

物流平台用电动缸综合试验台的设计与研究

林康铭 郑进雷 于 锦 冯诺莹 李 威 毕书明

浙江华昌液压机械有限公司 浙江 杭州 311307

摘 要: 作为液压油缸的替代方案,电动缸近年来在叉车、AGV小车、行走升降平台等物流平台得到了广泛的应用。然而,对于电动缸性能测试平台特别是结合实际工况的相关研究仍较少,针对物流平台实际应用场景设计了一种电动缸综合测试平台,主要包括综合试验台的具体结构、控制系统和人机交互触摸屏界面。为提高速度与位移控制精度,采用了“PLC-运动控制器-伺服电机”ModbusRTU总线通讯的方式对电动缸运动闭环控制;为提高对位移测量精度,采用了外置高精拉绳编码器实时测量位移;为提高载荷控制及测量精度,采用了“比例溢流阀”以及“S型称重传感器”对载荷进行闭环控制以及实时测量的电气系统。最后,为了验证物流平台用电动缸实际性能,按需求模块化搭建了实际试验平台,进行了对物流平台用电动缸基本性能和特性性能的综合测试,试验结果表明该系统能较好地进电动缸性能测试,为更高性能要求的物流平台用电动缸系列产品的研发和生产提供了一定的基础。动缸出厂的质量,也为更高性能要求的物流平台用电动缸系列产品的研发和生产提供了一定的基础。

关键词: 电动缸;性能测试;综合试验台

引言

电动缸是将伺服电机与丝杠一体化设计的模块化产品,工作原理是将电机的旋转运动通过丝杠转变为推杆的直线往返运动,并通过推杆带动负载,利用伺服电机的控制特性,可以很方便的实现对推力、速度和位置精准控制^[1]。与液压缸相比电动缸不需要中间媒介来传递动力,能量转化效率更高,性能受环境影响更小^[2]。

电动缸的设计减少了液压缸所需的动力单元、液压阀、管路等配件,仅需连接电机与驱动器,节省了安装空间的同时具有较好的控制性能^[3],正因如此,它在军事、医疗、工业、汽车等领域^[4-7]得到了广泛的应用。潘平^[8]为解决深海中液压油泄露可能导致的环境问题,设计研发了一种适用于深海的电动缸。曹军等人^[9]为降低地震模拟的成本,提出了利用交流伺服电动缸代替液压伺服驱动系统的方案。瞿福宁等人^[10]开发了一种在连铸机上使用的电动缸热调宽技术,解决了液压调宽技术刚性差、维修难度高等缺点。

针对电动缸的性能进行全面的综合试验,是保证其良好特性应用基础^[11-12],是其作为批量产品的必要条件。

为了较好地表征不同工况下电动缸的性能参数,高勇等人^[13]提出针对电动缸试验在恒载和变载情况下的各项相关测试指标,得到了各种模式下的电动缸位移、速度、加速度及指令响应能力等参数曲线及其相互间对应关系。姜开成等人^[14]提出一种液压加载系统测试电动缸性能,

利用高精度拉绳传感器以及力传感器对电动缸的力、行程和定位精度进行检测。龚中良等人^[15]通过实时测量电动缸的电流、电压、载荷等数据,对电动缸的传输效率进行计算,设计了一套液压缸加载电动缸测试系统。

为解决出厂测试时人工操作的效率较低和易出错的缺点,近年来对电动缸测试系统自动化的研究成为学者关注的重点之一。

闫飞飞等人^[15]改良了电动缸出厂的检验环节,由原有人工手工测试转变为基于PLC与触摸屏的自动化检测系统,极大的提高了检验环节的效率。杨继东等人^[17]则提出基于上位机PC以及运动控制卡的自动化检测系统,利用运动控制卡的高速脉冲点控制电动缸,相对于基于PLC与触摸屏的检测系统方案更有利于利用上位机PC大容量的内存空间进行数据记录存储。孙磊厚等人^[18]提出。

以上学者们提出的均是针对通用电动缸性能测试的测试系统,然而针对一些特定应用场景比如类似于叉车、搬运小车及堆垛车等物流平台用的电动缸来说,对于实际工况的电缸模拟实验更能测试相关性能指标。为此,本文提出了一种专业用于物流平台用电动缸的综合试验台,该试验台不仅可利用先导溢流阀控制的液压缸进行动态加载测试,也可利用重块加载的方式测试,包括立式重块加载和倾斜式重块加载,更好地模拟物流平台用电动缸在各实际工况下的寿命测试,使物流平台用电动缸出厂测试更符合客户需求。

