

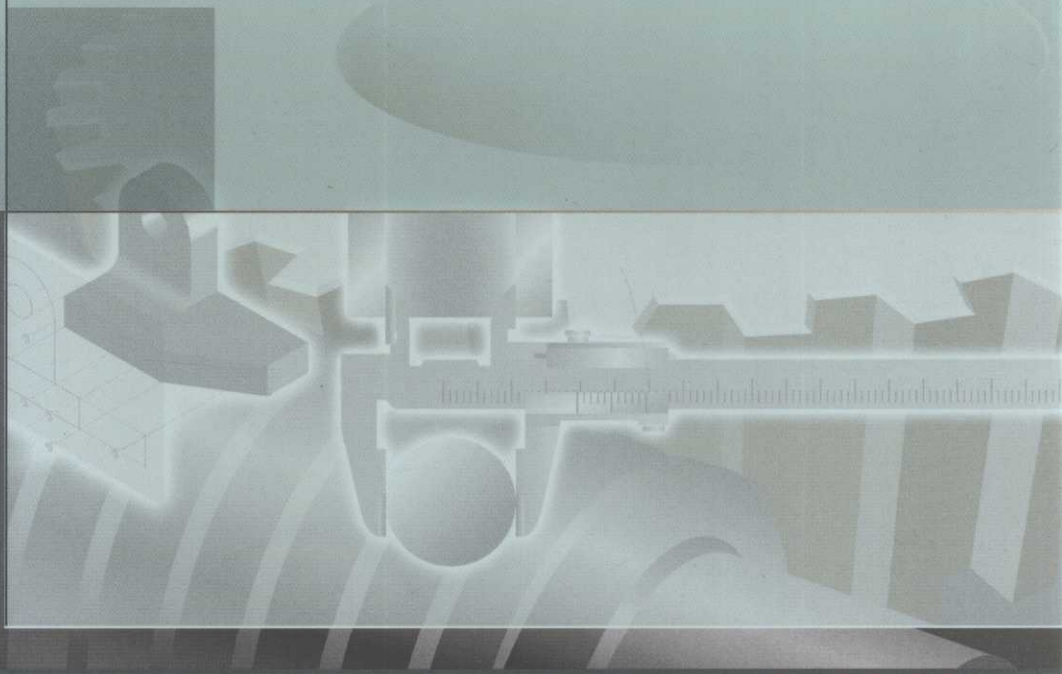


普通高等教育“十二五”规划教材
新世纪高校机电工程规划教材

机械基础综合课程设计

第 2 版

刘会英 主编



7.14.12.2
LHY.3/(12)

普通高等教育“十二五”规划教材
新世纪高校机电工程规划教材

机械基础综合课程设计

第2版

主 编 刘会英
副主编 王延深 魏 静
参 编 杨志强 邢 琳 张秀芳
主 审 邹慧君



机械工业出版社

地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 88379049
网址：<http://www.cmpbook.com>
<http://www.cmpedu.com>

本书根据教育部提出的“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的基本思想,从机械设计系列课程体系改革的总体目标出发,结合近几年对相关课程的教学改革经验进行编写。本书将原机械原理课程设计和机械设计课程设计内容有机整合为一个新的综合课程设计体系,注重培养学生的综合设计能力和创新能力。

全书内容共分为七章:第一章至第四章是机械原理与机械设计综合课程设计指导;第五和第六章是课程设计示例和题目;第七章是机械设计常用资料和参考图例;最后的附录是部分杆组设计子程序。本书在内容编写上注重实用性和灵活性,既可用于独立设置的机械原理课程设计和机械设计课程设计,又可用于机械原理和机械设计合并后进行的综合课程设计。本书可供高等工科院校机械类、机电类的学生使用,也可供近机类、非机类的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础综合课程设计/刘会英主编. —2 版. —北京:
机械工业出版社, 2011. 9

普通高等教育“十二五”规划教材 新世纪高校机电
工程规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 35606 - 6

I. ①机… II. ①刘… III. ①机械学 - 课程设计 - 高等
学校 - 教材 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 160638 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘小慧 责任编辑: 刘小慧 张丹丹

版式设计: 霍永明 责任校对: 胡艳萍

封面设计: 姚毅 责任印制: 杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 10 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13 印张 · 320 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 35606 - 6

定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是在第1版的基础上修订而成的。根据教育部颁发的机械原理与机械设计两门课程的教学基本要求,本次修订更加突出将理论教学与实践教学统筹规划,将知识传授与能力培养融合在一体化的教育过程和课程实施中,加强学生的自主学习能力、实践能力和综合创新能力培养,引导学生以主动的、实践的及课程之间有机联系的方式学习,培养产业界需要的具有全面能力和素质的工程人才。本次修订的主要内容有:

