

预应力用液压千斤顶型式试验研究

刘琳琳 谢诗 招礼亮 吴勇翔

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545006)

摘要:桥梁工程中施加预应力所用的机具设备通常称为张拉设备。常用的张拉设备由液压千斤顶和配套的高压油泵、压力表及外接油管等组成。液压千斤顶按其构造可分为穿心式千斤顶和实心式千斤顶。工地上比较常见的张拉千斤顶一般为穿心结构,其主要结构包括张拉外套、活塞、油室。为保证工程质量及施工安全,千斤顶应进行出厂检验和型式检验。本文以柳州欧维姆机械股份有限公司设计生产的YDC3000/58-200型液压千斤顶为例,主要研究液压千斤顶型式试验方法。

关键词:液压千斤顶 型式试验 行程偏差 空载性能 满载性能 超载性能 长期运行性能 负载效率 智能泵站

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2014.04.005

1 概述

YDC3000/58-200型液压千斤顶系柳州欧维姆机械股份有限公司设计生产的一款穿心式千斤顶。穿心式千斤顶是利用双液压缸张拉预应力筋和顶压锚具的双作用千斤顶。千斤顶在张拉时,用其抵住工作锚具,将工作锚具安装在活塞前端,并安装工作、工具夹片,通过张拉油泵向进油嘴进油,在高压油的推动作用,使活塞向前运动,在工具锚作用下,带动钢束向前运动,实现钢束的张拉。

千斤顶应进行出厂检验和型式试验。型式试验(type test)是为了验证产品能否满足技术规范的全部要求所进行的试验,它是新产品鉴定中必不可少的一个环节,只有通过型式试验,该产品才能正式投入生产。该文参照JG/T 321-2011《预应力用液压千斤顶》标准,以YDC3000/58-200型液压千斤顶为例,研究型式试验。

2 检验规则

2.1 出厂检验规则

每台千斤顶均应进行出厂检验,检验合格后方可出厂。检验项目为:行程偏差、空载性能、满载性能、超载性能。出厂检验项目中有一项不合格者,该台千斤顶判为不合格,返修后,应重新进行全部项目的检验。

2.2 型式检验规则

型式检验项目包括:行程偏差、空载性能、满载性能、超载性能、负载效率、长期运

行性能。

凡属下列情况之一者,应进行型式试验:

- (1) 新产品或老产品转厂生产的试制型鉴定;
- (2) 正式生产后,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时;
- (3) 正式生产时,每2~3年应进行一次检验;
- (4) 产品长期停产后,恢复生产时;
- (5) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- (6) 国家质量监督检验机构提出进行型式检验的要求时。

型式检验的抽样数量为三台,其中两台应进行全部项目的检验,另外一台可不进行长期运行性能检验。型式检验中有不合格的项目,应再抽取三台千斤顶对该项目进行复验,如仍有不合格者,则型式检验不合格。

3 试验方法和步骤

3.1 试验设备机具及材料

- (1) YDC3000/58-200 液压千斤顶三台;
- (2) 长期运行试验用智能泵站、ZB4-500 电动油泵各一台;
- (3) 500t 四柱式压力机 YES-500;
- (4) 垫板、垫块若干,球头垫板一套;
- (5) 0.4 级 100MPa 油压表两块;
- (6) CL-YB-M4MN 锚固力传感器一台;

(7) 5m卷尺一把, 油管若干, 三通接头一个, 外径千分尺一把。

3.2 试验条件

3.2.1 试验用油应符合下列要求:

(1) 40℃时运动黏度在 $28.8\text{mm}^2/\text{s}\sim 50.6\text{mm}^2/\text{s}$ 范围内;

(2) 固体颗粒污染等级不应高于GB/T 14039规定的-19/16;

(3) 具有一定的防锈和抗磨能力;

(4) 温度保持在 $20\text{℃}\sim 60\text{℃}$ 范围内;

