

桥梁预应力施工技术及优化研究

黎建华

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051

[摘要] 预应力工艺是当下桥梁建设中一项重要施工技术, 在建桥过程中, 采用预应力的方式可以抵抗住桥梁在投入使用之后所产生的拉力, 在很大程度上增强了桥梁整体的使用寿命以及抗裂性能。文章介绍了桥梁预应力施工技术的基本原理及流程, 详细探讨了预应力钢筋铺设、张拉过程管理、孔道灌浆以及锚具体系等一系列关键技术的操作要领, 结合桥梁预应力常见的质量问题对智能张拉设备的应用、高强度灌浆材料选择进行了讨论, 研究发现采用上述措施能够大大提高预应力工程的质量, 增强桥梁工程建设安全性和持久性。

[关键词] 桥梁工程; 预应力施工; 张拉工艺

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19543

中图分类号: TU757

文献标识码: A

Research on Bridge Prestressed Construction Technology and Optimization

LI Jianhua

Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430051, China

Abstract: Prestressed technology is an important construction technique in current bridge construction. During the bridge construction process, the use of prestressed can resist the tension generated by the bridge after it is put into use, greatly enhancing the overall service life and crack resistance of the bridge. The article introduces the basic principles and processes of bridge prestressed construction technology, and discusses in detail the operation essentials of a series of key technologies such as prestressed steel bar laying, tensioning process management, hole grouting, and anchor system. Combined with the common quality problems of bridge prestressed, the application of intelligent tensioning equipment and the selection of high-strength grouting materials are discussed. The study found that adopting the above measures can greatly enhance the quality of prestressed engineering, enhance the safety and durability of bridge construction.

Keywords: bridge engineering; prestressed construction; tensioning process

引言

预应力混凝土桥是我国公路桥梁主要结构方式之一, 但是在进行预应力施工时存在着梁场、施工现场及高空作业等不利因素, 其预应力分为钢绞线、螺纹粗钢筋等多种不同的材料种类, 张拉工艺又分为智能化张拉以及传统的张拉等方式, 情况较为复杂; 但是预应力值的准确把控直接影响到桥梁整体刚度, 还涉及桥梁结构安全问题, 因此做好原材料以及生产工艺的严格把控来保障预应力值的精准程度, 达到设计标准十分重要。伴随着我国城市化的进程加快以及交通运输事业的发展日新月异, 桥梁工程是城市交通路网的重要组成部分, 在保证交通便利的同时, 更加注重桥梁自身的质量和经济效益以及使用寿命年限等方面的问题。预应力技术可以增强建筑结构的耐久性及抗拉强度, 应用较为广泛, 有着很高的实用性, 本文将在

预应力施工技术基本原理的基础上对关键技术以及常见问题进行深入探讨并给出有效的对策建议。

1 桥梁预应力施工技术概述

预应力技术基本原理是先在结构受力前, 用张拉预先施加的预应力筋来给混凝土施加预压力, 在使用过程中产生的拉应力由一部分或者全部被预应力所抵消, 达到推迟开裂、增加结构强度和耐久性的效果。预应力系统根据施工方法的不同分为先张法以及后张法两种类型。先张法主要用于中小型构件预制生产, 而后张法则适用于大跨度桥梁结构。预应力工程主要工序有预应力筋的制作与安装、预留孔道、张拉过程、预留孔道灌浆及锚具固定等过程, 每一过程的质量控制都会影响到整个预应力的作用效果。预应力技术的应用可以增强桥梁的能力提高桥梁寿命已经慢慢地成为了桥梁工程方面重要的研究课题。

2 预应力施工关键技术分析

2.1 预应力筋的安装与定位技术

预应力筋的布置、固定是使预应力达到预期效果的基本要求。施工时应对应力筋的坐标位置加以严格控制以使其成型形状满足设计文件的要求,波纹管设置要保证其平直并保持良好的密闭性,接口部位要用胶带缠绕紧密,避免在混凝土浇筑过程中浆液进入管内导致管道堵塞;设置预应力筋的间距要均匀,曲线部分要适当加密以免由于混凝土浇筑引起的预应力钢筋偏位,锚垫板要正确设置好方向及位置,使其垂直于孔道中心线。

