

公路工程桥梁施工中预应力技术的质量控制要点

李红森

广州花都城兴建设有限公司，广东 广州 510800

摘要：预应力技术在公路桥梁施工中扮演着至关重要的角色，其质量直接影响桥梁结构的安全性、耐久性和承载能力。在施工过程中，材料选择、张拉工艺以及灌浆密实度等因素均需严格把控。由于预应力技术涉及隐蔽工程的施工，一旦出现质量问题，后期修复难度极大，甚至可能引发严重的安全隐患。因此，建立完善的质量控制体系，从设计到施工全流程进行精细化监管，是确保预应力技术成功应用的关键所在。

关键词：公路工程桥梁；预应力技术；质量控制；要点

0. 引言

随着现代桥梁工程向大跨度、轻量化方向发展，预应力技术的应用愈发广泛，同时也对施工质量控制提出了更高要求。张拉力的精准控制、锚固系统的可靠性以及预应力筋的防腐蚀措施均是施工中的核心环节。若管理不到位，极易导致预应力损失超标、结构裂缝等质量问题。因此，施工过程中必须严格执行标准化作业规范，加强关键工序的监测与验收，以确保预应力体系的长期稳定性和桥梁整体性能。

1. 预应力技术概述

预应力技术是现代桥梁工程中的关键主动控制技术，其核心原理是在混凝土构件承受使用荷载之前，预先对其施加压应力，用以全部或部分抵消外荷载产生的拉应力。这种技术充分利用了混凝土抗压强度高而抗拉强度低的材料特性，以及高强度钢材的抗拉性能。通过张拉并锚固预应力筋，使混凝土处于预期的受压状态，从而显著提高构件的抗裂性能、刚度和承载能力。根据施工工艺的不同，主要分为先张法和后张法两大类。先张法指在浇筑混凝土前张拉钢筋，依靠钢筋与混凝土之间的粘结力传递预应力，适用于工厂化生产的预制构件。后张法则是在混凝土达到强度后，在结构预留孔道中张拉预应力筋，并通过锚具锚固于构件两端，预应力通过锚具传递，更适合现场施工的大跨度复杂结构。该技术的有效应用能减轻结构自重、增大桥梁跨径、改善结构使用性能，并提升耐久性，是实现现代大跨径预应力混凝土桥梁设计与建造目标的重要保障。

2. 预应力施工质量常见问题分析

2.1 预应力孔道堵塞与压浆不密实

预应力孔道堵塞是后张法施工中的严重质量问题，其根源在于管道安装定位不牢固、接头处理不当或混凝土浇筑时振捣工艺不合理导致管道挤压变形或破裂，进而被水泥浆液侵入。孔道堵塞会直接阻碍钢绞线的正常穿束，甚至导致预应力筋无法张拉，造成严重的工程延误与损失。另一方面，压浆不密实则主要表现为孔道内存在未填充饱满的孔隙或气泡。这通常源于浆体配合比设计不当、流动性差、泌水率过大，或是压浆压力与稳压时间控制不足。不密实的压浆无法为预应力筋提供全长的防腐保护，同时也会削弱钢绞线与混凝土之间的粘结效应，严重影响结构耐久性与抗疲劳性能，在交替荷载作用下可能引发预应力筋的早期锈蚀和脆性断裂。

2.2 预应力张拉力值与伸长量偏差

张拉过程中实际控制力值与理论计算值出现偏差，或实测伸长量与理论伸长量超出允许范围，是直接威胁结构安全的核心问题。力值偏差常因千斤顶等张拉设备未按规定定期进行配套标定，其系统误差随时间累积增大所致，也可能由于油压表读数误判或油路泄漏引起。而伸长量偏差，无论是过大还是过小，其背后原因更为复杂。可能包括孔道摩阻系数取值与实际情况不符、锚具及垫板安装位置存在偏差产生附加摩阻、钢绞线本身弹性模量的离散性、甚至是张拉工艺顺序错误导致结构受力不均。这些偏差意味着预应力筋建立的有效应力未达到设计预期，可能造成结构下挠过大或抗裂性能不足。

2.3 锚固区混凝土开裂与锚具失效

锚固区域作为集中承压的关键部位，是应

力最为复杂的区域，极易出现局部混凝土压碎、崩裂或放射性裂缝。此类问题主要源于结构设计考虑不周，如螺旋筋等加强钢筋配置不足或布置不当，未能有效扩散和承担巨大的局部压应力。施工中，混凝土实际强度未达到张拉要求、垫板安装不平整致使应力集中、或过早进行张拉操作，均是导致混凝土开裂的直接诱因。与此同时，锚具本身的质量缺陷，如夹片硬度不足产生塑性变形、锚环尺寸超差、或安装时未能保证夹片平齐和顶紧，都会引起张拉后巨大的预应力损失，甚至在极端情况下发生锚具滑丝或崩脱的灾难性后果。

