

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

2020年08月号

I-Connect007
GOOD FOR THE INDUSTRY

pcb007 中国

线上杂志

CHINA MAGAZINE



电子制造业 再思考!

扫码关注公众号



iconnect007china.com

电子制造业再思考

by Edy Yu

I-Connect007中国

入夏后行业展会进入了复苏期,7月份我们也参观了几场,总体感觉都非常不错。参观人数众多,参展商的反馈也十分积极。从中不难看出,国内的制造业在快速复苏,整个行业还是抱着谨慎乐观的态度在为2021年做准备。5G、电动汽车依然是来年的热门,本期我们的主题是对于制造业的再思考,集合了许多热门话题。

首先是近期的大热门 VeCS 技术的再探讨,五月号中我们对沪士电子的 Joe Dickson 进行了关于 VeCS 主题专访,得到了业界的广泛关注。近日,Nolan Johnson 及 Happy Holden 又采访了 Joe,请他介绍了 VeCS 技术的应用,以及提升该技术会对制造业产生的潜在影响。

接下来是本期是主打文章,我们请到了 Alex Stepinski《再谈 PCB 专属制造》,在最近几年 Alex 的 GreenSource 全自动 PCB 制造工厂一直备受瞩目,巨大的投入和独具远见的

创新使其成为行业标杆。对于该工厂感兴趣的读者千万不要错过,文中还附带了新厂建设的延时视频。

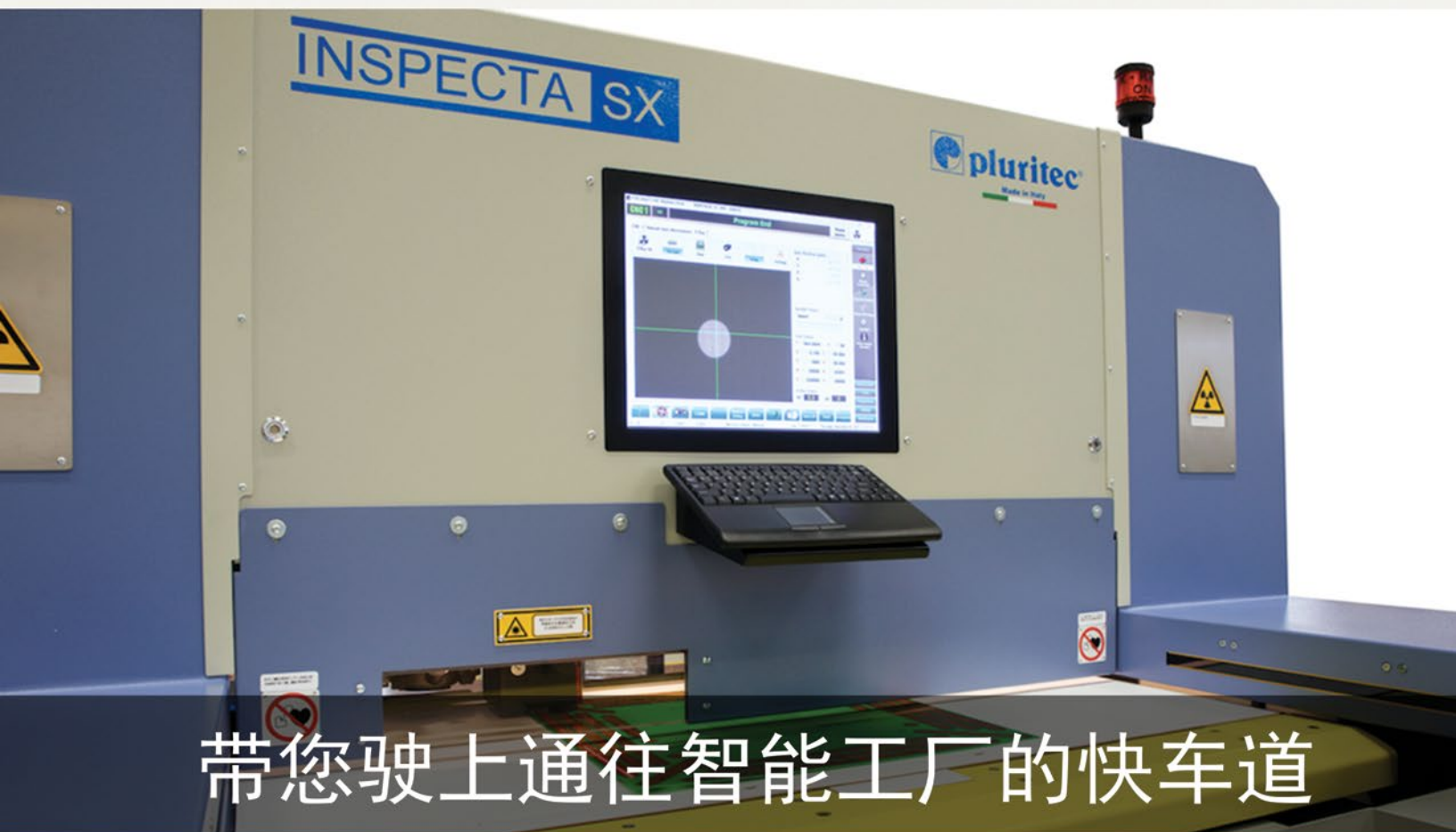
近期,CCLA 举办了线下 2020 年中国覆铜板行业高层论坛,CCL 领域的专家、企业家汇聚一堂,围绕“面临大变局,共赢新未来”主题作深入的研讨。本刊对此会议做了详细的报道。

电子铜箔材料分会秘书长冷大光在论坛上强调,目前电子铜箔行业违反市场规律、无序盲目上马的投资扩产行为增多,这些需引起业界的高度关注。为此,我们专访了冷秘书长,他就此问题进一步谈了协会的看法。

酸铜电镀虽然也有很多局限性,但总体来说是一个非常有前景且具有成本效益的方法。我们的技术编辑 Pete Starkey 为您带来《应用于酸铜电镀的仿真技术》。

自最早开发出 UV 固化材料以来,已经实现了可 UV 固化印制电路和其他制造工艺所用油墨的设备,这类设备大多使用蒸汽灯作为





帶您駛上通往智能工厂的快车道

搭上智能工厂快车



- 与MES集成，面板可追溯性，易于与现有自动化方案集成
- 开放性设计，可轻松与任何自动化方案集成
- 使用X射线进行内层2D代码读取达成工艺管控
- 外层实时标记，支持面板可追溯与信息检索
- 集成面板变形数据采集和统计分析软件，用于改进对位
- 以下功能可选：
 - 使用机械手臂自动装载卸载面板
 - 带闪光灯的X射线面板预对准机
 - 自动打标机

Hong Kong

普利德工業遠東有限公司

香港 灣仔 告士打道80號 17樓

Tel 電話：+852 2954 5592 / +86 136 3289 6587

costanzo.dangelo@pluritec.org

tom.tang@pluritec.org

Taiwan

普利德工業遠東有限公司

地址：桃園市平鎮區復旦路三段84號

Tel 電話：+886 (03) 4022218 / +886 (0) 937721665

mike.chen@pluritec.org

UV 光源。同时人们也在寻找其替代品,LED UV 固化利与弊,Viking 的 Marc Ladle 将为您解惑。

在过去十年或更长的时间里,自动化一直是热门话题。除了节省成本、减少人员、提升良率以外,自动化是否会有一些弊端表现出来?尤其是没有找准方向,大上快上很容易翻车。Gardien 的 Todd 对此提出了他的质疑。

在近期 2020 汽车雷达和汽车视觉前瞻技术展示交流会期间,我们采访了来自罗杰斯汽车领域的市场开发经理杨熹,就行业非常关心的汽车用高性能电路板相关问题进行了探讨。

快速变化的电子市场驱动着封装设计尺寸越来越小,同时所采用的技术越来越复杂,导致制造商需要不断创新加成法技术,来满足 PCB 设计师的需求。我们的长期专栏作家将为您讲解 A-SAP 的前世今生。

IPC 名人堂得主 Michael Carano 将继续他的《工艺工程师高阶故障排除指南》系列,本期他将讨论两大技术缺陷:第一是电路开路或蚀刻导致的;第二是与板上的残留铜有关。

Happy Holden 的《工程师 25 项必备技能》不知不觉快迈入 20 辑大关了,您是否从中学习到了帮助您日常工作的知识呢?本期将介绍度量与量纲分析。

PCB 组装专区中,首先是两篇上个月慕尼黑电子生产设备展中的采访。

我们知道电子产品应用环境越来越恶劣,对三防材料的防护性能要求也越来越高,随着 5G、汽车电子等应用需求越来越多,三防漆成为保证产品高可靠运行的必需品。我们采访了易力高的张小蓉总经理,她对于 5G 与新能源汽车市场非常看好。

作为知名的焊接系统设备制造商,本次慕

尼黑上海电子生产设备展上,锐德热力重点展示了其多种产品组合。充分向观众传达了系统和工艺制程的进一步发展趋势。我们采访了锐德的区域销售总监王禹先生

接下来是行业专家钢泰科技的 Ron Lasky 博士阐释了行业为什么还没有大范围接受其公司开发出的新型合金焊料。他还概述了焊料合金的发展概况,包括在鉴定 SAC305 有效性时所遇到的难题。

最后是德科技带来的一篇技术文章,《在电子制造智能工厂中应用高阶分析的真实案例》。工业 4.0 如今已经成了全球范围内热议的主题,光说不练假把式。本文中介绍生产线中应用机器学习 (ML) 技术的成功盈利案例,即在這些案例中实现了测量科学与数据科学的融合。

PCB 设计专区中,我们邀请了 PCB 设计培训导师 Rick Hartley 和 Dan Beeker 深入分析应用指导书。PCB 设计师或设计工程师应该很熟悉应用指导书——芯片制造商和其他供应商本应向设计团队提供用于制造更优电路板的重要信息。应用指导书真地发挥了本该发挥的作用吗?

做电源分配设计的人都知道该设计并不容易,电源设计大师 Istvan Novak 就认为电源分配设计比信号完整性更具挑战性。本期他将带来一个有趣的话题——PDN 电源网络真的需要铁氧体磁珠吗?

以上就是本期杂志的全部主题,月底我们会分成两组参加上海的 CPCA SHOW 2020,以及华南 NEPCON ASIA。很期待见到不少久违的朋友们!记得关注与分享我们的微信公众号“PCB007 中文线上杂志”,与我们时时保持联系。PCB007CN



**CPCA 2020
SHOW**

同期举办：上海国际水处理和洁净技术及设备展览会

Extra Exhibition: International Water Treatment & Cleanrooms Exhibition

国际电子电路（上海）展览会

INTERNATIONAL ELECTRONIC CIRCUITS (SHANGHAI) EXHIBITION

2020.8.25-27

国家会展中心（上海）

National Exhibition and Convention Center (Shanghai)

主办单位 Organizers



承办单位 Event Manager



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

展会联络 Contact Us

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

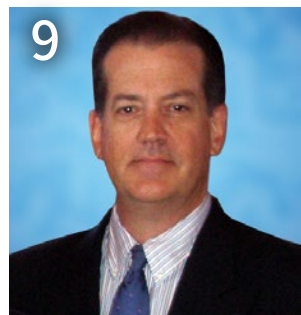
www.cpcashow.com



2020年八月号 本期专题内容 电子制造业再思考

2020 年让人类对于世界格局、全球化的认识发生了翻天覆地的变化。制造业也在经受考验，制造业的未来需要再探讨！

专题文章



9 专访沪士电子：再谈 VeCS 的互连技术
by the I-Connect007 Editorial Team

17 再谈 PCB 专属制造
——专访 Alex Stepinski
by the I-Connect007 Editorial Team

33 后疫情时代，中国 PCB 产业链之覆铜板
面面观
by Tulip Gu

39 强调电子铜箔产业的有序扩张
by I-Connect007 中国团队

41 应用于酸铜电镀的仿真技术
by Pete Starkey

47 LED UV 固化：真的可行吗？
by Marc Ladle

63 工艺工程师高阶故障排除指南（2）
by Michael Carano

67 25 项必备技能：度量与量纲分析
by Happy Holden

51 自动化程度太高？
by Todd Kolmodin

55 汽车用高性能电路板为安全驾驶
保驾护航
by I-Connect007 中国团队

59 半加成工艺之 A-SAP™ 技术
by Tara Dunn

这些行业领军企业 都有什么相似之处？



他们都从PCB007中国线上杂志的广告中收益
我们是中国电子电路行业的优质广告合作伙伴
欢迎加入领袖企业的行列！



GET STARTED NOW!

I-Connect007 中国
GOOD FOR THE INDUSTRY

I-Connect007china.com



扫码订阅公众号推送



行业要闻

- 46 2019 年我国覆铜板行业调查解析
- 80 领导力工具箱中应该有的 3 种工具
- 89 【展会邀约】2020 国际电子电路 (上海) 展览会
- 103 下一代挠性电路的特征：透明
- 121 MIL-PRF-31032 认证的七大步骤
-
- 其他栏目
- 58 PCB007 中文网站 Top Ten
- 123 行业活动日历
- 124 广告索引、下期预告
工作人员名单

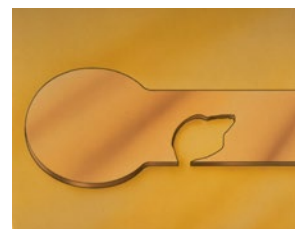
更多内容

PCB 组装专区

- 73 5G 与新能源汽车推动三防漆市场向好
by Edy Yu
- 77 锐德展出气相焊、回流焊、点胶涂覆新
产品
by Edy Yu
- 81 钢泰技术专家谈焊料合金和焊膏的发展
概况
by the I-Connect007 Editorial Team
- 91 在电子制造智能工厂中应用高阶分析的
真实案例
by Derek Ong, BscEE

PCB 设计专区

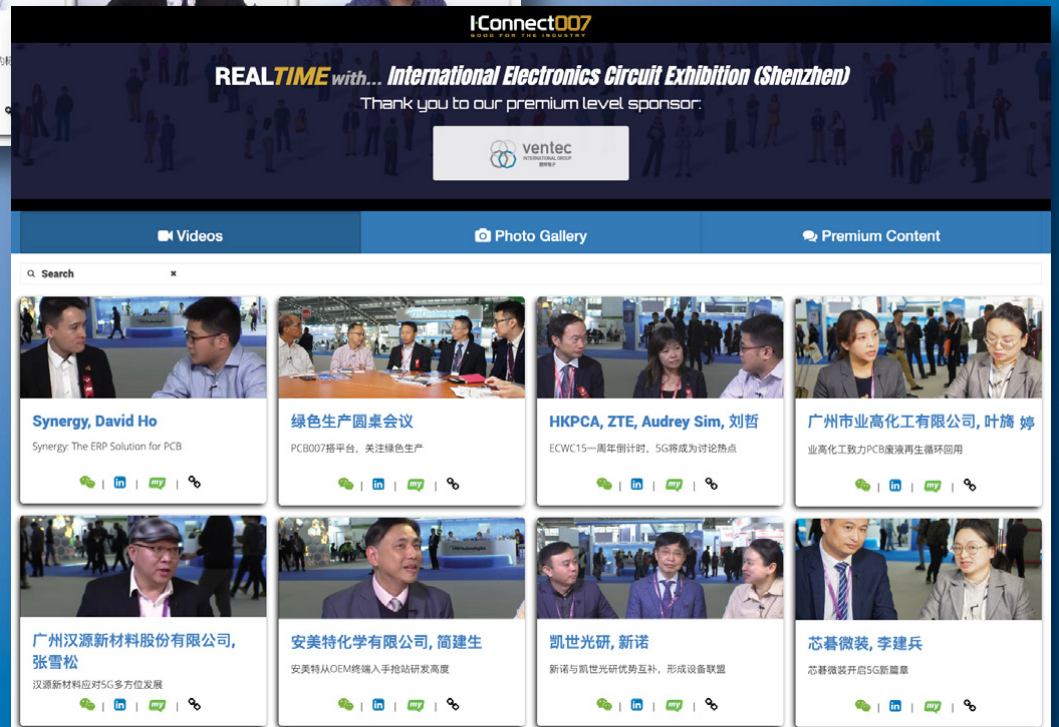
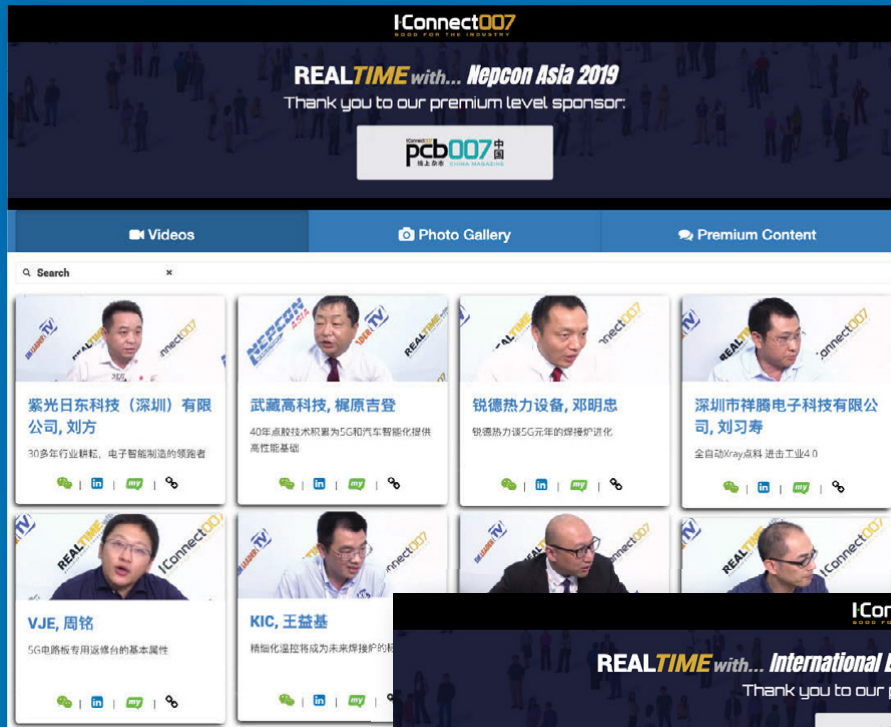
- 105 专家论应用指导书
by the I-Connect007
Editorial Team
- 115 PDN 电源网络真的需
要铁氧体磁珠吗?
by Istvan Novak

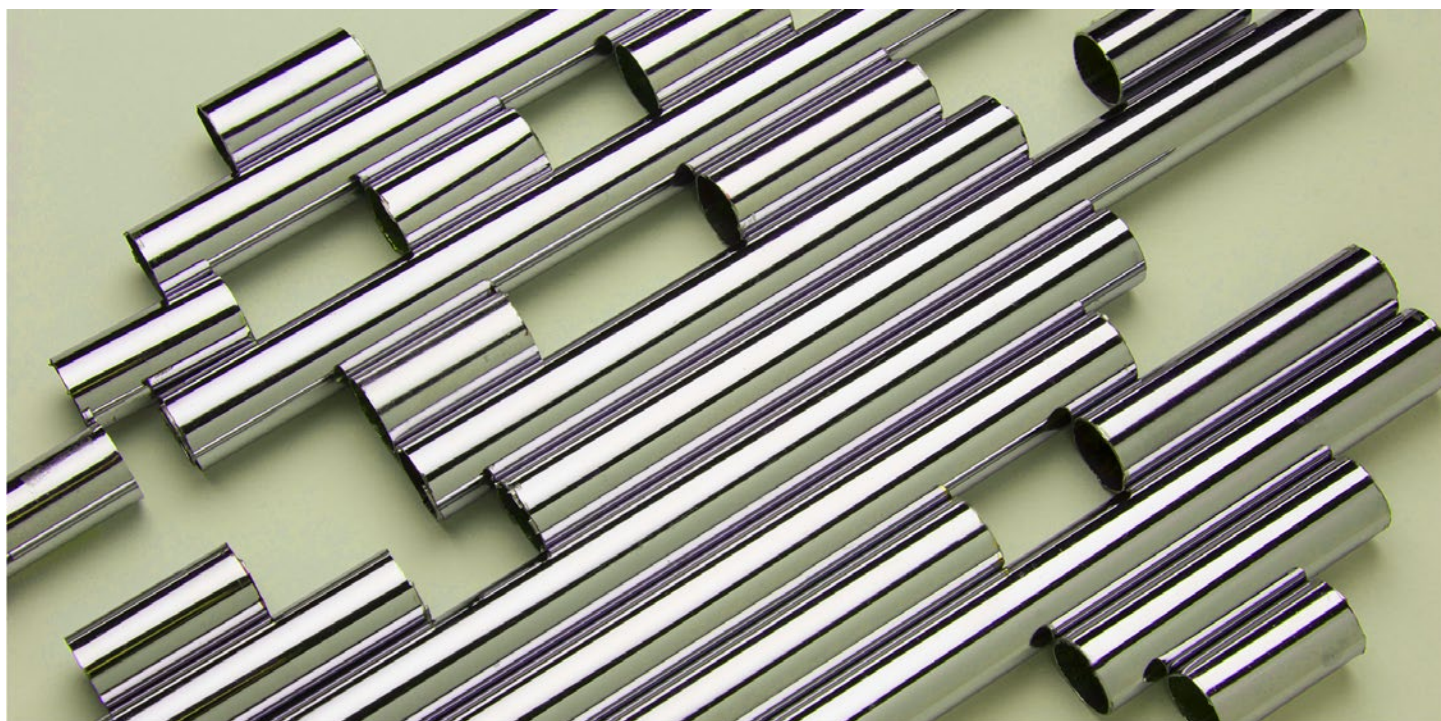


REALTIMEwith...

EXCLUSIVE EVENT COVERAGE 独家展会报道

全球唯一的行业盛会实时在线报道。





专访沪士电子： 再谈 VeCS 的互连技术

by the I-Connect007 Editorial Team

《PCB007 线上杂志》五月号中我们对沪士电子的 Joe Dickson 进行了关于 [VeCS 主题专访](#)，得到了业界的广泛关注。近日，Nolan Johnson 及 Happy Holden 又采访了 Joe，请他介绍了 VeCS 技术的应用，以及提升该技术会对制造业产生的潜在影响。

Nolan Johnson：Joe，你最近发表了一些关于互连技术策略方面的文章。

Joe Dickson：是的。其中关于该主题的最新文章中，谈到在同一块 PCB 中包含 HDI、VeCS 及其他互连方式，用以揭示 VeCS 技术

的发展方向。Happy 曾讨论过 HDI，谈到 PCB 的 HDI 技术，就如早期 HDI 技术取代通孔技术时，有很多人认为 HDI 可以取代通孔技术，一些运用传统通孔技术的 PCB 工厂会失去竞争优势。但在许多后来的应用中 HDI 是作为辅助技术加入传统设计的产品中，在 PCB 特定的位置采用 HDI 成为一种必要手段，而其余部分仍可继续采用相对传统的技术。HDI 技术在工程设计与加工成本两方面具有极高的价值，从降低成本同时保证性能的角度来看，这种方法性价比最佳。

这也正是沪士电子在 VeCS 领域探索的方向。最初，很多人认为 VeCS 将取代所有类型的互连，但至少从现在我们所了解到的，VeCS

新 Uniplate®

新一代的水平除胶沉铜电镀设备



ATOTECH

符合mSAP 和amSAP

工艺要求的高端PCB生产设备



增强了操作和维护友好性能

同比减少30%泵能耗

新Uniplate®介绍了新一代的高端PCB水平除胶沉铜电镀设备,符合mSAP 和 amSAP 工艺要求,可满足对更小线宽线距的高端HDI,IC载板和高多层PCB的大量产需求。

基于已经销售超过1500 多条Uniplate®生产线的经验. 新Uniplate®采用了全新和高效的设计理念传承了Uniplate的成功故事。

与上一代Uniplate 相比,其优势包括了更节能,能源消耗减少30%并增加了保养和用户友好性能。新的设计实现了泵和过滤装置之间管路设计的同一性和节省空间的理念,并实现了药液取样的安全性和便利性。



如 HDI 技术的应用一样，将与通孔技术、HDI 技术相互搭配组合应用于 PCB 设计与制造中。

Johnson：从理论上讲，根据不同的设计需求，一块电路板可以同时使用 VeCS、HDI 及传统通孔技术三种不同的结构，而取决于关键在于具体的需求，对吗？

这和已经到来的400G高频技术发展一样，因为连接器和PCB技术的问题，我们正在开发相应的产品以支持这一发展趋势。

Dickson：根据行业的发展方向，以及系统级芯片和 FPGA 型技术的发展路线，就会试图在 PCB 之外的有机基板上研发更多可能。这种发展方向将有利于技术的开发，并将其推向高性能发展的前沿。紧随其后，通过某种工艺，其系统可以被利用或转移到 PCB 中，这正是一些工程转化过程发挥的作用。这和已经到来的 400G 高频技术发展一样，因为连接器和 PCB 技术的问题，我们正在开发相应的产品以支持这一发展趋势。例如最初开发的光纤互连技术与电缆互连技术，受限于与连接紧密性与 PCB 现有的技术，导致并未很好地支持 400G 的发展。

但从长远来看，希望将这种系统构建到更紧密的互连中，而这正是 PCB 的机会所在。并且，即使是下一代产品，也可能需要这些芯片更紧密的布局，在这种情况下，跳线连接可

能不是最为理想的方法。我确信你们已了解这类需求。

Johnson：很有意思的发展动态，您会发现沪士电子独有的技术之一——VeCS。

Dickson：起初，我们出于成本优势开发 VeCS，虽然成本问题仍然是沟通中几乎每个人都感兴趣的关键点，但现在 VeCS 真正的意义是它的创新性，可以应对其他互连技术难以解决的问题。例如 HDI 技术，在堆叠 HDI 和可靠性方面存在一些明显的问题。Happy 在他的论文中已经非常清楚地表明了这一点。我们正在研究利用仿真工具来降低 HDI 堆叠结构的应力，创建具有较低 Z 轴 CTE 应力、高 Tg 材料的 HDI 结构，以便能够形成更高水平的堆叠 HDI。但是仍然有其局限，可能不得不交错排布这些导通孔。对于许多高阶 SI 信号完整性需求的产品，考虑到可靠性的要求行业并不赞成这种做法。这正是 VeCS 用武之地，原因就是 VeCS 结构在可靠性方面不会因为高阶信号的设计而受到影响。

其次，VeCS 的另一个优势是各层可采用比 HDI 更厚的介质。盲孔布线能力可达 HDI 的 10 倍以上，镀层深度可达 HDI 的 20 倍以上。如果有块 26 层的 HDI 板，需要 6 个到 7 个层压周期，但采用 VeCS 技术，通常可以设计为 1 个层压周期，层之间的介质厚度仍然可达 0.1 毫米或更厚。这使得高速信号自身的每英寸损耗 dB 要低得多。这是下一代产品关注的两个点，芯片位置越来越近，而像 PCIe 这样的技术正试图将多个芯片放在同一块 PCB 上。这些是我们看到 VeCS 组合 HDI 或通孔技术可应用的领域，新的组合可实现下一代，甚至可能

是再下一代产品上 PCB 的铜互连。

Johnson : 像 VeCS 这样的技术对制造业将会产生什么影响?

Dickson : 这项技术设计之初, 是用传统的 PCB 制造技术来构建的, 这也是 NextGIn 公司的早期目标。在早期阶段, 沪士电子利用传统技术如传统铣床、传统钻机、传统堵孔生产线和传统设备来构建 VeCS 结构。之后, 与供应商合作, 生产出了更先进的设备, 包括高真空灌封设备与堵孔和通孔填充设备, 以匹配或优于真空层压设备。

我们目前的铣削设备、钻孔机具有非常高速的铣削以及高精度 CCD 视觉对准能力, 其深度控制能力远超出了开发之初的水平, 且工艺稳定, 整个 VeCS 技术发展渐入佳境。

Johnson : 也就是说, 最初不需要额外的设备投资也可以进行, 但如果优化设备工艺控制则更佳。

Dickson : 是的。就如同先有鸡还是先有蛋, 总要从某个点开始, 然后希望设备要与技术能力相匹配并不断向前改进, 软件方面也是如此。一开始, 瓶颈之一是因 CAD 设计师从未处理过这种结构而面临挑战, 他们甚至不知道如何使软件系统进行槽信号垂直连接。现在, 他们中的大多数人都有能力做到这一点, 能够与 OEM 合作, 研究如何针对产品做一些微小的调整即可应用于系统, 而且其中一些 OEM 公司已经在系统中内置了这种功能。

Johnson : PCB 设计师也有义务从不同的角



Joe Dickson

度看待制造业, 包括学会如何调整 CAD 工具以支持 VeCS ?

Dickson : 每种 CAD 工具略有不同。我不知道其中有多少是涉及知识产权, 但我可以告诉你最终的结果是积极的。顺便说一句, 那不是我的专业领域。早期应用者似乎不需要特殊的自动化工具来创建 VeCS 结构, 相反能够利用大多数现有技术和工具, 并能够围绕 CAD 通孔结构概念展开工作, 在符合 DFM 规则基础上创建 VeCS 结构。

Johnson : 在 CAD 工具方面没有太多的工作要做。

Dickson : 也许在如何实现这些概念方面已经做了很多工作, 一旦他们掌握了就能够很快地利用这些技术。从软件的角度来看, VeCS 最难

的部分是 CAD 操作和学习如何利用 VeCS 概念, 而不一定是学习如何使用 CAD 工具。

有一块单次层压的 0.35 毫米 × 0.5 毫米的 HDI 交叉槽 interposers 板, 市场上没有任何技术可以达到此类要求。然而, 采用 VeCS 技术却很容易实现。这是一种相对传统的 VeCS 互连结构, 但可以嵌入 PCB 或作为独立的模块。通过 HDI 中的导通孔层的布线相比, 假如导通孔层用 VECS 代替, 则会获得更优的布线密度, VeCS 柱状布线的操作方法是该技术所独有的, 可以制造出非常大的 BGA 触点, 或者非常密集的小型结构。这是目前至少我见过的传统 PCB 所无法实现的。

对我来说, 下一步重要的是这项特殊技术能被设计公司接受, 开始实施 VeCS 和 HDI 以及通孔技术的集成。

对我来说, 下一步重要的是这项特殊技术能被设计公司接受, 开始实施 VeCS 和 HDI 以及通孔技术的集成。一旦有多家设计公司拥有, 我认为就实现真正的集成了。在 OEM 级别, 集成是孤立的, 因为他们认为向这种技术转移涉及到 IP。因为存在竞争, 行业内的交流很有限, 但设计公司正是 HDI 向全球化和更具可操作性过渡的必经之路, VeCS 同样如此。当设计公司了解了 VeCS 的优缺点, 以及了解该技术的应用领域, 届时行业对于在互连结构中采用 VeCS 将持更开放的态度。

Johnson : 帮助设计师了解 VeCS 所需知识的

计划是怎样的?

Dickson : 沪士电子与设备、工艺和材料供应商一起, 形成合作团队, 甚至有 PCB 竞争对手参与我们的合作团队, 原因就是这项技术需要多个供应链资源。我们从一开始就明确这一点。沪士电子 CEO 对此非常开放, 因为一旦 VeCS 技术发展成熟, 就不仅仅是概念, 而将涉及该技术的应用, 以及如何与所有技术相适应, 如何使其与作为该技术领导者的沪士电子多年来所获得的专业知识相适应。

我们已经有两年半的 VeCS 制造经验以及两年多的应用经验, 所以并不担心会有人把这项技术从沪士电子手中夺走; 恰恰相反, 这项技术的竞争力越强, 对沪士电子就越有利。

Happy Holden : 可以谈谈可靠性数据吗?

Dickson : 沪士电子正在建立自己的可靠性数据, 随着时间的推移, 我们会发布越来越多的数据。新冠疫情减慢了发布特定可交付成果的速度, 可能要到 8 月或 9 月才能获得大批量可靠性数据。但从芯片和 OEM 的角度来看, 他们对这项技术十分感兴趣。现在的情况是, 即使有三四家供应商参与进来, 我也不认为他们能涵盖所有的兴趣点。

自从 HDI 互连结构出现以来, 行业没有任何新的进展, OEM 的领导者决定大力推广 HDI, 介绍 HDI 是什么, 如何实现, 以及在什么情况下它有优势……当 HDI 首次推出时, 人们认为通孔技术会被取代, 但是到今天通孔技术仍然存在, 而且我们还从机械钻孔结构的 HDI 替代品中获得了丰厚的利润。

我们可以用比 HDI 具有更高性价比的机

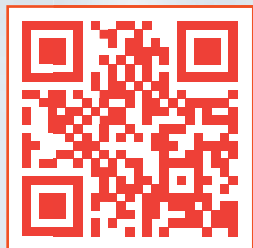


Schmoll Laser Equipment Schmoll 雷射设备

CombiDrill series 系列

- 直径50-300微米的微小孔钻孔
Microvia drilling 50-300 µm dia
- 使用紫外线和/或二氧化碳雷射进行切削及雕刻
Cutting and Structuring with UV and/or CO2
- 占地面积小，设计紧凑
Small footprint compact design
- 整合式自动上下料
Integrated loader
- 市场上最佳的功率/尺寸比
Best power/size ratio in market
- 20瓦紫外线功率 = 较厚的材料处理速度增加
20 W UV-Power = increased process speed in thicker materials
- 3仟瓦二氧化碳尖峰功率 = 脉冲数减少
3 kW CO2 peak power = less number of pulses required
- 支持开铜窗作业
Conformal mask drilling possible

**Best
power/size
ratio
in market**



机械钻孔来达到 15 年前做梦也想不到的水平，但 HDI 也有其重要且适合的设计应用。现在，这两种技术在沪士电子各自发展，占 PCB 产量的比例中，15% 为 HDI，其余的是机械互连。有选择地使用高性能、高价值的工艺、低成本的材料、芯片到芯片位置更近的封装，就能实现产品的最佳价值。这就是 VeCS 最终的定位——介于传统技术与 HDI 技术之间。对于低于 0.8 毫米间距的大芯片，未来取代铜互连的是光纤互连，下一代芯片正试图采用光纤实现芯片到芯片的互连。

Holden：如果你用光学聚合物波导材料填充沟槽，那么 VeCS 可能也是一种实现芯片到芯片的光线连接或电线连接的便利方法。

Dickson：对。这个概念已经在申请专利中了。有可以通过 VeCS 使用的嵌入式光学器件，而且即使没有光学器件，需要看每英寸 dB 的损耗预算，更要看的是信号链路的长度的总损耗，这对我来说很简单。但是，SI 工程师会考虑他们的预算，如果他们的芯片位置相距太远，就必须想出一种替代传统 PCB 的技术。我们正在寻找匹配的线缆。目标是设计出一种几乎和两个芯片点之间的单线缆一样高性能的信号结构。

目前还未实现这种结构，但那是我们的目标。如果你把它作为基准，那么在 28 千兆赫兹甚至 56 千兆赫兹的频段内仍然有很多机会，甚至到背板级结构。在你需要布线的 15 英寸区域里，在需要布线的 15 英寸的区域里仍然保持为铜线。这与目前网络和 5G 结构的发展路线图有很大不同。

Holden：我们现在需要的是关于 VeCS 如何改善 SI 的数据。对电气工程师来说，那些图表帮助他们了解如何不使用光纤互连的情况下铜线仍然能满足性能，他们不想使用光纤互连。

Dickson：多家 OEM 已经完成了仿真，也完成了结构概念，已经了解了该技术对 SI 的好处，但因涉及知识产权问题数据并未公开。在可靠性载体完成后，下一代或 HDPUG 的第二阶段将是 SI，对于行业将是有价值的。但是，大多数希望在下一代产品中使用这项技术的 OEM 已经开始了仿真，有的已完成，有的接近完成，并利用自己的 SI 测试板来研究这项技术。

一旦多个 OEM 在批量生产中使用这项技术，业界对此的兴趣点就会爆发。但当他们应用此技术时，实现该工艺的益处并不会出现在那一代产品上，而在于下一代产品。Happy，我相信对于下面没有布线的盲孔 HDI，你也有过同样的经历。对于许多设计师来说，这是一个他们无法改变的三维模式。VeCS 更是因为它不仅能够做下面没有布线的深盲孔，而且它具有超密集的二维间距，不存在 CAD 问题，可以改变布线和禁布区域。

对于传统的 CAD 设计师来说，这是一个真正的模式转变。他们习惯于铜和层压板，他们不懂开槽或沿着侧壁布线。我们现在正试图用槽宽度优化 VeCS 走线和物理特性，这样我们就可以创建一个匹配的阻抗，比如说信号以 85 欧姆进入 VeCS 槽，沿着槽壁为 85 欧姆，然后再以 85 欧姆返回连接。这是一种颠覆性的技术，甚至在基板级技术中都没有见过。VeCS 所独有的是，能够在整个互连过程中实

现差分连续性并返回到另一个芯片。

Holden：你有没有制造过沟槽，或者它们都是机械制成的吗？

Dickson：现在，我们已经可以用机械的方式来做 0.35 毫米的交叉槽。使用或不使用激光的最大驱动力是介质的成本。如果有人愿意为非玻璃纤维增强介质买单，那么 HDI 或激光建造槽的概念相对容易，但我们还不需要它。如今，成本太高，无法在传统 PCB 中使用。但这并不意味着以后两代产品也不会采用。对于垂直平面上的平面信号来说，这是一个理想的选择，这可能对任何类型的径向互连都有利。

当我们开始启动这项技术时，我对差分信号的接地隔离以及下一代 SI 性能会出现什么问题一无所知。通常，你有 HDR 通孔，你有一个来自 BGA 的差分信号，它将进入 PCB。如果你用的是 HDI，你就要用多层来连接差分信号，而且你要在它周围建立接地屏蔽。但是这些接地屏蔽并不是实体铜的。它们是根据 HDI 或 BGA 的设计间隔分布的孔，GA 电路或路径的间距为基础。

VeCS 的优点在于可以让槽壁一直保持完全实心，只有在有两个差分信号的地方才断

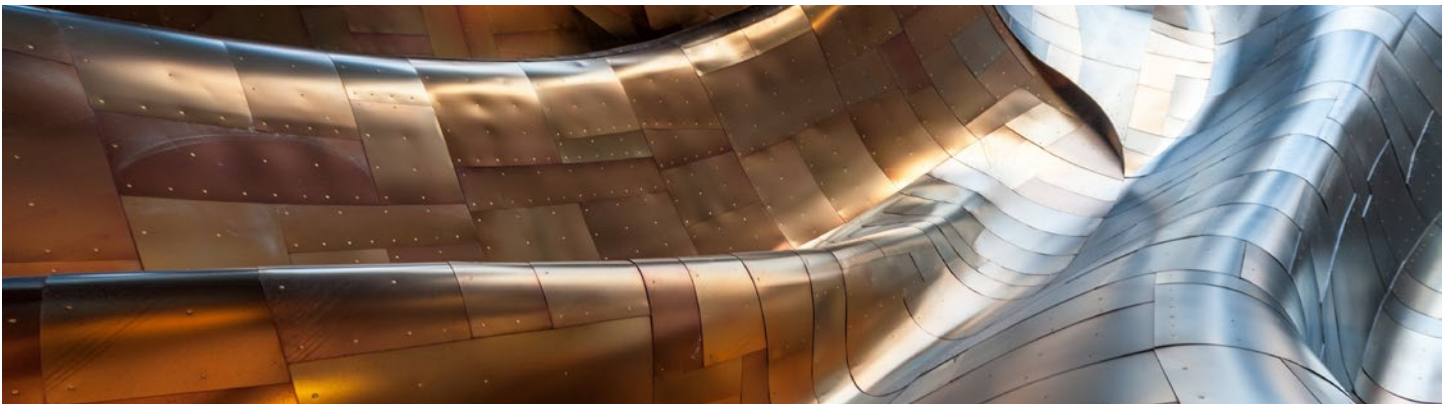
开。假设你要下到第 8 层，在第 8 层停止信号布线，但是接地一直穿过 PCB。现在，你不仅要在信号上使用一个阻抗正确的互连，而且还要保护它不受任何寄生、RF 或来自 PCB 中任何地方的任何类型的功率辐射影响。信号接口的三个侧面被屏蔽。如果你在每隔一行的每隔一个槽上使用 VeCS，现在在另一边屏蔽了它，你几乎在电路板里放进了一个完整的法拉第笼。

此外，我知道有人试图为 BGA 设置多个孔，并在通孔中做 HDI，而通孔只是为了构成屏蔽。但不管他们做什么，始终存在反焊盘的开窗，在开窗区域，当更高速度传输信号时就会接收到寄生信号。然而 VeCS 已经被其自带的屏蔽结构保护起来不会有反焊盘开窗的困扰。这是一种独特的应用——屏蔽，看起来对射频很有价值，而且对数字信号也很有价值。

Johnson：Joe，感谢您百忙之中抽出时间接受采访。

Dickson：谢谢你们。PCB007CN

编者注：在本文的翻译审稿过程中，我们得到了沪士电子专家的指导与帮助，特此感谢！





再谈 PCB

专属制造

——专访 Alex Stepinski

by the I-Connect007 Editorial Team

几年前, Alex Stepinski 和 Whelen Engineering 公司筹建的一家创新的专属工厂 (生产公司内部用 PCB), 引起了业内人士的注意, 该工厂就是 GreenSource Fabrication。最近, 随着 Whelen Engineering 公司又收购了一家设备制造商, Alex 正着手进行包括 PCB 制造在内的整套 OEM 工厂方案。

Barry Matties : Alex, 可以向读者介绍一下以专属制造思维方式所创建的工厂, 其运行情况如何?

