

# 公路桥梁施工中预应力技术的应用与质量管控

李冠男 赵柏川 姜丽丽

内蒙古盛安建设(集团)有限公司 内蒙古 赤峰 024000

**摘要:** 预应力技术是公路桥梁施工的核心手段,通过预压应力提升结构抗裂性、刚度及耐久性。本文系统分析先张法、后张法及体外预应力技术的工艺特点与适用场景,明确预应力筋选型、锚具适配性、张拉参数控制等关键应用环节。针对材料质量、施工动态监控、隐蔽工程验收及成品性能验证等管控要点,提出双控校核、无损检测等优化措施。结合预应力损失超标、孔道堵塞、锚固区开裂等常见问题,从工艺优化、材料升级及构造改进等方面制定预防策略,为公路桥梁预应力施工提供技术参考。

**关键词:** 公路桥梁; 预应力技术; 张拉工艺; 孔道压浆; 质量管控

引言: 公路桥梁建设是交通基础设施的关键部分,其质量关乎交通运行安全与效率。预应力技术作为提升桥梁结构性能的关键手段,在公路桥梁施工中广泛应用。不同类型预应力技术有各自特点与适用场景,施工核心环节的把控及质量管控要点,直接影响桥梁质量。深入研究预应力技术在公路桥梁施工中的应用与质量管理,对提高桥梁建设水平、保障交通畅通具有重要意义。

## 1 预应力技术类型与适用场景

### 1.1 先张法预应力技术

先张法预应力技术的工艺实现有着特定的流程顺序。在施工准备阶段,先将预应力筋按照设计要求准确就位并实施张拉,使预应力筋达到规定的张拉应力状态。随后,在张拉好的预应力筋周围进行混凝土浇筑作业。在混凝土浇筑过程中,需严格控制混凝土的配合比、浇筑速度以及振捣工艺,确保混凝土能够充分填充模板空间,与预应力筋紧密结合<sup>[1]</sup>。待混凝土达到设计强度后,预应力筋与混凝土之间通过粘结力形成可靠的连接,从而将预应力传递给混凝土结构,使结构在承受外荷载之前就产生预压应力,提高结构的抗裂性能和刚度。这种技术在实际工程应用中具有明确的适用范围。对于中小跨径桥梁的建设,先张法预应力技术能够充分发挥其优势。中小跨径桥梁一般跨径在10-30米,由于中小跨径桥梁的结构尺寸相对较小,对预应力筋的布置和张拉要求相对简单,先张法施工工艺能够满足结构受力需求,并且施工效率较高。在预制构件生产方面,如常见的T梁、空心板等,先张法预应力技术也得到广泛应用。通过在预制台座上预先张拉预应力筋,然后浇筑混凝土制成预制构件,不仅可以保证构件的质量稳定性,还能实现构件的批量生产,提高施工进度,降低生产成本,一般一个预制场每月可生产预制构件200-500件。

### 1.2 后张法预应力技术

后张法预应力技术的工艺流程与先张法有所不同。先进行混凝土结构的浇筑施工,在混凝土浇筑过程中,需预留出预应力筋的孔道。待混凝土达到设计规定的强度后,将预应力筋穿入预留孔道,然后使用张拉设备对预应力筋进行张拉,并通过锚具将预应力筋锚固在混凝土结构上。这样,预应力筋的拉力通过锚具传递给混凝土,使混凝土结构产生预压应力。后张法预应力技术在大跨径桥梁建设中具有显著优势。对于连续梁、拱桥等大跨径桥梁,结构受力复杂,对预应力筋的布置和张拉控制要求较高。后张法能够根据结构的具体受力情况,灵活布置预应力筋,实现对结构应力的精确调整。在现浇结构施工中,后张法预应力技术同样能够发挥重要作用,满足现浇结构对预应力的需求,提高结构的整体性能和耐久性。

### 1.3 体外预应力技术

体外预应力技术的独特之处在于预应力筋的布置方式。与先张法和后张法将预应力筋布置在结构体内不同,体外预应力技术将预应力筋布置于结构体外。这种布置方式使得预应力筋的安装、调整和更换更加方便,同时也减少了预应力筋与混凝土之间的摩擦损失,提高了预应力的传递效率。体外预应力技术主要应用于旧桥加固工程。随着桥梁使用年限的增加,结构会出现不同程度的损伤和性能退化,通过体外预应力技术可以在不破坏原有结构的基础上,为旧桥提供额外的预应力,增强结构的承载能力和抗裂性能,延长桥梁的使用寿命。对于一些有特殊受力需求的结构,如需要承受较大活荷载或动力荷载的结构,体外预应力技术也能够根据实际受力情况进行灵活设计和施工,满足结构的特殊受力要求。

