

# 现浇桥梁预应力钢绞线伸长量实测值与理论值差异原因探讨

周则羽

浙江省交通集团检测科技有限公司 浙江 杭州 310012

**【摘要】**：预应力钢绞线伸长量是现浇桥梁预应力施工质量控制的重要技术指标，其实测值与理论计算值的偏差直接关系到结构受力状态及长期耐久性能，精准控制二者偏差是保障施工质量的核心环节。本文结合高速公路现浇桥梁工程检测实践，从检测技术视角出发，系统分析了差异产生的主要原因，重点探讨了材料力学性能波动、孔道成型质量、张拉工艺控制及施工环境条件变化等因素的作用机制。在此基础上，提出了涵盖材料参数修正、施工过程精细化控制及环境条件动态修正的伸长量偏差分析与防控思路，构建了全要素、全过程的检测与控制体系。通过多个工程案例的检测与整改效果验证，该体系可显著缩小实测值与理论值的偏差，提升预应力施工质量控制水平。研究成果为缩小实测与理论偏差、保障现浇桥梁结构安全与耐久性提供了科学参考，对同类现浇桥梁工程具有一定的参考和推广价值。

**【关键词】**：现浇桥梁；预应力钢绞线；伸长量偏差；施工控制；理论计算

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.092

## 引言

预应力技术在现浇桥梁工程中的广泛应用，推动了结构跨度与承载能力的突破，而钢绞线伸长量作为预应力施加效果的直观反映，其实测与理论值的一致性为施工质量控制的关键指标。实际工程中，受多重因素交织影响，二者常出现偏差，若偏差超出允许范围，可能导致结构应力分布不均、裂缝产生等隐患。基于此，深入剖析差异产生的根源，厘清各因素的影响路径与程度，对优化施工工艺、完善计算模型具有重要现实意义，也为工程实践中精准控制钢绞线伸长量提供科学依据。

## 1 现浇桥梁预应力钢绞线伸长量差异的核心影响因素分析

### 1.1 材料特性的固有差异与波动

预应力钢绞线的材质均匀性是决定其力学性能稳定性的核心前提，直接影响弹性模量这一计算伸长量的关键参数。在实际工业化生产流程中，即使是同一批次的钢绞线，原材料铁矿石的纯度差异、冶炼过程中温度与成分控制的细微波动，以及轧制工艺中压下量、轧制速度的局部调整，都可能导致弹性模量出现离散性偏差，与规范推荐取值或理论计算采用的标准值形成明显差距，进而直接改变伸长量计算结果。与此同时，钢绞线的截面尺寸精度、捻距均匀性等几何指标的波动，会破坏其受力时的应力均匀分布状态，使局部受力集中或应力传递不畅，间接影响实际伸长量的发展规律。此外，锚具、夹片等配套承压传力材料的性能达标与否同样关键，若其硬度不足、表面粗糙度不符合要求，或摩擦系数超出设计允许范围，会在预应力施加过程中产生额外的非线性摩擦阻力，造成钢绞线有效应力传递损耗，最终导致实测伸长量普遍小于理论计算值，这种偏差在大跨度桥梁的长束钢绞线张拉中表现更为显著。

### 1.2 施工工艺的操作偏差与不规范行为

孔道成型质量作为预应力施工的前置关键环节，其精度直

接决定钢绞线与孔道壁的接触状态，进而对伸长量产生根本性影响。在现浇混凝土施工过程中，受模板支护精度、钢筋绑扎干扰以及混凝土浇筑时的冲击振捣作用，波纹管极易出现定位偏移、局部弯折甚至破损漏浆等问题，导致孔道实际线形与设计理想线形产生偏差，不仅增加了钢绞线与孔道壁的接触面积，还会形成局部突变的摩擦阻力，显著提升应力损失。预应力张拉工艺的操作规范性是控制伸长量偏差的核心环节，若张拉设备未按规定要求定期校验标定，会导致张拉应力输出偏差，直接造成伸长量实测值偏离理论值；而张拉速率过快会使钢绞线产生瞬时冲击应力，持荷时间不足则无法完成应力重分布，均会引发额外的应力损失；张拉顺序与设计不符时，会导致桥梁结构各梁段、各束钢绞线受力相互干扰，形成不均匀的伸长量分布。此外，钢绞线下料长度计算时未充分考虑锚具工作长度、孔道实际长度偏差等因素，或安装过程中因操作不当出现扭结、表面损伤等问题，会进一步破坏钢绞线的受力连续性，最终加剧实测伸长量与理论值的偏离程度。

