



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105934801 B

(45)授权公告日 2019.03.29

(21)申请号 201580005922.4

(73)专利权人 3M创新有限公司

(22)申请日 2015.01.27

地址 美国明尼苏达州

(65)同一申请的已公布的文献号

(72)发明人 罗伯特·H·特平

申请公布号 CN 105934801 A

雷撒·M·布鲁宁

(43)申请公布日 2016.09.07

大卫·V·马奥尼 米切尔·T·黄

(30)优先权数据

大卫·S·斯坦克斯

61/931,792 2014.01.27 US

马丁·H·福克斯

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限

2016.07.26

公司 11227

(86)PCT国际申请的申请数据

代理人 蔡胜有 冷永华

PCT/US2015/012982 2015.01.27

(51)Int.Cl.

H01B 3/02(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

H01B 7/02(2006.01)

W02015/113012 EN 2015.07.30

审查员 陈晓宇

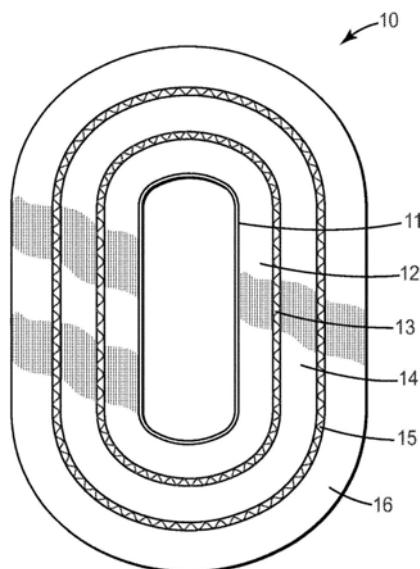
权利要求书1页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

电绝缘材料和变压器

(57)摘要

本发明公开一种制品，所述制品包含无机填料、完全水解聚乙烯醇纤维、聚合物基料以及高表面活性纤维。所述制品可被制成为用于电气设备诸如液浸式变压器的电绝缘纸，电气设备因此可基本上不含纤维素。



1. 一种绝缘制品，所述绝缘制品按重量计包含：
50%至85%的无机填料；
3%至20%的完全水解聚乙烯醇纤维；
7%至25%的聚合物基料；和
2%至10%的玻璃微纤维，
其中所述无机填料为高岭土，并且所述绝缘制品不含纤维素。
2. 根据权利要求1所述的绝缘制品，所述绝缘制品被制成非织造纸。
3. 根据权利要求1所述的绝缘制品，其中所述高岭土包括水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土中的至少一种高岭土。
4. 根据权利要求1所述的绝缘制品，其中所述聚合物基料包括基于胶乳的材料。
5. 根据权利要求1所述的绝缘制品，其中所述聚合物基料包括丙烯酸胶乳、丁腈胶乳以及苯乙烯丙烯酸胶乳中的至少一种胶乳。
6. 根据权利要求1所述的绝缘制品，其中所述绝缘制品是不吸湿的。
7. 一种用于电气设备的绝缘系统，其中所述绝缘系统包括根据权利要求1所述的绝缘制品。
8. 根据权利要求7所述的绝缘系统，其中所述电气设备包括变压器、马达和发生器中的一种。
9. 根据权利要求7所述的绝缘系统，其中所述电气设备包括液浸式变压器。
10. 一种油浸式变压器，所述油浸式变压器包括电绝缘纸，所述电绝缘纸按重量计具有3%至20%的完全水解聚乙烯醇纤维、50%至85%的无机填料、7%至25%的聚合物基料以及2%至10%的玻璃微纤维，其中所述无机填料为高岭土。
11. 根据权利要求10所述的油浸式变压器，其中所述电绝缘纸基本上不含纤维素。

电绝缘材料和变压器

技术领域

[0001] 本发明涉及适用于电绝缘应用的材料。特别地，本发明涉及适用于变压器诸如液浸式变压器的电绝缘材料。

背景技术

[0002] 电气设备诸如电动马达、发生器和变压器通常需要某种形式的介电绝缘以隔离相邻导体。常规的绝缘材料是牛皮纸，它是液浸式变压器中通常所利用的纤维素基材料。

[0003] 然而，纤维素纸存在若干缺点，诸如高吸湿性、降解时产生水以及有限的热性能。当前液浸式变压器要求含水量少于0.5重量%，从而在液浸式变压器的整个设计产品寿命期间可靠地操作。液浸式变压器中的水污染通过增加电损耗和放电活动而导致性能降低。由于纤维素纸的强亲水性(吸湿性)，纤维素纸迫使液浸式变压器制造商花费大量的时间和精力来在最终装配进液浸式变压器中之前使这些材料变干。水分的存在可进一步加速纤维素降解并且导致作为降解产物额外地释放水。

