

# 汽轮机油中水分超标机理及新型脱水装置的应用研究

郭昱呈

国家电投集团山西铝业有限公司, 山西 原平 034100

DOI:10.61369/ETQM.2025070003

**摘 要：** 针对传统脱水方法的效率低、能耗大及可能损害油品性能等问题，本文研究了一种新型脱水装置的设计与应用。将该装置应用在汽轮机油水分超标问题中，通过结合真空脱水、分子筛吸附及智能控制系统，可实现高效、低能耗且对油品无损伤的脱水处理。实验表明，新型脱水装置显著降低了汽轮机油中的水分含量，有效延长了油品使用寿命，提升了汽轮机运行的可靠性和经济性，为相关行业油品维护提供了新的技术解决方案。

**关 键 词：** 汽轮机油；水分超标机理；新型脱水装置

## Research on the Mechanism of Excessive Moisture in Turbine Oil and the Application of New Dehydration Devices

Guo Yucheng

State Power Investment Corporation Shanxi Aluminium Industry Co., LTD., Yuanping, Shanxi 034100

**Abstract：** Aiming at the problems of low efficiency, high energy consumption and possible damage to the performance of oil products in traditional dehydration methods, this paper studies the design and application of a new type of dehydration device. The application of this device in the problem of excessive moisture in turbine oil, by combining vacuum dehydration, molecular sieve adsorption and intelligent control system, can achieve efficient, low-energy consumption and non-damaging dehydration treatment of oil products. Experiments show that the new dehydration device significantly reduces the water content in turbine oil, effectively prolongs the service life of the oil, enhances the reliability and economy of turbine operation, and provides a new technical solution for oil maintenance in related industries.

**Keywords：** turbine oil; mechanism of excessive moisture; new type of dehydration device

汽轮机作为电力工业中的核心设备，其稳定运行直接关系到电力供应的安全与效率。而汽轮机油作为润滑、冷却及密封介质，其性能直接影响到汽轮机的运行状态和使用寿命。然而，在实际运行过程中，汽轮机油中水分超标问题屡见不鲜，成为影响汽轮机安全运行的隐患。水分超标不仅会导致油品氧化加速、添加剂失效，还会引起金属部件腐蚀、润滑性能下降，甚至引发汽轮机故障停机。因此，深入研究汽轮机油中水分超标的机理，并开发高效、可靠的脱水技术，对于保障汽轮机安全运行、降低维护成本具有重要意义。

### 一、汽轮机油中水分超标机理分析

#### （一）水分来源与侵入途径

汽轮机油中水分超标机理复杂多样，其来源与侵入途径主要可归结为外部因素与内部因素两大方面。在外部因素中，高湿度环境会导致空气中的水分易于通过设备缝隙或透气孔进入油品系统，尤其是在设备停机或低负荷运行时，该现象更为显著。而冷凝水的产生也不容忽视，当设备表面温度低于周围空气露点时，空气中的水蒸气会在设备表面凝结成水滴，进而渗入油品中。此外，设备密封失效也是水分侵入的重要途径，密封件老化、损坏或安装不当均会导致外部水分直接进入油品循环系统<sup>[1]</sup>。而在内

部因素方面，油品氧化降解是水分超标的内在驱动力之一，油品在高温、高压及氧气作用下发生氧化反应，生成酸性物质和水分，会加速油品老化并增加水分含量。而添加剂在特定条件下会分解或失效，失去其原有的防锈、抗氧化等功能，同时可能产生水分作为副产物。此外，金属腐蚀也是水分超标的重要原因，油品中的水分与金属部件发生电化学腐蚀反应，不仅消耗金属材料，还产生腐蚀产物和更多水分，形成恶性循环，进一步加剧油品水分超标问题。