Alex Stepinski : 可能大家对我们的工厂创建和发展的过程都很熟悉了, 在此就不多加赘述了。我们是专属制造的样板工厂。Whelen 公司当初之所以选择这样做是因为当时的 COO 非常有远见, 他认为可以找到一种更好的生产

方式, 果然, 我们真的做到了。我们在北美地区建造了 Whelen 公司的专属工厂 Green-Source, 现在已经成了一个典型案例, 其他同行正时刻观察着我们的动向。很多从事类似业务的同行都表示对这种生产方式很感兴趣, 当中大多数都是无法在市场上为自己的产品找到合适的 PCB 制造商。

PCB 外包工厂通常是一种“样样通样样松”的生产模式, 大多数情况下, 一个工厂要为多家客户生产产品, 这样才能保证公司业务既安全又多样。但也有一些工厂会有专门的主营业务, 例如挠性电路或微波电路板。但总的来说, 这样的工厂更多都是位于亚洲地区, 而不是美国。因为美国的制造生产业务不足以支撑美国 PCB 工厂的发展, 他们不得不同时生产各类不同产品。

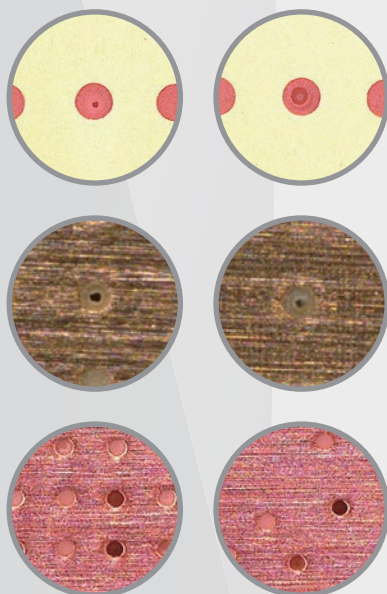
美国市场中的 OEM 因为有很多特殊产品, 几乎很难找到符合需求的 PCB 生产厂; 相反,



Galaxy PVH

专为各种塞孔检测的需求而设计

- ◆ 检测能力可至75微米孔径的塞孔
- ◆ 特有的孔检测用户界面
- ◆ 可检测机械钻孔或镭射盲孔的树脂或银浆塞孔的缺陷
- ◆ 基于 Galaxy 平台研发



康代中国 | WWW.CIMS.COM

如需了解更多资讯, 请直接联络当地康代销售代表。



在亚洲就更容易找到，但是其 OEM 需求的产量不足以让亚洲的制造商感兴趣。所有 OEM 都受制于供应链。但公司若有了内部的专属工厂，就可以控制产能和生产优先顺序。工厂会 100% 服从要求，因为你就是那个发号施令的掌控者。如果你愿意，还可以根据自己的产品设计理念对专属工厂提出定制化需求，从而提高生产效率。这就是我们在 GreenSource 可实现的一切，现在已经步入了下一个阶段——在一定范围内，我们已经可承接外部订单——主要承接航空航天与国防领域的第三方订单。

我们正在采用半加成工艺生产不同应用的诸多产品，多叠层微导通孔结构具有很高的可靠性。这类 PCB 也是目前美国市场比较缺乏的。我们证明了工厂具备这样的生产能力，于是吸引了 OEM 的目光。他们会来询问，“我自己要怎么实现这种生产方式？我们要怎样做才能让你们成为我们的第三方合作伙伴？”还有一些 OEM 表示，希望我们能充分利用刚刚收购的设备制造公司的优势，为他们提供完整的工厂方案。

我们承接了两个为 OEM 设计工厂的项目，一处位于东海岸，一处位于西海岸；还有两个

设计工厂的项目正处于初期洽谈阶段。这似乎是一个目前还无人问津的小众市场。你可以找到一家 OEM 对他们说：“我们可根据你们的产品专门为你们定制化设计一家工厂，这是 21 世纪应该具备的思维模式。设计出的工厂不仅绿色环保，还是全自动化的，更加分的是，它还能够灵活地完成生产任务。你们可以在同一条生产线上制造刚性板、挠性板和背板。这是一套具有全局性的整体方案。”

很多人对我们这项业务都很感兴趣，所以我们也把公司的设备相关业务转向了这个市场。

Matties：你们为工厂制定了发展蓝图，但找到能够管理运营这类工厂的人才也是个不小的挑战吧？

Stepinski：我们的方法就是在新罕布什尔创建技术中心。如果你是一家 OEM，你可以把员工送到这里。我们会培训这些员工，让他们快速学会相应的技能。工厂不是一天就能建成的。一般来讲，客户找到我们以后，要经过一年的时间才愿意接受我们的设备，因为他们要构建起基本架构，把所有一切基础设施建好后才能进行电气服务、HVAC 等，并且还要申请许可证等。我们也要按客户的设计去证明是否可行，然后定制出符合这些设计的规格要求，与此同时还会为客户的员工提供相关培训。

Matties：这种方式很有意思，如果你在开展这些工作的同时还要培训他们的员工，那么客户的员工也就成了所构建的工厂的一部分了。他们会对工厂有更深入的了解。

Stepinski：这是个非常不错的业务模式，可以说是独一无二。我们还没听说其他人采用过类似的模式。我们有一个样板培训中心。我们开始建造工厂后，可以按照在样板工厂、技术中心和培训中心积累的经验，根据他们的应用来定制设备。

Matties：你认为这种方式会成为一种发展趋势吗？

Stepinski：普遍来看是这样的，OEM 对目前的供应链情况非常不满意。COVID-19 更是让很多人都感到沮丧，他们希望能拥有专属工厂。我不知道自己了解到的情况是否具有广泛代表性，因为我们接触过的客户大多数都是中型 OEM。但如果是大型 OEM，他们可以获得所有人的注意，任何时候只要他们一声令下，所有人都会跟着有所行动。如果是中小型 OEM，有时就很难在市场上寻得立锥之地。但有了自己的专属工厂就不一样了，尤其是想让自己的产品在同类产品中脱颖而出之时，优势尽显。目前这类生产仍由外部生产厂来完成。

Matties：同时也会在成本上有所回报。如果有了自己的专属工厂，公司能节约多少成本？或者说能有多少成本优势？

Stepinski：如果定制化的程度足够高，就会显现出优势来。我们会研究原始模式和设计，然后根据这些产品目前的设计方式以及未来几年里计划的设计方式来定制工厂。我们会尽可能免费将各种生产能力添加到定制工厂中，或



者尽力花最少的成本证明这一点，我们的工厂已经做到了。我们也会为 OEM 采用同样的方法。每个产品都有相应的层数、层压结构、面板尺寸和材料，根据自己认为趋势会朝着什么方向发展来制定相应计划。

一般来说，这种工厂和传统 PCB 工厂不太一样。电路板生产厂属于“万事通”型工厂，但专属工厂则通过专业化和定制获得收益。这样一来，不仅会提高生产效率，还能选择最终表面涂覆方式和材料等。如果选择在公司内部完成生产，思维模式就会发生转变，因为再也不需要受限于市场的供应商了。

如果公司自己进行生产，你可能只会使用 1 至 2 种最终表面涂层。但如果把生产外包，就会使用 3 至 4 种最终表面涂层，因为你不会明令设计部门“只能使用 ENIG”。相反，你会跟他们说：“你们想用什么涂层就用什么，只要价格合理、准时交付就行，但要保证产品的可靠性。”所以通常不会有任何限制。你会让设计人员有多种选择，而不是规定只能用特定的材料，但如果你想定制产品，就可以商定好具体合约，从规模经济的角度来看是利于公司的。我们还发现内部生产的性价比要高很多。

Matties：既然可以由内部工厂完成生产，那设计师在设计终端产品的功能时是不是就可以突显出优势了？

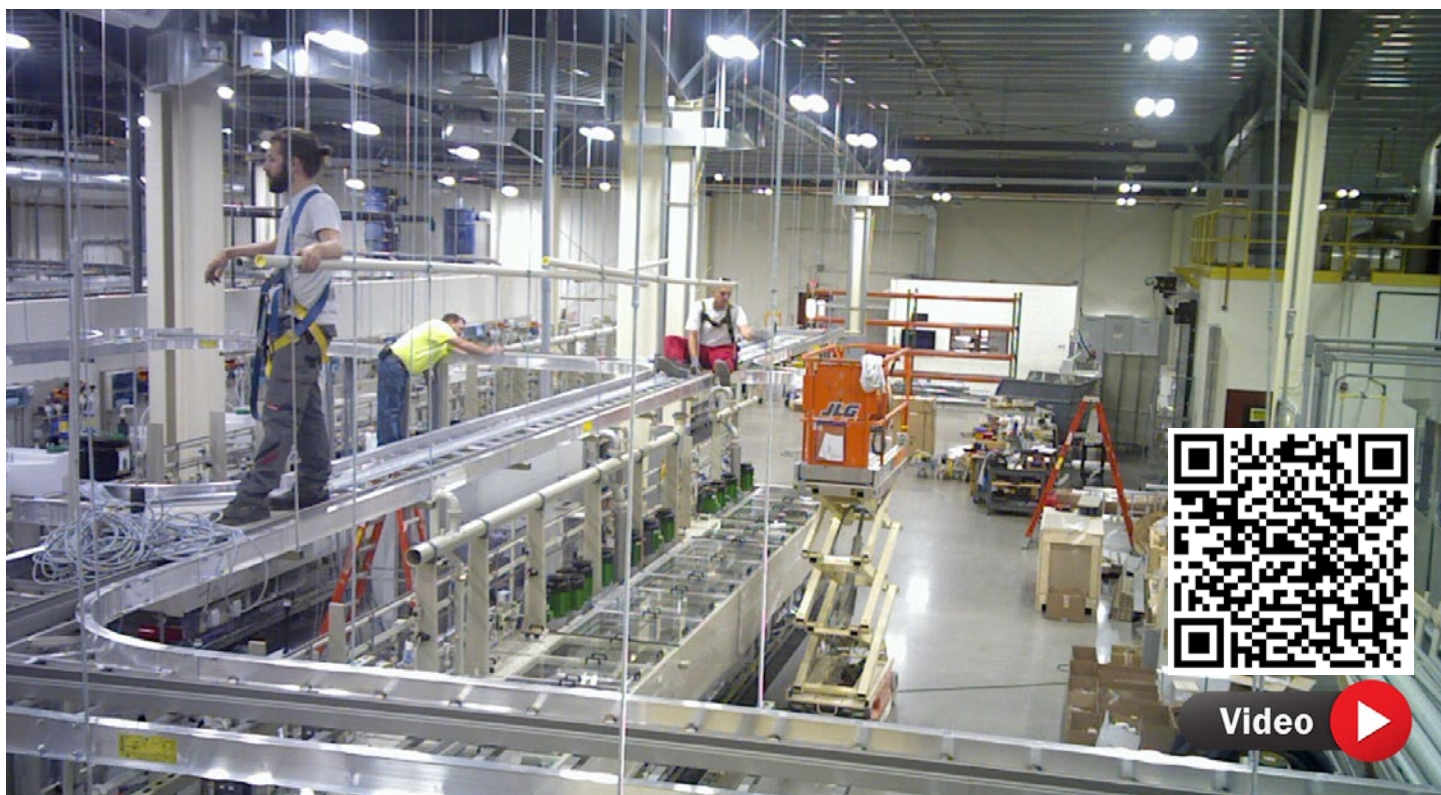
Stepinski：是有那么几点优势。有了内部工厂，甚至都不会从外部购买部件，我们必须为内部工厂提供生产支持。而且变为内部生产之后，偏差就少了很多。如果是使用外部加工工厂的生产模式，为了寻求平衡，一般需要多家供应商。但也正是因此，每家供应商的产品质量都会不同。因为各家 PCB 生产厂的工艺不尽相同。

每个工厂都会受到各种不同因素的影响，不仅仅关乎设备，还关乎工厂员工、工艺、技术以及整个公司的发展历程。各个供应商之间

都存在差异，所以不同供应商生产的产品也不可能完全相同。就对电路板生产厂提出的规格要求来看，我还没发现哪家工厂可以接近可实现的目标。大多数规格要求在很多方面都是很宽泛的。他们总是特别关注几个不同的变量，然后严格控制这几个变量。

但如果所有规格参数都要受到严格控制，就很难从客户那里收到产品。一般来说，部分技术规格要求是参考 IPC 标准，但如果你去查看 IPC 给出的标准，就会发现他们给出的一般规格要求也很宽泛。这就会导致多家不同工厂生产出的产品有偏差，有时甚至是很严重的偏差。

Matties：当然，还必须要有更好的 IP 保护机



时间飞逝！2017年，I-Connect007团队在参观GreenSource Fabrication工厂时放置了一台延时相机，以捕捉这一独特的自动化工厂第二阶段施工情况。

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

制。

Stepinski：这是另一个关键点，特别是在推出新产品时。虽然很多电路板工厂无法做到逆向工程，然后去找另一家 OEM 设计，但也不是不可能。

Matties：电路板工厂做逆向工程设计的行为并不多见，但你要给自己的基础设施添加安全保护机制，即涉及网络安全及其他产品安全问题性。最近我们在采访 John Mitchell 时，他谈到正在和业内同仁讨论生产转移区域化的问题，他认为按区域生产会越来越多。这就和我们讨论的内容有关了。不论是选择外部加工工厂的生产方式还是自己构建专属工厂，似乎都会让供应链发生巨大转变。

Stepinski：这确实是我们正在做的事。在我们正式进入市场后，希望能让新式工厂成为东海岸的技术中心。OEM 可以在该技术中心切实地看到、感受到整个生产流程，并且能和工程部门交流沟通。我们有一家设备公司，并且能够在必要时一起配合研发工艺流程，从而为新一代产品技术要求提供支持。我觉得美国市场的研发工作很欠缺，而客户又忽视了这一点。我们在这里成立了一家研发技术中心，为那些想要使用新一代技术的公司提供支持，而不是

支持那些仅仅想要模仿别人技术的公司。

Nolan Johnson：我知道你们目前还处于发展的早期阶段，但还是想问问，通过你们的系统建立工厂大概需要多长时间能获得投资回报？几周、几个月还是几年？

Stepinski：对于合法的 PCB 工厂而言，获得 ROI 的时限是以“年”为单位的。我们第一家工厂以一半的产能运营，3 年后获得了 ROI，所以还是取决于产品的生产条件。根据目前情况来看，我估计这种新型工厂从启动生产到获得 ROI，需要 3 年至 5 年的时间，这是一种比较合理的推断。



Matties：我们一直在讨论的一个概念就是联合运营的专属工厂，因为有些中等规模的 OEM 虽然想设立一个专属工厂，但却并不需要这个工厂时时刻刻都在运行，或者有些 OEM 想节省开支。是否可以尝试让 4、5 家 OEM（可以是非竞争性的公司）联合起来成立一家合作性工厂。

Stepinski：这就是我们目前正在做的工作。有一家 OEM 客户就把员工派驻到了我们的工厂里，每天都在那里研发制造他们自己的 PCB。但出于安全考虑，必须要保证每个人都接受审查才能进入工厂工作。

Matties：但你们这种模式仍然是可以获利的，因为相当于出租了自己的生产线。这是你们的商业模式吗？

Stepinski：这是互利共赢的模式。我们负责安排好部件生产成本和工艺设备研发。下一步就是设计他们自己的工厂，这一过程要参考他们的前景展望和预测。我们有一家客户计划建造一座和我们目前正在建的相同规模的工厂。

Matties：你们工厂的产能现在达到满载了吗？或什么时候才能达到 100% 的产能？

Stepinski：没有，我们还未达到 100% 的产能。由于我们工厂的地理位置，导致劳动力成了我们最大的受限因素。我们计划采用全天 24 小时的生产方式，但还需要更长的时间，才能实现这一目标。我们已经取得了一定进步，现在我们采用两班倒的方式，工厂每周运行 5 天至 6 天，估计在年底就能实现 100% 的产能。我们在产能方面遇到的最大挑战就是认证问题。如果客户要生产一个特定的产品，他们不会拿着一个标准产品来找我们，比如我遇到过要求厚径比为 15 : 1 的盲孔结构。还有客户要求我们生产线宽和线距小于等于 0.5 微米、1 微米的产品，而且还要在一种奇怪的材料上采用 SAP 工艺，之前从来没有人会在这种材料上采用该工艺。

所以我们就要费尽周折地验证是否能满足这些要求。这可能是我们遇到的最大挑战——整理工艺规则，确认我们所选工艺是否高效。我们是否应该针对这个应用使用 NRE 来获得另一个工艺，这样就可以让生产运营更加高效。运营成本增量又会是多少？我们是否愿意

再投入一些资金？有些从我们这里购买设备的客户会将买到的设备放到我们的工厂和他们的工厂里。

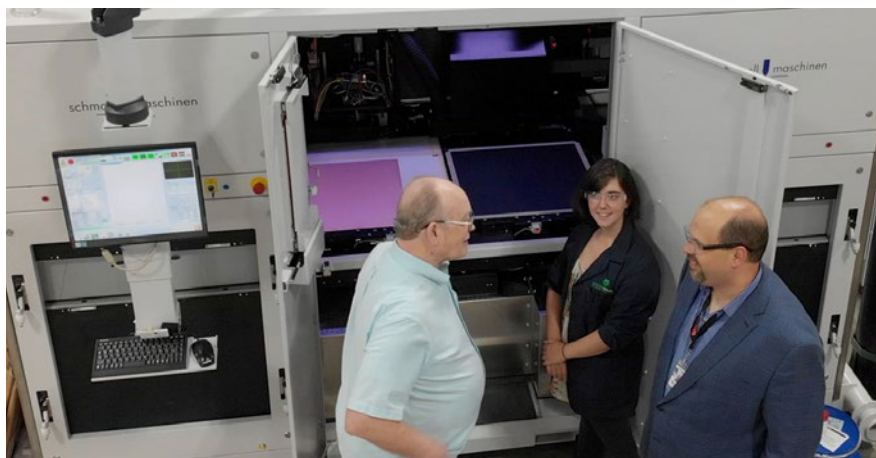
Matties：的确是这样。比如，如果有 4、5 家乃至 10 家公司，让每家公司都拿出 1000 万至 2000 万美元在德克萨斯州建造新工厂，并且让他们拥有工厂的所有权，而不是仅仅将生产线租给他们使用，这会成为一个可行的商业模式吗？

Stepinski：我们用提供工厂方案的方式作为自己的切入点。目前，我们是美国市场唯一一家经验丰富的工厂设备构建公司。我们虽然不制造设备，但却能设计零排放的工厂方案，而且我们每天都在生产。构建设备后再交付给别人并不容易，每天都要使用就更不同了。

Matties：你们的模式是为客户的团队提供培训、从无到有建造一家工厂、让工厂实现零排放、让工厂投入运营，并且不持有工厂的所有权而是让 OEM 将其当作专属工厂或合作工厂。这样一来，应该会有不少人对这种模式感兴趣。

Stepinski：现在来看，市场对我们这种模式很感兴趣。但我们还没试图出售这种模式。之所以会出现这种局面，是因为我们一直以来都秉持这种生产方式。

Matties：没错，但随着你更有目的地做这件事情，而且现在又有很好的时机，你们又处于非常有利的位置，制造业回归美国本土的趋势似乎会加速这种模式的推广。



无人机从2018年我们参观
GreenSource工厂时开始拍摄的图像

Stepinski : 我们工厂一直从工厂设计和设备方面入手，开展大量的内部研发工作。专注于在欧洲建立我们的设备工厂，为客户要求我们提供的新技术给予支持。拥有一家生产能力强的设备工厂作为后盾后，纵向整合工作就变得非常有趣了。特别是在生产这类 SAP 产品的时候，客户会提很多要求。产品中不能有微粒、不能触碰到电路区域内的任何部分等，还要根据非均向性喷涂工艺，减少扩散层。

Matties : 你能在市场上找到类似的产品吗？

Stepinski : 还不能，以纵向模式采用 SAP 工艺并不是真正在应用的方式，但这种方式确实是目前已知的最佳做法，所以我们也研发替代方式。每天都生产的优势就显现出来了，因为我们能从设备上收到很多反馈信息。

Matties : 即使是使用合作的模式，你也可以通过延长维护合约期限，负责所有工厂的维护工作。

Stepinski : 这正是我们在做的事情。我们提

供短期服务，从工厂维护到工程设计支持。这也是一个商机。市场现在面临的最大挑战之一就是人们都不知道怎么去建造工厂。这些知识都失传了，就像现在也没人知道如何建造金字塔一样，这些都成了谜。同样的事也发生在了电路板工厂。他们用几十年的时间不断试错，才掌握了相关知识，但现在掌握这些知识的人不是退休了就是过世了。

我们希望能填补这个无人问津的领域，抓住这个商机，并教给其他人该怎样做。告诉其他人“为什么我们要这样做，为什么我们不这样做”。凭借着我们的资源和近期建造公司内部专属工厂的经验，我们已经完成了两个重要项目。这期间积累了很多经验教训，可以给市场起到借鉴参考作用。

Matties : 市场需要意识到现在已经有可行方案供他们选择了。但无论如何，劳动力一直是持续存在的问题，即使有了设备设施，劳动力也仍是整个行业面临的挑战。实际上，你们正在构建不需要操作员的工厂。这类专属工厂还需要解决哪些劳动力需求问题？

Stepinski : 技术和维护方面的劳动力。这是两个很大的领域，但此类员工都是需要通过培训上岗。现代工厂需要优秀的技术人员和维护人员。

Matties : 如果你们公司提供的权益中包含维护服务，那客户只需要有一个可调动的团队就可以了。



GreenSource工厂位于新罕布什尔州查尔斯顿附近的
Whelen Engineering制造园区, 摄于2018年。

Stepinski : 我们使用了几种不同的方式提供维护服务。我们可以提供部分维护服务, 可以给他们的员工提供培训, 也可以安排现场人员提供技术支持, 但我们也尽量不去这样做。标准设备业务模式之一就是提供售后服务和备件。但我们的模式不是这样的。我们正在努力制造出不需要备件或售后服务的产品。人们愿意花更多钱购买更可控的机器, 而且比起从其他区域购买的设备, 他们更在乎在美国市场购买产品的总成本与质量比。

我们的设备通常不是在美国生产的, 而且美国的这个行业远远落后于世界其他地方的行业龙头。我们深知这一点, 也接受了这个事实。可以说, 我们在每个领域所做的工作都是落后的。我们试着提供市场上最高质量标准的设备, 并且价格合理, 不需要备件或售后服务。同时, 我们也提供所需的培训, 还可以远程连

线我们的联系人, 做出诊断, 告诉他们该怎样做。这才是我们的模式, 否则我们就无法证明自己所做的工作能够带来实质性改变。

你没法把一个需要后期不断维护的机器卖给别人, 然后再派一个团队去修复问题, 这是过去的做法。这种方法是不切实际的, 因为OEM之所以选择专属工厂就是为了保护IP或提升安全性。而这种模式是不可行的。我们一定要在内部完成所有生产任务。特别是在当前COVID-19的形势下, 你没办法请人来修复问题。因为任何人来这里都要先隔离14天。

Happy Holden : 这让我想起了之前在惠普公司的日子。这段工作经历带给我的感受之一就是惠普是一家非常重视创新的公司。不论我们想出什么创意, 一定要比行业所需的好十倍以上, 因为我们生产的是测试设备, 而测试设

备的精准程度要比受测产品高很多。在上世纪 70 年代，我们接触到的频率就已经是 3 至 600 千兆赫了，大家可能万万没想到我们早在 70 年代就已经能掌控这种频率了，一些 OEM 确实做到了，电路板工厂甚至也做到了。一个项目启动之后，惠普公司会召集所有重要的相关方，包括电路制造商、设计部门和机械工厂在内，一起集思广益想创新点子，在这过程中产品经理会说出他们脑海中设想的新一代技术或产品。然后他们会绕场一周，走到谁身边，谁就要向他们说明自己能为新一代产品或技术作出哪些贡献，以及会遇到哪些障碍。可能会有一个人说“我可以解决你的问题，但我自己又面临另一个问题”，然后下一个人会说“我可以帮你解决你的问题，但在这个过程中又会引发另一个问题”。

各种情况下，PCB 在其中显露出的独特属性与运输成本或标准设计准则并无关系。不论遇到什么问题，PCB 总会凭借其独特的属性起到一定作用。也正因此，我们总是有充足的研究预算和人力，比如产品设计师和半导体相关工作人员。因为我们提出的创新想法永远不会和商业或外部加工工厂有关；我们的职责就是让终端成品变得更有竞争优势。很多人没有意识到惠普公司总是保持很好的利润收益、领先于行业，是因为他们从不使用标准 PCB。我已经记不清有多少次我要跟别人解释为什么不使用锡 - 铅电镀层，或者是我们为什么从不电镀锡 - 铅或使用锡 - 铅回流焊工艺，因为这项工艺本身很有问题。我们的工艺不知道要好上

多少倍，但我们也并不总是使用镀金层。我们发明了键盘上镀金层的替代品。类似的工作不胜枚举，惠普一直在永无止境地追求卓越。

因为一旦你聘用的员工习惯了不停提出新创意并且擅长利用科学方法解决问题，他们就会为公司作出巨大贡献，最终让 OEM 得到优质的产品。不只是我们会这样做，我们最大的竞争对手 Tektronix PC 工厂也会这样做，他们也有测试设备相关的业务。我就读的学校位于俄勒冈州，我的同学全都

去 Tektronix 工作了，只有我去了惠普，所以对我而言尤其艰难。能在那里开设一处 OEM 印制电路工厂要比成本和运输这两个因素重要得多。因为它可以提升产品性能等。



Stepinski：尤其是我们现在有相当一段时期没有这样的好产品了，人们对此都很感兴趣，因为经过这一番标准商品化的历程后，好产品就像一阵清新的微风。

Holden：有些人认为 PCB 就像香皂一样是商品，我从没想要辩驳这个说法。我在中国台湾时的主要任务就是说服 Nanya 公司的人相信，PCB 是分等级的。如果电脑的电路板不能正常运行，你不能降低价格后作为电视的电路板出售。这类产品要么完美无瑕，要么就是垃圾。即使是在半导体行业，如果你没能达到规格要求，你也可以先把产品储存起来，更改产品的规格要求，然后标上不同的价格和不同的商品名继续出售。但 PCB 都是按订单定制的，这

不符合商品的定义。

Matties：你提出了一个关于合作的好点子。Whelen 公司的产品优势就在于你们有专属工厂。你们的团队可以相互协作并提出有创意的解决方案。比如研发方面，你刚刚提到了惠普，但 IBM 在这方面也做得很好。他们当初将流体压头技术引入我们这个行业的时候，每个人都感到惊讶不已。那是研发方面取得的一个巨大进步，但我们现在已经遇不到这样的情形了。你认为现在是 PCB 行业复兴研发工作的好时机吗？

Stepinski：时机还是相当不错的。其中一个很重要的推动因素，以及为什么研发工作之前不能够复兴，就是因为之前没有进行案例分析。没有人去做案例分析。这个行业需要知识传播者，这也是我们现在所充当的角色——将信息传达给每一个人，让他们知道自己能够做到。拥有能根据你的需求定制的专属工厂具备很多优势，特别是针对 OEM 而言。

OEM 也是可以生产出这些 PCB 的，现在

已有这样的案例。而且尽可能做到量身定制去开发所有产品，然后再针对大众市场制定规格要求。这时就成了生产商品了。但有些产量不需要达到商品的产量水平，并且还需要持续不断地更新产品才能让整体业务保持领先水平。而且就算有些 OEM 想让供应链上的人为他们跑前跑后，他们的规模也不足以达到能享受这种做法带来的好处。所以他们必然会对专属工厂感兴趣。

从更大范围来看，大型 OEM 可能对硅谷的绿色工厂或类似形式的工厂更感兴趣，因为他们不可能马上建成这样的工厂。所以大型 OEM 可能希望我们提供一种样板工厂。这也是我们所有人也一直在考虑的事。

Matties：和传统工厂相比，专属工厂需要的劳动力更少，再加上现代智能工厂的出现和 COVID-19 疫情导致的供应链问题，现在建立专属工厂似乎是个好时机。对于那些想要弄清楚是否应该开设专属工厂的 OEM，你有什么建议可以供他们考虑？

Stepinski：这个过程是分为两步的。首先，我们会打电话了解对方的具体情况。如果我们觉得他们的情况适合开设专属工厂，我就会请他们过来了解一下整个流程，展开更具体的讨论，然后再考虑如何开展下一步。这是我们的接洽方式。

Matties：对于那些想要花几百万美元甚至更多资金投资生产 PCB 的大型汽车公司呢？是否有相应的案例？因为你刚才提到了，规模越



GreenSource Fabrication工厂内的Atotech化学镀铜生产线 (Uniplate LB) 和电镀铜设备 (Uniplate IP2)，摄于2018年。



GreenSource Fabrication工厂的工艺工程师
Cassie MacKinnon正在认证proX3测试仪,摄于2018年。

大,在供应链上的影响力就越大。但似乎大规模的公司也可以选择设立专属工厂。

Stepinski : 在回答这个问题的时候,我不能说自己是充分了解了情况才给出的答案。我没有给大型 OEM 分析过产品,也没有研究过他们的定价和交付时间是否适合使用专属工厂的生产模式。我只接触过对专属工厂感兴趣的中小型 OEM。大规模 OEM 是找过我商讨样板工厂的问题,但不是已经商品化产品的批量生产。我们没有和任何人讨论过这个话题。很难和从事这类工作的人互动,因为他们已经有很专业的供应链了,而他们对供应链的关注程度可以说已经达到了极致。这些人似乎不是商讨相关话题的合适人选。他们希望充分利用供应链的所有价值。把电路板卖给这类人时,我的经验是,不适合向他们推销建造工厂的想法。

Matties : 一定要让公司内的其他人发声才能

真正做出改变。

Stepinski : 没错。一定要由工程部门或高管团队来推动这种改变。

Matties : 我们再来聊聊你们的工厂。上一次我们聊天的时候,你们差不多已经到收尾阶段了。当时你们进行最后一步——建仓库。

Stepinski : 所有的设备已经就位,我们还是一直在做研发工作,也一直把自己生产的新

设备搬来搬去调整布局。我们研发了一些新工艺,准备投放到市场。比如我们研发了一种新的蚀刻技术,使用的化学品更少,根据不同的蚀刻方式,用空气或用电蚀刻,再生化学品。从蚀刻质量、蚀刻对准分布和特征尺寸分布来看,我们这项新技术不仅比市场上任何现有技术的偏差都少 95%,并且还可实现零排放。

这是我们目前内部正在落实的工作——自鉴定采用了计量方法的工作单元;这是一个自我检查的流程,自动反馈系统应用的不仅是百分比计量,还应用了产品计量。我们现在重点研发的这项技术不会马上投放市场,计划在明年推向市场。另一个正在研发的项目是我们的废水处理系统,也会在明年推向市场。我们已经制定好了将这些技术商业化的方案,但在此之前要对我们的 IP 做好微调。世界各地有很多客户对我们的技术都很感兴趣。最初订购我们这些技术的应该是美国市场的客户,还有可能是来自日本的客户。

我们的工作重点不是出售单一设备，而是要出售专为客户定制的一整套工艺设计完备的工作单元。不论你是从供应商那里购买化学品，还是按我们说的去用空气或电完成蚀刻，抑或是用自己的方式完成蚀刻，我们希望提供给客户的是一整套工艺。我们现在使用的方法就是利用自己研发并推向市场的新工艺，率先在新罕布什尔我们自己的工厂内落实新技术。我们在欧洲工厂里生产出产品，运回美国境内，对产品进行认证和调试，然后再做出改善。完成这一系列流程以后，产品差不多就可以上市了。

Matties：美国业内现在对资本设备投资的兴趣大么？

Stepinski：人们对我们提供的服务很感兴趣，但我并不清楚人们对资本设备投资的总体兴趣。因为我们的设备都是自产的，已经根据客户的意见进行了优化。这也不是我第一份工作，我之前在美国境内的多家工厂工作过。就员工来看，我们在欧洲部门安排了员工，而且针对我们认为的市场需求也做了优化，比如成本越高的区域，就越需要设备更灵活。

我们的自动化技术支持生产未覆铜箔的超薄基芯。生产出的基芯上没有铜层，像纸张一样薄，而且同一款机器还能处理 20 磅重、10 毫米厚的背板。机器可以调整面板尺寸和真空水平。只需读取与产品关联的 RFID 码或二维码即可完成所有加工操作，通过这种方式，即使你要生产多品种、小批量的产品，也可以高效利用机器。我们更关注这样的生产模式，而不是批量生产，后者并不需要大量的工程设计和控制。在批量生产中，你只需要用最简单的

机器，但这种机器只能针对有限的规格要求完成加工。

而我们重点研究的工程设计方案是能够在复杂的操作环境中替代人力。你不能从中国进口一台装载机/卸载机，放在美国的生产线上，还期望这台机器能替代人工操作，因为这类设备针对的是批量生产模式，只能加工有限的产品规格要求。但是在美国市场，人们需要用同一台机器加工挠性产品、背板、复合材料和厚铜。一台设备要考虑到方方面面的操作，否则就不可能替代人工操作。如果要想实现自动化，就必须替代掉人工操作，否则就毫无意义。这才是我们的工作重点。

Matties：如果你有自己的专属工厂，你可以根据自己的需求调整自动化操作，实现更高的灵活性。

Stepinski：没错，在多品种小批量的工厂，计量方法是工艺流程的重要组成。你必须计算好所有因素，并据此来调整配方。我们打算把这个过程也变成能够自动化的工艺流程。这也是我们的工作重点。在成本较高的区域，你要怎样实现工厂自动化？

Holden：我知道你们一直想聘请一位工艺主管。应聘者需要具备哪些资质？

Stepinski：有一些应聘者很优秀，但没有一个人是常驻美国境内。

Matties：确实是个问题。这也是我们一直在讨论的问题，未来要面临的最大挑战就是人力问题。

Stepinski：有些重要职位，不得不从国外聘请人才，但需要制定一个在不同级别上都有效的策略。应该创建一个和工程专业大学毕业生相关的项目，引领这些大学生入门，并为他们提供适当的培训。我们已经开办了此类项目。你必须清楚“哪些人最适合到我们的工厂里来，帮助我们研发新一代技术和产品？”我们已经制定了相应的计划，但这也意味着需要更长的交付周期，并且会受到更多限制。

因为 有 ITAR (International Trade and Arms Regulations, 国际贸易与武器条令) 的限制，我们不能随心所欲地使用资源。能够使用的国际资源是受到约束的，你必须要针对这些限制条例做好相应安排。如果能从海外聘请来一位有着 20 年从业经验并且曾在 200 家工厂里解决复杂问题的专家，那你获得的投资回报率是极高的。我们有聘请这类人才的专用流程，为的是让这些人帮我们公司更上一层楼。在工程设计方面，我们也会承接欧洲市场的部分外包工作。

Matties：什么类型的工程设计工作？

Stepinski：在工艺工程设计领域，我们是自己生产设备的，所以我们需要知道自己的设备或第三方设备能承担哪些工艺工程的研发工作，并且只完成需要我们在此完成的部分。唯一需要在这里做的就是与产品有关的工作。但是一般和工艺相关的优化工作应该在欧洲完成，因为在欧洲市场聘请技术人才要比在美国容易得多，毕竟德国制造商从比例上来看要远高于美国。我们的工厂位于波兰，离德国边境很近，正因为当地制造业比较普遍，工厂附近有很多其他公司的制造厂。在那里，我们很

容易就能找到称心如意的人才，所以我们也利用这一人才优势提升工厂的生产能力。

Matties：你必须要深入到人才聚集的地方去。

Stepinski：是的。当地的人才就负责专心处理那些必须要在当地完成的生产任务。比如有一个复杂项目，我需要弄清楚如何把不同材料类型上的钻孔缺陷降低，然后建立一个模型，知道热门材料 X、Y、Z 的钻孔情况，了解了具体参数，并且了解偏差是多少。然后用原材料建立一个模型。我最后想得到的成果就是一个钻孔模型，而不是如何制造部件 X、Y、Z。

得到模型以后，我就再也不用担心这个问题了。我做了相关研究，确定了这种材料适用的钻孔方式，然后建立一个模型。我们的市场正在忽视建模的重要性，整体来看，我们在这方面做得远远不够了。电镀操作也能建模，钻孔操作也能建模，只需通过算法计算就能轻松得出所有参数。只需做一些标准的实验测试，将测试数据整合到模型中，就搞定了。

我们的欧洲部门重点从事建模工作，甚至可以出售这些模型。在市场上推销的时候只需对人们说，“我们有一个钻孔通用模型，有了这个模型，你们就再也不需要研究钻孔相关的事情了。”对我来说，这是我们市场缺失的一个部分，但你不要问我具体原因。很多其他行业在这个领域要远远超过 PCB 行业几十年。

Matties：你觉得是不是过分依赖终端才造成这种局面的？比如他们会说：“这是我的设计，不要问我任何问题，只管去生产就好了。”

Stepinski：为什么会变成这种方式呢？我觉得

人们现在不会退一步去纵观全局。如果你去观察一下全局，你会发现实际并不需要增加太多资源。让几个工程师专门研究，甚至可以和大学开办合作项目，让学生为做建模工作，这种方式非常简单。但不知道为什么，人们却对这种方式不闻不问。

Matties：你现在为工厂做的事情，从另一方面来说又强有力地推动了制造业，工程设计团队在前端做着极其重要的工作，并且把工作成果反馈到你们的生产过程中。你对此有什么看法？这是否成为了一种思维模式？比如我们在制造指导书文件方面遇到了问题，总是在设计师与生产之间出现失误。但是在你们工厂里，整个生产过程不允许中断，所有信息必须保证 100% 正确。

Stepinski：我认为你永远不可能摆脱掉前端数据的转化版本。难点在于一定要有人去推动行业标准化的进程。但市场似乎正在抵抗标准化的趋势。市场的常规做法是，“下订单之后，我不会再用各种各样的问题去烦你”。有些人的行事方式是：我可以为你解决这些问题，你什么都不用管。大多数设计师从未真正生产过电路板，这对于制造商而言是一个很大的挑战，因为市场上有很多家工厂能为客户制造产品。你不能问客户太多问题，否则他们就会去找其他工厂制造产品了。但也正是这种会产生各种变量的行为，阻碍了行业标准化的进程。

Matties：这不仅对制造商而言是一种挑战，也会让人们为此付出巨大的成本。

Stepinski：并不是所有人都愿意接受制造商的质询。我们为什么不能换一种方式呢？有些人可以接受，但有些人不能。有些人想在周五下午 5 点把设计发出去以后就能轻松欢度周末，不愿意在周末回答制造商发来的 20 个问题。他们不愿意填写制造商发来的表格，尽管这些数据都是标准化的。这是人的天性。

Matties：但现在利润非常少，这样做会造成成本过高，因为很多时候，你需要在接到订单之前就在报价上花费大量的时间和精力。

Stepinski：没错，如果你想走到最后，就要和客户共享节省出的开支，告诉他们为什么应该和你合作，或者是你们能提供哪些独一无二的技术或方法。这样一来，你就能从同行中脱颖而出，因为他们会被吸引到生产部件阻力最小的道路上。

Matties：这也是我想表达的观点。有些人的反应就会是，“我为什么要这样做？明明制造商该帮我解决这方面的问题啊。”

Stepinski：没错，他们都会选择那些给他们提供一条龙服务的厂家。这也是市场的本性。所以我们无法实现这个领域的标准化，以后也不太可能。

Matties：真有意思。Alex，每次和你聊天都让我感到很开心。非常感谢。

Stepinski：谢谢你。PCB007CN

后疫情时代, 中国 PCB 产业链之 覆铜板面面观

by Tulip Gu, PCB007中国

2020年7月4日, 由中国电子材料行业协会覆铜板材料分会(CCLA)主办、苏州巨峰新材料科技有限公司承办的2020年中国覆铜板行业高层论坛, 在江苏省苏州市吴江宾馆成功举办。在本届大会上, 邀请了中国覆铜板行业, 以及上游原材料、下游PCB行业的著名专家、企业家围绕“面临大变局, 共赢新未来”主题作深入的研讨、精彩的阐述。

本刊记者出席了此次论坛, 就行业如何打造稳定的供应链、5G新基建引领下中国CCL现状, 以及行业环保有序发展等问题, 综合各位嘉宾以及行业专家的意见撰写本文。



张东

建立中国自主可控的

CCL 供应链体系

正如 CCLA 理事长张东在开幕词中所述: “CCL 产业链发展进入到了全新的阶段, 上下游对于国产化道路日益明确。”

广东生益科技股份有限公司董事长刘述峰在论坛上契合主题, 提出“建立中国自主可控的供应链体系”正当其时的呼声。他表示, CCL 产业链需开展主动、积极、深入的合作,

打造“可控产业链 / 供应链”的新时代。究其原因, 刘董事长说道: “进入新时代, 整个产业链表现出很强的专用性。从某种意义上看, ‘一代材料决定一代产品’, 材料(技术)已成为整个供应链上的关键环节。但由于技术的稀缺, 造成了产业链出现了许多薄弱环节, 在供应上甚至常常出现断点, 尤其是进入高频、高速、

封装领域后, 情况尤为突出。有些关键性的材料甚至全球可能就只有一两家供应商。随着竞争的日益激化, 尤其是国与国之间的政治争端, 动辄就会演化为经济争端, 随之带来的是, 技术优势一方经常会切断对手的核心需求——如今世界贸易战打击你的, 不再是不买你的东西, 而是不卖东西给你,

这种打击可能更大!”

