

目 录

1	前 言.....	1
1.1	设计题目的背景及目的.....	1
1.2	概述.....	1
1.3	机械手发展简史.....	2
1.5	机械手应用概况.....	3
1.6	发展趋势.....	4
2	工业机械手设计概述.....	5
2.1	机械手设计目的及意义.....	5
2.2	本次机械手的设计内容.....	5
3	设计要求及方案论证.....	6
4	总体设计及分析.....	8
4.1	系统原理介绍.....	8
4.2	系统结构论述.....	9
4.2.1	机械手结构设计的特点.....	10
5	机械手各部分设计及计算.....	10
5.1	驱动系统的选择.....	10
5.2	机械手基座部分设计.....	12
5.2.1	机械手基座结构的设计原则.....	12
5.2.2	基座部分的设计计算.....	13
5.2.3	计算传动装置的运动和动力参数.....	16
5.2.4	主要传动尺寸的确定.....	16
5.3	机械手手臂部分设计及计算.....	24
5.3.1	机械手手臂结构设计的原则:.....	24
5.3.2	机械手手腕部分设计及其计算.....	33
6	直接示教轻动化设计.....	37
7	总结.....	38
	参考文献.....	38
	谢 辞.....	39

1 前言

1.1 设计题目的背景及目的

机器人是近 30 年来发展起来的一种高科技自动化生产设备。机械手是机器人的一个重要分支。它的特点是可通过变成完成各种预期的作业任务，在构造和性能上兼有人和机器各自的优点，尤其是体现了人的智能和适应性，机器作业的准确性和在各种环境完成作业的能力。本设计完成了多自由度关节式机械手的运动方案设计和驱动方式选择，并对机座，手臂及末端执行器等机械装置进行了结构设计。

本次设计的内容是多自由度关节式机械手的结构设计，属于工业机械手机械部分设计，本次设计的机械手属于专业机械手，主要附属于某一主机，如自动机床或生产线上，用以解决机床的上下料及工件的传输等任务，动作比较单一，只能完成某些特定的任务。

1.2 概述

机器人是一种人类很早就梦想制造的、具有仿生性且处处听命于人的自动化机器，它可以帮助人类完成很多危险、繁重、重复的体力劳动或者进入各种服务领域。

经历数十年的发展变化，机器人技术不断进步与创新，所到之处使整个制造业乃至全社会都发生了和正在发生着翻天覆地的变化。机器人是最具代表性的现代多种高新技术的综合体，它可以从某个角度折射出一个国家的科技水平和综合国力。

21 世纪是一个更为广泛、更加深入地开发和应用机器人技术的新时代，伴随着现代技术的阶跃式更新以及计算机与光、机电一体化等高新技术日新月异的突飞猛进，各种类型机器人的研究越来越向着更高的水平、更新的领域拓展，现在与未来的机器人将不仅具有更似人类的外形和基本动作，也将具有相应程度的触觉、视觉与思维能力，从而开始最终实现全面模拟或复制人类自身的里程。

工业机械手是机器人的一个分支，是近代自动控制领域中出现的一项新技术，是并已成为现代机械制造生产系统中的一个重要组成部分。这种新技术发展很快，目前已经进入了高速发展阶段，现在已经形成一门新兴的、多学科、宽领域相结合的学科——机械手工程。

机械手的迅速发展是由于它的积极作用正日益为人们所认识。其一，它能迅速地代替人完成某些操作；其二，它能按照生产工艺的要求，遵循一定的程序、时间和位置要求来完成工件的传送和装卸；其三，它能操作某些必要的机具进行焊接和装配，从而大大改善工人的劳动条件，显著地提高劳动生产率，加快实现工业生产机械化和自动化的步伐，因而受到各先进国家

的重视，都投入大量的人力和物力去研究和开发。在高温、高压、粉尘浓度高、严重噪音以及带有放射性和化学污染的场合应用的尤为广泛。在我国，近几年也有较快的发展，并取得了一定的成效，受到机械工业和铁路工业部门的重视。机械手一般分为三类。第一类：不需要人工操作的通用机械手，它是一种独立的不附属于任一主机的装置，它可以根据任务的需要编制程序，以完成各项规定操作，它的特点是除具有普通机械手的物理性能外，还具有通用机械智能的三元机械。第二类：需要人工操作的，称之为操作机。它起源于原子、军事业，先是通过操作机来完成特定的任务，后来发展到利用无线电信号操作机械手来进行探测月球、海洋矿藏等方面。工业中广泛使用的锻造操作机也属于这一范畴。第三类：专业机械手，主要附属于某一主机，如自动机床或生产线上，用以解决机床的上下了及工件的传输等任务，这种机械手在国外称为“Mechanical Hand”。它是为主机服务的，由主机驱动，除少数外，工作程序是固定不变的，即在制造过程中已固化上去的程序，一般不会作变动，因此其动作也十分单一，只能用来完成某些特定的任务。

