

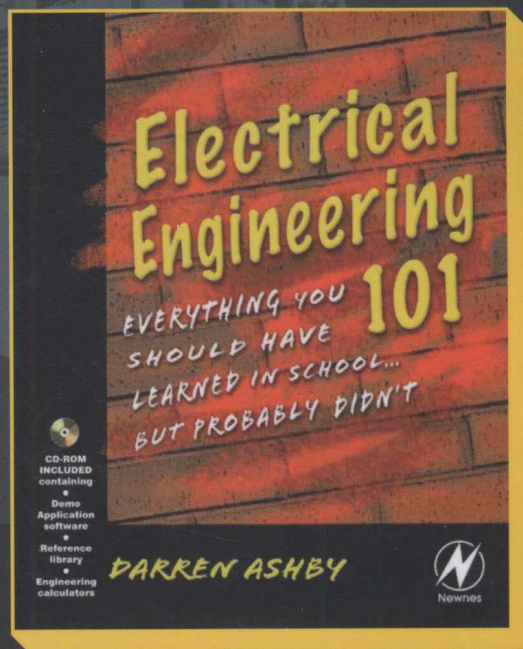
电子电气工程师 必知必会

Electrical Engineering 101

Everything You Should Have
Learned in School but Probably Didn't

[美] Darren Ashby 著
尹华杰 等译

教会你大学里
学不到而工作中至关
重要的知识和技能



TURING

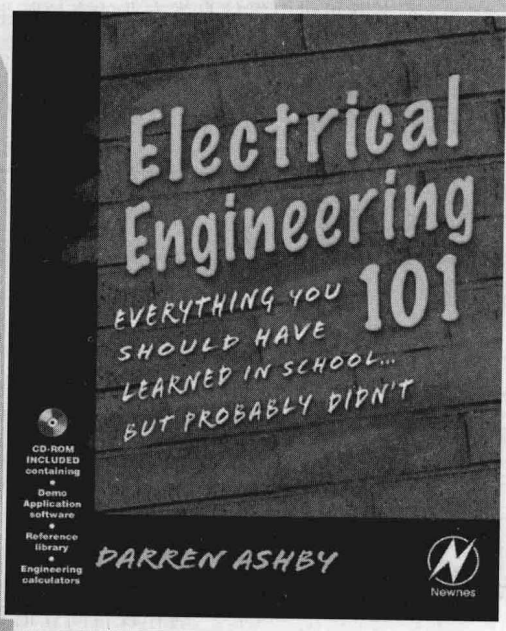
图灵电子与电气工程丛书

电子电气工程师 必知必会

Electrical Engineering 101

Everything You Should Have
Learned in School but Probably Didn't

[美] Darren Ashby 著
尹华杰 等译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电子电气工程师必知必会 / (美) 阿什比 (Ashby, D.)
著; 尹华杰等译. —北京: 人民邮电出版社, 2009.1

(图灵电子与电气工程丛书)

书名原文: Electrical Engineering 101: Everything
You Should Have Learned in School, but Probably
Didn't)

ISBN 978-7-115-18862-5

I. 电… II. ①阿… ②尹… III. ①电子技术—高等学校—
教材②电气工程—高等学校—教材 IV. TN TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 142073 号

内 容 提 要

本书从实际工作需要出发, 对一名现代电子电气工程师在日常工作中最为关键的知识点进行了总结, 从简单的R、L、C元件, 到复杂的运放、微处理器/微控制器、数模/模数转换器、电机、电源, 再到元件的非理想性、电路的可靠性设计、仿真、焊接, 以及电路和软件的故障处理等等, 文字生动幽默。此外, 本书还以较大的篇幅, 介绍了作者作为研发部门的管理者, 在人际沟通、管理等方面的心得体会。

本书既可供电气信息类专业的高校师生参考, 也适合电气工程师阅读。

图灵电子与电气工程丛书

电子电气工程师必知必会

-
- ◆ 著 [美] Darren Ashby
 - 译 尹华杰 等
 - 责任编辑 舒 立
 - 执行编辑 马晓燕
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 14.75
字数: 273 千字 2009 年 1 月第 1 版
印数: 1-4 000 千字 2009 年 1 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2008-3335 号

