



江苏大学测控系

《机电光仪一体化技术》



第2章 机械系统设计技术

2014年7月17日星期四





知识点：

机械设计概述

传动部件设计

轴系设计

支撑件设计

执行机构设计





机电光仪一体化机械系统应包括如下三大部分机构。

- (1) **传动机构** 机电光仪一体化机械系统中的传动机构不仅仅是转速和转矩的变换器，而是已成为伺服系统的一部分。
- (2) **导向机构** 其作用是支承和导向，为机械系统中各运动装置能安全、准确地完成其特定方向的运动提供保障。
- (3) **执行机构** 执行机构根据操作指令的要求在动力源的带动下，完成预定的操作。





2.1 机械设计概述

各种机械从构思到实现要经过**设计和制造**两个不同的阶段。机械设计是机械生产的第一道工序。

在机电产品的设计制造中，设计人员根据市场对产品的需求和公司对产品的定位，提出机械设计的任务，运用各种先进的设计方法，获得一个既满足使用要求的产品设计方案，绘制出全部生产用图。





2.1 机械设计概述

2.1.1 机电光仪一体化对机械系统的要求

- (1) 采用**低摩擦阻力**的传动部件和导向支承部件。
- (2) **缩短传动链**，提高传动与支承**刚度**。
- (3) 选用**最佳传动比**，以达到提高系统分辨率、减少等效到执行元件输出轴上的等效转动惯量。
- (4) **缩小反向死区误差**，如采取消除传动间隙、减少支承变形的措施。
- (5) **改进支承及架体的结构设计**以提高刚性、减少振动、降低噪声。





2.1 机械设计概述

2.1.2 机械系统的组成

机电光仪一体化机械系统应包括如下三大部分机构。

- (1) 传动机构，机电光仪一体化机械系统中的传动机构不仅仅是转速和转矩的变换器，而是已成为伺服系统的一部分，它要根据伺服控制的要求进行选择设计，以满足整个机械系统良好的伺服性能。
- (2) 导向机构，其作用是支承和导向，为机械系统中各运动装置能安全、准确地完成其待定方向的运动提供保障。
- (3) 执行机构，它是用以完成操作任务的。执行机构根据操作指令的要求在动力源的带动下，完成预定的操作。



2.2 传动部件设计

- ◆ 机电光仪一体化机械系统应具有良好的伺服性能，从而要求**传动机构满足**以下几个方面：转动惯量小、刚度大、阻尼合适，此外还要求摩擦小、抗振性好、间隙小，特别是其动态特性与伺服电动机等其他环节的动态特性相匹配。
- ◆ 常用的**机械传动部件**有螺旋传动、齿轮传动、同步带、高速带传动以及各种非线性传动部件等。其主要功能是传递转矩和转速。因此，它实质上是一种转矩、转速变换器。





2.2 传动部件设计

机电光仪一体化技术要求传动机构：

- (1) **精密化**：对于某种特定的机电光仪一体化产品来说摄影其性能的需要提出适当的精密度要求
- (2) **高速化**：产品效率的高低，直接与机械传动部分的运动速度相关。
- (3) **小型化、轻量化**：随着机电光仪一体化系统（产品）的精密化、高速化的发展，必然要求其传动机构小型化和轻量化。





2.2 传动部件设计

2.2.1 带传动

带传动是通过环状挠性件，在两个或多个传动轮之间传递运动和动力的机械传动装置，又称为**挠性件传动**。具有结构简单、维护方便和成本低廉等特点，适用于两轴中心距较大的传动。





2.2 传动部件设计

一、带传动的类型、结构和特点

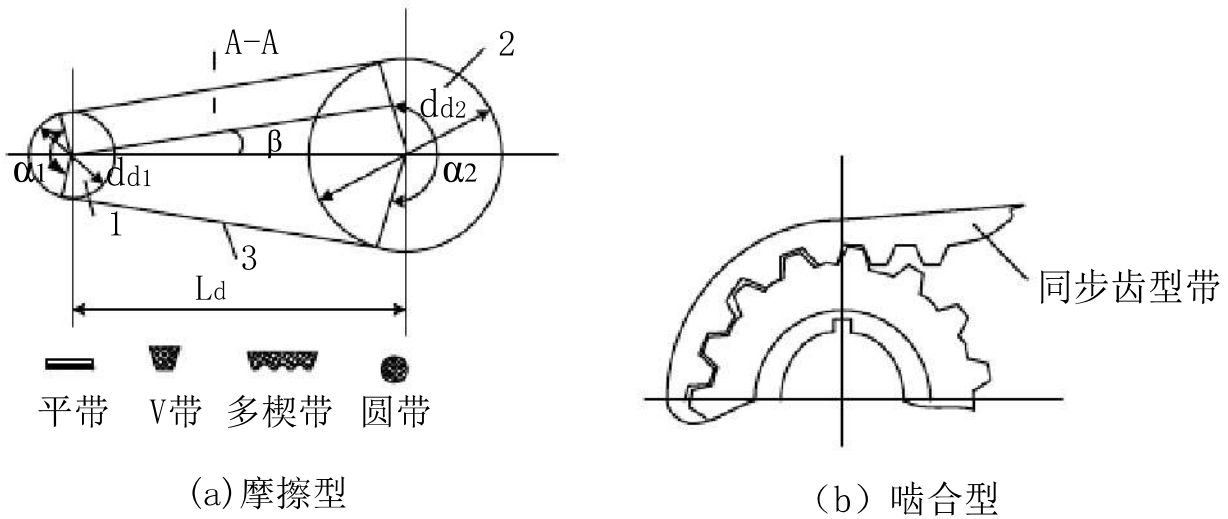


图2-1



2.2 传动部件设计

(1) 带传动的主要优点

带具有良好的弹性；过载时，带在带轮上打滑，可防止其他零件损坏；适用于两轴中心距较大的场合；结构简单，制造、安装和维护方便，成本低。

(2) 带传动的主要缺点

带在带轮上有相对滑动，不能保证准确的传动比；传动效率较低，带的寿命较短；传动的外廓尺寸大；带传动需要张紧，支承带轮的轴和轴承受力较大。



2.2 传动部件设计

二、带传动的张紧装置

带传动是依靠带与带轮间的摩擦力工作的，所以安装时，传动带必须以一定的预紧拉力紧套在带轮上，但V带不是完全弹性体，工作一定时间后，其初拉力必将因带的塑性变形而减小，产生松弛现象，使传动能力下降，甚至失效，故必须适时地补充张紧。