(5) 与密封件材料相容。

该次试验选用L-HM32抗磨液压油。

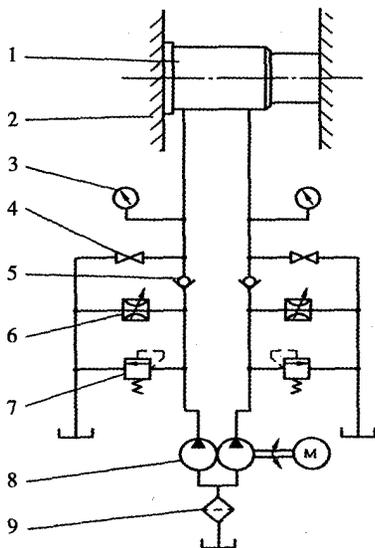
3.2.2 试验仪器应符合下列要求:

(1) 测力示值的不确定度不应大于1.0%, 量程应为该项试验最大力值的140%~200%;

(2) 压力表的精度等级不应低于0.4级, 量程应为该项试验压力最大值的140%~200%。

3.3 试验装置

千斤顶的空载性能、满载性能、超载性能、负载效率试验用液压系统原理见图1。



1-被试千斤顶; 2-试验台座或压力机; 3-压力表; 4-截止阀; 5-单向阀; 6-节流阀; 7-溢流阀; 8-液泵; 9-过滤器。

图1 空载性能、满载性能、超载性能、负载效率试验用液压系统原理图

3.4 行程偏差试验

空载往复运行三次, 在千斤顶无爬行、无跳动时进行下列试验:

(1) 空载运行测量活塞最大行程三次, 每次行程偏差要符合表1要求。

表1 千斤顶行程的允许偏差

公称行程L	$L\leq 250$	$250<L\leq 500$	$L>500$
允许偏差	+50	+100	+150

2) 空载下使活塞或活塞杆移动, 记录启动时的压力。

数据记录于表2

3.5 空载性能试验

(1) 空载时千斤顶不应有外泄漏;

(2) 千斤顶启动压力不应大于千斤顶额定压力的3%。

数据记录于表2

3.6 满载性能试验

用压降法进行千斤顶内泄漏试验时, 将应千斤顶放在试验台座内, 活塞伸出长度为千斤顶公称行程的 $2/3$, 回油截止阀保持打开状态下, 关闭进油截止阀并对千斤顶供油, 当油压升至额定压力时停止供油, 并开始计时, 测量千斤顶工作油缸压力的下降值, 试验要符合下列要求:

(1) 在额定压力下, 当采用压降法测量千斤顶内泄漏量时, 5min内压降值不应大于额定压力的3%;

(2) 进行内泄漏试验时应无外泄漏。

数据记录于表2

3.7 超载性能试验

(1) 完成上述3.5、3.6试验后, 将压力升至1.25倍额定压力下持荷3min后卸荷。观察加荷时各密封、焊接位置有无外泄漏, 卸荷后活塞表面有无划伤。

(2) 将活塞或活塞杆伸出千斤顶公称行程的 $4/5$, 工作油缸压力由0MPa开始, 每10MPa为一级逐级增加至额定压力的1.25倍并卸荷, 用外径千分尺逐级测量油缸两端及中间的变形, 变形应是线性的。

以千斤顶(编号: 1301)为例, 试验数据记录于表3, 油缸两端及中间的变形与油压的L-P关系图, 见图2。

表2 千斤顶行程偏差、空载性能、满载性能试验数据记录表

额定油压	58MPa	额定行程	200mm	产品编号	1301	1302	1303
序号	检验项目	性能要求	检验方法	检测结果			
1	a. 空载运行性能	不得有外渗漏和可见滑动表面的明显擦伤。	空载全行程往复动作3次, 观察试运转情况	无外漏	无外漏	无外漏	
	b. 全行程检验	行程L 允差 $L \leq 250$ +50	空载状态下测量活塞最大行程三次	201mm	202mm	204mm	
2	最低启动油压	小于额定油压的3%	空载状态下用小量程油压表测量活塞始动时的油压	1.5MPa	1.0MPa	1.2MPa	
3	外渗漏性能	无外渗漏	在试验内泄漏量时同时观察各密封处的外渗漏情况。	无外漏	无外漏	无外漏	
4	满载运行性能	5min内压降值小于公称压力的3% (内泄漏)	将千斤顶放置在试验架内, 活塞伸出行程的2/3, 升至额定油压, 关闭截止阀, 测量5min内的压降值	2.5%	2.3%	2.7%	