ISBN 978-7-115-18862-5/TN

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010) 88593802 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

译者序

本书不是严格意义上的专业书，而是一位资深电子电气工程师及技术开发部门的管理者，从个人经验的角度写出的心得体会，它能够帮助读者强化电子电气工程的专业基础，指导读者进行科研开发、项目管理、人际沟通。

本书的作者在自己的科研和管理工作以及在人员招聘的过程中，看到有太多的电子电气工程专业的学生及工程师，由于没有打牢基础知识而常常碰壁，所以萌生了写作本书的念头。如果去问问那些已经毕业很多年的工程师们，我猜想，记不准并联电阻的求法、记不准滑动摩擦的定义者，恐怕也大有人在。因此，为电子电气工程专业的学生、工程师乃至老板们提供一本可以巩固本学科基础知识的读本，是十分必要的。

电子电气工程中的概念看不到、摸不着，其中的公式、原理比较抽象难懂。我在读中学的时候，曾经有这么一个想法：“如果有这样的作家，能够把我们学生要学的公式和原理，写成学生们爱读、读起来轻松愉快的类似小说的读本，或者干脆就把这些知识巧妙、有机地融合在一本小说里，让我们在读小说、看故事的时候，顺便就把这些难懂、难记、难学的知识学会了，那该有多好。”我不敢说Darren Ashby先生的这本书完成了我的这个梦想，但我认为它确实是朝我梦想的方向迈进了一步。其理由如下。

其一，本书的作者自称是“语文不太好”的人，所以在阐述电子电气工程的基础知识时，采用了很多通俗的、形象化的比喻，而没有像许多大牌学者写书那样，以为读者什么都懂而采用大量晦涩难懂的专业术语。这使得本书成了一本简单易读的好书。本书作者在阐述电子电气工程的基础知识时，穿插了一些自己的亲身经历、故事及日常生活中的一些人人都感兴趣的话题，譬如《星球大战》、《星际旅行》、《呆伯特》等电影或小品中的人物、故事等，这就像老师给我们上了一堂不仅有知识、而且还有笑话的好课一样。

其二，本书介绍的电子电气工程知识没有局限在某一门课程，而是覆盖了电子电气工程的大量基础和专业课程，包括电路原理、模拟电路、数字电路、电机、电力电子、开关电源、自动控制、电磁兼容等，其内容从简单的R、L、C元件，到复杂的运放、微处理器/微控制器、数模/模数转换器、电机、电源，再到元件的

非理想性、电路的可靠性设计、仿真、焊接，以及电路和软件的故障处理等，这都是现代电子电气工程师需要经常与之打交道的知识。对于这些内容，作者不是像教材一样进行一一介绍，而是从自身的实践，用尽可能浅显的语言，来总结自己对这些内容的心得体会。

其三，本书不仅具有以上所述的丰富内容，还为读者提供了一些新颖的思维方法，例如书中介绍的单位代数、元件可视化、直觉分析法、积木工程法等，都是令读者感到豁然开朗，可以开扩视野、避免死记硬背的巧记、巧学、巧算、巧用的好方法。

其四，本书还介绍了作者作为技术开发部门的管理者，在项目管理、人员管理、人员招聘与解聘等方面的经验，对于指导人们如何进行科研开发、如何做好一名电子电气工程师及科研管理者、如何与同事及上下级协调相处等，提供了宝贵的建议。

最后，作者还将全书所述的内容，归纳成了简单易记的“经验法则”。通过阅读本书，Darren先生在电子电气工程领域中丰富的工作经验也就成了读者自己的经验了！Darren先生花了近20年才积累起来的知识和经验，读者只需读上一两遍就可以掌握，这不能不说是Darren先生送给大家的一份礼物。

本书的翻译工作，得到了许多同事和研究生的帮助，在此不一一具名。对于他们的协助，译者表示衷心感谢。

由于译者才疏学浅，译词失当、疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指正。

尹华杰 于广州华南理工大学

2008年5月

前 言

写在前面的话

我写作本书的意图在于，想把我认为在学校教育中容易被遗漏的或随着时间流逝容易淡忘的基础知识收集在一起。我热切希望，当一个新手向你请教的时候，本书能够出现在你推荐给他的翻破了的书中。有些基础的知识是电气工程行业的每一个学生、每一个工程师、每一个管理者以及每一个老师都应该掌握的！