[0004] 纤维素纸的另一主要缺点是它有限的热稳定性。标准牛皮纸具有105°C的耐热等级，而热提质的牛皮具有120°C的耐热等级。利用牛皮纸隔离的液浸式变压器的最高操作温度受牛皮纸的热性能限制。

发明内容

[0005] 在特定电绝缘应用中，需要在电气设备应用中达到合适性能的吸湿性较低且热稳定性较高的材料。

[0006] 本发明的材料适用于在变压器、马达、发生器以及需要电气部件绝缘的其它装置中为电气部件提供绝缘。特别地，此类材料适合作为用于液浸式变压器和其它液浸式电气部件的绝缘纸。

[0007] 本发明的至少一些实施方案提供具有较低水分吸收性的绝缘制品。本发明的至少一些实施方案提供当与常规纤维素基牛皮纸相比时具有所需的水分吸收性、热稳定性以及导热性的电绝缘纸。

[0008] 本发明的至少一些实施方案提供一种制品，该制品包含无机填料、完全水解聚乙稀醇纤维、聚合物基料以及高表面积纤维。在另一方面，制品被制成非织造纸。

[0009] 在另一方面，无机填料包括以下各项中的至少一项：高岭土、滑石、云母、碳酸钙、硅土、铝土、氧化铝三水合物、蒙脱土、蒙皂石、膨润土、伊利石、绿泥石、海泡石、绿坡缕石、埃洛石、蛭石、合成黏土、累托石、珍珠岩、氮化铝、碳化硅、氮化硼以及它们的组合。

[0010] 在另一方面，无机填料包括高岭土。在另一方面，高岭土包括水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土中的至少一种。

[0011] 在另一方面，聚合物基料包括基于胶乳的材料。在另一方面，聚合物基料包括丙烯酸胶乳、丁腈胶乳以及苯乙烯丙烯酸胶乳中的至少一种。

[0012] 在另一方面，高表面积纤维包括玻璃微纤维。

[0013] 在另一方面，制品包含约3%至约20%的完全水解聚乙烯醇纤维。在另一方面，制品包含约50%至约85%的高岭土、约7%至约25%的聚合物基料以及约2%至约10%的玻璃微纤维。百分比按重量计。

[0014] 在另一方面，制品基本上不含纤维素。

[0015] 在另一方面，制品是不吸湿的。

[0016] 本发明的另一个实施方案提供用于电气设备的绝缘系统，其中绝缘系统包括前述制品。电气设备包括变压器、马达和发生器中的一种。在一个方面，电气设备包括液浸式变压器。

[0017] 本发明的另一个实施方案提供油浸式变压器，该油浸式变压器包括具有完全水解聚乙烯醇纤维的电绝缘纸。在另一方面，电绝缘纸还包含无机填料、聚合物基料以及高表面积纤维。在另一方面，油浸式变压器包含约3%至约20%的完全水解聚乙烯醇纤维、约50%至约85%的高岭土、约7%至约25%的聚合物基料以及约2%至约10%的玻璃微纤维，其中百分比按重量计。在另一方面，电绝缘纸基本上不含纤维素。

[0018] 如本说明书中所用：

[0019] “基本上不含纤维素”表示含有少于10重量%纤维素基材料，优选地含有少于5重量%纤维素基材料，更优选地仅仅含有痕量的纤维素基材料，并且最优选地不含纤维素基材料。

[0020] “不吸湿”表示在50%的相对湿度下含有少于5重量%的水含量，更优选地在50%的相对湿度下含有少于1.5重量%的水含量，并且甚至更优选地在50%的相对湿度下含有少于1重量%的水含量。

[0021] 上述的“发明内容”并非旨在描述本发明的每个公开的实施方案或每种实施方式。下文的详细描述更具体地示出了本发明的实施方案。

附图说明

[0022] 下文在描述本发明时，将部分引用其非限制性实施例并参考附图，其中：

[0023] 图1是根据本发明的一方面的适用于电力变压器的绝缘系统的示意图。

[0024] 图2是比较根据本发明的一方面的绝缘纸和常规牛皮纸之间的干燥时间的图。

[0025] 虽然本发明可修改为各种修改形式和替代形式，但其具体形式已在附图中以举例的方式示出并将做详细描述。然而，应当理解，其目的不是将本发明限制于所描述的具体实施方案。相反，其目的在于涵盖落入所附权利要求书所限定的本发明的范围之内的所有修改形式、等同形式和替代形式。

