

印制电路板设计,生产与组装 · PCB DESIGN, FABRICATION & ASSEMBLY

I-Connect007  
GOOD FOR THE INDUSTRY

# pcb007 中国

线上杂志

CHINA MAGAZINE

I-Connect007china.com

2023年7月号



## 电子制造设备 与解决方案



扫码关注公众号

# 电子制造设备与解决方案

制造离不开工具，制造业的工具就是生产设备与解决方案。随着产能扩张的放缓，制造商在挑选设备的时候都开始精打细算。高端制造应用，以及能确实降本增效的方案将受到更多的关注。

首先，长期专栏作家 CHEMCUT 的 Christopher Bonsell 为我们讲解《可实现更佳蚀刻均匀性的解决方案》。在往期专栏中他曾谈到，PCB 蚀刻工艺中的“水池效应”现象，通常发生在顶部，这种现象会导致大尺寸 PCB 整个板面具有不同的蚀刻质量。

在技术飞速发展的时代，PCB 生产正在转

向自动化。曾经的纯手工制造低产量已经转变为使用精确高效的设备进行大批量生产。Otto Bürkle 为我们带来《投资设备自动化解决方案需考虑的五大要点》。

随着产品质量要求的不断提升，检测设备也是目前发展比较迅猛的领域，各大厂家投入都非常大。作为检测设备专家，Mycronic 分享了《投资检测设备前需考虑的五大要点》。

当谈道可持续性发展时，你不会联想到电子产品，因为仅其制造过程就会产生大量废弃物，工艺中还含有挥发性化学品和化合物，更别说过气报废电子产品的处理。NextFlex 的制造运营总监在《增材工艺的可持续性》中指出，相较于传统电子电路制造工艺，增材工艺将是一种更为绿色环保的解决方案。

《ENEPIG 表面涂层的还原辅助浸金》一文中，上村化学的 George Milad 先生为我们介绍了还原辅助浸金 (Reduction Assisted Immersion Gold, 简称 RAIG)。该项技术在前几年推出后受到市场关注，人们发现该解决方案可以替代很多标准浸金应用。

转眼间，无铅运动已在电子行业开展了很多年，虽然各方面技术与解决方案越来越成熟，但遇到某些特殊产品，如厚且高层



## 第三十一届

# 中国国际电子生产设备暨微电子工业展览会

# NEPCON CHINA

2023.7.19-21

上海世博展览馆



NEPCON  
官方微信服务号

同期展会



主办单位



励展博览集团  
同励百业·共展商机



详情咨询

李海宾 女士

400 650 5611 | [haibin.li@rxglobal.com](mailto:haibin.li@rxglobal.com)

数的多层板还是很难适应无铅组装工艺。IPC 名人堂得主、技术专家 Michael Carano 先生在《无铅制造挑战》中，阐述了他的观点。

PCB 已成为所有有效、高效和安全的个人健康医疗设备的支柱。尤其是疫情大大推动了人们对于医疗智能化的需求，电子及计算机技术正在实现医学突破，有助于更快速、更精确地识别和治疗疾病，并在患者康复期间提供先进的监测。Sunstone 的 Matt Stevenson 本期将介绍《PCB 如何助力医疗行业拯救生命》。

相较于传统 PCB 来说，高速 PCB 的制造对于设备方面并没有特别多的额外要求，关键点在于材料的选取。本期我们请到了设计专家、制造专家、材料专家一起来探讨《取决于材料的高速设计策略》。

本期我们还精选了一篇来自 IPC 会员社区杂志的短文，该文介绍了 IPC《最新发布的标准 / 标准修订》。来看一看有哪些与您产品息息相关的标准发布了新版本。

**PCB 组装专区**中，我们首先请到了人工智能公司 Darwin AI 的 CEO Sheldon Fernandez 先生与我们分享了《Darwin AI 推动自动化孤岛的演变》。让我们看看人工智能是如何影响我们目前的电子制造工艺的。

行业的进步和发展是由集体思维、商业机会和思想领导力驱动，还是仅仅通过随机事件驱动？智能制造专家 Aegis 的 Michael Ford 本期没有继续他的老本行话题，而是站到了一个新的高度，讨论《差异化、业界共享和可组合性》。他认为业界共享并不会对 EMS 业务模式产生负面影响。

最近的杂志中，我们发布了专栏作家 Bob Wettermann 先生的最后一篇技术专栏，本期

我们对将要退休的 Bob 进行了采访，Bob 回顾了他漫长的职业生涯，我们对他近年来为行业撰写的大量技术文章表示感谢。同时还见到了他的继任者 Nash Bell，他将带领 BEST 进入下一发展历程。

杂志开头有关于自动化解决方案与检测解决方案的五大要点，组装专区我们也来一个五大，是由 IPC 的 EMS 顾问 Mark Wolfe 先生带来的《困扰 EMS 公司的五大问题》。

**PCB 设计专区**中，专栏作家 Barry Olney 首先带来《为实现最佳 PCB 设计做出权衡》，PCB 设计是结合制造的设计，不能是天马行空的，需要考虑的因素非常多。随着 PCB 变得越来越复杂，面临的挑战也越来越多，设计师不得不做出一些权衡。

PCB 制造商对接受到的 PCB 设计，很可能想提出一些反馈意见，其中关于设计一定有人令人困惑且老生常谈的故事。《从制造角度看 PCB 设计挑战》中邀请几位 PCB 制造专家，分享他们对 PCB 设计师需要更彻底了解的挑战之见解。

PCB 设计师就像驾驶员，可以把产品带上康庄大道，也可以带进沟里。不管老司机还是新手菜鸟，都要安全驾驶、小心驾驶。设计专家 Kelly Dack 先生带来文章《PCB 设计要遵守的“交规”》。

以上就是本期的全部内容，下半年展会扎堆，预计场面将会异常火爆。希望整个市场能尽快企稳，强势反弹，我们会持续关注相关动向。7月有 NEPCON 上海展，期待与我们的读者们见面，更多展会相关内容请留意 8 月号杂志。PCB007CN

# 微信扫描二维码关注 即可免费获得面向中国电子电路 市场的技术书籍与实时资讯

印制电路组装商

适用于恶劣  
环境的三防漆



印制电路组装商指南

工艺验证



Graham K. Naisbitt  
Gen3



印制电路组装商指南

数字时代  
先进制造



Oren Manor  
Mentor, A Siemens Business

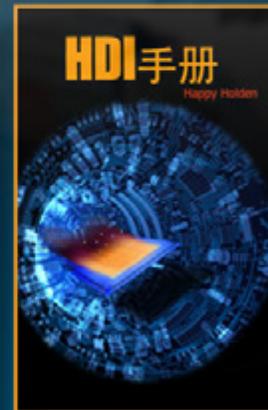
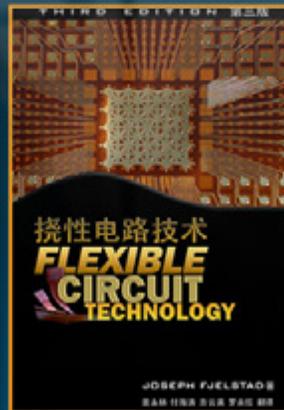


印制电路组装商指南

低温焊接



Morgana Ribeiro, et al.  
Alpha Assembly Solutions



## 电子制造设备与解决方案

制造离不开工具，制造业的工具就是生产设备与解决方案。随着产能扩张的放缓，制造商在挑选设备的时候都开始精打细算。高端制造应用，以及能确实降本增效的方案将收到关注。

## 专题文章

9 可实现更佳蚀刻均匀性的解决方案  
by Christopher Bonsell

11 投资钻孔自动化解决方案  
需考虑的五大要点  
by Otto Bürkle

13 投资检测设备前需考虑的五大要点  
by Mycronic

17 增材工艺的可持续性  
by Art Wall

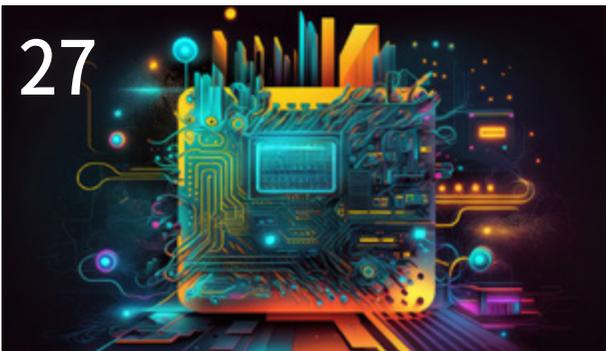
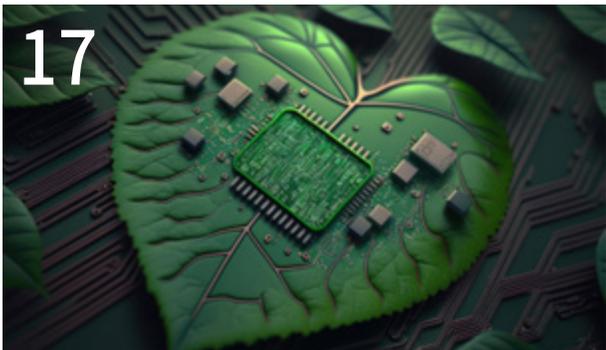
21 ENIG 表面涂层的还原辅助浸金  
by George Milad

27 无铅制造挑战，第 1 部分  
by Michael Carano

31 PCB 如何助力医疗行业拯救生命  
by Matt Stevenson

35 取决于材料的高速设计策略  
by the I-Connect007 Editorial Team

45 最新发布的标准 / 标准修订



# 国际电子电路 (华南)展览会

INTERNATIONAL ELECTRONIC CIRCUITS  
(SOUTH CHINA) EXHIBITION



2023.11.14-16

深圳国际会展中心(宝安)

Shenzhen World Exhibition & Convention Center (Bao'an)

主办单位 Organizers



承办单位 Event Manager



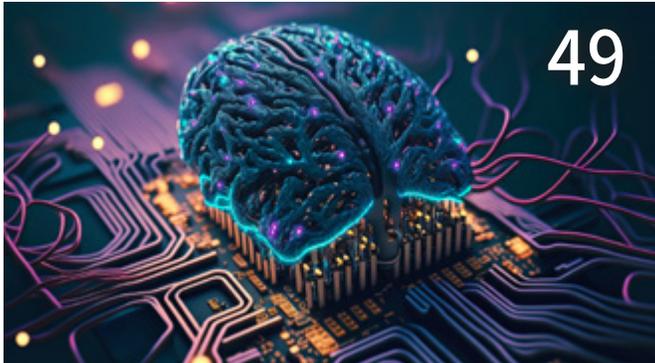
展会联络 Contact Us

Tel: +86-21-54900077 / Fax: +86-21-54904537  
E-mail: cpcashow@ying-zhan.com  
QQ: 800 055 702  
www.cpcashow.com





扫码订阅公众号推送



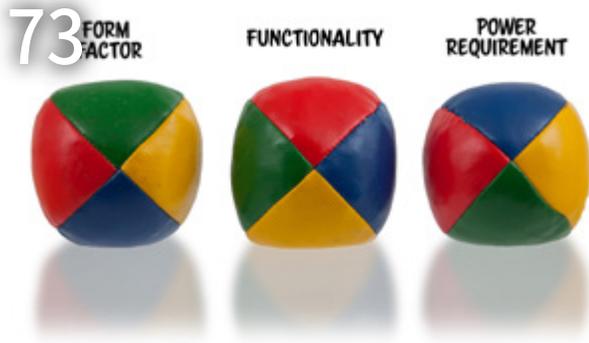
### PCB 组装专区

49 Darwin AI 推动自动化孤岛的演变  
by Nolan Johnson

57 差异化、业界共享和可组合性  
by Michael Ford

61 Bob Wettermann 谈职业生涯与  
“BEST”  
by Nolan Johnson

67 困扰 EMS 公司的五大问题  
by Mark Wolfe



### PCB 设计专区

73 为实现最佳 PCB 设计做出权衡  
by Barry Olney

79 从制造角度看 PCB 设计挑战  
by Andy Shaughnessy

83 PCB 设计要遵守的“交规”  
by Kelly Dack

### 其他栏目

91 行业活动日历

92 广告索引、下期预告  
工作人员名单

### 行业要闻

20 连载!构建持续改进的平台 25: 成  
本估算解决方案

34 重磅投资 创新未来 |  
罗杰斯 curamik® 高功率半导体陶  
瓷基板项目落地苏州



珠海镇东有限公司  
GOAL SEARCHERS CO.,LTD ZHUHAI

**镇东，让塞孔、研磨更轻松！**

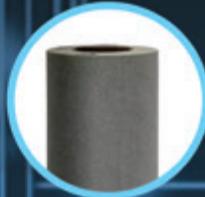
**2022年刷辊类共销售83249支，油墨共销售2734KG**



GSH陶瓷刷辊



GSH缠绕式不织布刷辊



GSH放射式不织布刷辊



GSH高密度尼龙针刷辊



GSH匹配型塞孔油墨



新品上市

全自动联线式高效  
真空丝印机



销售实绩：**178台**  
CCD真空丝印机



销售实绩：**154台**  
双面对磨砂带机



销售实绩：**674台**  
智能化刷板机

以上数据截止到2023年6月

**解决各类真空塞孔&研磨问题**

2022年共计加工**1592321片**



盲孔



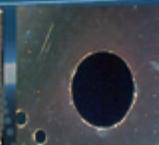
高纵深比通孔



单面背钻孔



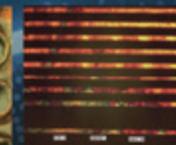
双面背钻孔



孔口去披锋



铜帽去除



防焊前处理



TEL : +86-756-8633473  
E-mail : info@goalsearchers.com

HTTP : //www.goalsearchers.com  
地址：广东省珠海市香洲区前山明珠南路2007号2栋

# 可实现更佳蚀刻均匀性的 解决方案

by Christopher Bonsell  
CHEMCUT

在第一篇专栏文章《有关蚀刻均匀性问题 (Etch Uniformity and The Puddle Problem)》中，我介绍了 PCB 蚀刻工艺中的“水池效应”现象，通常发生在顶部，这种现象会导致大尺寸 PCB 整个板面具有不同的蚀刻质量。存在这种蚀刻差异的原因是，蚀刻液喷射到在制板顶部时，会积累废蚀刻液，导致蚀刻液无法到达需要蚀刻铜表面。

蚀刻时，通常板边缘蚀刻最快，而中间蚀刻最慢。这是因为当蚀刻液在板顶部时，会流到侧面，不能发挥蚀刻功能。假设有人试图蚀刻大尺寸 PCB 或一块在制板上的多块 PCB 时，可以在在制板中间部分创建孔，以提供另一个供蚀刻液排出的通道，以降低水池效应。当然，在大多数情况下，对于 PCB 制造商，这是不现实的。由于解决方案不是那么简单，制造商又通常必须依赖于湿制程技术，重点是获得更佳的蚀刻均匀性。以下是目前可应对水池效应的技术。



## 优化喷射

优化喷射本身并不一定是防水池效应的有效措施，但它仍然是一种在蚀刻机内部可以实现更佳均匀性的技术。优化喷射是主蚀刻腔内部的属性。从功能上讲，这意味着对喷射管压力进行校准和调整，预计整个在制板上的蚀刻会发生变化。在实际操作中，这意味着必须调整在制板边缘上方的喷射管，以实现比中间喷射管的蚀刻更弱。优化喷射对所有蚀刻均匀性问题都非常重要。如果没有良好的基本喷射，使用任何额外的防水池效应技术只会使工艺更复杂，甚至可能加剧蚀刻差异。

**优化喷射本身并不一定是防水池效应的有效措施，但它仍然是一种在蚀刻机内部可以实现更佳均匀性的技术。**

## 蚀刻调整

通过蚀刻调整来抵消水池效应。调整过程侧重于在制板侧边到侧边的均匀性。侧边到侧边均匀性是指平行于传送带侧导轨的在制板边缘。蚀刻调整功能与优化喷射类似，它能够创建喷射区域，并为每个区域指定喷射压力，以减少因水池效应引起的差异。蚀刻调整模块有一些不同，它是与主蚀刻腔分离的操作单元，可以针对更精细的喷射区域，从而能够更好地控制侧边到侧边的差异。根据电镀工艺的操作方式，针对 PCB 材料一侧有较厚的铜层，通

过蚀刻调整，可以比单独使用优化喷射更轻松地补偿这种差异。

## 间歇喷射

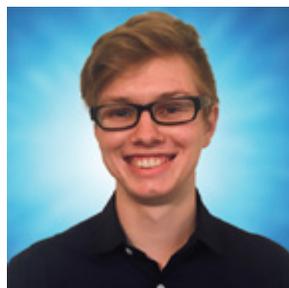
为改善 PCB 前后蚀刻均匀性，间歇喷射是防水池效应的有效措施。在制板进入蚀刻机的方式导致控制蚀刻均匀性很困难，当调整边到边的差异时，中间的喷射压力会高于边缘的喷射压力。

现今，连续喷射技术不能提高前后蚀刻均匀性。为达到前后均匀性，可采用间歇喷射，间歇喷射使用传感器指示蚀刻机中在制板第一边缘的位置。在制板部分穿过模块后，间歇喷射仅在在制板中部启动并喷射蚀刻液，在到达后边缘之前关闭。通过这种方法，可以更好地控制往往会蚀刻不足的中间部分。

## 结论

有许多不同的工具可用于实现蚀刻均匀性。本专栏中分享的有限内容仅涉及少数选项。通过这些信息，读者可了解现有的蚀刻均匀性技术，以及每种技术选项的具体情况。

PCB007CN



本文为 Christopher Bonsell 撰写的最后一篇专栏文章，目前他已离开 Chemcut 公司，到 Te-comet 公司工作。Chemcut 公司的其他作者将继续撰写本专栏。如需阅读往期专栏，可[单击此处](#)。

如需阅读往期专栏，可[单击此处](#)。

# 投资设备自动化解决方案 需考虑的五大要点

by Otto Bürkle

在技术飞速发展的时代,PCB 生产正在转向自动化。曾经的纯手工制造低产量已经转变为使用精确高效的设备进行大批量生产。如今,工业 4.0 和人工智能正在进一步拓展自动化生产的边界。

## 1. PCB 生产自动化

全球各地的 PCB 制造商正在不断投资新设备,特别是自动化领域的设备,以提高技术水平及产量。在欧洲,钻孔设备自动化已成为提高生产率和实现更高利用率的标准做法。美国和加拿大目前的人才短缺也加速了对自动化的需求。带穿梭车系统和装载机的钻孔设备和铣切设备,带有机臂的直接成像设备,钻孔及在线自动化的 X 射线功能已经实现了 PCB 的自动装载和卸载,可确保在工厂中无接触搬运面板,既节省了劳动力成本,又确保了 PCB 的质量。

## 2. 对准、对齐、精度

主轴、照明头、激光源、摄像头、读码器和传感器等高技科技器件安装在坚固的花岗岩上,然后连接到设备

控制器,以提供完美的结果,确保高度精确的 PCB 处理。对于高端面板,带有 CCD 的设备也是一个选项,因为面板的任何不精确之处都会得到纠正。面板上的双针系统是自动钻孔的强制性要求,并且经过充分验证的工艺可以支持所需的精度。



### 3. 通过适当的应用达到最高生产力

在搬运 PCB 方面也正在采用追踪技术。通过条形码或二维码，可以根据特定的 CAD/CAM 程序对每块单独的面板进行识别和处理。设备中集成的 CCD 和扫描系统可以对特定部件的程序进行读取。

自动化校准程序可确保设备的最高精度，以确保钻孔、铣切和成像产品的质量。自动化主轴维护可减少设备停机时间，提高生产率。

### 4. 可能采用自动化的其他领域

最近，随着工业 4.0 和新标准的建立，工程行业取得了长足发展。钻孔、铣切和激光设备可配备装载机，自动进给面板，这是新的简化解决方案之一。X 射线和直接成像设备现在可以连接带式传输带的生产线，恒定速度运行，提高产量。还有，可用机械臂处理面板。更多的机器人也已引入市场，包括自动引导车、自动生产线系统和穿梭车系统。



### 5. 提高利用率的自动化功能

MES 标准软件接口允许设备和高级生产控制之间的双向通信，因此可获取实时状态信息。操作员可以从控制室远程访问所有设备，使他们能够监控自动化 PCB 生产，运行统计数据，并对任何错误消息或故障做出快速反应。PCB007CN

Otto Bürkle 于 1950 年在德国斯图加特成立了 Bürkle GmbH，该公司与其子公司开发、制造和分销高质量产品，包括手动取样系统、腐蚀性液体灌装机和一系列特殊行业的塑料实验室设备。



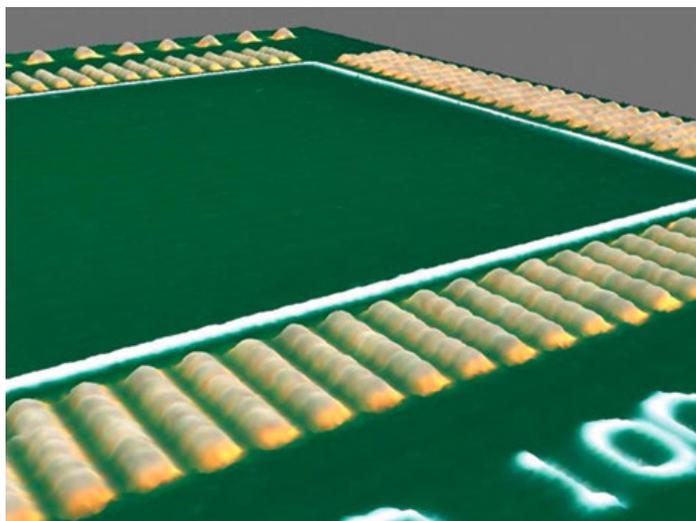
# 投资检测设备前 需考虑的**五大要点**

by Mycronic

在线 3D SPI 和 3D AOI 是控制和优化工艺效率最具成本效益的方法。为了最大限度地利用投资，以下是需要考虑的五大要点：

## 1. 可使编程更简单、更快的人工智能辅助软件

如今，无论操作员的经验水平如何，人工智能技术都可以在创纪录的时间内对 3D SPI 和 3D AOI 进行编程。使用 MYPro Create, SPI 和 AOI 编程，不仅更容易、更快、更具成本效益，而且对操作员的依赖性更小。这使得小批量 / 多品种电子产品制造商能够快速进行检测，对他们来说，高速和灵活性是先决



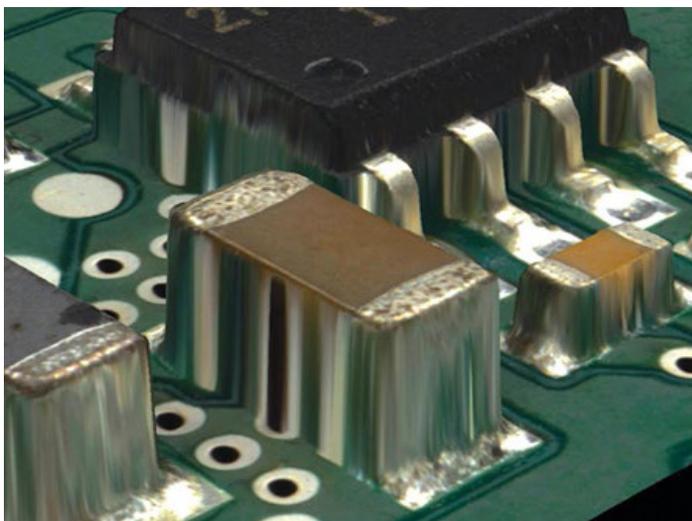
条件。

## 2. 可靠且精确的焊膏体积测量，以实现最高 SPI 效率

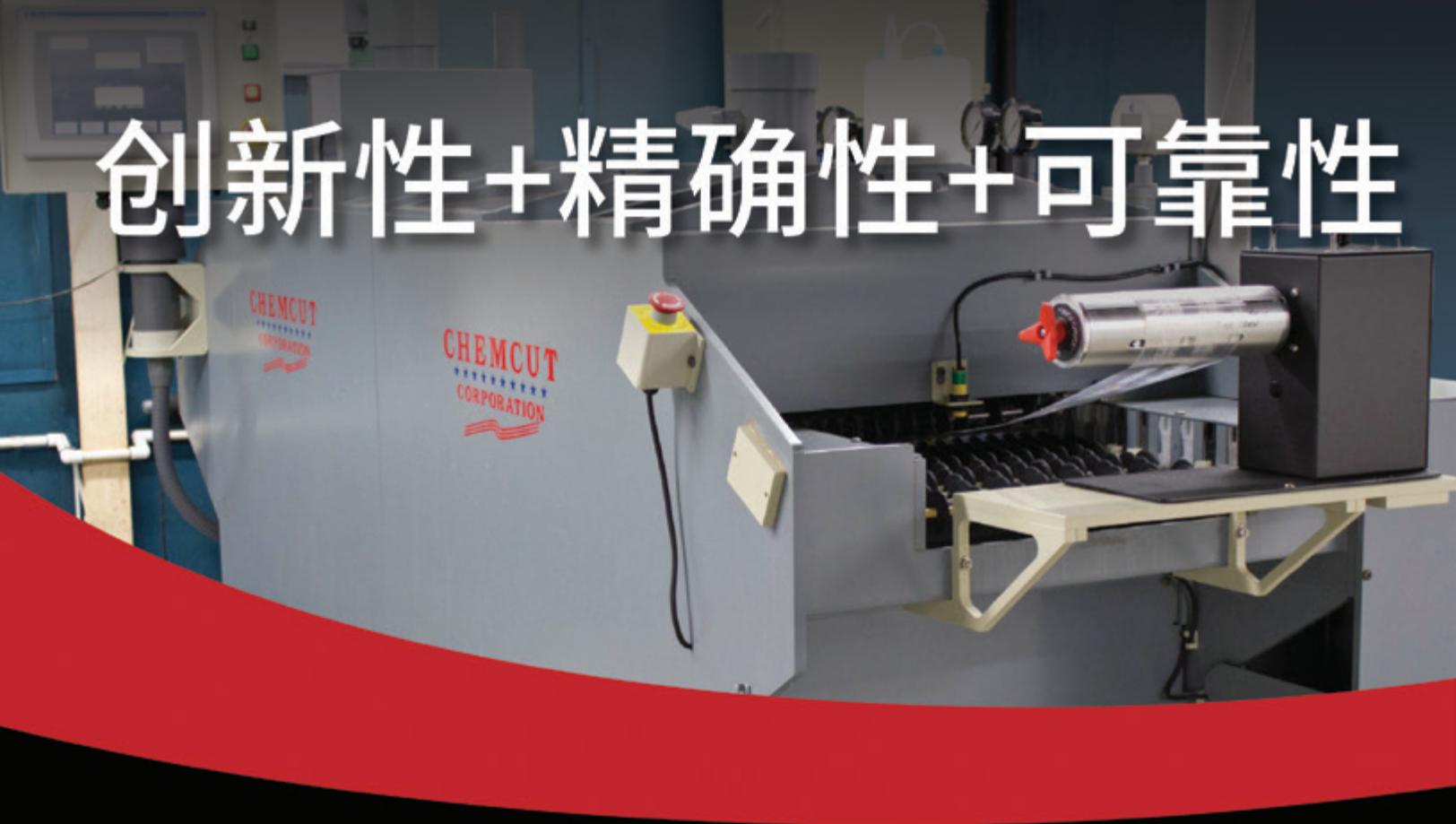
精确的 Z 轴基准是对日益缩小的焊膏进行可靠检测的关键。PI 系列 3D SPI 可在其超大视场内处理数百个基准，将 Z 轴基准定位在每个焊盘的表面，而无需应用阈值或近似值。不管 PCB 是否存在翘曲，也能确认即使是最小焊盘上点涂焊膏的精确体积。

## 3. 3D AOI 编程高效实时自动控制，可防止错误调用和漏检

在编程 3D AOI 时，如何确保最后的一次修改不会产生过多的错检，或者更糟的漏检？使用



# 创新性+精确性+可靠性



## 厂内客服实验室

可为每位Chemcut客户提供如下协助：

- 研发新工艺流程
- 产生初始原型
- 小型试生产
- 可行性研究
- 产生放大数据
- 操作员培训和教育



联系人Chris

要了解有关我们实验室的更多信息，请通过电子邮件 [sales@chemcut.net](mailto:sales@chemcut.net) 与 Christopher Bonsell 联系。

[www.chemcut.net](http://www.chemcut.net)



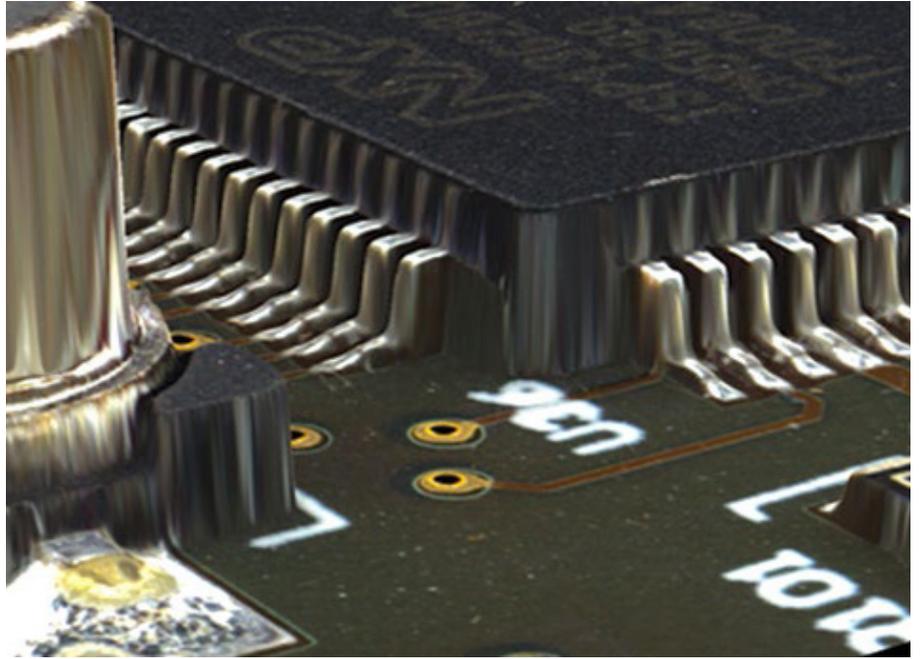
**CHEMCUT**

BOUNDLESS INNOVATION | UNBEATABLE PRECISION

Escape Tracker, MYPro I 系列 3D AOI 会对编程和微调过程中产生的潜在漏检和错检发出警报, 并指出避免这些情况所需的纠正措施。

#### 4. 灵活敏捷的 3D AOI 技术, 可确保一致性能

一体化 3D AOI 技术需要非常可靠且尽可能灵活, 以满足不断变化的客户需求。Mycronic 的 MYPro I 系列包括业界目前最全面的标准工具箱, 可帮助用户管控广泛的应用, 以实现先进的测试覆盖范围, 顶部和底部 THT 以及异形元器件检测, 以及计量测试。使用相同的标准设备即可完成上述所有要求。



