

预应力混凝土构件张拉力的检测与偏差分析

杨运翔

重庆交大建设工程质量检测中心有限公司 重庆 400000

【摘要】：预应力混凝土构件张拉力检测受千斤顶率定、油压读数、锚具回缩、管道摩阻和梁端传递共同影响，单一终张油压难以解释有效预应力差异。本文建立油压—活塞面积—沿程衰减检测模型，分析回缩、摩阻和端部测点对检测值的影响，并通过张拉曲线和限值区间识别过张拉、欠张拉及复测边界。检测链统一油压、伸长值、梁端读数和异常曲线，可减少补张拉和停张处置误判。

【关键词】：预应力混凝土构件；张拉力检测；油压换算；摩阻损失；偏差分析

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.035

引言

后张法预应力混凝土构件依靠张拉设备把钢绞线应力传入混凝土，张拉力是否达到设计控制值，关系到开裂控制、挠度和长期有效预应力。现场常以油压读数、千斤顶率定方程、伸长值和锚固后回缩量共同判断：油压反映张拉端施力，伸长值反映钢束变形，梁端测点反映传递结果，摩阻和回缩造成沿程差异。只比较终张读数，会掩盖管道弯曲、夹片咬合、压力表漂移和持荷滑移。

1 预应力构件张拉力检测参数建模

1.1 后张千斤顶油压读数张拉力换算基准

后张千斤顶油压读数先经活塞面积和率定曲线换算，再同锚固损失、孔道摩阻及梁端读数比较。压力表量程宜覆盖控制油压的 1.50 倍左右，采样要能识别分级加载短时回落；千斤顶与压力表成套编号使用，拆换油管、压力表或密封件后重新率定^[1]。张拉过程经历初应力、分级加载、持荷和锚固阶段，换算基准应对应具体阶段，并保留油压、伸长值和持荷时间的同步记录。

1.2 锚具回缩摩阻损失检测参数取值

锚具回缩发生在夹片咬合和回油锚固阶段，位移量会通过钢绞线弹性刚度转化为有效预应力损失。计算场景中张拉端输出力为 1137.50kN，锚具回缩量为 2.35mm，有效受拉长度取 18000mm，孔道长度取 30m；这些值分别约束力值修正、回缩换算和沿程摩阻衰减^[2]。管道摩阻受孔道曲率、波纹管偏位、灌浆前清洁状态和钢束束形影响，同一控制力在张拉端和远端可能形成不同传递值。距张拉端 x 处的有效张拉力用于判断梁端测点低于张拉端输出的程度，锚具回缩等效损失用于解释锚固后短时力值回落，二者共同决定偏差分解。沿程有效张拉力按式（1）描述。

$$F_x = F_0 e^{-(\mu\theta + kx)} \quad (1)$$

式（1）中， F_x 表示距张拉端 x 处的有效张拉力，单位为 kN； F_0 表示张拉端输出力，单位为 kN； μ 为孔道曲率摩阻系数，单位为无量纲； θ 为累计转角，单位为 rad； k 为孔道偏差影响系数，单位为 1/m； x 为距张拉端孔道长度，单位为米。 θ 或 x 增大时，指数项减小，梁端测得力值低于张拉端输出。

沿程有效张拉力解决的是孔道内力传递问题，锚具回缩等效损失则对应锚固瞬间的位移释放。两类损失发生位置不同，前者沿梁长累积，后者集中在锚固端；连续计算可以避免把摩阻、夹片滑移和测点残余滑移混成同一偏差，并为梁端读数复核提供分项依据，使后续复测能先判断损失位置。锚具回缩等效损失按式（2）换算。

$$\Delta F_a = \frac{E_s A_s \sqrt{\delta a^2 + \delta s^2}}{L_e} \quad (2)$$

式（2）中， ΔF_a 为锚具回缩等效损失，单位为 kN； E_s 为钢绞线弹性模量，单位为 MPa； A_s 为钢绞线有效面积，单位为 mm²； δa 为锚具回缩量，单位为 mm； δs 为测点残余滑移量，单位为 mm； L_e 为有效受拉长度，单位为 mm。回缩量或残余滑移增大时，锚固损失随之增大。

