



中国科学院机械工程系列规划教材
国家工科机械基础课程教学基地规划教材

机械原理课程设计

王淑仁 主编



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院机械工程系列规划教材
国家工科机械基础课程教学基地规划教材

机械原理课程设计

王淑仁	邵伟平	赵满平	主编
王淑仁	王丹	王铁军	编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书与配套软件是为满足机械基础课程实践教学环节——机械原理课程设计的需要而编写,以培养学生的机械系统运动方案创新设计能力和应用现代先进分析与设计手段解决工程实际问题能力为目标。

本书由文字版与电子版两部分内容组成。文字版内容主要包括机构运动方案创新设计、机构分析数学模型建立及求解方法、各种常用机构的计算机辅助设计方法、机构动力学问题的计算机求解方法、C语言编写的机构分析通用程序、ADAMS软件在机构建模与仿真中的应用实例以及机械原理课程设计题目等内容。电子版内容为读者提供了一个计算机辅助机构设计的软件平台,还有为方便编程和撰写设计说明书提供的机构分析通用程序和题目设计的电子文档。

本书和配套的机构设计与分析软件可作为高等学校机械类专业“机械原理课程设计”教材或毕业设计的资料,也可作为有关工程技术人员从事新产品开发和设计的辅助工具。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理课程设计/王淑仁主编. —北京:科学出版社,2006
(中国科学院机械工程系列规划教材·国家工科机械基础课程教学基地规划教材)

ISBN 7-03-017601-4

I. 机… II. 王… III. 机构学-课程设计-高等学校-教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 075258 号

责任编辑:段博原 于宏丽 / 责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

信诺彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006 年 9 月第一次印刷 印张: 15 3/4

印数: 1—4 000

字数: 294 000

定价: 24.00 元 (含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

中国科学院机械工程系列规划教材
编写委员会

顾 问 闻邦椿

主 编 谢里阳

执行主编 陈良玉

委 员 (以姓氏笔画为序)

马星国 王玉良 王世杰 王淑仁 巩云鹏

巩亚东 刘 杰 孙志礼 李为民 李树军

李景春 宋锦春 柳洪义 黄秋波

序

装备制造业是我国国民经济中的重要基础工业。机械装备为各类产品的物化提供平台和载体,机械装备的技术水平是衡量社会生产力水平的重要标志,机械科学、机械工程技术和机械工业的发展水平对经济建设和社会发展起着至关重要的作用。

目前,世界机械工业产值达到了工业总产值的 1/3 以上。我国制造业增加值在国内生产总值所占的比例高达 40%,我国的财政收入的一半也来自制造业。随着我国加入 WTO,经济越来越融入全球经济体系中,我国的制造业在世界制造业中的地位越来越重要,并正从制造大国迈向制造强国。至少在 21 世纪的前 20 年,制造业仍然是我国国民经济增长的主要来源,因此需要大批综合素质高、能力强的机械类专业人才。

另外,我国高等教育从精英型教育阶段进入了大众型教育阶段,实现了高等教育的历史性的跨越式发展,技术的进步和社会的发展也对高等院校机械工程教育的人才培养提出了新的要求。

为此,中国科学院教材建设专家委员会和科学出版社组织我国机械工程领域的中国科学院院士、教育部教学指导委员会成员、教学名师以及经验丰富的专家教授组成编委会,共同组织编写了这套《中国科学院机械工程系列规划教材》,以适应我国高等机械工程教育事业的发展,更好地实现机械工程类专业人才的培养目标,在规模上、素质上更好地满足我国机械科学技术和机械工业发展的需要,为建设创新型国家做出贡献。

本套教材主要有以下几方面的特点:

1. 适应多层次的需要。本套教材依据教育部相关教学指导委员会制定的最新专业规范和机械基础课程最新的教学基本要求,同时吸取不同层次学校教师的意见,进行了教材内容的编排与优化,能够满足各类型高等院校学生的培养目标。

2. 结构体系完备。各门课程的知识之间相互衔接,以便学生完整掌握学科基本概念、基本理论,了解学科整体发展趋势。本套教材除主教材外,还配有辅导书、多媒体课件、习题集及网络课程等。

