

大连工业大学

毕业设计(论文)

题目: 喷涂机器人

子题:

专 业: 机械工程及自动化 指导教师:

学生姓名: 班级-学号: 机自 084-3

2012 年 6 月

大连工业大学本科毕业设计（论文）

喷涂机器人 Spraying painting robot

设计（论文）完成日期 2012 年 6 月 5 日

学 院： 机械工程与自动化

专 业： 机械工程及自动化

学 生 姓 名： 徐大鹏

班 级 学 号： 机自 084-3

指 导 教 师： 高腾

评 阅 教 师：

2012 年 6 月

摘 要

机器人是一种机械技术与电子技术相结合的高技术产品。采用机器人是提高产品质量与劳动生产率，实现生产过程自动化，改善劳动条件，减轻劳动强度的一种有效手段。它是一种模仿人体上肢的部分功能，按照预定要求输送工件或握持工具进行操作的自动化技术装备。机器人可以代替人手的繁重劳动，显著减轻工人的劳动强度，改善劳动条件，提高劳动生产率和生产自动化水平。工业生产中经常出现的笨重工件的搬运和长期、频繁、单调的操作，采用机器人是有效的；此外，它能在高温、低温、深水、宇宙、放射性和其它有毒、污染环境条件下进行操作，更显示其优越性，有着广阔的发展前途。

本课题的主要内容是采用机器人代替人来进行喷漆作业，机器人可以代替很多重复性的体力劳动，从而减轻工人的劳动强度，提高生产效率。结合设计的各方面的知识，在设计过程中学会怎样发现问题。解决问题. 研究问题。并且在设计中融入自己的想法和构思，提高自己的创新能力。尽力使机器人使用方便，结构简单。

关键词：机器人；结构设计；步进电机；回转

Abstract

A robot is a mechanical technology and electronic technology, the combination of high technology products. The robot is to improve product quality and labor productivity, and achieve the production process automation, improve working conditions, reduce the labor intensity of an effective means of. It is a copy of the upper part of the human body functions, in accordance with a predetermined transfer request or the workpiece hold the tools to operate the automation technology and equipment. The robot can replace the staff of the heavy labor, significantly reduced labor intensity of workers, improve working conditions, improve labor productivity and production level of automation. Industrial production often appears in the heavy work, frequent handling and long-term, monotonous operation, the robot is effective; in addition, it can be in high temperature, low temperature, water, the universe, radioactive and other toxic, pollution of the environment under the conditions of operation, but also show its superiority, there are broad development prospects.

The main content of this paper is the use of robots to paint, robots can take the place of a lot of repetitive manual work, thereby reducing the labor intensity of workers, improve the production efficiency. Combined with the design of the various aspects of knowledge, in the design process to learn how to find problems. To solve the problem of problem. And in the design into their thoughts and ideas, enhance own innovation ability. Try to make the robot has the advantages of convenient use, simple structure.

Key Words: Robot; structure design; stepper motor; rotary

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第 1 章 绪 论.....	1
1.1 机器人的特点.....	1
1.2 机器人的组成.....	2
1.2.1 执行机构.....	2
1.2.2 驱动机构.....	2
1.2.3 控制机构.....	3
1.3 喷涂机器人.....	3
1.4 本文研究主要内容.....	3
第 2 章 机器人机构总体方案设计.....	5
2.1 喷涂机器人的基本技术参数确定.....	5
2.1.1 自由度.....	5
2.1.2 坐标形式的选择.....	5
2.1.3 规格参数.....	7
2.1.4 有效负载.....	7
2.1.5 运动特性.....	8
2.1.6 工作范围.....	8
2.2 喷涂机器人材料的选择.....	8
2.3 机械臂的运动方式.....	9
2.4 喷 涂 机 器 人 的 驱 动 元 件.....	10
2.5 机构整体设计.....	11
2.6 立柱回转关节设计.....	12
第 3 章 喷涂机器人结构设计.....	13
3.1 机器人腰座结构的设计.....	13
3.2 机器人手臂的结构设计.....	14
3.3 机器人腕部的结构设计.....	15

