

# 市政桥梁施工中预应力技术的优化与实践研究

文 / 申超 中铁十七局集团建筑工程有限公司

**摘要：**城市化的加速使市政桥梁建设项目日益增多。预应力技术是市政桥梁施工中的关键技术，对提高桥梁结构的承载能力、耐久性和使用寿命具有重要意义。本文阐述了预应力技术的基本原理和特点，分析了这一技术在桥梁施工中的应用优势，探讨了当前预应力技术在施工中存在的问题，提出了相应的优化措施。本文还结合实际工程案例，对预应力技术进行了实践探讨，期望为更广泛的市政桥梁施工建设提供参考。

**关键词：**市政桥梁；预应力技术；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.063

## 引言

市政桥梁作为交通枢纽的关键，必须加强市政桥梁的建设，提高桥梁的耐久性 & 承载力等。为了改善桥梁结构的服役性，需在桥梁建设中，给结构预先施加压应力，其目的是提高桥梁结构的抗裂性能、承载，从而减小构件的弹性变形和塑性变形的同时，在市政桥梁建设中应用预应力技术，可减少裂缝的产生，提高结构的耐久性<sup>[1]</sup>。而以往采用传统化的预应力技术，其技术从裂缝控制到耐久性和施工效率等方面存在一定局限性，而影响桥梁的施工效果<sup>[2]</sup>。因此，本文需重点探究预应力技术的优化，从桥梁预应力技术的经济性、安全性、可持续发展方面进行优化，提高桥梁预结构的耐久性和可靠性。

## 一、预应力技术基本理论与关键技术

### （一）预应力设计理论

#### 1. 预应力筋布置原则

在预应力设计中，预应力筋布置需按照一定原则进行，其布置合理化可以有效提高结构的受力性能，提高工程质量。常用的布置原则中曲线配筋的方式，是依据受力特点，根据桥梁弯矩包络图的方式确定预应力筋的曲线形态<sup>[3]</sup>。按照曲线配筋的原则进行施工，可以在桥梁的跨中产生正弯矩抵抗能力。而在支座周围会产生负弯矩抵抗能力。从而可以提高运用力结构的承载力，避免出现裂缝的现象<sup>[4]</sup>。此外，在锚固区布置时，为了有效避免应力集中的现象，则应避开支座附近截面突变的区域，合理设置锚固区的形状和尺寸，从而确保应力可以平均分配。并在锚固定端设置螺旋筋以及加强钢筋，以提高锚固区的局部承压能力。

#### 2. 有效预应力计算模型

有效的预应力会影响到结构的抗裂性以及承载力，因此需要按照有效预应力计算模型计算后，并进行反验证才能得到精确计算的预应力<sup>[5]</sup>。

预应力的定义公式为  $\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum \sigma_{loss}$ ，其中  $\sigma_{con}$  代表的是张拉控制应力，而  $\sum \sigma_{loss}$  代表的是预应力总损失。

### （二）关键施工技术

#### 1. 张拉工艺

该工艺是保证工程结构安全稳定的重要一环。其通

过使用智能化的张拉设备，并对张拉过程进行同步控制，可以大大提高施工效率。智能化的张拉设备能够对张拉过程进行各类数据参数的实时量化监测，这其中起主要作用的一个是精密的压力传感器，一个是高精度的位移传感器。在张拉过程中，该装置能够按照预先设定的程序对张拉力及拉伸长度进行准确的控制，从而消除了常规张拉作业中由于人工操作造成的偏差。

#### 2. 孔道压浆技术

孔道压浆是预应力筋保护和结构耐久性的关键。通过添加减水剂、膨胀剂等新型材料，使浆液的流动性、密实度、抗渗性能等得到了较大的提高。由于采用了新型材料，浆液对孔道的充填更加充分，孔隙和空洞的形成大大降低。真空辅助使压浆的效果得到了进一步的改善。预应力筋张拉后，要对孔道进行抽真空以在压浆之前排掉空气和水。这使得浆液易于填满整个孔道，并且防止了在普通压浆工艺中会发生的问题，如压浆时不够充分饱满、出现空洞等。在压浆技术上采用真空辅助的形式，在材料应用上采用新型材料，二者的结合不仅可以起到防锈蚀的作用，而且还可以提高结构的综合性能。

