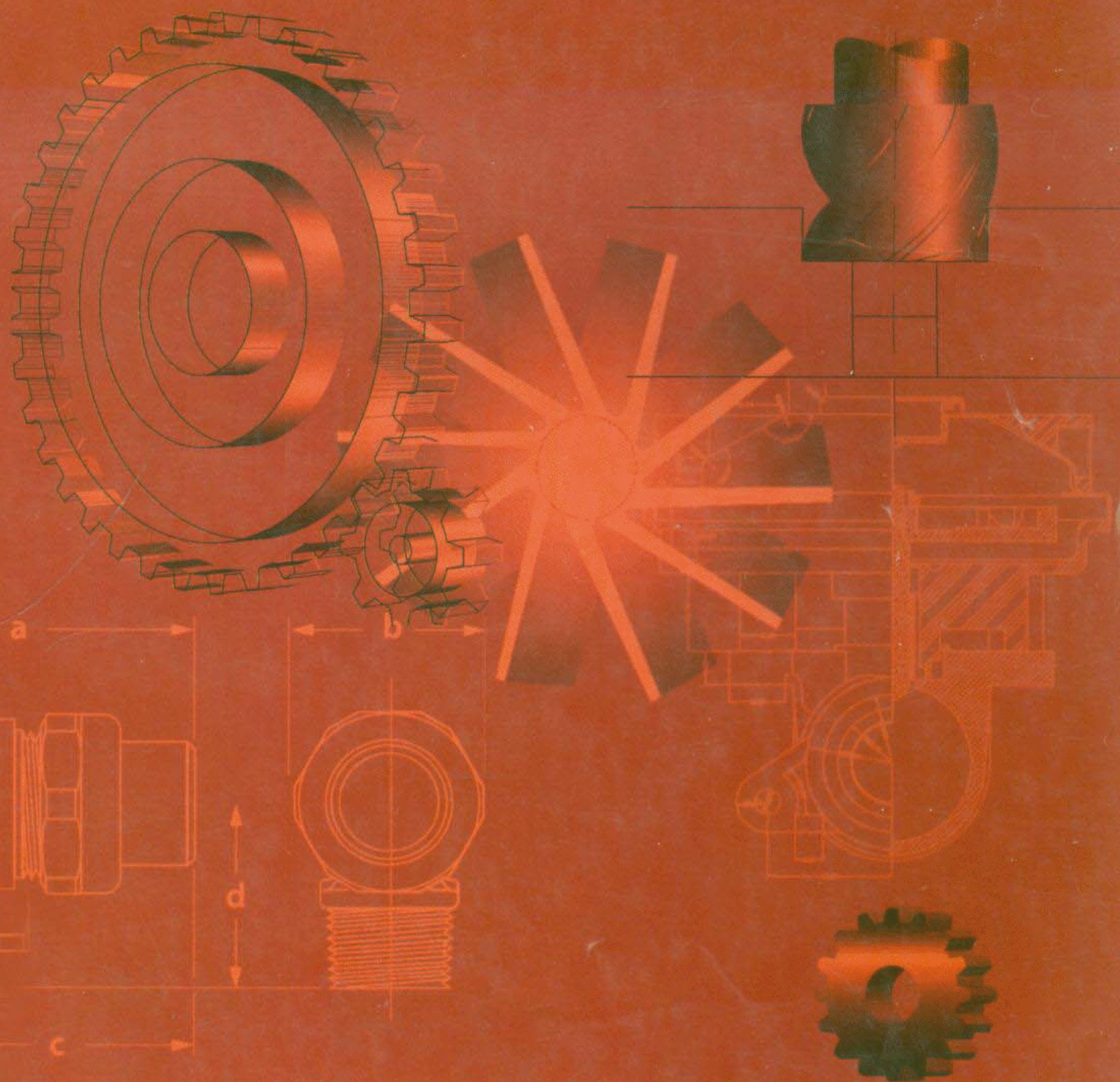


普通高等教育机电类规划教材

机械原理

沈世德 主编



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材

机 械 原 理

主 编 沈世德
副主编 曹清林 金晓怡
参 编 陶 晔 周井玲
主 审 邹慧君



机 械 工 业 出 版 社

全书共分十二章，内容包括绪论，机构的结构分析，连杆机构，凸轮机构，齿轮机构，轮系，步进机构，机器人机构，其它机构，机械运动动力学方程，机械的平衡，机械运动方案设计。每章后附有一定数量的习题。

