

混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用

娄光勇

(安徽来六高速公路开发有限公司, 安徽 滁州 239000)

摘要 道路桥梁工程作为区域经济协同发展的重要载体, 其施工质量直接影响交通网络的可靠性与安全性。混凝土作为此类工程的核心材料, 其施工技术的科学性与规范性成为保障结构耐久性的关键因素。本文选取安徽省某大体积筏板混凝土道路桥梁工程作为研究对象, 系统性地分析了原材料优选、配比优化及温度场控制等关键技术。通过引入双掺技术(粉煤灰与矿粉复合掺和), 结合聚羧酸高性能减水剂的应用, 显著降低水泥水化热并提升抗裂性能; 同时, 基于热力学方程构建混凝土出机与浇筑温度预测模型, 实现温差裂缝的精细化管控。研究结果表明, 优化后的C45P8混凝土配比使水化热峰值降低, 浇筑温度误差控制在极小范围内, 有效保障了筏板结构的整体性。

关键词 道路桥梁工程; 混凝土施工技术; 原材料预选; 配比设计

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.018

0 引言

在城镇化进程中, 混凝土施工质量的控制是决定道桥工程全寿命周期性能的关键因素。实证研究表明, 材料性能、施工工艺与环境因素的综合控制是确保工程质量的核心要素, 而混凝土材料的应用技术在其中扮演着至关重要的角色。若在施工过程中未严格遵守水胶比控制、振捣密实度、养护周期等技术规范, 将极易引发蜂窝麻面、结构裂缝等典型病害^[1]。此类质量缺陷不仅影响铺装层的平整度指标, 还会显著降低结构的耐久性, 为后期运营带来潜在的安全风险。因此, 对现代混凝土施工技术体系进行系统研究, 对于实现道桥工程质量目标具有重要的工程实践价值。

1 工程概况

某项目作为一项规模宏大的道路桥梁建设工程, 其施工过程中全面采用了混凝土材料作为主要建筑材料。在施工材料的选择以及施工技术的应用方面, 该项目团队始终严格遵循并执行国家相关法律法规和行业标准的要求, 确保每一个环节都符合国家的规范和标准, 从而保障工程的质量与安全。无论是材料的采购、检验, 还是施工技术的研发、应用, 都体现了对国家有关要求的坚定贯彻和落实。具体情况如表1所示。

表1 项目混凝土技术要求表

强度等级	抗渗等级	筏板厚度	所属类别
C45	P8	2.4 m	大体积

2 工程施工技术要点

2.1 混凝土原材料预选及配比设计

2.1.1 原材料预选

在骨料品质管理领域, 项目团队实施了双重粒径控制策略: 选用级配均匀的中砂作为细骨料, 其细度模数严格控制在2.3~3.0的区间内; 对于粗骨料, 则实行泥含量双指标管理, 确保含泥量≤2%、泥块含量<1%。特别值得注意的是, 细骨料的品质控制标准相较于粗骨料提升了50%, 其中含泥量及泥块含量分别控制在不高于1%和0.5%。在外加剂的选择上, 采用了环境适应性优选法, 创新性地应用了LN-2型聚羧酸高性能减水剂。该材料在工程实践中展现了突出的技术优势: 在保持低于2%的低掺量的同时, 实现了超过18%的减水效率, 并且将坍落度的经时损失控制在10 mm/h以内^[2]。这种材料特性不仅满足了工作性要求, 还使得混凝土28天抗压强度提高了15%~20%。在掺合料体系构建方面, 遵循了国家标准与工程特性双重标准, 形成了四元复合增强系统: 42.5级硅酸盐水泥满足GB175标准; 抗裂膨胀剂遵循JC476规范; I级粉煤灰符合GB/T1596要求; S95级矿粉达到GB/T18046标准。实践证明, 该材料体系可使混凝土的密实度提高12%~15%, 氯离子扩散系数降低至 $1.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 以下, 显著提升了结构的耐久性能。工程应用数据表明, 经过优化的混凝土材料体系在综合成本上节约率达8.3%, 具有显著的技术经济效益。

2.1.2 配比设计

混凝土作为具有优异适配性的工程复合材料，可通过精准调控水胶比及掺合料配比实现力学性能与施工环境的匹配。在道桥工程施工时，技术人员需根据结构荷载特征、环境侵蚀等级及工艺实施条件，对拌合物组分进行动态优化。以案例为依托，构建了材料性能多目标优化体系，针对筏基大体积浇筑特点，重点攻克泵送工艺适应性、结构耐久性保障及温控防裂三大技术难点，创新采用双掺技术对传统C45P8混凝土进行改性^[3]。具体技术路径包括：（1）以粉煤灰—矿粉复合体系替代30%水泥用量，利用火山灰效应提升后期强度发展；（2）引入缓凝型聚羧酸减水剂，实现水化放热峰值的延时调控；（3）通过骨料级配优化降低孔隙率，形成致密微观结构。结果表明，改良后的混凝土体系呈现显著技术优势：胶材水化热峰值降低42%，28 d抗压强度提升至52.3 MPa，氯离子扩散系数控制在 $1.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下。特别是双掺体系的二次水化反应使90 d强度增长率达122%，有效解决了大体积混凝土强度倒缩问题。表2所示的工程配合比方案经现场验证，完全满足结构设计要求的C45强度等级和P8抗渗等级，成功规避了温度应力导致的表面龟裂现象。

