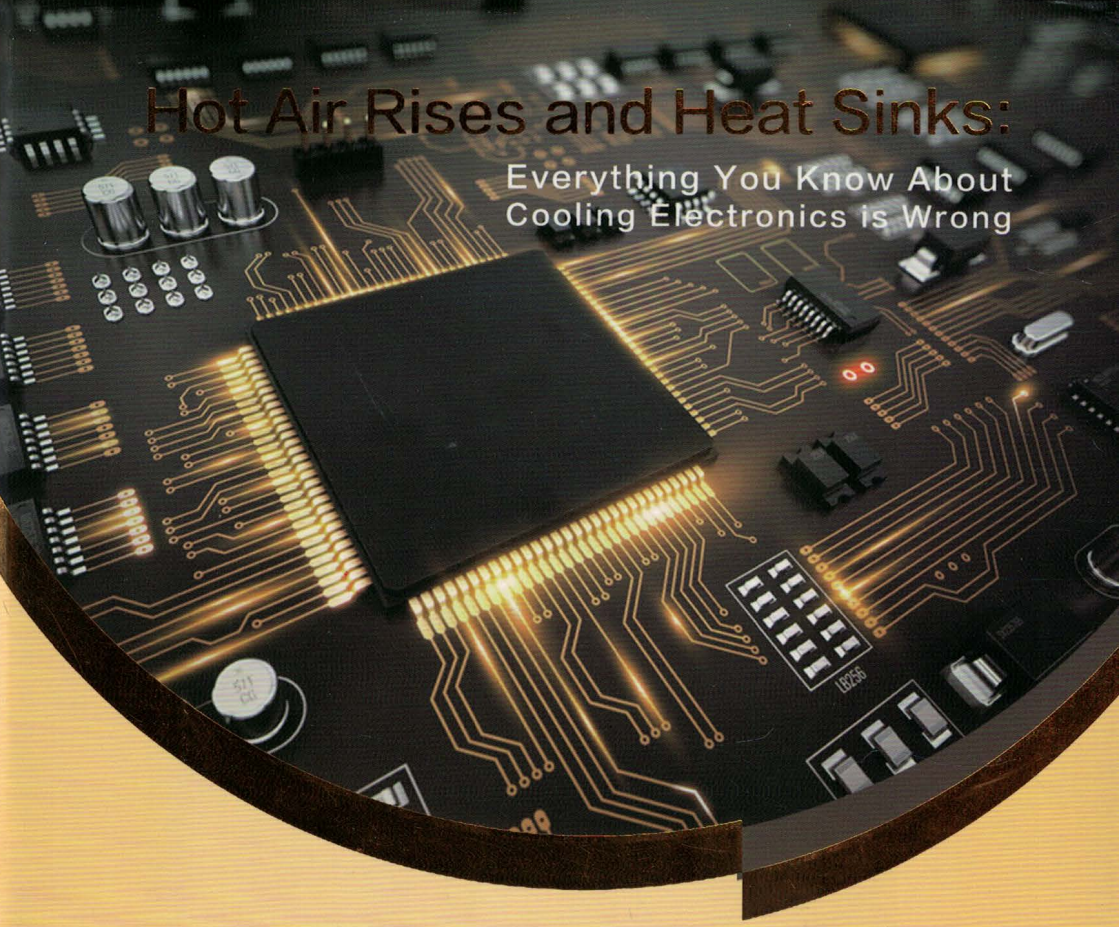


寻找热量的足迹

电子产品热设计中的温升与热沉

[美] 托尼·科迪班（Tony Kordyban）著
李波 陈永国 王妍 译

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

关于作者



Tony Kordyban

自从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与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》《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网站上 。

