

高等工业专科学校教学用书

# 机 械 原 理

(机制类专业用)

南 京 工 学 院 編  
机械原理零件教研組

江苏人民出版社

高等工业专科学校教学用书

# 机械原理

(机制类专业用)

南京工学院  
机械原理零件教研组 编

江苏人民出版社

## 內 容 提 要

本書是南京工学院机械原理及机械零件教研組根据該校函授大学用机械原理教材为基础加以改編而成的。其內容除保留了1956年部頒大綱的主要章节外，并吸收了1958年教育革命后各校在机械原理課程內容上进行精簡，加深和更新的經驗。其章节編排系采用目前我国慣用的系統。全書除緒論外，包括平面机构的結構分析、机械中的摩擦、平面机构的运动分析、平面机构的动态靜力学、机械的调速、机械的平衡、平面連杆机构及其設計、凸輪机构及其設計、齿輪机构及其設計、輪系及其他常用机构等章。

本書可用作三年制高等工业专科学校机械类专业70—80学时的机械原理課程的教材。

高等工业专科学校教学用书

### 机 械 原 理

(机制类专业用)

南京工学院机械原理零件教研組編

江苏省书刊出版業許可証出〇〇一號

江 苏 人 民 出 版 社 出 版

江 苏 湖 南 路 十 五 號

江苏省新华书店发行 南京日报印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印張 12 5/8 字數 280,000

一九六一年八月第一版

一九六一年八月南京第一次印刷

印數 1—9,000

## 序 言

自从工农业大跃进和教育大革命以来，我国大专学校的所有课程内容都发生了深刻的变化，机械原理当然也不例外。1960年春，由于教学需要，我们教研组集体编写了一本函授大学用的机械原理讲义。该讲义现由江苏省高等工业专科学校“机械原理”教材选编小组推荐作为工业专科学校的教材，并根据专科学校的要求加以改编。其内容除保留了1956年部颁大纲的主要章节外，还吸收了教育革命以来在机械原理课程内容上所进行的精简、加深和更新的经验。其广度和深度基本上符合我国工业专科学校目前的水平，而其章节安排则采用目前我国惯用的系统。

与以往专科学校所采用的大学用机械原理教材相比，本书在下列各方面作了较多改进：

(1) 鉴于以往专科学校、函授大学和夜大学采用大学用机械原理教材在内容的广度和深度上存在着嫌多嫌深的缺点，编写本书时根据“学少一点、学好一点”的原则曾予以精简，去除了一些次要的节目，如机械的运转，机械在机座上的平衡，质量代换法，行星轮系的效率和齿数的选择等；又删去了一些次要公式的推导而直接引用其结论，如径向轴颈的诱导摩擦系数及齿轮传动的滑动系数和几何压力系数等。此外，全书其它章节也都力求简化。

(2) 根据专科学校、函授大学和夜大学学习时间少而要求不低的特点，在教材的选择上力求适当（如飞轮设计仅讲概念清楚、简单易懂的密尔查洛夫法），文字叙述力求简明易懂，问题的提出力求符合认识规律，同时尽量结合专业和联系实际。

(3) 在篇幅少的情况下，仍然注意尽可能反映最新科学技术的成就，例如加入了圆弧点啮合齿轮和精密动平衡机。

(4) 为了加深理论基础，学深学透，因此，篇幅虽少，但对一些重要的原理仍然予以保留。例如在平面机构的结构分析中仍简略地介绍机构的结构分类，而在运动分析和动力分析中虽不按杆组讲述，但还指出结构分类的指导作用。

原机械原理函授讲义由本组丘宁生等同志执笔编写，参加本书改编的有丘宁生（三、八、十二章），程光蕴（一、二、九、十一章），张婉玉（四、五、七章）及黄锡愷（六、十章）等同志。

