

桥梁预应力施工工艺优化及质量控制研究

翟阿龙

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 预应力工艺是桥梁工程施工的核心技术, 直接关系桥梁结构受力状态与长期服役质量。现阶段桥梁预应力施工普遍存在管道预埋精度差、张拉参数管控不严、压浆封锚施工粗糙等问题, 受人员操作、设备精度、工艺标准及现场环境多重因素影响, 易出现应力偏差、压浆不密实等质量通病。本文结合桥梁预应力施工技术体系与现场工况, 梳理传统施工工艺存在的短板, 从预应力筋加工安装、张拉参数、孔道压浆封锚等关键工序开展工艺优化。同时建立包含量化指标、全过程管控流程及专项管控措施的质量控制体系, 有效解决现场施工质量隐患, 可为同类桥梁预应力施工提质增效提供工程参考。

关键词: 桥梁预应力施工; 传统工艺; 工艺优化策略; 实施路径; 质量控制

引言: 随着国内交通基础设施建设标准不断提升, 桥梁结构对施工精度、结构耐久性及受力稳定性的要求持续提高。预应力技术凭借优化构件受力、抑制结构开裂、减小梁体变形等优势, 被广泛应用于各类桥梁主体结构施工。实际工程中, 传统预应力施工工艺较为粗放, 工序管控精细化程度不足, 各类施工质量缺陷频发, 直接影响桥梁结构安全与使用寿命。为改善现场施工现状, 本文依托常规桥梁预应力施工流程, 系统分析施工现存问题及影响因素, 针对性开展工艺优化研究, 构建配套质量管控体系, 对提升桥梁预应力施工质量具有实际工程意义。

1 桥梁预应力施工核心工艺原理与技术体系

1.1 预应力施工的理论基础

桥梁预应力施工核心原理为预先对混凝土构件受拉区施加压应力, 抵消桥梁运营阶段车辆荷载、自重荷载产生的拉应力, 避免混凝土出现开裂病害, 有效提升桥梁结构的耐久性与整体刚度。混凝土材料抗拉强度极低、抗压性能优异, 预应力技术可充分发挥两种材料的力学优势, 改善构件受力状态。在桥梁长期服役过程中, 通过预设预应力抵消外部荷载产生的形变应力, 能够有效减小梁体挠度变形, 控制结构裂缝开展。预应力受力遵循应力平衡与形变协调原则, 所有张拉、锚固施工工序均需贴合结构设计应力标准, 保障桥梁整体受力均匀、性能稳定, 满足公路及市政桥梁的承载与安全使用要求。

1.2 预应力施工关键技术体系构成

桥梁预应力施工是一套系统性技术体系, 主要由材料制备、前期预埋、张拉施工、压浆封端四大核心模块构成, 各环节紧密衔接, 直接决定预应力施工质量。材料制备环节包含钢绞线、锚具、压浆材料的选型与预处

理, 需严格核验材料强度、韧性及适配性, 杜绝不合格材料投入施工。前期预埋涵盖波纹管定位、锚板安装、钢筋布设等工序, 精准控制预埋位置与标高, 防止出现管道偏移、漏浆等问题, 为后续张拉作业奠定基础。张拉施工是核心工序, 采用分级匀速张拉工艺, 严格按照设计张力、伸长值双控标准施工, 精准把控张拉顺序、持荷时间, 避免出现预应力损失、张拉不足或超张拉问题。最后的压浆与封端环节, 通过真空压浆工艺填充预应力管道, 隔绝空气与水分, 防止钢绞线锈蚀, 同时封闭梁端结构, 保障预应力长期留存效果, 提升桥梁结构整体稳定性与使用寿命^[1]。

2 桥梁预应力施工工艺现存问题与影响因素

2.1 现阶段预应力施工工艺现存问题

当前预应力施工各工序普遍存在细节管控缺失、工艺执行不规范等问题, 具体体现在三个方面: (1) 管道预埋精度不足。施工过程中波纹管定位固定不牢固, 混凝土浇筑阶段易出现位移、变形及破损, 造成管道不通顺、漏浆堵管, 直接影响后续穿束与压浆施工质量。(2) 张拉施工工艺不规范。部分施工现场未严格执行分级张拉标准, 存在张拉速率过快、持荷时间不足、张拉顺序错乱等问题, 极易产生预应力偏差, 造成梁体应力分布不均。(3) 压浆与封端工艺粗糙。传统压浆存在浆液密实度不足、管道空隙残留等问题, 封端混凝土结合面处理不到位, 易出现缝隙、空鼓, 无法实现对预应力筋的有效防护。

2.2 预应力施工质量主要影响因素

桥梁预应力施工质量受多维度因素共同制约, 核心影响因素主要分为四类: (1) 人员因素。施工人员专业水平参差不齐, 部分操作人员缺乏系统培训, 对工艺参

数、施工标准掌握不熟练,实操过程存在随意性,违规操作现象频发。(2)材料与设备因素。钢绞线、锚具、压浆材料质量不达标,张拉设备未定期标定,设备精度偏差,会直接导致张拉数据失真,影响施工精度。(3)施工工艺因素。下料、穿束、张拉、压浆等工序工艺流程老旧,参数设置不合理,缺乏精细化管控标准,存在明显工艺短板。(4)环境因素。施工现场温湿度、风雨天气等外部环境变化,会影响浆液凝固性能、张拉施工稳定性,间接造成施工质量缺陷^[2]。

