



新世纪本科生系列教材

机械原理

赵卫军 主编

赵卫军 王 晶 姜 琪 编著



西安交通大学出版社

新世纪本科生系列教材

机械原理

赵卫军 主编

赵卫军 王 晶 姜 琪 编著

西安交通大学出版社

内容简介

本书是西安交通大学机械设计系列课程体系改革新编教材之一。书中以机械运动系统方案和机构设计为主线,介绍了机构设计的基本概念、基本机构的特性及应用、机构的变异和组合、机构运动系统方案设计、机构的尺寸综合和机构的性能分析。本书着重于培养学生形象思维方式和创造能力,使读者在充分掌握机构分析和设计的基础技术的同时,为进行创造性设计,拓宽设计思路打下一定的基础。

本书可供高等院校机械类或近机类各专业的教材或参考书,也可供非机械类学生和有关工程技术人员使用或参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/赵卫军等编著. —西安:西安交通大学出版社,2003.3

ISBN 7-5605-1666-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 011963 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)

陕西省轻工印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:727 mm×960 mm 1/16 印张:27.125 字数:443 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

印数:0 001~4 000 定价:28.00 元

发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

机械原理课程是高等工科院校机械类专业所开设的一门基础性的技术课程,主要研究机械设计和制造技术中机械运动部分的运动结构、性能和设计问题。这门课程性质之所以称为基础,是因为研究的对象并不是确定的某一类机械,而是研究机械中的共性问题,如机械是如何组成的,机械运动部分的结构又怎样,运动是如何传递和变换的,机械运动系统又是怎样设计的等等;之所以称为技术,是因为要解决的是实际环境下的工程技术问题,也就是有什么样的现实条件,用怎样的物体,怎样组成机械运动系统来实现具体的机械运动要求。它不像基础课那样经过高度的抽象而远离实际,又不像专业课那样涉及到一些特殊的具体问题。因此,在学习基础课之后,学习专业课之前,特别需要培养一种将实际问题抽象成基础理论问题的能力,以及将基础理论应用于解决涉及面较窄(只有部分工程背景)的工程技术问题的能力。而反映能力的两个主要方面是知识和思维方式,其中的知识包括理论知识和经验知识(直接经验和间接经验),思维方式包括逻辑思维方式和形象思维方式等。这也就是设置基础技术类课程的主要目的和主要任务。

如果只是认识机械的运动部分,也就是分析该机械运动部分的组成特征,它的运动功能,运动特性和传力的特性,那么,在本课程以前的理论力学课程中已经提供了必要的理论知识,同学们欠缺的只是对多种不同类型的实际机器进行具体的分析研究,比较熟练地掌握分析方法和技能,并从中积累一些常见机构特性的基本知识。唯有填补这一不足,才能在实际应用中达到熟能生巧的地步。然而,认识机械的目的是为了创造(新)机械,也就是设计机械。而设计机械的运动部分时,实际上是从要求实现的功能(或运动功能)开始的,要确定用怎样的运动方式,怎样的技术原理,怎样的机构类型,怎样的尺寸,甚至怎样的几何形状、怎样的材料来实现这个功能。在这一个设计(决策)过程中,已知条件常常是不充分的。而且,同一种功能可由不同的运动方式来实现;同一种运动方式可由不同的机构来实现;同一种机构也可由不同几何形状的物体来实现。因而,同一个要求可得到多种可能的解决方案。于是,还必须从中评价出一个性能更好、更具有创造性的结果。这个过程的特点说明,设计过程中隐含了更多的创新机遇,也说明设计不仅要求人们应具有对分析结果简单、直接应用的能力,更重要的是应具有创造性的发散性思维形式,应具有策划众