1. 为了培养学生的基本设计能力,在内容布局上注重整体设计例题的选择,使学生从机械系统运动方案设计到机械传动装置的结构设计进行综合训练。
2. 加强机械系统方案创新设计能力的培养,增加了创新设计思维与技法方面的内容,强调从基本性、基础性和范例性的标准来选择典型的实例和关键问题,帮助学生理解普遍性的理论知识。
3. 加强了现代设计方法和创新设计方法的引导,鼓励学生多采用工程设计软件,与常规设计有机结合,发挥创造性,使复杂的设计过程变得容易又简单。
4. 加强了对基础课程和技术资料的综合运用。本书的常用技术资料采用最新标准,对机械基础系列课程进行规划和整合,与工程技术人员必须掌握和了解的各种标准、手册等有机融合,引导学生熟练应用各种技术资料,为走向工作岗位打下良好基础。

全书主要内容包括:绪论、机械系统运动方案设计、机械传动装置设计、零部件结构设计、装配图样和零部件图样设计、编写设计计算说明书和准备答辩、课程设计示例和设计题目、机械设计常用资料和参考图例、答辩思考题及部分杆组设计子程序。

参加本书修订的有哈尔滨工业大学(威海)刘会英(第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章),哈尔滨工业大学(威海)王延深(第七章第三节至第十一章和附录部分),煤炭科学研究总院上海分院魏静(第七章第一节和第二节)。本书由上海交通大学邹慧君教授主审,并在整个编写过程中提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,不当及欠妥之处在所难免,真诚希望读者批评指正。

编者

第1版前言

根据教育部提出的“面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的基本思想，机械设计系列课程体系改革的总体目标是培养学生的综合创新设计能力，而机械原理、机械设计课程作为机械类专业的主干技术基础课，在培养学生综合设计能力全局中，肩负着培养学生机械系统方案创新设计能力的重任，在机械设计系列课程体系中占有十分重要的地位。如何在课程设计的过程中突出培养学生的设计能力和创新能力，是机械设计课程改革的重点和难点。在改革中，把原“机械原理课程设计”与“机械设计课程设计”进行合并，称为“机械综合课程设计”，合并后的内容以系统分析和综合设计能力培养为主线，突出创新设计能力培养和总体方案的构思与设计。经过多年的实践与探索，逐步完善了综合课程设计的内容与体系，使之成为机械设计系列课程实践教学的重要组成部分。

本教材编写的指导思想是：将原机械原理课程设计和机械设计课程内容有机整合为一个新的综合课程设计体系，使机械运动方案设计、机械运动尺寸设计、机械传动强度设计以及零部件结构设计等内容有机结合，达到强化学生的机械系统设计意识、培养产品总体设计能力的目的；以机械运动方案设计和零部件结构设计为课程设计重点，增加机械构思设计和创新设计等内容，强化学生的创新意识，培养学生解决实际问题的能力；强化学生的现代设计意识，培养综合运用知识的能力。兼顾不同专业、不同学时时的教学要求，在保留传统选材精华的基础上，增加了具有创新特点和不同难度的设计题目，既可用于不同专业的机械综合课程设计，也可用于分开进行的机械原理课程设计和机械设计课程设计。

全书内容主要包括：绪论；机械系统运动方案设计；机械传动装置设计；零部件结构设计；装配图样和零部件图样设计；编写设计计算说明书和准备答辩；课程设计示例和设计题目；机械设计常用资料和参考图例；答辩思考题及部分杆组设计子程序。

参加本书编写的有哈尔滨工业大学（威海）刘会英（第一章、第三章第二、三、四、五、六节），赵娥（第三章第一节），姜雪（第三章第七节），青岛理工大学杨志强（第二章、附录），崔金磊（附录中的程序编写和调试）；山东建筑大学邢琳（第五章、第七章、第六章第一、二、三、四、五、六节），任秀华（第七章第八节）；山东交通学院张秀芳（第四章），吴承格（第六章第七节）。全书由刘会英、杨志强担任主编。

本书由上海交通大学邹慧君教授主审，邹老师对本书作了严谨的审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，不当及欠妥之处在所难免，真诚希望同行教师和广大读者批评指正。

