

机械設計基础

上 册

湖南大學

机械系机械设计教研室編

一九七四年十一月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

大学还是要办的。我这里主要说的是理工科大学还要办，但学制要缩短，教育要革命，要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

红与专，政治与业务的关系，是两个对立物的统一。一定要批判不问政治的倾向。一方面要反对空头政治家，另一方面要反对迷失方向的实际家。

你们学自然科学的，要学会用辩证法。

分析的方法就是辩证的方法，所谓分析，就是分析事物的矛盾。

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

第一章 绪 论

第二章 平面连杆机构

§ 2—1	机构的组成	5
§ 2—2	平面四杆机构的类型	13
§ 2—3	用图解法设计平面四连杆机构	22
§ 2—4	间歇运动机构	27

第三章 螺旋机构

§ 3—1	螺纹及其主要参数	37
§ 3—2	螺旋机构的运动	38
§ 3—3	螺旋机构的受力分析	40
§ 3—4	螺旋副常用的材料	46
§ 3—5	螺旋机构承载能力计算	47
附录：自锁在机械的其他机构中的应用实例		

第四章 挠性传动

一、皮带传动

§ 4—1	皮带传动的原理与类型	55
§ 4—2	皮带传动的特点及应用范围	56
§ 4—3	皮带传动元件的构造和标准	58
§ 4—4	皮带传动的工作特性分析	61
§ 4—5	三角皮带传动的设计计算	69

二、链传动

§ 4—6	链传动的特点及应用	76
§ 4—7	链传动的类型构造和标准	78
§ 4—8	链传动的主要参数及其选择	80
§ 4—9	链传动的计算	83
§ 4—10	链传动的辅助装置及润滑	86

第五章 圆柱齿轮传动

§ 5—1	齿轮传动概述	89
§ 5—2	齿轮传动对齿廓曲线的基本要求	89
§ 5—3	渐开线的形成和几何性能	92

§ 5—4	标准渐开线直齿圆柱齿轮的几何尺寸	95
§ 5—5	任意圆上的齿厚	101
§ 5—6	标准直齿圆柱齿轮的齿厚测量计算	102
§ 5—7	渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合的条件及传动的连续性	106
§ 5—8	直齿圆柱齿轮的加工原理及精度等级	110
§ 5—9	轮齿的根切现象及无根切的最小齿数	114
§ 5—10	齿轮的破坏形式和强度计算准则	116
§ 5—11	齿轮的材料和热处理方法	
§ 5—12	直齿圆柱齿轮的强度计算	121
§ 5—13	渐开线直齿圆柱齿轮的变位	135
§ 5—14	变位直齿圆柱齿轮及其传动的几何计算	137
§ 5—15	选择变位系数的限制条件	145
§ 5—16	变位齿轮传动的种类及其应用	148
§ 5—17	变位直齿圆柱齿轮的强度计算	152
§ 5—18	渐开线斜齿圆柱齿轮传动	157
§ 5—19	螺旋齿轮的传动	163
§ 5—20	圆柱齿轮的构造	172
§ 5—21	摆线齿轮	177
§ 5—22	圆弧齿廓点啮合齿轮传动简介	180

第六章 圆锥齿轮传动

§ 6—1	圆锥齿轮传动的用途和运动关系	183
§ 6—2	圆锥齿轮的分类	184
§ 6—3	圆锥齿轮的背锥和当量齿轮	185
§ 6—4	直齿圆锥齿轮的变位和几何尺寸计算	188
§ 6—5	直齿圆锥齿轮的强度计算	191
§ 6—6	“格利生”制螺旋圆锥齿轮的主要参数和几何尺寸计算	193
§ 6—7	螺旋圆锥齿轮传动的受力分析	197
§ 6—8	圆锥齿轮的构造	200

更正：第 118 页第 10 与 11 行之中应加：

§ 5—11 齿轮的材料和热处理方法

标准齿形系数

第一章 绪 论

一

机械制造工业是国民经济的重要部门，是我国社会主义建设的重要战线之一。

伟大领袖毛主席教导我们：“中国只有在社会经济制度方面彻底地完成社会主义改造，又在技术方面，在一切能够使用机器操作的部门和地方，统统使用机器操作，才能使社会经济面貌全部改观”。毛主席的这一指示，科学地阐明了机械制造工业对发展工农业生产，在我国实现社会主义工业化的巨大作用，也给机械制造工业提出了光荣任务。全国解放以来，党和国家对发展机械制造工业十分重视，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械制造工业得到了飞速发展，在不太长的历史时期内，从根本上改变了一穷二白的面貌，建立了我国自己的机械制造工业体系，培养了大批从事机械制造工业的科学技术人员，组成了自己的技术队伍，为我国社会主义工业化和支援世界革命，做出了应有的贡献。

机械制造工业的基本任务是设计和制造各种生产机械，以满足工农业生产和国防的需要。随着社会生产水平的不断提高和科学技术的发展，现代工农业生产中所使用的机器日益繁多。如金属切削机床，汽车，拖拉机，各种起重运输设备，矿山采掘设备，冶金和轧钢设备，各种施工机械，化工和轻工业机械，农用具等等。一般地说，用途不同的机器，工作原理，结构形式和设计制造特点都不尽相同。为了适应工农业生产迅速发展的需要，机械制造工业的生产已经专业化了。在机械制造工业内部形成了以生产某种机器设备为主的行业，包括工厂和设计研究单位，与此相应，在培养机械制造技术人员的学校中，也建立了不同的专业。根据专业的培养目标，学习不同的课程。“机械设计基础”是各类专业都必须学习的课程之一。

