

面向21世纪高等学校机械类专业系列教材

机械设计工程学

主编

王洪欣 李 木 刘秉忠



JIXIE SHEJI

GONGCHENGXUE

[I]

中国矿业大学出版社

面向 21 世纪高等学校机械类专业系列教材

机械设计工程学

(I)

王洪欣 李 木 刘秉忠 主编

中国矿业大学出版社

责任编辑 钟 诚

内 容 提 要

本书是中国矿业大学等十院校共同完成的题为“机械类专业人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”的教学改革的成果之一,分两册出版。《机械设计工程学(I)》分为 10 章,主要包括机构组成原理、运动与动力分析方法、常用机构的设计方法以及机构创新设计的内容。

本书主要作为高等院校工科机械类专业的教材,也可供高等学校、职工大学工程专业等使用,还可作为有关工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计工程学/王洪欣等主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2001. 1

ISBN 7-81070-229-7

I. 机… II. 王… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 02474 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 466 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

印数 1~4050 册 定价 20.00 元

前 言

为了培养高质量的科技人才,教育部正在组织实施“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”。机械基础系列课程体系改革是这一计划中的重要组成部分,其改革的总体目标是培养学生的综合设计能力。为此,由中国矿业大学、辽宁工程技术大学、太原理工大学、河北建筑科技学院、焦作工学院等十所院校共同开展了题为“机械类专业人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”的教学改革,对机械基础系列课程结构进行了整体优化,建立了新的课程体系,实现了主干课程教材的系列化。《机械设计工程学》是该系列教材之一,它承担着培养学生的机械系统方案创新设计能力和机器与零件的结构设计能力的任务,它在机械基础系列课程体系中占有十分重要的作用。

为了培养学生的工程实践能力和创新能力,本教材在以下几个方面进行了改革与提高。

1. 既传授知识,又培养设计能力

本教材在阐述课程的基本内容时,不但讲清基本概念、基本理论和基本方法,而且还作适当的扩展,以提高学生的机构设计能力,并通过机构参数的变化,展示机构的几何特性和运动特性。

2. 既培养逻辑思维能力,又促进形象思维能力的提高

本教材的许多基本理论都经过理论分析,以期培养学生的逻辑思维能力。同时,提供了大量的机构创新设计实例,以开发学生的形象思维能力。

3. 既注重机构分析,又讲述机构创新设计

本教材不仅讲述了基本机构的常用分析方法,而且介绍了机构创新设计的方法、机械零件与部件的结构设计方法,以培养学生的机械创新设计能力。

4. 完整讲述齿轮设计内容,增强机构设计的系统性

本教材将齿轮机构的类型、恒速比传动条件、标准、加工、受力分析、选材、参数设计与影响因素分析等内容依次完整讲述,以培养学生思考问题的系统性、了解设计工作的逻辑性以及明白设计工作的寻优性。

《机械设计工程学(I)》由中国矿业大学王洪欣、辽宁工程技术大学李木和河北建筑科技学院刘秉忠担任主编。参加编写的有:中国矿业大学王洪欣(第 1 章中的 1.1~1.3.4、1.4、第 9 章、第 10 章),中国矿业大学唐大放(第 1 章中的 1.3.5~1.3.8、1.5),湘潭工学院章易程(第 2 章、第 3 章),湘潭工学院马克新(第 5 章),中国矿业大学程志红(第 4 章),辽宁工程技术大学李木(第 6 章、第 7 章),河北建筑科技学院秦贵林、段楠(第 8 章),河北建筑科技学院刘秉忠(第 8 章习题)。由于编者水平有限,书中错误与不足之处在所难免,欢迎广大同仁和读者批评指正。

编 者

2000 年 9 月

目 录

1 绪论	1
1.1 机械、机器与机构.....	1
1.2 机械设计的基本要求与流程	2
1.3 机械设计的基本内容	3
1.4 课程的性质和任务	5
1.5 机械设计的新发展	5
2 平面机构的组成分析	9
2.1 概述	9
2.2 机构的组成	9
2.3 平面机构的运动简图.....	12
2.4 平面机构的自由度.....	15
2.5 计算平面机构自由度的注意事项.....	16
2.6 平面机构的组成原理及结构分析.....	19
2.7 平面机构中的高副低代.....	21
2.8 平面低副的同性异形演化.....	23
习题	24
3 平面机构的运动分析	28
3.1 概述.....	28
3.2 机构运动分析的图解法.....	29
3.3 机构运动分析的解析法.....	35
习题	43
4 摩擦学导论	47
4.1 概述.....	47
4.2 摩擦.....	47
4.3 磨损.....	50
4.4 润滑.....	51
5 平面连杆机构及其设计	65
5.1 概述.....	65
5.2 平面四杆机构的基本型式及其演化.....	65
5.3 平面四杆机构的基本概念与传动特征.....	69
5.4 按行程速比系数设计平面四杆机构.....	71
5.5 刚体导引机构的解析法设计.....	73
5.6 函数机构的解析法设计.....	76

