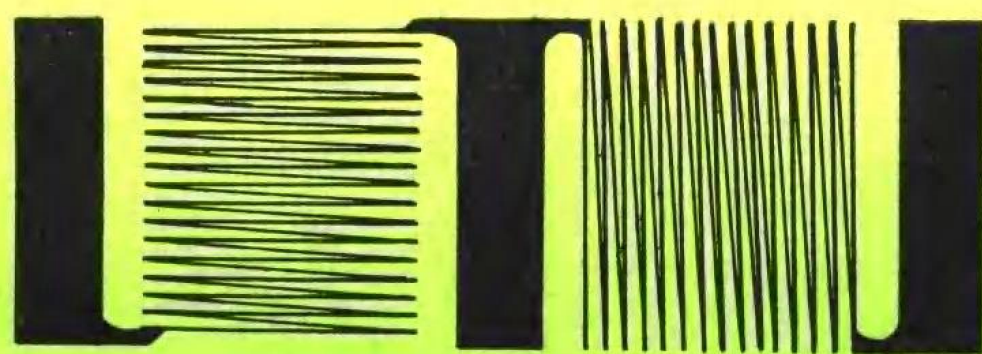




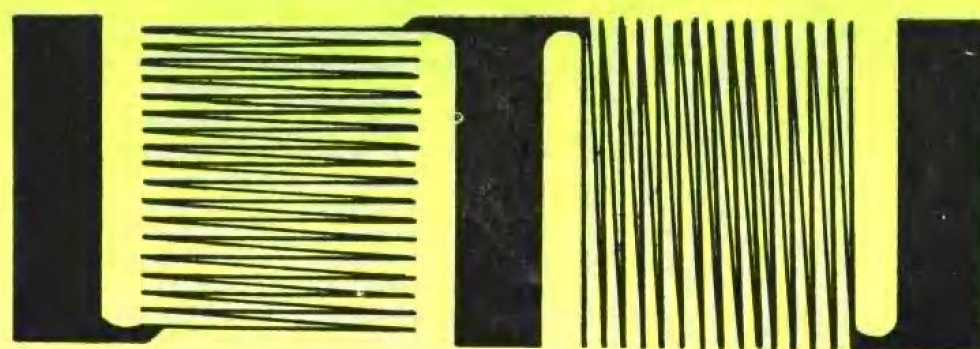
中南工业大学出版社

机械零件设计原理

[美] Robert C. Juvinall 著

唐国民 陈贻伍 等译

程良能 校



机械零件设计原理

[美] Robert C. Juvinall 著

唐国民 陈贻伍 等译

程良能 校

责任编辑:梅敦诗

插图责任编辑:刘楷英

※

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学服务公司印刷厂印装

湖南省新华书店经销

开本: 787×1092/16 印张: 16.75 字数: 418 千字

1989年12月第1版

1989年12月第1次印刷

印数: 0001—1500

※

ISBN 7-81020-268-5/TH·005

定价: 3.35 元

译 者 序

本书是根据美国密执安大学(University of Michigan) Robert C. Juvinalli 教授所著的“机械零件设计原理”(Fundamentals of Machine Component Design) 1983年第一版译出的。原书是美国高等工科院校“机械工程设计”系列教科书之一。

全书共二十章,分设计基础与设计实践两篇。设计基础共九章,系统总结并扩展了机械设计的预备知识;设计实践共十一章,阐述了机械零件设计的一般原则、步骤和方法,并以分析一整机设计作为全书的终结。

该书内容丰富,在取材和写作上均有其特点与风格。可作为我国高等工科院校机械类及近机类各专业的教学参考书,也可供工程技术人员参考。

为突出机械零件设计原理这一明显主题,保持原书特色,考虑机械零件设计教本的内容范畴和系统,同时也考虑到全书篇幅较大,因而对原书各章作了精选和调整。原书第一篇中的第二、三、四、七章和第二篇中的第十九、二十章、各章习题以及附录等均未编入。这样,原书二十章紧缩为十四章翻译出版,译本各章次按原书章次顺序排。对此,敬请读者谅解。如有再版机会,将以全译本出版。

参加全书翻译的有:陈贻伍(第二、十一、十二、十三章及附录C-9~E)、唐国民(第十六、十七、十八、十九、二十章)、程良能(第三、六、七、八章)、饶自勉(第九、十章及第五章习题)、陈慕筠(第十四、十五章及第四章习题、附录A-1~C-8)、陈守勋(第四、五章)、周明(序和第一章)。全书由程良能总校。

由于水平有限,译文中错误与不妥之处在所难免,欢迎读者提出宝贵意见。

译者 1987年6月

序 言

本书可作为机械工程设计基础的教学用书,也可供工程技术人员参考。假定读者已具有力学,材料强度和材料性质等方面的基础知识,但本书的头九章(第一篇)仍主要用于复习和拓广有关方面的基础知识。其余各章节(第二篇),则用于讨论这些基础知识在机械零件设计中的具体应用。在最后一章中将着重讨论整机的设计问题。

