

粉末涂料在新能源箱变设备上的应用

张辰坤, 梁乔伟, 杨新望, 胡大为
(川开电气有限公司, 成都 610200)

摘要: 针对新能源箱变产能增长, 水性漆喷漆废气处理环保压力, 为响应政府倡导的绿色低碳发展要求, 同时喷涂质量和效率需要进一步提升, 按照《四川省工业领域重点行业低(无)挥发性有机物原辅材料替代实施方案》, 采用先进适用技术、粉末涂料产品, 进行粉末涂层设计和喷粉产线规划落地, 实现降本提效, 节能降排。

关键词: 粉末涂装; 涂装新工艺; 节能减排

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2025)03-0063-04

Application of Powder Coating in New Energy Box Transformer Equipment

ZHANG Chen-kun, LIANG Qiao-wei, YANG Xin-wang, HU Da-wei
(Chuan Kai Electric Co., Ltd., Chengdu 610200, China)

Abstract: In view of the growth of new energy box transformer equipment, the environmental protection pressure of water-based paint spraying exhaust gas treatment. In response to the green and low-carbon development requirements advocated by the government, and the quality and efficiency of spraying needing to be further improved, in accordance with the *Implementation Plan for the Replacement of Low (No) Volatile Organic Compounds Raw and Auxiliary Materials in Key Industries in the Industrial Field of Sichuan Province*, adopts advanced applicable technologies and powder coating products to carry out powder coating design and powder spraying production line planning and implementation, so as to reduce costs and improve efficiency, save energy and reduce emissions.

Key words: powder coating; new technology in painting process; energy saving and emission reduction

0 引言

目前我国正处于实施控制 VOC 废气排放的重要阶段, 四川省为全面推动工业领域重点行业低(无)挥发性有机物(VOC)原辅材料替代, 促进减污降碳协同增效, 四川省经济和信息化厅、四川省生态环境厅等五部门联合制定了《四川省工业领域重点行业低(无)挥发性有机物原辅材料替代实施方案》, 明确要求各涂装领域实施低(无)VOC 产品制造和原辅材料替代技术创新攻关, 针对基础工艺、关键基础材料、高端装备等重点领域, 着力解决生产工艺、核心材料、关键设备等

方面技术瓶颈, 突破一批原辅料替代关键共性技术, 研究制定原辅材料替代相关技术指南, 进一步健全原辅材料替代工作标准体系。川开电气智慧工厂积极响应国家号召, 探索实施采用节能环保的粉末涂料产品替代水性漆的涂装应用, 从原料选型、设备及工艺上解决生产中的瓶颈难点, 本文通过使用粉末涂料对新能源箱变进行涂装, 进行试点性工艺变革, 为同行业绿色降耗发展积累相关经验。

1 粉末涂料特性

我公司基于绿色智慧能源发展战略, 在绿色能源战略下实现企业的降本增效发展, 2024 年成立了“水改粉”专项小组, 致力于粉末产线的落地实施, 粉末涂料具有以下特性。

1.1 粉末涂料 VOC 低, 接近于零^[1]。

一般粉末涂料是不含挥发性的有机溶剂和水的固

收稿日期: 2024-11-26

作者简介: 张辰坤(1991—), 男, 本科, 工程师, 主要从事涂装新工艺、技术、材料的推广应用、涂装生产线技术支持及涂装产线规划等工作。E-mail: 532572209@qq.com。

体粉末物质,因为不含有机溶剂,在烘烤固化过程中没有有机物的挥发,可以避免有机溶剂的光化学反应和毒性所造成的大气污染,另外避免了水性漆废水的处理,降低危废的处理成本。

1.2 可操作性强,涂装弊病少

静电粉末喷涂技术易掌握,不需喷涂技能高的喷手,涂膜厚时也不易产生肥边、针孔等常见涂装弊病。

1.3 成本降低,效率提升

粉末涂料的单价成本为水性漆的 1/2,可在封闭喷漆房进行回收,回收率达 90%以上,综合成本比水性

漆低;粉末涂装效率高,一次性喷涂可达 80~100 μm ,相对于水性漆多道涂装,可以减少涂装道数,底粉烘烤时间仅需要 8~10 min,减少了烘烤时间,能够提高劳动生产效率。

2 粉末涂层设计

2.1 粉末性能标准

应用于新能源箱式电力设备上的粉末涂料无国家和行业标准,结合 HG 2006—2022《热固性和热塑性粉末涂料》,编写企业标准进行试验和验证。电力设备复合涂层相关技术指标如表 1 所列。