关于译者



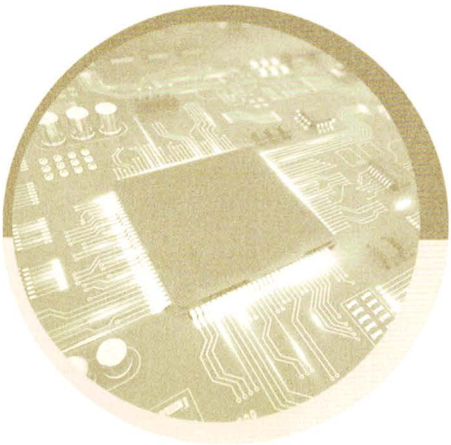
李 波

男，生于1982年9月，同济大学建筑环境与设备工程学士，上海理工大学工程热物理硕士，在校期间主要研究方向为电子设备冷却技术。曾就职于台达电子企业管理（上海）有限公司和明导（上海）电子科技有限公司。现为热领（上海）科技有限公司电子设备热设计技术主管，负责电子设备热设计、热仿真技术的应用、推广和培训等相关工作。曾出版《FloTHERM软件基础与应用实例》，《FloEFD流动与传热仿真入门及案例分析》和《笑谈热设计》等书。

联系方式：13817925025

邮箱：David_lee@Thermanager.com

THERM MANAGER 热领科技



Hot Air Rises and Heat Sinks:

Everything You Know About Cooling Electronics is Wrong

寻找热量的足迹

电子产品热设计中的温升与热沉

[美] 托尼·科迪班（Tony Kordyban）著
李波 陈永国 王妍 译

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

寻找热量的足迹

——电子产品热设计中的温升与热沉

[美] 托尼·科迪班（Tony Kordyban） 著

李 波 陈永国 王 妍 译

机 械 工 业 出 版 社

本书以故事的形式讲述了电子产品设计中不经意或者非常容易忽视的小问题，详细说明了一些设计的谬误，对于提高产品可靠性有着非常重要的指导意义。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。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，对于将来有志于从事电子设备热设计的人士而言，同样具有较大的参考价值。

Copyright © 1998 by The American Society of Mechanical Engineers

Original Edition Copyright 1998, by The American Society of Mechanical Engineers.

This title is published in China by China Machine Press with license from The American Society of Mechanical Engineers. 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.

本书由 The American Society of Mechanical Engineers 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可的出口，视为违反著作权法，将受法律制裁。

北京市版权局著作权合同登记　图字：01-2017-5174 号。

图书在版编目（CIP）数据

寻找热量的足迹：电子产品热设计中的温升与热沉/（美）托尼·科迪班（Tony Kordyban）著；李波，陈永国，王妍译. —北京：机械工业出版社，2018. 6

书名原文：Hot Air Rises and Heat Sinks：Everything You Know About Cooling Electronics Is Wrong

ISBN 978-7-111-59740-7

Ⅰ. ①寻…　Ⅱ. ①托…②李…③陈…④王…　Ⅲ. ①电子产品 - 温度控制 - 设计　Ⅳ. ①TN602

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 081859 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

策划编辑：任　鑫　责任编辑：任　鑫

责任校对：姚玉霜　封面设计：马精明

责任印制：常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 7 印张 · 166 千字

0001— 3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-59740-7

定价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务　　网络服务

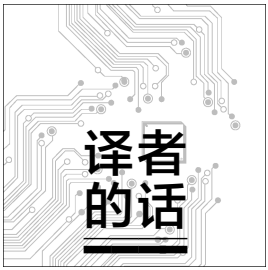
服务咨询热线：010-88361066　　机 工 官 网：www. cmpbook. com

读者购书热线：010-68326294　　机 工 官 博：weibo. com/cmp1952

010-88379203　　金　书　网：www. golden-book. com

封面无防伪标均为盗版　　教育服务网：www. cmpedu. com

需要全本请访问 www. ertongbook. com



李波如果有时间来漕河泾，就会到我这边来坐坐。每次来都背着一个很大的黑色单肩包。这次来了之后，从包里拿出了 Tony Kordyban（以下简称 Tony）先生的著作《Hot Air Rises and Heat Sinks》，故作神秘地问我想不想一起翻译一把。