表3 千斤顶超载性能试验数据记录表

千斤顶	型号	YDC3000/58-200	编号	1301
压力表	等级	0.4	编号	0102013
油泵	型号	ZB 10/320-4/800B	编号	44

公称油压P (MPa)	外径变形L (mm)		
	油缸上端	油缸中间	油缸下端
10	348.02	348.01	348.01
20	348.13	348.09	348.11
30	348.21	348.23	348.29
40	348.35	348.27	348.47
50	348.47	348.35	348.62
60	348.56	348.46	348.74
70	348.71	348.56	348.90
72.5	348.74	348.60	348.94

检测结果
 油缸上端 一元一次线性回归方程: $L=0.0115P+347.89$ 相关系数 $\gamma=0.998$
 油缸中间 一元一次线性回归方程: $L=0.0092P+347.92$ 相关系数 $\gamma=0.996$
 油缸下端 一元一次线性回归方程: $L=0.0115P+347.89$ 相关系数 $\gamma=0.999$

在72.5MPa油压下千斤顶无泄漏, 油缸无异常变形; 卸荷后油缸无残余变形, 活塞表面无划伤。

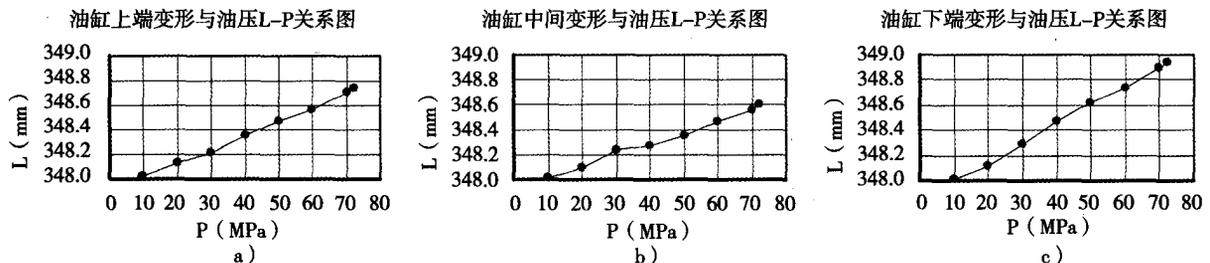


图2 千斤顶油缸两端及中间的变形与油压的L-P关系图

3.8 负载效率试验

3.8.1 计算方法

将活塞伸出千斤顶公称行程的2/3, 自公称

油压的20%起, 每10%为一级, 以千斤顶主动加压并测量千斤顶的输出力, 按式(1)计算负载效率并绘制出负载效率-油压曲线。负载效率试

验装置见图3。

$$\eta = \frac{W}{PA} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- η—负载效率，(%)；
- W—千斤顶输出力，单位为牛顿(N)；
- P—工作油缸油压，单位为(MPa)；
- A—工作油缸活塞面积，单位为平方毫米(mm²)。

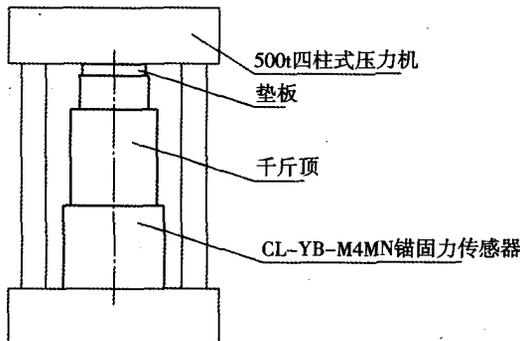


图3 负载效率试验装置

3.8.2 试验步骤

- (1) 将千斤顶、传感器、垫板如图2所示装入500t四柱式压力机内，预留千斤顶伸缸高度。
- (2) 将压力传感器与2000标准测量仪连接，并调整好显示通道。
- (3) 将电动油泵油管与千斤顶连接，打开油泵并加压至额定油压后卸压，检查各连接油嘴处是否有漏油。
- (4) 将千斤顶伸缸，自公称油压的20%起，每10%为一级，直至升至千斤顶额定压力，记录2000标准测量仪上千斤顶的张拉力示值，循环测量三次。以YDC3000/58-200千斤顶(编号：1301)为例，试验数据记录于表4。
- (5) 计算各张拉力所对应的负载效率，绘制负载效率-油压曲线图，见图4。

