

预制 T 梁智能张拉预应力损失控制技术研究

楼浩天, 唐小倩

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ERA.2026050034

摘 要 : 预制 T 梁当作公路、铁路桥梁建设当中的核心构件存在着, 它的预应力施工质量直接决定了桥梁的承载能力、具备耐久性和拥有使用寿命。智能张拉技术依靠自动化、具备精准化的优势, 逐渐地替代掉传统人工张拉, 有效地解决掉人工操作所带来的误差问题, 不过在实际应用的时候, 预应力损失仍旧存在着, 要是控制得不好就会使得 T 梁出现开裂、产生下挠等病害, 影响到桥梁结构安全。本文结合预制 T 梁施工实际场景, 深入地分析智能张拉过程当中预应力损失的主要类型以及产生的原因, 重点去探讨有针对性的损失控制技术, 抛弃掉理论化、呈现空泛化的表述, 聚焦在施工一线能够操作、接地气的控制措施, 为预制 T 梁智能张拉施工当中预应力损失控制提供实践参考, 帮助提升预制 T 梁施工质量。

关 键 词 : 预制 T 梁; 智能张拉; 预应力损失; 控制技术; 施工实践

Research on Intelligent Tensioning Technology for Prefabricated T-beams to Control Prestress Loss

Lou Haotian, Tang Xiaochuan

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

Abstract : Prefabricated T-beams, as the core components in the construction of highways and railway bridges, have a significant impact on the bearing capacity, durability, and service life of the bridges. The quality of their prestressing construction directly determines these aspects. The intelligent tensioning technology, relying on its advantages of automation and precision, gradually replaces the traditional manual tensioning, effectively eliminating the errors caused by manual operations. However, in practical applications, prestress loss still exists. If not controlled properly, T-beams may develop cracks or exhibit deflection, thereby affecting the safety of the bridge structure. This paper, based on the actual construction scenarios of prefabricated T-beams, deeply analyzes the main types and causes of prestress loss during the intelligent tensioning process, and focuses on exploring targeted loss control technologies. It discards theoretical and overly generalized expressions and focuses on control measures that can be operated at the construction site and are practical. This provides practical references for controlling prestress loss in the intelligent tensioning construction of prefabricated T-beams and helps improve the construction quality of prefabricated T-beams.

Keywords : prefabricated T-beam; intelligent tensioning; prestress loss; control technology; construction practice

引言

在桥梁工程建设当中, 预制 T 梁因为结构简单、受力合理、施工方便等特点, 被广泛地应用在中小跨径桥梁建设当中^[1]。预应力施工是预制 T 梁生产的核心工序, 它的施工质量直接关联到 T 梁的结构性能和桥梁的运营安全。传统人工张拉方式依赖操作人员的经验, 存在着张拉力控制不准确、张拉速度不均匀、持荷时间不够等问题, 非常容易引发预应力损失, 导致 T 梁使用过程当中出现病害。所以, 结合施工实际, 深入地研究预制 T 梁智能张拉预应力损失的控制技术, 解决施工当中碰到的实际问题, 避免泛泛而谈, 具有重要的实践意义。本文基于一线施工经验, 分析预应力损失的主要类型以及成因, 提出切实可行的控制措施, 为实际施工提供指导。

一、预制 T 梁智能张拉预应力损失的主要类型及成因

（一）锚具变形及钢绞线内缩引起的预应力损失

从施工实际情况来看，它的成因主要有三点：一是锚具质量存在问题，部分施工单位为了降低成本，选用质量不符合标准的锚具，锚具材质不均匀、加工精度不够，锚固的时候变形量过大，进而增大预应力损失；二是锚具安装不正确，操作人员在安装锚具的时候，没有把锚具与钢绞线轴线对齐，或者锚具安装不紧密、存在缝隙，锚固的时候受力不均匀，导致变形和内缩量增大；三是钢绞线表面处理没有做到位，钢绞线表面存在油污、铁锈，锚具夹片与钢绞线之间的摩擦力不够，锚固的时候内缩量超出标准，引发预应力损失。这种损失看起来微小，但是累积起来会严重影响预应力施加的效果，特别是在多束钢绞线张拉当中，单束损失过大可能导致整体预应力分布不均匀^[2]。