中国覆铜板工业依托中国电子工业的高速发展, 近十数年取得了高速发展, 而随着技术的进步, 也渐渐进入了过去为国外垄断的高端产品领域。“发展到今天, 中国覆铜板产业链的结构是完整的, 产品种类也是齐备的。”刘董事长指出, 今后的重点是技术、品质的提升, 以及品种的细化、个性化。他举例道: “就整个产业链而言, 日本仍然是行业学习的榜样——他们具有自主技术、供应可控、系列完整、技术先进的

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。



www.ESI.com

ESI®





刘述峰



夏宇



徐伟红



周启伦



雷正明



辛国胜

产业和供应链体系。在一些最先进领域，他们还可以对国外限制供应。”

谈及应对之道，刘董事长表示，从覆铜板制造商角度而言：一是需要更深入到供应商开发环节，要在严格的知识产权保护下，双方履行应尽义务、责任并因此得到权力和权益的前提下，要建立一种相对公开的合作平台，上下游的技术人员要进行共同的开发，让供需双方更明了对方的需求、技术关键、难点、解决方法等，以更快、更准、更好、更及时地推动供应链的发展；二是必须改变思维和工作方法，从设计端开始就要达到可控的状态。覆铜板企业除了委托原材料企业做开发以外，也要对一些技术进行研究（如聚苯醚这一项涉及面很广的技术），以便更好地运用技术、用好材料。

CCL 原材料中，国产化树脂就是一大进步，正如在论坛会上发表演讲的苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司技术副总经理夏宇，在其所作《覆铜板原材料企业如何应对 5G 时代的挑战》的报告指出，覆铜板用低介电材料目前存在供货不稳，成本持续走高，国产材料质量不够稳定等问题。为改变现状，巨峰新材料科技董事长徐伟红在开幕致辞中表示，一方面，公司将依托国家级企业技术中心等创新平台，加强与覆铜板企业的研发互动，积极布局 5G 应用领域的产品；另一方面，于 2019 年在宁夏银川投资 2 亿元兴建的年产 2 万吨高端覆铜板树脂生产基地以保证产量供应。

高频、高速智能化时代已经进入我们的生活，超低轮廓、平面轮廓铜箔在整个供应链中起

到的作用也不言而喻。诺德投资股份有限公司副总裁周启伦《PCB 用厚铜箔市场发展与其性能的提高》的报告中,指出作为覆铜板 (CCL) 关键材料之一的电解铜箔,其品质的优劣直接影响到 PCB 的制造工艺和综合性能。

全球正在加快步伐研发覆铜板用多品种电解铜箔。其中,PCB 用厚电解铜箔在国内外掌握成套生产技术的厂家较少,除诺德惠州公司依靠自身研发能力,成功开发、生产出厚电解铜箔外,从市场上看现在能提供批量产品的只有欧美公司。厚铜箔主要性能的提升不应成为中国覆铜板产业供应链中的短板。作为 420 μm 以上超厚电解铜箔国内至今唯一的供应商,诺德不断努力,花费 10 年时间,构建了一整套高水平的生产厚铜箔工艺、设备、销售、客服经营体系。

针对 CCL 供应链国产化问题,雷正明秘书长在作《2019 年我国 CCL 行业调查解析》的报告时指出,从数据显示,2019 年我国全年覆铜板贸易逆差约 6.998 亿美元,同比 2018 年增长 34.43%,说明国产高技术覆铜板的供给不能满足市场需求;同时,2019 年覆铜板相关主要原材料进口价均高于出口价,其中,电子玻纤布高出 2 倍以上,聚酰亚胺薄膜、球形硅微粉、粘结片高出 5 倍以上,说明我国覆铜板相关主要高端原材料仍然依赖进口。

雷秘书长在演讲中强调,2019 年我国常规类覆铜板的产能过剩,相反高性能覆铜板供给不足之间的矛盾依然存在。虽然行业主要企业加大了高频、高速等高端、高可靠性新产品的研发和投入,目前取得了一定成果,但仍不能满足 5G 等高端市场的需求。还需各企业进一



步加大研发投入,做好产业结构调整,力争早日实现高性能覆铜板国产化。

中电材协副秘书长、电子铜箔材料分会秘书长冷大光作《2019 年我国电子铜箔行业经营状况及未来展望》的报告中提到供应链国产化等相同的问题。他表示,在 5G 产业链需求拉动下,中高阶铜箔供应跟不上市场需求,供应吃紧;但普通铜箔仍供过于求。我国内资铜箔企业在高性能电子电路铜箔的研发、生产及市场开发方面,与外资相比还有很大的差距。这种与全球及我国电子电路铜箔市场需求极不配套的产品结构情况,应该引起业界的高度关注,并通过努力尽快得到改变。在谈及我国电子电路用铜箔市场与产销的新特点、新趋势时,他表示,高频高速电路用铜箔、IC 封装载板极薄铜箔、大功率及大电流电路用厚铜箔、二层法挠性覆铜板 (2L-FCCL) 用铜箔等成为市场发展需求的热门品种。目前,高端铜箔市场 (如 IC 封装载板及微细电路用极薄铜箔) 仍被日本、欧洲 (主要指卢森堡电路铜箔公司) 铜箔厂家所占领;高频高速电路用铜箔、大电流电路用厚铜箔、高档 FCCL 用铜箔市场

占比上,台湾铜箔企业有较大提升;HDI 用铜箔内资企业有了长足的发展。

2019 年,安徽铜冠、江铜耶兹、九江德福、山东金宝等内资铜箔企业已致力于高频高速 PCB 用铜箔的市场开拓与技术进步;台湾多家铜箔企业着力于 RTF 铜箔、VLP 和 HVLP 铜箔的技术开发和产能扩大;山东天和已向多家无胶型 FCCL (2L-FCCL) 厂家批量供应压延铜箔。

全球以汽车厚铜 PCB (厚度 $\geq 105\mu\text{m}$) 为代表的大功率大电流电路板的市场需求迅速扩大;但国内铜箔企业 PCB 用厚铜箔的产销量却出现了大幅降低,说明海外企业的市场占有率在不断扩大。

广东省电路板行业协会秘书长辛国胜作《广东 PCB 行业发展动态》的报告中提到,中国作为全球 PCB 制造中心,不管从供应链、人才链、资金链,以及现有产能和现有产品类别,整个产业所凝聚起来的集聚优势,短时间内很难被复制和替代。希望产业链的上下游保持密切的沟通,共同关注终端客户对新材料、新产品、新工艺、新技术的需求,共同研发,集合创新,推动产学研。总体来说,在中美博弈的大环境下,PCB 不仅在产值产量将有所增加,产品技术方面也有更大的提升。疫情防控常态化,肯定会影响外贸和出口订单。审慎调整出口订单比例,同时面对新基建带来的内需,要有新思路,要调整产业链、供应链。

后疫情时代,产业链的稳健与完整更是上

升到国家战略意义,一是建议自身完善的产业链,减少国外垄断造成的影响;二是疫情后,各国都想建立独立完整的产业链,全球产业链会被简化,必然会减少对中国的依赖,一定要警惕全球产业链去中国化。疫情后的世界如何,大家都在揣测,但有一点在跨国企业调研结果中较为明显:疫情促使下一阶段的产业更重视数字基建,即云服务、LoT、远程等。中国恰巧在 5G、数据中心、LoT 等数字基建上加速,未来的商业基础设施或许优势得到加强而非削弱。

5G 新基建引领下

中国 CCL 现状

中兴通讯股份有限公司工艺研究部总工程师刘哲通晓终端与材料端,谈及 5G 新基建,他可谓是如数家珍,所作的《5G 新基建与 PCB 基材现状和未

来》报告得到与会听众热切关注。他表示,从需求量角度,高频覆铜板将大幅提升。测算单个基站需求高频 CCL 面积有望增加 5~6 倍 (达到 3~4 平方米),同时价格将从原来 100 元 / 平方米提升至 600~800 元 / 平方米。国信电子小组预计,国内基站建设需求将直接拉动对高频覆铜板高峰期需求规模可达 93 亿元。按照全球基站最高峰期 200 万站估算,最高峰期对高频材料需求每年可达到 60 亿元。从市场角度,国内产品质量、性能稳定且具有显著的价格优势、地理优势和服务优势,能够及时响应需求快速供货,本土化的采购需求将为国内高频通信材料企业带来巨大的进口替代机遇。同



刘哲

时, 他指出: “从机械性和可加工性角度考虑, 高频电路用基板材料未来将不仅局限于热塑性 PTFE 材料, 通过不断研究和改进, 碳氢系树脂、聚苯醚等树脂多样化将成为重要开发方向。”

雷正明秘书长在报告中指出, 2019 年我国覆铜板企业自主创新能力在提升, 新产品研发时选择了不同的新型树脂, 采用新的工艺技术路线等, 种类更加完善。比如生益科技、昆山南亚、建滔积层板、金宝电子、东莞联茂、无锡宏、苏州松下、南亚新材、华正新材、林州致远、超华科技、江西航宇新材等 12 家企业参与高速覆铜板研发, 并取得一定成果。其中, 有多家企业对高速覆铜板用树脂组成物进行研发, 从多种技术路线去同时推进; 生益科技、南亚新材、华正新材、郴州功田等企业在高频覆铜板方面攻关表现突出。

总体而言, 2019 年我国覆铜板行业整体运行基本平稳, 但从行业环保治理、技术研发短板、以及电子铜箔产业有序发展方面来说, 还存在差距与问题, 需要行之有效的应对措施。

技术研发短板、废气治理

与电子铜箔有序发展问题

雷秘书长在报告中指出, 覆铜板在新品开发、立项攻关方面, 也有不足之处。主要表现在: 一是挠性覆铜板及其 FPC 用配套材料的开发课题及成果较少; 二是缺少终端电子产品需求的 IC 封装基板用高端基板材料的自主攻关与研发。

雷秘书长还强调了覆铜板行业 VOCs 有机废气的治理是一项重要课题。半固化片上胶干

燥排放的有机废气对大气以及人类健康会造成污染和危害, 随着对环境保护意识的增强, 国家也正在制定相关的标准

制定, 需要引起行业更多的关注, 积极予以治理。为此, 论坛会特别邀请了陕西宝昱科技工业有限公司总经理钱研作《覆铜板上胶废气治理现状及技术浅析》的报告, 提出应对方案。

冷秘书长在报告中强调, 当前, 中低档电子铜箔产品的同质化竞争日趋激烈, 同时违反市场规律、无序盲目上马的投资扩产行为增多, 这些需引起业界的高度关注。据协会调查得知, 国内新建的电子铜箔项目到 2021 年再将实现 4 ~ 6 万吨新增产能。一方面, 2019 年间, 个别新投电子铜箔项目下马、搁置或推迟进行, 部分企业新增产能的利用率十分低下; 另一方面, 又有多家企业“大手笔”投资电子铜箔项目, 这种无计划建设情况仍非常令人担忧。

疫情给世界和中国经济造成严重影响, 制造业遭遇百年未有之大变局, 中国已经出台多项政策缓解企业与民众因疫情影响所带来的压力, 同时, 我们的电子行业将受益于“新基建”所带来的巨量红利。就如张东理事长所说: “相信 2025 年将会是覆铜板产业的高峰, 现在要抓住千载难逢的好机会, 紧密合作, 坚定自身战略目标, 建立完全能独立自主供给的产业链, 为我国的电子产品终端服务。”PCB007CN



钱研

强调电子铜箔产业的有序扩张

——访电子铜箔材料分会秘书长冷大光

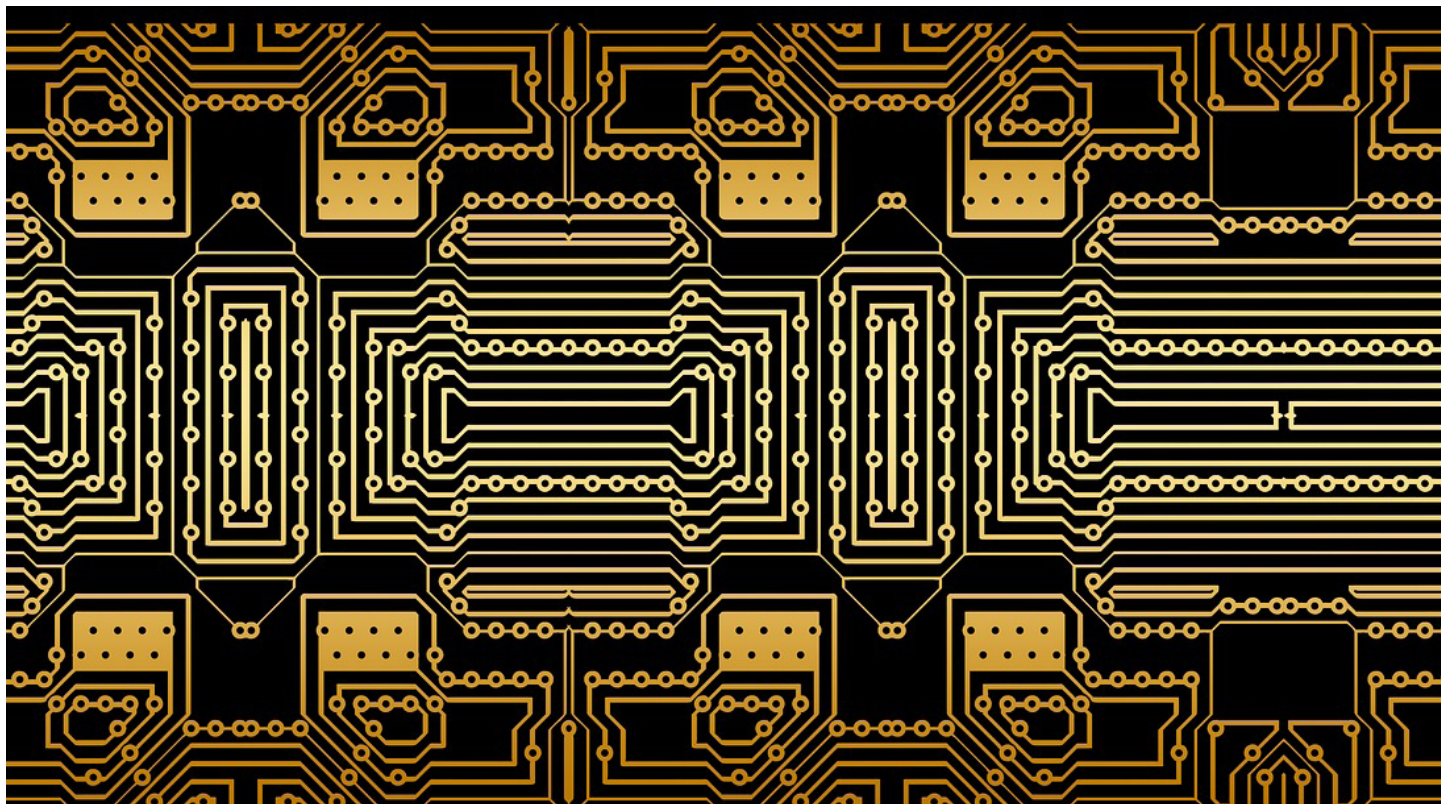
by I-Connect007中国团队

2020 年中国覆铜板行业高层论坛上，中电材协副秘书长、电子铜箔材料分会秘书长冷大光作《2019 年我国电子铜箔行业经营状况及未来展望》的报告中强调，目前电子铜箔行业违反市场规律、无序盲目上马的投资扩产行为增多，这些需引起业界的高度关注。为此，会后本刊记者采访了冷秘书长，他就此问题进一步谈了协会的看法。

冷秘书长表示，现在大家都看好 5G 产业，再加上电动汽车的前景也非常好，所以中国的

电子铜箔业兴起扩建之风。从长远看来需求是有的，但是近段时期内，市场并没有那么旺盛，这必然出现供过于求的局面。如果持续无序扩建，将会出现市场恶性竞争的局面。

当被问及造成目前扩建之风兴盛的原因，冷秘书长说道：“原因有三：一是现某些地方政府大力推广，助推企业上马；二是有些上市公司寻求扩张，而电子铜箔就是其中目标之一；三是有些企业仅因当地电费便宜或者资金充裕，就盲目上马。缺乏统一规划正是行业目前存在的问题——一方面铜箔现在是大发展的



时期；另一方面又无法控制行业有序地按照市场需求来发展规模。

2016 年由于电动汽车开始大发展，锂电池铜箔出现严重短缺，影响 PCB 行业电子电路铜箔也出现短缺，铜箔价格暴涨。因此行业内外各企业纷纷新建扩建电子铜箔项目。如今新的产能开始投放，而新建扩建的步伐仍在继续，毫无刹车的意思。

冷秘书长在他的报告中指出,2019 年是我国电子铜箔行业新增产能大量释放、市场竞争最为激烈的一年，有 14 家铜箔企业有新产能投放市场。国内电解铜箔总产能新增 6.96 万吨，年增长率达到 15.0%，是近年来增长较高的一年。由于铜箔新产能陆续释放，已造成锂电池铜箔和普通电子电路铜箔市场竞争激烈，部分铜箔品种在市场上已经低于成本价。

预计到 2020 年底，国内约有 13.2 万吨电解铜箔的新增产能，其中电子电路铜箔新增达 4.4 万吨，总计年产能将达到 37.9 万吨。

据统计，截至到目前，国内有多家 CCL 厂家扩产投产，对电子电路铜箔的需求量略有增加，预测 2020 年电子电路铜箔需求量年增长率约在 4%，国内市场需求量将达到 37.5 万吨。

值得注意的是，国内还有几家大型企业

正开始实施新的投建电子铜箔项目计划，开工建设就在近期。预计在 2021 年再将实现 4 万~6 万吨电子铜箔的新增产能。

“这些新增的产能，如果今后电动汽车与无人驾驶真正发力了，那可能问题不大，否则行业将面临混战局面。”冷秘书长强调，产业发展必须符合市场规律，类似覆铜板行业，其

扩建的规模与下游需求比较吻合。但是铜箔现在又出现前几年的大起大落，处于不稳定状态。

就目前扩产的定位问题，冷秘书长也提出了自己的观点。他表示，除了产量问题，产品类型也是需要整体考虑的。由于 5G、物联网、汽车电子、工业机器人、工业智能化等迅速的发展，对 PCB 及 CCL 用铜箔的品质、高性能、

特殊性能提出了更高的要求，今后这类高档电子电路铜箔的市场需求将会明显增加。现在如 IC 封装基板用的铜箔，国内基本上无企业涉及，虽然此类产品不是主流，但还是需要国内部分有研发能力的企业下功夫。同时还要解决产业相关配套的设备与材料问题。

作为协会，将继续履行警示的责任，每年调查项目扩建的情况，分析行业发展趋势，并不断形成行业报告予以发表，以引起行业高度重视。PCB007CN



冷大光



应用于酸铜电镀的仿真技术

by Pete Starkey
I-Connect007

在印制电路制造的发展初期，唯一可用的光致抗蚀剂都是用溶剂处理的，电镀化学品的选择范围更广，像以焦铜为基础的碱性体系都是可行的备选方案。焦磷酸盐电解质的均镀能力非常强，能展现出极佳的物理特性，与酸性硫酸盐相比，对电镀设备的腐蚀性更弱。但后来光致抗蚀剂可以用水处理了，有效地改变了印制电路制造工艺。

人们再也不需要用到有毒的溶剂和高成本的不锈钢设备了，因此很多新投资者被吸引到了印制电路制造行业。用水处理的光致抗蚀剂可以用碱剥离掉，所以本质上是耐酸的；酸铜电镀成为行业图形电镀的标准方法，所有技术都是围绕酸镀电铜法展开的。但电解质的物理

属性受到了限制，均镀能力也没有原来的效果好，但酸铜电镀方法是一个具有成本效益的发展起点。

化学品专家用优化后的铜和硫酸浓度配比形成了专有的配方。他们加入了微量氯化物、有机载体、抑制剂、整平剂和增亮剂来改善扩散层、均镀能力、晶粒结构和延展性。随着行业对特定应用的性能要求越来越高，开发工作仍在继续，以改良化学品、改善质量转移和搅动方式，优化电镀单元的机械设计、阳极结构，改进直流供电初始的电波波形，以及许多其他细节。

但众所周知，电沉积物的一大缺点就在于均匀性问题，尤其是酸铜电镀的沉积物，导致很难在板表面和通孔内部得到厚度均匀的电镀层。相对于电流密度较低的大接地层区域，孤

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Matt



要了解有关我们实验室的更多信息，请通过电子邮件
merlichman@chemcut.net与Matt Erlichman联系。

www.chemcut.net

 **CHEMCUT**
BOUNDLESS INNOVATION | UNBEATABLE PRECISION



离的特征成了电流密度较高的区域。在厚径比较高的孔中，要满足孔中央最小铜层厚度的要求是另一挑战。

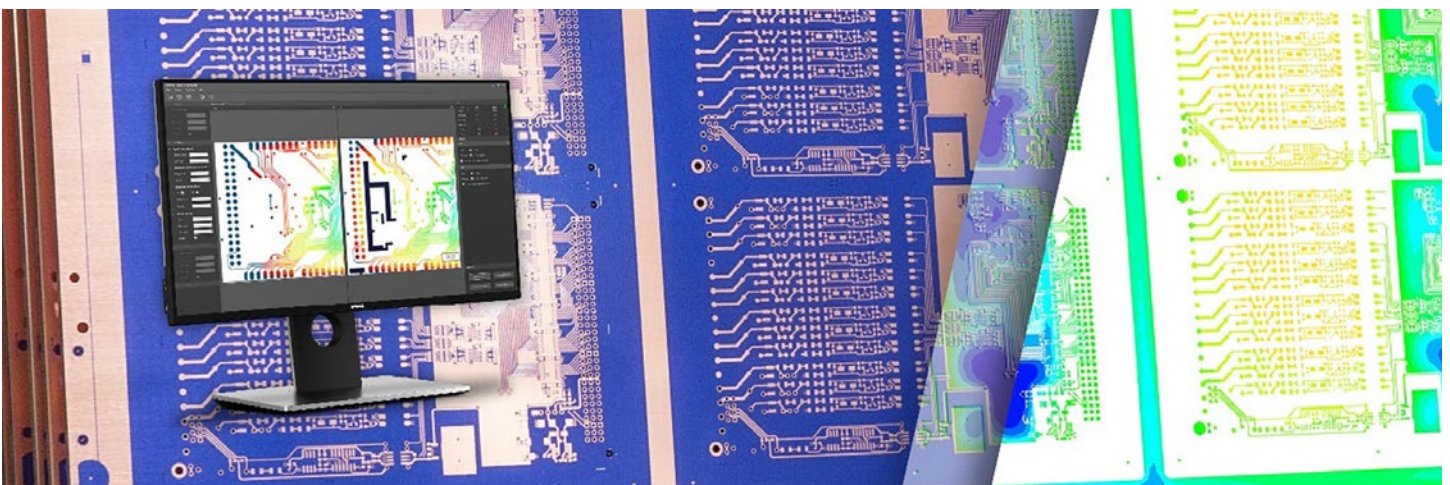
PCB 制造行业的设计复杂程度不断增加，市场又要求供应商在更短的交付时间内用更低的成本交付更高质量的电路板，因此最大化生产良率非常重要。图形电镀是非常关键的工艺阶段，想在严格的容差范围内得到厚度均匀的电镀层非常困难——不论化学配方调制员和设备工程师拥有多少经验、付出多少努力，都会是一个非常困难的过程。也不论工艺工程师经验有多么丰富，他们能否顺利完成工作很大程

度上取决于 PCB 设计师的工作。在最糟糕的情况下，质量工程师要应对产品不符合规格要求的情况，而生产经理要面对良率低以及后续弥补差额带来的制造成本升高、交付延误和产能损失等问题。

PCB 设计师主要考虑的是如何利用特定的设计准则在指定机械区域内满足相应的电气功能和连通性要求。设计行业的资深从业者 Rick

Hartley 主张：“每位 PCB 设计师都应该知晓均衡铜层厚度的众多优势，并且要把这些理念应用到平时的电路板设计过程中”。大多数设计师都意识到应该在板层内部保持合理的对称结构，从而最大程度地防止出现翘曲现象。但如果他们能在配置线路板外层结构时也能意识到电镀层分布的基本要点，就能给后续工作带来更多便利，这是 DFM 理念中非常重要的一点。

CAM 工程师的职责是接收设计数据并根据这些数据准备相应的生产治具以及做好面板的布局工作。面板的布局可能已经由客户明确



指定了，例如使用分布重复阵列来适配组装工艺，或者是公司内部提出要求要在生产面板上加入一些独立的电路，从而最大程度地利用材料。生产工艺的结果取决于 PCB 设计和生产时应用的面板布局。PCB 设计师和 CAM 工程师可能会觉得自己无法去改善 PCB 走线和通孔表面镀铜层的均匀厚度。



Robrecht Belis

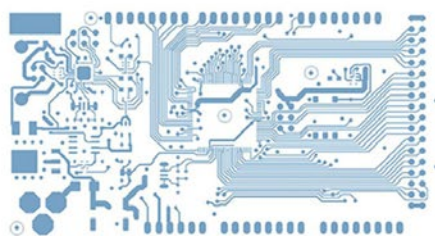
我曾经和比利时 Elsyca NV 公司表面处理与电镀技术部门经理 Robrecht Belis 讨论过相关内容，受益匪浅。他告诉我，只要及时采取行动并且使用了恰当的工具，事实就能说明一切，他还向我介绍了 Elsyca 有关电镀仿真技术的白皮书。

我们从设计师开始聊起，然后又聊到了我刚才所说的——如果设计师能在布置电路板外层结构时认识到镀层均匀分布的基本要点，他们会很有收获，然后 Belis 还给我讲解了 Elsyca 公司的 PCB Balance 仿真软件如何帮助设计师更轻松地完成任务。这款软件可以参考生产中镀铜液虚拟模型，再加上实际操作中电镀化学品特性，就能预测出铜层厚度。软件还提供全自动智能铜层平衡算法选项，可以加入没有实际功能的铜特征，以便在不影响设计的

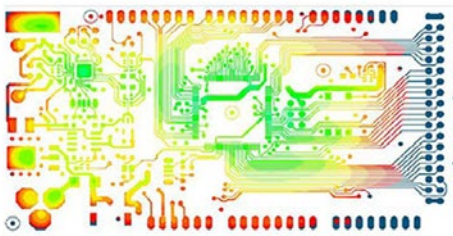
前提下改善铜层的均匀程度，并且还可以用交互式图形显示器展现铜层分布情况。一旦利用算法完成优化，就可以自动解决任何不符合规格要求的铜层厚度问题。整个过程只需几分钟时间便可完成，直接用 Gerber 格式输入即可进行。而且该款软件和现有的设计工具可以很好地集成在一起。

可以并排展开设计改动前后的版本进行对比，列出一些客观信息，其中包括平均厚度、标准偏差，以及生产工艺能否让终端产品满足规格要求。平衡铜层厚度的顶层和底层可以用 Gerber 格式文件输出，并且能在 CAD 系统中用于更新电路板设计。

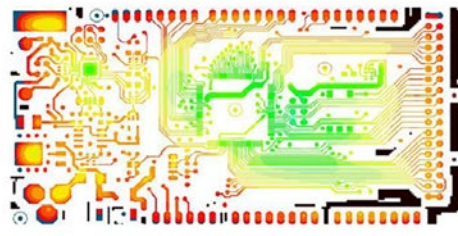
为什么设计师过去没有使用仿真技术呢？他们现在为什么又改变了呢？Belis 在 10 年前就描述过这种状况。也许是因为当时的计算机模拟仿真系统不够先进，但即使当时系统已经足够先进，人们普遍的态度也会是“我清楚自己在做什么，我已经这样做 30 年了”。但如果他们遇到了问题、惹上了麻烦，我们这些善用仿真技术解决问题的外部专家又要被他们请去解决难题。Belis：“也许我们应该考虑从一开始就使用这些仿真工具解决问题，而不是靠着



Gerber 格式的 PCB 布局实例



形成的层厚度分布



通过自动铜均衡形成的优化结果

**(calculated by Elsyca PCBBalance)*

假设和不断试错去探索。”

现在你已经了解了用于改善设计的设施，那么升级后的数据送到 CAM 工程师手里之后，会发生什么？他们负责布局面板，而单电路布局已经针对电镀进行了优化。但不论面板含有多种相同设计还是组合了几种不同的设计，图形电镀工艺都无法保持一致；靠近面板边缘的电路板上，所形成的铜层厚度必然会更厚。

Belis 继续讲道，CAM 工程师可以利用 Elsysca PCBPlate 仿真软件，评估单块面板或多块面板的铜层厚度，然后再对比不同面板布局上铜层厚度的分布情况，最后迅速确定哪些区域是不符合规格要求的。随后，他们可以选择去改良面板布局，也可以使用铜层平衡算法在面板边缘和每块电路板之间添加无实际功能的铜特征，从而让整块面板上铜层厚度的分布更加均匀。不需要作出假设和试错，就能解决厚度不符合规格要求的问题。

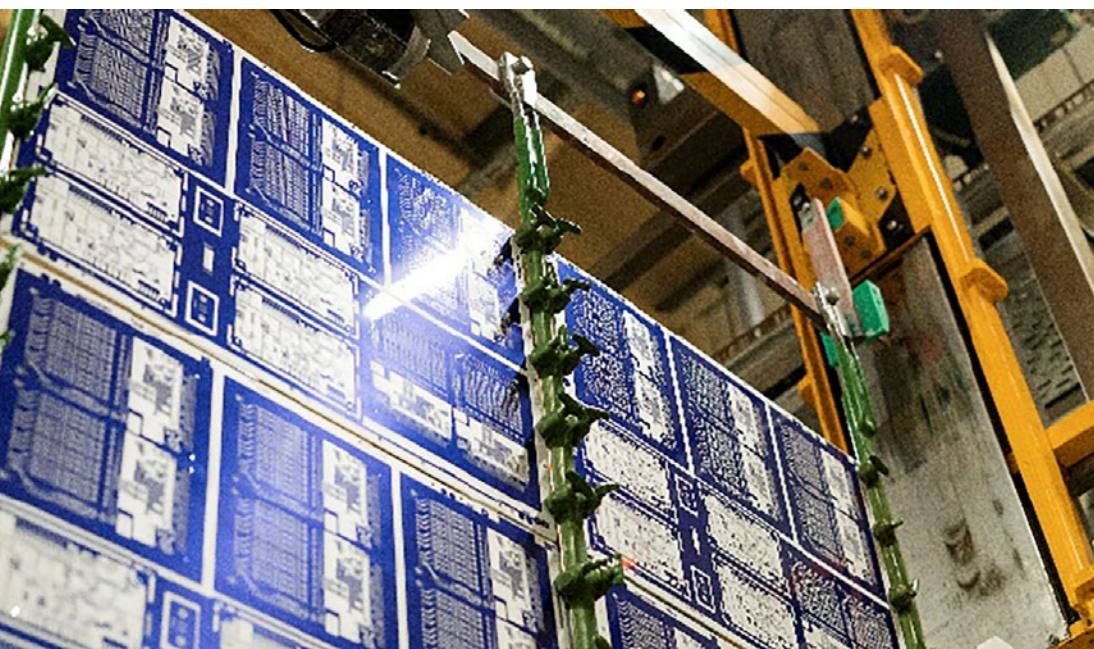
CAM 工程师还能借助图形概览确定最关键的区域，并指出哪块 PCB 上的哪些部位需要接受严格检验与测试（比如通孔铜层厚度），

这样就可以避免在生产过程中更改设置以降低成本。此外，工艺工程师还可以采用 Elsysca 的仿真软件运行深入的假设分析，并在生产线的数字孪生技术中探索精调工艺参数和生产设置后产生的各种状况。

在采用仿真技术验证电镀工艺的过程中，PCB 行业一直行动缓慢。金属表面处理行业的表现如何呢？Belis 列举了给汽车部件镀铬的例子，并表示 OEM 需要在控制成本的同时，又要在美观和功能性之间取得一个平衡。元件的几何图形复杂程度各不相同。镀铜、镀镍和镀铬工艺的均镀能力差异很大，有的工艺均镀能力很强，有的工艺则效果欠佳。所以如果想控制成本和质量，就一定要精确预测出每个金属层的厚度分布。Elsyca 的仿真软件已经得到了广泛应用，实际上，汽车 OCM 电镀加工承包商在寻找供应商时都规定对方要具备仿真能力。

Belis 的一番讲解又引出了另一个值得探讨的话题——为什么说仿真技术的作用不仅仅是帮助生产任务在第一次就达到理想结果；在和终端客户讨论时，仿真技术也是一种有效的沟通工具，即使是面向非技术人员时，也能用生动的图像展现出所做的改变。

我们还进一步讨论了品质保证问题。生产面板时，仿真数据也成了面板历史数据中一组宝贵的参考数据，让相关人员对过去依赖于测试附连板的操作方式有了新的观点。测试附连板一般会放在面板



边缘的非功能性区域。至于镀层厚度，你只能了解到测试附连板本身的数据，但对于距离测试附连板几厘米以外的区域，并不能针对其表面和孔内的镀层厚度提供有意义的信息。

没错，PCB 行业在采用仿真工具方面的行动速度一直很缓慢。主要是因为他们对市面上很多功能强大的仿真工具缺乏了解，并且也过度依赖传统技能和经验。Belis 给出了一个类比，说这就好比习惯了使用手工工具的木匠突然要使用电钻，一开始可能非常抗拒，但了解了新型工具的优势以后，用起来就得心应手了。不久之前，木匠可能连想都没想过要使用电钻，但后来他已经认为电钻是他工具箱中不可缺少的了。看看当今最先进的 PCB 工艺，和几年前相比，就能意识到仿真技术变得多么重要了。

Belis 反思了自己的能力范围。“知道这个范围的边界要比知道能力大小更重要。当需要学习新技术时，首先要做的就是搞清楚自己是否有能力做。如果不清楚，就不会去寻求解决

方案。在你弄清楚自己能力的局限性后，在学习新技术时，你就会小心谨慎地寻求解决方案，付出更多精力来完成。这是一种新的工艺流程，你需要学习很多新技能。但不久之后，在利用所有这些技能的时候自己可能都察觉不到了。就像骑自行车一样，已经成为了你身体里的一种固有技能。这就是我们目前在汽车零件镀铬操作中取得的成果——已经无需再思考。”

PCB 行业还要多久才能达到这种境界？
PCB007CN



Pete Starkey 任 I-Connect007 技术编辑，常驻英国，在 PCB 制造行业驰骋 40 多年，主要从事工艺开发和技术服务工作。如需联系 Starkey，可[点击此处](#)。

2019年我国覆铜板行业调查解析

一、2019年覆铜板经营情况

1、全国 2019 年各类覆铜板产能、产量及销售情况

据 CCLA 统计，2019 年各类覆铜板总产能为 9.11 亿平方米，较 2018 年增长 2.96%；2019 年我国各类覆铜板总产量为 6.83 亿平方米，较 2018 年增长 4.35%；总产能利用率达到 74.97%，由于产品结构因素及市场原因，



使产能利用率未达到合理状态。可比企业中，产能利用率情况差异趋于增大，覆铜板行业的一些大公司，产能利用率好于全国水平。

2019 年我国各类覆铜板总销售量为 71375 万平方米，同比增长 10.04%；总销售收入达 5572412 万元，微幅减少 0.44%。

更多详细的内容，请[点击阅读原文](#)。

LED UV 固化:真的可行吗?

by Marc Ladle
Viking Test Ltd.

自最早开发出 UV 固化材料以来,已经实现了可 UV 固化印制电路和其他制造工艺所用油墨的设备,这类设备大多使用蒸汽灯作为 UV 光源。通常情况下,蒸汽灯含有一定比例的汞,而全球范围内都在禁用汞。反过来,这意味着有足够功率的 UV 光源来完成 UV 固化工艺有着非常明显的商业意义。

光引发剂是 UV 油墨中使其能够在 UV 光下固化的组成成分,它的发展是基于当时可用的最好 UV 光源。替换光源后,要保证完全相同的结果,需要精确地模拟蒸汽灯的输出光谱和强度。

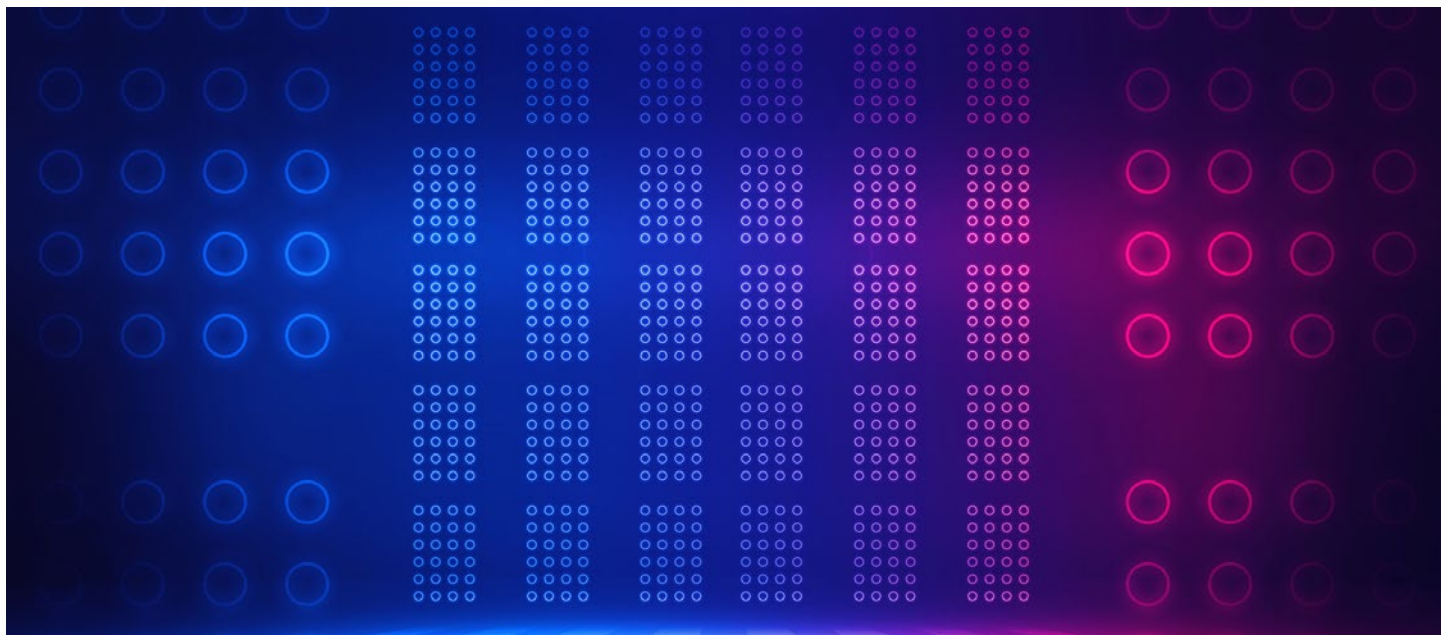
在寻找替代品的过程中,LED 技术一直不太稳定,而且由于种种原因,行业一直难以将其定位为有实力的竞争者。

UV LED 在干膜和阻焊膜的成像曝光方面

表现良好,目前可实现该功能的设备已相当多。我在客户工厂已安装了 UV LED 曝光设备,在评估 LED 的输出时,使用阶梯光楔控制曝光功率等经验测试方法效果更好。LED 曝光设备的良好结果表明,相同的 LED 方法应可适用于其他 UV 光工艺,例如阻焊膜隆起(在显影光成像膜后的额外曝光),以使油墨更适合某些电路需要经受的侵蚀性化学和热处理制造工艺。

由于可用光谱的不同,很难直接对比蒸汽灯和 LED 的效果。蒸汽灯的输出光谱很宽,有很强的尖峰,可以通过不同的灯混合来控制。LED 有单独的输出波长,所以即使是测量强度和曝光功率的工具也不能给出 LED 输出的真实读数,因为这些工具是为蒸汽灯设计的。

阻焊膜 UV 固化对象的读数很小表明不同的波长对油墨产生的影响不同。准确的波长对



穿透阻焊膜材料的深度有很大的影响。较长的波长穿透更深,而短的波长有利于表面固化。蒸汽灯可用各种不同的波长满足这两种要求,但是一旦你选择了灯,就不可能控制长波长和短波长的比例。在调整方面所能做的就是改变功率。随着时间的推移,每个灯都会退化并失去一部分强度,这意味着在灯的整个生命周期中必须不断调整,以确保对产品的影响是在可接受的范围内。

对于 UV LED,我们必须处理不同波长的问題,但幸运的是,有多种波长类型可供选择,即 365、385、395、405 和 415 纳米的 UV LED。如果这些 LED 都以正确的方式排列和连接,就有可能控制每种波长的比例,从而能够调整

输出以适应不同的产品和油墨涂布方式,这是蒸汽灯从来未达到的控制水平。

经过一段时间的研究和开发,我在中国的一位同事生产出了一款我们认为可以用于光成像阻焊膜凸起固化以及使用其他 UV 可固化油墨的 LED 驱动设备。然而,找到可以进行实验测试的地方非常困难。

为这样的设备找到潜在的终端用户相当容易,但出于明显的原因,他们总是非常希望确保他们的 UV 油墨供应商对设备更改感到满意。当第一次这样做时,没有人能够肯定地说它是可行的。

我确实直接和油墨供应商进行了沟通,他们帮了我很大的忙,但仍很怀疑是否有可能得

IMC5009R/H					
面板编号	类型	带速	灯功率%	IL390B	涂层
1	无	不适用	不适用	不适用	无
2					银
3					ENIG
4					HAL
5	汞	0.8m/min	100%	2505mJ/cm ²	无
6					银
7					ENIG
8					HAL
9	LED	3.0m/min	100%	1160mJ/cm ²	无
10					银
11					ENIG
12					HAL
13	LED	2.0m/min	100%	1716mJ/cm ²	无
14					银
15					ENIG
16					HAL
17	LED	1.0m/min	100%	3387mJ/cm ²	无
18					银
19					ENIG
20					HAL

表1:测试参数详情

到积极的结果。似乎过去对 LED 固化的不良经历使他们持反对意见。

在这方面,北威尔士的 Merlin Circuits 公司为我们提供了巨大的帮助。他们把这台设备和旧蒸汽灯设备一起运行,并与他们的 UV 油墨供应商所做的测试和验证结果进行了真正的并排对比。我们公司的目标是销售这些设备,但是我们从 Merlin Circuits 公司(表 1)的测试工作中看到的结果提出了一些可能具有更广泛技术利益的要点。

每分钟 1 米和每分钟 2 米时,LED 设备的测试结果都很好,但在以每分钟 3 米的速度运行时,其中一个附着力测试结果较差。这一点也不奇怪,因为对于只有两个 LED 灯条的设备来说,处理速度非常快(图 1)。模块化设计方法意味着,如果更高的速度对用户很重要,则可以安装适当数量的光杆。

该实验的一个有趣结果是蒸汽灯和 LED 在将元器件标识打印到面板上有所区别。两种

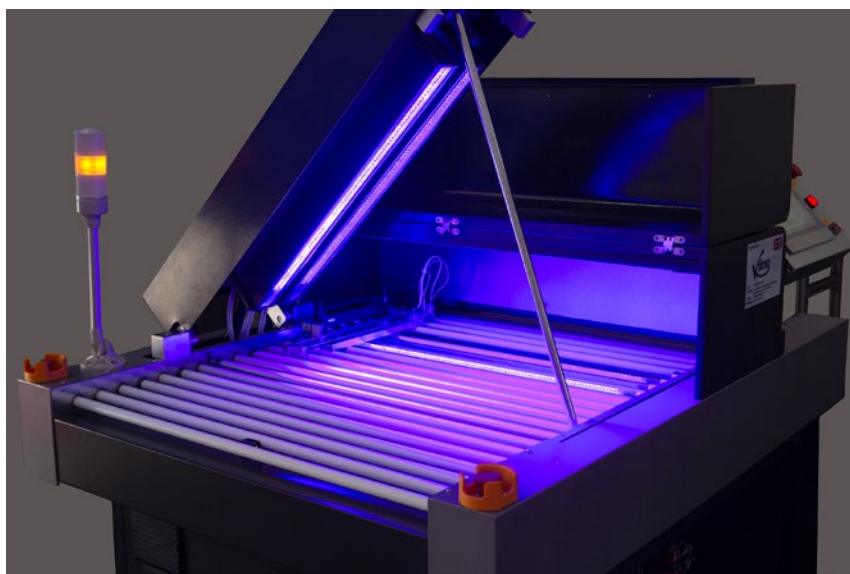


图1:双光杆设备

设备上的面板都经过 UV 固化处理,然后打印出元器件标识。两种工艺在标识附着力上有显著差异。用蒸汽灯固化的面板上标识附着力不佳(图 2),但在用 LED 固化的面板上标识附着力非常好(图 3)。

这一结果的意义在于,LED 设备有可能直接安装到阻焊显影机的末端,元器件标识仍能很好地附着于面板,这可大大简化工艺路线。



图2:蒸汽灯固化的面板,标识附着力差



图3:LED固化面板具有良好的标识附着力

当使用蒸汽灯进行固化时,必须在显影后对面板进行标识,然后作为单独的操作通过 UV 泵。

测试完成后,我又和油墨供应商进行了沟通,他告诉我他们对测试结果印象非常深刻。在所有测试中,LED 设备表现良好,达到了良好的固化水平。对所有相关各方来说,这无疑是一大进步。LED 固化设备的一些潜在优势是显而易见的,例如光源的低功耗和长使用寿命,而且如果没有良好的工艺结果,就没有继续向前发展的意义。

如果你担心蒸汽灯的持续供应,也许 UV LED 固化的未来发展前景会更光明。PCB007CN



Marc Ladle 是 Viking Test Ltd. 公司的主管。如需阅读往期专栏文章或联系 Ladle, 可[单击此处](#)。



劲鑫科技
JINXIN TECHNOLOGY

Mercury S30

新一代字符、防焊喷印一体机

劲鑫科技致力于成为世界一流的图像转移设备服务商



解析度:1200/2400dpi
最小线宽:3mil(75μm)
对位精准度:±1mil (±25μm)

www.jatotek.cn
sales@jatotek.cn

自动化程度太高？

by Todd Kolmodin

Gardien Services USA

过去六个月里发生的事情对商业、制造业、娱乐业以及我们日常生活的方方面面都产生了巨大的影响。当我们慢慢开始摆脱疫情时，发现世界已经发生了巨大的变化，可能永远都不可能恢复到之前。

这使我们不得不重新思考日常生活与工作，以及如何在这个新常态中生存。如今的工作场所已经发生改变，同时有些已经消失。虚拟工作场所越来越受欢迎，远程办公、虚拟会议、网络研讨会等越来越多地依赖互联网进

行。对我们很多人来说，生活已经永远改变了。

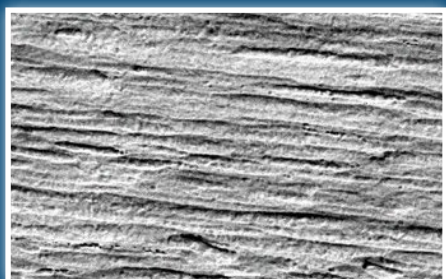
我们必须反思个人生活，以适应不断变化的环境，这样才能继续发展。作为人类，我们有能力体验、回顾、反应和快速改变以适应不断变化的环境。无论是待在家里、出门戴口罩、远程办公，还是什么都不做，这些决定都来自于我们思考和分析的能力。我们可反思、适应和发展。

有鉴于此，促使我们反思制造业的其他方面。在过去十年或更长的时间里，自动化一直

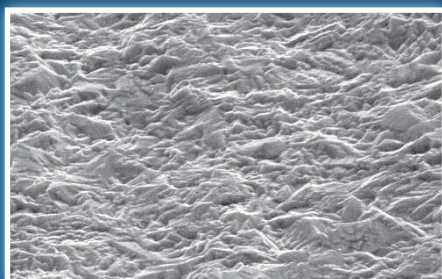


MULTIPREP 200

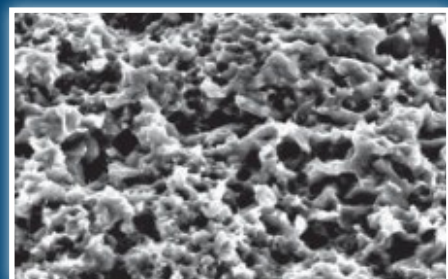
铜面上防焊、干膜粘结力促进剂



机械刷磨



传统微蚀



MULTIPREP 200

- 细线路干膜的铜面结合力促进前处理工艺
- 防焊绿油的铜面结合力促进前处理工艺, 帮助通过最终表面处理和焊接的考验
- 使用寿命长、工艺易于控制
- 建立高粘附力的表面微蚀形状



是热门话题。当然，在最初的投资之后，自动化可以节省成本。所需人员更少，产量是可预测的，可重复且可控。打开开关，关灯，所需的产品将在 12 小时内就可准备好发货。对吗？别这么快下结论。

尽管自动化可以节省成本，但也会产生重复的结果，正如苹果和富士康经历的教训，麻烦事不断。自动化缺少一个关键的组成部分：质疑、推理和独立发展的能力。在一天的工作中，机器人会一遍又一遍准确地做被要求的事情。是的，机器人可以在黑暗中工作，除了定期维护外不需要休息，而且是可预测的。然而，自动化所能提供的所有光学设备、传送装置、机械手臂和强大的力量都无法与人脑的大脑皮层相媲美。生产仍然需要具备高技能的人力。

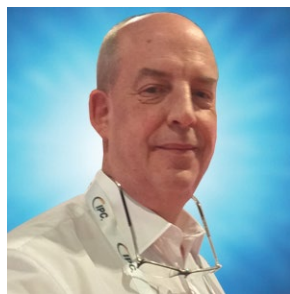
自动化在对平凡的重复性任务中替代人工是很好的。对于更复杂的任务，虽然正在努力实现自动化，但应该进行反思。在这里，人的因素仍然会带来有价值的差异——质疑、分析、批判性思考和创造的能力——这些都是自动化所永远缺乏的，无论人工智能有多强大，也不管驱动过程的程序有多复杂。其弊端是不会思考，只会准确地做被告知的事情。引用卡内基梅隆大学机器人研究所首席系统科学家 David Bourne 在与苹果、富士康等公司合作时所表示^[1]：“机器人和自动化的工作非常出色，令人惊叹，但一旦发生故障，谁都不知道会发生什么。”

开启反思模式，考虑如何重新调整我们的生活和工作时，不妨问一个问题——“自动化程度有多高才足够？”我们很容易陷入立竿见影地节约了成本的满足中。但切记，您所实现的自动化只是当今技术的一个“快照”——它只会按照当今的工艺水准来完成，而不会演变发展。不付出代价（比如维修合同、服务协议等）就无法学习提升。

然而，在这些关键过程中，只有员工会思考、分析、批评、提问、选择，并不断发展，所以他们永远都是必不可少、无可取代的。自动化也是必要的，但在节约成本与自动化可能造成的问题之间如何平衡，是任何工程师和管理人员都值得关注的。PCB007CN

Reference

1.W. Gallagher, “How Apple learned automation can’t match human skill,” AppleInsider, June 5, 2020.



