

T1168-H 环保型耐高温浸渍树脂在牵引电机上的应用研究

王 健^{1,2}

(1. 海上风力发电技术与检测国家重点实验室, 湖南 湘潭 411101;

2. 湘潭电机股份有限公司, 湖南 湘潭 411101)

摘 要: 对 T1168-H 环保型耐高温浸渍树脂的耐热性能、环保性能、储存稳定性等进行了研究, 并制作模拟线圈, 对其在牵引电机上的应用性能进行测试。研究表明: T1168-H 树脂综合性能较优, 温度指数达到 222 ℃, 挥发份低且无毒环保, 树脂贮存性能稳定; 浸渍 T1168-H 树脂的线圈绝缘在击穿电压、绝缘电阻(浸水前后)以及介质损耗因数等方面性能优异, 能够满足牵引电机对绝缘浸渍树脂的要求。

关键词: 环保; 浸渍树脂; 牵引电机; 耐高温

中图分类号: TM 304 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2018)09-0079-04

Application Research of T1168-H Environment-Friendly High Thermal Endurance Impregnating Resin in Traction Motor

WANG Jian^{1,2}

(1. State Key Laboratory for Offshore Wind Power Generation Technology and Detection,

Xiangtan 411101, China;

2. Xiangtan Electric Manufacturing Group Corporation Ltd., Xiangtan 411101, China)

Abstract: The heat resistance, environmental protection performance and storage stability of T1168-H environment-friendly high temperature impregnating resin were studied. The application performance of T1168-H in traction motor was tested on a sample coil. The results showed that the temperature index of T1168-H resin reached 222 ℃. Besides, T1168-H resin had the advantages of low volatile content, no toxicity and environmental protection, and storage stability. The coil impregnated with T1168-H resin exhibited excellent insulation performances in breakdown voltage, insulation resistance and dielectric loss factor. This material could meet the traction motor insulation requirements.

Key words: environmental protection; impregnating resin; traction motor; high thermal endurance

0 引 言

目前,城市轨道交通作为一种绿色、快捷、安全的出行方式,深受人们喜爱,同时得到各国政府的大力提倡。牵引电机是城市轨道交通车辆驱动系统的核心部件^[1]。其运行可靠性和寿命,很大程度上由所采用的绝缘系统来决定。绝缘浸渍树脂是绝缘系统的重要组成部分^[2-4]。湘潭电机股份有限公司牵引电机绝缘系统所使用的绝缘浸渍树

脂,是以二苯醚聚酯和耐高温交联剂为主体的无溶剂绝缘浸渍树脂,具有较强的粘接力和较好的机械强度,电气性能、耐高温性能、工艺应用性能较为优异^[5]。随着我国对环境问题的重视,对企业生产的环保要求也有所提高。该浸渍树脂虽然为相对环保的无溶剂浸渍树脂,但其以苯乙烯作为活性稀释剂,在绝缘系统生产制造过程中仍然会有大量的刺激性有害物质挥发出来,对空气及周边环境造成污染,对职工身体造成危害。

针对此现状,为满足牵引电机用绝缘浸渍树脂所面临的诸多性能要求,对 T1168-H 环保型耐高温浸渍树脂(以下简称 T1168-H 树脂)在牵引电机上的应用进行研究。