本书为高等院校机械类各专业的教材，也可供近机类、非机类各专业本科师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/沈世德主编. —北京: 机械工业出版社,
2001. 12

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-09608-8

I. 机... II. 沈... III. 机构学-高等学校-教材
IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 085663 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 倪少秋 版式设计: 张世琴 责任校对: 张佳

封面设计: 姚毅 责任印制: 付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·9.5 印张·366 千字

0 001—5 000 册

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

教育部正在组织实施“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，机械工业出版社紧跟这一计划，提出要编写有利于培养学生全面素质，有利于培养学生创新能力的新教材。机械原理是机械设计及理论学科的重要组成部分，是机械类专业的一门主干技术基础课。在整个课程设置中，本课程属于技术基础课，在教学中起着从理论课到专业课的承上启下作用。它一方面承担着完善学生知识结构，使其掌握机械设计及理论学科要义的任务；另一方面又承担着培养学生机械系统方案创新设计能力的任务；更进一步，希望通过本课程的学习，使学生对方法论有所了解并能尝试应用。近年来，机械产品向高速、高效、精密和智能的方向发展，这种趋势既推动了机械学的发展，又是机械设计及理论学科自身发展的必然产物。机械学的日新月异，使得人们有必要探索出版机械原理的新教材。本书就是这两方面因素的产物。

在本书编写中，体现了下面几个特点：

1. 在内容上把握好传统与发展的关系

机械原理课程已有很长的历史，内容相对固定。但随着科技发展，新的内容层出不穷。我们在编排时，既保留了传统内容的精华和尚有工程价值的部分，还新增了机械原理领域内新的业已成熟的成果。力求使本教材跟上科技发展的步伐，具有时代的特征。

例如，连杆机构的图解法曾是经典内容，速度瞬心、速度、加速度矢量图解法原来都占有很大比重，而现在随着计算机的大量使用，部分图解法已无大的价值，故本书对此作了较大的删节；同时，在连杆机构的位置、速度、加速度分析中较多采用了解析法，并结合计算机的应用，列出了计算框图。又如，凸轮机构运动规律中的多项式运动规律在工程中很少使用，本书也作了较大的删减；与此同时，简要介绍了当前使用较多的以三角函数为主的优化运动规律，以利于学生的运用。随着机器人机构学、生物机构学的发展，开式链机构、并联机构等近年来发展很快，本书也作了介绍。步进机构是自动化装置中最常采用的，以前的教材中只作简略介绍，本书中增加了这方面的篇幅。

2. 在内容的前后衔接方面避免重复和脱节

机械原理课程的前面有数学、力学课程，后面有机械零件和其它专业课。应力求与前后课程有较好的衔接，以提高教学效率。

刚体牵连运动和点的复合运动在理论力学中已有详细叙述，所以本书取消了

传统教材中必有的平面机构运动分析一章，而在不同的章节中，针对不同的机构，介绍运动分析的方法。机械原理课程强调构件的运动，但在传统教材中，既讲述了渐开线齿轮的齿形及其计算，以满足齿轮机构定传动比传动，又介绍变位齿轮的齿形、齿轮公法线长度计算等与运动无关的内容，与机械原理应有的含义不符，本书也作了删节。国内一些机械原理教材还把“渐开线齿廓的切制”单独列为一章，把一些与机械原理关系不大的内容加入教材，一方面占用了学时，另一方面也不符合本类教材发展的潮流。本书只保留齿廓加工的展成法一节。

3. 符合工程实际

本书主要的对象是将要从事工程技术工作的大学生，因此在介绍理论的同时，应更多地考虑工程应用。

以凸轮机构为例，以前只讲凸轮机构设计，不提及分析。而当前我国引进机器很多，根据作者多年的工作和科研经历，增加了凸轮机构分析的内容，使得大学生遇到这类问题时不至于束手无策。在步进机构中，作者更多地介绍了当前自动机中常用的凸轮步进机构，而对传统的槽轮机构和缺齿齿轮机构则一带而过。

连杆机构在日常生活中应用十分广泛。作者在介绍这部分内容时，以雨伞和汽车发动机为例，说明滑块连杆机构曲柄存在的条件，使学生不但记住了有关内容，而且提高了学习的兴趣。

