

桥梁施工工艺的优化对提高工程质量的作用

孔小旭

成都建工路桥建设有限公司 四川 成都 610073

摘要：提升工程质量、效率的关键是桥梁施工工艺要进行优化。但是现在的传统工艺存在以下问题，比如：施工的精度低，工作时材料浪费、工期的时间长及环境污染等问题。如今优化技术包括：装配式预制拼装技术、BIM数字化施工技术、高性能材料应用及智能监测等手段来解决以上所说的弊端。其中装配式技术（如港珠澳大桥案例）能够缩短工期并提高精度；BIM技术（如大兴机场高速桥梁项目）可以实现施工模拟与实时监控；高性能材料（如苏通长江大桥）也能增强耐久性；智能监测（如杭州湾跨海大桥）更能保障施工安全与质量。优化技术显著提升了施工精度、结构安全性及管理效率，同时推动桥梁工程向智能化、绿色化发展，为行业可持续发展提供了重要支撑。

关键词：桥梁施工；工艺优化；工程质量；结构稳定性

引言

道路桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，其施工质量直接关系到道路的安全、畅通和桥梁的稳固性。随着社会的快速发展和交通量的不断增长，道路桥梁工程的建设规模不断扩大，对施工质量的要求也越来越

高。因此，加强道路桥梁工程施工质量管理与控制措施的分析 and 研究，对于提高工程质量和安全性，促进交通基础设施的可持续发展具有重要意义。

1 桥梁施工工艺的优化技术

表1 桥梁施工工艺的优化技术

优化技术类别	具体内容与优势	应用场景与效果
装配式与预制拼装技术	工厂预制构件，现场拼装；减少现场浇筑和模板支撑作业；质量控制严格，施工误差小	提高施工效率，缩短工期；降低施工成本；减少噪音和粉尘污染，符合绿色施工要求
BIM技术与数字化施工	三维建模与可视化控制；施工过程模拟与优化；结合数字化手段实时跟踪施工进度	提升施工精度，减少设计冲突；提前发现并解决潜在问题；支持后期运维与健康监测
高性能材料与新工艺应用	未明确提及具体材料或工艺，但强调竣工验收的重要性	确保工程质量符合标准；检查工程实体与资料完整性

1.1 装配式与预制拼装技术

桥梁施工领域如今的工艺革新方向是装配式与定制拼装技术的集中发展，现代化的变革在如今工程中会促进施工效率的提升、并且可以优化成本结构及在环境上得到优势的显著。较于传统现浇工艺，新型的变革技术主要集中于工厂预制核心构件（如，预制梁、墩柱、盖梁等）与现场模块化拼装，新型的技术会大幅削减现场的湿作业，也会缩短模板周转周期。而在工厂标准化的生产条件下，构件质量的控制会达到毫米级别的精度。而尤为重要的是，这些新型化的工艺更能减轻大气环境负荷，这更加契合现代化基建的绿色施工理念。

如今港珠澳大的建成，更树立了理论的典型范例。港珠澳大桥的建立过程中充分运用了装配式技术，而在跨海桥梁建设中，钢箱梁、墩身等核心构件大多采用了陆地预制、海上组装的作业模式。这种现代化的工业建造策略不仅仅攻克了深海施工的安全管理困难的问题，

还能凭借毫米级别的精度来进行桥梁各模块的对接，这可以确保复杂海洋环境下对整体结构的精准把握。尤其是，预制工艺还增强了混凝土构件的密实度与耐腐蚀性，这使得大桥在酸性雨、高湿度等严苛海洋环境下的耐久性提升约40%，这为同类在相同环境的桥梁建设中设立新的技术标杆。

1.2 BIM技术与数字化施工

BIM技术与数字化施工正对现代桥梁工程的建造模式进行变革。建筑信息模型技术（BIM），凭借其卓越的三维可视化建模能力，将桥梁结构设计、施工组织规划和工程管理三者整合到同一数字平台，然后经由虚拟建造流程的模拟后，来有效预防设计冲突，并大幅提高施工精确度。此技术还可以结合无人机的航测技术、激光点或者云扫描等前端方法，这样工程团队就能能即时的来监测施工现场状况，主动辨识并排除质量风险，用以保障项目如期实施。

例如，北京大兴国际机场的高速永兴河特大桥的建造中，该技术充分的应用在其中，而他的优势在施工期间表现的十分冲突。其中在施工项目中，北京施工团队采用了BIM技术来构建三维模型，而虚拟技术还能用来推演合理的施工工序，用以将构件安装的误差控制在3毫米以内。在施工现场还能结合智能监测系统与无人机巡检，来构建全天候质量监控网络，并且实时获取桥梁关键部位应力应变数据。