具体实施方式

[0026] 在以下说明中，应当理解，其它实施方案是可以预期的并且可以在不脱离本发明的范围的情况下完成。因此，以下详细说明不应被视为具有限制意义。

[0027] 除非另外指明，否则说明书和权利要求书中所使用的所有表达特征尺寸、量和物理特性的数值在所有情况下均应理解成由术语“约”修饰。因此，除非相反的指明，否则在本说明书和所附权利要求书中列出的数值参数均为近似值，这些近似值可根据本领域技术人员利用本文所公开的教导内容来寻求获得的期望性能而变化。使用由端值表述的数值范围

包括该范围内的所有数字和任何值(例如,1至5包括1、1.5、2、2.75、3、3.80、4和5)。

[0028] 本发明的至少一些实施方案提供一种制品,该制品包含无机填料、完全水解聚乙烯醇纤维、聚合物基料以及高表面积纤维。制品可被制成用于电气设备诸如变压器、马达、发生器的绝缘纸。电气设备有时填充有绝缘(介电)液体或流体。液浸式电气设备中所用的典型流体可包括矿物油、天然酯油、合成酯油、硅油等。制品可被制成用于液浸式电气设备诸如液浸式变压器、液浸式电缆以及液浸式开关装置的绝缘纸。因此,绝缘系统和电气设备可基本上不含纤维素。

[0029] 本发明的至少一些实施方案提供当与常规纤维素基牛皮纸相比时具有较低水分吸收性、较高热稳定性以及较高导热性的电绝缘制品。

[0030] 尽管多年来已经在液浸式变压器中使用纤维素基牛皮纸,但是高水分吸收性、易水解性以及有限的高温性能是已知的缺点。通过在制品中省去纤维素并且替代地使用完全水解聚乙烯醇纤维、更特别地是无机填料诸如高岭土与完全水解聚乙烯醇纤维的组合,电绝缘纸与标准牛皮纸相比展示出更低水分吸收性、更好水解稳定性、更高热稳定性以及更高导热性。

[0031] 本文所描述的用于液浸式变压器的制品和电绝缘纸可使得变压器制造商能够减少当前的消耗大量时间和精力的变干循环,这些循环通常在浸油之前被执行来使利用传统牛皮纸绝缘的变压器单元变干。根据单元的设计和大小,这些变干循环可持续12小时至若干天之间。此外,牛皮纤维素纸不仅是吸湿的,而且纤维素的老化和实际降解也作为副产物而产生水,这可进一步降低变压器油的绝缘质量。

[0032] 如上所述,电绝缘纸包含聚乙烯醇(PVOH)纤维。在一个示例中,电绝缘纸包含按重量计约3%至约20%的完全水解聚乙烯醇纤维。完全水解表示纤维含有少于5%的未水解乙酸乙烯酯单元并且因此具有至少95%的水解度。完全水解聚乙烯醇通常具有230°C的熔点。更优选地,完全水解纤维具有高韧度(>6克/旦尼尔)。完全水解的高韧度聚乙烯醇纤维通常在室温下不溶于水。具有低水解度的聚乙烯醇纤维通常在室温下溶于水并且通常用作粘合剂纤维。部分水解聚乙烯醇通常具有范围为180–190°C的熔点。

[0033] 此外,电绝缘纸包含无机填料。在一个方面,合适的无机填料包括但不限于高岭土、滑石、云母、碳酸钙、硅土、铝土、氧化铝三水合物、蒙脱土、蒙皂石、膨润土、伊利石、绿泥石、海泡石、绿坡缕石、埃洛石、蛭石、合成黏土、累托石、珍珠岩、氮化铝、碳化硅、氮化硼以及它们的组合。无机填料也可以是表面处理的。合适类型的高岭土包括但不限于水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土。在一个示例中,电绝缘纸包含按重量计约50%至约85%的高岭土。

[0034] 此外,电绝缘纸包含聚合物基料。合适的聚合物基料可包括基于胶乳的材料。在另一方面,合适的聚合物基料可包括但不限于丙烯酸类、腈、苯乙烯丙烯酸胶乳、瓜耳胶、淀粉和天然橡胶胶乳。在一个示例中,电绝缘纸包含按重量计约7%至约25%的聚合物基料。

[0035] 此外,电绝缘纸包含高表面积纤维。在一个示例中,电绝缘纸包含玻璃微纤维。在一个示例中,电绝缘纸包含按重量计约2%至约10%的玻璃微纤维。在这个方面,高表面积纤维具有约0.6μm或更小的平均直径。高表面积纤维可用于帮助在整个纸形成过程中排出混合物。