2.2 传动部件设计

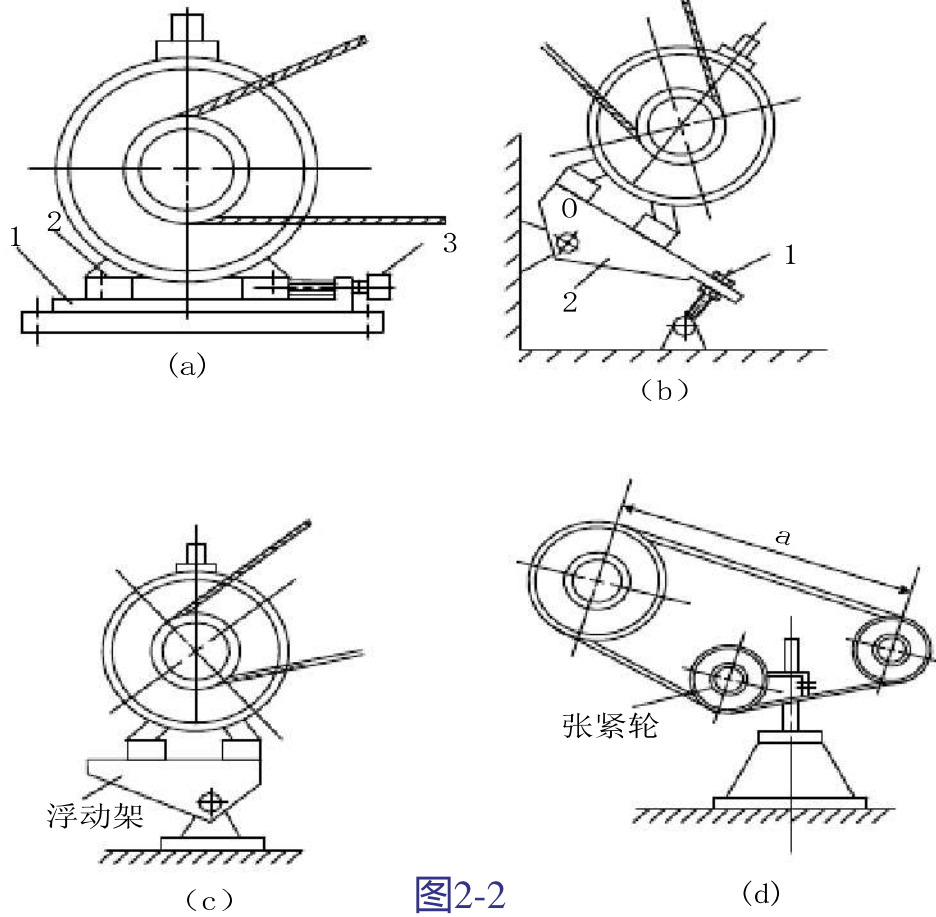


图2-2



2.2 传动部件设计

2.2.2 谐波齿轮传动

谐波齿轮传动具有结构简单、传动比大（几十到几百）、传动精度高、回程误差小、噪声低、传动平稳、承载能力强、效率高等优点。故在工业机器人、航空、火箭等机电一体化系统中日益得到广泛的应用。





2.2 传动部件设计

2.2.3 滚珠螺旋传动

滚动螺旋传动的滚动体有球和滚子两大类。

一、滚珠丝杠副的组成

滚珠丝杠副是在丝杠和螺母间以钢球为滚动体的螺旋传动部件，它可将旋转运动变为直线运动，或相反。

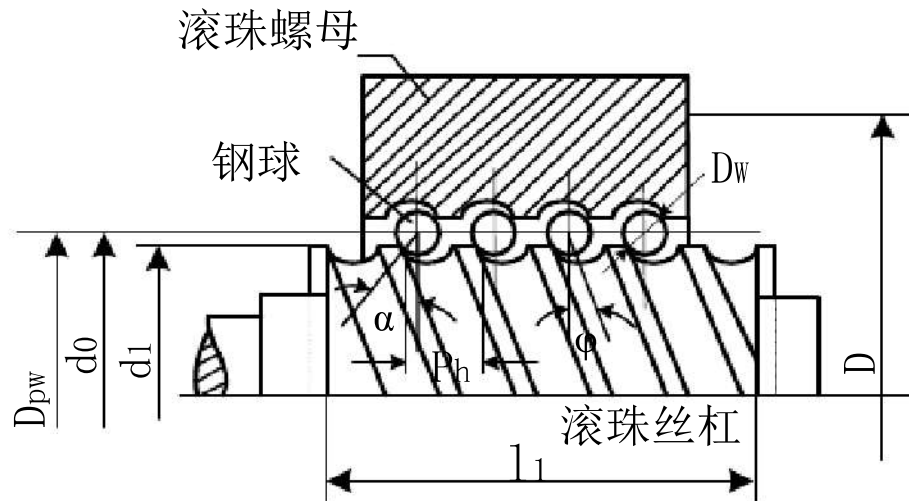


图2-3



2.2 传动部件设计

二、滚珠丝杠副的结构、及精度等级

(1) 螺纹滚道型面的(法向)形状及主要尺寸

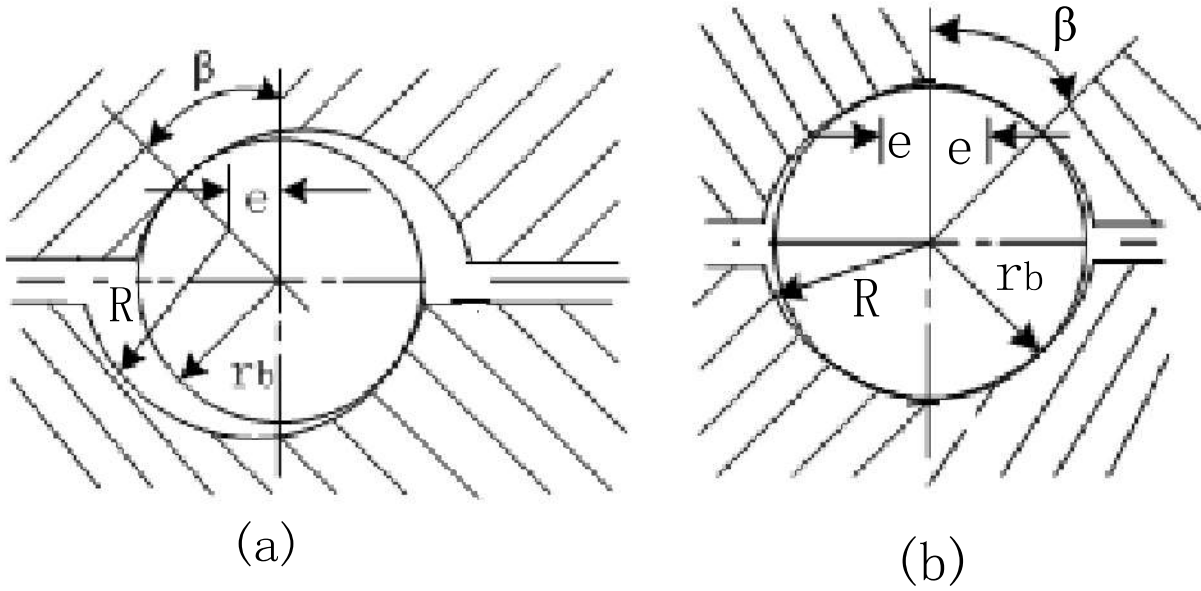
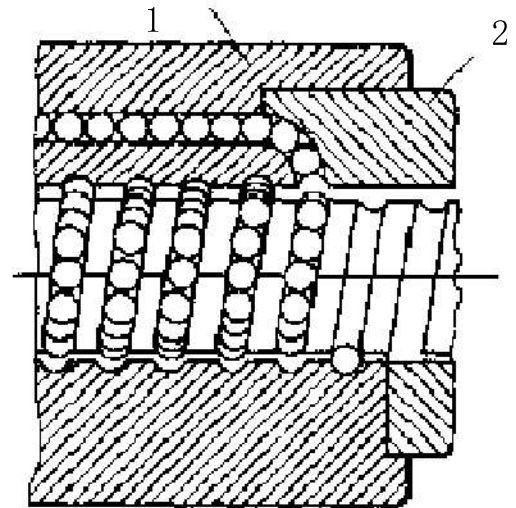
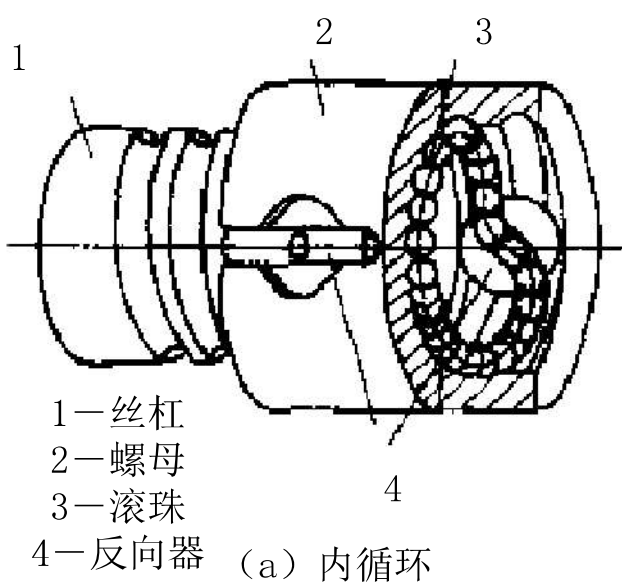