表 1 粉末复合涂层性能指标

检验项目	检验方法	新涂层体系检测技术指标
颜色色差	GB/T 11186.2—1989	$\Delta E \leq 1.5$,与标准色板对比,要求目视无明显色差
附着力(划格法)/级	GB/T 9286—2021	1
耐冲击性/cm	GB/T 1732—2020	≥ 50
弯曲试验/mm	GB/T 6742—2007	≤ 4
光泽(60°)/%	GB/T 9754—2007	55 \pm 5
硬度(铅笔)	GB/T 6739—2022	$\geq H$
耐水性	GB/T 1733—1993	浸水法((23 \pm 2) $^{\circ}\text{C}$)720 h,无锈蚀、无气泡、附着力 ≤ 1 级、铅笔硬度大于 F
耐碱性	GB/T 9274—1988(浸泡法)	25 $^{\circ}\text{C}$ 0.1 N NaOH 168 h,不起泡,不起皱,允许轻微变色、失光
耐酸性	GB/T 9274—1988(浸泡法)	25 $^{\circ}\text{C}$ 0.1 N HCL 240 h,不起泡,不起皱,允许轻微变色、失光
耐湿热性	GB/T 1740—2007	≥ 960 h,板面无起泡、不生锈、不开裂,允许轻微变色 $\Delta E_{\text{cmc}} \leq 3.0$
耐中性盐雾性	GB/T 1771—2007	≥ 720 h 不起泡、不生锈、不开裂(划线),划线处单侧锈蚀宽度 ≤ 2 mm
耐人工老化	GB/T 1865—2009 方法 1	Q-SUN ≥ 1 000 h,滤过的氙弧辐射;不开裂,不粉化,不起泡、允许轻微变色 $\Delta E_{\text{cmc}} \leq 3.0$,失光 $\leq 20\%$

2.2 涂层配套选用

目前,电气设备行业开关柜钣金件使用“前处理(磷化、陶化)+聚酯涂层”配套已经成熟,但大型件的粉末静电喷涂还处于探究阶段;我公司在 2024 年整体的降本节能规划上,进行成本的核算,新能源箱变粉末喷涂项目正式立项;经过前期的技术调研,确定了涂层的体系为“环氧底粉+聚酯面粉”^[2]。新能源箱变顶盖、底座涂层体系:环氧底粉 50~70 μm +聚酯面粉 50~70 μm ;框架配套体系:局部高温腻子 500~1 000 μm +环氧底粉 50~70 μm +聚酯面粉 50~70 μm 。

3 复合涂层配套验证

3.1 低温烘烤粉末应用

粉末喷涂到腻子,在 200 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤时,粉末涂层会出现起泡和脱落的现象,而使用进口腻子时,在 170 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤时不会出现起泡和脱落的现象,当前环氧粉末的正常固化条件是 180 $^{\circ}\text{C}/15$ min、户外聚酯粉末的固化条件是 200 $^{\circ}\text{C}/10$ min,不能满足在基材刮腻子后使用,针对现状,本项目要求粉末厂家在保证涂层各方面

性能指标满足要求的情况下,开发了 170 $^{\circ}\text{C}/15$ min 低温固化的环氧粉末和户外聚酯粉末涂料。

环氧粉末中添加一定比例的低温固化促进剂,户外聚酯粉末采用羟烷基酰胺(HAA)为固化剂,同时添加一定比例的户外聚酯粉末体系的低温固化促进剂,经过测试在 170 $^{\circ}\text{C}/15$ min 的固化条件下,涂层性能均能满足表 1 复合涂层性能指标中各项要求。同时户外聚酯/羟烷基酰胺(HAA)体系由于 HAA 无毒性,对人类健康不产生威胁,具有更环保的优势。由于本项目选用的是低温固化体系的粉末涂料,相对于 180~200 $^{\circ}\text{C}$ 的固化条件,可以降低更多的能耗,大大减少粉末涂料涂装成本^[3]。与传统高温固化粉末涂料相比,低温固化粉末涂料至少具有两大优势:一是成膜温度较低,可节省大量能源,涂料的固化成膜温度每下降 10 $^{\circ}\text{C}$,可节约 10%左右的能源;二是固化温度低可使粉末涂料的应用领域得到更大的拓展。

3.2 腻子粉末配套验证

粉末的特性为高温固化,故选择高温导电腻子是

此次新工艺的难点,验证腻子与粉末配套性极为重要,本次验证通过前期资料的收集,选择了2种国外进口的腻子、1种国产腻子进行了腻子和粉末配套烘烤温度梯度试验,从200~170℃进行降温烘烤试验,详见表2所列;试验结果A、B、C刮涂腻子粉末涂层配套试板,180℃以上的温度粉末和腻子涂层均起泡(如图1所示),复合涂层进行附着力测试时,涂层附着力较差,发生大面积脱落(如图2所示)。当温度降低至170℃时,A、B试板表现良好,无复合涂层质量缺陷;最终选用A、B进口腻子,底粉固化温度选择170℃,烘烤时间15min。

