



机械原理简明教程

B. Д. 卡 尔 林 著
C. M. 别洛策尔可夫斯基

高等教育出版社

机 械 原 理 簡 明 教 程

B. Д. 卡 尔 林 著
C. M. 别洛策尔可夫斯基
汪 学 信 譯
曹 国 惠 等 校

高 等 教 育 出 版 社

本書系根据卡尔林(В. Д. Карлин)、別洛策尔可夫斯基(С. М. Белоцерковский) 所著“机械原理簡明教程”(Краткий курс теории механизмов и машин) 1950 年版譯出的。原書提供了机械原理的一些基本知識,并以最簡單明显的方法,主要是以圖解法来研究各种問題。

本書供“机械原理”学习时数較少的非机械类专业学生之用,也可供一般初学人員参考。本書由汪学信同志翻譯,曹国惠、赵国华、陆鐘昌、楊仲樞等审校。

机 械 原 理 簡 明 教 程

В. Д. 卡尔林, С. М. 別洛策尔可夫斯基著

汪学信譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承惠寺7号
(北京市书刊出版业营业許可証出字第054号)

上海国光印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·571 开本 850×1168 1/32 印張 6 5/16

字數 149,000 印數 1—14,000 定价(9) 洋 0.80

1958 年12月第1版 1958 年12月上海第1次印刷

序

本書供机械原理学习时数較少的非机械类专业学生之用。本課程系研究机械与机械的一般性質，因此学习了这課以后，对于机械零件的学习、对于研究各种具体机械及其性能的各种专业课程的学习应当是非常有利的。

本書仅提供了机械原理的一些基本知識，并以最簡單最明显的方法、主要是以图解方法来研究教材。

上述教材以祖国学者的著作——十月革命前俄国学者的經典著作，并主要是苏联学者、而首先是 Н. Г. 布鲁叶維奇 (Бруевич) 院士，И. И. 阿尔托包列夫斯基 (Артоболевский) 院士，苏联科学院通訊院士 В. В. 多布罗沃尔斯基 (Добровольский)，Г. Г. 巴拉諾夫 (Баранов) 教授的研究著作为基础。本書自現代机械原理所涉及的整个广泛材料中，精选了一些首先是对非机械专业工程师有益处的問題。

本書的一般叙述系采用作者在本書科学編輯 Г. Г. 巴拉諾夫教授直接指导下工作时所学得的方法。作者特趁此机会向 Г. Г. 巴拉諾夫教授致以深厚的謝意。

作者

目 录

序

緒論	1
第一章 基本概念与定义	8
§ 1 运动副	8
§ 2 平面运动副的分类	11
§ 3 运动副的图示法	12
§ 4 确定平面机构自由度数的契貝謝夫公式	14
第二章 第一类运动副的平面机构的运动分析	17
§ 5 研究运动的任务	17
§ 6 比例尺	18
§ 7 机构图。点的軌迹。位置图	20
§ 8 速度与加速度的基本方程式	22
§ 9 具有第一类运动副的四连杆机构运动学的基本問題的解法	27
§ 10 运动学的补充問題	33
§ 11 軌迹曲率半徑的求法	42
第三章 凸輪机构	47
§ 12 一般概念	47
§ 13 凸輪机构的各种类型	50
§ 14 推杆的运动規律	52
§ 15 按已知的凸輪輪廓作推杆的位置图	56
§ 16 在其他情況下位置图的作法	58
§ 17 根据推杆位置的已知規律作凸輪輪廓	62
§ 18 滾子半徑的选择	62
§ 19 压力角的概念	64
第四章 齿輪机构	68
§ 20 齿輪傳动的用途与种类	68
§ 21 节点与节圓	70
§ 22 正常齿輪的基本尺寸	74
§ 23 漸开綫和它的基本性質	77
§ 24 嚙合綫。嚙合角。基圓半徑。齿輪和齿条的嚙合	79

