

机械工程设计 上册 全永昕 余长庚 汝元功 等译

机械 工程 设计

上册

[美] J. E. 希格利 L. D. 米切尔 著
全永昕 余长庚 汝元功 等译

高等教育出版社

机 械 工 程 设 计

上 册

[美] J. E. 希格利 L. D. 米切尔 著
全永昕 余长庚 汝元功 等译

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据美国密执安大学荣誉退休教授J.E. 希格利和弗吉尼亚州立大学教授L.D. 米切尔合著《机械工程设计》(Mechanical Engineering Design)1983年第四版译出的。

原书第四版比前一版, 内容有更多的增补和更新, 加强了机械设计的理论基础, 更加强调了对设计的创造性要求和计算机在机械设计中的应用。

原书分两篇, 第一篇机械设计基础, 第二篇机械零件设计。

中译本分上、下两册出版。上册包括第一篇, 主要内容有: 绪论, 应力分析, 挠度和刚度问题, 材料及其性能, 统计学问题, 静强度设计, 疲劳强度设计。

本书可用作高等工业学校机械类各专业的教学参考书, 也可供其他有关专业师生和工程技术人员参考。

机械工程设计

上 册

[美]J.E. 希格利 L.D. 米切尔 著

全永昕 余长庚 汝元功 等译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张16.25 字数370 000

1981年1月第1版 1987年2月第2版 1988年2月第1次印刷

印数 00 001—4 420

ISBN7-04-001039-9/TH·165

定价3.40元

译 者 序

J.E. 希格利所著的《机械工程设计》(Mechanical Engineering Design)一书,是美国高等工科院校中较流行的机械设计教科书。该书第三版曾于1980年由南京工学院和浙江大学两校机械零件教研室同志译成中文,由人民教育出版社出版。1983年原书在美国印行了第四版,并改由美国密执安大学荣誉退休教授J.E.希格利和弗吉尼亚州立大学教授L.D.米切尔两人合著。本书即是根据美国McGraw-Hill图书公司出版的该书第四版译出的。

原书第四版保留了前一版的特点和风格,但内容较前版有较多增补和更新;机械设计基础部分占全书篇幅的比重从前一版的35%增加到44%;对设计的创造性要求和计算机在机械设计中的应用较前版更为强调,全书包含了许多程序建议;例题和习题也有很多改进(详见原序)。

本书可作为我国高等工业学校机械类各专业的教学用书,也可供其他有关专业师生和工程技术人员参考。

参加本书翻译的有:浙江大学全永昕(序言,第十五章),毛振扬(第三、五章),周桂如(第六章),余茂芑(第七章),陈近朱(第十二章),陈秀宁(第十四、十七章),叶显樵(第十六章)和南京工学院余长庚(第一、九章及附录),郭务仁(第二章),许尚贤(第四章),朱刚恒(第八章),卢玉明(第十章),程燮时(第十一章),汝元功(第十三章)。全书分别由全永昕和余长庚、汝元功负责校订。

因限于水平,译文中难免有错误或不妥之处,欢迎读者提出宝贵意见。

译 者

1984年12月

第四版序言

本书是为开始学习机械工程设计工科大学生写的。这些大学生应学过一系列从事工程所需的工具性知识，其中主要是：数学、计算机语言和用英语口语和书面表达自己意见的能力。机械设计包括大量的几何学问题，因此，他们还需要具备把各种结构绘成草图和工作图的能力。这些学生还应学过许多基础工程科学，包括物理学、工程力学、材料学和工艺学，以及热流体学。这些工具性知识和科学构成了工程实践的基础，因此，在大学教育的这个阶段介绍工程专业内容是适宜的。在专业学习中，学生应学会综合和运用上述工具性知识和科学去完成一项工程任务。现在大学生的课程繁重，故要求我们以最有效的方式来完成上述教学任务。大多数工程教育工作者都认为机械设计比起任何其他专业学习来说，综合和运用了更多的工具性知识和科学。机械设计也是机械工程中其他专业课程和设计课程的基础。因此，学习机械设计看来是大学生开始机械工程实践的最有效的方法。

本书现在要出新版的一个原因是由于近年来有如此众多的高等学校都日益强调设计的创造性观点。五十年代初期，美国工程教育协会工程教育评议委员会曾指出：

“对设计的创造性和实用性方面能力的培养，其中包括分析、综合、开发与工程研究，是专业工程教育最明显的特点。

工程教育的技术目标在于训练分析和设计技能，即训练能运用分析和设计机器、设备或工艺过程的全面知识来进行设计、生产或操作的技能。”