尽管在第一篇中,大部分内容是复习已学过的课程,但如下几个章节务请读者予以注意:(1)1.2节、1.3节和1.4节,讨论了工程问题所涉及的三个极为广阔的方面——安全性、生态学和社会效益。这些论题都是现代学生所特别感兴趣的。练习1.1~1.6(都与这些问题有关)。在我本人的教学中,它们是安排在整个学期内,作为学生的“额外”补充作业来完成的。(2)1.7节和1.8节,用来复习基本的能量关系式。大部份学生均应熟练掌握(诸如凸轮转轴与平移从动件间功的输入输出关系,以及机器输出功、马达输入功和贮存在传动部件中的能量关系等)。(3)大多数从事机械工程设计教学的教师常为学生在隔离体载荷图解析分析方向的能力薄弱而深感忧虑,显然,如果不能适当地确定作用于机器零件上的力,那么所进行的设计和分析将是毫无意义的。2.2节及其练习题将有助于弥补这种通病。(4)关于残余应力的基本讨论放在第四章中,掌握该章论及的基本概念,对现代应力分析,特别是涉及疲劳问题时是至关重要的。(5)确定弹性挠度和多余反力的卡氏方法放在第五章中讨论,对于许多用传统的基本方法难以解决的工程设计问题,利用这种方法可得到迅速解决。(6)第六章是有关失效理论、安全因子和可靠性方面的论述,其中包括断裂力学和统计可靠性预测相关性理论的导论。虽然对这些论题并未详加讨论,但导师可以利用这些论题唤起学生对这些重要新兴学科的关注。(7)第八章是简要介绍有关金属疲劳方面的现况。这些内容在本书的前一版本中曾有所论述,对大多数学生而言,这章书是特别重要的,是初次出现的新材料。(8)第九章论述在机械零件上出现的各种表面腐蚀现象,由于许多零件的失效(已不能适当完成预期功能)主要是由于表面损伤,而非真正的破坏,因而了解这种失效方式就显得特别重要。

第二篇主要讨论如何将有关基础知识应用到具体机械零件的设计中。在工程实践中,有关机件的设计,分析和使用等各种问题通常仅靠运用基础理论知识便能求得解决的为数不多。众所周知,在制定一个好的工程设计方案时,具有相应的基础科学知识固然很重要,但这还远远不够,问题的完满解决往往还必需凭借设计者的丰富实际经验。实际上,对于一个工程问题来说往往可有多种解决办法,只有一个正确答案的情况是极少见的。例如:各个公司为了市场竞争的需要,其设计人员对于同一产品常各自采用不同的设计方案,而且这些方案随着新技术、新材料、新工艺及新的市场信息的出现而时刻变化。通过以本书为基础教材的课程学习,对许多学生来说,将使他们获得处理有关实际工程问题的初步经验。

许多工程师都有这样的体会,由于上述现代工程技术的发展,大大地激发了他们对自己所从事的专业的兴趣和进取心。在这方面,工程师与医生的工作有许多相似之处:两者都必须充分利用最新科学知识去解决现实生活中存在的各种问题。尽管科学家仍在进一步寻找有关燃烧和电学理论方面的更为完善的认识,但工程师必须在现有的认识基础上设计和制造

各种发动机及电子仪器。同样，医生当然也不能这样告诉病人说：要等到对疾病进行更深入的研究完成以后再为他治病。

尽管仅靠第一篇论述的基础知识还不足以完全解决与机器零件有关的这种工程问题，但在解决工程问题时，必须坚持和善于运用基础理论知识无疑是十分重要的。第二篇中论述表面疲劳问题时，力求采用与第八章和第九章中运用基础理论处理问题相一致的方式来研究，虽由此得到的结果往往与专门文献中所给出的结果有差别，但这也无关紧要。重要的是要帮助学生学会尽可能地运用基础知识和有关科学知识来处理工程问题，然后再补以经验数据和判断，使之在允许的一定时间内获得满意的解答。

在一般工程院校的教学计划中，很少能给出足够的学时数让学生全部了解在第二篇中所论及的各种机械零件，何况有许多在工程中应用的机械零件在本书中未加讨论，甚至有些机械零件还有待于进一步创造设计。因此本书对每个零件进行的处理不仅仅是着眼于零件本身的问题如何解决，同时还将视为如何运用基本原理和实际经验解决实际工程问题的典型例子。

读者阅读第二篇各章节后将会发现有许多这样的例子，为了有效地处理与单个机械零件相关的各种工程问题，要求设计者具有创造性、洞察力和想象力。机械工程设计学习的下一步通常包括整机的概念和设计，作为对这门学科的入门性介绍，本书在最后一章（第二十章）中，给出一个首先在商业上取得成功的机动车自动传动装置的设计实例。在此，如同其他许多整机设计一样，人们无不为工程师们所表现出来的洞察力、创造性、想象力以及持续的勤奋工作所感动和鼓舞。同时在这个实例的研究中指出，对于任何一个零件，其设计方法通常受到相关零件、部件设计的影响。

