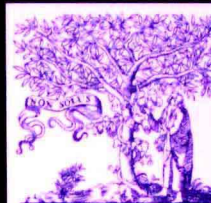


TURING

图灵电子与电气工程丛书



ELSEVIER
爱思唯尔

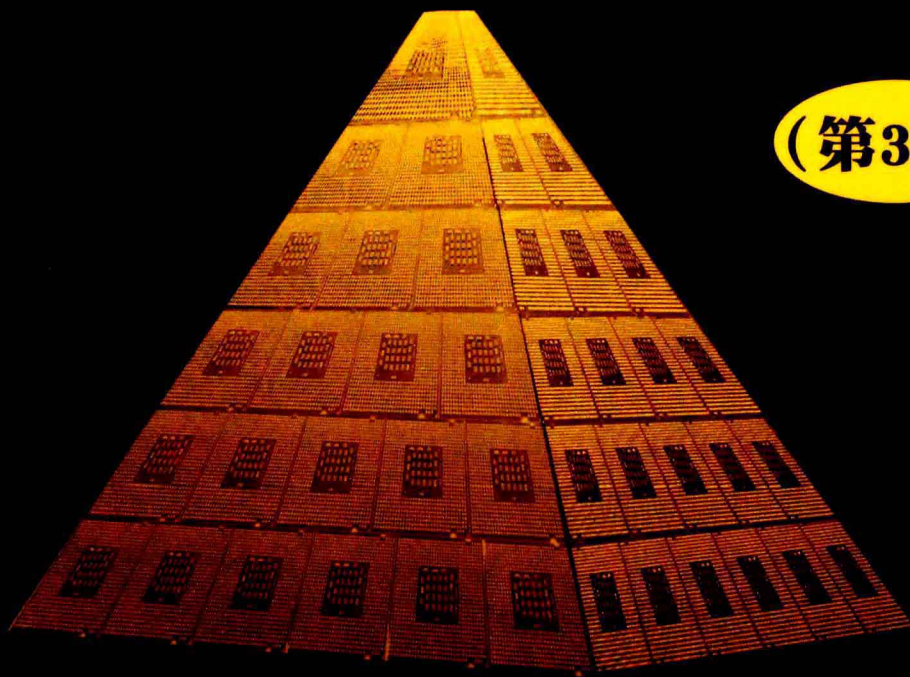
Electrical Engineering 101

Everything You Should Have Learned in School...but Probably Didn't, 3E

电子电气工程师 必知必会

【美】Darren Ashby 著

尹华杰 译



(第3版)

★教会你大学里学不到而工作中至关重要的知识和技能

★用最形象最简单的方法掌握看起来晦涩难懂的专业术语



人民邮电出版社

POSTS & TELECOM PRESS

Electrical Engineering 101

Everything You Should Have Learned in School...but Probably Didn't, 3E

电子电气工程师 必知必会

【美】Darren Ashby 著 尹华杰 译

(第3版)

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电子电气工程师必知必会 : 第3版 / (美) 阿什比 (Ashby, D.) 著 ; 尹华杰译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013.8

(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 978-7-115-32182-4

I. ①电… II. ①阿… ②尹… III. ①电子技术②电气工程 IV. ①TN②TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第138627号

内 容 提 要

本书从实际工作需要出发, 总结了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, 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, 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。

-
- ◆ 著 [美] Darren Ashby
 - 译 尹华杰
 - 责任编辑 朱 巍
 - 责任印制 焦志炜

 - ◆ 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 电子邮件 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: 787×1092 1/16
印张: 13.25
字数: 348千字 2013年8月第1版
印数: 1-3 000册 2013年8月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2013-0472号
-

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)51095186转604 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

版权声明

Electrical Engineering 101: Everything You Should Have Learned in School...but Probably Didn't,
3e by Darren Ashby.

ISBN: 978-0-12-386001-9.

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2013 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Printed in China by POSTS & TELECOM PRESS under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由人民邮电出版社与 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 合作出版。本版仅限在中华人民共和国（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾地区）出版及标价销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

本书贴有 Elsevier 防伪标签，无标签者不得销售。

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，总结个人经验后写出的心得体会，它能够帮助读者强化电子电气工程的专业基础知识，指导读者进行科研开发、项目管理和人际沟通。

本书作者在科研和管理工作以及人员招聘的过程中，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，理由如下。

