

高等学校教材

机械 设计

(第三版)

邱宣怀 郭可谦 吴宗泽 汤绍模 编
郭芝俊 黄纯颖 杨景蕙
邱宣怀 主编

高等教育出版社

本书第三版是根据国家教委 1987 年批准印发的“机械设计(原机械零件)课程教学基本要求”的基本精神、在 1981 年出版的许镇宇、邱宣怀主编的《机械零件》(第二版)基础上修订而成的。与第二版相比,本书更换、充实和调整了一些内容,增加了一些归纳综合性内容,增加或更换了部分例题、插图和表格。

全书分 5 篇共 21 章。第 1 篇总论,第 2 篇连接,第 3 篇传动,第 4 篇轴、轴承、联轴器,第 5 篇其他零件。

本书经浙江大学全永昕教授审阅。

本书可作为高等工业学校机械类专业机械设计课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书第二版曾荣获国家教委高等学校优秀教材一等奖。

高等学校教材
机 械 设 计
(第三版)

邱宣怀 郭可谦 吴宗泽 汤绍模 编
郭芝俊 黄纯颖 杨景蕙

邱宣怀 主编

*
高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
商务印书馆上海印刷厂印装

*
开本 787×1092 1/16 印张 24.25 字数 552,000

1965 年 1 月第 1 版 1981 年 7 月第 2 版

1989 年 10 月第 3 版 1989 年 10 月第 1 次印刷

印数 00,001—11,400

ISBN 7-04-002459-4/TH·212

定价 5.90 元

第三版序

根据中共中央关于教育体制改革的决定的有关精神,国家教委决定在课程建设方面,从1987年秋季起试行课程教学基本要求。其目的,一是为了各校可根据具体情况制订各自的教学大纲,有利于搞好搞活教学,办出特色;二是有利于保证基础课程的基本教学质量,便于进行教学质量检查。

为了贯彻“机械设计(原机械零件)课程教学基本要求”的基本精神,便于教师对教学内容有选择余地和扩大学生的知识面,在此次修订中,适当地增加了一些内容。同时,针对学生综合能力和课程间相互联系较差的反映,还适当地增加了一些归纳、综合性内容。所以这样做,目的是希望对扩大学生思路、开阔视野有所帮助。和第二版相比,除内容有所充实之外,更换和新增的图有121幅(表图不计),表66张,例题2题。因此,本版篇幅也相应增加,由原43万字增至约54万字。

第三版仍保持原书体系,只是将原第2章分为两章:“机械零件的工作能力和计算准则”及“机械零件的疲劳强度”。原第4章改名为“机械常用材料和制造工艺性”。

此次修订,尽可能采用了新标准。为便于国际间的技术经济交流,国家标准正在逐步更新和完善。现将与标准有关的几个问题说明如下:

1. 滚动轴承额定动/静负荷,国家标准只给出计算公式,没有相应的 C 、 C_0 值数表可查,也没有生产厂提供的轴承内部结构尺寸参数可供计算。为此,目前只好暂用已出版手册中给出的有关数表。

2. 圆柱蜗杆传动基本参数的标准有待批准,考虑到国际发展的趋势和已制订“环面蜗杆减速器基本参数系列”和“圆弧齿圆柱蜗杆减速器”标准的实际情况,此次修订采用了以分度圆直径 d_1 为标准值。

3. 新的润滑油牌号分类将以 40°C 时的运动粘度为基础,相应的润滑油新标准正在修订中,“N”字头规定使用到1990年为止,到期自行取消。

4. 旧国标表面光洁度 $\nabla 1\sim\nabla 14$ 的 R_a 和 $\nabla 1\sim\nabla 6$ 的 R_z ,其最大允许值换成新国标表面粗糙度时,本书采用第I系列新最大允许值过渡。 R_a 和 R_z 的允差均为10%。

5. 为全书统一,除滚动轴承外的其他标准,若名称、符号、单位与国标“量和单位”不一致的,都相应作了改变。为了换算简便,由工程制单位换为法定单位时,近似取 $1\text{kgf}=10\text{N}$ 。书后附有“对法定计量单位的换算表”。

通过机械零件设计方法的学习以及设计作业、课程设计等实践性教学环节的教学,培养学生具有初步的机械设计能力是本课程的基本任务。鉴于“机械零件”这个名称,没有说明课程的性质,为此,本书改名为“机械设计”。

书后附有参考书目,其中大多是80年代以来出版的新书。学生在学习本课程过程中,如

能适当地阅读其中部分书目,有利于培养自学能力和丰富知识。国家标准在设计工作中非常重要,因正在不断修订,此次暂未列入。

参加第三版修订工作的有:邱宣怀——第1、4、10、13、15、19、20、21章;郭可谦——第6、7、8、9章;吴宗泽——第16、17章;汤绍模——第5、12章;郭芝俊——第2、3章;黄纯颖——第18章;杨景蕙——第11、14章。全书由邱宣怀负责修订。

本书承全永昕教授审阅,他对本书提了很多宝贵意见,在此谨致谢意。

感谢杨金泉同志为本书绘制插图。

此次修订,虽作了一些努力,但“基本要求”试行不久,课程改革有待总结,同时也考虑到本书的原有基础和目前的使用情况,因此肯定与“基本要求”有不少差距,内容方面也可能有不妥之处,欢迎读者批评指正。

