

Prestress Measurement and Control of Steel Strand in Reinforcing a Grid Structure

Guoxiang Liu^{1*}, Honggang Lei^{1#}, Xiaoyi Hao¹, Lei Ning¹, Shuai Feng²

¹School of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi

²China Sea-Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai

Email: 1298852701@qq.com, #lhgang168@126.com

Received: Feb. 15th, 2018; accepted: Feb. 28th, 2018; published: Mar. 8th, 2018

Abstract

In this paper, for the reinforcement of a network structure of the prestress control, on the basis of the patent "prestressed cable tension meter" we developed a tension tester. In the process of measuring the tensioning force of the steel strand in this project, we fully take account of the elongation of the strand in the process of tension, and the measurement results meet the design requirements. Compared with the patented method, this paper developed a tensile tester to measure and control the tension of strand more accurately.

Keywords

Prestressed Measurement and Control, Jack, Tensiletester, Steel Strand

加固某网架结构的钢绞线中预应力测控

刘国祥^{1*}, 雷宏刚^{1#}, 郝潇逸¹, 宁磊¹, 冯帅²

¹太原理工大学, 建筑与土木工程学院, 山西 太原

²中国海诚工程科技股份有限公司, 上海

Email: 1298852701@qq.com, #lhgang168@126.com

收稿日期: 2018年2月15日; 录用日期: 2018年2月28日; 发布日期: 2018年3月8日

摘要

本文针对钢绞线加固某网架结构中预应力的测控, 在专利《预应力钢索张力计》基础上自行研制出一种

*第一作者。

#通讯作者。

张拉力测定仪。在进行本工程钢绞线张拉力测量中,充分考虑张拉过程中钢绞线的伸长量,测量结果满足设计要求。与专利方法对比分析,本文自行研制的张拉力测定仪测控钢绞线张拉力更为精确。

关键词

预应力测控,千斤顶,张力测定仪,钢绞线

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

本工程为某电厂螺栓球网架屋盖结构加固工程。该厂房建于2002年,屋盖系统采用钢网架承载+预制钢筋混凝土屋面板。网架为正交正放四角锥形式,网架轴网尺寸为 62.8×29.6 m,建筑投影面积约 1859 m^2 ,建筑高度约 24.6 m。网架杆件选用Q235高频焊接或无缝钢管,节点形式为螺栓球节点,周边上弦节点支承。2015年5月20日,网架西南角发生局部塌陷;三天之后,厂房网架西侧两跨发生整体坍塌。

通过可靠性鉴定,该网架安全性等级为Cu级,网架杆件应力水平高,部分杆件承载力欠缺。风荷载导致某高强螺栓疲劳断裂是本次事故发生的直接原因。因此该网架需实施全面加固。在对比各种加固方法的基础上,我们最终决定采用体外钢绞线预应力加固法。

2. 钢绞线预应力的测控原理及仪器研制

2.1. 钢绞线预应力测控原理

施工过程主要是对钢绞线进行张拉,施加设计要求的预应力。因此张拉力值是否满足设计要求对整个结构就显得尤为重要。目前对于钢绞线张拉力的测量方法较多,但使用仪器及原理的不同,导致每种测量方法都有它各自的优缺点。主要的测量方法有压力传感器测定法、应变片粘贴法、磁通量法、光纤光栅检测法、千斤顶法[1][2]。压力传感器测定法,通过压力传感器将张拉力值测出。该方法测量精度较高但仪器制作成本高,测量不方便,劳动力大,限定场合下使用;应变片粘贴法,在钢绞线表面粘贴应变片测得应力应变值从而换算出张拉力值。但钢绞线上粘贴应变片不方便,钢绞线内部应力测量不精确;磁通量法,根据铁磁性材料的磁弹效应原理制成[3]。仪器制作成本较高,操作环境限制;光纤光栅检测法,精度较高,灵敏性好,但受温度变化影响较大,且需埋入测量构件内部;千斤顶法,仪器设备成本低、制作简单,操作方便,适应于各种施工环境,是目前施工过程中最常用的测量钢绞线预应力的方法。

2.2. 专利[4]预应力的测控原理及本文研究公式推导

专利中钢绞线张拉力主要通过千斤顶向上顶升钢绞线,使钢绞线产生垂直位移变化,通过简单换算求得张拉力。实际操作中,千斤顶提供液压表读数转换为力的大小,百分表读数得到钢绞线产生的垂直位移,通过简单的力学计算便可得出钢绞线中的张拉力。

