

基于单气室真空脱气的变压器油中溶解气体红外光谱分析探讨

任双赞¹, 叶晓林², 孙业峥³, 汤晓君³, 辛 蕾¹, 吴 昊¹, 朱红梅¹

(1. 国网陕西省电力有限公司电力科学研究院, 陕西 西安 710100; 2. 国网陕西省电力有限公司超高压公司, 陕西 西安 710100; 3. 西安交通大学 电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要:油中溶解气体监测法是一种重要的变压器故障诊断与运行状态评估方法。本文提出了一种基于单气室真空脱气的变压器油中气体光谱分析法,介绍了基于此方法的变压器油中溶解气体监测装置的原理与结构。由于每次检测时气室内的温度和压强不同,需要进行温度压强补偿实验,实验验证了温度压强补偿方法的有效性。最后利用设计的装置对混合气体进行了定量分析实验。结果表明:本文设计的基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析法具有良好的效果,验证了设计方案的可行性。与常见的红外光谱法监测气体含量的方案相比,本方案不需要氮气作为背景气体,降低了运行成本,提高了装置的自动化程度。

关键词:红外光谱法;光谱分析;变压器油中溶解气体;在线监测

中图分类号:TM214 DOI:10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2023.07.017

Infrared spectrum analysis of dissolved gas in transformer oil based on single chamber vacuum degassing

REN Shuangzan¹, YE Xiaolin², SUN Yezheng³, TANG Xiaojun³, XIN Lei¹, WU Hao¹, ZHU Hongmei¹

(1. Electric Power Research Institute of State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710100, China; 2. Super High Voltage Company of State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710100, China; 3. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The dissolved gas monitoring method in oil is an important method for transformer fault diagnosis and operational status evaluation. A spectral analysis method of gas in transformer oil based on single gas chamber vacuum degassing was presented in this paper, and the principle and structure of the dissolved gas monitoring device in transformer oil based on this method were introduced. Due to the different temperature and pressure in the gas chamber during each detection, temperature and pressure compensation experiments were required, which verified the effectiveness of the temperature and pressure compensation method. Finally, the mixed gas was analyzed quantitatively by the designed device. The results show that the spectral analysis method of gas in oil based on single chamber vacuum degassing designed in this paper has a good effect, which verifies the feasibility of the design scheme. Compared with the common infrared spectroscopy methods for monitoring gas content, this scheme does not require nitrogen as the background gas, reducing the operating costs and improving the automation level of device.

Key words: infrared spectroscopy; spectral analysis; dissolved gas in transformer oil; online monitoring

0 引言

电力变压器是电力系统重要组成部分之一,其安全稳定运行保障了电力供应的可靠性与稳定性^[1]。因此需对变压器的运行状态进行监测,防止重大经济损失甚至安全事故的发生。目前电力系统内的大型变压器多采用油浸式变压器^[2],在运行过程中由于会发生过热^[3]、放电、氧化等情况,变压

器油中会产生故障特征气体。对变压器油中溶解气体进行分析成为变压器故障诊断的主要方法之一^[4-5]。

目前,变压器油中溶解气体分析方法主要有气相色谱法^[6-7]、光声光谱法^[8-9]、拉曼光谱法^[10-11]以及红外光谱法等,其中气相色谱法应用最为广泛,具有分析速度快、灵敏度高、准确性高等优点。同时,气相色谱法也有缺点,一是操作相对复杂,二是成本较高。气相色谱法所需的色谱柱容易被污染,会造成测量结果不准确,所以色谱柱需要定期标定或者

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51277144);国网陕西省电力公司科技项目(5226KY20001D)

更换,同时气相色谱法需要载气,导致气相色谱法运行维护成本较高。

红外光谱法具有检测速度快、不消耗样品气体、新增检测气体成本低等优势^[12],与气相色谱法相比,维护成本大幅降低,因此红外光谱法成为变压器油中溶解气体在线监测领域的研究热点,但该方法也存在一些问题。例如光谱仪在长期工作中由于光源温度变化、动镜位置变化、分束器位置变化等,测得的光谱会发生基线偏移、畸变的情况,对气体定量分析造成影响^[13]。根据不同类型的基线偏移,国内外学者提出了诸多校正光谱基线的方法,例如分段比较法^[14]、小波变换法^[15]、多项式拟合法^[16]、稳健局部回归估计法等,但这些方法都有自身的局限性。消除光谱基线偏移和畸变的最有效方法仍然是在扫描样品前扫描背景光谱,对于需要长期重复工作的在线监测任务来说,每次扫描样品前用氮气清洗气室扫描背景,一是消耗氮气提高了运行维护成本,二是考虑到变压器油中溶解气体含量有限,若按照常规的气室与外界大气压相通的方案,脱出来的气体难以充满气室,进而无法得到准确的气体含量。为此,文献[11]提出了双气室切换分时光谱读取法,这种方法虽然可获得准确的光谱数据,但是气室切换机械故障可能会影响机器的稳定性。

针对以上问题,本文提出一种基于单气室真空脱气的油中溶解气体红外光谱分析法,利用真空泵将气室内压强抽至0.02 MPa,以此作为背景扫描得到背景光谱,再将脱出来的气体送至真空气室中扫描得到样品光谱,利用气体定量分析模型分析光谱数据得到气体浓度^[17-19],该方法解决了光谱基线偏移和畸变以及每次使用氮气清洗气室扫描背景造成成本增加的问题。

1 基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析方案设计

本文提出了基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析法,基于此方法设计的监测系统包括3部分:变压器油气分离部分、红外光谱气体检测部分、数据处理部分。图1为设计的变压器油中溶解气体在线监测装置系统的结构图。

1.1 油气分离

油气分离部分由脱气装置与变压器油箱组成,脱气装置是油气分离部分的核心,为自主设计生产,脱气装置内部含有脱气罐、真空泵、油泵、气泵、氢气传感器、电磁阀、液位传感器、压力传感器等部件。脱气装置的功能是从变压器油箱中抽取变压器油,分离出油中溶解气体并送至气室中进行红外光谱扫描。脱气装置内部结构如图2所示。