多方案的能力和对分析结果灵活应用的能力。

对机构组成的看法,是建立机构方案设计思路的基础。传统的看法认为,机构是由机架、若干个原动件和自由度为零的构件组合(杆组)连接而成的,构件、运动副数量之间的关系通过自由度联系在一起。由此,传统的机构设计思路是从机构自由度公式出发,按原动件数确定用几个构件,几个什么类型的运动副,运动副在构件上怎样配置,构件间怎样连接,从而构成若干个可能方案。这种组成机构方案的思路可以得到尽可能多的方案数,但其致命的弱点是组构的方案与要求的功能(运动方式、运动特性)之间没有直接的关系。20世纪70年代末,本校教师经过实地调研和对上万个机构资料的分析研究结果,提出了机构系统一般是由基本机构、或基本机构的变异机构、或由它们组合而成的观点^①。这个观点导致研究基本机构的运动特性、传力特性,机构的变异方法,变异以后机构的特性变化规律,机构的组合方法,组合以后机构的特性变化规律。设计机构时,面对用户提出的功能要求,不论此功能要求是怎样表述的,一般需要将此功能进行运动化,即转化成为某种形式的运动要求,针对转化后的运动要求选择适当的基本机构、或再进行适当的变异、或再进行适当的组合。这种设计思路的优点是要求的运动功能和机构的特性及设计者积累的经验直接相关,易于得到合适的方案;其次它的思维形式也符合客观规律。例如:各种功能的电器都是由一些基本的功能元件(电阻、电容、电感、半导体元件等)通过变异、组合而成的;各种化学产品均由一百多个化学元素经过变异、组合而成的;甚至具有各种感情色彩的乐曲也可认为是由几个基本音符,经过高、低八度的“变异”和按乐理的“编排”“组合”而成的;其余诸如组合机床、计算机程序、积木式玩具等,不一而足,无一不是由基本元素,经变异、组合而成的。这种思路的缺点是容易因疏忽而导致好方案遭到遗漏。为弥补这种缺憾,后来又提出了先用第二种思路得到不同构件数的方案,然后引入第一种思路的方法得到相对完整的方案数,最后还可将这些方案推演出含有其他类型运动副的机构方案。这个设计思路就是本教材与目前已出版的各种改革教材根本不同之处。

作者在对机械原理课程体系进行了近20年的不断改革探索和教学实践中,逐渐形成了以机械运动方案和机构设计为主线的新体系。并结合我校的机械基础课程体系改革、教学实践的具体情况,在1986年由高等教育出版社出版的《机械原理》教材和1994年编著的《机械原理》讲

^① 姜琪,徐曾荫编,《机构组合与组合机构的分析和综合》,1982年第一届全国机构学术年会论文,刊于《东北重型机械学院学报》增刊,1983年,以后的6年内被8本教材所引用。

义的基础上编写了这本教材,作为我校机械类本科机械原理课程的教材。这本教材列入我校机械设计课程体系改革新编的系列教材之一,是机械设计系列课程的重要组成部分,机械设计系列课程是针对机械类学生的培养目标而设置的新的课程体系,它包括《机械原理》(原名为《机械运动方案及机构设计》)在内的4门课程,其中每一门课程都是与整体课程密切联系,不可分割的。

由于科技与产业的飞速发展,使得机械设计由原来的模仿性设计、类比性设计向独立设计、创造性设计转变;且随着机械产品的竞争愈演愈烈,要求机械产品不断创新、提高产品的质量、完善和改进产品性能的呼声愈来愈高,这就要求机械设计工作者不断的开发新的、性能完善的机械产品。而新产品的开发,首先要解决的问题是机械运动系统方案的构思和设计。不少专家认为,一个产品的好坏,关键在于设计。

面对市场经济的需要,为培养具有创新设计型和开拓型工程技术人才,以及拓宽专业面的要求,课程设置、课程体系、课程内容和教学方法的改革势在必行。原来以认识机器为目的而形成的机械原理课程和体系,游离于机械设计的体系之外,造成了学校教育与工业生产两者在机械设计这一领域中的脱节。所以,体系需要改革已为广大机械原理教学工作者所共识。

如上所述,机械运动系统方案和机构设计是机械设计的首要阶段,这一阶段的设计质量是机器工作质量好坏的先天性决定因素;从教育方面看,它理应成为机械设计系列课程中的第一门课程,也是学生接受工程观点的启蒙课程之一;本课程所包含的内容,在机械设计工作中是最富有创造性的工作内容。因此,它也是培养学生形象思维方式和创造性能力的广阔园地。基于上述的认识,本书既考虑到学校教学的特点,又不拘泥于过去的学校教科书和面向企业设计人员的参考书的形式,在思维形式上,逻辑思维和形象思维并存,在内容上,分析和设计并举,为有志于从事机械设计的各位读者,在充分掌握机构分析和设计的基础技术的同时,如何去进行创造性设计,拓宽自己的思路打下一定的基础。

本课程共分7个部分:第1部分为绪论;第2部分主要介绍机构设计的几个基本概念;第3部分为常用基本机构的特性及应用;第4部分是基本机构的变异和组合;第5部分为机械运动系统方案设计;第6部分是机构尺寸设计;第7部分为机构性能分析和调节。为便于读者自学和复习,西安交通大学出版社还出版了《机械原理学习指导》和《机械原理习题精解》,作为本书的配套教材使用。

