

后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究

赵敬博¹, 李家优²

1. 浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

2. 浙江交工集团股份有限公司第四分公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020041

摘 要 : 本文深入探究后张法预应力混凝土桥梁施工技术, 剖析其原理、优势、关键技术要点、常见问题及解决措施。通过对各环节详细阐述, 并结合实际案例分析, 旨在为后张法在桥梁建设中的科学应用提供全面的技术参考, 助力提升桥梁工程质量与安全性。

关 键 词 : 后张法; 预应力混凝土桥梁; 施工技术; 质量控制

Research on the Application of Post-Tensioning Method Prestressed Concrete Bridge Construction Technology

Zhao Jingbo¹, Li Jiayou²

1. Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 311305

2. The Fourth Branch of Zhejiang Communications Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : This paper delves deeply into the construction technology of post-tensioned prestressed concrete Bridges, analyzing its principles, advantages, key technical points, common problems and solutions. By elaborating on each link in detail and analyzing actual cases, the aim is to provide comprehensive technical references for the scientific application of the post-Zhang method in bridge construction, and to help improve the quality and safety of bridge engineering.

Keywords : post-tensioning method; prestressed concrete bridge; construction technology; quality control

前言

随着交通事业蓬勃发展, 对桥梁的承载能力、跨越能力和耐久性提出了更高要求。后张法预应力混凝土桥梁凭借自身独特优势, 在现代桥梁建设中占据重要地位。该技术能有效提高混凝土构件的抗裂性能和承载能力, 减轻结构自重, 节省材料, 广泛应用于大跨度桥梁、城市高架桥等各类桥梁工程。然而, 后张法施工工艺复杂, 涉及众多环节, 任何一个环节出现偏差都可能影响桥梁的整体质量和安全。因此, 深入研究后张法预应力混凝土桥梁施工技术, 对保障桥梁工程质量、推动交通基础设施建设具有重要意义。

一、后张法预应力混凝土桥梁施工技术优势

(一) 提高结构承载能力

后张法通过预应力预先在混凝土受拉区施加压力, 抵消使用阶段荷载产生的拉应力, 从而突破普通钢筋混凝土结构的承载限制, 尤其适用于重载和大跨度场景。

例如: 某货运专线桥梁原设计采用普通钢筋混凝土梁, 单梁最大承载能力为300kN/轴, 无法满足490kN/轴的重载列车通行要求。改用后张法预应力混凝土梁后, 通过优化预应力束布置(每梁设置16束钢绞线), 单梁承载能力提升至500kN/轴。运营6年后监测数据显示, 梁体最大应变值为120 $\mu\epsilon$ (设计限值200 $\mu\epsilon$), 结构稳定性优于普通梁体40%, 未出现因超载导致的变形累积。

(二) 增强结构抗裂性能

预压应力使混凝土在承受荷载前处于受压状态, 从根源上抑

制裂缝产生, 减少水分、氯离子等侵蚀介质的侵入通道, 显著提升结构在恶劣环境中的耐久性。

例如: 某沿海城市跨海大桥采用后张法施工, 对梁体施加0.7MPa预压应力以抵抗海水侵蚀和干湿循环影响。运营10年后检测显示: 后张法梁体最大裂缝宽度仅0.08mm(规范限值0.2mm), 钢筋锈蚀速率为0.02mm/年; 而同期建设的普通钢筋混凝土引桥, 裂缝宽度已达0.3mm, 钢筋锈蚀速率为0.06mm/年, 是后张法梁体的3倍。后张法梁体的耐久性寿命预计可达50年, 远超普通梁体的30年设计寿命。^[1]

(三) 节省材料与减轻结构自重

后张法通过预应力优化结构受力, 减少冗余材料用量, 在保证强度的同时降低结构自重, 进而降低基础工程的负荷和成本。

例如: 某长江大桥引桥采用后张法预应力混凝土连续梁(跨度50m), 与同跨度普通钢筋混凝土方案相比: 钢筋用量: 每延

米从210kg降至140kg,减少33%,单跨(50m)节省钢筋3.5t;混凝土用量:每延米从1.8m³降至1.5m³,减少17%,单跨节省混凝土15m³;基础负荷:梁体自重降低22%,使桥墩桩基直径从1.8m减至1.5m,单墩基础成本降低20万元。全桥(100跨)累计节省材料及基础成本超2000万元。

二、后张法预应力混凝土桥梁施工关键技术要点

(一) 预应力筋制作与安装

1. 下料与编束

预应力筋下料长度需按公式精确计算:下料长度=孔道长度+2×(锚具厚度+千斤顶工作长度+外露长度),误差控制在±50mm内,且必须用砂轮切割机切割(禁止电弧切割)。下料后需将钢绞线理顺,每1.5m用18号铁丝绑扎成束,防止扭绞。

