

# 精密机械 设计基础

赵跃进 何献忠 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



数据加载失败，请稍后重试！

# 精密机械设计基础

赵跃进 何献忠 王 平 郝 群 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书介绍精密机械中常用零件、部件的功能,结构,工作原理,设计基础,设计计算方法以及精密机械的最新发展。

全书分四篇,包括:机构学基础,精密机械零件常规设计,精密机械零件优化设计,微机电系统简介。本书有常用精密机械零部件设计计算的软件以及精密机械零部件应用简介录像光盘。需要者可打电话联系。

本书可用作仪器仪表类专业精密机械设计课程的教材,亦可供有关专业师生和工程科技人员参考使用。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

精密机械设计基础/赵跃进,何献忠编著. —北京:北京理工大学出版社,2003.9

ISBN 7-5640-0171-2

I. 精… II. ①赵… ②何… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 063700 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / [chiefedit@bitpress.com.cn](mailto:chiefedit@bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 24.75

字 数 / 600 千字

版 次 / 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数 / 1~5000 册

责任校对 / 张 宏

定 价 / 33.00 元

责任印制 / 刘京凤

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 前 言

本书是以《精密机械零件综合设计》为基础,为了适应新教学计划安排而编写的仪器仪表及有关专业的一门专业基础课教材。

随着科学技术的迅速发展,新技术、新方法和新知识不断出现,并应用于实际中。尤其是计算机技术的发展使精密机械设计从方法到手段都有了很大的变化。根据多年教学、科研实践的启迪,为适应这种发展和变化,同时为了在较少的学时内使学生掌握精密机械设计的基本方法和原理,本书对原“精密机械零部件设计”和“机械原理”的内容进行了调整和扩充,更新了“精密机械零件优化设计”,增加了“微机电系统简介”的内容。形成了新的体系,这个体系将有利于学生运用新的方法和手段实现常用精密机械零部件设计,并在后续精密机械课程设计和工作中运用。微机电系统简介一篇是为了说明传统的机械已经和目前迅速发展的微电子技术相结合,形成了精密机械发展的一个新的方向和扩展。新体系的形成,体现了与时俱进的精神,并可以适应 21 世纪对高素质创新人才培养的需要。

为便于读者利用计算机进行常用精密机械零部件的设计,本书有常规设计中的精密零部件设计计算的软件光盘。该软件采用 Visual C 语言编制,在 WINDOWS 环境下使用,具有方便的人机对话功能。光盘中还有优化设计软件 COMP 的 FORTRAN 程序源代码。

本书涉及的基础知识有:高等数学、工程力学、机械工艺学、线性代数、非线性规划、计算机基础。

本教材由赵跃进、何献忠主编。绪论、第一篇的第一、二、三章由赵跃进编写,第四章由王平编写。第二篇、第三篇由何献忠编写,第四篇由郝群编写。

清华大学的吴宗泽教授对全书进行了认真仔细地审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请各位读者指正。

编 者  
2003 年 7 月

# 目 录

绪论	(1)	第一节 等截面直线形片簧设计	(87)
<b>第一篇 机构学基础</b>		第二节 等截面曲线形片簧设计	(89)
<b>第一章 平面机构的运动关系分析</b>	(3)	第三节 平面蜗卷弹簧设计	(93)
第一节 机构的组成	(3)	<b>第三章 摩擦传动设计</b>	(95)
第二节 平面机构的运动简图	(6)	第一节 摩擦传动的基本条件	(95)
第三节 平面机构的自由度	(8)	第二节 强度计算根据	(96)
第四节 平面机构的组成原理和分析	(12)	第三节 定传动比摩擦传动设计	(99)
<b>第二章 平面连杆机构</b>	(16)	第四节 可变传动比摩擦传动	(101)
第一节 平面四杆机构的类型	(16)	<b>第四章 带传动设计</b>	(104)
第二节 平面四杆机构的基本特性	(19)	第一节 传动部分的几何关系	(104)
第三节 平面四杆机构设计	(23)	第二节 传动过程中力的分析	(105)
<b>第三章 凸轮机构</b>	(28)	第三节 弹簧带传动设计	(107)
第一节 凸轮机构的类型	(28)	第四节 同步带传动设计	(110)
第二节 从动件的常用运动规律	(31)	<b>第五章 齿轮传动设计</b>	(120)
第三节 凸轮轮廓设计	(36)	第一节 基础知识	(120)
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	(40)	第二节 常用材料和热处理	(120)
<b>第四章 齿轮机构</b>	(43)	第三节 齿轮传动受力分析	(121)
第一节 齿轮机构的类型	(43)	第四节 齿轮强度校核	(125)
第二节 齿形啮合的基本定律	(44)	第五节 传动比的选择和分配	(134)
第三节 直齿圆柱齿轮的各部位名称及基本尺寸	(46)	第六节 齿轮主要参数确定	(137)
第四节 渐开线标准齿轮的啮合	(48)	第七节 齿轮与轴的联接	(151)
第五节 其他形式的齿轮传动	(55)	第八节 齿轮误差分析	(154)
<b>第二篇 精密机械零件常规设计</b>		第九节 谐波齿轮传动设计	(164)
<b>第一章 螺旋弹簧设计</b>	(67)	<b>第六章 螺旋传动设计</b>	(172)
第一节 基本设计公式	(69)	第一节 基础知识	(172)
第二节 材料及许用应力	(71)	第二节 计算根据	(173)
第三节 设计中的特殊问题	(73)	第三节 螺旋传动设计	(178)
第四节 压缩弹簧设计	(75)	第四节 误差分析、估算	(180)
第五节 拉伸弹簧设计	(77)	第五节 消除或减小误差的措施	(182)
第六节 扭转弹簧设计	(78)	第六节 滚珠丝杠传动简介	(184)
第七节 误差分析及控制途径	(79)	<b>第七章 轴设计</b>	(187)
第八节 提高弹簧使用性能的措施	(81)	第一节 基础知识	(187)
第九节 非圆柱形螺旋弹簧	(84)	第二节 常用材料	(187)
<b>第二章 片板弹簧设计</b>	(86)	第三节 计算依据	(187)
		第四节 轴的校核	(190)
		第五节 轴的结构设计	(193)
		<b>第八章 联轴器及离合器</b>	(195)