联并分析 SPI 和 AOI 数据, 将这些信息转换为有用的 KPI, 用于监控生产性能。凭借来自 MYPro Analyze 的详细根本原因分析, 可实时预测过程变化和纠正过程偏差。PCB007CN

#### 5. 基于检测数据分析的过程控制, 可保持最高的初通率

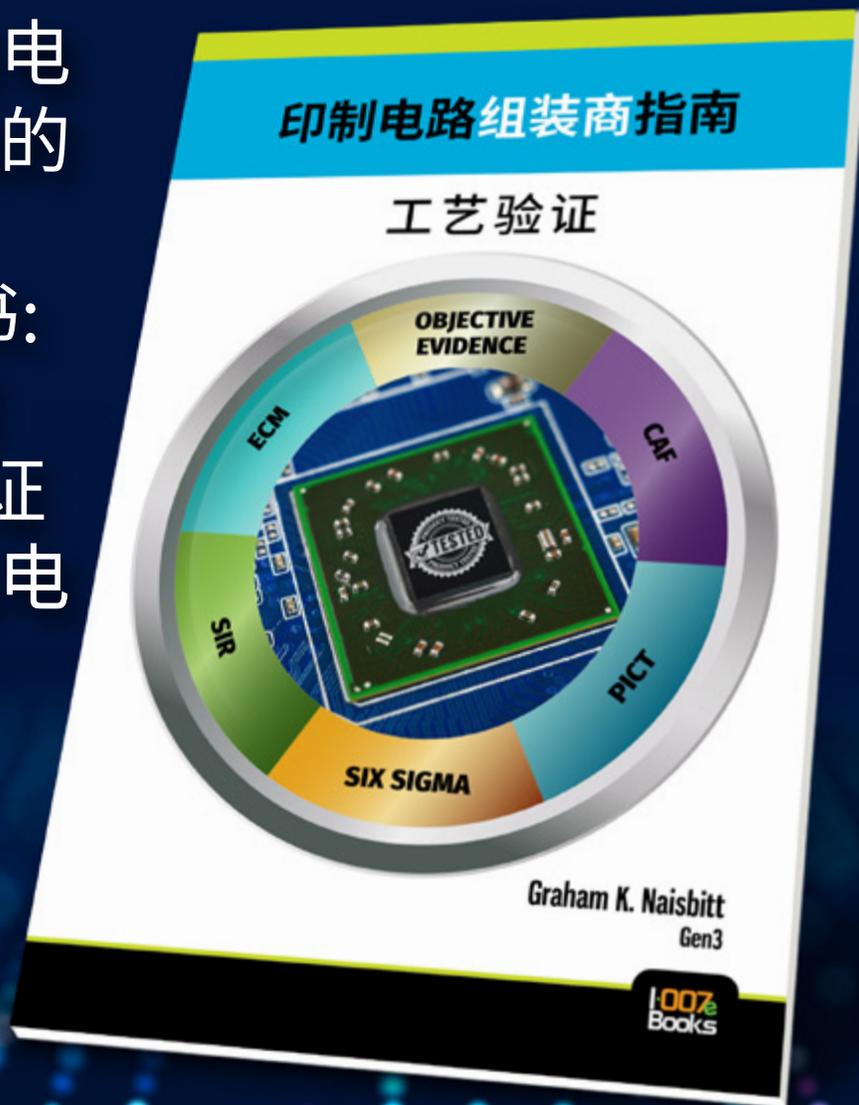
检测设备是 SMT 组装生产线的传感器。MYPro Link 具有基于网页的实时界面, 它关

Mycronic 是开发、制造和销售生产设备的全球高科技公司, 可满足电子行业对高精度、灵活性和高效率的需求。通过公司网站 [www.mycronic.com](http://www.mycronic.com) 可了解更多详情。



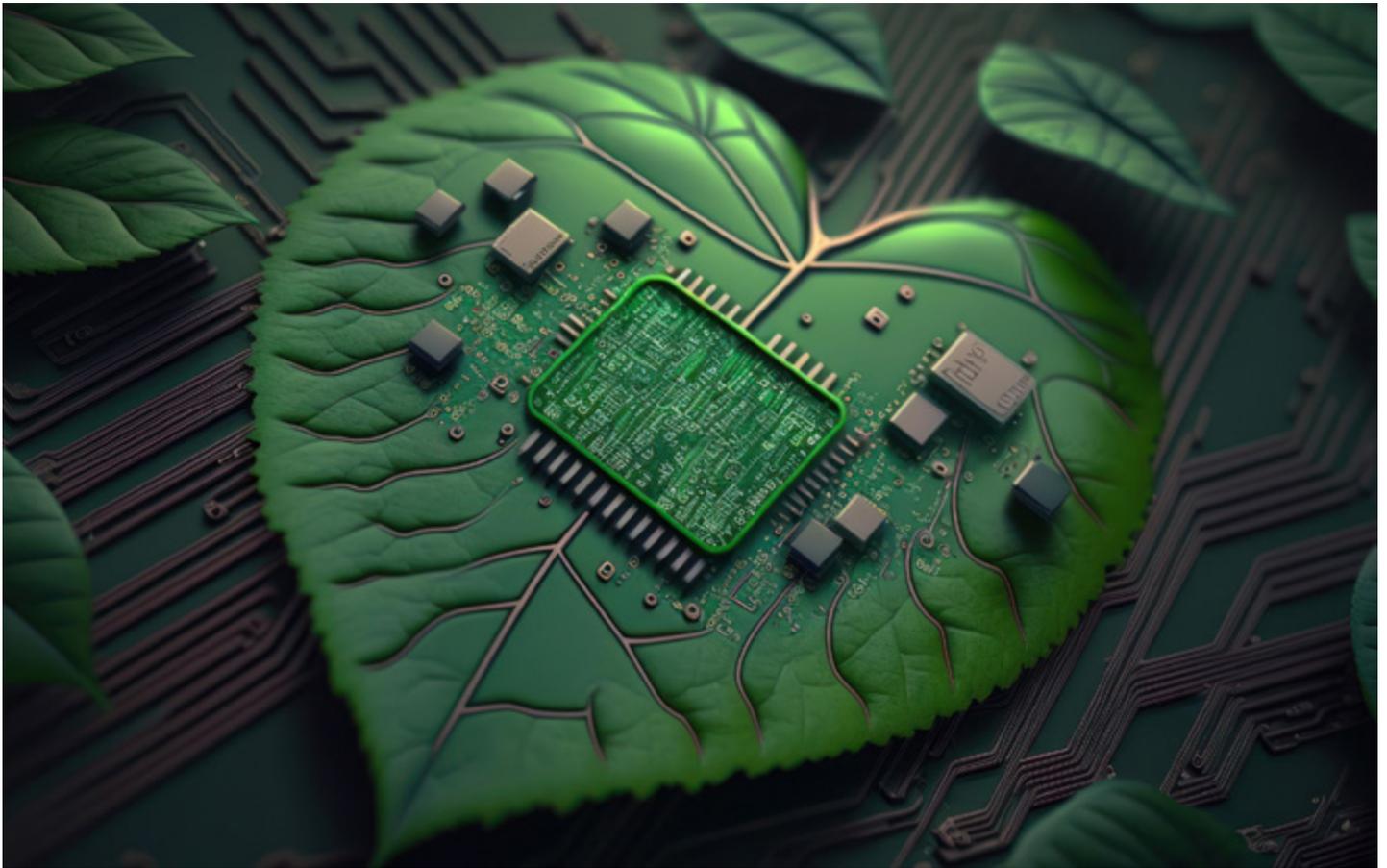
# 了解高可靠性电路板 测试的玄机

今天的高可靠性电子产品需要精确的测试方法。  
通过I-007电子书：  
印刷电路组装商指南——工艺验证  
来学习如何实现电  
化学可靠性。



点击或扫码下载

[iconnect007china.com/index.php/library](http://iconnect007china.com/index.php/library)



# 增材工艺的可持续性

by Art Wall  
NextFlex

当谈道可持续性发展时，你不会联想到电子产品，因为仅其制造过程就会产生大量废弃物，工艺中还含有挥发性化学品和化合物。消费者会不时处理其个人电子设备，同上加上制造过程中的废弃物，数量累积相当可观。根据联合国环境规划署的一份报告<sup>[1]</sup>，全球每年产生约 5000 万吨电子、电气废弃物。

这种电子垃圾中充满了汞等有毒成分，这些成分与电子工艺有关，往往没有得到妥善处

理。同一份报告强调，每年只有 20% 的电子垃圾被合理回收；其余的很可能最终被填埋或不当回收。随着时间推移，可能会对周围环境产生巨大影响。

## 正在开展的工作

最近，不仅在电子行业，而且在更广泛的科技行业，可持续性发展一直是热门话题。例如，在 2023 年消费电子展会上，可持续性发展是热点之一<sup>[2]</sup>，也是 3 个小组讨论的主题。整个电子界都在努力团结起来，开创可持续性电子产品的新时代。

## BGA/PLP的最终外观检测和3D量测



## ICOS™ T3/T7/T890

- 6面外观检测和3D量测可涵盖业界最大范围切割后的IC载板
- 整合高分辨率缺陷检测和翘曲量测功能于一个系统中
- 机器学习功能能够降低废品率，优化良率
- 适用于大量产的高速自动分拣和托盘移动
- 最优的设备综合效率/自动化就绪/易升级

## ICS/PLP的2D和3D量测

## Zeta™ -6xx Series

- 整合多种量测功能于一个系统，适用于IC载板制造
- 多达四种不同功能模块组合让量测方式更加灵活
- 具备对介电层材料进行非破坏性的厚度量测技术
- 广泛适用于各种面板尺寸
- 支持自动和手动上板





Art Wall

朝着更可持续性发展努力，国际标准化组织（International Organization for Standardization, 简称 ISO）围绕环境管理制定了 ISO 14000 系列标准<sup>[3]</sup>。最近一次更新是在 2021 年，建立了有助于可持续性发展的环境管理体系 14001 标准。

然而，即使开发出这些标准，电子界也在为此进行沟通交流，但可行的变革却迟迟没有到来。例如，仅在 2020 年，电子制造业就贡献了相当于温室气体排放量 590 万公吨（Million Metric Ton, 简称 MMT）二氧化碳<sup>[4]</sup>。这让人们关注到电子行业不可持续性的发展，并引出“电子制造业有可能实现可持续性发展”的问题。

## 增材工艺简介

为了真正将可持续性纳入制造过程，行业需要全新的计划。通过重新思考如何制造及封

装电子产品，包括我们正在使用的方法和材料，可以引发行业真正的变化。减少制造所涉及步骤数量同时减少所涉及浪费的重要方法之一是通过增材制造要素。

我们通常看到增材制造与基本的 3D 打印工作相结合，但它可以应用于各种不同的工艺。增材制造的基本定义是在计算机控制下沉积、连接或固化材料，将每种材料逐层添加在一起。

然而，在电子领域，“增材制造”似乎违反直觉。乍一看，听到这个术语会让你认为制造过程中有额外的步骤，而且从本质上讲，会有更多的浪费。事实上，将增材工艺集成到目前的电子制造方法中，消除了许多导致浪费的“减材”工艺步骤，从而带来了一些环境效益。

## 印制图形

制造 PCB 的一种常见做法是光刻以形成图形，然后蚀刻去除不需要的材料。在增材工艺中，图形是简单地打印出来，因此消除了与去除相关的若干步骤和浪费。我们已经通过组装挠性混合电子产品（Flexible Hybrid Electronics, 简称 FHE）证明了这一点，并从封装的角度对此进行了说明<sup>[5]</sup>。在那篇文章中，我们介绍了如何在低成本的挠性基板上增材打印 PCB。如果从可持续性发展的角度分析高阶封装的这种转变，行业会发现增材制造的集成也使其更具可持续性。

## 不必要的封装

增材制造的另一个优点是取消对单个元器件或芯片的不必要封装，将它们直接连接到 PCB 上。想象一下，在 PCB 的层中添加原始元器件，可以为电子元器件提供前所未有的互

连机会，且可实现小型化。这种系统级封装还意味着可以消除制造过程中不必要的步骤，并减少与这些步骤相关的浪费。

在常规电子制造工艺中引入增材工艺只是使电子行业更加可持续性发展的步骤之一。当与 ISO 14001 等标准的实施相结合时，我们会看到行业正朝着正确的方向发展。为了实现真正的可持续性发展，作为专业人士，需要继续团结起来，找到创新的方法，以消除电子制造相关的浪费，同时提供当今消费者预期的复杂产品。PCB007CN

## 参考内容

1. “UN report: Time to seize opportuni-

ty, tackle challenges of e-waste,” UN Environment Programme, Jan. 24, 2019.

2. ISO 14001 and related standards: Environmental management, iso.org.

3. “Be in it: Sustainability,” CES 2023, ces.tech/topics.

4. “Emission Trends in Electronics Manufacturing,” U.S. Environmental Protection Agency, March 13, 2023.

5. “Advanced Packaging Gets an Additive Upgrade,” by Art Wall, Nov. 8, 2023.

Art Wall 任 NextFlex 公司制造运营总监。

## 连载! 构建持续改进的平台25: 成本估算解决方案

**编者按：**本文为 Indium 公司 Ron Lasky 撰写的有关虚构人物 Maggie Benson 故事连载，旨在介绍 SMT 组装的持续改进和再教育。本文为该系列第二十五部分。

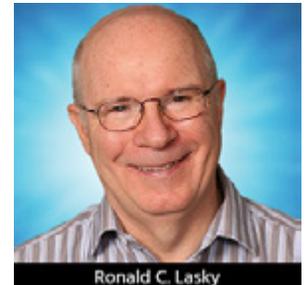
**编者注：**Indium Corporation 的 Ron Lasky 继续关于虚构角色 Maggie Benson 的系列专栏，以展示关于 SMT 组装的持续改进和培训。本集故事继续关注 Andy 和 Sue，他们都曾在 Ivy-Benson Electronics 公司工作，但一直在常春藤大学为 Patty Coleman 教授承担其他项目。

在 Hartman Electronics 公司, Patty 教授请企业主 Matt Harman 向 Andy 和 Sue 介绍他的新项目。他刚刚解释了他支付给操作员和工程师的工资，但担心工资是否适当。

Andy 和 Sue 在一家汽车修理厂做过类似的练习, Patty 教授建议他们在那里了解经营企

业的真实成本。

Matt 说：“我们被要求为美国联邦航空局进行一些装置的总装。这涉及到组装在 SMT 生产线上的 PCB，并在一个



Ronald C. Lasky

小冰箱大小的外壳中用布线将 PCB 连接在一起。我们估计需要 20 名操作员和 5 名支持工程师。”Matt 特随后带 Patty、Sue 和 Andy 参观了工厂，并回答了他们的许多问题。

他说：“我付给操作员每小时 20 美元，工程师每小时 40 美元。我认为 40% 的溢价是公平的。所以，我计划按操作员每小时 28 美元、工程师每小时 56 美元收取费用。看起来合理吗？”

更多详细的内容，请[点击这里](#)。

# ENEPIG 表面涂层的 还原辅助浸金

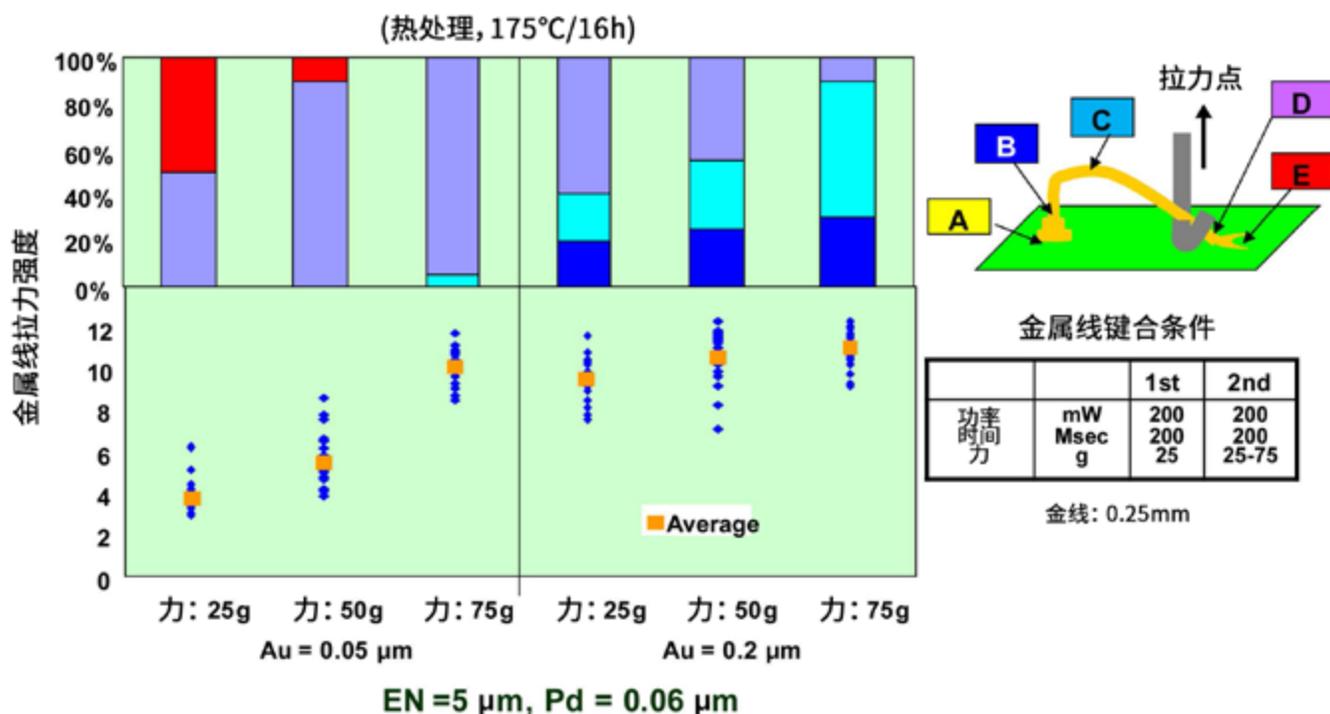
by George Milad  
UYEMURA

还原辅助浸金 (Reduction Assisted Immersion Gold, 简称 RAIG) 是几年前为了满足新设计的要求而推出的。这项技术推出后, 人们发现越来越多的标准浸金可以用 RAIG 替代。RAIG 是一种混合反应液, 不仅可进行浸金, 通过其中添加的还原剂, 而且能起到化学镀 (自催化) 液的作用。

浸没反应是将基底 (镍、钯或铜) 放入电

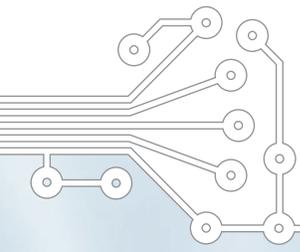
解液中引发镀金反应。沉积的浸金层将触发化学镀反应。作为置换反应, 浸没反应将随着时间的推移而减少, 因为基底面积在沉积反应中越来越少。化学镀反应将继续, 因为其依赖于电解质中存在的还原剂, 而不是基底。与纯化学镀金相比, RAIG 沉积的金受到限制, 仅适合于 3~8 in 厚度。

由于浸没反应受到限制并且金厚度会自动催化增加, 因此反应具有更宽的操作窗口, 可以实现更厚的金沉积层而不发生镍腐蚀。较厚的金层 (3~8 in) 超出了标准浸金电解液的



金厚度为0.2μm时, 键合强度不由键合力决定。金厚度为0.05μm时, 键合强度由键合力决定。

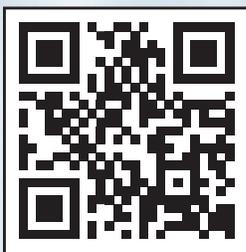
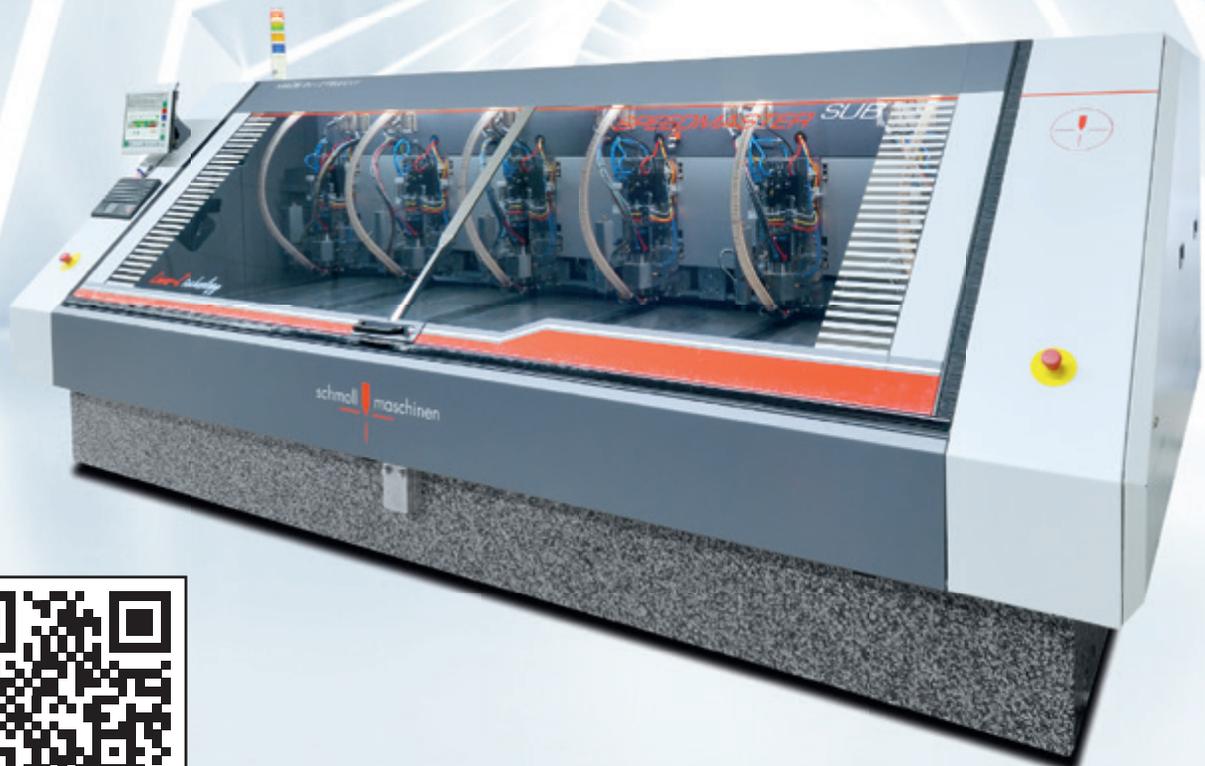
图 1: 金层厚度对键合力操作窗口的影响



# SPEEDMASTER<sup>SUB</sup>

## Substrate Drilling 载板钻孔

- 内建温度稳定功能的高精度载板钻孔机  
Highest precision for substrate drilling with temperature stabilization system
- 可选择20/25/30万转载板钻孔主轴  
200/250/300 krpm substrate drilling spindles available
- X、Y和Z轴使用高速线性马达驱动  
High-speed linear motors in X, Y and Z-direction
- 长时间生产精度稳定  
Highest accuracy throughout the entire process



能力，但能够拓宽金线键合的操作窗口，因此是更佳的。

图 1 显示了金厚度与金属线键合强度之间的关系。0.05 m (2.0in) 和 0.2 m (8.0in) 两种金层的厚度在 3 种不同的键合力 (25g、50g 和 75g 力) 下使用 0.25mm 的金线进行键合。超声功率 (mW) 和时间 (s) 保持恒定。然后拉动金线，并记录金线的断裂点。键合层浮起 (E) 和在键合跟部断裂 (D) 表明键合层较弱或不可靠。断裂点 (B 和 C) 表示可靠的键合。

数据显示，两种厚度都能够产生坚固的接点。但是，较薄 (0.05 m) 金层需要更大的力才能形成可靠的结合。较厚的金层 (0.2 m) 在较低的力下即可产生可靠的键合，拓宽了键合参数的操作窗口。

对于金线键合应用，设计师更喜欢指定 3~5 in 的金厚度。这种厚度超出了浸金的能力。在浸金液中停留时间过长是镍腐蚀的主要原因。

## RAIG 与 ENEPIG

ENEPIG 采用无铅焊料形成可靠的焊点，是一种可金线键合的表面。目前，在焊接和金线键合都是所选连接方法的情况下，会指定连接方法。

在 ENEPIG 沉积中，由于 Au 和 Pd 的电动势接近，浸金到钯上的厚度受到限制。反应的驱动力远低于在

镍表面上浸金的驱动力，如 ENIG。在 Pd 上镀厚度超过 1.2 in 的金需要在浸金液中停留很长时间，这反过来又会增加钯层下镍腐蚀的可能性。如果钯下面的镍被腐蚀，金属线键合强度将受到影响，这将导致镍 - 钯界面处的键合浮起失效。

随着 ENEPIG 的市场份额越来越高，很明显，金线键合操作参数在相对较窄的窗口内是成功的。在组装过程中，必须密切监测金属线键合参数 (热量、超声频率和克力)，以确保成功键合。“金属线拉力”研究表明，增加金的厚度将拓宽操作窗口，统计数据表明将提高所形成键合的良率和可靠性。许多设计师现在指定的金厚度超过了 IPC-4566A 规定的金厚度范围。

Calibr. Std. Set 1 standard foils						
n=	1	Au 1 =	8.19 μ"	Pd 2 =	4.51 μ"	NiP 3= 204.3 μ"
n=	2	Au 1 =	8.80 μ"	Pd 2 =	3.83 μ"	NiP 3= 196.7 μ"
n=	3	Au 1 =	8.33 μ"	Pd 2 =	4.39 μ"	NiP 3= 194.4 μ"
n=	4	Au 1 =	8.34 μ"	Pd 2 =	4.39 μ"	NiP 3= 194.9 μ"
n=	5	Au 1 =	8.41 μ"	Pd 2 =	3.89 μ"	NiP 3= 191.9 μ"
n=	6	Au 1 =	8.44 μ"	Pd 2 =	4.23 μ"	NiP 3= 191.1 μ"
n=	7	Au 1 =	8.43 μ"	Pd 2 =	3.86 μ"	NiP 3= 191.0 μ"
n=	8	Au 1 =	8.32 μ"	Pd 2 =	4.15 μ"	NiP 3= 192.0 μ"
n=	9	Au 1 =	8.28 μ"	Pd 2 =	3.95 μ"	NiP 3= 193.0 μ"
n=	10	Au 1 =	8.54 μ"	Pd 2 =	4.17 μ"	NiP 3= 191.5 μ"
n=	11	Au 1 =	8.19 μ"	Pd 2 =	4.09 μ"	NiP 3= 192.9 μ"
n=	12	Au 1 =	8.26 μ"	Pd 2 =	4.51 μ"	NiP 3= 191.7 μ"
n=	13	Au 1 =	8.50 μ"	Pd 2 =	4.23 μ"	NiP 3= 192.6 μ"
n=	14	Au 1 =	8.14 μ"	Pd 2 =	4.53 μ"	NiP 3= 191.2 μ"
n=	15	Au 1 =	7.85 μ"	Pd 2 =	4.15 μ"	NiP 3= 190.0 μ"
n=	16	Au 1 =	8.30 μ"	Pd 2 =	3.73 μ"	NiP 3= 192.2 μ"
n=	17	Au 1 =	8.22 μ"	Pd 2 =	4.08 μ"	NiP 3= 191.7 μ"
n=	18	Au 1 =	7.65 μ"	Pd 2 =	4.15 μ"	NiP 3= 190.3 μ"
n=	19	Au 1 =	7.62 μ"	Pd 2 =	3.85 μ"	NiP 3= 189.0 μ"
n=	20	Au 1 =	8.23 μ"	Pd 2 =	4.27 μ"	NiP 3= 191.7 μ"
			<b>Au 1 μ"</b>	<b>Pd 2 μ"</b>	<b>NiP 3 μ"</b>	
<b>Mean</b>			<b>8.251</b>	<b>4.148</b>	<b>192.7</b>	
<b>Standard Deviation</b>			<b>0.281</b>	<b>0.242</b>	<b>3.233</b>	
<b>CoV (%)</b>			<b>3.41</b>	<b>5.84</b>	<b>1.68</b>	
<b>Range</b>			<b>1.18</b>	<b>0.801</b>	<b>15.3</b>	
<b>Number of readings</b>			<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	
<b>Maximum time</b>			<b>05:00</b>	<b>05:00</b>	<b>05:00</b>	

