

教育部高职高专推荐教材

机 械 原 理

马永林 主编

马永林 何元庚
汤茜茜 文 朴^编

高等教育出版社

内容提要

本书是根据国家教育委员会批准的《高等学校工程专科机械原理课程教学基本要求》并在多年的专科教学实践基础上编写而成的。

本书除绪论外共计十三章,包括平面机构的结构分析、平面机构的运动分析和力分析、运动副中的摩擦和机械效率、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、机构的组合及其设计、机械的运转及速度波动的调节、刚性转子的平衡等内容。

本书经国家教育委员会高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审组扩大会议复审通过,同意作为高等学校工程专科教材。本书也可供业余大学、职工大学等使用,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 /马永林主编. —北京:高等教育出版社,
1992.4 (2002 重印)
高等学校工程专科教材
ISBN 7 - 04 - 003703 - 3

.机... .马... .机构学 - 高等学校 - 教材
. TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第00470号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	h ttp: //www . hep . edu . cn
总 机	010 - 82028899		h ttp: //www . hep . com . cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京天河印刷厂		
开 本	787× 1092 1/16	版 次	1992年4月第1版
印 张	18.5	印 次	2002年12月第11次印刷
字 数	423 000	定 价	21.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据国家教育委员会批准的《高等学校工程专科机械原理课程教学基本要求》编写的。适于 72 ~81 学时的机械类专业使用。

在编写过程中,本书注意精选内容,尽量做到“必需”、“够用”;针对高等学校工程专科教育的培养目标,突出应用性,适当减少理论推导,结合生产实际,选取工程实例,注意培养设计能力;在阐述问题时,力求做到层次分明,循序渐进,通俗易懂。在每章末尾均备有一定数量的思考题和习题,以利教学。

本书中的术语、单位及符号,均遵循现有国家标准(GB)及国际标准化组织(ISO)的标准。

参加本书编写的有:上海机械专科学校马永林(绪论、第七章、第八章、第十二章),南京机械专科学校何元庚(第一章、第二章、第三章、第四章),上海纺织工业专科学校汤茜茜(第五章、第六章、第十一章),湘潭机电专科学校文朴(第九章、第十章、第十三章),并由马永林主编。

本书承国家教育委员会高等学校机械原理课程教学小组成员、上海交通大学邹慧君教授和机械电子工业部高等专科学校机械制造专业教材编审委员会委员、江南大学沈炳余教授主审,他们对本书提出了很多宝贵的意见和建议。1990年12月在苏州召开了国家教育委员会高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审小组扩大会议,又对本书进行了复审,提出了不少有益的建设性意见并一致通过将本书作为高等学校工程专科教材。

编者对于为本书付出辛勤劳动的上述同志,表示衷心的感谢。由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请广大读者和有关教师批评指正。

编者

1991年7月

目 录

绪论	1	第四章 运动副中的摩擦和机械效率	53
§ 0 - 1 机械原理的研究对象	1	§ 4 - 1 移动副中的摩擦	53
§ 0 - 2 机械原理课程的内容	2	§ 4 - 2 转动副中的摩擦	54
§ 0 - 3 机械原理课程在教学计划中的地 位、作用和任务	3	§ 4 - 3 机械效率和自锁	58
§ 0 - 4 机械设计与机械原理课程的关系 简介	3	§ 4 - 4 螺旋机构的效率和自锁	59
思考题	4	思考题	64
第一章 平面机构的结构分析	5	习题	65
§ 1 - 1 研究机构结构的目的	5	第五章 平面连杆机构及其设计	68
§ 1 - 2 运动副、运动链和机构	5	§ 5 - 1 平面四杆机构的基本型式及 其应用	68
§ 1 - 3 平面机构运动简图	9	§ 5 - 2 铰链四杆机构中曲柄存在的 条件	73
§ 1 - 4 平面机构的自由度	11	§ 5 - 3 平面四杆机构的其它常用型式 ...	74
§ 1 - 5 平面机构的组成原理	15	§ 5 - 4 平面四杆机构的工作特性	80
思考题	18	§ 5 - 5 用图解法和实验法设计平面 四杆机构	84
习题	18	§ 5 - 6 用解析法设计平面四杆机构	92
第二章 平面机构的运动分析	22	思考题	94
§ 2 - 1 机构运动分析的目的和方法	22	习题	95
§ 2 - 2 机构位置图及动点轨迹	22	第六章 凸轮机构及其设计	100
§ 2 - 3 用速度瞬心法分析机构的速度 ...	23	§ 6 - 1 凸轮机构的应用和分类	100
§ 2 - 4 用相对运动图解法分析机构的速度 和加速度	26	§ 6 - 2 从动件的常用运动规律	103
§ 2 - 5 用解析法分析机构的速度和加速 度	34	§ 6 - 3 凸轮机构的压力角和基圆 半径	112
§ 2 - 6 机构运动线图	36	§ 6 - 4 用图解法设计凸轮轮廓	115
思考题	37	§ 6 - 5 用解析法设计盘形凸轮轮廓	124
习题	38	思考题	128
第三章 平面机构的力分析	41	习题	129
§ 3 - 1 力分析的目的、力的分类	41	第七章 平面齿轮机构及其设计	133
§ 3 - 2 平面机构的静力分析	41	§ 7 - 1 概述	133
§ 3 - 3 平面机构的动态静力分析	44	§ 7 - 2 齿廓啮合基本定律	135
思考题	50	§ 7 - 3 渐开线及渐开线齿廓	136
习题	50	§ 7 - 4 标准直齿轮各部分名称、参数和	

几何尺寸	140	§ 10 - 2 槽轮机构	230
§ 7 - 5 渐开线齿轮任意圆上的齿厚	144	§ 10 - 3 万向联轴器	235
§ 7 - 6 公法线长度和固定弦齿厚	145	§ 10 - 4 螺旋机构	237
§ 7 - 7 渐开线直齿轮的啮合传动	149	§ 10 - 5 不完全齿轮机构简介	239
§ 7 - 8 齿轮与齿条的啮合特点	153	思考题	240
§ 7 - 9 直齿轮传动的重合度	154	习题	241
§ 7 - 10 渐开线齿轮加工的基本原理和 根切现象	157	第十一章 机构的组合及其设计	242
§ 7 - 11 变位直齿轮传动	160	§ 11 - 1 机构的组合方式及其应用	242
§ 7 - 12 平行轴斜齿圆柱齿轮(简称斜 齿轮)机构	172	§ 11 - 2 机构的选型和运动的协调 配合	249
思考题	181	§ 11 - 3 组合机构的设计举例	255
习题	183	思考题	258
第八章 空间齿轮机构及其设计	185	习题	258
§ 8 - 1 交错轴斜齿轮机构	185	第十二章 机械的运转及速度波动的 调节	263
§ 8 - 2 蜗杆蜗轮机构	187	§ 12 - 1 概述	263
§ 8 - 3 直齿圆锥齿轮机构	193	§ 12 - 2 等效力矩和等效转动惯量	264
思考题	198	§ 12 - 3 机械系统的运动方程式	266
习题	199	§ 12 - 4 机械系统速度的波动及其 调节	268
第九章 轮系及其设计	200	§ 12 - 5 机械运转的平均角速度和不均 匀系数	269
§ 9 - 1 轮系及其分类	200	§ 12 - 6 飞轮的转动惯量及主要尺寸 ...	270
§ 9 - 2 定轴轮系的传动比计算	200	思考题	275
§ 9 - 3 定轴轮系的应用	203	习题	275
§ 9 - 4 周转轮系的传动比计算	205	第十三章 刚性转子的平衡	278
§ 9 - 5 复合轮系的传动比计算	208	§ 13 - 1 机械平衡的目的和分类	278
§ 9 - 6 周转轮系和复合轮系的应用	210	§ 13 - 2 刚性转子的平衡计算	279
§ 9 - 7 行星轮系的效率	212	§ 13 - 3 刚性转子的平衡试验	282
§ 9 - 8 行星轮系的类型和行星轮系各轮 齿数的选择	214	§ 13 - 4 转子的许用不平衡量及平衡 精度	284
§ 9 - 9 渐开线少齿差行星齿轮传动、摆 线针轮行星传动及谐波传动 简介	218	思考题	286
思考题	221	习题	286
习题	221	主要参考书目	288
第十章 其它常用机构	225		
§ 10 - 1 棘轮机构	225		

