

高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用分析

刘 纲

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610200)

摘 要 后张法预应力混凝土施工技术因其能有效增强桥梁结构的抗裂性能、承载能力及耐久性, 在高速公路桥梁建设领域应用十分广泛, 已成为大跨度、重载高速公路桥梁施工中的核心技术之一。本文围绕后张法预应力混凝土桥梁施工的全流程, 详细讲解了施工准备、预应力筋制作与安装、孔道成型、混凝土浇筑与养护、预应力张拉、孔道压浆与封锚等关键施工技术, 明确了各施工环节的操作要点、技术参数以及质量控制标准, 以期为高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工提供参考。

关键词 高速公路; 后张法; 预应力混凝土; 桥梁施工; 质量控制

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.019

0 引言

随着我国高速公路网络的持续完善, 交通流量呈现大幅增长态势, 重载、高速行驶工况对桥梁结构的承载能力、抗裂性能及耐久性提出了更为严格的要求。传统钢筋混凝土桥梁存在自重偏大、抗裂性能不佳、跨度难以提升等短板, 已经无法满足高速公路桥梁大跨度、轻量化、长寿命的施工建设需求。后张法预应力混凝土技术的核心原理是在混凝土构件浇筑成型后向预应力筋施加预拉力, 使混凝土在使用阶段始终处于受压状态, 以此有效抵消荷载作用产生的拉应力, 进而显著增强桥梁结构的抗裂性、承载能力和刚度, 同时减轻结构自重, 节约建材用量, 延长桥梁使用年限, 成为高速公路桥梁建设中必不可少的核心施工技术。本文结合高速公路桥梁施工的实操经验, 对后张法预

应力混凝土施工技术的实际应用展开详细探讨。

1 后张法预应力混凝土桥梁施工准备工作

施工准备作为后张法预应力混凝土桥梁施工的前提和基础, 施工单位需先组织技术人员熟悉施工图纸与规范, 结合高速公路 I 级荷载特点核对设计参数, 通过全面技术交底明确岗位职责与操作标准, 再结合现场地形、地质条件优化方案, 编制张拉、压浆等专项方案并经监理审批后实施^[1]。材料管控需严把进场检验关, 优先选用 Φ s15.2 mm、抗拉强度 $\geq 1\ 860$ MPa 的高强度低松弛钢绞线, 配套合格夹片式锚具与 $\Phi 50 \sim \Phi 150$ mm 规格波纹管, C50 及以上高强度混凝土与专用压浆剂需按规范抽样检测, 确保各项指标达标 (详见表 1)。同时, 提前检修调试张拉、压浆、浇筑等核心设备, 千斤顶与压力表每 6 个月校验一次, 智能压

表 1 原材料及设备规格要求一览表

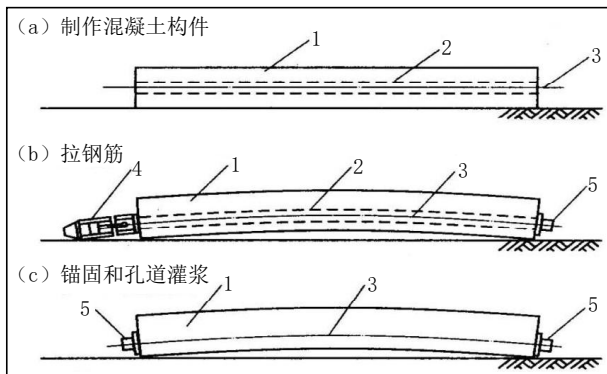
材料	规格
预应力钢绞线	1×7 结构; 标准强度 1 860 MPa; 低松弛高强度; 直径常规为 15.20 mm
锚具、夹具和连接器	静载锚固效率系数 ≥ 0.95 ; 总应变 $\geq 2.0\%$; 同一套锚具零件尺寸偏差 ≤ 0.2 mm
波纹管	塑料或金属材质; 常用内径 50 ~ 90 mm; 接头搭接长度 ≥ 30 cm
水泥	P.0 42.5 级及以上; 压浆用水泥强度等级不低于 42.5
混凝土骨料	碎石粒径 5 ~ 25 mm (连续级配); 中粗砂
张拉设备	压力表精度不低于 1.0 级; 量程为张拉控制应力的 1.5 ~ 2.0 倍; 标定有效期 ≤ 6 个月或 200 次

作者简介: 刘纲 (1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 公路与桥梁施工技术。

浆机、电动穿束机等设备需满足精度要求。施工现场需平整场地、搭设碗扣式支架并预压,安装钢模板并校验偏差;测量放线采用全站仪定位,水准仪控制高程,准确放出桥梁轴线、孔道位置、预应力筋定位点等,确保施工精度。

