

[变压器]

高燃点环保绝缘油变压器技术研究

文/西门子能源有限公司 叶少明
英国艾姆艾材料有限公司上海代表处 曹俊威

以Midel高燃点绝缘酯油为例，介绍使用及设计制造中其与普通矿物油的不同。通过了解高燃点酯油与普通矿物油区别，慎重对待高燃点酯油在防火、环保领域的应用，以及在变压器中的应用和推广，重点对核电厂及地下变电站大型变压器的控制及备用提出了建议。

Midel合成酯绝缘油简介

Midel合成酯绝缘油是一种燃点高的环保型变压器绝缘油。其燃点高于300℃，远高于传统矿物油，Midel合成酯绝缘油其中最大优点是它的阻燃性和自熄性，相比甚至于高燃点烃油或同类产品的防火安全性更为可靠。近10年来，Midel合成酯绝缘油已成功大量应用于电力变压器中，例如海上及陆上风电、水力发电及高铁的牵引变压器，无一例发生火灾。然而，矿物油变压器和干式变压器都有引起火灾的记录。燃烧矿物油的变压器已不是偶然的意外事故，特别是在人口密集的城市，避免使用矿物油变压器已成为业内的关注点。

为什么要选择Midel合成酯绝缘油？

当特殊情况下西门子变压器公司使用Midel替代传统矿物绝缘油时，需要同时考虑环境保护，避免污染附近湖泊或饮用水水源等外部环境，虽然客户通常有成本考虑的问题，也很乐意采用酯类绝缘油去替代矿物油，另外可以减免部分昂贵的消防设备，也是替代矿物油的主要原因。

Midel酯类绝缘油成为各种应用中的首选

从近年多项案例观察到，西门子变压器在全球各地各种配电变压器和电力变压器中使用了不少酯油。其中一个最新研究项目发现西门子在欧洲的实验室进行了广泛而深入的研究，采用酯油



图1 运输现场



图2 第一台合成酯油变压器

替代矿物油应用于直流输电HVDC的变压器中。作为变压器行业的创新领导者，西门子一直努力为客户提供酯油变压器使用方法的创新解决方案，热衷于与同业合作，以应对行业各方面的新挑战。

Midel变压器的新概念应用业绩

近15年间，西门子变压器已使用Midel合成酯

绝缘油创新做了三项世界首创的应用案例。

1) 自2003年以来,世界上第一台238 kV 135 MV·A Midel合成酯油变压器安装在瑞典的地下水电站,当时是由VA Tech / ELIN制造。(现在为Siemens Linz),因为使用了Midel合成酯油变压器,由于它的阻燃性和自熄性大大减少了变电站内部配置昂贵的主动式灭火系统。如图1、图2所示。

客户:瑞典YL Kraft & Service AB

最终用户: Vattenfall AB, Vattenkraft Stalon

额定容量: 135 MV·A

电压比: 138/13.5 kV

频率: 50 Hz

联结组别: YNd11

阻抗电压: 15%

冷却方式: KFWF

总质量: 141 t

变压器油: MIDEL®7131

2) 世界上第一台利用变压器在发电时产生的余热进行交换到热水系统应用,大大减少了热水系统的耗电量。这项创新概念正是利用了Midel合成酯的变压器来实现,首台变压器于2015年4月16日成功运抵伦敦市中心,额定功率为240 MV·A, 400/132/13 kV,该酯油变压器在伦敦与学校建在一起,利用变压器余热回收为学校供暖。如图3所示。