本书改编时，承南京机械专科学校、盐城工专、淮阴工专的同志根据他们多年来的教学经验对本书的内容取舍和讲解方法等方面提出了很多建设性的意见，我们特此表示谢意。

由于本书改编时间短促，且限于我们的政治和业务水平，因此谬误之处在所难免，深望采用学校的同志和读者不吝指正，俾再版时改正这些缺点。意见请寄南京工学院本教研组。

南京工学院机械原理及机械零件教研组

1961年4月

# 目 录

<b>第一章 緒論</b> .....	1
§ 1—1 机械原理学研究的对象和内容.....	1
§ 1—2 机械原理学在教学計劃中的地位与作用.....	2
§ 1—3 机械原理在发展国民經济方面的重要性.....	2
§ 1—4 机械原理的发展簡史.....	3
<b>第二章 平面机构的結構分析</b> .....	5
§ 2—1 研究机构結構的目的.....	5
§ 2—2 运动付及其分类.....	5
§ 2—3 机构确定运动的条件.....	8
§ 2—4 机构运动簡图的繪制.....	9
§ 2—5 确定平面机构活动度的实例及其注意事項.....	12
§ 2—6 平面机构的組成原理和結構分析.....	15
<b>第三章 机械中的摩擦</b> .....	23
§ 3—1 研究机械中摩擦的目的.....	23
§ 3—2 移动付中的摩擦.....	23
§ 3—3 螺旋付中的摩擦.....	25
§ 3—4 回轉付中的摩擦.....	27
§ 3—5 柔韌体的摩擦.....	32
§ 3—6 滚动摩擦.....	33
§ 3—7 机械效率的确定及其改善的途径.....	34
<b>第四章 平面机构的运动分析</b> .....	44
§ 4—1 研究机构运动分析的目的和方法.....	44
§ 4—2 瞬时中心法的原理及其在机构运动分析上的应用.....	45
§ 4—3 用相对运动法求机构的速度和加速度.....	47
§ 4—4 运动图、图解微分法和图解积分法.....	53
<b>第五章 平面机构的动态靜力学</b> .....	61
§ 5—1 研究机构动态靜力学的目的和方法.....	61
§ 5—2 机构构件慣性力的确定.....	62
§ 5—3 运动鏈的靜定条件.....	64
§ 5—4 平面机构的动态靜力計算.....	65
§ 5—5 茹可夫斯基杠杆法.....	70
<b>第六章 机械的調速</b> .....	74
§ 6—1 机械运轉的不均匀性及其調节.....	74

§ 6—2	等效力和等效力矩	75
§ 6—3	等效质量和等效轉动慣量	77
§ 6—4	机械運轉的平均速度和不均匀系数	80
§ 6—5	飞輪轉动慣量的确定	81
§ 6—6	飞輪各部尺寸的确定	83
§ 6—7	調速器的基本知識	85
<b>第七章</b>	<b>机械的平衡</b>	<b>88</b>
§ 7—1	机械平衡的目的	88
§ 7—2	回轉质量的平衡	89
§ 7—3	回轉构件的平衡試驗法	92
<b>第八章</b>	<b>平面連杆机构及其設計</b>	<b>97</b>
§ 8—1	連杆机构的应用及其設計的基本問題	97
§ 8—2	四杆机构有曲柄的条件	98
§ 8—3	四杆机构的演化	99
§ 8—4	四杆机构的設計	102
<b>第九章</b>	<b>凸輪机构及其設計</b>	<b>108</b>
§ 9—1	凸輪机构的应用和分类	108
§ 9—2	盘形凸輪的基圓半径	110
§ 9—3	从动杆常用运动规律的选择	113
§ 9—4	按已知运动规律設計凸輪的輪廓——作图法	115
§ 9—5	从动杆滾子半径的选择	119
§ 9—6	圓弧凸輪	119
<b>第十章</b>	<b>齿輪机构及其設計</b>	<b>126</b>
§10—1	齿輪的应用与分类	126
§10—2	齿輪嚙合的基本定律	127
§10—3	漸开綫及其性质	128
§10—4	标准齿輪的各部名称及其基本尺寸	130
§10—5	漸开綫齿輪的定传动比和可分性	132
§10—6	漸开綫齿輪正确嚙合的条件	134
§10—7	漸开綫齿輪嚙合的連續性, 重迭系数	135
§10—8	齿輪制造主要方法的原理	138
§10—9	根切现象, 最少齿数	141
§10—10	齿条型刀具切削少于最少齿数的齿輪而不产生根切的方法	143
§10—11	任意半径圓周上的齿厚	145
§10—12	无齿側間隙嚙合的方程式	147
§10—13	标准徑向間隙对齿高的限制, 齿頂降低系数 $\nu$	148
§10—14	传动类型及其选择	149
§10—15	漸开綫齿輪传动設計的步驟	152

§10—16 斜齿圆柱齿轮.....	156
§10—17 螺旋齿轮传动.....	163
§10—18 蜗杆蜗轮传动.....	164
§10—19 圆锥齿轮传动.....	166
§10—20 圆弧点啮合齿轮概述.....	169
<b>第十一章 輪系</b> .....	<b>176</b>
§11—1 輪系的分类和应用.....	176
§11—2 普通輪系的传动比.....	177
§11—3 周轉輪系的传动比.....	179
<b>第十二章 其他常用的机构</b> .....	<b>186</b>
§12—1 万向联轴节.....	186
§12—2 間歇运动机构.....	189
§12—3 螺旋机构.....	191

# 第一章 緒 論

## §1-1 机械原理学研究的对象和内容

机械原理是研究机器和机构的结构，运动学及动力学的科学。它的内容可以分为两类问题：第一类为关于现有机器及机构的研究，即机构的分析问题，通过分析，可以确定机构在已知外力的作用下的实际运动规律，这对使用和改进现有的机器及设计新机器是必须具备的知识；第二类为关于新的机器及机构的设计，即机构的综合问题，通过综合可以获得满足生产实践所要求的运动规律的机构。

机械是机器与机构的总称，机器与机构的区别说明于下：

机器是一种人为的实物组合，其各件间的相对运动限定不变，在生产过程中或能力变换过程中，它可以完成所需要的有效功以代替人类的体力劳动。机器不能创造能力，而只能利用或变换能力。