2 后张法预应力混凝土桥梁关键施工技术

后张法预应力混凝土桥梁施工的核心流程为:预应力筋制作与安装、孔道成型、混凝土浇筑与养护、预应力张拉、孔道压浆与封锚,施工单位需严格把控各环节施工细节和技术参数,确保工程建造质量(见图1)。



(注: 1-混凝土构件; 2-预留孔道;
3-预应力筋; 4-千斤顶; 5-锚具)

图1 预应力混凝土后张法生产示意图

2.1 预应力筋制作与安装

预应力筋的制作与安装工作需要施工单位重点管控制作、编束、穿束三个重要节点,其间预应力筋制作选用砂轮切割机展开切割作业,下料长度需按公式精确运算:

下料长度 = 孔道长度 + 2 × (锚具厚度 + 千斤顶工作长度 + 外露长度)

以某35 m跨径高速路箱梁桥为例,它的孔道长度为35 m,锚具厚度为10 cm,千斤顶工作长度为60 cm,外露长度为30 cm,经计算下料长度为 $35 + 2 \times (0.1 + 0.6 + 0.3) = 37$ m。在实际施工中,单根钢绞线长度偏差严格控制在 ± 15 mm之内,以保证下料精确度契合设计标准。

预应力筋编束时,施工人员需把切割完结钢绞线归纳平整,每间隔1.5 m用18号铁丝绑扎成束,绑扎务必牢固,用来防范穿束时钢绞线束散开。与此同时,钢绞线束两端应安装导向帽以方便穿束操作,编束结束后需针对每束预应力筋标注编号,确保与对应孔道位置一一对应^[2]。

穿束作业可划分为人工穿束与机械穿束两种方式。

针对短孔道(它的长度小于30 m),灵活地运用人工穿束,而长孔道(长度达到50 m)就选用电动穿束机展开牵引穿束,穿束开始以前要将孔道内杂物彻底清理干净。同时,检查孔道能否畅通无阻,在穿束的过程之中需维持缓慢且匀速的状态,穿束以后要检查预应力筋的安装位置,保证它与孔道轴线保持一致,两端外露的长度要契合筹划要求。

2.2 孔道成型

孔道成型是确保预应力筋可以顺利穿入、孔道压浆趋于密实的核心工序。目前高速公路桥梁施工中主要采用波纹管成孔法,施工单位需融合桥梁结构形式以及预应力筋的布置要求合理选用波纹管的规格型号及布置方式^[3]。

波纹管安装前,施工人员需参照相关依据施工图纸放出孔道定位点,用定位钢筋把波纹管固定住,定位钢筋间距不能大于1.0 m,曲线段定位间距不得大于0.5 m,定位钢筋要与桥梁主体钢筋焊接牢,防止浇筑混凝土的时候移位,波纹管连接灵活地运用专用接头,接头长度 ≥ 200 mm,在接头处合理地使用密封胶带周密缠绕,以防止混凝土浆渗入孔道。

孔道坡度按设计要求设置,一般不小于0.5%,便于压浆时排出孔道内空气和多余浆体,确保压浆密实。孔道成型后,需进行密封性检查,采用0.5 MPa压力空气试压,保压3分钟压力降不超过10%为合格,若发现泄漏,及时修补。同时,在孔道两端设置压浆孔和排气孔,压浆孔设置在孔道最低点,排气孔设置在孔道最高点,便于后续压浆施工。

2.3 混凝土浇筑与养护

混凝土浇筑与养护需确保混凝土强度和密实度,为预应力施加提供良好的结构基础,避免因混凝土强度不足或收缩开裂影响预应力效果^[4]。混凝土采用搅拌站集中拌制,严格按配合比配料,搅拌时间不少于90 s,确保搅拌均匀,混凝土运输采用混凝土搅拌运输车,运输过程中保持搅拌状态,避免离析。浇筑采用泵送浇筑,浇筑顺序遵循“从一端向另一端、分层浇筑、连续推进”的原则,分层厚度不超过30 cm,采用插入式振捣器振捣,振捣间距控制在振捣棒作用半径1.5倍以内,振捣至混凝土表面不再下沉、不冒气泡、泛出水泥浆为止,避免过振或漏振,防止混凝土出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷。

在浇筑过程中,施工单位需安排专人监护预应力筋和波纹管,避免振捣器碰撞预应力筋和波纹管,防止波纹管破损、预应力筋移位。浇筑完成后,及时进

行表面抹平、压光，减少表面收缩裂缝。混凝土养护采用覆盖土工布洒水养护，养护时间不少于 14 天。同时，制作同条件养护试块，每浇筑一批次混凝土制作 3 组试块，用于测定混凝土实际强度，作为预应力张拉的依据，预应力张拉需在混凝土强度达到设计强度的 80% 以上、弹性模量达到设计值的 90% 以上方可进行。

