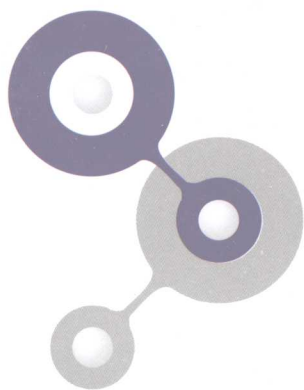




高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材



机 械 设 计

主编 王宁侠
主审 时其昌



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

机 械 设 计

主 编 王宁侠

主 审 时其昌

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书是根据高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的要求,为适应当前教学改革的发展趋势和培养宽口径应用型人才的需要而编写的,是机械基础课程改革的主要教材之一。本书以机械类专业学生为对象,着重培养学生的创新能力、机械系统设计能力和结构设计能力。本书在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想,将全书内容进行了有机的组合。本书共分五篇,18 章,第一篇是机械设计总论,主要介绍机械设计中的基础知识;第二篇是常用机械传动,主要介绍常用传动机构的参数设计和结构设计;第三篇是联接,主要介绍常用的机械联接;第四篇是轴系零部件,主要介绍轴系零件的结构设计;第五篇是其他常用零部件,简单介绍了一些其他常用零部件。

本书可作为高等学校机械类专业机械设计方面的基础教材,也可供高等学校有关专业的师生及工程技术人员参考使用。

★ 本书配有电子教案,有需要的教师请登录出版社网站下载。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/王宁侠主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.10

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2052 - 7

I. 机… II. 王… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 075417 号

策 划 马乐惠

责任编辑 南 景 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25.25

字 数 596 千字

印 数 1~4000 册

定 价 36.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2052 - 7/TH · 0094

XDUP 2344001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦 力 王建中 巨永锋 孙 强 陈在平 李正明
吴 斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高 嵩
秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明
段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞
麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚
柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策 划：毛红兵 马武装 马晓娟



本书主要针对培养应用型本科人才的需要而编写。当前，教育改革深入发展，“大专业、宽口径”的教学模式要求机械类专业学生有一定的机械设计基础理论和实际知识，掌握该学科中新的科学成果，具有知识创新的能力。本书在保证学生掌握基本知识、基本理论和基本技能的前提下，不强调理论分析，淡化公式推导，突出工程应用，努力提高学生解决实际问题的能力，又高度重视培养学生的创新意识和创新能力。本书精选教学内容，适度编排了适应科技发展的新知识、新技术和新理论，从提高学生的创新设计能力出发，比较全面地阐述了机械零件、部件及机构的基本概念、工作原理、设计方法和应用场合，同时介绍了机械创新设计方法。

本书在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想，将全书内容进行了有机的组合。本书共分五篇，18章，第一篇是机械设计总论，第二篇是常用机械传动，第三篇是联接，第四篇是轴系零部件，第五篇是其他常用零部件。

本书由王宁侠、郑甲红、魏引焕和周志明编写，由王宁侠任主编。其中，王宁侠教授编写第1、2、4~8章，郑甲红教授编写第3、15~18章，魏引焕副教授编写第12~14章，周志明副教授编写第9~11章。

本书可作为高等院校机械类专业的教材，也可供其他有关专业的师生及工程技术人员参考使用。

编 者
2008年2月



第一篇 机械设计总论

第 1 章 绪论	1	2.5.1 工作能力要求	16
1.1 概述	1	2.5.2 结构工艺性要求	17
1.1.1 本课程的内容、性质和任务	1	2.5.3 经济性要求	17
1.1.2 本课程的特点和学习方法	2	2.5.4 可靠性要求	18
1.2 机械现代设计方法简介	3	2.5.5 质量要求	18
1.2.1 现代设计方法研究的概况	3	2.6 机械零件材料的选择原则	18
1.2.2 现代设计方法简介	4	2.6.1 使用要求	18
1.2.3 现代设计方法的特点	7	2.6.2 工艺要求	19
第 2 章 机械设计的基本要求和		2.6.3 经济性要求	19
一般程序	8	2.7 机械零件设计中的标准化	20
2.1 机器的组成	8	第 3 章 机械零件的疲劳强度计算	21
2.1.1 机器的基本组成要素	8	3.1 变应力的基本类型及特征参数	21
2.1.2 机器的组成部分	8	3.1.1 变应力的基本类型	21
2.2 机械设计的基本要求	10	3.1.2 变应力的特征参数	22
2.2.1 功能要求	10	3.2 材料的疲劳特性	23
2.2.2 可靠性要求	10	3.2.1 材料的疲劳曲线	23
2.2.3 市场需要和经济性要求	10	3.2.2 材料的极限应力线图	24
2.2.4 劳动保护和环境保护	11	3.3 机械零件的疲劳强度计算	26
2.2.5 其他特殊要求	11	3.3.1 零件的极限应力图	26
2.3 机械设计的一般程序	11	3.3.2 单向稳定变应力时零件的 疲劳强度计算	27
2.3.1 产品规划阶段	12	3.3.3 单向不稳定变应力时零件的 疲劳强度计算	30
2.3.2 方案设计阶段	12	3.3.4 双向稳定变应力时零件的 疲劳强度计算	33
2.3.3 技术设计阶段	13	3.3.5 提高机械零件疲劳强度的措施	34
2.3.4 编制技术文件阶段	14	3.4 机械零件的接触强度	35
2.4 机械零件的主要失效形式	14	3.5 机械零件疲劳强度计算的相关系数	36
2.4.1 整体断裂	14	3.5.1 零件结构的理论应力集中系数	36
2.4.2 过大的弹性变形和塑性变形	15	3.5.2 有效应力集中系数	39
2.4.3 零件的表面破坏	15	3.5.3 绝对尺寸及截面形状影响系数	40
2.4.4 破坏正常工作条件所引起的 失效	15	3.5.4 表面质量系数	42
2.5 机械零件应满足的基本要求	16		

