

2018年1月号

I-Connect007  
GOOD FOR THE INDUSTRY

# pcb007 中国

线上杂志

CHINA MAGAZINE

## 电子电路热管理

点击阅读与订阅



# 赶走热量

by Edy Yu

I-Connect007

随着汽车电子、LED 照明和可再生能源等领域的不断壮大，消费者对高性能以及高可靠性的需求日益增长。这意味着热管理已经成为 PCB 制造中的一大难点。本月我们邀请了不少行业专家来为您解答如何管理热量。

多年前您可能不会想到，环保革新会对我们 PCB 行业产生如此深远的影响。LED 在家用、汽车、公共场所的大量涌现，对于散热电路板产生了巨大的需求。最新的高功率芯片（功率越大，热量越大）需要创新的方法和材料来驱散热量。毫无疑问，汽车是高功率电子应用的新重点，全世界都在关注着。

我们的技术文章和专栏中反复提到的问题是：散热到底是与设计关系大一点，还是

与制造关系大？其实这很难讲，两者都有，而且越来越难把两者区分开来，我强烈建议不能闭门造车，要多关注其它产业链环节。我们经常听到说设计师、制造商、装配商和最终 OEM 客户之间缺乏沟通。所以，

如果你认为“热管理不关我的事”，那么我这里建议您坚持读下去。也许您或多或少会从中受益，尽可能多地了解客户与供应商的想法还是非常有价值的。

首先 Ventec 公司的 Mark Goodwin 为我们解释了功率电子的浪涌（双关语）。他针对热管理材料的选择，包括新型介电材料的导入做了比较详细指导。

同样来自材料领域的 Rogers，市场技术工程师袁署光，从热流模型理解 PCB 电路中的热管理。电路中的有源器件或加载源所产生的热量会形成一条由高温区



域流向低温度区域的通道。不同的 PCB 材料参数，如热导率、耗散因子等提供了热传导模式如何在不同的 PCB 材料建立的思路，并且指导我们当选择高功率热导材料时如何确定其 PCB 材料的参数。

提到德国 Peters 裴特笙，大家总会想到的是电路板防护的三防漆，其实他们还有一系列非常重要的 PCB 电路板用油墨，全球产品应用经理 Sven Kramer 和中国区总经理王振平就如何用丝印型导热油墨来连接传统散热片和 PCB 达到散热的功能进行探讨。

美国标准电路公司首席执行官 Anaya Vardya 仔细讲解了单面到多层金属覆盖 PCB 的构造。他着重指出了生产中所需做的抉择，潜在问题以及材料选择等多个关键点。

PCB Technologies Ltd 公司的 Jim Barry，讨论了大量常用的散热器技术，包括热通孔、Coin 技术和铜厚选择等。俗话说“一张图片胜过千言万语”，所以在文章的开头他用一张图详细概述了散热的多种方案。

接下来是一位电路板生产者的发言，Aismalibar 的 Gareth Parry 专注于 LED 应用，为我们提供了设计和制造方面的实用建议。

除了主题之外，本期还有不少连载内容。

RBP 化学公司的 Mike Carano 继续 HDI 的主题。想要成功应用 HDI，有一些能力必不可少，这期 Mike 谈的是材料的选择，以及通孔的形成。

25 项工程师必备技能进入第八讲，学习曲线。正确掌握与预测学习曲线不仅能帮我们在竞争激烈的市场环境中控制成本，还能帮我们做出合理的定价策略使得利益最大化。

PCB 组装部分里 C-MAC 微电子的 Marco Lajoieand 和 Alain Breton 为我们讲解了焊料

印刷工艺输入对焊膏体积分布的影响。随着复杂性、密度、成本和可靠性要求的不断增加。掌握这方面的知识相当重要。

我们采访了 Optimal Electronics 公司 CEO 兼 CTO Ranko Vujosevic 博士，他介绍了该公司最新的技术发展成果以及未来规划。采访的主题围绕着全自动电子组装还有多远，涵盖了相关技术的讨论，以及工业 4.0 的终极目标。

PCB 设计环节应该如何进行散热处理？一博科技的周斌为我们带来干货。对产品热设计的讨论和研究，贯穿了整个 PCB 设计过程，在不断的创新和钻研中，使得产品散热效果达到最优。

在设计印制线路板时，热管理通常在为板子选择好芯片封装和布局后就确定下来了。在此之后，即使在运行时元件过热也只能采取补救措施，如果一开始就错了，那么产品推向市场后就惨不忍睹。Mentor, A Siemens Business 的 John Parry 认为简化优化 PCB 散热设计流程势在必行。

最后推荐的是 I-CONNECT007 和 Mentor, A Siemens Business 为您带来的关于电源完整性的新书。本书对电源分配网络性能进行了深入探讨，着重强调了电传输中的常见问题，并在每章中都给出了仿真和分析案例。免费下载千万不要错过。

很高兴在新的一年里，能为您带来“电子电路热管理”这一重要主题，希望新的一年里我们的 PCB007 中国线上杂志能成为您最爱的读物，帮助贵公司稳步发展的参考资料。下个月我们将带来“设备专题”，紧接着就是三月的展会特刊。期待能在展会与我们的读者见面，当然要先[订阅起来](#)！

## 电子电路热管理

随着汽车电子、LED 照明和可再生能源等领域的不断壮大，消费者对高性能以及高可靠性的需求日益增长。这意味着热管理已经成为 PCB 制造中的一大难点。本月我们邀请了不少行业专家来为您解答如何管理热量。

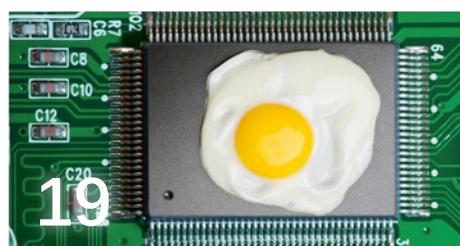
### 专题文章



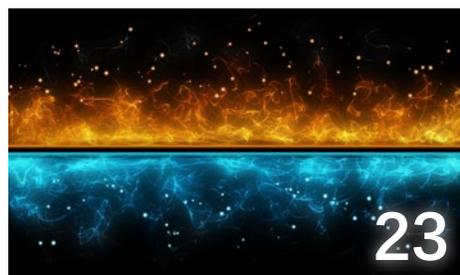
- 7** 运用散热材料及热管理提高功率器件可靠性  
by Mark Goodwin



- 13** 从热流模型理解PCB电路中的热管理  
by 袁署光



- 19** 导热涂层在PCB上的散热应用  
by Sven Kramer and 王振平



- 23** 热管理：绝缘金属基板PCB  
by Anaya Vardya and Dave Lackey



- 31** 裸板级热管理需要考虑的因素  
by Jim Barry

- 39** PCB热管理的发展之路  
by Gareth Parry

NEW!

# pcb007 中国

线上杂志

I-Connect007  
GOOD FOR THE INDUSTRY

I-Connect007为您带来全新出版物：PCB007中国线上杂志。提供丰富的全球视野，符合中国读者口味的内容。每月专栏，技术文章和大量采访深受广大PCB制造商的欢迎。本出版物的目的是帮助中国PCB制造商提高生产效率和盈利能力。

PCB007中国是电子杂志，可免费下载或按需打印。



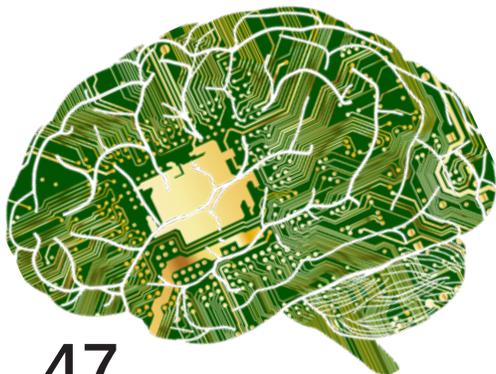
我们的广告计划让您的市场营销预算发挥最大效益，您得到的不仅仅是一个广告位。我们推荐您订购750美元/月的标准套餐，该套餐将为新客户提供的全面的市场覆盖。

更多信息，欢迎联系我们的销售团队。✉ 大中华地区: Edy Yu edy@iconnect007.com.

✉ 全球: Barb Hockaday barb@iconnect007.com.



扫码免费订阅



47



85

## 更多内容

### 特约专栏

- 43 向微通孔进军：第二部分 HDI所需材料  
by Michael Carano
- 47 25项工程师必备技能：学习理论/学习曲线  
by Happy Holden

---

### PCB组装专区

- 55 焊料印刷工艺输入对焊膏体积分布的影响  
by Marco Lajoieand and Alain Breton

- 61 Optimal Electronics 着眼于未来发展  
by Stephen Las Marias

---

### PCB设计专区

- 69 浅谈PCB降温策略  
by周斌
- 81 印制线路设计师指南：  
基于实例的电源完整性分析  
By Fadi Deek
- 85 简化PCB散热设计流程  
By Dr. John Parry

- 17 行业短篇新闻  
深圳博敏顺利通过航空航天质量管理体系认证

- 30 Walt Custer 2017年度报告

- 80 Dan Beeker的AltiumLive主题  
演讲：空间是所有的关键

- 83 铋在电子行业中的作用  
第2部分

---

### 其他栏目

- 38 PCB007中文网站Top Ten

- 91 行业活动日历

- 92 广告索引、下期预告  
工作人员名单



## 在您的住所办公!

I-Connect007正在寻找经验丰富的销售人员,为全新的电子行业月刊杂志以及网站创造与管理广告收入。

### 主要职责：

- 销售月刊电子杂志广告以及网站广告位
- 开发并培养新客户
- 进行及时准确的文档记录
- 开发并跟进潜在客户
- 客户管理：与团队合作，为客户提供后续服务
- 与潜在客户进行电话和电子邮件沟通
- 偶尔出差，参加大型行业活动

### 资格：

候选人需要有大学学历，有管理和培养潜在客户，预测、跟进以及报告广告收入方面的工作经验。候选人需要态度积极、能力强、能够自我管理，适应在基于团队的虚拟公司环境中工作。

### 报酬：

该工作以底薪加提成的方式计酬。

### 要求：

- 常驻中国大陆，华南地区优先
- 良好的中英文读写能力，优异的人际交往能力
- 能够遵循已建立的工作系统并快速学习
- 能够处理好公司的外部和内部关系，并符合公司的核心价值观
- 2年以上销售经验
- 熟练使用Office办公系统
- 积极性高，目标导向，有成功广告销售/会议研讨会销售案例者优先
- 优秀的销售、沟通和谈判技巧
- 能够区分轻重缓急，有时间管理能力和组织能力
- 根据潜在客户的需求制定广告方案与推广建议
- 有电子行业从业经验者优先

[QUALIFIED CANDIDATES: CLICK HERE TO APPLY](#)



# 运用散热材料及热管理 提高功率器件可靠性

by Mark Goodwin

Ventec International Group

## 引言

使用先进的散热材料有助于汽车行业及其他领域，如 LED 照明，可再生能源等，制造出更加环保的产品，满足消费者对高性能及高可靠性的需求。

## 高可靠性要求功率器件

现代汽车中大功率系统的电气化程度越来越高，这就意味着电路板需要额外的功率分系统处理电池管理、动能回收及大功率牵引电机控制等功能。峰值需求会驱动大电流通过器件

和电路，在最大功率电机驱动下，功率可达数百千瓦。因此，热管理对于将工作温度保持在可接受的范围内非常重要。

半导体元器件如功率晶体管或二极管的工作温度每上升 10° C，其寿命就会减少 50%。因而有效的热管理，通过限制由于通过电流而引起的晶圆内温度上升，帮助高效地导出内部产生的热量，来延长其寿命。如果元器件的寿命时间超过汽车的预期寿命，就可确保可靠性。

当然，在汽车市场可靠性是最重要的，今天的汽车制造商通过潜心耕耘，使得多代传统

# 创新： 翘楚所为。

ESI先进激光加工方案  
助力软板加工业内龙头，  
用创新占先机。

什么才是您明智的不二之选？  
答案就是ESI的激光加工方案。  
卓有远见之选，助您扶摇之力。

选业界翘楚之选，  
由ESI来满足  
您的软板钻孔之需。

**esi**®  
卓越设计，精湛制造

ESI的激光加工解决方案的软板系列

**5335**™      **Flex5335**™      **5335xi**™  
**GemStone**™      **LodeStone**™      **RedStone**™



更多信息请访问[www.laserprocessing.cn](http://www.laserprocessing.cn)

汽车的细节已经赢得了市场美誉。当汽车行业进入不熟悉的领域时，他们已有的好声誉就可能受到威胁，需要想办法控制与功率电子系统可靠性相关的问题。

在应用越来越广泛的电子行业，由于其市场的快速增长，如 LED 照明及可再生能源，热管理已经变得越来越重要。但是，很多工程师仍把散热问题当作是次要问题，最近的一项行业调查<sup>[1]</sup>表明，常常在设计后期才考虑热管理，为了简单地确认系统不会过度发热，只进行最低限度的散热测试。如果在后期发现问题，可能不得不需要重新设计，此时，成本必然会非常昂贵。

为了确保汽车电子元器件的可靠性，就必须重新设计，不仅品牌形象会受到严重的负面影响，而且与重新设计相关的额外成本及延迟交付都是不可接受的。面向可靠性设计，包括针对电子元器件的适当热管理，在产品开发的初期就非常重要。

另一方面，设计过度的热管理会相当昂贵，就更别提其重量和庞大的体积了。在汽车行业，这两点都是不可接受的，所以工程师需要知道如何精确地提出热管理的条件，如何采用最佳的材料和组装技术限制元器件温度上升，同时也能满足对尺寸、重量及成本的严格限制。

### 了解热管理

表面贴装功率半导体封装如：扁平无引线 (QFN) 封装或柱栅阵列 (LGA) 封装，其设计通常是把晶圆的热量尽可能地引到封装的底部。这里是一块大的暴露的绝缘金属散热器 (见图 1)，或将功率晶体管的放大电气连接如金属漏极或源极端子 (IGBT 或 MOSFET) 直接焊接到电路板或基板。如与功率要求相关的空

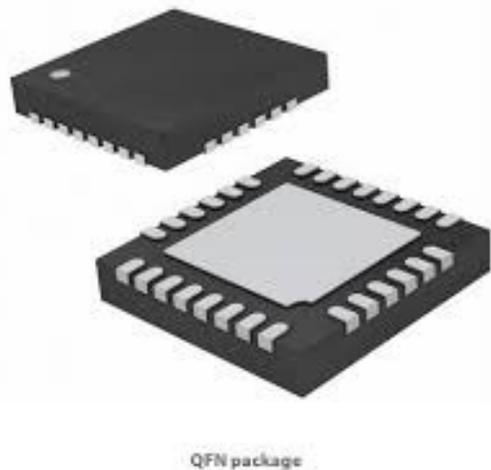


图 1：功率封装器件通常把热量传导至封装底部，再传导至电路板

间有限，如大功率或超小型化的牵引逆变器，IGBT 或 MOSFET 器件就可能是带有金属化端子的裸晶圆，并直接焊到基板上。管理来自此处的热量完全取决于基板的属性。

设计师有很多散热处理方法，在适当的成本范围内，采用各种金属和工程散热材料组合，达到所希望的散热性能和机械属性，如尺寸、重量和强度。

为了有效地实现此目标，把组件的散热行为图像化很重要。可以类似于电气电路的方式对散热建立模型，以串联方式将代表基板每个组成部分的热阻抗连接起来。

图 2 给出了这一堆材料如何将热量从晶体管晶圆传导到基板，这一堆材料被看作是串联的热阻抗。

还要注意元器件有相关的热容量，热容量的定义是：单位温度变化时，单位材料吸收或释放的热能量。这对于组件的动态散热性能有很重要的影响。本文的散热片或热量扩散器，是指当开启功率元器件时，它能够控制温度的上升速度，当关闭电源元件时，它能够控制温度的下降速度，在连续运行时，能够控制达到

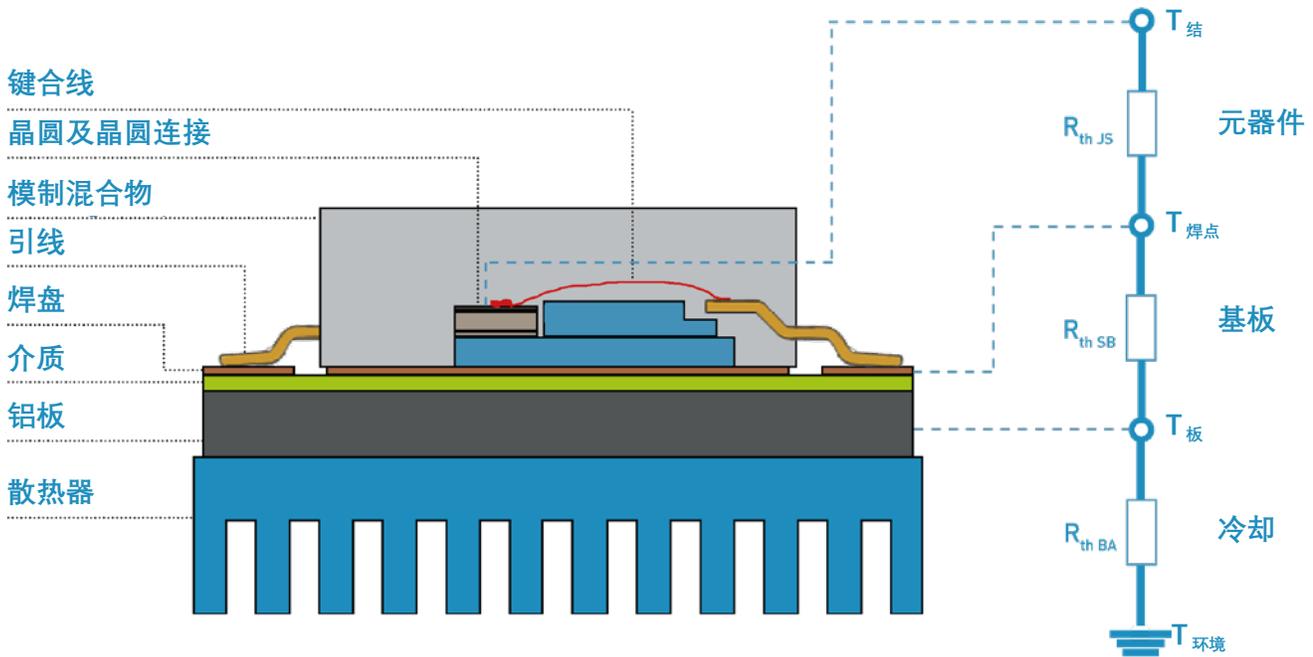


图 2：包含热阻抗的简单模型，可帮助稳态分析

稳定温度的时间。

对于图 2，图中任何组成部分的热阻抗都是厚度及其表面积，材料导热系数的函数。可表示为：

$$R_{th} = \frac{l}{\lambda \cdot A}$$

其中： $l$ = 厚度， $A$ = 表面积， $\lambda$ = 材料的导热系数

很明显，除了选择有最大导热系数的材料外，使厚度减至最小，表面积增至最大，都能够有助于降低热阻抗。要记住材料选择受成本、电气属性如绝缘、机械属性如重量或耐腐蚀，或是否符合 RoHS 或 REACH 法令等因素的影响，设计师可以针对其它属性折中考虑，以达到所希望的性能。

要充分意识到如果有最高热阻抗的组成部分对封装整体性能的影响最大，对此做出改善会大大提高组件从晶圆中去除热量的效率。

### 改善基板性能

常作为普通印制电路板主基材的 FR-4 板，与金属或填充陶瓷的散热材料相比，其导热性相对较差。为了提高直接位于功率器件下方基板的散热性能，可在 FR-4 中钻通孔，再对通孔电镀金属，可促进热量转移到散热片或基板中。另一种办法是，铣磨元器件下方的 FR-4，在磨出的凹陷处插入金属“片”。通过减少其厚度、由高导热系数的金属替换低导热系数的材料，将有效地降低由低导热系数的 FR-4 导致的热阻抗。

尽管这些方法可有效降低基板的总热阻抗，但其缺点包括：由于形成通孔或插入金属片而导致额外增加的工序费时费力，增加了组装成本。

另一种方法是散热金属基板。散热金属基板最早是在 60 年代中期开发的，由上面敷铜箔的层、金属基板及介质层组成，其中，敷铜箔的层通常有通过蚀刻形成的电气电路，而金属板可提高基板的散热性能，介质层可使电路

基底金属材料	导热系数 W/m·K	热膨胀系数 Ppm/k	密度 g/cc	备注
铝1100	218	23.5	2.7	纯铝：良好的导热性，最不适于CNC加工，成本较低
铝5052	138	25	2.7	铝-镁-铬合金： 最适于弯曲，机械成型，可冲压，成本适中，最常见的选择。
铝6061	167	25	2.7	铝-镁-硅-铜合金： 最适于CNC机床加工及V形槽分割，成本较高。
铜	386	17	8.9	纯铜：CTE低、导热系数高、成本高

表 1：作为 IMS 基板材料的铝合金及铜的属性

层与金属板电气绝缘。

IMS 基板通常为铜或铝。金属的选择取决于所要求的热容量和导电性等因素，这些因素会影响到金属基板的尺寸、重量及成本。与广泛使用的铝合金相比，铜具有较高的导热系数和较低的热膨胀系数（CTE）（见表 1），但铜更重、更贵。对于成本和重量都是其首要考虑因素的汽车领域，铝基板似乎更适合。如果较薄的铜基板是可接受的，重量和成本就都可

降低。

对于汽车及 LED 照明行业，新技术是非常重要的，如为了节省空间，符合现在标准成型因素，或为了节约组装成本，包括通过加工金属基板，使其成为各种形状，最终形成 IMS 组件。图 3 给出了加工后的各种新颖形式，解决了复杂的设计难题，又不要求采用多块板及相关的夹具及连接器。在选择 IMS 基板材料时，与机械加工工艺的兼容性是另一个需要考虑的

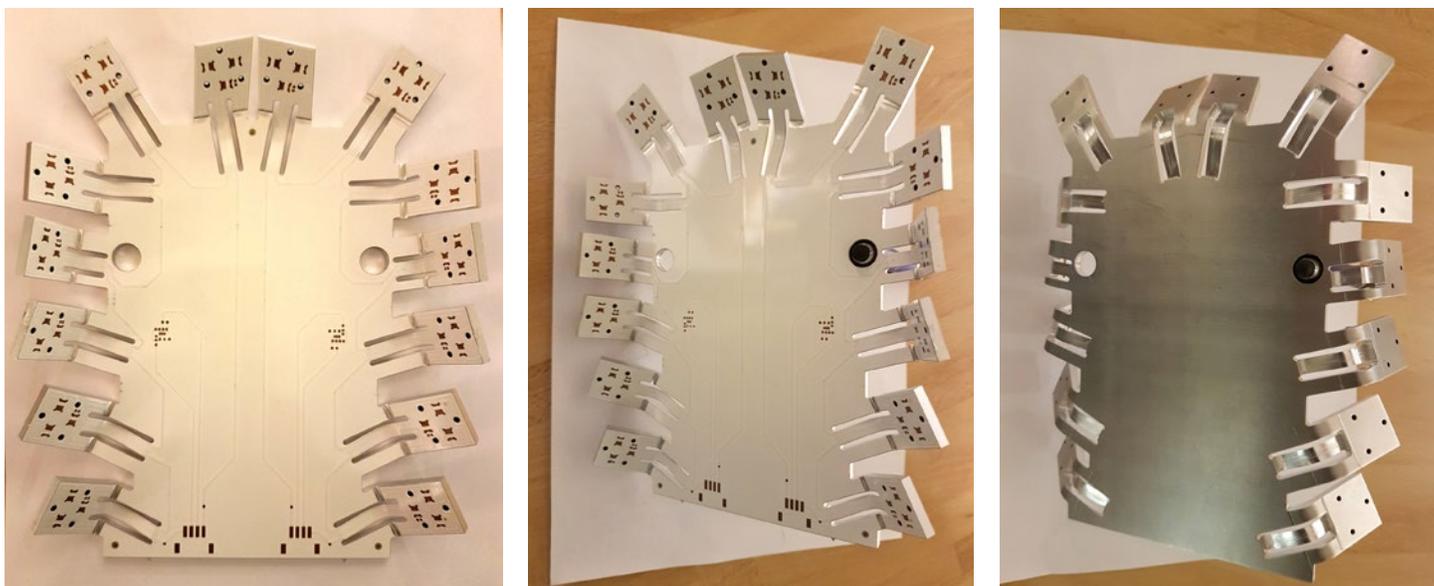


图 3：采用 IMS 的创新设计，允许 3 维成型，可加工出流线型的产品组件，同时还能使电路板的散热性能达到最大

因素。表 1 中的 5052 和 6061 铝合金都非常适合弯曲或 CNC 加工。

## 介质材料新进展

介质材料可以是传统层压结构中的纺织玻璃增强混合物（半固化片），或者未增强树脂。因为玻璃增强材料的性质往往会限制导热性，而非增强介质具有最低的热阻抗。但是，在制造过程中要求保持介质厚度一致，而玻璃纤维提供了自然的机械间隔。在制造中，尤其需要注意确保散热填料颗粒分布均匀，防止夹杂杂质，影响介质强度。

与传统的 FR4 板相比，散热树脂中加入了高达 70% 的陶瓷填料，可显著增加导热性。同时，树脂的作用是把电路箔粘附到金属基板上，它必须能够承受严苛的热循环。即使加了陶瓷填料，介质的导热系数比金属基板和金属芯板的也低。因此，介质材料的改善会对 IMS 的散热性能产生显著的影响。

具有高导热系数的最新介质材料可提供几种方案，供设计师选择，设计师可叠加几层电路箔，电路箔层之间用薄的导热介质层分隔，然后粘接到铜或铝金属基板上。当设计采用 IMS 电路时，这与传统的限制形成了对比，传统的 IMS 设计通常只能与单层电路设计兼容。采用最新介质材料后，现在的设计可节省空间，或在标准的尺寸外壳内可设计实现更复杂的电路。

采用这些新材料后，汽车系统的设计师可以利用其优点，如具有加强局部散热特色的混合基板。随着对自动驾驶模式的依赖越来越强，汽车正在向无人驾驶的方向发展，当大功率转换器或变压器在同一个组件时，预计会出现将逻辑电路和处理电路安装在同一块电路板的需

求。这将有助于克服小尺寸及成本的限制，采用腾辉的 VT-5A2 作为薄芯层或作为玻璃增强半固化片基板。最新的制造工艺可使这种材料埋置在 3 盎司厚的铜箔中，具有较高的功率处理能力。

目前最先进散热介质的性能指标如下：散热系数可达 2.2 W/m·K，是普通 FR-4 的 8 倍；具有可承受表面贴装工艺的最高工作回弹性，包括玻璃转化温度和分解温度（Tg 和 Td）达到了 190 °C 和 365 °C，在无铅回流焊峰值温度下具有更长的分层时间（T300 > 15 min），这些性能指标都是通过标准的 IPC 测试方法测得的。

## 结论

适当的热管理对于功率电子器件在汽车、LED 照明及再生能源新兴市场的应用非常重要。有效去除热量对于防止过高的工作温度及保持最佳的可靠性很关键。建议在开发周期初期就考虑热管理，以满足成本、时间目标及可靠性要求。当今最先进的绝缘金属基板，具有最新散热介质材料，给设计师提供了更多的选择，从而可以实现最大化的性能、节约空间、简化设计及组装。PCB

## 参考资料

1. [Eurotech: Institute of Circuit Technology Northern Seminar 2016, Harrogate](#)



Mark Goodwin 是 Ventec 公司的 COO。

# 从热流模型理解 PCB 电路中的热管理

by 袁曙光  
罗杰斯公司

在诸如高功率功放、汽车的 LED 灯、电源模块等电路中，器件周围都会存在较高的热量，为了减小热量对器件造成损坏或对电路性能及可靠性产生影响，电路的热管理就变得非常重要。常用的热管理的方法有增加接地连接，使用散热器或散热片，或降低环境温度等等。然而，电路总是基于 PCB 电路材料的，合理进行电路设计和选择高导热系数 PCB 材料是进行电路热管理的重要手段。

## 热流模型

热量的减小或降低是一个热传递的过程，其遵循一个常见的热流模型，即从高温的热源

流向低温的 PCB 散热器或冷却器传递，如图 1a 所示是常见的热流模型简化图。从此模型中可以看到，热量的传递与散热面积  $A$ 、散热距离  $L$  以及散热器件的导热系数  $k$  密切相关。在实际的电路中也是如此，如图 1b 所示。电路中发热器件或电路就是热源，热量要从热源传递到底层的接地平面和散热器，就必须经过中间的 PCB 材料。因此，PCB 材料的导热系数，厚度都决定了热流的大小和散热程度。

## 电路设计

热量的产生有一部分直接来源于器件或芯片。当电路正常工作时，器件或芯片就会产生

# MacuSpec VF-TH 200

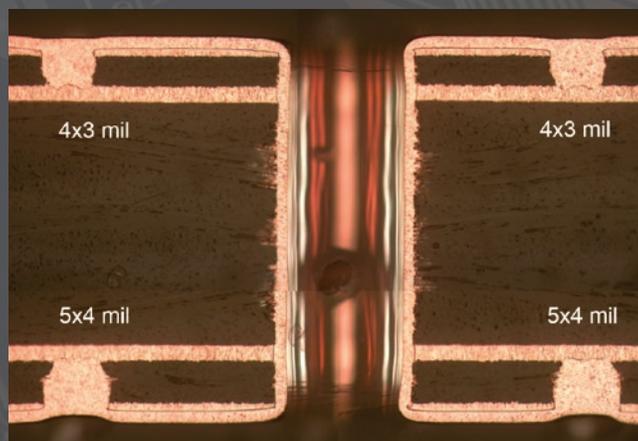
填充和镀通孔金属化过程合二为一

**MacuSpec VF-TH 200** 同时满足高效率、高可靠性和低成本要求，**VF-TH 200** 系列结合独有的专利技术以及我们在该领域丰富的技术经验，能够使用高性能直流电解铜同时完成填充和镀通孔金属化过程。除了提高性能外，**VF-TH 200** 还能助力缩短生产周期，节省加工成本，增强可靠性。



	断裂力 (N)	伸长率 (%)	拉伸强度 (MPa)	厚度 (微米)
1	279	19.68	295	79
2	276	22.42	306	75
3	265	19.67	274	81
4	270	18.67	296	76
5	272	21.72	307	74
6	257	21.91	287	75
7	259	20.14	286	75
8	279	18.94	303	77
9	271	18.83	288	78
10	252	20.73	268	78
平均数	268	20.28	291	77

VF-TH 200 产品通过 IPC 6012D、DS、DA和6013D的要求。拉伸强度超过276 MPa[40,000 PSI]，伸长率大于18%。



MacuSpec VF-TH 200 可以在不到60分钟内填充 3×3 mil 至 5×3 mil 的通孔，并具有最佳的物理特性和结构属性。



**MacDermid Enthone**  
ELECTRONICS SOLUTIONS

[macdermidenthone.com/electronics](http://macdermidenthone.com/electronics)

