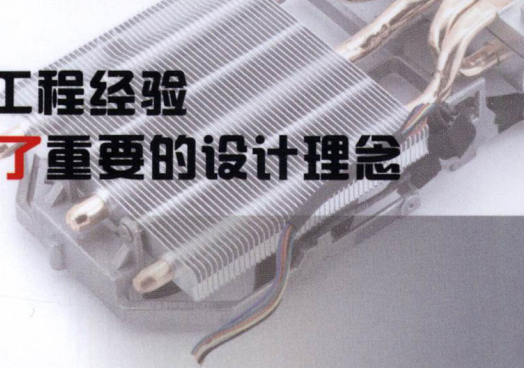


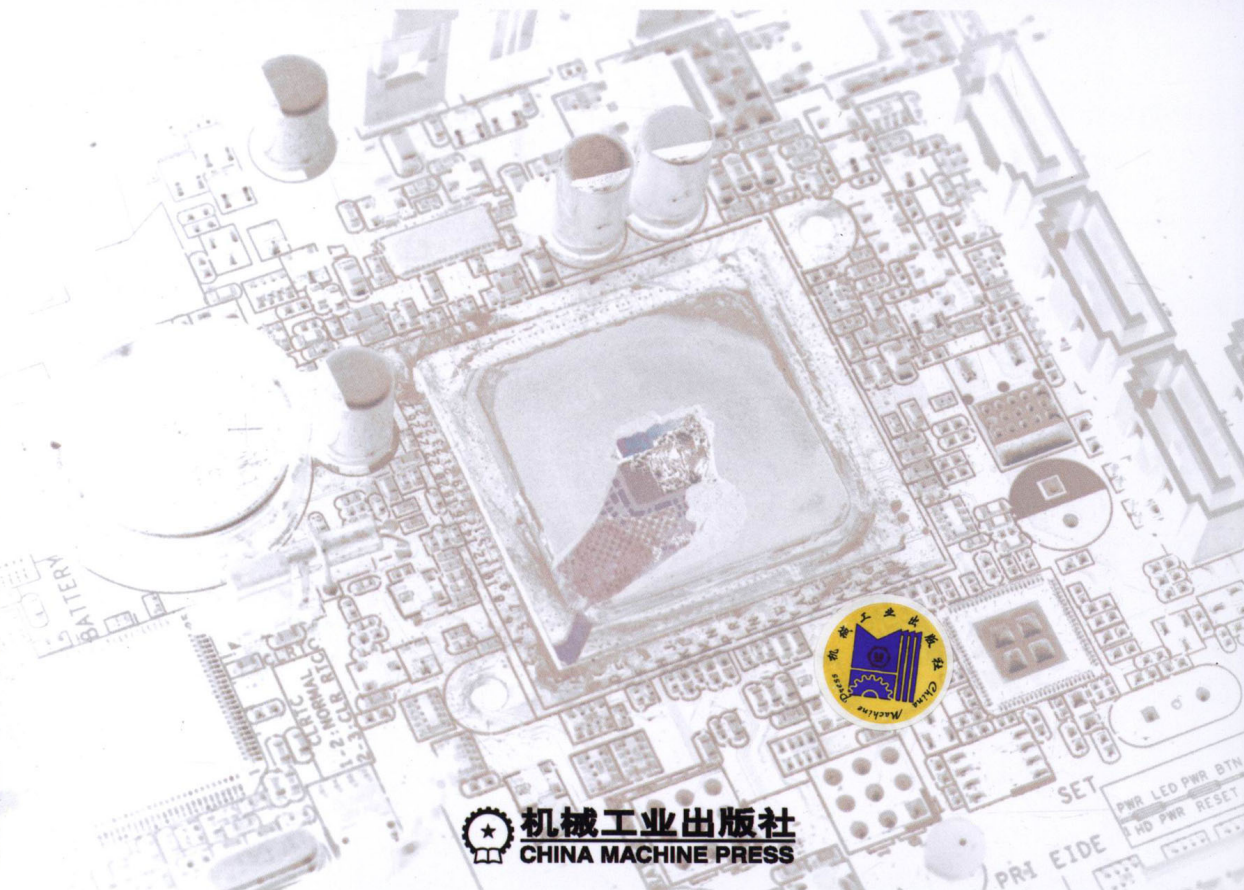
幽默的言语承载着宝贵的工程经验
丰富的案例诠释了重要的设计理念



笑谈热设计

More Hot Air

(美) Tony Kordyban 著
李波 译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

SET PWR LED PWR BTN
HD PWR RESET
PRI EIDE



Tony Kordyban从1980年就开始从事电子冷却和相关的写作工作。他在底特律大学获得机械工程学士学位，在斯坦福大学获得机械工程硕士学位，专业为热动力学。他绝大多数的电子冷却经验知识都是通过自己和在贝尔实验室、泰乐通讯和艾默生网络能源等公司同事的工作失误和差错中获得的。为了避免其他人犯同样的错误，他撰写了两本书：《Hot Air Rises and Heat Sinks: Everything You Know About Cooling Electronics Is Wrong》和《More Hot Air》，并且均由ASME出版发行。除此之外，他也写了一些非正式主题的文章，并且发表在《Electronics Cooling》杂志和CoolingZone.com网站。

笑谈热设计

(美) Tony Kordyban 著

李 波 译



机械工业出版社

本书共分7章，第1章主要谈论电子设备热测试。第2章以风扇为主线，介绍了风扇在实际应用中的诸多特点和限制，从实际的角度选择和应用风扇。第3章介绍了电子设备中常见的元器件和材料，同样从实际应用的角度来考虑它们的热设计限制和特点。第4章是关于辐射热交换在电子设备散热中作用的阐述。第5章的内容围绕JEDEC组织推出的相关通信标准展开。第6章是一些独立的热设计故事集合。最后一章作者分享了过往在通信行业热设计中的趣事。

本书具有措辞诙谐幽默，内容丰富、贴近实际产品和涉及行业广泛等特点。书中诙谐的言语承载着宝贵的经验知识，实乃电子设备热设计行业难得一见的好书。