原书编者之一朱景梓教授已于前年去世,我们对他表示诚挚的悼念。

编 者

1989年1月

第二版序

本修订版和第一版一样,仍力图从教学要求出发,在总结多年教学经验的基础上,精选基本内容,适当扩大知识面和反映现代科学技术成就,努力贯彻“少而精”的原则。

有关修订工作中的几个问题说明如下:

(1) 修订工作主要是参照高等工业学校四年制机械制造类专业试用的“机械零件教学大纲(草案)”(120~130学时)进行的。

(2) 本书仍保持原书体系。对螺纹联接、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动、滚动轴承等章的计算方法作了更新;其他各章的内容也都有所增、删或更新;新增加“摩擦、磨损、润滑概述”一章。

(3) 本书所采用的计算方法主要着眼于如何使学生掌握设计计算的基本理论和方法,以便将来更好地理解和应用有关设计规范和标准。

(4) 修订本采用国际单位制,符号尽量采用国家标准规定的物理量符号(GB1434-78)。

目前各校规定机械类专业本课程的教学时数不尽一致,且各专业对各章内容的要求也不相同,有的要求深些、多些,也有的要求浅些、少些。为使本教材有较大的适应性,各章内容基本上都是按较高要求编写的。为此,选用本书作为教材时,希根据各校教学的具体情况对教材内容作适当取舍或增补。此外,本书编写的章、节顺序并非讲课顺序,教师应结合本校行之有效的经验自行调整。

本书于1981年6月经教育部工科机械基础教材编审委员会机械零件教材编审小组扩大会议审查通过。参加审查的同志有:陈近朱、全永昕、濮良贵、余俊、黄贵根、辛一行、熊文修、杨可桢、陈秀宁和杨彤芳,并由陈近朱、全永昕同志负责主审。会议对教材内容的编写提了许多宝贵意见和建议,对提高本书质量给了很大帮助,编者致以衷心谢意!

在此次修订工作中,承张桂芳、周开勤、左宝山、彭商贤、卜炎、李文祿等同志帮助校阅书稿,承杨金泉同志为本书绘图,编者在此一并致以谢意!

参加本书编写和修订工作的有:第一、二、四、十章——许镇宇、郭芝俊、汤绍模、杨景蕙;第五、六、七、八章——郭可谦;第十一、十二章——朱景梓、刘余生;第十五、十六、十七章——郑林庆、吴宗泽、黄纯颖;其他各章——邱宣怀。

编者殷切希望广大读者对书中不妥之处批评指正,意见请寄北京市沙滩后街55号高等教育出版社转。

编 者

1981年6月

第一版序

这本教材是根据1962年5月审订的高等工业学校本科五年制机械制造类各专业适用的“机械零件教学大纲(试行草案)”编写的。编写过程中,编者在贯彻“少而精”原则方面虽曾进行一些探索,但限于水平,深感距当前教学改革形势的要求相差仍远。目前,教学改革正在我国迅速开展,估计到这本教材和读者见面之日,这个差距将会更大。因此,使用本教材时,如何把最主要的内容教给学生还有待讲课教师的努力。

目前,机械类各专业的教学计划对机械零件规定的教学时数还不尽相同,而各专业对具体内容的要求也不完全一致,例如某些专业对液体摩擦润滑、螺纹联接等内容可能要求多些、深些,而另一些专业却要求少些、浅些。为使教材有较大的适应性,一般说来各章都是按较高要求编写的。所以有些内容对某些专业不免偏多,这一点也希望使用本书的教师加以注意。

过去我国出版的教材,在符号和符号脚注字的使用上比较混乱。考虑到汉语拼音在国家标准和其他各方面都在广泛采用,所以本书中也做了一些尝试:凡是国际上较通用的脚注字仍保留原样,其他脚注字则改用汉语拼音字母而不采用外文缩写。这样做,对已习惯于外文脚注字的同志来说可能不甚方便,但编者认为虽然安排上还有待商榷,但作为改革方向,似有提倡的必要。

书中用小号字排印的内容,可根据具体情况决定是否讲授。

参加本书编写的有:许镇宇(设计总论,铆钉联接,焊接,皮带传动);朱景梓(齿轮传动,蜗轮传动);郑林庆(轴,滑动轴承,滚动轴承);邱宣怀(摩擦轮传动,链传动,减速机,联轴器和离合器,弹簧,机架零件);郭可谦(过盈配合联接,螺纹联接,键、花键、无键、楔和销联接);并由许镇宇担任主编。