1 T1168-H 树脂基本性能

T1168-H 树脂是由经改性的耐高温和高纯度环氧树脂,配以低黏度超支化树脂调节黏度,并用

特种潜伏性固化剂配制而成的单组分改性环氧耐高温浸渍树脂。其具有优异的电气性能和耐高温性能,同时兼备环保、无毒的特点。

1.1 T1168-H 树脂常规性能

按照 GB/T 15022.2-2007《电气绝缘用树脂基活性复合物 第 2 部分:试验方法》检测常规性能。T1168-H 树脂常规性能技术指标如表 1 所示。

表 1 T1168-H 树脂常规性能技术指标

序号	指标名称	试验条件	指标值	实测值
1	外观	试管法,目测	淡黄色透明液体,无机械杂质	淡黄色透明液体,无机械杂质
2	黏度/s	涂 4 号黏度计,23±2 °C	40~200	80
3	密度/(g·cm ⁻³)		1.10±0.05	1.11
4	贮存稳定性	闭口法,60 °C,96 h	黏度增长不超过起始值 0.5 倍	黏度增长 0.17 倍
5	闪点/°C	开口法	≥60	120
6	厚层干燥性	135±2 °C,2 h	达到 S1.U1.I2.2	S1.U1.I2.1
7	固化挥发份/%	150±2 °C,2 h	≤3	1.6
8	介电强度/(MV·m ⁻¹)	常态	≥25	28.6
		155±2 °C	≥19	24.5
		180±2 °C	≥18	22.9
9	体积电阻率/(Ω·m)	常态	≥1×10 ¹³	2.4×10 ¹⁴
		155±2 °C	≥1×10 ¹⁰	7.5×10 ¹⁰
		23±2 °C 浸水 7 d 后	≥1×10 ¹²	1.8×10 ¹⁴
10	介质损耗/%	常态	≤1.0	0.42
		155±2 °C	≤3.0	1.52
		180±2 °C	≤5.0	3.21
11	耐漏电痕迹/V	CTI	≥550	≥550

1.2 T1168-H 树脂耐热性能

经机械工业电工材料产品质量监督检测中心,参照 JB/T 1544—1999《电气绝缘浸渍漆和漆布快速热老化试验方法》,以漆浸渍绞线对热

重点斜法测试的温度指数为 222,测试报告编号为 2011-153,数据摘录如表 2 所示。从测试数据可以看出,T1168-H 树脂能够满足牵引电机绝缘结构耐热性能的要求。

表 2 T1168-H 树脂绞线对热重点斜法温度指数

热失重试验结果										
失重率/%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
对应温度/°C	285	305	318	327	334	340	346	351	358	368
绞线对恒温点老化试验结果										
老化时间/h	144	288	528	864	1 200	1 536	1 872	2 208	2 496	2 880
累计破坏个数	0	0	0	0	0	0	0	1	3	13

由试验结果计算可得:

表观热裂解活化能 $E_p = 28\ 059$

热寿命斜率 $b = 6\ 131.774\ 476$

失效时间 $t_{200\text{ }^\circ\text{C}} = 2\ 688\ \text{h}$

绞线对热重点斜法热寿命方程

$$\lg\tau = -8.074\ 838\ 045 + \frac{6\ 131.774\ 476}{T}$$

绞线对热重点斜法温度指数 $T_1 = 222$

1.3 T1168-H 树脂的固化挥发性及毒性 (环保性能)

全球越来越重视环境保护,对无溶剂类浸渍漆(树脂)的无挥发性或无伤害低挥发性要求也越来越高。T1168-H 树脂固化挥发份 < 3% (实测值 1.6%),且固化过程中没有刺激性气味,对环境影响小,达到了无刺激性、低挥发份的环保要求。上海市疾病预防控制中心按照 GB 15193.3—2014《食品安全国家标准急性经口毒性试验》检测,检测报告编号 2014-0179,检测结果显示:T1168-H 树脂属实际无毒级。

1.4 T1168-H 树脂贮存稳定性

用涂-4 黏度计跟踪检查树脂在不同条件下储存一定时间后,室温黏度变化情况,试验方法按 GB/T 6753.4—1998 执行。将 T1168-H 树脂分成 A、B 两组,分别置于常温环境和 60 °C 烘箱中贮存,每 4 天取样检测树脂黏度,记录两组树脂的黏度变化。A、B 两组树脂的黏度变化趋势如图 1 所示。从图 1 可看出,随着储存时间的增长,两种温度条件下树脂黏度均有增长趋势;在储存于 60 °C 封闭环境条件下时,黏度增长较快,16 d 后黏度增长速率变快;在储存于常温条件下时,黏度增长缓慢,24 d 黏度增长率为 0.04,表明 T1168-H 树脂在实际应用中具有比较好的贮存稳定性。

