

工程设计过程

[美] 尤塞夫·海克 (Yousef Haik) 编著
塔莫·M. 沙新 (Tamer M. Shahin)

曹岩 师新民 杨丽娜 译

2
EDITION

原著第二版

Engineering Design Process

化学工业出版社

Engineering Design Process

工程设计过程

[美] 尤塞夫·海克 (Yousef Haik) 编著
塔莫·M. 沙新 (Tamer M. Shahin)

曹岩 师新民 杨丽娜 译

2
EDITION

原著第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程设计过程 / [美] 海克 (Haik, Y.), [美] 沙新 (Shahin, T. M.) 编著; 曹岩, 师新民, 杨丽娜译.
北京: 化学工业出版社, 2012. 5

书名原文: Engineering Design Process
ISBN 978-7-122-13758-6

I. 工… II. ①海…②沙…③曹…④师…⑤杨…
III. 工程-设计 IV. TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039319 号

Yousef Haik, Tamer M. Shahin

Engineering Design Process (2nd edition)

ISBN: 978 0495668169

Copyright © 2011 by Cengage Engineering, a part of Cengage Learning.

Original edition published by Cengage Learning. All Rights reserved. 本书原版由圣智学习出版公司出版。
版权所有, 盗印必究。

Chemical Industry Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内 (不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾) 销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte. Ltd.

5 Shenton Way, # 01-01 UIC Building, Singapore 068808

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2011-0471

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签, 无标签者不得销售。

责任编辑: 瞿 微 王思慧
责任校对: 边 涛

文字编辑: 丁建华
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 3/4 字数 353 千字 2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

译者序

现代社会对生产与生活、物资与精神提出了更多更高的要求，科学技术的不断进步又为满足这些要求提供了新手段。这就需要设计人员学习和掌握现代科学设计理论和方法。本书从工程设计过程的角度，将各学科与工程设计有机融合，详细讲解工程设计过程的组成、各阶段设计人员应该掌握的方法、技术和手段，是工程人员所必须掌握的基本技能和高校机械类专业的重要课程。

本书是工程设计的入门教材，作为原著第二版，共包含 11 章。第 1 章导论，讲解了工程设计的定义、重要性、面临的挑战、设计过程、职业精神和伦理规范等内容；第 2 章基本通用技能，讲解了团队协作、时间安排、研究技巧、技术写作、表达方式等设计人员必须掌握的一些技能；第 3 章了解需求和收集信息（市场分析），讲解了问题的定义、信息收集、市场分析、相关的信息资源等内容；第 4 章客户要求，讲解了客户要求的确定、客户要求重要性的划分、组织客户要求等内容；第 5 章建立功能结构，讲解了功能、功能分解与功能结构、建立功能结构的步骤、反向设计等内容；第 6 章设计规格，讲解了性能说明方式、质量功能配置、质量屋等内容；第 7 章发展概念，讲解了开发工作结构、从功能上发展概念的步骤、头脑风暴、创造性等内容；第 8 章初步设计方案评估，讲解了备选方案的草图设计、设计思路评价、方案评估、概念评估等内容；第 9 章具体设计，讲解了产品绘图、原型、面向 X 的设计、安全考虑、人的因素等内容；第 10 章详细设计，讲解了分析、材料选择、材料选择理论、材料清单、几何尺寸和公差、成本分析、成本分类、成本估算方法、劳动成本、产品定价等内容；第 11 章设计项目，介绍了典型的设计项目。

本书紧紧围绕现代设计的系统化、并行化、创新性等特点，全面讲解工程设计过程的基本概念、原理和方法，在各章中穿插典型应用实例。本书本着系统全面、实用的原则，着重培养学生分析和解决具体工程实际问题的能力。每章后的习题可供教师根据实际需要选用，进一步培养学生的团队协作和设计技能。各章后附的相关参考文献，供教师和学生进一步扩展和深化相关内容。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业的本科生和研究生教材，也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校的机电一体化、数控技术及应用、机械制造及自动化等专业的教材，还可作为广大从事现代设计方法研究的工程技术人员和管理人员的参考资料或培训教材。

