

涉铁悬浇梁预应力张拉施工控制要点

汪义人

北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司天津分公司 天津 300300

【摘要】：涉铁悬浇梁施工环境复杂，对结构受力与线形控制要求严格，预应力张拉阶段易出现应力偏差与变形失控问题。针对张拉顺序不合理、张拉力偏差及监测滞后等情况，构建全过程控制体系，细化张拉工序管理、实时监测数据校核与动态修正机制，形成闭环控制路径。实施后梁体应力分布趋于均衡，线形偏差得到有效控制，施工安全性与结构稳定性明显提升。

【关键词】：涉铁施工；悬浇梁；预应力张拉；施工控制；线形控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.004

引言

涉铁工程施工空间受限，既有线路运行安全要求高，悬浇梁施工需在复杂约束条件下完成结构成型。关于悬浇梁预应力张拉前期工作控制要求，例如：预应力钢绞线锚具存储条件、张拉机械标定及精度要求、摩阻试验等也尤为重要。预应力张拉作为关键环节，直接影响梁体受力状态与几何线形稳定，一旦控制不当，容易引发应力重分布异常及结构变形偏离设计目标。现场作业中常受设备精度、操作一致性及环境扰动等因素影响，张拉效果存在离散性，给后续施工带来连锁影响。通过对张拉工序进行系统梳理与控制节点细化，结合监测数据反馈与过程修正手段，可在施工阶段实现应力与变形的协同调节，使结构逐步接近设计状态，为涉铁环境下安全施工提供可靠保障。

1 涉铁悬浇梁张拉施工条件与控制要求

1.1 空间受限下施工组织特征

涉铁悬浇梁施工多处于既有线路邻近或跨越区域，作业空间呈现明显的狭长与分段特征，设备布置与材料运输路径受到严格限制。挂篮系统安装、钢绞线穿束及张拉设备就位需在有限作业面内完成，工序之间交叉频繁，对施工组织精度提出更高要求。作业平台稳定性与荷载分布直接影响张拉操作安全，必须通过精细化布置实现设备受力均衡。施工节拍需与铁路运营时间窗口匹配，张拉作业时段安排呈现间歇性与高强度并存特点，要求工序衔接紧密、转换效率高。信息化管理手段在空间受限条件下得到强化应用，通过施工模拟与路径优化减少无效占用，提升资源利用效率与作业连续性。

1.2 列车荷载影响下安全控制要求

列车运行产生的动荷载通过轨道结构向周边传递，对邻近施工结构形成周期性扰动，悬浇梁张拉阶段处于受力敏感期，对外界振动响应较为显著。张拉过程中梁体应力处于重新分布状态，若叠加列车动载影响，易引起瞬时应力波动与位移偏移，增加结构不稳定风险^[1]。施工控制需将列车运行频率、轴重特征及振动传播路径纳入分析，建立施工荷载与运营荷载的耦合控制机制。张拉作业时间需避开高频运行区段，并结合实时监

测数据对关键截面应力进行动态评估。防护体系需覆盖设备稳定、结构限位及异常预警，确保张拉过程在可控振动范围内进行，避免对既有线路运行安全产生干扰。

1.3 结构受力与线形同步约束关系

悬浇梁施工过程中，预应力张拉不仅决定结构内部应力分布，还直接影响梁体线形发展轨迹，二者呈现强耦合关系。张拉力大小、加载顺序及控制精度对截面应力状态产生差异化影响，进而改变梁体挠度与标高变化趋势。若控制不当，应力偏差将通过结构变形放大，导致线形累计误差难以修正。施工控制需建立以设计内力为核心的双指标约束体系，将应力控制值与线形目标值同步纳入调控范围。通过分级张拉与阶段性校核，使结构在受力调整过程中逐步逼近设计状态。监测数据需覆盖应力与位移两个维度，实现参数联动分析与实时修正，确保结构受力与几何形态保持协调发展。

2 预应力张拉过程中的关键问题分析

2.1 张拉顺序不合理引起应力偏移

张拉顺序设置直接决定预应力在梁体内的传递路径与分布状态，若未结合结构受力特点进行合理分配，易导致局部应力集中或整体受力失衡。悬浇梁各节段之间存在明显的施工阶段差异，不同阶段混凝土强度与刚度变化使张拉响应具有非线性特征。张拉次序安排不当时，先期加载区域可能承担过大内力，后续节段难以形成有效补偿，造成应力偏移持续累积。对称性控制不足还会引起横向不均匀受力，诱发结构扭转趋势。该类问题在多束钢绞线同步张拉过程中尤为突出，需通过阶段划分与顺序优化实现受力均衡。

