不同的测量频率:大部分水化热在砼浇筑后前 3 d 释放,故浇筑完成后前 3 d 采取高密度监测,每 2 h 进行一次温度采集;砼温升到最大值后,每 4 h 进行一次温度采集;温度下降均匀后,每 8 h 进行一次温度采集。采集的温度数据主要包括进出水口的温度、砼内部

温度传感器的温度、环境温度。

4 监测结果与分析

4.1 大体积砼温度场分布对比

图 4 为左右两幅承台 1 号测点不同深度处砼温度随时间的变化。从图 4 可看出:冷却水管为 PVC 管、钢管时的砼温度变化趋势相似,距离砼中心更近的 2、3 层温度明显高于 1、4 层。第 4 层砼温度增长速率在浇筑完成 4 h 后开始下降,早于其余 3 层砼,这可能是因为低层砼最先完成浇筑,且 1 号测点位于砼边缘,热量散失更快。靠近砼表面第 1 层砼和靠近砼底部的第 4 层砼的温度首先达到峰值,且其温度变化比中间两层更大。

图 5 为 2 号测点不同深度处砼温度随时间的变化。从图 5 可看出:冷却水管为 PVC 管、钢管时砼温度变化趋势相似,靠近底部的第 4 层砼温度增长速率仍然比其他层砼先减小,靠近砼表面的第 1 层砼温度明显低于其余位置的温度。这是因为达到温峰后,受环境温度影响,靠近砼表面位置处温度下降