由于现代学生在学习必然会遇到国际单位制和英制单位，所以在本书的课文和练习中，两种单位制将同时加以使用。

在诸如有关S-N曲线和疲劳分析的平均交变载荷应力图等计算中，在运用图解法有利于学生对所讨论问题的理解和建立直观概念，扩展对所得结果的领会及看到改造设计的途径等场合，尽管使用相应图线的数学公式，使用计算器和计算机可运算，可以更快地获得结果，但在本书中仍然保留图解分析法而不采用公式计算法。如果需要反复进行计算，有丰富经验的工程师当然会充分地发挥现代计算设备的优点，采用计算法，自不待言。

Robert C. Juvinall

目 录

第一篇 设计基础

第一章 机械工程设计概论

1.1 课程概述	(1)
1.2 安全因素	(2)
1.3 生态学因素	(4)
1.4 社会因素	(5)
1.5 整体设计考虑	(7)
1.6 功和能	(8)
1.7 功率	(8)

第二章 弹性应变、挠度和稳定性

2.1 引言	(10)
2.2 应变的定义、测量和莫尔图表示	(10)
2.3 应变的分析——等角应变片组	(12)
2.4 应变的分析——直角应变片组	(13)
2.5 弹性应力-应变的关系和三维莫尔圆	(14)
2.6 挠度和刚度系数——简单的情况	(14)
2.7 梁的挠度	(16)
2.8 由卡氏定理确定弹性变形	(17)
2.9 用卡氏方法确定多余反力	(19)
2.10 欧拉压杆侧弯——弹性不稳定性	(19)
2.11 各种端部条件的有效柱长	(20)
2.12 压杆设计方法——J. B. 约翰逊抛物线	(22)
2.13 偏心柱载荷——正割公式	(23)
2.14 当量压杆应力	(24)
2.15 纵向弯曲的其它形式	(24)

第三章 失效理论、安全系数和可靠性

3.1 引言	(26)
3.2 失效型式	(26)
3.3 断裂力学——基本概念	(27)
3.4 断裂力学的应用	(28)
3.5 静载下的强度理论	(29)

3.6	最大正应力理论	(30)
3.7	最大剪应力理论	(30)
3.8	最大歪形能理论(最大八面体剪应力理论)	(31)
3.9	修正莫尔理论	(33)
3.10	强度理论的选择与应用	(33)
3.11	安全系数——概念与定义	(34)
3.12	安全系数的具体取值	(34)
3.13	可靠性	(36)
3.14	正态分布	(37)
3.15	可靠性预测中的干涉原理	(39)

第四章 疲 劳

4.1	引言	(40)
4.2	基本概念	(41)
4.3	标准旋转——弯曲疲劳强度 S'_a	(42)
4.4	反复弯曲与反复轴向载荷下的疲劳强度	(45)
4.5	反复扭转载荷作用下的疲劳强度	(46)
4.6	反复双向载荷作用下的疲劳强度	(47)
4.7	表面和尺寸对疲劳强度的影响	(47)
4.8	对称反复载荷作用下疲劳强度小结	(49)
4.9	平均应力对疲劳强度的影响	(49)
4.10	在对称循环疲劳载荷作用下应力集中的影响	(53)
4.11	在非对称循环疲劳载荷作用下应力集中的影响	(56)
4.12	在随机变化载荷作用下的疲劳寿命预测	(58)
4.13	表面处理对零件疲劳强度的影响	(59)
4.14	机械表面处理(喷丸处理等)	(60)
4.15	热表面硬化处理及化学表面硬化处理(高频淬火及渗碳等)	(61)

第五章 表面损伤

5.1	引言	(62)
5.2	腐蚀——基本原理	(62)
5.3	腐蚀——电极和电解质的不均匀性	(65)
5.4	防腐蚀设计	(66)
5.5	受静应力作用的金属零件的腐蚀	(68)
5.6	受交变应力作用的零件腐蚀	(69)
5.7	气蚀损伤	(70)
5.8	磨损类型	(70)
5.9	粘性磨损	(71)
5.10	研磨性磨损	(73)

5.11 微振磨损	(73)
5.12 磨损的分析方法	(74)
5.13 曲面接触应力	(75)
5.14 表面疲劳破坏	(79)
5.15 结束语	(81)

第二篇 设计实践

第六章 螺纹紧固件和传动螺旋

6.1 引言	(83)
6.2 螺纹形式、术语和标准	(83)
6.3 传动螺旋	(84)
6.4 螺旋静应力	(90)
6.5 螺纹紧固件的型式	(94)
6.6 紧固件的材料和制造方法	(95)
6.7 螺旋拧紧与初拉力	(96)
6.8 螺纹松动与防松	(99)
6.9 在使连接分离的外载荷作用下的螺栓拉力	(101)
6.10 受静载荷作用下螺栓(螺钉)的选择	(104)
6.11 疲劳载荷作用下螺栓(螺钉)的选择——基本原理	(105)
6.12 疲劳载荷作用下螺栓的选择——用专门试验数据的方法	(108)
6.13 提高螺栓连接疲劳强度的措施	(109)