§ 25	共轭点。齿廓的工作部分	82
§ 26	啮合弧及重合系数	83
§ 27	齿轮齿廓设计的例题	86
§ 28	圆锥齿轮	89
§ 29	蜗轮蜗杆传动	93
§ 30	传动比。多级传动	95
§ 31	差动机构	99
第五章	机构与机械中的摩擦	108
§ 32	关于摩擦的一般知识	108
§ 33	滑动摩擦的定律	109
§ 34	摩擦角。计算移动副中摩擦的实际法则	112
§ 35	摩擦圆。计算转动副中摩擦的实际法则	113
§ 36	滚动摩擦	114
§ 37	滚子和小车的相当摩擦系数	116
§ 38	机械效率	119
§ 39	自锁现象	121
§ 40	串联机构的效率	122
§ 41	并联机构的效率	124
§ 42	摩擦轮	126
第六章	机构动态静力学	131
§ 43	动态静力学的任务	131
§ 44	构件惯性力的大小、方向和作用线的求法	132
§ 45	用个别集中质量代替构件的质量	134
§ 46	构件惯性矩的求法	138
§ 47	以布登叶维奇法研究四连杆机构的动态静力学	140
§ 48	儒可夫斯基原理	148
第七章	在已知力作用下机构的运动	155
§ 49	引言	155
§ 50	扭转力矩。阻力矩。剩余力矩	156
§ 51	求原动件角速度的近似法	157
§ 52	机构运动的各种状态	159
§ 53	不均匀系数。飞轮的用途与选择	161
§ 54	调速器的用途	164
第八章	旋转质量的平衡	169
§ 55	旋转运动时所产生的惯性力	169
§ 56	平衡的任务。静平衡及动平衡的条件	170

§ 57	以集中質量代替物体	172
§ 58	平衡重的大小和位置的決定	173
§ 59	靜均衡	177
§ 60	施奇可夫型机械上的动均衡	178
第九章	空間机构的一般叙述	185
§ 61	空間运动副	185
§ 62	空間机构自由度数的公式(馬萊雪夫公式)	188
§ 63	球面机构及万向联轴节	189
結論		193
参考書刊		

緒 論

机械原理所研究问题的范围是机械中所发生的力学过程。关于这些问题,首先是:研究机构或机械中各点的轨迹、速度和加速度,决定作用在机构或机械不同部分上的力(其中包括摩擦力和惯性力),根据作用力了解机构或机械的运动。

这些问题构成了机构与机械分析的基础。同时,研究了这些问题也就能解决机构与机械综合的问题。所谓机构或机械的综合,乃是按已知条件设计机构或机械的问题。在这本简明教程中,我们将熟悉机构与机械分析的基础,而在某些最简单情况中也将涉及机构与机械综合的问题。

因此,机械原理课程包括着每个工程师所必须熟悉的许多技术问题。然而,只从技术观点出发来研究机械,我们是脱离了问题的另一个最重要的一面(社会经济的一面)的。这样的脱离只不过是研究的方便。因此在机械原理课程中所进行的分析,应当看作只是研究整个问题的一个步骤而已。

历史唯物主义教导我们说:“社会发展史首先便是生产发展史,数千百年来新陈代谢的生产方式发展史,生产力和人们生产关系的发展史”^①。

机械与机构^②是劳动的工具,它构成了生产力的一个重要的部分。而生产力的发展将不可避免地引起生产关系的改变。恩格斯谈到这个问题时写道:

^① 斯大林:“辩证唯物主义与历史唯物主义”,载于“列宁主义问题”第862页,人民出版社,1953年版。

^② 在本教程中没有必要作出机械与机构两者间的任何区别。后文中这两个名词将代表同一个意义,而采用哪一个将根据习惯的用法而定。

“十七八世紀努力制造蒸汽機的人們，他們那里曉得這正是使全世界，特別是歐洲社會狀況發生革命的主要手段呢？他們那里曉得會因此使少數人變成大財主而使最大多數的人們變成一無所有的窮光蛋，以致資產階級取得政權而形成了以消滅資產階級和階級對立關係為最後結果的資產階級和無產階級之間的階級鬥爭呢？”①

由以上所引的話中又可知道，在資本主義社會里，機械不可能用來減輕大多數人的勞動。在資本主義制度下，機械成為制造剩餘價值，奴役和壓迫勞動人民的工具。

只有在社會主義制度下，機械才用來減輕人類的勞動，增進勞動人民的福利。只有在社會主義制度下，生產力和生產關係才能協調，使整個國民經濟有機械化的可能並且不可避免地蓬勃發展起來，“這樣的事在以前只是個空想”（恩格斯）。