第 1 章 绪 论

随着人类科技的进步，社会经济的发展，机器人学成为近几十年来迅速发展的一门综合学科。它体现了光机电一体化技术的最新成就，机器人作为其中的佼佼者更是发挥了不可磨灭的作用。在人类社会，凡是有机机械活动的地方，都能看到机器人的身影。机器人产品的应用已经由核工业和军事科技等高端科学领域向医疗、农业甚至是服务娱乐等民用领域发展了，并且各式各样的机器人正在涌现出来，以惊人的速度延伸到人类活动的各个领域。机器人是由于人类期望生产水平的提高，为了提升生产效率而出现的。然而由于机器人善于完成重复的，单调的，精确度要求高的工作，能取代人在恶劣的环境中完成人类不能或者不愿完成的工作，因此，机器人的出现又大大解放了人类的生产力。所以说机器人的发展是社会发展的结果，也是社会发展的必然趋势。现在，很多发达国家都追逐着机器人这一发展趋势，积极地进行着机器人的各种开发和研制的工作，并且其中一些国家已经取代了不错的成果，研制出了许多新型且实用的机器人或者是机器人。例如：日本的跳舞机器人、犬型机器人爱宝(AIBO)；英国研制的履带式“手推车”及“超级手推车”排爆机器人；美国 iRobot 公司推出了能避开障碍，自动设计行进路线吸尘器机器人 Roomba；上海世博会使用过的福娃机器人等等。

由于机器人的迅猛发展，机器人进入学校教学是必然的。三自由度机器人作为是机器人的典型产品，其设计及应用对机电一体化、机械结构工艺、机械制造、自动化、电子信息等专业的教学及研究都有着很重要的意义。

1.1 机器人的特点

1 机器人能进行自动化生产，降低成本。就本次设计的喷涂机器人而言，它能不间断的搬运零件和各种材料的输送。这样既提高了生产率又降低了生产成本。

2 机器人能使产品品质稳定，减少人工污染。人工生产会使产品质量受工人状态起伏而影响。对于某些高精度产品，人工送取会产生人工污染。

3 机器人能改善劳动条件，避免各种工伤。在高温、高压、低温、低压、有灰尘、噪声、臭味、有放射性或有其他毒性污染以及工作空间狭窄的场合中，人工操作会有危险，机器人能代替人工作，改善了人们的劳动条件。

4 机器人能持久、耐劳，可以把人从繁重的劳动中解放出来，人在连续工作几个小时后，总会感到疲劳或厌倦，以机器人代替人进行工作，可以避免由于操作疲劳或疏忽而造成的人身事故。

5 机器人的灵活性、通用性强。它通过更换部件来适应不同产品的生产。并通过改变程序和自由度来达到迅速改变作业的可能性。这样机器人能满足各种各样的零件生产，在生产中发挥重大作用。

1.2 机器人的组成

工业机器人是由执行机构、驱动机构和控制机构三部分组成。

1.2.1 执行机构

一般机器人的执行机构由手部或者叫抓取部分、腕部、臂部、缓冲与定位，还有行走机构组成。

1.2.2 驱动机构

驱动机构主要有液压驱动、气动驱动、电动驱动和机械驱动等形式。不过目前还是以液压和气动用的最多。

液压驱动具有体积小、出力大、控制性能好、动作平稳等特点，它利用油缸、马达加上齿轮、齿条实现直线运动；利用摆动油缸、马达与减速器、油缸与齿条、齿轮或链条、链轮等实现回转运动。液压驱动具有润滑性能好、寿命长的特点，结构紧凑，刚性好。定位精度高，可实现任意位置开停。有很多专业机器人能直接利用主机的液压系统。但缺点是需要配备压力源，系统复杂成本较高。

气动驱动结构简单、造价低廉、气源方便，所需的压缩气源一般工厂都有，并且无污染，一般采用的压力 0.4-0.6MPa，最高可达 1MPa。缺点是出力小，体积大。由于空气的可压缩性大，很难实现中间位置的停止，只能用于点位控制，而且润滑性较差，气压系统容易生锈。