我的口头禅是：“并没有那么难！”很多年以前，我大学里的一个辅导老师曾经很自豪地告诉我，他们刷掉了一半以上刚开始修读电气工程专业课程的学生。我当时并没有说什么。不过我总在想，如果你让许多学生过不了关，那对于要教好这门课程的老师，不也是一种失败吗？我之所以总说“并没有那么难”，是想强调这样的事实：像我这样一个语文不太好的人，也能够理解电气工程的世界。这意味着你也一样能行！我所持的立场不同于多年前的这位老师，我坚信每个想搞懂这个专业的人必定能够搞懂它。我相信大多数读过本书的人都将有所收获。也许将来的某个时候应该出一个统计结果，展示给上面提及的这位辅导老师。这位辅导老师曾建议我放弃这个专业，但我挺过来了。也祝大家好运，请继续读下去以证明我的正确——“并没有那么难！”

一点说明：在本书每个部分的结尾，我归纳了一些要点，称之为“经验法则”。顾名思义，这些“经验法则”表述的概念对于那些真正优秀的工程师来讲都应该是熟知的，正是这些概念在一直引领着他们获得正确的结论和解答。如果某部分内容你不想仔细读了，至少确保掌握经验法则的内容。本书中，你将学到经过提炼的核心概念，这是你绝对应该掌握的。谢谢你给我传授一些理念的机会。我衷心希望你觉得它们有用、有趣而又富于教益。

概述

致工程师

毫无疑问，我们周围有许多好老师，同时我相信你也打好了基础，但是时间

以及日常繁琐的工作让你遗忘了一部分基础知识。如果你也像我一样的话，那你一定找到了一些真正的好书，在需要的时候经常翻阅。这些书往往将你要用到的一些知识解释得很清楚、明白、易懂，我希望本书就是这类书中的一本。

你也有可能像“离开水的鱼”，本来是一个机械工程师，但却被放入了电气工程的世界里，需要对电气工程获得基本的了解，以便同周围的电气工程师们一起工作。如果你对本书中介绍的原理有良好的理解，那我保证你将至少能使那些“点子王 (sparky)”（我喜欢这样称呼电气工程师们）对你处理问题的直觉感到惊奇。

致学生

我并非想要打倒学院式的教学体系，但我觉得，似乎有太多的学生是以“填鸭”的方式在学校里通过各门课程的。你当然知道我指的是什么！我所指的就是这样一种学习模式：听课、记住教师要你你知道的所有知识、参加考试、在正确的地方填上正确的内容，最后完成了整个课程却没有带走半点实用的知识或技能。我认为许多学生是由于老师们没有花时间为自己负责的课程做好基本工作，而被迫进入了这种模式的。因为学生们承受着强大的压力，他们要避免悬在自己头顶上的红灯亮起来。实际上，如果在课程结束的时候，你能够对一门课程建立起基本的、直觉的理解，那么你应用这些基本知识所能取得的成功，要比应用相应的课程大纲结尾处的任何知识所能取得的成功都要大得多。

致管理者

工程经理们的工作要比Dilbert®（呆伯特）卡通片中头发直竖的那些老板的工作多得多。有一个事实许多经理不了解，即工程师们欢迎上司对他们所做的任何工作进行真正有见地的干预。请注意我说的是“真正有见地的”，你不能把你刚刚在食堂里学来的一些新概念传递给工程师们，并要求他们予以注意。然而，如果你理解了本书中的这些基础，那么我相信你总有机会正确地对工程师们进行指点。因此你将高兴地看到项目进展得更加顺利，工程师们增加对你这个老板的尊敬，他们甚至会把那些摆在桌上、用来发泄怨气的头发直竖的Dilbert卡通玩偶扫地出门！

