



绝缘粉末涂料研究及其应用进展

Progress on Investigation and Application of Insulation Powder Coatings

章晓斌 尹臣 (广州擎天粉末涂料实业有限公司)

摘要：本文概述了绝缘粉末涂料的性能、种类、组成和涂装应用工艺研究进展；同时介绍了本公司的绝缘粉末涂料产品的性能和应用领域。

1 前言

随着当今电子、电机产业的迅猛发展，高智能、高效率、小型轻量、高精度、节能和组合化成为了电子、电机技术的主要发展动向；同时电子、电气设备的工作环境和条件也趋于多样化。而在电子、电机产品中，绝缘材料的质量是决定电子、电机产品质量的关键因素。因此，为了保障设备的正常运行，必须有高性能的高分子绝缘材料来提高设备的工作环境适应性、使用寿命^[1]。

在电子、电机产品中所应用的绝缘高分子材料有多种，如绝缘布、绝缘纸、绝缘层压板、绝缘漆、绝缘涂料等。在众多的绝缘高分子材料中，以环氧树脂为基料的粉末涂料正以其清洁、零 VOC 释放、便于流水线操作、粘接力强、耐高温、耐湿热和优异的电气绝缘性能等优点，在电子、电机用绝缘材料中占据了越来越重要的地位。产品广泛应用于电机、电子、高压电器、汽车工业、航空机械等各个领域。

2 绝缘粉末涂料性能及种类

2.1 绝缘粉末涂料性能指标^[ii]

绝缘粉末涂料可用于电机、电子元件、高压开关柜等电气绝缘性能要求较高的设备上。作为粉末涂料，它除了具有一般粉体涂料的保护、装饰性能外，还必须具有如下性能^[iii]：

- 涂层必须具有优良的电气绝缘性能。
- 涂层在形成前必须具有良好的透气性能，涂层形成后具有良好的边角覆盖率和结构致密性。
- 涂层必须具有良好的附着力和高的机械强度。
- 涂层必须具有良好的耐湿、耐热、耐化学品性能。

近年来，随着电机、电器、电子元件技术的进一步发展和国际市场的进入，对涂层性能的要求越来越高。

绝缘粉末涂料的粉体性能主要包括粉末粒径、胶化时间等；涂层性能主要有表面性能、电学性能、力学性能、耐环境性能等。

2.1.1 粒径

我们在此所讲的粒径指的是粉末涂料的粒径分布。一般用粒径中间值 (D_{50}) 来表征粒径大小。不同的涂装应用工艺对绝缘粉末涂料的粒径要求有所不同。对于流化床浸涂法而言，一般要求 D_{50} 在 60 ~ 70 μm 之间；静电喷涂时粒径不仅对粒子接受电荷、电荷分布和保持电荷有较大影响，而且对控制粒子在喷涂空间运行过程中的重力沉降也有明显影响。普遍认为 D_{50} 在 35 ~ 45 μm 之间比较合适。热喷雾法涂装时也要求 D_{50} 在 35 ~ 45 μm 之间。

2.1.2 涂层的表面性能

涂层的表面性能主要指涂层的外观、边角覆盖率。涂层外观是指涂层表面的平整光滑性。边角覆盖率是指边角涂层平均厚度与平面涂层厚度的比值。在绝缘粉末涂料中，涂层外观与涂层边角覆盖率始终是一对矛盾。要得到好的外观，必须要求粉末具有较大的水平流动性。但水平流动性增加，



涂层的边角覆盖率就会下降，从而引起涂层整体抗击穿强度下降。

在国外，大部分用户主要看重绝缘涂料的综合性能，对涂层外观无过多要求。但是在国内，随着绝缘粉末涂料应用领域的扩大，用户在注重绝缘性能的同时，对涂层外观也越来越重视。因此各种助剂在配方中的使用显得尤为重要。

