

浅谈某水利枢纽工程预应力锚索测力计联合标定试验

张 盼 穆晓东

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：依托新疆某水利枢纽工程大坝边坡锚索张拉，采用锚索测力计与千斤顶、油压表联合标定试验中分析比对锚索测力计数据、油压表读数及钢绞线伸长量等数值，完成千斤顶及配套油压表、锚索测力计的第一次联合标定，确保锚索张拉锁定值满足设计要求。通过联合标定为锚索张拉提供正确的张拉施工参数，避免出现欠拉或超张拉的问题，保证锚索施工质量。

关键词：单根循环张拉工艺；预应力锚索；联合标定；解决方案

1 工程概况及有关说明

某水利枢纽工程坝址区两岸边坡高度较大，但坡度相对较缓，边坡岩体以弱片理化的云母石英片岩为主，岩石坚硬，块状结构，对边坡稳定影响较小；缓倾坡外的IV、V级结构面主要发育在浅表部卸荷岩体中，仅对浅表部局部边坡稳定有影响。现状边坡以崩塌或滑塌破坏为主，规模小，未发现大体积的滑坡或滑坡堆积体。自然边坡现状整体稳定性较好。大坝建基岩体以II类或III类岩体为主，抗变形能力较强，变形模量一般大于10GPa，坝基变形稳定条件较好。

本预应力锚索技术要求适用于1000kN、1500kN、2000kN和3000kN级无粘结、有粘结和压力分散型预应力锚索。预应力锚索应严格按照设计要求进行施工。在保证锚索质量的基础上，施工单位可根据现场实际条件及施工经验，对锚索结构和施工工艺提出调整或改进，调整或改进须经检验认可后方可实施。

2 监测设施的采购、率定、安装、埋设

仪器设备的采购、检验、率定和保管工作流程如下图1：

2.1 监测仪器设备的检验测试

2.1.1 检验依据及目的

(1) 进场的监测仪器在埋设安装前按照《大坝安全监测仪器检验测试规程》SL530-2012、《混凝土坝安全监测技术规范》SL601-2013和设计的要求进行检验。

(2) 检验的目的：

- 1) 校核仪器出厂参数的可靠性；
- 2) 检验仪器工作的稳定性，以保证仪器能长期稳定工作；
- 3) 检验仪器在搬运过程中是否损坏；
- 4) 仪器设备的精度和系统误差。
- 5) 本工程使用的所有监测仪器，埋设安装前均经检

验合格，以保证本工程监测仪器的有高的完好率。

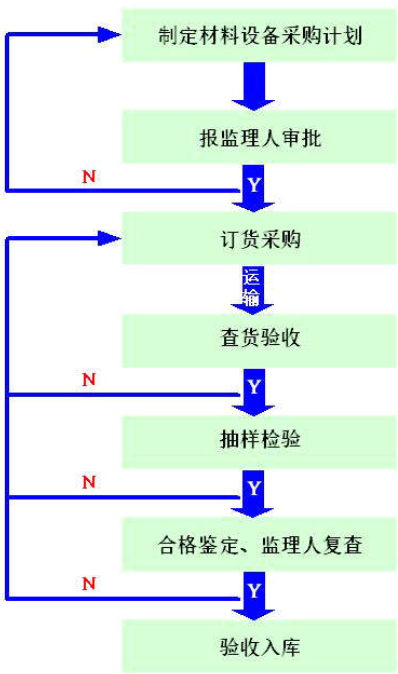


图1 仪器设备的采购、检验、率定和保管工作流程图

2.1.2 仪器主要性能的检验测试

仪器设备的性能检验主要包括防水密封性能、温度性能及最小读数检验，方法如下：

(1) 主要设备

- 1) 能承受4.0MPa的高压容器一个，相应压力的水压机一台；
- 2) 不低于0.4级的压力表；
- 3) 100V/100MΩ的兆欧表；
- 4) 传感器读数仪。

(2) 注意事项

- 1) 在高压容器内的空气应排尽，高压容器和水压机中灌满水，防止漏水；

2) 在高压容器上设置电缆引出管, 将仪器电缆头引出到容器以外;

3) 螺杆螺帽等要拧紧, 保证试验安全。

(3) 仪器防水性能检验

1) 在水下工作的非水压力传感器, 加压至0.5MPa压力或规定的防水密封压力, 保持2h, 水压力式传感器应在规格范围内加压。

2) 量测仪器电缆芯线与外壳 (或高压容器外壳) 之间的绝缘电阻, 量测温度为室温。

3) 被检验仪器的绝缘电阻应大于50M Ω 。

2.1.3 温度性能检测

(1) 要进行温度率定的仪器有温度计以及有测温功能的非温度传感器;

