

中等专业学校试用教材

工科机械类专业通用

机械原理及机械零件

上册

杨黎明 主编

人民教育出版社

HE11

/1

中等专业学校试用教材

工科机械类专业通用

机械原理及机械零件

上 册

杨黎明 主编

人民教育出版社

内 容 简 介

本书系根据一九八二年一月教育部审定的中等专业学校工科机械类专业通用《机械原理及机械零件教学大纲(试行草案)》编写的。

全书分上、下册及附册三本出版。上册为机械原理部分,主要内容有:机构的组成及其确定运动的条件、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、回转件的平衡等。下册为机械零件部分。上、下册多数章附有例题和习题。附册主要内容有:为本课程进行理论教学和机械零件课程设计时常用的计算图表、标准、规范以及机械传动系统设计、减速器设计资料等。

本书可作为中等专业学校工科机械类专业“机械原理及机械零件”课程的试用教材,也可供从事机械设计工作的工程技术人员参考。

中等专业学校试用教材

(工科机械类专业通用)

机械原理及机械零件

上 册

杨黎明 主编

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

江苏海安印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 287,000

1982年9月第1版 1983年3月第1次印刷

印数 00,001—50,000

书号 15012·0437 定价 1.15 元

序

本书是根据一九八二年一月中华人民共和国教育部审定的中等专业学校工科机械类专业通用的《机械原理及机械零件教学大纲(试行草案)》编写的。

在编写本书时注意到以下几点:

1. 为了加强基础理论,对内容作了适当的充实。
2. 为了适应科学技术的发展,对内容作了必要的更新。例如带传动、链传动、圆柱齿轮传动强度计算及滚动轴承寿命计算均采用国际标准化组织(ISO)推荐的计算方法。
3. 书中除编入教学大纲规定的基本内容外,还编入一些选讲内容(带“*”部分),供不同专业选用。
4. 为了便于使用,将各章计算用的图表,本课程进行理论教学和机械零件课程设计时常用标准、规范及减速器设计资料集中编入附册。
5. 为了培养学生的机构综合分析能力,附册中编有机械传动系统设计资料和实例,作为选学内容。
6. 为了便于指导学生进行机械零件课程设计,附册中还编有单级齿轮减速器和蜗轮减速器设计例题。
7. 全书采用国家颁布的计量单位名称与符号(试行)及国际惯用符号。
8. 为了提高学生机械零件设计能力,多数章均编有联系实际的例题和习题,多数例题均附有零件工作图。

参加本书编写工作的有吉林省机械工业学校赵翼瀚、郑州机器制造学校张绍甫、北京机械学校杨黎明、湘潭电机制造学校林道澄、山东省机械工业学校李维智、咸阳机器制造学校裴超广等同志,由杨黎明同志担任主编。其中第二、三、八章由赵翼瀚编写;第四、七章由张绍甫编写;第一、五、六、十二、十三、十四、十五、二十章以及附册中的机械传动设计资料和实例、单级齿轮减速器和蜗杆减速器设计例题由杨黎明编写;第九、十、十一章由林道澄编写;第十六、二十一章由李维智编写;第十七、十八、十九章由裴超广编写。

受教育部委托,机械工业部中等专业学校基础课教材编审委员会机械原理及机械零件教材编审组于一九八二年六月在哈尔滨召开了审稿会议,对本书进行了认真审查,由哈尔滨电机制造学校杨泰全同志担任主审,与会同志提出了许多宝贵意见和建议,编者对此表示衷心感谢。

本书虽然在试用讲义的基础上由全体编者和主审经过反复多次讨论和修改,但由于水平有限,必定存在不少缺点或错误,我们恳切希望读者给予批评指正。

编 者

一九八二年七月

• i •

上册 目 录

第一章 绪论1	§ 5-8 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的重迭系数.....93
§ 1-1 引言.....1	* § 5-9 渐开线齿轮传动的滑动系数.....97
§ 1-2 本课程研究的对象和内容.....1	§ 5-10 渐开线齿轮切齿原理简介.....98
§ 1-3 本课程的任务、性质及其在教学计划中的地位.....2	§ 5-11 渐开线标准直齿圆柱齿轮的根切现象和最少齿数.....100
§ 1-4 本课程的学习方法.....3	§ 5-12 渐开线齿轮变位修正的概念.....101
第二章 机构的组成及其具有确定运动的条件5	§ 5-13 齿条插刀(或滚刀)加工齿轮的变位计算.....103
§ 2-1 机构的组成 运动副及其分类.....5	* § 5-14 渐开线变位齿轮传动的类型和特点.....109
§ 2-2 平面机构运动简图.....7	* § 5-15 变位系数的选择.....111
§ 2-3 平面机构具有确定运动的条件.....9	§ 5-16 变位齿轮传动的设计计算.....114
习题.....14	§ 5-17 斜齿圆柱齿轮机构.....117
第三章 平面连杆机构16	* § 5-18 螺旋圆柱齿轮机构简介.....128
§ 3-1 铰接四杆机构的类型及曲柄存在条件.....16	§ 5-19 蜗杆蜗轮机构.....131
§ 3-2 铰接四杆机构的演化.....21	§ 5-20 圆锥齿轮机构.....139
§ 3-3 连杆机构设计中的几个问题.....24	习题.....146
§ 3-4 平面连杆机构的设计方法.....29	第六章 轮系148
* § 3-5 平面连杆机构的运动分析和动力分析简介.....36	§ 6-1 轮系的分类.....148
习题.....41	§ 6-2 定轴轮系传动比的计算.....149
第四章 凸轮机构43	§ 6-3 周转轮系的组成和分类.....152
§ 4-1 凸轮机构的应用和分类.....43	§ 6-4 周转轮系传动比的计算.....154
§ 4-2 从动件的常用运动规律及其选择.....47	§ 6-5 混合轮系传动比的计算.....158
§ 4-3 凸轮轮廓曲线的设计.....53	§ 6-6 轮系的应用.....159
§ 4-4 凸轮机构设计中的几个问题.....60	* § 6-7 渐开线少齿差行星减速器.....162
§ 4-5 凸轮机构的结构设计.....64	* § 6-8 摆线针轮行星减速器.....164
习题.....71	* § 6-9 谐波齿轮传动.....167
第五章 齿轮机构73	习题.....169
§ 5-1 齿轮机构的分类.....73	第七章 间歇运动机构172
§ 5-2 齿廓啮合基本定律.....73	§ 7-1 间歇运动机构的分类.....172
§ 5-3 渐开线及其性质.....75	§ 7-2 棘轮机构.....172
§ 5-4 渐开线齿轮各部分名称、符号及标准直齿圆柱齿轮主要尺寸的计算.....79	§ 7-3 槽轮机构.....182
§ 5-5 齿轮任意圆周上弧齿厚的计算.....84	习题.....188
§ 5-6 标准直齿圆柱齿轮弦齿厚和公法线长度的计算.....85	*第八章 回转件的平衡189
§ 5-7 一对渐开线齿轮的啮合传动.....89	§ 8-1 回转件平衡的计算法.....189
	§ 8-2 回转件平衡的实验法.....193
	习题.....196

