桥梁预应力张拉施工工艺优化与质量控制技术研究

李启明

湖北交投建设集团有限公司 湖北 武汉 430070

【摘　要】：桥梁预应力张拉施工易受设备、操作、环境多重因素影响，衍生多项质量隐患，直接威胁梁体受力安全。本文识别张拉施工阶段设备隐性损耗、作业违规操作、外部环境干扰带来的质量问题，从设备精细化调整、标准化流程改进、全过程工序落实三个层面提出工艺优化实施路径，借助张拉力与伸长量、锚下预应力、梁体实体状态及现场管控指标开展成效检验。工程实测表明，优化后伸长率偏差、预应力不均匀度均控制在规范允许范围，施工效率得到提升，可为同类桥梁预应力张拉质量管控提供技术参考。

【关键词】：桥梁；预应力张拉；工艺优化；质量控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.011

预应力结构凭借优越的跨越能力与受力性能，在现代桥梁工程中得到大规模应用，张拉施工作为预应力体系成型的核心环节，施工工艺执行水平直接决定桥梁后期服役耐久性。受现场设备损耗、人为作业偏差以及外界环境条件干扰，张拉作业时常出现张拉力偏差、钢绞线受力不均等问题，极易埋下梁体开裂、锚固失效的潜在风险。为降低预应力施工质量缺陷发生概率，立足现场施工条件剖析张拉现存质量隐患，探索可行的工艺优化手段并完成效果检验，对提升桥梁预应力施工管控水平具备现实工程意义。本文围绕预应力张拉工艺与质量控制开展研究，为现场施工处置提供技术借鉴。

1 桥梁预应力张拉施工质量隐患识别

（1）张拉施工设备存在的隐性问题：千斤顶与配套油压仪表超期未完成联合标定会造成张拉力输出数值与实际作用力产生偏移，锚具校验设备未开展周期性复核，无法识别夹片齿纹磨损、锚板孔口变形等内部损耗。钢绞线实际摩阻系数受波纹管内壁锈蚀、接口错位的影响发生改变，设备采集模块接线松动会造成张拉过程数据间断丢失，设备部件的隐性损耗不会在外观层面直接显现，会在张拉加载阶段逐步放大预应力控制误差，直接改变构件内部应力分配状态。

（2）张拉施工操作存在的违规问题：钢绞线下料切割之后未对端头散丝做约束处理，钢束穿束过程产生绞扭缠绕，张拉加载阶段钢绞线受力状态发生畸变[1]。实际作业未按照设计文件要求控制分级持荷时长，两端张拉进程不同步，单侧加载速率超出规范限定范围。钢绞线理论伸长量计算没有结合现场实测摩阻参数进行修正，直接套用图纸理论参数开展对比校核，伸长值偏差超出管控阈值时未开展系统性排查，继续推进后续张拉作业，埋下锚下预应力分布不均的技术隐患。

（3）张拉施工环境存在的影响问题：现场环境温度出现大幅波动会改变千斤顶液压油黏度，液压系统传力效率随之发生改变，间接干扰张拉力输出稳定性。露天作业环境下沙尘杂质侵入锚具结合接触面，夹片与钢绞线咬合接触面混入外来颗粒物，降低锚具锚固咬合性能。梁体混凝土养护环境不达标，张拉作业开展时构件实际强度、弹性模量未达到张拉控制条件，外部湿度变化造成波纹管内壁结露锈蚀，增大预应力筋孔道内部摩擦阻力，改变预应力沿孔道的损失数值。

2 桥梁预应力张拉施工工艺优化实施路径

（1）张拉施工设备精细化优化调整：严格执行千斤顶与油压仪表配套联合标定制度，标定周期依照现场实际张拉作业频次动态调整，标定数据同步录入设备技术档案。对锚具检测工装开展周期性复核检测，借助专用量具排查夹片齿纹磨损量、锚板孔口圆度形变指标，淘汰超出允许磨损限值的零部件。对张拉系统信号采集回路做绝缘加固处理，优化传感器布设点位，保障张拉过程张拉力、活塞位移两类数据同步连续采集。针对波纹管组件开展进场后的内壁外观与接口同轴度检测，对存在锈蚀、错台缺陷构件做剔除处置，降低孔道摩阻对预应力传递过程带来的干扰。见图 1。

