

机械类

高级技工学校统编教材 高级工培训教材

机械制造技术基础



中国劳动出版社

机械类

高级技工学校统编教材
高级工培训教材

机械制造技术基础

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写



中国劳动出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术基础/王洪琳等编. —北京: 中国劳动出版社, 1999
ISBN 7-5045-2301-1

I. 机…

II. 王…

III. 机械制造工艺

IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 21824 号

机械制造技术基础

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

责任编辑 孟陆英

责任设计 朱 姝

责任校对 高亚锋

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街 1 号)

北京市艺辉印刷有限公司印刷 新华书店总店北京发行所发行

1999 年 3 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 4 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印 张: 20.5

字数: 510 千字 印数: 2000 册

定价: 23.90 元

简 介

为了更有效地培养高级技能人才,自1995年起,原劳动部、原机械工业部和中国航空工业总公司依据国家《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》,共同组织编写了一套机械类高级技工学校统编教材,本书是其中的一本。

本书着重叙述了机械零件、机构、机械传动和液压传动的基本工作原理,典型零部件的结构,参数及材料、公差的选用。尤其对各零件、机构、机械传动、液压元件的应用作了比较详细的介绍。

本书可作为高级技工学校机械专业、中级技工学校机械高级班的教材,也可作企业高级工培训和在职工人自学用书。

本书由山东省高级技工学校王洪琳、杨琳、刘燕亭、刘同森、周峥编写,王洪琳主编;由陕西012基地技工学校陈彩云、成都航空仪表公司高级技工学校吴稠、长春一汽集团公司技工学校何兆风审稿。

前 言

高级技工教育是较高层次的职业技术教育。发展高级技工教育既是我国经济发展和现代化建设的需要,也是提高劳动者素质的需要。为加快培养高级技能人才,原劳动部从1990年开始试办高级技工学校,之后又在省级以上重点技工学校中选择了一批骨干学校陆续建立起高级技工学校几十所。几年来,这些高级技工学校已经成为高级职业培训基地,承担着培养高级技术工人、技师、生产实习指导教师以及其他高级技能人才的任务。

为了规范高级技工学校的教学,较好地解决教材的使用问题,1995年3月,原劳动部职业技能开发司会同原机械工业部教育司和中国航空工业总公司教育局,共同召开了高级技工学校机械类教学计划研讨会,提出“制订教学计划,并通过教学计划对培养目标进行质量检查,是保证高级技工学校健康发展的重要条件”。本套高级技工学校机械类统编教材,就是根据会议通过的高级技工学校机械类教学计划组织编写的。

本套教材以国家颁布的《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》为依据,文化基础课教材突出了实用性和服务性;专业课教材注意了从技能培养的需要出发确定编写内容,力求紧密结合企业的技术和生产实际;专业技能训练教材大量吸收了现场工人在生产中总结出来的操作经验和特殊技巧,补充了相关的专业知识,并介绍了国内较先进的技术和工艺。基本做到了从专业工种的实际需要出发,重点讲清知识应用的条件、方法和手段,使文化基础课为专业课服务,

专业课为技能训练服务,最终提高学生的操作技能和分析、解决实际问题的能力。

本套教材既可以作为高级技工学校的教材,也可以作为高级技工的培训教材。但由于我国高级技工教育正处在发展阶段,教材建设还存在着各种各样的问题,因此在选用本套教材时,一定要结合本单位的实际情况安排教学。

在近两年的教材编审工作中,得到了有关方面的大力支持,特别是一些高级技工学校的教师,承担了大量的编审任务,在此一并致以诚挚的感谢。欢迎大家在使用中将发现的问题及时反馈给我们,以便适时修订。

