



机械原理参考讲义

上册

交通大学机械原理教研组编

交 通 大 学

(西安部份)

1958. 8.

序 言

这本参攷讲义是主要根据苏联教材及我組过去历年所編的讲义而編写的。自1955年完成初稿后，其間曾經我組試教过两次，修訂过两次，亦有兄弟院校采用作为教本。

由于在1955年前后，中文机械原理书籍出版得不多，同学参攷、新教师进修都感困难，故我組当时倡議按照下列各項要求編写本讲义：

1. 結合大綱，把机械原理作为一門完整的和系統的科学来敘述，以便初学者掌握整个概念。根据过去的教学經驗，我們建立了把机械原理分成三部分来介紹的編排系統如下。

(i) 机械和机构的一般分析方法，包括机构的結構分析、运动分析和力的分析（包括摩擦力的分析）。

(ii) 常用机构（包括連桿、齿輪、輪系、凸輪及其他机构）研究及其运动設計，把每种常用机构作为一个专题来討論。在(i)的基础上我們认为有可能将这些机构的运动学和动力学問題放在一起討論。

(iii) 机械运轉及其調整，主要研究机械質量、在机械上作用的力及机械运动三者之間的关系及其調整（包括机械运轉、机械調速及机械平衡等問題）。

2. 除了必要的內容之外，尽可能包括一些次要的参攷資料（大多用小号字排印），例如同学在答疑时可能提出要求作进一步介紹的材料，教师无必要在課堂里詳細解說但預备留給同学自学的材料（例如公式的推导，某些枝节問題的討論等），以及某些必要的数据和表格。

3. 在敘述方法上和內容上要求吸收一些我組过去的教学經驗和科研成果。例如在下列各項問題上我們根据自己的見解，在不同程度上編入了一些新的材料：

30—31頁，45—46頁，64頁附录2—4，79—80頁，137—142頁，150頁，188頁，189—192頁，210頁，219頁 II，245—246頁，252頁(3)，281—283頁，307頁，313—314頁，328頁附录7—1，344頁，370—372頁，388頁附录7—4，421—423頁，424頁(5)，492頁(ii)（以上上册），行星輪系配齿公式的証明，計入构件慣性力所作的功

时飞輪轉动慣量的求法; AM 500 型动平衡机的介紹等(以上下册)。

今年整改运动中我校同学大字报反映本讲义与讲课配合,能够帮助同学深入钻研;但过去印的錯字太多,价格太貴。亦有兄弟院校教师反映本讲义对新开課教师稍有帮助。根据这些意見,我們决定于今年6月再吸收一些教学經驗以及最新的科学成就,全面整理、修改和补充一次后付印。重印时校对同志認真負責,交通大学印刷厂在排版时力求节约,故錯誤較少,价格亦降至可能最低标准。

本讲义既属参攷性質,故篇幅較多,如有兄弟院校用作教本,則同学必須重視教师讲课和指导的作用。事实上沒有一本教材或参攷书可以代替讲课。

参加本讲义編写工作的人員是:

章		原編著者		全面正理、修改和补充者		章		原編著者		全面正理、修改和补充者			
一、緒論	} 殷鴻樑	} 陳兆雄	} 來虔	八、輪系	} 來虔	} 吳崇德	九、凸輪	} 陳克宣	} 陳兆雄	} 來虔	} 吳崇德		
二、結構分析				十、其他机构			十一、机械运轉論					十二、飞輪与調速	十三、平衡
三、运动分析				十四、摩擦			十五、动态靜力学					十六、連桿机构	十七、齒輪

§ 6—4 I (3) 是曹龙华先生补充的, 492頁(ii) 是徐曾蔭先生补充的, § 7—17 是請华申吉先生写的, 由負責全面修訂工作的先生所补充或整节整段重新編写的地方很多, 不在此一一列举了。

由于本讲义加入了比較多的新材料, 不妥或錯誤之处或者很多。为了要求讀者对这些材料提出指正, 所以我們在前面把这些新材料一一列举了出来。欢迎讀者多提意見。信請寄“西安交通大学机械原理教研組”。

交通大学(西安)机械原理教研組来虔1958年8月。

上册目录

第一章 緒論.....(1)

§ 1—1 机械与机构.....(1)

§ 1—2 机械原理学的主要内容,它在高等工业学校教学
计划中的地位,在发展国民經济方面的重要性...(27)

§ 1—3 机械原理学的发展簡史.....(32)

第一篇 机械和机构的一般分析方法

第二章 平面机构的結構分析.....(37)

§ 2—1 平面机构結構分析的内容及目的.....(37)

§ 2—2 机构构成要素的基本知識.....(37)