这些目标虽然是三十年前提出的，但至今仍然是正确的。我们必须找到一种方法，使工科学生能致力于真正的设计实践。

在学校环境里，要使学生亲身体验工程设计人员在实际工作中所遇到的约束条件和选择余地，即使可能的话，那也是十分困难的。仅仅一项综合设计题目就会使学生忙上几个星期，甚至几个月，它所花去的宝贵教学时间是可用于其他一些专题学习的。这些专题同样是很重要的。因此，本书采用的方法是提供一些短小的设计题目或问题，它们能说明决策过程而不要求学生花很多时间。作者认为本书已包括了足够数量的这样的题目；其中有许多题目会使教师联想到其他的可能题目。事实上，许多教师宁愿选用自己曾遇到过的一些问题。

本书要发行新版的另一个原因是由于现在计算机的广泛应用，其中有许多计算机是很便宜的。这一情况已在很短时间内迅速改变了我们的设计方法。可编程计算器和个人计算机具有足够的存储量用来求解很多设计问题。而且一个具有相当存储量的可编程计算器，现在大约只需花三本普通教科书的钱就可买到（指在美国——译者）。这个价格比例与过去一度有过的计算尺与教科书的价格比例差不多。对于一个现代工科学生来说，不使用这样重要的工具是没有理由的。因此，本书强调使用可编程计算器和个人计算机；全书包含着许多程序建议。

前一版的读者和学生要求本书多提供一些计算例题。为满足这个要求,我们在这版中对书中具有相当难度的所有题目,至少提供了一个计算例题。此外,作者还试图消除学生在解某些题目时不可避免产生的“繁忙工作”现象。当然,对真正的设计题目来说,这是不可能的。

新版第三章中,增加了使用计算机或可编程计算器以数值积分法求解梁的挠度的内容;还包括了用面积矩法进行梁的分析,以满足读者的要求。关于压杆这一部分,增加了设计和计算机方法以及非弹性纵向弯曲方面的内容。

本版新增了材料一章(第四章)。这一章包括关于塑料和合成橡胶的讨论,这些材料现在已广泛用于产品设计。

第五章关于统计学问题较前版有所精简。在这一章中,特别强调应用多数计算器上具有的统计学函数。关于韦布尔分布的讨论也是这版中的新内容。

前版中的机械零件强度一章太长,所以本版把它分成两章。第六章介绍静强度设计。这一章是以十四张实际的零件失效照片开始的。这些照片多数是从读者熟识的机械设备上得来的,其中有些颇引人注目。作者期望这些照片图会使设计者对强度的重要性得到深刻的认识。本章除通常的失效理论外,增加了应力集中问题的讨论,提供了用有限元分析来确定齿轮齿根应力集中系数的实例。断裂力学对机械设计人员是一个十分重要的专题。因此,在本章最后部分适度地讨论了这个重要问题。

第七章全部是抗疲劳失效设计的内容。本章包括了关于复合安全系数的选择使用,用于复合平均应力和交变应力状态的基梅尔曼安全系数的选择使用,以及低循环疲劳等的新概念。对疲劳修正系数,特别是尺寸和表面光洁度系数的资料作了较多的补充。

在第八章中,扩充和更新了紧固件的标准,其中包括螺栓材料的标准。完全重写了受拉伸载荷螺栓联接部分,并根据新近研究结果修正了推荐值。增加了有关疲劳载荷和螺栓预加载荷的新内容,使有密封垫的螺栓联接更为完整。

第九章关于填角焊缝的分析,采用新近有限元分析论文中的结果作了改进。新增加的一些例题用以阐明某些较为复杂的设计问题。

第十章弹簧,现包括了计算机程序建议、设计示例和习题、弹簧颤动的理论和分析、优化技术简介和扭簧方面的增补资料。

第十二章增加了稠化润滑剂的图表,改进了滑动轴承的例题。第十三章增加了一张路易斯齿形系数的新表格和四张AGMA几何系数的新表格,这些表格刚刚开始生效。许多部分作了重写,并增加了新的例题和习题。

第十六章制动器和离合器已作了一些简化,增加了新的例题。本章还包括了能量逸散和温升计算等新的几节。增加了飞轮设计一节。这一节引用了数值积分程序,这种程序在可编程计算器和个人计算机的程序库中常可找到。

