

# 自动抄片三自由度气动机械手设计

陈志彬<sup>1</sup>, 齐乐华<sup>1</sup>, 任远春<sup>2</sup>, 李贺军<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学机电学院, 西安 710072; 2. 西北工业大学材料学院, 西安 710072)

**摘要:** 为了克服现有抄片机手工操作引起的种种产品缺陷, 采用模块化、集成化、逻辑分析等方法, 针对特殊使用要求设计了一种应用在高性能纸基摩擦材料抄片工艺上的气动机械手, 包括机械手硬件结构、动作流程以及气动控制回路。采用 AS\_i 总线整合机械手传感器、终端位置控制器、阀岛和控制器等, 具有上扩展能力, 可以达到设计使用要求。

**关键词:** 气动机械手; 抄片机; AS\_i 总线

**中图分类号:** TP271+.32 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-3881(2007)6-117-3

## The Design of Auto Sheetmaking Pneumatic Robotic Manipulator with Three Degrees of Freedom

CHEN Zhibin<sup>1</sup>, QI Lehua<sup>1</sup>, REN Yuanchun<sup>2</sup>, LI Hejun<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. China Research Center of C/C Composites, Key Laboratory of Ultra-high Temperature Composites, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** The sheetmaking apparatus used in producing a kind of high-performance friction material has some limitations. A pneumatic robotic manipulator used to refit this sheetmaking apparatus was designed through the approach of modularization, integration and logic analysis. The manipulator was constructed by an integration of various pneumatic cylinders, sensors, valve islands and servo-positioning controller based on actuator-sensor interface (AS\_i) bus. The manipulator realized the requirements of refitting and can be extended in the future.

**Keywords:** Pneumatic robotic manipulator; Sheetmaking apparatus; AS\_i bus

### 0 前言

高性能碳纤维增强纸基摩擦材料, 具有静/动摩擦系数比接近 1, 制动平稳、噪声小、环保等优点, 是目前应用在自动变速装置上的最为理想的湿式摩擦材料。目前国外的纸基摩擦材料成形工艺十分成熟, 自动化程度高, 国内目前同类成型设备主要是抄片机, 且主要采用人工操作, 产品厚度误差比较大, 严重影响产品质量的稳定性<sup>[1]</sup>。为了提高批量生产的产品质量和效率, 在原有抄片机上加装机械手是代替手工操作的有效途径。

机械手是传递机构中的重要部分, 通过夹持机构将物料从某一位置和方位, 按一定运动轨迹传递到另一位置和方位。近年来, 机械手在国内外自动化领域中, 特别是在有毒、放射、易燃易爆等恶劣环境内, 得到了越来越广泛的应用。其中气动机械手与其它类型的机械手相比, 具有结构简单、造价较低、易于控制、维护方便、寿命长等优点, 因此气动控制机械手机构被很多场合所采用。在工业自动化领域里, 大量采用传感器, 智能元件的拼装式气动机械手克服了传统气动机械手的笨重、无通用性等缺点, 具有很强的实用性和通用性<sup>[2]</sup>。同时, 由于采用总线连接集成系统, 特别是带集成 PLC 以及总线接口的阀岛, 提高了气动控制系统的可靠性, 简化了安装和维修。国外发展的带新型智能型电磁阀的气动定位系统、采用反馈控制, 当行程为 300mm、速度为 2m/s 时, 定位精

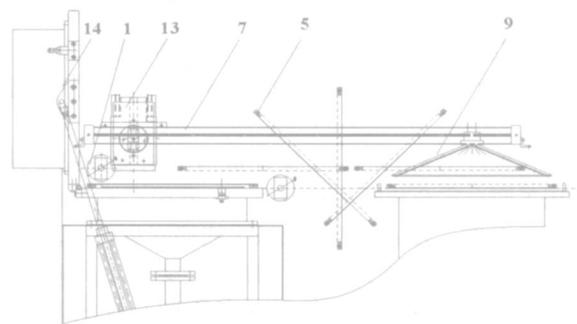
度可达  $\pm 0.1\text{mm}$ <sup>[3-5]</sup>。

本文针对纸基摩擦材料抄片机自动化程度低、产品质量不稳定等缺陷, 设计了自动抄片气动机械手。可以与由阀岛、AS-i 总线组成的控制系统进行协调, 组成完整的机械手。