本书可以作为电子设备热设计从业人员的参考用书，同时也可以作为电子工程师、结构工程师的工作扩展读物，浅显易懂的表述可以让不具备传热与流体力学背景的工程师了解热设计的特点和规律。此外，对于将来有志于从事电子设备热设计的读者而言，同样具有较大的参考价值。

译者序

2010年5月时的我已经在热研究员的岗位上工作了一年多。终日忙碌于热测试实验室和办公桌，每天在现实和工作理想之间纠结。对于职业前景的心理状态也由刚入职时的憧憬渐渐转变为迷惘。每一次走过老工程师的办公桌，计算机前专注看报告的人仿佛是20年后的自己。一次无意中看到Tony先生的大作《More Hot Air》，恍惚之间发现原来枯燥的热阻理论可以变得如此生动，晦涩难懂的热辐射现象可以描述得如此形象。在被Tony丰富的热设计经验和知识折服的同时，也为其写作天赋和幽默感叫绝。他对于专业技术的专注和积累，丰富的个人兴趣爱好猛然间触动了当时茫然的我。作为Tony在大洋彼岸的同行，我比他更了解汉语的语法和特点，我完全可以将他的著作以另外一种语言进行展现，让更多人学习到偏重工程实际的热设计经验，领略到异乡技术工程师诙谐风趣的言语。当然，对于个人而言，书籍翻译也是自我专业英文提升的过程。何乐而不为呢？即刻就开始，翻译进行的过程伴随着上海世博展览会、南非足球世界杯等诸多大事件的发生。2011年春节的前夕，《More Hot Air》的中文版初稿完成。某个工作阶段的结束往往意味着新阶段的开始。但书籍中文版出版的难度和所需费用使我措手不及。时光荏苒，一晃来到了2014年的春天。这三年中翻译的中文稿件一直被存放在书架的最上层。而我也由一名热研究员转型为一名热设计技术应用工程师。一次与公司市场专员易芸芸的闲聊，猛然间听闻她与机械工业出版社电工电子分社社长牛新国熟识。我便将《More Hot Air》中文版的状况全盘托出。后期易芸芸和牛社长在本书出版过程中亦提供了诸多帮助，译者在此深表感谢。此外，译者有幸请到郭产品和陈彦霖两位从事热设计工作多年的朋友帮忙对中文译稿进行了校核，对此表示衷心感谢。最后译者要感谢自己的家人，是他们的支持和鼓励使译者能完成本书的中文版翻译工作。