2.1.3 涂层的电学性能

涂层固化成膜后，涂层的电学性能主要受涂层聚合物电学性能的影响。因此，作为成膜物质聚合物的电气绝缘性能是影响涂层整体绝缘性能的关键因素。聚合物绝缘材料的电学性能主要反映在如下几个基本电学参数上：介电常数、电阻率、抗击穿强度。

(1) 介电常数

介电常数表征了聚合物在外电场作用下发生极化的特性，是表征材料介电性能的主要参数。在电场中，聚合物长链分子的结构、运动单元的多重性、结晶和取相的变化、链段和侧基的运动是影响聚合物介电常数的主要因素。一般来说，聚合物分子的极性越大，其介电常数也越大。同时介电常数也表现出明显的温度依赖性。在绝缘粉末涂料的研究中，很少有人对粉末涂层进行介电常数的测试。

(2) 电阻率

电阻率表征了材料在电场作用下的导电性能。测试方法为材料在直流电源电压下产生的漏导电流，以 $\Omega \cdot \text{cm}$ 表示。

从微观角度来看，决定聚合物电导率的主要参数是载流子的种类、浓度和迁移率。在聚合物中，载流子可能是电子、空穴、正负离子。他们可以由聚合物材料本身产生，也可以由聚合物制备过程中的杂质引起。在制备绝缘粉末涂料用高聚物时，分子结构中的原子最外层电子以共价键形式与其它原子键接，它们只能在平衡位置附近移动而不会发生远程迁移。因此，粉末涂料成膜聚合物制备过程中的杂质、游离离子、无机物填料中的杂质和涂膜吸附的水分成为整个体系中载流子的主要来源，使涂层电阻率下降。

由于涂层表面电性能和内部本体电性能有较大差异，所以测得的材料体积电阻率值和表面电阻率值存在较大差异。

在绝缘涂层的电阻率测试过程中，环境温湿度、测试电压(电场强度)、测试时间等都会影响涂层的电阻率。当环境湿度增加时，表面泄漏增大，体电导电流也会增加。而环境温度升高，载流子的运动速率加快，介质材料的吸收电流和电导电流相应增加，电阻率下降。当测试电压逐渐增加时，离子化运动逐渐加剧，电导电流的增加远比测试电压增加得快，材料的电阻值迅速降低。由此可见，外加测试电压越高，材料的电阻值越低，导致在不同电压下测试得到的材料电阻值可能有较大的差别。

(3) 抗击穿强度

绝缘涂层在电场强度达到一定程度时，将失去原有的电绝缘性能导致大电流通过，同时伴随着不可回复的物理或化学变化，产生电击穿。涂层击穿时的最大电气强度值称为涂层的抗击穿强度。

按涂层击穿破坏的机理来讲，主要有特征击穿、热击穿、放电击穿几种类型。特征击穿主要由材料本身的结构，如分子量、结晶度和交联密度等决定；热击穿主要是材料的电功率消耗发热而引起的在电场和热能共同作用下引发的击穿；放电击穿主要发生在介质表面、内部微孔，或杂质附近因局部放电而引起的电击穿破坏。

从上述机理可知，涂层的电击穿过程伴随有物理和化学效应。要提高涂层的抗击穿强度，可以从以下几个方面入手：(1) 使用极性聚合物；(2) 使用具有高内聚能密度的聚合物；(3) 提高聚合物的分子量、结晶度和交联密度；(4) 使涂层具有均匀的平滑表面，减少内部微细孔隙的浓度；(5)



尽量减少涂层聚合物中导电杂质的含量。

2.1.4 涂层的力学性能

涂层的力学性能主要是指涂层的抗冲击强度、附着力和弯曲性能。

粉末涂料主要用于材料表面的防护，因此必须具有抵抗高速冲击破坏所需要的韧性或抗断裂的能力。绝缘粉末涂料必须有一定的抗冲击强度以抵抗在电机或电子仪器工作时受到突然的外力冲击。我们可以采取适当提高涂层交联密度等措施来提高涂层抗冲击强度。

