

— 高等学校教材 —

机 械 原 理

南京工学院机械原理及机械零件教研组编

黄锡愷主编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校教材



机 械 原 理

南京工学院机械原理及机械零件教研组编

黄锡愷主编

人民教育出版社

本书系以 1959 年中央教育部委託南京工学院机械原理及机械零件教研組編写的机械类“机械原理”教材的原稿为基础进行改編的，最后并根据 1962 年 5 月审訂的机械原理教学大綱（試行草案）进行修訂。

本书除緒論外，共分两大篇：第一篇为机构的結構和运动学，内容包括机构的結構分析、平面机构的运动分析、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、輪系及其設計、其他常用机构，共七章；第二篇为机构和机器动力学，内容包括平面机构的动态靜力分析、运动副和机构中的摩擦、机器的效率、在已知力作用下机器的运动、机器运转速度波动的調节、机械的平衡，共六章。

本书可作为高等工业学校机械类各专业的試用 教科书，也可供非机械类各专业师生及工程技术人员参考。

本书曾經上海交通大学楼鴻棟教授审閱，并經高等工业学校机械原理課程教材編审小組复审通过。

机 械 原 理

南京工学院机械原理及机械零件教研組編

黃錫愷主編

北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

上海新华印刷厂印装
新华书店上海发行所发行
各地新华书店經售

統一书号 K15010·1111 开本 850×1168 1/32 印张 15 12/16
字数 410,000 印数 8,301—18,300 定价 (7) 1.80

1963 年 8 月第 1 版 1964 年 6 月上海第 3 次印刷

序 言

本书系以 1959 年中央教育部委託我組編写的机械类“机械原理”教材的原稿为基础經過几次修改試用后改編成的,最后又根据 1962 年 5 月审訂的机械原理教学大綱(試行草案)进行修訂。本书在編写时注意吸取了多年来各方面在本課程中行之有效的經驗,主要表現在以下几方面:

1. 本书的編排次序系采用傳統的、以整个机器为綱按其各种問題来敘述的,即按机构的結構、机构的运动学及机构和机器的动力学的系統来研究机械的原理。这样編排的好处是:科学系統性强、整体观念好及符合于循序漸進的原則;并且又能密切配合綜合性課程作业进行的次序和提高“机构运动簡图的測繪与分析”实验的质量。

2. 为了貫徹“少而精”的原則,本书在教材內容的精选更新和問題的闡述論证上作了較大的努力。力求将基本理論、基本概念闡述清楚确切。对于問題的研究一般均从分析开始,然后再介紹作图和設計方法,俾能符合認識規律,启发并培养学生思考和解決問題的能力。

3. 教材內容中适当地反映了最新的科学技术成就和祖国历来在本門科学上的貢獻。对于圓弧点嚙合齒輪的嚙合原理和几何計算作了扼要的介紹。

4. 在可能的情形下,尽量联系实际,适当結合专业,并注意加强运算能力的訓練。书中应用实例較多,书末又附有很多典型的联系实际的数字例题和习题,以便于課堂讲授、习题課和課外练习时选用。

5. 教材內容分量方面在保证讲透基本理論和基本概念的前提下,尽量减少篇幅,敘述力求簡洁。

本书正文大号字的内容为教学大綱規定的“基础部分”,不过其中

例題可斟酌選用;帶有“*”号的小号字为“選題部分”,而其余小号字为参考內容。

参加本书最后改編的有邱宁生(第五章)、程光蘊(第一章、第四章)、郑文緯(第三章)及黃錫愷(其余部分)等同志,并由黃錫愷同志負責主編。

本书曾經上海交通大学樓鴻棣教授审阅提出了很多宝贵的意見,編者特此表示衷心的感謝。

本书虽然曾經集体討論和試用,其习題亦由部分教师做过一遍,但是限于我們的理論水平和业务能力,謬誤欠妥之处在所难免,深望各院校兄弟教研組及讀者不吝給予指正,并請将宝贵的意見逕寄南京工學院机械原理及机械零件教研組为感。