#### 3. 锚固体系可靠性分析

对锚固体系可靠性的分析涉及到多种因素。优先要考虑的是锚固材质性能，比如锚具是否够强、够硬、够韧。锚固材质如果很优质，那么在长期应用中就不会轻易地被损伤和破坏。其次要考虑的是锚固工艺是否合理，比如锚固的装设方式是否适配，锚固力的传导是否有力，这不仅关系到锚固体系能否被正常工作，并发挥其应有作用，还关系到预应力能否被顺利地传导。再有要考虑的是腐蚀和温度变化等外界因素对锚固体系的影响，从中找出可能存在的隐患，并有的放矢地加以完善。

## 二、预应力技术在市政桥梁施工中的应用优势

### （一）提高桥梁的跨越能力

对于传统的桥梁结构，当跨径增大时，由梁板自身重量引起的弯矩会急剧上升，此时会对桥梁结构的承载力有更高要求。然而，预应力技术能够在梁身中主动产生预压应力，有效地平衡由梁自身重量和外部作用引起的部分梁体拉应力。进行大跨度桥梁施工时，预应力梁的应用可使梁高降低，自重减轻，并使结构内力减小。

应用这一技术后，桥梁能够跨越较宽的河流和峡谷，显著增强了城区的运输能力，同时可获得自重比较轻、外形更美观的桥型，对周围环境的改变也较小。

### （二）增强桥梁的耐久性

常年的雨水、潮气和化学物质等外部环境的作用，导致混凝土的碳化和钢筋的锈蚀，会严重地降低混凝土结构的耐久性，降低桥梁的使用年限。预应力技术能够将混凝土置于长期受压的状态，从而有效地控制裂缝的出现和发展。而裂缝是混凝土受腐蚀的重要途径之一，减小裂缝的存在，可缩减混凝土的碳化程度，从而抑制钢筋的腐蚀。况且预应力筋一般由高强钢材制成，且做了抗腐蚀防护，从而保证了桥梁的耐久性，延长了桥梁的使用寿命。

### （三）改善桥梁的结构性能

预应力筋的合理配置能使桥梁结构的内力达到最优，实现较好的平衡，进而提高桥梁的承载能力。预应力混凝土结构在受力时，可以充分利用自身的特性，呈现较高的承载力与较大的刚度。连续梁桥采用预应力技术后，能有效地调节梁内弯矩的大小，减小跨中挠曲，从而改善整个桥梁结构的稳定性能。同时，由于预应力的作用，使桥梁的挠度减小，提高了桥梁的承载能力，加剧了车辆行驶的平顺性和舒适性。

## 三、当前预应力技术在市政桥梁施工中存在的问题

### （一）预应力损失问题

预应力损失在目前的工程实践中是一个普遍的问题。预应力损失的原因有：预应力筋的应力松弛，混凝土的收缩与徐变，锚固装置的变形和预应力筋的回缩。在张拉锚固作业时，锚具会产生一定程度的形变，使钢束产生收缩，并使钢束中的预应力丧失。预应力筋在长时间的受力后，其内部应力将逐步释放，从而也导致预应力的降低。混凝土材料在硬化时会出现收缩，而在长期加载时又会出现徐变，从而造成预应力的损耗。预应力损失会导致桥梁的有效预应力不足，进而对桥梁的使用性能和使用寿命产生不利的影响。