第一节 联轴器选择	(195)	第二节 实现联接的技术过程	(292)
第二节 离合器	(202)	第三节 常用联接方法及结构	(294)
<b>第九章 滑动轴承设计</b>	(204)	第四节 联接结构的功能表面	(297)
第一节 圆柱形滑动轴承	(204)	第五节 联接方式选择	(297)
第二节 圆锥形滑动轴承	(208)	第六节 标准及规范	(299)
第三节 滑动轴承的润滑	(209)	<b>第十七章 光学零件固紧</b>	(300)
第四节 轴系误差分析	(210)	第一节 基本要求	(300)
第五节 滑动轴承校核	(215)	第二节 实现光学零件固紧的技术过程	(300)
第六节 液体静压轴承简介	(217)	第三节 一般固紧结构	(301)
<b>第十章 滚动轴承设计</b>	(219)	第四节 固紧结构的功能表面	(303)
第一节 常用标准滚动轴承	(219)	第五节 固紧方式选择	(303)
第二节 标准滚动轴承选择	(220)	第六节 设计规范及特殊要求	(304)
第三节 标准滚动轴承组合结构设计	(225)		
第四节 散装滚动轴承	(227)		
第五节 标准单列向心轴承选择	(233)		
<b>第十一章 直线运动导轨设计</b>	(235)	<b>第三篇 精密机械零件优化设计</b>	
第一节 滑动摩擦导轨	(236)	<b>第一章 基础知识</b>	(306)
第二节 液体静压导轨简介	(240)	第一节 优化设计基点	(306)
第三节 滚动摩擦导轨	(241)	第二节 优化设计的术语及概念	(306)
第四节 导轨误差分析	(244)	第三节 优化设计的一般数学模型	(310)
第五节 导轨误差估算	(245)	第四节 优化设计的形象表达	(310)
第六节 计算机选型、计算	(247)	第五节 基本问题	(311)
<b>第十二章 机械示数装置</b>	(250)	<b>第二章 优化方法及通用软件</b>	(312)
第一节 刻度特性方程	(250)	第一节 分类	(312)
第二节 刻度参数	(251)	第二节 复形法及 COMP 程序	(312)
第三节 误差分析	(253)	第三节 求导法简介	(337)
第四节 均匀刻度计算	(256)	<b>第三章 处理多目标函数优化问题的工程方法及应用</b>	(340)
<b>第十三章 限位器与定位器设计</b>	(258)	第一节 什么是多目标函数优化问题	(340)
第一节 限位器	(258)	第二节 求解的一般工程方法	(341)
第二节 定位器	(266)	第三节 多技术要求齿轮传动分传动比优化设计	(342)
第三节 限位器选型、计算	(268)	第四节 考虑目标函数相互矛盾的求解法	(344)
<b>第十四章 机械调速器计算</b>	(271)		
第一节 调速原理	(271)		
第二节 制动式调速器	(272)		
第三节 擒纵式调速器	(279)		
第四节 调速器选型、计算	(281)		
<b>第十五章 减振器设计</b>	(284)	<b>第四篇 微机电系统简介</b>	
第一节 减振器工作原理	(284)	<b>第一章 微机电系统概述</b>	(346)
第二节 性能参数选择	(287)	第一节 微机电系统的概念及特点	(346)
第三节 常用类型	(288)	第二节 微机电系统的发展现状及前景	(347)
第四节 减振器选择	(290)	第三节 微机电系统的材料	(349)
<b>第十六章 机械零件联接</b>	(292)	第四节 微机电系统的计算机辅助设计	(350)
第一节 机械零件联接的机理	(292)		