其一，作者自称“语文不太好”，所以在阐述电子电气工程的基础知识时，采用了很多通俗、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。在阐述电子电气工程的基础知识时，他还穿插了一些自己的亲身经历、故事及日常生活中一些人人都感兴趣的话题，譬如《星球大战》、《星际旅行》、《呆伯特》等电影或卡通片中的人物、故事等，这就像老师给我们上了一堂生动的课一样，不仅有知识，还有笑话。

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，这些都是现代电子电气工程师需要经常用到的知识。对于这些内容，作者不是像教材一样一一介绍，而是从自身的实践，用尽可能浅显的语言，写出了自己对这些内容的心得体会。

其三，本书不仅具有上述丰富内容，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、直觉分析法和积木工程法等，都是令读者豁然开朗，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”。

阅读本书，Darren 先生近 20 年在电子电气工程领域中积累起来的丰富知识和经验会使读者受益匪浅，这不能不说是 Darren 先生送给大家的一份厚礼。

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。

前言

写在前面的话

我觉得很幸运，能生在这个前所未有的技术革新时代，并能亲历最伟大的企业取得成功。对我这样的技术呆瓜来说，到谷歌夏令营的经历就如同去麦加朝圣，至今我还记得第一次去那里并享用“免费午餐”的情景。我们公司的联系人当时是这样评论的：“谷歌在这里为工程师创建了一座天堂！”我当时对这个评论不置可否，最近这几年又对这句话思量颇多，对搜索之王创造的天堂也有了更多的了解。谷歌提供免费食物和其他一些特殊待遇，但最让我吃惊的是“20%时间”。用谷歌搜一下你就知道这个词的意思了。规则很简单：每个员工都有20%的工作时间归自己支配，用于做特别项目。做什么项目你自己说了算，唯一的要求就是：若出来的产品很酷，谷歌有权用它来赚更多的钱。与谷歌的联系人沟通过我才知道，这20%的时间是极其神圣的，你的主管无权要求你占用这部分时间来做公司的项目，也就是说你怎么用这时间完全取决于自己。在公司的常规计划里，员工和领导每周都只安排4天的工作，另外一个工作日归员工支配。

创想家

最近知道了一个新词儿：创想家，它与企业成长和成功至关重要。创想家是企业家的小兄弟，是有远见、有改变世界意愿的人，只是没有资源。可以说，资源是创想家和企业家唯一的区别。企业家有条件将想法付诸实践，但创想家受囿于动机或条件，无法这么轻松地实现梦想。通常，所谓的创想家就是你公司里的出色员工，用好这些员工的秘诀就是让他们将想法实现。一定要给他们资源，让他们自由发挥。上文提到的20%时间就是个不错的办法。成功的创想家有号召力，能利用这20%的时间做出成绩来。哪个工程师不喜欢这样的天堂呢？

工程师=成功

为什么说工程师对美国的成功至关重要？这里有个很有意思的数据：谷歌员工中工程师占50%，其他岗位共占50%。MIT应届毕业生创业的人数是哈佛商学院的两倍（这两所学校毗邻）。工程师都想做出很酷的产品，这一想法根深蒂固，与生俱来。在美国，出色的工程师的收入也要比普通人高，因为他们有“手艺”。不过，工程师也永远不是赚得最多的人，虽然他们的贡献远高于从事管理工作的人。我觉得这是因为工程师们已经从创造中得到了最大的满足，所以不是特别关心物质的东西，量入而出。这样的人是美国的巨大财富。他们无贪念，但热衷发明创造这一提升经济最重要的要素。科技创新惠及普罗大众，确实如此。

谷歌从默默无闻到成为巨头用了 11 年时间，谷歌人认为成功的秘诀是他们拥有伟大的工程师，并让他们释放全部潜能。世界需要更多这样的工程师，工程师基因是人类与生俱来的，人类是乐于创建和构造事物的生命体。哪个小孩不爱搭积木？不爱创造？不爱想象？既然如此，为什么不能有更多的人选择成为一名工程师呢？成为工程师很难吗？应该是很难的一件事吗？我想读者在读了我的书之后会这样认为：谁说我不够聪明？去他的，我就要去改变世界！

给读者们的话

致工程师们

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，但是你工作繁忙，时间紧迫，还经常要准备大量的业务汇报，根本没有时间去巩固各种基础知识。如果你也像我一样，那你一定已经找到了一些真正的好书，在需要的时候经常翻阅。这些书往往行文流畅，将你要用到的一些知识解释得清晰易懂。我希望本书就是这样一本书。

你也有可能像离开水的鱼，本来是一名机械工程师，却进入了电气工程的世界里，需要对电气工程获得一个基本的了解，以便同周围的电气工程师们一起工作。如果你透彻理解了本书中介绍的原理，那我可以保证你将至少能使部分的“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讶不已。