(2) 主要检验设备有:

1) 恒温水箱及冰点槽;

2) 高低温试验箱;

3) 二等标准水银温度计;

4) 传感器读数仪;

(3) 温度传感器在0 $^{\circ}$ C、+20 $^{\circ}$ C、+40 $^{\circ}$ C、+60 $^{\circ}$ C附近各选择一个温度测试点, 其他传感器在0 $^{\circ}$ C、+30 $^{\circ}$ C、+60 $^{\circ}$ C附近各选择一个温度测试点;

(4) 在选定的各温度测试点恒温2h后, 测读传感器输出温度值;

2.1.4 力学性能检测

(1) 试验条件、设备及注意事项

1) 要进行率定的主要仪器包括: 位移计、锚杆应力计、钢筋计、应变计、测缝计、锚索测力计等。

2) 正常试验大气条件: 温度15 $^{\circ}$ C~35 $^{\circ}$ C (在每项试验期间允许的温度变化不大于1 $^{\circ}$ C/h); 相对湿度不大于85%; 大气压力86~106kPa。

(2) 主要设备

1) 大、小校正仪, 千分表, 百分表;

2) 万能材料试验机;

3) 活塞式压力计、高压容器;

4) 压力表、承压板、压块和球座;

5) 传感器读数仪;

(3) 注意事项

1) 应将传感器在检验测试环境条件下预先置放24h以上。

2) 检验前, 应在量程范围上、下限值的1.2倍内预先拉压循环三次以上, 直至测值稳定。

(4) 分档加荷规定

1) 检验分级, 按照我国的有关规程规范规定进行量

程内分级。

2) 检验时, 物理量的上行、下行 (加、卸) 时须匀速, 当给定的每级物理量上行时, 不允许超过某一级后下行到给定点, 同理, 当给定的每级物理量下行时, 不允许超过某一级后上行到给定点。

(5) 检验记录

检验时, 检验人员必须有相应的资质资格。检验记录必须使用规定的格式, 按规范要求的表格形式严格记录各项内容, 记录出现笔误需改正时, 不允许涂抹原笔误的数据, 在笔误的数据上划两条横线表示有误, 然后在左上角记入正确的数据。检验结束后相关人员需签名。

3 安装埋设技术方案及准备措施

监测仪器设备的施工埋设是关系到安全监测成败的重要环节, 因此, 在监测仪器施工埋设前做好充分准备:

3.1 根据设计图纸、通知、相关技术规程规范及工程施工进度安排, 提前备齐所需监测仪器和试验设备。

3.2 仪器运抵现场后, 我方按有关规范或仪器生产厂家提供的方法, 对仪器的性能进行全面率定。率定合格后, 仪器要放在干燥的仓库中妥善保存, 严禁仪器和电缆受到日晒、雨淋和洪水浸泡。

3.3 仪器安装埋设前, 我方对每支仪器进行检验、测试、率定后储存时间不超过12个月且无异常, 可直接埋设, 否则需重新进行率定。

3.4 根据设计图纸和现场情况, 按有关规范和仪器生产厂家的要求联接仪器的加长电缆, 并对电缆接头进行处理。

4 标定与现场联合标定

4.1 大坝边坡预应力锚索施工现状

水利枢纽工程大坝边坡工程预应力锚索于2021年10月开始张拉施工, 张拉参数即采用图1所示率定曲线参数进行张拉, 锚索整体预应力值即为十根 (150t)、十三根 (200t) 钢绞线预应力合力, 应当就是单根钢绞线的十、十三倍, 未进行联合标定前, 已张拉完成的监测锚索锁定值不满足设计要求, 详见图2。经专题讨论会明确, 要求监理中心组织开展联合标定试验, 拟获得施工现场锚索测力计与千斤顶压力表的荷载关系曲线, 并以该曲线指导千斤顶及配套的压力表张拉其它工作锚索。明确试验过程中需要注意几个方面:

4.1.1 每根钢绞线不受径向预应力损失的影响, 且每级张拉受到的拉力绝对相同, 以保证每级张拉每根钢绞线预应力完全相等。

4.1.2 钢绞线孔内外均匀分布且每根钢绞线相互平行, 自身不偏心。

4.1.3 锚索整体被视作刚体,不发生形变。

4.2 联合标定试验开展

测力计和千斤顶及配套的压力表进行联合标定试验。试验方法如下:

