

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.06.10

# EJ II - 100 型杠杆式力标准机控制系统改造设计

杜文辉, 王义强

(中国飞机强度研究所, 陕西 西安 710089)

**摘要:** 为解决 EJ II - 100 型杠杆式力标准机操作复杂、自动化程度低、电子元器件故障、维修频繁等问题, 在对力标准机机械结构的检查修复的同时对电器电路及控制系统进行整体升级改造, 利用当前主流的 PLC 控制模式代替传统的单片机控制, 并对改造后力标准机功能及技术指标进行测试, 使力标准机的工作稳定性及自动化控制程度得到提升, 经实验证明, 改造后的力标准机各项功能及技术指标均符合设计目标及国家检定规程要求。

**关键词:** 杠杆式力标准机; PLC 控制系统

**中图分类号:** TB93; TP942

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2019)06-0050-04

## Technical Transformation EJ II - 100 Lever-amplification Force Standard Machine

DU Wenhui, WANG Yiqiang

(Aircraft Strength Research Institute of China, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of complicated operation, low automation, failure of electronic components and frequent maintenance of EJ II - 100 Lever Force Standard Machine, the electrical circuit and control system were upgraded while the mechanical structure of EJ II - 100 Lever Force Standard Machine was inspected and repaired. The current mainstream PLC control mode was used to replace the traditional MCU control, and the function and technology of the transformed Force Standard Machine were also improved. The test results show that the working stability and automation control degree of the force standard machine are improved. The experiment proves that the functions and technical indices of the improved force standard machine meet the design objectives and the requirements of the national verification regulations.

**Key words:** lever-amplification force standard machine; PLC control system

## 0 引言

力标准机<sup>[1]</sup>是力值计量<sup>[2-3]</sup>的最高标准, 在保障力值的量值传递和溯源性方面具有非常重要的作用。力标准机按结构可以分为杠杆式、静重式、液压式和叠加式。其中, 杠杆式力标准机以砝码的重力作为标准负荷, 在利用不等臂杠杆对砝码重量进行放大<sup>[4-6]</sup>后, 按预定顺序将其平稳地加到被检传感器上, 再与标准力值进行比较。

EJ II - 100 型杠杆式力标准机作为力标准机的典型代表, 已于 20 世纪 70 年代投入使用, 距今已有近 50 年, 存在设备陈旧、操作复杂、自动化程度低、维修频繁等问题, 由于关键部位如杠杆、刀刃刀承频繁使用耗损, 及 512 地震对设备结构的影响, 造成砝码刮蹭, 量值准确度降低, 控制系统电子元器件老化, 导致设备故障频繁。为满足力值计量的需要, 对 EJ II - 100 型杠杆式力标准机控制系统进行技术改造, 使其工作稳定性、可靠性及自动化控制程度得到提升。

## 1 改造设计

### 1.1 EJ II - 100 型杠杆式力标准机简介

EJ II - 100 型杠杆式力标准机(原称二级标准测力机)如图 1 所示, 由长春材料试验机厂于 1971 年 9 月生产, 编号 202-2, 准确度等级  $\pm 0.03\%$ , 测量范围 5 ~ 1000 kN, 由主机机构、杠杆机构、砝码机构及控制系统组成。主机机构包括底座、立柱、蜗轮蜗杆升降机构等, 用来支撑杠杆及安装传感器, 并实现杠杆拉平; 杠杆将砝码产生的重力通过比例放大后加载到被检传感器上, 杠杆上部安装有相互平行的刀刃刀承, 用于支撑杠杆的平衡及砝码重力; 砝码机构由砝码组、位置检测装置、砝码升降机构、杠杆锁紧机构、立柱等组成; 控制系统是力标准机的控制中心, 控制力标准机各机构的执行。