4. 注重培养思维能力和创新能力

课程内容的安排必定体现一定的逻辑思维的过程，本书希望强调系统思维，寓思维方法于内容之中。以连杆机构为例，在讲述了传统的曲柄存在的四连杆机构的同时，又讲述了以前不提及的曲柄不存在的四连杆机构，还提及介于两者之间的等式机构，使学生对四连杆机构形成了一个完整和系统的概念。再有本课程着重研究构件间的运动，而构件间的运动可分为传动和引导两大类，介绍机构的运动设计时自然应针对上述两类问题来进行。

近年来，在教学思想的大讨论中，人们认识到培养学生创新能力的重要性。但创新不是无中生有，而是对前人的知识在继承基础上的发展。又由于已有知识的庞大，这种创新应遵循一定的规律。所以本书设有相应的章节，讲述机构系统的选型和机械传动系统方案的设计。选型和方案设计举例都结合工程实际，以开阔学生的视野和思路，并企望学生在创新活动方面作有趣和有益的尝试。

本书由南通工学院沈世德(第一章、第十二章)、曹清林(第三章、第四章)、常州工学院金晓怡(第五章、第八章)、扬州大学陶晔(第六章、第七章、第九章)、南通工学院周井玲(第二章、第十章、第十一章)共同编写。由沈世德教授担任主编。

本书由上海交通大学邹慧君教授主审。他对本书的总体结构提出了很好的建议并认真审阅了全书。这对提高本书质量起了很关键的作用，在此谨表敬意。

机械工业出版社的同志以全力支持高校教学改革为己任，对本书的出版始终

给予关心和支持，从而使本书能按预定计划出版。他们的敬业精神是值得学习和敬佩的，在此谨表谢意。

教学改革是一个复杂而长期的过程，教材建设是关键的、也是首要的一步。本教材的编写构思是作者在多年的教学和科研实践活动中形成的，我们希望通过我们的努力，为机械原理课程的教改作出有益的贡献。不当之处，终属难免，还望得到各位指导。

编 者
2001年7月

目 录

| | |
|------------------------------|-----|
| 前言 | |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 本课程研究的对象 | 1 |
| 第二节 本课程研究的内容 | 4 |
| 第三节 本课程的地位和学习方法 | 5 |
| 第二章 机构的结构分析 | 8 |
| 第一节 机构的组成 | 8 |
| 第二节 机构运动简图 | 11 |
| 第三节 机构自由度分析 | 17 |
| 第四节 机构结构分析及机构分类 | 23 |
| 习题 | 29 |
| 第三章 平面连杆机构 | 34 |
| 第一节 平面四杆机构的类型 | 34 |
| 第二节 平面四杆机构的基本特性 | 44 |
| 第三节 平面连杆机构的运动分析 | 52 |
| 第四节 平面连杆机构的运动综合 | 60 |
| 第五节 平面多杆机构简介 | 75 |
| 习题 | 78 |
| 第四章 凸轮机构 | 85 |
| 第一节 凸轮机构的组成和类型 | 85 |
| 第二节 从动件运动规律的设计 | 88 |
| 第三节 盘形凸轮廓线的设计 | 96 |
| 第四节 凸轮机构基本尺寸设计 | 105 |
| 第五节 凸轮机构的分析 | 114 |
| 第六节 空间凸轮机构简介 | 118 |
| 习题 | 121 |
| 第五章 齿轮机构 | 126 |
| 第一节 齿轮机构的类型和特点 | 126 |
| 第二节 齿廓啮合基本定律 | 128 |
| 第三节 渐开线齿廓 | 129 |
| 第四节 渐开线标准直齿圆柱 齿轮 | 132 |
| 第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的 啮合传动 | 136 |
| 第六节 渐开线齿轮的加工 | 142 |
| 第七节 渐开线变位齿轮及 变位齿轮传动 | 146 |
| 第八节 斜齿圆柱齿轮机构 | 152 |
| 第九节 蜗杆蜗轮机构 | 161 |
| 第十节 圆锥齿轮机构 | 165 |
| 习题 | 168 |
| 第六章 轮系 | 171 |
| 第一节 轮系的结构特点和类型 | 171 |
| 第二节 轮系的传动比计算 | 173 |
| 第三节 轮系的功用 | 182 |
| 第四节 轮系的设计 | 184 |
| 第五节 其它类型的行星 传动机构简介 | 188 |
| 习题 | 193 |
| 第七章 步进机构 | 197 |
| 第一节 棘轮机构 | 197 |
| 第二节 槽轮机构 | 203 |
| 第三节 凸轮步进运动机构 | 207 |
| 第四节 不完全齿轮机构 | 209 |
| 习题 | 211 |
| 第八章 机器人机构 | 213 |
| 第一节 概述 | 213 |
| 第二节 开式链机构 | 214 |
| 第三节 并联机器人机构 | 222 |
| 第九章 其它机构 | 225 |
| 第一节 螺旋机构 | 225 |
| 第二节 摩擦轮机构 | 228 |
| 第三节 非圆齿轮机构 | 230 |
| 第四节 组合机构 | 232 |

