

Research on the Application of High Solid Content Paint in the Production of Enameled Wire

Xiaoshui Tang

Jiangxi JCC East China Electrical New Material Technology Co., Ltd., Yingtan, Jiangxi, 335000, China

Abstract

According to the current production process of enameled wire products and the current use of insulating paint. Through the application research and benefit analysis of high solid content paint in enameled wire production, including the comparison of the solid content and viscosity of the two kinds of paints, the performance analysis of the enameled wire products, the comparison of on-line detection particles, the study of dielectric loss and so on. It is proved that the high solid content paint plays an important role in improving the quality of enameled wire products, reducing production cost and reducing environmental pollution.

Keywords

solid content; insulating paint; enameled wire; performance of product; dielectric loss

高固体含量漆在漆包线生产中的应用研究

汤晓水

江西江铜华东电工新材料科技有限公司，中国·江西 鹰潭 335000

摘 要

根据现有漆包线产品的生产工艺及绝缘漆使用现状。通过对高固体含量漆在漆包线生产中的应用研究及效益分析，包括对不同固体含量两种漆的固体含量和粘度的比较、生产漆包线产品的各项性能分析、产品的在线检测粒子比较、介质损耗研究以及效益测算对比分析等。证实了高固含漆在提高漆包线产品质量、降低生产成本、减少环境污染等方面具有非常重要的作用和意义，研究推广应用满足于高端漆包线用高固体含量绝缘漆将是当前漆包线行业的必然趋势。

关键词

固体含量；绝缘漆；漆包线；产品性能；介质损耗

1 引言

江西铜业加工事业部主要生产耐冷媒漆包线、聚酰胺酰亚胺漆包线等 200 级及以上高端漆包铜圆线。漆包线主工艺设备是分别从德国 Niehoff 公司、奥地利 MAG 公司和国内西玛梅达公司、无锡巨一同创公司等引进的具有世界领先水平的拉丝、漆包生产线。随着漆包线市场竞争的日趋激烈，目前常规的漆包线品种由于工艺技术成熟、产品质量稳定、成本透明、账期较长等因素，使漆包线行业利润已进入微利甚至无利时代，因而追求漆包线产品成本最优化已经成为各家公司关注的焦点^[1]；同时，伴随着国家十九大报告提出的树立和践行绿水青山就是金山银山的绿色发展理念，以及绿色环保、节能减排等环保理念，漆包线行业将面临前所未有的挑战，企业在节能、环保、绿色发展的研发变得更加重要。所以漆包线行业在围绕提高产品质量、降低生产成本、减少

环境污染，研究推广应用满足于高端漆包线用高固体含量绝缘漆已经显得尤为重要。

2 现有漆包线的生产工艺及绝缘漆使用现状

漆包线是绕组线的一个主要品种，由导体和绝缘层两部分组成，裸铜线经退火软化后，再经过多次涂漆，烘焙而成。但要生产出既符合国家标准要求，又满足客户要求的产品并不容易，它受原材料质量，工艺参数，生产设备，环境等因素影响，因此各种漆包线的质量特性各不相同，但都具备机械性能、化学性能、电性能、热性能四大性能。根据使用情况对漆包线绝缘漆也有不同程度的要求，目前国内绝缘漆的主要品牌有艾伦塔斯、艾维特等，现有市场上绝缘漆的固体含量及粘度普遍较低，既适用于高速机台又适用于中低速机台，适应性较好；同时漆的涂覆性能好，漆包线外观光滑无缺陷；但由于其固体含量低，漆包线吨漆耗较高成本上升，VOC 排放量增加。

目前笔者所在公司生产的主要漆包线产品是空调、冰箱压缩机电机用耐热等级为 200 级及以上聚酯亚胺 / 聚酰胺

【作者简介】汤晓水（1971-），男，中国江西永新人，硕士，高级工程师，从事电磁线、绝缘材料研究。

酰亚胺耐冷媒漆包铜圆线。为满足耐冷媒漆包线产品的特殊耐冷媒发泡性能以及高速漆包机采用连拉连包连续生产和烘炉废气催化燃烧生产工艺^[2]。漆包线绝缘漆使用的是艾伦塔斯公司生产的绝缘漆组合。其产品性能优越并且能满足客户的使用要求，但因绝缘漆固体含量太低，漆耗占比最大（60%）的底涂漆 355/40R 固体含量也只有 38% 左右，从而导致漆耗较高，成本居高不下；固体含量太低导致漆内有机溶剂（如酚类、烃类等）占比较大，烘烤挥发有害气体及氮氧化物就更多，VOC 排放增加。因而，为提高漆包线产品质量、降低漆单耗，节能环保实现绿色制造。行业内绝缘漆伴随之不断优化提升，漆供应商也不断研发出了固含量高、发泡好等满足高端漆包线用的绝缘漆产品，漆包线行业协会也组织过相关的研究，从理论上研究分析，高固含量漆是完全可行的；只要溶剂提供的烘烤能量足够，合适的工艺条件下性能也完全满足产品标准要求^[3]。因而研究高固体含量漆在漆包线生产中的应用是一个必然趋势，也将势在必行。