按照上述的定义知道：蒸汽机、柴油机、发电机、空气压缩机、金属切削机床、纺织机械、印刷机械、农业机械、运输机械等均称为机器，因为它们均具有上述三个特征。

机构也是一种人为的实物的组合，其各件之间的相对运动限定不变。但是它不能用来完成机械功或变换机械能，只能产生运动的变化，目的是传递或变换运动。因此机构仅具有机器的前两个特征。通常机器必包含一个或一个以上的机构，在图1-1所示的蒸汽机中，曲柄、连杆、十字头及机架（包括底座、汽缸、轴承和导板）的组合是一机构，它将活塞的往复运动转变为曲柄轴的回转运动。如果要想使此机构变为机器，则必须增加其它机构，如汽瓣移动机构等，俾使蒸汽的热能转变为曲柄轴的机械能。所以机器必为一个或一组的机构所组成，但一个或一组的机构则未必成为机器，当视其目的是传递或变换运动，还是利用或变换机械能而定。

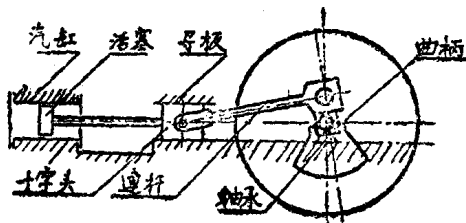


图 1-1

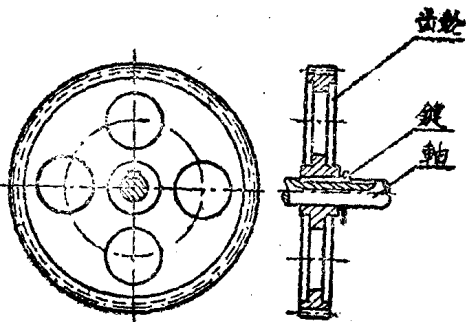


图 1-2

组成机构的各相对运动部分的物体称为机构的构件。构件可以是单一的整体，也可



以是數件的剛性組合。如一般的齒輪(圖1—2所示)就是用鍵剛性聯結在軸上的。這樣,齒輪、鍵與軸三者就視為一個整體,成為一個構件;而其單一的齒輪、鍵或軸都稱為另件。另件與另件之間無相對運動,故非本課程所研究的內容。它將在機械另件課程中討論之。

機械原理學研究機器和機構的結構、運動學與動力學三個方面。現將其主要內容簡述如下:

機構的結構系研究機構的組成原理。如上所述,機器及機構都是具有一定相對運動的許多構件的組合,然而欲使各構件之間具有確定的相對運動,許多構件的任意組合並不一定能達到目的,究竟應該如何組合,這便是機構結構所要研究的內容。這些知識是設計新機構及機器所必需的。

機構的運動學系研究當某一構件的運動規律已知時求其他構件的運動規律,包括位移、速度和加速度。此外,還研究按照已知的運動規律設計新機構的方法。

機械的動力學系研究機械在運動過程中,作用於其上的力的確定方法,以及決定機械效率的方法,此外並研究在已知外力的作用下機械的運動規律,以及作用力、運動構件的质量和這些構件的運動之間的關係(即機器速率的調整問題和慣性力的平衡問題)。

## §1—2 機械原理學在教學計劃中的地位與作用

機械原理是建立在數學、物理、理論力學等基礎知識上的科學,它是在理論與實際相結合,科學與生產相結合下,從力學中發展出來的一門獨立科學,所以它與理論力學有着密切關係。但是兩者又有區別:理論力學研究一般剛體力學的原理,而機械原理則在於應用理論力學中的某些原理於實際機械中,所以它較理論力學更接近於工程實際。但在另一方面,它在研究機械的運動學、動力學問題時僅作一般的研究,只論及各種機械工作的一般基本原理以及對組成各種機械的一些共同機構,如連杆機構、凸輪機構、齒輪機構等的運動和工作特性進行分析研究,並介紹為了滿足一定運動和工作要求而設計這些機構的一般方法。至於具體分析某一種機械的性能和設計,則屬於專業課程的研究範圍。

由此可知,機械原理是一門基礎技術課,它將為今後學習機械另件、機床、機械製造工藝學以及其它機械系統的专业課程打下基礎。它在教學計劃中起着承上啟下的作用。

另一方面,雖然任何機械的改進或創造都是設計、工藝等等各種機械工程知識的綜合應用,但機械原理却是最為基本的知識。掌握了本課程所介紹的內容後,我們就有可能更合理地使用和改進現有的機械設備或根據需要對創造新的機械提出建議。

## §1—3 機械原理在發展國民經濟方面的重要性

擺在機械工程師面前的主要任務之一是設計新的、完善的和高生產能力的機械和設備,使國民經濟中繁重的工作實現機械化、自動化,以適應我國高速地建設社會主義的需

要,并为使用这些机械的劳动者提供新的、更好的劳动条件。

为了实现以农业为基础的方針,迅速发展农业,必須对农业实行技术改造,如在排灌、深耕、插秧、收割、脱粒以及农产品加工方面都要求逐步从手工操作过渡到机械化操作,我国农业机械部的设置正說明农业机械化已成为今后的重要任务。同时,作为工业心脏的机械工业对国民經济其它部門的技术改造也担負着重大責任,例如在冶金和建筑工程中,一部中型顎式破碎机可以代替二百人的手工碎矿劳动,广泛使用机械就能节约出大量的劳动力加强其它战綫,生产更多的产品。正如毛主席所說:“中国只有在社会經济制度方面彻底完成社会主义改造,又在技术方面,在一切能够用机器操作的部門和地方,通通用机器操作,才能使社会經济面貌全部改观。”