3.5.5 强化系数	42	4.2.2 磨损的基本类型	47
习题	43	4.3 润滑剂和润滑方法	48
第4章 摩擦、磨损及润滑概述	44	4.3.1 润滑剂	48
4.1 摩擦	44	4.3.2 润滑方法和润滑装置	53
4.1.1 干摩擦	44	4.4 流体润滑原理简介	55
4.1.2 边界摩擦	45	4.4.1 流体动力润滑	55
4.1.3 混合摩擦	46	4.4.2 流体静力润滑	58
4.1.4 流体摩擦	46	4.4.3 弹性流体动力润滑	59
4.2 磨损	46	习题	59
4.2.1 磨损过程分析	46		

第二篇 常用机械传动

第5章 带传动	61	6.3.2 滚子链传动的功率曲线	97
5.1 概述	61	6.3.3 滚子链传动的设计计算及 主要参数选择	99
5.2 V带与V带轮的结构	63	6.4 链传动的布置、张紧和润滑	102
5.2.1 V带的结构和规格	63	6.4.1 链传动的布置及张紧	102
5.2.2 V带轮的结构	64	6.4.2 链传动的润滑	103
5.3 带传动的工作情况分析	67	习题	106
5.3.1 带传动的受力分析	67	第7章 齿轮传动	107
5.3.2 带的应力分析	68	7.1 概述	107
5.3.3 带传动的弹性滑动和打滑	69	7.1.1 齿轮传动的特点及应用	107
5.4 普通V带传动的设计计算	70	7.1.2 齿轮传动的形式	107
5.4.1 带传动的失效形式和计算 准则	70	7.2 齿轮传动的失效形式及设计准则	108
5.4.2 普通V带传动的设计	74	7.2.1 轮齿的失效形式	108
5.5 带传动的张紧与维护	77	7.2.2 齿轮传动的设计准则	110
5.6 同步带传动	79	7.3 齿轮的材料及其选择原则	110
5.6.1 同步带传动设计概述	79	7.3.1 常用齿轮材料	110
5.6.2 同步带传动的设计计算	80	7.3.2 齿轮材料的选择原则	112
习题	83	7.3.3 材料的许用应力	112
第6章 链传动	85	7.4 齿轮传动的受力分析及计算载荷	116
6.1 概述	85	7.4.1 齿轮传动的受力分析	116
6.1.1 链传动的特点和应用	85	7.4.2 计算载荷	118
6.1.2 链传动的类型和结构	85	7.5 齿轮传动的强度计算	123
6.2 链传动的运动特性及受力分析	92	7.5.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	123
6.2.1 链传动的运动不均匀性	92	7.5.2 渐开线标准斜齿圆柱齿轮传动的 强度计算	130
6.2.2 链传动中的动载荷	94	7.5.3 渐开线标准直齿锥齿轮传动的 强度计算	136
6.2.3 链传动的受力分析	95		
6.3 滚子链传动的设计计算	96		
6.3.1 链传动的主要失效形式	96		

7.6 齿轮的结构设计	138	8.3.1 啮合齿面间的滑动速度和传动效率	156
7.7 齿轮传动的润滑	140	8.3.2 蜗杆传动的失效形式、设计准则及常用材料	157
7.7.1 齿轮传动的润滑方式	141	8.3.3 蜗杆传动的受力分析及计算载荷	158
7.7.2 润滑剂的选择	142	8.3.4 蜗杆传动的强度计算	160
习题	143	8.3.5 蜗杆的刚度计算	163
第 8 章 蜗杆传动	146	8.3.6 蜗杆传动的润滑及热平衡计算	163
8.1 蜗杆传动的特点及类型	146	8.4 蜗杆和蜗轮的结构	165
8.1.1 蜗杆传动的特点	146	8.4.1 蜗杆的结构	165
8.1.2 蜗杆传动的类型	147	8.4.2 蜗轮的结构	165
8.2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	150	习题	168
8.2.1 蜗杆传动的主要参数及其选择	151		
8.2.2 蜗杆传动的几何尺寸计算	154		
8.2.3 变位蜗杆传动	155		
8.3 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算	156		

