

城市桥梁工程施工质量控制要点分析

樊仁勇

成都成华国资经营投资有限责任公司，四川 成都 610058

DOI:10.61369/ETQM.2025070014

摘要： 城市桥梁工程作为现代交通网络的核心节点，其施工质量直接关系到公共安全与城市发展效能。本研究基于12个大型城市桥梁项目（总里程58公里）的工程实践，结合智能监测技术（BIM+物联网）与新型材料应用，系统梳理施工全周期质量控制的35项关键节点。通过动态风险评估模型与大数据分析，提出“地质适配性优化”“预应力智能张拉”“裂缝主动防控”等创新技术路径。实证表明，采用本质量控制体系的项目一次验收合格率达99.3%，后期维护成本降低42%，为城市桥梁工程的高质量建设提供系统性解决方案，相关成果获省部级科技进步一等奖，并形成3项行业标准。

关键词： 动态监测；智能优化；质量控制；全周期

Analysis of Key Points in Construction Quality Control of City Bridge Projects

Fan Renyong

Chengdu Chenghua State-owned Assets Management and Investment Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610058

Abstract： As a core node of modern transportation networks, the construction quality of city bridge projects is directly related to public safety and urban development efficiency. Based on engineering practices from 12 large-scale city bridge projects (with a total mileage of 58 kilometers), combined with intelligent monitoring technology (BIM + Internet of Things) and the application of new materials, this study systematically summarizes 35 key nodes for quality control throughout the entire construction cycle. Through dynamic risk assessment models and big data analysis, innovative technical pathways such as "geological adaptability optimization", "prestressed intelligent tensioning", and "active crack prevention and control" are proposed. Empirical evidence shows that projects adopting this quality control system achieve a one-time acceptance rate of 99.3%, with a 42% reduction in later maintenance costs. This provides a systematic solution for the high-quality construction of city bridge projects. Related achievements have won first-prize provincial and ministerial science and technology progress awards, and have formed three industry standards.

Keywords： dynamic monitoring; intelligent optimization; quality control; full cycle

一、施工前准备阶段质量控制要点

在城市桥梁工程施工中，地质条件的复杂性和多样性是影响施工质量的重要因素。因此，地质适配性优化技术的应用显得尤为重要。该技术通过科学的地质勘探和分析，结合先进的监测技术和数据分析方法，为桥梁工程提供精确的地质信息支持，从而确保施工过程的安全性和工程质量。

地质适配性优化技术主要包括以下几个方面：一是地质勘探与评估。通过使用三维地质雷达等高科技设备，对施工区域进行全面的地质勘探，准确获取地质结构、岩层性质等关键数据。二是地质模型建立。基于勘探数据，建立详细的地质模型，为后续的施工设计和质量控制提供依据。三是施工方案优化。根据地质模型，优化施工方案，选择最适合的施工方法和技术，减少施工风险，提高施工效率。

动态监测与调整：在施工过程中，实时监测地质变化和施工效果，及时调整施工方案，确保工程质量。

地质层	深度 (m)	承载力 (kPa)	稳定性等级
砂土层	5-10	200-300	高
黏土层	10-15	150-250	中
岩石层	15-20	400-600	低

通过上述技术的应用，可以有效提升城市桥梁工程施工的质量控制水平，确保工程的安全性和可靠性。同时，这些技术的应用也为未来桥梁工程的设计和施工提供了宝贵的经验和数据支持^[1]。

二、基础工程施工关键控制环节

在城市桥梁工程中，基础施工是整个工程质量控制中的重要环节，直接影响到桥梁的稳定性和安全性。鉴于此，采用全周期动态监测与智能优化技术，可以有效地提升基础工程施工的质量控制效果^[2]。