要实现农业的技术改造,单纯依靠设计新的机器来满足建设需要是不够的,在大力设计新机械的同时,还必须大力改进现有的机械设备。设计新机械设备与改进现有机械设备都需要机械的一般知識。由前节知道,机械原理正是研究机器与机构的一般規律,是机器与机构设计及改进的基础。

现代的自动机及自动綫中广泛利用各科学和技术部門的最新研究成果,液动和气动机构,电工及电子设备等。但是它們的基础(传动部分,执行部分)也全是由机构組成的,因此应当重視研究机构分析和綜合(设计)的现代方法及其力的計算法,研究机械动力学中的主要問題,而且特別重要的是应当获得运用这些方法解决实际問題的技能。考虑到机械制造业的主要发展方向及創造新型机构和高速机构的必要性,目前在学习机械原理这门課程的时候应特別注意到机构的綜合(设计)方法及机械的动力計算法。深入地研究动力計算对延长机器的寿命減輕机械重量和节约金属有着重大的意义。

## §1—4 机械原理的发展簡史

在历史唯物主义中曾經闡明:“社会发展史首先是生产发展史,数千百年来新陈代谢的生产方式发展史,生产力和人們生产关系的发展史。”机械是劳动的工具,是生产力中重要因素之一,因此,研究机械的科学——机械原理的发展是和生产方式的发展紧密联系着的。

远古时代,由于生产需要,人类便已开始研究一些简单的力学問題和应用了原始的简单机械。例如古希腊、罗马和埃及便已經知道使用杠杆、斜面、絞盘和滚子等简单机械来从事建筑和运输,及应用圓柱齿輪和圓錐齿輪于水力計时器中。我国在古代也有很多机械方面的創造和发明,如利用杠杆原理的踏碓和桔槔,利用差动原理的起重轆轤,具有将轉动变为直动的連杆机构的水排(东汉杜詩始創),利用輪系的指南車(东汉张衡所創)和記里鼓車,及利用輪系、杠杆和凸輪原理的“連机碓”(晋杜預所創)和“水碓”(晋崔亮所創)等。早在东汉初年我国便已經有了金属鑄造的人字齿輪了。不过由于我国长期停滯在封建社会,落后的生产方式不可能促使自然科学蓬勃地发展。

十五世紀文艺复兴以后,欧洲商业資本开始发达,航海事业和軍事的发展促使机械科学飞速地发展起来。自俄国发明家波尔宗諾夫和英国发明家瓦特先后发明蒸汽机以后,

歐洲發生了工業革命，機械生產的出現和發展更大大地推動了機械科學前進。

生產的發展，使機構運動學方面的研究和設計資料愈積愈多，至十九世紀中下葉便奠定了機械原理中機構運動學那一部分的基礎。

廿世紀以來，工程上不斷增高機械的速率和增大其功率，於是機構的動力學問題具有很大的實際意義，當時各國科學家都很注意研究這個問題。當機構運動學和動力學方面的研究資料漸漸積累起來以後就感到有必要將機構分類以簡化機構的運動分析法和動力分析法，即研究機構的結構問題。

在資本主義社會里，機械生產的目的是為了榨取最大利潤，特別是生產走向壟斷以後，許多發明創造被束之高閣，所以，即使生產很發達的資本主義國家，科學技術的發展也受着重重束縛。

在蘇聯，由於蘇聯共產黨和政府的正確領導和科學團體的努力，機械原理形成為一門獨立的科學，並在世界上居于領導地位。近數十年來，蘇聯在機械原理範圍內的每一部門都有很大的成就。例如阿爾托包列夫斯基，多勃羅沃里斯基等在機構的結構和分類的研究工作上有着卓越的貢獻。柯爾欽、柯歇夫尼可夫、庫德略夫切夫等曾致力於齒輪機構的研究。特別是近年來蘇聯工程師諾維珂夫創造了圓弧點嚙合齒輪及新的嚙合理論，促成了齒輪機構的革命。除此以外，近年來在蘇聯機械原理中又開辟了兩個新的方向：即卡拉希尼可夫和勃魯葉維契所研究的機構精確度問題和馬雷舍夫等所研究的考慮到高速重載荷下機構另件變形對機構運動的影響問題。

舊中國沒有自己獨立的機器製造業，只有少量修配性質的機械工廠，機械原理始終得不到發展。解放後，一方面由於工業的迅速發展，作為整個工業心臟的機器製造業空前地蓬勃發展起來，為機械原理的繁榮創造了新的條件；另一方面，黨和政府又採取了一連串的有效措施來發展科學和技術。在高等學校中進行了教學改革，將舊學制的只講機構運動學的“機動學”一課改為“機械原理”。全國各大學及研究機關機械原理實驗設備和有關機械原理的譯著也日益增多，這一切都為機械原理的發展準備了良好的條件。尤其自1958年黨提出“鼓足干劲，力爭上游，多、快、好、省地建設社會主義”的總路綫及“破除迷信、解放思想，發揚敢想、敢說、敢做的共產主義風格”的號召以後，全國形成了技術革新和技術革命運動，涌現了無數有關機械方面的發明創造。我們深信在黨和政府的關懷和培養教育下，在全國勞動人民創造發明的基礎上，經過全國機械原理工作者的總結和研究提高，我國在機械原理科學上一定能獲得更大的成就。