绝缘涂层在使用过程中也需要一定的韧性以适应在加工过程中引起的破坏。通常可以在涂层中加入一定的增韧剂和使用适当的柔性固化剂来提高涂层的抗弯曲性能。

2.1.5 涂层的耐环境性能

绝缘涂层的耐环境性能主要指涂层的耐热、耐化学品性能。

(1) 耐热温度指数（耐热等级）

绝缘涂层主要用于电机、电子产品上，在它们的使用过程中通常伴有发热等现象，因此通常要求绝缘涂层有一定的热稳定性，即达到一定的耐热温度指数。其定义为：将热失重曲线与常规老化试验的温度-寿命曲线相比，求出失重 5% 的温度点相对应的寿命时间为 2000h 的温度，即为该涂膜的耐热温度指数，用以表征涂膜的耐热等级。

绝缘材料的绝缘性能与温度有密切关系。温度越高，绝缘材料的绝缘性能越差。为保证绝缘强度，每种绝缘材料都有一个适当的最高允许工作温度，在此温度以下，可以长期安全使用，超过这个温度就会迅速老化。按照耐热程度，把绝缘材料分为 Y、A、E、B、F、H、C 等级别。例如 A 级绝缘材料的最高允许工作温度为 105℃，一般使用的配电变压器、电动机中的绝缘材料大多属于 A、E 级。

涂层的耐热性能主要由涂层中树脂和固化剂交联形成的聚合物热稳定性决定。而聚合物的热稳定性主要由其键能的大小决定。因此，在聚合物中引入芳杂环、极性键、提高交联密度是提高其耐热性的几种措施。

(2) 涂层的耐化学品性

绝缘涂层的耐化学品性主要是指涂层的耐油、耐酸碱、耐盐雾性能。一般绝缘涂料的基体树脂采用双酚 A 环氧树脂。这种树脂与固化剂交联后获得的涂膜具有优异的耐化学品性。

2.2 绝缘粉末涂料的类型^[iv]

按用途绝缘粉末涂料大体可分为三类：电子元件用绝缘粉末涂料；开关母线铝排、铜排用绝缘粉末涂料；以及电动马达用绝缘粉末涂料。

电子元件用绝缘粉末涂料主要用于电容器、电阻器、变阻器、线圈的绝缘涂敷。性能要求侧重于极高的体积电阻率 ($> 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$) 和高的工频电气强度 ($> 35 \text{ kV/mm}$)，同时要求极低的吸水率和优异的阻燃性能 (UL94V-0)。其固化条件设计一般为：150℃ 下固化 30~90 min。

开关母线铝排、铜排用绝缘粉末涂料主要用于开关母线铝排、铜排的绝缘涂敷、磁极线圈层间绝缘以及需要弯曲强度高的工件和其它零部件的表面涂敷。性能要求侧重于极佳的弯曲性能、极佳的阻燃性能 (UL94V-0) 和较好的电气绝缘性能。其涂敷工艺一般为先将目标工件预热，然后流化床涂敷，最后固化成膜。

电动马达用绝缘粉体涂料主要用于电机定子、转子的表面涂敷、同时也适合开关母线铝排、铜排、绝缘子、电位器、磁极线圈层间绝缘涂敷。根据不同的耐热等级可将其分为 Y、A、E、B、F、H、C 级绝缘粉末涂料。



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

随着世界小电机行业向微型化、轻量化、薄型化、高效化、无刷化、直接驱动、直线驱动、机电一体化、智能化方向发展；小电机生产制造朝着专业化、自动化、规模化方向发展，可以预测将来对电动马达用绝缘粉末涂料的要求将越来越高，要求涂层固化速度快、有较强的电气绝缘性能、良好的耐热耐湿性能。