图2-4



2.2 传动部件设计

(2) 滚珠的循环方式。滚珠丝杠副中滚珠的循环方式有内循环和外循环两种。



(b) 端盖式外循环

图2-5



2.2 传动部件设计

三、滚珠丝杠副的特点

- (1) 传动效率高
- (2) 运动具有可逆性
- (3) 系统刚度好
- (4) 传动精度高
- (5) 使用寿命长
- (6) 不能自锁
- (7) 制造工艺复杂





2.3 轴系

轴系由轴及安装在轴上的齿轮、带轮等传动部件组成，有主轴系和中间传动轴系。它支承着其他转动件回转并传递转矩，同时它又通过轴承和机架连接。

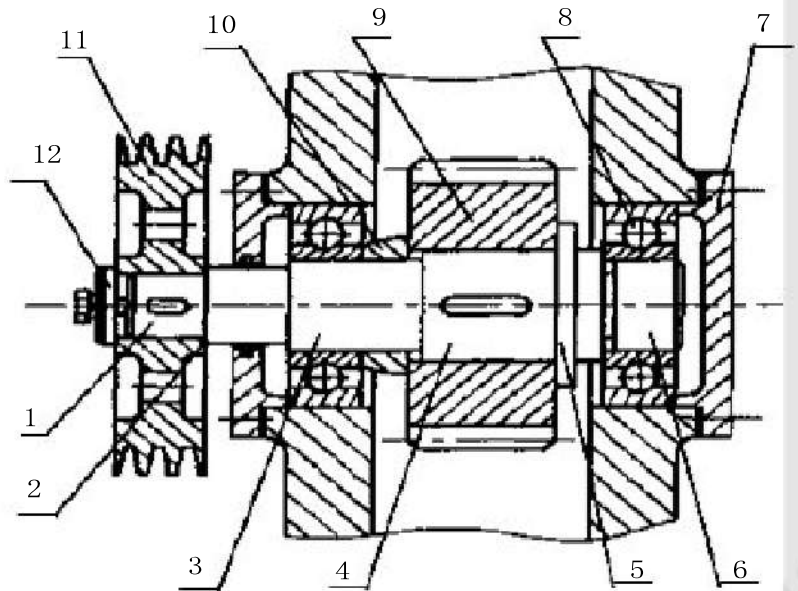


图2-6

- | | | | | |
|-------|-----|-------|------|--------|
| 1、4轴头 | 2轴肩 | 3、6轴颈 | 5轴环 | 7轴承盖 |
| 8滚动轴承 | 9齿轮 | 10套筒 | 11带轮 | 12轴端挡圈 |



2.3 轴系

2.3.1 轴

一、轴的分类

轴按受载情况分：

- (1) **转轴** 既支承传动机件又传递动力，即承受弯矩和扭矩两种作用
- (2) **心轴** 只起支承旋转机件作用而不传递动力，即只承受弯矩作用。
- (3) **传动轴** 主要传递动力，即要承受扭矩作用。





二、轴的材料

轴的常用材料种类很多，设计时主要根据对轴的强度、刚度、耐磨性等要求，以及为实现这些要求而采用的热处理方式。

三、轴的结构设计

轴的结构决定于受载情况，轴上零件的布置和固定方式，轴承的类型和尺寸、轴的毛坯、制造和装配工艺及安装、运输等条件。



2.3 轴系

2.3.2 轴承

轴承是支承轴的部件。根据轴承工作时的摩擦性质，轴承可分为滑动摩擦轴承（简称滑动轴承）和滚动摩擦轴承（简称滚动轴承）。

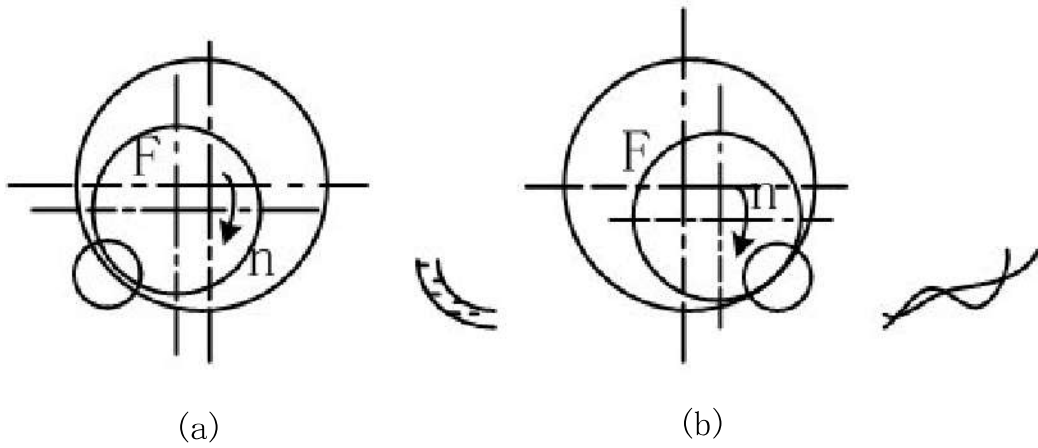


图2-7 滑动轴承的摩擦状态



2.3 轴系

一、滑动轴承

滑动轴承的类型较多，按其承受载荷方向的不同，可分为径向滑动轴承（承受径向载荷）和止推滑动轴承（承受轴向载荷）。

（1）滑动轴承的失效形式

- ①磨粒磨损
- ②疲劳剥落
- ③刮伤
- ④腐蚀
- ⑤胶合

（2）轴瓦的结构及轴承材料





2.3 轴系

(3) 非液体摩擦滑动轴承

采用润滑脂或滴油形式润滑的滑动轴承，由于接触表面间得不到足够的润滑剂，难以形成一个完整的承载油膜，轴承只能在混合摩擦润滑状态下工作（即边界润滑和液体润滑同时存在）。