<b>第二章 微机电系统的制造技术</b> ..... (355)	应用..... (371)
第一节 掺杂技术..... (355)	第二节 微机电系统在通信中的应用..... (374)
第二节 薄膜技术..... (356)	第三节 微机电系统在医学上的应用..... (376)
第三节 外延技术..... (359)	第四节 微型泵的应用..... (377)
第四节 光刻技术..... (360)	第五节 微镜投影仪..... (379)
第五节 体硅微机械加工技术..... (362)	第六节 微机电系统在军事上的应用..... (381)
第六节 表面硅微机械加工技术..... (365)	<b>参考文献</b> ..... (387)
第七节 键合技术..... (367)	
第八节 LIGA 技术..... (368)	
<b>第三章 微机电系统的应用</b> ..... (371)	
第一节 微机电系统在汽车工业中的	



# 绪 论

精密机械在生产和科学技术的发展过程中起着重要的作用,它是仪器设计的基础和必不可少的组成部分,它被越来越广泛地应用在工业、农业、国防和科学技术现代化建设的各个领域,它是实现对各种信息进行采集、传输、转换、处理、存储、显示和控制的基本部分。在当今信息时代,精密机械不仅促进了光电技术、传感技术、微电子技术、通信技术和计算机应用技术的发展,而且也通过和这些技术的结合,加速了精密机械自身的发展,并形成了一些新的研究领域和技术,如微机械系统、微光电系统。

随着精密仪器朝着光机电算一体化和智能化方向的发展,传统的纯机械的仪器越来越少,智能化和多功能的新型仪器不断出现,显示了精密机械向小型化和灵巧化的发展。但是,这种发展仍是建立在传统的机械理论基础,因为不管新型仪器的性能和功能多么先进和强大,它都不可能完全脱离机械系统和结构而独立存在,常规的精密机械设计方法仍是实现现代精密仪器的机械系统的重要手段;不同的只是运用了新的工具和方法来实现常规设计。因此在现代仪器设计中,精密机械仍占有不可替代的重要地位。

对于现代精密仪器总体设计人才来说,在掌握好光学、电子和计算机等先进技术的同时,一定要掌握好精密机械设计的基本原理和方法,才能设计出先进的、多功能的和智能化的光机电算一体的新型仪器设备,以满足国家的经济建设和国防建设的需要。

## 一、课程的内容

本课程主要是研究精密机械的基本理论设计方法和设计手段。包括以下四方面:

1. 机构学基础:它是进行精密机械设计的基础。主要论述组成机械的基本单元——构件的结构特性,以及常用机构的特性、组成和基本设计方法。
2. 精密机械零件常规设计:它是进行主机系统设计的基础。主要分析了常用的精密机械零件的设计计算方法。它们包括:螺旋弹簧、片板弹簧、摩擦传动、带传动、齿轮传动、螺旋传动、轴、联轴器、轴承、导轨、机械示数装置、限动器、调速器、减速器、联接件等。
3. 精密机械零件优化设计:它是进行精密机械设计的新方法。主要论述了基本的优化设计方法及其通用软件,以及在工程设计中的应用。
4. 微机电系统简介:它是精密机械的一个最新发展方向。主要介绍微机电系统的基本原理、主要制造技术,以及微机电系统的初期应用。

## 二、课程性质和任务

本课程是一门培养精密仪器总体设计专业的学生具有常用精密机械基本设计能力的专业基础课。其主要任务为:

1. 初步掌握常用机构的组成原理、结构特性和设计分析计算方法。具有对一般机构进行分析和方案设计的能力。
2. 掌握常用精密机械零、部件的工作原理、特点、计算依据和设计方法。能根据工作要求

