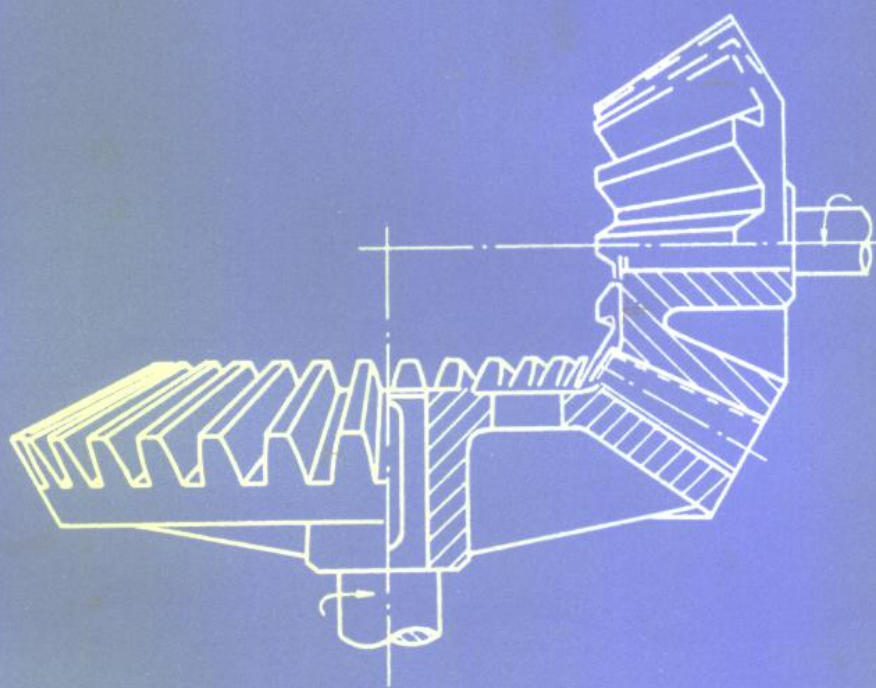


机械原理

主编 田嘉海 赵清华



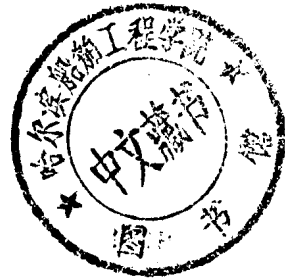
哈尔滨工程大学出版社

T111
T58

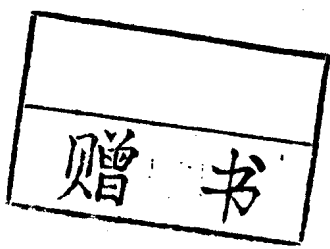
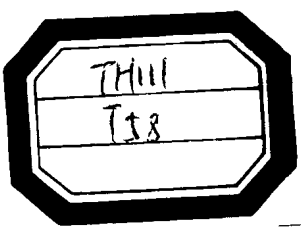
425861

机 械 原 理

田嘉海 赵清华 主编



00425861



哈尔滨工程大学出版社

(黑)新登字第9号

内 容 简 介

本书是根据国家教育委员会 1987 年批准的“机械原理课程教学基本要求”编写的。

全书共十二章,包括绪论,平面机构的结构分析,平面机构的运动分析,平面机构的力分析,平面连杆机构,凸轮机构、齿轮机构、轮系及其他常用机构,机构的组合和选型,机械的平衡,机器的运转和调速。

本书可作为高等工科院校机械类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

机 械 原 理

田嘉海 赵清华 主编
责任编辑 张笑冰

*
哈尔滨工程大学出版社出版发行
新华书店经销
密山市印刷总厂印刷

*
开本 787 × 1092 1/16 印张19.875 字数 470 千字

1995年12月第1版

1995年12月第1次印刷

印数: 1-3000册

ISBN 7-81007-524-1

TH·19 定价: 18.00元

前 言

本书是根据国家教育委员会 1987 年批准的“机械原理课程教学基本要求”编写的,可以作为高等学校机械类专业“机械原理”课程的教材或参考书,也可作为一般工程技术人员的参考用书。

由于“机械原理”课程是一门技术基础课,因此,我们根据“机械原理”课程在教学计划中的地位 and 作用,以及近几年在教学实践中的体会,在内容上考虑了基础理论的加强和课程内容的发展,适当的反映一些新的科学技术成就,并以一般机械专业的要求为主。在编写时我们精选了教材内容,力求正确反映本课程教学的基本要求,着重讲清基本概念,基本理论和基本方法。又根据教学的需要,在每章的后面,我们选编了一定数量的习题,以供教学中选用。

