

桥梁预应力施工技术控制的探讨

李锐

中冶（云南）工程投资建设有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ERA.2025110013

摘要：随着我国路桥建设规模拓展，预应力混凝土技术应用愈发广泛，通过对钢筋（或钢绞线）施加预拉力，使混凝土产生预压应力抵消结构服役应力，可提高结构抗裂性延长构件寿命。本文分析该技术特点，包括提升实用功能（节省材料、减小截面、降低成本）、优化桥梁受力、增强耐久性；探讨施工中裂缝、波纹管与孔道堵塞、工艺不当及张拉力控制等问题；阐述其应用，如优化钢绞线（低松弛型为主流）与锚具选型，以及加固技术（高效提升承载力、节省成本）。研究为路桥工程质量与成本控制提供支撑，助力工程稳定服役。

关键词： 路桥工程；预应力技术；应用

Discussion on Technical Control of Bridge Prestressed Construction

Li Rui

MCC (Yunnan) Engineering Investment and Construction Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract: With the expansion of China's road and bridge construction scale, the application of prestressed concrete technology has become increasingly widespread. By applying pre-tension to steel bars (or steel strands), pre-compressive stress is generated in concrete to offset the service stress of the structure, which can improve the crack resistance of the structure and extend the service life of components. This paper analyzes the characteristics of this technology, including improving practical functions (saving materials, reducing cross-sections, and lowering costs), optimizing bridge stress, and enhancing durability. It also discusses problems in construction such as cracks, blockage of corrugated pipes and ducts, improper processes, and control of tension force. In addition, it elaborates on its applications, such as optimizing the selection of steel strands (low-relaxation type as the mainstream) and anchors, as well as reinforcement technologies (efficiently improving bearing capacity and saving costs). The research provides support for quality and cost control of road and bridge projects and helps ensure the stable service of the projects.

Keywords: road and bridge engineering; prestressed technology; application

引言

随着我国桥梁工程建设规模的持续拓展，预应力混凝土施工技术的应用范围亦随之大幅拓展^[1]。该技术核心应用于钢筋混凝土结构骨架的预制环节，依据结构不同部位所承受应力的方向与幅值，通过预设应力构建钢筋混凝土结构，以抵消其在抵抗荷载过程中产生的全部或部分工作应力^[2]。此技术可显著延长钢筋混凝土结构的服役寿命，凭借其优异的结构性能与工程适用性，在桥梁工程建设领域已获得广泛应用^[3]。

一、预应力混凝土施工技术特点解析

（一）预应力钢筋混凝土在桥梁工程中的实用效能

作为桥梁工程领域的常用设计施工技术，其在施工过程中，对预应力钢筋、混凝土、工作锚具、施加预应力工具等材料工具

均有相关国家标准，目的是保障预应力的有效和耐久性。实施预应力技术后不仅能减少钢筋、混凝土等建材的用量，还可缩减构件的截面面积，降低桥梁设计高度，同时有效降低桥梁恒载，对应基础承载力要求也随之降低，使得工程造价及施工成本系统性下降。而预应力的长期稳定有效可延长桥梁使用年限^[4]，保障运营

中的桥梁结构安全。

（二）常规预应力梁桥梁受力状况分析

设计过程中，应根据实际工程需求和地理环境等因素，系统剖析桥梁结构的受力状况，合理确定桥梁的几何参数、材料性能和施工工艺^[6]，以保证桥梁的受力性能和安全性，通过预应力筋与混凝土的协同作用，改善结构受力性能，其设计需综合考虑结构形式、荷载条件及材料特性等多因素进行预应力钢束的设计计算，并考虑预加力引起的结构次内力及混凝土收缩徐变次内力，根据需计算的荷载进行多次内力组合以取定相关参数。