全书译文由西安工业大学曹岩和西安科技大学师新民统筹审稿。本书翻译的具体分工如下：张军锋翻译前言和第 1 章，喻鑫翻译第 2 章，师新民翻译第 3 章，张剑锋翻译第 4~6

章，杨丽娜翻译第 7 章，张小涓翻译第 8、9 章，付科锋翻译第 10、11 章。全书图和表的翻译和整理由杨丽娜、雷蕾、李常业、闵慧完成。

本书得到西安工业大学专著基金的资助，译者在此表示衷心的感谢。本书的翻译是为了借鉴国外在学生设计能力培养方面的思路和教学方法，深化我国在该方面的教学改革，而进行的初步探索。由于时间及译者水平所限，不足和疏漏之处在所难免，希望读者不吝指教，译者在此表示衷心的感谢。

译者
2011 年 8 月

前言

.....

设计依然是工程学科的焦点：它使工程学科区别于其他学科。从古到今，工程师们都在致力于解决棘手问题，诸如紧缺的水源、难以开采的矿物和必需的运送建筑材料等。古代的工程师们经常被召去参与设计，以便能够竖起高大的纪念碑、抵御强敌或者将人和货物运过崎岖的地面或汹涌的水体。

工程一词的英文“engineer”可以追溯到 11 世纪，来自拉丁词：“ingeniator”，原意指“有智慧的人”或者说“聪明人”。在科学革命发生之前，心灵手巧是由很多工具装置来展现的。这些工具装置的创造，依据一个简单的原则，一是作用性，二是作用原理。这一时期对自然的模仿也非常显著。例如，莱奥那多·达芬奇的很多发明中，设计飞行装置和连接欧洲与伊斯坦布尔的大桥为他赢得了“总工程师”的称号。伽利略处理问题时引入系统阐释和科学方法，被历史学家视为建立在科学价值和数学表述基础上的结构工程设计的标志。伴随着第一次工业革命，18 世纪初，法国开始建设重点围绕土木工程的工程类大学教育，英国则率先开始了机械工程方面的努力。工业革命引发了新机器和制造工艺的激增，并在全球范围内为科学和商业的发展提供了源源不断的动力。19 世纪中叶的第二次工业革命中，在多种工程学分支的推动下，大生产和自动化占据了主流。

我们在广阔范围内的设计中应用科学发现的能力深深地影响着现代生活方式。工程师们为了推出满足顾客需求的产品而尽其所能，对于完美的设计孜孜以求。

20 世纪早期，美国的工业企业中有一个普遍现象：先由娴熟的机械师发明出来，再由车间实验，最后由起草人抄录到纸张上。由于比在车间里一部分一部分复制节省成本，而且更加有效率，易于修正，书面综合便很快成为现实。最近的趋势已经发展为，在机械设计的过程中随时应用适合的理论。需要强调的是，所有的设计元素，诸如艺术、科学、工程、实践经验和智力等诸方面，都应该整合到设计流程中去。设计的成功，在于遵循逻辑步骤满足具体要求。这个步骤，即是设计流程，其按部就班的规程，与科学上的方法相似。通常情况下，工程师仅仅按照既定的顺序做完设计步骤并不能完成设计。设计流程，在其步骤框架内是一个多次进行的过程。在这个过程中，可能会发现新的信息，或者得出新的具体目标，那么，就需要重新考虑每一个步骤。事实上，工程师用来充分考虑问题本质和需求提示的时间越多，需要重复的概率就越少。

本教材是设计的入门课程。学生的专业技能要求是已经修过大学物理和微积分。对于有高等技术能力的学生，可以重点讲解设计顺序中的分析部分。

教材共包含 11 章。第 1 章是导论，讲解设计步骤的概况。第 2 章是设计者在设计流程前必须掌握的一些设计工具。一些工具是学生在今后的课程作业里要碰到的，在本章也做以介绍。第 3 章～第 9 章，讲解设计流程。作者意识到这些步骤的顺序可以按照教师的喜好做以调整。教师可以在不改变讲解材料的情况下调整讲解顺序。第 10 章探讨与设计造价相关的内容。第 11 章提供了一个可作为教师布置作业指示表的工程描述清单。本书作为第二版，