编者

2006年8月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 绪论	1
第一节 机械设计的基本内容、过程和方法	1
第二节 机械基础综合课程设计的目的、任务和过程	3
第二章 机械系统运动方案设计	6
第一节 机械系统运动方案设计的步骤与内容	6
第二节 执行机构的选型、组合及变异	12
第三章 机械传动装置设计	19
第一节 传动装置的类型和特点	19
第二节 原动机类型及参数选择	22
第三节 机械装置的运动和动力参数计算	25
第四节 常用减速器的结构	28
第五节 齿轮减速器设计与装配草图绘制	32
第六节 减速器装配图样的设计	43
第七节 典型零件工作图的设计	45
第四章 编写设计计算说明书和准备答辩	48
第一节 编写设计计算说明书	48
第二节 准备答辩	49
第五章 课程设计示例——平台印刷机	53
第六章 课程设计题目	60
第一节 半自动平压模切机主传动装置及模切机构设计	60
第二节 平板搓丝机的执行机构综合与传动装置设计	63
第三节 蜂窝煤成形机	64
第四节 游戏机机构运动简图与传动系统设计	68
第五节 加热炉推料机的执行机构综合与传动装置设计	70
第六节 铆钉自动冷镦机	71
第七节 带式输送机传动装置	73
第七章 机械设计常用资料和参考图例	77
第一节 常用数据和一般标准	77
第二节 常用工程材料	88
第三节 联接	92
第四节 滚动轴承	113
第五节 联轴器	125
第六节 润滑与密封	131
第七节 减速器附件	137

第八节 极限与配合、几何公差和表面粗糙度	141
第九节 齿轮及蜗杆蜗轮精度	151
第十节 电动机	168
第十一节 减速器结构及参考图例	172
附录 用杆组法作机构的运动分析	184
参考文献	199
读者信息反馈表	

第一章 绪 论

第一节 机械设计的基本内容、过程和方法

一、机械设计的基本内容

机械设计的基本内容包括以下几个方面：

1. 功能原理方案设计

功能原理方案设计是机械产品设计的第一步，主要工作是通过对机械产品的功能分析，确定其工作原理，进行各机构的型综合，完成机械运动示意图和机械运动循环图；进行各机构的尺度综合，并根据功能要求对机械运动示意图进行分析评价，绘制机械运动简图。

2. 运动学与动力学设计

在方案设计的基础上，对机构进行运动分析与设计，以确保机构满足给定的运动要求。在此基础上分析机械运转时各构件上的作用力，确定机构中各运动副的摩擦力，进行机械效率计算；求出在已知作用力下机械的真实运动规律，确定减少机械速度波动的调节方式以及机械运转过程中惯性力的平衡；进行机械振动分析并确定是否需要隔振等要求。

3. 结构与强度设计

为了实现运动与力的传递和变换的功能结构设计，需要确定零部件的尺寸、形状、材料、数量、加工与装配，进行失效分析和工作能力计算，绘制结构方案总图。在进行结构与强度设计时，零部件要满足可靠性和寿命的要求。

4. 驱动与控制设计

根据工作机械的载荷特性、工作环境、结构布置、各执行构件的运动参数和生产阻力，动力机的机械特性以及机械系统的经济成本，选择合适的动力机。对自动化程度较高的机械系统，还要保证工作质量，改善工作条件，提高生产率，从改善机械系统的动态性能和工作可靠性等方面入手，设计合适的控制系统。

二、机械设计的一般过程

机械设计是一项创造性劳动，同时也是对已有成功经验的继承过程。要提供性能可靠、成本低、竞争力强的机械产品，必须有一个科学的设计程序。根据设计任务大小的不同，设计程序显然不尽相同，但机械设计一般要经过以下几个阶段：产品规划阶段、方案设计阶段、详细设计阶段以及改进设计阶段，框图程序见表 1-1。