表4 千斤顶负载效率试验数据记录表

标准计量器具				CL-YB-M4MN 传感器			
标准计量器具编号				02041			
级别				0.3			
检定依据				参照JG/T 321-2011 标准			
千斤顶	型号	YDC3000/58-200	编号	1301			
压力表	等级	0.4	编号	0102013			
油泵	型号	ZB 10/320-4/800B	编号	44			

公称油压P (MPa)	长期运行前输出力F (kN) 试验日期：2014年3月2日				长期运行后输出力F (kN) 试验日期：2014年3月20日				理论输出力F /kN	长期运行前负载效率 η/%	长期运行后负载效率 η/%	长期运行前后负载效率 率变化率
	第一次	第二次	第三次	平均数	第一次	第二次	第三次	平均数				
10	490.3	491.5	492.5	491.4	495.3	501.5	498.5	498.4	506.6	97.0%	98.4%	1.4%
15	740.1	739.2	742.5	740.6	742.1	747.2	745.5	744.9	759.8	97.5%	98.0%	0.6%
20	984.8	997.6	990.8	991.1	990.8	991.6	995.8	992.7	1013.1	97.8%	98.0%	0.2%
25	1235.8	1232.2	1237.6	1235.2	1233.8	1237.2	1239.6	1236.9	1266.4	97.5%	97.7%	0.1%
30	1492.3	1501.5	1495.0	1496.3	1490.3	1499.5	1503.0	1497.6	1519.7	98.5%	98.5%	0.1%
35	1741.2	1741.5	1744.3	1742.3	1744.2	1750.5	1746.3	1747.0	1772.9	98.3%	98.5%	0.3%
40	1992.3	1997.3	1996.3	1995.3	1989.3	1995.3	1999.3	1994.6	2026.2	98.5%	98.4%	0.0%
45	2247.3	2245.5	2245.1	2246.0	2250.3	2251.5	2246.1	2249.3	2279.5	98.5%	98.7%	0.1%
50	2497.2	2506.3	2501.2	2501.6	2499.2	2502.3	2505.2	2502.2	2532.8	98.8%	98.8%	0.0%
55	2746.5	2743.5	2753.5	2747.8	2742.5	2753.5	2749.5	2748.5	2786.0	98.6%	98.7%	0.0%
58	2903.5	2904.5	2910.0	2906.0	2910.5	2914.5	2908.0	2911.0	2938.0	98.9%	99.1%	0.2%

检测结果 1) 千斤顶长期运行前后负载效率均大于95%；
2) 长期运行性能试验前后，千斤顶负载变化不大于3个百分点，满足标准要求。

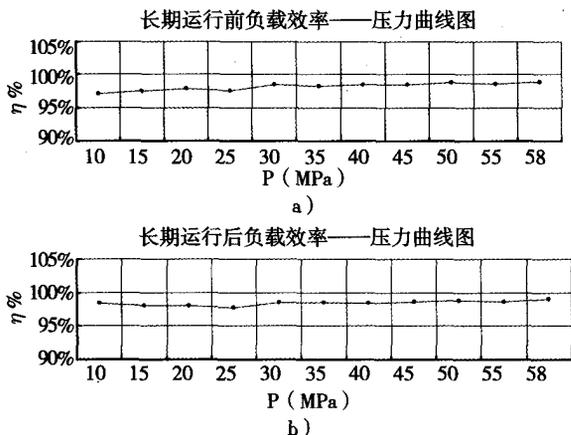


图4 千斤顶长期运行前后负载效率-油压曲线图

3.8.3 判定方式

参照JG/T321-2011标准要求：1) 穿心式液压千斤顶负载效率不低于95%；2) 长期运行性能试验前后，千斤顶负载效率变化范围不应大于3个百分点，即可判定合格。