§ 2—3 机构結構簡图.....(45)

§ 2—4 平面机构的运动自由度.....(48)

§ 2—5 平面机构的形成原理和桿組.....(66)

§ 2—6 平面机构的形成分析及結構分类.....(74)

第二章 平面机构的結構分析习题.....(83)

第三章 平面机构的运动分析.....(90)

§ 3—1 平面机构运动分析的内容及其研究的目的和方法(90)

§ 3—2 平面机构速度与加速度图解法的理論基础.....(93)

§ 3—3 第二类平面机构的位置、速度与加速度图解法...(108)

§ 3—4 第三类平面机构的位置、速度与加速度图解法...(130)

§ 3—5 第四类平面机构的位置、速度与加速度图解法...(136)

§ 3—6 平面高付机构的位置、速度与加速度图解法.....(142)

§ 3—7 速度瞬心.....(146)

§ 3—8 平面机构的位置、速度和加速度解析法(数学分
析法).....(154)

§ 3—9 平面机构的运动线图。用线图法研究平面机构的 位移、速度和加速度·····	(158)
---	-------

第三章 平面机构的运动分析习题·····	(169)
----------------------	-------

第四章 机械中的摩擦·····	(174)
-----------------	-------

§ 4—1 概論·····	(174)
---------------	-------

§ 4—2 滑动摩擦·····	(175)
-----------------	-------

§ 4—3 平面的滑动摩擦·····	(178)
--------------------	-------

§ 4—4 楔形面的滑动摩擦·····	(179)
---------------------	-------

§ 4—5 斜面的滑动摩擦、效率及其自鎖条件·····	(180)
-----------------------------	-------

§ 4—6 螺旋付中的摩擦·····	(192)
--------------------	-------

§ 4—7 止推軸頸（軸踵）的摩擦·····	(196)
------------------------	-------

§ 4—8 軸頸的摩擦·····	(201)
------------------	-------

§ 4—9 摩擦圓·····	(204)
----------------	-------

§ 4—10 滚动摩擦·····	(208)
------------------	-------

§ 4—11 柔軛（撓性）体的摩擦·····	(213)
------------------------	-------

第四章 机械中的摩擦习题·····	(215)
-------------------	-------

第五章 平面机构动态静力学·····	(219)
--------------------	-------

§ 5—1 机构中作用的力及其影响·····	(219)
------------------------	-------

§ 5—2 机构静力学及机构动态静力学·····	(225)
--------------------------	-------

§ 5—3 构件慣性力的求法·····	(227)
---------------------	-------

§ 5—4 平面机构动态静力学計算·····	(243)
------------------------	-------

第五章 平面机构动态静力学学习題·····	(271)
-----------------------	-------

第二篇 常用机构研究及其运动設計

第六章 平面連桿机构·····	(273)
-----------------	-------

§ 6—1 平面連桿机构設計所要解决的基本問題·····	(273)
------------------------------	-------

§ 6—2 連桿机构的应用以及連桿机构設計的实际意义·····	(274)
---------------------------------	-------

§ 6—3 四桿鉸鏈机构及其演化·····	(280)
§ 6—4 平面連桿机构設計 (或綜合)·····	(296)
第六章 平面連桿机构习题·····	(320)

第七章 齒輪機構·····(325)

§ 7—1 兩轉動軸間的傳動机构·····	(325)
§ 7—2 漸開綫直齒圓柱正齒輪能保證傳動比不變·····	(337)
§ 7—3 齒廓與齒輪各部分的名称、定义、符号及标准尺寸·····	(348)
§ 7—4 漸開綫直齒圓柱正齒輪齒廓画法·····	(357)
§ 7—5 漸開綫齒廓嚙合傳動时的工作情况·····	(360)
§ 7—6 漸開綫齒輪連續傳動的条件及重合系数·····	(365)
§ 7—7 漸開綫齒輪的傳動質量指标·····	(373)
§ 7—8 齒輪制造主要方法的原理·····	(380)
§ 7—9 漸開綫齒廓的根切現象·····	(392)
§ 7—10 漸開綫直齒正齒輪的最少齒数問題·····	(397)
§ 7—11 任意已知半徑的圓周上的齒厚計算·····	(401)
§ 7—12 移距修正齒輪·····	(404)
§ 7—13 傳動平行軸的斜齒 (螺旋齒) 圓柱齒輪机构·····	(442)
§ 7—14 傳動交錯軸的螺旋齒輪机构·····	(459)
§ 7—15 傳動相交軸的圓錐齒輪机构·····	(475)
§ 7—16 摆綫齒輪與針輪的基本知識·····	(484)
§ 7—17 圓弧齒廓嚙合 (諾維可夫氏嚙合) 概述·····	(501)
第七章 齒輪計算的例題和习题·····	(504)

