

# 道路桥梁工程施工中混凝土施工技术的运用

文 / 许恩宾 山东省公路桥梁建设集团有限公司

**摘要：**混凝土施工技术是道路桥梁工程建设中的核心环节，直接影响到工程质量与结构安全。随着高性能混凝土材料与施工工艺的不断发展，传统施工模式不断被优化与升级，工程耐久性、经济性和施工效率显著提升。本文以某道路桥梁工程为案例，围绕高性能混凝土技术在道路桥梁施工中的应用展开系统分析，探讨混凝土材料选择、施工工艺控制及应用效果，总结出一套适用于现代桥梁工程的混凝土施工技术体系，为今后的工程建设提供参考。

**关键词：**道路桥梁；混凝土；浇筑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.067

## 引言

在现代道路桥梁建设中，混凝土施工技术已经成为影响结构性能与使用寿命的关键因素之一。尤其是在交通量日益增长、结构受力复杂多变的背景下，桥梁混凝土材料不仅要满足强度要求，而且需兼具良好的耐久性、施工性能与经济性，在道路桥梁工程中展现出独特优势。通过合理设计混凝土配合比、优化施工工艺，可以有效提升工程质量，延长结构服役周期。本文以具体工程案例为依托，系统论述混凝土施工技术的核心应用策略与实际效果，力求为行业技术提升提供理论支持与实践借鉴。

### 一、道路桥梁工程中混凝土施工的重要性

道路桥梁是现代交通网络的核心纽带，是连接城市与乡村、促进区域经济协调发展的关键性基础设施，其建设质量直接影响着社会运行效率与公众出行安全。在各类桥梁工程建设中，混凝土因其优异的物理力学性能、良好的耐久性以及较高的可塑性，成为最为广泛应用的主体结构材料。混凝土施工质量的优劣，不仅关系到桥梁结构的整体稳定性和荷载承载能力，还直接影响到桥梁的使用寿命、维护管理成本乃至突发灾害时的安全表现。

高标准的混凝土施工技术能够在结构设计荷载之外，还有利于增强桥梁的抗压、抗弯和抗剪能力，使桥梁在长期服役过程中能够抵御交通荷载变化、环境侵蚀以及极端天气等多重不利因素的影响。特别是在地质条件复杂、环境变化剧烈或交通流量巨大的施工场景中，采用高性能混凝土与先进施工技术，可以显著提升工程整体的耐久性与安全性，有效降低后期裂缝修补、加固加宽等维护频次和经济投入，从而实现桥梁全生命周期成本的最优化<sup>[1]</sup>。

### 二、工程概况

某道路桥梁工程是区域交通体系中至关重要的一条跨河通道，也是推动城市空间结构优化、促进两岸经济一体化发展的战略性工程。大桥全长达1803.18m，可有效缓解区域交通压力，提升道路通行能力。项目采用先进的桥梁设计理念，主桥结构形式为无背索斜拉桥与连续梁组合体系，充分体现力学性能与施工可行性的优化

统一。主梁部分采用变高度连续钢箱梁结构设计，可满足大跨径荷载分配的需要，保证结构的轻量化和受力的合理性。本项目的桥面宽度达到39.2m，按照城市快速路标准建设，设置双向六车道，横向坡度设计为2%，便于排水和行车安全。整个桥面铺装工程体量庞大，面积约为13000m<sup>2</sup>，对施工工艺和材料性能提出较高要求。

为适应大流量交通荷载、高频次车辆通行及复杂气候环境对桥面层耐久性、抗裂性和整体稳定性的严苛考验，工程团队在结构选型阶段便进行大量技术论证与比选，采用钢-高性能混凝土（HPC）轻型组合结构。在实际施工过程中，针对行车道部分的钢箱梁桥面铺装，采用高性能混凝土组合结构层，可充分发挥钢材的高强高韧特性和混凝土优异的抗压性能，通过材料与工艺的高度融合，可提升桥面的整体承载力、抗疲劳性能与耐久性。

### 三、混凝土施工技术的核心应用策略

#### （一）混凝土技术要求

为全面保障大桥项目的施工质量与结构耐久性，工程对于所采用的高性能混凝土提出极为严格和细致的技术要求，力求从源头上确保混凝土性能优异、施工顺利以及结构服役期内的安全与稳定。

