

变压器主要灭火系统类型分析及变压器故障处理

曾江举

泉州亿兴电力工程建设有限公司石狮分公司 福建 石狮 362700

摘要：变压器作为电力系统关键设备，其安全运行至关重要。本文首先分析了变压器主要灭火系统，包括水喷雾、排油注氮、气体、泡沫等系统，阐述其构成、灭火原理、优缺点及适用场景。接着探讨了变压器故障处理，涵盖常见故障类型、诊断方法、处理措施与注意事项。最后论述变压器灭火系统与故障处理的协同，指出灭火系统对故障预防的作用、故障处理对灭火系统有效性的影响，并提出协同管理策略，以保障变压器安全运行，提升电力系统稳定性。

关键词：变压器；灭火系统；类型分析；故障处理

引言：在电力系统中，变压器作为核心设备，其安全稳定运行至关重要。一旦变压器发生火灾或出现故障，不仅会导致设备损坏，还可能引发大规模停电，严重影响社会生产与生活。本文聚焦变压器主要灭火系统类型，深入剖析其构成、原理与适用场景；同时探讨变压器故障处理，涵盖常见故障类型、诊断方法、处理措施及注意事项。并进一步研究二者协同关系，提出协同管理策略，旨在全方位保障变压器安全运行，提升电力系统稳定性。

1 变压器主要灭火系统类型分析

1.1 水喷雾灭火系统

水喷雾灭火系统主要由水源、供水设备、管道、雨淋阀组、过滤器以及水雾喷头组成。当油浸式变压器发生火灾时，周边安装的火灾探测器会及时探测到火情并发出报警信号，进而开启雨淋阀组。此时，供水设备中的水在压力作用下沿管道流动，经过滤器去除杂质后，从水雾喷头喷出形成细小水雾滴。这些水雾滴在火焰表面汽化，吸收大量热量使火焰温度降低，同时产生的水蒸气可稀释火焰周围氧气浓度，破坏燃烧条件实现灭火。该系统水雾滴粒径小、覆盖快，能有效扑灭变压器火灾并冷却设备防止复燃，且无环境污染。不过系统需要较大水源和较高供水压力，安装维护较复杂，寒冷地区要考虑防冻问题。基于这些特点，水喷雾灭火系统主要应用于容量大、火灾危险性高的油浸式变压器，变电站、发电厂等场所常采用该系统保障电力设备消防安全。

1.2 排油注氮灭火系统

排油注氮灭火系统主要由火灾探测器、控制柜、排油阀、注氮阀和储氮罐等部件构成。变压器发生火灾时，火灾探测器精准捕捉火灾信号并传输至控制柜，控制柜迅速发出指令，一方面打开排油阀，使变压器顶部部分绝缘油排出，以此降低变压器内部油压和油位，避

免火灾进一步蔓延；另一方面打开注氮阀，将储氮罐中的氮气注入变压器内部，利用氮气的惰性隔绝氧气，抑制燃烧反应。该系统优势突出，动作迅速，能在火灾初期及时启动，有效控制火势发展，且灭火效果好，对变压器损坏小。氮气作为惰性气体，对环境无污染，也不会给变压器设备带来二次损害。该系统存在一定局限性，排油和注氮的时机与量需精确把控，否则会影响灭火成效。储氮罐需定期检查维护，确保氮气压力稳定、质量达标，以保障系统正常运行。排油注氮灭火系统适用于油浸式变压器，尤其在对设备损坏要求较高的场合，如变电站、配电室等，为电力设备安全稳定运行提供有力保障。

1.3 气体灭火系统

七氟丙烷灭火系统把七氟丙烷灭火剂储存在高压钢瓶内，火灾发生时，借助管网将灭火剂输送至变压器所在区域，七氟丙烷在高温下分解，吸收大量热量，且分解产物能抑制火焰化学反应，实现灭火。二氧化碳灭火系统则是通过释放二氧化碳气体，降低氧气浓度来灭火。气体灭火系统优势明显，灭火后无残留，不会对设备产生腐蚀，且不导电，适用于对清洁度要求高的变压器场所。七氟丙烷灭火系统灭火效率高，对环境影响小；二氧化碳灭火系统成本较低。不过，二者也有不足，二氧化碳灭火时会产生较高气压，可能危及人员和设备安全。气体灭火系统对密封要求严格，要防止灭火剂泄漏，其设计与安装需要专业人员操作，以此保障系统可靠性和安全性。该系统主要应用于对灭火剂残留有严格要求的重要变压器场所，像数据中心、通信基站等附近的变压器，能有效保护这些关键场所的变压器免受火灾侵害，确保电力供应的稳定与安全。

