

大吨位混凝土箱梁早期水化热温度场试验研究

李 杭

(温州市交通工程管理中心, 浙江 温州 325000)

摘 要: 大吨位混凝土箱梁在浇筑初期, 其水化热现象是引发早期开裂的关键因素。以温州某项目工程中的35 m 预制箱梁为实例, 进行了早期水化热的跟踪研究。结果显示, 35 m 箱梁在初期水化热过程中, 温度经历了“逐渐升高—高温维持—逐渐降低”的典型变化。水化热引起的最高温度发生在箱梁端部的S1截面右侧腹板芯部, 峰值温度达到66.7℃, 出现在浇筑后第41 h。而混凝土内部与外部的最大温差出现在箱梁端部的S1截面左侧顶腹板芯部与外表层之间, 温差高达23.6℃, 出现在浇筑后第46 h。由于箱梁端部腹板较厚, 其内部热量散失较慢, 导致该区域降温速率相对较慢。此外, 环境温度对箱梁内外温差有显著影响。基于这些发现, 提出了预防温度裂缝的有效措施。研究成果对于大吨位箱梁的设计与施工具有重要的参考价值。

关键词: 混凝土箱梁; 水化热; 温度场; 温度裂缝

中图分类号: U443.32; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)03-0084-04

Experimental Research on Early Hydration Heat Temperature Field of Large Tonnage Concrete Box Girder

LI Hang

(Wenzhou Transportation Engineering Management Center, Wenzhou 325000, China)

Abstract: In the early stage of pouring large-tonnage concrete box girders, the phenomenon of hydration heat is the key factor causing early cracking. Taking the 35 m precast box girder of a project in Wenzhou as an example, a tracking study on early hydration heat was conducted. The results show that the temperature undergoes a typical change of "gradually increasing - maintaining high temperature - gradually decreasing" during the initial hydration heat process of the 35 m box beam. The highest temperature caused by the hydration heat occurs in the core of the right web of the S1 section at the end of the box beam. The peak temperature reaches 66.7℃, which occurs in the 41 st hour after pouring. And the maximum temperature difference between the inside and outside of the concrete occurs between the left top web plate core and the outer surface layer of the S1 section at the end of the box girder, with a temperature difference of up to 23.6℃, which occurs in the 46 th hour after pouring. Due to the thicker web at the end of the box girder, its internal heat dissipation is slower, resulting in a relatively slow cooling rate in this area. In addition, the ambient temperature has a significant effect on the temperature difference between the inside and outside of the box girder. Based on these findings, the effective measures to prevent temperature cracks are proposed. The research results have important reference value for the design and construction of large-tonnage box girders.

Keywords: concrete box girder; hydration heat; temperature field; temperature crack

0 引 言

大吨位预应力混凝土箱梁由于其高混凝土标号和局部大尺寸截面, 面临早期水化热温度高、收缩大的挑战, 极易引发混凝土开裂。尤其在沿海环境下, 裂缝会显著降低结构耐久性, 为长期使用埋下安全隐患。在大型箱梁预制阶段, 水泥水化产生的热量导致梁体温度上升, 表面与芯部散热不均, 从而产生

温度梯度, 进而在约束条件下产生温度应力。特别是在浇筑初期, 混凝土强度尚未充分发展, 过大的温度梯度可能导致温度应力超过其抗拉强度, 进而引发开裂。

针对这一问题, 国外学者如 Ozyildirim 等通过对比试验提出, 合理的温控措施能有效避免温度裂缝并增强箱梁早期强度。而 Myers & Carrasquillo 的研究指出, 过厚的混凝土截面会导致水化热温度过高, 对混凝土性能产生负面影响。国内学者如杨孟刚等通过现场数据分析了秦沈客运专线箱梁高性能混凝土的水化热规律和温度分布, 并提出了相应的温控措