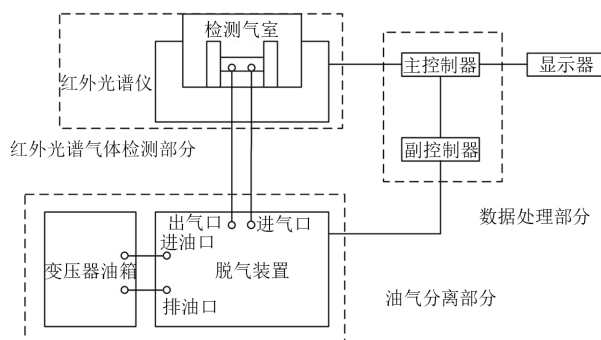


图1 变压器油中溶解气体在线监测装置系统的结构图
Fig.1 Structure diagram of online monitoring device for dissolved gas in transformer oil

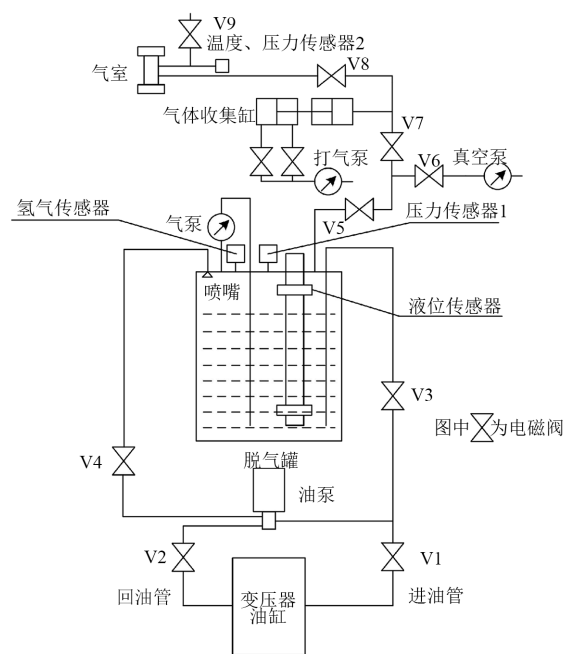


图2 脱气装置内部结构图

Fig.2 Internal structure diagram of degassing device

脱气装置工作方式:首先清理气室,避免上一次的气体对本次检测造成干扰,打开电磁阀V5、V6、V7、V8,其余电磁阀关闭,此时气室和脱气罐相通,打开真空泵,气室和脱气罐内的气体被抽出,当压力传感器1示数为0.02 MPa时,关闭真空泵,关闭所有电磁阀,气室清洗完成,此时脱气罐和气室内压强均为0.02 MPa;真空泵关闭后等待10 s,红外光谱仪扫描气室作为背景;扫描完毕后,打开电磁阀V1、V4,其余电磁阀关闭,油泵开始工作,从变压器油箱中抽取变压器油,变压器油从脱气罐上方喷嘴喷入脱气罐中,直到脱气罐内上方液面传感器检测到液位时油泵停止工作,进油量为500 mL;开始油气分离,由于脱气罐内压强较低,变压器油中溶解气体会被分离至脱气罐上方,气泵工作将上方气体送至脱气罐底部从脱气罐底部冒出,带动油中溶解气体析出,加速油中气体的分离,300 s后气体分离

完毕,关闭气泵,打开电磁阀V5、V7,其余电磁阀关闭,气体收集缸活塞运动,将分离出的气体收入气体收集缸中;打开电磁阀V8,其余电磁阀关闭,气体收集缸活塞运动,将气体送入气室中,2 s后关闭电磁阀V8,此时气室内充满用于本次检测的油中溶解气体,压力传感器2示数为此时气室内压强,用于对气体定量分析结果的修正;气体分离完毕,需将脱气罐内变压器油返回变压器油缸中,打开电磁阀V2、V3,其余电磁阀关闭,油泵工作,将脱气罐中油送回变压器油箱中,当脱气罐下方液位传感器检测不到液位时,说明脱气罐中油已经排净,油泵停止工作,整个脱气流程结束。

1.2 红外光谱气体检测

红外光谱气体检测部分由红外光谱仪和气室组成,光谱仪选用PerkinElmer公司的Spectrum Two型便携式光谱仪。由于监测的油中溶解气体在 $400 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$ 波数范围内均具有较强的吸收谱,将光谱仪波数范围设置为 $400 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$,分辨率为 1 cm^{-1} 。气室为双锥形气室,结构如图3所示。双锥形气室相比圆柱形气室体积更小,对于检测样品含量较少的油中溶解气体更为适用,气室两端窗片选用氟化钙材质的窗片,并做了加厚处理,保证窗片可以承受真空脱气后外界空气施加的压力。

1.3 数据处理

数据处理部分由嵌入数据通讯单元、设备控制单元、气体定量分析单元的控制单元组成。主控制器选用研华公司的ARK-1220L型工控机,具有体积小、综合性能强的特点,负责控制光谱仪并分析光谱数据、与副控制器通讯;副控制器选用stm32系列单片机,负责控制脱气装置,可连接温湿度传感器等监测环境状态,并发送数据给主控制器。

数据处理部分的核心是气体定量分析模型,建

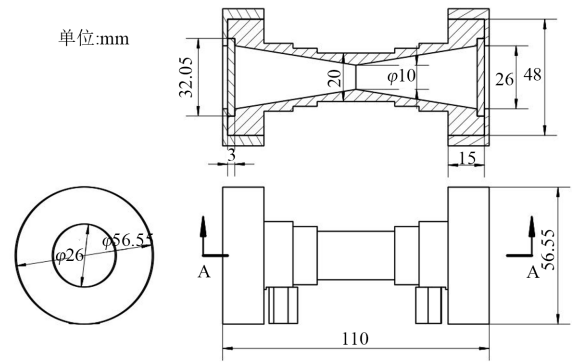


图3 双锥形气室三视图

Fig.3 Triple view of double cone air chamber

立气体定量分析模型,首先要进行每种检测气体特征变量的选择,特征变量主要有峰高、峰面积、峰率等,本文使用了TR正则化^[20]进行特征变量的提取,然后选择1种建模方法。常见的建模方法有主元回归法^[21]、偏最小二乘法^[17]、神经网络法^[22]、支持向量机法^[23]等,本文需要检测的6种油中溶解气体在检测范围内特征变量值与气体浓度呈近似线性关系,故使用偏最小二乘法进行光谱定量分析建模^[17],该方法适合于线性问题,同时该方法具有一定的非线性逼近能力。