在国外，目前主要是研究第一类通用机械手，国外统称为工业机器人（Industrial Robot）。

1.3. 机械手发展简史

机械手首先是从美国开始研制的。1958年美国联合控制公司研制出第一台机械手。它的结构是：在机体上安装一回转大臂，端部装有电磁铁的工件抓放机构，控制系统是示教型的。

1962年，美国联合控制公司又试制成一台数控示教再现机械手，商名为Unimate。运用系统仿造坦克炮塔，臂可以回转、俯仰、伸缩，用液压驱动；控制部分用磁鼓作存贮装置。不少球坐标式通用机械手就是在这个基础上发展起来的。同年，该公司和普鲁曼公司合并成立万能自动公司(Unimation)，专门生产工业用的机械手。

1962年，美国机械铸造公司也试验成功一种机械手，该机械手的中央立柱可以回转，臂可以回转、升降、伸缩，采用液压驱动，控制系统也是示教再现型。虽该类机械手生产在六十年代初，但都是国外工业机械手发展的基础。美国还十分注意提高机械手的可靠性，改进结构，降低成本。如Unimate公司建立了8种机械手实验台，进行各种性能的试验，准备把故障前平均时间由400小时提高到1500小时，精度可提高到±0.1mm。

德国机械制造业是从1970年开始应用的机械手。主要用于起重运输、焊接和设备的上下料等作业。瑞典、瑞士、日本等国也先后开始发展机械手的研究。特别是日本，工业机械手发展

得很快，苏联从本世纪六十年代开始发展应用机械手，至 1997 年底，其中有一半是国产，一半是进口，主要是用于机械化、自动化程度较低、繁重单调、有害于健康的辅助工作，前苏联的机械手多数为第一代，少数为第二代。1980 年底约有 3000 台工业机械手与 ESER 计算机配套使用。

总之，目前工业机械手大部分还属于第一代，主要依靠人工控制。控制方式则为开环式，设有识别能力。改进的方向主要是降低成本和提高精度。

第二代机械手正在加紧研制，并以初见成效，已经成功应用到多个领域。它设有微型电子计算机控制系统，具有视觉、触觉能力，甚至听、想的能力。研究安装各种传感器，把感觉到的信息反馈，使机械手具有感觉能力。第三代机械手则能独立地完成工作过程中的任务。它与电子计算机和电视设备保持联系，并逐步发展成为柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing system) 和柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell) 中重要的一环。

1.4 机械手的分类

机械手一般分为三类：第一类是不需要人工操作的通用机械手。它是一种独立的不附属于某一主机的装置。它可以根据任务的需要编制程序，以完成各项规定的操作。它的特点是具备普通机械性能外，还具备通用机械、记忆智能的三元机械。第二类是需要人工操作的，称为操作机。它起源于原子、军事工业，先是通过操作机来完成特定的工作，后来发展到用无线电信号操作机来进行探测月球等。工业中采用的锻造操作机也属于这一范畴。第三类是用专用机械手，主要附属于自动机床或自动线上，用以解决机床上下料和工件送。这种机械手在国外称为“Mechanical Hand”，它是为主机服务的，由主机驱动；除少数以外，工作程序一般是固定的，因此是专用的。

在国外目前主要是搞第一类通用机械手，国外称为机器人。本设计所做的机械手是属于第三类机械手。

1.5 机械手应用概况

在现代工业中，生产过程的机械化、自动化已成为突出的主题，化工等连续性生产过程的自动化已经基本得到解决。但在机械工业中，加工、装配等生产是不连续的，专用机床是大批量生产自动化的有效办法；程控机床、数控机床、加工中心等自动化机械是有效地解决多品种、小批量生产自动化的重要办法。但除切削加工本身外，还有大量的装卸、搬运、装配等作业，

有待于进一步实现机械化。

机械手的发展历史是相当长的，19 世纪 40 年代出现的原子能用机械手就是其历史的开端。后来随着自动化与电子技术的发展，到目前正是工业机械人发展的全盛时期。在日本，无论是机械人的生产量还是使用量都是世界第一位的。据统计，1984 年日本生产各种机器人 42000 台，目前在各种生产线上使用的有 164000 台；

我国近几年各科研机关及高等院校也开始了各种用途机器人的研制工作。北京工业自动化研究所研制的液压驱动关节式喷漆机器人，浙江大学研制的 6 自由度关节式液压伺服机械手，哈尔滨工业大学研制的华宇-II 型弧焊机器人和东方-I 型喷漆机器人等都通过了技术鉴定。此外各有关单位已建立了机器人专门研究队伍，正在从事各种用途机器人的研究。这说明我国已经揭开了机器人研究的序幕，在“七五”计划中，我国的机器人研制工作将有更大的发展。