公式给出损失项的计算口径后，还需要把设备、锚具、孔道和梁端测点放回同一检测链中观察。检测链的空间位置决定记录顺序：油压先形成张拉端输出，锚具和孔道改变传力，梁端测点再核对构件实际响应；同一张拉束的异常读数也要沿这条链回查，才能判断问题位于设备、锚固端还是孔道沿程。张拉力检测链的设备、损失项和测点关系见图 1。

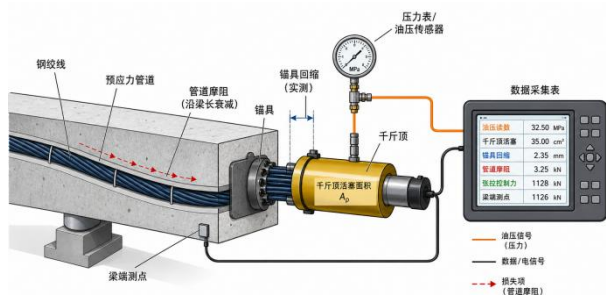


图1 预应力构件张拉力检测链示意

图1中,油压信号从压力表进入千斤顶,千斤顶活塞面积决定张拉端理论输出;锚具回缩位于夹片咬合区,管道摩擦沿预应力管道递减,梁端测点用于核对传递后的受力状态。检测记录若缺少任一环节,终张读数就难以解释偏差来源。

1.3 构件端部应力传递测点布置方式

构件端部测点用于核对张拉端施力是否稳定传入混凝土,位置应避免开锚垫板局部压碎区、梁端倒角和施工缝薄弱部位,并同孔道轴线、锚具中心和梁端控制截面保持可复核关系。压力读数只反映液压系统状态,梁端位移计、钢绞线伸长标记和必要应变测点可补充反映传递结果。长束两端张拉时,测点布置要区分主动端、被动端和跨中控制截面,复测时仍按原测点编号比对。

2 预应力构件张拉力偏差实例分析

2.1 实测张拉力偏差计算方程设置

实测张拉力偏差的计算对象应统一为同一束、同一张拉阶段和同一控制力口径。张拉端由油压换算得到输出力,梁端测点或智能张拉系统给出传递后的实测值,判断前先剔除明显压力波动和卸荷瞬间读数^[3]。多级加载曲线比单一终张点更适合识别中段卡阻和持荷回落,多级张拉均方偏差用于评价全过程偏离。以1120kN控制力、1126kN梁端读数为例,二者相差6kN;若伸长值接近规范边界,还要复核摩阻参数和钢绞线弹性模量。多级张拉偏差按式(3)评价。

$$E_F = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_{m,i} - F_{c,i})^2} \quad (3)$$

式(3)中, E_F 为多级张拉均方偏差,单位为kN; n 为分级加载点数量,单位为计数; i 为加载点序号,单位为索引; $F_{m,i}$ 为第*i*个加载点实测张拉力,单位为kN; $F_{c,i}$ 为第*i*个加载点控制张拉力,单位为kN。单点终张偏差较小时,若中段多个加载点偏离较大, E_F 仍会升高。

2.2 张拉曲线异常波动识别图谱分析

张拉曲线能够暴露单个终张读数无法呈现的异常过程。正

常曲线在初张阶段斜率较大,孔道顺直和钢束就位后逐步接近目标控制力,持荷阶段波动幅度应收敛;若曲线在中段出现平台、锯齿或突然下坠,常对应孔道卡阻、夹片滑移、油泵脉动或压力表滞后^[4]。实测张拉力在60mm行程附近低于目标控制力,摩阻损失影响较明显;到90mm附近进入允许带后,偏差开始收敛,并把回油前后读数差、持荷回落量和加载速率并入同束曲线动态比较。张拉力实测偏差曲线见图2。