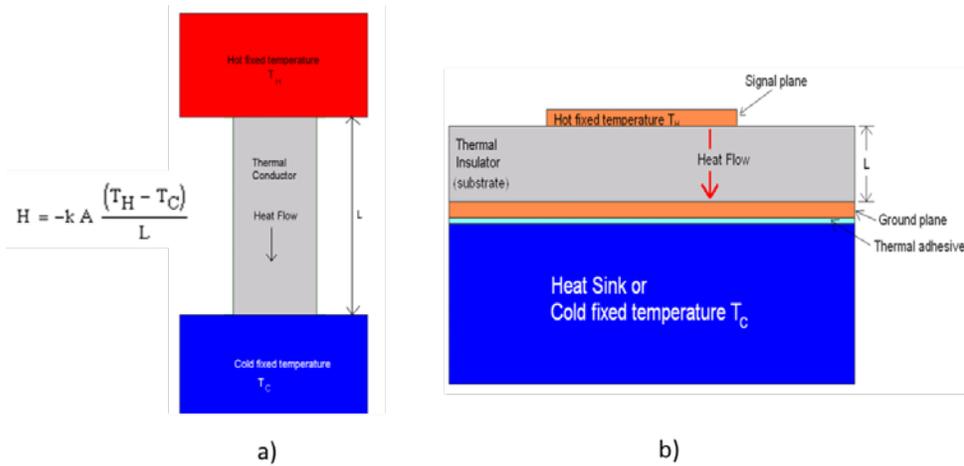


图 1：热流模型及电路的热模型

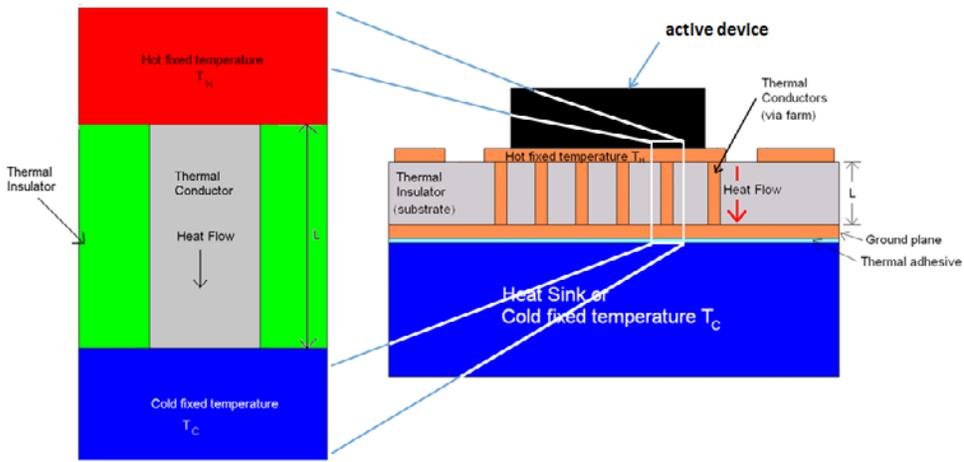


图 2：接地平面上的过孔散热设计

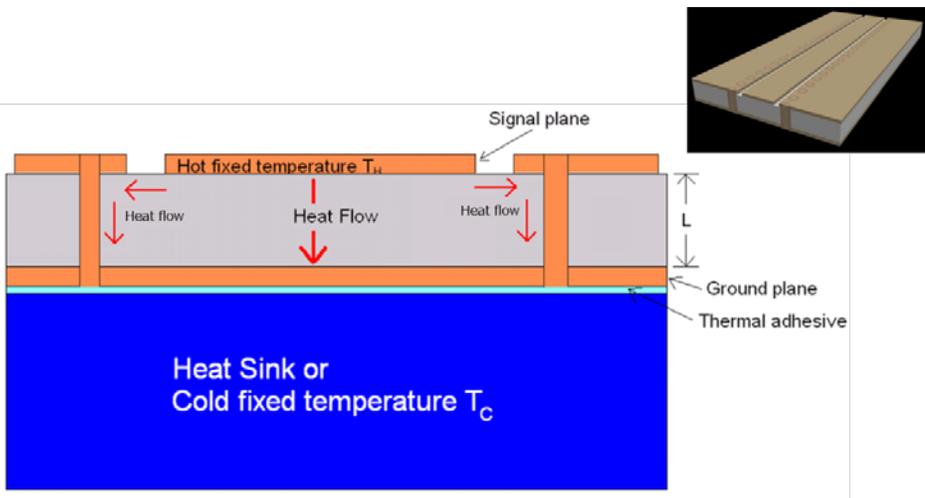


图 3：线路中散热的设计

较高的热量，比如功率变换器件。如图 2 所示，当电路中存在较高热量时，可以通过在芯片下方的接地平面放置密集过孔的方式来散热。这种方式非常容易理解且常见，因为过孔中使用镀铜的方式实现的，而铜是热传导的良导体。

通过过孔来传递热量来散热的设计也可以有另一种形式，如图 3 所示。当电路中的热源来源于线路，而非器件或芯片时，线路中因传输的功率过高而产生了较大的热量。此时，电路旁边的接地平面也可以是热流传递的路径。

线路中的热量产生主要与线路的损耗密切相关。材料的介质损耗和导体损耗是与材料散热性能有一定关系的重要电路材料参数。本质上说，损耗因子 (Df) 是和 PCB 介质材料相关的损耗，损耗因子值越小意味着损耗越小，也意味着功率源产生的热量越小。线路中导体的损耗越低，也会使得在线路中产生的热量越小。

### 热传导系数

然而，使用 PCB 材料的电路，其器件或线路中的热量主要分布在器件或线路的正下方，如图 4 所示。热量的传递也是集中从热源正下方先向散热器

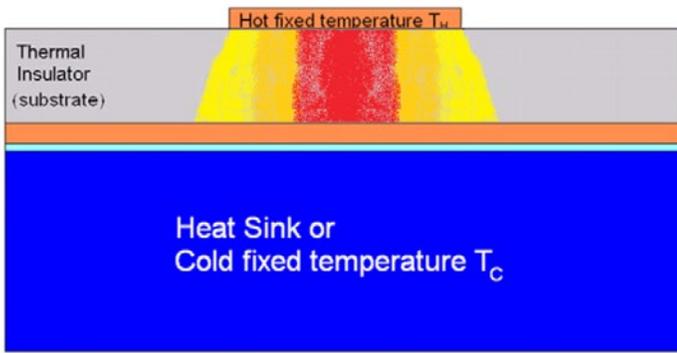


图 4：热量分布在热源正下方

传递。因此 PCB 材料作为热传导介质对温升影响更大。

我们通过仿真可以发现，在常用的板材中，通过降低板材的 Df 值来降低温升的方法，没有选用更高导热率 (TC) 的方法有效，如图 5。尽管在不同材料的介质损耗会最终影响电路的插入损耗，导致产生不同的热量，但相比较，材料的导热系数对于温度变化更为明显。对于相同导热系数值情况下，例如 0.4 W/m·K，介质损耗 Df 从 0.001 到 0.004 引起的温度上升仅约为 0.22 °C /W。然而，即使 Df 同为 0.001 的材料，导热系数 0.2 W/m·K 到 1.5 W/m·K 的变化却可引起温度降低 0.82 °C /W。如果电路的输入功率是 50 W，那么温度可降低约 40 °C。

因此，当为实现热管理或散热要求来选择电路材料时，热导率是一个很好出发点，通过热导率可以迅速评估材料的散热能力。高热导率意味着通过材料的热流更好，散热性能更佳。举例来说，RT/duroid® 6035HTC™ 材料的 Z 向热导率典型值为 1.44 W/m·K，而 FR-4 的 Z 向热导率典型值仅为 0.25 W/m·K，因此 RT/duroid 6035HTC 材料具有明显的热传导优势。值得注意的是通常 PCB 材料的热导率指的是材料的 Z 向（厚度方向）热导率，而面内（X-Y

方向）热导率值一般比 Z 向热导率更大一些。

### 92ML™ 高导热材料

对于汽车如电源模块、高亮度 LED 和车载设备等关注散热性能的电路而言，通常会产生较高的热量。电路材料形成的有效热流对避免热量积累和形成“热岛”造成可靠性降低是非常重要的。具有更高热导率的材料 92ML™ 环氧树脂层压板，其 Z 向热导率达 2.0 W/m·K (X-Y 平面热导率为 3.5 W/m·K)，约是 FR-4 材料的 8 倍。因此为电路设计者提供了一种整体热性能更佳的选择。

对于多层混叠电路板上如电源模块或功率三极管等热源，高热导率意味着温度上升将更小。对有散热要求的多层组叠电路而言，92ML 层压板和半固化片材料的使用以及它们不同于 FR-4 的卓越的热导率可以简化多层电路的设计，减少或消除对导热通孔及散热片的需要。

92ML™ 材料是无卤、兼容 RoHS 和 WEEE 的电路板材料且适合无铅工艺加工。为确保高温时的机械稳定性及加工过程中的平面稳定性，92ML 材料的 CTE（热膨胀系

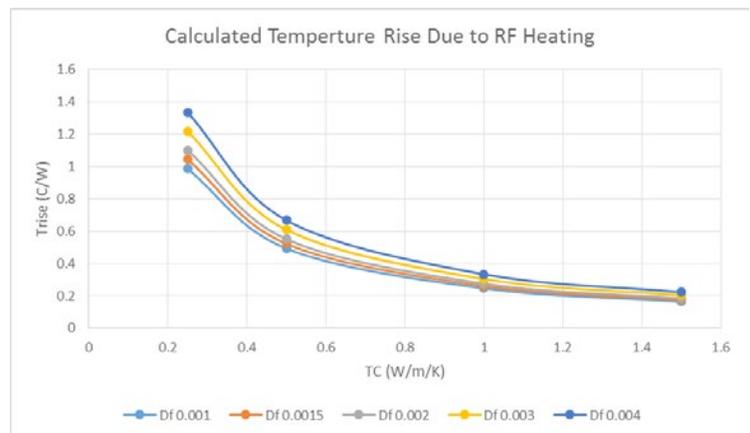


图 5：温度升高与热导系数的关系

数) 与铜和铝的 CTE 值接近, 为 19 ~ 20 ppm/°C。针对高功率应用, 92ML 材料可实现最高工作温度达 150 °C, 击穿电压高达 1000 V/mil 以上。此外, 92ML 还能以金属基板形式 (92ML StaCool™) 提供以满足金属基板 PCB 的使用。

### 结论

热管理对于如功率电路、汽车电子及 LED 照明等高热应用非常重要。热量在 PCB 结构的传导遵循热流传递模型。电路中的有源器件或加载源所产生的热量会形成一条由高温区域流向低温区域的通道。不同的 PCB 材料参数, 如热导率、耗散因子等提供了热传导模式如何在不同的 PCB 材料建立的思路, 并且指导我们当选择高功率热导材料时如何确定其 PCB 材料的参数。PCB

### 参考文献

- [1] John Coonrod, The Impact of Electrical and Thermal Interactions on Microwave PCB Performance, Vol. 57 · No. 2 February 2014, Microwave Journal
- [2] 92ML™ Material datasheet



**Evan Yuan (袁署光)** 是罗杰斯公司技术市场工程师, 负责罗杰斯射频 PCB 材料的电气性能及 PIM 的评估, 和材料在各种电路应用中的研究, 以及支持客户应用中的一些电气性能方面的问题。Evan 曾就职于中兴通讯、诺基亚、飞利浦等无线射频部门, 长期从事射频电路方面的设计。

## 深圳博敏顺利通过航空航天质量体系认证

2017 年以来, 博敏电子不断取得进步与突破。继获得环保信用绿牌等级、通过科技成果鉴定之后, 再次迎来新的成果——深圳博敏顺利通过航空航天质量体系认证!



党的十九大报告指出, 中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期。对于 PCB 产业, 同样面临着转变发展方式、提升产业结构、转换产业核心竞争力的重要时刻。深圳博敏电子在此时间段, 也不断重视本身的技术发展, 努力达成由量向质的飞跃。

终于, 在不断攻坚的努力下, 深圳博敏电子于 2017 年 10 月 21—22 日迎来了航空航天质量管理体系认证专家组的现场审核。为进一步提升博敏电子航空

航空航天产品所用印制电路板生产的质量, 在经过 10 多个月的准备和运行后, 博敏电子做好充足准备的接受了审核。

在航空航天质量管理体系认证专家组全面细致的审核后。专家组宣布: 深圳博敏电子顺利通过此次 AS9100D 航空航天质量管理体系认证!

阅读全文, 请[点击这里](#)。

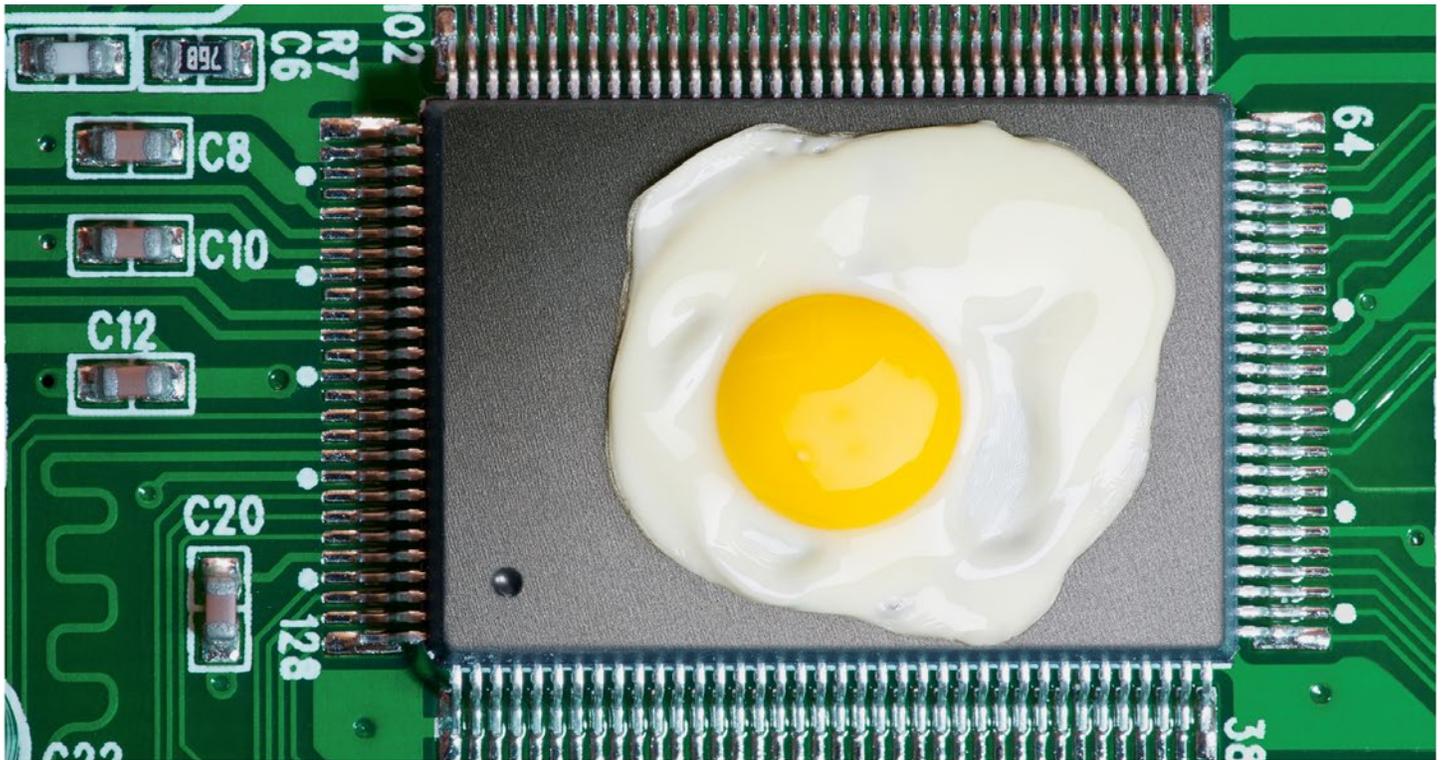
# HDI手册 免费下载



我们广受欢迎的HDI中文版手册是您电子藏书库中不可或缺的一本。

HDI手册由行业专家撰写，他们是HDI的奠基人与开拓者，其中就有HDI教父 Happy Holden。

现在注册，免费下载该书 @  
[www.hdihandbook.cn](http://www.hdihandbook.cn)



# 导热涂层在 PCB 上的散热应用

by Sven Kramer and 王振平

Peters 裴特笙

越来越复杂的电路，越来越小的电路板面积要求（微形集成化），从而导致其电子元器件的密度不断增加。高性能元器件在运作时会以热的形式产生很高的功耗，如果处理不当，则会因过热而引发电路板故障，严重时甚至会损毁元器件。为了避免发生这种情况，需要将产生的热能转移至环境中。在某些应用中 PCB 周边环境温度已经比较高，情况会变得更加棘手。

对于电路板的散热应用来说，金属散热片的使用是十分普遍的。这些散热片大多由具有良好导热性能的金属冷却元件组成，并与电路板相连接，其作用是将热能从热源传导并释放

到外部空气环境中。

本文将介绍如何用丝印型导热油墨来连接传统散热片和 PCB，达到散热的功能。

## 1、散热原理

热传导是一种能量传递，由原子和分子之间的相互作用而产生。不均匀的温度分布会导致热传导的发生，遵循热力学的第二基本原理，它总是由热区域流向冷区域。散热性能——热导率是一种特性，金属拥有最优异的散热性能，无机物位居第二，其次则是有机物和液体，而气体的导热性能是最差的。

导热性能 (I) 和接触面积 (A) 能通过热

灵活可靠的供应链解决方案  
高品质覆铜箔基板  
半固化片复合材料



**ventec**  
INTERNATIONAL GROUP  
騰輝電子



腾辉国际集团是一家全球领先的高品质覆铜箔基板和半固化片制造销售商。拥有完整的独立研发能力。遍布全球的分销网络使我们可以满足世界任何角落的需求。

**无论您需求如何，  
腾辉总能提供！**

腾辉电子（苏州）有限公司  
江苏省苏州市新区泰山路308号  
邮编：215129  
电话：+86 512 68091810  
电邮：[sales@ventec.com.cn](mailto:sales@ventec.com.cn)  
[www.ventecclaminates.com](http://www.ventecclaminates.com)

### 热传导

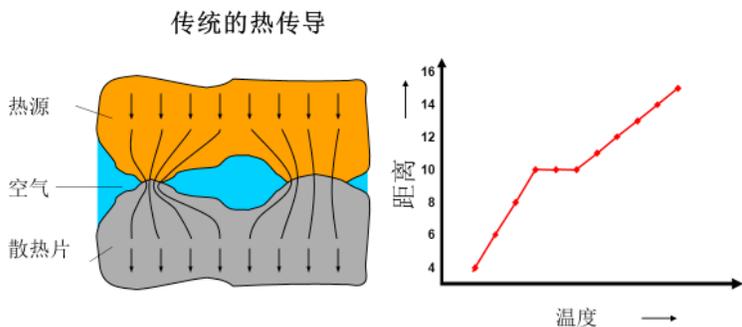


图 1：传统热传导

### 热传导

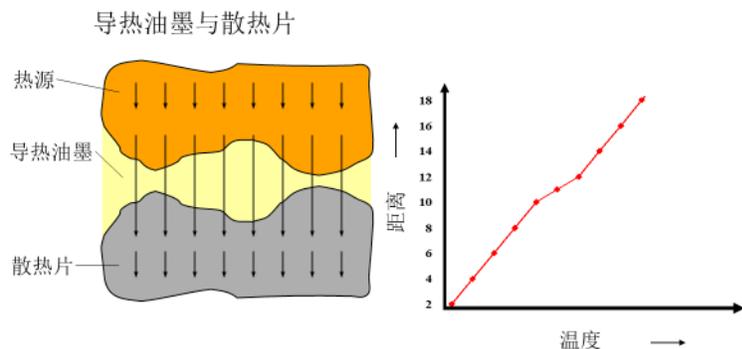


图 3：导热油墨与散热片

### 热传导

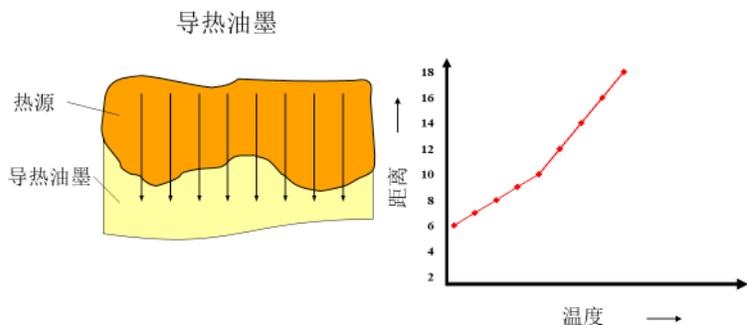


图 2：导热油墨热传导

阻 ( $R_{th}$ ) 的比例减少来增加；而热阻  $R_{th}$  的增加与其厚度 ( $t$ ) 成正比。通过研究发现，热阻  $R_{th}$  定义了材料阻值特性，而且热阻  $R_{th}$  取决于材料本身。

热阻抗  $R_{\theta}$  的特性与抗热性相似，但它取决于接触面积，其中包括界面的热传递效果。这取决于：

1. 发热源和散热片之间的接触方式
2. 接触压力
3. 导热材料 (TIM) 的表面

一个重要特征是界面上的热传递效果，这种特性产生于金属散热片和热界面材料 (TIM) 之间。因此，长度为 10 厘米的导热体具有比两根相同材料，使用机械连结的 5 厘米导热体有更好的导热性能。

在热力学中，用传热系数的方式来计算或者用导热阻值计算，它与每个导热体表面的粗糙程度有关。在固体表面直接接触的情况下，微小的空气杂质减少了“真正的”接触面积，导致热量仅能通过减少的导热面积传导。

## 2、关于导热油墨在绝缘金属基板 (IMS) 上的应用

### 2.1 在 IMS-PCB 上的热传导路径

在典型的 IMS 应用中，元器件比如高功率 LED 所产生的热能通常会被传导到 PCB 中的铝层并散发出去，即便如此，连接部分热源至更进一步的冷却单元依然是非常有利的。

在对电路进行模拟分析的基础上，专家发现热阻抗存在于串联或并联的线路中。需要特

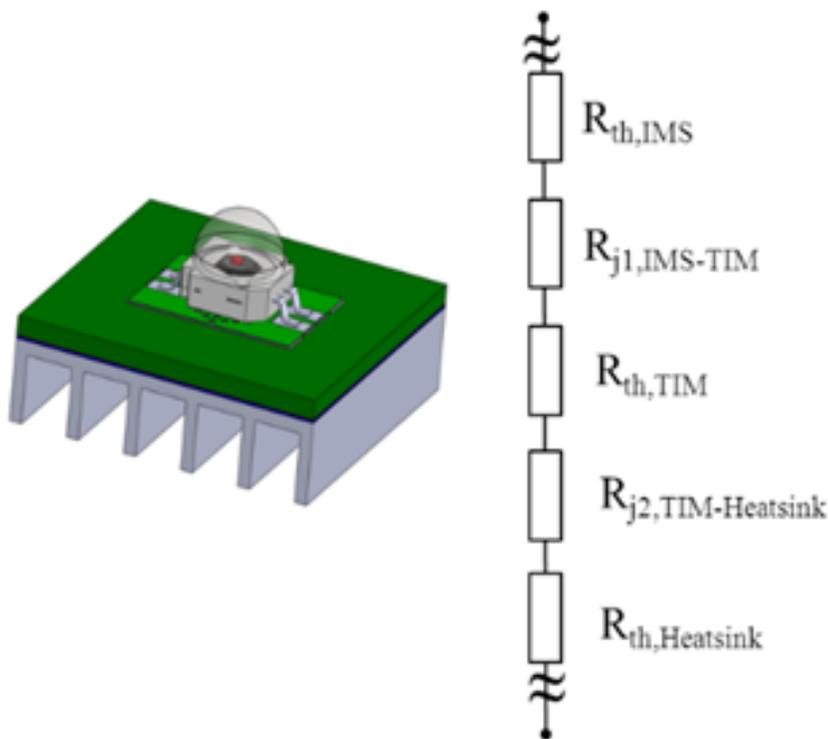


图 4 组装了 IMS 基板的 LED

右：以热量从 IMS 传导到散热片的路径为蓝本的等效电路图（来源：ZFW - Zentrum für Wärmemanagement Stuttgart）

该产品的应用和固化由 PCB 制作商在指定的电路板位置上完成，而且工序先于焊接。成品打造完成后，最终使用者会收到印好了散热油墨的产品。

在经过丝网印刷和固化后，散热油墨的厚度会介于 50 到 70 微米之间。

即使处于永久的热循环，由于散热油墨解决了抽空问题，PCB 依然能保持优异的热耦合性能。

与金属散热片相比，最终成本得到了很大程度的消减，原因如下：

1. 选择性丝网印刷工序保证了百分之百的材料利用率
2. 无预切割成本
3. 更简易的装配程序，之后只需焊接和机械固定 PCB

别注意的是最高热阻与传热阻力，因为他们会最终决定整个热量的流向。

## 2.2 不同热界面材料的比较 (TIM)

除了对界面抗热性能的测试外，还需特别关注热界面材料本身。尽管传热系数是非常重要的参数，但是在应用当中，热界面材料的厚度同样具有很高的相关性。

丝网印刷散热油墨是一种新技术解决方案，这种散热材料能提供良好的绝缘和阻焊性能。ELPEPCB® 中的丝网印刷导热油墨 TIP2740 这项产品由德国 Peters 裴特笙与意大利企业 Serigroup s.r.l (PCB 制作商) 共同合作研发。



**Sven Kramer**，德国 Peters 裴特笙集团的全球产品应用经理，1994 年加入裴特笙，负责管理 PCB 产品的应用工程师团队，熟悉油墨产品的研发和应用，曾在多个重大的国际 PCB 论坛上发表演讲。



**王振平**，交大 - 马赛工商管理硕士，Peters 裴特笙中国区总经理，负责中国的业务和公司管理，在过去的 10 多年里，其管理过多个跨国公司，并具有丰富的涂层和胶水实践应用经验。

# 热管理： 绝缘金属基板 PCB

by Anaya Vardya and Dave Lackey

American Standard Circuits

PCB 设计师必须解决 PCB 元器件中如何导热的问题。本文主要介绍在制造工程中通过将 PCB 用导热胶压贴到金属基板上的散热方案。注意，有些人把这种类型的 PCB 称之为散热基板 PCB 或金属基 PCB (MCPCB)，我们称之为 IMPCB。

PCB 压贴在金属基板上时，粘接材料可以是导热但绝缘的（绝缘金属 PCB 或金属芯 PCB）；在 RF/ 微波电路中，粘接材料既导电也导热。RF 设计师通常采用既导电也导热的粘接材料，因为他们不仅把粘接材料用作散热片，也把它用作接地层。应用不同，设计需考虑的因素也大不相同。

本文主要介绍设计 IMPCB 需考虑的因素，以及应该同 PCB 制造商讨论的内容，以确保可以生产出优质的 PCB。我们无法涉及非常详细的设计内容，所以建议与 PCB 制造商共同合作开发你的具体设计，找出最适合的成本 - 效益解决方案。

IMPCB 的应用领域包括：

- **电源转换**：IMPCB 可具备各种散热性能，与机械加固件兼容，非常可靠。
- **LED**：采用 IMPCB，可确保 LED 在最大亮度、色彩及寿命下的最低可能工作温度。
- **电机驱动**：IMPCB 的介质选择可提供所需的电气绝缘，以满足工作参数及安全机构

**第27届中国国际电子电路展览会**  
**China Int'l PCB & Assembly Show**

March 20-22, 2018  
国家会展中心 (上海)  
National Exhibition and  
Convention Center (shanghai)



双台面CO<sub>2</sub>激光打孔机



双台面UV激光打孔机



全自动直接成像机 LEDIA 6(DI)



自动光学检测系统 MIYABI 7(AOI)



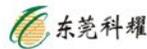
全自动外观检测系统FP9000 (AVI)



自动贴膜机 (硬板及FPC软板)  
FPC片对卷贴膜机



FPC 卷对卷曝光机 (单卷/双卷)



的测试要求。

- **固态继电器**：IMPCB 可提供非常高的散热系数，并可作为基板，提供非常稳定的机械支撑作用。
- **汽车**：汽车行业需要在较高的工作温度下保证长期可靠性并要满足有效利用空间的要求，就会采用 IMPCB。

### 单面 IMPCB

IMPCB 的最简单形式是一片粘接到导热介质上的铜箔和一块金属基板(见图1)。通常，PCB 制造商可以向很多覆铜板制造商购买已层压到金属基底上的覆铜箔板。单面 IMPCB 需要考虑的主要设计因素如下。

#### 铜厚度

典型的厚度为 1 oz~6 oz。最常见的铜厚是 1 oz~2 oz。铜越厚，PCB 成本越高。

#### 导热半固化片

导热半固化片是这种结构中最重要的一部分，供应商不同，导热半固化片也有所差别。它是可电气绝缘铜电路与主基底金属的绝缘物质，可有助于快速转移两者之间的热量。可确保将元器件产生的热量尽可能快地消散到金属基底（散热片）。

半固化片通常是增加了陶瓷填料的有机树脂，可增加导热性。填料类型、大小、形

状及百分比是确定导热性能的一些因素。常见的陶瓷填料有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{BN}$  等。可通过导热系数（瓦特 / 每米 Kelvin 或  $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ）及导热阻抗（Kelvin，平方米每瓦特或  $\text{Km}^2/\text{W}$ ）度量各种固化片的性能。导热系数越高，传热越好；热阻抗越低，传热越好。

半固化片导热性能越好，成本越高，了解这点非常重要，因而不要过度设计。需要对此做出正确的判断，FR-4 导热型基材的导热系数约为  $0.4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，目前市场上的导热半固化片的导热系数一般为  $1 \text{ W/m}\cdot\text{K} \sim 7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。除导热系数外，介质厚度也很关键。通常介质厚度一般为 2 mil~6 mil。

#### 金属基底

铝是最常用的金属基底。两种最常见的基底金属是 5052H32 和 6061T6。与 6061T6 相比，5052H32 通常不贵且更常用。铝的厚度通常在 40 mil~120 mil 之间，其中厚度为 40 mils 和 60 mils 的最常见。有些应用中，也会用铜作为基底金属。这是成本相当高的一种方案。表 1 给出了各种金属基底的对比。

#### 面板利用率

IMPCB 层压材料比 FR-4 材料昂贵许多。因此明白在批量生产时如何使电路板 / 阵列设计能够更好地利用面板非常重要。你应该让你的 PCB 供应商帮助你达到这一点。这些材



图 1：单面 IMPCB

基底金属材料	导热系数 (W/m·K)	热膨胀系数 (ppm / K)	备注
铝5052 H32	138	25	铝-镁-铬合金：最适于弯曲，机械成型，最常见的选择，成本低
铝 6061 T6	167	25	铝-镁-硅-铜合金：最适于CNC机床加工及V形槽分割，成本适中
铜 C110	386	17	纯铜：CTE低，导热系数高，成本高

表 1: 各种基底金属的属性



图 2：两种不同型号的阻焊膜颜色不同

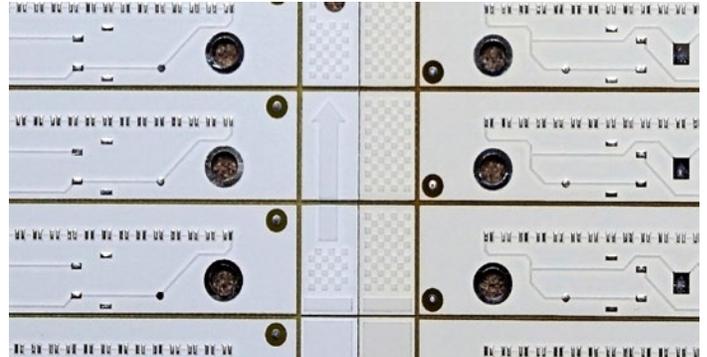


图 3：经过多次回流周期后，阻焊膜接近棕色

料最常见的拼版尺寸是 18"×24"。

### 阻焊膜

单面 IMPCB 设计适用于 LED，但需要重点考虑的是要使用白色阻焊膜。很多 LED 客户都希望白色阻焊膜的颜色一致，但就算把市场上同样标注为 LED 用阻焊膜放在一起，颜色也不完全相同。

一些阻焊膜偏蓝色，而另外的偏黄色（见图 2）。而且一层阻焊膜与两层阻焊膜的颜色也不相同，所以这是另一个需要考虑的因素。另外，表面涂层、阻焊膜与组装工艺中后续的热加工工序之间会发生相互作用。由于温升一些阻焊膜往往会改变颜色。采用无铅 HASL 的电路板由于要承受更多的热量，阻焊膜往往会变得更黄。最好只允许通过一次无铅 HASL 工艺（即在这一工序中不能返工）。

图 3 为板子经过了两次组装回流周期后，无铅 HASL 后的同一阻焊膜。经过阻焊膜工艺后的 ENIG 板在后续回流后会稍微变粉。这是由于 ENIG 工艺最后漂洗中的金残留物与阻焊膜中钛白粉的混合物而造成的，会导致高温组装过程中焊阻膜逐渐变为粉色。因此 PCB 制造商要仔细控制 PCB 在 ENIG 槽中的漂洗。

### 加工 / 制造

V 形切割是方形或长方形最常用的工艺。V 形切割的优点是有助于最大化利用材料，因为 V 形切割两个部分时，两个部分之间的间隔为零。相反，铣切割是最贵的工艺，因为铣切割既慢又要求两部分之间有间距，就有可能降低材料的利用率。确认你的 PCB 制造商有专为分隔铝基板而设计的 V 形切割系统。V 形切割机应该配有系统润滑系统。处理铝基



图 4：经过多次回流周期后，ENIG 电路板上的阻焊膜接近粉色

材 PCB 时，建议采用有金刚石涂层的切割刀片。

### 双面 / 多层 PCB

PCB 制造商先生产出双面或多层 IMP-  
CB，然后再采用导热固化片将其粘接到金属  
上（见图 5）。利用制造多层压合机完成粘接  
过程。

很多单面 IMPCB 需要考虑的设计因素  
及注意事项同样适用于双面 IMPCB，双面  
IMPCB 需要考虑的其它因素包括：

### 所有层的铜重量

铜越厚成本越高，而且外面两个表层的

通孔需要电镀，又增加了额外的铜。布线和  
线距都应该根据每层的铜重遵循 PCB 厂的设  
计指南。

### 双面 / 多层结构

决定你是否采用 FR-4 构建多层板，或要  
求用导热半固化片及芯板，非常重要。如需  
要用导热半固化片及芯板，有大量的方案可  
供选择，但是芯板的厚度是有限的，所以最  
好与 PCB 制造商或 CCL 供应商一起讨论芯板  
的构建。半固化片流动性低，要事先与 PCB  
制造商沟通，彻底了解这些材料所采用的层  
压压合周期。

