

公路桥梁工程中的预应力张拉施工要点分析

李丰羽

(四川成内渝高速公路有限责任公司, 四川 内江 641000)

摘 要 预应力张拉施工是公路桥梁工程中的核心施工环节, 其作用直接关系到桥梁的结构稳定性、荷载传递效率及长期使用性能。在桥梁结构中预先施加设计张拉力可达到预设的强度及刚度。预应力张拉施工要求严格遵循操作规程, 以确保张拉效果与结构设计目标一致, 施工过程涉及精确的设备配置、监测力学参数以及环境条件, 任何偏差均可能影响结构性能。基于此, 本文分析公路桥梁预应力张拉施工的关键环节, 并提出优化策略, 旨在为提升施工质量与效率、保障结构安全性提供借鉴。

关键词 公路桥梁工程; 预应力张拉施工; 智能技术

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.018

0 引言

公路桥梁结构的长期安全性和荷载传递效率依赖于预应力张拉施工的精确性, 张拉过程涉及钢绞线受力分布、控制伸长量及应力调节混凝土, 施工精度直接影响桥梁刚度及裂缝发展。现代施工利用智能控制系统动态调节张拉力、加载速率和持荷时间, 同步控制钢束伸长与混凝土应力状态, 同时实时采集分析施工数据。温湿度变化、混凝土早期收缩及振动干扰等施工环境因素均纳入监测范围并实时反馈调整张拉策略, 保障结构应力均衡以及受力连续性。

1 预应力张拉施工的优势

预应力张拉施工施加外力使桥梁结构产生预设的内部压应力, 从而优化结构受力性能与耐久性。在桥梁使用阶段, 施加的预应力能够部分抵消荷载引起的混凝土收缩及弯曲变形, 从而降低内部结构的变形幅度, 提高整体承载能力。预应力作用还可调节结构刚度分布, 增强桥梁抗震性能, 提升结构在地震作用下的承受能力, 降低损坏风险, 从而保障行车安全。同时, 预应力张拉可控制混凝土裂缝的问题, 提升混凝土抗裂性能及耐久性, 使桥梁结构可以抵御环境侵蚀及气候变化影响。

另外, 预应力张拉还可优化利用材料, 施加不同水平的预应力调整截面尺寸跨度, 减小桥墩及桥台之间的干扰变形, 进而双重提升结构经济性与施工便利性。相较于传统钢筋混凝土施工, 预应力张拉施工结合工厂化生产以及装配化施工模式, 在工序标准化的同时可明显缩短施工周期, 提高施工效率^[1]。

2 公路桥梁工程中预应力智能张拉施工技术要点

2.1 选择与配置张拉设备

在预应力张拉施工前, 合理选择和配置张拉设备是提升施工效率与质量的关键环节, 要选用具备足够的拉伸力及高精度控制能力的张拉机, 以达到桥梁预应力设计要求, 选型时需结合桥梁结构参数, 同时考虑施工现场条件。施工所用张拉钢束必须符合设计要求和标准规范, 根据桥梁结构的受力计算, 确定钢束直径、根数及等级, 并确保其材质及拉伸性能可以达到施工安全要求。配置设备还需包括必要的测量仪器和控制系统, 测量仪器用于实时监测张拉力、伸长量及回缩量等参数, 控制系统则负责张拉机的运行及力施加过程, 提供精确可控的施工操作环境。

2.2 张拉前的准备工作

预应力张拉前要全面准备, 保证施工顺利进行, 借助全站仪、测距仪等现代测量技术检查桥梁几何尺寸及现场条件, 确保基础数据准确可靠。随后依据设计要求制定张拉方案与施工计划, 张拉方案需明确预应力大小、分布、张拉步骤及顺序, 施工计划则需细化时间安排和作业顺序。孔道的光洁度和尺寸精度直接影响钢束通行及预应力施加效果, 因此在施工现场需清除杂物、积水并根据设计要求修整孔道。此外, 使用特种水泥砂浆填充空隙处理孔道, 提高钢束与混凝土的黏结性及防腐能力^[2]。

2.3 控制调整张拉过程

张拉过程是预应力施加的核心环节, 控制调整的精度直接决定结构性能, 根据设计要求确定每根钢束的张拉力并结合测力仪实时监测张拉力及伸长量, 操作

人员可根据数据动态调整张拉速度、油压及持荷时间。在张拉过程中,还需监测混凝土应力状态与结构变形,及时发现裂缝、收缩或回缩效应,并根据反馈调整张拉方案,以保证混凝土结构稳定性与受力均匀性。根据《公路桥梁施工技术规范》(JTG/T 3650—2020),预应力筋张拉采用应力控制工艺时实际伸长值、理论伸长值偏差应 $< 6\%$ 。因此需计算张拉伸长率以反馈张拉过程中的伸长值。