设计常用的精密机械零部件。

3. 了解常用精密机械零部件的精度分析方法以及减少或消除误差的方法和手段。能设计出满足精度要求的精密仪器。

4. 具有运用各种标准、规范和手册等技术资料的能力。能正确的选取零件的材料和技术条件,并使所作的设计符合通用的技术标准和工艺要求。

5. 结合后续的精密机械课程设计,学习和掌握优化设计的基本方法,能运用这些方法进行一般精密机械零部件的设计。

6. 了解精密机械向微小和微机械方向的发展。

本课程是在先修过高等数学、机械制图、工程力学、机械工艺学、线性代数、计算机基础等基础课的基础上,开始学习的一门专业基础课。它和传统的机械类课有了较大的变化,除了一般机械方面的知识外,还把机械知识和光学、计算机、微电子等方面的知识结合起来,使得本课程成为了一门以机械为主光机电算综合的专业基础课。由于课程在内容上进行了扩展,在现有的有限教学时数内很难完成全部课程内容的教学。因此,我们建议在讲授时,以培养学生分析和解决问题的能力为主,把讲授和自学相结合,只讲重点、难点、方法、思路和发展,使学生通过本课程的学习,初步具有应用新的技术和方法分析和解决一般精密机械设计的能力。

# 第一篇 机构学基础

机构学是以理论力学为基础,研究机械构件的组成原理和运动关系,以及机构动力特性的一门技术学科。它是机械设计的重要理论基础之一。

本篇主要论述机构的组成和运动关系,并对常用的四杆机构、凸轮机构和齿轮机构的类型、运动关系、功能和设计方法进行分析和介绍。通过本篇的学习可以掌握机械设计的基本原理和方法,为后续的精密机械零件设计的学习打下基础。

## 第一章 平面机构的运动关系分析

机器是由若干机构按照一定的功能要求组合而成的系统。例如照相机就包括了变焦凸轮机构、输片齿轮机构、快门机构等。机构是实现机器系统的运动基础,没有机构就形成不了机器的各种功能。

机构是由两个以上具有确定运动构件的组合物。它的作用是用来传递或变换运动,也可以传递力和能量。显然,不能产生构件间的相对运动和不动的构件组合就不是机构。在设计一个新机器中的机构时,首先要对所设计的机构进行运动关系分析,看它是否能运动。如果能够运动,还要判断在什么条件下才能实现确定的构件间的相对运动。研究机构组合的目的之一,就是在于了解和掌握机构实现某种相对运动的可能及条件。

平面机构是在平面内实现平移、旋转等运动的一种最通用的机构。

### 第一节 机构的组成

#### 一、构件与运动副

构件是组成机构的基本单元,它具有独立的运动特性。构件可以是单一的,也可以是由若干刚体抽象组合成的一个整体。如一个齿轮就可以抽象为一个具有独立旋转运动的构件,而图 1.1-1(a)中的连杆机构中的连杆就是由刚性的连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3、螺栓 4、螺母 5 和轴套 6 等组成的一个刚性整体,这些零件间没有相对的运动,它们作为一个整体作独立的运动。在机构分析设计时,它可以抽象为一个刚性的具有独立运动的“杆”(图 1.1-1(b))。

运动副是由两个能产生相对运动的构件的有机组合。例如轴与轴承的连接、一对传动齿轮轮齿间的啮合等都是运动副。构成运动副的两构件的接触表面称为运动副元素。这些运动副元素的接触形式不外乎是点、线、面三种。

按照组成运动副两构件间的相对运动特性可分为平面运动副和空间运动副。由于常用机

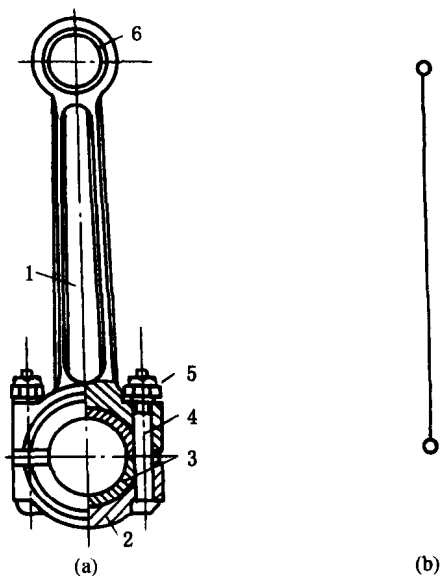


图 1.1-1 连杆构件

构中多为前一类,以下将主要讨论平面运动副。

如图 1.1-2 所示,一个可作平面运动的构件  $A$ ,其运动可分解为:沿  $x$  轴和  $y$  轴的方向的移动及绕垂直于  $xOy$  平面轴线的转动。这三个独立运动可以由构件上的任一点的坐标  $(x, y)$  和对任一直线的倾角  $(\varphi)$  这三个独立参数确定。构件  $A$  所具有的独立运动参数或者确定构件位置的独立参数称为自由度。构件  $A$  在  $xy$  平面内具有三个运动自由度。若构件  $A$  处于  $xyz$  空间内,则就有六个运动自由度,即沿  $x, y, z$  的平移和绕  $x, y, z$  轴的转动。