[0036] 在许多实施方案中,电绝缘纸被制成非织造纸。此外,非织造纸可通过标准造纸过

程来形成。例如,可将配制品的成分在水中混合成浆液、泵送到圆网抄纸机中、形成片材、然后干燥。非织造纸还可被压延以产生高密度纸。

[0037] 结果是适用于电气设备诸如适用于液浸式变压器内的绝缘系统的非织造不吸湿绝缘纸。电绝缘纸是油可饱和的。

[0038] 例如,图1示出本发明的另一方面,即用于液浸式变压器的绝缘系统10的图。在一个示例性方面,变压器包括油浸式变压器。绝缘系统10被示出为用于变压器的绕组。

[0039] 在一个示例性实施方式中,绕组框架11提供于绝缘系统10的中心区域中。绕组框架可被制成厚绝缘板,该厚绝缘板由上文描述的电绝缘纸形成。第一低压绕组12围绕绕组框架11。绕组12包括由层间绝缘物分开的一层或多层缠绕导体,该层间绝缘物例如一层或多层绝缘纸(诸如上文描述的电绝缘纸)。第一绕组间绝缘物13提供于第一低压绕组12周围,并且可由一层或多层上文描述的电绝缘纸形成。第一高压绕组14围绕第一绕组间绝缘物13,第一高压绕组14包括由层间绝缘物分开的一层或多层缠绕导体,该层间绝缘物例如一层或多层绝缘纸(诸如上文描述的电绝缘纸)。第二绕组间绝缘物15提供于第一高压绕组14周围,并且可由一层或多层上文描述的电绝缘纸形成。第二低压绕组16(以类似于如上的方式构造)可围绕第二绕组间绝缘物15。如本领域的技术人员将理解的,还可包括隔件、管子、带、板以及其它常规的变压器部件。这些另外的变压器部件中的一个或多个也可由上文描述的电绝缘纸形成。整个组件可浸入油、诸如矿物油、硅油、天然酯油或合成酯油中,或其它常规的变压器流体中。

[0040] 通过利用本文描述的电绝缘纸,变压器可获批用于较高的操作类别,并且可被设计来满足例如IEEE标准C57.154-2012。

[0041] 如以下实施例中所示,纤维素和基于纤维素的变压器部件的移除可使得变干时间短得多并且允许较高的变压器操作温度。

[0042] 实施例

[0043] 以下提供的实施例和比较例有助于理解本发明,且这些实施例和比较例不应被理解为对本发明范围的限制。除非另外指明,所有的份数和百分比均按重量计。使用下述测试方法和方案来评估以下示例性实施例和比较例。

[0044] 样品制备:

[0045] 使用本领域已知的方法制造示例性电绝缘非织造纸,如下:

[0046] 将6重量%的微玻璃(来自劳莎纤维国际公司(Lauscha FiberInternational)的B-04)、64重量%的层离高岭土(来自美国卡敏有限责任公司(KaMin, LLC, USA)的HYDRAPRINT)、13%的聚(乙烯醇)纤维(来自美国迷你纤维股份有限公司(Minifibers Inc, USA),完全水解,1.8旦尼尔x 6毫米,纤维韧度为13克/旦尼尔)以及17重量%的丙烯酸胶乳[®](路博润公司(Lubrizol Corp)的HYCAR 26362)的混合物分散在水中以形成具有约2重量%的固体含量的浆液。然后将这种配料泵送到圆网抄纸机中,在圆网抄纸机中,水被排出并且在3001b/线英寸(54kg/cm)的压力下在造纸湿毡之间压制出纸。然后将纸移动到造纸机的干燥区段中并且通过与250°F(121°C)下的蒸汽加热干燥罐进行接触加热来进一步干燥到少于约2%的含水量。标准密度纸(实施例1)在干燥后不进行压延,从而产生约501b/ft³(800kg/m³)的密度。高密度纸(实施例2)在干燥后在钢压延辊之间压制,从而产生约801b/ft³(1280kg/m³)的密度。

[0047] 通过以下方式制得实验室手抄纸样品:在实验室搅拌器中混合配料,通过造纸筛网和压机脱水,并且在实验室手抄纸干燥器中进行干燥。

[0048] 比较例1是可商购获得的绝缘纤维素基牛皮纸并且按原样使用。

[0049] 测试方法学

[0050]