## 第二章 平面机构的結構分析

### §2-1 研究机构結構的目的

如前章所述,机构是一种具有确定运动的构件組合体。显然,不能运动或随意乱动的构件組合都是不能成为机构的。因此,在设计新机构时,设计者首先遇到的问题判断所设计的机构能否运动;如果能够运动,还須判断在什么条件下其运动才具有确定性。

其次,机械原理的基本任务之一是研究机构的各种性质,如机构所产生的运动形式,速度和加速度的变化规律以及力和功率的传递规律等。但是由于机构的形式繁多,要对每一个别机构逐个研究这些性质是不可能的和不适当的,因此,我們常将机构按結構分为几大类而加以研究。

再次,由于一般实际机构的构造往往十分复杂,它由很多形状复杂的另件装配而成,要想直接对它进行分析研究是有困难的。为了简化这种研究,必須学会透过实际机构的复杂构造,弄清其各个构件之間彼此連接的情况及相对运动的性质,以简单的綫条及符号繪出其机构运动簡图;并将各构件的尺寸、重心位置及轉动慣量等标注其上,然后进行分析研究。

上述三类問題便是机构結構分析所研究的基本任务。除此以外,研究机构的結構分析还可以指示出創造新的机构的途径。

由于工程中实际应用的机构大部分属于平面机构,所以本章只研究平面机构的結構分析。

### §2-2 运动付及其分类

如图2-1所示,决定平面运动刚体 $T$ 的位置的参数有三,即其上任一点 $A$ 的两个坐标 $x$ 和 $y$ 及其上任一直綫 $AB$ 的傾斜角 $\alpha$ 。当 $\alpha$ 不固定时,刚体 $T$ 可以繞 $A$ 点轉动;当 $A$ 点的横坐标 $x$ 未固定时,刚体 $T$ 可以沿 $x$ 軸移动;同样,当 $A$ 点的纵坐标 $y$ 未固定时,則刚体 $T$ 能沿 $y$ 軸移动。刚体或质点的这种独立的运动称为自由度,因此自由度也就是决定刚体位置的独立的参数。由上所述可知,作平面运动的刚体共有三个自由度,即沿 $x$ 軸和 $y$ 軸的两个移动及繞垂直于 $xy$ 平面的

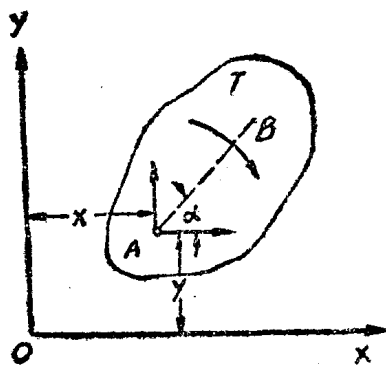


图2-1

轴的转动。

但是,如图2-2所示,如果刚体2上的A点沿刚体1上的某一曲线 $y=f(x)$ 运动,那末刚体2相对于刚体1便只有两个运动了,即其上A点沿 $x$ 轴或 $y$ 轴的一个移动和刚体2绕A点的一个转动;也就是说,刚体2相对于刚体1只有两个自由度了。这种加于刚体或质点的运动上的限制称为约束条件。

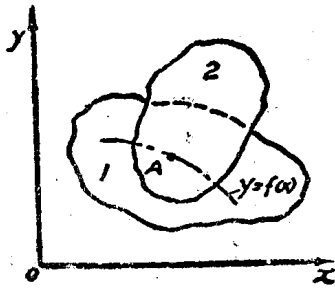


图2-2

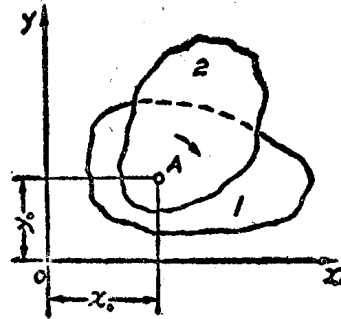


图2-3

又如图2-3所示,如果使刚体2的A点位置相对于刚体1固定不变,即 $x=x_0$ 及 $y=y_0$ ,那末刚体2相对于刚体1只可以绕A点转动。换句话说,即刚体2相对于刚体1也只剩下一个自由度了。

由此可知,在两个刚体的相对运动上加上一个约束条件后便损失了一个自由度;加上两个约束条件后便损失了两个自由度。我们又知道,未加约束的平面运动刚体共具有三个自由度,因此,自由度与约束条件之间的关系可表示如下:

$$\text{自由度数} = 3 - \text{约束条件数}$$

$$(2-1)$$

机械各构件间的接触不外点、线及面三种。例如滚珠轴承的滚珠和内外座圈之间为点接触,凸轮和与其从动杆滚子之间或互相啮合的轮齿之间为线接触;而轴和轴承之间或滑块和导板之间则为面接触。