第一章 緒 論

§ 1 - 1 機械與機構

I 机械(机器)与机构的概念

“机器”的概念是随着科学技术的不断发展而在修正着。“机器”的第一个定义似乎应该说是恺撒 (Julius Caesar) 时代的罗马工程师维特鲁威 (Vitruvius) 所给出的, 他在公元前 1 世纪第 10 年代所著的“建筑术” (De Architectura) 一书里说: “机器是一种由高强度材料做成的联接体, 是在举起与搬运重物时发挥极大功效的木质器械”。彼得一世 (Петр I) 时, 著名的俄国机械师列乌波尔特 (Леупольд) 在 18 世纪 20 年代所著的“机械集锦” (Театр Машинный) 一书里说: “机器的目的是在于节省人力和时间, 更有效地完成工作。任何机器都应该是由金属制成的”。我们认为现代“机器”应该具备下列三个特征:

(1) “机器”是刚强物体的人工组合系统(所谓物体的刚强与否是相对负荷而言的, 例如皮带、绳索等柔韧体之相对拉伸, 液体、气体等之相对挤压都是刚强的)。

(2) “机器”的各个组合部分间必须具有一定的相对运动。这种相对运动可能是周期性的(例如动力机、机床等), 亦可能没有一定的周期性(例如起重机械等)。

(3) “机器”能够使输入的机械能转变为有效功(例如机床), 或转化为其他形态的能(例如发电机); 同样, “机器”也能够把其他形态的能转化为机械能。

凡仅具备上述(1)、(2)两个条件的装置, 称为“机构”。所以“机构”的定义是, “具有一定相对运动的刚强物体的人工组合系统”。也就是说, “机器”具有能量(而且总包括机械能)的变换, 而“机构”

只具有运动的变换。

“机器”可能是由许多各种不同型式的“机构”所组成的，也可能只包含一个主要“机构”。功用不同的各种机器可能具有同样的主要机构，例如内燃机(图 1-1 a)和冲床(图 1-2 a)的生产任务虽然完全不同，但是它们具有同样的主要机构(是曲柄滑块机构，见图 1-1 b 及 1-2 b)。

我们以后认为“机械”是“机器”的另一通称，但习惯上有时把“机械”当作是“机器”与“机构”的总称。

象钟表、计算机等的主要任务是获得一定的运动转换，我们通称它们为“仪器”，也可以说是一种“机构”。又如锉刀、榔头等由单一刚体所组成的器械，它们的运动完全决定于操纵者的技巧，它们的组成部分间并无一定的相对运动，这些器械不能称为“机器”或“机构”，我们通称之为“工具”。又如桥梁、房屋等建筑结构，虽然也是刚强物体的人工组合，然而由于它们在外力作用下并无一