国内机械工业、铁路工业中首先在单机、专机上采用机械手上下料，减轻工人劳动强度。同时，采用机械手进行装配更是目前研制的重点，国外已研究采用摄像机和力传感装置和微型计算机联接在一起，能确定零件的方位，达到镶装的目的。目前工业机械手主要用于机床加工、铸锻、热处理等方面，无论数量、品种和性能方面还不能满足工业生产发展的需要。

在国外机械制造业中，工业机械手应用较多，发展较快。目前主要应用于机床、模锻压力机的上下料，以及点焊、喷漆等作业，它可按照事先制定的作业程序完成规定的操作，大力研制具有某种智能的机械手。使它拥有一定的传感功能，能反馈外界条件的变化，作相应的变更。

采用机械手装配是目前研制的重点，国外已研究采用摄像机和力的传感器装置及微型计算机联接在一起，能确定零件的方位，达到装配的目的。

在发达国家及国内，机器人已广泛地应用于工业、国防、科技、生活等各个领域、工业部门应用最多的当推汽车工业和电子工业，在机械制造业也有普遍的应用，并逐渐向纤维加工、食品工业、家用产品制造业等行业发展。目前国外机械制造业中，工业机械手主要用于机床、模锻压力机的上下料，以及点焊、弧焊、喷漆等作业。国外航空航天工业中机械手应用得也十分广泛，如铆接装配作业就大量使用了铆接机械手，此外如电气插头的装配、发动机风扇外壳和高压涡轮的焊接、飞机座舱盖和风挡钻孔作业、飞机机身和垂直尾翼钻孔等都采用了机械手。

现代世界各国的汽车工业皆已大量使用焊接机器人进行生产，焊接自动化率高，对稳定产品质量和加快生产进度有极大帮助。汽车机械手已经成为现代制造业的重要辅助生产设备。

1.6 发展趋势

目前工业机械手主要用于机床加工、锻造、热处理等方面，无论是数量、品种和性能方面还不能满足工业生产发展的需要。在我国，目前主要是逐步扩大应用范围，重点发展铸锻、热处理方面的机械手，以减轻劳动强度，改善工作条件。在应用专用机械手的同时，相应地发展通用机械手，有条件的情况下研制示教式机械手，计算机控制机械手和组合机械手等。将机械手各运动构件、如伸缩、摆动、升降、横移、俯仰等机构，以及适于不同类型的加紧机构，设计成典型的通用机构，以便根据不同的工业要求选用不同的典型部件，即可组成各种不同用途的机械手。既便于设计制造，又便于改换以对付不同的工作，扩大了应用范围。同时要提高速度，减少冲击，正确定位，以便更好的发挥机械手的作用。

此外，还应大力研究伺服型、记忆再现型，以及触觉、视觉等性能的机械手，并考虑与计算机联用，逐步成为整个机械制造系统中的一个基本单元。国外机械手发展的趋势是大力研制具有某种智能的机械手，使它拥有一定的传感能力，能反馈外界条件的变化，并能做相应的变更，使其更具有和人相似的一些特征。

2 工业机械手设计概述

2.1 机械手设计目的及意义

机械手设计是学完技术基础课及有关专业课以后的一次专业课程的综合应用，通过设计提高了我对机构分析与综合的能力，机构设计的能力，机电一体化系统设计能力，初步掌握实现生产过程自动化的设计方法。通过设计要我达到：

(1) 通过设计，把有关课程（机械原理、机械设计、自动控制基础、机器人工程、机电一体化系统设计、工程材料等）中所获得的理论知识在实际中综合地加以应用，是这些知识得到巩固和发展，并使理论知识和实践紧密结合起来。因此，机械手设计是有关专业基础课和专业课后的综合性的专业设计。

(2) 机械手设计是我们机械电子工程专业学生一次比较完整的机电一体化整机设计。通过设计培养我们独立完成机械整机设计的能力，树立正确的设计思想，掌握机电一体化机械产品设计的基本方法和步骤，为机械系统设计打下良好的基础。

2.2 本次机械手的设计内容

本次设计为机械本体部分设计。在规定的学时里要求我个人完成以下工作：

(1) 调查收集相关的资料和信息，了解工业机械手的技术和发展状况，查找相关中外期刊

文献，撰写开题报告；

- (1) 拟定整体方案，主要是机械原理方面的设计方案；
- (2) 根据给定的自由度数和参数选择合适的机身结构；
- (3) 绘制系统原理图，寻找最优的任务实现功能元；
- (4) 各部分的设计计算；
- (5) 绘制工程技术图纸，并给出相关的技术要求和注意事项；
- (6) 编写课题设计、计算说明书。

通过设计，使我尽可能熟练地应用本行业的有关参考资料、计算图表、手册、和规范；熟悉有关国家标准和部分标准，以完成一个工程技术人员在机械整体设计方面所必须具备的基本技能训练。

