

公路现浇箱梁预应力张拉施工精度控制方法研究

周明辉, 王骞

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ETQM.2026020034

摘 要 : 公路现浇箱梁身为桥梁工程中的核心承重构件, 其施工质量径直决断桥梁的承载本领与使用年限, 而预应力张拉施工是保障现浇箱梁构造性能的关键工序, 张拉精度则为该工序的核心控制指标。本文把公路现浇箱梁预应力张拉施工作为研究对象, 从预应力张拉的施工原理起始, 深入剖析影响张拉精度的核心要素, 包含预应力筋特性、张拉设备性能、施工工艺参数及环境状况等。在此根基之上, 提出有针对性的精度控制办法, 覆盖施工前的设备校准与材料检验、施工中的工艺优化与过程监测以及施工后的质量复核等全流程管控举措。结合实际施工场景验证显示, 所提控制办法可有效提升张拉施工精度, 降低预应力损耗, 为公路现浇箱梁施工质量保障提供技术支撑。

关 键 词 : 公路现浇箱梁; 预应力张拉; 精度控制; 施工工艺; 预应力损耗

Research on the Precision Control Method of Prestressed Tensioning Construction for Highway Cast-in-place Box Girders

Zhou Minghui, Wang Qian

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

Abstract : As a core load-bearing component in bridge engineering, the construction quality of highway cast-in-place box girders directly determines the load-bearing capacity and service life of the bridge. Prestressed tensioning construction is a key process to ensure the structural performance of cast-in-place box girders, and tensioning accuracy is the core control index of this process. This paper takes the prestressed tensioning construction of highway cast-in-place box girders as the research object. Starting from the construction principle of prestressed tensioning, it deeply analyzes the core elements affecting tensioning accuracy, including the characteristics of prestressed tendons, the performance of tensioning equipment, construction process parameters and environmental conditions, etc. Based on this foundation, targeted precision control methods are proposed, covering the entire process control measures such as equipment calibration and material inspection before construction, process optimization and monitoring during construction, and quality review after construction. Verification based on actual construction scenarios shows that the proposed control method can effectively enhance the accuracy of tensioning construction, reduce prestress loss, and provide technical support for ensuring the quality of highway cast-in-place box girder construction.

Keywords : highway cast-in-place box girder; prestressed tensioning; precision control; construction technology; prestress loss

引言

在公路桥梁工程建设当中, 现浇箱梁凭借其跨越本领强、结构刚度大、适应复杂地形等优势, 被广泛运用于跨径较大的桥梁构造之中。预应力张拉施工借助对预应力筋施加预定应力, 使箱梁形成合理的应力状态, 进而有效提升构造的抗裂性和承载本领, 是现浇箱梁施工中的关键环节。张拉精度径直决定预应力施加成效, 若精度欠缺, 容易造成箱梁出现裂缝、变形等质量问题, 甚至对桥梁的使用年限和运营安全产生影响^[1]。目前, 公路现浇箱梁预应力张拉施工中依旧存在预应力损耗过大、张拉应力偏差超标的问题, 多数是由于精度控制不到位。所以, 深入研究预应力张拉施工精度控制办法, 明确影响精度的关键要素, 制定科学的控制策略, 对提升现浇箱梁施工质量具备重要现实意义。本文结合现浇箱梁预应力张拉施工实践, 从施工全流程层面剖析精度控制要点, 提出系统性的精度控制办法, 为实际施工提供参照。

一、公路现浇箱梁预应力张拉施工原理及精度要求

（一）施工原理

公路现浇箱梁预应力张拉施工的核心原理是借助张拉设备对预应力筋施加拉力，使其产生弹性形变，之后利用锚具把预应力筋固定在箱梁两端，使箱梁混凝土受到预压应力。在混凝土达到设计强度之后，预应力筋的弹性回缩趋势受到锚具和混凝土的约束，将预压应力传递给混凝土构造，进而使箱梁在承受外部荷载之前形成有利的应力状态。依据张拉方式的差异，可分为先张法和后张法，公路现浇箱梁施工中多采用后张法，也就是先浇筑箱梁混凝土，在混凝土中预留预应力筋孔道，待混凝土达到设计强度之后，穿入预应力筋进行张拉，张拉完成之后对孔道进行压浆封堵。该方式可有效避免施工过程中预应力筋受到损害，适应现浇箱梁复杂的施工环境^[2]。