談到機械的定義時，必須指出，只有那指出機械是怎樣從工具發展起來的以及它與工具又有什么不同的，即含有歷史因素的定義，才是正確的定義。馬克思就曾經作出了這樣一種定義的范例，他寫道：

“一切發展了的機組，都由三個在本質上不同的部分——發動機、傳動機構與工具機（即工作機）——組成。發動機是整個機構的主動力。它或者象蒸汽機、熱機、電磁機等等一樣發出它自己的動力，或者象水輪（利用水落）、風磨翼輪（利用風力）等等一樣，受現存的外界自然力的推動。傳動機構以飛輪、轉軸、齒輪、偏心輪、杆件、傳動帶和皮帶、以及各種各樣的傳動配件和附件來調節運動，並在必要時改變運動的形態（例如，由直線運動變為轉動），並將運動分配和傳遞到各個工作機上。這兩部分機構專為推動工作機用，從而能使工作機掌握勞動對象，使其發生適當的改變。十八

① 自然辯證法，恩格斯著，鄭易里譯，三聯書店出版，第201頁——譯者注。

世紀的產業革命，恰恰以機械的這一部分——工作機為出發點。直到現今，每遇手工業生產或手工業工場生產轉化為機器生產時，依然以工作機為出發點。

“若更精密地考察一下工具機或真正的工作機，就知道，手工業及手工業工場勞動者工作時所使用的設備和工具，都以大大變化了的形態出現了。然而這已不是人用的工具，而是機構用的、或機器用的工具了。所以，工作機是這樣一個機構，它被推動之後，便使用它的工具，和以前使用同種工具的勞動者一樣，作同樣的工作。究竟動力是由人產生，還是由一部機器產生，這不會影響問題的本質。自真正的工具從人手里移到機構上來以後，機器便代替着單純的工具了。即使在人還是用自己作為原始發動機的場合下，機器與工具的差別仍可一望而知。一個人能同時使用的工具數，要受他的天賦生產工具（就是他自己的身體器官）的數目限制。……因此同一工作機所同時運轉的工具數，自始就不象手工業者的工具那樣受生理器官的限制。”①

接着他又說：

“產業革命由以出發的機器，是用一種機構代替只使用一個工具的工作者，這種機構，有許多同樣或同類的工具在一起工作，并由一個任何形態下的原動力所推動。在此，我們有了機器，但那還只是機器生產的簡單元素。”

“工作機的尺寸與同時在工作機上發生作用的工具數的增加，就需要更大的發動機體。這個機構為了要克服它的阻力，就必須使用比人力更大的原動力，——更不用說，當作生產工具的人極不適于產生劃一的連續運動。”②

他又說：

“自工具由人身有機體的工具變為機械裝置的工具（即工具

① 資本論，馬克思著，郭大力、王亞南譯，448～450頁，人民出版社1956年版。
譯文稍有修改——譯者注。

② 資本論，同上，452頁。

机)以来,发动机也就取得一个独立的完全不受人力限制的形态了。从这时起,我們以上所述的个别的工作机就降为机器生产的簡單元素了。现在,一个发动机可以同时推动許多工作机了。随着同时运转的工作机数的增加,发动机也增大了,传动机构也就扩大为多方面的装置了①。”

机械原理的发展和机械生产方法的发展紧密地相連着。机械原理产生于十八世紀末叶,当时已发展起来的工业及机器制造业要求有一种能解决一系列新问题的理論。当初解决这些新问题的方法是以建立独立的方法来研究各个具体对象。但是实用的机构与机械却是各式各样的,因而就需要有解决这些问题的一套新的共同方法。

偉大的俄罗斯数学家与力学家 П. Л. 契貝謝夫(Чебышев)院士是机械原理俄罗斯学派的創始人。他写了一系列关于机械原理的著作;他是解决机械原理中最困难最細致的问题——綜合问题的最进步方向的奠基者;他提出了很多完全新的机构。

1869年 П. Л. 契貝謝夫院士注意到了机构的結構与性質的密切关系。他导出了第一个公式,它是一个机构的構件数目和这些構件所組成的运动副数目与机构所产生的运动相連系起来的公式②。后来(1913—1918年間)俄罗斯教授 Л. В. 阿苏尔(Ассур)完全研究出了具有转动副的平面机构的結構问题,指出了研究这些机构的方法与机构結構的直接关系,并在这个基础上提出了研究机构的許多新方法③。Л. В. 阿苏尔的这些研究就成为現代机构学的基础。

① 資本論,馬克思著,郭大力、王亞南譯,455頁,人民出版社1956年版,譯文稍有修改——譯者注。

② П. Л. Чебышев “О параллелограмах”, 1869 г. Полное собрание сочинений т. II. 1907. г.