本书是 Tony 先生两本电子冷却著作中的一本。李波在 2014 年把另外一本《More Hot Air》翻译出版了。Tony 先生是一位非常资深的电子与通信产品热设计专家，他以幽默风趣的写作风格，将其在长期工作过程中积累的热设计经验教训，以令人耳目一新的形式呈现给广大读者。我在美国的同事与其相识，据介绍 Tony 先生从小立志成为一名作家。即使后来从事了热设计工作，但工作中的点点滴滴和丝丝缕缕都给记录了下来。他对于写作的坚持和不懈，对于技术的钻研和探究，为我们带来了许许多多的工程小说。

记得刚进入热设计这个行业时，我浏览最多的就是 Tony 先生在网络上的博客，博客的名字就是《Everything You Know About Cooling Electronics Is Wrong》。Tony 通过与读者互动的形式，将读者关心的电子和通信散热问题一一作答。Tony 撰写的博客非常风趣，总能吸引我不停地读下去，受益匪浅。

今天来翻译 Tony 的著作，依稀可以看到书中透出当年博客的风采。每一章以一个故事的形式娓娓道来，将复杂的电子散热知识

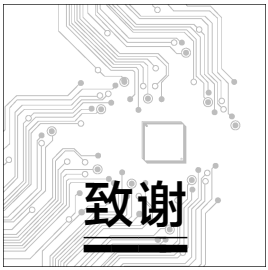
以简单明了的形式介绍给读者。每一个故事包含着一个热设计经验教训。不论你是刚入行的热设计工程师，还是入行多年的资深工程师，均能从每个故事中学到一些东西。

一个好汉三个帮，这次翻译也邀请到 Automotive Lighting 的高级热设计工程师王妍一起参与。李波主要负责致谢及第一～十章；我主要负责第十一～二十章；由王妍进行第二十一～三十章翻译。在翻译过程中，得到了机械工业出版社任鑫老师的大力支持，在此深表谢意。

限于译者水平，以及 Tony 先生旁征博引和诙谐幽默的写作风格，本书翻译不当之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

陈永国

2018 年 4 月



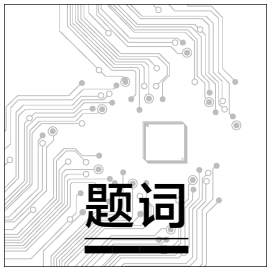
本书最初是源于公司内部关于热设计的时事通讯《HOTNEWS》，它的总发行量不超过 100 本。在没有得到 16 个批准的情况下，绝大多数公司不会让你写一篇关于太阳如何从东方升起的报告。Tellabs 公司不仅没有制止我，而且鼓励我去撰写这些设计错误。这些设计错误充满了幽默的风格。

不仅如此，领导们认为《HOTNEWS》将会成为一本畅销世界的好书。我特别感谢我开始撰写《HOTNEWS》时的公司副总裁 Jim Melsa，他现在是爱荷华州立大学工程院院长，他帮助我做这件事情，并且找到了一个协助出版商。Ted Okiishi 为这么一个奇特的项目寻找合适的出版社，他是爱荷华州立大学工程院研究和外联院长。如果没有我的经理 Tom Ortlieb 和总监 Paul Smith 的支持和鼓励，《HOTNEWS》和本书也是无法出版的。他们认为可以从错误中收获良多，而不是置之不理。

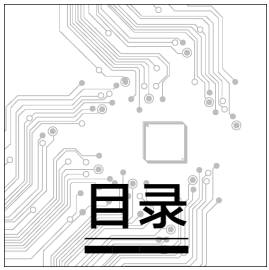
我需要感谢 Carol Gavin，他允许我在本书中使用 Tellabs 公司的时事通讯材料。Tellabs 公司的董事长和 CEO Mike Birck 也非常开明地同意了这件事，可能他也认识到这件事或多或少还是有教育的潜力。