3.9 长期运行性能试验

3.9.1 试验要求

千斤顶的长期运行性能可采用试验室或现场试验确定，其要求应符合表5的规定，且试验完成后，千斤顶应无外泄露，油缸无残余变形，活塞表面无划伤。试验中不应维修被试千斤顶或更换其零部件。

表5 千斤顶长期运行性能要求

公称输出力F/kN		F ≤ 600	600 < F ≤ 1200	F > 1200
试验室试验	活塞往复动作次数	1	0.5	0.3
	不应少于/万次			
现场试验	累计张拉预应力筋	0.8	0.4	0.2
	次数不应少于/万次			

注1：试验室试验时千斤顶在额定压力下活塞的最大伸出量不应少于公称行程的2/3，试验可中途暂停，但一次连续运行时间不宜小于8h。

注2：现场试验应在实际工况下进行，且张拉力不宜低于千斤顶公称输出力的80%。

3.9.2 试验步骤

该套千斤顶长期运行试验用的整套试验装置系柳州欧维姆机械股份有限公司自主研发，主要包括：智能泵站及其控制系统、控制程序编制，试验台架、ZB4-500电动油泵、球形垫板、接近开关安装组件等。其中，智能泵站的控制系统采用PLC+触摸屏控制模式，通过程序控制可以实现两台千斤顶自动伸缩缸来回往复运动，自动记录千斤顶活塞的累计往复动作次数。

YDC3000/58-200型液压千斤顶长期运行性能试验室试验装置及液压系统原理图，见图5、图6。

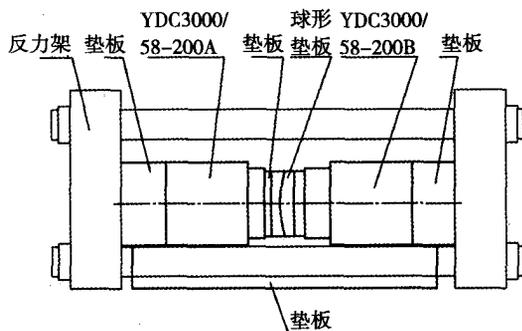


图5 长期运行性能试验室试验装置图

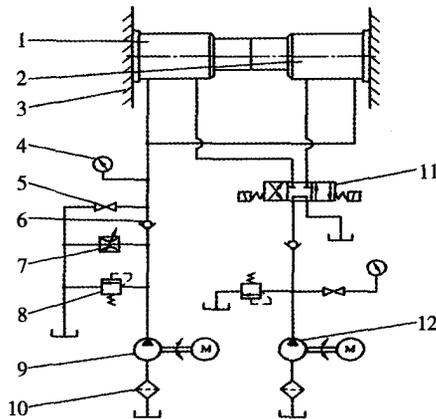


图6 长期运行性能试验室试验液压系统原理图

(1) 将千斤顶、垫板安装到反力架内（如图5），调整好两台千斤顶的中心高度。

(2) 将长期运行试验智能泵站、ZB4-500电动油泵及油管、三通接头与千斤顶连接好。具体操作为将两台千斤顶的伸缸油嘴处油管通过一个三通接头与ZB4-500电动油泵的进油口油管相连接；两台千斤顶的缩缸油嘴处油管分别连接到长期运行试验智能泵站的两个油嘴口，详见图7。