第一章 绪 论

§ 1-1 引 言

机械是人类进行生产斗争的重要工具,也是社会生产力发展水平的重要标志。早在古代,人类就应用杠杆和绞盘等原始的简单机械从事建筑和运输。十八世纪中叶,蒸汽机的发明促进了欧洲的产业革命。此后,机械工业以迅猛的速度向前发展,并推动着机械科学的发展,到十九世纪机械设计学科已经逐渐形成。

我国劳动人民在机械方面有过杰出的发明和创造。远在五千年前就使用过简单的纺织机械,在夏朝以前就发明了车子,晋朝的水碾已经应用了凸轮原理,西汉的指南车和记里鼓车已经采用了齿轮系。东汉张衡创造的候风地动仪是人类历史上第一台地震仪。但是,由于我国封建社会漫长。帝国主义入侵以后到新中国成立之前我国长期处于半封建半殖民地社会,工业得不到发展,机械工业和机械设计科学都处于极端落后状态。

新中国成立后,在中国共产党领导下,我国工农业生产和科学技术有了很大发展。目前不仅能制造,而且能设计大型、精密和尖端产品,还建立了门类齐全的机械科学的设计和研究部门。

在各个生产部门实现机械化,对于国民经济具有十分重要意义。为了加速社会主义建设的步伐,应当对现有机械设备进行全面的技术改造,充分挖掘设备潜力;应当加快机械科学的研究,设计和制造出各种先进的成套设备装备各个工业部门,并且逐步实现生产过程的自动化。由于“机械原理及机械零件”课程是机械设计科学的基础,所以可以预计,在实现四个现代化的过程中它将发挥越来越大的作用,同时它本身必将得到进一步的发展。中等专业学校机械类专业学生学习《机械原理及机械零件》课程的必要性和重要性,也就不言而喻了。

§ 1-2 本课程研究的对象和内容

机器的种类很多。由于机器的功用不同,其工作原理、构造和性能也各异。但是,从机器的组成原理、运动的确定性及其与功、能的关系来看,各种机器之间却存在一些共同的特征。

从制造角度来分析机器,可以把机器看成由若干机械零件(简称零件)组成的。“零件”是指机器的制造单元。机械零件又分为通用零件和专用零件两大类:通用零件是指各种机器经常用到的零件,如螺栓、螺母、轴和齿轮等;专用零件是指某种机器才用到的零件,如内燃机曲轴、汽轮机叶片和机床主轴等。

从运动角度来分析机器,可以把机器看成由若干构件组成的。“构件”是指机器的运动单元。构件可能是一个零件,也可能是若干个零件的刚性组合体。如图 1-1 所示内燃机的连杆,就是由连杆体 1、连杆盖 2、螺母 3 和螺栓 4 等零件组成的构件。因为组成连杆和各零件之间没有相对运动,而成为作平面运动的刚性组合体。

从装配角度来分析机器, 可以认为较复杂的机器是由若干部件组成的。“部件”是指机器的装配单元。例如车床就是由主轴箱、进给箱、溜板箱及尾架等部件组成的。部件有大有小, 大的如主轴箱, 小的如滚动轴承。把机器划分为若干部件, 对设计、制造、运输、安装及维修都会带来许多方便。

下面再从运动的确定性及功、能关系来分析机器。

图 2-9(a) 所示的内燃机是由活塞 1, 连杆 2, 曲轴 3, 缸体(机架) 4, 齿轮 5 和 6, 凸轮 7 及推杆 8 等组成的。当燃气推动活塞往复移动时, 通过连杆 2 带动曲轴 3 作连续转动, 从而使燃气的热能转换为曲轴的机械能。另外, 曲轴 3 的运动通过齿轮 5、6, 凸轮 7 带动推杆 8 按一定规律开闭阀门, 保证燃气定时进出汽缸。