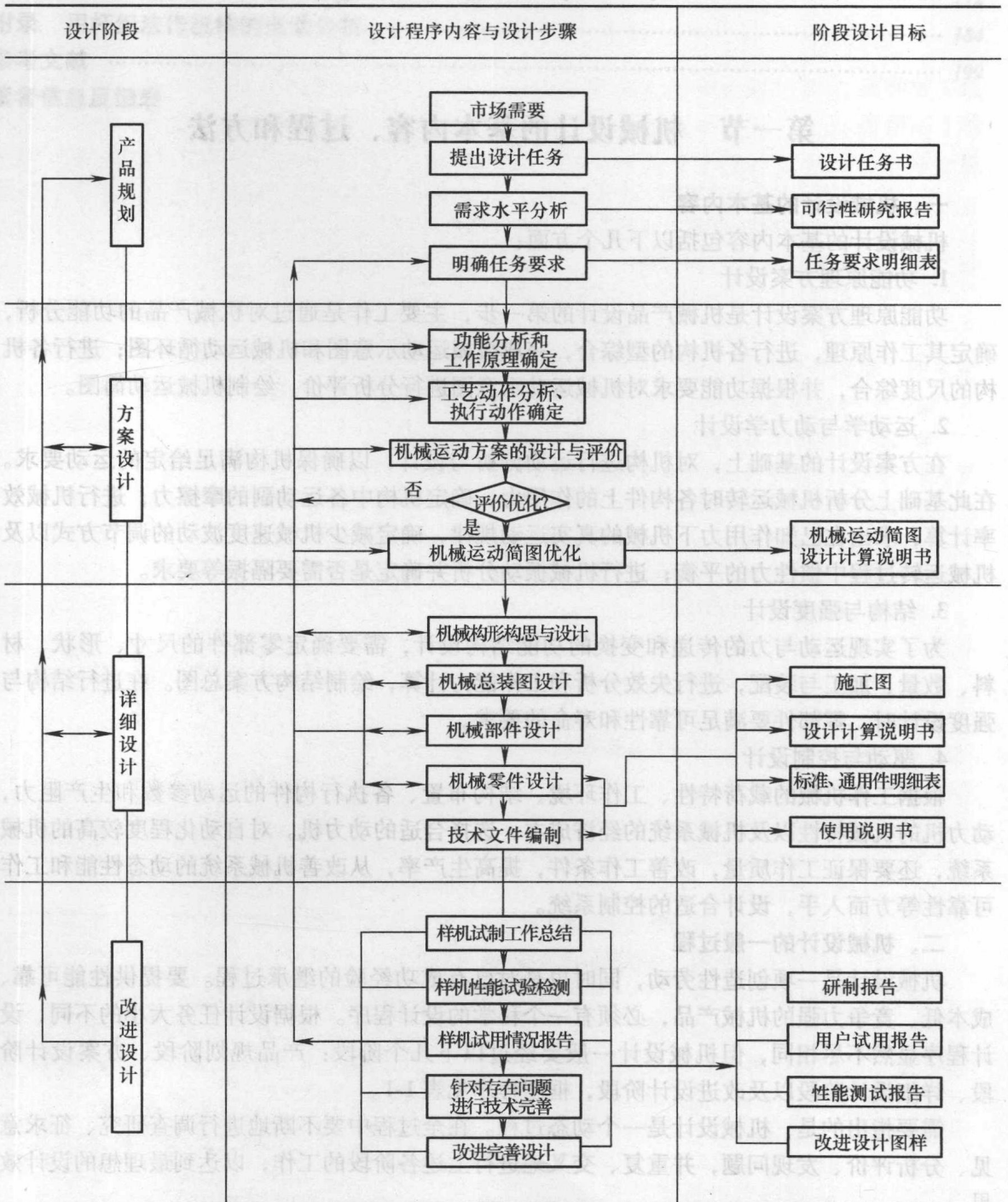
需要指出的是，机械设计是一个动态过程。在全过程中要不断地进行调查研究、征求意见、分析评价、发现问题，并重复、交叉地进行上述各阶段的工作，以达到最理想的设计效果。

三、机械设计的常用方法

工程中经常提及的机械设计方法有常规设计方法、现代设计方法和创新设计方法。在机械原理和机械设计教学中学习的设计方法主要是常规设计方法的内容。具体采用哪种方法，

要根据设计任务中的要求决定。学生可以利用所学知识，对几种设计方法进行综合，以求得到最佳设计效果。

表 1-1 机械设计的一般过程



1. 常规设计方法

常规设计方法是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。一个完整的常规设计主要包括以下几个阶段:市场需求分析;明确机械产品的功能目标;方案设计;技术设计阶段;生产阶段等。

2. 现代设计方法

现代设计方法主要是以计算机为工具,以工程软件为基础,运用现代设计理念,进行机械产品设计。UG、ADAMS、MATLAB、PRO/E、ANSYS等都是工程中常用的软件。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。大量的工程软件的适用使复杂的设计过程变得既容易又简单。所以应多采用工程软件,并与常规设计有机结合,从而发挥设计潜能,设计出理想的产品。

3. 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、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,它包含从无到有和从有到新的设计。相对常规设计而言,它特别强调人在设计过程中,特别是在总体方案、结构设计中的主导性及创造性作用。

第二节 机械基础综合课程设计的目的、任务和过程

一、综合课程设计的目的

机械原理与机械设计是高等工科院校机械类和机电类专业学生的主干课程,与其配套的课程设计是首次对学生进行较为全面的实践性教学环节,对培养学生进行机械传动系统运动学、动力学分析和机械结构设计有着十分重要的意义。

机械原理课程设计的基本任务是针对某种简单机械,按照给定的机械总功能要求,分解功能,进行机构的选型与组合,以及机械运动方案设计;对运动方案进行对比、评价和选择,画出机构运动简图,绘制机构运动循环图;对选定方案中的机构进行运动分析和尺度综合;进行机械动力分析。通过机械原理课程设计,可以进一步巩固、掌握并初步运用机械原理的知识和理论,培养学生开发和创新机械的能力。

机械设计课程设计的主要任务包括决定传动装置的总体运动方案,选择电动机,计算传动装置的运动和动力参数,传动零件的设计计算,机体结构及其附件的设计,连接件、润滑密封等选择设计,绘制装配图及零件工作图等几个方面。

