

# 桥梁预应力结构施工技术及其质量控制研究

刘吉旺

山东高速路桥国际工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i9.20497

**[摘要]** 随着高速公路建设向复杂水文区域延伸,预应力结构作为大跨桥梁的核心支撑,其施工质量直接决定桥梁运营安全与使用寿命。岚罗高速沂河特大桥地处沂河富水区,水文复杂且采用装配式先简支后连续预应力混凝土箱梁设计,施工难度突出。本文结合该工程实际,系统阐述后张法孔道成型、预应力筋加工安装及预制箱梁预应力张拉、负弯矩张拉与压浆等核心技术,从材料、工序、人员与环境三方面制定针对性质量控制措施,旨在保障预应力结构施工精度,确保桥梁成桥线形符合设计标准,为同类复杂桥梁工程提供技术参考。

**[关键词]** 桥梁工程; 预应力结构; 施工技术; 质量控制; 挂篮悬臂浇筑

**中图分类号:** TU997 **文献标识码:** A

## Research on Construction Technology and Quality Control of Prestressed Bridge Structures

Jiawang Liu

Shandong Expressway Road & Bridge International Engineering Co., Ltd.

**[Abstract]** As highway construction extends into complex hydrological areas, prestressed structures, as the core support for large-span bridges, directly determine the operational safety and service life of bridges. The Yishui River Viaduct on the Lanlu Expressway, located in a water-rich zone of the Yishui River with complex hydrology, features a prestressed concrete box girder design employing prefabricated simply supported-to-continuous transition. The construction presents significant challenges. Based on the project specifics, this paper systematically elaborates on key techniques such as post-tensioning duct formation, prestressing tendon processing and installation, as well as prestressed tensioning, negative moment tensioning, and grouting of prefabricated box girders. Targeted quality control measures are formulated from three aspects—materials, processes, personnel, and environment—to ensure construction precision of prestressed structures, guarantee that the completed bridge alignment meets design standards, and provide technical references for similar complex bridge projects.

**[Key words]** Bridge Engineering; Prestressed Structures; Construction Technology; Quality Control; Cantilever Pouring with Hanging Baskets

## 引言

高速公路建设的快速发展对桥梁结构的跨度、承载能力及耐久性提出了更高要求,预应力技术凭借其能有效提升混凝土构件抗裂性和刚度的优势,已广泛应用于大跨高速桥梁建设中。沂河富水区水文复杂、气候影响显著,跨河施工给预应力结构施工带来诸多挑战,施工过程中的技术把控与质量管控成为保障桥梁工程质量的关键。沂河特大桥作为岚罗高速的重要节点工程,其预应力体系布置密集、长束多且负弯矩区精度要求高,做好该桥预应力结构施工技术与质量控制,对推动山东高速公路网建设顺利推进、提升同类工程施工水平具有重要意义。

## 1 工程概述

岚罗高速公路是山东省“九纵五横一环七连”高速公路网中“一环”的重要组成部分,与南北向的沈海、长深、京沪等高速公路相交,设计时速120km/h。沂河特大桥位于山东省临沂市境内,桥位地处沂河富水区,北至沂沭河交汇处,南到大埠东,受气候影响比较显著,跨越沂河及两侧大堤。桥梁全长2308.6m,路线右夹角105度,上部结构采用装配式先简支后连续预应力混凝土箱梁及现浇预应力混凝土箱梁,共完成416片箱梁。该桥预应力体系具有以下特点:一是预应力束布置密集,先简支后连续体系对负弯矩区预应力精度要求高;二是长束多,最大束长超过百米;三是跨河施工受水文环境影响大,雨季洪水暴发对预应力

施工工期与质量管控形成严峻挑战。

## 2 桥梁预应力结构施工技术

### 2.1 后张法预应力孔道成型技术

沂河富水区复杂水文环境会直接影响桥梁预应力孔道整体成型效果与后期张拉受力状态,沂河特大桥预制箱梁及现浇箱梁纵横竖三向管道相互交错分布,百米超长预应力束及负弯矩区预应力束对孔道顺直度、密闭性、位置偏差都有着极为严苛的施工管控标准<sup>[1]</sup>。施工人员采用预埋金属波纹管作为孔道成型主材,管道安装高程偏差严格把控在±5mm以内,平面位置偏差控制在8mm以内。作业人员依照箱梁节段分层有序固定管道间距,钢筋绑扎环节精准规避管道挤压变形问题,混凝土浇筑阶段全程安排专人看护管道形态。振捣设备避开波纹管区域作业规避管道破损漏浆状况,完整保障预应力孔道线形顺畅、内壁光滑通畅,为后续预应力筋穿束、预制箱梁张拉及负弯矩张拉作业筑牢基础条件。