1.4 其他灭火系统

泡沫灭火系统运作时，会将泡沫混合液经特定装置

喷射而出，这些混合液在变压器表面迅速铺展，形成一层致密的泡沫覆盖层。该覆盖层能有效隔绝外界氧气与变压器火灾区域的接触，切断燃烧所需的助燃剂，从根源上抑制火势发展^[2]。由此泡沫中含有的大量水分会在蒸发过程中吸收周围热量，起到冷却变压器的作用，进一步降低火灾危险，实现灭火目标。不过，泡沫灭火系统存在一定局限性，其喷射的泡沫混合液含有化学成分，可能会附着在变压器设备表面，对设备造成一定程度的污染，影响设备的正常运行和使用寿命。而且使用后，需投入人力物力对变压器及周边区域进行全面清理，以消除泡沫残留带来的不良影响。也正因如此，泡沫灭火系统在变压器灭火应用中，需综合考虑其利弊，结合变压器所处环境、设备重要性等因素，谨慎选择使用，确保在有效灭火的同时将对变压器设备的损害降至最低。

2 变压器故障处理

2.1 变压器常见故障类型及原因

(1) 绕组故障有短路、断路两种常见类型，绕组短路多系绕组绝缘老化损坏，造成绕组间或绕组与铁芯间短路；绕组断路常因绕组连接处接触不良、导线断裂，过电压、过电流等因素也会引发绕组故障。(2) 铁芯故障主要表现为铁芯多点接地与铁芯过热，铁芯多点接地是铁芯绝缘损坏，使铁芯与油箱等构成接地回路产生环流导致过热，铁芯磁路不平衡、涡流损耗大同样会导致铁芯过热。(3) 绝缘故障关乎变压器安全运行，包含绝缘老化、受潮、击穿，长期运行叠加高温、电场作用使绝缘材料性能下降致老化，变压器密封不好水分进入致受潮，高电压破坏绝缘材料形成导电通道致击穿。(4) 油质故障里，变压器油担负绝缘、冷却、灭弧职能，故障表现为油温过高、油色变化、油中含气量超标，变压器过载、冷却系统出问题可能导致油温高，油质老化或受污染致油色变，油中含气量超标会削弱变压器绝缘性能，可能引发局部放电，进而影响变压器正常运行及使用寿命。

2.2 变压器故障诊断方法

电气试验法通过开展绝缘电阻测试、直流电阻测试、变比测试等项目，能获取变压器多方面信息。绝缘电阻测试可判断绝缘是否受潮或老化，以此评估绝缘性能；直流电阻测试能检查绕组是否存在断路、短路或接触不良情况，保障绕组连接正常；变比测试可确定变压器变比是否合规，确保变压器运行参数准确^[3]。油化分析法是对变压器油进行化验，检测油中水分、气体含量、击穿电压等指标。借助油中溶解气体分析（DGA），依据不同气体成分及含量，能判断变压器内部有无过热、放电等故障。不同故障类型会产生特定气体，通过分析

气体可精准定位故障。红外测温法利用红外测温仪检测变压器各部位温度，可发现局部过热问题。通过对比不同部位温度分布，能判断故障位置与严重程度。若某部位温度明显高于其他部位，可能存在绕组过热等故障，为后续维修提供关键依据，三种方法结合可全面、准确诊断变压器故障。

2.3 变压器故障处理措施

绕组故障处理中，若短路损坏程度轻，就对短路部位做局部修复；若损坏严重，便整体更换绕组来保证变压器安全运行。处理断路故障时，先检查绕组连接处，把有问题的连接处重新连接并紧固好，再深入分析故障原因，通过加强绝缘防护、改善通风条件等办法防止故障再次发生。铁芯故障处理时，针对多点接地情况，在铁芯接地片串联电阻、电容以限制环流，若多点接地是绝缘损坏导致，就修复绝缘；铁芯过热则检查磁路是否平衡，通过调整变压器运行方式降低涡流损耗^[4]。绝缘故障处理时，遇到绝缘老化或受潮，对变压器进行干燥处理并更换老化绝缘材料；绝缘击穿则先查明击穿原因，修复击穿部位后开展绝缘试验，确保绝缘性能达标。油质故障处理时，油温过高就检查负载和冷却系统并采取降温措施；油色变化或受污染就过滤或更换变压器油；油中含气量超标就用真空脱气等方法处理，通过这些措施保障变压器稳定运行。