编者衷心希望对本书提出宝贵的意见和批评。意见和批评请寄北京景山东街45号高等教育出版社转。

编者

1964年5月

基本符号表

A	面积, 振幅	U	变形能
a	中心距, 距离, 系数	u	齿数比, 速度
B	宽度	V	体积
b	宽度	v	速度
C	常数, 负荷, 旋绕比, 系数	W	剖面系数
c	刚度, 系数	w	单位宽度载荷
D	直径, 孔径	X	坐标轴, 系数
d	直径, 轴径	x	系数
E	弹性模量	Y	坐标轴, 系数
e	偏心距, 自然对数底	y	距离, 挠度
F	作用力, 载荷	Z	坐标轴, 数, 系数
f	系数, 垂度	z	数, 距离
G	切变模量, 重量	$\alpha, \beta, \lambda, \theta, \phi$	角度
H	高度, 硬度	δ	厚度, 过盈量, 间隙
h	间隙, 系数	ε	偏心率, 磨损量
I	惯性矩	η	动力粘度, 效率
I_p	极惯性矩	λ	变形量
i	数, 传动比	μ	摩擦系数, 泊松比
K	系数	ν	运动粘度
k	系数, 传热系数	ρ	曲率半径, 密度
L	寿命, 长度	ψ	相对间隙, 系数, 升角
l	长度, 距离	ω	角速度
M	弯矩, 力矩	σ	正应力, 拉应力
m	质量, 指数, 模数	σ_c	压应力
N	法向力, 循环次数	σ_b	弯曲应力
n	转速, 数	σ_p	挤压应力
O	中心	σ_H	接触应力
P	传动功率, 负荷	τ	切应力
p	压强, 节距	σ_B, τ_B	强度极限
Q	作用力, 热量	σ_s, τ_s	屈服极限
q	磨损量, 流量, 单位长度质量	σ_{Bb}	弯曲强度极限
R	半径, 可靠度, 横向力	σ_{Sc}	压缩屈服极限
r	半径	σ_{lim}	极限应力
S	安全系数, 轴向力	σ_a, τ_a	应力幅
s	厚度	σ_m, τ_m	平均应力
T	转矩	σ_{-1}, τ_{-1}	对称循环疲劳极限
t	时间, 温度, 距离	σ_0, τ_0	脉动循环疲劳极限

注: 除本表所列符号外, 各章还有一些符号, 在初次出现时另作说明。

目 录

第三版序	1
第二版序	3
第一版序	4
基本符号表	5

第 1 篇 总 论

第 1 章 机械设计概论	1
1-1 课程性质和任务	1
1-2 设计机器的基本原则和设计程序	2
1-3 机械零件设计概述	4
1-4 设计人员的素质	6
1-5 机械设计的新发展	7
第 2 章 机械零件的工作能力和计算准则	9
2-1 载荷和应力的分类	9
2-2 机械零件的强度	11
2-3 机械零件的表面强度	14
2-4 机械零件的刚度	16
2-5 机械零件的冲击强度	13
2-6 温度对机械零件工作能力的影响	19
2-7 机械零件的振动稳定性	21
2-8 机械零件的可靠性	22
第 3 章 机械零件的疲劳强度	25
3-1 疲劳断裂特征	25
3-2 疲劳曲线和极限应力图	26
3-3 影响机械零件疲劳强度的主要因素	30
3-4 稳定变应力下机械零件的疲劳强度	32
3-5 规律性非稳定变应力下机械零件的疲劳强度	37
3-6 低周循环疲劳概述	40
3-7 疲劳裂纹寿命概述	40
第 4 章 摩擦、磨损、润滑	42
4-1 摩擦的种类及其基本性质	42
4-2 干摩擦	44
4-3 边界摩擦润滑	45
4-4 磨损	46
4-5 流体摩擦润滑	50
4-6 膜厚比与润滑状态	53
4-7 润滑剂、添加剂	53
4-8 润滑油粘度	56
第 5 章 机械常用材料和制造工艺性	60

5-1 机械常用材料	60
5-2 金属材料的机械特性	61
5-3 影响钢材机械性能的主要因素	63
5-4 材料的选用原则	63
5-5 毛坯的选择	68
5-6 公差与配合的选择	69
5-7 表面粗糙度的选择	70
5-8 机械零件的制造工艺性	71

第 2 篇 联 接

第 6 章 螺纹联接	79
6-1 螺纹联接的主要类型	79
6-2 螺栓联接的拧紧和防松	81
6-3 单个螺栓联接的受力分析和强度计算	83
6-4 螺栓组联接的受力分析	90
6-5 提高螺栓联接强度的措施	92
6-6 螺旋传动	96
第 7 章 键、花键、销、成形联接	100
7-1 键联接	100
7-2 花键联接	103
7-3 销联接	105
7-4 成形联接	107
第 8 章 过盈联接	108
8-1 圆柱面过盈联接	108
8-2 圆锥面过盈联接	113
8-3 弹性环联接	114
第 9 章 铆接、焊接、粘接	115
9-1 铆接	115
9-2 焊接	119
9-3 粘接	126

第 3 篇 传 动

第 10 章 摩擦轮传动	134
10-1 概述	134
10-2 摩擦轮传动中的滑动	135
10-3 摩擦轮材料和摩擦轮传动的结构	136
10-4 圆柱摩擦轮传动计算	137
10-5 圆锥摩擦轮传动计算	142
10-6 摩擦无级变速器简介	142
第 11 章 带传动	145
11-1 概述	145