致学生们

我并不想要抨击学院式的教学方法，但我觉得，似乎有太多的学生是以填鸭式的方式在学校里学完各门课程的。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，记住教师要你知道的所有东西，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东西。我认为许多学生是由于老师们没有花时间好好备课，而被迫进入这种模式的。学生们压力很大，他们不能不及格。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，要比应用课程大纲提到的任何东西所能取得的成功都要大得多。

致经理们

工程经理们要做的事儿^①本来就应该比呆伯特^②卡通片中头发直竖的老板所描述的多得多。许多经理们并不了解工程师，其实工程师们是欢迎上司对他们所做的任何工作进行真正有见地的干预的。请注意我说的是“真正有见地的”，你不能把你刚刚在饭桌上听说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内容，那么我相信你总有机会正确地对工程师们进行指点。并且，你也会很欣慰地看到项目进展得更加顺利，

① 读者 Travis Hayes 建议将本书书名换为《写给阿呆及其手下的电子电气知识》。这名字不错，但我认为头发直竖的老板不会买。

② 呆伯特（Dilbert）是作者史考特·亚当斯根据自身经历以及读者来信为蓝本所做的一部讽刺职场现实的卡通作品。——编者注



工程师们也会对你这个顶头上司尊敬有加。（他们可能会把那些摆在桌上、用来发泄怨气的头发直竖的呆伯特卡通玩偶扫地出门！）

致老师们

请不要误解我，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灵魂工程师。然而，有时我认为是这个教育体系存在着缺陷。例如教务长要求 X、Y 和 Z 等内容都要讲，但由于课时不够，有时老师可能会牺牲更为基础的 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些权利，由他们来决定学生是否及格。

致所有的人

在本书每个主题的结尾，我都归纳了一些要点，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取正确的结论和解答。如果你觉得某个小节很枯燥而不想去读，无论如何也应该保证看看相应的经验法则。这些是经过提炼的核心概念，是你绝对应该掌握的。

目 录

第 0 章 电到底是什么	1	2.2.5 回到电容和电感	37
0.1 鸡与蛋	1	2.2.6 低通滤波器	38
0.2 电到底为何物	1	2.2.7 高通滤波器	40
0.3 原子	2	2.2.8 有源滤波器	41
0.4 还有啥呢	4	2.3 磁场与电场	43
0.5 节目预告	7	2.3.1 磁场	43
0.6 它仅仅是看似神奇而已	8	2.3.2 电场	45
第 1 章 必知必会的知识点	9	2.4 保持在控制之中	47
1.1 单位的重要性	9	2.4.1 系统的概念	47
1.1.1 单位代数	9	2.4.2 阶跃输入	49
1.1.2 有时“几乎”就是“足够好”	10	2.4.3 反馈	49
1.2 使电气元件可视化	11	2.4.4 开环增益和闭环增益	50
1.2.1 电气元件的机械等效	12	第 3 章 电气器件	51
1.2.2 电阻等效于阻尼	12	3.1 部分导电	51
1.2.3 电感等效于质量	13	3.1.1 半导体	51
1.2.4 电容等效于弹簧	14	3.1.2 二极管	51
1.2.5 储能电路	14	3.1.3 晶体管	53
1.2.6 较复杂的电路	15	3.1.4 FET	56
1.3 直觉的方法——直觉信号分析	15	3.1.5 PCB	57
1.4 “积木”工程——构件	18	3.1.6 一些不常见的半导体器件	57
第 2 章 基本理论	20	3.2 功率和发热管理	58
2.1 基本原理	20	3.2.1 结温	58
2.1.1 欧姆定律	20	3.2.2 外壳温度	58
2.1.2 分压原理	23	3.2.3 散热器	59
2.1.3 电容阻碍电压的变化	24	3.2.4 辐射	59
2.1.4 电感阻碍电流的变化	27	3.2.5 对流	59
2.1.5 元件的串联和并联	28	3.2.6 传导	60
2.1.6 戴维南定理	30	3.2.7 利用PCB散热	60
2.2 这些与频率有关	34	3.2.8 热扩散	61
2.2.1 AC/DC与一个小秘密	34	3.3 神奇的运放	61
2.2.2 恒定电压源与恒定电流源	35	3.3.1 正确使用运放	61
2.2.3 直流	35	3.3.2 运放的原理	61
2.2.4 交流	36	3.4 负反馈	64
		3.5 正反馈	67
		3.6 这就是逻辑	70

