

高等学校机械基础课程系列教材

机械基础设计实践

主编 孔凌嘉 张春林 荣 辉
主审 毛谦德

高等学校机械基础课程系列教材

机械基础设计实践

主编 孔凌嘉 张春林 荣 辉
主审 毛谦德

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是配合机械基础系列课程的课程设计——设计实践环节而编写的。

全书共分三篇：第一篇为设计方法与内容，包括绪论、机械运动与机构选型、机构系统及其运动方案设计、机械结构设计、结构设计实例——减速器的设计、编写设计说明书和准备答辩、设计题目等七章；第二篇为机械设计常用标准和规范，包括常用数据资料和一般标准规范、工程材料、极限与配合、几何公差和表面结构、齿轮及蜗杆传动精度、螺纹和紧固件、键连接及销连接、滚动轴承、联轴器、润滑与密封、电动机等十章。第三篇为参考图例。

本书适用于高等工科大学机械类和近机械类专业，还可作为毕业设计和有关工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础设计实践/孔凌嘉, 张春林, 荣辉主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3073 - 5

I. ①机… II. ①孔… ②张… ③荣… III. ①机械设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 034132 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 23

字 数 / 533 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 39.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

在高等学校工科教育中，一些具有设计性的课程在理论教学完成后，需要开设实践性、训练性的课程设计，加强与巩固课堂所学理论知识，培养和提高学生的实际设计能力。

随着科学技术的飞速发展和教学改革的不深入以及 21 世纪的知识经济对科技人员的需求，原来单独进行的课程设计已不适合现代机械学科人才的培养目标。因此，我们把课程设计的改革纳入机械设计系列课程建设与改革的整体规划中，重新定位课程设计的内容。经过多年的教学改革与探索，我们把机械原理课程的课程设计和机械设计课程的课程设计合并起来，结合机械制图、几何精度设计与检测、制造工艺基础等课程的基本知识，进行了机械基础系列课程的综合课程设计，经过连续多年的探索，不断总结经验，最后决定将机械基础系列课程的课程设计命名为“机械基础设计实践”。

机械基础设计实践的目的不但能巩固学生所学机械基础系列课程的基本理论、基本知识和基本技能，提高设计能力，而且通过对简单机械系统的设计，培养学生综合运用机械基础系列课程中机械制图、机械制造基础、机械原理、几何精度设计与检测、机械设计、机械创新设计等课程的基本理论和基本知识的能力；通过进行机械系统运动方案设计的基本训练，加强创新设计能力的培养；学会把机构系统设计成机械实体装置，完成从方案拟订到机械结构设计的全过程训练；通过查阅和使用各种设计资料，运用 CAD 技术或其他工程设计软件完成机构设计与分析、机械零部件设计、绘制装配图、零件图及编制设计说明书等基本技能的训练；从而达到培养学生分析和解决工程实际问题的能力、创新思维能力、创新设计能力。通过完整的机械系统设计过程，使学生的设计能力，特别是创新能力得到提高。

机械基础设计实践的主要设计内容如下：

- (1) 根据设计要求确定待设计产品的机械系统运动方案并进行优选。
- (2) 对该方案中的主体机构进行尺度综合。
- (3) 对主体机构进行运动分析和受力分析。
- (4) 绘制机构系统的运动简图。
- (5) 进行机构系统的运动协调设计。
- (6) 机械系统传动方案设计。
- (7) 机械系统传动装置的设计与装配图绘制。
- (8) 典型零件的设计与绘图。

为保证设计实践的顺利进行，本书包括机械设计过程中的机构选型设计、机械系统运动方案的设计、机构设计与分析、机械系统的结构设计、工程材料、机械零件强度的设计、机械设计实例分析、公差与配合的基本知识、机械设计常用标准与规范以及一些设计参考图例，为设计实践提供了基本理论知识、设计常识、设计经验和设计参考资料，为设计实践奠定了理论基础和技术基础。