11-2	带和带轮	146
11-3	带传动的几何计算	150
11-4	带传动的工作原理	150
11-5	三角胶带传动的设计	155
11-6	平型带传动的设计	162
11-7	同步带传动的设计	162
11-8	带传动的张紧装置	166
11-9	其他带传动简介	166
第 12 章	齿轮传动	167
12-1	概述	167
12-2	齿轮传动的主要参数	167
12-3	齿轮传动的失效形式	170
12-4	齿轮材料及其热处理	172
12-5	圆柱齿轮传动(外啮合)的几何计算	175
12-6	圆柱齿轮传动的载荷计算	177
12-7	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	182
12-8	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	196
12-9	直齿锥齿轮传动	199
12-10	齿轮传动的效率和润滑	204
12-11	齿轮结构	205
12-12	曲线齿锥齿轮传动和准双曲面齿轮传动简介	206
12-13	圆弧齿轮传动简介	208
第 13 章	蜗杆传动	210
13-1	概述	210
13-2	蜗杆传动的失效形式、材料选择和结构	211
13-3	圆柱蜗杆传动的基本参数	213
13-4	圆柱蜗杆传动的几何计算	216
13-5	蜗杆传动中力的分析和计算载荷	218
13-6	圆柱蜗杆传动的强度计算	219
13-7	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	222
13-8	提高圆柱蜗杆传动承载能力的措施	226
13-9	环面蜗杆传动概述	227
第 14 章	链传动	229
14-1	概述	229
14-2	链传动的零件和材料	229
14-3	链传动的运动特性	234
14-4	链传动的受力分析	236
14-5	滚子链传动的计算	236
14-6	齿形链传动的计算	241
14-7	链传动的合理布置和张紧方法	242
14-8	链传动的润滑 护罩或链条箱	243
第 15 章	减速器	245
15-1	减速器的主要型式及其特性	245
15-2	传动比分配	250
15-3	减速器构造	251
15-4	减速器润滑	253
15-5	减速器试验	254

第 4 篇 轴、轴承、联轴器

第 16 章	轴	258
16-1	概述	258
16-2	轴的结构设计	259
16-3	轴的强度计算	263
16-4	轴的刚度计算	269
16-5	轴的临界转速	273
第 17 章	滑动轴承	278
17-1	概述	278
17-2	径向滑动轴承的主要类型	278
17-3	滑动轴承材料	279
17-4	轴瓦结构	281
17-5	轴承润滑材料	282
17-6	润滑方法	283
17-7	滑动轴承的条件性计算	284
17-8	液体动力润滑的基本方程式	286
17-9	液体动力润滑径向轴承的计算	288
17-10	液体动力润滑推力轴承的计算	294
17-11	其他轴承简介	296
第 18 章	滚动轴承	298
18-1	概述	298
18-2	滚动轴承的类型和选择	299
18-3	滚动轴承的代号	301
18-4	滚动轴承的负荷分析、失效及计算准则	302
18-5	滚动轴承的寿命计算	304
18-6	滚动轴承的静负荷计算	312
18-7	极限转速	314
18-8	滚动轴承的组合结构设计	316
18-9	滚动轴承的润滑和密封	321
18-10	滚动轴承的弹性流体动力润滑计算	323
第 19 章	联轴器和离合器	325
19-1	概述	325
19-2	刚性联轴器	327
19-3	无弹性元件挠性联轴器	329
19-4	金属弹性元件挠性联轴器	334
19-5	非金属弹性元件挠性联轴器	336
19-6	嵌合式离合器	339
19-7	摩擦离合器	341
19-8	磁粉离合器	344
19-9	安全离合器	345
19-10	离心离合器	346
19-11	超越离合器	346

第 5 篇 其他零件

第 20 章	弹簧	349
---------------	-----------	------------

20-1	概述	349
20-2	弹簧材料和制造	350
20-3	弹簧工作原理	352
20-4	圆柱螺旋压缩弹簧	354
20-5	圆柱螺旋拉伸弹簧	360
20-6	圆柱螺旋扭转弹簧	361
20-7	环形弹簧	362
20-8	碟形弹簧	364
20-9	橡胶弹簧简介	366

第 21 章 机架零件	368
21-1 概述	368
21-2 剖面形状的合理选择	369
21-3 间壁和肋	371
21-4 壁厚的选择	372
参考书目	373
对法定计量单位的换算表	375

第 1 篇 总 论

第 1 章 机械设计概论

1-1 课程性质和任务

机器是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要工具,使用机器进行生产的水平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。

机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料或信息,机械是机器和机构的总称。用来进行物料传递和变换的机器,通常称为器械,如蒸汽锅炉、蒸发器、热交换器、过滤机、分离机等。用来进行信息传递和变换的机器,通常称为仪器,如测量仪、照相机、录像机、电视机、打字机、衡器、电子仪器等。

组成机器的不可拆的基本单元称为机械零件(或机器零件,简称零件),如螺钉、键、齿轮、轴、弹簧等。为完成同一使命在结构上组合在一起(可拆或不可拆)并协同工作的零件称为部件,如联轴器、轴承、减速器等。机械零件这一术语也常用来泛指零件和部件。

各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,只在一定类型的机器中使用的零件称为专用零件。汽轮机中的叶片,纺织机中的织梭、纺锭,往复机械中的曲轴等都是专用零件。本课程只研究在普通工作条件下、一般参数的通用零件和部件。

经过优选、简化、统一,并给以标准代号的零件和部件称为标准件;在正常运转过程中容易损坏,并在规定期限内必须更换的零件或部件称为易损件。

设计是为了满足某一特定要求而进行的创造过程(尽管设计的难易程度不同)。掌握设计的基本理论和方法是所有受工程教育的学生都应具备的能力。机械设计是机械工程类专业学生需要初步掌握设计机器能力的一门技术基础课。

机械设计可以是应用新的原理或新的概念,开发创造新的机器。也可以是在已有机器的基础上,重新设计或作局部的改革。因此,增大机器工作能力,合并或简化机器结构,增多或减少机器功能,提高机器效率,降低机器能耗,变更机器零件,改用新材料等等,都属于机械设计的范畴。