绪 论

§ 0 - 1 机械原理的研究对象

在日常生活和生产劳动中,人们对机器已经有了初步的认识。例如汽车上的发动机(内燃机)、金属切削机床、缝纫机、电动机和起重机等。不同用途的机器,其结构、性能也不相同。图 0 - 1 所示为一内燃机。气缸体 1 起支承作用,进气阀 2 和排气阀 3 分别由凸轮 4 和凸轮 5 控制,使燃气按时进入气缸、点火燃烧后排出气缸。燃烧的气体膨胀时推动活塞 11 向下,通过连杆 10 带动曲轴 8 转动。再通过小齿轮 7 和大齿轮 6 带动两凸轮 4 和 5,从而控制进气阀 2 和排气阀 3。以上各动作协调配合,活塞回程(向上)运动可依靠飞轮 9 的惯性,这样,便能使曲轴 8 作连续转动。因此,内燃机可将燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。

图 0 - 2a 所示为颚式破碎机,它是用作破碎矿石的机器。驱动力来自电动机 1(图 0 - 2b),通过小带轮 2、三角胶带 3、大带轮 4 带动偏心轴(偏心轮)5 转动,从而使动颚 6 作平面运动,矿石便在动颚 6 与定颚 7 之间被压碎。

由以上两个例子可以看出,尽管它们的用途、结构和性能不相同,但机器都有如下三个共同的特征。

- (1) 它们都是人为的实物组合;
- (2) 它们各部分之间具有确定的相对运动;
- (3) 在工作时能代替或减轻人类的劳动来完成有用的机械功,或转换机械能。

能够将其它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、涡轮机等都是原动机。能够利用机械能来完成有用功,或者能将机械能转变为其它形式能量的机器统称为工作机,如金属切削机床、轧钢机、颚式破碎机、起重机的空气压缩机等都是工作机。

图 0 - 1 所示的内燃机,为了将热能转换为机械能,必须依靠各个最基本的组合体的协调动作。这些最基本的组合体称为机构。图中凸轮 4、进气阀 2 的推杆与气缸体 1 组成一凸轮机构;凸轮 5、排气阀 3 的推杆与气缸体 1 也组成一凸轮机构;活塞 11(称为滑块)、连杆 10、曲轴 8(称为曲柄)与气缸体 1 组成曲柄滑块机构;齿轮 7、6 和气缸体 1 组成齿轮机构。因此,机