本书的主要特色如下：



(1) 从机构选型设计、机构设计、机构分析、机构演化与变异、机构组合设计、机构运动系统的方案设计, 完成了完整的机构系统设计和机械创新设计的基本训练。

(2) 通过运动副和构件的结构设计, 实现了从机构到机械结构设计的训练, 使学生完成了机构简图到机械装配图设计的基本训练。

(3) 通过典型装置的设计, 使学生在常用机械零件的强度设计、润滑与密封设计、总体设计等方面受到训练。

(4) 设计内容和设计过程使用 CAD 技术, 使学生在掌握工程设计软件方面得到基本训练。

(5) 通过查阅本书提供的设计标准、规范、图表, 使学生受到查阅文献资料的基本训练。

(6) 本书提供了一些典型设计题目, 为学生选题提供了帮助。

参加本书编写的有: 张春林(第一章、第二章、第三章、第十五章、第十七章)、孔凌嘉(第四章、第五章、第八章、第十章、第十一章、第十四章、第十六章)、荣辉(第六章、第七章、第九章、第十二章、第十三章、第十八章)。孔凌嘉负责统稿, 毛谦德担任主审。

由于作者水平有限, 本书还会存在一些误漏之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 设计方法与内容

第一章 绪论	3
第一节 机械基础设计实践概述	3
第二节 机械设计方法综述	4
第三节 机械基础设计实践的地位和作用	5
第四节 机械基础设计实践的内容与要求	6
第二章 机械运动与机构选型	8
第一节 概述	8
第二节 基本机构及其运动形态	9
第三节 机械运动与机构选型	16
第三章 机构系统及其运动方案的设计	23
第一节 机械系统的组成	23
第二节 机构系统设计的构思	26
第三节 机构系统的设计方法	30
第四节 机构系统的运动协调设计	38
第五节 机械系统运动方案的设计	42
第六节 机械系统运动方案的评估	43
第四章 机械结构设计	47
第一节 运动副的结构设计	47
第二节 活动构件的结构设计	50
第三节 机架的结构设计	59
第四节 机构系统向结构实体转化的设计实例	63
第五章 结构设计实例——减速器的设计	65
第一节 传动装置总体设计	65
第二节 传动零件的设计计算及联轴器的选择	73
第三节 减速器的构造	75
第四节 减速器装配草图设计	82
第五节 减速器装配图的设计与绘制	99
第六节 零件工作图的设计与绘制	103
第六章 编写设计说明书和准备答辩	110
第一节 编写设计说明书	110
第二节 设计答辩	111



第七章 设计题目	113
----------	-----

第二篇 机械设计常用标准和规范

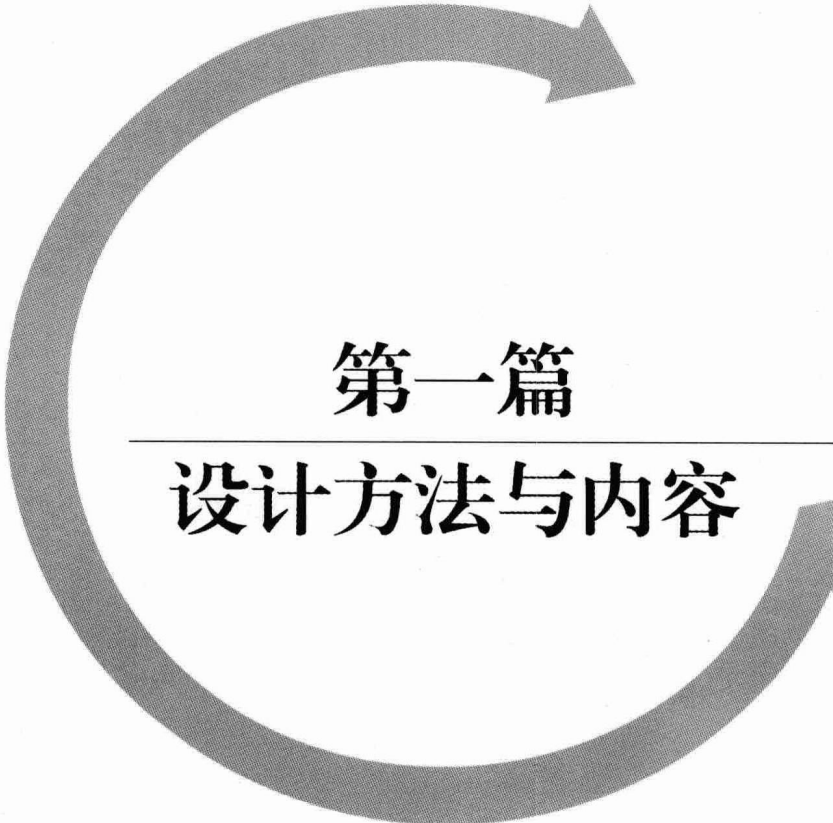
第八章 常用数据资料和一般标准规范	127
第一节 常用数据	127
第二节 机械制图部分标准	133
第三节 机械设计一般标准规范	144
第九章 工程材料	157
第一节 黑色金属材料	157
第二节 型钢	168
第三节 有色金属材料	174
第四节 工程塑料	177
第十章 极限与配合、几何公差和表面结构	179
第一节 极限与配合	179
第二节 几何公差	187
第三节 表面结构	193
第十一章 齿轮及蜗杆传动精度	202
第一节 圆柱齿轮精度	202
第二节 锥齿轮精度	209
第三节 蜗杆、蜗轮精度	215
第十二章 螺纹和紧固件	221
第一节 螺纹	221
第二节 螺栓与螺母	224
第三节 螺钉	228
第四节 螺母	234
第五节 垫圈、挡圈	236
第六节 螺纹连接的结构要素	241
第十三章 键连接及销连接	246
第一节 键连接	246
第二节 销连接	250
第十四章 滚动轴承	253
第一节 常用滚动轴承尺寸及性能	253
第二节 滚动轴承的配合与游隙	276
第十五章 联轴器	281
第一节 联轴器轴孔和连接形式与尺寸	281
第二节 常用联轴器	282
第十六章 润滑与密封	293
第一节 润滑剂	293
第二节 油杯、油标、油塞	296