2.4 预应力筋的腐蚀与耐久性损伤

预应力筋长期处于高应力状态，对其防腐保护的要求极为苛刻，任何细微的损伤都可能演变为严重的耐久性问题。腐蚀的发生可能始于多种环节：孔道压浆不密实为水分和侵蚀性介质提供了通道；预应力筋在运输、存放或穿束过程中因防护不当已存在初始划伤或锈蚀；压浆所用浆体含有超量的氯离子等有害成分，直接诱发钢筋电化学腐蚀。此外，锚头部位的防腐密封处理失效，也是水分侵入的常见起点。预应力筋的腐蚀不仅会显著减小其有效截面积，更危险的是可能导致无明显变形征兆的脆性断裂，这种损伤具有极强的隐蔽性，对结构的长期安全构成极大威胁。

3. 公路桥梁预应力施工关键技术

3.1 预应力孔道定位与安装技术

预应力孔道的精准定位与牢固安装是确保预应力筋线形符合设计、有效建立预应力的基础。施工前需根据设计图纸精确计算孔道在各关键点的三维坐标，采用专用的定位钢筋或钢筋网片进行固定，确保孔道在浇筑混凝土过程中不发生位移、变形或上浮。定位钢筋的间距需经过严格计算，在平弯和竖弯段应适当加密，以抵抗混凝土冲击。管道接头处应采用专用连接器密封严密，防止水泥浆渗入。整个安装过程必须保证管道内壁平滑顺畅，无死弯或凹陷，为后续穿束和张拉作业创造良好条件，避免因孔道偏差引起过大的摩阻损失。

3.2 高性能压浆材料的配制与灌注技术

孔道压浆是保护预应力筋免受腐蚀、保证其与混凝土协同工作的关键工序。高性能压浆材料的配制要求严格控制水胶比，并掺入专用外加剂以改善浆体的流动性、充盈度、微膨胀性和抗泌水性。浆体应具备足够的可泵性，同时在灌注完成后能尽早形成致密实体。灌注作业需采用连续、匀速的工艺，从孔道最低点的

压浆口压入，最高点的排气孔排出均匀浓浆后封闭。压浆过程需保持足够的压力并维持一定时间，确保浆体充满整个孔道空间，排除气泡，形成完整保护层。

3.3 预应力筋张拉程序与双控技术

预应力筋的张拉必须遵循严格的分级、对称、缓慢匀速的张拉程序，以减少不均匀应力对结构的不利影响。张拉作业的核心是实施应力与伸长值的双重控制。应力控制是通过精密校准的千斤顶和油压表，准确施加设计要求的张拉力。伸长值控制则是通过测量各级张力下预应力筋的实际伸长量，并与基于材料弹性模量计算的理论值进行校核。当实际伸长量与理论值偏差超出允许范围时，应立即暂停作业，查明原因，可能是孔道摩阻异常、材料参数不符或张拉设备故障等问题，确保建立的预应力准确可靠。

3.4 锚固系统安装与封锚防护技术

锚固系统的正确安装是保证预应力有效建立并长期维持的最终环节，安装前需清理锚垫板表面并检查锚具质量。安装时应确保工作锚板与锚垫板紧密贴合并对中，夹片安装平整均匀。张拉完成后，应及时进行机械自锚或顶压锚固，并随后对锚具和外露钢绞线进行严格的防腐封锚处理。封锚应采用专用混凝土或防腐砂浆，将锚具及钢绞线端头完全封闭在保护层内，隔绝外界水分和腐蚀介质。封锚混凝土的强度及密实度需满足设计要求，这是保证结构端部耐久性的重要措施。

3.5 真空辅助压浆工艺技术

对于超长孔道或复杂线形孔道，为克服传统压浆工艺易产生气泡和不密实的缺陷，可采用真空辅助压浆技术。该工艺在压浆前，使用真空泵将孔道内的空气抽出，使其形成负压状态。然后在孔道真空状态下，将精心配制的水泥浆从另一端压入。由于孔道内外压力差的作用，浆体能更顺畅、快速地充满整个孔道，有效减少浆体内部的气泡和水分积聚，显著提高压浆的饱满度和密实度。此技术对设备密封性、浆体性能及操作连贯性要求极高，是提升预应力结构耐久性的有效手段。

4. 质量控制措施

4.1 建立全过程质量管理体系

质量控制的首要措施是构建一个覆盖材料、人员、设备、工艺和环境的全过程质量管理体系。该体系应明确从原材料进场验收、工序交接检验到最终成品验收的全流程质量标准和责任分工。通过制定详细的作业指导书和质量检查表，