3.6.1	二进制数	70	4.5.1	外部世界与内部世界	110
3.6.2	逻辑	72	4.5.2	学会适应	112
3.7	微处理器/微控制器基础	79	4.5.3	模块化设计	113
3.7.1	微控制器原理	80	4.5.4	预见变化	113
3.7.2	结构	81	4.5.5	过犹不及	114
3.7.3	算法程序	83	4.6	我所偏爱的一些电路	114
3.7.4	乘法	84	4.6.1	组合达林顿对管	115
3.7.5	除法	85	4.6.2	DC电平移位器	115
3.7.6	关于I/O(输入或输出)的注 意事项	85	4.6.3	虚拟地	116
3.7.7	以简单模块为起点	86	4.6.4	电压跟随器	116
3.8	编程语言一览	87	4.6.5	AC放大器	116
3.9	输入和输出	89	4.6.6	反相振荡器	117
3.9.1	输入	89	4.6.7	恒流源	117
3.9.2	模拟传感器	92	4.7	积累你自己的电路集	117
3.9.3	接地	92	4.8	供电	121
3.9.4	传感器阻抗	93	4.8.1	电压的需求	121
3.9.5	输入阻抗	93	4.8.2	线性电源	121
3.9.6	输出	94	4.8.3	开关电源	123
3.9.7	复用技术	96	4.8.4	几点最后的考虑	124
3.9.8	白炽灯	97	4.9	让物体动起来——机电的世界	125
3.9.9	晶体管	97	4.10	速度维持	130
3.9.10	线圈	97	4.10.1	转矩控制	132
第4章	真实世界	99	4.10.2	制动	132
4.1	相互转换	99	4.10.3	不是什么秘密	133
4.1.1	模拟与数字	99	4.10.4	一个小细节	134
4.1.2	先有模拟量	100	4.10.5	再生制动并不是太难	134
4.1.3	然后有数字量	101	4.10.6	改变转向	135
4.1.4	综合两个世界的优点	101	4.10.7	结论	135
4.2	A到D的转换及反向过程	101	4.11	其他DC电机	135
4.2.1	A表示模拟量	101	4.11.1	无刷DC电机	136
4.2.2	D代表数字量	101	4.11.2	步进电机	137
4.3	ADC离不开DAC	102	4.11.3	交流及通用电机	137
4.4	当元件不理想时	106	4.11.4	螺线管	138
4.4.1	无处不在的R、L、C	106	4.11.5	继电器	139
4.4.2	误差源:理想与实际	107	4.11.6	“捕蝇器”	139
4.4.3	电阻	108	第5章	工具	141
4.4.4	电容	108	5.1	让不可见的可见	141
4.4.5	电感	108	5.1.1	万用表	141
4.4.6	半导体	109	5.1.2	示波器	143
4.4.7	电压源	109	5.1.3	逻辑分析仪	145
4.4.8	总结	110	5.2	仿真器	146
4.5	可靠性设计	110	5.2.1	理论与实际	146
			5.2.2	功能强大的工具	147
			5.2.3	培养直觉	147

5.3 电烙铁	148	6.5.7 小电流信号更易受干扰	167
5.3.1 4个基本条件	148	6.5.8 找出天线并予以破坏	167
5.3.2 焊丝	149	6.5.9 结论	168
5.3.3 SMT	150	6.6 消除漏洞的对策	169
5.3.4 拆焊	150	6.6.1 无漏洞的软件也许不存在	169
5.4 “人际”工具	152	6.6.2 大量而全面的测试	170
5.4.1 生产厂家	152	6.6.3 重现问题	170
5.4.2 销售代表	152	6.6.4 设置追踪器	170
5.4.3 分销商	153	6.6.5 代码审查	170
5.4.4 现场应用工程师	153	6.6.6 再次破坏	171
5.4.5 设计采用	154	6.6.7 捉虫	171
5.4.6 直购	154	第7章 人际沟通	172
5.4.7 总结	154	7.1 人际关系技巧	172
第6章 故障排除	155	7.1.1 上级	172
6.1 排查故障前的准备	155	7.1.2 同级	174
6.1.1 科学鸟枪方法	155	7.1.3 下级	175
6.1.2 排除故障不难学习	156	7.1.4 行政助理	176
6.1.3 始于易	156	7.2 做一个外向的内向者	177
6.1.4 跳出专业看问题	156	7.2.1 一切都取决于你的观点	177
6.1.5 注意细节	157	7.2.2 想象	178
6.1.6 对比排查	157	7.2.3 自我暗示	179
6.1.7 再谈估算	158	7.2.4 打破自己的“壳”	180
6.1.8 故障重现	158	7.2.5 反复练习	180
6.1.9 根源	158	7.3 交流技巧	181
6.1.10 问题分类	159	7.3.1 口语	181
6.1.11 消除故障	159	7.3.2 写作	182
6.2 机器中的幽灵——EMI	160	7.3.3 切中要害	183
6.2.1 EMI的本质	160	7.4 给经理的寄语	184
6.2.2 魔鬼的招数	160	7.4.1 做服务者	184
6.2.3 传导的EMI	161	7.4.2 做缓冲者	184
6.2.4 辐射的EMI	161	7.4.3 做激励者	184
6.2.5 处理EMI	163	7.4.4 要理解工程师们	184
6.2.6 用破坏来证明你能够修复	163	7.4.5 最好的经理在多数时候都是对的	185
6.3 时机就是一切	164	7.4.6 在平凡之辈中找出“射击”能手	185
6.4 压力之下	164	7.5 给雇员的寄语	188
6.5 要为意外做好心理准备	164	7.5.1 如何得到一份工作	188
6.5.1 不是每个元器件都产自同一个模子	165	7.5.2 最后一点考虑	189
6.5.2 控制环境	165	7.5.3 如何保有一份工作	189
6.5.3 穷人的EMI试验	165	7.5.4 最后一点慎重考虑	190
6.5.4 记录解决方案, 积累经验	166	7.6 如何制造一个伟大的产品	191
6.5.5 空中的EMI	166	词汇表	194
6.5.6 导线中的EMI	167		

