

预应力混凝土桥梁施工技术要点研究

那杨杰

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020033

摘 要 : 预应力混凝土桥梁凭借其跨越能力强、承载性能优、耐久性好等特点,在现代交通工程中占据重要地位。本文围绕预应力混凝土桥梁施工技术要点展开研究,从材料选择与质量控制、施工工艺关键技术、施工质量检测与病害防治等方面进行详细阐述,结合实际工程案例分析各环节技术应用的核心要点,旨在为同类桥梁施工提供技术参考,推动预应力混凝土桥梁施工技术的规范化与高效化发展。

关 键 词 : 预应力混凝土桥梁; 施工技术; 材料控制; 工艺要点; 质量检测

Research on Key Points of Prestressed Concrete Bridge Construction Technology

Na Yangjie

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

Abstract : Prestressed concrete Bridges occupy an important position in modern transportation engineering due to their strong spanning capacity, excellent load-bearing performance and good durability. This article focuses on the key points of construction technology for prestressed concrete Bridges, elaborating in detail from aspects such as material selection and quality control, key technologies of construction processes, construction quality inspection and disease prevention and control. It also analyzes the core points of technology application in each link by combining actual engineering cases, aiming to provide technical references for the construction of similar Bridges. Promote the standardized and efficient development of prestressed concrete bridge construction technology.

Keywords : prestressed concrete bridge; construction technology; material control; key points of the process; quality inspection

前言

随着我国交通基础设施建设的快速发展,预应力混凝土桥梁因能有效解决普通钢筋混凝土桥梁在大跨度、高荷载条件下的开裂问题,被广泛应用于公路、铁路等工程领域。其通过预先对混凝土结构施加应力,抵消荷载作用产生的拉应力,显著提升了桥梁的结构性能和使用寿命。然而,预应力混凝土桥梁施工技术复杂,涉及材料、工艺、设备等多个环节的协同配合,任何环节的疏漏都可能影响桥梁的安全性与耐久性。因此,深入研究预应力混凝土桥梁施工技术要点,结合实际案例总结经验,对保障工程质量、降低施工风险具有重要意义。本文基于多年工程实践,从材料选择、施工工艺、质量检测等方面系统分析预应力混凝土桥梁施工的关键技术,为相关工程提供实践指导。

一、预应力混凝土桥梁材料选择与质量控制

材料是保证预应力混凝土桥梁结构性能的基础,其质量直接影响施工效果和桥梁使用寿命。预应力混凝土桥梁施工中涉及的主要材料包括预应力钢材、混凝土、锚具及其他辅助材料,需针对各类材料的特性制定严格的质量控制标准。

(一) 预应力钢材的选择与质量控制

预应力钢材是传递预应力的核心材料,其性能直接决定结构的预应力效果。目前常用的预应力钢材主要有预应力钢丝、钢绞

线和预应力螺纹钢筋,选择时需结合桥梁跨度、荷载等级等工程要求确定。

材料选择要点:对于大跨度桥梁,通常选用高强度低松弛钢绞线,其抗拉强度可达1860MPa,具有良好的柔韧性和松弛性能,能长期保持预应力稳定性。例如:某跨径150m的连续梁桥,采用 ϕ s15.2mm低松弛钢绞线,单束由7根钢丝组成,满足了结构对预应力值的长期保持要求。^[1]

质量控制措施:预应力钢材进场时需核出厂合格证、材质证明书,并按规范进行抽样检验,重点检测抗拉强度、屈服强

度、伸长率及松弛性能。如某工程中，一批钢绞线抽样检测发现松弛率超标（标准要求1000h松弛率 $\leq 2.5\%$ ，实测为3.2%），经追溯为生产工艺缺陷，最终作退货处理，避免了因材料问题导致的结构安全隐患。此外，钢材储存需防潮、防锈，存放于干燥通风的仓库，露天堆放时需覆盖防雨布，防止锈蚀影响性能。