第七章 铆接、焊接和粘接

7.1 引言	(111)
7.2 铆接	(111)
7.3 焊接法	(114)
7.4 承受静轴向和垂直方向剪切载荷的焊接	(115)
7.5 承受静扭转和弯曲载荷作用的焊接	(118)
7.6 受疲劳载荷的焊缝	(118)
7.7 钎焊和软焊	(120)
7.8 胶合剂	(121)

第八章 弹簧

8.1 引言	(124)
8.2 扭杆弹簧	(124)
8.3 圆柱形螺旋弹簧的应力和变形方程式	(125)
8.4 圆柱螺旋压缩弹簧——静载荷下的应力和强度分析	(130)

8.5) 螺旋压缩弹簧的端部结构型式	(132)
8.6) 螺旋压缩弹簧的纵向弯曲分析	(133)
8.7) 静载荷作用下螺旋压缩弹簧的设计方法	(133)
8.8) 疲劳载荷作用下螺旋压缩弹簧的设计方法	(134)
8.9) 螺旋拉伸弹簧	(138)
8.10) 板弹簧 (包括片弹簧)	(139)
8.11) 扭转弹簧	(141)
8.12) 其它形式的弹簧	(142)

第九章 润滑和滑动轴承

9.1) 润滑剂种类	(146)
9.2) 滑动轴承型式	(146)
9.3) 润滑型式	(147)
9.4) 流体动力润滑的基本概念	(148)
9.5) 粘度	(150)
9.6) 温度和压力对粘度的影响	(152)
9.7) 轴承摩擦的 Petroff (彼得洛夫) 公式	(153)
9.8) 流体动力润滑理论	(154)
9.9) 流体动力轴承设计图表	(156)
9.10) 供油方式	(161)
9.11) 热扩散及油膜温度平衡	(162)
9.12) 轴承材料	(164)
9.13) 流体动力轴承设计	(165)
9.14) 边界和混合膜润滑	(166)
9.15) 推力轴承	(167)
9.16) 弹性流体动力润滑	(169)

第十章 滚动轴承

10.1) 旋转轴两种支承方式的比较	(171)
10.2) 滚动轴承的历史	(173)
10.3) 滚动轴承的类型	(173)
10.4) 滚动轴承的设计	(180)
10.5) 滚动轴承的装配	(182)
10.6) 滚动轴承的“样本信息”	(182)
10.7) 轴承的选择	(182)
10.8) 承受适当推力载荷时轴承的安装	(186)

第十一章 正齿轮

11.1) 引言和历史	(188)
-------------	-------

11.2	轮齿形状和名称	(188)
11.3	干涉和重合度	(194)
11.4	齿轮受力分析	(196)
11.5	齿轮轮齿的强度	(197)
11.6	轮齿弯曲应力的基本分析(路易斯方程式)	(197)
11.7	轮齿弯曲强度的精确分析——基本概念	(199)
11.8	轮齿弯曲强度的精确分析——推荐的方法	(201)
11.9	轮齿表面的耐久性——基本概念	(203)
11.10	轮齿表面疲劳分析——推荐的方法	(206)
11.11	正齿轮的设计程序	(208)
11.12	齿轮材料	(209)
11.13	轮系	(209)

第十二章 斜齿轮、圆锥齿轮和蜗杆传动

12.1	引言	(214)
12.2	斜齿轮的各部名称及几何尺寸	(216)
12.3	斜齿轮受力分析	(217)
12.4	斜齿轮轮齿弯曲及表面疲劳强度	(219)
12.5	螺旋齿轮	(220)
12.6	圆锥齿轮的各部名称及几何尺寸	(221)
12.7	圆锥齿轮受力分析	(222)
12.8	圆锥齿轮轮齿弯曲和表面疲劳强度	(223)
12.9	圆锥齿轮系、差动轮系	(225)
12.10	蜗杆传动各部名称及几何尺寸	(226)
12.11	蜗杆传动受力分析及效率	(228)
12.12	蜗杆传动的弯曲和表面疲劳强度	(231)
12.13	蜗杆传动发热计算	(232)

第十三章 轴及轴上附件

13.1	引言	(234)
13.2	轴的支承	(234)
13.3	轴上零件	(234)
13.4	转轴动力学	(236)
13.5	轴设计总结	(237)
13.6	键、销和花键联接	(239)
13.7	联轴器和万向联轴节	(241)

第十四章 其它传动零件

14.1	引言	(244)
------	----------	-------

14.2	平型带	(244)
14.3	三角胶带	(246)
14.4	齿形带	(248)
14.5	滚子链	(248)
14.6	齿形链	(250)
14.7	流体动力传动的历史	(250)
14.8	液力联轴器	(252)
14.9	液力变矩器	(255)