③ Л. В. Ассур “Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификаций”, Известия С.-Петербургского политехнического института, 1913—1918 гг.

机械原理的其他重要部分也同样在发展着。在1876—1878年間 И. А. 維师涅格拉德斯基 (Вышнеградский) 发表了对自动調整問題的卓越研究^①。И. А. 維师涅格拉德斯基的著作奠定了新技术的理論基础——自动調整理論的基础。

Н. П. 彼德罗夫 (Петров) 教授是流体动力摩擦理論的創造者, 他在1883年发表了他的經典著作“机械中的摩擦及潤滑油对摩擦的影响”。这部著作及他的重要研究“机械中的摩擦及潤滑液体对摩擦的影响”(1886年) 曾获得了科学院的罗蒙諾索夫 (Ломоносов) 獎金。

“俄罗斯航空之父” Н. Е. 儒可夫斯基 (Жуковский) 創造了許多关于机械原理各方面的光輝著作。在这里应首先指出他的著作“論軸頸与軸承間潤滑层的摩擦”(1904年) 及“將运动鏈动力問題归結为杠杆問題”(1911年)。上述第一部著作是他与 С. А. 恰普雷金 (Чаплыгин) 合著的。

因此, 我們知道, 自开始研究机械原理起至十月革命为止的这段时期中, 俄国大批卓越的学者已將它組成为一門完整的科学。这些学者給現代机械原理奠定了基础。

但是, 机械原理的真正发展, 还是在偉大的十月社会主义革命以后。祖国机械制造业的蓬勃发展促使我們的学者特別注意那些在設計現代新机械时具有重要意义的問題。在这簡短的緒言中, 即使对苏維埃学者有关机械原理的最重要著作, 也很难作出較完整的概述。因此我們只提出其中某些著作。

И. И. 阿尔托包列夫斯基 (Артоболовский) 院士及 В. В. 多布罗沃尔斯基教授的著作进一步发展了机构結構原理。В. В. 多布罗沃尔斯基教授提出了將机构分成五个基本族的概念, 并由此

^① И. А. Вышнеградский “О регуляторах прямого действия”, 1876 г. “О регуляторах непрямого действия”, 1878 г.

得出了最普遍形式的結構公式^①。И. И. 阿尔托波列夫斯基院士將阿苏尔的分类原則推广到所有的机构族上^②。И. И. 阿尔托包列夫斯基院士与 В. В. 多布罗沃尔斯基教授的研究扩大了現代技术所能制造及应用的机构的范围。

Н. Г. 布鲁叶維奇院士的研究是发展机构运动学与动态靜力学的重要阶段。他研究出了分析現代机构的新穎方法^③。Н. Г. 布鲁叶維奇院士的著作是基于阿苏尔分类的第一部著作。

苏維埃学者的著作完全研究出了空間机构的运动及动态靜力分析。Н. И. 密尔查洛夫 (Мерцалов) 教授早在 1922 年在季米略雪夫 (Тимирязев) 农业学院机械制造系就首次講授了空間机构原理的系統課程。А. П. 馬萊雪夫 (Малышев) 教授于 1923 年得出了确定空間机构自由度数的公式, 因而將 П. Л. 契貝謝夫公式应用到机构最普遍的情况中。Г. Г. 巴拉諾夫教授首先解决了作七構件空間机构平面图的困难問題^④。Н. И. 密尔查洛夫^⑤教授, И. И. 阿尔托波列夫斯基院士^⑥, Г. Г. 巴拉諾夫教授及 Н. Г. 布鲁叶維奇院士^⑦研究出了求空間机构的速度与加速度的方法。Н. Г.

① В. В. Добровольский "Система механизмов", 1943г. "Теория механизмов", 1946 г.

② И. И. Артоболевский "Опыт единой классификации механизмов", Известия ОТН, АН СССР, № 10, 1939 г.

③ Н. Г. Бруевич "Применение векторных уравнений в кинематике плоских механизмов", Труды ВВИА, № 10, 1935 г.; "Кинематика плоских механизмов", Труды ВВИА, № 10, 1935 г.