1 试验台的介绍

试验台总体分为液压缸加载试验和重块加载试验,

作者简介: 林康铭,1997年12月,男,汉族,浙江杭州人,本科,助理工程师,研究方向:自动化控制。

通过更换试验台架上的不同试验模块来对物流平台用电动缸进行各种运动形式的行程、力、精度、动态响应能力、噪音、速度、加速度、寿命等项目进行测试。

如图1所示为立式液压缸加载试验模块，主要用于测试物流平台用电动缸的测试项目有：

1) 恒速变载测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，通过控制系统使物流平台用电动缸保持匀速伸出和缩回，通过调节加载液压缸对于物流平台用电动缸的出力，测试物流平台用电动缸动态性能的速度稳定性。

2) 变速变载测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，通过控制系统使物流平台用电动缸以一定预设规律变换伸出缩回过程中的速度，同时调节加载液压缸的出力，观察实际测得速度变换曲线与预设曲线的偏差，测试物流平台用电动缸的动态指令响应能力。

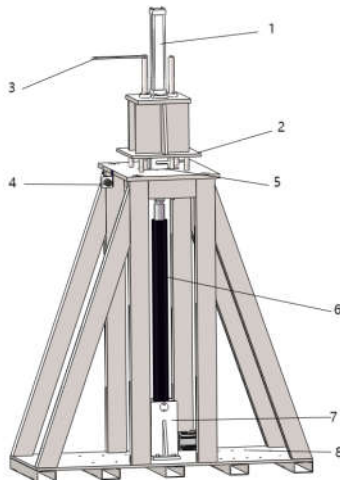


图1 立式液压缸加载模块

- 1.MDB型拉杆液压缸 2.液压缸安装架 3.拉绳固定板
4.拉绳编码器 5.称重传感器 6.电动缸
7.垂直试验底座 8.机架

如图2所示为立式重块加载试验模块，主要用于测试物流平台用电动缸的测试项目有：

1) 全行程测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，去除加载平台上的所有重块，使物流平台用电动缸从原点位置运动到限位开关的位置，根据限位开关的反馈信号传输给控制系统再经控制系统输出停止信号给到物流平台用电动缸，同时位移反馈装置输出实际位移值到控制系统，实现全行程自动测试。

2) 重复定位精度测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，去除加载平台上的所有重块，在控制系统设定物流平台用电动缸一个速度和一个目标位置P1，控制物流平台用电动缸以匀速状态在原点-P1之间多次往复运动，每一次得到物流平台用电动缸的实际位置以及实际

位置与目标位置之间的偏差，每次往同一个方向趋近，得到多次测量结果为重复定位精度。

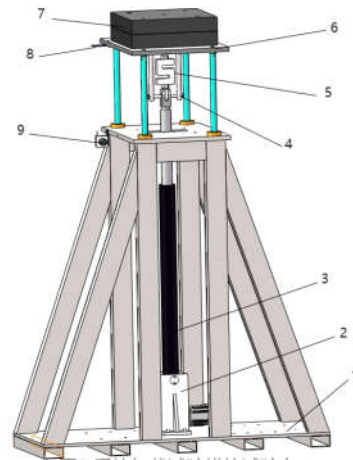


图2 立式重块加载模块

- 1.机架 2.垂直试验底座 3.电动缸 4.电动缸活塞杆销
5.称重传感器 6.承重板 7.重块 8.拉绳固定板
9.拉绳编码器

3) 恒载测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，在加载平台上放置一定重块，总加载不大于物流平台用电动缸设计最大负载，控制物流平台用电动缸伸出一定长度，伸出长度超过全行程一半，模拟物流平台用电动缸实际工况负载保持，静置一定时间后得出当前位置与伸出位置的偏差，测试物流平台用电动缸的负载能力和静态稳定性。

4) 恒速恒载测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，在加载平台放置一定的重块，总加载不大于物流平台用电动缸设计最大负载，同时在控制系统设定物流平台用电动缸在一定范围内匀速往复运动可得到位移与速度、加速度、噪声等曲线，检测物流平台用电动缸的速度平稳性。

5) 变速恒载测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，在加载平台放置一定的重块，总加载不大于物流平台用电动缸设计最大负载，同时设定物流平台用电动缸以一定变化规律的速度曲线在固定位置范围内往复运动，可测试物流平台用电动缸对动态速度指令的响应能力。

6) 寿命测试：适用于所有伸出式物流平台用电动缸，类似于恒速恒载测试，模拟实际垂直工况使用的物流平台用电动缸，在加载平台上放置负载等同于设计负载的重块，并设定物流平台用电动缸以设计工况速度持续在原点与最大行程之间往复运动，直至到达设定运行次数或故障，测得物流平台用电动缸的运行寿命。

如图3所示为倾斜式重块加载试验模块，主要用于测

试物流平台用电动缸的测试项目有:

1) 恒载测试: 与立式重块加载试验模块试验原理相同, 模拟工况不同, 此时模拟物流平台用电动缸实际倾斜工况恒载性能。

2) 寿命测试: 与立式重块加载试验模块试验原理相同, 模拟工况不同, 此时模拟物流平台用电动缸实际倾斜工况耐久性能。

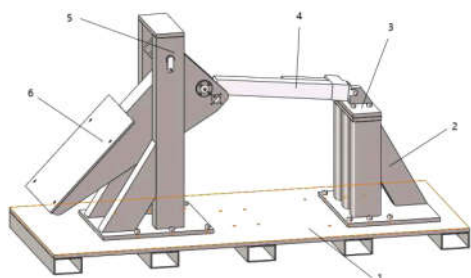


图3 倾斜式重块加载模块

- 1.机架 2.倾斜下底座 3.倾斜上底座 4.电动缸
5.倾斜支撑座 6.倾斜重块转动架

如图4所示为往复式液压缸加载试验模块, 主要用于测试物流平台用电动缸的测试项目有:

1) 全行程测试: 适用于转向式物流平台用电动缸, 松开物流平台用电动缸的上左右联接节, 使物流平台用电动缸处于空载状态, 然后使其从中点原点运动到左侧的限位开关位置, 再从中点原点运动到右侧的限位开关, 得出两侧的全行程S1和S2, 观察IS11和IS21是否有偏差, 根据限位开关的反馈信号传输给控制系统再经控制系统输出停止信号给到物流平台用电动缸, 同时位移反馈装置输出实际位移值到控制系统, 实现全行程自动测试。

2) 重复定位精度测试: 与立式重块加载试验模块试验原理相同, 模拟工况不同, 此时需要测试转向式物流平台用电动缸两侧的重复定位精度。

3) 恒速恒载测试: 适用于转向式物流平台用电动缸, 装上物流平台用电动缸的上左右联接节, 控制加载缸与柱塞缸加载压力稳定, 不大于物流平台用电动缸设计负载, 保持加载状态, 同时控制系统设定物流平台用电动缸在一定范围内匀速往复运动可得到位移与速度、加速度、噪声等曲线, 检测物流平台用电动缸的速度平稳性。

4) 寿命测试: 适用于转向式物流平台用电动缸, 保持加载缸与柱塞缸加载压力稳定, 不大于物流平台用电动缸设计负载, 设定物流平台用电动缸以设计工况速度持续在左侧限位开关与最右侧限位开关往复运动, 直至到达设定运行次数或故障, 测得物流平台用电动缸的运行寿命。

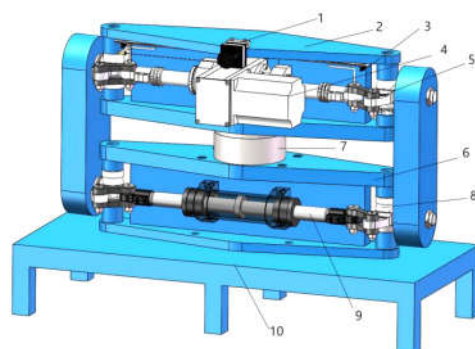


图4 往复式液压缸加载模块

- 1.拉绳编码器 2.上转向桥 3.位置传感器 4.电动缸
5.上联接节 6.下转向桥 7.柱塞缸 8.下联接节
9.转向加载缸 10.机架

根据实际产品需求, 一般常规试验内容主要包括: 全行程测试、重复定位精度测试、恒载测试、恒速恒载测试、寿命测试, 其他试验内容根据特殊产品性能根据需要进行定制测试。

测试控制系统主要由PLC、触摸屏和相应传感器组成, PLC作为主要组成部分对电动缸进行精确的运动控制, 通过PLC通信或高速脉冲的方式进行控制, 通过PLC采集力反馈到触摸屏界面进行实时显示; PLC对检测元件进行数据采集以及对液压缸和电动缸进行控制, 触摸屏实现参数设定、测试项目选择、实时数据动态显示及监控等功能, 为实现可靠稳定的传输和通信, PLC与电动缸采用ModbusRTU通信方式, PLC与触摸屏采用S7通信方式, 通信线缆均为双绞屏蔽线, 测试控制系统框图如图5所示。

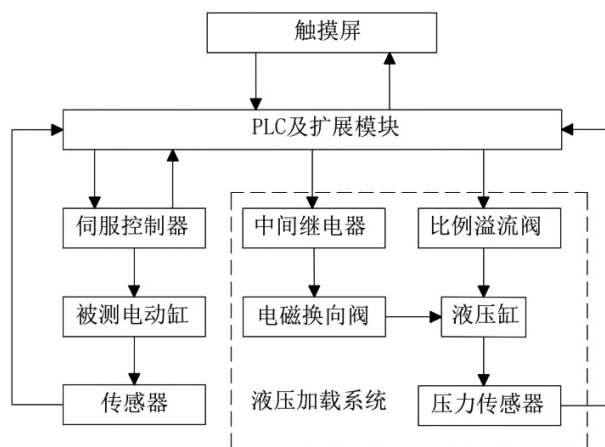


图5 测试控制系统框图

液压加载系统是用于模拟物流平台用电动缸在工作时所受的载荷, 立式液压加载模块和往复式液压加载模块共用一套液压系统, 节约设备成本, 测试过程中电机、油泵处于待机状态, 由物流平台用电动缸被动带动