5.7	轨迹机构的解析法设计	79
5.8	连杆曲线与分布特征	81
5.9	平面多杆机构的应用	84
	思考题	85
	习题	86
6	凸轮机构及其设计	88
6.1	概述	88
6.2	凸轮机构的分类及封闭形式	89
6.3	凸轮机构的基本名词、术语	92
6.4	从动件常用的运动规律	92
6.5	用作图法设计盘形凸轮轮廓线	97
6.6	用解析法设计盘形凸轮轮廓曲线	102
6.7	盘形凸轮机构基本尺寸的确定	103
6.8	凸轮副工作能力校核	110
6.9	凸轮机构的结构设计	114
6.10	圆柱凸轮机构	116
6.11	高速凸轮机构简介	117
	习题	118
7	间歇运动机构	120
7.1	概述	120
7.2	棘轮机构	120
7.3	槽轮机构	125
7.4	不完全齿轮机构	129
7.5	凸轮式间歇运动机构	130
7.6	星轮机构	131
	习题	132
8	齿轮机构及其设计	133
8.1	概述	133
8.2	齿轮的齿廓曲线	133
8.3	圆的渐开线	135
8.4	渐开线齿廓的啮合特性	136
8.5	渐开线标准齿轮各部分的名称及尺寸	137
8.6	渐开线直齿圆柱齿轮的外啮合传动	140
8.7	渐开线齿廓的加工	145
8.8	变位齿轮概述	149
8.9	变位齿轮传动	151
8.10	斜齿圆柱齿轮传动	153
8.11	交错轴斜齿轮传动	158
8.12	蜗杆传动	159

8.13	直齿圆锥齿轮传动.....	165
8.14	其他曲线齿廓的齿轮传动简介.....	168
8.15	齿轮传动的失效形式及强度计算准则.....	172
8.16	直齿圆柱齿轮传动的强度计算.....	181
8.17	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算.....	194
8.18	直齿圆锥齿轮传动的强度计算.....	197
8.19	普通圆柱蜗杆传动的强度计算.....	201
8.20	齿轮与蜗杆和蜗轮的结构.....	205
	习题.....	210
9	齿轮系及其设计	213
9.1	概述	213
9.2	定轴轮系的传动比	214
9.3	定轴轮系的应用	215
9.4	周转轮系的传动比	217
9.5	复合轮系的传动比	218
9.6	复合轮系的应用	220
9.7	周转轮系各个齿轮齿数的确定	222
9.8	周转轮系的力矩与机械效率	223
9.9	其他类型的行星传动	230
	习题.....	235
10	机构创新设计法导论.....	238
10.1	概述.....	238
10.2	分析综合法.....	239
10.3	虚约束应用法.....	248
10.4	特性分析法.....	249
10.5	再生运动链法.....	257
	习题.....	261

1 绪 论

【提要】 要求明确本课程的研究对象和教学内容,掌握机构、机器和机械的基本概念,了解机械设计的基本要求和一般过程,了解机械设计的方法与新发展。

1.1 机械、机器与机构

机器是人类发明创造的产物,电动机、内燃机、起重机、采煤机以及各种机床等都是机器。尽管机器的种类很多、构造相异、性能与用途各不相同,但从它们的组成、运动及功能转换关系来看,机器具有以下三个共同的特征:①它们是为人为的实验组合;②它们各部分之间具有确定的相对运动;③它们用来完成有用的机械功(如起重机、各种机床与采煤机)或转换机械能(如内燃机、电动机与发电机)。

机构也是人为的实物组合,其各部分之间具有确定的相对运动,所以,机构只具有机器的前两个特性。

机器是由机构组成的。一部机器可以包含几个基本机构,也可以只是一个基本机构(如电动机、鼓风机和离心泵)。

倘若撇开机器在做功和转换能量方面的功能,仅从组成和运动的观点来看,则机器与机构之间并无差别,因此,习惯上用“机械”一词作为机器与机构的总称。

机构中每一个具有独立运动的单元体称为构件;机器中每一个单独加工制造的单元体称为零件。一个构件可以是一个零件,但往往是由若干个零件以互不作相对运动的方式组合而成。

一台现代化的机器一般包含四个部分:①原动机部分,②传动装置,③执行机构,④测控系统。原动机对一台机器提供运动和动力,传动装置将原动机的运动和动力变换并传递到执行机构的输入端,执行机构对操作对象实施操作,测控系统实时检测执行机构是否按设计要求在工作,若执行机构的操作偏离了设计目标,则测控系统将发出纠偏信号,从而使执行机构的操作回到设计要求上来。

机器中普遍使用的机构称为常用机构,如平面连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等。

机械中应用的零件可以分为两类。一类为通用零件,它们在各种机械中几乎都能见到,如齿轮、螺钉、螺母、轴、弹簧、键等。另一类为专用零件,它们只出现于个别机械中,如汽轮机中的叶片、内燃机中的活塞、冷锻或热锻机中的凸凹模、汽车中的曲轴、凿岩机中的钎子等。另外,还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合作为部件,如减速器、制动器、离合器、联轴器、滚动轴承等。

1.2 机械设计的基本要求与流程

机械设计是一种创造性的实践活动,它的目的是以所设计的产品一方面满足人们物质与文化发展的需求,另一方面为设计者或所属单位获得利润。机械设计是指规划和设计一种能够实现预期功能的新机器或者改进原有机械的性能。

机械设计应满足的基本要求为:

1. 功能要求

机器应达到预期的功能要求,如位移量、轨迹、速度、加速度、精度、机械效率等。

2. 可靠性要求

机器在规定的工作条件下,在规定的使用期限内能够连续工作的概率称为可靠度(用字母 R 表示)。可靠性通过可靠度 R 表示,如要求机器的可靠度为 $R=90\%$ 、 80% 等。