电动由于减速和回转运动变往复运动机构复杂，很少采用。机械式用于简单的场合。

1.2.3 控制机构

机器人的控制方式有点动和连续控制两种方式。大多数是用插销板进行点位程序控制，也有采用可编程序控制器控制、微型计算机数字控制，采用凸轮、磁盘磁带、穿孔卡等记录程序。主要控制的是坐标位置，并注意其加速度特性。

1.3 喷涂机器人

喷涂机器人又叫喷漆机器人（spray painting robot），是可进行自动喷漆或喷涂其他涂料的工业机器人，1969 年由挪威 Trallfa 公司（后并入 ABB 集团）发明。喷漆机器人主要由机器人本体、计算机和相应的控制系统组成，液压驱动的喷漆机器人还包括液压油源，如油泵、油箱和电机等。多采用 5 或 6 自由度关节式结构，手臂有较大的运动空间，并可做复杂的轨迹运动，其腕部一般有 2~3 个自由度，可灵活运动。较先进的喷漆机器人腕部采用柔性手腕，既可向各个方向弯曲，又可转动，其动作类似人的手腕，能方便地通过较小的孔伸入工件内部，喷涂其内表面。喷漆机器人一般采用液压驱动，具有动作速度快、防爆性能好等特点，可通过手把手示教或点位示数来实现示教。喷漆机器人广泛用于汽车、仪表、电器、搪瓷等工艺生产部门^{[1][2]}。

喷涂机器人的主要优点：（1）柔性大，工作范围大。（2）提高喷涂质量和材料使用率。（3）易于操作和维护，可离线编程，大大的缩短现场调试时间。（4）设备利用率高，喷涂机器人的利用率可达 90%-95%。

1.4 本文研究主要内容

通过利用网络工具、图书馆的书籍和各类期刊、杂志查阅了解喷涂机器人的相关知识，确定本设计符合要求，满足需要。具体设计方法如下：

1、查阅资料、结合所学专业课程，产生喷涂机器人结构设计的基本思路；

2、查阅各类机械机构手册，确定合理的喷涂机器人结构；

3、根据给定技术参数来选择合适的手部、腕部、臂部等部位；

4、重点对驱动机构及控制机构进行设计研究；

5、通过研究国内外情况，确定本设计课题的重点设计；

6、完成 2D 装配图的设计和绘制，并由此绘制零件图；

7、编写设计说明书；

8、检查并完善本设计课题。

本设计采用的方法是理论设计与经验设计相结合的方案，所运用的资料来源广泛，内容充足。

第 2 章 机器人机构总体方案设计

本文的重要任务是完成喷涂机器人的设计，本章内容是围绕喷涂机器人机构设计任务来展开，介绍喷涂机器人执行机构设计思路。

2.1 喷涂机器人的基本技术参数确定

表示机器人特性的基本技术参数主要有自由度、坐标形式的选择。

2.1.1 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目，但是一般不包括手部（末端操作器）的开合自由度。自由度表示了机器人灵活的尺度，在三维空间中描述一个物体的位置和姿态需要六个自由度。

喷涂机器人的自由度越多，越接近人手的动作机能，其通用性就越好，但是结构也越复杂，自由度的增加也意味着喷涂机器人整体重量的增加。轻型化与灵活性和抓取能力是一对矛盾，此外还要考虑到由此带来的整体结构刚性的降低，在灵活性和轻量化之间必须做出选择。工业机器人基于对定位精度和重复定位精度以及结构刚性的考虑，往往体积庞大，负荷能力与其自重相比往往非常小。一般通用喷涂机器人有 5~6 个自由度即可满足使用要求（其中臂部有 3 个自由度，腕部和行走装置有 2~3 个自由度），专用喷涂机器人有 1~2 个自由度即可满足使用要求。

2.1.2 坐标形式的选择

喷涂机器人的坐标形式主要可分为：直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型、关节坐标型另外还有比较复杂的 SCARA 型和并联型^[9]。