高级技工学校机械类教材编审委员会

1998年12月

目 录

绪 论	(1)
第一章 机械基础知识	(2)
§ 1.1 机构的基础知识	(2)
§ 1.2 机构的力学基础	(10)
§ 1.3 机械上常用材料及热处理	(34)
第二章 典型零部件的结构、应用及简单计算	(45)
§ 2.1 轴	(45)
§ 2.2 键、销	(58)
§ 2.3 联轴器和离合器	(64)
§ 2.4 轴承	(74)
§ 2.5 弹簧	(89)
第三章 平面连杆机构	(98)
§ 3.1 平面连杆机构的分类、特点及应用	(98)
§ 3.2 平面连杆机构的运动和受力分析	(105)
§ 3.3 确定平面连杆机构的图解法	(108)
第四章 凸轮机构	(112)
§ 4.1 凸轮机构的作用、类型及应用	(112)
§ 4.2 凸轮机构的工作原理	(115)
§ 4.3 凸轮轮廓的确定及材料的选择	(119)
第五章 齿轮传动	(125)
§ 5.1 齿轮传动的基本知识	(125)
§ 5.2 齿轮的常用材料和热处理	(129)
§ 5.3 齿轮的失效形式及强度计算	(131)
§ 5.4 齿轮公差	(138)
§ 5.5 变位齿轮及应用	(143)

§ 5.6 轮系及其应用	(146)
第六章 蜗杆蜗轮机构	(154)
§ 6.1 蜗杆传动的特点及类型	(154)
§ 6.2 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算	(156)
§ 6.3 蜗杆传动的受力分析、失效形式及材料的选择	(159)
§ 6.4 蜗杆传动的应用	(162)
第七章 螺旋机构	(166)
§ 7.1 螺旋机构的作用、类型及应用	(166)
§ 7.2 螺旋机构的受力分析和材料的选择	(171)
第八章 带、链传动	(175)
§ 8.1 带传动	(175)
§ 8.2 链传动	(190)
第九章 液压传动	(202)
§ 9.1 液压传动的基本原理	(202)
§ 9.2 液压油	(213)
§ 9.3 液压元件及应用知识	(221)
§ 9.4 液压传动系统的应用实例	(283)
§ 9.5 液压系统常见故障的分析及维护保养	(299)
第十章 拟定机械传动系统方案	(309)
§ 10.1 机械传动系统方案的分析及拟定	(309)
§ 10.2 电动机的选择	(311)
§ 10.3 传动比的计算及分配	(313)
§ 10.4 传动机构的运动及动力参数的计算	(314)
§ 10.5 拟定机械传动系统举例	(315)
§ 10.6 机械零件设计概述	(317)
参考文献	(319)

绪 论

人类通过长期的生产实践,制造和发展了机器。在工业生产和人们的日常生活中常用的机器有内燃机、各种机床、起重机、缝纫机、洗衣机、搅面机等。

机器的类型很多,其构造、性能和用途等各不相同。但任何一台机器都是由一些不同尺寸、规格及性能的机械零件和机构组装而成。这些零件和机构的设计、制造、使用及维护、保养,是机械制造中技术人员及技术工人所要解决的主要问题。

《机械制造技术基础》课程的主要内容是:以机构与零件为主线,结合讲授有关金属材料热处理、公差与配合的实际应用知识,以及液压技术原理、元件、系统及维护、保养等应用方面的内容。通过学习使学生掌握常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、简单的设计和计算方法。能较正确地选择材料、公差等级、表面质量,掌握机构的使用、维护保养的方法等。

《机械制造技术基础》是一门技术基础课程。在这门课程中将综合运用工程力学、金属材料及热处理、公差与配合、机械制图及液压技术等方面的知识,培养学生分析、解决生产中实际问题的能力。为学生进一步学习专业理论和新技术、新工艺,在生产中进行技术革新、技术改造打下坚实的理论基础。

学生学完本课程后应达到下列要求:

- (1) 熟悉常用机构的类型、功用和性能。
- (2) 掌握典型零、部件的基本结构、工作原理及选用方法。
- (3) 熟悉常用金属材料的性能、牌号及热处理工艺。
- (4) 能对机构进行受力分析及对典型零件进行简单的强度计算。
- (5) 会运用手册查阅有关参数及标准。
- (6) 对典型机构具有综合分析和简单设计的能力。
- (7) 掌握液压传动的基本原理,能根据液压系统图、说明书,了解液压元件的性能、规格和作用。
- (8) 能根据液压系统图分析和解决液压传动中的一般故障。

第一章 机械基础知识

§ 1.1 机构的基础知识

一、机构的类型

1. 机器和机构、构件及零件

在生产中人们广泛地使用着各种机器,这些机器尽管其构造、性能和用途等各不相同,但却存在着一些共同特征。

(1) 它们都是由许多实物组合而成。如图 1.1 所示的牛头刨床是由床身 1、滑枕 2、工作台 3 和刨刀 4 等组成。

(2) 这些实物之间具有确定的相对运动。当电动机(图中未画出)经带传动并通过齿轮使曲柄回转时,导杆作平面复杂运动。滑枕便带着刨刀作往复直线移动,从而产生刨削动作。

(3) 在生产过程中,它们能代替或减轻人类的劳动,来完成有用的机械功(如刨床的切削工作)或转换机械能(如内燃机、电动机分别将热能和电能转换成机械能)。

由上述可知,人类使用机器的目的是减轻或代替人们的劳动。机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料与信息。

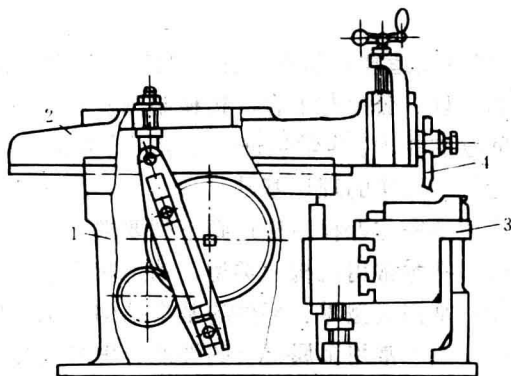


图 1.1 牛头刨床

机器中传递机械运动的部分称为机构。所谓机构,也是人为的实物组合,其各部分之间亦具有确定的相对运动。它们被用来传递运动和变换运动形式。因此,机械应是由各种机构所构成的系统。如上所述,牛头刨床就包含了带传动、齿轮传动和导杆等三个不同机构。

“机械”一词,通常是指机器和机构的总称。

机构中形成相对运动的各个运动单元称为构件。构件可以是单一的零件,也可以是由几个零件组成的刚性结构。构件和零件是两个不同的概念,构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

2. 机构的类型

机器中常见的机构类型大致可分为以下几种:(1) 连杆机构;(2) 凸轮机构;(3) 齿轮机构;(4) 螺旋机构和楔块机构;(5) 棘轮机构和槽轮机构;(6) 摩擦传动机构;(7) 挠性件机构,以挠性件(带、链、绳)作为中间传动介质组成的机构,利用挠性件承受拉力或挠

件与轮间的摩擦传动；(8) 弹性件机构；(9) 液、气动机构；(10) 电气机构以及其他利用光、声、热及生物体等作为传递运动和信息的中间媒质的新型机构。

本书主要以传统机构为主，介绍其结构、传动原理及部分设计计算等内容。

二、平面机构的运动副及运动简图

1. 平面机构的运动副

机构是由许多构件组合而成，机构中的每一个构件彼此都不是孤立的，而是以一定的方式互相联接着。相互联接的两构件既保持直接接触，又能产生一定的相对运动。人们把两构件组成的可动联接部分称为运动副。

按照机构的运动范围不同，可将机构分为平面机构和空间机构；按照组成运动副两构件间的相对运动是平面运动还是空间运动，可以把运动副分为平面运动副和空间运动副。本章主要介绍平面机构和平面运动副的有关问题。