3. 作者经验丰富。参加本套教材编写的人员不少来自相关国家重点学科、国家机械教学基地的院校,有些还是国家级、省部级教学成果奖完成人,国家级、省级精品课程建设负责人以及相关院校的骨干教师代表。

4. 理论与实际相结合,加强实践教学。在达到掌握基本理论、基本知识、基本

技能的教学要求前提下,注重例题、设计实践和实验教学,着力于对学生分析问题能力、创新能力和实际动手能力的培养。

另外,为了保证本套教材的质量,编委会聘请国内知名的同行专家对教材进行了审定。

我们还将根据机械科学与工程学科发展的战略要求,对本套教材不断补充、更新,以保持本套教材的系统性、先进性和适用性。

我们热忱欢迎全国同行以及关注机械科学与工程教育、教学及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议,一道为我国机械工程教育的发展而努力。

中国科学院院士 

2006年5月

前 言

本书是一部文字内容与软件内容紧密结合的、适应 21 世纪教学方法和手段改革的多媒体形式教材,为满足机械基础课程实践教学环节——机械原理课程设计的需要而编写,以培养学生的机械系统运动方案创新设计能力和应用现代先进分析与设计手段解决工程实际问题能力为目标。

本书力图体现如下特点:

(1) 反映多年来机械原理课程设计教学改革成果。20 世纪 80 年代以来,机械原理课程设计的改革一直是机械基础系列课程改革的热点,计算机技术的发展不断为该课程的改革注入活力,因而不断取得新的改革成果。课程内容上,由以机构分析为主发展到以机械系统方案设计为主线,创新设计为重点,分析为设计服务的课程体系。方法上从手工图解发展到计算机编程求解,开发通用程序,研发机构设计软件以及引入具有先进水平的工程实用软件。

(2) 本课程是机械基础系列课程中的重要一环。该课程既具有承上启下的作用,又具有独立的功能。本书涉及的理论基础继承了机械原理课程的理论教学内容、方法和手段,使机构学、机构动力学理论与应用数学方法、程序语言技术、计算机可视化技术等现代技术相结合。其中,C 语言编程训练为后续课程打下了编程基础,机构设计软件的应用与 ADAMS 虚拟样机软件的引入,为培养学生创新思维、实践创新设计提供了手段。本书涉及的机构运动分析、力分析的解析方法、机器运动方程的数值解法、机构设计方法与运动仿真等工程上的实用方法在后续课程中不再涉及,但却是从事机械创新设计的工程技术人员应该掌握的重要内容。

(3) 技术上的先进性。本书配套的软件是作者多年从事教学研究与科学研究的成果。机构设计软件采用当今流行的、功能强大的编程语言开发,利用 ADAMS 实现机构的运动学与动力学仿真也是目前最先进的方法。

(4) 实用性。作者大都长期工作在教学第一线,有着丰富的教学经验。本书内容的编排、方法手段的取舍,充分考虑到教学过程中的可操作性。例如,连杆机构分析的解析法采用了基本杆组方法,方便了编程,提高了程序的通用性,减轻了使用者调试程序的压力,减少了对计算机软、硬件环境的要求。

(5) 适应不同层次的需求。本书内容深浅兼顾,能够满足不同类型高等学校学生培养目标的要求。书中收集了大量的设计选题,以满足不同的需求。

全书文字部分共分 8 章,其中第 1 章简要介绍机械原理课程设计与机械系统方案创新设计和计算机辅助机构设计的关系,以及机械原理课程设计的教学目的、

要求与方法。第2章主要阐述机械系统方案设计的内容。第3章给出平面连杆机构运动分析和动态静力分析的数学模型和用C语言编写的通用程序。第4章通过两个具体示例说明机械系统运动方案设计的思路和方法。第5章给出常用机构设计的数学模型以及机构设计软件的功能与使用方法。第6章是动力学设计的相关内容。第7章介绍了基于ADAMS软件的机构建模与仿真方法。第8章为课程设计题选。配套软件为读者提供了机构分析的程序库和连杆机构、凸轮机构、齿轮机构以及几种形式组合机构的设计平台。