1 直角坐标型喷涂机器人：这类喷涂机器人就是如图 2-1(a)得直移型，其手部空间位置的改变通过沿三个互相垂直轴线的移动来实现，该形式喷涂机器人具有位置精度高，控制无耦合、简单，壁障性好等特点。但结构较庞大，动作范围小，灵活性差，且移动轴的结构复杂，占地面积大，而且需架空线路。

2 圆柱坐标型喷涂机器人：这种喷涂机器人如图 2-1（b）的回转型喷涂机器人，通过两个移动和一个转动实现手部空间位置的改变，手臂的运动系由垂直立柱平面内的伸缩和沿立柱的升降两个直线运动及手臂绕立柱的转动复合而成。这种喷涂机器人，占地面积小而活动范围较大，结构亦较简单，并能达到较高的定位精度，因而应用范围较广泛。机身采用立柱式，喷涂机器人侧面行走，顺利完成上料、翻转、转位等功能。但是结构也比较庞大，两个移动轴的设计较为复杂。

3 球坐标型机器人：这类喷涂机器人如图 2-1（c）的俯仰型喷涂机器人，其手臂沿 X 方向伸缩，绕 Y 轴俯仰和绕 Z 轴回转。这类喷涂机器人具有占地面积小、结构紧凑、重量较轻、位置精度尚可等特点，能与其他机器人协调工作，但避障性差，存在着平衡问题，位置误差与臂长有关。

4 关节坐标型喷涂机器人：如图 2-1（d）的屈伸型喷涂机器人，主要由立柱、前臂和后臂组成。机器人的运动由前、后臂的俯仰及立柱的回转构成，其结构最紧凑，灵活性大，占地面积最小，工作空间最大，能与其他机器人协调工作，避障性好，但是位置精度较低，存在平衡以及控制耦合的问题，故比较复杂。

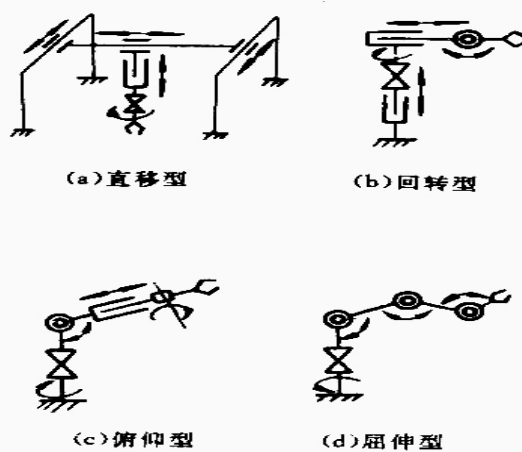


图 2.1 喷涂机器人的坐标形式^[22]



图 2.2 喷涂机器人基本形式示意图^[9]

2.1.3 规格参数

用途：喷漆

- 1、大臂伸缩范围 200mm—1500mm，回转角 270°。
- 2、小臂伸缩范围 200mm—800mm，回转角 210°。
- 3、手腕旋转角度 150°。
- 4、步进电机驱动。

2.1.4 有效负载

有效负载是指机器人操作臂在工作时臂端可能搬运的物体重量或所能承受的力或力矩，它表示了喷涂机器人的负载能力。机器人的载荷不仅仅取决于负载的质量，还与机器人运动的速度和加速度的大小及方向有关。为了安全起见，有效负载是指高速运行时的有效负载。

2.1.5 运动特性

速度和加速度是表明机器人运动特性的主要指标。它反映了机器人的使用效率和生产水平，喷涂机器人的运动速度越高，则其使用效率越高，生产水平越高。但速度越快产生的冲击和震动也越大，因此提高机器人的加减速能力，保证机器人加速过程的平稳性是非常重要的。对于本文中的喷涂机器人，在没有负载时可以适当地加快其运动速度；而在其有负载时，末端执行器(手爪)通常要和物体直接接触，为了安全起见，务必要尽量减少手臂的运动速度。总的来说，喷涂机器人的速度在一定范围内要是可调的，这样才能满足在各种不同情况下的使用需要。