本书第 0 章、第 2 章由姜琪、赵卫军编写,第 1 章、第 4 章、第 9 章、第 10 章由赵卫军编写,第 3 章由姜琪、王晶编写,第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章由王晶编写。并由赵卫军负责统稿、编定。

由于作者的水平有限,疏漏和欠妥之处在所难免,恳请广大同仁和读者批评指正。

编著者

2003 年 2 月

目 录

第 0 章 绪论	(1)
0.1 机械原理课程的任务是认识机构和设计机构	(1)
0.1.1 机械原理学科的形成	(1)
0.1.2 机器、机构、机械的定义	(2)
0.1.3 机械原理课程是认识和设计机构的课程	(6)
0.2 机械原理课程是机械设计的第一门课程, 是富于创造性的课程	(6)
0.2.1 机械设计和制造过程	(7)
0.2.2 机械原理课程是发挥创造力的广阔园地	(8)
0.3 人人都有创造的潜力,关键在于勤学、勤思、勤动手 ...	(9)
第 1 章 机构设计中的几个基本概念	(12)
1.1 机构运动简图	(12)
1.1.1 机构组成要素	(12)
1.1.2 运动链与机构	(17)
1.1.3 机构运动简图的画法	(17)
1.1.4 机构运动简图的作用	(23)
1.2 机构自由度	(25)
1.2.1 在平面中自由运动的构件的自由度	(25)
1.2.2 平面运动副对构件的约束	(26)
1.2.3 平面机构自由度计算公式	(26)
1.2.4 应用平面机构自由度计算公式时的注意事项	(27)
1.2.5 机构自由度与主动件(原动件)的关系	(34)
1.2.6 空间机构的自由度	(35)
1.3 平面机构组成原理	(41)
1.3.1 杆组	(41)
1.3.2 平面机构组成原理及结构分析	(44)
1.3.3 平面高副低代法	(47)

1.4 机构运动的速度瞬心及由瞬心求速度	(49)
1.4.1 速度瞬心	(49)
1.4.2 瞬心的求法	(50)
1.4.3 用瞬心求速度	(52)
1.5 运动副的自锁和机械效率	(54)
1.5.1 运动副中的摩擦及自锁	(54)
1.5.2 机械效率及自锁	(63)
习题	(69)
第2章 常用基本机构的特性及应用	(80)
2.1 概述	(80)
2.2 平面四杆机构的特性及应用	(81)
2.2.1 铰链四杆机构的组成	(82)
2.2.2 铰链四杆机构的运动特性	(82)
2.2.3 铰链四杆机构的传力特性	(90)
2.2.4 铰链四杆机构的应用举例	(92)
2.3 凸轮机构的特性及应用	(97)
2.3.1 凸轮机构的组成	(97)
2.3.2 凸轮机构的运动特性	(101)
2.3.3 凸轮机构的传力特性	(103)
2.3.4 凸轮机构的应用举例	(104)
2.4 齿轮机构的特性及应用	(107)
2.4.1 齿轮机构的组成	(107)
2.4.2 齿轮机构的运动特性	(110)
2.4.3 齿轮机构的传力特性	(124)
2.4.4 齿轮机构的应用举例	(125)
2.5 其它技术原理组成的机构特性及应用	(131)
2.5.1 依靠摩擦力传递运动的机构	(131)
2.5.2 有弹性、振动、惯性、重力作用的机构	(136)
2.5.3 液压、气动作用机构的特性及应用	(141)
2.5.4 电气机构的特性及应用	(142)
2.5.5 热、光、声、生物技术原理的应用	(143)