2.2 张拉工艺的控制与实施

张拉工艺是预应力施工的重要工序,直接影响预应力值是否到位的问题。张拉操作必须做到分阶段加荷以及均衡对称张拉的要求,同时还要把张拉力值及伸长量这两个控制点把握好。张拉的实际伸长量和计算伸长量之差应在 $\pm 6\%$ 之内,如果超出了这个范围需要停止张拉,并进行排查分析,表1列举了一般箱梁张拉控制参数作为参考。

表1 预应力张拉控制参数表

钢束编号	钢绞线根数	钢绞线根数	油表1读数 (MPa)	油表2读数 (MPa)	理论伸长值 (mm)
N1	5	976.5	32.4	31.8	198
N2	7	1367.1	45.2	44.5	202
N3	9	1757.7	58.1	57.3	206

预应力张拉时要分级施加预应力,可分为初应力10%,二级张拉50%,三级张拉100%,每级张拉完后记录伸长值读数,初应力阶段主要是使钢束松弛及检查锚具是否紧密,二级张拉要看锚具及夹片的状态,三级张拉到控制应力后应持荷5min,确认锚固良好后再进行卸载。张拉的顺序应该是先中后边、对称均衡,防止构件出现偏心受力的情况,多束预应力筋分批张拉时应注意后批次张拉对前批次已张拉束所形成的弹性压缩作用,通过合理的安排张拉次序或者采取超张拉补偿的方法使各束的有效预应力相同。人工施加预应力张拉易出现张拉不到位的问题,进而影响到预应力施工的质量,使用智能化张拉方式可同时对张拉力以及张拉伸长率进行双重监控,极大地提升了预应力筋张拉的精确度和工程结构的安全性。

2.3 孔道压浆技术与质量控制

孔道压浆是预应力施工最后一道重要过程,它对预应力钢材防腐及整个结构的安全有着重要作用,压浆材料要求有较好的流动性和较低的泌水性,有一定的微膨胀性和足够的强度。压浆前应将孔道中垃圾清除干净并使孔道处

于润湿状态,压浆时的压力建议值为0.5~0.7MPa,稳压时间为 $\geq 2\text{min}$ 。压浆时要一次连续完成不得中断,在孔道出口处见到浓浆流出后才能封堵。孔道压浆如果不密实会造成预应力钢筋出现腐蚀的情况,使建筑寿命大大缩短。压浆材料的质量好坏直接影响着压浆的效果。高强压浆材料采用降低水胶比、掺入高效减水剂以及微膨胀成分来达到压浆时初凝时间为10~17s左右水平;24h自由泌水率为0,28d抗压强度大于50MPa的要求。对于大跨径桥梁或者特殊构造可以使用C60-C100高性能灌浆料,28d抗压强度可以做到100MPa以上,大大增强了孔道充盈度及结构耐久能力。压浆工序:大循环压浆工艺运用高速循环注入配合自动恒压装置,能够充分排除掉孔道中的气体以及多余的水分等,使得浆体很好地附着于孔道周围以及预应力钢筋表面。检测表明,应用此技术之后压浆密实度能达到98%以上,大大减少了后期养护隐患并且节省了返修及维修费用,总施工成本可节约5%左右。

2.4 锚固体系的施工要点

锚具系统由锚具、夹片、锚垫板组成,锚具的质量以及装配工艺直接关系到预应力保持情况,锚具装配过程中一定要保证夹片分布均匀、锚垫板安装稳固密实、强度符合设计要求,在张拉完成以后及时进行封锚工序,锚头部分要使用同等级别的混凝土封闭,避免受潮问题的发生;锚具及其夹片硬度相适应也是至关重要的,现场安装之前需要对锚具外观进行检查防止出现裂缝或者氧化等问题。