3 桥梁预应力施工工艺优化策略与实施路径

3.1 预应力筋加工与安装工艺优化

针对传统预应力筋下料不规范、穿束偏差大、定位不精准等施工问题,结合现场施工条件,从以下三个方面开展工艺优化:(1)精细化下料加工优化。摒弃传统人工目测、粗放式下料方式,采用数控切割机完成钢绞线统一下料作业。施工前依据设计图纸精准核算下料长度,综合考虑梁体张拉预留长度、锚具厚度及工作长度等参数,统一编制下料参数表。下料过程中杜绝钢绞线局部弯折、死弯、散丝等问题,切割完成后对钢绞线端头进行打磨平整处理,分类堆放并做好标识,避免不同规格钢绞线混用。(2)标准化穿束工艺优化。优化人工无序穿束模式,采用整体编束、整体穿束施工工艺。下料完成后对钢绞线进行逐根梳理、排序,采用扎丝每隔1.5m进行捆绑固定,保证钢绞线排列整齐、无交叉缠绕。针对长距离、大曲率孔道,采用牵引式机械穿束设备替代人工穿束,控制穿束牵引力均匀平稳,避免强行拖拽造成钢绞线磨损、波纹管破损。穿束完成后及时检查钢绞线外露长度,保证两端长度一致,满足张拉施工要求。(3)管道预埋与定位优化。针对传统波纹管位移、变形、漏浆问题,优化定位加固工艺。将传统简易钢筋支架替换为定型化定位钢筋网片,按照50cm间距布设,曲线孔道加密至30cm间距。波纹管对接位置采用专用套接接头,外侧缠绕防水胶带密封,杜绝混凝土浇筑过程中砂浆渗入管道。

3.2 预应力张拉工艺参数优化

预应力张拉是桥梁预应力施工的核心工序,结合规范要求及现场施工经验,对张拉工艺参数及施工流程进行系统性优化。(1)张拉参数标准化设定。摒弃传统统一张拉速率的施工方式,根据梁体跨度、预应力筋规格、孔道线型差异化设置张拉参数。将整体张拉过程分为初张拉、分级张拉、持荷锚固三个阶段,初张拉阶段控制张拉速率为0.1MPa/s ~ 0.15MPa/s,缓慢消除钢绞线松弛间隙;分级张拉阶段按照设计吨位分级升压,每级稳压

2min,杜绝一次性快速升压。严格规范张拉顺序,遵循“对称张拉、同步作业、分级加载”原则,避免单侧张拉造成梁体偏心受力。(2)张拉双控工艺优化。优化传统以油压读数为主、伸长值为辅的控制方式,落实“应力控制为主、伸长值校核为辅”的双控标准。张拉前对张拉千斤顶、油压表进行配套标定,建立油压与拉力对应曲线,杜绝设备偏差导致张拉应力失准。每一级张拉完成后,实时记录油压数据、钢绞线伸长值,计算实际伸长值与理论伸长值偏差,偏差控制在 $\pm 6\%$ 以内方可继续施工,超出偏差立即停止作业,排查孔道摩擦、钢绞线卡顿等问题。(3)持荷与锚固工艺优化。调整传统瞬时张拉、瞬时锚固的施工模式,优化持荷稳压参数。张拉至设计控制应力后,稳压持荷5min以上,充分消除钢绞线弹性回缩、孔道摩擦产生的预应力损失^[3]。

3.3 孔道压浆与封锚工艺改进

传统孔道压浆存在浆液密实度不足、管道空隙残留、浆液离析泌水、封锚粘结不牢固等通病,结合现行桥梁施工规范,对压浆材料、施工工艺、封锚流程进行全方位改进,提升预应力体系防护性能。(1)压浆材料配比优化。取消传统现场随意配比砂浆的施工方式,采用专用预应力孔道压浆料,依据试验确定最优水胶比,严格控制用水量、外加剂掺量。材料搅拌采用高速搅拌机,搅拌时间不少于3min,保证浆液均匀无结块,杜绝浆液离析、分层现象。搅拌完成后对浆液进行流动性、泌水率检测,合格后方可投入使用,从源头规避压浆质量缺陷。(2)真空辅助压浆工艺改进。替换传统常压压浆工艺,全面采用真空辅助压浆施工。施工前封闭孔道两端,通过真空泵抽取管道内部空气,将孔道真空度稳定在 $-0.08\text{MPa} \sim -0.1\text{MPa}$ 区间,再从另一端匀速压浆。压浆过程保持连续作业,杜绝中途停顿,待出浆口排出均匀、无气泡的浓浆后,封堵出浆口并稳压3min,保证管道浆液填充饱满,彻底消除管道空隙、气泡缺陷。(3)封锚施工工艺优化。优化梁端封锚处理流程,锚固作业完成后,及时切除多余预应力筋,预留长度控制在规范范围内,禁止电弧切割损伤锚具。对梁端混凝土接触面进行凿毛处理,清理浮浆、杂物、灰尘,保证新旧混凝土结合紧密。封锚采用高强度微膨胀混凝土,分层振捣密实,做好保湿养护,严控混凝土收缩开裂,实现对锚具及预应力筋的永久防护,保障预应力结构长期稳定^[4]。