3 设计要求及方案论证

我所要进行的是实用型多自由度关节式机械手的设计，其用途是用于上料或焊接等。

主要技术要求如下：

项 目	技术参数
结 构 形 式	关节式
自 由 度 数	5
腕部最大载荷	2.00kg
最大工作半径	800
手臂最大中心高	900
驱 动 方 式	直流伺服电动机
定 位 精 度	±0.5mm
控 制 方 式	点位过程控制

$$\omega = \frac{\pi}{4} / \text{s}$$

基座部分输出转速为 5r/min, 大臂部分固定转速为 8r/min , 大臂俯仰速度为 $\frac{\pi}{4}$, 小臂相对大臂俯仰速度 $60^\circ / \text{s}$ 。

分析上述所给的技术要求，查阅相关的资料进行研究综合，找到两个比较可行的方案，现分析如下：

(1) 方案一

结构示意简图如下：

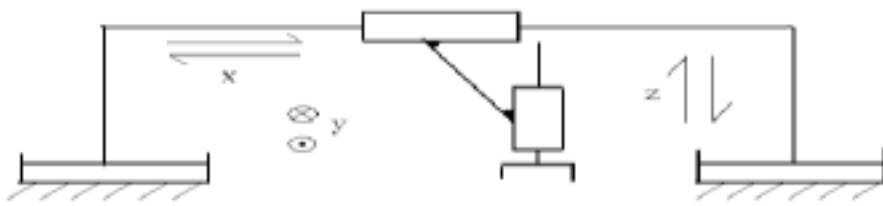


图 3-1

直角坐标型机械手结构，又成为龙门式结构。

该机构的机械手的空间运动是用三个相互垂直的直线运动来实现的，由于直线运动易于实现全闭环位置控制，所以可以达到比较高的精度。但是这种龙门式的机械手运动空间相对机械手本身的几何尺寸来讲比较小。因此，为了实现一定的运动空间，这种龙门式的机械手的结构尺寸要比其它类型的机械手结构尺寸大，从而占地面积大，工作范围小，惯性大，灵活性差。该种直角坐标型的机械手主要用于装配作业及搬运作业。

(2) 方案二

关节型结构

结构示意简图如下：

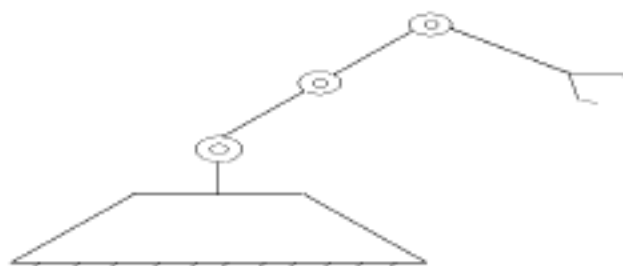


图 3-2

关节型机械手的空间运动是由几个回转运动来实现的，关节型机械手动作灵活，结构紧凑，相对前一种直角坐标型机械手而言，占地面积小，工作范围比较大，动作灵活，启动迅速。因此，这种结构的机械手广泛用于搬运，装配，喷涂，焊接等作业。

结合所给的技术要求和上述两种方案的综合比较，本人设计采用后一种方案二，即关节式机械手，因为它相对与本设计的要求更具优越性和实用性，性能上也完全能达到预期的目的。

上图中各传动路线如下:

电机 1 $\longrightarrow Z_1/Z_2 \longrightarrow$ 2 轴 $\longrightarrow Z_3/Z_4 \longrightarrow$ 3 轴 (关节 1)

电机 4 $\longrightarrow Z_5/Z_6 \longrightarrow$ 5 轴 $\longrightarrow Z_7/Z_8 \longrightarrow$ 8 轴 $\longrightarrow Z_9/Z_{10}$
 \longrightarrow 6 轴 (关节 2)

电机 5 $\longrightarrow Z_{11}/Z_{12} \longrightarrow$ 9 轴 $\longrightarrow Z_{13}/Z_{14} \longrightarrow$ 10 轴 $\longrightarrow Z_{15}/Z_{16}$
 \longrightarrow 11 轴 (关节 3)

电机 7 $\longrightarrow Z_{23}/Z_{24} \longrightarrow$ 15 轴 $\longrightarrow Z_{25}/Z_{26} \longrightarrow$ 16 轴
 $\longrightarrow Z_{27}/Z_{28} \longrightarrow$ 17 轴 (关节 4)

电机 9 $\longrightarrow Z_{17}/Z_{18} \longrightarrow$ 13 轴 $\longrightarrow Z_{19}/Z_{20} \longrightarrow$ 腕部转动

电机 11 $\longrightarrow Z_{21}/Z_{22} \longrightarrow$ 19 轴 (关节 5)