3. 工艺性要求

机器中所有非外购件必须能最廉价地制造出来并方便地进行装配,即机械的构造和零件的几何形状应适应生产条件和规模,选择合理的毛坯种类和形状,零件的形状尽量简单、加工方便且加工量尽量少,装配与拆卸的工作量较少等。

4. 经济性要求

采用先进的设计理论和设计方法以降低设计费用,选择合适的材料以降低材料费用,选择合适的配合与形位公差以降低加工费用,尽量采用标准件,避免使用机械效率低的运动副以降低机器的运转费用等。

5. 标准化要求

机构设计中应尽量采用标准件,如螺栓、滚动轴承等;应尽量选用标准中规定的材料、形位公差等。

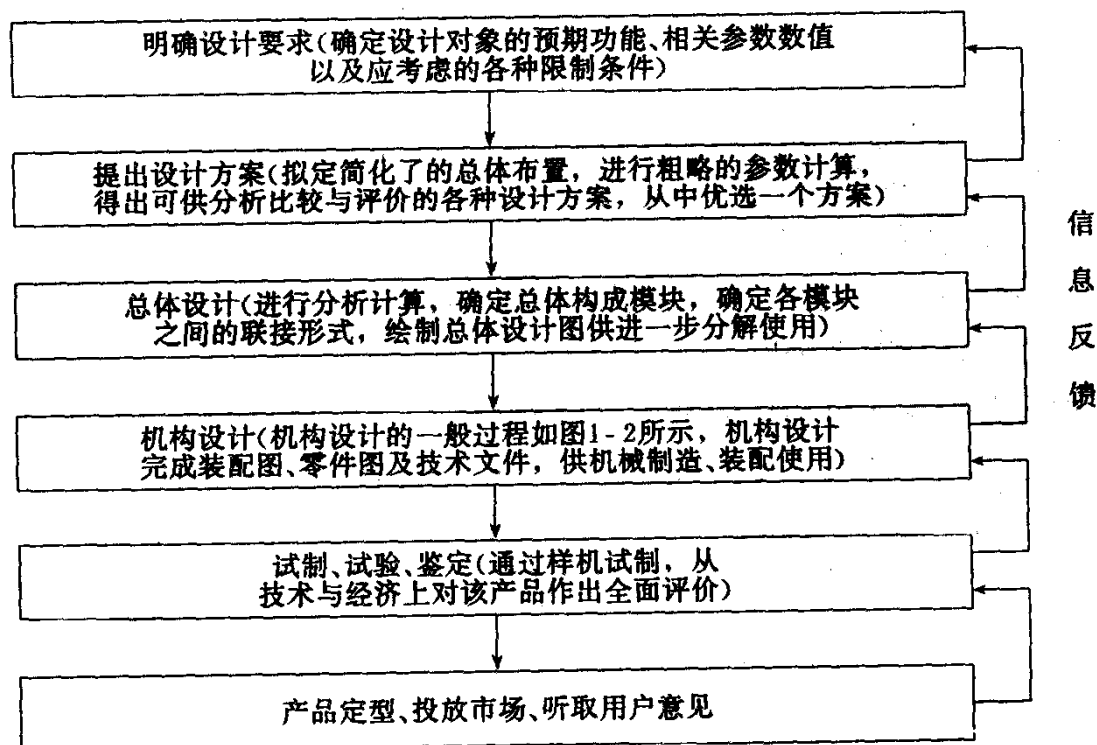


图 1-1 机器设计的一般过程

除了这五项要求之外,还应满足劳动保护要求,即应使操作者安全、舒适与方便地操作;应向绿色设计与绿色制造方向发展;应以用户为中心,以市场为导向,以最少的投入获得最大的利润为行动指南。

机械设计的基本流程为:

一台新机器的诞生,从模糊地感觉到某种需求、经过调查分析萌生设计念头、经过分析与综合明确设计要求开始,经历设计、制造、试验、鉴定到产品定型,是一件复杂、细致的工作过程。机器设计的一般过程如图 1-1 所示,机构设计的一般过程如图 1-2 所示。

