

中等专业学校教材

机械原理与机械零件

无锡无线电工业学校 姚昌成 葛洪彦 等编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书共十七章,主要介绍机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构和设计计算方法,内容包括平面机构运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、键连接和花键连接、螺纹连接与螺旋传动、弹簧、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系及减速器、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器与离合器等。

本书贯彻了国家标准GB3100-82。

本书可作为中等专业学校机械类专业《机械原理与机械零件》课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

机械原理与机械零件

无锡无线电工业学校 姚昌成 葛洪彦 等编

责任编辑 张赞宏

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张21 486千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数: 00,001—15,000册

统一书号: 15034·2836 定价: 2.15元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》、中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由中等专业学校电子机械类专业教材编审委员会基础课教材编审小组评选审定, 并推荐出版。

该教材由无锡无线电工业学校姚昌成担任主编, 辽宁电子工业学校华璧担任主审。编审者均依据基础课教材编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为 140 学时, 其主要内容为: 一、常用机构的分析与设计方法, 其中有平面机构运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、轮系等; 二、通用零件的构造、特点、工作原理与设计方法, 其中有键连接和花键连接、螺纹连接和螺旋传动、弹簧、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器与离合器等。由于机械类各专业对本课程的要求和学时安排不尽相同, 因此在编写时既注意到精选内容, 也尽量使本书有一定的适应性。使用本教材时应注意根据教学情况进行取舍。书中带“*”号的部分建议可作为选学内容。为了便于教学, 在各章后均附有一定数量的练习题。

在编写中, 力求反映国内外的科学技术新成就, 删除陈旧繁琐的内容, 在螺纹连接、带传动、链传动、齿轮传动、滚动轴承等章都采用了新的设计方法。全书贯彻了国家标准 GB3100-82, 并尽量采用国际通用的符号和角标。

本教材由姚昌成编写第九章、第十一章的第一节至第九节, 葛洪彦编写第一章至第七章、第十章、第十一章的第十节至第十六节、第十二章至第十四章、第十七章, 孙峰编写第十五、第十六章, 王振华编写第八章, 姚昌成统编全稿。参加审阅工作的还有马龙骧同志。王仁枢、刘清泉、赵克松、郭仁生、贡宝根、王红等同志为本书提出许多宝贵意见, 这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限, 书中难免还存在一些缺点和错误, 殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 《机械原理与机械零件》研究的对象和内容	1
第二节 设计机械装置应满足的基本要求	2
第三节 机械传动装置设计的方法	3
第二章 平面机构的运动简图及自由度	5
第一节 机构的组成要素	5
第二节 平面机构运动简图	8
第三节 平面机构的自由度	10
练习题	14
第三章 平面连杆机构	16
第一节 铰接四杆机构的基本型式及曲柄存在的条件	16
第二节 铰接四杆机构的演化型式	20
第三节 平面连杆机构设计中的几个问题	22
第四节 平面四杆机构的设计	25
练习题	29
第四章 凸轮机构	31
第一节 凸轮机构的应用和分类	31
第二节 从动件的常用运动规律	34
第三节 凸轮轮廓曲线的设计方法	38
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	44
第五节 凸轮机构的结构设计	46
练习题	49
第五章 间歇运动机构	51
第一节 棘轮机构	51
第二节 槽轮机构	56
第三节 凸轮式间歇机构和不完全齿轮机构简介	59
练习题	61
第六章 键连接和花键连接	62
第一节 键连接的种类和应用	62
第二节 平键连接的选择与强度校核	65
第三节 花键连接	67
练习题	70
第七章 螺纹连接与螺旋传动	71
第一节 概述	71
第二节 螺旋副的受力、自锁和效率	73
第三节 螺纹连接的强度计算	77