张拉伸长率的计算公式如下:

$$V = \frac{\Delta L_s - \Delta L_L}{\Delta L_L} \quad (1)$$

式(1)中, V 为张拉伸长率; ΔL_s 为实际伸长量; ΔL_L 为理论伸长量。

理论伸长量的计算公式:

$$V = \frac{P_p \times L}{A_p \times E_p} \quad (2)$$

式(2)中, P_p 为预应力筋平均张拉力; L 为预应力筋长度; A_p 为预应力筋截面面积; E_p 为预应力筋弹性模量。

在张拉过程中,还需监测混凝土应力状态以及结构变形问题,如果发现裂缝、收缩或回缩效应要及时反馈并调整张拉方案,维持混凝土结构稳定性与受力均匀性^[3]。

2.4 锚定和固化张拉

完成张拉后,需在孔道内设置固化锚具牢固锚定张拉钢束防止松动或位移。锚定完成后,根据设计要求浇注混凝土并加压养护。在固化过程中,需要严格控制养护时间和温度,混凝土初期养护温度控制在 $20 \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,加压养护持续 $48 \sim 72$ 小时,保证混凝土达到设计强度。固化期间监测温度传感器实时掌握混凝土内部温度及湿度变化,确保黏结性能和预应力锁定效果,此过程可有效避免钢束松弛或者产生混凝土裂缝,以此达到结构的长期稳定。

3 公路桥梁工程中预应力张拉施工质量管理措施

3.1 明确施工要求,规范操作流程

预应力张拉施工的精确性取决于全面理解并严格落实施工要求,施工要求涉及张拉力分布、加载顺序和持荷时间等关键参数,同时需控制伸长率和环境条件。张拉力要与设计结构的预应力布局一致,保持受力均匀且最大化钢束在混凝土中传递应力的效率。科学确定张拉顺序,保证力的逐步传递符合结构受力规律,同时提供监测校核可操作的数据路径,持荷时间和控制伸长率可降低钢束松弛及混凝土应力集中风险,温度、湿度等施工环境参数直接影响钢束伸长率及张

拉力施加过程,任何偏离标准均可能导致应力分布不均,以及形成结构微裂纹或钢束滑移^[4]。

施工前需根据桥梁设计参数编制详细的操作计划,精确计算每根钢束施加的预应力、伸长目标及张拉顺序。操作计划明确张拉机油压设定范围、加载速度曲线、持荷时间及各环节检测节点,让整个施工过程在规定参数范围内连续可控,施工现场需全面评估环境条件并采取必要的调节措施以保证张拉条件符合设计要求。张拉操作采用分阶段加载法,按照计算张拉力逐步施加,每阶段均需连续监测钢束伸长量、回缩量及混凝土反应并与设计标准对比,发现偏差立即调整张拉机控制参数及加载节奏。在张拉过程中,应同步记录钢束受力状态、混凝土变形、应力传递效率及可能的滑移情况,确保预应力施加的均匀性。流程管理还应覆盖清理孔道、固定钢束及检查锚具,保证操作连续性。标定监控系统、传输及分析数据应严格遵循施工规范,协调统一控制力值、调整伸长量及作业节奏。

3.2 掌握智能技术,提升张拉效率

智能化预应力张拉技术利用计算机系统精密控制张拉全过程,精确调节加载速率、张拉力、伸长率及持荷时间,从而提高施工效率。智能张拉技术数字化控制油压、千斤顶动作及张拉节奏达到力值施加过程的稳定性,减少传统人工操作中可能产生的延迟及人为误差。自动采集分析数据功能可精确反映钢束变形情况和混凝土反应,为调整张拉力、优化持荷时间及控制张拉顺序提供科学依据。系统集成测量、控制和反馈功能同步提升施工效率与精度,同时保证结构受力状态符合设计规范,避免力值波动引起局部应力集中或形成混凝土微裂缝。

智能张拉施工前,需要建立统一控制张拉机、油泵及千斤顶等主要数据平台,并精确安装调试测力传感器、伸长传感器及数据采集系统,实时采集钢束伸长量、回缩量及千斤顶压力等关键参数。施工过程中张拉机按设计力值逐步施加预应力,同时主控系统根据传感器反馈自动调整油压和加载速度,同步张拉力与设计张拉曲线。张拉顺序及阶段加载策略由智能系统计算生成,以力学模型预测钢束受力及混凝土应力状态达到受力均衡。整个张拉过程同步记录数据并生成可视化曲线用于实时分析和施工质量评估,钢束受力异常、伸长偏差或千斤顶压力异常会触发自动调整,数据反馈控制与人工操作结合保持施工连贯性。智能张拉采用系统内置算法精确控制持荷时间,依据伸长量变化自动计算最佳持荷时间,确保传递预应力并减少钢束松弛。在施工过程中,要监控张拉孔道及钢束锚固状态,

确保张拉路径畅通及钢束端部固定牢固,防止滑移或应力集中。智能系统的高精度控制以及数据分析能力显著提升张拉效率,同时优化施加力值、钢束伸长及混凝土受力状态,实现施工全过程科学可控且高效。