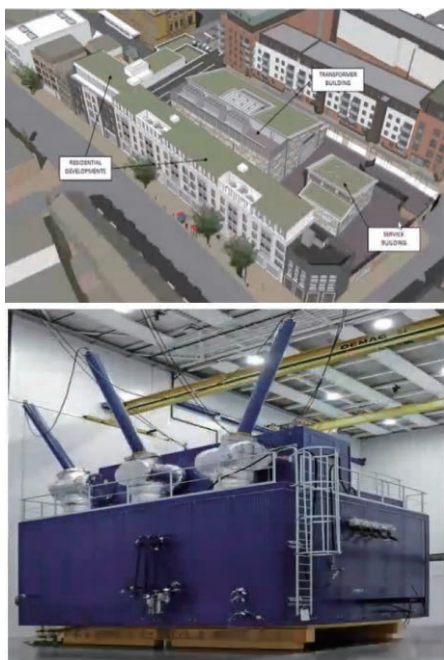


图3 3×400/132 kV, 240 kV·A自耦变压器

3) 全球首款使用Midel合成酯的移动式变压器涵盖了两种不同的额定值,并在两种配置下运行,在纽约市发生电力紧急情况时无需油处理的情况下可在不到2 h的时间内重新连接到两种不同的系统: 335/136 kV系统 (300 MV·A) 或132/68 kV系统 (150 MV·A), 如图4所示。

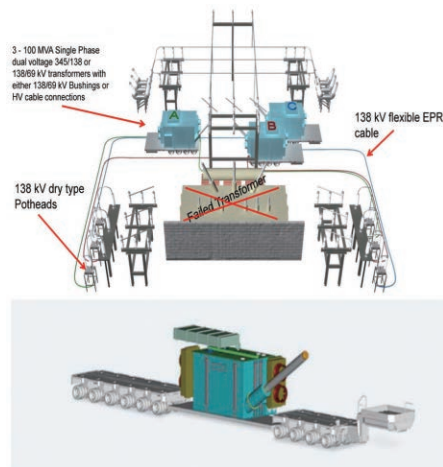


图4 移动式变压器

能源安全是全世界关注的重要问题。美国能源部(DOE)发起了一项合作计划,将该议题放在公用事业优先考虑的首要部分。自然灾害,恐怖袭击或网络攻击造成的紧急威胁可能会成为本地区甚至全国性的问题,因此人们寻求在输电电网的弹性上进行投资。试想一下:在暴风雨、飓风或大型变电站事故时发生停电,后果将是巨大的,纽约市的能源公司Con Edison决定为这种突发情况做准备,他们需要一种备用的电源变压器。该变压器可移动、适用性广泛,同时又要快速安装并且环保,以便在几天内恢复大面积供电。

这个想法需要有一种非常优越的电力变压器,电力公司可以在不到24 h的时间内移动、安装和通电。因此,电源变压器必须尽可能轻巧、紧凑,以便可以快速移至紧急情况现场。为加快电网快速恢复,必须比平常更快地安装设备。在紧急情况下,根本没有时间安装配件和数十个螺栓和螺母,并像平时所需要的那样准确。与电网的连接也需要采取不同的方法:必须将应急单元与主要设备分开设置,并通过长电缆进行连接。第三个需求则更加难以解决:这些单元必须具有通用性。每个电压可以使用几个备用单元,但这将意味着如果使用常规变压器,它们具有以下缺点:体积大、笨重且需要专用于执行特定任务。

最后，西门子与Con Edison合作，开发了一种电源变压器，可以将其比作多功能工具：紧凑，轻巧，易于安装并快速安装，并且在高低电压下均通用。由于采用了Midel酯类绝缘油，一切问题迎刃而解，而且绿色环保，没有因变压器渗漏油所带来的环境破坏问题。电源变压器如图5所示，其特点如下。



图5 电源变压器

(1) 方便快捷的运输

外型尺寸保持尽可能紧凑和轻巧。设计了三个单相单元代替一个三相单元，冷却器和储油柜专门设计用于保持尺寸紧凑。

尺寸为 $41' \times 10'7 \times 113'104 \text{ m}$ ($l \times b \times h$)，可轻松将其运输到要求的地点。一个完全组装并充满油的装置的质量为95 t，因此可以带油运输。