4.2 系统结构论述

本机械手的基本形式是在方位回转关节的基础上加上双回转关节手臂组成, 整个系统主要包括基座、立柱及其回转装置、大臂、小臂和手腕。下面将详细的对其各个部分机械结构作以论述。

(1) 基座与立柱

基座与立柱的机构图可参照机械手总装配图。基座由灰铸铁铸造加工, 立柱安装于基座上。这一部分主要包括立柱回转(第一关节)的二级齿轮件减速传动, 减速箱体即为基座。传动过程为: 驱动电机输出轴上装有电磁制动阀, 然后通过联轴器带动二级齿轮系统运转, 从而使得装在基座上的主轴作回转运动。立柱是一个薄壁钢管, 主轴是45 钢空心轴。

(2) 大臂部件

大臂的结构参照大臂装配图。主要有大臂结构、大臂与小臂(第二关节与第三关节)的传动结构。大臂结构由整体复合材料与金属合金骨架与外表面复合材料联接而成。既作为机械手的传动手臂又作为传动链的箱体。

大臂的传动过程为(参照前面系统传动原理): 大臂电机 4 上装有电磁制动阀, 以及与电机轴串联的联轴器 3, 再通过一个行星轮传动系统将运动传动到固定齿轮 Z_{10} , 具体过程为: 联

轴器的另一端联接锥齿轮 Z_5 ，与安装在轴齿轮上的 Z_4 啮合，再带动 Z_7 ，利用 Z_7 传动 Z_8 ， Z_8 即为行星架，然后将运动传到 Z_{10} 上， Z_{10} 为一固定齿轮，该固定齿轮安装在后壳体上，后壳体固定在立柱上，后壳体上还提供空心轴 8，大臂壳体通过两个轴承安装在空心轴上，空心轴固定不动，当电机旋转时，末级小齿轮在固定齿轮上滚动，整个大臂做俯仰运动。

(1) 小臂部件

小臂部件的结构可参照小臂装配图。主要有小臂壳体结构，手腕的几个回转关节。小臂结构与大臂结构类似，由复合材料骨架和薄钢板组成。结合上述原理图，壳体上通过两个轴承装有主轴 11，主轴为空心的，由 45 钢做成，主轴固定于大臂上，壳体还固定有小臂传动末级大齿轮 Z_{16} ，与大臂上输出的小臂传动末级小齿轮啮合，其中 Z_{16} 是固定不动的，电机转动时小齿轮在固定齿轮上滚动，此时小臂旋转。该部分的传动也是一个行星轮系，本结构传动链短，结构紧凑，降速比大。

4.2.1 机械手结构设计的特点

(1) 手臂的自重平衡措施

由于垂直多关节机械手臂关节的配置特点，臂部运动部分的重心偏离旋转中心时，所产生的偏心力矩会严重增加驱动负担，而且偏心力矩的大小随着转角而变化，这将影响运动平稳性和定位，因此在设计时特别注意了这一问题。这里通过合理的结构布局和传动和传动链优化设计，采用简单的自重平衡方法，在大臂和小臂转轴的一侧都集中安排了两个较重的电机，这样可以减小由于安装电动机和减速运动装置造成的附加力矩，从而使手臂的自重尽可能地接近平衡。

(2) 手臂传动系统布局

由于结构的特殊性，本机械手在设计时部件的重量对传动和精度的影响较大，所以在设计时特别注意这一方面，为此，在设计手臂的传动方案时，采用行星齿轮系传动结构。该结构紧凑而且传动件较少，同时可以实现较大的降速比，相对一般的减速系统而言，其自身重量也比较轻。

5 机械手各部分设计及计算

5.1 驱动系统的选择^[1]

1. 工业机械手驱动系统的选择原则

设计机械手时，选择哪一类驱动系统，要根据机械手的用途作业要求、机械手的性能规范、控制功能、维护的复杂程度、运行的功耗、性能与价格比以及现有综合条件等方面加以考虑。在注意各类驱动系统特点的基础上，综合上述个因素，充分论证其合理性、可行性、经济性及可靠性后进行最终的选择。一般情况下，下述机械手驱动系统的选择如下：

(1) 物料搬运（包括上、下料）用的有限点位控制的程序控制机械手，重负荷的可选用液压驱动系统，中等负荷的可选电机驱动系统，轻负荷的可选气动驱动系统。冲压方面多用气动系统。

(2) 用于点焊和弧焊及喷涂作业的机器人，要求有任意点位和轨迹控制功能，需采用伺服驱动系统。只有采用液压或电动伺服系统才能满足要求，点焊、弧焊机器人多采用电动驱动系统。重负荷的任意点位控制的点焊及搬运机械手可采用液压系统。喷涂机械手，多采用液压系统和交流电动驱动系统。装配机器人一般用电动驱动系统。