第 0 章

电到底是什么

0.1 鸡与蛋

到底是先有鸡还是先有蛋？当我静下心来写作本书第一版的时候，就遇到了类似的困惑。我发现人们为了更深入地理解主题，往往先获得一些相关的基本观点和概念，而这些基本的观点和概念是建立在拥有一定知识的假定之上的。另一方面我又意识到，如果人们先了解了这些基本概念，那么所需的知识将更易于理解——这就是我所遇到的鸡和蛋的困惑局面。

可以说，第一版解释了“鸡”（这里的“鸡”就是跟电的利用有关的一切），它实质上假定读者已经知道了“蛋”是什么（“蛋”就是要了解电是什么）。说实话，这有点自欺欺人^①。此外我也从未指望第一版会取得巨大的成功。实际情况是，有很多人想更多地了解我们周围这个日益繁荣的电子世界。因此，对于这个新的改进版本，我将先离题一下，尽我所能来解释到底什么是“蛋”。如果你对这方面的内容^②已有所了解，那么可以跳过这一部分，不过你也可以选择在这里逗留一会儿，看看我对电为何物的解释到底有没有高明之处。

0.2 电到底为何物

电子是什么呢？尽管从来没有人见过电子，但人们发明了很多方法来检测成群的电子。各种电表、示波器以及探测器，都可以告诉我们电子是如何移动的、它们在干什么。人们也发明了很多方法依靠电子来使电机运转、灯泡发光，为移动电话和计算机及其他成千上万的酷极了的东西供电。电对社会的影响不可估量，深入我们的生活，“灯亮了”就是用来形容有个好主意的。电是 100 年前才出现的，能占到这样的地位已经相当不错。我希望本书也能成为读者的一盏明灯。

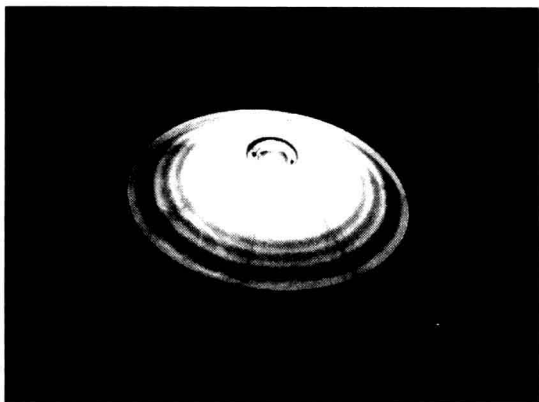
那么电到底为何物呢？这个问题问得很好。如果你对这个问题探究得足够深，就会发现世界各地有许多 RSP^③在讨论这个话题。我没有欲望加入他们的讨论行列（也许是因为还没有达到 RSP

① 在难以赶上截止日期时我们都会做出妥协吗？难以赶上截止期限的原因仅仅是因为我们自己的拖延吗？这两个问题责任重大，跟先有鸡还是先有蛋的辩论同等重要。

② 也就是整个第 0 章的内容。你可以辩论到底该从 0 开始还是该从 1 开始计算章数，但你都得从这两章中选出你想开始的一章，并用心消化它。

③ RSP=真正机灵的人（Really Smart Person）。你很快就会知道，我实在是太想在所有工程师们的日常俚语中添加一两个自己的缩略语了。顺便说一句，我相信许多工程师都是 RSP，对于工程师这个职业来讲，这似乎是一个共同特征。