机械综合课程设计以机械设计的基本要求和一般过程为主线,把原“机械原理”和“机械设计”的课程设计进行整合。其目的在于进一步加深学生的课本知识,并运用所学理论和方法进行综合性设计训练,从而培养学生独立分析问题和解决问题的能力。通过课程设计,学生应具有初步确定机械运动方案以及设计机械传动装置结构与强度的能力,增强对机械设计中有关运动学、动力学和主要零部件工作能力的分析与完整设计的概念,具备计算、制图和查找实用技术资料的能力,并初步掌握利用计算机解决有关工程设计问题的方法。

二、综合课程设计的任务

机械基础综合课程设计的主要任务是进行机械系统的运动方案和传动零部件的工作能力

设计,这两部分内容是原来的“机械原理课程设计”和“机械设计课程设计”两门课程分别完成任务的有机融合。本教材更符合机械设计的基本内容和一般程序要求,使学生对所学知识的融合更加接近实际,为今后工作打下良好的基础。

综合课程设计的主要内容包括:

- 1) 根据设计要求确定所设计产品的机械系统运动方案并进行优选。
- 2) 进行机构系统的运动协调设计。
- 3) 对该方案中的主体机构进行尺度综合。
- 4) 对主体机构进行运动分析和受力分析。
- 5) 绘制机械系统运动简图。
- 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与绘制。
- 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。

三、综合课程设计的一般过程

如前所述,综合课程设计过程与机械产品设计过程基本是一致的。对于学生进行的第一次设计来说,课程设计的一般过程如下:

1. 了解设计任务

机械设计任务通常以设计任务书的形式提出来,学生应仔细阅读设计任务书,对设计题目进行分析,了解设计任务和设计的要求。

2. 运动方案设计

根据任务书要求,进行资料收集和调研,了解同类机器或相近机械的性能参数、使用中存在的问题等技术资料和数据,并进行汇总,再进行机械的运动方案设计。完成同一生产任务的机器,可以有多种工作原理和运动方案,而同一种运动方案,又可以有不同的参数组合。设计时既要继承成功经验,又要发挥自己的创造能力,设计出效率高、工作可靠、成本低的运动方案。

机械运动方案设计的主要内容包括:拟定机械的工作原理、确定执行构件的数目和运动形式、选择原动机类型、进行执行机构的选型与组合、绘制机构运动简图等。

3. 机械运动设计

机械运动设计就是根据设计任务书的要求,对拟定的运动方案进行尺寸综合,以满足根据该机械的用途、功能和工艺等要求而提出的执行构件的运动规律、运动位置或轨迹等要求。机械运动设计的内容包括确定机构的主要特性尺寸、绘制机构运动简图、分析机构的运动、绘制机构运动循环图等。

4. 机械动力设计

机械动力设计就是在机械运动设计的基础上,确定作用在机械系统各构件上的载荷,并进行机械的功率计算和能量计算。机械动力设计的内容包括动态静力分析、功能关系、真实运动规律求解、速度波动调节和机械的平衡计算等。

第二章 机械系统运动方案设计

机械系统运动方案设计就是要完成从原动机、传动机构到执行机构的方案设计，其中传递动力和实现预期运动是机械系统的两个基本任务，执行机构或执行构件的运动和动力参数是设计的原始依据，机械系统运动方案设计的结果就是要完成一份满足系统功能要求的运动简图。其中执行机构的设计是方案设计的核心。

机械设计的整个过程都是一个创新的过程，而在设计的四个阶段中，运动方案设计的创新及其优劣尤为重要，它对机械系统功能的实现、性能的好坏、经济性及其市场竞争力具有决定性的作用，直接关系到机械设计全局的成败，因此机械系统运动方案设计在整个机械设计中占有极其重要的地位。而“机械原理”课程的内容正是为方案设计提供了理论依据和基本方法，机械综合课程设计的机械系统运动方案设计也就是机械原理课程设计，它是对机械系统运动方案设计的一项综合训练，对初步掌握机械系统的方案设计和了解机械设计的内容和方法具有重要意义。