（二）由钢绞线和孔道摩擦而引发的预应力损失情况

联系一线施工的实际经验，它的形成原因主要涵盖两个方面：一方面是孔道施工的质量存在问题，在进行波纹管安装的时候，因为定位没定准、固定得不够牢固，在浇筑混凝土的时候出现了偏移、发生了变形，使得孔道的轴线不顺畅，钢绞线和孔道内壁的接触面积变大了，摩擦力增强了；与此同时，要是波纹管接口的地方密封得不够严实，在浇筑混凝土的时候水泥浆渗进了孔道，凝固之后会和钢绞线粘在一起，进一步加大摩擦阻力，导致预应力损失增多^[3]。另一方面是钢绞线穿束施工方面的问题，在穿束的时候钢绞线出现了扭曲、缠绕的情况，或者钢绞线表面有毛刺、有凸起，穿进孔道之后和孔道内壁的摩擦力增大，在张拉的时候预应力损失变得更严重。除此之外，智能张拉的速度太快，也会使得钢绞线和孔道内壁的摩擦力一下子增大，增加损失的数量。

（三）由混凝土弹性压缩所引发的预应力损失情况

在智能张拉的过程当中，钢绞线被施加预应力之后，会对 T 梁混凝土产生挤压的力量，导致混凝土发生弹性压缩，这种压缩会让钢绞线的有效长度变短，进而引发预应力损失。这种损失和混凝土的性能、张拉的顺序紧密关联，是预制 T 梁预应力损失当中不可避免的一种，不过通过合理地控制能够把它降到最低^[4]。

（四）由环境因素所引发的预应力损失情况

温度的变化是主要的形成原因：智能张拉施工大多在露天梁场开展，主要是施工的时候环境温度波动比较大，钢绞线和混凝土的热胀冷缩系数不一样，会使得两者产生相对变形，进而引发预应力损失。举个例子，在高温天气的时候，钢绞线受热伸长，在张拉的时候施加的预应力会因为钢绞线的热胀而被抵消一部分，等温度降低之后，钢绞线收缩，预应力虽然有所恢复，但是没办法完全回到设计的数值；在低温天气的时候，混凝土强度增长得慢，弹性压缩量增大，同时钢绞线收缩，也会导致预应力损失增多。此外，湿度的变化也会对混凝土的性能产生影响，湿度不够会使得混凝土早期收缩得太快，和钢绞线之间的粘结力下降，间接加大预应力损失。

二、预制 T 梁智能张拉预应力损失的核心控制技术

（一）锚具及钢绞线相关损失的控制技术

针对锚具变形以及钢绞线内缩所引发的预应力损失，核心的控制要点是严格把好质量关、规范进行安装操作，从根源上减少变形和内缩的数量，具体的措施符合一线施工的实际情况，简单而且容易操作。一是严格把控锚具的质量，在施工之前，对进场的锚具进行全面的检查，查看锚具的合格证、检测报告，在现场抽样检查锚具的材质、加工的精度，杜绝使用质量不符合标准的锚具；对检查合格的锚具进行分类存放，避免受潮、发生锈蚀，在安装之前再次清理锚具表面的杂物，确保锚具干净、完好^[5]。

二是要对锚具安装操作进行规范，操作人员需要经过专业方面的培训，要对锚具安装的流程熟悉，在安装的时候要保证锚具和钢绞线的轴线达成对齐状态，锚具和 T 梁的端面紧密贴合，没有缝隙；在安装锚具夹片的时候，要保证夹片安装到合适位置、夹持得牢固，避免出现夹片松动、出现偏移这样的情况。三是要把钢绞线表面处理工作做好，钢绞线在进场之后，要及时把表面的油污、铁锈清除掉，采用砂轮切割的方式进行下料，避免气割、电焊切割对钢绞线表面造成损伤，要保证钢绞线表面是光滑的、没有毛刺；在穿束之前，要对钢绞线进行梳理操作，避免出现扭曲、缠绕的状况，要保证钢绞线是顺直的，增强和锚具夹片之间的摩擦力，减少内缩的量。除此之外，在智能张拉结束之后，要及时对锚具进行防护方面的处理，避免锚具出现变形，进一步减少预应力损失。