第十七章几乎已全部重写。对带、链传动引用了新材料、新设计方法和额定参数。对钢丝绳一节作了增补,增加了许多安全系数方面的资料。

附录部分也作了一些修订,使这部分资料对设计人员更加有用。

与前几版相同，本书是以开业的设计工程师和工科大学生作为读者对象的。在某些情况下，作者对设计工程师和学生分别开来对待，因为设计师的需要与学生的需要可能有些不同，分别对待可能是有利的。

作者对下列（和那些未具名的）为本书提过建议、意见和想法的人表示衷心感谢。有些建议在前几版中已被采用，因其意见宝贵，故这一版再次提出。

我们特别要感谢衣阿华州立大学机械工程系的C. R. 米希克教授。他对本书前版中的几乎每一页、每一个题目、例题和图表都仔细地提出了他的意见。我们唯一感到遗憾的是未能采用他的所有建议。

我们也要感谢密执安大学机械工程和应用力学系的D. K. 费尔贝克教授，他为本书提供了断裂力学方面的资料。

McGraw-Hill图书公司的D. D. 海伯格，是本书在计划和编写过程中的编辑。我们非常感谢她帮助解决编写过程中所出现的许多问题。她对每一问题的迅速处理，使我们的工作得以顺利进行。

作者还要感谢蒙塔那州鲍兹曼的U. 史密斯。本书的手稿从头至尾都是她校订的。她对书稿逐字逐句的仔细检查，大大增进了本书的易读性和精确性。

（以下感谢的名单从略——译者）

J. E. 希格利

L. D. 米切尔

符号表*

A 面积, 常数	M, M 力矩
a, a 加速度, 常数, 尺寸, 齿顶高	m 质量, 安全裕度, 斜率, 接触比, 模数
B 常数	n 安全系数, 变形-硬化指数, 转速(rpm)
b 韦布尔分布的指数, 齿根高, 剖面宽度, 尺寸, 常数, 疲劳强度指数	P, P 力
C 系数, 弹簧指数, 轴承额定载荷, 压杆端部条件常数, 齿轮系数, 中心距, 比热	P 径节, 轴承压力
c 间隙, 梁的中性轴到表层的距离, 疲劳延性指数, 粘性系数	p 压力, 周节
D, d 直径	Q 一次面积矩, 流量
E 弹性模量, 动能	q 载荷强度, 凹口敏感度, 电弧长度
e 偏心距, 效率, 应变值	R, R 支承和联接处反力, 位置矢量
F, F 力	R 可靠度, 断面收缩率
F 轮面宽(齿宽)	r 半径, 径向的, 相关系数
f 频率, 摩擦系数	S 强度, 长度比例尺, 轴承特性数
G 剪切弹性模量	s 样本标准离差, 距离
g 重力加速度	T 扭矩, 温度
H 硬度值, 极距, 获得的或散失的热量, 功率	t 厚度, 切向, 时间
h 剖面深度, 轴承间隙	U 能量, 速度, 系数
I 惯性矩, 几何系数	u 单位能量, 速度, 坐标
i x 方向的单位矢量	V 剪力, 速度, 轴承转动系数
i 整数	v 体积, 运动粘度
J 极惯性矩, 几何系数, 热功当量	W 重量, 载荷, 冷作加工因数
j y 方向的单位矢量	w 单位重量, 宽度
j 整数	X 滚动轴承的径向系数
K 应力集中系数, 白金汉磨损系数, 瓦尔修正系数, 齿轮系数, 轴承额定载荷比, 强度系数, 应力强度因子, 螺栓扭矩系数	x 直角坐标, 距离
k z 方向的单位矢量	Y 滚动轴承的轴向系数, 路易斯齿形系数
k 弹簧刚度, 持久极限修正系数, 惯性半径	y 直角坐标, 距离, 路易斯齿形系数
L 长度, 寿命, 导程	Z 剖面模量, 粘度
l 长度	z 直角坐标, 距离, 标准统计变量
	α 热膨胀系数, 螺纹牙角, 轴向疲劳应力修正系数, 角度
	β 部分瓦轴承的包角
	Γ 节锥角
	γ 剪应变, 节锥角, 关节角