### 1 气动机械手本体设计

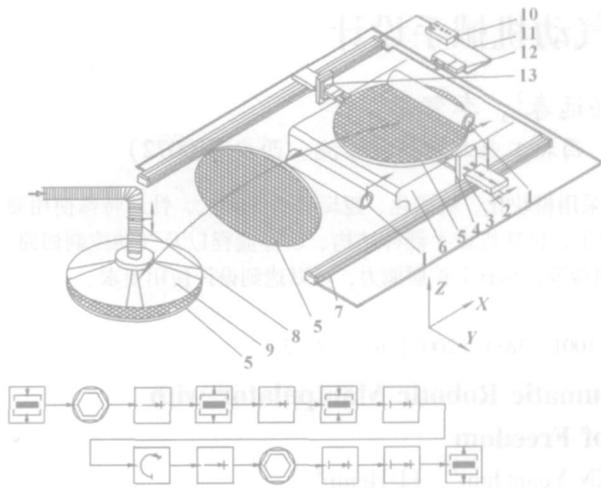
#### 1.1 自动抄片机总体结构设计

自动抄片机是在手工抄片机的基础上加装气动机械手进行自动化改装而得到的, 其总体机构如图 1 所示, 与手工抄片机相比增加了机械手、吹气罩 9 等, 其中气动机械手在抄片机摩擦材料成形过程中的动作如图 2 所示。



1—压水辊 5—成形网 7—直线单元 9—吹气罩  
13—双作用摆动气缸 14—料缸

图 1 抄片机总体结构



1—压水辊 2—Y轴滑块驱动器 3—Z轴滑块驱动器  
 4—手指气缸 5—成形网 6—抄片机主体 7—DGPL  
 直线气缸 8—压缩空气管 9—吹气罩 10—SPC100终  
 端位置控制器 11—位置传感器 12—比例方向控制阀  
 13—双作用摆动气缸

图 2 机械手动作示意图

摩擦材料成形后由料缸支撑气缸将料缸支起 90° 后 (图 1), 机械手搬动压水辊 1 在成形网 5 上辊压脱水; 机械手将成形网 5 带摩擦材料从托网架上取下, 沿导轨 7 右行、上行至到工作台上方翻转 180°; 吹气罩 9 下行将摩擦材料平整吹下; 成形网 5、机械手、料缸 14 复位。

### 1.2 机械手动作功能设计

为了实现图 2 中的一系列功能, 机械手动作根据手工操作的动作顺序进行设计和优化, 使用的是安装灵活的三自由度 (1 + 1/2 + 1/2 + 1, 不包含手指) 模块式 3PIR (P: 滑动关节, R: 旋转关节) 拼装机械手。为了安装方便, 各个部件都预留了燕尾槽等拼装导轨, 导向系统装置集成了电接口和带电缆及气管的, 使机械手运动自如, 具有高刚性、高强度及精确的导向和定位精度<sup>[6-7]</sup>。图 2 中的两台机械手结构对称、功能相同。单台机械手由 5 个气缸拼装而成: DGPL 直线单元气缸 7 (X 轴)、小型滑块驱动器 2、3 (Y、Z 轴)、双作用摆动气缸 (180°) 13、手指气缸 4。

在抄片工艺中, 为了保证机构的刚度和稳定性, 采用了两台完全相同的机械手。工作时左右两部机械手同步工作。为了使两部机械手能够同步动作, 相同位置的气缸由一阀控制, 气管的长度和走向完全对称, 位置传感器触发的与门 (双压阀) 控制, 双向节流阀保证速度相同。图 3 为各个气缸的动作以及逻辑触发, 通过之间设定的触发完成机械手的动作循环和功能。

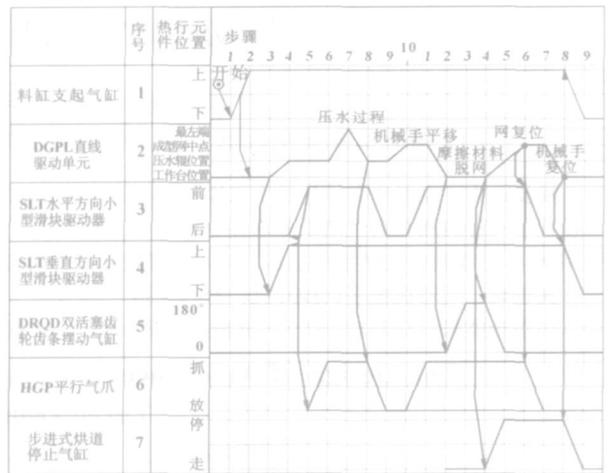


图 3 各气缸功能图表

## 2 机械手控制系统设计

### 2.1 控制系统组成

因为机械手存在大量的接口及近 20 个接近传感器, 当选用一般的控制策略连接这些气管件、电插件及传感器, 不仅工作量大, 而且容易错接或接触不良, 导致机械手故障率高。为了安装、维护方便和联网控制, 机械手采用了带 PLC 及现场总线的阀岛进行控制并与 AS\_i 总线结合的控制方案, 得到了一个完整的解决方案<sup>[8]</sup>, 如图 4。