（二）孔道摩擦损失的控制技术

要对孔道施工质量进行提升，波纹管在进场之后，要检查其外观的质量、壁厚、刚度，杜绝使用破损、变形了的波纹管；在安装波纹管阀时候，采用定位钢筋来进行固定，要保证波纹管轴线是顺直的、定位是准确的，避免在浇筑混凝土的时候发生偏移、变形；在波纹管接口的地方采用专用接头来连接，密封要严密，防止水泥浆渗入孔道里面；在浇筑混凝土的时候，要避免振捣棒直接去撞击波纹管，防止波纹管出现破损，要是发现破损，要及时进行修补，保证孔道内壁是光滑的、通畅的。要对钢绞线穿束操作进行规范，在穿束之前，要根据 T 梁孔道的长度，精准地计算钢绞线下料的长度，避免因为下料过长或者过短而导致钢绞线扭曲、受力不均匀；在穿束的时候，采用人工和机械配合的方式，缓慢地穿入，避免钢绞线和孔道内壁发生剧烈的摩擦，同时要对钢绞线进行梳理，保证其是顺直的，减少摩擦的阻力。

（三）混凝土弹性压缩损失的控制技术

要对混凝土配合比以及养护工艺进行优化，根据预制 T 梁的设计要求，合理地混凝土配合比进行调整，选用强度等级合适的水泥、骨料，控制水胶比，增强混凝土的弹性模量，减少混凝土弹性压缩的量；在混凝土浇筑完成之后，要及时进行养护，采用覆盖保湿、洒水养护等方式，保证混凝土养护到位，提升混凝土早期的强度，避免因为混凝土强度不足而导致压缩量过大。要对智能张拉顺序进行规范，结合 T 梁钢绞线布置的情况，预设

合理的张拉顺序,采用对称张拉、分批张拉的方式,避免单束钢绞线张拉时混凝土受力不均匀;智能张拉系统需要严格按照预设顺序去执行,操作人员要全程进行监控,要是发现张拉顺序有异常,要及时停机进行调整,保证混凝土均匀受力,减少弹性压缩的损失。要合理地选择张拉时机,严格控制张拉的时机,等到混凝土强度达到设计要求之后,才可以进行智能张拉,避免过早张拉导致混凝土弹性压缩过大;在张拉之前,采用回弹仪检测混凝土强度,确认强度达标之后,再启动智能张拉系统,保证预应力施加和混凝土性能相匹配,减少弹性压缩的损失。

(四) 对由环境因素所引发的预应力损失开展控制的技术手段

要做到把环境监测工作做好,在预制梁场的地方设置用于环境监测的点,对环境的温度、环境的湿度所发生的变化进行实时的监测,依据监测得出的结果,合理地智能张拉施工的时间作出安排,防止在温度波动过大的状况下、高温的状况下、低温的状况下、高湿的状况下或者干燥的天气状况下开展张拉施工;要是必须在不利天气状况下进行施工,就需要采取具有针对性的防护方面的措施。采取针对温度的防护措施,在高温的天气状况下,对钢绞线以及波纹管实施遮阳覆盖的操作,避免阳光直接照射从而使得钢绞线因为受热而伸长;在低温的天气状况下,对 T 梁进行保温方面的处理,采用保温被来进行覆盖,让混凝土的温度得到提升,让混凝土弹性压缩的数量以及钢绞线收缩的数量减少;在张拉的过程当中,对钢绞线和混凝土的温度进行实时的监测,依据温度的变化情况,适当地对智能张拉参数进行调整,对因为温度变化而引发的预应力损失进行补偿。把湿度防护的工作做好,在干燥的天气状况下,对混凝土进行洒水养护的操作,让混凝土的表面保持湿润的状态,避免混凝土在早期收缩得过快;在雨天进行施工的时候,把防雨的措施做好,避免雨水对锚具、钢绞线以及波纹管进行浸泡,防止出现锈蚀的情况以及粘结力下降的情况,间接地让预应力损失减少。