### 1.3 环境条件的动态变化与干扰

施工环境的温度动态变化是影响钢绞线伸长量的重要外部因素，其作用机制贯穿于预应力施加的全过程。温度升高时，钢绞线会发生显著的热胀变形，若在此状态下进行张拉作业，虽然张拉应力达到设计值，但待温度降低后，钢绞线会随温度下降产生收缩，而此时结构已完成约束，导致实际有效预应力超出或不足设计要求，对应的伸长量也会偏离理论计算结果；反之，温度过低时，钢绞线的弹性模量会出现轻微上升，材料脆性增大，同时孔道内壁与钢绞线表面的摩擦系数会因低温环境下的水汽凝结、灰尘附着等因素显著增大，双重作用下会导致张拉时所需的力更大，而实际伸长量则小于理论值。除温度外，施工现场的湿度环境同样不可忽视，高湿度条件下，波纹管内壁易产生锈蚀或附着水汽，钢绞线表面也可能出现轻微氧化，二者均会增加接触摩擦阻力；同时，高湿度会延缓混凝土

的凝结硬化速度,影响孔道成型后的稳定性,间接改变钢绞线的受力环境。

## 2 现浇桥梁预应力钢绞线伸长量差异的防控与优化措施

### 2.1 强化材料质量管控与检验

强化材料质量管控与检验是从源头控制钢绞线伸长量偏差的关键措施,需建立覆盖材料进场、存储、使用全流程的标准化管控体系。在材料进场验收环节,应严格执行全数检验制度,对预应力钢绞线、锚具、夹片、波纹管等关键材料的出厂合格证、性能检测报告进行严格核查,同时委托第三方权威检测机构进行抽样复验,重点检测钢绞线的弹性模量、抗拉强度、截面尺寸、捻距均匀性等核心指标,锚具的硬度、锚固效率系数,以及波纹管的壁厚、刚度和密封性,确保所有材料性能均符合设计文件和规范要求。针对钢绞线弹性模量离散性较大的特点,应实行分批抽检制度,每批钢绞线进场后均需按规定数量抽取试样进行弹性模量实测,根据实测结果调整理论伸长量计算参数,从根本上减少材料特性波动带来的计算偏差。在材料存储管理方面,应搭建专用的防雨、防潮、防晒存储棚,钢绞线采用架空堆放方式,避免与地面直接接触受潮锈蚀;波纹管应分类整齐堆放,防止挤压变形或破损;锚具、夹片等精密部件应妥善封装,避免灰尘、水汽侵入影响性能。

### 2.2 规范施工工艺与过程控制

规范施工工艺与过程控制是缩小钢绞线伸长量偏差的核心手段,需针对孔道成型、张拉作业、钢绞线安装等关键环节制定精细化操作流程。在孔道成型工艺优化方面,应采用定位钢筋网片对波纹管进行精准固定,定位间距严格遵循设计要求,确保孔道线形与设计图纸完全一致;在混凝土浇筑前,对波纹管进行充气或注水试验,检查其密封性,防止浇筑过程中出现漏浆堵孔;浇筑时,振捣棒应避免直接触碰波纹管,采用附着式振捣器辅助振捣,确保混凝土密实的同时保护孔道完好。在张拉工艺管控方面,首先应加强张拉设备的校验与维护,千斤顶、压力表等设备每半年至少进行一次标定,确保张拉应力误差控制在 $\pm 1\%$ 以内;张拉作业前,对钢绞线进行预张拉,消除其松弛变形和孔道摩擦阻力的初始影响;张拉过程中,严格按照设计要求控制张拉速率,在达到设计应力的10%、20%和100%时分别持荷稳定,记录对应的伸长量数据,采用“双控法”进行质量控制,若实测伸长量与理论值偏差超出 $\pm 6\%$ ,立即停止张拉,查明原因并采取整改措施后再继续作业。

### 2.3 应对环境条件变化的动态调整

应对环境条件变化的动态调整是保障钢绞线伸长量控制精度的重要补充,需建立环境监测与施工调整的联动机制。在温度影响应对方面,施工前应查阅近期气象预报,合理安排张拉作业时间,尽量避免高温、低温、强降温等极端温度时段,