参加编写的人员有:

文字部分:东北大学的王淑仁(第1、5章),沈阳理工大学的赵满平(第2章),东北大学的王丹(第3、6章),沈阳理工大学的邵伟平(第4章),东北大学的王淑仁、李翠玲、王晓光(第7章),沈阳理工大学的王铁军(第8章)。

软件部分:东北大学的王淑仁、王丹、李德锡、孙源鑫、郑学文、陈晏伯、黄慧明、白斌和沈阳理工大学的王铁军等。

全书由王淑仁任主编,邵伟平、赵满平、王丹、王铁军共同编著。

由于作者水平所限,不足之处在所难免,敬请广大同仁和读者批评指正。

编 者

2006年4月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机构系统的创新设计	1
1.2 计算机辅助机构设计	2
1.3 机械原理课程设计的教学目的、要求与方法.....	2
第 2 章 机械系统的方案设计	4
2.1 机械设计与机械系统方案设计	4
2.2 机械执行系统的方案设计	6
2.3 机械传动系统的方案设计.....	17
2.4 原动机及其选择.....	21
2.5 机构的创新设计.....	21
第 3 章 II 级机构的运动分析和动态静力分析方法	28
3.1 II 级机构运动分析的数学模型.....	28
3.2 II 级机构运动分析通用子程序.....	38
3.3 II 级机构运动分析实例.....	48
3.4 II 级机构动态静力分析的数学模型.....	56
3.5 II 级机构动态静力分析通用子程序.....	64
3.6 II 级机构动态静力分析实例.....	79
第 4 章 机械系统运动方案设计示例	91
4.1 简易圆盘印刷机的运动方案设计.....	91
4.2 冲压式蜂窝煤成型机的运动方案设计.....	97
第 5 章 常用机构的计算机辅助设计	105
5.1 连杆机构设计	105
5.2 凸轮机构设计	122
5.3 圆柱齿轮机构设计	132
5.4 组合机构设计	138

第 6 章 机构动力学设计	142
6.1 动力机的机械特性及电机的选择	142
6.2 机组动力学模型及运动方程的数值解法	144
6.3 飞轮转动惯量的计算方法	156
第 7 章 基于 ADAMS 软件的机构建模与仿真方法	162
7.1 连杆机构建模与仿真	162
7.2 凸轮机构建模与仿真	178
7.3 齿轮-连杆组合机构建模与仿真	185
第 8 章 课程设计题选	189
8.1 洗瓶机设计	189
8.2 轧辊机设计	190
8.3 剪板机设计	192
8.4 半自动平压模切机设计	193
8.5 四工位专用机床设计	195
8.6 医用棉签卷棉机设计	197
8.7 专用精压机设计	198
8.8 步进输送机设计	200
8.9 平台印刷机设计	201
8.10 书本打包机设计.....	203
8.11 健身球检验分类机.....	207
8.12 半自动钻床.....	209
8.13 压片成型机.....	210
8.14 巧克力糖包装机.....	213
8.15 垫圈内径检测装置.....	214
8.16 台式电风扇摇头装置.....	216
8.17 平尺刻线机设计.....	217
8.18 糕点切片机设计.....	219
8.19 剥豆机设计.....	220
8.20 旋转型灌装机.....	221
8.21 自动打印机设计.....	222
8.22 电机转子嵌绝缘纸机设计.....	223
8.23 自动制钉机设计.....	224

8.24	自动链条编结机设计·····	225
8.25	螺钉头冷镦机设计·····	226
8.26	抽油机机械系统设计·····	227
8.27	荧光灯灯丝装架机上料机械手及芯柱传送机构设计·····	229
8.28	牛头刨床设计·····	231
8.29	插床机械设计·····	233
8.30	压床机械设计·····	235
8.31	摇摆式输送机设计·····	238
参考文献 ·····		240