1.4 基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析过程

基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析工作流程如图4所示,具体工作流程:首先脱气装置工作,内部真空泵对气室抽真空至压强为 0.02 MPa ;扫描气室得到背景单波图;接着脱气装置抽取变压器油进行油气分离,得到的气体送至气室中进行扫描得到样品单波图,同时根据压强和温度传感器示数计算温度压强补偿系数;最后利用气体定量分析模型分析光谱数据得到气体浓度。

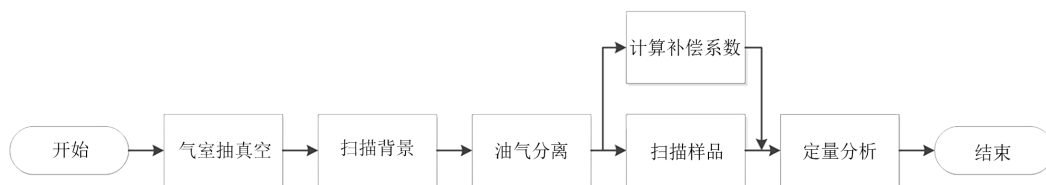


图4 光谱分析工作流程图

Fig.4 Flow chart of spectral analysis

2 基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析实验

2.1 温度压强补偿实验

2.1.1 实验方法

脱气装置每次进行油气分离时进油量为 500 mL ,由于不同的油样中含气量^[24]存在差别,故每次分离出的气体量不同,导致每次分离出的气体送入

气室后,气室内压强也不同,由于气体定量分析模型是按气体处于 20°C 、1个标准大气压的环境下分析气体的体积分数,同一体积分数的气体在不同的温度和压强环境下光谱的吸光度也不同,若不做任何处理直接用分析模型分析,得到的气体体积分数一定是错误的,故此时需要计算温度压强补偿系数,将由分析模型得到的不同压强和温度环境下的气体体积分数乘上补偿系数,转换成温度为 20°C 、1

个标准大气压下的环境下,即可得到正确的气体体积分数。本实验的目的是验证用温度压强系数补偿后的气体体积分数的准确性。

将某体积分数的的气体送至气室内,设气体分子量为 n ,气室内压强为 P ,气室内温度为 T ,相同体积分数的的气体在气室内温度为 20°C 、气压为1个标准大气压时的气体分子量为 n_1 ,气室体积为 V ,则根据理想气体状态方程 $PV=nRT$ 可得关系式(1)。

$$\frac{n_1}{n} = \frac{T}{293.15P} \quad (1)$$

由于吸光度与气体分子数在测量范围内呈线性关系,吸光度 A 满足关系式(2)。

$$A_{\text{补偿后}} = A_{\text{补偿前}} \frac{T}{293.15P} \quad (2)$$

本实验选用乙烷在波数为 $2\,952.25\text{ cm}^{-1}$ 处的吸光度进行实验。首先采集了不同浓度的乙烷在温度为 20°C 、1个标准大气压环境下波数为 $2\,952.25\text{ cm}^{-1}$ 处的吸光度,随后采集与之对应浓度的乙烷在温度为 25°C 、压强为 0.08 MPa 环境下波数为 $2\,952.25\text{ cm}^{-1}$ 处的吸光度,由式(2)计算得到补偿系数,将 25°C 、 0.08 MPa 环境下的吸光度乘以补偿系数,与 20°C 、1个标准大气压环境下对应气体浓度的吸光度进行比较,验证温度压强补偿方法的可行性。

2.1.2 结果与分析

根据式(2)计算得到补偿系数为1.288 2。温度为 25°C 、压强为 0.08 MPa 环境下的吸光度再乘以补偿系数后,与温度为 20°C 、1个标准大气压环境下的吸光度对比如表1所示。从表1可以看出,乙烷浓度为 99.5×10^{-6} 时,相对误差为1.250%,其余3种浓度情况下相对误差均小于0.01%,4种气体浓度下的误差均在允许范围内,说明这种温度气压补偿方法效果良好。

表1 $2\,952.25\text{ cm}^{-1}$ 处乙烷吸光度补偿前后对比

项目	浓度/ $(\times 10^{-6})$			
	99.5	500	998	2 000
20 $^{\circ}\text{C}$ 、1个标准大气压环境下吸光度	0.002 40	0.012 15	0.025 16	0.048 36
25 $^{\circ}\text{C}$ 、0.08 MPa环境下吸光度	0.001 89	0.009 39	0.019 42	0.037 52
补偿后	0.002 43	0.012 10	0.025 02	0.048 33
相对误差/%	1.250	-0.041 2	-0.055 6	-0.062

2.2 标准气体浓度测定实验

2.2.1 实验方法

对于设计的基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析装置,需在实验室内做标准气体浓度测定实验。标准气体组分包括甲烷、乙烷、乙烯、乙炔、

一氧化碳、二氧化碳等特征气体,各组分浓度如表2所示。

表2 各组分混合气体浓度

组分	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
浓度/ $(\times 10^{-6})$	4 204.5	99.5	120.6	110.1	221.6	3 266.4