Todd Kolmodin 担任 Gardien Services USA 公司的质量副总裁，同时他也是电气测试和可靠性领域的专家。如需阅读往期专栏或联系 Kolmodin，可[单击此处](#)。





Quality.
Reliability.
Consistency.
IPC.

IPC — 国际电子工业联接协会

START WITH THE STANDARDS

从标准出发

来源：609位IPC用户的TechValidate调查



72%
质量提升



53%
竞争力提升



43%
返工减少



39%
不必要的报废



33%
现场失效减少



28%
产量提升



20%
盈利能力提升

※由全球业内超过3000名同行专家制定和批准IPC 标准

※超过 5400 家企业依赖于 IPC 项目和服务

※标准化的培训，获得全球范围认可的质量资格证书

※提高产品的可靠性和质量，全面降低成本

※获得最新市场信息和技术的渠道

※多项技术比赛，行业论坛等会员专属活动



扫一扫
免费下载 IPC 标准目录手册

汽车用 高性能电路板 为安全驾驶 保驾护航

by I-Connect007中国团队

近期 2020 汽车雷达和汽车视觉前瞻技术展示交流会在苏州召开。作为传感器细分领域的毫米波雷达和汽车视觉专业会议，现场吸引了行业 300 余行业人士，100 多家企业参与，包括主机厂、系统集成商、毫米波雷达企业和芯片等元器件企业、高频 PCB 板、封装测试单位、吸波及塑化材料、摄像头系统集成商、解决方案供应商、模组厂商、元器件厂商（CMOS、DSP(ISP)、镜头、光学镜片等）相关科研机构 and 高等院校等代表亲临现场参与。PCB007 应邀对此次会议进行了报道，我们采访了罗杰斯的杨熹经理，就我们行业非常关心的汽车用高性能电路板相关问题进行了探讨。

记者：罗杰斯作为全世界创新材料方案的技术和市场领导者，为高级驾驶辅助系统中的 24GHz 和 77GHz 雷达传感器设备提供高性



杨熹

能 PCB 层压板。就具体车载毫米波雷达来讲，对 PCB 基板材料提出的技术性挑战包括高频电路的高性能与一致性的挑战；汽车应用对高可靠性需求的挑战；毫米波多层板 PCB 加工的挑战。这方面，罗杰斯拥有强大的创新渠道，在 2020 年和未来将针对这些要求有哪些新产品或新技术来应对挑战？

杨熹：为面对这些挑战，罗杰斯推出了 RO3003G2™这款新产品。它不仅具有与原 RO3003™材料相同的树脂体系，从而保证了介质的低损耗，更拥有比原 RO3003 材料更光滑的铜箔，从而进一步降低了损耗。为提升介质的一致性，RO3003G2 材料的填料更细腻，介质的均一性更出色，更好的保证了在毫米波频段的雷达性能。

罗杰斯的工厂拥有汽车等级的认证。我们

对每一批出产的汽车板材都保留数据，如出现品质问题，可以进行追溯。在老化、双 85 等可靠性试验中，罗杰斯板材都具有优异的测试结果。

为应对汽车毫米波多层板的设计需求，RO3003G2 材料使用的小颗粒球形填料可以更好的制作小孔径的微孔；同时罗杰斯也为多层板准备了毫米波适用的半固化片。

记者：您认为国内的汽车雷达制造商和高频 PCB 加工商，需要更多关注哪些方面，从材料供应商的角度，您有哪些好的建议？

杨熹：从雷达制造商角度来看，最关注的应该是雷达天线的良品率问题。选择好的板材

不单是要保证仿真的天线性能能够实现；在 77/79GHz 的量产阶段，更重要的是天线的一致性问题。这就需要天线设计工程师在初步设计完成后，对板材厚度、介电常数、以及天线及其馈线的蚀刻细节进行容差仿真，从而能够优化天线设计，使设计冗余能够弥补板材以及加工带来的工程误差，提高良品率。优异的板材一致性，是高良品率的前提。除此而外，也要注意加工的细节。

从雷达板的 PCB 加工商来看，他们关注的是如何在满足客户的蚀刻容差，翘曲要求等前提下，提高良品率。例如，使用减铜方法来确保蚀刻精度，优化层叠和压合温度曲线来降低翘曲等。



记者：近年来，毫米波领域用覆铜板技术的进步，还破除了许多传统的观念，比如罗杰斯碳氢树脂型高频覆铜板的发展及应用实例，启发业界对高频 CCL 不同品种在应用市场新布局，以及这类非 PTFE 覆铜板技术，产生新的认识与观念罗杰斯的碳氢树脂覆铜板在汽车领域有哪些应用？

杨熹：罗杰斯很早就注重碳氢树脂型覆铜板在汽车上的应用，业内看到比较多的是 RO4830™ 层压板，RO4835™ Lopro® 层压板等。目前用的最多的是 RO4830 层压板，其使用 Lopro 铜箔技术，很好地保证了毫米波低插损的要求。RO4830 层压板在 77/79GHz 频段的损耗与原 RO3003 材料相当。RO4830 层压板使用开纤玻纤，保证了板内各处的介电常数一致性；同时使用了比 RO4835 材料更细的填料，进一步提升了介质的均一性。

加工上，RO4830 层压板是碳氢热固性树脂，所以加工方式与 FR4 相似，降低了加工难度。更细的填料也使激光孔的表现更好了。

所以，RO4830 层压板性能与原 RO3003 材料相当，便于加工，综合成本优异，可以使用在汽车 77~79GHz 的雷达上。

记者：在这个时机，召开的汽车雷达前瞻技术展示交流会，您的收获有哪些？

杨熹：这个交流会非常有干货。从国内外已公



布的法律法规，到汽车客户的体验和认可情况；从视觉感知平台，到前、后融合的算法，芯片；从车厂对 L3, L4 自动驾驶的毫米波雷达、摄像头和激光雷达的要求；到 4D、普通毫米波雷达的天线设计要点，芯片板材选择，后期应用的工程、调试经验，同行都分享了很多经验。其中能够看出国内产业链的日趋成熟，技术的发展和进步以及有待解决的问题。

通过这次交流会，大家加深了了解，促进了合作，是非常有意义的一次活动。PCB007CN

杨熹目前担任罗杰斯公司先进互联解决方案事业部汽车领域的市场开发经理，她在射频行业有着丰富的工作经验。她主要负责协助 OEM 和板厂更好地使用罗杰斯公司的产品，以确保罗杰斯能为其应用提供最佳解决方案。

在罗杰斯公司 8 年的工作经历中，她曾担任通信市场开发经理和战略市场经理。在加入罗杰斯之前，她在中国一家著名的 OEM 担任设计工程师，负责许多天线项目。

1、[2020年1月-6月中国印制电路板进出口情况简析](#)

据海关统计,2020年1月-6月中国印制电路板进出口总额为791.55亿人民币,而2019年同期中国印制电路板的进出口总额796.64亿人民币,同比下降0.64%。

2、[四会富仕上市成功](#)

7月13日,四会富仕正式登入资本市场,新股发行上市仪式在深圳证券交易所举行,公开发行股票总数不超过1416万股,每股发行价格33.06元。

3、[CCLA成功举办2020年中国覆铜板高层论坛](#)

2020年7月4日,由中国电子材料行业协会覆铜板材料分会(CCLA)主办、苏州巨峰新材料科技有限公司承办的《2020年中国覆铜板行业高层论坛》在江苏省苏州市吴江宾馆成功举办。

4、[五株科技创业板申请受理](#)

7月28日,深圳市五株科技股份有限公司创业板上市申请获受理。

5、[广东骏亚非公开发行A股股票申请获得证监会受理](#)

广东骏亚收到中国证券监督管理委员会出具的《中国证监会行政许可申请受理单》。本次发行募集资金总额不超过5亿元,拟在江西龙南市龙南经济技术开发区电子信息产业科技城建设智能互联高精密线路板项目。

6、[金百泽创业板IPO申请获受理](#)

7月17日,深圳市金百泽电子科技股份有限公司创业板上市获受理。拟募资4.93亿元,用于投建智能硬件柔性制造项目、研发中心建设项目、电子电路柔性工程服务数字化中台项目、补充流动资金等。

7、[广州广合科技开启上市征程](#)

近日,广东监管局披露了关于广州广合科技股份有限公司辅导备案登记受理的公示,该公司已于2020年7月10日在广东证监局办理了辅导备案登记。

8、[健鼎可望打入mini LED供应链 取代韩系PCB供应商](#)

全球前五大PCB厂商健鼎有望在明年取代韩系PCB供应商Young Poong,打入美系NB与平板mini LED供应链当中。

9、[中富电路创业板IPO获受理,募资7.59亿元扩产多层板](#)

7月8日,深圳中富电路股份有限公司创业板上市申请获受理。

10、[胜宏科技拟在江苏投建多层高密度印制线路板项目](#)

胜宏科技(300476.SZ)公布,公司与江苏海门经济技术开发区管理委员会于2020年7月26日签署了《产业项目发展协议》,拟在海门经济技术开发区投资建设胜宏科技多层高密度印制线路板项目。主要从事高精密密度印刷线路板的研发、生产和销售。

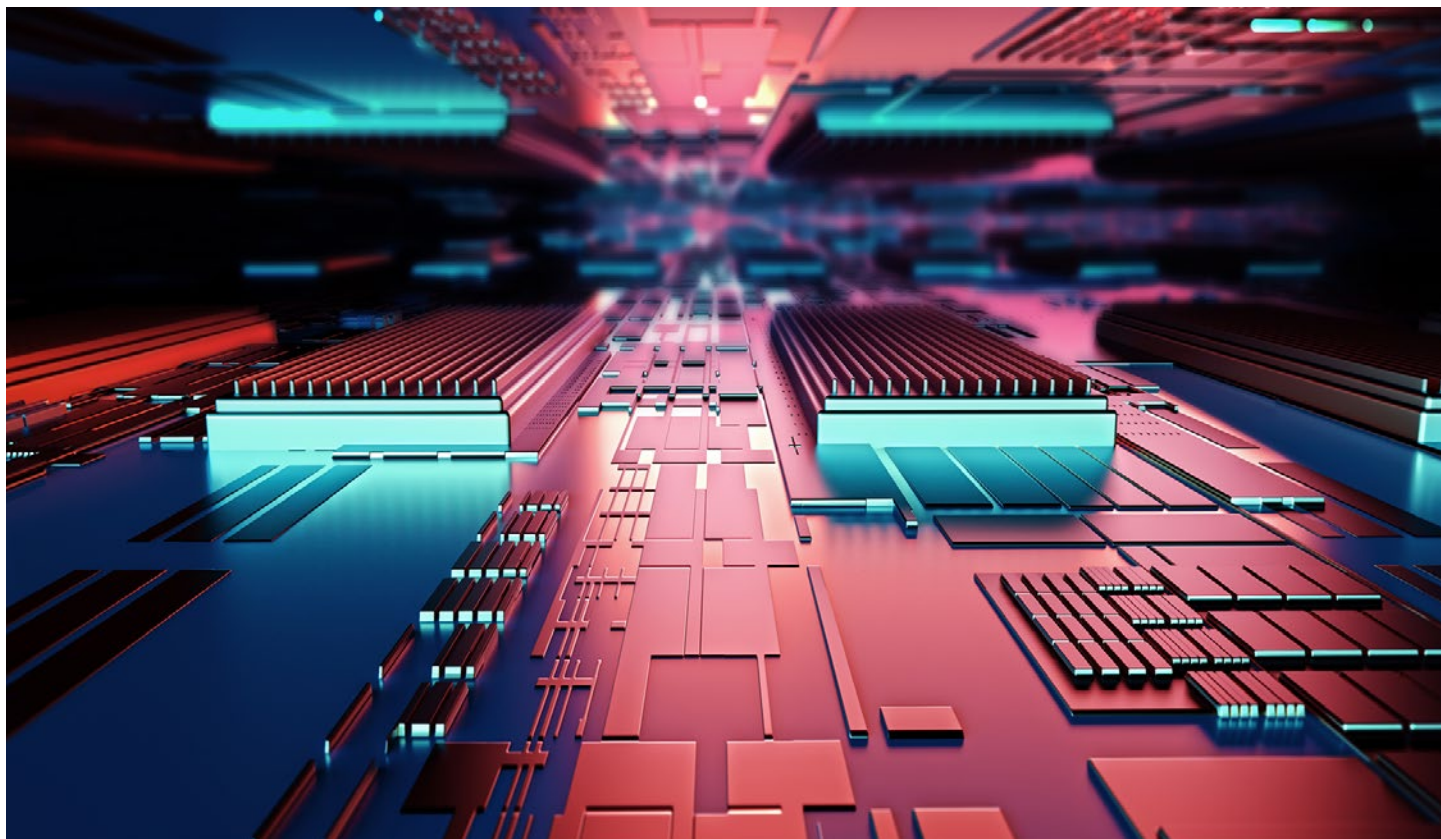
半加成工艺之 A-SAP™ 技术

by Tara Dunn
Omni PCB

我职业生涯的大部分时间都是在 PCB 行业度过的。和许多人一样，我进入这个行业纯属“偶然”。大学毕业时，我获得了经济学学位，当时在寻找金融领域的职位，在一家小型挠性电路制造公司任会计和人力资源的职位。老实说，那时我甚至不知道挠性电路是什么，所以他们雇佣我真的是在冒险。我最初在那里接受的并不是财务培训，而是制造工艺培训——花时间研究产品，学习工艺，以便我能更好地理解。

在那个年代，125 微米（5mil）的线宽和线距已经达到了技术极限。而今天，PCB 制造商正在生产 25 微米（1mil）线宽和线距的设计。事实上，我们大多数人使用的智能手机其 PCB 线宽和线距为 30 微米。这些大批量的商业设计是采用 mSAP 或改良的半加成工艺生产的。这种工艺从一层非常薄的铜箔开始，采用加成法而不是减成法形成电路图形。mSAP 工艺需要大量的资本投资，相应的制造商通常还要满足高批量要求。

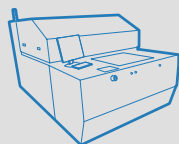
电子产品市场正在迅速变化。今天，不仅仅是高产量的应用发展到需要 25 微米的线宽



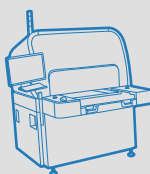
Designing THE FUTURE OF **PCB**



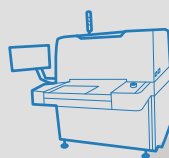
帮助客户赢得竞争优势



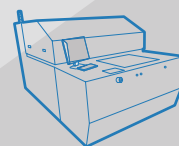
直接成像



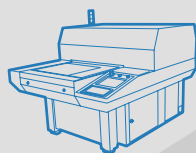
自动光学检测



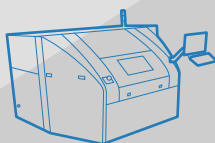
自动光学成形



防焊直接成像



文字喷印与
序列化功能



UV 激光钻孔



奥宝智能工厂



CAM 及工程软件

更多资讯请联络我们的业务窗口

www.orbotech.com/pcb

和线距，军事、航空航天、医疗、汽车和工业设计也在朝着越来越小的特征尺寸发展。对于目前可用的减成法蚀刻工艺，设计解决方案通常需要多层堆叠导通孔和多个层压周期。这种解决方案大大增加了成本，且存在可靠性和良率不高的问题。

如今，有 3 家美国 PCB 制造工厂采用替代方案——A-SAP™工艺，即 AveraTek 公司的半加成工艺。总的来说，这一工艺首先从层压板上蚀刻掉所有的铜，然后涂布液态金属油墨 (LMI™)，得到极薄的化学镀铜层——光刻工艺确定电路图形，电解铜形成电路图形。该工艺目前能够实现 15 微米的线宽和线距，高阶加工工艺甚至可实现更精细的特征尺寸。

加成法工艺为 PCB 设计界和制造商带来了令人兴奋的新选择。采用更细的线宽和线距可以让设计者用很少的层进行布线，缩小了 PCB 的整体尺寸和重量，减少了对多层微通孔的需求；从另一个角度看，设计者能够增加现有 PCB 面积的功能。与任何新技术一样，探索和实施 A-SAP™技术的最大潜力将会推动设计师和制造商以一种创造性的新方式看待事物。

从制造的角度来看，即使加成法工艺与减成法工艺相反，A-SAP™工艺也能很好地适应传统的减成法蚀刻工艺及设备。该工艺需要添加一系列相对简单的槽和加热器，也可利用制造商原有的化学镀铜设备和光刻设备。一旦生成电路图形，就可像任何减成法一样进行生产。

这种加成法工艺不仅可与现有的 PCB 制造工艺和设备很好匹配，而且在 PCB 设计中，也可选择加成法并与减成法结合使用。先来

看一个实例，重新设计一款高度复杂的 12 层板，其原有堆叠导通孔和多个层压周期。可用 A-SAP™工艺生成其中的 4 层，并与另外采用减成法蚀刻工艺生成的 4 层结合，大大简化了设计。PCB 层数减少了 4 层，降低了材料成本，而且只需要 1 个层压周期。

再来看第 2 个实例，原来的设计是 10 层，线宽和线距为 75 微米，采用 3 个层压周期。本实例中的目标是显著减小 PCB 的总尺寸。采用 A-SAP™技术，该设计所有层的线宽和线距调整为了 25 微米。总的来说，PCB 层数从 10 层减少到了 8 层，仍采用 3 个层压周期，但它对每个制造面板上的 PCB 数量产生了显著影响。原来的设计只允许每个面板上排布 70 个 PCB。线宽和线距调整为 25 微米后，每个面板上排布的 PCB 数量增加到了 400 个。为了达到封装目标而显著减小了尺寸，同时也显著降低了设计总成本。

在 PCB 制造中加成法和减成法互相配合，这确实很吸引人。快速变化的电子市场驱动着封装设计尺寸越来越小，同时所采用的技术越来越复杂，导致制造商需要不断创新加成法技术，来满足 PCB 设计师的需求。当这项技术的早期采用者与他们的客户一起开发设计和寻找制造的最佳方法时，观察和学习将会很有趣。PCB007CN



Tara Dunn 任 Omni PCB 公司总裁。Omni PCB 是一家专门代表 PCB 行业制造商的公司。阅读往期专栏或联系 Dunn，可[点击此处](#)。

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

工艺工程师高阶故障排除指南 (第 2 部分)

by Michael Carano

RBP Chemical Technology

引言：与蚀刻相关的缺陷

上一篇专栏文章介绍了在最后组装阶段发现的问题。这类缺陷都是由电路板生产过程中的电镀铜引起的，只是在组装时才显现出来。本期的专栏文章将讨论两个有趣的技术缺陷。第一个是电路开路或蚀刻导致的，也包括与侧蚀相关的电路宽度减小。第二个是与板上的残留铜有关。这两种缺陷都说明了 PWB 故障排除和缺陷分析的复杂性。

在印制电路生产的蚀刻阶段出现的大多数工艺问题可以追溯到两个常见原因。蚀刻问题最常见、最明显的原因是蚀刻设备本身，可能是由于部件故障（喷嘴、压力）或调整不当，包括传送带速度。

在蚀刻步骤中，第二个最常见的原因是在先前的加工步骤中发生的问题，在电路板通过蚀刻机进行

处理之前未被检测到。一个例子是在剥离电镀抗蚀剂时留在板上的抗蚀剂浮渣，可能导致不均匀的蚀刻。

另一个因素与化学操作参数的控制或缺乏控制有关。这些是未来专栏文章将要讨论的几种可能性。本文将要讨论的主要缺陷是由于蚀刻去除的电路走线和蚀刻后的残留铜。

由于蚀刻去除的电路走线

与裸板制造相关的最令人焦虑的问题之

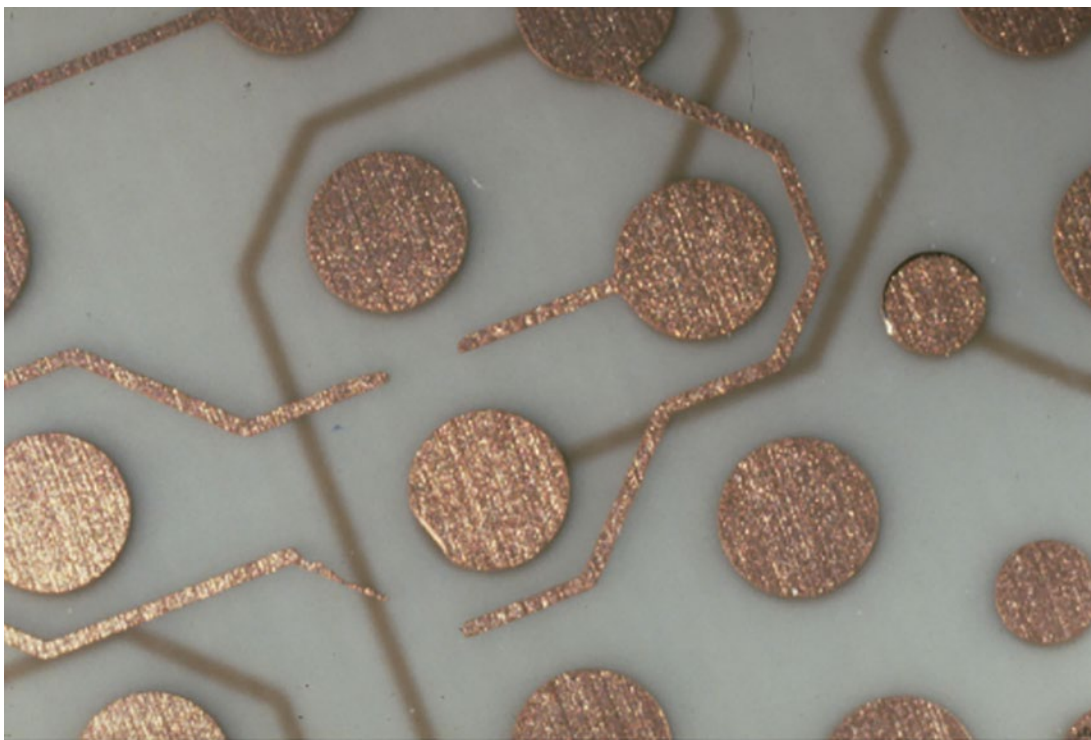


图1：由于蚀刻去除的电路走线

(来源：RBP Chemical Technology公司幻灯片文件库)

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

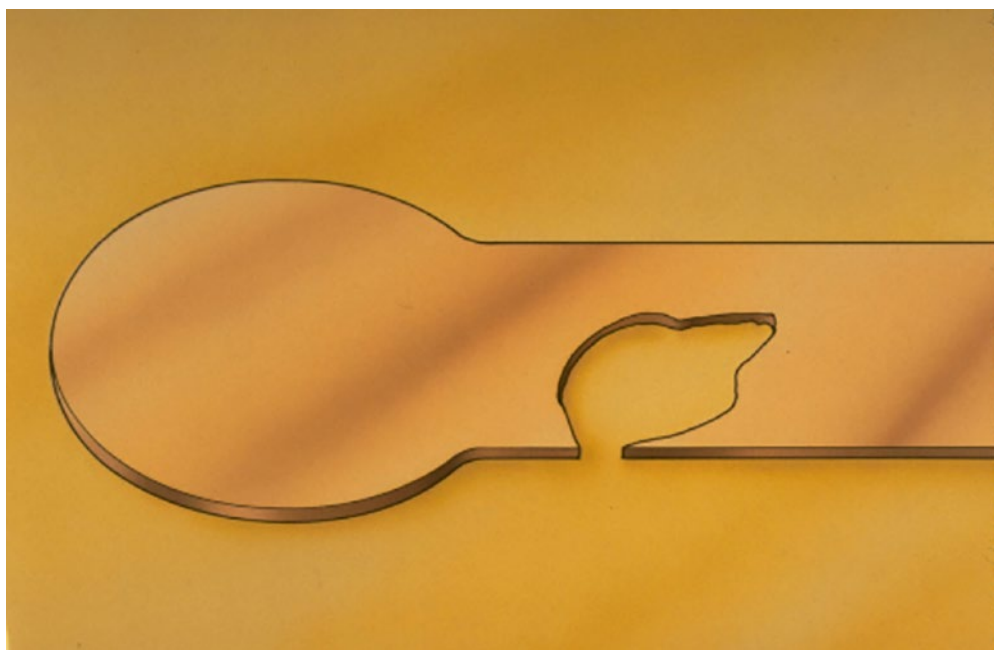


图2:由于蚀刻被部分去除的铜走线(来源:IPC)

一是蚀刻后在一条或多条电路走线中发现开路(图 1)。

当然,直到内层蚀刻步骤完成后,这种缺陷才显现出来。与此缺陷根本原因相关的可能性有几种。图 2 显示了被部分蚀刻去除的电路走线。

该问题不太可能是由蚀刻工艺引起的,因为在电路板上只偶尔看到被部分蚀刻的区域。最可能的原因与铜表面的表面制备和抗蚀剂浮起有关,导致蚀刻剂接触到了底层铜。根本原因是抗蚀剂压合过程中,抗蚀剂未完全贴合铜表面。电路板上残留的水分可能已经蒸发,导致抗蚀剂在该点起泡。此外,研究了与铜箔相关的玻纤组织结构。厚重的玻纤织物可能会对抗蚀剂在该处的附着力产生负面影响。

残留铜

现在介绍另一种完全不同的缺陷。图 3 中的层视图显示了蚀刻后残留了多余铜(这是内层)。

从广义上讲,这显然是一个显影 - 蚀刻 - 剥离(DES)的问题。但是,不要忽略对成像的关注。首先,作为故障排除规程的一部分,将实际蚀刻操作作为一个起点。只要看一下,就能断定电路板是蚀刻不足,但究其原因,需要检查蚀刻系统中的以下变量:

- 传送带速度太快
- 蚀刻液温度过低
- 喷雾压力下降的原因很多,包括喷嘴堵塞

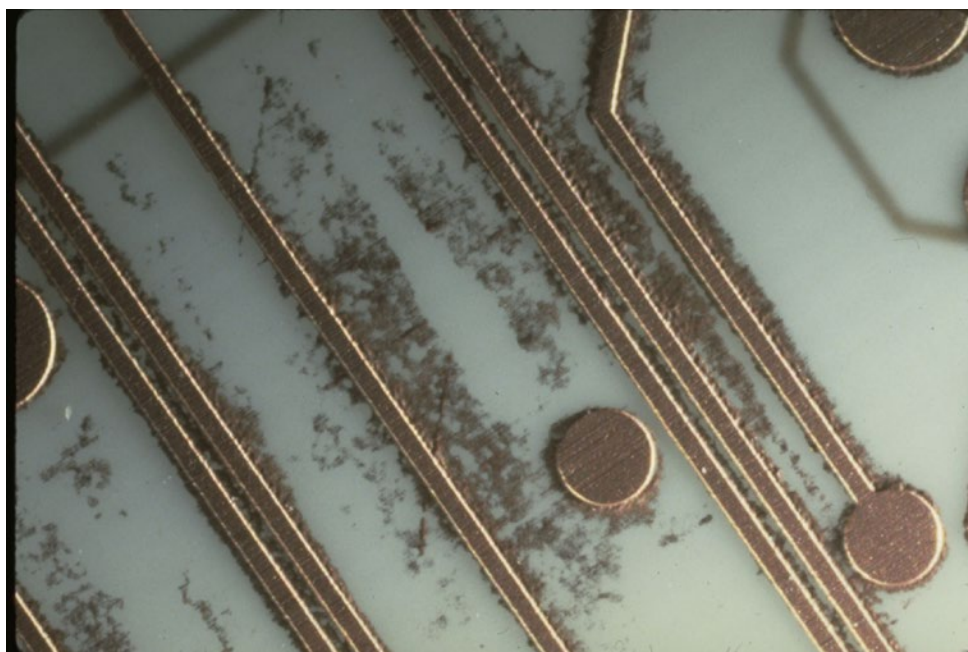


图3:未蚀刻掉的残留铜

(来源:RBP Chemical Technology公司幻灯片文件库)

- 所需化学添加剂补充不足

最后一个要点需要更深入的研究,这取决于使用的最终蚀刻工艺(氯化铜或碱性氨酸)。这两种工艺的具体特性将在以后的专栏文章中介绍。

在审查和调整蚀刻工艺后,应回到显影、表面制备和成像工艺。很明显,内层还残留着一些铜斑点。人们还可以在走线边缘附近辨别出外来铜。谨慎的做法是调查清洗前的层压、抗蚀剂压合、停留时间、曝光和显影。现在,重点放在显影上。

抗蚀剂显影不足

抗蚀剂显影不足将在铜表面留下残留的抗蚀剂,在铜表面起作用。当然,抗蚀剂膜厚度也会起到一定作用。可以合理地推断,剩余的残留物很容易抑制蚀刻反应。未被蚀刻去除的铜其根本原因有以下几种:

- 显影液的工作温度过低:用手持温度计定期检查温度表读数
- 在显影液中的时间太短:虽然这在传送带模块中很少见,但仍可能发生。使用秒表或计时器测量在显影液中的时间
- 如果抗蚀膜断点发生了变化,是否意味着

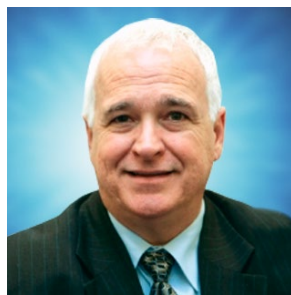
抗蚀剂在随后的试验箱中可能断裂或被清理干净?也许需要额外的时间。在显影液中需要额外的时间来改善断点(注:延迟的断点可能会导致不良的质量转移,以及喷嘴堵塞会影响如狭窄的抗蚀膜通道底部区域显影不完全,特别是在窄间距的走线之间会有残铜)

- 显影液浓度低:同样,检查 pH 值。在 pH 值为 10.4 至 10.8 的情况下,对大多数水性抗蚀剂显影效果都很好

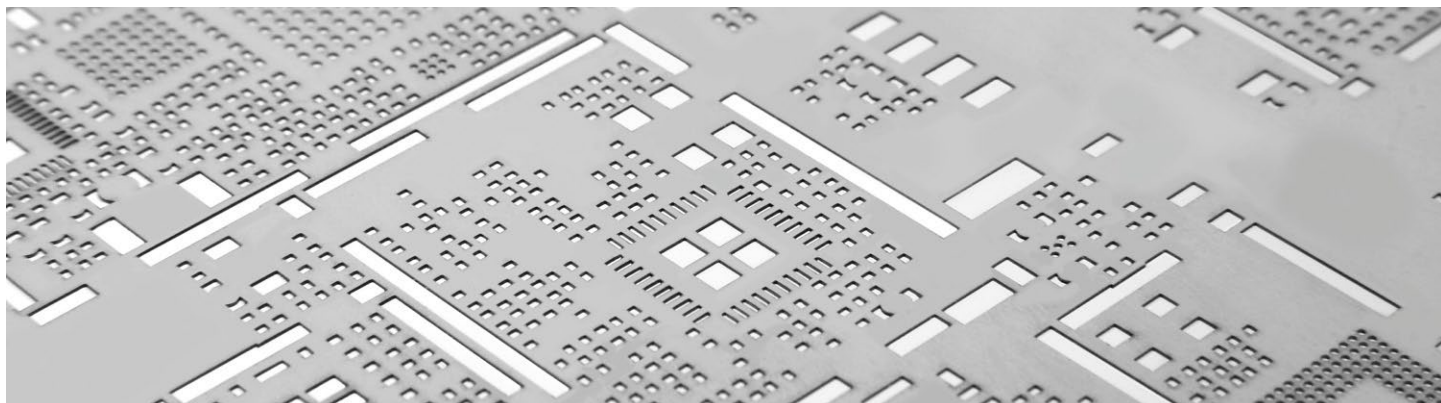
不管怎样,如果显影操作由与 pH 值相关的自动进料和放料系统控制,应该不会出现显影不充分的问题。不过,抽查碳酸盐的 pH 值和浓度并没有什么坏处。

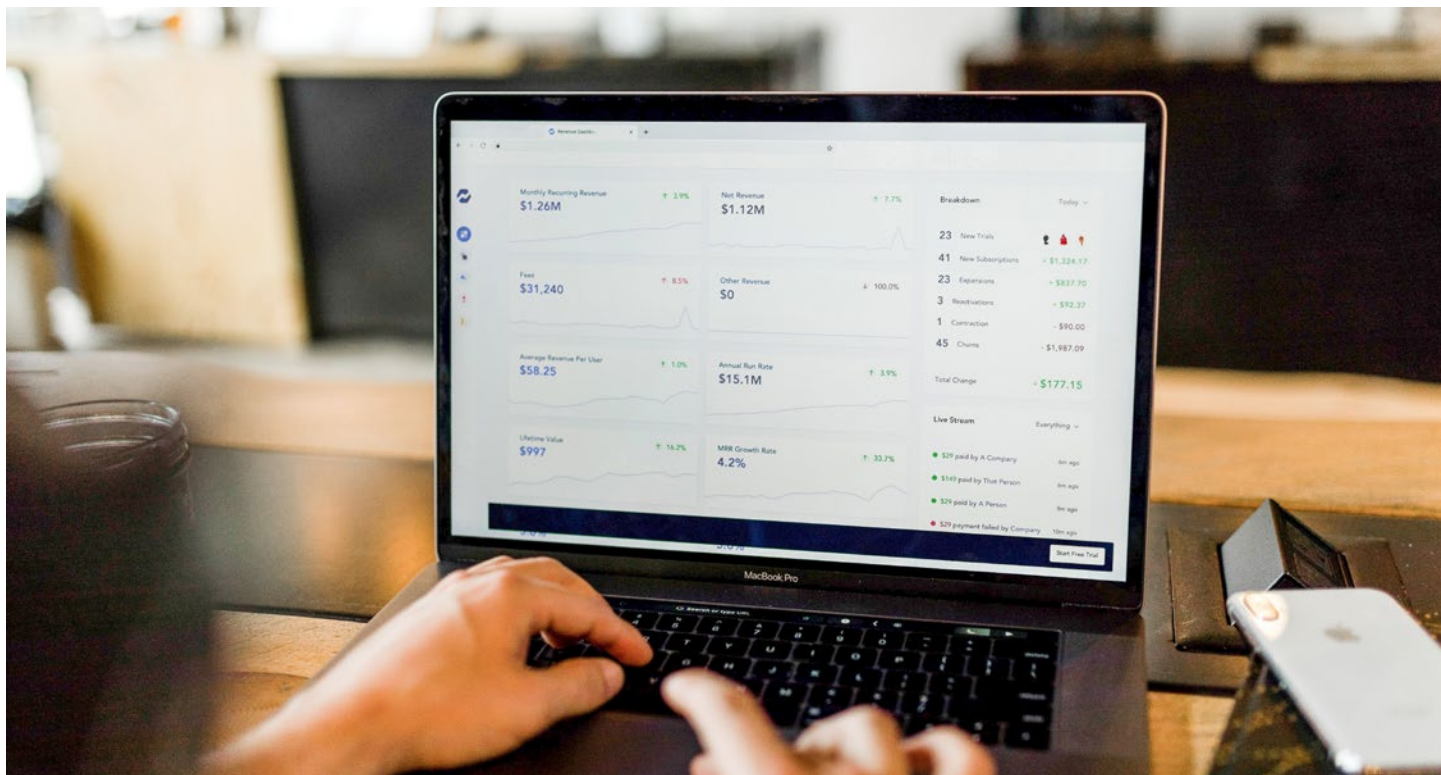
最后,要认识到防止抗蚀剂残留在表面上,否则将使显影更加困难。

在后续介绍层压和成像的专栏文章中,将对显影进行更详细的介绍。PCB007CN



Michael Carano 任 RBP Chemical Technology 公司的技术和业务开发副总裁。如需阅读往期专栏或联系 Carano, 可[单击此处](#)。





25 项必备技能：度量与量纲分析

by Happy Holden
I-Connect007

阅读了我往期专栏文章后，你可能会意识到我是一个善于分析的人。因此本专栏文章将专门讨论度量——即测量某物的方法主题。之前专栏文章 [《可生产性和其他度量数据》](#) 中提到了度量的 4 个级别。[《面向制造和组装设计第 2 部分》](#) 则介绍了度量的 5 个阶段。本文将主要介绍无量纲量。

无量纲量是研究各种物理现象或工程问题的常用方法。代数或微分无量纲方程包含没有物理量纲的变量。例如，大多数人更喜欢使用马赫数而不是速度，因为前者更容易比较性能。这些数字（系数或因子）是物理世界的一部分，存在于科学、经济学、医学、地球物理学和生态学中，有 1200 多个无量纲量。阿伏

加德罗常数是化学应用中的常数之一。本专栏仅讨论热力学、流体力学、固体力学和电磁学工程中使用的那些无量纲量。

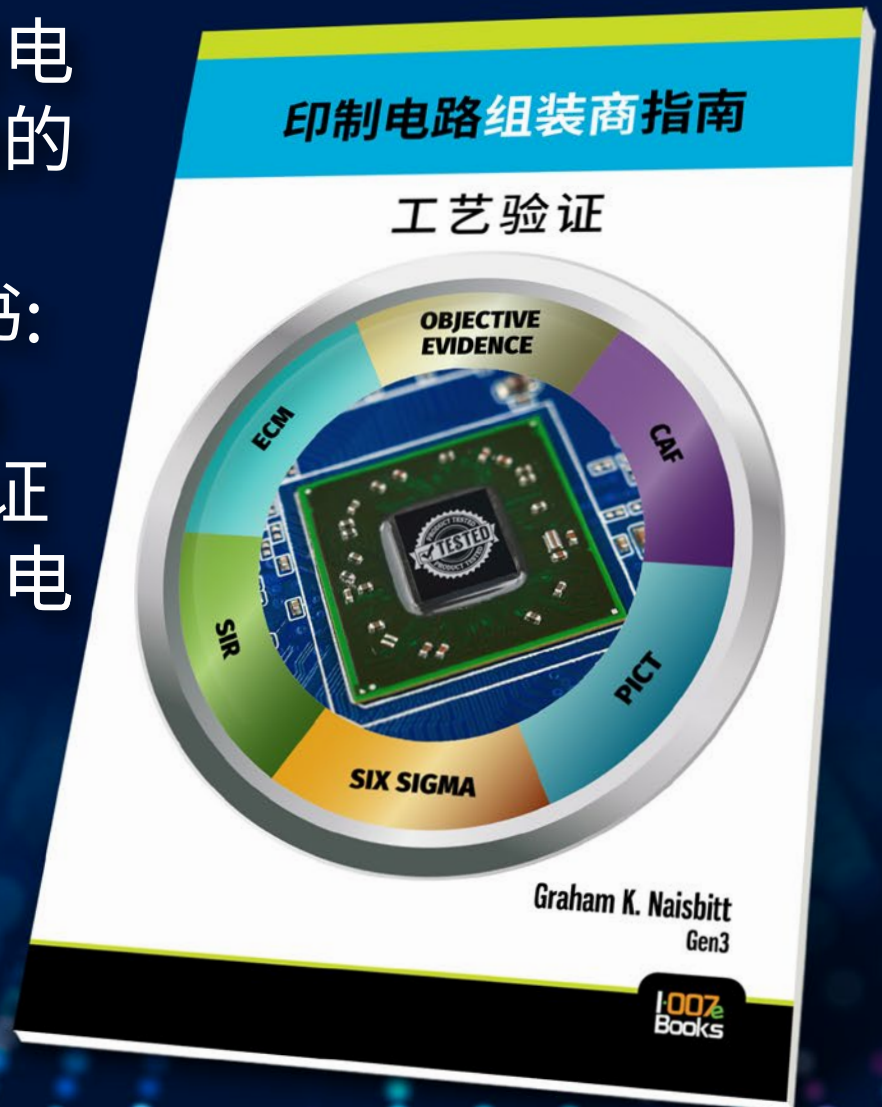
为什么？

这些系数或因子在现代工业和科学中是不可少的，这些数字是我在第 9 篇专栏文章中描述的度量数据。它们使我们能够量化那些原本属于想法或推测范畴的生理或心理活动。过去的 40 年里，我在印制电路制造中使用的一个数据是复杂性指数，这个指数使我能够（根据设计信息）对 PCB 制造中的首次合格率进行建模，误差只有 3%~7%^[1-3]。使用这个程序，可以创建许多其他要素，简化了设计、制造或装配中的复杂系统工作。建议可在需要测量某物时使用这个程序。

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

量纲系统

工程中使用的每个数值特征都包含以下三个要素：

- 名称
- 量级
- 尺寸

量纲有两种类型：基本量纲和导出量纲。基本量纲不能用其他量纲来表示，它们是更复杂的导出量纲的构建要素。

有时，一组基本量纲有一个专用的名称，称之为单位。一类专用单位是量纲为 1 的单位，当单位的所有基本量纲都相消时，就会产生这种单位。虽然不完全准确，但这种单位被称为无量纲参数。这些单位通常称为数字、比率、指数、因子、效应或系数。比如常见的有：马赫数、长细比、Toms 效应、雷诺数和摩擦系数。这些绝对数字的优点是其数值与所用的量纲系统无关。

可以根据是使用公制还是美英制，以及是使用力还是质量作为基本量纲来分类今天使用的所有量纲系统。基于力的系统包括米千克秒 (MKS) 力和英美工程系统。基于质量的系统包括国际单位制和英制质量系统。

