

## 新型变压器——干水式变压器的可行性研究

邓 银, 高瑞骏, 张宗菊\*

重庆安全技术职业学院 重庆

**【摘要】**本文将提出一种新型变压器概念——干水式变压器。该变压器采用新型绝缘和冷却介质“干水”，因此被称为干水式变压器，旨在解决传统油浸式变压器存在的易燃易爆、有毒有害、维护成本高、噪音大、效率低和环境污染等问题，并通过干水这种介质提高变压器散热效率和工作效率，同时降低噪音和减少污染等。本文将通过传统油浸式变压器的工作原理和干水的特性对干水式变压器的概念、工作原理、优势、关键技术挑战以及未来发展方向等进行阐述。

**【关键词】**干水；变压器；绝缘；冷却散热；环保

**【收稿日期】**2025 年 5 月 14 日

**【出刊日期】**2025 年 6 月 5 日

**【DOI】**10.12208/j.jer.20250269

### Feasibility study on a new type of transformer - dry water transformer

Yin Deng, Ruijun Gao, Zongju Zhang\*

Chongqing Vocational Institute of Safety Technology, Chongqing

**【Abstract】** This paper proposes a new concept of transformer - dry water transformer. This transformer uses a new insulating and cooling medium, "dry water", and is thus called a dry water transformer. It aims to solve the problems existing in traditional oil-immersed transformers, such as flammability, explosiveness, toxicity, high maintenance costs, high noise, low efficiency, and environmental pollution. By using dry water as the medium, it aims to improve the heat dissipation efficiency and working efficiency of the transformer, reduce noise, and minimize pollution. This paper will elaborate on the concept, working principle, advantages, key technical challenges, and future development directions of the dry water transformer through the working principle of traditional oil-immersed transformers and the characteristics of dry water.

**【Keywords】** Dry water; Transformer; Insulation; Cooling and heat dissipation; Environmental protection

### 引言

在能源中，电力在社会中所扮演的角色越来越重要，因此对电力的要求也越来越高，从原来的量的要求逐渐变为对质的要求。

而变压器又是对电力能否合理使用的基础，但随着时间的流逝，传统油浸式变压器所带来的易燃易爆、环境污染、效率低、噪音大等弊端也逐渐显现出来<sup>[8]</sup>。目前也有许多科研工作者对传统油浸式变压器的改良进行研究，但大部分都是针对油浸式变压器中的绝缘油进行改良研发的，但都比较集中在新型绝缘油的制取设备和方法等。

而变压器又是对电力能否合理使用的基础，但随

随着时间的流逝，传统油浸式变压器所带来的易燃易爆、环境污染、效率低、噪音大等弊端也逐渐显现出来。

虽然目前的一些研究在一定程度上能解决传统油浸式变压器在能效与环保性能等方面的部分问题，但其中仍然存在着许多挑战。因此，研发一种具备高稳定性、高节能性和高环保性的新型变压器已经成为电力行业发展的迫切需要。

### 1 干水式变压器的概念

#### 1.1 概念模型

干水式变压器是一种结合了干水的特性和传统油浸式变压器的工作原理的新型变压器。其主要利用了干水的疏水性、高含水量、安全环保和良好的绝缘性能，

作者简介：邓银（1990-）女，汉族，重庆忠县人，重庆安全技术职业学院助教，硕士，专业：电子信息科学与技术，研究方向：移动通信；\*通讯作者：张宗菊（1983-）女，汉族，重庆忠县人，重庆安全技术职业学院讲师，学士，专业：电子信息科学与技术，研究方向：电子、通信。

替代传统油浸式变压器中的绝缘油, 从而解决传统油浸式变压器易燃易爆、有毒有害、环境污染和老化严重等问题。

### 1.2 工作原理

干水式变压器主要基于电磁感应原理, 与传统油浸式变压器相似。通过电磁感应、绝缘和散热机制进行工作, 其构造大致相同, 主要不同之处体现在将油箱转变为水箱与疏水性二氧化硅物料箱, 同时还会建造一个干水回收循环利用系统。其效率主要不同之处体现在与油浸式变压器的绝缘和导热等效果。