2.2.2 结果与分析

混合组分气体的吸收光谱如图5所示。从图5可以看出,光谱图没有发生基线漂移与畸变现象,利用装置对标准气体进行多次实验,得到各种气体的浓度结果如表3所示。

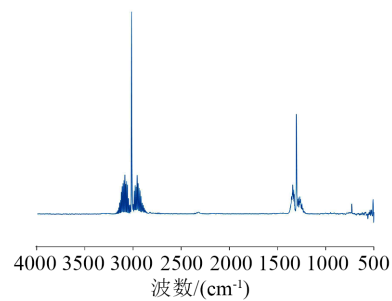


图5 混合气体红外光谱图

Fig.5 IR spectra of mixed gases

表3 标准气体光谱分析结果

实验次数	各组分浓度/ $(\times 10^{-6})$					
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
1	4 176	102	129	114	229	3 302
2	4 188	102	126	116	232	3 310
3	4 201	98	118	112	225	3 289
4	4 168	103	123	121	220	3 296
5	4 185	101	125	116	233	3 284
6	4 183	97	122	113	218	3 304
7	4 180	103	126	115	219	3 279
8	4 179	100	127	108	227	3 285
均值	4 182.5	100.75	124.5	114.375	225.375	3 293.625
最大误差/ $(\times 10^{-6})$	-36.5	3.5	8.4	10.9	11.4	-43.4
最大相对误差/%	-0.868	3.518	6.965	9.900	5.144	1.335
标准差	9.64	2.25	3.42	3.74	5.88	11.04

从表3的数据可以看出,混合气体的各组分浓度测量结果存在一定的误差,高浓度组分误差相对较小,如二氧化碳和甲烷,最大相对误差在1%左右,低浓度组分最大相对误差较大,最大相对误差最大的组分是乙炔,单次测量最大相对误差达到了9.9%。在与变压器油中溶解气体检测精度的行业标准对比时,需要将测量结果转换为油中气体含量,根据GB/T 7595—2008相关规定,500 kV变压器运行中绝缘油含气量应不大于3%^[25],发生故障时,变

压器油中溶解气体含量会上升,按照油气比为10:1,脱气装置的脱气效率为0.8计算折算到油中的各组分气体最大误差,则将上述测量结果的最大误差乘以0.125,得到折算到油中的各组分气体最大误差如表4所示,相对误差不变。与国家电网有限公司企业标准^[26]中规定的各组分气体测量误差要求对比,可知测量结果均满足测量误差限值(A级)的要求。

表4 各气体的最大误差和最大相对误差

气体组分	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
最大误差/($\times 10^{-6}$)	-4.56	0.44	1.05	1.36	1.43	-5.43
最大相对误差/%	-0.868	3.518	6.965	9.900	5.144	1.335

3 结论

(1)针对变压器的运行状态监测和故障预警问题,本文提出了一种基于单气室真空脱气的油中气体光谱分析方案,本方案有效地解决了红外光谱法气体定量分析存在的光谱基线漂移和畸变的问题,相比于每次测量重新充入氮气扫描背景,在变压器油中溶解气体在线监测需要长时间不间断工作的环境下,此方案大幅降低了运行成本,提高了自动化程度。

(2)本文提出的方案经标准气体实验,对变压器油中6种特征故障气体的光谱分析发现,在气体浓度较高时,光谱分析结果准确;在气体浓度较低时,光谱分析结果相对偏大。将检测结果折算到油中气体浓度后可知误差在允许范围内,准确度可以达到行业标准,表明此方案可以很好的应用在基于红外光谱法的变压器油中溶解气体在线监测装置中,作为诊断变压器运行工况和发现潜伏性故障的有效方法之一。

参考文献:

[1] 林凡勤,李明明,郭红. 变压器故障诊断技术综述[J]. 计算机与现代化,2022(3):116-126.

[2] 李松江,胡婷,曾四秀,等. 植物绝缘油变压器的研究进展[J]. 绝缘材料,2021,54(8):18-23.

[3] 杨涛,寇晓适,潘好伟,等. 热故障下天然酯绝缘油中溶解气体分析[J]. 绝缘材料,2018,51(3):74-78.

[4] 任双赞,吴昊,刘晓立,等. 变压器油中溶解气体在线监测技术研究现状[J]. 电工技术,2020(19):86-90.

[5] BUALOTI R. Hybrid dissolved gas-in-oil analysis methods[J]. Journal of Power and Energy Engineering,2015,3(6):10-19.

[6] 陈良敏. 化工分析中气相色谱法的运用[J]. 化工管理,2021(24):41-42.

[7] 金荣,冷晶晶. 气相色谱法测定工业乙烯含量的方法[J]. 化学工程与装备,2022(2):199-200.

[8] SAMPAOLO A, PATIMISCO P, GIGLIO M, et al. Quartz-enhanced photoacoustic spectroscopy for multi-gas detection: A review[J]. Analytica Chimica Acta,2022,1202:338894.

[9] 温泉,周录波,王栋,等. 基于光声光谱法的变压器在线监测技术研究[J]. 电测与仪表,2020,57(13):23-27,125.

[10] 杨永梅. 拉曼光谱技术应用的综述[J]. 科技传播,2010(20):115,106.

[11] 宋红莲. 拉曼光谱及其应用研究[J]. 绵阳师范学院学报,2022,41(5):25-31.

[12] 李红雷,周方洁,谈克雄,等. 用于变压器在线监测的傅里叶红外定量分析[J]. 电力系统自动化,2005(18):62-65.

[13] 任双赞,王经纬,高亮亮,等. 一种基于双气室切换分时扫描的新型气体吸收光谱补偿方法[J]. 光谱学与光谱分析,2021,41(11):3438-3443.

[14] 汤晓君,王进,张蕾,等. 气体光谱分析应用中傅里叶变换红外光谱基线漂移分段比较校正方法[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(2):334-339.

[15] 李玲. 近红外光谱基线漂移校正的方法研究[J]. 激光杂志,2019,40(2):153-156.

[16] 宁志强,刘家祥,吴越,等. 基于改进迭代多项式拟合的红外光谱基线校正方法[J]. 激光与光电子学进展,2020,57(3):255-261.

[17] 赵安新,汤晓君,王尔珍,等. 变压器油溶解气体的FTIR定量分析[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(9):2407-2410.

[18] GAO Q, DAI J C, YUAN F. An on-line monitoring device for dissolved gas in transformer oil based on spectrum technology [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2019,252(3):032091-032098.

[19] 汤晓君,郝惠敏,李玉军,等. 基于Tikhonov正则化特征光谱选择与最优网络参数选择的轻烷烃气体分析[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(6):1673-1677.

[20] 赵安新,汤晓君,张钟华,等. 利用Tikhonov正则化算法进行光谱特征波长的选择及其参数优化[J]. 光谱学与光谱分析,2014,34(7):1836-1839.