本书具有内容丰富、贴近实际产品和涉及行业广泛等特点。作者将科学技术和工程经验以轻松诙谐的故事形式进行阐述。学生时代，我们评价一位优秀老师的标准往往是：学识渊博，诙谐幽默。老师的授课过程犹如一段精彩的知

识演绎和传授。学生在充满笑声的课堂中，把所需的知识牢牢掌握。同样，《More Hot Air》一书有如一位无声的热设计优秀教师，诙谐的言语承载着宝贵的经验知识，让每一位读者都受益匪浅。此外，全书涉及内容广泛，电子设备热测试作为热设计的重要组成部分，在同类书籍中往往被忽略，但本书中也进行了细致的阐述。源于现实生活和工作的素材使得全书通俗易懂且贴近实际产品。当然，作者丰富的热设计工作经历也让全书内容涉及电力能源、通信和计算机等多个行业。

由于译者非英语专业科班出身，热设计相关专业知识也处于积累和提升阶段，书中翻译不当和错漏在所难免，恳请广大读者批评指正。正如古人云：“奇文共欣赏，疑义相与析”。

李 波

2014年7月

Lee_1943@hotmail.com

原书前言

人们书写的任何东西都可以视作一种自我表白。

你会情不自禁地展示出你自身的一些特性，即使是通过一些随意地涂鸦和笔记。你的超市收银条揭示了你对高脂肪和咸味小吃的喜爱。在你生日之际，你岳母赠送给你家庭录像机作为生日礼物，即便你的感谢便笺只有寥寥数字，但也表达了你深切的感激之情。即便是你所书写的那些看似客观的工程测试报告，更多地也只是描述着你所希望的产品运行状况，而非产品实际的情况。

我即将进行自我的表白，所以你也没有必要猜想随后几个章节的内容。我真正想写的内容是一本称之为“人脑单元”的科幻小说。这将是一本类似 Stephen King（美国畅销书作家）作品的超酷小说。电话公司发现一小部分人具有心灵感应的能力，该公司将这个发现转变为一个通信发展项目，而不是将他们的发现公布于众。他们的科学家找到了利用心灵感应能力取代电话网络的方法。人们可以随时进行相互交流，而不需要通过传统的电缆、微波、卫星或光纤。这个研究项目的最大挑战在于如果人们相互间可以直接进行交流，那么电话公司又该如何向用户进行收费呢？

电话公司的解决方案就是他们没有用这个研究成果去取代现有的电话网络。你在托莱多（美国东部城市）的祖母仍然不得不拿起电话，拨一大堆电话号码，同时对着麦克风（标准中称为传声器）与人交流。她的电话机首先联系到总机，之后进行电信和心灵感应的转换，并且将来自托莱多的心灵感应发送至佛雷斯诺（美国中西部城市）相应的人脑单元。在那里，心灵感应被转换成相应的电信号送至你受胆囊疾病折磨的阿姨的电话机中。

我承认这是一个非常毫无新意的想法，绝大部分人甚至都不知道电话网络是如何工作的，这也难怪他们不关心电话网络是否要被一大群人脑所取代。也许可以通过一些其他方式来增加故事的趣味性，诸如邪恶的电话公司抢走人们的大脑，并且将他们放在充满绿色泡沫液体的盘子中。后来，大脑网络领会到他们自己有自己的生活，控制了网络并且给予邪恶的电话公司工程师应有的