- MKS:基本量纲为米(m)、千克(kg)和秒(s)，其中千克表示力。质量为导出量纲： $\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ 。直到最近，该系统在欧洲大陆工程中才得到了广泛的应用，且目前仍然受到许多欧洲人的青睐。
- 美国 / 英国工程:基本量纲为英尺(或英寸)、磅(lb)和秒，其中磅表示力。因此，质量的单位为 $\text{lb}\cdot\text{s}^2/\text{ft}$ (也称为斯勒格) 或 $\text{lb}\cdot\text{s}^2/\text{in}$ 。

- 国际单位制:基本单位为千克(质量)、米和秒。力是导出量纲，单位为牛顿。国际单位制实际上有 7 个基本量纲，还包括安培、开尔文、摩尔和坎德拉。
- 英制质量:在该系统中，磅是质量单位，对应等于国际单位制中的 0.45359237 千克。力是一个导出量纲，其单位为磅，在数值上相当于将 1 lb 质量达到 $1\text{ft}/\text{s}^2$ 加速度所施加的力。1 磅等于 $0.138254954 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ (国际单位制)，约为美国 / 英国工程系统中的 0.5 oz。

质量系统的优点是这个量纲与重力加速度 g 的数值无关，重力加速度 g 即使在海平面上也会随纬度变化 0.5%。因此，在宇宙中任何地方使用基于质量的系统都是一致的。

另一方面，把质量作为基本量纲在日常生活中是不切实际的，因为质量不能被直接感知或测量。相反，质量必须使其受到已知的惯性或重力加速度并测量产生的力来间接确定。

量纲分析

在工程中，量纲分析是利用不同物理因素 / 数量的基本量纲（如质量、长度、时间、电荷或温度等）及采用其测量单位（如华氏与摄氏度、英里与公里，或者磅与千克）来计算比较量纲，分析之间的关系。两个量纲的单位转换通常有点复杂。量纲分析，或者更具体地说是一种因子标记法，也被称为单位系数法，是一种使用代数规则进行这种转换广泛采用的方法。

Issam Sinjab 教授在 ResearchGate^[4] 的讨论中说：“在更抽象的层面上，量纲分析允许你抽象出各种各样的现象，使你了解一些参数消失并且可以忽略的情况。流体力学中的雷

诺数就是一个很好的例子。在雷诺数很低的情况下，方程中的许多项消失，因此即使在所有雷诺数下的流动基本上都由 Navier-Stokes 方程控制，也可以用非常简单的（层流）方程来近似计算系统。”

另一个有趣的例子是，数学家 G.I.Taylor 利用某些方程的无量纲形式计算出了 20 世纪 40 年代原子弹的高度机密信息。

- 无量纲方程的目的是：
- 通过减少所使用的变量数来简化方程
- 分析系统行为而无需考虑测量变量所采用的单位
- 重新调整参数和变量的比例，使所有计算量的顺序相同（相对相似的量级）

- 将物理系统从实验扩大到生产

物理量纲的概念是由 Joseph Fourier 于 1822 年提出的。具有相同测量标准的物理量具有相同的量纲；如果它们具有不同的量纲，则无法比较。例如，询问 1 克是小于、相同还是大于 1 分钟是没有意义的。

工程设计的一项主要工作就是确定影响零件或系统的物理因素是如何相互作用的。这种相互作用被表示为一个方程组，可以用一个图或一系列图来说明。

有时，相互作用是直接的，很容易导出之间的关系。

但有时，相互作用更加复杂，必须进行复杂的测试来确定相关的方程式。

然而，有一种科学的方法可以用来确定各

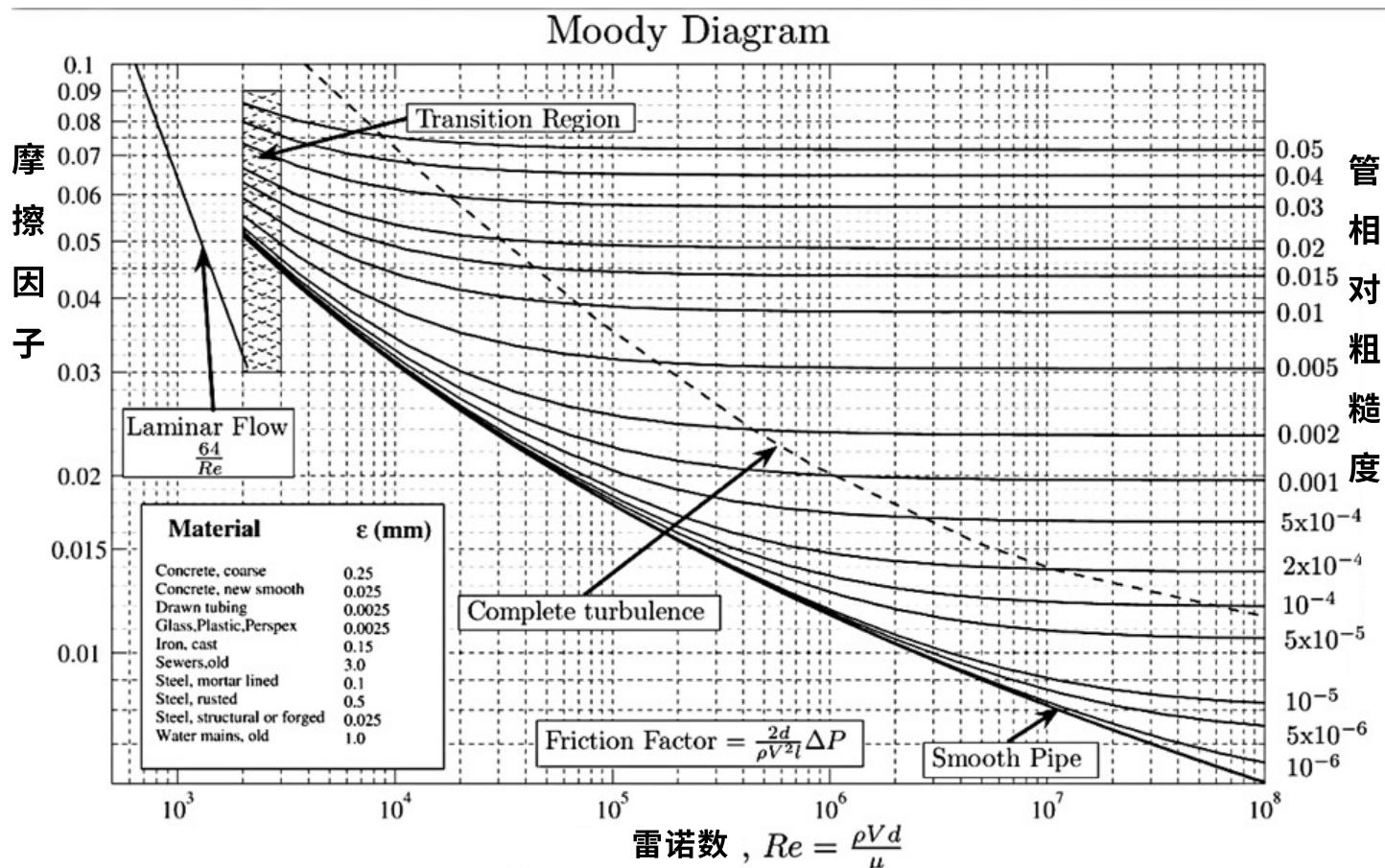


图1:采用Darcy-Weisbach摩擦因子及雷诺数(Re)绘制的穆迪图(来源:维基媒体,穆迪图)

JAKOB $\frac{(T_1 - T_{\text{amb}}) \rho_f \Gamma_p}{\lambda_p \sigma_p}$ Total heating energy magnetic field energy	JOULE $\frac{2 \rho c_p \Delta T}{\mu \omega \eta \mu^2}$ Total heating energy magnetic field energy	KARMAN-1 $\frac{\rho \Delta p d^3}{\mu^2}$ μ^2	KIRPICHEV HEAT XFER $\frac{Q_f l}{k_p \Delta T}$ Heat transfer coefficient Internal heat transfer intensity	KIRPICHEV MASS XFER $\frac{M_f l}{D_p R_p}$ Mass transfer coefficient Internal mass transfer intensity	KIRPITCHEFF $(\frac{\rho F v}{\mu^2})^{1/3}$ Mole mass flow rate Clear body length	KNUDSEN $\frac{L}{l} : 1.28 \lambda^{1/2} \mu$ Mole mass flow rate Clear body length	KOSSOVICH $\frac{\lambda_p R_m}{\lambda_p R_m}$ Heat to mass flow rate Heat to mass flow rate	LAGRANGE-1 $\frac{\Delta p l}{\mu v}$ Pressure force Viscous force	LAGRANGE-2 $\frac{p}{\mu^{1/2} \omega \eta R^2}$ Pressure force Viscous force	LEVERETT $(\frac{k}{\gamma})^{1/2} \frac{p_e}{\sigma_e}$ Chen, Kim, Orlitzky Chen, Kim, Orlitzky
LEAVIS $\frac{D \rho c_p}{k_p}$ Mass diffusive Thermal diffusive	LUNDQUIST $\frac{G H_m \eta \mu^{3/2}}{\rho^{3/2}}$ Mass diffusive Thermal diffusive	LYKOUDES $\frac{c_p (\eta \mu \eta)^{1/2}}{\sigma_e (\eta \mu \eta)^{1/2}}$ Mass diffusive Thermal diffusive	MACH $\frac{V}{a}$ Mach number Mach number	MAGNETIC-DYNAMIC $\frac{G V \eta \mu^2}{\rho V^2}$ Magnetic pressure Dynamic pressure	MAGNETIC FORCE $\frac{\mu_0 H_m^2 G l}{\rho V^2}$ Magnetic force Dynamic force	MAGNETIC INTERACTION $\frac{\mu_0 H_m^2 \Gamma_t}{2 \sigma_e}$ Magnetic force Dynamic force	MAGNETIC PRANDTL $\mu_0 G_2$ Magnetic force Dynamic force	MAGNETIC PRESSURE $\frac{\mu_0 H_m^2}{\rho V^2}$ Magnetic pressure Dynamic pressure	MAGNETIC REYNOLDS $\frac{G V \eta \mu_0}{\rho V^2}$ Magnetic force Dynamic force	MARANGONI $\frac{\delta \sigma_e \delta T \sigma^2}{\delta T \delta \sigma_e \mu D_f}$ Marangoni force Dynamic force
MASS RATIO $\frac{m_b}{\pi \rho l^2}$ Mass of immersed body Mass of body	McADAMS $\frac{h_c^4 \mu \Delta T}{h_c^3 \rho^2 g \lambda_c}$ Mass of immersed body Mass of body	MERKEL $\frac{M A_g x_c}{Q m}$ Mass of H ₂ O Mass of H ₂ O	MOMENTUM $\frac{M_p \theta l \rho}{\mu \Delta V}$ Momentum Momentum	MORTON $\frac{g \mu^4}{\rho \sigma^3}$ Morton number Morton number	NUSSELT HEAT XFER $\frac{Q_f l}{h_p \Delta T_w}$ Total heat transfer Conductive heat transfer	NUSSELT MASS XFER $\frac{m_f l}{D_{mol}} : \frac{v_w l}{\rho V D_{mol}}$ Mass diffusive Mole diffusive	NUSSELT FILM THICKNESS $(\frac{\rho^2 g}{\mu^2})^{1/2} \theta_f$ Nusselt film thickness Nusselt film thickness	OCVIRK $\frac{F_L}{\mu v} (\frac{w}{r_a} \frac{r_b}{l_b})^2$ Ocirk force Ocirk force	OHNESORGE $\frac{\mu}{(\rho \sigma_e)^{1/2}}$ Ohnesorge force Ohnesorge force	PARTICLE $\frac{V_f V}{g l}$ Particle force Particle force
PECLET HEAT XFER $\frac{\rho c_p V l}{h_c}$ Heat conduction Heat conduction	PECLET MASS XFER $\frac{IV}{D}$ Mass conduction Mass conduction	PIPELINE $\frac{a_p V}{2 g H_c}$ Mass H ₂ O Mass H ₂ O	POISEVILLE $\frac{d^2 \delta p}{\mu V \theta l}$ Poiseuille force Viscous force	POISSON $\frac{E_1}{2 E_2} - 1$ Poisson force Longitudinal extension	POMERANTSEV $\frac{Q_f l^2}{h_p \Delta T}$ Pomerantsev force Pomerantsev force	POROUS FLOW $\frac{V \mu l}{k^{1/2} \sigma_L \cos \theta}$ Porous flow force Porous flow force	POSSNOV $\frac{\sigma_f \Delta T}{R_c}$ Possnov force Possnov force	POWER $\frac{P}{I^2 \rho \omega \eta k^2}$ Power force Power force	PRANDTL HEAT XFER $\frac{c_p \mu}{h_c}$ Prandtl heat transfer Prandtl heat transfer	PRANDTL MASS XFER $\frac{\mu}{\rho D}$ Prandtl mass transfer Prandtl mass transfer
PRANDTL VEL. RATIO $\sqrt{(\frac{\rho}{\sigma_e})^{1/2}}$ (viscous force) (wall shear force)	PREVADITLEV $\frac{\delta T}{\theta l} \frac{l^2}{D_f}$ Medium temp. difference Body temp. change rate	RADIATION PRESSURE $\frac{\eta \eta \eta^4}{3 \rho}$ Radiation pressure Gas pressure	RAYLEIGH $\frac{c_p \rho^2 g l^3 \delta \Delta T}{\mu h_p}$ Rayleigh force Gravity	REGIER $\frac{K_L}{a} (\frac{m_p}{\rho \eta k^2})^{1/2}$ Regier force Gravity	REYNOLDS $\frac{\rho V l}{\mu}$ Reynolds force Viscous force	RICHARDSON $\frac{g l \Delta \rho}{\rho V^2}$ Richardson force Richardson force	ROSSBY $\frac{V}{2 \omega l}$ Rossby force Coriolis force	RUSSELL $\frac{V}{\gamma (\frac{\rho}{\sigma_e})^{1/2}}$ Russell force Buoyancy force	SACHS $\frac{r_p \mu^{1/3}}{E_0^{2/3}}$ Sachs force Sachs force	SCHILLER $V l (\frac{\rho^2}{2 \mu \sigma_e})^{1/2}$ Schiller force Schiller force
SLOSH TIME $(\frac{\sigma_e}{\rho \eta^2})^{1/2} t$ Slosh time Slosh time	SOMMERFELD $\frac{F_n \eta^2}{\mu \omega}$ Sommerfeld force Sommerfeld force	SPECIFIC HEAT RATIO $\frac{C_p}{C_v}$ Specific heat ratio Specific heat ratio	SPECIFIC SPEED $\frac{\omega (Q_p)^{1/2}}{(g H_{sp})^{3/4}}$ Specific speed Specific speed	SQUEEZE $\frac{12 \mu \omega}{\eta \mu} (\frac{r_b}{\theta \mu})^2$ Squeeze force Squeeze force	STANTON $\frac{h_c}{\rho c_p V}$ Heat transfer to field Heat transfer to field	STEFAN $\frac{\eta \theta A_c T^2}{h_c \rho \Delta T}$ Stefan force Stefan force	STOKES $\frac{\mu V}{\rho g l^2}$ Stokes force Gravity force	STROUHAL $\frac{V}{V_c}$ Strouhal force Strouhal force	STRUCTURAL MERIT $\frac{\gamma - 1}{E}$ Structural merit Structural merit	SURATMAN $\frac{\rho l \sigma_0}{\mu^2}$ Suratman force Suratman force
SURFACE VISCOSITY $\frac{\mu \eta}{\mu_s}$ Surface viscosity Surface viscosity	TAYLOR $\frac{\omega^2 \theta \sigma_e^2}{\mu^2}$ Taylor force Taylor force	THOMA $\frac{P_{out} - P_{in}}{P_{out} - P_{in}}$ Thoma force Thoma force	THOMSON $\frac{t V}{l}$ Thomson force Thomson force	TOMS $\frac{Q_w}{\rho l^2}$ Toms force Air drag	TRUNCATION $\frac{\mu a}{p}$ Truncation force Normal stress	TWO-PHASE FLOW $\frac{\mu \Delta \sigma_e V}{\sigma_d}$ Two-phase flow force Two-phase flow force	TWO-PHASE POROUS FLOW $\frac{V \mu}{(k_p k_{eff})^{1/2} g \Delta \rho r}$ Two-phase porous flow force Two-phase porous flow force	VISCOELASTIC $\frac{E_p}{\mu \omega}$ Viscoelastic force Viscoelastic force	WEBER $\frac{\rho V^2 l}{\sigma_e}$ Weber force Weber force	WEISSENBERG $\frac{(t_w - t_g) V}{d_1}$ Weissenberg force Weissenberg force

图2A:工程中的77个无量纲参数

ACCELERATION $\frac{E_l}{\rho g^2 l^2}$ Acceleration Acceleration	AEROELASTIC $\frac{2 E}{\rho l^2}$ Aerodynamic force Aerodynamic force	ALFVEN $\frac{V (\rho \mu_p)^{1/2}}{B}$ Flow speed Alfvén wave speed	ARCHIMEDES $\frac{Q_p \Delta \rho l^2}{\rho^2}$ Archimedes force Viscous force	ARRHENIUS $\frac{E_a}{RT}$ Activation energy Potential energy	BAGNOLD $\frac{3 \theta \rho V^2}{4 \rho \Delta \rho}$ Bagnold force Particle weight	BANSEN $\frac{H_a}{Q_c}$ Heat radiation Heat capacity	BINGHAM $\frac{\sigma_p l}{\mu_p V}$ Bingham force Viscous stress	BIOT HEAT XFER $\frac{h_p l}{h_c}$ Biot heat transfer Heat transfer within body	BIOT MASS XFER $\frac{m_p \theta \omega}{l}$ Biot mass transfer Mass transfer within body	BLAKE $\frac{\rho V}{\mu (1 - \Gamma)}$ Blake force Viscous force
BODENSTEIN $\frac{V_f}{\sigma_a}$ Bodenstein force Diffuse mass transfer	BOLTZMANN $\frac{\rho c_p V}{\sigma_a \eta \mu^2}$ Boltzmann force Radiative heat transfer	BOND $\frac{\rho^2 g}{\sigma_e}$ Bond force Surface tension force	BOUGUER $\frac{2 C_d Z_L}{2 \rho d \Delta m}$ Bouguer force Bouguer force	BOUSSINESQ $\frac{V}{(2 g \eta \mu)^{1/2}}$ Boussinesq force Gravity force	BRINKMAN $\frac{\mu V^2}{h_c T}$ Brinkman force Brinkman force	BUBBLE NUSSELT $\frac{Q_f d_b}{h_c \Delta T_m}$ Bubble Nusselt force Bubble Nusselt force	BUBBLE REYNOLDS $\frac{d_b}{\mu} (\frac{\pi}{6} d_b^3 \rho \eta)$ Bubble Reynolds force Bubble Reynolds force	BUOYANCY $\frac{l^2 w \Delta T}{\sigma_e h_c}$ Buoyancy force Buoyancy force	CAPILLARY-1 $\frac{\mu V l}{\sigma_e}$ Capillary force Capillary force	CAPILLARY-2 $(\frac{\mu a}{\sigma_e})^2$ Capillary force Capillary force
CAPILLARITY-BUOYANCY $\frac{g \mu^4}{\rho \sigma_e^2}$ Capillarity-buoyancy force Capillarity-buoyancy force	CAPILLARY $\frac{\mu V}{\sigma_e}$ Capillary force Capillary force	CARNOT $\frac{T_H - T_C}{T_H}$ Carnot force Carnot force	CAVITATION $\frac{p - p_v}{p_a}$ Cavitation force Cavitation force	CENTRIFUGE $\frac{\rho r \omega^2}{\tau_i}$ Centrifuge force Centrifuge force	CLAUSIUS $\frac{V^3 l \rho}{h_c \Delta T}$ Clausius force Clausius force	CONDENSATION-1 $\frac{h_c (\mu^2)}{h_c (\rho^2 g)}$ Condensation-1 force Condensation-1 force	CONDENSATION-2 $\frac{l^2 \rho^2 g \lambda_c}{h_c \mu \Delta T_f}$ Condensation-2 force Condensation-2 force	CRISPATION $\frac{\mu D_f}{\sigma_e s}$ Crispation force Crispation force	CROCCO $\frac{V}{V_{max}} (\frac{V}{V_{max}})^{1/2}$ Crocco force Crocco force	DAMKÖHLER'S FIRST $\frac{U l}{V_c} : \frac{t_k}{t_r}$ Damköhler's first force Damköhler's first force
DAMKÖHLER'S SECOND $\frac{U l^2}{D_{co}}$ Damköhler's second force Damköhler's second force	DAMKÖHLER'S THIRD $\frac{Q U l^2}{C_p \rho V l}$ Damköhler's third force Heat transfered	DAMKÖHLER'S FOURTH $\frac{Q U l^2}{h_c T}$ Damköhler's fourth force Heat transfered	DARCY $\frac{l g \theta d}{V^2 l}$ Darcy force Darcy force	DEAN $\frac{\rho V l}{\mu} (\frac{1}{2 r_c})^{1/2}$ Dean force Dean force	DEBYE $\frac{l_d}{r_p} (\frac{\eta \theta \rho T}{Q_c \eta \mu})^{1/2}$ Debye length Probe radius	DERYAGIN $\frac{\theta_r (\rho \theta)}{\sigma_e}$ Deryagin force Deryagin force	DULONG $\frac{V^2}{c_p \Delta T}$ Dulong force Thermal energy	EKMAN $(\frac{\mu}{2 \rho \omega l})^{1/2}$ Ekman force Coriolis force	ELASTICITY-1 $\frac{4 t_k \mu}{\rho d^2} : \frac{t_k \mu}{\rho d^2}$ Elasticity-1 force Elasticity-1 force	ELASTICITY-2 $\frac{c_p}{\rho \omega^2}$ Elasticity-2 force Elasticity-2 force
ELASTICITY-3 $\frac{\rho c_p}{\beta \eta E}$ Elasticity-3 force Elasticity-3 force	ELECTRIC REYNOLDS $\frac{\sigma_p V}{q_s \theta l}$ Electric Reynolds force Electric Reynolds force	ELECTROVISCOUS $(\frac{\rho_c}{\lambda \pi \epsilon_p})^{1/2} \frac{q}{\mu \eta_p}$ Electroviscous force Electroviscous force	ELLIS $\frac{2 \mu_2 V}{\tau_h d}$ Ellis force Ellis force	ELSASSER $\frac{p}{\mu G \mu_0}$ Elsasser force Elsasser force	EULER $\frac{p_n}{\rho V^2} : \frac{F_i}{\rho V^2}$ Euler force Euler force	EVAPORATION-1 $\frac{V^2}{\lambda_v}$ Evaporation-1 force Evaporation-1 force	EVAPORATION-2 $\frac{c_p}{\lambda_v \beta}$ Evaporation-2 force Evaporation-2 force	EVAPORATION-ELASTICITY $\frac{a^3}{\lambda_e}$ Evaporation-elasticity force Evaporation-elasticity force	EXPLOSION $\frac{r_b}{(\frac{\sigma_e}{\rho})^{1/3} c^{2/3}}$ Explosion force Explosion force	FANNING $\frac{2 \tau}{\rho V^2}$ Fanning force Fanning force
FEDEROV $d_p (\frac{g \rho^2}{3 \rho^2} (\frac{r_p}{r_f} - 1))^{1/2}$ Fedorov force Fedorov force	FLIBIGNER $\frac{Q_m (C_p T)^{1/2}}{A (T_p + \rho V^2)}$ Flibigner force Flibigner force	FLOW $\frac{Q_v}{\omega d_f}$ Flow force Flow force	FOURIER HEAT $\frac{h_c l}{c_p \rho l^2}$ Fourier heat force Fourier heat force	FOURIER MASS XFER $\frac{D t}{j^2}$ Fourier mass transfer Fourier mass transfer	FROUDE $\frac{V^2}{g l} : \frac{V}{g l}$ Froude force Gravity force	FRUEH $\frac{\kappa \omega a}{a} (\frac{m_p}{c_p R^2 \rho_a})^{1/2}$ Frueh force Frueh force	GALLILEO $\frac{g l^2 \rho^2}{\mu^2}$ Galileo force Galileo force	GOUCHER $\frac{r_w (\rho g)}{\sigma_e}$ Goucher force Goucher force	GRAETZ $\frac{Q_m C_p}{h_l}$ Graetz force Graetz force	GRASHOF $\frac{\rho^2 g \Delta T l^3}{\mu^2}$ Grashof force Grashof force
GRAVITY $\frac{k g \Delta \rho_f}{\mu V}$ Gravity force Gravity force	GUHKMAN $\frac{T_g - T_m}{T_g}$ Guhkman force Guhkman force	HALL $\frac{\omega \theta f_r}{\mu \eta_p}$ Hall force Hall force	HARTMANN $\frac{B l^2}{\mu^{1/2}}$ Hartmann force Hartmann force	HEAT XFER $\frac{c_h}{\rho V^3 l^2}$ Heat transfer Heat transfer	HEDSTROM-1 $\frac{\sigma_p \rho l^2}{\mu^2}$ Hedstrom-1 force Hedstrom-1 force	HERSEY $\frac{F_b}{\mu V \eta l}$ Hersey force Hersey force	HODGSON $\frac{x f_p \Delta p}{Q_v \rho \eta}$ Hodgson force Hodgson force	J-FACTOR HEAT XFER $\frac{h_c (C_p \mu)}{\lambda \eta_p}$ J-factor heat transfer J-factor heat transfer	J-FACTOR MASS XFER $\frac{m_p \rho (\mu)}{M (\rho D)^{1/2}}$ J-factor mass transfer J-factor mass transfer	JACOB $\frac{\lambda_v}{C_p \Delta T}$ Jacob force Jacob force

图2B:另外77个无量纲参数

种设计因素如何相互作用。这种方法被称为量纲分析，它包括导出变量的无量纲组合，然后就可以很容易地绘制出相互作用图。量纲分析可用于：

- 快速而容易地发现分析衍生关系中的某些错误
- 减少在变量之间建立经验关系所需的测试数量
- 简化理论或实验推导关系的表示
- 作为所有模型法则的基础，这些法则是降低设计成本和复杂性以及科学问题的重要手段

伪自变量雷诺数的例子

如果你不熟悉无量纲参数，让我选一个你可能听说过的雷诺数。1883 年，Osborne Reynolds 从乔治·斯托克斯爵士（Sir George Stokes）完成的工作中首次定量描述了管道中液体的层流和紊流。Reynolds 发现，流体速度、流体密度、流体黏度和管道直径决定了管道中流体流动的能量损耗 / 性质。这 4 个变量的量纲分析结合起来形成了一个单一的无量纲参数，我们称之为雷诺数（Re）。图 1 显示了采用 Darcy-Weisbach 摩擦因子与雷诺数（Re）绘制的穆迪图，雷诺数（Re）可用作流体流动中管道各种相对粗糙度图的独立自变量。

从下面的方程式中，你可以看到量纲项是如何抵消的。

$$\text{雷诺数(Re)} = \frac{D \rho v}{\mu} = \frac{[l] \left[\frac{m}{l^3} \right] \left[\frac{l}{t} \right]}{\left[\frac{m}{lt} \right]} = 1.0$$

其中：D = 管道直径 (cm) = l

ρ = 流体密度 (克 / 立方升) = m/l³

v = 流体速度 (厘米 / 每秒) = l/t

μ = 流体动力黏度 (克 / 升秒) = m/lt

在工程中，有 154 个无量纲参数可用于简化物理主题的分析。Reynold 数是 154 个参数之一。其他如图 2A 和 2B 所示。PCB007CN

References

1. Holden, H., “The Complexity Index,” IPC Technical Bulletin, May 1978.
2. Holden, H. et al, The HDI Handbook, chapter 3, pp 115–117, published by I-Connect007, 2008.
3. Holden, H., “Calculating your Fabrication Capability Coefficients,” CircuiTree Magazine, February 2006.
4. Discussion on “What_is_the_purpose_of_dimensionless_equations?” by A.H. Rodriquez, ResearchGate.



5G 与新能源汽车 推动三防漆市场向好

by Edy Yu
I-Connect007

电子产品应用环境越来越恶劣，对三防材料的防护性能要求也越来越高，随着 5G、汽车电子等应用需求越来越多，三防漆成为保证产品高可靠运行的必需品。易力高与 I-Connect007 联合，适时推出了《[适用于恶劣环境的三防漆](#)》中英文技术手册，以及 12 讲专题研讨会《[揭秘三防漆](#)》，以应对读者的需求。

在近期的慕尼黑电子生产设备展上，我们采访了易力高的总经理张小蓉，我们围绕着最新产品与市场发展进行了讨论。

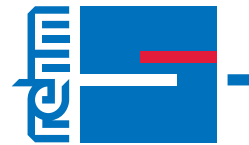
Edy Yu：张总，您好。首先请您为我们谈一下易力高在今年上半年的整体发展趋势与市场情况。

张小蓉：今年从春节开始疫情影响到整个中国的市场，但对我们来说比较意外的是整体业务并没有受到很大影响，不管是订单、生产、销售，尤其是我们在把生产工厂转到绍兴以后，各方面都进展得比较顺利，原材料的供应、招工等各方面都比以前顺畅。因为长三角是中国的重要经济中心，所以原材料供货、产品配送都会更快速便捷一些，所以对我们来说确实是





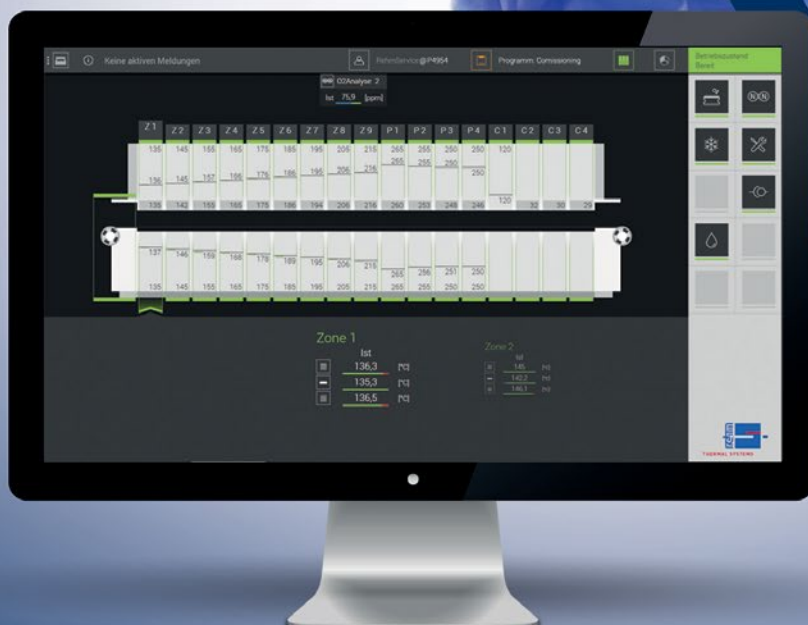
ViCON Vision
Innovative Software Solutions



THERMAL SYSTEMS



Industry
4.0
ready



30
REHM
THERMAL
SYSTEMS
GERMANY
Years

ViCON —— 高效的智能软件解决方案

借助ViCON，锐德为Vision系列回流焊接系统提供了更加清晰易用的智能软件。不仅可利用触屏界面进行更直观的操作，还可通过主界面的设备视图，对所有系统信息、命令和制程参数了如指掌。

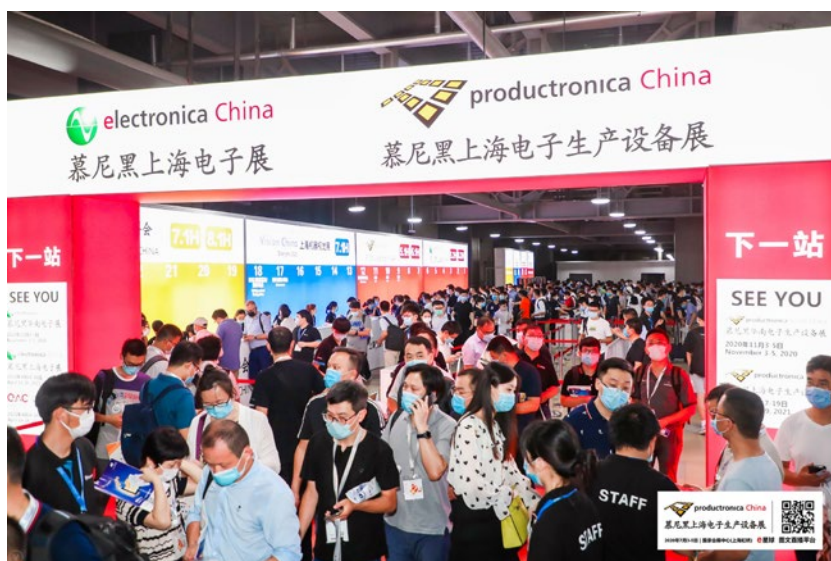
此外，该软件还具备多种便捷操作功能，例如可自由添加的收藏栏、结构化参数分组、独立的制程跟踪和归档等等，皆可为您的生产制程提供更优化的使用体验。

锐德热力设备（东莞）有限公司 | 中国广东省东莞市松山湖高新技术产业开发区畅园路2号
T +86 769 - 8238 0238 | info@rehm-group.com | www.rehm-group.com



比以前要好。今年上半年订单一直都呈现增长的趋势，没有因为疫情影响而有所减少。

而今年下半年可能会比较严峻，因为汽车、手机行业受疫情影响其销售量会下滑，逐渐影响到它的配件、组装等上游供应商，所以我们预计下半年可能会出现订单减少的现象。但是到目前为止，我们的销售增长势头还是挺好的。



Edy：绍兴新工厂是服务于江浙沪，还有华南地区么？

张总：我们把工厂搬到长三角，主要是方便了我们在苏州、上海或者是杭州这一带的客户，然后往南辐射广东也会更为便利。首先发货距离近了，相对的限制也会少一些，毕竟这边的工业本身也比较发达，所以会好很多。

Edy：现在绍兴工厂的产品线是否涵盖了易力高所有产品？

张总：对，从去年 8 月份建厂到 10 月份正式投产，到现在为止所有的产品线都有了，并且把厂房之前空出来的地方全都用上了，工厂产线几乎满产，如果照这个势头发展下去，明年又得建新厂了。

Edy：请您讲一下目前手机以及汽车电子这两大主要业务板块。

张总：手机方面主要是移动终端、5G、5G 基站，汽车电子主要是新能源汽车，这两个行业的产

品现在做得比较好。传统行业业务也有，只是我们现在更重视新行业的发展，对我们来说也是一种挑战，这是一个要求更高的行业。我们公司总体来讲研发跟着市场走的步子比较快，所以与其它品牌相比，我们能紧跟潮流。比如新能源、5G 兴起后，我们马上就有配套的解决方案跟上，速度非常快，跟着行业同步发展，这是我们最大的竞争优势。

Edy：那相较于传统应用，5G、汽车电子对于三防漆的要求有什么不同之处？

张总：这个要求会有很大的不同，其中很重要的一点就是可靠性要求，从这一点来看新能源汽车和 5G 基站的要求都是一样的，也比过去传统家电产品要高很多，因为涉及到大量的室外应用，面对更严酷的环境。这很好地呼应了我们与 007 合作的技术手册《适用于恶劣环境的三防漆》，这些高要求的应用可以说是易力高的强项。

Edy：说到技术出版物，007 与贵司合作的一个为期 12 讲专题研讨会《揭秘三防漆》已经

上线，包含了很多干货。其中前 6 讲是一些基础理论知识点，后 6 讲会涉及为国际大客户解决工艺问题的方案。那么在中国市场，贵司除了扮演原材料供应商的角色以外，是否还会扮演三防涂覆等领域的专家，为客户解决实际生产问题，优化工艺。



张小蓉

张总：的确，我们在三防漆行业是比较领先的，所拥有的专家不仅了解三防漆本身的性能，而且还了解整个生产需求，以及喷涂、工艺等相关领域，所以能为客户提供完整的解决方案。他们首先了解你的需求，包括配方、应用环境、各种要求，再就是工艺流程怎么操作，可谓是全方位的解决方案。

三防漆这个行业已经存在了很多年了，我们利用这本技术手册以及线上研讨会，我们的专家从三防漆的配方、特点、工艺等多个要点，进行了很好的总结。这对客户有教育的意义，当你对三防漆有了完全的了解后，才能知道如何选择适合你的产品，以及适用你的生产工艺。

Edy：好的。关于下半年的预期降低，能再给我们展开一下吗？

张总：我们公司的销售主要分国内国际两部分。对于国内来说，基本上看不到有任何萧条迹象。首先国内 5G 基站在大力地推行，国家先行试点五个城市后将再铺开，所以这方面的需求肯定有保证。

然后新能源汽车也是国家主推的项目，如今我们在新能源汽车行业也是做得比较好的，好多技术都处于世界领先地位，国内需求也比较大，所以在这方面国内也看不出走向萧条的迹象。但是国外因为受到疫情的影响，汽车产业受到的冲击比较大，经历零部件短缺、停产、滞销，甚至是停产，这会逐渐影响到我们的外单。易力高国内工厂，主要的销售来源于国内部分，海外销售只占公司的小部分，所以不会有特别大的影响。

有意思的是，我们公司的另外一个日用品品牌，旗下有洗手液类的产品，因为疫情的原因，业务激增，弥补了工业用品部门出口的下滑。

从整个全球视角来看，我们的生产基地主要分布在英国、印度和中国，全球总部会内部权衡各个地方的采购价、运输距离、交期、供求关系、关税等多方面因素来进行产能的平衡。在这样的体系下，对我们国内的生产销售也是很有帮助的。

Edy：是的，拥有这样全球化生产供应管控系统，就能够比较自如地应对当下瞬息万变的市场形势。

张总：对，没错。

Edy：张总，非常感谢您接受我的采访。

张总：谢谢。PCB007CN

锐德展出

气相焊、回流焊、点胶涂覆新产品

by Edy Yu

I-Connect007

作为知名的焊接系统设备制造商，本次慕尼黑上海电子生产设备展上，锐德热力重点展示了其多种产品组合，充分向观众传达了系统和工艺制程的进一步发展趋势。我们有机会采访到了他们的区域销售总监王禹先生，讨论了工业 4.0 时代的制造系统。

Edy Yu：王总，您好。首先想请您谈一下，锐德今年上半年的发展情况以及相关的动向。

王禹：今年上半年因为疫情的原因，2 月到 3

月初，我们的业务发展受到了一些影响，但是从 3 月中下旬开始，设备陆续地恢复出货。很

多客户反应，由于近期终端用户生活、出行的模式都发生了变化，逐渐普及的网络教学、网上办公、网上会议，使得互联网设备与移动终端的需求稳步回升。

同时，新能源汽车的势头依然未消退，再加上各整车厂的促销火爆，使得汽车电子领域不降反升。

我们的客户在消费电子领域以及汽车电子领域的订单良好，都有不同程度的增长。对我们设备供应商来说也是好消息，所以 2020 年是一个挑战，也是一个机遇。



Edy：好的，本次展会我看你们带来好几款产品，除了传统的回流焊系统，还有其他的新产品，比如说点胶、三防漆涂覆这样新的设备，请你给我们具体谈一下好吗？

王总：今年展会最主要展出的有我们的新产品 Protecto 选择性防护层喷涂系统、传统主力产品 VisionXP+Vac 真空回流焊系统，还有最新的气相焊 CondensoxS smart 系列。

其中点胶涂覆设备，主要是针对汽车电子

科技与关注融合的清洗方案

KYZEN® E5631

新一代钢网清洗剂

低浓度使用时表现卓越
已获批准用于钢网底部印刷机
有效去除A面错印
低成本
良好的GHS和安全评级

在KYZEN, 我们有技术和专业人员解决各种清洗难题, 我们关注客户需求, 可以为您具体的清洗工艺提供完美的解决方案。当科技迎合客户需求时, 您的清洗工艺必将取得成功。

KYZEN 清洗专家与您相聚于亚洲电子生产设备暨微电子工业展览会展台1P01



KYZEN.COM

享誉全球的环保清洗技术

行业，以及 3C、消费型电子行业的产品，可以胜任三防漆的涂覆、各种散热胶的涂覆，以及各种密封圈的涂覆。

真空回流焊最主要是应用在汽车电子行业，还有一些特殊的通讯产品，会需要使用到我们的真空制程，减少焊点中的气泡率，提升可靠性。

另外 CondensoxS smart 系列是我们最新的气相焊设备，它也可以支持在线运行。主要客户涵盖了军工、航空航天, 5G 通讯类，该设备可以有效提升产能，以及减少在焊接中所产生的气泡。而且由于气相焊这种高端焊接的特性，可以应对难度较大的 5G 通讯产品，尤其是为又大又厚又重的产品，提供一个好的焊接品质。

Edy：好的，我看到你们还在推 Vicon 软件，

请您为我们谈一下具体的应用？

王总：Vicon 是我们最新推出的一款非常智能化的软件，它不光可以和我们的点胶涂覆设备、真空回流焊设备、气相焊设备连接，它还提供了手机终端 APP。通过与我们的移动通讯设备进行连接，用手机即可实时监控整个设备的生产情况，推送产品生产时的参数、产品生产过程中的警报、发生问题的统计，让管理者实时掌控生产的各项数据。同时为客户做后续的制程分析、制程改善提供重要的依据。

Edy：好的，现在设备生产与出货主要是在国内么？

王总：是的，我们目前在东莞松山湖有自己的工厂。面积达到了 2 万平方米，立足这一生产



基地可辐射整个大中华地区。未来为客户提供更好、更优质的服务，也可以快速响应，满足客户生产、研发、配件、售后等各方面的需求。

Edy：松山湖工厂将涵盖锐德全系列产品的生产吗？

王总：除了气相焊设备是德国生产的以外，其他像回流焊、真空回流焊，还有一些特殊定制的加热、回流设备、干燥炉，都是在东莞生产的。其中定制设备主要面向汽车电子客户，他们有很多加热要求，有干胶的、也有去除产品原器件热膨胀张力的应用。所以可以说松山湖工厂基本涵盖了锐德全系列产品。

Edy：好的，那么对于下半年行业走势，您是怎样判断的？

王总：就目前整个行业的情况来看的话，行业

已经开始有转暖的趋势，主要来自于汽车电子、5G、部分笔记本电脑、移动终端的客户，他们的业务都在持续地回暖。其实消费型电子，客户的需求量从2月份开始就一直不错。倒是汽车电子之前因疫情影响，有一些萎缩。但是近期，整个汽车电子行业，尤其是电动汽车这一块，有了比较明显转暖的趋势。所以我们预测在下半年应该会有波比较强势的增长，因为国外的疫情目前还没有结束，很多工厂都没办法复工，而国内的疫情已经得到了很好的控制，国内工厂可以在这个时间段满足全世界的产能，我觉得之后市场的发展还是非常值得期待的。

Edy：好的，十分感谢您，王总。

王总：感谢 007 的采访。PCB007CN

领导力工具箱中应该有的3种工具

一个组织中，领导者的能力占有很大的权重。你可能听过有人这样描述一个公司领导者或体育教练：“他们把公司或组织带到了一个伟大的高度！”也许有人会怀疑我的观点，但我只是想知道一个公司的成功有多少归因于领导才能，有多少归因于其他因素。本文将分享在领导力工具箱中应该有的3个重要工具。

谨防“涨潮综合征”

在 IPC 任职初期，我曾与一位与电子行

业关系密切的协会执行董事共进晚餐。在晚餐的过程中，他开始非常自豪地分享在过去的四年里，他是如何发展自己与其他公司及行业同仁的关系的（暗指“单枪匹马”）。那是2013年。他在大萧条结束时接任公司领导，此后每年公司都有令人惊讶的增长。但实际情况是，几乎所有其他公司在那段时期都经历了增长。涨潮时期即经济上升时期，所有的公司都会增长。

更多详细的内容，请[点击阅读原文](#)。



钢泰技术专家 谈焊料合金和 焊膏的发展概况



by the I-Connect007 Editorial Team

I-Connect007 编辑团队采访了 Ron Lasky 博士。采访中, Ron Lasky 博士阐释了行业为什么没有大规模使用 Indium Corporation 公司开发出的新型合金焊料。他还概述了焊料合金的发展概况, 包括在鉴定 SAC305 有效性时所遇到的难题。

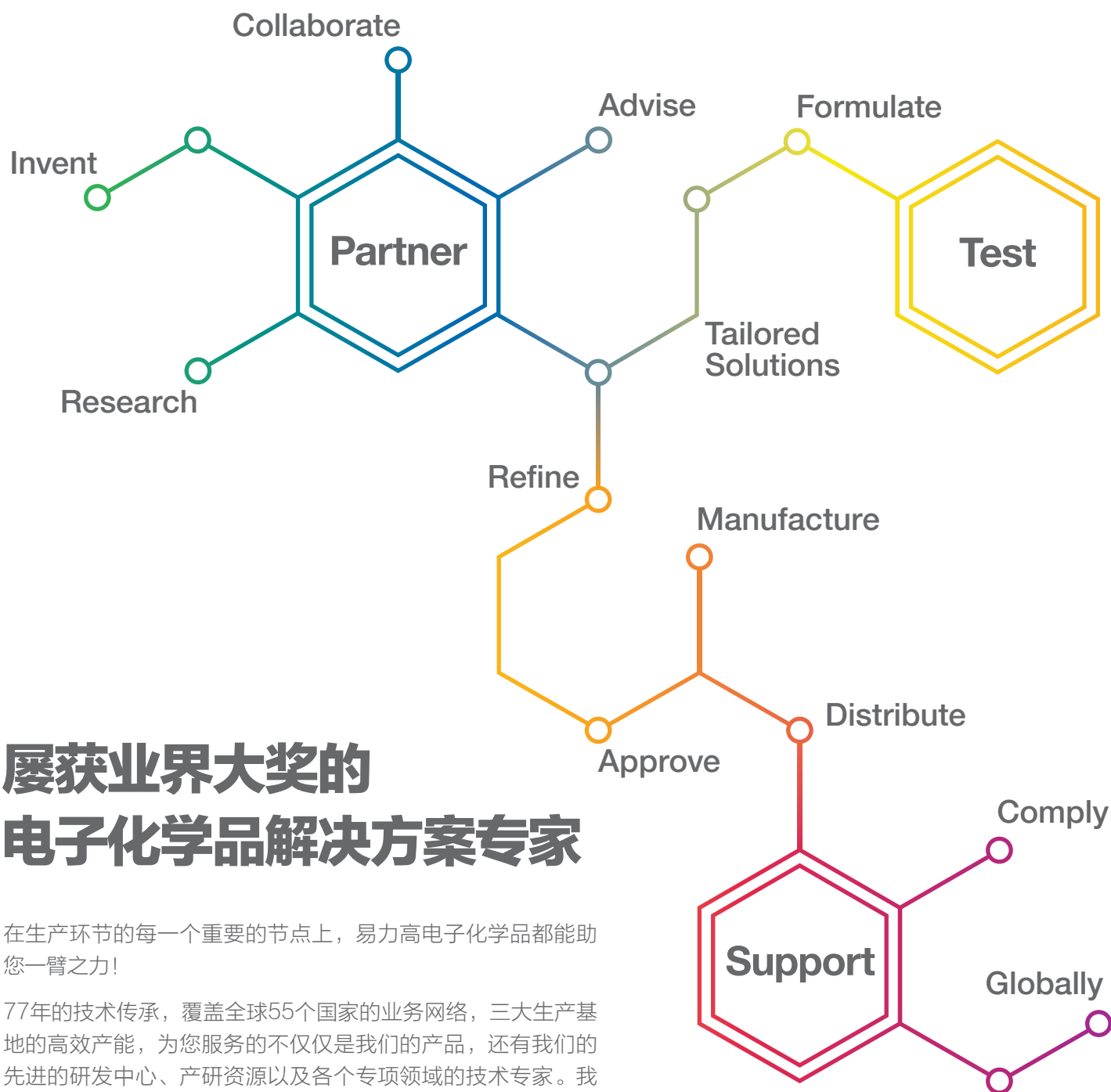
Nolan Johnson : Ron, 谢谢你接受我们的采访。可以先介绍一下你在这个行业的经历吗?