## 2 预应力技术在公路桥梁施工中的核心应用环节

### 2.1 预应力筋选型与布置设计

预应力筋作为预应力技术的关键受力元件，材料性能要求极为严格。强度是首要考量因素，需具备足够高的抗拉强度，以承受施工及使用阶段的各种荷载作用，确保结构安全。松弛率也不容忽视，较低的松弛率意味着预应力筋在长期受力过程中应力损失较小，能更持久地维持结构的预压应力状态<sup>[2]</sup>。耐腐蚀性同样关键，公路桥梁多处于露天环境，易受到雨水、化学物质等侵蚀，良好的耐腐蚀性可延长预应力筋使用寿命，保障结构耐久性。空间布置优化对结构性能影响显著。线形控制需精准，预应力筋的线形应与设计要求高度吻合，偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，偏差过大会导致结构受力不均，影响结构的安全性与使用性能。锚固区是应力集中的关键部位，合理的应力分布设计可避免局部应力过大引发结构破坏。通过优化锚固区形状、增加构造钢筋等措施，能有效改善锚固区应力分布，提高结构可靠性，一般可在锚固区增加直径为12-20mm的构造钢筋，间距控制在100-150mm。

### 2.2 锚具系统选择与适配性

锚具类型多样，夹片式锚具依靠夹片与预应力筋之间的摩擦力实现锚固，具有锚固可靠、使用方便等优点；支承式锚具通过支承面承受预应力，适用于特定结构形式；组合式锚具则结合了前两者的特点，能满足不同工程需求。锚具与预应力筋的力学匹配性至关重要。锚具的锚固效率系数、极限承载能力等力学指标应与预应力筋相适配，确保在张拉及使用过程中，锚具能可靠地传递预应力，不出现滑丝、断裂等质量问题，保障预应力体系正常工作。

### 2.3 张拉设备与工艺参数控制

千斤顶、油泵的精度直接影响张拉力的准确性。高精度的设备能精确控制张拉力大小，使预应力筋达到设计要求的应力状态。张拉顺序需根据结构受力特点合理确定，不合理的顺序可能导致结构变形过大或受力不均。持荷时间对预应力筋的应力松弛和结构变形有重要影响，需严格按照规范要求控制。伸长量校核是检验张拉质量的重要手段，通过测量预应力筋的实际伸长量与设计值对比，可及时发现张拉过程中的问题并采取调整措施。

### 2.4 孔道成型与压浆工艺

孔道成型方法主要有金属波纹管 and 塑料波纹管。金属波纹管强度高、刚度好，能较好地保证孔道形状，其壁厚一般控制在0.25-0.5mm，但耐腐蚀性相对较差；塑料波纹管耐腐蚀性强，但强度和刚度略低，其壁厚一般控制在

0.8-1.5mm。压浆材料性能对结构耐久性影响重大。良好的流动性可使压浆材料充分填充孔道，排除空气，流动度一般控制在14-20s；高密实性能保证压浆质量，防止预应力筋锈蚀，其泌水率应不超过1%；优异的耐久性可确保压浆材料在长期使用过程中性能稳定，为预应力筋提供可靠保护，其抗压强度在28天后应达到50MPa以上。

## 3 预应力施工质量控制关键点

### 3.1 材料质量管控

预应力筋作为预应力体系的核心受力部件，其力学性能直接决定结构安全。抗拉强度是衡量预应力筋承载能力的关键指标，需通过专业试验设备进行严格检测，确保数值满足设计规范要求，以承受施工及使用阶段的各种拉力作用。屈服强度同样重要，它反映了预应力筋开始产生明显塑性变形时的应力水平，精确检测屈服强度可避免结构在受力过程中出现过早塑性变形，保障结构稳定性<sup>[3]</sup>。锚具与夹片是预应力筋锚固的关键装置，硬度与疲劳性能验证不可或缺。硬度检测能确保锚具与夹片在张拉过程中具备足够的强度，防止因硬度不足而发生变形，影响锚固效果。疲劳性能验证则通过模拟实际使用中的反复受力情况，检验锚具与夹片在长期循环荷载作用下的抗疲劳能力，避免因疲劳破坏导致预应力损失，威胁结构安全。

### 3.2 施工过程动态监控

张拉力与伸长量的双控校核是保证预应力施工质量的重要手段。张拉力控制确保预应力筋达到设计要求的应力状态，而伸长量校核则从变形角度验证张拉力的准确性。二者相互印证，可及时发现张拉过程中的异常情况，如张拉力不足或过大、伸长量异常等，以便采取措施调整，保证预应力施工质量。孔道压浆的密实度对预应力筋的防腐及结构耐久性影响重大。采用无损检测技术检测孔道压浆密实度，能在不破坏结构的前提下，准确判断压浆质量。通过无损检测，可发现压浆不密实的部位，及时进行补浆处理，确保预应力筋处于良好的保护环境中。