致教师

请不要误解——我并没有说所有的老师都不好。事实上，除了一两个之外，我所遇到的老师都是很好的指导者。然而，有时我认为是教学体系存在着缺陷。

例如一门课程覆盖了X、Y和Z等内容，但由于来自系主任的压力，有时可能牺牲了更为基础的X和Y，而直接讲授Z。我曾有机会在自己的母校教了一个学期的课，所讲授课程的有些章节就被直接跳了过去。我希望给老师们多一个工具，以帮助你们把悬在学生们头顶上灯泡的开关翻到“及格”或“通过”的位置。

致 谢

没有任何一本书是一个人可以完成的。任何个人的知识都汇集了各种经验和教训。我衷心感谢以下这些人，是他们使得本书得以成印：

我的父亲，是他的常识和阅历告诉我：“你可以做成别人认为不可能做成的事。”

我的母亲，感谢她传给我精明的基因，感谢她坚信自己的孩子是完美的。

我的妻子，感谢她的耐心和鼓励，感谢她承担了本来应该由我来做的许多事情，从而让我能够空出时间来完成本书。

我的孩子们，感谢他们理解为什么爸爸每次陪他们玩耍都不能善始善终、为什么每晚必须在办公室呆到很晚。

我的兄弟Robert，我是同他一起踏上写作历程的；以及Steve Petersen，我的一个密友及充满抱负的工程师，是他完成了本书最后的绘图工作。

感谢所有我想念的人，我向未能列出的其他应该感谢的人表示歉意，请联系我，我请客！

目 录

第1章 必知必会的知识点	1	2.4.3 反馈	49
1.1 单位的重要性	1	第3章 电气器件	52
1.1.1 单位代数	1	3.1 部分导电	52
1.1.2 有时“几乎”就是“足够好”	2	3.1.1 半导体	52
1.2 使电气元件可视化	4	3.1.2 二极管	52
1.3 直觉的方法——直觉信号分析	8	3.1.3 晶体管	54
1.4 “积木”工程	11	3.1.4 场效应晶体管 (FET)	57
第2章 基本理论	14	3.1.5 一些不常见的半导体器件	58
2.1 基本原理	14	3.1.6 功率和发热管理	59
2.1.1 欧姆定律	14	3.2 神奇的运放	63
2.1.2 分压原理	18	3.2.1 正确使用运放	63
2.1.3 电容阻碍电压的变化	19	3.2.2 运放的原理	63
2.1.4 电感阻碍电流的变化	22	3.2.3 负反馈	66
2.1.5 元件的串、并联	24	3.2.4 正反馈	70
2.1.6 戴维南定理	27	3.2.5 运放的其余知识	73
2.2 这些与频率有关	31	3.3 这就是逻辑	74
2.2.1 AC/DC与一个小秘密	31	3.3.1 二进制数	74
2.2.2 恒定电压源与恒定电流源	32	3.3.2 逻辑	76
2.2.3 直流	33	3.3.3 状态机	83
2.2.4 交流	33	3.4 微处理器/微控制器基础	84
2.2.5 回到电容和电感	35	3.4.1 微控制器原理	84
2.2.6 低通滤波器	36	3.4.2 结构	86
2.2.7 高通滤波器	38	3.4.3 算法程序	88
2.2.8 有源滤波器	39	3.4.4 关于I/O (输入或输出) 的注意事项	92
2.3 磁场与电场	41	3.4.5 以简单模块为起点	93
2.3.1 磁场	42	3.5 输入和输出	94
2.3.2 电场	44	3.5.1 输入	94
2.4 保持在控制之中	46	3.5.2 输出	98
2.4.1 系统的概念	46	第4章 真实世界	104
2.4.2 阶跃输入	48	4.1 模拟量与数字量	104
		4.1.1 相互转换	104