第三篇 联 接

第 9 章 螺纹联接	171	10.2 花键联接	218
9.1 螺纹	171	10.2.1 花键联接的类型、特点和应用	218
9.1.1 螺纹的主要类型及应用	171	10.2.2 花键联接的强度计算	219
9.1.2 螺纹的主要参数	173	10.3 无键联接	221
9.2 螺纹联接的基本类型和标准联接件	174	10.3.1 过盈配合联接	221
9.2.1 螺纹联接的基本类型	174	10.3.2 型面联接	229
9.2.2 标准螺纹联接件	177	10.3.3 胀紧联接	230
9.3 螺纹联接的预紧和防松	180	10.4 销联接	232
9.3.1 螺纹联接的预紧	180	10.4.1 销联接的类型	232
9.3.2 螺纹联接的防松	182	10.4.2 销的结构类型、特点和应用	232
9.4 单个螺栓联接的强度计算	185	10.4.3 销的选择和联接的强度计算	234
9.4.1 普通螺栓联接的强度计算	186	习题	235
9.4.2 铰制孔用螺栓联接的强度计算	192	第 11 章 焊接、粘接和铆接	238
9.4.3 螺纹联接件的材料及许用应力	192	11.1 焊接	238
9.5 螺栓组联接的设计计算	194	11.1.1 电弧焊缝的基本形式、特点和应用	238
9.5.1 螺栓组联接的结构设计	195	11.1.2 焊接件及焊条的常用材料	240
9.5.2 螺栓组联接的受力分析	197	11.1.3 焊缝的受力及破坏形式	241
9.6 提高螺栓联接强度的措施	204	11.1.4 焊缝的强度计算	241
习题	208	11.1.5 焊接设计的注意事项	244
第 10 章 轴毂联接	211	11.2 粘接	245
10.1 键联接	211	11.2.1 粘接及其特点	245
10.1.1 键联接的类型、特点和应用	211	11.2.2 常用胶粘剂及其选择	246
10.1.2 键的选择及键联接的强度计算	214		

11.2.3 粘接的基本工艺过程	247	11.3.2 铆钉的主要类型	249
11.2.4 粘接接头的结构形式及受力 状况	247	11.3.3 铆缝的形式	250
11.2.5 粘接结构设计要点	248	11.3.4 铆缝的受力及破坏形式	250
11.3 铆接	249	11.3.5 铆缝的强度计算	251
11.3.1 铆接的特点及应用	249	习题	252

第四篇 轴系零部件

第 12 章 轴	253	13.4 不完全液体滑动轴承的设计计算	289
12.1 概述	253	13.4.1 径向滑动轴承的设计计算	290
12.1.1 轴的功用、分类及组成	253	13.4.2 止推滑动轴承的设计计算	291
12.1.2 轴的失效形式和设计准则	255	13.5 流体动压径向滑动轴承的设计 计算	292
12.1.3 轴的常用材料	255	13.5.1 径向滑动轴承中动压润滑状态的 形成	292
12.2 轴的结构设计	257	13.5.2 径向滑动轴承的几何关系	293
12.2.1 轴结构设计的原则	257	13.5.3 流体动压径向滑动轴承的静态 性能计算	294
12.2.2 轴上零件的定位方式	257	13.5.4 轴承的热平衡计算	297
12.2.3 轴的定位	257	13.5.5 轴承设计中参数的选择	298
12.2.4 提高轴强度的常用措施	259	习题	303
12.2.5 轴的结构工艺性	261	第 14 章 滚动轴承	304
12.2.6 轴结构设计的步骤	262	14.1 概述	304
12.3 轴的强度计算	263	14.1.1 滚动轴承的组成	304
12.3.1 按扭转强度条件计算	263	14.1.2 滚动轴承的分类	305
12.3.2 按弯扭合成强度条件计算	264	14.2 滚动轴承的主要类型及其代号	305
12.3.3 按疲劳强度条件精确校核	267	14.2.1 滚动轴承的主要类型、性能与 特点	305
12.4 轴的刚度计算	267	14.2.2 滚动轴承的代号	308
12.4.1 轴的弯曲刚度校核计算	268	14.3 滚动轴承的类型选择	312
12.4.2 轴的扭转刚度校核计算	268	14.3.1 轴承的载荷	312
12.5 轴的振动稳定性计算	269	14.3.2 轴承的转速	313
习题	278	14.3.3 轴承刚度及调心性能要求	313
第 13 章 滑动轴承	280	14.3.4 轴承的安装和拆卸	314
13.1 概述	280	14.3.5 轴承的经济性要求	314
13.1.1 滑动轴承的特点与应用	280	14.4 滚动轴承的工作情况分析	314
13.1.2 滑动轴承的类型	280	14.4.1 滚动轴承的载荷分布及应力 特点	314
13.2 径向滑动轴承的主要结构形式	281	14.4.2 轴向载荷对载荷分布的影响	316
13.2.1 整体式径向滑动轴承	281	14.5 滚动轴承的尺寸选择	317
13.2.2 剖分式径向滑动轴承	281		
13.2.3 轴瓦的结构	282		
13.3 滑动轴承的失效形式及轴承材料	285		
13.3.1 滑动轴承的失效形式	285		
13.3.2 轴承材料	286		