本书由黑龙江八一农垦大学的田嘉海(第一章),赵清华(第七章),汪春(第三、六章),王荣(第二,五章),王新忠(第四,十一章),李玉清(第九章);烟台职工大学的高小林(第八、十章);大庆石化总厂的丁天权(第十二章)等同志编写,全书由田嘉海,赵清华担任主编,由高小林、汪春、丁天权担任副主编,本书由黑龙江八一农垦大学的李德泰副教授,王志杰副教授主审。

在编写过程中,虽然经过反复讨论和修改,但由于编者水平所限,难免有缺点和错误,诚恳希望广大读者和同行给以批评指正。

编 者

1995年2月

目 录

1 绪论	1
1.1 机械原理研究的对象	1
1.2 机械原理课程的内容	2
1.3 学习本课程的目的	3
2 平面机构的结构分析	4
2.1 机构的组成	4
2.2 平面机构运动简图	6
2.3 平面机构自由度的计算	9
2.4 机构具有确定运动的条件	14
2.5 平面机构的组成原理及结构分析	15
2.6 平面机构中的高副低代	17
习 题	19
3 平面机构的运动分析	23
3.1 机构运动分析的目的和方法	23
3.2 平面机构位置图的确定	24
3.3 速度瞬心及其在速度分析中的应用	25
3.4 用矢量方程图解法作机构的速度和加速度分析	30
3.5 综合运用瞬心法和矢量方程图解法对高级机构作速度分析	39
3.6 机构的运动线图	40
3.7 用解析法作机构的运动分析	42
习 题	50
4 平面机构的力分析	54
4.1 机构力分析的目的和方法	54
4.2 构件惯性力的确定	55
4.3 构件组的静定条件	57
4.4 不考虑摩擦时机机构的动态静力分析	59
4.5 考虑摩擦时机机构的力分析	66
4.6 机械的效率和自锁	78
习 题	82
5 平面连杆机构	87
5.1 概述	87
5.2 平面四杆机构的基本型式及应用	89

5.3	平面四杆机构的演化型式及应用	93
5.4	平面四杆机构的几个基本概念	98
5.5	平面四杆机构的设计	105
	习题	120
6	凸轮机构	123
6.1	凸轮机构的应用和分类	123
6.2	从动件常用运动规律	126
6.3	凸轮机构的力分析和基本尺寸的确定	135
6.4	用作图法设计凸轮的轮廓曲线	140
6.5	用解析法设计凸轮的轮廓曲线	145
6.6	圆柱凸轮机构	150
	习题	152
7	齿轮机构	155
7.1	概述	155
7.2	齿廓啮合的基本定律	157
7.3	渐开线的形成及其特性	158
7.4	渐开线齿廓的啮合传动	162
7.5	渐开线齿轮各部分的名称和尺寸	163
7.6	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	168
7.7	渐开线齿轮传动的重合度	172
7.8	渐开线齿轮传动的滑动系数	176
7.9	渐开线齿廓的切削原理	178
7.10	渐开线齿廓的根切和标准齿轮不发生根切的最少齿数	183
7.11	齿轮变位的原理	185
7.12	变位齿轮的几何尺寸计算	188
7.13	变位齿轮传动的类型及设计步骤	192
7.14	斜齿圆柱齿轮传动	198
7.15	螺旋齿轮传动	208
7.16	蜗轮蜗杆传动	210
7.17	圆锥齿轮传动	216
7.18	圆弧齿轮传动	221
	习题	224
8	轮系	226
8.1	轮系的组成及分类	226
8.2	定轴轮系传动比的计算	229
8.3	周转轮系传动比的计算	230
8.4	混合轮系传动比的计算	233
8.5	行星轮系的效率	236

8.6	行星轮系各轮齿数的确定	238
8.7	其他类型的行星轮系简介	240
	习 题	244
9	其他常用机构	248
9.1	万向联轴节	248
9.2	棘轮机构	250
9.3	槽轮机构	254
9.4	凸轮式间歇运动机构	257
9.5	不完全齿轮机构	258
9.6	非圆齿轮机构	259
	习 题	260
10	机构的组合和选型	261
10.1	机构的组合方式	261
10.2	组合机构的类型及设计	263
10.3	常用机构的分析比较与机构的选型	267
10.4	机械系统的运动循环图	269
	习 题	270
11	机械的平衡	272
11.1	机械平衡的目的和方法	272
11.2	刚性转子的平衡原理	272
11.3	转子的平衡试验	276
11.4	转子的许用不平衡量	278
11.5	质量代换法	281
11.6	平面机构的平衡	282
	习 题	286
12	机器的运转和调速	288
12.1	概述	288
12.2	机器等效动力学模型	290
12.3	机器的运动方程式及求解	295
12.4	机器的速度波动及其调节方法	299
12.5	飞轮设计	302
	习 题	306