将质量控制点嵌入每道关键工序，如上道工序未经验收合格不得进入下道工序。同时建立完整的质量记录和档案管理制度，确保所有操作环节都有据可查，实现质量问题的可追溯性。定期组织质量分析会，对体系运行效果进行评估和改进，形成持续优化的闭环管理。

4.2 强化原材料与构配件进场检验

预应力工程所用材料质量直接决定结构安全，必须建立严格的进场检验制度。对预应力钢绞线、锚具、夹片、波纹管等主要构配件，应核对其质量证明文件，并按规定频次进行抽样复验，重点检测力学性能、尺寸偏差和防腐涂层质量。水泥、外加剂等压浆材料需检验其化学成份和物理性能是否符合配比设计要求。所有材料应实行分区分类存放管理，采取可靠的防潮、防锈、防污染措施。建立不合格品处理程序，对检验不合格的材料坚决清退出场，从源头杜绝质量隐患。

4.3 严格施工工艺过程控制

施工过程中的精细化控制是保证质量的核心，在预应力筋安装阶段，需重点控制孔道坐标定位精度和成型质量，定期检查定位钢筋间距和牢固程度。张拉作业前必须确认混凝土强度达到设计要求，检查锚垫板与孔道对中情况。张拉过程中严格执行双控原则，同步记录油压表读数和伸长值，发现异常立即停工分析。压浆工序应严格控制浆体性能指标，监督压浆压力、稳压时间等工艺参数。对关键工序实行旁站监督，确保操作人员严格按照批准的施工方案作业。

4.4 推行标准化作业与人员培训

施工质量的稳定性依赖于操作人员的专业

技能和规范意识，应编制通俗易懂的标准化作业手册，将复杂的工艺要求转化为明确的操作步骤和注意事项。定期组织专项技术交底和技能培训，使作业人员熟练掌握设备操作要点、工序质量控制标准和常见问题处理方法。对张拉工、压浆工等关键岗位实行考核认证上岗制度。通过开展技能比武、质量标兵评选等活动强化质量意识，建立有效的奖惩机制，促使施工人员自觉遵守工艺纪律，减少人为因素导致的质量波动。

4.5 完善成品保护与质量检测评估

预应力施工完成后必须落实系统的成品保护措施，张拉锚固后应及时进行封锚防腐处理，避免预应力筋端头锈蚀。在后续施工中采取有效措施防止重物碰撞锚固区。结构整体完工后应进行全面的质量检测与评估，包括采用无损检测手段检查孔道压浆密实度，通过长期监测预应力结构的关键部位应力和变形数据，验证预应力建立效果与设计预期的一致性。建立竣工后的定期回访与监测机制，收集使用阶段的性能数据，为质量改进积累实践经验。

5. 结束语

预应力技术的质量控制是公路桥梁施工的重要组成部分，其精细化程度直接决定了工程最终的质量水平。通过科学的施工管理、严谨的技术交底以及全过程的质量监督，可以有效规避潜在风险，保障桥梁结构的可靠性和耐久性。未来，随着新材料、新工艺的不断发展，预应力技术的质量控制体系也将持续优化，为工程质量的提升提供更加有力的支撑。

参考文献：

- [1] 傅希升. 预应力技术在公路桥梁施工中的应用分析 [J]. 运输经理世界, 2021,(35):119-121.
- [2] 杨志远. 浅析预应力技术在公路桥梁施工中的应用 [J]. 建筑技术开发, 2021,48(19):96-97.
- [3] 刘旭. 预应力技术应用在公路桥梁工程施工中的优势研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2021,44(07):148-149.
- [4] 边维豪. 道路桥梁施工中预应力技术施工质量管理方法 [J]. 交通世界, 2021,(16):149-150.
- [5] 樊世兵. 公路工程道桥施工中预应力施工技术的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2021,(03):157-158+161.
- [6] 寇鹏. 浅析公路桥梁施工中预应力技术 [J]. 建筑技术开发, 2021,48(02):112-113.
- [7] 谢天科. 公路桥梁施工中预应力技术措施探讨应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2021,44(01):134-135.
- [8] 张庆, 项艇. 预应力技术在公路桥梁施工中的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2020,43(09):163+165.
- [9] 李剑桥. 探析公路桥梁施工中预应力技术的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2020,43(07):134-135.
- [10] 全红霞, 宋薇, 田忠贵. 公路工程道桥施工中预应力施工技术的应用 [J]. 冶金管理, 2020,(11):58+61.

作者简介：李红森（1988.4—），男，汉，河南周口，本科，工程师，研究方向：公路工程。