(4) 液体摩擦滑动轴承

液体摩擦是滑动轴承工作时的理想摩擦状态。依据轴承获得液体润滑原理的不同，可分为液体动压滑动轴承和液体静压滑动轴承。





2.3 轴系

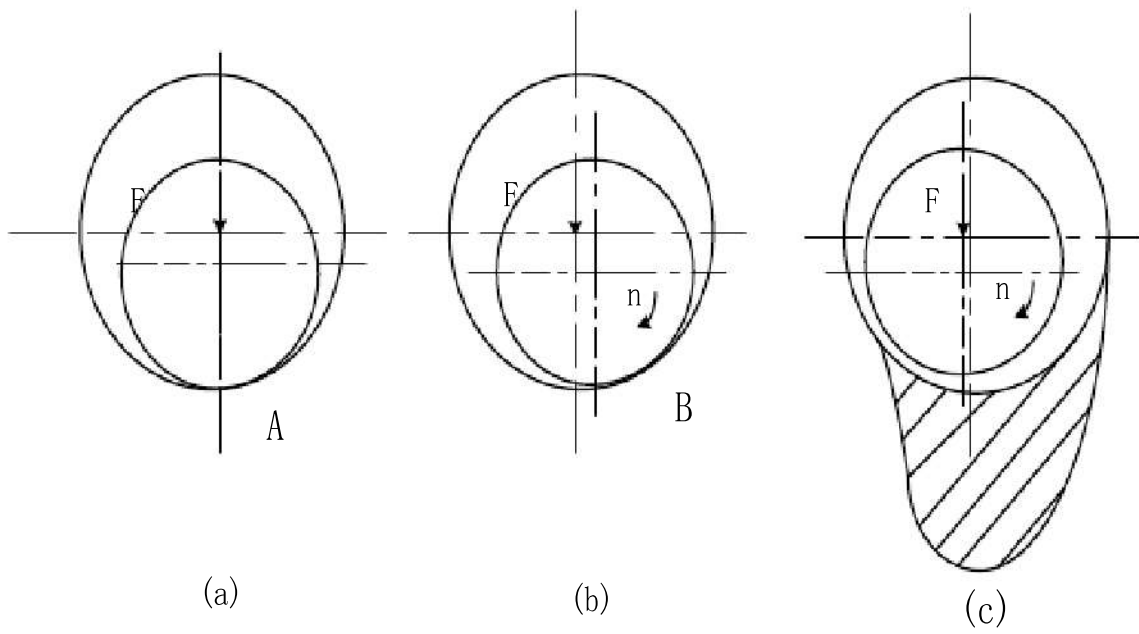


图2-8 液体动压润滑轴承工作原理





2.3 轴系

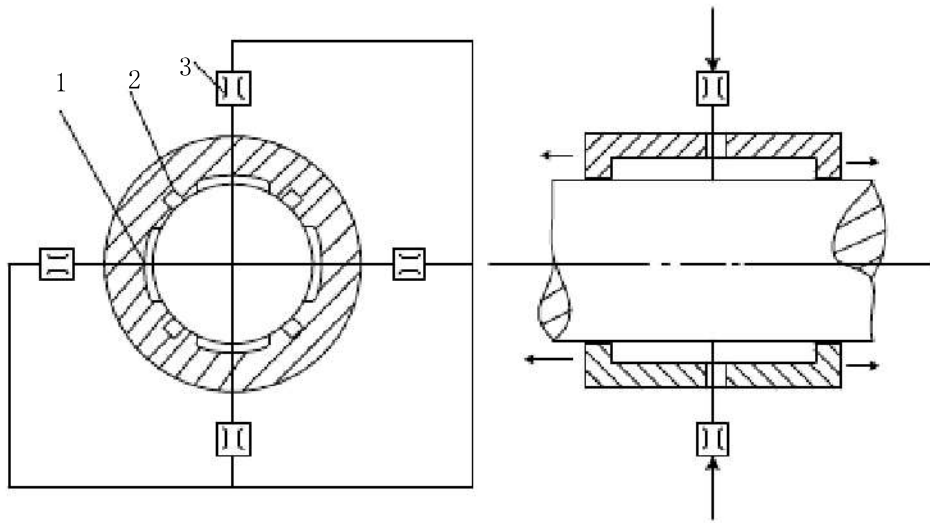


图2-9 液体静压径向滑动轴承
1—油腔 2—油槽 3—节流器





二、滚动轴承

滚动轴承是依靠主要元件间的滚动接触来支承转动零件的。

(1) 滚动轴承的结构及滚动体

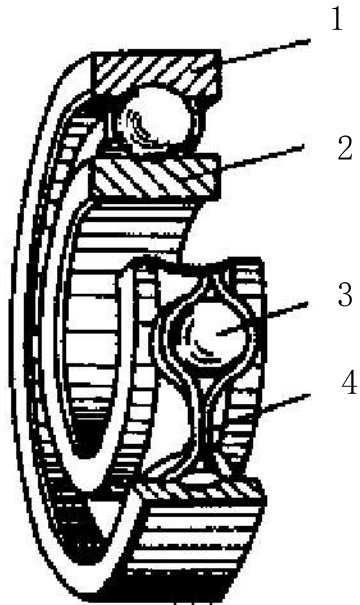


图2-10 滚动轴承
1—外圈 2—内圈 3—滚动体 4—保持架



2.3 轴系

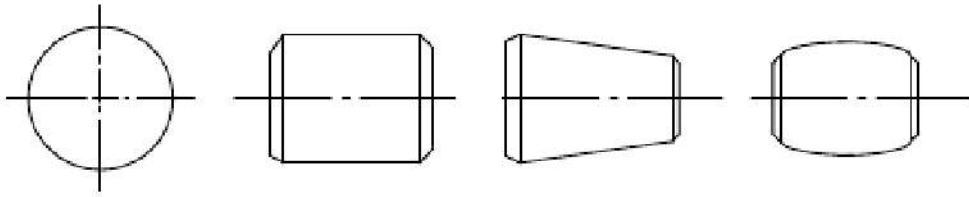


图2-11 滚动体

滚动轴承的类型很多，按轴承承受载荷的作用方向，可分为径向接触轴承，它主要用于承受径向载荷；向心角接触轴承，能同时承受径向及单万向轴向载荷；轴向接触轴承，只能承受轴向载荷。





(2) 滚动轴承的失效形式

- ① 疲劳点蚀，滚动轴承的正常失效形式是滚动体或内外圈滚道上的点蚀破坏。
- ② 塑性变形，若轴承的工作转速很低 ($n < 10\text{r/min}$) 或仅作间歇摆动，则一般不会出现疲劳点蚀破坏。

(3) 滚动轴承的密封

滚动轴承的密封是为了防止外部的水分、灰尘及杂物进入轴承，亦防止轴承内润滑剂的流失。





2.4 机械支撑件设计

- ◆ 机电系统的**支撑部件**包括**导向支撑部件**，**旋转支撑部件**和**机座机架**。
- ◆ **导向支撑部件**的作用是**支撑和限制运动部件按给定的运动要求和规定的运动方向运动**。这样的部件通常被标为**导轨副**，简称**导轨**。





2.4 机械支撑件设计

2.4.1 导向支承部件

导轨副主要由承导件1和运动件2两部分组成，如图2-20所示。运动方向为直线的被称为直线导轨副，为回转的被称为回转运动导轨副。常用的导轨副种类很多，按其接触面的摩擦性质可分为滑动导轨、滚动导轨、流体介质摩擦导轨等。