各种机器设备，由于用途不同，工作原理和构造特点虽然差别很大，但是做为机器来说，也有许多共同的特性，例如：各种机器通常都是由各式各样的机械零件，构件和机构所组成；各种机器中都有能量的利用或转化过程，籍以减轻或代替人的体力劳动，提高劳动生产率。而机械设计的主要任务，就是根据机器的用途，能量的传递或转化的方式，选择或创造合理的机构，实现某种机器的工作原理，并根据机器的工作特性，作用在机构上的载荷大小与性质，确定机构和构件的合理形状与尺寸。“对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”“机械设计基础”这门课程研究的对象，主要是各种机器设计中经常遇到的一些共同性问题，通过这门课程的学习，要求初步了解现代机器中常用机构和零件的设计计算原理，掌握机械设计的基本方法，培养正确的设计思想，熟悉机械设计中常用的技术资料，为进一步掌握各种专用机器的设计方法打下基础。

二

为了进一步说明本课程的基本内容和了解它在机械设计中的地位，下面概括地分析

一下现代机器的组成特点。

在现代，一部完整的机器，通常由三个基本部分所组成。

(1)工作机构 指一部机器中完成预期生产动作的部分。如金属切削机床中完成金属切削工作的组成部分；汽车和拖拉机的行走部分；行车（桥式起重机）的起吊和行走部分，混砂机的碾轮等。各类机器的工作机构由于工作原理不同，差别极大。

(2)原动机 它是一部机器的能量和运动的来源。目前常用的原动机有电动机和内燃机两大类。一般行走式的机器如汽车，拖拉机等多用内燃机，各种固定式和短距离移动的机器多用电动机。由于电动机的效率高，成本低，噪音小，操作和维护方便，在一般条件下，应当优先选用电动机。

(3)传动机构 传动机构的作用是把能量和运动从原动机传递到工作机构，使工作机构能够按预定的运动形式和工作速度进行工作。目前常用的原动机都是回转运动，而且往往只有一种速度，但是各种机器的工作机构，根据工作需要，运动形式是多种多样的。如回转运动，直线运动，螺旋运动，往复运动，摆动等等，并且可以是连续运动，也可能是间歇运动。此外，为了提高机器的效率和生产率，有些机器还需要按照工作情况改变其工作速度。由于以上原因，在大多数情况下，要在原动机和工作机构之间采用不同类型的传动机构，以达到改变运动形式和工作速度的目的。

传动机构是多数机器的主要组成部分。一部机器的工作寿命，精度和效率等在很大程度上常决定于其传动机构的性能。

传动机构的类型也很多，按其工作原理可分为机械传动，电力传动和液压传动三大类型，本课程只介绍机械传动机构。

各种机械设备的设计，主要是计算和设计传动机构和工作机构，对于原动机只根据具体情况进行选用。

现代机器的类型虽很多，然而构成各类机器的基本机构（包括传动机构和工作机构）并不很多。即使是十分复杂的大型机器，它的机械部分通常都主要是由齿轮，皮带，凸轮和连杆等机构以及螺栓，轴承等零件组成。在生产实际中，可以看到，一些不同类型的机器可以用原理相同的机构和零件组成；而某些同类型的机器，也可以由不同的机构组成。例如活塞式内燃机（汽油机，柴油机）和插床，冲床的用途完全不同，但都是用曲柄滑块机构作为主要机构；牛头刨床和龙门刨床的用途是相同的，但却由完全不同的机构组成。再如在机器中应用最广的齿轮传动机构，在各种不同用途的机器中，小自钟表，大到重达几十吨，上百吨的重型机床，各种大型车辆和轧钢设备中都广泛使用。至于象螺栓，轴承等零件，可以说没有那一部机器上没有。那些在各类机器中都广泛应用的机构，我们称之为“常用机构”。这类机构不管应用到何种机器之中，它们的组成原理，分析和计算方法，基本上都是相同的。

所谓“机构”，是由不同构件和机械零件组成的，能够实现确定运动的组合体。

谓“构件”，是指由一个或几个零件组成的刚性组合体。例如最简单的一对齿轮传动机构，就是由齿轮、轴、轴承、键、机架等零件组成；又如曲柄滑块机构的连杆（如内燃机的连杆，冲床和插床的连杆）则属于构件，虽然是个刚体，但也是由连杆体，连杆头和螺栓组成。因此各种机器中最基本的组成单元是“机械零件”。所谓“机械零件”，是指在机器中由一个或几个零件组成的，实现单一作用的组合体。如轴是一个机械零件，

只由一个零件组成；滚动轴承也是一个机械零件，但是由滚动体，内外圈和保持架等几个零件组成。现代机器中使用的机械零件种类也很多，但据其用途不同可以分成两大类。一类称为“专用零件”，为某类机器所特有，例如金属切削机床的刀具，刀架，夹具；活塞式内燃机的活塞，曲柄和连杆；混砂机的碾轮等。另一类称为“通用零件”。这类零件各种机器都可用到，如齿轮，皮带，轴，轴承，螺栓等等。不论用在何种机器上，它们的用途和计算方法也基本相同。

“机械设计基础”这门课程的任务是专门介绍和分析各种“常用机构”和“通用零件”的性能与设计计算方法，以解决各种专业机器设计中的一些共同性的问题。各种机械设备中的专用零件和特殊机构(或常用机构应用到某种专业机器中带来的特殊问题)，将在各专业的专业设备设计中解决。本课程的具体内容有，平面连杆机构，螺旋机构，皮带传动，链传动，齿轮传动，蜗杆蜗轮传动、轮系，凸轮机构，轴，轴承，联轴器，弹簧以及键和螺栓等常用机构和通用零件的设计计算方法。详细内容，分章介绍于后。

