

电力变压器新型储油柜的研制与应用

宋伟峰 于京纬 孙丰飞
山东电力设备有限公司 山东 济南 250000

摘要：随着电力系统对设备可靠性要求的不断提高，电力变压器储油柜的改进和创新显得尤为重要。本文介绍了一种新型电力变压器储油柜的研制与应用。该储油柜采用先进的智能油位测量系统，提高了油位测量的准确性和稳定性；同时，采用优化的密封组件材料与设计，显著提升了密封性能，有效防止了变压器油氧化。通过排气组件与测压组件的协同工作，确保了变压器内部压力稳定。实验与运行结果表明，新型储油柜具有优异的性能与经济性，为保障电网稳定运行提供了有力支撑。

关键词：电力变压器；新型储油柜；研制；应用

引言：电力变压器作为电力系统中的核心设备，其运行稳定性和安全性对整个电网至关重要。储油柜作为变压器的重要组成部分，承担着调节油位、隔离空气和保护变压器油的重要任务。然而，传统储油柜存在油位测量不准确、密封性能差等问题，严重影响了变压器的使用寿命和电网的稳定性。因此，本文致力于研制一种新型电力变压器储油柜，旨在解决传统储油柜存在的问题，提高变压器的运行效率和安全性，为电力系统的稳定运行贡献力量。

1 电力变压器储油柜的基础理论

1.1 储油柜的工作原理与功能

(1) 油的热胀冷缩原理与储油补偿。电力变压器储油柜的主要工作原理之一是基于变压器油的热胀冷缩原理。变压器运行时，其内部油温会随环境温度和负载的变化而波动，油的体积也会随之变化。储油柜通过连通管道与变压器油箱相连，能够动态地储存或补充变压器油，确保油箱内部始终充满油液，避免油箱变形或损坏。

(2) 油与空气隔离的重要性。储油柜的另一关键功能是隔离变压器油与空气的直接接触。空气中的氧气和水分是导致变压器油劣化的主要因素之一。储油柜通过其结构设计，如胶囊、隔膜或波纹管等，有效地将变压器油与外部环境隔绝，减少了油与空气的接触面，从而延长了变压器油的使用寿命，增强了变压器的绝缘性能。

1.2 储油柜的分类与特点

(1) 敞开式储油柜的结构与缺陷。敞开式储油柜结构较为简单，主要由铁板卷制而成，通过吸湿器与外界大气相通。然而，由于其密封性能较差，运行中的变压器油容易受潮和氧化，特别不适用于35kV及以上电压等级的变压器。(2) 密封式储油柜的比较分析。密封式储油柜分为胶囊式、隔膜式和波纹管式。胶囊式和隔膜式

储油柜通过橡胶材质实现油的密封，但存在易老化、渗漏和凝露等问题。而波纹管式储油柜采用不锈钢波纹补偿技术，具有工作寿命长、无老化、抗破损和免维护等优点，是目前较为理想的储油柜类型^[1]。

1.3 储油柜的关键技术参数与设计要求

(1) 材料选择与环境适应性。储油柜的材料选择需考虑其耐腐蚀性和耐久性。不锈钢是波纹管式储油柜的理想材料，而胶囊式和隔膜式储油柜则需选用高质量的橡胶材料。此外，储油柜的设计还需考虑其环境适应性，如温度、湿度和海拔等因素。(2) 密封性能与耐久性。密封性能是储油柜的关键指标之一。高质量的密封件和合理的结构设计能够确保变压器油与外界空气的完全隔绝。同时，储油柜的耐久性也至关重要，需能够承受长期运行中的压力变化和温度变化。(3) 油位监测与报警系统。储油柜应配备准确的油位监测系统 and 报警装置。当油位过高或过低时，报警装置应能及时发出警报，以便操作人员及时采取措施进行处理。油位监测系统的准确性和可靠性对于保证变压器的安全运行至关重要。

2 电力变压器新型储油柜的研制

2.1 新型储油柜的设计思路与创新点

2.1.1 针对传统储油柜问题的改进措施

传统电力变压器储油柜在长期运行过程中暴露出诸多问题，严重影响电力系统的安全稳定运行。其一，油位测量精度低，传统的机械式油位计受环境温度、油的粘度等因素影响较大，误差率高达10%-15%，无法为运维人员提供准确的油位信息，容易导致误判。其二，密封性能差，胶囊或波纹管材料老化后，容易出现渗漏，使得空气和水分进入变压器油中，加速油的氧化和劣化，降低变压器的绝缘性能。其三，排气和测压功能不完善，传统储油柜在变压器油温变化时，不能及时有效