第1章 绪 论

1.1 机构系统的创新设计

随着工业生产的不断发展和人民生活水平的日益提高,机械产品种类日益增多,如各种金属切削机床、仪器仪表、重型机械、轻工机械、交通运输机械及办公设备、家用电器、儿童玩具等。各种机械设备一般均需实现生产和操作过程的自动化,或者实现某一工艺动作过程。因此,机械设备设计首先需要进行机械运动方案的设计和构思。在运动方案确定过程中,对于执行动作多少为宜、执行动作采用何种形式以及各执行动作间如何协调配合等都可以成为富于创造性设计的内容。采用什么样的机构来巧妙地实现所需的执行动作,这就要深入了解各类机构的结构特点、工作性能和设计方法,同时也要有开阔的思路和创新的能力,以便创造性地构思出新的机构来。

机构系统设计的内容通常包括选定或开发机构形式并加以巧妙地组合,同时进行各个组成机构的尺度综合,使此机构系统完成某种功能要求,因此,机构系统的设计是机械产品设计的第一步,机构系统的创新设计在新产品开发中尤为重要。

机构系统设计是整个机械设计过程中的重要阶段。机构类型选择是否得当以及结构尺寸设计得是否合理,将在很大程度上影响到机械的工作质量。机构设计是一个综合—分析—再综合,反复改进不断提高的过程。根据给定的工艺动作要求和相关的约束条件,参照现有资料,综合运用所学知识初步构思一个机构方案,这个方案是否可行?能不能完成规定的运动变换要求?它的动力学性能如何?这只能靠科学的分析来检验。因此,要对所构思的方案进行运动分析、动态静力分析,以考察工作构件的运动规律,各运动副中,尤其是与机架相联接的运动副中支承反力的大小和方向以及它们的变化规律,主动件上平衡力矩的变化规律等。从分析结果可能会发现某些性能指标达不到设计要求,某些性能指标还不够理想,这时应有针对性地修改和调整某些尺寸参数,必要时要重新构思或选择机构类型,再做分析,直到得出满意的结果。

可见,机构系统设计是一项难度较大的工作,尤其是机构类型的选择和初步尺寸参数的确定,不但需要机构学、结构设计和工艺学等方面的知识,更需要设计人员有丰富的经验和见识。

1.2 计算机辅助机构设计

机构设计也常称为机构综合,与机构分析一起构成机构学的两方面内容。早期机构学的发展与图解法密切相关,这是由于机构学问题的运动方程往往是非线性的,通常都是比较复杂的超越方程组。在计算机作为求解工具以前,这些非线性方程的求解是十分困难的,即使在方法上可以解决,但限于实际计算工作量太大,不得不令人望而生畏。

计算机的应用使机构学的发展进入了崭新的阶段。20世纪60年代初,已有研究人员应用计算机实现了机构学的图解法。60年代末,有人应用计算机模拟批处理来解准点法和优化法的综合问题。70年代初,又发展了适用于平面机构运动学和动力学分析的程序。在这个基础上,从严格的批处理逐渐过渡到对话式的计算,这对设计者来说是很有意义的一步。进入80年代,图形技术进入了机构学领域,使得机构的设计更直观、更清晰了。

然而,机构设计与机构分析依据不同的数学理论与求解方法,在有限的机械原理教学学时中,不可能将全部内容都系统地传授给学生。机构分析法是基础,应该熟练掌握,而加强设计能力的培养是教学改革的主要目标。如何协调二者的关系,近几年很多学校在做有益的探索。

面向对象的计算机程序设计方法,将编程者按自己意图设计的程序,变为使用者按自己的要求操纵控制的程序,如各种文字处理软件。受这一思想启发,开发了计算机辅助机构设计软件,该软件具备一定的智能化,操作上的许多问题由计算机自动处理,给使用者带来极大方便。在多杆机构设计方法上采用了机构优化设计的思想,即用机构分析的手段达到机构设计的目的。这样就避开了传统的机构设计理论,学生只要了解机构分析的理论和方法,使用该软件设计就不会有面对“黑匣子”的感觉。随着计算机软件技术的飞速发展,计算机将在机构设计中发挥更大的作用。