14.5.1 滚动轴承的失效形式 和计算准则	317	14.5.5 滚动轴承的静强度计算	324
14.5.2 滚动轴承的基本额定寿命和 基本额定动载荷	318	14.6 滚动轴承的组合设计	324
14.5.3 滚动轴承的寿命计算	319	14.6.1 滚动轴承的配置和轴系的 定位	325
14.5.4 向心推力轴承的径向载荷与轴向 载荷计算	322	14.6.2 滚动轴承的润滑	331
		14.6.3 滚动轴承的密封	334
		习题	340
 第五篇 其他常用零部件			
第 15 章 联轴器、离合器和制动器	341	17.1.3 弹簧的制造	369
15.1 概述	341	17.1.4 弹簧的材料及许用应力	371
15.1.1 功用	341	17.2 圆柱螺旋弹簧	373
15.1.2 计算转矩	342	17.2.1 圆柱螺旋弹簧的结构和尺寸	373
15.2 联轴器	343	17.2.2 圆柱螺旋弹簧的设计计算	376
15.2.1 联轴器的类型	344	17.3 其他类型弹簧	381
15.2.2 联轴器的选择	352	17.3.1 圆柱螺旋扭转弹簧	381
15.3 离合器	353	17.3.2 蝶形弹簧	382
15.3.1 牙嵌式离合器	354	17.3.3 环形弹簧	383
15.3.2 摩擦式离合器	355	17.3.4 板簧	383
15.4 制动器	358	习题	384
15.4.1 制动器的组成及其分类	358	第 18 章 机座和箱体	385
15.4.2 常见制动器	358	18.1 概述	385
习题	359	18.1.1 机座和箱体的一般类型	385
第 16 章 减速器和变速器	360	18.1.2 机座和箱体的材料及制造 方法	386
16.1 减速器	360	18.2 机座和箱体的结构设计要点	387
16.1.1 减速器的类型及特点	360	18.2.1 截面形状	387
16.1.2 齿轮减速器的结构	363	18.2.2 壁厚	387
16.2 变速器	363	18.2.3 肋板和加强肋	387
16.2.1 有级变速器	363	18.3 机座和箱体的结构工艺性	388
16.2.2 无级变速器	365	18.3.1 铸造工艺性	388
习题	368	18.3.2 焊接工艺性	389
第 17 章 弹簧	369	18.3.3 切削加工工艺性	391
17.1 概述	369	参考文献	392
17.1.1 弹簧的功用	369		
17.1.2 弹簧的类型	369		

第一篇 机械设计总论

第1章 绪 论

机器是人类在生产 and 生活中用以替代或减轻人的体力劳动和辅助人的脑力劳动、提高生产效率和产品质量的主要工具,更是完成人类无法从事或难以从事的各种复杂、艰难、危险劳动的重要工具。在现代社会中,机器的应用随处可见。机器的设计制造水平是体现一个国家的技术力量乃至综合国力的重要方面,而机器的应用水平则是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。因此,机械工业肩负着为国民经济各个部门提供技术装备和促进技术改造的重要任务,在现代化建设的进程中起着主导和决定性的作用。

机器的种类极多,其构造、性能及用途也各异,但从制造和装配的角度来看,又都是由一定数量的机械零件组成的。机械设计课程的研究对象就是机器及组成机器的机械零部件。

1.1 概述

1.1.1 本课程的内容、性质和任务

本课程是一门以一般通用机械零部件设计为核心,论述它们的基本设计理论与方法,用以培养学生具有一般机械设计能力的设计性课程,是机械类和近机类专业的技术基础课。本课程需要综合应用许多先修课程的知识,如机械制图、金属工艺学、理论力学、材料力学、机械原理、互换性与技术测量、工程实训等,故涉及的知识面较广且偏重于工程应用。它将为以后学习有关专业课和掌握新的机械科学技术奠定必要的基础。因此,在专业教学计划中,它是一门介于基础课程与专业课程之间的,具有承上启下作用的主干课程。