机械的两直接接触构件的活动连接部分称为运动付。例如轴与轴承的连接,轮齿与轮齿的连接及导板与滑块的连接等等都是运动付。当两构件形成一运动付时,由于互相接触,它们的相对运动便受了限制;或者说,在它们之间的相对运动上加了约束条件,因而自由度减少了。

在图2-4所示的运动付中,构件1和构件2之间只可能有相对转动,所以称为回转动付。它具有一个自由度,而约束条件如图2-3所示,即两个方向的相对移动受到约束。

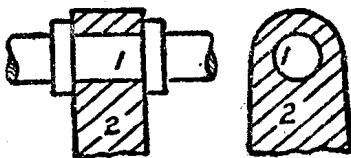


图2-4

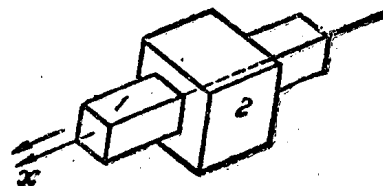


图2-5

在图2-5所示的运动付中,构件1相对于构件2只可以沿 $x$ 轴移动,所以称为移动

付。它具有一个自由度，而约束条件为2，即一个方向的相对移动及相对转动受到约束。  
 在图2—6所示的运动付中，构件1相对于构件2只可以绕接触点C转动及沿切线方向移动；而沿法线N—N方向的移动受到约束，因为构件1如沿法线向上移动，则二构件将不复直接接触，已不成为运动付了。图2—6(6)所示的运动付其约束条件实际上与图

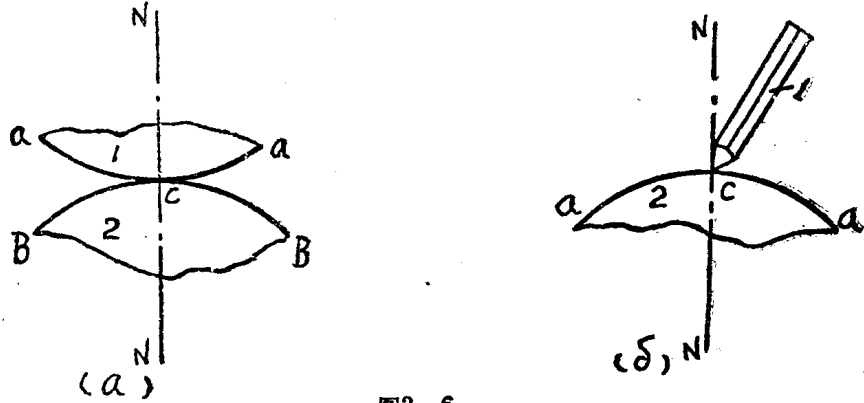


图2—6

2—2完全相同。常见的轮齿与轮齿的连接即为(a)图的实例，而凸轮轮廓与从动杆尖顶的连接则属于(b)图的实例。它们各具有两个自由度，约束条件为一。

依照接触的特性，运动付又可分为低付和高付两种；凡为面接触的运动付称为低付，其两构件接触部分只有滑动而无滚动；而且几何形状完全互相符合。回转付、移动付都是平面低付。凡为点接触或线接触的运动付称为高付，其两构件接触部分有滚动、滑动及滚动兼滑动三种；而且接触部分几何形状并不互相符合。图2—6(a),(b)所示的运动付都是平面高付。由以上讨论可知：平面低付具有一个自由度，其约束条件为2；而平面高付具有两个自由度，其约束条件为1。

上面介绍的是各种平面运动付，在常用的机构中，我们有时也遇到空间运动付。由理论力学可知：空间运动构件具有六个自由度，即沿x、y、z轴的三个移动和绕该三轴的三个转动。如图2—7所示的球面付，即是具有绕x、y、z轴三个转动的空间运动付。又如图2—8所示的螺旋付也是常见的空间运动付的一种。虽然构件1相对构件2可以沿x轴移动及绕x轴转动；但由于该移动及转动之间被一定的几何条件所约束，即构件1绕x轴转过一圈，必定同时沿该轴移动一个螺距，也就是说，这个移动和这个转动已经不是两个独立的运动了。因此，螺旋付是仅具有一个自由度的空间运动付。

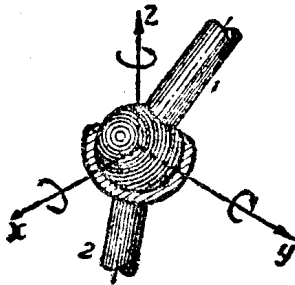


图2—7

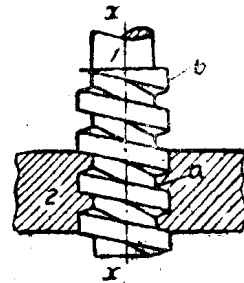


图2—8

## §2-3 机构确定运动的条件

机构是人为的许多实物的组合，其各件之间的相对运动限定不变。按此机构的定义知道，如果将许多构件用运动付连接起来组成运动链，并能使其他所有构件相对某一构件（机架）作确定的运动，那末这个运动链就成为机构。