2. 工业机器人驱动系统特性比较

表 1 驱动系统特性

驱动系统的特性								
驱动类型	功率	快速响应	结构性能	安全	效率	控制能力	安装要求	维护要求
液压驱动系统	不太受限制	很高	结构适当，执行机构可做成独立结构，易于标准化，容易实现直接驱动。液压密封问题显得重要。	防爆性能较好，用液压油作为传动介质，在一定条件下有火灾危险。	节流调速为 0.3，容易调速为 0.6。	速度调节装置、配流元件、制动装置的结构简单，能将速度位置控制到精确值。	安装要求高，特别注意液压源泄露。因有液压源设备，占地面积较大。	要求水平较高的维护人员进行定期的维护。

气动驱动系统	有限制	较高	结构适当，执行机构可做成独立结构易于标准化，容易实现直接驱动，密封问题不象液压系统显得突出	防爆性能好，高于一个大气压，应注意设备有爆炸的危险	0.15~0.2	调度调节机构、配流元件结构简单，一般要求有专门的制动装置；速度、位置控制到精确值困难。	安装要求不太高	要求中等水平的维护人员定期维护
电动驱动系统	有限制	高	电机易于标准化，结构性能好，但电机后面一般需配精密减速器，除特殊电机外，难于进行直接驱动。	设备自身无爆炸和火灾危险。直流有刷电机对环境的防爆性能差。	0.5左右	结构简单，控制灵活性强，速度、位置可控制到精确值。	安装要求随传动方式不同而异。	要求水平较高的人员定期的检查维护。

鉴于上述的驱动系统的选择原则以及各种系统的特点，同时查阅机械手方面的资料表明：近年来，在负荷为 100kg 以下的机械手一般用电动驱动系统。由于它有低惯量、高起动力矩等优点，而且不需要能量转换，使用方便，噪声较低，控制灵活。

综合上述的分析，本系统选用电动驱动系统，不但符合课题的技术要求，而且理论上也是合理的。

4.3 机械手基座部分设计

5.2.1 机械手基座结构的设计原则

基座是机械手的第一个回转关节，机械手的运动部分全部安装在基座上，它承受了机械手的全部重量，在设计机械手基座时，要注意以下设计原则：

- (1) 基座要有足够大的安装基面，以保证机械手在工作时整体安装的稳定性。
- (2) 基座要承受机械手的全部重量和载荷。因此机械手的基座和腰部轴及轴承的机构要有足够大的强度和刚度，及保证承载能力。

(3) 机械手的腰部应是它的第一个回转关节，它对机械手末端的运动精度影响最大，因此要保证设计中腰部轴承及传动链有足够的强度和相当高的精度。

(4) 为了保证机械手的外部电缆不随机手的运动而摆动，在设计过程中要解决好固定端与运动端的联接问题。

(5) 腰部的回转要有相应的驱动装置。

(6) 腰部结构要便于安装调整。腰部与机械手臂的联接要有可靠的定位基准面，以保证各个关节的位置精度。

(7) 为了减轻机器人运动部分的惯量，提高机器人的控制精度。一般腰部回转部分的壳体是由比重比较小的复合材料制成，而不动的基座是用铸铁或铸钢材料制成。

5.2.2 基座部分的设计计算

(1) 基座电机的选择^[1]

手臂回转的驱动力矩 $M_{\text{驱}}$ ，应该与手臂运动时所产生的惯性力矩 $M_{\text{惯}}$ ，以及各支撑处摩擦阻力矩 $M_{\text{摩}}$ 相平衡。即 $M_{\text{驱}} = M_{\text{惯}} + M_{\text{摩}}$

$$\text{惯性力矩的计算 } M_{\text{惯}} = J \cdot \frac{\Delta \omega}{t_a} = (J_0 + J_c) \cdot \frac{\Delta \omega}{t_a}$$

其中， J ——手臂回转部件对其回转中心的转动惯量；

$\Delta \omega$ ——手臂回转的角速度差；

t_a ——启动所需的时间；

J_c ——零件对回转中心的转动惯量；

J_0 ——零件作为其重心位置的质点对手臂回转中心的转动惯量；

$$J_0 = \frac{G}{g} \cdot \rho^2$$

ρ ——手臂回转半径（重心到回转中心的距离）；

G ——手臂运动的重量；

计算 J_c 时，可把形状复杂的零件近似看成圆柱体，则

$$J_c = \frac{m}{12} (l^2 + 3R^2)$$

设置启动角度 $\omega = 18^\circ$, 则启动角速度 $\Delta\omega = \omega = 0.314 \text{ rad/s}$, 设置启动时间 $t_a = 0.1 \text{ s}$ 。