构件组成运动副后,独立运动将受到限制,自由度随之减少。这种对独立运动的限制称为约束。运动副每加上一约束,构件便失去一个自由度。两构件间的约束的多少,以及限制了构件的哪些独立运动,完全取决于运动副的形式。

根据构成运动副的接触特性,通常把运动副分为低副和高副。两构件间是点或线接触的运动副称为高副;而两构件间是面接触的运动副称为低副。

### 1. 低副

图 1.1-3 所示的两种运动副都是具有两个约束和一个自由度的低副。它们的共同特点是两运动件之间的约束是以面接触的形式实现。它们的不同之处是一个运动副为相对转动,另一个为相对移动。前者称为低副中的转动副,后者称为低副中的移动副。

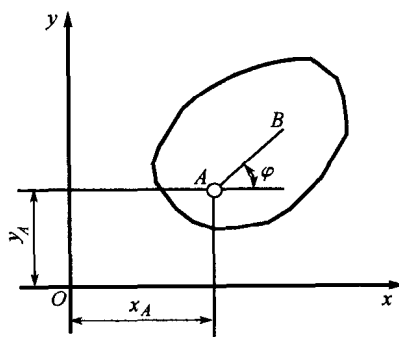


图 1.1-2 平面运动系

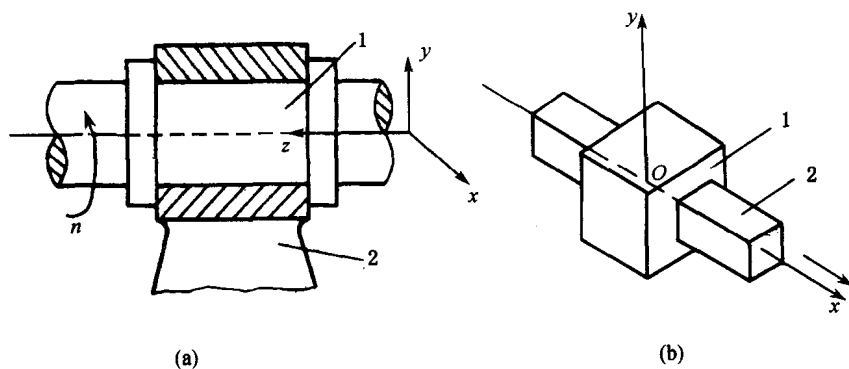


图 1.1-3 平面低副

(1) 转动副——构成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动。图 1.1-3(a)中若构

件 2 固定,则构件 1 相对构件 2 沿  $x$  轴和  $y$  轴的两个相对移动受到约束,构件 1 只能绕其轴线  $z$  转动。

(2) 移动副——构成运动副的两构件只能在一个平面内相对移动。图 1.1-3(b)中若构件 1 固定,则构件 2 只能相对于构件 1 沿  $x$  轴方向移动,构件 2 相对于构件 1 沿  $y$  轴的相对移动和绕垂直于  $xOy$  平面轴线的转动受到约束。

### 2. 高副

图 1.1-4 所示的运动副是平面高副,两齿轮间的接触是线接触。它们在接触时两构件相对沿公法线  $nn$  方向的移动受到约束,两构件间的相对运动是沿接触切线  $tt$  方向

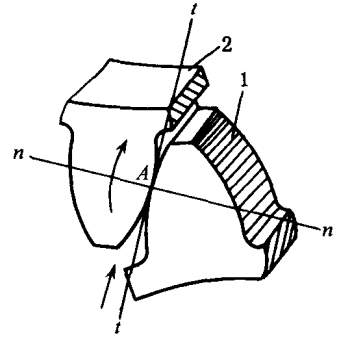


图 1.1-4 平面高副

的相对移动和在平面内的相对转动。它们是具有一个约束和两个相对自由度的平面运动副。

另外,在机械系统中常用图 1.1-5(a)所示的由球面副构成的万向联轴器和图 1.1-5(b)所示的由螺旋副构成的螺旋机构。在这些运动副中,两构件间的相对运动都是空间运动,所以称它们为空间运动副。

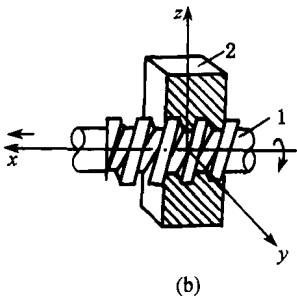
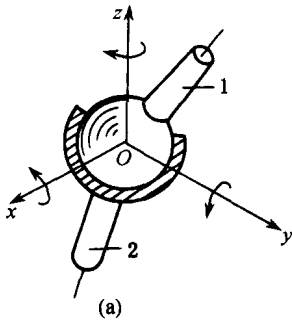