1 绪 论

1.1 机械原理研究的对象

机械原理是一门以机械为研究对象的科学,而机械是“机器”和“机构”的总称。

所谓“机构”,它是一种用来传递运动和力或改变运动形式的机械装置。例如曲柄滑块机构是将回转运动改变为往复移动,槽轮机构是将连续的转动改变为间歇转动,凸轮机构是将凸轮的转动改变为从动件的移动或摆动等。所谓“机器”,则是根据某种使用要求而设计的机械系统,在生产过程中,该系统均能完成有益的机械功或转化机械能。例如刨床切削工件,洗衣机洗涤衣服,发电机能将机械能转化为电能,内燃机能将热能转化为机械能等。

机器种类繁多,在日常生活和生产中,人们经常见到的汽车、拖拉机、机床、起重机、缝纫机等都是机器。各种不同的机器,具有不同的形式,构造和用途。但从组成来看,所有机器都是由各种机构组合而成。例如图 1-1 所示的内燃机就包含着由汽缸 11,活塞 10,连杆 3 和曲轴 4 所组成的连杆机构,由小齿轮 1 和大齿轮 18 所组成的齿轮机构,及由凸轮 7 和阀门推杆 8(9)所组成的凸轮机构等。

一部比较复杂的机器,可能包含多种类型的机构,而简单的机器,也可能只包含一种机构,例如图 1-2 所示的螺旋输送机就只有一个螺旋机构。所以可以说,机器乃是能够完成机械功或转化机械能的机构或机构的组合。而这些机构则都是本课程研究的主要对象。

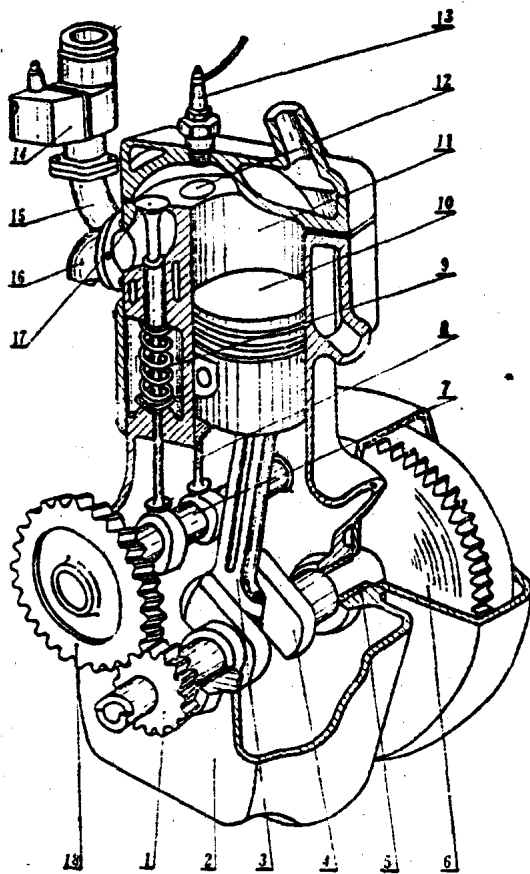


图 1-1

1.2 机械原理课程的内容

本课程研究的内容主要包括以下几方面:

(1) **机构结构分析的基本知识** 分析机构的结构是为了研究机构的组成,机构运动的可能性及具有确定运动的条件。此外,为了便于系统地建立机构运动分析的方法,以及为创造新机构提供指导性理论,还需要研究机构的组成原理及机构的结构分类。

(2) **机构的运动分析** 机构中各构件之间的相对运动是完全确定的,机构运动分析的任务是在不考虑引起机构运动的力的作用下,从几何的观点,求解机构中点的轨迹、位移、速度和加速度;构件的角位移、角速度、角加速度。

了解机构的运动是设计新机构的必须步骤,也是合理有效地使用现有机械的必要依据。同时,也将为研究机构的受力情况和动力学问题提供基础。

(3) **机械动力学** 机械动力学主要研究三方面问题。一是研究机械在运动过程中作用在各构件上的力的求法和确定机械效率的方法。二是研究在已知外力作用下机械的真实运动。三是为了减小有害的速率波动而研究机械的调速问题以及机械中惯性力的平衡问题。机器中各构件产生的惯性力,不仅将在各运动副中引起动压力,而且影响到机器的效率和使用寿命,降低机器的工作质量甚至造成破坏事故,所以必须设法加以平衡。

机械动力学研究的问题十分广泛,特别是随着机器向高速重载的方向发展,对于机械动力学问题的研究就愈显得重要。本课程将着重研究第一方面的问题,而对第二、第三方面的问题也将作必要的介绍。

(4) **常用机构的分析与设计** 机器的类型虽然很多,然而构成各种机器的机构的类型却是有限的,它们是齿轮、凸轮、连杆机构等一些常用机构。本课程将介绍这些常用机构的功用和特点,分析机构的运动及工作特性,讨论满足给定运动和工作要求的机构设计方法。