第一篇 设计基础

第一章 机械工程设计概论

1.1 课程概述

工程学的根本目的就是利用自然资源和规律以造福于人类。机械工程设计是工程学的一个主要部分，它研究各种机械和机械设备的概念、设计、发展、改进和应用。我们的基本目的是将固体力学和有关的科学知识创造性地灵活地运用到现实生活中来。因而在本书中所讨论的主要是现代机械工程的基本内容。

对许多学生来说，机械工程设计是他们学习专业最先遇到的，不同于数学和自然科学等基础课程的工程课程之一。专业工程课主要是寻求各种实际问题的解答，这些解答应当反映对基础科学的理解。但是通常单凭对基础科学的理解是不够的，还应具有经验知识和树立工程观点。例如：科学家尚未完全弄清楚有关电学的所有问题，但这并不妨碍电气工程师研制高度实用的电子装置。同样，科学家尚未彻底地懂得燃烧过程或金属疲劳的机理，但机械工程师运用所掌握的现有知识也可以创造出高度实用的内燃机。随着可供利用的科学知识的日益增多，工程师们在解决各种工程实际问题时，就能够制定出各种更好的解决方案，而且解决各种问题的工程方法通常是特别适合于更为深入进行科学研究的主要领域。工程师和医生极其相似，两者都不是主要关心揭示基础理论的科学家，但两者都应用科学知识及自己的经验和判断力来解决当前遇到的种种问题。

由于本课程的专业性质，在机械工程设计中所遇到的大部分问题都不是仅有一个正确解答。例如：在考虑设计一个家用电冰箱时，可用的设计方案几乎有无数个，其中却没有一个方案可以把它说成是“不正确”的方案。可是在这些“正确”方案中，有些方案明显地比其他一些方案好，因为它们更多地采用了先进的基础技术，其设计更富于创造性，在运用现有生产技术上更为卓有成效，经济效益大，具有更为令人赏心悦目的美的造型等等。显然，也正是在这些方面使人们看到了现代工程的发展前景并深受激励。当今的工程师面对的是一个与以往不同的社会去从事设计和开发产品，他们比以往的工程师们具有更多的知识可加运用，从而在满足当今社会的需要，设计及开发产品中，他们能明确提出更为完善的解决方案。至于怎样才能作得更好，则取决于他们所具有的创造性、想象力、对社会需求的了解程度和对解决问题所用技术的掌握程度。

本书主要论述机器或机械系统具体零件的设计，这方面的能力，在后续课程和专业实践中是对整机和系统进行分析与综合的基础。人们将看到，为了给今天的社会提供优质产品，即使是设计一个简单的螺栓或弹簧，工程师也必须很好地把科学知识和经验结合起来，作出决断和进行创造。

机械零件设计的技术依据主要集中于两个主要有关领域：(1) 固体元件的体积应力——应变——强度关系。(2) 包括摩擦、润滑、磨损和环境破坏等引起的表面现象。本书第一篇

主要论述有关的基础知识。第二篇论述有关基础知识在具体机械零件设计上的应用。在本书中所讲述的零件选自工程中常用的通用零件,其中有些也是学生所熟悉的。要求学生对所有机械零件设计有关的问题都详加学习,是既不现实又无法办到的。可是,在这里我们将着重在设计方法和程序上对所选择的零件进行论述,以便使学生具有运用这些方法和程序去解决一般机械零件设计问题的能力。

当研究分析一台机器时,工程师总会发现对于机器中各个零件提出的各种要求和约束总是相互关联的。例如汽车发动机阀门弹簧的设计,确定弹簧的有效空间本身就体现了对阀口、冷却剂通道、火花塞间隙等各方面对空间要求的一个折衷综合的解决办法。当工程师们在组合各相关零件寻求最优设计方案时,为了合理协调各种设计要求,这将对他们的想象力和创造性提出了更高的要求,本书最后一章将用一个“设计实例”来阐明有关这方面的机械工程设计内容。

除在机械零件和系统的设计和开发中的传统技术和经济因素的基础外,现代工程师已越来越注意安全因素、生态学因素以及整体“生活水平”等方向更为广泛的问题。这些问题将在以下各章节中扼要地加以讨论。

1.1 安全因素

用陈旧的设备,前辈工程师们首先考虑的往往是其功能和经济方面的问题,这是很自然的。事实上,如果这些装置不能充分地实现它的预定功能,那么它们在工程上就没有进一步研究的价值。同样,如果一台设备的生产成本,为当前社会所无法承担,进一步研究它将是工程时间的浪费。然而我们前一辈的工程师们已成功地设计了许多合用而生产成本低的产品。在一定程度上正由于这个原因,当前人们在工程上越来越多地致力于广泛地研究工程产品对人和环境的影响。

人身安全是工程师们时刻关注的一件事,但现在则要求更加予以重视。与此直接相关的像应力和挠度的计算相比,确定安全性,由于受到复杂心理或社会因素的影响,是件比较难以捉摸的事情。但对一个工程师来说,这只是增加了一个任务,要求他(她)在汇集各种有关事实的基础上作出富有知识性、想象力、创造性和工程观点的优良决策。