的层次吧)。所以,下面我将把自己对电的理解、思考并在脑海中形成的一个合乎情理的关于电的概念告诉给大家。如果我的解释能够使你对电这个东西的理解变得容易一点,我就心满意足了。



0.3 原子

我们必须先了解称作原子 (atom) 的极小粒子。图 0-1 是原子的简单示意图。

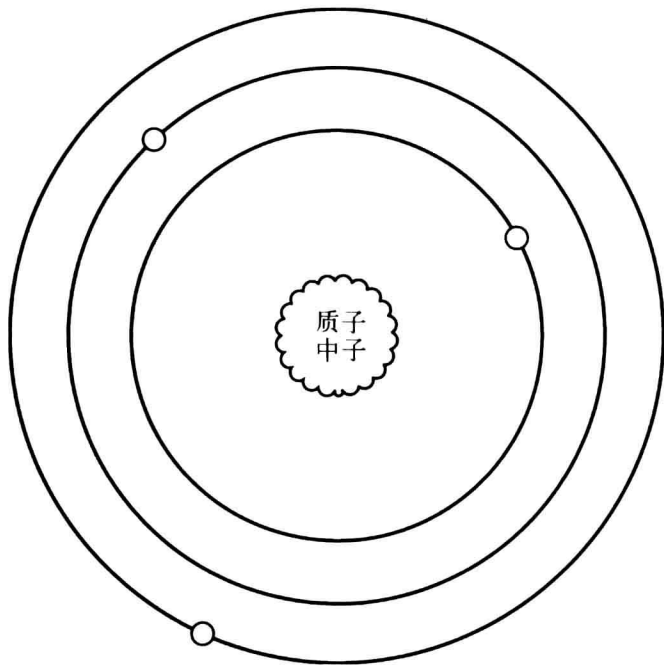


图 0-1 原子结构示意图

原子^①由三种粒子构成:质子、中子和电子,其中只有两种粒子带有我们所称的电荷 (charge) 特性。质子带正电荷 (positive charge), 电子带负电荷 (negative charge), 中子则不带任何电荷。质子和中子的质量要比微小的电子大得多。尽管大小不同,但质子和电子带有等量的异种电荷。

好啦,千万不要因为看了这个简图,就认为电子运动的轨迹是简单的圆。它们实际上在一个充满能量的 3D 区域中运动,物理学家称这个区域为壳层 (shell)。壳层有很多种类型和形状,但本书不打算对其做深入的介绍。不过有一点你必须了解,那就是当你往原子中加入足够强的能量时,就可以迫使一个电子从原子中弹出来,变成自由运动的状态。当出现这种情况时,原

^①原子真是太小太小了。如今利用一些特别酷的仪器,我们几乎可以“看”到一个原子,但这种方式有点类似盲人通过感觉“看”到布莱叶盲文一样。

子的剩余部分就会具有正净电荷^①，弹出来的电子则具有负净电荷^②。实际上，当它们作为原子的一部分时，就是拥有这些电荷的，只是因为放在一起而互相抵消了，所以当我们把原子作为一个整体来看时，其净电荷为零。

好啦，因为原子不喜欢自己的壳层失去电子，所以一旦有别的电子靠近它，这个电子就会滑落到这个原子壳层的空轨中。为了弹出这些电子而需要的能量或功的大小取决于原子的类型。当原子为很好的绝缘体时，例如为橡皮（中的原子）时，这些电子是紧紧地“粘”在原子的壳层中的，无法自由运动，如图 0-2 所示。

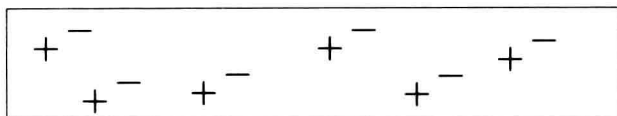


图 0-2 电子被“粘”在一个绝缘体的原子壳层中，它们无法离开，也不能自由运动

在绝缘体中，这些电子是“粘”在其位置上的，绕着原子的原子核做轨道运动，就像水冻结在管子中一样^③。请注意，在这种情况下，正电荷的数目跟负电荷的数目是完全一样的。

在铜这样的良导体中，原子外层的电子只需轻轻地一碰就会弹出。在金属元素中，这些电子能够很容易地在原子之间弹来弹去，我们称之为电子海（electron sea），也有人称之为自由电子（free electron），这个名称你也许听说过。图 0-3 是这种情况的一个图示。