(5) **机构的选型和组合** 在介绍了各种常用机构的分析与设计之后,在进行具体机械的设计时,如何选用机构并进行组合应用,便将是一个需要解决的现实问题,本课程将讨论机构的选型和组合的设计问题,以便对这方面的问题有一个大体的了解。

综上所述可知,就其解决问题的性质而言本课程研究的问题可分为两大类,第一类是对现有机械的研究,即机构分析,其中包括结构分析,运动分析和动力分析;第二类是实现给定运动和工作要求的新机构设计,即机构综合,其中包括机构选型,运动设计和动力设计。本课程对机械设计的研究,只限于根据运动和动力要求,对机构各构件的尺度进行综合,而不涉及各个零件的具体结构,强度计算、材料选择及工艺要求等问题。所以在本课程中常用“综

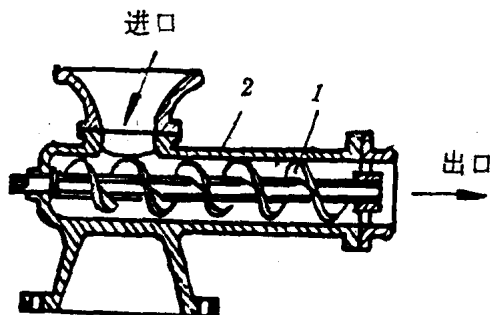


图 1-2

合”两字来代替“设计”两字。

解决上述问题的方法有图解法、解析法、实验法等。图解法形象直观、容易领会,虽然精度较低,但在许多场合仍能满足要求,并且有利于建立清晰的基本概念。解析法可以获得图解法难以达到的精确程度,然而设计计算复杂。随着电子计算机的使用,使得应用解析法求解机构分析和综合的一些复杂问题成为实际可行,为机械原理学科的研究开辟了广阔的途径。实验法通过实测取得结果,是建立和验证理论研究方法的唯一途径,但需要相应的实验设备,具有一定的误差。

1.3 学习本课程的目的

机械原理以高等数学、物理、理论力学和机械制图为基础,研究各种机械的共性问题。因此,它成为机械类各专业所必修的一门技术基础课。通过本课程的学习,为以后学习机械设计和有关机械性质的专业课程以及掌握新的科学技术成果打好工程技术理论基础。

另一方面,机械原理在发展国民经济方面 also 具有重要意义。众所周知,机械工业状况是一个国家国民经济水平的重要标志之一。为了在一切生产部门实现生产的机械化和自动化,就需要创造出大量的优质新颖的机械,又要对现有机械设备进行改进和合理使用。在完成上述任务中,有关机械原理的知识也将起着重要作用。

总之,本课程所学的内容,一方面是有关的专业课程的基础,而课程本身也是一个工科学子所应具备的关于机械的一般基础知识。

2 平面机构的结构分析

2.1 机构的组成

如前所述,机构是本课程研究的主要对象,而机构是由构件及运动副所组成,所以下面介绍构件和运动副的有关知识。

2.1.1 构件

任何机器都是由许多零件组合而成的,零件是指机器在制造中不可再分的单元体。如图 1-1 所示的内燃机,就是由分开制造的气缸、活塞体、活塞环、活塞销、连杆体、连杆头、曲轴、齿轮、凸轮轴、弹簧、气阀、螺栓、螺母等一系列零件组成。从研究机器的运动观点出发,有的零件在运动中是作为一个独立的运动单元体而运动,例如曲轴。但是,并不是所有的零件都能单独地影响机器的运动,而是常常由于结构和工艺上的需要,由几个零件刚性地联接成为一个整体而运动,例如连杆 3 就是由连杆头、连杆体、上轴瓦、下轴瓦、螺栓、螺母、垫圈等若干个零件刚性地联接成一体,这些零件之间不能产生任何相对运动,它们组成一个独立的运动单元体。机构中每一个独立运动的单元体,我们称其为“构件”。所以从运动观点看,任何机器都是由两个以上的构件所组成的。

2.1.2 运动副及其分类

由两构件之间直接接触而又能产生某些相对运动的联接称为运动副。例如图 2-1a 所示轴 1 与轴承 2 的配合,图 2-1b 所示齿轮 1 与齿轮 2 的轮齿的啮合都构成了运动副。