(2) 快速简便的安装

为了确保安装速度和简便性，移动式变压器在硅胶屏蔽套管中配有两部分插头。它们可以在不排空主油箱的情况下进行连接，并且还可以在安装了套管的情况下移动变压器。为了确保结构紧凑和易于安装，提供了带有ESF套管末端的插拔式连接器和电缆，外部插入式电缆连接TW Delta。因此，可以在一天之内将变压器单元连接到电网。

(3) 多种操作可能性

移动式弹性装置涵盖两种不同的额定值，并在两种配置下运行，可在不到2 h内无需油处理的情况下重新连接到335/136 kV系统 (300 MV·A) 或132/68 kV系统 (150 MV·A)。主油箱中的负载分接开关可进行 $\pm 12\%$ 范围的电压弹性。系统之间的转换需要不仅配有有载分接开关还要配有无励磁分接开关，对于特殊的绕组布置，阻抗范围在6.9%~19.3%之间，具体取决于与现有设备并联运行时的300 MV·A或150 MV·A额定值。

(4) 附加功能

所有单元均填充有环保的酯油，可方便地进行运输、操作和最终处置。它们维护成本低，可以完全组装存放，以确保它们随时可以投入使

用。另外，它们噪声低。无论是带有负载还是在空载情况下，都不会超过75 dB。

西门子变压器有全球统一的酯油变压器设计、制造工艺原则

1. 酯油变压器绝缘性能的设计原则

交流变压器的电气性能取决于介电常数，常规矿物油介电常数@20℃为2.2，酯油为3.2~4.0，绝缘纸为3.3，绝缘纸板或层压木为4.4。西门子与Midel合作做了大量的试验和研究，有一整套的设计原则。

2. 酯油变压器热性能设计原则

下表列出了此处所考虑的各种流体的主要性质。

表 各种流体的主要性质

项目	矿物油	Midel&131
密度/(Kg/dm ³)	0.88	0.97
20℃时比热/(J/kg K)	1860	1880
20℃时的耐热性/(W/m K)	0.126	0.144
闪点ISO 2719/℃	150	260
燃点ISO 2592/℃	170	316
热值/(MJ/kg)	46.0	31.6
防火等级IES 61100/61039	0	K3

各种变压器油运动粘度与温度的关系如图6所示。从这条曲线可以看出，酯油在相同温度下，酯油的黏度大于普通矿物油，所以需要借助外部诸如风机、油泵。

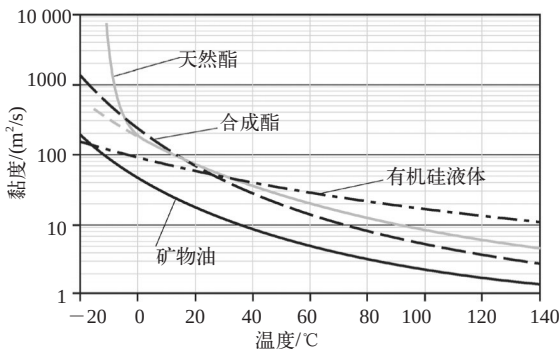


图6 各种变压器油运动粘度与温度的关系

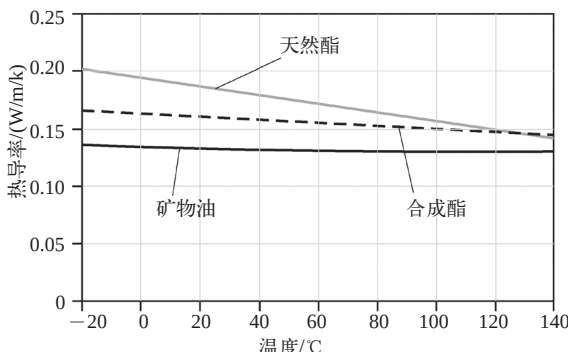


图7 各种变压器油热导率与温度的关系

各种变压器油热导率与温度的关系如图7所示。从这条曲线可以看出,酯油在相同温度下,酯油的热传导性能优于普通矿物油。

3. 酯油变压器氧化性老化的考核

聚合度与老化产物与温度的关系为温度越低,分子之间反应较慢,对应糠醛的含量较低,聚合度值较高。Midel合成酯油的亲水性好,饱和度高,吸附绝缘纸里的水分;Midel合成酯油可运行在更高温度,聚合度值高。因此,Midel合成酯油的聚合度投运在较高运行温度时,下降慢,寿命更长。