此外，我得到了很多来自 Bill Ramsay、Margaret Ramsay、Bertha Thomas 以及我妻子 Alice Ramsay 的精神上和物质上的支持。

感谢几位《HOTNEWS》匿名的读者，他们建议“你入错行了。你应该放弃从事技术，而成为一个作家!”我相信你们没有在评论我的技术能力。



致敬我的父亲 Eugene S. Kordyban，是他告诉我两个不能吸热水的原因。如果你能记住有趣的原因，那么你也永远不会忘记真正的原因。



译者的话
致谢
题词

第一章　我们不贩卖空气　1

我们的男主人公（作者）发现他的新同事在产品设计需求中撰写了一些工程传说。你是否应该测试实际的产品温度，或者是产品出口处的空气温度？

经验：所有热问题的核心是元器件结温。

第二章　每一个温度都是一个故事　9

一个电阻烧掉时有多热？是否高于或低于焊锡的熔点？实验室中总是传说元器件烧毁或焊锡熔化，但实际它们有多热？冰激凌的理想保存温度是多少？

经验：在温度标尺上做些标识。

第三章　环境控制不是那么容易　15

Herbie 了解到除非产品最终在恒温箱内工作，否则恒温箱内进行产品测试并不好。

经验：自然与强迫对流，热失效。

第四章　金刚石是 GAL 的挚友　21

通过阅读有关描述环氧树脂热性能的文章可知，它的热性能要比普通环氧树脂好 50%，但从热传导的角度而言，它还是一个绝热体。

经验：热导率。

第五章　坚守底线　31
不要告诉 PCB 设计工程师，他设计的 PCB 热性能非常差。他会将此设计作为唯一的可行设计。
经验：介绍 CFD（计算流体动力学）。

第六章　什么时候是一个热沉（散热器）？　38
越来越多来自 EE 世界的很多工程传说谈论铝就像海绵一样具有吸收热量的魔法，并且将热量释放到另一个世界。
经验：对流和表面积，热传导。

第七章　权衡　46
电气性能、成本和温度三者需要权衡，所以产品不能温度太低。
经验：结温工作限制。

第八章　恐惧症　51
全公司的人都害怕旋转气体加速装置（风扇）。
经验：风扇有着让人们害怕它的缺陷，所以在最开始的阶段就要仔细考虑它。

第九章　间隙冷却系统　56
一个系统的冷却仅仅是因为机箱内无意中设计的空气缝隙。如何预测一个冷却系统的性能真的是门大学问。
经验：通过手算自然对流流动几乎是不可能的。

第十章　极限　63
自然对流有极限，因为大自然不会面对很多竞争，并且不会努力在流程方面进行改善。但是计算机芯片正变得越来越热。
经验：自然和强迫对流冷却。

第十一章　保持头脑冷静　69
最大风量为 25CFM 的风扇，在系统中却无法提供 25CFM 的空气流量。Herbie 对此感到疑惑不解。我只好将风扇在系统中风量的估算图表画在餐巾纸背面，供他参考。
经验：风扇性能曲线。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第十二章　易怒的样机　76

电子元器件的冷却与电源的冷却存在一些差异，与人体的冷却差别更大。为一个项目制定热设计目标，不仅仅只是填写一份表格那么简单。

经验：工作温度极限。

第十三章　错误数据　84

元器件的数据手册上写满了各种各样的数据，然而很多数据通常只在无关紧要的时刻才显得有用。就像我的测温手表，只在气温暖和的时候才稍显精准，当户外天气很热或是很冷的时候，温度读数往往错得离谱。