取 $\rho = 800 \text{ mm}$ 。设回转零件为一个半径为 60 mm , 长 900 mm , 重 30 Kg 的圆柱形零件。

$$J_c = \frac{30}{12} (0.9^2 + 3 \times 0.06^2) = 2.05 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_0 = 30 \times 0.8^2 = 19.2 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{\text{惯}} = (2.05 + 19.2) \times \frac{0.314}{0.1} = 66.73 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{各支撑处摩擦力矩 } M_{\text{摩}} \text{ 粗略估算为 } M_{\text{摩}} = 0.03 M_{\text{惯}} = 2.00 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{所以, } M_{\text{驱}} = M_{\text{惯}} + M_{\text{摩}} = 68.73 \text{ N} \cdot \text{m}$$

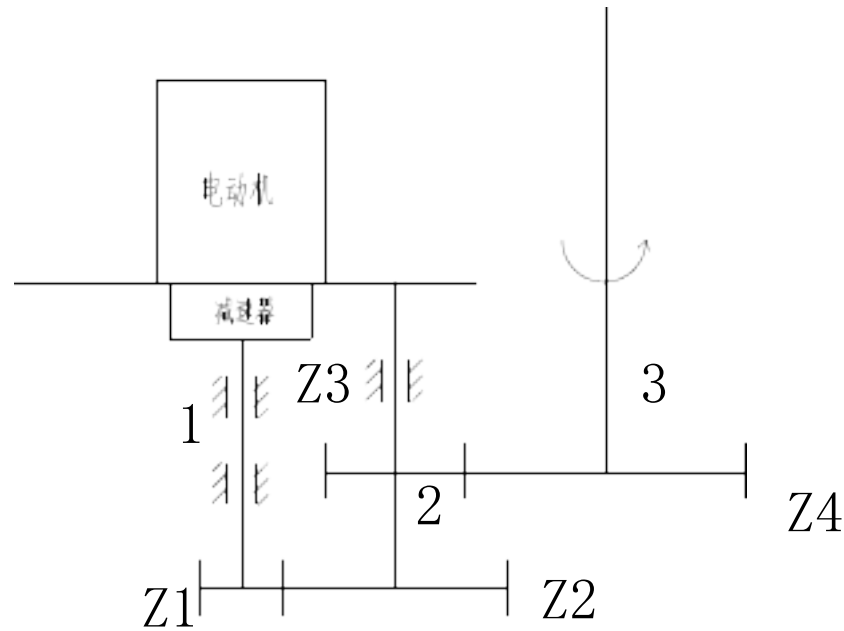


图 5-1 基座部分传动示意图

$$\text{所需电机的输出功率为: } P_0 = \frac{T_i \cdot N_i}{9550 \cdot \eta}$$

T_i —— 负载转矩 (负载轴) $\text{N} \cdot \text{m}$

N_i —— 负载轴回转速度 r/min

P_0 —— 额定功率 kw

η —— 电动机与工作机之间的传动装置总效率

设固定转速为 $N_l = 5 \text{ r/min}$

$$\text{又 } \eta = \eta_{\text{减}} \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{齿}} \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{齿}} \times \eta_{\text{联}} = 0.94 \times 0.98 \times 0.98 \times 0.98 \times 0.94 \times 0.94 = 0.7997$$

$$T_l = M_{\text{驱}} = 68.73 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{则 } P_0 = \frac{T_l \cdot N_l}{9550 \cdot \eta} = \frac{68.73 \times 5}{9550 \times 0.7997} = 0.045 \text{ kW}$$

飞轮矩的计算 $(GD_l^2) = 4gJ$

其中, GD_l^2 —— 负载飞轮矩 $\text{N} \cdot \text{m}^2$

J —— 手臂回转部件对其回转中心的转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$$\text{则 } (GD_l^2) = 4gJ = 4 \times 9.8 \times 21.25 = 833.08 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{加速功率的计算 } P_a = \frac{GD_l^2 \cdot N_l^2}{3577 \times 10^3 t_a} = \frac{833.08 \times 5^2}{3577 \times 10^3 \times 0.1} = 0.06 \text{ kW}$$

伺服电机的预选:

选定条件: $T_L \leq$ 电机的额定转矩;

$$P_a + P_0 = (1 \sim 2) \text{ 倍电机的额定功率;}$$

$N_M \leq$ 电机的额定转速;

$$GD_L^2 \leq \text{电机容许负载的 } GD_L^2$$

由选定条件, 按计算结果对照《机械设计手册》中常用伺服电机可初选 110S - CZK01 直流宽调速伺服电机。

名称: 直流宽调速伺服电机

型号: 110S - CZK01

额定功率: 0.166kW

额定转矩: 1.0517.6 N.m

额定转速: 1500r/min

生产厂家: 安徽微电机研究所

注: 电机可带测速机、码盘

根据电动机的各项参数选用摆线针轮减速器。型号: 立式电机直联型 BLD0.55-15-i

降速比: $i_0 = 29$.