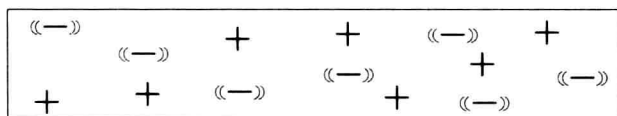


图 0-3 电子海

要注意，在这种情况下，正电荷的数目跟负电荷的数目也是相同的。其实差别不在于电荷的数目，而在于它们是否可以轻松移动。现在电子就像是管子中的水，它们不是冻结的而是液体，或者说，就像一个已经充满了水的管子。要使电子移动只需轻轻一压，它们就会跑起来^④。这些松散电子表现出的一个效应就是金属所具有的亮闪闪的外表。因此我们也就能够明白，为什么我们称作银的元素是一种最好的导体了。

再补充一点：电荷的一个最基本的性质是同种电荷相斥，异种电荷相吸^⑤。你若将一个自由电子放到另一个自由电子的旁边，它会将另一个电子推离。要想使一个带有正电荷的原子移动则困难得多，在几乎所有的固体材料中，原子都是“粘”在它的位置上的，但正电荷也会因同性相斥而移动^⑥。

① 带有净电荷的原子也称作离子（ion）。

② 常被称作自由电子（free electron）

③ 我喜欢冻结水的比方。但这个比方不要用过了头，不要以为你必须融化它们才能使它们移动。

④ 打比方是理解一些东西的好方法，但你必须小心不要用过了头。在这个例子中，你不可能简单地将导线的一侧提起而看到电子掉出来，所以电子并不是精确地像水管中的水。

⑤ 使我深受打击的是，在某种程度上，这是人际关系中的基本原则。“好”女孩常被“坏”男孩吸引，还有许多其他可类比的东西在我的脑海里闪现。

⑥ 毫无疑问也存在移动正电荷的情况（事实上，触电的时候就会发生这种情况）。只是我们在电子学中处理的大多数材料、电路等牵涉到的是移动这个特别特别小、超级小、通常容易移动的电子。至于其余的很酷的材料，我建议你去一本好一点的电磁学的书来看看。

经验法则

- ⦿ 电在本质上就是电荷，有正电荷与负电荷两种。
- ⦿ 能量就是功。
- ⦿ 无论是在导体中还是在绝缘体中，正电荷的数目与负电荷的数目都相等。
- ⦿ 在良导体中，电子容易移动，就像水一样。
- ⦿ 在好的绝缘体中，电子是“粘”在它的位置上的，就像冻结的水一样。（但有一点不同：它们不会“融化”。）
- ⦿ 同种电荷相斥，异种电荷相吸。

0.4 还有啥呢

好啦，现在我们已经对绝缘体和导体有了一点认识，并知道了它们跟电子和原子的关系。那这些信息有什么用呢？我们为什么要关心这个呢？让我们把注意力集中在这些电荷上，让电荷移动移动，看看会发生什么吧。

首先，我们让电荷移动到一个地方，并呆在那里不动。为此，我们需要用到前面已经介绍过的、电荷之间的一个很酷的效应。请记住：异种电荷相吸，同种电荷相斥。在电荷的周围，存在着一个很酷的、神秘的、魔幻般的场，我们称之为静电场（electrostatic field）。在我们的日常生活中，从静电贴到雷暴所表现出来的各样现象，正是来源于这个静电场。你是否有过在头上摩擦气球、然后将其粘在墙上的经历？如果有过，那你就已经看过一个静电场的演示了。如果你将这个演示进行得更深入一点，在你手臂的上方靠近汗毛的地方，摆动气球，你就可以看到汗毛跟随气球运动的情况（你要有足够长的汗毛才行哦）。摩擦气球的动作最终会导致你的头上带有某种净电荷，而气球上则带有相反的净电荷。将两种材料放在一起摩擦的做法^①，导致有些电子从一种材料的表面跑到了另一种材料的表面，你的头和气球都被充上了电（charging）。

静电场会在带电荷的其他东西上作用一个力。让我们好好考虑一下这个问题：如果我们能够想出一个办法来将一些电荷放在一根导体的某一端，那么这些电荷就会将导体中的同种电荷推开，从而引起电荷移动。