### 2.2 预应力筋加工与安装技术

大跨度高速箱梁桥梁长期承受车辆荷载作用,预应力筋自身下料精度、弯折形态、排布间距都会深刻影响梁体整体受力性能与长期使用耐久性。该桥所用高强度低松弛钢绞线严格按照设计束长进行精准切割下料,单根超长钢绞线下料长度需结合张拉行程、锚具厚度与伸长量综合测算,钢绞线理论伸长量计算公式为:

$$\Delta L = \frac{\sigma_{com} \cdot L}{E_p}$$

式中,  $\Delta L$  为钢绞线理论伸长量(mm);  $\sigma_{com}$  为张拉控制应力(MPa);  $L$  为预应力筋有效长度(mm);  $E_p$  为预应力筋弹性模量(MPa),本工程钢绞线  $E_p = 1.95 \times 10^5$  MPa。施工人员规范梳理钢绞线束整体顺直度,消除钢绞线缠绕扭曲现象,钢绞线分层有序穿入成型预应力孔道。作业人员精准调整钢绞线束空间位置,规避钢筋与预应力束相互挤压干涉,锚垫板与预应力束保持同轴对齐状态,尤其注重负弯矩区预应力束定位精度,保障预应力作用力均匀传递至混凝土箱梁结构<sup>[2]</sup>。

### 2.3 预应力张拉与压浆技术

跨河箱梁桥梁线形稳定性高度依赖预制箱梁预应力张拉、负弯矩张拉施工次序与张拉应力控制精度,沂河特大桥百米长预应力束及负弯矩区短束受力传导路径差异较大,张拉顺序不合理极易引发箱梁偏扭、线形偏移等施工病害。现场作业严格按照对称、分级、两端同步张拉原则开展预制箱梁及负弯矩张拉操作,张拉应力逐级递增加载至设计控制应力,技术人员实时监测钢绞线实际伸长数值匹配理论计算伸长量。管道压浆作业选用专用压浆材料,浆液按照标准水胶比搅拌均匀,压浆压力稳定控制在0.5~0.7MPa区间。饱满密实的水泥浆体包裹固定预应力筋,隔绝外界水汽腐蚀钢筋结构,稳固箱梁整体预应力受力体系,如表1所示。

表1 预应力张拉与压浆技术

控制项目	控制参数
压浆压力	0.5~0.7MPa
千斤顶校准误差	不超过±1%
伸长量偏差	实际与理论偏差不超过6mm
张拉后压浆间隔时间	不超过24小时

## 3 质量控制

### 3.1 施工材料质量控制

桥梁预应力结构施工质量的根基在于材料品质,沂河特大桥作为时速120km/h高速的关键工程,预应力材料的各项性能指标直接决定结构承载能力与使用寿命,施工单位建立全流程材料管控体系,从源头杜绝不合格材料进场<sup>[3]</sup>。施工人员对进场的高强度低松弛钢绞线进行逐批次抽样检测,每批次检测数量不少于3盘,单根钢绞线抗拉强度不得低于1860MPa,屈服强度控制在1570MPa以上,弹性模量保持在  $1.95 \times 10^5$  MPa左右,检测合格后方可入库存放。锚具、夹片进场后需进行硬度检测,锚具硬度值控制在28~32HRC,夹片硬度值控制在30~34HRC,同时检查锚具外观无裂纹、夹片无破损变形。波纹管选用壁厚不小于0.3mm的镀锌金属波纹管,进场后抽样检查管径偏差,内径偏差不超过±2mm,壁厚偏差不超过±0.03mm,存放时做好防潮、防腐蚀措施,分类堆放并做好标识,领用前再次检查外观完整性,确保材料符合施工设计标准后投入使用,如表2所示。

表2 不同材料类型质量控制参数

材料类型	质量控制参数
高强度低松弛钢绞线	抗拉强度≥1860MPa,屈服强度≥1570MPa,弹性模量≈ $1.95 \times 10^5$ MPa,每批次抽检不少于3盘
锚具	硬度值28~32HRC,外观无裂纹
夹片	硬度值30~34HRC,无破损变形
镀锌金属波纹管	壁厚≥0.3mm,内径偏差≤±2mm,壁厚偏差≤±0.03mm