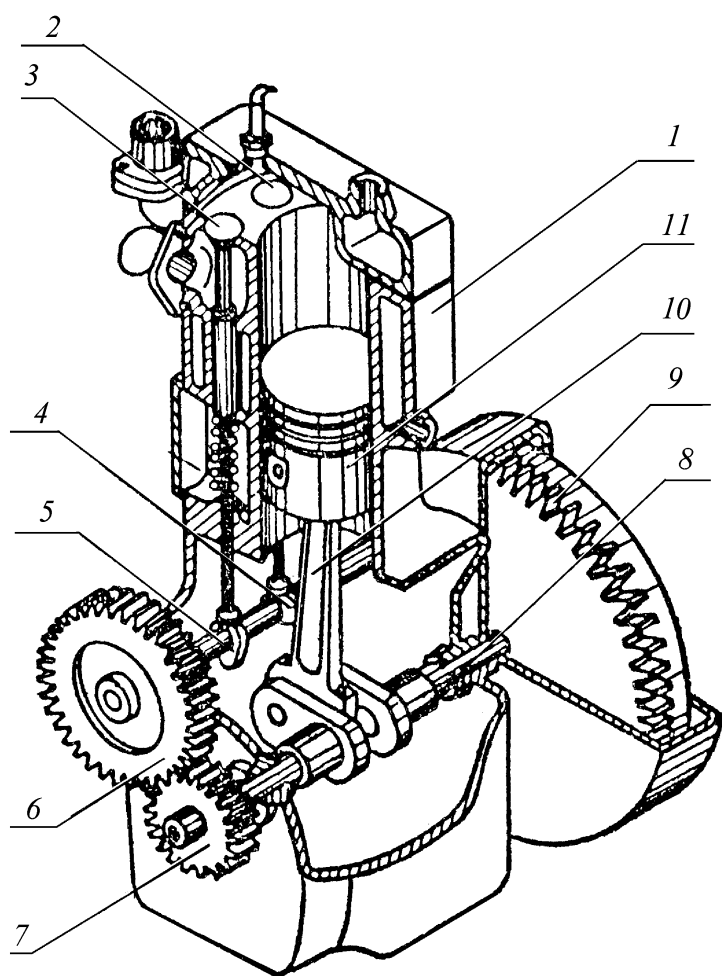


图 0 - 1

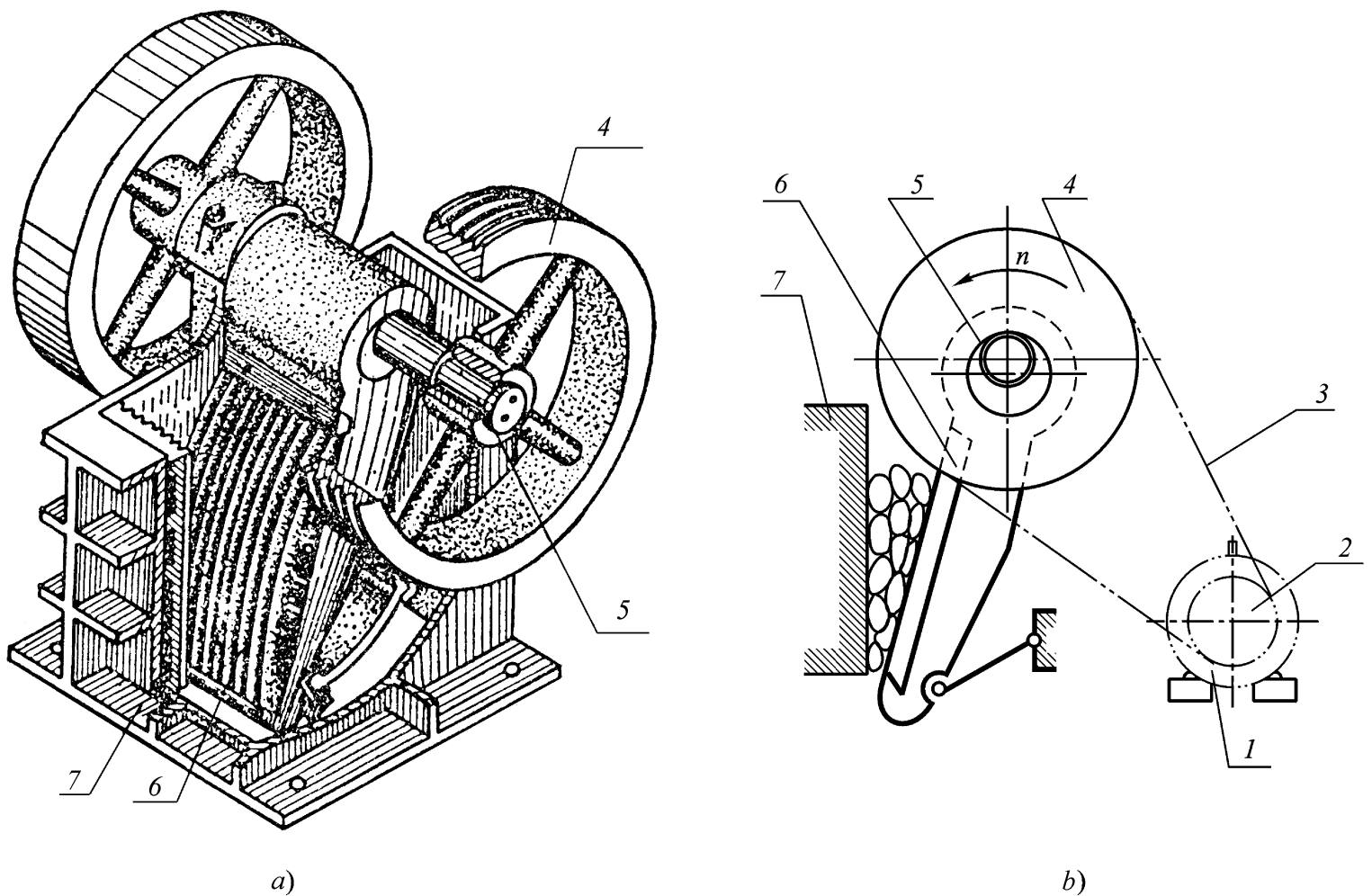


图 0 - 2

构只具备机器的前两个特征,即

- (1) 它们都是人为的实物组合;
- (2) 它们各部分之间具有确定的相对运动。

由此可知,仅从结构和运动的观点来看,机构和机器没有什么区别。机器的主要组成部分是机构。通常将机构和机器总称为机械。

机械原理的研究对象是机构和机器,也就是机械。

机构是由各个具有确定相对运动的运动单元所组成的,这些运动单元称为构件。构件可以是单一的零件,也可以是几个零件组成的刚性整体。例如齿轮、轴和键这三个零件可联接成一个构件。因此,构件与零件的区别是,构件是运动的单元,而零件是制造的单元。在本课程中将构件作为研究的基本单元。

§ 0 - 2 机械原理课程的内容

如上所述,机械原理的研究对象是机构和机器。机器的种类很多,但组成机构的机构,其种类并不太多。机械原理课程是讨论机构和机器的一些共性问题,它的主要内容包括以下几个方面。

(1) 机构结构分析的基本知识 分析机构的结构是为了判断机构能否实现预定的运动;同时也是为了便于进行机构的运动分析和动力分析。

(2) 机构的运动分析 在已知机构中某些构件运动规律的条件下,确定其它构件的运动

规律和构件上各点的运动轨迹。

(3) 机械动力学 主要研究机械在运转过程中各构件上所受的力和机械效率;同时研究在外力作用下各构件的运动规律,以及机械的调速和平衡等问题。

(4) 常用机构的分析与综合 本课程将对齿轮机构、连杆机构等一些常用机构的运动及工作特性进行分析。所谓综合,就是不涉及与机械零件有关的强度、形状、材料等问题,而是根据机构的结构、运动学和动力学要求进行机构设计。

§ 0 - 3 机械原理课程在教学计划中的地位、作用和任务

为了在我国实现四个现代化,就需要对现有设备进行革新改造,同时也要设计、制造各种类型的机械。各种机械各有其特殊性,但也有它们的共性。特殊性问题,由有关专业课程来研究。机械的共性问题,则由机械原理、机械零件等课程来研究。机械原理课程是以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等先修课程为基础的,它也为学习机械零件和有关专业课程奠定必要的基础。因此,机械原理课程是机械类各专业的一门主干技术基础课程。

机械原理课程的主要任务是,使学生掌握机构的结构分析、运动分析和受力分析的基本理论、基本知识和基本技能,具有设计常用机构的能力,为后继课程和今后的技术工作打下必备的基础。

§ 0 - 4 机械设计与机械原理课程的关系简介

机械设计一般是指机械装置(如减速器等)和机器的设计。要求机器应具有的功能,是设计机器的依据。在制订了设计任务以后,设计工作主要包括以下几个内容。

(1) 工作原理的选择 主要是根据机器所预期的功能,确定机器的工作原理。例如设计加工千斤顶中螺杆的梯形螺纹的机器时,可以采用车削方法加工螺纹,也可以采用轧制方法加工螺纹。这就说明实现同样的预期功能,可用不同的工作原理,因此设计出的机器也必然不同。在设计机器时,应选择多种工作原理方案,进行分析对比,最后选取最优方案。这也就是工作原理方案设计。这个问题是属于专业机械设计的范围,本书不作详细讨论。

(2) 机器的运动设计 根据选定的机器工作原理,合理地选择机构类型及其组合,使其完成预期的运动。在这里,要完成预期的运动,也可选择不同类型的机构及其组合。因此,在设计时也要选择多种方案进行分析比较,然后选取最优方案。这也就是运动方案设计。

在运动方案确定后,应进行具体机构的设计,并计算确定各构件的运动参数(如转速、速度、加速度等)。

(3) 机器的动力设计 根据机器上的阻力、各构件的运动参数和各传动部分的效率,确定各构件上的载荷和惯性力,以及所需传递的功率,选择原动机等。

(4) 工作能力设计和结构设计 根据机器中各零件传递的功率和运转速度,计算出作用在零件上的载荷,进行工作能力(强度、刚度、稳定性及寿命等)计算,据此确定它们的主要尺寸,再根据结构要求确定它们各部分的形状和尺寸,并画出机器及其各部分(部件)的装配图和零件的工作图。这部分内容属于机械零件课程研究的范围。

由以上几方面的设计内容可知,第二点内容属于机械原理课程范围;第三点内容,基本上属于机械原理课程中机械动力学的范围。选择具体的原动机,则要靠机械零件课程来完成。因此,机械原理课程在机械设计中担负着重要的任务。

思 考 题

1. 什么叫机器? 什么叫机构? 什么叫机械?
2. 机械原理课程的内容有哪些?
3. 为什么说机械原理课程对机械类各专业是一门主干技术基础课?
4. 机械设计一般的含义是什么? 它与机械原理课程的关系是怎样的?