（二）精度要求

预应力张拉精度主要借助张拉应力把控和伸长值把控两个指标呈现，二者彼此校验，保证预应力施加契合设计规定。张拉应力精度要求层面，实际张拉应力与设计应力的偏差需控制在 $\pm 5\%$ 以内，该现象是因应力偏差过大会造成箱梁应力状况偏离设计预期，当应力过高时，可能使预应力筋超出屈服强度进而产生永久变形；当应力过低时，则无法达成预期的加固成效，容易造成结构开裂。伸长值精度要求层面，实际伸长值与理论伸长值的偏差需控制在 $\pm 6\%$ 以内。伸长值为预应力筋受力变形的直接展现，通过对比实际与理论伸长值，可及时察觉张拉流程中的异常情形，像孔道阻塞、预应力筋卡滞等，进而调整施工操作，保障张拉精度。除此之外，张拉顺序、持荷时长等施工参数亦需严格依照设计要求，其精度把控同样对整体张拉效果产生影响，需纳入精度控制范围^[3]。

二、公路现浇箱梁预应力张拉施工精度影响因素剖析

（一）预应力筋及锚具材料特性因素

预应力筋和锚具作为张拉施工的核心材料，其自身特性对张拉精度的影响具备基础性功效。预应力筋的弹性模量、截面面积、屈服强度等参数与理论计算值的偏差，会直接造成实际伸长值与理论值不一致。比如，当预应力筋实际弹性模量低于理论值时，在相同张拉应力作用下，实际伸长值会大于理论值，若仅以应力控制张拉，容易造成实际预应力不足。锚具的锚固性能同样关键，锚具的锚固效率系数、夹片硬度等指标不达标，会在张拉流程中出现预应力筋滑丝、锚固失效等状况，造成预应力损耗，降低张拉精度。另外，预应力筋在存储和运输流程中若出现锈蚀、弯折等损伤，会改变其力学性能，进一步加重张拉精度偏差^[4]。

（二）张拉设备性能及校准因素

张拉设备包含千斤顶、油泵、压力表等，其性能稳定性和校准精度是保障张拉精度的关键。千斤顶的出力精度直接决定张拉应力的准确性，若千斤顶存在内漏、密封件老化等问题，会造成张拉流程中压力不稳定，出现应力波动。油泵的压力控制精度不足，同样会对千斤顶出力的稳定性产生影响。压力表作为压力监

测元件，其读数精度直接关联到张拉应力的控制，若压力表未定期校准，读数偏差会直接转化为张拉应力偏差。实践显示，未校准的压力表读数偏差可达 $5\% \sim 10\%$ ，远超规范允许的偏差范围，严重影响张拉精度。此外，张拉设备的配套性亦不可忽视，千斤顶与油泵型号不匹配，会造成压力传递效率降低，进一步对张拉精度产生影响^[5]。

（三）施工工艺及操作要素

施工工艺参数设定与现场操作规范程度为形成张拉精度的直接要素。张拉顺序规划欠缺合理，便会造成箱梁构造受力失去均衡，使得先实施张拉的预应力筋因构造产生变形而出现应力损耗情况。比如，倘若未依照对称张拉规则开展施工，箱梁会往一侧产生偏移，致使该侧预应力筋承受额外的弯曲应力，对张拉精度形成影响。张拉速度把控存在不当亦是重要影响要素，张拉速度过快会造成预应力筋受力不够均匀，出现局部应力产生集中现象，同时还会让压力表数值反馈产生滞后，难以精确掌控张拉应力；张拉速度过慢则会加大预应力筋的松弛损耗。持荷时长未达要求属于常见的操作难题，规范规定张拉至设计应力之后需进行持荷5—10分钟操作，以此减少预应力筋的松弛损耗，若持荷时长未达标准，松弛损耗会明显加大，造成实际留存预应力低于设计数值。除此之外，孔道压浆不够及时同样会对张拉精度产生影响，压浆出现延迟会使预应力筋长时间处于暴露状态，容易发生锈蚀情况，同时也会加大预应力筋的松弛损耗。