首先，新拌混凝土必须展现出卓越的流动性，以适应大体积、复杂结构的施工工艺需求。扩展度应严格达到设计规范，且具有良好的保水性与黏聚性，确保在运输、泵送及浇筑过程中，混凝土内部组分均匀稳定，不易发生明显离析。虽然在施工过程中允许出现轻微的泌水或分层现象，但必须通过适当的施工措施进行有效控制，以避免大范围的分离问题，从而保证混凝土成型后的整体均匀性与密实性。

其次，为满足连续浇筑、高效施工的实际需要，混凝土坍落度控制在180至220mm之间，既保障良好的施工流动性，又避免因坍落度过大导致的离析风险。同时，扩展度要求超过500mm，并且1分钟内坍落度损失不得超过30mm，从而确保混凝土在整个浇筑、振捣、成型期间，性能保持稳定，施工操作更具可控性和安全性。

第三，为有效预防因体积变化导致的裂缝问题，混凝土收缩值控制在较低水平，力求最大程度降低因干缩、

温差等引起的结构开裂风险，从而显著提升整体结构的稳定性和耐久性<sup>[2]</sup>。

最后，在硬化混凝土的性能指标方面，要求28天养护后的抗压强度不仅要达到设计标准，而且鼓励实际测得强度超过设计强度等级的1.15倍，以形成安全冗余，进一步保障桥梁结构在长期荷载与复杂环境条件下的稳定服役能力<sup>[2]</sup>。

**(二) 原材料的科学选择**

材料的优劣直接决定混凝土最终性能的高低。为此，

表1 水泥性能指标

水泥标准稠度 (%)	初凝 (分)	终凝 (分)	安定性 (试饼法)	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)		比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )
				3天	28天	3天	28天		
26.9	175	220	质量合格	35.5	57.8	7.0	8.2	356	3.12

在水泥使用的基础上，为优化混凝土后期性能，延缓水化热释放、提高抗裂性和耐久性，本工程合理掺入活性矿物掺合料，包括粉煤灰与矿粉。这些掺合料不仅能够有效降低混凝土早期温升和收缩开裂风险，还能在后期反应中提升混凝土致密性和抗化学侵蚀能力。具体

表2 粉煤灰与矿粉化学组成

	氧化钙 (CaO)	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	氧化镁 (MgO)	三氧化二铁 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	三氧化二铝 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	氧化钠 (Na <sub>2</sub> O)	氧化钾 (K <sub>2</sub> O)
矿粉	40.2	33.4	4.2	0.6	12.2	0.2	0.3
粉煤灰	6.4	44.8	10	8.1	32.9	0.8	0.7

通过合理搭配水泥、粉煤灰与矿粉，不仅优化混凝土内部微结构，提高后期强度发展速率，还显著增强整体耐久性能，符合高等级桥梁对材料品质的严格要求。

**2. 骨料的选择与控制**

骨料作为混凝土中体积占比最大的组成部分，其质量直接影响混凝土的强度、变形性能及耐久性。本工程在骨料选用方面，采用天然中砂与连续级配碎石组合方案。中砂细度模数控制在2.8左右，颗粒均匀、形状圆润，含泥量严格控制在1%以内，且无明显泥块和有害杂质，有效保证拌合物良好的流动性与密实性<sup>[3]</sup>；碎石选用粒径范围为5~25mm的连续级配碎石，其压碎值仅为5.4%，针片状颗粒含量低至2.2%，含泥量与泥块含量分别控制在0.28%和0.09%。优质骨料的应用，可提升混凝土的内部结构致密性和力学性能，减少干缩与温度收缩引起的裂缝隐患，为桥面层施工质量提供坚实支撑。

**3. 外加剂的使用**

为优化混凝土的施工性能与耐久性能，本工程科学选用ZWL-II型复合高效减水剂（缓凝型），该外加剂含固量为14.5%，减水率高达27%，推荐掺量控制在2.0%。通过合理掺加外加剂，显著提升混凝土的流动性与可泵性，有效延长初凝时间，使施工操作更加灵活顺畅，尤其是在高温季节及大体积混凝土连续浇筑过程中表现优异，有利于提高施工质量与工程耐久性。