[21] 王惠文,王劫,黄海军. 主成分回归的建模策略研究[J]. 北京航空航天大学学报,2008,36(4):661-664.

[22] 刘灿萍. 基于DGA的变压器故障诊断专家系统的研究[D]. 南宁:广西大学,2007.

[23] 郑尧军,陈红岩,冯勇,等. 粒子群优化SVM在气体定量分析中的应用[J]. 传感技术学报,2016,29(7):1121-1126.

[24] 王炜,宋浩永,黄青丹,等. 三种酯类绝缘油低能放电故障下产气特性研究[J]. 绝缘材料,2022,55(4):109-113.

[25] 王波. 500kV变压器油中含气量超标的分析与处理[J]. 云南水力发电,2018,34(4):117-120.

[26] 国家电网有限公司科技部. 变压器油中溶解气体在线监测装置技术规范:Q/GDW 10536—2021[S]. 北京:国家电网有限公司,2021.

收稿日期:2022-08-23 修回日期:2022-10-08

作者简介:任双赞(1981-),男(汉族),河北衡水人,高级工程师,主要从事油纸绝缘老化评估及电气设备故障诊断技术的研究。

行业动态

C919大型客机芳纶蜂窝纸应用取得重大突破

5月28日,中国商飞交付的全球首架C919大型客机,从上海虹桥机场起飞,顺利到达北京首都国际机场,正式开启这一机型全球商业载客飞行。这一航班标志着C919的“研发、制造、取证、投运”全面贯通,国产大飞机的商业运营正式“起步”。

中国电器工业协会绝缘材料分会理事单位——超美斯新材料股份有限公司作为主要课题承担单位,参加的“十三五”国家重点研发计划圆满结束,该项目针对国产大型客机关键原材料国产化的迫切需求,围绕研制轻量化复合芳纶蜂窝夹芯结构,突破了国产芳纶蜂窝纸在我国大型客机上应用的关键技术,打破技术瓶颈,为实现全产业链国产芳纶蜂窝纸在C919上的应用提供技术方案。

项目进展过程中,该公司与同济大学、中国商飞等单位紧密合作,针对芳纶蜂窝纸制造过程中沉析纤维尺寸和均匀度控制难题,开发了沉析纤维高速离心连续处理工艺;针对纸浆在流浆箱异性流动内流动均匀性控制难题,研发了超声摇震斜网流浆箱成型技术;针对单次辊压性能协同控制难题,研发了混合高低温负压条件下的芳纶蜂窝纸辊压成型技术。采用仿真模拟与实际生产实际结合,为提升国产芳纶蜂窝纸的性能和稳定性,构建大型客机上用低缺陷、高性能国产芳纶蜂窝夹芯结构件的设计与制造方法体系提供了稳定可靠的材料保障。

哈电集团又一项技术成果引领国际水平

6月15日,由哈电集团汽轮机公司参与建设的国能(泉州)热电有限公司“热电联产分级匹配梯级利用关键技术研究与应用”项目通过中国电机工程学会组织的科技成果鉴定。由全国能源行业权威专家组成的鉴定委员会一致认为,项目研发适合国家“双碳”目标下能源供需形势和产业发展需求,项目成果处于国际领先水平。国能(泉州)项目为汽轮机公司2003年生产制造的亚临界300MW机组,机组已连续稳定运行多年。

国能(泉州)热电有限公司为满足机组大流量高参数工业抽汽需求、改善电厂内部能源使用状况、提升机组经济性能,委托汽轮机公司对该项目两台汽轮机进行通流改造。汽轮机公司依托国能(泉州)项目与国能(泉州)热电有限公司、清华大学等单位联合申报了“热电联产分级匹配梯级利用关键技术研究与应用”研发项目,通过用能技术理念、供热协同评价、新型汽汽换热器、运行参数实时优化等方面的研究,解决了燃煤供热机组普遍存在的参数匹配等问题。这些技术首次整体应用在《基于能级匹配的大容量机组高参数工业供热系统研究与工程示范》项目中,实现了国内多项技术突破,填补了国内高参数供热技术领域的空白。

我国首条±500千伏输电改造工程投运

6月18日,±500千伏葛洲坝至上海南桥直流输电改造工程正式投运。在此次改造工程中,上海南桥换流站采用全球首创并具备完全自主知识产权的可控换相换流阀(CLCC)技术,实现了直流输电技术的又一次里程碑式跨越。

1989年建成投运的葛南直流输电工程是我国首条±500千伏超高压直流输电线路,国网上海市电力公司历时半年对南桥换流站核心设备进行整体技术改造,其中最大亮点是首次采用可控换相换流阀代替传统换流阀。据介绍,传统换流阀易发生“换相失败”,为此,国网智研院新型直流换流装备科技攻关团队经过5年攻关,原创提出CLCC技术。该技术采用全控、半控器件混联的并联双支路结构,通过在“动脉”扰动时刻精准引入全控器件,从而彻底解决换流阀换相失败的技术难题。

为保证该技术在葛南直流改造工程中成功示范,上海电力不断优化施工改造作业和运行调试方案,最终确保改造任务提前完成、设备一次上电解锁成功,并在故障模拟试验中展现了优异的故障穿越和系统支撑能力。

株洲造国内功率等级最大高速永磁发电机问世

6月9日,中车株洲电机公司成功研制全新高速永磁风电产品,2台10MW高速永磁风力发电机顺利通过试验,各项性能指标均满足设计要求。据悉,10MW高速永磁风力发电机是目前国内功率等级最大的高速永磁风力发电机。

大功率高速永磁风力发电机平台,是中车株洲电机公司面向深远海、应对当下风电平价时代的“利器”。平台产品具有体积小、温升低、功率密度高、成本低、可靠性高、维护便捷等优势,是未来深远海领域的主力机型。

该平台基于先进设计理念进行开发,通过电磁、温升和结构等多技术分析,实现了产品的轻量化、模块化、定制化设计。整机防腐采用高等级设计,提高了产品海上湿热、盐雾、霉菌等“苛刻”环境下的运行可靠性。同时,平台产品能够满足大尺寸转子高速旋转的强度要求,实现材料的最优配比,并且解决合装过程轴承损伤的难题,满足了高速电机轴承性能的高要求。