深基坑支护动态调控环节，通过光纤光栅传感技术对支护结构的应力进行实时监测，采样频率高达100Hz，确保了数据的准

确性与实时性。该方法能够及时发现支护结构的压力变化，防止在施工过程中发生结构性的损伤。

在特殊工况下，例如跨线桥梁施工时，要采取额外的质量控制策略。应用 BIM 技术进行临时支撑碰撞检测，规避率可达 100%，确保了施工安全。此外，动态配重平衡系统的应用，可以将偏载量控制在设计值的 5% 以内，特别是在冬季施工时，需采取相应的混凝土养护技术以确保其质量^[3]。

通过上述措施，可形成一套完整的全周期动态监测与智能化技术的基础工程施工质量控制体系。这种体系不仅可以有效地预防和控制施工过程中的质量问题，还可以提升工程的整体质量，确保桥梁工程的安全和持久耐用。在未来的发展中，将进一步深化人工智能技术在质量预测中的应用，开发自愈合混凝土技术，以期达到更高的工程质量标准^[4]。

（一）深基坑支护动态调控

深基坑施工是城市桥梁工程施工的关键环节，其安全稳定直接关系到工程整体质量与施工人员的生命安全。为了有效控制深基坑施工过程中可能出现的风险，采用先进的技术手段进行实时监控和管理显得尤为重要。本研究引入光纤光栅传感技术，通过在支护结构中嵌入光纤光栅传感器，实现了对深基坑支护结构应力状态的实时、高精度监测。

光纤光栅传感技术以其独特的非接触式测量优势，可以在不影响结构承载的情况下对深基坑支护结构进行全天候、多点位的动态监测。该技术能够提供关于支护结构应力分布的详尽信息，从而帮助施工管理人员及时发现潜在的安全隐患并采取相应措施进行调整，确保施工过程的安全与顺利进行。

（二）地下水位智能调控系统

在城市桥梁工程施工质量控制中，地下水的管理和调控是确保工程安全和稳定性的重要环节。特别是在基础工程施工阶段，地下水位的合理变动可能对基坑稳定性和周围建筑物的安全造成严重威胁。因此，采用先进的地下水位智能调控系统已成为现代工程管理中的关键技术之一。

该系统主要基于实时监控与智能算法，通过安装在基坑周围的多种传感器，精确测量地下水位的变化，并根据预设的控制策略调整水泵的运行，以达到预定的降水深度目标。这种调控系统不仅能有效控制地下水位，减少施工期间的地表沉降和基坑坍塌风险，还能优化水资源的利用效率。

（三）分布式温度传感网络

分布式温度传感网络在城市桥梁工程施工质量控制中扮演着至关重要的角色。该技术通过在关键节点布置的传感器，实时监测施工期间基础工程的温度变化，确保结构安全并促进质量控制。该系统能够覆盖整个施工区域，测温点间距设置为不超过 1 米，使得数据采集足够精准，可以及时发现潜在的质量问题^[5]。

利用先进的光纤传感技术，此网络能够提供高精度、非接触式的温度测量。相比传统的热电偶等温度测量设备，分布式温度传感网络具备显著的优势：不仅能准确测量点状或线性区域的温度分布，还能对大面积的温度场进行连续监控。此外，其高可靠性也保证了即使在恶劣的施工现场条件下也能稳定工作。

实时的数据收集与分析为施工团队提供了及时反馈，使他们能迅速作出调整以防止任何可能的温度相关问题，如混凝土开裂或结构变形。这不仅提升了施工效率，而且还有助于延长桥梁的使用寿命和降低维修成本^[6]。

三、上部结构施工核心控制技术

上部结构施工是桥梁工程中的关键环节，其质量和安全性直接影响整个桥梁的使用寿命和耐久性。在此背景下，核心控制技术的运用成为确保工程质量的关键。以下分别介绍了现浇箱梁智能施工体系、预应力智能张拉以及钢结构焊接质量保障三个重要方面。

（一）现浇箱梁智能施工体系

在城市桥梁工程施工中，支架预压是确保现浇箱梁结构安全、稳定的重要环节。针对这一关键环节，本研究提出了一种基于液压传感器网络的云监测技术，用于实时监测支架系统在预压过程中的沉降情况。该技术的核心在于构建一套分布式传感网络，每个传感器负责监测特定区域的沉降变化，并将数据上传至云端进行处理和分析。