专利中忽略了千斤顶在张拉过程中钢绞线的伸长量,经过简单的力学计算,最终求得张拉力值公式如下:

$$T = \frac{FL}{4S} \quad (1)$$

本文考虑张拉过程中钢绞线长度的伸长量,求得张拉力值公式如下:

$$T_1 = \frac{F\sqrt{4S^2 + L^2}}{4S} \quad (2)$$

其中 F ——千斤顶的支撑力; S ——钢绞线顶起垂直距离; L ——刚性支架两端距离; θ ——张拉力方向与变形后的钢绞线的夹角; T ——钢绞线张拉力值。

2.3. 本文钢绞线预应力测控原理及仪器研制

本文针对电厂施工现场实际情况结合 5 种钢绞线测控原理及特性进行比对,最终选择使用千斤顶法,参考专利[5]并考虑张拉过程中钢绞线的长度增量和刚性支架两端挂钩向内侧产生的位移变形量,自行研制一种张拉力测定仪,进行本工程钢绞线张拉力测量。

张拉测定仪组成部件主要有 1) 液压表(60 Mpa); 2) 百分表(0.01 mm); 3) 千斤顶(5 T); 4) 半圆环连接件; 5) 加力装置; 6) H 型钢支架; 7) 预应力钢绞线。(见 图 1)主要采用千斤顶提供向上支撑力,使得钢绞线发生位移变化。通过力和位移之间的力学计算,得出钢绞线的张拉力值。千斤顶轻巧方便且能够提供足够支撑力。电厂加固工程钢绞线设计要求张拉值为 43 kN,因此千斤顶配套液压表规格为 60 Mpa。通过标定后满足力和液压表读数的转换。精度为 0.01 mm 的百分表[6]用于钢绞线位移变化的测定。张拉力测定仪在高空操作,需要一个满足刚度的支架用来放置仪器且保证操作千斤顶时不会产生歪斜或滑移而影响数据精度。千斤顶上部需设置一个半圆环连接件,一是保证施加力时与钢绞线充分接触不产生相对位移;二是控制百分表用来测量位移变化。开始加载,加载一次,读取一组液压表和百分表数据,从而计算出钢绞线的张拉力,直至满足加载要求。

3. 预应力现场测控的实施

3.1. 张拉测定仪标定

在张拉钢绞线施工作业前,需对 2 台千斤顶采用万能试验机进行标定试验。通过标定后建立支撑力和油压表读数“ $F-P$ ”的关系曲线(见图 2),建立线性回归方程[7] [8]。