### 导热半固化片

根据铜电路的厚度和所要求的导热系数，  
选择半固化片把 PCB（双面或多层）粘接到  
金属基底上。从 PCB 制造观点看，对于把  
PCB 压贴到金属基底的过程，需要考虑很多  
不同的因素：

- 确保 PCB 和金属基底之间没有分层。有一些设计因素和层压过程中的工艺条件会对分层产生影响；

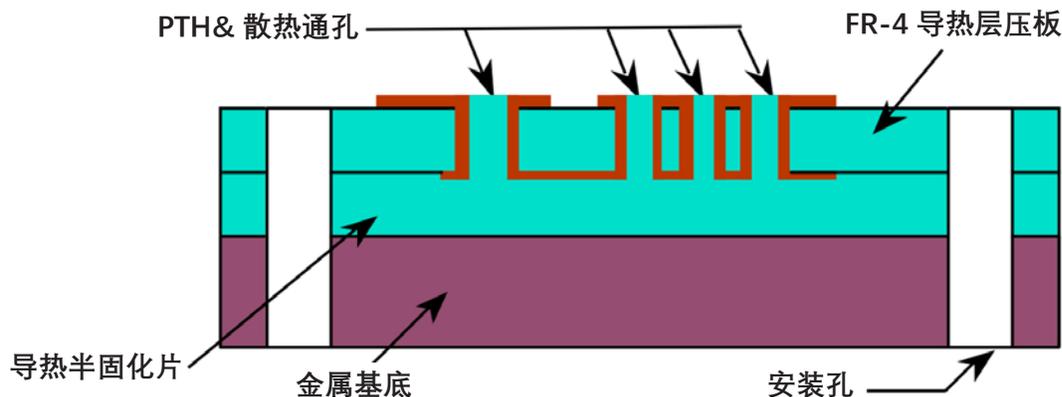


图 5：双面 IMPCB 示意图

- 有一种方法可以控制半固化片通过电镀的通孔流到顶部；还有一种方法可防止半固化片流向 PCB 表面；
- 有很多组成成分的 CTE 不匹配。从 PCB 的角度看，要尽量平衡结构中的铜，并要使压合周期有助于尽量减少翘曲，这些都很重要。

## 金属基底

铝是最常用的金属，但在很多应用中也用铜。总的来说，铝是最佳的，而 6061T6 合金又是这种结构的最佳选择。

## 金属芯板

从概念上讲，金属芯板正如其名，金属片埋置到 PCB 介质层之内，夹在几层电路中间。金属芯 PCB 通常会有盲孔层位于金属芯基板的两面，也会有穿过整个电路板的电镀通孔（PTH）。从 PCB 角度看，使金属与通孔隔离非常重要，否则，板子会完全短路。为了实现这个目标，在金属芯上钻孔、槽时，孔径要比电镀通孔大 40 mil~50 mil，然后用非导电环氧树脂填料填充，再压合。压合后，

从金属表面去除填料混合物，然后准备和内层的芯层压。层压后，钻 PTH 孔，并按照正常的制造工艺加工。

散热处理是采用这种 PCB 的一个原因，另一个原因是有助于减少振动，这样，在高振动应用中元器件就不会从 PCB 上掉落。

需要考虑的设计因素有：

## 芯材料 / 半固化片

芯材料 / 半固化片可以是任意的 PCB 原材料。有用聚酰亚胺、FR-4 或高导热材料制成的金属芯板。用什么样的材料完全从电气或热管理角度出发。

## 金属芯材料

通常采用铜 110 金属芯或铝 6061T6 金属芯。在金属芯板应用中，采用铜金属芯的设计和采用铝金属芯的设计，数量上几乎差不多。

## 金属芯钻孔

无论是从顶层到底层的镀通孔，还是从顶层到底层的非镀通孔，金属芯板上的钻孔都要比 PCB 上的钻孔图形大。偶尔情况下，

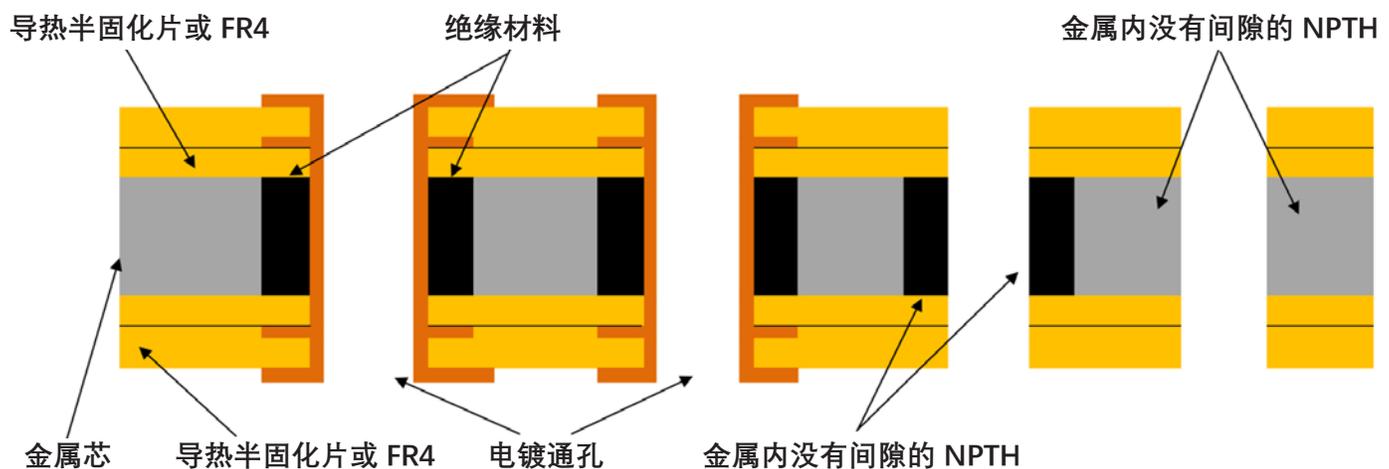


图 6：多层金属芯板示意图

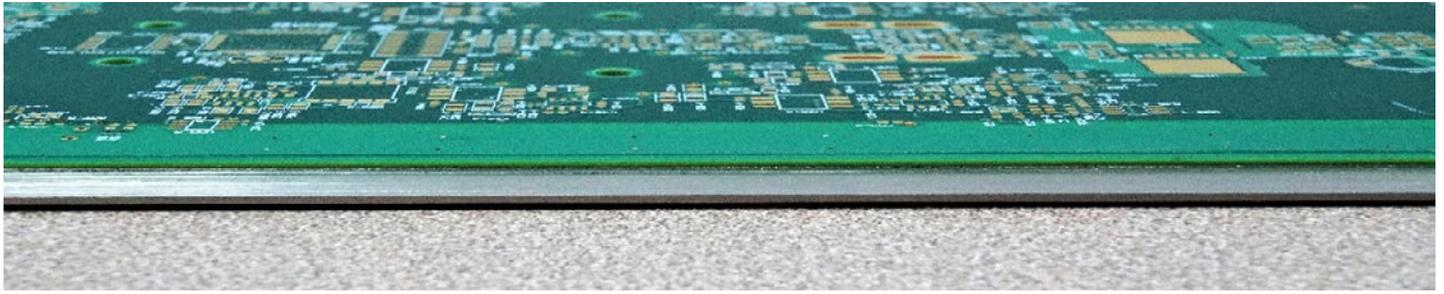


图 7：金属芯 PCB 的铣削

金属芯上的安装孔或接地孔没有间隙。

### 绝缘 / 填料

绝缘 / 填料材料的作用是使 PTH 与金属芯绝缘，这样整片 PCB 不会短路。填料最初是粉末的形式，施加到表面和孔内，然后放入多层压机中压合。这是很关键的工艺，填料中不能有空洞，否则当钻通孔时，化学物质会浸回金属芯中引起短路。然后用砂纸磨光金属芯表面，去除表面多余的填料。填料是陶瓷环氧树脂混合物。

### 叠层

叠层应该是对称的，即在金属芯顶部的层数应该和金属芯底部的层数一样。而且，所有层之间的铜重量最好也是对称的，与普通多层 PCB 类似。不对称会导致过度翘曲问题。总的来说，通常的 IPC 翘曲标准不适用于这类 PCB。

### 铣削

多数金属芯印制板会各种铣削，导致暴露金属芯层（见图 7）。

### 暴露金属芯上的表面涂层

建议在暴露的金属芯上涂覆表面涂层。

对于铝金属芯，建议涂覆铬酸盐转化膜，对于铜金属芯，建议电镀镍最少达到 50 微英寸。

### 选择 IMPCB 覆铜箔板供应商

IMPCB 覆铜箔板供应商主要来源于中国。选择供应商时，需要考虑以下几个因素：

- 当查看数据表时要注意，覆铜板供应商测试材料导热系数的方法有很多种，IPC 也没有这方面的标准。需要了解所采用的测试方法，产品说明中标注为  $2W/m\cdot K$  的所有材料并不一定具备应有的性能；
- 一部分供应商的材料完全通过了高压绝缘测试，而有些供应商只在特定要求时才进行测试，还有一部分供应商不进行高压绝缘测试；
- 绝大多数供应商可提供单面 IMPCB 材料，但如果你考虑采用多层结构，只有某些供应商能提供有高导热半固化片的芯板，导热半固化片可将多层 PCB 压贴到金属基上；
- 简化供应链比较重要。供应商不同，导入所花费的时间也会不同。如果你想同时开发美国和中国的市场，那就要选择可同时支持这两个地区的供应商；
- 另一个重要因素是覆铜板供应商进行的研发。例如，有的已经开发出了专用覆铜板

材料，铝可以弯曲成型，而不会危及铜电路或介质层。

### 选择 PCB 制造商

为了满足 IMPCB 的需要，选择适当的 PCB 制造商合作很重要，需要考虑以下准则：

- 供应商的员工都经过培训，具备制造不同类型 IMPCB 的经验水准，采用不同供应商的材料；
- 供应商与其材料供应商有良好的合作关系；
- 供应商愿意与你合作项目，思维开放，能够满足你的最终需求；
- 如果 UL 对你的应用终端很重要，确保供应商有必要的 UL 证明文件；
- 最后，考虑选择有工艺控制及管理有条理的供应商。

### 结论

本文重点介绍了最常见的设计，但由于各种各样的原因，客户的要求与这类常见设计大相径庭，我们已经处理了很多不同情况，也有很多其他选择方案，所以关键是要和 PCB 制造商密切合作。

我们讨论了导热材料及基板，要切记技术的一切都是可以权衡的。对不同的热管理基板中进行选择时，根据产品在其寿命期间将

要经受的实际状况，定义最终的产品至关重要，确定哪种方案对于产品是最佳的也很重要。最后，选择最佳的散热方案就像三条腿的凳子，分别是终端产品、实际设计、制造工艺，为了建造一个散热可靠的稳定 PCB，三者缺一不可。

### 致谢

本文作者感谢质量总监 Jim Zeman 和技术总监 John Bushie，感谢他们为评估白色阻焊膜所做的工作。通过和 Electra、Taiyo、Aismalibar 及 Vente 这些供应商共同讨论，他们帮助我们形成了最终的想法。最后，我们还要向长期以来一起合作的所有 IMS 客户及设计师致谢，他们一直激励着我们，帮助我们在这一领域成长。PCB



**Anaya Vardya** 是美国标准电路公司的总裁兼 CEO。



**Dave Lackey** 是美国标准电路公司的业务开发部的副总裁。

## Walt Custer 2017 年度报告

在 2017 年德国慕尼黑电子展上，我采访了 Custer Consulting 的行业顾问沃尔特·卡斯特 (Walt Custer)，他再次给我们的读者带来了他的年度行业报告，介绍了他对行业发展的看法。猜猜看行业发展形势如何？全是好消息！下文包含



了我们谈话中引用的相关图表，如果您想要了解更多的内容，欢迎您点击本文结尾的链接，直接发邮件跟 Walt 联系。

Patty Goldman：Walt，很高兴在电子展上能见到你。你好吗？你觉得这次展会办得怎么样？阅读全文，请[点击这里](#)。



## Thermal Management Considerations at the Bare Board Level

# 裸板级热管理需要考虑的因素

by Jim Barry

PCB Technologies Ltd (Israel)

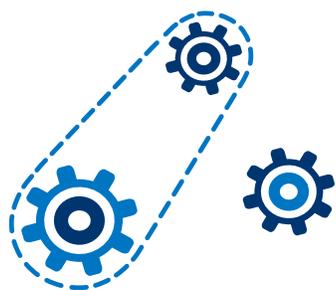
如今，PCB/PCBA (CCA) 设计师要比他们的前辈面临更加艰巨的任务。为了满足我们的需求，设计师需要跳出传统电路布局模式来设计电路。随着封装尺寸不断缩小、元件复杂度和速度不断提高，散热性能成了设计中的一个主要因素。在过去，CAD 布局设计工程师几乎不需要对元件级的散热要求多加考虑，但现

在，元器件的散热不仅会直接影响到特定器件的性能表现，还可能在以后引起严重故障。所以设计师目前面临的问题是：如何在不过多增加电路板组件尺寸或重量的前提下去除热量？我们是否可以找到方法，在把热量转移到裸PCB板中的同时，既不影响产品的尺寸、重量、性能表现，也不影响成本和产能？

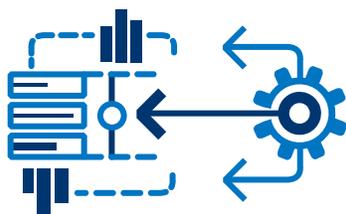
# SMART ORBOTECH FACTORY

Your Partner for Industry 4.0

收集并分析来自所有奥宝产品的整合集中的数据，实现一个连接点和 *PCB* 制造商 *IT* 的连接。



自动化



连接性



可追溯性及  
数据分析

---

如需了解详情，请与我们的业务代表联系

[www.orbotech.com](http://www.orbotech.com)

PCB 散热有很多种创新方法，即使是在特定的元件位置也是如此。一般情况下，散热在元件级已经完成——会在特定元件位置放置散热片。但这种方式会造成设计的体积过大且笨重，并且 / 或者需要在总装时完成一些富有想象力的设计工程。第二种常见方法是在整个 PCB 粘附一块金属板，再将其与底盘连接，以便散热。这两种常用方法的缺点是它们会增加组件的尺寸和重量，尤其是在电子封装不断缩小的今天，额外的体积或重量会带来一些问题。像夜视镜、无人机 (UAV) 和军用技术等产品要求封装的体积和重量越小越好。

本文将针对每种方法给出简要介绍，如图 1。

典型的散热方法包括：

- 材料
- 铜层厚度
- 散热通孔
- 外部散热片
- 内部散热片
- Coin 技术

### 材料

最简单也是最常用到的方法之一就是谨慎选择合适的材料，而材料从元器件中散热的功能却常常被人们忽视。在 CAD 级设计裸板的时候，我们常常会根据介质性质、阻抗或信号速度等需求来选择材料，而忽视了对散热性能的需求。通常情况下，当 PCB 要在高温环境下运行时，我们会考虑使用聚酰亚胺，这是一种非常不错的耐热材料，比 FR-4 的导热速率快很多。但其他材料的优点则更多。

如今，有很多材料既可以保证信号速度，又可以满足导热性需求，如图 2 和图 3 所示。你可以从这些图表中看到，使用其他材料时导热性能明显增强。问题就在于如何平衡设计的电气、环境及性能需求。

### 铜层厚度

铜层厚度是另一种控制和 / 或将热量从元器件传递到 PCB 中，以增强性能的常见方法。内部平面层铜厚通常为 2~4 盎司，或更厚。

## 散热方案选择指南

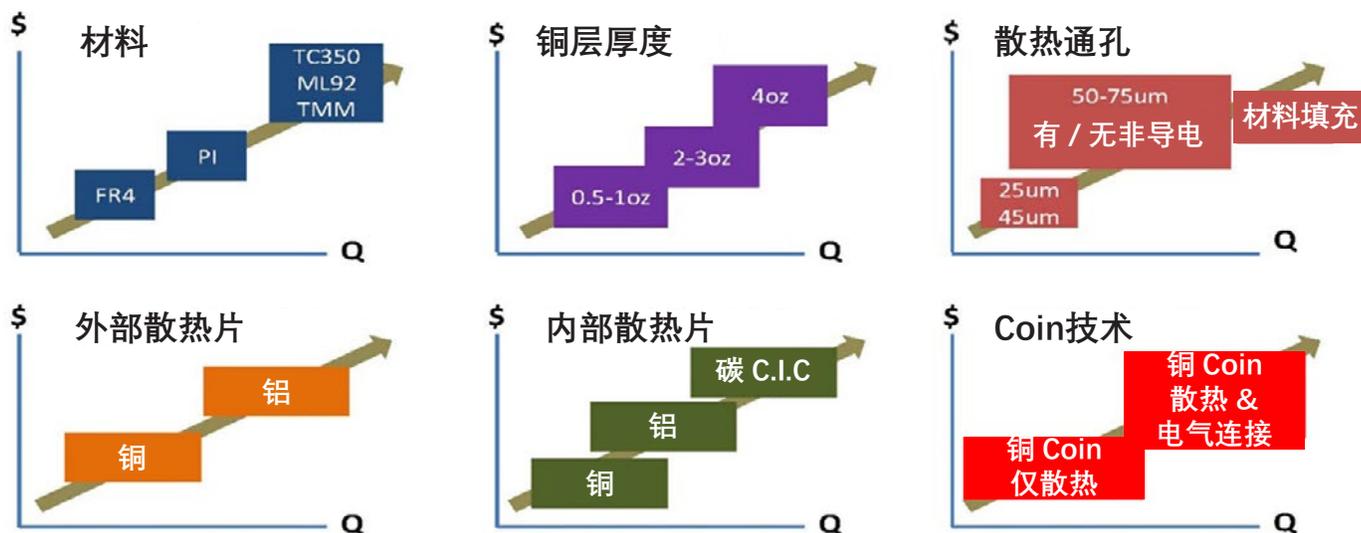


图 1：散热方法选择对比图

## 材料一 热容



图 2：材料热容量对比

## 材料一 热性能

	Standard	enhanced			
	FR4/ PI	TMM/ PTFE 陶瓷材料	铜	多晶体 金刚石 (人工合成)	单晶体 金刚石 (人工合成)
导热性 (W/m·K)	0.3-0.4	0.5-0.86	384	900	2200
特定热阻抗 (W/m·K)	2.5-3.3	1.1-2.0	0.0025	0.001	4.55E-04
比热容 (J/g·K)	0.85 -1.2	0.72-1.0	0.385	0.509	0.509
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.3-1.7	2.1-2.8	8.96	3.52	3.52

图 3：材料对比

随着铜重量的增加，设计师想在同一个平面上设计更细的布线宽度，问题就开始出现了，推荐设计师可以在其他层上布置这些更细的布线，就可避免出现这种情况。

之前有一个案例就是设计与铜的重量增加有关。这个产品是用于超慢动作检测的高速照相机（8层刚挠设计）。里面有很多元件会在板的两面产生大量热量。为了解决这个问题，

## 散热通孔

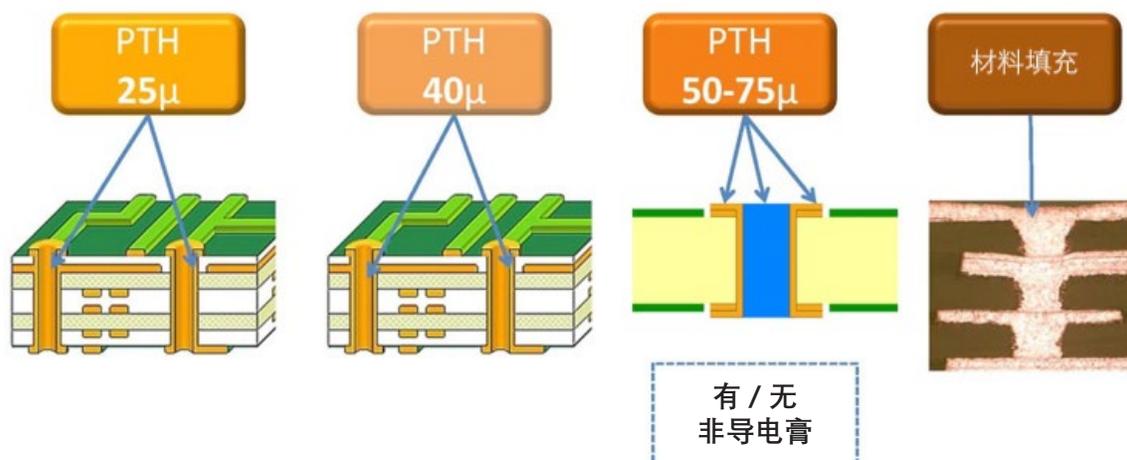


图 4：各种通孔结构

就在外层的底部额外增加了 2 oz 的平面层，把它做成了 10 层的设计。这种做法将散热能力提高了 10 倍，光学性能也有了大幅提升。

这种方法在设计时也要考虑到一些因素。在使用这种较厚的铜层时，回填可能会出现问题。一定要考虑到没有铜区域的树脂填充。但树脂含量太高会严重影响 Z 轴上的移动。所以要再次强调，在使用厚铜内层时，要仔细考虑导热性与填充要求和布线宽度之间的平衡。采用内部散热片是替代厚覆铜材料的方法之一。

### 热通孔

散热通孔也是将热量从一个特定位置或器件传递到电路板中的好方法。散热通孔是一种应用普遍的导热方式，已被证实不会对成本产生很大影响。在结合使用散热通孔和厚铜平面层或内部散热片的时候，会形成一种 Z 轴热量高速通道。这种方法的优点之一就是可以用于某个特定出问题的位置或元件，而不是必须大面积使用。设计师可以在特定位置下方创建一个通孔区域，只需要电镀上比一般铜层厚的铜层、

用铜来填充或电镀封闭叠层通孔就可以散去热量。

图 4 展示了不同电镀厚度和 / 或内部填充的散热通孔，有些填充物是导电的，有些是非导电的。现在，大约有 65% 的设计使用了叠层或盲孔技术。这种方法可以让设计师利用 HDI 电镀封闭式叠层通孔来提高密度，同时还可以用来形成直接连接内部散热片的散热高速通道。

### 外部散热片

外部散热片可能是最常见、最普遍的散热方法了。简单来说就是一块由铜或铝制成的金属板，放置在 PCB 的外边。通常使用 b 阶材料或某种导热双面胶将其粘附在 PCB 的一侧。然后再将散热片连接到底盘，热量随气流排出。

如今，这种方法被人们广泛使用，因为它既简便、性价比又高。但你不是从特定位置传递热量，而是穿过整个 PCB 板将热量传递到另一侧，这是一种通过质量来分散热量的方法。虽然它不一定是效率最高、效果最好的散热方

## 散热片

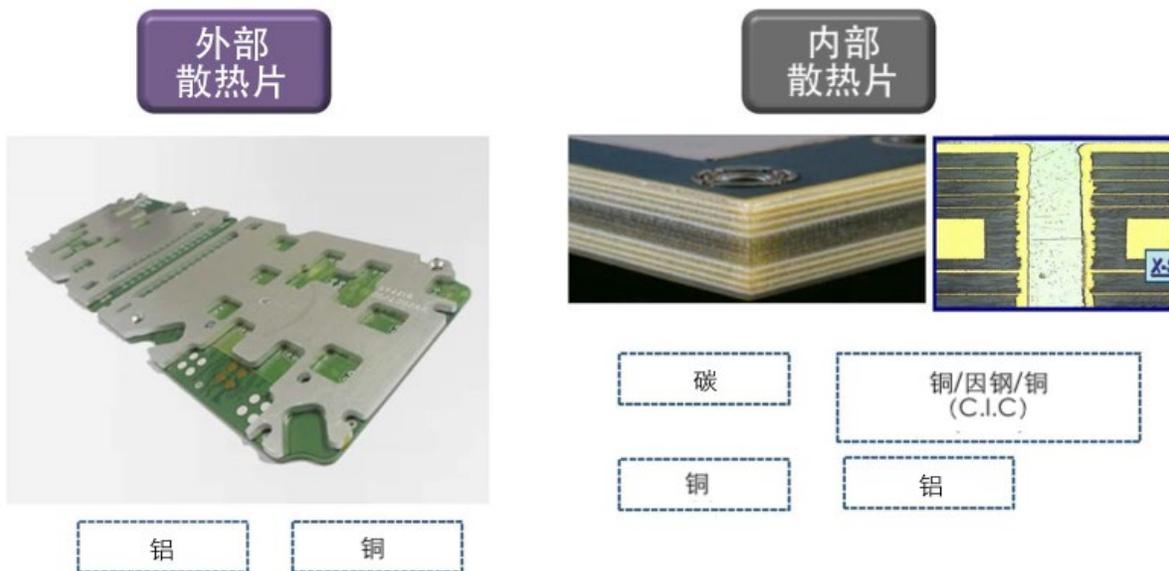


图 5：外部散热片和内部散热片方法视图

法，但却是行之有效的方法。

我们看到这种方式通常应用于总装时，因为这时重量和 / 或尺寸不是什么大问题。如上所述，外部散热片可以用导热性粘合剂粘接，也可以以一种 3 维的方式裹在组装后的 PCB 板上。对于那些更加复杂的设计，我们见到过将外部散热片当作中芯，像三明治一样夹在两块相对的 PCB 中间。

### 内部散热片

将散热片嵌入在 PCB 里可以让金属块离元器件更近，同时可以留出两面用于贴装元器件，但这种方法也有它的局限性。它可以让散热片更接近器件级别，但它却是一种速度较慢、批量式散热方法。

多年来，这种方法通常是通过使用 CIC (铜 / 因钢 / 铜)、实芯铜或铝来完成的。但现在的问题是，制造商必须要对内部散热片进行蚀刻和 / 或加工才不会导致与金属内芯短路。一

旦去除了金属，通常会使用类似 PCB 构建材料的非导电树脂来回填散热片。

近几年来，材料方面有了很大的发展，比如 PCB 中的碳素纤维。它也可以被用作热量高速通道将热量传送到板中，然后排出到散热连接源中，例如底盘。但还是要注意，PTH 中存在过多树脂也会导致一些问题出现。制造商一定要考虑使用一种稳定的树脂系统，这样一来 Z 轴膨胀才不会造成其它问题。要在层压之前完成填充和平面化处理，以确保不会有气孔进入。这种方法和外部散热片一样，都需要进行一些额外加工处理 (图 5)。

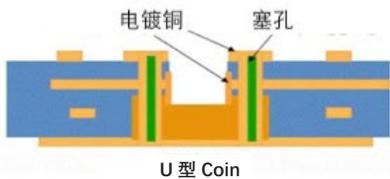
### Coin 技术

Coin 技术正在成为内部散热片的替代方法。RF/ 微波设计中会普遍应用这种方法进行元件的热管理和散热处理。虽然这种方法的成本可能是最贵的，但它也是特定位置散热最有效、最直接的方法。设计师可以采用 Coin 技

## Coin技术

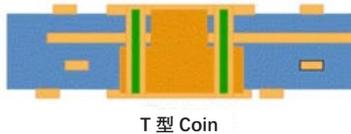
U 型 Coin

每个 Coin 中都有孔腔。大功率元器件可放在孔腔内散热。可通过电镀接地通孔或孔腔使 Coin 接地。



T 型 Coin

嵌入式的 Coin 为 T 型 Coin。电镀镀孔穿过接地层和 Coin，实现了接地连接。平整的表面有利于表面贴装元器件的散热。



I 型 Coin

Coin 后形状为简单的方形。接地通孔与接地层连接，但不会与 Coin 直接连接。



图 6：各种 Coin 技术结构剖视图

术将元件直接放在坚硬的 Coin 上方或里面，热量会直接从器件里向下传导到背面，背面就是散热的位置（图 6）。并非所有的供应商都愿意提供这种技术，但 RF 设计领域中常常会用到这种方法。

### 结论

PCB 级别的散热冷却是一种不错的方法，因为器件上可以安装各种配置的扇形或叶形散热片，为特定位置散热。打开任何一个桌面系统你都可以看到基板散热仍在使用这种技术，但把热量带出 PCB 板的扇形散热片需要较大的空间（重量也更重）。

本文主要介绍裸 PCB 板级别的热管理方法，还有很多其他方法也可以用来帮助器件、特定位置或 PCB 本身散热。设计师在选择散热方法时，一定要考虑到所有的可行方法，或者也可以将不同的方法结合使用。

在制造散热裸板时，一定要考虑到它对制造周期中组装工艺有哪些影响。如果 PCB 的吸热性较强，那就会影响到焊接工艺。例如，如果散热区离热敏器件太近，在焊接工艺中就

会因为形成焊点增加的热量可能会损坏器件。

有很多散热方法可供 PCB 设计师选择。很多设计都结合使用了两种或以上的散热方法。比如目前 RF 设计，就在同一个结构中使用了混合材料、孔腔和 Coin。

如今，我们的行业在创建很多新结构，为增强设计独特性而添加了更多元素。这些新技术中有一种技术叫做“气腔”，它可以满足未来产品对散热需求的更高要求。敬请期待我们以后的成果。**PCB**

### 致谢

作者诚挚感谢 PCB Technologies Ltd 公司首席技术官 Yaad Eliya 和技术专家 Shlomi Danino 对本文提出的宝贵意见。



**Jim Barry**, PCB Technologies Ltd (以色列) 公司解决方案架构师，负责北美市场。他在 PCB/PCBA 行业的工程、制造和应用领域有近 40 年的从业经验。联系 Barry 请[点击此处](#)。

## 1、[深南电路敲响上市宝钟！](#)

2017年12月13日9:25分，随着深圳证券交易所开市宝钟的敲响，深南电路股份有限公司首次公开发行A股正式上市，证券简称“深南电路”、证券代码为002916。

## 2、[崛起中国力量！深南电路、大族激光、精诚达上榜第二批制造业单项冠军产品名单](#)

工业和信息化部、中国工业经济联合会近日联合公布第二批制造业单项冠军企业和单项冠军产品名单，我行业深南电路股份有限公司的“功放类金属基印制电路板”、深圳市精诚达电路科技股份有限公司的“激光头用挠性电路板”、大族激光科技产业集团股份有限公司的“光纤激光切割机床”获单项冠军产品称号。

## 3、[展华电子第二制造基地南通新厂奠基仪式顺利举行](#)

2017年12月16日，“上海展华电子第二制造基地南通新厂”在南通高新区隆重举办动土奠基仪式。该项目总投资4.5亿美元，其中一期投资约3.6亿美元，主要从事高密度互连积层板、多层板、多层挠性板、刚挠印刷电路板的生产、销售及研发。

## 4、[江苏生益特种材料有限公司奠基仪式](#)

2017年12月17日上午，由广东生益科技股份有限公司投资的江苏生益特种材料有限公司奠基仪式在南通通州国家级高新技术开发区隆重举行。

## 5、[明阳电路首发获通过](#)

深圳明阳电路科技股份有限公司首发获通过！公司拟在深交所创业板公开发行不超过3080万股。明阳电路主营业务为PCB研发、生产和销售，拥有PCB全制程生产能力，产品以小批量PCB为主，产品类型覆盖HDI板、多层板、厚铜板、金属基板、高频板、挠性板等。

## 6、[超声电子扩三厂 实施新型特种印制电路板项目](#)

超声电子（000823）12月1日晚间发布公告，表示公司拟设立汕头超声印制板（三厂）有限公司，实施新型特种印制电路板关键技术研究、产品开发及应用建设项目。

## 7、[第五届 IPC 中国 PCB 设计大赛落下帷幕](#)

12月6日，IPC—国际电子工业联接协会<sup>®</sup>在深圳会展中心举办的“国际电路板及电子组装华南展”上举办的“第五届IPC中国PCB设计大赛”落下帷幕。经过历时三个多月的初赛、复赛及现场答辩，深圳市一博科技有限公司的肖勇超荣获第五届IPC中国PCB设计大赛的冠军，深圳市英达维诺电路科技有限公司的罗新林和深圳市一博科技有限公司的刘欢迎分获亚军和季军。