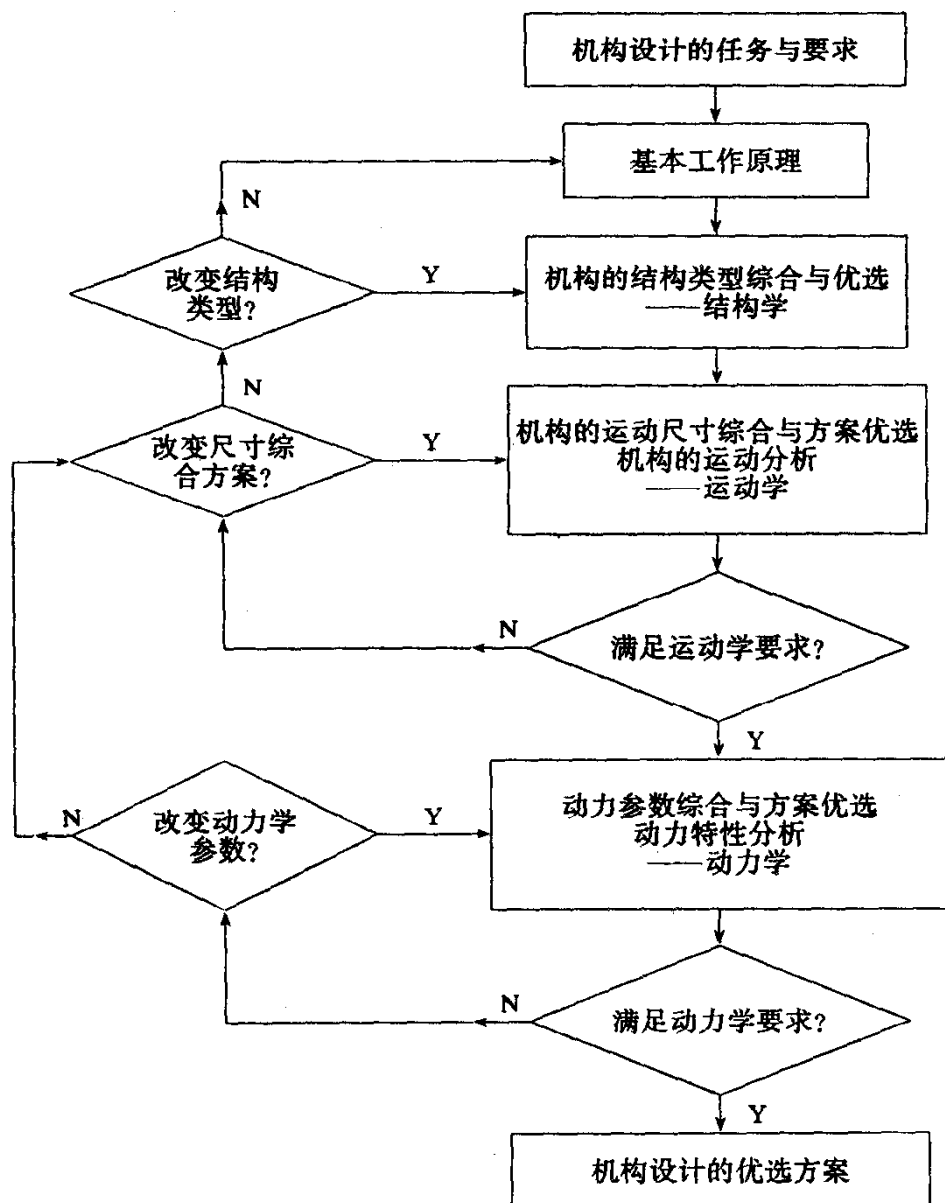


图 1-2 机构设计的一般过程

1.3 机械设计的基本内容

机械设计研究机器和机构的基本理论、零件和部件的设计方法。机器和机构的基本理论进一步划分为机构的组成原理、机构的运动分析与综合、机构的运动几何学以及机械动力学。零件与部件的设计方法分别研究联接件、轴系零部件、零件的结构以及机构传动的设计原理。

1.3.1 机构的组成原理

机构的组成原理研究机构组成的一般规律(运动副类型与数目和构件类型与数目以及它们之间的运动与约束关系)、研究机构创新设计的类型优选。在机构组成原理的研究中,图论、网络分析、螺旋坐标等数学方法得到应用。

1.3.2 机构的运动分析与综合

机构的运动分析与综合研究机构运动分析的方法(如矢量方程图解法、复数矢量法、矩阵法、杆组法等)、机构运动尺度的综合(如函数生成机构、轨迹再现机构、刚体导引机构、共轭曲面机构、瞬心线机构的综合等)以及机构的尺度类型与其性能的图谱或函数关系。通过机构的运动尺度综合,确定机构中每一个杆件的长度;通过机构的运动分析,了解机构的输入、输出关系(如位移、速度、加速度等)及传动性能。

1.3.3 机构的运动几何学

机构运动尺度的综合研究机构在一些特定的有限分离位置上准确或精确地满足设计要求的机构综合方法。机构的运动几何学则研究机构在一些特定的无限接近位置上满足设计要求的机构综合方法,即研究机构的某些参数及其高阶导数都能符合设计要求的机构综合方法。速度瞬心、欧拉-萨瓦里(Euler-Savary)方程、拐点(Inflexion)、鲍尔点(Ball's point)、布尔梅斯特点(Burmester's point)等为机构的运动几何学设计提供了理论与方法。

1.3.4 机械动力学

机械动力学研究机构的动力分析(外力与惯性力分析)、动力学响应(机构在外力、惯性力作用下的真实运动规律)以及机构的动平衡原理与方法。通过机械的动力学分析,确定机械的输入、输出功率,确定运动副中的支承反力,调节机器的速度波动,降低整个机器对机架作用的惯性力和惯性力矩。

1.3.5 机械传动

机械传动主要研究齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动、带传动、链传动的基本设计理论与方法,包括受力分析、失效形式分析、强度设计计算准则、选型与结构设计问题,并研究这些传动的计算机程序设计方法。

1.3.6 联接件

联接件主要介绍螺纹联接、链联接、花键联接、销联接、无键联接的各种形式、结构特点、应用和主要参数,并研究这些联接件的受力分析、失效形式与强度计算以及各种联接件的选用等问题。

1.3.7 轴系零、部件

轴系零、部件研究轴的结构设计、强度、刚度和稳定性计算问题,介绍滚动轴承的主要类型和结构特点,研究滚动轴承的主要失效形式、计算准则、寿命计算以及组合设计问题,研究滑动轴承的类型、结构、特性和材料,研究非液体润滑滑动轴承、液体动压润滑滑动轴承、液体静压润滑滑动轴承的设计计算方法,介绍常用联轴器、离合器、制动器的结构、特点及选用原则,研究密封原理、密封系统以及静密封、动密封的结构与密封装置的设计。