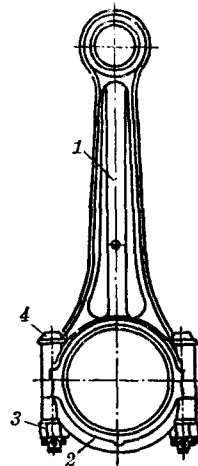


图 1-1

凡将其它形式的能量转换为机械能的机器称为原动机。内燃机、电动机、液压马达、蒸汽机等都是原动机。

有些机器是利用机械能来作有用机械功的。凡利用机械能作有用机械功的机器称为工作机。金属切削机床、碾砂机、织布机、印刷机、起重机等都是工作机。

发电机是由转子和定子组成的。当原动机驱动发电机时, 发电机便将机械能转换为电能。凡将机械能转换为其它形式能量的机器称为转换机。

从上述三例可以看出, 机器具有以下三个特征:

1. 机器一般是由许多构件组成的;
2. 各构件间具有确定的相对运动;
3. 机器能代替或减轻人类劳动来完成有用的机械功或转换机械能。

当仅仅研究构件之间的相对运动, 而不考虑构件在作功和能量转换方面所起的作用时, 通常把具有确定相对运动、实现运动的传递或运动形式的转换的多构件组合称为机构。最简单的机器只包含一个机构, 例如电动机就是由一个双杆机构组成的。大多数机器都包含若干个机构, 例如内燃机就是这样。

从结构和运动的角度来看, 机器与机构之间是没有区别的。因此, 为了叙述方便, 通常用“机械”一词作为“机器”和“机构”的总称。

本课程着重介绍机械中常用机构和通用机械零件的工作原理, 运动和动力特性, 构造, 标准和规范, 以及设计原理和方法等。具体内容后面将分章详细介绍。

§ 1-3 本课程的任务、性质及其在教学计划中的地位

在各工业部门工作的工程技术人员, 首先要熟悉各种通用设备和专用设备的工作原理、构造和性能。此外, 为了提高劳动生产率 and 产品质量, 还需要对原有生产设备进行技术改造, 以挖掘设备潜力。因此, 不论是使用设备还是改造设备, 都要求工程技术人员具有一定的机械设计知识和设计能力。本课程的主要任务就是介绍机械中常用机构和通用机械零件的设计知识和培养机

械设计能力。

本课程是一门技术基础课程,同时也是一门能直接用于生产的设计性课程。

本课程在贯彻教学计划中,处于承上启下的地位。一方面,数学、物理、机械制图、金属工艺学、理论力学、材料力学及公差与技术测量等先修课程是学习本课程的基础;另一方面本课程又是学习有关专业课程的基础。

§ 1-4 本课程的学习方法

课程的学习方法与课程的特点有关。根据本课程的特点,在学习方法上应当注意以下几点:

1. 结合学习本课程及时复习和巩固有关先修课程的知识

如前所述,不少先修课程是学习本课程的基础。显然,这些先修课程的学习情况如何?将影响本课程的学习。因此为了给学习本课程奠定坚实的基础,还应当结合学习本课程及时复习和巩固有关先修课程的知识。

2. 注意培养综合运用所学知识的能力

本课程是一门综合性课程,学习本课程的过程也是综合运用所学知识的过程,而综合运用所学知识解决设计问题的能力又是设计工作能力的重要标志。所以在学习本课程时应当注意培养综合运用所学知识的能力。

3. 弄清设计原理和设计公式的应用条件及公式中各量之间的相互关系

本课程的许多设计原理和设计公式都是带有条件的。设计时应弄清实际情况是否与条件相符。此外,设计计算时,通常在同一公式中要同时确定几个参数或数据,而这些参数或数据是否确定合理,又取决于对公式中各量之间的关系和对实际情况的了解程度。因此,设计计算中的主要困难不是解方程式,而是怎样才能做到结合实际情况合理地选择设计参数或数据。所以学习本课程时应当十分重视弄清设计原理和设计公式的应用条件及公式中各量之间的相互关系。

4. 正确对待理论设计与经验设计

按照长期生产斗争和科学实验总结出来的机器、机构或零件的现代设计理论、设计方法和实验数据进行设计,称为理论设计。这是本课程主要介绍的方法,也是机械设计时主要采用的方法。

根据实践经验,并且参考同类机器、机构或零件进行设计,称为经验设计。经验设计虽无详尽的理论分析,但它是由实验中总结出来的,有一定的实际价值。因而不应轻视经验设计。

5. 正确处理计算和绘图的关系

设计时,有些零件的主要尺寸是由计算确定的,然后根据所得尺寸通过绘图确定其结构。但是,有些零件在确定主要尺寸之前,需要先绘出计算简图,取得某些计算所需条件后,才能确定其主要尺寸和结构。有时候还需要根据计算结果再修改设计草图。所以设计中计算与绘图并非截然分开,而是互相依赖、互相补充和交叉进行的。

6. 正确处理继承现有设计成果与设计创新的关系

任何设计都不可能是设计者独出心裁,凭空设想出来的。设计中,必须吸取前人有益设计经

验,参考有用设计资料。因为好的经验和资料是长期实践经验积累的宝贵财富。所以,设计时吸取有益经验,使用设计资料,既能减少重复工作,加快设计进程;又能继承和发展现有设计成果,不断改进设计方法和提高设计质量。此外,任何新的设计任务,又是根据特定的设计要求提出来的。因此设计时必须密切联系实际,创造性地进行设计。不能盲目地、机械地搬用经验或抄袭资料,继承现有设计成果与设计创新二者不可偏废,要很好地结合起来。

7. 注意单个机构、零件的设计与机器总体设计之间的联系

为了讨论方便,本课程对常用机构和通用零件是分别讨论的。但是,机器又是由若干机构、构件和零件组成的不可分割的整体,各机构、各零件与机器之间有着非常密切的联系。因此,设计机构和零件时,不仅要熟练掌握常用机构和通用零件的设计原理和方法,而且要从机器的总体设计出发,弄清它们之间的联系。例如设计齿轮传动时,就应当了解所设计的齿轮传动用在什么机器上?是开式传动还是闭式传动?齿轮传动是用来传递运动还是传递动力?等等。此外,还应当弄清齿轮与其它零件的联系,例如齿轮与轴和轴承的联系。因为这些都直接影响设计参数或数据的选择、齿轮的结构设计,有时还影响设计原理和方法。