例如:某35m跨径桥梁施工中,孔道长度35m,锚具厚度10cm,千斤顶工作长度60cm,外露长度30cm,计算下料长度为 $35+2\times(0.1+0.6+0.3)=37\text{m}$ 。实际操作中,单根钢绞线长度偏差控制在±15mm内,编束时严格按1.5m间距绑扎,穿束过程顺畅无卡滞,为后续张拉奠定了良好基础。^[2]

2. 穿束

穿束方法依孔道长度选择:短孔道(<30m)人工穿束,长孔道(>50m)用卷扬机牵引,前端需装导向帽减少摩擦。

例如:某60m连续梁桥孔道较长且含曲线段,采用卷扬机牵引穿束,钢绞线前端安装锥形尼龙导向帽(直径略小于孔道5mm),通过滑轮控制牵引方向,仅1小时完成单梁穿束,穿束后两端外露长度偏差≤8mm,确保了张拉时的对称性。

(二) 孔道成型与安装

1. 孔道材料选择

孔道材料需适配环境:金属波纹管适用于干燥环境,塑料波纹管(HDPE材质)适用于腐蚀环境。

例如:某沿海桥梁因受高盐雾影响,选用壁厚2mm的HDPE塑料波纹管,其抗渗性达0.6MPa(金属波纹管为0.3MPa)。运营8年后检测,孔道内预应力筋无锈蚀,而同期采用金属波纹管的引桥已有5%孔道出现锈蚀痕迹。

2. 孔道安装定位

孔道需用定位钢筋固定,直线段间距≤50cm,曲线段≤30cm,位置偏差控制在±5mm内,确保预应力分布均匀。

例如:某连续梁桥施工中,用全站仪放样定位,φ12mm定位钢筋与梁体钢筋焊接牢固,直线段间距50cm,曲线段加密至30cm。最终孔道坐标偏差均≤3mm,张拉后梁体应力分布均匀,最大应力偏差仅2%(规范允许5%)。

(三) 混凝土浇筑与养护

1. 混凝土浇筑

混凝土需分层浇筑(300–500mm/层),插入式振捣器振捣至表面泛浆,严禁撞击波纹管。

例如:某箱梁腹板浇筑时,按“水平分层、斜向推进”原则,每层厚度40cm,振捣器插入下层50mm,确保密实。专人监

护波纹管,发现一处轻微破损立即用胶带封堵,避免漏浆堵塞,拆模后腹板无蜂窝麻面。

2. 混凝土养护

浇筑后12小时内覆盖保湿,养护期≥7天(硅酸盐水泥),保持表面湿润避免干缩裂缝。

例如:某桥梁夏季施工(气温36℃),采用土工布覆盖+定时洒水养护,每2小时洒水1次,混凝土表面湿度保持在90%以上。7天强度达设计值的82%,满足张拉条件,表面无干缩裂缝。

(四) 预应力张拉与孔道灌浆

1. 预应力张拉

张拉前需标定设备(误差≤1%),采用“双控法”(张拉力为主,伸长值校核),程序为“0→0.1σ_{con}→1.0σ_{con}(持荷2min锚固)”。

例如:某桥梁设计张拉力190kN,张拉前标定显示“190kN对应压力表读数41MPa”。实际张拉时,张拉力偏差≤3%,实际伸长值149mm(理论145mm),偏差+2.7%,符合要求,梁体受力均匀。

2. 孔道灌浆

张拉后24小时内灌浆,采用水灰比0.4–0.45的水泥浆(掺10%膨胀剂),压力0.4–0.6MPa。

例如:某工程采用真空辅助灌浆技术,先抽真空至–0.08MPa,再加压灌浆(压力0.5MPa)。钻芯检测显示,孔道灌浆密实度达99%,有效避免了预应力筋锈蚀,运营6年后无异常。^[3]

三、后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用中的常见问题及解决措施

(一) 预应力筋张拉异常

1. 张拉力不足

张拉力不足会导致混凝土预压应力不够,影响结构承载能力,常见原因包括:张拉设备密封件老化、预应力筋与孔道卡顿、锚具安装歪斜。

例如:某25m简支梁桥张拉时,12束钢绞线中有3束张拉力仅达设计值(180kN)的80%。检查发现千斤顶活活塞密封件磨损(使用超过500次未更换),导致液压油泄漏,实际张拉力不足。更换密封件并重新标定后,张拉力偏差控制在±2%内。解决措施:张拉设备每200次张拉或6个月标定一次,密封件定期更换(建议每300次);穿束前用通孔器清理孔道杂物,曲线段孔道可预先涂抹专用润滑剂;锚具安装时用水平尺校准,确保与预应力筋轴线垂直(偏差≤2°)。

2. 伸长值异常

实际伸长值与理论值偏差超±6%时,需立即停工排查,常见原因包括:预应力筋弹性模量偏差、孔道摩阻过大、测量方法不规范。

例如:某30m连续梁张拉时,设计伸长值150mm,实际仅132mm(偏差–12%)。检测发现孔道摩阻系数达0.3(设计

0.2)，因波纹管安装时局部弯折（曲率半径偏小）导致。通过增加5%张拉力（从195kN至205kN），伸长值修正为147mm（偏差-2%），符合要求。解决措施：钢绞线进场抽检弹性模量（每批3盘），偏差超5%时重新计算理论伸长值；张拉前对长孔道（>50m）或曲线段孔道进行摩阻测试，根据结果调整张拉力；采用“初应力→终应力”分段测量法，用百分表（精度0.01mm）记录伸长值，避免目测误差。^[4]