3 高固体含量漆在漆包线生产中的应用研究

根据对现有漆包线产品的生产工艺及绝缘漆使用现状分析，为提高漆包线产品质量、降低漆单耗，减少 VOC 排放量实现漆包线产品的绿色制造。自 2019 年着手研究高固体含量漆在漆包线生产中的应用，对漆耗占比最大（60%）的底涂漆 355/40R 引进相对应的高固体含量绝缘漆，经与绝缘漆供应商进行反复研究论证，综合漆包线产品规格范围及漆耗成本，为了满足现有机型及产品规格使用绝缘漆，通过对高固体含量绝缘漆进行探讨、研究和选型，决定导入高固体含量漆 MT533-43FR 代替现正使用的低固体含量漆 355/40R。于 2019 年 6 月份开始，在漆包机高速机台上试用艾伦塔斯绝缘材料有限公司提供的高固体含量漆 MT533-43FR，在保持机台现有生产工艺（如炉温、DV 值、模具排列、漆箱温度等）不变的前提下进行试用。对导入的高固含漆与现使用低固含漆的固体含量和粘度的比较分析，以及对高固体含量漆生产漆包线的产品性能、在线检测（HVC）粒子数、产品的介质损耗曲线、生产适应性等几个方面试用结果进行研究。

3.1 高固含漆与现使用低固含漆的固体含量和粘度的比较

在相同的试验方法和试验条件下，对高固含漆（MT533-43FR）和低固含漆（355/40R）的固体含量、粘度进行检测，其检测数据如表 1 所示。

从表 1 数据分析可知，高固含漆的固体含量要比现正使用的低固含漆的固体含量高 5.01%，而高固含漆的粘度比低固含漆的粘度要大 393.4mpas。因而，高固含漆的溶剂量减少，树脂成分增加，有利于降低漆包线的漆单耗，减少溶剂燃烧产生的废气排放量。

表 1 高固含漆与低固含漆的固体含量和粘度数据对比

项目	涂料型号	试验方法	固体含量 (%)	粘度 (mpas)
高固含漆	MT533-43FR	180℃ × 1.0g × 1h	43.03	1718.4
低固含漆	355/40R	180℃ × 1.0g × 1h	38.02	1325.0

3.2 高固含漆与低固含漆生产漆包线产品的性能分析对比

选取连拉连包高速漆包机 H19-1 生产 Φ0.925Lmm 和 H19-2 生产 Φ1.025Lmm 进行高固含漆（MT533-43FR）的试用，并对高固含漆和现使用低固含漆（355/40R）所生产产品的性能进行检验，同规格不同固含绝缘漆所生产漆包线的性能检验数据对比来看，漆包线的外径、漆膜厚度、1D 卷绕、软化击穿、热冲击、击穿电压、耐冷媒发泡性能、盐水针孔等性能基本一致，能完全满足国家标准及客户的质量要求。但高固含漆生产产品的剥离扭绞（附着性）、偏心比、单向耐刮、往复耐刮性能等指标比现有低固含漆生产的产品要好。说明高固含漆完全能够满足连拉连包高速漆包机的生产工艺，产品质量比低固含漆生产漆包线产品要好。

3.3 高固含漆与低固含漆生产产品的在线检测粒子比较

粒子是指漆膜表面有杂质、漆瘤、麻皮、气泡等，严重影响漆包线表面质量，会导致漆包线的电气性能、热性能等性能的下降，造成漆包线使用寿命缩短，影响电工产品正常工作^[4]。由于漆包线生产为连续化作业，影响产品表面粒子质量缺陷的因素较多，其中绝缘漆选择就是一个重要因素。为了在裸铜线表面获得一层均匀光滑的漆膜，对漆的流平性有较高的要求。当裸铜线经过涂漆模具后，漆液并不是很均匀地附在裸铜线上，最后还需要依靠漆液本身的流平性使漆层拉圆，降低偏心度并使漆膜表面光滑、连续、无缺陷^[5]。对高固含与低固含漆两种漆生产漆包线的漆膜表面粒子通过 HVC 进行在线检测，数据比较分析可知，高固含漆 MT533-43FR 生产漆包线在线粒子数和针孔数均为 0 个 /30m，而现有低固含漆 355/40R 生产产品在线粒子数 0.02 个 /30m、针孔数 0.03 个 /30m，说明高固含漆 MT533-43FR 的流平性好，涂覆性能佳，更适应现有连拉连包高速漆包机的生产工艺。