三

“机械设计基础”是一门设计性课程。它的基本特点是运用一些基本理论和实践知识解决和处理机械设计中若干具体问题（不是所有问题）。在学习时应当注意以下几点：

(1) “机械设计基础”没有自己的独立理论系统，而是综合运用数学，物理，工程力学，机械制图，金属学及热处理等方面的基本原理和机械加工基础的实践知识，解决常用机构与通用零件的设计计算问题。我们知道，数学，物理，力学中的原理和公式一般都是从实践中抽象出来的，这些原理和公式可以更深刻，更正确，更完全地反映客观事物的本质。但是它和具体事物又有一定的距离，因为这些原理和公式通常是“根据理想条件”抽象出来的。因此，在学习时要十分注意运用基本原理解决具体问题的前提和条件，如何按照具体条件进行补充和修正，从而不断提高分析问题和解决问题的能力。

(2) 各种机构和机械零件的计算方法是否合理，应当以能否解决实际问题为主，而不在于理论上如何系统和严密。各种计算方法，严格地讲都是近似的，带有经验性的，在不少情况下，甚至主要靠经验公式和经验数据解决问题，而且常常是一个计算公式要解决几个参数。所以计算时的主要困难不是公式的求解，而是如何根据具体条件选择参数和数据，使设计结果更符合实际情况，如果照套公式，那就不可合理地设计工作。所以在学习中，不仅要理解某种机构与零件的设计计算原理，而且更要注意掌握设计计算的方法和步骤。

(3) 为了便于分析问题，我们在以后各章中，对组成各种机器的常用机构和通用零件分别逐一进行讨论。但是在实际中，组成一部机器的各种机构和零件是相互联系相互影响，互相制约的，因此在设计一部机器时，对某一机构和零件的分析计算，不可能不考虑它同其他机构和零件的相互影响。此外，在确定一个机械零件的结构形状和具体尺寸时，需要考虑的问题也是多方面的。例如一根轴的设计，就要考虑到强度、刚度、轴和其他零件的安装和配合的关系以及轴的加工方法等一系列问题。对一些尺寸较大的零件，设计时还要考虑其结构形状要便于加工、安装、运输，并且尽可能节约原材料。所

以各种机构和零件的设计都不可能孤立地进行，如果不从一部机器的全局出发，考虑到各个方面的因素，就不可能正确地完成设计任务。但是，在一部机器的许多机构或者一个零件的许多因素中，又总会有一个机构或一个因素是主要的，关键性的，应当特别注意加以解决的。因此在学习中，要注意认真学习毛主席的伟大哲学思想，运用唯物辩证法，在分析和处理复杂问题时，既要注意从整体出发，全面考虑问题，又要善于抓住主要矛盾，注意解决关键问题。

(4)机械设计工作，不是单纯的技术问题。除了必须认真解决具体技术问题之外，更重要的是要体现党和国家的方针、政策和路线。为了正确地解决技术问题，在设计工作中，必须坚持党的鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线；必须认真贯彻执行党的各项工业方针和政策；必须树立全心全意为人民服务的观点和虚心向工人阶级和人民群众学习的观点。总之，必须树立正确的设计思想，批判和清除唯心主义先验论，唯生产力论等反革命修正主义路线的流毒，坚持无产阶级政治挂帅，才能更好地完成设计任务。这是学习本课程必须时时注意的重要问题。

毛主席教导我们：要使我国无产阶级专政的社会主义制度巩固起来“必须实现国家的社会主义工业化，坚持经济战线上的社会主义革命，还必须在政治战线和思想战线上，进行经常的、艰苦的社会主义革命斗争和社会主义教育。”我们必须牢记毛主席的教导，从巩固无产阶级专政的高度，来认识自己的学习任务，才能学好各门课程，掌握好为人民服务的本领，完成毛主席交给我们的光荣而艰巨的任务，为工人阶级争气，为毛主席争光。

第二章 平面连杆机构

随着工农业的飞速发展、机械化、半自动化和自动化程度的不断提高，在工业生产的各部门中，大量使用着各种类型的机器，如内燃机、空气压缩机、机床、起重机（以及自动线中的机械手）等等。

各类机器的形式、构造及用途虽各不相同，但通常必包含一个或几个机构。

如图 2—1 所示的牛头刨床，包含有齿轮机构（由床身 1、齿轮 2、齿轮 3 等构件组合而成）、摆动导杆机构（由床身 1、曲柄 3、滑块 4、导杆 5、连杆 6、刨枕 7 等构件组合而成）以及其他一些辅助机构（如棘轮机构等）。当电动机经皮带（图中未画出）和齿轮 2 带动齿轮 3 回转时，导杆 5 左右摆动、使刨枕 7 带着刨刀作往复直线移动，从而完成慢削急回的刨削工作。

又如图 2—3 所示的内燃机，主要包含有曲柄滑块机构（由机体 4、滑块 3、连杆 2、曲柄 1 等组合而成）和凸轮机构（由机体 4、凸轮 5，从动件 6 等组合而成）。当燃气推动滑块（活塞）3 往复移动时，通过连杆 2 使曲柄（曲轴）1 作连续转动，从而能输出动力。至于混合气的定时进入和排出气缸，则由凸轮机构来控制。