4.1.2 模拟与数字	104	5.3.2 焊丝	159
4.1.3 A (模拟) 到D (数字) 的 转换及反向过程	106	5.3.3 拆焊	161
4.2 ADC离不开DAC	108	5.4 “人际”工具	162
4.3 让物体动起来——机电的 世界	112	5.4.1 生产厂家	163
4.3.1 DC电机	113	5.4.2 销售代表	163
4.3.2 交流及通用电机	126	5.4.3 分销商	164
4.3.3 螺线管 (solenoid)	127	5.4.4 现场应用工程师	164
4.3.4 继电器	127	5.4.5 设计采用	165
4.3.5 “捕蚊子” (catching fly)	128	5.4.6 直购	165
4.4 供电	129	5.4.7 总结	166
4.4.1 电压的需求	129	第6章 故障排除	167
4.4.2 线性电源	130	6.1 排查故障前的准备	167
4.4.3 开关电源	132	6.1.1 科学鸟枪方法	167
4.5 当元件不理想时	135	6.1.2 排除故障不难学习	168
4.5.1 无处不在的R、L、C	135	6.1.3 始于易	169
4.5.2 误差源: 理想与实际	137	6.1.4 跳出专业看问题	169
4.6 可靠性设计	140	6.1.5 注意细节	170
4.6.1 外部世界与内部世界	140	6.1.6 对比排查	170
4.6.2 学会适应	143	6.1.7 再谈估算	171
4.7 我所偏爱的一些电路	146	6.1.8 故障重现	171
4.7.1 组合达林顿对管	146	6.1.9 根源	172
4.7.2 DC电平移位器	147	6.1.10 问题分类	172
4.7.3 虚拟地	147	6.1.11 消除故障	173
4.7.4 电压跟随器	147	6.2 机器中的幽灵——EMI	174
4.7.5 AC放大器	148	6.2.1 EMI的本质	174
4.7.6 反相振荡器	148	6.2.2 魔鬼的招数	174
4.7.7 恒流源	149	6.2.3 传导的EMI	174
4.7.8 积累你自己的电路集	149	6.2.4 辐射的EMI	175
第5章 工具	150	6.2.5 处理EMI	176
5.1 让不可见的可见	150	6.2.6 用破坏来证明你能够修复	176
5.1.1 万用表	150	6.2.7 时机就是一切	176
5.1.2 示波器	152	6.2.8 压力之下	177
5.1.3 逻辑分析仪	155	6.2.9 要为意外做好心理准备	177
5.2 仿真器	156	6.2.10 不是每个元器件都产自同 一个模子	177
5.2.1 理论与实际	156	6.2.11 控制环境	178
5.2.2 功能强大的工具	157	6.2.12 穷人的EMI试验	179
5.2.3 培养直觉	157	6.2.13 记录解决方案, 积累 经验	180
5.3 电烙铁	158	6.2.14 空中的EMI	180
5.3.1 4个基本条件	158	6.2.15 导线中的EMI	180

6.2.16 结论	182	7.3.2 写作	200
6.3 消除漏洞的对策	183	7.3.3 切中要害	201
6.3.1 无漏洞的软件也许不存在	183	7.4 给经理的寄语	203
6.3.2 大量而全面的测试	184	7.4.1 做服务者	203
6.3.3 重现问题	184	7.4.2 做缓冲者	203
6.3.4 设置追踪器	185	7.4.3 做激励者	203
6.3.5 再次破坏	185	7.4.4 要理解工程师们	204
6.3.6 捉虫	186	7.4.5 最好的经理在多数时候都是 对的	204
第7章 人际沟通	187	7.4.6 在平凡之辈中找出“射击” 能手	205
7.1 人际关系技巧	187	7.5 给雇员的寄语	208
7.1.1 上级	187	7.5.1 如何得到一份工作	208
7.1.2 同级	190	7.5.2 最后一点考虑	210
7.1.3 下级	191	7.5.3 如何保有一份工作	210
7.1.4 行政助理	193	7.5.4 最后一点慎重考虑	211
7.2 做一个外向的内向者	193	7.6 如何制造一个伟大的产品	212
7.2.1 一切都取决于你的观点	193	附录	216
7.2.2 想象	195	参考文献	222
7.2.3 自我暗示	196	后记	223
7.2.4 打破自己的“壳”	197		
7.2.5 反复练习	198		
7.3 交流技巧	199		
7.3.1 口语	199		

第1章 必知必会的知识点

还记得曾修过的电气工程引论课程吗？多数情况下，我敢打赌你已经不记得自己是否曾上过一门编号为101的课程^①了。当然你也许还记得曾修过这么一门课程，但就像我所修过的一样，没有什么价值！事实上，除了它被认为是一门“工程引论的课程”之外，我已经记不起关于它的任何东西了。