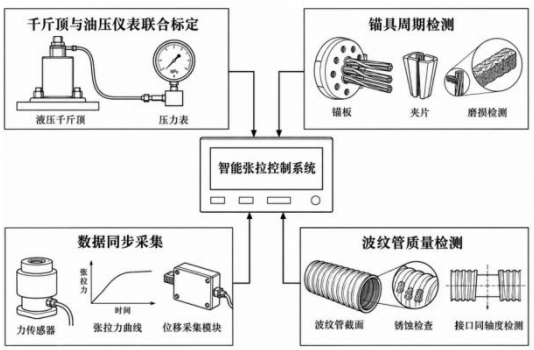

图 1 预应力张拉设备精细化控制架构图

（2）张拉施工标准化流程优化改进：依托智能张拉控制系统设定分级加载程序，按照 0、10%、20%、100%设计张拉力设置加载节点，各节点匹配固定持荷时间参数，实现梁体两端同步匀速施加预应力。钢绞线理论伸长量的计算输入参数代入现场实测孔道摩阻结果完成修正，系统实时比对实测伸长量同修正后理论值的差值，当偏差达到预警阈值时自动暂停张拉作业[2]。建立锚夹具、钢绞线材料前置核验环节，材料性能检测报告未完成复核前不启动张拉工序，加载速率参数写入系统锁定，规避现场人为随意改动张拉程序参数的情况。

（3）张拉施工全过程工序优化落实：钢绞线下料完成之后使用捆扎件对端头部位实施束缚，穿束作业控制钢束行进速度，规避钢绞线发生扭转绞缠现象。张拉作业启动前核验梁体混凝土实测强度以及弹性模量实测结果，构件指标满足设计限定条件后方允许设备启动加载。作业过程同步留存张拉力、伸长位移的原始采集数据，锚具就位后校正千斤顶同锚垫板的同轴位置，消除偏心受力条件。张拉完成之后控制预应力筋切割的作业时机，采用砂轮切割方式处理外露钢绞线，管控外露段尺寸，规避高温切割造成夹片锚固性能下降的问题。

3 桥梁预应力张拉施工工艺优化成效检验

（1）张拉施工精度指标检验分析：采集不同跨径箱梁张拉全过程的张拉力、钢绞线实际伸长量原始记录，将实测伸长量与经过现场摩阻修正后的理论伸长量开展比对核算，统计多组钢束的伸长率偏差分布区间。开展锚下预应力抽样检测工作，采集单锚预应力实测数值，计算同束钢绞线受力不均匀度以及断面预应力不均匀度，样本梁体伸长率偏差控制在 2.74%以内，锚下同束受力不均匀度控制在 4.3%以内，记录张拉力输出波动幅值，核查张拉阶段系统预警触发频次，量化张拉工艺优化之后张拉力控制稳定性，判定各项指标是否满足现行桥涵施工技术规范的限值要求[3]。

（2）桥梁结构施工质量提升检验：依托实体梁体构件开展锚固区域专项检查，排查锚具位置滑丝、断丝的实际发生情况，观测锚垫板与梁体混凝土接触面是否出现开裂、局部压溃等受力损伤。采集张拉作业完成后的梁体上拱度实测数据，将实测变形数值与理论计算结果开展比对，跟踪 20-40 m 不同规格箱梁内部应力传递状态。重点核查锚固区域混凝土表层细微裂隙，甄别张拉荷载作用下产生的结构性损伤。结合锚下预应力实测结果评判梁体整体受力均匀程度，甄别预应力施加异常引发的早期病害，掌握梁体内部预应力真实分布状态，以此评判张拉工艺优化对桥梁实体结构带来的改善效果。

（3）现场施工管控效率效果检验：统计张拉作业单跨梁体完整工序消耗时长，记录现场岗位人员配置数量，核算工艺优化前后的人工投入规模。提取张拉全过程自动存储的数字化原始台账，统计人工手写记录产生的数据缺失、记录错误出现频次，工艺优化后现场作业人员数量得到缩减，施工作业效率提升区间处于 30%-40%。统计设备故障停机、张拉返工处置的发生频次，核算张拉工序人工、辅材方面的实际消耗，量化工艺调整给现场作业流程带来的改变，完成现场作业层面各项管控要素的数据采集归集。

4 结语

桥梁预应力张拉质量受控程度直接关系预应力混凝土梁体的服役可靠性，设备潜在缺陷、作业行为偏差以及外部环境条件均会对张拉成效形成制约。通过对张拉设备实施精细化调校，重构标准化作业流程，落实全流程工序管控，能够有效消解传统施工模式下的各类质量隐患。依托张拉精度、实体结构状态以及现场管控维度完成效果核验，可直观评判工艺调整带来的实际改善效果。相关技术手段能够抑制张拉力偏移、钢绞线受力不均等病害的产生，可为同类桥梁预应力施工现场的工艺改良与质量管控提供实操层面的参考依据。

参考文献：

[1] 沙国华,杨政,郭晨,等.悬臂拼装施工的预制节段箱梁桥预应力参数优化[J].交通科学与工程,2024,40(3):17-26.

[2] 朱建朝,董昊,顾俊钢,等.预应力混凝土梁锚下张拉力整孔检测技术研究[J].中外公路,2025,45(6):199-208.

[3] 李岩.公路桥梁智能预应力张拉和压浆施工质量控制[J].山东交通科技,2022,(5):34-38.