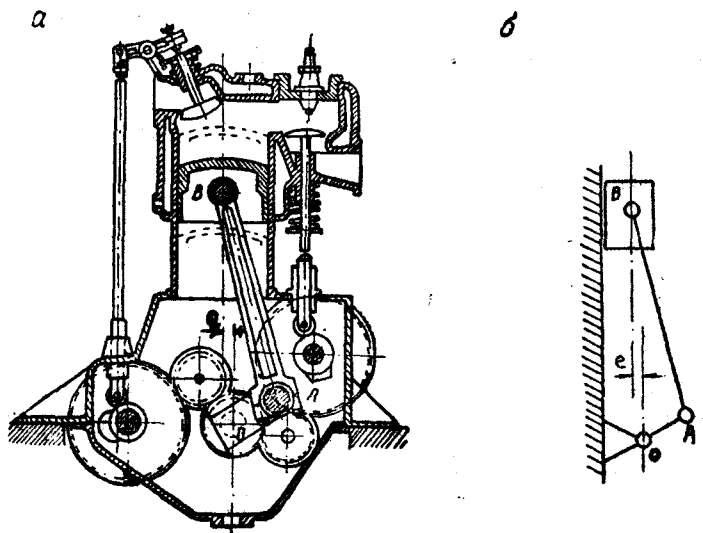


图 1-1

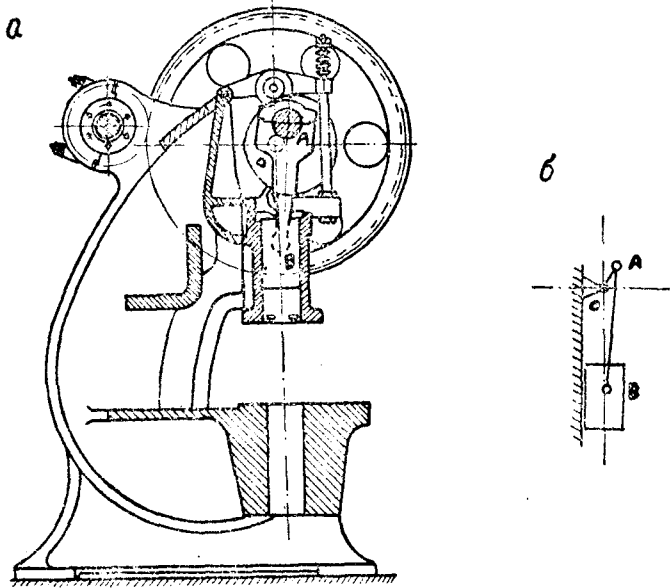


图 1-2

定的相对运动，亦无机械功能的传递或转化，所以不能称为“机器”或“机构”；习惯上把建筑结构称为“桁架”。变压器（电能→电能）和蒸汽锅炉（化学能→热能）等器械在能量转化过程中不包括机械能在内，所以根据上述“机器”的概念，严格地说不能称为“机器”，我们可以把它们称做“器具”。

目前国内工矿企业中关于“机械”、“机器”、“机构”、“仪器”、“工具”等名称的区分并未取得一致，它们的定义亦尚未明确。关于这方面的工作，尚有待作更进一步的探讨。

II 机械设备

18 世纪末叶，在英国的棉纺织工业中首先开始使用近代机器。但是大规模采用机器生产和机器制造工业的广泛发展则在 19 世纪中叶以后。对当时的机械设备情况，卡尔·马克思（Heinrich Karl Marx 1818—1883）曾在他的名著“资本论”（1867 年出版）里作了权威性的分析。他说，当时工业中先进的

发达的机械設備，都是由三种不同类型的机器——**原动机、工作机和傳動裝置**——所組成。当然，那时候的原动机只是一些速度很低，馬力很小而且体积龐大，效率很低的往复式蒸汽机，工作机也往往很笨重，又不精密，傳動裝置則多半是通过天軸、皮带等組合来把原动机的动力傳递给整个車間的工作机。最近 100 年来机器的发展是迅速而惊人的，我們不妨来回顧一下机械設備的发展經歷。

“原动机”又称**“发动机”**，是一种把其他形态的能轉化为机械能的机器。最原始的发动机是利用人力、畜力或天然力（风力、水力）等来发动的；例如中世紀欧洲最盛行的用在磨坊中的风車，中国农村中目前还看得見的装有木质齿輪傳動的水車等。一直到 1784 年英国格拉斯哥大学技工瓦特（James Watt）完成了改良蒸汽机的发明以后^{*}，原动机开始迅速地发展。新的原动力又进一步推动了工业的发展，这些日益发展着的工业向人們要求提供更完善的原动机。于是設備輕便的内燃机便首先代替了蒸汽机出現在交通运输业中。更由于电能的被发现利用，先后相繼出現了发电机和电动机；蒸汽輪机亦适应发电設備的要求而逐漸代替了往复式蒸汽机。在现代鉄路运输业中亦趋向用内燃机和电机来代替蒸汽机。在航空事业中，燃气輪机已适应高速飞行的要求而迅速地发展起来。苏联在 1957 年成功地发射了两顆人造卫星，1958 年又发射了第三顆更大的人造卫星。在人造卫星的运载火箭中，燃气輪机和压缩机联合动力系统已达到了空前的水平。这些机器都向着高速、高效率和大功率的方向发展着。古老的利用自然能发动的机器，也隨着新技术的改造面临着新的任务。水輪机已在日益发展着的水力发电設備中广泛采用了。在高原和沙漠地带，例如在我国的柴达木盆地，利用风力、太阳能、和地球內在蘊藏的熱能来設計新式的发动机的任务，已經引起了很多人的注意，并正在着手研究中。現在我們又面临着第二次工业革命的前夕——广泛利用原子能动力的时代。苏联已建造了第一座原子能发电站。我国在最近也建成了第一座原子反应堆和旋迴加速器。在征服自然和改造自然的工作中，在探索宇宙秘密、开展星际航行的事业中，新的原子能动力的发展前途是无法估計的。

“傳動裝置”是指把原动机的动力傳送到工作机上去的中間裝置。在机器工业发展的初期，动力的傳递多半是通过天軸、皮带等来完成的；由于电动机的发展，現在这种群体拖动的方式已被淘汰掉了。目前不仅仅普遍采用工作机