图 2—1 中的导杆机构和图 2—3 中的曲柄滑块机构都属于平面连杆机构，这是本章讨论的重点。为了正确地设计和选用平面连杆机构，就得先认识该类机构，了解它的结构、类型和特点在此基础上再分析一般的设计方法。

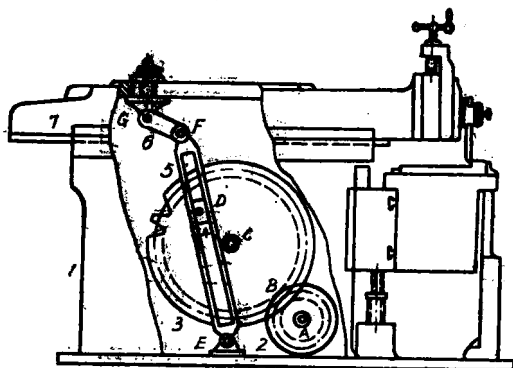


图 2—1

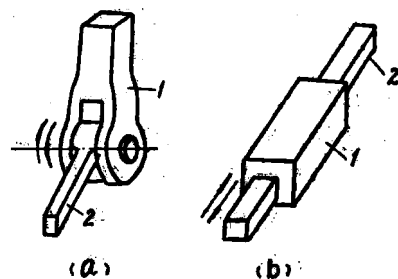


图 2—2

图 2—2

§ 2—1 机构的组成

由上述可知，机构是由若干个构件组合而成，用来传递或变换运动形式的组合体，当然不是将几个构件随意集合就可以组合成有用的机构，而是根据生产上的要求，按一定的方式和条件，才能组成机构。即要求机构中各构件间互相联接后能产生既定的相对运动。为此，两构件之间必须采用活动的联接，如图 2—2 所示。这种两构件之间的

直接的活动联接，称为运动副。(图 2—2a)所示为回转副，两构件(1和2)以回转副联接后，只能作相对回转运动。(图 2—2b)所示为移动副，两构件(1和2)以移动副联接后，只能作相对移动。

因此，由若干个构件以运动副相联接且具有确定运动的系统称为机构。

(一) 构件和运动副

1. 构件：构件是机构中参与一定运动的整体(刚性联结的运动单元)，它可能就是一个零件，也可能是几个零件的刚性联结。图 2—3 所示内燃机的曲柄滑块机构中的曲柄 1，为一个零件的构件；连杆 2 是由连杆主体、大头盖及螺栓、螺母等零件刚性联结而成的构件。

机构中的固定构件称为机架(如图 2—3 中构件 4)，机架可固定在地基上，也可固定在机体上(如汽车、飞机等)。具有独立运动规律的构件称主动件(如图 2—3 中构件 3)，在一般情况下主动件与机架直接相连。运动规律取决于主动件的运动规律和机构结构的构件称为从动件(如图 2—3 中构件 1)

2. 平面运动副：若构成运动副的两构件之间的相对运动是平面运动，则此种运动副称平面运动副，否则，为空间运动副。一般机械上用得最多的是平面机构(所有构件都在平行平面内运动的机构)，而平面机构中的运动副皆为平面运动副，平面运动副的常见形式有：回转副——两构件之间只能有相对转动，如轴与轴承的联接；图 2—3 中连杆与曲轴的联接；移动副——两构件之间只能有相对滑移，如滑块在导轨中的滑移，图 2—3 中活塞 3 在气缸中的上下移动；滚滑副——两构件之间的相对运动只能是滚动或滚动兼滑动，如齿轮啮合，凸轮与从动件的接触。

回转副与移动副使两构件作面接触，又称低副(螺旋副、球面副等空间运动副亦为低副)滚滑副使两构件作点或线接触，又称高副。

(3) 平面运动副的简化符号。

为了绘图与研究的方便，常根据各种运动副的结构特点规定了一些简单符号来代表各种运动副，其符号见表 2—1。

(二) 机构运动简图的绘制

(1) 机构简图的作用。

在研究机构的运动特性时，必先画出机构的图形。但复杂的机构构造图的绘制要化费大量的时间，并且往往不利于显示各构件的相互关联，暴露事物的本质。

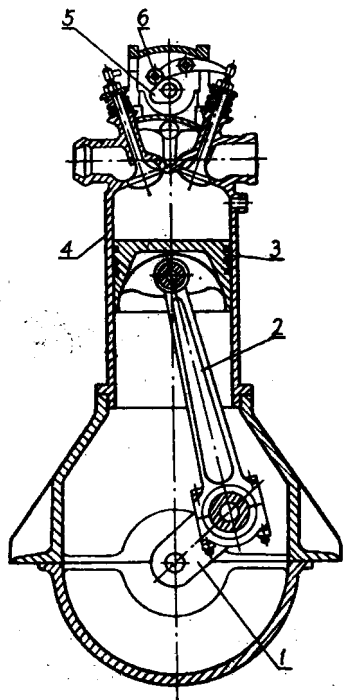
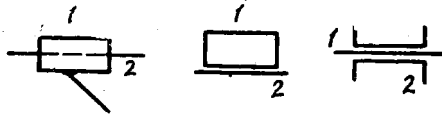
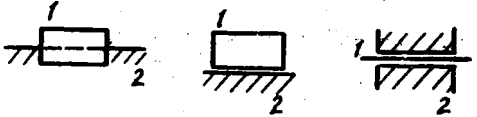
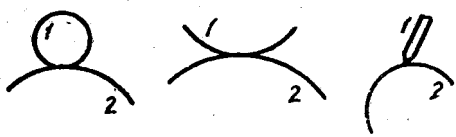
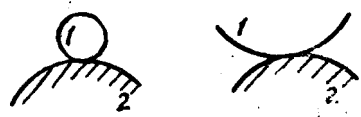


