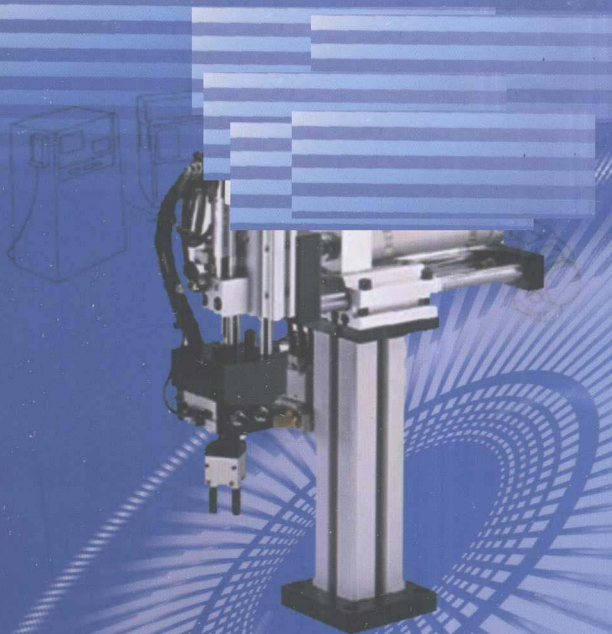


机械产品综合设计课程设计指导书之一

高荣慧 主编

工业机械手 设计

GONGYE JIXIESHOU SHEJI



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

机械产品综合设计课程设计指导书之一：

工业机械手设计

主 编 高荣慧

副主编 翟 华 赵小勇
胡兆稳 尤 涛

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业机械手设计/高荣慧主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2014. 12
(机械产品综合设计课程设计指导书之一)
ISBN 978-7-5650-2014-8

I. ①工… II. ①高… III. ①工业机械手—机械设计—高等学校—
教材 IV. ①TP241.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 250090 号

工业机械手设计

高荣慧 主编

责任编辑 章建 王路生

出版	合肥工业大学出版社	版次	2014 年 12 月第 1 版
地址	合肥市屯溪路 193 号	印次	2014 年 12 月第 1 次印刷
邮编	230009	开本	710 毫米×1000 毫米 1/16
电话	总编室:0551-62903038	印张	10
	市场营销部:0551-62903198	字数	180 千字
网址	www.hfutpress.com.cn	印刷	合肥学苑印务有限公司
E-mail	hfutpress@163.com	发行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2014-8

定价: 26.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

序 言

机械产品综合设计课程设计是机械设计制造及其自动化专业重要的实践教学环节,是继基础课程及主干专业课程之后的一次综合设计,是一次比较完整的整机设计,是毕业设计前的一次综合演练。

液压驱动工业机械手在工业生产中的应用极为广泛,它由执行机构、驱动系统、控制系统以及位置检测装置等组成,产品设计内容丰富、涵盖面宽。通过工业机械手的设计能提高学生的机构分析与综合的能力、机械结构设计的能力、机电液一体化设计能力,因此可以作为机械产品综合设计课程设计选题之一。

为适应机械设计系列课程改革需要,本教材是在 20 世纪 90 年代合肥工业大学机械与汽车工程学院高荣慧老师编写的《工业机械手》讲义的基础上,经过 20 多年的使用和总结,根据教育部组织实施的合肥工业大学国家级特色专业“机械设计制造及其自动化”建设和安徽省教育教学研究项目“机械类专业毕业设计中增强学生创新能力的方法研究”需要,通过对机械产品设计课程设计教学环节的整合、完善、充实和提高,并不断吸收近年来相关课程教学改革的经验成果等编写而成。

本教材是集体智慧的结晶,由高荣慧老师担任教材主编并具体编写第 2 章、第 3 章,赵小勇老师编写第 0 章、第 1 章,董迎晖老师编写第 4 章、第 7 章,尤涛老师编写第 5 章,胡兆稳老师编写第 6 章,最后由翟华老师负责统稿。