惩罚。

你可能会明白为什么我永远也无法在小说方面有所成就。当绝大多数人物都是邪恶的工程师（不相信爱情故事存在）和脱离现实的大脑时，人们就无法以一种充满炽热情感的方式进行工作。

那会引起另一个困惑。我早就说过绝大多数人对于电话网络如何工作一无所知。我已经在通信行业工作超过17年，并且我仔细考虑了这些年的收获。我参与了很多用于通信网络的电子硬件产品开发。我意识到它们通常与电话转换或者多条电话线路接入至一条线路有关。但除了那种模糊的概念之外，我其实并不了解电气电路是如何工作的。作为一个热设计工程师，我通常情况下只知道一件事情：它们将电功率转换成热功耗，并且我的工作就是计算有多少热量可以被散掉，以至于电气电路不会过热。

我开始是在《时事通讯》中撰写关于我工作经历的文章，这些文章最终变成了这本书，但是存在两个问题。首先，我不得不对我所撰写的项目进行了修饰，因为通常我撰写的内容都会涉及令人尴尬的热设计错误。即便我可能会得到公司的准许，我也不想使用真实的人名和项目名，因为我不想伤害任何人的情感和尊严。我写下了这些关于散热的错误，使其他人能体会到其中的教育意义，以便于其他人不会犯相同的错误。第二个问题是我对那些真实项目了解得不够，没有详细的描述它们也避免我出丑。

我对于这两个问题的解决方法是撰写一本虚构的小说。并不是我实际参与设计的高密度回声消音电路板和光纤开关，你会发现你看到的是失踪狗追踪系统和电话推销自动屏蔽电路。一次又一次，你会发现人脑单元作为故事的背景。

这些就是介绍的内容，介绍的主要目的是告诉你本书中会出现一些没有解释的事物。人脑单元就是这样的一个例子。我反复使用它作为 Herbie 的项目。现在我已经告诉你它来自哪里，当你不期而遇这些事物时请不要困惑。

哦，是的，Herbie。如果你没有阅读我的第一本书《Hot Air Rises and Heat Sinks》，你不会知道谁是 Herbie。Herbie 是我的朋友，他是虚构的，他是一个工程化的原型。他的热设计水平远没有你好，所以你可以把所有热设计错误都归咎于他。你可能知道你工作周围也有一个类似 Herbie 的人。他是热心的，希望把事情做好，并且喜欢以超出他能力的方式进行工作。

Herbie 是重要的。如果我不创造他，上帝也不得不创造他。他有点过分，但他可以作为我们的老师，因为我们从他所犯的错误中学到了不少东西。如果没有他，我们将不得不使我们自己犯这些错误。

他也可以作为一句警示格言。他说：“不要做像我一样的人。学习，阅读这

本书。”

本书架构

到目前为止，你应该注意到本书不是一本专业的教科书。本书开头并不是介绍热传导、热对流和热辐射等概念，也没有让你完成课后作业。本书只是收集了一些短小的故事，其中很多都是基于现实生活，但你永远也不要尝试在真实生活中找到原型。此外，本书没有任何的逻辑顺序，每一个章节都是以名为《HOTNEWS》热设计《时事通讯》月刊的一篇文章开始。我写下了最近引起我注意的内容。

本书由七个内容松散的章节组成。这些章节的组成就如同干洗机中拿出来的一件熨烫衣服。我对每一个故事进行判断，以确定故事之间是否存在一定联系。一些与其他故事不匹配的故事被组成一个章节，就如同一个抽屉中塞满了各式的袜子。也许这些故事如同袜子玩偶一样依然有用。以下是这些章节的分类。

第1章 测量与测试：直接从实验室得到错误的结果

第2章 风扇：增加空气流动和冷却系统的尺寸

第3章 元器件和材料：很多元器件有时就是一个问题

第4章 辐射：斯蒂藩和玻尔兹曼不是20世纪70年代德国重金属乐队！

第5章 JEDEC 的故事：对于元器件热阻行业标准定义的声讨

第6章 松散关联的故事集

第7章 通信：一个充满神话和错误的领域

最后一章中包括了大量关于通信行业的术语和专业的传热学概念。我将它们归纳在一起，以便于汽车、航空和消费电子行业的读者可以轻松地忽略这一章。如同其他章一样，这一章为广大读者所撰写，即便你没有仔细学习过通信行业的相关技术课程，但是你仍然可以找到一两个俏皮话来犒劳你的阅读。