习题	(145)
第3章 基本机构的变异和组合	(152)
3.1 基本机构	(152)
3.1.1 单自由度基本机构及其特性	(152)
3.1.2 两自由度基本机构及其特性	(153)
3.2 基本机构的变异	(154)
3.2.1 变更机构的机架——倒置	(154)
3.2.2 改变运动副及构件的尺寸	(158)
3.2.3 改变运动副的形状	(160)
3.2.4 改变运动副的位置	(161)
3.2.5 增加辅助构件	(162)
3.3 常用变异机构的特性和应用	(163)
3.3.1 棘轮机构	(163)
3.3.2 槽轮机构	(167)
3.3.3 不完全齿轮机构	(171)
3.3.4 球面连杆机构(万向联轴器)	(175)
3.4 机构的组合	(179)
3.4.1 机构的串联组合	(179)
3.4.2 机构的并联组合	(185)
3.4.3 机构的反馈组合	(189)
3.4.4 机构的运载组合	(191)
3.4.5 机构的时序组合	(192)
习题	(194)
第4章 机械运动系统方案设计	(200)
4.1 概述	(200)
4.2 从机器功能要求出发设计机械运动系统方案	(201)
4.2.1 使用要求与机器的功能	(201)
4.2.2 机器功能与机械运动系统	(201)
4.2.3 机械运动系统方案的设计过程	(202)
4.3 从构件数、运动副数及其合理配置要求出发设计 机械运动系统方案	(210)

4.3.1	构件数、运动副数与机构自由度的关系	(210)
4.3.2	运动副在构件上配置的方法	(210)
4.3.3	构件连接方法	(212)
4.3.4	基本结构的变异	(214)
4.3.5	机械运动系统方案的确定方法	(217)
	习题	(221)
第5章	平面连杆机构设计	(224)
5.1	平面连杆机构的基本设计命题	(224)
5.2	图解法设计实现给定位置的四杆机构	(225)
5.2.1	半角转动法的基本几何关系	(225)
5.2.2	实现给定连杆有限相离位置的四杆机构设计	(227)
5.2.3	实现给定两连架杆对应角位移的铰链四杆机构设计	(234)
5.2.4	实现给定行程速比系数 K 的四杆机构设计	(240)
5.3	实验法设计实现给定连杆轨迹的四杆机构	(242)
5.3.1	实验法	(242)
5.3.2	图谱法	(242)
5.4	解析法设计铰链四杆机构	(243)
5.4.1	给定连杆位置设计铰链四杆机构	(243)
5.4.2	给定轨迹上5点及主动(或从动)连架杆相应位置的铰链四杆机构设计	(247)
5.4.3	实现给定两连架杆对应位置的铰链四杆机构设计	(248)
5.4.4	要求实现给定轨迹的铰链四杆机构设计	(249)
	习题	(250)
第6章	凸轮机构设计	(256)
6.1	从动件的常用运动规律及其选择	(256)
6.1.1	多项式类基本运动规律	(257)
6.1.2	三角函数类基本运动规律	(260)
6.1.3	组合运动规律(改进型运动规律)	(262)
6.1.4	从动件运动规律的选择	(264)

6.2 根据从动件位移规律绘制凸轮廓线	(265)
6.2.1 对心尖顶移动从动件盘形凸轮机构	(265)
6.2.2 偏置尖顶移动从动件盘形凸轮机构	(267)
6.2.3 尖顶摆动从动件盘形凸轮机构	(268)
6.2.4 滚子从动件盘形凸轮机构	(269)
6.2.5 平底从动件盘形凸轮机构	(271)
6.3 从动件的许用压力角和凸轮的基圆半径	(273)
6.3.1 机构自锁与从动件的许用压力角	(273)
6.3.2 凸轮机构压力角与基圆半径	(274)
6.3.3 按结构、强度确定凸轮基圆半径	(279)
6.4 凸轮廓线的解析式	(280)
6.5 空间凸轮机构	(281)
6.5.1 移动从动件圆柱凸轮机构	(281)
6.5.2 摆动从动件圆柱凸轮机构	(282)
6.5.3 空间凸轮单向间歇运动机构	(283)
习题	(285)
第7章 齿轮啮合原理及机构设计	(289)
7.1 渐开线和渐开线圆柱直齿轮	(289)
7.1.1 共轭齿廓	(289)
7.1.2 圆的渐开线及其性质	(289)
7.1.3 渐开线标准圆柱直齿轮轮齿的排列(齿轮各部分名称和尺寸)	(291)
7.2 平行轴间一对圆柱渐开线标准直齿轮机构	(296)
7.2.1 一对渐开线齿廓啮合能保证传动比恒定	(296)
7.2.2 一对渐开线齿轮的啮合过程	(297)
7.2.3 一对渐开线直齿圆柱齿轮的连续传动条件	(298)
7.2.4 齿轮作无侧隙传动的条件及标准安装中心距	(303)
7.2.5 齿轮齿条啮合传动	(303)
7.3 范成法加工渐开线齿轮	(304)
7.3.1 轮齿齿廓的切制原理	(304)
7.3.2 齿条刀加工渐开线标准齿轮	(306)