图 2: ENEPIG 数据显示 RAIG 消除了镍腐蚀的可能性，并在焊接过程中保持了良好的润湿性

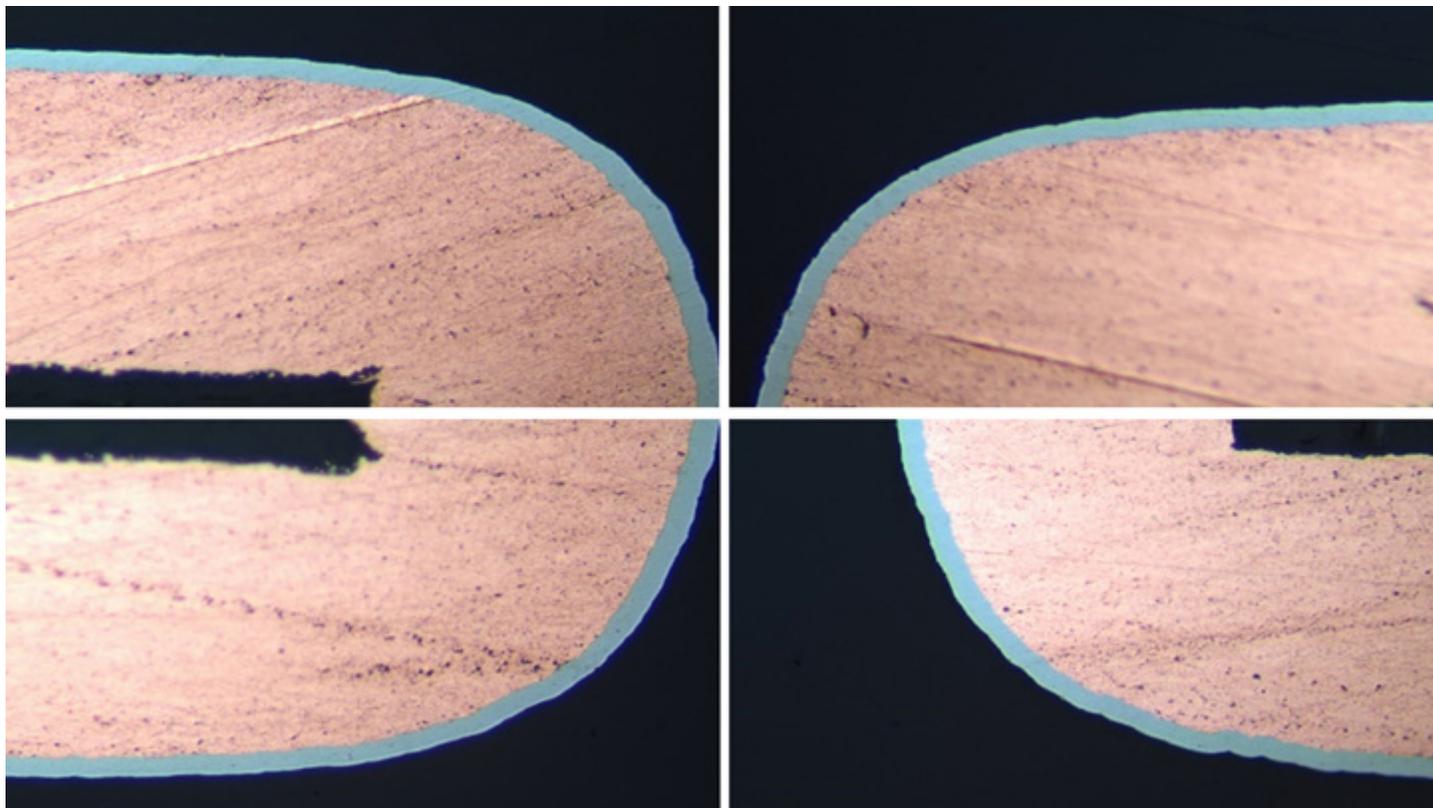


图 3：按照 IPC-4552B ENIG 规范进行腐蚀评估

镍腐蚀的主要原因是钯层中的缺陷，再加上在腐蚀性（低金浓度）浸金电解液中的停留时间延长。在这种条件下，溶液中的浸金溶液中的离子将接触到底层的镍，并将被还原为金属金。金属金会沉积在钯层的顶部，而镍会被

腐蚀。

图 2 中的 ENEPIG 数据清楚地表明, RAIG 消除了镍腐蚀的所有可能性, 并在焊接过程中保持了良好的润湿性。使用 IPC-4552B 中规定的方法对镍腐蚀进行评估。润湿平衡用于评

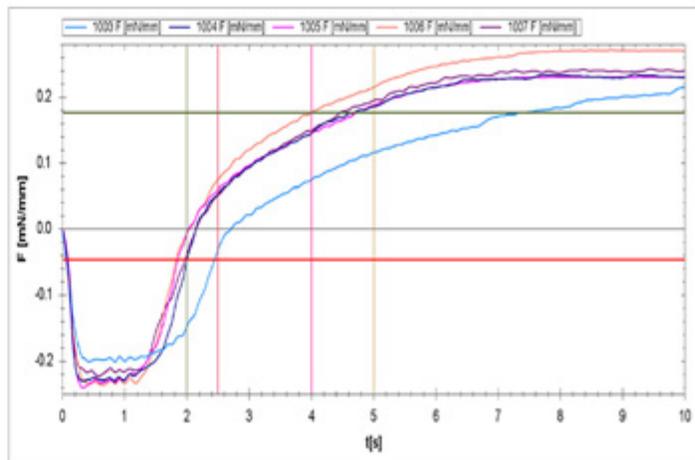
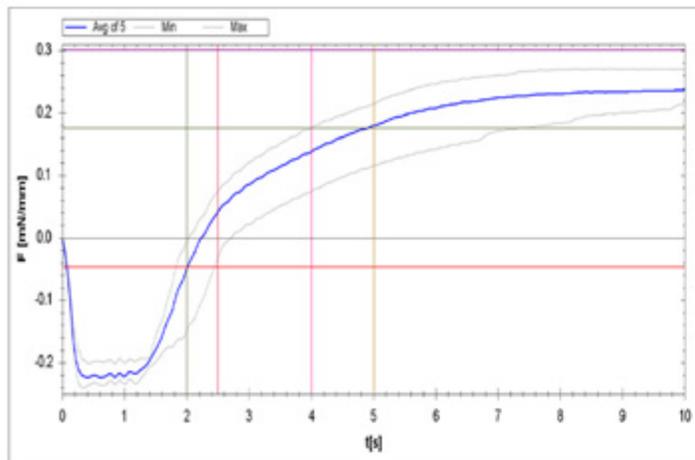


图 4：按照 J-STD-003C 附修订本 2 规范，完成 2 次回流后的润湿平衡结果



图 5：符合 J-STD-003C 附修订本 1&2 规范的边缘浸焊测试

估润湿性。

数据显示，使用 RAIG 代替浸金在钯和镍之上产生了可重现的 8.0 in 金厚度。厚度数据来自 20 个不同的焊盘（60 mil × 176 mil）。增加的金厚度拓宽了键合参数的操作窗口，提高了 ENEPIG 表面的金线键合能力。

按照 IPC-4552B ENIG 规范中概述的方法进行腐蚀评估。对图 3 中不同位置的剖面放大 1000 倍后评估，并检查了是否有任何腐蚀尖峰。显微照片显示“零”腐蚀水平。

按照 J-STD-003C 附修订本 1&2 规范评估可焊性。

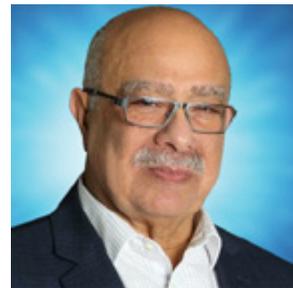
润湿平衡时间 ( $\leq 2.5$  秒) = 平均 2.25 秒，合格。

润湿平衡力 ( $>0.17$  mN/mm) = 平均值为 0.22 mN/mm，合格。

更厚的金层符合 J-STD-003C 附修订本 1&2 规范，无不润湿或退润湿迹象。

使用 RAIG 代替标准浸金能够沉积更厚的金层，从而克服浸金在钯上的局限性。通过 RAIG 获得的较厚金层对可焊性没有不利影响。

使用 RAIG 的另一个好处是消除了钯层下镍腐蚀的可能性。PCB007CN



George Milad 任 Uyemura 公司客户技术经理。如需阅读往期专栏，可[单击此处](#)。

**I-Connect007**  
GOOD FOR THE INDUSTRY

**PCB007**  
MAGAZINE

# 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)

# 无铅制造挑战, 第 1 部分

by Michael Carano  
IPC CONSULTANT

厚且高层数的多层板最难适应无铅组装工艺。原因是多层板通常都有通孔和需要手工焊接的元器件, 需要进行两次或两次以上的回流焊。更高的回流焊温度和更慢的无铅焊料润湿给层压板和镀铜孔壁带来了巨大的应力。在许多情况下, 即便使用最新的、具有更佳热性能的 FR-4 材料, 也不能保证 PCB 组装的可靠性。

这个问题的解决方案之一是使用最新的设计规则和创新制造技术来重新设计多层板。微孔能够以合理的成本提高来减少多层板的层数和厚度, 同时还可提高电气性能和密度。

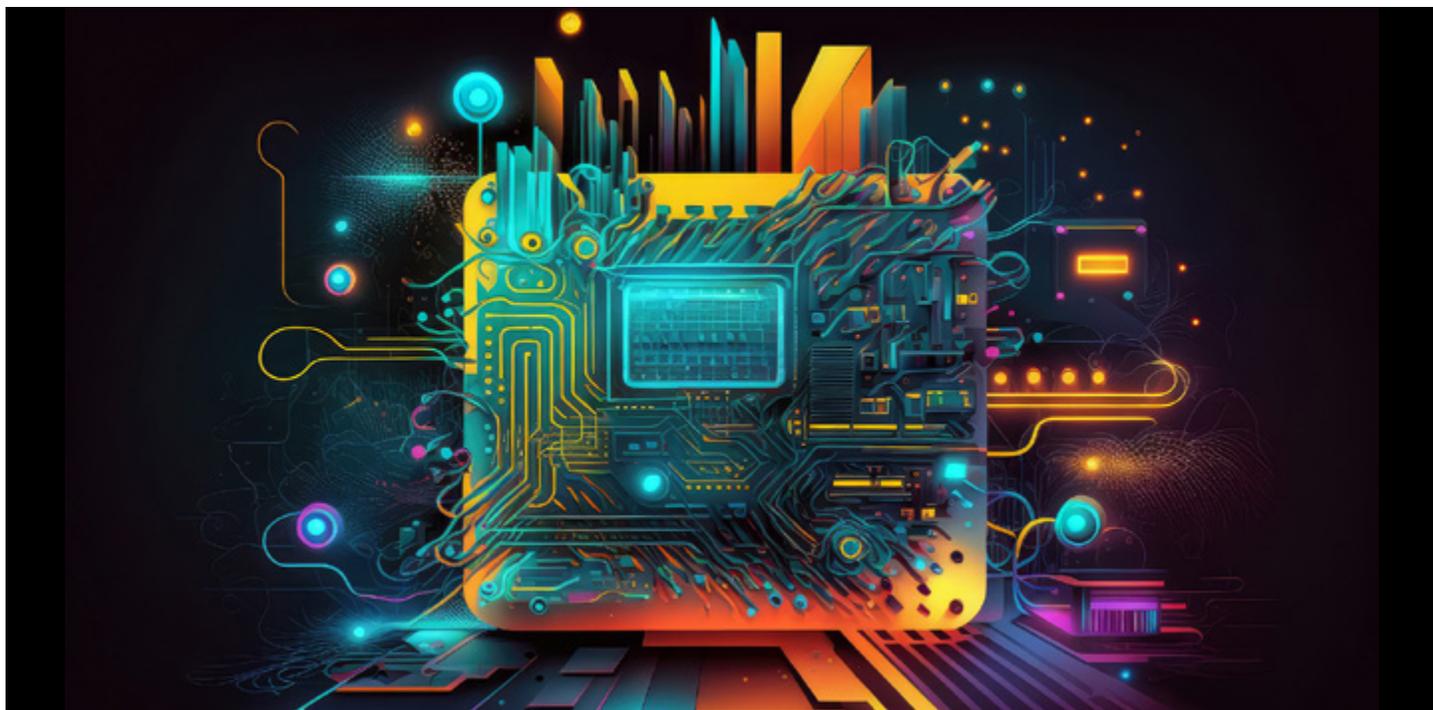
也可以最大程度利用盲孔的特性, 仔细检查信号、接地和电源层分配, 并考虑替代结构。

减少贯穿孔的数量有助于提高布线密度和降低层数。通过将贯穿孔连接器替换为表面贴装连接器, 可达到更高的连接器密度且可提高电气性能。

这些新型多层板不仅更薄、价格更低、更容易设计, 而且成本更低, 适合于无铅组装。我将在未来的专栏中讨论新技术, 包括激光钻微孔和新型 SMT 连接器。

## 问题

锡 / 铅 (Sn/Pb) 合金已在印制电路组装中使用多年。共晶锡铅的熔点为 183°C, 组装过程中的温度通常会达到 230°C。锡铅的主要替代品是锡银铜合金 (SAC)。这些合金的熔点接近 217°C, 典型的组装温度峰值达到 255°C 至 260°C。组装温度的提高, 加之多次



# 建立通往更高科技的桥梁



## X-Plating - 专利的架桥式电镀技术，用于核心通孔的无空洞填充

作为创新技术的领导者，我们推出了一项专利架桥式电镀技术，可用于核心通孔的无空洞填充。该技术不仅适用于水平面板电镀，现在还可以用于图形模式的垂直脉冲电镀。这种新工艺已开始量产，具有高度可重复性。我们的X-Plating方案适用于高达3:1的纵横比面板，并具有高可靠性。该工艺有助于填充机械和激光钻孔的通孔，并提供比散热膏好50倍的导热性。这项新技术正在量产50至300微米的芯片，是降低加工成本和时间，同时提高产量的理想选择。

想要了解更多关于X-Plating的信息，请扫描右边的二维码。



暴露在这些温度下, 要求基材具有更佳的热稳定性。

相关技术论文给出了无铅组装对基材影响的重要数据<sup>[1-2]</sup>。虽然需要考虑许多重要特性, 但鉴于当前的发展趋势和对改善热性能的需求, 有一些特性值得特别关注, 其中包括玻璃转化温度 (Tg)、热膨胀系数 (CTE) 和热分解温度 (Td)。

在无铅组装工艺中, 随着印制电路的温度升高, 材料的 Td 成为了需要重点考虑的重要特性。Td 是对树脂体系实际化学和物理降解的量度。该测试使用热重分析, 测量样品的质量与温度的关系。Td 被定义为样品因分解而损失质量 5% 时的温度。经验表明, Td 是关键特性, 在计划向无铅组装转换时, 其似乎与玻璃转化温度同样重要, 甚至更重要。虽然 Td 的定义使用了 5% 质量损失值, 但了解发生 2%~3% 质量损失的时间点很重要。在检查回流焊温度曲线时, 传统 Sn/Pb 组装工艺的峰值温度可达到 210~245°C, 230°C 是常见的温度值。在这个范围内, 大多数 FR-4 未表现出明显的分解。然而, 在无铅组装工艺运行的温度范围中, 可以看到传统的 FR-4 材料表现出 2%~3% 的质量损失。多次暴露在这些温度下会导致材料严重的降解。当 PCB 为 20 多层时, 板更厚, 且许多层是电源或接地平面时, 这个问题就会更加严重。

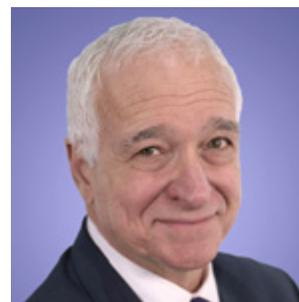
PCB 有两种主要失效机理。失效主要是由于热或机械偏移引起的。镀通孔 (PTH) 失效是 PCB 失效的主要因素, 对其进行预测是高温 PCB 测试的主要目标。PTH 可靠性测试应该模拟 PTH 在其整个使用寿命内的热偏移。通常, PCB 在组装和返工过程中会经历最严重的热循环。话虽如此, 构成 PCB 板的材料

对 PTH 的可靠性至关重要。随着越来越多的 PCB 需要经受无铅组装所需更高温度的影响, 必须考虑层数、Tg 和 Td。

玻璃转化温度的范围为 125~170°C (对于一些树脂材料而言更高)。这些温度范围可能不足以用于大多数高温和恶劣环境的应用。Tg 大于 170°C 的环氧基材料和 Tg 更高 (大于 200°C) 的聚酰亚胺树脂具有长期耐热性, 尤其是在恶劣的使用环境中。这些材料对于 PTH 寿命和具有高层数的高性能多层 PCB 而言更佳。对于高层数的多层板有显著影响。下个月的专栏文章将讨论这一主题以及向微孔的转变过程中的需要注意的细节。PCB007CN

## 参考内容

1. “Different Curing System Can Improve Laminate Performance,” by Christos Chrisafides, The Board Authority Live, June 2004.
2. “How to Get Started in HDI With Microvias,” by Happy Holden, CircuiTree, November 2003.
3. Nadolny, Jim, “Advantages of BGA for Backplane Connectors”, by Jim Nadolny, DesignCon 2002, TecForum HP-TF4, pp.5.



**Michael Carano** 拥有 40 多年的电子行业从业经验, 具有制造、高性能化学品、金属、半导体、医疗设备和先进封装领域的特殊专长。如

需阅读往期专栏, 可[单击此处](#)。

# 工业4.0： 这一步要深思熟虑

I-Connect007为您带来  
西门子Mentor新书  
数字时代先进制造



点击或扫码下载



# PCB 如何助力医疗行业拯救生命

by Matt Stevenson  
SUNSTONE CIRCUITS

PCB 可以为各种创新设备提供动力，从 VR 耳机到无人机，但我们的行业并不局限于娱乐和游戏，实用技术的发展也改变了制造业和物流业。但对于普通人来说，这些突破中最能改变其生活的当属健康、保健和医疗领域。

PCB 已成为所有有效、高效和安全的个人健康医疗设备的支柱。电子及计算机技术正在实现医学突破，有助于更快速、更精确地识别和治疗疾病，并在患者康复期间提供先进的监测。

阻碍创新发展的障碍每天都会出现。为了使医疗服务技术走向未来，PCB 制造商需要透

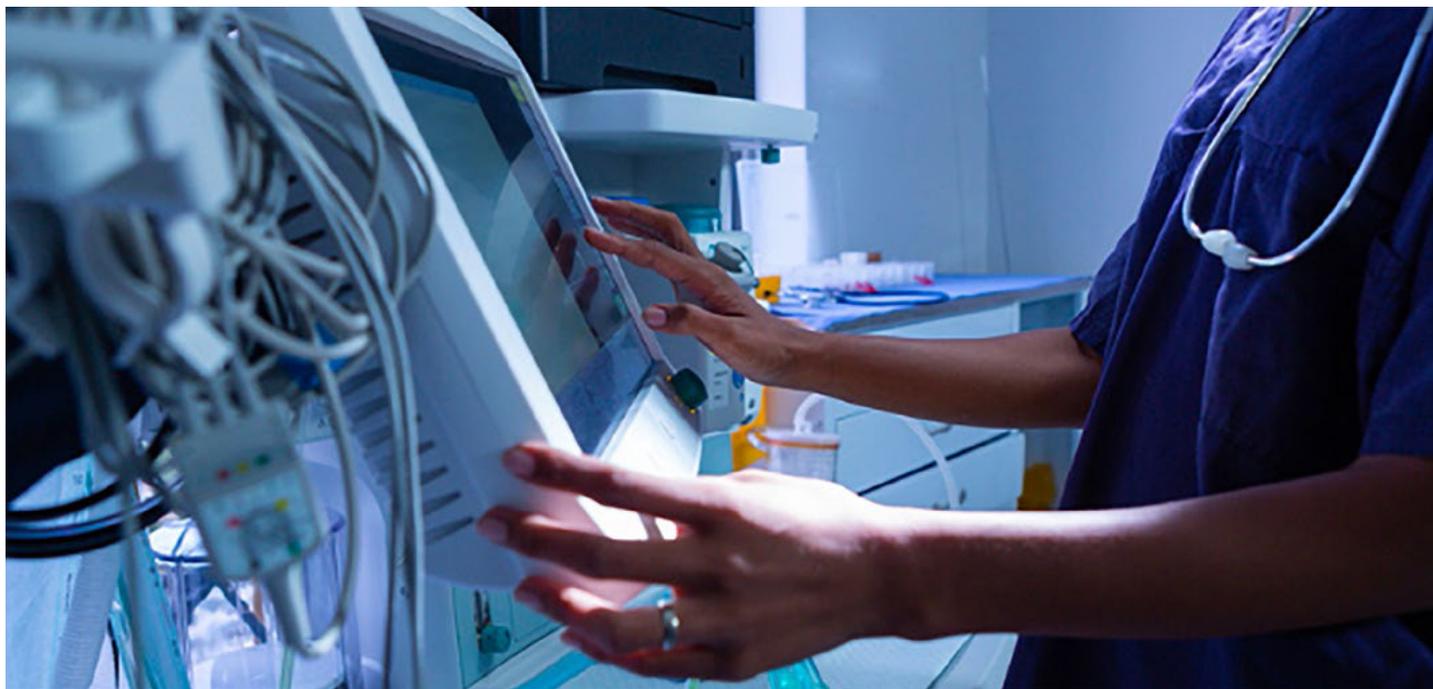
明运营，并专注于质量承诺。

## PCB 行业需要适应发展 以应对新技术挑战

即使在疫情给全球带来挑战之前，全球各地的医疗服务也都面临越来越大的压力<sup>[1]</sup>。当疫情扰乱了供应链和 workflows 时，PCB 制造商必须迅速适应，以创建先进的医疗技术，帮助供应商在资源紧张的情况下诊断和治疗患者。

疫情造成的全球供应短缺意味着即使是现有技术也面临着新需求的挑战。呼吸机等设备一开始就供不应求，而且短缺的数量还在不断增加<sup>[1]</sup>。为了减轻医疗服务提供商的压力，需要快速生产和提供产品以满足紧急需求。

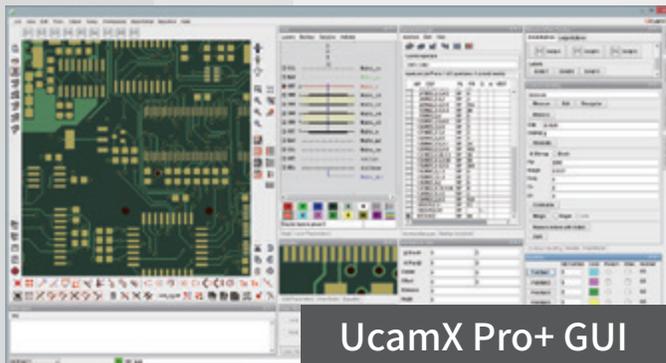
随着生产交付期窗口的缩短和原材料成本



# UcamX Pro+: 超乎想象的高端CAM系统

适用于IC载板、HDI、FPC和多层线路板的高性能CAM工作站

- 最完整最具灵活性的CAM系统
- 完美处理所有类型的料号, 拥有先进、直观且可自定义的图形用户界面
- 适用于电气测试、AOI等功能的全自动工具
- 搭载64位引擎和多核并行处理技术, 保证高效地运行
- 拥有适用于各种级别用户的高级脚本功能



的增加，实现初通生产良率变得更加重要。在疫情之前，对于较简单的 PCB 设计来说，外包生产是可行的选择，但供应商的可靠性、不可预测的交付期窗口以及日益增加的质量保证挑战等持续存在的问题，迫使电子产品制造商需要重新评估这一做法。

## 为了减轻医疗服务提供商的压力，需要快速生产和供应产品以满足紧急需求。

从小型 MRI 设备和新的 DNA 检测技术到创新的可穿戴技术，这些设备都需要复杂的、多层的 PCB。这导致许多医疗行业电子制造商开始寻求国内替代方案，以帮助他们在小型化的电路板上进行更复杂的电路设计。

与本土制造伙伴合作可以降低制造商的风险。过渡计划、逐步加入、逐步退出和修订控制通常需要立即关注，因为时区差异或语言障碍，已经很难依赖海外制造商完成这些计划。

在样品设计期间，制造商需要有效的沟通和协调工作，以确保获得项目成功所需的高质量 PCB。与国内 PCB 制造商的密切合作使制造过程更加透明，加速了问题的解决，提高了良率，最重要的是提高了 PCB 的质量。

## 致力优质创新

高质量的医疗设备不会凭空出现。生产它们需要大量的协调和工作。为医疗保健行业服务的电子制造商需要设备能正常工作，以及找到可信任的 PCB 制造合作伙伴。

获得国际标准化组织 (International Or-

ganization for Standardization, 简称 ISO) 认证的制造商向医疗服务行业发出遵守要求、规范和指导方针的信息，有助于始终确保制造流程以质量为重点。ISO 9000 系列和 ISO 9001 认证是基于通过实施和维护质量管理体系 (Quality Management System, 简称 QMS) 达到的标准。

QMS 关注每个生产阶段的主要原则。这些原则持续指导制造商寻找改进工艺和产品的新方法。这些原则包括：

- **以客户为中心**：超越客户期望，在生产过程的每个环节创造价值。
- **坚定的领导力和敬业的员工**：每一天，每一级经理都要强化整个组织的使命、愿景、战略、政策和流程。
- **整体工艺方法**：将每个生产元件视为更大生产生态系统的组成部分，将单个工艺作为相关整体的组成部分进行管理。
- **基于证据的决策**：关注生产期间的因果关系，依靠事实和证据来改善决策和结果。
- **关系管理**：了解客户、供应商、业务合作伙伴和员工如何为持续改进作出贡献。

PCB 制造商还提供必要的支持和专业知识，以可靠地简化医疗技术的制造，为电子制造商节省时间和成本。值得信赖的 PCB 制造合作伙伴通过以下方式实现这一目标：

- 将可制造性设计 (DFM) 方法集成到工作流程中
- 通过深入了解元器件和工艺，快速完成样品的生产
- 与能够分析设计和识别缺陷的专家保持联系

- 快速联系制造商的支持人员
- 了解可最大限度地提高良率和功能的最佳实践

## 医学与技术： 改变生活的伙伴关系

医学和技术不断创新和进步，提高了每个人的生活质量。新的监测设备和微型诊断技术正在彻底改变医疗人员访问患者数据的方式，以帮助他们安全地为更多的患者提供更好的护理。

每个人都开玩笑说，现在是 21 世纪，还未出现科幻电影中承诺的飞行汽车，但我们确实生活在奇妙而先进的技术时代。成为 PCB

行业的一员，帮助创建每天改善和拯救生命的技术非常有意义。PCB007CN

## 参考内容

1. “Medical Device Shortages During the COVID-19 Public Health Emergency,” the U.S. Food & Drug Administration, FDA.gov, Dec. 12, 2022.