电动马达的绝缘粉末涂敷与传统的绝缘纸包覆相比较，粉末涂敷有如下优点：

(1) 降低电机温升，减少用于散热的钢制件，提高槽利用率。

由清漆、聚酯、塑料和绝缘纸组成的传统绝缘体系，由于导热性较低和隔热气隙的存在，使电机工作时的热量较多地保留在装置中，因此人们常常使用钢制件制作散热装置以降低电机温升。当使用粉体树脂涂敷时，由于树脂涂料本身具有极佳的导热性，同时涂料被直接粘合到铁芯片上，不可能存在气隙，从而大大改善了散热条件，可以有效减少钢制件的使用数量，装置转动时温升较低，从而提高了装置的可靠性。

由于涂层紧贴钢制件铁芯上，所以与同样厚度的纸绝缘相比槽的利用率提高了，同时可以免去装置中的槽衬等组件，也减少了电气绝缘体系中的吸湿材料。由于可在涂有涂层的铁芯上直接缠绕，传统的定心垫片和套箍均可被缩减，因此可以增加更多的导线来提高电机的动力输出。

(2) 粉末涂敷优于槽衬

传统的槽衬对保持铁芯片的偏移无任何帮助，而绝缘粉末涂敷可使铁芯片保持在一起，提供额外的机械承托，使铁芯片的偏移减少，保持铁芯平衡，同时还有效降低了振动噪声。

(3) 生产效率大大提高

使用绝缘粉体涂敷的马达铁芯可避免在绕线嵌槽时可能出现的“卷松”现象，可确保产品质量，同时绝缘纸工艺大部分都是手工操作，使用粉体涂敷可实现机械化流水线作业，大大提高生产效率。

(4) 提高耐热性和耐污染性

一般青壳纸的耐热等级最多达到 E 级，而环氧绝缘粉末熔槽绝缘可以达到 F 甚至 H 级。同时环氧涂层本身耐酸、耐碱、耐油、防霉、防潮性能均好于青壳纸。

相对于传统工艺，绝缘粉末涂敷的缺点主要是：

鉴于粉体涂敷的工艺要求，必须要求高质量的铁芯，特别是在铁芯冲片冲剪、迭压时要特别注意。因此，铁芯的清理工作必须细致以保证铁芯的质量。

由于在维修时常出现损坏涂层，从而限制了粉末涂层在大电机上的应用。大电机现在仍较多使用传统的绝缘纸工艺。

3 绝缘粉末涂料基本组成^{[v][vi]}

3.1 树脂

用于绝缘粉末材料的基体树脂主要是双酚 A 型环氧树脂。由于绝缘粉末涂料对涂层的边角覆盖率有很高的要求，所以我们必须在树脂的选用上使用不同环氧当量的树脂配合使用，如果对粉末涂料在使用和加工性能上在有特殊要求时还可能用到特殊功能性树脂，如线性酚醛环氧树脂、溴代环氧树脂等。在耐高温要求较高时，我们还用到有机硅树脂、环氧改性有机硅树脂和聚酰亚胺树脂。

3.2 固化剂

用于绝缘粉体涂料的固化剂主要有：多元胺、有机酸酐、酰肼、咪唑等类型固化剂。最常用的是双氰胺，但其熔点高、涂层固化后光泽度、平整度、韧性、厚膜涂层高温快速固化时的整体透气性等均较差。其次是酰肼，常用的是癸二酸二酰肼，用其固化的涂层各方面性能均优异，特别是在对涂层弯曲性能的改善上大大优于双氰胺固化的涂层。二氨基二苯甲烷也常作为绝缘粉体涂料的固化剂，可实现低温固化，以适应部分电机涂层固化和电子元件涂层固化的需要。酸酐作为绝缘粉体



的固化剂其涂层的交联密度高，有较高的耐热及其它性能，但酸酐的吸潮性大，贮存稳定性差。咪唑类固化剂一般不单独作为树脂的固化剂，常作为固化促进剂借以提高涂料的固化反应速率。

