

# 机械原理

(高等工业专科学校适用)

沈炳余 顾荫双 主编

机械工业出版社

JIXIEYUANLI

# 机 械 原 理

(高等工业专科学校适用)

沈炳余 顾荫双 主编



机 械 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书除绪论外共十章,内容包括平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、其它常用机构、机械的运转和调速、回转件的平衡等。每章均附有较多的例题、习题和思考题,以便于选用和自学。本书可作为高等工业专科学校、职业大学机械类各专业的试用教材,也可供要求相近的大专院校、职工大学、业余大学、短期培训班等作为选用教材,还可供非机械类专业师生及有关工程技术人员参考。

## 机 械 原 理

(高等工业专科学校适用)

沈炳余 顾荫双 主编

\*

责任编辑:晏章华

封面设计:郭景云

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

通县台湖印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 18 $^{1/4}$ ·字数 442 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 00,001—14,485 定价:2.90 元

\*

统一书号:15033·7170

# 前 言

本书是根据高等工业学校机械原理课程教学基本要求（机械类专业适用）和江苏省高等工业专科学校、职业大学（三年制专科）机械类80学时《机械原理》教学大纲（也考虑到较少学时的需要）编写的。编写时注意了贯彻“精选内容”的原则，吸取多年来专科教学经验，力求反映专科教学的特点。

为了适应高等工业专科学校机械原理教学的需要，全面提高教学质量，改变专科借用本科教材的现状，我们在江苏省教委高教局的组织领导下，由扬州工业专科学校、江南大学、南通纺织工学院、常州工业技术学院、盐城工业专科学校等五所学校的有关教师共同编写了这本教材。本书可作为高等工业专科学校、职业大学机械类各专业的试用教材，也可供要求相近的大专院校、职工大学、短期培训班等作为选用教材，还可供非机械类各专业师生及有关工程技术人员参考。

本书在保持基本内容的系统性及符合循序渐进和少而精的原则下，特别将“平面机构的力分析”和运动副中的摩擦及机械效率内容经过精选有机地归并为一章（第三章），以使这部分的内容前后紧密联系，一气呵成，既利于教，又方便学，有利于完成作业和进行课程设计。在安排各章节顺序及教学内容时，力求符合专科的结构体系和体现专科特色，注意加强教材的应用性、针对性和实践性。为此，适当加强机构设计部分，如在连杆机构设计中增加了点位归并法的新内容，而对机械动力学部分的内容则作了反复推敲和精选。在确保基本理论和系统性的前提下，本书内容侧重实际应用。各章均加强了例题，每章均附有较多的习题和思考题，以便于自学。书中带有\*号的小字部分内容，可供不同专业取舍。

本书力求突出基本概念、基本原理、基本方法和基本技能，力求思路清晰、分析透彻，有启发性，并尽量做到理论联系实际，注意培养学生分析、综合与创新能力和自学能力。

参加本书编写的有：沈炳余（江南大学，绪论、第四章），蔡孝伍（江南大学，第一、第七章），蒋嘉明（常州工业技术学院，第二、三、九章），何述曾（南通纺织工学院，第五章），梁叔平（扬州工业专科学校，第六章§6-1~§6-10），李超凡（盐城工业专科学校，第六章§6-11~§6-15，第十章），顾荫双（扬州工业专科学校，第八章）。全书由江南大学沈炳余同志和扬州工业专科学校顾荫双同志担任主编。

本书承国家教委机械基础课程指导委员会机械原理指导小组委员上海交通大学邹慧君副教授及蒋正渠副教授审阅，提出很多宝贵意见和建议，对完成本书起了重要的指导作用，编者在此表示衷心感谢。

全书插图由常州工业技术学院蒋嘉明同志协助描绘，江南大学陶伟同志参加本书的文稿整理工作。

由于编者水平所限，编写时间匆促，尤其是对某些内容作了改革尝试，因此误漏欠妥之处在所难免，衷心希望各兄弟院校机械原理教师和广大读者批评指正。

高等工业专科学校  
江苏省 机械原理教材编写组  
职 业 大 学

1987年6月

# 目 录

绪论	1
§ 0-1 机械原理研究的对象	1
§ 0-2 机械原理课程的内容	4
§ 0-3 机械原理课程的作用和在教学计划中的地位	5
思考题	5
第一章 平面机构的结构分析	6
§ 1-1 机构结构分析的目的	6
§ 1-2 运动副 运动链 机构	6
§ 1-3 平面机构的运动简图	9
§ 1-4 平面机构的自由度	13
*§ 1-5 平面机构中的高副低代法	18
*§ 1-6 平面机构的组成原理及结构分类	19
思考题	21
习 题	22
第二章 平面机构的运动分析	25
§ 2-1 平面机构运动分析的目的和方法	25
§ 2-2 速度瞬心及其在机构速度分析中的应用	25
§ 2-3 用相对运动图解法作机构的速度和加速度分析	30
§ 2-4 用解析法作机构的速度和加速度分析	44
§ 2-5 机构的运动线图	48
思考题	50
习 题	51
第三章 平面机构的力分析	54
§ 3-1 平面机构力分析的目的和方法	54
§ 3-2 平面机构的静力分析	55
§ 3-3 平面机构的动态静力分析	57
§ 3-4 考虑摩擦时的机构静力分析	66
§ 3-5 机械的效率和自锁	78
思考题	80
习 题	80
第四章 平面连杆机构及其设计	85
§ 4-1 平面连杆机构及其应用	85
§ 4-2 四杆机构的基本型式及其演化	86
§ 4-3 平面四杆机构有曲柄的条件	93
§ 4-4 平面四杆机构的几个基本概念	95