Ron Lasky 博士 : 我是达特茅斯学院工程学院的教授, 同时也是 Indium Corporation 公司的高级技术专家。

Barry Matties : 您教授什么课程?

Lasky : 工程统计学。我们学院有个课程项目是工程管理硕士 (MEM)。这个研究生课程项目专门面向那些愿意向管理岗位发展的工程师。我教授的大多数都是这个项目里的课程。MEM 项目的课程中, 一半由塔克商学院 MBA 项目的师资教授, 一半由工程学院教授。我关注的主题——而且我在达特茅学院还有另一个项目——与精益六西格玛主题有关, 例如制程优化、实验设计和统计过程控制。我也教授工程统计学课程, 以及制造过程优化课程。我主攻的学科主题是电子组装制造过程, 这是我最为了解的领域。

我做的优化工作并不是只针对焊膏, 而是针对大多数产品。我在达特茅斯学院开发了精益六西格玛课程, 并且大获成功。鉴于达特茅斯学院是常春藤院校, 人们很认可从达特茅斯工程学院大师黑带级讲师授予的黄带认证证



屡获业界大奖的 电子化学品解决方案专家

在生产环节的每一个重要的节点上，易力高电子化学品都能助您一臂之力！

77年的技术传承，覆盖全球55个国家的业务网络，三大生产基地的高效产能，为您服务的不仅仅是我们的产品，还有我们的先进的研发中心、产研资源以及各个专项领域的技术专家。我们随时准备着助您解决生产过程中的挑战！

联络我们，了解易力高之所以成为电子化学品全球领军品牌的秘密！

Tel: 8610-8947 5123
www.electrolube.cn

ELECTROLUBE
THE SOLUTIONS PEOPLE

清洗剂

三防漆

封装&粘接

导热材料

触点润滑

维修维护

书，但这个认证并不是专门针对电子组装的。

Matties：焊膏的哪种关键性能指标是常常被人们忽视的？

Lasky：有的。焊膏中有一项关键性能指标叫做“对暂停的响应”。如果你因为需要把元件放置到贴片中或执行其他任务而不得不关停生产线一段时间，部分焊膏就会变僵硬，你必须擦去一部分焊膏，再重新印刷。这种情况就是“对暂停响应”不佳。我在 Indium Corporation 公司的同事都了解这一点——越优质的焊膏，对暂停的响应就越好。换句话说，优质的焊膏即使在模板上停留一个小时以上，也不会发生什么变化。

有家客户改用 Indium Corporation 的焊膏，这样一来，即使他们每过几个小时就要停下来进行其他操作，也不需要擦干净电路板上的焊膏了。以前每每遇到类似情况，焊膏就会变硬，他们就不得不擦去电路板上的焊膏，重新印刷。如此一来，他们每 8 小时班次就要损失 20 分钟或以上的生产时间，这比最初遇到的情况要严重。新款焊膏将生产效率提升几个百分点的同时，利润率也提高了 8%~9%。使用我开发出的成本估算软件，把这些数值都计算出来，为此我撰写了一篇关于该主题的论文。

Feinberg：与波峰焊接使用的条状焊料相比，焊膏中的焊料用量是否发生了巨大变化？按百分比来计算，而不是用吨或其他单位计算。

Lasky：焊膏是使用最多的，这一点越来越明显，这当然要归因于表面贴装技术，我们的很

多产品都只使用焊膏。应该没有手机会使用波峰焊接技术吧。

Feinberg：应该不会有。

Lasky：但不要低估条状焊料的作用。25 年前曾有人说“波峰焊接和通孔会逐渐消失，甚至不应该再关注这些技术”，这种说法非常荒谬。这些技术可能永远都不会消失。

Feinberg：和通孔有关的一点是，因为无铅焊料在过去十年里发生了一些变动，焊料的灵活性已大大减少。如果你要经过一个通孔来贴装并焊接某种元件，这种做法与放置在焊盘上以后再焊接的操作相比，其可靠性要强很多。

这种做法一直都不太受到重视，直到人们对可靠性的要求升高了，特别是在过去的 3 年里，自动驾驶技术和交通运输领域对电子产品的需求量驱使人们对可靠性的要求不断增高。这种趋势有可能会让波峰焊接技术的淘汰速度放缓，尽管从成本的角度来看，这种操作毫无优点。我们目前像是站在了一条十字路口，需要做出何去何从的决定。

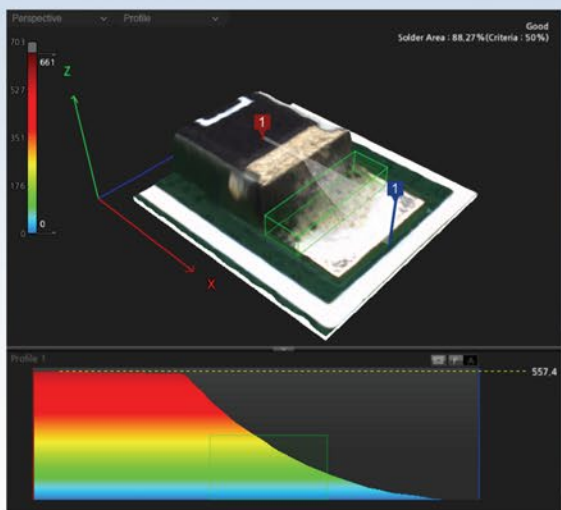
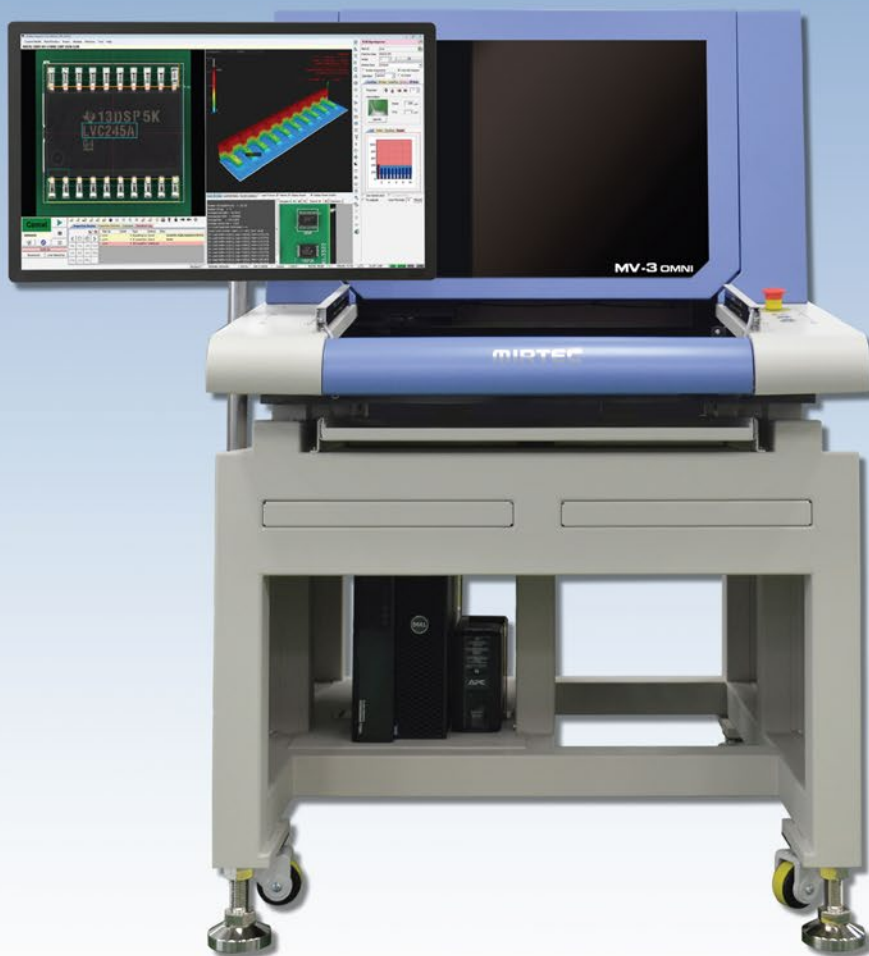
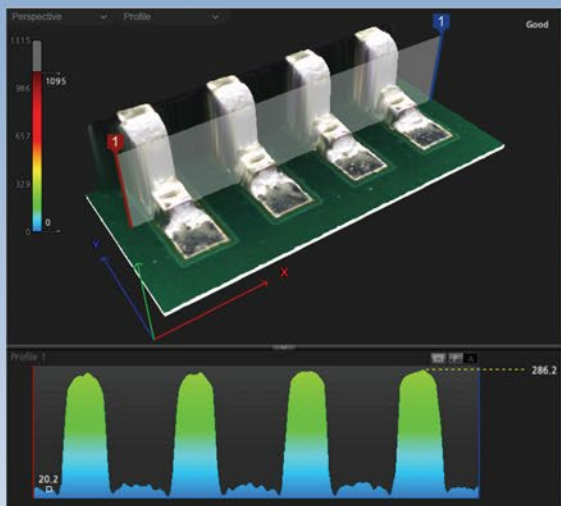
Lasky：我要回过来讨论一下通孔的话题。波峰焊接之所以不会消失的原因之一就是很多电子产品都有很多插头，我同意这个说法。其中有些插头需要用通孔来增加机械强度。

Feinberg：没错。

Lasky：很多对于自动驾驶技术而言非常重要的元器件都是以表面贴装形式制造的，因为 SMT 技术的互连性比其他技术无法匹敌的。

领先的3D AOI 助力汽车电子与5G类产品

MV-3 OMNI



- ▶ OMNI-VISION[®] 3D检测技术
- ▶ 1500万像素CoaxPress相机技术
- ▶ 10um远心复合透镜
- ▶ 1000万像素SIDE-VIEWER[®]相机技术
- ▶ 8阶彩色光源系统
- ▶ 完全胜任3D共面性和焊料圆角检测

更多详情欢迎咨询我们的
中国公司(0755)8835-0822

www.mirtec.com



如果有人说“想把英特尔微处理器做成通孔封装形式”，那他们是永远都不可能做到这一点的。因为互连点数量太多了，无法做到那么小的通孔。你对通孔的大多数看法我都同意，但是在我列举的这种状况下，表面贴装技术生产的产品其可靠性是可以保证的。

Feinberg：现在有些军用产品使用的元器件又重新采用了含铅焊料。这是一种临时解决办法，但是在很多状况下是可行的方法。

Lasky：当然了，他们一开始就没必要使用无铅焊料，军用产品面临的问题之一就是要用锡铅焊料进行组装。

Matties：对焊膏领域的从业人员而言，你认为他们如今应该掌握哪些重要知识？

Lasky：据我了解，行业并没有打算接纳新合金组成的焊膏。真是遗憾。我来解释一下新型合金的定义。如今，全球 75% 至 80% 的焊膏都是无铅的，其中大部分都是 SAC305。我并不想伤害任何人，只是我曾经有一次花了 1 个小时的时间介绍 SAC305，但是课后却有个同学来问我什么是 SAC305。

SAC305 中“30”表示焊膏中含 3.0% 的银，5 表示焊膏中含 0.5% 的铜，而剩下的 96.5% 则是锡。其他无铅焊膏主要是 SAC105，银的含量更低，主要是为了节省银成本。SAC105 主要用于 BGA 的焊料球。我想说的是，像 Indium Corporation 这样的公司，开展了大量的研发工作，他们研发出的合金银含量都远远低于 SAC305 中的 3%。他们加入了少量其他元素，由此研发出了几款合金在跌

落冲击测试（在手机跌落时提供保护）和热循环测试（保护计算机免于因开关机造成的热机械应力损坏）中表现出了更优秀的性能。但行业还没有采用这些合金。

但仔细想想其中的逻辑。认证新型焊料合金是非常耗费成本的，尤其是那些想要在可靠性方面获得声誉的公司。有些手机和笔记本电脑制造公司，以及需要生产关键产品的公司，都需要可靠的焊料。认证 SAC305 的时候就耗费了巨大的财力物力，所以即使有新的合金性能表现优于 SAC305，他们也会认为 SAC305 也已经足够好了。也许这种看法是对的，新款合金的一些性能还没有被发掘，可能还处于测试中。

行业还没准备好接纳 Indium Corporation 等公司研发出的新型优质合金焊料。我也知道，肯定有些小众市场会愿意购买，但 SAC305 在市场中的地位还是不可撼动的，原因就是它足够好。一直在改变的并不是合金。我不想显得其他小众合金没有市场似的，但一直以来总是在发生变化的是新型助焊剂载体，是这种产品提升了焊膏的性能表现。这是一种持续发生的情况。

举个例子来了解过去焊膏领域的概况。十年前，BGA 封装的枕头效应浮出水面，人们对工艺流程做了各种各样的改变，试图最大程度地减轻这种失效模式带来的影响。生产焊膏的公司迅速趁着这一波潮流研发出了可以减轻或者消除枕头效应的焊膏。当时有一家组装公司，产品出现枕头效应的比例是 7%，但是用了优化的焊膏以后，就再也没遇到过这种问题。

解决葡萄球状缺陷的过程也是如此。过去五年里人们热衷于最大程度地减少空洞形成。

Indium Corporation 公司研发出了能够大幅减少空洞形成的焊膏。当然，问题在于通常不会有一种焊膏能在方方面面都足够好。如果遇到的是空洞问题，那么最有效控制空洞形成的焊膏可能在消除枕头效应或葡萄球状缺陷等方面并不能像其他专门用于消除相应问题的焊膏那样优秀。但在我看来，焊膏制造商为了消除这些缺陷问题可谓是付出了巨大的努力，而且研究和改善焊膏的科学家与工程师也在这方面作出了重要贡献。但我认为焊膏主流仍是 SAC305 合金。

过去五年里人们热衷于最大程度地减少空洞形成。

我应该介绍一下除 SAC305 外的两种重要合金。无铅焊料的一大劣势就在于银的成本高，SAC305 中含有 3% 的银是非常昂贵的——尤其是对于波峰焊接使用的条状焊料而言。你看看波峰焊接熔锡炉的体积，里面可能有 1000 千克的焊料，如果使用的是 SAC305，那么焊料的成本可能都要赶上一部轿车的成本了。有些冶金学家研发出了锡含量非常高的波峰焊焊料，锡的含量达到了 99.3%，另外 0.7% 是铜。刚开始时这种合金的性能表现并不理想，但冶金学家发现如果在里面加入少量镍（比如 0.06%），焊料的性能就会提升很多。对于波峰焊接而言，这种合金（99.3% 的锡、0.7% 的铜、微量镍）是波峰焊料市场真正的赢家。

无铅焊料的缺点也日益凸显，例如成本更高、熔化温度更高。锡铅焊料熔化温度是 183 °C，而无铅焊料的熔点略低于 220 °C——温度

升高了很多。iNEMI 为此付出了很大努力，Indium Corporation 公司就参与到了其中，但与此同时也在大力开发低温焊料合金，主要候选合金就是锡铋合金。这种合金的熔点要低于锡铅焊料的熔点，约为 138 °C。

之所以选择熔点温度较低的锡铋合金，是因为在回流焊时，元器件就不需要承受这么大应力了。但锡铋合金的一大缺点是脆性高。如果在大型计算机里使用这种合金，应该不成问题，因为这种合金在热循环测试中的表现还不错。IBM 就用了很多年类似的合金。但如果想在手机里使用，你就需要提升这种合金在跌落冲击测试中的性能。很多这类 iNEMI 项目试图改善锡 - 铋合金，使其能够在跌落冲击测试中表现更好，或者也可以通过添加聚合物涂层的方式来加固焊点。

Feinberg：镍会减弱这种合金的脆性？

Lasky：不会。我们说的是锡 - 铋焊料。加入镍并不会对这种焊料有什么帮助。是在含有 99.3% 锡、0.7% 铜的焊料中加入微量镍比较有帮助。这种焊料的一大缺点在于其熔点更高，要达到 227 °C 才能熔融。而它冷却下来以后，焊点又会有一层类似于霜状的物质形成。不仅看起来不美观，对可靠性可能也会有不好的影响。加入少量镍以后，这种霜状物就消失了。

Feinberg：大多数人在提到无铅焊料时都不了解它的缺点。

Lasky：无铅焊料遇到的大问题在于，很多人觉得这种焊料的缺点太多了；可能直接导致产品产生可靠性问题。研究者花费了数亿美元

试图找到一种可以替代锡铅合金并且具有相似熔点温度的合金，但他们没能成功。Indium Corporation 公司和其他公司都曾经研发出过熔点为 183°C 的合金，但出于种种原因，都没能被业界广泛接受。所以，全球范围内豪掷数亿美元研究相关合金之后，综合各方面来看，SAC 合金可能是唯一合理的选择。

全球范围内豪掷数亿美元研究相关合金之后，综合各方面来看，SAC 合金可能是唯一合理的选择。

一切都尘埃落定。要不是无铅焊料的存在，我们是不会用上现代手机的。无铅焊料的润湿能力不如锡铅焊料。最初，无铅焊料的一大缺点导致电路板在不会出现短路的情况下缩小了焊盘之间的间距，而锡 - 铅焊料会造成这种短路现象。也就是说，锡铅焊料的润湿能力过强以至于造成焊盘短路。原本是无铅焊料的缺点最后却成了优点。也正因如此，电子产品设计师能够缩小手机里焊盘之间的间距，往里面添加更多的元器件。但即使是今天，这个意想不到的优点都鲜为人知。

Feinberg：我听明白了镍是怎么一回事，下面来讨论条状焊料。组装行业花费的最大成本在于要回收废焊料残渣，而很多组装公司都不会意识到这一点，除非哪天有人拿着纸笔把数字都写下来给他们看。镍能否减少焊料残渣生成的比率？

Lasky：可以的。我要先声明一点，我对这方面的了解并不如我在焊膏方面了解的，但我相信他们也会加入少量其他元素，比如锆。占比可能只有 0.05%，远远低于 1%。如果添加的量不对，那也还是行不通的。加入的量一定要十分精准。在波峰焊接过程中，这些含有微量金属的合金（例如镍和锆）应该已经很常用了。但我还是要强调，我的专长领域是焊膏。

Johnson：我感觉材料配方要出现一个分裂期，人们会在这个阶段开发出专门配比的合金来解决具体问题。

Lasky：值得指出的是，解决不同组装问题的关键并不在于金属合金，而在于焊膏的制造方式。我想表达的是，也许你想拥有一款焊膏能够解决所有组装问题，但这几乎是不可能实现的。比如一款焊膏可以专门用于解决 QFN 上形成的空洞问题。也可以进一步研发成也能解决其他问题的焊膏，但如果一家公司遇到的主要问题是 BGA 中的枕头效应，那他们使用另一款专门针对枕头效应问题的焊膏会更好，尽管这种焊膏在避免形成孔空洞方面的性能并不是很好。事实证明，制造过程就是一项优化工艺，很难将一款焊膏做成全能型。

Johnson：我们回到你刚才提到的认证问题。如果市面上有各种各样的焊膏配方，那么为你自己的制造挑战选择一款合适的焊膏配方也是非常难的，你该怎么做？

Lasky：对于顾客比较有利的一点是，像 Indium Corporation 这样的公司都拥有一支技术服务工程师团队。如果客户遇到了问题，他们

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



要做的第一件事应该是拿起电话给焊膏供应商的工程师打电话，因为这些工程师每天都在解决这些问题。如果你跟他们说，“我遇到了枕头效应问题。” 技术服务人员就会问你，“你正在使用我们的哪款焊膏？” 你告诉他们，“我用的是 D 配方”，他们就会答复你，“这款焊膏专门用于解决空洞问题，控制枕头效应效果最好的焊膏是 B 配方。” 一般情况下，你只需打一通电话就能解决这些问题，而不需去做大量的实验。

我经常建议那些遇到组装问题的人们首先应该打电话向他们的材料或设备供应商的技术专家咨询问题。如果遇到的是元器件放置或模

板印刷问题，那就打给相应的贴装设备公司或模板制作公司，因为这些人每天都要帮助全球各地的客户解决问题，所以他们见多识广；而你只会见到你公司里遇到的问题。要善于利用设备和材料供应商的技术专家。

Matties：谢谢你们抽出宝贵时间接受采访，Ron 博士。十分感谢。

Johnson：感谢你, Ron。你分享的信息非常宝贵。

Lasky：也谢谢你们。PCB007CN

【展会邀约】2020国际电子电路(上海)展览会

致行业同仁

每年三月在上海举办的国际电子电路（上海）展览会至 2019 年，已经成功举办了 28 届。展会始于 1990 年，当时展览面积不足 1000 平方米，至 2019 年已达到 50000 平方米，共有 705 家参展企业，2200 多个展位。国际电子电路（上海）展览会已成为全球电子电路行业的盛会，也是上海市政府主办的上海国际信息化博览会的核心组成部分。

今年，受疫情的影响，展会从原定的 3 月延至 6 月。考虑到展商和观众的安全及境外展商的实际情况，在相关部门的支持下，再次争取到 8 月 25-27 日原定的国家会展中心（上海）7.1 和 8.1 号馆场地，展商原定的展位不变。

现在展览会时间已经确定，各项展前准备工作都在紧锣密鼓筹备中，参展企业已经纷纷进入紧张的准备中。



更多详细的内容，请[点击阅读原文](#)。

亚洲电子生产设备暨微电子工业展览会

2020.8.26-28 | 深圳会展中心

SHENZHEN CONVENTION & EXHIBITION CENTER



主办单位 ORGANISED BY:



CCPIT Electronics&Information Industry
Sub-council
中国国际贸易促进委员会电子信息行业分会



Reed Exhibitions®
励展博览集团



NEPCON 服务号/WECHAT

by Derek Ong, BscEE
Keysight Technologies

智能工厂作为工业 4.0 总模式的组成部分，正开始成为现实。工业 IoT (IIoT) 和云计算等实现技术的发展，电子制造业的运营技术 (OT) 和传统信息技术 (IT) 在不断融合。除了在数据采集和转化方面遇到挑战，真正能证明“实践出真知”的方式就是利用高阶分析法得出快速 ROI (投资回报率)。这就彰显出了将领域知识应用到数据科学中的重要性。本文中介绍生产线中应用机器学习 (ML) 技术的成功盈利案例，即在这些案例中实现了测量科学与数据科学的融合。

工业 4.0 如今已经成了全球范围内热议的主题。在第一次工业革命中，人们利用水力和蒸汽动力实现了机械化。第二次工业革命中，人们使用电力开始大规模生产产品。

经过近一个世纪的时间，又出现了第三次工业革命，工厂开始使用计算机作为性价比高、功能强大的工具进行生产。借助当时前所未有的加工速度和计算速度，工厂中更多制程实现了自动化，而且其反馈机制更理想。

数据开始成为生产力。可在整个企业平台上协调供应链、货品、客户关系、质量和生产管理方，推动公司优化制造成本、降低库存、加快发运速度并提高产品质量。

再看目前使用的物联网（IoT）技术，许多行业专家都认为这是下一代工业革命的关键

您可以
依靠的。
测试和
测量设备

40⁺
YEARS
EXPERIENCE

我们设计、制造和销售

测试与测量设备，经过三代人

的努力，我们的设备遍布电子行业，

保护您的电路免遭现场失效的尴尬。

精度
为标
准

 **GEN3**TM
Precision as Standard



#THEPEOPLEWHOPROTECT

B2, ARMSTRONG MALL, SOUTHWOOD BUSINESS PARK, FARNBOROUGH, HAMPSHIRE, GU14 0NR, UK

GEN3SYSTEMS.COM

TEL: +44 (0)12 5252 1500

驱动因素。这一概念意味着机器会变得足够智能，可以相互沟通交流并完成自动化工艺，使人为干预最小化，建立起一个可以自我监控、自我维持的机器网络。

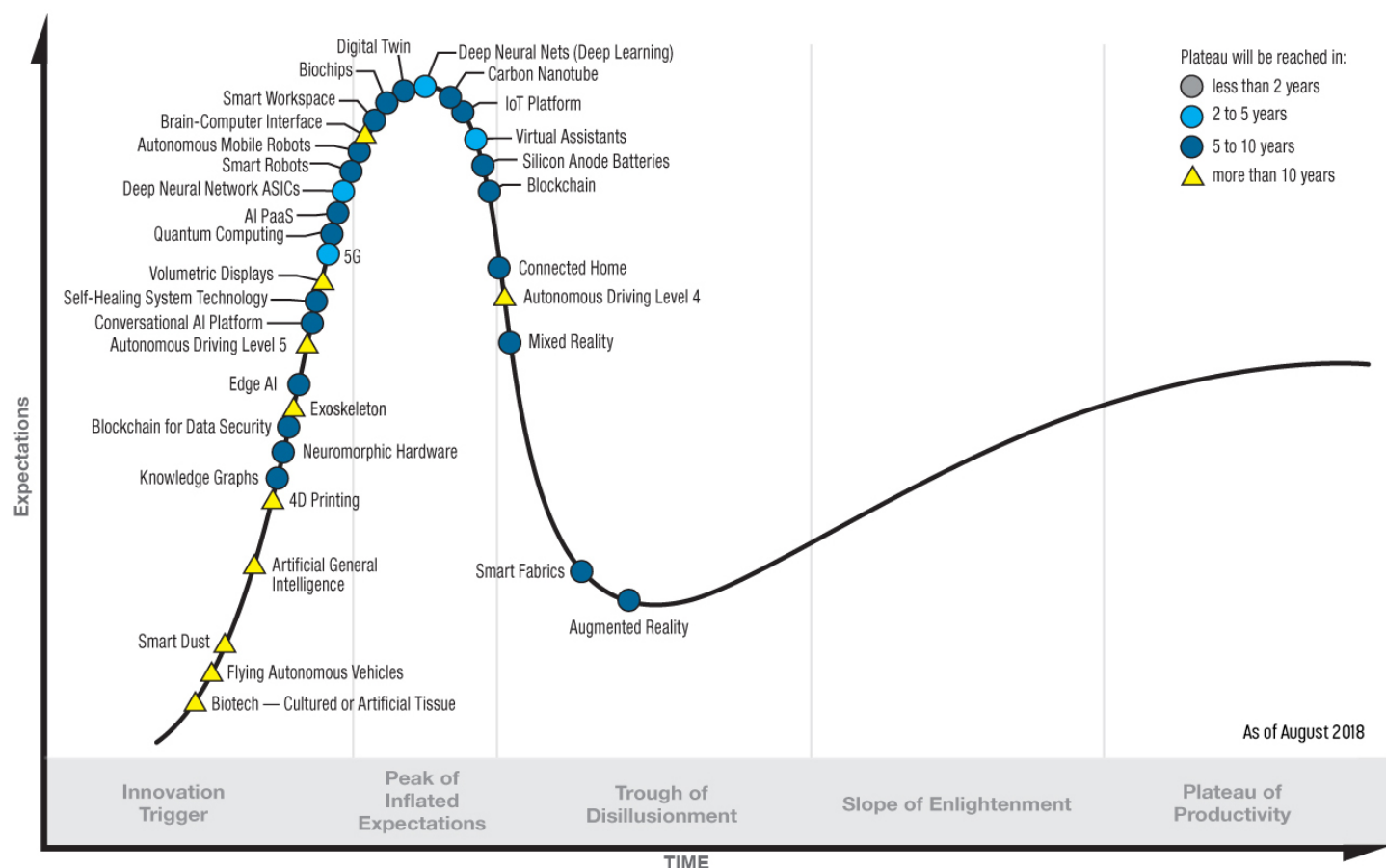
有关智能工厂的炒作

工业 4.0 是一个非常宽泛的概念，由很多好似奇迹的技术组成。人们在大数据、人工智能 (AI)、增强现实、增材制造、机器人学和自动机器方面取得了大量惊人的成就，也开展了大量的市场工作。但人们应该记住，这些技术的大量核心基础是几十年前开发出来的。例如，早在 1956^[1] 年就开发出了 AI 技术，并在过去的几十年中不断得到改进完善。然而，我们相信这些技术实现手段的实施直到现在才真

正开始，因为目前已实现了电气元件、电子元件和无线组成部分的适当性能，并降低了其成本，才可能使工业 4.0 切实可行。

工业 4.0 的应用主体必须是工厂，而最后要实现的就是使工厂变得“智能”。人类永远都在不断追求提高生产力和效率，这也是每次工业革命的标志，最终，从改善人类生活质量的角度推动人类的发展，事实上，智能工厂的决策，以及实现投资回报率的务实方法，将决定我们达到生产力稳定期时所需的时间和速度 (图 1)^[2]。

在和客户展开大量讨论并了解了他们的智能工厂计划之后，我们意识到，毫无规划地搭上工业 4.0 这台顺风车，可能会引起巨大的灾难。



一切始于愿景

我们为全球 50 多家工厂提供咨询服务，分析他们的使用案例和数据集，收集了 1TB 的制造测试数据，以寻求提供正确的价值差异，目标是客户将选择我们做其关键解决方案合作伙伴。因此至少在我们看来，我们很有必要先定义“智能工厂”中“智能”的含义。

“智能”必须以策略为起点，这一点至关重要。在向我们咨询过的工厂中，因为公司最高层缺乏远见和清晰的思维，很多工厂在工业 4.0 的实施过程中很快就失败了。如果公司最后领导层没有为数字化转型策略制定明确的方向（而且这个方向还不止一种），那么许多下属工厂及其领导层就会按照自己的解读和想法。

这就会产生很多意料之外的问题，例如：

1. 无法在全公司范围内使用核心基础设施和平台，因此也就无法保证成本效益。

- 在建造智能工厂的过程中，每当处理单一小型工厂的问题时，主要由工程经理和运营经理主持讨论。工业 4.0 技术的推动因素之一就是针对运营的大数据分析。但这项技术需要公司的 IT 相关方参与进来，因为安全性、云和带宽的通用问题都亟待解决。此外，服务器硬件和数据中心等方面的 IT 资本支出也不在运营团队 (OT) 的管理范围之内。
- 行业才开始意识到 OT/IT 融合的重要意义。但这一点并不能在组织中凸显出来，因为公司中的数字化转型还尚未成型（或者说还有所欠缺）。我们还意识到 IT 和 OT 团队之间是如此互相孤立，以及这两个团队是多么缺乏合作。IT 和 OT 团队的规则、预算、

管理方式、文化、目标、专业知识甚至是使用的技术语言都存在着巨大差异。

- 最后的结果就是 OT 团队不愿让全球 IT 团队参与进来，因为他们觉得让 IT 团队参与进来会带来更多困难，而不是带来更多价值。因此，客户不会在企业中央服务器或云中应用大数据制造分析方案，以便其他工厂在不需要花费成本扩展产能的基础上使用相同的基础设施；而是选择购买服务器硬件并安装在各个工厂内。若想在公司范围内扩展规模，这绝不是一个具有成本效益的好方法，并且要付出巨大的代价才能吸取这个教训。如果没有 IT 团队的帮助，这个方案无论如何都会在短时间内以失败告终。

2. 孤岛式资源投资，即专注于一个工厂目标，没有与企业的战略和目标保持一致。

- 例如，一家工厂可能面临着劳动力低效、能力不足的问题，于是他们决定使用机器人来代替工人、使用增强现实技术为劳动力提供更优质的培训、在摄像头中应用深度学习技术来监控工人在工作时的合规情况。但这种做法可能无法从根本上解决问题，因为工厂可能没有完全采用公司给出的最佳规程，也可能只是一次糟糕的操作。
- 每每遇到这种状况，我们在和高层管理人员以及公司高管商讨这些问题的时候，经常会发现他们有更紧迫的关键绩效指标要完成，例如减少质量问题和退货授权(RMA)、减少因良率问题和操作问题导致的报废成本大幅攀升。这一发现并没有令我们感到意外。

3. 企业的工业 4.0 策略与工厂运营产生的实际需求及面临的实际挑战不匹配。

- 很多时候, 就算公司足够高瞻远瞩, 能够提出企业战略落实数字化转型, 但这种战略和计划也是完全由 IT 团队掌控的。
- 我们发现, 企业在制定战略的时候, 通常不会让 OT 充分参与到其中并提出他们面临的问题和挑战。难点之一在于 IT 专家很难真正理解运营操作及涉及到的制程是多么得错综复杂。这就造成企业战略目标和这些目标带给运营的真正价值之间出现了断层。
- 例如, 一家由 IT 主导、基于云的商业智能私有平台, 可能会收集生产车间的海量数据组合。这种做法就和工业 4.0 的理念非常契合。但平台给出的深入见解和在车间内采取的实际措施相去甚远。这种平台常常只用作报告工具或机器和良率问题的警报系统。而真正在车间内“灭火”的操作员

或技师则不能采用这个平台, 不能快速采取简单直接的措施减少因此而造成的浪费。

这些正是我们必须着手研究和了解的部分内容, 这使我们得出结论, 尽管实现技术准备和员工能力很重要, 但智能工厂中的“智能”始于企业要提出清晰明确的数字化转型愿景, 其中要解决 OI/IT 团队的融合挑战。

PCB 组装制造过程中真正应有的 ML

我们的一家客户成功实施了进阶分析法, 他们为生产中的测试系统订购了我们的服务, 于是我们启动了概念验证 (PoC) 流程。图 2 为该客户在工厂内安装的通用生产线。

开发基于云的高阶分析软件作为服务平台 (图 3), 目的是尽量做到实时采集数据、转化数据、分析测试系统得出的数据和测量结果, 从而界定产品质量。

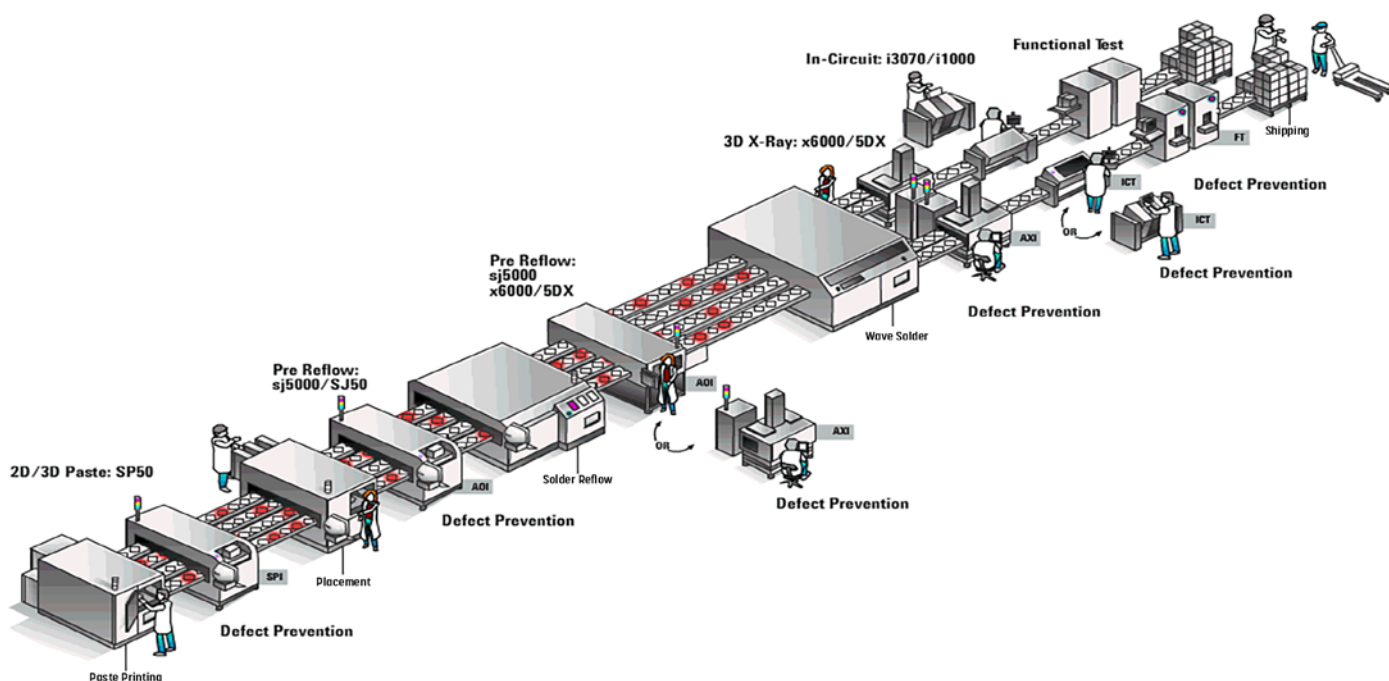
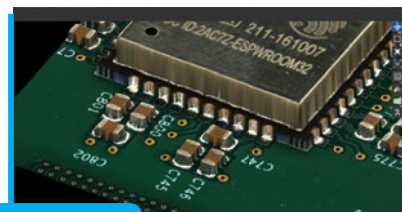
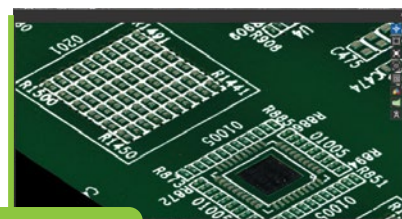


图2:通用PCB组装生产线实例

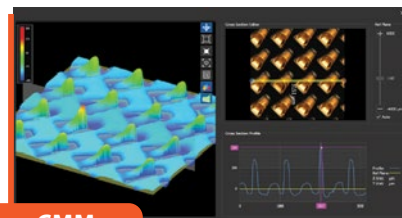
终极多工艺检测系统，
具有极高的速度，准确性和易用性。



AOI



SPI



CMM

搭载强大工具，涵盖AOI、SPI和CMM的检验与测量。

SQ3000™ 采用革命性的多反射抑制 (MRS) 技术，通过识别和抑制由反光组件引起的反射，提供无与伦比的精确度。有效抑制多次反射对于精确测量至关重要，使MRS成为各种应用（包括质量要求非常高的应用）的理想技术解决方案。

www.cyberoptics.com

Copyright © 2019. CyberOptics Corporation, Inc. All rights reserved.