### 1.3 干水的特性及在变压器中的潜在应用

干水是一种无毒、无害、环保的混合物, 由 95% 左右的  $H_2O$  和 5% 左右的疏水性  $SiO_2$  组成, 其中每一粒小水滴都被一层疏水性  $SiO_2$  所包裹, 其视觉效果大部分呈现粉末状, 具有流动性、抗高压抗高温和隔绝氧气等能力<sup>[1]</sup>, 但通过一些改良后, 视觉会呈现出不同的状态, 性能也会有不同表现。目前主要应用在消防、化妆品、食品、环境保护和农业等领域。

#### (1) 润滑性与流动性

根据研究显示<sup>[2]</sup>, 不同的润滑剂与干水结合进行改良会使干水的润滑性和流动性发生变化。其中使用 1% 的山嵛酸甘油酯将干水进行改良后会使其松密度较纯水干水略微增大, 整体粒径也会稍增大, 其润滑效果也会更好, 并且有效减少了颗粒之间的摩擦力。若改良后应用在油浸式变压器中除了可代替油的润滑作用, 还能解决油浸式变压器所带来的污染、易燃易爆和高维护成本等问题。

#### (2) 绝缘性

干水本身是由  $H_2O$  和疏水性  $SiO_2$  组成, 水的电解质本身比较弱, 加上纯水中自由移动的离子极低, 且纯水本身因导电率低, 勉强可以算作为绝缘体。当变压器工作时, 会产生热量, 干水因本身还有大量的  $H_2O$ , 会进行蒸发, 在蒸发过程中疏水性  $SiO_2$  会变成粉末会对变压器进行一定程度的保护, 更加减少了导电性, 因此使用干水代替油浸式变压器可以减少油浸式变压器因短路而爆炸的危险。

#### (3) 隔绝氧气

结合目前的研究<sup>[1,3]</sup>, 干水在灭火中会因高温环境导致其内部水分蒸发, 从而疏水性  $SiO_2$  会附着在可燃物表面, 阻挡反应物与助燃剂接触, 隔绝燃烧物与助燃剂, 使其窒息熄灭。同理, 变压器在工作时也会产生热量蒸发干水, 使疏水性  $SiO_2$  附着在变压器表面隔绝氧气, 保护变压器, 增加其使用寿命。

#### (4) 冷却散热性

通过锂电池燃烧试验<sup>[3]</sup>与 PMMA 燃烧试验<sup>[4]</sup>可以了解到, 干水在遇热蒸发过程中会吸热来达到冷却效果, 且形成的疏水性  $SiO_2$  薄膜有吸收热辐射的作用。因此, 在变压器的运行过程中产生的热量能被干水有效冷却。

#### (5) 安全稳定性

因干水是由  $H_2O$  和疏水性  $SiO_2$  组成, 且水被疏水性  $SiO_2$  所包裹, 能隔绝大部分物质, 不与外界发生化学反应,  $SiO_2$  又是不活泼物质, 与大部分物质都不反应。因此干水应用在变压器中能保持稳定, 不易受到外界干扰。相较于油浸式变压器中的油, 其安全性大幅度提升, 不易发生爆炸。若发生爆炸, 干水也能在一定程度上起到缓冲作用。

#### (6) 环保性

Robert Dawson 科研小组研究表明<sup>[5]</sup>, 干水在一定程度上可以吸收  $CO_2$  和  $CH_4$ , 能改善温室效应, 保护环境。根据 PMMA 燃烧试验表明<sup>[4]</sup>, 干水在燃烧中对 CO 浓度具有抑制作用, 约能降低其 18.78% 的浓度。且根据研究表明<sup>[6,7]</sup>, 通过结冷胶改性干水之后, 15% 结冷胶干水能够增强  $CO_2$  水合物的储气量且可重复利用率高于纯干水。因此, 通过以上研究表明, 干水在环保性方面优于传统的油浸式变压器, 且在后期的研究可以做到循环使用, 减少资源浪费。