### （二）孔道压浆质量问题

预应力孔道压浆的好坏，对保护预应力筋、保证桥梁的整体性能有着重要的影响。孔道压浆的质量一直是困扰压浆施工的一个难题。一方面，预应力筋张拉过程中经常出现注浆不密、孔眼、气孔等现象，导致预应力筋受力不均匀，易受腐蚀。另外，压浆材料本身的强度、耐久性等因素也会对压浆效果产生很大的影响。还有就是压浆过程中，压浆压力如果控制得不到位，压浆时间过短，压浆过程不规范，也是影响压浆效果的主要原因。上述原因使孔道压浆不能很好地保护预应力筋，从而影响了桥梁的安全使用。

### （三）预应力筋定位不准确

造成预应力筋位移的主要因素是现场施工作业人员的不规范操作或定位装置的不精确安装。预应力筋的错

位会导致结构的受力状态发生变化，进而无法满足设计要求。尤其是在梁支座、跨中等关键部位，预应力筋的布置若不合理，会使应力在局部集中，结构出现开裂，甚至导致结构失效。预应力筋一旦在施工过程中出现位置偏差，在后续的施工过程中是难以再进行校正的，所以极有可能会引发工程质量问题与安全事故。



图1 孔道压浆

### （四）施工工艺不规范

预应力混凝土技术应用过程中经常出现的一个问题就是施工工艺的不规范。一些施工作业人员不能很好地把握预应力技术的作业要点，没有经过专门的技术培训。张拉作业时，对张拉力及拉伸长度的控制不到位，未严格遵循设计要求实施，造成预应力的施加出现偏差。孔道的成形、压浆也有一些问题，孔道的大小、形状与设计不符，压浆工艺不合理，不能很好地满足施工要求。另外，由于监理、检测等方面的不足，导致对工程建设中出现的问题不能及时发现、整改，致使工程建设中的一些不规范、不合理问题长期存在，对工程建设的质量、桥梁的使用造成了很大的影响。

## 四、预应力技术的优化措施

### （一）减少预应力损失的措施

预应力损失的大小直接关系到结构的承载能力和使用寿命，所以降低预应力损失具有十分重要的意义。首先在预应力筋的选材上，要符合高强低松弛的设计要求；这种结构形式的预应力筋在长期使用中几乎不会出现应力松弛，可以有效地降低由于应力松弛造成的预应力损耗。使用明显低于常规股线松弛率的新的股线。其次，张拉流程的合理安排也可以降低预应力损耗。预应力筋在张拉时，发挥其超张拉优势，先将预应力筋的张拉力提升，直至较设计应力略高一些，并达到一定时间后，再恢复至设计应力。这样，在张拉期间，能够实现预应力钢丝的完全伸展，并且能够降低由诸如钢丝的弹性收缩和锚固装置的变形所导致的预应力损耗。另外，在设计弯曲的预应力筋时，还要考虑减小其摩擦力。为了减小预应力筋和孔道的摩擦因数，孔道中可添加诸如润滑油等润滑剂。同时对孔道的曲率和曲率大小进行了优化设计，降低了孔道弯曲部分的摩擦阻。

### (二) 提高孔道压浆质量的措施

预应力孔道压浆的好坏,对预应力筋的保护及桥梁的使用寿命有着重要的影响。孔道压浆要实现质量的提升,选择好压浆材料是第一位的,而好的压浆材料,可以说掺加减水剂、膨胀剂等外加剂的高强水泥浆是首选。减水剂能改善浆液的流动性能,从而有利于浆液充填孔道;膨胀剂的加入能有效地弥补混凝土凝固时的体积收缩,避免混凝土开裂。在压浆技术上采用真空辅助的形式非常有效。预应力筋张拉后,要对孔道进行抽真空以在压浆之前排掉空气和水。这使得浆液易于填满整个孔道,并且防止了一些问题的出现,如压浆时产生气泡、空洞等。压浆过程中,对压浆压力、压浆时间等进行了严格的控制。为保证水泥浆均匀充填于孔道内,应结合孔道的长短、高低,适当选择压浆压力。压浆的持续时间也必须充分,以确保孔道里水泥浆的盈满和紧实。压浆时,应注意控制好水泥浆的质量。定期对水泥浆的流