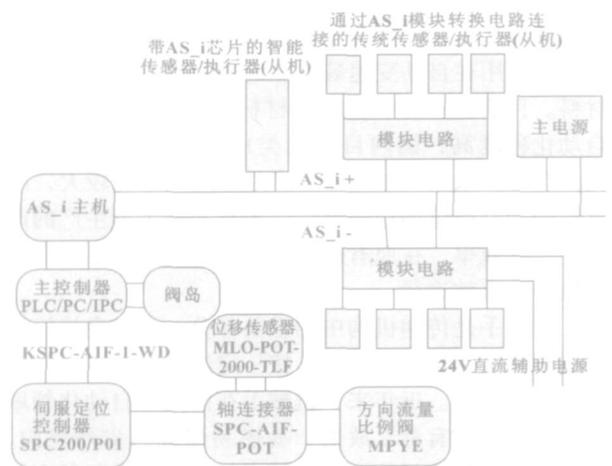


图 4 AS\_i 总线独立就地控制方案图

阀岛仅用一根电缆将 PLC、传感器与集装式阀岛相连, 通过串行信号传递的方式, 以一定的数据格式完成系统中的信号双向传递。这样, 不仅接口大大简化, 节省了配线时间, 而且控制部分小巧实用。由于阀岛的防护等级达到 IP65、符合 DN 标准, 甚至无需控制箱, 可就近安装在机械手附近。构成机械手控制信号传送枢纽的 AS\_i 总线除了能满足机械手简单 I/O、开/关量等基本数据的高速传输外, 对于更高级别的字节级 (设备级) 和数据流级的使用要求, 还

支持“金字塔”模式向上扩展，典型的网络为 AS\_i - Profibus—Industrial Ethernet，在规模较小、以开关量设备为主的应用中，可以省去“塔尖”，使用 AS\_i 和 Profibus-DP 构成现场总线监控系统，其规模可大可小，配置灵活方便<sup>[9]</sup>。针对机械手的控制，可再作进一步的简化，只保留主控制器（PLC/PC/IPC）、AS\_i 主机和从机。主机作为控制器的远程 I/O，同时在小系统中作为独立就地控制器，如图 4 所示，带 AS\_i 接口的 CP 阀岛可配备 2 到 8 个阀片，其集成的 PLC，其支持 AS\_i、Profibus 等总线。选用 AS-EVA-MEB-2E1A-Z 型 AS\_i 模块（IP65）作为主机，将阀岛接入 AS\_i 网络并作为 AS\_i 网络的起始点，用地址编写设备 AS-PRG-ADR 对从站地址进行设置，这样就构成了机械手的控制网络。

### 2.2 关键技术问题的解决

#### 2.2.1 气缸的两点定位

在机械手工作过程中，小型滑块驱动器、双作用摆动气缸等一般的两点定位，通过选择其两个终点位置，并相应配置两个接近传感器即可完成。由于机械手工作场所无强磁场，采用了带磁耦合式传感器，当执行器到达相应位置时发出信号，经由 AS\_i 总线传至控制器，触发下一步动作。

#### 2.2.2 气缸的多点定位

对于机械手主要部件——DGPL 无杆缸两处精度为 ±1mm 的中间定位控制方案，则成为主要的技术难点之一，因为无杆缸要实现运动速度连续可调，达到最佳的速度和缓冲效果，同时大幅度降低气缸的动作时间和冲击。这用传统的气动控制元件实现是非常困难的，但伴随着电—气比例伺服控制系统、定位系统技术的成熟，气动任意位置定位已经能够实现并得到了越来越广泛的应用<sup>[10]</sup>。