在研究产品安全性工程管理时,首先是要对它的重要性有清醒的认识。产品安全性现在是立法者、律师、法官、陪审员、保险官员等极为关心的问题。但在这些人当中却没有一个人能对某种产品的安全性作出直接的贡献,他们只能敦促人们在进行产品技术改进时对安全性给予适当重视,而改善产品的安全性的任务,正是工程师必须进行的工作。

安全性本是一个相对的问题,是在安全、成本、重量等各方面经过兼顾、权衡以后作出的一种折衷观点。几年前,作者和一个对安全性要求特别高的公司合作,作为一个顾问我经常告诫主管安全的工程师,必须进一步减少由公司设备引起的不可避免的公害。有一天我催促得过急了一点,这位工程师说:“看!我把这个模型做得多么坚固,但我从不将它做得过头,倘若某人用力过猛,他就能用这台机器伤害他自己”。第二天,这位先生偶然将这台新机器的样机掉到自己的脚上,打坏了一个脚指头,无意中证明了他的观点。然而,在此提出的观点是当社会对安全性有所要求时,工程师便应尽最大努力去实现。

下面所述的安全技术的第二个要点是创造性(新颖性),工程师必须富于想像力和独创性,足以预料产品可能存在的各种潜在危险情况。“任何很可能发生的事情,迟早总会发

生”，这个古老的准则是中肯的。

一旦工程师对安全因素的重要性有足够的认识，并接受对他（或她）的想象力和创造性所提出的这种要求，就可订出一些技术和准则。其中六条提出如下：

1. 着眼于揭露重大的事故，检查一个产品从初始生产到最后处置的整个寿命周期内，问一问自己在制造、运输、贮存、安装、使用、维修等各个阶段中，可能会发生什么情况。
2. 确信安全规范代表一种平衡方法，不要以一美元的罚款来抵偿一个事故，而忽视消除同等事故所存在的20%的可能性。像上面提到的冲床例子，不要将注意力集中到怎样去加强护油而忽视凸轮联接处可能存在的薄弱环节。
3. 尽可能地使安全性的考虑贯穿在基本设计的整个过程中，而不是在完成基本设计后加上一个安全装置。静电手动喷雾器的开发就是一个例子。早期固定安装的静电喷雾器其金属喷头的工作电压为100,000V。另一种具有精巧保护装置和屏蔽的手枪型方案很快被认为是切实际的，并由基本上是一种新电路设计与非金属头的组合方案来代替。这种方案可使操作者即便是接触到高压头，他（或她）也不会触电。当手接近喷头时电压会自动下降，而且喷头本身有足够低的电容可避免操作工带电过多。
4. 在可行的地方采用“破损安全”设计，其基本原理是采取预防措施来避免失效。倘若失效一旦发生，这种设计也会使产品安全无恙，也就是说失效不会导致一次灾难。例如第一架叫英国慧星商业喷气式飞机，当疲劳裂纹在窗角上外层蒙皮上发生时（由于机舱在高空受到交变应力，在地面压应力消除）使人们遭受了一次灾难性事故。究其原因是由于初裂纹发生不久后，裂纹不断扩展，使机身上的蒙皮受到严重撕裂（有点像玩具橡皮气球）。弄清了事故产生的原因后，商用喷气飞机便采用将许多铝板并合在一起的“破损安全”形体附加在机身的纵向和周向框架元件上，这样即使产生了裂纹，它也只能扩展到邻近的结合缝处，这些较短的裂纹决不会对飞机的安全造成损害。（这种特殊的“破损安全”的特征可用撕一件旧衬衣来比拟，即衬衣一旦被撕开了一条口子，就很容易传播到接缝处，但极难越过接缝处）“破损安全”设计常带有备用元件，以便一旦承载元件失效，第二个元件便能承受全部载荷。这就是常说的所谓“区域和挂钩”设计原理。（在极端情况下可加上“安全销”）。
5. 校核政府标准（如OSHA和ANSI）和中肯的确实符合法定要求的技术文献，以及借鉴别人有关安全的经验。
6. 在尽可能合理地完成了安全设计后，对尚存在的一切重大危险提供警告，在识别是否存在这些危险的情况时，研制产品的工程师们最有发言权。警告装置的设计应以最明确可行的方式发出引起使用者注意的信息。通常在机器上标以醒目的警告标记是最好的方法。警告信号有OSHA和ANSI标准，更完整的告诫事项在机器附带的说明书或操作手册中有详细的说明。

安全工程本身还包括涉及到与人有关的重要的非技术方面的问题，工程师们欲使他们在有关安全性问题方面所作的各种努力有效，对这些问题就必须有所了解，下面仅说明这类问题的三个特点：

1. 人的能力和性格：包括生理和精神的，当使用设备或维修设备时，劳动强度，能力和耐久力均应在人的体力所能承受的限度之内。仪表和操纵装置的排列和脑力活动的要求应与心理因素相协调。在事故可能性不能消除的地方，设计就应注意限制人在事故中所受的载荷使可能受到的伤害减小至最小程度。