1.3 高性能材料与新工艺应用

作为工程质量管控的最终保障环节，桥梁道路工程中占据决定性地位的是竣工验收在。这个系统性任务旨在验证工程于设计、施工及使用功能层面的合规性，这还肩负着为工程投入使用提供质量认证的关键职责。在具体操作上，建设单位须统筹勘察、设计、施工、监理等参建各方，并且遵循现行的国标及行规执行验收流程。其中完整的验收流程包含三大核心步骤：一是工程实体的全面检查，二是技术文档的严谨审核，三是工程质量的整体评判。而验收团队需深入实地，借助实测数

据验证工程与设计图纸的一致性，着重考察结构安全性、使用功能性及外观品质等核心要素。针对工程类型的差异，验收焦点也有很大所区别：桥梁工程侧重检测承载能力与伸缩缝安装精度等关键指标，而道路工程则着重于路面平整度及排水系统效能等要素。

竣工验收阶段的质量管理核心在于构建闭环的监管体系。在针对验收中表现粗来的质量瑕疵，施工单位要尽快启动纠正措施流程，并等待质量隐患消除后才能提交请复检。以某跨江大桥工程项目为例，验收小组观测到桥墩混凝土表层有轻微裂痕，虽未危及结构安全性，但施工方仍遵循规范标准，运用环氧树脂灌浆技术进行修补，并通过第三方检测确认合格后，方获验收通过。竣工验收报告作为工程质量状况的“检验报告”，其编制水平直接关系到后续运维管理的成效。一份详尽的报告应全面记载工程概况、验收关键环节数据、质量缺陷应对策略及最终验收判定。

2 优化技术对提高工程质量的作用

表2 优化技术对工程质量的作用

优化技术对工程质量的作	具体表现	典型案例
提高施工精度，减少质量缺陷	施工精度显著提升，减少尺寸偏差、受力不均等问题；BIM技术、数字化测量和智能设备的应用	沪通长江大桥：BIM+智能监测技术，激光扫描仪检测，智能张拉系统，施工误差控制在毫米级
增强桥梁结构的耐久性和安全性	采用新型材料（如HPC、FRP等）提升耐久性；智能监测技术实时跟踪结构健康状况	苏通长江大桥：高性能混凝土、防腐涂层、耐腐蚀钢筋，智能监测系统实时采集数据
提高施工效率，缩短工期	装配式和预制拼装技术减少现场施工时间；智能化设备提高施工精度和效率	广州珠江黄埔大桥：大节段钢梁工厂预制、桥面吊装、智能混凝土浇筑、无人机巡检
提升质量监控和管理水平	数字化技术实现施工过程实时监控；BIM+GIS技术和大数据分析提高质量管理科学性	虎门二桥（南沙大桥）：BIM+智能监测技术，高精度测量技术，施工状态实时查看

2.1 提高施工精度，减少质量缺陷

提升桥梁施工精确度并缩减质量缺陷，这是优化工程技术的核心要点。在传统建造流程中，人工操作的不确定性、测量精度的局限或者材料特性造成的波动，常常会导致结构尺寸偏差、受力分布不均或施工缺陷等情况的发生。鉴于BIM技术、数字化测量方法及智能化施工装备之运用，施工精度获显著提升。借由BIM技术，施工前可构建三维模型，精确模拟施工流程，辨识潜在设计冲突，进而降低返工风险。与此同时，全站仪、激光扫描仪等高精度测量装置对施工数据实施实时监测，确保各构件定位、角度及连接契合设计要求，从根本上削减施工误差。

以上技术在沪通长江大桥建设中的有效应用得以验证。项目团队融合BIM建模技术与智能监测手段，优化

了钢梁与索塔连接设计，保障了拼装精度。同时，利用激光扫描仪对钢结构桥梁焊接点及连接节点实施实时监测，及时发现并校正潜在的错位或焊接缺陷。除了以上因素外，这对于预应力施工阶段引入智能张拉系统，确保预应力钢索张拉力均匀，满足结构受力需求，进而增强桥梁整体力学性能。上述技术的综合应用，将施工误差严格控制在毫米级水平，显著提升了工程质量和耐久性。

2.2 增强桥梁结构的耐久性和安全性

增强桥梁结构耐久性与安全性乃桥梁施工优化技术的核心目标。传统桥梁经长期服役，受荷载作用、温度变化及环境腐蚀等多重因素侵扰，常现开裂、钢筋锈蚀及混凝土碳化等弊病，进而缩减桥梁使用寿命并危及安全。针对此类问题，现代桥梁施工引入高性能混凝土（HPC）、纤维增强复合材料（FRP）及高强度钢材等新