2.1.6 工作范围（工作半径）

工业机器人的工作范围是根据工业机器人作业过程中的操作范围和运动的轨迹来确定的,用工作空间来表示的。工作空间的形状和尺寸则影响机器人的机械结构坐标型式、自由度数和操作机各手臂关节轴线间的长度和各关节轴转角的大小及变动范围的选择。

运动范围为：360 度（带回转机构底座）

工作半径为 1500mm

2.2 喷涂机器人材料的选择

机器人手臂的材料应根据手臂的实际工作情况来进行选择，在满足机器人的设计和运动要求前提下。从设计的理论出发，机器人手臂要进行各种运动。因此，对材料的一个要求是作为运动的部件，它应是轻型材料并要求有一定刚度。另一方面，手臂在运动过程中往往会产生冲击和振动，这必然大大降低它的运动精度。所以在选择材料时，需要对质量、刚度、强度、弹性进行综合考虑，以便有效地提高手臂的运动性能。此外，机器人手臂选用的材料与一般的结构材料不同。机器人手臂是要受到控制的，必须考虑它的可控性。在选择手臂材料时，可控性还要和材料的可加工性、成本、质量等性质一起考虑。

总之，选择机器人手臂的材料时，要综合考虑强度、刚度、重量、弹性、抗震性、外观及价格等多方面因素。下面介绍几种机器人手臂常用的材料^[7]：

(1)碳素结构钢和合金结构钢等高强度钢：这类材料强度好，尤其是合金结构钢强度增加了很多倍、弹性模量大、抗变形能力强，是应用最广泛的材料；

(2)铝、铝合金及其它轻合金材料：其共同特点是重量轻、弹性模量不大，但是材料密度小，但仍可与钢材相比；

(3)陶瓷：陶瓷材料具有良好的品质，但是脆性大，可加工性不高，一般用于和金属连接的特殊部位。然而，国外已经设计出纯陶瓷的喷涂机器人臂了。

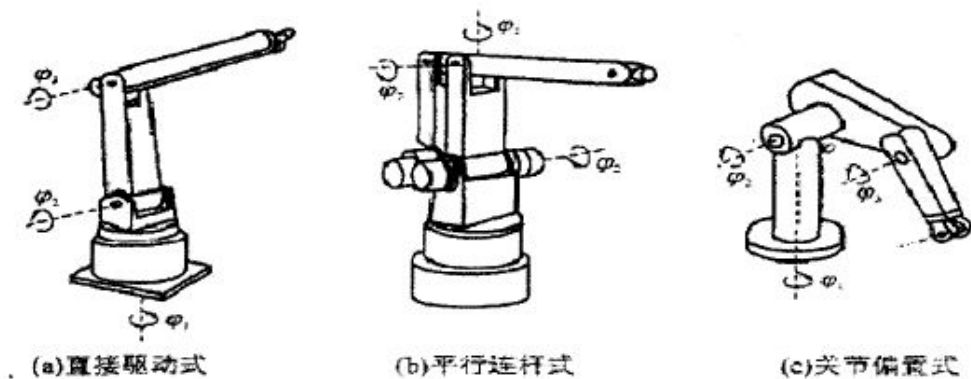
从本文设计的喷涂机器人的角度来看，在选用材料时不需要很大的负载能力，也不需要很高的弹性模量和抗变形能力，此外还要考虑材料的成本，可加工性等因素。在衡量了各种因素和结合工作状况的条件下，初步选用铝合金作为机械臂的构件材料。

2.3 机械臂的运动方式

根据主要的运动参数选择运动形式是结构设计的基础。常见的机器人的运动形式有五种：直角坐标型、圆柱坐标型、极坐标型、关节型和 SCARA 型。同一种运动形式为适应不同生产工艺的需要，可采用不同的结构。具体选用哪种形式，必须根据作业要求、工作现场、位置以及搬运前后工件中心线方向的变化等情况，分析比较并择优选取。