**(三) 混凝土拌合**

混凝土拌合工艺直接关系到最终成型混凝土的质量

本项目在原材料选用方面，严格贯彻“就地取材、优中选优”的基本方针，在确保质量的前提下兼顾经济性与可操作性，通过科学筛选、系统检测与合理搭配，有效保障混凝土的拌合性能、施工性能和长期服役性能。

**1. 胶凝材料的应用**

本工程采用性能优异、质量稳定的硅酸盐水泥作为主要胶凝材料。该水泥经多轮次检测与比选，最终确定其各项性能指标均满足乃至优于工程要求，其具体技术参数如下表1所示：

而言，粉煤灰选用II级优质产品，细度控制在45μm以内，筛余量为15%，经烘干处理，灼烧损失率控制在3.8%，28天活性指数达到79%；矿粉比表面积高达435m<sup>2</sup>/kg，三氧化硫含量低至0.6%。二者的化学成分详见表2：

与结构性能，因此对所采用的拌合设备及拌合操作方式提出极为严格的要求。为确保混凝土在拌合过程中达到理想的均匀性和一致性，本工程优先选用技术成熟、性能先进的强制式搅拌设备。所选设备不仅具有高效、稳定的运行特性，还具备出色的搅拌均匀能力，能够在短时间内使各组分材料充分混合，同时设备操作简便、智能化程度高，便于日常管理和维护，有效降低人力成本与维修费用。设备正式投入使用前，均需经过严格的性能检测与拌合试验，验证其混合均匀性、出料一致性以及运转可靠性，确保满足高性能混凝土施工的技术要求。

在具体拌合方法方面，本工程采用优化效果显著的二次投料拌合工艺。该方法首先将胶凝材料（如水泥、掺合料）与计量准确的拌合水先行搅拌，充分制成稠密均匀的水泥浆液，之后再逐步加入经筛分合格的砂子与碎石骨料进行进一步混合。通过这种顺序有序、分步投料的工艺流程，可以有效提高水泥浆在骨料表面的包裹性和渗透性，大幅度增强混凝土内部的密实度与结构完整性。实践表明，采用二次投料法生产的混凝土，其抗压强度相比传统一次投料法提升幅度可达15%以上，在相同强度等级要求下，还能够节约15%至20%的水泥用量，大幅降低原材料成本，兼顾工程经济性与可持续性。此外，该方法还能有效改善混凝土的和易性与施工性能，减少离析、泌水等质量问题发生概率，为后续的浇筑、振捣及成型工序打下坚实基础<sup>[4]</sup>。

#### (四) 混凝土浇筑

混凝土浇筑是混凝土施工过程中的关键环节，直接关系到结构整体性、密实度与耐久性能的优劣，因此在施工过程中必须严格按照规范要求，科学组织、精心操作，确保每一道工序精准执行。本工程在浇筑阶段，充分结合高性能混凝土材料特性及桥面结构的施工要求，制定详细的施工方案与质量控制措施，力求在保障施工效率的同时，最大程度地提升成型质量。

在浇筑设备配置上，采用大功率混凝土输送泵与机械布料装置，结合人工辅助方式进行有序浇筑。施工过程中，依据桥面板分块浇筑的原则，按照预定顺序和节奏推进，严格控制浇筑节奏与间歇时间，避免冷缝出现。混凝土浇筑时，坚持“分层、连续、对称、同步”原则，每层浇筑厚度严格控制在 30cm 以内，确保新浇筑混凝土能够与下层混凝土充分结合，有效提升整体结构的密实性与强度。

为防止混凝土浇筑过程中产生离析、泌水等质量通病，特别加强对混凝土拌合物工作性能的动态监测，施工人员密切观察混凝土状态，及时调整输送速度和布料方式，确保浇筑过程中混凝土保持良好的流动性与均匀性。在特殊气候条件下，如高温、低温或大风天气，还根据实际情况采取遮阳、保温、加湿等措施，合理调控混凝土温度，防止温差引起的早期收缩裂缝或表面损伤。

