

# 火电厂主变压器运行故障诊断与运维优化

任保同

华电国际电力股份有限公司十里泉发电厂 山东 枣庄 277103

**摘要：**作为火电厂核心关键设备，主变压器长期处于复杂工况下运行，受多重应力作用易产生各类隐性及渐进式故障，直接影响机组供电稳定性。本文系统梳理设备常见故障类型与诱发机理，结合智能化监测技术应用场景，从监测体系、检修模式、部件管控、制度建设及人员素养维度提出全方位运维优化策略，可为火电厂主变压器安全长效运行、实现主动运维管控提供理论参考。

**关键词：**火电厂；主变压器；故障诊断；设备运维；优化策略

引言：电力系统稳定运行依托火电厂各类核心设备的可靠工况，主变压器作为能量转换与电力输送的关键载体，运行工况复杂、负荷压力大，故障隐患具备隐蔽性、渐进性及突发性特征。传统定期检修模式难以适配设备精细化运维需求，易出现隐患漏判、过度检修等问题。基于行业运维转型背景，深入剖析设备故障成因，探索科学的故障诊断方法与运维优化路径，对提升设备运行可靠性极具现实意义。

## 1 火电厂主变压器运行基本特性与运维核心要求

火电厂主变压器与常规配电变压器差异显著，具有大容量、高电压、长期满负荷连续运行的特点，内部包含绝缘油、铁芯、绕组、分接开关、冷却系统等核心构件。设备长期应对机组启停、负荷波动，内部组件持续受电磁、热、机械多重应力影响，易出现渐进式损耗与隐性缺陷，是故障多发的主要原因。

该设备对运行稳定性、故障预判和检修精度要求严苛，微小隐患若处置不及时，易演变为系统性故障，造成设备停运、供电中断。主变运维的核心是精准排查早期隐患、掌握故障发展趋势、防范突发失效，延缓设备老化，减少故障与停机时间。现阶段运维需打破传统定期检修模式，依托运行状态开展动态监测与故障诊断，推动运维从被动抢修转向主动预判，保障机组稳定高效运行<sup>[1]</sup>。

## 2 火电厂主变压器典型运行故障及成因分析

### 2.1 绝缘系统故障

绝缘系统是保障主变压器安全运行的核心屏障，主要由绝缘油、纸板绝缘层、套管绝缘结构组成，也是设备故障的高发区域。在长期运行过程中，绝缘油会持续受到高温、氧化、电场作用影响，逐步出现老化变质问题，油体内会滋生微量水分、杂质与裂解产物，导致绝缘油介电强度大幅下降，无法有效发挥绝缘、散热、消

弧作用。同时，变压器内部纸质绝缘层长期处于高温潮湿工况下，会出现纤维老化、酥脆、分层脱落等现象，造成绝缘性能衰减。套管作为外部绝缘核心部件，长期暴露在户外复杂环境中，易积累粉尘、污秽，在阴雨、大雾天气下会出现表面闪络、爬电问题，严重时会引起绝缘击穿。绝缘系统故障初期无明显运行异常，仅会出现油质指标小幅波动，随着故障持续发展，会引发局部放电、绕组短路等严重故障，是威胁主变安全运行的核心隐性隐患。

### 2.2 铁芯与绕组故障

铁芯与绕组是主变压器电磁能量转换的核心部件，故障多由应力损伤、老化损耗、工艺缺陷引发。铁芯长期受交变磁场作用，会产生磁滞损耗与涡流损耗，持续高温工况会导致铁芯硅钢片绝缘涂层老化破损，出现片间短路问题，进而引发铁芯过热、局部温升异常，加速设备整体老化。绕组故障主要包含绕组变形、匝间短路、接头过热三类常见问题，机组频繁启停、负荷大幅波动会让绕组持续承受交变电磁力，长期作用下会造成绕组位移、绝缘磨损。同时，设备出厂装配工艺瑕疵、长期振动冲击、检修操作不规范，也会导致绕组接头接触不良，运行中产生局部过热，灼烧周边绝缘结构，逐步引发匝间、层间短路故障。此类故障发展速度快、破坏性强，是造成主变非计划停运的主要诱因之一<sup>[2]</sup>。

### 2.3 冷却系统故障

火电厂主变压器多采用强迫油循环风冷、水冷冷却模式，冷却系统的运行效率直接决定设备散热效果，是控制设备运行温度、规避热损伤的关键。冷却系统常见故障主要包括冷却风机故障、油泵卡滞、油路堵塞、散热片积污堵塞等。风机电机老化、轴承磨损、线路接触不良，会导致风机转速不足、启停异常，无法满足散热风量需求；油泵长期运行易出现叶轮磨损、密封失效、