4.2.1 用砂轮切割数根(根数与工作锚索钢绞线根数相同)3m长的与本区工作锚索同一批次的钢绞线。

4.2.2 准备好将用于本区锚索张拉的率定合格的千斤顶、压力表和油泵、2套锚具(包括锚板、夹片和限位板),以及将用于本区监测锚索的率定合格的测力计和配套的测力计钢垫板。

4.2.3 将钢绞线穿过千斤顶,在千斤顶筒体一端依次将钢绞线穿过一套限位板和锚板,另一端将钢绞线依次穿过限位板、锚板(10套)、测力计、锚板(10套),分别在两端的锚板孔内安装夹片,轻轻拍打整齐。钢绞线必须对应穿过每个锚板上的相应孔位,不能出现错位。

4.2.4 用油泵将千斤顶2MPa预紧,使整套装置处于张紧状态,再次调整好夹片,按拟定的方案进行张拉,要求张拉过程中夹片不能出现2mm以上的错牙,否则应退锚重新张拉。

4.2.5 严格按工作锚索的实际张拉程序对上述装置进行两个循环的联合标定,同时记录各张拉吨位时测力计、油泵压力表测读、钢绞线伸长长度,详见图2。



图2 模拟标定试验

4.3 标定试验结果

4.3.1 试验结果所示,锚索测力计与千斤顶压力表的荷载关系曲线存在差异,测力计测值比率定值偏小1.554%~2.755%,并与伸长反算值相匹配。

4.3.2 经联合标定调整后使油泵压力表的荷载测读与测力计的荷载测读相差小2%,回归曲线基本拟合,则可确定本套经过联合标定的配套装置可用于监测锚索和工作锚索的施工。

4.3.3 经试验及参考相关资料可得,锚索张拉过程中损失的力可能为千斤顶卸荷后,钢绞线回缩导致夹片

向孔深部移动锁紧,发生预应力损失。根据相关文献记载,该原因导致的预应力损失比高达6.7%~20.4%,2020年11月30日,模拟锚索张拉试验过程中,该情况导致的预应力损失比1.554%~32.755%,且随着张拉力增加,该损失比逐渐减小,符合一般规律。还存在某根钢绞线进行下一级张拉时,由于受压体并不绝对是刚体(即会发生变形),此时其它钢绞线夹片处是否会因变形发生轻微松动,最终导致预应力损失,详见图3。

4.4 联合标定试验特点

径向预应力损失来源无法避免,试验过程中我们通过2MPa预紧再对中等方法,减小剩余必要器具之间的间隙影响。同时预紧张拉中间孔的单根钢绞线,不存在受其它钢绞线干扰的问题,也基本排除了偏心受力的干扰。总之,该试验是个纯粹的校核试验,基本排除了能考虑到的各类径向预应力损失,同时避免了偏心受力。

4.5 标定试验主要问题分析

通过试验发现千斤顶出力1650kN(理论计算值),测力计读数1435.87kN,读数差214.13kN,故我们认为单根钢绞线径向预应力损失会直接反应在整体的预应力损失上,同时单根的预应力损失还会导致锚索整体的合力出现偏心,最终导致锚索测力计读数不准确。

至于实际试验结果中出现的钢绞线伸长量反算应力值不匹配的原因,主要是因为:实际受拉钢绞线长度L过短(主要原因),钢绞线伸长量过小;实际操作过程中,很容易误读且本身没有精确地长度测量设备和手段。

4.6 试验数据成果

我们整理了两组联合标定试验过程数据比对,见表1。

表1 油压表读数(MPa)-锚索测力计荷载(kN)对比

油压表读数 (MPa)	10倍锚索测力计 计算荷载(KN)	调整后的锚索 测力计测值	未调整的锚索 测力计测值
0	0	0	0
5	225.368289	175.368289	165.368289
10	452.614842	402.614842	382.614842
11.5	519.719985	469.719985	419.719985
13	603.004469	553.004469	453.004469
15	663.291043	613.291043	498.291043
20	899.399176	849.399176	649.399176
21	950.746958	900.746958	700.746958
28	1281.944692	1231.944692	931.944692
37.5	1746.554995	1696.554995	1396.554995
38.5	1785.876347	1735.876347	1435.876347