* 希腊字母表见表 A-27。

Δ	增量或改变量	ρ	曲率半径, 密度
δ	总变形量或伸长量	Σ	累加符号
ϵ	单位工程应变, 偏心率	σ	正应力
ε	真实应变	$\hat{\sigma}$	总体标准离差
η	效率	τ	剪应力
θ	扭角, 转角, 韦布尔分布的参数	ϕ	压力角
λ	导角	ψ	螺旋角
μ	泊松比, 总体平均值, 摩擦系数, 绝对粘度	ω	角速度

目 录

第四版序言

符号表

第一篇 机械设计基础

第一章 绪论	1
1-1 设计的意义	1
1-2 机械工程设计	2
1-3 设计的各个阶段	3
1-4 明确需要和确定问题	3
1-5 评价和提供方案	4
1-6 设计因素	5
1-7 安全系数	6
1-8 规范和标准	8
1-9 经济性	9
1-10 可靠性	12
1-11 安全性和对产品的责任	12
1-12 单位	13
1-13 使用SI单位的规则	15
1-14 数值的精确度和圆整	16
1-15 迭代法和可编程计算器	18
第二章 应力分析	20
2-1 应力	20
2-2 莫尔圆	21
2-3 三维应力状态	25
2-4 均布应力	27
2-5 弹性变形	28
2-6 应力-应变的关系	29
2-7 梁的剪力和弯矩	30
2-8 奇异函数	32
2-9 弯曲正应力	34
2-10 矢量程序设计	39
2-11 具有不对称剖面的梁	40
2-12 梁的剪应力	41
2-13 矩形剖面梁的剪应力	42

2-14 其他剖面形状梁的弯曲剪力	44
2-15 剪切中心	44
2-16 扭转	46
2-17 圆筒的应力	49
2-18 压入配合和热套配合	53
2-19 热应力与热应变	54
2-20 受弯的曲梁	55
2-21 赫兹接触应力	59

第三章 挠度和刚度问题	77
3-1 弹簧刚度	77
3-2 拉伸、压缩和扭转	78
3-3 弯曲挠度	79
3-4 利用奇异函数求挠度	80
3-5 叠加法	82
3-6 图解积分法	84
3-7 数值积分法	85
3-8 面积矩法	89
3-9 应变能	92
3-10 卡氏定理	94
3-11 曲杆的挠度	96
3-12 欧拉压杆	99
3-13 欧拉-约翰逊压杆	101
3-14 非弹性纵向弯曲	103
3-15 正割公式	103
3-16 压杆设计	104

第四章 材料及其性能	117
4-1 静强度	117
4-2 塑性变形	120
4-3 强度和硬度	122
4-4 冲击性能	124
4-5 蠕变和温度性能	125
4-6 牌号制	126
4-7 金属加工工艺	127
4-8 合金钢	128

4-9	耐腐蚀钢	129	6-12	应力集中和静载荷	177
4-10	铸造材料	129	6-13	断裂力学介绍	179
4-11	有色金属	130	6-14	裂纹中的应力状态	180
4-12	塑料	133	6-15	临界应力强度因子	181
4-13	合成橡胶	134	6-16	断裂韧性因子	182
4-14	粘弹性材料	134	6-17	应力腐蚀	187
第五章	统计学问题	137	第七章	疲劳强度设计	192
5-1	随机变量	137	7-1	引言	192
5-2	算术平均值、方差和标准离差	139	7-2	$S-N$ 图	193
5-3	回归分析法	142	7-3	低循环疲劳	197
5-4	正态分布	143	7-4	高循环疲劳	201
5-5	总体组合	146	7-5	持久极限的修正系数	204
5-6	尺寸标注——定义和标准	146	7-6	表面光洁度	204
5-7	公差的统计分析	147	7-7	尺寸效应	207
5-8	韦布尔分布	149	7-8	可靠性	210
第六章	静强度设计	153	7-9	温度效应	213
6-1	静强度	158	7-10	应力集中效应	214
6-2	静载荷与安全系数	159	7-11	其他影响	215
6-3	失效理论	162	7-12	不对称循环应力	218
6-4	最大正应力理论	163	7-13	不对称循环应力下的疲劳强度	220
6-5	最大剪应力理论	163	7-14	非线性理论	226
6-6	歪形能理论	164	7-15	基梅尔曼安全系数	228
6-7	延性材料的失效	166	7-16	扭转疲劳强度	232
6-8	脆性材料的失效	169	7-17	复合载荷下的应力	233
6-9	应力集中	172	7-18	累积疲劳损伤	236
6-10	应力集中系数的确定	173	7-19	表面强度	239
6-11	应力集中的图表	177			