1.3 机械原理课程设计的教学目的、要求与方法

为了培养面向21世纪的人才,教育部提出了系列课程教学改革的要求,实施基础课程教学基地建设和精品课建设。机械基础系列课程是机械类专业的重要技术基础课,教学改革的主要目标是加强对学生进行设计能力和创新能力的培养。

机械原理课程设计是机械基础教学基地建设规划的机械基础系列课程之一,是以设计实践为主的课程,是培养学生机构设计能力和创新能力的重要手段。机械原理课程设计的改革和发展,历来是任课教师关注的热点。经过多年的努力,机械原理课程设计已经经历了用图解法进行机构的分析计算、借助计算

机用解析法进行机构的分析计算、以机构设计为主的“设计性”课程设计、机械运动方案设计等几个阶段。为了巩固和发展多年教学改革成果,我们感到需要有一本合适的教材,它不但要提供机构设计的理论知识和方法,而且需要提供一个机构设计的环境。在这个环境中,学生可以了解和初步实践机构设计工作的全过程,从中培养工程实践的观点、全面考虑问题的思想方法和锻炼提高各方面的能力。

一般来说,由于学生的知识结构和实践经验所限,在规定的设计时间内不一定能做出很理想的结果。设计工作的重点应着眼于设计方案的构思、应用分析手段评价机构性能和怎样调整机构的尺寸参数以改进机构性能等方面。设计的质量不仅体现在机构设计的最后结果上,更主要的是体现在分析工作的细致深入、论证工作的扎实可信上。

为了避免学生把有限的时间耗费在程序的编制和调试上,而能集中精力用在方案设计和机构的分析与综合方面,在做设计时可以调用配套光盘中的各种通用程序。对于这些程序所依据的理论、算法和使用规定应有清楚的了解,应读懂这些程序,这样才能避免使用过程中的盲目性,才有可能分析和处理程序运行过程中出现的问题,而且有可能在另外的条件下去补充和发展相应的程序。如果只会套用这些程序而对程序本身毫无所知,那就不仅降低了学习要求,而且会造成使用过程中的困难。

本课程的计划学时为 40 学时,其中理论教学 8 学时,设计上机 32 学时,安排在两周内完成。

机械原理课程设计的步骤如下:

- (1) 根据指导教师提出的设计要求,构思出两种机构系统方案。
- (2) 利用计算机辅助机构设计软件或 ADAMS 数字化功能样机软件对构思机构方案进行运动仿真,在综合分析各机构性能的基础上确定一最佳方案。
- (3) 自编主程序对机构进行运动分析、动态静力分析、飞轮转动惯量计算等,与计算机辅助设计的结果进行比较,验证自己编程方法及计算结果的正确性。
- (4) 整理设计说明书一份,其内容应包括:题目说明、方案选择的依据和方案说明、按一定比例绘制的机构运动简图、机构的尺寸参数调整和修改过程、对最终设计结果的分析和评价、动力学分析和飞轮转动惯量计算结果,以及所有自编程序清单及输出数据和按输出数据绘制的各种线图。指导教师可参照以上内容提出具体要求。

设计说明书应在设计进行过程中分段编写初稿、最后整理装订成册。要求条理分明、语言通顺、图形规范,由计算机排版输出。以上全部工作应在教师指导下由学生独立完成。

设计完成后进行答辩。根据完成过程中的工作态度、独立工作能力、设计质量及在答辩过程中回答问题情况等综合评定设计成绩。

第 2 章 机械系统的方案设计

2.1 机械设计与机械系统方案设计

2.1.1 机械设计的概念

机械设计是根据使用要求对机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸以及润滑方法等进行构思、分析和计算,并将其转化为制造依据的工作过程。机械设计是机械工程的重要组成部分,是机械生产的第一步,是决定机械特性最主要的因素。设计过程蕴含着创新和发明。

机械产品的设计由于情况不同可以有三类不同的设计:

(1) 开发性设计。在工作原理、结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行的新技术,设计过去没有过的新型机械。这是一种完全创新的设计。