如上所述，不加任何约束条件的平面运动构件具有三个自由度。如果某一平面机构由 $K$ 个构件组成，当把机架视为固定不动时，其活动构件总数为 $K-1$ 。在未用运动付连接起来之前，它们共有 $3(K-1)$ 个自由度。今将这些构件组成运动付，亦即在构件的相对运动上加上约束条件，结果它们的自由度便失去了若干，其数量随运动付的性质和数目而定。设该机构中包含了 $P_H$ 个平面低付和 $P_B$ 个平面高付，那么这些运动付所加的约束条件数为 $2P_H + P_B$ ，因而该机构相对于机架的自由度数：

$$W = 3(K-1) - 2P_H - P_B = 3n - 2P_H - P_B \quad (2-2)$$

式中 $n = K-1$ 为活动构件数。这种相对于机架的自由度称为机构的活动度。该平面机构活动度公式是俄国科学院院士契貝舍夫于1869年首先提出，所以被称为契貝舍夫公式。

机构中具有独立运动或具有确定机构位置的独立参数且与机架相连的构件称为起始构件。在图上用箭头表示它的运动方向。通常起始构件只具有一个独立的已知运动，如整圈的转动，在某一角度内的摆动；或直线的往复运动。

由机构的定义可知：机构的活动度即运动链对机架的相对自由度，而自由度即独立的已知运动，所以机构的起始构件数应与它的活动度数相等，才能使其余构件作确定的运动。这就是机构具有确定运动的条件。若起始构件数大于机构活动度数，则独立运动过多，该机构在运动中不能满足所有起始构件的给定运动规律。如强迫所有起始构件按给定运动规律运动，则机构中较弱的构件必将破裂。反之，如起始构件数小于机构的活动度数，则机构的运动不能确定，没有实际应用的价值。

如图2-9所示的五杆机构，各构件全部用回轉付连接起来，画斜线的构件5为固定不动的机架，其中活动构件数 $n=4$ ； $P_H=5$ ， $P_B=0$ ，代入(2-2)式中得：

$$W = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2.$$

即机构的活动度为2，故应该具有两个起始构件。如果构件1和4的运动为独立运动， $\varphi_1$ 及 $\varphi_2$ 角为独立参数，则当给予 $\varphi_1$ 及 $\varphi_2$ 一定数值时，该机构中各构件的位置都是确定的。如果只有构件1作独立运动（即只给定 $\varphi_1$ 的数值），则构件2、3、4的位置不能确定。它们还可以处在虚线所表示的位置，也可以处在其它任意位置。

有几个活动度的机构实际上极少遇到，大部分的机构都只有一个或二个起始构件。

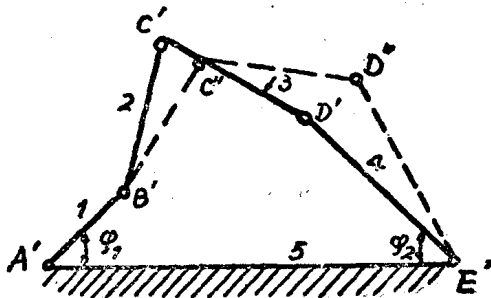


图2-9

### §2-4 机构运动简图的绘制

为便于对机构的结构、运动及动力进行研究，我们常将实际的机构或机器用最简单的示意图来表示；这个示意图就是所谓机构运动简图。同样，我们设计机构的过程中也是这样，先设计出符合实际机器运动要求的机构运动简图，然后再考虑构件的实际构造与形状。所以机构运动简图不同于机械图，后者是进行机械设计制造和装配的图，它必须给出构件的真实形状和尺寸；而机械运动简图是用各种简单的符号来代表各种运动付及构件，把复杂的机器或机构的结构用最简单的示意图表示出来，而不影响原机器或机构运动及动力传递的真实性。

下面我们谈一下关于运动付或构件的代表符号。在平面机构中所用的运动付只有回轉付、移动付(均属平面低付)及平面高付三种。回轉付不管它的大小如何用小圆来表示。图 2-10 表示构件 1 与构件 2 以回轉付连接；若构件 1 为固定的机架，则可以在构件 1 上画以许多短的倾斜线，如图 (б) 及 (в) 所示，图 2-9 所示的五杆机构即表明回轉付的具体应用。图 2-11 的简图表示构件 2 相对构件 1 用移动付来连接，构件 2 只能在构件 1 中移动。同样，图 (г)、(д)、(е) 中画以许多短的倾斜线的构件 1 表示是固定的机架。机构中的平面高付可以将两构件在接触处的实际形状或简化形状画出，图 2-12 表示各种平面高付的代表符号。