5.2.3 计算传动装置的运动和动力参数^[3]

各轴转速:

$$1 \text{ 轴: } n = \frac{n_m}{i_0} = \frac{1500}{29} = 51.7241 \text{ r/min} \quad n_m \text{ ——电动机满载转速, r/min}$$

$$\text{由 } i_1 = \frac{n_0}{n_1} = \frac{51.7241}{5} = 10.34 \text{ r/min} \quad \text{取 } i_1 = 1.4i_2 \Rightarrow 1.4i_2^2 = 10.34 \Rightarrow i_2 = 2.7,$$

$i_1 = 3.8$

$$2 \text{ 轴: } n_2 = \frac{n_1}{i_1} = \frac{51.7241}{3.8} = 13.6116 \text{ r/min}$$

$$3 \text{ 轴: } n_3 = \frac{n_2}{i_2} = \frac{13.6116}{2.7} = 5.0413 \text{ r/min}$$

各轴的输入功率:

$$1 \text{ 轴: } P_1 = P_d \cdot \eta_1 = 1.4 \times 0.94 = 1.316 \text{ kw}$$

$$2 \text{ 轴: } P_2 = P_1 \cdot \eta_2 = 1.316 \times 0.98 = 1.2897 \text{ kw}$$

$$3 \text{ 轴: } P_3 = P_2 \cdot \eta_3 = 1.2897 \times 0.98 = 1.2639 \text{ kw}$$

1-2 轴的输出功率分别为输入功率乘轴承功率。

各轴输入转矩:

$$T_d = 9550 \frac{P_d}{n_m} = 9550 \frac{1.4}{1500} = 9.2867 \text{ N.m}$$

$$1 \text{ 轴} \quad T_1 = T_d \cdot i_0 \cdot \eta_1 = 9.2867 \times 29 \times 0.94 = 253.1554 \text{ N.m}$$

$$2 \text{ 轴} \quad T_2 = T_1 \cdot i_1 \cdot \eta_2 = 942.7507 \text{ N.m}$$

$$3 \text{ 轴} \quad T_3 = T_2 \cdot i_2 \cdot \eta_3 = 2494.5184 \text{ N.m}$$

5.2.4 主要传动尺寸的确定

(1) 选择齿轮材料和热处理、精度等级、齿轮齿数及尺寸设计^[3]

考虑到传递功率不大, 且对结构尺寸无严格要求, 选用 45 钢, 选齿轮为 8 级精度, 选小齿

轮调质，小齿轮齿面硬度 217~255HBS，大齿轮正火、齿面硬度 162~217HBS。

选小齿轮齿数为 $Z_1 = 25$ ， $Z_2 = i Z_1 = 95$ 。

按齿根弯曲疲劳强度设计

闭式硬齿面齿轮传动，承载能力一般取决于弯曲强度，故先按弯曲强度设计，验算接触强度。由下式：

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2KT Y_1 Y_2}{\phi_d Z_1^2} \left(\frac{F S_a}{[\sigma]_F} \right)}$$

确定式中各项数值：

因无较重冲击的载荷，由机械设计书表6-3 查得 $K_A = 1.25$ ，故初选载荷系数 $K_t = 1.7$

$$T_1 = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n_1} = 9.55 \times 10^6 \frac{1.316}{51.7141} = 2.4 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

由式 $\varepsilon_\alpha = [1.88 - 3.2(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2})] \cos \beta$ ，计算端面重合度 $\varepsilon_\alpha = 1.72$ ：由式

$Y_\varepsilon = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_\alpha} = 0.7$ 。由表 6-6，选取 $\phi_d = 0.4$ ，由图 6-19、图 6-20 查得：

$$Y_{Fa1} = 2.62 \quad Y_{Sa1} = 1.58 \quad Y_{Fa2} = 2.18 \quad Y_{Sa2} = 1.82$$

由

$$N_1 = 60 n_1 j L_h = 60 \times 51.7241 \times 1 \times (2 \times 8 \times 300 \times 15) = 3.02 \times 10^8$$

(L_h 为工作寿命，每天两班工作，每天工作8 小时，使用寿命 15 年)

$N_2 = \frac{N_1}{i} = 2.9 \times 10^7$ ，由图6-21 查得 $Y_{N1} = 0.91$ $Y_{N2} = 0.94$ 取 $S_{Fmin} = 1.25$ ，由图 6-22C 按齿

面硬度均值 200HRS，在 ML 线上查得 $\sigma_{Flim1} = \sigma_{Flim2} = 310 \text{ MPa}$ 。

$$[\sigma]_{F1} = \frac{\sigma_{Flim1} Y_1}{S_{Fmin}} = \frac{310 \times 0.91}{1.25} = 225.68 \text{ MPa}$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{\sigma_{Flim2} Y_2}{S_{Fmin}} = \frac{310 \times 0.94}{1.25} = 233.12 \text{ MPa}$$

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/778007012112006105>