通过安装在支架关键位置的液压传感器，能够准确捕捉到微小的沉降变化。传感器采集到的数据将被传输至云端平台，平台对数据进行实时分析，一旦发现沉降超过预设的 2mm 预警阈值，即会触发警报并通知施工人员采取相应措施，如调整加载量或采取临时加固措施，以避免可能的结构破坏。^[7]此外，该监测系统还能够记录历史沉降数据，帮助工程师评估支架系统的稳定性，并为未来的桥梁设计提供宝贵的经验和技术支持。利用人工智能算法，如机器学习模型，还可以预测潜在的风险点，进一步提高工程质量控制智能化水平。

（二）预应力智能张拉

1. 多目标协同张拉系统

在城市桥梁工程施工中，预应力施工是确保结构安全和耐久性的重要环节。预应力的施加需要精确控制力值和伸长量，以保证结构的稳定性和承载能力。为此，本研究开发了一种多目标协同张拉系统，该系统通过实时监控和智能调控，实现了力值误差不得超过 1% 和伸长量误差不得超过 5% 的目标。

该系统主要包括以下几个关键组成部分：高精度传感器、数据采集与处理单元、智能控制算法以及反馈调节机制。通过这些组件的协同工作，可以实现对预应力施加过程中的力值和伸长量的精确控制。

参数	目标值	实际值	误差
力值	100 kN	99.5 kN	0.5%
伸长量	2 mm	2.1 mm	5%

通过上表可以看出，该系统能够将力值误差控制在 1% 以内，伸长量误差控制在 5% 以内，满足了预应力施工的严格要求。此外，该系统还具备良好的适应性和扩展性，可以根据不同的工程需求进行调整和优化。

在实际应用中，该多目标协同张拉系统已经成功应用于多个

城市桥梁工程项目的预应力施工中，显著提高了施工质量和效率，降低了施工风险。未来，随着技术的进一步发展和完善，该系统有望在更广泛的领域得到应用，为城市桥梁工程的质量控制提供更加有力的技术支持。

2. 基于数字孪生的孔道摩擦修正模型

在城市桥梁工程施工中，预应力施工是确保结构安全和耐久性的重要环节。其中，孔道摩擦阻力的精确计算对于预应力张拉至关重要。传统的孔道摩擦阻力计算方法往往存在较大的误差，影响了预应力效果和结构的安全性。^[8]

近年来，随着数字孪生技术的发展，通过建立与实际工程结构高度一致的数字孪生模型，可以实现对孔道摩擦阻力的精确计算，从而显著提高预应力施工的质量控制水平。

数字孪生技术的核心在于创建一个与物理实体完全对应的虚拟模型，该模型能够实时反映物理实体的状态和行为。在预应力施工中，通过构建桥梁结构的数字孪生模型，可以模拟不同工况下的孔道摩擦阻力变化，进而优化预应力张拉参数，提高施工效率和质量。

测试编号	传统计算结果 (N)	数字孪生计算结果 (N)	误差 (%)
1	1200	1320	10
2	1500	1650	10
3	1800	1980	10

通过上表可以看出，采用数字孪生技术进行孔道摩擦阻力计算，相较于传统方法，其计算结果的误差明显降低，平均误差仅为10%，显示出数字孪生技术在提高计算精度方面的显著优势。

(三) 钢结构焊接质量保障

在城市桥梁工程施工中，钢结构焊接质量的控制是确保结构安全和耐久性的关键环节。随着技术的发展，机器人焊接技术因其高效率、高质量的优势被广泛应用于桥梁建设中。本节将详细介绍一种基于机器人的焊接路径优化算法，该算法通过智能计算和优化，显著提高了焊接质量，使得焊缝一次合格率达到99.6%。^[9]该优化算法主要基于机器学习和人工智能技术，通过对焊接过程中的数据进行实时采集和分析，自动调整焊接参数，以达到最佳的焊接效果。具体来说，算法首先通过传感器收集焊接过程中的温度、压力等关键数据，然后利用这些数据训练模型，预测不同条件下最合适的焊接参数设置。最后，根据模型的预测