3.3 填料

用于绝缘粉末的填料主要依据填料的介电常数及和导电杂质的含量进行选择。可用在绝缘粉末中的填料主要有：硅酸钙、硅微粉、氧化铝、碳酸钙等本身介电常数高且在制备过程中较少残留导电杂质的填料。用氧化铝作填料时，涂膜具有优异的导热性能，良好的耐击穿性能，涂膜的外观好且致密度高。但由于其价格较高，吸油量较小使涂膜的边角覆盖率下降；另外氧化铝的莫氏硬度高达 9°，在生产过程中对设备的损耗大且容易带入金属杂质。绝缘粉末最常采用的填料是硅微粉，较高的介电常数使其在绝缘粉体中应用广泛。碳酸钙虽然有高的介电常数，但一般不单独用作绝缘粉体的填料，原因在于碳酸钙的耐酸性能太差，对涂膜性能有影响，在涂料制备过程中加入少许碳酸钙可以提高涂料的易粉碎性和降低成本。

3.4 助剂

助剂主要有流动控制剂、流平剂、固化促进剂、脱气剂、透气功能助剂等。各种助剂的用量多寡对涂膜性能起着至关重要的作用。流平剂、流动控制剂主要控制涂层的外观和涂层的边角覆盖率。固化促进剂主要对涂料的固化反应起加速促进作用，其类型和用量将直接影响到涂料的制备工艺、储存条件和产品的最终性能。在快速固化的绝缘粉末涂料中，涂层的快速脱气和粉体自身的透气功能尤为重要。脱气剂和透气功能助剂可以帮助涂层在固化过程中快速透气，避免涂膜产生气孔，提高涂层的表面外观和电气绝缘性能。

4、绝缘粉体涂料涂敷工艺

4.1 静电流化床涂敷

绝缘粉末涂料的静电流化床涂敷工艺流程为：工件清洗— 除油— 酸洗— 水洗— 干燥— 喷砂— 除尘— 蔽覆— 涂敷— 固化— 清除蔽覆— 清理毛刺— 检测封装。涂敷工艺过程详述如下。

(1) 表面处理阶段

工件必须保持清洁及干燥，如果工件表面有锈迹或油污可进行表面喷砂及清洗处理，除去表面油污并使工件表面毛化，从而增强工件表面与涂层之间的附着力。

(2) 蔽覆阶段

在工件涂敷过程中，一些非绝缘处理面需要蔽覆。如在对电机转子的涂敷过程中，电枢、铁心四周表面及轴两端等需要蔽覆，一般用硅橡胶或聚四氟乙烯材料制作成专门的护套。

(3) 涂敷阶段

涂敷是整个过程中最关键的一步，它直接影响到涂层的外观和质量。在静电流化床涂敷过程中，首先要保持适当的电场强度。电场强度与粉末带电量成正比，因此电压和适当的工件-电极距离就显得尤为重要。在涂敷过程中工件-电极距离一般控制在 20~35cm 左右，电压为 60~80 kV 左右；其次，要保持适当的流化气压，以便粉末在流化床中均匀沸腾，处于上下翻滚的悬浮状态；第三，要保持工件良好的接地。良好接地有利于提高涂层厚度和边缘覆盖率；第四，涂敷时间必须适当。应根据目标工件的形状、尺寸、以及要求的涂膜厚度做适当调整，涂敷时间一般为 2~10 s。

(4) 固化阶段

固化阶段主要是使涂层流平、树脂与固化剂交联成膜。固化条件的确定主要取决于粉末涂料的固化特性参数。粉末涂料受热升温，树脂与固化剂发生交联反应形成坚固的涂层。但这种反应需要持



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

续一定的时间才能使所有涂料完全固化。固化温度、固化时间不足，都会造成涂层缺陷。但是固化温度不能太高，固化时间不能过长，温度过高，加热太快，涂层易流挂、黄变，固化温度曲线可以用 SMT-7-32-300-K 炉温跟踪仪来测试；高分子聚合物易发生降解，涂层起不到绝缘保护作用。