特性	测试方法	标题
介电强度	ASTM D149-09	在商业电力频率下固体电绝缘材料介电击穿电压和介电击穿强度的标准测试方法 (Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Breakdown Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies)
与绝缘油的相容性	ASTM D3455-11	构造材料与石油生成的电绝缘油的相容性的标准测试方法(Standard Test Methods for Compatibility of Construction Material with Electrical Insulating Oil of Petroleum Origin)
介电损耗	ASTM D-150-11	固体电绝缘的 AC 损耗特性和电容率(介电常数) 的标准测试方法(Standard Test Methods for AC Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulation)
介电常数	ASTM D-150-11	固体电绝缘的 AC 损耗特性和电容率(介电常数) 的标准测试方法
热老化寿命曲线测试	IEEE C57.100-2011	用于液浸配电和电力变压器的绝缘系统的热评估的标准测试过程(Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers)
纵向拉伸强度	ASTM D-828-97 (2002)	使用恒速拉伸设备的纸和纸板拉伸特性的标准测试方法(Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus)
横向和纵向抗撕强度	Tappi T-414 om-04	纸张内部耐撕裂性(Internal Tearing Resistance of Paper) (埃尔门道夫型方法(Elmendorf-Type Method))
横向和纵向刚度	Tappi T-543	纸抗弯强度(Bending Resistance of Paper) (格莱型测试器(Gurley-Type Tester))

[0051] 通过目测确定与样品纸一起老化之后的油的颜色。给每个样品分配1和7之间的相对等级。等级1指示浅色并且7指示油为深色。

[0052] 根据下面的过程使用改进的ASTM D5470-06热流量计测量样品的热导率。用六个均匀间隔开的热电偶测量直径为2英寸(5cm)并且长度为约3英寸(7.6cm)的热仪表棒和冷仪表棒,这些热电偶中的第一个远离棒之间的界面5.0mm。这些棒由黄铜构造,具有130W/m-K的基准热导率。仪表棒的接触面的平行度在约5微米内,并且测试期间作用于样本的力为

约120N。在测试期间,通过标称精度为2微米的数位移传感器测量样本的厚度。

[0053] 当仪表棒达到平衡时,数位移传感器清零。将绝缘纸样品沉没到玻璃缸内的绝缘油中,然后在室温下在真空烤箱中的真空下脱气。将油饱和的绝缘纸样品从油中取出并且将其放置到底部仪表棒上。油用作界面流体以消除热接触电阻。闭合仪表棒并且施加法向力。在整个测试持续时间期间,通常为约30分钟,对通过仪表棒的热流和样本的厚度进行测量。通常在约10分钟内达到平衡。

[0054] 然后由样本厚度(L)、仪表棒的热导率(k_m)、仪表棒中的温度梯度(dT/dx)以及样本上的外推温差($T_u - T_l$)计算样本的热导率k。

$$[0055] k = \frac{k_m(dT/dx)}{(T_u - T_l) / L}$$

[0056] 结果

[0057] 表1显示:在矿物油、天然酯植物油(来自美国嘉吉股份有限公司(Cargill Inc., USA)的ENVIROTEMP FR3)以及空气(没有油)中,实施例1和实施例2的介电强度类似于比较例1的介电强度。

[0058] 表1.

[0059]

	介电强度, V/密耳		
	实施例 1	实施例 2	比较例 1
	标准密度	高密度	牛皮纸
矿物油	1343	1683	1450
FR3 油	1384	1477	1810
没有油(空气中)	143	227	232

[0060] 绝缘纸还应与绝缘油相容并且不应大幅降低油的绝缘质量。表2显示:在302°F(150°C)下与开发纸和比较纸一起老化之后的绝缘油的介电损耗测量结果和颜色。在放入油之前以两种方式调节绝缘纸样品:一组在真空烤箱中进行干燥,而另一组在受控的23C、50%RH环境下调节24小时。然后将装有绝缘纸样品的油缸放进真空室中并且在升高的温度下保持若干小时以便用油浸渍纸。结果显示:开发纸的调节环境对绝缘油的介电损耗几乎没有影响。然而,跟与比较例1一起老化的绝缘油相比,与本发明的绝缘纸一起老化的绝缘油具有较低介电损耗,从而表明具有较好电绝缘性能。绝缘油的颜色是绝缘油质量的另一个突出特征。与牛皮纤维素纸(比较例1)一起老化的油明显较深,这指示油中存在较高水平的来自纸的降解产物。

[0061] 表2.

