

# 桥梁工程预应力施工质量管控要点分析

成朝恒

宿迁市公路事业发展中心 江苏宿迁 223800

DOI:10.32629/ems.v8i3.18677

**[摘要]** 后张法预应力技术作为现代桥梁工程的核心工艺,其施工质量直接影响桥梁的结构性能、耐久性和安全性。本文系统综述了桥梁预应力施工全过程的质量管控要点,从材料质量控制、施工工艺管控、质量检测技术到管理体系构建进行全面分析。研究表明,后张法预应力施工质量受多重因素影响,需要从设计阶段开始实施全过程动态管控,引入智能化监控技术,建立完善的标准化体系。通过对预应力筋、锚具、波纹管等关键材料的质量控制,张拉、压浆等关键工艺的精准控制,结合先进的检测方法和信息化管理手段,能够显著提升预应力施工质量。本文提出的质量管控框架和实践建议,可为桥梁工程预应力施工的标准化、精细化提供参考。

**[关键词]** 桥梁工程; 预应力施工; 质量管控; 张拉控制

## 引言

后张法预应力混凝土桥梁已成为现代交通基础设施的主流结构形式,其施工质量直接关系到桥梁的承载能力、耐久性和使用寿命。后张法预应力施工是一个复杂的系统工程,涉及材料、工艺、设备、人员等多方面因素,任何一个环节的失误都可能导致桥梁结构存在安全隐患。近年来,随着我国桥梁建设向大跨径、重载方向发展,预应力施工质量管控面临着更高要求。

从技术发展来看,预应力施工正逐步向智能化、标准化方向发展。然而,在实际工程中仍存在不少质量问题,如预应力筋腐蚀、张拉力控制不准确、压浆不密实等,这些问题严重影响桥梁的安全性和耐久性。因此,系统分析后张法预应力施工全过程的质量管控要点,建立科学合理的质量管控体系,对于提升桥梁工程质量具有重要意义。

## 1. 预应力材料质量控制要点

### 1.1 预应力筋质量控制

预应力筋是预应力体系的核心承载材料,其质量直接关系到桥梁的承载能力和耐久性。质量控制要点包括:

1) 外观质量检查: 预应力筋表面不得有裂纹、毛刺、机械损伤、氧化铁皮和油污等缺陷。镀锌或环氧涂层预应力筋应检查涂层均匀性、附着力和厚度是否符合要求。对存在缺陷的预应力筋,应按规定进行修复或剔除。

2) 材料性能检验: 严格按照国家标准对预应力筋的化学成分、力学性能进行全面检测。高强度低松弛预应力钢绞线的抗拉强度应不低于 1860MPa,屈服强度不低于其抗拉强度的 85%,松弛率在 1000 小时内不超过 2.5%。每批预应

力筋进场前需提供出厂合格证和质量保证书,并按批次进行抽样复检。

3) 储存管理: 预应力筋应储存在清洁、干燥、无腐蚀性介质的场地,采取防雨、防潮措施。堆放时应保持离地高度不低于 20cm,不同规格、批次的预应力筋应分开存放并设置清晰标识。预应力筋存放时间不宜过长,防止长期存放导致的性能退化。

### 1.2 锚固系统质量控制

锚固系统是将预应力传递到混凝土结构的关键部件,其质量控制不容忽视:

1) 锚具尺寸精度: 锚环、夹片等关键部件的尺寸公差应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》规范要求。楔形锚具的锥度公差应控制在  $\pm 10'$  以内,确保锚固时预应力筋受力均匀。

2) 力学性能验证: 锚具系统的静载锚固性能、疲劳性能应通过型式检验和出厂检验。锚具组装件的极限拉力总应变不应低于 2%,锚具效率系数应达到 0.95 以上。对于大吨位锚具,应进行足尺试验验证其可靠性。

3) 材质与热处理: 锚具材料一般选用优质合金结构钢,需检测其化学成分和力学性能。热处理工艺应保证锚具硬度在 HRC20-30 之间,既要有足够强度又要有一定韧性,防止脆性破坏。

### 1.3 波纹管与压浆材料质量控制

1) 波纹管质量: 金属波纹管应检查其径向刚度和抗渗漏性能,波纹高度、波距应均匀一致。塑料波纹管需检测其环刚度、抗冲击性和耐腐蚀性。波纹管连接应采用专用接头,

确保密封可靠。

2) 压浆材料: 现代桥梁工程多采用高性能无收缩压浆材料, 其流动性、凝结时间、泌水率、膨胀率等指标应满足规范要求。压浆料的 28 天抗压强度不应低于 50MPa, 24 小时自由膨胀率控制在 0-3% 之间。