註* 1763—1765 年，俄国依·波尔惹諾夫（И. Ползонов）制成第一架工厂用蒸汽机，但未能推广发展（參攷科学大众十卷三期“蒸汽机发明人”）。

的单独拖动，而且在重型机械上已广泛采用个别机构的个别拖动；可以说传动装置已逐渐成为工作机的附属装置了。目前的传动装置以齿轮用得最多，而且趋向于使用可装卸的独立齿轮箱装置。在工作机上还广泛采用着液压传动装置。在自动控制与操纵方面还应用着电磁传动。正在发展着的利用电子的远距离控制和操纵，也可以认为是传动装置中一种最新型式的尝试。

“工作机”是改变材料或工件的性质、形态、或位置的机器。它的种类与型式很多，例如金属切削机床、起重运输机械、各种工业的机械装备、农业机械等均是。近几十年来在工作机方面的发展是非常迅速的，主要是向自动化和自动控制的方向发展。在工作机的自动化系统中，除了生产工序的自动化之外，已发展到了能自动检验产品、自动分类、自动统计产品数量和自动清除废品。在自动控制的过程中（主要是自动调节生产过程的负荷和自动控制生产过程的稳定性和安全性），除了采用机械装备外，还广泛利用液体、电气和电子装备。

在最新式的工厂中，生产过程全部自动化已经实现了。例如在苏联，建立了一个高度自动化的生产发动机活塞的自动工厂。在这个工厂里，从铸造活塞毛坯开始，一直到活塞检验、计数、包装、输送为止是全部自动化的。工作人员只是在殊特的管理台上操纵和控制必要的生产过程。

在我国第一个五年计划期间所建立的近代化工厂，生产自动化已经达到了相当高的水平。例如在第一汽车厂，对于汽车发动机汽缸体的加工已建立了联合生产自动线；在铸造车间里，从造型、浇铸一直到铸件清理以及型砂处理和配合等，已建立了连续的自动输送系统。在机械制造业、食品工业和各种轻工业中，自动或半自动工作机的应用以及产品的装配、运送等的自动装置已很广泛。在我国十二年科学研究规划中，自动化的研究是其中一个重要的组成部分。相信在不久的将来，我国将出现更多更高级的自动化生产企业。

III 典型机构介绍

现在我们来介绍几种一般机械上常用的典型机构。对于某些重要的常用机构还将在第二篇“常用机构研究及其运动设计”里专章讨论。由于机构型式繁多，所以我们把它们按照某些原则归类介绍。

首先我们按照分析机构时所依据的基础理论分成下列几类：

(i) 机构中各构件是刚体或柔韧体（相对拉伸而言，仍是刚体；例如皮带传动、绳索传动，以及图 1—3 所示的挖土机中的链条传动等等）。研究这些机构时，要应用刚体力学（理论力学）的定律和结论。这是目前应用得最广

泛的机构，我們以后主要亦是研究这一类机构。

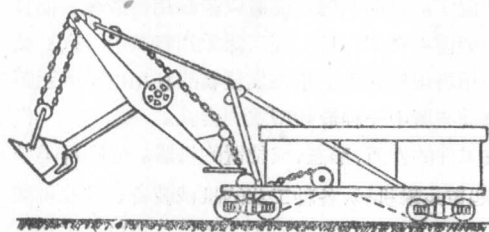


图 1-3

(ii) 机构中具有弹性

构件。即机构中从动构件的运动规律不仅决定于原动件的运动规律，而且要考虑到弹性构件的变形；需要应用弹性理论的方法来研究这些构件的运动。例如求图 1-4a 所示弹簧铰（图 1-4b