[0062]

	介电损耗			颜色		
	实施例 1	实施例 2	比较例 1	实施例 1	实施例 2	比较例 1
FR3 油	1.7%	3.0%	5.8%	5	4	7
50%RH FR3 油	2.7%	2.1%	不适用	3	6	不适用
矿物油	1.2%	0.50%	1.0%	6	6	7
50% RH 矿物油	0.55%	0.37%	不适用	5	2	不适用

[0063] 表3和表4显示：当在环境温度和升高的温度下测量时，在干燥条件下老化之后，本发明的纸的介电损耗和介电常数类似于比较例1的介电损耗和介电常数。然而，在23℃和50%相对湿度(RH)的条件下老化之后的测试结果显示：实施例1和实施例2的介电性质对环境含水量的敏感度比比较例1的介电性质小得多。从表5中显示的结果还可明显看出实施例1和实施例2的水吸收水平与比较例1相比显著较低。标准密度纸(实施例1)和高密度纸(实施例2)的水吸收水平之间没有统计意义上的显著差异，并且两者都大大低于比较例1的水吸收度。

[0064] 表3.

[0065]

老化条件	23℃下的介电损耗			100℃下的介电损耗		
	实施 例 1	实施 例 2	比较 例 1	实施 例 1	实施 例 2	比较 例 1

[0066]

不饱和的(没有油)， 在23℃/50%RH下	5.3%	5.4%	41%	7.4%	8.4%	60%
不饱和的(没有油)， 在干燥真空烤箱中	2.9%	3.1%	1.0%	7.8%	8.8%	6.6%
在矿物油中饱和的，在 干燥真空烤箱中	1.5%	1.9%	0.96%	11%	13%	9.3%
在FR3油中饱和的，在 干燥真空烤箱中	1.7%	2.2%	1.0%	12%	13%	9.3%

[0067] 表4.

[0068]

<u>老化条件</u>	23℃下的 介电常数			100℃下的 介电常数		
	<u>实施 例 1</u>	<u>实施 例 2</u>	<u>比较 例 1</u>	<u>实施 例 1</u>	<u>实施 例 2</u>	<u>比较 例 1</u>
不饱和的(没有油), 在 23℃/50% RH 下	1.80	2.78	4.85	2.16	3.54	4.93
不饱和的(没有油), 在干燥真空烤箱中	1.91	2.88	2.42	2.34	3.67	2.91
在矿物油中饱和的, 在 干燥真空烤箱中	2.78	3.55	3.31	3.95	4.88	4.28
在 FR3 油中饱和的, 在 干燥真空烤箱中	3.35	3.87	3.89	4.5	5.34	4.58

[0069] 表5.

[0070]	水含量		
	<u>实施例 1</u>	<u>实施例 2</u>	<u>比较例 1</u>
50% RH	0.90%	0.90%	6.4%
65% RH	1.0%	1.0%	7.0%
95% RH	3.7%	3.7%	27%

[0071] 为了展示可移除存在于绝缘纸中的水分的速率,首先在95%RH下调节约约95密耳(2.4mm)厚的绝缘纸堆叠持续20小时,然后在115℃或150℃的温度下进行干燥。表6中提供的结果证明:与比较例1相比,本发明实施例中的水分移除得更快。在150℃下的试验结果还在图2中图解地示出。

[0072] 表6.

[0073]

干燥时间, 分钟	水含量 (%水分) 干燥温度= 115°C			水含量 (%水分) 干燥温度= 150°C		
	实施例 1	实施例 2	比较例 1	实施例 1	实施例 2	比较例 1
0	2.4%	2.3%	12%	3.1%	2.6%	12%
1	1.8%	2.0%	11%	1.3%	1.9%	10%
2	1.4%	1.7%	10%	0.54%	1.4%	9.1%
3	1.0%	1.5%	9.2%	0.23%	1.1%	8.0%
4	0.76%	1.3%	8.5%	0.09%	0.78%	7.0%
5	0.57%	1.1%	7.9%	0.04%	0.58%	6.1%
6	0.42%	0.97%	7.3%	0.02%	0.43%	5.3%
7	0.32%	0.84%	6.7%	0.01%	0.32%	4.6%
8	0.24%	0.72%	6.2%	0%	0.23%	4.0%
10	0.13%	0.54%	5.3%	0%	0.13%	3.1%
12	0.08%	0.41%	4.5%		0.07%	2.4%
14	0.04%	0.30%	3.9%		0.04%	1.8%
16	0.02%	0.23%	3.3%		0.02%	1.4%
18	0.01%	0.17%	2.8%		0.01%	1.0%
20	0.01%	0.13%	2.4%		0.01%	0.79%
24	0.0%	0.07%	1.8%		0%	0.46%
30		0.03%	1.1%			0.20%
35			0.74%			0.10%
40			0.40%			0.05%
45			0.34%			
50			0.23%			
55			0.15%			
60			0.10%			