生产制造工艺原则

关于绝缘油与金属导体的作用,西门子与Midel做了充实的试验和验证。

1. 变压器材料与Midel酯绝缘油相容性试验

与Midel酯类绝缘油相容的材料基本是与矿物油相同的,主要材料有:氟橡胶、丙烯酸酯、硅钢片、内壁漆、漆包扁铜线、螺母、螺杆、板、铝条、酚醛板、法兰、铝板、钢板、铝箔纸、铝箔、绝缘纸板、皱纹纸、改性皱纹纸、电话纸和电缆纸等。

2. Midel酯绝缘油变压器的防潮工艺研究

24 h内随着敞口放置时间的延长,酯的水分呈增加的趋势,介质损耗因数和工频击穿电压相对稳定。因此,建议Midel合成酯绝缘油变压器敞口检查时间为18 h。

3. Midel合成酯绝缘油变压器注油指南

1) Midel合成酯绝缘油变压器宜选用真空注油工艺,如果注油后有过多的气泡产生时,应对其进行真空处理以充分脱气。

2) 可用脱水和脱气设备对Midel合成酯绝缘油进行处理。脱气温度为60~100℃、真空度低于220 Pa,以确保彻底脱去之前引入的气体 and 水分。

3) 经过真空脱气和过滤处理后的Midel合成酯绝缘油应直接真空注入变压器中。

结束语

变压器中采用酯油代替矿物油,充分利用Midel的环保特性、高燃点防火及亲水性等优点。设计计算时要综合考虑绝缘、散热及材料相容性,生产工艺要注意氧化、注油工艺,从而保证制造出精品变压器。在变压器中使用酯油在全世界已有太多案例,建议除了在西门子变压器工厂之外,其他变压器厂也应结合西门子与Midel对酯类绝缘油性能的研究及变压器设计和制造经验进行推广。目前,Midel变压器油已广泛被西门子等国际公司应用于高电压防火变压器、海上大功率风能变压器、高铁牵引变压器及近期大量使用在太阳能发电配合高效智能逆变器与变压器一同使用。不久的将来更可应用在特高压直流输电系统HVDC,为电力变压器的高效及安全应用再作一份贡献。EA

(收稿日期:2020.08.09)

(编辑:朱金凤)

(上接第60页)

类技术的统称,其中涉及低压机电绝缘设备的变频电动机和同步电动机,该绝缘技术体现出了良好的耐热性,并且绝缘厚度相对较小,能够稳定工作的同时具有良好的电气性能。最重要的是,这种技术工艺简单,安装方便,安全性高,能够很好地满足净化生产需求,也能够起到节约能源的作用。

3) 少胶云母脂环氧PVI绝缘体系主要运用TMEIC绝缘,辅助材料为树脂,该技术的实现需要稀释、固化和浸渍树脂等方式完成,通过实际运用发现,该技术耐热性和稳定性都十分理想,也是广泛应用的绝缘技术之一。

目前,技术人员仍然不断对以上技术进行优

化和处理,我国高电压大容量变压器绝缘技术也处于不断进步的状态。

结束语

在高电压绝缘技术的应用方面,技术人员首先要清晰地认识到高电压设备绝缘技术的应用范围及常用材料,并据此深入研究相关的技术问题,结合设备绝缘性能和技术特点展开研究,从而掌握高电压设备有机绝缘的应用发展趋势。这样才能从实处促进绝缘技术的发展,并提升用电设备的安全系数及运行稳定性。EA

(收稿日期:2019.11.06)

(编辑:朱金凤)