§ 4-5 平面四杆机构的设计 .....	98
思考题 .....	115
习 题 .....	115
<b>第五章 凸轮机构及其设计</b> .....	119
§ 5-1 概述 .....	119
§ 5-2 从动件常用的运动规律 .....	124
§ 5-3 用作图法设计平面凸轮轮廓 .....	131
*§ 5-4 用解析法设计平面凸轮轮廓 .....	137
§ 5-5 凸轮机构的压力角和基圆半径 .....	142
§ 5-6 圆柱凸轮机构的设计 .....	148
思考题 .....	150
习 题 .....	151
<b>第六章 齿轮机构及其设计</b> .....	154
§ 6-1 齿轮机构的应用和分类 .....	154
§ 6-2 齿廓啮合基本定律 .....	155
§ 6-3 渐开线及渐开线齿廓 .....	157
§ 6-4 渐开线标准齿轮各部分的名称和尺寸 .....	161
§ 6-5 渐开线齿轮任意图上齿厚和公法线长度 .....	164
§ 6-6 渐开线直齿圆柱齿轮机构的啮合过程和正确啮合条件 .....	167
§ 6-7 渐开线齿轮机构的正确安装和可分性 .....	169
§ 6-8 渐开线齿轮的连续传动条件及重合度 .....	171
§ 6-9 渐开线齿廓切削原理 .....	173
§ 6-10 渐开线标准齿轮的根切现象和不发生根切的最少齿数 .....	177
§ 6-11 变位齿轮 .....	179
§ 6-12 平行轴斜齿轮机构 .....	189
§ 6-13 交错轴斜齿轮机构 .....	196
§ 6-14 蜗杆蜗轮机构 .....	198
§ 6-15 直齿圆锥齿轮机构 .....	202
思考题 .....	207
习 题 .....	208
<b>第七章 轮系</b> .....	210
§ 7-1 轮系及其分类 .....	210
§ 7-2 定轴轮系的传动比 .....	211
§ 7-3 周转轮系的传动比 .....	214
§ 7-4 混合轮系的传动比 .....	217
§ 7-5 周转轮系的应用 .....	219
§ 7-6 行星轮系的类型选择 .....	224
§ 7-7 行星轮系中各轮齿数的确定 .....	225
*§ 7-8 K-H-V型行星减速器与谐波齿轮传动简介 .....	227

思考题 .....	231
习  题 .....	231
<b>第八章 其它常用机构 .....</b>	<b>235</b>
§ 8-1 万向联轴节 .....	235
§ 8-2 间歇运动机构 .....	238
§ 8-3 非圆齿轮机构简介 .....	248
§ 8-4 组合机构简介 .....	250
思考题 .....	254
习  题 .....	254
<b>第九章 机械的运转和调速 .....</b>	<b>256</b>
§ 9-1 概述 .....	256
§ 9-2 等效力矩 .....	257
§ 9-3 等效转动惯量 .....	259
§ 9-4 机械的运动方程式 .....	260
§ 9-5 机械运转速度波动调节的目的和方法 .....	261
§ 9-6 机械运转的平均速度和不均匀系数 .....	262
§ 9-7 飞轮设计的近似方法 .....	263
思考题 .....	267
习  题 .....	268
<b>第十章 回转件的平衡 .....</b>	<b>271</b>
§ 10-1 机械平衡的目的和分类 .....	271
§ 10-2 刚性回转件的平衡 .....	271
§ 10-3 刚性回转件的平衡试验 .....	275
§ 10-4 回转件的许用不平衡量 .....	278
思考题 .....	280
习  题 .....	280

# 绪 论

## § 0-1 机械原理研究的对象

“机械原理”是“机构与机器原理”的简称。它是一门以研究机构与机器为对象的学科。

机器的种类极多，其构造、用途和性能各不相同。例如图0-1所示的单缸四冲程内燃机是由曲轴1、连杆2、活塞3、气缸4、进气阀5、排气阀6、阀门顶杆7、8、凸轮9、10及齿轮11、12、13等所组成。当混合气通过进气阀进入气缸后，进气阀关闭，点火，混合气在气缸中燃烧产生压力，推动活塞3下移，通过连杆2使曲轴1作连续转动，从而使燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。当活塞上移时，排气阀6打开，废气通过排气阀排出，至于进气阀与排气阀开启与关闭时间的控制，则由齿轮11带动两个齿轮12、13，从而带动轴上的凸轮9、10，推动顶杆7、8来实现。