经验：用空气温度来定义元器件的工作温度极限，这个数据其实没有多大用处。

第十四章　悲观是质量工具　91

Herbie 和 Vlad 发现，两个风扇有时候并不比一个风扇凉快。

经验：两个并排安装的风扇，并不是总能提供冗余冷却。

第十五章　风儿吹啊吹　98

传热学中的伪科学和误解来自于哪里呢？应该是始于电视天气预报和所谓的“寒风指数”。

经验：强制对流换热方程。

第十六章　热电偶：最简单的测量温度的方法，却可能测出错误的数据　105

热电偶是最可靠和最准确的测量温度的方法。然而，如果你像 Herbie 那样使用热电偶的话，热电偶也可能测出错误的数据。

经验：热电偶有可能不能正常工作。

第十七章　CFD 图片很漂亮　110

计算机仿真能够在电子设备样机出来之前预测其内部电子元器件的温度，并且可以达到较高的预测精度。

经验：需要更多关于计算流体动力学（CFD）的知识。

第十八章　过犹不及　117

从杂志上的照片看，针状鳍片散热器似乎有更多的散热面积。但是，为什么它的散热性能没有变得更好？

经验：强制对流只对平行气流方向的散热器面积起作用。

第十九章　计算机仿真软件是测试设备吗　124

除了做热仿真的工程师之外，没有人会相信计算机仿真结果；除了测试工程师本人，大家都盲目地相信热测试数据。为什么不将热仿真结果和热测试数据进行比较，得出一个让所有人都认可的结果呢？

经验：计算流体动力学（CFD）可以解读温度测试数据。

第二十章　热电三极　131

有关热电偶的民间传说和争论：热电偶线的接头应该焊接还是熔接呢？如果你测量的方法不对，采用焊接或熔接又有什么关系呢。

经验：了解热电偶的工作原理。

第二十一章　混乱的对流　139

自然对流和强制对流本来应该是朋友，为什么要让它们互掐呢？好在有芝加哥小熊队［美国职业棒球大联盟（MLB）的一支球队］的球迷参与其中，出现自然对流和强制对流互掐的“球迷”系统最终失败。

经验：当自然对流和强制对流在相反的方向上工作时会出现什么问题呢？

第二十二章　视情况而定　145

一个64引脚的元器件能够散发多少瓦的热量？机箱需要多大的通风孔？从印制电路板焊接面散发的热量占总热量的百分比是多少？这些常见的电子冷却问题的答案都是“视情况而定”。

经验：元器件封装功率限制及其局限性。

第二十三章　防晒霜是不是烟雾　153

大学的一项研究声称，涂了防晒霜的皮肤比裸露的皮肤温度要低20%。即使是电子工程师也可以发现，这个研究结论显然是错误的。

经验：温度不是一个绝对量。

第二十四章　70℃环境下比50℃环境下的测试结果低　158

在70℃环境和1000ft/min（5.08m/s）空气流速下进行的热测试比50℃环境和0ft/min空气流速下的测试更严苛吗？并不总是如此。

经验：对流换热取决于空气速度和温差的组合，而不仅仅是空气温度。

第二十五章　锅里的水终究会沸腾　163

实习生Roxanne没有相信关于冷却的传统做法。传统的热测试流程是：启动测试后等待1h，然后记录温度数据。Roxanne没有遵循这一传统测试流程，她一直等到温度稳定在一个最大值时才开始记录，然后发现测试结果全变了。

经验：热时间常数和瞬态对流。

第二十六章　最新的热CD　173

当你发烧时，护士有没有给你的舌头下面放一些冰，然后再给你量量体温。Herbie想把散热器只放在那个温度测量过热的元器件上。

经验：一个复杂的装配可能不仅仅是一个单一的工作温度限值，这个限值可能会在不同环境条件下改变。

第二十七章　什么是1W　179

一个耗散1W热量的元器件有多热？就像房地产一样，这取决于位置、位置、位置。

经验：对流+传导=耦合传热，一个棘手的问题可以影响你的直觉。

第二十八章　热阻神话　186

找到结温是一切的关键。但事实证明，计算它的唯一方法是基于上古神话而不是物理公式。就如柯克船长说的“事实上所有的传说都有一些事实依据，在更好的事物出现之前，你只能坚信这个神话。”