Matt Stevenson 任 Sunstone Circuits 公司副总裁。如需阅读往期专栏，可[点击此处](#)。

## 重磅投资 创新未来 | 罗杰斯 curamik® 高功率半导体陶瓷基板项目落地苏州

7 月 3 日，罗杰斯 curamik® 高功率半导体陶瓷基板项目正式落地苏州工业园区。罗杰斯亚洲总裁、电力电子解决方案（PES）事业部总经理 Jeff Tsao，罗杰斯亚太区总监 Grace Gu 和园区相关领导出席了签约仪式。该项目规划总投资 1 亿美元，首期投资 3000 万美元，计划明年建成投用。项目投产后，罗杰斯苏州将成为罗杰斯美国总部之外，全球唯一拥有集团全部产品研发制造的基地。

本次投资体现了罗杰斯“提升产能、服务全球”的理念。它将更大地满足 EV/HEV 和可再生能源应用中日益增长的金属化陶瓷基板的需求，有助于缩短交付周期，深化我们与亚洲客户之间的技术合作，进一步巩固罗杰斯在功率模块行业的领先地位。而我们再次选址苏州工业园区加码投资，也体现了公司对园区投资环境、发展前景的巨大信心。这种信心和相互



信任，从前不久苏州市市长吴庆文和罗杰斯全球总裁 Colin Gouveia 的会面中就已得到印证。

近日，苏州市市长吴庆文会见了罗杰斯全球总裁兼 CEO Colin Gouveia 一行。吴市长对罗杰斯为苏州经济所做的贡献表示衷心感谢，并介绍了苏州正着力打造的具有全球影响力的产业科技创新中心，期待罗杰斯将更多的优质项目布局苏州。

更多详细的内容，请[点击这里](#)。

# 取决于材料的高速设计策略

by the I-Connect007 Editorial Team

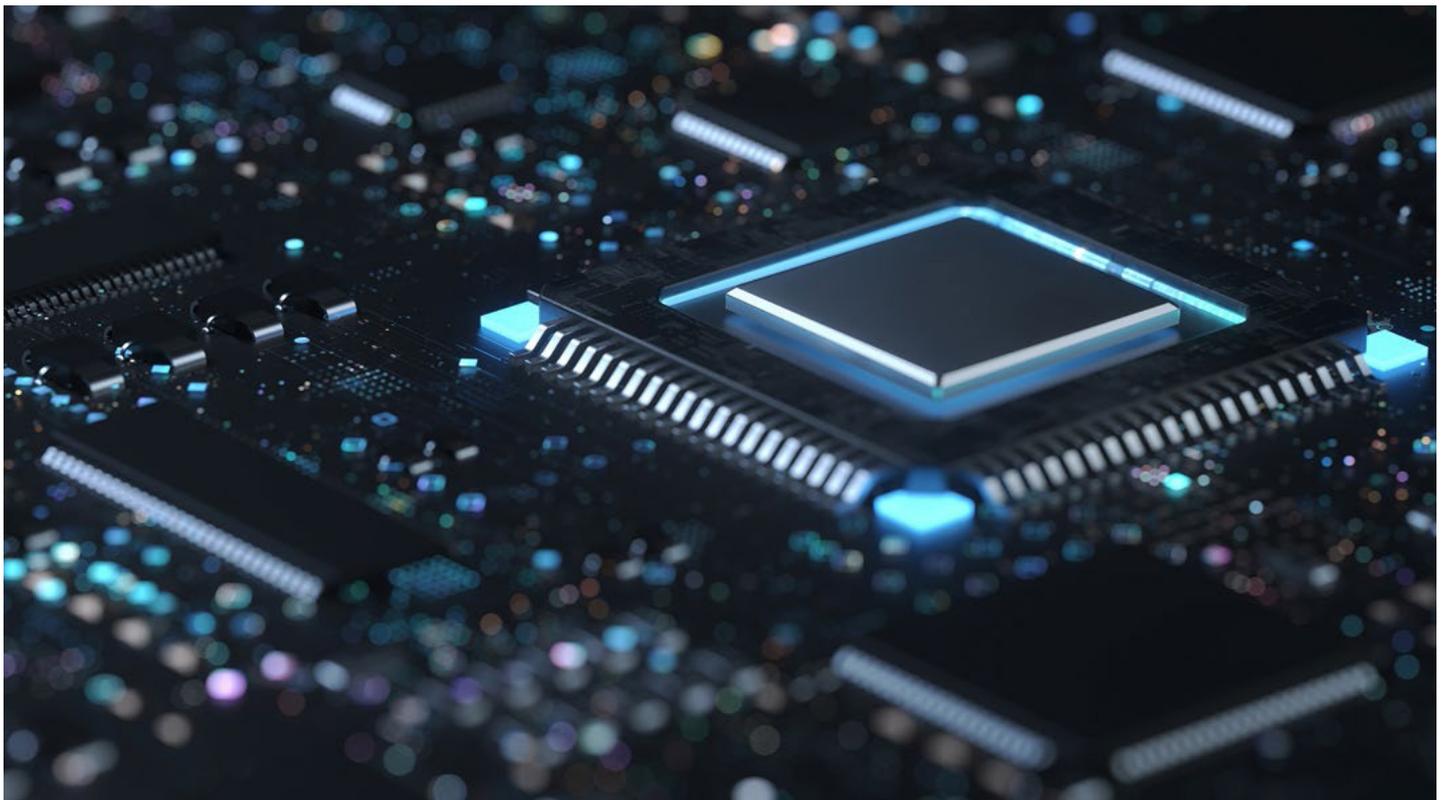
如果不考虑材料的性能和要求，任何关于高速 PCB 设计技术的讨论都是不全面的。运行速度达到每秒 28G 以上时，大部分设计策略将取决于材料选择。

I-Connect007 编辑团队最近采访了 Speedge Edge 公司高速设计专家 Lee Ritchey，以及 Avishtech 公司和 Thintronics 公司的电子材料资深人士 Tarun Amla，探讨了高阶 PCB 材料与高速设计技术之间的关系。

他们讨论了设计师和工程师在被认为无法达到的速度下使用材料所面临的挑战，以及随着 PCB 速度继续向极高水平发展，设计师需要了解的材料详情。

**Andy Shaughnessy**：二位能否介绍过去几十年材料的发展概况、目前所达到的水平，以及设计师们如何了解这些电磁特性？

**Lee Ritchey**：我于 1996 年加入 3COM 公司，那时发展得相当好，所有长度的走线都能以每



# Geode™

## 加快创新

### 您有应对新兴市场挑战的工具吗？

#### 看到HDI和IC封装钻孔的新愿景

Geode的设计宗旨是在提供所需的吞吐量、精度的同时减少拥有成本。

凭借40多年激光与材料相互作用专业知识的创新新功能，Geode是我们成为PCB世界领导者的最新例证。



 **mks**

**ESI®**

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





Tarun Amla

秒 10 兆位比特的速度工作。然后我开始研发被认为是相当快的 100 兆位速度。那时，我们唯一担心的是反射和串扰，这基本上意味着阻抗。对于层压板，我们担心是否能够获得剖面阻抗的可重复性。到了 1998 年，我帮助一家初创公司打造了一款产品，其中，链接速度为每秒千兆位。这在当时被认为是神奇的。

没过多久，我就去了一家名为 Procket Networks 的初创公司，那里所有的内部信号都是每秒 3.125 千兆比特，而这正是我们开始担心诸如耗损之类的起点。在那之前，我们并不太担心这些属性。因为接收端不能承受太多，所以担心损耗。例如，10dB 是很大的损耗，于是开始推动层压板制造商降低损耗。当时，唯一被认为是低损耗的材料是 Nelco 4000-13 SI，他们通过使用低损耗玻纤降低损耗。在日本发生海啸之前，这种材料一直运行良好，而这种玻纤的唯一供应商 Nittobo 就在隔离区

内，随即我们无法开工生产。

我和 Isola 联系，想看看能否达成合作。不久，达到了 10 千兆比特，令人惊讶的是，很快就达到了 100 千兆比特。目前，全球海底电缆的传输速率已达每秒 400 千兆比特，相当惊人。我们通过每秒 56 千兆比特的 8 个链路实现了这一目标，推动了层压板发展。业界希望将这一数字翻倍，为此我们使用了 PAM4（脉冲幅度调制），一种 4 层涂层，这样时钟仍然是 28 千兆赫兹。对我们来说，损耗问题仍然存在，但是噪声裕度因电平更小控制还不够好。目前，这就是行业想要实现的目标。

1996 年~2021 年，从每秒 10 兆比特发展到 400 千兆比特，25 年内带宽增加了 40000 倍。为了实现这一目标，我们推动了有关层压板的一切。Tarun 在这方面可能是最有名的，因为他是推动这一切的主要人物。我的担心有两点：一是玻纤织物的歪斜会导致差分对的两条走线不能同时到达，链路就不能正常工作；二是损耗。Tarun，你可以详细介绍相关内容。

**Tarun Amla**：大约在 2002 年，人们认为铜达到每秒 5 千兆比特是不可能实现的。在使用光通道方面做了很多工作，但没有太成功。大约在那个时候，RoHS 无铅立法开始实施，这又增加了一层复杂性，因为不仅希望信号以高数据速率通过，而且还要保证性能的可靠性。现在，为了使材料通过认证，PCB 必须在 260°C 下经过 6 次回流（在某些情况下，要求 10 次甚至更多）。现在我听说需要经受 20 次回流焊，这似乎很奇怪。为什么会 PCB 有这样的要求？

我们必须着眼于下一代技术。遗憾的是，要找到铜的替代物将很困难，因为这涉及到

电介质溶液。我们陷入了摩尔定律僵局，因为已经达到了极限，特别是每秒 112 千兆比特。如使用 PAM4，就像 Lee 说的那样，裕量较低，信号中存在固有的偏差。整个行业都在期待，无论是 5G 还是每秒 112 千兆比特，都为新材料的出现做好了准备。

**Happy Holden**：在过去的 15 年里，与我合作的中国台湾地区同行在研发倒装芯片基板，以 8~15 微米的走线作为基础。尽管使用了 BT 芯材和半固化片，但一旦低于 20 微米，良率就不佳，直到使用 Ajinomoto 积层。今天，所有 8 家亚洲高密度封装制造商都主要使用 ABF 材料，非常完善、稳定的。这种平面度是高密度成像、显影以及蚀刻所必需的。因此，如果使用层压板和半固化片，20 微米被认为是适合的尺寸；20 微米以下时，必须使用工程液体或薄膜。

不同类型的液体电介质非常平整，这就是玻纤作为中介板如此流行的原因之一。

**Amla**：确实如此，如果低于 20 微米，不能使用玻纤增强材料。在芯片封装领域，在做 8 微米的走线和 6 微米的电介质，这基本上只有在薄膜上才可能实现。在主流高速领域，这是不可能发生的，唯一的原因就是损耗。我们测算发现，如果用 20 微米的走线，损耗远远超出任何预算。另外，为什么要这么做？并没有空间限制（应用上并不计划将这些高密度板放入主板）。但是，就目前而言，3mil 或 4mil 是人们正在寻求的高速 PCB 介电间距。

在移动电话方领域已经开始使用半加成工艺，采用 35 微米的走线，电介质仍为 2mil。但是对于芯片封装，必须是薄膜。制造商仍然



Lee Ritchey

遇到翘曲和其他方面的问题，这是研发方向。

**Ritchey**：我在这里补充一些信息，我们并没有动力设计走线小于 4mil 的高速电路板。事实上，结果并不好，也就是说并不需要小于 4mil 的介质。

**Holden**：现在，在处理芯片级封装和 0.5mm 及以下间距时不能做的是使用 2 mil 或更小的走线。但是一旦布线到了外面，就有了空间，他们就会把走线扩大到 3~4mil，以完成布线。所以，也许这就是他们应该宣传的点，而不是生产 2mil 的走线。

**Ritchey**：这意味着封装内部的阻抗将发生巨大变化。在使用的数据速率下，我们必须有 50 欧姆的传输线一直布到芯片中，所以改变封装中的走线宽度不是一个选项。

**Shaughnessy**：从调查中发现，层压板是一个问题。他们或不能信任其数据表，或不了解属性，或者两者都不了解。

**Amla**：现在，人们正在尝试模拟材料。找出材料的剪切模量、CTE、X轴、Y轴及Z轴的特性，而数据表只公布了一个数据点。问题是必须有一个计算引擎，可以帮助预测多种配置的属性，帮助客户运行这些仿真，并获得焊点可靠性、CTE、Z轴扩展等一整套性能——因为现在拥有的是数据表中的单点估计，而且供应商不可能做那么多的测试来囊括所有数据要求。

## 现在，人们正在尝试模拟材料。找出材料的剪切模量、CTE、X轴、Y轴及Z轴的特性，而数据表只公布了一个数据点。

例如，现在您正在构建此 PCB。数据表显示 CTE 为  $40\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。你用 1078, 78% 来构建 PCB，会发现 CTE 是 85。“发生了什么？”结论是，你不能相信这些数据，不能把层压板当作硅或任何其他各向同性均质材料。硅是硅，其 CTE 为  $2.6\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，且不会随着不同的构型而改变；但复合材料其复合结构的性能是其组成部分的函数。这是导致很多困惑和纠纷的源头，因为人们不理解这些是复合材料。这些复合材料含有玻纤，比树脂硬 20 倍。还有是玻璃化转变，所有特性都会起作用。问题的根本原因在于大多数人只了解问题的一些细

节，不能全面看待问题。

**Barry Matties**：Tarun，我们听到的一件事是，某种材料的性能规格是最优的，但实际性能却与实验室数据不同。听起来正如你所述。

**Amla**：在性能规范中，信息是给定的，需要综合考虑。比如，你想要达到一定的介电间距，要求使用 X 轴和 Y 轴 CTE 均低的层压板，而供应商开发了这种材料。

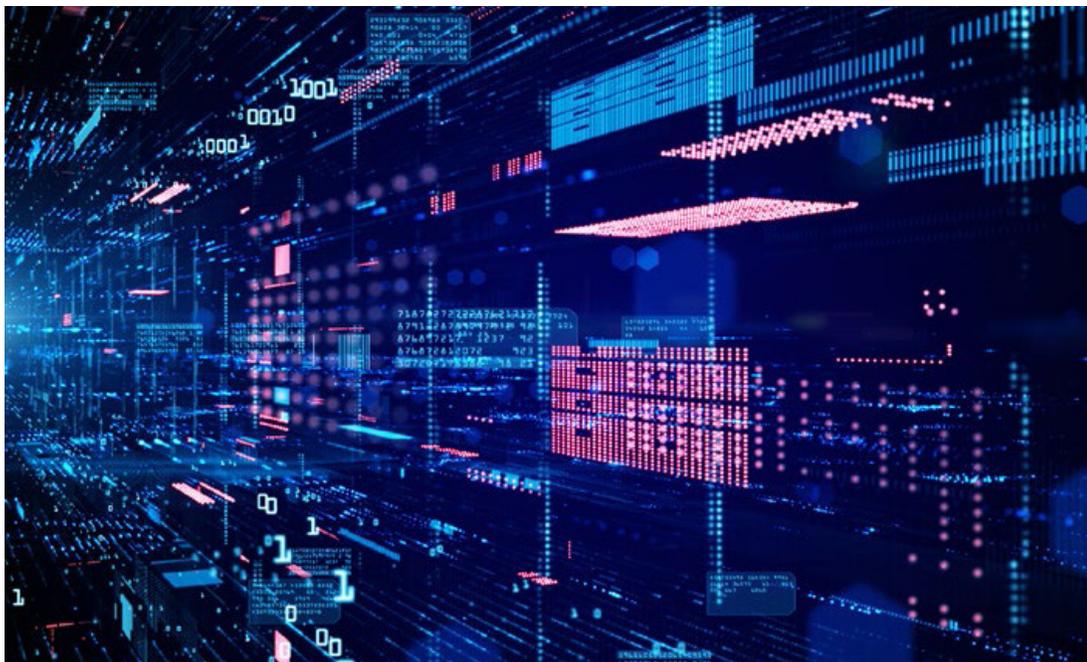
但是当生产 PCB 时，要求其 CTE 不能有太大的变化。在 X 轴和 Y 轴方向上仍然约为 18.5，计划是降低电路板的 CTE，以提高焊点可靠性。但设计师没有意识到，如果电路板中有大量铜，那么铜将占主导地位，它比电介质强得多、硬得多，通过改变电介质的特性可能仍然不足以降低 CTE。所以，当你把所有这些东西组合在一起时，必须了解其物理学原理。

并不是说层压板制造商未提供相关信息，他们给了你想要的确切信息，但这并不意味着层压板的特性会转移到电路板上，因此需要仿真工具，而这正是 Avishtech 所要做的。

这就是导致所有问题的原因。每家层压板制造商都会花费大量的时间和精力来测试并尽其所能提供正确的数据，问题在于如何使用这些数据。

**Matties**：在制造之前要考虑的关键问题之一是计算。

**Amla**：是的。这就是对数据感到沮丧的原因，因为人们正在做基于模型的工程设计。大型国防承包商正在建立有限元分析和其他模型。当他们要求某些数据时，比如层压板的剪切模量



我们称之为 NRZ 的电路板成功地达到了每秒 56 千兆比特的速度，这正是互联网的重点。我们遇到的问题是 PAM4，在相同的时钟频率下，PAM4 会使数据速率加倍，但信号更小，没有以前的损耗或歪斜裕度。这就是我们现在要解决的问题。

或 Z 轴模量，找不到相关数据。没有很好的方法来测量这些特性，也不是针对每个配置或叠层。在进行计算之前无法获取这些数据，因此需要预测数据的计算工具。

同样地，在数据传输方面，正如 Lee 所说，PAM2 对于每个信道 56G 来说很好。但是，当转到 PAM4 时，所需要的是低至每英寸 0.7dB 的低损耗要求。即使铜的粗糙度为零，即使是在零损耗电介质上做的走线，它也会消耗掉 0.7dB/英寸的预算。到目前为止，在 112 Gbps PAM4 的速度下，这就是极限所在。也就是说，铜的粗糙度要低于 0.06 微米 RMS。

**Ritchey**：解决这个问题的方法之一是在那些长路径上使用 twinax。我在服务器上看到过这种材料；长路径不在电路板中。曾在 DesignCon 上看到过 Samtec 的展位，他们有一整套的连接器都是针对这个目标的，因为我们还没有将玻纤布层压的损耗切线降到足够低的水平。twinax 里没有玻纤，而是泡沫 PTFE，具有惊人的低损耗。

**Matties**：听起来设计师在建模和做出所有决定前面临巨大的挑战。**Tarun**，你是说有些数据点不存在或不可用？

**Amla**：尤其在国防领域，正试图对此进行建模，并试图为任何需要这些数据的应用提供越来越紧凑的设计。同样的事情也发生在他们希望获得这些信息的通信端。这是一种多学科的方法，在基于模型的工程中正在形成，但他们没有建模所需的所有数据。基本上，人们开始关注这些并意识到不可能拥有一切，这是件好事。正如你所说，有些 OEM 设置了 20 次回流焊的限制，这可能更多的是出于学术好奇心，而不是真正的需求。“如果能通过 20 次回流焊，肯定不会失败”，却不知这会埋下其他失败隐患。

**Ritchey**：这涉及机械方面。航空客户也正在做一些目前无法真正做到的事情。例如，设计 3 层堆叠的微通孔，这肯定会失效。

**Shaughnessy**：这是因为所有的压力都在这一点上吗？我知道 IPC 导通孔失效委员会仍在研究在实验室通过而在现场失效的堆叠通孔。

**Ritchey**：嗯，这是因为 3 层层压板会膨胀，温度会导致堆叠的通孔或底部贯穿微通孔与铜层之间产生应变。当加热 PCB 时，应力会拉住导通孔，然后把它拉松。所以，当 PCB 运行后变热出现故障时，只要把它拔出来，放在室温下又可以正常工作。这类问题我们称之为橡皮筋板，其发送到现场会失效，再返回实验室，又是合格的。这就是 Tarun 所说的，我们必须弄清楚如何建模。

**Matties**：行业如何为下一步做准备？

**Ritchey**：PCB 回流焊的次数绝不应超过两次。6~10 次只是一种观察失效可能会达到具体严重程度度的方法。

**Amla**：就像 Lee 所说的，如果 PCB 两面都有元件，则每面都需要一次回流焊。返工就意味着电路板的可靠性受到损害。安全系数为 6 次以内，10 次是许多公司的要求。

**Matties**：这是有道理的。但要想实现这一目标，制造行业应该考虑什么？他们如何做好准备？

**Ritchey**：这个问题至少有两个答案。在我所在的行业中，使用的层压板都没有任何可靠性问题。如何在能承受损耗的地方保持损耗，如何保持最小偏差？2013 年，仍然有两个产品，不知道为什么没有把它们变成一个产品，当

我们用这些产品制作测试板时，无法测量任何歪斜。当时，我想，多数人都没有注意到歪斜。Isola 并没有从中创造出产品，我想我们会找到可以实现这个目标的材料。是这样吗，Tarun？

**Amla**：是的，与 Isola 所做的任何事情根本不同，这正是我们在 Thintronics 所做的。

**Shaughnessy**：你会给即将进入这个行业的年轻设计师和设计工程师什么建议？如果他们想了解更多关于材料特性和高速设计的知识，你会对他们说什么？

**Amla**：尝试进入其他学科。如果你想成功，就要了解对方在做什么，因为这对你来说非常重要。不要只是停留在自己的世界，“我之所以这么做，是因为我是一名电气工程师。我不想知道所有其他参数是什么，以及涉及哪些其他学科。”我不想贬低任何其他学科，但工程师的优势在于触类旁通，如果你了解变压器，你就了解齿轮，对吧？因为它们是类似的系统。

---

**如果你想成功，就要了解对方在做什么，因为这对你来说非常重要。**

---

尽可能多地学习。将相同的工程原理应用于不同的问题，这并不难。一旦你做到这一点，你的价值就会增加。所以，了解其他人在做什么，并尽可能地去理解如何做。这并不意味着

物理的电气工程原理与机械工程原理不同，基础数学是相同的，只是应用于不同的问题。

**Ritchey**：你需要了解制造过程，这样就不会要求制造那些无法生产的产品。在推出产品计划之前，要是提前了解堆叠微导通孔结构，就不会堆叠3层，所以现在必须弄清楚如何应对材料问题。我总是把大约一半的时间花在产品制造方面，我在世界各地参观过许多家制造厂，现在仍然在做这件事。我想知道极限在哪里、如何解决问题。任何设计产品的人都必须了解制造过程。

**Matties**：是的。我仍然相信，在某种程度上，人工智能会以一种更强大的方式参与设计过程，工具制造商正在为此展开竞争。

**Ritchey**：这让我想起 Gene Amdahl 很久以前说的话，现在同样适用。Amdahl 是第一家成功与 IBM 竞争的计算机制造商，生产了一款性能高于 IBM 的全集成电路产品。在新闻发布会上，一名记者问道：“你难道不担心你的计算机制造速度如此之快，以至于取代思维吗？”Gene 回答说：“女士，你似乎不明白的是，我们制造的是速度极快的白痴。”这就是人工智能。

**Matties**：要了解制造业，就必须了解所有这些信息。人工智能不会取代人类，但将改变人类与工具交互的方式。工具所做的工作并不意味着人类将失去对一切的掌控。

**Ritchey**：是的。人工智能是人类制造的，它只会和制造它的人类一样好。

**Matties**：我仍然认为在不久的将来会有有一种能够改变设计动态的工具。我可能错了，但我们确实听说了。



**Amla**：我也希望如此。

**Ritchey**：当你看到时，能给我发封电子邮件吗？

**Matties**：只是传闻，我只信眼见为实。

**Amla**：真正的人工智能，像 Stephen Wolfram 所论并没有发生，人们

我们现在所做的就是“曲线拟合”。我们谈论的不是真正的人工智能，也不是像细胞自动机这样的突发现象。如果你对人工智能持乐观态度，那是件好事，但过程将是艰难的。

**Matties**：你认为行业会很快在设计工具方面取得 AI 突破吗？

**Amla** : Ray Kurzweil 说, 几年后, 我们将会取得突破, 但这意味着需要尽快完成许多工作。

**Ritchey** : 我们讨论了每秒 56G, 问题是, “我们为什么不把时钟频率提高一倍呢?” 这里有一点数学知识。以每秒 56 千兆比特的速度, 一个比特周期比 20 皮秒小一点, 这意味着上升时间要在 10 皮秒以下, 而这取决于硅的极限。

**Amla** : 没错。

**Ritchey** : 这就是目前的困境。我们一直在做, 做, 做, 现在已经到了 I/O 晶体管不能变化那

么快的境地。我想把时钟频率提高一倍, 我很惊讶我们这么快就完成了, 因为这是一个 28 千兆赫兹的时钟。这是一个非常高的微波频率, 世界上其他地方都称之为射频微波, 我们称之为数字微波, 这是非常惊人的。

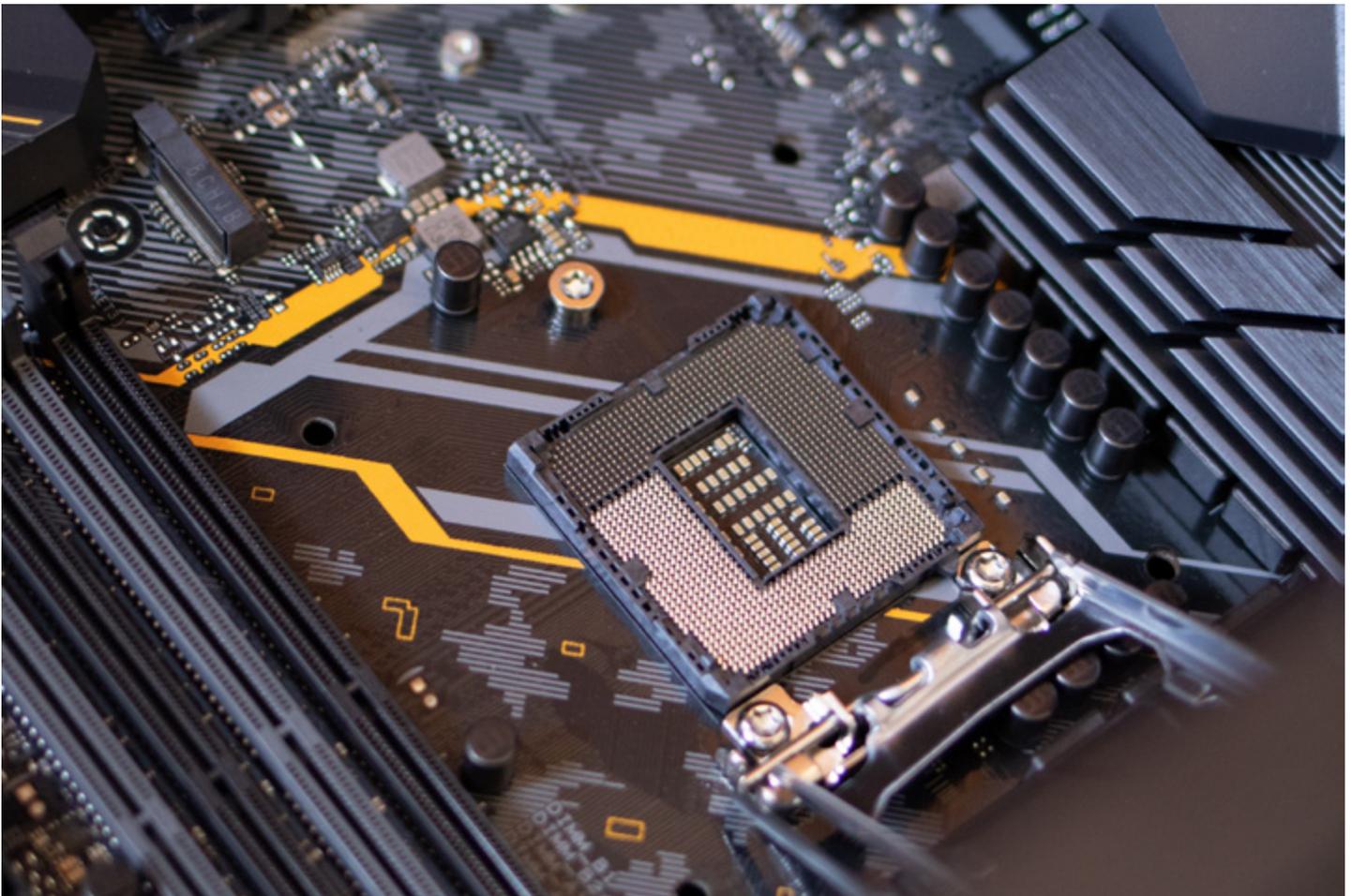
**Matties** : 太好了。我真的很享受今天的采访。  
*Lee 和 Tarun, 谢谢你们。*

**Ritchey** : 谢谢。

**Amla** : 谢谢。PCB007CN

**Tarun Amla** 任 Thintronics 公司 COO。

**Lee Ritchey** 是 Speedge Edge 公司所有人。



# 如何选择高性能材料

这本书告诉你如何以尽可能低的成本，  
选择适合你的材料以实现预期的性能要求



现在下载

1007e  
Books

# 最新发布的标准 / 标准修订

## IPC-1792

IPC-1792《制造业供应链网络安全事件的管理和缓解标准》是 IPC 首份关于制造业网络安全的标准。本标准规定了公司需要保证其产品是在网络安全的环境中制造的，确保没有因任何网络安全事件对产品造成影响的风险。IPC-1792 要求指定了在检测到网络安全事件时需要采取的行动，以及如何确定所有可能受影响的产品。

## IPC-7091A

IPC-7091A《3D 元器件的设计和组装工艺的实施》，描述了实现 3D 元器件及其组件技

术的设计和组装挑战，以及解决这些挑战的方法。需要认识到，在单一封装类型中组合多个未封装的半导体芯片元器件的工艺会影响单个封装组件的特性，并可以决定合适的组装方法。该标准中包含了 3D 元器件有关的信息，侧重于实现与 3D 半导体封装组装和加工相关的最佳功能、设计考量、工艺评估、最终产品可靠性和维修问题。

## IPC-7092A

IPC-7092A《埋入式元器件涉及和组装工艺的实施标准》，描述了将埋入式电路部署到 PCB 中所面临的设计、材料和组装挑战。IPC-



**1-007<sup>e</sup>**  
Micro Webinars

点播:免费的 11讲网络研讨会

# 电子产品的可靠性预测

专家:Graham Naisbitt, Chris Hunt

该网络研讨会系列解释了新的具有突破性的测试标准,有助于电路板达到预期可靠性。

SPONSORED BY



开始观看

7092A 涵盖了与设计、选择、加工和测试埋入式电路相关的各个方面，以实现可用于表面安装和 / 或通孔元器件连接的完整多层结构。

## IPC-8952

IPC-8952《涂覆或处理织物和电子织物上印刷电子产品的设计标准》，是关于电子织物和印刷电子产品行业的新标准。本标准对印刷电子产品的设计及其在涂覆或处理过的织物或电子织物基材上的组件安装和互连结构形式提出了具体要求。根据 IPC-8952 标准，织物基材可以是裸织物或集成电子织物（例如，机织或针织电子织物）。根据 IPC-8952 标准，涂覆或处理过的织物基材是已经或将在局部或整个基材上进行涂覆或处理的织物基材。

## IPC-8971

IPC-8971《印刷电子产品电子织物电气测试要求》旨在帮助选择对电子织物上的印刷电子产品进行电气测试所需的测试设备、测试参数、

测试数据和夹具。电子织物上的印刷电子产品是在涂覆或处理过的电子织物基材上生产的电子产品。涂覆和处理可用于实现可印刷的织物基材或成品印刷电子织物产品的性能（例如，疏水性、防水性、阻燃性、表面能）。可以使用印刷、压合或其他工艺来施加涂层或处理。

## IPC-J-STD-003D

IPC-J-STD-003D《印制板可焊性测试》规定了用于评估印制板表面导体、连接盘和镀覆孔可焊性的测试方法和缺陷定义，并附有相关的图表。本标准适用于印制板及电子组件供应商和用户。本标准所规定的可焊性测试方法的目标是确定印制板表面导体、连接盘及镀覆孔被焊料润湿的难易程度和经受苛刻的印制板组装工艺的能力。描述了评定表面导体、连接盘和镀覆孔可焊性所采用的测试方法。D 版本包含了可焊性量具有关可再现性和可重复性的最新信息，同时更新了插图。PCB007CN

如需查看新发布的标准、标准修订、翻译，以及拟议投票标准、供行业审查的最终草案、工作草案和批准项目的完整清单，可访问

[www.ipc.org/status](http://www.ipc.org/status)