8. 正确对待设计计算结果

设计机械零件的尺寸和形状时,一般不可能单靠理论计算确定,而是需要综合考虑零件的运动性能和动力性能,强度和刚度,摩擦、磨损和润滑,振动,工作寿命、安全操作和人机联系设计,经济性、工艺性、材料选用和标准化以及其它特殊要求等因素的影响。而上述因素对零件尺寸和结构的影响有些是无法计算的。因此,不能把机械零件设计片面理解为理论计算,或者认为理论计算的结果是不能更改的。

9. 重视培养结构设计能力

初作设计和缺乏生产实践的人,机械设计中最容易犯的毛病是结构不合理,甚至出现错误。结构不合理,将降低设计质量;结构设计错误,将造成经济损失。学习本课程时,应当多看零、部件的实物和图纸,多参观工厂,丰富结构知识和工艺知识,以便逐步提高结构设计能力。

第二章 机构的组成及其具有确定运动的条件

机构是由若干构件组成的,但是若干构件并不一定能够组成机构。如图 2-1(a)所示三铰接杆及图 2-1(b)所示的两根齿轮轴,都是不能运动的构件组合体,因而不能成为机构。而如图 2-2 所示五铰接杆,虽然其构件可动,但当构件 1 按一定规律运动时,其余构件不能获得完全确定的运动。由此可见,构件的组合体必须具备一定条件才能成为机构。研究机构的组成及其具有确定运动的条件,对于分析与设计机构都是十分重要的。本章主要讨论这方面的问题。

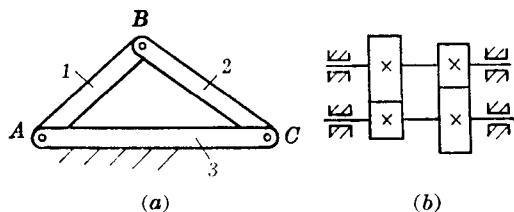


图 2-1

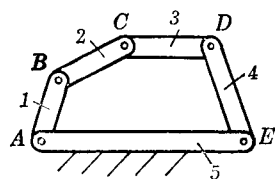


图 2-2

分析或设计机构时,工程上常用规定的简单符号和线条,绘出机构运动简图,来表示机构的运动关系。如何绘制机构运动简图,也是本章要讨论的内容。

构件在同一平面或相互平行平面内运动的机构,称为平面机构。平面机构应用最广泛,本章主要研究平面机构具有确定运动的条件及平面机构运动简图的绘制。

§ 2-1 机构的组成 运动副及其分类

机构构件在未与其它构件装配之前,都是一个自由运动的物体。如图 2-3(a)所示,一个在空间自由运动的物体可能具有六个独立运动(分别绕 x 、 y 、 z 轴的转动和沿 x 、 y 、 z 轴的移动),物体可能有的独立运动称为物体运动的自由度。因而在空间自由运动的物体具有六个自由度。又如如图 2-3(b)所示,在平面中自由运动的物体可能具有三个独立运动(分别沿 x 、 y 轴的移动和绕 xOy 平面内任意点的转动),所以在平面上自由运动的物体具有三个自由度。

机构中任一个构件,总是以一定方式与其它构件相互接触并组成活动联接。例如滑动轴承与轴通过接触面构成活动联接,轮齿与轮齿通过齿廓接触构成活动联接。两构件联接后,构件间的相对运动就受到约束,运动自由度随之减少。机构正是靠着构件间的联接,约束构件间的相对运动并使其具有确定的运动形式。

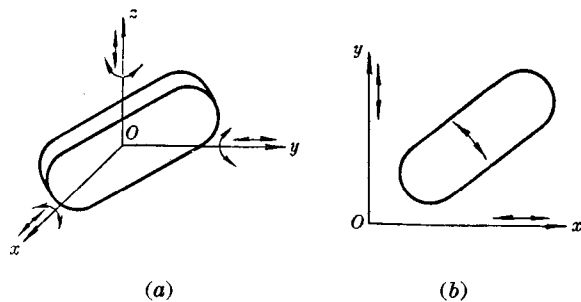


图 2-3

一般说两构件直接接触并能保持一定形式的相对运动的联接称为运动副。显然，不仅构件是机构的组成要素，运动副也是机构的组成要素。机构就是用运动副联接起来的构件系统。

根据运动副对构件相对运动约束及两构件接触方式的不同，运动副可分类如下：

一、平面运动副

若运动副只允许两构件在同一平面或相互平行平面内作相对运动，则称该运动副为平面运动副。平面运动副分为低副和高副。

(一) 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面低副可分为回转副和移动副。

1. 回转副

若运动副只允许两构件作相对转动，则称该运动副为回转副，也称铰链。图 2-2 及图 2-4(a) 所示各构件的联接就是回转副。如果回转副的两构件之一是固定不动的，则称该回转副为固定铰链(图 2-2 的 A 和 E)，其代表符号如图 2-4(b) 所示。若回转副两构件都是运动的，则称该回转副为活动铰链(图 2-2 的 B、C 和 D)，其代表符号如图 2-4(c) 所示。图(d) 表示回转副位于两构件之一的中部。