第一章 平面机构的结构分析

§ 1 - 1 研究机构结构的目的

从绪论中所述可知,机构是具有确定的相对运动的实物组合。为了实现机器预定的功能而设计机构时,首先应分析判断所设计的机构能否运动;如果能够运动,则还要判断此运动是否具有确定性。

机构的类型很多,如果不是根据它们的特点、共性,建立运动分析和受力分析的一般方法,特别是对一些比较复杂的机构,将会发生较大的困难。

组成机构的构件,其外形和构造都比较复杂,但这些外形和具体构造并不影响机构的相对运动,因此在研究机构的运动时,不必考虑那些对运动无关的外形和具体构造,用简单的图形表示机构即可。

综上所述,显然,机构结构分析的目的有如下三个方面:

- (1) 研究机构运动的可能性和确定性,也就是建立机构具有确定相对运动的条件。
- (2) 将各种机构按结构进行分类,在此基础上建立运动分析和受力分析的一般方法。
- (3) 根据构件间联接的特点及与运动有关的尺寸,用简单的线条、符号绘制机构运动简图。

§ 1 - 2 运动副、运动链和机构

一、平面运动构件的自由度

为了研究机构,先来研究组成机构的构件。设一构件作平面运动,如图 1 - 1 所示。在构件上任取一点 A 作为基点,由理论力学可知,该构件的平面运动,可以分解为跟随基点 A 的平移运动和绕基点 A 的转动。A 点的平移运动可由直角坐标系 xOy 中两个独立的参数(坐标) x 、 y 来决定,绕 A 点的转动可由构件上过 A 点的任一直线 AB 与 x 轴的夹角 θ 来决定,所以,作平面运动构件的位置,可由三个独立参数来决定,也就是它具有三个独立运动。我们将构件具有独立运动的数目称为自由度。显然,作平面运动的构件具有三个自由度。

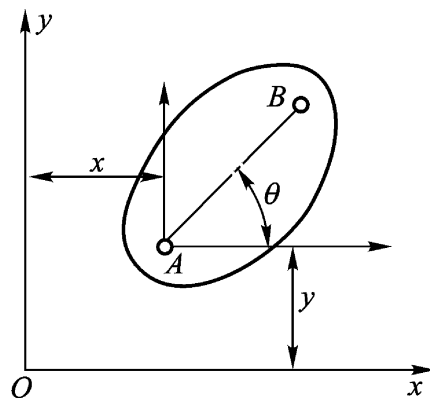


图 1 - 1

二、运动副

构件组成机构时,必须将各构件以可动的方式联接起来。两构件接触而形成的可动联接称为运动副。例如轴颈与轴承之间的联接、齿轮与齿轮之间的联

接等都是运动副。

由于两构件接触,便限制了构件的某些独立运动,通常将运动副对构件的独立运动的限制,称为运动副的约束,并且将它所限制的独立运动的数目称为运动副的约束数。

构成运动副的两构件之间的相对运动为平面运动时,则此运动副称为平面运动副。平面运动副通常有以下三种类型。

1. 转动副及其符号

图 1 - 2 所示的运动副,是由轴颈 2 与轴承 1 的两个圆柱面接触而形成的,它限制了轴颈 2 沿 x 轴和 y 轴的两个相对移动,故约束数为 2;它允许轴颈 2 绕 O 轴(过 O 点且垂直于 xOy 平面的轴线)作相对转动。这种允许构件作相对转动的运动副,称为转动副。除了上述轴颈和轴承构成转动副外,铰链联接等也构成转动副。

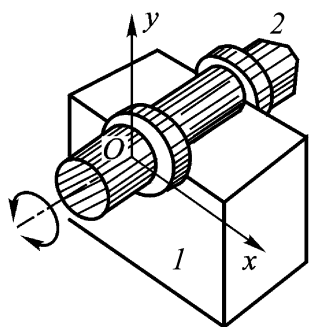


图 1 - 2

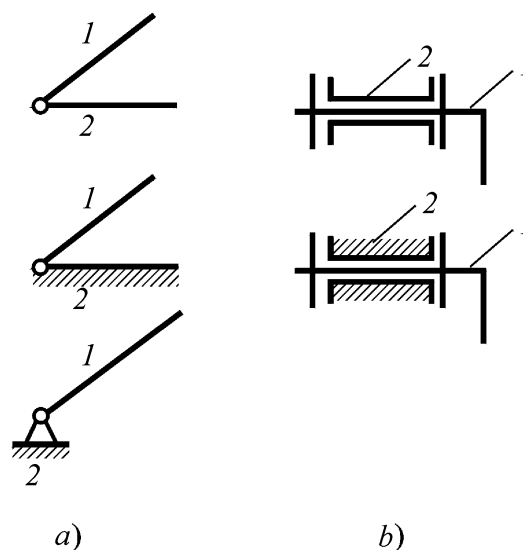


图 1 - 3

转动副可用图 1 - 3 所示的符号表示。其中图 a 表示转动轴线垂直于纸面,轴线位置在圆圈中心;图 b 表示轴线位于纸平面内。图中加有斜线的构件表示固定构件(机架)。

2. 移动副及其符号

图 1 - 4 所示的运动副,是由滑块 2 与导轨 1 的两个平面接触而形成的。若研究两构件在 xOy 平面内的相对运动,则导轨 1 限制了滑块 2 沿 y 轴的移动和绕 O 轴(过 O 点且垂直于 xOy 平面的轴线)的转动,故约束数为 2;允许滑块 2 沿 x 轴作相对移动。这种允许构件作相对移动的运动副,称为移动副。

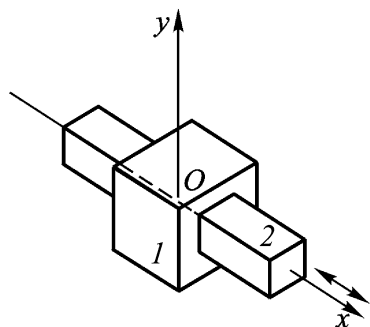


图 1 - 4

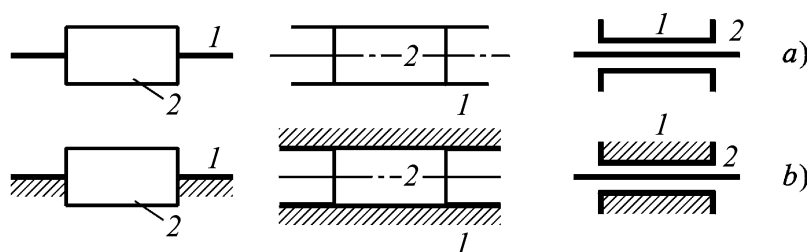


图 1 - 5

移动副可用图 1 - 5 所示的符号表示,图中加有斜线的构件表示固定构件(机架)。

转动副和移动副都是面接触的运动副,统称为低副,它们的约束数均为 2。

3. 高副及其符号

图 1 - 6 所示的运动副,是由两构件的曲面轮廓接触而形成的。其中图 a 为凸轮机构的一部分,凸轮 1 与从动件 2 形成点接触,它只限制从动件 2 沿接触点的公法线 nn 方向的相对移动,故约束数为 1;图 b 为齿轮机构的一部分,轮齿 1 与轮齿 2 形成线接触,它也是只限制轮齿 2 沿接触处的公法线 nn 方向的相对移动,故约束数也为 1。图 a、b 中允许构件 2 沿公切线 tt 作相对移动和绕 A 点作相对转动。