1.3.8 机械零件结构设计

机械零件结构设计研究机械零件结构方案设计的基本原则、基本原理和结构方案设计的技巧,研究机械零件结构工艺性、合理性和提高强度、刚度以及符合安全、人机学、美观、减小机械噪声、减轻腐蚀等要求的结构设计方法。

1.4 课程的性质和任务

《机械设计工程学》的主要内容如 1.3 节所述,为此,本课程的性质是以机构的组成原理、运动分析与综合、基本机构的设计、机械动力学以及一般通用零件与部件的设计为核心的设计性课程。该课程不可能去研究各种机构的设计方法、各种机器与零件的设计原理,也不研究特大、特小、特精密、高温、低温、特高速以及特殊环境下工作的零件与部件的设计方法。

本课程的主要任务是:①培养学生具有平面机构的运动分析与综合、平面机构的动力分析的能力;②掌握通用零件与部件的设计原理、方法和机械设计的一般规律;③树立正确的设计思想,了解机械设计的系统性、复杂性、多解与寻优性;④具有运用标准、规范、手册、图册以及查阅相关技术资料的能力;⑤掌握机构、零件的几种实验方法;⑥对机械设计的新发展有所了解;⑦了解机构创新的几种方法。

《机械设计工程学》仅仅研究了机械设计的基本理论、基本方法,对机械设计中的问题所作的分析是不全面、不深入的,对个别问题所作的分析是近似的。若要设计出一台深受用户欢迎的机器,只学习本课题的知识是不够的。目前,机械设计的理论与方法都已得到了全面的发展,如设计理论与技术中的相似工程学、模块化设计、可靠性设计、优化设计、三次设计、工程稳健优化设计等,而机器又向自动化方向发展,机械、液压、气动、检测、控制融于一体,因此,只有刻苦学习、掌握更多的设计理论与方法,才能设计制造出性能优良、价格适宜、为用户所接受的机器,为我国的社会主义现代化建设事业做出更大的贡献。

1.5 机械设计的新发展

1.5.1 机械优化设计

前面 1.3.5~1.3.8 各节所阐述的各种机械零件的传统设计方法,一般都是选择一部分参数后,按承载能力计算出另一部分参数,如发现不合适,再作调整,直至具有合适的强度为止,这就是传统的设计方法。由于选择参数带有一定的经验性、盲目性和试探性,使得计算出的全部设计参数并不是最优的。如果多选几组参数,进行几遍计算,则可从中挑选一组设计变量使设计结果比较好,但也不一定是最优的。优化设计是以最优化数学理论和现代计算技术为基础,运用电子计算机快速地、自动地从很多设计方案(或参数)中挑选出最优结果来。这个方法自问世 40 年来,已从理论到应用取得了很大的发展。广义的优化包括优化设计、优化试验、优化控制、优化管理等。在优化设计方面又分两个层次:方案优化和参数优化。前者又称“专家系统”,主要考虑设计思想和总体配置方面的问题。后者指确定具体的设计参数,即通常所称的“优化设计”。参数优化在航空航天以及汽车、机床、造船等机械系统与零件设计中取得了显著的成绩。如对某飞机机翼进行优化,使重量减轻了 35%;对某 20 吨位的桥式起重机箱式主梁进行优化,平均重量减少 14%;对一艘九层甲板的货轮进行优化,降低成本 10%,对葛洲坝二号船闸人字门启闭机构优化,使驱动力矩减少 42%……。如今,已从单机优化发展到整个车间、整个流水线和其他一些大而复杂系统的优化。

应用优化技术,首先要将待优化的工程问题转化为优化数学模型,然后选择合适的优化

方法,设计出(或选用)相应的计算机程序,最后在计算机上调试和运行得出最优设计方案(或参数)。

1.5.2 机械可靠性设计

随着科学技术的发展,机械系统愈趋复杂,工作环境日益严酷,对系统和零件的可靠性要求愈来愈高。可靠性问题是在1950年初由美国军用航空部门首先提出并进行研究,约10年后扩展到机械领域,1969年美国“阿波罗”飞船登月成功,显示了可靠性技术的有效性。1970年之后开始在民用工业得到推广应用,美国人预言:“只有那些具有高可靠性的产品及其企业才能在今后日益激烈的国际市场的竞争中生存下来”。而日本则断言:“今后产品竞争的焦点是可靠性”。我国目前对机械产品的可靠性研究还不很普遍,近年来加快了对可靠性研究的步伐,在机械领域如汽车、仪表等部门做了大量的工作。

可靠性设计是近期发展起来的一门现代机械设计理论和方法,它是以提高产品质量为核心,以实现产品可靠性为目的,以概率论、数理统计理论及故障物理为基础,综合运用力学、机械学、系统工程等方面的知识来研究机械系统的最佳设计问题。现行机械可靠性设计方法主要有:概率设计法,失效树分析法,失效模式、影响及致命度分析法。概率设计法是考虑与设计有关的载荷、强度、尺寸和寿命等都是随机变量,根据大量实验或测试揭示它们的统计规律,并用于设计中,以保证所设计的零部件、机器、设备或系统都具有满意的可靠性指标。失效树分析法是在系统设计过程中,通过对可能造成失效的各种因素(包括硬件、软件、环境、人为因素)进行分析,画出逻辑框图(即失效树),从而确定系统失效原因的各种可能组合方式或其发生概率,计算系统失效概率,采取相应的纠正措施,以提高系统可靠性的一种设计分析方法。失效模式、影响及致命度分析法是在系统设计过程中,通过对系统各组成单元潜在的各种失效模式及其对系统功能的影响,与产生后果的严重程度进行分析,提出可能采取的预防改进措施,以提高系统可靠性的一种设计分析方法。