| | | | |
|--------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 习题 | 236 | 第一节 概述 | 258 |
| 第十章 机械运动动力学方程 | 237 | 第二节 转子平衡设计 | 259 |
| 第一节 作用在机械上的力及机械的运转 过程 | 237 | 第三节 机构的平衡 | 263 |
| 第二节 机械的等效动力学模型 | 239 | 习题 | 270 |
| 第三节 机械运动方程式的 建立及求解 | 242 | 第十二章 机械运动方案设计 | 275 |
| 第四节 机械运转速度波动及 调节 | 245 | 第一节 机械产品的设计 | 275 |
| 习题 | 254 | 第二节 方案设计中的思想观念 | 282 |
| 第十一章 机械的平衡 | 258 | 第三节 机械传动系统方案设计 | 284 |
| | | 第四节 功能原理与机器运动 方案的关系 | 289 |
| | | 参考文献 | 294 |

第一章 绪 论

第一节 本课程研究的对象

机械是机器和机构的总称，本课程所研究的就是机器和机构的一般原理。首先要搞清机器和机构的含义，即确定研究对象，然后再确定一般原理的范围。

一、机器

在前期课程和生产实习活动中，大家已接触过许多金属加工机器，如车床、铣床、刨床；在日常生活中，人们几乎天天与机器打交道，如自行车、汽车、缝纫机、洗衣机、食品粉碎机等。从这些机器中抽象出一般概念，即可得出机器的共同特征：

1) 它们都是一种人为的实体的组合，而不是自然之物。

2) 机器都有确定的运动。这种运动可以是机器对其它参照物的相对运动，如汽车，它的运动使其相对地面的位置有了变动；可以是机器内部各部分之间的相对运动，如粉碎机、打印机、织布机，通过机器内部各构件的协调运动，实现人们预期的目标；也可以二者兼而有之，如行驶之中的叉车，一边行驶一边升举叉子，使得叉车更快地到达工作位置。

3) 通过上述的确定运动，机器可以实现人所期望的机械能、物体和信息的变换和传递。

综合以上三个特征，可以把机器定义为人为的通过运动来变换或传递机械能、物体和信息的物件的组合物。

机器可以十分简单如葡萄酒瓶开瓶器，也可以十分复杂如飞机。为了进一步提炼机器所具有的共性的成分，人们进一步研究机器的组成。最一般意义上的机器由下列四部分组成：

(1) 原动部分 原动部分是机器动力的来源。常用的原动机可分成一次原动机和二次原动机。一次原动机把自然界的能源转变为机械能，常见的有内燃机、水轮机。二次原动机把二次能源如电能、液能转变为机械能，常见的有电动机、液压机、气动缸等。有的简单机器的原动部分为人工，如自行车。

(2) 执行部分 执行部分处于整个机器传动运动的终端，完成预期的机械动作。执行部分可以是一个或多个构件，且其结构形式随机器的用途不同而呈现不同形式。如缝纫机执行部分由送布部分和走线部分组成，后者由上下运动的缝纫

针、来回摆动的跳线杆和往复转动的梭子组成。有时机构也能成为执行部分，如许多机械手的抓取部分常为连杆机构。

(3) 传动部分 传动部分介于原动机与执行部分之间，用以传递运动及动力。当原动部分的速度大小不能满足执行部分的需要时，传动部分用以实现运动的增速或减速。例如，大多数电动机的转速较高，就要用减速机构来降低转速，以满足执行部分的需要。还有一些机器原动部分的运动与执行部分的运动差异很大，传动部分起到改变运动方式的作用。一般机器采用电动机为原动部分，即转动。而执行部分的运动千变万化，经常为转动以外的运动，此时就必须通过传动部分来实现运动的变换。又如缝纫机里有一系列传动部分，即一系列机构，把人脚踏踏板的运动改变为上面提及的执行部分，即送布部分和走线部分的运动。传递动力是把动力即机械能由原动机输送到执行部分，自行车的链传动除了传递运动以外还传递动力，就起到这一作用。