油路进气等问题,造成油循环速率下降,设备内部热量无法及时散发。此外,户外散热片长期积累灰尘、絮状物、油污,会大幅降低散热换热效率,导致主变运行温升超标。冷却系统故障会直接引发设备整体过热,加剧绝缘油与绝缘结构老化,形成“高温-老化-故障加剧”的恶性循环,间接诱发各类核心部件故障。

#### 2.4 分接开关故障

分接开关主要用于调节主变压器输出电压,适配电网负荷波动,是设备调压运行的核心部件,分为有载与无载两类结构。日常运行中,分接开关故障多表现为接触不良、触头烧蚀、操作卡滞、档位偏移等问题。有载分接开关长期频繁切换档位,触头会持续产生电弧烧蚀,造成触头表面氧化、磨损,接触电阻持续增大,运行中出现局部过热现象;无载分接开关多因检修后档位对位不准、紧固不到位,出现接触间隙过大问题。同时,开关内部密封结构老化失效,会导致潮气、杂质侵入,引发内部绝缘下降、部件锈蚀,进一步加剧开关运行故障。分接开关故障会造成电压输出不稳定、设备局部过热,严重时会引起电弧短路,威胁主变整体运行安全。

### 3 火电厂主变压器故障诊断技术应用与运维优化策略

#### 3.1 搭建精细化状态监测与智能故障诊断体系

主变压器的早期故障预判和精准诊断,离不开完善的设备状态监测工作,以往单一指标的监测方式已难以满足使用需求,因此需要建立多维度、全天候、无死角的动态监测机制,搭配在线监测与离线检测两种手段,以此做到设备故障的提早察觉、分析和处理。在线监测环节,工作人员可布设绝缘油、局部放电、温度负荷、电气参数等监测模块,持续收集油中溶解气体、水分、介质损耗、绕组与铁芯温度、电压电流、局部放电量等运行数据,依托数据变化趋势,排查设备潜在问题,比如油内乙炔、氢气数值异常上升,就能预判设备内部存在放电、过热隐患,局部放电数据出现波动,也可及时排查绝缘老化、损坏等问题。相关人员还要按照设备运行周期,定期开展直流电阻、变比、绝缘电阻、耐压等离线检测,补齐在线监测存在的不足。依托电厂现有自控系统搭建数据分析平台,整合运行数据、检修资料与故障记录,通过数据比对和趋势分析区分正常老化与突发故障,减少判断失误,提升故障诊断的准确程度与响应速度,也能为设备检修工作提供可靠依据<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 优化设备运维检修模式

传统火电厂主变压器多采用固定周期的定期检修模式,存在极大的运维弊端,运行状态良好的设备频繁拆机检修,易造成部件磨损、密封结构破坏、装配偏差等

次生问题,增加设备故障风险;而状态劣化较快、存在隐性隐患的设备,受固定检修周期限制,无法及时得到针对性治理,导致故障持续扩大。基于此,需全面推行“状态检修为主、定期检修为辅、故障抢修为补”的新型运维模式,彻底打破固化的检修周期限制。以设备实时监测数据、离线试验结果、运行工况、设备服役年限为核心依据,动态评估设备健康状态,精准划分健康、预警、故障三类设备状态,针对性制定差异化检修方案。针对健康状态良好的主变,适当延长常规检修周期,重点开展日常巡检与状态监测,减少不必要的拆机操作;针对出现数据异常、轻微隐患的预警状态设备,开展专项针对性检测,锁定隐患位置与故障程度,及时开展小修、消缺处理,避免隐患升级;针对故障状态设备,立即停机开展精细化检修,彻底排查所有关联隐患,保障设备修复后性能达标。同时,建立设备检修台账动态更新机制,完整记录每次检修的部位、方案、耗材、数据变化、运行恢复情况,形成闭环检修管控,持续优化检修方案,提升运维工作的科学性与针对性。