# 准备好把产品销往海外了么？ 准备好提升您在北美市场的业绩了么？

D.B. Management为您提供所需的一切服务：

- 营销
- 销售人员/直接广告代理
- 客户增长
- 美国伙伴关系
- 兼并与收购
- 寻找工程师和质量管控人员

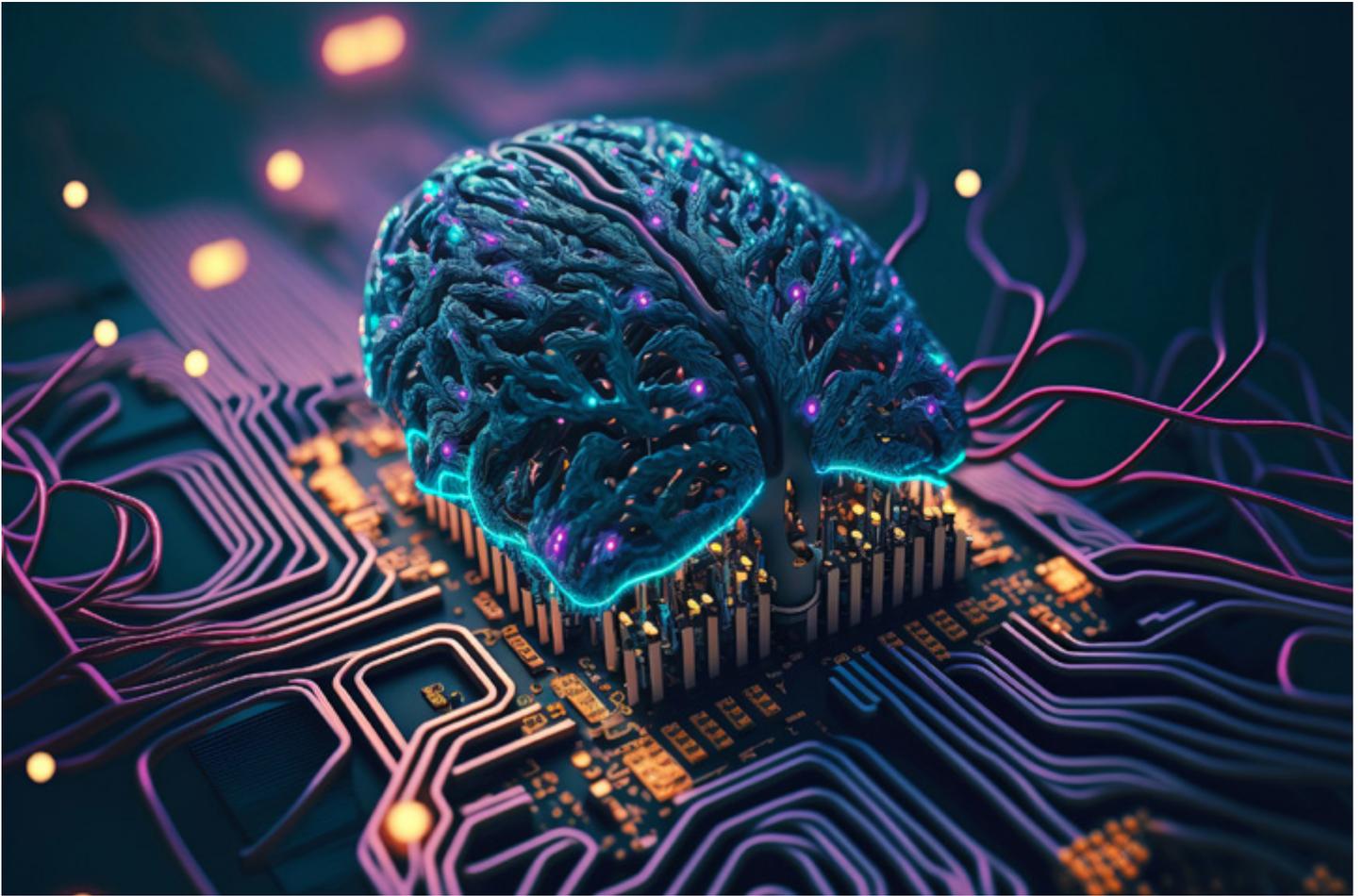


20年来致力于帮助海外公司在美国拓展销售



点击了解如何拓展您的业务

☎ 207-649-0879    ✉ danbbeaulieu@aol.com



# Darwin AI 推动自动化孤岛的演变

by Nolan Johnson  
I-CONNECT007

加拿大人工智能公司 Darwin AI 于 2017 年成立时，“机器学习”和“深度学习”还是相对较新的技术术语。过去 5 年，该公司 CEO Sheldon Fernandez 及其团队一直在使用这些技术研发一些基础知识产权，从而简化技术的实施。约 1 年前，Sheldon 抓住了一个“既偶然又刻意”的机遇研发出了针对 EMS 制造业的垂直产品。通过此次采访，他详细介绍了该产品。

*Nolan Johnson : Sheldon, 很高兴见到你。可以简要介绍贵公司吗?*

**Sheldon Fernandez :** Darwin AI 公司总部位于加拿大安大略省。我们公司和滑铁卢大学密不可分，该大学相当于是加拿大的麻省理工。公司两位联合创始人是这所大学的教授，其中一位是加拿大人工智能和医学成像研究主席 Alexander Wong 教授。

过去 5 年，我们致力机器学习和深度学习技术的基础研究。几年前，工业和航空航天领域的主要客户告诉我们，他们在疫情期间面临



关注望友公众号

# DFX设计执行系统

## 让设计零缺陷，管理无障碍！

保障品质



VALUE 1



缩短时间

VALUE 2



优化管理

VALUE 3



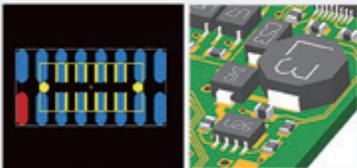
传承经验

VALUE 4



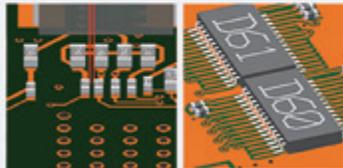
面向卓越的设计

Design for excellence



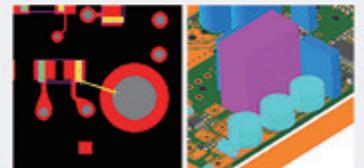
【审查设计疏漏】

封装错误、布局干涉、丝印错误...



【预警可靠性问题】

焊点破损、应力风险、受热失效...

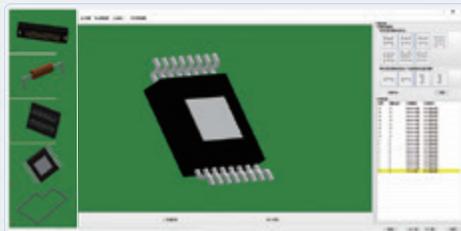


【从设计源头解决品质问题】

良率低、报废率高、难于维修...

- 多服务器集群部署，多任务并行运算
- 统计任务数量、问题数量、问题严重等级等
- 内置1500余条审查规则，面向产品的规则集管理
- 完善的规则开发功能，无需专业编程语言技能即可完成

- 3D实体模型库，可将.stp模型转换为DFX目的的器件模型
- 复杂连接器、屏蔽盖可以高效完成DFX建模
- 与多种EDA软件交互集成，快速定位DFX问题
- 与MCAD集成，输出PCBA数据到UG/Catia/ProE中





Sheldon Fernandez

供应链的挑战，并且要将敏感电子产品，尤其是 PCB 的制造回迁到北美地区。对 Darwin AI 而言，这是机遇。

纵观 PCB 制造业，我们发现虽然 SMT 贴装流程已高度自动化，但后端生产和最终组装流程仍亟需自动化。EMS 公司和 OEM 公司仍然采用人工检测，是流程中最费力的部分。从传统的设备视觉角度来看，很难绕开这部分检测工作，我们想了解 AI 技术能否解决这个问题？因此投入了约 1 年时间开发了适用于 PCB 制造通用组装生产线的软硬件解决方案。该方案能够完成组装后分析，其真正的亮点在于操作员可以迅速对 AOI 设备进行编程。

我们常听到 AOI 设备精于完成检测任务，但编程和维护起来却费时费力。使用了我们的系统之后，可以省去很多手工操作步骤。只需要给系统提供一块测试用标准板，或者在组合使用不同元器件时提供若干块好的 PCB，AI 系

统用不了 1 分钟就能绘制出元器件贴放位置的草图，然后就可以开始工作了，后续也可以进行微调。该系统设置参数的速度惊人。

我们在 IPC APEX EXPO 展会上展出了迷你系统，反响非常强烈。很多公司都对最终自动化后端生产流程非常感兴趣。我们对于能成为这个领域的一份子，感到很激动。

*Johnson* : ChatGPT 是最近的热门话题，人们在热议它可以做什么、不可以做什么。与 ChatGPT 这样的 AI 技术相比，AI 在工业领域的应用怎么样？

*Fernandez* : ChatGPT 成为热门话题时，我受邀参加了《The National》节目，也就是加拿大版的《60 分钟》栏目。我当时的评论是，ChatGPT 在自然语言理解方面所取得的成就是非常显著的。我认为这是人工智能技术发展的重要拐点，我们或者我们的子孙以后回想起这段时间，会说“那段时间发生了一些很了不起的事情”。ChatGPT 非常擅长生成人类能够接受的语言，但生成的内容却并不总是有用或者正确的。它使用的技术被广泛称之为“生成式”AI，也就是说通过 AI 为我们生成作品。而 ChatGPT 生成的“作品”是语言。（还有一种技术叫做 DALL-E，能根据文本生成图像。）比如你询问 ChatGPT 生僻话题的相关信息，它会提供听起来非常合理的答案。如果并不知道正确答案是什么，人们可能会相信这个答案就是真的。这类缺点对于该技术而言是极其重要的警示。尽管如此，从自然语言的角度来看，ChatGPT 仍然是相当了不起的成就，且会渗透到许多工作要素中。

那么生成式 AI 如何应用于工业领域？切



# 寻求方案 解决各种清洗需求的挑战

为您解决独有的挑战

我们科学团队热忱且致力于创新与建立永续有效的清洗技术，  
与我们协同合作，创建属于您的清洗技术  
即为科技与关注结合的展现

浏览 [KYZENANSWERS.COM](http://KYZENANSWERS.COM)  
以获取正确的清洗技术

 **KYZEN**  
Where Science and Care Converge.

[KYZEN.COM](http://KYZEN.COM)  
享誉全球的环保清洗技术

记, AI 需要数据来学习。在 PCB 制造业, AI 需要学习缺陷样本, 这样才能帮助在生产环境下发现缺陷 (元器件缺失、朝向错误、墓碑效应等)。鉴于很多 EMS 公司运行的流程都非常高效, 很难获取这种被称之为“负面数据”的异常情况。

事实证明, 可以利用生成式 AI 的原理来生成不同类型的缺陷, 从而帮助我们构建智能系统。正是这种基础性技术实现了 ChatGPT, 也会使包括 PCB 制造在内的更多行业能够拥有更好的 AI 技术。

虽然用户不一定可以完全信任 ChatGPT 的输出结果, 但操作员可以要求我们的系统“解释”它是如何得出某一特定结论, 从而决定是否可以信任系统输出的结果。

**Johnson :** *Darwin AI 集成到现有生产线上的难易程度如何?是否需要整条生产线都必须支持 CFX?使用 Darwin AI 的最低门槛是什么?*

**Fernandez :** 我们的系统可以轻松适配现有的制造生产线, 提供在线、独立和台式 3 种不同版本的产品。独立和台式版本可以设置在现有的检测站点, 操作员只需将电路板放入其中, 即可进行检测。对于在线版本, 电路板可以在传送带或滑动轨道上传输, 所以在线版本可以与现有的 PCBA 设备集成, 同时也与 SMEMA 标准兼容。未来还会增加与 CFX 标准兼容功能。虽然电路板各不相同, 但不同供应商的设备和工作流程是一致的。我们创建了模块化解决方案, 可以扩展应对不同客户, 这一点至关重要。

**Johnson :** *过去, 测试用标准板可能会给检*

*测带来很多麻烦, 因为如果认可的测试用标准板无意中包含了缺陷, 那么验收标准也会包含这些缺陷。就像 ChatGPT 一样, 人们可能在不准确的输出信息上构建人工智能。要如何降低这种风险?需要进行哪些检查?采取哪些平衡措施?*

**Fernandez :** 有几点需要注意。首先, 我们注意到有些客户会在生产线中使用两种不同却同样都可以接受的元器件。他们提供多个测试用标准板, 希望结合使用这些标准板得出的数据组作为基准。其次, 我们的系统可以使用通过了 ICT/ 功能性测试的测试用标准板, 从而降低出现瑕疵电路板的风险。我们的软件允许用户移除任何不需要在特定检查点位检测的元器件 (例如通孔元器件、连接器)。

系统可以迅速确定真实情况并且会检测电路板上的所有元器件, 但仍然需要操作员确认是否所有配置都准确无误。之后, 操作员可能会用系统运行一些确认无误的电路板, 确保所有功能均正确。永远都不能脱离稳健的流程, 用重要且值得依赖的方式去设置产品。使用 AI 系统, 不同之处就在于, 仅用不到一个下午就能完成所有这些工作。

---

**使用 AI 系统, 不同之处就在于, 仅用不到一个下午就能完成所有这些工作。**

---

**Johnson :** *贵公司的客户中有很多知名企业。你们的系统在客户现场的效率或 ROI 可以量化到什么程度?*



Darwin AI, VQI Mockup.

**Fernandez**：客户会计算系统的一级收益，从而评估这个系统是不是发挥了作用，是否更好地或更加精确地完成了工作，以及在返工或避免返工产生的成本方面，它具有什么优势？每次用我们的系统处理电路板时，我们会拍摄多张图片，客户负责人和高管都认为这一功能从技术层面来看非常有优势。他们会问，“你们的系统提高了生产线的效率。那么我们收集到的数据呢？比如我们现在可以比较生产线或工厂的效率吗？”工作流程方面的整体分析即数字化是相当鼓舞人心的。

现在，我们只是部署该系统并量化其一级收益。但我们也收到客户的反馈，询问我们是

否可以追溯问题的根本原因并立即解决问题。这种数字化要素有很大的潜力。

**Johnson**：让我们展望一下当所有这些作用开始稳定下来时，你认为车间状况怎么样？这款产品会对 SMT 生产线的人员配置产生什么影响？

**Fernandez**：对于那些人类历来不太擅长的事情，也就是那些机械性强、费时费力、重复性高的工作，人工智能可以有出色的表现。如果让我们 12 个小时都一直做这类工作，最终会导致效率显著低下。那么为什么不用人工智能

和自动化来做这类工作，把人员重新配置到能够发挥专业人士创造力和直觉的地方，从而进一步加强已引入的自动化？

我们设想整个流程中有多个检测点。质量工程师首先要了解检测趋势数据，针对如何避免缺陷得出结论；而 AI 在检测缺陷方面的工作表现出色。

## 质量工程师首先要了解检测趋势数据，针对如何避免缺陷得出结论；而 AI 在检测缺陷方面的工作表现出色。

ChatGPT 是有趣的比喻；我读过一篇文章，说 ChatGPT 展示了写作和思维之间的区别。它给出的答案虽然听起来很不错，但它其实并不了解人们询问的问题。把这种比喻搬到我们的行业里，AI 可以提供所有数据，但还是需要知识储备丰富的专业人士来判断数据的含义。尽管如此，还是可以想象自动化带来的所有数据和由自动化而得出的见解，以及如何将这些信息应用于设计、可追溯性、效率等方面。

*Johnson*：但是当 AI 出错时，它可以让用户心服口服地相信它。我的另一个想法是，SMT 生产线上的人工数量可能会变少，但留下来的员工需要更高的教育水平。行业的发展趋势是雇用更多工程师而不是操作员。

*Fernandez*：我曾经说过，从统计学的角度来

看，AI 的表现可能比人类更好。但它出问题的时候，往往是彻头彻尾的错误。整个过程还是需要人工干预。

我认为，操作员不需要掌握太多 AI 专业知识就能操作像我们这样的系统。我们现在正在与这些操作员合作，询问他们在操作中需要了解哪些信息。操作员不需要会编程或了解编程语言，但一定需要了解 PCBA 缺陷，例如这是墓碑效应、那是不良焊点等。让操作员学会更多技能，并把他们的专业知识和 AI 工作流程结合起来，可能是系统未来的发展方向。

*Johnson*：你们的系统一定有经过精心设计的用户界面。

*Fernandez*：没错。这是我们引以为傲之点。我们是做企业出身，这个领域让我们习惯了精美的图形用户界面 (user interface，即 UI)。在 IPC APEX EXPO 展会上，有人说我们的系统类似于 iPhone 的用户界面，因为它非常简单易用；我们很高兴能听到这样的评价。

*Johnson*：客户想用这个 AI 应用达成什么目标？

*Fernandez*：一些公司想用我们的产品解决人工问题；正在从事这项工作的员工日趋老龄化，所以他们担心无法招收到年轻工人来补充人力。因此他们想引入自动化技术来解决这些问题。还有一些公司想用我们的产品降低成本。我们还感受到了美国《CHIPS 法案》的影响，这项法案鼓励将敏感电子产品制造工作转移到北美。如果想与远东地区的价格竞争，就需要在工厂引入更多的自动化技术。还有一个

目标是提高产量。如果能让一部分工作流程实现自动化，就可以更快地生产出产品。当然，这款产品适用于行业中需要在规定时间内完成更多订单的任何公司。

当然，使用我们的产品也可以向其客户证明具有更好的资质；有些 EMS 工厂喜欢对客户说“我们使用的都是最尖端的技术，我们在工作流程这一部分使用了最新的 AI 技术”，以证明其优于竞争对手。也就是说，通过客户实现的具体成果，我们开始了解这种宣传背后的实质。

**Johnson**：显然在设置系统阶段需要涉及一些咨询工作。一家公司一旦决定与贵公司合作，就需要进行一些系统分析，确定现在具备哪些条件以及为创建系统需要添加的条件。对于客户，从开始构建系统到结束，完整的设置流程通常包括什么？

**Fernandez**：我们的安装团队将带着系统到现场协助安装设置。然后会在现场对系统进行验收测试，以确保系统已准备好进行生产、提高生产效率，且是安全的。客户对系统也是半信半疑，他们需要在自己的生产线上看到这款产品可正常运行。一旦通过验收测试，他们会发现系统操作起来非常简单，而且我们会提供持续的支持。

**Johnson**：该系统的采购价是多少？

**Fernandez**：大概来说，该系统的初始成本是 5 位数，这里面包含了年度软件许可证费用，可以升级软件并且获得全面支持。根据我们的

经验，这个成本比 AOI 要低一个数量级，AOI 通常需要 6 位数的成本。系统价格之所以如此低，是因为我们使用了低成本的现成硬件组成。除了 AI 技术，我们还可以针对 PCB 图像分析提供定制化的计算成像算法。除了之前提到的人工智能工作，Professor Wong 在计算视觉和计算成像算法方面也有很深的造诣。在他的指导下，我们团队研发出的解决方案取得了重要的专有知识产权。

**Johnson**：对于这类 AI 技术，你们为什么要选择专攻 EMS 市场？

**Fernandez**：每次我们去拜访 EMS 公司高管时，我都会问问他们是怎么进入这个行业的。我之所以好奇这件事，是因为并没有很多人会告诉我：“我打算从事 PCB 生产工作，这是我真正想做的事。”对于我们来说，事到如今也有一定的偶然因素；我们的客户正在从事这方面的工作，他们提出了真正的需求。我们只是把这些需求当做一种挑战。既然没有人这么做，那么我们要不要开发出有针对性的 AI 技术？我们对这件事很感兴趣。我的妻子是一名精神科医生，她之前尝试理解我们到底在做什么。我向她解释所有产品几乎都使用 PCB，从我们刚买的水壶、烤面包机到汽车。想象一下，能够更有效地生成这些产品该有多么了不起；我们正在为下一波产业创建生产引擎，这件事真的很有吸引力。

**Johnson**：谢谢你，接受采访，Sheldon。

**Fernandez**：不客气，也谢谢你。PCB007CN

# 差异化、业界共享和可组合性

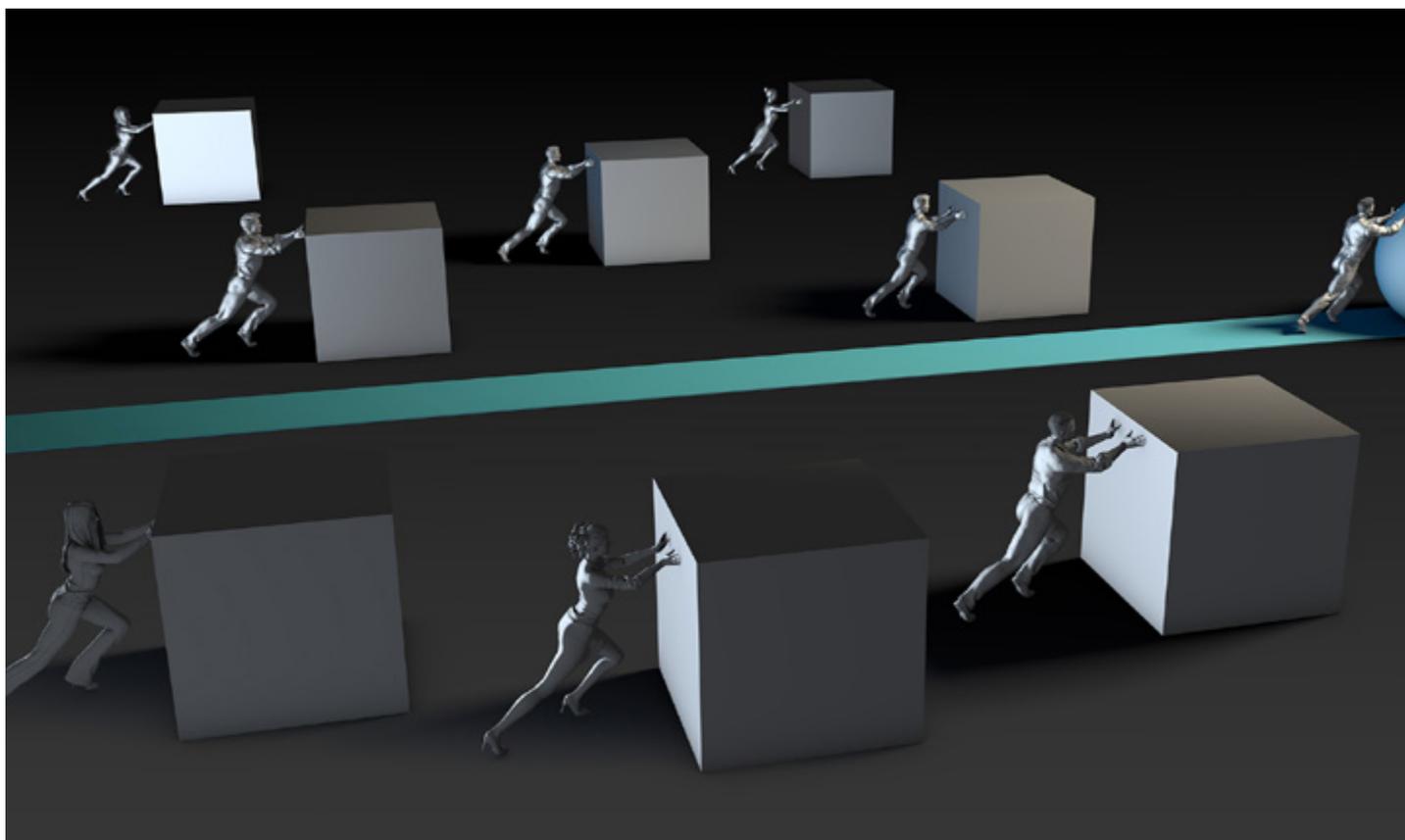
by Michael Ford  
AEGIS SOFTWARE

行业的进步和发展是由集体思维、商业机会和思想领导力驱动，还是仅仅通过随机事件驱动？我相信需要以上所有因素。关于进步的真正问题与如何平衡差异化与带来商机的共同行业目标的贡献有关，还有如何将同样的策略应用于使用的工具和服务。让我们分别从内部和外部，了解如何控制与积极减少对业务的风险和威胁。

## 差异化

制造企业的潜力是其资产和能力的总和，包括技能、位置、规模、专业知识和业务重点，以及累积经验的积极和消极影响。因此每家企业都是独一无二的，并利用其在质量、价格、交付、可靠性和诚信度方面的竞争力脱颖而出。

当企业寻求差异化时，外部因素会影响和限制企业。因此成功取决于影响这些外部条件的能力，这在业内同行中通常很常见。对于寻求成功和扩张的公司来说，仅仅对发展趋势和



# 专为基板平整度而推出的新型回流焊炉技术

# Pyramax

WITH **TrueFlat**  
TECHNOLOGY



闭环对流加热实现出色的热均匀性

TrueFlat建立在业界领先的Pyramax平台上，是独特的可抑制基材翘曲的回流焊炉。专为0.15至0.30mm的基板厚度而设计，TrueFlat技术消弭了芯片倾斜。

由于Pyramax的闭环对流加热，可重复确保一致的平整度与出色的热均匀性。

## END DIE TILT

- 闭环对流加热实现出色的热均匀性
- 维护成本低-无真空泵
- 搭载Wincon回流焊炉界面，简单操作
- 可选2倍吸力，提供更强大的基板平整度解决方案



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

变化做出反应会很被动，尽管某家普通公司不会直接影响大多数外部问题。

让我们看看物料供应网络。美国或欧洲的制造商受到政府对本土制造业支持的鼓舞，其灵感来自于新的自动化技术。对他们来说，这是可持续的业务增长机会。但现实是所需的物料无法在当地采购。为了获得这些物料，必须穿越半个地球，很可能来自相对难以管理的合作伙伴。这种风险往往会扼杀当地制造业商业计划。放弃不是一种选择，那么如何才能激励制造供应网络在本土选址建厂？

## 美国或欧洲的制造商受到政府对本土制造业支持的鼓舞，其灵感来自于新的自动化技术。对他们来说，这是可持续的业务增长机会。

从历史上看，为了降低物流成本并利用“及时制（JIT）”，供应网络将会跟随客户。只有当物料消耗业务达到临界量，将风险分散到可接受的水平时，他们的投资才会可行。然而本地制造必须承担远程物料采购的额外成本和风险，因此有组织地实现这一目标具有挑战性。为了加快这一进程，代表制造业和供应网络的行业协会必须共同努力。他们应该鼓励当地制造商分享其广泛的商业计划和意图。这种代表与区域和国家级的聚合最有效，因为行业协会可以以一种保护个别公司的隐私和知识产

权的方式组合信息；潜在的竞争对手将会有效地合作。

## 业界共享

业界共享并不会对 EMS 业务模式产生负面影响，因为 EMS 业务模式是基于企业所有者的物料购买力而竞争。本地化的制造业共享共同推动了物料批量，从而降低了供应网络迁移的风险，同时仍允许大公司进行单独的、批量驱动的定价。重点是这两个要素并非相互排斥。

平衡差异与共同目标，不仅与上游供应网络和其他外部条件相关，内部和下游也应遵循类似的策略。以设备供应商为例，看看他们的潜在客户群。为了取得成功，供应商必须创建满足通用需求的设备，同时还支持不同客户群体所需的其他重大需求，而不是逐个定制，使开发和提供支持行业发展的技术成为可能。

这是迄今为止自动化市场最有效和首选方法，除非需要专门的定制功能测试或机械装配站。重要的是，这种灵活性便于客户选择、实施和支持，例如 SMT 贴装机，可以选择不同的输送带宽度、贴装台数和通道、贴装头类型、进料器、摄像头、喷嘴等。硬件自动化市场已经发展了数百年，并在这方面得到证明。尽管存在差异，但大多数制造操作需求，特别是在电子领域，具有非常高的通用性，可由通用的自动化产品满足。

同样的原则也适用于软件自动化解决方案（如 MES），但与硬件相比，软件行业相对较新，仍在不断发展。我们看到许多软件自动化供应商（包括行业中新出现的供应商）也出现了同样的模式。他们遵循的是不成熟的产品架构，其行为类似于早期的原始硬件解决方案，并基

于不断定制和预定的开发。

令人失望的是，如今的软件自动化解决方案要求客户开发定制代码，包括驱动仪表盘和报告的数据库查询以及一些常见功能。更糟糕的仍是，许多制造商的需求迫使他们自己开发解决方案。

## 成功的制造既不能从硬件 供应商也不能从软件供应 商那里得到永久的定制， 更不能自己动手。

即使是最新的、简单的“基于应用程序的平台”，也会在低端市场延续这一发展趋势，这可能意味着初始投资和代码开发费用较低，但安装后却需要大量的编码、定制和DIY数据建模。这表明解决方案的数据模型和体系结构缺乏价值创造。成功的制造既不能从硬件供应商也不能从软件供应商那里得到永久的定制，更不能自己动手。

## 可组合性

从成熟的软件自动化解决方案的角度来看，通过可组合性（定制操作可见性、控制和数据交换的简单方法）来满足差异化，只需在解决方案中选择适当的选项并配置满足所需需求的内置模板即可。重要的是可以随时更改这些参数，以适应多个同时变化的条件和案例。可组合性代表了灵活性的最低成本，这样企业就可以适应和发展，并以最大的敏捷性使自己与众不同——不会有与定制相关的成本和风险。事实上许多公司都使用相同的自动化设备

或软件解决方案，但这并不会削弱其差异性。

我们必须更加明智地对待行业的变化，必须愿意并能够影响周围的环境，并使我们的业务与众不同。由于世界形势的变化，重大挑战持续出现。我们不能将资源浪费在全球范围的物流上，也不能冒着与产品数量预期相关的限制性做法的风险，也不能在每次发生变化时无休止地定制解决方案。