第四节 螺旋传动的设计与计算	84
练习题	89
第八章 弹簧	91
第一节 概述	91
第二节 圆柱形螺旋弹簧的结构、参数与尺寸	94
第三节 圆柱形压缩、拉伸弹簧的计算	96
第四节 圆柱形螺旋扭转弹簧的计算	101
练习题	105
第九章 带传动	106
第一节 概述	106
第二节 三角胶带的构造和标准	107
第三节 带传动的工作情况分析	109
第四节 三角胶带传动设计	113
第五节 三角带轮	121
第六节 三角胶带传动的张紧装置	126
练习题	128
第十章 链传动	129
第一节 套筒滚子链和链轮	129
第二节 链传动的运动特性	133
第三节 链传动的设计计算	135
第四节 链传动的布置与润滑	139
练习题	141
第十一章 齿轮传动	142
第一节 齿轮传动的特点和分类	142
第二节 齿廓啮合基本定律	142
第三节 渐开线及其性质	144
第四节 渐开线齿轮各部分的名称及基本尺寸	147
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合特性	150
第六节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的重合系数	152
*第七节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的滑动系数	154
第八节 渐开线齿轮加工的基本原理和根切现象	155
第九节 变位齿轮	160
第十节 齿轮轮齿的失效形式	174
第十一节 直齿圆柱齿轮传动的载荷分析	175
第十二节 直齿圆柱齿轮的计算应力	178
第十三节 齿轮的材料和许用应力	183
第十四节 直齿圆柱齿轮传动的设计计算	190
第十五节 斜齿圆柱齿轮传动	197
第十六节 直齿圆锥齿轮传动	210
练习题	217
第十二章 蜗杆传动	219
第一节 概述	219

第二节 蜗杆传动的主要参数、几何尺寸与精度等级	221
第三节 蜗杆传动的运动分析和受力分析	227
第四节 蜗杆传动的强度计算	228
第五节 蜗杆传动的效率及热平衡计算	232
练习题	234
第十三章 轮系及减速器	235
第一节 轮系及其分类	235
第二节 定轴轮系传动比的计算	235
第三节 周转轮系传动比的计算	238
第四节 行星轮系设计中的齿数条件	242
第五节 行星轮系的效率	245
*第六节 渐开线少齿差行星齿轮传动、摆线针轮行星传动和谐波齿轮传动简介	246
第七节 减速器简介	249
练习题	253
第十四章 轴	255
第一节 概述	255
第二节 轴的结构设计	257
第三节 轴的强度计算	260
第四节 轴的刚度计算	267
练习题	273
第十五章 滑动轴承	275
第一节 概述	275
第二节 轴瓦与轴衬	277
第三节 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	279
第四节 滑动轴承的润滑	281
第五节 静压轴承和动压轴承简介	284
练习题	286
第十六章 滚动轴承	287
第一节 滚动轴承的构造、基本类型和特性	287
第二节 滚动轴承类型的选择	291
第三节 滚动轴承的尺寸选择	293
第四节 滚动轴承的组合设计	304
第五节 滚动轴承与滑动轴承的比较	309
练习题	310
附表	312
第十七章 联轴器与离合器	320
第一节 联轴器	320
第二节 离合器	325
练习题	328