（二）孔道灌浆不密实

1. 灌浆材料问题

灌浆材料配合比不当（如水灰比过大、外加剂掺量错误）会导致泌水、离析，形成孔道空洞。

例如：某桥梁灌浆时，水泥浆水灰比达0.5（规范0.4-0.45），且未掺膨胀剂，3天后检查发现孔道顶端出现2cm厚积水层，水泥浆泌水率达8%（规范≤3%）。返工采用水灰比0.42、掺10%膨胀剂的水泥浆，真空辅助灌浆后密实度达标。解决措施：灌浆前进行配合比试配，控制水灰比0.4-0.45，泌水率≤3%，3h内泌水全部被吸收；选用P.O42.5级水泥，掺加高效减水剂（掺量3%-5%）和微膨胀剂（限制膨胀率0.02%-0.03%）。

2. 灌浆工艺问题

灌浆压力不足、排气不畅、孔道堵塞会导致灌浆不连续，形成局部空洞。

例如：某工程灌浆时，压力表显示压力仅0.3MPa（设计0.5MPa），且排气孔未出浆。检查发现灌浆泵叶片磨损，压力不足，同时孔道内有混凝土残渣堵塞。清理孔道后更换灌浆泵，压力提升至0.5MPa，排气孔连续出浆30s后关闭，确保密实。解决措施：灌浆泵需满足“空载压力≥0.8MPa”，灌浆时保持压力0.5-0.7MPa；孔道最高点设排气孔（直径≥20mm），出浆口安装阀门，确保浓浆连续排出后关闭；张拉后24小时内完成灌浆，避免孔道内预应力筋锈蚀。^[5]

（三）混凝土质量缺陷

1. 蜂窝麻面

混凝土振捣不密实、模板漏浆会导致表面蜂窝麻面，影响结

构耐久性。

例如：某箱梁顶板浇筑时，因振捣器插入深度不足（未达下层混凝土），表面出现2m²蜂窝（深度5-10mm）。凿除松散混凝土后，用C50细石混凝土（掺微膨胀剂）修补，表面涂刷水泥基渗透结晶涂料，确保防水性。解决措施：振捣器按“快插慢拔”操作，插入间距≤50cm，振捣时间20-30s/点，直至表面泛浆；模板拼接处贴密封胶条（厚度5mm），对拉螺栓加止水垫，浇筑前做闭水试验（24h不渗漏）。

2. 裂缝

混凝土收缩、温差过大、张拉应力超标会引发裂缝，需分阶段控制。

例如：某桥梁腹板浇筑后3天，表面出现3条长度6m、宽度0.2mm的干缩裂缝，因养护不及时（夏季高温未覆盖洒水）导致。采用环氧树脂浆液低压注浆（压力0.2MPa）封闭裂缝，后期覆盖土工布保湿养护14天，裂缝未扩展。解决措施：浇筑后12小时内覆盖保湿，夏季每2小时洒水1次，冬季采用蒸汽养护（温度梯度≤20℃/h）；张拉时严格控制应力（超张拉不超过105%σ_{con}），避免局部应力集中；裂缝宽度>0.2mm时，采用压力注浆修补；<0.2mm时，涂刷环氧树脂封闭。^[6]

四、结语

后张法预应力混凝土桥梁施工技术在现代桥梁建设中具有不可替代的重要作用。通过深入了解其施工技术原理与优势，严格把控施工关键技术要点，有效解决施工过程中出现的常见问题，能够确保桥梁工程的质量和安。在未来的桥梁建设中，随着材料技术和施工工艺的不断发展，后张法预应力混凝土桥梁施工技术也将不断完善和创新，为交通事业的发展提供更加坚实的支撑。同时，施工人员应不断提高自身技术水平和质量意识，加强施工过程中的质量控制，推动后张法预应力混凝土桥梁施工技术的科学应用和发展。

参考文献

- [1] 张双科. 后张法预应力箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 江西建材, 2023, (3): 378-380.
- [2] 涂健, 赵体波, 雷俊卿. 预应力混凝土连续箱梁裂缝产生原因及预防措施研究 [J]. 铁道建筑, 2021, 61(10): 31-34+39.
- [3] 姚志安, 范立朋, 陆学村, 姚响宇. 基于锚下有效预应力检测的预应力后张法施工质量控制 [J]. 中外公路, 2020, 40(4): 203-207.
- [4] 胡民建. 后张法预应力混凝土 T 梁施工技术研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(03): 112-113+115.
- [5] 杨博. 后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究 [J]. 交通世界, 2021, (16): 114-115.
- [6] 杨晓军. 后张法预应力箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 智能城市, 2021, 7(06): 119-120.