#### (7) 高效性

干水的高效性不仅体现在卓越的绝缘强度与导热性能上, 还体现在它能够快降温, 减少能量的损耗。将其应用在变压器中, 将会使变压器在效率上大幅度提升, 同时延长设备的使用寿命, 确保电力系统的稳定运行。

## 2 传统油浸式变压器的介绍

### 2.1 工作原理

油浸式变压器主要是通过电磁感应原理工作的, 其运行过程中顶层油温一般不超过  $85^\circ C$ 。其内部主要是由铁芯、绕组、油箱、调压装置、散热器、油枕、绝缘套管、分解开关和气体继电器等组成。冷却方式主要为自然油循环自然冷却、自然油循环风冷、强迫油循环水冷却和强迫油循环风冷却。

### 2.2 优点

油浸式变压器的优点主要体现在: (1) 绝缘性能好 (2) 导热能力强 (3) 绝缘油成本低 (4) 散热能力强。

### 2.3 缺点

油浸式变压器的缺点主要体现在: (1) 易燃易爆 (2) 绝缘油对人体有害 (3) 需定期检查绝缘油 (4) 具有腐蚀性加速老化 (5) 不环保 (6) 噪音大 (7) 效率低。

### 3 干水式变压器的优势

结合目前的研究来看, 干水作为一种新型材料, 其潜力不可估量, 可应用领域正在持续扩大。

相较于油浸式变压器, 干水变压器能做到无毒无害、不易燃易爆、安全可靠、高效率等, 基本能弥补油浸式变压器的不足之处。同时还能通过对干水的不断改良, 如将缓冲剂与干水进行结合, 使变压器内部的震动在干水中达到缓冲, 降低噪音等。

### 4 干水式变压器面临的技术挑战

#### 4.1 干水的制备与纯化的问题

干水的本身制备要求不高, 但当应用在变压器中后, 其制备难度和成本都有所提高。主要体现在纯水的制备, 因纯水的高绝缘性, 其制备过程中不能含有其他杂质, 这就导致了其难度与成本的增加。再加上干水的改良, 不同环境和不同场所需要的干水种类有所不同, 因此对干水改良的材料又增加了一个难度, 因此想要大规模的使用, 所需要的研究还有很多。

#### 4.2 干水式变压器的稳定性问题

干水式变压器由于是新型变压器, 其稳定性有待实验验证。干水式变压器的运行, 需要基于油浸式变压器进行, 首先要对变压器的参数进行调整; 其次需要考虑地区因素, 不同地区环境有所不同, 需要针对各个地区的环境改良出不同种类的干水, 防止干水在恶劣环境中蒸发过快或者凝固。

#### 4.3 干水与变压器的相容性问题

干水与变压器的结合是一次新的尝试, 其中还需要考虑到干水与变压器材料的相容性问题及后期变压器的设计与制造工艺能否与干水和平共处等。

#### 4.4 干水式变压器后期维护问题

干水由于呈现白色, 且蒸发之后会在变压器表面形成一层白色的保护膜, 这将会对后期的维护增加难度和成本。可以通过干水与全氟己酮等物质进行改良, 增加干水的透明度, 减轻后期维护难度与成本。

#### 4.5 干水式变压器的行业标准规范制定问题

干水式变压器由于是一种新型变压器, 没有系统性的行业标准规范, 后期的制造标准和操作规范等问题需要制定相关的制度及法律。

#### 4.6 可持续发展问题

因干水式变压器中的干水具有挥发性, 后期需对

干水的沸点和干水式变压器的回收循环利用系统需要进行相应的改良研发工作。

#### 4.7 绝缘性能的优化

随着设备使用年限的增加, 其老化程度也会加剧, 随之而来的便是绝缘性能降低, 为了避免此情况, 可在绕组之间额外增加绝缘层, 如玻璃纤维等。

#### 4.8 散热效率的提升

当变压器处于高负荷运行时, 冷却速度有时会跟不上, 可以通过改进干水的填充工艺, 使其在变压器内部中均匀分布, 同时需要增加只能散热系统及装置, 随时根据变压器温度做出调整。