第一节 机械系统运动方案设计的步骤与内容

机械系统运动方案设计的主要步骤如图 2-1 所示，下面简述主要步骤的大致内容。

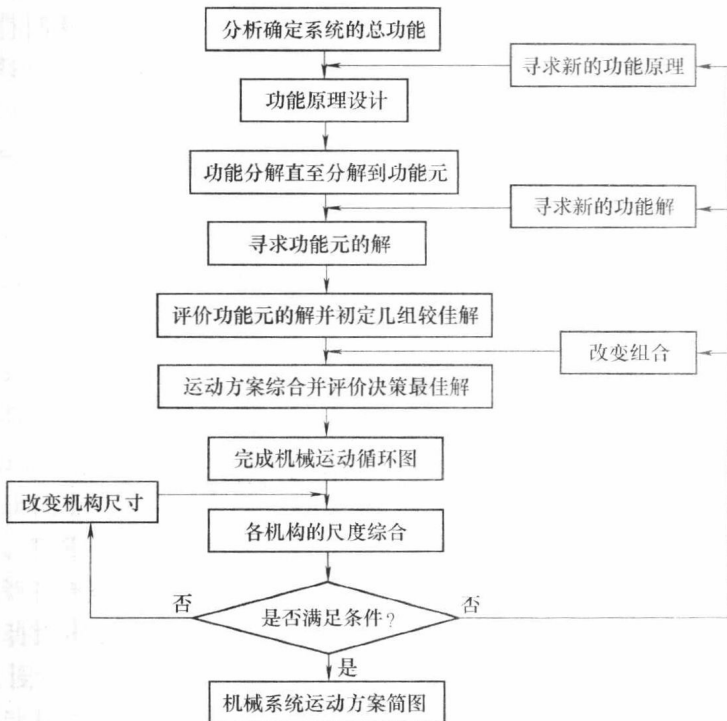


图 2-1 机械系统运动方案设计的主要步骤

1. 分析确定系统的总功能，明确任务的功能目标

对于总功能的描述要抓住本质，尽量做到准确合理，这样既可使设计目的明确，又可以开阔思路。对于总功能的分析常采用“黑箱法”，即把待设计的系统看作为一个内容未知的“黑箱”，如图 2-2 所示。根据已知待设计系统输入和输出的能量流、物料流和信息流的转换关系，便可反映出系统的总功能。图 2-3 所示是对一压力机的系统功能分析，对系统输入的是机械能、板料、控制信号，而输出的是冲制好的工件和余下的边角料。通过对系统输入与输出的主要内容分析可知，压力机系统的功能是实现物料变形和分离。

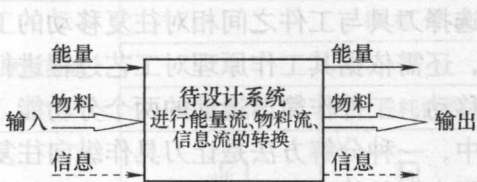
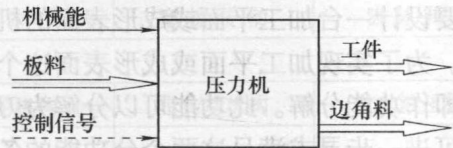


图 2-2 黑箱图



总功能：物料变形和分离

图 2-3 压力机系统的功能分析

2. 功能原理设计

当明确了主功能以后，应针对主功能提出一些原理性构思，即所谓的“功能原理设计”。因为要实现同一功能要求，可以有不同的功能原理，而不同的功能原理则有不同的工艺动作，其执行机构的运动方案也将不同。

设计点钞机的关键是如何将钞票分离的工作原理。图 2-4 所示为点钞机功能原理构思示意图，从图中可以看出，要达到使钞票分离的目的，可以通过多种“物理效应”来实现，如图中的摩擦力、离心力、气吹等。然后利用某种“作用原理”，如图 2-4 中的摩擦轮、转动架、气嘴等，最后达到“功能目标”的结果。

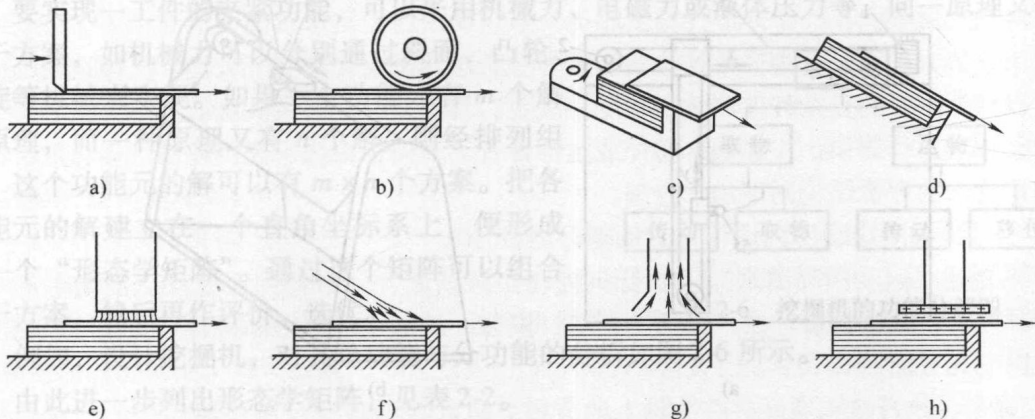


图 2-4 点钞机功能原理构思

a) 推力 b) 摩擦力 c) 离心力 d) 重力 e) 粘力 f) 气吹 g) 气吸 h) 静电

要加工螺栓上的螺纹，可以采用车削加工原理、滚压加工原理和套丝加工原理。这几种不同的螺纹加工原理适用于不同工况，可以满足不同的加工需要和加工精度要求，其执行系统的运动方案也不一样。