机械零件的设计和计算是本课程的基本教学内容,但本课程的最终目的在于综合运用各种机械零件和各种机构以及其他先修课程的知识,掌握设计机械传动装置和简单机械的能力。因此,教学内容必须与设计教学环节紧密配合。机械设计一词是广义的,要做好设计工作,必须贯彻科研、设计、试验、制造、安装、使用、维护“七事一贯制”原则^①,以设计为主来综合权

^① “七事一贯制”这一词原见《中国科学技术政策指南》,科学技术政策白皮书第1号,科学技术文献出版社,1986。

衡,才能取得良好的设计效果。

工业、农业、社会生活等各个部门都要求机械工业提供各种各样的机器。科学研究成果也必须通过机械设计、机械制造等过程才能转变为生产力。机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,将直接影响机械产品的技术水平和经济效果。在设计这道工序上下的功夫愈多,愈加符合客观实际,则其效果愈好。因此,机械设计学科对于国民经济的发展具有很重要的意义。产品设计是工业发展的命脉,是市场竞争的王牌。工业革新必须以设计为中心。

1-2 设计机器的基本原则和设计程序

设计机器应满足的要求 首先要能胜任对机器提出的功能要求(或工作职能)。在此前提下,同时满足使用方便、经济合理、安全可靠、外形美观等各项要求。

在使用方面,机器应能在给定的工作期限内具有高的工作可靠性,并能始终正常工作(定期维修和更换易损件除外)。联系人和机器间的各个环节应做到:操纵轻便省力;操纵机构的部位适合人体的生理条件;操作安全,万一失误应有联锁装置或保险装置;简单重复的劳动应尽量由机器完成;维修方便等等。

在经济方面,应从机器费用、产品制造成本等多种因素中综合衡量,以能获得最大经济效益的方案为最佳设计方案。功能多、适用范围广、自动化程度高的机器,价格虽然贵一些,但产品成本(包括设备、材料、生产费用)可能反而降低。

机器外观造型应比例协调、大方,给人以时代感、安全感。色彩要和产品功能相应。例如:消防、起重机械要用鲜艳醒目色,给人以紧迫、预警感;医疗、食品机械要用浅色,给人以卫生、安静感;军用器械要用保护色,给人以安全感;冰箱、风扇等要用冷色,给人以清凉感等等。

噪声也是一种环境污染,影响人体健康。限制噪声分贝数已成为评定机器质量的指标之一。机器噪声最好在70~80dB(A)以下。每天工作8小时的机器,噪声不得高于90~95dB(A)。大于95dB(A)的机器,操作时必须戴耳塞。大于105dB(A)的机器,必须采用降低噪声的措施。齿轮传动、链传动、滚动轴承、牙嵌离合器、液压系统、电动机等都是机器中常见的噪声源。为降低噪声,首先要分析产生噪声的原因,然后可从设计、工艺、材料等因素着手,采取各种降低噪声的措施。随着环境对机器噪声的要求愈来愈苛刻,故低噪声设计日见重要。

对不同用途的机器还可能提出一些其他要求,如巨型机器有起重、运输的要求,生产食品的机器有保持清洁的要求等。

设计方法和设计程序 设计机器的方法大体上有以下几种。

(1) **内插式设计** 在两个现有设计方案中作内插式设计是一般机器常用的设计方法。这种方法有成功的经验可以借鉴,只要设计时精心对待,认真作一些技术改进工作,通过少量试验研究,就能有把握地设计出成功的产品。

(2) **外推式设计** 和内插式设计不同,虽也有部分经验可以借鉴,但外推部分处于未知领域,若某些运行参数超过通用设计方法所许用的范围,就有可能产生意想不到的结果。因此,外推式设计必须慎重对待,对外推领域要做好技术开发研究、进行理论探讨和科学实验工作。

(3) **开发性设计** 应用新原理、新技术设计新型技术装备的工作称为开发性设计。开发性设计分为功能设计和结构设计。功能设计时要运用物理学、理论力学、机械原理、流体力学、热力学、摩擦学等基础理论知识；结构设计时要应用机械零件、金属材料及热处理、机械制造工艺、公差配合等知识和生产实践的经验。

新产品设计是一项复杂细致的工作，要提供性能好、质量高、成本低、有市场竞争能力、受用户欢迎的新产品，必须有一套科学的工作程序和方法。近年来，世界各国开展了“设计方法学”的研究，重视市场调查，开展新技术的试验研究，进行技术经济评价，做好为用户服务等工作。

新产品从提出任务到投放市场的全部程序要经过四个阶段(见图 1-1)：调查决策阶段；研究设计阶段；试制阶段；投产销售阶段。

调查项目应包括：工作原理及其应用成果；有关技术情报和专利；用户意见和要求；市场供销和竞争等。在调查研究基础上，拟订新产品开发计划书，内容包括：调查结果分析；设计方案构思和建议；新技术、新工艺、新结构的采用；投资、成本、价格和利润；日程安排等。在设计开始阶段，应充分发挥创造性，构思方案应多样化，以便经过反复分析比较后，作出决策，从中选取最佳的设计方案。决策是非常关键的一步，直接影响设计工作和产品的成败。

