



全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 机械原理

程友联 主编



 中国农业出版社

欢迎登录：全国农业教育教材网  
<http://www.nongyejiaocai.com>

本书采用出版物数码防伪系统  
刮开涂层将16位防伪密码发短信至95881280  
免费查询 辨别真伪  
详情请查询中国扫黄打非网  
<http://www.shdf.gov.cn>  
防伪、网络增值服务说明见书内“郑重声明”页

明码 8105 5934 5711 5931

密码

封面设计 陈 英

ISBN 978-7-109-11967-3



9 787109 119673 >

定价：29.70 元



全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 机械原理

程友联 主编

机械类专业用

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理 / 程友联主编. —北京: 中国农业出版社,  
2008.2

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11967-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 012115 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 郭元建 何致莹

北京通州皇家印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

2008 年 2 月第 1 版

2008 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 21.75

字数: 388 千字

定价: 29.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

机械原理“五·一”计划教材

## 内 容 简 介

本教材根据教育部机械基础课教学指导分委员会的“机械原理课程教学基本要求”和华中农业大学等八所院校的任课教师多年教学实践经验编写而成,是全国高等农林院校“十一·五”规划教材。

除绪论外,本教材共分三篇九章。第一篇:机构组成和机构分析,包括机构的结构及其可动性分析和平面机构的性能分析两章。第二篇:常用机构及其设计,包括平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、其他常用机构等五章。第三篇:机构系统设计,包括机构系统动力学设计和机构系统运动方案设计两章。全篇涵盖机构的选型与组合设计、工艺动作过程构思与运动协调设计、机构系统运动方案设计、机构系统的质量平衡和功率平衡设计等内容。各章前均配有内容提要,章后配有内容小结、文献阅读指南和习题。书后配有附录。本书配有供教师用的免费电子课件。

本教材在编写时着力于内容与体系的改革,其特点为:建立了机构分析和基本机构设计及机构系统设计的机械原理课程内容的新体系;按照机构分析为设计服务的原则,简化了机构分析,加强了机构设计内容;加强机构系统设计内容,阐明了动力学和机械产品设计方法,强化了工程实践内容。

本教材可作为高等院校机械类专业的教材,也可供其他相关专业的师生与工程技术人员参考。

机械工业出版社

主 编 程友联

副主编 贺俊林 李娟玲 江家伍

参 编 赵祥雄 侯明亮 权伍荣

张维英 王树才 王树英

主 审 杨家军

# 前 言

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材,适用于高等院校机械类相关专业本科的机械原理课程的教学。本教材按照机械基础课教学指导分委员会的“机械原理课程教学基本要求”编写,并在其基础上适当地扩充了内容。在本教材编写的过程中吸收了近年来在教学改革中形成的正确的教学思想和一些改革成果。

本教材由机构组成和分析、常用机构及其设计和机构系统设计三篇内容组成。

第一篇研究机构的一般理论,包括机构组成和机构分析两部分,是全书的基础。第二篇阐述各种常用机构的类型、特点、应用和特性及设计理论和方法,是全书的重点。第三篇介绍机构系统设计理论,包括动力学设计和机构运动方案设计,是课程的提高篇。

本教材的特点:

1. 在机构运动确定性、传统的运动学结构方面讨论的基础上,增加了运动确定的力学条件,把机构运动与结构和运动尺寸及主动件联系起来,以解决机构歧点和死点位置等问题。同时使学生知道机构是否有确定的运动不仅与运动学结构有关,还与运动尺寸及主动件选择有关。

2. 在内容编排上,将机构运动分析、机构力分析、机构效率和自锁及机构的真实运动合为机构性能分析,它与机构的结构分析构成机构分析,作为各种机构设计的基础。机构系统动力学设计讨论了机构功率平衡设计和质量平衡设计。

3. 将常用机构的特性分为运动学特性和力学特性。

4. 为了方便教与学, 各章均在章前配有内容提要, 在章后配有内容小结、文献导读和习题; 书后配有附录; 配有供教师用的免费课件, 可在中国农业教育教材网 (<http://www.nongyejiaocai.com>) 下载, 或与中国农业出版社联系 (010-64194976, [jiaocai@ccap.com.cn](mailto:jiaocai@ccap.com.cn)) 索取。

