



经过一段时间的项目学习,读者已经了解了机器人系统集成及其流程规划方法,接下来的工作是进行具体的设计。机械结构是完成工作站机械运动的模块。工作站中的机械模块设计主要有末端执行器以及输送线设计。

### 3.1 末端执行器设计

#### 3.1.1 末端执行器概述

末端执行器是直接执行对工件抓取动作的装置,其结构形式、抓取方式、抓取力的大小以及驱动末端执行器执行抓取动作的装置,都会影响对工件抓取这一动作的有效执行。

末端执行器作为直接执行工作的装置,它对增强机器人的作业功能、扩大应用范围和提高工作效率都有很大的作用,因此系统地研究末端执行器有着重要的意义。

被抓取物体的不同特征,会影响到末端执行器的操作参数。物体特征又同操作参数一起,影响末端执行器的设计要素。末端执行器设计要素、物体特征与操作参数的关系如图 3-1 所示。

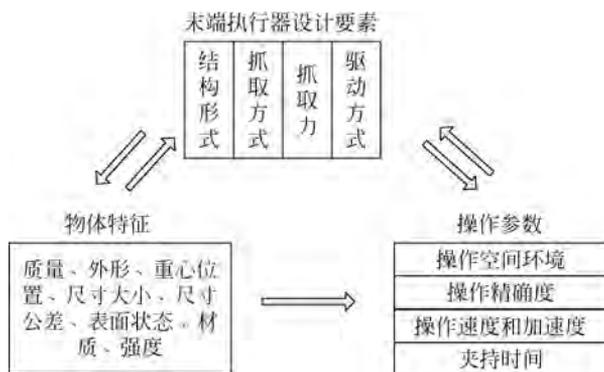


图 3-1 末端执行器设计要素、特征及参数的关系

在设计末端执行器时,首先要确定不同的设计要素受哪些因素的影响。根据物体特征、操作参数等因素与设计要素的关系,可以建立关系矩阵。其中,物体特征、操作参数的影响因素为列;末端执行器的设计要素为行,得到的关系矩阵如表 3-1 所示。在关系矩阵中,“1”表示有关,“0”表示无关。

表 3-1 各要素间关系

设计要素	结构形式	抓取方式	抓取力	驱动方式
质量	1	1	1	1
外形	1	1	0	0
重心位置	1	0	1	1
尺寸大小	1	0	1	1
尺寸公差	0	1	0	0
表面状态	1	1	1	1
材质	1	1	1	1
强度	1	1	1	1
环境	1	0	1	1
准确度	1	1	0	0
速度、加速度	1	0	0	1
夹持时间	0	0	0	1

利用关系矩阵,可以根据实际的要求,列出需考虑的影响因素,进而明确末端执行器的设计要素,最终将各设计要素组合成末端执行器的总体设计方案。

在结构形式、抓取方式、抓取力以及驱动方式这 4 个设计要素中,除抓取力由计算得出外,其他设计要素的设计方法如下。

### 1. 结构形式

根据所列影响因素(质量、外形、重心位置、尺寸大小、表面状态、材质、强度以及环境、准确度、速度和加速度),从各类结构形式中选取。可根据各结构形式的特点初步选定符合要求的结构形式。末端执行器按用途可大致分为夹持类、吸附类、专用末端操作器及换接器。

#### (1) 夹持类末端执行器各种结构形式的特点:

**摆动式:** 在手爪的开合过程中,其运动状态是绕固定轴摆动的,这种形式结构简单,可获得较大的开闭角,适用面广。

**对中定心式:** 三点爪可抓取圆形物件,三片平面爪可抓取多边形物件,能够对中定心。

**大行程式:** 抓取行程大,用气与齿轮齿条联动,保证对称抓取。

**平行开闭式:** 利用滑槽相对中心平行移动,行程较大;手爪做成不同形状,可抓取圆形、方形、多边形物件。

**小型摆动式:** 回转角较小,手都做成平面,可夹持薄型板片;做成 V 形或半圆形可夹持小圆柱体,如钻头、电子元件等。

**柔性夹爪:** 外张夹持,可抓取各类形状、尺寸和重量的物体,即使被抓取物的位置在一定范围内变化,仍可以保证顺利抓取,降低了对抓取系统定位精度的要求,具有良好的稳定性和密封性,能够在粉尘、油污、液体环境下正常工作,应用范围较广。

**柔性管爪:** 适宜抓取易损物质及型面,如鸡蛋、灯泡、多面体等。

橡胶柔性手指：适宜抓取易损物体及小型物件，如纸杯、牙膏、塑料体等。

(2) 吸附类末端执行器各种结构形式的特点：

吸附类末端执行器吸持物件时，不会破坏物件的表面质量。吸附类末端执行器包括气吸式与磁吸式。

气吸式吸盘结构简单，重量轻，使用方便可靠。用于板材、薄壁零件、陶瓷、搪瓷制品、塑料、玻璃器、纸张等。

挤压排气式：通过气缸将吸盘压向物件，把吸盘内腔的空气挤压排出，将物件吸附起来，结构简单。吸力较小，适宜用于吸起轻、小的片状物件，拉杆向上进入空气，吸力消失。

气流负压式：需稳定的气源，喷嘴出口处气流速度很高，有啸叫声。

真空式：利用真空泵抽去吸盘内腔空气而吸取物件，吸取可靠，吸力大，成本较高。

磁吸式吸盘吸附力较大，对被吸物件表面光整要求不高。用于磁性材料吸附（如钢、铁、镍、钴等），对于不能有剩磁的物件吸取后要退磁；钢、铁等磁性材料的物件，高温下会失去磁性，所以高温时不可使用。

永久磁铁：必须强迫性地取下物件，应用较少。

交流电磁铁：电源无需整流装置，吸力有波动，易产生振动和声，有涡流损耗。

直流电磁铁：电源需整流装置，无涡流损耗，吸力稳定，结构轻巧，应用较多。

根据各结构形式的特点选取末端执行器，可能会出现多种形式都符合要求的情况，如何选取最合适的结构形式，可用评价比较方法，参考表 3-2 的思路进行，表中有“√”者表示有直接联系。通过实际应用情况列出影响因素与各结构形式的直接关联情况，选出最为合适的结构形式。例如，通过分析结构形式得到摆动式和平行开闭式都符合要求时，可利用表 3-2 再次进行分析，可知摆动式与对夹取工件的准确度以及速度和加速度有直接的联系，当对准确度、速度要求不高时，选用平行开闭式即可。