展望未来，我们发现在某些方面有所不同，而在另一些方面受益于集体发展。在供应网络中，我们享有批量驱动、基于定价的竞争优势，同时共同努力吸引本地低风险供应商。对于硬件和软件自动化解决方案，我们使用带有支持选项的现成工业硬件，以及可组合的软件自动化解决方案，消除了定制和自编码的需要，两全其美。

让我们都做出改变，在差异化的基础上竞争，同时也成为制造业基础设施中受人尊重和负责任的成员，将给那些愿意投资制造业回迁计划的人带来信心。PCB007CN



Michael Ford 任 Aegis Software 新兴产业战略高级主管。如需阅读往期专栏，可[点击此处](#)。

# PCB007

M A G A Z I N E



# Bob Wettermann 谈职业生涯 与 “BEST”

by Nolan Johnson  
I-CONNECT007

Bob Wetterman 的职业生涯始于半导体行业，但在经历了一系列行业和经济变革后，他充分利用了这种创业精神。20 多年来，他一直引领和发展 BEST 公司，这是一家 PCB 返工 / 维修服务提供商、焊接技术培训商和钢板制造商。在本次采访中，Bob 回顾了他漫长的职业生涯，我们还见到了 Nash Bell，他将带领 BEST 进入下一发展历程。

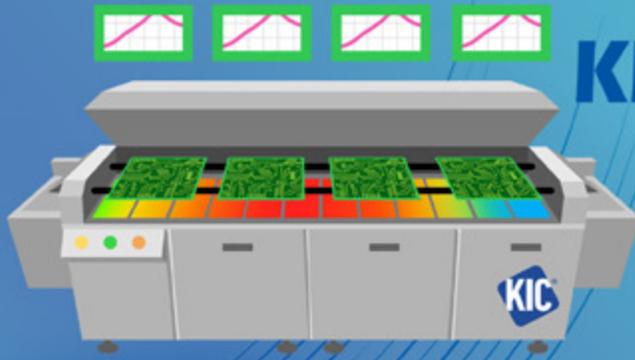
**Nolan Johnson :** Bob，祝贺你退休了；我们有很多想和你聊的。让我们从你收购 BEST 开始聊起。可以先介绍你的工作经历吗？

**Bob Wettermann :** 我是一名受过培训的电气工程师，从半导体行业起步。我曾在 AMD (Advanced Micro Devices) 公司从事应用工程设计工作。作为 IBM 的合作工程师，学习

了半导体制造工艺的前端。1985 年个人电脑出现大萧条时，AMD 首席执行官 Jerry Sanders 让所有人回家休息 4 周。他说：“人是最重要的，我们绝不会解雇任何人。”当然，他没说的之后 6 周的休息期间是没有工资的。

我意识到我不想在半导体行业发展了，因为它的发展过于周期性，所以我回到了芝加哥，在 Eaton Corporation 公司担任工业控制应用工程师，在那里开始了我的职业生涯。公司资助我攻读工商管理硕士学位，我想成为 CEO。但这个梦想很快就破灭了（笑），所以我改变了想法。

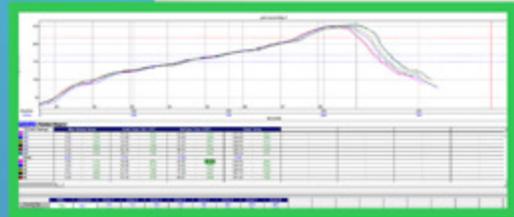
我在芝加哥地区寻找可以发挥德语技能的企业，并在塑料二次加工设备行业找到了一家初创公司，这是一家总部位于欧洲的等离子体和电晕处理及静电控制系统公司。我在这家公司工作了 10 年，非常热衷于小生意，因为可以在机会或问题出现时迅速做出决定。我们必须打包自己的产品，然后通过 UPS 发送给客户，但这是一项非常有趣的工作。



**KIC RPI**

## 回流焊工艺检测 让回流焊工艺变透明 Heat to Data

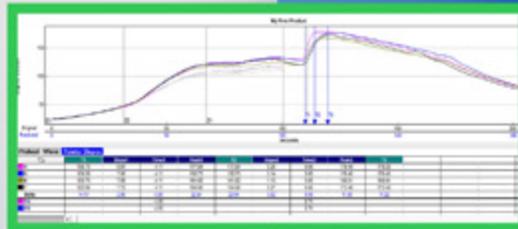
- 符合ISO 13485医疗器械要求
- 满足审计对可靠性和可追溯性的所有要求
- 可追溯每片PCB板的回流温度曲线数据
- 实时SPC-UCL/LCL、Cpk数据控制图表



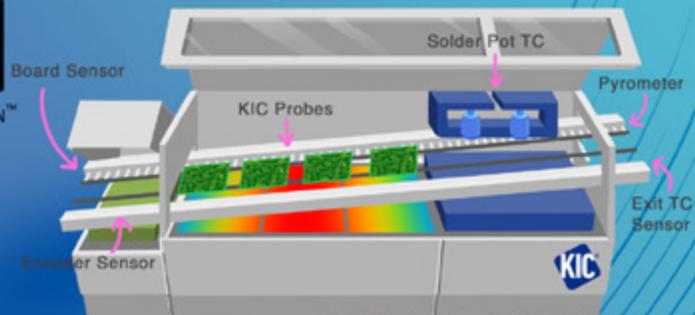
## 波峰焊工艺检测

洞查您的生产工艺状况和停机时间

- 每片PCB板生产过程中的停顿时间和平行度测量
- 通过预热和焊接波完成PCB板的温度曲线测量
- 全过程控制和可追溯性
- 实时SPC/Cpk图表
- 实时分析



**WPI**  
WAVE PROCESS INSPECTION™



欢迎访问 KIC展台1J03  
NEPCON China 2023. 7月19-21日  
上海世博展览馆

公司总部  
16120 West Bernardo Drive · San Diego, CA 92127 USA  
+1(858)673-6050 Phone · +1(858)673-0085 Fax  
sales@kicmail.com · tech@kicmail.com

亚洲办事处  
asia.sales@kicmail.com · asia.tech@kicmail.com

欧洲办事处  
europe.sales@kicmail.com · europe.tech@kicmail.com

中国办事处  
客服QQ: 8000 66201

www.kicthermal.com · www.kic.cn



KIC产品旨在通过优化您的热处理工艺实现最大价值和快速回报，对KIC产品的投资是迈向全面工艺控制和质量管理的第二步。

版权所有KIC所有。专利申请中。规格如有更改，恕不另行通知。KIC和KIC Thermal是Embedded Design股份有限公司及其关联公司的注册商标及商号。WPI, SRA, RPI 14.0, SPS, Smart Dock, XS, KIC Start2, K2, KIC 24/7, KIC 24/7 Wave, KIC Vision, KIC Navigator Power, KIC Auto Focus, KIC Autofocus Power, KIC RPM, KIC Carrier, Wave Surfer, KIC MVP, RPI, Process Window Index, PWI, 无铅功能符号, KIC ON BOARD和KIC徽标是KIC的商标或注册商标。所有其他商标和商号均为其各自持有人的财产。

更多产品或服务信息，请访问KIC官网: www.kicthermal.com or www.kic.cn.

我的父母都是第一代德国移民，他们“强迫”我们在每周六上德语学校，当时我很讨厌这样做。但在寻找新工作时，我能够发挥德语的优势，以及 MBA 经验和行业知识。我经常去欧洲旅行，用德语与来自丹麦及德国的同行交谈。我真的很喜欢做小生意，当这个公司的老板去世后，他的女儿接管了公司，就不再有趣了。

*Johnson*：我想那是你开始创办 BEST 的时候。可以详细介绍那个阶段吗？

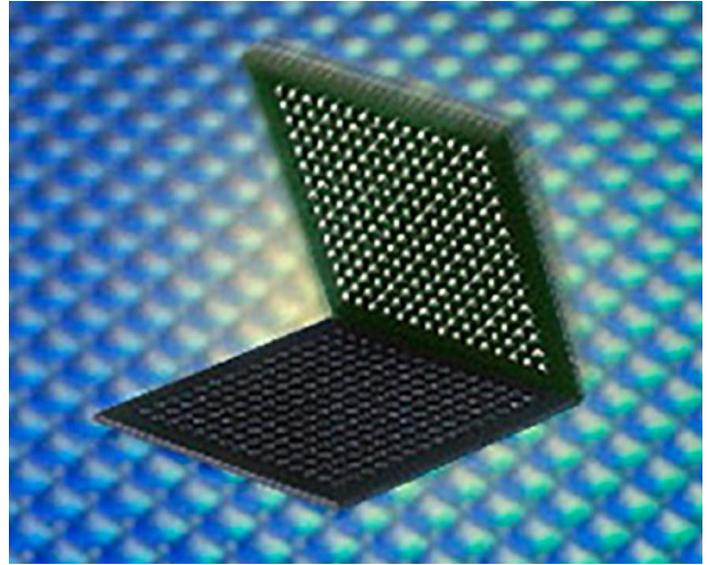
**Wettermann**：起初，我去了一家上市公司 Woodhead Industries，在那里学到了公司决策、委员会决策等方面的知识。我坚持了 5 年，并用积攒的钱收购了 BEST 公司。

我父亲是一名企业家，我在 BEST 开始了创业生涯。BEST 就在我小时候住的房子的对面，有 8 名员工负责合同返工和维修服务，以及一些焊接培训。

*Johnson*：你见证了这个行业的很多变化，我相信你一定有很多故事要讲。创业初期行业是什么状况？

**Wettermann**：今天的 PCB 行业与我刚入行时大不相同。在 2000 年收购这家公司时，我审视了中西部市场的规模。市场数据显示，所有中西部 PCB 元器件贴装都集中在芝加哥。我想，“芝加哥是中西部的电子中心。这太棒了”。

在摩托罗拉和许多其他通信供应商迁出之前，PCB 业务也开始向海外迁移。当我开始经营 BEST 时，世界上近 25% 的电子产品是在美国制造，但很快就下降到了 12%~15%，所



EZReball

以随着业务向海外迁移，我们必须寻找新客户。

*Johnson*：今天的 BEST 发展如何？

**Wettermann**：目前我们有 32 名员工，部分员工在异地工作。我们提供培训、返工和维修服务，并有许多产品可以帮助企业实现自主维修和返工。我们很自豪能将这些产品销往全球各地。

*Johnson*：23 年前当你收购 BEST 公司时，做了一些分析工作。你和 BEST 是如何适应这些变化的？

**Wettermann**：收购 BEST 公司时，大多数客户时都在 300 英里以内的地方。现在我们的服务和培训业务遍及美国，因为任何地方的客户都可以很经济地发送其电路板到 BEST。

通过培训服务，我们为焊接培训业务提供了独特的服务，因为我们将所有东西都装在移

动培训车中。之前的企业拥有人说服了一位朋友借钱给他买一辆温尼巴格，于是他创办了这项服务。他给它配备了焊接台，并开车在中西部各地进行培训。从那时起，我们就有了同样的服务，BEST 现在有了一辆 18 轮车，车上也有同样的功能。

BEST 培训业务发生了巨大变化。通过在线培训，我们的客户可远至印度、巴基斯坦和欧洲。虽然有些培训可能需要在半夜进行，但我们不需要在全球各地奔波，因而可为客户节省资金。

**Johnson :** 这部分业务的需求量还很大吗？考虑到额外招聘的需求和 EMS 公司目前面临的人员动态，需求量似乎很大。

**Wettermann :** BEST 已经成为 EMS 公司（主要为军事航空和三级领域）人力资源部门的延伸。在一个案例中，我们与一家军事领域的 EMS 公司签订了一份大合同，学生们是第一天刚进公司的新人；第二天就通过培训车派他们上岗。我们观察他们是否每天都来，以及对培训的反应如何。他们是否具备手眼协调技能，能从第 1 天到第 5 天掌握一些新术语吗？我们帮助客户筛选出应该留在焊接技术岗位上的人选。找到经过培训的人来操作设备或工程设计工艺（在我们的案例中是焊接技能）是一项艰难的任务，这类技能早已不复存在，因为擅长这类技能的人大多已经退休。

**Johnson :** 引人注目的是，你们也参与了招聘流程，为客户先试用新人，再进行培训，以



移动培训中心

确保他们能胜任工作。

**Wettermann :** 过去 3 年期间，很难找到训练有素的人员，所以我们留住了这些人。我们从不同行业引进人才，并对他们进行二次培训。他们是很棒的焊接技术人员，可以焊接助听器内部微导线，但他们从未见过电路板。他们具备手眼协调技能，专注精细工作和细节，且有所需的耐心。他们了解焊接的基本知识，但我们必须培训他们了解电路板。对此必须在招聘方面发挥创意，这对我们的行业来说是巨大的挑战。

你问行业有什么变化，有一个例子：过去发布招聘职位广告时，能收到 30~40 个回复。现在发广告，能有人打电话就算很幸运了。

**Johnson :** 为什么会出现这种情况？

**Wettermann :** 这是一份真的有人想做的工作吗？这是一项乏味的工作。有人具备这样的技能、耐心和敏锐性，但很罕见。发生了什么变化？劳动力和电子产品是完全不同的；劳动力变得更加国际化。

**Johnson :** 多语言的环境是否会给现场培训增加一些复杂度？

**Wettermann**：在某些情况下，为了方便培训，需要口译员，还有更多的间接指导，这使得培训会更加复杂。

**Johnson**：你是 I-Connect007 的长期专栏作家，在返工领域拥有丰富的技术资源。你作为专栏作家的经历是怎样的？



**Bob Wettermann**

**Wettermann**：我们是维修电路板的。客户从来不会为了自己可以做的简单项目而找我们。因此，为了解决客户的问题，我们提出新方法促进返工和维修。通过这样做，我们看到了任何规范中都不一定涵盖的内容。通常，IPC-7711/21《电子组件的返工、修改和维修》落后时代 5~7 年。这意味着 BEST 必须是有创造力的问题解决者。

做生意需要吆喝，像我们这样具有特色的小工厂，做好宣传成了很重要的一部分。我和培训师一起为 IPC APEX EXPO 展会和 SMTA International 研讨会提交了许多论文。当我是发言人时，培训师现场演示焊接。我们举办过技术研讨会和网络研讨会，所以这些培训内容会成为资源。我从客户和对专栏的反馈中获得文章灵感，写这些文章很有趣。5 年前我也有机会写过一本儿童绘本读物，很有趣。我很喜欢写作。

**Johnson**：如果要讲一个关于这个行业的有趣故事，你会讲什么？

**Wettermann**：我会讲述全球各地的设计、制造、维修故事。最有趣的故事可能是在加拿大

安大略省滑铁卢市的 Research In Motion 发生的故事，它曾经是 BEST 的一个大客户。他们雇佣了来自全球各地的员工，以便加大产能。当我们要结束工作时，我们在城市周边旅游并和他们深入交流。因为能在电子行业工作，我遇到了很多来自全球各地有趣的人。

在 BEST 的早期历史中，80% 的业务来自摩托罗拉。那些工程师喜欢在周五下午 3:30 过来，放下一块电路板，告诉我们他们需要做什么。在我们完成技术讨论后，他们会坐在办公室里讲故事；我们会从迷你冰箱里打开一瓶啤酒聊天。很快时间到了下午 5:30，我妻子打电话问我在哪里。我会告诉她，“我正在和一位客户一起工作”，这真的是事实。

**Johnson**：我可以想象你给家里打电话说：“亲爱的，摩托罗拉的那些家伙又来了。”

**Wettermann**：夏天的时候，有些人会骑着摩托车来，所以我们开发了专门的供摩托车运输用包装。盒子周围有多余的泡沫。我们会用一根蹦极绳把它钩在摩托车后面，这样不会损坏电路板。

**Johnson**：那一定是很有趣的时光。现在来谈谈你对这个行业有什么建议？

**Wettermann**：确保紧跟科技的步伐，因为现在所有东西都有一个 IP 地址，而电子产品正在很多我们还没有想到的领域爆发式增长。普

通汽车上有 100 多个 CPU。看看电子产品的非传统应用，比如可以监测心脏、血压和肌肉张力的骑行服。我们将会在各种各样物品中嵌入电子产品。

**Johnson :** 你的专栏和业务对这个行业非常有价值。它会一直存在，是吗？



Nash Bell

**Wettermann :** 实际上我们的业务正在扩张。一家来自芝加哥地区、经营经验丰富的家族金融集团收购了我们公司。Nash Bell 是我的继任者，有许多营销、金融和机械加工方面的专家可以帮助他。他还带来了很多人脉。他们采用了著名的企业家操作系统来监控和推动公司前进，会把 BEST 提升到更高的水平。

**Johnson :** Nash, 很高兴见到你。你将如何继续 Bob 留下的职位？

**Nash Bell :** 现在很令人兴奋，尤其是 Bob 还会在公司工作一段时间，所以我可以在他的麾下学习。这些年来他积累了很多知识。电路板领域对我来说仍是新鲜事物，拥有尽可能多的资源是好事。

我的从业背景是医疗保健；我曾是一名理疗师，在全国各地开设和管理多家诊所，所以我有相当多的管理经验。过去的几个月，我经过了相当深入的培训学习阶段，才得以了解这个领域。这个团队拥有专业的返工和维修人员。我们有优秀、经验丰富的培训师，他们非常了解自己在做的一切。Bob 组建了出色的团

队。BEST 将继续运营，同时我们会确定新的发展方向。

**Johnson :** 你第一年的日程安排是什么？

**Bell :** 我们希望引入一些内部流程，使内部数据稳固。我们希望员工能在尽可能实现其价值的岗位上工作。我们一直在努力寻找新员工。我知道，过去几年，特

别是疫情以来，我们一直在努力解决这一问题。

这个行业总是在变化，所以我们将密切关注机遇。如果我们找到了适合我们技能的方向，公司还可以追求其他领域吗？我们的目标是在迈向任何新的、不同的方向之前，有坚实的基础，了解最适合公司发展的方向。我们希望在改变太多、太快之前做出有根据、有充分研究的决定。

**Johnson :** 你会继续撰写这个专栏吗？

**Bell :** 不会是我，但我知道专栏的价值，我们心中也有一些合适的作家。

**Johnson :** Bob 和 Nash, 非常感谢你们，令人开心的采访。

**Wettermann :** 再次感谢多年的支持，祝你们及 BEST 一切都好。

**Johnson :** 谢谢你。PCB007CN



# 困扰 EMS 公司的五大问题

by Mark Wolfe  
IPC

电子制造服务（electronics manufacturing services，简称 EMS）公司的角色经常被误解。然而，一些观点有助于确定他们的想法，特别是在目前的全球环境下。

EMS 公司生产产品，但他们并不是真正的“产品”拥有者。虽然 EMS 可以提供设计服务，但这些设计仍归客户所有。因此，EMS 无权选择或更换元器件。大多数情况下，EMS 仍将负责采购这些元器件，这些元器件通常占终端产品生产成本的 70%~90%。同时，EMS 也不能确定产品的产量。

同时，EMS 所处的市场竞争异常激烈，仅北美就有 1000 多家。大型上市 EMS 公司的毛利率仅有个位数。小型和小众 EMS 公司一般利润率略高，但通常更受营运资金可用性的限制。在任何一种情况下，为了以可持续、盈利的方式展开生产，他们必须能够管控物料并增加价值，以尽可能高效生产。他们需要将元器件库存转换为现金；要做到这一点，必须有可信赖的供应链和训练有素的员工。

## 过去两年的情况

任何在电子行业工作过一段时间的人都知道，过去两年，人工短缺、供应限制、需求激增和全球混乱前所未有地交织在一起。过去，

# 新的Objective Evidence网站 现已上线!

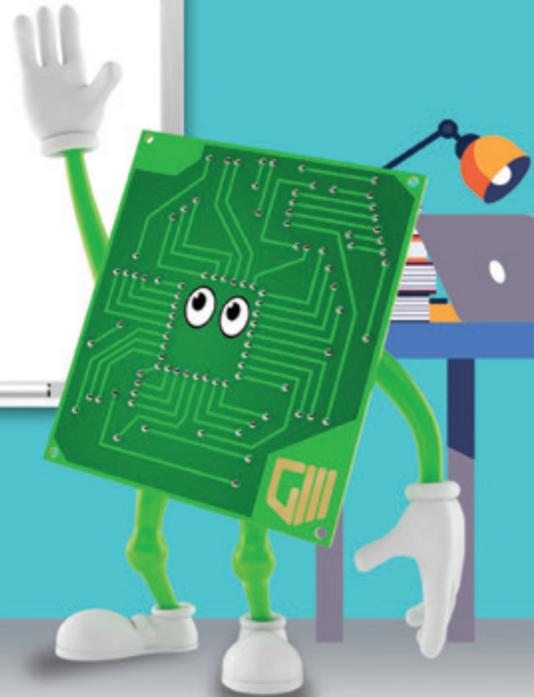


满足IPC-J-STD-007要求

什么是OBJECTIVE EVIDENCE  
(客观证据)?

为什么它如此重要?

该如何以及在哪里进行测试?



访问以下网站!

获取您关于

**Objective Evidence**

的所有需求

[www.objectiveevidence.org](http://www.objectiveevidence.org)



EMS 公司及其客户通常可以在其已建立的供应链内升级，并将主要制约合理地缓解到可控的水平。在过去几年中，情况并非如此。通过足够的努力和杠杆作用最终可获得对已建立供应链中原有部分的信任，但过去两年这种方式并未奏效。

因此，EMS 公司被迫比以往任何时候都更频繁地将元器件问题反馈给客户。在二级市场或从经销商那里获得这些部件时，它们被视为具有更高的假冒品风险，并且常常具有极高的相对成本。如果二级市场不是一种选择，客户通常会承担探索备选设计的责任。这些通常是最后采取的措施，可能会产生高风险的产品过渡。最终，所有这些问题都被推给客户，以获得风险签准和财务支持，否则 EMS 公司可能无法承受经济后果。

特别是在生产现场，经培训人工的可用性也很具有挑战性，尤其是随着需求的增长，挑战性更大。当可采购到部件时，许多 EMS 公司没有足够的受雇人工来快速恢复生产。

结果如何？即使是历史上效率最高的 EMS 运营也会持续中断，如果没有现金，则太多的物料会占用空间。客户关系、现金流和 EMS 利润都受到了威胁。

## 困扰 EMS 公司的五大问题

以下是我在美国 EMS 公司领导中最常听到的五大问题。我会简述这些问题，并提出我认为可以采取的相应措施。

### 1. 如何解决公司目前的人才短缺问题？

大多数 EMS 公司发现，吸引、发展和留住他们目前所需的人具有挑战性，对于未来的增长更是如此。这一挑战同样适用于生产车

间技术专业人员以及行政人员。

IPC 1 月份发布了《全球情绪报告》<sup>[1]</sup>，调查结果显示，电子供应链中只有 13% 的全球公司认为其招聘技能人才的能力正在提高，而 39% 的公司表示情况正在恶化。未来 6 个月的前景类似。不足为奇，人工成本和技能人才短缺与物料成本一起成为行业中最明显的阻力。

不幸的是，电子制造业的人才短缺没有单一的解决方案。大多数工作肯定不是虚拟的，尤其是在 EMS 公司面临制造更复杂产品的挑战时。解决方案需要努力为年轻学生创造更大的可视性，因此他们至少对探索电子技术作为潜在职业道路感到兴奋。然后，EMS 公司需要证明，他们可以提供富有挑战性和有回报的职位，并且不只是特定工作的临时站。为了满足这些需求，该行业需要更强大的入职培训、与职业路径相关（在工作中成长）的及与技能提升相关（为下一份工作做好准备）的教育和培训。

### 2. 什么时候才能再次信赖供应链？

过去 6 个月，供应链明显有所改善。总体交付周期和物料可获取性正在逐步改善。同时，这两种情况仍然比疫情前的水平糟糕得多，制造商名单短得多，但仍很关键，因此仍存在重大制约。对大多数制造商“承诺”的信心仍然相对较低。因此，构建产品所需的所有元器件将在相同的相对时间段内到达，信心仍然很低。

如今，最先进的半导体晶圆厂至少需要 100 亿美元的投资，需要 3~4 年才能实现全面生产。与此同时，半导体需求预计将从目前的 6000 亿美元左右增长到 2030 年的 1 万亿美

元以上，这意味着这些投资将主要用于支持增量需求。最近的《CHIPS 法案》是朝着正确方向迈出的非常重要的一步，但北美晶圆产能仍将低于全球供应量的 20%，这意味着美国未来仍将在很大程度上依赖全球元器件供应链。

即使当前的制约因素继续消退，供应受限的领域很可能会比过去更多。随着新的、复杂的元器件加工时间的延长，以及未使用的半导体产能的成本极高，不太可能看到像过去周期一样电子供应链产能完全满足需求。

在疫情前的行业，供应链战略强调“及时生产”，但当供应链中断像过去两年那样加剧时，这种方法显然是脆弱的。考虑到全球供应链日益复杂、持续制约的可能性以及全球中断的频率似乎更高，“及时生产”可能不是未来的最佳策略。相反，未来应该需要更具适应性的供应链战略，强调弹性和灵活性，以重建对供应链的信赖。

### 3. 如何管控库存，以便有可用的现金进行投资和增长？

另一潜在的问题是，目前的情况可能会使 EMS 公司的库存在短期内恶化。随着供应的改善，他们可能会获得更高比例的物料清单 (BOM)。事实上，过去几年中，许多订单都要求签订不可撤销的不可退货 (non-cancelable non-returnable, 简称 NCNR) 合同，因此无论他们是否需要，库存都将继续到达 EMS 公司。考虑到一系列受制约的制造商，加上“承诺”的持续波动，积累过剩库存的风险仍然很高。

换言之，当 12 个月前可能采购不到 50% 的 BOM 时，他们会将另外 50% 的成本存储在库存中。现在，可能只采购不到 5% 或



Mark Wolfe

10% 的 BOM，但这意味着 EMS 公司可能被迫拥有其他 90%~95% 的库存。无论哪种情况，EMS 公司都无法发运产品，但在后一种情况下，甚至会消耗更多的现金。

幸运的是，有越来越多的客户，特别是那些真正了解市场问题并与 EMS 供应链建立了牢固合作关系的客户，愿意提供现金存款以抵消过剩库存。虽然这是短期解决方案，尚不清楚是否可能成为长期解决方案，但可能会降低 EMS 公司的感知价值。

### 4. 如何以可持续的方式继续维护和发展与客户的关系？

许多客户关系一直处于紧张状态，因为他们经历了持续的“参与”水平，他们认为从一开始就决定找一个 EMS 合作伙伴，在很大程

度可消除这种“参与”。正如前文所述，过去几年，由于 NCNR 合同，客户经常被要求批准采购元器件，在需要中间商部件的情况下，在极短的时间内批准成本和风险，在收到成品之前为 EMS 合作伙伴支付库存，并在计划外的基础上重新设计至少部分现有产品。

幸运的是，许多 OEM 了解电子行业的动态，将其 EMS 合作伙伴视为长期合作伙伴，并成功地与他们合作以找到“公平”的方式。同时，所有这些项目都给 OEM 带来了“惊喜”，这让 EMS 公司和 OEM 都怀疑传统的商业模式是否仍然适用。关于长期预测、对扩展供应链的相关承诺、总体库存管控和财务所有权的观点，可能需要以类似于供应链战略的方式演变。

## 5. 经济会对公司产生什么影响？如何减轻风险？

影响可能并不明显，但 EMS 行业同样容易受到需求波动的影响，需求波动可能是向上的，也可能是向下的。显然，当需求下降时，EMS 公司需要快速调整其元器件订单，以防止库存增加。不幸的是，即使反应很快，库存仍会增长，因为即使没有已经讨论过的 NCNR 情况，也很难强制停止订单。

同样，当需求增加时，供应链中的某个延迟元器件也会产生同样的影响。在某些方面，情况更糟。增长的订单意味着增加元器件承诺。在许多情况下，EMS 公司也可能增加员工或设备以支持增长。如果没有最终的元器件，无法完成产品并将其交付给客户，所有这些都占用运营现金。

EMS 公司需尽最大努力了解经济走向，并尽可能采取先发制人的措施。至于客户需

求，他们确实需要针对收到的订单进行计划和执行。虽然他们可能会怀疑订单过高或过低，但试图超出客户计划是非常危险的。同时，他们当然可能会选择推迟或加快人员、工厂和设备的决策，这取决于他们所感知的经济方向以及他们对客户所告知内容的信心。在任何情况下，这都是一种微妙的平衡。

## 为什么要这样做？

如今，任何 EMS 公司都面临着明显的挑战。与此同时，电子产品在日常生活中的渗透和广度每天都在明显增长。随着对电子产品需求的增长，对 EMS 功能的需求也必须随之增长。EMS 公司之所以这样做，是因为现在和将来的需求都会很高。

他们这样做也是因为管理良好的 EMS 公司绝对可以建立和维持盈利的业务。一家适当管控其物料负债、建立牢固的客户关系并投资于合适的人员和设备的 EMS 公司可以在世界任何地方成功地实现这一目标。他们也有机会成为许多新的创新产品和流程的一部分。对所有参与公司来说，这样做既有挑战性，也有回报。

也许问题应该是：为什么不呢？PCB007CN

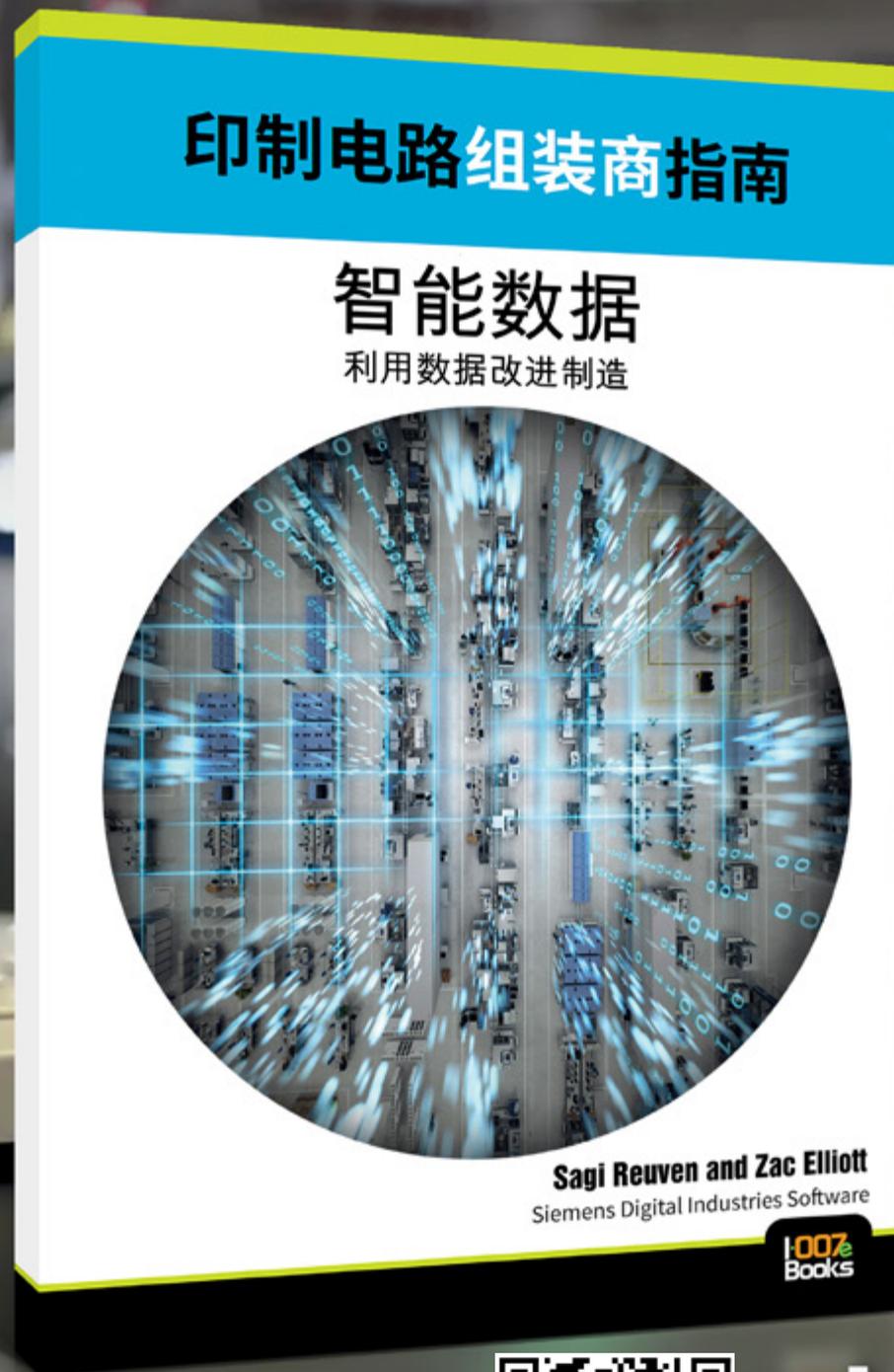
## 参考内容

1. The Current Sentiment of the Global Electronics Manufacturing Supply Chain: Executive Summary,” January 2023, ipc.org.