2.4 变压器故障处理注意事项

安全第一方面，在开展变压器故障处理工作时，务必严格遵循安全操作规程，从工作前的准备到处理过程中的每一步，都要将安全放在首位。要按规定办理工作票，明确工作内容、安全措施与责任人员，依据工作票要求做好各项安全措施，如停电、验电、挂接地线等，有效防止触电事故发生。要防范火灾等事故，对处理现场的易燃物进行清理，配备必要的消防器材。准确诊断方面，故障诊断必须精准无误，不能仅凭表面现象判断，要运用多种诊断方法，如电气试验、油化分析、红外测温等，找出故障产生的根本原因。若盲目处理，未针对根源解决问题，很可能导致故障范围扩大，使变压器损坏更严重，增加维修成本与时间。规范操作方面，故障处理过程要严格按照规范的操作流程进行，每个步骤都要符合标准要求，确保处理质量。处理完成后，要进行全面的试验和检查，涵盖电气性能试验、绝缘试验等，只有各项指标都符合标准，才能确认变压器恢复正常运行，保障电力系统稳定。

3 变压器灭火系统与故障处理的协同

3.1 灭火系统对故障预防的作用

当变压器发生火灾时，在火灾初期，灭火系统能够迅速响应并投入使用，以极快的速度扑灭火灾，将火势控制在萌芽状态，避免火灾进一步蔓延扩大。火灾一旦扩大，不仅会直接烧毁变压器本体，还会对周边设备造成严重破坏，引发一系列连锁故障，导致整个电力系统的运行受到极大影响。而及时扑灭火灾，可最大程度减少因火灾造成的设备损坏，降低故障发生的概率。不同类型灭火系统针对变压器火灾有不同作用机制，像水喷雾灭火系统或气体灭火系统等，能精准控制变压器油火灾，防止油温因火灾持续升高，进而避免油温过高引发绕组绝缘损坏等严重故障，保障变压器核心部件安全。灭火系统的存在如同一个无形的监督者，会促使运行人员从思想层面更加重视变压器的运行状态，在日常工作中，主动加强巡检力度，严格按照规定对变压器进行全面细致的维护和检查，不放过任何一个潜在故障隐患，做到提前发现、及时处理确保变压器稳定可靠运行。

3.2 故障处理对灭火系统有效性的影响

变压器在运行过程中可能出现绕组短路、绝缘老化等多种故障，这些故障若得不到及时处理，极有可能引发火灾。一旦火灾发生，灭火系统就必须正常启动并有效运行才能发挥其灭火作用，然而此时火灾可能已经对变压器造成了较大程度的损坏，且火势的发展也可能给灭火带来更大难度，降低了灭火系统应有的最佳效果。而如果能够做到及时发现并妥善处理这些故障，比如对绕组短路进行精准修复、对绝缘老化部件及时更换等，就可以在很大程度上避免因故障引发火灾。这样灭火系统就无需在变压器已经起火的状态下启动，而是能够持续处于良好的备用状态，随时准备应对可能出现的意外火灾事故^[5]。当有火灾风险时，灭火系统可以更迅速、更有效地投入使用，从而更好地保障变压器的安全，极大地提高灭火系统的有效性，确保电力系统稳定运行，减少因变压器火灾带来的经济损失和社会影响。

3.3 协同管理的策略与建议

要制定细致运行维护规程，详细明确灭火系统和变

压器设备日常检查项目，如灭火系统部件外观、压力等检查，变压器油温、绝缘等检查，同时确定合理维护内容，像灭火系统定期保养、变压器设备部件更换等，还要规定好试验内容及周期，保障系统和设备性能稳定。加强人员培训至关重要，通过专业培训提升运行人员和检修人员对灭火系统原理、操作流程的熟悉程度，以及故障处理知识和技能水平，确保运行人员能正确监控和操作灭火系统，检修人员可精准诊断变压器故障并有效处理。建立信息共享机制，将灭火系统运行参数、故障报警等信息与变压器故障类型、位置等信息及时互通，使相关人员全面掌握情况，以便依据综合信息采取针对性措施，如根据变压器故障严重程度和灭火系统状态制定应急预案，保障变压器安全运行，提升整体协同效果。

结束语

综上所述，通过水喷雾、排油注氮、气体灭火等多样化灭火技术的合理配置，结合精准的故障诊断方法与规范处置措施，可显著降低火灾风险并提升设备可靠性。更需重视灭火系统与故障预防的协同管理，通过完善运维制度、强化人员培训、构建信息共享机制，实现火灾防控与故障处理的有机联动。唯有持续推动技术创新与管理优化，方能构建更具韧性的电力系统，为社会生产生活提供坚实保障，助力能源行业高质量发展。

参考文献

- [1]覃森昌.220kV变压器故障分析及处理[J].世界有色金属,2025(12):223-225.
- [2]陈灵奎,何理,杨哈蕾.电气工程中变压器故障诊断与处理探讨[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(10):090-093.
- [3]单福昊.继电保护技术在变压器故障处理中的应用分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(12):138-141.
- [4]张永宽.配网电力变压器匝间短路故障分析及处理[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(11):240-243.
- [5]丁凤波.变压器绝缘油中氢气含量异常升高的原因分析和处理[J].设备管理与维修,2024(11):69-71.