表 3-2 各种结构形式与各影响因素联系

结构形式	摆动式	对中定心式	大行程式	平行开闭式	小型摆动式	柔性爪	气吸式	磁吸式
质量					√		√	√
外形	√	√		√	√	√		
重心位置	√		√	√				
尺寸大小	√	√	√	√	√	√	√	√
尺寸公差					√			
表面状态			√		√		√	√
材质						√	√	√
强度	√	√	√	√		√	√	√
环境						√	√	√
准确度	√				√			
速度、加速度	√					√		
夹持时间								

(3) 专用末端操作器。

当机器人需完成特定的操作时，需为机器人配上专用的末端操作器。例如，通用机器人安装焊枪就成为一台焊接机器人，可完成焊接工作；安装拧螺母机则成为一台装配机器人，

可完成安装螺母工作。目前,有许多由专用电动、气动工具改装成的操作器,如拧螺母机、焊枪、电磨头、扭矩枪、抛光头、激光切割机等,形成一整套系列供用户选用,使机器人胜任各种工作。

## 2. 抓取方式

抓取方式根据所列影响因素(质量、外形、尺寸公差、表面状态、材质、强度和准确度),从抓取方式中选取。对于吸附类的末端执行器,吸盘的结构和形状主要根据被吸附物件的特征来决定,此处不再赘述。夹持类末端执行器常用的抓取方式如下:

平面指抓取,一般适用于夹持方形、多边形、板状及细小的棒类物件。

V形指抓取,一般适用于夹持圆柱形、正方形、多边形等物件,夹持平稳可靠,夹持误差较小。

三指抓取,用于夹持圆柱形物件。内撑式用于撑持内孔。

外钩托指抓取,适用于钩托圆柱形、T形等物件。

内钩托指抓取,适用于钩托有T形槽的物件。

特形指抓取,对于形状不规则的工件,必须设计出与工件形状相适应的专用特形手指,才能夹持工件。

抓取面做成光滑指面可使夹持物件的表面免受损伤,做成齿形指面可增加摩擦力,确保可靠夹持。柔性指面镶衬橡胶、泡沫塑料、石棉等物可以增加摩擦力、保护物件表面、隔热等,一般用来夹持已加工表面或炽热物件,也适用于夹持薄壁物件和脆性物件。

## 3. 驱动方式

末端执行器一般通过气动、液压、电动三种驱动方式产生驱动力,通过传动机构进行作业,其中多用气动、液压驱动。电动驱动一般采用直流伺服电机或步进电机。

现将这三种驱动方式进行如下比较。

气动驱动。优点:①气源获得方便;②安全,不会引起燃爆,可直接用于高温作业;③结构简单,造价低。缺点:①压缩空气常用压力为0.4~0.6MPa,要获得大的握力,结构将相应加大;②空气可压缩性大,工作平稳性和位置精度稍差,有时因气体的可压缩性,使气动末端执行的抓取运动太过柔顺。

液压驱动。优点:①液压力比气压力大,以较紧凑的结构可获得较大的握力;②油液介质可压缩性小,传动刚度大,工作平稳可靠,位置精度高;③力、速度易实现自动控制。缺点:①油液高温时易引起燃爆;②需供油系统,成本较高。

电动驱动。优点:一般连上减速器即可获得足够大的驱动力和力矩,并可实现末端执行器的力与位置控制。缺点:不宜用于有防爆要求的条件下,因电机有可能产生火花和发热。

何种驱动方式应根据影响因素(质量、重心位置、尺寸大小、表面状态、材质、强度以及环境、速度和加速度、夹持时间)进行分析确定,分析结果如表3-3所示。

表 3-3 驱动方式选择

影响因素	气动	液压	电动
质量(小)	√		
质量(大)		√	√
重心位置(近)	√	√	

续表

影响因素	气动	液压	电动
重心位置(远)		√	√
尺寸大小(小)	√	√	
尺寸大小(大)		√	√
表面状态(光滑平整)	√	√	
表面状态(粗糙)		√	√
材质(软)	√		
材质(硬)	√	√	√
强度(小)	√		
强度(大)	√	√	√
环境(好)	√	√	√
环境(差)	√		
速度、加速度(小)		√	√
速度、加速度(大)	√	√	
夹持时间(短)	√	√	
夹持时间(长)		√	√

### 3.1.2 机器人夹手的选型设计

由 3.1.1 节内容可知,机器人的夹手选用大致分为三大类,即吸盘抓手、气缸夹手、电磁吸盘。

冲压机械手常用的抓手是吸盘抓手,吸盘可以容易吸取材料且在客户更换模具时,工件样品都比较容易吸取,在冲压电脑机箱机械手、冲压电视盒箱体机械手等工件的运用上,吸盘抓手通用性强,换模后调整抓手简单。实物如图 3-2 所示。



图 3-2 吸盘夹手实物

气缸夹手(图 3-3)是第二选用的方式,通常情况是在吸盘不可用时选用。气缸夹手选用时需要了解工件的尺寸、工件的边是否规则,以方便夹取,还要在选用气缸时了解产品的兼容性。一次选用合适的气缸行程,如果产品比较单一就先用小行程的夹手,如果款式多、

尺寸范围比较大,就选用大行程的夹手气缸。选用气缸类的产品,都是冲件比较多孔的或吸取不了,如生产冲压机械式键盘机械手、冲压机械手等。

电磁吸盘是最后选用的方式,电磁只能吸取带铁的工件,如果工件冲完后有些铁屑残留,可能会附带在工件上,导致后面冲压模具会受损。所以电磁吸盘的选用最好在工件的折弯、成型工序,另外有些大件的产品中选用。实物如图 3-4 所示。



图 3-3 气缸夹手实物



图 3-4 电磁吸盘实物

如今各类制造型企业已陆续实现自动化、智能化。为此,针对工业智能制造中的工业机器人,举例说明几种机器人末端夹手机构设计思路。

以机器人夹手为例,基本要搞清楚以下几点:

- (1) 明确工作对象,多大多重,将来以多大的加速度运动?
- (2) 工作对象有多少种,是否需要换型?
- (3) 工作对象是否有明确的位置和位相,方向是正向还是反向?
- (4) 工作对象被夹持后的定位精度需要多少?

