

现代桥梁加固技术的应用与挑战

卜令涛 赵福志

山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东济南, 250000;

摘要: 随着我国交通运输事业的快速发展, 公路桥梁作为关键基础设施, 其运行安全与耐久性面临严峻挑战。部分老旧桥梁因长期超载、环境腐蚀及材料老化, 已出现不同程度的结构退化, 亟需科学有效的加固处理。本文在分析桥梁加固必要性的基础上, 系统阐述了碳纤维加固、体外预应力、扩大基础与增补桩基、粘贴钢板等关键加固技术, 重点探讨其适用条件、施工工艺及工程效果。综合应用多种加固手段能显著提升桥梁结构的承载力与安全性能, 对延长桥梁使用寿命具有积极意义。

关键词: 现代桥梁; 加固技术; 桥梁加固施工

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.030

引言

公路桥梁在我国交通体系中发挥着至关重要的作用。近年来, 随着交通量日益增长、载重车辆频繁运行以及部分桥梁服役年限不断延长, 桥梁结构的疲劳损伤与耐久性问题日趋突出^[1]。一些桥梁出现了裂缝扩展、承载力不足甚至局部破坏等现象, 严重影响通行安全。传统修复方法在应对复杂桥梁病害时已显不足, 迫切需要应用更高效、更具针对性的加固技术。在这一大背景下, 施工企业必须结合各方面情况, 将桥梁加固施工技术优化利用到现代公路施工建设中, 提高公路桥梁整体性能与质量, 为提高公路建设质量做好铺垫。

1 桥梁加固施工技术应用的重要性与核心原则

随着我国交通基础设施的持续发展, 大量在役桥梁已逐步进入使用后期, 部分桥梁出现不同程度的结构老化、承载力下降、构造裂缝或基础沉降等问题。与此同时, 道路交通流量迅速增长, 车辆超载现象依然普遍, 原有桥梁的设计能力难以满足现代交通运输的重载、高速和密集通行要求。在此背景下, 桥梁加固施工技术成为保障桥梁结构安全、延长服役寿命和提升通行性能的重要手段^[2]。

桥梁加固不仅具有工程技术意义, 更具深远的经济与社会效益。一方面, 加固能够有效降低桥梁大规模重建所需的时间与成本, 避免因交通中断带来的经济损失; 另一方面, 通过针对性加固修复, 可实现桥梁结构性能的局部提升或整体功能的恢复, 在不影响正常通行的前提下, 延续既有交通线路的服务能力, 缓解城市与交通枢纽的运营压力。

桥梁加固工程的实施过程中, 必须坚持科学性、系统性与安全性的统一。从桥梁病害识别到加固方案设计,

再到施工组织与质量控制, 每一个环节均需建立在详实的结构检测与性能评估基础之上。桥梁加固不是单一的修补行为, 而是一项系统性工程, 涉及力学计算、结构分析、材料选择、施工方法、交通组织以及后期检测维护等多个维度的协同配合。

在实际应用中, 加固施工技术的选择应充分考虑桥梁当前的结构状态、承载性能不足的具体部位、运营环境的复杂性以及未来交通发展的需求趋势。科学的施工技术应具备耐久性强、施工周期短、结构扰动小、加固效率高等特点, 同时也需兼顾环保性与经济性。例如, 在城市交通干道中, 优先选用工期短、施工噪音小的快速加固技术, 而在山区或水域桥梁中, 则需考虑施工设备运输难度与基础结构环境适应性等因素。

安全性始终是桥梁加固施工的首要原则。在加固设计与实施过程中, 需严密评估施工对既有结构承载力的影响, 防止因荷载重分布或施工扰动导致的次生损伤。同时, 加固过程中还应实施动态监测和过程质量控制, 确保加固构件与原有结构形成合理的受力协同关系, 实现结构性能的真正提升。

值得关注的是, 现代桥梁加固工程在强调结构功能修复的同时, 也日益注重技术的创新性与可持续性发展^[3]。例如, 新型复合材料的引入使传统加固方法得到延展, 智能监测系统的应用为加固后的结构运行提供了持续保障。这些新趋势不仅推动了桥梁加固施工技术的发展, 也为未来桥梁全生命周期管理奠定了基础。

2 现代公路施工建设中桥梁加固施工技术的应用

2.1 碳纤维加固技术的优化应用

碳纤维材料因其优异的力学性能与耐腐蚀特性, 已

在桥梁加固工程中广泛应用。该材料具备极高的抗拉强度，其强度约为普通钢材的7至10倍，同时其密度较低，施工中不会对原结构造成过大负担。尽管其弹性模量与普通钢筋相近，但其韧性更强，适应性更好。在实际工程中，碳纤维通常以片状或布状形式粘贴于桥梁混凝土受拉区，尤其是梁底或边缘等易发生裂缝的位置，从而形成一种协同受力的复合结构体系。该技术可有效提高构件的承载能力与延性，减少开裂与变形风险。此外，由于碳纤维本身具备优良的耐酸碱、耐盐、耐水性能，因此可大幅降低后期维护成本，延长桥梁使用寿命。在加固操作中，通常采用环氧树脂等高性能粘结剂确保碳纤维与混凝土界面的粘接质量，从而实现增强、封闭裂缝、防止腐蚀的多重效果。碳纤维加固不仅适用于普通混凝土桥梁结构，也在某些钢筋混凝土拱桥、预应力桥梁等结构中得到了成功运用，体现了其高度的适应性与可扩展性。