3.4 高固含漆与低固含漆生产产品的介质损耗研究

漆包线漆膜介质损耗温度曲线（tan-t）是在各温度点上的介质损耗值，tan 陡升温度切线，是反映漆膜随温度变化的过程，从玻璃态到高弹态再到粘流态的一个变化。一般来讲 tan 陡升拐点温度接近于漆包线的耐热等级，所以从漆包线介质损耗 tan 陡升拐点温度，还可判断出漆包线的耐热等级（温度指数）。借助比较分析漆包线介质损耗曲线 tan-t，漆包线漆膜介质损耗 tan 陡升拐点温度是度量漆膜固化程度的重要参数，对漆包线质量控制具有十分重要的意义^[6]。高固含与低固含漆两种漆生产漆包线的漆膜介质损耗温度

曲线 (tan-t) 比较分析可知, MT533-43FR 和 355/40R 两种漆膜介质损耗温度曲线 tan 陡升拐点温度分别是 199.2℃、204.7℃, 几乎相同, 从而可判断两种漆膜的耐热等级均为 200 级, MT533-43FR 高固含漆生产的漆包线完全能够达到 200 级产品的性能要求^[7]。

4 效益分析

为验证使用高固含涂料连续生产的漆包线产品质量稳定性并准确测定其漆单耗, 于 2019 年 7 月 19 日至 23 日, 在 H19 机台上批量使用高固含涂料, 并且在保持原有工艺不变, 两种漆的漆单耗等各项生产数据如表 2 所示。

从上表数据可知, 在相同的生产周期、相同的试用机台、在相同生产工艺的前提下生产相同规格 (Φ 1.00mm) 的漆

包线产品, 分析总结如下:

首先, MT533-43FR 试用周期内产品的一次交验合格率为 100%, 合格率较 355/40R 低固含漆高 0.22%, 说明使用高固含漆连续生产时产品质量相对稳定、适应性好; 其次, MT533-43FR 高固含漆的漆单耗较 355/40R 低固含漆的漆单耗有所下降, Φ 0.80mm 规格的漆包线, 高固含漆的漆单耗下降为: 68.86-62.81=6.05kg/t。

效益测算: 按漆包线年产能 2.0 万 t, 根据目前两种漆的采购单价, 每年的漆消耗约 2000t, 每年可降低生产成本 111.6 万元; 而使用 MT533-43FR 高固含量漆则只需要 1879t 涂料, 与 355/40R 低固含漆比较, 每年可减少 121t 的漆因烘烤而产生的废气及氮氧化物排放, 在很大程度上减轻由此带来的环保压力。

表 2 高固含漆与低固含漆的漆单耗等各项生产数据的比较

绝缘漆型号	使用周期 (4 天)	使用 机台	生产规格 (mm)	漆用量 (kg)	漆包线产量 (t)	产生废线 (kg)	一次交验合格 率 (%)	漆包线合格 率 (%)	漆单耗 (kg/t)
MT533-43FR	7 月 19 日至 23 日	H19	Φ 1.00	1066.835	20.98	190.3	100	99.10	50.85
355/40R	7 月 5 日至 9 日	H19	Φ 1.00	1187.042	21.29	240.7	100	98.88	55.75

5 结语

综上所述, 通过对高固含漆在漆包线生产中的应用研究, 高固含漆在提高漆包线产品质量、降低生产成本、减少环境污染等方面具有非常重要的作用和意义。国内已经有许多漆包线企业都在推广使用高固含漆, 甚至有些企业使用高固含漆的固体含量达到 50% 以上, 这也将是当前漆包线行业的必然趋势。笔者公司从 2019 年开始陆续对卧式高速漆包机进行高固含漆的推广应用, 取得了很好的经济效益和社会效益。

参考文献

[1] 汤晓水. 新能源汽车驱动电机用变频漆包铜扁线的研发[J]. 铜业工程, 2020(1): 43-47.
[2] 汤晓水, 李华. 浅谈 MAG 高速漆包机烘炉的节能技[J]. 铜业工

程, 2020(2): 85-89.

[3] 刘积军. 用漆包线介质损耗指标分析判断指南的标准化探讨[J]. 电线电缆, 2007(5): 21-25.
[4] 叶立新. 合理用漆 减少排放[C]//中国电器工业协会电线电缆分会 2018 绕组线行业技术论坛论文集. 佛山: 中国电器工业协会主办, 2018: 12-18.
[5] 王湄. 漆包线外观缺陷的产生原因及改善分析[J]. 福建农机, 2017(2): 45-48.
[6] 段宗友. 高固体含量漆包线漆的应用[C]//2006 年全国绝缘材料与绝缘技术专题研讨会论文集. 桂林: 中国电工技术学会与中国电器工业协会联合主办, 2008: 152-158.
[7] 王朝霞. 漆包线漆膜偏心产生的原因及对漆包线性能的影响[J]. 中国金属通报, 2016(2): 63-64.