图 2—3

表 2—1 平面运动副的代表符号

符 号		
代表意义	两活动构件用回转副联接	一活动构件与机架用回转副联接
符 号		
代表意义	两活动构件用移动副联接	一活动构件与机架用移动副联接
符 号		
代表意义	两活动构件用高副联接	一活动构件与机架用高副联接

为了解决这个矛盾，人们在长期的实践中，创造了用抓住事物本质的原则，把复杂的机构构造图抽象成机构简图的分析方法，这种机构简图给设计新机构或分析现有机构带来了很大的方便，提高了研究和分析的工作效率。所以，机构简图是设计机器或机构的第一步——方案设计的重要工具，又是认识和分析现有机器或机构的工作性能和运动情况的重要工具。

(2) 什么是机构简图

机构简图是为了便于研究机构的运动而对实际机构加以科学的抽象的图形，故又称为机构运动简图。

由于机构的运动只与机构中运动副的数目和性质以及运动副的位置（回转副之间的距离、移动副导路中心线的位置）有关，所以，机构简图是撇开构件和运动副的具体形状，用运动副符号和表示运动副位置的线条（直线或曲线，其中回转副中心联线代表构件）所组成的图形，它与所表示的实际机构有完全相同的运动特性。

下面举例说明机构简图为什么能与所表示的实际机构有完全相同的运动。

图 2—4 a、为曲柄滑块机构，图 2—4 b、为其简图。图 b 中 AB 线代表图 a 中的圆盘（曲柄）； BC 线代表图 a 中的连杆。这是因为作平面运动的构件在平面内的位置可由该构件上任意两点联线的位置来代表。所以， A 、 B 两回转副中心的联线 AB 可代表

作回转运动的圆盘（曲柄）；同理，联线BC可代表作复杂平面运动的连杆；滑块C用小方块代表。

若曲柄AB为主动件，其角速度为 ω ，那么影响滑块C的运动（如位移、速度、加速度等）的是哪些因素？

令 v_c 与 a_c 分别代表滑块C的速度与加速度，则由力学知

$$v_c = \omega r \left(\sin \varphi + \frac{r}{2l} \sin 2\varphi \right)$$

$$a_c = \omega^2 \cdot r \left(\cos \varphi + \frac{r}{l} \cos 2\varphi \right)$$

式中 r 为A、B两回转副之间的距离， l 为B、C两回转副之间的距离。由上两式知，影响滑块运动的只有曲柄长 r 和连杆长 l 。又因滑块与导槽（机架）用移动副联接，故知 v_c 及 a_c 的方向是与导槽中心线平行。

由上面的分析可知曲柄滑块机构的简图只要用三个回转副一个移动副符号及简单直线AB、BC（ $AB=r$ 、 $BC=l$ ）表示就够了。也就是说，图2-4b所示的曲柄滑块机构简图与图2-4a所示的实际曲柄滑块机构有完全相同的运动。

(3) 机构简图的绘制方法

绘制顺序：①分析机构的运动：先认清固定构件（机架）与活动构件数目，再过细地研究各构件之间相对运动的性质（从主动件开始，按运动传递顺序依次分析各构件），然后、定出各运动副的类别与测出各运动副之间的距离。这一步工作一定“要过细、粗枝大叶不行，粗枝大叶往往搞错。”

② 根据图纸的大小和精确度的要求，选择适当的比例尺 μ_L （米/毫米）和便于分析的视图，最后以简单的线条和各种运动副的符号将简图绘出。（注 μ_L 表示图中每毫米长线段所代表的真实长度的米数）

下面试举例说明之

例题2-1 图2-5a所示为一牛头刨床的构造图。当轮2绕B轴等速回转时，刨枕6作不等速往复移动。因而刨枕上的刨刀就慢削急回地工作。

① 分析运动：构件1为固定构件，轮2、滑块3、摆杆4、连杆5及刨枕6为活动构件。轮2为主动件且绕B轴回转，摆杆4绕A轴作往复摆动，滑块3相对于轮2转动又相对于摆杆4移动，连杆5相对于4和6两构件转动，构件6作水平移动。由以上的分析知，A、B、C、D、E皆为回转副，F为移动副，滑块3与摆杆4的联接也是移