深远海是未来海上风电发展的主战场,大功率高速永磁发电机产品是中车株洲电机公司为助推海上风电向深远海发展开发的重要“利器”之一,对海上风电实现平价上网具有重要意义。

贵州首台大豆油基天然酯变压器在贵阳挂网运行

6月20日11时30分,位于贵州双龙航空港经济区的110kV继望变电站2号主变压器扩建工程顺利投运,标志着南方电网公司首台、贵州省首台110kV低碳高效环保型大豆油基天然酯变压器正式挂网运行。至此,南方电网贵阳供电局在建设绿色新型电力系统的道路上,又迈出坚实的一步。

据介绍,现投入运行的2号主变压器内采用的变压器油全部为大豆油基天然酯,相比传统矿物绝缘油主变压器,大豆油基天然酯变压器绿色无污染、无毒、可再生,降解度高无残留,对生物无害,无急性经口毒性,材料来源农作物,可循环再生,不依赖石化原料,碳排放量仅占矿物绝缘油的五十六分之一。大豆油基天然酯绝缘油燃点超过350℃,较矿物绝缘油160℃燃点更高,引燃后具备自熄灭特性。

此外,在安全方面,大豆油基天然酯绝缘油燃点超过350℃,远高于矿物绝缘油低于160℃的燃点,大豆油基天然酯相对矿物油更难以被引燃,且引燃后具备一定的自熄灭特性,可有效防止变压器过负荷、短路等故障发生的着火事故。

国内文摘与专利

苯并咪唑型聚酰亚胺的结构与性能研究进展/秦熠填,尹倩,王旭,等/高分子通报,2023(8)

本文综述了近年来国内外关于含苯并咪唑结构单元的聚酰亚胺(PI)结构与性能研究进展,重点介绍了苯并咪唑环对聚酰胺酸(poly(amide acid),PAA)缩聚反应、酰亚胺化反应、分子间相互作用、聚集态结构,以及PI复合材料表/界面性能等的影响,并对含苯并咪唑型PI未来的发展进行了展望。

聚酰亚胺导热材料的制备研究进展/李沐坤,郭永强,阮坤鹏,等/高分子通报,2023(8)

本文系统总结了聚酰亚胺(PI)导热材料的研究进展,主要从本征型导热PI和PI导热复合材料两方面展开,介绍了相关概念、分类与影响因素,阐述了PI导热材料的制备及研究进展,分析了PI导热材料的内禀导热机理,最后总结了该领域内目前面临的挑战、展望了PI导热材料的发展方向。

介电聚酰亚胺薄膜研究进展/查俊伟,刘雪洁,董晓迪,等/高分子通报,2023(8)

本文基于影响电介质薄膜电-热特性的基本原理,从分子结构改性和复合结构优化等方面详细综述了调控聚酰亚胺高/低介电特性、热稳定性和电气强度等综合性能的研究方法和内部机理,总结了当前聚酰亚胺薄膜在能源系统和电子器件中残存的问题及面临的挑战,并为聚酰亚胺薄膜未来的发展及应用提供有意义的指导。

聚酰亚胺基导热绝缘复合薄膜的研究进展/王艳艳,张献,肖超,等/高分子通报,2023(8)

本文从阐述热量在PI薄膜中的传输机理出发,概述了近年来导热PI绝缘薄膜的研究进展与发展现状,重点讨论了绝缘导热型填料、导电导热型填料以及三维导热骨架等增强PI绝缘复合薄膜导热性能的策略,最后对PI基导热绝缘复合薄膜研究进展和未来可能的发展趋势进行了总结和展望。

低介电常数聚酰亚胺研究进展:结构与性能的关系/李明慧,代梦露,刘凤萍,等/高分子通报,2023(8)

本文综述了近年来低介电聚酰亚胺材料的发展,并对聚酰亚胺结构与其介电性能的关系进行了讨论,以期对今后低介电聚酰亚胺材料的制备提供指导意义。

改性芳纶纤维在高性能橡胶复合材料制备中的应用/赵志平,巩相君,吴耀琴,等/鲁东大学学报(自然科学版),2023(3)

本文对增强芳纶和橡胶粘附性的研究以及改性芳纶纤维增强橡胶复合材料在密封橡胶、抗冲击橡胶、橡胶阻尼材料等的应用进行了综述,并对未来芳纶增强橡胶的发展作了简单的展望。

环保型聚丙烯绝缘电力电缆国产化应用探讨/胡少中,卢杰,刘志辉,等/电线电缆,2023(3)

本文介绍了一种具有低成本、高性能的环保型聚丙烯绝缘电力电缆。重点介绍了聚丙烯材料的研究现状以及聚丙烯电缆的关键制造工艺,并对产品的相关重点性能进行了验证,可为环保型聚丙烯绝缘电力电缆的设计制造及应用提供参考。

纳米Al₂O₃/环氧树脂复合材料微秒脉冲沿面闪络特性研究/曹春诚,李文博,程显,等/高压电器,2023(6)

GIS中由于开关分合闸等操作而引发的内部脉冲过电压会导致绝缘件表面出现多次闪络击穿等问题。因此,本文研究了不同纳米Al₂O₃填充含量下环氧树脂复合材料在微秒脉冲电压下的沿面闪络特性;并针对质量分数为1.5%的Al₂O₃/EP复合材料在脉冲电压频率为10kHz,幅值为18kV,电极间隙为10mm下开展沿面闪络老化试验,对比老化前后闪络电压最小值和表面电阻变化趋势,分析不同程度的老化

对绝缘材料表面微观形貌、元素成分以及电气性能的影响。结果表明:预加直流电晕放电能够降低环氧树脂材料的闪络电压,且当纳米Al₂O₃质量分数为1.5%时对闪络现象的抑制效果最为显著。同时,环氧树脂复合材料在经过沿面闪络老化试验后,老化区域C、O元素之比降低,材料表面形成大量凸起颗粒和裂纹,使其呈现疏松、亲水等特点。