### 3.2 施工工序质量控制

预应力结构施工工序繁杂且环环相扣,每一道工序的施工质量都会直接影响后续施工效果与整体结构安全,沂河特大桥针对预制箱梁、负弯矩预应力施工全流程制定精细化工序管控标准,明确各工序操作规范与验收要求<sup>[4]</sup>。孔道成型阶段,施工人员严格按照设计坐标固定波纹管,每隔50cm设置一道定位钢筋,定位钢筋与箱梁主筋牢固焊接,确保波纹管平面位置偏差不超过8mm,高程偏差控制在±5mm以内,混凝土浇筑前全面检查波纹管密封性,采用充气试验检测,充气压力保持在0.05~0.08MPa,持续30分钟无漏气现象方可进行浇筑。预应力筋安装完成后,技术人员逐束检查钢绞线顺直度,确保无缠绕、扭曲,钢绞线外露长度控制在15~20cm,锚垫板与钢绞线保持同轴对齐,偏差不得超过2mm,重点核查负弯矩区预应力束安装精度。张拉作

业前校准张拉设备,千斤顶校准误差不超过±1%,预制箱梁与负弯矩张拉过程中实时监测钢绞线伸长量,实际伸长量与理论伸长量偏差控制在6mm以内,张拉完成后及时进行压浆,压浆间隔时间不超过24小时,确保工序衔接顺畅、质量可控,如图1所示。

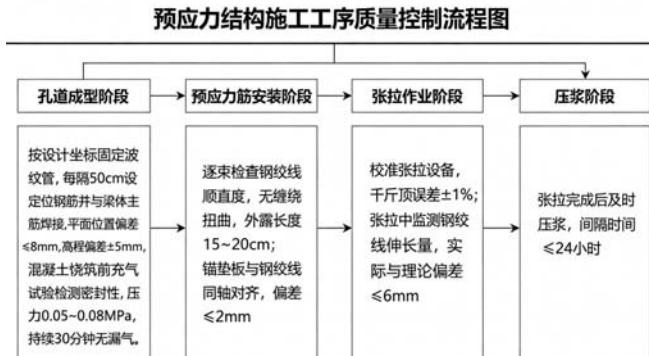


图1 预应力结构施工工序质量控制

### 3.3 施工人员与环境质量控制

施工单位筛选具备5年以上预应力施工经验的作业人员,进场前开展专项培训与考核,重点培训预制箱梁及负弯矩张拉操作规范,考核合格后方可上岗作业,张拉、压浆等关键岗位人员需持有专业操作证书,每月开展一次技能复盘,重点规范操作流程与参数控制要点。施工过程中建立专人值守制度,关键工序实行24小时旁站监督,及时纠正不规范操作行为。环境管控方面,根据沂河富水区多雨、高温的气候特点,合理安排施工时间,高温天气施工时避开11:00~15:00高温时段,钢绞线、锚具等材料存放于阴凉通风处,避免暴晒老化;雨天施工时做好防雨措施,浇筑混凝土前检查施工现场排水系统,确保无积水,防范雨季洪水对施工的影响,压浆作业时控制环境温度在5~35℃,当环境温度低于5℃时采取保温措施,高于35℃时采取降温处理,规避环境因素对施工质量的不利影响,如表3所示。

表3 施工人员与环境质量控制

管控类型	管控要求
施工人员	具备5年以上预应力施工经验,考核合格上岗;关键岗位持专业操作证,每月开展1次技能复盘
高温环境	避开11:00~15:00施工,材料存放于阴凉通风处
雨天环境	做好防雨措施,浇筑前检查排水系统,确保无积水
压浆环境温度	控制在5~35℃,低于5℃保温,高于35℃降温

## 4 结束语

桥梁预应力结构施工技术的科学性与质量控制的有效性,是保障大跨高速桥梁安全稳定运营的核心前提,沂河特大桥结合自身水文与结构特点,通过优化预制箱梁及负弯矩张拉施工技术、强化全流程质量管控,确保了工程施工质量与成桥线形精度。随着高速公路建设技术的不断迭代,预应力施工技术将向智能化、精细化方向发展,后续需进一步结合新型材料与数字化技术,优化施工工艺与质量控制体系,不断提升预应力结构施工水平。

### [参考文献]

[1]邵庆春.预应力混凝土结构施工技术优化与质量控制[J].全面腐蚀控制,2026,40(04):243-245.  
 [2]赵治学.预应力混凝土桥梁张拉施工质量控制关键技术研究[J].工程质量,2026,44(04):96-99.  
 [3]徐宇.桥梁预应力结构施工技术及其质量控制研究[J].运输经理世界,2026,(06):111-114.  
 [4]颜高翔.道路桥梁施工中预应力技术的全过程质量控制策略研究[J].运输经理世界,2026,(05):68-70.

### 作者简介:

刘吉旺(1996--),男,汉族,山东省济宁市人,大学专科,现有职称:助理工程师,工作方向:道路桥梁。