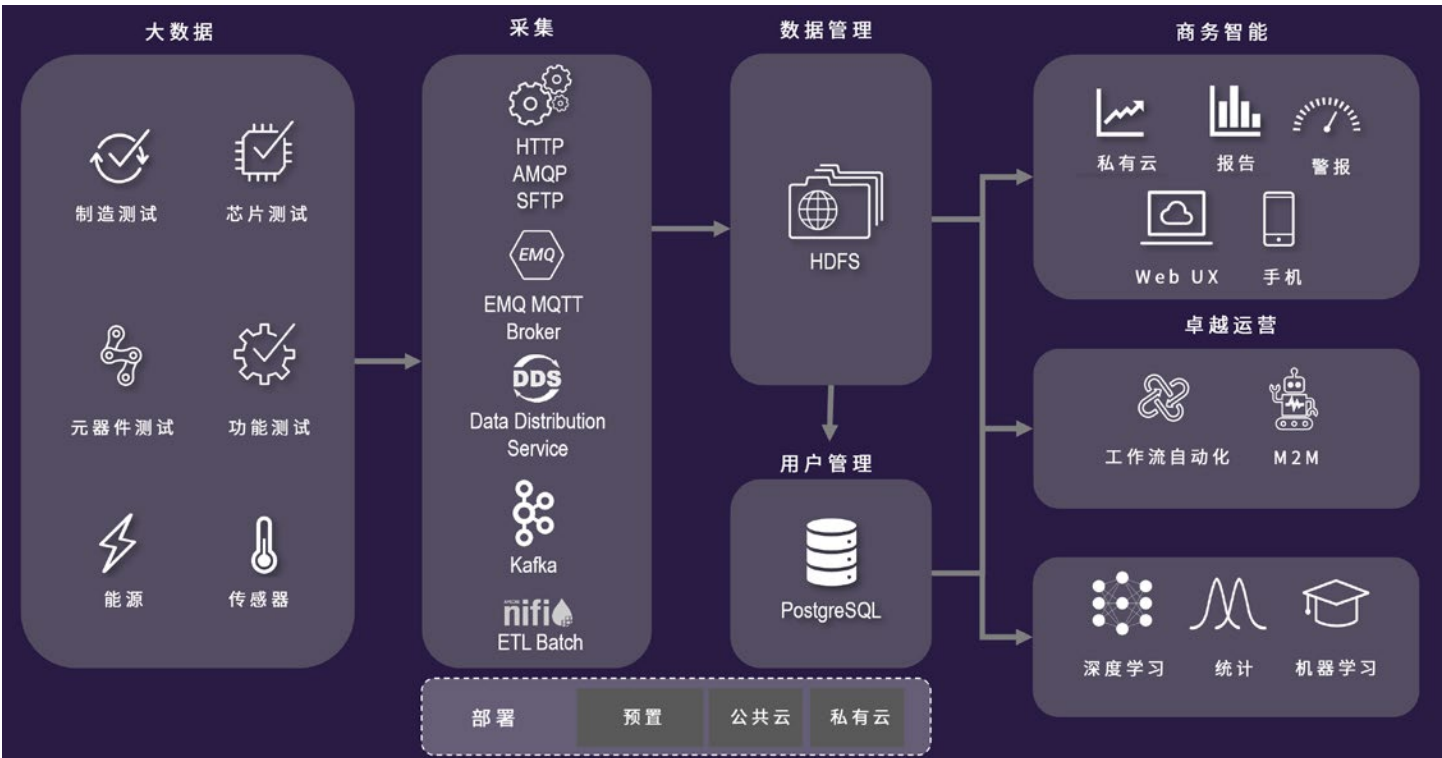


图3:基于云的实时进阶分析架构

该解决方案必须解决这样的使用状况：工作流自动化和良率损耗预测是根据夹具、测试程序设置和其他因素导致的故障，而不是根据产品中使用的实际部件造成的。这些都是假警报，会增加生产成本。

解决方案的基本核心，就是在生产过程的每一项测试中几乎能做到实时检测出异常现象。每项产品测试中都包含了成百上千次这样的测量和测试。每天都会有几百个产品接受这些强制性的测试。有些异常现象属于夹具特定部件直接造成的退化模式。

简言之，异常现象就是常规情况出现了反常现象。这是制造和测试过程中遇到的第一种挑战。目前的工厂里可能会获取并存储诸如失效情况这样的高价值关键数据。但从来不重视采集好的测量数据，特别是在执行单次测试的时候。因此，为了预测异常现象，工厂必须能采集所有测量结果——不论是哪一种测量得出

的结果。

图 4 是系统预测出异常现象的真实屏幕截图。元器件是复杂 PCB 上阻值为 10KΩ 的电阻器。绿点表示测试极限内的测量结果，白色点是相应的规格要求。粉色点表示异常现象，测量值为 9.429KΩ。在生产过程中，这种情况不会引起任何注意，因为产品已经“通过”测试并且现阶段的流程中也无法检测到这样的异常。

但很显然，制造工艺可以得出如此稳定的测量结果。均值和中位数是与测试极限的标准偏差。在这种情况下，不论测量结果是否是在测试极限内，生产过程中出现如此严重的异常现象都是值得注意的。

这样的测试结果可能会突然发生变化或渐渐发生改变，具体取决于多种因素。检测异常的算法必须要尽快学习“常态”，这样才能避免频繁出现误报情况。检测异常现象是在制造

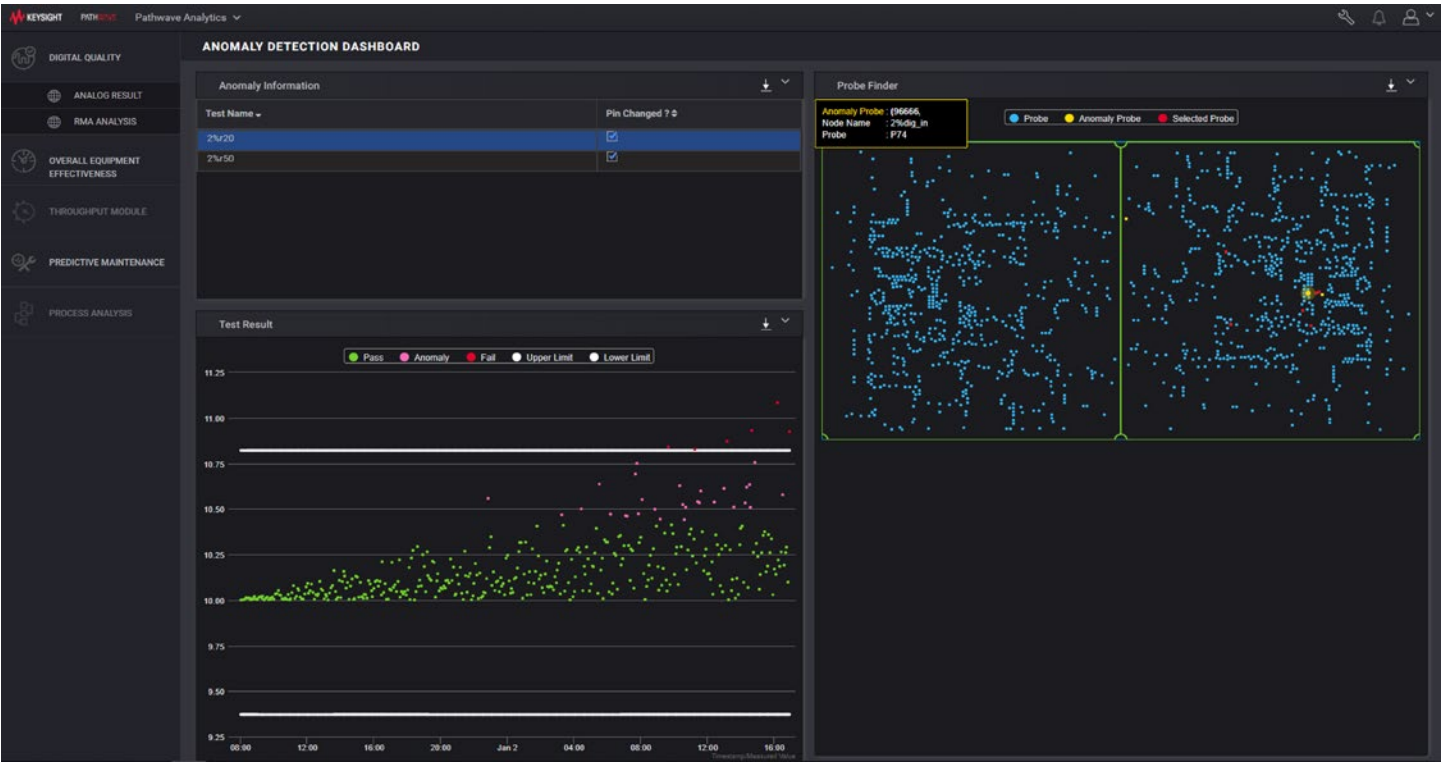


图4:测量到异常现象的示例

测试中应用 ML 的第一步。

在过度简化的 ML 模型开发过程中，一种叫做“培训数据”的数据集会输入模型中，帮助“机器学习”相关模式和趋势。然后再用真实的数据测试模型，并用多种方式测量，例如：

- F1 得分^[3]
- 马修斯相关系数^[4]
- 加权平均精度^[5]
- 加权平均召回率^[6]

有一个重要的因素可能常常得不到重视——ML 算法的预测置信度主要取决于：

可用的培训数据数量（越多越好）

数据与 ML 输出期望值的相关程度

根据应用专长和使用经验，对不同 ML 方法和统计方法的融合

在测试算法的过程中，为了达到我们向客户承诺的置信度，确保检测到的异常现象是相关且重要的，我们不得不对基本的异常现象检测算法做重大调整。自定义的算法现在已经属于是商业机密，在此不便分享。但你可以从人们常用的开源算法入手，例如局部异常因子

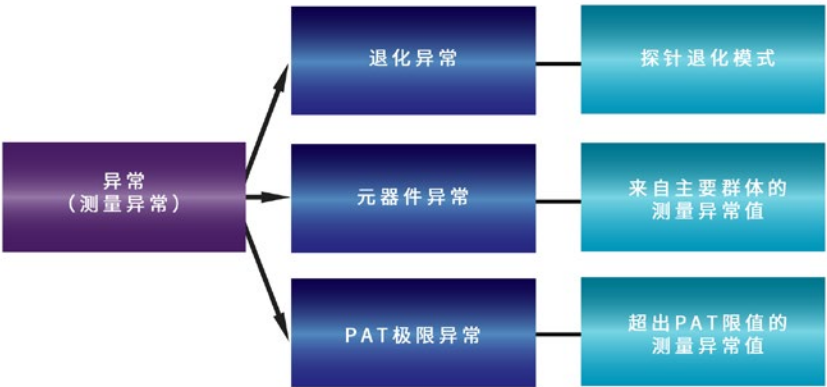


图5:异常现象的多种归类方式

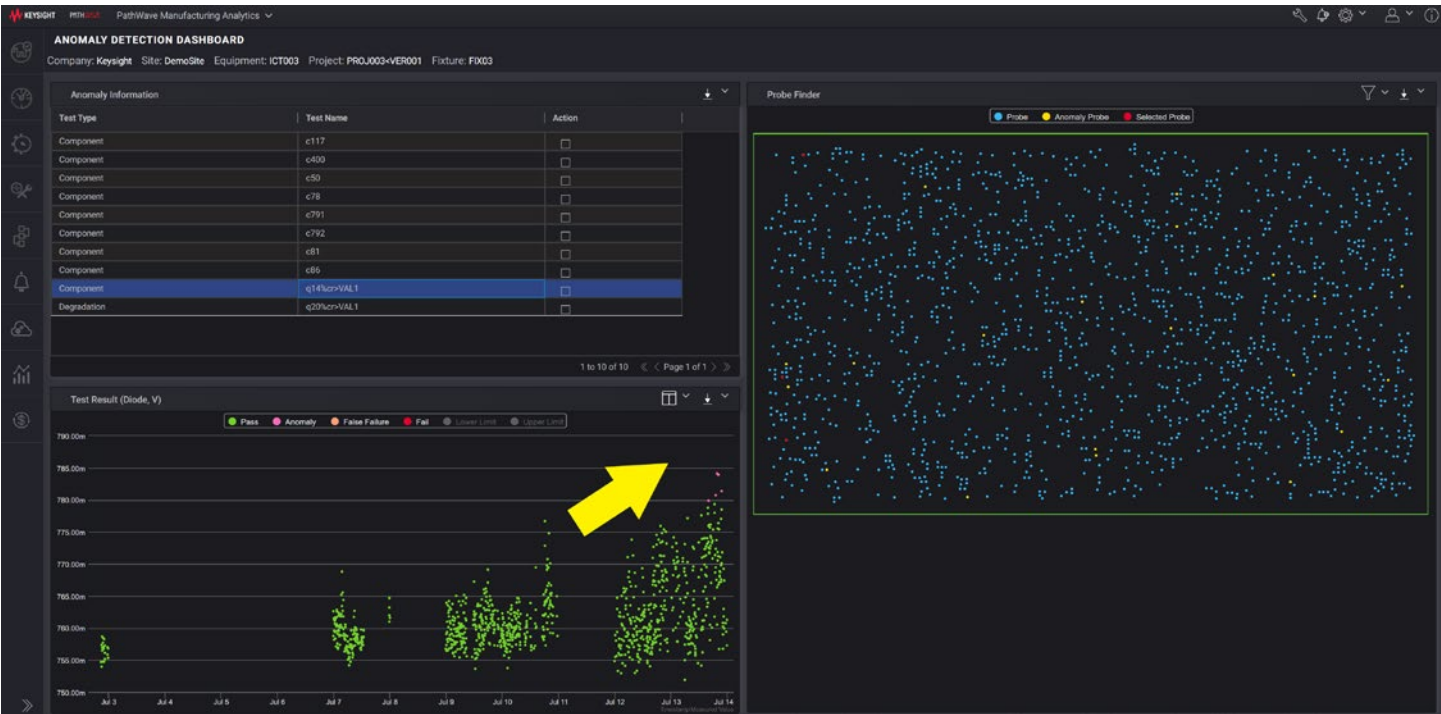


图6:退化异常示例

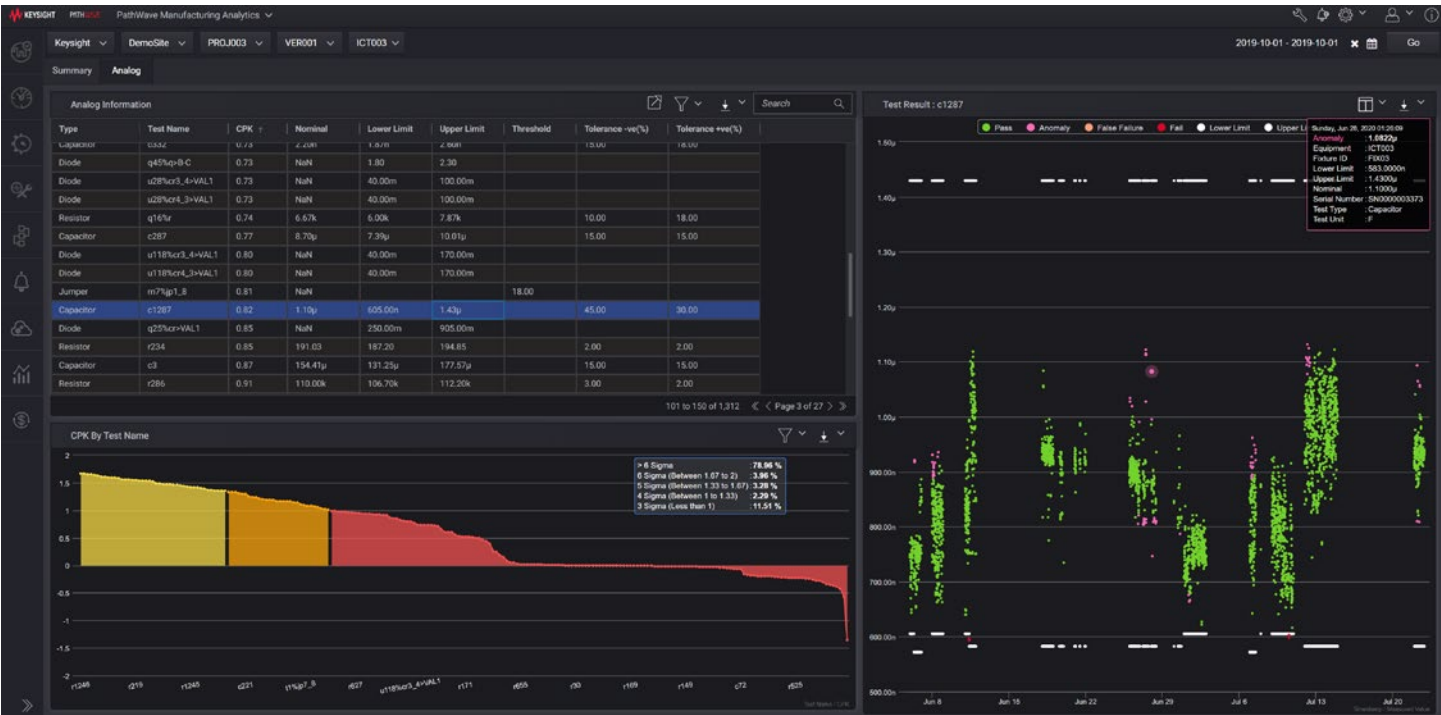


图7:非退化异常示例

(LOF)^[7] 或自动编码器神经网络 (ANN)^[8]。现在我们已经确定了基本的核心预测，也就是异常现象检测，接下来我们就要将这些异常现象与可能的诱因及制造过程问题联系起来

并归类。这是操作员和技师采取恰当措施来避免停机和漏检不良产品的唯一方式。停机会造成巨大的成本损失。如图 5 所示，我们如何按照相同的模式和

特性，将不同类型的异常现象归类。每种模式都表示一种可能的潜在的原因以及对制造工艺产生的影响。例如，若预测到出现了一种退化异常（图 6），客户可能会调查与此异常现象相关的特定测试飞针。在经过全面测试之后，

我们发现退化模式主要是因为制造测试流程中使用的测试飞针磨损导致。

其他与测试飞针磨损无关的异常现象通常不会随时间渐渐退化，而是突然出现退化（图 7）。

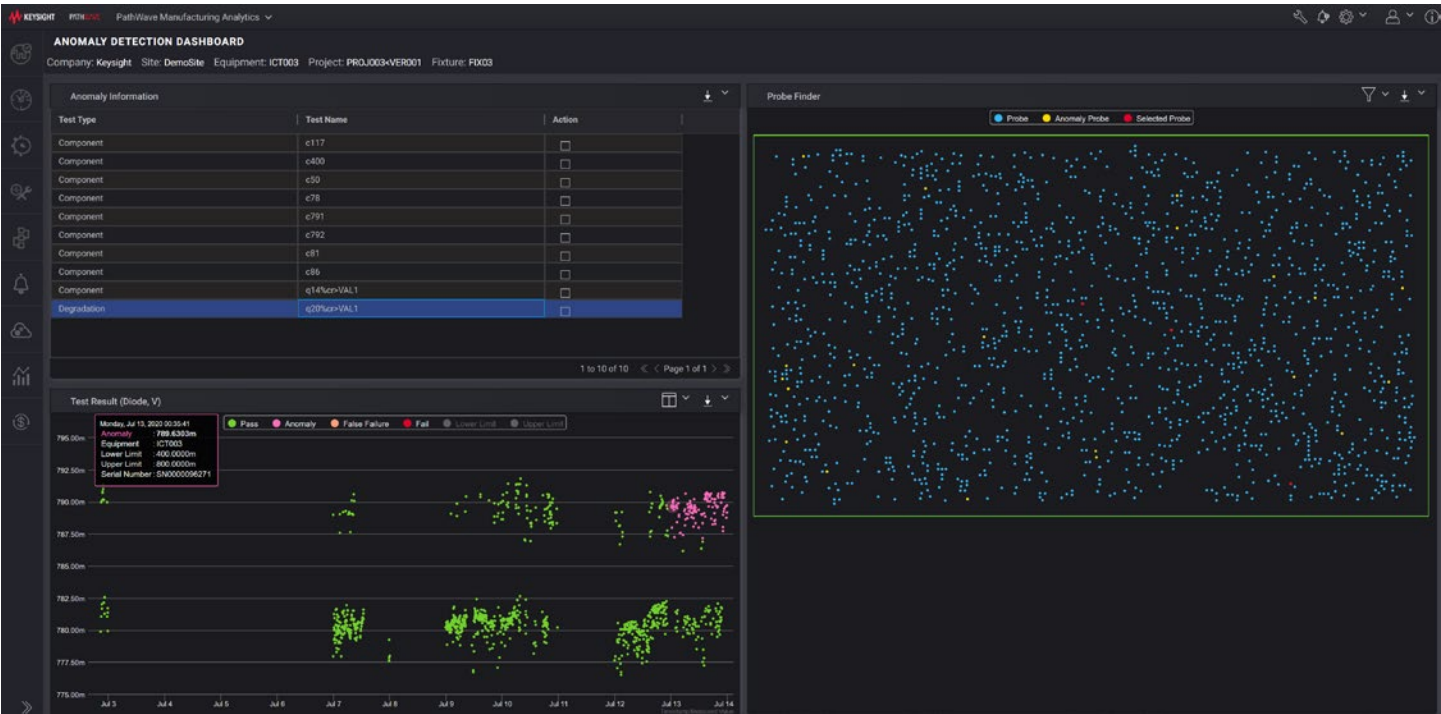


图8:双模式异常示例

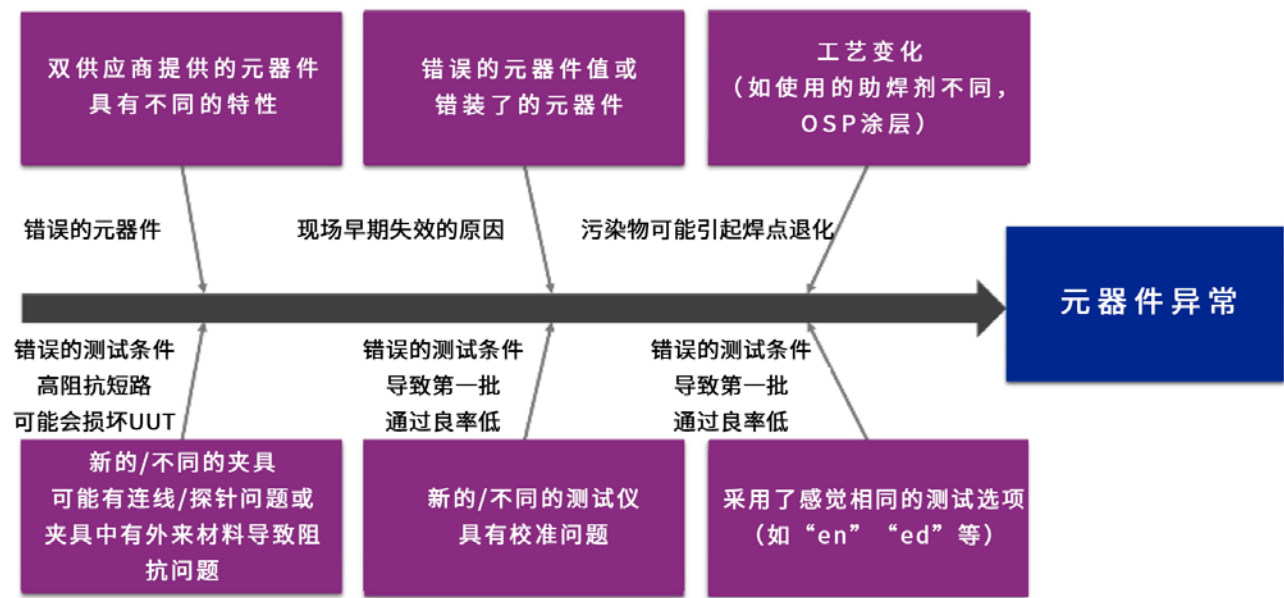


图9:将元件异常现象与潜在的根本原因联系起来

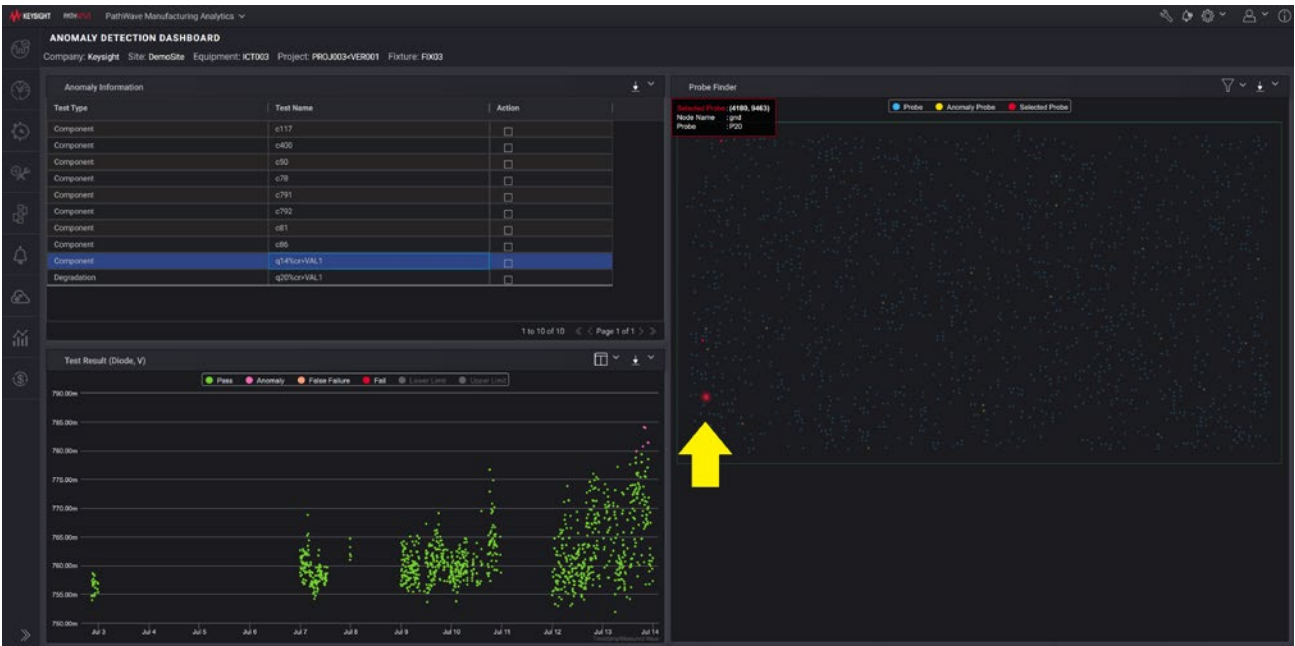


图10:将退化模式异常映射为具体位置的屏幕截图

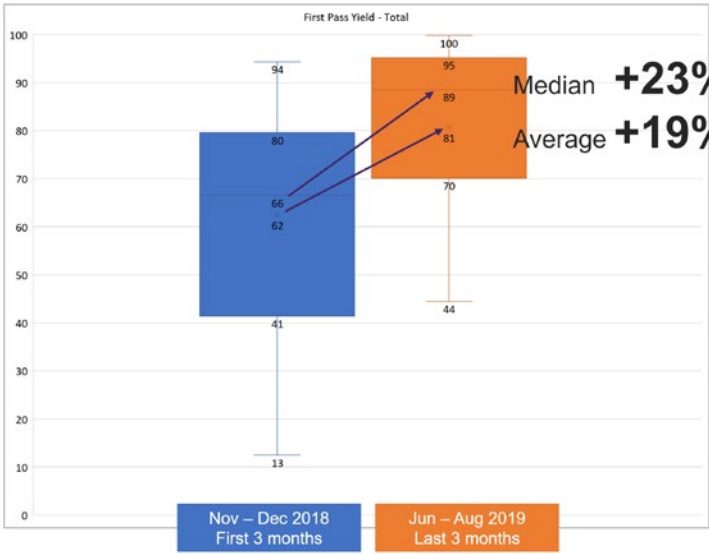


图11:FPY追踪结果

也会有双模态的异常（图 8）。这可能意味着元器件源出现了问题，可能是由两家不同供应商供应的元器件。为了让客户了解引起问题的根本原因，可以验证是否贴装了恰当的元器件，或者在使用元器件之前测量来料样品。

使用这种方式预测出的元器件异常，其成因和影响如图 9 所示。

因为可以实时检测到这些异常，并且直接

将警报发送给生产团队，所以他们可以迅速采取措施解决那些之后环节才能预测或检测到的质量问题。图 10 所示是将退化异常映射为需要立刻采取措施的实际测试飞针的位置示意图。

计算 ROI

为了向工厂提供切实的 ROI 和节约成本

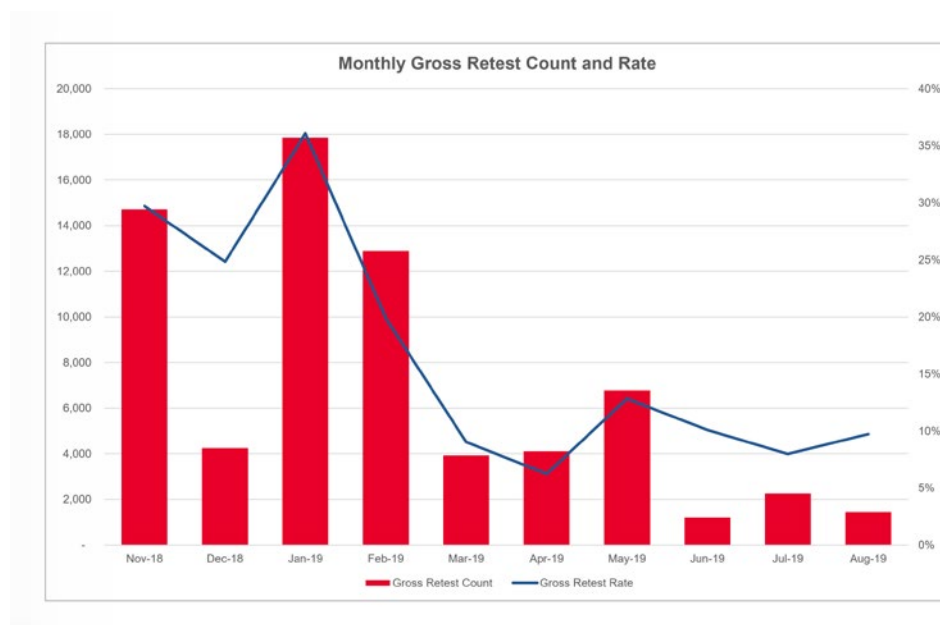


图12:追踪重测总数

总额，我们决定开展为期 12 个月的计算和指标追踪。首要指标就是直通率（FPY），即第一次就通过测试的电路板数量占到首次测试电路板总量的比率。这项指标之所以重要是因为能够显示出制造测试的稳健度。FPY 越高，就意味着产出量越高，也就能最大程度地利用机器。它还意味着电路板的处理操作可以减少，因为重新测试会造成电路板损坏或出现退化，从而造成产品在现场使用时的预期寿命缩短。

FPY 均值和中位数大幅增加，分别为 19% 和 23% (图 11)。图中结果是引入异常现象检测技术前三个月和引入之后结果的对比。也就是说，一般是每个月加工 40000 块线路板，现在纯产出就增加了 8000 块，工厂实现了更高的产能。

除了 FPY 的纯产出收益，另一项增加生产力的重要指标就是重新测试总数，即任何一块电路板接受重新测试的总数。

每次重新测试时，操作员一定要花几分钟手动完成任务。在重新测试时，有一部分（通

常在 10%~30% 之间）测试需要工程师进一步核查，也就意味着再花 5 分钟~10 分钟人力完成。每家工厂在这种操作上都会损失成本。因此，能够切实计算出每月因避免重新测试而节省出的成本总量。图 12 所示是每月实际重新测试的总数。很明显，自应用异常现象检测的 ML 技术之后，减少每月重新测试总数的成本高达 19%。也就是说，每月多出了 300 小时的生产力。

总结

将异常现象检测这样的高阶分析技术和实时数据采集分析这样的大数据基础架构相结合，再加上管理层明确的愿景和数字化转型策略，会给大多数高价值工厂带来极大的收益。这些方法涉及到复杂的测量方式，其中大多数测量结果都可界定产品的质量 and 数量。若想取得盈利，关键在于成功将预测出的结果与潜在根本原因联系起来，以便生产团队在问题升级之前果断采取措施。PCB007CN

参考内容

1. S.J. Russel & P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, December 1994.

2. M. Walker, “Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018,” Gartner Research, August 6, 2018.

3. Scikit Learn, “Metrics: F1 Score.”

4. Scikit Learn, “Metrics: Matthews Correlation Coefficient (MCC).”

5. Scikit Learn, “Metrics: Average Precision Score.”

6. Scikit Learn, “Metrics: Recall Score.”

7. Scikit Learn, “Metrics: Outlier Detection With Local Outlier Factor (LOF).”

8. DeepLearning4J, “Basic Autoencoder: Anomaly Detection Using Reconstruction Error.”



Derek Ong 现任 Keysight Technologies 公司生产技术与软件解决方案规划经理，拥有电气工程本科学历。

下一代挠性电路的特征:透明

世界最大的化工公司之一——杜邦公司于 20 世纪 60 年代开发出了超级工程塑料薄膜，不久之后推出了 Kapton——可在很宽的温度范围内保持稳定的聚酰亚胺薄膜。

杜邦公司还开发了挠性电路的基本结构，作为 Kapton 薄膜的主要应用。如今，挠性电路市场每年收入 200 亿美元。它是智能手机和智能手表的主要布线材料。如果打开移动设备的后盖，你会发现薄膜是橙色的。行业术语为“Kapton 色”。对供应商和合同制造商来说，Kapton 的颜色和低透明度从来

都不是问题，所以电路设计师不会针对耐热薄膜提出任何特殊颜色要求。是苹果公司不喜欢 Kapton 的颜色，要求挠性电路制造商将聚酰亚胺薄膜漆成黑色。

电路设计师也从未质疑 Kapton 的颜色（对聚酰亚胺薄膜制造商来说，很幸运）。显示设备或光伏电池中的一些挠性电路需要透明薄膜，因此使用聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）薄膜替代了聚酰亚胺薄



图为透明挠性电路示例。通过焊接安装几个LED

膜。开发了非耐热材料的低温包装工艺。

更多详细的内容，请[点击阅读原文](#)。

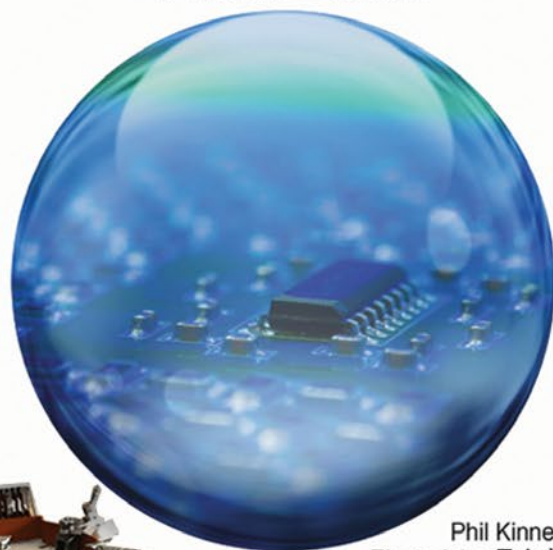
世界可以变得非常严酷

本书将为您呈现如何保护在恶劣环境下运行的组件。

免费下载

印制电路组装商指南™

适用于恶劣
环境的三防漆



Phil Kinner
Electrolube 易力高

100%
Books

本书从电子产品三防材料选择入手，系统论述了三防设计、可靠性、标准、凝露等工程人员关心的问题，并通过案例给出了具体的解决实践方法，是一本很有价值的三防参考书籍。

——中兴总工刘哲



扫码注册免费下载
更多内容请关注公众号
“PCB007中文线上杂志”



专家论应用指导书

by the I-Connect007 Editorial Team

PCB 设计师或设计工程师应该很熟悉应用指导书——芯片制造商和其他供应商本应向设计团队提供用于制造更优电路板的重要信息。但应用指导书真的发挥了本该发挥的作用吗？

设计部分之间出现了脱节。有些设计师表示他们每次都会遵循应用指导书上给出的建议，但越来越多的设计师对应用指导书抱有更加谨慎的态度。设计领域很多有代表性的人物都一直建议设计师不要在没有验证数据的前提下就依赖应用指导书。我们决定邀请 PCB 设计培训导师 Rick Hartley 和 Dan Beeker 帮助我们深入分析这一问题。

Andy Shaughnessy：几年前，Rick 在授课时，班上突然有人站起来对他说，“我们需要按照应用指导书进行设计。”Rick，你当时听到这句

话时，心脏病都快要犯了。

Rick Hartley：每次开课时，我都首先会用 Lee Ritchey 在 28 年前说过的一句话作为开场白——IC 制造商提供的应用指导书，在经过验证证明正确无误之前，都应该被假设是错误的。有些人质疑他，“应用指导书并不全都是错误的。”Lee 回答道，“我不是这个意思。我只是想告诉你们，应用指导书中有很多内容都是有误的，足以让你们不能认为其内容都是正确的；你应该反过来想这件事，如果你觉得应用指导书里的内容都是正确的，需要去证明。”

当 Lee 说这段话的时候，我笑出了声，于是他问我，“你不认可我的说法？”我告诉他：“不是的，我这样想已经有一段时间了，所以我很高兴听到另一个人跟我有同样的观点。”然后

将PCB设计转化为 PCB产品的工具集合



可视

用制造数据生成
最终成品的3D仿真



校验

确保生产PCB用
的制造数据准确



分板

通过最大化面板使用率
使PCB制造与组装的
成本降到最低



文档

快速简单地定义PCB的
尺寸、安装和功能信息



CAM350®

校验与优化您的PCB设计
确保成品制造万无一失



Blueprint-PCB®

生成制版、组装、检测
所需的一系列详细文档



800-535-3226 | downstreamtech.com

©2009 DownStream Technologies, Inc. All rights reserved.



Rick Hartley

我们两个都笑了。Dan Beeker 真正让我理解了其中的奥妙。我总是因为应用指导书而感到焦虑，直到我去上了 Dan 的课，才开始明白为什么我会有这种反应。因为 Dan 在课上曾表示应用指导书并不全都是很好的参考建议，于是课上有人问 Dan 应用指导书到底哪里有问题。他回答道：“应用工程师都了解电路理论。他们都有电路相关的背景知识，也能滔滔不绝地讲原理图，99% 的情况下他们说的都是对的。但他们所不了解的是 PCB 布局。”对此你有什么看法，Dan？

Dan Beeker：没错，这些人有着最好的初衷。但即使他们一直参与电路板布局的工作，也仅是测试板或评估用的电路板。如果想出售这种电路板，需要通过最高的认证等级——商用等级。但一般情况下，应用工程师不会参与到商

用电路板的工作当中。为生产电路板提供建议的方式是由一个团队来负责 CAD 工作。如果有什么不同的话，他们会首先使用其他人过去编写的应用指导书，这个应用指导书要和他们需要的应用说明类似。但这并不是团队的首要职责，可能这是他们排在第二位、第三位甚至是第十位的工作职责，一点都不重要。但如果他们没有写出应用指导书，则有可能受到投诉，所以他们会选择一个现有的应用指导书。他们会复制和编辑已有的应用指导书，使应用指导书符合自己目前正在着手做的产品或应用，然后再将修改后的应用指导书发给电路板生产商。应用指导书很少会接受同行的详细审核，如果你参加过这类设计审核会议，你就会了解，其实这种审议就是大家都坐在一个会议室，每个人在来此之前都没有看过这份应用指导书，大家聚到一起后一致同意这份应用指导书没什么问题，然后便各自离开了。最后，应用指导书就发布了出去。

即使是我参与过的企业级评审团队，我们也会查找、翻看所有能用到的应用指导书，虽然这些指导书不够好甚至还有点危险，但我们还是列成了清单，递交给公司市场部的同事。他们的答复是，宁愿提供不好的应用指导书，也不能不提供。他们甚至不会从网站上或信息资源中心内删除那种错得离谱的应用指导书。我也曾经编写过一些应用指导书，但我当时丝毫不知道这样的应用指导书会造成什么后果。

Hartley：大约在一年前，我在一家公司做培训，有个人拿着一份应用指导书找到我说，“我听了你在前一天半时间的课程内容，突然意识到这份应用指导书错得离谱。”这份说明中写着建议在开关模式电源的反馈走线中将接地与

其他接地隔离。估计 Dan 现在感到有些难为情，因为这是首要问题。除此之外，应用指导书里给出的示例还将接地信号与返回路径分开了。至少应该将他们放到一起才能包含场。随后他们又将走线、反馈线路采用了不同的接地。我总是能看到这样的操作。

Beeker：而且你会在数据表上看到有一个模拟接地和一个数字接地，尤其是在稳压器上。当我和 IC 设计师交流这件事的时候，他们承认这样安排是为了做测试，而且他们也没想到人们会注意到这个。即使是在他们自己的设计当中，也会有控制信号从数字端传到模拟端，在 PCB 中数字端接地和模拟端接地是连接起来的。否则，即使是在开关电源的控制中，控制信号也会找到神奇的隔离点，而隔离点连接的方式是人们各自喜爱的星形连接法、电感或是铁氧体。然后控制信号再回到芯片上。

Hartley：我们都知道应用指导书中存在几百万种接地问题，但大多数都是有误的。除去接地方面的问题，你们还看到过其他哪些常见错误？

Beeker：他们有时会过度热衷于电源的隔离。他们喜欢使用电感和铁氧体，所以就把这两者写进了应用指导书；应用指导书本来针对的是产品，但内容却全都与电路板有关，而评估测试则是针对硅。他们不必须用特殊的钩子将每个引脚做隔离处理，然后才能做后续其他操作，但他们会忘记哪些是用来做测试，哪些会真正应用于产品。他们把所有部件都列出来，不仅增加了物料清单成本、让本不必如此复杂的设计变得更加复杂，还要使用额外的层对，



Dan Beeker

并且这些层对还经常不运行。

Hartley：而且也增加了成本，增加了额外的元器件。

Beeker：所有这一切导致更难完成任务。另一个问题就是很武断地坚持长度要匹配。我见过很多这种情况，简直要把我逼疯了。比如他们会随意挑选一个数值，而且他们都知道这个数值也是存储器供应商任意选取的。在我们公司，我们会提供一份应用指导书，告诉你们如何设计存储器接口。在他们提供给存储器厂家的数据表当中，他们会按照自己最喜欢使用的那一份指导书一字不漏地复制过来使用，丝毫不考虑真正的需求，因为他们使用的是状态机，而你要尽力满足的是时序要求。这属于对

过程缺乏了解。

Barry Matties：你怎么知道何时应该遵循应用指导书，何时不应该遵循？每个应用指导书都需要你这样做尽职尽责调查吗？

Hartley：不是的，身为工程师，你必须要掌握足够的知识，知道哪些应用指导书是好的、哪些是不好的。我在 2003 年去那家公司的时候，问题最严重的应用指导书就是过分强调存储器线路长度要匹配。当时我已经有将近 45 年的从业经验，很快就发现了问题出在哪里。

Matties：没有足够经验知识的年轻工程师不断进入这个行业，想在电路布局领域谋求职业发展，他们应该怎样做？

Hartley：这是最有挑战的工作。我不得不说，最后要承受后果的就是新入行的工程师。如果没人告诉他们那些凌乱的布局建议是无效的，他们就不得不付出惨痛的代价才能明白这一点。这是最基本的问题。新入行的工程师要不断试错才能知道哪些方法行得通、哪些方法行不通。Dan 刚刚说要从查看相关资料和参加相关研讨会议开始慢慢积累知识经验。

Beeker：学校不会教授这些知识，而且他们也不愿意改变现有的教学内容。我刚开始学习这些知识的时候，感到很困惑。我不仅会上 Rick 的课，还会抱有同样的热情去上其他人的课，可他们讲的内容与 Rick 在课上讲的内容并不一致。为了辨别这些内容的真假，我花了很长一段时间。近期来看，他们需要上网课才能从真正了解这一问题的专业人士中学到相

关知识，而真正了解这一问题的人，目前只有我、Rick 和 Lee。

你必须要找出不合理的部分，就像 Rick 说的，你可以依赖那些已经被证实正确无误的应用指导书。至少这些应用指导书是可行的起点，但问题出在开始布局的时候。基本的问题是，“应用指导书中是否讲清楚了设计传输线时，回路使用的相同铜也会产生能量？”这时你就会回答，“我再也不听从他们的布局建议了，因为丝毫没有科学依据。”

你必须要找出不合理的部分，就像 Rick 说的，你可以依赖那些已经被证实正确无误的应用指导书。

Matties：当你以为自己很了解一件事的时候，其实还有很多需要学习的地方。

Beeker：最大的问题在于工程师的“消费者”——也就是雇用这些工程师的公司——并没有提出任何申诉；他们不会找到各个大学对他们说，“我们需要你们改变课程结构，让学生在毕业入行时具备不一样的技能。”更糟糕的是，他们不愿意把工程师送去接受培训，可他们却愿意多花钱对一块电路板反复设计 3 次至 5 次，然后祈祷电路板能够正常运行。