核壳结构SiCNWs@SiO₂/PVDF复合材料的制备与介电储能特性/苏宇,翁凌,王小明,等/材料导报,2023(11)

以聚偏氟乙烯(PVDF)为基体,碳化硅纳米线(SiCNWs)和核壳结构碳化硅纳米线@二氧化硅(SiCNWs@SiO₂)为填料,通过溶液共混相转换法及热压工艺制备出一系列的SiCNWs/PVDF二元复合材料和SiCNWs@SiO₂/PVDF复合材料。探究介电纳米填料的表面修饰对PVDF基复合材料的微观结构、宏观介电性能和储能性能等的影响。结果表明:硅烷偶联剂KH550成功改性SiCNWs;通过一步法热氧化工艺成功制备出具有典型核壳结构的SiCNWs@SiO₂纳米线,SiO₂壳层的厚度随着SiCNWs热氧化时间的延长而增大,当SiCNWs热氧化时间为10h,SiO₂壳层的厚度为6.5nm;采用相转换法和热压处理成功制备一系列的SiCNWs/PVDF二元复合材料和SiCNWs@SiO₂/PVDF复合材料,SiCNWs和SiCNWs@SiO₂与PVDF基体成功复合;当SiCNWs掺杂量较大时,SiCNWs/PVDF二元复合材料出现明显的团聚现象,核壳结构SiCNWs@SiO₂纳米线的引入,有效地提升纳米填料在聚合物基体中的分散性。对比纯PVDF,SiCNWs的引入大幅提高了复合材料的介电常数,但其介质损耗和电导率较大。将核壳结构SiCNWs@SiO₂纳米线嵌入PVDF基体中,使复合材料在保持高介电常数的同时不同程度地降低了介质损耗和电导率,同时复合材料的电气强度也有较大的提升。25%(质量分数)SiCNWs@SiO₂/PVDF(10h)复合材料在极限电场强度下获得的最大放电能量密度为0.111J/cm³,放电效率为53.06%,有效提升了复合材料的储能性能。

空间导电滑环绝缘环片等离子喷涂Al₂O₃绝缘涂层的性能研究/谢友金,李迎春,杨更生,等/材料保护,2023(6)

为解决空间导电滑环中非金属绝缘环片存在的结构稳定性差、加工困难等问题,在铝合金基体上利用大气等离子喷涂技术沉积了Al₂O₃陶瓷涂层,以替代非金属绝缘材料,研究了涂层的物相组成、微观形貌、显微硬度、电气强度和绝缘性能。结果表明:由原始纳米颗粒经过团聚-烧结制备的Al₂O₃球形粉末的物相主要为α-Al₂O₃,喷涂后涂层中的Al₂O₃以α相和γ相共存,涂层与基体的结合良好,涂层的孔隙较小。制备的涂层组织结构均匀致密,涂层内无明显的宏观裂纹和大孔洞,虽未采用封孔处理,但涂层在大气环境下直流电压为1000V的绝缘电阻测试中仍表现出较高的绝缘性能,可满足空间导电滑环绝缘环片的服役要求。

一种新型绝缘纸材料及其制备方法和应用/CN114622442B/重庆大学

本发明公开了一种新型绝缘纸材料、制备方法及其应用。所述的新型绝缘材料具有无定型的富纳米孔结构,形成新型陶瓷纤维增强硅基富纳米孔绝缘纸。本发明生成的富纳米孔硅基介质相比于普通陶瓷纤维绝缘纸热稳定性提升,疏水性显著增强,同时交、直流击穿场强均显著提升。随着孔径的减小,复合介质的击穿电压提高。

芳香族聚噁二唑薄膜及其制备方法/CN110894291B/怀化学院

本发明涉及一种芳香族聚噁二唑薄膜及其制备方法,该芳香族聚噁二唑薄膜可广泛用作耐高温电绝缘薄膜、耐高温绝缘纸/薄膜复合材料、覆铜薄膜、耐高温渗透膜、碳膜基材及航空航天材料等。

一种新能源汽车油冷电机用高压绝缘材料及其制备方法/CN11480548B/瑞安复合材料(深圳)有限公司

本发明属于绝缘材料技术领域,公开了一种新能源汽车油冷电机用高局放绝缘材料及其制备方法。本发明的新能源汽车油冷电机用高局放绝缘材料在材料保有较高的绝缘性能的同时能提高其局放性能及热裂解和耐水解性能,从而提高油冷电机的安全性及寿命。

P(VDF-HFP)/PI 复合材料及其制备方法和应用/CN115011117B/清华大学

本发明涉及一种P(VDF-HFP)/PI复合材料及其制备方法和应用。该制备方法制备得到的P(VDF-HFP)/PI复合材料具有在高温高场环境下介电常数较高、电气绝缘性能好,同时放电能量密度高、充放电效率高的优点,作为介电材料能够实现具有良好的介电特性和储能特性。此外,该P(VDF-HFP)/PI复合材料在高温高场环境下的循环稳定性好。

一种低介电常数阻燃增强生物基高温聚酰胺材料及其制备方法/CN113736254B/浙江新力新材料股份有限公司

本发明提出了低介电常数生物基高温聚酰胺材料及其制备方法。本发明制备的低介电常数生物基高温聚酰胺材料具有阻燃效率高、力学性能高、低介电常数及加工简便等优点,广泛应用于5G通讯行业领域。

高炭黑耐光氧老化硅烷交联聚乙烯绝缘材料及制备方法/CN114163716B/南京中超新材料股份有限公司

本发明涉及一种高炭黑耐光氧老化硅烷交联聚乙烯绝缘材料及制备方法。该高炭黑耐光氧老化硅烷交联聚乙烯绝缘材料及制备方法采用了有机-无机复合改性剂、表面活性剂对炭黑进行改性处理,并在相容剂作用下,形成多层次稳定的化学键连接,使其能够在基体树脂中均匀分散并良好相容,材料稳定的结构确保了耐光氧老化性能符合要求,同时耐开裂性能优异,使用该材料生产架空电缆挤出表面光滑细腻,耐电痕性能符合要求,确保架空电缆长期安全稳定运行。