第一章 绪 论

第一节 《机械原理与机械零件》研究的对象和内容

在人们的日常生活与生产活动中，机器是一种十分重要的工具。机械化对实现国民经济的现代化有着非常重要的意义。

一、机器的种类

机器的种类繁多，按照它们的功能，一般可分成原动机、工作机和转换机三大类。

1. 原动机

电动机、内燃机和汽轮机等机器，都是先将其他形式的能量转变为机械能，再供给另一些机器使用。以这种形式提供机械能的机器，称为原动机。

2. 工作机

各种金属切削机床、纺织机和食品加工机等机器，它们在工作时都是利用机械能来作一定的功或完成某件预定的工作任务，这类机器统称为工作机。

3. 转换机

转换机是把机械能转变为其他形式能量的机器，例如发电机。

二、工作机的组成

上面介绍的三类机器中，工作机的应用较为广泛，现以牛头刨床为例说明工作机的组成。

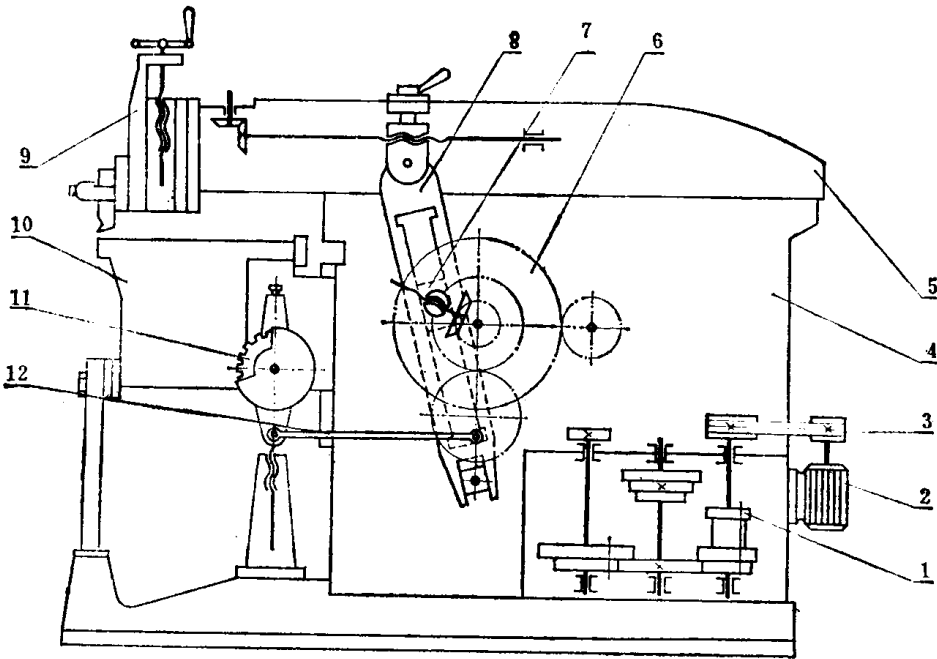


图1-1 牛头刨床传动简图

图 1-1 所示为一牛头刨床，它是机械加工车间常用的一种工作机。其结构主要由电动机 2、床身 4、滑枕 5、刀架 9、工作台 10 和一些传动装置所组成。电动机主轴的转动，通过传动带 3 和传动齿轮 1，到达大齿轮 6 时，运动分成两路：一路经滑块 7 和导杆 8 把大齿轮 6 的转动转变为滑枕 5 的往返直线运动，从而带动刀架 9 以实现刨刀的切削运动；另一路由连杆 12 经棘轮 11 和传动丝杠（图中没有画出）带动工作台 10 作单向间歇直线移动，从而实现横向进刀运动。由于切削运动和进刀运动的协调配合，通过刨刀的切削而达到对工件加工平面或沟槽的目的。

分析牛头刨床和所有工作机可以发现，一般工作机都是由原动部分、传动部分和执行部分等三个部分所组成。

三、通用零件和常用机构

机器是由许多形状各不相同的零件装配而成。零件是组成机器的制造单元，一般可分成两大类：一类是通用零件，例如齿轮、带轮、轴、轴承、螺钉和螺母等，这类零件在各种机器上能够通用；另一类是专用零件，是某些机器所特有的，例如机床的床身、电机的外壳、内燃机的曲轴、连杆、汽缸和活塞等。

由单个零件或几个零件固联在一起组成的运动单元，称为构件。由若干构件以某些方式组成具有确定相对运动的结构，称为机构。机构是机器的重要组成部分，在机器中起传递并分配运动和改变运动方式的作用。机器的常用机构有：平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构和齿轮机构等。

机器和机构统称为机械。

《机械原理与机械零件》是以通用零件和常用机构为研究对象的课程。具体分析这些零件和机构的结构形式、工作原理、应用特点以及设计计算的方法。它是机械类专业的学生学习专业课程和从事机械设计所必须掌握的一门技术基础课程。

第二节 设计机械装置应满足的基本要求

设计人员必须对所设计的机械装置的工作对象及它的工作要求，要有详细的了解，对设计的产品在制造和装配过程中的可能性与经济性，要有充分的估计；同时还要十分注意产品制成后的经济效益。一台良好的机械产品，必须满足重量轻、体积小、质量好、效率高、成本低、使用维修方便和操作安全等要求。为此，设计人员必须考虑下列的基本要求：

一、运动和动力性能要求

现代单机装备一般都由电动机作原动部分，它的额定功率和转速，是以执行部分的工作对象及工作要求作为原始依据，并考虑传动部分的传动方式和机械效率而确定的。传动部分将原动部分单一的运动，传递并分配给各执行部分，构成执行部分各种方式的动作。它们之间的工作必须协调一致。