2.4 预应力张拉

预应力张拉作为后张法施工的核心工序，张拉前，施工人员需先检查混凝土强度和弹性模量，确认符合张拉要求；检查预应力筋、锚具安装情况，确保位置准确、固定牢固；检修张拉设备，校验千斤顶和压力表；清理锚具表面杂物，涂抹润滑剂，便于夹片夹持。

张拉作业采用双控法施工，以张拉力控制作为主要手段，伸长值校核作为辅助措施，张拉控制应力严格按照设计要求确定，通常取预应力筋抗拉强度标准值的 0.75 倍，比如 $\Phi_s15.2$ mm 规格的钢绞线，其张拉控制应力设定为 1 395 MPa。张拉顺序需严格遵循“对称张拉、分批张拉”的原则，对于箱梁桥而言，应先张拉腹板部位的预应力筋，再张拉顶板和底板的预应力筋；先张拉短束预应力筋，再张拉长束预应力筋且整个张拉过程需对称于桥梁轴线进行^[5]。

张拉施工分为四个阶段逐步推进：一是将预应力筋张拉至控制应力的 10%，主要目的是调整预应力筋的松紧程度；二是从控制应力的 10% 逐步提升至 80%，每级张拉增量控制在 20% 控制应力，每完成一级张拉后需持荷 2 分钟，仔细观察桥梁结构变形情况及预应力筋的受力状态；三是将预应力筋张拉至设计控制应力后持荷 5 分钟，确保预应力筋的应力处于稳定状态；四是缓慢卸载千斤顶，依靠夹片自动完成锚固作业。

2.5 孔道压浆与封锚

孔道压浆作业前，施工人员需彻底清理孔道内的杂物和积水，采用高压空气对孔道进行吹扫，同时检查压浆设备的运行状态，确保设备正常工作。

压浆作业采用智能压浆设备，实行一端压浆、另一端排气的施工方式，压浆压力控制在 0.5 ~ 0.7 MPa 之间，压浆速度控制在 1 ~ 2 m/min。当排气孔排出的浆体与进浆口浆体的浓度一致、且无气泡冒出时立即关闭排气孔，继续保持压浆作业，维持压力稳定 3 分钟，确保孔道内浆体填充密实，无空隙、无空洞。压浆作业完成后需及时清理压浆孔和排气孔的残留浆体，避免浆体凝固后影响后续工序。

压浆完成后，待浆体强度达到设计强度的 70% 以上方可进行封锚。封锚前，清理锚具表面杂物和多余

浆体，对预应力筋外露部分进行防腐处理（涂抹防腐涂料），然后安装封锚模板，浇筑封锚混凝土，封锚混凝土强度等级不低于 C40，浇筑后及时进行养护，养护时间不少于 7 天。

3 后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用效果

某高速公路跨河大桥（主跨 40 m 预应力混凝土连续箱梁）施工中采用本文所述后张法施工技术，从原材料进场检验到张拉、压浆等关键工序，逐一落实管控要求。经现场检测，该项目原材料检验合格率达到 100%，孔道位置偏差全部控制在 ± 3 mm 以内，张拉伸长值偏差均处于 $\pm 6\%$ 的规范允许范围，孔道压浆密度经超声波无损检测全部达标，同条件养护试块强度完全满足张拉施工要求。成桥后，通过静载试验、挠度长期监测等手段验证，桥梁各项性能指标均符合设计及规范标准，桥面线形平顺，无任何裂缝、渗水等质量病害，截至目前已通车三年，桥梁结构状态始终稳定，充分验证了该后张法施工技术的可靠性、实用性和适用性，可为同类高速公路桥梁施工提供现场实践参考。

4 结束语

后张法预应力混凝土施工技术作为高速公路桥梁建设中的核心技术，凭借其能提升桥梁结构抗裂性、承载能力和耐久性的优势，在大跨度、重载高速公路桥梁工程中得到广泛应用。在实际施工过程中，施工单位需严格遵循设计要求和规范规定，做好施工准备工作，规范各关键工序的施工操作，确保施工质量。同时，随着施工技术的不断发展，施工单位还需不断优化施工工艺，引入智能化施工设备（智能张拉、智能压浆设备等），有效提升施工效率和施工质量，为我国高速公路交通基础设施建设高质量发展提供技术支撑。

参考文献：

- [1] 张卫华, 张海波. 预应力混凝土桥梁后张法技术应用[J]. 江苏建材, 2025(03):109-111.
- [2] 李金龙. 后张法预应力混凝土桥梁施工技术应用研究[J]. 运输经理世界, 2025(18):90-92.
- [3] 成松. 基于后张法预应力的高速公路桥梁混凝土施工技术[J]. 水泥, 2025(04):84-86.
- [4] 夏育龙. 新机场高速公路工程预应力混凝土连续箱梁后张法施工技术[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(09):131-135.
- [5] 代勤飞. 高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工技术与应用[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(22):193-196.