一种高性能聚乙烯/纳米二氧化硅复合电缆绝缘树脂及其制备方法与应用/CN115850834B/南通大学

本发明涉及绝缘树脂技术领域,具体涉及一种高性能聚乙烯/纳米二氧化硅复合电缆绝缘树脂及其制备方法与应用。本发明解决了电压稳定剂易迁移析出、纳米二氧化硅难分散的问题,提高了聚乙烯树脂的长效耐电击穿性;且本发明制备的聚乙烯纳米复合绝缘树脂使用场景广泛,可直接作为绝缘层使用,可通过辐射交联,或热交联制备交联聚乙烯。

一种高介电常数C@SiC/PI复合薄膜及其制备方法/CN115141396B/江西师范大学

本发明公开了一种高介电常数C@SiC/PI复合薄膜及其制备方法。本发明与现有技术相比,薄膜介电常数最高可达40.2(100Hz),为纯PI薄膜的11.4倍,并且其介电损耗因数仍小于0.6,且具有较高的储能密度,同时保持着聚酰亚胺优异的热学性能及力学性能,可以应用于制备高温薄膜电容器。

全有机复合材料薄膜及其制备方法与应用/CN114230946B/清华大学

本发明公开了一种全有机复合材料薄膜及其制备方法与应用。该全有机复合材料薄膜具有介电常数高、力学性能良好、电气强度高和放电能量密度高等优点。

一种高 T_g 碳氢树脂、高频覆铜板用树脂组合物及其制备方法和用途/CN116284692A/四川东材科技集团股份有限公司;四川东材科技集团成都新材料有限公司

本发明公开了一种高 T_g 碳氢树脂、高频覆铜板用树脂组合物及其制备方法和用途。采用本发明高频覆铜板用树脂组合物,包含一种交联密度较高、分子链刚性较大的碳氢树脂,使制得的覆铜板具有优良的介电性能、尺寸稳定性、耐热性能等性能,综合性能良好,实用性强。

不对称聚酰亚胺复合薄膜及其制备方法与应用/CN116284910A/复旦大学

本发明属于薄膜制备技术领域,公开了一种不对称聚酰亚胺复合薄膜及其制备方法与应用。本发明开发的聚酰亚胺不对称薄膜在光学器件领域、宽带、湿度传感器以及绝缘

涂层等甚至是仿生驱动器具有广泛的应用前景。

一种高导热多胶环氧玻璃丝粉云母带及制造方法/CN116313229A/哈尔滨电机厂有限责任公司;哈尔滨大电机研究所有限公司;哈尔滨电机厂(镇江)有限责任公司

本发明属于高压电机绝缘技术领域,公开了一种高导热多胶环氧玻璃丝粉云母带及制造方法。本发明制造的高导热多胶环氧玻璃丝粉云母带具有良好的包扎工艺性能,云母带柔软、服贴、不分层。本发明利用高导热多胶环氧玻璃丝粉云母带制备的定子线棒,各项技术指标可达到国际先进水平。

一种绝缘滴浸树脂及其制备方法/CN116285595A/苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司

本发明涉及一种绝缘滴浸树脂及其制备方法,本发明的绝缘滴浸树脂及其制备具有无VOC,绿色环保;生产效率高,较传统滴漆工艺生产效率提升3倍以上;工艺简单、节能、设备投入少、便于工业化生产应用等特性,适用于低压绕组电机的绝缘滴浸处理。

一种高导热低介电常数聚酰亚胺薄膜及其制备方法/CN116285347A/安徽国风新材料股份有限公司;安徽国风新材料技术有限公司

本发明公开了一种高导热低介电常数聚酰亚胺薄膜及其制备方法。本发明制备的聚酰亚胺薄膜导热系数高、介电常数低,且力学性能好,有很好的推广使用价值。

一种导热绝缘的工业芳纶纸及其制备方法/CN116289296A/华南理工大学

本发明公开了一种导热绝缘的工业芳纶纸及其制备方法。本发明提供的导热绝缘的工业芳纶纸具有优异的导热性能和电绝缘性能,制备工艺简单且适用于工业化大规模。

一种高导热、低介电复合材料及其制备方法与应用/CN116285296A/中山大学

本发明涉及一种高导热、低介电复合材料及其制备方法与应用,属于5G通信用高频覆铜板技术领域。本发明的改性氮化硼与热固性聚苯醚混合时,改性氮化硼表面的碳碳双键与热固性聚苯醚主链上的双键发生反应,提高了复合材料两相间的界面作用力,降低片状氮化硼粉体与有机树脂基体之间的界面热阻,提高复合材料性能的均匀性,得到高导热、低介电的复合材料。

一种高介电聚酰亚胺薄膜及其制备方法/CN116284900A/浙江中科玖源新材料有限公司

本发明提出了一种高介电聚酰亚胺薄膜及其制备方法。本发明在聚酰亚胺中引入表面接枝聚偏氟乙烯的石墨烯,使所得聚酰亚胺薄膜在获得高介电常数的同时,还具有高电气强度和低介质损耗。

一种单组份高耐酸性高阻防晕漆及其制备方法/CN116285520A/苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司

本发明公开了一种单组份高耐酸性高阻防晕漆及其制备方法,涉及防晕漆技术领域。本发明在不影响材料电气性能的基础上,明显提高了耐酸性和干燥速度,提升了与环氧酸酐等酸性较强的绝缘浸渍树脂的匹配性,对稳定防晕结构性能、提升工艺效率有着重要意义。

一种高耐热浸渍漆及其制备方法和应用/CN116333586A/哈尔滨理工大学

本发明公开了一种高耐热浸渍漆及其制备方法和应用,属于绝缘材料制备技术领域。本发明可以解决现有浸渍漆浸渍漆、耐热性差的问题。

一种电动汽车电机用耐电晕柔软复合材料及其制备方法/CN116313330A/苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司

本发明提供了一种电动汽车电机用耐电晕柔软复合材料及其制备方法,涉及复合材料制备技术领域。该复合材料具有良好的耐电晕寿命、绝缘性能、使用工艺性好,成本低,有利于工业化的规模生产和推广应用。