研究设计阶段应在决策后开始，一般分两步进行。第一步为功能设计研究，称为前期开发，主要任务是克服技术中的关键问题。为此，需要建立数学、物理模型；对新产品进行试验研究和技术分析；将试验中积累的大量数据整理编制成设计计算公式和图表。第二步为新产品的技术设计，称为后期开发。第一步完成后，应写出总结报告，内容包括：工作原理和设计方案论证；预定技术性能指标；新技术采用和效果；计算公式和图表；总布局图；外型图等等。第二步完成后，应绘出总装配图、部件装配图、零件工作图、各种系统图(传动系统、润滑系统、电路系统、液压系统等)以及详细计算说明书。计算内容包括动力计算、运动计算、功率确定、强度计算以及刚度计算等。设计完成后，应进行初步技术经济分析。以上各部分内容常需互相配合、交叉进行。设计工作也常需多次反复，以便设计出技术先进可靠、经济合理、造型美观的新产品。

样机试验完成以后，应进行全面技术经济评价，以决定设计方案是否可用或需要修改。即使是可用的方案，一般还需作适当修改，以便使设计达到最佳化。需要修改的方案，应检查数学、物理模型是否符合实际，必要时，改进模型后重新进行试验，甚至重新设计。

由于使用不当，工作环境恶劣，未按规定时间维修等原因，任何机器都可能发生故障。开

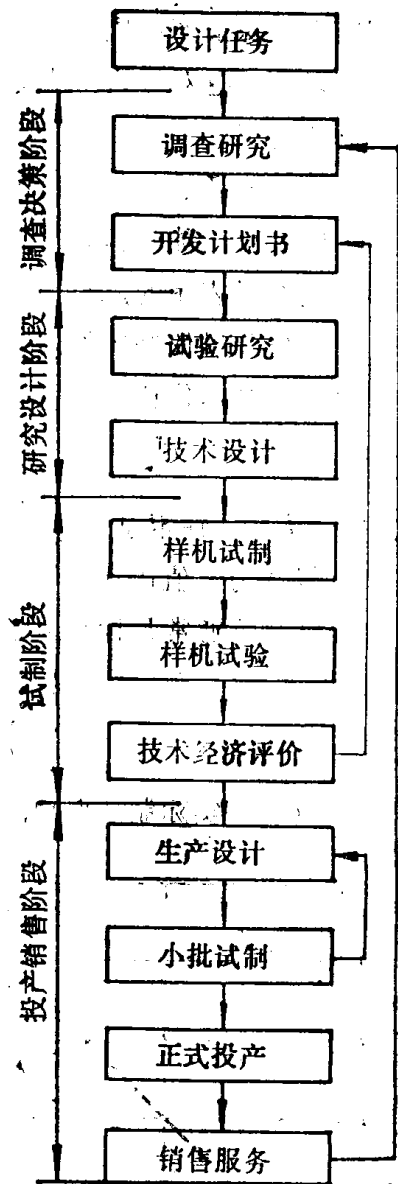


图 1-1 新产品开发设计程序

展销售服务工作,如传授正确使用方法、规定免费保修期限、定期跟踪检查、健全索赔制度等,不仅有利于保证产品质量,提高产品信誉,开拓市场销路,而且可从市场反馈信息中,发现产品的薄弱环节。这对于进一步完善产品设计,提高产品可靠度,萌生新的设计构思,开发新产品都有积极意义。

技术经济评价 技术经济评价分为**技术评价**和**经济评价**。技术评价时,某些性能指标如重量、体积、生产能力、动力等可以用数量来衡量,某些指标如外观、操纵性能、维修性能等则不能。能用数量表示的,由于使用单位不同,不能简单相加。所以,技术评价常用评分的办法,对每一个评价项目依好坏不同给予不同的分数,例如:4—很好,3—好,2—一般,1—较差,0—差。技术评价用技术价值 x 表示

$$x = \frac{\sum P}{\sum P_{\max}}$$

式中 $\sum P$ ——评定总分数; $\sum P_{\max}$ ——满分总分数。 $\sum P = \sum P_{\max}$ 时, $x = 1$ 表示技术价值最高。一般认为 x 值在 0.8 以上是很好的方案,在 0.6 以下不合要求。

经济评价通常只计算制造费用,因它是经济评价中最主要的项目。经济评价用经济价值 y 表示

$$y = \frac{H_1}{H} = \frac{0.7[H]}{H}$$

式中 H ——实际制造费用; H_1 ——理想制造费用。 $H = H_1$ 时, $y = 1$ 表示经济价值最高。理想制造费用建议取为允许制造费用 $[H]$ 的 70%, $[H]$ 可根据市场供销情况确定。

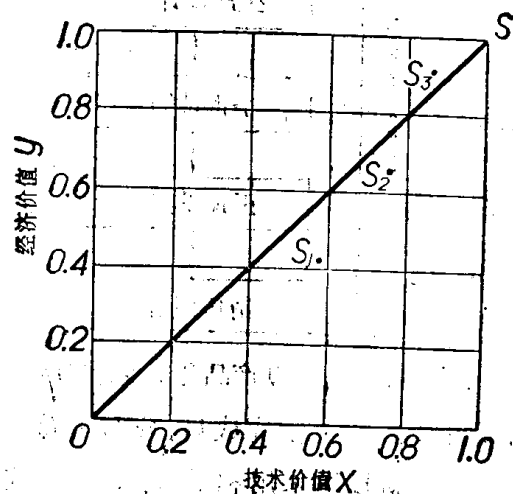


图 1-2 技术经济对比图

图 1-2 为技术经济对比图。图中任何一点代表一种设计方案的技术价值和经济价值。 S 点是理想的设计方案, $x = 1, y = 1$ 。 \overline{OS} 线上各点是技术价值与经济价值相等的设计方案。显然,靠近 \overline{OS} 线且愈近 S 的点,其设计方案愈近理想。