## 8、[PCB 可制造性设计研讨会召开](#)

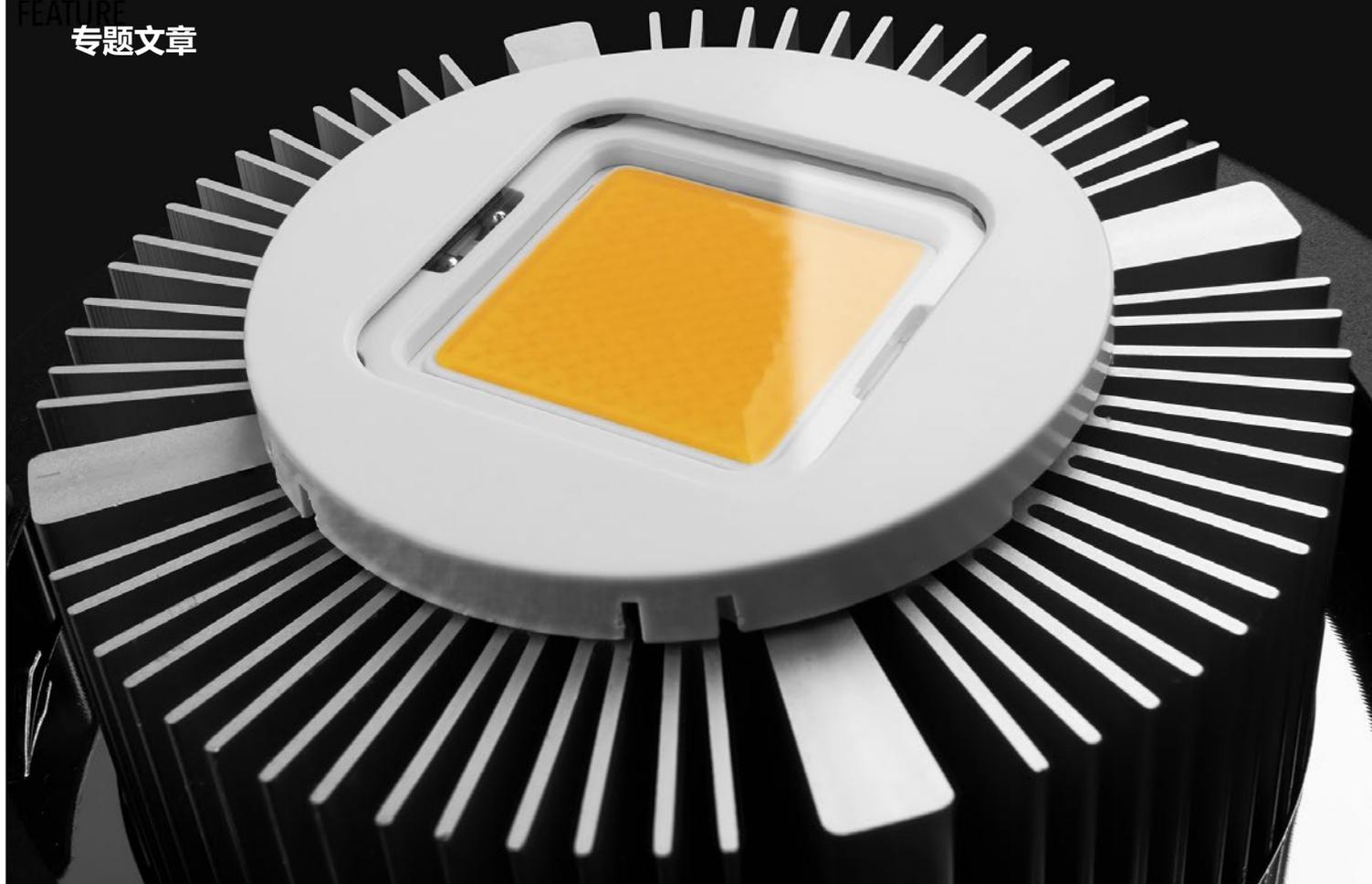
为在行业拓宽技术交流，12月7日（星期四）09:00~17:30，IPC设计师理事会中国分会在深圳会展中心5楼菊花厅举办了《2017年IPC PCB可制造性设计专题研讨会》，邀请华为技术、苏州芯禾、兢陆电子、联茂电子等企业代表共聚一堂，展开一场关于PCB可靠性设计的专题盛宴。

## 9、[爱法组装材料推出用于精密组件焊接和返工的 SAC305 超细有芯焊丝](#)

全球领先的电子焊接及接合材料供应商爱法组装材料（Alpha Assembly Solutions）推出SAC305超细有芯焊丝，其直径小于或接近0.20mm，用于精密组件焊接和返工。

## 10、[博敏电子拟 12.5 亿收购君天恒讯](#)

博敏电子（603936）公告，公司拟君天恒讯100%股权，并发行股份募集配套资金5.75亿元。君天恒讯是一家PCBA核心电子元器件综合化定制方案解决商，主要从事PCBA相关核心电子元器件的失效性分析、定制开发和销售。



# PCB 热管理的发展之路

by Gareth Parry, P.Eng  
Aismalibar

PCB 基板对导热介质的需求量和应用在稳步增长，尤其是随着 LED 照明不断发展，导热介质的使用量出现了激增。

很多导热介质有着和标准 FR-4 介质非常相似的特性：用玻璃织物增强的环氧树脂（或聚酰亚胺），其中添加了导电填料，其填料的类型、体积、几何形状及浓度决定了导热介质的散热性能 / 机械性能。导热介质的导热系数一般介于  $1.0 \text{ W/m}\cdot\text{k}$ ~ $3.2 \text{ W/m}\cdot\text{k}$  之间，相比之下，标准 FR-4 的导热系数为  $0.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ；铜

的导热系数为  $398 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。

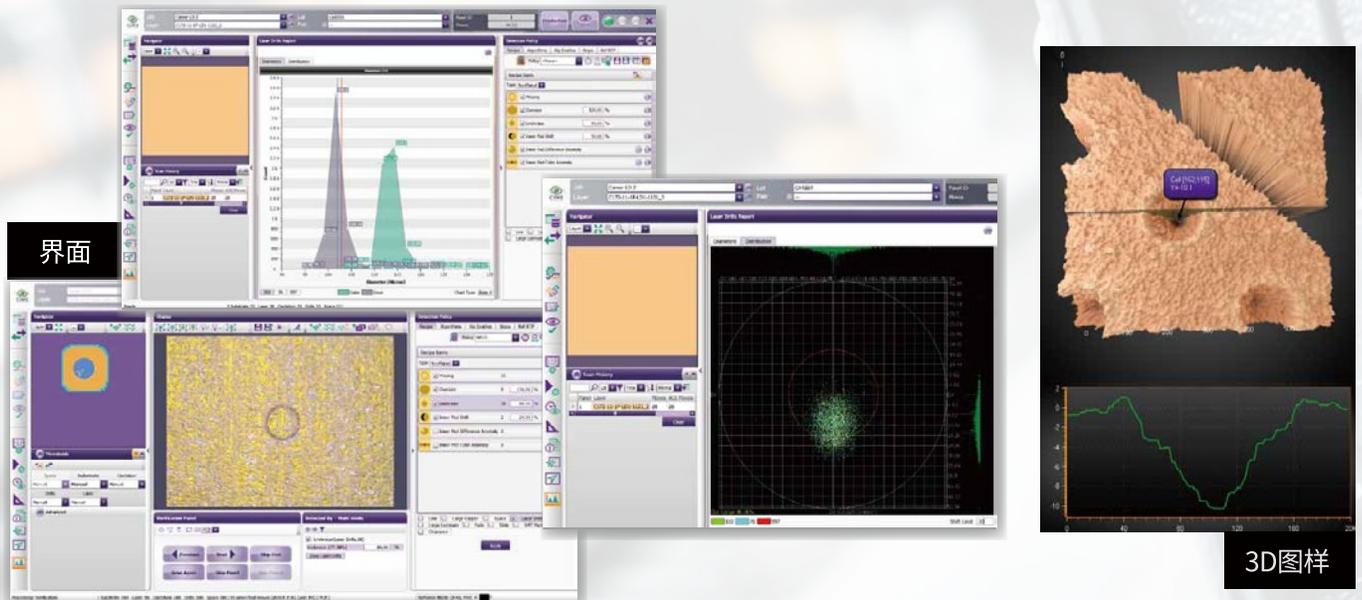
## 为什么需要使用导热介质？

答案很简单，因为系统的热管理需要。安装在 PCB 或 IMS 上的元件需要通电运行，而副产品就是产生热能。电流通过铜导体时会因为铜电阻的存在而产生热量。电阻越大，需要散去的热能也就越多。随着导体温度升高，电阻值也会增大。在未加控制的设计中会出现这样一种失控情况——温度升高导致电阻值增

# Phoenix LV+

## 终极镭射孔检测方案

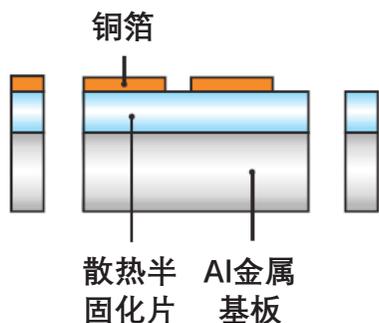
- ◆ 可检测出所有类型的镭射孔缺陷
- ◆ 镭射孔位偏移、镭射孔过大与镭射孔过小的统计数据
- ◆ 可搭载VVS功能选项 — 虚拟缺陷验证系统
- ◆ 可满足批量检测镭射孔的高产能需求
- ◆ 可检测电镀前、电镀后及开窗等镭射孔
- ◆ 可搭配2D与3D量测功能选项



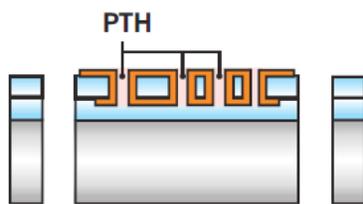
如需了解其它信息，请咨询当地康代销售代表。

康代中国 | [WWW.CIMS.COM](http://WWW.CIMS.COM)

## 单面结构



## 双面结构



## 多层结构

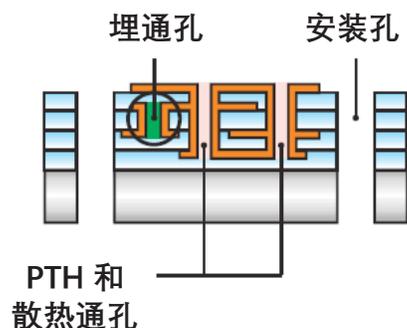


图 1：标准 IMS 结构

大，随之温度继续升高，形成恶性循环，最终导致电路损毁。在大多数情况下并非如此，但对于大功率应用和高速信号而言，热管理是真正值得考虑的问题。

LED 通常不会产生大量热量，而且触摸时温度较低。但为什么对导热介质的需求却在不断增加呢？可以从这个角度来理解——100 瓦的白炽灯泡所消耗的电能大约会转换为 12% 的热量、83% 的 IR 和 5% 的可视光。普通的低瓦数 LED 大约产出 15% 的可视光和 85% 的热量<sup>[1]</sup>。但在使用大功率 LED (>1 瓦) 时，就有必要采用高效的热管理。如果散热效果不佳，LED 的内部温度就会升高，从而导致 LED 的属性产生变化。随着 LED 的结点温度升高，流明（亮度）输出会降低。输出波长同样也会随着结点温度的变化而改变。被动解决这种散热问题的最佳方式就是使用具有较高导热系数的材料，将热量从结点位置尽快散去。介质在横向（X 和 Y 方向）以及穿过器件主体的纵向都应该具有高导热性。

大多数 LED 的电路布线都十分简单，只需要一层布线。单面 IMS 包括一个埋嵌在铜箔和铝散热片中间的薄导热介质。介质有助于

将铜电路中的热能传导到铝散热片中，然后通过空气对流将热能散去，或是通过机械安装系统导出。更复杂的设计会在散热片上安装多层铜电路。在层压前，元件可以通过布线的方式安装到铝的两侧。铝散热片很少用于电路电气接地。如果设计要求与铝形成电气连接，那么制造连接铝的电镀通孔会是一个复杂的过程。铝会对化学镀铜溶液产生相反的作用，虽然这种方式可行，但很少有 PCB 工厂提供这种工艺。更简单的方法是使用铜散热片，而不用铝散热片。

铜是非常好的导热体（~400W/m·K），但由于成本和重量的原因，大多数应用更倾向于使用铝散热片。

如上所述，铝会对化学镀铜产生相反的作用。一些表面处理也是如此，例如化学镀镍 /

金属	导热系数 W/m·K	CTE ppm/°C	密度 gr/cc	成本 USD/lb
铜	400	17	8.9	2.87**
铝	170	25	2.7	0.87**

表 1: 铝与铜的属性对比

\*\* 出自 InfoMine 价格周报 07/17

热阻( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) = 铝 + 铜 + 介质层

$$\text{热阻}(\text{C}/\text{W})(\text{总IMS}) = \frac{\text{铝厚度}(m)}{\text{铝导热系数}(W/m \cdot K) \times \text{样品面积}(m^2)} + \frac{\text{铜厚度}(m)}{\text{铜导热系数}(W/m \cdot K) \times \text{样品面积}(m^2)} + \frac{\text{介电层厚度}(m)}{\text{介电层导热系数}(W/m \cdot K) \times \text{样品面积}(m^2)}$$

## 公式 1

浸金 (ENIG)。如果浸金溶液接触到铝会产生不良反应。改善措施是用光致聚合物和 / 或胶带遮盖住暴露在外面的铝。大部分制造商都不希望保护性材料上出现划痕或针孔, 而且会避免给 IMS 产品提供 ENIG 或 ENEPIG 表面处理。无铅喷锡 (HAL) 是最普遍使用的表面处理, 但设计师需要和工厂确认他们选择的表面涂层是安全的。

大多数层压板的导热系数也就是独立介质的导热系数。一些技术指标文件会提供层压板 (铜 + 介质 + 铝) 的导热系数, 但这有一定的误导性。作为系统的整体性能评估方式, 设计师可能更需要把重点放在热阻抗而不是导热系数上。热阻抗 (或热电阻) 是导热系数的倒数乘以材料厚度。因此, 介质越薄、热阻抗越低。对于整个系统或某个特定接点而言, 热阻抗可通过公式 1 计算得出。

从导热系数为  $3.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  的 5 mil 介质变成导热系数为  $2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  的 1.5 mil 介质, 介质的热阻抗会降低 2 倍。介质越薄、热阻抗越低。如果设计规定要用更薄的介质, 那么介质的耐电压能力就成为了更重要的考虑因素。为了确保质量和可靠性, 建议 CCL 制造商在发货前对 IMS 层压板进行 100% 的耐压测试。这可以确保薄层压板上不存在小孔或异物而导致高压失效。

一般情况下, PCB 设计中使用的导热介质需要高电流负载。主要应用于电机控制、电源供给、AC/DC 转换器和固态继电器等产品。

如上文所述, LED 行业在过去十年中是这种应用不断发展的驱动因素。

最近, 在完整建构的多层 PCB 中使用导热介质的解决方案引起广泛兴趣。相比昂贵的风扇、导热管和液体浸泡冷却的方法, 这种方法可以更有效地管理 PCB 中元件的热能输出。在与 Advanced Micro Devices Graphic Card Division、Lazer-Tech PCB 和 Cartel Electronics 公司合作过程中, 我们在整个叠层结构中使用了导热系数为  $2.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  和  $3.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  的导热介质系统生产了 6 层和 12 层结构、HDI 以及阻抗可控式 PCB。与用 FR-4 相比, 用导热介质 PCB 的热阻抗降低了 16%。此方法可长期改善成本问题。

我们还需要做更多的工作才能让这些材料在完整构建的复杂 PCB 中充分发挥优点。随着技术不断发展, PCB 设计对热管理方案的需求也会不断增加。PCB

## 参考内容

1. [Factor Fiction: LEDs don't produce heat.](#) - Tim Whitaker, LEDs Magazine.



**Gareth Parry** 是 Draig Technologies Inc 的总裁, 该公司提供电子、PCB 和设计行业的技术咨询服务。

# 向微通孔进军：

## 第二部分 HDI 所需材料

by Michael Carano

RBP Technology

### 引言

制造商想要成功地应用 HDI 技术，必须具备以下几项技术能力：

- 材料选择
- 小直径导通孔的形成
- 细间距成像及蚀刻
- 导通孔填充技术
- 改进对准
- 提高分层层压的粘接强度
- 金属化技术

本文及后续的专栏文章将详细探讨以上内容。首先简要讨论 HDI 所需的材料。

### 材料

大多数介质材料用在树脂系统中含有增强

成分的印制电路板上。增强成分通常由玻纤织物构成。玻纤布就像其它布一样，是由一根根细丝在织布机上纺织到一起制成。通过使用不同直径的细丝，不同直径的纱束，按不同的编织图形，织成不同样式的玻璃布。织好的玻璃纤维既增加了介质的稳定性，又增加了介质的耐热性，但当它用于 HDI 板时，会产生一些问题。

材料选择同样重要，特别是由于无铅组装温度很高，会对层压板分层及可靠性产生后续影响。材料选择技术能力包括<sup>[2]</sup>：

- 采用共面波导及共面带状模型的高频板阻抗计算及叠层；
- 较新的酚醛环氧树脂和无卤 FR-4 的特征及缩放 / 特性补偿；



## 自动预对位的冲孔机 ATP-1000Auto PE冲孔机

板尺寸范围：12"×14" ~ 24"×28"

模具：4槽+4圆孔，4圆孔

冲孔槽定位精度：± 0.001"

冲孔槽重复精度：± 0.0005"

冲孔圆定位精度：± 0.001"

冲孔圆重复精度：± 0.0005"

影像到孔的精度：±0.0005"（板中心）

液压输出：最小12吨

速度：8-10片/分钟

Camera：2 or 4

电力：380V 3Φ

气压：20cfm, 100PSI, 1/2"管



### 香港集团总部

香港九龙湾临泽街8号  
傲腾广场17楼  
电话：+852 2357 8888  
传真：+852 2341 9339  
电邮：wkk\_hongkong@wkk.com.hk

### 深圳公司

中国广东省深圳市福田区  
新洲南路新洲花园大厦裙楼3楼  
邮编：518048  
电话：+86 755 8348 8888  
传真：+86 755 8348 8899  
电邮：wkk\_shenzhen@wkk.com.hk

# WKK

[www.wkkdistribution.com](http://www.wkkdistribution.com)

### 成都公司

中国四川省成都市成华区  
建设路9号高地中心1205室  
邮编：610051  
电话：+86 28 8432 3383  
传真：+86 28 8432 3263  
电邮：wkk\_chengdu@wkk.com.hk

### 上海公司

中国上海市普陀区金沙江路  
1340弄172支弄14号1号楼  
邮编：200333  
电话：+86 21 5283 3303  
传真：+86 21 5283 3028  
电邮：wkk\_shanghai@wkk.com.hk

### 重庆公司

中国重庆市九龙坡区科园  
一路6号渝高未来大厦17-3室  
邮编：400039  
电话：+86 23 6819 3303  
+86 23 6819 3363  
传真：+86 23 6819 3353  
电邮：wkk\_chongqing@wkk.com.hk

### 北京公司

中国北京市经济技术开发区荣华中  
路10号亦城国际中心B座1801室  
邮编：100176  
电话：+86 10 5778 0051/  
5778 0052/5778 0053  
+86 10 5778 0059  
电邮：wkk\_beijing@wkk.com.hk

### 江西公司

江西省南昌市湖滨南路99号  
凯美开元名都大酒店裙楼六楼602室  
邮编：330077  
电话：+86 791 8612 0833  
传真：+86 791 8612 0832  
电邮：wkk\_Jiangxi@wkk.com.hk

### 西安公司

中国陕西省西安市高新区  
唐延路1号旺座国际城D座2206室  
邮编：710065  
电话：+86 29 8928 1076  
传真：+86 29 8928 1079  
电邮：wkk\_xian@wkk.com.hk

### 苏州公司

中国江苏省苏州市高新区邓蔚路  
9号润捷广场北楼901室  
邮编：215001  
电话：+86 512 6807 8793  
传真：+86 512 6807 8795  
电邮：wkk\_shanghai@wkk.com.hk

- 增加局部基准，校准激光钻孔 CCD 相机的能力；
- 根据直径、深度及材料类型，存储激光钻孔参数的系统；
- 根据填塞导通孔的特征，以确定埋孔的位置。

### 通孔的形成

激光钻通孔时，由于玻璃纤维与四周环氧树脂烧蚀率的差别会导致孔质量不良。而且，玻纤布不均匀，有的区域没有玻璃，有的区域有一股纱，有的有结点，针对这些变化设定钻孔参数非常难。通常参数是根据所钻区域最硬的部分而设定的，也就是结点区域。图 1 显示了钻孔质量不好的导通孔，是由于玻璃纤维增强介质的激光烧蚀而造成的。在这些条件下，似乎很多制作商的解决方案是不使用玻璃蚀刻。控制适当的玻璃蚀刻将有助于去除凸出的玻璃纤维束，提高整个镀层的均匀性。

当转向 HDI 制造时，采用激光能钻的半固

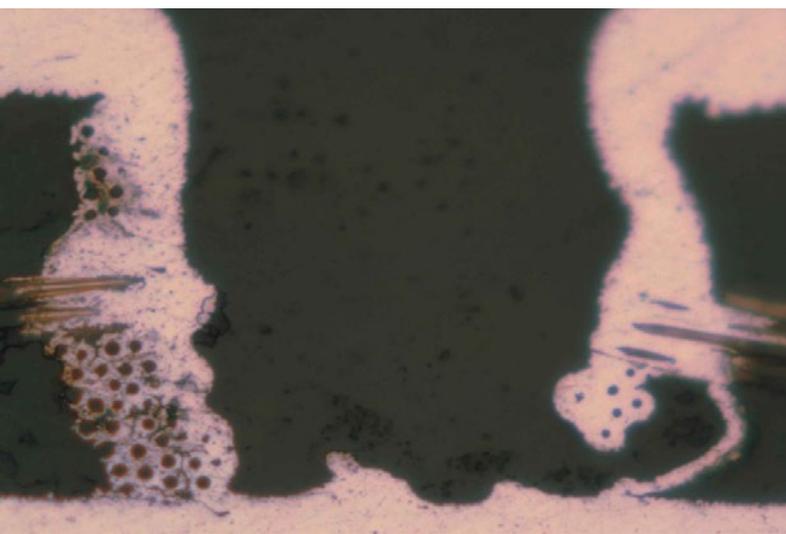


图 1：有玻璃纤维凸出的导通孔

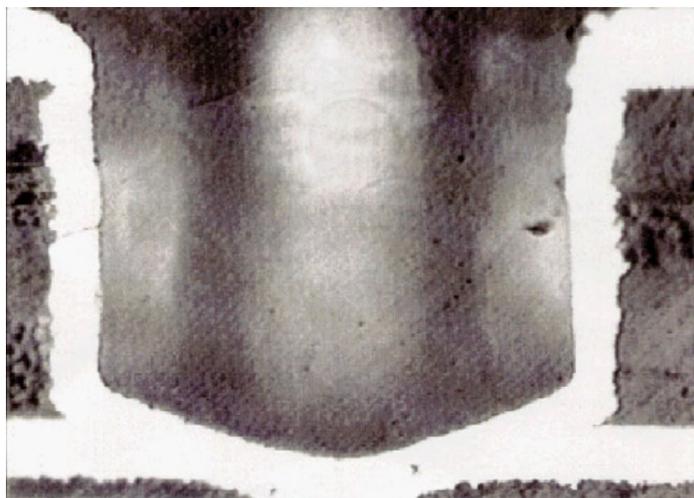


图 2：机械钻成的通孔，注意不是锥形

化片，就可以实现导通孔质量的改善。这些激光能钻的半固化片是在经向和纬向都使用展开的纱织成。因此增强成分更均匀，有助于将无玻纤的区域及结点区域降到最少<sup>[4]</sup>。

机械钻孔是已经证实的技术，它可以制成各种直径的导通孔，包括高孔径比的通孔。直径大于 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) 的贯通导通孔及盲孔的成本最低。为了实现微通孔的钻孔，需要采用专门技术控制小尺寸通孔的深度。通过电场传感 (electric field sensing, 简称 EFS) 方法，可以高精度地钻出盲孔。EFS 是基于简单的天线理论，即压力脚充满了小功率微波场。采用钻头作为天线感应微波场，监测输出信号。信号下降表明钻头接触到了金属表面如电路板的铜表面，从这个“零”位置，Z 轴用 15  $\mu\text{m}$  (0.2 mil) 的精度钻到板内，而无需使用易磨损或损坏的机械部件，也无需使用易产生碎片的光学部件。

通过对软件和钻头质量的改进，用机械钻盲孔是可能的。但是机械钻的深度及最小孔径是有限的。机械钻机的投资成本已完全收回了，从投资设备角度考虑，向 HDI 技术转移

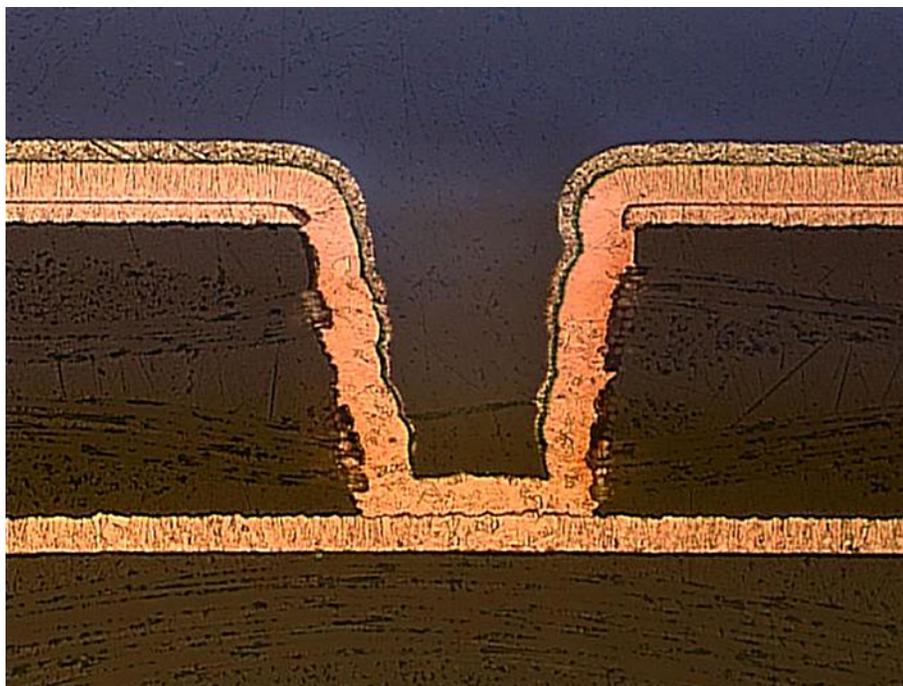


图 3：通过带光学参数的 UV-YAG 激光钻孔机钻出的盲孔

就相当容易了，这样就有了钻通孔的成本竞争解决方案。使用现有的机械钻机就可以开始微通孔的生产。市场上甚至已有一些深度控制系统，可用来升级现有的设备。用很有限的投资费用，机械钻孔的成本模式很简单，也降低了操作成本。图 2 给出了机械钻孔形成的盲孔。

图 2 给出的通孔形状的问题涉及到各种电镀工艺的流体动力学问题，激光钻通孔要优于机械钻孔和原因之一是通孔的形状。激光钻孔后，孔的形状更像一个“V”字，在通孔的底部有较宽的开口。这将有助于促进沿着孔壁及连接盘更均匀地电镀（图 3）。

通过现有设备从传统钻孔平稳地转向微通孔的优点显而易见。由于停机，调试上下游工序（电镀、内层对准等）而造成的转移成本都是有限的。使工艺处于掌控中将会使其他微通孔形成技术成熟得更快。

所以为什么不考虑采用激光钻孔，而继

续使用机械钻孔生产所有的微通孔。尽管机械钻孔的投资成本可能很低，操作成本却不低。每个导通孔的成本主要由钻头的成本决定，而钻头成本又几乎完全取决于钻头（即导通孔）的直径以及钨和钴的价格。钻头的磨损及损坏会大大增加操作成本，同时去年这两种金属的价格也明显上升。某些应用中通孔直径的减小，必须考虑采用激光通孔形成设备。仔细权衡所有的成本，包括投资费用、机械钻孔成本及导通孔质量和产量。

## 结论

转向微通孔和 HDI 技术是关键步骤。市场已在并在不断发展，且能够带来利润。与普遍的看法相反，HDI 不仅限于智能手机。即使小规模制造商也可开拓市场，建立商机，分得整个市场中的一杯羹。

## 参考资料

1. Holden, Happy, "HDI Handbook," available for free download [here](#).
2. Author discussion with Happy Holden.
3. Burgess, Larry. "Blind Microvia Technology by Laser," IPC APEX EXPO, 1999.