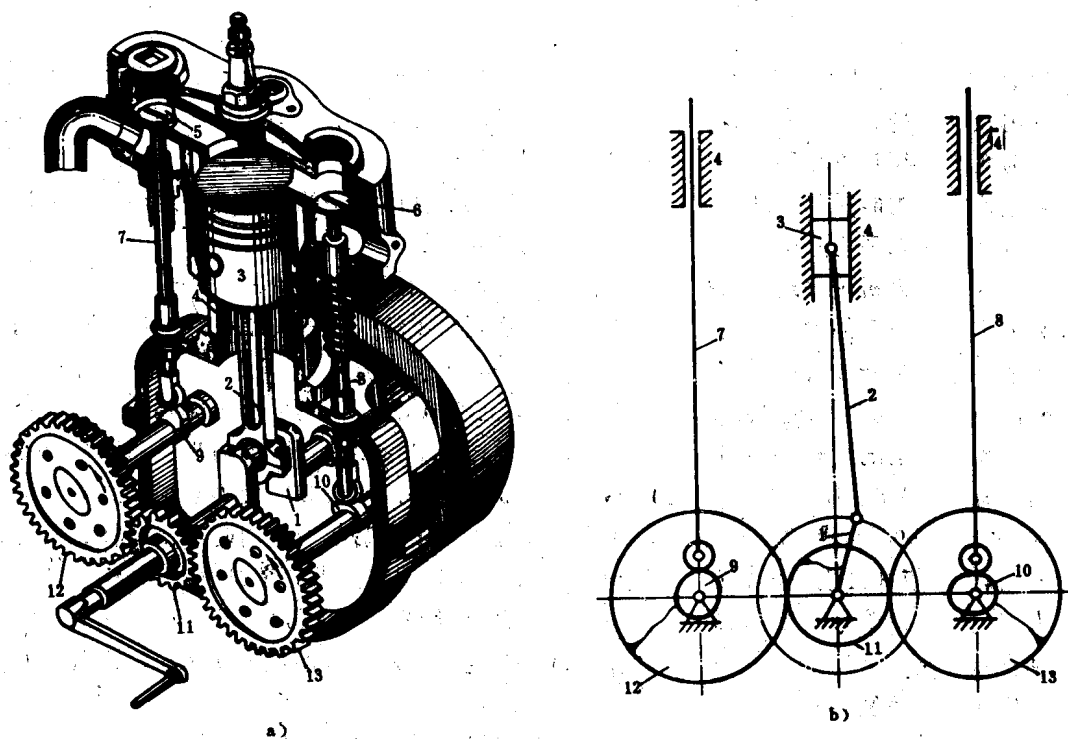


图 0-1

图0-2所示为牛头刨床，它是由电动机1、小齿轮2、曲柄3（大齿轮的端面上固结一个销轴，其偏心距即为曲柄长）、导杆5、滑块4（它对于销轴转动和在导杆滑槽中移动）、定



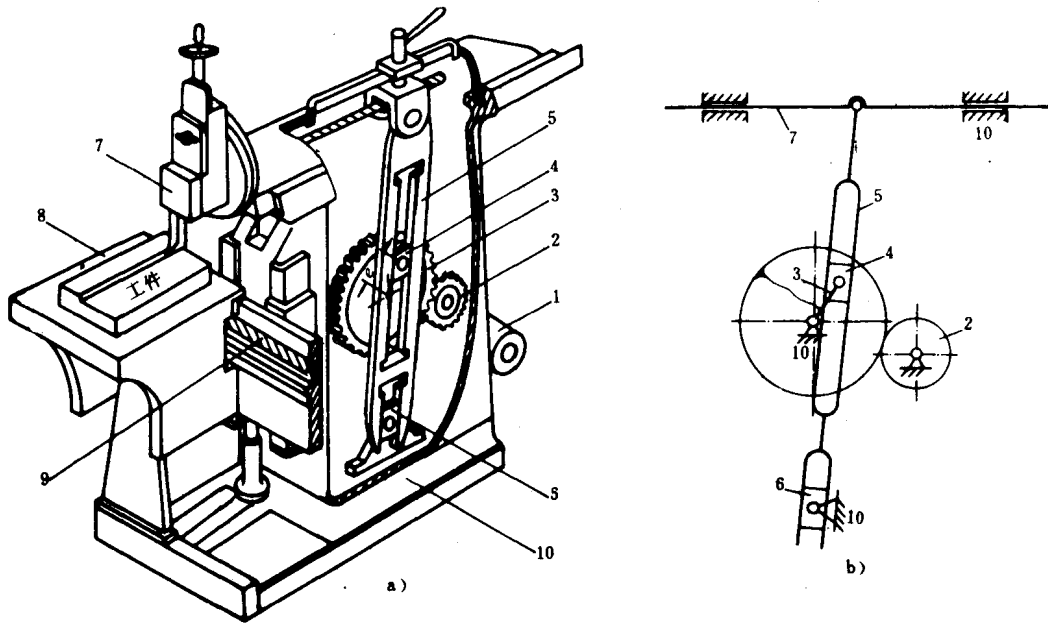


图 0-2

轴转动滑块 6、刨头 7、工作台 8、丝杆 9 和床身 10 等所组成。当电动机通过带传动（图上未画出）使齿轮 2 带动大齿轮（曲柄）3 转动时，经过滑块 4 带动导杆 5 运动，再由导杆 5 带动刨头 7 作往复直线移动，从而使刨刀切削工件而作有用的机械功。与此同时，为了使作往复运动的刨刀能将工件刨出平面，工作台 8 连同工件所需要的横向进给运动，是由其它辅助部分（图上未画出）带动丝杆 9 作间歇转动来实现的。