可靠性设计必须从整体的、系统的观点去考虑问题。在可靠性设计中由于涉及的影响因素较多,因此要求根据不同的产品、场合采用不同的可靠性指标。可靠性设计强调要在设计过程中把可靠性指标直接设计到零件中去。设计、制造决定了机械系统或零件的固有可靠性,而环境、使用、维修等则影响到使用可靠性。因此设计一开始,就必须把固有可靠性与使用可靠性当作整体,一起加以考虑。可靠性设计方法需要与传统的经验及其他现代设计方法和理论一起综合应用,因此从时间和费用来看,比传统设计花费要多些,但当积累了一定的设计经验和数据后,这些时间和费用会由于零件或系统在整个寿命期内失效次数和维修费用的减少而得到补偿。

1.5.3 计算机辅助设计

计算机辅助设计简称CAD(Computer Aided Design),是从1960年之后逐渐形成的计算机在工程方面应用的新兴学科。CAD是指将人和计算机混编在解题作业中的一种技术,从而使人和计算机的最好特性联系起来。在机械设计中,通俗地说,就是使计算机按照设计者的意图进行科学分析、计算和绘图作业。

一个完备的CAD系统由计算、图形显示和数据库三部分组成。图形部分用来显示和绘制所设计系统的零件图、部件图及装配图,绘制数据表格、各种性能曲线、动态曲线;在图形显示装置上进行图形的变换,如对图形进行平移、旋转、对称、删除和修改、分析模拟等。计算部分包括通用数据库、统计数据库、机械常规设计和优化设计、可靠性设计、有限元分析等现

代设计的程序库。数据库是贮存设计所需的各种有关标准、规格的数据、技术文件的软件,也可贮存有关设计程序和图形。为满足各种使用要求,采用多种存取方法对数据进行组合,既便于迅速提取设计所需数据,又易于新数据的补充。

CAD 系统以是否具有人机对话功能而分成会话型和非会话型两大类。会话型系统是以人为主体的,在人的直接参与下,以人机对话的交互作业方式进行工作,这种系统适用于设计目标难以用目标函数来定量描述的设计问题。非会话型系统是以计算机为中心,由计算机根据用户编制的程序自动地完成各个设计步骤,直至获得最优解为止。这种不需要或很少需要人干预的系统又称“自动设计系统”,适用于设计目标能用明确的目标函数定量地描述的设计问题。

计算机辅助设计技术充分发挥了人和计算机各自的特长,实现了在较短时间内对设计系统进行精确的计算、分析及优化,由计算机来实现工作量繁多的系统分析、综合、绘图和信息存取,将使设计人员的重复劳动大大减轻,显著地缩短了设计和制造周期,提高了产品的质量和降低了成本。据统计,CAD 可使机械产品的设计周期缩短 $2/3 \sim 4/5$,工艺周期缩短 $4/5 \sim 9/10$,同时使经济效益提高 $10\% \sim 25\%$ 。CAD 的出现和发展,将大大改变设计面貌,不仅用于计算和绘图,而且将引入到设计规划、确定方案、技术设计、总体设计及试验等各环节。

1.5.4 机械动态设计

机械产品和设备日益向高速、精密、轻量化方向发展,产品结构日趋复杂,对其工作性能的要求越来越高。为满足机械具有良好的静、动态特性和低振动、低噪声的要求,必须对机械产品和设备进行动态分析与设计。机械动态设计是根据一定的动载工况,根据对设计对象提出的功能要求及设计准则,按照结构动力的分析方法和实验方法,对机械进行分析和设计的一种现代设计方法。

机械系统动态设计的主要研究内容包括三大方面,第一方面为响应预估,即已知激励(输入)及系统特性,研究其响应(输出)。用于确定机械结构的动强度、动刚度、振动及噪声等。第二方面为系统辨识,即已知激励(输入)和响应,研究系统特性(建立系统的数学模型,若系统的模型已知,则问题变为参数识别)。用来获取机械结构中的共振频率及有害振型。第三方面为载荷(输入)识别,即已知系统特性和响应,研究输入。用以实现工作环境模拟,以便进行疲劳寿命实验及强化实验等。三大方面的核心问题是系统特性的辨识,即根据系统的基本力学定理,用运动方程或振动方程对受动载的实际结构或系统加以描述,进而求得动态性能参数。解决这一核心问题的基本方法就是模态分析法。

机械动态设计过程主要由以下几部分组成:①确定设计准则;②建立数学模型;③进行动力学分析和优化设计;④进行机械模态分析试验与响应试验;⑤根据以上结果修改设计。机械结构动态设计的全过程如图 1-3 所示。