本教材可以作为机械设计制造及其自动化专业重要的实践环节指导书,有助于学生掌握机械设计的一般过程。在机械系统设计理论教学基础上进行实践教学,可以培养学生的综合设计能力和创新能力,本教材适用于高等工科院校机械类、近机械类专业师生使用。

编 者

2014 年 9 月

目 录

第 0 章 前言	(1)
0.1 机械产品综合设计课程设计——工业机械手设计的目的 ...	(1)
0.2 工业机械手设计的内容	(1)
第 1 章 绪论	(3)
1.1 工业机械手在生产中的应用	(3)
1.2 工业机械手的组成和分类	(4)
1.2.1 工业机械手的组成	(4)
1.2.2 工业机械手的分类	(5)
1.3 工业机械手自由度和坐标形式	(6)
1.3.1 工业机械手的自由度	(6)
1.3.2 工业机械手的坐标形式	(7)
1.3.3 工业机械手的运动简图	(10)
1.4 工业机械手的规格参数	(12)
第 2 章 手部	(14)
2.1 夹钳式手部设计的基本要求	(15)
2.2 典型的夹钳式手部结构	(16)
2.2.1 回转型(即两手指绕支承点回转)	(16)
2.2.2 移动型	(19)
2.2.3 平面平行移动型	(19)

2.3	夹钳式手部的计算与分析	(21)
2.3.1	握力的计算	(21)
2.3.2	夹紧缸驱动力计算	(21)
2.3.3	驱动力计算实例	(23)
2.3.4	手指夹持误差分析与计算	(24)
2.4	其他形式的手部结构与计算	(29)
2.4.1	气吸式手部结构与计算	(29)
2.4.2	电磁式手部结构与计算	(35)
第3章	腕部	(41)
3.1	腕部设计的基本要求及其自由度	(41)
3.2	典型的腕部机构	(42)
3.3	腕部回转力矩计算	(49)
3.3.1	腕部转动时所需的驱动力矩	(49)
3.3.2	回转油(气)缸的驱动力矩计算	(51)
3.3.3	齿条活塞缸驱动齿轮的驱动力矩计算	(52)
第4章	臂部及机身	(53)
4.1	臂部设计的基本要求	(53)
4.2	典型的臂部运动结构	(58)
4.2.1	臂部做直线运动的结构	(58)
4.2.2	臂部做回转运动的结构	(64)
4.2.3	臂部做俯仰运动的结构	(66)
4.2.3	臂部做复合运动的结构	(67)
4.3	臂部的设计计算	(73)
4.3.1	伸缩油缸的设计计算	(73)
4.3.2	俯仰摆动油缸的设计计算	(85)
4.3.3	臂部回转油缸的设计计算	(88)

第 5 章 液压传动与控制系统设计	(92)
5.1 液压系统的工况图	(92)
5.1.1 直线运动液压缸(活塞缸)工况图的绘制	(92)
5.1.2 摆动运动液压缸工况图的绘制	(93)
5.2 液压系统的确定	(93)
5.2.1 液压系统的拟定	(93)
5.2.2 各液压控制回路的选取	(94)
5.3 液压元件的计算和选择	(97)
5.3.1 液压泵的计算和选择	(97)
5.3.2 液压控制阀的选择	(98)
5.3.3 液压辅助元件的选择和计算	(98)
5.4 验算液压系统性能	(99)
5.5 计算实例	(99)
5.5.1 已知参数(包括已设计好的参数)	(99)
5.5.2 作各液压缸工况图	(100)
5.5.3 拟定液压系统	(104)
5.5.4 计算和选择液压元件	(107)
第 6 章 电气控制系统设计	(109)
6.1 行程控制传感器	(110)
6.1.1 位置检测传感元件	(110)
6.1.2 常用的位置检测元件	(111)
6.2 机械手可编程序顺序控制	(116)
6.2.1 逻辑式顺序控制	(117)
6.2.2 步进式顺序控制	(119)
6.2.3 可编顺序控制	(121)
6.3 可编程序控制器控制	(131)
6.3.1 可编程序控制器的基本结构及工作原理	(131)