现在请你阅读、享受、学习以及和你的同事进行分享。只是不要仅仅在意你在本书阅读中获取的产品热设计经验，要尝试检查你自己的分析和测试！仅仅因为我声称“你所知道的一切都是错的”并不意味着这个推论“我所知道的一切都是对的”会成立。记住，如果我已经学习了足够多的知识来撰写两本关于这个主题的书，那么我也必定会让我的错误传播。你可以统计本书中出现的错误。

没错，我是不够完美的。我承认。

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 测量与测试：直接从实验室得到错误的结果	/1
1.1 最恶劣条件	/2
测试要求注明产品温度测试是在“热最恶劣条件”下进行的。但可靠性部门、安规部门以及客户和热工程师对于最恶劣条件都有自己的理解。	
1.2 可靠性测试	/6
可靠性测试恒温箱中的风扇使空气反方向流过你的产品。这不是一个公平的测试？或者说它是否能告诉你一些关于产品设计是否正确	
的信息？	
1.3 五指测温仪	/10
为什么你的手不是一个很好的热传感器。不仅仅是因为校核的原因，而且你的手确实有可能会被烫伤。	
1.4 注意热电偶的类型	/13
不同类型热电偶线具有不同颜色是有原因的。你不能通过直觉来确定不同类型热电偶的差异。这需要仔细判断。	
1.5 排列组合增加职业安全感	/17
或许在机柜中将产品堆叠放置并且使用一个大风扇进行冷却是个不错的方案。但也有不少关于散热的问题不建议采用这种设计。不计其数的硬件配置组合可能需要你进行几年的热测试。	

1.6 热功耗随温度发生变化 /20

对于一些元器件而言，它们的热功耗取决于元器件的温度。有时候它们的热功耗会随着温度的上升而上升，有时候却会随着温度的上升而下降。在这种情况下，在室温下测试得到的结果会与高温下测试得到的结果相反。