（二）混凝土的配合比设计与质量控制

预应力混凝土需具备高强度、高密实性和良好的工作性，以承受预应力张拉产生的压应力，并减少收缩徐变对预应力损失的影响。

配合比设计要求：混凝土强度等级通常不低于C40，大跨度桥梁多采用C50-C80高性能混凝土，需通过配合比设计实现高强度、低水化热、高耐久性的目标。配合比设计时，应合理选择水泥、骨料、掺合料及外加剂，例如：某高铁桥梁采用C60混凝土，水泥选用P.O42.5R硅酸盐水泥，掺入粉煤灰和矿粉作为掺合料（取代率分别为20%和15%），既降低了水化热，又提高了混凝土的密实性和抗渗性。^[2]

质量控制措施：混凝土原材料需严格检验，粗骨料宜选用连续级配的碎石，粒径控制在5-25mm，含泥量 $\leq 1\%$ ；细骨料采用中砂，细度模数2.6-3.0，含泥量 $\leq 3\%$ 。混凝土搅拌时需严格控制水胶比（通常 ≤ 0.45 ）和坍落度，例如：某预制箱梁施工中，混凝土坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$ ，保证了浇筑时的流动性和密实性。同时，需做好混凝土的养护工作，采用覆盖洒水或蒸汽养护，确保强度增长符合设计要求，减少早期收缩裂缝。

（三）锚具、夹具及连接器的质量控制

锚具、夹具及连接器是预应力体系的重要组成部分，用于固定预应力钢材并传递预应力，其性能需满足强度高、锚固可靠、变形小的要求。

类型选择与适配性：锚具类型需与预应力钢材匹配，钢绞线常用夹片式锚具（如YM型锚具），预应力钢丝多采用墩头锚具，而预应力螺纹钢筋则适配螺母锚具。例如：某预制T梁工程采用夹片式群锚，每个锚具由锚板、夹片组成，单孔锚固1根钢绞线，通过夹片与钢绞线的摩擦力实现锚固。

质量检验标准：锚具进场时需进行外观检查（无裂纹、变形）、硬度检验（夹片洛氏硬度HRC55-65）及静载锚固性能试验（效率系数 ≥ 0.95 ，总应变 $\geq 2.0\%$ ）。某工程中，一批锚具夹片硬度检测发现部分数值低于HRC55，经重新热处理后复检合格，避免了锚固失效风险。

二、预应力混凝土桥梁施工工艺关键技术

预应力混凝土桥梁施工工艺复杂，需严格控制模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑、预应力张拉及孔道压浆等环节，确保各工序衔接有序，满足设计要求。

（一）模板工程施工要点

模板是保证混凝土结构尺寸和形状的关键，其刚度、强度和稳定性直接影响结构外观质量和尺寸精度。

模板设计与选型：根据桥梁结构形式选择合适的模板类型，

例如：简支梁桥常用组合钢模板，连续梁桥多采用挂篮模板或移动模架。某跨径50m的预制箱梁采用定型钢模板，面板厚度6mm，加肋筋采用10号槽钢，确保模板在混凝土浇筑时无变形。

安装与拆除要求：模板安装需保证轴线位置、高程准确，接缝严密（缝隙 $\leq 2\text{mm}$ ），防止漏浆。安装完成后需进行预压试验，消除非弹性变形，例如：某挂篮施工中，对模板进行1.2倍设计荷载预压，测得弹性变形量8mm，为后续高程控制提供依据。模板拆除需待混凝土强度达到设计值的75%以上（悬臂构件需达到100%），遵循“先支后拆、后支先拆”的原则，避免损伤结构。^[3]

（二）钢筋与预应力孔道施工技术

钢筋骨架是混凝土结构的受力骨架，预应力孔道则是预应力钢材的通道，两者施工质量需严格控制。

钢筋绑扎与连接：钢筋绑扎需保证间距、保护层厚度符合设计要求，例如：某箱梁底板钢筋间距设计为150mm，施工中采用定位卡具控制，偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内。钢筋连接优先采用机械连接（直螺纹套筒）或焊接，直径 $\geq 22\text{mm}$ 的钢筋采用直螺纹连接，接头强度不低于母材强度，某工程中钢筋直螺纹接头抽样试验合格率100%，满足受力要求。