二、可靠性要求

机械装置的可靠性主要是指：机械在使用中不发生破坏现象；不因个别零件的磨损

而使整个机器失效，不因机械中产生有害的振动而影响工作质量等等。机械装置的可靠性由组成机械各受力运动的零件的可靠性决定。因此，设计中对于主要受力运动的零件，要作强度、刚度和寿命的计算，对于某些重要的零件，还要作振动计算。

三、经济性要求

经济性要求，主要是指产品的设计和制造成本和产品制成后的经济效益。设计时需考虑下列几点：

1. 工艺性

任何产品在设计时，都应力求能以最少的加工费用制造出合乎技术要求的零件，装配成性能良好的产品。为此，要求设计人员必须熟悉各种加工工艺，能够合理确定零件的结构、合适的加工精度与表面粗糙度。使零件具有良好的结构工艺性，产品具有良好的装配工艺性。

2. 材料选择

选择用于各种零件的材料，要考虑其性能是否能满足使用要求，价格是否便宜，同时还要注意到国内资源及供应情况。因此要求设计人员应该熟悉各种材料的性能，热处理方法以及典型零件的热处理要求等。

3. 标准化、通用化和系列化

标准化、通用化和系列化，是促进专业生产、提高生产率、降低生产成本和维修成本的有效措施，设计人员必须严格遵守国家制订的标准，同时还需熟悉国际通用标准。

可靠性与经济性往往互相矛盾，考虑问题时一般应以可靠性作为前提，不应该盲目追求经济性而忽视产品的可靠性；当然，也不应该只注意产品的可靠性而忽视其经济效益，两者必须统筹兼顾。

第三节 机械传动装置设计的方法

机械设计经常采用下列几种方法：

一、理论设计

设计机械装置时，根据工作要求订出传动方案后，由运动分析和受力分析求得各构件所载荷荷的大小，再运用材料力学、金属学等建立的理论，通过零件失效形式的分析建立强度或刚度条件，从而得出这些零件尺寸计算的基本公式。按照设计顺序的不同，理论设计的过程可以分为下列两种：

1. 设计计算

设计计算是根据运动要求、载荷情况和材料性能等条件，由理论公式设计计算得到零件的主要尺寸。

2. 校核计算

校核计算是根据粗略的计算公式、图表或其他方法，初步确定零件的形状和尺寸，或是选用标准零件，然后用理论公式进行校核计算。

理论设计一般能获得比较可靠的结果，对于设计结果所具备的潜力，可以有所预见。但是，计算过程较复杂，设计周期也较长。

二、经验设计

设计人员与工艺人员在从事一些设备改装或单件生产的设计过程中，往往是根据已有机械或零件的使用情况而总结出来的经验公式、数据或用类比法进行设计，称为经验设计。此法简单方便，避免了复杂的计算过程。如果设计人员具有丰富的实践经验，类比法是一种有效可靠的方法。但是不可否认，类比法受到被类比机械设备的质量及设计人员经验的牵制。

三、模型实验设计

对于一些大型的、结构复杂而又重要的机械，或是这些机械的零件，由于缺乏应力分布、失效形式等有关资料，难以建立强度或刚度条件及必要的计算公式，这时可采用模型实验设计。例如，对于万吨水压机、飞机的机身和机翼、重型水轮机的转子等，可先做出模型，经过实验，测出其主要零部件中工作应力的实际分布情况和极限承载能力，以弥补理论分析和经验设计的不足。

学生在学习过程中，应着重学会理论设计方法。一台机械设备，对它的重要的零件和部件，往往都应采用严格的理论计算来求得它们的尺寸；至于其结构和形状，一般都根据经验决定。

第二章 平面机构的运动简图及自由度

研究机构主要有两方面的任务：一方面是分析已有的机构，通过对结构、运动原理和工作特点等方面的分析，掌握机构的运动规律，以便合理地使用它们；另一方面是设计新的机构，即根据工作要求，拟定机械传动方案，选择机构类型，确定机构各部分的尺寸关系，使其能实现预期协调的运动。