6.3.2 可编程序控制器的编程与指令系统	(132)
6.4 计算实例	(134)
6.4.1 动作顺序	(135)
6.4.2 现场器件与 PLC 的连线	(136)
6.4.3 梯形图与指令语句	(137)
第 7 章 设计选题与进度安排	(142)
7.1 设计选题	(142)
7.1.1 通用工业机械手(球坐标)	(142)
7.1.2 通用工业机械手(圆柱坐标)	(143)
7.1.3 专用工业机械手(直角坐标)	(145)
7.1.4 通用工业机械手(关节坐标)	(148)
7.2 课程设计的进度安排	(149)
参考文献	(150)

第0章 前言

0.1 机械产品综合设计课程设计 ——工业机械手设计的目的

机械产品综合设计课程设计,是机械设计制造及其自动化专业的一个重要的教学环节,是继基础课及主干专业课之后的一次综合设计,是一次比较完整的整机设计,是毕业设计前的一次综合演练。通过工业机械手的设计,学生可提高机构分析与综合的能力、机械结构设计的能力、机电液一体化设计的能力,为毕业设计打下基础。

0.2 工业机械手设计的内容

在规定的学时数(四周)内,要求每个同学完成:

- ① 拟定整体设计方案;
- ② 根据给定的自由度、坐标形式和规格参数选择合适的手部、腕部、臂部和机身的结构;
- ③ 各部的设计计算;
- ④ 设计与绘制工业机械手工作装配图;
- ⑤ 设计与绘制主要零件工作图;
- ⑥ 设计与绘制液压系统图;
- ⑦ 设计与绘制电气控制系统;

⑧ 编写设计计算说明书。

具体要求同学完成以下工作量：

- ① 工业机械手工作装配图 1 张；
- ② 主要部件装配图 1 张；
- ③ 零件图 6~8 张(由主要部件上拆有装配关系的零件)；
- ④ 液压系统图 1 张；
- ⑤ 控制系统图 1 张；
- ⑥ 设计计算书 1 份(40~50 页)。

第1章 绪论

1.1 工业机械手在生产中的应用

工业机械手在工业生产中的应用极为广泛,大致有以下几方面:

① 实现单机自动化:各类半自动机床的自动上下料。

② 组成自动生产线:在单机自动化的基础上,自动装卸和输送工件,可以使一些单机连接成自动生产线。

③ 特殊工作环境:如高温(热处理、锻造、铸造等)、有毒有害、星际探索、海底资源开发等环境采用机械手(或自动或遥控)代替人进行作业。

总的来说,工业机械手满足了社会生产的需要,并带来了经济收益。其特点包括:

① 对环境的适用性强,能代替人从事危险,有害的操作,在长时间工作对人体有害的场所,机械手不受影响,只要根据工件环境进行合理设计,选用适当的材料和结构,机械手就可以在异常高温或低温、异常压力和有害气体、粉尘、放射线作用下工作。

② 机械手能持久、耐劳,可以把人从繁重单调的劳动中解放出来,并能扩大和延伸人的功能。只要对机械手注意维护、检修即能胜任长时间的单调重复劳动。

③ 动作准确,可保证和提高产品的质量,同时可避免人为的操作错误。

④ 通用性、灵活性好,特别是通用工业机械手,能适应产品品种迅速变化的要求,满足柔性生产的需要。这是因为机械手动作程序和运动位置(或轨迹)能灵活改变,具有众多的自由度,能迅速改变作业内容,满足生产的要