图 1.1-5 空间运动副

## 二、运动链和机构

两个或两个以上构件通过运动副相联接而成的系统称为运动链。运动链中的各构件构成了首末封闭的系统(图 1.1-6(a))称为闭式运动链(简称为闭链);运动链中的各构件未构成首末封闭的系统(图 1.1-6(b)、(c))称为开式运动链(简称为开链)。在各种机械中,一般采用闭链来传递运动和动力,而开链多用在工业机器人、挖掘机等机械中。

在运动链中,将某一构件固定为机架,而使另一构件(或几个构件)按给定的运动规律相对于固定构件作独立运动。若其余所有构件都能得到确定的运动,那么,该运动链就成为一个机构。

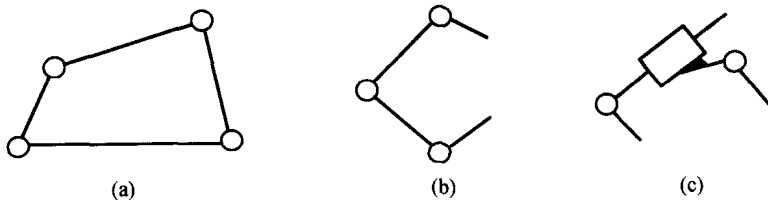


图 1.1-6 各种运动链

机构中按照给定的运动规律,作独立运动的构件称为主动件。因多数情况下主动件也是驱动力所作用的构件,又称原动件,其余运动构件则称为从动件。当机构运动关系确定后,从动件的运动规律是由主动件的运动规律主导。

根据机构中所有构件之间的相对运动形式,机构可分为平面运动机构和空间运动机构两大类,其中平面机构得到较广泛的应用。

## 第二节 平面机构的运动简图

在分析现有机构和设计新机构时,都需要用一些简单的图形来说明构件间的组合及相对运动关系。这种图形称为机构运动简图。表 1.1-1、表 1.1-2 所列为常用运动副和构件分类及简图(GB4460—1984)。

表 1.1-1 常用运动副及简图

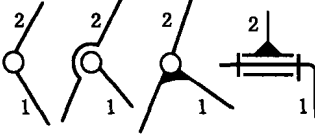
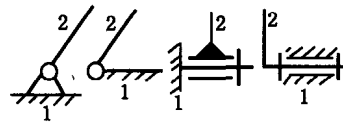
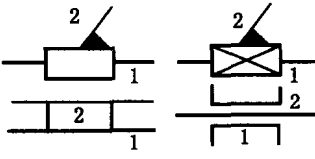
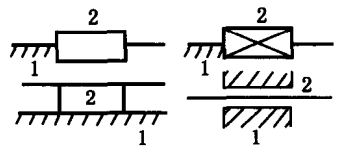
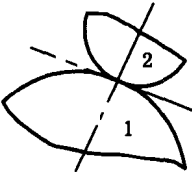
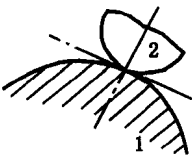
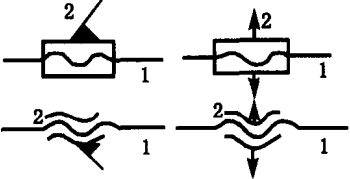
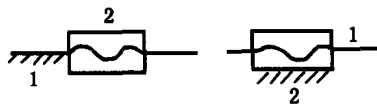
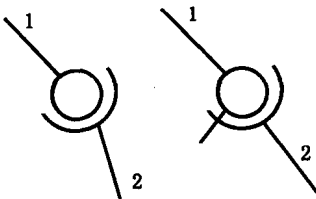
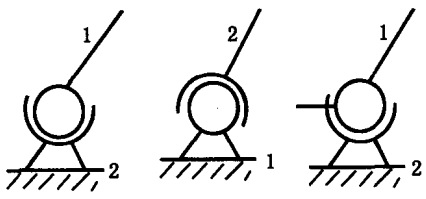

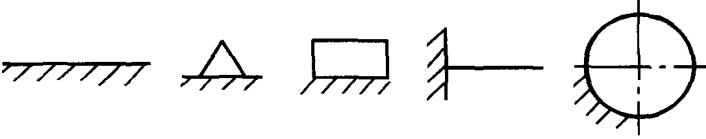
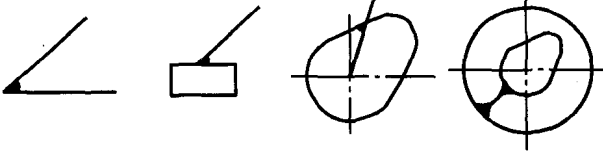
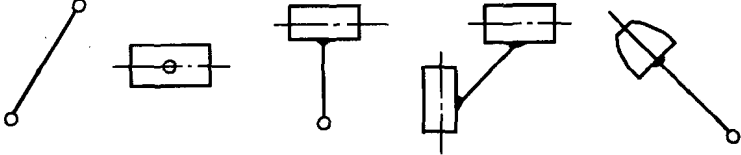
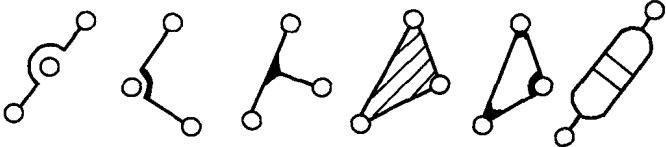
运动副名称		两运动构件所形成的运动副	两构件之一为机架时所形成的运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		
	平面高副		
空间运动副	螺旋副		
	球面副和球销副		