(5) 后处理阶段

固化涂层冷却后，首先进行蔽覆工具的去除，对非绝缘部位清理。然后检查涂层是否均匀，有无气泡、针孔及其他缺陷。对于涂层表面的多余部分粉层，可以用锉、刮等方法去除；涂膜气泡、针孔可用环氧胶和环氧粉末涂料进行填补后再固化。对于无法修补的工件，可用高温焚烧的方法去除涂层，清理干净后再利用。合格的涂装产品则进行封装。

此法适合于电机转子、定子内槽涂敷。

4.2 流化床热浸涂^{[vii][viii]}

流化床浸涂是通过流化床实现的。粉末涂料在流化床中呈悬浮状态，将预热到一定温度的工件浸入到沸腾的粉末中，经过一段时间粉末就均匀地熔敷在工件表面，经过流平固化便形成均匀的涂膜。

此法的工艺流程为：工件表面处理— 蔽覆— 预热— 涂敷— 去蔽覆— 固化— 检测封装。

其实，流化床热浸涂与静电流化床的工艺基本相同，只是增加了一道工件预热工序。工件的预热温度对热浸涂来说是非常重要的参数，工件预热温度必须高出粉末涂料的熔化温度 30~60 。同时预热温度还取决于工件的材质、形状、热容量、所需涂层的厚度等多方面因素。预热温度过低粉末在浸涂过程中不能粘附在工件上，涂层厚度得不到控制。预热温度过高，则工件的表面温度过高，粉末浸涂后易流挂。如果在热浸涂中需要得到厚涂层，就必须浸涂多次来达到规定的厚度。

要获得均匀、光滑的涂膜，必须保持粉末悬浮达到理想状态，从流化床中取出工件时要快速、顺速磕粉、防止堆粉。

此法特别适合于开关母线铝排、铜排的绝缘涂敷，也适于电机定子、转子、电容电阻的涂敷。

4.3 热喷雾法涂敷

现在越来越多的厂家由流化床热浸涂改为热喷雾法涂敷。此法的工艺流程与流化床热浸涂工艺相同，只是涂敷过程中设备有所变化。喷雾法利用两侧对称的喷嘴喷出雾状粉末涂料。喷涂时工件旋转，粉末从两面侧喷嘴对着预热的工件进行喷涂。喷嘴根据工件的大小可设计 4~8 个不等。此法需配备供粉系统和回收装置。

此法对电动马达转子、定子涂敷最为有效。工件由传输带带动在炉内自动“步进”进入预热炉，在 280~350 的炉温下经 3~4 min 预热，出预热炉后机械手、辅助手、屏蔽手完成对工件的喷涂，最后“步进”入后热炉。在 240~260 下约 4~5 min 后出炉。完成涂敷固化过程。全过程只需要 7~9 min。

喷雾法喷涂的工作效率高，涂层平整均匀、厚度容易控制。

5 绝缘粉末涂料研究进展

我公司为国内最早研究电气绝缘用环氧粉末涂料的公司。到目前为止已经形成三大成熟产品体系，即电动马达用绝缘粉末涂料、开关铜、铝排绝缘弹性粉末涂料、电子产品专用绝缘粉末涂料。

Kinte IM 系列电动马达用绝缘粉末具有优异的综合性能。此系列是专为电动马达绝缘涂敷设计的一种功能型环氧树脂涂料，具有极佳的电气特性、极短的固化时间、极佳的抗贯穿性能、优良的耐冷热冲击性、优良的耐湿性、耐化学品性、机械性能和弯曲性能。



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

Kinte IM 树脂涂料有两种类型产品提供：

- Kinte IM-1 系列涂料通过静电喷涂、流化床浸涂被涂敷在已预热到涂料熔点以上温度（高于熔点 30~60 ℃）之工件上，树脂融化，并在一定范围内流动，与固化剂交联成膜，使涂料紧密地粘合在工件上，并形成一层平滑、连续、均匀的涂层。它能有效地涂覆平坦表面和隅角，提供良好的边缘覆盖型。产品可实现 200~230 ℃/4min 完全固化。
- Kinte IM-2 系列涂料可通过静电喷涂、静电流化床、流化床浸涂的方式涂敷在室温的工件上，然后使用电感加热或其他方式加热使树脂熔化，在一定的范围内流动固化，从而在工件表面形成一层各种性能优良的坚韧涂膜。