以上基本情况了解清楚之后,选择合适的夹持方式,计算夹持力是否足够,从而设计夹手。

## 3.2 机器人输送线结构

机器人输送线选型方法是什么呢?影响机器人输送线选型的参数有很多,为了满足用户的功能要求,输送线的设计,即将工件输送到固定位置用于检测、搬运和码垛。输送模块的设计,主要是对控制电动机的选择。

### 3.2.1 控制电动机简介

电动机的主要功能是使执行机构产生特定的动作。根据用途可以将电动机分为驱动电动机和控制电动机两类。

驱动电动机主要是为设备提供动力,对于位置精度的控制能力较低。驱动电动机主要用于电动工具、家电产品以及通用的小型机械设备等。

控制电动机不仅提供动力,而且能够精确控制电动机的驱动参数等,如位置、速度、动力等。它一般分为步进电动机和伺服电动机两类。在机器人集成系统中,只有工件到达指定位置的定位精度较高时,机器人才能对工件进行重复操作,在某些工艺中需要控制工件受到的力矩,例如,卷丝机中丝线受到的拉力必须恒定,才能使卷出来的丝美观不凌乱,而且好整理。

### 1. 步进电动机

步进电动机是一种将数字式电脉冲信号转换成机械位移(角位移或线位移)的机电执行元件。它的机械位移与输入的数字脉冲有严格的对应关系,即一个脉冲信号可以使电动机前进一步,所以称为步进电动机。因为步进电动机的输入是脉冲电,所以又称为脉冲电动机。

步进电动机主要用于开环位置控制系统中。采用步进电动机的开环系统,结构简单,调试方便,工作可靠,成本低。当然采取一定的相应措施以后,步进电动机也可以用于闭环控制系统和转速控制系统中。

#### (1) 步进电动机的主要优点:

① 能直接实现数字控制,数字脉冲信号经环形分配器和功率放大器后,可直接控制步进电动机,无须任何中间转换。

② 控制性能好,位移量与脉冲数成正比,可用开环方式驱动而无须反馈,能快速、方便地启动、反转和制动。速度与脉冲频率成正比,改变脉冲频率就可以在较宽的范围内调节速度。

③ 无电刷和换向器。

④ 抗干扰能力强,在负载能力范围内,步距角和转速不受电压大小、负载大小和波形的影响,也不受环境条件,如温度、电压、冲击和振动等影响,仅与脉冲频率有关。

⑤ 无累积定位误差。每转一周都有固定的步数,在不丢步的情况下运行,其步距误差不长期积累。

⑥ 具有自锁能力(磁阻式)和保持转矩(永磁式)能力,可重复堵转而不损坏。

⑦ 机械结构简单、坚固耐用,并且相对于同等规格的伺服电动机,价格便宜很多。

#### (2) 步进电动机的缺点:

① 运动增量或步距角是固定的,在步进分辨率方面缺乏灵活性。

② 采用普通驱动器时效率低,相当大一部分的输入功率转为热能耗散掉。

③ 在单步响应中有较大的超调量和振荡。

④ 承受惯性负载的能力较差。

⑤ 开环控制时,摩擦负载增加了定位误差(误差不累积)。

⑥ 输出功率较小,因为步进电动机在每一步运行期间都要将电流输入或引出电动机,所以对于需要大电流的大功率电动机来说,控制装置和功率放大器都会变得十分复杂、笨重和不经济。所以步进电动机的尺寸和功率都不大。

⑦ 转速不够平稳。

⑧ 运行时有时会发生振荡现象,需要加入阻尼机构或采取其他特殊措施。

⑨ 目前主要用于开环系统中,用于闭环控制时所用元件和线路比较复杂。

⑩ 不能把步进电动机直接接到普通的交直流电源上运行,必须配备驱动器(包括环形

分配器),因此驱动器成本较高。

## 2. 伺服电动机

伺服电动机可以分为直流伺服电动机和交流伺服电动机,它们的驱动都是由伺服驱动器完成的。直流伺服电动机输出功率较大,一般可以达到几百瓦;而交流伺服电动机的输出功率较小,一般为几十瓦。

### (1) 直流伺服电动机。

直流伺服电动机是一种用于运动控制的电动机,它的转子的机械运动受输入电信号控制,并做快速反应。直流伺服电动机的工作原理、结构和基本特性与普通直流电动机没有原则性区别,但是为了满足控制系统的需求,在结构和性能上做了一些改进,具有如下特点。

- ① 采用细长的电枢以便降低转动惯量,其惯量是普通直流电动机的  $1/3 \sim 1/2$ 。
- ② 具有优良的换向性能,在大的峰值电流冲击下仍能确保良好的换向条件。
- ③ 机械强度高,能够承受巨大的加速度造成的冲击力作用。
- ④ 电刷一般安放在几何中性面,以确保正、反转特性对称。

为了适应控制系统的需要,直流伺服电动机的类型也在不断发展。目前应用的直流伺服电动机除了传统式的直流伺服电动机外,还有低惯量直流伺服电动机、宽调速直流伺服电动机等。

### (2) 交流伺服电动机。

交流伺服电动机也是一种用于运动控制的电动机,常用的交流伺服电动机主要是两相伺服电动机。它的转子主要有笼型转子和非磁性空心杯转子两种。其定子绕组是两相绕组,使用的是两相交流电源。定子的两相绕组分别称为励磁绕组和控制绕组,很多情况下它们具有相同的匝数,但有时也可能具有不同的匝数。两相绕组在空间上相差  $90^\circ$ 。

与普通驱动用微型异步电动机相比,两相伺服电动机具有下列特点:

- ① 调速范围大。伺服电动机的转速随着控制电压的改变能在较大的范围内连续调节,而普通异步电动机稳定运行的区域较小。
- ② 在运行范围内,伺服电动机的机械特性和调节特性接近线性关系。这与两相伺服电动机的转子电阻大有关。
- ③ 当控制电压为 0 时,伺服电动机应立即停转,也就是无“自转”现象,而普通异步电动机即使在单相电压下仍可继续运转。
- ④ 快速响应,机电时间常数小。两相伺服电动机采用细长的转子,转子惯量小,转子电阻大,使堵转转矩高,起动转矩高,起动速度快,满足时间常数小的要求。

## 3.2.2 控制电动机选型方法

控制电动机规格大小的选定需要按照电动机所驱动的机构特性(即电动机输出轴负载惯量大小、机构的配置方式、效率和摩擦力矩等)而定。如果没有负载特性及数据,又没有可供参考的机构,就很难决定控制电动机的规格。

确定驱动机构特性之后,需要计算出负载惯量以及希望的旋转加速度,才能推算出加/减速需要的转矩。由机构安装形式及摩擦力矩推算出匀速运动时的负载转矩;然后推算停止运动时的保持转矩,最后根据转矩选择合适的电动机。

### 1. 伺服电动机的选用

每种型号电动机的规格选项内均有额定转矩、最大转矩及电动机惯量等参数,各参数与负载转矩及负载惯量间有着相关联系,选用电动机的输出转矩应符合负载机构的运动条件要求,如加速度、机构的重量、机构的运动方式(水平、垂直、旋转)等;运动条件与电动机输出功率无直接关系,但是一般电动机的输出功率越高,相对输出转矩也会越高。

选择伺服电动机规格时,可以按照下列步骤进行。

(1) 依据运动条件要求,选用合适的负载惯量计算公式,计算出机构的负载惯量。

机构经加速或减速后,所要计算的惯量有所不同,传动元件本身产生的惯量也必须计算在内,经减速后,惯量为减速后与减速前速度之比的平方倍,速度减小则惯量变小,速度增大则惯量变大。

(2) 依据负载惯量与电动机惯量选出合适的电动机规格。

通常依据负载惯量的计算结果预选合适电动机规格。电动机数据表内提供了相关参数,建议选用电动机转动惯量大于负载惯量的  $1/10$ 。

但事实上,如果电动机运动定位频率高,电动机惯量必须提高至负载惯量的  $1/3$  以上。这是因为运动定位频率较高时,需要较短的加速时间来配合,而惯量较大的电动机通常有较大的输出转矩,可以更快地加速,减少加速时间。如果运动定位频率低,电动机惯量小于  $1/10$  的负载惯量也可以使用。

选用电动机转动惯量的建议比例不绝对,而且电动机的规格也不会密集到可选用的电动机转动惯量正好符合要求,如需要大于负载惯量  $1/10$  的电动机转动惯量,但数据表中最恰当的电动机转动惯量为负载惯量的  $1/4$  以上,这也是合理的选用范围。

(3) 结合初选的电动机惯量与负载惯量,计算出加速转矩及减速转矩。

加/减速转矩计算公式中包含电动机本身的转动惯量,在电动机规格未确定时,可依据建议比例初步选定一种电动机规格,将其转动惯量值代入公式计算出加/减速转矩,再验证所选用的电动机规格是否适用;如果不适用,再选用其他型号电动机进行验算,直到符合条件为止。

在此需要注意的是,加/减速时间在设计系统初期配合运行效率预先确定,再根据它们计算加/减速转矩,进而选择电动机规格。不要先选择电动机规格再确定加/减速时间,否则可能无法达到期望的运行效率,或者超出需求规格太多,增加不必要的成本。

(4) 依据负载重量、配置方式、摩擦系数、运行效率计算出负载转矩。

(5) 初选电动机的最大输出转矩必须大于必要转矩,如果不符合条件,必须选用其他型号的电动机重新计算验证,直至符合要求。

实际运行中,电动机加速时的运动转矩一般都大于减速时的运动转矩,因此电动机的最大输出转矩只要能大于加速时的运动转矩,则必然大于减速时的运动转矩;如果减速时间较加速时间短,减速转矩就可能超过加速转矩,则减速时的运动转矩将超过加速时的运动转矩,此时电动机的最大输出转矩需能够满足减速时的运动转矩要求。

(6) 依据负载转矩、加速转矩、减速转矩及保持转矩,计算出连续瞬时负载转矩。

电动机实际运行及停止时输出的转矩是随时间变化的,因此必须计算出连续瞬时负载转矩,选用的电动机额定转矩必须大于连续瞬时负载转矩。调整加/减速时间、降低加/减速转矩可以使连续瞬时负载转矩小于电动机额定转矩(不同于最大输出转矩)。

## 2. 步进电动机的选用

步进电动机没有输出功率指标,只有激磁时的最大静止转矩,其与伺服电动机的最大输出转矩、额定转矩无法相提并论。相同机构的运动,如用步进电动机替换伺服电动机达到相同的目的,必须重新选用步进电动机,运行条件也必须修改,而无法单纯用对照方式将电动机替换。

选用步进电动机时,推荐按照下列步骤进行。

(1) 查明负载机构的运动条件要求,如加/减速、运动速度、机构的重量、机构的运动方式等。

(2) 依据运动条件要求,选用合适的负载惯量计算公式,计算出机构的负载惯量。

(3) 依据负载惯量与电动机惯量选出适当的电动机规格。

(4) 结合初选的电动机惯量与负载惯量,计算出加速转矩及减速转矩。

(5) 依据负载重量、摩擦系数、运行效率等计算出负载转矩。

(6) 必要转矩必须符合选用电动机的运行转矩特性曲线及起动转矩特性曲线,如果不符合条件,就必须选用其他型号或改变运行条件计算验证,直至符合要求,选定完成。

由上述步骤可以看出,步进电动机的选用与伺服电动机很相近,同样要求选用电动机的输出转矩符合负载机构的运动条件要求,如加速度、机构的重量、机构的运动方式等。不同点在于,伺服电动机的转矩选择方式为根据必要转矩和瞬时负载转矩来匹配电动机的最大输出转矩和额定转矩,而步进电动机则需要用运行转矩特性曲线和起动转矩特性曲线匹配其必要转矩。