功能原理设计的重点在于提出创新构思，使思维尽量“发散”，力求提出尽量多的方案

以供评价选优。因为不同的功能原理可能带来本质的变化，对产品的成败常常起到决定性的作用。

3. 功能分解

初定了主功能的工作原理后，还需作功能分解，因为对于一般的机械系统很难直接找到满足总功能的系统解，因此，需将总功能分解到可以直接求解的功能元。在机械产品中可以将工艺动作过程分解为若干个易于实现的基本运动。工艺动作分解的方法不同，所形成的运动方案也不相同。

要设计一台加工平面或成形表面的机床，可以选择刀具与工件之间相对往复移动的工作原理。为了实现加工平面或成形表面这个主要功能，还需依据其工作原理对工艺过程进行分解，即作功能分解。此功能可以分解为刀具作直线移动，工件作简谐运动的两个分功能，然后就可进一步寻求满足这两个分功能的各种解。其中，一种分解方法是让刀具作纵向往复移动，工件作间歇的横向送进运动，即在刀具工作行程中工件静止不动，而在刀具空回行程中工件作横向送进。工艺动作的这种分解方法，就得到了牛头刨床的运动方案，它适用于加工中、小尺寸的工件。工艺过程的另一种分解方法是让工件作纵向往复移动，刀具作间歇的横向送进运动，即切削时刀具静止不动，而不切削时刀具作横向进给。工艺动作的这种分解方法，就得到了龙门刨床的运动方案，它适用于加工较大尺寸的工件。

设计一个由计算机控制的绘图机，使其能按照计算机发出的指令绘制出各种平面曲线。绘制复杂平面曲线的工艺动作可以有不同的分解方法，一种方法是让绘图纸固定不动，而绘图笔作 x 、 y 两个方向的移动，这样可得到图 2-5a 所示的小型绘图机的运动方案；另一种方法是让绘图笔作 y 方向的移动，而绕在卷筒上的绘图纸绕 y 轴作往复转动。这样就得到了图 2-5b 所示的大型绘图机的运动方案。

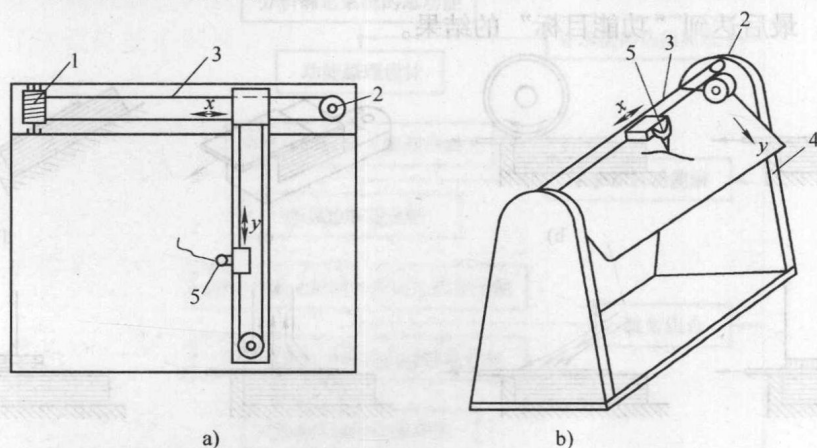


图 2-5 绘图机

a) 小型绘图机方案 b) 大型绘图机方案





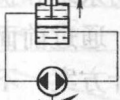




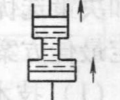




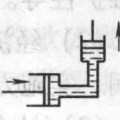
1—驱动电动机 2—从动轮 3—传动带 4—机架 5—记录笔

4. 功能元求解

机械的工艺动作经过分解之后，就可以确定执行机构的数目、各执行机构的运动形式、基本运动及动力参数，以及所需的原动机和传动机构。然后，根据执行机构所需的运动形式、基本运动参数和力参数，合理选择实现各执行动作的执行机构、相应的原动机和传动机

构，即寻求满足功能元动作的执行机构。这个过程也常常称为执行机构的形式设计，或称执行机构的型综合。注意这个过程仍然要采用“发散性思维”，即凡是能满足功能元功能所有的“物理效应”的解都可作为初步解列出来。这是一项极具创造性的工作，可以说是一个展示创造性思维的活跃阶段。要实现同一种功能可选用不同的工作原理，见表2-1。这说明运动形式的转换、放大和变向，可采用不同的传动原理，而同一原理又可分别采用不同的机构来满足功能要求。