南京工學院

机械原理及机械零件教研組

1962年12月

目 录

序言	vii
緒論	1
第一章 机构的結構分析	13
§ 1-1 研究机构結構的目的	13
§ 1-2 平面运动副及其分类	14
§ 1-3 运动鏈、机构、平面机构的結構公式	19
§ 1-4 确定平面机构活动度数的实例及其注意事项	21
§ 1-5 平面机构的組成原理和結構分析	26
§ 1-6 空間机构及其結構公式*	35
第二章 平面机构的运动分析	41
§ 2-1 研究机构运动分析的目的和方法	41
§ 2-2 平面机构的位置图及其各点軌迹和位移的求法	42
§ 2-3 速度瞬心及其在机构速度分析上的应用*	45
§ 2-4 用相对运动图解法求机构的速度和加速度	48
§ 2-5 用解析法求簡單机构的位置、速度和加速度*	66
§ 2-6 运动綫图、图解微分法和图解积分法	70
第三章 平面連杆机构及其設計	79
§ 3-1 連杆机构的应用及其設計的基本問題	79
§ 3-2 鉸鏈四杆机构的基本型式与曲柄存在条件	82
§ 3-3 鉸鏈四杆机构的演化	89
§ 3-4 四杆机构的設計	95
第四章 凸輪机构及其設計	108
§ 4-1 凸輪机构的应用和分类	108

§ 4-2	从动杆的常用运动规律	113
§ 4-3	盘形凸轮的基圆半径	120
§ 4-4	按已知运动规律设计平面凸轮的轮廓——作图法	125
§ 4-5	从动杆滚子半径的选择	131
§ 4-6	按已知常用运动规律设计平面凸轮的轮廓——分析法*	132
§ 4-7	圆弧凸轮	136
§ 4-8	圆柱凸轮机构设计	143
第五章	齿轮机构及其设计	145
§ 5-1	齿轮机构的应用和分类	145
§ 5-2	齿廓啮合的基本定律	149
§ 5-3	渐开线及其性质	151
§ 5-4	渐开线齿廓满足齿廓啮合的基本定律	154
§ 5-5	齿轮的各部名称、符号及标准齿轮的各部尺寸	155
§ 5-6	任意圆上的齿	160
§ 5-7	渐开线齿轮正啮合的条件和可分性	161
§ 5-8	渐开线齿轮传动的重合系数	165
§ 5-9	渐开线齿轮传动的齿廓滑动系数	171
§ 5-10	渐开线齿轮传动的齿廓几何压力系数*	174
§ 5-11	范成法切制齿轮的原理	176
§ 5-12	渐开线齿廓的干涉现象和根切现象, 渐开线标准齿轮的最少齿数	180
§ 5-13	修正齿轮的计算基础	184
§ 5-14	齿轮传动的設計	190
§ 5-15	斜齿圆柱齿轮传动	197
§ 5-16	螺旋齿轮传动	209
§ 5-17	蜗轮蜗杆传动	212
§ 5-18	圆锥齿轮传动	216
§ 5-19	摆线齿轮的基本知識*	224
§ 5-20	圆弧点啮合齿轮(诺维柯夫齿轮)传动的的基本知識*	228
第六章	轮系及其设计	233
§ 6-1	轮系的应用和分类	233
§ 6-2	定轴轮系及其传动比	235
§ 6-3	周转轮系及其传动比	240
§ 6-4	混合轮系和复合轮系	247
§ 6-5	行星轮系减速器各轮齿数的选择*	251
第七章	其他常用机构	255
§ 7-1	万向联轴器	255

§ 7-2 螺旋机构	262
§ 7-3 间歇运动机构	264
§ 7-4 非圆形齿轮机构	270

第二篇 机构和机器动力学

第八章 平面机构的动态静力分析	275
§ 8-1 作用在机械上的力	275
§ 8-2 机构力分析的目的和方法	277
§ 8-3 构件惯性力的确定	278
§ 8-4 质量代换法*	282
§ 8-5 运动链的静定条件	286
§ 8-6 机构的动态静力计算	288
§ 8-7 茹可夫斯基杠杆法*	296
第九章 运动副和机构中的摩擦	300
§ 9-1 研究机械中摩擦的目的	300
§ 9-2 移动副中的摩擦	300
§ 9-3 迴轉副中的摩擦	304
§ 9-4 高副中的摩擦	315
§ 9-5 柔韧构件的摩擦	317
第十章 机器的效率	320
§ 10-1 机器的运动和功的傳遞	320
§ 10-2 机器的效率	322
§ 10-3 机器的自鎖現象	328
§ 10-4 斜面的效率	330
§ 10-5 螺旋和蜗輪蜗杆的效率	335
§ 10-6 行星輪系的效率*	339
§ 10-7 凸輪机构的效率	341
§ 10-8 連杆机构的效率	344
第十一章 在已知力作用下机器的运动	345
§ 11-1 研究机器真实运动的目的	345
§ 11-2 等功力和等功力矩	345
§ 11-3 等能质量和等能轉动慣量	350
§ 11-4 机器运动方程式	354
§ 11-5 在已知力作用下机器真实运动的求法*	355
第十二章 机器速度波动的調节	362