利用图 1-2 可以从多种设计方案的比较中找出理想的设计方案,如图中方案 S_2 比 S_1 好, S_3 比 S_2 好。也可以经过对设计方案的多次探讨,逐渐找到理想的设计方案,如先做方案 S_1 ,评价后,改进其薄弱环节,再做方案 S_2, S_3 。遇到两个评价相近的方案,其中之一技术价值较高,而另一个则经济价值较高,这时最好选用技术价值较高的设计方案。

要提高技术经济价值可以从以下四方面着手: 1) 进一步简化设计,减少零件数目,提高标准化、通用化程度; 2) 采用廉价材料; 3) 改善毛坯、零件加工、装配等工艺性,合理选择精度、公差和配合以及其他技术条件; 4) 改善生产、经营管理制度。在以上四方面中,改善设计最为重要。

1-3 机械零件设计概述

设计机械零件应满足的要求 设计的机械零件既要工作可靠,又要成本低廉。要解决前

一个问题,零件在其强度、刚度等方面必须满足一定的条件,这些条件是判断零件工作能力的准则,将在第2章中讨论。

要想降低机械零件的制造成本,必须从设计和制造两方面着手。设计时应正确选择材料,合理规定公差等级以及认真考虑零件的加工工艺性和装配工艺性。这些问题见第5章。

和设计机器时一样,设计机械零件时也常需拟定出几种不同方案,认真比较后,选用其中最好的一种。

设计步骤、设计计算和校核计算 设计机械零件的一般步骤如下。

(1) 根据机器的具体运转情况和简化的计算方案,确定零件的载荷。

根据额定功率用力学公式计算出作用在零件上的载荷,称为名义载荷。名义载荷是机器在平稳工作条件下作用在零件上的载荷,它没有反映实际载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性及其他影响零件受力情况等因素。这些因素的综合影响,常用载荷系数 K (或工作情况系数)来做概略估计。载荷系数 K 与名义载荷的乘积称为计算载荷,机械零件常按计算载荷进行计算。

(2) 根据材料的机械性能、物理性质、经济因素及供应情况等选择零件的材料。

(3) 根据零件工作能力准则,确定零件的主要尺寸,并加以标准化或圆整化。

机械零件的计算可分为设计计算和校核计算两种。设计计算是先根据零件的工作情况和工作能力准则拟定出安全条件(如许用应力、许用变形等),用计算方法求出零件危险剖面的尺寸,然后根据结构与工艺要求和尺寸协调的原则,使结构进一步具体化。校核计算是先参照已有实物、图纸和经验数据初步拟定零件的结构布局和有关尺寸,然后根据工作能力准则核验危险剖面是否安全。采用校核计算时,因为已知零件的有关尺寸,所以有可能计入影响强度的结构因素和尺寸因素,计算结果比较精确。充分考虑了各有关因素的校核计算常称为精确校核计算。并不是所有的校核计算都能算作精密校核计算。由于试验数据还不够充分,目前只有形状和受载都较简单的零件才能进行精确校核。

(4) 根据确定的主要尺寸并结合结构上和工艺上的要求,绘制零件工作图。

应当指出,不论是设计计算还是校核计算,在计算方案上通常要对某些较复杂的现象作出适当的简化,例如,以集中力代替实际上的分布力,以点支承代替实际上的面支承,等等。所以机械零件的计算和一般的工程计算一样,总是带有或多或少的条件性(假定性)。

条件性计算实质上是合理的简化计算。当计算所涉及的问题过于复杂,或当它们的内在规律还不能完全掌握时,根据充分的试验数据作些合理的假设和简化时常是必要的。条件性计算虽然不够精确,但如注意到公式的适用范围,计算结果也具有一定的可靠性。

随着研究资料的逐步丰富和对客观规律的深入掌握,条件性计算日益减少,计算的趋势则是朝着精确的方向发展。有些形状复杂的零件过去无法准确计算,现在用有限元法可以解决复杂零件的应力分析问题。传统的疲劳强度计算是建立在没有裂纹的前提下和“安全-寿命”的设计概念上,但在实际使用中,无法避免类裂纹的存在,为此,近年来又发展了一门新学科——断裂力学,它允许裂纹存在,只要掌握疲劳裂纹的扩展特性,也能使设计获得预期的安全

效果,从而建立了“破损-安全”的设计概念。

为了使计算的结果更符合实际情况,应该多方面参考过去成功的设计和在使用过程中积累起来的统计资料。对于复杂零件,必要时还可以进行模型试验或实物试验。

为了使读者能运用工程基础知识,书中零件的主要尺寸大都是通过数学方法确定的。但必须指出,在实际设计中,除计算外,还需要综合考虑结构、制造、安装、维修等因素,所以选用尺寸往往比计算大些。有时也会遇到不可能用计算方法来确定零件尺寸,这时,就需要由生产经验和设计经验来确定。