图 0-3 所示为机械手式送料机，它是模拟人工操作的动作而设计的一种专用机械手，用以代替人工完成一定的动作。它的动作顺序是：手指 14 夹料；手臂 15 上摆；手臂回转一角度；手臂下摆；手指张开放料；手臂再上摆，反转，下摆，复位。其外形如图 0-3a 所示，图 0-3b 为机械传动图。电动机通过减速装置减速后（图上未画出），带动运动分配轴 2 上的链轮 1 转动。分配轴 2 上的齿轮 17 与齿轮 16 啮合，把转动传给盘形凸轮 19（它与齿轮 16 固结），使杆 18 绕固定轴  $O_2$  摆动。杆 18 带动连杆 20，并通过杆 9、10、11、12 和 13 使夹紧工件的手指 14 张开。连杆 20 与杆 9 之间可以相对转动。手指的复位夹紧由弹簧实现。同时，分配轴 2 上盘形凸轮 5 的转动，使杆 21 绕固定轴  $O_1$  摆动，通过拨动固结在圆筒 7 上的销 22 而使圆筒上下移动。由于大臂上的销 23 镶在圆筒 7 的环形槽中，故当圆筒移动时，可使大臂 15 绕  $O_3$  轴上下摆动（ $O_3$  轴支承在座 8 上）。此外，分配轴 2 上的圆柱凸轮 3，带动齿条 4 往复移动，再通过齿轮传动，使座 8 作往复回转。

从以上三例可以看出，虽然这些机器的构造、用途和性能各不相同，但是从它们的组成、运动确定性及其功能关系来看，都具有以下三个共同特征。

1) 它们都是人为的实物组合，即由若干构件所组成。所谓构件，就是一个运动单元体，它可以是单一整体，也可以是由几个零件组成的刚性结构。例如图 0-1 所示的内燃机，是由曲轴、连杆、活塞等构件组成的，其中作为一个运动单元体的连杆，就是由连杆头、连杆体、

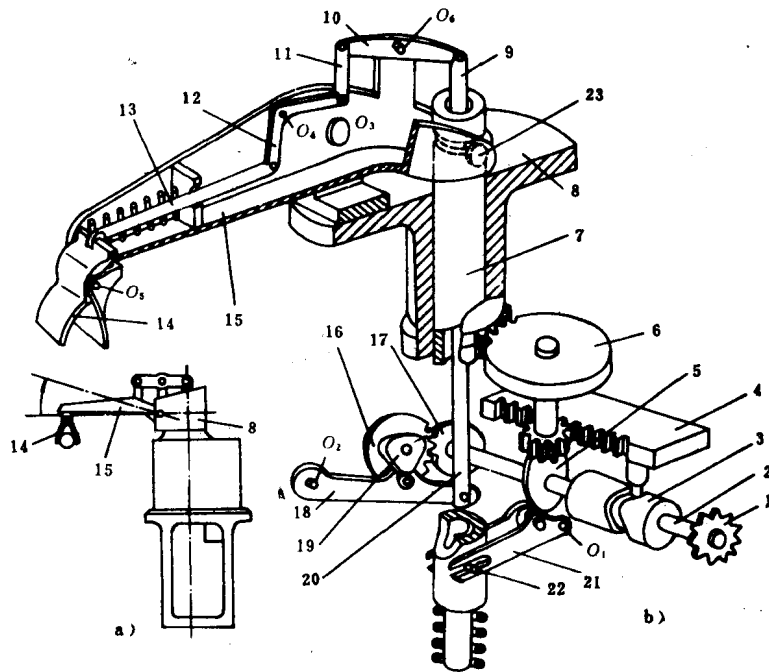


图 0-3

螺栓、螺母等若干零件(制造单元体)装配而成的,故它是一个构件,如图0-4所示。

2) 各构件之间具有确定的相对运动。如图0-1所示的内燃机,当曲轴转动时,曲轴与连杆、连杆与活塞,及活塞与气缸之间等均具有确定的相对运动。

3) 在生产过程中能代替或减轻人类劳动,完成有用的机械功(如牛头刨床的切削功)或转换为机械能(如内燃机的热能转换为机械能)。

凡同时具备上述三个特征的便称为机器。

凡能将其他形式的能量转换为机械能的机器称为原动机,如电动机、内燃机、汽轮机等。能将机械能转换为其它类型能量的机器称为变能机,如发电机能将机械能转换成电能、空气压缩机能将机械能转换成空气位能等。凡利用机械能来完成有用功的机器称为工作机,如各种机床、纺织机、起重机、轧钢机和包装机等。

由于现代科学技术特别是电子计算机技术的迅速发展和完善,在某种条件下,机器不仅

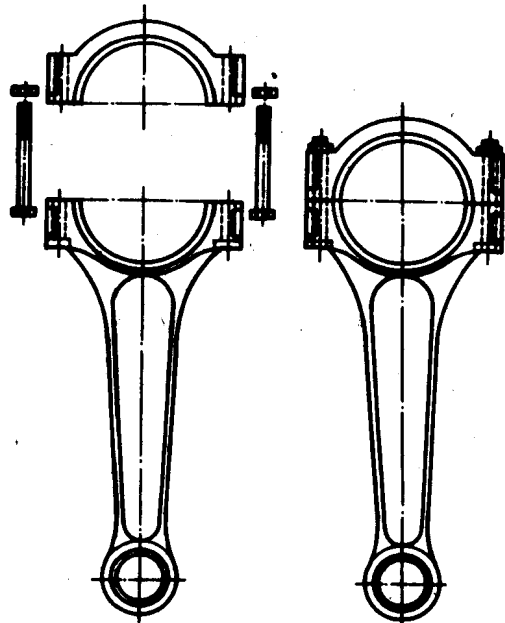


图 0-4

可以代替人的体力劳动，而且还可以代替或大大减轻人的脑力劳动。例如借助电子计算机和控制装置进行复杂的数学运算、工程管理、生产过程控制和信息传递等。故“机器”的概念实际上有所扩大，除了利用或转换机械能外，它还包括那些为转换或传递信息而作机械运动的装置（必须是具有机械运动的装置）。显然，机器人、机械手和步行机等都是机器。