2.4 机械支撑件设计

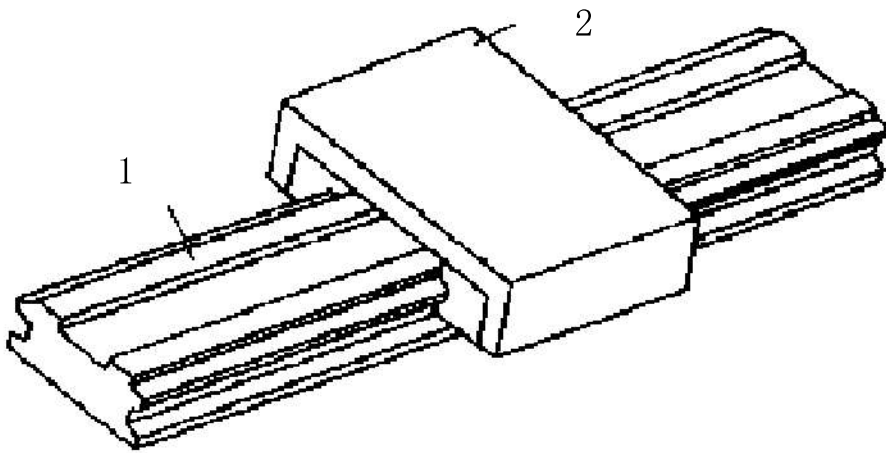


图2-12 导轨副的组成
1—承导件 2—运动件





2.4 机械支撑件设计

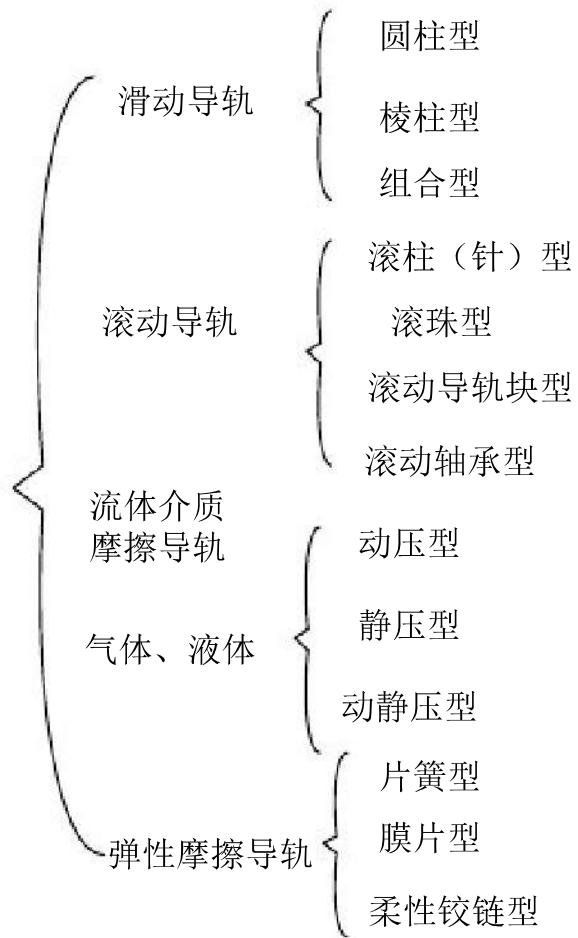


图2-13 导轨副的分类



2.4 机械支撑件设计

一、导轨副的截面形状及其特点

常见的导轨截面形状，有三角形（分对称、不对称两类）、矩形、燕尾形及圆形等四种，每种又分为凸形和凹形两类。凸形导轨不易积存切屑等脏物，也不易储存润滑油。宜在低速下工作，凹形导轨则相反，可用于高速，但必须有良好的防护装置，以防切屑等脏物落入导轨。





2.4 机械支撑件设计

二、导轨副间隙的调整

为保证导轨正常工作，导轨滑动表面之间应保持适当的间隙。间隙过小、会增加摩擦阻力；间隙过大，会降低导向精度。

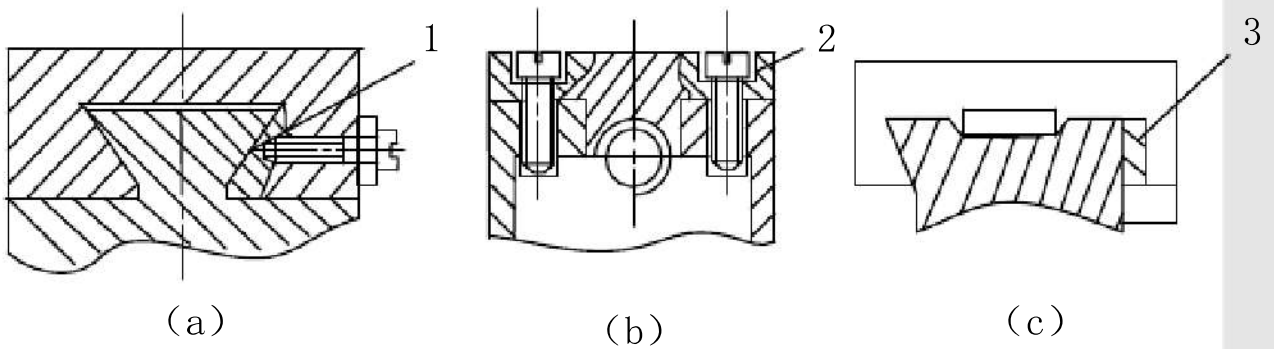


图2-14 燕尾型导轨及其组合的间隙调整
1—斜镶条 2—压板 3—直镶条



2.4 机械支撑件设计

三、静压导轨副

静压导轨是将具有一定压力的油或气体介质通过导轨的运动件与导向支承件之间，运动件浮在压力油或气体形膜之上，与导向支承件脱离接触，致使摩擦阻力（力矩）大大降低。运动件受外载荷作用后，介质压力会反馈升高，以支承外载荷。





2.4 机械支撑件设计

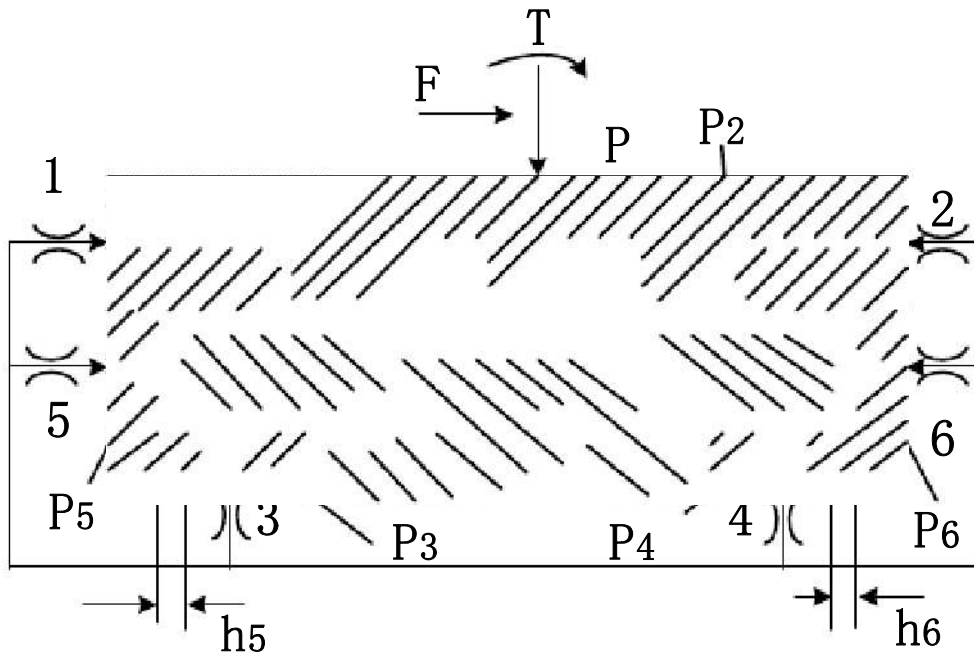


图2-15 闭式液体静压导轨工作原理图



四、滚动导轨副

(1) 直线运动滚动导轨副的特点及要求

滚动导轨作为滚动摩擦副的一类，具有许多特点：灵敏度高，摩擦阻力小，运动灵活；摩擦系数为（ $0.003 \sim 0.005$ ），动、静摩擦系数基本相同，因而启动阻力小，而不易产生爬行；可以预紧，刚度强；寿命长、定位精度高可达 $0.2\mu\text{m}$ ，润滑方便；可以采用脂润滑。一次装填，长期使用。