求。作为中、小批量生产自动化最能发挥其效用。

⑤ 采用机械手能明显地提高劳动生产率和降低成本。

1.2 工业机械手的组成和分类

1.2.1 工业机械手的组成

工业机械手主要由执行机构、驱动系统、控制系统以及位置检测装置等所组成。各系统相互之间的关系如图 1-1 所示。



图 1-1 工业机械手的组成

(1) 执行机构

包括手部、腕部、臂部和机身等部件，有的还带有行走机构。

① 手部(详见第 2 章)，即直接与工件接触的部件。由于与工件接触的形式不同，可分为夹持式手部和吸附式手部。夹持式手部由手指(或手爪)和传力机构所构成，手指与工件直接接触，而传力机构则通过手指产生夹紧力来完成夹放工件的任务，传力机构常用的形式有：滑槽杠杆式、连杆杠杆式、斜楔杠杆式、齿轮齿条式、丝杆螺母式、弹簧式和重力式等。吸附式手部主要由吸盘等构成，它是靠吸附力(如吸盘内形成负压或产生电磁力)吸附物件。

② 腕部(详见第 3 章)，是连接手部和臂部的部件，起调整或改变工件方位(即姿态)的作用。

③ 臂部(详见第 4 章)，是支撑腕部和手部的部件，用以改变工件的空间位置。

④ 机身，是工业机械手的基础部分，执行机构的各部件和驱动系统均安装于机身上，故起支承和连接的作用。

⑤ 行走机构，有的工业机械手为了完成远距离的操作和扩大使用范围，

可以增设滚轮行走机构。

(2) 驱动系统

工业机械手的驱动系统是驱动执行机构运动的传动装置。常用的有液压传动、气压传动、电力传动和机械传动等四种形式。

(3) 控制系统

控制系统有机械控制、电气控制和射流控制、液压控制等,一般常见的为电气控制系统。控制方式有点位控制和连续控制,它是机械手的重要组成部分,它支配着机械手按规定的程序运动,并记忆人们给予机械手的指令信息(如动作顺序、运动轨迹、运动速度及时间),同时按其控制系统的信息对执行机构发出指令,必要时对机械手的动作进行监视,当动作有错误或发生故障时报警或停止运动。

(4) 位置检测装置

控制机械手执行机构的运动位置,并随时将执行机构的实际位置反馈给控制系统,并与给定的位置进行比较,然后通过控制系统进行调整,从而使执行机构以一定的精度达到设定位置。

1.2.2 工业机械手的分类

(1) 按规格(所搬运的工件重力)分类

- ① 微型的——搬运重力在 10N 以下;
- ② 小型的——搬运重力在 100N 以下;
- ③ 中型的——搬运重力在 500N 以下;
- ④ 大型的——搬运重力在 500N 以上。

目前大多数工业机械手能搬运的重力为 10~300N,最小的为 5N,最大的已达 8000N。

(2) 按用途分类

① 专用机械手。它是附属于主机的,具有固定程序而无独立控制系统。专用机械手具有动作少、工作对象单一、结构简单、实用可靠和造价低等特点,适用于大批量的自动化生产。

② 通用机械手。它是一种具有独立控制系统的、程序可变的、动作灵活多样的机械手。通用机械手的工作范围大、定位精度高、通用性强,适用于

不断变换生产品种的中小批量自动化的生产。

(3) 按控制方式分类

① 点位控制。它的运动为空间点到点之间的移动,只能控制运动过程中几个点的位置,不能控制其运动轨迹。若欲控制的点数越多,则必然增加控制系统的复杂性。目前多数机械手属于点位控制。