1.7 如何评估热仿真精度 /24

这是一个关于评估的故事，讲述了如何使用百分比误差去得到任何你想要的结果。热设计一个很重要的评估是测试产品工作是否良好，通常采用的是温差而不是绝对温度。

第2章 风扇：增加空气流动和冷却系统的尺寸 /28

2.1 空间和资源 /29

老板最终同意给我一些热分析的资源。但由于你不得与其他人分享原本就狭小的办公室，我们之间难免磕磕碰碰。当风扇被并排很近布置时，同样的事情也在所难免。

2.2 风扇进风空间 /32

市场部的同事问为什么风扇需要一个如此之大的进风空间。我通过一卷胶带和一个吸管向他进行演示。

2.3 流阻最小的路径 /36

当空气有多条流动路径可供选择时，它不总是沿着流阻最小的路径。这似乎更符合 MurPhy 定律。

2.4 难以理解的流动 /42

一个被反复询问的问题是“直线英尺每分钟 (lfm) 与立方英尺每分钟 (cfm) 的差异”。通过使用融化的美国奶酪解释何为不可压缩流动。

2.5 不正确的冷却系统冗余 /46

Herbie 想使用一个类似他个人计算机中的风扇/散热器模组。增加一个风扇/散热器模组是提升还是降低了电路板的可靠性？

2.6 正确的风扇转动方向 /49

元器件的温度是否会取决于冷却风扇的旋转方向？对于越接近风扇的元器件，风扇旋转方向对其的影响越大。

2.7 温度和噪声 /53

强迫空气冷却的一个重要限制是风扇的噪声。根据风扇定律，随着风扇转速的上升，风扇流量变大，其噪声也不断增加。

- 2.8 各种元器件的温升限制 /56
一个电台脱口秀主持人发现当人们关注于元器件的温度时，往往会忽视风扇其实也是一个元器件，并且它也具有工作温度的限制。

第3章 元器件和材料：很多元器件有时就是一个问题 /60

- 3.1 在条件允许范围内无法工作 /61
电子元器件有一个工作温度限制是否有意义？元器件温度超过限制1°C时，是否会烧掉？是否会在功能方面有所衰退？是否会减少其工作寿命？如果元器件供应商愿意告诉我们，那是不是会更好？
- 3.2 选择合适的熔断器 /65
熔断器很容易被忽略，但一些常见熔断器的工作温度需要被降额。因为它们不产生热量，但不意味着它们不会变热。
- 3.3 当它发热，所有的热都会进池子 /69
对于封装元器件而言，PCB是否可以扮演一个散热器的角色？也许可以，但一个关于泳池中顽皮小孩的故事解释了这个想法的局限性。
- 3.4 不考虑电容？ /73
由于假设PCB上的电容不产生热量和电容数量的原因，在进行PCB的热分析时，你往往会忽略所有的电容。但电容也会产生热量，并且它们的特性会随着温度发生偏移。
- 3.5 挡板温升 /76
挡板经常被用于改变设备出口热空气的流动方向，以避免这些热空气被其他设备吸入。由于热量可以通过热传导方式通过挡板，所以挡板无法使相邻设备之间绝热。或许将挡板的材料由金属换成塑料会有所帮助，但不要这么指望。
- 3.6 24K金散热器 /80
计算机超频爱好者被兜售镀金散热器去降低处理器的温度。本节从热量三种基本传递方式：热传导、热对流和热辐射，解释了镀金其对散热器性能没有帮助。
- 3.7 改进最薄弱的环节 /83

一位销售员鼓吹他的 PCB 绝缘材料在热导率方面具有很大的提升。新的绝缘材料的热导率是以往材料的 10 倍，那又为什么 PCB 的温度得不到任何的降低呢？

3.8 更大的接触热阻 /87

当热功耗变得很高时，人们必须像电视剧《The Flying Nun》中的女修道院院长一样严格，也就是说仔细设计贴附到元器件的散热器。在高的热功耗情况下，物体接合处的热阻可能决定了整个热设计的成败。

第 4 章 辐射：斯蒂藩和玻尔兹曼不是 20 世纪 70 年代德国重金属乐队！ /91

4.1 红外线 /92

借助于 Herbie 女朋友 Vernita 作为辐射源，解释了辐射热交换的基本原理。热辐射中有一个 Marphy 定律：即便你不需要热辐射（例如当元器件封装热阻遵从工业标准进行测试），但它依旧存在于那里。

4.2 红外摄像机的优点是有限的 /95

一个红外摄像机能否透视衣服？它能否透视设备金属外壳？它能否看到热空气的流动？这些都不行，但红外摄像机还是一个有用的工具。

4.3 否定结果也是非常重要的 /99

为什么 PCB 的红外摄像图片与 CFD 软件计算的彩色温度云图结果几乎不可能一致，并且从这些缺乏一致性的热分析工具中我们可以学习到什么？

4.4 选择性表面 /102

选择性表面可以避免室外机柜免受太阳辐射的影响，但你无法控制选择性表面。

第 5 章 JEDEC 的故事 /106

5.1 不包括 PCB /107

在 PCB 上钻孔是否可以使元器件温度更低？一个网络聊天室的讨论表明确实如此。如果这些孔是热过孔，或许情况就是如此。JEDEC 定义了 θ_{j-a} （结点和环境之间的热阻）中包括了一块 PCB 作为散热器，所以将你自己的 PCB 作为散热器不会对降低元器件温度有所帮助。

5.2 热 I/O /110

供应商对封装元器件给出了一系列的摩西诫律。你设计的封装必须具有散热路径，给封装用户关于这些散热路径的详细信息，并且使用户能够直接测量元器件结温。这些戒律将比之前的摩西十诫更值得遵守。