收稿日期: 2025-07-08

作者简介: 李杭(1996—), 男, 学士, 助理工程师, 从事试验检测管理工作。

施。然而,大吨位箱梁预制过程中施工措施的不当极易导致早期温度裂缝,因此深入探究其早期水化热温度分布规律,并采取相应的预防措施至关重要。

本文聚焦于 35 m 大吨位整孔预制箱梁的温度场研究,旨在分析影响其水化热温度场的关键因素,明确温度峰值、温度梯度及升降温等发展规律。这些研究成果将为后续分析箱梁早期水化热温度场、优化养护措施、调整混凝土配合比及确定预应力张拉方案提供重要参考。

1 工程概况

温州某工程土建,路线沿沿海中线北侧向西布设,主线线路长约 7.57 km,其中主线桥梁 7 141 m/6 座,互通匝道桥 1 285 m/6 座,包含整孔预制箱梁 391 片,预制箱梁最大跨径为 35 m。箱梁预制外模采用整体钢模板,内模为全液压式内模。35 m 箱梁混凝土配合比见表 1。

表 1 C50 混凝土配合比 单位:kg/m³

水泥 (P.Ⅱ)	粉煤灰 (F类Ⅰ级)	矿粉 (S95)	砂	碎石	减水剂	水
334	72	72	709	1 110	5.02	153

2 测试点布置

为了揭示梁体混凝土水化热在箱梁内部的温度变化规律,针对 35 m 中跨整孔箱梁的结构特性,选取了 S1、S2、S3 三个关键测试截面进行温度监测(见图 1、图 2)。S1 截面腹板最厚,为 100 cm;S2 截面腹板厚度为 70 cm;S3 截面腹板则较薄,为 50 cm。为了对比箱梁内外环境的温度变化,在 S1 和 S3 截面的箱室内以及箱梁外部都布置了环境温度传感器。考虑到跨中截面腹板较薄,未在该区域设置腹板芯部测点。整个试验中,共埋设了 37 个智能型温度传感器,数据采集频率设定为每小时一次。测点布置见图 3。

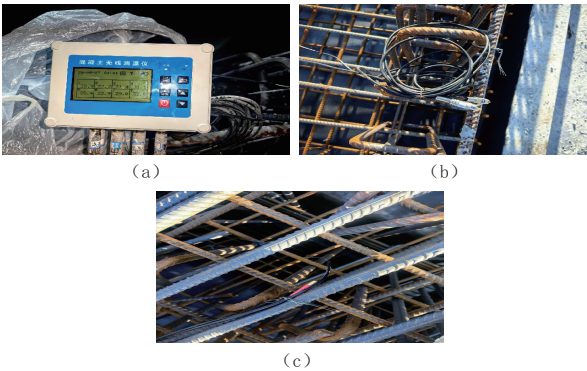


图 1 35 m 箱梁水化热测试布置情况

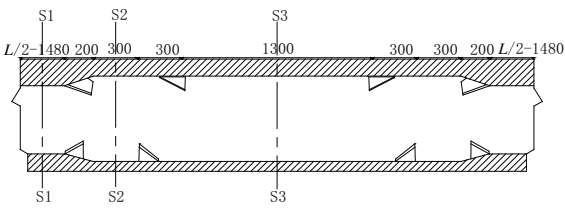


图 2 35 m 箱梁水化热关键测试截面

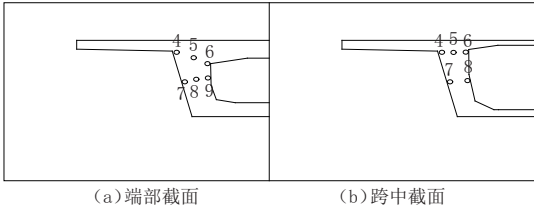


图 3 测点布置

3 试验结果分析

试验梁浇筑施工时间为 11 月 25 日。测试时间以混凝土入模开始计算。箱梁混凝土早期水化热跟踪试验持续监测总时间约为 104 h。由于箱梁温度测点较多,为便于分析,将各测试截面测点分成顶腹板交接位置和腹板中部两个区域。

3.1 温度总体变化规律

如图 4 所示,35 m 箱梁各测试截面的混凝土水化热温度时程曲线清晰地揭示了箱梁早期水化热温度的变化过程。这个过程主要经历了“温度上升—高温持续—温度下降”三个典型阶段。实际浇筑整个箱梁的时间约为 7 h。