**Michael Carano** 是 RBP Chemical Technology 公司技术与业务开发副总裁。联系作者或阅读往期专栏，[点击此处](#)。

# 25项工程师必备技能

## 学习理论/学习曲线

by Happy Holden

I-Connect007

学习不是一蹴而就，也不是稳步向前，其进展速度循着一种或两种基本模式。图1中的第一条学习曲线表明，对于简单的工作，学习速度一开始非常快，然后随着对工作的掌控而进度逐渐趋缓。这些曲线不仅适用于个人，而且适用于制造工艺，特别是可用于研究和掌握新产品或新工艺的整个生命周期成本。

然而，对于复杂的工作或材料，学习曲线明显不一样。最初的进展是缓慢的，因为学习者要慢慢形成对这项工作的理

解，然后随着材料工艺被掌握，学习速度就会加快。同样，当对象被掌控时，速度趋向平缓。

在某些情况下，如疲劳、动力不足、失去兴趣，或在取得新进展前需要时间掌握所有材料等因素会导致学习曲线出现停滞。

来自 PBA Consulting 的 Nick Pearne 对于学习曲线的评论很尖锐：“学习曲线理论，作为

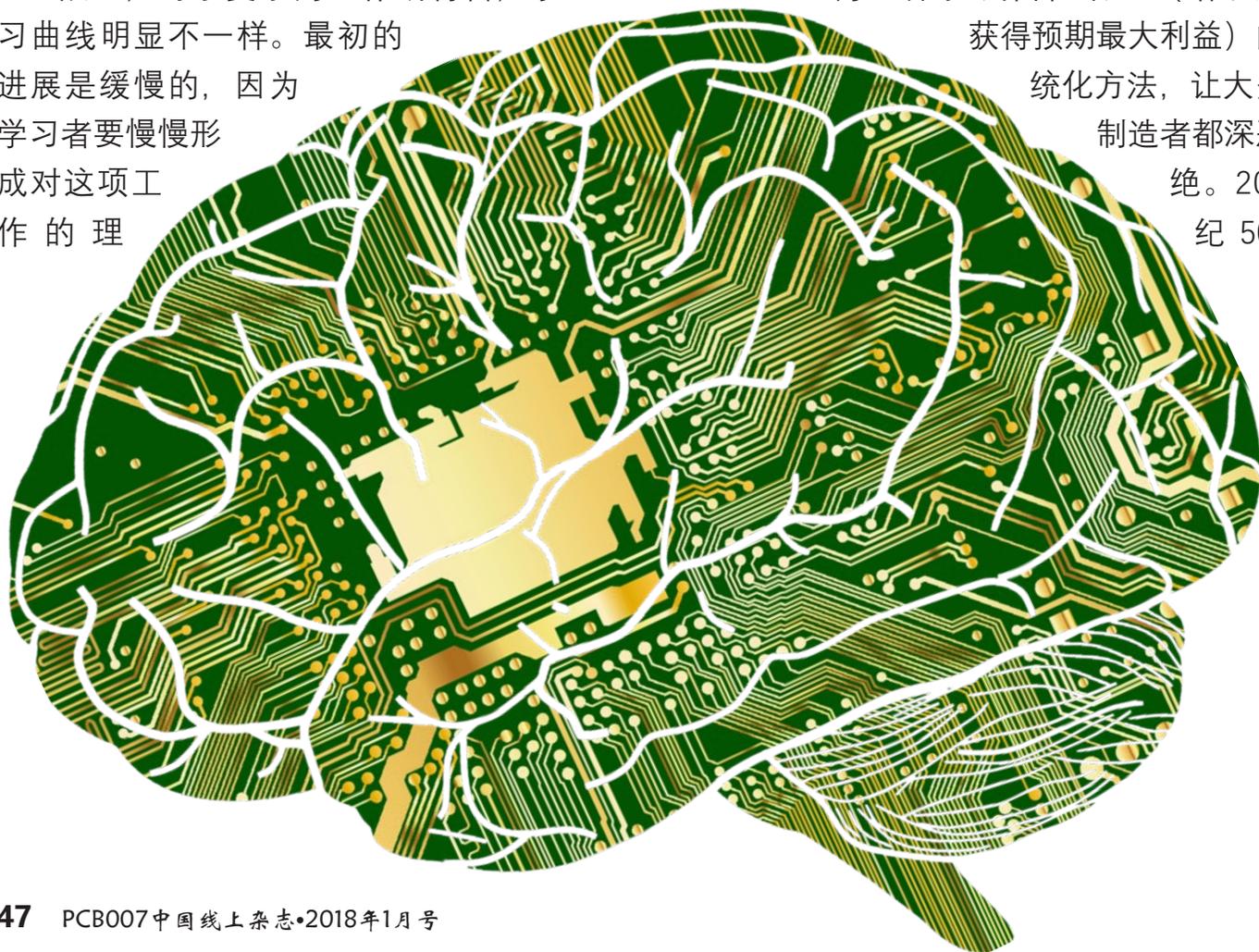
一种‘把钱留在桌上’（暗示无法获得预期最大利益）的系

统化方法，让大多数

制造者都深恶痛

绝。20 世

纪 50 年

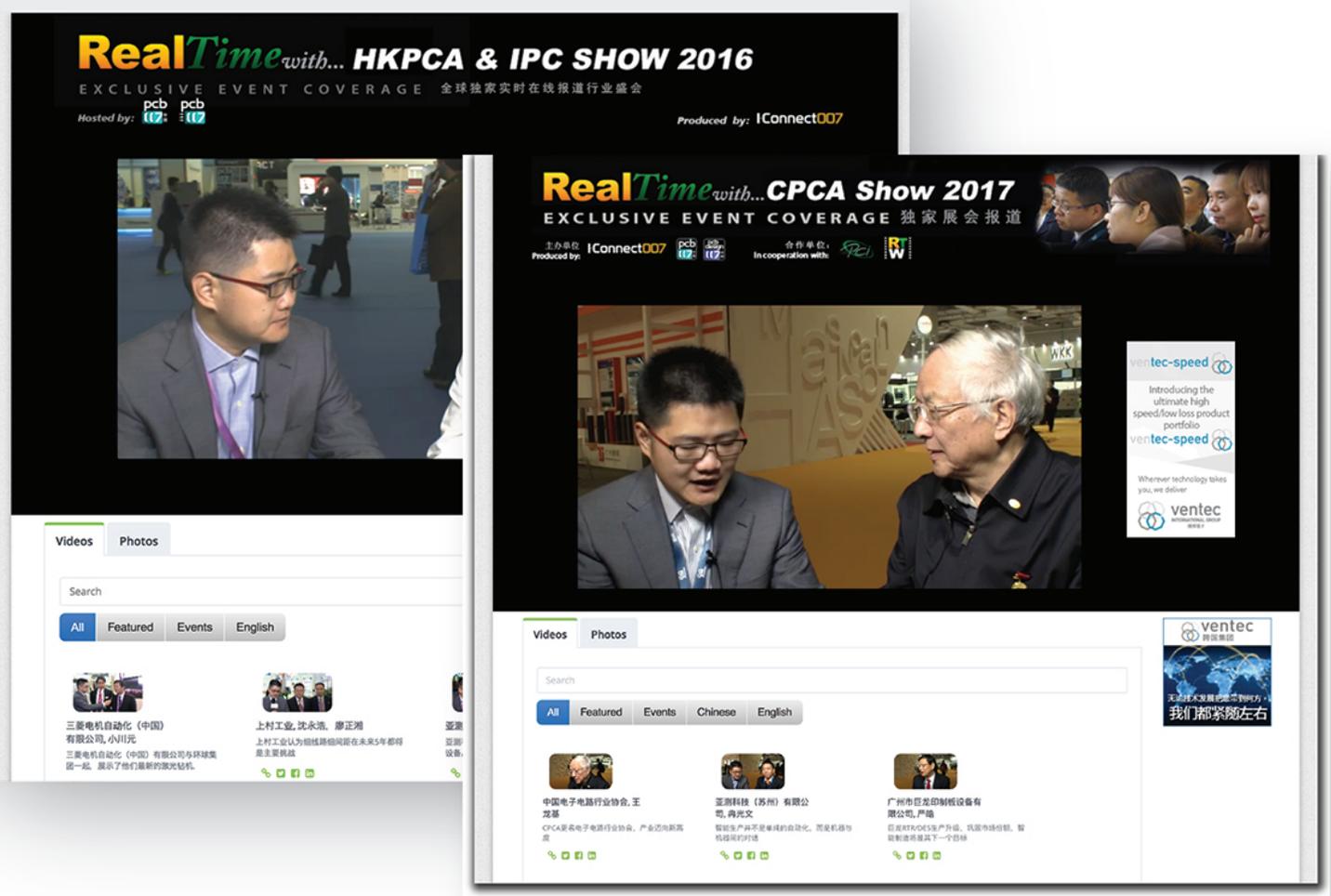


# RealTime<sup>with...</sup>

EXCLUSIVE EVENT COVERAGE 独家展会报道

全球唯一的行业盛会实时在线报道。

访问我们的网站，获取I-Connect007为您带来的行业盛会报道视频与照片！



**I-Connect007**  
GOOD FOR THE INDUSTRY

RealTimewith.com



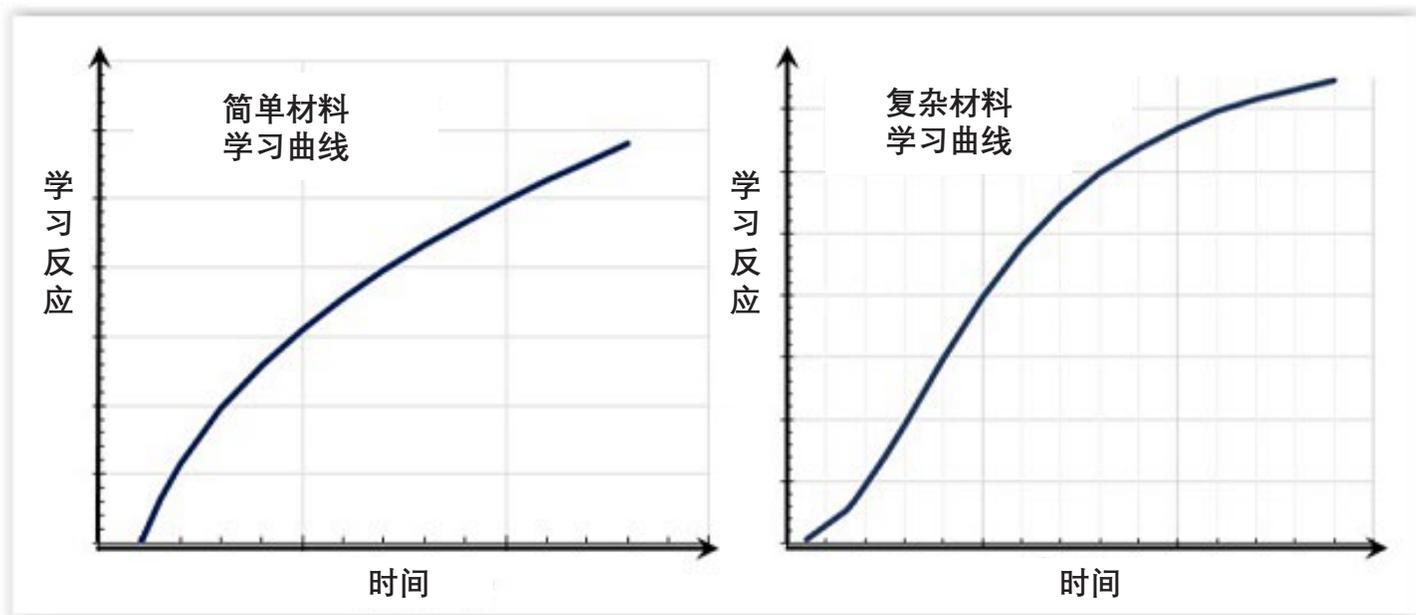


图 1：不同类型材料的学习曲线

代和 60 年代，美国新兴半导体市场的主要参与者采用了学习曲线定价方法，相比其他任何单一因素，这一实践更要对世界半导体和消费电子行业的衰败负责。数十亿美元的潜在利润就这么被基于学习曲线的定价牺牲了，因为学习曲线预测获得市场份额，然后随着时间推移逐步达成单位成本大幅降低的预期。”<sup>[1]</sup>

然而，在有許多应用中，学习曲线的方法确实有实际用途，因为不管你喜欢与否，在竞争激烈的市场环境中，对于范围广泛的工艺，至少总得有一个有规律可循的成本趋势。学习曲线在一定程度上适用于任何一种工艺或一类工艺，成本会随着技术的提高而降低。比如，制模方法：与客户建立理解和标准化；随着为客户制开发设备和工艺，生产力得以提高；检测和纠正设计上的缺陷；随着时间的推移，工程变更减少；最后，产量提高，减少返工和退货。

对于材料占比低、附加值高且长期运行的工艺，这种趋势预测方法吻合度很好，例如制造自行车、涡轮叶片或火花塞。而对于极端和

存在不可控变化的工艺来说，这可能是最糟糕的。印制电路，特别是多层工艺，显然属于这类极端工艺；随着时间的推移，价格的不断下降表明，经验和市场的增长实际上都对成本产生影响，因此对定价也会有影响。如果这种趋势现在存在，就没有理由期望它不会继续发展下去。

## 学习理论

本篇专栏文章不会详细说明学习曲线是如何实现的，但将总结其中的一些理论。

## 转化学习<sup>[2]</sup>

转化学习理论认为，反复诠释和解读自己的感觉经验，是赋予意义然后学习的核心。这一理论有两种基本的学习方式：工具性和交流性学习。工具性学习主要集中在学习如何解决与任务相关的问题，和如何确定因果关系。交流性学习涉及个人如何交流他们的感受、需求和期望。

## 行为主义<sup>[3]</sup>

行为主义只关注学习客观可观察得到的方面，而对可能与活动相关的内心处理并不关心。学习是通过自我调节来获得新的行为。

有两种可能的调节：

1. 经典的条件反射，在这种情况下，行为变成对刺激的反射反应，就像巴甫洛夫的狗一样。
2. 操作性条件反射，是指通过奖赏或惩罚的行为强化。

操作性条件反射理论是由 B.F. Skinner 提出的，或被称为激进行为主义。这里的“操作性”一词是指“作用于环境（而产生结果）”的行为。简单而言，一个行为可能会被强化，从而增加反复发生的可能性；或被惩罚，从而降低反复发生的可能性。值得注意的是，如果不能导致行为减少，惩罚也就不是这里所谓的惩罚，所以，这里的惩罚和强化的定义是根据行为的作用结果而确定的。在这个框架内，行为学家特别感兴趣的是行为的可测量变化。从这种模式产生了一系列教育方法，诸如应用行为分析、基于课程的测量和直接指导等。

## 认知主义

在认知学习中，尽管开始了一种新的模式，但行为主义的经验框架仍然保留了下来。认知理论能透过行为本身，来解释基于大脑的学习。认知主义者认为人类的记忆是可以促进学习的。例如，如何将信息编码转化为短时和长期记忆的自然生理过程，对教育工作者来说至关重要。

曾经有过一些记忆理论，如 Atkinson-Shiffrin 的多重记忆模型和 Baddeley 的工作记忆模型，可以作为建立在认知心理学上的

理论框架，而新的认知学习框架在二十世纪 70 年代、80 年代和 90 年代开始出现。今天的研究人员都集中在研究诸如认知负荷和信息加工理论这样的课题。这些学习理论对指导教学设计非常有用。

## 建构主义

建构主义认为学习是学习者根据当前和过去的知识，主动建构或建立新思想或概念的过程。换句话说，“学习涉及到从自己的经验中构建自己的知识”，因此，建构主义学习是一种非常个人化的创作，即把内化的概念、规则和一般原则应用到实际的现实环境中。教师充当促进者，鼓励学生发现自己的原则，并通过解决实际问题来建构知识。这也是大家所说的知识建构是一种社会过程。我们可以一起澄清和组织他们的想法，这样我们就可以向其他人表达他们的观点。这使得我们有机会详细说明他们学到了什么。我们可以了解到别人的见解。通过学习我们能够发现缺陷和不一致，从而可以得到好的结果。建构主义本身有许多变化，如主动学习、发现学习和知识建构。

## 生成性学习理论<sup>[4]</sup>

生成性学习理论认为，学习过程是以已经储存在大脑中的记忆为基础的，其中新的数据被添加到我们的长期记忆中，并成为我们知识库的一部分。生成性学习理论基于这样一种假设，即人脑不仅被动地观察其环境或所经历的事件，而且它对问题、情景和经验都会构建内在看法。

## 生成性学习理论的 4 个核心概念

生成性学习理论涉及四个核心概念，教学

设计者可以根据学习者的需要和所涉及的学习材料，围绕着全部或其中一个概念进行指导。

1. 回忆，即唤起学习者长期记忆中的信息。主要目标是鼓励学习者利用他们已经获得的信息来学习基于事实的内容。回忆技巧的例子可能是让学习者重复信息或复习，直到完全掌握这个概念。
2. 整合，即让学习者将新信息与已收集和存储的知识相结合。其目的是将这些信息转换成一种形式，以便学习者可以更容易地记住和供今后使用。整合活动的例子可能是让学习者复述内容或创建类推，来解释这个概念。
3. 组织，即让学习者将他们已经收集到的知识与新概念有效地联系起来。组织技巧的例子可能包括创建列表或分析特定概念的要点。
4. 细化，即鼓励学习者通过分析想法，将他们已经收集到的信息连接起来并加入新的观点。细化技巧的例子包括创造性写作，对句子或想法进行扩展，以及对心理意象的视觉再现。

### 非正式和后现代主义理论

非正式的教育理论处理学习过程中更为实际的问题。其中一个问题是，如何学习总体思路，是要对一个总体思路构建概念，还是理解总体思路，并在后面填充细节。现代思想家倾向于后者，尽管这在实际研究中尚无任何依据。

另外要关注的问题是学习驱动力的起源。对这个问题，许多人已经脱离主流，认为理想的学习状态就是自学。然而，现实世界表明，孤立学习的学生是失败的。社会支持似乎对持续学习至关重要。

非正式学习理论，其本身也关注书本学习与现实世界的经验学习的对比。许多人认为大多数学校严重缺乏现实世界的经验学习。新出现的混合教学模式结合了传统课堂教学和计算机强化教学，这是两全其美的保证。

### 学习曲线的数学原理<sup>[5]</sup>

#### 成本与数量的关系

学习曲线的理论基于一个简单的想法，即当工人积累经验后，完成任务所需的时间就会减少。基本概念是：执行任务的时间或成本（例如，生产一个单位产品），随着累积产品的加倍，恒定的速率减少。学习曲线有助于编制成本估算、对特殊订单的投标、制定劳工标准、安排劳动力需求和设定工资激励标准等。

有两种不同的学习曲线模型。最初的模型是由 T. P. Wright 于 1936 开发的，被称为累积平均模型或 Wright 模型。第二个模型是由斯坦福大学的一组研究人员开发的，他们的方法被称为增量单位时间（或成本）模型或 Crawford 模型。

在 Wright 模型中，学习曲线的函数定义为：

$$Y = aX^b$$

其中：

Y = 每个单位平均累积时间（或成本）

X = 累积生产产品数量

a = 生产第一个产品所需的时间（或成本）

b = 在双对数坐标纸上绘制时的函数斜率

= 学习速率的对数 / 2 的对数

例如，对于 80% 的学习曲线， $b = \log 0.8 / \log 2 = 0.091 / 0.301 = -0.32196$

而使用 Crawford 模型的公式为：

$$Y = aK^b$$

其中：

$Y$  = 批量中点的增量单位时间（或成本）

$K$  = 特定生产批次的代数中点

$X$ （累积生产单位数量）可以用来代替上面这个公式中  $K$ ，找到特定单位成本，但确定最后一个单位的单位成本在确定一批单位的成本方面是没有用的。必须分别确定批次内每个单位的单位成本。所以，要计算一个可能涉及数百个甚至数千个产品的批量成本，这显然不是一个可行的方法。一种实用的方法就是计算该批次产品的中点。中点单位的产品成本是该批次的平均单位成本。因此，通过计算中点单位的成本，然后乘以这批次的单位数量，就可得到这批产品的成本。

由于关系是非线性的，代数中点需要用下面的公式来计算：

$$K = [L(1+b)/(N_2^{1+b} - N_1^{1+b})]^{1/b}$$

其中：

$K$  = 该批次的代数中点

$L$  = 该批次中的单位数量

$b$  = 学习速率的对数 / 2 的对数

$N_1$  = 该批次中第一个单位减去 1/2

$N_2$  = 该批次中最后一个单位加上 1/2

下面的例子援引自 Nick Pearne 的文章<sup>[1]</sup>：

如上所述，学习曲线有赖于这样一个事实，即对于任何商品，随着生产的增加所积累的经验将导致制造成本下降，因此在竞争激烈的市场环境中必然导致价格下降。更确切地说，该理论指出，每次生产“单位”（或“批量”）的数量增加一倍时，相应的单位（或批量）成本会降低一个经验系数  $F$ ，也就是所谓的学习率或改进率。这由生产基准量（ $Q_0$ ）翻倍所需的资源（一般指工艺成本）关系来决定：

$$F = C_2/C_1 \quad (1)$$

其中  $C_1$  是初始平均单位成本， $C_2$  是基准量翻倍时的平均单位成本。

从公式（1）中可以看出， $F$  值越高，预期的成本变化就越小，可以是由于工艺成熟度（自动化、优化设置、工具、产量）或者是高度定制产品而造成的，如小批量复杂的刚挠结合组件。

对于初始数量  $Q_0$  和最终数量  $Q$ ，就生产的总数量而言通过  $(\log(Q/Q_0)/\log(2))$  可以计算出成倍数量或部分。因此，单位成本的数量函数，可以写成：

$$C = C_1 \times (F/100)^{(\log(Q/Q_0)/\log(2))} \quad (2a)$$

其中  $C$  是  $Q$  个或  $Q$  批产品后的单位成本， $C_1$  是第一个或第一批单位成本， $F$  是经验系数百分比。

$F$  为 75，这是个比较典型的陡峭型（快速）学习曲线，在这样的情况中，工艺整合会快速进行，相应的转换时间减少，产量提高。公式（2a）很难处理，因为主变量  $Q$  以指数出现。可以重新安排（并简化）这个公式，我们注意到，一般来说， $a^{\log(b)}$  相当于  $b^{\log(a)}$ ，因为这两种表达式都可以写成  $e^{[\log(a) \times \log(b)]}$ 。因此，公式（2a）的另一个更好的形式是：

$$C = C_1 \times q^k \quad (2b)$$

其中： $q = Q/Q_0$ ， $k = \log(F/100) / \log(2)$   
这样，生产出  $Q$  个或  $Q$  批产品的总成本  $T$ ，可以通过将方程式（2b）取极限  $q = 0$  到  $q = Q$  得到：

$$T = C_1 \times q^{k+1} / (k+1) = C_1 \times Q^{k+1} / (k+1) \quad (3)$$

单个或单批产品的平均成本  $A$ ，就是总成本除以数量：

$$A = T/Q \quad (4)$$

对于经验系数准确已知的工艺，平均成本通常用来给批次或单个产品报价，它对于

整批生产是有效的。例如，假设第一批十件的生产成本为 20 美元，其中已知的经验系数为 80%。那么 1000 件产品的预计成本是多少？ $F = 80\%$ ， $k$  就是  $\log(0.80) / \log(2) = 20.3219$ ，而这个案例中，“经验”数量  $Q = 1000/10 = 100$ 。

因此：

$$C = 20.00 \times 100^{-0.3219} = 4.5412$$

因此，在生产结束时，生产成本已下降到每批 4.54 美元。总成本根据等式 (3) 变成：

$$T = 20 \times 100^{(0.6781)/0.6781} = 669.7274$$

每单位产量 (1 批) 的平均生产成本因此为 6.70 美元，单件成本约为 0.67 美元。这种方法可用于创建各种经验系数的双对数图，以数量和初始成本的函数得出单位成本。例如，一个有 80% 经验系数的工艺，每单位初始成本为 1，预计到 1024 ( $2^{10}$ ) 个生产数量时，单位成本将下降到大约 0.11。非典型的半导体行业， $F$  可能是 75% 甚至更少，另外一种完全相反的情况是，一个复杂的低产量的产品， $F$  可能是 90% 或更高。而具有高度定制化的一次性组件的  $F$  将高达 100%，原因是：产品生命周期太短 (一次性)，标准化加工组件太有限，无法提供有意义的改进机会。

### 新技术——经验系数<sup>[1]</sup>

要将这种分析用于新技术，就必须确定经验系数。这可以使用更广泛的经验库，而不是简单的通过方程 (1) 中所示的翻倍，可以使用翻转公式 (2a) 得到的数据，具体如下：

$$F = 10^{\log(2) \times \log(C/C1) / \log(Q)} \quad (5)$$

如果一个金属芯型绝缘金属基板的 LED 多芯片板，已生产 10000 件 ( $C1$ ) 时生产成本是 2，现在生产 4000000 件 ( $Q = 400$ ) 时，成本 ( $C$ )

是 0.65，那，经验系数是多少呢？

$$F = 10^{\log(2) \times \log(0.65/2.00) / \log(400)}$$

$$\text{或：} F = 0.878$$

当  $Q$  达到 2000 (20000000/10000) 时，第二千万块的成本是多少？

$$k = \log(0.878) / \log(2) = 20.18771$$

$$C = 2.00 \times 2000^{(20.18771)} = 0.4801$$

这个例子假设在引入相同功能 / 基片的新布局时，需要进行有限的工艺创新。在印制线路制造中，这种情况很常见。重点很少放在产品上，更多的是放在建立标准化工艺的能力上，经验系数可能甚至高于 88%。要切记，经验系数“ $F$ ”并不意味着任何特定的专业知识水平或技术掌握度。它仅仅是在这个设计的生命周期中工艺成本预期稳定性的一个指标。

### 参考文献

1. Burr, W., Pearne, N., "Learning curve theory and innovation," Circuit World, Vol. 39, Issue 4, 2003, pp 169–173.
2. [Transformative Learning](#) (Jack Mezirow)
3. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
4. [The Quintessential of Generative Learning Theory](#)
5. [The Learning Curve or Experience Curve](#), provided by James Martin.



**Happy Holden** 自 1970 年起就在印制电路技术领域工作，先后工作过的公司有 Hewlett-Packard, NanYa/Westwood, Merix, Foxconn 和 Gentex。他目前担任 I-Connect007 的顾问。阅读以往专栏或联系 Holden, [请点击此处](#)。

**CPCA 2018**  
**SHOW**



# 第27届中国国际电子电路展览会

## China Int'l PCB & Assembly Show

March 20-22, 2018

国家会展中心（上海）

National Exhibition and  
Convention Center (Shanghai)



展览联络：  
CPCA展览部



上海颖展展览服务有限公司  
Shanghai Ying Zhan Exhibition Service Co., Ltd.

Tel: +86-21-54900077

Fax: +86-21-54904537

E-mail: [cpcashow@ying-zhan.com](mailto:cpcashow@ying-zhan.com)

QQ: 800 055 702



关注微信 更多分享

[www.cpcashow.com](http://www.cpcashow.com)



## 焊料印刷工艺输入对焊膏体积分布的影响

by Marco Lajoie and Alain Breton

C-MAC Microelectronics

与任何工艺流程一样，焊料沉积体积是有偏差的，无论这种偏差是正常（工艺本身就存在的原因和可预测到的可能性）还是非正常（受到特殊原因、间歇情况和无法预测因素的影响），都可以通过统计分布曲线来表示。对于复杂性、密度、成本和可靠性要求适中的组件而言，假设焊膏检测（SPI）可以有效隔离出类似桥接和未对准这种明显的缺陷，它可以承受相对大的体积偏差，仍然可获得令人满意的产量和焊点质量。当然这样可以简化任务，因为几个小时的工程工作就足以使用标准配方导入新产品。同时由于受到 SPI 请求或工艺输入

设置太严格超出操作窗口而导致的中断最少，制造过程可以顺利进行。

### 为什么如此重要？

随着复杂性、密度、成本和可靠性要求的不断增加，减小焊料分布范围具有一定价值。对于越复杂、越密集的线路板而言，我们都知道偏差越小越有益于提高质量。这也会影响成本，因为偏差小可以提高产量、减少返工和报废产品的数量。通过减少正常偏差并揭示由可鉴别的特殊原因所引起的异常，就可以提高质量，否则这些异常发现不了，还会继续隐藏

# 工业4.0近在眼前 实时移动端生产控制， 尽在Optimal电子！



## 创新软件解决方案的全球供应商

致力于改善电子组装领域的生产力，实时控制和可追溯性  
先进且独特的动态生产计划，提供即时的生产改进，  
更可实时移动端生产控制Optimal提供真正的精益制造环境  
投资回报率超高！

100%是必须的！

保证100%组件可追溯

符合第4级IPC-1782可追溯性标准。

“Optimal电子通过不断推出创新的功能和提供卓越的技术支持，不断刷新其在我们脑中的印象。”

- National Instruments



# OPTIMAL ELECTRONICS

Optimal Electronics, 13915 N. Burnet Road, Suite 312, Austin, TX 78728  
Phone: (512) 372-3415, [www.optelco.com](http://www.optelco.com), [info@optelco.com](mailto:info@optelco.com)

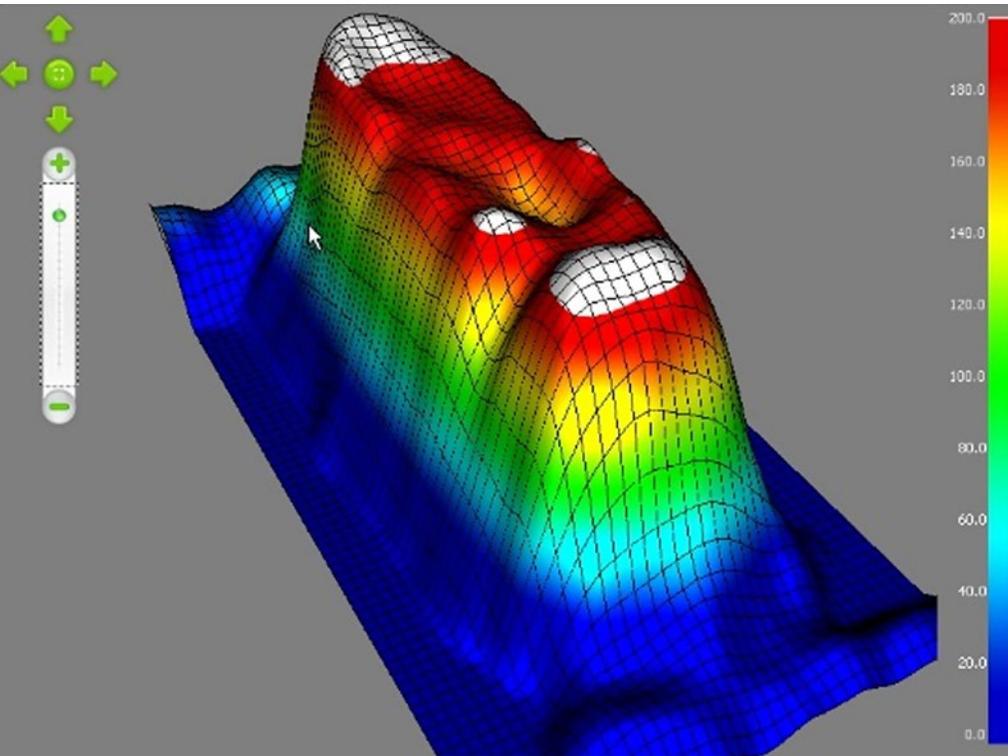


图 1：正常或非正常的焊料沉积量变化都可以通过统计分布曲线来表征

在更大的验收窗口中。

可靠性评估通常是在有限批次的产品中选择相对较少的样品数量进行检测，有时会在相对较长的时间间隔内重复进行。换言之，接受测试的样品中有多少样品能真正代表实际分布？每个测试间隔期间所生产出的部件又具有怎样的差异性？分布曲线越窄越有利于确保测试样品和相同生产批次的可靠性具有再现性。

### 目标是什么？

分布范围越窄越好，这是常识。但它要多窄才足够好？焊点质量的一般行业目标是 IPC-610，而 IPC-610 又将焊点质量分为 1 级、2 级到 3 级。通过一个简单的 DOE 可以发现，相对较大的焊膏体积分布可以满足大多数 IPC 标准。但在遇到引起诸如墓碑现象、散热层空

洞或 BGA 拐角焊料球开路等缺陷模式的细微原因时，仅仅符合 IPC 的要求是无法满足预期目标的。此外，IPC 标准规定的可接受焊料体积量范围为“润湿是明显的”到“焊料不应当接触封装主体”，这听起来可不像是能够在恶劣条件下保证产品可靠性的有效预测指标。

换句话说，你的任务是要找出薄弱点：产量中存在的最大的帕累托原因，高加速寿命测试 (HALT) 或是其他失效测试方法中出现的第一个失效模式。然后确定标称目标并减少每个目标的分布，不断重复直达到稳定。这是一项繁琐的任务，比使用标准配方要难得

多。结合经验与方法，就能够更好地预测图形和目标，之前的投资也开始有所回报。

### 工艺输入是什么？

在寻求更佳性能标准（例如产量、可靠性等）时，一旦你怀疑焊料体积的分布是一个重要因素，那么什么工艺输入会影响分布呢？可通过 6M 分类法考虑这个问题：测量、机器、材料、环境、方法和人力。

### 测量

如果希腊哲学家 Thales 被分配到了这项任务，那他可能会说“弄清楚你的 SPI”。测量是由适当的测量系统分析 (MSA) 开始的，其中包括校准和量具的重复性和再现性 (R&R)。但湿润的焊膏样品在整个分析过程中不一定能

保证足够稳定的状态。校准方法包括：已知体积的 3D 基准数据，可用国际标准追踪；量具 R&R 包括干燥（长时间稳定）焊膏，可在整个测量范围内小心保护样品。

此外，SPI 测量还可能由以下原因引起的各种人为现象：基准平面不正确（参考了阻焊层而不是铜层）、PCB 弯曲、相邻焊料沉积的阴影等等。最新一代 SPI 具备了解决

这些问题的特定功能。但这些问题看似微小，只影响到测量，却有可能对你的应用起到非常决定性的作用。关键点在于要了解测量的局限性，这样就不会将由它们导致的偏差和其他工艺输入导致的偏差混淆，导致你得出错误结论。

使测量成为正式控制计划的一部分（也就是何人何事在何时如何对工艺进行测量，控制范围是什么，以及超出范围后预计会出现怎样的反应）。将技术管理作为首次送检合格率（FTQ）或 SPC 信号反应计划的一部分，以便问题出现后的最短时间内进行干预，并不断改善工艺。

## 机器

机器包括工艺设备和治具。假设已完全执行机器的编程和维护，印刷机通常情况下是很稳定的，除非存在未检测到的异常现象，例如模板安装的平面，测压元件（压力）的测量，以及刮板安装等等。

至于治具，询问你的供应商模板的公差是多少。在一个给定单元内，仅厚度和孔径出现偏差就可能造成同一块面板上的不同电路之间

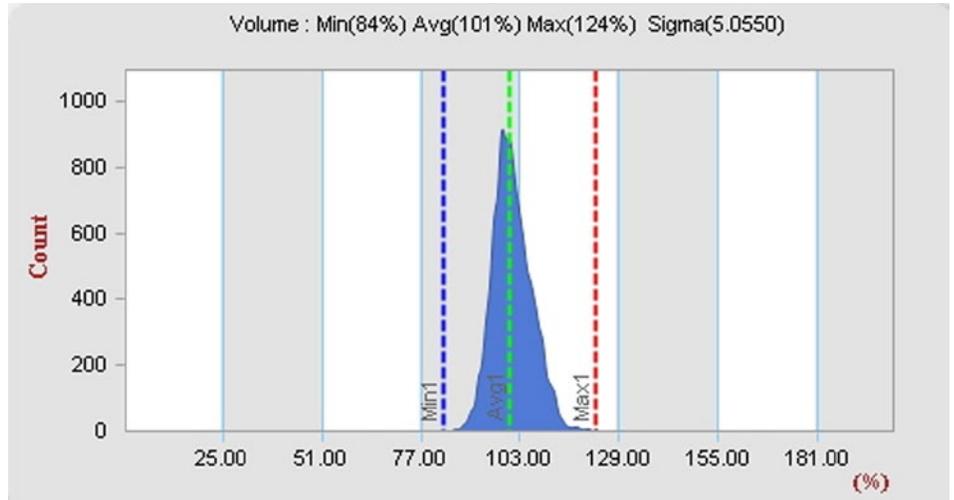


图 2：多么集中才足够？

出现严重偏差。同样，根据同一个图像制作的新模板不一定能生产出同样的产品。而且不同制造方式（激光切割、电铸、纳米涂层等）所产生的公差会有不同的限制和趋势。请考虑一下它的维护计划：用后清洁的效率有多高？在什么样的频率和标准下来评估它是否可以重复使用？

