

Festo CLR 气缸工作性能实验分析

吴灿云¹ 胡国清¹ 王新乡² 万世明³
范炳林³ 唐实³ 孙根娣³ 刘明华³

(1 厦门大学机电工程系, 福建厦门 361005)

(2 集美大学轮机学院, 福建厦门 361005)

(3 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 四川成都 610092)

摘要: 本文对 CLR 气缸工作性能的实验研究, 目的是为了满足不同数控机床气动随行夹具中气缸的旋转夹紧要求。利用 PLC 控制器、气阀、气缸、传感器等元器件搭建实验平台。对主要实验步骤进行详细分析, 通过实验论证 Festo CLR 直线摆动夹紧气缸完全满足气动随行夹具工作要求。

关键词: 气动技术; 数控机床; 气动控制; 随行夹具

中图分类号: TH138.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-0813(2010)03-0042-04

Analysis of the Festo CLR Cylinder Performance

WU Can-yun¹ HU Guo-qing¹ WANG Xin-xiang²
WAN Shi-ming³ TANG Shi³ SUN Gen-di³ LIU Ming-hua³

(1 Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

(2 Marine Engineering Institute, Jinji University, Xiamen, Fujian 361021, China)

(3 Chengdu Aviatric Industrial (Group) Ltd. Co., Chengdu, Sichuan 610092, China)

Abstract In this paper we introduced an experiment to study the performance of pneumatic cylinder. In order to meet the requirements of the line/rotation clamping cylinder in CNC machine tools pneumatic clamp accompanied system. Using PLC controller, valves, cylinders, sensors and other components to build an experimental platform, the main experimental steps have been analyzed in details. Through the different kinds of experimental data demonstrating the Festo CLR line/rotation clamping cylinder is fit for the requirement of practical work.

Key Words pneumatics, CNC machine tools, pneumatic control, accompanied by system

0 引言

目前, 气动技术在自动化装配工艺及生产线上的应用已经非常普遍, 如汽车的自动化生产线上的自动焊接、电子器件的装配、食品自动化包装等。但是国际、国内, 数控加工中气动、控制、传感器等技术实现数控机床的随行夹具应用, 以及实现加工工件的自动柔性夹持还没有先例。为了实现这一技术在国内数控加工产业中的突破, 根据某课题组项目具体工作要求, 对控制气路的主要元件进行实验验证, 为气缸的实际选型和使用做好准备。

目前, 国内外市场上还没有能满足本项目要求的旋转压紧气缸, 所以通过相关实验数据, 结合项目的实际工作要求, 对所需气缸的类似产品进行主要技术参数的检验和计算, 判断其合理性, 决定气缸的设计参数。该实验的主要目的有: ①寻求最佳气路方案; ②测试气缸的速度-压力曲线; ③测试气缸转动负载对气缸实际反应速度的影响。试验的目的是为了实现

气动技术在数控加工柔性夹持技术中的应用, 以提高数控加工技术的质量和效率。

1 实验原理

主要实验元器件有: ①计算机; ②PLC 测试平台; ③方向控制阀; ④直线摆动夹紧气缸; ⑤传感接近开关; ⑥气源及气源处理装置; ⑦开关电源; ⑧气路配件; ⑨转动惯量负载。根据测试目的, 具体设计的测试电路与气路结构试验如图 1 所示。

气动回路的工作原理如图 2 所示。气路工作原理为:

(1) 气源(三联件) → 单向阀 → 储气罐 → 调速阀 → 5/2 单电控电磁换向阀(失电) 1、2 口通 → 直线/摆动夹紧气缸旋摆伸出 → 5/2 单电控电磁换向阀(失电) 4、5 口通 → 背压阀 → 消声器。

(2) 气源(三联件) → 单向阀 → 储气罐 → 调速阀 → 5/2 单电控电磁换向阀(得电) 1、4 口通 → 直线/摆动夹紧气缸旋摆收回 → 5/2 单电控电磁换向阀(得电) 2、3 口通 → 背压阀 → 消声器。

电气工作原理:

系统得电, PLC 发出控制指令, 5/2 单电控电磁

收稿日期: 2009-08-03

作者简介: 吴灿云(1984-), 女, 硕士研究生, 从事机电一体化技术研究。

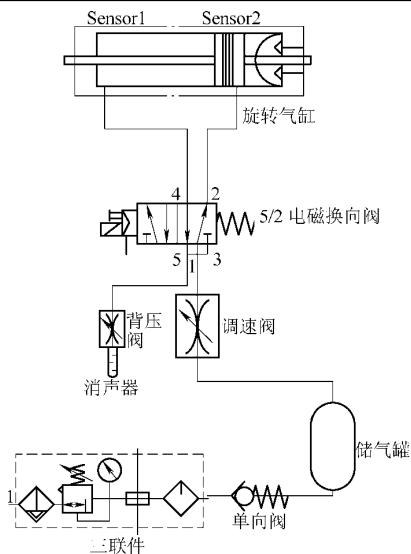


图 1 测试电路与气路现场

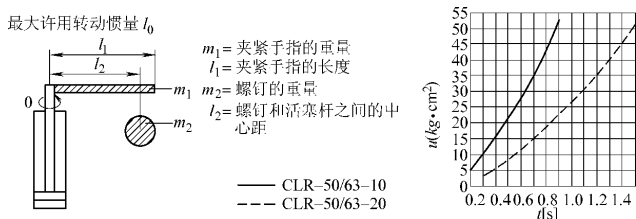


图 2 气动回路的工作原理

换向阀得电 (24V)，5/2电磁阀换向，高压气体进入气缸右侧，直线摆动夹紧气缸活塞杆收回；当传感器 2 接收到直线摆动夹紧气缸运动到位的信号后传递给 PLC 控制器，PLC 控制器进行计算，立即关闭 5/2 单电控电磁换向阀的电压，5/2 单电控电磁换向阀换向；直线摆动夹紧气缸活塞杆伸出，当传感器 1 收到到位信号后传递给 PLC 控制器，PLC 控制器进行计算，立即使 5/2 单电控电磁换向阀得电，重复上述过程。PLC 的内部定时器计时时间为 1m in 并累加计数器的计数，气缸每完成 1 次循环动作计数器自动加 1，直至定时器上的定时时间 1m in 结束。

PLC 通过 RS232 串口与 PC 上位机直接进行通讯，将 PLC 当前计数器数值与 PC 机共享，方便观察、记录当前气缸动作的次数和 1 分钟动作次数的总数，如图 3 所示。

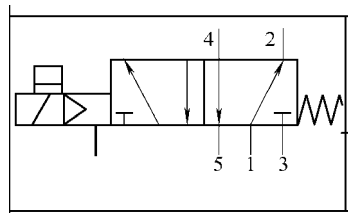


图 3 人机交互界面

2 主要实验步骤

2.1 气路方案的选型

气动元件的选型，主要是选择方向控制阀，方向阀的选择有三种：①老虎阀 MFH-5-1/8-B+快速排气阀 SEU-1/8 ②老虎阀 MFH-5-1/8-B ③快速阀 MHE4-MSIH-3/2G-1/4 分别利用这三种阀进行试验，得出试验结果表 1 所示。

表 1 方向控制阀的试验数据表

	方案一	方案二	方案三
具体选型	老虎阀 MFH-5-1/8-B 加快速排气阀 SEU-1/8	老虎阀 MFH-5-1/8-B	快速阀 MHE4+MSIH-3/2G-1/4

气缸动作次数 n (1m in)	53	53	56
气缸动作时间 /s	1.132	1.132	1.071

- 1 加选快速排气阀 SEU-1/8 对气缸的速度响应没有影响。
- 2 选用快速阀 MHE4+MSIH-3/2G-1/4 对气缸的整体行程在时间上只加快了 0.02s 影响不大。而较后期的维修成本而言，极不经济。
- 3 最终确定选择方案二。

结论

2.2 气缸的实际反应速度与气路压力的关系

气路压力对气缸的动作响应及气缸的工作寿命易造成影响，故在实际工作中应结合具体要求，在满足气缸动作及响应速度的情况前提下，尽可能提高气缸的使用寿命。

此项目对气路压力作如下要求：①气缸能提供足够的夹紧力，保证在加工过程中，对工件实现安全可靠的夹紧，同时要保证气路的最小压力大于 2bar ②根据直线摆动夹紧气缸说明书提供的数据要求，活塞杆位于最大弯矩时，保证气缸正常工作寿命的最大压力应小于 5bar 因此，气路压力必须控制在 2bar 和 5bar 之间进行实际测试，具体实验数据及结论如表 2 所示。

表 2 气路压力与气缸动作的关系

	2bar	3bar	4bar	5bar
气缸动作次数 n (1m in)	53	53	53	53
气缸动作时间 /s (往返)	1.132	1.132	1.132	1.132

结论

气路压力在允许范围的情况下 (2~5bar)，对气缸的动作响应时间没有影响。

2.3 转动负载与气缸实际反应速度的关系



图 4 气缸转动惯量与动作时间关系

在不同的负载下，直线 / 摆动夹紧气缸的转动惯量将发生改变，故其气缸的动作时间也是不同的。图 4 为 Festo 公司给定的气缸负载与动作时间之间的关系图表。

对给定图表数据进行如下分析：型号为 CLR-50/63-10 和 CLR-50/63-20 的直线 / 摆动夹紧气缸，①在负载转动惯量为 $500\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ 时，气缸的动作时间分别是 0.2s 和 0.35s；②当负载转动惯量为 $5000\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ 时，气缸的动作时间上升至 0.86s 和 1.5s；③同等负载下，行程为 10mm 和 20mm 的气缸，动作时间相差 0.15s 和 0.64s。所以，负载转动惯量对气缸的动作时间具有不确定性，这给实际工作带来了相当的安全隐患，如图 5 所示，对气缸的动作速度进行相关测试实验。