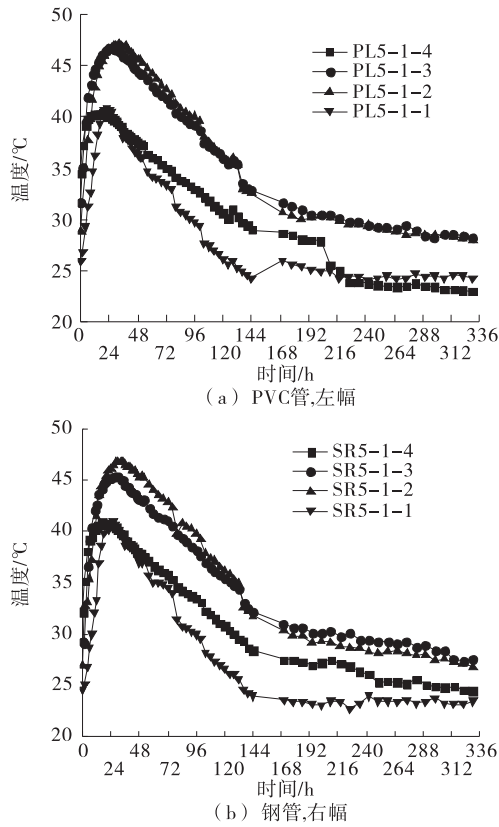


图4 1号测点不同深度处砼温度随时间的变化

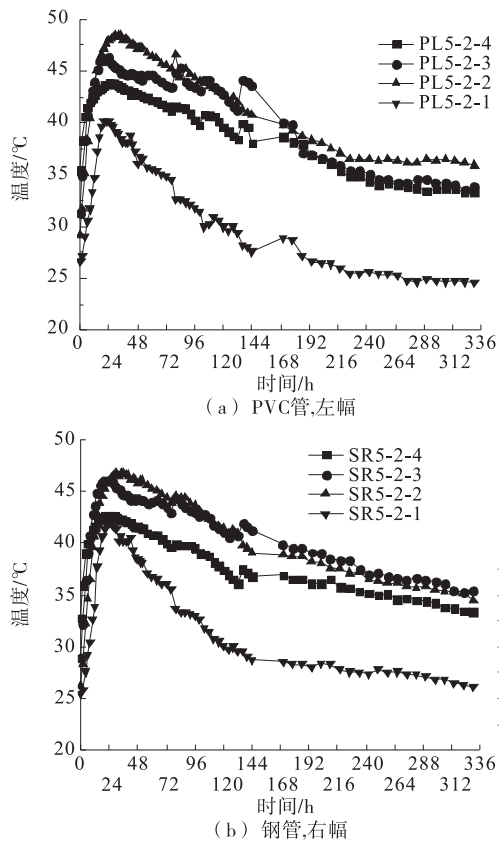


图5 2号测点不同深度处砼温度随时间的变化

速率最快且波动较大,其余位置温度变化较平缓。冷却水管为PVC管时,各层砼峰值温度略高于冷却水管为钢管时砼峰值温度。

图6为3号测点不同深度处砼温度随时间的变化。因为3号测点位于砼中心,其温度远高于其余测点。从图6可看出:第4层砼温度增长速率最先下降,达到峰值后,温度下降速率较低,曲线较平缓。最靠近砼几何中心的2、3层温度上升较快,且最后达到峰值,达到峰值后温度下降速率较低,曲线较平缓。靠近砼表面处温度最先达到峰值,且达到峰值后下降速率高于其他位置。冷却水管为PVC管时,在温度下降阶段,第2~4层砼温度差低于冷却管为钢管时。

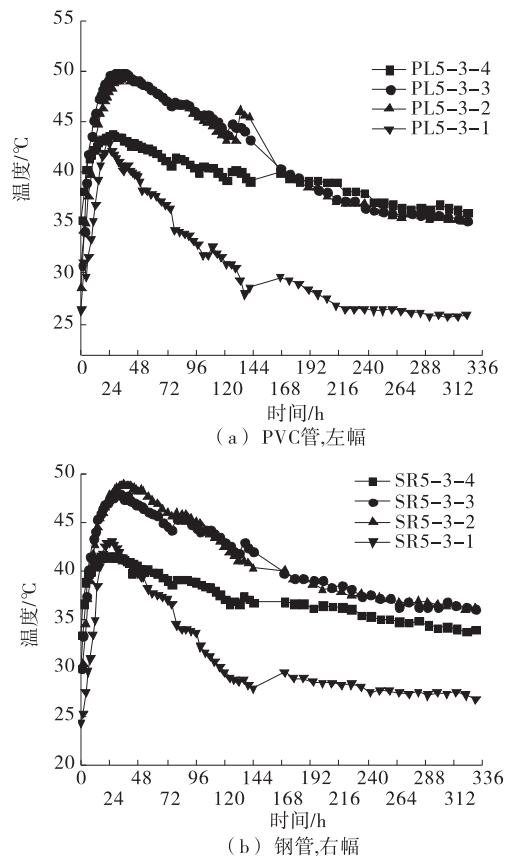


图6 3号测点不同深度处砼温度随时间的变化

图7为4号测点不同深度处砼温度随时间的变化。4号测点位于承台对角线上。从图7可看出:第2、3层砼达到温度峰值的时间长于靠近砼底面及表面的第1、4层砼。达到峰值后,第4层砼温度变化很小,第1层砼温度变化最大。在降温阶段,采用钢管作为冷却水管的右幅承台砼温度变化比左幅承台大,靠近中心的两个位置达到温峰后温度先快速降低然后逐渐回升。