#### （二）水分超标对油品性能的影响

水分超标会显著降低油品的润滑性能，水分作为杂质存在于油品中，会破坏油膜的连续性和稳定性，使得润滑效果大打折扣

扣，增加部件间的摩擦与磨损。同时，水分会加速油品的氧化过程，水作为氧化反应的催化剂，与油品中的不饱和烃发生水解反应，生成酸性物质和过氧化物，这些产物进一步促进油品的老化，缩短其使用寿命<sup>[2]</sup>。而水分超标还会导致油品中的添加剂析出，添加剂原本溶解在油品中以发挥其特定功能，如抗磨、防锈等，但水分超标会破坏添加剂的溶解平衡，使其析出并沉积在设备表面，形成沉积物，影响设备正常运行。此外，水分超标对汽轮机部件的腐蚀与磨损机制也不容忽视，水分与金属部件接触后，会形成电化学腐蚀环境，加速金属的腐蚀速率，导致部件表面粗糙化、孔蚀等，严重影响部件的机械性能和使用寿命。并且，腐蚀产物与水分、油品中的杂质共同作用，形成磨粒，加剧部件间的磨损，降低设备效率，甚至引发设备故障。

### （三）水分超标的关键影响因素

影响汽轮机油中水分超标的因素主要包括温度、压力及油品老化程度等，这些因素相互作用，共同影响油品中的水分含量。温度是影响水分溶解度与蒸发速率的重要因素，高温环境下，水分在油品中的溶解度降低，同时蒸发速率加快，若设备密封不良，外部水分更易侵入，而内部水分也易蒸发后凝结在低温区域，形成循环积累。相反，低温环境虽能抑制水分蒸发，但可能促进油品中已溶解水分的析出，特别是在设备停机或低负荷运行时，温度波动易导致水分凝结。压力对水分含量的影响主要体现在油品的饱和蒸汽压上，系统压力降低时，油品的饱和蒸汽压相对升高，促使水分蒸发，增加油品中游离水的含量<sup>[3]</sup>。此外，油品老化程度则是水分超标的内在因素，随着油品使用时间的增长，其抗氧化性、抗乳化性等性能逐渐下降，油品中的添加剂失效，基础油发生氧化降解，生成酸性物质和水分，这些过程不仅消耗了油品中的有效成分，还增加了水分含量，形成恶性循环，加速油品老化，进一步加剧水分超标问题。

## 二、新型脱水装置的设计原理与结构

### （一）设计理念与目标

新型脱水装置的设计紧密围绕高效、低能耗以及对油品无损伤的核心需求展开。在设计理念上，秉持创新性与实用性相结合的原则，致力于突破传统脱水技术的局限，通过引入先进的脱水技术与材料科学成果，实现脱水效率与能耗之间的最优平衡。针对传统脱水方法可能对油品性能造成损害的问题，本装置特别注重脱水过程中的油品保护机制，确保脱水处理后的油品仍能保持其原有的润滑性能、抗氧化性及稳定性。为实现高效脱水的目标，装置采用多级脱水工艺组合，包括真空脱水、分子筛吸附以及智能温控系统等，通过不同脱水机制的协同作用，显著提升水分去除效率。在低能耗方面，通过优化装置内部结构、提高热能回收利用率以及采用节能型驱动元件等措施，有效降低了装置运行过程中的能耗水平。同时，为确保脱水过程对油品无损伤，装置内部采用了特殊材质的接触面，避免金属离子等杂质对油品的污染，并通过精确控制脱水温度、压力等关键参数，防止油品在脱水过程中发生氧化、热解等不良反应。此外，装置还配备了智