本教材可作为高等院校工科机械类相关专业的教学用书, 也可供相关专业师生及工程技术人员参考。

本教材由华中农业大学、山西农业大学、南京农业大学、安徽农业大学、河南农业大学、青岛农业大学、延边大学、大连水产学院共八所学校联合编写。由华中农业大学程友联教授担任主编, 山西农业大学贺俊林教授、南京农业大学李娟玲副教授、安徽农业大学江家伍副教授担任副主编。教材由程友联教授统稿, 华中科技大学杨家军教授担任主审。参加本教材编写的有华中农业大学程友联教授 (绪论、各篇首)、河南农业大学赵祥雄副教授 (第一章)、安徽农业大学江家伍副教授 (第二章第二节、第三章)、南京农业大学李娟玲副教授 (第二章第一节、第四章)、山西农业大学贺俊林教授 (第五章、第九章)、青岛农业大学侯明亮副教授 (第二章第三节、第六章)、大连水产学院张维英教授 (第七章)、延边大学权伍荣副教授 (第二章第四节、第八章)、华中农业大学王树才副教授和青岛农业大学王树英教授 (课件编写与制作)。

教材编写组对本教材编写工作热情关注和大力支持的领导和老师表示衷心的感谢。

我们是第一次按这样的体系编写教材, 限于水平, 错误和欠妥之处在所难免, 敬请学界同仁和广大读者批评指正。

编 者

2007 年 12 月

# 目 录

前言

绪论

## 第一篇 机构的组成和分析

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 机构的结构及其可动性分析 .....   | 11 |
| 第一节 机构的组成及运动简图 .....     | 11 |
| 第二节 平面机构的自由度 .....       | 17 |
| 第三节 机构具有确定运动条件 .....     | 23 |
| 第四节 平面机构的组成原理和结构分析 ..... | 26 |
| ● 内容小结 .....             | 33 |
| ● 文献阅读指南 .....           | 35 |
| ● 习题 .....               | 35 |
| 第二章 平面机构的性能分析 .....      | 39 |
| 第一节 平面机构的运动分析 .....      | 39 |
| 第二节 平面机构的力分析 .....       | 51 |
| 第三节 机械的效率与自锁 .....       | 64 |
| 第四节 机械的运动方程 .....        | 69 |
| ● 内容小结 .....             | 75 |
| ● 文献阅读指南 .....           | 76 |
| ● 习题 .....               | 77 |

## 第二篇 常用机构及其设计

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第三章 平面连杆机构及其设计 ..... | 85 |
|----------------------|----|