加载液压缸运动,通过调节先导溢流阀来完成对物流平台用电动缸的不同载荷加载,通过压力表以及压力传感器可以出的液压缸内油压从而判断其运动方向,压力传感器显示立式液压加载模块被测物流平台用电动缸的力大小,往复式液压加载模块被测物流平台用电动缸的力大小通过压力传感器读数换算得出,两者均能实时显示在触摸屏上,液压加载系统原理图由图6、图7所示,其中虚线部分为共用部分。

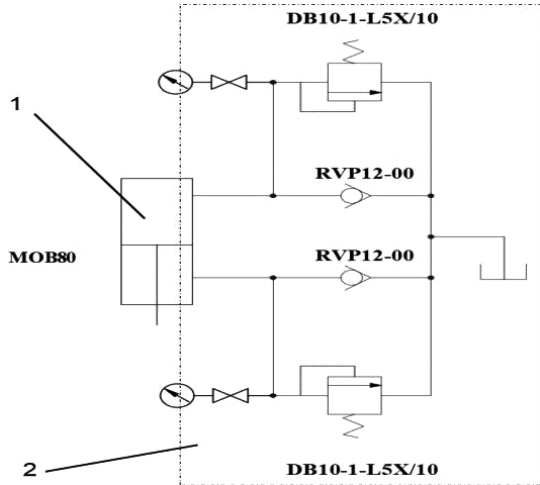


图6 立式模块液压系统

1.立式模块液压缸 2.共用液压系统

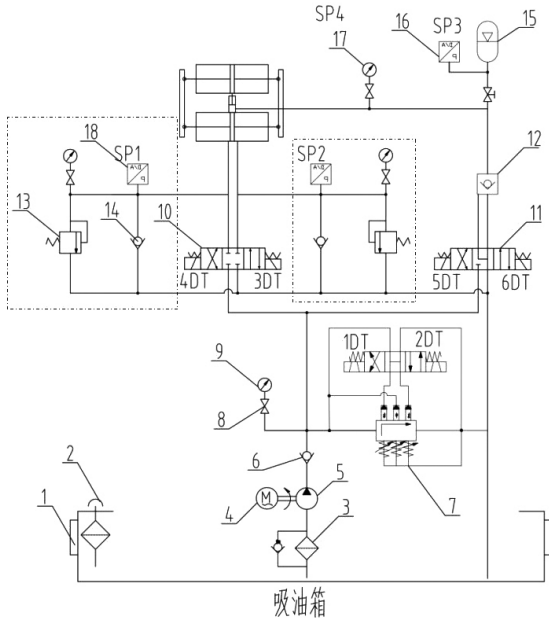


图7 总液压系统/往复式模块液压系统

1.液位液温计 2.空气滤清器 3.吸油过滤器 4.电机 5.油泵 6.单向阀 7.电磁溢流阀 8.压力表开关 9.压力表 10.换向阀 11.换向阀 12.液控单向阀 13.先导溢流阀 14.单向阀 15.蓄能器 16.压力传感器 17.压力表 18.压力传感器

2 试验台控制系统

为了实现对物流平台用电动缸的试验,笔者设计了一套试验平台的硬件配置,被测物流平台用电动缸采用的是伺服电机,支持脉冲、总线等多种控制方式,且本试验系统需要采集大量信号及数据,故采用SIEMENS品牌CPU 1217C DC/DC/DC进行对伺服电机的控制以及数据的采集工作,其主要性能如下:

- 1) 250KB工作存储器/4MB装载存储器。
- 2) 板载数字IO: 14点输入/10点输出。
- 3) 板载模拟IO: 2点输入/2点输出。
- 4) 可组态6个高速计数器,最高频率达1MHz。
- 5) 可组态4个独立脉冲轴,脉冲输出最高达1MHz。
- 6) 两个以太网口,前后模块拓展接口具有强大拓展功能。同时配合有SIEMENS品牌CM 1241 RS485/422通讯模块、SM 1223 DI16/DQ16 IO模块、SM 1231 AI8模拟量模块,进行系统控制以及数据采集。

拉绳编码器的编码器部分采用OMRON品牌E6C3-CWZ5GH型号增量式旋转编码器,分辨率3600P/R,拉绳器采用定制分辨率150mm/R,整体精度经过控制放大可达0.01mm/P。