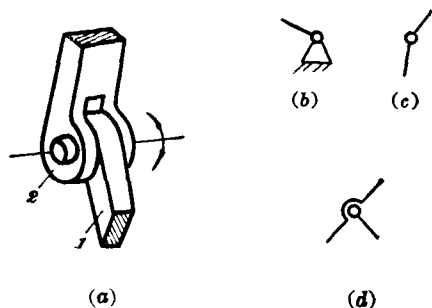


图 2-4

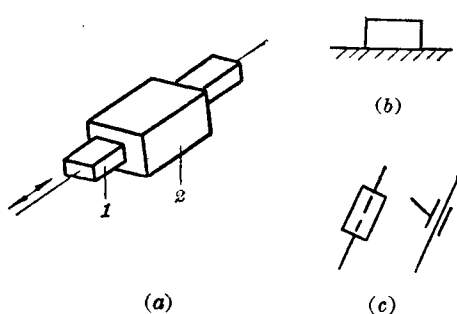


图 2-5

2. 移动副

若运动副只允许两构件沿某一直线作相对移动，则称该运动副为移动副。图 2-5(a) 所示两构件组成的运动副就是移动副，其代表符号如图 (b)、(c) 所示，图(b) 中的构件之一是固定不动的。

(二) 高副

两构件通过点或线接触构成的运动副称为高副。如图 2-6 所示的凸轮 1 与从动杆 2 (图(a))、轮齿 1 与轮齿 2 (图(b)) 等的联接都是高副。其代表符号可参看例 2-1、例 2-10。

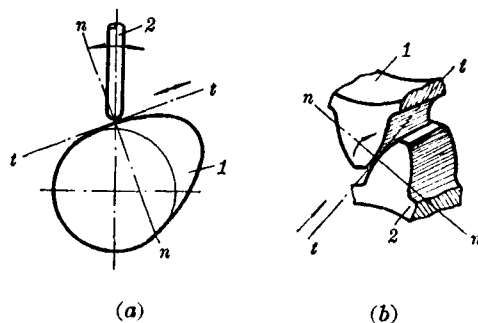


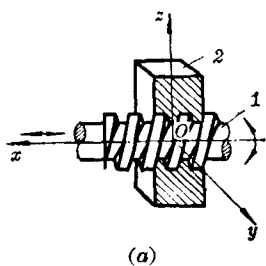
图 2-6

二、空间运动副

若运动副能允许两构件作空间相对运动，则称该运动副为空间运动副。

常用空间运动副有螺旋副(图 2-7(a))和球面副(图 2-8(a))。图中箭头表示构件的相对运动自由度,图(b)为代表符号。

常用运动副的规定符号可参看有关资料。

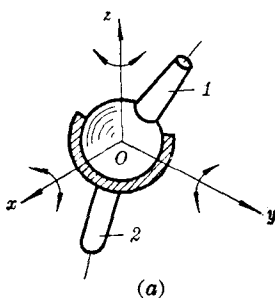


(a)

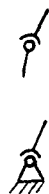


(b)

图 2-7



(a)



(b)

图 2-8

§ 2-2 平面机构运动简图

分析已有的机械或设计新机械时,为了便于研究机械的运动,工程上常用规定符号和线条,绘出能够表达各构件相对运动关系的简图,这种简图称为机构运动简图。

绘制机构运动简图时,首先要弄清机构的实际构造和运动状况,找出机构的原动件(其运动规律由外部条件给定)、执行件(机构中完成预定运动的构件)和机架(支持其它构件的构件);然后沿着传动路线弄清其它构件的作用和各运动副的性质。在此基础上选择能够表达构件运动关系的视图平面,用运动副的符号和表示构件的线条,以适当的比例尺绘出机构运动简图。绘图时应当注意,机构中凡与运动无关的结构,一律不要画出,以使图形简单清晰。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 2-1 试绘制图 2-9(a) 所示单缸内燃机的机构运动简图。

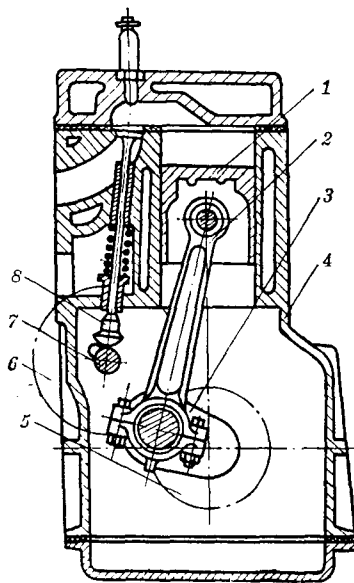
解: 内燃机由三个机构组成。该机构运动简图绘制过程如下:

1. 分析机构运动,找出机架、原动件、执行件和其它构件。

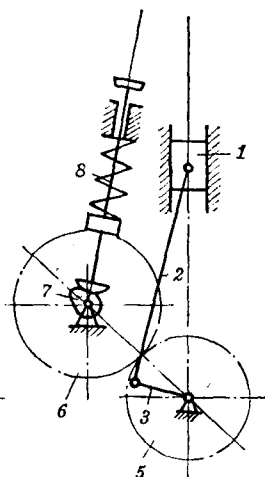
(1) 曲柄滑块机构

由缸体 4(机架)、活塞 1(原动件)、连杆 2 和曲轴 3(执行件)组成。此机构将活塞的往复直线运动转换成曲轴的回转运动。

(2) 齿轮机构



(a)



(b)