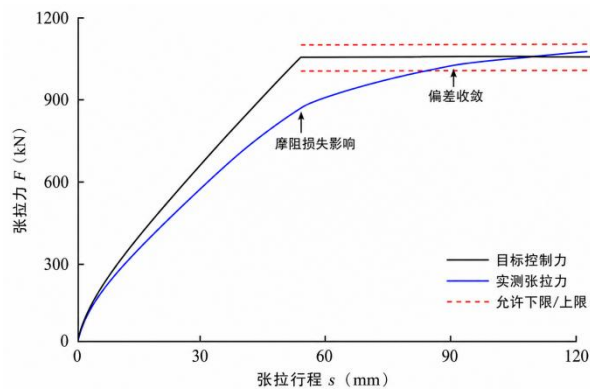


图2 张拉力实测偏差曲线

图2中,实测张拉力在60mm行程附近低于目标控制力,摩阻损失影响较明显;行程接近90mm后蓝色曲线进入红色允许带,偏差开始收敛。若后段仍持续低于允许下限,应先复核孔道摩阻和油压率定,而不是直接加大终张控制值。

2.3 张拉偏差极限量计算与调整量确定

张拉偏差进入处置环节后,应把合格、复测和停张调整分成不同力值区间。以1120kN控制力为例,1086.40—1153.60kN可作为合格带;1064—1086.40kN和1153.60—1176kN进入复测带;低于1064kN或高于1176kN时,应停张检查设备、锚具和孔道。梁端实测张拉力1126kN比控制力高6kN,可归入合格带,但油压换算输出、锚具回缩量 and 摩阻损失仍要形成记录,防止后续压浆和长期损失分析缺少基准。伸长值校核另按规范边界判断,不能用力值合格替代。偏差限值比较和调整判定关系见图3。

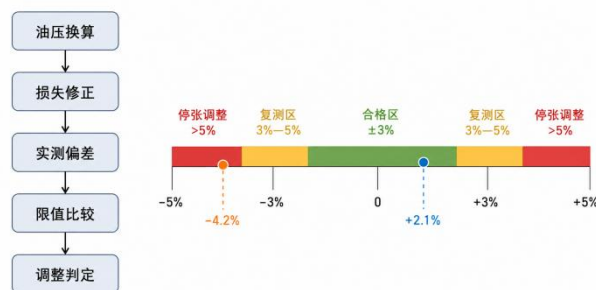


图3 张拉力偏差限值判定示意

图3中, +2.10%测点落入绿色合格区, 可继续结合伸长值和持荷回落核对; -4.20%测点进入黄色复测区, 应检查压力表、千斤顶回油、锚具夹片和孔道摩阻。超过5%的红色区间不宜继续张拉, 应停张复查并重新确定调整量。

3 结语

预应力混凝土构件张拉力检测应由油压换算、损失参数、

测点布置和曲线识别形成连续证据。千斤顶油压读数结合活塞面积后转化为可比较的张拉力; 锚具回缩和管道摩阻决定张拉端与构件有效受力的差值; 梁端测点和分级加载曲线暴露滑丝、卡阻和持荷回落。以1120kN控制力为例, 1086.40—1153.60kN可作为合格带, 1064—1086.40kN和1153.60—1176kN可作为复测带, 超出外侧边界时应停张检查设备、锚具和孔道摩阻风险。

参考文献:

- [1] 白洋,丁志发,崔凌升,等.BIM技术在预应力混凝土工程中的创新应用[J].建筑技术开发,2026,53(8):5-7.
- [2] 曹盛洪.机制砂石粉含量对铁路C50预应力混凝土性能的影响[J].四川水泥,2026,(8):189-191.
- [3] 黎省华.高温后足尺粘结预应力混凝土梁板力学性能试验研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(22):107-109.
- [4] 朱坤雷.建筑大跨预应力混凝土楼盖施工模板支撑方案研究[J].砖瓦,2026,(8):155-158.