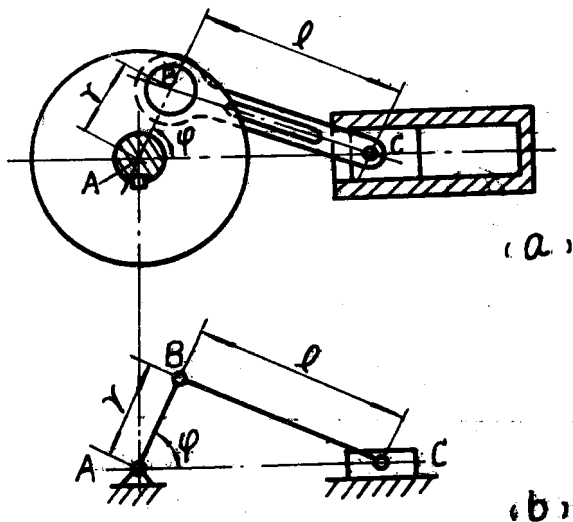


图 2-4

动副。测出各回转副之间的距离及移动副中心线的位置。

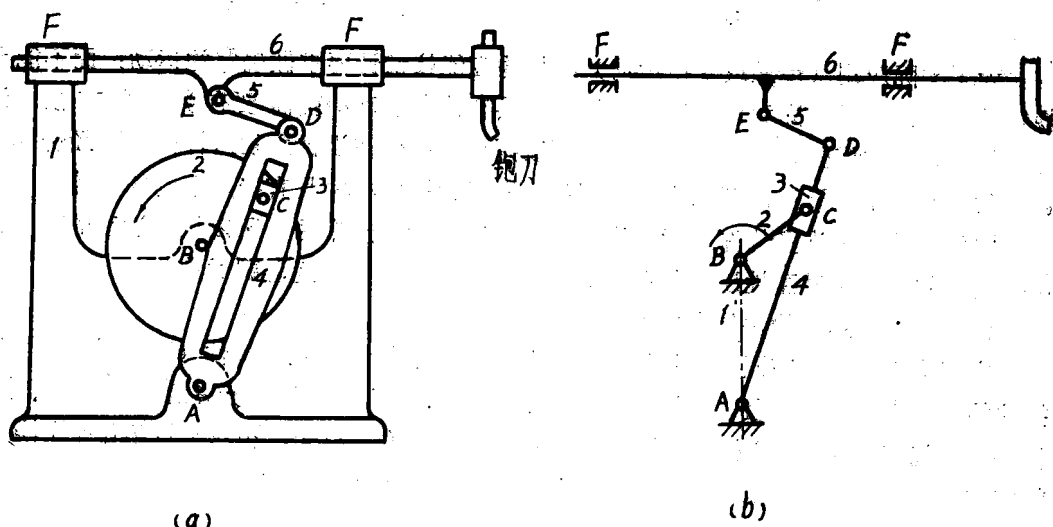


图 5—5

② 绘制：先画出回转副 A 。按选定的比例尺 μ_L （即规定图中1毫米，代表实长若干毫米），画出回转副及移动副 F 、 F' 中心线的位置；作 BC 代表轮2；作 AD 代表导杆4；作 DE 代表连杆5。再画出刨头6和滑块3。即得如图2—5b)所示的牛头刨床机构简图。

例题 2—2 如图 2—6 a) 所示为一筛砂机的构造图。当偏心轮 1 绕 O 轴回转时，筛子 3 作往复平动而筛砂。

图 2—6 b) 即为该筛砂机的机构简图。画简图时先画出偏心轮 1（主动件）与机架 6 组成的回转副 O 。按选定的比例尺 μ_L 作 OA 代表偏心轮，则连杆 2 左端的偏心环与偏心轮 1 所组成的回转副缩小为铰链 A 。按比例尺 μ_L 作出其余构件 2、3、4 及 5 则机构简图绘制完成。

机构简图画好后，应检查它是否正确反映客观实际。即检查简图上的构件数，运动副的类型、数目及构件之间的相对尺寸，位置是否与实际机构相符。

机构的运动自由度是否与原机构的主动件数目相同（相同才是正确时，其理由在下面谈）。若简图不正确，应加以改正。

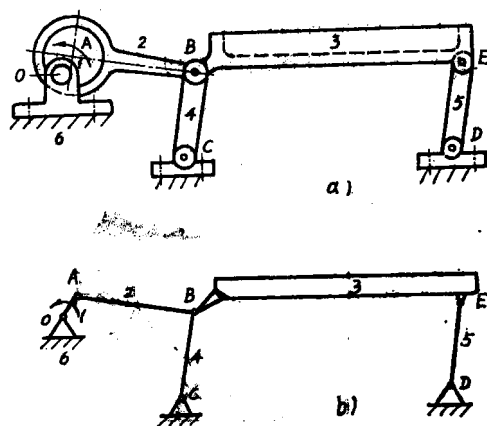


图 2—6

(三) 平面机构的运动自由度及机构具有确定运动的条件

为了实际应用(传递或变换运动),机构应能按设计要求做确定的运动,而不能无规律的乱动或不动。究竟设计出的机构是否具有确定运动,就需要有判断的方法。当然,把机构做出模型来进行实际运转是可以判断的,但在设计之初这样做是不经济的。现在我们来讨论一下:从理论上怎样判断,即讨论平面机构具有确定运动的条件。

因为机构是由许多构件用运动副以一定的方式组合起来的,所以机构运动的确定性必然与构件数和运动副性质、数目有关。下面就先从构件和运动副讨论起。

(1) 作平面运动构件的自由度

由理论力学知,在固定坐标平面内,作平面运动的一个独立构件(不与其他构件联接的构件)有三个自由度。如图2-7所示,构件 AB 可以有随基点 A 沿 x 轴移动、沿 z 轴移动和绕基点 A 转动这样三种运动,即有三个自由度。故知,相对于机架作平面运动的独立构件有三个自由度。(显然,机架的自由度为零)。

(2) 平面运动副的约束数

若把两构件用运动副联接起来,则此两构件之间的相对运动就受到一定的约束(限制),从而使两构件之间的相对运动的自由度减少,其减少的自由度数等于运动副提供的约束数。因为作平面运动的独立构件只有三个自由度,所以,平面运动副时约束数小于3,否则两构件间不可能有运动。下面分别讨论各种平面运动副的约束数。

回转副的约束数——如(图2-8a)所示,构件2与构件1组成回转副。则构件2相对于构件1只能绕回转副中心(铰销轴)转动,而不能沿水平和垂直方向移动,所以回转副的约束数为2。