7.3.3 用齿条型刀具切制标准圆柱直齿轮不发生根切的 最少齿数	(308)
7.4 齿轮的变位——非标准齿轮	(309)
7.4.1 齿条型刀具加工直齿轮不根切的最小变位系数	(309)
7.4.2 变位齿轮的尺寸变化	(309)
7.4.3 一对变位齿轮传动的尺寸	(310)
7.5 平行轴间渐开线斜齿圆柱齿轮	(314)
7.5.1 斜齿轮的形成	(314)
7.5.2 斜齿圆柱齿轮与斜齿条啮合	(315)
7.5.3 斜齿轮标准参数,当量齿轮	(316)
7.5.4 斜齿轮传动的优缺点	(318)
7.6 相错轴间螺旋齿轮机构和蜗杆蜗轮机构	(319)
7.6.1 螺旋齿轮机构	(319)
7.6.2 蜗杆蜗轮机构	(320)
7.7 相交轴间的圆锥齿轮机构	(323)
7.8 平行轴间传动机构的其他齿形	(326)
7.8.1 摆线齿形	(326)
7.8.2 圆弧齿形	(328)
7.8.3 任一对共轭曲线的作图求解	(329)
7.9 齿轮机构设计	(331)
7.9.1 齿轮机构中各对齿轮间传动比的选择和分配 ..	(331)
7.9.2 齿数设计	(332)
习题	(335)
第8章 机构组合系统的尺寸综合(设计)	(339)
8.1 概述	(339)
8.2 机构串联组合的尺寸综合	(340)
8.2.1 方案一	(340)
8.2.2 方案二	(342)
8.2.3 方案三	(346)
8.3 机构并联组合的尺寸综合	(347)

8.3.1 四构件四移动副机构为基础机构的并联组合系统	(347)
8.3.2 差动轮系为基础机构的并联组合系统	(348)
8.4 机构反馈组合的尺寸综合	(352)
8.5 机构运载组合的尺寸综合	(353)
8.6 机构时序组合的尺寸综合	(353)
习题	(356)
第9章 机构的运动学性能分析	(360)
9.1 机构运动分析的目的和方法	(360)
9.2 用相对运动向量图解法分析机构的运动	(361)
9.2.1 铰链四杆机构的速度和加速度分析 ——同一刚体上两点之间的运动关系	(362)
9.2.2 导杆机构的速度和加速度分析 ——不同刚体上两点之间的运动关系	(367)
9.2.3 有滚滑副的机构速度和加速度分析	(370)
9.2.4 通过特殊点进行机构运动分析	(373)
9.3 机构的运动线图	(377)
9.4 用解析法分析机构的运动	(378)
习题	(381)
第10章 机构动力学性能分析	(384)
10.1 概述	(384)
10.2 作用在机构上的力,机器运动的3个阶段	(384)
10.2.1 作用在机构上的力	(384)
10.2.2 驱动力和工作阻力的形式	(385)
10.2.3 机器运动的3个阶段	(386)
10.3 等效力矩(力)和等效转动惯量(质量)	(388)
10.4 机构运动方程式	(392)
10.5 已知力作用下求机构的真实运动	(393)
10.5.1 等效力矩为等效构件角位置函数时的运动求法	(394)

10.5.2 等效力矩为等效构件角速度函数,等效转动惯量为 常数时的运动求法·····	(396)
10.6 周期性速度波动的调节——飞轮转动惯量的计算 ·····	(397)
10.6.1 调节周期性速度波动的目的和方法·····	(397)
10.6.2 机器运转的平均角速度和不均匀系数·····	(398)
10.6.3 飞轮转动惯量的计算·····	(400)
10.6.4 非周期性速度波动的概念·····	(403)
10.7 回转体的平衡·····	(404)
10.7.1 回转体平衡的目的和内容·····	(404)
10.7.2 质量在同一回转平面内的转子的平衡·····	(405)
10.7.3 质量不在同一回转平面内的转子的平衡·····	(406)
10.7.4 转子不平衡量的表示方法与许用不平衡量·····	(410)
习题·····	(413)
参考文献·····	(418)