4 桥梁预应力施工质量控制体系构建

4.1 质量控制目标与核心指标设定

依据现行桥梁施工验收及预应力结构设计规范,结合现场施工工况,明确预应力施工质量控制目标与量化

指标,为现场质量验收和工艺管控提供标准化依据,规避管控标准模糊、验收不规范等问题。(1)总体质量控制目标。以治理预应力施工质量通病、规范各工序施工工艺为核心目标,确保预应力结构受力性能、耐久性及整体稳定性符合设计要求。严格把控施工全过程质量,实现各工序验收全部合格,杜绝张拉应力偏差、压浆不密实、锚具滑移等质量缺陷,保障预应力体系长期服役稳定。(2)核心量化控制指标。结合规范设定施工控制阈值,张拉实际应力与设计应力偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内,杜绝超张拉与欠张拉问题。钢绞线实际伸长值与理论伸长值偏差需维持在 $\pm 6\%$,超标立即停工排查处理。孔道压浆28d抗压强度满足设计标准,管道内部填充密实、无空隙。锚具安装精度、预应力筋外露长度及封端结构尺寸等指标,严格遵循规范限值要求。

4.2 全过程质量控制流程与管控要点

结合预应力施工工序特征,构建施工准备、过程实施、验收交付的全过程管控流程,建立工序交接验收制度,实现质量闭环管控、全程可追溯。(1)施工准备阶段管控要点。完成图纸会审与专项技术交底,明确各工序工艺参数与施工标准。严格核查钢绞线、锚具、波纹管等主材规格性能,核验张拉设备有效标定证书。同步完成施工方案审核与现场条件核查,严禁不合格材料、未标定设备、不合理方案投入施工。(2)施工实施阶段管控要点。针对预埋、张拉、压浆、封端核心工序实施动态管控。管道预埋阶段复核线型、标高及固定稳定性,防止混凝土浇筑出现位移、破损。张拉施工严格执行分级加载与应力、伸长值双控标准,实时记录施工数据。压浆施工严控浆液配比、真空度及稳压时间,保证浆液填充饱满。各工序需经自检、互检合格后,方可进入下一工序。(3)验收交付阶段管控要点。采用分项验收与整体验收相结合的模式,全面核查张拉记录、压浆试验报告、设备标定资料等原始数据。对结构外观、构件尺寸、压浆密实度开展抽样检测,资料齐全、指标达标后方可完成验收交付。

4.3 质量控制技术与管理措施

结合施工现场质量管控难点,从技术管控和现场管理两方面制定专项措施,构建技术支撑、制度约束协同的质量管控体系,稳定施工质量。(1)施工技术管控措施。建立材料进场复检制度,所有主材需具备合格证书,进场抽样检测,不合格材料直接清退出场。落实张拉设备、真空泵、检测仪表的定期标定制度,禁止超期设备作业。对张拉应力、持荷时间、浆液水胶比等关键参数实行双人复核、动态校验,杜绝参数偏差引发质量缺陷。(2)现场施工管理措施。落实岗位质量责任制,明确技术、操作、质检人员岗位职责,实现质量责任到人。定期开展岗位专项培训,规范施工操作流程,杜绝违规施工。完善质量追溯与整改机制,完整留存施工及验收资料,建立质量问题台账,实现问题闭环整改^[5]。

结束语: 本文通过梳理桥梁预应力核心施工工艺与技术体系,总结了预埋、张拉、压浆等工序存在的典型质量问题,明确了人员、设备、工艺、环境四大核心影响因素。结合施工现场实际,完成预应力筋加工安装、分级张拉、真空压浆及封锚工艺的优化改进,形成可落地的施工实施路径。同时建立量化质量控制指标与全过程管控流程,配套完善技术与管理双重管控措施。

参考文献:

- [1]王枫凯.预应力张拉施工工艺优化及质量检测方法研究[J].区域治理,2026(15):0133-0135.
- [2]陈军.市政桥梁后张法预应力施工工艺及质量控制[J].中国建筑金属结构,2026,25(8):172-174.
- [3]马立刚,裴云端,段丁超,许鸽,杨宇.市政道路桥梁后张法预应力施工技术质量控制研究[J].新材料·新装饰,2026,8(8):175-178.
- [4]刘丽强,苟志孝,付士博,袁奇银,陈云泽.预应力桥梁张拉施工工艺优化研究[J].工程技术研究,2025,10(11):221-223.
- [5]孙福强.新时期公路桥梁施工中预应力技术施工工艺与质量控制研究[J].散装水泥,2025(3):28-30.