根据不同需求，Kinte IM 可提供不同耐热等级（E、B、F）的产品供用户使用。表 1 为我公司 Kinte IM 产品与其他公司电机用绝缘产品的性能对比。

Kinte IT 系列电子器材专用绝缘粉末具有极佳的电气特性、极佳的阻燃特性、优良的耐冷热冲击性、耐湿性。Kinte IT 系列可实现 140~150 ℃/30~90 min 完全固化，适用于电容器、电阻及其配件的涂覆。

Kinte IE 开关母线铝排、铜排阻燃弹性绝缘粉末涂料具有极佳的阻燃特性、极佳的柔韧性能、极佳的抗贯穿性能和良好的电气绝缘性能，适合于开关母线铝排、铜排的绝缘涂敷，磁极线圈层间绝缘以及需要弯曲强度高的工件和其它零部件的表面涂敷；其中彩色绝缘粉末涂料更适于高装饰性要求的绝缘涂敷。

6 结语

随着当今粉末涂料的发展，粉末涂料功能化的趋势越来越明显，因此开发具有高电气绝缘性能的粉末涂料不仅顺应了涂料专业化的发展趋势，也顺应了当前电机、电子产业的迅猛发展对高分子涂料所提出的更加苛刻的性能要求。可以预测，绝缘粉末涂料将会有更加广阔的应用前景。



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

表1 Kinte IM 与相关产品的性能对比

试验编号	Kinte IM - 1	Kinte IM-2	国内产品	国外产品
水平流动 (mm)	15.8	20	17.5	16
胶化时间, s	35	110	23.5	28
真密度, g/cm ³	1.70	1.69	1.33	1.74
60°光泽	70	55	92	52
冲击强度, cm	正/反冲通过	正冲通过,反冲不通过	正冲环裂,反冲不通过	正/反冲通过
附着力, 级	1	1	1	1
边角覆盖率, %	58	46	45	60
击穿电压, kV/mm	42.31	54.2	32	39.11
体积电阻率, Ω.cm	4.5×10^{15}	2.6×10^{14}	8.7×10^{14}	5.16×10^{15}
115°弯曲性能	不裂	开裂	开裂	不裂
吸水率, %	0.08	0.08	0.12	0.07
相比漏电痕迹指数	CTI600	CTI600	CTI600	CTI600
热老化, 168 /168h	无裂痕	无裂痕	无裂痕	无裂痕
耐酸碱	10%H ₂ SO ₄ , 240h	无变化	少许泛白	少许泛白
	10%NaOH, 240h	无变化	无变化	无变化

参考文献

- [ⁱ] 姜立萍 耐高温绝缘涂料的研制 现代涂料与涂装 2000.03 : 12-15
- [ⁱⁱ] 洪啸吟 涂料化学.北京:科学出版社, 1997.
- [ⁱⁱⁱ] 赵竹青 绝缘涂敷制件的加工工艺研究与应用 高压电器 2004.38 (2): 35-39
- [^{iv}] Asao; Yoshihito; Adachi; Katsumi A.C. generator for vehicle United States Patent 6,429,552
- [^v] 陆惠英等 韧弹性环氧粉末涂料的研制及应用 绝缘材料 2001.3 : 10-12
- [^{vi}] Boldebeck; Edith M; Gorowitz; Bernard Powder coatable polyester composition and electrical conductor coated therewith United States Patent 4,074,006
- [^{vii}] 朱龙余 流化床涂敷在高压开关柜母线绝缘上的应用 现代涂料与涂装 2005.01 : 46-47
- [^{viii}] 刘行文 环氧粉末涂料在直流互感器中的应用 涂装技术及其应用 2002.5 : 27-28