

桥梁承台结构大体积混凝土温控技术研究

蔡兴

(中交一航局武汉建设投资有限公司)

摘要: 为了避免桥梁承台大体积混凝土产生结构温度裂缝,提高混凝土结构施工质量,以枣阳新华大桥项目主墩承台现浇大体积混凝土施工为依托开展裂缝控制技术研究。通过对承台现浇混凝土施工过程进行配合比优化、材料控制、混凝土振捣、冷却降温、温度监测、温度调节以及保温养护等工艺措施,有效控制了混凝土内外温差,降低了混凝土温度应力,避免了大体积混凝土结构温度裂缝的产生,保证了混凝土结构施工质量,取得了较好的实际效果,进一步得到了经济可行的施工技术,为类似承台结构大体积混凝土温度裂缝施工控制技术提供理论经验和实践指导。

关键词: 大体积混凝土; 配合比设计; 温度裂缝; 裂缝控制; 里表温差; 温度监测

1 工程概况

新华大桥项目位于湖北省枣阳市中心城区,其所在新华路为城市次干路,桥梁横跨沙河;为39 m+80 m+39 m三跨现浇连续梁-拱组合体系桥梁,桥宽40.0 m,长158 m,钢拱肋跨度80 m,净矢高20 m,设计为双向六车道+人行道+非机动车道。桥梁主墩为1号、2号墩,两侧为0号和3号桥台,墩台基础均为桩基础+承台混凝土结构,其中1号、2号主墩承台结构尺寸为30.6 m×7.5 m×2.8 m。混凝土强度等级为C30,单个承台浇筑混凝土量为642.6 m³,属于大体积混凝土构件。

2 大体积混凝土施工特点

1) 施工条件复杂

大体积混凝土施工受内外部因素影响较大,往往较难控制,特别是对混凝土温度的控制较为严格,混凝土浇筑前需结合设计对结构温度应力及温度场进行有限元分析,确保在温控范围内。如温差超过允许范围则需在混凝土内部布设测温探头,对混凝土进行温度监测和温度控制。同时混凝土内部温度的高低还取决于材料性质、材料温度、胶凝材料用量、气温等外在因素影响,因此温度控制较为复杂。

2) 容易产生裂缝

承台大体积混凝土结构在实际浇筑中水泥的水化热量往往较大,加之大体积混凝土自身的体积庞大,因此会出现结构混凝土内部水化热量不容易散发,而混凝土外部的热量往往散发比较快,

形成结构内外温差,而此类温差会导致混凝土内部产生应力,当温度应力大于混凝土抗拉强度时会导致混凝土出现裂缝,将严重影响结构的完整性和耐久性。

3) 对原材和配合比要求高

为确保大体积混凝土结构裂缝得到较好控制,原材和配合比控制也至关重要。如水泥、掺合料、外加剂、粗细集料、拌合用水等材料的选择必须严格把关,需满足大体积混凝土各项材料性能要求,各种材料适配前必须进行试验检测,合格后方可使用。配合比设计阶段必须进行多轮试拌,在满足设计强度及规范评定强度的前提下最大限度降低水泥用量,尽量减少水化热的产生,提高混凝土工作性能,设计出安全、经济、性能优质的配合比,从而使混凝土浇筑质量从根本上得到控制。

3 混凝土温度裂缝分析与治理

3.1 成因分析

承台大体积混凝土现浇构件主要特点是单次浇筑体积较大,水泥水化热作用释放出来的热量使混凝土内部温度在浇筑后3~5 d内迅速上升至峰值。由于混凝土属不良导热体,散热较慢,混凝土浇筑完成后水化热引起的温度热量不易排出,构件内部中心温度较高,因此形成了温度梯度。使混凝土内部产生压应力,表面产生拉应力,由于混凝土浇筑完成后早期强度较低,弹性模量小,容易形成温度应力过大而导致裂缝的产生。

3.2 防治原理

承台大体积混凝土构件裂缝防治原理主要是控制好混凝土内部温升,通过降温措施降低混凝土内部温度,同时对混凝土表面进行保温,有效降低结构内外温差。使混凝土内部温度应力延缓释放,使得混凝土强度增长时间得到延长,使其能够抵抗温度应力,避免混凝土体开裂,温度控制指标如表 1 所示。

表 1 混凝土温度控制指标表

控制指标	控制要求
入模温度	$\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
最大温升值	在入模温度的基础上不宜大于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
降温速率	不宜大于 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C/d}$,且不宜小于 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C/4 h}$
表里温差	不宜大于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
表外温差	不宜大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
内部最高温度	不大于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.3 防治措施