表 1.1-2 常用构件表示符

构件名称	表示符号
杆、轴类构件	
固定构件	
同一构件	
两副构件	
三副构件	

机构运动简图能完全表达机构的运动特性,因而可根据该图对机械进行运动和动力分析。若只是为了表达机械的运动特性,也可以不严格按比例来绘制简图,这种简图称为机构示意图。

用运动副和机构的表示符号绘制平面机构运动简图的步骤是:

(1) 根据要求的动作原理、结构和运动关系,定出机架和原动件。从原动件出发,沿运动的传递关系,分析清楚运动是通过哪些运动副和构件传递到执行部分的。

(2) 选择与多数构件运动平面相平行的平面作为绘制机构运动简图的投影面。

(3) 以统一的适当比例尺确定各运动副之间的相对位置,并用运动副、构件的表示符号和简单的线条,绘制出机构的运动简图。

为了说明平面机构运动简图的绘制方法,示例如下。

图 1.1-7(a)所示为摆式双片光阑机构。它的工作原理是:光阑片 4 和 6 分别绕各自的转轴 E 和 G 转动,固定在拨杆 3 上的两个销钉 7 和 5 分别插入两光阑片的长孔 F 和 D 中。固定在圆盘 1 上的拨销 2 插在拨杆右端的 U 形槽内。当圆盘顺时针方向旋转时,带动拨杆逆

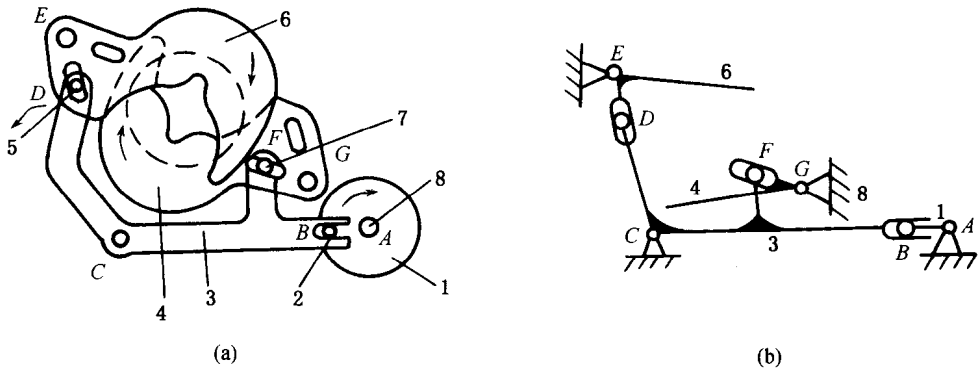


图 1.1-7 摆式双片光阑机构

时针方向绕轴  $C$  摆动,从而推动两光阑片同时绕各自转轴都向顺时针方向旋转,使透光孔缩小;反之,若圆盘 1 逆时针方向旋转,拨杆就顺时针方向摆动,两光阑片同时向逆时针方向旋转,使透光孔扩大,起到调节光通量的作用。

由上述的摆式双光阑的原理可知,该机构是由拨杆 3、圆盘 1、光阑片 4 和 6 共四个构件组成。圆盘是运动和动力输入构件,即原动件,其余构件都是从动件。

在确定构件数目之后,根据各构件间的相对运动确定运动副的种类和数目。光阑片 4 和 6 分别相对机架 8 绕  $E, G$  轴转动,故构件 8 分别与构件 4 和 6 组成以  $E$  和  $G$  为转动中心的转动副;同理,可知构件 3 分别与构件 1、4 和 6 在  $B, F$  和  $D$  处形成平面高副;构件 1、3 与构件 8 在  $A, C$  处形成转动副。

选定适当的比例尺,根据图 1.1-7(a)尺寸定出  $A, B, C, D, E, F$  和  $G$  相对位置,用构件和运动副的符号绘出机构运动简图,如图 1.1-7(b)所示。