3) 辅助材料: 灌浆管、排气管等辅助材料也应符合质量标准, 确保压浆系统通畅、密封。

## 2. 预应力施工工艺质量控制

### 2.1 预应力筋安装质量控制

1) 波纹管定位安装: 波纹管应按设计坐标精确定位, 采用钢筋支架固定, 直线段支架间距不大于 80cm, 曲线段适当加密至不大于 50cm。波纹管安装位置偏差应控制在  $\pm 5\text{mm}$  以内, 防止预应力筋位置偏差导致预应力损失或结构应力异常。

2) 预应力筋穿束: 穿束前应检查预应力筋表面是否清洁, 有无损伤。长束穿束可采用卷扬机牵引, 穿束过程中防止预应力筋扭转、扭曲。预应力筋在波纹管内需保持平行, 避免交叉缠绕。

3) 排气泌水管设置: 在波纹管的最高点和最低点应设置排气孔和泌水孔, 排气孔直径不小于 20mm, 确保压浆时空气和多余水分能够顺利排出。

### 2.2 预应力张拉质量控制

预应力张拉是预应力施工的核心环节, 其质量控制直接关系到预应力效果:

1) 张拉设备标定: 千斤顶、油压表等张拉设备应定期标定, 标定周期不超过 6 个月或 200 次张拉作业。标定时应采用标准测力计或传感器, 建立张拉力与油压表读数的对应关系, 绘制标定曲线。

2) 张拉力控制: 张拉应采用“双控”原则, 即以张拉力控制为主, 伸长值校核为辅。实际伸长值与理论伸长值的偏差应控制在  $\pm 6\%$  以内。对于长束或曲线束, 应考虑摩擦阻损失的影响, 必要时进行孔道摩擦阻测试。

3) 张拉程序控制: 张拉应按设计要求的顺序进行, 一般应对称、均衡张拉, 避免结构产生过大偏心应力。对于分阶段张拉的桥梁, 应严格控制各阶段张拉力和时间间隔。

4) 锚固质量控制: 锚固时应平稳、同步放松千斤顶, 确保夹片均匀楔入。锚固后应检查夹片外露量是否一致, 一般控制在 2-3mm。对锚具应立即进行临时防护, 防止腐蚀。

## 3. 预应力施工质量检测技术

### 3.1 预应力筋应力检测

1) 振弦式传感器法: 在预应力筋上安装振弦式传感器, 通过测量频率变化计算应力值。这种方法精度高 (可达  $\pm 0.1\%FS$ ), 可长期监测, 适用于重要桥梁的关键部位。

2) 光纤光栅传感技术: 光纤光栅传感器具有抗电磁干扰、耐久性好、可实现分布式测量等优点, 特别适用于腐蚀环境或需要长期监测的场合。

3) 超声波检测法: 通过测量超声波在预应力筋中的传播速度, 间接推算应力状态。该方法无需安装传感器, 但对表面状况要求较高。

### 3.2 预应力体系耐久性评估

1) 锚固系统性能检测: 定期检查锚具是否有锈蚀、裂纹等缺陷, 夹片是否有滑移现象。必要时可进行锚具拔出试验, 评估锚固性能退化情况。

2) 预应力筋腐蚀状况评估: 采用半电池电位法、线性极化法等电化学方法评估预应力筋腐蚀风险。对可疑部位可进行局部破损检查, 直接观察预应力筋状况。

3) 预应力损失长期监测: 通过长期监测预应力筋应力变化, 分析预应力损失发展规律, 为桥梁维护提供依据。

## 4. 预应力施工质量管控体系

### 4.1 全过程动态管控体系

预应力施工质量管控应贯穿设计、施工、验收全过程:

1) 设计阶段管控: 设计应充分考虑施工可行性, 提供详细的预应力施工图纸和技术要求。对复杂节点应进行施工仿真分析, 预测可能出现的质量问题并提出预防措施。

2) 施工准备阶段管控: 编制详细的预应力专项施工方案和质量控制计划, 对施工人员进行技术交底和培训。所有材料、设备进场前必须经过严格检验。

3) 施工过程管控: 实行工序自检、互检和专检相结合的“三检制”, 每道工序合格后方可进入下一道工序。关键工序如张拉、压浆应有监理工程师旁站监督。

4) 验收阶段管控: 预应力分项工程完工后, 应进行全面的检查内容和验收。检查内容包括预应力筋位置偏差、张拉记录、压浆密实度检测报告等。

### 4.2 信息化与智能化管控

现代信息技术为预应力施工质量管控提供了新手段:

1) BIM 技术应用: 通过建立预应力施工 BIM 模型, 实现可视化技术交底、施工过程模拟和碰撞检查。BIM 模型可与进度计划、质量控制点关联, 实现 4D 施工管理。