(4) 控制和操纵部分 该部分的作用是使机器上的原动部分、执行部分和传动部分协调工作。控制部分是指通过测量元件取得机器运行的一定信息，并转换为控制信息，交由控制器发出信号，使被控制对象的运动情况发生变化。大多数现代机器都有控制部分。操纵部分是指通过人工操纵来实施控制，如自行车的手刹车。

图 1-1a 为一台单缸内燃机，可以把燃油燃烧时产生的热能转化为机械能，

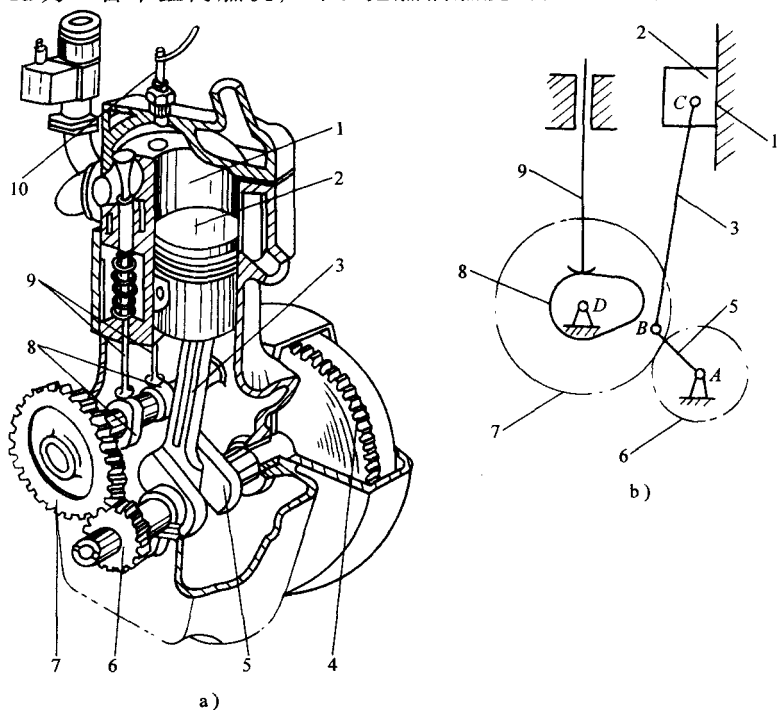


图 1-1 内燃机示意图

工作时，其内部各部分作复杂有序的运动，是典型的机器。当燃油和空气喷入活塞 2 的上方空间(气缸 1)时，由点火器 10 引爆燃油和空气组成的混合物，混合物推动活塞 2 下行，这是机器的原动部分。活塞 2 带动连杆 3，连杆 3 又带动曲轴 5 转动。在这个过程中，活塞的移动被转变为曲轴的转动，这是机器的传动部分。曲轴 5 的轴端头装有大齿轮 4，它作为机器的执行部分驱动其它部分如车轮等。应对进燃油、空气和排废气进行控制，以保证内燃机能周而复始地工作，所以有控制部分。图中曲轴 5 的另一端装有小齿轮 6，它带动齿轮 7。齿轮 7 装在一根凸轮轴上，齿轮与凸轮 8 在轴上一起转动，凸轮 8 推动推杆 9，从而实现进、排气的交替动作。通过上述四部分的协调工作，才能周而复始地把燃油燃烧时产生的热能转变为曲轴转动的机械能。

图 1-2 为挖掘机。工作时，汽车里的高压泵由内燃机带动打出高压油，成为原动部分。高压油驱动油缸里的活塞 K_1 和 K_2 ，通过一系列杆件产生复杂运动，实现了从活塞往复运动到挖掘斗 S 平面复杂运动的转变，成为传动部分。挖掘斗 S 在空中作确定运动，挖掘泥土完成预定工作。而司机在驾驶室中通过操纵杆来协调 K_1 和 K_2 的运动。