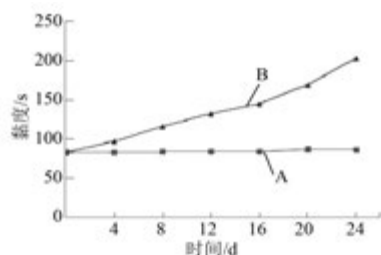


图 1 A、B 两组树脂的黏度变化曲线

1.5 T1168-H 树脂玻璃化转变温度

玻璃化转变温度是表征高分子聚合物性能的

重要参数之一。浸渍树脂的玻璃化转变温度太高,则表明该树脂太硬,刚性太大,柔韧性差,电机在制造和长期运行过程中其主绝缘容易产生微小裂纹,损害电机运行可靠性;而玻璃化转变温度太低,则树脂柔韧性好,但刚性差,其热态机械性能和电气性能不好^[6]。一般认为,绝缘浸漆树脂玻璃化转变温度在 95~120 °C 较为合适。采用差示扫描量热仪测试 T1168-H 树脂的玻璃化转变温度为 98.7 °C。T1168-H 树脂测试的玻璃化转变温度曲线如图 2 所示。

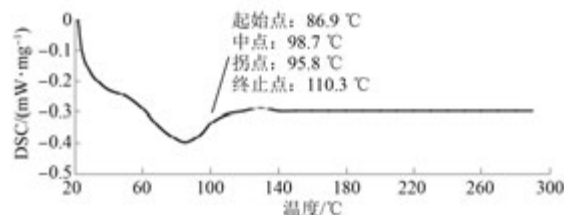


图 2 T1168-H 树脂玻璃化转变温度曲线

2 T1168-H 树脂在牵引电机上的应用

2.1 试样线圈的制作

2.1.1 线圈绝缘结构

试样线圈采用某型号牵引电机用线圈。该线圈所用电磁线为耐电晕薄膜烧结铜扁线 MYFCRB-0.23,对地绝缘采用亚胺薄膜云母带和亚胺薄膜分别半迭包两次,然后用无碱带平包一次保护。为保证制备的线圈绝缘性能稳定和可靠,采用两次 VPI 工艺浸渍 T1168-H 树脂。

2.1.2 线圈烘焙工艺

(1) 预烘。95±5 °C 下预烘 10~12 h,然后冷却至 50~80 °C。

(2) 一次浸漆。工件入罐浸漆,抽真空至 100 Pa 以下 2~4 h,然后输漆浸没工件,再加压到 0.5~0.6 MPa,并维持压力 5~6 h。

(3) 一次烘焙。工件在 140~150 °C 的温度下烘焙 3~6 h,然后冷却至 50~80 °C。

(4) 二次浸漆。工件再次入罐浸漆,重复(2)。

(5) 二次烘焙。工件在 140~150 °C 的温度下烘焙 3~6 h,再在 160~170 °C 的温度下烘焙 8~12 h。

2.2 应用结果

制备好的试样线圈漆膜平整光亮,呈棕黄色

透明,基本保持了线圈外包绝缘的颜色。将试样线圈放入水槽中,引线金属部分露出水面,测量浸水前及浸水 2、4、24 h 后绝缘电阻,结果如表 3 所示。将浸水后的试样线圈放入 120 ℃烘箱内烘干 7 h,然后进行电性能试验,结果如表 4 所示。

表 3 线圈浸水前后电阻值测量结果

编号	电阻值/MΩ			
	浸水前	浸水后		
		2 h	4 h	24 h
1	∞	∞	∞	∞
2	∞	∞	∞	∞
3	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	∞	∞