各种机器只有在运动中才能完成能量的转换，完成有用的机械功。因此，若撇开机器能量变化这个特点，而只研究其实现预期的确定运动这个特点，就可发现机器还不是实现预期运动的最基本组合体。以前述三个机器为例，在牛头刨床中，大齿轮3、滑块4与6、导杆5、刨头7和床身10组合起来，可将大齿轮的转动变为预期的刨头往复移动；在内燃机中，活塞3、连杆2、曲轴1和气缸4组合起来，可将活塞的往复移动变为曲轴的连续转动，而三个齿轮与气缸体组合可实现一定的角速度比；再如内燃机和机械手中的凸轮，人们常利用其轮廓曲线形状，把它和相应件（如顶杆或摆杆，气缸体或机座）组合起来，可实现预定规律的移动或摆动。因此，人们将这些具有各自特点的、能变换运动的组合体称为“机构”，如导杆机构、曲柄滑块机构、齿轮机构、凸轮机构等。故机器是由机构组成的。最简单的机器只包含一个机构，如电动机只包含一个由转子和定子组成的双杆机构。多数机器包含若干个机构，例如前述内燃机就包含了曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构等。

机构只具备机器的前两个特征。机构也是人为的实物组合，由各实物形成的各运动单元体之间具有确定的相对运动。从结构和运动观点来看，机构与机器之间并无区别。因此，为了简化叙述，人们常用“机械”一词作为机构和机器的总称。

## § 0-2 机械原理课程的内容

机械原理课程研究的内容，大体可分为下面三个部分：

### 一、研究各种机构的共性问题

1. 机构的结构，研究机构的运动可能性和确定性。它包括机构的自由度计算、机构的组成原理和机构运动简图的绘制方法；
2. 机构的运动分析和动力分析及机构中的摩擦和自锁及机械效率。

### 二、着重研究几种常用机构的特殊性问题

1. 连杆机构的知识和运动设计；
2. 凸轮机构从动件运动规律的选择，凸轮廓线设计和凸轮机构尺寸参数的确定；
3. 齿轮机构的啮合基本原理及齿轮机构设计；
4. 各种轮系的传动比计算、行星轮系类型选择及各轮齿数的确定；
5. 其它常用机构的运动特性分析和基本尺寸确定，组合机构。

### 三、讨论机械动力学的基本问题——机械运转过程中的动力性能问题

1. 机械的运转和调速；
2. 回转构件的平衡。

将上述三部分内容归纳起来，就其解决问题的性质而言，机械原理所研究的问题又可归纳为两大类：第一类问题是对现有机械的研究，即机构的分析问题（结构分析、运动分析和动力分析）；第二类问题是按已知的运动和工作要求设计新的机构，即机构的综合问题（结构选择、运动设计和动力设计）。

解决上述问题的方法有图解法、解析法等。图解法较为直观，但精度较低；解析法精度较高，但有时计算复杂。

近年来，由于电子计算机和各种数学方法在机械原理学科中的广泛应用，使解决机构的分析和综合中的一些复杂问题已成为可能。另一方面，测试技术的发展也为机构运动学和动力学的研究创造了有利条件。可以预言，随着电子计算机的应用和测试技术的发展，必将促进机械原理学科的进一步发展，使它在工程实践中获得更广泛的应用。

## § 0-3 机械原理课程的作用和在教学计划中的地位

### 一、机械原理课程的作用

加速我国社会主义现代化建设进程的重要措施之一，就是要以现代化的生产手段来武装国民经济的各个部门，大幅度地提高劳动生产率和全面提高产品质量。为此，必须实现生产的机械化和自动化。而要实现生产的机械化和自动化，必须创造出各式各样的高效优质机械。同时也要改进现有机械设备，以充分发挥其潜力。当前，随着我国机械工业的迅速发展，机械产品急需升级换代，急需自行创新新机械，以使我国机械产品达到高水平、高性能和多品种的要求。如前所述，机械原理是研究机构与机器的运动学和动力学，即机构与机器的分析和综合的一门主要基础学科。它在完成这一任务中，诸如提高机械产品工作性能和增加产品品种等方面，将起着越来越大的作用。

当今世界正处在电子计算机广泛应用和人工智能机械迅速发展的新时代。毫无疑问，对机械设计、生产和使用的要求将会越来越高，这就促使机械原理学科发展到一个崭新阶段，机械原理学科已经成为现代设计方法学中不可缺少的部分。

### 二、机械原理课程在教学计划中的地位

机械原理是以高等数学、普通物理、理论力学和机械制图为基础的，它研究的是各种机械都具有的共性问题，为以后学习机械零件和有关专业课程以及掌握新的科学技术知识打好理论基础，并能使学生受到必要的严格的基本技能训练和培养开发创新能力。因此，机械原理是一门十分重要的、承上启下的、带有培养开发创新能力的重要技术基础课，在机械类各专业技术人才培养的教学计划中占有不可忽视的地位。