Matties：提到投诉，有时公司甚至都不知道要投诉，因为他们可能没有反复设计电路板。可能他们花 150 美元买了一块电路板，使用

恰当的方法让电路板正常运行了，但其实这块板只值 30 美元。

Beeker：这还是要运气足够好时才能遇到电路板正常运行的情况。电路板几乎每次都无法通过测试，然后他们又不得不快速完成新电路板的设计，试图找到足够的部件——部件可能非常稀少，因为他们正在开发早期产品——一边祈求能给他们更多的测试时间，一边又不确定电路板能否通过测试。我们在汽车领域的客户承认这样做会使成本翻 3 倍至 4 倍，而且他们既没有充足的成本预算也没有足够的时间预算，可他们还是不会把工程师送去接受培训。他们希望我能免费培训这些工程师。

Shaughnessy：最近针对成本节约设计有一项调查，你说的和我们听到的非常相似。在接受调查的设计师当中，很多资深设计师都表示他们在要进行到组装步骤时才会担心成本，那时才开始想使用价格最低的元器件，用这种方式节省成本。很多受访者都表示成本是制造端需要考虑的事情，设计端不需要考虑。

Beeker：如果可以的话，我的所有客户会用铅笔在纸上绘出设计草图。另一个难题在于年轻工程师。虽然他们在场和线路理论课上注意到了这两者之间的关联，但在他们进入公司以后，面对的都是我们这样的老家伙，我们这些人一辈子都在电路领域摸爬滚打了多年，他们没有足够的勇气和能力与我们抗衡；所以不得不委曲求全，遵从这些一文不值的设计指南，但这些指南最终会导致他们的设计无法通过测试。他们一开始认为不应该遵守这些设计指南的信心就会进一步遭到打击。

我一开始了解这些信息的时候，也对自己的实践经验并不自信。即使 Ralph Morrison 一遍遍地对我讲，“最重要的就是板上空间。”如果我回去跟团队成员讲出我的想法，他们会因此跟我争论，然后开始讨论回路电流，而不是继续讨论传输线，我是赢不了的。在和 Rick 与 Ralph 一起工作 15 年后，我变成了力争到底的人，誓死也要捍卫科学的正确性。

Shaughnessy：有没有人问过这些 IC 公司，“为什么你们不赶快行动起来，让设计师着手这方面的工作？”他们肯定了解行业内有很多人认为他们的应用指导书存在问题。但为什么还坚持发布这些不好的信息？

Beeker：他们关注的是电路，应用指导书和电路没有关系，而是和高速模拟器有关。他们的 IP 人员遵循的规则是以 20 年前的产品为基础的，但这些规则沿用至今，一成不变。即使采用模拟工具也无济于事，因为模拟器只会让你看到你想看到的结果。它只考虑三个主要因素：RLC。

Hartley：我们虽然没有明确提到最基本的因素，但话里话外都谈到了这件事——对于电路的运行方式，现在主要有两个流派：一方是电路理论派，一方是场论派。我在学校学习的是电路理论，Dan 也是，每位电气工程师都是。但我也学习了场论，我当时找到另一位教授问，“我不明白场论。”他告诉我，“不要担心，学一学应付考试就行了，真正需要学明白的是电路理论。”他简直是给出了最糟糕的建议，因为事实是电路理论是纸上谈兵，而场论才是现实世界中切实可行的。场论才是事物运转背后

的物理原理，但几乎所有工程师学习的都是电路理论。他们学习电压和电流，却不是很了解场论。

Matties：其实还有很多人参与了发布应用指导书的过程。除了 OEM 或设计领域内的供应商以外，还有其他群体对应用指导书提反馈意见吗？

Beeker：有一些，但不多。因为大多数像我和 Rick 这样的人已经非常反感应用指导书，所以我们选择忽视它。就像 Rick 所说，“干脆用这些文件生火好了。”他们不够了解这些指导书，更不要说提出反馈意见了。

Nolan Johnson：市面上有些公司正在出售部件和库服务，他们试图根据应用指导书来建立模型，对于这样的公司，你怎么看待？

Beeker：大多数情况下，这些服务都不被人们重视，他们无足轻重。我反复跟我的客户强调，如果他们不能参加行业研讨会并且聘请会议演讲人来给他们的员工培训，那么重新设计产品的成本一定会高于培训成本，因为员工接受培训之后，原本需要反复设计 3、4 次甚至 5 次的电路板，最多只需要 1 次到 2 次即可。如果这都不算很好的投资回报，那你根本就没有认真对待这个问题。

Happy Holden：工程师去哪里找到真实的层压板数据，从而运用到产品中？IPC 数据表中给出的 10 兆赫值并不足以满足边际值，并且也没有提到温度和湿度对层压板的影响。

Hartley：的确是这样。我们都知道要去材料数据表中查询介电常数 (ϵ_r)，你会得到一个数据。但他们应该给我们的的是一个图表，上面显示出材料随温度、湿度、频率变化而发生的改变，并且还应该显示出材料的所有特性，例如导电性等。

Beeker：1 纳秒的上升沿是千兆赫兹，所以现有数据表中的 10 兆赫兹相差太远了。切记，现在常见的信号频率是 60 皮秒，而 DDR 的频率是 12.6 千兆赫。

Holden：我只在最初推出 HDI 的初期接触过应用指导书。当时负责给 IC 公司应用指导书设计基准板的工作人员打电话向我咨询 HDI 设计准则。我问了他们为什么要使用 HDI，以及使用哪种材料，他们说他们根据一种特定材料设计了这款电路板，并且打算使用盲孔，因为盲孔的电感较低。我又问道，“用的是哪种芯片？”他们给我看了芯片，我告诉他们，“这种芯片最好采用 FR-4 材料和通孔。你们为什么要使用这些昂贵的材料？”他们回答道，“使用这些材料和结构，我们应用指导书中的图表就会好看一些。”我回答道，“没错，但低电感的盲孔不应该这样使用。这种芯片应该采用有通孔的 FR-4。他们看不到你在应用指导书上呈现出的这些曲线。”这种情况很常见吗？这就像麦当劳和汉堡王广告上鲜嫩多汁的大汉堡，但实际上汉堡既没那么大，也没那么多汁。

Beeker：我们也面临着同样的情况。我也和负责编写应用指导书的工作人员发生过不愉快，在实际操作中，他们指定使用的材料根本没必要。而且这样做会让他们失去很多生意，

如果他们的客户看到系统成本后，发现这种材料比之前的贵了 5~10 倍，那么他们就会使用其他器件。有时候，他们都不知道失去生意是自己造成的。这就是应用指导书的遗憾之处，这种信息本来是很宝贵，但没人足够重视应用指导书。

Holden：我不认为这些人会推荐使用应用指导书，他们只是用应用指导书中规定的数据获取更好的器件寄生效应响应。

Beeker：他们可能在电路板中使用了应用指导书中规定的材料，但如果没有，就说明他们存在欺骗行为。重要的是，如果你想显示出集成电路的真实性能（这一点非常重要），那么你就必须这样做。你必须假设一切都是完美的，然后观察引脚发生了什么。如果你无法达到这种完美程度，那就只能得到降低的性能，虽然有可能实现某种性能，但可能不是一种可行的解决方案。

Matties：Rick，我还在回味你刚刚所讲的，电路板设计师遵循了应用指导书上的建议，并且以为自己是在优化成本，但其实是徒增成本。对于那些并不具备足够常识经验的设计师而言，有没有同行审核过程可以帮到他们？

Hartley：有的，公司中每位工程师都会评审设计，但没有一个人意识到会出现问题。

Matties：可能他们需要找到一家独立的设计机构或设计服务公司来评审他们的设计。

Beeker：可他们并不愿意把设计拿到公司以

外的地方去评审，他们对自己的设计感到很骄傲。经常有客户找我解决 EMC 问题。他们只对电路板大约 2 平方英寸大的位置拍个照给我，然后问我“这是出了什么问题？”他们觉得电路板设计是机密，所以不想分享给我，可这并不是什么机密，他们这样做徒劳无益。他们也不愿意聘用外部专业人士做深入分析。财力根本就没有用在恰当的地方，他们宁愿花钱反复做 14 次错误的设计，也不愿意第 1 次就做对，并且节省 100 万美元的成本。

财力根本就没有用在恰当的地方，他们宁愿花钱反复做 14 次错误的设计，也不愿意第 1 次就做对，并且节省 100 万美元的成本。

Johnson：为了正确投入精力和成本，是否有半导体公司能胜任这份工作或者说一直以来都表现不错？应用指导书有没有好的一面？

Beeker：我只做过自己的设计，与存储器供应商有过超级保守的设计合作，采用过 SMPS 应用指导书。电路设计是没问题的，原理图本身也非常可靠。但如果想让应用变得更好，你还是需要了解一些其他因素，而且应用指导书最基本的要求是保证功能正常。

Matties：你提供了一个很好的例子，如果应用指导书足够好，并且没有指定材料或者不需要采用最佳材料，供应商可能会售出更多部

件。

Beeker：工程师并不想承认错误。纵观我的整个职业生涯，最令我感到羞愧的时刻就是我在 Rick 信号完整性课程上的前五分钟，在那短短的五分钟里我意识到了我之前设计过的所有产品之所以能运行无误完全是出于巧合，而不是按照我原本的目的实现的。我当时心想，“希望我的老板不会发现这一点。”

“经手的项目中是否经常要重新设计电路板才能通过 EMC？你们愿意想出对应的解决方案吗？”

Matties：我们要如何让高层管理人员意识到，不正确的应用指导书会产生重要影响，他们需要改变自己的做法呢？

Beeker：需要问他们一个问题：“经手的项目中是否经常要重新设计电路板才能通过 EMC？你们愿意想出对应的解决方案吗？”他们必须要考虑数据。有些公司因为负担不起反复设计，而不再开发新产品；另一些公司因为错失了市场机遇，在尝试通过 EMC 时超出了原先的工程预算而不得不宣告倒闭，但人们还是无动于衷，使用同样的规则盲目地反复设计第 1 次设计未成功的电路板，还指望这样能够通过测试。从长远来看，实际生产过程中，产品的可靠性降低了；纵观整个行业，这就意味着要

损失几亿甚至是几十亿美元。

Matties：对于现场出现的产品失效，实际上属于设计成本的损失。

Beeker：但最终能帮他们通过 EMC 的方法就是结合使用修修补补的方式和运气，而很多时候，一些指南就是按照这种方式编写出来的。“这种方式可以应用到这款产品上，我们再试一次，再次取得成功，因为这种方式只适用于这种特定的不良结构。”没有人愿意再用第二块电路板重新来过，即使第一次做的时候很明显是行不通的，他们也不愿意重新来过。我在给客户进行 EMC 分析的时候，大多数情况下都只需要查看电路板叠层结构就明白问题出在了哪里。除非他们能解决这个问题，否则我也无计可施。

Hartley：的确是这样。

Beeker：有时候我只需要五分钟就能分析完。然后就要开始思考，“他们的产品很糟糕，我既要如实相告，又不能让他们恨我，要如何措辞呢？”

Matties：但这样也会导致错失机遇，因为你的设计师现在要忙着重新设计，而这些事是本该在第 1 次设计时候就做对的，所以没办法抓住新机遇。

Beeker：没错，他们本应该着手做新项目的。这绝对是个关键问题。所以我才会说可能造成了几十亿美元的收益损失。这属于一种连锁反应。

Shaughnessy：直到 20 世纪 90 年代，IC 速度越来越快，应用指导书才变得重要起来，是这样的吗？可能产品设计是有问题的，但并不影响产品正常运行。

Beeker：曾经有一段时间，一切设计都是有问题的。

Hartley：在上世纪 90 年代前，所有电路都是集总电路。应用工程师给出的唯一建议是与原理图有关。如果他们没犯错误，那就皆大欢喜。之后发展为分布电路。一旦速度快到无法使用集总走线，他们突然间感到迷茫——为什么之前的方式在这种情况下行不通了？于是开始测试，试图找出原因。但他们大多数答案都是错误的。

Beeker：刚开始在器件上添加多种功能时，从微处理器到微控制器，他们开始添加时钟输出和 A/D 转换器。他们开始找 A/D 转换器的准确性问题或位计数问题，所以会一直依赖 IP 人员设计 A/D 转换器。于是变得疑神疑鬼，不知道系统想变成什么样，但没有人去寻找根本原因：电路板设计本身就非常糟糕。他们发现如果在 A/D 转换器旁边放一个接地引脚，效果会更好。这些设计指南和器件的引脚就好比修修补补用的创可贴，之所以能成为设计理念是因为直到最近才有人找到根本原因，也就

是电路板上能量分布较差或者说没有好好设计空间布局。

你会发现，本应该所有元件都接地，但只有一个接地。然后你要设计电路板，让能量从电源流向 IC，也就是多端口功率分布系统。他们打开或关闭传输线。打开传输线的时候，他们需要来自电源的能量流经开关网并在关闭之前流向新的传输线，然后能量流动就停止了。但这属于管道系统。

Hartley：我很喜欢 Lee Hill 多年前说过的一句话，“我在检查有问题的电路时，如果我看到接地线多于一条，我就知道要花钱解决这个问题了。”

Beeker：看一看能量在电路板上的流动。最终会到达目的地，但走线的路径不是最短，在板上绕来绕去才到达目的地。

Shaughnessy：这次采访非常顺利。谢谢你们抽出时间接受采访，并分享你们的观点。

Beeker：你们找对了采访对象。

Hartley：非常感谢。

Matties：二位要注意身体。保重！PCB007CN



PDN 电源网络

真的需要铁氧体磁珠吗？

by Istvan Novak
Samtec

做电源分配设计的人都知道该设计并不容易，我认为电源分配设计比信号完整性更具挑战性。并不是轻视高端信号完整性设计的技术挑战，我的观点是，今天的信号完整性已经是一个相当成熟的学科，在目前的信号完整性设计中，系统设计师、电路设计师和 PCB 设计师都可以依赖一些标准，可以得到其他形式的帮助和支持。

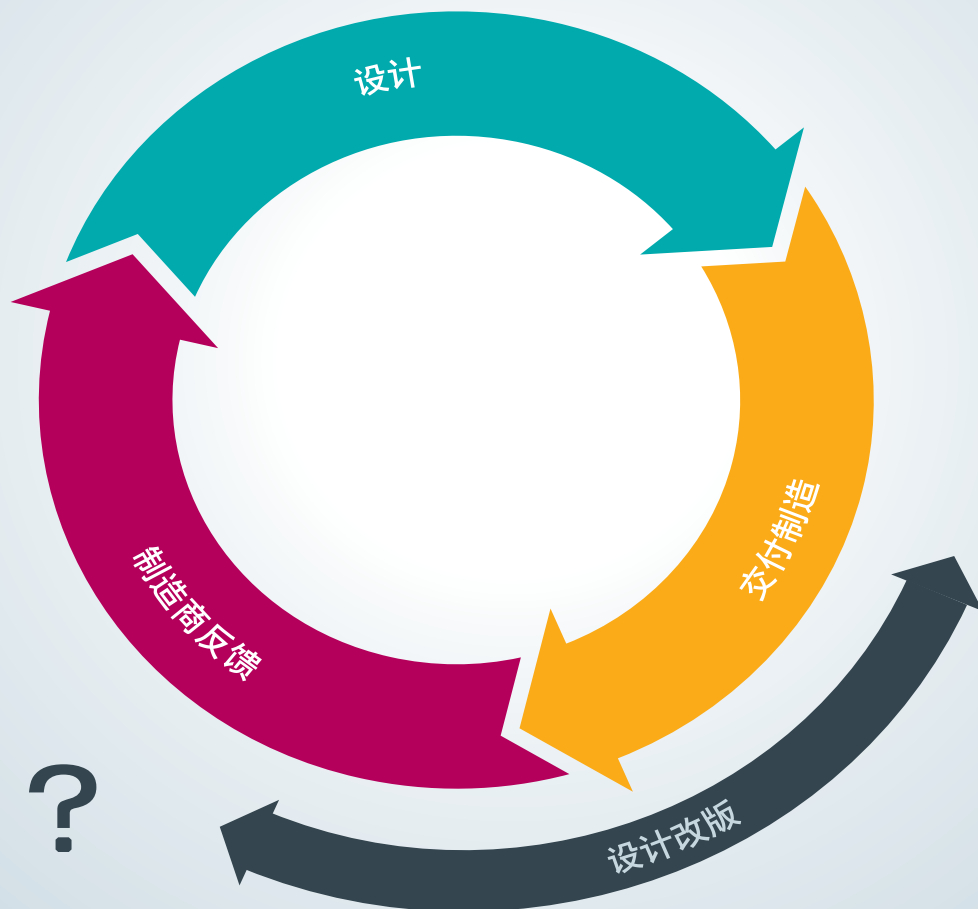
而电源分配设计作为一门学科尚不成熟，业界还没有找到帮助设计师和用户的最佳方法。有多方面的原因，在信号完整性发展几十年后，电源完整性才开始逐渐发展成为一门公认的学科。

现在，让我们继续观察，很多时候，用户必须依赖于芯片供应商的应用指导书来设计有源器件的电源分配网络（power distribution network，简称 PDN）。在数量广泛的应用指导书领域，我将集中讨论一个甚至连专家都有很大分歧的问题：在 PDN 中使用铁氧体磁珠是正常的、必要的还是有害的？

目前有两个意见截然不同的阵营：第一阵营的人会断然谴责在 PDN 中使用铁氧体磁珠，而第二阵营的人则坚持认为他们提出的 PDN 需要铁氧体磁珠。

我从通用观察开始。我承认这可能有点泛化，但不管怎样，要从此处开始。在我看来，建议使用铁氧体磁珠的人往往是在为自己所属公司的芯片写应用指导书，而强烈反对的人则是试图帮





陷入困境？

一版成功 vs. 多次改版

Valor NPI优化您的设计，助您一版成功

通过将制造知识转移到设计过程中，让同步DFM成为可能，简化从设计到制造的整个产品发布流程。



助这些芯片的用户提出一个安全的设计。

正如生活中经常发生的那样，真相往往介于两者之间，这就形成了第三个阵营，主要是实践系统和电路设计师，他们可能会在对立的意见、建议之间分崩离析。更糟糕的是，在快节奏项目中工作的设计师往往缺乏时间、资源和信息来提出自己的观点。

在我们开始用图说明之前，我们需要确定一些命名。多年来，随着电气系统复杂性的不断增加，人们对同一事物使用了不同的名称。例如，几十年前，任何类型的开关调节器，无论是将交流转换为直流，还是将直流转换为交流，都被称为开关式电源。后来，将直流转换为直流的调节器被称为 DC-DC 转换器，近年来，我们开始将这些电路和器件称为电压调节器模块（VRM）。

就本专栏文章，为了区分我们如何将电源噪声控制在限制范围内的两种基本方法，我将把 PDN 中只有并联旁路电容的无源部分称为“并联 PDN”，我将具有有意串联元件（电感器、铁氧体磁珠、电阻或这些元件的组合）用于阻止噪声传播的电路称为“PDN 滤波器”。

注意，在 PCB 上，作为载流路径一部分的平面形状、贴片、走线、导通孔也将具有串联电阻和电感，大多数设计将其视为必须最小化的副作用。另一方面，这些寄生串联元件也可以是围绕它们有意创建的滤波器的一部分

[1]。

这两种不同类型的电路可以组合起来，形成不同的电源分配树。图 1 显示了我们今天可能拥有的较大系统 PDN 的一小部分示意图，说明了这两种无源电路。在此我们假设 PDN 滤波器放置在电压调节器的输出端（例如，为了进一步抑制开关纹波），但是我们也可以在

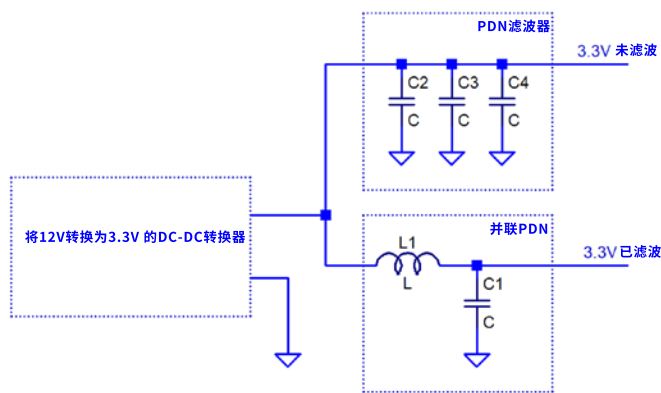


图1：系统PDN的示意图说明了并联PDN和PDN滤波器的定义

有噪声的 DC-DC 转换器的输入端使用 PDN 滤波器来阻止噪声溢出到上游分配网络^[2]。

该示意图经过了高度简化：在并联 PDN 路径中有 3 个电容，但它可以是任意数量的具有相同值和 / 或不同值电容器的混合。同样，PDN 滤波器可以更复杂，在其输出上有由多个电容组成的整个并联 PDN，并且串联路径也可以更复杂，例如，在电感元件周围有串联和并联电阻。

为了说明这种情况，并帮助解释在设计决策时应考虑的因素，可考虑为封装的振荡器电路建议的 PDN 滤波器电路（图 2）。

该滤波器的预期用途是为振荡器电路提供几毫安的电流消耗。如果我们选择使

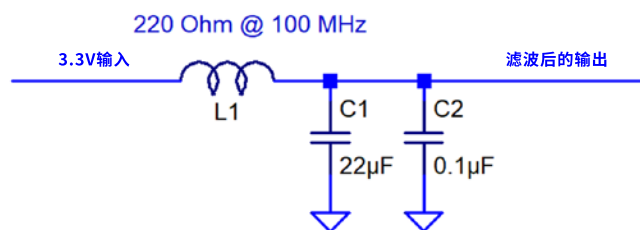


图2：建议带有系列铁氧体磁珠的PDN滤波器示意图

用 Murata 公司的滤波器元件, L1 可以选择 BLM21PG221SN1——0805 尺寸的铁氧体磁珠, C1 可以选择 GRM219R60J226ME47——0805 尺寸、22 μ F 的 X5R 6.3V 电容器, C2 可以选择 GRM155R61H104ME14 0402 尺寸、0.1 μ F 的 X5R 50V 电容器。

这些元器件有详细的仿真模型^[3], 包括与温度及直流偏压的相关性, 因此我们可以使用电路仿真器来预测会发生什么, 或者可以购买元件, 构建滤波器, 对其进行测量。如果有时间, 我们应该两项都做。但在进行模拟或测量之前, 我们需要决定重点关注什么。

对于连接高功率噪声轨和低电流敏感耗电元件的滤波器, 正确的度量是输入输出电压比^[4]。在仿真中, 我们可以通过使用电压源激励和模拟输出电压来实现。在测量中, 由于零内阻抗的源是不可行的, 需要使用一个源和两个输入的仪器来测量复电压比。这些仪器通常被称为频率响应分析仪, 可允许测量滤波器的输

入和输出电压之比。

当建立、测量和模拟这个滤波器的输入输出电压传输函数后, 我们得到图 3 所示的曲线图。

这些图中有两个显著特点。首先, 在左边的图中, 我们看到两条线, 每种直流偏压的情况各一条。蓝线显示输入电压为零时, 没有输入功率时发生的情况, 红线显示在滤波器上施加 3.3 V 直流电时的传输函数。电容器上的直流电压和振荡器消耗的负载电流可能会改变滤波器元件的特性。

一般来说, 我们不必担心蓝线, 因为当没有输入直流电压时, 电路就不工作了。然而, 蓝线和红线之间的区别提醒我们, 除非考虑到直流电压和直流电流的偏压条件, 否则可能会得到错误的答案。例如, 该滤波器处于 200 千赫频率下, 当电路通电时, 只得到 20 dB 的衰减。如果没有直流偏压, 我们会看到 30 dB 的衰减。在 3.3V 直流偏压下的模拟响应如图 3 右所示。

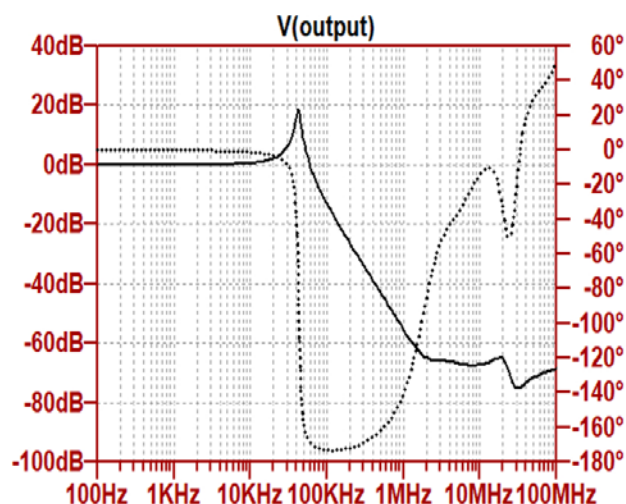
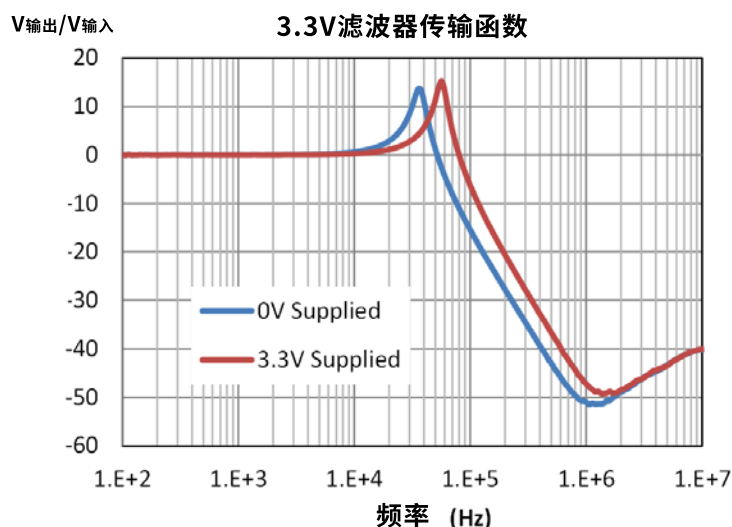


图3:图2中滤波电路的实测(L)和模拟(R)电压传输函数

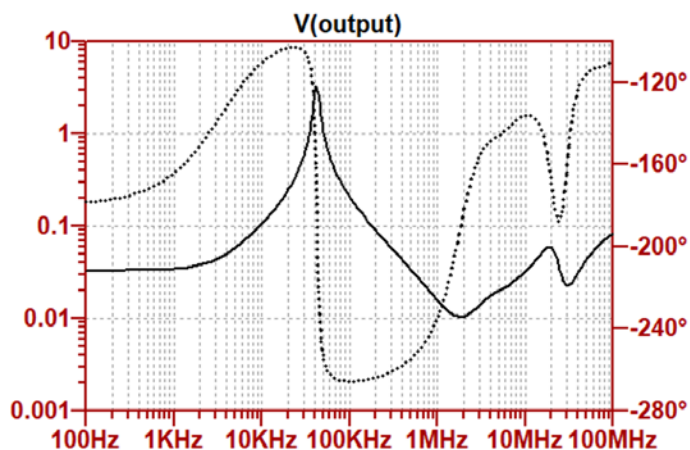


图4:关注其输出的滤波器阻抗

第二个值得注意的特点，同样令人不安，传输函数在 5757 kHz 时达到峰值。峰值是 14 dB，转换为 5 倍的噪声电压放大。这种滤波器没有使噪声电压变小，而是在 5757 kHz 时使其增大 5 倍。我们可能会说，这种滤波器的目的是抑制 DC-DC 转换器的输出纹波，而现在，典型的开关频率在 200 kHz 以上。这是真的，但是转换器的宽带噪声和连接到未滤波轨的负载产生的噪声仍然可以在较低频率（包括 57 kHz）下产生相当大的能量。滤波器的峰值

行为类似于高 Q 带通滤波器，如果我们有一个噪声很大的未滤波轨，可以在示波器上看到滤波器的输出产生正弦波的波纹。

另外，当观察滤波器对负载的阻抗时（图 4），在传输函数有峰值的同一频率下，它有一个显著的峰值。

这种阻抗峰值是否会带来风险并可能产生问题，在很大程度上取决于负载的性质。如果负载在峰值频率范围内是“安静”的，滤波器输出阻抗的峰值不会产生问题。例如，如果负载是同一封装内一个没有数字逻辑的振荡器（比如合成器），这个阻抗峰值不会产生问题。但是传输函数的峰值仍然有可能在振荡器电源引脚上产生噪声，这将在输出上产生高于预期的抖动。

如果认为传输函数和 / 或输出阻抗的峰值是我们想要消除的风险，那么解决方案就是给电路增加足够的阻尼。我们可以用多种方法。可以简单地在输出端增加一个 ESR 较高的大电容，比如电解电容或钽电容，或者可以在 22μF 陶瓷电容上串联一个分立电阻。也可以

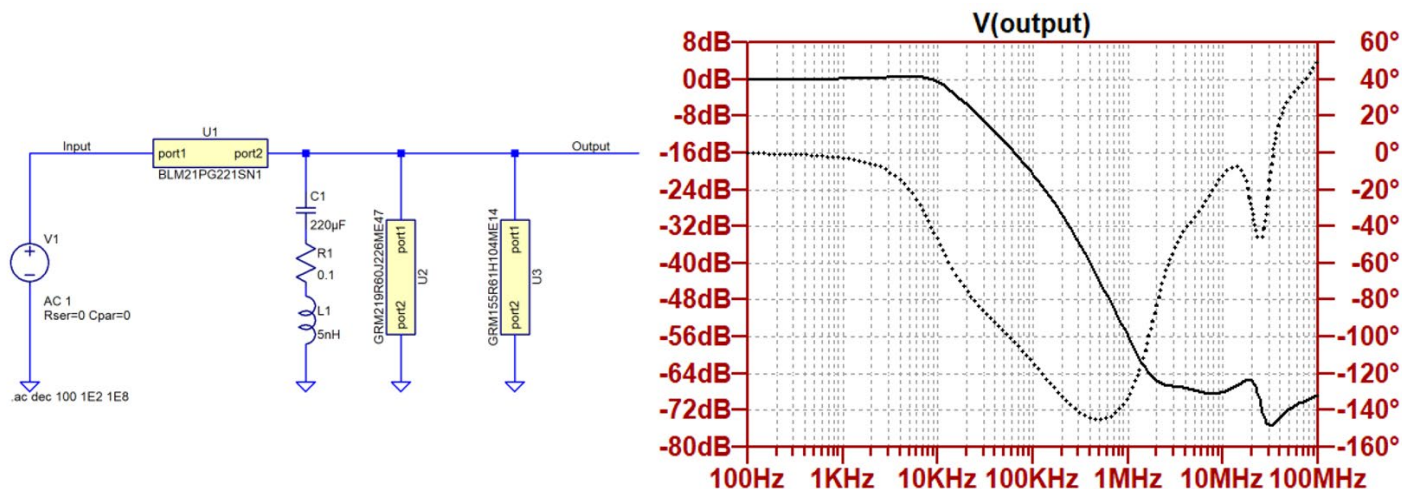


图5:添加有损耗电容的电压传输函数

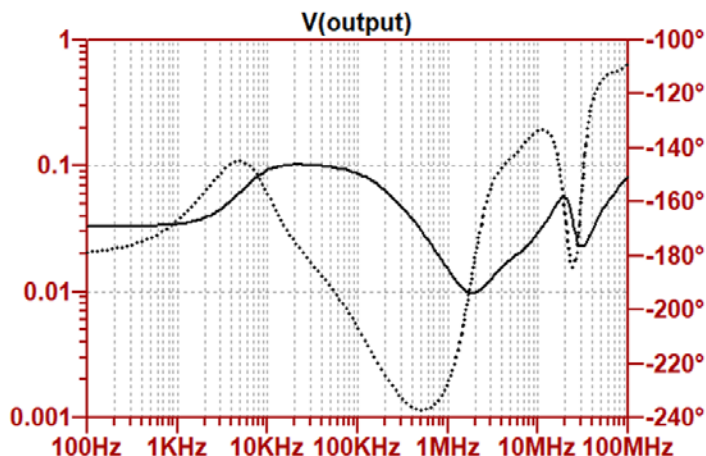
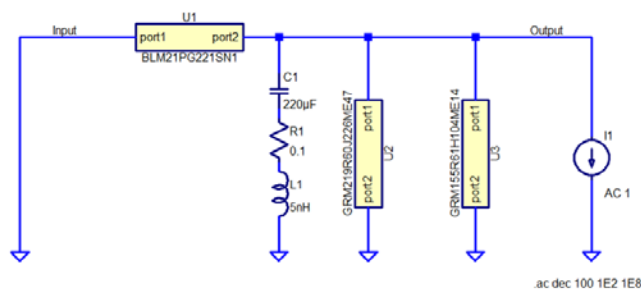


图6:添加有损电容后的输出阻抗

试着在感应元件上加一个并联电阻。最后，对于只需要处理很少直流电流的滤波器，我们可以添加一个串联电阻。

如果想在修改串联路径的情况下完全消除这个特定滤波器中的峰值，需要增加总容量，因此添加一个单独的有耗电容将是一个简便的方法。虽然在 LTSpice 中，电容器的 ESR 和 ESL 可以作为电容器符号的属性添加，但为了清楚起见，这些元素在下图中显示为单独的元器件。图 5 显示了 SPICE deck 和当我们添加一个带有 0.1 欧姆 ESR 的 220uF 钽电容时传输函数的结果。在左侧，LTSPICE 中的示意图有一个连接到输入端的电压源。在平坦的单位电压源情况下，输出直接给出传输函数。右边的图用实线表示传输函数的大小，用虚线表示相位。

图 6 给出了 SPICE deck 和输出阻抗的结果。为了模拟滤波器在输出端显示的阻抗，我们将滤波器输入端短路，并在输出端连接一个 1 安培的交流电流源。电流为 1A 时，电压等于输出阻抗。一般来说，使用 1A 扫频交流电流源是模拟任何线性网络阻抗的简便方法。

一旦看到应用指导书中建议的滤波器的性能，并了解传输函数和输出阻抗峰值产生的潜在风险后，我们就理解了为什么有些人声称 PDN 滤波器中不应使用铁氧体磁珠，也不应遵循应用指导书的建议。我们可以问为什么首先建议使用这些尖峰滤波器。这些电路不是在真正的电路板上测试的吗？很有可能是这样，但我们需要看到这些努力背后的动机和制约因素：为自己的芯片编写应用指导书的人无法知道他们的用户会开发出多少种不同的可能应用。测试是在试验室的评估板上进行的。被测电路中的大部分噪声会立即被排除。如果自生噪声低到可接受，电路将正常工作，尽管在低噪声环境中，我们并不需要这样的滤波器。

我们还可以看到，如果适当地设计滤波器，它应该工作得很好，它提供了这样的隔离效益，如果没有串联电感元件，将很难实现隔离。在这篇短文中，与普通电感器相比，我没有看到使用铁氧体磁珠的其他好处：铁氧体磁珠具有交流串联损耗，且随频率的增加而增加，比使用普通功率电感器导致的损耗更高，有助于进一步阻止高频噪声的传播。如果您对

如何在没有峰值的情况下设计 PDN 过滤器的整个过程感兴趣，可以查看我的演示文稿——《如何设计好的 PDN 过滤器》^[4]。PCB007CN

References

1.Alex Waizman, et al., “Novel Isolation Scheme for Mitigating PDN Coupling,” DesignCon 2018.

2.C. Zhang, “Analysis and Design of Input Filter for DC-DC Circuit,” Texas Instruments Application Report, SNVA801, November 2017.

3.Murata SimSurfing tool.

4.I. Novak, “How to Design Good PDN Filters,” DesignCon 2019.



Istvan Novak 是 Samtec 公司信号和电源完整性工程师，在高速数字、射频和模拟电路及系统设计方面拥有 30 多年的经验。他是 IEEE 的终身研究员，也是两本关于电源完整性专著的作者，以及信号和电源完整性课程的讲师。他还拥有一个专注于 SI 和 PI 技巧的网站。如需阅读往期专栏或联系 Novak，可[单击此处](#)。

MIL-PRF-31032认证的七大步骤

[过去的专栏文章](#)详细介绍了美国军用电子产品的使用在不断增长。展望未来，这一趋势很可能会继续下去，并将因太空探索和太空武力的发展而进一步加速。太空领域必然会采用新技术、新材料和新工艺，而这些新技术、新材料和新工艺则可能会改变整个行业的发展。

非常有必要重新思考军用航空领域未来十年的市场。此外，该市场的其中一部分就是按照 MIL-PRF-

31032 标准生产 PWB。进入这个市场的关键是获得 MIL-PRF-31032 认证。本文将阐释该认证应考虑七大认证步骤、资源和时间表。

这是认证的基本步骤摘要。当阅读这些步

骤时，切记，MIL-PRF-31032 并没有详细说明一个循序渐进的过程。本文列出的步骤是我认为最符合逻辑和最有效的方法。



认证过程可以分为 7 个不同的部分或阶段。每个阶段的时间表为一个时间范围。时间范围取决于对 MIL-PRF-31032 的熟悉程度、可用资源和 ISO-9000 状况。另外，注意，列出的时间范围假定已获得 ISO-9000 注册。

要求为获得 MIL-PRF-31032 认证实施质量管理体系 (QMS)，生产和测试符合所有要求的产品，进行自我审核以验证要求，并由国防后勤局 (DLA) 在公司现场验证所有这些措施。

更多详细的内容，请[点击阅读原文](#)。

您是否在考虑使用低温焊接呢？

印制电路组装商指南™

低温焊接



Morgana Ribas, et al.
Alpha Assembly Solutions

100%
Books

Yes!

在最近的调查中有75%
的人选择了Yes

调查来源：I-Connect007 Research

随着电子产品向轻、薄、短、小方向发展，常规SAC305系无铅焊接带来的PCB变形、温度冲击、焊接缺陷等影响越来越明显，因此，业界一直没有放弃降低焊接温度的努力，本书全面介绍了低温焊接的历程，并从配方和应用角度出发，介绍了第二代低温焊料的特性、可靠性等关键指标，为相关产品的应用提供了较为实用的指南。

——中兴总工程师 刘哲

免费下载

扫码注册免费下载
更多内容欢迎关注
“PCB007中文线
上杂志” 公众号





行业会展

[超级一步步新技术研讨会（苏州站）](#)

2020 年 8 月 20 日

中国苏州

[2020 慕尼黑华南电子展](#)

2020 年 11 月 3-5 日

中国深圳

[2020 国际电子电路（上海）展览会](#)

2020 年 8 月 25-27 日

中国上海

[Electronica 2020](#)

2020 年 11 月 10-13 日

德国慕尼黑

[NEPCON Asia 2020](#)

2020 年 8 月 26-28 日

中国深圳

[KPCA Show](#)

2020 年 11 月 25-27 日

韩国仁川

[一步步新技术研讨会（深圳站）](#)

2020 年 9 月 18 日

中国深圳

[第十五届世界电子电路大会](#)

2020 年 11 月 30 日至 12 月 2 日

中国香港 深圳

[SMTA International](#)

2020 年 9 月 28 日 -10 月 23 日

线上研讨会

[2020 国际电子电路（深圳）展览会](#)

2020 年 12 月 2-4 日

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

LEO YANG
+86 130-1377-4245
LEOYANG@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：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》由美国 BR Publishing, Inc. (942 Windemere Dr. NW, Salem, Oregon, USA 97304) 出版 © 2020 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。

2020 年 8 月号总第四十二期《PCB007 中国线上杂志》是由 BR Publishing 公司出版的电子月刊。

广告索引

《低温焊接》.....	122
《适用于恶劣环境的三防漆》.....	104
《数字时代先进制造》.....	88
《印制电路工艺验证》.....	68
中国电子电路行业协会	4
广告合作	6
劲鑫科技	50
挠性电路手册	64
高密度互连 HDI 手册	62
杂志订阅	封底
Atotech.....	10
Chemcut.....	42
CIMS.....	18
CyberOptics.....	96
Downstream Technologies.....	106
DB Management.....	22
Electrolube.....	82
Gen3.....	92
MKS-ESI.....	34
IPC.....	54
KYZEN.....	52
MacDermid Alpha.....	52
Mentor, a Siemens Business.....	116
Mirtec.....	84
NEPCON.....	90
Orbotech.....	60
Pluritec.....	2
Real Time With.....	8
Rehm.....	74
Schmoll Asia.....	14

更多精彩内容敬请期待

PCB007中国线上杂志：

九月：挠性电子

每年我们都有一期会讨论挠性电子，下期中我们会带来不少关于挠性电子的新内容，同时还将发布挠性电子研讨会。

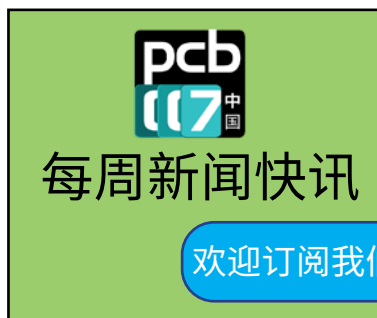


想要及时获取我们最新的
PCB007中国线上杂志么!

快来免费订阅吧!



有啥新闻!



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

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。



最新热点新闻:

模測電子、世茂電子等項目集中开工

3月26日，佛山市举行推进粤港澳大湾区建设重大项目暨市重点项目一季度集中开工活动，7个重大项目集中开工。在此次集中开工项目中，制造业项目的数量最多，包括裕展电子（佛山）工业园二期项目、佛山悦茂电子科技有限公司电子产品项目、威普新材料（江门）...

推薦文庫。

垂直整合后的麦德美爱法，为供应链提供专家意见

四月 04, 2019 | I-Connect207

MacDermid Alpha Electronics Solutions 爱德美爱电子 (简称 MAE) 于 3 月 19 日至 21 日参加了中国电子电路行业协会 CPCA 在中国上海国家会展中心所举办的“2019 国际电子电路 (上海) 展暨会议 (CPCA SHOW 2019)”。这是爱德美爱电子首次在亚太区以一家整合的公司参加国际展会。爱德美爱电子在印刷电路板制造的创新技术方面

Atotech针对5G、高速和高频应用的新解决方案

四月 04, 2019 | I-Connect2019

中国PCB007主稿Eddy Yu, 在最近展会期间采访了安美特公司的全球营销总监 Daniel Schmidt。Eddy和Daniel讨论了安美特针对5G、高速和高频应用的新解决方案等。Eddy Yu: 安美特举办了一场技术研讨暨新品发布会, 介绍了Asotech 新产品, 重点讨论了5G高频应用。能给我们介绍一下此次发布会吗?



最新热点新闻:

云造物携百度亮相慕尼黑电子展 人工智能加速方案引关注

3月，2019第18届上海电子信息展在新国际博览中心召开行业交流大会，上千嘉宾对行业上下游知名企业云集。云创造物集成创新设计与制造服务，更全新的造物商城，及深度合作人工智慧技术，四大硬件集成成为各界瞩目焦点，展示了一系列面向工控、电力、医疗、汽车、通信、物联网...

推薦文章:

《适用于恶劣环境的三防漆》:007技术书系列又添新丁

四月 05, 2019 | I-Connect2019

设计、构建、生产各种元器件要投入大量的时间、精力及资源,那么技术人员应如何保护那些在恶劣环境下运行的关键元器件呢?答案是三防漆。Electrolube公司三防漆部门的Phil Kinner撰写了本电子书——《印制电路板三防指南》,适用于恶劣环境的三防漆。该书详细介绍了为达到元器件在恶劣环境下的可靠性,各种三防漆材料及工艺部署选择的因素。

主题演讲：加速和颠覆性创新——特斯拉的故事

四月 05, 2019 | Pete Starkey, i-Connect007

特斯拉公司首席执行官兼联合创始人Elon Musk在题为“加速和颠覆性创新——特斯拉故事”的主题演讲中回顾总结了特斯拉公司的发展历史。Elon Musk用“你在解决什么问题，你对什么有热情？”作为他的开场白，他阐述了特斯拉如何受到启发，以解决运输过程中化石燃料造成的二氧化碳大气污染呈指数增长的问题。