步进电动机的输出转矩随转速增加而减小,电动机的“转速—转矩”特性曲线必须准确,才能使电动机工作在有效的范围内,而每种型号的步进电动机都有不同的特性曲线,不能互换使用。在选择步进电动机时,在最大同步转矩范围内,选用根据运行速度与必要转矩运行领域内的电动机,当必要转矩超过最大同步转矩时会造成步进电动机超载,影响电动机寿命。

## 3.3 机器人动力回路的选型设计

动力回路为机器人的各轴运动提供动力,主要包括断路器、变压器、滤波器、接触器、电机,如图 3-5 所示。下面对各器件的选型规则进行介绍。

### 1. 断路器

断路器是指能够关合、承载和开断正常回路条件下的电流关合、在规定的时间内承载和开断异常回路条件下的电流的开关装置。

### 2. 变压器

变压器将外部提供的 380V 进电变压成 220V 交流电。变压器是变换交流电压、交变电流和阻抗的器件,当初级线圈中通有交流电流时,铁芯(或磁芯)中便产生交流磁通,使次级线圈中感应出电压(或电流)。变压器由铁芯(或磁芯)和线圈组成,线圈有两个或两个以上的绕组,其中接电源的绕组叫初级线圈,其余的绕组叫次级线圈。

机器人用变压器从以下几个方面考虑:①确认电网提供的电源电压(V)与用电设备所

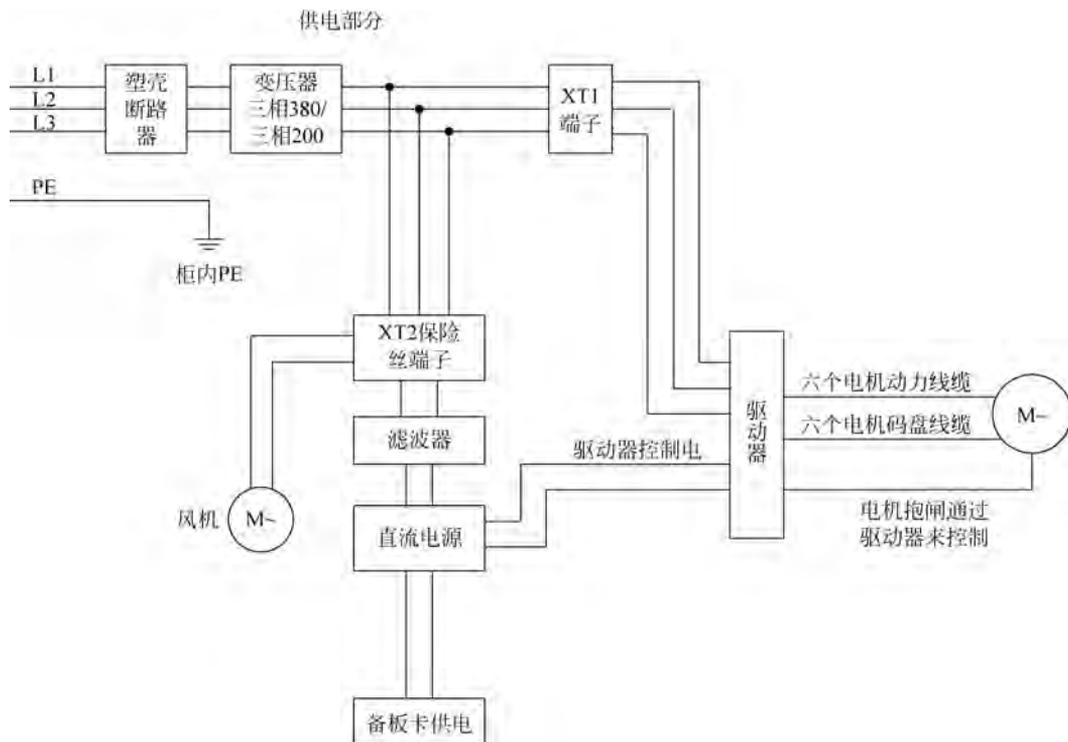


图 3-5 机器人动力回路

需输入的额定电压(V),以确定电压变比;②确认用电设备所需输入电源的相数,以确定变压器制作三相或单相系统;③确认用电设备所需输入的额定电流(A),以确定变压器的容量( $kV \cdot A$ );④绝缘等级要求:A级  $105^{\circ}\text{C}$ ,B级  $130^{\circ}\text{C}$ ,F级  $155^{\circ}\text{C}$ ,H级  $180^{\circ}\text{C}$ ;⑤自耦式变压器或隔离式变压器。

### 3. 滤波器

电源滤波器是由电容、电感和电阻组成的滤波电路。滤波器可以对电源线中特定频率的频点或该频点以外的频率进行有效滤除,得到一个特定频率的电源信号,或消除一个特定频率后的电源信号。

电源滤波器有以下几个参考值:

(1) 电压:这个电压值要求是一个范围,是稳态电压 $\pm$ 纹波电压的综合。

(2) 电流:电流指标很关键,决定了滤波器内部电感的绕组铜线和引出线的线径。如果线径选细了,细导线上跑大电流,如小马拉大车,会引起严重发热以至烧毁。这个电流也是一个范围,即稳态电流+波动电流的最大值。

(3) 电磁兼容标准要求:滤波器是为了滤掉一些不期望的频段,而滤除的效果一般是由EMC测试标准和现场应用的直观结果来确定。尤其是电源滤波器,最好能确定用此滤波器的产品需要通过的是哪个标准,根据标准要求的不同,在选择时也有其特定的测试频段要求。

电源滤波器的主要针对指标是传导发射(CE)和传导抗扰(CS),信号滤波器则主要看EMC标准中对不期望输入频段和不期望输出频段的要求了。滤波器就需要针对这些特定

频段或频点具有足够的滤除效果。

(4) 安规标准要求：选滤波器提到安规标准，这是因为滤波器一般用在电源输入端和板卡的接口处，这些部位都是安规问题的重灾区，相当于滤波器承担了多个要求。与滤波器有关的安规重点是三个指标：绝缘耐压、漏电流、剩余电压剩余能量。