3 预应力施工常见问题与影响因素

3.1 预应力损失的原因与对策

预应力损失是指预应力筋在施加预压和后期使用的过程中由于各种原因造成的预应力值下降的现象,而过高的预应力损失会对结构刚度及抗裂能力产生不良的影响,还会威胁到整个结构的安全。本文基于研究简支梁桥预应力损失过大的效应展开,从理论计算分析及实验检测相结合的方式出发,对各个因素影响预应力损失的程度以及具体数值进行解析,总结了三大类影响因素即摩擦损失、温差损失和弹性压缩损失,表2列出了所有预应力损失的种类、原因及预防措施。

各种类型的预应力损失不是单独存在的而是互相累积起来才对有效预应力大小造成影响,摩擦损失和锚下损失主要发生在预应力张拉过程中,可以通过提高施工技术水平来减少预应力损失;混凝土的收缩徐变损失以及由于混凝土的松弛造成的预应力损失都贯穿在整个结构受力的全寿命期之中,应该在使用材料与进行后期养护方面加强处理。经过详细的实验数据分析得出预制简支梁桥快速

施工法中的预应力损失量超出预期,在此基础上对于结构抗裂不利作用的早期放张、蒸汽养护等情况提出相应解决办法。工程现场要根据不同的预应力损失情况有针对性地进行预防处理,并结合智能化张拉设备对预应力张拉过程进行实时调节,保证有效预应力满足设计要求。

表2 预应力损失类型与控制对策

损失类型	产生原因	主要影响因素	控制对策
摩擦损失	孔道弯曲、管道偏差	曲率、摩擦系数、管道材质	优化线形、选用低摩阻管道、超张拉
锚固损失	锚具变形、钢筋回缩	锚具类型、锚下应力	选用优质锚具、控制锚固程序
弹性压缩损失	分批张拉、混凝土弹性变形	张拉顺序、混凝土弹性模量	合理确定张拉顺序、超张拉补偿
应力松弛损失	预应力筋自身特性	钢材种类、初始应力水平	选用低松弛钢绞线
收缩徐变损失	混凝土收缩、徐变	混凝土配合比、养护条件	优化配合比、充分养护

3.2 张拉不同步与伸长值偏差分析

张拉不均指同一水平截面上预应力筋张拉进度不同步或者一束两端张拉不同步,使构件受力不均匀而形成偏心受载或者产生附加应力。伸长量误差是衡量张拉精度高低的一个重要参数,其误差过大可能是由于锚具滑丝、管道摩阻力过大或者过小、混凝土弹性模量相差太大或者是机器出现故障等情况造成。施工过程中要做好伸长量实际测量值和理论计算值进行比较观察,发现问题及时纠正。

3.3 压浆不密实与预应力筋锈蚀问题

压浆不密实是预应力施工过程中较为潜在的质量问题,主要是指孔道内浆体填充不到位、有空腔或者有分隔离析的情况。传统的压浆方式存在孔道灌浆不充实、锚固稳定性较差等问题,影响施工进度,孔道中的缝隙给水分及腐蚀性的物质进入提供了入口,在长期的作用之下容易导致预应力钢筋在混凝土内部发生锈蚀,甚至会出现预应力钢筋的断裂情况。从检测结果看,预制梁压浆密闭率达到了98%以上,大大减少了后期的养护几率。

3.4 施工监测与数据反馈的不足

传统预应力施工方式监测方式较简单,主要是通过人力来观察油压表数值及测量伸长量,容易造成信息滞后、偏差较大、难以追踪等问题,在张拉过程中力值以及伸长量的信息不能够做到实时记录,出现问题不易察觉^[1];同时施工信息与设计标准之间缺少有效回路连接方式,无法为后续施工环节提供参考意见。智能张拉技术由原先简单