显然，不论是对已有的机构进行分析研究，还是设计新的机构，都不能只用实物或装配图作为依据。设计时更是这样。因为这时既没有实物也没有装配图，所以为了表达设计人员的设想，机构的设计方案都是用一定的符号和线条以简图形式表示的。

本章主要介绍机构运动简图的画法，以及平面机构具有确定运动的条件两个内容。

第一节 机构的组成要素

一、构件及其自由度

构件是组成机构的运动单元，它可以是单一的零件，或者是若干零件的刚性组合。

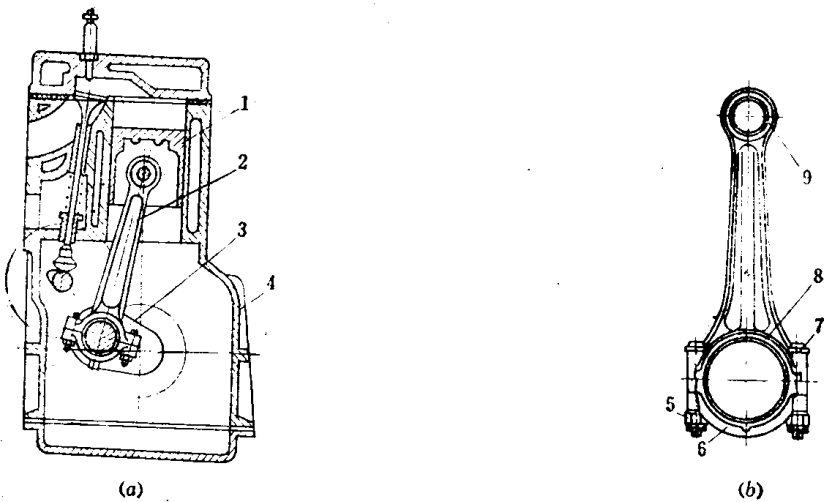


图2-1 内燃机及其连杆

(a) 内燃机；(b) 连杆。

1—活塞；2—连杆；3—曲轴；4—汽缸；5—螺母；6—连杆头；7—螺栓；8—轴瓦；9—轴套。

如图 2-1(a) 所示的内燃机中，连杆 2 即是该机构的一个构件，由图 2-1(b) 可知，它由连杆体、连杆头 6、轴套 9、轴瓦 8、螺栓 7 和螺母 5 等许多零件组成。

构件在未组成机构之前，可以将其看成为一个自由运动的刚体。作平面运动的刚体有三个独立运动的可能性，如图 2-2 所示，在 xoy 坐标系中，构件可以绕任一 A 点转动，也可沿 x 轴或 y 轴移动。这种可能形成的独立的自由运动，称为构件的自由度。所以，一个作平面运动的构件有三个自由度。

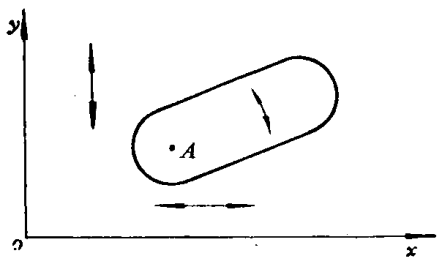


图2-2 构件在平面上的自由度

二、运动副及其约束

分析各种已有的机构可以知道，组成机构的构件均以一定的方式相互联接，并且保持一定的相对运动。两个构件保持一定相对运动的联接，称为运动副。例如 图 2-1(a) 中的连杆 2 与活塞 1、活塞 1 与汽缸 4、连杆 2 与曲轴 3，它们之间均构成了运动副。构件一经组成运动副，它的自由运动就受到了约束，从而减少了自由度。

不同型式的运动副对构件运动的约束数是不同的。根据运动副各构件的联接方式和它保留的构件相对运动的性质，平面机构中的运动副可以分成下列两类：

1. 低副

两个构件之间面与面相接触所组成的运动副，称为低副。它们又可分成回转副和移动副。

(1) 回转副 若运动副只允许两构件在一个平面内作相对转动，则该运动副称为回转副。回转副又称为转动副或铰链。如图 2-3 所示的构件 1 与构件 2 组成回转副。回转副中，如果两构件之一固定不动，则称为固定铰链，见图 2-4(a)；两构件均能运动，则称为活动铰链，见图 2-4(b)。