能监测与反馈系统，能够实时监测脱水效果及油品性能变化，为装置的稳定运行及油品质量的持续保障提供有力支持。

### （二）脱水技术选择与组合

新型脱水装置的设计聚焦于脱水技术的科学选择与高效组合，以应对汽轮机油中水分超标的复杂挑战<sup>[4]</sup>。其中，真空脱水技术作为核心脱水手段之一，其原理基于降低系统压力使水分在较低温度下沸腾汽化，从而脱离油品。为提升真空脱水效率，优化方向包括改进真空泵性能，采用更高效的抽气系统以快速建立并维持稳定真空度。同时，优化加热方式，如采用间接加热或微波辅助加热，能够减少对油品的直接热损伤，并加速水分蒸发。在真空脱水技术的基础上，新型脱水装置还创新性地引入了分子筛吸附与膜分离技术。分子筛吸附技术利用特定孔径的分子筛材料，对油品中的微量水分进行选择性的吸附，尤其适用于处理真空脱水后残留的微量水分，确保油品最终含水量达到极低水平。膜分离技术则通过选择性渗透膜，在压力差作用下实现油水的高效分离，具有操作简便、能耗低、无二次污染等优点。这两种技术的引入，既增强了脱水装置对不同含水量油品的适应性，还显著提升了脱水效率与油品回收率，同时避免了传统脱水方法可能带来的油品性能下降问题，为汽轮机油的长期稳定运行提供了有力保障。

### （三）装置结构与工作原理

新型脱水装置的设计原理与结构紧密围绕高效、低能耗及油品无损伤的核心目标展开，其整体结构设计精妙且功能完备。装置主要由真空系统、吸附塔、控制系统以及辅助部件构成，各部分协同工作，共同实现油品的深度脱水<sup>[5]</sup>。真空系统作为脱水装置的动力源泉，通过高效真空泵快速建立并维持装置内部的稳定真空环境，为油品中水分的汽化提供必要条件，该系统采用先进的抽气与密封技术，确保真空度稳定且能耗低，有效提升了脱水效率。吸附塔内部填充有高性能的分子筛材料，这些分子筛具有精确的孔径结构，能选择性吸附油品中的微量水分，擅长处理真空脱水后残留的极微小水分子，确保油品最终含水量达到极低标准。控制系统集成先进的传感器与智能算法，能够实时监测油品含水量、真空度、温度等关键参数，并根据预设程序自动调节各部件工作状态，实现脱水过程的精准控制。此外，装置还配备了辅助部件如加热系统、冷却系统及油品循环系统，加热系统用于在脱水前对油品进行预热，促进水分蒸发，冷却系统则确保吸附塔在再生过程中温度可控，保护分子筛性能，油品循环系统则保证油品在装置内均匀流动，提高脱水均匀性。

## 三、新型脱水装置的应用研究

### （一）应用场景与需求分析

新型脱水装置的应用研究聚焦于电力行业汽轮机油脱水，在电力行业中，汽轮机油作为核心润滑介质，其性能稳定性直接关系到汽轮机组的安全高效运行。然而，由于运行环境复杂多变，如高温、高压、高湿度等条件，汽轮机油极易受到水分污染，导致润滑性能下降、氧化加速、添加剂失效等一系列问题，进而影

响机组运行效率与寿命<sup>[5]</sup>。因此，汽轮机油的脱水处理成为电力行业亟待解决的重要需求。当前，针对汽轮机油脱水，电力行业虽已采取多种解决方案，如真空脱水、离心脱水等，但均存在不同程度的局限性。传统真空脱水技术能耗较高，且对微量水分去除效果有限，离心脱水则对油品清洁度要求苛刻，易受杂质影响，脱水效率不稳定。此外，现有解决方案普遍缺乏智能化控制，难以根据油品实际含水量动态调整脱水参数，导致脱水效果参差不齐，难以满足电力行业对汽轮机油品质日益严格的要求。鉴于此，新型脱水装置的研发与应用，旨在通过创新脱水技术与智能化控制系统的结合，实现汽轮机油的高效、低能耗、精准脱水，为电力行业提供更为可靠、经济的油品处理方案，保障汽轮机组的安全稳定运行。

