

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.03.008

# 基于发动机缸体压铸工业机器人末端 操作器的设计\*

范娟<sup>1</sup>, 张新建<sup>1\*</sup>, 杨家军<sup>1,2</sup>

(1. 文华学院 机械与电气工程学部, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**针对发动机缸体笨重, 生产效能低下, 配套末端操作器频繁更换导致产线故障频发等一系列技术问题, 对发动机繁杂型号、缸矩不均、笨重缸体取放、末端操作器更换、产线故障频发等进行了深入研究。经过对发动机缸矩数据、机器人变矩抓手、末端操作器快速更换、气动控制夹持力大小、变矩缸矩抓取要求进行了归纳, 提出了一种基于传统专机和人工辅助的设计生产工艺, 设计采用了伺服等量变矩, 利用机械与电气控制相结合得到了预设结构数模, 测试实验对结构设计进行了验证。研究表明, 该结构设计大大提高了汽车发动机缸件压铸产能、快速变矩切换机型、减少了产线故障、缩短维护经费、对企业实际生产改造具有重大意义。

**关键词:**压铸岛; 末端操作器; 发动机缸体; 机器人压铸; 夹持器

中图分类号: TH122; TH39; TP242

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2018)03-0256-05

## End-effector of the industrial robot on the cylinder block casting

FAN Juan<sup>1</sup>, ZHANG Xin-jian<sup>1</sup>, YANG Jia-jun<sup>1,2</sup>

(1. Mechanical and Electrical Engineering Department, Wenhua College, Wuhan 430074, China; 2. School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Aiming at a series of technical problems, such as heavy engine cylinder, low production efficiency, frequent production line fault caused by frequent change of the end assorting manipulator, the diverse model of engine, uneven cylinder moment, handling of heavy cylinder, replacement of end manipulator, frequent production line fault were studied in depth. Through summarizing cylinder moment data of engine, variable moment grab of robot, quick change of end manipulator, chucking power controlled pneumatically, variable cylinder moment grabbing requirement, a human-aided design production process based on traditional special machine was proposed. The numerical simulation of the preset structure using servo equivalent variable moment was obtained combined with mechanical and electrical control. The structural design was verified by the test. The research result indicates that the structural design has great significance on enhancing the pressure casting yield of auto engine cylinder, quick moment change and model shift, reducing production line fault, shortening maintenance expense and renovating the actual production of enterprise.

**Key words:** die casting island; end-effector; cylinder block; robot die casting; griper

收稿日期: 2017-06-16

基金项目: 国家重大科技专项资助项目(2013ZX04008-031)

作者简介: 范娟(1976-), 女, 湖北黄冈人, 讲师, 主要从事自动控制, 工业机器人方面的研究。E-mail: jounko@qq.com

通信联系人: 张新建, 男, 副教授。E-mail: zxjchn@126.com

0 引言

发动机缸体压铸传统工艺用专机和人工辅助将缸套镶件嵌入模具,操控压铸机高速压注铝液至模具型腔,快速成型,开模后由专机与人工辅助将型腔内成型缸体取出。由于缸体本体约 10 kg,取出劳动强度大,生产效率低且生产质量不高。

工业机器人自动化压铸生产(简称智能压铸岛)已经在压铸行业得到广泛应用。研究者一直致力于其性能改进,发动机缸体压铸岛工作时,工业机器人末端操作器夹取缸套、镶件推送缸套、夹取缸体,由于发动机型号较多,每款发动机缸矩差别,不同机型的发动机对应用不同工业机器人末端操作器,使行生产切换与生产故障频繁。通过对 8 种机型发动机产品缸体间矩数据对比,缸体间矩最大 1 129 mm,最小 980 mm。SolidWorks 建模设计法兰盘快换方式实现末端操作器的切换,发现可实现其功能,但始终未解决一种末端操作器实现通用不同机型发动机生产。为了使不同机型发动机缸体共用一种末端操作器,研究人员通过采用伺服与铰链机构实现机电控制等量变矩原理<sup>[1]</sup>,设计机构动作仿真,结果表明可实现不同缸矩抓取的要求。