直到后来上到四年级以及毕业后，我才学到了一些十分有用的通用的工程方法。它们如此实用，以至于我真心希望在我大学课程开始的时候，学校就先教其中的至少三种方法。事实上，我坚信这是任何有抱负的工程师都应该掌握的最基本的知识。我敢担保，只要你在每天遇到的挑战中都使用这些知识，你就会变得越来越成功；不仅如此，同你一起工作的每个人还将认为你是个天才！而你若还是学生的话，那么当你读到这些内容时，你会吃惊地发现，使用这些技巧能够解决大量的问题。它们是后续教学内容的基石！

1.1 单位的重要性

这个技巧是在我大学四年级时，一位我喜欢的老师反复灌输给我的。在学会这个方法之前，我一直靠强记大量公式来应付考试。在我应用这个技巧之后，我发现只需几个方程及少量的代数运算，就可以求解几乎所有题目。这确实是我为之欢呼的时刻，好像一瞬之间整个世界有了色彩！你还记得物理课上那些梦魇一般的解题经历吗？而如果利用下面介绍的单位代数的话，这些问题将变成小事一桩；你甚至不用费力，就可以得出它们的解答来。

1.1.1 单位代数

在这个技巧中，物理量的单位变得十分重要。不能因为计算器无法处理单位，就将单位丢在一边不管。事实上，应该先弄明白答案所需的单位是什么，然后再返回问题，从而构思出应该如何来求解问题。在我们用数字求解之前，应该先做

^① 美国大学的课程一般以系为单位，都有一个编号。该编号的前面几位是英文字符，对应开出该课程的院系名称的缩写，后面三位是数字，由101开始，直到4XX，数字越大，表示难度越大，开课的时间越后。例如，EE101代表电气工程引论，ECE101代表电气与计算机工程引论等。——译者注

完以上的工作。这个方法的基本思想在代数课是学过的，但没有人教我们用它来处理单位。下面举一个很简单的例子：

已知一辆车在1min内能行驶1mile，请用每小时的英里数（mile/h，1mile = 1.61km）来表示该车的速度。

我们需要做的第一步是弄清楚答案的单位。在这里，我们的单位是mile/h或英里每小时。如下所示（切记“每”意味着“除以”）

$$\text{答案} = \text{某数} \times \frac{\text{mile}}{\text{h}}$$

下面将你所拥有的数据，按答案要求的单位，进行组合

$$1\text{mile} \times \frac{1}{1\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = \text{答案}$$

记住：分子中的任何单位，可以与分母中同样的单位相互抵消，例如

$$1\text{mile} \times \frac{1}{1\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{1\text{h}} = \text{答案}$$

当所有能够抵消的单位都去掉之后，剩下的是60mile/h，这就是正确的答案。你现在可能会说这很容易。不错，我就希望看到这种感觉容易的效果！如果你按照同样的基本套路行事，那你每天遇到的大多数“梦魇般的”题目都将在这种“诡计”下很快低头求饶。

这个技巧的另一个特别精彩的应用场合在于答案的验证。如果答案的单位不正确，那么极有可能在计算中存在某种错误。在使用MathCad®（工程师们离不开的一个工具）时，我总要在数值和方程中带上单位。当演算结束的时候，我要看到正确的单位，以证实方程建立的正确性（值得称道的是，MathCad会自动处理一些常用的单位转换）。所以，当你遇到一个题目，提供了一堆的数据，但你却不知道该如何下手的时候，请先思考一下答案所需要的单位是什么，然后再来整理这一堆数据，直到数据的单位与答案所需单位匹配为止。

记住：如果在题目中给各个单位赋予一定的意义，那么你得到的答案实际上也将代表一定的意义。

1.1.2 有时“几乎”就是“足够好”

我父亲曾经说过：“‘几乎’只有在投掷马蹄铁的套环游戏和投掷手雷的情况下才算数！”他通常会在我“几乎”把他的工具放回原处，或者在我“几乎”打扫完我的房间的时候说这句话。在我年幼的时候，我在某种意义上成了制造“几乎”场合的专家。如我父亲所言，在大多数情况下，“几乎”都不算数。然而，正