本课程的内容是在简要介绍关于整台机器设计基本知识的基础上,重点讨论一般尺寸和参数的通用零件(重型、微型及在高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零件除外),包括它们的基本设计理论和方法,以及有关技术资料的应用等,具体包括以下三个方面内容:

- (1) 机械设计的基本知识、基本理论和基本方法(第1~4章)。

(2) 通用机械零部件设计(第5~18章)。

① 传动零件:带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动及螺旋传动。

② 轴系零部件:滑动轴承、滚动轴承、轴及联轴器、离合器、制动器。

③ 联接零件:螺纹联接、铆接、焊接、粘接及轴毂联接。

④ 其他零部件:弹簧、机座与箱体。

(3) 总体构思与设计(结合课程设计进行)。

本课程的主要任务是通过理论教学和实践环节的训练,使学生:

(1) 树立理论联系实际的正确设计思想,提高创新思维和创新设计的能力;

(2) 掌握通用机械零件的设计原理、设计方法和机械设计的一般规律,具有设计通用机械传动装置和简单机械的能力;

(3) 具有运用机械设计手册、图册及标准、规范和查阅有关技术资料的能力;

(4) 掌握典型机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练;

(5) 了解国家当前的技术经济政策,并对机械设计的新发展及现代设计方法有所了解。

在本课程的学习过程中,要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能,结合各个教学实践环节对学生进行基本训练,逐步提高他们自身的理论水平、构思能力、工程洞察力和判断力,特别是不断地汲取、融会与分析问题及解决问题的能力,为顺利过渡到专业课的学习及进行产品和设备的设计打下宽而坚实的基础。

1.1.2 本课程的特点和学习方法

本课程是机械类专业的一门设计性主干技术基础课程,起到从理论性课程过渡到设计性课程、从基础课程过渡到专业课程的作用。因此,了解和掌握本课程的特点,在学习过程中不断探求与之相适应的学习方法,并随时注意总结提高,是学好本课程的重要条件。学习中应注意以下几个方面的问题。

(1) 本课程的内容涉及多门先修课程和同修课程的基本知识,如机械制图、材料力学、金属工艺学、机械原理、工程材料、公差与技术测量等,涉及知识面宽,综合性强,学习中应注意及时复习、总结,深化有关内容,并注重知识综合应用能力的培养。

(2) 本课程以培养学生机械零部件及简单机械设计能力为目标,因而是一门实践性很强的课程。其教学环节除课堂教学外,还有习题课、实验课、讨论课、现场教学、答疑、设计性作业及课程设计等。学好教材内容是一个重要方面,但它远非本课程的全部。学习本课程时必须明确,书本知识固然重要,但在工程实际中,很少是靠单独运用书本知识就能正确解决问题的,而是还需要掌握一定的经验、资料和具有较强的工程判断能力。因此要注重实际训练,通过实际训练来进一步加深对课程内容的理解和掌握,培养和提高机械设计能力,尤其是要重视提高机械零部件结构设计的能力和熟练查阅、使用设计手册及各种技术资料的能力。

(3) 本课程是设计性课程,内容紧密围绕零部件的设计问题。设计包括多方面的内容,但其主要部分通常是工作能力和结构设计,而工作能力设计一般必须进行某些计算,如强度、刚度、寿命、热平衡计算等,这就形成了公式多的特点。本课程许多零部件的设计原理和设计公式是带有条件的,不少零件的设计公式涉及多个参数与系数,使设计表现出某种

不确定性,设计结果也往往不是唯一的。在学习时应注意以下几点:① 必须彻底搞清楚公式的性质、使用条件、符号意义及代入单位、计算结果的单位等;② 准确把握设计公式中各个参数间的关系和系数的意义与取值;③ 正确对待设计结果,尤其是理论计算的结果。通常理论计算结果要服从结构设计和加工工艺的要求。此外,不少零部件的尺寸并不是由理论计算一次确定的,而是先由结构设计或凭经验初定尺寸,再经校核、修改后确定;有些零部件设计公式中的有些参数和系数,在开始设计时是不能确定的,同样需经过先初选再校核最后确定设计过程,这种设计方法是机械零部件设计中最常用的设计方法,学习中要逐步适应并很好的掌握。