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一节 连杆机构及传动特点 .....        | 85  |
| 第二节 平面四杆机构的类型和应用 .....     | 86  |
| 第三节 平面四杆机构的特性 .....        | 93  |
| 第四节 平面四杆机构的设计 .....        | 103 |
| ● 内容小结 .....               | 115 |
| ● 文献阅读指南 .....             | 116 |
| ● 习题 .....                 | 117 |
| <br>第四章 凸轮机构及其设计 .....     | 121 |
| 第一节 凸轮机构的类型和应用 .....       | 121 |
| 第二节 凸轮机构的特性 .....          | 124 |
| 第三节 凸轮机构设计 .....           | 134 |
| 第四节 高速凸轮机构简介 .....         | 147 |
| ● 内容小结 .....               | 148 |
| ● 文献阅读指南 .....             | 149 |
| ● 习题 .....                 | 149 |
| <br>第五章 齿轮机构及其设计 .....     | 152 |
| 第一节 齿轮机构的传动特点 .....        | 152 |
| 第二节 齿轮机构的类型及其应用 .....      | 152 |
| 第三节 齿轮的齿廓曲线 .....          | 153 |
| 第四节 渐开线标准齿轮各部分的名称和尺寸 ..... | 158 |
| 第五节 渐开线齿轮的啮合传动 .....       | 163 |
| 第六节 渐开线齿轮的范成加工和轮齿根切 .....  | 168 |
| 第七节 渐开线齿轮的变位修正 .....       | 173 |
| 第八节 斜齿圆柱齿轮机构 .....         | 181 |
| 第九节 蜗杆机构 .....             | 189 |
| 第十节 圆锥齿轮机构 .....           | 194 |
| ● 内容小结 .....               | 197 |
| ● 文献阅读指南 .....             | 199 |
| ● 习题 .....                 | 199 |
| <br>第六章 齿轮系及其设计 .....      | 201 |
| 第一节 齿轮系的类型 .....           | 201 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 第二节 定轴轮系的传动比 .....          | 203        |
| 第三节 周转齿轮系的传动比 .....         | 206        |
| 第四节 复合齿轮系的传动比 .....         | 209        |
| 第五节 齿轮系的功用 .....            | 211        |
| 第六节 行星轮系的效率 .....           | 216        |
| 第七节 行星齿轮系设计的基本知识 .....      | 219        |
| 第八节 其他轮系简介 .....            | 223        |
| ● 内容小结 .....                | 226        |
| ● 文献阅读指南 .....              | 227        |
| ● 习题 .....                  | 227        |
| <b>第七章 其他常用机构 .....</b>     | <b>231</b> |
| 第一节 棘轮机构 .....              | 231        |
| 第二节 槽轮机构 .....              | 237        |
| 第三节 擒纵轮机构 .....             | 243        |
| 第四节 凸轮式间歇运动机构 .....         | 245        |
| 第五节 不完全齿轮机构 .....           | 246        |
| 第六节 非圆齿轮机构 .....            | 248        |
| 第七节 螺旋机构 .....              | 249        |
| 第八节 万向铰链机构 .....            | 250        |
| ● 内容小结 .....                | 254        |
| ● 文献阅读指南 .....              | 255        |
| ● 思考题 .....                 | 255        |
| <b>第三篇 机构系统设计</b>           |            |
| <b>第八章 机构系统的动力学设计 .....</b> | <b>259</b> |
| 第一节 机构功率平衡设计 .....          | 259        |
| 第二节 机构质量平衡设计 .....          | 269        |
| ● 内容小结 .....                | 282        |
| ● 文献阅读指南 .....              | 283        |
| ● 习题 .....                  | 284        |
| <b>第九章 机构系统运动方案设计 .....</b> | <b>287</b> |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一节 概述 .....               | 287 |
| 第二节 机械功能原理的拟订 .....        | 289 |
| 第三节 执行机构的运动设计和原动机的选择 ..... | 291 |
| 第四节 机构的选型 .....            | 295 |
| 第五节 机构的组合 .....            | 297 |
| 第六节 机构选型和组合的原则 .....       | 303 |
| 第七节 机构系统运动方案的拟定 .....      | 305 |
| 第八节 机构传动运动方案的实例 .....      | 310 |
| ● 内容小结 .....               | 318 |
| ● 文献阅读指南 .....             | 318 |
| ● 习题 .....                 | 319 |
| 附录 常用名词术语中英文对照 .....       | 320 |
| 参考文献 .....                 | 335 |

# 绪 论

## 第一节 机械原理课程的研究对象及基本概念

机械原理也称为机器理论与机构学。

机械原理是研究机械的运动和动力特性,以及机械运动方案设计的一门基础技术学科。它是机械设计理论和方法中的重要方向。机械原理课程的研究对象是机械。机械包括机器、工具、器械、仪器等较广的范围,而通常是指机器与机构的总称。

大家对机器和机构并不陌生,在日常生活中,接触过洗衣机、电风扇、缝纫机、汽车、起重机、电动机等;在理论力学等课程中已对一些机构(如连杆机构、齿轮机构、间歇运动机构等)的运动学及动力学问题进行过研究。

在定义机器和机构之前,先简单地介绍零件、构件和功能的概念。

零件是机械制造的单元。

构件是机械运动的单元。它可能是一个零件,也可能是若干个零件装配而成刚性整体。

功能是一个技术系统要以实现某种任务为目标时,其输入量和输出量之间相互转换的关系。例如,电动机的功能为将电能转化为旋转运动的机械能。它和人们常用的“功用”、“用途”、“性能”、“能力”等概念既有联系又有区别。以电动机为例,其功用作为原动机,其用途是驱动洗衣机、电风扇等,其性能是指效率和耐用度等,其能力为功率和转速等。