2. 交流: 工程师必须把他们在设计中所作的有关安全性措施的基本原理和操作与别人交流。在许多情况下还要求他们亲自对这些安全措施合理使用进行宣传。例如: 研制了一个有效的摩托车头盔, 如果不使用哪会有什么好处? 或者给冲床装置供两个手使用的安全开关如果操作者为了想腾出手来抽烟将其中一个关掉, 那么装置两个开关又有何用处呢? 很不幸, 即使最有效的交流也总是不能担保聪明的操作者加以使用。这种情况引起像围绕着对汽车内胎要求那样的争论, 因为大部分人都难以被说服, 让他们自觉地使用座位皮带。关于这种争论的最好解决是要求人们接受各方面的知识教育, 其中之一, 无疑是接受工程训练。

3. 合作: 上面提到的争论说明要求工程师和其他专业人员——政府、管理、销售、维修、法律等有效地进行合作, 以便使共同关心的在安全性方面所作的努力得到有效的验证。

1.3 生态学因素

人们自古以来就依赖于他们的环境——空气、水、食物以及用于穿和遮掩的材料。在原始社会, 人产生的废物被自然地反复循环使用。当无尽的阴沟和垃圾堆出现时, 自然界变得在给定时间内再不能回收和再循环这些废物了, 这样自然生态循环被扰乱了。传统的经济系统可使产品大批量地生产并以不反映根据资源消耗和生态破坏而定的社会真实成本的价格进行销售, 现在社会已变得越来越普遍地关注这个问题了。法律要求和更现实的‘总’成本条款在增加对工程设计的影响。当然将最有效的工程问题放到社会中由大众决策是重要的。

或许有人能相当简洁地阐明机械工程设计的基本生态学目标: (1) 利用的材料, 能在适当的时间内经济地再循环, 不招致空气和水的污染, (2) 减小不能再循环的能源(如矿物燃料)的耗费率, 既保存这些资源又减小热污染。在某些情况下, 将噪音污染减到最小也是一个考虑因素。

同安全因素的情况一样, 对工程师来说, 考虑生态学各种因素所受的钳制比考虑应力和挠度一类的事情要困难得多, 下面列举几点应考虑的事项:

1. 考虑涉及到的基本设计目标的各个方面以保证它是正确的。例如, 关于某些重要的水坝建筑, 其利害得失问题已被提出来, 是否存在生态的副作用, 可据以在可供选择的方案中进行选择呢? 在承担设计新的高速公路系统或专用运输系统之前, 必须确定用最合理的理论知识和判断来说明所提出的计划是否为最佳方案。

2. 在主要设计目标确定了之后, 下一步就是对包含在所定设计中的全部观点进行评论。例如: 有哪方面的专用零件或模子最有可能磨坏或报废, 可用一个与原来的模子具有互换性的新模子来代替, 在此建立标准化的概念是合宜的。家用自动洗衣机的马达和传动装置装配也是可以运用这种办法的一个例子。另一个例子是这样的, 在主要厨房用具的外表嵌入装饰板, 当要求餐具外表面改用新的装饰图案时, 就可以更换嵌入的装饰板, 而不必更换整个餐具。

3. 再循环设计一个重要方面是, 在一个新的设计开始时, 工程师考虑整个生态循环变得日益重要了, 其中包括整个设备及其零件的处理和再使用。考虑一辆汽车, 适于再使用的零件(或再修或不再修)应做成使他们易于从旧汽车中取出, 按材料将零件拆卸和分类应尽可能做到容易和经济。有一个近乎是开玩笑的建议——汽车应做成这样, 例如, 当一辆旧车从30英尺高丢下时, 所有紧固件都断开, 然后自动装置会按材料将零件自动分类以便再处理。一个更为实际的建议是附上特别设计的电路, 使铜能迅速地成片剥离出来, 以利于铜的废物利用。

在按这些方向制定再循环的程序中，一个公司用于再循环的成本与丢弃旧零件而使用纯净材料的成本之比来反映对社会的实际总成本，显然这正是所希望的。没有一个公司会干这样的事——如果为了节约原材料及减少工业污染而宽宏大量地承担一个高成本的再循环程序，而其竞争对手则能利用不反映这些成本的低廉价格得到新材料。这样做没有一个公司在经营中是能够站得住脚的。

4. 选择材料心中要有生态学观点，重要的是对所用原材料的性质的适用性、加工所需的能量、工业污染问题（空气、水、土地、热和噪音）以及再循环性等有所了解。理论上，应将所有这些因素都适当地反映到价格结构中，大体上与过去的情况相比它更近于将来的情况。

另一个考虑因素是易损件代用材料的相对耐久性。例如，为了大大减少剃刀片的需求量，考虑改用不锈钢材料来做剃刀。（然而，设计一个方便而有效的磨刀方法是不是会比扔掉他们更合算呢？）

工程师也应考虑对材料再循环的相容性，例如熔化废汽车时，锌模压铸会使所得的废料质量变坏。

5. 拟定加工方法时要考虑生态学因素。主要是考虑各种污染、能源消费和材料的使用效率。例如像轧制和锻造（产生切屑较少）成形加工比切削加工的废料少，而在能源消耗方面也存在较大的差别。