2.2 张拉力控制误差累积放大

张拉力控制依赖设备精度、计量校核及操作一致性，任一环节存在偏差均会对最终应力值产生影响。千斤顶压力表读数误差、油压系统波动以及摩阻损失估算偏差均会导致实际张拉力偏离设计值。单次偏差在多次张拉过程中呈现叠加效应，逐步放大并影响整体受力状态^[2]。钢绞线长度、锚具性能及孔道摩阻条件差异，使张拉控制呈现离散性特征，进一步增加误差传递的不确定性。若缺乏有效校核机制，误差难以及时修正，

最终可能导致预应力不足或过大,影响结构安全储备与耐久性。

2.3 监测滞后导致变形调节失效

张拉过程中的结构变形与应力变化具有明显的阶段性与时效性,监测数据获取不及时将削弱调控措施的有效性。现场监测体系若存在采集频率不足或数据处理延迟,难以及时反映梁体挠度与标高变化趋势,导致调整决策滞后。变形一旦超过控制阈值,后续补偿难度显著增加,局部偏差可能转化为整体线形误差。数据传输与分析环节不完善还会影响信息完整性,使控制依据缺乏准确性。监测与施工未形成联动机制时,张拉参数调整缺乏实时支撑,变形调节难以达到预期效果。

3 张拉施工控制体系构建路径

3.1 优化张拉时序与分级加载策略

张拉时序与加载路径需结合悬浇施工阶段特征进行系统设计,以实现结构受力的渐进释放与均衡分配。依据梁段施工顺序及混凝土龄期发展情况,对各束钢绞线张拉时间进行分段控制,使预应力输入与结构刚度增长保持匹配。加载策略采用分级递进方式,将设计张拉力划分为若干控制级别,通过逐级加载减少瞬时应力突变对结构的扰动。各级加载间设置稳定时间窗口,确保应力传递与结构变形达到相对平衡状态,再进入下一阶段操作。对称张拉原则贯穿全过程,左右幅及上下层钢束需按既定顺序同步实施,防止偏心受力引起附加内力。结合数值模拟结果对张拉路径进行预演,校核不同工况下应力分布变化趋势,为现场实施提供参数依据。通过对关键节点进行重点控制,使各阶段张拉行为形成连续、可控的受力调整过程,提升整体结构响应的稳定性。

3.2 强化张拉力校核与设备精度控制

张拉力控制体系以精确测量与多重校核为核心,需建立覆盖设备、材料及操作全过程的精度保障机制。千斤顶与压力表在投入使用前需完成系统标定,确保力值输出与读数之间保持一致性,校准周期根据使用频率与环境条件进行动态调整。油压系统稳定性直接影响张拉过程连续性,应对液压回路进行密封性与响应性能检测,减少压力波动带来的误差影响。钢绞线伸长值作为重要校核指标,应结合理论计算值与实测数据进行对比分析,通过双控原则验证张拉效果^[3]。锚具性能差异及孔道摩阻损失需通过试验数据进行修正,使控制参数更贴近实际工况。操作环节采用标准化流程管理,对加载速率、保压时间及卸载步骤进行统一规范,降低人为因素带来的离散性影响。全过程记录张拉数据并形成可追溯档案,为后续分析与调整提供依据,从而实现张拉力控制的精细化与稳定化。

3.3 建立实时监测与数据反馈机制

监测体系需覆盖结构关键受力部位与控制截面,通过多源数据采集实现对张拉过程的动态感知。位移监测点布设应结合

梁体跨中、悬臂端及支点区域,形成完整的线形控制网络,应力监测则重点关注关键钢束及混凝土受压区的响应变化。数据采集频率根据施工阶段进行分级设置,在张拉操作期间提高采样密度,以捕捉瞬时变化特征。监测数据通过信息化平台实现实时传输与处理,结合预设控制阈值进行自动比对,一旦出现偏离趋势立即触发预警。数据分析模块需具备趋势识别与参数反演功能,将监测结果转化为可执行的调控指令,用于指导张拉力调整与施工节奏优化。监测结果与施工操作形成闭环联动,确保每一次参数调整均有数据支撑。通过建立统一的数据管理平台,实现多维信息集成与可视化展示,使施工控制由经验驱动转向数据驱动,提升整体控制体系的响应效率与决策准确性。

4 针对性控制措施实施要点

4.1 分阶段张拉与对称控制方法应用

分阶段张拉控制需依据结构受力演化规律进行细化划分,将整体张拉过程拆分为若干受控阶段,并在各阶段内实施严格的加载顺序与力值管理。不同阶段对应梁体刚度发展与应力分布调整需求,通过阶段边界的合理设定,使预应力输入与结构承载能力形成匹配关系。对称控制贯穿各级加载过程,横向两侧钢束按同步或交替方式实施张拉,保证截面受力均衡,避免偏心内力积累。纵向分区张拉需结合节段施工顺序进行衔接,确保各区段受力传递连续稳定。加载速率与保压时间按照统一标准执行,减少瞬时加载对结构产生的冲击效应。各阶段完成后进行应力与变形复核,确认达到控制指标后方可进入下一阶段操作,通过逐级推进实现整体受力状态的平滑过渡。