**Mark Wolfe** 任 Wolfe Consulting 公司负责人，IPC 的 EMS 顾问，前 IPC EMS 高层管理理事会主席和 IPC 董事会成员。

# 让您的数据发挥作用！

数据分析可以帮助您做出更好的决策、  
降低成本并消除浪费。



⬇️ 现在就下载



1007e  
Books

# 为实现最佳 PCB 设计做出权衡

by Barry Olney

IN-CIRCUIT DESIGN PTY LTD / AUSTRALIA

PCB 设计领域的技术发展日新月异，不论设计师是否具备丰富的从业经验，对他们而言，目前这种状况既为他们创造了机会也对他们提出了挑战。PCB 设计师必须处理各种各样的问题，在 PCB 形状因数、功能性和功率要求之间找到恰当的平衡，同时还要确保线路板上的叠层、布局和布线完整，保证严格的信号质量和功率质量。如果想用更短的周转时间制造出紧凑、灵活、高性能、低功率的 PCB，就需要高阶工具并掌握更先进的技能。还有一种趋势是在基于云的平台之上创建团队合作环

境，设计师和制造商在平台上协作，确保设计可靠且可制造。

随着多层 PCB 变得越来越复杂，PCB 设计师面临的挑战是要把越来越多的元器件和连接结构塞入有限的板面内，同时还不能影响 PCB 的性能表现和质量。增加信号层层数有助于增加信号布线容量并减少干扰，但对于引脚数较多器件的引线扇出，存在不可避免的瓶颈。使用高密度互连、盲孔、埋孔和焊盘内通孔结构有助于减轻这些问题。

球栅阵列封装 (Ball grid array, 简称 BGA) 封装有各种各样的间距和尺寸。随着器件复杂程度的不断增加、OEM 不断推动元器件缩小，0.5mm 或以下的球间距变得越来越受欢迎。

**FORM  
FACTOR**



**FUNCTIONALITY**



**POWER  
REQUIREMENT**



cadence®

变革您的 PCB 设计

# Allegro X AI

## 协作

与行业领先合作伙伴协同创新包含机械与供应链在内的完整解决方案

## 前所未有的生产力

统一的设计和版图规划解决方案让电子工程师如虎添翼

## 新一代布线

用自动布线重新构想异构集成以应对今天的挑战

## AI 创新

AI 驱动的布局和布线让设计生产力大幅提升

## 分析与调查

融合设计智能和数据, 助力 PCB 设计快速实现



扫码关注  
了解更多资讯

一探究竟

BGA 引脚间距	BGA 焊料球直径	BGA 焊盘尺寸	焊盘孔尺寸	面间隙	走线宽度	线宽/线距	走线/导通孔间距	走线/焊盘间距	布线栅格	部件放置栅格
0.4	0.25	0.25	0.125	0.35	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5
0.5	0.3	0.275	0.15	0.425	0.075	0.075	0.075	0.075	0.05	0.5
0.65	0.4	0.4	0.15	0.5	0.1	0.1	0.1	0.075	0.05	1
0.65	0.4	0.425	0.2	0.575	0.075	0.075	0.075	0.075	0.05	1

表 1：常见 BGA 特征尺寸（来源：PCBLibraries）

迎。如今，每部智能手机的 BGA 间距都已经降到了 0.4mm，下一代超细间距 BGA 的球栅间距将达到 0.3mm。下一步要做的就是相同的封装内增加更多功能。早期用户已经开始尝试使用 0.3mm 间距的 BGA 器件。但目前还没有正式推出专门针对 0.3mm 间距的 IPC 设计指南或布局准则。因此，许多 PCB 设计师在开发基于新的 0.3 mm 间距器件的设计时会很大程度地依赖针对 0.5mm 间距的设计指南和布局准则。比如现在的设计指南允许使用直径比 BGA/CSP 焊料球小 20% 的 BGA/CSP 焊盘。

表 1 展示了 BGA 的规定特征尺寸实例。依照这个表格，我们可以确定扇出细间距 BGA 焊料球所需的信号层层数。一旦知道了 BGA 上信号的位置，就可以估算出布线特定设计时所需的最少信号布线层层数。

- 前两行 / 列会布线在第一层信号层
- 第二个两行 / 列将布线在第二层信号层

此外，超过 4 排后，每排信号球栅通常都需要额外的信号层。

假设所有焊料球都已布线，把它们连接在一起可传递信号。但如果一些焊料球未连接，那么那些相应的焊料球逃逸通道对于其他信号是空闲的。这样的话，如果所需信号有足够

畅通的布线通道，那么更少信号层就已足够。0.5mm 或更小间距 BGA 的扇出通常需要用盲孔和焊盘内导通孔。

为 BGA 提供大量独立电源也是问题。根据 BGA 扇出，通常可以在每个电源层上放置 3~4 个电源。因此，10 个电源加接地通常需要 4 个电源层。如果混合层上既有电源又有信号，则可以减少电源层。

随着数据传输速率的提高，数据传输所需的带宽也随之增加，导致 PCB 设计出现了信号完整性、串扰、阻抗匹配和电磁干扰等方面的新挑战。PCB 设计师还必须在 PCB 层数和制造复杂性之间做出权衡。例如，如果平行走线段的长度超过 12mm 且上升时间为 200ps，则信号完整性要求也可能影响设计师的权衡。

PCB 设计是一项复杂、极具挑战的工作，设计师需要考虑到可能影响 PCB 性能和质量产生的各个方面，其中信号完整性、电源完整性、热量管理和电磁兼容性是确保 PCB 功能性和可靠性的关键因素。PCB 设计师需要掌握更多知识和技能，应用恰当的原理、方法和工具才能分析并优化 PCB 设计的这些方面。

数据传输速率提高以后，还需要更复杂的数据编码调制方案，例如不归零编码 (non-return-to-zero, 即 NRZ) 和四电平脉冲幅度调制

编码 (pulse amplitude modulation 4-level, 即 PAM4)。这些方案使用信号的多个电平或相位来编码每个符号的更多位, 从而提高信道的频谱效率和数据传输速率。然而, 这些方案也增加了信号处理和恢复电路的复杂性和灵敏度, 需要设计师在设计 PCB 时非常谨慎, 确保适当的信号质量和信号同步。NRZ 是一种调制技术, 它用两个电压电平来表示逻辑信号 0 和逻辑信号 1。而 PAM4 使用 4 个电压电平来表示 2 位逻辑信号的 4 种组合——11、10、01 和 00 (图 1)。

阻抗是控制设计稳定性的关键因素, 也是信号完整性方法论的核心问题。应通过场解算

器模拟阻抗, 从而获取基板上每个信号层的准确阻抗值。走线的阻抗值非常重要, 因为传输路径上的任何不匹配都会导致信号质量下降并可能出现噪声辐射。为了保证良好的能量转移, 源端的阻抗值必须等于负载端的阻抗值。

但实际情况并非如此, 通常需要快速的边沿速率终止传输来限制振铃效应。如果此噪声未在源端受到限制, 就会耦合到附近的受扰走线上形成串扰并发生辐射, 产生更多 EMI。除了 EMI、信号完整性和串扰问题外, 这种噪声还会由于时序故障和干扰而导致产品间歇性运行, 从而大大降低产品的可靠性。过度的振铃效应还会导致电源完整性问题。

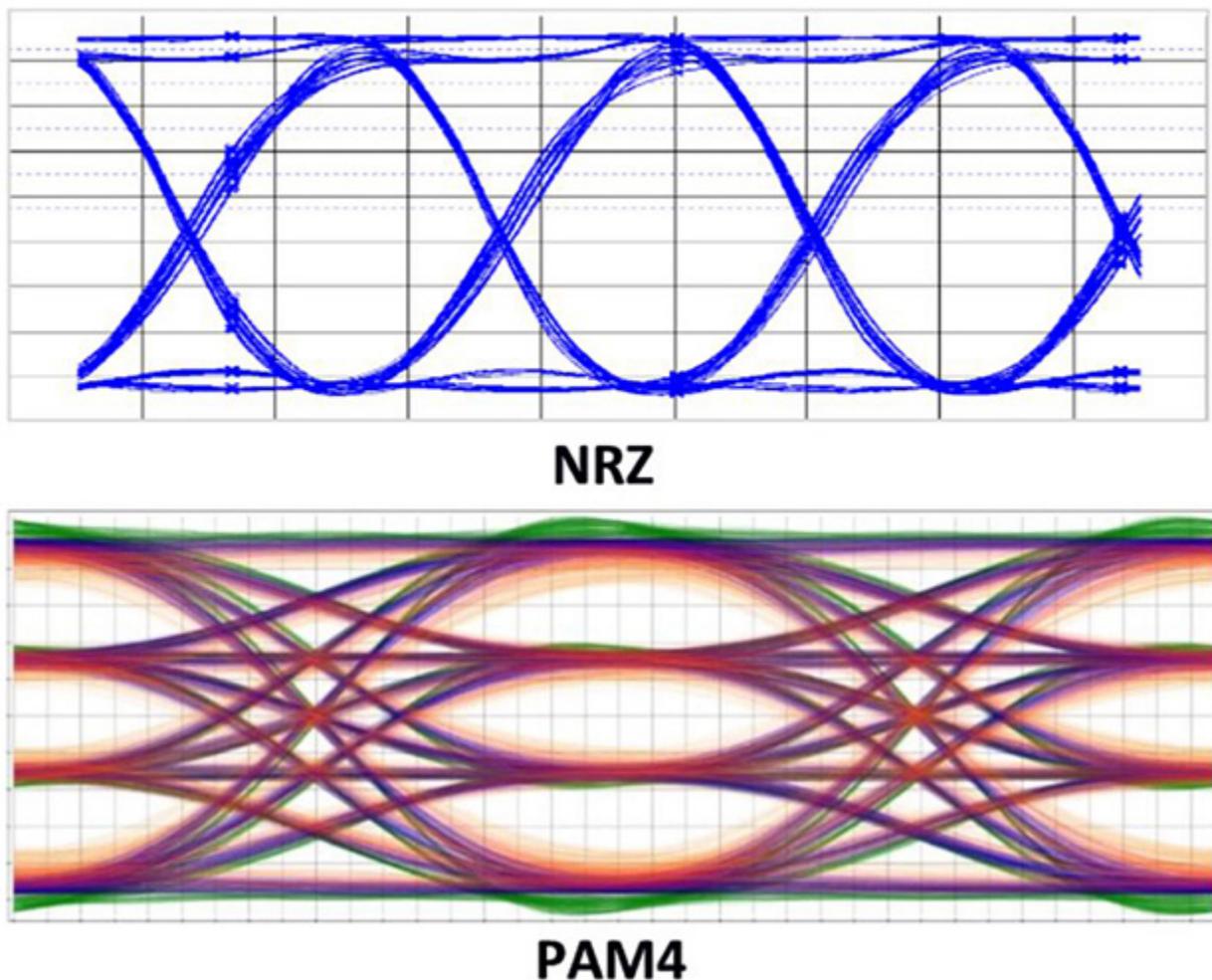


图 1 : NRZ 眼图与 PAM4 眼图 (来源 : Xilinx)

飞行时间延迟和偏差是引起高速 PCB 设计信号完整性问题的重要因素。影响飞行时间和时间偏差性能的因素之一是元器件的放置位置。在经典的高速设计流程中，会对时序规范模拟结果进行对比，从而确定元器件旋转和布线的限制条件。在给定的长度限制内，设计人员可以通过控制接口各个部分的 PCB 走线拓扑结构来控制信号完整性。此拓扑中包括任何端接。图 2 展示了由于端接不良而导致信号抖动和振铃的眼图。

PCB 叠层和 PDN 的完整性是一款性能稳定产品的基础。多层 PCB 设计正变得越来越复杂且容忍度越来越低，影响因素已经不仅仅局限在信号完整性、串扰和 EMI 了。基板和电源传输系统极其关键，如果这两部分发生故障，那么整个系统可能都会崩溃，最坏的情况则可能只是间歇性地工作。

如今的高性能处理器采用了具有高瞬态电流和高时钟频率的低直流电压，以最大限度地降低功耗，从而减少散热量。一般的高速设计包含 10 个或以上独立电源。不幸的是，更低的核心电压、更高的电流和更快的边沿传输速率都会影响电源分配网络 (power distribution network, 即 PDN) 设计和信号完整性。

理想情况下, PDN 的有效阻抗值应保持在目标阻抗值以下, 直至最大所需带宽。但如果阻抗值远低于目标值, 则意味着 PDN 设计过度, 徒增了不必要的成本, 却几乎没有增加收益。通过这种方式, 如果贵公司打算生产数十万个组件, 那么潜在的成本节约可能会非常可观。分析 PDN 可以确保以成本效益最高的价格获得最佳的性能。

许多能力出色的 PCB 设计师将在未来几年内退休, 他们掌握的知识也随着他们一同消

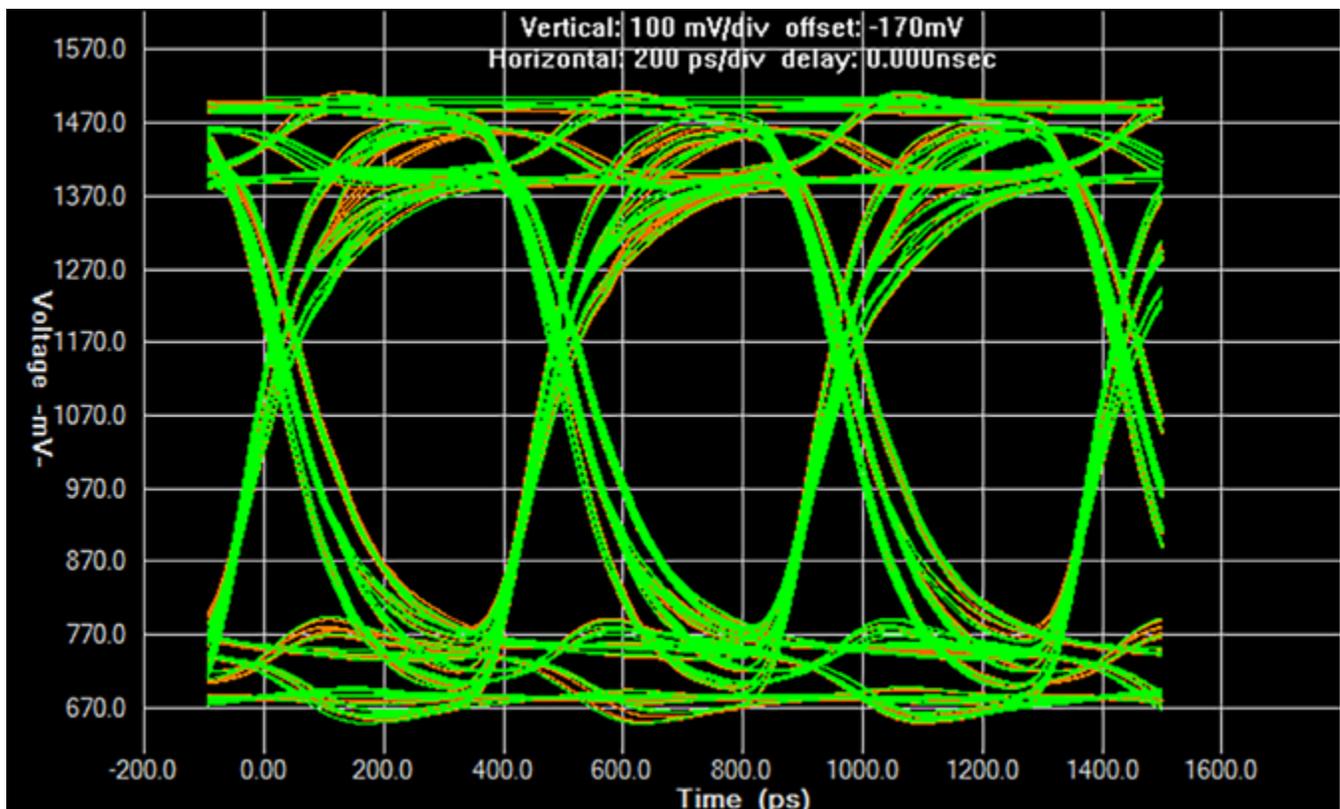


图 1：NRZ 眼图与 PAM4 眼图（来源：Xilinx）

失，技艺纯熟、经验丰富的 PCB 设计师变得越来越紧缺，需要更多新入行的年轻 PCB 设计师补充缺口。同时，PCB 设计师之间要有更多协作和创新的机会。然而，若即将上岗的设计师缺乏制造相关知识，他们设计出的产品就会出现错误和故障，这样就会增加设计时间和成本，并降低产品的可制造性和良率。

经验是最好的老师。PCB 设计师需要掌握更多的知识和技能，才能设计出具有高信号完整性、电源完整性、热性能和电磁兼容性的 PCB。PCB 设计师必须了解用于分析和优化 PCB 设计各个方面的原理、方法和工具。

## 关键点

- PCB 设计师必须处理各种各样的问题，要在 PCB 形状因数、功能性和功率要求之间找到恰当的平衡。
- 间距为 0.5mm 及以下的 BGA 变得越来越受欢迎。
- 下一代超细间距 BGA 的间距是 0.3mm，且在相同的封装内会增加更多功能性。
- 目前还没有开发出专门针对 0.3mm 间距的正式 IPC 设计指南或布局规则。
- 0.5mm 或更小间距 BGA 的 I/O 扇出通常需要用到盲孔和焊盘内导通孔。
- 为 BGA 提供大量独立电源也是问题。
- 数据传输速率提高后，还需要更复杂的数据编码调制方案，例如不归零制 (non-return-to-zero, 即 NRZ) 到四电平脉冲幅度调制编码 (pulse amplitude modulation 4-level, 即 PAM4)。
- 应通过场解算器模拟阻抗，以获取基板上每个信号层的准确阻抗值。
- 飞行时间延迟和偏差是引起高速 PCB 设

计信号完整性问题的重要因素。

- PCB 叠层和 PDN 的完整性是性能稳定产品的基础。
- 如今的处理器需要用到较低的核芯电压，所以需要用到更高的电流和更快的边沿传输速率。
- PDN 的有效阻抗值应保持在目标阻抗值以下，直至达到最大所需带宽。
- 如果阻抗值远低于目标值，则意味着 PDN 设计过度，徒增了不必要的成本，却几乎没有增加收益。PCB007CN

## 资料来源

- Beyond Design by Barry Olney: “Fly-over Technology: When It All Gets Too Fast,” “Signal Integrity (Parts 1 & 3),” “The Target Impedance Approach to PDN Design.”
- AM57xx BGA PCB Design, Texas Instruments.
- “Metric Pitch BGA and Micro BGA Routing Solutions” by Tom Hausherr.



**Barry Olney** 任澳大利亚 In-Circuit Design Pty Ltd (iCD) 公司执行董事。该公司深耕 PCB 设计服务领域，专门研究线路板级模拟技术，其研发的 iCD

Design Integrity 软件整合了 iCD Stackup、PDN 和 CPW Planner。前往 [www.icd.com.au](http://www.icd.com.au) 可下载此软件。如需阅读往期专栏，可[点击此处](#)。

# 从制造角度 看 PCB 设计挑战



by Andy Shaughnessy

I-CONNECT007

PCB 制造商对接受到的 PCB 设计，很可能想提出一些反馈意见，其中关于设计一定有人令人困惑且老生常谈的故事。

因此，本次采访邀请几位 PCB 制造专家，分享他们对 PCB 设计师需要更彻底了解的挑战之见解。对于这些挑战，你同意哪一方的观点？

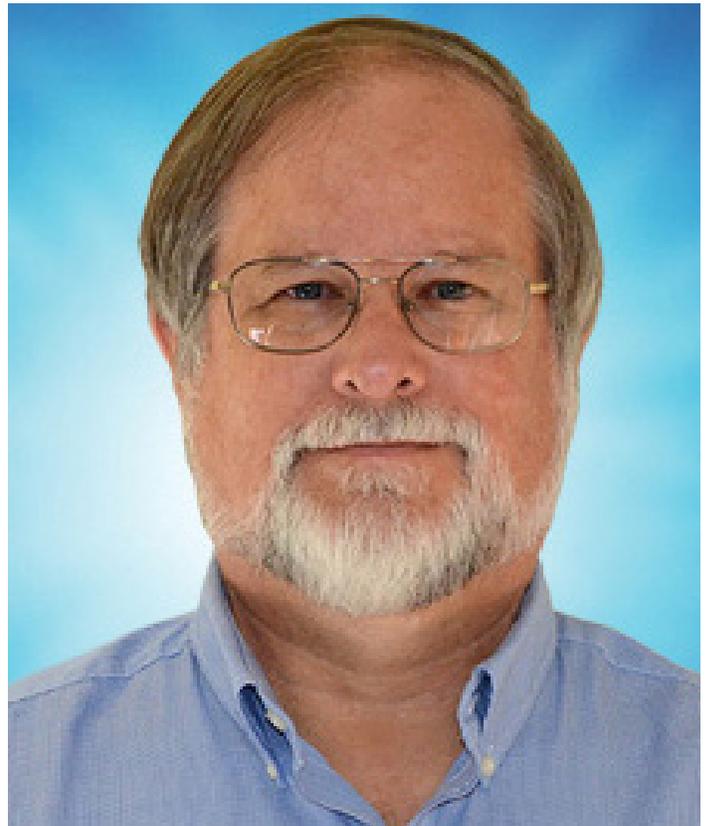
## Dana Korf

Korf Consultancy LLC

**问：对于 PCB 设计师，你最关心的是什么？**

阻抗和信号损耗易变性。近年来，射频设计师非常关注的信号完整性现已成为标准数字和模拟设计的要求。仿真工具用于表征设计的标称特性，以及主要技术规范公差的上下限，以便快速制造样品并进行测试。可以反复几次构建和组装样品，直到获得适当的结果。

信号性能可能会受到钻孔 / 激光孔内径、电镀后的直径、材料介质厚度和电气性能、阻焊膜、Dk 和厚度、走线宽度公差的影响，但走线厚度对信号性能的影响程度较小。然而，制造商很少被要求向设计师提供这些信息。因此，设计师不知道 PCB 是在公差范围的上限、



Dana Korf

下限还是中间构建的。设计师经常抱怨新版或构建的 PCB 不如上一版。当然，也有可能不会。最有可能是由于制造公差导致的。

当设计有严格的阻抗或损耗要求时，设计人员应该要求获取更多关于接收到的 PCB 关键参数的信息，以便更好地将实际性能与预期性能相关联。

## 问：PCB 设计师应该着重关注哪些主要事项？

过度规范。过度规范要求会导致成本明显上升。其中最常见的原因之一，从一个设计复制要求到另一个设计中，而设计师并未充分了解其他设计的要求是否适用于自己的设计。另一个原因是 PCB 硬件工程师和设计师在职业生涯早期没有充分学习成本影响。试问，社区学院和四年制大学教授了多少 PCB 制造课程？

我每天都在使用 20 年前的苹果 iPod。这是一种消费类产品，可能并没有被设计或期望使用这么长时间。我想知道，对于只需要使用 5 年左右的 PCB 来说，额外规范造成的成本有多少？

过度规范的常见例子之一是未使用 IPC 规定的 1 级产品要求。这样做的目的是为在较短的使用寿命内运行的系统提供足够的余量。但大多数非 3 级产品设计师默认将 PCB 指定为 2 级产品。将产品级别从 2 级降低到 1 级有可能提高生产良率，降低加工成本、材料成本，从而可降低产品总成本。

## 问：PCB 设计师应该着重关注哪些问题？

文件包的质量。设计师使用基于 Gerber 的文件包将数据发送给制造商和组装商，要求制造商人工解译图纸和规范，并人工将需求关联并输入其 CAM 系统。例如，需要单独的网表，因为假设数据可能是错误的。走线厚度也

是人工输入的。

PCB 行业拥有智能数据格式 25 年了。格式为西门子 ODB++ 和 IPC-2581。研究表明，只有不到 25% 的所有数据包是基于这些格式的。

这些是将智能数据从 CAD 系统传输到 CAM 系统的智能数据格式，这样它们就可以自动加载大量数据，而无需人工干预。这些智能格式也不需要那么多的电子文档，如制造图纸、物料清单电子表格、叠层图等。提供的文档和发送的重复信息之间经常存在差异。因此延长了生产或样品周期，并会引入错误。

设计师应立即与供应商合作，并改用 IPC-2581 或 ODB++，以缩短设计周期并提高数据传输质量。

## Qandeel Sheikh

Whizz Systems

## 问：对于 PCB 设计师，你最关心的是什么？

了解 PCB 的目的和应用。设计 PCB 涉及的不仅仅是创建布局。必须考虑 PCB 的目的和应用。其中包括它的接口、技术、外形因素和电子电路设计。当设计具有非常细间距元器件（如 0.4 毫米 BGA）的高密度应用时，设计师必须清楚地了解逃逸元器件 I/O 并在 PCB 上布线这类元器件所采用的扇出技术，如叠



我想知道，对于只需要使用 5 年左右的 PCB 来说，额外规范造成的成本有多少？



层微孔、激光通孔、跳孔、HDI，以及 VIPPO (vertical interconnect process with plated over, 镀覆垂直互连工艺)。

PCB 设计师应充分了解电子电路设计和原理图，以确保 PCB 布局符合其预期目的。例如，为通信系统设计的 PCB 与为电源系统设计的 PCB 具有不同的要求。

对于复杂的 PCB 技术，设计师应考虑影响 PCB 生产成本的各种因素，包括材料选择、铜重、PCB 尺寸、层数、涂层选项 (ENIG、HASL 等) 以及最小走线宽度和线距要求。

### **问：PCB 设计师应该着重关注哪些主要事项？**

热量管理和信号 / 电源完整性是 PCB 设计过程中需要着重关注的主要问题。EMI 合规性、高电压和低电压的功率处理以及确保信号完整性都是 PCB 设计的主要方面。例如，有时在微型设备中隔离数字和模拟信号变得很有挑战性。对于高电压和低电压电源轨也可以观察到相同的问题。

传输的数据可能会失真、受到干扰或衰减，从而导致不精确或不可靠的结果。PCB 设计师必须按照信号完整性、适当接地、屏蔽和布线技术的最佳实践来设计 PCB，以防止信号反射、串扰和电磁干扰 (EMI) 等问题。