经验：传导；结和外壳之间的热阻定义。

第二十九章　热电制冷器是热的　193

电气工程师喜欢这些全电子化的制冷器。Herbie 提议在新系统中使用它们，后来放弃了，因为他了解到热电制冷器不仅花费巨大，而且它们还要求有风扇和散热器，并且会使元器件比不使用制冷器时更热。如果它们根据制造商宣传的那样进行工作，为什么它们还那么糟糕？

经验：珀尔帖效应冷却。

第三十章　纸牌屋　199

即便是专家也曾迷信一些神话。深夜的忏悔显示通过控制电子设备温度来提高它们的性能和可靠性的方法并不像声称的那么厉害。希望不久的将来，科技的进步能够在不颠覆整件事情的情况下为这个“纸牌屋”打下一个坚实的基础。为什么没有任何人担心？

经验：电子设备的温度和可靠性之间的关系没有那么科学。

Herbie 的准备工作助手　207

如果我让你对于热交换和电子散热或者是关于本书中的任何内容充满兴趣，你可以从以下这些资料中找到更为详细的说明。

第一章　我们不贩卖空气

我们的男主人公（作者）发现他的新同事在产品设计需求中撰写了一些工程传说。你是否应该测试实际的产品温度，或者是产品出口处的空气温度?

经验：所有热问题的核心是元器件结温。

我第一次遇到 Herbie 是在入职 TeleLeap 公司后不久，这是一家位于美国中西部的小公司。公司名字 TeleLeap 源自跨越当前技术研发新一代通信产品的理念。当然也有些人说是我们公司习惯于在闰年推出新产品。

从熟悉公司洗手间位置到能胜任一大堆工作之间的那段时间是非常不适应的。你对承担的第一个工作任务的处理方式为以后的其他工作奠定了一个基调。无论是福是祸，第一个进入到我简陋办公室的人是 Herbie。

他说："你就是那个新来的散热大师。"然后一下子坐在了那张扶手破碎的椅子上。"你认为自己是这方面的专家吗?"

我笑得有些苍白。差不多有几个关于散热设计的双关语，而且在这两三天内我都听到了。

“就是这样，”我边说边耸了耸肩，“我被要求成为公司的散热专家。”

Herbie 点了点头。“作为一个专家你能做什么？”

“我真的还不是很清楚，我正在回顾这些传热学书籍。”

“哇哦，我从来都没看到过任何人在工作中使用教科书。你肯定是一个散热大师。”

我问：“你是不是有些散热问题要问我？”

Herbie 跳到白板前，并且拔去了一个难闻的绿色记号笔的盖子。“这是一个小容器。看，我们将这个系统称为 Crosser。”他画了一个盒子，并且在内部画了四条竖直的线。

我模棱两可地说：“行。”

“这个 Crosser 系统已经完成测试，并且出货也有 9 个月了，但现在我们想这么进行……”他在原有的基础上又画了四条线，说：“我们想在系统内增加一倍的板卡。”

我问：“你们准备将它命名为 Double Crosser 吗？”

Herbie 对于这个建议不耐烦地摆了摆手，就如同这个建议是只恼人的蚊子。“很明显在相同的空间内热量翻倍，问题是它能不能工作？或者说能不能正常工作？”

我站了起来，并且仔细看着白板上的问题。从改进的角度看，它也无非是一个具有 8 条线的盒子。“或许你应该把真实的情况告诉我。”

Herbie 盖上了记号笔，并且把我带到了实验室。

TeleLeap 和其他通信公司非常相像。一条沉闷混乱的走廊、打印机，以及一个一个小隔间内忙于相互进行电话留言的人们。还有一些看不到的地方，所有的这些构成了一个通信公司。TeleLeap 通过产品赚了大把的钞票，但 99.9% 的人不知道这家公司的存在。

需要全本请访问 www.ertongbook.com