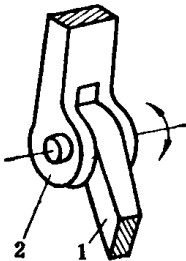


图2-3 回转副

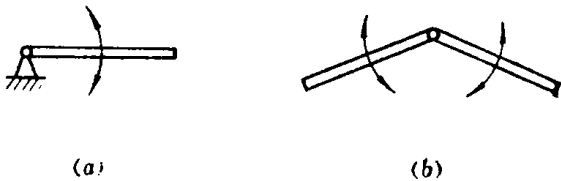


图2-4 固定铰链与活动铰链
(a) 固定铰链；(b) 活动铰链。

(2) 移动副 若运动副只允许两构件在一直线上作相对移动，则该运动副称为移动副，图 2-5 所示的两构件即可组成移动副。

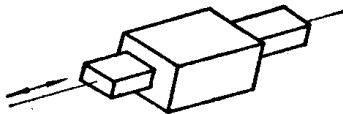


图2-5 移动副

2. 高副

两构件之间以点或线相接触所组成的运动副，称为高副，如图 2-6(a) 所示的凸

轮 1 与从动件 2，图 2-6(b) 所示的一对齿轮，它们分别以点或线相接触，所以它们都是高副。

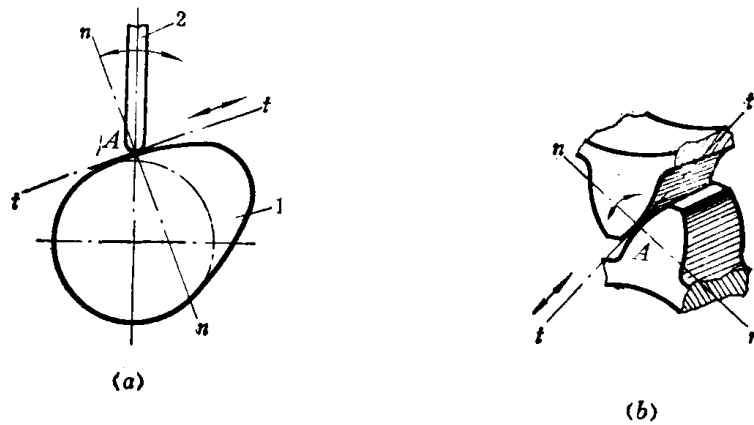


图2-6 高副
(a) 点接触; (b) 线接触。

此外，常用的运动副还有：球面副（如图 2-7 所示）和螺旋副（如图 2-8 所示）。它们都是空间运动副，本书不作详细介绍。

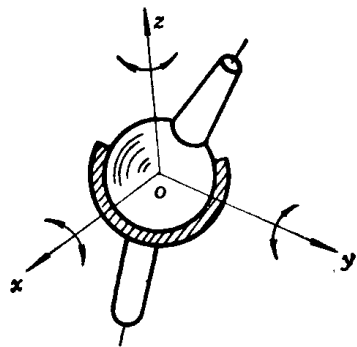


图2-7 球面副

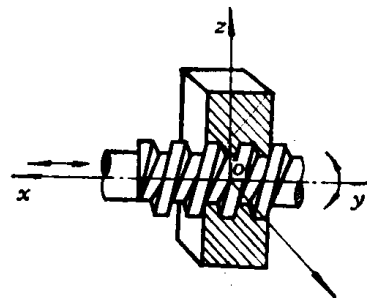


图2-8 螺旋副

常用运动副的规定符号列于表 2-1，供参考。

表2-1 常用运动副的代表符号
(GB139-74)

运动副类别	代 表 符 号	运动副类别	代 表 符 号
与固定支座 组成移动副		外啮合圆柱 齿轮高副	
与固定支座 组成回转副		内啮合圆柱 齿轮高副	

(续)

运动副类别	代 表 符 号	运动副类别	代 表 符 号
两运动构件 组成移动副		齿轮齿条啮 合高副	
两运动构件 组成转动副		圆锥齿轮啮 合高副	
两构件组成 圆柱副		蜗轮蜗杆啮 合高副	
两构件组成 螺旋副		凸轮高副	
两构件组成 球面副		曲面高副	