优选在环境温度相对稳定的清晨或傍晚进行张拉。若施工过程中温度波动较大,应在施工现场设置多点温度监测点,实时监测环境温度和钢绞线本体温度,根据实测温度值对理论伸长量进行修正计算,修正公式可采用线性温度修正模型,确保张拉应力能够补偿温度变化带来的变形影响。对于高温环境下的张拉作业,可采取对钢绞线进行遮阳覆盖、洒水降温等措施,降低其初始温度;在低温环境下,可对钢绞线和孔道进行适度保温,避免材料性能因低温发生显著变化。在湿度与风力影响应对方面,高湿度环境施工时,应提前对波纹管 and 钢绞线进行干燥处理,采用防水包裹材料对孔道两端进行密封,防止水汽进入孔道增加摩擦阻力。

## 3 现浇桥梁预应力钢绞线伸长量差异的工程实践应用

### 3.1 工程案例中的差异表现与原因追溯

工程实践中的差异表现具有显著的工况关联性,作为检测单位,我们通过现场检测精准发现伸长量偏差问题,并开展专项勘查追溯核心诱因。

案例1:甬金衢上高速公路金华城区段SG01标段雅畈大桥第三联,采用后张法预应力体系。我们在腹板钢绞线张拉专项检测中发现,多束钢绞线实测伸长量比理论计算值偏小8%,超出规范允许的 $\pm 6\%$ 偏差范围。为查明原因,我们联合施工单位开展专项勘查:一是通过孔道内窥镜检测,发现波纹管安装过程中定位钢筋间距过大,受混凝土浇筑振捣冲击影响,多处出现局部弯折和偏移,最大偏移量达5cm,导致孔道实际线形不规则,钢绞线与孔道壁接触面积增加,摩擦阻力上升;二是对同批次钢绞线进行抽样复验,发现其弹性模量实测值平均为 $2.08 \times 10^5 \text{MPa}$ ,比设计采用的标准值 $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ 高出3%,弹性模量增大会降低钢绞线伸长能力,双重因素叠加导致偏差。整改前实测伸长量较理论值偏小8%,波纹管最大偏移量5cm,钢绞线弹性模量实测值较设计值高3%。

案例2:建德至武义高速婺城段SG02标段武义江大桥第七联,该桥为单箱单室截面,主桥跨径布置为60+100+60m,采用挂篮悬浇工艺施工。在腹板钢绞线张拉专项检测中发现,该桥边跨与中跨合龙段附近的多束钢绞线实测伸长量较理论值偏大7.5%,超出规范允许的 $\pm 6\%$ 偏差范围。经专项检测追溯原因:现场千斤顶与压力表距上次标定已超过8个月,超出规范要求的6个月周期,标定后检测发现千斤顶输出应力偏差达+2.5%,导致实际张拉应力高于设计值。该桥为悬浇施工,孔道实际长度因挂篮节段拼装存在累计偏差,但下料时仍采用设计图纸的理论长度,未对各节段孔道进行实测,导致下料长度较实际需求偏长3cm,进一步加剧了伸长量偏差。中跨合龙段挂篮定位时,前端竖向偏差达2cm,导致局部孔道线形出现轻微上扬,张拉时钢绞线与孔道壁的摩擦阻力分布不均。整改前实测伸长量较理论值偏大7.5%,千斤顶输出应力偏差

+2.5%，钢绞线下料长度偏长 3cm，挂篮定位竖向偏差 2cm。

案例 3：甬金衢上高速公路金华城区段 SG01 标段梅溪大桥第一联，地处开阔区域，施工期间风力较大且昼夜温差普遍达 15℃以上。我们在跟踪检测中发现，同一束钢绞线不同时间张拉的伸长量偏差最大达 10%，且部分张拉批次实测伸长量超出允许范围。经分析，核心诱因是未采取温度修正措施，昼夜温差导致钢绞线热胀冷缩变形差异显著；同时，大风天气导致波纹管定位轻微偏移，孔道线形精度受损，进一步加剧了伸长量波动。整改前同一束钢绞线不同时段张拉伸长量偏差最大 10%，昼夜温差 15℃，波纹管局部定位偏移 2-3cm。