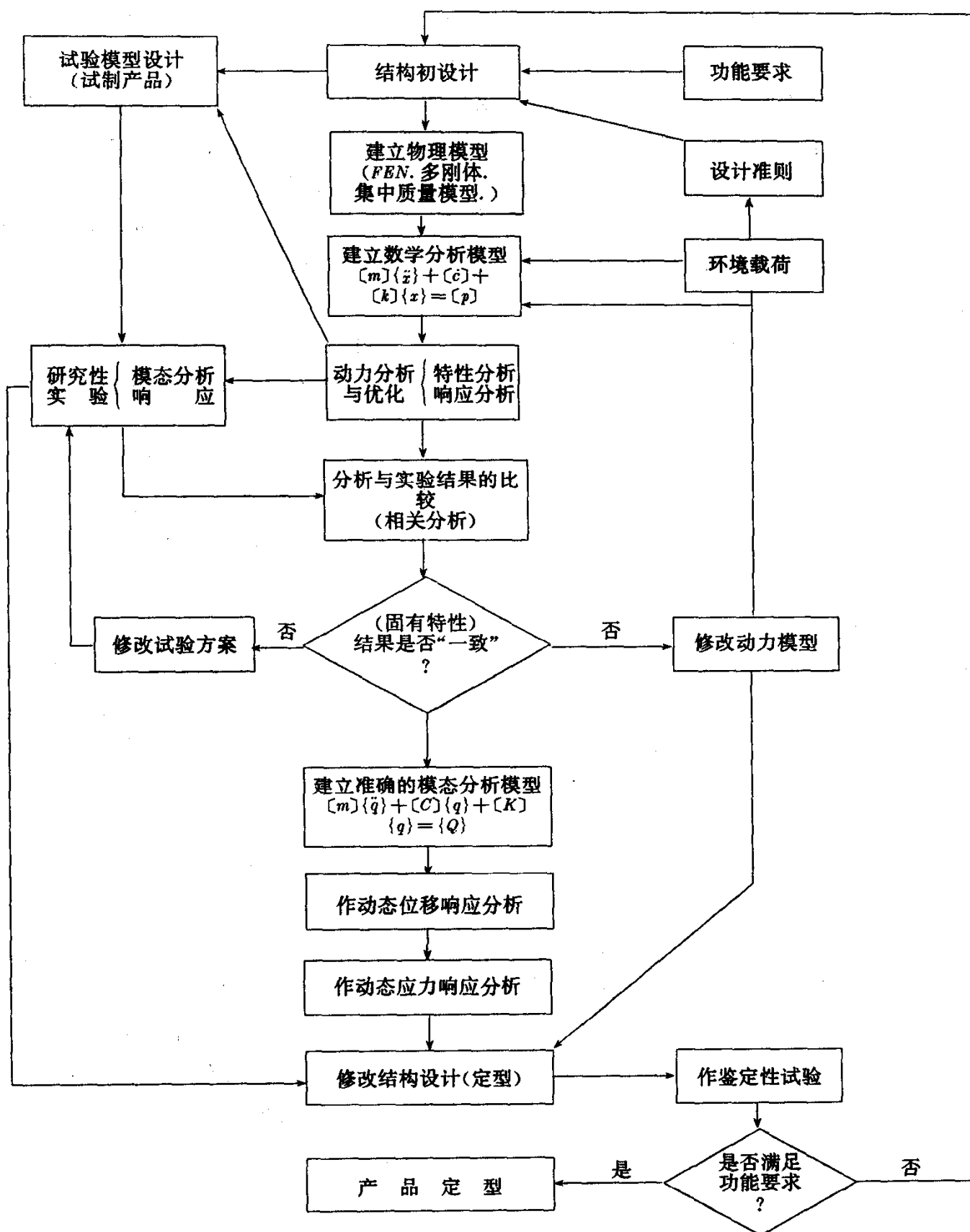


图 1-3 机构动态设计与模态分析框图

2 平面机构的组成分析

【提要】 本章主要介绍了平面机构的组成原理、机构运动简图的绘制、机构自由度计算及结构分析、高副低代与同性异形演化等内容。在学习时应重点掌握构件、运动副、运动链、机构等基本概念,熟练掌握机构自由度的计算及机构结构分析的方法,应了解平面机构的高副低代及平面低副的同性异形演化等内容。

2.1 概 述

由上一章可知,机构必定能运动。为此,在设计新机械或分析现有机械时,对机构的运动参数进行研究是一项十分重要的工作。然而,组成机构的构件的外形往往各式各样,有的甚至很复杂。借助机构运动简图来进行研究往往十分方便。所以,正确地绘制机构运动简图的方法也就成为研究机构组成的目的之一。

机器中的机构必须具有确定的运动,机器才能执行预定的机械运动。所以,研究机构运动的可能性及其确定性条件也就成为了研究机构组成的目的之二。

机构是用来传递运动和力的。面对类型繁多的机构,对它们逐个地进行运动和力的研究往往十分繁琐。工程实践表明,对于同一类机构可以应用相似的方法进行研究。所以,将成千上万种机构按结构进行分类也就成为了研究机构组成的目的之三。

此外,许多机器需要综合多个机构才能完成运动和力的传递。对机构的组成原理的研究,可以为实现机构的综合、创造出新的机构提供有效的途径。

2.2 机构的组成

2.2.1 构件

零件是加工制造的最小单元,而任何机器都是由若干个零件组合而成的。执行机械运动的机器必然包含一系列作独立运动的单元体,这种单元体称为构件。在机械中,有的零件单独成为一个独立运动的单元体,是一个构件;有的零件则常常由于结构或工艺设计的需要,必须与其他零件刚性地连接在一起,构成一个整体而成为一个独立运动的单元体,这也是一个构件。所以,从运动学的观点来看,任何机器也可认为是由若干个(两个以上)构件组合而成的。