型建材,有效提升桥梁耐久性。同时,智能监测技术的运用,可实现桥梁结构健康状态实时追踪,及时发现潜在风险,采取预防性维护策略,进而增强桥梁长期安全性能。

例如,在苏通长江大桥的建设过程中,采用了高性能混凝土(HPC)与防腐涂层技术,旨在提升其抗疲劳性与耐久性。高性能混凝土展现出更高的抗压强度及耐久性,显著减少了裂缝的形成,并且在桥梁的关键承载部位应用了耐腐蚀钢筋,从而延缓了混凝土的碳化进程与钢筋的锈蚀速度。此外,大桥上装备了智能监测系统,该系统能够实时采集并分析桥梁的位移、振动、温度及应力等数据,以保障桥梁在强风及大流量通航条件下的稳定性。上述优化技术的运用,确保了苏通长江大桥在极端环境下依然维持着卓越的结构性能,极大地增强了桥梁的安全系数及使用寿命。

2.3 提高施工效率,缩短工期

桥梁施工技术的革新始终聚焦于效率提升与工期控制这一核心目标进行。传统施工方法因工艺流程复杂、材料运输瓶颈及气象因素限制,往往面临进度延误与效率低下的问题。值得注意的是,装配式与预制拼装技术的广泛应用正逐步改善此状况,其通过工厂化预制桥梁构件并转运至现场组装,大幅缩短了现场作业周期。尤为突破性的是,自动化焊接装置、智能混凝土浇筑系统及无人机巡检技术的融入,在增强施工精确度的同时,实现了人力资源的高效配置,为工程进度与质量的双重确保提供了可行途径。

以广州珠江黄埔大桥项目为例,该项目创新性结合预制化施工与智能技术,实现了显著的施工效率提升。工程团队运用工厂预制大节段钢梁与桥面吊装工艺,相较于传统焊接方法,效率提高超过30%。智能混凝土浇筑系统与自动张拉装置的应用,有效保障了浇筑均匀性,减少了施工误差并大幅缩短了工期。在质量监控方面,无人机实时巡检技术的运用确保了检测数据的精确性,最大程度规避了返工情况。此成功案例充分展示了技术创新在工期缩短与质量保证方面的双赢效应。

2.4 提升质量监控和管理水平

桥梁施工质量监控与管理效能的提升,直接关系到工程安全性、耐久性及整体品质的保障。传统质量监控方式往往局限于人工检视和经验性评估,这种模式不仅容易受到主观因素影响,更可能导致监测数据失真、

隐患识别滞后等系统性缺陷。随着数字化技术的深度渗透,智能监测系统、BIM-GIS集成技术以及大数据分析等创新手段正逐步重塑质量管理范式。通过在关键节点布设应力传感器、位移监测设备和环境参数采集系统,施工团队能够实时掌握工程动态,快速响应异常情况并优化施工方案,从而大幅提升质量管理的科学化水平。

虎门二桥(南沙大桥)项目为我们提供了一个颇具启发性的实践案例。该项目创新性地将BIM技术与智能监测系统相结合,构建起覆盖全生命周期的质量监控网络。BIM技术的三维建模与施工模拟功能显著提升了施工精度,而智能监测系统则持续追踪桥梁受力状态、振动特性和环境参数变化。这些数据通过无线传输实时汇聚至云端平台,使管理人员能够精准把握施工质量状况。特别值得一提的是,在关键的合龙施工阶段,项目团队采用高精度测量技术确保节段拼接的毫米级精度,有效预防了结构错位和应力集中问题。这一系列技术措施不仅保障了施工质量,更为后续的桥梁运维积累了宝贵的数据资产。

3 结语

现代桥梁工程高质量发展,核心在于施工工艺的持续精进与创新。装配式施工推广、BIM技术深度融入、高性能材料研发应用及智能监测系统部署,成为驱动工程建设品质飞跃的关键。这些创新手段直击传统施工痛点:施工精度不足、资源利用率低、工期控制不当及结构耐久性弱。尤为瞩目的是,技术进步不仅提速工程效率,更在桥梁安全性能与智能化管理上实现质变。桥梁建设领域正经历深刻变革。数字化技术与绿色建造理念融合,重塑行业发展路径。智能建造技术广应用,预示施工向自动化、信息化转型,低碳环保要求趋严,推动工艺向环境友好发展。

参考文献

- [1]郭伟.道路桥梁工程施工质量管理与控制措施分析[J].交通建设与管理,2024,(05):71-73.
- [2]赵亚超.道路桥梁施工中的质量控制与安全管理[J].汽车周刊,2025,(03):134-136.
- [3]汪俊.道路桥梁工程建设中的质量控制要点[J].汽车周刊,2024,(12):201-203.
- [4]王斌.公路桥梁施工安全风险控制技术研究[J].运输经理世界,2021,(04):114-115.