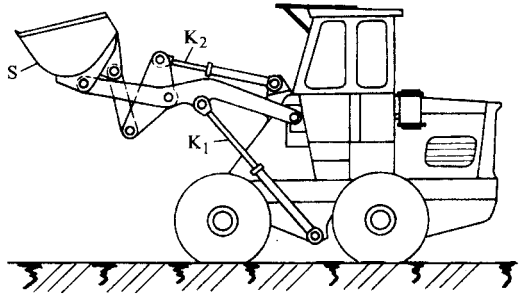


图 1-2 挖掘机示意图

不是所有的机器都具有四个组成部分。有的机器较简单，如电风扇，不具有传动部分，但同样具有机器的三个特征，所以它仍称为机器。

二、机构

大多数机器都具有传动部分。比较自行车和摩托车，人们可以发现链传动都承担着传递运动和动力的角色。比较缝纫机和图 1-2 所示的挖掘机，人们又可以发现，驱动运动都是通过一些巧妙组合的构件传递到执行件上去的。不涉及这些装置的具体用途，从传递运动和动力的角度出发，人们可以找到具有共性的部分，称之为机构。所以可把机构定义为：

1) 机构都是人为的构件的组合物，且构件总数在 3 件及以上(机架也算一件)。

2) 组成机构的各构件间有确定的相对运动。

机构与机器相比，机构具有机器的前二个特征。大多数机器是由若干机构加上其它部分组合而成，如汽车中有传递运动和动力的齿轮机构和万向联轴节，还有控制前轮方向的转向架机构。当机器中有机构时，机构较多地起着传动和控制

的作用。在一些特殊情况下，还可作为执行部分使用，如机械手的连杆式爪部。有的简单机器可不含有机构，如电风扇。

在工程实际中，人们还进一步根据主要运动构件的外形，把相应的一些构件组合称为某种机构。图 1-1 中活塞通过连杆推动曲柄，图 1-2 中活塞通过一系列杆件推动挖掘斗，这些由杆件组成的机构称为连杆机构。图 1-1 中构件 6、7 和机架组成齿轮机构，构件 8、9 和机架组成凸轮机构。各种机构的运动特点不同，使用场合也不同，后面将详加叙述。

第二节 本课程研究的内容

本课程共分十二章，第一章为绪论、第二章为机构的结构分析、第三章为连杆机构、第四章为凸轮机构、第五章为齿轮机构、第六章为轮系、第七章为步进机构、第八章为机器人机构、第九章为其它机构、第十章为机械运动动力学方程、第十一章为机械的平衡、第十二章为机械运动方案设计。但其内容可合并归纳为三个方面。

一、机构的运动分析与设计

从第二章到第九章属于本范围。首先要分析机构组成的原理，即研究机构是如何组成的和机构具有确定运动的条件。为了系统研究，还要根据不同的准则对机构进行分类。与此同时，要介绍用简单图形表达机构的结构状况的方法，如图 1-1b 所示。在国际上，机构简图的表达方法大致相同，这样有利于交流和运用。

按机构中主要构件的形状可把机构分成连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和其它常用机构。对各种简单机构的深入分析是系统分析的基础，也是本书的主要内容。为了分析方便，还可按机构的其它特征进行分类，如按运动链特征进行分类，机构可分为闭式链和开式链，开式链机构主要用于机械手。如把机构视为运动变换的系统，可以用输入和输出运动的相互关系来考虑分类，工程中有时要求把连续的输入运动转变为间歇式的单方向的转动或移动，而步进机构则体现了该种传动特征，它广泛用于自动机中。对这些机构中构件的位置、速度、加速度、有时还有加速度对时间的导数(即跃度)作分析，称为机构的运动分析。

机构的运动可以分为二种，一种是机构的输入和输出运动保持一定的函数关系，称之为传动；另一种是机构中的某一构件或构件上某一点相对机架实现某种运动轨迹，称之为引导。机构的运动分析也包含这些内容。

在分析的基础上，本课程给出了根据给定的运动要求设计各种简单机构的方法。由于机构运动的局限性，不是任何运动都可由机构实现。在分析时要掌握机构适用的范围，在设计时才会避免盲目性。又由于设计的难度远远大于分析，所以本书只能介绍一些基础知识。

还要提及的是，国外教材一般把机构设计称为“Synthesis of Mechanism”，而不用“Design”。“Synthesis”意为综合，含有在分析的基础上组合而成的意思，它更好地表达了机构设计的内涵。

二、机械动力学分析和设计

第十章机械运动动力学方程和第十一章机械的平衡属于本范围。机械动力学问题一般难度较大。机械动力学分析机器和机构在外力作用下真实运动规律和速度波动的问题，以及如何设计调速装置来减轻速度波动的不良影响。本章还有研究简单机构动力学分析的内容，分析机械运动时的惯性力和惯性力矩，并考虑机构的机架力平衡和输入功的平衡。单个转子在机架支承中的转动是工程中经常见到的，如电动机、汽轮机、汽车轮子等。要分析如何实现单个转子的静平衡和动平衡，从而减轻机架支承中的附加动载荷。还需要了解提高机器运转效率，减少机器振动的方法和途径。