第三节 密封件.....	300
第四节 通气器.....	304
第五节 轴承盖、套杯.....	305
第十七章 电动机.....	307

第三篇 参考图例

第十八章 参考图例.....	315
第一节 机械系统图例.....	315
第二节 减速器结构图例.....	315
第三节 零件工作图图例.....	315
参考文献.....	358



第一篇

设计方法与内容

第一章 绪 论

第一节 机械基础设计实践概述

一、机械基础设计实践

提高学生综合设计能力、特别是提高创新设计能力,是 21 世纪的机械基础课群建设的改革主线。如何在课程设计的过程中突出培养学生的设计能力,特别是创新设计能力是机械基础课群建设中的难点。在改革中,我们把原“机械原理”和“机械设计”的课程设计进行合并、综合,并称为机械基础设计实践。在进行了多年的实践与探索后,通过不断总结与改进,逐步完善了机械基础设计实践的内容与体系,使之成为机械基础课群的实践教学中的重要组成部分,在培养学生的设计能力、特别是培养创新设计能力的全局中发挥了重要作用。

二、机械基础设计实践的目的

在进行教学改革之前,单独进行一周时间的机械原理课程设计和 3~4 周时间的机械设计课程设计。两门课程设计没有选题与内容的衔接,各自单独进行,因此它们的目的与要求也有很大的区别。

随着科学技术的飞速发展和教学改革的不断深入以及 21 世纪的知识经济对科技人员的需求,原课程设计的目的已不适合现代机械学科人才的培养目标。因此,我们把课程设计的改革纳入机械设计基础课群建设的整体规划中,把单独的机械原理和机械设计的课程设计合并为机械基础设计实践。

机械基础设计实践的目的在于巩固学生所学机械基础课群课程的基本理论和基础知识,培养分析和解决工程实际问题的能力、创新思维能力、创新设计能力。通过完整的机械系统设计过程,使学生的设计能力、特别是创新能力得到提高。

本课程的任务是:通过对机械系统的设计,使学生综合运用机械基础课群中机械制图、机械制造基础、机械原理、几何精度设计与检测基础、机械设计、机械创新设计等课程的基本理论和基本知识;进行机械系统运动方案设计的基本训练,加强创新设计能力的培养;学会把机构系统设计成机械实体装置,完成从方案拟订到机械结构设计的过程训练;通过查阅和使用各种设计资料,运用 CAD 技术等完成机构分析、机械零部件设计、绘制装配图、零件图及编制设计说明书等基本技能的训练。

第二节 机械设计方法综述

机械基础设计实践的主要内容是针对某一题目进行机械设计,对机械设计方法的了解是必要的。工程中经常提及的设计方法有常规机械设计方法、现代设计方法和创新设计方法。

一、常规设计方法

常规设计方法也称传统的设计方法。常规机械设计方法,依据力学和数学建立的理论公式和经验公式,运用图表和手册等技术资料,以实践经验为基础,进行设计计算、绘图和编写设计说明书。