第 0 章

绪论

绪论在于立足全局,勾划概貌,使读者了解本课程的任务、内容及特点,对如何进行学习做到心中有数。也就是说要回答学什么、为什么学和如何学这 3 个问题。

0.1 机械原理课程的任务是认识机构和设计机构

0.1.1 机械原理学科的形成

“机械原理”成为现在这样一门研究机械的基础学科,它的历史还是比较年轻的。17 世纪末叶牛顿的三大定律建立了理论力学基础,18,19 世纪对刚体力学的研究已达到比较成熟的阶段。首先出现了法国和英国的古典机械科学学派,他们发表了机械运动学和机械分类学方面的一些著作,欧拉也已提出了有关齿廓曲线问题的研究成果。但是当时的“力学”一般还停留在理论研究阶段,还没有用来指导机器的实际生产。到了 19 世纪末叶,随着欧洲的产业革命,机器制造业得以迅速发展,因而产生了基本科学怎样与工程技术相结合的问题。在德国,伟大的数学、力学家克拉茵教授主持下,在哥廷根大学里首先创设了“应用力学”专业;以后在他的影响下,其他国家的各个大学里亦相继开出“工程力学”等课程。不久就从“力学”的范畴中分支出了“材料力学”、“应用力学”、“机构学”、“机械零件”等独立的学科。其中“机构学”发展到后来就成为现在的“机械原理”。

19 世纪末的“机构学”仅限于研究机器的运动学问题。到 20 世纪,由于高速、大质量机械的出现,才在机构学课程中加入了机械动力学问题的研究。以后随着机器生产的不断发展,又增加了许多新的分析与设计问题,这样才渐渐形成了现在的“机械原理”课程。所以,机械原理是研究机器的运动学和动力学问题的学科。

0.1.2 机器、机构、机械的定义

在日常生活和生产过程中,人类广泛的使用着各种各样的机器设备,用以减轻人类自身的体力劳动、脑力劳动或用来提高工作效率。在有些人类难以涉足的场合,更是需要用机器来代替人进行工作。

在此之前,我们对机器多少已有一些直觉的认识。知道内燃机、压缩机、拖拉机、机床、缝纫机等都是机器,而且知道机器的种类繁多,构造、用途和性能也各不相同。但什么是机器?它又有何特征呢?换句话说,也就是如何给机器下一个确切的定义。作为定义,要描述出“区别于其他事物的共同特征”。下面通过内燃机和牛头刨床这两台机器来分析、归纳它们到底有些什么共同的特征。

图0-1(a)所示为一台单缸四冲程内燃机,它可以将燃气燃烧时产

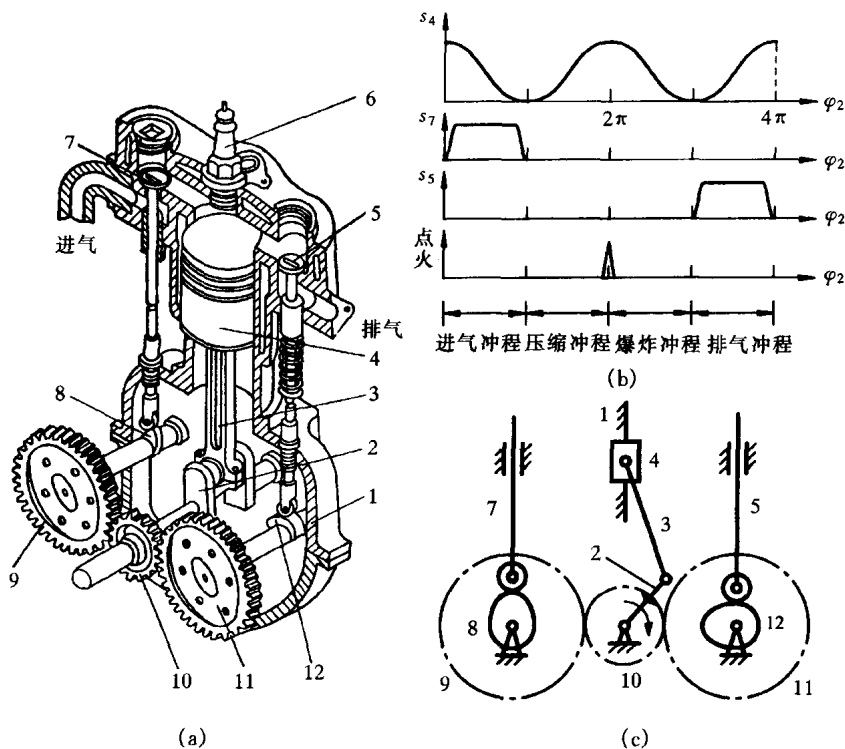


图 0-1