(4) 本课程主要内容是关于通用机械零部件的设计问题,涉及的零部件较多,学习时应注意不同零部件在材料、结构、功效、应用、载荷、应力、失效形式、设计准则及计算公式等方面的差异,又要把握不同零部件设计所遵循的一些共同的规律,如基本相同的设计步骤及零部件分析、设计思路等。本书在论述各类零部件设计时的思路及程序为:① 介绍零部件的主要类型、构造、功能、材料、制法、标准、优缺点、使用场合等基本知识,以便对该类零部件有初步的了解;② 论述工作情况、受力分析、应力状态、失效形式、设计准则、设计方法与步骤、参数选择原则、常用参考资料以及有关注意事项等,以便初步掌握零部件的设计理论与方法;③ 给出释义例题(包括典型的工作图),引向设计实践,并给出若干习题,以便实际运用所学的有关知识、设计理论、设计方法及参考资料,进行初步的设计锻炼,从而加深与巩固所学的知识与技能,进一步开发智力,提高设计能力。

(5) 本课程介绍的机械设计方法主要是理论设计方法。实际的机械设计问题都不会只有一个答案,新理论、新技术、新材料、新工艺以及新的市场信息等,都将使设计结果发生变化。所以一定要全面分析、综合协调、灵活处理,并富有想象力、洞察力、探索精神和创新勇气,从而对各式各样的设计问题作出机敏的工程判断。而这些能力是要靠一系列课程的各个教学环节来综合培养的。

(6) 机械零部件是机器的基本组成部分。在不同的机器中,同样的零部件在受力情况、设计要求及设计方法等许多方面将会有所不同,所以,机械零部件的设计总是和具体机械或机电产品的开发设计联系在一起的。要真正学好本课程,真正掌握机械零部件设计的本领,必须注重培养和建立整机设计的概念,从产品开发设计的高度来对待机械零部件设计问题,要结合产品的制造与装配工艺、市场前景及产品的经济性来考虑机械零部件的设计问题。此外,市场竞争日益激烈,产品的开发设计离不开改进、改革、创新、创造,学生应努力增强创新意识,培养创新设计能力。

1.2 机械现代设计方法简介

1.2.1 现代设计方法研究的概况

现代设计技术是在传统设计的基础上继承和发展起来的,它是一门多专业、多学科而且相互交叉的综合性很强的基础技术科学。随着科学技术的不断发展,其设计范畴不断扩大,设计手段不断现代化,已发展到应用计算机网络技术实现异地设计、虚拟设计与制造等。

设计是人类高级而复杂的创造性思维活动,它是运用已有的知识和技术解决问题或创造出新事物以满足社会需要的一种技术活动,是创造人为事物的科学。设计建立在多学科的基础上,涉及到数学、物理、化学、机械学、电子学、计算机学、制造工艺学、材料学、认知科学和设计学等领域的基础知识。根据设计活动中创造性的大小,设计可分为三类:常规设计、革新设计、创新设计。其中,创新设计旨在提供有重要社会价值的新颖独特的设计成果,在设计领域中最富挑战性,也是设计人员追求的最高目标。

现代设计技术是根据产品功能要求和市场竞争的需要(如产品的生产时间、质量、价格等),应用现代技术和科学知识,经过设计人员创造性思维、规划和决策,制定可以用于制造的方案,并使方案付诸实施的技术。现代设计技术使产品设计建立在科学的基础上。随着科学技术的不断发展,其设计范畴也不断地扩大,从单纯的产品设计扩展到全寿命周期设计,包括考虑环境因素的绿色设计;在设计组织方式上,从传统的顺序设计方式过渡到并行设计方式;在设计手段上,从传统的手工设计向现代化计算机辅助设计过渡,应用计算机网络技术发展了异地设计等。现代工程设计技术涉及的范围很广,它包括有:计算机辅助设计 CAD、计算机辅助工程分析 CAE、计算机辅助工艺规程设计 CAPP、计算机辅助制造 CAM、计算机辅助装配工艺设计 CAAP、智能 CAD 和概念设计、面向“X”的设计 DFX、可靠性设计、优化设计、动态设计、有限元分析、健壮设计、精度设计、三维设计、外观造型设计、工作环境设计、模块化设计、防腐蚀设计、疲劳设计、快速原型法、价值工程、反求工程技术、质量功能配置 QFD、系统建模与仿真、虚拟设计、设计与制造集成、设计过程管理和工程数据库、创新设计、快速响应设计、并行设计、异地设计、绿色产品设计等。

支撑现代工程设计的相关学科技术有:① 系统工程技术;② 虚拟现实技术;③ 人工智能技术;④ 多媒体技术;⑤ 数据标准与接口技术;⑥ 数据库技术;⑦ 人机工程学;⑧ 设计方法学;⑨ 决策支持系统;⑩ 计算机网络等。

1.2.2 现代设计方法简介

20 世纪 60 年代以来,随着科学技术的迅速发展以及计算机技术的广泛应用,在机械设计传统设计方法的基础上又发展了一系列新型的设计理论与方法。现代设计方法种类极多,内容十分丰富,且在不断发展中,现介绍如下几种常见方法。