每一章后整合了设计实验的相关内容，其目的在于创造可以培养学生，尤其是大一、大二学生的团队协作。这些实验的前几个，是为团队建设而设计的。希望教师能够在设计课程时引入更多的活动。

感谢帮助写成这本书的所有同事和学生们，包括为本书提供了“实验 5 项目管理”的 Adnan Al-Bashir 博士。学生们则给作者提交了评价和建议。还要感谢以下为本书提供了宝贵意见的评论者，他们是：密歇根理工大学的 Thomas R. Grimm，奥博姆大学的 Peter Jones；多伦多大学的 Peter Eliot Weiss 和弗吉尼亚技术学院的 Steven C. York。

——尤塞夫·海克，塔莫·沙新

简要目录

第1章 导论	1	第5章 建立功能结构	107
实验1 伦理	21	实验8 反向设计	119
实验2 伦理与道德框架	25	第6章 设计规格	122
第2章 基本通用技能	33	第7章 发展概念	140
实验3 破冰——形成团队	35	第8章 初步设计方案评估	152
实验4 团队活力	43	第9章 具体设计	168
实验5 项目管理（微软项目管理 软件）	49	实验9 人体工效学	176
实验6 表达方式	71	第10章 详细设计	182
第3章 了解需求和收集信息（市场 分析）	79	实验10 材料选择指南	189
第4章 客户要求	93	实验11 几何尺寸和公差	192
实验7 客户需求评估——Kano 模型	103	实验12 使用 Pro/MECHANICA 进行结构分析图示	193
		第11章 设计项目	214

目录

.....

第 1 章 导论	1	2.2.2 团队的活力	41
1.1 教学目标	2	实验 4 团队活力	43
1.2 工程设计的定义	2	2.3 时间安排	45
1.2.1 设计层次	2	2.3.1 甘特图	45
1.3 工程设计的重要性和面临的挑战	3	2.3.2 关键路径法/计划评审法	46
1.4 系统设计介绍	4	2.3.3 关键路径法/计划评审法 的定义	46
1.5 设计过程	6	2.3.4 关键路径法或计划评审法 网络开发	47
1.5.1 确定客户需求	7	实验 5 项目管理（微软项目管理 软件）	49
1.5.2 市场分析（需求）	9	2.4 研究技巧	66
1.5.3 定义目标（需求）	11	2.5 技术写作和介绍	66
1.5.4 功能建立（产品理念）	12	2.5.1 撰写报告的步骤	67
1.5.5 任务说明（产品理念）	14	2.5.2 图解指南	68
1.5.6 概念化（解决理念）	14	2.5.3 写作的技术性细节	68
1.5.7 可能性评估（解决理念）	15	2.6 表达方式	69
1.5.8 具体化设计	15	2.6.1 目标	69
1.5.9 分析和优化	16	2.6.2 口头陈述的障碍	70
1.5.10 实验	16	2.6.3 口头陈述的注意事项	70
1.5.11 市场营销	17	2.6.4 口头陈述技巧	71
1.6 职业精神和伦理规范	17	2.6.5 问/答环节	71
1.6.1 美国国家专业工程师协会 （NSPE）伦理规范	17	实验 6 表达方式	71
实验 1 伦理	21	2.7 问题	75
实验 2 伦理与道德框架	25	2.7.1 团队活动	75
1.7 习题	30	2.7.2 个人活动	76
1.7.1 小组活动	30	2.8 参考文献	77
1.7.2 个人习题	30		
1.8 参考文献	31		
		第 3 章 了解需求和收集信息 （市场分析）	79
第 2 章 基本通用技能	33	3.1 目标	80
2.1 目标	34	3.2 定义问题：需求	80
2.2 团队协作	34	3.3 收集信息：明确需求	82
2.2.1 形成一个团队	35		
实验 3 破冰——形成团队	35		