刮板也是焊料沉积的关键变量。将刀片材料（金属或聚氨酯）和维护协议（耐用性、清洁度）纳入潜在变量中。

线路板支撑也十分重要，因为坚实的支撑块可以生产出高度可重复的结果。显然，在辅面印刷只能在元器件间隙提供支撑，而且策略也有所不同：带有定制腔体的支撑块，网格图案自动化桩或人工放置桩。一些 PCB 的设计和类型（纤薄、异形、挠性……）要求工艺载体，它的设计（平面性、固定性）十分重要。

## 材料

PCB 的设计及结构也一定要考虑在内。阻焊层界定了焊盘或相邻的阻焊层，会影响到模板的密封，厚度的宽松公差（>0.5 mil 的范围）

会让加剧这种影响。在模板下方临近目标焊盘的阻焊层区域进行蚀刻可以减小这种变异。而且，表面处理也会产生一定的影响，尤其是在使用 HASL（相对较厚且不平整）时。

还必须注意拼板问题，要留出足够距离，使刮板能够通过焊盘且能够从夹紧机构（也就是用线路板支撑机构均匀固定的区域）中拉起。

焊膏是重中之重。通过管理均匀性（最好自动搅拌）、室温下的稳定状态和从模板到回流所用的时间，可以最大程度地减小触变性偏差。只使用模板清洗溶剂和专用清洁辊可以避免化学污染和颗粒物污染。

### 环境

控制工艺环境也是十分重要的。室内的温湿度以及暴露在该环境下的时间都会对焊膏的触变性产生影响。为了减少颗粒物污染，可使用窗口覆盖的传送器来严格管理清洁程序（设备、货架、治具、天花板……），并将离子鼓风机安装在裸板到回流整个过程的加工路径中。

### 方法

诸如压力、速度、分离等印制参数是可以编程的，而且在岗位设置点会调用并装载标准配方。确保严格管理参数和配方，这样才能保证每一批次的产品都是一致的，而无需对工艺输出进行随机测试。

但很多岗位设置操作部分还是依赖人为干预：模板安装、刮板和线路板支撑、点涂焊膏（除非使用了自动点涂工艺）、模板清洁、刮板、工艺载具和设备等等。完整记录每一步的程序，并且只允许接受过专业培训的人来操作工艺。

也许最重要也是最复杂的“人工”操作就是对 SPI 警报做出响应：有些呼叫是否可以理解为“误报”和超出时限？每个步骤的“真实”呼叫和不同的面板沉积是否都有不同的类别？停机并检修（呼叫技术支持）的标准是什么？

### 人力

合理的方法、程序与培训都属于理论层面，每次实施都可能会出现意外。通过使用防错方法，如可视指示器、模板、传感器、警报等，可最大程度地减少偏差。安排同事之间和管理层人员短期审核及频繁审核。实施序列化、可追踪记录，以便调查出现偏差的原因。与操作员进行系统性沟通，提供有关问题、原因、解决方法和预防措施的信息，从而共享经验教训，并且还可以让整个公司参与到不断的学习过程中。

### 结论

减小焊膏体积的分布有益于提高产品质量和可靠性并节省成本。本文根据 6M 分类法介绍了不同工艺输入对焊膏分布的影响。其中涉及到工艺、设备和人力因素，并提供了最佳操作方法的指导建议。PCB



**Alain Breton**, C-MAC Microcircuits ULC 公司运营总监。



**Marco Lajoie**, C-MAC Microcircuits ULC 公司业务开发经理。

# 挠性电路技术手册：免费下载



## 示例页面



## 目录

- 第一章 挠性电路技术综述
- 第二章 挠性电路驱动力、优点和应用
- 第三章 挠性电路材料
- 第四章 挠性电路技术的实施
- 第五章 挠性电路实际设计指南
- 第六章 挠性电路制造工艺
- 第七章 挠性电路装配
- 第八章 挠性电路检查与试验
- 第九章 挠性电路文件要求
- 第十章 挠性电路规范

点击下载

# Optimal Electronics 着眼于未来发展

by Stephen Las Marias

I-Connect007

在深圳召开的 NEPCON South China 展会上，采访了 Optimal Electronics 公司 CEO 兼 CTO Ranko Vujosevic 博士，他介绍了该公司最新的技术发展成果以及未来规划。我们还讨论了有关全自动电子组装的问题，包括相关技术以及工业 4.0 的终极目标。



Vujosevic博士

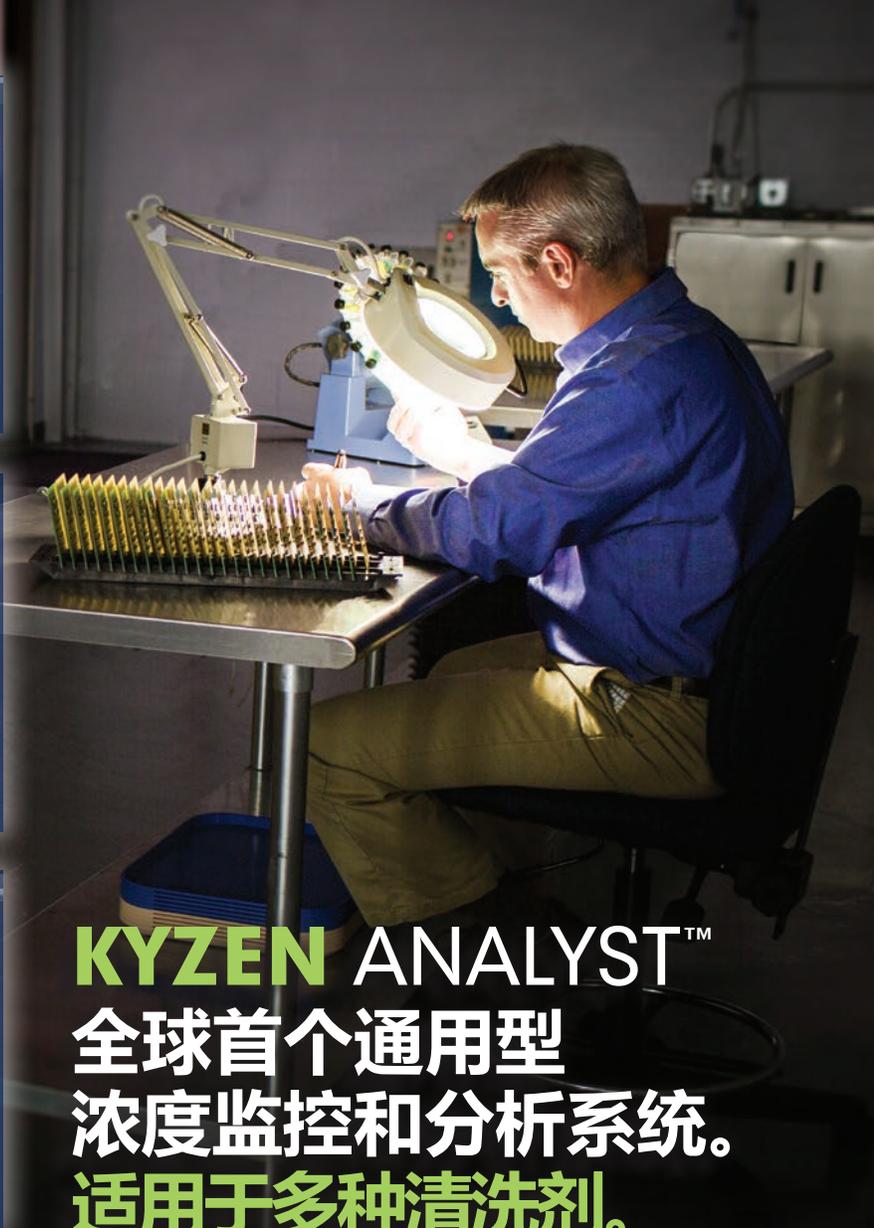
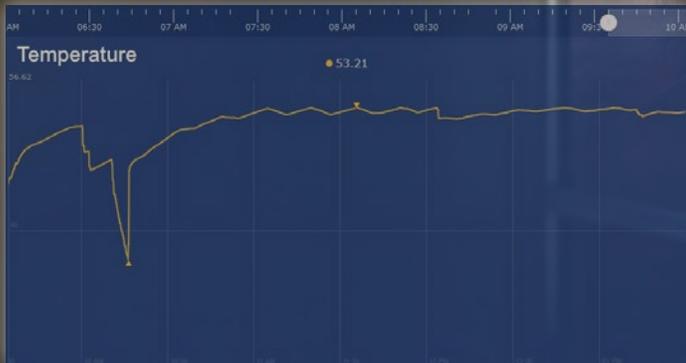
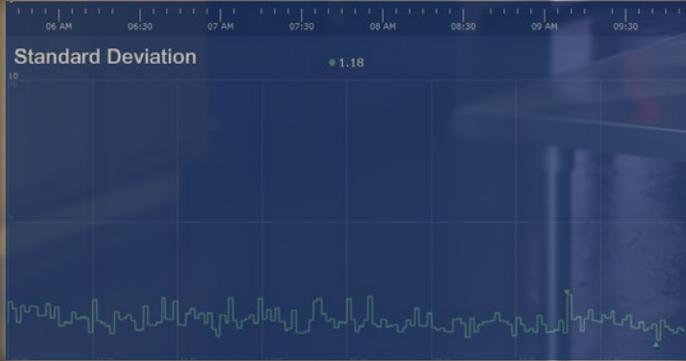
**Stephen Las Marias :** Vujosevic 博士，能给我们介绍一下 Optimal Electronics 公司吗？

**Dr. Ranko Vujosevic :** 我之前在爱荷华大学做研究，梦想成立一家为工业工程领域开发软件的企业。就在那时，位于爱荷华州 Cedar Rapids 市的 Rockwell Collins 工厂邀请我为其新的 SMT 生产线开发生产调度软件。他们出资支持我的研发，就在那时我决定付诸全力投身于电子组装领域，于是我在 1996 年成立了 Optimal Electronics 公司。我们的市场定位是成为电子组装领域的智能软件方案供应商，而不仅仅限于 MES 系统。我们的软件方案其功能要比一般 MES 提供的多得多，其中包括动态生产调度和机器优化。最近，我们开始研发工业 4.0 和智能工厂相关的方案，以

及相应的机器人和人工智能方案。2003 年，Flextronics 和 National Instruments 位于 Austin 的工厂采用了我们的软件，为了不用来回奔波于工作和家庭之间，我把公司搬到了德克萨斯州的 Austin。

**Las Marias :** 你们打算怎样开发中国市场？

**Vujosevic :** 我们今年的目标是通过在欧洲、中国和东南亚地区建立分销渠道来扩大我们的市场。我们之前的重心是美国和墨西哥市场，亚洲客户一般是把工厂转移到亚洲的美国公司。而如今我们已经签署了欧洲市场以及包括中国在内的东南亚市场的分销协议。对我们而言，中国市场的扩大至关重要，我们正尽一切努力开拓，将在几个月之内提供本地销售和支持。我参加这次展会就是为了



# KYZEN ANALYST™ 全球首个通用型 浓度监控和分析系统。 适用于多种清洗剂。

本公司推出的KYZEN ANALYST是一款精确可靠的清洗剂浓度监控系统，可以最大程度上提高所有化学清洗剂的性能，而不仅仅是其中一种。此外，用户在任何地方均可轻松获取实时数据，可快速、便捷地进行SPC报告检索、记录和制图，为用户节约大量时间和人工成本。现在，监控变得更快、更安全、更精确，这一切都要归功于全球领先的清洗工艺和控制技术公司KYZEN。

现在登录[KYZEN-Analyst.com](http://KYZEN-Analyst.com)网页观看视频

享誉全球的环保清洗技术



[KYZEN-Analyst.com](http://KYZEN-Analyst.com)

版权©KYZEN公司2017 版权所有

发表我的论文，与几家潜在的分销合作商见面。本周，我和不少公司建立了联系，我感到很满意。

**Las Marias :** 开拓亚洲和中国市场是您“谋定而后动”的决定吗？

**Vujosevic :** 10年前尝试过开拓中国市场，但是我们当时缺少和当地企业的沟通经验，为此我感到很受挫，所以决定退出，专攻美国和墨西哥。但现在情况变得不一样了。世界各地的业务专业性在不断增强，我认为我们可以和亚洲的公司建立诚信、互敬的合作关系——从某种意义上而言，我们和合作伙伴之间相互信任，同时也可以信任我们的客户。

尤其是在知识产权方面，我们在亚洲、欧洲乃至全世界都致力于保护知识产权，所以我们在选择合作伙伴和客户的时候非常谨慎。

**Las Marias :** 你不觉得你们错过了十年前的发展热潮吗？

**Vujosevic :** 我不这么认为。仍有很多公司会使用我们的智能软件解决方案，他们非常感谢我们公司杰出的技术支持。我们还可以提供其他同行无法提供的方案，所以说，我们的方案在中国和全亚洲有非常好的市场前景。中国的企业投入了大量资金和精力来发展工业 4.0，这让我深受鼓舞。我们希望可以帮助中国和亚洲其他国家的客户提供智能软件解决



图 1：Optimal 在 MEMS 传感器组装洁净室的应用

方案。

**Las Marias:** Vujosevic 博士, 您在 SMTA 技术研讨会上发表了关于全自动电子组装的演讲, 可以为我们简要介绍一下吗?

**Vujosevic:** 首先, 我写这篇文章是出于无奈。之所以很无奈是因为在电子组装领域几乎没有与工业 4.0 相关的信息。现在很多相关的研讨会、主题演讲、大型会议, 其内容全是关于中断问题、数字化和大数据这些一点都不具体的主题。我们已经为客户研发出了很多与工业 4.0 相关的应用。我想用吸引客户眼球的产品来抛砖引玉, 来促动业界从事更为实用的研究, 哪怕是这些会证明我得出的结论是错的也无所谓。

工业 4.0 的终极目标是实现工厂的无人化, 在相当长的一段时间周期内工厂可以在无人参与的情况下正常运营生产。这样一来, 我们可以得到最大产出量, 降低人工成本和能源成本, 同时避免出现生产中断, 以此更好地满足客户的预期要求。这就是终极目标。但话说回来, 我们要怎样实现这个目标呢? 在我的文章中, 我写了需要用到何种技术、如何设计, 以及目前有哪些技术可以支持这些设计。在我看来, 目前只针对特定类型的组件或可以放置较小组件的设备创建全自动组装线。例如, 我们现在可以设计一条传感器全自动生产线。你无法给每种线路板或元件布局都设计出这样的生产线, 因为机器设

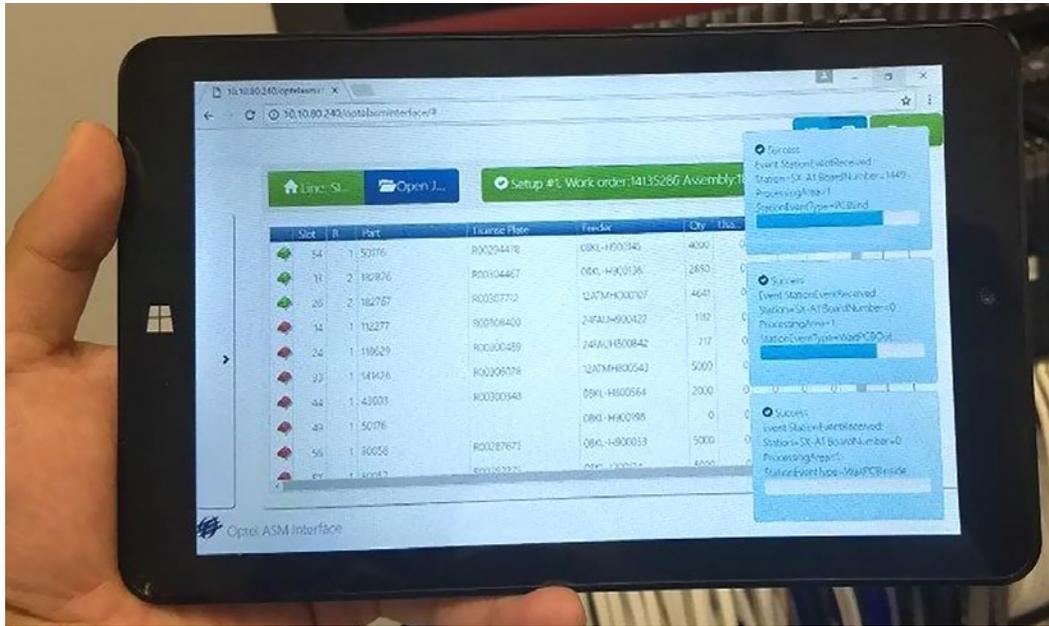


图 2: Optimal 目前的重点是全厂范围的移动解决方案

计目前还无法支持这类生产线。

在我的文章中, 我讨论了我们要完成哪些步骤才能实现这个最终目标。我的目标不仅是发表论文, 我还总结了我想与读者分享, 我还把这篇文章当作我们公司的发展蓝图。我们几乎就是按照这个去做的, 而且会和客户一起研发这类技术和产品。

**Las Marias:** 这个终极目标就是建造一个全自动无人工厂?

**Vujosevic:** 据我了解, 一些大公司已经着手规划, “无人化工厂”的目标一定会实现的, 但我没有在文章里提到其社会影响——人们会因此失去工作。不论我们愿不愿意谈论这个问题, 它迟早是要发生的, 所以我们要好好规划, 帮助人们——尤其是年轻人——尽早接受高新技术工作相关的培训。“失业是不会发生的”是一句谎言, 你不可能一直被蒙蔽。

失业是会发生的，不久的将来，世界上就会出现无人工厂。

**Las Marias** : 业界要面临的挑战有哪些？

**Vujosevic** : 要设计出更加智能的设备产品，还有标准的机器之间的接口。目前的机器无法完全支持无人操作的工艺流程，比如贴装机就无法做到不需要人操作，因为它需要人将料带手动放入喂料器中，然后再将喂料器手动放入槽中，机器人目前还无法完成这项操作。所以说，我们必须采用一种不同的设计来避免使用料带和进料器。这是第一个挑战——需要重新设计设备。

第二个挑战是机器间的通信——我们需要更好的协议。他们正在研发几种协议，但是在整个过程中每个人都会只关心自己的商业利益，所以最终的结果又是开发出许多个

不同的协议，需要供应商支持不同的协议。我们将来会以某种方式实现机器间的互相通讯，但这种方式既不会像人们想的那样简单，也不会像人们想的那样标准化。这种情况向来如此。

以上就是业界要面临的两大挑战。当然，社会影响也是非常有挑战性的。如果我们想建造一座无人工厂，谁还会给我们提供土地造厂？谁还会给我们提供税收优惠？这些可都是每家厂商梦寐以求的。工厂无法建在城市或农村，因为你打算雇佣任何工人。但有些公司可以在没有税收优惠或其他福利的前提下造厂，所以这也是决策制定的一部分。

**Las Marias** : 这些问题要怎么解决？

**Vujosevic** : 我认为万事俱备，只差机器设计了。我们有控制器和软件，机器间的通信也

即将成为现实。机器人、可控式自动导引车 (AGV)、传感器等都已存在，但最大的问题是需要重新设计。这个行业所有的技术、产品还和 20 年前是一个样子，没有发生任何质上的改变，虽然你可能会听到我们会因为自动化而失业的说法，但在电子行业中，远远还未及完全自动化程度。现在业界开始引入机器人，但这种情况也只发生在少数公司。虽然有很多改变会发生，但有些技术——例如云计算——出于安全考虑，这类技术是无法在短时间内实现的。在美国，制造业内没有公司愿意使用云计算技术。是的，你愿意和别人共享 iTunes 和 Amazon 这类软件，但是制造业的厂商可不愿

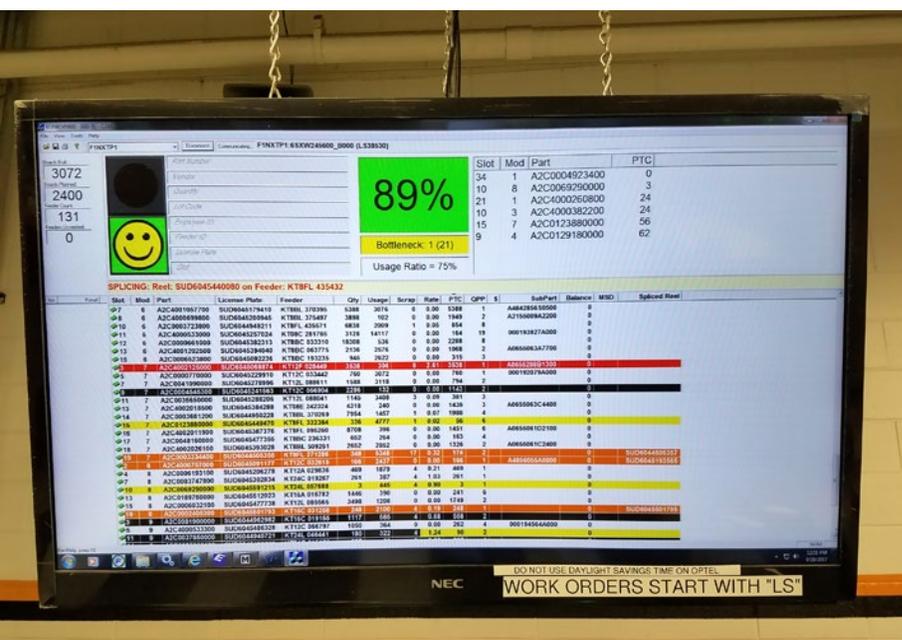


图 3：具备监测及收集元器件可追溯性数据性能的实时设备

# 您的公司是否使用波峰焊？

不要把宝贵的炉渣半卖半送得处理了！



使用MS2<sup>®</sup>把炉渣变成可再利用的焊锡条。从今天起开始省钱。MS2<sup>®</sup>产品是清除炉渣的第一品牌。实现高达90%的回收率！

从今天起开始省钱 @ [pkaymetal.com](http://pkaymetal.com)

[pkaymetal.com](http://pkaymetal.com)

+1 323-585-5058

**PK**  
M·E·T·A·L

意使用网络云。现在有很多技术开发得不错，但机器设计才是最重要的，需要重新设计机器才能支持无人操作。

**Las Marias :** 那检测方面有什么进展呢？

**Vujosevic :** 业界已做了诸多努力使检测具有反馈和前馈功能，Koh-Young 公司就有相关产品。我们现在参与了 AI 系统的研发，可应用于智能工艺控制。目前来看，每一台测试机器都具备统计工艺控制和绘图的功能，但却常被忽视，没有真正利用好这个功能，反而让操作员来解决这个问题。通常他们采用最简单的方式比如重复清洗来处理而不是从根本上考虑解决问题。

你要是有一台 SPI 机器，你需要看一看工艺图表，但通常却没有人会去看。当线路板出现问题的时候，他们会把线路板放回丝网印刷机再重新做一遍，却不去考虑工艺流程出了什么问题。我们所需的是一种智能工艺控制——系统会监视每台测试机、每条生产线，然后确定甚至预测出工艺会在何时出现失控现象，或者预测出一种趋势，预测出下一次测量、下一个关键点，然后发出警报甚至是中止生产线的运作。为了实现全自动电子组装，我们需要这种系统，而智能软件可以实现这个目标。我们想做到工艺流程控制过程中不需要人工操作，并且开发出一个无缺陷、可自我校正的生产线系统。

**Las Marias :** 我认为业界终将会实现这个目标，但需要一定的时间。

**Vujosevic :** 重新设计需要时间，设备必须是

智能的。在这篇文章中，我讨论了如何使用装有 IoT 软件的 Windows10 计算机来控制生产线上设备的一切操作。再也不需要 MES 了。智能设备可以收集可追溯性数据，开关设备，与其他设备通信。它还可将信号发送给材料站，让 AGV 送来新的料带，控制预测性维护，甚至还可以自我调度，即发现可完成的任务，给自己安排完成任务的时间。

**Las Marias :** 业界正在致力于开发具备强大 AI 能力的设备。

**Vujosevic :** 是的。这就是我讨论制程控制的原因。因为 AI 和神经网络工作擅长于图形识别、分类及预测，所以 AI 是非常有帮助的。但想让他们实现这个目标，你需要培训他们，需要用很多数据培训他们。现在你已经有数据了，因为你正在做 SPC 以及收集测量数据。所以，当你收集传感器数据后，就能够真正成功地应用 AI；可预测设备什么时候应该维护，而不是采用定期检修，大家都知道，定期检修方法并不是非常科学。

**Las Marias :** 在无人化工厂中，Optimal Electronics 将能提供什么产品？

**Vujosevic :** 我们将提供智能软件方案。过去 20 年来，我们已经在生产调度和贴装机优化中采用了 AI。现在我们正在使用 AI 进行智能设备设计、智能预测维护、智能制程控制等。

**Las Marias :** 你认为亚洲和中国的公司能够首先实现向电子制造工业 4.0 的过渡吗？

**Vujosevic :** 我认为是可以的。美国最大的公司对工业 4.0 很感兴趣，他们想要做尝试。德克萨斯州的一个客户，他们已经采用了 AGV 和机器人，3D 印刷等。但那只是一小部分客户。工业 4.0 在美国已成为话题，但付之行动的还不是太多。与美国的公司相比，亚洲和中国的公司对工业 4.0 更感兴趣，他们正走向真正的应用。

**Las Marias :** *Optimal Electronics* 在这一领域中是否有商机？

**Vujosevic :** 我们致力于提供智能工厂解决方案。我们的定位是工业 4.0 方案的供应商，而不是 MES 供应商。尽管我们有时仍提供 MES 方案。最近我们邀请了一位机器人专家加盟。目的是想提供独特的解决方案，使我们自己与传统的 IMES 供应商有所区别。我们永远不会满足于自己已取得的成绩。尽管我们已能够提供 MES 方案，我们总是首先努力销售我们的动态生产调度方案，把我们独特的能力推销给我们的目标客户，逐步开拓我们的新品市场，而那些目标客户常常是 OEM。

但是现在，我们要开拓我们的新品——智能工厂解决方案的市场。当然，我们也是开放的，欢迎订购我们的可追溯性解决方案，这也是我们公司的优质产品。

**Las Marias :** 可追溯性也是实现智能工厂要面对的问题之一。

**Vujosevic :** 是的。但可追溯性是你必须要做的事，因为多数情况下，那是你的客户的要求。公司不想做可追溯性，但他们没有选择。

他们想要智能工厂，因为智能工厂可以使他们得到更多的收益，对于公司的 PR、销售并展示给客户都是有利的。所以他们更喜欢智能解决方案，但他们必须有可追溯性。我们的目标是建立可以帮助客户的智能解决方案，否则人们可能很快就对工业 4.0 失去兴趣。

**Las Marias :** 您如何看电子组装工业的发展未来？贵公司对今年和明年的市场有何打算？

**Vujosevic :** 我们重点关注墨西哥、欧洲及亚洲市场，因为这些区域我们有很好的合作愉快的客户，我们也想扩大我们的客户群。我对整个行业不太了解，因为世界不是创新的，没什么新东西。现在，我们有了 iPhone 10。但那不是新的，只是大了一点，配备了更好的照相机而已。我们需要突破。我们需要新的技术驱动我们的行业向前发展。有些人在谈论 AI 的应用，但多数人不知道他们所谈为何物，只是因为投资商需要些新东西。他们就抛出了 AI，他们只是在尝试。而投资商是要投钱的。他们必须要给出好的有市场的解决方案，而不是噱头，否则投资商很快就会失去兴趣。所以，我们需要更好的想法和突破性的解决方案。而解决方案不会一蹴而就，也不会稍纵即逝。所以我真的不知道，对这个行业的未来，我并不悲观，但我们需要新产品。有了新的电子产品，人们就会购买。但现在只有这么多的 iPhone 手机供我们购买。

**Las Marias :** *Vujosevic* 博士，感谢您抽出时间接受我的采访。

**Vujosevic :** 谢谢你。PCB

# 浅谈 PCB 降温策略

by 周斌  
一博科技

随着通讯和信息技术产业的发展和人们对信息需求的不断提升，许多芯片厂商绞尽脑汁提高芯片的运算能力和存储能力，增强产品的多样性，目的是要给顾客提供独特的服务。如刚刚上市的华为麒麟 970 处理器和苹果公司的 A11 处理器，毋庸置疑，将会给顾客带来美妙的体验。但芯片在运行时，尤其是高速运转时，会产生大量热量，使手机内部迅速升温，若不及时有效地将热量散发出去，手机内部的零件就会因过热而失效，可靠性将下降。如果处理不好，就要重蹈三星手机的覆辙了。因此，对手机电路板进行散热处理十分重要。不只是手机产品，其他电子产品也是如此。

传统意义上的热设计，就是通过相应的技

术手段、结构模式和设计技巧等，对电子设备进行充分的冷却，达到满足可靠性、使用寿命需求的过程。随着通讯和信息产品性能的不不断提升和人们对于通讯和信息设备便携化和微型化要求的日益增长，信息设备的功耗不断上升，而体积却又趋于减小，单位面积内器件密度升高，那么高热流密度散热需求越来越迫切，热设计将面临着巨大的挑战。每款电子产品都有一套适用于自身产品的热设计方案，从前期架构设计，器件选型、PCB 设计，到最后装配、包装等，每一个环节都有相应的热处理方法。这需要热设计工程师运用自身的理论知识结合实际工作经验来制定合理的热设计方案。

PCB 设计是紧跟着原理设计的下游工序，



# 为什么全球顶尖的系统 设计师都在使用XPEDITION



Mentor® Xpedition® Flow/德国奥格斯堡的富士通技术解决方案团队, 荣获了2017年PCB技术领导“最佳整体设计”奖, 以表彰其设计的高速计算应用双插槽主板。该产品有着严格的生产和成本约束要求, 以及富士通对制造工艺“first-time-right”要求, Mentor Xpedition Flow帮助富士通奥格斯堡团队取得了项目成功。期间他们克服了许多挑战: 12层, 深度分析, 信号和电源完整性, 处理器散热, 热机械放置, 高阶布线, 最终创造了一个完美的设计。欲了解更多信息, 请访问: [www.mentor.com/pcb/tla](http://www.mentor.com/pcb/tla)

**Mentor**<sup>®</sup>  
A Siemens Business



图 1：华为麒麟 970 处理器和苹果公司的 A11 处理器

设计的优劣直接影响产品性能和上市周期。我们知道，在 PCB 板上的器件都有各自的工作环境温度区间，如果超出这个区间，器件工作效率将大大降低或失效，导致器件损坏。所以，散热是 PCB 设计中需要重点考虑的问题。下面让我们来探讨一下在 PCB 设计环节应该如何进行散热处理。

PCB 的制作基材是直接和元器件接触的介质，它的散热能力直接影响着整个系统的散热效果。我们知道，高发热元器件的散热几乎无法由 PCB 本身来传导热量，而是从元件的表面向周围空气中散热。这就对电子产品的体积提出了要求，在现今社会，产品部件小型化、高密度装配、高发热化组装，如果仅仅靠表面积十分小的元件来散热是远远不够的。同时由于 QFP、FPGA、BGA 等高集成的表面安装元件的大量使用，元器件产生的热量将大量地传给 PCB 板，因此，解决散热的最好方法是提高与发热元件直接接触的 PCB 自身的散热能

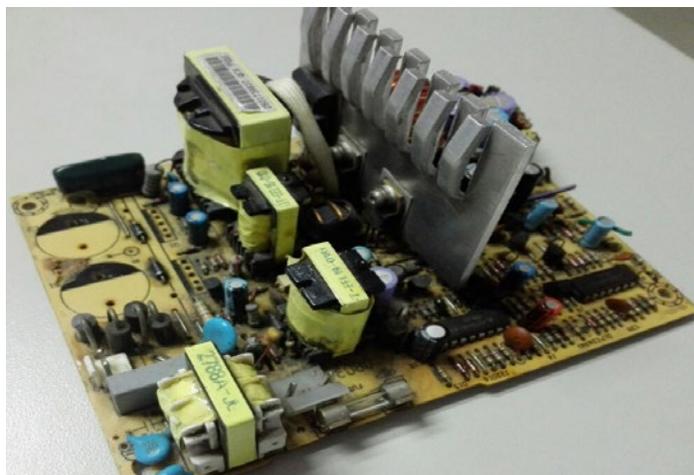


图 2：电子组装器件



图 3：板材的选择对于热管理尤为重要

力，通过 PCB 板传导出或散发出去。那么对于板材的选择就尤为重要了。

首先，在 PCB 的选材上，我们要进行区分，针对产品的用途，工作的环境等方面来决定需要什么样的板材。板材的散热能力与 2 个参数联系紧密，一个是导热系数，另一个是耐热性。导热系数又称为热传导系数、热传导率、热导率，它表示物质热传导性能的物理量。导热系数是指在稳定传热条件下，1m 厚的材料，两侧表面的温差为 1 度 (K, °C)，在 1 秒内 (1s)，通过 1 平方米面积传递的热量，单位为瓦 / 米度 (W/m·K)。(此处为 K 可用 °C 代替。每单位长度每 K 可以传送多少 W 的能量)。