的液压数字式自动生成记录转换为现在的传感器力值管理,施工环境、施工需求、施工工艺都有了很大的改变。

4 预应力施工技术的优化策略

4.1 基于智能张拉系统的工艺优化

智能张拉装置是预应力工程施工的一大进步。它集成了传感器、自动控制系统以及数据管理系统,使得整个张拉流程可以实现全部自动化并且能够随时监控进度。为了使环东大道上寨大桥在预应力张拉过程中达到国家相关要求标准,本文选取环东大道上寨大桥项目中小箱梁预制预应力张拉作为试验对象,对智能张拉技术进行了深入的研究^[2]。从实验得出的结果来看,环东大道上寨大桥采用智能张拉技术之后很大程度上减少了人为主观判断失误和外界环境的干扰,完成了预应力张拉全环节的智能化操控。智能张拉系统分为数控张拉分系统、数据管理分系统以及辅助控制分系统三个部分,对各个部分进行了说明。使用智能张拉技术能很好地做到对张拉力张拉伸长量的双控,极大地提升了预应力筋张拉精度以及工程结构的安全性。系统有失电恢复,自我检测,温度调节,安全保障等一系列功能,还设有同步观测,自动警报,信息传输及远程监视的技术手段。智能张拉系统对于预应力损失的控制效果十分明显。根据设定好的摩阻力系数自动进行张拉力的调节,完成超张拉、锚固、锁定的整体补偿,保证有效预应力达标。相对传统的人工张拉,智能张拉系统把张拉力控制误差降至 $\pm 1\%$ 以内,伸长量精确到0.1mm级别,杜绝了锚具滑丝或者孔道摩阻力过大导致的问题出现,内置数据库管理系统可以实现对整个施工现场进行监控以及质量问题追溯,作为对工程质量检查的一个参考。从实际项目来看,使用智能张拉系统可以节省大约30%的张拉时间,减少50%左右的操作工人,在保证施工质量的前提下大幅提升了施工速度。

4.2 高性能压浆材料与工艺改进

高性能压浆材料应用是提高压浆质量的重要方式。高性能灌浆料具有流动性好、强度高、泌水少、无离析等优点。从C60到C100预应力管道灌浆料可以用于各种预应力结构管材的灌浆,而且28天可以达到100Mpa以上强度。而针对风电塔筒这类高强度结构可以用C105-C150超高强度灌浆料,具有超高强度,无泌水,不开裂,施工自动流动等优点。而在压浆方面,赣粤工程萍绕高速SSZ标项目部引进了预制梁快速封锚及大循环压浆新技术,解决了预制梁在生产过程中压浆不满、封锚不良等问题^[3]。此技术将高压压浆以及高效的锁固相结合,用智能化设备

进行高性能浆液高压灌入预应力管道的同时配合着专门的锁固器材准确地锁住预应力钢丝,从而完成由经验型施工向精准化生产的跨越转型,提高压浆工艺使返修率、修复费用下降,强化锚固使得材料浪费减少,项目的总成本下降大概 5 个百分点。

5 结语

预应力施工技术是桥梁工程安全可靠、持久耐用的基础,在这里着重总结了常见的预应力施工关键技术及问题产生的原因以及相应的解决措施。研究结果发现对预应力损失进行控制、提高张拉准确性和增大孔道的浆液饱满程度是改善预应力施工质量的有效方法。智能张拉系统利用自动化的操作方式和数字化的监测管理来减少人为主观误差带来的影响,从而使得张拉更加精确有力并且能够实时监控,高性能压浆材料的使用大大提升了预应力管道内

的充盈情况,增强了预应力钢筋的防护能力。随着信息技术以及智能化技术的进步,预应力施工也将朝着更高的质量和更高的速度进行发展。给桥梁工程的长久安全稳定运行打下良好基础。

【参考文献】

- [1]陈良树.桥梁施工中的预应力技术应用与优化研究[J].现代工程科技,2024,3(17):97-100.
- [2]谢克强.公路桥梁施工中预应力技术优化措施与质量管控研究[J].运输经理世界,2024(24):84-86.
- [3]岳鑫.公路桥梁施工中的预应力技术优化研究及应用[J].交通世界,2024(18):139-141.

作者简介:黎建华(1991—),男,湖北监利人,工程师。2018 年 6 月毕业于武汉理工大学道路与铁道工程专业,获硕士学位,现主要从事桥梁设计工作。