(5) 滤波器电路结构形式：滤波器的作用是对通过其的不同频率有不同的放大效果，对通带内频段的则不衰减，对通带外要抑制的则以几十分贝的级别进行衰减，从而达到过筛子的目的。但滤波器在对不同频率的电压幅值采取不同放大倍数时，电磁波的相位也在发生变化，因为相位也是和频率有关的。

滤波器结构形式常用的是以下三种。

① 巴特沃斯滤波器：特点是通带内放大倍数平整，通带内，随着频率的变化，滤波器放大倍数基本维持不变；但缺点是通带向截止段的过渡段，过渡得较为平缓。可以比喻成敌人和朋友的界限不是很清楚，有一部分朋友也在干着敌人的事情，有一部分敌人也在帮我们，对这一部分是杀掉还是留在组织里，让人很纠结。如果有用频率和干扰频率离得很近，这种滤波器的作用就很有问题。

② 切比雪夫滤波器：可以很好地解决巴特沃斯过渡带平缓的缺点，在这种形式的滤波器中，过渡带很陡峭，即使有用频率和干扰频率很近。因为过渡带很陡峭，所以其截止频率点前后两个频段放大倍数的差别很大。一个优点必然伴随着一个缺点，切比雪夫滤波器的缺点是在通带频率的末端部分，放大倍数会有较强的波动，即在通带内，随着频率的变化，放大倍数虽然比滤除频段大了很多，但对通带内的频率，其放大倍数并不是保持稳定不变的。

③ 贝塞尔滤波器：此种滤波器不是很通用，其特点是相位线性。前两种关注的是放大倍数，但如果对语音信号，比如歌曲，通带内放大倍数虽然没有变化，但其旋律却不再悠扬，因为相位的变化导致歌曲失真。此时，贝塞尔滤波器将会发生其作用。

目前的电源滤波器都是低通滤波器，通过的都是工频 50Hz 或 60Hz，这是有用频率，其他的全是无用频率，所以用截止频率在 1kHz 以上的就绰绰有余。因此随便选滤波器，很多时候也没出问题。所以对电源滤波器的选取在工艺、安规上就要多关注了。但在有特定输出或输入的场所，电源滤波器的选择就要谨慎了。比如医疗手术时的电刀产品，其工作频率是 500kHz，本身会对电源造成干扰，所以电刀的对外传导干扰需要抑制。同时，与电刀共用电源的设备也要警惕，其 500kHz 工作频率也可能产生干扰。

(6) 插损曲线：滤波器的插损曲线都是在标准阻抗下测得，实际应用现场，基本可以肯定不是如此标准的源阻抗和负载阻抗特性，所以滤波器的衰减效果会大打折扣。因此，选择时对拟抑制的频率点必须至少留出 20dB 的余量。举例来说，如果发现 100kHz 超标 13dB，选择了一款滤波器，从插损曲线上看出其在 100kHz 时的插损是 20dB，觉得此滤波器用上就去肯定就没问题，那就错了，就需要选择 100kHz 时插损不低于 33dB 的滤波器。

另外，插损分共模插损和差模插损，一般对 30MHz 以上的干扰，选择共模插损满足上面要求的滤波器，10MHz 以下的干扰选择差模插损满足要求的滤波器。对上例 100kHz，选择差模插损 33dB 的滤波器。

(7) 滤波器的安装形式：一般有板式（有可焊插针引脚）、螺丝固定安装、IEC 标准（带单相 220V 三针输入）、带开关的 IEC，根据实际结构功能要求选择即可。

(8) 安装工艺规范：滤波器的安装是仅次于电路结构形式和组成器件指标的技术要

素,主要体现在滤波器的位置、接地的措施。位置要求靠近输入或输出端,为避免输入端/输出端线缆上的高频干扰辐射影响到其他电路,输入线/输出线不得并行走线,不得靠近走线,以免相互串扰造成该干净的干净不了;滤波器壳体是金属壳体,接地要求面接地而不是线接地,须保证整个面与地接触良好,不能仅靠固定引脚的螺丝或上面引出的接地导线来接地,导线接地的引线电感量大,高频接地阻抗偏高导致高频接地不良,滤波效果不好;接地线缆不宜用拧接方式,必须选用焊接方式。

(9) 滤波器的  $Q$  值:  $Q$  值对实际滤波效果影响不大,但  $Q$  值代表的是损耗/输入功率,  $Q$  值越高,说明损耗越大,意指会有部分能量在滤波器的电感上被损耗掉。在一般的低功率电源滤波器和信号滤波器上,此问题不会太突出。但在较大功率的滤波器上,这个损耗不可小视,一是会引起发热,发热后的电容会引起较大的负面影响,漏电流、耐压、容值等都会随温度变化而变化;二是耗电量大会导致无谓的电损失。

#### 4. 接触器

接触器的类型有两种:交流电动机采用交流接触器,直流负载采用直流接触器。当直流负载比较小时,也可选用交流接触器,但触头的额定电流应大些。

主触头额定电压的选择:接触器主触头的额定电压应大于或等于负载回路的额定电压。

主触头额定电流的选择:接触器主触头的额定电流应等于电阻性负载的工作电流。若是电感性负载,则主触头的额定电流应大于电动机等电感性负载的额定电流。

吸引线圈电压的选择:交流线圈,36V、110V、127V、220V、380V;直流线圈,24V、48V、110V、220V、440V。一般交流负载用交流线圈,直流负载用直流线圈;但交流负载频繁动作时,可采用直流线圈的接触器。