1) 合理选用水泥

大体积混凝土通常需选用水化热较低且凝结时间长的水泥,由于水泥水化热是矿物成分与细度模数的函数,要降低水泥的水化热,主要选择合适的矿物组成和对水泥的细度模数进行调整^[1]。一般采用中热硅酸盐水泥和低热矿渣或粉煤灰水泥,水泥比表面积不得超过 $350\text{ m}^2/\text{kg}$ 。在满足结构设计强度和评定强度的前提下,优先选用强度等级适中的水泥,如 42.5 级水泥,3 d 水化热不宜大于 250 kJ/kg ,7 d 水化热不宜大于 280 kJ/kg ,当选用 52.5 强度等级水泥时,7 d 水化热宜小于 300 kJ/kg 。

2) 掺活性混合材料

粉煤灰和矿粉是大体积混凝土中常用的矿物掺合料,其作用在于适量取代水泥,在不影响混凝土强度的前提下降低水泥用量,降低水化热的产生,改善工作性能,放缓混凝土内部温升,从而延迟混凝土内部最高温度出现的时间,为混凝土强度增长创造条件。

3) 掺外加剂

大体积混凝土中常用的外加剂主要分为减水剂和缓凝剂,其中减水剂能够改善混凝土和易性,降低水灰比,提高混凝土强度或在保持混凝土一定强度时减少水泥用量,水泥用量的减少会降低水化热,对防止开裂十分有利。而缓凝剂主

要是延缓混凝土放热峰值出现的时间,当峰值出现的同时混凝土强度也随之增长,混凝土抗拉强度能抵抗温度应力,因此会降低混凝土裂缝出现的概率^[2]。

4) 选用优质骨料

配合比骨料必须选用颗粒级配连续且筛分通过率满足要求的粒料,可适当提高粗集料的含量,减少单方混凝土胶凝材料中的水泥用量。粗骨料粒径宜为 $5\sim 31.5\text{ mm}$,含泥量 $\leq 1\%$,应选用非碱活性的粗骨料;细骨料一般采用中砂,细度模数大于 2.3 较为合适,骨料中含泥量 $\leq 3\%$ 。

5) 合理采用施工方法

混凝土浇筑前需严格控制其出机温度和入模温度,一般入模温度最高不应超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,考虑到入模温度的高低与运输工具、运距、运转次数、施工气候密切相关,因此混凝土运输需用保温隔热性能较好的运输车辆,混凝土搅拌前根据设计配合比和材料温度计算混凝土出机温度,如出机温度过高还需采取拌合用水加冰块等降温措施。现场混凝土入模前应先对模板钢筋等材料进行洒水降温,确保混凝土浇筑温度满足要求。同时需控制混凝土的浇筑速度,分块、分层进行浇筑,以保证混凝土温度均匀上升,振捣密实,提高大体积混凝土结构整体密实性,增强混凝土抵抗收缩和开裂的能力。

6) 科学养护到位

大体积混凝土浇筑后养护也是裂缝控制的重要环节之一,总体应按照“内降外保”的原则进行,浇筑前在混凝土内部布置冷却水管通循环水降温,混凝土浇筑完成并在表面收光后初凝前覆盖薄膜养护,终凝后立即覆盖土工布、麻袋、阻燃保温被等材料,且始终保持保温材料在整个养护期内处于湿润状态^[3]。与此同时还应及时进行温度测试并记录,确保进出口水温、内部混凝土与水温温差、降温速率、冷却水流速、水泵运转、里表温差、表外温差等满足要求。

4 混凝土温控技术

4.1 温度分析

通过 MIDAS-FEA 分析软件对桥梁 1 号和 2 号主墩承台大体积混凝土三维温度场和应力进行建模仿真分析,本次分析结合设计要求采取竖向分层一次整体进行浇筑,混凝土内部布置冷却水管进行温度控制。在施工前通过软件计算分析,

得出混凝土内部中心最高温度为 62.8 ℃，表面温度为 32.0 ℃，见图 1。通过拌合站试验室试拌混凝土实测入模温度为 14 ℃，混凝土入模温升值为 48.8 ℃，满足规范不宜超过 50 ℃要求。结构温度变化最大节点处所对应的应力在混凝土允许抗拉强度内。