④ Г. Г. Баранов "Кинематика пространственных механизмов", Труды ВВИА, № 18, 1937 г.

⑤ Н. И. Мерцалов, "Пространственная семизвездная шарнирная цепь", Вестник инженеров и техников, № 7, 1936 г.

⑥ И. И. Артоболевский "Определение скоростей и ускорений пространственных механизмов I-го порядка" Труды ВВИА, № 18, 1937 г.

⑦ Н. Г. Бруевич "Кинематика простейших пространственных механизмов с парами V Класа," Труды ВВИА, № 18, 1937 г.

布魯叶維奇院士^①解决了空間機構的动态靜力学的問題。

苏維埃的科学在機構綜合方面也得到了卓越的成就。在 Н. Г. 布魯叶維奇院士的领导下,在我們苏联建成了发展機構精确度理論及計算机的分析和綜合的学派。这个学派的工作远超过了外国学者在这方面的成就。

З. И. 布洛赫 (Блох) 教授在他的一系列著作中发展了機構的分析綜合法及图解分析綜合法。М. В. 西門諾夫 (Семенов) 教授^②提出了便于解决工程問題的近似綜合法。

大量的研究工作是致力于航空发动机 [Н. Г. 布魯叶維奇院士, А. А. 米古林 (Микулин) 院士及 Г. Г. 巴拉諾夫教授等的著作] 和其他机械的機構分析及綜合。Н. И. 密尔查洛夫教授^③, В. В. 多布罗沃尔斯基教授及 М. А. 克里依涅斯 (Крейнес) 教授等的著作大大推进了齒輪機構的綜合問題。

Н. И. 密尔查洛夫教授^④在潤滑的流体动力学理論方面进行了深入的研究。他的研究是 Н. Е. 儒可夫斯基及 С. А. 恰普雷金理論的进一步发展。

苏联在機構动力学方面建成了完整的学派和方向,他們的工作成就已广泛地应用于現代技术之中。В. Л. 高略契金 (Горячий) 院士在农业机械方面进行了大量的研究。А. П. 馬茲雪夫教授在紡織机械方面进行了大量的研究。И. И. 阿尔托包列夫斯基

① Н. Г. Бруевич "Кинестатика пространственных механизмов", Труды ВИА, № 23, 1937 г.

② М. В. Семенов "Шатунные кривые четырехзвенных механизмов", Труды семинара по ТММ, АН СССР, т. III, вып. 10, 1947 г.

③ Н. И. Мерцалов "Зубчатая передача между перекрещивающимися осями", 1932 г.

④ Н. И. Мерцалов "Физика и технологии трения", статьи в технической энциклопедии, ред. Т, т. 24

院士^①解决了当作用力是位置的函数时机械起动、制动及稳定运动的问题。

Н. И. 密尔查洛夫教授^②以最普遍的方法解决了选择飞轮质量的问题；И. И. 阿尔托包列夫斯基院士^③则以另一种较简单的方法解决了这一问题；В. В. 施奇可夫 (Шитиков) 讲师对旋转质量均衡的问题从事了多年的研究。

最后,还必须指出,苏维埃作者在有关现代机构与机械研究的问题上获得了最重要的结果。苏维埃学者关于机械原理所有各主要部分的著作大大地超过了外国学者的著作。我们学者的研究是建筑在我们苏维埃政权年代中发展和成长起来的机械原理的基础上的。

第一章 基本概念与定义

§ 1 运 动 副

图1表示一单缸内燃机。数字(1)表示内燃机的曲轴,数字(2)表示连杆,数字(3)表示活塞,数字(4)表示曲轴箱。在气体力作用下活塞(3)向下运动,由于它和曲轴以连杆相连,所以这时它又使曲轴绕其轴线旋转。此时,曲轴的完全确定运动依从于活塞的确定运动。

图2表示内燃机的配气机构。凸轮(1)旋转时,对气阀(2)发

① И. Н. Артоблевский "Основные вопросы динамики кривошипно-шатунных механизмов С.-Х. Машин", "Теория, конструкция и производство С.-Х. машин", т. I, 1935 г.

② Н. И. Мерцалов "Динамика механизмов", 1916 г.

