

用于电路板印刷的喷墨油墨

作者：王振宁

**【内容提要】**影响印制电路板（PCB）的因素很多，比如材料、技术、环境、设备等，其中油墨的优劣和可印刷性是关键因素。喷墨油墨与传统 PCB 制造所用油墨相比应满足更高性能要求。首先，喷墨油墨应具有更低的黏度，约为  $8\sim 12\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，以确保墨滴能从喷嘴喷出。

印刷电路板是当今发展迅速的一个高新产业，而喷墨印刷技术的快速发展又为这个产业注入了新的活力，给电子工业带来了重大变革。喷墨印刷是不需要接触、没有压力、不需印版的印刷技术，只需将电子计算机中存储的信息输入喷墨印刷机即可印刷。它还具有无版数码印刷的共同特征，可实现可变数据印刷。与传统方法相比裁员，喷墨技术将会给 PCB 业带来更快的速度和更低的成本，最重要的是可以达到更高的布线密度。

影响印制电路板（PCB）的因素很多，比如材料、技术、环境、设备等，其中油墨的优劣和可印刷性是关键因素。喷墨油墨与传统 PCB 制造所用油墨相比应满足更高性能要求。首先，喷墨油墨应具有更低的黏度经营管理，约为  $8\sim 12\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，以确保墨滴能从喷嘴喷出。同时油墨墨滴的表面张力影响着墨滴的几何形状和对基材的润湿性，因此表面张力应控制在  $25\sim 35\times 10^{-5}\text{N/cm}$  以内。

#### 喷墨打印油墨的种类

目前在 PCB 中，喷墨打印用的油墨主要有抗蚀刻油墨、阻焊油墨、字符油墨和纳米级金属颗粒油墨四种。

##### 1. 抗蚀刻油墨

用于 PCB 的 UV 固化型抗蚀刻喷墨油墨，其组成成分至少包括 2 种丙烯酸酯：一种含有羧基 CTP 在中国，另一种是环氧丙烯酸酯单体或二聚物，以及其他丙烯酸树脂，如提高黏附力的丙烯酸树脂、降低黏度的丙烯酸树脂、交联型丙烯酸树脂、耐化学药品的丙烯酸树脂以及能够快速固化的丙烯酸树脂等。同时还包括光引发剂、有机载体和其他添加剂，如导电剂、表面活性剂、光敏剂和光稳定剂。其中环氧丙烯酸酯单体和二聚物对金属基材有良好的黏附力，并且应该选用低黏度、不挥发的低分子量环氧树脂，如双酚 A 型环氧二丙烯酸酯。这种油墨性能优异，刻蚀后能够形成完好的铜导线。

##### 2. 阻焊油墨质量控制

高。因为阻焊油墨喷涂后不再移除，永久性使用，因此要求 PCB 具有优越的黏附力，同时应具有很好的阻焊性能。PCB 所使用的阻焊喷墨油墨性能应满足 IPCSM-840

C 标准包装安全，阻燃等级为 UL94

V-0。有一种可光固化和热固化的阻焊喷墨油墨，其组成为含丙烯酰基和热固化基团的单体、分子量小于 700 的低聚物及光活性稀释剂和光引发剂。油墨黏度在  $25^{\circ}\text{C}$  时小于  $150\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。通过喷墨打印机将阻焊图形喷在 PCB 上，固化方式分两步，先光照再加热。所制得的阻焊膜具有良好的耐热性、耐化学性、硬度、电绝缘性等。由于耐热性优异，也作为需要具备耐热性的字符喷墨油墨使用。

##### 3. 字符油墨

PCB 业商业化使用的字符油墨由低聚物、单体和颗粒直径为  $5\mu\text{m}$  的固态填充剂组成分色，这种油墨不能用于喷墨打印机使用。因为喷墨墨水要求合适的黏度和表面张力才能由喷嘴喷出，并且油墨中的固体颗粒应该足够小以避免堵塞喷嘴。后来出现的热固化型字符喷墨油墨就能满足所需的性能要求，这种油墨由非水溶性溶剂、颜料、三聚氰胺基树脂体系、添加剂和分散剂组成。其中三聚氰胺基树脂体系由交联剂和能与交联剂反应的聚合物组成。这种油墨的 Brookfield 黏度在  $25^{\circ}\text{C}$  为  $30\sim 100\text{mPa}\cdot\text{s}$ ， $50\sim 80^{\circ}\text{C}$  时为  $10\sim 20\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。