具有高密度和高速信号的大功率 PCB 也存在与热量相关的问题，需要仔细管控。当增加铜的尺寸 / 厚度时，设计师需要确保在散热和功率相关问题之间达到适当的平衡。PCB 设计师需要仔细考虑发热元器件 (如处理器、电源芯片或大功率 LED) 的放置位置，并设计适当的散热管理解决方案 (如散热器、热通孔和铺铜)，以有效散热并保持最佳工作温度。



Qandeel Sheikh

### **问：PCB 设计师应该更多了解哪些技术或工艺？**

制造和组装过程。PCB 设计者需要在设计时考虑到制造和组装过程，尤其是在为组装和测试 (DFx) 进行设计时。可以通过确保物理布局不违反工艺能力来实现，考虑物理布局将如何与组装过程相互作用，并为测试板做出设计考虑。此外，设计师必须确保组装后的 PCB 不会干扰配接 PCB 和其他机械部件。例如，设计师必须了解如何设计具有足够公差和间隙的 PCB，以便正确安装散热器和外壳。

简而言之，设计 PCB 需要综合考虑电路板的目的和应用、散热管理、信号和电源完整性以及制造和组装过程。设计师应该清楚地了解驱动这些关注点的基本原则和价值，以确保他们的设计不仅在技术上而且在功能上都是稳定的。这将提高其设计的精确性、可靠性、可持续性、效率和简洁性。

## Dave Hoover

TTM

**问：对于 PCB 设计师，你最关心的是什么？**

今天的 PCB 设计师需要更好地了解实际制造公差和生产能力。他们需要与制造商的应用工程师合作，以充分了解 PCB 工厂的生产能力。

**问：PCB 设计师应该着重关注哪些主要事项？**

选择材料时，设计师应注意材料供应商提供的支持和服务。切记：重点并不完全是价格。

**问：PCB 设计师应该着重关注哪些问题？**

设计师需要了解短期 NPI (QTA) 与批量生产数量之间的区别。两者之间可能存在巨大的差异；对 QTA 批量规模保持更严格的公差很容易。



Dave Hoover



Gerry Partida

## Gerry Partida

Summit Interconnect

**问：对于 PCB 设计师，你最关心的是什么？**

更多的设计者必须关注内部埋层 / 盲层的最小导体厚度。

**问：PCB 设计师应该着重关注哪些问题？**

计算焊盘尺寸，使其达到 2 级或 3 级产品要求。

**问：PCB 设计师应该着重关注哪些问题？**

非功能性焊盘和钻孔到铜的距离；不存在多余的布线空间。PCB007CN

# PCB 设计要遵守的“交规”

by Kelly Dack

CIT, CID+

CAD 输出的数据是否足以使设计在全球范围内都能成功投入生产?外形、装配和功能是涉及部件互换性时经常被提及的要素。部件从制造生产线下线后,是否能与其他部件装配到一起?如果没有针对物理性能要求的主要技术规格限制,PCB 设计注定会出现报价延迟、无人竞标或直接被制造商拒绝的情况。若产品追求上市时间,那么这些因素都会阻碍产品开发目标的实现。

## CAD 数据是绝对值

如果你曾打开过由 CAD 布局工具生成的 CAM 文件,就会看到数以百计的数值,每个数值代表设计中的几何数据点。一些数值规定了印制、电镀和蚀刻后走线中心的位置;有些数值代表了钻孔时的孔中心位置,以及槽或

PCB 边缘的铣削路径;有些数据则表示机器在执行作业时的旋转速度、旋转或移动位置。所有的 CAD 布局工具都会输出绝对值数据,这些数据点名义上代表了几何特征的准确理论位置——目标条件。

## CAD 数据未将制造工艺公差考虑在内

制造工具、机械和材料引入了大量复杂的主观变量,制造商必须对这些变量进行调整,才能让制造的部件特征与绝对的设计尺寸数据点相匹配。但追求制造完美几乎不可能,所以制造商面临的挑战是要了解加工后的特征偏离完美的程度,且在外形、装配和功能上仍然是可接受的。例如,在 PCB 外形图中,绝对的 CAD 数据可能反映出水平(X轴方向)值为 6.00937in。但在实际生产中,没有一种机器、材料或工艺能够生产出具有如此精度的玻璃-环氧树脂层压 PCB。当 PCB 设计师的数据显

```
M48
;Layer_Color=9474304
;FILE_FORMAT=2:5
INCH,LZ
;TYPE=PLATED
T1F00S00C0.01000
T2F00S00C0.01200
T3F00S00C0.03800
T4F00S00C0.04000
T5F00S00C0.04598
T6F00S00C0.04600
T7F00S00C0.05200
T8F00S00C0.05300
T9F00S00C0.06800
T10F00S00C0.07874
;TYPE=NON_PLATED
T11F00S00C0.03937
T13F00S00C0.21300
```

虽然文件列出了  
钻孔直径的绝对  
值,但并未给出  
公差

```
T01
X04375Y0072
X05605Y00315
X0573Y0106
X0567Y0126
X005Y02
X017Y027
X02105Y0285
X03425Y02855
X053Y02
X05625Y03345
T02
X0642Y0032
X066205Y003205
X06825Y0
X07125
```

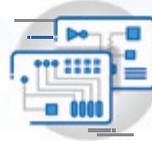
钻孔尺寸对应的 X、Y  
坐标数据并未给出定位  
公差

图 1: 两个钻孔数据文件

# 支持Flex 刚性Flex和嵌入式组件设计 现已上市！

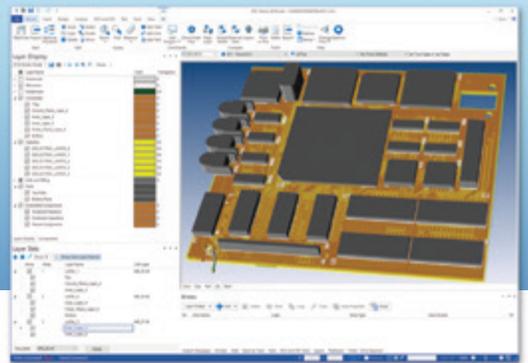
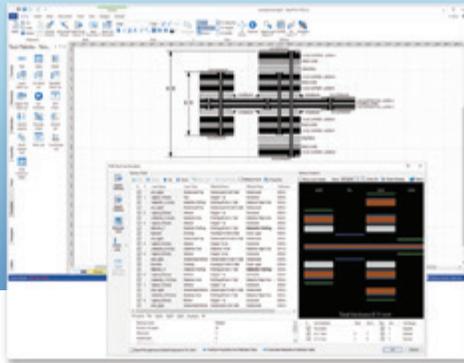
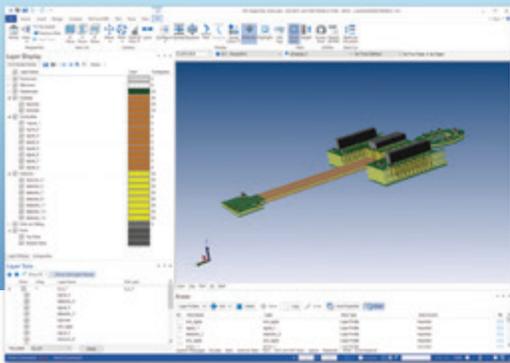


Blueprint-PCB®



CAM350®

- 导入并可视化挠性、刚挠性和嵌入式组件设计
- 3D可视化可验证PCB构造和组件装配
- 管理刚挠设计的可变叠层
- 轻松创建自定柔性或刚挠性产品的制造与装配文档



更多信息，请访问[downstreamtech.com](http://downstreamtech.com)网站或致电 ( 508 ) 970-0670

示坐标为 6.00937 in，而切割出的一组部件尺寸为 6.006 in、6.012 in、6.013 in 和 6.014 in 时，部件就必须全部报废吗？哪个标准这样规定的？必须要给制造相关方提供可接受的尺寸范围，因为他们的工艺良率各不相同。

## 在法定限制内设定设计规则检查标准（DRC）

在乡间公路上行驶时，一定会看到限速标志。这时要如何调整驾驶速度呢？无论过程如何，都要考虑驾驶约束条件，并首先要达到一个速度才能符合目标条件。如果标出的限速是 60 英里 / 小时，大多数司机会将他们的汽车速度调整到极限。为什么呢？因为人类的天性就是挑战极限？我们是否错误地认为，将复杂的系统设置为特定的值，其结果就可以正好是

60 英里 / 小时？不会的。在主体必须与系统的其他部件相互关联的背景下，“精确”是主观的，对于批量生产中使用的复杂系统，尤为如此。

用于生产车速里程表和巡航控制模块的制造系统会受到制造工艺公差的“叠加”影响。在组装各个模块的过程中，为了校正不同的制造变化，必须对其进行精度校准。这些模块随后要安装到汽车系统中，而汽车系统有另一组制造商无法预见的系统变量，导致系统精度更难把控。重型越野轮胎直径、道路坡度和温度等变量导致定速巡航系统无法达到一致完美。根据 NPR 节目《Car Talk》的报道，定速巡航系统与设定值的差异可达到  $\pm 10\%$ 。因此，即使把定速巡航的速度设定为 60 英里 / 小时，汽车也可能受到各种变量的影响，以 66 英里 / 小时的速度从交警身边呼啸而过。你可能得和警察讨论一下设置定速巡航时如何考虑公差的问题。我们是否应该将定速巡航速度设置为 54.5 英里 / 小时，以允许系统公差为  $\pm 10\%$ ？

## 设计规则检查（DRC）设置必须考虑到制造系统公差

一般来说，PCB 设计师会手动调整 CAD 工具的 DRC 设置，就像司机设置定速巡航控制一样。许多经验不足的设计师将 DRC 值设置为当地样品供应商提供的“降低的可制造性”3 级限制。如果制造能力极佳的样品供应商能够制造出 0.003in 的成品线宽和线距，设计师就会倾向于将线宽和线距的 DRC 设置为 0.003in。如果样品生产工厂说他们可以把阻抗的生产公差控制在  $\pm 2\%$  以内，很多时候我们会发现制造说明中会写明要严格按照该数值执行，但其实更宽松的值也足以符合要求。

一些设计师认为样品供应商的 CNC 钻孔

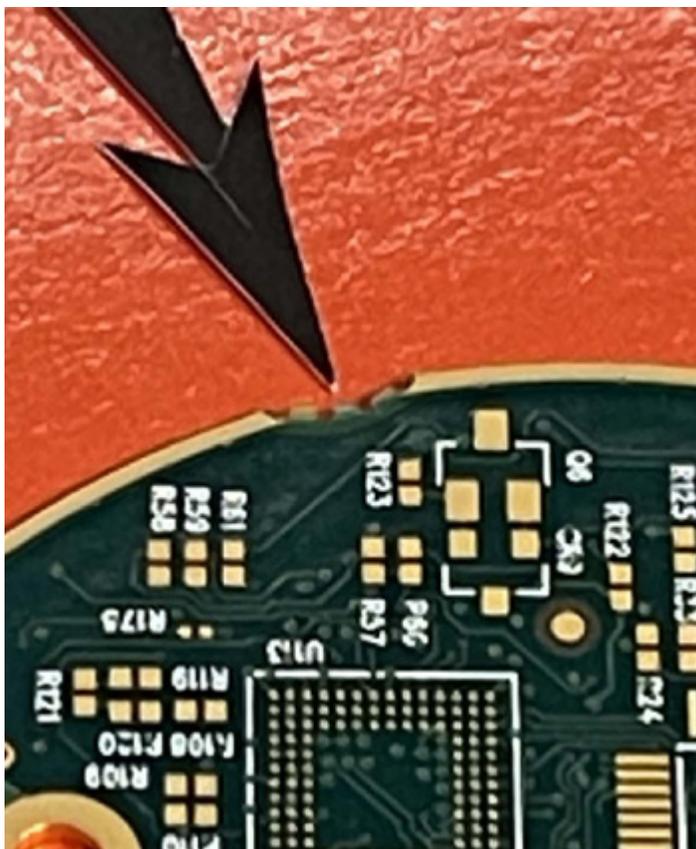


图 2：PCB 边缘鼠啮缺口

设备非常精确，虽然孔环的尺寸会大大缩小，但不必担心孔破出的状况。他们不了解的是，钻孔公差只是 PCB 生产操作和制造属性的一部分，如果想得到同心电镀通孔，必须要综合考虑其他属性，包括印制、蚀刻和电镀变量，甚至还包括材料的拉伸、膨胀和收缩等因素。PCB 样品制造领域常常被误解，人们以为即使设计布局已经超出了样品供应商能力的极限，也还是能成功制造出成品。

许多 PCB 设计师不明白的是，为了提供他们广告中提到的“不可能的”非凡设计能力，样品生产工厂不得不生产出大量额外部件，以获得足够的良率来交付小量订单。现在，应该明白为什么快捷生产 10 块小 PCB 要支付 5000 美元的原因了吧。生产这 10 块 PCB，意味着还要产生另外 100 个因为不符合要求而不得不报废的 PCB，用掉的材料和工时就要花费掉 4500 美元。成本之所以这么高是因为良率太低。

事实上，CAD 工具公司这些年来已经抓住了这一发展趋势，并一直与 PCB 制造公司合作，了解他们的能力——或者说是了解他们的极限，希望 PCB 生产车间能像各个地区公布车速限制方式一样，为 PCB 布局开发自动的设计“定速控制”功能。

他们的努力并没有白费。这些公司已经能够发布一些设计制约，甚至可根据 PCB 制造商特有的制约条件，在快速自动执行 DFM 审查后自动提供报价。此处应用的 DRC 理念是“即设即弃”。这种商业策略对快捷样品供应商和 CAD 工具公司来说更有意义。他们正在尝试解决的问题是，如何避免使用他们的工具生成不可制造的 PCB。

但是，引导下一代 PCB 设计师使用这些



图 3

各不相关的生产任务适用的专有规则，似乎忽视了重要的一点——设计最终势必要投入批量生产。在实际操作当中，批量生产需要针对产量、成本制约条件和设计材料余量的更宽松 DRC 设置。如果批量生产相关方每次听到客户抱怨说“样品生产工厂可以做到”时，都能赚到哪怕 5 分钱，那他们早就富有到可以不用工作了。不幸的是，很多 PCB 设计师总是根据定制化样品本土制造能力去考虑问题，他们期望离岸外包供应商能够按照精确的数值加工产品，完全符合材料和叠层的规格要求。

## PCB 设计布局的公差有多大？

你去过交通学校 (traffic school) 吗？几年前，我和其他违反交规的人一起坐在房间里，听着那些我以为自己早已知道的驾驶规则。前面的课程很无聊，直到我们看到一组幻

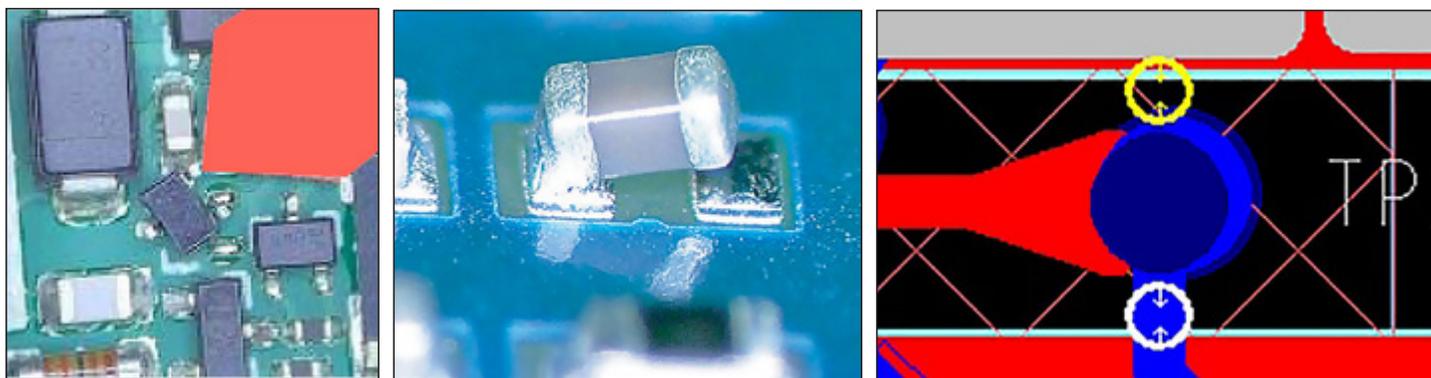


图 4：数据“车祸”的 3 个实例

灯片，上面播放车祸现场的真实照片。这些照片呈现了超限速驾驶车辆后可能付出的代价。

同样，PCB 设计师每天都会因为使用“竞速巡航”功能去操作布局工具而造成事故。PCB 设计师收到 PCB 布局工具的钥匙时，他们并不了解这些工具的默认设置，于是提供给 PCB 制造商的输出数据是制造商力所不能及的。制造商和组装商见识到了在 EDA 工具限制之外操作所实际产生的代价——连接短路、孔破出、引线未润湿、焊缝不良和元器件墓碑效应。可以在 PCB 验收标准 IPC-A-600 和 IPC-A-610 中看到一些不符合要求的图片。

目前关于在 PCB 布局过程中应用人工智能技术的热议，可能会导致 PCB 设计师更加无法了解全球制造限制条件，并可能推动 PCB 自动布局工艺流程的发展。据我所知，这些空想家在合作时似乎并没有考虑到全球制造供应商面临的限制。有些公司正在和专门从事样品生产的本地生产组装服务机构合作，这些公司的服务成本高且规模小。我们这些从事批量生产的制造商经常听到客户的项目管理团队负责人说，他们想增加组件生产批量，却又不想放宽设计约束条件。他们对我们说：“我们的样品制造商从未抱怨过设计限制。为什么你的供应商会认为有问题？”

## PCB 设计工程师的“交通学校”

你上过传统的制图学校吗？令人惊讶的是，没上过设计制图课也可以获得四年制电子工程学位。无论老少，聪明的电气工程师们似乎都非常了解“设计自动化”、电磁场、物理学以及如何让电子流动起来。但期望他们拿起 CAD 工具就能创建一个可制造的 PCB 设计，就像把一辆没有设置交通高峰模式的自动驾驶汽车的车钥匙交到了没有经验的司机手中。在没有接受任何培训的情况下，他们会认为不需要了解背景知识，凭着直觉设置好工具就能完成工作。

如果想创建成功的 PCB 设计，需要深入了解制造公差技术规范。PCB 组成必须要与其他成百上千个机械组成部件结构相互配合才能发挥作用，与此同时还要满足设计的电气要求。切记，没有什么是完美的，一切部件都有公差。PCB 设计师的工作是考虑来自所有项目相关方的成本和性能制约，使 PCB 设计成功实现。是的，我们有“智能数据”，而且我们正在向智能制造数据迈进。但 CAD 的输出数据仍然是绝对值，目前创建 PCB 的系统会受制于那些影响性能的变量。但问题并没有变——性能能有多大变化？如果 PCB 要被应用

问题	问题	工厂建议	图	对用户的要求
1	按照 IPC2 级产品标准的要求，线宽公差是 $\pm 20\%$ ，控制达到 $\pm 10\%$ 的要求很严苛。	提议可放宽要求至 $\pm 20\%$ ，	图 1	要求用户做出反应
2	文件要求两面都有阻焊层，但 GERBER 文件只有一面阻焊层的数据	我们将在整个底部印刷阻焊层	图 2	要求用户做出反应
3	按照叠层详细要求，成品 PCB 厚度不包括阻焊层，但整个底部有阻焊油墨。		图 3	要求用户做出反应
4	成品 PCB 厚度要求为 $62\text{mil}\pm 5\%$ ，很难控制生产达到要求，因为供应商的芯材公差为 $\pm 5\text{mil}$ 。	提议 PCB 厚度要求控制为 $62\text{mil}\pm 10\%$ （包括铜及阻焊层）	图 4	要求用户做出反应
5	不能确认黑色油墨是无光泽的，还是有光泽的。	有光泽的黑色油墨	图 5	最好为无光泽的黑色油墨
6	表面涂层要求不明确	提议采用 LF HASL 涂层		最好用 ENIG 涂层
9	拼板单元外形与 GERBER 文件不一致。	根据 GERBER 文件中的“gm4”层要求构建单元外形	图 8	要求用户做出反应
10	无法通过铣削构建适当的角。	提议更改内角为 $R0.5\text{mm}$	图 9	要求用户做出反应
11	一些直径为 $15\text{mil}$ 的孔被顶部的阻焊开口部分覆盖，导致阻焊油墨侵占了焊盘。	提议将孔的每侧扩大 $5\text{mil}$ ，用阻焊油墨填塞这些孔。	图 10	要求用户做出反应
12	焊盘之间的间距只有 $12\text{mil}$ ，焊盘之间有丝印线条。但我们需要间距至少为 $16\text{mil}$ 。	避免在焊盘上丝印，间距至小于 $16\text{mil}$ 时，提议删除焊盘之间的丝印线条	图 11	用户同意
13	图纸以英寸标记的尺寸为取整值，所以存在偏差。	根据 GERBER 文件进行生产，以毫米控制这些数据	图 12	用户同意

图 5：DFM “超速罚单”：A-F

到系统内，就必须计算并公布变化或公差的极限。

直到我们跳脱出数据，开始关注 PCB 制造图纸时，我们才想要看到某个特征的验收要求。当质保检查员能够看到 PCB 外形边缘到边缘距离指定的尺寸和公差标注时，他们才能

知道验收要求和允许的外形范围。如果设计师正确计算出了尺寸范围，部件就一定能与下一环节组装中的其他配接部件相匹配并能正常运行。

PCB 制造和组装图纸仍然是沟通公差的常用手段。文件自动化方面已经取得了很大进

展。但随着新一代 PCB 设计师在未经培训的情况下进入这个行业，我们会看到自动输出的 PCB 图纸上缺失了本该要有的规格要求。

很久以前，社区学院会开设更深入的设计绘图课程，PCB 设计师可以从这类课程分支中学习到这个行业的基础知识。这些课程有助于教授工程设计语言，例如文档概念（包括几何构造）、第三角投影、ANSI 标准绘图方法以及几何尺寸和公差（geometric dimensioning and tolerancing，简称 GDT）的基本知识。由于这些学校课程中很少教授文件编制过程，PCB 制造工程师在报价或生产 PCB 时往往会感到无从下手。CAD 工具供应商只做了一半的工作，他们发展了工具在绘图和文档记录方面的能力。

就像所有的事情一样，在没有理解背景情况的前提下培养出的能力可能是危险的。在我们这个行业，新入行的设计师所输出的大量文件都充斥着各种问题。现在，自从工具有了自动标注尺寸的能力，我们就总能在部件上看到数十个不必要的尺寸信息被标注到了不恰当的位置上，于是就出现了同个位置标注有两种尺寸的严重问题。我们看到自动生成的 PCB 叠层信息中夹杂着层压板的属性，而设计师显然不理解这些属性，所以设计根本无法被生产出来。谁来指导设计师如何使用这些工具？

## 在全球范围内实现自主设计与制造仍然是遥远的愿景

在驾校，我们学到了限速初步提醒意味着“请勿超速或减速行驶”。司机需要始终根据周围条件安全地进行调整。任何 PCB 设计师都必须了解制造规格和公差的极限。我们的行业继续通过 DFM 来普及这个初步概念。但是，

这个概念已经变得如此主观，对全球制造商来说已经毫无意义。如果设计师不了解供应商或供应商的制造能力，他们如何能把 DFM 纳入考量范围？当产品要投入批量生产时，PCB 设计师是最后一个知道其设计要在世界哪个地方生产的人。

本地样品设计服务提供的免费 DFM 评审与来自中国、爱尔兰、印度或越南的 DFM 评审有很大差异。考虑每个供应商特有的制造限制时要调整 CAD 工具的 DRC 设置，实现 DFM 是确定无疑的挑战。全球各地的供应商都不愿意对外公布自己在生产能力上的不足，除非客户真的会把业务交给他们做。那我们有什么选择呢？

## 供应商开出的 6 大 DFM“超速罚单”理由

- 未能提供符合 IPC-6012 制造工艺和等级规范的设计形状
- 未能提供具体的尺寸和公差来定义部件的外形、装配验收要求
- 未能提供 IPC-D-356 网表（ODB++ 在境外未被充分采用）
- 未标清铜的厚度规格为“基材”还是“成品”
- 未能找到与 PCB 相关的智能设计原点，例如安装孔
- 不允许使用通用层压材料的替代品

经验不足的设计师在哪里可以学到更多知识？IPC 设有 PCB 设计课程，如 Kris Moyer 教授的课程，以及 CID 与 CID+ 认证课程和考试。IPC APEX EXPO 展会、DesignCon 研讨会以及 PCB 东部展会和西部展会也有各种设计课程。Altium 公司的 John Watson 还在圣地



**IPC SYLLABUS**

**PCB 设计 I 课程介绍——课程大纲**

**IPC STANDARDS COVERED (PROVIDED WITH COURSE)**

- IPC-2152 《PCB 设计中确定载流能力的标准》
- IPC-2221 《PCB 设计通用标准》
- IPC-2222 《刚性有机 PCB 分设计标准》
- IPC-2611 《电子产品文档通用要求》
- IPC-2612 《电子图文档分要求（原理图和逻辑说明）》
- IPC-2612-1 《电子图符号生成方法分要求》
- IPC-2614 《PCB 制造文档分要求》
- IPC-2615 《印制电路板尺寸及公差》
- IPC-4101 《刚性及多层印制板用基材规范》

图 6：IPC 为设计师开设的“驾驶课程”

亚哥附近的 Palomar 学院教授 PCB 设计的基础和高阶课程。设计师可以接触到很好的设计课程资源，但市面上也有一些不太好的课程，所以在交学费之前一定要好好调查课程讲师的资质。

IPC 规范标准及培训课程已经为协作性 PCB 设计和制造规范奠定了基础，也就是上文提到的“初步提醒”。他们可以作为 PCB 制造行业体系内的企业手册，为全球行业提供服务。来自不同领域的行业专业人士集思广益，开发出了这些规范标准及相关课程。制造商以这些规范要求为目标，规定 PCB 的目标条件。PCB 设计师需要熟悉和指定这些文件中的限制条件，并根据标准中发布的这些限定条件形成自己的设计策略，才能使设计出的产品与供应链上的其他相关方正确装配并发挥功能。设计师必须意识到，如果在布局 PCB 时不考虑

全球制造商的基本生产能力，那他们设计的就不是 PCB，而是在设计即将发生的事故。

希望你们今天过得愉快。开车不要超速哦，听到没有？PCB007CN



**Kelly Dack** 是 IPC 认证的主任培训师 (Certified IPC Trainer, 简称 CIT)，IPC 认证的高级互连设计师 (Certified Interconnect Designer Advanced, 简称 CID+)，为太平洋西北部一家富有创新力的 EMS 供应商提供以 DfX 为中心的 PCB 设计和制造联络专业知识，同时兼任 EPTAC 的 IPC 设计认证讲师。他还是 I-Connect007 专栏作家。如需阅读往期专栏，可[单击此处](#)。



## 行业会展

### [NEPCON China](#)

2023年7月19至21日

中国上海

### [TPCA Show](#)

2023年10月25至27日

中国台北

### [一步步新技术研讨会 \(东莞\)](#)

2023年7月27日

中国东莞

### [慕尼黑华南电子展](#)

2023年10月30至11月1日

中国深圳

### [NEPCON Vietnam 2023 \(河内展\)](#)

2023年9月6至8日

越南河内

### [CPCA 国际电子电路 \(华南\) 展览会](#)

2023年11月14至16日

中国深圳

### [NEPCON Vietnam 2023 \(胡志明展\)](#)

2023年10月4至6日

越南胡志明

### [慕尼黑德国电子展及生产设备展](#)

2023年11月14至17日

德国慕尼黑

### [NEPCON Asia](#)

2023年10月11至13日

中国深圳

### [HKPCA 国际电子电路 \(深圳\) 展览会](#)

2023年12月

中国深圳

## 其他活动日历



出版商：BARRY MATTIES  
INFO@ICONNECT007.COM

广告销售：BARB HOCKADAY  
BARB@ICONNECT007.COM

EDY YU  
EDY@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@ICONNECT007.COM

译文编辑：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：GUANHUI CHEN, EDY YU

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

创新技术：BRYSON MATTIES

封面设计：SHELLY STEIN, EDY YU

封面图片来源：ADOBE STOCK

**PCB007**  
MAGAZINE

《PCB007 中国线上杂志》由 IPC Publishing Group, Inc. (3000 Lakeside Dr., Suite 105N, Bannockburn, IL 60015) 出版

未经 ©2023 IPC Publishing Group, Inc. 授权禁止转载。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 / 疏漏是否属于意外或疏忽，或其它任何原因。

2023 年 7 月号总第七十七期《PCB007 中国线上杂志》是由 IPC Publishing Group, Inc. (I-Connect007) 出版的电子月刊。

## 广告索引

《数字时代先进制造》.....	30
《印制电路工艺验证》.....	16
《印制电路设计师指南 - 高性能材料》.....	44
《印制电路组装之智能数据》.....	72
《HDI 手册》.....	26
《电子产品的可靠性预测》研讨会 .....	46
IC007 图书馆 .....	4
杂志订阅 .....	封底
望友科技 .....	50
珠海镇东 .....	8
BTU.....	58
Cadence.....	74
Chemcut.....	14
CIMS.....	32
CPCA(华南) 展览会 .....	6
D.B.Management.....	48
Downstream Technologies.....	84
Gen3.....	68
KYZEN.....	52
KIC.....	62
MKS'Atotech.....	28
MKS'ESI.....	36
NEPCON.....	2
Orbotech/KLA.....	18
Schmoll Asia.....	22

更多精彩内容敬请期待

PCB007中国线上杂志：

### 八月：全面质量管理 TQM

全面质量管理 TQM 最早是由上世纪 50 年代通用汽车最先提出，是一个组织以质量为中心，以全员参与为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。当前 TQM 已经成为了优质制造业的基石。

# 感谢阅读 《PCB007中国线上杂志》



扫码订阅

制造业求精