第一篇 机械设计基础

第一章 绪 论

本书研究的是机械工程师在确定机器、装置和系统的设计方案时所用的决策过程。这种决策过程不仅限于机械工程设计，还可以应用于工程设计的整个领域。然而，为了理解这个过程，将它们用于实际，并能获得效益，则需要联系一系列外在条件，需要联系特定的情况，或者说某种对象。因此，本书选择了机械工程领域作为应用这种决策过程的对象。

本书分为两篇。第一篇涉及决策过程的基础，所需要的数学与分析工具，以及运用这些工具时用到的实际资料。读者偶而会碰到一些熟悉的内容，这些内容是为了在必要时便于复习。但更为重要的是为了确定本书后面所要使用的术语，以保持内容的连贯性，并可作为参考资料。

第二篇是将上述内容应用到机械系统各种零件的典型设计中，而我们在设计或选择机械零件时，会碰到这些典型设计。本篇力求首先研究基本的和较通用的零件，这样使读者先熟悉单个零件的设计，然后可以着手将它们组合成完整的机器或系统。所以，就整个系统来说，第二篇的内容是逐步深入和扩大的。因此，对第二篇应该按照书中介绍的顺序逐章学习。

1-1 设计的意义

设计就是提出满足人们需要的方案。一开始，所应满足的特殊需要可能是非常明确的。现举两个具有明确需要的实例：

1. 在不采用煤和不破坏地球表面的条件下，我们如何能够干净、安全、经济地得到大量动力？

2. 一齿轮轴出了故障，在最近六周内，损坏了八处。试解决这一问题。

反之，所应满足的特殊需要可能是模糊不定的，则为了将要求解决的问题陈述清楚，必须进行大量的思考与努力。下面举出两个例子：

1. 在飞行事故中很多人丧生。

2. 在大城市的街道和交通干线上小汽车太多。

这第二类设计题目的特点是既没有明确的设计要求，也没有确认要解决的问题。请注意，这类题目可能包含着许许多多问题。

我们也可以将设计分类。例如：

- | | |
|---------|------------|
| 1. 服装设计 | 7. 桥梁设计 |
| 2. 室内设计 | 8. 计算机辅助设计 |
| 3. 道路设计 | 9. 采暖系统设计 |
| 4. 园林设计 | 10. 机械设计 |
| 5. 建筑设计 | 11. 工程设计 |
| 6. 船舶设计 | 12. 工艺设计 |

事实上, 根据特殊的事物或产品, 或根据专业部门来分类, 可将设计分成无穷多种。

与科学问题或数学问题相反, 设计问题是不会只有一个答案的。比如, 对一设计问题, 要求“正确的答案”是不合理的, 因为没有这样的答案。事实上, 如果在设计阶段随着知识的增长或其他的组织或社会变化, 今天的一个“好的”答案, 明天可能会变成一个“差的”答案。

即使在日常生活中, 几乎每个人都以各种方式碰到设计问题, 因为每个人都需要解决向他提出的问题和所出现的问题。例如考虑一个家庭怎样度假期的问题。现有七个地方可去, 每个地方离家的距离都不同, 所以旅费也不同, 有的还需要在途中过夜。家庭每个成员爱好不同, 小孩希望到湖边或海边驻留地去, 妻子喜欢到有百货公司、剧院和夜总会的大城市去, 丈夫喜欢去有高尔夫球场的地方或靠近山地、可钓鲑鱼的河流。这些需要和愿望都与时间和金钱有关。从上述因素就可以得到各种方案, 其中也许只有一个是最佳的, 也有可能几个都是最佳的, 或者没有一个是最佳的。所选择的方案中, 将包括旅游路线、停留点、交通型式, 以及驻留地、旅馆、野营地的名称和位置或其他为离家在外者服务的设施。不难看出, 在设计度假问题上要得到一个方案, 确实涉及到相当大的一组相互交错的复杂因素。

一个设计常常受到一些解题的约束的支配。例如, 设计度假问题的两个约束为假期中可使用的时间和钱。同样, 应注意, 还有答案的约束。在上面所提到的例子中, 每个家庭成员的愿望和需要就是这些约束。最后, 求得的设计答案可能是最优的。在这个例子中当每个家庭成员都很满意时, 就得到了最优解。