（三）桥梁耐久性特征

桥梁耐久性指工程结构抵抗荷载与环境因素长期侵蚀的性能。在建造过程中，需对材料强度和耐久性作出更高要求，以提升桥梁结构抵抗反复荷载疲劳损伤的性能，以及开裂削弱抗外部环境因素侵蚀后结构强度下降。而耐久性问题可通过预应力结构的精密制作来解决。

二、预应力混凝土施工中的常见问题分析

在桥梁预应力混凝土施工过程中，部分施工技术环节易出现质量问题，不仅影响施工效率，更对结构安全与耐久性构成隐患，具体问题如下：

（一）裂缝问题

裂缝是预应力混凝土构件施工阶段及服役期的典型问题^[6]，核心诱因之一为温度应力作用。施工期间，预应力构件在张拉前需经历养护、转运等环节，若环境昼夜温差较大或季节交替时温度波动剧烈，构件内部会因热胀冷缩产生不均匀温度应力。当该应力超过混凝土早期抗拉强度时，便会引发裂缝；尤其对于公路桥梁的钢筋混凝土承重结构，其截面尺寸较大、散热速率慢，温度应力更易累积，即使进入使用阶段，车辆荷载反复作用与环境温湿度变化叠加，也会导致裂缝持续萌生或扩展，直接削弱结构完整性与抗渗能力。

（二）波纹管堵塞问题

波纹管作为预应力筋的防护与定位载体，其堵塞问题多由施工操作不规范及质量管控疏漏导致^[7]。其一，施工人员若未按设计要求精准定位波纹管（如测量偏差、固定间距超标），或违反施工规范随意弯折、扭曲管材，易造成波纹管轴线偏移、接头松动，为后续堵塞埋下隐患；其二，浇筑混凝土时，若振捣棒距离波纹管过近或振捣力度失控，会导致波纹管局部破裂，混凝土水泥浆渗入管内并凝结，形成堵塞；此外，若波纹管进场验收未严格执行外观检查、密封性试验及尺寸复验等规定，使用存在壁厚不均、接口密封不良等质量缺陷的管材，也会引发漏浆堵管问题，而堵塞或漏浆将造成锚下张拉力部分抵消超量管道摩阻，造成结构安全冗余度下降。

（三）孔道堵塞问题

预留孔道堵塞主要源于抽芯工艺时机把控不当。采用橡胶抽拔管成孔时，需严格依据混凝土强度发展规律确定抽芯时间：若在混凝土冷却凝固前（强度未达设计要求的70%）过早抽芯，混

凝土尚未形成足够承载能力，易导致孔道坍塌、内壁剥落，造成堵塞；若抽芯过晚，混凝土已与橡胶抽拔管紧密粘结，抽拔阻力增大，易导致抽拔管断裂在孔道内，不仅阻碍预应力钢筋顺利穿束，还会使张拉时应力传递不均，影响预压效果，同时给后续孔道压浆施工带来困难，导致压浆不密实，降低结构抗腐蚀能力。

（四）单端张拉工艺方面的问题

在大跨度连续箱梁及单柱墩盖梁底板预应力束张拉施工中，经常因施工空间影响使用单端张拉工艺，具体是通过单端张拉使一束钢绞线张紧拉直。连续箱梁往往跨数多、孔道长度大，一般为3跨~5跨，每跨长度在30~50m，其摩擦阻力需通过试验才能确定^[8]。而跨度超30m的预应力桥梁，单端张拉所形成应力受孔道摩阻影响应力传递损失后，被动端与主动端锚下张力不一，同时也存在对称部位主动抵抗弯矩能力不一致的状况。

（五）夹片回缩的问题

夹片回缩多发生在千斤顶卸荷时，规范明确单端回缩量不得超过4mm，该回缩量包含弹性回缩与塑性回缩两部分。现场施工中，常因忽视对这一回缩量的精准测量，导致预应力损失，甚至未能及时发现存在缺陷的夹片，进而形成后续锁锚部分失效的安全隐患。