图 2-9

由缸体 4(机架)、齿轮 5(原动件)和齿轮 6(执行件)组成。此机构将主动齿轮的转动(转速较高)转换成被动齿轮的转动(转速较低)。

(3) 凸轮机构

由缸体 4(机架)、凸轮 7(原动件)和推杆 8(执行件)组成。此机构将凸轮轴的转动转换为推杆的间歇直线运动。

2. 分析各构件间相对运动的性质, 确定各运动副的类型和数目。

曲柄滑块机构中活塞 1 与缸体 4 组成移动副, 活塞 1 与连杆 2、连杆 2 与曲轴 3、曲轴 3 与缸体 4 分别组成回转副。

齿轮机构中齿轮 5 与缸体 4、齿轮 6 与缸体 4 分别组成回转副。齿轮 5 与齿轮 6 组成齿轮副(平面高副)。

凸轮机构中凸轮 7 与缸体 4 组成回转副, 推杆 8 与缸体 4 组成移动副, 凸轮 7 与推杆 8 组成凸轮副(平面高副)。

3. 选择视图平面。

一般应选择多数构件的运动所在平面或其平行平面作为视图平面, 以便清楚地表达构件间的运动关系。如果一个视图平面不能将机构各部分的运动关系表达清楚, 可以就不同部分分别选择视图平面, 然后将各视图画在同一图面上。

图 2-9(a) 已能清楚表达各构件间的运动关系, 所以就选此平面作为视图平面。

4. 选择比例尺, 定出各运动副的相对位置, 用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图。

先绘出滑块导路中心线及运动副 A 的位置作为基准, 然后根据构件尺寸和各运动副之间的尺寸, 按选定的比例尺, 用构件和运动副的规定符号, 绘出机构运动简图(b)。

例 2-2 试绘制图 2-10(a) 所示颚式破碎机主体机构运动简图。

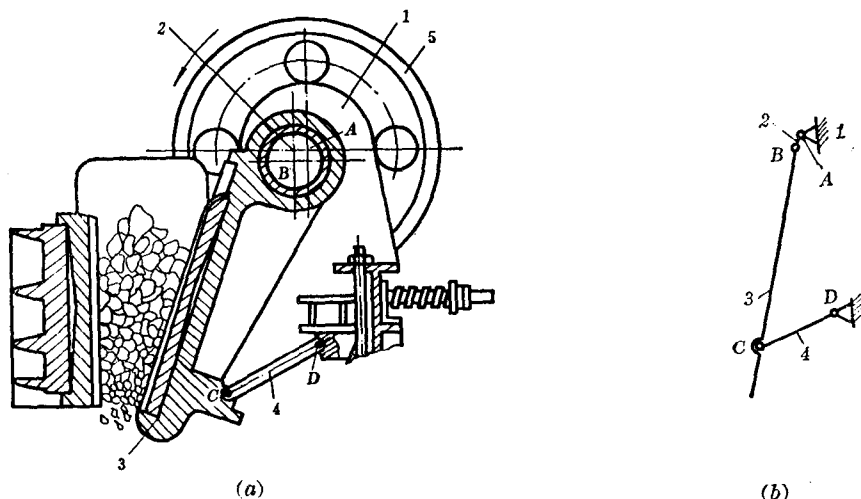


图 2-10

解: 1. 颚式破碎机的带轮 5 和偏心轴 2 一起绕回转中心 A 转动时, 偏心轴 2 带动动颚 3 运动。由于在动颚与机架 1 之间装了肘板 4, 动颚运动时就不断挫挤矿石。由此分析可知, 该机构是由机架 1、原动件偏心轴 2、执行件动颚 3 和肘板 4 等四个构件组成。

2. 偏心轴 2 与机架 1 组成回转副 A, 偏心轴 2 与动颚 3 组成回转副 B, 肘板 4 与动颚 3 组成回转副 C, 肘板 4 与机架 1 组成回转副 D。整个机构共有四个回转副。

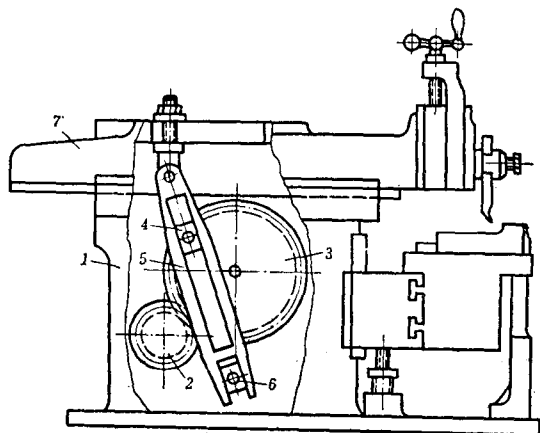
3. 图 2-10(a) 已能清楚表达各构件间的运动关系, 所以就选择此平面作为视图平面。

4. 选定回转副 A 的位置, 然后根据各回转副中心间的尺寸, 按选定的比例尺确定回转副 B、C 及 D 的位置。

最后用规定的符号绘出机构运动简图(b)。

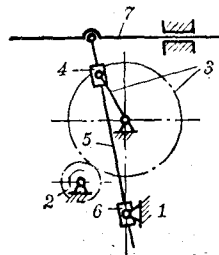
应当说明, 机构运动简图(b)中, 构件2代表偏心轴, 构件的运动与偏心轴中心B绕带轮中心A回转的情况完全相同。

例 2-3 试绘制图 2-11(a) 所示牛头刨床主体机构运动简图。



(a)

图 2-11



(b)

解:

牛头刨床主体机构由两个机构组成:

(1) 齿轮机构

由床身1、齿轮2和齿轮3组成。两齿轮分别与床身组成回转副, 两轮齿通过啮合组成齿轮副。

(2) 平面六杆机构

由床身1、曲柄(即齿轮)3、滑块4、摇杆5、滑块6和滑枕7等构件组成。此机构有四个回转副和三个移动副。机构运动简图如图 2-11(b) 所示。

通过上述例题可以看出, 机构大多是由构件用运动副联成的封闭系统。例如内燃机的曲柄滑块机构是由缸体-活塞-曲柄-缸体联成的封闭系统; 颚式破碎机是由机架-偏心轴-动颚-肘板-机架联成的封闭系统。