考虑到喷涂机器人的作业特点，即要求其动作灵活、有较大的工作空间、且要求结构紧凑、占用空间小等特点，故选用关节型喷涂机器人。这类喷涂机器人一般由 2 个肩关节和 1 个肘关节进行定位，由 2 个或 3 个腕关节进行定向。其中，一个肩关节绕铅直轴旋转，另一个肩关节实现俯仰。这两个肩关节轴线正交。肘关节平行于第二个肩关节轴线，如图所示。这种构形动作灵活、工作空间大、在作业时空间内手臂的干涉最小、结构紧凑、占地面积小、关节上相对运动部位容易密封防尘。但

是这类喷涂机器人运动学比较复杂，运动学的反解比较困难；确定末端杆件的姿态不够直观，且在进行控制时，计算量比较大。

图 2.4 常见的运动方式^[9]

2.4 喷涂机器人的驱动元件

在机器人驱动系统中,电气驱动是利用各种电动机产生的力或力矩,直接或经过减速机构去驱动机器人的关节,来获得动力。电气驱动主要有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机、直线电动机以及最近几年出现的超声波电机和 HD 电动机^[10]等几种。

步进电机是一种用电脉冲信号进行控制,每输入一个脉冲,步进电机就进行回转一定的角度,脉冲数与角度数成正比,旋转方向取决于输入脉冲的顺序。步进电机可在很宽的范围内,通过脉冲频率同步,能够按照脉冲要求进行起动、停止、反转和制动变速,有较强的阻碍偏离稳定的能力。在机器人中位置控制系统中得到了极大的应用。主要有永磁式、反应式、永磁感应子式三种。

直流伺服电机是用直流电供电的电动机。其功能是将输入的受控电压/电流能量转换为电枢轴上的角位移或角速度输出。直流伺服电机的工作原理和基本结构均与普通动力用直流电机相同。特点是稳定性好、可控性好、响应迅速、转矩大。一般有永磁式和电磁式,在机器人驱动系统中多采用永磁式直流伺服电机。

交流伺服电机的使用情况与直流伺服电机相同,但交流伺服电机与直流伺服电机相比,结构简单、工作可靠、功率大、过载能力强、无电刷、维修方便,因而交流伺服电机是今后机器人用电机的主流。

低速电机主要用于系统精度要求高的机器人。为了提高功率效率比，伺服电机制成高转速，经齿轮减速后带动机械负载。由于齿轮传动存在间隙，系统精度不易提高，若对功率效率比要求不十分严格，而对于精度有严格的要求，则最好取消减速齿轮，采用大力矩的低速电机，配以高分辨率的光电编码器及高灵敏度的测速发电机，实现直接驱动。环形超声波电动机具有低速大转矩的特点，使用在机器人的关节处，不需齿轮减速，可直接驱动负载，因而可大大改善功率重量比，并可利用其中空结构传递信息。HD 电动机是一种小型大转矩(大推力)的电动机，电动机可直接与负载连接，可应用在系统定位精度要求高的机器人产品中。

通过上述对几种机器人常用电机的分析和比较，综合考虑本文喷涂机器人臂并不要求有很高的扭矩，但是要求有较高精度并要求能够快速启动和制动，所以选择应用较为广泛的步进电机作为驱动电机。

2.5 机构整体设计

综合考虑喷涂机器人的作业任务和作业环境，采用了 5 个自由度的关节型机器人。整个机构的水平运动采用小车来实现，即整个机构装在一个小车上。整个执行机构是一个 4 自由度的串行机构，且大臂与小臂关节的轴线相互平行。这种结构动作灵活，结构紧凑，工作空间大，占地面积小，在作业空间内手臂的干涉最小，关节需要的驱动力矩小，能量消耗较少，关节相对运动部位容易密封防尘。喷涂机器人部件组成由小车、立柱回转部件、大臂、小臂、末端执行器（喷涂头）组成。

