

文章编号: 1002-6673 (2012) 06-013-03

工业机器人结构设计

朱同波, 蔡凡, 刘伟
(闽南理工学院, 福建泉州 362700)

摘要: 在了解工业机器人在国内外现状的基础上, 根据工业机器人内部结构和工作原理, 对机器人腕部进行结构设计。为工业上机器人的设计提供理论参考、设计参考和数据参考, 为工业设计者提供设计理论和设计实践的参考。

关键词: 机器人; 结构设计; 专用轴承; 动力布置

中图分类号: TB47, TP242 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1002-6673.2012.06.005

Industrial Robot Structure Design

ZHU Tong-Bo, CAI Fan, LIU Wei

(Minnan University of Science and Technology, Quanzhou Fujian 362700, China)

Abstract: In the industrial robot in understanding situation at home and abroad, and on the basis of industrial robot according to internal structure and working principle of the robot wrist structure design. On the design of the robot for industry to provide theoretical reference, design reference data for reference, and industrial designers with design theory and design practice reference.

Key words: robot; structure design; special bearing; power arrangement

0 引言

机器人是最典型的机电一体化数字化装备, 技术附加值高, 应用范围广, 作为先进制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业, 将对未来生产和社会发展起越来越重要的作用。从 20 世纪下半叶起, 世界机器人产业一直保持着稳步增长的良好势头。根据发达国家产业发展与升级的历程和工业机器人产业化发展趋势, 到 2015 年中国机器人市场的容量约达十几万台套。

1 工业机器人的基本工作原理

工业机器人是一种生产装备, 其基本功能是提供作业所需的运动和动力, 其基本工作原理是通过操作机上各运动构件的运动, 自动地实现手部作业的动作功能及技术要求。因此在基本功能及基本工作原理上, 机器人与机床有相同之处: 二者的末端执行器都有位置变化要求, 而且都是通过坐标运动来实现末端执行器的位置变化要求。当然机器人也有其独特的要求, 是按关节形式运动为主, 同时机器人的灵活性要求很高, 其刚度、精度要求相对较低。

收稿日期: 2012-10-09

作者简介: 朱同波(1986-), 男, 教师。研究方向: 机械设计制造; 蔡凡(1986-), 女, 教师。研究方向: 电子通信工程。

2 工业机器人结构系统

2.1 工业机器人构造

从功能角度分析可将机器人分解成四个部分: 操作机、末端执行器、传感系统、控制器。

操作机: 是由机座、手臂和手腕、传动机构、驱动系统等组成, 其功能是使手腕具有某种工作空间, 并调整手腕使末端执行器实现作业任务要求的动作。

末端执行器: 也叫工业机器人的手部, 它是安装在工业机器人手腕上直接抓握工件或执行作业的部件。

传感器系统: 是指要机器人与一样有效的完成工作, 必须对外界状况进行判断的感觉功能。与机器人控制最紧密相关的是触觉。视觉适合于检测对象是否存在, 检测其大概的位置、姿势等状态。相比之下, 触觉协助视觉, 能够检测出对象更细微的状态。

控制器: 机器人控制系统是机器人的大脑, 是决定机器人功能和性能的主要因素。主要是控制工业机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹、操作顺序及动作的时间等。具有编程简单、软件菜单操作、友好的人机交互界面、在线操作提示和使用方便等特点。在机器人中采用的控制系统有: 点位的和轮廓的; 同步的和异步的; 数字的和模拟的。可根据机器人的技术与经济要求及工艺任务的特点来选择控制系统的具体方案。

2.2 主要结构尺寸

根据 A II-V6L 型工业机器人的主要参数进行设计, 主要结构尺寸如图 1 所示。机器人的工作范围见图 2。

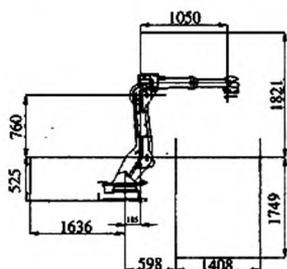


图 1 主要结构尺寸

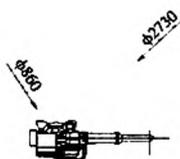


图 2 工作范围

3 腕部设计

在设计中为减轻机器人本体的重量选用铸铝材料。

3.1 手腕结构的确定

手腕是联接手臂和末端执行器的部件, 其功能是在手臂和机座实现了末端执行器在作业空间的三个位置坐标(自由度)的基础上, 再由手腕来实现末端执行器在作业空间的三个姿态(方位)坐标, 即实现三个旋转自由度。通过机械接口, 联接并支承末端执行器。根据机器人的作业要求来决定其应具有的自由度数目。