表2 腻子配套涂层梯度试验表

腻子代号	烘烤温度/℃	烘烤时间/min	复合涂层表现
进口腻子 A	200	15	起泡、脱落
进口腻子 B	200	15	起泡、脱落
国产腻子 C	200	15	起泡、脱落
进口腻子 A	180	15	起泡、脱落
进口腻子 B	180	15	起泡、脱落
国产腻子 C	180	15	起泡、脱落
进口腻子 A	170	15	正常、附着力1级
进口腻子 B	170	15	正常、附着力1级
国产腻子 C	170	15	起泡、脱落

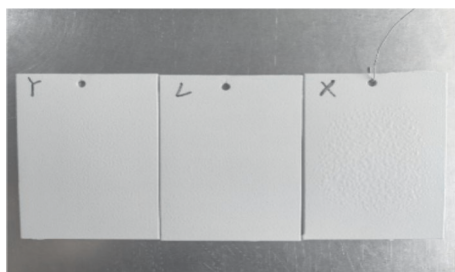


图1 腻子烘烤起泡图片

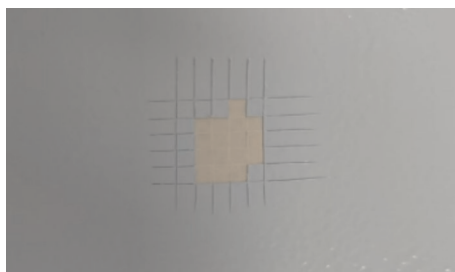


图2 附着力差图片

4 产线设计、工艺实施

4.1 产线设计

新建新能源箱变静电粉末喷涂线,整条线设备平

面布置:50 m×7.5 m;考虑到烘烤是瓶颈工序,所以整条产线建设2个烘房和1个喷房,采用一套2×2 t双车自行葫芦吊挂输送喷粉,人工开启喷粉房进口气动大门,把工件吊运进喷粉房进行人工喷粉,工件喷好后出,人工开启喷粉房出口大门,把工件吊运出喷粉房放到暂存台车上,放满后转挂到烘烤台车上,开启烘烤按钮,炉门自动开启,由固化炉地面输送机自动输送进固化炉,炉门自动关闭进行粉末固化,固化完成后声光提示,炉门自动开启,地面输送机自动输送出炉冷却,成品采用叉车下线。需喷面粉的工件不下线,重复以上流程由台车带回到转挂位,由自行葫芦吊挂回喷粉房进行喷面粉。粉末喷涂产线布局如图3所示,粉末喷涂产线实物如图4所示。

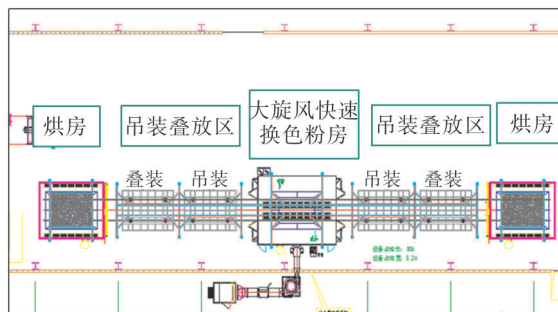


图3 粉末喷涂产线布局

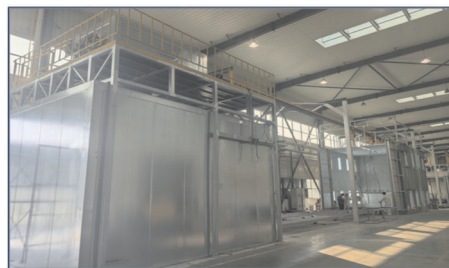


图4 粉末喷涂产线实物

4.2 工艺流程

通过前期的涂层配套验证,编制了新能源箱变喷涂工艺文件,确定了产线的喷涂工艺流程为:大件喷砂→刮腻子→打磨→吹灰→喷涂环氧底粉→低温固化(170℃,15min)→喷涂聚酯面粉→固化(200℃,10min)。