地排出内部多余气体,导致内部压力不稳定,存在安全隐患。针对上述问题,新型储油柜的设计从多个方面进行改进。在油位测量方面,引入智能传感器技术,提高测量精度;在密封性能上,优化胶囊或波纹管的设计与材料选择;在排气和测压功能上,对相关组件进行重新设计和优化,确保变压器内部压力稳定。

2.1.2 新型储油柜的结构设计与工作原理

新型储油柜采用了模块化结构设计,主要由柜体、智能油位测量系统、密封组件、排气组件和测压组件等部分组成。柜体作为储油柜的主体,为变压器油提供储存空间,并采用高强度耐腐蚀材料制造,确保长期稳定运行。智能油位测量系统是新型储油柜的核心部分之一,它通过安装在储油柜内的智能传感器实时监测油位变化,并将数据传输到控制系统。密封组件采用新型高分子材料制作的胶囊或波纹管,具有良好的柔韧性和密封性能,能够有效隔绝空气和水分。排气组件和测压组件协同工作,当变压器油温升高,内部压力增大时,测压组件实时监测压力变化,当压力超过设定阈值,排气组件自动开启,排出多余气体,维持内部压力稳定;当油温降低,压力减小时,密封组件保证外部空气不会进入,维持油的纯净度^[2]。

2.2 新型储油柜的关键技术实现

2.2.1 智能传感器在油位测量中的应用

新型储油柜采用了基于电容式原理的智能传感器进行油位测量。电容式传感器利用油位变化时,电容极板间介质的介电常数改变,从而导致电容值变化的特性来测量油位。这种传感器具有精度高(误差可控制在 $\pm 2\%$ 以内)、响应速度快、抗干扰能力强等优点。同时,传感器内置微处理器,能够对采集的数据进行实时处理和校准,并通过无线通信模块将数据传输到远程监控中心,方便运维人员随时掌握油位情况。

2.2.2 胶囊或波纹管的设计与材料选择

在胶囊或波纹管的设计上,采用了优化的几何形状和结构,使其在伸缩过程中能够均匀受力,减少应力集中,延长使用寿命。材料选择方面,选用新型的氟橡胶材料,该材料具有优异的耐油性、耐老化性和耐温性能,可在 -40°C - 120°C 的温度范围内正常工作。此外,材料表面经过特殊处理,具有良好的抗粘附性,避免变压器油中的杂质附着在胶囊或波纹管表面,影响其密封性能^[3]。

2.2.3 排气组件与测压组件的优化设计

排气组件采用了新型的自动排气阀,该阀具有响应灵敏、密封可靠的特点。阀内设置了压力感应装置,当内部压力达到设定值时,阀门自动开启,排出气体;压

力降低后,阀门自动关闭,防止空气进入。测压组件采用高精度的压力传感器,能够实时准确地监测储油柜内部压力变化,其测量精度可达 $\pm 0.5\%$ FS。压力传感器与排气组件联动,通过控制系统实现自动排气功能,确保变压器内部压力始终处于安全范围内。

2.3 新型储油柜的性能测试与验证

2.3.1 实验室环境下的性能测试

在实验室环境下,对新型储油柜进行了全面的性能测试。油位测量精度测试中,模拟不同温度、油位条件,对智能传感器的测量结果进行比对,结果显示其误差均在 $\pm 2\%$ 以内,满足设计要求。密封性能测试通过向储油柜内充入一定压力的气体,观察压力变化情况,经过24小时测试,压力下降不超过 0.5% ,证明密封性能良好。排气和测压功能测试中,模拟变压器油温变化引起的压力波动,自动排气阀能够在压力达到设定阈值时及时开启,压力恢复正常后自动关闭,测压组件能够准确地监测压力变化,性能可靠。

2.3.2 实际运行中的效果评估与数据收集

为进一步验证新型储油柜的实际运行效果,在多个变电站选取多台电力变压器安装新型储油柜进行试运行。在运行过程中,通过远程监控系统实时收集油位、压力等数据,并定期对变压器油进行取样分析。经过6个月的运行监测,数据显示油位测量准确,密封良好,未出现渗漏现象;变压器油的各项指标均保持在正常范围内,氧化和劣化速度明显减缓。同时,运维人员通过实时数据能够及时掌握变压器运行状态,减少了巡检工作量和故障发生概率,新型储油柜在实际运行中展现出良好的性能和应用价值。

3 电力变压器新型储油柜的应用

3.1 新型储油柜在电力系统中的适用性

3.1.1 不同电压等级与容量变压器的匹配

新型储油柜在设计上充分考虑电力系统的多样性,可适配不同电压等级与容量的变压器。针对 10kV - 35kV 的配电变压器,采用轻量化结构设计,在保证核心功能的同时降低成本;智能油位测量系统精度达 $\pm 2\%$,能满足日常运维需求。对于 110kV - 500kV 的输电变压器,储油柜加强柜体强度,优化密封性能,确保在较大负荷波动下稳定运行。在特高压领域,应用于 1000kV 变压器的新型储油柜,通过强化压力控制组件,使内部压力波动范围控制在极小区间,保障超高压环境下变压器的安全。在容量适配方面,小型变压器配备的储油柜采用紧凑型设计,而百万千伏安级别的大型变压器,则扩大储油柜容积,升级排气和测压组件,使其能快速响应大容量变压