如上面的谚语所言，当使用手雷时，“几乎”击中目标就已经足够好了。我这里也列出几种情况，做到“几乎”就足够好了。其中的一种情况就是当你试图估算一个结果的时候。估算能力是与单位代数相伴的一种技能。

估算的技能或艺术有两个关键点。第一点是如何舍入到一个简单的数，第二点则是理解比值和百分比。

舍入容易理解。假定要使97与97相加的运算，因为这两个数都接近100，所以暂时把它们都看成100，相加在一起得到200，结果大约是这么多。这个例子对舍入的思想做出了相当简单的解释，这时你也许会想：“为什么不直接在计算器上按两次97，然后按等号呢？”我的理由在于，随着题目变得越来越复杂，就越容易犯错，从而导致你在分析中远离正确的方向。还用前面的例子来说明，如果你输入97加97之后，计算器显示的是487，你将其与自己头脑中的估算值200进行比较，立刻就会意识到一定是按错了键。

比值和百分比可以帮助我们了解一个量对另外一个量的影响程度。譬如你有两个系统，它们的输出是合在一起的。并且在你的设计中，其中一个系统的输出是另外一个系统输出的一百倍，两者的比值是100:1。现在若该产品的输出跑偏了，那么你认为在这两个系统中，哪个最可能出问题呢？显然，当你估算两者的比值时，就会发现其中一个系统的影响较大。

培养估算技能有助于我们在工程分析与故障排除中避免走入死胡同，白忙活一场，并且可以让我们避免在讨厌的期终考试中吃哑巴亏。在脑袋里尽可能多地练习估算技能吧！使用计算器和其他工具没什么不好，但请同时在脑袋里进行估算，以验证你的工作。

在我们进行估算时，就是通过引入一定的误差，来简化求解过程。我们获得的估算答案将是“几乎”正确的，足以帮助我们辨别出可能会在其他地方犯下的错误。

在掷马蹄铁的游戏中，如果你“几乎”套中了一个木桩，就会获得几分加分，但我不信你的老板会因为你的电路“几乎”可以工作了而高兴。不过，如果你的估算“几乎”正确的话，那么它将帮助你设计出像我父亲那样挑剔的人都会说好的电路。

经验法则

- 始终在方程中考虑单位，这可以确保我们得到正确的答案。
- 利用单位来建立被求解问题的正确方程。其步骤是先建立单位方程，然后抵消单位，直至获得所需的结果为止。

- 当我们分析问题、进行故障排除时，要估算答案的近似值，然后同计算结果进行比较，以辨别错误。

1.2 使电气元件可视化

机械工程师的工作有一个有利的地方，就是他们在大多数情况下都可以看得见自己工作的对象。电气工程师通常就没有这个福分了。我们必须想象那些讨厌的电子是如何在电路中穿来穿去的。下面来做一些基本的对比，利用我们所熟悉的一些实物，来对电路建立一种直观的理解。这样做还有一个好处，就是我们可以继续停留在机械问题的讨论之中。之所以要进行这种对比，主要有以下几项理由。

- 和理解电气的世界相比，一般人能够更直观地理解实物的世界。这是因为我们天天利用我们所有的感官来与实物的世界相互作用，而电气的世界却是充满魔幻的，甚至对教育程度很高的工程师来讲也是如此。这是因为电路内发生的许多事情是看不见、摸不着、听不到的。想一想，当按动一个电灯开关，电灯就亮了，我们并不用考虑电流是如何引起电灯变亮的。而当我们沿着地板拖动一个沉重的盒子时，我们肯定会想到摩擦的原理。
- 这两个学科的法则是完全一样的。一旦我们理解了其中的一个，我们也就将理解另外一个。这一点很好，因为我们只需要学习原理一次即可。我习惯称电气工程师为“点子王 (sparky)”，而称机械工程师为“扳手 (wrench)”。如果你能够对本课程有一个直观深入的理解 (grok^①)，那么“点子王”就能够在“扳手”林立的环境中挺直腰杆，反之亦然。
- 当我们对电路中发生的事情有了一些感觉以后，我们就会成为一个令人吃惊的、精确的故障排除者。人脑是一个不可思议的仿真仪器，但与计算机不同，人脑能够基于不完全的信息，凭直觉跳向正确的结论。我相信通过这些相似性的学习，可以增进我们大脑的能力，这样我们能够将一个系统中的运行、输出等线索整合在一起，进行正确的分析。这将帮助我们的大脑去“仿真”一个电路。