§ 12-1 调节机器速度波动的目的和方法	362
§ 12-2 机器运转的平均速度和不均匀系数	363
§ 12-3 飞轮设计的理论基础	365
§ 12-4 力是机构位置函数时飞轮转动惯量的确定	367
§ 12-5 飞轮各部尺寸的确定	375
§ 12-6 调速器的基本知识	378
第十三章 机械的平衡	380
§ 13-1 机械平衡的目的、分类及方法	380
§ 13-2 回转质量的平衡计算法	381
§ 13-3 回转质量的平衡试验法	389
§ 13-4 平面机构的静平衡*	394
习题	400
渐开线函数表	494
参考书目	496

緒 論

§ 0-1 机械原理研究的对象和内容

1) 机械原理研究的对象

“机械原理”是“机构和机器原理”的简称。顾名思义，它是一门以研究机构和机器为对象的科学。

机器的种类极多，其构造、用途和性能等各不相同。例如图 0-1 所示的内燃机是由曲柄 1，连杆 2，活塞 3，气缸 4，阀门 5 和 6，阀门移动杆 7、8、9，凸轮 10 和 11 以及五个齿轮所组成。当燃气推动活塞 3 往复移动时，连杆 2 使曲柄 1 作连续转动，从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。至于燃气的定时进入气缸和排出气缸，则由齿轮、凸轮推动阀门来完成。又如

图 0-2 所示的牛头刨床是由曲柄 1、滑块 2、导杆 3、连杆 4、刨头 5、床身 6 以及其他一些辅助部分（图中未注出）所组成。当原动力经皮带拖动曲柄 1 回转时，导杆 3 左右摆动，使刨头 5 带着刨刀作往复直线移动，从而完成刨削工序。至于工件的横向送进则由

一些辅助装置来完成。再如发电机是由一个转子（电枢）和一个定子（即机身）所组成。当发电机被拖动时，它便将转子转动的机械能转换为电能。从以上三例可以看出，这些机器的构造、用途等确是不同的，但是从

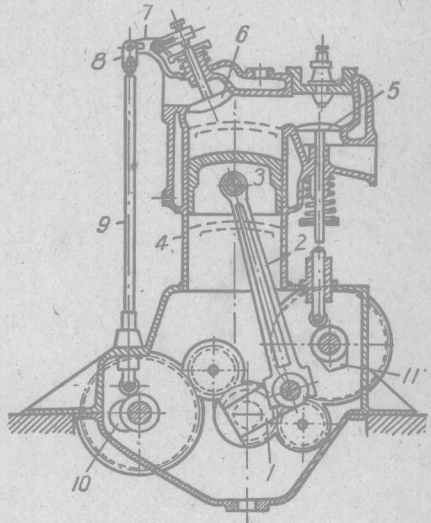


图 0-1.

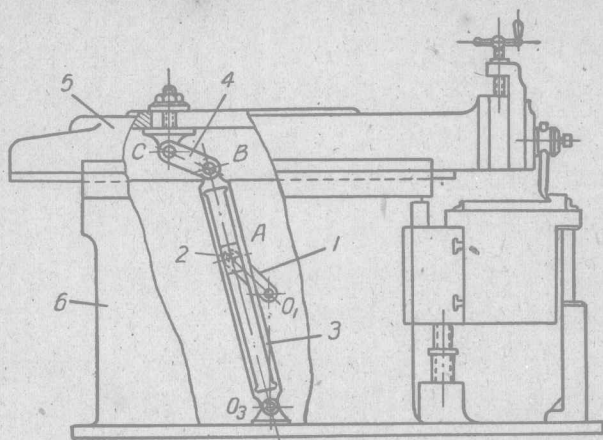


图 0-2.