由图 2 可以看出,两台千斤顶的“ $F-P$ ”转换公式是有差距的。因此在工程使用前必须对千斤顶进行标定。

3.2. 施工现场测控的实施

该工程使用 2 台张拉力测定仪(以下简称 1 号和 2 号)对 30 根钢绞线进行了张拉测定。网架平面布置及跨中张拉测定仪测点位置如图 3 所示。

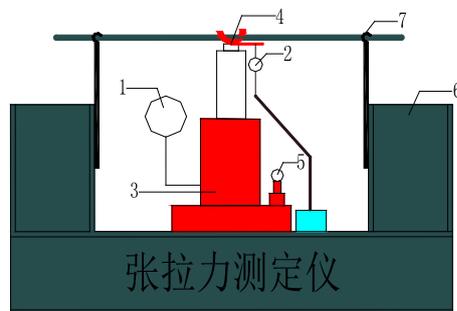


Figure 1. Tension tester work diagram
图 1. 张拉测定仪工作示意图

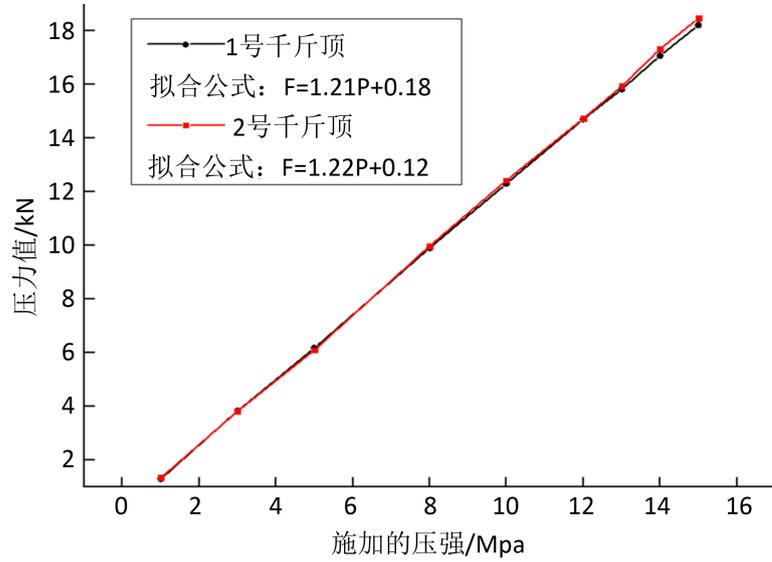
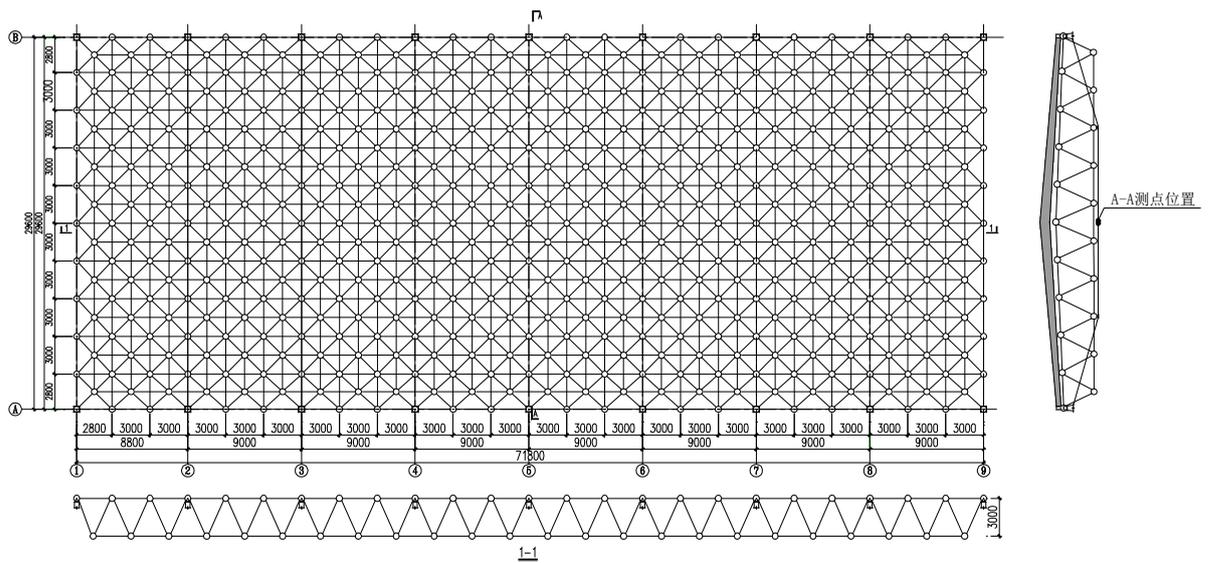
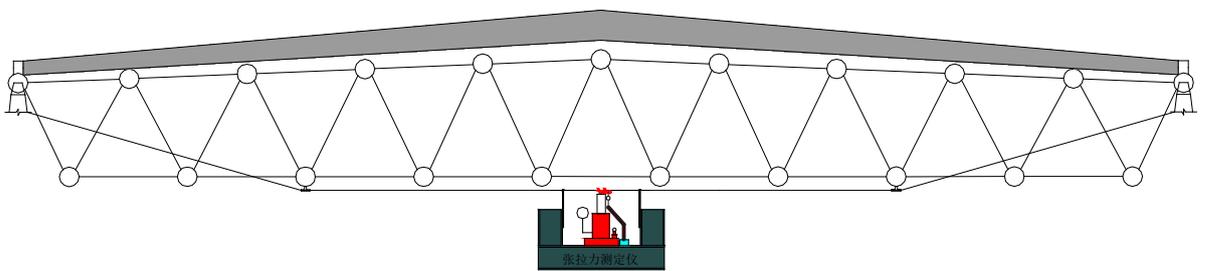


Figure 2. Two jack calibration data fitting
图 2. 2 台千斤顶标定数据拟合



(a) 平面布置及测点位置示意图



A-A断面放大图

(b) A-A 断面测点位置放大图

Figure 3. Plant layout of the grid floor plan and measuring point location diagram
图 3. 机厂房网架平面布置及测点位置示意图

整个张拉期间严格按照张拉操作规程和预应力用千斤顶规范[9]执行, 专人进行各个节点变形情况的监测[10], 现场施工情况如图3所示。

该工程中刚性支架两端之间 $L = 400 \text{ mm}$ 。30根钢绞线按照设计要求需张拉到 43 kN, 根据公式(2)及两台张拉测定仪力“ $F-P$ ”线性关系式, 计算出30根钢绞线张拉力值, 计算结果见表1中 T_1 。