### 3.2 针对性防控措施的实施效果

针对上述案例的核心诱因，我们出具专项检测整改建议，监督施工单位落实针对性措施，整改完成后再次开展检测复核，均实现了伸长量偏差的有效控制。

针对案例 1 问题，提出整改建议：一是对已安装的波纹管全面排查，弯折、偏移段落拆除重建，重新布设定位钢筋网片（直线段 1m，曲线段 0.5m），完成后进行充气密性试验；二是根据钢绞线实测弹性模量重新计算理论伸长量，调整张拉控制参数；三是优化张拉工艺，将持荷时间从 3 分钟延长至 5 分钟。施工单位落实整改后，我们再次检测复核，结果显示：整改后实测伸长量与修正后理论值偏差均控制在 3%以内，波纹管线形精准无偏移，密性试验无渗漏，完全符合规范要求。

针对案例 2 问题，提出整改建议：一是对张拉设备进行重新标定，确保应力输出误差控制在 ±1%以内；二是重新测量孔道实际长度，精准计算钢绞线下料长度，采用砂轮切割机重新下料安装；三是张拉过程中严格执行“双控法”，同步记录应力与伸长量数据。整改后检测复核显示：实测伸长量与理论值偏差均控制在 2.5%以内，张拉设备应力输出误差 0.8%，钢绞线下料长度精准度符合要求。

针对案例 3 问题，提出整改建议：一是引入实时温度监测系统，在施工现场和钢绞线本体布设温度传感器，每 10 分钟采集一次数据，采用线性修正公式实时修正理论伸长量；二是

调整张拉作业时间，避开昼夜温差最大时段，选择上午 9 点至下午 4 点进行；三是搭建防风防护棚，对波纹管进行加固，增加定位钢筋密度。整改后检测复核显示：同一束钢绞线不同时段张拉伸长量偏差控制在 4%以内，温度修正后理论计算值与实测值匹配度显著提升，波纹管无定位偏移问题。

### 3.3 实践经验的总结与推广价值

多案例工程实践积累的经验，为同类现浇桥梁预应力钢绞线伸长量控制提供了可复制、可推广的技术路径，具有重要的工程应用价值。从实践总结来看，控制伸长量差异的核心在于构建“全要素管控、全流程闭环”的管理体系，其中材料质量的严格把控是基础，施工工艺的规范执行是核心，环境因素的动态应对是保障，计算模型的精准优化是支撑，四者有机结合才能实现伸长量的精准控制。具体而言，材料管控方面，建立“进场检验-抽样复验-存储维护-参数修正”的全流程机制，可有效规避材料特性波动带来的偏差；施工工艺方面，推行“精细化操作-实时监测-偏差预警-及时整改”的管控模式，重点强化孔道成型和张拉作业的过程控制，能显著提升施工精度。

## 4 结语

现浇桥梁预应力钢绞线伸长量实测值与理论值的偏差，是材料特性、施工工艺、环境条件及计算参数等多方面因素共同作用的结果，单一环节的控制难以有效消除偏差，必须从全过程、系统性角度实施技术管控。本文结合工程检测实践，厘清了各核心影响因素的作用机制，提出了涵盖材料参数修正、施工过程精细化控制及环境条件动态修正的全要素防控体系，明确了强化材料全流程管控、规范关键施工工艺、建立环境监测与动态调整联动机制等具体措施。工程实践验证表明，该防控体系可显著缩小实测值与理论值的偏差，保障预应力施加效果的真实可靠。相关分析方法与防控措施已在多项工程中得到有效验证，具备较强的工程适用性和推广价值，可为同类现浇桥梁工程预应力施工质量控制提供技术参考，助力提升桥梁结构的安全稳定性与长期耐久性，推动预应力施工技术的持续优化进步。

### 参考文献：

- [1] 陈锐.市政桥梁工程中悬臂现浇梁施工技术体系的应用[J].建材发展导向,2025,23(24):106-108.
- [2] 谢军.悬臂现浇桥梁 0 号块施工工艺分析[J].交通科技与管理,2025,6(23):137-139.
- [3] 王波.某公路桥梁工程施工关键技术[J].交通世界,2025,(32):181-183.
- [4] 程建曙.绕城高速现浇箱梁拓宽设计方案研究[J].城市道桥与防洪,2025,(11):143-148.
- [5] 刘洪甫.市政桥梁施工中现浇箱梁关键技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(32):97-99.