目前市场上应用的板材有 5 大类型，它们是纸基板、复合基板、环氧玻纤布基板、HDI 中的涂胶膜铜箔 (RCC) 和特殊基材。下面先

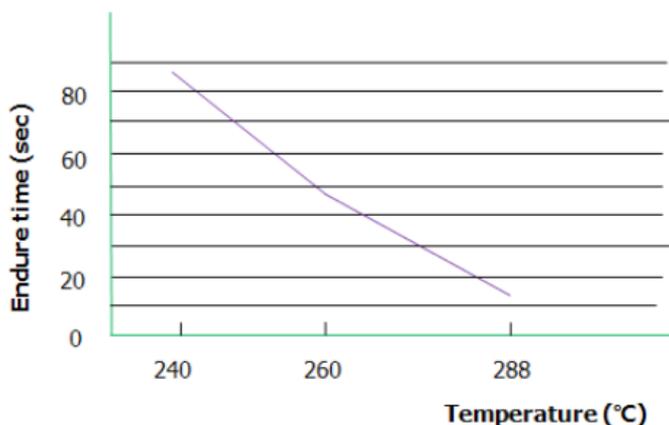


图 4：复合基板的热冲击曲线

看看他们各自的特性如何。纸基板 (FR-1、FR-2、FR-3) 全称为酚醛树脂型纸基板，价格最低，但焊接温度要求较严格，容易受潮、起泡，受热温度超过 260°C 更会发黄，耐热性差。热传导系数远低于 1.0W/m·k。

复合基板 (CEM-1、CEM-3) 之所以被称为复合基板，是由于由玻纤布基半搭配木浆纸基 2 种材料形成的。它是纸基板的升级版，性能有所提高，机械可加工性强，成本低于玻纤布基板。但从热冲击曲线中可以看出在 260°C 时，只能维持 50 秒，单从耐热方面来看，与纸基板相比并没有多大提升，热传导系数也不足 1.0W/m·k。

环氧玻纤布基板，我们常说的 FR-4，它具有较高的机械性能和介电性能，较好的耐热性和耐潮性，并有良好的机械加工性。其中耐热性能优越，在 288°C 温度下，可维持 150 秒不会出现分层和起泡现象，热应力测试其剥离强度也较大，达到了 1.5N/mm。它的热传导系数约为 1.0W/m·k。其中高 TG 的 FR-4，对高温的耐受性更强些。FR-4 的价格较前面两种材料高。

HDI 大多数情况下都用 RCC(resincoated-

copper) 材料设计，即涂胶膜铜箔。具有高韧性，易于操作；表面光滑，适合微小线路；抗剥离强度极高。但由于表面铜较薄，且介质仅含树脂，不含玻璃纤维，所以要比其他板材硬度差很多，同时热传导能力也差不少。

特殊基材中应用较广泛的有 2 类——陶瓷基板和铝基板。陶瓷基材，顾名思义，是以陶瓷为介质，将铜箔内嵌形成的特殊覆铜板。这种材料具有优良电绝缘性能和高导热特性，优异的软钎焊性和高附着强度，一般应用于军工和航天，价格较高。

铝基板是一种具有良好散热能力的金属基覆铜板，一般设计为单面板，主要用于 LED 灯板和低端的电源板中；用于高端使用的也有设计为双面板；但极少数应用为多层板。铝基板能够将热阻降至最低，使其具有极好的导热性、电气绝缘性能和机械加工性能，铝基板耐压可达 4500V，导热系数 3.0W/m·k 以上。

综合上述几种基材来看：显然纸基和复合基材已不符合当前的热处理应用场景，即使具有低成本的优势；HDI 的 RCC 基材在使用上是有局限的，况且它的散热能力也很弱；陶瓷基板和铝基板当然是这些材料中最值得推荐的，无论从散热能力，还是耐热能力上都有绝对的优势，不过这两种材料价格昂贵，需要根据产品的情况仔细考虑；环氧玻纤布基板虽然没有陶瓷基板和铝基板那样优良的散热能力，但其价格却远低于这两类，散热性能也处于中等，足以应对一般的电路设计，它也是目前市场上应用最多，需求量最大的 PCB 基板板材。

板材选好了，那我们就要开始根据需要进行层叠设置，每个项目都有自己的层叠，需要的层数不同，叠法也不同，当然也会影响散热性能。在叠层之前，我们已经选择了低损耗、

Layer Name	Original design				DK @1GHz	Estimated residual copper
	Build - up	Dielectric thickness (unit mil)	Dielectric thickness (unit mil)	Build - up		
TOP	1.0oz+plating(2.3)		2.3	1.0oz+plating		45%
	PP		3.96	PP	4.01	
GND02	1oz		1.2	1oz		80%
	Core		5.12	Core	4.12	
S03	1oz		1.2	1oz		30%
	PP		21.69	PP	4.12	
PWR04	1oz		1.2	1oz		80%
			5.12	Core	4.12	
GND05			1.2	1oz		80%
	PP		21.69	PP	4.12	
S06	1oz		1.2	1oz		30%
	Core		5.12	Core	4.12	
GND07	1oz		1.2	1oz		80%
	PP		3.96	PP	4.01	
BOTTOM	1.0oz+plating(2.3)		2.3	1.0oz+plating		47%
Remark:			78.46	Total board thickness: 78.74±7.87 mil (including plate copper and solder mask)		

图 5：2 mm 板厚 8 层板的叠层实例



图 6：铝基板叠层 左：单面铝基板 右：双面铝基板

高稳定性、高导热率的板材来提高 PCB 板上的热处理能力。在设计叠层时我们需要考虑以下几个方面。第一，优先选择覆铜层较厚的 Core，厚覆铜层可以提高 PCB 上的热处理能力。印制导线具有一定的电阻，通过电流时将产生热量和电压降。通过导线的电流越大，温度就越高；导线如果长期受热后，铜箔会因粘贴强度降低而脱落，因此，增加铜厚，可抑制元器件结点温度的升高。

第二，采用多层板来进行 PCB 设计，增加 Power 和 GND 平面的数量。热量可以通过大面积铜箔散发出去，热量不至于集中在某一区域，对该区域内的元器件造成伤害。在设计过程中会在 PCB 板上通过过孔 (via) 来实现不同层之间的电气互连，将多层 GND 平面连在一起，扩大散热面积，可以大大提高 PCB 上的散热能力。下图 2mm 板厚 8 层板的叠层实例：除了 2 个外层和 2 个内层外，设计了 4

个平面层，其中 3 个 GND 层，不但保证了信号线的参考平面，还能最大化地增加平面数量，达到平面散热的目的。

上面讲了一般材料的叠层处理方法和注意事项，下面我们来看看铝基板该如何进行叠层设计。铝基板叠层较为固定，如下图 6 所示。前一节已经讲过，铝基板通常指用单面板，少数用到双面板，极少设计成多层板。那么要提高它的散热能力，主要取决于叠层中铝的厚度，厚度越大，散热效果越好。正常情况下，单面板的散热要好于双面板。这是由于单面板的铝材是暴露在空气中的，直接和空气对换热量，散热面积加大；而双面板的铝材是夹在中间，受导热胶和绝缘层的导热能力影响，热量不能直接散发出去。

在 PCB 设计开始前，元器件的选择也会对产品的散热效果产生一定的影响。随着器件种类的不断增多，可供我们选择的器件也越来

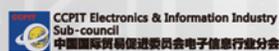
2018年4月24日-26日  
 上海世博展览馆

**诚邀参观**  
 YOU ARE INVITED



NEPCON China 2018 (第二十八届中国国际电子生产设备暨微电子工业展) 是电子制造行业内集中展示先进SMT和电子制造自动化技术的专业展览会。这一名声卓著的行业交流平台汇聚超过450个来自全球电子制造业的知名品牌, 为观众带来了覆盖SMT、电子制造自动化、焊接及点胶喷涂、测试测量等各环节的革新设备, 创新材料和系统集成方案。此外, 现场多种技术论坛更让观众有机会接近行业领袖和精英, 面对面交流热点动态, 洞察行业趋势和技术应用, 把握更多发展机遇。

主办单位  
 ORGANISED BY



支持单位  
 SUPPORTED BY



NEPCON官方微信



NEPCON手机应用

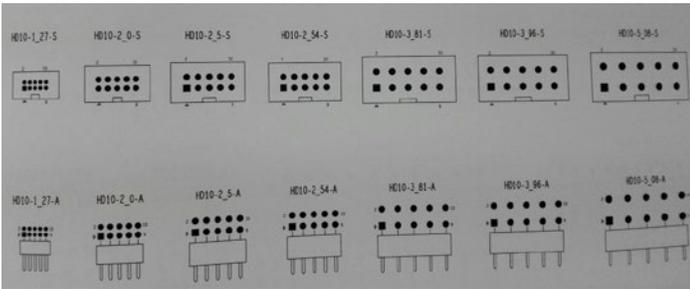
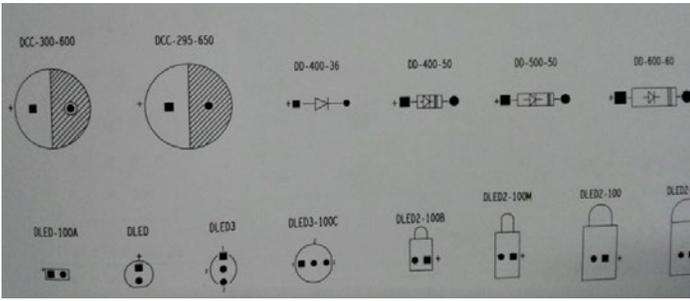


图 7：元器件的选择

越广泛。THD 封装器件，即插装器件。这类器件的 PIN 脚的数量少，焊接后器件本体不会紧贴 PCB 板，所以与板子的热关联性很小，这种类型器件的发热量会通过器件表面散掉，所以在空气流动性较高的场所用这种类型的器件对散热性能比较好。但这类封装都属于分离器件，大量使用会占用 PCB 较大的空间，无法使尺寸做得更小，所以在使用上有一定的局限。

SMD 封装器件，即贴装器件，发热量较大，是热设计关注的重点封装器件。这种类型器件的 PIN 脚的数量都比较多，而且 PIN 密度也较大，焊接后器件本体也是紧贴着 PCB 板的，所以与整板的散热密切相关。由于当今电子行业微小化，SMD 器件的使用量越来越大，有些产品中已完全取代了 THD 器件，如何解决 SMD 器件的散热问题，也就成了当今芯片厂家重点考虑的问题。SMD 封装器件的种类较多，从散热角度来分类的话，可以分引脚类封装及焊球类封装两种。

BGA 封装器件属于焊球类，可以基本忽略

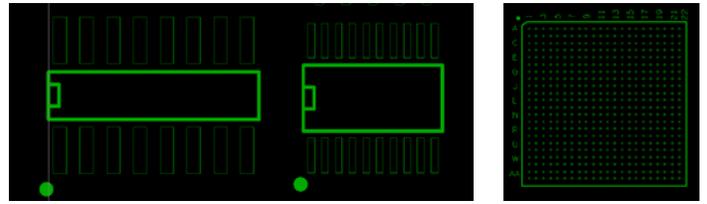


图 8：散热角度分类 左：引脚类 右：焊球类

整板散热，主要以封装表面散热为主，发热量大的一般需要添加散热片或散热器。SOP 封装器件属于引脚类，散热性能很差，影响它散热的主要因素是器件本身发热量很高，不易散热。

由于目前的元器件封装都比较小，所以要通过器件表面来散热，效果微乎其微，如果我们选择的是 SMD 器件，那就尽量选择器件中间带有散热焊盘的封装，这样可以通过散热焊盘将热量传递给 PCB 板，再通过 PCB 板上大面积铜箔，将热量散发出去。另外，选择可安装散热片的器件类型，对后期散热处理提供便利。

在 PCB 设计处理中对器件的位置摆放，我们称之为布局处理，这个环节对 PCB 散热有举足轻重的作用，属于整个 PCB 散热设计的重点环节，对于不同情况，我们采用设计方法也不相同。如采用机箱固定风扇对 PCB 板吹风，使整个系统对流散热，那么布局设计势必需要考虑风道问题，我们需要进行合理的布局设计，使整机有一个良好的通风路径来分配气流，使其按照预定的路径通行，并将气流合理的分配给各个发热元器件，保证所有元器件均在正常的温度下工作。

布局需要考虑的方面：

- (1) 考虑把发热高、辐射大的元器件集中设计安装在另一个 PCB 板上，这样进行单独集中通风冷却，避免与主板相互干扰；
- (2) PCB 板面热容量均匀分布，不要把大功

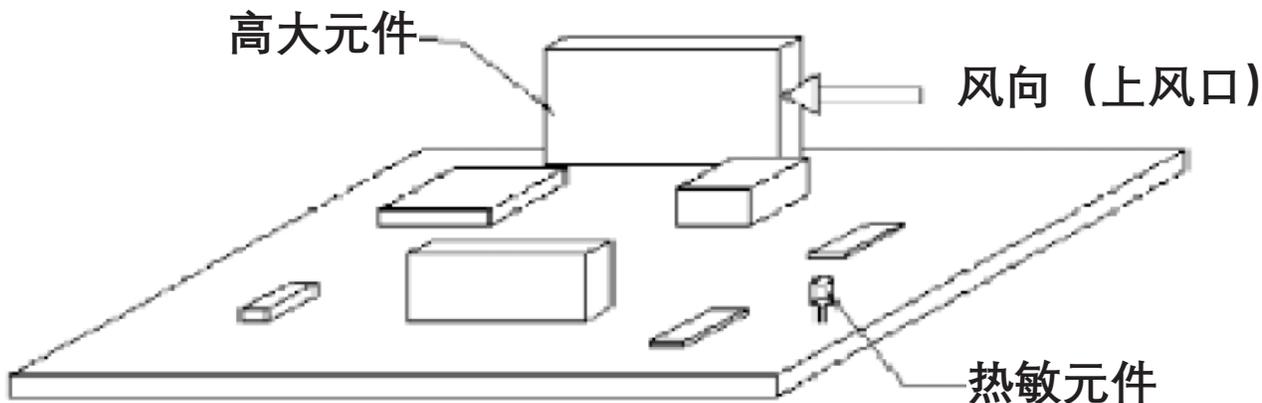


图 9：元器件布局

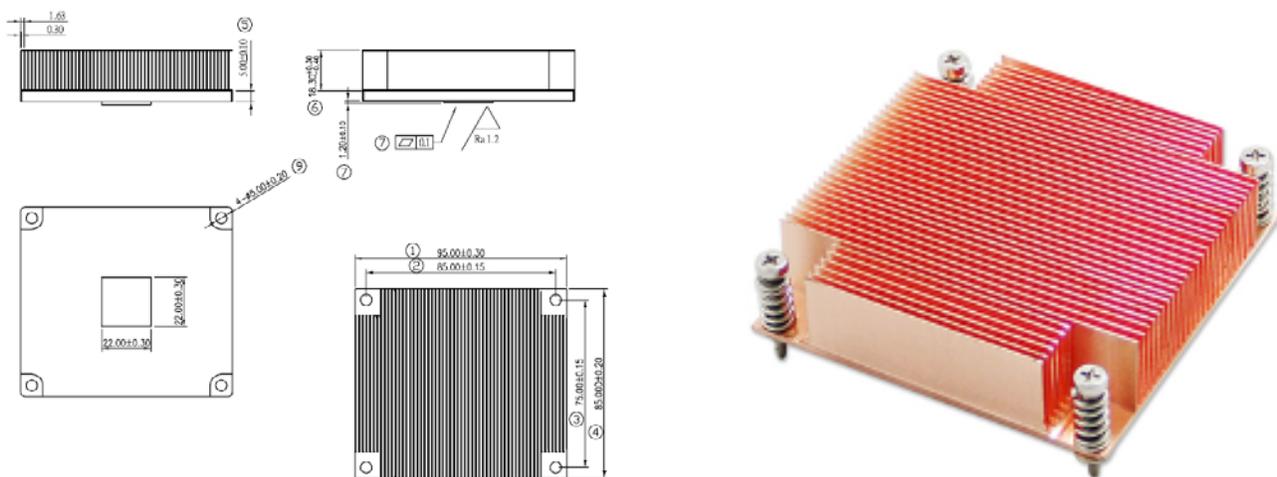


图 10：散热片装置

耗器件集中布放，如无法避免，则要把矮的元件放在气流的上游，并保证足够的冷却风量流经热耗集中区；

- (3) 使传热通路尽可能短；
- (4) 使传热横截面尽可能大；
- (5) 元器件布局应考虑到对周围零件热辐射的影响。对热敏感的部件、元器件（含半导体器件）应远离热源或将其隔离；
- (6) 注意强迫通风与自然通风方向一致；
- (7) 附加子板、器件风道与通风方向一致；
- (8) 尽可能地使进气与排气有足够的距离；
- (9) 发热器件应尽可能地置于产品的上方，

条件允许时应处于气流通道上；

- (10) 热量较大或电流较大的元器件不要放置在 PCB 板的角落和四周边缘，尽可能安装散热器，并远离其他器件，并保证散热通道通畅。

给器件加装散热器也是一种很好的散热方法。散热片是一种对电器中的易发热电子元件进行散热的装置，多由铝合金、黄铜或青铜做成板状、片状、多片状等。常用的散热片材质是铜和铝合金，二者各有其优缺点。铜的导热性好，但价格较贵，加工难度较高，重量过大（很多纯铜散热器都超过了 CPU 对重量的限制），

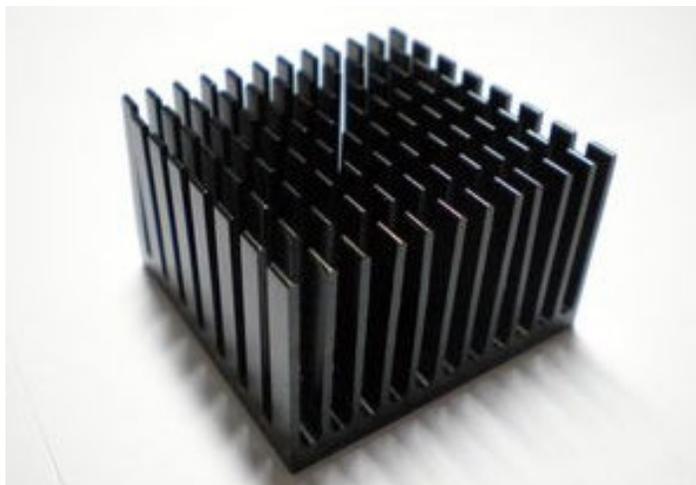


图 11：胶粘散热片

热容量较小，而且容易氧化；而纯铝太软，不能直接使用。对于普通用户而言，用铝材散热片已经足以达到散热需求了。下图为铜散热片，有 4 个螺孔固定。用这种散热片，需要将导风槽顺着风向放置，避免散热器方向放反导致风道受堵，影响散热性能。

图 11 中的散热片，属于胶粘，不需要固定螺孔，由于导风槽四面都有，所有放置方向不固定，可以顺着风向也可以倾斜放置，较为灵活。

一般的散热片，在器件上方放置，由螺钉

固定即可，但下图中的是背面有固定装置的散热片，不仅在器件上方由螺钉固定，在 PCB 板背面还有类似加强的隔筋，这时，不仅仅需要注意考虑限高和风向，PCB 板背面放置的器件也需要避开这些隔筋。

冷板散热器，这种散热器因为导热的面积比较大，比较好地解决了散热问题，而且还能加固整个 PCB 板，防止受外力变形的作用。特别是那些需要经常拔插的 CPCI，ATCA 这类板卡，起到很好的加固效果。所以这种散热方式也称为传导加固散热方式，属于军工和工业级别散热。在布局时，需要考虑左右两侧的螺孔和两块亮铜区域，这个是冷板的固定区域，冷板两侧会紧贴 PCB 板，所以需要将元器件远离该区域。

水冷散热是冷却工作介质在水泵的驱动下，通过管道，把热量从液冷散热器转移到环境中，从而实现散热目的。优点是可以减少风扇的数量，从而减少风扇所产生的振动及噪音；其次由于水的高比热容的物理特性，使得水冷散热效果比风冷高出许多。然而，相比风冷散热，水冷散热器更复杂，因冷却工作介质关系，存在一定的泄漏风险，整体成本也比其他散热

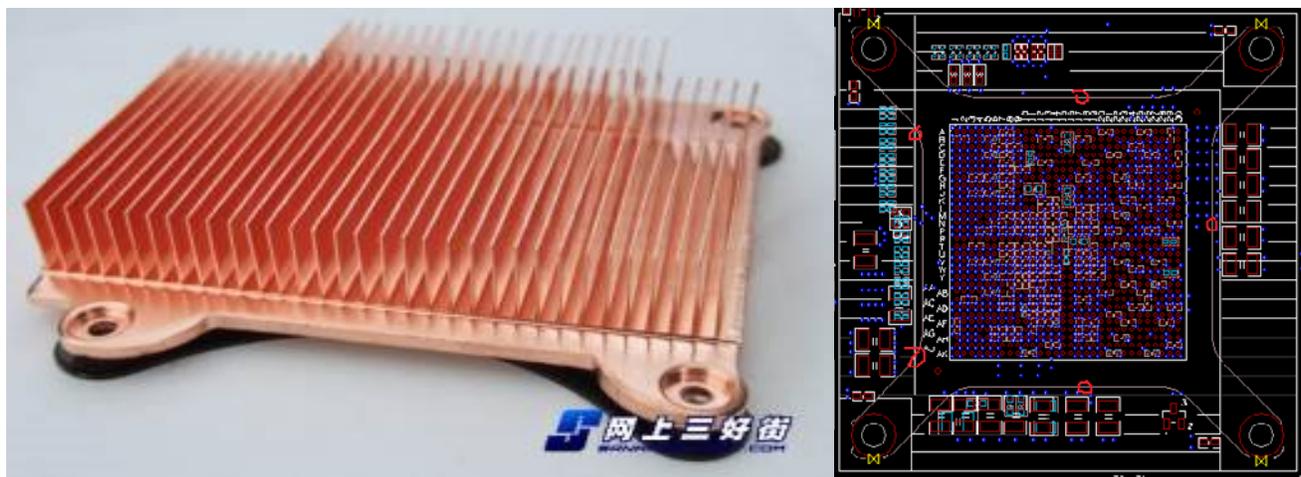


图 12：背面有固定装置的散热片

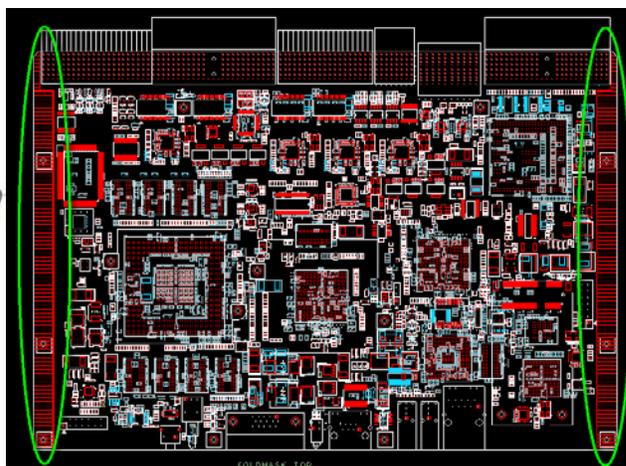


图 13：冷板散热器



图 14：水冷散热器

方式高。目前水冷主要定位散热行业中的高端应用。

风扇散热，一般都是采用涡轮风扇，通过涡型机壳将动能转换成压力能，当叶轮内的气体排出后，叶轮内的压力低于进风管内压力，新的气体在压力差的作用下吸入叶轮，气体就连续不断地从风扇内排出，从而更好地把芯片的热量散发出去。

随着电子设备的轻薄化，为满足电子设备强大的性能，其功耗和散热也相应增大，一些

轻量化的散热模组出现了，常见的就是笔记本散热模组。由于笔记本电脑为了追求“轻薄”极大地压缩了其内部的空间使得芯片的散热环境非常有限，所以采用抽风风扇和导热管集成。

在 PCB 设计的时候我们需要考虑到散热器下面和导热管下面的限高，同时不要放置那些对温度比较敏感，容易引起损坏的元器件，比如晶振，电解电容。

热量的传递方式包括传导、对流、辐射。我们很容易想到，CPU 和散热器之间的传递就



图 15：风扇散热器

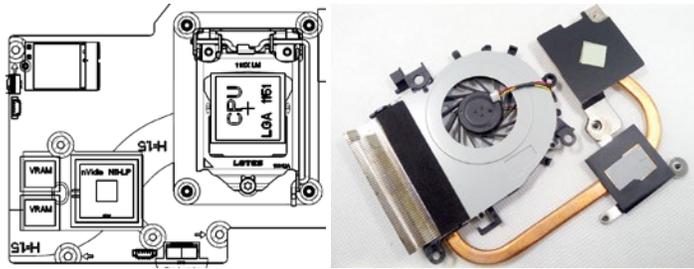


图 16：风扇 + 导热管散热器

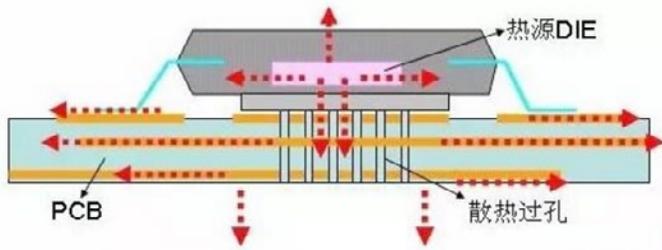


图 17：利用 PCB 结构中的覆铜

是利用了传导与对流，当然辐射也是存在的，但是其作用相对于另二种来看，在风扇散热器中作用有限。在日常中，其实这三种散热的方式都不是孤立存在，几乎都是同时发生，共同发挥作用。

从 PCB 的层叠结构来看，目前广泛应用的 PCB 板材基本上是覆铜加树脂玻璃基材。这里从日常生活角度也能理解，铜是热的良导体，接下来我们来了解下，在 PCB 设计中，我们是如何利用 PCB 结构中的覆铜，最大化地进行“解暑降温”，如图 17 所示。

从上图中，我们可以看到元器件的热源是

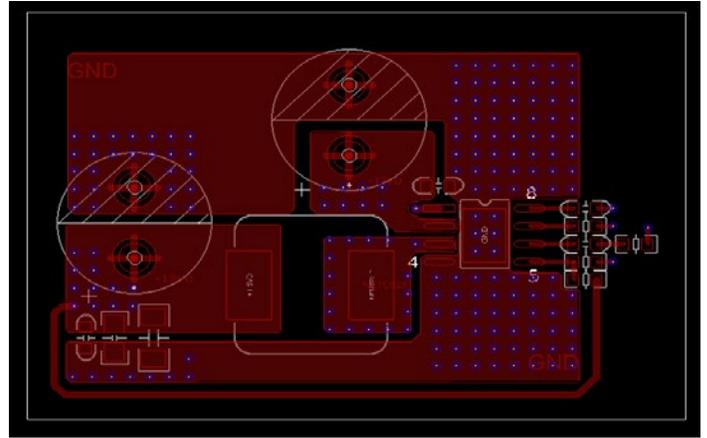


图 18：通过过孔连接到内层平面的铜

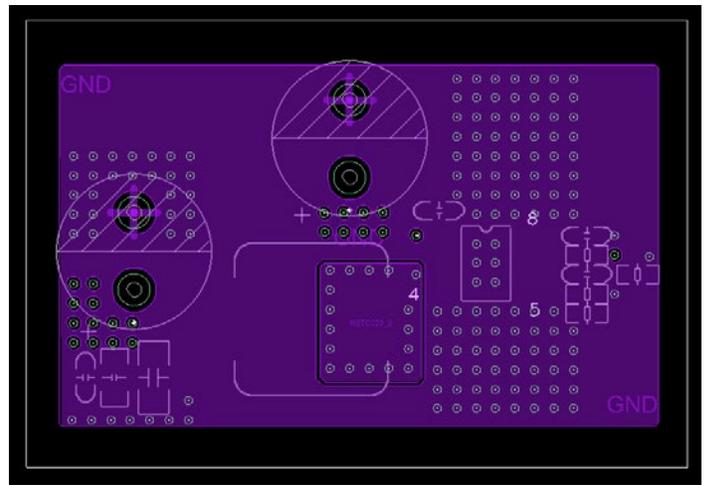


图 19：尽量让过孔与平面层的铜箔连接一起

通过不同的方式向四周进行散热的，其中为了最大限度地加强散热，往下方向通过过孔连接到内层平面的铜是一种很有效也很常用的方式，针对过孔与铜皮的设计并接合实际总结如下几点：

- A、在高热元件的散热焊盘下，尽可能均匀地多放置过孔，把热量尽可能多地通过过孔传导到内层与背面的铜皮上去；
- B、在器件面，尽量将连接到散热焊盘下面的 GND 或是其它铜皮铺大，利用表层铜皮更好地散热；
- C、尽量让过孔与平面层的铜箔连接一起，如是非 GND，可以结合实际，单独铺一小块

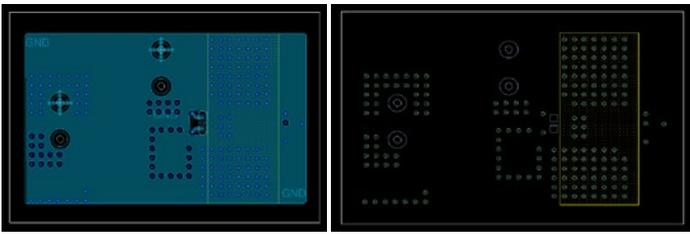


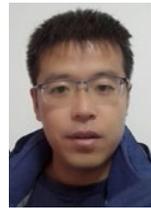
图 20：通过在铜皮上进行开阻焊和开钢网的方式

铜箔加强散热，如图 19；  
D、如有必要，背面可以在高热元器件的正下方，通过在铜皮上进行开阻焊和开钢网的方式进一步利用底面来散热。如图 20 所示。

### 结束语

对产品热设计的讨论和研究，贯穿了整个 PCB 设计过程，在不断的创新和钻研中，使得

产品散热效果达到最优。当然，这些处理还需要我们前期热仿真人员的介入，对我们制定的设计方案进行前期验证和优化；同时还需要后期调试人员和使用人员的信息反馈，对设计方案的后期调整提供很大的帮助，总之，在热设计领域，我们要走的路还很长……**PCB**



**周斌**，资深 PCB 设计工程师，现就职于深圳市一博科技有限公司，从事高速信号的 PCB 设计工作，有 10 余年的设计经验，擅长对高速、高频等信号的设计和优化处理。现负责高速 PCB 设计方案的制定和研究、高速 PCB 设计知识的培训等工作，参与高速、高密项目的技术攻关等。

## Dan Beeker的AltiumLive主题演讲：空间是所有的关键

最近在圣地亚哥举办的 2017 年 AltiumLive 上，恩智浦半导体公司的 Dan Beeker 是主题演讲者之一。他的演讲主题是三维结构设计以及为什么这与空间有关。我们很荣幸邀请到了 Dan，讨论了他的演讲以及他的背景和事业情况，以及他会给年轻的 PCB 设计师哪些建议。



**BARRY MATTIES**：您为 2017 年 AltiumLive 首届活动带来的主题演讲的标题是全部与空间有关。关于这个主题演讲，您能简要地为我们的读者介绍一下吗？

**DAN BEEKER**：这篇主题演讲说的是我们

要像水管管网一样设计电路。我们的设计要能够从板外或电容器等存储电能的位置中取出电磁场，而不是电子，并将其传输到我们想要使用的地方的三维结构。这种设计可以用在逻辑功能、驱动燃油泵中的电机以及其他功能中。把能量从原来的位置移动到需要的地方，能做到这一点的就是将电磁场转换成动能，而动能能够使物体移动。它能够通过振动分子来加热物体，比如灯泡，或者使物体移动，比如电动机和扬声器。

**MATTIES**：您能为我们的读者介绍一下你的背景吗？阅读全文，请[点击这里](#)。

# 印制线路设计 师指南™： 基于实例的电 源完整性分析

By Fadi Deek

Mentor, A Siemens Business

## 摘要

为达到良好的电源完整性，需要考虑诸多因素，例如腔厚度、有没有稳压器等。

本电子书是由 Mentor, A Siemens Business 公司的信号和电源完整性专家 Fadi Deek 撰写。本书对电源分配网络性能进行了深入探讨。Deek 还着重强调了电传输中的常见问题，并在每章中都给出了仿真和分析案例。