3.4 怎样进行市场分析	82	5.3.2 功能树	110
3.4.1 确定问题	83	5.3.3 功能结构	111
3.4.2 构思策略	84	5.4 建立功能结构的步骤	113
3.4.3 组织和核实收集的信息	85	5.5 功能结构示例	114
3.5 相关的信息资源	85	5.6 反向设计	116
3.5.1 产品信息	86	5.6.1 反向设计示例:洗碗机	117
3.5.2 工业信息	86	5.7 反向设计示例:订书机	117
3.5.3 公司信息	87	实验8 反向设计	119
3.5.4 市场信息	88	5.8 思考	120
3.6 网络工具	89	5.8.1 团队活动	120
3.7 案例研究:自动铝罐粉碎机	89	5.9 参考文献	120
3.7.1 需求	89		
3.7.2 市场调研	89	第6章 设计规格	122
3.7.3 市场信息	90	6.1 目标	123
3.7.4 专利	90	6.2 性能说明方式	125
3.8 问题	91	6.3 个案研究:自动铝罐压缩机的设计规格表	127
3.8.1 小组活动	91	6.4 质量功能配置方式	128
3.8.2 个人活动	91	6.5 质量屋:自动铝罐压缩机	133
3.9 参考文献	92	6.6 思考	137
第4章 客户要求	93	6.6.1 团队活动	137
4.1 目标	94	6.6.2 个人活动	138
4.2 确立客户要求	94	6.7 参考文献	138
4.3 划分出客户要求的重要性	95		
4.4 个案研究:自动铝罐压缩机的要求	97	第7章 发展概念	140
4.5 组织客户要求:构建目标树	98	7.1 目的	141
4.6 个案研究:自动铝罐压缩机的设计目标树	101	7.2 开发工作结构	141
实验7 客户需求评估——Kano模型	103	7.3 从功能上发展概念的步骤	142
4.7 思考	105	7.4 头脑风暴	144
4.7.1 团队活动	105	7.4.1 头脑风暴法的原理	144
4.8 参考文献	106	7.4.2 构思	144
		7.5 创造性	145
第5章 建立功能结构	107	7.5.1 如何提高创造性	146
5.1 目标	108	7.6 建立理念——实例	147
5.2 功能	108	7.6.1 机械通风口	147
5.3 功能分解与功能结构	109	7.6.2 轮椅取回装置	148
5.3.1 “边界”与整体功能图	109	7.6.3 自动式容器破碎机	148
		7.7 问题	150
		7.7.1 团队活动	150
		7.7.2 个人活动	150

7.8 参考文献	151	10.4 材料选择理论——概述	186
第8章 初步设计方案评估	152	10.4.1 密度	186
8.1 学习目标	153	10.4.2 熔点	186
8.2 备选方案的草图设计	154	10.4.3 线性热膨胀系数	186
8.3 评价所选设计思路	154	10.4.4 导热性	187
8.3.1 皮尤评价矩阵	155	10.4.5 材料的强度	187
8.3.2 决定矩阵	156	10.4.6 延展性	187
8.4 方案评估：机加工车间套件	158	10.4.7 疲劳特性	187
8.5 概念评估：自动瓶罐粉碎机	163	10.4.8 冲击特性	188
8.6 课后问题	167	10.4.9 硬度	188
8.6.1 集体活动	167	10.5 材料清单	188
8.6.2 个体活动	167	实验10 材料选择指南	189
8.7 参考文献	167	10.6 几何尺寸和公差	190
第9章 具体设计	168	实验11 几何尺寸和公差	192
9.1 学习目标	169	实验12 使用 Pro/MECHANICA 进 行结构分析图示	193
9.2 产品绘图	170	10.7 详细设计：机械化蔬菜 收割机	197
9.3 原型	171	10.8 成本分析	203
9.4 面向 X 的设计 (DFX)	172	10.9 成本分类	204
9.4.1 面向制造的设计	172	10.10 成本估算方法	205
9.4.2 面向装配的设计	173	10.11 劳动成本	207
9.4.3 面向环保的设计	173	10.12 产品定价	207
9.5 安全考虑	173	10.12.1 损益平衡图	207
9.5.1 安全分析技术	173	10.12.2 线性规划	208
9.6 人的因素	174	10.13 习题	210
9.6.1 人类感应能力	174	10.13.1 小组习题	210
9.6.2 人体测量数据	175	10.13.2 独立习题	212
实验9 人体工效学	176	10.14 参考文献	213
9.7 解决的问题	181	第11章 设计项目	214
9.7.1 团队活动	181	11.1 设计项目规则	215
9.8 参考文献	181	11.2 自动铝罐粉碎机	216
第10章 详细设计	182	11.2.1 目标	216
10.1 学习目标	183	11.2.2 设计规范	216
10.2 分析	183	11.3 硬币分拣竞赛	217
10.3 材料选择	184	11.3.1 目标	217
10.3.1 材料分类和特性	184	11.3.2 约束条件	217
10.3.2 材料选择程序	185	11.4 太阳能玩具车模型	217
10.3.3 主要加工方法	186	11.4.1 目标	217