### 1.2 技术改造原则

力标准机改造与设备搬迁工作同步完成, 实现力标准机的拆卸/安装、机械部分的修复及磨损件更



图1 EJI-100型杠杆式力标准机

换、电器及控制系统改造，力标准机改造设计充分考虑可靠性设计、可扩展性设计、易用性设计。

**可靠性设计：**可靠性是计量标准设备的生命线，为确保整个系统的可靠性，保证系统中各个部分能够正常工作，应充分考虑到可靠性措施。如：对机械结构各承力部件进行裂纹、受损检查更换；在电器设备选型时充分考虑设备的可靠性，长时间运行的稳定性，并实现控制系统故障自诊断功能。

**可扩展性设计：**随着力传感技术的发展，力传感器的种类不断增多，设备改造过程中充分考虑力传感器安装夹具的兼容性 & 仪器仪表接口的易扩展性。

**易用性设计：**控制系统的易用性主要体现在软件方面。用户界面的易用性是整个系统中最重要目标：保证使用的简单性、便捷性、用户界面中所用术语的标准化和一致性，充分满足用户操作需求，并具有错误诊断及应急保护功能。

## 2 机械结构修复

在改造过程中，对力标准机的机械结构进行了修

复，对机械部件进行翻新、受损件进行重新加工及更换，对杠杆、主机各部位进行详细检查，包括主刀刃/刀承、蜗轮蜗杆有无碰齿、齿轮箱、轴承、离合器是否正常及砝码吊挂刀刃/刀承等，确认力标准机各部分结构是否完好。修复工作主要包括：

- ①更换砝码吊钉，并采用有定位功能的吊钉；
- ②刀刃/刀承重新打磨抛光；
- ③对砝码进行重新称重，替换因老化导致质量不合格的砝码；
- ④更换电磁离合器；
- ⑤翻新 11 根立柱，设备整体重新喷漆；
- ⑥修复、更新受损密封圈；
- ⑦重新加工主机及砝码机构的地脚螺栓及传感器连接件的加工；
- ⑧设计更换电机联轴器。

## 3 控制系统改造设计

### 3.1 控制构架设计及控制原理

控制系统由可编程控制器<sup>[7-9]</sup>代替传统的单片机控制，系统由 PLC、上位机、触控屏、交流继电器、手动控制盒、位移传感器、限位开关、微安表、控制线缆等组成。上位机、触控屏、PLC 采用串口通信，位移传感器接入 PLC 模拟量输入模块，限位开关、热继电器等接入 PLC 的输入模块，PLC 的输出模块连接交流继电器控制各电机启停，并设置互锁功能，控制构架如图 2 所示。