三、施工质​​量​​管​​控​​的​​要​​点​​内​​容

(一) 对人员培训工作进行加强

智能张拉施工对于操作人员的专业能力有着比较高的要求,操作人员不但要对智能张拉系统的操作流程熟悉,而且还要掌握预应力损失的控制要点。所以,在施工之前,需要对操作人员进行全面的培训,对智能张拉系统的操作方法、预应力损失的类型以及成因、控制措施等内容进行讲解,结合一线施工的案例,让操作人员的实践能力得到提升;在培训之后,进行考核,考核合

格之后才可以上岗进行作业,避免因为操作人员操作不恰当而导致预应力损失出现增加的情况。

(二) 对设备管控工作进行强化

智能张拉设备的性能直接对预应力施加的精度以及预应力损失控制的效果产生影响。在施工之前,对智能张拉系统、千斤顶、锚具等设备进行全面的检查以及调试,确保设备的性能处于良好的状态、运行处于正常的状态;定期对设备进行维护保养以及校准的操作,及时对设备的故障进行排查,避免因为设备故障而导致张拉参数出现偏差,从而引发预应力损失;在设备使用的过程当中,操作人员严格按照操作规范进行操作,避免因为违规操作而使得设备受到损坏,从而对施工质量产生影响。

(三) 把过程监测的工作做好

在智能张拉施工的过程当中,需要把全程监测的工作做好,通过智能张拉系统对张拉力、张拉速度、持荷时间、钢绞线伸长量等参数进行实时的监测,和预设的参数进行对比,要是发现有偏差,就及时进行调整,确保张拉施工符合设计的要求;同时,安排专门的人员对锚具变形、钢绞线内缩、混凝土变形等情况进行监测,对相关的数据进行记录,及时发现预应力损失出现异常的情况,采取具有针对性的处理措施,避免损失出现扩大的情况。

四、结论

在关于相关情况得出的结论里,在预制 T 梁进行智能张拉的这一过程当中,预应力筋产生的损失主要能够分成这么四种类型,也就是由锚具产生变形以及钢绞线出现内缩所造成的损失、钢绞线和孔道之间发生摩擦而带来的损失、混凝土产生弹性压缩引发的损失、环境方面的因素所导致的损失。其产生的原因和设备的质量情况、施工的工艺方法、材料的性能状况、环境条件和情形、人员的操作行为等存在着紧密的关联。结合在一线开展施工的实际状况,通过严格把控锚具和钢绞线的质量情况、规范进行安装和穿束的操作行为,对孔道的施工质量进行优化处理、减少所存在的摩擦阻力,对混凝土的性能进行优化改善、规范开展张拉的顺序安排和时机选择,做好对环境的监测工作、采取具有针对性的防护措施,与此同时加强对人员的培训工作、强化对设备的管控力度、做好对过程的监测工作,能够有效地对预应力的损失进行控制,把预制 T 梁智能张拉施工的质量进行提升,避免 T 梁出现开裂、下挠等相关病害问题,保障桥梁结构的安全状况和使用的寿命长度。

参考文献

- [1] 冷桂生. 预制 T 梁中智能张拉压浆系统的应用 [J]. 交通世界, 2023, (22): 150-152.
- [2] 成晓强. 智能张拉技术在预制 T 梁施工中的应用 [J]. 山西建筑, 2022, 48 (14): 144-146.
- [3] 步文敏. 智能张拉、压浆技术在预制 T 梁中的应用 [J]. 中小企业管理与科技, 2022, (04): 194-196.
- [4] 靳李三. 智能张拉技术在 30m 预制 T 梁施工中的应用 [J]. 交通世界, 2022, (Z1): 105-106+120.
- [5] 陈有强. 预制 T 梁的智能张拉和大循环智能压浆技术 [J]. 四川水泥, 2021, (12): 48-49.