依据相关规范[11]可知, 钢绞线张拉力值测量误差在 $\pm 6\%$ 是满足规范要求。由表1中 T_1 可以看出, 1号和2号平均值分别是 43.10 kN 和 42.82 kN, 设计要求为 43 kN, 误差为设计要求的 0.023%和 0.42%, 方差为 1.09 和 1.43, 数据波动较小, 离散性较好, 满足规范要求。

3.3. 依据专利[4]计算钢绞线张拉力并于本文研究推导公式对比分析

根据专利《预应力钢索张力计》中公式(3), 求得钢绞线张拉力值见表1中 T 。由表1中 T 可以看出, 1号和2号平均值分别是 45.26 kN 和 45.15 kN, 设计要求为 43 kN, 误差为设计要求的 5.26%和 5%, 数据误差较大; 方差为 2.58 和 6.24, 数据波动较大, 离散性差。

将本文研究方法测得数据与通过专利取得数据进行拟合, 对比分析结果如下图4所示。

由图4可以清楚地看到, 1、2号张拉力值中试验值都低于专利值, 且差距均在一定范围之内。1号试验值均值为 43.10 kN, 专利值均值为 45.26 kN, 本工程1号试验值更接近设计值; 2号试验值均值为 42.82 kN, 专利值均值为 45.15 kN, 本工程2号试验值更接近设计值。这也就是说, 本文研究推导得出的公式计算出来的结果较专利计算出来的结果更精确一些。

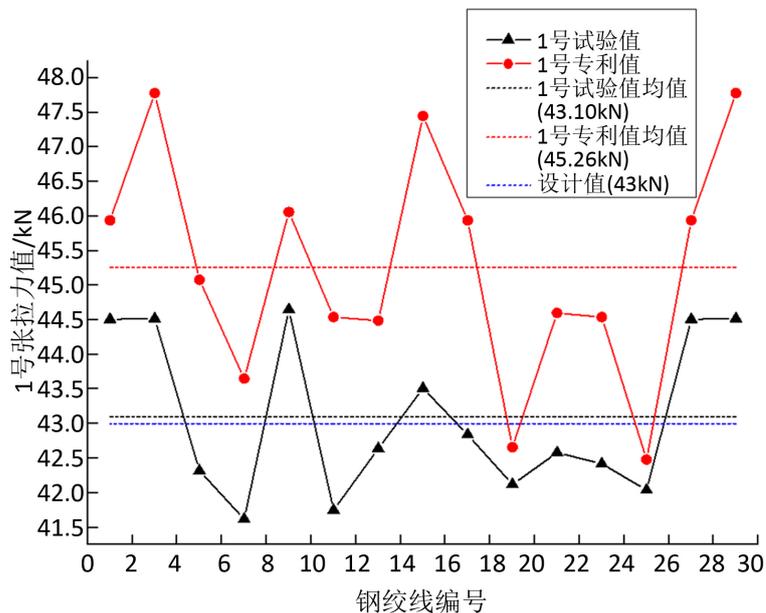
4. 结论及建议

1) 本文基于专利《预应力钢索张力计》用于测量张弦梁钢索预应力的原理, 充分考虑张拉过程中钢

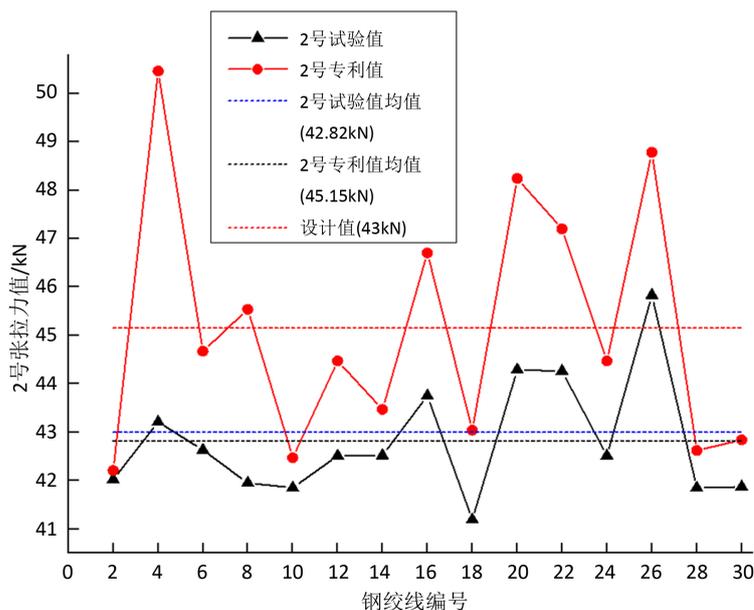
Table 1. Comparison of the data between the 1 and 2 in the patent and the test