运动副的类型有很多。若两构件间用有挡肩的圆柱面和圆柱孔联接，如图 1.2a 所示，使它们只能围绕其轴线作相对转动，这种具有一个独立相对转动的运动副称为转动副。若两构件间用棱柱形直槽包容棱柱体（见图 1.2b），使它们只能沿槽的中线作相对移动，这种具有沿一个方向独立相对移动的运动副称为移动副；若两构件间用曲面保持线或点接触（见图 1.3），两构件间产生相对滚动和滑动，则称滚滑副。组成运动副的一对接触表面称为运动副的两个元素。两构件通过点或线接触而构成的运动副称为高副，如滚滑副等；两构件通过面接触而构成的运动副称为低副，如转动副、移动副等。

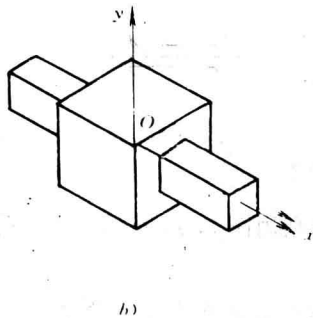
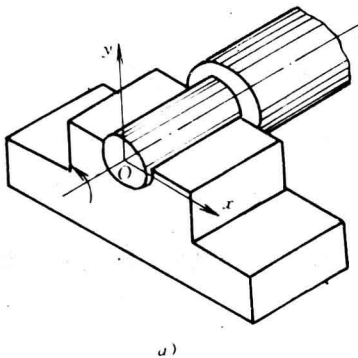


图 1.2 转动副与移动副

a) 转动副 b) 移动副

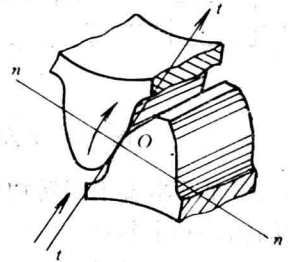


图 1.3 两轮齿接触构成的滚滑副

2. 平面机构运动简图

在实际机械中，构件的外形和构造一般比较复杂，而构件之间的相对运动又与其外形等因素（如构件的外形和截面尺寸，组成构件的零件数目，运动副的具体构造等）无关，只与运动副的类型及运动副的相对位置有关。为简化起见，在分析机构运动时，可以不考虑那些与运动无关的因素，只用简单的线条和符号来代表构件和运动副，并按一定比例表示各运动副的相对位置，如图 1.4 所示。这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。

在平面机构运动简图中，平面运动副的表示方法如下。

1、2 两构件组成转动副时，其表示方法如图 1.5 所示。图面垂直于回转轴线时用图 1.5a

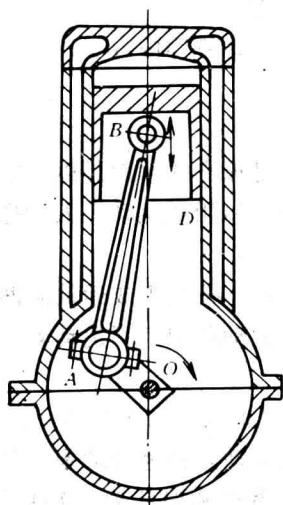
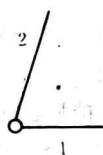
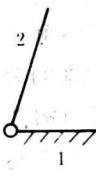


图 1.4 内燃机主体机构



a)



b)