本研究采用伺服等量变矩<sup>[2-3]</sup>,利用机械与电气控制相结合以得到其预设结构数模,并通过测试实验对结构设计进行验证。

1 算法设计

1.1 末端操作器的描述

传统缸体压铸工业机器人末端操作器外形图如图 1 所示。

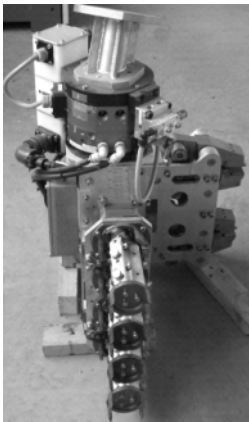


图 1 传统缸体压铸工业机器人末端操作器

工业机器人末端操作器是结合工艺需求设计的专用装置,设计需求如表 1 所示。

表 1 设计需求说明表

| 序号 | 设计需求说明                            |
|----|-----------------------------------|
| 01 | 取出结构夹持工件轴颈部位,每组最大夹持力 1 000 N。     |
| 02 | 取件夹手夹持最大行程 70 mm。                 |
| 03 | 夹紧机构需要有保压装置,当停气时能够防止工件掉落。         |
| 04 | 防水防尘等级 IP56                       |
| 05 | 有油雾、水雾等防损坏、防误判的功能(防呆功能)。          |
| 06 | 使用防锈材料进行夹爪制作(耐高温 800 ℃ 以上)。       |
| 07 | 设计具有防夹伤产品方式。                      |
| 08 | 取件手爪表面淬火。(HRC60 以上)               |
| 09 | 可搬最大重量 100 kg。                    |
| 10 | 镶件机构主要用于夹取缸套,每组最大夹持力 130 N。       |
| 11 | 用于将在缸套输送带上定位的缸套取出后插入模具内。          |
| 12 | 镶件缸套 1 套/4 个,重量约 1 kg/个(合计:4 kg)。 |
| 13 | 镶件夹手同等变距最大行程 15 mm。               |
| 14 | 缸套夹取位置为缸套内孔。                      |
| 15 | 缸套夹紧方式采用气胀轴结构。                    |
| 16 | 在对缸套夹紧时采用柔性夹紧,防止缸套变形、损坏           |
| 17 | 顶出板设计根据缸套尺寸设计,不与模具相关面干涉。          |
| 18 | 设置缸套顶出装置用于将缸套推入模具内。               |
| 19 | 镶件装置需带有缸套检测功能,当检测异常时停机报警。         |
| 20 | 控制线路采用快插方式。                       |

本研究中的末端操作器设计从输送缸套装置对接抓取 4 个缸套,在镶入模具型腔时同时能够推送 4 个缸套至定位底部,并且可自动变距适应用不同机型发动机缸体的生产。

缸体成型后缸体通用型末端操作器能够满足多机种发动机缸体取出,且与后工序机械不干涉。

1.2 设计相关分析

1.2.1 工业机器人参数介绍与运动路径分析  
本次项目选取 ABB-IRB6640 机器人,ABB-IRB6640

机器人主要技术参数如表 2 所示<sup>[4]</sup>。

表 2 IRB6640 参数介绍

| 参数名称       | 数值                                                                                                     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 手腕转矩/(N·m) | 961                                                                                                    |
| 重复定位精度/mm  | 0.07                                                                                                   |
| 重复路径精度/mm  | 0.7                                                                                                    |
| 承重/kg      | 180                                                                                                    |
| 重心/mm      | 300                                                                                                    |
| 防护等级       | IP67                                                                                                   |
| 电源电压/V     | 200~600                                                                                                |
| 功耗/kW      | 2.7                                                                                                    |
| 机器人底座尺寸/mm | 1 107×720                                                                                              |
| 安装方式       | 落地安装                                                                                                   |
| 轴运动        | 轴 1 旋转 -170°,170°轴 4 手腕 -300°<br>轴 2 手臂 -60°,85°轴 5 弯曲 -120°,120°<br>轴 3 手臂 -180°,70°轴 6 翻转 -360°,360° |