触头数量及触头类型的选择:通常接触器的触头数量应满足控制支路的要求,触头类型应满足控制线路的功能要求。

接触器选型经验:①交流接触器的电压等级要和负载相同,选用的接触器类型要和负载相适应。②负载的计算电流要符合接触器的容量等级,即计算电流小于或等于接触器的额定工作电流。接触器的接通电流大于负载的启动电流,分断电流大于负载运行时分断需要电流,负载的计算电流要考虑实际工作环境和工况,对于启动时间长的负载,30min 峰值电流不能超过约定发热电流。③按短时的动、热稳定校验。线路的三相短路电流不应超过接触器允许的动、热稳定电流,当使用接触器断开短路电流时,还应校验接触器的分断能力。④接触器吸引线圈的额定电压、电流及辅助触头的数量、电流容量应满足控制回路接线要求。要考虑接在接触器控制回路的线路长度,一般推荐的操作电压值,接触器要在 85%~110%的额定电压值下工作。如果线路过长,电压降太大,接触器线圈对合闸指令有可能不起反应;线路电容太大,可能对跳闸指令不起作用。⑤根据操作次数校验接触器所允许的操作频率。如果操作频率超过规定值,额定电流应该加大一倍。⑥短路保护元件参数应该和接触器参数配合选用。选用时可参见样本手册,样本手册一般给出的是接触器和熔断器的配合表。⑦接触器和其他元器件的安装距离要符合相关国标、规范,要考虑维修和走线距离。

#### 5. 电动机

选用伺服电机时,对电机外部工况要关注以下 5 个因素:

(1) 负载机构(确定机构类型以及其细节数据,如滚珠丝杠长度、滚珠丝杠的直径、行程和带轮直径等)。

三种典型的负载机构类型如图 3-6 所示。

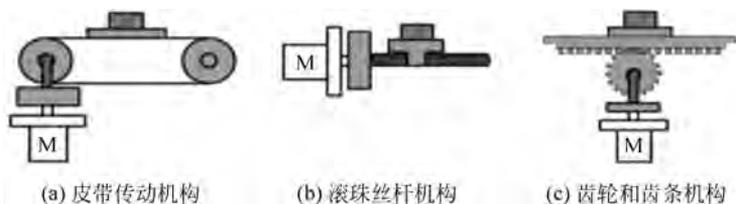


图 3-6 三种典型的负载机构类型

(2) 动作模式(决定控制对象部分的动作模式,时间与速度的关系;将控制对象的动作模式换算为电机轴上的动作形式;确定运行模式,包括加速时间、匀速时间、减速时间、停止时间、循环时间和运动距离等参数)。

(3) 负载的惯量、转矩和转速(经换算可得到电机轴上的全负载惯量和全负载转矩)。

(4) 定位精度(确认编码器的脉冲数是否满足系统要求规格的分辨率)。

(5) 使用环境(如环境温度、湿度、使用环境大气及振动冲击等)。

在进行完以上计算之后,基本可以初步地选定电机。

在选用对应伺服电机规格时需要关注以下方面:电机容量(W)、电机额定转速(r/min)、额定扭矩及最大扭矩( $N \cdot m$ )、转子惯量( $kg \cdot m^2$ )、抱闸(制动器)、体积、重量、尺寸。

(6) 电机选型的基本步骤如图 3-7 所示。改进的措施有增加减速机构、变更速度曲线、选择大容量电机和降低负载惯量等方法。

控制电动机选型:搬运工作站需要用传送带运输料块,传送带通过电动机驱动。由于工作站传送带的速度变化频率不高,选用步进电动机即可满足要求。

由于减速齿轮和皮带轮的惯量都很小,根据负载惯量计算公式可知,总负载惯量值也会较小,进而可初步选用小惯量的电动机。由加/减速转矩公式可知,当负载惯量和电动机惯量都不大时,得到的加/减速转矩也就不大。由于工件质量较小,对传送带带动工件运输的力的要求也就不大,进而由负载转矩计算公式得知,得到的负载转矩值较小。因为必要转矩为加/减速转矩与负载转矩之和,所以得到的必要转矩较小,进而对电动机最大同步转矩的要求不大。因为对电动机的惯量和最大同步转矩的要求都不高,所以选用轻型的步进电动机即可满足要求。

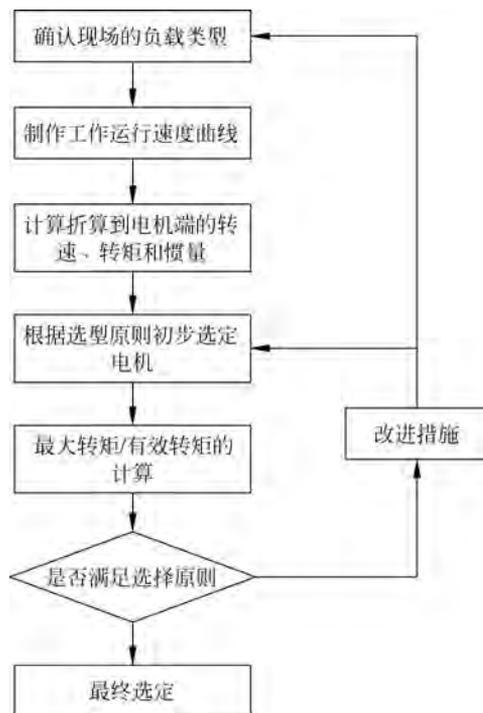


图 3-7 电机选型的基本步骤

### 6. 制动电阻

制动电阻是用于将伺服电机的再生能量以热能方式消耗的载体,包括电阻阻值和功率容量两个重要的参数。通常在工程上选用较多的是波纹电阻和铝合金电阻两种,波纹电阻采用表面立式波纹有利于散热、减低寄生电感量,并选用高阻燃无机涂层,有效保护电阻丝不被老化,延长使用寿命。铝合金电阻易紧密安装、易附加散热器。

需要考虑:总是将最大驱动器连接到供电电源上;确保连接到供电电源上的直流母线的电容没有超过最大可允许范围;所有连接在一起的驱动器的功率不能超过连接到供电电源的伺服驱动器的可允许功率;制动能量不能超过制动电阻的最大功率。

选型相关要点:

① 直流母线回路上可并联电容的大小:直流母线回路上电容并不能无限加大,考虑到电容加大将提高充电时的充电电流,所以该并联电容大小由充电回路上的电阻或可控整流回路来决定,该最大可允许外接并联电容应由厂家指定。

② 当前伺服驱动器的直流母线多采用多个耐压为 400V 的电压并串联的方式,当回路电压接近 800V(750V~780V)时,制动单元导通,制动电阻投入使用。在外接电容时,需要考虑外接电容的电压尽量均等。