两构件之间构成的运动副,不外乎是通过点、线、面的接触来实现的。而把两构件上能够参与接触而构成运动副的部分称为运动副元素。

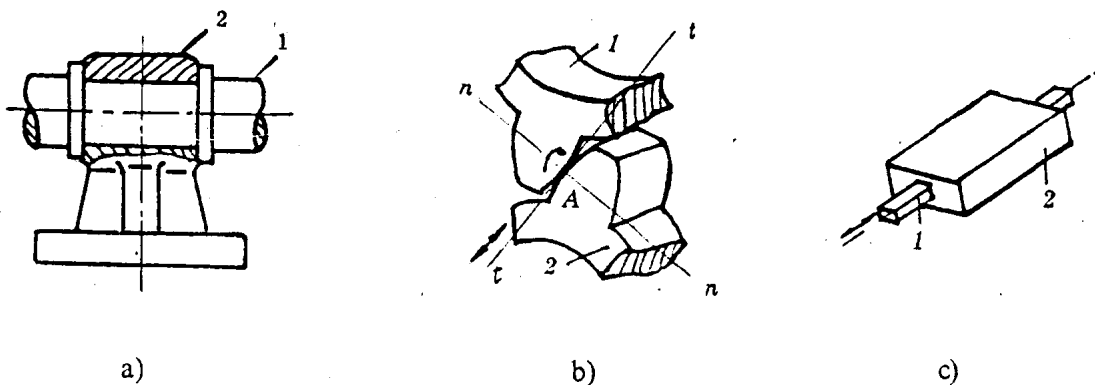


图 2-1

根据运动副之间的接触情况,可将运动副分成为低副和高副两类。凡是面接触构成的运动副称为低副如图 2-1a,c 所示。凡是点、线接触构成的运动副称为高副如图 2-1b 所示。

运动副还常根据构成运动副两构件之间的相对运动分成平面运动副和空间运动副。两构件之间的相对运动为平面运动的运动副称为平面运动副。平面运动副中有如图 2-1a, c 所示转动副(或称回转副)、移动副和如图 2-1b 所示的平面高副。两构件之间的相对运动为空间运动的运动副称为空间运动副。如图 2-2a,b 所示的球面副与螺旋副。

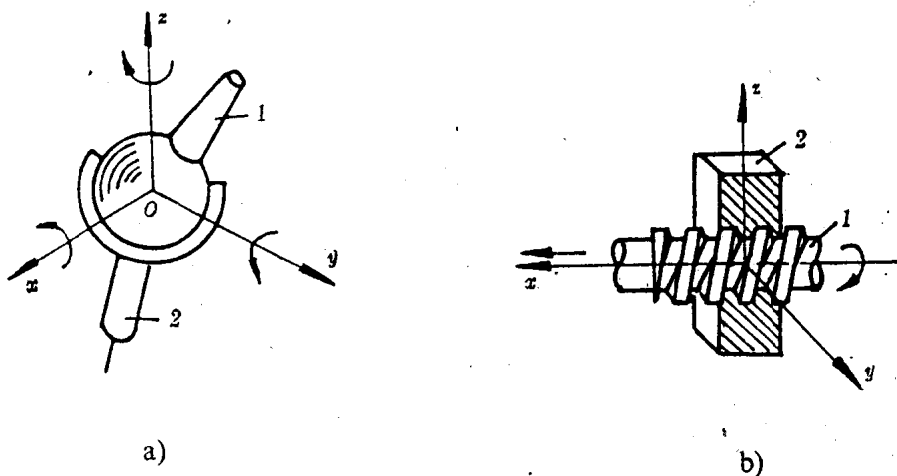


图 2-2

2.1.3 运动链

由两个以上的构件通过运动副的联接而构成的系统称为运动链。若运动链的各构件首尾不是相接的系统,如图 2-3a, b 所示,则称为开链。否则,如图 2-3c,d 所示,称为闭链。闭链中只有一个封闭形的,如图 2-3d 所示,称为单环闭链,有两个封闭形的,如图 2-3c 所示,称为双环闭链;依次类推。

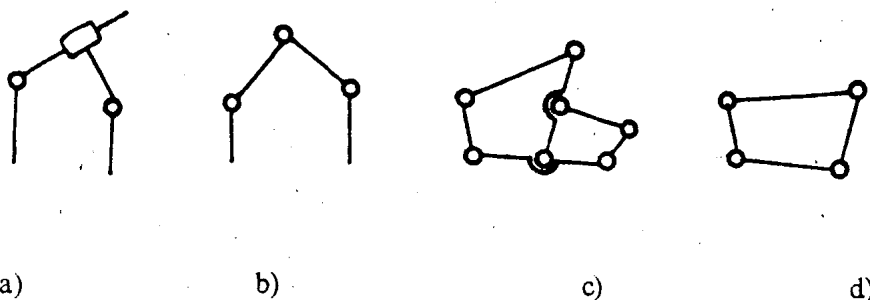


图 2-3

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动,也可把运动链分为平面运动链和空间运动链两类,分别如图 2-3 和图 2-4 所示。