表 1. 1 号和 2 号在专利和本试验下的数据对比

1 号		2 号			
钢索编号	T_1/kN	T/kN	钢索编号	T_1/kN	T/kN
1	44.51	45.94	2	42.02	42.21
3	44.52	47.78	4	43.21	50.46
5	42.32	45.08	6	42.63	44.67
7	41.62	43.65	8	41.95	45.54
9	44.65	46.06	10	41.85	42.47
11	41.75	44.54	12	42.51	44.47
13	42.64	44.49	14	42.52	43.47
15	43.51	47.45	16	43.75	46.70
17	42.84	45.94	18	41.19	43.04
19	42.12	42.66	20	44.29	48.24
21	42.58	44.60	22	44.26	47.20
23	42.42	44.54	24	42.51	44.47
25	42.04	42.48	26	45.83	48.78
27	44.51	45.94	28	41.85	42.62
29	44.52	47.78	30	41.87	42.84



(a) 1号在专利和本试验下的数据拟合图



(b) 2号在专利和本试验下的数据拟合图

Figure 4. Plant layout of the grid floor plan and measuring point location diagram
图 4. 机厂房网架平面布置及测点位置示意图

绞线伸长量的情况下，自行研制出一种张拉力测定仪，进行本工程钢绞线张拉力测量，并顺利完成该电厂网架结构中预应力的测控，满足设计要求。

2) 本文将试验数据与按专利求得的数据进行对比分析，结果表明张拉力计算公式中考虑到钢绞线伸长量这个因素之后，计算得到的张拉力值较按专利求得的张拉力值偏小，与设计要求相比，更为精确。

3) 按本文计算示意图中得出的钢绞线张拉力值比钢绞线处于水平的实际情况下计算出来的张拉力值偏大。钢绞线实际的张拉力值为 $T_{实际} = T \cos \theta$ ，当测量过程中钢绞线变形较小时，可近似的认为 $T_{实际} \approx T$ 。由规范[11]可知，钢绞线张拉力值测量误差在 $\pm 6\%$ 是满足要求的。由计算可以得出 $\theta \leq 19.38^\circ$

时误差满足要求,即可近似的认为 $T_{\text{实际}} \approx T$ 。本文中实验测得钢绞线垂直位移 S 最大时为 12.1 mm, 计算得到 $\theta = 3.47^\circ$, 故可近似认为二者相等。

4) 本文自行研制的张力测定仪相对于同类千斤顶法测量索力值, 不仅携带方便、操作简单, 更重要的一点是它将张拉过程中钢绞线自身的伸长量也考虑在内, 测量出的结果更为精确。

基金项目

国家自然科学基金(51578357)资助。

参考文献

- [1] 陈鲁, 张其林, 吴明儿. 索结构中拉索张力测量的原理与方法[J]. 钢结构, 2006, 36(s1): 368-370.
- [2] 王先丽. 钢绞线斜拉索索力监测与应用[J]. 公路工程, 2016, 4(41): 188-189.
- [3] 黄月华. 基于频率法的钢绞线预应力检测技术研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [4] 李铁英, 魏剑伟, 郭小亮, 等. 预应力钢索张力计[P]. 中国专利, 2007100616244. 2007-08-22.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T5224-2003 预应力混凝土钢绞线[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2003: 9.
- [6] 郭小亮. 张弦梁结构的试验与分析[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2008.
- [7] 陈森宝, 周世泉. 张拉力与伸长值的计算和量测方法[J]. 广东水利水电, 2003(a02): 52-53.
- [8] 张卓杰, 王荣耀, 甄晓霞, 等. 平行钢绞线斜拉索索力测试方法评价[J]. 桥梁建设, 2016, 46(2): 43-44.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JG/T321-2011 预应力用液压千斤顶[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 8.
- [10] 丁远江. 用张拉钢绞线进行高墩桥挂篮的施工预压[J]. 浙江建筑, 2009, 26(4): 40-41.
- [11] 中华人民共和国交通部. JTG/TF50-2011 公路桥涵施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 107.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org