机器是由两个或两个以上相互配合的构件组成的联合体,通过其中某些构件限定的相对运动,能转变某种原动力和运动,以执行人们预期的工作,在人或其他智能体的操作和控制下,实现为之设计的某种或某几种功能。

根据机器的定义,机器具有如下特征:

- ① 由相互配合的构件组成;
- ② 通过确定的相对运动的构件来实现力和运动的变换;
- ③ 在人或其他智能体的操作和控制下,实现功能。

上述特征中,如果不强调“控制”的概念,而且是由某种智能体来实现控

制。那么这种机器就是传统机器。

机器的种类繁多,归纳起来,机器能实现能量转换功能、工艺功能、动作功能和信息转换功能。据此将机器分力能机器、工艺机器、动作机器和信息机器四大类。

力能机器的功能是实现其他形式能量与机械能之间的相互变换。例如,内燃机、压力机、汽轮机、电动机、发电机等属于力能机器。

工艺机器的功能是对物料进行工艺性加工。例如,加工机床、织布机、包装机等属于工艺机器。

动作机器的功能是改变物品或人的位置。例如,汽车、飞机、起重机等属于动作机器。

信息机器的功能是实现信息的传递和变换。例如,复印机、打字机、绘图机、传真机等属于信息机器。

下面以自动送料冲压机为例来说明机器的组成,实现功能的过程。

图 0-1a 所示的自动送料冲压机,它的总功能就是利用移动的冲头对作间歇移动的物料进行冲压。为了实现总功能,至少有冲压和送料两个分功能。当实现冲压分功能时,物料静止,冲头冲压;当实现送料分功能时,冲头退回,送料装置送料。这两个分功能系统相互配合实现对物料冲压的总功能。

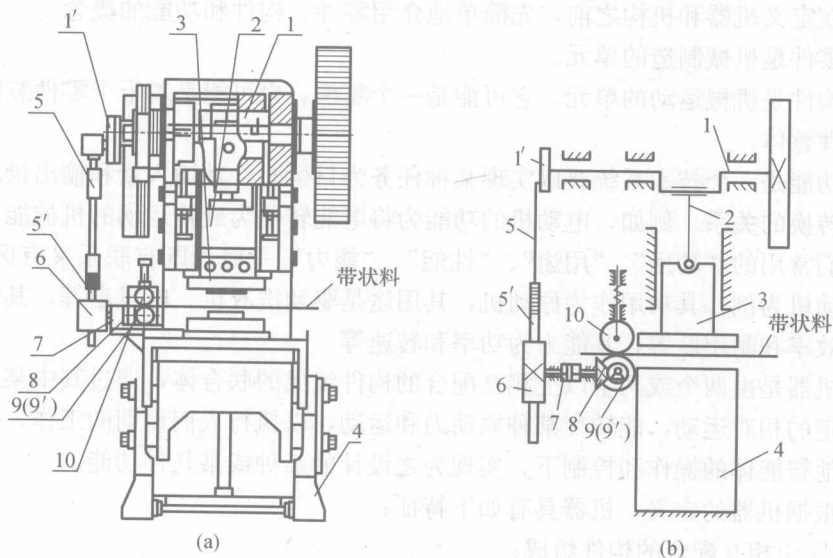


图 0-1 自动送料冲压机

(a) 结构图 (b) 机构运动简图

实现冲压分功能系统的组成是电动机、小带轮、大带轮、带、小齿轮、大

齿轮(图中均未画出)、曲轴1、连杆2、冲头3和机身4。

当电动机转动时,通过带传动(由机身4、大、小带轮及带组成)、齿轮机构(由机身4、小齿轮和大齿轮组成)、曲柄滑块机构(由曲轴1、连杆2、冲头3和机身4组成)三个机构串联成系统把电动机转动转换成冲头3的移动,实现冲头的冲压分功能。

同理,当实现送料分功能的系统,通过曲柄滑块机构(由曲轴1'、连杆5、齿条5'和机身4组成)、齿条齿轮机构(由齿条5'、齿轮6和机身4组成)、离合器7、齿轮系(由圆锥齿轮8和9、圆柱齿轮9'和10及机身4组成)串联成的系统把曲轴1'的转动转换成物料的移动,实现物料移动分功能。