设计决不是假想。设计具有确实的目的——通过一定的工作去创造一个最后的结果或创造一个有形的实体。在工程中, 对“设计”一词, 不同的人赋予其不同的意义。有些人认为设计师只是应用制图板画画齿轮、离合器或其他机械零件的工作图。另一些人则认为设计是创造一个复杂的系统, 比如通讯网络。在工程的某些领域中, 已经用其他的术语如系统工程或应用决策论来代替设计这一词。不论使用什么词来阐述设计的功能, 在工程中, 设计仍是一个过程, 它是利用科学的原理和工程工具——数学、计算机、制图和英语——作出设计方案。当实现这一方案时, 人们的需要将得到满足。

1-2 机械工程设计

机械设计系指机械装置和机械系统, 如机器、产品、结构、设备和仪器等的设计。大部分机械设计均需利用数学、材料学和工程力学等。

机械工程设计包括了所有的机械设计,但它所研究的范围更为广泛,因为它包括了机械工程的全部学科,例如热流体学也包括在内。除了所需要的基础科学外,机械工程设计中首先需要研究的是机械设计,因此,本书就采用了这种研究方法。

1-3 设计的各个阶段

本章中,我们所关心的是整个设计过程。设计将如何开始?是不是工程师简单地坐在铺有空白纸的桌旁就着手工作呢?当他摘记一些设想后,下一步该怎么办?什么因素影响和控制着作出的决策?最后,这一设计过程怎样结束?

从开始设计到结束的整个过程,常概括如图1-1所示。设计过程开始于明确需要,以及决定为此而要采取的某些相应措施。在经过多次反复以后,设计工作将以提出能满足需要的方案而结束。在下面各节中,我们将详细讨论设计过程中的各个阶段。

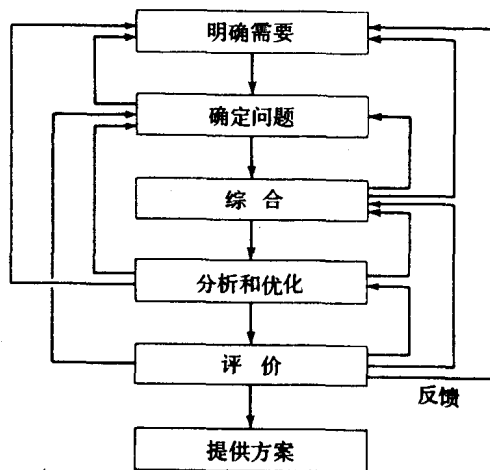


图 1-1 设计的各个阶段

1-4 明确需要和确定问题

有时,当一个工程师明确了一种需要,并确定对此采取某些措施时,设计就开始了。不过,并不总是如此的。明确需要并用语言将它简洁地描述出来,往往是一种高度创造性的工作。因为所谓需要,可能只是一种模糊的不满,一种不安的感觉,或者是感觉到有什么不对的地方,需要往往是很不明显的;对需要的认识,往往是由某一特定的逆境或一系列几乎是同时发生的随机现象引起的。例如,改进食品包装机械的需要,可能是由噪音的程度、包装重量的改变、包装质量微小的但可察觉得到的改变等问题表现出来的。

显然,一个对事物敏感的人,即容易受事物干扰的人,越可能认识某种需要——也越可能对之采取措施。因此,敏感的人往往更富有创造性。当有人已经说明了某种需要以后,它就容易为大家所认识。例如,在美国,关于净化空气和水、增加城市中的停车场、改善公共交通系统、提高公共交通流通量等需要已是尽人皆知的事。

说明某种需要,随后确定为此而应解决的问题,两者之间有明显的区别(图1-1)。要解决的问题是比较具体的。如果这个需要是净化空气,则应解决的问题可能是要降低发电厂烟囱的排尘量,减少汽车排出的气体中的有害物,或者是快速扑灭森林火灾的方法。

确定问题阶段必须对设计对象制定全部的设计要求。设计要求包括输入参量、输出参量、

特性、设计对象所占空间大小以及所有这些参量的制约因素。我们可以将设计对象看作是一个黑箱中的物体。在这种情况下，我们必须确定黑箱的输入参量和输出参量以及它们的特性和制约因素。这些设计要求将决定设计对象的生产成本、产量、预期寿命、工作范围、工作温度及可靠性。设计要求中显而易见的项目是速度、进给量、温度限制、最大工作范围、变量的预期变化以及尺寸和重量的限制。