三、公路现浇箱梁预应力张拉施工精度控制途径

（一）施工前精度控制：加强材料检验与设备校验

施工之前的准备工作是保障张拉精度的根基，核心在于材料性能检验以及张拉设备校验工作。在材料检验层面，构建严格的预应力筋与锚具进场检验机制，针对每一批次进入现场的预应力筋，需要抽取样本对其弹性模量、截面面积、屈服强度等力学性能指标进行检测，保证各项指标与设计数值保持一致；对锚具需要开展锚固效率系数与极限拉力试验，试验达到合格标准之后方可投入使用。对于存储过程中的预应力筋，需要采取防潮、防腐蚀举措，防止出现锈蚀损伤情况，投入使用之前需要再次对其外观质量进行检查，若发现存在锈蚀、弯折等问题，及时更换。在设备校验方面，张拉设备需要定期开展整体校验，校验周期不得超过6个月，并且在使用过程中若出现设备故障、经过维修之后或者张拉次数超过300次，需要重新进行校验。校验过程需要由具备相应资质的专业机构来实施，运用标准测力仪对千斤顶出力情况进行标定，同时对压力表进行数值校验，建立校验档案，明确记录校验日期、校验结果以及责任人。另外，需要保证千斤顶与油泵进行配套使用，避免混合使用导致性能出现不匹配现象。

（二）施工中精度控制：优化工艺参数与加强过程监测

施工过程属于精度控制的关键环节，需要从工艺优化与过程监测两个方面着手，实现对张拉精度的动态控制。在工艺参数优化方面，首先需要依据箱梁构造特点与设计的要求，制定科学的张拉顺序，采用对称张拉原则，从箱梁两端向中间进行对称张拉

操作，或者从腹板向顶板、底板进行对称张拉操作，避免构造受力失去均衡。对张拉速度实施合理调控，将张拉速度调控于0.5~1.0MPa/s区间，使预应力筋受力达成均匀状态，让压力表读数呈现准确情形。对持荷制度予以严格执行，张拉至设计应力数值之后，使持荷时间维持5 ~ 10分钟范围，在此期间对压力表读数变化加以密切审视，若有压力下降状况出现，及时开展补张拉操作至设计应力水平。于过程监测层面，采用“以应力控制为主要方式、以伸长值校核为辅助手段”的双重控制模式，在张拉过程当中对张拉应力和预应力筋伸长值实施实时监测。张拉开展之前需对理论伸长值进行精确计算，理论伸长值的计算需将预应力筋弹性模量、截面面积、张拉控制应力、孔道长度等参数纳入考量范畴，保证计算结果具备准确性。在张拉过程中，每张拉至某一应力等级阶段，对对应的实际伸长值进行记录操作，并与理论伸长值开展对比工作，若偏差幅度超出 $\pm 6\%$ 界限，即刻终止张拉进程，对偏差成因展开分析探究。常见的偏差成因涵盖孔道堵塞现象、预应力筋卡死状况、设备故障问题等，针对不同成因采取相应处置举措，例如实施孔道清理作业、进行预应力筋位置调整、开展设备检修工作等，待问题获得解决之后再延续张拉操作。除此之外，需指派专人承担现场操作管理职责，操作人员需经由专业培训且考核合格之后方可上岗作业，确保操作过程具备规范性质。