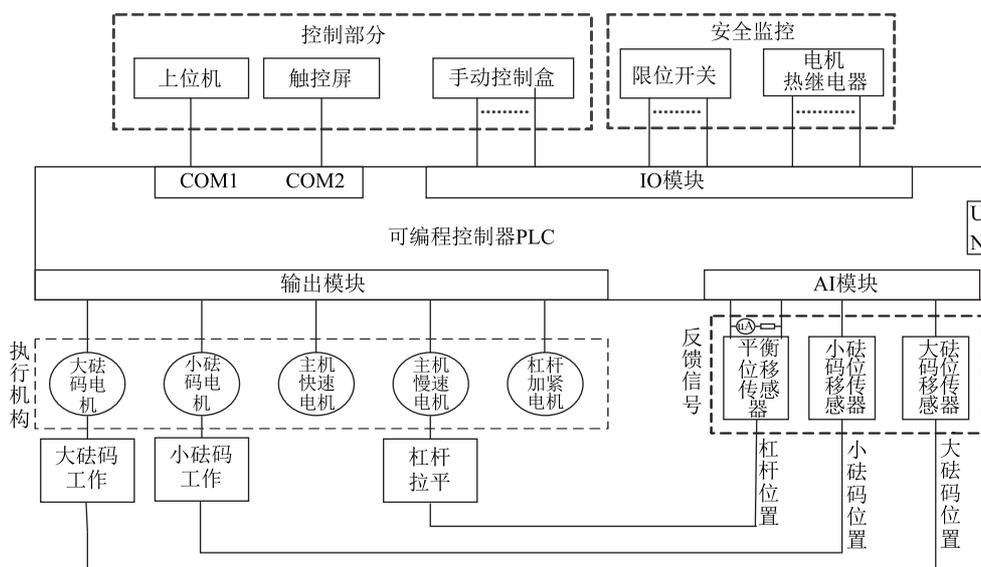


图2 力标准机控制系统构架设计

控制系统可控制砝码加卸载、杠杆拉平及锁紧,实现砝码定位、限位开关信息采集等功能。砝码加卸载通过拉线位移传感器—PLC 控制器—驱动机构共同实现,拉线位移传感安装在底座上,拉绳固定在砝码托盘上,按设定的载荷值、检定点及检定次数进行加卸载;采用位移传感器采集杠杆平衡位置信息,位移传感器向微安表提供杠杆平衡状态的电流信号,在杠杆平衡状态下,位移传感器输出的信号使控制柜上的微安表指针指示在“0”位置,由 PLC 继电器控制锁紧机构动作;手动控制盒上有主机快/慢速选择按钮,检定中可选择主机升降速度,当按下快速按钮时主机可实现快速升降,通过 PLC 触控屏控制驱动机构升降反向架来实现调整传感器工作空间,当按下慢速按钮时,直流 24 V 电源接通电磁离合器线圈,通过变速机构使主机慢速升降,实现杠杆拉平;力标准机各主控回路设有保险装置,当发生过载或短路时可自动切断电源,保障运行安全。

### 3.2 控制电路电器设计

控制系统主电路为三相 380 V 交流电源,控制电路为单相 220 V 的交流电源,控制砝码加卸载的位移传感器采用直流 24 V 供电,指示杠杆平衡状态的位移传感器采用直流 12 V 供电,触控屏采用直流 24 V 供电;控制箱内安装有开关电源,以提供直流电源;可编程控制器选用西门子 PLC;位移传感器采用德国 ASM,最大允许误差  $\pm 0.1\%$ ;电缆接口采用航空插头连接,并采用壳体保护;更换所有老式部件,避免因设备老化造成的潜在风险,更换的部分包括:主机快速升降电机、主机慢速升降电机、杠杆锁紧电机、砝码加卸载电机、电磁离合器、大砝码上/下限位开关,主机升降上/下限位开关,杠杆锁紧限位开关。

### 3.3 控制系统软件设计

软件设计分为触控屏设计与上位机软件设计,触控屏主要负责手动控制及砝码状态显示等功能,上位机实现对传感器的全自动检定及数据采集处理等功能。

#### 3.3.1 触控屏设计

触控屏与 PLC 采用串口通信,面板设计有控制按钮、砝码键值按钮及力值显示等。可实现所有电机的直接加载,软件有运行状态扫描、记录功能,实时显示砝码加载个数及位置等信息,并具有一键复位/自动卸载功能。操作直观方便,可长期运行,稳定可靠,触控屏设计界面如图 3 所示。