图 0-4 所示为一个假想的设备，用于分离电荷，我称它为电子泵（electron pump）。现在将其插在上面提及的铜导体间。

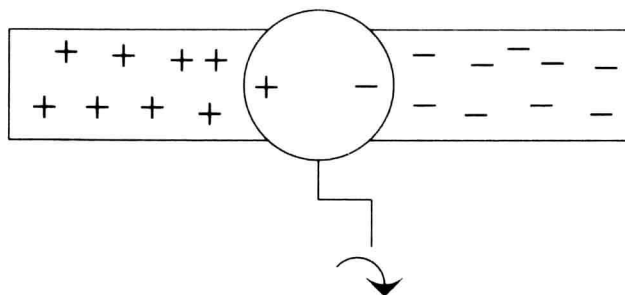


图 0-4 假想的电子泵

^① 娱乐一下：在谷歌网上搜索一下摩擦气球的实验，看看哪种电荷在哪一侧。另外也查查，看哪些材料更容易发生这种现象。

对于这个电子泵，当我们摇动其手柄时，一侧的导体将得到多余的电子，或者说负电荷，而另一侧导体中的原子则将失去相应的电子，因而带上正电荷^①。

如果还要拿前面提到的水来打比方，那么可以将电子泵看成是一个水泵，它被装在一个两端封闭、内部装满水的管子的中部。当你启动水泵后，就会在管内建立起压力：泵一端出现正压，另外一端则出现负压。同样的道理，当你摇动手柄时，你将在电子泵的两端累积起电荷，然后这些电荷将往外跑到导线中去，并保持不动（因为它们没有其他地方可去）。如果在两端跨接一个电压表，就会在导线两端间测出一个势能（理解成电荷的差异）。这个势能就是我们所称的电压（voltage）。

注意 有一点很重要，就是我们必须认识到，测量电压所反映的是这些电荷的位置属性。请注意我说的是**位置**，而不是**运动**。这些电荷的运动对应于我们所说的**电流**（current），稍后对此将有更多的介绍。就目前来讲，比这种讨论更为重要的是，你应该清楚，我们所说的电压其实就是电荷的累积。你在一个位置得到的同种电荷越多，你得到的静电场就越强^②。

好啦，天有点黑了，该点个灯泡了。我们发现在移动电荷时，会发生另外一件非常酷的事情。让我们回到前面所谈的电子泵，在导线两端接上一个灯泡，如图 0-5 所示。

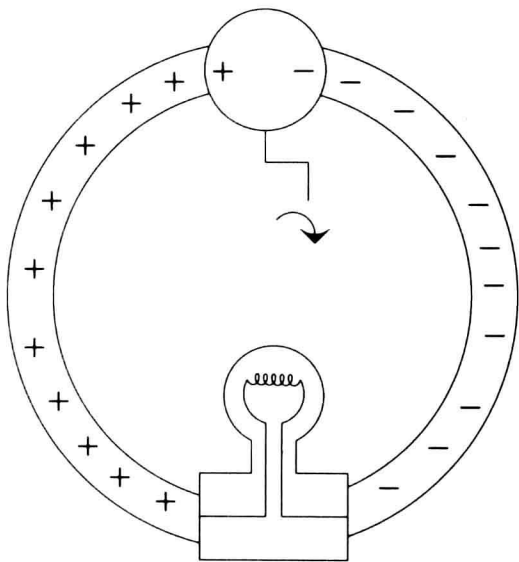


图 0-5 带上灯泡的电子泵

还记得异种电荷相吸吗？当你接上灯泡时，一边是正电荷，另一边是负电荷。这些电荷像冲锋一样通过灯泡，它们将加热灯丝，使灯泡发光。如果你停止摇动电子泵，灯泡两端存在的势能就会消失，电荷就会停止移动。重新摇动电子泵，电子就又会移动起来。这些电荷的运动被称作**电流**（current）^③。这里发生的另外一件实在是酷的事情是，我们得到了另外一个看不

① 实际上还真有一种设备可以完成这个任务，这就是范德格拉夫发电机（Van de Graaff generator）。因此电子泵并不是什么假想的东西，只是我实在是太喜欢假想（hypothetical）这个词罢了。就算是我想提高自己的智商吧！

② 这个场没法用水来打比方。你只需知道它存在。了解这个场的存在是十分重要的。如果你还无法领会这个场，请找一个气球来玩，一直玩到你领会为止。请记住，即使是最好的比方也有不恰当的地方。窍门在于，在开始的时候，用比方来帮助领会这个问题，然后要一直实验下去，直到理解其所有细节为止。

③ 电流是每秒钟通过的电荷的库仑数，是一个流量的量度，其单位是安培。