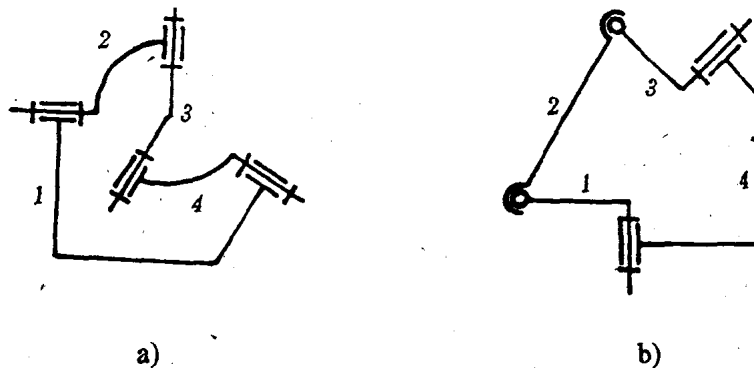


图 2-4

2.1.4 机构

在运动链中,如果将某一构件加以固定而成为机架,则这种运动链便成为机构。机构中的其余构件均相对于机架而运动。

研究机构运动需要有一个参考坐标系,参考坐标系所在的构件称为机架。如果机械装在地面上,那么机架相对于地面是固定不动的;如果机械是运动的物体(如汽车、轮船、飞机等),那么机架相对于地面可能是运动的,而相对于该运动的物体是固定不动的。在机构中,按给定的运动规律运动的构件称为原动件;而其余的活动构件则称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构。

根据组成机构的各构件之间的相对运动为平面运动或空间运动,也可把机构分成平面机构和空间机构两类,其中平面机构得到特别广泛的应用。

2.2 平面机构运动简图

在对现有机械进行分析研究时,或者在设计新机械时,都需要搞清机构的运动情况。而机构的运动情况取决于以下三种因素:1)机构原动件的运动规律;2)机构中各运动副的类型。例如运动副是转动副还是移动副,是高副还是低副;3)与运动有关的各运动副相对位置之间的尺寸。机构的运动与构件,运动副的具体结构无关。所以用规定的运动副的代表符号和简单的线条,根据机构的运动尺寸,按一定比例作出的机构简图,对于研究机构的运动是很方便的。这样的简图能反映机构的运动情况,故称为机构运动简图。我们可以用运动简图对机构进行运动分析、动力分析、以及对设计方案进行比较。

有时只是为了表明机构的结构状况,也可以不严格地按比例来绘制简图,而通常把这样的机构运动简图称为机构示意图。

绘制机构运动简图时常用运动副代表符号列表 2-1 中。

表 2-1 常用机构运动简图符号(摘自 GB4460-84)

名称	代表符号	名称	代表符号
机架		内啮合圆柱齿轮传动	
轴、杆		圆锥齿轮	
构件组成部分永久连接		蜗轮与圆柱蜗杆传动	
组成部分与轴(杆)的固定连接		齿轮齿条传动	
回转副		凸轮传动	
棱柱副(移动副)		带传动	
螺旋副		链传动	
外啮合圆柱齿轮传动		装在支架上的电动机	

绘制机构运动简图的大致步骤为：

(1) 仔细观察机构由几个构件组成，搞清楚运动的传动路线。

(2) 确定机架及原动件，按传动路线分清各个从动件。

(3) 按传动路线认清相邻两构件的相对运动形式，据此确定各运动副的类型。

(4) 恰当的选择投影面。一般可以选择机构多数构件的运动平面为投影面。必要时也可就机构的不同部分选择两个或两个以上的投影面。

(5) 确定机构某一位置，测量各运动副之间的相对位置尺寸，选择适当比例尺，用规定的符号，按比例画出机构运动简图。

为了具体说明机构运动简图的画法，下面举例说明。

例 2-1 图 2-5a 所示为一颚式破碎机。当曲轴 1 绕轴心 O 连续回转时，动颚板 5 绕轴心 F 往复摆动，从而将矿石轧碎。试绘制出此碎矿机的机构运动简图。