电气元件的机械等效

在介绍机械等效之前，先来了解一下什么是电压、电流和功率。电压是电子流动的势差。电流是电子流动的流量。有时最好的比方就是那些很俗的、到处都

^① 如果你不理解“grok”的意思，我推荐你阅读Robert Heinlein的*Stranger in a Strange Land*（《异乡异客》）。我个人将其列为最好的10本书之一。

在使用的比方，理解这些电气量也是如此。让我们考虑喷枪中的水。电压就是喷枪中水压的大小，压力的大小决定着水喷射的远近。不过，若有一个小捣蛋，他拿着一杆30ft（1ft=30.5cm）长的水枪，喷射出极细的一股水柱，那么这决不会淹着你。电流就有点儿像那喷出的水柱。不过，在打水仗的时候，一股很大、但却射不了多远的水柱是没有什么威力的。我们需要的是一杆巨无霸的喷枪，它喷出的水柱直径有0.5in（1in=2.5cm）、远近有30ft，它是水仗中威力无比的武器。在电气术语里，电压、电流和功率间彼此的关系跟这里的情况是一样的。它们之间的关系其实很简单，公式如下：

$$\text{电压} \times \text{电流} = \text{功率} \quad (1-1)$$

可见，为了得到功率，我们既需要电压，又需要电流。如果两个中的任何一个等于零，那么得到的功率也就等于零。下面我们来讨论电路中的三个基本元件^①，看看它们是如何同电压、电流相联系的。

1. 电阻等效于阻尼

考虑一下，在粗糙的地板上拖动一个沉重的箱子时（如图1-1所示），会发生什么呢？系统的阻尼将阻碍箱子的运动。阻尼系数跟箱子的速度有关。移动箱子的速度越快，阻尼系数就越小。可以用下面的方程来表述^②

$$\text{阻尼系数} = \frac{\text{阻尼力}}{\text{速度}} \quad (1-2)$$

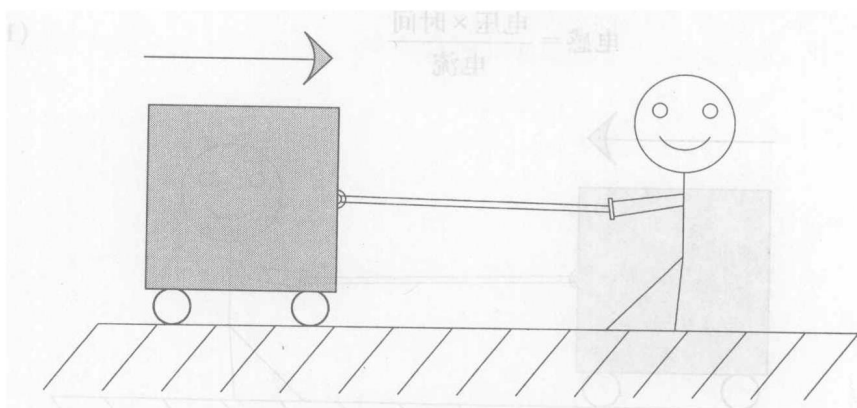


图1-1 阻尼阻碍箱子的移动

① 本书中，作者只提到了电路中的三种无源基本元件：电阻、电感、电容。然而，在2008年5月的《自然》期刊中，科学家已经证实第四种无源基本元件——忆阻（memristor）的存在，并成功设计出能工作的忆阻实物模型。——编者注

② 此处，为了便于读者理解电压、电流与电阻的关系，作者打了一个并不精确的比方，来将电阻在电路中的作用比作阻尼系数在机械系统中的作用。——编者注