4.2 应力偏差修正与补张拉技术应用

应力偏差修正需建立在精确检测与数据比对基础上,对实际张拉效果与设计目标之间的差异进行量化分析。通过对钢绞线伸长值、张拉力读数及结构响应数据的综合评估,确定偏差分布特征与影响范围^[4]。针对局部应力不足区域,采用补张拉方式进行调整,控制补张拉幅度与加载路径,避免引入新的不平衡状态。对超张区域则通过调整后续张拉顺序或控制其他钢束加载进行间接修正,实现整体受力再平衡。补张拉操作需严格执行分级加载原则,确保调整过程平稳可控。修正过程中同步开展结构响应监测,实时跟踪应力变化趋势,确保修正措施与实际状态保持一致。通过多轮校核与逐步调整,使结构内力分布逐渐趋于设计控制范围。

4.3 线形监测与动态调整协同实施

线形控制依托连续监测与实时调整机制,通过构建覆盖关键节点的测量网络,实现对梁体几何状态的动态掌握。测点布设需兼顾跨中、悬臂端及支点区域,形成多维度监测体系,以捕捉不同位置的变形特征。测量数据经处理后与设计线形进行对比分析,识别偏差发展趋势,并将结果反馈至施工控制环节。

张拉参数调整与线形监测结果保持同步联动,通过改变张拉力分配或加载顺序对变形进行修正,使结构逐步回归目标线形。动态调整过程强调响应速度与控制精度,避免偏差累积扩大。信息化手段在数据整合与分析中发挥关键作用,通过可视化展示提升决策效率,使线形控制由单点校核转向全过程连续调控。

5 控制措施应用后的成效分析

5.1 梁体应力分布均衡性改善情况

控制措施实施后,预应力输入路径得到优化,梁体内部应力传递更加顺畅,各截面应力分布趋于协调。通过分阶段加载与对称张拉控制,原有局部应力集中现象得到有效削弱,主应力沿梁长方向呈现平缓过渡特征。钢束间受力差异明显缩小,张拉后应力重分布更加均匀,减少了因局部超载引发的结构风险。结合全过程数据校核机制,张拉力与理论控制值偏差得到持续压缩,使预应力作用更加接近设计预期。混凝土受压区与受拉区应力匹配关系得到改善,结构整体受力状态更加稳定,内部应力体系逐步形成连续、均衡的分布格局。

5.2 结构线形偏差收敛水平提升

线形控制体系完善后,梁体几何形态调整过程更加精细,偏差发展趋势得到有效抑制。张拉参数与监测数据形成联动机制,使各施工阶段线形调整具有明确方向与控制依据。跨中与

悬臂端挠度变化更加可控,标高偏差在各阶段逐步收敛,避免后期集中修正带来的难度提升^[5]。测量数据连续性增强后,线形变化能够及时反馈至施工环节,调整措施响应速度明显提高。结构整体线形呈现平滑过渡状态,局部突变现象明显减少。通过多阶段修正与动态调节,最终成桥线形与设计曲线吻合度提升,几何控制精度达到更高水平。

5.3 施工安全稳定性与质量一致性增强

施工控制体系优化后,各工序之间衔接更加紧密,张拉过程的不确定性得到有效约束。设备运行状态与操作流程实现标准化管理,减少异常工况对施工安全的干扰。通过实时监测与预警机制,潜在风险能够在早期被识别并及时处置,施工过程稳定性明显提高。张拉作业受控程度提升后,结构响应更加可预测,避免突发性变形或应力异常对既有线路产生影响。质量控制由单点检验转向全过程跟踪,施工结果一致性显著增强,各节段成型质量差异减小。整体施工环境在规范化与信息化管理支撑下,实现安全与质量的同步提升。

6 结语

涉铁悬浇梁预应力张拉控制贯穿施工全过程,依托时序优化、精度校核与动态监测形成系统化控制路径。应力调配与线形调节实现协同推进,施工过程稳定性持续增强,结构响应趋于可控。控制体系与现场实施深度融合,推动张拉施工向精细化与数据化方向发展,保障工程质量与运行安全。

参考文献:

- [1] 彭宗卿.大跨径悬浇梁三向预应力张拉顺序研究[J].重庆建筑,2026,25(3):102-105.
- [2] 张亮.悬浇梁施工期抗倾覆锚固系统设计与受力分析[J].交通科技与管理,2025,6(8):143-145.
- [3] 王社磊.铁路预应力混凝土悬浇梁智能张拉施工同步性浅析[J].江西建材,2022,(7):174-175.
- [4] 张波,练崇田.九江长江大桥针对性制定方案严保涉铁施工安全[N].中国交通报,2022-06-27(007).
- [5] 吴英淑,郭文.悬浇箱梁预应力张拉混凝土脱落修补技术[J].黑龙江交通科技,2021,44(10):90+92.