在混凝土开始浇筑之前,各个测点的温度与自然环境温度相近,大致保持在 13.5℃。然而,随着浇筑工作的进行,新浇筑的混凝土逐渐覆盖了温度传感器。在浇筑后的第 2 至 3 h,由于混凝土的入模,测点温度迅速上升,由原本的环境温度转变为混凝土的入模温度,大约为 24℃。

大约在第 41 h,各个测试截面的水化热几乎同时达到了温度峰值。在达到峰值后,高温状态持续了一段时间,随后混凝土的温度开始逐渐下降。值得注意的是,混凝土温度趋于环境温度的速度与箱梁腹板的厚度存在正比关系。特别是,由于端部截面的腹板厚度较大,其混凝土芯部的散热速度相对较慢,因此,这些部位趋于环境温度的时间会更长。

3.2 最高温度时程曲线

各测试截面混凝土水化热最高温度测点时程变化曲线见图 5。随着混凝土发生水化反应,各测试截面测点温度逐渐上升。由于箱梁端部腹板较厚,混凝土用量较多,S1 截面最高温度大于其余两个测试

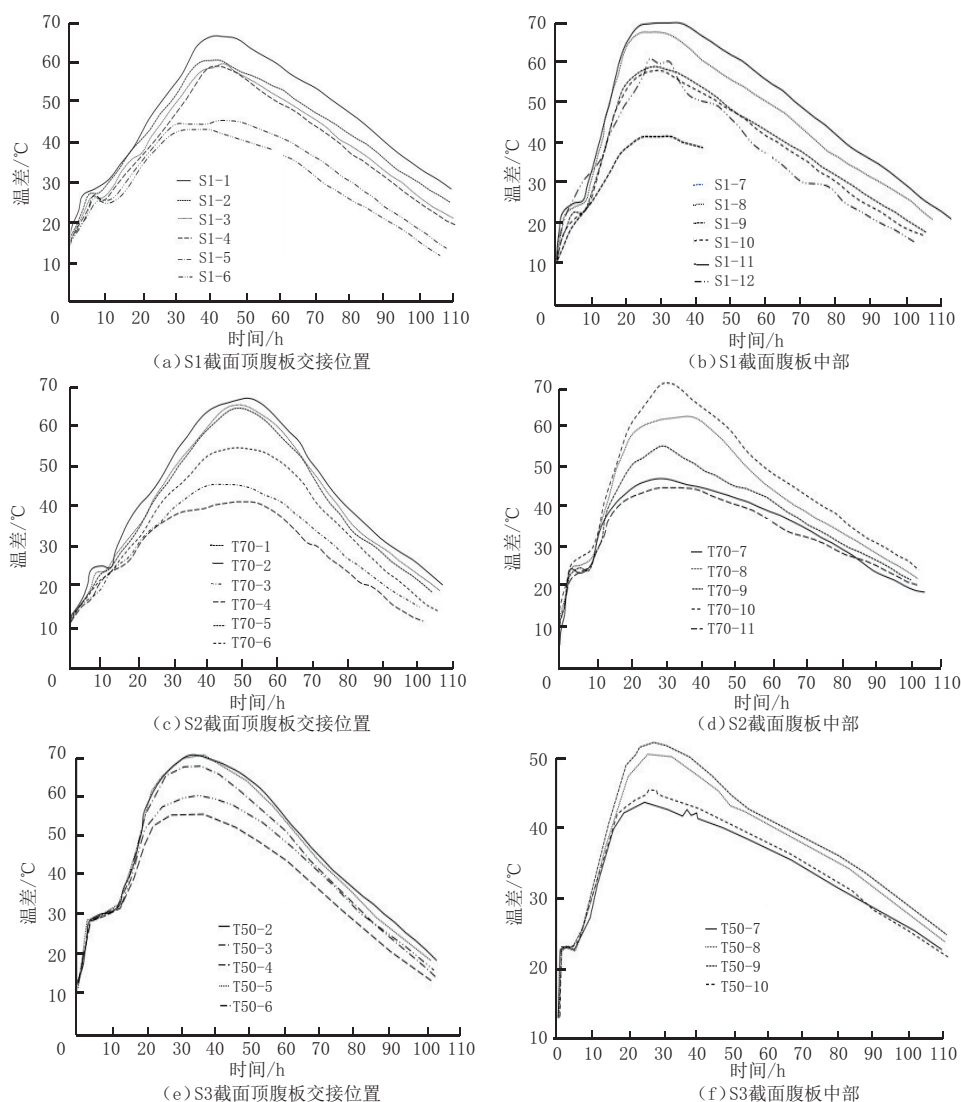


图4 图4 箱梁混凝土水化热温度时程曲线

截面。其中S1-11测点实测最高温度为66.7℃。各测试截面温度峰值出现在第41 h。且由于箱梁预制场地左侧较为空旷,四周无遮挡,风速较快,导致混凝土散热也相对较快,因此各测试截面最高温度测点均出现在混凝土箱梁右侧截面,这一点也可从图4中可以看出。

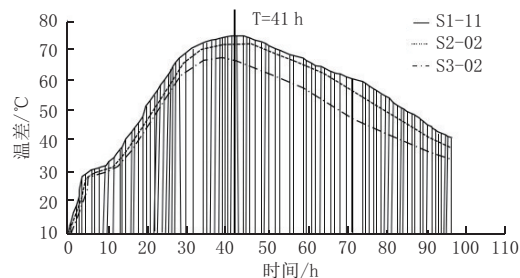


图5 测试截面水化热最高温度时程曲线

当混凝土温度达到峰值后,随着时间的推移,混凝土温度逐渐下降。若以温度峰值出现时间为混凝土整体升降温分界线,混凝土总体升温速率大于混