3.2 基本参数的确定

确定了空间结构和手腕结构后, 可确定手腕回转、手腕摆动及手腕旋转三个姿态的自由度。其参数见表 1 (参数来于 SSA2000 工业机器人)。

表 1 机器人的主要规格参数

手腕回转 (R 轴)	手腕摆动 (B 轴)	手腕旋转 (T 轴)	额定载 荷/kg	最大速度 (m/s)
$\pm 150^\circ/400^\circ/\text{s}$	$+180^\circ/-45^\circ/400^\circ/\text{s}$	$\pm 360^\circ/600^\circ/\text{s}$	3	1.4
动作范围	手腕回转 (R 轴)	$\pm 150^\circ$		400°/s
	手腕摆动 (B 轴)	$+180^\circ/-45^\circ$		400°/s
	手腕旋转 (T 轴)	$\pm 360^\circ$		600°/s
额定载荷	3kg			
最大速度	1.4m/s			

3.3 手腕电机的选择

(1)R 轴电机的选择。手腕的最大负荷质量 $m=3\text{kg}$, 初估腕部的质量 $m_1=3\text{kg}$ 。最大运动速度 $V=1.4\text{ m/s}$, 取轴承的效率为 0.9。

$$\text{功率 } p = \frac{FV}{\eta_w} = \frac{mgV}{\eta_w} = \frac{3 \times 10 \times 1.4}{0.9} = 46.7\text{W}$$

取各齿轮和联轴器效率总和为 0.9, 则:

$$p' = \frac{46.7}{0.9} = 51.8\text{W}$$

考虑到传动损失和摩擦, 最终的电机功率 $p_m=100\text{W}$ 。

选择型号为 SGMAH-01A, 额定功率为 100W, 额定转矩为 0.318N·m, 额定转速为 3000r/min, 重量为 0.7kg 的交流伺服电动机。

(2)B 轴和 T 轴电机的选择。根据设计要求取相同型号的电机, 选择型号为 SGMAH-01A 交流伺服电动机。

3.4 传动比的确定

(1)R 轴总传动比的确定。角速度 $\omega=400^\circ/\text{s}$ 。即 $\omega=6.98\text{r}/\text{min}$ 。再求实际转速 n' :

$$n' = \frac{60\omega}{2\pi} = \frac{60 \times 6.98}{2\pi} = 66.69\text{r}/\text{min}$$

n' 为转速 (r/min)。最后求得总传动比:

$$i_{\Sigma 1} = \frac{n}{n'} = \frac{1000}{66.69\pi} \approx 14.99 \quad (\text{取整 } i_{\Sigma 1}=15)$$

(2)用同样的方法, 可求得: B 轴总传动比 $i_{\Sigma 2}=15$;

T 轴总传动比 $i_{\Sigma 3}=10$ 。

(3)传动比的分配。传动比分配时要充分考虑到各级传动的合理性以及齿轮的结构尺寸, 要做到结构合理。

①R 轴传动比分配: R 轴总的传动比 $i_{\Sigma 1}=15$, 该传动经谐波减速器直接驱动小臂回转; ②B 轴传动比分配: B 轴总的传动比 $i_{\Sigma 2}=15$, 该传动先经谐波减速器减速, 再经两级传动, 第一级传动为圆锥齿轮传动, 传动比 $i_{21}=1$, 第二级传动为同步齿形带传动, 传动比 $i_{22}=1$; ③T 轴传动比分配: T 轴总的传动比 $i_{\Sigma 3}=10$, 该传动经谐波减速器减速再经三级传动。第一级传动为圆锥齿轮传动, 传动比 $i_{31}=1$, 第二级传动为同步带传动, 传动比 $i_{32}=1$, 第三级传动为圆锥齿轮传动, 传动比 $i_{33}=1.35$ 。

3.5 谐波减速器的选择

谐波齿轮减速器是一种新型的机械传动变速机构。与普通齿轮传动相比, 具有体积小, 重量轻, 结构简单, 它与传动比相当的普通减速器比较, 其零件减少 50%, 体积和重量均减少 1/3 左右或更多。传动比范围大(单级传动比为 40~350, 多级传动比可达 1600~100000), 传动效率高(单级传动效率 $\eta \geq 85\%$), 传动精度高, 承载能力强等特点。

根据所选择的电机, 选择型号为 SGMAH-01A, 额定功率为 100 W, 额定转矩为 0.318 N·m, 额定转速为 3000 r/min 的交流伺服电动机。同时选择 XB1 谐波减速器, 机型为 25, 减速比为 40, 输出力矩为 1.0N·m, 输入转速为 3000 r/min。为了订货和维修方便, 三轴均采用同一种减速器。

3.6 壳体的设计

机座部分采用铸铝材料, 方形结构, 臂厚 5~12mm。机身部分采用铸铝材料, 圆筒形结构, 臂厚 7~8mm。大臂外壳采用铸铝材料, 厚度均为 6~8mm。小臂箱体和小臂外壳采用铸铝材料, 结构为方形, 侧面为铸件其它三面为铸铝板材。手腕外壳和手腕箱体采用铸铝材料, 结