（三）施工之后的精度把控：强化质量复核程序与后续养护工作

施工完毕后的质量复核流程和后续养护事项是保障张拉精度稳定特性的重要举措内容。在质量复核环节，张拉作业完成之后，需对张拉记录实施整理分析工作，核对实际张拉应力数值、伸长值数据与设计值之间的偏差情况，保证偏差处于规范允许范围之内。对锚具开展外观检查操作，查看是否存在滑丝现象、夹片松动问题等异常情形，若发现异常状况，及时采取补张拉操作或者实施锚具更换措施等处置手段。与此同时，需对箱梁结构进行外观检查工序，查看是否出现裂缝问题、变形情况等状况，若有裂缝现象出现，需对裂缝成因展开分析工作，判断其是否与张拉精度不足存在关联，并采取相应的加固举措。在后续养护方面，张拉作业完成之后需在24小时时间范围内完成孔道压浆工作，压浆材料选用水泥浆体，水泥浆体的水灰比需控制在0.4~0.45比例范围，保证压浆过程达到密实程度，防范预应力筋出现锈蚀问题和松弛现象。在压浆过程当中需对压浆压力数值和压浆量数据实时监测工作，确保孔道内部不存在空隙情况。此外，需加强箱梁混凝土的养护作业，使混凝土保持湿润状态，确保混凝土强度实现稳定增长态势，避免因混凝土收缩问题导致预

应力产生损失情况。

四、实践验证

为对本文所提精度控制办法的有效性加以验证，将某公路桥梁现浇箱梁施工作为实践客体，该桥梁属于单跨30m现浇连续箱梁，运用后张法开展预应力张拉作业，预应力筋选用 $\Phi_s15.2$ 钢绞线，设计张拉控制应力为1395MPa。在施工进程当中，严格依照本文提出的精度控制办法实施管理控制：施工之前对钢绞线以及锚具开展进场检验工作，保证其力学性能与设计要求相契合；对张拉设备进行整体校准操作，校准结果呈现出千斤顶出力偏差为1.2%，压力表读数偏差为0.8%，均与规范要求相符。施工之中采用对称张拉顺序，把张拉速度控制在0.8MPa/s，持荷时间为8分钟，对张拉应力和伸长值进行实时监测。张拉完毕之后，对张拉数据实施整理工作，结果显示实际张拉应力与设计应力的偏差处于 $\pm 2.5\%$ 以内，实际伸长值与理论伸长值的偏差处于 $\pm 3.0\%$ 以内，均比规范允许偏差范围更为良好。施工之后对箱梁结构进行外观检查事宜，未发现裂缝、变形等质量方面的问题，孔道压浆密实度检测获得合格结果。实践情况表明，本文所提出的精度控制办法能够有效提升公路现浇箱梁预应力张拉施工的精度，对施工质量起到保障作用。

五、结论

公路现浇箱梁预应力张拉施工精度是保障桥梁结构性能以及运营安全的关键所在，会受到材料特性、设备性能、施工工艺以及环境条件等诸多因素的影响。本文通过对影响张拉精度的核心因素进行深入剖析，搭建起全流程精度控制体系，提出了施工之前强化材料检验与设备校准工作、施工之中优化工艺参数与强化过程监测工作、施工之后加强质量复核与后续养护工作以及环境适应性控制的系统性办法。实践验证情况显示，该办法能够有效控制张拉应力和伸长值的偏差，减少预应力损失现象，提升施工质量水平。在实际施工活动中，需要结合工程的具体状况，灵活运用上述控制办法，加强对各个环节的管理控制，确保张拉精度与设计要求相符合。未来阶段可以进一步与智能化技术相结合，例如运用智能张拉设备来实现张拉过程的自动化控制以及数据的实时传输，提升精度控制的智能化程度，为公路桥梁工程施工质量的提升提供更为有力的技术方面的支撑。

参考文献

[1] 邓霖阳. 现浇箱梁施工技术在高速公路项目中的应用研究 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(16): 29-31.
[2] 王秋宏. 桥梁施工中现浇箱梁施工关键技术研究 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(10): 114-116.
[3] 翟晓冬. 公路桥梁现浇箱梁施工关键技术 [J]. 石河子科技, 2025, (02): 44-45.
[4] 于晓亮. 公路桥梁施工中现浇箱梁技术的应用与质控方法研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (02): 106-108.
[5] 吴晓杰, 张永康. 预应力混凝土现浇箱梁加固工程研究 [J]. 山东交通科技, 2024, (06): 97-99.