（六）后张预应力结构中张拉力与伸长量的控制

如张拉力未进行精准的控制，同时其伸长量又与标准弹性计算值出现较大偏差，可能是预应力筋已部分失效、工作锚锁锚有误、孔道堵塞严重、材料不合格等多个不良因素造成。故在张拉力施工环节，伸长值及锚下张力必须实施有效管控及计算复核，不对应时停止作业，分析以上因素影响并采取措施排除后再继续作业，以切实保障双控指标的吻合。

综上所述，张拉施工粗疏操作，极易导致预应力与设计模型计算未能完全符合，而且，确保预应力构件得到高效应用并充分发挥效用。

三、桥梁施工中预应力混凝土技术的应用

在公路桥梁工程建设与运维全周期中，预应力混凝土技术是保障结构安全、提升服役性能的核心手段。其应用需围绕“源头材料工具管控”与“结构加固效能提升”两大核心，通过科学选型与精准施工，实现工程质量与经济性的平衡，为路桥工程长期稳定服役奠定基础^[9]。

（一）优化选择施工材料与工具

1. 预应力钢绞线的选型优化

钢绞线作为预应力传递的核心载体，其类型选择需紧密结合路桥结构的受力特征与服役环境。目前工程中常用的钢绞线主要分为四类：低松弛性钢绞线、矫直回火性钢绞线、普通钢绞线及预应力钢筋。其中，低松弛性钢绞线因综合性能均衡，在路桥工程中的实际使用率超80%，成为主流选择，其核心优势体现在三方面：一是力学性能稳定，抗拉强度标准值普遍达1860MPa，1000h松弛率≤2.5%（远低于普通钢绞线的8%~10%），长期使用中应力损失小，能持续维持构件预压效果，避免裂缝萌生；二

是施工适配性强,常用15.2mm规格线材直径均匀、柔韧性优异,便于盘卷运输与现场穿束,构件成型后外观平整,减少后期表面修饰成本;三是经济性突出,相较于矫直回火钢绞线(成本高30%以上,多用于异形构件)与普通钢绞线(长期松弛率高易引发裂缝),低松弛钢绞线全生命周期综合成本更低。

2. 预应力锚具的选型优化

锚具是后张法预应力构件的关键受力部件,其性能直接决定预应力传递稳定性,需根据张拉吨位、钢绞线规格及结构受力要求精准选型。锚具按锚固原理分为机械型(夹片式、支撑式、锥塞式)与粘结型,其中机械型锚具因锚固效率高(锚固效率系数 ≥ 0.95)、拆装便捷,成为路桥工程主流选择。

选型需遵循“受力匹配”原则:主梁、盖梁等核心构件承受高强度应力,优先选用夹片式锚具(如QM型、XM型),通过楔形咬合锚固1860MPa级钢绞线,单孔张拉吨位达250kN以上;连续梁支座等对预应力损失敏感的节点,选用自锁式夹片锚具减少变形损失;人行道板等中小吨位场景,选用支撑式锚具平衡成本与效果。

(二) 加固作业中的预应力技术应用

路桥工程长期服役中,易因荷载升级(如超限货车通行)、环境侵蚀(冻融、碳化、盐雾)或初始施工缺陷(配筋不足、浇筑不密实),出现承载力下降、裂缝扩展、刚度衰减等问题,严重威胁通行安全^[10]。此时,预应力加固技术凭借“主动受力、高效补强、低附加自重”的核心优势,成为最优解决方案——其原理是通过受压结构施加预压应力,主动抵消部分服役工作应力(弯矩、剪力),减少裂缝宽度甚至使其闭合,同时降低原结构配筋应力,显著提升承载能力与耐久性。

相较于传统加固方法(粘贴钢板、外包混凝土),预应力加固优势显著^[11]:承载力提升幅度达30%~50%(远超粘贴钢板的15%~20%),且避免“被动受力、易剥离”弊端;成本节省20%~30%,施工周期缩短40%,对交通干扰小。