### 思 考 题

0-1 什么是“机器”？什么是“机构”？机器与机构有何区别？它们之间又有何联系？

0-2 下面所列各物是机器还是机构？或两者都不是。

机床、缝纫机、钟表、自行车、柴油机、打字机、磅秤、电视机、发电机、电子计算机、锅炉、变压器、电梯、直升飞机。

0-3 “构件”与“零件”有何区别？试举例说明之。

# 第一章 平面机构的结构分析

## § 1-1 机构结构分析的目的

在绪论中已经讲过，机器是由各种机构组成的。而机构的设计常常是整个机器设计的第一步。因此，首先必须了解机构是怎样组成的，并且对于所设计的机构能否运动和是否具有确定的运动应能作出正确的判断。我们进行机构结构分析的目的就在于探讨机构的组成规律、分析机构的可动性以及具有确定的相对运动的条件。

另外，实际机构的构造和外形常常是很复杂的，这是由于机构除了要满足运动学上的要求以外，还要考虑到强度、加工工艺性、机器布局等因素的缘故。我们在进行机构的运动分析时，往往并不需要绘出这些复杂的实际外形，而只需根据机构的结构特点，把那些与运动有关的因素用一些简单的线条和符号以简图的形式画出来就可以了。因此如何绘制机构的运动简图也是进行机构结构分析的基本手段之一。

## § 1-2 运动副 运动链 机构

### 一、运动副

如前所述，机构是由若干个运动单元体即构件组合而成的。因此，构件是组成机构的基本单元。在由构件组成机构时，机构中的两个构件都通过一对（或称“一副”）接触表面的相互接触而联接起来，使两构件在保持接触的同时又允许在接触处有一定的相对运动。我们把这种由两个构件所组成的可动的联接称为运动副。

当两构件组成运动副以后，如果他们只能在同一平面内做相对运动，则将此运动副称为平面运动副，否则就是空间运动副。本章将重点讨论前者。

如图 1-1 所示为轴 1 与轴承孔 2 所组成的运动副。1 和 2 通过两个圆柱体表面的相互接触而形成联接，并在接触处互相约束使得两构件只能绕轴线  $x-x$  作相对转动。而图 1-2 所示为滑块与导路所组成的运动副，它们通过两个矩形表面相互接触，两构件则只能沿  $x-x$  方向作相对移动。

图 1-3 所示为运动副的另一种形式。构件 1 与 2 为两圆柱体，它们沿圆柱体表面的母线

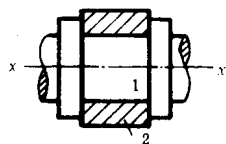


图 1-1

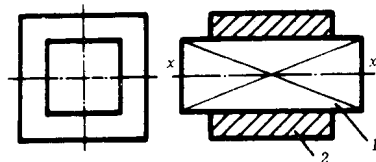


图 1-2

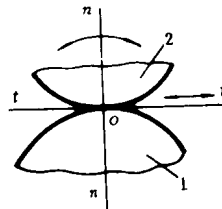


图 1-3

互相接触而形成联接。两构件在接触处所组成的这种运动副将使两构件除能绕  $o-o$  轴线(与纸面垂直)相对转动外, 还可沿切线  $t-t$  方向相对移动。

## 二、运动副的分类

设有一作平面运动的构件  $N$  (图1-4), 在其未与其它构件组成运动副以前(即在自由状态下), 可有三个独立的相对运动, 即沿  $x$  轴和  $y$  轴的移动以及绕  $A$  轴(垂直于  $xoy$  平面)的转动。我们把构件相对于参考坐标系可能有的独立运动的数目称为构件的自由度。显然, 一个作平面运动的自由构件具有三个自由度, 或者说为了确定构件在任意瞬时的位置必须给定三个独立的运动参数(如  $x_A$ 、 $y_A$  和  $\alpha$ )。

由前述可知, 当使两构件互相联接组成运动副以后, 则构件之间的相对运动将受到某些限制, 我们把这种对运动的限制称为约束, 而所限制的独立运动的数目称为运动副的约束数, 约束数的多少与两构件接触表面的接触形式有关。所谓接触形式则不外乎是点接触、线接触和面接触。

例如图1-1所示的运动副为一对圆柱表面互相接触, 当组成运动副以后, 两构件只能绕  $x-x$  轴作相对转动。又如图1-2所示之运动副使得两构件只可能沿  $x$  轴作相对移动。这两种运动副都使构件有两个独立运动被限制, 因此运动副的约束数为2, 而构件的相对运动自由度为1。

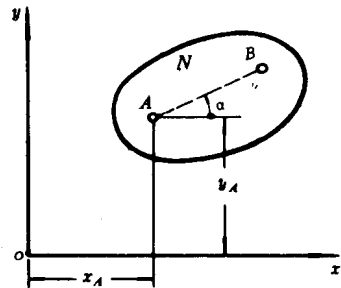


图 1-4

又如图1-3所示的运动副, 其在接触处为一对直母线互相接触, 在两构件组成运动副以后, 由于沿接触处法线  $n-n$  方向的运动被约束, 而允许沿切线  $t-t$  方向移动和绕轴线  $o-o$  转动, 因此该运动副的约束数为1, 构件的相对运动自由度为2。

由于构件组成运动副以后, 必须允许构件之间有一定的相对运动, 所以对于平面运动副来说约束数只能为1或2。

在组成运动副以后, 构件仍具有的相对运动自由度与运动副的约束数之间是有一定关系的, 即运动副每引入一个约束, 构件的相对运动自由度就相应地减少一个。若设构件的相对运动自由度数为  $H$ 、运动副的约束数为  $S$ , 则对于平面运动副来说有

$$H = 3 - S \quad (1-1)$$

如根据构件的相对运动自由度数  $H$  来分, 平面运动副可分成  $H=1$  和  $H=2$  的两类。

1.  $H=1$  的运动副 由式(1-1)可知这类运动副的约束数为2, 构件的相对运动自由度为1。此类运动副又有以下两种形式: 一种如图1-1所示的运动副, 它只有一个相对转动自由度, 因而把这种运动副称为转动副。转动副也常称为铰链。图1-2所示为另一种  $H=1$  的运动副。这种运动副只具有一个相对移动自由度, 因而称为移动副。上述的转动副和移动副都是面接触, 工作时其接触表面的压强较低、磨损较轻, 又统称为低副。