针对本文中性能要求较高的机械手设计的气动伺服控制系统，当运行速度 < 5m/s，定位精度可达 ±0.1 ~ ±0.2mm，包括 MPYE 型伺服阀、位置传感器、气缸、SPC 控制器，如图 5，控制器由神经网络与 PD 控制并行组成，利用神经网络的学习功能，在线调整增益系数，抑制因参数变化等对系统稳定性造成的影响，最终由控制器向伺服阀发出控制信号，实现对气缸的运动控制。其回路始终处于闭环控制，不断检测被控变量，而且信号不断地被传送到控制器，尽力达到零位偏差；被控变量的连续不断地和设定值作比较，控制器尽量使偏差为零<sup>[5]</sup>。

控制操作由控制器和被控制系统的交互作用完成，必须在对控制器进行设置时，将机械手 DGPL 气缸的目标位置值、行程、缸径、工作压力、负载等参数输入控制器中，所以事先知道机械手操作的大致参数是很重要的。工作时，SPC 数字闭环控制器执行一个算术程序，该程序中以输入的参数作为特征变量，主要目的是对阀产生合适变量。在一次执行中，系统参数在定义伺服气缸任务时一旦输入并为控制器所知，这些参数就不再为控制器的算术程序所改，并用于控制器计算临时参数。换言之，当机械手的负载等参数改变时需要重新调整，这在设计的模拟过程中得到了验证。

### 3 结论

(1) 采用 AS\_i 总线结合阀岛的方式构建了模块化、简便、开放的气动机械手控制系统，初步验证了机械手本体和控制系统的可行性

(2) 采用带电—气比例位置控制阀的终端位置控制器 SPC100，可以解决机械手定位困难的问题。

(3) 所设计的机械手与传统抄片机相结合可以提高工作效率和摩擦材料产品的质量稳定性。

### 参考文献

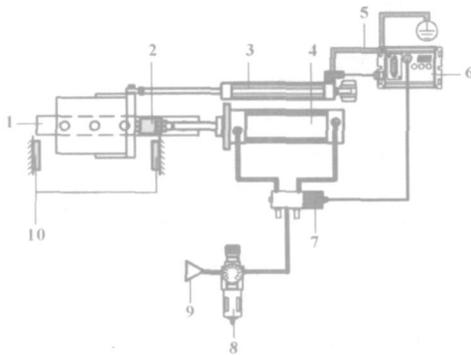
[1] 付业伟. 一种新型短切碳纤维增强纸基摩擦材料研究 [J]. 材料科学与工程学报, 2004, 22 (6): 802 - 805.

[2] 陈晓冰, 张为公. 同步器试验中气动七连杆换挡机械手位置伺服控制 [J]. 汽车工程, 2005, 27 (5): 579 - 582.

[3] 王益群, 赵静一, 姜万录, 姚成玉. 铁道车辆液压锚定机械手 [J]. 中国铁道工程, 2006, 27 (2): 140 - 144.

[4] 孟丽. 现场总线技术在电厂中的应用 [J]. 自动化仪表, 2005, 26 (3): 33 - 35.

[5] E. Ravina, R. Fattori. An experimental workbench for innovative pneumatic units cooperating under distributed control [J]. Microprocessors and Microsystems, 2000, 24 (1): 71 - 80.



1—导向装置 2—连轴器 3—位移传感器（该处为模拟式） 4—执行机构（该处为直线气缸） 5—接地线 6—SPC100 终端位置控制器 7—比例方向控制阀 8—无润滑 5μm 过滤单元 9—压缩空气源（0.5 ~ 0.7MPa） 10—停止设定点

图 5 SPC100 终端位置控制器在 DGPL 直线单元上的应用

(下转第 122 页)

液得到不断的更新和冷却, 所以滑靴能够以很高的速度沿斜面滑动。

阻尼小孔的直径  $d_0$  不能太大, 否则油泵工作时油液通过油膜处间隙大量渗漏, 致使油泵建立不起油压, 或影响油泵工作的稳定性。

同理, 缸体与配油盘之间也是采用静液压轴承原理。其撑开力使由配油盘排油窗口内的油压和附近的油膜内的油压作用于缸体端面而形成的, 而缸体对配油盘的压紧力则是由柱塞压油时柱塞孔内的油压作用于缸体产生的。其压紧系数一般取为 1.06 ~ 1.10。

### 2.3.2 柱塞与缸体间滑动摩擦副

建立柱塞油膜润滑的条件: 可应用流体动压润滑理论来说明, 图 3 是柱塞摩擦中形成油膜润滑的示意图, 其中  $F_r$  设为柱塞杆承受的径向载荷,  $n$  为柱塞轴的旋转速度。