1. 机械优化设计

机械优化设计是将最优化数学理论(主要是数学规划理论)应用于工程设计问题,在所有可行方案中寻求最佳设计方案的一种现代设计方法。进行机械优化设计时,首先需要建立设计问题的数学模型,然后选用合适的优化方法并借助于计算机对数学模型进行寻优求解,经过对优化方案的评价与决策后,从而求得最佳设计方案。

在建立优化设计数学模型的过程中,把影响设计方案选取的参数称为设计变量,设计变量应当满足的条件称为约束条件,设计者选定来衡量设计方案优劣并期望得到改进的产品性能指标称为目标函数。设计变量、约束条件和目标函数组成了优化设计的数学模型。将数学模型和优化算法编写成计算机程序,即可寻优求解。常用的优化算法有 0.618 法、Powell 法、变尺度法、惩罚函数法、基因算法等。采用优化设计方法可以在多变量、多目

的条件下,获得高效率、高精度的设计结果,极大地提高设计质量。

2. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(CAD)是利用计算机运算快、计算准确、存储量大、逻辑判断功能强等特点进行设计信息处理,并通过人机交互作用完成设计工作的一种设计方法。它包括分析计算、自动绘图系统和数据库三个方面。一个完整的机械产品 CAD 系统,应首先能够确定机械结构的最佳参数和几何尺寸,这就要求具有进行机构运动分析及综合、有限元分析和优化设计、可靠性设计等功能,然后能够由分析计算结果自动显示和绘制机械的装配图和零件图,并可进行动态修改。完善的数据库系统,可与计算机辅助制造、计算机辅助监测、计算机管理自动化结合形成计算机集成制造系统(CIMS),综合进行市场预测、产品设计、生产计划、制造和销售等一系列工作,实现人力、物力和时间等各种资源的有效利用,有效地促进现代企业生产组织、管理和实现自动化,使企业总效益得到提高。

3. 可靠性设计

可靠性设计是以概率论和数理统计为理论基础,以失效分析、失效预测及各种可靠性试验为依据,以保证产品的可靠性为目标的一种现代设计方法。其主要特点是将传统设计中视为单值而实际上具有多值性的设计变量(如载荷、材料性能和应力等)如实地作为服从某种分布规律的随机变量来对待,用概率统计方法定量设计出符合机械产品可靠性指标要求的零部件和整机的主要参数及结构尺寸。可靠性设计的主要内容有:

- (1) 从规定的目标可靠度出发,设计零部件和整机的有关参数及结构尺寸;
- (2) 根据零部件和机器(或系统)目前的状况及失效数据,预测其可能达到的可靠度,进行可靠性预测;
- (3) 根据确定的机器(或系统)可靠度,分配其组成零件或子系统的可靠度。这对复杂产品和大型系统来说尤为重要。

4. 摩擦学设计

摩擦学设计就是运用摩擦学理论、方法、技术和数据,将摩擦和磨损减小到最低程度,从而设计出高性能、低功耗、具有足够可靠性及合适寿命的经济合理的新产品。

摩擦学主要研究相互运动、相互作用表面的摩擦行为对机械及其系统的作用,接触表面及润滑介质的变化,失效预测及控制的理论与实践,它是以力学、流变学、表面物理与表面化学为主要理论基础,综合材料科学、工程热物理学科,以数值计算和表面技术为主要手段的边缘科学。它的基本内容是研究工程表面的摩擦、磨损及润滑问题。摩擦学研究的目的在于指导机械及其系统的正确设计和使用,以节约能源和降低原材料消耗,进而达到提高机械装备的可靠性、工作效率和使用寿命的目的。

5. 并行设计

并行设计是一种对产品及其相关过程进行并行和集成设计的系统化工作模式。其思想是在产品开发的初始阶段,即规划和设计阶段,就以并行的方式综合考虑其生命周期中所有后续阶段,包括工艺规划、制造、装配、试验、检验、经销、运输、使用、维修、保养直至回收处置等环节,降低产品成本,提高产品质量。

并行设计与传统的串行设计方法相比,它强调在产品开发的初期阶段全面考虑产品寿

命周期的后续活动对产品综合性能的影响因素,建立产品寿命周期中各个阶段间性能的继承和约束关系及产品各方面属性之间的关系,以追求产品在寿命周期全过程中其综合性能最优。它借助于由各阶段专家组成的多功能设计小组,使设计过程更加协调,使产品性能更加完善,因此更好地满足用户对产品全寿命周期质量和性能的综合要求,减少产品开发过程中的返工,进而大大缩短开发周期。

6. 创新设计

创新是设计的本质,也是设计活动的最终指标。没有创新就没有丰富多彩的世界。创新设计是产品适应新的市场形势的最好途径,创新产品能满足甚至创造出新的需求,因而必然有较强的市场竞争力。