5 联合标定试验成果

5.1 锁定测量值偏小

根据试验结果,结合联合标定的油压表进行施工锚

索张拉时，测力计锁定荷载读数会小于理论值。经进行张拉的锚索锁定荷载统计值分析发现，千斤顶和油压表推算的荷载比锚索测力计的监测值偏小，符合预期推断。

5.2 解决方案建议

针对锚索锁定值不满足设计要求的问题，通过试验我们得出采用联合标定压力表值进行锚索张拉的处理办法，采用钢绞线伸长值反算，确保锚索锁定值满足设计要求。

6 结论

6.1 试验中的“千斤顶出力值”是在排除了众多可能

导致预应力损失的单根钢绞线的试验中，得到的预应力（锚索测力计测值）的十倍，即此直线的纵坐标就是假设锚索十根钢绞线都不损失时的预应力合力。

6.2 曲线差值分别代表了“径向预应力损失”和“偏心力导致测力计读数偏小”。

6.3 通过联合标定试验，可得调整得出指导现场锚索张拉力值回归曲线，以此指导现场锚索施工，说明联合标定试验在锚索张拉前很有必要进行，必须采用科学的方法使锚索测力计校准对应的张拉机、油压表，从而推算出每级张拉力对应的压力值。详见图3。

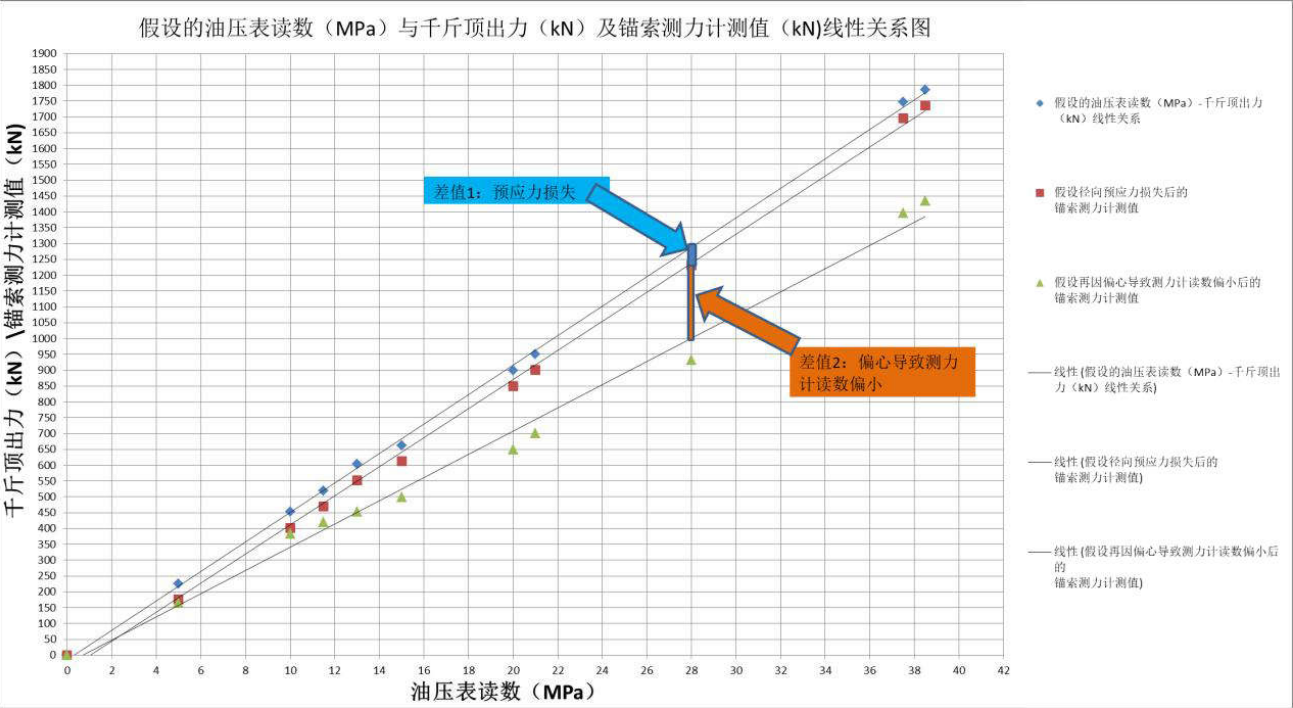


图3 油压表读数（MPa）-锚索测力计荷载（kN）损失力分析形象图

6.4 张拉过程中严格按照千斤顶与油压表曲线方程推算出的油压值施压，张拉过程中不允许超张拉，试验表明单根钢绞线实际预应力只会偏小，从而导致预应力合力偏小，再加上偏心受力会导致锚索测力计读数偏小，最终导致锚索测力计测值曲线在该曲线的下方。

参考文献

[1]刘勇.《锚索拉力监测数据偏差原因分析》施工技术.2020,49(15).
 [2]张传安.《压力分散型预应力锚索在高边坡防护中的应用》工程质量.2009,27(5).