本书会涉及少量和简单的动力学设计问题，为学生设计机器打下必要的动力学基础。由于计算机的应用，动力学设计已成为可能。

三、机械运动方案设计

首先，简要介绍设计的一般时序过程和设计时应有的逻辑思维方法。其次，介绍把对机器运动和动力方面的要求分解为若干子项。对每个子项选择若干可行的方案，再合理组合为几个原理方案。由于有效方案不止一个，还要研究方案评价和决策的办法，从中选出最优的原理方案。

当今世界，科技发展日新月异，新机器不断推出，多样化已成必然趋势。对机器的功能要求可以是一个，但产品方案可能有几个。例如，洗衣机的功能是洗涤衣服，但市场上的洗衣机有很多品种，从运动原理上分有立式和卧式两大类；从洗涤原理上分有干洗、水洗。设计人员的知识素质和创新能力对产品的特点和好坏起着决定性作用。这部分内容对学生的工程训练起着十分重要的作用，是培养学生创新思维的一个重要方面。

第三节 本课程的地位和学习方法

一、本课程的地位

本课程属技术基础课。一方面，它比数学、物理、力学更接近于工程；另一方面，它不同于机械制造设备、刀具、汽车设计等课程，更多的是研究共性方面的问题。对机械系统而言，本课程研究的内容具有广泛而普遍的意义。它在教学中起着承上启下的作用，是机械类专业重要的主干技术基础课，也是近机械类专业重要的技术基础课。

由于机械原理研究内容的相对独立性，在工程技术中也发展为独立实用的分

支。机器人机构学、仿生机构学、自动控制机构学都已成为具有工程实用意义的分支，它们与其它学科结合，在当前工程技术中发挥着重要作用。

二、学习方法

由于机械原理是一门承上启下的课程，其学习方法与基础课和专业课不同。这里强调下列几点。

1. 重视观察、比较和分类

本课程的内容具有普遍意义。人们在日常生活中经常接触到机器和机构，要善于观察、比较，捕捉共同点。如雨天用雨伞，雨伞可抽象为滑块移动的连杆机构，从原理上讲，与内燃机活塞连杆机构是完全一样的，为有一个滑块的连杆机构。再如人骑自行车，视人的大腿、小腿和脚板为杆件，就是很典型的连杆机构，与脚踏缝纫机的踏板到转轴组成的连杆机构有相同的运动特性，都是四连杆机构。

通过对客观事物的观察、比较和分类，就会加深对本课程内容的理解，提高学习兴趣，并且激发创造新机构、发现机构新用途的欲望，培养自己的创新思维 and 创新能力。

观察、比较和分类是科学思维的一般方法，在本课程的学习中得到初步培养，为将来发展打下良好基础。

2. 重视分析和综合

分析和综合是重要的思维方法。分析时，在尺度上把一个复杂的系统分解为简单的组元，在时间上把全程分解为片段，从而使得人们可以用简单的办法来处理问题。综合与分析恰恰相反，是把简单的组元综合成一个大系统，把时间的片段组合成全过程。这种思维在机构分析和综合的过程中得到充分和简明的表达，所以学好本课程也是方法学方面的一次有益训练。

3. 重视系统地看问题

世界是复杂的，机器也很复杂。通过本课程的学习，要学会系统地看问题。当机器很庞大、复杂时，可把它合理地分解成许多小部分，分解成简单机构来研究，然后，放在一个整体里，研究该机器的功能和特点。在钟表或飞机中一对齿轮只起了改变转速的功能，但钟表和飞机是完全不同的两种机器，这就说明总体效果不是组元功能的简单组合。

系统看问题有二点要特别强调。第一，局部之和不等于全局。一台机器由很多简单机构组成，这些机构运动的巧妙迭加形成了机器的复杂运动，局部与整体的关系是一个非线性关系。例如：织布机中，主要运动由连杆机构、凸轮机构和齿轮机构来实现，每个机构只能实现一些简单运动，但将它们协调组合在一起，就织出了结构复杂的织物。第二，局部的优化不等于全局的优化。在一部复杂的机器中，如果设计者只考虑每个机构的优化，而不考虑综合效果，则该机器并不