变距抓手的运动路径包括位置的变化和姿态的变化。

工具坐标平移运动在基坐标的矩阵变换公式如下：

$$T_{\text{new}} = \text{Trans}(d_x, d_y, d_z) \times T_{\text{old}}$$
$$\text{Trans}(d_x, d_y, d_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_{\text{old}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

旋转点在基坐标系里面的坐标矩阵变换包括绕  $x, y, z$ , 3 个方向的变换如下：

$$\text{Rot}(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Rot}(y, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{Rot}(z, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

1.2.2 气动控制夹持力计算

夹取缸套所需的最小夹紧力<sup>[5]</sup>为：

$$\mu F_{\text{夹}} = G = Mg \quad (6)$$

式中： $F_{\text{夹}}$ —取件抓手的夹紧力； $M$ —发动机缸套的重量。

取件抓手夹套与缸套之间的静摩擦系数为 0.2。

取件抓手和缸套抓手都采用气压驱动,则气动控制夹持力为：

$$F_{\text{夹}} = \frac{\pi D^2 p \eta}{4} \quad (7)$$

式中： $D$ —气缸缸径； $p$ —气缸使用压力,MPa； $\eta$ —气缸负载率。

1.2.3 伺服变距结构分析计算

末端操作器变距运动机构包括伺服电机、滚珠丝杆、直线导轨机构和铰链机构。由伺服电机提供动力,驱动丝杆转动,丝杆转动带动滑块的移动,丝杆顺时针转动滑块压动连接杆,从而实现铰链机构距离的收缩,逆时针转动时滑块向右移动,实现铰链机构的伸展,达到等量变矩的功能。

变距机构的平面图如图 2 所示。

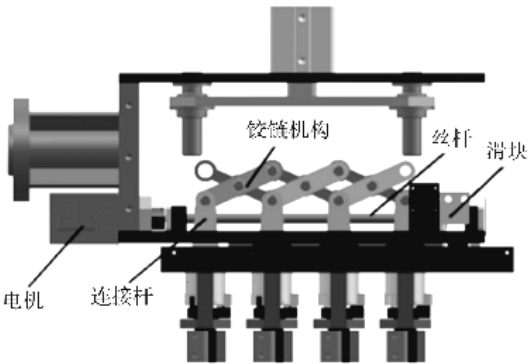


图 2 伺服变距结构图

滑块对连杆的推力为  $F_1$ ,滑动表面的摩擦系数为  $\mu$ 。丝杆的参数包括轴径  $D$ 、轴长  $L$  和节距  $p$ 。发动机的参数包括电机转速  $n$ ,转动惯量为  $J$ 。

相关计算式如下：

$$T = \frac{9\,550 \times P}{n} \quad (8)$$

$$T = \frac{F_1 \times L + T_f}{2\pi\eta} \tag{9}$$

$$J = \frac{1}{2}MR^2 \tag{10}$$

式中: $P$ —发动机的功率; $n$ —转速; $T$ —发动机所产生的转矩; $T_f$ —丝杠产生的摩擦力矩; $L$ —丝杠转动的水平距离<sup>[6-8]</sup>。

铰链机构整体受力分析简化图如图3所示。

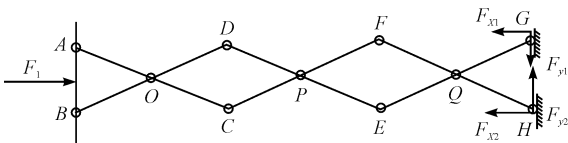


图3 铰链机构整体受力分析图

其中:

$$\sum F_x = 0F_1 = F_{x1} + F_{x2};$$

$$\sum F_y = 0F_{y1} = F_{y2}。$$

铰链的运动方式包括收缩和伸展, $\theta$  的角度范围从  $90^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ,铰链杆的长度为 120 mm,可满足发动机缸体中心距为 895 mm ~ 1 129 mm 的抓取要求。

2 结构设计

2.1 末端操作器主要运动结构设计

根据关键技术要求,本文设计了一种缸体通用型工业机器人末端操作器,其主要运动结构由 4 个部分组成:

(1)伺服变距结构适应不同型号发动机缸体制造,可快速切换缸体中心距,以达到生产要求。

伺服距结构设计图如图4所示。

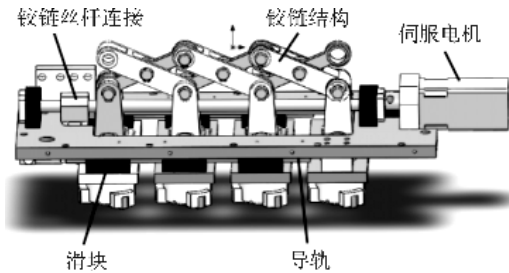


图4 伺服变距结构设计图

(2)缸套抓取镶件结构本末端操作器以四缸发动机缸套镶件为导向设计,抓取镶件结构为 4 个分支结构同一控制回路。

缸套抓取结构设计图如图5所示。

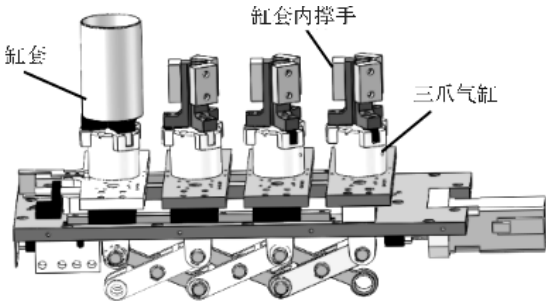


图5 缸套抓取结构设计图

(3)缸套镶嵌结构缸套放入模具定位销内,推入结构将其推入到位。

缸套镶嵌结构设计图如图6所示。

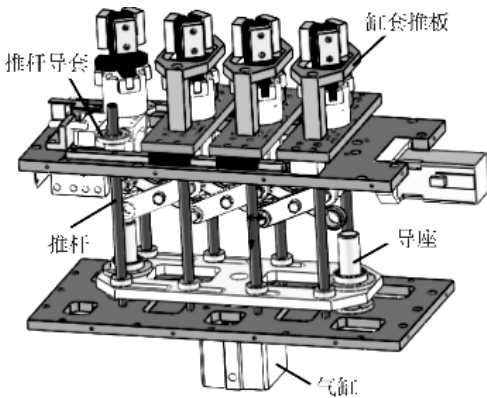


图6 缸套镶嵌结构设计图

(4)缸体取出结构夹持缸体本体,并能适应后工序的加工结构。

缸体取出结构设计图如图7所示。

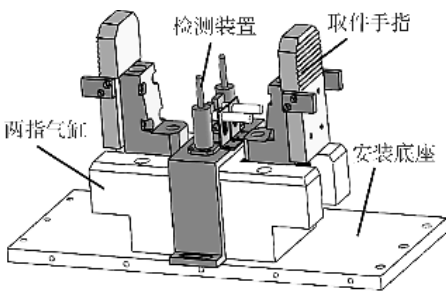


图7 缸体取出结构设计图

2.2 末端操作器分解图

由于压铸车间环境恶劣,工业机器人取镶件末端操作器整体设计需考虑防护装置,分解图中涉及到 23 – 顶出气缸护盖、35 – 水尘防护橡胶支撑钣金、34 – 水尘防护橡胶等防护装置的设计。