图 3 柱塞与缸体之间油膜润滑示意图

当柱塞静止时, 柱塞与缸体在最低点接触, 在柱塞与缸体之间充有润滑性能很好的、具有一定粘性的油, 两表面间被很薄的液压油膜隔开, 形成边界润滑或混合润滑; 当柱塞开始滑动带自转时, 速度很低, 柱塞与缸体壁之间存在着金属面接触, 在摩擦力作用下, 柱塞沿孔壁向右上方爬升。随着转速的增加, 粘附在轴表面上的液压油, 被带入楔形间隙的量也增大, 开始形成压力油楔, 液压油楔的压力随转速度的提高而增大, 当油楔压力足以克服柱塞载荷时柱塞被抬起与缸体分开, 此时开始发生完全油膜润滑, 把柱塞浮起并推向左方, 柱塞中心稳定在缸体孔中心左下方的某一位置上。柱塞的转速越高, 液压油的粘度越大, 柱塞中的油量越充分, 液压油楔的厚度承载能力就越大, 油膜的润滑效果就越好, 柱塞的磨损也就越小, 柱塞中心就越接近缸体孔的中心。当转速降低减小时, 液压油楔的压力也随之减小, 当它不足以承担柱塞载荷时, 液体摩擦即被破坏, 摩擦面只被薄薄的油膜隔开, 就可能产生金属表面的直接接触, 造成磨损。

### 3 结论

柱塞组是斜盘式轴向柱塞泵的主要零件, 其摩擦副性能优劣直接影响了泵的运转及使用寿命。一般认为, 滑靴与斜盘之间的油膜被破坏而引起金属接触是造成泵损坏的主要原因, 而造成油膜被破坏的根本原因是滑靴底面支承力不足, 使滑靴被压向斜盘, 变薄

的油膜虽然会使热楔支承力增加, 但当它受急剧剪切后会使得油温升得过高, 油液粘度下降, 油膜形成的条件更加恶劣。如果这时油膜厚度与接触表面的粗糙度处于同一数量级, 就会造成金属接触。因而, 为提高柱塞泵马达摩擦副接触面之间的润滑性能, 要合理控制滑动面间的液体润滑膜厚度。

### 参考文献

- [1] 闻德生. 开路式轴向柱塞泵的研究 [J]. 机械工程学报, 1987, 23 (2): 74 - 77.
  - [2] E. Koc, C.J. Hooke. An analysis of the lubrication mechanisms of the bush type bearings in high pressure pumps [J]. Tribology International, 1997, 30 (8): 553 - 560.
  - [3] 温诗铸. 摩擦学原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1990. 1.
  - [4] 温诗铸, 杨沛然. 弹性流体动力润滑 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992. 1.
- 作者简介: 张力 (1959—), 女, 博士, 教授, 研究领域为机械设计理论。E-mail: zhaof@btbu.edu.cn

收稿日期: 2006 - 06 - 29

(上接第 119 页)

- [6] M. Van Damme, R. Van Ham, B. Vanderborcht, et al. Design of a "soft" 2-DOF planar pneumatic manipulator [J]. Climbing and Walking Robots, 2006: 559 - 566.
- [7] B.S. Ryuh, S.M. Park, G.R. Pennock. An automatic tool changer and integrated software for a robotic die polishing station [J]. Mech Mach Theory, 2006, 41 (4): 415 - 432.
- [8] John H. Lilly, Senior Member, IEEE, Liang Yang. Sliding Mode Tracking for Pneumatic Muscle Actuators in Opposing Pair Configuration [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, July 2005, 13 (4): 550 - 560.
- [9] Guido Belforte, Stefano Mauro, Giuliana Mattiazzo. A method for increasing the Dynamic performance of pneumatic servosystems with digital valves [J]. Mechatronics, 2004 (14): 1105 - 1120.
- [10] Alan L. Hitchcox. The Logical Choice for Factory Automation [J]. Hydraulics & Pneumatics, 2005 (6): 46 - 49.

作者简介: 陈志彬 (1980—), 男, 汉族, 西北工业大学硕士研究生, 研究方向: 气动系统设计。电话: 029 - 88488017, 13572866154, E-mail: chenzb@mail.nwpu.edu.cn. 齐乐华 (1957—), 女, 汉族, 西北工业大学博士生导师, 教授, 研究方向: 液固挤压、液压传动、人工神经网络等。E-mail: qilehua@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2006 - 09 - 27