表 2-1 功能原理图

原理功能	推拉传动			摩擦传动	流体传动
	机 构				
	凸轮机构	连杆机构	齿轮机构	带传动机构	气动液压机构
转换					
放大					
变向					

要实现一工件的夹紧功能，可以采用机械力、电磁力或液体压力等。同一原理又可以有若干方案，如机械力可以分别通过斜面、凸轮、螺旋等机械来实现。如果一个功能元有 m 个解决原理，而一种原理又有 n 个解，则经排列组合，这个功能元的解可以有 $m \times n$ 个方案。把各功能元的解建立在一个直角坐标系上，便形成了一个“形态学矩阵”。通过这个矩阵可以组合若干方案，然后再作评价、选优。



图 2-6 挖掘机的功能分解图

例如，设计挖掘机，对其总功能与分功能的分析如图 2-6 所示。

由此进一步列出形态学矩阵，见表 2-2。

表 2-2 挖掘机的总体设计形态学矩阵

分功能	解 法					
	1	2	3	4	5	6
A 动力源	电动机	汽油机	柴油机	汽轮机	液动机	气动马达
B 移位传动	齿轮传动	蜗杆传动	带传动	链传动	液力耦合器	行星轮传动
C 移位	轨道及车轮	气垫	履带	轮胎		
D 取物传动	拉杆	绳传动	气缸传动	液压缸传动		
E 取物	挖斗	钳式斗	抓斗			

可能组合方案有 $N = 6 \times 6 \times 4 \times 4 \times 3 = 1728$ 个。

如按 $A_1 + B_4 + C_3 + D_4 + E_1$ 组合, 则得到履带式挖掘机; 按 $A_5 + B_5 + C_4 + D_4 + E_1$ 组合, 则得到液压轮胎式挖掘机。

前面提到的加工平面或成形表面的机床例子, 通过功能分解已将其分解为工具和工件, 其中一个作直线移动、另一个作简谐运动的两个分功能, 而对于这两个分功能的解, 又可以寻求不同原理的各种物理解。如可以运用液气效应, 通过液压传动和气压传动来实现直线移动; 可以运用力学效应, 通过杆机构、齿轮齿条机构等多种机构来实现直线移动; 甚至还可以运用电磁效应, 寻求满足功能的各种解。

5. 机械系统运动方案综合

当按照工艺动作要求选择好执行机构以后, 则要进一步拟定总体方案, 即确定动力源、传动系统和执行机构。

通过前面求各执行机构的解所建立起来的形态学矩阵, 经排列组合可以得到大量的系统设计方案, 不同的组合可以得到不同的方案。在组合时要注意考虑设计的附加要求、设计的全局要求和功能元解的相容性三点。在方案组合的基础上, 再对这些方案深入分析, 进行评价和决策选优, 其中, 评价是对各种方案进行比较和评定, 而决策则是根据目标和评价结果选定最佳方案。评价的目标一般包括三个方面的内容:

(1) 技术评价 评价方案技术上的可行性和先进性, 包括工作性能指标、可靠性、使用维护性等。

(2) 经济评价 评价方案的经济效益, 包括成本 (生产成本和使用成本要综合考虑)、利润、实施方案的措施、费用及投资的回收期, 以及市场占有率等。

(3) 社会评价 评价方案实施后对社会带来的利益和影响, 包括是否符合国家科技发展政策, 是否有益于改善环境 (环保因素), 是否有利于资源开发和新能源的利用, 是否有利于可持续发展等。

常用评价方法可以分为简单评价法、数学分析法和试验评价法三大类。具体选用哪种方法, 可以根据问题的复杂程度和重要程度来决定。常用的方法有排队法、点评价法和评分法等。这些方法操作简单, 一般适合初评或定性评价。另外, 像技术经济评价法、有效价值法和模糊评价法的评价结论则更趋于合理。

6. 执行机构的运动协调设计 (运动循环图设计)

(1) 概述 运动循环图是保证执行机构动作协调配合、不发生干涉及保证高生产率的一个重要环节, 在机械设计及其以后的制造、安装、调试、维修中都将有重要作用。它主要应用在以下几方面:

1) 确定各执行机构原动件在主轴上的方位, 或者控制各执行机构原动件的凸轮安装在分配轴上的方位。

2) 指导各执行机构的具体设计。

3) 作为装配、调试自动机械的依据。

4) 作为分析、研究提高机械生产率途径的基本文件。

5) 作为分析、研究各执行机构的动作如何紧密配合, 相互协调的重要文件。

常用的运动循环图有三种表示方法, 即直线式循环图、圆周式循环图和直角坐标式循环图。直线式循环图能清楚地表示整个运动循环与各执行机构的执行构件行程之间的相互顺序