2.  $H=2$  的运动副 由式(1-1)可知这类运动副的约束数为1。图1-3所示之运动副即属于此类。此外, 图1-5所示之齿轮副和图1-6所示之凸轮副也都属于这一类。

这类运动副的两构件为点接触(图1-6)或线接触(图1-3、图1-5), 又统称为高副。由于高副具有较多的自由度, 故比低副更易于实现较复杂的运动, 其缺点是接触处压强较高、容易磨损且制造较困难。

除上述的平面运动副外, 较为常用的还有球面副(图1-7)和螺旋副(图1-8), 它们都是

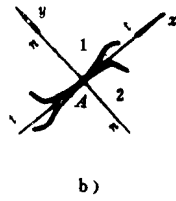
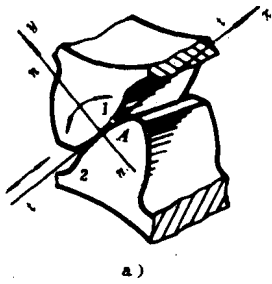


图 1-5

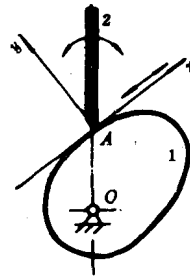


图 1-6

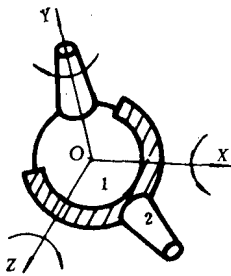


图 1-7

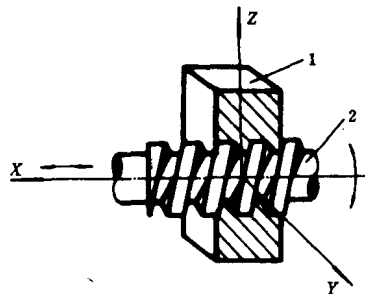


图 1-8

空间运动副。球面副的自由度  $H=3$ ，即允许的相对运动为绕三个坐标轴的转动。螺旋副虽然容许绕  $x-x$  轴转动和沿轴向移动，但这两种运动不都是独立的，在移动距离  $h$  与转角  $\phi$  之间有着一个附加几何约束条件  $h = (\phi)$ ，因而其独立的相对运动只有一个，即  $H=1$ 。

由于构件之间的相对运动仅与其相互接触部分的接触形式有关，而与构件接触部分以外的实际外形无关，因此常将两构件组成的运动副用一些简单而又能真实地反映其相对运动性质的符号来表示。通常转动副用图 1-9 所示之符号表示；移动副的表示方法如图 1-10 所示。高副则可在两构件的接触处将其曲线轮廓表示出来（图 1-5b 和图 1-6）。

### 三、运动链

若干个构件以运动副联接而形成的构件系统称为运动链。

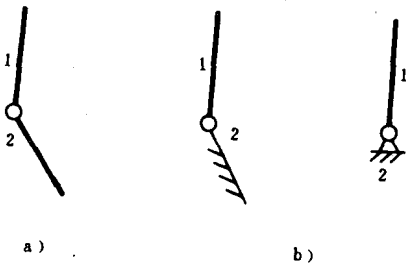


图 1-9

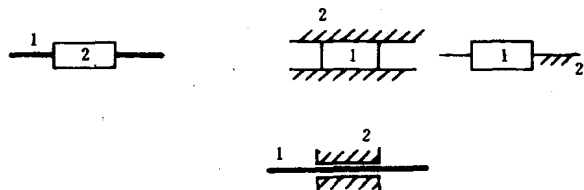


图 1-10

运动链组成封闭形的 (图1-11 a)称为闭式链; 运动链未形成封闭形的称为开式链 (图1-11 b)。实际机构中闭式链应用较多。

#### 四、机构

根据机构的定义, 如果我们把运动链中的一个构件予以固定 (即使其与参考坐标系相固结), 这时, 当使另一个或若干个构件相对于参考坐标系按已知运动规律作相对运动, 而其余构件也都随之作确定的相对运动时, 这个运动链就成为机构。

机构中与参考坐标系相固定的构件称为固定件或称机架。那些被输入了已知运动或给定了运动的构件称为起始件或主动件, 其余为起始件 (或主动件) 所带动的构件, 称为从动件。在实际机构中, 多数情况下起始件和机架相联 (图1-12), 但也有不和机架相联的情况, 例如有些液压驱动机构 (图1-13), 其起始件是滑块, 并不和机架相联。