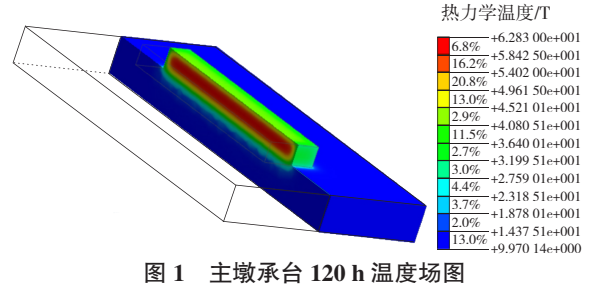


图 1 主墩承台 120 h 温度场图

4.2 冷却管布置

通过分析计算，桥梁 1 号和 2 号主墩承台大

体积混凝土表里温差为 30.8 ℃，已经超过规范不宜大于 25 ℃要求，因此需对承台混凝土结构内布置冷却水管进行循环降温。在承台内配置 2 层降温水管，第 1 层距离承台顶 0.9 m，第 2 层距离承台顶 1.9 m，如图 2 所示。冷却管采用钢管光-32-YB234-63 黑铁管，其外径为 42.25 mm，壁厚为 3.25 mm，理论重量 3.13 kg/m。冷却水管自浇筑时通入冷水，连续通水 14 d，出水口流速 0.8 m/s，进水水温与混凝土内部水温控制在 20 ℃以内，冷却管内进、出口水温差±5 ℃，同时在冷却水降温过程中混凝土表面做好保温保湿养护，表面采取 1 层塑料薄膜+2 层土工布的保温措施；最终将混凝土内部最高温度控制在 56.5 ℃，表面最高温度在 32.5 ℃，内外温差为 24 ℃，满足规范不宜超过 25 ℃要求。

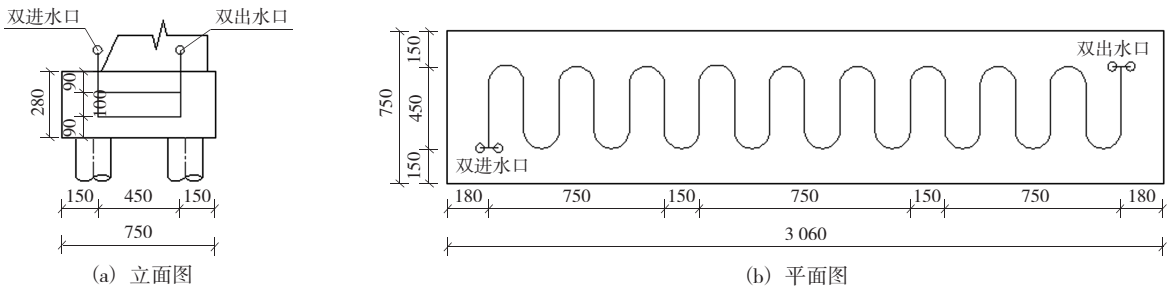


图 2 1 号、2 号主墩承台冷却水管布置图 (cm)

4.3 配合比设计

承台设计混凝土强度为 C30，施工前为最大限度地减少水泥用量，适量掺入了粉煤灰和矿粉，替代水泥用量 152 kg/m³，降低水化热的产生。经多轮配合比验证，最终确定采用 1 号配合比，水泥用量为 217 kg/m³，粉煤灰 74 kg/m³，矿粉 78

kg/m³，胶凝材料总用量为 369 kg/m³，掺合料占比为 41.2%，见表 2，为承台现浇混凝土温度控制提供了良好的基础，混凝土配合比按照 28 d 进行设计，坍落度为(180±20) mm，7 d 抗压强度为 31.6 MPa，28 d 抗压强度为 42.8 MPa，强度满足设计及规范要求。

表 2 1 号、2 号主墩承台混凝土配合比设计

配合比 编号	部位	强度等级	每 m ³ 材料用量 /kg							搅拌时间 /s
			水泥(P·O42.5)	粉煤灰(Ⅱ)	矿粉	河砂	碎石	水	减水剂	
1 号	承台	C30	217	74	78	867	978	166	7.4	120
2 号			244	83	88	846	953	166	8.3	120

5 温度监测

5.1 温度传感器布置

为了确保混凝土浇筑后及养护过程中温度变化能够被实时准确地监控，混凝土浇筑前在承台的内部和表面均安装测温探头，承台高度方向安装测温探头分别距离承台顶面 5 cm、70 cm、140 cm、210 cm、275 cm，平面沿承台长边方向布置 3 个

点位，每个点位竖向布置 5 个测温探头，共计埋设 15 个测温探头。能够测出混凝土内不同深度和位置温度随时间的变化规律，从而指导冷却水管中水温和水流速的调节，以及混凝土表面覆盖保温层厚度的调整。通过有效控制混凝土里表、表外温差，从而确保大体积混凝土的质量和结构稳定性。