通过曲轴将两大系统并联起来,实现运动的协调。

从上述的例子可知,机器的功能是通过机构或机构系统来实现的,如果将冲头的冲压分功能进一步细分成由机身4、大、小带轮及带组成的带传动,由机身4、小齿轮和大齿轮组成的齿轮机构。其功能是:将高的电动机的转速转换成适合工作要求的曲轴1的转速,同时把电动机的扭矩传递到曲轴1。由曲轴1、连杆2、冲头3和机身4组成的曲柄滑块机构,其功能是:将曲轴1的转速转换成适合工作要求的冲头3的移动速度,同时把曲轴1的扭矩转换成冲头3冲压力。

由此,机构的定义为:机构是机器的内部结构,是实现一定功能的可动构件组合。具有如下特征:

1. 由相互配合的构件组成
2. 能实现一定功能 一般来讲,机构实现的功能包括:转位、抓取、旋紧、检测、控制、调节、增力以及定位联锁、安全保险等。

在机构中给定运动的构件称为输入构件,又称为原动件;完成执行动作的构件称为输出构件,又称为执行构件;固定的构件称为机架。

从上例可知,机器的最根本的共性特征是具有通过机械运动来实现功能的机构。因此,机器与其他装置的明显区别在于:机器中存在机构。由于计算机中不存在机构,它不属于机器,而复印机中存在机构,所以它是机器。

机器的功能是由机构来实现的,一台机器可能只需要一个基本机构,例如空压机只有一个曲柄滑块机构,也可能需要多个机构组合成的机构系统。按美国大百科全书的说法,目前,只有6种基本机构:连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、挠性机构、螺旋机构、间歇机构。这说明:机器有成千上万种,具体结构各不相同,但其组成机器的机构很有限,因此,研究机构的问题就是研究机器的共性问题。

机器就功能结构而言,现代机器一般都由驱动装置和机构运动系统及控制

装置 3 部分组成。

驱动装置的功能是将其其他的能量转化成机械能,为机器提供动力,常用的有电动机、内燃机、液压缸和汽缸等,以各种电动机最为普遍。

机构运动系统是连接驱动装置至执行构件,其功能是实现运动和力的转换。包括传动机构系统和执行机构系统。

传动机构系统的功能是将原动机的运动和动力变换给执行机构系统的输入构件。以电动机作为机器原动机为例,电动机作回转运动,而机器的执行机构系统的输入构件有可能有各种运动形式:回转、往复摆动、往复移动、间歇运动,这需要传动机构系统实现运动形式的转换。一般电动机的转速都比较高,而机器的执行机构系统的输入构件的速度则各不相同,而且许多要求多种不同的速度,这需要传动机构系统实现运动速度的转换。在自动送料冲压机中,就实现冲头的冲压分功能的系统而言,带传动和齿轮机构两个机构串联而成的传动机构系统,实现运动速度变换的功能。

并非所有的机器都必须有传动机构,如鼓风机就没有传动机构。

执行机构系统的功能主要是给执行构件工作力或力矩,同时带动执行构件实现给定的运动规律或特定的运动轨迹等。在自动送料冲压机中,就实现冲头的冲压分功能的系统而言,曲柄滑块机构是执行机构,实现动力的传递和运动形式转换的功能。

控制装置的功能是控制机器各部分的运动。有些机器,没有控制装置,例如牛头刨床。

由于机械原理课程一般不包括驱动装置的特性及控制装置,涉及到的是机构和机构系统,因此,机械原理课程的研究的对象与其说机械不如说是机构,这就是本书一般用机构系统代替机械系统的原因。

## 第二节 机械原理课程的任务与主要内容

机械原理课程的内容与课程的定位有关。

在机械产品设计中,在设计任务确定后,就进行机器的本体设计。本体设计内容反映在图纸上,大体可分成方案设计、结构设计和零件设计 3 个阶段:

1. 在方案设计阶段,把设计任务书变成机构运动简图 根据设计任务,选定工作原理,按工作原理的要求,提出各种可能的方案,以及进行具体的机构的选型和尺度设计,把机器各部分之间的运动和动力关系,以及各个机构在机器中的位置,用规定的简单符号表达在图纸上,这就形成了机器的机构运动简图。如图 0-1b 为自动送料冲压机的机构运动简图。一台机器有多种方案,