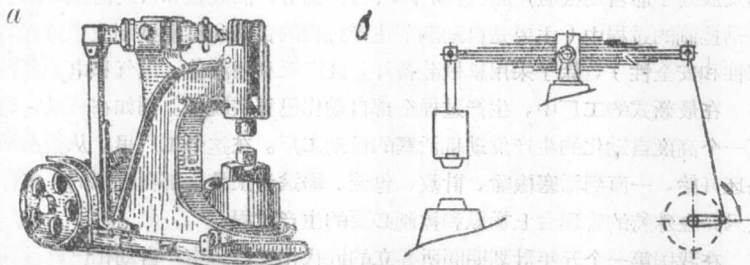


图 1-4

是它的结构示意图) 各构件的速度时，必须考虑弹簧的振动。

(iii) **液动或气动机构。**这类机构中从动件的运动与流体的压力和流量有关。研究这种机构时，要利用流体力学的定律和知识。图 1-5 表示一传递迴转运动的液体传动机构。具有许多叶片的主动轮 1 绕 A 轴迴转，将液体由 b 送至 c，推动从动轮 2 的叶片 d 使其绕 B 轴迴转。图 1-6 表示一传递往复移动的液动机构，这种液体传动机构已广泛应用于新式的金属切削机床中。它的工作原理是利用改变液体的压力、流量和流动方向来控制一与机床工作台 8 固连的活塞 6 与杆 7 的往复移动，以使机床工作台能得到一定的往复移动。当横杆 3 的上端在如图所示的左边位置时，液体由 a 经 b 和节流阀 9 送入缸 5 的左腔，向右推动 6、7 及 8，此时缸 5 右腔中的液体将按图 1 箭头方向流回储液池 1。利用 8 上左边挡块 c 可使横杆 3 绕挡块 d 转动，将滑阀 4 推至左端(3 的上端居右边位置)。这时液体流入缸 5 的右腔，推动机床工作台 8 向左。节流阀 9 可以调节进入缸 5 的流量。过量液体经活门 10 流回储液池 1。

图 1-7 表示一用压缩空气来控制运动的空气铰，铰的运动规律决定于压缩空气的压力与流量。

(iv) **电动机構**。这种机构中,某些从动件的运动决定于可以自动調整或控制的电磁場的作用。研究时要应用电工学的理論。图1-8表示一电鉄磁控制的齿条棘輪机构,当磁铁1的綫圈中有电流通过时,槓桿2被吸至电磁鉄上,棘輪爪3便推动与齿条4固連的构件沿箭头方向移动。擋块5的作用为使桿4的移动不能多于一个齿。

利用光电系統来控制或操縱构件的运动已广泛应用于冲压、軋輾等設備中。

最近还发展了利用无线电和电子控制的远距离操縱。

目前机械原理学教程中的研究对象是上述第(i)类的机构。下面我們把这类机构中的某些常用机构加以归类介紹。将机构进行合理的分类,是研究机构时的强有力的工具。机械原理学家們在机构分类方面有許多不同的見解和論点。

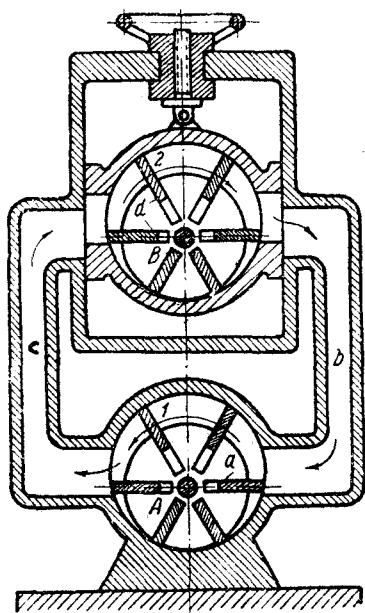


图 1-5

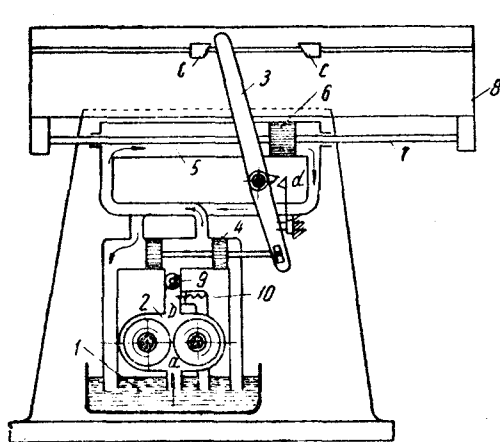


图 1-6

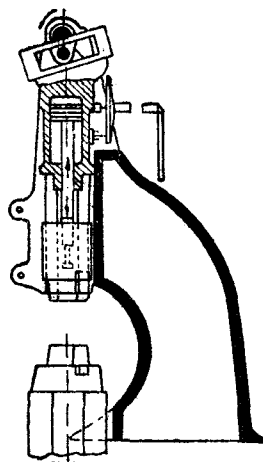


图 1-7

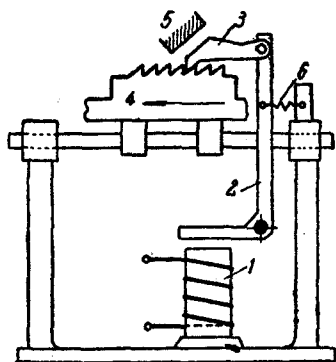


图 1-8

我們在这里按照机构的构造特征将各种典型机构分类介绍如下:

(1) 連桿机构

連桿机构是由刚性金属桿通过鉸鏈或移动滑槽拼接而成。

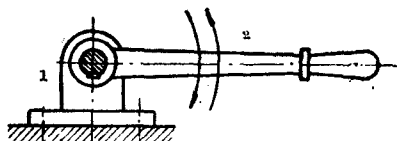


图 1-9

連桿机构中最简单的原始型式是两桿机构(图 1-9), 它是由机架 1 及繞固定軸承迴轉的連桿(轉子) 2 所組成的。一般旋轉式机械如电动机、鼓风机等均属两桿机构。