构为方形，两侧面、背面、底面为铸件，端面 and 正面为铸铝板材，臂厚 5~8mm。其它部分具体尺寸由结构决定，见图 3。

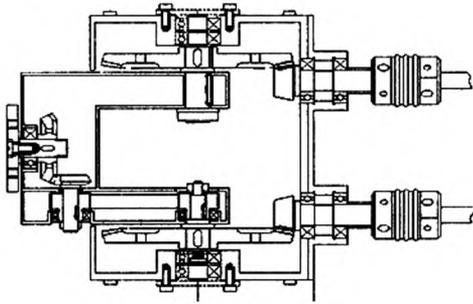


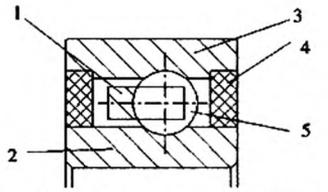
图 3 腕部结构

4 机器人轴承设计

球轴承是机器人和机械手机构中最常用的轴承。它能承受径向和轴向载荷，摩擦较小。其机器人专用轴承四点接触式设计以及高精度加工。这种轴承比同等轴径的常规中系列四点接触轴承轻 25 倍。它的内圈（或外圈）由两个半圈精确拼配而成，而其整体外圈（或内圈）的沟曲率半径较小，使钢球与内、外圈在四个“点”上接触，既加大了径向负荷能力，又能以紧凑的尺寸承受很的两个方向的轴向负荷，并且有很好的两个方向的轴向限位能力，因为它的轴向游隙相对较小，而其接触角（一般取为 35° ）又较大。

工业机器人专用薄壁四点接触球轴承通常有带密封圈和不带密封圈的结构形式（见图 4）。其主要由内圈、外圈、保持架、钢球或非接触式密封圈组成。内、外圈均为整体结构，钢球与内、外圈沟道呈四点接触，保持架

为冠形插入式结构。适合安装在工业机器人的腕部、肘部等关节部位。薄壁交叉滚子轴承通常有满滚子结构和带冲压保持架或隔离件的结构形式。为



1.保持架 2.内圈 3.外圈 4.密封圈 5.滚动体

图 4 薄壁四点接触球轴承

外圈或内圈采用双半结构，用螺钉连接，内、外圈滚道与轴承轴线呈 45° 角，滚道之间交替放置互成 90° 的圆柱滚子，滚子直径一般应大于滚子长度，可承受径向载荷及两个方向的轴向载荷以及倾覆力矩，相当于两套接触角 $\alpha=45^\circ$ 的角接触轴承背靠背安装的组配。特别适合安装在工业机器人的腰部、肩部等关节部位。

5 结束语

各种工业机器人可以以单机形式使用，也可以作为生产系统中的一种构成部分使用。随着社会需求发展的变化，工业生产多品种小批量方向发展，对制造系统的柔性要求越来越高。工业机器人灵活性好。因此在柔性制造系统内各种应用越来越多。

参考文献：

- [1] 冯辛安.机械制造装备技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 郭巧.现代机器人学[M].北京:北京理工大学出版社,1999.
- [3] 黄继昌,徐巧鱼,等.实用机构图册[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [4] [日]日本机器人学会.新版机器人技术手册[M].北京:科学出版社,2007.

（上接第 24 页）滤器、高压板式过滤器，从 3 号口出，回到装备主油路，实现利用装备动力的滤油功能；③内部动力过滤：电磁阀 D2 得电，传动油从吸油过滤器进入油泵，经强磁过滤器、高压板式过滤器回到清洗机内部油箱，实现对滤清机油箱的滤油功能；④外油进清洗机：电磁阀 D1 得电，外部传动油经 1 号口、吸油过滤器进入油泵，经强磁过滤器、高压板式过滤器，进入清洗机内部油箱，实现滤清机油箱的补油功能；⑤向装备内加油：电磁阀 D2、D5 得电，传动油从吸油过滤器进入油泵，从 3 号口出去，到达装备加油口，实现装备加油、补油功能。

（3）控制原理：选用可编程序控制器（PLC）作为清洗设备电气控制系统的主控单元；选用液晶显示的人机界面控制系统（HMI）作为显示、操作单元。把 PLC 和 HMI 二者有机结合，实现控制过程中流量和时间的设定、液

位和滤清器堵塞报警指示。两者的通讯连接关系如图 3 所示。

6 结束语

工程装备传动油滤清机集多种功能于一体，按系统提示操作，通过连接不同的管路，可实现传动系统的压力清洗、动力加油、废油

收集，利用被保养装备动力进行传动油过滤，传动油液过滤精度可达到 $10\mu\text{m}$ 。所有滤清过程可以实现定时作业，所有补油、加油可以实现定量操作。极大地简化了使用人员的操作难度，提高了传动系统保养的效率。

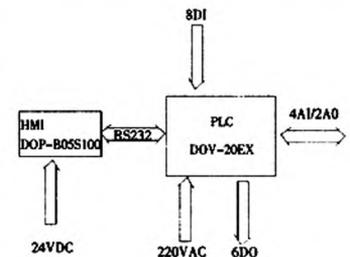


图 3 PLC 与 HMI 通讯连接关系示意图

Fig.3 Exhibition of the communication relationship between PLC and HMI