为保证立式加载模块加载缸与被测缸之间拉压力精确可靠且量程满足,选用杭州永正传感器有限公司S型称重传感器101BH-10t型号,配有A2P-DWB型号信号放大器,该传感器具有良好的自然线性,精度高、稳定性好、灵敏度高、抗偏性强和安全系数高等特点,具体参数如表1。

表1 称重传感器主要性能参数

灵敏度	mV/V	2.0±1%
零位输出	mV/V	±0.02
非线性	%	<±0.017
重复性	%	<±0.017
滞后误差	%	<±0.017
蠕变	%	<±0.023

立式加载模块被测物流平台用电动缸连接的电机为步科的SMC60S-0040-30QBK-5DSA型号,额定输出功率为400W,最高转速4000r/min,电机驱动器采用步科的FD125-1B-000型号,电源电压为直流48V,电机与被测缸之间通过减速机连接,减速机减速比为25:1,通过减速机减缓电机速度同时放大电机扭矩。

倾斜式重块加载模块被测物流平台用电动缸连接的电机为步科的SMC60S-0040-30QBK-5DSA型号,额定输出功率为400W,最高转速4000r/min,电机驱动器采用步科的FD125-1B-000型号,电源电压为直流48V,电机与被

测缸之间通过减速机连接,减速机减速比为3:1,通过减速机减缓电机速度同时放大电机扭矩。

往复式液压加载模块被测物流平台用电动缸连接的电机为步科的SMC130D-0120-30WBK-4DSH型号,额定输出功率为2.5kW,最高转速3000r/min,电机驱动器用步科的FD164S-LB-000型号,电源电压为直流48V,电机与被测缸之间通过齿轮箱减速,减速比为3:1,通过齿轮箱减缓电机速度同时放大电机扭矩。

3 试验台测试软件及算法

为了更好地实现对试验平台的控制以及数据可视化,笔者设计了一套人机交互界面以及PLC控制程序。

人机交互界面采用博图WINCC Advanced来设计系统界面如图8,可以选择物流平台用电动缸测试模块,支持参数设置、状态监视、趋势图显示以及数据导出,共有两种模式,自动试验和手动调整,必要时可以根据需要保存的数据生产EXCEL报表。



图8 人机交互主页面

试验系统采用SIEMENS触摸屏作为上位机采集数据,选用PLC作为控制器和数据处理,通过PLC脉冲输出或通过扩展通讯模块进行ModbusRTU通讯对伺服电机进行控制,并读取数据,上位机与PLC之间采用PROFINET通讯方式。当系统断电后重新运行时,会进行初始化操作,以保证系统正常运行,物流平台用电动缸会进行原点复位,非保持性数据会清零。试验开始前需要在人机交互界面设置物流平台用电动缸的运行参数,试验开始后可在人机交互界面实时查看物流平台用电动缸所有参数状态,同时趋势图会实时记录参数趋势,试验结束后可通过USB路径或者FTP路径导出试验数据,可选择EXCEL文件或TXT文件形式,主程序框图如图9所示。