还有许多是隐含的设计要求，它们或是由于设计师的特定环境所引起的，或者是由于问题本身的性质所引起的。如某工厂的可供采用的制造工艺及设备，将成为对设计师的限制，因而它们也是一种隐含的设计要求。例如，一家小工厂可能没有冷加工设备，这时设计师就必须选择在这个工厂里可以实现的其他的金属加工方法。技术水平或市场上的竞争状况也都是这种隐含的设计要求。任何限制设计师选择的自由的因素都是一种设计要求。例如，材料供应商的产品目录上列有不同种类和规格的原材料，但这些材料并不都容易得到，而且经常会缺货。再者，库存量的经济学要求厂商存储材料的种类和规格要最少。

当确定了问题并得到一系列书面的与隐含的设计要求以后，设计的下一阶段就是进行综合以求最优解，如图 1-1 所示。这时，不进行分析及优化，就不能进行综合。因为必须对所设计的系统进行分析才能确定其性能是否满足设计要求。在分析中可能还会发现所综合的系统不是最佳的。如果发现了上述任一种情况或二者兼有，就必须重新进行综合。

必须再次指出，设计工作是一个反复进行的过程。这个过程要经历几个阶段，在评价结果后，须返回到前面的阶段。因此，我们可先综合系统的几个零、部件，加以分析和优化，然后再综合，看其对系统中的其他部分有何影响。不论是分析还是优化，都要求我们能建立系统的抽象模型以便对它们进行数学分析，这样的模型就称为数学模型。在建立数学模型时，我们希望找到一个能很好地模拟实际的物理系统的数学模型。

1-5 评价和提供方案

如图 1-1 所示，评价是整个设计过程中的一个重要阶段。评价是对一个成功的设计的最后检验，通常包括对样机的实验室试验。在这一阶段，我们希望弄清楚的是：设计是否真能满足要求？是否可靠？与同类产品竞争能否获胜？在制造和使用方面是否经济？是否易于维修和调整？在销售或使用中能否得利？

向其他有关人员提供设计方案是整个设计过程的最后而重要的阶段。毫无疑问，有许多伟大的设计、发明或创造之所以湮灭，仅仅是由于创造者不善于或不愿意向别人阐述自己的成果。提供方案是一种毛遂自荐的工作。当一个工程师向经管部门或管理人员提出自己的新方案时，就是希望推荐并证明自己的方案是比较好的。如果不能成功地做到这一点，那么为获得方案所耗费的时间和努力就会大部分浪费掉了。当一个人推荐一种新的设想时，同时也是推荐他自己。如果他能经常成功地将自己的设想、设计、新方案推荐给管理部门，他必然会增加工资和得到提升。事实上，这正是任何人在他的事业上取得成功的原因。

人们基本上只有三种表达自己思想的方式，即写作、讲话和绘图。因此一个优秀的工程

师除了掌握技术以外，还必须精通这三种表达方式。如果一个有技术的人的上述某一种表达方式的能力较差，他就会遇到很大的困难。如果上述三种能力都较差，那将永远没有人知道他是如何能干的！这三种表达方式，写作、口述和绘图都是技巧，也就是说，它们是什么人都有智力的人都可以获得或加以发展的。技巧只能通过持之以恒的实践才能获得。例如，音乐家、运动员、外科医生、打字员、作家、舞蹈家、高空杂技演员和画家之所以有各种技巧，是由于他们经历了成年累月的实践。生活中任何有价值的成就，常常要通过大量单调乏味甚至枯燥的工作才能获得，工程学也不例外。

写作的能力可以通过写信、写报告、记笔记、写论文和文章而获得。文章能否发表是无关紧要的，重要的是进行练习。讲话的能力可以通过各种职业的交往和社交活动而获得。这些场合可以提供大量的练习讲话的机会。为了掌握绘图能力，应该将每一个可能的设想都用铅笔绘成草图。为了理解文字或语言往往需要琢磨，但草图却明了易懂，应被自如地运用。

一个有能力的工程师不应该害怕在推荐自己的方案时遇到失败。事实上，应该预计到偶然的失败，因为每一个真正有创造性的设想，似乎总是要经受失败或批评的。从失败中可以学到许多东西。只有不怕失败的人，才能取得最大的收获。总之，根本不将方案介绍出去才是真正的失败。

本节的目的是为了强调提供方案作为设计过程的最后阶段的重要性。因此，无论你是准备向你的教师还是向你的雇主介绍方案，你都应该对方案作出透彻而清晰的描述，因为这是关键时刻。有关写报告、讲解或绘草图的材料是可以从很多地方获得的，你应该充分利用它们。