移动副的约束数——若构件2与构件1组成移动副,如图2-8(b)所示。则构件2相对于构件1只能沿滑动表面移动,而不能在滑动面的垂直方向移动,也不能绕平面内任意一点转动,所以移动副的约束数为2。

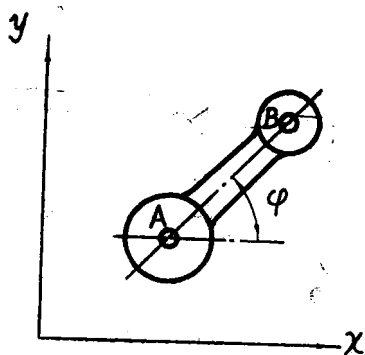


图 2-7

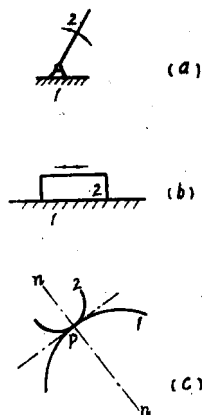


图 2-8

平面高副的约束数——如图2-8(c)所示。构件2与构件1在 P 点接触而形成平面高副,则构件2相对于构件1可绕 P 点转动和沿切线方向移动,而不能沿公法线 nn 方向

移动, 否则将使两构件相互嵌入或脱离。所以平面高副的约束数为 1。

(3) 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件。

怎样计算平面机构的自由度呢? 设一平面机构中有一个固定构件(机架)和 n 个活动构件, 当各构件还没有联接时, 每个活动构件有三个自由度, 则 n 个活动构件相对于机架共有 $3n$ 个自由度; 当各构件由 P_2 个低副(回转副和移动副)与 P_1 个高副联接成该机构后, 运动副共提供了 $(2P_2 + P_1)$ 个约束。所以平面机构相对于机架的自由度应是从 $3n$ 个自由度中减去 $(2P_2 + P_1)$ 个约束。因此, 得到平面机构自由度的计算公式如下:

$$W = 3n - 2P_2 - P_1 \quad (2-1)$$

式中, W 表示平面机构相对于机架的自由度数; n 表示活动构件数; P_2 表示低副数, P_1 表示高副数。

式(2-1)即为平面机构运动自由度的计算公式, 应用式(2-1)之前要先画机构简图。

机构的自由度就是机构相对于固定构件的独立运动数。设某机构的自由度为 W ($W \geq 1$), 也就是说某机构运动时相对于机架有 W 个独立运动数, 则须给该机构 W 个独立的运动规律, 该机构的运动才是确定的(即机构中每一构件的运动都是确定的)。我们知道, 主动件是以独立的运动规律而运动的构件, 在大多数情况下主动件是用低副与机架直接相连的连架构件, 故知一个主动件相对于机架只具有一个独立的运动规律。因此, 得出机构具有确定运动的条件是: 机构中主动件的数目必须与机构的自由度数相等。例如: 某机构有一个主动件(大多数的平面机构是这样), 那么, 只有当机构的自由度等于 1 时, 这个机构才有确定的运动。

(4) 式(2-1)的应用举例:

例题 2-3, 试求图 2-9 所示插床机构的自由度。

解: 该机构有五个活动构件(构件 1, 2, 3, 4, 5), 构件 5 和机架 6 组成一个移动副 G , 余者 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 都为回转副, 共 6 个, 即 $n=5$, $P_2=6+1=7$, $P_1=0$ $\therefore W=3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$ 故知, 只需给曲柄(构件 1)一个独立的运动规律(绕 A 轴的匀角速度转动), 滑块(构件 5)就能按一定的运动规律上下往复移动以满足对插刀的慢削急回的要求。或者说, 只要使插床机构中的一个构件(曲柄 1)为主动件, 则该机构的运动就是确定的。

例题 2-4 试求图 2-10 所示惯性筛机构的自由度。

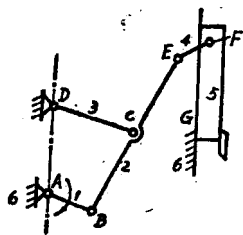


图 2-9

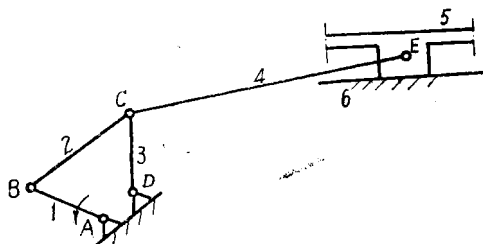


图 2-10

解: 该机构有五个活动构件(1, 2, 3, 4, 5), 构件 5 和机架 6 组成一个移动副,

A 、 B 、 D 及 E 处各有一个回转副，而 C 处有三个构件（2、3及4）在此处以回转副相联接，而每两个构件的可动联接即为一个运动副，也只能有一个运动副，故知 C 处是两个回转副（构件2、3所构成的回转副和构件3、4所构成的回转副）重合在一起，称复合铰链。

从上面分析得：活动构件数 $n=5$ ，低副数 $P_2=1+4+2=7$ 高副数 $P_1=0$

得该机构的自由度为 $W=3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$

所以，只要使曲柄1为主动件（使驱动力作用在此构件上），则该机构的运动就确定了，筛子（构件5）就能满足工艺要求作往复运动。

例题2—5求图2—11所示。滚子从动件凸轮机构的自由度。

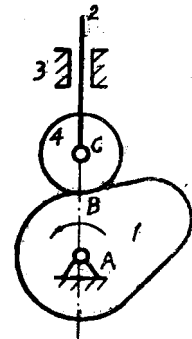


图2—11

解：从分析该机构的运动发现：该机构中的构件4（滚子）绕 C 点的自由转动并不影响整个凸轮机构的运动，因为不论滚子的转动是快是慢或是不转，都不影响把构件1（凸轮）的转动变成构件2（从动件）的移动，因此，滚子的这种自由运动就称为多余自由度。计算机构自由度时应把这种多余自由度除去，即把滚子和从动件看成是一个构件（滚子的设置只是为了减少高副中的磨损）。