11.4.2 设计规范	217	11.10 治疗轮椅模型	220
11.5 车间培训工具包	218	11.11 一次性血泵	220
11.5.1 设计规范	218	11.12 贩卖机	220
11.6 购物车	218	11.13 小组项目	221
11.6.1 设计规范	218	11.13.1 项目	221
11.7 机械通风口	219	11.13.2 原料	221
11.7.1 设计规范	219	11.13.3 机械加工	221
11.8 全地形车	219	11.13.4 项目提交	221
11.9 珍雨伞	219		

第 1 章

导论



工程设计过程中，第一步是召开设计会议。在设计会议中，工程师、技术员和其他成员得出方案来满足特定的顾客需求。(Zsolt Nyulaszi / Shutterstock)

1.1 教学目标

到这一章完成时我们应该能够：

1. 定义工程设计；
2. 理解工程设计的重要性及面临的挑战；
3. 理解设计过程程式化、系统化的必要性；
4. 设计步骤及简要定义；
5. 区分不同系统设计模型的差别；
6. 探讨专业伦理问题及伦理学的职业规范。

1.2 工程设计的定义

工程设计的正式定义出现在工程技术认证委员会（The Accreditation Board for Engineering and Technology, ABET）的教学大纲中：工程设计是为满足目标需求而创造某种系统、部件或方法的过程。这是一个决策过程（通常是反复的），在这个过程中，需要使用基础科学、数学以及工程科学来优化转换组合资源以实现特定目标。设计过程的基本组成部分包括目标和标准的建立、合成、分析、构筑、测试和评估。工程设计课程的内容必须包括下列特点：学生创造力的开发，无标准答案问题的使用，现代设计理论和方法学的开发和使用，设计问题表述和规范的说明，生产过程，并行工程设计，以及详细的系统描述。此外，加入一些实际约束也是必要的，例如经济因素、安全性、可靠性、美观性、道德规范和社会影响等。

1.2.1 设计层次

在人类活动的任何领域中，都有不同的难度层次。在设计中，这些层次是改装设计、改进设计和全新设计。

- **改装设计**：在绝大部分的示例中，设计师的工作主要是对现有的设计进行改装。在制造业的一些分支中，改进工作已经停止了。因此设计师能做的工作非常少。除了一些细微的修改，通常是产品尺寸的改变。这种类型的设计不需要特殊的知识或者技能，受过普通技术培训的设计者就能解决出现的问题。例如，电梯的在设计理念和技术迄今基本上没有什么变化。洗衣机也是如此，设计理念多年未变，所不同的仅仅是一些诸如容积、材料以及不同动力规格之类的参数。
- **改进设计**：改进设计需要相对更多的科技培训和设计能力。设计者从现有设计出发，但是最终结果和原始产品会有很大的不同。例如汽车从手动变速器发展到自动变速

器,电视机从电子管发展到等离子电视和液晶电视。

- **全新设计**: 只有很少的设计是全新设计。这种设计难度最大,要激发全新设计理念,设计者除具有创造力、想象力、洞察力及前瞻能力之外,还精通所有已有技术。例如第一辆汽车、飞机甚至第一个轮子的发明(很久以前),还可以想一下十年来引入的全新设计。