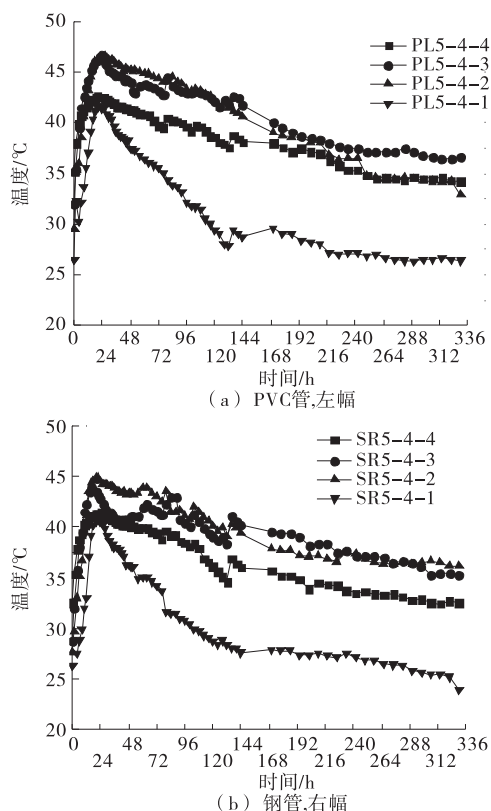


图 7 4 号测点不同深度处砼温度随时间的变化

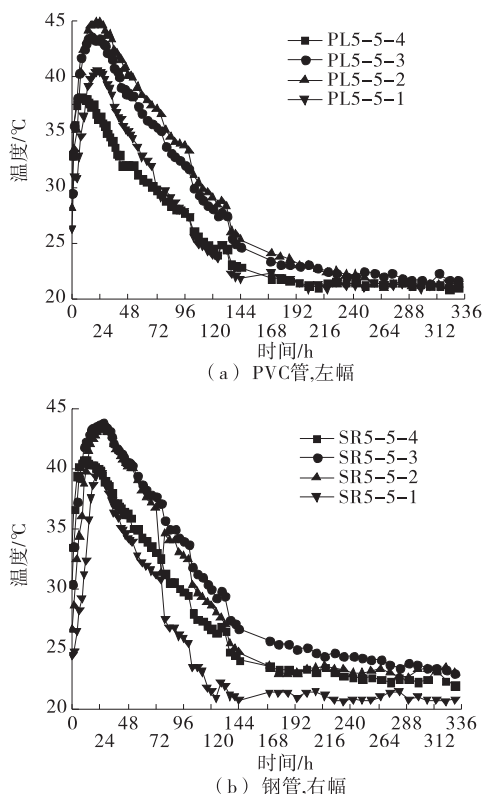


图 8 5 号测点不同深度处砼温度随时间的变化

图 8 为 5 号测点不同深度处砼温度随时间的变

化。从图 8 可看出: 5 号测点所有深度处砼达到温峰后稳定 4 h 左右, 之后温度均明显下降。5 号测点距离砼中心最远, 温度降低速率明显高于其余测点同层砼。采用 PVC 管作为冷却水管时, 第 4 层砼的温度最早达到温峰, 达到温峰后温度大幅降低, 砼浇筑完成 12 h 后, 该位置的温度低于其余位置; 随着龄期的增长, 靠近上下面处温度与中心处温差逐渐减小, 砼浇筑完成 10 d 后, 不同位置处温度差异明显减小。以钢管作为冷却水管时, 砼达到温峰后温度下降明显, 靠近上下面处温度与中心处温差有减小趋势但高于同条件下采用 PVC 管作为冷却水管的左幅承台。

4.2 温控效果对比与评价

图 9 为砼内部极值温度随时间的变化。从图 9 可看出: 无论冷却水管采用 PVC 管还是钢管, 砼浇筑完成 16 h 时, 砼内部最高温度增长趋势均明显放缓, 且两承台的砼内部最高温度发展趋势基本一致; 采用 PVC 管作为冷却水管的左幅承台砼内部最低温度逐渐下降, 而采用钢管作为冷却水管的右幅承台砼内部最低温度继续上升直到浇筑完成后 24 h 才开始下降; 采用 PVC 管作为冷却水管时砼内部最高温度略高于采用钢管时的最高温度。冷却水管采用 PVC 管的温控效果与钢管相当。

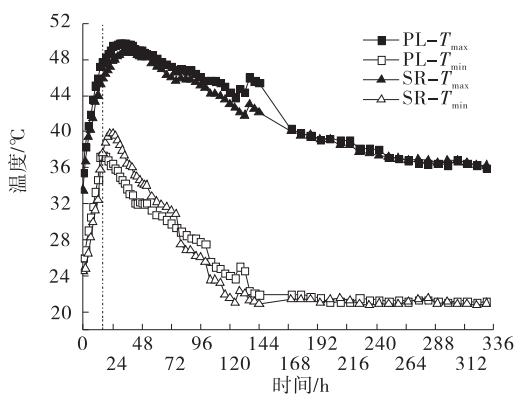


图 9 砼内部温度发展曲线

图 10 为砼内部最大温差随时间的变化。从图 10 可看出: 砼浇筑完成 24 h 内, 两承台砼内部最大温差呈现先上升后下降的趋势, 这是因为砼夜间浇筑完成, 夜晚环境温度较低, 砼水化速率较低; 龄期为 44 h 时, 砼内部最大温差增长趋势放缓; 龄期 56 h 时, 砼内部最大温差增长速率很低, 温差基本保持稳定; 龄期 84 h 后温差又开始以较高速率上升, 且采用钢管作为冷却水管的承台温差出现跳跃式增长, 主要是因为砼达到温峰后, 采样间隔增加,

气温降低,但未采取外保温措施导致砼边缘热量散失较快。采用PVC管作为冷却水管时,龄期84 h前砼内部最大温差明显高于钢管作为冷却水管时,但84 h后最大温差相差不大。PVC管、钢管作为冷却水管时砼内部最大温差的发展趋势一致。