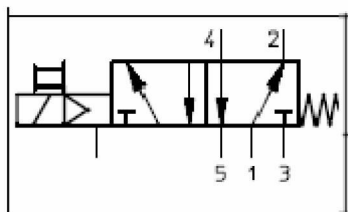


图 5 转动惯量测试实验图

对测试实验相关参数进行如下归纳、整理：

(1) 压紧手指 m1 的参数。

表 3 压紧手指 m1 的主要参数

外型图	实际参数	
	重量 m1	0.12kg
	总长 L1	170mm
	孔距 L2	140mm
	孔边距	20mm 和 10mm
	重心位置	64.68mm (距孔)

如表中外型图所示，压紧手指上有两个固定孔，分别用于固定压紧手指与气缸活塞杆上的连接和压紧手指与锁紧螺钉之间的连接，如图 4 所示。

由表 3 参数，计算出压紧手指自身的转动惯量为 $274\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ ，其绕固定端转动时的总转动惯量为：

$$J_z = J_z + m l^2 = 274 + 0.12 \times 64.68^2 \approx 776.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$$

(2) 负载螺钉 m2 的参数。

螺钉 m2 的质量对整体转动惯量的影响比较大，因此，在实验中通过改变 m2 的值对整体转动惯量进行研

究。对应选择了三组 m2 数据，其关系见表 4。

表 4 负载 m2 的转动惯量表

	m21	m22	m23
质量	0.14kg	0.24kg	0.34kg
自身转动惯量	$245\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$368\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$777\text{kg}\cdot\text{mm}^2$
转动惯量	$2744\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$4704\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$6664\text{kg}\cdot\text{mm}^2$
总转动惯量	$2989\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$5072\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$7441\text{kg}\cdot\text{mm}^2$

(3) 整体转动惯量。

整体总转动惯量为 m1 的转动惯量与 m2 转动惯量之和，见表 5。

表 5 负载的总转动惯量表

	负载 1	负载 2	负载 3
J_{m1}	$776.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$776.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$776.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$
J_{m2}	$2989\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$5072\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$7441\text{kg}\cdot\text{mm}^2$
J_z	$3765.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$5848.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$	$8217.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$

(4) 实际测试转动惯量与气缸响应速度的关系。

测试条件：①压力：4bar；②方向控制阀：老虎阀 200Q；③气管：直径 8mm，长度 1000mm；④直线 / 摆动夹紧气缸：CLR-63-50-R-P-A；⑤转动惯量见表 5。测试数据及结果分析见表 6。

表 6 转动惯量与气缸响应关系表

	负载 0	负载 1	负载 2	负载 3
气缸动作次数 n (1m in)	54	53	52	50
气缸动作时间 /s(往返)	1.111	1.132	1.1538	1.2

实际测得的转动惯量和气缸动作速度之间的关系，与 Festo 公司给定的参考数据如图 4 所示，并不符合。在本次测试实验中，转动惯量从 0 加至 $8217.02\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ ，气缸的动作时间只是增加了 0.0889s，所以，在实际应用中，负载转动惯量的改变对气缸反应时间的影响可以忽略。

结论

对整个实验的测试数据结果分析所得出的结论如下：

(1) 气路方案的选型，选用老虎阀 MFH-5-1/8-B，与其他两种方案相比，在满足正常工作的同时，减少了气动控制元件实现自动控制过程的简化、大大节约了项目成本和设备的可利用空间。

(2) 从表 2 气路压力与气缸动作关系表中可知，即使在现场气站压力不足的情况下，压力只要在允许的范围即不小于 2bar 的情况下，气缸乃能实现正常工作；

(3) 通过实验证明，改变转动负载（在工作中即为调整压臂的长度）时，气缸实际反应速度并没有发生大的变化，从表 6 转动惯量与气缸响应关系表便可得到明显的验证。

由上可知 Festo CLR 气缸在动作、响应及速度上均

可以满足设计使用要求。

3 对特殊行程气缸运动时间的分析

由于市场上没有能满足课题设计所要求的气缸,德国 Festo 公司将根据我们的具体要求,进行特殊气缸的定制。故对现有气缸进行实验,并对相关单元动作时间进行分析,以及对行程 75mm 气缸的实际工作进行模拟计算。控制系统中所需要的时间包括:电磁阀的动作时间,气缸运动时间,信号获取延滞时间。