预应力孔道布置与安装：孔道采用金属波纹管或塑料波纹管，安装时需固定牢固，避免浇筑混凝土时移位。孔道坐标偏差应控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内，曲线孔道需保证平滑过渡。例如：某连续梁桥预应力孔道采用 $\phi 90\text{mm}$ 金属波纹管，每50cm设置一道定位钢筋，确保孔道线形符合设计曲率，为后续穿束和张拉创造条件。^[4]

（三）混凝土浇筑与养护工艺

混凝土浇筑需保证密实性和均匀性，养护则需确保混凝土强度正常增长，减少收缩裂缝。

浇筑顺序与振捣控制：混凝土浇筑应分层进行，分层厚度 $\leq 300\text{mm}$ ，采用插入式振捣器振捣，振捣时间控制在20-30s（至混凝土表面泛浆、无气泡）。例如：某桥墩承台浇筑时，分3层浇筑，每层厚度2m，振捣棒插入下层混凝土50mm，确保层间结合紧密。大体积混凝土浇筑需采取温控措施（如预埋冷却水管），控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ ，某主墩承台施工中，通过循环水降温，将最高温升控制在 50°C 以内，避免了温度裂缝。

养护方法与时间：混凝土浇筑完成后12h内覆盖保湿，采用洒水养护（普通混凝土 $\geq 7\text{d}$ ，预应力混凝土 $\geq 14\text{d}$ ）。某预制梁场采用蒸汽养护，控制升温速度 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$ ，恒温温度 $\leq 60^\circ\text{C}$ ，确保混凝土早期强度快速增长，满足张拉条件。^[5]

（四）预应力张拉施工技术

预应力张拉是预应力混凝土桥梁施工的核心环节，其施工质量直接决定结构预应力值的建立效果。

张拉设备校验与准备：张拉设备（千斤顶、油泵、压力表）需定期校验（每6个月或200次张拉），确保精度（误差 $\leq \pm 2\%$ ）。某工程中，一台千斤顶经校验发现压力表读数与实际拉力偏差3%，重新标定后投入使用。张拉前需检查混凝土强度（达到设计值的80%以上）、孔道畅通情况及锚具安装质量。

张拉工艺与控制：采用“双控法”控制张拉（应力控制为

主，伸长值校核为辅），张拉顺序遵循“对称张拉、分批张拉”原则。例如：某连续梁桥腹板束张拉时，先张拉腹板两侧对称束，再张拉中间束，每束张拉分4级（0→20%→50%→100%），持荷2min后锚固。实测伸长值与理论值偏差需控制在±6%内，某工程中一束钢绞线实测伸长值比理论值大8%，经检查发现孔道摩阻系数偏大，调整张拉控制应力后符合要求。

（五）孔道压浆与封锚施工要点

孔道压浆可防止预应力钢材锈蚀，同时将预应力传递至混凝土结构，封锚则保证锚具部位的耐久性。

压浆材料与工艺：采用强度等级≥M50的水泥浆，水胶比0.26-0.28，掺入高效减水剂和阻锈剂。压浆前需用清水冲洗孔道，排除积水和杂物，采用真空辅助压浆工艺（真空度≥-0.06MPa），压浆压力控制在0.5-0.7MPa，确保孔道内水泥浆饱满。某箱梁孔道压浆后，通过超声波检测发现一处空洞，经钻孔补压后修复。

封锚施工要求：封锚前需清理锚具表面，切除多余钢绞线（保留长度≥30mm），采用与梁体同强度等级的混凝土封锚，厚度≥100mm，确保锚具完全包裹，例如：某工程封锚混凝土采用C50微膨胀混凝土，减少收缩裂缝，提高耐久性。