③ 制动电阻的选型参数:常用的制动电阻有波纹电阻、铝合金电阻。前者价格便宜但是过载能力不高;后者价格略高、过载能力较好。制动电阻最重要的三个参数是电阻阻值、连续运行功率、最大功率。

④ 制动电阻越好,则制动效果越好。制动单元的可允许通过电流,决定了制动电阻的最小阻值。故该参数需由厂家决定。实际选择电阻通常阻值略大于最小允许阻值。

⑤ 制动电阻连续功率和最大功率可以计算。如果无法计算准确,可以参考总功率的  $1/3 \sim 1/2$  来选择连续功率。

## 3.4 搬运码垛机器人机械结构选型及安装

机械结构选型方法:为了全面地学习大部分的输送线,采用了皮带线、辊筒线、倍速链集成在一起的搬运码垛机器人工作站的输送线,如图 3-8 所示。

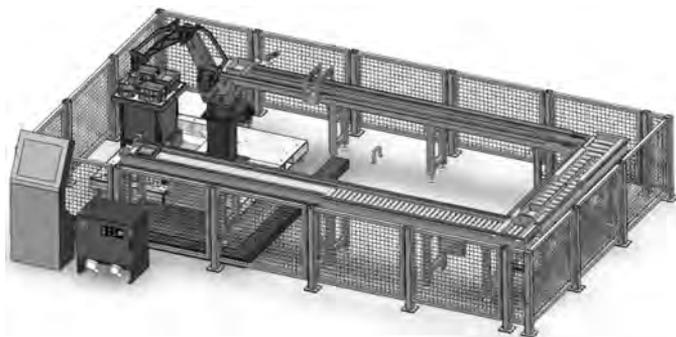


图 3-8 工业搬运码垛机器人系统整体效果

安装过程：将皮带线、辊筒线、倍速链依次就位，输送线调平后采用膨胀螺栓固定，如图 3-9 所示。



图 3-9 输送线定位

机器人底拍定位和机器人底座安装，如图 3-10 所示。

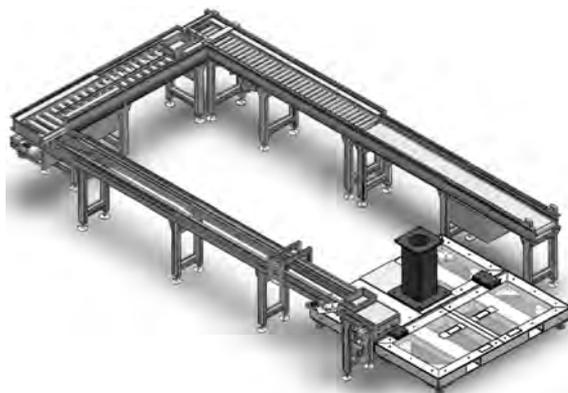


图 3-10 机器人底拍定位和底座安装

机器人、夹具安装和工作台位置固定，如图 3-11 所示。

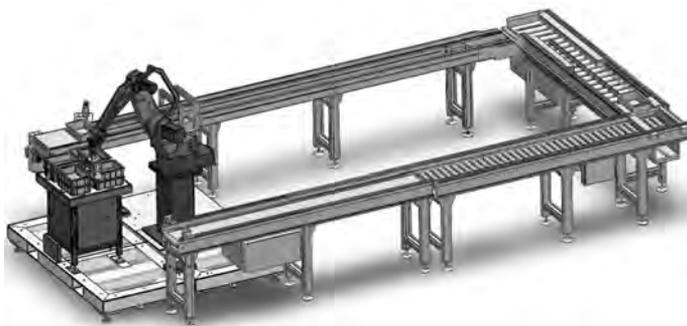


图 3-11 机器人、夹具和工作台的安装定位

电气控制柜定位和电气系统布线，如图 3-12 所示。

最后安装安全护栏(图 3-13)，就可以进行系统上电调试了。

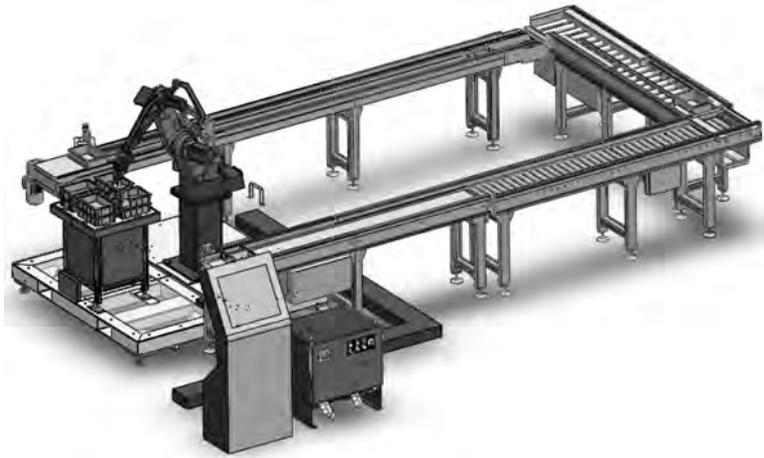


图 3-12 控制柜定位和系统布线

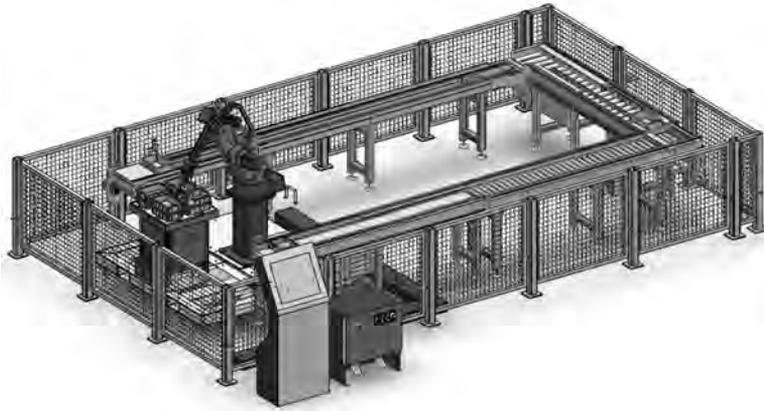


图 3-13 设置安全护栏