凝土降温速率,且端部截面升温速率大于跨中截面,端部截面降温速率小于跨中截面。其中箱梁端部S1-11测点由于腹板较厚,混凝土芯部热量相对不易散失,该测点混凝土平均降温速率相比其余两个测试截面较慢。从混凝土温度裂缝防治角度考虑,混凝土降温速率越快,对温度裂缝控制越不利,因此,单独从降温速率考虑,S2和S3截面混凝土相比S1截面更容易发生开裂。

3.3 环境温度变化规律

图6展示了环境温度测点随时间的变化曲线。在监测过程中,由于箱梁脱端模操作的影响,箱梁箱室内温度测点在第52 h损坏,导致后续箱内环境温度数据缺失。根据实测数据,外界环境温度因昼夜交替呈现周期性波动,而箱内温度明显高于室外,且箱梁箱室内中部温度高于其端部。特别地,箱室内最高温度达36.9℃,出现在第32 h,随后因脱端模施

工准备,两侧密封篷布被打开,使箱梁箱室内直接暴露在穿堂风中,导致温度迅速下降。

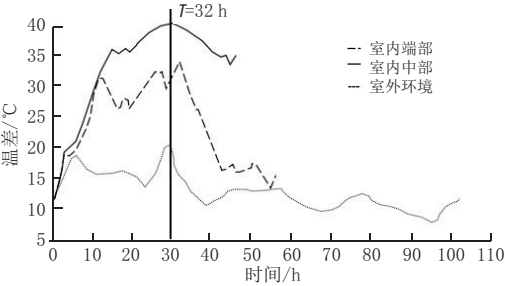


图6 环境温度时程曲线

根据表2结果表明,箱梁室内表面温度随风速的增大而快速下降,因湿度在整个试验过程中较为均衡,无法判断湿度对表面温度下降的影响。第32 h时混凝土尚处于水化升温阶段,而箱内环境温度因穿堂风而急剧下降,这增大了混凝土内外温差,易引发早期温缩裂缝。为避免拆端模对箱内环境温度造成的不利影响,建议在拆模时将两端的密封篷布沿梁纵向略向箱室内侧移动后重新封闭,以减小穿堂风对箱内温度及混凝土早期裂缝控制的影响。此外,第40 h时,箱梁箱室内中部温度与室外最大温差达到23.3 °C。