1.3 工程设计的重要性和面临的挑战

根据前述定义,显而易见,设计既是科学过程,也是创新过程。阿尔伯特·爱因斯坦曾断言想象力比知识更加重要,因为知识是有限的,而想象力是无限的。

设计不是从工程制图程序包 Pro/Engineer™ 或者什么 AutoCAD™ 开始的,认识到这点是非常重要的。这种工程制图可以从某种意义上看做最终设计的“实验报告”,因此上只是你通过设计与他人交流的方法。在此之前有很多步骤,这些步骤将在本章中进行讨论,更为细节的问题则在余下来的章节中有阐述。当然,随着计算机软件包更加先进,设计师在设计过程中可以更早一点使用它来帮助自己的设计。不过,设计是一个创新的过程,大部分灵感不得不出于设计师。

设计被广泛地认为是产品开发最重要的步骤之一。实际上,没有设计就没有产品。不仅如此,不管制造、生产、销售等做得再好,如果产品设计得不好,最终产品理念依然落后,这样的理念终究会失败,因为没有人喜欢购买糟糕的理念。

绝大多数消费者不会关心也没兴趣关心产品的具体技术规格或制造过程的效率。消费者在决定购买之前首先会看产品的设计和外观,接下来是产品的可靠性及质量,再下来是价格。想想人们是怎样购买咖啡机和手机的!

值得注意的是,很有趣,这里价格并不总是首要关注点。如果能看到优点,很多人宁愿多花一点钱,而优点通常就是由设计来体现的。有时候,人们购买一件商品是因为它贵,质量有保证,或者是名气(没有人是冲着便宜买劳斯莱斯或罗莱克斯的!)。虽然如此,大多数情况下,设计过程之一就是要为最低成本而设计,以求产品在市场上更具竞争力。

包括英国贸易与工业部(DTI)在内的很多消息源都发现将资金和资源投入到设计阶段会获取产品投资的最大利润。原因之一是在这一早期阶段变动是轻而易举的,然而到了后来,制造方法的改变等不管对时间还是资金,都耗费巨大。

贯穿历史,人类也已成功设计了人造物品来满足文明需要。历史充满着伟大的设计和发明。最近,设计被要求迎合现存需求、减少风险或不便或者开发新型方法。并非所有工程师都有成功设计。偶尔也会有灾难性的失败发生。现将一些很有名的与工程系统相关的灾难列举如下。

- 1996年发生的切尔诺贝利核电站事故。世界卫生组织说,这次事故导致336000人被疏散和迁移,56人死亡,儿童中发现甲状腺癌4000例,大约660万人严重暴露在射线线下。
- 1986年挑战者号航天飞机在右侧固体火箭推动器O形密封圈破裂后爆炸。爆炸导致燃料泄漏至外置燃料箱。航天飞机在升空73s后爆炸,机组人员无一幸存。
- 1988年一架波音737在飞行中,机舱顶板丢失,导致一名机组人员被吹出飞机。出

4 工程设计过程

现这一事故，两个因素难辞其咎，一是飞机使用期过长，二是根据设计，依赖控制型弹回器区减压。

- 1981 年，堪萨斯市 Hyatt Regency 宾馆开张后，人行天桥垮塌。人行天桥的铁栏设计中没有考虑承受综合重力，2000 人走上天桥，200 人受伤，114 人死亡。
- 1979 年，一个引擎螺旋架的碎裂导致引擎失效，一架 DC-10 飞机坠毁，273 人丧生。
- 2000 年，由于油箱的设计布局，一架协和飞机坠毁，113 人丧生。飞机在跑道上撞上碎渣，轮子爆胎导致油箱破裂。协和式飞机的适航证书被撤销，所有协和式飞机 15 个月不得升空，最终导致超音速客机的消失。
- 2003 年哥伦比亚号航空飞机坠毁，其原因被指是从外置燃料箱两脚架接合部分离的碎片击中飞机下部或哥伦比亚号的引导舱边缘。