可以用于 PCB 和其他基材的喷墨印刷。

、反应单体、光引发剂、添加剂、分散剂组成。其中低聚物和稀释单体的选择原则是能够稳定地分散溶解，固化速度快收纸，室温下黏度较高(60~200mPa·s)，但在喷射温度下(喷头温度为 50~80℃)黏度较低，为 10~20mPa·s。此油墨的固化感度为 700mJ/cm<sup>2</sup>，在 25℃时黏度为 140mPa·s，75℃(喷射温度)时黏度为 18mPa·sCTP，可用于喷墨印刷。

#### 4. 纳米级金属颗粒油墨

导电性油墨是人们很熟悉的，如碳墨(浆)、银浆(含银颗粒的油墨)、铜浆(含铜颗粒的油墨)等，在此就不介绍了，仅对纳米级金属颗粒的油墨特性进行介绍。纳米级金属颗粒的一系列特征与传统的导电油墨不同。要使金属纳米颗粒油墨化，必需使金属纳米颗粒在油墨中保持高浓度的单颗粒化，并保证不会发生“凝聚”现象。

##### (1) 纳米金属颗粒的制造方法

根据目前情况来看，纳米金属颗粒的制造方法可分为物理方法和化学方法两大类。

①物理制造方法是采用真空蒸发，即加热金属熔融、蒸发，并在惰性气体中一起蒸发和凝固成金属纳米颗粒，然后收集于有“极性”的有机溶剂的分散体系中而成。版材

②化学制造方法又可分为“气相反应”和“液相反应”两种。目前大多数是采用液相反应来“直接”制造金属纳米络合物，因为它是在稳定的胶体体系中“转换”而成的，从而避免纳米颗粒粗大化。“液相反应”的方法可能是今后生产金属纳米颗粒和油墨的重要方法和主要途径，目前采用此种方法生产的银纳米油墨和金纳米油墨等已开始市场化了。

##### (2) 纳米金属颗粒油墨的基本特性

纳米金属颗粒的基本特征为当金属颗粒小到纳米级时，其表面会像融化的“冰”那样成为液态，一旦相互接触，便迅速形成大的颗粒或金属，因此，只要除去纳米金属颗粒周围的分散剂和稳定剂，纳米金属颗粒便可互相接触融化成为金属。如金属的颗粒小到 2nm 时，纳米金属颗粒的熔点便降低到接近于室温范围。纳米金属颗粒的基本特征主要有以下几个方面。

尺寸有关)。这样一来，“金属纳米颗粒”之间的熔融连接便可在室温或在基板可耐温的条件下进行烧结形成。在金属纳米级油墨经直接喷墨打印成线路和图形后，通过烘干除去溶剂(挥发)或“烧结”热分解(破“络”除去有机物等)，使金属的“纳米颗粒”互相接触并在表面发生融化其他，便可获得微米结构的导电的金属烧结体，即导线或图形。如采用“银纳米颗粒”的油墨在喷射 1~2pL 墨滴所形成的导线，经过 230℃、40 分钟以下进行烧结，便可得到电阻率为 3μΩ·cm 的导体，接近于纯银(电阻率为 1.6μΩ·cm)和纯铜(电阻率为 1.7μΩ·cm)，因而可成为优良的导体。

②纳米金属颗粒在油墨中的沉降速度十分缓慢，实际上可认为是不会发生沉降的问题。由于纳米金属颗粒小而轻，可以胶体络合物的形态稳定地分散开来，因此不必担心纳米金属颗粒会发生沉降现象。

③纳米金属颗粒既轻又小，不会影响墨滴喷射过程中的速度或加速度包装材料，因此在油墨的喷射的过程中，可与油墨整体均匀地进行喷印，不会引起速度偏差、浓度偏差等问题，从而达到高质量的喷印效果。

#### 影响 PCB 喷墨油墨的因素

在喷墨打印技术中，油墨的材料和性能是至关重要的，要有利于规模化生产，而且油墨材料和性能必须与喷墨打印头结构匹配，以保证在操作温度下和整个操作过程中保持稳定。因此，用于 PCB 喷墨打印的油墨的物理性能与化学性能必须保持最佳状态。高宝