2.4 机械支撑件设计

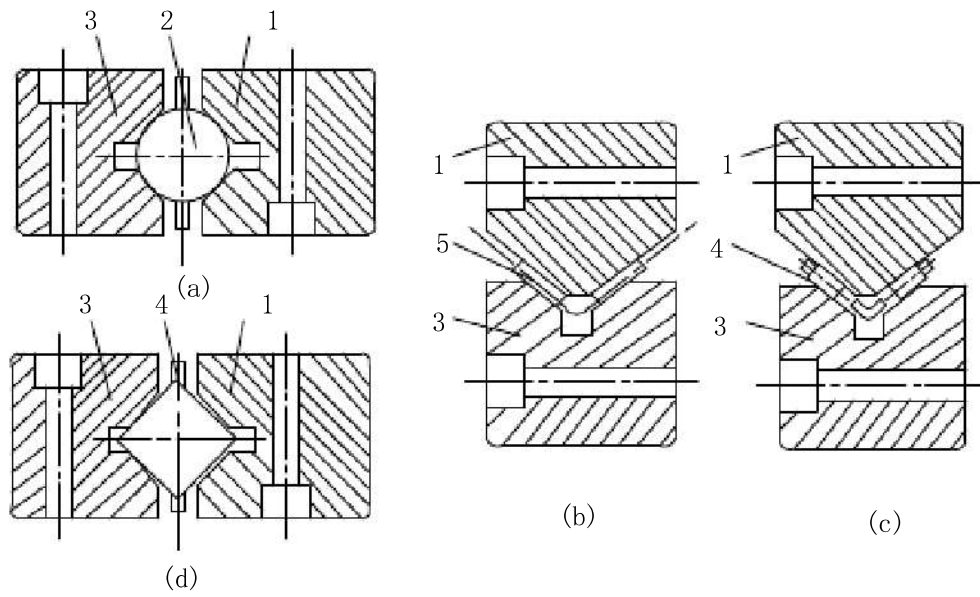


图2-16 滚动体不循环的滚动导轨副
1—动导轨 2—滚珠 3—定导轨 4—滚柱 5—滚针



2.4 机械支撑件设计

2.4.2 旋转支承部件

一、旋转支承的种类及基本要求

旋转支承中的运动件相对于支承导件转动或摆动时，按其相互摩擦的性质可分为滑动、滚动、弹性、气体（或液体）摩擦支承。滑动摩擦支承按其结构特点可分为圆柱、圆锥、球面和顶针支承；滚动摩擦支承按其结构特点，可分为填入式滚珠支承和刀口支承。