② 连续轨迹控制。它的运动轨迹为空间的任意连续曲线,其特点是设定点为无限的,整个移动过程处于控制之下,可以实现平稳和准确的运动,并且使用范围广,但控制系统复杂。

1.3 工业机械手自由度和坐标形式

1.3.1 工业机械手的自由度

自由度是机械手设计的主要参数,每一个构件(即运动件)相对固定坐标系所具有的独立运动称为自由度。每一个构件相对固定坐标系最多可有六个自由度即沿 X, Y, Z 三个方向独立的往复移动和绕 X, Y, Z 轴的三个独立的回转运动。两个构件组成相对运动的联接称为运动副,对相对运动加以限制的条件即为约束条件。组成运动副的各构件的运动是受到约束的,必须按照人们预定的规律运动,不能任意运动。机械手的臂部、腕部、手指等部件及它们之间的关系,是由一组相互联系的构件和运动副所组成,这些运动副又可分为只有一个自由度的回转副(图 1-2a、c)和移动副(图 1-2b、c)或有三个自由度的球面副(图 1-2d)。

机械手要像人的手一样完成各种动作是比较困难的。因人的手指、手掌、手腕、手臂由十九个关节所组成,具有 27 个自由度,而生产实践中机械手不需要这么多自由度。机械手臂部和机身的运动为主运动,它们能改变被抓取工件在空间的位置,手腕和手指的运动称为辅助运动,手腕的运动只能改变被抓取工件的姿态,而手指的夹放动作不能改变工件的位置和姿态,故它不计为自由度数,其他运动均计为自由度数。

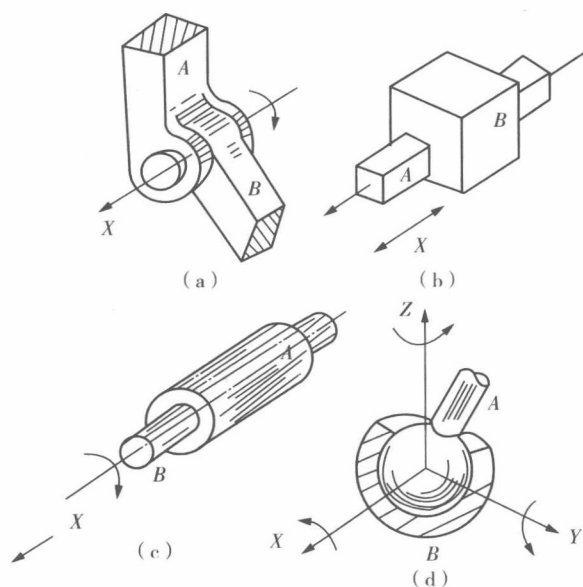


图 1-2 运动副形式

(a) 回转副；(b) 移动副；(c) 回转副或移动副；(d) 球面副

根据机械手的需要来选择各种运动,设计机械手时首先要确定被抓取工件所在空间的位置,及将工件搬运到规定的位置时所需要的运动(不包括手指开闭动作),在大多数情况下是少于6个自由度的,如专用机械手只有2~4个自由度,通用机械手是3~6个自由度。

自由度多少是衡量机械手技术水平的指标之一。自由度数越多,可以完成的动作越复杂,通用性越强,应用范围也越广,但是相应地技术难度变大,控制系统和机械结构复杂,机械手本身的体积和重量增加,成本高和维修困难。自由度数少,通用性差,但技术上容易达到,结构简单,使用和维修方便。因此应根据生产工艺过程的要求确定其自由度数,不能盲目地增加不必要的自由度。

1.3.2 工业机械手的坐标形式

根据工业机械手臂部的不同运动形式及其组合情况,其坐标形式可分为下列几种:

(1) 直角坐标式

如图 1-3 所示的机械手,其臂部的运动由三个直线运动所组成,即沿直角坐标系的 X 轴的伸缩、沿 Z 轴的升降、沿 Y 轴的横移。这种坐标形式的机械手称为直角坐标式机械手。它的特点是结构简单、定位精度高,适用于主机位置成行排列的场合。但由于占地面积大而工作范围小以及灵活性差,从而限制了它的使用范围。