6. 包装是资源保护和降低污染的一个重要方面，可再次使用的纸箱和包装材料的循环使用是两个越来越受到注意的方面。常见的冰淇淋的锥形包装物，也许是满足生态学要求的。

作为将正确工程思想与引入社会生态学决策相结合的重要性的最后的例子，考虑一个由高年级声响学学生（非工程）提出的建议——可以要求各电力公司都用马达带动电机，那么，发电厂的污染便被有效地消除了！然而，保护我们的环境问题仍是一个危及生存的严重问题，正如最近Adlai Stevenson所说：“我们都是同在一个小飞船上的乘客，我们一起旅行，都仰仗它那微薄空气和土壤的供给……，只有小心谨慎地工作才可免于灭亡，但我们还是要把我们的爱和我们自己献给那脆弱的小飞船”。

1.4 社会因素

正如读者所知，解决任何工程学问题都是从它的清晰的定义开始。让我们在最主要的方面对进行机械工程设计时提出的问题下定义。本章的头一句话就给出一个定义：“工程学的根本目的就是利用自然资源和规律以造福于人类”。为了应用这个定义，思索更具体的事项是有必要的：（1）到底怎样造福于人类；（2）用什么样的尺度（量尺？）来度量这样的利益呢？寻找所提问题的目标的精确定义形式和设计测量其结果的方法，成了工程师的额外职责。

作者已提出^[1] 工程设计以及其他人类的要求都是为了改善我们社会生活水平，而且这可用生活水平指数（LQI）来测量。这个指标有点类似于‘国民总产值’，但要广泛得多。当然，关于LQI本身内容的看法会在社会各阶层有所不同，并随时间而变化。

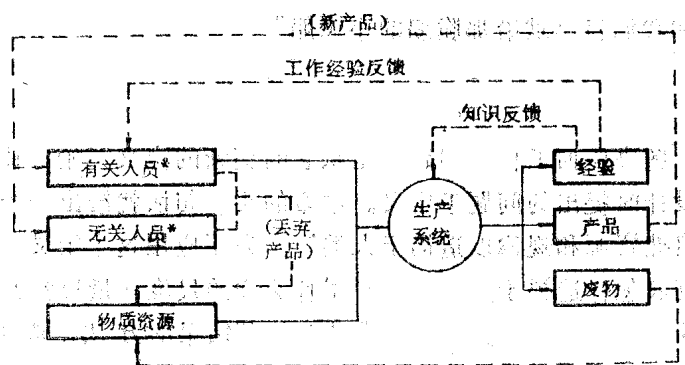
表1-1 构成LQI的因素略表

1. 身体健康
2. 物质利益
3. 安全性(犯罪率和事故率)
4. 环境(空气、水、土地和自然资源管理)
5. 文化教育(受教育率, 学校质量, 大学入学率, 成人教育机会, 图书馆和博物馆设施等)
6. 带缺陷群体的处理(身心障碍, 老年等)
7. 机会均等(和应用各种机会的积极性的激励)
8. 人身自由
9. 人口控制

为了说明LQI的概念, 表1-1列出了大多数人都公认应包括的一些重要因素。也许人们可以随意把某个他认为是最重要的因素指定为 100; 其它因素相应地用权重来衡量。每个因素乘上它的权重, 其总和为100。

表中所列都认为是很粗略和过分简化的思维方法的体现, 它涉及到一具体社会阶层在某一时间内达到的生活水平指数。但为了提供一个关于履行工程使命造福于人类的全面判断根据, 必须这样思考。

在工程设计和研究的广泛领域内工程师们所作的专门贡献, 在确定 LQI 中起着主要作用。所有人都依赖于为了满足物质的需要和生活的舒适, 进行创造性劳动所获得的各种产品, 为了提供这些产品, 工程师们在其工作中花费了毕生精力, 这个事实深为人们所感动。图1-1提出几种基本关系的图解表示。人口中的一部分人都在某些组织里工作, 这些组织完成如下一种或几种职能: 研究、设计、推广、生产、经营和工程产品维修。将这些人的努力和适当的自然资源一起投入生产系统, 将会产生有用产品、废料和经验。经验有以下两类: (1) 个人的直接工作经验, 这些经验是建设性的和可信的。(2) 关于整个系统效能的经验知识, 与系统的进一步改善有关。这些产品为所有人服务, 直至报废, 从而构成可长期或短期回收的物质资源, 同时也可能造成污染。



*包括研究、设计、推广、生产、经营、维修和回收产品人员。

图1-1 研制工程产品的社会关系

一个有效的生活水平指数应考虑精神因素, 一本这类书籍只能对这个广泛课题作最扼要的介绍, 但希望这有助于使学生产生持续的兴趣, 并关心这个基础问题。

我们知道人是多变的, 并且性格常常令人迷惑不解。但我们也知道有些固有的人类性格