

# 桥梁施工中的新材料、新技术应用研究

毛鹏程

湖北省政建设集团有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要:** 随着交通基础设施建设的快速发展,桥梁工程在规模、结构形式和技术要求上都不断提高。新材料和新技术的应用成为推动桥梁施工技术进步的关键因素。本文深入探讨了桥梁施工中新材料和新技术的应用情况,分析了这些材料和技术在提高桥梁质量、施工效率、耐久性以及环保等方面的优势,同时也指出了应用过程中面临的问题和挑战,并提出了相应的解决策略,旨在为桥梁施工领域的技术创新和发展提供参考。

**关键词:** 桥梁施工;新材料;新技术;应用研究

## 1 引言

桥梁作为交通网络的关键枢纽,其建设质量直接关系到交通运输的安全与效率。近年来,科技进步日新月异,桥梁施工领域不断涌现出大量新材料和新技术。这些创新成果不仅为桥梁设计提供了更广阔的空间,还在施工效率提升、质量保障强化和成本控制优化等方面发挥了关键作用。然而,新材料和新技术的应用并非一帆风顺,面临着技术成熟度、成本控制、施工工艺适应性等诸多挑战。因此,深入研究桥梁施工中新材料和新技术的应用,对于推动桥梁工程技术的持续发展具有重大现实意义。

## 2 桥梁施工中新材料的应用

### 2.1 高性能混凝土

高性能混凝土具有高强度、高耐久性、高工作性,在桥梁施工中应用广泛。(1)高强度:抗压强度通常超60MPa,部分超100MPa。如港珠澳大桥部分承台和墩身采用,抗压强度达80MPa以上。采用它可使桥梁结构截面尺寸更小,减轻自重。以100m跨径简支梁桥为例,用高性能混凝土主梁高度可降1m左右,减少混凝土用量20%-30%,降低造价,还提升桥梁跨越能力。(2)高耐久性:抗渗等级一般超P12,抗冻性佳,300次冻融循环后强度损失率通常小于5%,而普通混凝土可能超20%。在潮湿、盐雾、化学物质侵蚀等复杂环境中,能有效抵抗不利因素,延长桥梁寿命。沿海地区桥梁采用它,氯离子扩散系数可低至 $1 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 以下,远低于普通混凝土,降低钢筋锈蚀风险,保障结构安全<sup>[1]</sup>。(3)高工作性:流动性与自密实性好,坍落度180-220mm,扩展度500-600mm,可不振捣或少量振捣填充模板,减少工序,提高效率。复杂桥梁节点施工可避免不密实问题。且早期强度发展快,1d强度达设计强度的30%-50%,3d达60%-80%,缩短模板周转时间,加快进度,可使施工周期缩短

10%-15%。

### 2.2 纤维增强复合材料(FRP)

纤维增强复合材料由纤维与基体材料复合而成,具轻质、高强、耐腐蚀等优点,在桥梁加固与新建工程中应用广泛。(1)碳纤维增强复合材料(CFRP):强度和模量极高,抗拉强度3000-5000MPa,是钢材5-10倍;弹性模量200-600GPa,与钢材相当;密度1.5-2.0g/cm<sup>3</sup>,约为钢材四分之一。桥梁加固时,粘贴于梁体底部可提高抗弯承载能力,如钢筋混凝土简支梁桥,加固后抗弯承载能力可提升40%-60%,且施工对交通影响小。新建桥梁中,可用于制作拉索、主梁等构件,大跨度斜拉桥采用CFRP拉索,重量可减轻30%-50%,抗疲劳性能更好、寿命更长。(2)玻璃纤维增强复合材料(GFRP):强度和模量低于CFRP,抗拉强度1000-2000MPa,弹性模量40-80GPa,但价格便宜,为CFRP的三分之一到二分之一。其耐腐蚀性和电绝缘性好,常用于制作桥面板、栏杆、排水管等构件。跨海桥梁采用GFRP桥面板可避免腐蚀问题,在海洋环境下使用寿命超50年,而传统钢桥面板仅20-30年。同时,GFRP桥面板重量轻,可减轻桥梁自重15%-20%,降低造价。

### 2.3 自修复材料

自修复材料受损后能自动修复性能,在桥梁施工中应用可显著提升其耐久性与安全性。(1)微胶囊自修复混凝土:在混凝土中掺入含修复剂的微胶囊,直径50-200 $\mu\text{m}$ ,壁厚5-10 $\mu\text{m}$ 。混凝土裂缝时,裂缝应力使微胶囊破裂,修复剂(多为环氧树脂、聚氨酯等高分子材料,粘度低)流出填充裂缝,与混凝土成分反应形成坚硬产物实现自修复。裂缝宽度小于0.3mm时自修复效果好,修复后强度可恢复至原强度的80%-90%,多次自修复后性能仍稳定,能减少裂缝扩展,提高抗渗性与耐久性。(2)形状记忆合金自修复材料:形状记忆合金可在