§ 2-3 平面机构具有确定运动的条件

一、机构的自由度

在图2-12所示曲柄滑块机构中, 如给定任一活动件一个独立运动规律, 例如给定滑块的运动规律 $s = f(t)$, 则其余构件的运动规律即可完全确定。这说明曲柄滑块机构只有一个独立运动, 或者说只有一个自由度。要使该机构具有确定的运动, 必须给定任一活动构件一个独立的运动规律。

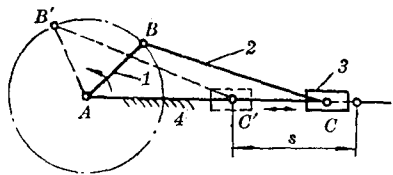


图 2-12

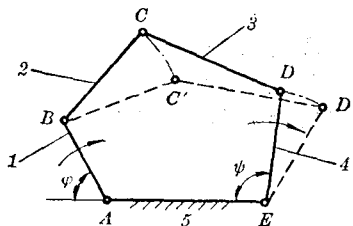


图 2-13

又如图 2-13 所示铰接五杆机构, 如果也给定任一活动件一个独立运动规律, 例如给定杆 1 的运动规律 $\varphi = f(t)$, 此时其余构件的运动还不能完全确定, 它们既可处于图中实线位置, 又可处于虚线位置或其它位置, 但是如再给定另一构件一个独立运动规律, 例如给定杆 4 的运动规律 $\psi = f(t)$, 则机构所有构件的运动就完全确定了。这说明该机构有两个独立运动, 或者说有两个活动度, 要使该机构具有确定的运动, 必须同时给定两个独立运动规律。

如上所述, 机构所具有的独立运动数目称为机构的活动度。机构的活动度可能是一个, 两个, 甚至两个以上。绝大多数机构都只有一个活动度。对于这样的机构, 只要使其中一个构件按给定运动规律运动, 机构的运动便可完全确定; 而对于有两个活动度的机构, 要使其具有完全确定的运动, 就必须同时给定两个独立运动规律。其余情况依此类推。

二、平面机构活动度的计算

平面机构的每个构件, 在未用运动副与其它构件联接之前, 都有三个自由度。而在联接之后, 由于运动副的约束, 失去某些自由度。平面低副使被联接构件失去两个自由度, 保留了一个自由度(构件的相对转动或移动), 即其约束数目为 2; 而组成平面高副的两构件, 不能沿过接触点的法线 $n-n$ 方向移动(见图 2-6), 但可绕接触点转动和沿过接触点切线 $t-t$ 方向移动。平面高副仅使构件失去一个自由度, 保留了两个自由度, 即其约束数目为 1。

若某个机构由 N 个构件组成, 除去机架(一般视为不动件), 机构中共有 $n = N - 1$ 个活动件。构件在联接之前, 全部活动件共有 $3n$ 个自由度, 而在联接之后, 构件的自由度, 由于运动副的约束而减少。设在机构中有 P_L 个低副, P_H 个高副, 则该机构全部运动副的约束数目共有 $2P_L + P_H$ 个。如用 F 表示机构保留的活动度, 则

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

F 也就是机构所具有的独立运动数目。式(2-1)为平面机构活动度的计算公式。

三、机构具有确定运动的条件

如前所述, 要使机构具有确定的运动, 则给定的独立运动规律的数目, 必须等于机构的活动度。由于机构中按给定运动规律运动的构件是机构的原动件, 而原动件一般又都与机架相联, 只能给定一个独立运动规律, 所以, 要使机构具有确定的运动, 则原动件数目应等于机构的活动度 F 。这就是机构具有确定运动的条件。

根据机构具有确定运动的条件, 分析图 2-1 所示三铰接杆。它由三个杆件用三个回转副联成, 其活动度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$, 所以各杆不能运动。由此可知, 构件组合体若能运动, 其活动度 F 必大于零。图 2-13 所示五铰接杆, 其活动度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$, 所以要使该机构有确定的运动, 必须有两个原动件。

例 2-4 试计算图 2-9 所示内燃机的活动度。

解: 内燃机有六个构件: 曲轴 3 与齿轮 5 组成一个构件, 齿轮 6 与凸轮 7 组成一个构件, 其余构件是活塞 1、连杆 2、推杆 8 和机架 4。机构中共有六个低副和二高副, 即 $n = 6 - 1 = 5$, $P_L = 6$, $P_H = 2$ 。根据公式(2-1)求得活动度

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$$

内燃机原动件是活塞 1。因原动件数等于其活动度, 所以具有确定的运动。

例 2-5 试计算图 2-10 所示破碎机机构的活动度。

解：该机构由四个构件，四个回转副组成。活动构件数 $n=4-1=3$ ，低副数 $P_L=4$ ，高副数 $P_H=0$ 。根据公式 (2-1) 求得该机构活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4=1$$

即此机构有一个活动度。机构的原动件是偏心轴 2，原动件数与机构活动度相等，所以当偏心轴按一定规律回转时，其余构件都具有确定的运动。

例 2-6 试计算图 2-11 所示牛头刨床主体机构的活动度。

解：该机构由七个构件，八个低副和一个高副组成。即 $n=7-1=6$ ， $P_L=8$ ， $P_H=1$ 。机构的活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 6-2\times 8-1=1$$