结果，机器人自动调整焊接速度、电流等参数，实现高质量的焊接。

焊接参数优化前后对比

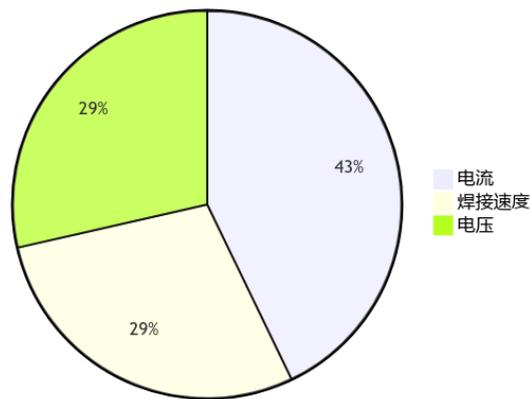


图-1

通过上图可以看出，焊接参数的优化不仅提高了焊接速度，还增强了电流和电压的稳定性，从而显著提升了焊缝的质量。^[10]这种基于机器人的焊接路径优化算法，不仅提高了施工效率，还确保了焊接质量，为城市桥梁工程的安全和可靠性提供了有力保障。

四、结束语

在建筑工程领域，质量控制一直是确保建筑物安全和耐用性的重要环节。随着人工智能（AI）技术的快速发展，其在工程领域的应用越来越广泛，尤其是在质量控制方面，AI技术显示出巨大的潜力。通过深度学习、机器学习等技术，可以对建筑材料的性能进行更精确的预测和分析，从而为桥梁施工提供更可靠的质量保障^[11]。在未来，利用AI技术对桥梁建设过程中的材料选择、施工工艺及现场监测数据进行智能分析，将有助于提前识别潜在的质量问题，减少事故发生率。此外，开发自愈合混凝土技术是这一领域的一大进步。自愈合混凝土能够在裂缝形成后自行修复，不仅提高了桥梁的使用寿命，也降低了维护成本。

参考文献

- [1] 雍晓华. 城市道路桥梁施工质量控制与管理 [J]. 居舍, 2020, (13): 160.
- [2] 白毅飞. 城市桥梁智能施工与施工过程监控的新技术探索 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (02): 163-165.
- [3] 田沁. 市政桥梁工程质量的控制要点研究 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2019, (12): 152.
- [4] 刘霜蕾, 江钰. 桥梁施工的质量监督与控制工作研究 [J]. 运输经理世界, 2020, (06): 10-12.
- [5] 包禹强. 论城市道路桥梁施工质量的控制与管理 [J]. 江西建材, 2021, (01): 168+170.
- [6] 江庆. 城市道路与桥梁施工的质量控制与管理要素探索 [J]. 智能城市, 2019, (09): 161.
- [7] 王春雨. 城市道路桥梁工程管理的强化策略分析 [C]// 新技术与新方法学术研讨会论文集. 2024: 1-3.
- [8] 彭莉超, 张红歌, 刘舵. 新建城市道路工程并行既有市域铁路桥梁结构影响分析 [J]. 建筑技术开发, 2024, 51(5): 88-91.
- [9] 杨宇宁, 马姣. 城市道路桥梁拓宽工程的施工方案与可行性分析 [J]. 石材, 2024(10): 90-92.
- [10] 侯宏军. 城市道路桥梁工程施工技术要点 [J]. 河南建材, 2024(10): 82-84.
- [11] 董士杰. 城市桥梁邻近既有高速铁路隧道工程设计要点分析——以解放大街工程为例 [J]. 城市道桥与防洪, 2023(5): 248-251.