特定条件下恢复原始形状。将其制成螺栓、拉索等连接件用于桥梁结构，变形后通过加热等方式可恢复原状。如抗震设计中，形状记忆合金拉索地震后可自动恢复拉紧状态。其恢复温度一般为50-100°C，应变恢复率超90%，采用该拉索的桥梁，地震后残余变形可减小50%-70%，保障结构稳定。

### 3 桥梁施工中新技术的应用

#### 3.1 预制拼装技术

预制拼装技术是将桥梁构件工厂预制后运至现场拼装，具有施工快、质量可控、环保等优点。（1）预制构件工厂化生产：工厂采用先进工艺设备，对桥梁构件标准化、规模化生产。如自动化生产线生产预制梁，钢筋绑扎、模板安装等工序可自动化操作。工厂环境稳定，能精准控制温湿度，更好把控构件质量。以预制箱梁为例，工厂生产的尺寸偏差可控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，强度标准差在2.0MPa以下，现场浇筑的尺寸偏差可能超 $\pm 5\text{mm}$ ，强度标准差或超3.0MPa。且工厂生产效率高，一条自动化生产线日产预制箱梁4-6片，缩短构件生产周期。

（2）现场快速拼装：预制构件运至现场后，用履带吊或汽车吊（起重量200-500t）快速拼装。通过精确定位和连接技术，如高强度螺栓连接或湿接缝连接，保证构件连接牢固、传力良好。城市高架桥建设中，采用该技术可快速架设桥梁。如1km长的城市高架桥，施工周期可缩短至3-4个月，较传统现浇施工方法（6-8个月）大幅减少对城市交通的影响。（3）质量控制与检测：施工全过程建立严格质量控制体系。生产时用超声波、射线检测等技术检查构件内部质量；运输时采取防护措施；拼装时用全站仪、水准仪实时监测拼装精度，轴线偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，高程偏差在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，同时重点检查连接部位质量。

#### 3.2 智能监测技术

智能监测技术借助传感器、数据采集系统及分析软件等，实时监测分析桥梁施工与使用中的状态。（1）传感器布置：在桥梁主梁、桥墩、拉索等关键部位布置各类传感器。应变传感器多用光纤光栅或电阻应变片，测量精度 $\pm 1\mu\epsilon$ ；位移传感器可选激光或拉线式，精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ；加速度传感器常用压电式，频率范围0-1000Hz。如大跨度斜拉桥，主梁每隔10-20m布置应变传感器，桥墩布多个位移传感器，拉索布加速度传感器，全面监测受力、变形和振动。（2）数据采集与传输：数据采集系统实时采集存储传感器数据，经有线（光纤或电缆，速率超100Mbps）或无线（GPRS、3G、4G、5G，距离数公里以上）传至监控中心，以便实时分

析处理，及时发现异常。如监测到拉索振动频率骤增或应变超阈值，系统自动报警<sup>[2]</sup>。（3）数据分析与预警：用数据分析软件建立桥梁健康监测模型（有限元分析、神经网络、模糊数学等方法），对比实时监测与模型预测数据评估健康状况，超阈值即预警。如主梁应变预警阈值为设计应变的80%，超此值发黄色预警，超90%发红色预警。施工时监测变形和应力保安全，使用中及时发现损伤病害，为维护加固提供依据。

#### 3.3 3D打印技术

3D打印技术基于数字模型，逐层打印构造物体，在桥梁施工中潜力巨大。（1）复杂结构构件制造：能制造传统工艺难加工的复杂构件，如桥梁装饰构件、特殊连接件，精度达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。以景观桥梁装饰构件为例，传统工艺需复杂模具、周期长、成本高，3D打印直接按设计模型打印，周期缩至原三分之一左右，成本降20%-30%。（2）快速原型制作：桥梁设计阶段，可快速制作实体模型，时间依模型大小和复杂度而定，小型模型数小时完成，大型模型数天完成。设计师通过实体模型直观了解桥梁结构与空间关系，优化设计，还能用于施工方案演示模拟，提高施工组织效率，如施工方案讨论时直观展示步骤和关键节点<sup>[3]</sup>。（3）现场施工应用：未来有望实现桥梁现场3D打印施工，用大型设备直接在现场打印构件或整体结构。国外已有部分小型桥梁采用此技术，如荷兰8m长自行车桥用增强聚合物打印，耗时3个月。虽面临材料性能、精度、效率等挑战，但随着技术进步将逐步解决，未来有望减少模板使用和人工操作，提升施工效率与质量。未来，现场3D打印施工有望减少模板使用和人工操作，提高施工效率和质量。