合格 ≥ 20 MΩ

表 4 线圈电性能检测结果

编号	常态介质损耗/% 3 000 V	击穿电压/kV		介电强度/ (kV·mm ⁻¹)
		上层边	下层边	
1	1.47	44	46	73.3
2	1.55	42	40	66.7
3	1.57	43	42	70.0
4	1.62	39	43	65.0
5	1.55	44	42	70.0
注	合格 ≤ 2.0	合格 ≥ 21		取最小值

从以上数据可以看出,浸渍 T1168-H 树脂的试样线圈,浸水电阻(24 h, ≥ 20 MΩ)合格,介质损耗值和击穿电压值均为合格,满足牵引电机对绝缘的要求。

3 结 语

T1168-H 树脂的综合性能优异,黏度适中,树脂凝胶快、挂漆量大,具有良好的应用工艺性能;具有较好的耐高温性能,温度指数达到 222,可以满足牵引电机绝缘结构耐高温性能的要求;环保性能良好,具有无毒且固化挥发份低(实测值 1.6%)的特点,在运输、浸漆和烘焙过程中均没有刺激性气味产生,对环境的影响小,达到了实际无毒级、无刺激性、低挥发份的环保要求,是一种新型的环保的浸渍树脂;贮存性能较好,正常状态下储存 24 d 黏度增长率仅 3.6%,可以满足长期贮存及反复使用的要求;浸渍 T1168-H 树脂的牵引电机定子线圈具有优异的电气性能,可以满足牵引电机绝缘系统的电气性能要求。

【参考文献】

- [1] 滕强,姜辉,张春红.城轨车辆用交流异步牵引电机的研制[J].防爆电机,2017,52(2): 8-11.
- [2] 陈红生.C 级 3551 有机硅无溶剂浸渍树脂及其在牵引电机上的应用[J].电力机车和城轨车辆,2006,29(5): 38-40.
- [3] 文清云,吕天峰,伍尚华.H 级环保型无溶剂浸渍树脂的研制[J].绝缘材料,2009,42(1): 8-10.
- [4] 梁西川,曹燕飞,陈红生,等.牵引电机有机硅绝缘系统和环氧酸酐绝缘系统的性能对比[J].绝缘材料,2013,46(2): 29-32.
- [5] 蔡彬芬,曾鸿平,李志雄,等.TJ1160 无溶剂快干浸渍漆的研制[J].绝缘材料通讯,1998(4): 1-3.
- [6] 王健,于英双.风电及高压电机用绝缘浸渍漆选型试验研究[J].电机与控制应用,2018,45(4): 116-121.

收稿日期: 2018-05-31

本刊投稿须知

随着技术发展和创新升级,尤其是感测、信号处理、仿真分析等技术快速发展,电机行业发展迎来新机遇,技术领域拓展到高效电机及再制造、风电并网控制、系统节能运行、智能调速与保护、电驱动等专业领域。

《电机与控制应用》期刊内容涉及五大板块:(1) 电机设计与制造: 涉及电机制造新工艺、新材料、高效电机及再制造、智能制造等技术;(2) 电机测试与检测: 涉及电机及系统运行的状态感测、快速信号处理、电机运行故障诊断、智能在线检测等技术;(3) 电机调速与保护: 涉及变频调

速、高性能调速、运动控制、电机起动及运行保护、智能调速等技术;(4) 并网与电驱动: 涉及风电并网控制、电动汽车驱动等技术;(5) 系统节能运行: 涉及电机应用系统节能相关技术。

为及时、全面刊载上述技术领域的最新技术动态,推广研发成果、工程经验及新产品应用方案,推动研究与应用的紧密结合,欢迎广大科研技术人员及团队向本刊投稿!

本刊只接受官网在线投稿系统(www.motor-abc.cn)的投稿。一经投稿,不可一稿多投,稿件确定不录用后方可另投他刊,敬请注意!