由于三个构件用鉸鏈拼接后将形成一刚性系统, 所以不能成为机构。

連桿机构中最基本的型式是四桿机构(参看图 1-10)。其中用鉸鏈与机架直接拼接并能繞机架轉过 360° 的构件称为曲柄, 只能在一定角度內搖摆的构件称为搖桿, 不与机架直接拼接的构件称为連桿。图 1-10 即表示一曲柄搖桿机构。图 1-11 所示的偏心輪机构是曲柄搖桿机构的一种变态, 它們有相同的运动情况。

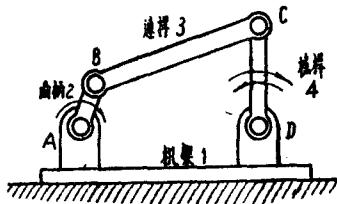


图 1-10

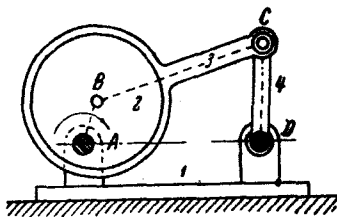


图 1-11

四桿机构中, 两个用鉸鏈和机架直接拼接的构件如均只能在一定角度內搖摆(即机构中有两个搖桿), 則称为双搖桿机构。起重机(图 1-12c)中的主要机构即为双搖桿机构(图 1-12a), 是利用双

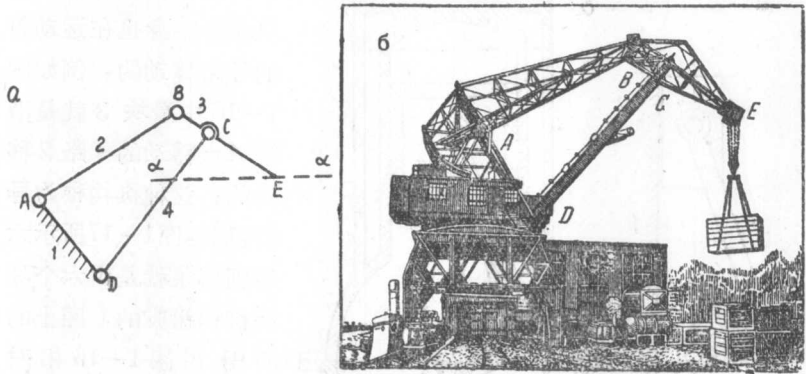


图 1-12

搖桿機構中連桿 BC 的延長線上 E 點的軌迹 (其中 $\alpha\alpha$ 一段為近似的水平直線) 來完成平移重物的任務。

四桿機構中，如果兩個用鉸鏈和机架直接拼接的構件均能作 360° 的迴轉運動 (即機構中有兩個曲柄)，則稱為**雙曲柄機構** (圖 1-13)。圖 1-14 所示水泵機構即是由四個雙曲柄機構組成 (所註符號與圖 1-13 相對應)。

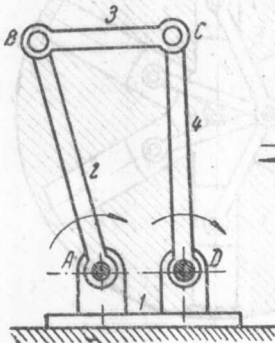


图 1-13

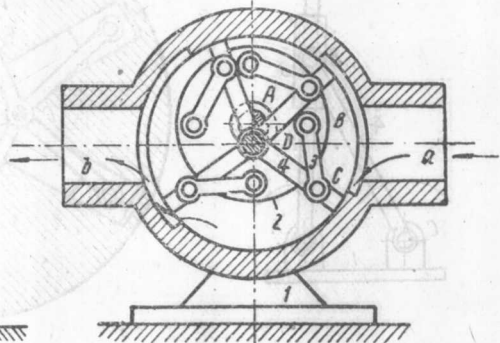


图 1-14

連桿機構中的移動構件稱為**滑塊**。圖 1-15a 表示一曲柄滑塊機構，往復式發動機 (內燃機、蒸汽機等) 與壓縮機等多採用這種機構。圖 1-15b 表示具有曲柄滑塊機構的單氣缸內燃機示意圖。