所以，该凸轮机构中，活动构件数 $n=2$ ，低副数 $P_2=1+1=2$ ，高副数 $P_1=1$

得该机构的自由度 $W=3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$

故只要给凸轮一个独立的运动规律（绕 A 轴的匀速转动），该凸轮机构的运动就能确定。

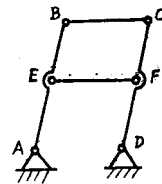


图2—12

例题2—6求图2—12所示平行四边形机构的自由度。该机构中的构件 EF 及两回转副 E 、 F 是为了增加机构的强度和渡过从动件运动不确定位置而增加的，且 $EF \perp BC$ 。

因 $ABCD$ 为平行四边形机构（即其中 $AB \perp CD$ ），在运转过程中，不论有无构件 EF ， E 点至 F 点的距离都始终不变。所以构件 EF 及两回转副 E 、 F 的加入或取掉，都不会影响该平行四边形机构的运动。这种对机构运动不起约束作用的约束称为虚约束、在计算机构自由度时应除去不计。

除去虚约束后、图2—12所示机构中，活动构件数 $n=3$ ，回转副数 $P_2=4$ ，得该机构的自由度 $W=3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ 。给定该机构一个主动件后、机构运动就确定了。

若平行四边形机构中所加入的构件 EF 不与构件 BC 平行，则构件 EF 及两回转副 E 、 F 就不再是虚约束了。所以，计算其自由度时不能除去。

由上面例子可知，应用平面机构结构公式（2—1）计算平面机构自由度时，应注意一些特殊问题：如①复合铰链：若有 m 个构件以复合铰链相联接，则该处重合的回转副数应等于 $(m-1)$ ；②多余自由度和虚约束：若在机构中发现有多余自由度和虚约束，在计算机构的自由度时，就应先将其除去，然后再计算机构自由度。否则，按公式计算出来的自由度将与机构实际能产生的独立运动数目不相符合。

§ 2—2 平面四杆机构的类型

连杆机构是最常用的机构之一，它广泛地应用于各种机械、仪表和自动线中，能够实现各种运动形式（等速或变速的回转运动、摆动和往复移动等）和实现各种曲线轨迹，以满足生产上的各种要求。如：往复式内燃机机构（见图 2—3），牛头刨床机构（图 2—5）、汽车前轮转向机构（图 2—22b），惯性筛机构（图 2—10）、变速箱的操纵机构（图 2—27b）、起重机机构（图 2—34）等等。在自动化和半自动化生产中，连杆机构也日益得到广泛应用。

各类机械中所用的平面连杆机构，其构造形式（各构件的外形及各构件的相对长度）和运动变换各有不同，但撇开外部现象而从机构的组成和各构件间相对运动的性质来看是有其共性的。即平面连杆机构都是由若干杆状构件（故又称杆）用低副（回转副和移动副）联接而成的具有确定运动的平面机构。

平面连杆机构中杆数最少的是二杆机构（杠杆），三杆的不成机构而相当于刚体；四杆的应用最广。四杆以上的也有，但常可化为几组四杆机构的组合（如图 2—5 所示的牛头刨床机构）故知四杆机构是多杆机构的基础机构，本节就仅以四杆机构为讨论对象。

（一）平面四杆机构的基本型式铰销四杆机构

（1）结构特点：铰销四杆机构，如图 2—13 所示，用四个铰销（回转副）联接三个活动杆、一个固定杆 AD （机架）而成。三个活动杆都在平行平面内运动。该种机构的自由度为

$$W = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

所以，只要以一个杆件为主动件，该机构的运动就完全确定了。

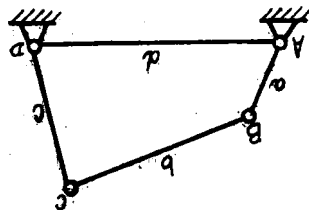


图 2—13

与机架相连的杆（连架杆），若能绕回转副中心作整周回转，则称为曲柄，曲柄上每点的轨迹为半径不同的同心圆；若只能作来回摆动，则称为摇杆，摇杆上每点的轨迹为半径不同的圆弧。不与机架直接相连（连接两连架杆）而作平面复杂运动的杆，称为连杆，连杆上每点的轨迹各不相同，这类轨迹通常被叫做连杆曲线。

（2）铰销四杆机构的三种型式

根据曲柄与摇杆的存在情况（即根据各杆长度之比的不同），铰销四杆机构可分为如图 2—14 所示的三种型式。图 2—14(a) 所示的铰销四杆机构中， AD 杆固定不动，是为机架， AB 杆能绕 A 点作整周回转是为曲柄， CD 杆只能在角度 φ 的范围内往复摆动是为摇杆，所以图 2—14(a) 所示的叫做曲柄摇杆机构。图 2—14(b) 所示的铰销四杆机构中， CD 杆为机架， DA 杆和 CB 杆都是只能在一定的角度范围内往复摆动的摇杆，故图 2—14(b) 所示的叫做双摇杆机构。图 2—14(c) 所示的铰销四杆机构，因固定 AB