5.3 JEDEC 标准：墨守成规的标准 /112

一个热设计工程师使用 CFD 和测试的方法去优化一款新型封装元器件的设计，他优化了 JEDEC 定义的 θ_{j-a} 值，而不是一些有用的东西。

第 6 章 松散关联的故事集 /116

6.1 牛奶瓶的故事 /117

一瓶放在塑料野餐盒中的牛奶，在室外零下 20℃ 的条件下多久会达到冰点温度？这是非常重要的，因为我不得不尽早起床去把牛奶拿进屋。这也有助于我了解一些关于室外设备对于气候快速变化的瞬态温度响应。

6.2 规格、谎言和繁文缛节 /120

设备的规格书要求设备入口处的空气为 50℃，并且流量为 100 cfm。你是否可以在流量和温度中取得平衡？如果空气流量为 300 cfm，此时允许的入口空气温度可以是多少？为什么规格书总是错的？

6.3 对散热器不现实的期望可能导致失望 /124

本节罗列了一系列的原因，解释了为什么散热器的实际工作状况与你的预期不相符。

6.4 魔法棒 /128

一个关于热管的童话，在这个故事中刺猬帮助了三只熊。刺猬的热管就像魔法棒一样，但它真实存在并且基于科学原理。热管平衡了熊爸爸和熊妈妈的麦片粥温度，从而使它们生活得比过去更幸福。

6.5 当 6% 等于 44% /131

在电源效率方面的微小提升对于它的热功耗减少非常有帮助。不要被一个听起来没有意义 6% 的改变而愚弄。

- 6.6 很疯狂，它只是有可能！ /134
归纳了一些来自真实技术革新会议的热设计工程师想法。难道他们真的获得了足够的资金，以研究一款内部相变的散热器？

第7章 通信：一个充满神话和错误的领域 /141

- 7.1 模块内部的想法 /142
为什么在通信机柜内部空气流动被设计成从下往上。一些新街边男孩（美国歌唱团体，暗指不了解通信背景的人）正尝试从通信机柜的侧面进出风，以便于在一个机柜中摆放更多的模块。
- 7.2 使机柜满足 ETSI 标准 /145
将一个为美国市场设计的通信机柜修改为满足欧洲市场标准是一件麻烦的事情，其复杂程度要远大于阅读一份法语的规范文件。机柜的工作温度范围有所不同，并且它们所谈论的空气压力实则是海拔。
- 7.3 NEBS：数据中心的圣经 /148
本节归纳了通信行业标准 Telcordia's GR-63-CORE 的散热指导。在这个世界上违反这些指导将受到惩罚，并且未来也是如此。
- 7.4 新的 NEBS：比另一本圣经更可怕的神话 /152
在 2001 年有一个 NEBS 将要被重写的传闻。但实际情况并非如此，一本新的热管理标准被推出，并且它似乎已经被 Stephen King 代笔撰写。
- 7.5 正常室温：最新的热最恶劣条件 /155
Herbie 降低风扇的转速来满足 NEBS 对于噪声的要求。但这是否满足正常室温和热最恶劣条件？不是因为温度，而是因为此时空气流量很小。
- 7.6 空气冷却中最薄弱的环节 /158
现在已经是 21 世纪。我们还没有个人的喷气背囊，并且我们还在用空气使房间降温。事实证明空调技术是相当好的，但弱小的人类被限制在空气冷却的方程式中。我们的机器人仆人在哪里？

第 1 章 测量与测试：直接从实验室得到错误的结果

测试数据被认为比其他种类的信息更为“真实”。当然，对产品进行测试要好过不对其进行测试。但即便使用这个地球上最精确的测试仪器得到的测试结果也未必准确。做错实验和测试的方式是多种多样的。本章中仅仅给出了其中一些有趣的例子。

可能你会质疑我。你认为使用正确校验过的仪器总是可以获得真相。

人们都说相机不会说谎。

仔细看一下你驾驶证上的照片。你觉得照片上的你是否与你很像？