3.3 强化质量监督,实现实时监控

质量监督在预应力张拉施工中作用于全过程力学控制与施工精度管理,连续监测从钢束受力到混凝土结构反应。全程监控张拉力、钢束伸长量及混凝土应力状态可识别加载过程中的偏差、钢束滑移或混凝土微裂缝发展趋势。监控系统对比采集数据和设计参数提供数值校正依据,紧密结合张拉操作与理论设计。施工环境条件、设备运行状态与操作节奏均纳入监督范围,分析实时数据处理实现偏差预警,保证钢束受力均匀性以及混凝土结构应力分布合理,并维持受力状态的连续稳定,完善质量监督平台促使施工过程透明化,利于调整张拉力以及优化工艺^[6]。

施工前由质量监督团队依据设计文件和工艺规程,制定张拉作业的监测指标体系与取样计划,涵盖钢束、混凝土及设备的全过程状态记录。各监测点按受力关键位置布设,并在张拉端、跨中、锚固区等位置安装高精度位移测头与激光测距装置,用于获取张拉过程中钢束形变与构件位移的变化曲线。每个加载阶段结束后立即二次测量关键位置,验证受力传递是否与计算路径一致。在施工过程中,质量监督平台趋势分析按阶段调用的检测数据,判断力值变化与构件变形是否保持线性对应关系,发现偏离即发出修正建议。混凝土表面裂缝的宽度变化通过图像识别装置捕捉,并与预设阈值比较,用于识别局部受力异常。各加载工况结束后,由专人核对伸长量与锚固区变形量的差值,确保数据闭合性。

监督环节还包括阶段性检测孔道内壁状况,采用低频声波及光纤探测技术判断是否存在局部阻塞或摩擦异常;钢束端部的夹片、垫板及锚环在持荷状态下扭矩复核,确认夹持力稳定。所有检测记录按工序归档,并由监理单位在下一阶段张拉启动前完成审查,防止问题跨阶段累积。在施工收尾阶段,平台自动汇总整个张拉周期的受力与形变曲线生成质量分析报告,作为后续荷载试验与长期健康监测的初始基准数据。

3.4 建立风险预警,完善应急措施

预应力张拉施工的风险管理需覆盖钢束受力异常、设备运行故障及环境干扰等潜在问题。风险预警系统通过实时监测张拉力、伸长量及设备工况,结合结构受力模型动态识别隐患,对可能引发钢束滑移、混

凝土微裂或张拉力不均的异常趋势自动标记提示。系统预设参数阈值与判断算法,形成“监测—识别—预警”的闭环控制链条^[6]。

张拉前,技术人员录入设计基准值与偏差范围,系统生成初始监控模型。施工中,实时数据传输至监控平台,界面动态显示各测点状态曲线。当数据逼近临界值时,系统自动切换高频采样模式,捕捉细微变化并推送调整建议。现场负责人可据此指令操作人员微调油压、加载速度或延长持荷时间,恢复受力均衡。

若出现张拉力异常波动,立即执行分阶段卸载或缓加载方案,防止钢束失稳。设备管理人员同步排查传感器及机械故障,确认故障后启动预设停机程序,使设备逐步回归安全状态。孔道与锚固区监测同步配合,通过位移与声波检测判断钢束通行状态,结合现场加固措施避免局部受力集中。

每个张拉阶段结束后,系统自动生成受力曲线、异常记录及调整日志,技术部门据此优化后续参数与预警阈值,实现数据驱动的动态控制。风险预警与应急处理的无缝衔接,可将各类问题消除在萌芽阶段,保障张拉过程的稳定连续。

4 结束语

预应力张拉施工的精密管理直接关系到桥梁结构的耐久性及安全储备能力。精细化的设备配置、力学模型计算及闭环监控体系共同作用,为复杂桥梁结构提供了可控及高精度的施工技术支持,同时也为应用高性能材料、优化张拉参数及健康评估长期结构奠定了可靠的数据基础。未来可利用传感器网络拓展全桥结构监测覆盖面,结合大数据分析 & 结构健康诊断完成施工与运营阶段预应力管理一体化,增强桥梁长期运行的安全性,推动公路桥梁工程施工技术向科学化、规范化方向发展。

参考文献:

- [1] 雷星辉. 探究桥梁智能预应力张拉和压浆工艺的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(03):161-163.
- [2] 李晓磊. 公路桥梁施工技术中预应力智能张拉系统的应用研究[J]. 交通科技与管理, 2025,06(06):98-100.
- [3] 同[2].
- [4] 赵晓庆. 桥梁现浇箱梁超长单端张拉法预应力损失分析[J]. 交通世界, 2024(33):173-175.
- [5] 王路, 韦青, 张家琪. 公路桥梁预应力张拉压浆施工常见质量问题分析[J]. 交通科技与管理, 2024,05(19):112-114.
- [6] 李川云. 预应力智能张拉施工技术在桥梁工程中的应用要点分析[J]. 交通科技与管理, 2024,05(16):58-60.