PLC程序主要采用LAD梯形图完成,分功能模块化调用,简洁明了,程序数据按类型分类,方便上位机读写,部分程序如图10所示。

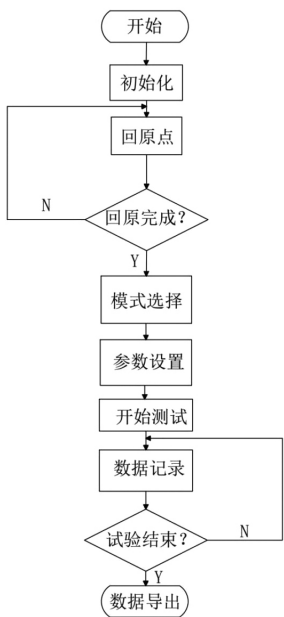


图9 主程序框图

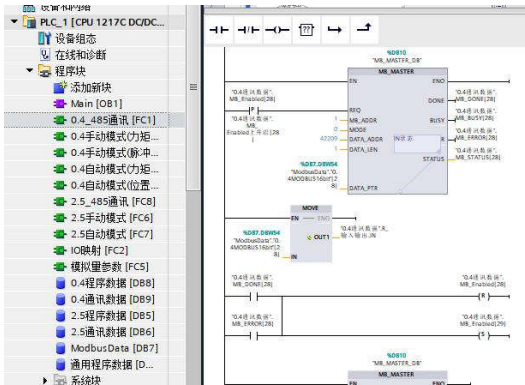


图10 PLC程序

4 试验成果

为了验证物流平台用电动缸实际性能,按需求模块化搭建了实际试验平台,如图11所示。



图11 试验平台实物图

其中立式模块与倾斜式模块共用一套机架，往复模块单独一套机架，所有模块共用一套液压系统。

按照试验台设计项目要求，选用了一支设计有效行程380mm，额定负载15KN，额定速度20mm/s，丝杆导程5mm，减速比25的折返式物流平台用电动缸如图12所示，供立式液压加载模块以及立式重块加载模块使用；选用了一支设计有效行程380mm，额定负载3KN，额定速度83mm/s，丝杆导程5mm，减速比3的折返式物流平台用电动缸如图13所示，供倾斜式重块加载模块使用；选用了一支设计有效行程98mm×2，额定负载22KN，额定速度100mm/s，丝杆导程5mm，减速比2.5的往复式物流平台用电动缸如图14所示，供往复式液压加载模块使用。

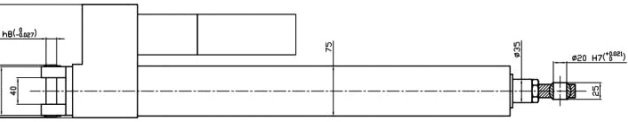


图12 折返式电动缸图-15KN

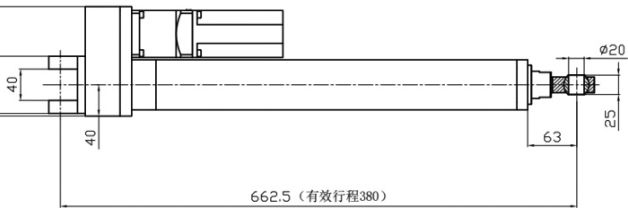


图13 折返式电动缸图-3KN

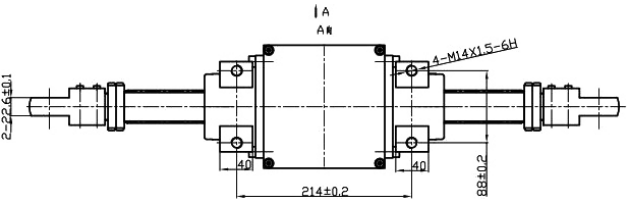


图14 往复式电动缸图-22KN

位置精度的评定标准采用GB/T17421.2-200《机床检验通则第2部分：数控轴线的单位精度和重复定位精度的确定》。

某一位置的单向平均位置片 $\bar{X}_i$ ，由n次单向趋近与某一位置 P_i 所得的位置偏差的算术平均值，即：

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (1)$$

在某一位置的单向定位标准不确定度的估算值 S_i ，即通过某一位置 P_i 的n次单向趋近所获得的位置偏差标准不确定度的估算值，即：

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \quad (2)$$

某一位置的单向重复定位精度 R_i ，由某位置 P_i 的单向位置偏差的扩展不确定度确定的范围，覆盖因子为2，即：

$$R_i = 4S_i \quad (3)$$

轴线单向定位精度A，即：

$$A = R_i + 2S_i \quad (4)$$

1) 全行程测试：选用设计行程380mm折返式物流平台用电动缸，试验模块选用立式重块加载模块；选用设计行程98mm×2往复式物流平台用电动缸，试验模块选用往复式液压加载模块，各试验10次，记录每次测试数据，测试结果如表2、表3所示。

表2 全行程测试数据

次数	实际值 (mm)	理论值 (mm)	绝对误差 (mm)	相对误差 (mm)
1	379.989	380	0.011	0.0029
2	379.982	380	0.018	0.0047
3	379.987	380	0.013	0.0034
4	379.978	380	0.022	0.0058
5	379.979	380	0.021	0.0055
6	379.986	380	0.014	0.0037
7	379.982	380	0.018	0.0047
8	379.974	380	0.026	0.0068
9	379.978	380	0.022	0.0058
10	379.985	380	0.015	0.0039

表3 全行程测试数据

次数	实际测值 (mm)	理论值 (mm)	绝对误差 (mm)	相对误差 (%)
1	97.993	98	0.007	0.0071
	97.996	98	0.004	0.0041
2	97.989	98	0.011	0.0112
	97.998	98	0.002	0.0020
3	97.993	98	0.007	0.0071
	97.995	98	0.005	0.0051
4	97.995	98	0.005	0.0051
	97.991	98	0.009	0.0092
5	97.989	98	0.011	0.0112
	97.996	98	0.004	0.0041
6	97.994	98	0.006	0.0061
	97.991	98	0.009	0.0092
7	97.996	98	0.004	0.0041
	97.988	98	0.012	0.0122
8	97.993	98	0.007	0.0071
	97.991	98	0.009	0.0092
9	97.99	98	0.01	0.0102
	97.993	98	0.007	0.0071
	97.991	98	0.009	0.0092
10	97.995	98	0.005	0.0051