性能将会影响到喷墨管口油墨的堆积、墨滴形状、墨滴发射状态，当然改变喷墨管的温度和电压也会影响这些参数。但是，其前提是只有油墨材料和性能处在最佳物理状态下才能形成最好的墨滴。实际上，喷墨打印的线宽、图形的分辨率或喷墨打印头喷射出的墨滴大小取决于墨滴的流变动力、铜表面粗糙度和对 UV 光敏感度，只有把这些参数和条件进一步优化后，墨滴的扩散程度才能达到最小化，并达到最佳的图形、线路的效果。

### 1. 油墨黏度与触变性

一般来说，PCB 用油墨是由树脂、溶剂、色料、助剂等组成，导电油墨还要加入金属颗粒或纳米金属颗粒等材料。油墨最重要的两个特性是黏度和触变性，而对喷墨油墨的黏度和触变性的要求与传统的丝网印刷油墨有所不同。

(1)黏度。所谓黏度就是液体的内摩擦力，表示在外力的作用下，使一层液体在另一层液体上滑动，内层液体所施加的摩擦力。稠的液体内层滑动遇到的机械阻力较大，反之，较稀的液体阻力较小。黏度有动力黏度和相对黏度之分。过去常误将动力黏度、相对黏度和运动黏度统称为黏度，其实油墨参数中的黏度只指动力黏度，即流体流动的剪切应力除以流层方向的速度梯度。此外，不要混淆油墨黏度与油墨黏性这两个不同的参数。油墨的黏性是指墨层在剥离转移时的阻碍能力，是阻止流动中液体层分离的量度。黏性与油墨墨膜的分离比例有关，黏度是分子内部的阻抗，两者没有必然的联系。虽然大多数黏度大的油墨其黏性也大，但也有油墨的黏性并不随黏度的增大而增大 CTF，甚至还会出现降低的情况。

性，又可称摇变性、抗流挂性。在油墨中是指油墨的黏度随剪切速度的大小而变化的一种特性。如油墨在静止放置时，黏度变大而呈“胶体状”，难于流动，当受到触动（如搅拌、摇动、压挤等）时，其黏度会变小而容易流动。因此要保证高质量的喷印，油墨的触变性是非常重要的。在喷墨打印中，好的触变性油墨在喷墨打印机内受到温度和压力等的作用，使油墨黏度变小，从而易于流动和以小滴而喷射到板面上拼版，而当黏着静止后黏度便迅速变大，使墨滴不发生或少发生扩展和塔落的现象，便于保持喷射后油墨墨滴的尺寸，从而保证喷墨打印的线路与图形的尺寸质量。

### 2. 油墨黏度与触变性的最佳化

油墨黏度和触变性是喷墨油墨的重要性能指标，除了与油墨的组成及其比例有关外，也与设备、环境等操作参数和操作过程密切相关。众所周知，油墨的黏度大小是关系到喷墨印刷是否流畅的根本问题。所以，在一定的设施和操作条件下，采用何种类型的油墨就决定了使用的黏度的范围，只有遵从这些要求，才能获得高质量的印刷效果。

但是，在很多情况下，为了获得理想的分辨率，无论采取什么样的油墨黏度，都很难实现它当纳利，往往要依靠改变油墨的触变性来解决。常规的油墨是由树脂、填料、溶剂、助剂、色料等经过研磨加工而形成均匀的一种混合物。在未受到外来热能或紫外线照射的作用下，是以离子团和极性团形式存在的。在静态下，由于油墨中的离子团和极性团的相互吸引而有序排列，从而表现出高黏度的状态，并不发生化学反应。当受到外力厂商信息，如机械搅拌、推动、挤压等作用时，油墨中原来的有序排列的状态被打破，形成无序的混乱状态，从而使油墨的黏度降低。油墨由“静态”到“动态”的黏度变化程度是由外力作用的程度来决定的，但其黏度变化不是线性的，而是随着外力作用的持续而缓慢减小，最后达到极限而不变。同时通过研究和应用发现油墨中的固体含量和形状（结构特性）会对触变性造成影响，固体含量越多，触变性越小。如果固体含量太多则会影响油墨的流动性（黏度），因此人民币，油墨中的固体的含量要控制在一定的范围内。另外，可加入某些触变性助剂来改变油墨的触变性，又称触变剂，使油墨的触变性达到可控制的目的。当然还可以通过稀释剂来改变油墨的黏度或触变性，达到高质量的喷印效果。

B 喷墨油墨出现供墨，这些油墨将会有更好的特性、更加环保，与先进的喷墨打印设备一起来提高 PCB 制造水平。