动性和泌水性等性能进行测试,以保证水泥浆满足设计要求。为确保孔道压浆质量,在压浆结束后,应及时养护孔道,防止水泥浆在硬化阶段受外力作用产生结构失效。

### (三) 确保预应力筋定位准确的措施

预应力筋位置的正确与否,对结构的承载能力有很大的影响。为了保证预应力筋的正确放置,必须先做好正确的定位筋框架。定位筋框架的形状、尺寸必须与预应力筋的配置相适应,并按图纸的要求加工。在进行定位筋框架的安装和定位时,应对其位置、垂直度等进行严格的把控,保证定位筋框架的稳定性。然后通过使用诸如定位卡或定位板这些辅助工具将预应力筋限定在适当的位置。利用定位卡、定位板对预应力筋进行精确定位,使预应力筋在浇注混凝土时不会错位。预应力筋的安放,必须根据设计图纸,将钢筋精确的安放到定位卡上,然后用螺栓紧固。

表 2 预应力筋定位

措施分类	检查要点
定位筋框架制作	检查框架形状、尺寸是否与设计一致,加工精度是否满足要求
定位筋框架安装	检查框架安装位置偏差是否在允许范围内,垂直度是否符合标准,固定是否牢固
预应力筋定位辅助	检查定位卡、定位板与预应力筋的匹配度,预应力筋在定位卡上的安放精度,螺栓紧固程度
施工过程监测	浇筑前检查钢筋定位偏差;浇筑中密切关注预应力筋位置变化,检查混凝土浇注方法和次序是否合理

### (四) 规范施工工艺的措施

开工前,做好各项准备工作。健全施工管理相关制度,明确施工中具体的操作规程及质量标准,以确保每一个环节、每一名作业人员、每一项作业要求都达标;明确岗位素质技能培训办法,确保施工作业人员人人适应岗位和工作需要。同时对工程现场进行清理,对工程机械以及物料的品质、性能进行检测。并根据工程需要,制定操作性强的施工方案,详细说明具体施工方法和技术要求。施工中,依据施工方案严格推进,对每个工程阶段、每步操作流程、每处施工环节、每项设计要求都严格把关,以确保施工工艺达标。例如,对预应力筋进行张拉时,必须对张拉力及拉伸长度进行严格的控制,并做好记录。孔道压浆时,要严格遵守压浆规程,控制压浆参数,以保证压浆质量。收尾阶段,对整个工程进行全面检查,特别是对预应力构件的预应力损失、孔道压浆质量和预应力筋的位置布设等进行测试与评价。

### 结语

预应力技术的应用价值主要体现在桥梁跨越能力的

提升、结构性能的改善、耐久性能的增强、成本造价的降低等方面,对于市政桥梁工程建设意义重大。尽管目前预应力混凝土技术在实际应用中还存在着一些现实问题,本文从预应力损失的降低、孔道压浆质量的提升、预应力筋定位的改进、预应力筋施工工艺的规范等方面对这些问题进行了分析,并提出了持续加大预应力技术研究和运用的具体且有效的优化方法,必将对深入探讨市政桥梁建设高质量发展大有裨益。

### 参考文献

- [1] 史杰. 市政桥梁施工中预应力技术的优化与实践研究[J]. 现代工程科技, 2024, 3(4): 21-24.
- [2] 刘林. 基于市政道路桥梁施工中现场施工技术的实践研究[J]. 房地产导刊, 2024(2): 32-33, 36.
- [3] 田虎彪. 现浇箱梁施工技术在桥梁施工中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(14): 64-66.
- [4] 靳方倩. 市政桥梁工程中预应力施工技术的运用及要点研究[J]. 科技创新导报, 2020(4): 51-52.
- [5] 刘佳明. 市政桥梁工程预应力施工技术研究[J]. 佳木斯职业学院学报, 2019(6): 232-233.