4.3 双涂层粉末静电喷涂操作要点

喷枪与工件间距10~25cm为宜,在电压不变情况下,距离增加时膜厚减小,上粉率降低;喷枪与工件间距过短时,会产生火花放电。

喷涂电压对粉末在工件上的附着量有影响,电压增高附着量增加,但是电压过高(大于90kV)时,粉末

附着量反而降低。电压过低不能使粉末充分带电,上粉率低,涂层厚度不均;电压过高容易造成粉末反弹和边缘麻点。

双涂层喷涂参数如表 3 所列,工件的复杂程度不同,可在建议的参数范围内调整。

表 3 双涂层喷涂参数

项目	参数	选用原因
喷枪/品牌	瓦格纳尔	
电压/kV	70~90	一次喷涂,最佳上粉率电压
	40~60	二次喷涂,电压过高易击穿
电流/ μA	10~40	超出 40 μA 有电击风险
出粉量/%	50~100	根据产品膜厚需求调整出粉量
雾化/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	0.3~1.5	根据工件型号调整

由于喷涂系统的环包效应,在调整喷枪行程时应稍低于工件的高度,以减少肥边现象;由于喷涂系统的法拉第效应,在喷涂凹槽时,应将喷涂电压调至 50~60 kV,避免尖角处出现击穿。

更换粉末时必须彻底清扫喷枪和回收设备内的粉末,回收粉末经大于 120 目的筛网过滤后可与新粉末混合使用。回收粉末中粒径分布与新粉末不同;回收粉末经过一次以上的充放电过程,粉末再次充电能力降低;回收粉吸附了空气中水分与灰尘,上述原因使回收粉的上粉率下降,并对涂层质量产生影响,故不能大量使用,其添加比例不宜超过 30%。

5 粉末喷涂应用效果

5.1 过程质量检测

小批量生产的条件下,对复合性能进行跟踪和检测,技术指标和实测性能如表 4 所列,经过阶段性统计,产品无流挂、针孔等水性漆常有的缺陷,产品下线质量一次通过率可达 95% 以上。

表 4 粉末涂料涂膜性能及实测性能

检验项目	检验方法	技术指标	实测性能
颜色色差	GB/T 11186—1989	$\Delta E \leq 1.5$,与标准色板对比,要求目视无明显色差	0.8
附着力/级	GB/T 9286—2021	1	0
耐冲击性/cm	GB/T 1732—2020	50	正面无开裂
弯曲试验/mm	GB/T 6742—2007	≤ 4	无开裂

5.2 成本降低、效率提升

新能源小框架粉末喷涂相对于水性漆喷涂材料成本降低 76%,效率提升 35%,具体效率对比如表 5

所列。

表 5 粉末喷涂与水性漆喷涂效率对比

工序	A 粉末涂层配套 (环氧底粉+聚酯面粉)		B 水性漆涂层配套 (水性环氧底漆+聚氨酯面漆)	
	工艺过程	时间/min	工艺过程	时间/min
前处理	喷砂	20	喷砂	20
	除尘	10	除尘	10
	刮涂腻子打磨	15		
底粉/底漆	转运	20	转运	5
	喷底粉	15	喷底漆	30
	转运	20	流平	0
	固化(170 °C)	15	烘干(80 °C)	40
	打磨	0	打磨	30
	转运	5	转运	15
面粉/面漆	喷面粉	15	喷面漆	30
	固化(170 °C)	15	流平	20
	转运	20	转运	15
			烘干(60 °C)	40
		转运	20	
总计		170		275
占用时间/ ($\text{min} \cdot \text{m}^{-2}$)		2.1		3.4

注:单套按 80 m^2 计。

6 结语

小批量实施阶段,共对 60 台新能源箱变样机实施了应用,“环氧底粉+聚氨酯面粉”成功地应用到新能源箱变喷涂的生产项目上,推动了电力行业的环保涂装技术的又一次变革,由传统的开关柜前处理工序+静电粉末喷涂的工艺,新增为大型件的喷砂+双涂层粉末工艺,实现了公司喷涂选择的多样化;将大幅度提高涂层质量和生产效率,降低生产运营成本,且可省去“三废”治理设备和运行的高昂费用^[4]。

参考文献:

- [1] 南仁植.粉末涂料与涂装技术[M].北京:化学工业出版社,2014:12-13.
- [2] 赵趁妮,刘翠梅,齐祥安.工程机械钢结构件新粉末涂层体系研究[J].涂料工业,2021(9):64-68.
- [3] 张欣华,邵妃.户外粉末涂料用低温固化聚酯树脂的开发[J].涂料技术与文摘,2014(3):14-17
- [4] 刘翠梅,齐祥安.工程机械油箱“水改粉”涂装新工艺的研究应用[J].现代涂料与涂装,2019(3):20-22.