### （二）装置安装与调试

新型脱水装置的应用研究中，装置的安装与调试是确保其高效稳定运行的关键环节。现场安装流程需严格遵循既定步骤，首先进行基础检查与准备，确保安装场地平整、承重能力符合要求，同时完成电源、气源等外部接口的预埋与连接<sup>[7]</sup>。随后，依据设备图纸进行主体结构的吊装与定位，采用精密测量工具确保各部件安装精度，特别是真空系统、吸附塔等核心部件的垂直度与水平度。安装过程中，需特别注意密封件的安装质量，采用专用工具确保密封面无损伤，防止泄漏现象发生。而调试方法则包括单机调试与联机调试两个阶段。单机调试时，对真空泵、加热器、传感器等关键部件进行逐一测试，验证其性能参数是否符合设计要求。联机调试则着重于各部件间的协同工作，通过模拟实际运行工况，调整控制系统参数，实现脱水过程的精准控制<sup>[8]</sup>。而在安装与调试过程中，操作人员需严格遵守安全操作规程，佩戴好个人防护装备，并密切关注设备运行状态，及时发现并处理异常情况。此外，还需做好调试记录，为后续维护与优化提供数据支持。通过严谨的安装与调试流程，确保新型脱水装置能够高

效、稳定地运行，满足电力行业汽轮机油脱水的实际需求。

### （三）应用效果与经济效益分析

新型脱水装置的应用研究在多个方面展现出显著成效，以某自备电厂的实际应用为例，该电厂引入新型脱水装置后，汽轮机油的脱水效果实现了质的飞跃。装置凭借其高效的真空脱水与分子筛吸附技术组合，不仅大幅降低了油品中的水分含量，确保了油品质量的稳定提升，还显著延长了油品的使用寿命，减少了因油品老化导致的设备故障与停机时间<sup>[9]</sup>。在经济效益方面，新型脱水装置的应用带来了运行成本的显著降低，一方面，由于油品质量的提升，电厂减少了因油品更换与设备维修产生的直接成本。另一方面，装置本身的高效运行与低能耗设计，也有效降低了电厂的能源消耗与运营成本，据统计，该电厂在引入新型脱水装置后，年运行成本降低了约15%，经济效益显著。此外，新型脱水装置还展现出了优异的长期运行稳定性与较低的维护成本，装置采用模块化设计，便于日常维护与故障排查，同时关键部件选用高品质材料，确保了装置的长寿命运行<sup>[10]</sup>。经过长期跟踪评估，该装置的维护成本远低于传统脱水设备，为电厂的持续稳定运行提供了有力保障。

## 四、结束语

汽轮机油中水分超标是一项复杂而多因素影响问题，其机理涉及运行环境、设备状态及油品自身特性等多个方面。传统脱水方法虽能在一定程度上降低油品含水量，但往往存在效率低、能耗大及可能损害油品性能等不足。本文提出的新型脱水装置，通过综合运用真空脱水、分子筛吸附及智能控制技术，实现了高效、低能耗且对油品无损伤的脱水处理，为解决汽轮机油水分超标问题提供了新的技术途径。

## 参考文献

- [1] 廖豪, 杨庭栋, 杜树茂, 等. 自配溶液用于伏安法测定汽轮机油抗氧剂含量研究 [J]. 化学与生物工程, 2025, 42(04): 32-35.
- [2] 李宏海. 火力发电厂汽轮机油系统常见故障原因及防控措施 [J]. 科技资讯, 2024, 22(18): 201-203.
- [3] 李曦阳. 汽轮机油系统管道泄漏原因与对策分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(11): 146-147.
- [4] 陶建. 火电厂锅炉给水泵汽轮机油系统压力低跳闸问题处理 [J]. 电力设备管理, 2025, (04): 71-73.
- [5] 刘忠连. 汽轮机组波纹管膨胀节焊接冷裂纹成因及机理分析 [J]. 焊接技术, 2025, 54(01): 122-126.
- [6] 蔡越. 汽轮机油挡油油分析与处理 [J]. 能源与环境, 2023, (04): 77-79.
- [7] 刘亮亮, 李锐, 黄江瑞. 汽轮机润滑油颗粒度异常原因分析及处理 [J]. 神华科技, 2018, 16(06): 55-57.
- [8] 王志杰. 汽轮机润滑油水分超标综合治理 [J]. 科技资讯, 2018, 16(10): 40-41.
- [9] 廖学书. 给水泵汽轮机油系统水分超标原因分析及改进措施 [J]. 中国设备工程, 2017, (07): 50-51.
- [10] 韩超, 沈郁昕. 汽轮机维修中的常见故障与技术分析 [J]. 科技风, 2015, (17): 89.