图 1.5 转动副简图

a) 图面垂直于回转轴线的转动副

b) 图面不垂直于回转轴线的转动副

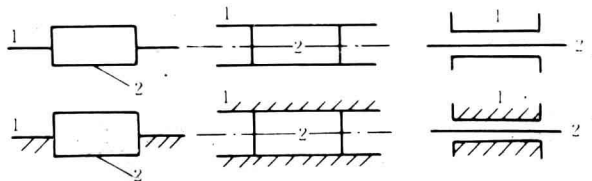


图 1.6 移动副简图



图 1.7 滚滑副简图

表示；图面不垂直于回转轴线时则用图 1.5b 表示。若运动副两构件之一为机架，则应把代表机架的构件画上斜线。

两构件组成移动副时，其表示方法如图 1.6 所示。

两构件组成滚滑副时，要用接触表面的廓线表示，其表示方法如图 1.7 所示。

机构运动简图符号可参阅国家标准 (GB 4460—84)，常见运动副表示方法见表 1.1。

三、平面机构自由度的计算

1. 平面机构的自由度

由理论力学可知，构件作任意的平面运动时，其运动可分解为沿 x 轴和 y 轴的移动以及绕垂直于 xoy 平面的轴转动，如图 1.8 所示。构件的这种独立运动称为自由度。显然，作平面运动的自由构件具有三个自由度。但是，当它与另一构件组成运动副之后，构件间的直接接触使某些独立运动受到限制，自由度便随之减少，这种对构件的独立运动所加的限制称为约束。构件上每增加一个约束，构件便失去一个自由度；加上两个约束，构件便失去两个自由度。因此，约束的数目便是自由度减少的个数。两构件间约束的多少和约束的特点完全取决于运动副的类型。

表 1.1

常见运动副的类型及表示方法

名 称	移动副	转动副	平面高副	螺旋副	球面副	柱面副
图例						
规定表示方法						
限定构件间相对运动	移动	转动	转动及沿廓线切线方向的移动	轴向移动 (S) 及转动 (φ) 满足 $S = k\varphi$	绕任意轴转动	转动及沿转动轴方向的移动
相对自由度	1	1	2	1	3	2

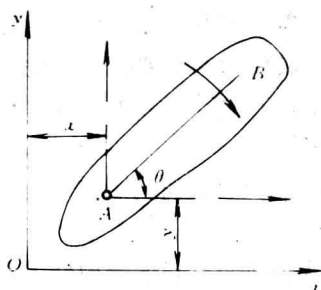


图 1.8 平面运动构件的自由度

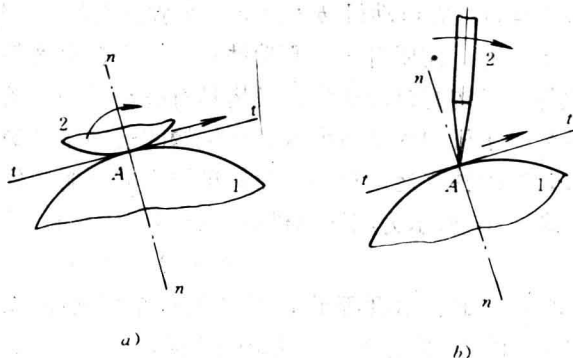


图 1.9 平面高副

a) 线接触的平面高副 b) 点接触的平面高副

图 1.2a 所示为转动副, 构件 1 沿 x 轴和 y 轴的移动都受到约束, 它只能绕垂直于 xoy 平面的轴转动。

图 1.2b 所示为移动副, 构件 1 沿 y 轴的移动和绕垂直于 xoy 平面的轴转动受到约束, 它只能沿 x 轴相对移动。

在两构件间通过线接触 (见图 1.9a) 或点接触 (见图 1.9b) 而构成的高副中, 构件 2 相对于构件 1 即可沿瞬时接触点 A 的切线 $t-t$ 方向移动, 又可绕 A 点转动, 而沿公法线 $n-n$ 方向的移动受到约束。

综上所述, 在平面机构中, 平面低副具有两个约束, 平面高副具有一个约束。

由两个以上构件以运动副联接而成的系统称为运动链。若将运动链的一个构件固定为机架, 当它的一个或几个原动件作独立运动时, 其余各构件随之作确定的相对运动, 这种运动链便成机构。

所谓机构的自由度，即机构所具有的独立运动数目，也就是运动链相对于机架的自由度。

如前所述，一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。当它与另一构件组成运动副后，其相对运动就会受到约束，自由度随之减少。不同类型的运动副，其引入的约束数目不同，因此，机构的自由度不仅与活动构件的数目有关，而且还与各构件间运动副的数量及类型有关。