根据表中数据可知，设计行程380mm的折返式物流

平台用电动全行程偏差最大为0.026mm满足偏差为0.01级的要求；设计行程为98mm×2的往复式物流平台用电动缸全行程偏差最大为0.012mm满足偏差为0.01级的要求。

2) 重复定位精度测试：选用设计行程380mm折返式物流平台用电动缸，设定目标位置350mm，试验模块选用立式重块加载模块；选用设计行程98mm×2往复式物流平台用电动缸，设定目标位置80mm-80mm，试验模块选用往复式液压加载模块。物流平台用电动缸重复运动到目标位置，记录位移值，试验次数10次，测试结果如表4、表5所示。

表4 精度测试数据

次数	实际值 (mm)	理论值 (mm)	绝对误差 (mm)	相对误差 (mm)
1	349.984	350	0.016	0.0046
2	349.991	350	0.009	0.0026
3	349.978	350	0.022	0.0063
4	349.987	350	0.013	0.0037
5	349.982	350	0.018	0.0051
6	349.974	350	0.026	0.0074
7	349.988	350	0.012	0.0034
8	349.992	350	0.008	0.0023
9	349.989	350	0.011	0.0031
10	349.977	350	0.023	0.0066

表5 精度测试数据

次数	实际测值 (mm)	理论值 (mm)	绝对误差 (mm)	相对误差 (%)
1	79.989	80	0.011	0.0138
	79.993	80	0.007	0.0088
2	79.991	80	0.009	0.0113
	79.987	80	0.013	0.0163
3	79.995	80	0.005	0.0063
	79.993	80	0.007	0.0088
4	79.984	80	0.016	0.0200
	79.987	80	0.013	0.0163
5	79.99	80	0.01	0.0125
	79.993	80	0.007	0.0088
6	79.995	80	0.005	0.0063
	79.991	80	0.009	0.0113
7	79.986	80	0.014	0.0175
	79.987	80	0.013	0.0163
8	79.995	80	0.005	0.0063
	79.983	80	0.017	0.0213
9	79.989	80	0.011	0.0138
	79.997	80	0.003	0.0038
10	79.994	80	0.006	0.0075
	79.986	80	0.014	0.0175

根据公式（1），（2），（3），（4），（5），可计算出被测设计行程380mm折返式物流平台用电动缸重复定位精度为0.018mm，满足定位精度和重复定位精度达到0.01mm级的要求；被测设计行程98mm×2往复式物流平台用电动缸重复定位精度为0.011mm，满足定精度和重复定位精度达到0.01mm级的要求。

3) 恒载测试：选用设计行程380mm，额定负载15KN折返式物流平台用电动缸，试验模块选用立式重块加载模块，整体负载总块为电动缸设计额定负载，试验时间10min；选用设计行程380mm，额定负载3KN折返式物流平台用电动缸，试验模块选用倾斜式重块加载模块，整体负载重块为电动缸设计额定负载，试验时间10min；选用设计行程98mm×2，额定负载22KN往复式物流平台用电动缸，试验模块选用往复式液压加载模块，调整加载液压缸加载为电动缸额定负载，试验时间为10min。试验电动缸均伸出到最大行程，每隔1min记录试验过程中被测电动缸的力大小以及位移偏差情况，如表6、表7、表8所示。

表6 恒载测试数据

时间 (min)	力 (kN)	理论位置 (mm)	实际位置 (mm)	位置误差 (mm)
1	14.9	380	379.97	0.03
2	14.9	380	379.97	0.03
3	14.9	380	379.97	0.03
4	14.9	380	379.97	0.03
5	14.9	380	379.97	0.03
6	14.9	380	379.97	0.03
7	14.9	380	379.97	0.03
8	14.9	380	379.97	0.03
9	14.9	380	379.97	0.03
10	14.9	380	379.97	0.03

表7 恒载测试数据

时间 (min)	力 (kN)	理论位置 (mm)	实际位置 (mm)	位置误差 (mm)
1	3.0	380	379.89	0.11
2	3.0	380	379.89	0.11
3	3.0	380	379.89	0.11
4	3.0	380	379.89	0.11
5	3.0	380	379.89	0.11
6	3.0	380	379.89	0.11
7	3.0	380	379.89	0.11
8	3.0	380	379.89	0.11
9	3.0	380	379.89	0.11
10	3.0	380	379.89	0.11

表8 恒载测试数据

时间 (min)	力(kN)	理论位置 (mm)	实际位置 (mm)	位置误差 (mm)
1	22.1	98	97.93	0.07
2	22.1	98	97.93	0.07
3	22.1	98	97.93	0.07
4	22.1	98	97.93	0.07
5	22.1	98	97.93	0.07
6	22.1	98	97.93	0.07
7	22.1	98	97.93	0.07
8	22.1	98	97.93	0.07
9	22.1	98	97.93	0.07
10	22.1	98	97.93	0.07