在浇筑同步振捣方面，采用高频振动器进行密实作业，振捣操作严格遵循“快插慢拔、均匀移动”的原则，确保振捣充分、排除气泡，避免过振或漏振现象，最大限度提升混凝土的致密性与力学性能。每台振捣器配备专人负责，严格控制振捣时间与频率，确保整体浇筑质量可控。

针对本工程大体积浇筑特点，浇筑期间还设置专门的质量巡查组，实时监测混凝土温度、坍落度、表面泌水及分层情况，发现异常立即处理，确保各阶段施工质量处于可控范围内。所有浇筑完成后的混凝土表面立即覆盖养护布，并定时洒水养护，保持表面湿润，有效防止早期干裂，进一步提升混凝土的耐久性和抗裂性能<sup>[5]</sup>。如图 1 所示。



图 1 混凝土覆盖养护布

#### 四、混凝土施工技术应用效果分析

在该桥梁工程施工中，混凝土的性能全面提升。根据设计要求，项目采用高性能混凝土和先进的施工工艺，使得最终成型的混凝土结构具有较高的抗压强度和抗冻性能。经过 28 天养护后，混凝土的抗压强度成功超出设

计强度等级的 1.15 倍，确保桥梁长期服役过程中的承载力和稳定性。这一结果验证混凝土配合比和施工工艺的正确性，为后期桥梁的使用安全提供保障。其次，混凝土的耐久性得到显著增强<sup>[6]</sup>。在混凝土配合中引入矿物掺合料如粉煤灰和矿粉，这不仅有效降低水化热，提高早期强度，还增强混凝土的抗渗性和抗碱骨料反应性，从而大大提升结构的耐久性。尤其是在潮湿和寒冷的环境下，混凝土的抗冻融性能和抗化学腐蚀能力为桥梁的长效使用打下坚实的基础。此外，施工过程中的混凝土浇筑与振捣工作取得优异效果，混凝土的密实性和均匀性得到有效保障，避免离析、泌水等问题的发生，确保混凝土的致密性和均匀强度。通过合理的浇筑工艺，混凝土的气泡率和空隙率被有效控制，提升结构的整体稳定性与可靠性。在节约资源方面，项目通过二次投料法优化混凝土配比，减少水泥的使用量，降低材料成本，同时确保混凝土强度的稳步提升。通过科学选用骨料和外加剂，材料的利用率得到最大化，有效减少项目的建设成本和环境影响。

#### 结语

综上所述，本文结合实例，对道路桥梁混凝土施工技术进行详细探究。在实际施工中，通过科学制定混凝土技术要求，合理选择优质原材料，采用先进的拌合与浇筑工艺，严密组织施工流程，可有效保障混凝土结构的高质量成型与优良耐久性。实践证明，系统、规范、精细化的混凝土施工管理，是实现桥梁工程安全、耐久、经济目标的关键。随着交通运输事业的不断发展，道路桥梁工程对施工质量提出更高标准和更严格要求。未来，混凝土施工技术还需不断优化创新，注重新材料、新工艺的应用推广，持续提升工程建设水平，切实为城市交通体系建设和经济社会发展提供更加坚实的基础支撑。

#### 参考文献

- [1] 李青杰. 道路桥梁工程中混凝土的施工技术和裂缝防治对策[J]. 工程建设与设计, 2025, (06): 129-131.
- [2] 姜存梅. 道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施[J]. 运输经理世界, 2025, (06): 132-134.
- [3] 米毅. 道路桥梁施工中预应力混凝土技术的应用研究[J]. 运输经理世界, 2025, (06): 96-98.
- [4] 姚金宇. 钢纤维混凝土在道路桥梁施工中的应用[J]. 四川水泥, 2025, (02): 189-191.
- [5] 李雪麟, 陈华平, 韦奇, 等. 钢纤维混凝土在桥梁施工中的应用研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(11): 115-117.
- [6] 丁川洋. 浅析道路桥梁工程中混凝土施工技术及其裂缝防治措施[J]. 价值工程, 2024, 43(30): 141-144.

作者简介：许恩宾（1984-05），男，汉族，山东济南人，本科，山东省公路桥梁建设集团有限公司，高级工程师，研究方向：桥梁工程。