一定取得最优。

4. 重视实践

本课程内容多涉及数学与力学，并经常要使用计算机编程，因此在学习时自然会更多地考虑理论学习部分。但本课程研究的对象是工程中的实体，是为工程技术服务的，所以学生更应重视本课程有关的课程设计、实验，积极参加科技创新活动，参观展览会以开阔眼界。通过实践活动来丰富巩固自己的知识，培养动手能力和创新能力，发挥聪明才智，为将来走向社会打好基础。

第二章 机构的结构分析

机构是具有确定运动的实物组合体。作无规则运动或不能产生运动的实物组合均不能成为机构。了解机构的组成和结构特点，掌握机构组成的一般规律，无论对于分析已有的机构还是着手设计新机器，都具有十分重要的指导意义。

第一节 机构的组成

一、构件

从制造加工的角度来看，任何机械都是由若干单独加工制造的单元体——零件组装而成。例如图 1-1 所示的单缸内燃机，就是由气缸、活塞环、活塞体、活塞销、连杆体、连杆头、曲轴、齿轮、凸轮轴、弹簧、气阀、螺栓、螺母等一系列零件装配而成。

但是从机器实现预期运动和功能的角度来看，并不是每个零件都独立起作用。每一个独立影响机器功能并能独立运动的单元体称为构件。构件可以是一个独立运动的零件，也可以是几个零件刚性联接在一起组成的构件。图 2-1 所示的内燃机连杆就是由许多不产生相对运动的零件刚性联接而成的一个构件，它们组成一个不可分割的运动单元。

二、运动副

机构是由构件组合而成，其中每个构件都是以一定的方式与其它构件相互联接。相互联接的两构件既保持直接的接触，又能产生一定的相对运动。每两个构件间的这种直接接触所形成的可动联接称为运动副。如图 2-2 所示的轴与轴承间的联接，图 2-3 所示的凸轮与滚子间的接触都构成了运动副。

构成运动副的两个构件间的接触不外乎点、线、面三种形式，两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分称为运动副元素。

运动副有多种分类方法。常见的有下列几类：

1. 按运动副的接触形式分类

面接触的运动副称为低副；点、线接触的运动副称为高副，由于高副接触的压强较低副大，故高副比低副易磨损。

2. 按相对运动的形式分类

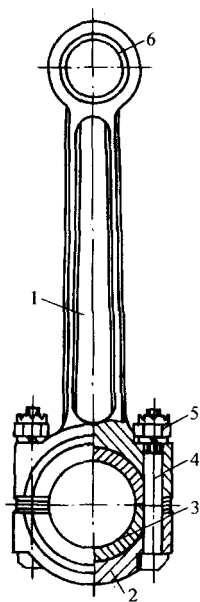


图 2-1 内燃机
连杆

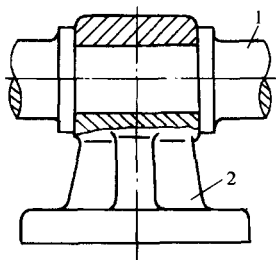


图 2-2 轴与轴承间的联接

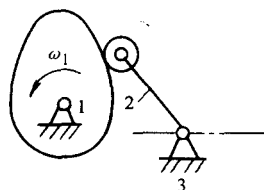


图 2-3 凸轮与滚子间的接触

构成运动副的两构件之间的相对运动若为平面运动则称为平面运动副，若为空间运动则称为空间运动副。

进一步分类，两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副或回转副；两构件之间只作相对移动的运动副，则称为移动副。

3. 按接触部分的几何形状分类

根据组成运动副的两构件在接触部分的几何形状，可分为圆柱副、球面副、螺旋副等。

表 2-1 中列出了常用运动副所属类型、代号及表示符号。

表 2-1 常用运动副所属类型、代号及表示符号

| 名称 | 代号 | 运动副类型 | 图 | 基本符号 | 可用符号 | 自由度 | 引入约束 | |
|------|----|-----------------|---|------|------|-----|------|----|
| | | | | | | | 转动 | 移动 |
| 球面副 | S | 空间 3 级 低副 | | | | 3 | 0 | 3 |
| 球销副 | S' | 空间 4 级 低副 | | | | 2 | 1 | 3 |
| 圆柱副 | C | 空间 4 级 低副 | | | | 2 | 2 | 2 |
| 平面高副 | | 平面 4 级 高副 | | | | 2 | 2 | 2 |