第二节 平面机构运动简图

在研究机械的运动规律时，工程上常用一些规定的符号和简单的线条，绘制能够表达机构各构件相对运动关系的简图，这种简图称为机构运动简图。机构运动简图中，运动副的位置尺寸必须严格按比例绘制，构件其余尺寸的取舍，以能够清晰表示与原机构完全相同的运动方式和运动关系为准则。

机构的构件一般可以分成：原动件（主动件）、从动件和机架（固定件）三类。其中原动件是已知运动规律的构件。它的运动是由外界给定的。图 2-1(a) 中的活塞 1 是一原动件，连杆 2 和曲轴 3 均称为从动件。机架在机构中起着支撑活动构件的作用，在研究活动构件的运动时，通常以机架作为参考坐标系。

绘制机构运动简图时，可以先从原动件开始，按运动传递的顺序，依次画出从动件、机架及各个运动副。机构运动简图绘制的方法举例说明如下：

例2-1 绘制图 2-9(a) 所示颚式破碎机的运动简图。

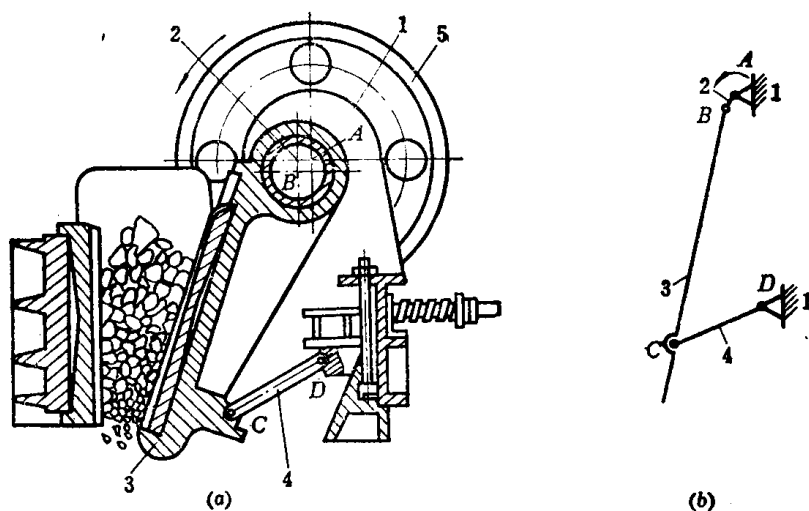


图2-9 颚式破碎机

解 绘制机构运动简图的步骤如下:

(1) 分析机构的结构并分清原动件、从动件和机架 颚式破碎机的主体机构由机架1、原动件偏心轴2、从动件动颚3和肘板4等四个构件组成;

(2) 分析机构的运动并确定各运动副的类型和数目 机构原动件偏心轴2的转动由带轮5传入,动颚3由偏心轴2带动,动颚3的下端由肘板4支撑,因此,它就不断挫挤矿石。由图可知:偏心轴与机架,偏心轴与动颚,动颚与肘板,肘板与机架均组成回转副。整个机构共有四个回转副;

(3) 选择视图平面 一般应选择多数构件的运动平面或它们的平行平面作为视图平面。图2-9(a)已能清楚表达各构件间的运动关系,所以可选择此平面作为视图平面;

(4) 按一定比例绘制机构运动简图 首先从原动件开始,按比例定出各运动副A、B、C和D的位置,然后用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图,见图2-9(b)。

例2-2 试绘制图2-10(a)所示单缸内燃机的运动简图。

解 由图2-10可知,内燃机由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构组成。为了能表示机器各机构的协调动作,此三个机构不应单独绘制,而应按同一比例绘制在一张机构运动简图上。介绍如下:

(1) 曲柄滑块机构 机构由汽缸4、活塞1、连杆2和曲轴3四个构件组成。汽缸4起着机架的作用,活塞1在燃气推动下运动,它是原动件,其余构件是从动件。活塞1与汽缸4组成移动副,活塞1与连杆2,连杆2与曲轴3,曲轴3与机架(汽缸4)分别组成三个回转副;