一个完整的常规机械设计主要由下面的各个阶段所组成。

1. 市场需求分析

本阶段的一个标志就是市场调研报告的完成。

2. 明确机械产品的功能目标

本阶段的标志就是明确设计任务。

3. 方案设计

通过方案评价,最后决策确定出一个相对最优的机械系统运动方案。

4. 技术设计阶段

该阶段包含:机构设计,机构系统设计(协调设计),结构设计,总装设计,制造样机。

5. 生产阶段

在常规机械设计过程中,也包含了设计人员的大量创造性成果,例如在方案设计阶段和结构设计阶段中都含有创新的过程。

在机械原理和机械设计教学中学习的综合与设计方法主要是常规设计方法的内容。

二、现代设计方法

现代设计方法则强调以计算机为工具,以工程软件为基础,运用现代设计理念,进行机械产品的设计。其特点是产品开发的高效性和高可靠性。大量的工程软件使复杂的设计过程变得既容易又简单。MATLAB、ADAMS、ANSYS、UGTOOL、PRO-E 都是工程中的常用软件。

现代设计方法内容广泛、学科繁多,主要有计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、反求设计、创新设计、并行设计、虚拟设计等方法。

三、创新设计方法

创新设计是指设计人员在设计中采用新的技术手段和技术原理、发挥创造性,提出新方案,探索新的设计思路,提供具有社会价值的、新颖的而且成果独特的设计,其特点是运用创造性思维,强调产品的创新性和新颖性。

机械创新设计的实质是指充分发挥设计者的创造力,利用人类已有的相关科学技术成果,进行创新构思、设计出具有新颖性、创造性及实用性的机构或机械产品的一种实践活

动。它包含两个部分：从无到有和从有到新的设计。

机械创新设计是相对常规设计而言的，它特别强调人在设计过程中，尤其是在总体方案、结构设计中的主导性及创造性作用。

四、三种设计方法的异同点分析

常规设计方法主要强调运用公式、图表、经验等常规方法进行产品设计。

现代设计方法强调以计算机为工具，以工程软件为基础，运用现代设计理念进行产品设计。

创新设计则强调设计人员在设计过程中运用创造性思维，提出新方案，探索新的设计思路，强调产品的创新性和新颖性。提供具有社会价值的、新颖的而且成果独特的设计方案。

实际上，创新设计更加注重产品方案的设计。方案确定后，在技术设计阶段仍然采用常规设计方法或现代设计方法进行具体的设计。

以薯条加工机的设计实例说明各方法之间的异同点。

1. 传统设计方法

用传统设计方法，薯条加工的过程包含：清洗、使用去皮机削皮、切片或条，油锅炸成食品。缺点是生产率低，原料浪费大，导致成本提高。

2. 现代设计方法

利用计算机辅助设计或优化设计只能做到力求减少削皮厚度或提高加工速度，难以从本质上改变机器类型。

3. 创新设计方法

利用新思维，完全改变原设计方案。清洗、粉碎成浆状、过滤去皮、去水压制成型、炸制成食品。减少了原料消耗，提高了生产率。

很明显，创新设计的产品要优于其他方法设计的产品。因此培养学生的创新意识和创新能力是高等学校的重要任务。

第三节 机械基础设计实践的地位和作用

随着科学技术的不断发展，世界经济正在向知识经济转变，经济结构的调整必然影响到教育领域中教学体系与教学内容的相应变革。加强基础、拓宽专业，按学科门类进行教学资源的重新整合，就是转变教育思想的重要举措。加强创新能力、工程实践能力、创业能力的培养是当前教学改革的重要指导思想。在机械工程和机电工程领域，机械原理和机械设计课程是重要的技术基础课程，承担着培养学生的基本设计理论与基本设计方法的重要任务，特别承担培养学生创造性能力的重要任务。

众所周知，机械设计的最重要的组成部分就是机械运动方案的设计，它关系到机械产品的性能、成本、实用性、新颖性、竞争能力等一系列重要指标，而机械原理课程的内容在机械运动方案的设计中则扮演了重要角色。机械系统运动方案的表达形式是机构系统的运动简图，把机构运动简图转换为机械实体装配图、把构件转换为机械零件则是机械设计的重要任务。因此学习完机械原理和机械设计课程后，再结合前面学过的机械制图、机械制造基础、几何精度设计等课程，学生已基本具备了机械产品的设计能力。加上后续的专业课内容，学