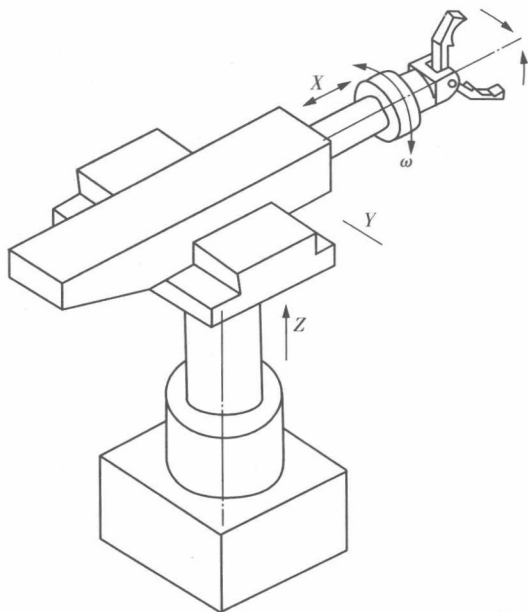


图 1-3 直角坐标式

(2) 圆柱坐标式

如图 1-4 所示的机械手,其臂部的运动由两个直线运动和一个回转所组成,即沿 X 轴的伸缩,沿 Z 轴的升降和绕 Z 轴的回转。这种坐标形式的机械手称为圆柱坐标式机械手。它与直角坐标式相比较,占地面积小而活动范围大,结构较简单,并能达到较高的定位精度,因此应用较广泛。但由于机械手结构的关系,沿 Z 轴方向移动的最低位置受到限制,故不能抓取地面上的对象。

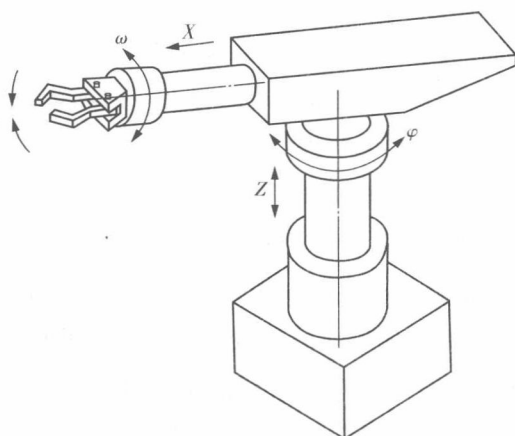


图 1-4 圆柱坐标式

(3) 球坐标式

如图 1-5 所示的机械手,其臂部的运动由一个直线运动和两个转动所组成,即沿 X 轴的伸缩、绕 Y 轴的俯仰和绕 Z 轴的回转。这种坐标形式的机械手称为球坐标式机械手。这种机械手臂部的俯仰运动能抓取地面上的物件,为了使手部能适应被抓取对象方位的要求,常常设有手腕上下摆动,使其手部保持水平位置或其他状态。这种形式的机械手具有动作灵活,占地面积小而工作范围大等特点,它适用于沿伸缩方向向外作业的传动形式。但结构较复杂,此外,臂部摆角的误差通过手臂会引起手部中心处的误差放大。

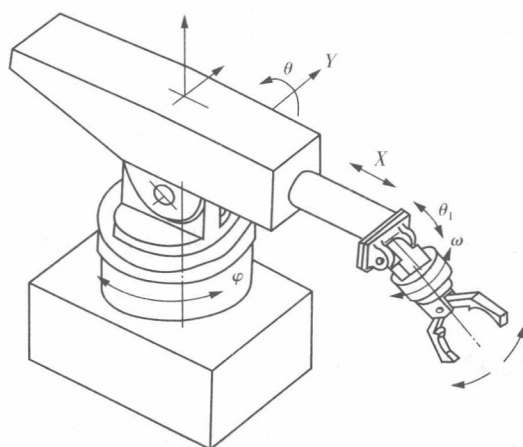


图 1-5 球坐标式