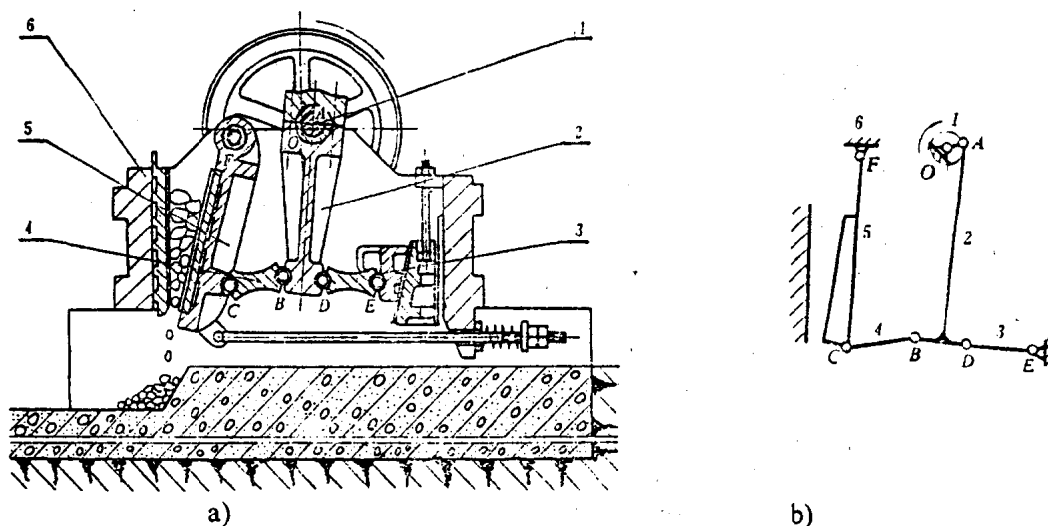


图 2-5

解 根据前述绘制机构运动简图的步骤，首先要看清楚此碎矿机是由轴 1 和构件 2、3、4、动颚板 5 及机架 6 等六个构件组成的。原动件为曲轴 1，按传动路线可看出，曲轴 1 和机架 6 在 O 点构成转动副，曲轴 1 和构件 2 也构成转动副，其轴心在 A 点，而构件 2 还与构件 3、4 在 D 、 B 两点分别构成转动副；构件 3 又与机架 6 在 E 点构成转动副；动颚板 5 与构件 4 和机架 6 分别在 C 点和 F 点构成转动副。

由碎矿机的结构可知，该机为一平面机构，今选择构件的运动平面为投影面，再选定适当比例尺，并定出转动副轴心 O 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 及 F 的位置，由原动件曲轴 1 位置 OA 和机架 6 出发，即不难绘出其机构运动简图，如图 2-5b 所示。

例 2-2 图 2-6a 所示为联合收割机的清选机构。当曲柄 1 回转时，抖动板 5、上筛筛架 7 (上筛装在上筛架上组成为一个构件)，下筛筛架 9 (下筛装在下筛架上与下滑板组成为一个构件) 分别做不同的平面运动，从而达到清选谷物的目的。试绘制该清选机构的机构运动简图。

解 该机构是由曲柄 1 和构件 2、3、下筛筛架 9、构件 10、抖动板 5、上筛筛架 7、构件 6、8 及

机架 4 等八个构件组成的。原动件为曲柄 1。按传动路线可看出, 曲柄 1 与机架 4 在 A 点构成转动副 A , 构件 2 与曲柄 1, 构件 3 分别组成转动副 B, C , 构件 3 与机架 4 组成转动副 D , 抖动板 5 与构件 3、6 分别组成转动副 C, E (注意 C 处为复合铰链), 构件 6 与机架 4 组成转动副 F ; 上筛筛架 7 与抖动板 5 及构件 8 分别组成转动副 G, H , 构件 8 与机架 4 组成转动副 I ; 下筛筛架 9 与构件 3、10 分别组成转动副 J, K , 构件 10 与机架 4 组成转动副 L 。

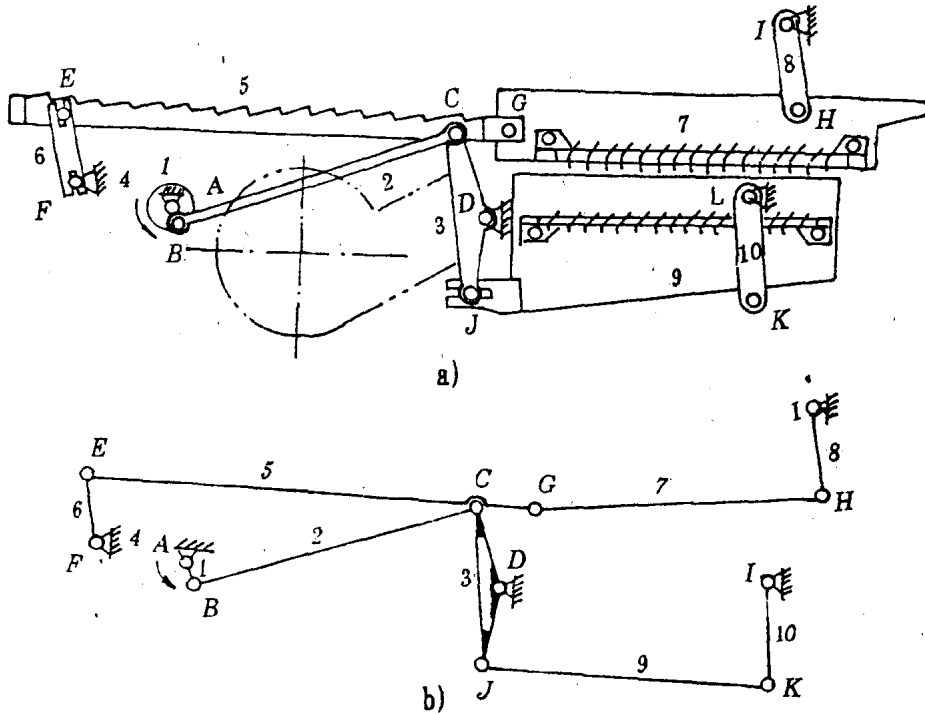


图 2-6

由清粮机构的结构可知, 该机构为一平面机构, 选择机构的运动平面为投影面, 选定比例尺, 并定出转动副 $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L$ 的位置, 由原动件曲柄 1 出发, 就可绘出其机构的运动简图, 如图 2-6b 所示。