表2 风速及湿度对温差的影响

测试时间	30 h	32 h	34 h	36 h	38 h	40 h
湿度 RH/%	68	69	68	70	68	69
梁左侧/(m·s ⁻¹)	8.3	8.3	8.5	5.2	5.2	5.1
梁中后方/(m·s ⁻¹)	—	10.2	10.4	7.3	7.4	7.3
梁右侧/(m·s ⁻¹)	7.8	7.8	7.8	4.8	4.8	4.8

3.4 温度变化规律

35 m箱梁各测试截面最大内表温差随时间变化曲线见图7。根据实测结果,各测试截面最大内表温差均出现在混凝土开始浇筑后第46 h,最大内表温差出现时间滞后温度峰值出现时间5 h。最大内表温差出现在S1截面5号-4号测点(即左侧顶腹板芯部-左侧顶腹板外表层),最大内表温差为23.6 °C。虽然其余测试截面最大温差小于S1截面,但最大内表温差均出现在左侧顶腹板芯部-左侧顶腹板外表层。其原因同样是箱梁预制场地左侧较为空旷,四周无遮挡,风速较快,导致箱梁左侧混凝土散热相对较快。箱梁右侧混凝土最大内表温差出现在S2截面2号-3号测点(即右侧顶腹板芯部-右侧顶腹板外表层),出现时间同样为46 h,但最大温差仅为15.4 °C,远远小于箱梁左侧混凝土,证明施工现场环境,对混凝土水化热温差有较大影响。

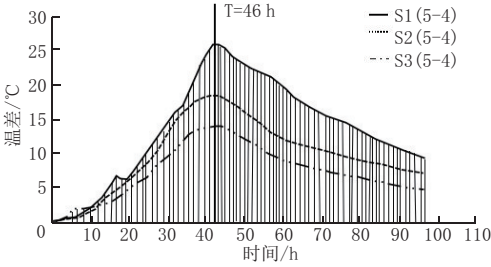


图7 混凝土最大内表温差时程曲线

4 箱梁温度裂缝预防措施

基于试验结果的深入分析,外界环境显著影响混凝土箱梁的水化热温度峰值、峰值位置、升降温速率、内表温差及温度梯度。因此,对于大吨位箱梁浇筑,特别是在冬季或气温变化大且多风的环境下,建议采取以下措施来优化施工:

密封端部篷布:浇筑完成后,使用篷布密封箱梁端部,防止穿堂风导致箱内温度骤降,预防混凝土开裂。

谨慎拆除端模:拆除箱梁端模时,避免直接掀开篷布,而应沿梁纵向略微移动密封篷布并重新封闭,以减少穿堂风对箱内温度的不利影响。

加装保温板:在箱梁外模两侧加装保温板,以减少外界环境和风速对混凝土的负面影响。

内外保湿养护:在采取保温措施的同时,确保箱室内外的保湿养护工作,以保障混凝土质量。

适时预张拉:当梁体混凝土强度和弹模满足预张拉要求时,应尽早进行预张拉,以降低内膜,减少顶板与模板的摩擦,提高预张拉效果,并在混凝土温度明显下降前完成,以预防温度裂缝。

5 结 语

通过分析对跨度35 m预制箱梁开展箱梁早期水化热跟踪试验测试,主要得出以下结论:

(1)35 m箱梁早期水化热温度变化显著,经历“温升—高温稳定—降温”三阶段。特别是S1截面,因其腹板较厚,最高温度显著高于S2和S3截面。

(2)箱梁在约41 h时,水化热达到峰值,最高温度66.7 °C,位于S1截面右侧腹板芯部。

(3)预制场地左侧空旷,风速快,促进了混凝土散热。因此,各测试截面最高温度均出现在箱梁右侧,这与实际情况吻合。

(4)S1截面因腹板较厚,热量散失较慢,其混凝土芯部降温速率相比其他截面更为缓慢。

(下转第112页)