器油温剧烈变化时的压力波动，有效避免因压力失衡引发的安全隐患。

3.1.2 特殊环境下的应用案例

在高海拔地区，如西藏阿里地区某35kV变电站，因气压低、昼夜温差大，传统储油柜易出现密封失效问题。新型储油柜采用双层密封结构和耐低温氟橡胶材料，经两年运行，未出现渗漏情况，保障了偏远地区电力稳定供应。在高温高湿的海南某220kV变电站，新型储油柜运用耐腐蚀不锈钢柜体与防潮智能传感器，成功抵御盐雾侵蚀与潮湿环境影响，油位监测数据稳定，大幅降低变压器故障风险。

3.2 新型储油柜的运维与管理

3.2.1 日常巡检与维护要求

日常巡检主要依托智能监测系统与现场检查。运维人员需每日查看远程监控平台的油位、压力数据曲线，若出现异常波动，需4小时内到达现场。现场检查包括观察柜体外观有无变形、渗漏，胶囊或波纹管表面是否完好，排气阀与压力传感器连接是否牢固。维护工作方面，每季度对智能传感器进行清洁与校准，每两年更换一次密封材料，每年对排气组件和测压组件进行功能性测试，确保各部件正常运行。

3.2.2 故障诊断与处理方法

当系统报警提示油位异常时，先检查传感器线路连接与供电情况，若线路正常，则可能是胶囊破损，需停电检查并更换。压力异常升高时，排查排气阀是否堵塞或测压组件故障，轻微堵塞可现场清理，组件损坏则及时更换。故障处理遵循“先断电、后检修”原则，复杂故障需联系厂家技术人员远程指导或现场支援，确保故障快速、安全排除^[4]。

3.2.3 运维人员的培训与技能提升

通过理论授课、实操演练与案例分析相结合的培训方式，使运维人员掌握新型储油柜原理、操作与故障处理。培训课程涵盖智能监测系统操作、密封组件更换、压力调节组件调试等内容。定期组织技能竞赛与经验交流会，分享实际运维中的问题与解决方案，鼓励运维人员考取电力设备运维相关专业证书，提升整体专业素养。

3.3 新型储油柜的经济性分析

3.3.1 初期投资与后期维护成本比较

新型储油柜由于采用了先进的智能传感器、优质的密封材料和优化的结构设计，初期投资相比传统储油柜会增加20%-30%。然而，从长期来看，其后期维护成本大幅降低。传统储油柜因密封性能差、油位测量不准确等问题，需要频繁进行检修和更换部件，每年的维护成本较高。而新型储油柜密封良好，智能监测系统能够提前预警故障，减少了非计划停电检修次数，每年的维护成本可降低40%-50%。从全生命周期成本来看，新型储油柜具有更高的性价比。

3.3.2 提高变压器使用寿命与效率的经济效益

新型储油柜通过良好的密封性能和精准的压力调节，有效减缓了变压器油的氧化和劣化速度，延长了变压器的使用寿命。据统计，使用新型储油柜的变压器，其使用寿命可延长5-8年。同时，精准的油位和压力监测，确保变压器始终处于最佳运行状态，提高了变压器的运行效率，降低了能耗。以一台100MVA的变压器为例，使用新型储油柜后，每年可降低能耗约10万千瓦时，按照当前电价计算，每年可节省电费约5万元。此外，减少的非计划停电时间，也为电网带来了可观的间接经济效益，提高了电力供应的可靠性和稳定性。

结束语

电力变压器新型储油柜的研制与应用，标志着电力设备智能化与可靠性的重大进步。通过集成智能传感器、优化密封结构及排气测压功能，新型储油柜大幅提升了油位测量精度与密封性能，有效延长变压器寿命，降低运维成本。这一创新成果为电力系统的安全稳定运行提供了坚实保障，未来将在更广泛的领域发挥重要作用，推动电力行业持续发展。

参考文献

- [1]赵群.新型变压器储油柜选型及应用[J].产业经济,2020,(04):42-43.
- [2]桑前浩,王臣玺.变压器储油柜的发展与选用[J].产业经济,2020,(08):80-81.
- [3]张倩.电力变压器储油柜溢油原因及策略分析[J].产业经济,2023,(10):105-106.
- [4]莫向宁.解析变压器储油柜及主要附件设计[J].电力系统及自动化,2022,(12):122-123.