此外,加固后需加强质量管控:通过“超张拉($\leq 5\%$)+持

荷 $\geq 5\text{min}$ ”抵消应力损失;1年内每3个月检测锚具、裂缝与应力;发现锈蚀或裂缝需及时修补,确保加固效果长期稳定,成为路桥运维核心手段,对推动既有路桥资产保值增值具有重要意义。

四、结束语

预应力混凝土技术作为路桥工程建设与运维的核心技术,对提升结构安全性能、延长服役寿命及控制工程成本具有不可替代的作用,其应用价值与技术优势在实践中已得到充分验证^[12-14]。

从技术特点来看,该技术不仅能通过优化材料用量与构件截面,降低桥梁设计高度与自重,减少施工成本并提升企业市场竞争力,还能通过精准受力分析改善桥梁结构受力体系,同时增强抗裂、抗渗性能以抵御自然环境侵蚀,显著提升桥梁耐久性,为路桥工程长期稳定使用奠定基础。然而,施工过程中仍存在诸多质量隐患,如温度应力引发的裂缝、操作不规范与质量管控疏漏导致的波纹管及孔道堵塞、超长束张拉工艺不当、张拉力与伸长量控制误差等问题,这些问题不仅影响施工效率,更直接威胁结构安全与耐久性,需重点关注并解决。

在技术应用层面,通过科学优化施工材料与工具选型(如优先选用低松弛性钢绞线与机械型锚具),可从源头保障预应力构件性能;而预应力加固技术凭借“主动受力、高效补强、经济环保”的优势,能有效解决路桥服役中的承载力下降、裂缝扩展等问题,其承载力提升幅度与成本效益均优于传统加固方法,是既有路桥资产保值增值的关键手段。

综上,为充分发挥预应力混凝土技术的价值,需加强施工人员专业培训,引入专业技术指导,强化施工全过程质量管控与后期监测维护。未来推广该技术,可进一步推动我国路桥工程建设向高质量、可持续方向发展,为交通基础设施安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 孔祥泉. 浅谈道路施工存在的质量问题和解决措施[J]. 科技咨询导报, 2007, (20): 46.
- [2] 石峰. 探讨城市道路工程施工中的质量问题与解决措施[J]. 科技创新导报, 2009, (25): 75.
- [3] 王海波. 桥涵预应力混凝土的施工要点探析[J]. 黑龙江科技信息, 2007, (14): 205.
- [4] 甄旭明. 高速公路桥梁养护加固中预应力技术的应用[J]. 交通世界, 2024, (36): 137-139.
- [5] 彭韬. 预应力混凝土桥梁施工技术要点研究[J]. 交通世界, 2024, (35): 148-150.
- [6] 李晨. 道路桥梁施工中预应力的应用及存在的问题解析[J]. 地产, 2019, (24): 137.
- [7] 刘月金. 预应力技术在桥梁工程中的应用[J]. 交通世界(运输·车辆), 2015, (12): 36-37.
- [8] 石磊. 公路桥涵预应力混凝土施工的探讨[J]. 商品与质量(建筑与发展), 2014(4): 195-195.
- [9] 周永军. 有关公路桥涵预应力混凝土施工研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(11): 779.
- [10] 许修亮, 黎建生. 预应力混凝土管桩在小桥涵软基处理中的应用[J]. 公路交通技术, 2006(1): 71-73.
- [11] 李贵峰. 基于新版《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的桥梁抗倾覆设计分析[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 263-268.
- [12] 高旺. 高墩大跨径现浇预应力混凝土箱梁桥施工关键技术[J]. 混凝土世界, 2024(8): 59-63.
- [13] 钟菁. 桥梁施工中预应力技术施工工艺与质量控制[J]. 运输经理世界, 2023, (31): 41-43.
- [14] 陈飞, 朱春东, 王勇. 先张自平衡预应力技术在桥面板构件中的应用[J]. 混凝土与水泥制品, 2023, (11): 41-46.