(2) 适应性设计。在原理方案基本保持不变的情况下,对产品作局部的变更或设计一个新部件,使机械产品在质和量方面更能满足使用要求。

(3) 变型设计。在工作原理和功能结构都不变的情况下,变更现有产品的结构配置和尺寸,使之适应于更高的容量要求。

在机械设备设计中,开发性设计十分重要,即使是进行适应性设计和变型设计,也应在“创新”上下功夫。“创新”可以使开发性设计、适应性设计和变型设计别具一格,从而提高机器的工作性能。

2.1.2 机械设计的一般程序

无论哪一类设计,为了提高机械设计的质量,必须有一个科学的设计程序。机械设计的一般进程可分为四个阶段:产品规划阶段、方案设计阶段、详细设计阶段和改进设计阶段。表 2.1 详细介绍了这四个阶段中各设计子项目及其应完成的任务。

表 2.1 机械设计的一般过程

设计阶段	设计程序内容与设计步骤	阶段设计目标
产品规划阶段	<pre> graph TD A[市场调研] --> B[提出设计任务] B --> C[需求分析] C --> D[明确设计任务] D --> B </pre>	设计任务书; 可行性研究报告; 任务要求明细表
方案设计阶段	<pre> graph TD A[功能分析和工作原理的确定] --> B[工艺动作分解、执行动作确定、协调设计] B --> C[机械运动方案的设计] C --> D[方案评价] D --> E[方案决策] D --> C E --> C </pre>	总体方案示意图; 机械系统运动简图; 运动循环图; 方案设计说明书
详细设计阶段	<pre> graph TD A[机械构型构思与设计] --> B[机械总装图设计] B --> C[机械部件设计] C --> D[机械零件设计] D --> E[技术文件的编制] B --> A C --> A D --> A </pre>	施工图;设计计算 说明书;标准、通用 件明细表;使用说明书
改进设计阶段	<pre> graph TD A[样机性能试验检测] --> B[样机试用情况报告] B --> C[针对存在问题进行技术完善] C --> D[进行改进完善设计] B --> A D --> A </pre>	研制报告;用户 试用报告;性能测 试报告;改进设计图样

2.1.3 机械系统方案设计的内容

机械系统的方案设计是机械设计中极其重要的环节,设计是否正确和合理对提高机械的性能和质量、降低制造成本与维护费用等影响很大。有研究表明,一个机械产品成本的70%是由运动方案设计决定的,故应认真对待。机械系统主要由原动机、传动系统、执行系统和控制系统组成,因此系统方案设计主要应包括以下内容:

1. 执行系统的方案设计

执行系统的方案设计主要包括:根据机械预期实现的功能要求,构思合适的工作原理;根据工作原理所提出的工艺过程的特点,设计合适的运动规律;根据执行构件的运动规律,设计执行机构的形式;进行各执行机构间的协调配合设计;对方案进行评价和决策等。

2. 原动机的选择和传动系统方案设计

它主要包括:确定传动系统的总传动比;选择合适的传动类型;拟定传动链的布置方案;分配各级传动比、确定各级传动机构的基本参数;对方案进行评价和决策等。

3. 控制系统的方案设计

控制系统的方案设计可以参阅《机械工程控制基础》(柳洪义等编著,科学出版社,2006)一书。

4. 其他辅助系统的设计

其他辅助系统的设计主要包括润滑系统、冷却系统、故障检测系统、安全保护系统和照明系统等的设计。

从原动机到传动机构再到执行机构的整个系统的设计一般称为机械系统的运动方案设计,其结果是给出一份满足运动性能要求的运动简图。

机械执行系统是一种机械区别于其他机械的主要标志,是一个机械系统的核心。机械执行系统的方案设计显然是机械系统方案设计中最具创造性的工作。故本章重点介绍机械执行系统的方案设计。

机械系统方案设计是机械设计全过程中最关键的阶段,要做好这个阶段的工作,设计人员不仅需要掌握扎实的理论知识、丰富的实践经验,还需要有科学的设计思想和方法,并具有强烈的创造意识,只有这样才能设计出新颖、独特、高效的机械运动方案。

2.2 机械执行系统的方案设计

机械执行系统的方案设计是机械系统总体方案设计的核心,它对机械能否实