2.4 机械支撑件设计

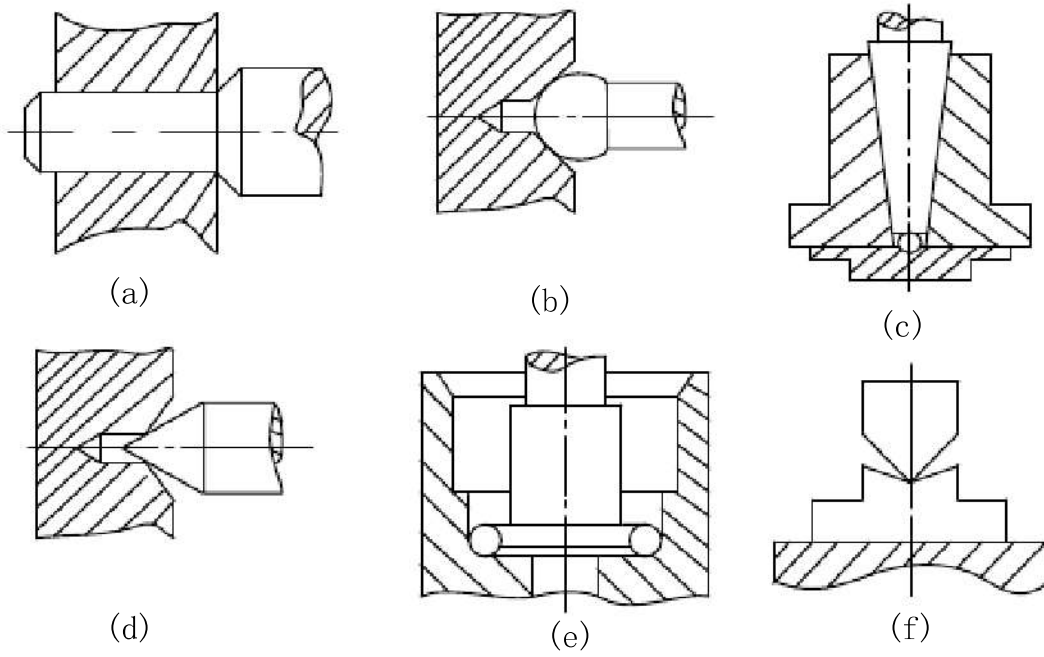


图2-17 各种支承结构简图





2.4 机械支撑件设计

二、圆柱支承

这种支承具有较大的接触表面，承受载荷较大。但其方向精度和置中精度较差，且摩擦阻力矩较大。

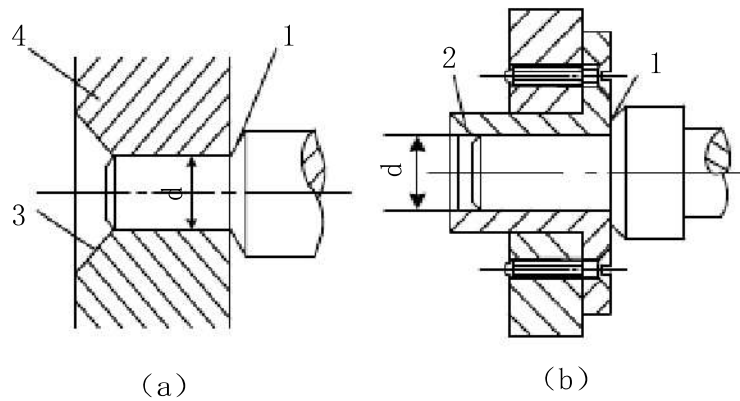


图2-18 圆柱支承结构



2.4 机械支撑件设计

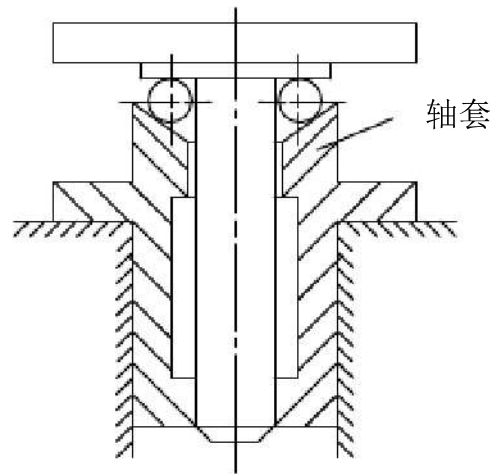


图2-19 半运动学圆柱支承



三、圆锥轴承

圆锥轴承的分向精度和置中精度较高，承载能力较强，但摩擦阻力矩也较大。圆锥轴承由锥形轴颈和具有圆锥孔的轴承组成。

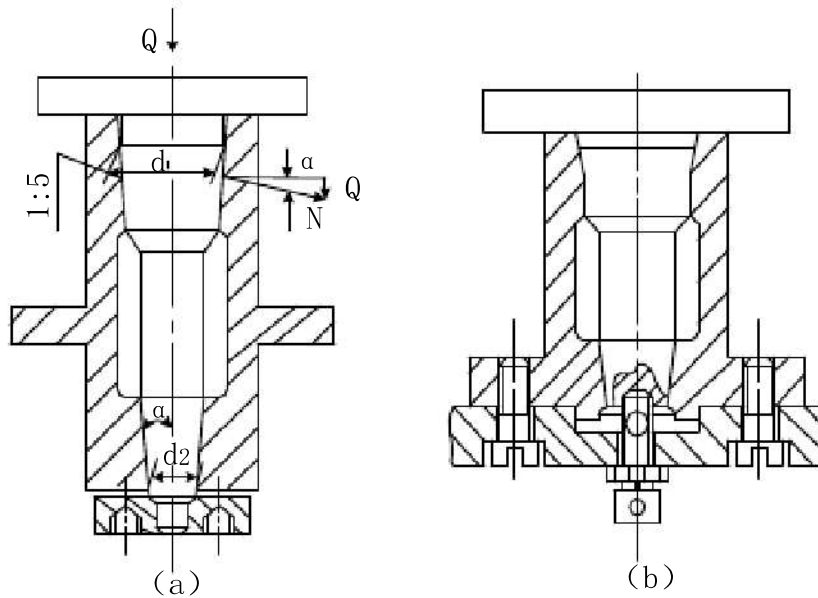


图2-20 填入式滚动支承形式



2.4 机械支撑件设计

四、其他支承

- (1) 填入式滚动支承
- (2) 顶针支承
- (3) 球面支承
- (4) 刀口支承





2.4 机械支撑件设计

2.4.3 机架与机座

一、机座机架的作用及基本要求

机座或机架是支承其他零部件的基础部件。它既承受其他零部件的重量和工作载荷，又起保证各零部件相对位置的基准作用。

在设计时，首先应对某些关键表面及其相对位置精度提出相应的精度要求，以保证产品总体精度。其次，机架或机座的变形和振动将直接影响产品的质量和正常运转。





2.4 机械支撑件设计

二、机座机架的结构设计要点

机座或机架的结构设计必须保证其自身刚度、连接处刚度和局部刚度，同时要**考虑安装方式、材料选择、结构工艺性以及节省材料、降低成本和缩短生产周期**等问题。

(1) **合理选择截面形状和尺寸。机座虽受力复杂，但不外是拉、压、弯、扭的作用。**

(2) **合理布置肋板和加强肋封闭空心截面的刚度较高。但为了便于铸造清砂及其内部零部件的装配和调整，需要在机座上开“窗口”，结果使其刚度显著降低。**

(3) **合理的开孔和加盖。在机座壁上开窗孔，将显著降低机座的刚度，特别是扭转刚度。**



2.4 机械支撑件设计

三、机座刚度的模拟试验

由于机座的结构形状复杂，用力学方法计算刚度很困难。采用模型试验方法，则可测得与实际较接近的变形量。模型试验，就是将实物按比例缩小制成模型，利用模型模拟实物进行试验。模型试验可以用来进行静态和动态试验，也可进行抗振性和热变形试验等。





2.4 机械支撑件设计

2.4.4 润滑与润滑剂

一、润滑

运动部件间产生摩擦，摩擦导致磨损。为避免摩擦带来的能量损失和磨损带来的失效，润滑是一种常用的减摩降磨有效手段。在相对运动表面间加入润滑剂，使之免于工作在干摩擦状态，可以达到减小摩擦、降低磨损的效果，进而达到提高工作效率和延长使用寿命的目的。





2.4 机械支撑件设计

二、润滑剂

(1) 润滑剂的分类

润滑剂主要分为

流体润滑剂

气体润滑剂

半固体润滑剂和固体润滑型





2.4 机械支撑件设计

(2) 润滑剂的性能指标

润滑剂的常用性能指标有粘度、凝点、闪点、燃点、油性、滴点和锥入度等。

- ①粘度：是表达液体间粘性阻力大小的指标。
- ②凝点：润滑剂由液态向固态转换的最高温度。
- ③闪点：是润滑油在火焰下闪烁时的最低温度。
- ④燃点：是润滑剂闪烁持续5s以上时的最低温度。
- ⑤油性：是湿润、吸附于摩擦表面的性能。
- ⑥滴点：是脂受热后开始滴落时的温度。
- ⑦锥入度：是表征脂粘稠度指标。





2.5 机械执行机构设计

机电光仪一体化产品的执行机构是实现其主功能的重要环节，它应能快速地完成预期的动作，并具有响应速度快、动态特性好、动静态精度高、动作灵敏度高等特点，另外为便于集中控制，它还应满足效率高、体积小、质量轻、自控性强、可靠性高等要求。





2.5 机械执行机构设计

2.5.1 微动机构

微动机构是一种能在一定范围内精确、微量地移动到给定位置或实现特定的进给运动的机构。在机电光仪一体化产品中，它一般用于精确、微量地调节某些部件的相对位置。如在仪器的读数系统中，利用微动机构调整刻度尺的零位；在磨床中，用螺旋微动机构调整砂轮架的微量进给；在医学领域中各种微型手术器械均采用微动机构。





2.5 机械执行机构设计

2.5.2 定位机构

定位机构是机电光仪一体化机械系统中一种确保移动件占据准确位置的执行机构，通常采用分度机构和锁紧机构组合的形式来实现精确定位的要求。

分度工作台的功能是完成回转分度运动，在加工中自动实现工件一次安装完成几个面的加工。





2.5 机械执行机构设计

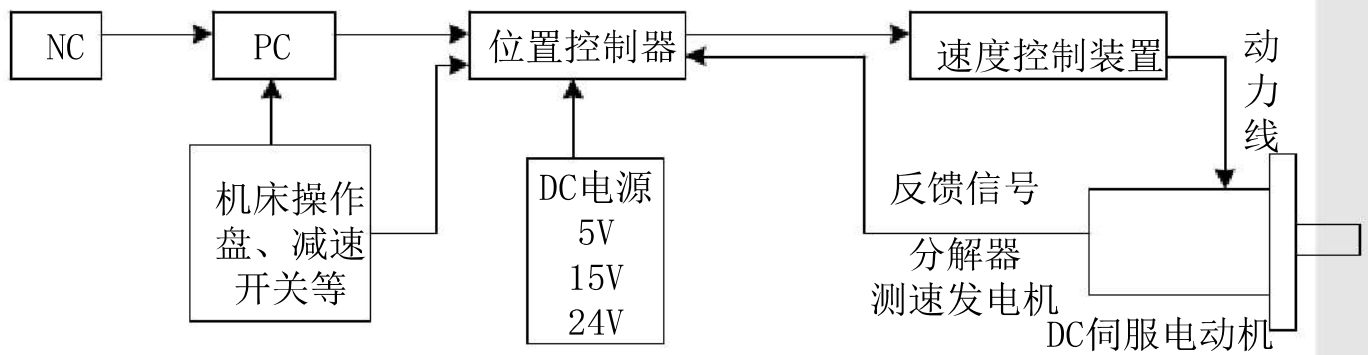


图2-21 分度工作台的旋转和粗定位的控制原理框图



2.5 机械执行机构设计

2.5.3 数控机床回转刀架

数控机床自动回转刀架是在一定空间范围内，能使刀架执行自动松开、转位、精密定位等一系列动作的一种机构。数控车床的刀架是机床的重要组成部分，其结构直接影响机床的切削性能和工作效率。