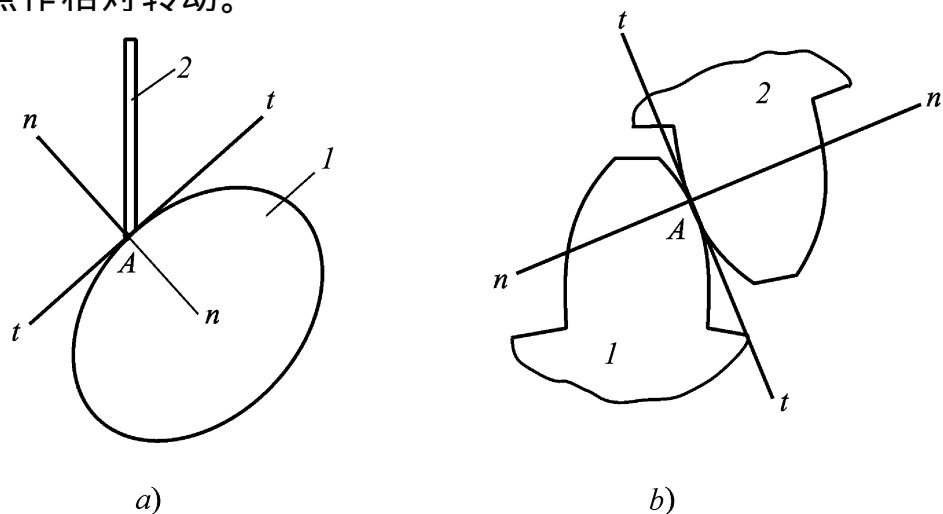


图 1 - 6

由两构件的点接触或线接触构成的运动副称为高副。因上述两构件的相对运动为平面运动,故这种高副也称为平面高副。平面高副的约束数为 1。

构成低副的面和构成高副的点或线,称为运动副元素。

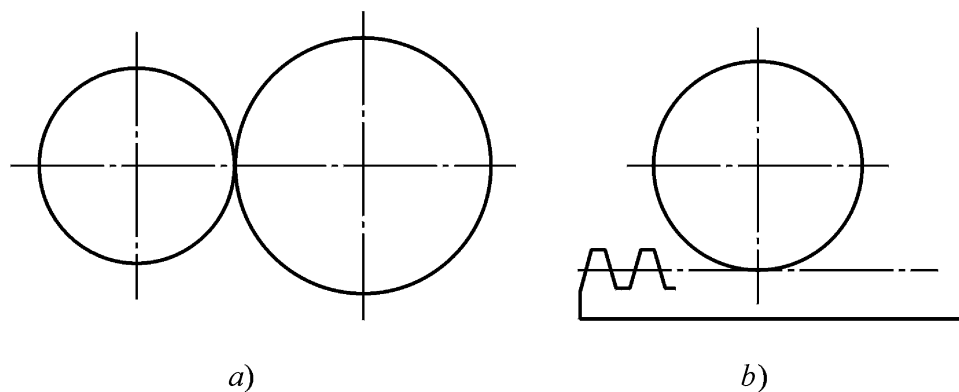


图 1 - 7

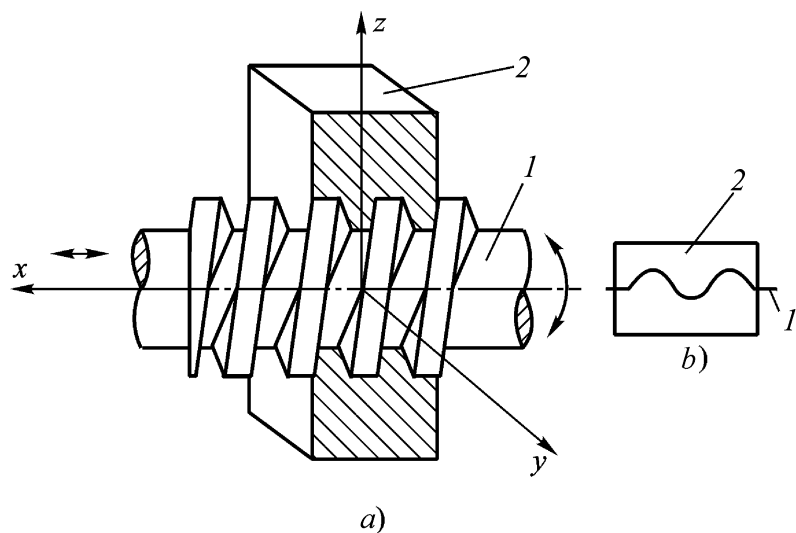


图 1 - 8

高副可用两构件在接触处的轮廓曲线表示(如图 1 - 6a、b 所示),但对于齿轮啮合的高副和齿轮齿条啮合的高副,也可按如图 1 - 7 所示的规定符号表示。

构成运动副的两构件之间的相对运动为空间运动时,则此运动副称为空间运动副。例如图 1 - 8a 所示的螺杆 1 与螺母 2 的两个螺旋面接触,使螺杆与螺母的相对运动为空间的螺旋运动,故其运动副是空间运动副,也称为螺旋副。

三、运动链

若干构件通过运动副联接而成的系统称为运动链。如果运动链中各构件构成封闭的形式(图 1 - 9a),则此运动链称为闭式运动链,简称闭链;反之,如果运动链中各构件并不构成封闭的形式(图 1 - 9b),则此运动链称为开式运动链,简称开链。一般机械中都采用闭链。

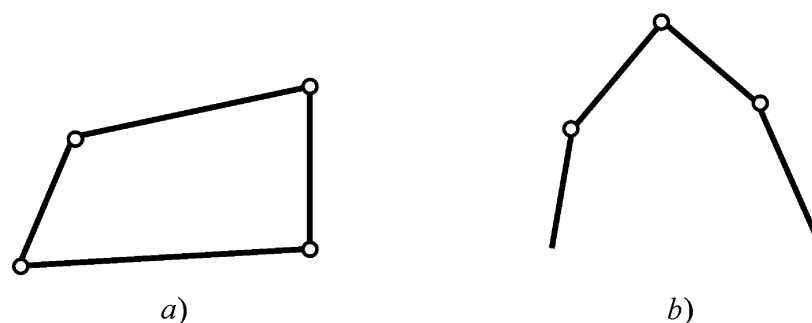


图 1 - 9

四、机构

如果将运动链中的一个构件固定,并使另一个构件(或者几个构件)按给定的运动规律运动,而其余构件都能随之作确定的相对运动,则这种运动链就是机构。由此可知,机构中有以下几类构件:

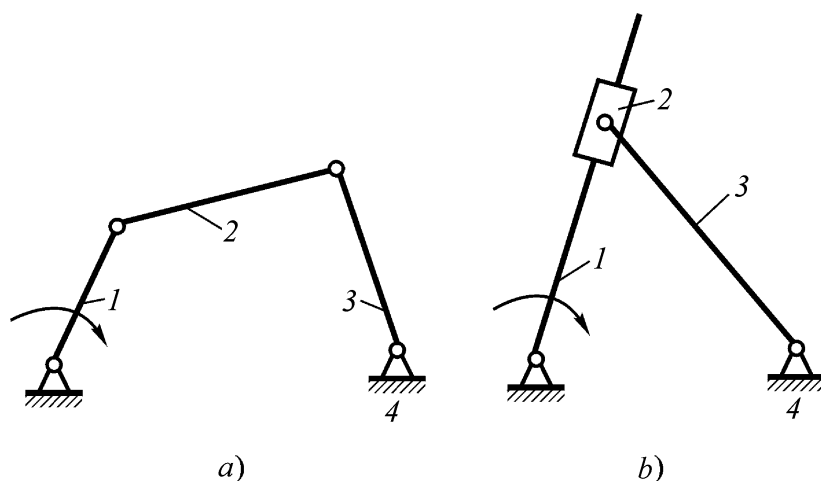


图 1 - 10

(1) 原动件 机构中按外部给定运动规律运动的构件。如图 1 - 10 中的构件 1 就是原动件(也称为主动件),在原动件上须标上带箭头的圆弧或直线。

(2) 从动件 机构中随原动件作确定的相对运动的构件。如图 1 - 10 中的构件 2 和 3 就是从动件。

(3) 机架 机构中固定不动的构件。如图 1 - 10 中的构件 4 就是机架。

§ 1 - 3 平面机构运动简图

在分析机构的运动时,可以不考虑构件的形状、截面尺寸和运动副的具体构造等与运动无关的因素,因此,只需用简单的线条和符号来代表构件和运动副,并按一定的比例尺定出各运动副的相对位置。这样画出的机构图形称为机构运动简图。

上一节已叙述过各种运动副的符号及其画法,现在来叙述各构件的画法。

图 1 - 11 表示包含两个运动副元素的构件的各种画法,图 1 - 12 表示包含三个运动副元素的构件的各种画法,图 1 - 13 表示包含四个运动副元素的构件的各种画法,可供绘制机构运动简图时参考。

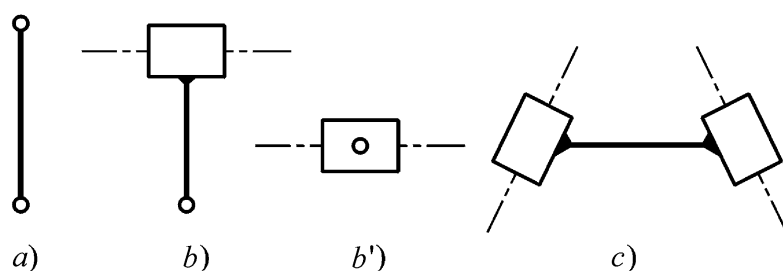


图 1 - 11

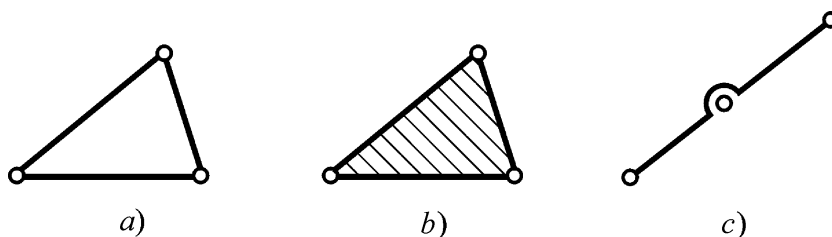


图 1 - 12

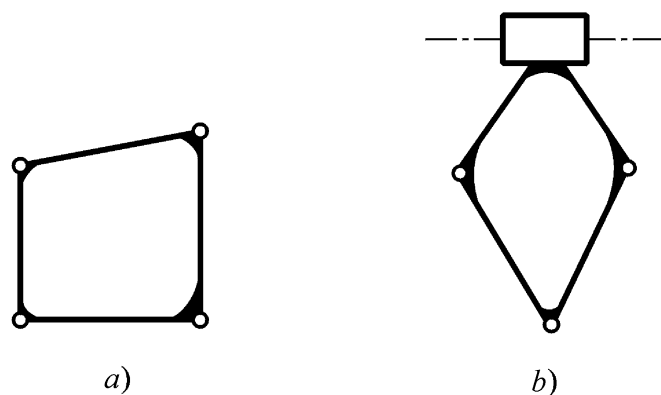


图 1 - 13

以下通过实例来说明绘制机构运动简图的方法与步骤。

例 1 - 1 绘制图 1 - 14a 所示颚式破碎机主体机构运动简图。

解 (1) 分析机构的运动,识别机构的结构

图示的颚式破碎机中,带轮 5 和偏心轴 2 固接在一起绕轴心 A 转动,偏心轴 2 带动动颚 3,而动颚 3 与机架 1 之间装有肘板 4,动颚运动时就可不断地破碎矿石。由此可知,机架 1、原动件(偏心轴)2、从动件(动颚)3 和肘板 4 等四个构件组成四杆机构。

偏心轴 2 与机架 1 绕轴心 A 相对转动,偏心轴 2 与动颚 3 绕轴心 B 相对转动,动颚 3 与肘板 4 绕轴心 C 相对转动,肘板 4 与机架 1 绕轴心 D 相对转动。由此可知,整个机构有 A、B、C、D 四个转动副。