根据表 1 方向控制阀选型表的结论选择老虎阀 2000 系列: Festo MFH-5-1/4-B (两位五通中压式),其工作原理如图 5 所示;气缸选择 Festo CLR-63-50 系列直线/摆动夹紧气缸;其他实验器械不变,在已搭建的实验平台上重新进行实验。

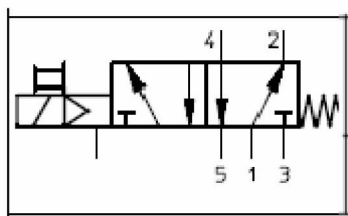


图 5 老虎阀工作原理图

由活塞内缸直径为 $d_0 = 63\text{mm}$, 活塞杆的直径为 $d_1 = 20\text{mm}$, 求取气缸两侧的有效作用面积: S_0 为无杆腔作用面积, S_1 为有杆腔作用面积。

$$S_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = 3117.245\text{mm}^2$$

$$S_1 = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} (63^2 - 20^2) = 2803.086\text{mm}^2$$

正常工作时,在保证气源稳定的条件下,假设气体进入气缸的流量不变,故气缸两腔动作时间之比为:

$$\frac{t_0}{t_1} = \frac{S_0}{S_1} = \frac{3117.245}{2803.086} \approx 1.112076$$

式中 t_0 —无杆腔动作时间;

t_1 —有杆腔动作时间。

气缸作用力:

无杆腔进气时:

$$F_0 = S_0 p = 3117.245 \times 0.6 = 1870.247\text{N}$$

有杆腔进气时:

$$F_1 = S_1 p = 2803.086 \times 0.6 = 1681.8516\text{N}$$

当测试压力为 4bar, 负载为 5848kg·mm²时,气缸来回行程需要时间: 1.1538s, 单独旋摆时间: 0.19s, 因此, Festo CLR-63-50 直线/摆动夹紧气缸的直线动作往返时间:

$$t_{\text{总}50} = 1.1538\text{s} - 0.19\text{s} \times 2 = 0.7738\text{s}$$

当气缸的进气流速和气缸活塞面积不变的情况下,气缸的动作时间与气缸的行程近乎成正比。故 75mm 压紧行程的直线/摆动夹紧气缸, 直线动作往返时间为:

$$t_{\text{总}75} = 0.7738\text{s} \times \frac{75}{50} = 1.1607\text{s}$$

$$t_0 = \frac{t_0}{t + t_1} \times t_{\text{总}75} = \frac{t_0}{t_1} = \frac{1.112076}{2.112076} \times 1.1607\text{s} \approx 0.611\text{s}$$

$$t_1 = t_{\text{总}75} - t_0 = 1.1607\text{s} - 0.611\text{s} = 0.5497\text{s}$$

由上可得气缸动作时间分布,如图 6 所示。

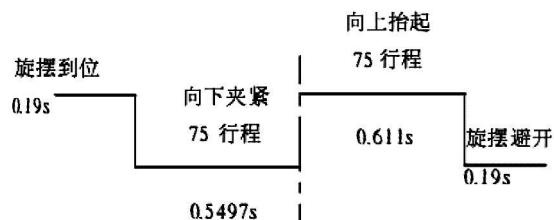


图 6 气缸动作时间分布图

4 结束语

通过在广州 Festo 公司实验室的试验、分析和计算,为最终选定直线/摆动夹紧气缸以及其他相关元件奠定了良好基础。以上述实验获得的相关参数定制直线/摆动夹紧气缸,完全满足了数控机床气动随行夹具的要求。该项目已经顺利完成并在我国某飞机公司成功应用,这是我国气动技术在数控加工柔性夹持技术上的突破。

参考文献

- [1] 李国平, 时圣勇. 基于 PLC 控制的气动机械手实验装置的研制 [J]. 液压与气动, 2003(1): 28-29.
- [2] 李异河, 魏青帝. PLC 控制气动系统试验台的设计与研究 [J]. 液压与气动, 2004(10): 33-34.
- [3] 唐德栋. Festo 气压实验台在《液压与气压传动》实验教学中的应用 [J]. 机床与液压, 2004(2): 125-127.
- [4] FESTO PNEUMATIC. 气动产品和样本 [M], 第 37 版.
- [5] 唐德栋. 基于 Festo 实验台气动综合实验的开发 [J]. 机床与液压, 2006(94): 109-110.
- [6] 石俊峰, 赵惠清. 初始进气阶段气缸的运动特性分析 [J]. 北京化工大学学报, 2008(2): 73-75.
- [7] 鄂大辛. 液压传动与气压传动 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [8] 徐益清. 气压传动控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.