2.3 平面机构自由度的计算

2.3.1 平面机构自由度计算公式

(1) 作平面运动构件的自由度

把尚未与其它构件组成运动副的构件看作是一个“自由构件”。则作平面运动的自由构件在直角参考坐标系内的位置确定时所需要的位置参数的数目即为“自由构件”在平面中的自由度数。如图 2-7 表示自由构件在参考坐标系 xoy 内运动, 它的位置可由三个独立位置参数来决定, 即自由构件上任意一点 A 的坐标 x 和 y , 以及过 A 点的任一标线 AB 的倾角 α 。显然, 一个作平面运动的自由构件具有三个自由度, 也就是说它具有三个独立的运动。

(2) 平面运动副的自由度

对自由构件独立运动所加的限制称约束。若对某个作平面自由运动的构件引入一个约束,构件将失去一个自由度。引入三个约束,则构件剩下的自由度为零。即构件就不能运动了。

当两个构件组成运动副后,使构件的运动受到约束,相应的自由度数随之减少。不同类型的运动副,由于引入的约束数目不同,保留的自由度数也不同。转动副约束了沿 x 、 y 轴方向的两个移动,只保留了一个转动自由度,如图 2-8a 所示;而移动副约束了垂直于平面的移动和在平面内的转动,只保留了一个沿平面移动的自由度,如图 2-8b 所示;平面高副只约束了接触点 P 处公法线 NN 方向的移动,而保留一个绕接触点 P 处的转动和一个沿接触点 P 处公切线 $t-t$ 方向的移动两个自由度。

由上述分析可知,平面低副具有一个自由度,两个约束;平面高副具有两个自由度,一个约束。

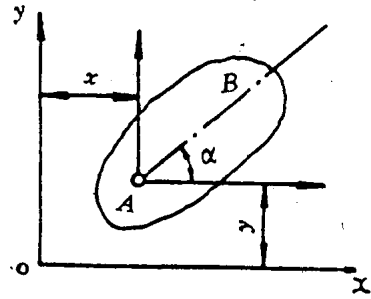


图 2-7

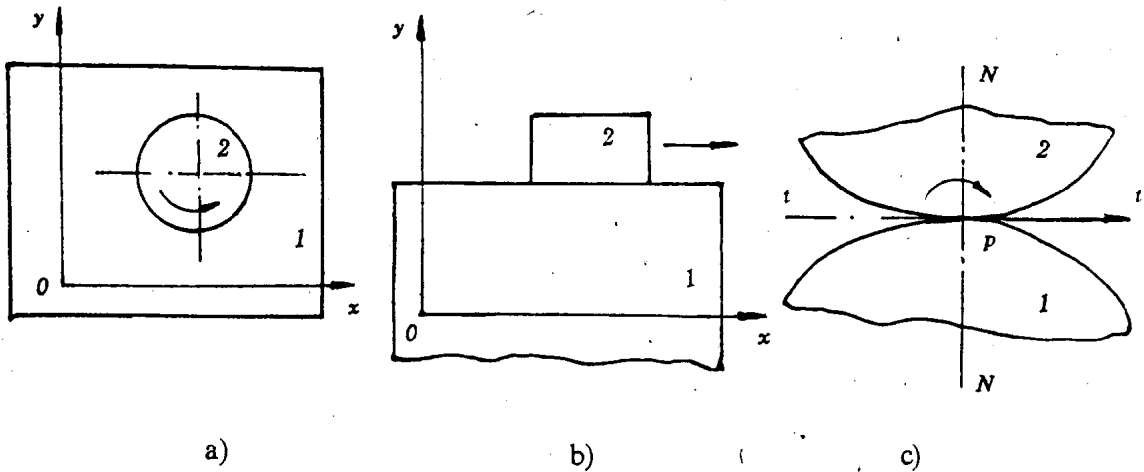


图 2-8

(3) 平面机构自由度计算公式

所谓机构的自由度是指机构中各构件相对机架位置确定时,所需要的独立位置参数的数目。即机构相对机架所能产生的独立运动的数目。如图 2-9a 所示铰链四杆机构只需一个位置参数 φ_1 , 构件 1、2、3 相对机架 4 的位置就确定,则该机构是具有一个自由度的机构。如图 2-9b 所示铰链五杆机构需要 2 个位置参数 φ_1 、 φ_2 , 构件 1、2、3、4 相对机架 5 的位置就确定,则铰链五杆机构具有 2 个自由度。