2.5 机械执行机构设计

2.5.4 工业机器人末端执行器

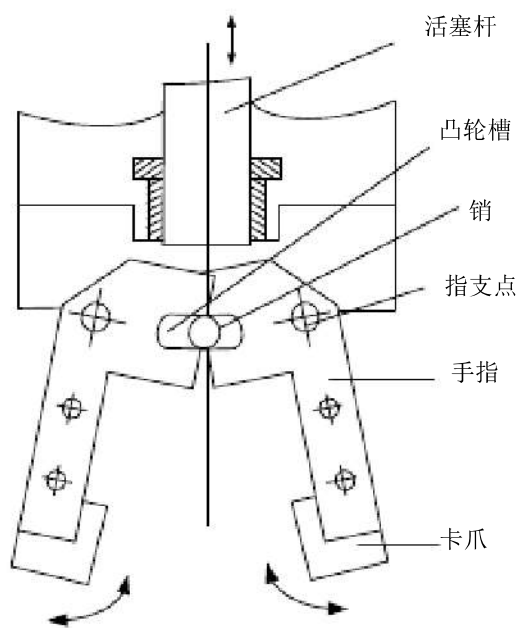
工业机器人是一种自动控制，可重复编程，多功能、多自由度的操作机，是的搬运物料、工件或操作工具以及完成其他各种作业的机电一体化设备。工业机器人末端执行器装在操作机手腕的前端，是直接实现操作功能的机构。

末端执行器因用途不同而结构各异，一般可分为三大类：机械夹持器、特种末端执行器、工具型末端执行器和万能手（或灵巧手）。

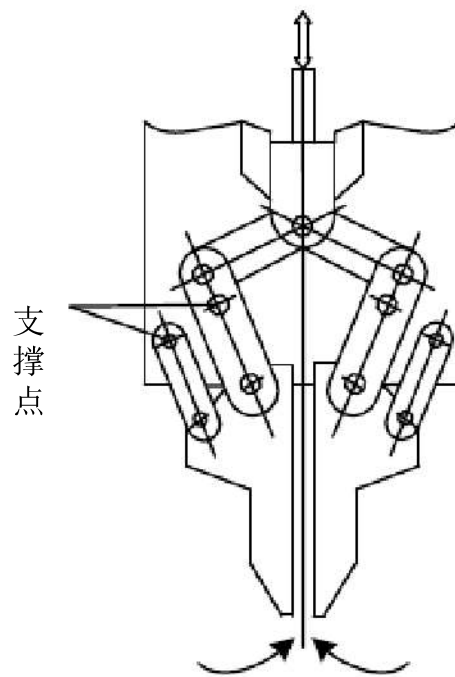




2.5 机械执行机构设计



(a) 圆弧开合型夹持器



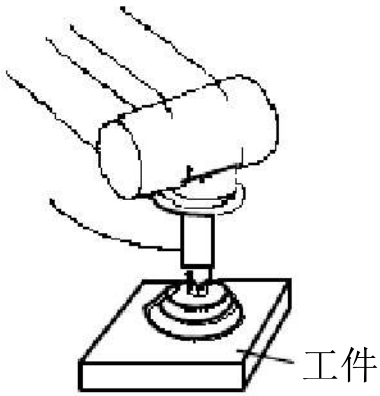
(b) 圆弧平行开合型夹持器

图2-22 圆弧型夹持器

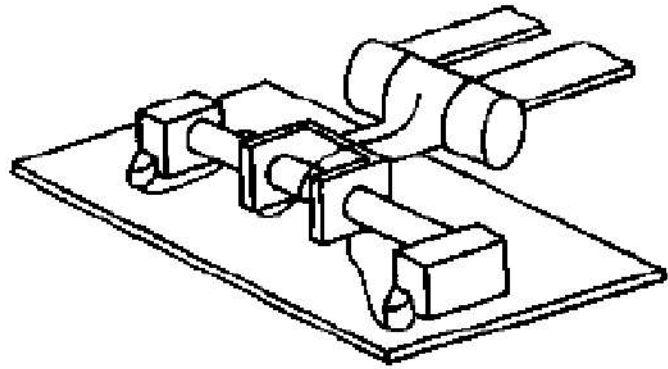


2.5 机械执行机构设计

二、特种末端执行器



(a) 真空吸附手



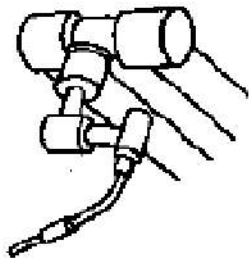
(b) 电磁吸附手

图2-23 特种末端执行器

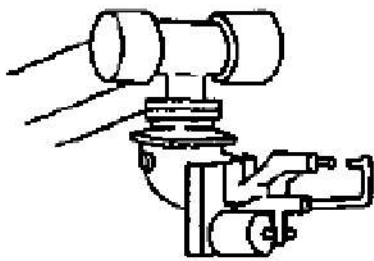


2.5 机械执行机构设计

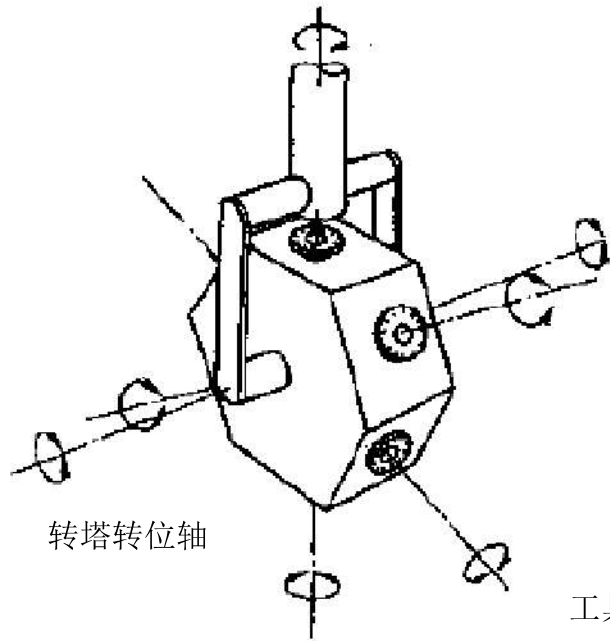
三、工具型末端执行器



(a) 弧焊焊枪



(b) 点焊枪



(c) 转塔式多功能末端执行器

图2-24 工具型末端执行器



四、灵巧手

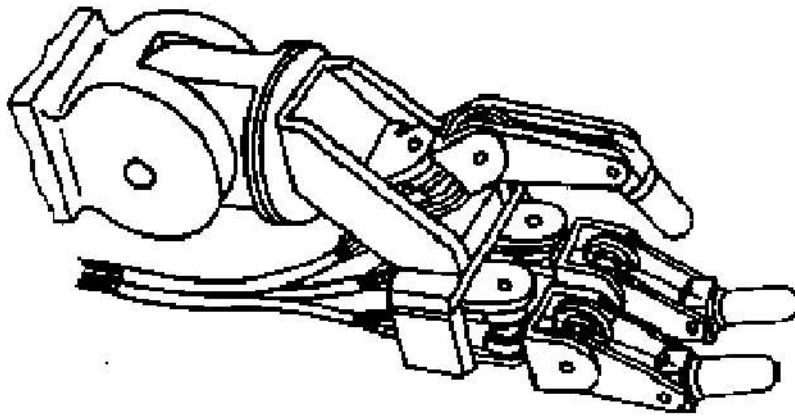


图2-25





本章小结

一个典型的机电光仪一体化系统，通常由控制部件、接口电路、功率放大电路执行元件、机械传动部件、导向支承部件，以及检测传感部件等部件组成。机械传动部件和导向支承部件在机电光仪一体化系统中还是占有相当大的比重，它决定了系统的稳定性和工作特点。





- 1、机电光仪一体化产品对机械系统的要求有哪些？
- 2、机电光仪一体化机械系统由哪几部分机构组成，对各部分的要求是什么？
- 3、各传动机构的特点及应用？轴系设计时的重点是什么？
- 4、支承形式有哪些类型，各有什么特点？
- 5、执行机构有哪些？各有什么特点？



再见!