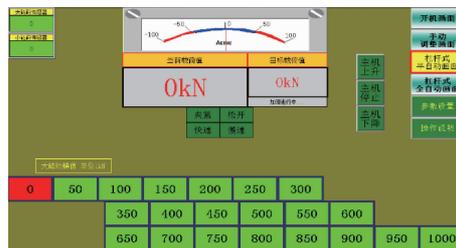


图 3 触控屏设计界面

#### 3.3.2 上位机设计

上位机软件采用 VB 平台设计,与 PLC 之间采用串口通信方式,具有加载/卸载控制、数据采集传输及分析处理、报表输出、安全防护等功能;能够根据输入传感器的量程、预压次数、加载点数、延时时间自动完成预压、检定、数据采集及处理,数据处理应根据 JJG391-2009《力传感器检定规程》计算原理,得出传感器的准确度等级、灵敏度、直线性、滞后、零点输出、重复性、长期稳定性。报表输出功能实现对生成报表的打印、存储,数据通讯接口具有兼容性,可实现对 2000 表、6000 表、34401、DMP40 仪表的通讯。软件安全防护功能实现砝码位置监测、限位开关监控及紧急情况停机响应。当力标准机实际加载超过传感器满量程时,软件自动保护停机并触发报警,当砝码运行到限位时,自动停机并给出报警信号,各部分加载机构出现异常无动作时,能自动检测并触发停止试验,给出软件报警信号。上位机设计界面如图 4 所示。

## 4 测试数据

设备改造完成后,对力标准机功能和技术指标进行测试,采用先单动、后联动、再自动的顺序对设备的各项功能开展调试,并用工作传感器及 0.05% 高精度传感器验证系统精度。确认控制系统及各机械执行机构正常,限位开关、急停功能正常;主机满载,观察砝码之间间距为  $(14 \pm 0.1)$  mm,卸载时无刮碰;通过模拟全自动检定过程,证明力标准机执行动作符合设计要求,数据记录及计算、报表输出功能正常。

航空工业北京长城计量测试技术研究所对力标准机灵敏度、力值重复性、力值误差、负荷波动性<sup>[10-11]</sup>进行测量,测试数据如表 1 所示,证明经升级改造后的力标准机符合 JJG734-2001《力标准机检定规程》、JJG144-2007《标准测力仪检定规程》、JJG391-2009



图4 上位机设计界面

《力传感器检定规程》等计量检定规程的要求。

表1 测试数据

技术性能指标	要求	测试结果
量程范围	5 ~ 1000 kN	5 ~ 1000 kN
准确度等级	0.03%	0.03%
灵敏度	0.003%	≤0.003%
力值重复性	0.015%	0.011%
力值误差	0.03%	0.018%

## 5 结论

对 EJ II - 100 型杠杆式力标准机进行了升级改造, 检查、修复其机械结构, 并重新改进升级控制系统及电器电路, 使力标准机的稳定性及自动化控制程度得到全面提升, 通过了航空工业北京长城计量测试技术研究所的计量检定, 证明力标准机的改造升级达到了预期目标。目前该力标准机已投入计量工作使用中, 为强度试验提供准确可靠的量值传递及溯源保障。

### 参考文献

[1] JJF 1011 - 2006 力值与硬度计量术语与定义[S]. 北京: 中国计量出版社, 2007.  
 [2] 范巧成. 计量基础知识[M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.  
 [3] JJF 731 - 2001 力标准机计量术语与定义[S]. 北京: 中国计量出版社, 2001.

[4] 张平, 陈俊. 浅析力学计量技术标准装置的发展现状[J]. 科技资讯, 2014(2): 217 - 219.  
 [5] 杨晓伟. 力学计量现状及发展综述[J]. 宇航计测技术, 2008, 28(4): 27 - 32, 56.  
 [6] 唐纯谦. 力值计量标准现状及研究进展[J]. 中国测试, 2009, 35(3): 11 - 16.  
 [7] 郑建翔. 杠杆式力标准机自动控制系统[J]. 计测技术, 2001, 21(6): 38 - 41.  
 [8] 蔡自兴. 智能控制[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
 [9] 廖常初. S7 - 300/400 PLC 应用技术[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2001.  
 [10] JJG734 - 2001 力标准机检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2001.  
 [11] 吴石林. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.

收稿日期: 2019 - 09 - 16; 修回日期: 2019 - 09 - 23

### 作者简介



杜文辉(1985 - ), 男, 陕西宝鸡人, 工程师, 硕士, 现主要从事飞机气候环境试验适应研究。参与国家重点型号科研项目多项, 民机标准项目1项。曾从事力值、振动、冲击、压力等计量技术研究, 申报国家发明专利1项, 主持编写行业标准1部。