(3) 启动ZB4-500电动油泵，将两台被试千斤顶活塞伸缸至135mm，装上球形垫板。

(4) 根据两台千斤顶伸缩缸方向及行程安装接近开关，见图8。

(5) 在智能泵站控制面板处启动油泵，打开接近开关控制器，让两台千斤顶能自动伸缩缸往复运行，并设置触摸屏计数。

(6) 启动ZB4-500电动油泵，将两台千斤顶伸缸油压调至额定油压（58MPa）。

试验数据记录于表6

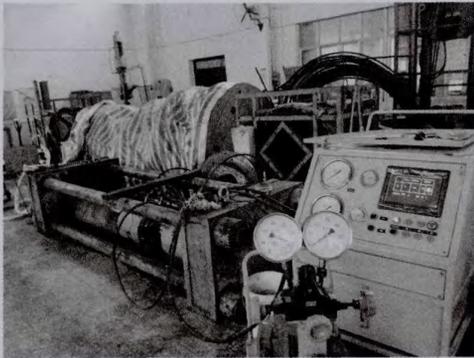


图7 试验现场装置图

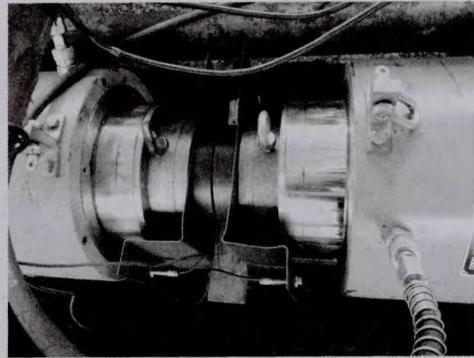


图8 接近开关安装图

表6 千斤顶长期运行性能试验数据记录表

试验名称	YDC3000/58-200千斤顶长期运行性能试验室试验	生产单位	柳州欧维姆机械股份有限公司
型号规格	YDC3000/58-200	样品数量	1组(编号:1301和1302)
公称油压	58MPa	公称张拉力	2938kN
试验依据	JG/T 321-2011		
试验地点	柳州欧维姆机械股份有限公司技术中心试验中心	试验日期	2014/3/3~19
试验设备	千斤顶长期运行试验台架;智能泵站; 千斤顶:YDC3000/58-200, 2台 油泵:ZB4-500; 垫板,压力表及其它辅助工具。		
备注	YDC3000/58-200千斤顶额定压力58MPa		
试验日期	运行时间	运行次数	备注
2014/3/3	08:00~17:00	237	运行正常
2014/3/4	08:30~17:00	245	运行正常
2014/3/5	08:10~17:00	233	运行正常
2014/3/6	08:15~17:00	218	运行正常
2014/3/7	07:55~17:00	253	运行正常
2014/3/10	08:30~17:00	241	运行正常
2014/3/11	08:30~17:00	229	运行正常
2014/3/12	08:20~17:00	239	运行正常
2014/3/13	08:00~17:00	241	运行正常
2014/3/14	08:05~17:00	246	运行正常
2014/3/17	08:10~17:00	236	运行正常
2014/3/18	08:25~17:00	251	运行正常
2014/3/19	08:30~17:00	244	运行正常
总计		3113	运行正常
试验结论	YDC3000/58-200千斤顶活塞的累计往复动作次数总计3113次。试验结束后,千斤顶无外泄露,油缸无残余变形,活塞表面无划伤,可判定合格。		

3.9.3 长期运行试验智能泵站控制系统

千斤顶长期运行性能试验所用智能泵通过泵站输出的液压动力驱动千斤顶伸缸及缩缸。每台泵站包括电机、柱塞泵、控制阀和油箱等。泵头采用超高压径向柱塞泵,可为液压系统提供超高压压力油。泵站控制面板上安装有压力表,能实时观察到提升千斤顶的受力情况。

该智能泵站控制系统由检测元件—接近开

关、压力传感器,控制元件—PLC现场控制器,执行元件—电磁换向阀以及触摸屏,变频器等组成,具有位移、压力检测、数据显示、参数录入、速度调节等功能。接近开关将检测到的数字信号输入PLC模块组,PLC控制器输出信号给电磁换向阀,通过程序控制可以实现两台千斤顶自动伸缩缸来回往复运动,自动记录千斤顶活塞的累计往复动作次数。其中千斤顶活塞的累计往复