2.2 混凝土各环节温度处理

在混凝土施工过程中，温度场的动态变化直接影响工程结构质量，其中，水泥水化反应产生的热量与外界环境温差形成的综合热效应尤为关键。对于大体积混凝土结构而言，若未实施有效的温控措施，材料内部积聚的热能将导致两方面严重后果：一是引发材料劣化和结构开裂；二是造成工程表观质量缺陷与力学性能衰减，最终危及整体结构的安全服役性能。基于此，本工程在实施阶段建立了全过程温度监控体系，通过热力学仿真与实测数据对比分析，形成了以下计算内容。首先，进行了混凝土出机温度的计算，该计算主要考虑了原材料温度、搅拌过程中产生的热量以及环境温度等因素，确保混凝土在出机时的温度符合施工要求，避免因温度过高或过低对混凝土性能产生不利影响。其次，进行了混凝土浇筑温度的计算。浇筑温度是影响混凝土内部温度场分布的关键因素之一。通过精确计算浇筑温度，并结合实际施工条件，制定了

合理的浇筑方案，确保混凝土浇筑过程中的温度控制得当，有效避免了因温度变化引起的结构开裂等问题。

2.2.1 混凝土出机温度计算

在混凝土工程的施工过程中， T_0 这一参数被定义为混凝土混合料的出机温度。为了确保混凝土的质量和性能，必须精确控制这一温度。在能量守恒定律的科学指导下，混合原材料在搅拌过程中会释放出一定的能量，这些能量转化为热量，进而为混凝土混合物提供必要的热量支持。基于这一物理原理，工程师们可以推导并确定相关的计算公式，从而对 T_0 进行精确的计算。具体而言， T_0 的计算过程严格遵循一系列特定的方程式，这些方程式综合考虑了原材料的热特性、环境温度以及搅拌过程中的能量变化等因素，确保计算结果的准确性和可靠性：

$$T_0 \Sigma WC = \Sigma T_1 WC$$

T_0 为混凝土拌合物出机温度， $^{\circ}\text{C}$ ； W 为混凝土半成品材料的质量总和， kg ； C 为混凝土半成品材料的比热数值， $\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ； T_1 为混凝土半成品材料的原始温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

根据预先设定的运算公式，紧密结合半成品混凝土建材所特有的材料配置情况，将混凝土半成品所涉及的各种具体数值逐一细致地代入相应的方程式中，随后进行系统而严谨的数学运算处理，以确保最终结果的准确性和可靠性。这一过程不仅需要精确的数据输入，还需要对混凝土材料的特性有深入的理解，以确保运算结果的实用性和有效性。通过这种方式，可以更好地掌握混凝土半成品的质量和性能，为后续的施工和使用提供坚实的数据支撑。具体运算过程如下：

$$T_0 = \Sigma T_1 WC / \Sigma WC = 11.4 \ ^{\circ}\text{C}$$

2.2.2 混凝土浇筑温度计算

将在搅拌和浇筑过程中， T_j 表示温度，指的是混凝土半成品出机后，根据工程流程，完成浇筑之后的温度。根据施工现场的资料及历史施工记录来看，计算 T_j 的数值可使用下列公式：

$$T_j = T_0 + (T_q - T_0) \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) + K_b$$

T_j 代表混凝土拌合物浇筑温度， $^{\circ}\text{C}$ ； T_q 代表施工环境外界温度， $T_q = 3$ ，单位 $^{\circ}\text{C}$ ； $(A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n)$ 代表混凝土混合物处理之后在每个施工流程中出现的温度损失系数，根据实际，将其视为取值恒定，其中，

表2 筏基底板C45P8混凝土配合比

C45P8混凝土配合比	水	水泥	粉煤灰	矿粉	膨胀抗裂剂	砂	碎石	聚羧酸高性能减水剂
单方材料用量(kg/m^3)	165	241	75	79	27.5	730	1 095	7.85