③ И. И. Артоблевский "Об определении маховых масс в машинах", ДАН СССР, т. 44, № 57, 1945 г.; "Новый метод определения маховых масс", Труды семинара по ТММ АН СССР, т. I, вып. 1, 1947 г.

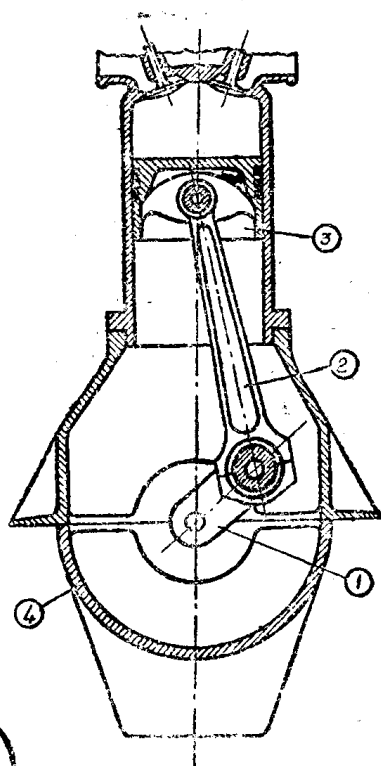


图 1. 单缸内燃机。

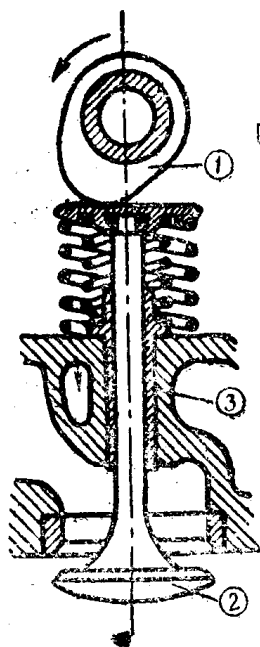


图 2. 内燃机的配气机构。

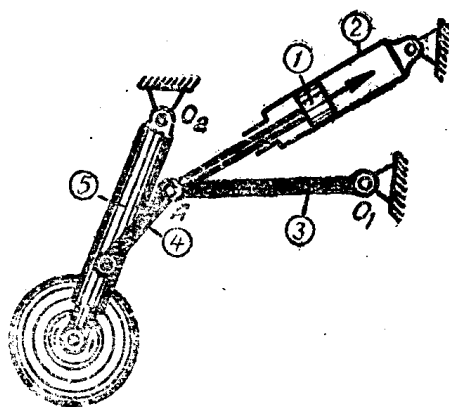


图 3. 飞机可缩起落架的简图。

生作用并使它在固定导路(3)中移动。此处,气阀按照完全确定规律的运动同样依从于凸輪的规定运动。

图3表示飞机可縮起落架的簡图。活塞(1)在油压力作用下在缸(2)中移动,当它与缸一起轉动时并使支柱(3)旋轉。因此A点繞中心 O_1 作圓周运动。利用支柱(4)將运动傳給起落架(5),使它在这时繞軸綫 O_2 轉动。此处,活塞(1)在缸(2)中的规定运动确定了机构所有其他可动部分的运动規律。

由此可見,我們以上所研究的机构,虽然用途不同,但却具有共同的特性:机构中某些物体进行规定的运动时,它的所有其他物体亦进行完全确定的运动。換句話說,机构具有运动的确定性。

試問机构中的这种确定性是怎样达到的呢?

这是因为机构中各物体之間是采用一定的方式互相活动地联接起来。例如,活塞(3)只能对內燃机气缸(見图1)作移动运动。曲軸(1)只能对曲軸箱(4)作旋轉运动。活塞(1)只能对缸(2)(見图3)作移动运动。

如机构中各物体相互沒有約束,則每个物体將能任意运动。由于物体之間有活动联接,所以才限制了这些物体相对运动的自由。

我們說,两个相互活动联接的物体將構成一个运动副。

組成运动副的每一个物体,称为运动副的構件。但不应把構件的概念和零件的概念混淆起来。每个構件可能由数个相互固連的零件所組成。例如,連杆(2)(見图1)就是由数个零件(連杆体、連杆头、螺釘、螺母)所組成的,而所有这些零件綜合起来便組成一个構件。

今后我們只限于研究可以忽略構件变形的情况。在这种情况下,構件的概念与力学中絕對剛体的概念相当。