### 4 新材料、新技术应用面临的问题与挑战

#### 4.1 技术成熟度问题

虽然新材料和新技术在桥梁施工中展现出巨大的优势，但部分技术仍处于研发或试验阶段，技术成熟度有待提高。例如，自修复材料的修复效果和耐久性还需要进一步验证；3D打印技术在桥梁施工中的应用还面临着材料性能、打印精度、施工效率等方面的挑战。

#### 4.2 成本控制问题

新材料和新技术的研发和应用往往需要较高的成本投入。例如，高性能混凝土、纤维增强复合材料等材料的价格相对较高；智能监测设备和3D打印设备的购置和维护成本也较为昂贵。这使得一些施工单位在推广应用新材料和新技术时面临较大的经济压力。

#### 4.3 施工工艺适应性问题

新材料和新技术的应用需要与之相适应的施工工

艺。然而，目前部分施工单位和施工人员对新材料和新技术的施工工艺掌握不够熟练，缺乏相关的施工经验。例如，在预制拼装施工中，构件的拼装精度和连接质量对施工工艺要求较高，如果施工人员操作不当，可能会影响桥梁结构的质量和安全性。

#### 4.4 标准规范不完善问题

新材料和新技术的应用往往缺乏相应的标准规范和验收标准。这使得在工程实践中，对新材料和新技术的质量评价和验收缺乏明确的依据，容易引发质量纠纷和安全隐患。例如，对于自修复材料的性能指标和检测方法，目前还没有统一的标准规范。

### 5 解决策略与建议

#### 5.1 加强技术研发与创新

加大对新材料和新技术的研发投入，鼓励科研机构、高校和企业开展联合攻关，提高技术成熟度。例如，建立产学研合作平台，共同开展自修复材料、3D打印技术等关键技术的研究和开发，加速技术成果的转化和应用。

#### 5.2 优化成本控制

通过规模化生产、技术创新等方式降低新材料和新技术的成本。例如，对于高性能混凝土，可以通过优化配合比、采用新型外加剂等方式降低材料成本；对于智能监测设备和3D打印设备，可以通过提高设备的国产化率、降低设备维护成本等方式降低设备成本。同时，政府可以出台相关政策，对采用新材料和新技术的工程项目给予一定的财政补贴和税收优惠，鼓励施工单位积极应用新技术。

#### 5.3 加强施工人员培训

加强对施工单位和施工人员的技术培训，提高其对新材料和新技术的认识和掌握程度。例如，开展新材料、新技术应用培训班，邀请专家进行授课和现场指导，让施工人员熟悉新材料和新技术的施工工艺和质量要求<sup>[4]</sup>。同时，施工单位可以建立内部培训机制，定期组织技术人员和施工人员进行学习和交流，提高施工队伍

的整体素质。

#### 5.4 完善标准规范体系

加快制定和完善新材料和新技术的标准规范和验收标准。相关部门应组织专家对新材料和新技术的性能指标、检测方法、施工工艺等进行深入研究，制定出科学合理、标准规范。例如，制定自修复材料的性能评价标准和检测方法，规范预制拼装施工的质量验收标准等，为新材料和新技术的应用提供有力的技术支持和保障。

#### 结语

新材料和新技术的应用为桥梁施工带来了新的机遇和挑战。高性能混凝土、纤维增强复合材料、自修复材料等新材料的应用提高了桥梁的质量和耐久性；预制拼装技术、智能监测技术、3D打印技术等新技术的应用提高了施工效率和质量。然而，新材料和新技术的应用也面临着技术成熟度、成本控制、施工工艺适应性和标准规范不完善等问题。通过加强技术研发与创新、优化成本控制、加强施工人员培训和完善标准规范体系等措施，可以有效解决这些问题，推动新材料和新技术在桥梁施工中的广泛应用，促进桥梁工程技术的持续发展。未来，随着科技的不断进步，新材料和新技术将在桥梁施工中发挥更加重要的作用，为建设更加安全、高效、环保的桥梁工程提供有力支持。

#### 参考文献

- [1]汤晴岚.道路桥梁施工中新材料与新技术应用探索[J].新城建科技,2024,33(07):176-178.
- [2]廖金涛.道路桥梁施工中新材料与智能技术应用探索[J].智能建筑与智慧城市,2025,(02):159-161.
- [3]熊学军.公路桥梁施工中的新技术应用与安全管理[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一).浙江临南建设有限公司,2025:1390-1393.
- [4]高畅.公路桥梁施工质量控制与新技术的作用分析[J].运输经理世界,2024,(30):102-104.