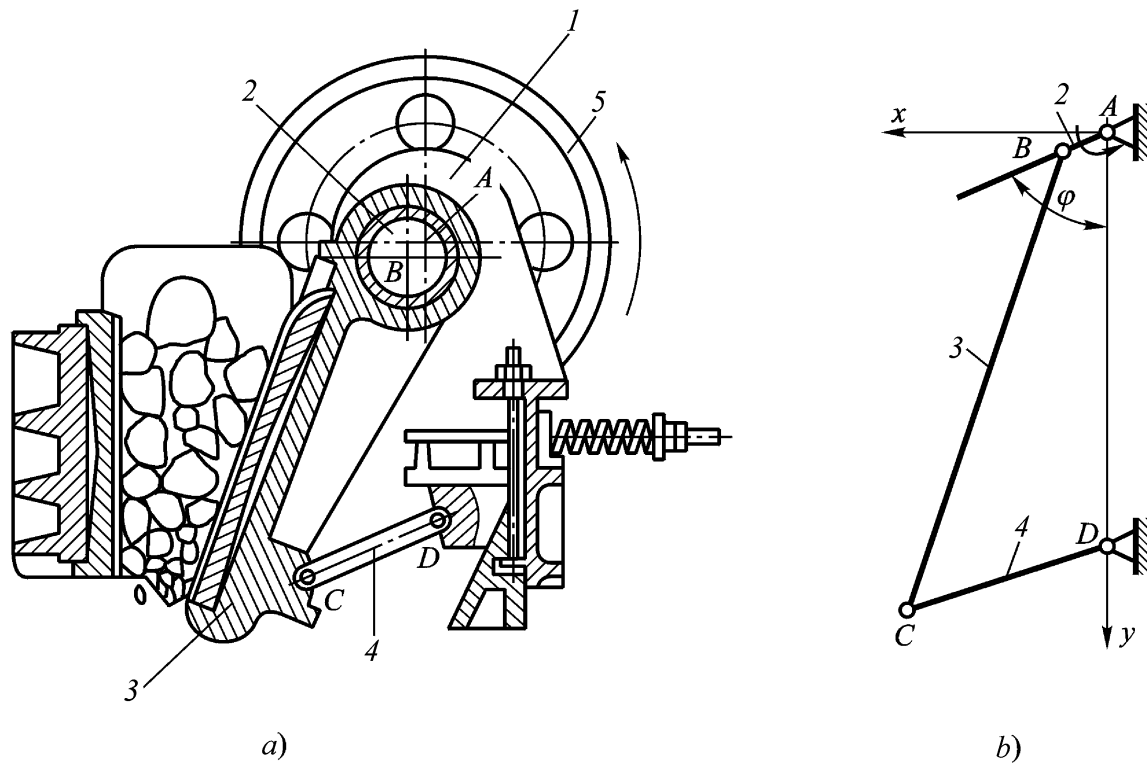


图 1 - 14

(2) 选择视图平面、比例尺, 绘制机构运动简图

对于平面机构, 选构件运动平面为视图平面, 因其已可将平面机构表达清楚, 故不需再选辅助视图平面。所以本例选择图 1 - 14b 所在平面为视图平面。

根据图纸的大小、实际机构的大小和能清楚表达机构的结构为依据, 选择长度比例尺

$$\dot{i}_1 = \frac{\text{构件实际长度}}{\text{构件图示长度}} \quad \frac{\text{m}}{\text{mm}}$$

在图 1 - 14b 中, 过机架 A、D 两点作坐标系 xAy, 画转动副 A、B、C、D, 各转动副间距离

$$\overline{AD} = \frac{l_{AD}}{\dot{i}_1} \text{ mm}, \overline{AB} = \frac{l_{AB}}{\dot{i}_1} \text{ mm}, \overline{BC} = \frac{l_{BC}}{\dot{i}_1} \text{ mm}, \overline{CD} = \frac{l_{CD}}{\dot{i}_1} \text{ mm}$$

原动件 2 与 y 轴的夹角 $\angle \bar{O}$ 可自行决定。

用简单线条连成构件 2、3、4 及机架 1, 在原动件 2 上标注带箭头的圆弧, 在机架 1 上画出斜线, 便得图 1 - 14b 所示的机构运动简图。

机构运动简图是按比例尺绘制的, 因此常用于图解法中求机构上各点的轨迹、速度和加速度。如果不要要求用图解法分析机构的运动, 仅要求定性地表达各构件间的相互关系, 则可不按准确的比例尺绘制机构图形, 这种机构图形称为机构示意图或机构简图。

例 1 - 2 试绘制图 1 - 15a 所示的活塞式内燃机的机构示意图。

解 (1) 分析机构的运动, 识别机构的结构

图示活塞式内燃机中, 活塞 1 的运动通过连杆 2 推动安装在机架(气缸体) 4 上的曲轴 3 转动。由此可知, 该机构由曲轴 3(称为曲柄)、活塞 1(称为滑块)、连杆 2 和机架 4 等四个构件组成曲柄滑块机构。

与曲轴 3 固接在一起的齿轮 5 推动齿轮 6, 使其绕机架 4 转动, 故齿轮 5、6 与机架 4 等三个构件组成齿轮机构。

与齿轮 6 固接在一起的凸轮 7 推动气阀顶杆 8, 使其相对机架 4 移动, 故凸轮 7、顶杆 8 与机架 4 等三个构件组成凸轮机构。

由上可知, 各构件之间组成的运动副如下: 构件 5 与 6、构件 7 与 8 均组成高副, 构件 1 与 4、构件 8 与 4 均组成移动副, 构件 7 与 4、构件 2 与 1、构件 3 与 2、构件 4 与 3 均组成转动副。

(2) 选择视图平面, 绘制机构示意图

选择图 1 - 15a 所示的各构件的运动平面为视图平面。绘制各运动副, 其中齿轮 5、6 组成的高副按规定

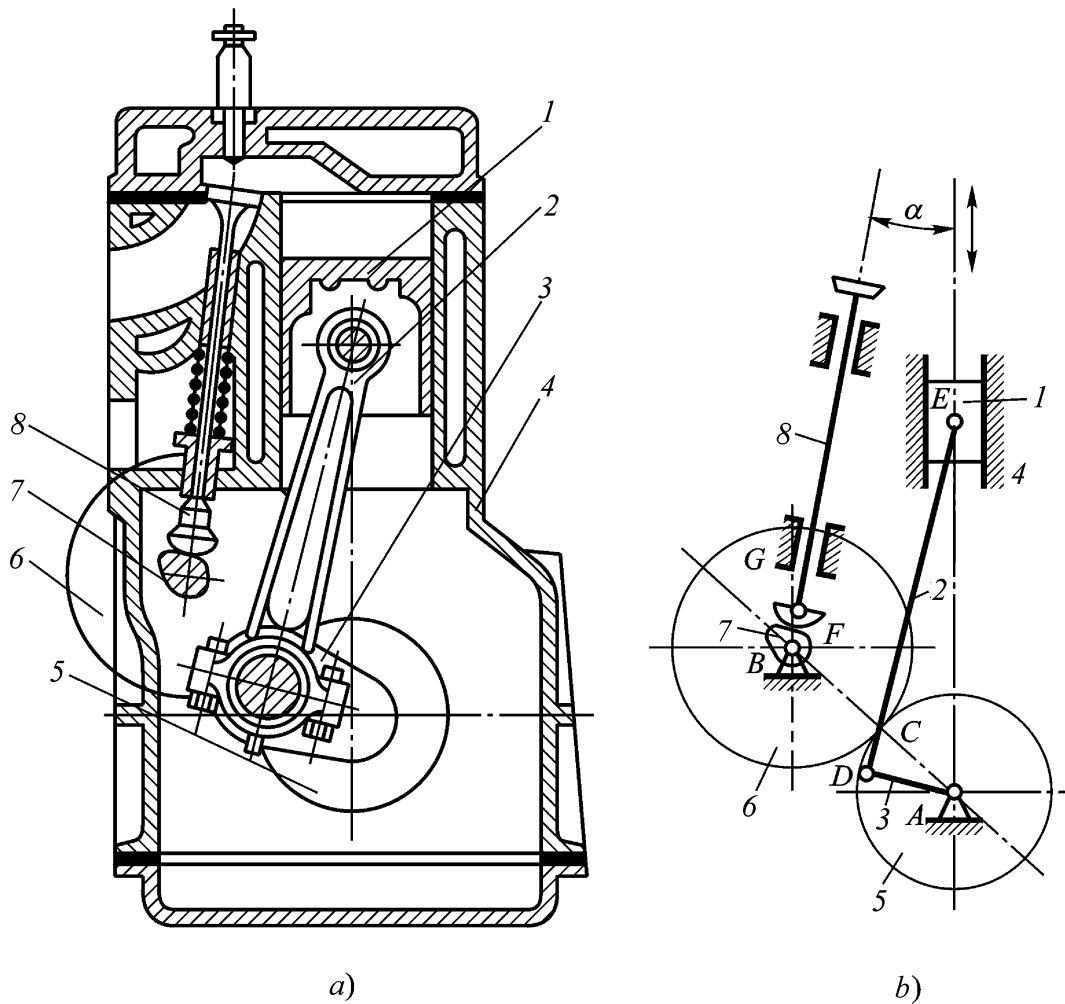


图 1 - 15

画成粗实线(或点划线)的一对圆(图 1 - 15b),凸轮 7、顶杆 8 组成的高副画出全部轮廓曲线。再用简单线条画各个构件,便得到机构示意图。

§ 1 - 4 平面机构的自由度

一、平面机构的自由度

设某一平面运动链,共包含 N 个构件、 P_L 个低副和 P_H 个高副。现假定其中某个构件固定(机架),则余下 $n = N - 1$ 个可动构件,在未组成运动链之前,共有 $3n$ 个自由度;当组成运动链后,由于受到 $2P_L + P_H$ 个约束,整个运动链相对于机架的自由度(也就是机构自由度)为