2) 物联网监控系统: 在预应力筋、锚具等关键部位安装

传感器, 实时监测应力、温度等参数, 数据自动上传至云平台进行分析和预警。

3) 移动巡检系统: 开发专用 APP, 实现质量检查的电子化、标准化。检查人员可通过手机拍照、记录检查结果, 系统自动生成质量报告。

4) 大数据分析: 收集预应力施工全过程数据, 建立质量控制数据库, 运用大数据分析技术发现质量问题的规律和原因, 为质量改进提供依据。

#### 4.3 标准化与规范化建设

标准化是提升预应力施工质量的重要保障:

1) 工艺标准化: 制定详细的预应力施工工艺标准, 明确每道工序的操作要求、质量标准和检查方法。特别对张拉、压浆等关键工艺, 应制定标准作业程序。

2) 管理标准化: 建立统一的预应力施工质量管理流程和记录表格, 确保质量管理活动的规范性和可追溯性。

3) 人员培训标准化: 编制预应力施工培训教材和考核标准, 所有预应力施工人员必须经过培训和考核, 持证上岗。

4) 持续改进机制: 建立预应力施工质量定期评估和改进机制, 总结成功经验和失败教训, 不断优化施工工艺和管控措施。

### 5. 预应力施工常见质量问题及对策

#### 5.1 预应力筋腐蚀与防护

预应力筋腐蚀是影响桥梁耐久性的主要问题之一, 主要原因包括压浆不密实、氯离子渗透、应力腐蚀等。防护措施包括:

1) 多重防护体系: 采用镀锌、环氧涂层预应力筋, 配合密实压浆和结构防水层, 形成多重防护。

2) 防腐压浆材料: 开发和应用具有抗氯离子渗透、自修复功能的压浆材料, 提升防护性能。

3) 阴极保护: 对处于腐蚀环境的重要桥梁, 可采用外加电流或牺牲阳极的阴极保护技术。

#### 5.2 张拉力控制不准问题

张拉力控制不准会导致预应力不足或超张拉, 影响结构安全和耐久性。解决措施包括:

1) 设备精准标定: 严格执行张拉设备定期标定制度, 建立设备使用档案, 跟踪设备性能变化。

2) 摩阻测试: 对长束或曲线束, 施工前应进行孔道摩阻测试, 确定实际摩阻系数, 修正张拉力。

3) 智能张拉系统: 采用数控智能张拉系统, 实现张拉力自动控制、数据自动采集和远程监控。

#### 5.3 压浆不密实问题

孔道压浆不密实是预应力施工的常见质量问题, 会导致预应力筋暴露在腐蚀环境中。改进措施包括:

1) 优化压浆工艺: 采用真空辅助压浆技术, 减少孔道内空气含量, 提高压浆密实度。

2) 改进压浆材料: 使用高性能无收缩压浆材料, 优化配合比, 改善流动性和稳定性。

3) 全过程监控: 对压浆过程进行全程监控, 记录压浆压力、流量等参数, 确保压浆质量可追溯。

### 6. 结论

通过对桥梁工程预应力施工质量管理要点的系统分析, 可以得出以下主要结论: 预应力施工质量管理是一个系统工程, 涉及材料、工艺、设备、人员和管理等多个方面, 需要实施全过程、全方位的动态管控。预应力筋、锚固系统和压浆材料的质量是预应力体系可靠性的基础, 必须从源头严格把关, 实施标准化管理。张拉和压浆是预应力施工的关键工序, 应采用先进的控制技术和检测手段, 确保工艺参数精准可控。现代信息技术如 BIM、物联网、大数据等在预应力施工质量管理中具有广阔应用前景, 能够显著提升管控效率和精度。建立完善的标准化体系和持续改进机制, 是保障预应力施工质量稳定性的重要保障。后张法预应力施工质量管控是桥梁工程质量的保证, 需要设计、施工、监理、检测各方共同努力, 不断创新技术和管理方法, 为我国桥梁建设高质量发展提供坚实支撑。

#### [参考文献]

[1] 赵健, 王磊. BIM 技术在预应力桥梁施工管理中的应用研究[J]. 施工技术, 2022, 51(2): 34-39.

[2] 预应力混凝土结构施工质量验收规范 (GB 50204-2015) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[3] 王用中, 周军生. 预应力混凝土桥梁施工技术与发展 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

[4] 李国平. 现代预应力结构体系与施工技术 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2019.

[5] 陈伟, 李明. 桥梁预应力施工智能控制技术研究进展 [J]. 桥梁建设, 2021, 51(3): 1-8.