动作次数可以预先设定,达到试验要求次数,试验自动停止;通过变频器可调节发动机转速,进而调节加载速率。触摸屏程序离线模拟界面及控制面板,见图9、图10。

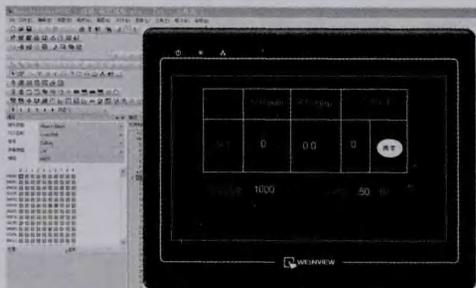


图9 触摸屏程序离线模拟界面

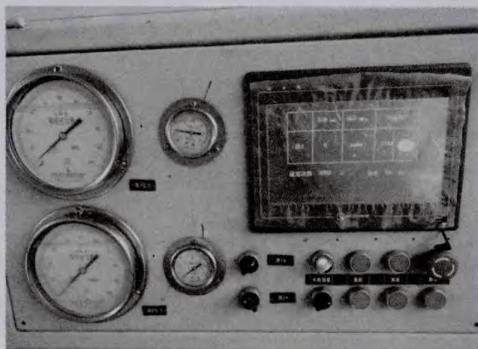


图10 智能泵控制面板

3.9.4 判定方式

参照JG/T321-2011标准要求,千斤顶额定压

力大于1200kN时,千斤顶活塞往复动作次数不少于0.3万次,待检测的千斤顶不出现漏油及结构破坏则可判定合格。

4 结语

型式试验是按照安全标准对全项目进行的试验,目的是检验产品的设计在产品的使用寿命期内是否符合标准要求。主要适用于对产品综合定型鉴定和评定企业所有产品质量是否全面地达到标准和设计要求的判定。

该套千斤顶长期运行试验用的整套试验装置系柳州欧维姆机械股份有限公司自主研发,主要包括:智能泵站及其控制系统、控制程序编制,试验台架、ZB4-500电动油泵、球形垫板、接近开关安装组件等。其中,智能泵站的控制系统采用PLC+触摸屏控制模式,具有位移、压力检测、数据显示、参数录入,速度调节等功能。通过程序控制可以实现两台千斤顶自动伸缩缸来回往复运动,自动记录千斤顶活塞的累计往复动作次数。通过变频器可调节发动机转速,进而调节加载速率。该系统高效自动,控制精准,系统稳定,且应用广泛,并已成功运用于FAST工程反射面索网制造与安装工程钢索密封性能试验横向位移千斤顶的往复运动中。

参考文献

- [1] JG/T 321-2011, 预应力用液压千斤顶[S].

(上接第21页)

目前,国内外有相关内置温度等传感器的螺栓,但内置应变传感器,并通过无线传感器网络技术实现螺栓应力在线监测的装置及系统还未发现。本文设计的无线智能螺栓很好地解决了大型结构关键连接点预应力监测,通过预应力监测,可以判断出螺栓的松动、大型结构不平衡等现象,为大型结构的正常工作提供了方便、可靠的监测技术。

本文详细地论述了该无线智能螺栓的结构及电路原理,并给出了两种典型的预应力监测模式,文中设计的智能螺栓,笔者已经申请为专利,并得到授权,基于该设计原理,可以根据具体工程应用要求,设计出更符合实际要求尺寸、外观的智能螺栓。本文系统的研究与设计,为大型结构安全监测提供了一种新的技术手段,也使无线传感器网络的技术在新的领域具体应用。

参考文献

- [1] 陈得民,沈唯真.一种螺栓中国,中国,CN 103016489 A [P]. 2013.04.03.
 [2] 陈得民,沈唯真.一种螺栓中国,中国,CN 202991775 U[P]. 2013.06.12.
 [3] E.Becker and Paul Poste.Keeping the blades turning: Condition monitoring of wind turbine gears[J]. Refocus, 7(2):26-32, 2006.
 [4] 徐从裕,余晓芬.无补偿式应变片在动、静叠加载荷下的应变参数测量[J].仪器仪表学报, 2005, 26(09): 902-904
 [5] 陈得民.基于无线传感网的风机应力监测系统[J].传感器世界, 2011, 2: 21-23
 [6] 孙利民,李建中.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社, 2005.
 [7] 徐从裕,余晓芬.无补偿式应变片在动、静叠加载荷下的应变参数测量[J].仪器仪表学报, 2005, 26(09): 902-904.
 [8] 夏祁寒.应变片测试原理及在实际工程中的应用[J].山西建筑, 2008,34(28): 99-100.
 [9] CC1101中文数据手册.
 [10] MSP430x2xx 系列用户指南 (SLAU144).
 [11] MSP430x22x2, MSP430x22x4数据手册 (SLAS504).
 [12] 陈得民,沈唯真,罗银生.机动车载荷安全监测系统及方法,中国, CN 102566542 A [P]. 2012.07.11.