沃尔顿列举了绝大多数工程设计失败的原因：

- 错误或过于延展的假设
- 对亟待解决问题认识不清
- 设计参数不正确
- 设计及组装错误
- 设计中的计算错误
- 试验不完全和数据收集不充分
- 制图错误
- 对于正确设想的错误论证

可以看出，所有的失败例子及其灾难性的失败都可以用沃尔顿列举的一点或者几点说明和归类。

然而，即使设计在技术上取得成功且没有发生失误，许多设计仍然没有达到预期的期望目标，很多达到了这一目标却并不为使用者所接受。那么，为什么很多人会失败在设计上呢？答案之一是设计固有的难度和主要挑战。设计者不仅仅必须有创造力和技术技巧来实现自己的想法，而且还要有某种方法预测未来。他们需要预测产品生命从视觉化到实现再到终结的每一个步骤和产品在回收后如何处理。这就意味着设计者需要开发一款投资人喜欢并给予资金支持（如此等等）的产品，并把生产者、分销商、零售商、消费者、操作者和社会作为一个整体来对待。

更为复杂的是，每个人对于产品应该如何设计所持的观点和要求都不一样。一对在同一环境下长大的一模一样的双胞胎轻松走进一家商店，一个拿起手机说这是他见过的世界上最漂亮的手机，另一个却会觉得那部手机很难看。这就使得预测人们是否喜欢和使用设计者开发的产品具有某种挑战。

因此，我们引入系统设计过程来帮助引导设计者在不阻碍创造力的情况下实现自己的目标。下一节将详细讨论这一问题。

1.4 系统设计介绍

工程专业的学生在培训中接受了大量的理论材料和信息。只有面临把所学的东西合乎逻辑

地应用到具体目标中去的任务时，他们才会发现自己的弱点。对于熟悉的模型或者已有的设计，拥有的知识完全能够让他们按照常规方法找到解决方案。而一旦被要求将已有的东西发展到更加先进的阶段或者创造并无先例的崭新设计时，他们会遭遇惨败，除非他们已经达到更高的理解层次。没有一套指导原则，就会茫然于开始，模糊于结局目标。设计过程形式化，可以使学生和专业的设计者能遵循系统方法来设计，帮助他们引导自己的创造力和技术问题解决技巧，从而取得满意结局。

系统设计过程有多种形式。不同的人列出的步骤少至4步多至9步，不过主要都围绕相同的基本原则如下。

- 要求
- 产品理念
- 解决理念
- 实现设计
- 细节设计

设计程序最重要的步骤是发现顾客需要或者“需求”阶段。不过，在此之前，搞清楚顾客是什么人也很重要。这里的关键观念是顾客并不仅仅是终端顾客。产品的顾客包括所有在产品有效期内的一些阶段有关系的所有人。例如，产品的出售者也是顾客。设计师必须让产品具有吸引力，卖家才愿意投放广告和营销它。再如，产品在有效期内的操作中，其服务提供者和维护者也是顾客。如果一个产品很难维护或提供服务，独立的服务提供商会积极推荐其他产品或提高服务收费标准。如此情况，让我们来看一看一架飞机的可能消费者吧。包括：

- 乘客
- 机组人员
- 飞行员
- 机场
- 工程师和服务人员
- 加油公司
- 航空公司
- 制造和生产部门
- 行李搬运人
- 保洁公司和餐饮公司
- 销售和营销人员
- 财务出纳部门
- 军方/邮局/货运公司/等等
- 官方机构和管理部门
- 外包项目相关公司

这些顾客中的每一个对同一产品都有完全不同的（甚至是相互冲突的）需要，通过先发现这些顾客，找出所有需要才成为可能，才能根据优先和可行的原则达成合理的妥协。

大多数时间里顾客对需要的表述比较笼统，这时，工程师应该确定顾客的具体需要。例如，我们被要求设计一种可供儿童使用的椅子。很明显，我们都知道怎么样坐椅子，所以，从这个角度讲，我们了解椅子的工作原理。椅子是用来坐的。然而，这种描述并没有说出那