此外还应指出,设计工作是一个反复进行的过程,经过多次修改方案,改变设计参数,才能得到比较合理的结果(如尺寸较小,承载能力较大,摩擦功耗较少,工作温度较低等)。这个反复过程实际上也是逐步优化的过程。近年来,发展了以优化数学为理论基础,以电子计算机为手段的设计方法,称为优化设计。优化设计首先是建立能反映设计变量与工作性能关系的数学模型,然后在给定的约束条件下,每改变一组设计变量即可构成一种设计方案,经过若干次计算机运算,可从中选择最佳的设计方案。

标准化、系列化、通用化 在不同类型、不同规格的各种机器中,有相当多的零部件是相同的,将这些零部件加以标准化,并按尺寸不同加以系列化,则设计者毋须重复设计,可直接从有关手册的标准中选用。通用化是指系列之内或跨系列的产品之间尽量采用同一结构和尺寸的零部件,以减少企业内部的零部件种数,从而简化生产管理和获得较高的经济效益。

标准化、系列化、通用化通称“三化”。“三化”是长期生产实践和科研成果的可靠的技术总结。采用“三化”的重要意义是:1)减轻设计工作量,以便把主要精力用在关键零部件的设计工作上;2)便于安排专门工厂采用先进技术大规模地集中生产标准零部件,有利于合理使用原材料、保证产品质量和降低制造成本;3)可以减少技术过失的重复出现;4)增大互换性,便于维修工作;5)有利于增加产品品种,扩大生产批量,达到产品的优质、高产和低消耗等。“三化”程度的高低也常是评定产品的指标之一。“三化”是我国现行的很重要的一项技术政策。

我国现行标准分为国家标准(GB)、部颁标准(如JB、YB等)、专业标准等。出口产品应符合国际标准。

1-4 设计人员的素质

从事设计工作的人员除应具备广博的基础理论知识和生产实践知识外,还应具备下列素质。

1. 要有高度的责任心。设计人员应对设计的技术合理性和设计后果负责,做到工作原理正确,方案可行,使用可靠。国务院颁布的“工业产品质量责任条例”规定:由于产品质量责任,造成用户人员伤亡,财产损失,触犯刑律的,由司法机关依法追究当事人的刑事责任。也要认真贯彻必须把提高机械产品的质量放在第一位的科学技术政策。

2. 要有法律观念和道德观念。国家正式颁布的有关条文,如标准、设计规范、专利法等都属于法律与法规范畴,必须严格遵守。合同、协议等文件,也受法律保护,签约后要坚决履行,

以守信誉。对机器功能要实事求是,不夸大其性能指标,操作中可能发生和应注意的问题,必须在产品说明书中写清楚。

3. 要有不断创新和改革的意愿与气质。设计人员一定要养成勤于观察和思索的习惯,从中发现和提出问题。只有发现问题的存在,才有可能产生改革和创造的意愿。设计人员要不断进行创造性思维和方法的锻炼,才能逐渐提高设计水平。创新产品一定要有新意,如应用新的技术原理、具有新的设计构思、在技术上有较大突破等,即使是更新的产品也必须在结构、材质、工艺等方面有明显改善,从而提高和扩大产品的功能。

4. 要有善于学习和不断进取的精神。平时要多注意积累有关的科学研究、科技开发、专利等新成果,以及市场信息等有关资料。设计人员掌握的知识面要宽,但也要善于应用归纳、推理、分析、综合的方法,从各种资料中预测未来的发展趋势。

要虚心征求用户,制造、管理、销售人员和同行技术专家的各种意见,从而制定比较适合实际情况的完善的设计方案。团结协作是做好设计工作的基础之一。由于产品更新周期将越来越短,从设计、制造到销售的传统顺序模式有逐渐变为平行模式的可能,因此设计人员要善于团结有关人员。

由于现代科学技术的迅速发展,为了适应时代的要求,设计人员应不断总结经验,同时努力学习新的知识,为改进和提高设计水平而努力。

1-5 机械设计的新发展

近二、三十年来,机械设计学科发生了相当大的变化。设计方法更为科学、完善,计算精度更高,计算速度更快。主要有以下几方面的变化。

1. 基础理论得到进一步深化和扩展。过去研究问题,比较偏向于宏观方面,现已向微观方面发展。例如:摩擦学研究摩擦表面间的物理和化学性质,进一步探索薄层摩擦副的机理和计算问题;断裂力学研究微观裂纹的扩展规律,对“复活”报废零件,防范事故发生,改善结构起着积极作用;弹性流体动力润滑研究重载接触副的最小油膜厚度、摩擦力、摩擦温度等问题,以提高齿轮传动、滚动轴承等的寿命和可靠性。

2. 传统的机械设计偏重于零件、部件的静态设计,现正向以多种零件的综合或整机系统为对象的动态设计方向扩展。例如,研究机械系统的动力学问题对发展高速机械具有很重要的意义。

3. 为使产品设计更科学、更完善、更有市场竞争能力,新的设计方法不断出现,如优化设计、可靠性设计、系统设计、设计方法学、价值工程、造型设计、模块化设计等等。

4. 由于电子计算机具有运转速度快、计算精度高、有记忆和逻辑判断功能等特点,某些设计方法如优化设计、有限元等得以应用。在机械设计中,还应用电子计算机进行程序设计、自动设计、计算机制图、人-机对话、建立程序库和数据库等先进设计手段。这些内容统称为计算机辅助设计。

5. 传统的机械产品正面临新的转折。机-电一体化是当今世界掌握高技术国家的发展方向,我国也已将其列为机械工业技术政策的发展目标之一。机-电一体化实质上是机械与电