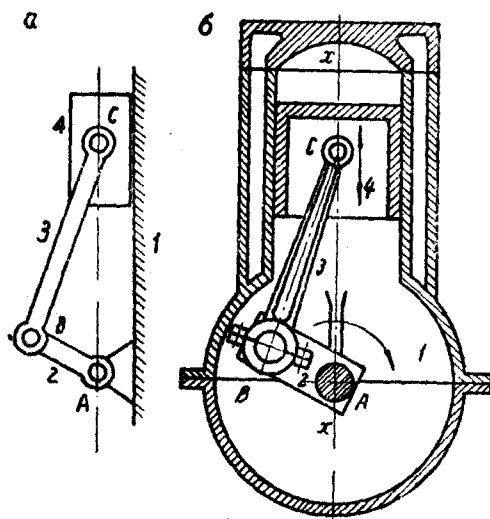


图1-15

四桿机构中有些滑块是沿本身也在运动着的导路移动的，例如图1-16中滑块3就是沿繞A点轉动的导路2移动的，这种机构称为导杆机构。图1-17所示六缸迴轉泵就是由六个导杆机构組成的（图上的符号和图1-16相对应）。

含有两个滑块的四桿机构称为双滑块机构。图1-18表示一由

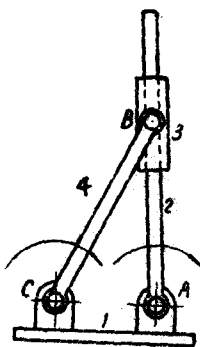


图 1-16

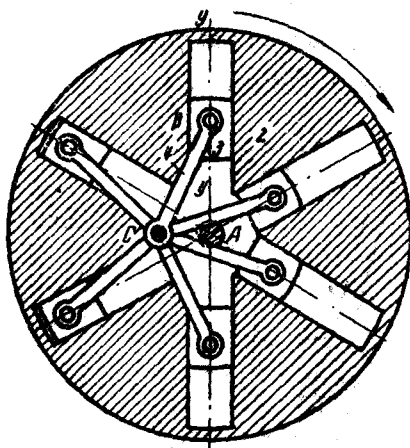


图 1-17

双滑块机构組成的压缩机的示意图。

在机械工程上也应用多构件的連桿机构。图1-19是八桿鉸鏈机构，当它滿足条件： $AB=BC$ 、 $AD=AF$ 、 $CD=DE=EF=FC$

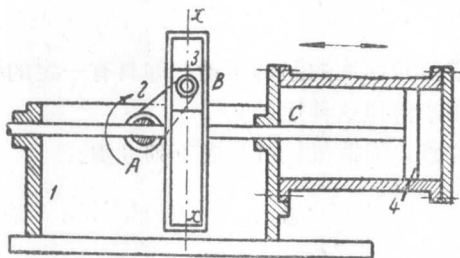


图 1-18

时，则机构上 E 点会准确地沿垂直于 AB 方向的直线 qq 运动。这种机构有时用于圆锯机床上(图1-20)。

牛头刨床的主体机构也是一种多构件的连杆机构。图1-21a表示牛头刨床机构的一种型式，6图是它的结构示意图(称为结构简图)。

更复杂的连杆机构在实际上也还会遇到，例如图1-22a表示一用在蒸汽机车中的配汽机构，6图是它的结构示意图。

上面介绍的都是平面连杆机构。在机器中也常用空间连杆机构。

图1-23表示一球面四杆机构，在机器中用得很多的万向联轴节(图

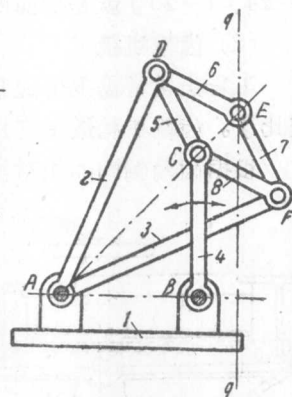


图 1-19

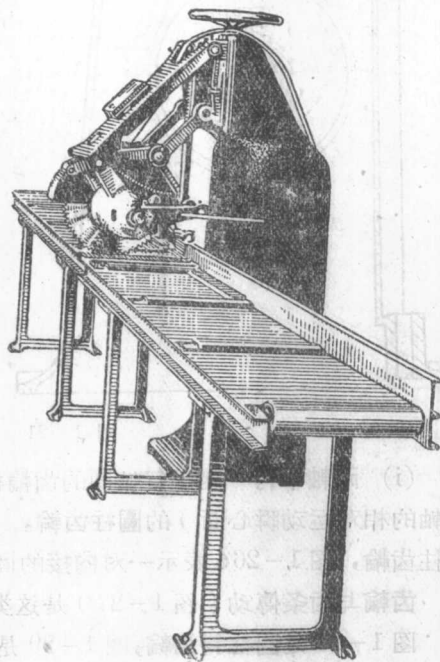


图 1-20