#### 3.3 强化核心部件专项运维管控

主变压器故障多集中于绝缘系统、冷却系统、分接开关等核心部件,需针对高故障模块制定专项运维管控方案,实现精准防控、靶向治理,从源头降低故障发生率。在绝缘系统运维方面,常态化开展绝缘油取样检测,根据油质老化程度及时开展滤油、换油、脱气脱水处理,定期清理套管表面污秽,检查套管密封状态,杜绝潮气侵入;针对内部纸质绝缘层,结合设备运行年限,定期开展绝缘老化评估,提前预判绝缘劣化趋势。在冷却系统管控方面,建立每日巡检清扫机制,及时清理散热片、风机表面积尘杂物,定期检测风机、油泵运行状态,排查线路接触、轴承磨损、油路堵塞等问题,及时更换老化失效的密封件、轴承等易损部件,保障冷却系统满负荷高效运行,稳定控制设备运行温度。在分接开关运维方面,定期检查开关档位对位精度、触头接触状态,清理触头氧化层与积碳,测试开关操作灵活性与密封性;针对有载分接开关,严格管控档位切换频次,避免频繁操作加剧触头损耗,定期检测开关油室油质状态,及时更换劣化绝缘油,杜绝电弧烧蚀、局部过热等问题。通过核心部件专项管控,精准把控设备薄弱环节,大幅降低典型故障的发生概率<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 完善运维管理制度与闭环管控机制

完善的管理制度是保障主变运维工作标准化、规范化开展的核心支撑,能够有效规避人为操作疏漏、运维流程不规范引发的设备故障。结合火电厂主变实际运

行工况与运维需求,需进一步细化主变压器日常巡检、状态监测、隐患排查、检修作业、设备台账管理等全流程管控标准,明确各岗位运维人员的工作职责、操作规范、考核标准,杜绝运维工作流于形式。日常巡检实行定点、定时、定项检查模式,细化巡检内容,重点排查设备温升、异响、渗漏、仪表参数异常等显性问题,做到隐患早发现、早记录、早上报。建立隐患闭环治理机制,对排查出的各类设备隐患,分级分类建立台账,明确隐患整改责任人、整改时限、整改标准,全程跟踪整改进度,整改完成后开展复检验收,确保隐患彻底清零,杜绝同类问题反复出现。同时,规范检修作业流程,所有检修操作严格遵循设备作业标准,严控拆机、装配、调试等关键环节的操作质量,杜绝不规范操作引发的设备损伤。此外,建立设备运行风险评估机制,结合季节工况、机组负荷变化、设备服役状态,定期开展运行风险研判,提前制定针对性防控措施,有效应对高温、潮湿、严寒等特殊工况下的设备运行隐患。

### 3.5 提升运维人员专业技术能力

运维人员的专业能力与实操水平,直接决定主变压器故障诊断精准度与运维质量,是保障设备长效稳定运行的核心人力支撑。现阶段部分火电厂运维人员存在对新型监测设备操作不熟练、故障研判经验不足、精细化检修能力欠缺等问题,难以适配智能化、精细化的运维工作需求。对此,需建立常态化的人员培训与技能提升机制,全面夯实运维队伍专业能力。定期组织主变运维专项培训,重点讲解设备结构原理、典型故障特征、智能监测系统操作、故障研判方法、精细化检修工艺等专业内容,结合现场典型故障案例开展复盘分析,让运维人员熟练掌握不同故障的识别方法与处置流程。搭建现场实操实训平台,鼓励运维人员参与设备检修、故障消

缺、参数调试等实操工作,积累现场运维经验,提升实操处置能力。同时,建立技能考核与评优机制,将故障诊断准确率、隐患整改质量、运维规范执行情况纳入考核体系,倒逼运维人员主动提升专业技能,杜绝人为运维疏漏引发的设备故障。此外,加强行业技术交流,借鉴同类火电厂主变优秀运维经验,更新运维理念与技术方法,持续提升整体运维工作的专业化水平<sup>[5]</sup>。

结束语:主变压器故障诱因复杂,隐患呈渐进发展特征,各类缺陷会严重影响火电机组的运行稳定性与经济性。精准的故障诊断与精细化运维是防控设备故障、降低停机风险的核心手段。通过搭建智能诊断体系、革新检修模式、强化部件专项治理与运维管理、提升人员专业能力,可全面优化设备工况,推动主变运维体系向智能化、规范化转型。

### 参考文献

- [1]孙雪刚.基于多维度检测数据的火电厂变压器故障诊断与优化处理措施[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(2):131-134.
- [2]王兵.火电厂主变压器绕组变形异常诊断方法分析[J].大众科学,2025,46(24):16-18.
- [3]邓森,胡从星,梁太阳.基于时序数据的火电厂主变压器绕组变形异常诊断方法[J].电工技术,2024(5):134-136+140.
- [4]李盛平,文壮选,王军林.基于边缘计算的火电厂输煤系统巡检机器人状态监测与故障诊断[J].国外电子测量技术,2025,44(11):35-41.
- [5]刘甲乙.火电厂变压器故障分析与检修策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(12):110-113.