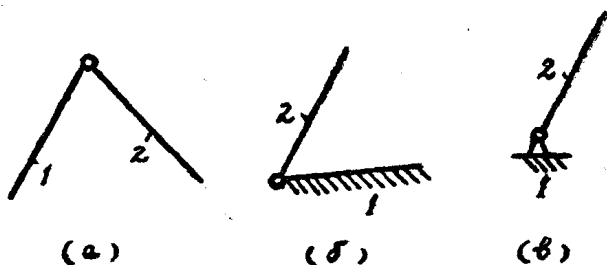


图 2-10

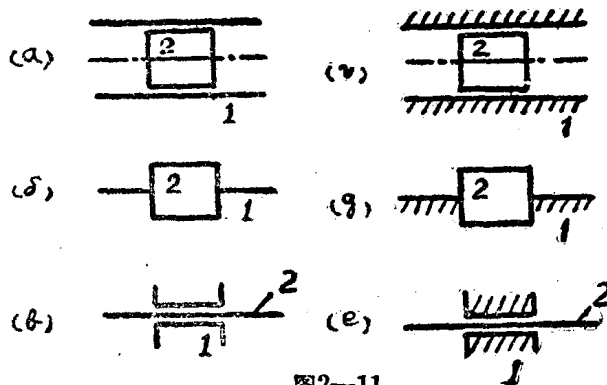


图 2-11

	外啮合圆柱齿 輪高付		凸輪高付
	內啮合圆柱齿 輪高付		曲面高付
符 号	代表意义	符 号	代表意义

图 2-12



平面机构中的构件可以用此构件上各回轉付的中心联綫来代表，如图2—13(a)、(б)、(B)及(Г)所示的各式連杆及曲軸，其上各带有二个回轉付A及B，則我們可以用图(Д)所示的二回轉付联綫AB来表示。其长度应与原构件回轉付中心的联綫相等或成比例。又如

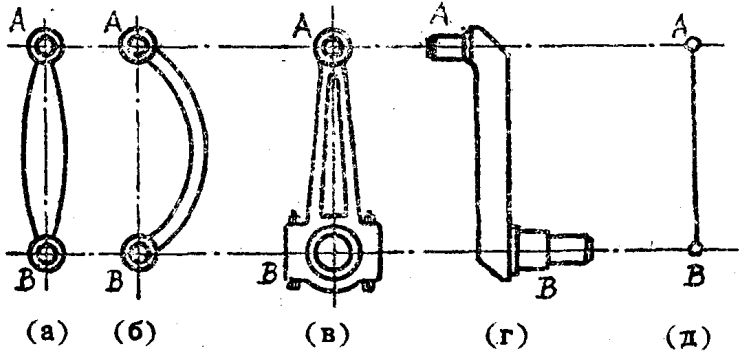


图 2—13

如图 2—14 (a)及(б)所示之連杆及曲軸 其上各带有三个回轉付 A、B 及 C，則我們可以用图 2—14 (B)及(Г)所示的三回轉付中心联綫所組成之三角形 ABC 来表示。同样、中心联綫的长度也应与原构件回轉付中心联綫相等或成比例，当三个回轉付在一直綫上时，則在中間的回轉付外面画以半圓綫，如图(Д)所示，表示AC及CB为同一刚体。如一个构件上有四个以上的回轉付，且不在同一直綫上时，可以

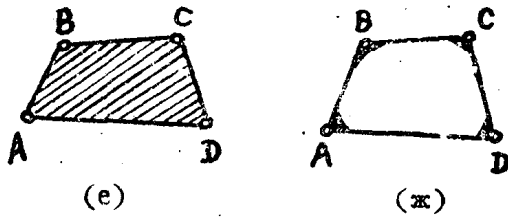
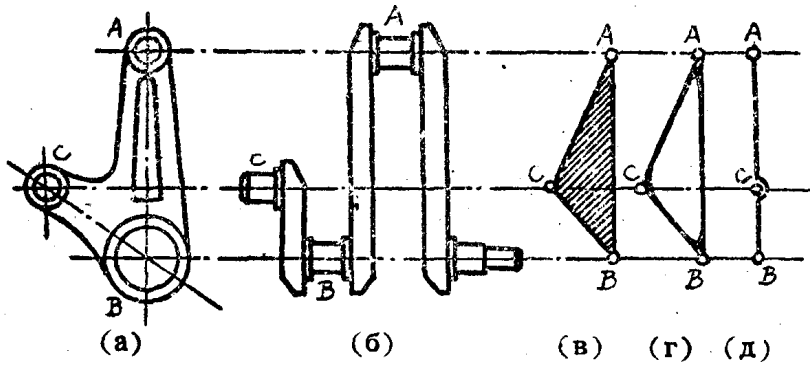


图 2—14

用(e)及(ж)来代表，(ж)图的四个角必須涂黑，表示ABCD是在同一刚体上。如果构件上带有移动付，則可以用滑块来表示，但要画出其与另一构件移动的方向，如图2—15的(a)、(б)、(B)所示。

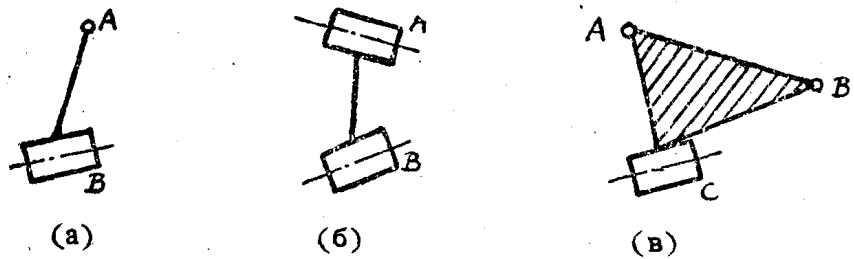


图 2—15

机构运动簡图的繪制方法可如下进行：首先确定机构中的构件数，注意 构件是运动