它們的組成部分和运动确定性以及与功、能的关系来看，它們却有三个共同的特征，即：(1)它們都是一种人为的实物^①的組合；(2)它們各部分之間具有确定的相对运动，即当其中一件的位置一定时，則其余各件的位置也就跟着确定了；(3)在生产过程中它們能代替人类的劳动来完成有用的机械功（如刨床的刨削工件）或轉換机械能（如发电机将机械能轉換为电能及內燃机将热能轉換为机械能）。

凡同时具备上列三个特征的便称为机器。又根据上列最后一个特征可将机器分为三类：

(1)产生机械能的机器 凡将其他形式的能轉換为机械能的机器均属于此类。这类机器通称为原动机。除上述的內燃机外，蒸汽机、鍋駝机、汽輪机等也可以将热能轉換为机械能；电动机可以将电能轉換为机械能；風車可以将風能轉換成机械能及水輪机可以将液体的位能轉換为机械能等。

^① 如果不考虑某些机器中的电磁作用，我們也可以說机器是一种人为的剛强物体的組合，因为液体和气体对于挤压以及柔韌体对于拉伸都仍是剛强的。

(2)转换机械能的机器 与前一类的机器相反,凡将机械能转换为其他形式的能的机器均属于此类。这类机器亦称为转换机。如前述的发电机可以将机械能转换为电能和空气压缩机可以将机械能转换为气体的位能等。

(3)利用机械能的机器 凡利用机械能来完成有用的功的机器(即改变被加工物体的形状、位置、状态及性质的机器)均属于此类。这类机器通称为工作机,如各种机床、纺织机、印刷机、起重机、碎石机、轧钢机、搬运机及食品加工机器等。

机构也是一种人为的实物的组合,其各件之间具有确定的相对运动。所以机构只具备机器的前两个特征。由此可知,机器与机构的区别在于:机器同时产生运动和能的变化,它的目的是利用或转换机械能;而机构只产生运动的变化,它的目的是传递或变换运动。所以,钟表、仪表、计算装置和绘图装置等都是机构。通常的机器必包含一个或几个机构,例如发电机和电动机便只包含了一个双杆机构,而前述内燃机便包含了连杆机构、凸轮机构及齿轮机构。

从结构和运动的观点来看,机构和机器之间是没有区别的。因此,为了简化叙述,有时我们用“机械”一词作为“机构”和“机器”的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体,也可以是几个零件组成的刚性结构。例如内燃机的曲轴便是一个整体,而连杆便是由几个可以拆卸的零件所组成的刚性结构。构件与零件的区别在于:构件是运动的单元而零件是制造的单元。在机械原理中,我们只研究构件。

机械中支持运动构件的构件称为机架。机架或为单一的整体,或为数件组成的刚性结构。它的本身或者固定不动,或者亦相对于地球而运动。前者如各种固定在地基上的机器的机架,后者如飞机、轮船上的原动机的机架。但是在研究机器各部分的运动时,通常皆以机架为

基準，即假定它是靜止的。

在一个工作着的机构中，驱动机构的外力所作用的构件称为原动件或主动件，而所有其余被推动的构件称为从动件。应用于不同机器中的同一机构，其原动件可以不同。例如内燃机的原动件为活塞而往复式空气压缩机的原动件为曲柄。

互相配合着工作的原动机、传动机构和工作机称为机组。由于技术的不断发展，传动机构常常变成了工作机的一部分，因此，某些现代的机组也可以說是由原动机和工作机所組成。

2) 机械原理課程的內容

如前所述，机械原理是一門以研究机构和机器为对象的科学。为了科学系統性和便于教学起見，在机械原理課程中，我們將各种机器的共同問題归納成机构的結構、机构的运动学以及机构和机器的动力学三部分来討論。这三部分的具体內容如下：

机构的結構：研究机构的运动确定性、机构的組成原理以及机构的結構分类，从而建立起系統机构的运动分析法和动力分析法，并探索創造新的更合理的机构的途徑。

机构的运动学：不考虑引起机构运动的力的作用，而从几何的观点来研究机构各点的軌迹、位移、速度和加速度的求法，以及按已知条件来設計新机构的方法。

机构和机器动力学：研究在机械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，并研究在已知力作用下机械的真实运动規律，以及作用力、运动构件的质量和这些构件的运动之間的关系，即机械的運轉和調速問題以及慣性力的平衡問題。