(2) 齿轮机构 齿轮5与曲轴3固连,它是原动件,齿轮6是从动件,汽缸4为机架。其中两个运动构件组成高副,它们又与机架分别组成两个回转副;

(3) 凸轮机构 盘形凸轮7与齿轮6固连,它是原动件,顶杆8是从动件,机体(汽缸4)为机架。凸轮7和顶杆8组成高副,凸轮7和机架组成回转副,顶杆8和机架组成移动副。

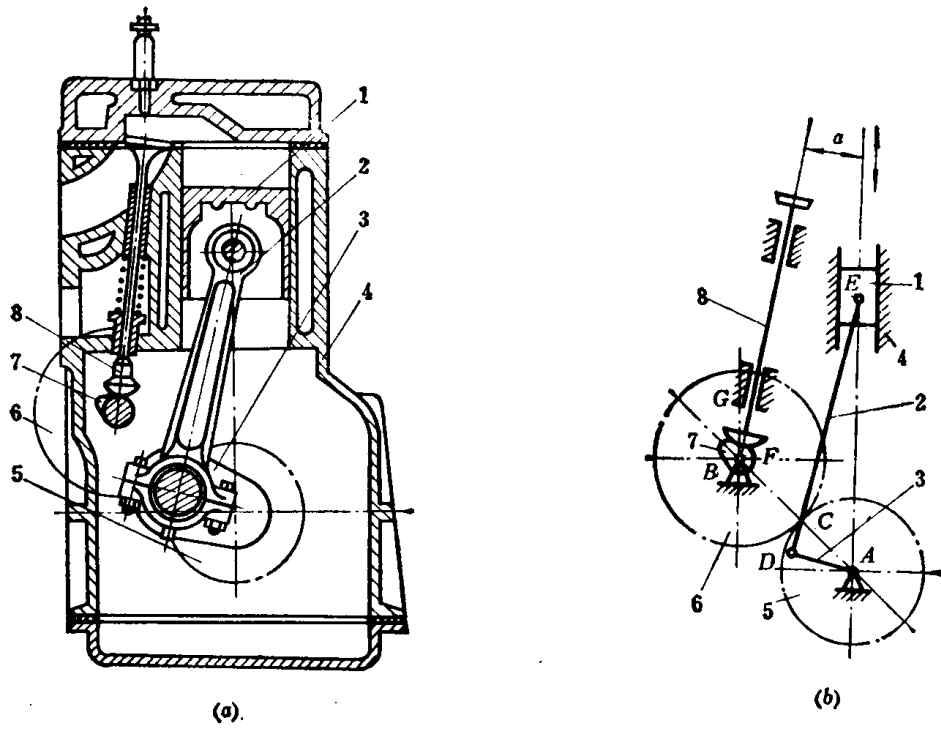


图2-10 内燃机

机构运动简图可按例 2-1 的步骤绘制，见图 2-10(b)。

通过以上两例可以看出：机构均为构件用运动副联成的封闭系统。例如颚式破碎机是由机架-偏心轴-动颚-肘板-机架连成的封闭系统；内燃机的曲柄滑块机构是由缸体-活塞-连杆-曲轴-缸体连成的封闭系统。

第三节 平面机构的自由度

机构可能形成的独立自由运动，称为机构的自由度，它是机构构件的自由度受运动副约束的结果。用它可以判断机构是否具有确定的运动。

一、平面机构自由度的计算方法

前面提到，一个构件在平面上有三个自由度。各种运动副对构件的约束数是不同的。平面低副的回转副使两个构件只能作相对转动，限制了构件沿两坐标轴的移动，所以它给机构带入两个约束，从而减少了两个自由度；低副的移动副使两个构件只能沿某一方向作相对移动，限制了构件沿另一垂直方向的移动和构件的相对转动，亦即带入两个约束，减少了两个自由度；高副（见图 2-6）只能限制两构件沿法线 $n-n$ 方向的移动，而不能限制构件沿切线 $t-t$ 方向的移动和绕接触点（线） A 的转动，它给机构带入一个约束，只减少一个自由度。

一个机构的自由度数，等于机构活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束数。若机构有 P_L 个低副， P_H 个高副，用 F 表示它的自由度数，则平面机构的自由度数的计算公式为

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