2.2 体外预应力加固技术的结构整合优势

体外预应力加固技术是一种有效提升桥梁承载性能的现代加固方法，尤其适用于已有结构出现刚度降低、裂缝扩展等问题的旧桥维护中。该技术主要通过在桥梁结构外部设置预应力筋，并借助锚具和导向装置对其施加张力，使其与原结构形成新的受力体系。这一方式不仅可提升构件的抗弯与抗剪能力，还能有效抑制裂缝的进一步扩展，延缓结构疲劳老化。在设计过程中，需结合原结构的几何形状、荷载特征以及病害分布情况，精准布置预应力路径，并考虑其与现有构件间的协同作用。相较于传统加固方式，体外预应力的一个显著优势是施工过程中对原桥结构扰动小，许多工程可以在不停交通的条件下进行，大大降低施工风险和社会影响。同时，该技术具有可调性强、维护便利等特点，后期如需调整预应力值，可通过张拉装置实现二次张拉，有效应对桥梁长期运营中的沉降、疲劳等问题。根据工程实际应用情况，体外预应力加固往往可提高桥梁承载力30%至40%，对保障交通安全和延长结构寿命起到了关键性作用。

2.3 扩大基础与增补桩基加固技术的协同实施

在桥梁结构病害中，基础承载力不足是影响整体稳定性的一个关键因素之一。为应对地基承载力不足、桥台沉降不均等问题，扩大基础与增补桩基加固技术应运而生。扩大基础加固技术通过在原有基础周边浇筑或扩展底板，增加基础受力面积，从而改善地基应力分布、降低单位面积压力，适用于浅基础承载能力不足的桥梁。施工中需结合地质勘查结果，对基础扩展尺寸进行科学计算，确保新增基础与原结构形成整体受力体系，避免因

刚度差异产生新的应力集中问题。

另一方面，增补桩基加固则主要用于深基础区域，通过在原桩周边增设灌注桩、旋挖桩或预制桩，提升整个桩基群的整体承载能力与抗沉降性能。该技术特别适用于桥梁下部结构已有沉降趋势或支撑能力不足的情况。施工过程中，新旧桩基应通过承台或帽梁有效联接，保证荷载合理分配，防止结构失稳。此外，在特殊环境下，如软土地基、河床下结构等，也可结合微型桩、钢管桩等新型桩基形式，进一步增强适应性。扩大基础与增补桩基技术相结合，可在不改变上部结构形式的前提下，显著提升桥梁的整体稳定性与耐久性，为公路桥梁的长效运行提供了坚实的基础保障。

2.4 粘贴钢板加固技术的工程适配性分析

粘贴钢板加固技术是桥梁加固领域中一种传统而高效的结构增强手段，尤其适用于混凝土构件的裂缝修复与抗剪、抗弯性能提升。该技术的核心在于利用高强结构胶将钢板或带肋钢板粘贴至混凝土构件受拉一侧，如梁底或剪力墙区域，借助钢板的高强度与良好延性，提高结构的承载力与刚度。在实施过程中，需严格处理混凝土表面，去除杂质与松动层，以增强粘结效果。结构胶的选择也至关重要，通常需采用高强环氧类树脂，具备良好的力学性能与耐候性能，以保证长期使用安全性。

相较于其他加固手段，粘贴钢板具有施工简便、对原结构扰动小、效果可控等优点，特别适合对运营中的桥梁进行快速修复。与碳纤维相比，钢板加固在抗剪、抗冲击性能上更具优势，且成本较低，更适合大面积或重复性加固项目。但也存在一定缺点，如钢板易受腐蚀，需做好防护处理，并避免出现空鼓或脱落现象。为此，现代工程中常配合使用密封胶、外包装材料等方式提升其整体耐久性。在一些特殊情况下，粘贴钢板技术还可与预应力加固或碳纤维补强技术结合使用，实现多种增强效果的叠加，从而提升桥梁结构的综合性能，为桥梁加固提供了高适配性、高可操作性的工程方案。

3 现代桥梁加固技术中的挑战

3.1 结构老化与损伤程度判断的复杂性

桥梁结构在长期服役过程中不可避免地受到荷载疲劳、环境侵蚀以及材料老化等多种因素影响，导致其承载性能和稳定性发生变化。然而，在加固之前，准确判断结构的实际受损程度和潜在隐患是一项极具挑战性的任务。当前的检测手段虽然逐步向精细化和智能化发展，如超声波、磁记忆、光纤传感等技术已被应用于