[0074] 表7中提供了来自热老化寿命曲线测试的结果。实施例1在矿物油中在190°C下老化700小时后表现出极佳的拉伸强度保持率(97%)。相比之下,在矿物油中在180°C下老化后,比较例1在500小时老化时间时达到了0%的拉伸强度保持率并且在235小时老化时间时达到了50%的拉伸强度保持率。(需注意,寿命终止测试值通常被视为达到50%的拉伸强度保持率时的时间。)示例性不含纤维素电绝缘纸与比较例1相比高得多的拉伸强度保持率指示本发明的绝缘纸在较高的变压器操作温度下起作用的可能性。

[0075] 表7.

老化时间, 小时	拉伸强度保持率			
	190°C下的 实施例 1	205°C下的 实施例 1	160°C下的 比较例 1	180°C下的 比较例 1
[0076]	0	100%	100%	100%
	97			75%
	201			53%
	297			42%
	552		56%	67%
	672		49%	59%
	697	97%		
	864			48%

[0077] 表8中汇总了说明性实施例和比较例的机械性能。实施例1和实施例2在纵向(MD)和横向(CD)上的抗撕强度看起来与比较例1的抗撕强度相当。尽管实施例1和实施例2的拉伸强度没有比较例1的拉伸强度高,但是由变压器制造商进行的线圈绕组试验指示:本发明纸的拉伸强度足以经受住变压器制造过程。利用实施例1制得的变压器单元通过了标准质量控制测试要求。此外,在使利用实施例1制得的变压器单元干燥之前和之后执行的电阻测量指示:可消除干燥步骤。

[0078] 热导率结果(也在表8中提供)显示:当在矿物油中饱和时,实施例1和实施例2都展示出比比较例1高的热导率。

[0079] 表8.

	实施例 1	实施例 2	比较例 1
[0080]	纵向拉伸强度, lb/in (N/mm)	30(5.3)	33(5.8)
	纵向抗撕强度, g	248	172
	横向抗撕强度, g	358	281
	纵向刚度, mg	1032	534
	横向刚度, mg	652	304
	矿物油中的热导 率, W/m-K	0.261	0.333

[0081] 由独立测试实验室进行的测试已证实:实施例1和实施例2都满足或超过ASTM D3455-11“构造材料与石油生成的电绝缘油的相容性的标准测试方法”中详述的油相容性要求。

[0082] 虽然本文出于说明优选实施方案的目的对具体实施方案进行了举例说明和描述,但是本领域的普通技术人员应当理解,在不脱离本发明范围的前提下,各种替代和/或等同实施方式可以取代举例说明和描述的具体实施方案。本专利申请旨在涵盖本文所讨论优选实施方案的任何修改和更改。因此,本发明显然旨在仅受本发明权利要求书及其等同形式的限制。