### 3.3 隐蔽工程验收标准

锚固区混凝土密实性检查是隐蔽工程验收的重点。锚固区混凝土若存在空洞、疏松等缺陷，会降低锚具与混凝土的粘结力，影响预应力传递效果。通过敲击、超声波检测等方法检查锚固区混凝土密实性，确保混凝土质量符合要求。预应力筋位置偏差控制直接影响结构受力性能。明确预应力筋位置偏差允许范围，并在施工过程中严格监控。一旦发现位置偏差超出允许范围，需及时采取修正措施，如调整预应力筋位置、增加构造钢筋

等,保证结构受力均匀。

### 3.4 成品结构性能验证

静载试验是验证结构承载能力的直接方法。通过在结构上施加静力荷载,模拟实际使用中的受力情况,检测结构的变形、应力等响应,判断结构是否满足设计承载能力要求。长期监测数据反馈能为结构性能评估提供动态依据<sup>[4]</sup>。对结构的应变、挠度等参数进行长期监测,分析变化规律,可及时发现结构在使用过程中出现的性能退化迹象,为结构的维护与管理提供科学指导。

## 4 预应力施工常见问题与预防措施

### 4.1 预应力损失超标

在预应力施工过程中,预应力损失超标是较为常见的问题。造成这一问题的原因主要有锚具变形、钢筋松弛以及混凝土收缩徐变。锚具在张拉与锚固过程中,若自身质量存在缺陷或安装不当,会发生一定程度的变形,进而导致预应力传递损失。钢筋松弛是预应力筋在长期受力状态下,其应力随时间逐渐降低的现象,这会使结构预压应力不足。混凝土收缩徐变则是在混凝土硬化及长期使用过程中,因水分蒸发、荷载持续作用等因素产生的变形,这种变形会拉动预应力筋,造成预应力损失。针对这些问题,可采取相应预防措施。优化张拉工艺是关键,通过精确控制张拉速度、张拉顺序等参数,减少因施工操作不当引发的预应力损失。补偿张拉也是一种有效手段,在结构使用一段时间后,对预应力筋进行再次张拉,补充因各种原因损失的预应力。提升材料性能同样重要,选用低松弛预应力筋、高质量锚具等,从源头上降低预应力损失的可能性。

### 4.2 孔道堵塞与压浆缺陷

孔道堵塞与压浆缺陷会严重影响预应力体系的正常工作。波纹管破损是导致孔道堵塞的常见原因,在混凝土浇筑过程中,若波纹管受到外力碰撞或本身质量不佳,容易出现破损,混凝土浆液渗入孔道,造成堵塞。压浆不饱满则会使预应力筋无法被浆体充分包裹,加速预应力筋锈蚀,降低结构耐久性。为预防孔道堵塞,需加强孔道保护。在混凝土浇筑前,对波纹管进行仔细检查,确保完好无损,并在浇筑过程中采取防护措施,避免波纹管受到破坏。采用真空辅助压浆技术可有效解决

压浆不饱满问题,该技术通过在孔道一端抽真空,形成负压,使浆体在压力差作用下更充分地填充孔道,提高压浆质量,真空度一般控制在-0.06~-0.1MPa。

### 4.3 锚固区开裂

锚固区开裂会威胁结构安全与耐久性。局部应力集中是引发锚固区开裂的主要原因之一,在锚具周围,应力分布复杂,若设计不合理,容易出现应力集中现象,导致混凝土开裂。混凝土强度不足也会降低锚固区的抗裂能力,在张拉力作用下,混凝土易产生裂缝<sup>[5]</sup>。为预防锚固区开裂,需优化锚固区配筋。根据结构受力特点,合理布置构造钢筋,增强锚固区混凝土的抗裂性能,一般可在锚固区增加直径为12-20mm的构造钢筋,间距控制在100-150mm。加强混凝土振捣与养护也不容忽视,振捣密实可提高混凝土均匀性与密实性,减少内部缺陷,振捣时间一般每点控制在20-30s;良好的养护条件能保证混凝土强度正常增长,提升混凝土整体性能,养护时间一般不少于14天,从而有效预防锚固区开裂。

### 结束语

公路桥梁施工中预应力技术的应用与质量管理至关重要。从技术类型选择到核心环节把控,再到质量管控与问题预防,每个环节都紧密相连。严格落实各项措施,能有效提升桥梁结构性能与耐久性,保障桥梁安全稳定运行。这需要施工人员不断提升技术水平,加强质量管控意识,确保公路桥梁建设质量达到高标准,为交通运输事业发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]宋吉伟.山区高速公路桥梁施工中预应力技术的应用研究[J].建筑机械,2025(8):338-340,345.
- [2]温静艳.探究公路桥梁施工中预应力技术的应用[J].四川建材,2023,49(3):109-110,112.
- [3]徐福杰.公路桥梁施工中预应力技术的应用探究[J].工程建设与设计,2022(5):123-125.
- [4]王起龙.公路桥梁施工中预应力技术的应用[J].工程与建设,2022,36(2):437-439,456.
- [5]卜庆五.公路桥梁施工中预应力技术的应用[J].大众科学,2025,46(13):92-94.