各部分的功能如下：

1) 小车是行走机构，是机器人的基础部分，整个执行机构和驱动系统都安装在小车的基座上。

2) 立柱是手臂的支撑部分，通过安装在小车底座上的步进电机驱动，立柱可以在机座上转动。

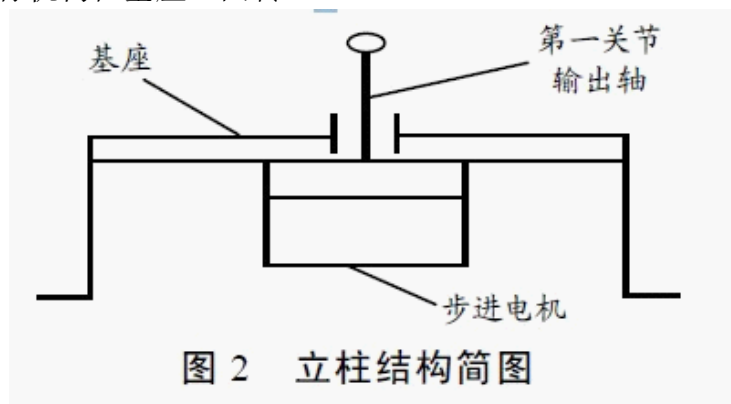
3) 手臂包括大臂和小臂，是执行机构中的主要运动部件，以实现空间位置的 3

个坐标分量的要求，用来支承腕关节，并使其在工作空间内运动。为了使末端执行器能达到工作空间的任意位置，手臂和腰部的运动设计上具有 4 个自由度。

4) 腕关节是连接手臂与末端执行器的部件，用于调整末端执行器的方向和姿态。手部一般是夹持装置，主要用来夹紧作业工具—喷涂头。

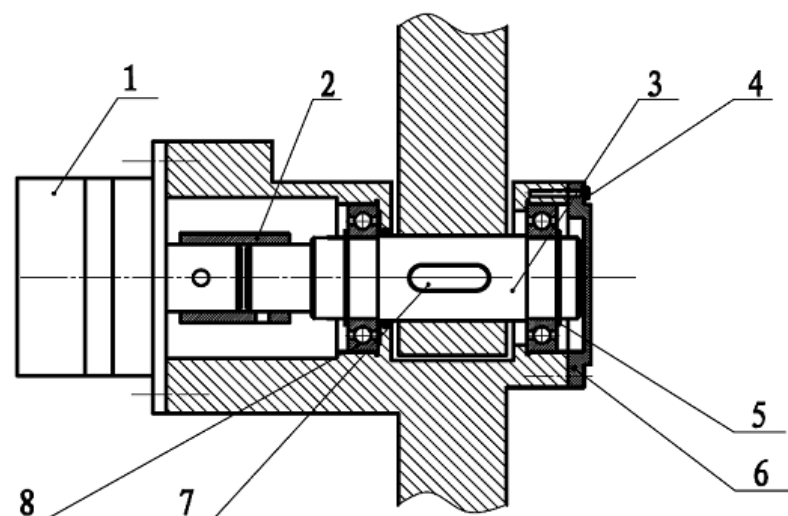
2.6 立柱回转关节设计

立柱的回转关键由基座、带减速装置的步进电机、回转轴组成，如图 2。执行机构在基座上回转。



由于机器人为开链结构，整个大臂、小臂、手腕、喷涂头的重量均由肩关节承担，因此肩关节所受的驱动力矩较大。手腕由转轴、壳体部、减速器、电机驱动轴等组成。通过联轴器、驱动轴来带动手腕工作。机器人在整个运动过程中，除了小车的运动和腰部的回转运动外，其他的运动是相互耦合的。

大臂和小臂回转关节设计如图 3。



1、带减速装置的电机；2、联轴器；3、转动轴；4、螺钉连接；5、卡环；6、闷盖；7、键连接；8、轴承连接

图 3 大臂和小臂回转关节装配图^[22]

大臂和小臂回转通过带有减速装置的电机直接驱动来实现除立柱回转关节之外的 3 个回转。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/797003022123010005>