缸体工业机器人末端操作器分解图如图8所示。

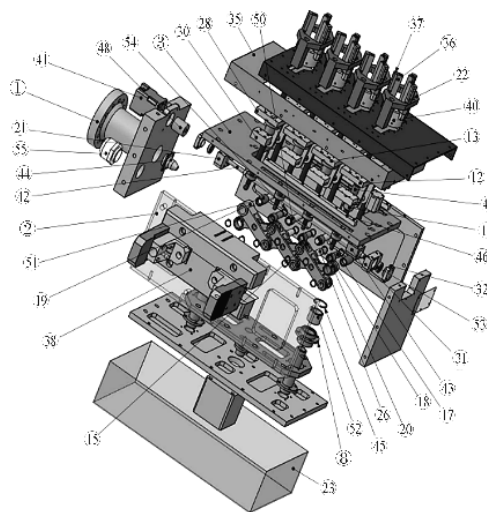


图 8 缸体工业机器人末端操作器分解图

1 - 机器人连接法兰;2 - 取件夹手固定板;3 - 变位夹手固定板;4 - 顶出气缸固定板;5 - 取镶件夹手右侧板;6 - 取镶件夹手左侧板;7 - 顶出托板;8 - 顶出托板导板;9 - 顶出托板导板;10 - 顶出导板;11 - 顶出导杆导套;12 - 变位丝杆固定座;13 - 变位夹手固定座;14 - 变位丝杆螺母固定座;15 - 变位连杆 A;16 - 变位连杆 B;17 - 变位连杆销 A;18 - 变位连杆销 B;19 - 变位连杆 D;20 - 变位连杆 C;21 - 角接触轴承座 B;22 - 缸套推板;23 - 顶出气缸护盖;24 - 取件手指固定座;25 - 取件手指;26 - 变位连杆销 C;27 - 顶出气缸连接器;28 - 变位夹手固定座 B;29 - 角接触轴承座端盖 B;30 - 夹手固定座 B 过渡块;31 - 角接触轴承座;32 - 角接触轴承座端盖;33 - 角接触轴承座密封盖板;34 - 水尘防护橡胶;35 - 水尘防护橡胶支撑钣金;36 - 缸套夹手手指座;37 - 缸套夹手手指;38 - schunk\_PGN - plus300 - 1;39 - SMC\_CDQ2B8 - 50;40 - SMC\_MHSL3 - 40D - M9N;41 - 三菱伺服电机 HF - KP23;42 - 传动丝杆 BNT 1605 - 26 (THK);43 - 传动丝杆螺母 BNT 1605 - 26 (THK);44 - 信号线航空插头;45 - 孔卡 38;46 - 导轨 SR15W (THK);47 - 滑块 SR15W (THK);48 - 联轴器 SHC - 35C (仕勋);49 - 自润轴承 JDB - 1\_152130;50 - 自润轴承 JDB - 1\_162220;51 - 自润轴承 JDB - 1\_162240;52 - 自润轴承 JDB - 1\_303830;53 - 角接触轴承 7001 C;54 - 轴卡 16;55 - 防水接头

### 3 结束语

本研究介绍了发动机缸体工业机器人末端操作器,并通过伺服等量变矩结构分析计算,确认了核心部件理论设计的可行性。结构组立通过时效疲劳试验,未发现异常,充分说明该设计的优越性。

采用伺服等量变矩工业机器人取镶件末端操作器结构设计,可大大提高了汽车发动机缸体压铸生产效率,实现快速变矩切换机型的功能。

### 参考文献 (References):

- [1] 陈国强. 工业自动化中的驱动与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2016.
- [2] 王立威. 高精度伺服控制系统[M]. 北京:知识产权出版

社,2016.

- [3] 杨家军. 机械系统创新设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2000.
- [4] ABB. ABB 随机光盘手册 (Product specification-IRB6640) [M]. 北京:ABB Limited,2003.
- [5] 斯克莱特. 机械设计实用机构与装置图册[M]. 第5版. 北京:机械工业出版社,2015.
- [6] 颜鸿森,姚燕安,王玉新,等. 机构装置的创造性设计[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [7] 程立斌,潘 潦,徐 贞. 钢提桶塑料提梁自动弯曲机构的设计[J]. 包装与食品机械,2016(2):70-72.
- [8] 秦大同. 谢里阳. 现代机械设计手册[M]. 第三卷. 北京:化学工业出版社,2011.

[编辑:张 豪]

### 本文引用格式:

范 娟,张新建,杨家军. 基于发动机缸体压铸工业机器人末端操作器的设计[J]. 机电工程,2018,35(3):256-260.

FAN Juan, ZHANG Xin-jian, YANG Jia-jun. End-effector of the industrial robot on the cylinder block casting[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(3):256-260.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>