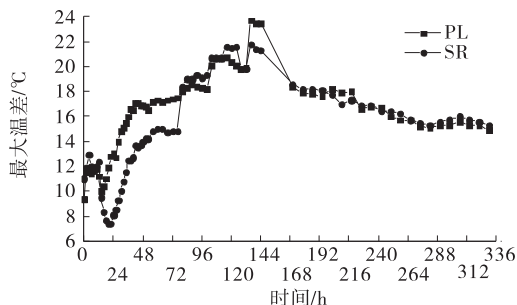


图10 砼内部最大温差发展曲线

图11为砼内部最高温度随时间的变化速率。由图11可知:冷却水管采用PVC管和钢管时,承台砼内部最高温度变化速率发展趋势基本一致,但采用PVC管作为冷却水管时砼内部最高温度变化速率波动小于采用钢管作为冷却水管时,表明PVC管作为冷却水管更有利于稳定控制砼内部最高温度。

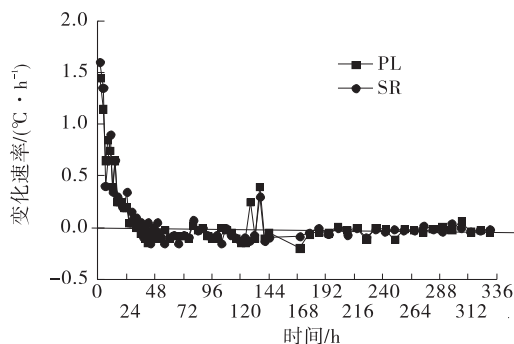


图11 砼内部最高温度变化速率

5 结论

(1) PVC管及钢管作为冷却水管均能控制砼内部中心最高温度,且PVC管作为冷却水管时砼内部最高温度变化速率波动较小,更有利于稳定控制砼内部最高温度。

(2) 采用PVC管作为冷却水管时,在升温阶段,承台砼内部最大温差与采用钢管作为冷却水管时相比更大,但在降温阶段承台砼内部温差比钢管更小,在使用冷却水管控制砼内部温差时,除控制冷却水进水温度、流量外,还应根据冷却水管材质在不同阶段采取保温措施。

参考文献:

- [1] 鲁正刚,王修信.考虑水管冷却的大体积混凝土承台温度控制研究[J].铁道科学与工程学报,2015,12(5):1172-1178.
- [2] 戴镇潮.大体积混凝土的防裂[J].混凝土,2001(9):9-11.
- [3] 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].油气田地面工程,2018,37(9):91-94.
- [4] 黄绍龙,吕寅,丁庆军,等.大桥承台大体积混凝土的温度控制与施工[J].建筑技术,2011,42(5):438-440.
- [5] 朱伯芳.聚乙烯冷却水管的等效间距[J].水力发电,2002(1):20-22.
- [6] 王家泽.PVC塑料管在大体积混凝土中的应用[J].安徽冶金科技职业学院学报,2011,21(2):34-35.
- [7] 中国冶金建筑协会.大体积混凝土施工规范:GB 50496-2009[S].北京:中国计划出版社,2009.

收稿日期:2019-12-25

(上接第125页)

4 结论

- (1) 该桥变形值小于20 mm,满足控制要求。
- (2) 合龙精度符合设计要求。
- (3) 桥梁合龙后,左右对称性较好。
- (4) 主桥线形平顺、流畅,与预期目标一致。

参考文献:

- [1] 谭冠生.罕遇地震作用下高墩大跨连续刚构桥地震响应分析[J].铁道建筑,2016,56(6):27-30.
- [2] 董爱平.高墩大跨连续刚构桥施工控制研究及其温度

效应分析[D].成都:西南交通大学,2004.

- [3] 白午龙,张煜,石雪飞,等.山区高墩大跨连续刚构桥施工阶段稳定性影响参数分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2013,32(增刊1):839-843+851.
- [4] 杨立财,葫芦河特大桥连续刚构施工线形控制技术[J].铁道建筑,2012,52(3):14-16.
- [5] 周党伟.大跨度变截面悬臂箱梁施工线形控制技术[J].铁道建筑,2012,52(6):16-18.
- [6] 徐斌.高墩大跨连续刚构桥的设计及关键技术研究[J].铁道建筑,2015,55(6):10-13.

收稿日期:2019-08-09