从表6、表7、表8可知,各物流平台用电动缸在恒定额定载荷的情况下有稳定的负载能力和静态稳定性。

4) 恒速恒载测试:以设计行程380mm,额定负载15KN折返式物流平台用电动缸为例,试验模块选用立式重块加载模块,设定电动缸在起点与行程300mm之间给定加速度,以额定速度往复运动,重块加载为额定负载,得到该电动缸位移与速度、加速度、噪声曲线,如图15所示,用于检验物流平台用电动缸的动态稳定性。

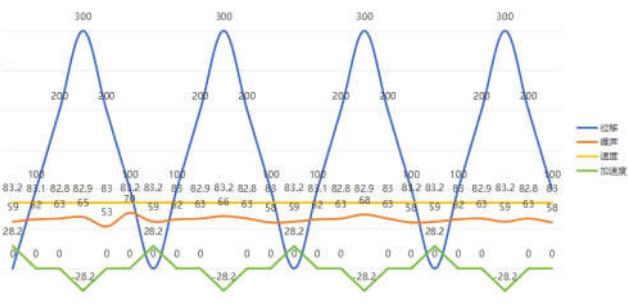


图15 动态稳定性曲线

5) 寿命测试:该测试主要检验各物流平台用电动缸在设计额定速度、额定载荷下耐久性,类似于恒速恒载测试,区别在于恒速恒载测试给定试验次数,而寿命测试会以物流平台用电动缸的实际使用寿命数以十万甚至百万次测试直至电动缸损坏。

5 结语

本文设计了一套专业针对于物流平台用的电动缸性能试验平台,配置了多种试验模块用于仿真物流平台用电动缸实际工况,既能实现对物流平台用电动缸的常规测试,还能针对特殊工况进行定制测试,该试验平台能够比较完整的对物流平台用电动缸进行测试,保障了这一类产品的出厂性能达到客户要求。

参考文献

[1]陈超,赵升吨,崔敏超,等.电动缸的研究现状与发展

趋势[J].机械传动,2015,39(3):181-186.

[2]Tang Y. The Analysis on Driving and Force of Electric Cylinder [J]. Heavy Machinery Science & Technology, 2007, 24(04), 10-14.

[3]闫飞飞.电动缸的测试系统设计与建模[D].中国科学技术大学,2010.

[4]Seo T W, Kang D S, Kim H S, et al. Dual Servo Control of a High-tilt 3-dof Mocroparallel Positioning Platform[J]. IEEE Transactions on Mechatronics, 2009, 14(5): 616-625.

[5]Lin F J, Wai R J. Hybrid control using recurrent fuzzy neural network for linear induction motor servo drive [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2001,9(1):102-115.

[6]骆立强.船舶电动执行机构应用与发展[J].船舶工程,2007,(05):40-43.

[7]胡鑫,赵昕,李伟,等.采用电动缸的火炮随动系统位置控制研究[J].兵器装备工程报,2021,42(01):245-248.

[8]潘平.适用于深海的电动缸设计[J].舰船科学技术,2021,43(13):109-113.

[9]曹军,杨俊杰,应义森,等.交流伺服电动缸在地震模拟振动台中的应用[J].实验技术与管理,2011,28(04):67-70.

[10]瞿福宁,吕朝阳.电动缸在线热调宽在板坯连铸机上的应用[J].连铸,2013,(03):26-30.

[11]Gamez-Montero P J, Salazar E, Castilla R, et al. Misalignment effects on the load capacity of a hydraulic cylinder[J].International Journal of Mechanical Sciences, 2009, 51(2):105-113.

[12]史成城,张宏立.电动缸测控系统的仿真与通信研究[J].自动化仪表,2013,34(7):19-21.

[13]高勇,刘亚举.煤矿用电动缸综合测试台的设计与研究[J].煤矿机械,2023,44(5):18-20.

[14]娄开成,徐志鹏.液压动态加载的伺服电动缸综合性能测试系统设计与[J].中国计量大学学报,2017,28(4):467-471+484.

[15]龚中良,金可.电动缸传输效率测试系统的设计与试验研究[J].机械设计与制造,2020,(08):300-303.

[16]闫飞飞,石春,吴刚,等.基于PLC和触摸屏的电动缸自动测试系统设计[J].机床与液压,2010,38(14):37-40.

[17]杨继东,刘昆,杨中山.电动缸性能参数测试系统设计[J].重庆大学,2015,38(4):31-37.

[18]孙磊厚,朱旭阳,逸铭,等.电动缸综合性能测试系统设计[J].现代制造工程,2020(5):145-149.