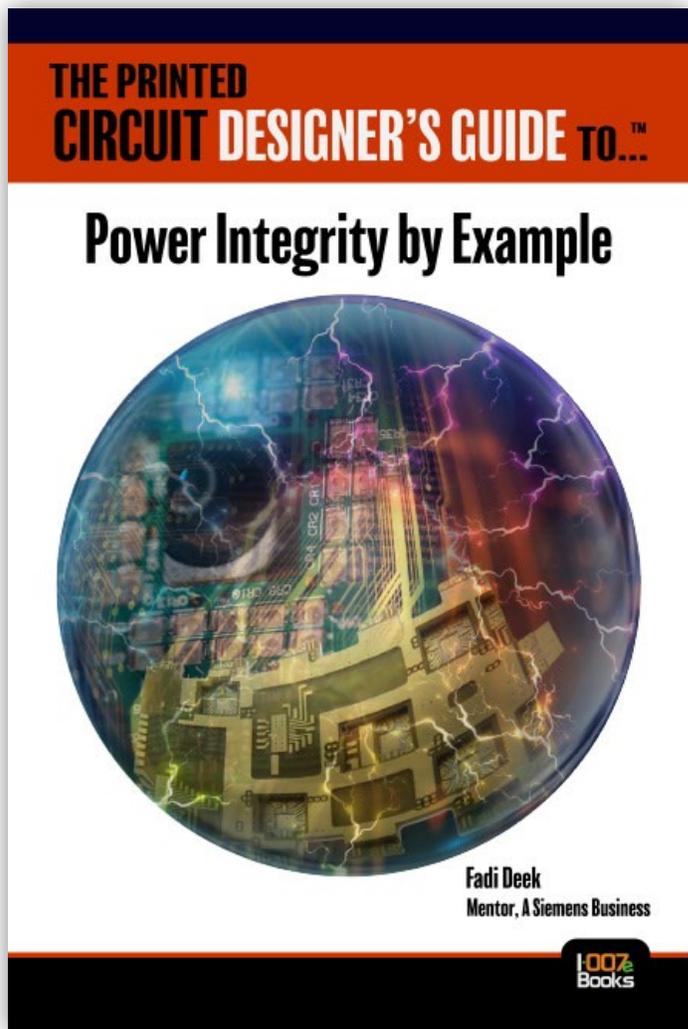
相信您在阅读本电子书后，能更好地了解不同因素之间的因果关系，以及设计决策时如何平衡这些关系。

## 作者简介



### Fadi Deek

2005 年，Fadi 从位于黎巴嫩贝鲁特的美国科技大学取得计算机和通信学士学位。同年，他加入 Fidus Systems 公司担任设计工程师，从事了三年的电路设计



工作。2010 年，他获得了位于费耶特维尔的阿肯色大学电气工程硕士学位，随后加入了 Mentor, A Siemens Business 并担任企业营销工程师。2013 年，Deek 成为一名为支持 HyperLynx 工具套件的企业应用工程师。同时，他正在 Eric Bogatin 博士的指导下攻读科罗拉多大学的博士学位。

本书得到了下列 PCB 行业专家的技术修订：



### Eric Bogatin

Teledyne LeCroy 信号完整性学院院长

Eric Bogatin 现任 Teledyne LeCroy 信号完

整性学院的院长。此外，他还是科罗拉多大学博尔德分校电气、计算机和能源工程系的兼职教授，教授信号完整性研究生课程，同时还担任《信号完整性杂志》的编辑。Bogatin 在麻省理工学院获得了物理学学士学位，之后在亚利桑那大学获得了物理学硕士和博士学位。他先后在 Bell Labs、Raychem、Sun Microsystems、Ansoft 和 Interconnect Devices 公司担任高级工程和管理职位。Bogatin 已经撰写了 6 本技术书籍，并在全球范围进行了多场关于信号完整性的课程和讲座。



### Happy Holden

顾问技术编辑

I-Connect007

Happy Holden 退休于 GENTEX 公司，退休前是该公司的电子和创新总监。在此之前，他曾担任全球最大的 PCB 制造商——鸿海精密工业（富士康）的首席技术官。在富士康之前，Holden 还担任过 Mentor Graphics 的高级 PCB 技术专家，以及 Nan Ya、Westwood Associates 和 Merix 的高级技术经理。他曾在惠普任职 28 年，担任 PCB 研发总监和制造工程经理。他在先进 PCB 技术领域有超过 47 年的从业经验。

### 推荐书目（推荐人：Eric Bogatin）

在如今的 PCB 设计中，电源完整性是一个既重要又令人困惑的话题。一部分原因是 PDN 中出现的各种效应性质比较复杂，另一部分原因是往往不是单纯的电源完整性问题，而是有很多其它问题——而每个问题都有其根本原因和对应的具体设计准则。

Mentor, A Siemens Business 带来的《印制线路设计师指南™：基于实例的电源完整性分析》一书深入探讨了从接地平面出来的腔的通孔到通孔耦合的具体问题。当一个信号通孔穿过电源和接地平面时就会产生腔，通孔可以为信号电流提供清晰的路径，但返回电流则会通过空腔的阻抗路径返回。

此电子书提供了一种简单的方法来理解腔阻抗，以及流过腔阻抗的返回电流是如何产生电压噪声的。这些电压噪声是从穿过腔的每间隔一个的通孔中接收到的。正如作者所解释的那样，控制通孔间串扰的方法是控制腔的阻抗。

大多数噪声是在腔的峰值阻抗中产生的，而不仅仅是引起阻抗峰值的结构谐振。其他的重要因素还包括去耦电容、其安装、腔扩展电感、以及可能产生更大阻抗峰值的腔电容的相互作用。

这本电子书想要传达的重要信息是一定要完全理解并行谐振，因为这是大部分噪声的来源。根据墨菲定律，如果 PDN 中有任何阻抗峰值，那么客户的微码就会让处于峰值阻抗频率的数据模式以影响最严重的电流形式通过腔，产生畸变非常严重的噪声。运用本电子书中列出的原则可以帮助您避免在设计中出现这种灾难性的问题。

### 章节介绍



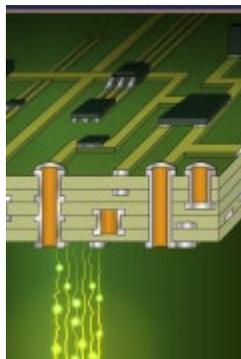
#### 第 1 章：裸腔

第 1 章讨论了与 PCB 板有关的电气性能和电子元件。



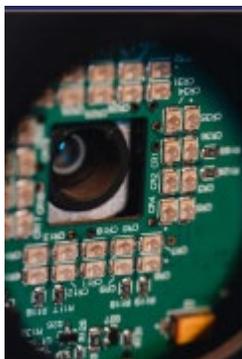
### 第 2 章：去耦电容和 VRM 的作用

第 2 章介绍了降低腔阻抗的两种方法。



### 第 4 章：腔噪声和通孔到通孔的耦合

第 4 章介绍了如何减少腔内通孔之间的串扰和噪声。



### 第 3 章：透明的腔

第 3 章探讨了放在不同位置的去耦电容以及位置不同对扩展电感的影响。



### 第 5 章：使用电容器以减少通孔到通孔的耦合

第 5 章详细介绍了能够立刻减少所有通孔之间串扰的方法，以及两种降低腔阻抗的方法。

## 铋在电子行业中的作用——第2部分

[点击此处](#) 阅读第 1 部分

第 2 部分将概述铋对 63Sn37Pb 焊料的影响。在实施无铅以前，经过多年的使用，已证明了 63Sn37Pb 焊料的实际性能。这点应该作为进一步讨论本文主题的基准。

在含锡的焊料中加入铋，是希望能够影响所形成焊料的物理属性和机械属性。其中包括熔融温度、润湿能力、强度、塑性应变及疲劳性能。在共晶合金（如 63Sn-37Pb）中直接添加足够量的铋也可改变焊料的共晶性能或偏离共晶点。在 63Sn37Pb 焊料中加入 1% 重量的 Bi 后，其 DSC 热像图显示仍能维持它的共晶属性。但是加入 2% 重量的 Bi 后，熔融范围开始显示偏离了共晶点。

目前，业界已经对在 SnPb 共晶焊料中添



加微量铋后的效果进行了广泛的研究。下表总结了在 SnPb 共晶焊料中添加铋一直达到 5% 的重量后，对基本机械属性和熔融温度的影响。在 63Sn37Pb 中铋的添加量为 2% 和 5%，分别代替 Sn 或 Pb。此外，对用铋代替同等量的锡或铅后，分别对合金进行了测试。不同的铋添加量，共形成了六种合金成分。表 1 分别列出了这六种合金成分的熔融温度 (Tm)、屈服强度 (sy)、抗拉强度 (sTS)、杨氏模量 (E)、断裂处的塑性应变 (ep)、以及总应变为 2% 时的疲劳寿命 (Nf)。所有成分均以重量百分比表示，除非有其他说明。基准焊料合金为 63Sn37Pb。

阅读全文，请[点击这里](#)。

# the **pcb** list™

**THE** best way to find a PCB fabricator, anywhere.

最好的寻找世界各地PCB制造商的方法。



Quick Search



Advanced Search



现在就试试吧!

[ThePCBList.com](http://ThePCBList.com)



# 简化 PCB 散热设计流程

By Dr. John Parry

Mentor, a Siemens Business

在设计印制电路板时，散热问题通常在为板子选择好芯片封装和布局后就确定下来了。在此之后，即使在运行时元件过热也只能采取补救措施。如果在设计初期对气流的均匀性做出了错误假设，就会造成 PCB 在商用后产生灾难性的结果。业界需要采取一种不同的方法来提高可靠性并优化电路板性能。

这种方法基于整个气流环境考虑，这对于风冷电子设备的良好运行来说尤为关键。尽早开始，尽量简化，注重机电设计之间的协作。如果您是负责产品热完整性的机械工程师，那么要尽可能多地与电子工程师沟通，互相提供有用的反馈信息，以使大家了解各种选择对 PCB 设计中散热问题的影响。

这种协作需要对封装选择和元件放置位置做出建议，以最大程度地利用系统气流进行冷却。布局和封装选择通常取决于电子产品的性能和成本；然而，温度和散热不可避免地会影响运行和成本，因此，设计中所做出的选择对热性能的影响应尽早明确。

## 放置和布局之前

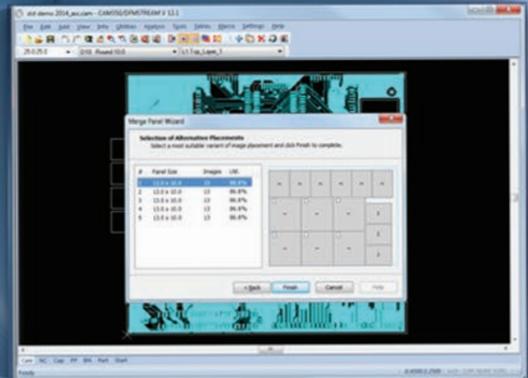
第一步是优化外壳级气流。这一步开始于用外壳<sup>[1]</sup>的简单表示来得到电路板上气流分布的信息。把总电路板功率平均分布在整個电路板表面上，以获得一个温度图，这个图上会显示出由于气流分布不均匀所产生的热区域。可以将电路板视为具有各向同性的 5

# 确保PCB制造成功的解决方案!



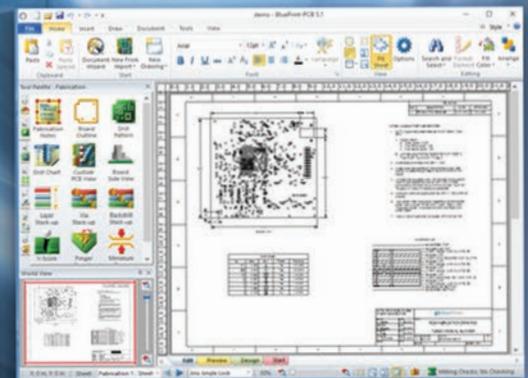
## CAM350®

验证与优化PCB设计，  
确保成功制造。



## BluePrint-PCB

创建全面的文档，  
驱动PCB制造，组装和检查。



## DFMStream™

在PCB设计周期内可随时  
验证设计与制造规则。



DownStream Technologies致力于为您的PCB设计后处理需求提供全面的解决方案，以及工作流程改进。

🌐 请访问[DownStreamTech.com](http://DownStreamTech.com)

▶ 请点击[这里](#)申请CAM350 12.2中文视频电子教程

<http://www.kgs.com.hk/video.aspx>

至 10 之间导热系数的块。在该范围内的取值不影响此阶段的结果。

在此阶段不要使用电路板温度来估算元件温度，因为元件会将热量注入到局部电路板中，这意味着元件下面的电路板的热通量密度会高于整体的平均值。如果电路板任何部分的温度接近最大元件外壳温度，那么当您在稍后的细化建模以单独表示元件热源时，元件的温度限制就有可能过高。

### 对元件功率进行估算

这一步会对用在设计中的每一个主要发热元件的功耗以及这些封装的大致尺寸进行估算。然后，可以将这些封装描述为仿真中的表面积热源，其余热量都会均匀传导到电路板表面上。

这时，系统架构师一般已经确定了一部分关键元件，以及他们的大小和放置位置等。例如，选择了以前在其他产品中用过的元件，或者从前一代产品中继承。

### 尽早运行热仿真

如果可能的话，在确定选择哪种元件封装之前，就在仿真中包含一些 3D 元件模型，以获得更多样化的仿真结果，然后将其作为选择封装形式的参数之一。有些芯片有多种封装形式，从散热的角度来看，并不是所有的封装形式都很好。如果设计团队能够尽早获得这些信息，很可能他们就不再需要在设计后期再增加散热器了。

外壳温度或结温是衡量设计是否可接受的关键指标。然而，在这个阶段，我们仍然只能粗略估计每个元件的温度。可以使用的最简单的 3D 元件模型是导电块。（3D 热仿

真软件 FloTHERM 包含多种材料属性，能够为不同的封装类型提供外壳温度预测。）对于塑料元件，建议使用 5 到 10 的导热系数<sup>[2]</sup>，陶瓷元件可以使用 15。导热系数为 5 是外壳温度的最差情况。

如果使用 3D 建模，就还可以在仿真中考虑元件对局部气流和下游元件的影响。例如，较大的元件可能会屏蔽更小、更低的元件，使其无法接受到冷却气流。元件后面形成的尾流是空气再循环的地方，因此该区域内的所有元件都可能会很热。尽量将矩形的元件对齐，使其长边平行于主要气流方向。这种做法可以减少整体压力下降，因为气流遇到的障碍物较少，并且产生的尾流也较小，从而最小化对下游元件的影响。

### 向 PCB 设计团队分享热性能结果

现在，就可以开始向设计团队提供 PCB 热性能的信息了。虽然这个阶段的仿真还比较粗略，但是电路板上的气流分布以及由此产生的电路板温度图可以展示出可用的冷却气流以及其对元件温度的影响。

当分享这些初步结果时，要强调这些名义元件的外壳温度值可能会发生变化，因为这些值还基于以下条件：

- 假设的布局
- 粗略的功率估计
- 未确定选择哪种封装
- PCB 的层叠和铜分布未知
- 初步的散热器尺寸和设计（如已知需要使用散热器）

这种早期建模对研究元件布局对元件及其周围温度影响时很有用，非常轻松做出调整，几分钟就可以重新建模了。结果将给出

一些指示，表明哪些元件（如果有的话）可能会需要某种形式的散热器，然后在这个结果的基础上再次调整建模。当封装选择的信息更多了以后，也可以使用这些信息来优先确定哪些元件的热建模需要进一步细化。

### 在早期决定是否使用散热器

现在就可以研究散热器如何有效降低所有可能过热元件的温度了。如果气流主要垂直于封装的一侧，则翅片（或铝挤）散热片的效果可能是最好的。如果气流不是如此，则应该考虑使用针翅式散热器。

热仿真软件内置有一些零件参数，可用于定义散热器几何形状参数。首先将散热片的底部定义为跟封装尺寸大小一致，然后研究不同翅片数量、高度和厚度的效果。目标是要搞清楚散热器是否可以安装在封装顶部，以及是否需要使用更大的散热器，而尺寸更大的散热器需要占用电路板空间来进行机械连接件（图 1）。PCB 设计团队需要尽早了解这些信息。选择一个现有的能够提供足够散热性能的散热器或设计一个定制的散热器后，

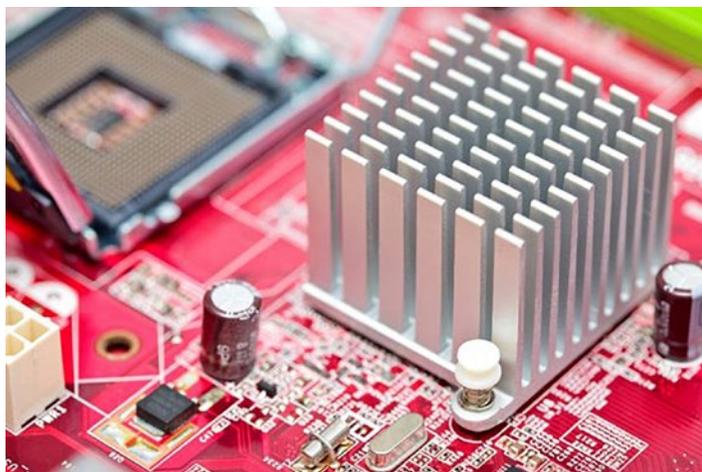


图 1：延伸到封装之外的带有固定引脚的散热片

才能进行布线，因为散热器的机械连接件可能会影响元件放置。

当使用散热器时，在分析中还应当加入封装和散热器之间热界面材料（TIM）的热阻。在这个阶段的建模中，厚度为 0.2 毫米、导热系数为 1.0 的标准导热垫是非常可靠的选择。

### 优化热建模以获得更高的精度

此时，就可以考量最重要的温度指标来比较候选元件的热性能了。对于没有散热器的元件，最重要的热指标是连接到电路板的热阻<sup>[3]</sup>。对于预计需要散热片的元件，连接到外壳的热阻是最重要的，因为其通常是由与散热片接触的面决定的<sup>[4]</sup>。对于 TO 封装而言，这个面会被焊接到 PCB 上。如果这两个指标都可用，那么就可以创建一个 JEDEC 标准双电阻建模（图 2），并重新运行热建模，以得到结温的初步估计数据<sup>[5]</sup>。

下一个预测精度更高的等级是 DELPHI 建模<sup>[6]</sup>。DELPHI 建模比双电阻建模更适合用于选择散热器，因为在这种建模中，顶面会被细分为具有不同温度的内部和外部区域。因此，可以使用它来初步研究散热器底部厚度的影响。但是，对于需要散热器的对热特别敏感的封装，最好使用详细的建模。

可以通过互联网搜索元件的数据表，以获取更多数据。如果搜索不到热仿真建模，还可以咨询供应商。有时需要签署保密协议（NDA）他们才会提供相关数据。

### 加入电路板的影响

现在，我们已经完成了对元件封装表面积和热源的估算，并将这些元件建模为 3D 导电块，因此计算结果对板热导率的敏感程度

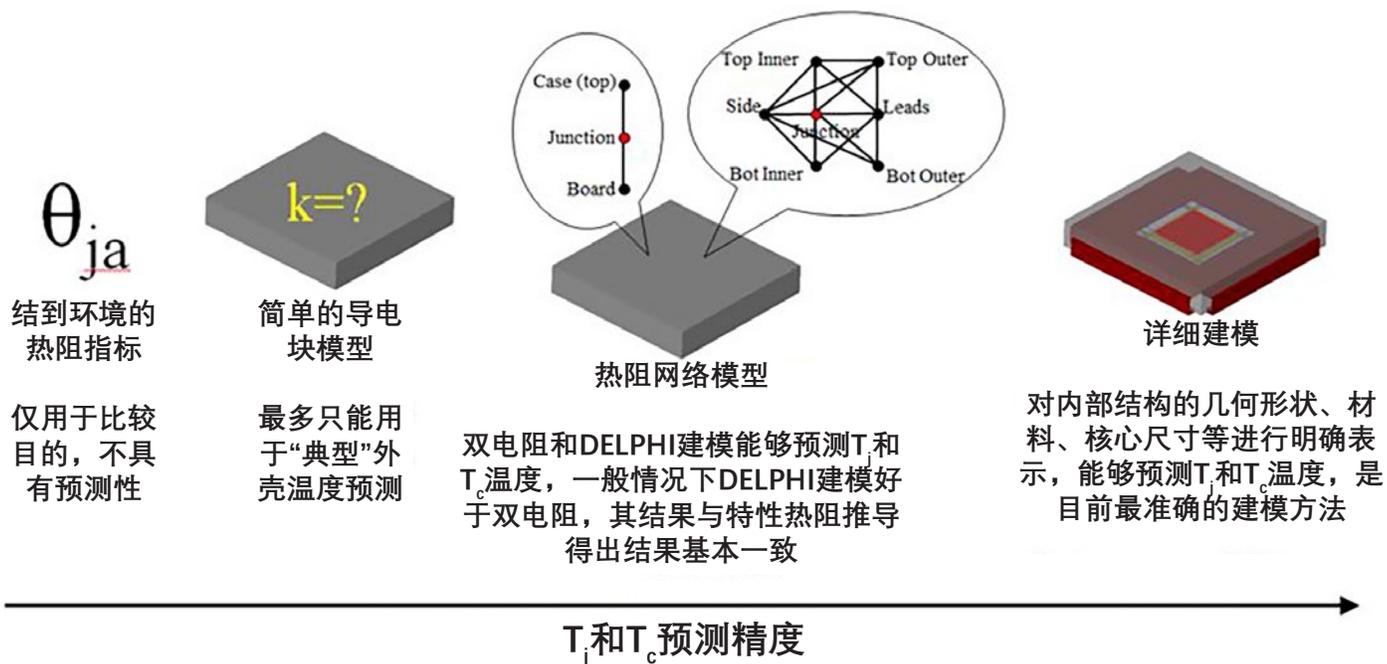


图 2：用于设计的封装热性能层次结构

也可以进行研究了。如果可以的话，尽量在元件建模并改进的同时进行这项工作。

PCB 的导热率各不相同。印制电路板由铜和介电材料制成。铜的导热性能大约比介电材料高 1000 倍，因此介电材料会使各层和各条迹线之间彼此热绝缘。在对电路板进行布线之前，可以使用简单的各向同性导热系数值（5 到 15 之间），以了解 PCB 的热性能数据对仿真结果有多大的影响。随着设计越来越详细，电路板的热性能数据将需要进一步完善。

一旦大部分元件位置确定，PCB 设计团队接下来的工作就是绘制原理图和电气模拟（时序）。在原理图绘制完成之后，电路板布线之前，我们就能获得电路板的层叠，这是最有用的与热性能相关的信息。估算可能会有多少信号、电源或接地层。PCB 表面上的局部电气迹线将热从封装互连（引脚或焊球）上分散开，而内部的电源和接地平面在宏观

尺度上增加了平面内热导率。

从热性能角度来看，铜层对 PCB 热性能的贡献是与其厚度相关的。最常见的厚度是 0.5 和 1.0 盎司的铜均匀分布在 1 平方英尺的面积上<sup>[7]</sup>（1 盎司等于 1.37 密耳（千分之一英寸）或 0.0347 毫米）。

在估算出 PCB 中每种层的数量后，就可以升级 PCB 建模，以包含每一层。在布线之前，需要对每个非介电层的厚度和铜覆盖率进行估计。电源和接地平面应使用一盎司铜，迹线层应使用 0.5 盎司铜，这两种层应分别假设铜覆盖率为 80% 和 20%。

电介质对平面内和平面间的平均面积导热率贡献很小。电介质层的最小厚度取决于其两侧铜层的厚度，以补偿热膨胀系数的差异<sup>[8]</sup>，从而得出电路板的总厚度。

对于高功率、引脚数量少的小封装而言，电路板上的迹线长度与其封装尺寸近似。在电子设计自动化 (EDA) 系统得出该信息之前，

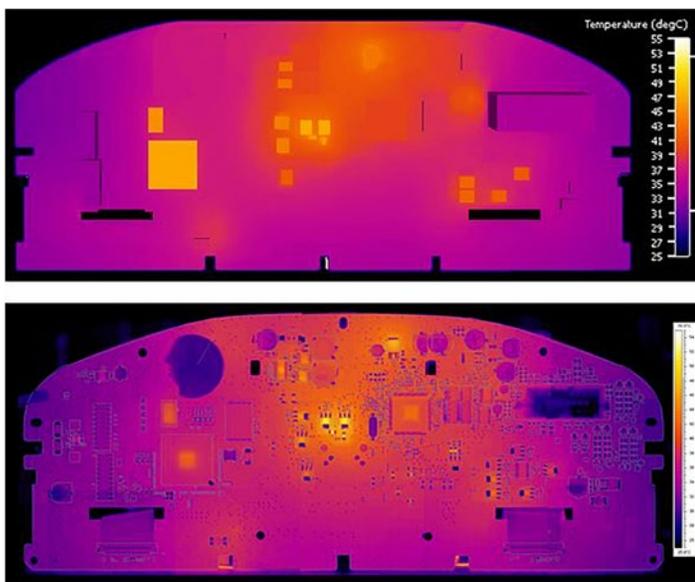


图 3：热建模仿真结果（上图）与使用红外摄像机测量的 PCB（下图）比较

将这些零件按照封装的几何尺寸细节进行建模。例如，在对封装进行详细建模时，可以加入 TO 封装焊接到的铜焊盘，以及封装周围的迹线。这同样适用于将热量传导到内部接地平面的导热通孔建模。当深入到这个细节水平后，热模拟就会相当精确（图 3）。

### 从设计系统导入数据

从 EDA 系统导入元件位置数据可确保散热工具内的贴装位置正确，并且每当布局发生变化时都应该重新导入。详细的 PCB 建模应包含导入堆叠、EDA 系统中的迹线层布线、通孔分布以及电源和地平面上的铜层形状。

当从机械视角出发的热设计与从电气设计视角出发的热设计同步进行时，将更快速、更可靠地完成电路板的散热设计，并且会更全面，获得更佳的结果。关键在于对每一个视角中可以做什么和应该做什么以及它们会如何相互作用相互影响达成共识。

### 参考

1. “12 Key Considerations in Enclosure Thermal Design… A High-Level ‘How To’ Guide,” Mentor white paper.
2. Tony Kordyban (1994) “Estimating the Influence of PCB and Component Thermal Conductivity on Component Temperatures in Natural Convection,” Third International FloTHERM User Conference, September 1994, Guildford UK.
3. Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions — Junction-to-Board. JEDEC JESD51-8, October 1999.
4. Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow through a Single Path. JEDEC Standard JESD51-14, November 2010.
5. Two-Resistor Compact Thermal Model Guideline. JEDEC Guideline JESD15-3, July 2008.
6. DELPHI Compact Thermal Model Guideline. JEDEC Guideline JESD15-4, October 2008.
7. [Definition of PCB](#)
8. [Copper thickness FAQ](#)



**John Parry** 是 Mentor 公司电子行业机械分析经理，拥有化学工程博士学位。

# 行业会展



IPC活动日历, 请[点击这里](#)。

SMTA活动日历, 请[点击这里](#)。

iNEMI活动日历, 请[点击这里](#)。

完整的PCB007活动日历, 请[点击这里](#)。

## [中国国际电子电路展览会](#)

2018年3月20日至22日  
中国上海

## [KPCA Show 2018](#)

2018年4月24日至26日  
韩国京畿道高阳市

## [NEPCON CHINA](#)

2018年4月26日至28日  
中国上海

## [2018 华东电路板暨表面贴装展览会](#)

2018年5月16日至18日  
中国苏州

## [CES ASIA](#)

2018年6月13日至15日  
中国上海

## [CES](#)

2018年1月9日至12日  
美国内华达州拉斯维加斯

## [47th NEPCON JAPAN](#)

2018年1月17日至19日  
日本东京Big Sight

## [DesignCon 2018](#)

2018年1月31日至2月1日  
美国加利福尼亚州圣克拉拉

## [EIPC 2018冬季论坛](#)

2018年2月1日至2日  
法国里昂

## [IPC APEX EXPO](#)

2018年2月27日至3月1日  
美国加利福尼亚州圣地亚哥



出版商：BARRY MATTIES  
INFO@ICONNECT007.COM

广告销售：BARB HOCKADAY  
BARB@ICONNECT007.COM

市场营销服务：TOBEY MARSICOVETERE  
TOBEY@ICONNECT007.COM

编辑：  
主编：EDY YU  
+86 139-0166-9899; EDY@ICONNECT007.COM

责任编辑：TULIP GU  
TULIP@ICONNEC007.COM

助理编辑：ANN HAO  
ANN@ICONNECT007.COM

杂志制作：  
负责人：EDY YU  
+86 139-0166-9899; EDY@ICONNECT007.COM

杂志排版：DAVEY DANG

广告设计：MIKE RADOGNA, SHELLY STEIN,  
TOBEY MARSICOVETERE

创新技术：BRYSON MATTIES

封面设计：SHELLY STEIN, EDY YU

I-Connect007China Presents



《PCB007中国线上杂志》由美国BR Publishing, Inc. (PO Box 50, Seaside, OR 97138) 出版©

2017 BR Publishing, Inc.不对任何人因出版物中内容的错误/疏漏造成的损失或损害承担  
任何责任，无论这些错误/疏漏是否因意外或疏忽，以及任何其他原因而导致的。

2018年1月号总第十一期，《PCB007中国线上杂志》是由BR Publishing公司出版的电子月刊。

## 广告索引

广告订阅.....4	KYZEN.....62
王氏港建.....44	MacDermid Enthone.....14
加入我们.....6	Mentor, a Siemens Business.....70
环球集团.....24	NEPCON.....74
中国印制电路行业协会.....54	Optimal.....56
挠性电路手册.....60	Orbotech.....32
高密度互连HDI手册.....18	The PCB List.....84
CIMS.....40	P. Kay Metal, Inc.....66
Downstream Tech.....76	Real Time With.....48
ESI.....8	Ventec.....20

## 更多精彩内容敬请期待 PCB007中国线上杂志：

二月：  
**设备与工具**  
工欲善其事必先利其器，来看看电子电路领域最新的生产工具吧

三月：  
**了解你的客户：**  
不论是内部客户还是外部客户都一样重要；另附CPCA展前特辑

四月：  
**新技术**  
太多的新产品，太多的新技术，我们又来到了十字路口



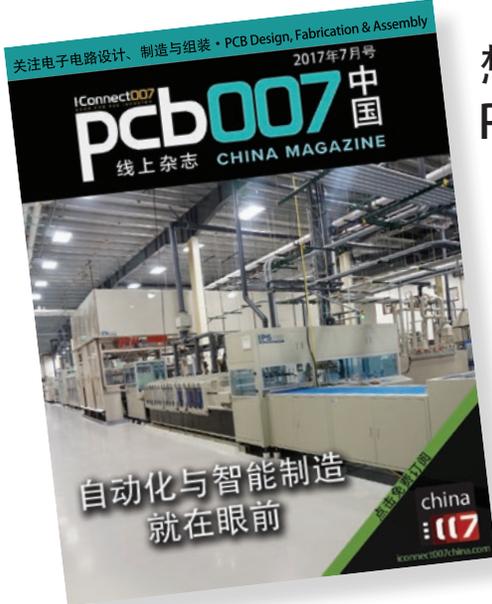
# I-Connect007

GOOD FOR THE INDUSTRY



想要及时获取我们最新的  
PCB007中国线上杂志么!

快来免费订阅吧!




每周新闻快讯

欢迎订阅我们的新闻快讯



每周新闻快讯

English I-Connect007: | PCB007 | | SMT007 | | PCBDesign007 | | EIN007 | | FLEX007 | | MilAero007 |

I-Connect007.com是服务于印刷电路板 (PCB)、电子制造服务 (EMS) 和印刷电路板设计行业的实时在线杂志。服务于全球以及中国市场多年, 提供了超过100000篇的新闻报道、专业文章, 是电子制造领域的行业咨询领导人。



PCB007中国杂志



你的焊膏材料准备好迎接这个趋势吗?

最新热点新闻: 为苹果 iPhone 9作准备, LG Innotek开始生产柔性屏用铜箔...

推荐文章: 高速材料! 听听PCB制造商们怎么说? 近日, I-Connect007出版商Barry Mattice和他的团队...

欧洲视角: 电路技术研究院第43届年度研讨会



高效节能的工艺是焊接组装的未来

最新热点新闻: 2017年亚洲消费电子展预示最新的技术趋势...

推荐文章: 智能制造要软硬结合 智能制造要软硬结合...

在式自动化组装系统未来趋势