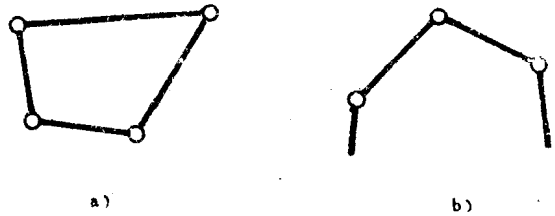


图 1-11

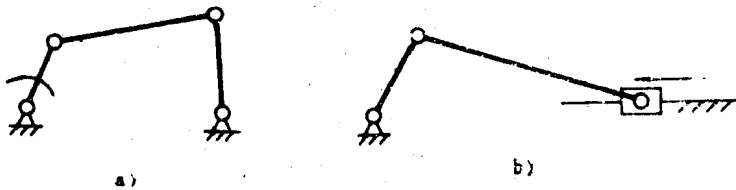


图 1-12

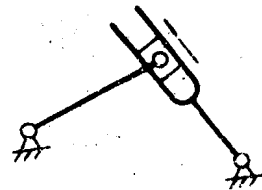


图 1-13

实际机器的形式多种多样, 构造和用途各不相同, 但它们往往都是由一些具有基本型式的机构所组成。例如往复式发动机和压床仅就其外形和用途来说差别很大, 但它们的运动本质却是相同的, 即都是由曲柄滑块机构所构成 (图1-12 b)。因此, 为了便于研究机构运动, 应撇开构件的外形和构造, 而只要研究机构的一般规律就可以了。

根据构件的运动情况可将机构分为平面机构和空间机构两类。如果机构中的各构件均在同一平面或平行平面内运动就称其为平面机构, 否则就是空间机构。本章只讨论前者。

### § 1-3 平面机构的运动简图

在实际机构中, 构件和运动副的外形与构造常常很复杂, 但是机构的运动情况主要是由起始件的运动规律、机构中运动副的数量和类型以及确定运动副相对位置的尺寸等因素来决定的, 而与构件的实际外形、断面尺寸、运动副的具体构造等无关。在对机构进行运动分析和动力分析时, 可以撇开那些无关的因素而只考虑那些与运动有关的因素, 并把构件和运动副用尽量简单的图形画出来。这种线条简明的机构图就是机构运动简图。机构运动简图与实际机构应具有完全相同的运动特性, 即它们在运动上是完全等同的, 因此机构运动简图必须根据实际尺寸按比例绘制。

在绘制机构运动简图时, 对于组成两个转动副的构件不管其外形如何均可以用连接两转动副几何中心的直线来表示 (图1-14)。而组成三个、四个转动副的构件则可以用如图1-15所



示的画法画出。对于组成移动副的构件，由于其相对移动的导路方向与构件的运动情况直接相关，所以在运动简图中必须将其正确地表示出来，如图1-16所示。

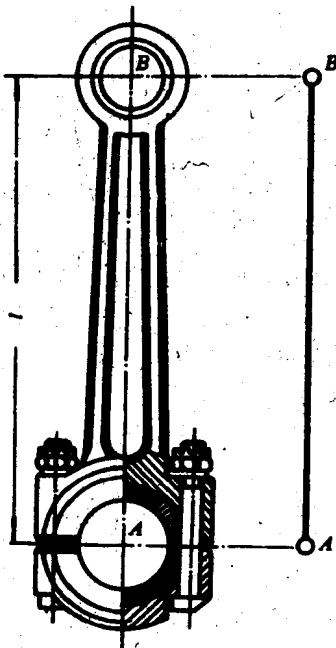


图 1-14

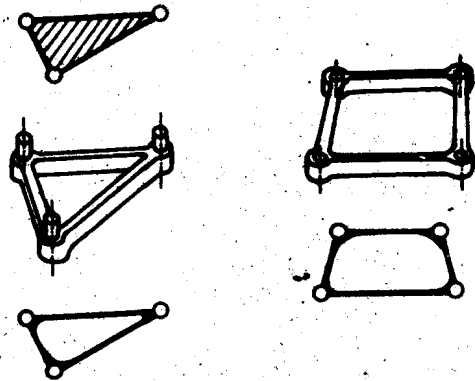


图 1-15

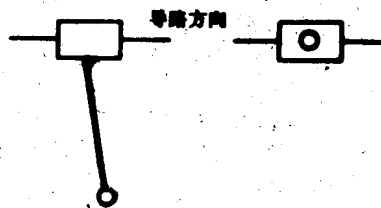


图 1-16

对于常见的凸轮构件应画出其全部轮廓，圆柱齿轮构件则可用其一对相切的节圆来表示。关于绘制机构运动简图所用的表示符号已列入国家标准（GB 4460-84），在表 1-1 中摘录了常用的机构运动简图符号，供绘制时参考。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法与步骤。

例 1-1 图 1-17a 所示为 V 形发动机的构造图，试绘制此机构的运动简图。

解：

(1) 分析研究机构的实际构造，了解机构的运动情况。

由构造图可以看出，该机构的特点是由燃气分别顺次推动活塞  $B$  和  $D$ ，通过连杆  $AB$  和  $CD$  驱使曲柄  $OA$  转动，从而把移动转变为转动。该机构连同机架在内共由六个构件组成，其中活塞 4、5 分别与机架组成移动副，其余构件间均以转动副相联。机构中共有五个转动副、两个移动副。

(2) 选择视图平面。

选择视图平面的原则是使机构的运动特性能够较全面地表现出来。此例中可取机构的运动平面为视图平面

(3) 选择长度比例尺  $\mu_l$ ，绘制机构的运动简图

根据图纸幅面的大小和机构的实际尺寸选择适当的长度比例尺  $\mu_l$ ，以使运动简图画在纸面上时大小适当、匀称美观。 $\mu_l$  的含义：构件的实际长度（m）与画在图面上的构件长度（mm）之比（m/mm）； $\mu_l$  取得越大，则画出的运动简图越小。