就上述內容的性质而論，机械原理所研究的問題可以归納为两类：第一类問題是关于已有机械的研究，即机构的分析問題（結構分析、运动分析和动力分析）；第二类問題是关于得到已知运动的新机械的設計，即机构的綜合問題（結構选择、运动設計和动力学設計）。

§0-2 机械原理課程在教學計劃中的地位

随着工业的迅速发展,机械的种类愈来愈多。因此,在高等工业学校中就設置了许多专业的專門課程来詳尽地研究各种特殊的机械。但是当研究任一具体的机械时,不仅需要研究它所具有的特殊問題,而且还要研究所有机械或某一些机械都具有的共同問題。机械原理和机械零件等几門技术基础課程便是为此目的而設置的。机械原理是以高等数学、普通物理、机械制图及理論力学等課程为基础的,它为以后学习机械零件和有关专业課程以及掌握新的科学技术成就打好工程技术的理論基础,并能使学生受到某些必要的严格的基本技能訓練。因此,机械原理是机械类各专业的一門很重要的技术基础課程,它在教學計劃中不仅有承上启下的作用,而且在工程师的培养上还有自己的特殊的任务。

机械原理与理論力学的关系最为密切,它們都是研究运动和力的問題,可是二者的性质却不相同:理論力学是研究一般的剛体力学的原理,而机械原理則是以理論力学的有关原理应用于实际的机械上。

机械原理与机械零件同样都是研究各种机械的共同問題的技术基础課程,但是它們之間是有所分工的:“机械原理”研究机械的組成原理、运动学和动力学問題,而“机械零件”研究一般机械零件的强度、剛度、耐磨性、潤滑、装配及材料的选择等問題。

如上所述,机械原理与专业課的不同在于机械原理研究各种机械都具有的共同問題,而专业課研究某一种机械所具有的特殊問題。因此,对于很多具体問題,它們之間是有所分工的。机械原理課程中很多問題的已知条件都要在专业課中研究确定。例如关于凸輪設計問題,在机械原理課程中只研究如何按照已知的从动杆运动規律来設計凸輪輪廓的方法,至于应用于某一特殊机器上的凸輪机构,其从动杆运动規

律的選擇，只有在研究了該機器所提出來的特殊要求之後才可以進行，所以這個問題便屬於專業課程的研究範圍。又如應用在各種機器上的同一機構，其運動分析法和力的分析法是一樣的。因此，根據機構某一構件的已知運動規律來求其餘構件的運動規律，以及根據作用在機構上的已知外力來求其平衡力和構件連接處的反作用力，便是機械原理課程所要解決的問題。至於某一特殊機器運轉速度的大小及其已知外力（驅動力或生產阻力）的變化規律只有考慮到該機器的用途時才可以決定，因此，這些問題便要在專業課程中來研究。

由上可知，機械原理在教學計劃中占有十分重要的地位。

§ 0-3 機械原理在發展國民經濟中的作用

發展國民經濟的總方針是“以農業為基礎、以工業為主導”；而機械製造業又是整個工業的心臟。只有在機械製造業得到充分發展的條件下，其他生產部門才能得到高度的廣泛的發展。沒有完善的機械，勞動生產率就不可能有顯著的提高，繁重工序的機械化和生產自動化也就不可能達到。而這些都是社會主義勞動組織所不可少的先決條件。

生產的發展促進了科學的進步，而科學的進步反過來又促進了生產的更大發展，兩者相輔相成。如前所述，機械原理是一門研究機構和機器基本理論的科學，它是學生學習一般機械製造和其他特種機械製造專業課程的基礎。因此機械原理與機械製造有着密切的關係，它必然要在發展國民經濟中起着一定的作用。

生產的機械化和自動化對提高勞動生產率具有決定性的意義。在高度機械化和自動化的工廠里，一切生產動作（開車、停車、搬運、檢驗及包裝等）都由機械自動完成，而工作人員的工作僅是操縱、調整和控制生產過程而已。由此可知，生產的機械化和自動化不但能夠提高勞