在一个平面运动链中，若有 N 个构件，除去机架，活动构件数为 n 个，这 n 个活动构件在未组成运动副之前共有 $3n$ 个自由度，当用 P_L 个低副和 P_H 个高副联接成运动链之后，便受到 $2P_L + P_H$ 个约束。故整个运动链相对于机架的自由度应为活动构件自由度的总数与运动副引入的约束总数之差，即

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

式中 F ——自由度数；

n ——机构中活动构件的数目；

P_L ——低副的数目；

P_H ——高副的数目。

2. 机构具有确定运动的条件

组成机构的目的是为了使机构按照预定的要求，进行有规律的运动而不能乱动。这就是说机构要有明确的运动。为此，它的自由度必须大于零。通常机构中的每一个原动件具有一个独立运动（如电动机转子具有一个独立转动，内燃机的活塞有一个独立移动），当机构自由度等于 1 时，需要有一个原动件；当机构自由度等于 2 时，需要有两个原动件。机构的原动件数等于机构的自由度数是机构具有确定运动的条件，即组成机构的必要条件。显然，若原动件数少于机构的自由度数，则机构的运动将不确定。相反，若原动件数大于该机构的自由度数，则因独立运动过多，而使机构中的最弱构件遭到破坏。

图 1.10 所示为四连杆机构， $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ ，由式 (1.1) 可得：

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

此机构的自由度等于 1，应当有一个原动件。设构件 1 为原动件，若给定构件 1 位置参数 ϕ_1 ，则构件 2、3 便有一个确定的相应位置。

图 1.11 所示为五杆机构。 $n=4$ ， $P_L=5$ ， $P_H=0$ ，由式 (1.1) 可得：

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

此机构的自由度为 2，应当有两个原动件。假设只给定构件 1 以确定的位置 ϕ_1 ，则其余各杆没有确定的相对位置，说明当原动件数少于机构的自由度时，其运动是不确定的。只有再给构件 4 以确定的位置 ϕ_2 后，其余各构件才有确定的位置。

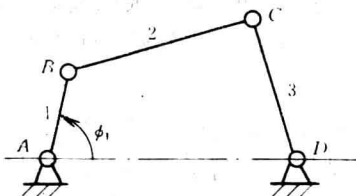


图 1.10 四连杆机构

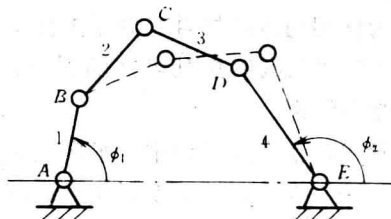


图 1.11 五杆机构

图 1.12a 所示构件组合, $n=2$, $P_L=3$, $P_H=0$, 由式 (1.1) 得:

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

该构件组合的自由度等于零, 说明它是不能产生相对运动的刚性桁架。

又如图 1.12b 所示构件组合, $n=3$, $P_L=5$, $P_H=0$, 由式 (1.1) 得:

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

$F < 0$ 说明它所受的约束过多, 已成为超静定桁架。

综上所述, 运动链具有确定的相对运动而成为机构的条件是:

- (1) 运动链的自由度必须大于零。
- (2) 原动件的数目与运动链的自由度必须相等。

3. 几个特殊问题

在用公式 $F = 3n - 2P_L - P_H$ 计算机构的自由度时, 往往会遇到按公式计算的自由度与实际自由度数不符的情况, 主要原因是忽视了机构结构中的某些特殊情况。