三、预应力混凝土桥梁施工质量检测与病害防治

施工质量检测是保障桥梁结构安全的重要手段，需通过全过程检测及时发现问题并采取防治措施，避免病害扩大。

（一）施工过程质量检测

施工过程中需对各工序进行实时检测，确保符合设计和规范要求。

混凝土性能检测：在混凝土浇筑时制作标准养护试块和同条件养护试块，检测立方体抗压强度、弹性模量及抗渗等级。例如：某桥墩混凝土同条件试块7d强度达到设计值的85%，满足张拉条件。同时，采用回弹法、钻芯法抽查实体强度，某箱梁实体回弹强度推定值为58MPa（设计C50），符合要求。

预应力张拉参数检测：实时记录张拉过程中的应力、伸长值、持荷时间等参数，绘制张拉曲线，对异常数据及时分析。某工程中，一束钢绞线张拉至控制应力时，伸长值突然增大，经检查发现锚具夹片打滑，更换锚具后重新张拉合格。

（二）常见施工病害及防治措施

预应力混凝土桥梁施工中常见病害包括混凝土裂缝、预应力

损失过大、孔道堵塞等，需针对性防治。

混凝土裂缝防治：塑性收缩裂缝可通过及时覆盖保湿、减少浇筑速度预防；温度裂缝可采用分层浇筑、通水冷却控制内外温差。某大体积承台施工中，因浇筑速度过快产生表面裂缝，采用表面覆盖薄膜+洒水养护，7d后裂缝闭合。

预应力损失控制：预应力损失主要包括锚具变形损失、孔道摩阻损失、松弛损失等。通过选用低松弛钢绞线、提高孔道平整度（减少摩阻）、采用超张拉（1.03倍控制应力）等措施减少损失。某工程中，通过优化孔道线形，摩阻损失从15%降至8%，提升了预应力效果。

孔道堵塞处理：施工中需避免波纹管破损（如采用套管保护接头），若发生堵塞，可采用通孔器疏通或钻孔处理。某箱梁孔道因漏浆堵塞，经定位后钻孔，清理杂物后重新压浆。

（三）成桥后质量检测

成桥后需进行全面检测，评估结构性能是否满足设计要求。

外观与尺寸检测：检查结构表面是否有裂缝、蜂窝、麻面等缺陷，测量结构轴线、高程、断面尺寸。某桥梁成桥后检测发现一处腹板有0.2mm宽裂缝，采用压力注浆封闭处理。

结构性能试验：对重要桥梁进行静载试验和动载试验，检测结构在荷载作用下的应变、挠度及动力特性。某跨径100m的连续梁桥静载试验中，跨中最大挠度25mm（设计允许值30mm），应变值符合理论计算，结构工作性能正常。^[6]

四、结语

预应力混凝土桥梁施工技术是一项系统性工程，需从材料选择、工艺控制、质量检测等多环节进行严格管理。本文通过分析材料质量控制要点，详细阐述模板工程、钢筋施工、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工艺，并结合实际案例总结常见病害防治措施，强调了各环节协同配合的重要性。在实际工程中，应根据桥梁结构特点和工程条件，灵活应用施工技术，不断优化施工方案，加强全过程质量管控，以确保预应力混凝土桥梁的安全性、耐久性和经济性。未来，随着新材料、新工艺、新设备的不断涌现，预应力混凝土桥梁施工技术将向智能化、精细化方向发展，为我国交通基础设施建设提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]高利军.关于预应力混凝土桥梁施工技术要点[J].黑龙江交通科技,2021,44(9):138-139.
- [2]孙宗军,段宝福.宁杭客运专线预应力混凝土桥梁施工关键技术[M].中国建材工业出版社,2021.
- [3]《城市桥梁预应力施工技术标准》(T/CECS1919-2025)[S].2025.
- [4]弓扶元,黄哲,潘钻峰,等.环境湿度影响下大尺寸结构预应力损失及挠度变化的多场多尺度分析[J].工业建筑,2024,54(10):1-6.
- [5]吴琦华.谈后张法预应力混凝土桥梁的施工工艺[J].居舍,2022(34):46-48.
- [6]廖志鹏.桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固技术[J].智能城市,2021,7(04):25-26.DOI:10.19301/j.cnki.znecs.2021.04.011.