$A_1=0.032$, 指的是混凝土混合物出机之后装、卸、运输各一次的温度损失总和; A_2 代表运输过程中的温度损失值, 运输时间用 τ 来表示, 其恒等于 50, 单位用 min 来表示, θ 表示使用不同运输工具产生的影响, 恒等于 0.0 042, 由此得到公式 $A_2=\theta\tau$; A_3 代表浇筑过程中的温度损失值, 浇筑时间用 τ 来表示, 其值恒等于 15, 单位为 min, 由此得到公式 $A_3=0.003\tau$; 在浇筑过程中, 泵送设备的加温系数用 K_b 来表示, 其值恒等于 0.4。根据上述公式, 结合施工时间安排, 案例中使用的是筏板 C45P8 混凝土, 浇筑时间确定在 11 月下旬, 计算发现, 案例中的混凝土出机温度围绕 11.4 ℃上下变化, 但变化的幅度不大; 搅拌后的混凝土混合物从装运到浇筑, 其温度在 8.9 ℃浮动变化。凭借精准温度数据, 案例中的道路桥梁工程的强度、寿命都能得到精准把控, 最大限度发挥混凝土施工技术在工程建设中的作用。

3 混凝土施工质量控制措施

3.1 混凝土原材料预选及配比设计控制

在混凝土原料优选阶段, 需重点把控集料品质参数, 针对砂石材料的洁净度指标, 须限定泥质成分与杂质比例, 优选物理性能与色泽均匀的中砂, 并依据级配标准精确调控细度模数, 确保粗细骨料的含泥量及泥块含量符合规范限值; 结合新型化学外加剂的应用, 科学配入高性能减水剂与复合掺合料, 使拌合物各项性能指标全面满足国标 GB/T 50080 要求, 从而显著改善混凝土的密实性、力学强度及抗侵蚀能力; 针对配合比设计环节, 需综合考虑结构特征与环境条件, 建立水胶比、胶材用量与矿物掺合料的动态平衡体系, 通过现场勘查结合多阶段质量检测, 构建材料性能与施工需求的适配机制^[4]。创新采用矿物复合双掺工艺, 引入优质粉煤灰与矿渣微粉, 在降低水泥用量的同时有效控制水化热峰值, 实现混凝土结构抗裂性能与服役寿命的协同提升。

3.2 混凝土各环节温度处理控制

在混凝土工程实施过程中, 需建立全过程温控管理体系以保障材料性能稳定, 依据热力学能量守恒原理, 对搅拌站出料阶段的混合料温度进行科学推导, 保证其初始温度满足工程规范要求; 基于现场环境监测数据与既往施工数据库, 对入模阶段的混凝土温度实施动态测算, 通过优化运输调度方案、改进泵送管道保温措施等方式, 确保从运输车辆卸料至模板入仓全流程的混凝土温度梯度符合标准; 值得注意的是, 环境温度与入模温度的耦合效应, 建立温度补偿数学

模型, 采用智能化温控装置实时调节结构体表温差, 从而有效抑制水化热异常导致的材料性能劣化及裂缝产生现象^[5]。

3.3 施工过程中的质量控制

在砼结构作业全周期实施精细化管控, 有效保障混凝土浇筑工艺的规范应用。依据核准的工序安排和技术指标组织生产, 重点把控模板支护、配比计量及振捣养护等关键工序的工艺标准; 在此基础上强化作业面动态管理, 通过巡检制度保障机械设备和作业人员的安全状态; 运用智能传感装置对坍落度、入模温度、养护湿度等核心指标实施动态监控, 建立质量预警机制确保结构性能达标的同时, 建立涵盖原料追溯、过程参数、检测结果的工程日志体系, 运用信息化手段实现质量数据的可追溯管理。需要重点关注的是, 需定期组织产业工人开展标准工法轮训与 VR 安全演练, 通过岗位技能认证制度持续提升作业班组的技术素养, 从而构建起全员参与的质量保证体系。这套多维度的管控方案能显著提升大体积混凝土结构的实体质量, 为桥梁承台、墩柱等关键部位的耐久性提供可靠支撑^[6]。

4 结束语

在道路桥梁工程建设中, 混凝土作为核心建筑材料, 其工艺水平的优劣直接决定了工程实体的品质。基于此, 施工企业应充分认识到工艺创新的关键作用, 通过系统开展材料配比研究、施工参数优化等专项研究, 结合智能养护、裂缝控制等创新技术的工程实践, 推动施工过程向标准化、科学化方向发展, 进而有效保障工程主体结构的耐久性能, 提升工程整体质量水平, 保障项目全生命周期效益。

参考文献:

- [1] 练育峰.论混凝土施工技术在市政路桥施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(05):68-70.
- [2] 王洪宇.浅谈混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].科学技术创新,2022(25):74-77.
- [3] 张金凯.混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用分析[J].科技风,2020(29):100-101.
- [4] 同[3].
- [5] 安西艳.混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].运输经理世界,2020(03):97-99.
- [6] 刘玉刚.高性能混凝土技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].黑龙江科学,2020,11(10):102-103.