5.2 测温传感器安装准备及保护

传感器安装前应绘制测温平面、立面布置图及测温记录表格,传感器定位应准确及牢固,防止与钢筋紧密接触,传感器的引出线集中布置并做好编号标记。引出线应预留足够的长度,利用定位钢筋固定在测温点位置,高度宜高出混凝土浇筑完成面 0.5 m 为宜,用塑料袋包裹好测温插头。在混凝土浇筑振捣时振捣器不得触碰传感器和引出线。

5.3 温度监测频率

在承台大体积混凝土浇筑完成后,整个温度监测过程至关重要,为了更准确及时地掌握温度变化规律,需密切监测混凝土内外温差和降温速率^[4],以确保混凝土整个养护过程中保持最佳的温度范围,当出现超出规定温差时可及时采取措施,

从而规避裂缝可能产生的风险。混凝土浇筑完成后 1~3 d 为监测关键期,此时保证 2 h/次;浇筑完成后 4~7 d 保证 4 h/次;浇筑完成后 8~14 d 保证 12 h/次;浇筑完成后 15~28 d 保证 24 h/次。当出现温差和降温速率变化较大时动态调整监测频率和保温措施。通过科学监测,整个混凝土养护过程降温速率均衡,未出现温差超过规范允许要求。

5.4 监测数据统计分析

混凝土浇筑完成后,现场温度数据采集通过人工按上述监测频率进行监测记录,制作温度记录汇总表、温度变化曲线。经与仿真软件建模数据对比分析,混凝土内部最大温度和表面温度均比较接近,进一步验证了仿真数据分析的准确性和科学性,对施工具有较好的指导。

主墩承台监测点位 3 测温变化曲线见图 3。

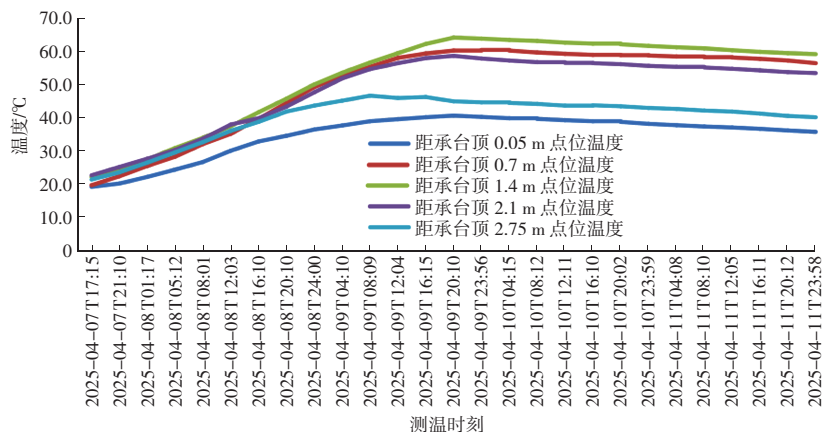


图 3 主墩承台监测点位 3 测温变化曲线

通过对本项目主墩承台大体积混凝土温度控制技术研究发现,承台混凝土内部温度峰值出现在浇筑后 72 h 左右,内部最大温度为 59 °C,为混凝土结构竖向中心位置,即距混凝土面 1.4 m 位置;表面最大温度也出现在浇筑后第 3 d,为 35.5 °C,里表温差 23.5 °C,表外温差 16.5 °C,均满足大体积混凝土温度控制要求,因此混凝土在此阶段降温控制尤为重要。

6 结语

通过对新华大桥项目承台大体积混凝土进行研究,在温度监测、配合比优化、混凝土内外温度调节、冷却管布置及降温速率控制方面取得了显著成果,使得混凝土内外温差得到较好控制;利用 MIDAS—FEA 有限元分析软件构建承台混凝土温度模型,确定承台混凝土内部降温管最佳布

置方式,同时分析出混凝土内外温度及温差变化情况,为现场科学施工提供指导性依据,制定科学的施工方案,最大限度降低了承台大体积混凝土有害裂缝的发生概率,达到预期目的。

针对此类承台结构布置双层冷却管的方案,可有效对混凝土内部高温集中区域降温,保障承台结构强度,抑制因内外温差过大导致的温度裂缝,是较为有效的降温技术,具有推广应用价值。

参考文献:

- [1] 苏开创,李一帆.大体积混凝土开裂原因及预防措施探讨[J].科技风,2013(2):172.
- [2] 赵田友.浅析大体积混凝土裂缝产生的原因、预防与处理[J].广东建材,2006(8):53-55.
- [3] JTG/T 3650—2020 公路桥涵施工技术规范[S].
- [4] 张国平,贾冰.某高层办公大楼筏板基础大体积混凝土裂缝控制技术[J].建筑技术开发,2011,38(9):73-77.