生将掌握专业设备的设计能力。可见,机械原理与机械设计课程在机械类和机电类专业的人才培养中占有极其重要的地位。

课程的理论知识必须有实践环节来配合,才能更加完善。机械基础设计实践就是在学习机械原理课程和机械设计课程之后,综合运用机械制图、机械制造基础、机械原理、几何精度设计、机械设计等多门课程知识进行的简单机械系统的设计训练。通过这一环节的训练,学生不但更加深入了解课程的基本理论、基本知识,而且学会使用这些基本理论、基本知识去解决工程中的具体问题。通过设计实践的基本训练,使学生掌握机械运动方案的设计方法,运用所学的基本知识与理论去进行创造性的设计,在人才培养过程中起到重要作用。

传统的教学过程中,学完机械原理课程后,进行机械原理课程设计,完成机构简图的设计与分析等内容;学完机械设计课程后,进行机械设计课程设计,完成机械装配图和典型零件图的设计。二者的设计题目脱节,导致学生缺少把机构运动简图转换为机械实体装配图的能力训练。将它们合并,进行设计实践可很好地解决该问题。因此,机械基础设计实践不但是学生的第一次机械设计训练,也是一次很好的实践机会。它不但是机械原理和机械设计课程教学的补充和完善,也是机械原理和机械设计课程教学的发展。与课堂教学相辅相成,理论与实践相结合,构成了培养学生设计能力、特别是创新设计能力的重要知识支撑点。机械基础设计实践在教学中占有重要的地位,在培养学生知识和能力的全局中有举足轻重的作用。

第四节 机械基础设计实践的内容与要求

一、机械基础设计实践的内容

机械基础设计实践的内容如下:

- (1) 根据设计要求确定待设计产品的机械系统运动方案并进行优选。
- (2) 对该方案中的主体机构进行尺度综合。
- (3) 对主体机构进行运动分析和受力分析。
- (4) 绘制机构系统的运动简图。
- (5) 进行机构系统的运动协调设计。
- (6) 传动方案设计。
- (7) 有关零部件的计算。
- (8) 机械装配草图的设计。
- (9) 装配图的绘制。
- (10) 零件图的绘制。
- (11) 编写设计说明书。
- (12) 答辩。

上述内容通过一个产品的设计全过程来实现。在进行设计实践时,学生可穿插进行各部分内容的设计工作。



二、机械基础设计实践的要求

针对上述设计内容,使学生受到机械设计的全面训练,达到培养学生设计能力、创新能力和工程实践能力的目的。在进行设计的过程中应满足以下工作要求:

(1) 针对设计题目开展调查研究,了解与待设计题目相类似产品的情况,增加设计的感性知识。

(2) 设计过程中,由于学生是第一次从事机械设计,缺乏实践经验、应认真参加与之相关的机械设计实验。

(3) 设计完成后,应参加答辩,答辩成绩作为评分的重要依据。

第二章 机械运动与机构选型

第一节 概 述

机械的最重要特征就是通过执行机械运动实现力或能量的传递与变换，因此实现各类机械运动是设计的根本问题。

机械运动的形态很多，但最基本的机械运动有三种：移动、转动和平面运动，其中平面运动可以看作转动和移动的合成，所以最基本的运动是移动和转动。大多数机械的运动形态也是移动和转动。

移动不能无休止的朝某一方向运动下去，所以往复移动的运动形态在机械中应用较多。特别是往复直线移动应用最普遍。曲线移动可以看作运动物体绕其曲线曲率中心的转动，本书不讨论曲线移动。在直线移动运动过程中，有时还需要步进式移动和暂时停顿的移动。

转动是最常见的机械运动。连续单方向转动、往复转动、往复摆动（指转动角度小于 360° ）、步进式转动等都是机械中普遍使用的运动形态。而且运转速度可以是等速转动或不等速转动，增加了转动在机械中应用。

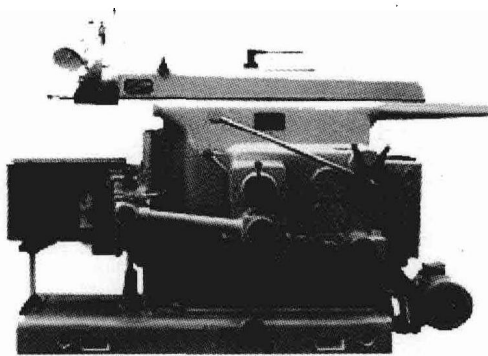


图 2-1 牛头刨床的机械运动

任何复杂的机械离不开上述运动形态。如图 2-1 所示牛头刨床中，安装刀具的刨头作往复直线移动；安装工件的工作台不仅作横向进给直线移动，还可实现直线垂直升降移动。安装刀具的小刀架可相对刨头滑枕作直线移动；刨床的原动机是三相交流异步电动机，其输出运动是高速转动，通过 V 带减速和齿轮变速传动，都是转动到转动的运动变换，但其转动的速度可发生变化或调整。由动力源提供给工作台横向进给运动是连续转动到步进转动的运动变换。可见，机械运动的巧妙组合就形成了形形色色的机械。