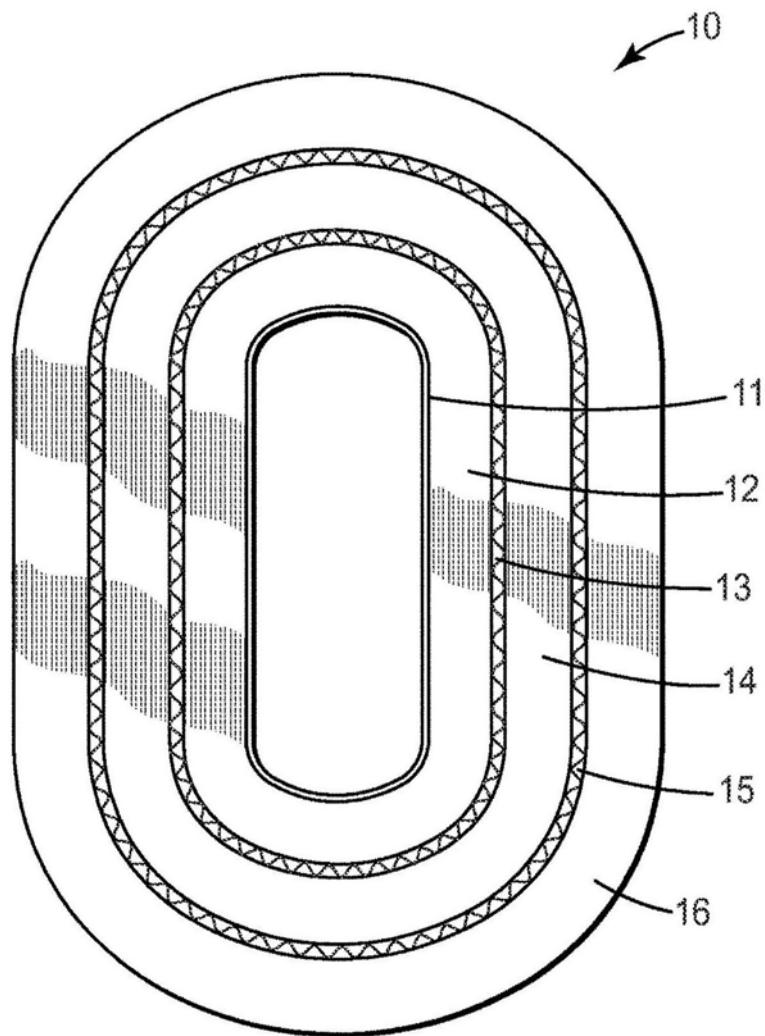


图1

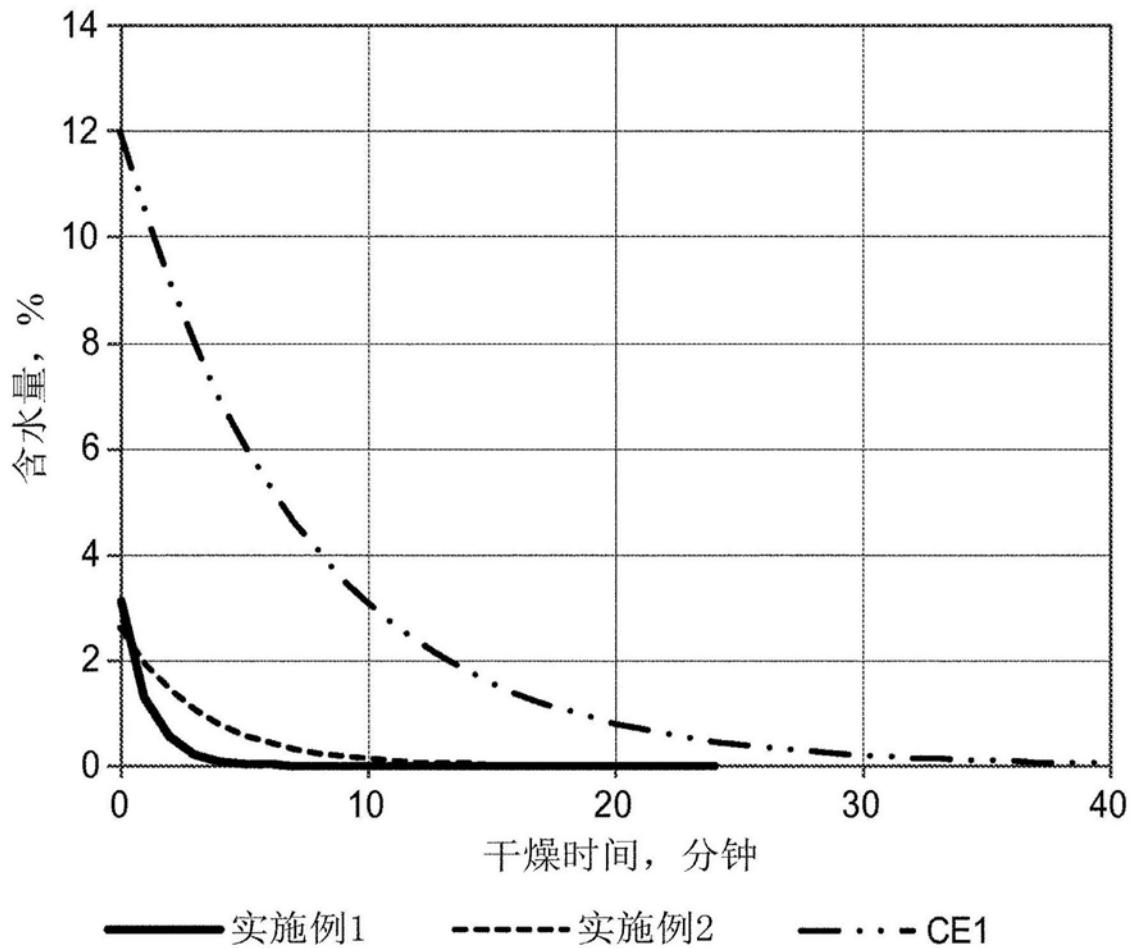


图2