(1) 复合铰链 两个以上的构件在一处用转动副联接则构成复合铰链。图 1.13a 为摇筛机构, 构件 2、3 分别与构件 4 组成转动副。在计算自由度时, 往往容易把它当做 1 个转动副来计算, 其结果与实际情况不符。例如容易把该机构的转动副和移动副的总数算为 6, 按公式算得自由度为 3, 这表示要使该机构具有确定运动需要三个原动件, 但实际上只要驱动构件 1, 机构就具有确定运动。其原因是由于没有把铰链 C 处的转动副数按实际情况算为两个 (见图 1.13b), 而只算了 1 个, 铰链 C 称为复合铰链。当我们遇到由 m 个构件组成的复合铰链时, 则其运动副的数目应为 $(m-1)$ 个。

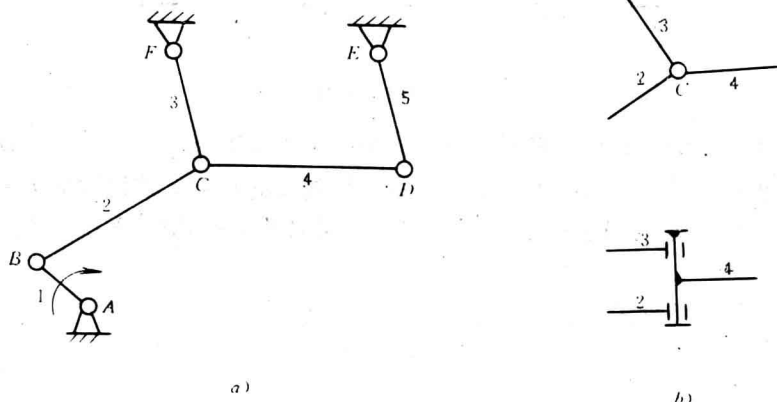


图 1.13 带有复合铰链的机构

(2) 局部自由度 机构中出现的一种对整个机构运动无关的自由度, 称为局部自由度或多余自由度, 在计算机构自由度时, 应予以除去。

图 1.14a 所示为滚子推杆凸轮机构。 $n=3$, $P_L=3$, $P_H=1$, 机构的自由度是 2。但实际上该机构的自由度为 1, 只要给凸轮 1 以确定运动后, 则推杆 2 的运动就完全确定。计算所得

与实际情况不相符的原因是：有的构件的运动对整个机构来说并没有什么影响，如滚子 3 只绕自身的几何轴心转动，并不影响推杆 2 的运动规律，其作用与图 1.14b 完全相同。

(3) 虚约束 在运动副引入的约束中，有些约束所起的限制作用是重复的。这种重复的约束称为虚约束。计算机构自由度时，虚约束应当除去不计。

图 1.15a 所示为机车车轮联动机构，该机构的特点是 AB 、 CD 、 EF 三杆长度相等且相互平行， BF 和 AE 长度相等也相互平行。按公式计算机构的自由度为零，表示该机构不能动。但实际上该机构是能够运动的，并广泛应用于机车车辆上。其原理是该机构中各杆长度相等且相互平行，当杆件 AB 绕 A 点回转时，杆件 CD 和 EF 分别绕 C 、 E 点回转，连杆 BF 作平移运动，其上各点的轨迹都是圆，点 D 的轨迹是以 C 为中心的圆。如将 CD 杆除去，则连杆 BF 的运动不变，连杆上 D 点的轨迹也不变。可见运动副 C 和 D 并没有起到新的约束作用，或者说它们所起的约束作用是重复的。