2.2.2 运动副

当由构件组成机构时,各个构件需要以一定的方式彼此连接起来,且相互连接的两构件之间仍能产生一定的相对运动。这种能维持两构件的直接接触与一定相对运动的连接称为运动副。两构件上能参加接触的运动副表面称为运动副元素。如图 2-1 所示,轴颈 1 与轴承 2 的配合(图 2-1a)、滑块 1 与导轨 2 的接触(图 2-1b)、两齿轮轮齿的啮合(图 2-1c),这些连

接都构成了运动副,它们的运动副元素分别为外圆柱面和内圆柱面、外棱柱面和内棱柱面及两齿廓曲面。

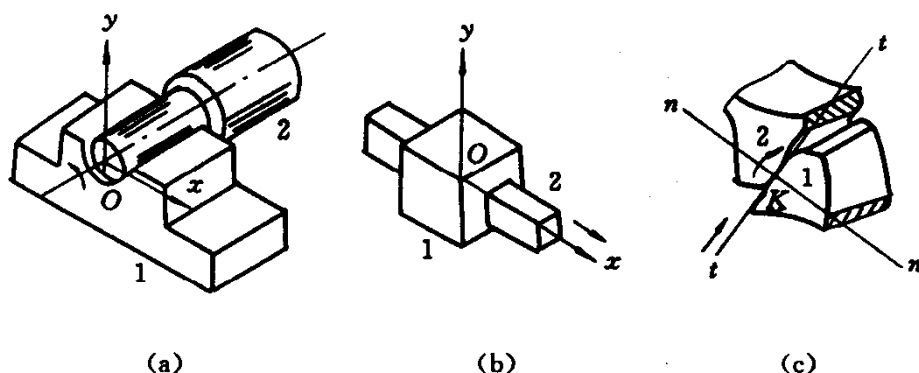


图 2-1

两构件通过运动副连接后能产生哪些相对运动,则取决于该运动副所引入的约束情况。现说明如下:

如图 2-2 所示,设在三维空间中有任何两个构件 1 与 2,坐标系固定于构件 2 上,在它们构成运动副之前,构件 1 相对于构件 2 可产生 6 个独立的相对运动(即分别沿 x 、 y 、 z 轴的移动,分别绕 x 、 y 、 z 轴的转动),则两构件在三维空间中共有 6 个相对独立运动的自由度。若两构件以某运动副相连接,则其相对运动将受到该运动副所提供的一定数量的约束。由于两构件通过运动副相连接后,仍需产生一定的相对运动,则自由度的最少数目应为 1,相应地,因运动副而引入约束的数目最多为 5。

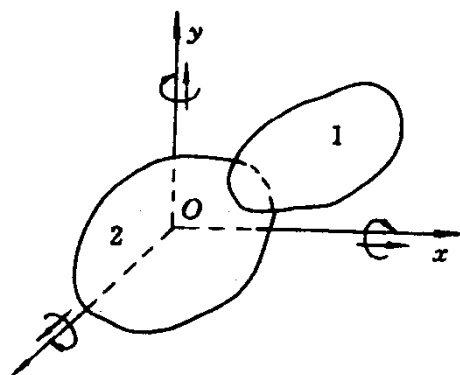


图 2-2

为了研究问题的方便,下面对运动副进行分类。

① 根据所引入约束的数目进行分类。把引入一个约束的运动副称为 I 级副,引入两个约束的运动副称为 II 级副,依次类推,有 III 级副、IV 级副和 V 级副。

② 根据相连两构件相互接触的情况进行分类。在三维空间中,两构件保持点或线接触而构成的运动副统称为高副(如图 2-1c 两啮合齿廓所构成的运动副);两构件保持面接触而构成的运动副统称为低副(如图 2-1a、b 的运动副)。

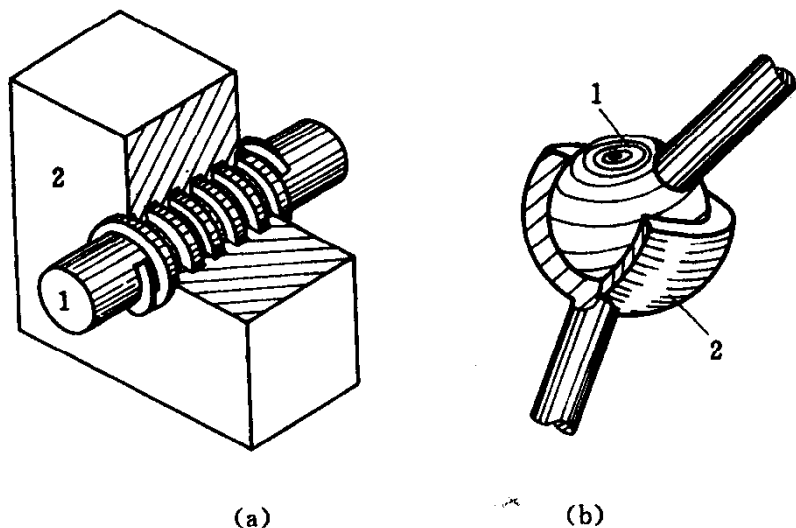


图 2-3

③ 根据相连两构件相对运动的类型进行分类。两构件相对运动为转动的运动副称为转动副或回转副,也称为铰链(如图 2-1a 所示的运动副);相对运动为移动的运动副称为移动副(如图 2-1b 所示的运动副);相对运动为螺旋运动的运动副称为螺旋副(如图 2-3a 所示的运动副);相对运动为球面运动的运动副称为球面副(如图 2-3b 所示的运动副),等等。注意,螺旋副只产生一个相对独立的运动。