1-6 设计因素

在决定零件的几何形状和尺寸时，有时零件的强度是一个重要因素。在这种情况下，我们就说强度是一个重要的设计因素。我们用设计因素来表示影响零件设计（或者可能是整个系统设计）的某种特性。通常，在任一给定的设计任务中，有许多这类设计因素*需要考虑。有时，当其中某一主要的设计因素满足要求后，就不必再考虑其他因素了。例如，经常需要考虑下列设计因素：

- | | | | |
|--------|---------|--------|-----------|
| 1. 强度 | 7. 加工工艺 | 13. 型式 | 19. 表面光洁度 |
| 2. 可靠性 | 8. 利用率 | 14. 形状 | 20. 润滑 |
| 3. 热因素 | 9. 成本 | 15. 尺寸 | 21. 维修 |
| 4. 腐蚀 | 10. 安全性 | 16. 柔度 | 22. 体积 |
| 5. 磨损 | 11. 重量 | 17. 控制 | |
| 6. 摩擦 | 12. 噪音 | 18. 刚度 | |

上述某些因素与系统中零件的尺寸、材料、加工工艺和联接直接有关。另一些因素则将

* 一般设计文献中，有些作者用“设计因素”这个词表示零件强度与作用在该零件上的外力所引起的内应力之比。

影响整个系统的结构。我们将在本书中研究上述各种因素以及很多其他因素。

在本书中，有许多设计需要读者应用工程基础知识，通常用数学方法去解决其中一个或几个问题。在大学阶段让学生运用基础知识去解决专业问题，这是完全正确和适当的。然而，为了使读者有一个正确的看法，应该指出，在许多设计中，由某些重要的设计因素确定零件或系统时，并不需要进行计算或试验。当学生们碰到实际上不可能作简单的计算，而又必须作出某种重要的设计决策的情况时，他们常常会感到不知所措。这种情况是不足为奇的，它们几乎每时每刻都会发生。有必要作上述说明，以免读者误认为对于每一个设计决策都要用某一种合理的数学方法作出。

1-7 安全系数

强度是一种材料或一个机械零件的特性。零件的强度与材料的选择、处理以及加工工艺有关。例如，我们考察1000个弹簧，并用强度 S_i 表示第 i 个弹簧的强度。当该弹簧装入机器之后，作用在弹簧上的外力使弹簧中产生应力。应力的 σ 大小与弹簧的几何形状有关，而和它的材料及加工工艺无关。如果由机器中拆下该弹簧，并且未受到损伤，则弹簧中由于外力产生的应力将降为零，犹如它在装配之前那样。但强度 S_i 仍然是该弹簧的特性之一。因此应记住，强度是零件因采用特定材料和加工工艺所形成的一种固有特性。

本书中用大写字母 S 表示强度，并用相应的角标表示强度的种类。同样，按照习惯做法，本书采用希腊字母 σ 与 τ 分别表示正应力和剪应力*。

安全系数是用来评价零件安全性的系数。设一机械零件承受某种作用 F ，我们假定 F 是一个通称，例如，它可以是一个力、扭矩、弯矩、转角、挠度或某种畸变形。若增加 F ，最后它将达到很大的一个数值，以致任何小量的增加都会使零件在完成其原有作用的能力方面受到永久性的损伤。如果我们设 F 的极限值为 F_u ，则安全系数用下式定义

$$n = \frac{F_u}{F} \quad (1-1)$$

当 F 等于 F_u 时， $n=1$ ，则完全没有安全性。因而常常用到安全裕度这一术语。安全裕度用下式定义

$$m = n - 1 \quad (1-2)$$

工业实践中，广泛使用安全系数和安全裕度两个术语，其意义及目的是显而易见的。然而，式(1-1)中的 F_u 是任意种类强度的通称，它是一个统计变量。此外，式(1-1)中的 F 也是统计变量。由于这个原因，安全系数 $n > 1$ 并不排除失效。正因为危险程度和 n 之间有这种关系，一些权威宁愿用设计因素这一术语而不用安全系数。只要读者懂得这个意思，用任一术语都是正确的。在本书中安全系数就是式(1-1)中的系数 n 。

当为了估算安全量，将应力和强度作比较时，安全系数是非常有用的。安全系数用于考虑两个独立的、通常是互不相关的效应。

* 参阅2-1节。