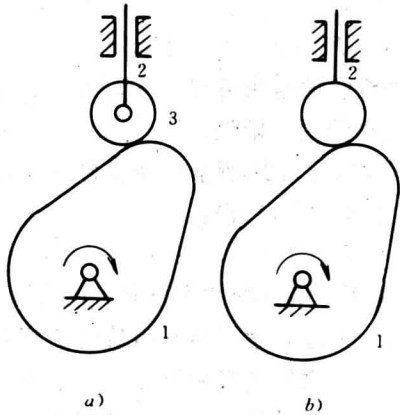


图 1.14 带有局部自由度的机构

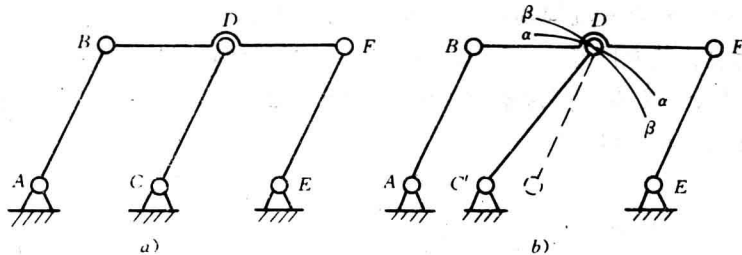


图 1.15 带有虚约束的联动机构

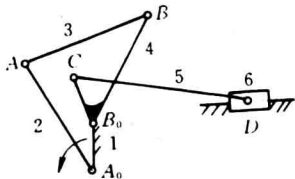
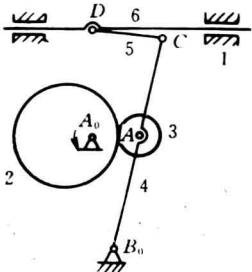
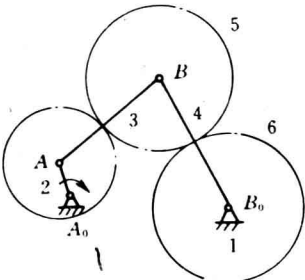
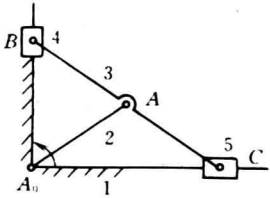
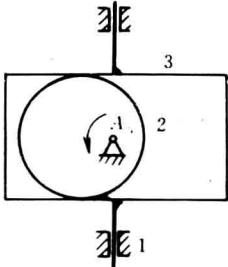
如果杆件 CD 与 AB 、 EF 不相等且不平行，如图 1.15b 所示，此时 C' 、 D 这两个运动副将对机构的运动起限制作用，它们不再是虚约束而是真正的约束，该机构成为一刚性桁架。

虚约束对机构的运动是没有影响的，但它可以用来改善机构的受力状况，增加构件的刚性。

机构自由度计算举例见表 1.2。

表 1.2

机构自由度计算举例

简 图	计 算 及 说 明
	$n=5, P_L=7$ $F=3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$ 有一个主动件 2
	$n=5, P_L=7, P_H=1$ $F=3 \times 5 - 2 \times 7 - 1 = 0$ 实际上 $F=1$, 这是因为: 1) 滚子 3 引入一个局部自由度, 计算机构自由度时不应计; 2) 6 与 1 形成两个移动副, 相对运动方向相同, 其中之一应为虚约束, 不应计入, 故 $n=5, P_L=6, P_H=1$ $F=3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 2$, 去掉一个局部自由度, $F=1$
	$n=5, P_L=6, P_H=2$ $F=3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$ 注意: 3、4、5 组成两个转动副, 1、4、6 组成两个转动副
	$n=4, P_L=6, P_H=0$ $F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$ 如果机构尺寸有 $\overline{A_0A} = \overline{AB} = \overline{AC}$ 关系, 则因 B、C 两点各沿相垂直导路运动, 3 上各点轨迹为椭圆, 而 A 点轨迹为圆, 与 2 构件上 A 点轨迹重合, 故可把 2 及与其相关的两个转动副视为虚约束, $F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 亦可把 4 (或 5) 及与其相关的两个低副视为虚约束
	$n=2, P_L=3, P_H=2$ $F=3 \times 2 - 2 \times 3 - 2 = -2$ 实际上 $F=1$, 这是因为: 1) 1 与 3 组成的两个移动副中有一个是虚约束; 2) 2 与 3 组成的两个高副中有一个是虚约束。 故: $n=2, P_L=2, P_H=1$ $F=3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$