创新活动必须运用创新设计方法。创新设计方法的基本出发点是打破传统思维的习惯,克服思维定式和妨碍创造性设想产生的各种消极心理状态,以帮助人们在设计和开发产品时得到创造性的解。常用的创新思维形式有:

- (1) 分析与综合思维;
- (2) 收敛与发散式思维;
- (3) 对应与联想式思维;
- (4) 离散与组合式思维;
- (5) 换元与移植式思维;
- (6) 正向、迂回与反思维。

通过组织学手段可以帮助创新思维的开展,为此人们创造出很多工作方法,常用的有:① 智暴法;② 635法;③ 陈列法;④ 哥顿法;⑤ 输入输出法等。

7. 动态设计

动态设计是相对于静态设计而言的。动态设计是对结构动态特性(如固有频率、振型、动力响应和运动稳定性等)进行分析、评价与设计,谋求结构系统在工作过程中受到各种预期可能的瞬变载荷及环境作用时,仍然保持良好的动态性能与工作状态。

动态设计的基本思路是:把产品看成是一个内部情况不明的黑箱,根据对产品功能的要求,通过外部观察,对黑箱与周围不同的信息联系进行分析,求出产品的动态特性参数,然后进一步寻求它们的机理和结构。该方法的技术内涵是:建立可靠的数学模型,借助计算机技术,采用先进的科学计算方法,以试验数据为依托,全面分析研究机械结构系统在预期可能的各种载荷与周围介质作用下,力与运动、结构变形、内部应力以及稳定性之间的关系,据此调整参数,确保机械结构系统在实际工作运行中,具备优良的动态性能、足够的稳定裕度、良好的工作状态。

随着科学技术的发展,人们对客观世界的认识不断深化,振动理论、结构疲劳、材料疲劳、断裂理论、计算机技术、数据库技术和试验及检测技术等共性基础技术的进步,尤其是有限元和试验模态分析技术与计算机结合并日趋完善,为机械结构系统的动态设计奠定了坚实的基础。

8. 有限元法

有限元法是以计算机为工具的一种现代数值计算方法。该方法用来进行机械的静态和

动态分析,能准确地计算复杂零件的应力分布和变形,成为现代设计中确定复杂零件强度和刚度的有力工具。

有限元法的基本思想是:首先,假想将连续的结构分割成数目有限的单元,各单元之间仅在有限各指定节点处相联接,用所有单元的集合体近似代替原结构,此过程称为结构离散化。然后,对每个单元,选择一个简单的函数(一般为坐标的多项式函数)来近似地描述单元内位移的分布规律,并按弹性力学中的变分原理建立单元节点力与节点位移(或速度、加速度)的关系,得到单元质量(或阻尼、刚度)矩阵,此过程称为单元特性分析。最后,把所有单元的这种关系集合起来,形成以节点位移为基本未知量的动力学方程,引入初始条件和边界条件即可求解,此过程称为单元特性集成。所以,有限元法的基本思想是“先分后合”,先分是为了进行单元分析,后合则是为了对整个结构进行综合分析。

有限元法实用性极广,不仅可用来计算一般零件(二维或三维)及杆系结构、板、壳等的静应力或热应力,还可计算它们的弹塑性、蠕变、大挠度变形等非线性问题,以及振动、稳定性等问题。

9. 绿色设计

绿色设计是以环境资源保护为核心概念的设计过程,它要求在产品的整个寿命周期内把产品的基本属性和环境属性紧密结合,在进行设计决策时,除满足产品的物理目标外,还应满足环境目标,以达到优化设计要求。即在产品整个寿命周期内,优先考虑产品的环境属性(可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标要求的同时,保证产品应有的基本性能、使用寿命、质量等。

1.2.3 现代设计方法的特点

现代设计方法是综合应用现代各个领域科学技术的发展成果于机械设计领域所形成的设计方法,同时它又是在传统设计方法的基础上发展形成的。它包含自然科学、社会科学、经济学等各个领域的研究成果,特别是计算机的广泛应用和现代信息科学与技术的发展,极大地推动了现代设计方法的发展。与传统设计方法相比,现代设计方法具有以下特点:

- (1) 设计范畴的扩展化;
- (2) 设计过程的并行化、智能化;
- (3) 设计手段的计算机化、拟实化;
- (4) 分析手段的精确化;
- (5) 强调设计的逻辑性、系统性;
- (6) 强调产品的环保性、宜人性;
- (7) 设计和制造一体化;
- (8) 进行动态多变量的优化;
- (9) 强调产品全寿命周期最优化。

现代设计是在传统设计基础上发展起来的,它继承了传统设计的精华,弥补了传统设计的不足,从而有效地提高了设计质量。由传统设计发展到现代设计有一定的时序性和继承性,所以,现代设计方法不能离开或完全取代传统设计方法。当前正处在现代设计方法和传统设计方法两者共存阶段。