动生产率、降低产品成本、改进产品质量以及减少工伤事故，而且还可以大大地减轻工人的劳动强度，提高其文化技术水平，从而达到消灭脑力劳动和体力劳动之间的差别。但是要实现生产的机械化和自动化，则必须创造出大量新的优质的多品种的机器设备，以满足各部门发展的需要；同时又要改进现有的机器设备来充分发掘其潜力。在完成这个伟大的任务中，机械原理起着重要的作用。因为机构的组成原理、运动设计和动力学设计便是研究创造各种结构的、更完善的新机构的方法；同时只有通过机构的运动分析和动力学分析，我们才能掌握现有各种机器的运动性能和动力学性能，从而进一步改进它们。

为了提高劳动生产率，必须增加机器运转的速率，所以现代机械制造的趋势之一为高速运转。在某些情形下；高速运转不但能提高劳动生产率，而且还可以改善产品的质量。但是机器运转速率增高以后，由于不平衡惯性力的关系而产生的振动也增大，因此必须设法加以平衡。这种机械平衡的问题也是机械原理所要研究的内容之一。

机械效率的提高意味着有用能量消耗的减少。这对于勤俭建设具有头等重要的意义。因为一方面我国目前尚是一个“一穷二白”的国家，另一方面我国很多建设事业的规模又都是极其巨大的。假定由于合理设计使其机器设备的效率提高1%，则其所节省的能量便极为可观。如前所述，机械原理研究的内容之一便是关于确定各种机器效率的方法以及设计时如何合理选择机构尺寸来提高其效率的方法。

为了多快好省地建设社会主义，除了生产要机械化和自动化，以及所用的机器要功率大、速率快和效率高之外，还要力求成本低。为此，必须尽量减少机器的重量，而后者又与机器各件的尺寸有关。当材料相同时，机器各件的尺寸随其上作用力的增大而增大，因而使机器的重量亦增加。机械原理可以从力的方面来解决这个问题，因为机械原理中也要研究如何确定作用在机器各件上的力的方法以及减少这些力的方

式(均衡法和正确地選擇機構的各基本尺寸等)。

綜上所述可知，機械原理在發展國民經濟中是具有一定的作用的。

§0-4 機械原理的發展簡史

歷史唯物主義指出：“社會發展史首先便是生產發展史，數千百年來新陳代謝的生產方式發展史，生產力和人們生產關係的發展史”^①。

機構和機器是勞動的工具，是生產力最重要的一部分，因此，以研究機構和機器為對象的科學——機械原理——的發展是和生產方法的發展緊密聯繫着的。起先有關機械方面的科學並不像現在一樣劃分成若干門獨立的完整的科學，而僅僅是一些零星的機械方面的創造發明以及關於它們的簡單研究方法。目前機械原理所研究的一部分內容在十九世紀以前是包括在應用力學中的，至二十世紀以後隨着機械製造業的迅速發展才分出來成為一門獨立完整的科學。其發展的次序是：首先是機構運動學，然後是機構和機器動力學；至於機構的結構則在機械動力學之前便已開始研究，但是達到成熟的階段却在機械動力學之後。

在古代，由於生產的需要，人類便應用了原始的簡單機械並開始研究了一些簡單的力學問題。例如古希臘、羅馬和埃及便已經知道使用杠桿、斜面、絞盤和滾子等簡單機械來從事建築和運輸，以及在水力計時器中應用齒輪來傳動。這時我們中國也有很多機械方面的創造和發明。例如應用杠桿原理的踏碓和桔槔；應用差動原理的起重轆轤；應用將轉動變為直動的連杆機構的水排；應用輪系原理的指南車和記里鼓車；應用輪系、杠桿和凸輪原理的“連機碓”和“水碓”；以及應用輪系和棘輪原理的天文鐘等。又在東漢初年我國便已經有了金屬鑄造的人字齒輪了。這個時期我國有關機械方面的著名科學家和發明家有：戰國時代的墨翟、東漢的張衡、三國的馬鈞、南齊的祖沖之及宋朝的蘇頌和沈括等。

在西方的中世紀時代，●由於僧侶蒙昧主義的壓制，機械科學和其他自然科學一樣，差不多完全停止發展了。直到十五世紀文藝復興以後，商業資本開始發達，航海事業和軍事工程的發展促使機械科學也隨着空前的发展起來。這時意大利

^① 斯大林：“辯證唯物主義與歷史唯物主義”，載於“列寧主義問題”第862頁，人民出版社，1953年版。