### 第三节 平面机构的自由度

自由度是判别机构能够实现要求相对运动关系的根本。什么条件才能保证构件间具有确定的相对运动,是这一节要讨论的主题。

#### 一、平面运动链自由度

确定运动链中各构件相对机架所具有的独立运动数目称为运动链自由度。运动链自由度是由组成运动链的构件数目、运动副数目和类型来决定的。因为,空间任一个自由的构件在作平面运动时应具有三个自由度。当它和其他构件一起形成运动副后,如有固定构件(即约束)存在,使它们之间的相对运动受到约束,自由度将随之减少,且自由度减少的数目与约束数目相等。

设有一平面运动链,共有  $n$  个活动构件,用  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副把这  $n$  个活动构件连接起来。这  $n$  个活动构件在没有构成运动副之前具有  $3n$  个自由度,当用  $P_L$  个低副和  $P_H$  个高副连接后,会受到  $2P_L + P_H$  个约束(一个低副引入两个约束,一个高副引入一个约束)。因此活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数就是该运动链的自由度,即



$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1.1-1)$$

利用式(1.1-1),可求图 1.1-8 所示的铰链四杆运动链的自由度。该运动链有 3 个活动构件(1,2,3),4 个低副(转动副 A,B,C,D),没有高副,其自由度为

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

## 二、运动链成为机构的条件

运动链自由度说明了运动链相对于机架的独立运动数目。通过对运动链自由度和运动链中原动件数目的讨论,可以得出运动链成为机构的条件。下面分析几种形式的运动链,来说明这个问题。

图 1.1-8 所示的运动链的自由度是 1,如果把构件 1 作为原动件,当构件 1 以参变量  $\varphi_1$  相对机架运动时,对于每一个确定的  $\varphi_1$  值,从动件 2,3 便有一个确定的位置。由此说明,这一自由度为 1 的运动链,在具有一个原动件时,构件间的相对运动是确定的,这时运动链成为机构。

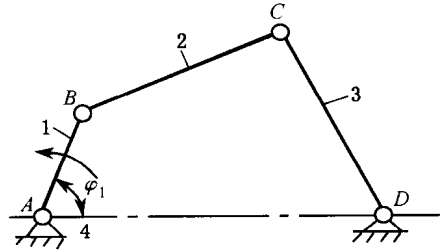


图 1.1-8 铰链四杆机构

图 1.1-9 为一铰链五杆运动链。

若  $n = 4, P_L = 5, P_H = 0$ , 该运动链自由度为

$$F = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

现分两种情况来讨论该运动链能否成为机构。第一种情况,该运动链自由度为 2,如构件 1 和 4 皆为原动件,对于每一组给定的  $\varphi_1$  和  $\varphi_4$  数值,从动件 2 和 3 便有一确定的位置。在这种情况下,该运动链的运动是确定的,即该运动链可以成为机构。第二种情况,在这一运动链中只取构件 1(或构件 4)为原动件,对于给定的  $\varphi_1$ (或  $\varphi_4$ )值,从动件 2、3 和 4(或 1)的位置不能确定,不具有确定的相对运动。这时的原动件的数小于运动链自由度

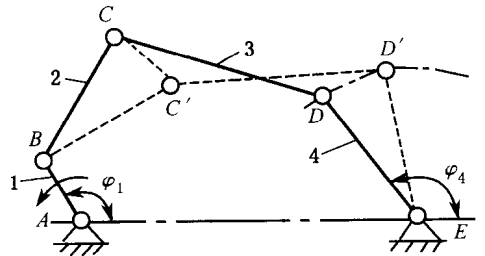


图 1.1-9 铰链五连杆机构

数,此种情况下的运动链不能成为机构。

图 1.1-10(a)所示的运动链,若  $n = 2, P_L = 3, P_H = 0$ , 由式(1.1-1)可得

$$F = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$$

说明该运动链是其构件不能产生相对运动的刚性桁架,不能成为机构。对于图 1.1-10(b)所示的运动链,若  $n = 3, P_L = 5, P_H = 0$ , 由式(1.1-1)可得

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 5 - 0 = -1$$

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 5 - 0 = -1$$

这时的运动链自由度数为小于零的值,说明该运动链由于受到的约束过多,已成为超静定桁架,同样不能成为机构。

综上所述,运动链成为机构,要满足的条件是:运动链的原动件数目应等于运动链自由度的数目。

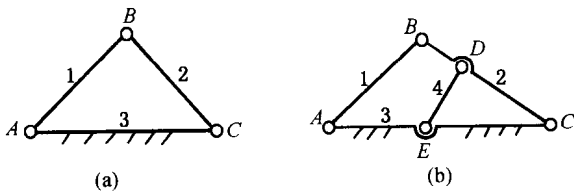


图 1.1-10 刚性桁架