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

式(1 - 1)是运动链相对于固定构件(机架)的自由度公式,即机构自由度公式。

机构的自由度数,表示该机构可能接受外部输入的独立运动的数目,也就是允许外部给予该机构的独立位置参数的数目。

图 1 - 16 所示的铰链四杆机构, $n = 3$, $P_L = 4$, $P_H = 0$, 由式(1 - 1)可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

即机构的自由度为 1。如外部给予原动件 1 一个独立位置参数 $i\tilde{Q}$, 则该机构所有构件的位置都被确定(图 1 - 16a), 说明机构具有确定的相对运动。如给予两个独立位置参数 $i\tilde{Q}$ 、 $i\tilde{Q}$, 即 $i\tilde{Q}$ 给定后, 再给出 $i\tilde{Q}$, 由于 $i\tilde{Q}$ 也是独立的, 故构件 3 可独立地处于 $CD (i\tilde{O}_3)$ 、 $C;D (i\tilde{Q}_a)$ 等任一位置(图 1 - 16b), 结果从动件 2 或被拉长为 $l_{BC, i\tilde{a}}$, 或被缩短为 l_{BC} , 使构件遭到破坏。

图 1 - 17a 所示为五杆铰链机构。 $n = 4$, $P_L = 5$, $P_H = 0$, 由式(1 - 1)可得

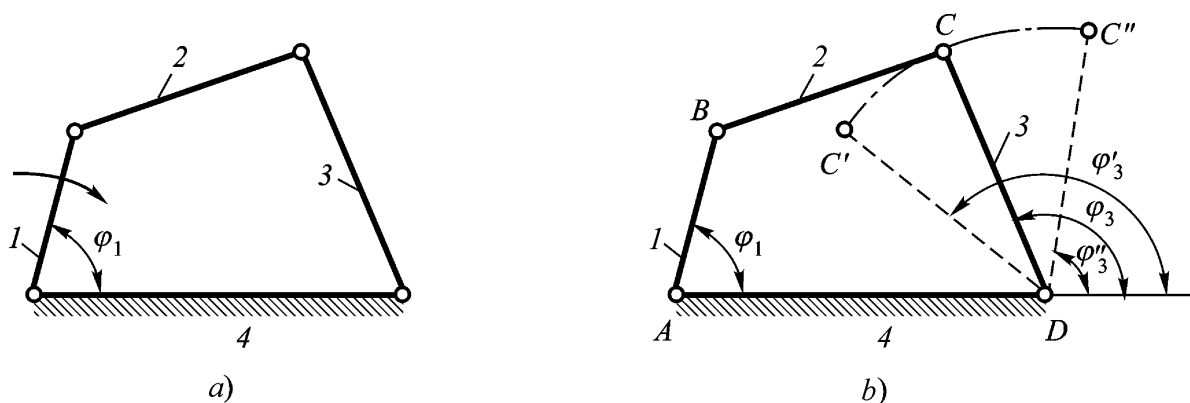


图 1 - 16

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

即机构的自由度为 2, 如给予原动件 1、4 两个独立位置参数 \tilde{Q}_1 、 \tilde{Q}_4 , 则该机构所有构件的位置都被确定(图 1 - 17a), 机构具有确定的运动。如只给原动件 1 一个独立位置参数 \tilde{Q}_1 , 则机构可处于 ABCDE 位置, 也可处于 ABC'D'E 位置(图 1 - 17b), 从动件 2、3、4 的位置不能确定, 即不能成为机构。

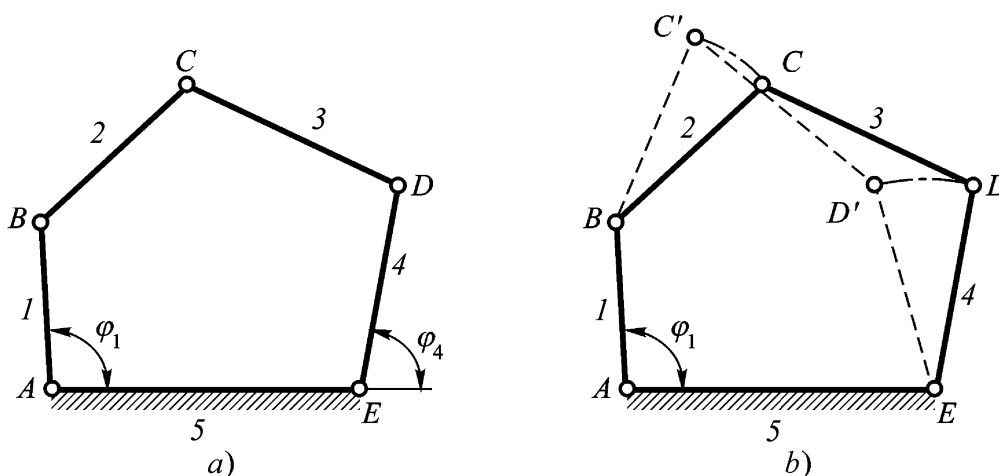


图 1 - 17

图 1 - 18a 所示的五个构件的组合, 自由度 $F = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$, 该构件组合的自由度等于零, 说明各构件之间没有相对运动, 称为刚性桁架。图 1 - 18b 所示的三个构件的组合, 自由度 $F = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$, 该构件的组合也是刚性桁架。图 1 - 18c 所示的四个构件的组合, 自由度 $F = 3 \times 3 - 2 \times 5 = -1$, 说明该构件组合的约束过多, 称为超静定桁架。

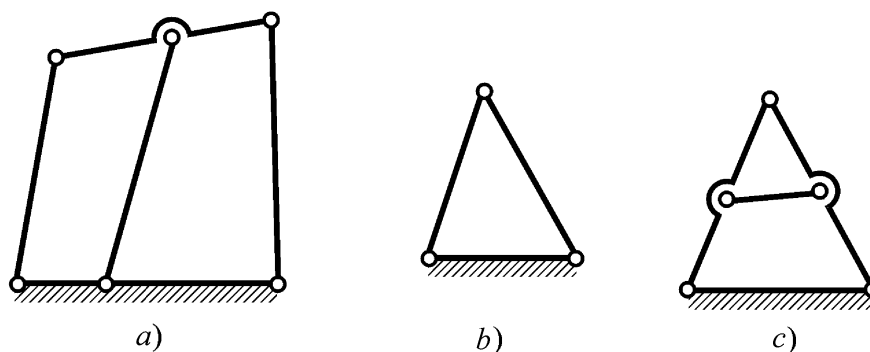


图 1 - 18

经过上述讨论可知, 机构自由度 F 大于零, 且等于原动件个数, 是机构具有确定相对运动的必要条件。由于机构的自由度就是运动链相对于固定构件的自由度, 所以也可以说, 该条件也是运动链成为机构的必要条件。