此机构原动件是齿轮 2。因原动件数等于机构的活动度，所以该机构具有确定的运动。

四、计算机构活动度时应注意的事项：

计算机构活动度时，常会遇到以下情况：

(一) 复合铰链

若两个以上的构件同时在一处用回转副相联，则称该联接为复合铰链。

图 2-14(a) 表示构件 1 与构件 2 和 3 组成两个回转副。当回转副轴线间的距离缩小到零时，两轴线重合在一起，便得到图 (b) 所示的复合铰链 (图 (c) 为复合铰链的侧视图)。显然，若复合铰链由 m 个构件组成，则联接处有 $(m-1)$ 个回转副。计算活动度时要注意复合铰链所含有的回转副数目。

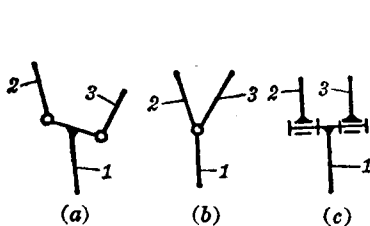


图 2-14

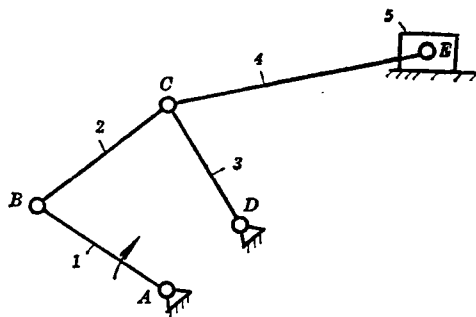


图 2-15

例 2-7 试计算图 2-15 所示惯性筛机构的活动度。

解：该机构当原动件 1 等速回转时，滑块 5 作往复直线运动。该机构有一个原动件，由六个构件，七个低副 (C 处是由三个构件组成的复合铰链，含有 $m-1=3-1=2$ 个回转副) 组成。即 $n=6-1=5$ ， $P_L=7$ ， $P_H=0$ 。活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 5-2\times 7=1$$

若计算时将 C 处错算为一个回转副，则机构活动度 $F=3\times 5-2\times 6=2$ 。即此机构必须有两个原动件才能具有确定的运动。这样就使计算结果与实际情况不符。

(二) 多余自由度

机构中不影响机构运动规律的自由度，称为多余自由度也称为局部自由度。计算机构活动度时，应将多余自由度除去不计。

例 2-8 试计算图 2-16(a) 所示滚子移动从动杆凸轮机构的活动度。

解：该机构当原动件凸轮 1 回转时，通过滚子 2 使推杆 3 作一定规律的往复直线运动。该机构有一个原动件（凸轮 1），由四个构件，三个低副和一个高副组成。即 $n=4-1=3$, $P_L=3$, $P_H=1$ 。活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 3-1=2$$

计算结果表明，该机构应有两个原动件，显然与实际情况不符。其原因就是计入了多余自由度。试想，若将滚子 2 与推杆 3 焊成一体（图 (b)），从动件推杆 3 的运动不发生任何变化。可见，滚子与推杆间的自由度是多余自由度。如将此多余自由度除去不计，即将滚子与推杆看作一个构件，则 $n=3-1=2$, $P_L=2$, $P_H=1$ 。此机构的活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 2-2\times 2-1=1$$

即此机构只有一个自由度，与实际情况相符。

多余自由度虽不影响机构的运动规律，但可改善机构的工作状况。如上例所见，若在推杆上安装滚子，就可减轻推杆与凸轮的摩擦，减少构件的磨损。所以在机械中常有多余自由度出现。

（三）重复约束

机构中与其它约束作用相重复的约束称为重复约束，也称消极约束或虚约束。计算机构活动度时，应将重复约束除去不计。

例 2-9 试计算图 2-17 所示铰接五杆机构的活动度。机构中各杆长的关系为 $l_{AB}=l_{CD}=l_{EF}$, $l_{BC}=l_{AD}$, $l_{CE}=l_{DF}$ 。

解：该机构由五个构件，六个回转副组成。即 $n=5-1=4$, $P_L=6$, $P_H=0$ 。其活动度

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 6=0$$

计算结果表明，该机构不能运动。显然，这是不符合实际情况的。进一步分析可以发现，若将 E 铰链拆开，当原动件曲柄 1 运动时，连杆 2 作平移运动，杆 2 上 E 点的轨迹是以 F 点为圆心， l_{EF} 为半径的圆周。由于杆 4 上 E 点轨迹与杆 2 上 E 点轨迹相重合，所以机构中的杆 4 是否存在，对机构的运动不会发生影响。这就是说，机构中增加构件 4 及回转副 E 和 F 后，虽然机构增加了一个约束，但此约束不能起限制机构运动的作用，因而是一个重复约束。

如将重复约束除去不计（即将构件 4 及运动副 E 和 F 不计），则 $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$ 。机构的活动度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4=1$$

这样，计算结果与实际情况相符。

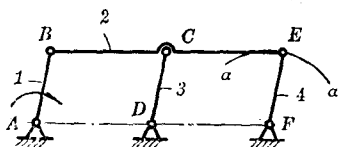


图 2-17

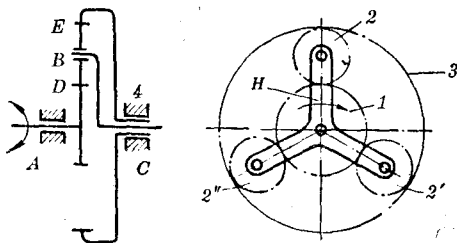


图 2-18

例 2-10 试计算图 2-18 所示差动轮系机构的活动度。该机构中有四个外齿轮 1、2、2'、2'' 和一个内齿轮 3。外齿轮 1 的轴线和内齿轮 3 的轴线重合，并可相对机架回转。外齿轮 2、2' 和 2'' 装在转臂 H 上，转臂 H 可在齿