### 5 展望

#### 5.1 开发高性能干水材料

通过研究对干水材料的改良, 赋予其更高性能的绝缘强度、更高的沸点、更低的凝固点以及更具效益的经济成本等。

#### 5.2 优化干水式变压器设计

优化干水式变压器的构造, 以实现更加高效的冷却效果、更为合理的绝缘配置以及更高的性能和效率等。

#### 5.3 推进干水式变压器产业化

加强产业、学术和研究机构之间的合作, 推进干水式变压器的产业化进程, 实现大规模的应用, 从而促进我国新能源事业的繁荣发展。

#### 5.4 全自动智能化

随着智能化、环保节能化的趋势加强, 干水变压器应逐渐向高技术含量、高性能、环保性方向发展, 将全自动智能化技术应用在干水变压器之中, 使其具有智能监测与诊断、远程监控与控制、预测性维护、能效管理、自适应控制与集成化管理功能。

### 6 结论

干水式变压器具有安全性高、环保性能优越、冷却散热性能高、绝缘性能高、效率高、噪音低和使用寿命长等优势将会是促进我国电力行业、能源行业发展的关键。但同时, 干水式变压器还面临着干水制备与纯化难度大、稳定性单一、干水与变压器材料的相容性及后期维护难度等问题也将成为我国电力和能源行业的潜在阻碍, 甚至会带来一定的隐藏风险。

干水式变压器作为一种新型变压器, 其安全性、绝缘性和稳定性使其成为电力系统中的理想设备, 尤其在人口密集等高风险环境中能以优异的表现脱颖而出。且干水的环保性不仅能有效减少传统油浸式变压器中的绝缘油对环境的污染, 还能通过吸收温室气体改善

环境质量, 为应对气候变化作出突出贡献。

随着干水变压器的广泛应用, 对我国能源事业与经济发展将会产生深远影响。这种先进的新型电力设备不仅能够有效提高电力系统的整体运行效率, 降低其能源损耗, 减少不必要的浪费, 还将会促进我国更多领域协同发展, 推动产业升级和技术创新。

### 参考文献

- [1] 汪凤祺, 汪泉, 李成孝, 等. 干水材料特点及其应用前景[J]. 煤矿爆破, 2021, 39(02): 29-34.
- [2] 汪洋, 朱国庆. 润滑剂改性干水灭火材料的流动性能研究[J]. 消防科学与技术, 2024, 43(11): 1580-1584. DOI: 10.20168/j.1009-0029.2024.11.1580.05.
- [3] 张淇厚, 李思成, 刘佳玲. 抑制锂离子电池火灾的新型灭火剂研究进展[J]. 消防科学与技术, 2024, 43(08): 1138-1144. DOI: 10.20168/j.1009-0029.2024.08.1138.07.
- [4] 张天巍, 刘祥臣, 王国峰, 等. 干水在热环境中的持续作用效果研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(11): 172-178.
- [5] Dawson R, Stevens A L, Williams A S O, et al. 'Dry bases': carbon dioxide capture using alkaline dry water[J]. Energy & environmental science: EES, 2014, 7(5): 1786-1791.
- [6] Fatemeh G, Ali H. Kinetic and thermodynamic study of CO<sub>2</sub> storage in reversible gellan gum supported dry water clathrates[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2020, 115(prepublish):
- [7] 张强, 陈敏杰, 薛广鑫, 等. 改性干水材料配比对水合物法分离回收瓦斯动力学影响[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(09): 3418-3428. DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2023.2585.
- [8] 李鹏, 孙建涛, 赵义焜, 等. 大型油浸式变压器油箱防爆技术研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2025, 45(09): 3282-3297. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.242078.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