桥梁检测中,但在复杂受力环境下,结构内部损伤的定位与定量仍存在误差。此外,一些桥梁早期施工图纸缺失、设计数据不全,也增加了评估难度。加固方案一旦建立在不准确的诊断基础上,不仅无法实现结构修复目标,甚至可能因误判而加剧结构变形或引发安全风险^[4]。因此,在实际操作中,需要不断提升结构健康监测技术的准确性与实时性,结合结构分析模型与长期监测数据,构建科学、可靠的损伤评估体系。

3.2 新旧结构材料间的性能匹配问题

在桥梁加固过程中,新材料的引入往往能显著提升结构性能,例如碳纤维布、高性能混凝土、先进钢材等材料的使用已较为常见。然而,新旧材料间的性能匹配问题却成为制约加固效果的关键因素。旧有结构所用材料多因服役年限久远而性能退化,尤其在混凝土碳化、钢筋锈蚀等情况下,其与新材料之间的界面结合强度不稳定,可能出现剥离、滑移或应力集中等问题。材料热膨胀系数不同、力学性能差异大也可能导致加固后结构在温差或荷载作用下产生不均匀变形,影响整体协同工作能力。为解决这一问题,需要在设计初期就对两种材料之间的耦合特性进行充分计算与试验验证,在施工过程中加强界面处理与粘接技术控制,同时选取与原结构性能相近或具有柔性过渡能力的材料进行加固,从而实现整体结构的协调受力。

3.3 施工过程对既有交通与结构安全的干扰

桥梁加固工程往往需要在桥梁通车状态下进行,这对施工组织、安全管理和交通疏导提出了极高的要求。在城市主干道或重要交通节点上,加固施工稍有不慎便可能引发交通拥堵甚至事故。同时,桥梁在带荷载状态下加固,其结构已处于应力运行中,若施工步骤安排不合理或未进行临时支撑措施,可能诱发结构局部破坏。部分加固技术还涉及大体积作业,如基础加固、增补桩基等,施工设备体积庞大、震动强烈,也易对既有桥体产生扰动^[5]。此外,施工人员的安全也面临挑战,如高空作业、临水施工、夜间操作等场景皆存在一定风险。解决上述问题,需要通过精细化施工管理、分段作业与交通引导方案配合,确保工程实施在不影响结构稳定和公众通行的前提下顺利推进,同时加强施工过程中的安全巡查与应急预案布设,最大限度降低工程干扰带来的风险。

3.4 技术标准不统一与管理机制待完善

尽管现代桥梁加固技术不断发展,各类材料与施工

方法层出不穷,但与之配套的技术规范与管理标准却未能完全跟进,呈现出地区差异大、工程水平不均、标准体系分散等问题。一些加固技术仍处于试验与推广阶段,尚未形成完整的设计、施工与验收指南,导致加固实践依赖于经验判断,质量难以保证。加之施工单位与监理单位之间在责任划分、技术协同方面存在盲区,加固工程常常面临监管空白和标准模糊的困境。在某些地方,加固工程尚未被纳入桥梁全生命周期管理体系中,缺乏系统性维保机制与加固后评估流程,导致部分桥梁“加而不固”甚至“加而致病”。推进现代加固工程高质量发展,亟需建立统一、科学的国家及行业标准体系,加强技术培训和监管执法力度,引入信息化管理平台,实现桥梁加固从设计、施工到运维的全过程闭环管理。

4 结束语

桥梁加固不仅是结构修复的工程行为,更是对桥梁功能重塑与延寿的系统工程。通过对碳纤维、体外预应力、基础扩展与粘贴钢板等典型技术的分析可知,不同病害类型需因桥施策,选择合适的加固方案。随着材料科学与施工技术的持续进步,桥梁加固已从传统手段迈向集成化、智能化的系统治理方向。未来应注重加固技术的可持续性与适用性评估,推动标准化设计与信息化施工同步发展,以实现桥梁安全性能与社会效益的最大化,保障交通基础设施的稳定运行与高质量发展。

参考文献

- [1]林术东.现代公路施工建设中桥梁加固施工技术的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [2]张浩男.钢筋混凝土桥梁损伤及加固技术研究与应用[D].华北水利水电大学,2023.
- [3]郭利利.公路桥梁养护和加固维修技术的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(1).
- [4]黄胜勇.公路桥梁养护和加固维修技术的应用研究[J].低碳世界,2024(002):014.
- [5]禹纬经.关于公路施工建设中桥梁加固施工技术的应用探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(001):000.

作者简介: 卜令涛(1983.10-)男,汉,山东泰安,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为桥梁设计、加固设计、混凝土加固。

赵福志(1997.2-)男,汉,山东青岛,硕士研究生,中级工程师,主要研究方向为桥梁养护加固。