工程中原动机的输出运动基本上都是定轴转动，输出功率为 $P = M\omega$ （其中 M 为原动机轴上的输出转矩， ω 为原动机轴的角速度），为减少相同输出功率的原动机体积与质量，其输出角速度都较大，而工作机构的运转速度一般较低，所以转动到转动的运动变换是必要的，而且要求有转动速度的大小与方向的变换。也就是说，在机械传动机构中，转动的运动变换及其速度的大小与方向的变换是最常见的机械运动变换。

机器中工作执行机构所要求的运动变换最为复杂，是机械设计中的难点。工作执行机构与机器类型有密切关系，执行机构类型虽多，但其运动变换形式是有限的。一般情况下，转

动到同向转动,转动到反向转动,转动到往复摆动,转动到间歇转动,转动到往复移动,转动到平面运动等运动变换是最常见的运动变换,其次,移动到转动、移动到摆动、移动到移动的运动变换也是常见的机械运动方式。

图 2-1 所示牛头刨床的机构运动简图如图 2-2 所示。其中机构系统 $ABCDEF$ 为工作执行机构,其运动变换为转动到往复移动的变换方式。即曲柄 AB 的定轴转动变换为滑枕的往复直线移动。齿轮传动机构和带传动机构为从电动机到摆动导杆机构曲柄 AB 之间的减速机构。

可见,工作执行机构的运动变换方式要比传动机构的运动变换复杂。需要对各种基本机构的运动形态有全面的了解才能构思执行机构的运动变换。

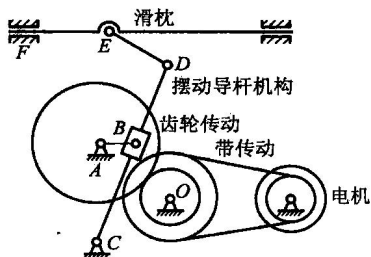


图 2-2 牛头刨床的机构运动简图

第二节 基本机构及其运动形态

本书把各种最简单的机构称为基本机构。各种四杆机构、各类齿轮机构、各类凸轮机构、各类间歇运动机构、螺旋机构等都是基本机构。

一、基本机构与其运动变换

(一) 连杆机构的基本型

1. 曲柄摇杆机构及其运动变换

一般情况下,曲柄做等速转动,摇杆做往复摆动。摇杆往复摆动的速度可以相等,也可以不相等。往复摆动的速度变化情况可按行程速度变化系数的大小来确定。曲柄摇杆机构可实现等速转动到等速往复摆动或等速转动到变速往复摆动的运动变换。

图 2-3 所示为曲柄摇杆机构的基本型示意图。

2. 双曲柄机构及其运动变换

两个连架杆都能做整周转动的铰链四杆机构为双曲柄机构。其中主动曲柄做等速转动,另一个曲柄则做变速转动,以实现等速转动到变速转动的运动变换。图 2-4 为双曲柄机构的基本型。

3. 双摇杆机构及其运动变换

两个连架杆都不能做整周转动的铰链四杆机构为双摇杆机构。在双摇杆机构中,还可分为有整转副的双摇杆机构和没有整转副的双摇杆机构。它们均能实现等速摆动到不等速摆动的运动变换,其基本型如图 2-5 所示。

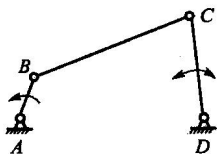


图 2-3 曲柄摇杆机构的基本型

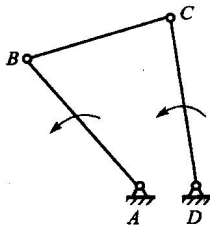


图 2-4 双曲柄机构的基本型

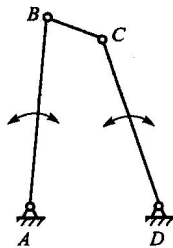


图 2-5 双摇杆机构的基本型