

# 国产600MW发电机故障诊断技术的创新与实践研究

康吉彪 刘喜军

国能内蒙古呼伦贝尔发电有限公司 内蒙古 呼伦贝尔 021025

**摘要:**当前能源供给体系中,火力发电仍占据主导地位。作为火电厂核心设备的汽轮发电机组,其运行状况直接关系到整个电力系统的稳定性与能效水平。研究数据表明,我国电力系统中约六成的电能由火电机组提供,凸显其在电力生产中的关键作用。为确保火电机组安全稳定运行,必须建立完善的故障诊断与预防机制。本研究系统分析了火电机组汽轮发电机常见故障类型及其成因,并提出了相应的优化措施,旨在提升火电机组运行的安全性与经济效益。

**关键词:**火电机组;汽轮发电机;故障诊断;分析;优化措施

## 1 前言

当前我国能源结构仍以煤炭为主导,火电装机规模维持在约800GW水平。随着大容量、高参数机组的持续投运,我国燃煤发电技术已实现显著提升。作为火电系统的关键设备,汽轮发电机组的安全稳定运行至关重要。大型汽轮机组并网运行后,其故障问题始终是制约火电机组发展的主要瓶颈之一。在系统调峰等不利因素影响下,不断暴露出新的安全隐患,发生事故后,不仅造成设备损坏,而且容易造成重大经济损失。为此建议采取双重措施:一方面积极引进消化国际前沿技术,持续优化发电设备的设计制造工艺;另一方面系统梳理运行维护经验,严格遵循国家标准行业规范开展日常运维工作,切实保障发电设备的安全性及经济性。

## 2 600MW 汽轮发电机故障诊断的目的与意义

### 2.1 故障诊断的目的

设备状态的精确判定,一项依托于实时监测信息的工作,其根本旨归在于保障设备在预设环境与周期内的可靠运行效能,这对实际维护操作,减少乃至杜绝意外状况,提供了必要支撑。对相应运行参数波动情形的深入剖析,更为事故预防开启了通道。观之现代生产设施,其演进趋势直指大型化、高速化、连续化与自动化生产模式,企业对于成本压降、效能提升、能源节约的需求也随之愈发迫切。另一方面看,设备一旦失备,其所引致的经济代价常常显著推高维护开销。创新技术的广泛采纳,亦对现代工厂运转的可靠度、安全标准提出了更为严苛的标尺。如何强化现有老化生产装置的安全监控与故障诊断成为一个现实议题,毕竟大量此类设备已近设计年限,逐步进入故障高发阶段。

### 2.2 故障诊断的意义

设备故障诊断致力于全面把握机械的实时工况,它综合运用历史数据参照、系统状态观察及环境条件考量

等多元信息,借助精密的测量分析与科学判别方法评估设备是否处在正常运行区间。状态的适时记录与警示信息的即时呈现,为后续的设备效能评估、故障根源探寻、安全作业保障及高效利用奠定了必要的数据库和信息支撑。精准迅捷地定位并矫正各类故障或运行偏差,既能先期防范又能及时排除潜在风险,这是洞悉设备实时动态、增强运行稳健度与作业效能的关键环节,旨在最大程度减缩故障所致的经济损失。保障装备始终处于最佳运行能力,据此制定科学维护规程,深度挖掘设备固有潜能,并有效延长其设计使用年限。近数十载,故障分析与诊断技术经历了深刻变革,实现了从传统依赖经验判断向现代智能诊断模式的跨越。智能化诊断手段能够迅速锁定故障症结所在及其精确部位,进而推动问题的高效解决,显著降低故障频次,有力提升机组运行的经济效益与安全可靠性。

## 3 600MW 汽轮机故障诊断技术

### 3.1 振动分析法

仪表触发报警后需解析故障数据以确定设备失效根源,振动参数评估未能有效定位故障根源,热力学监测显示排气温度异常降低。传感器检测机制涉及硬件冗余、解析冗余及混合冗余策略,结合非线性与非平稳性方法处理振动信号。引入神经网络算法可优化汽轮机系统性能诊断精度,增强传感信号抗干扰能力。信号易受机械振荡与电磁扰动影响,频域特征分析揭示振动故障导致结构频率漂移,致使状态参数呈现间歇性波动。非振动类参数如温度、压力、真空度与电流等同样具备诊断价值,需在幅值域、时域与频域实施多维解析。非线性补偿与信号预处理等技术具有广泛应用。

### 3.2 故障的分析

仪表异常归因于涡流传感器随机运行特性与探头安装缺陷,频谱分析系故障诊断核心方法。融合仿真技术

构建决策矩阵,结合模糊逻辑与层次模型提升判别准确率。热力学解析与频域变换法协同判定故障机理,辅助制定处理方案。转体质量分布不均诱发振幅或相位波动,径向与轴向碰磨引发的振动具备复杂频谱特性,通过谱线监测可识别动态变化。

### 3.3 检测方式

探究汽轮机运行异常的监测技术,现有手段常涵盖灰色理论与概率分布干涉模型,利用谱图可展现频域的变化细节,主元分析法则用于解析机组实际的振动形态。识别具体问题颇具挑战,原因在于振动表现形式繁多,不同失效模式间的特征又常高度近似,且正常运行同异常工况之间本就缺乏明确界限。这种复杂性与模糊性,恰可通过模糊逻辑处理、预判、对比参照及统计推演等途径加以应对,例如运用模糊C均值聚类方法明确常见异常的模式分布与严重程度,以提高甄别精度,或根据轴心轨迹、相位、振幅等信息进行模糊推断来收窄探查范围。分析过程还需关注变量间的关联与信息冗余问题,目标是降低其维度,采用定性观测器和定性策略有助于判明问题性质,而结合材料性能检测来优化信号处理、滤除干扰亦是实现此目标的重要辅助。

### 3.4 复杂故障的机理

面对复杂故障诊断,需重构其诊断状态、残差序列,凭借粗糙集理论及实践波形分析探寻最本源的振动信息源。过程参数与基于状态的诊断方法,应用的是统计学和逻辑学的诊断范式。贝叶斯网络则另辟蹊径,从概率上实施推理,将复杂因果关系同概率事件整合起来予以推广,对充满不确定性的信息实现智能化诊断。网络中变量间的弧线清晰勾勒出故障的直接因果链条,汽轮机信息的融合诊断实践主要深入到了征兆级与决策级层面。构建故障过程的参数并不等同于状态的复合震动议题,那种非真即假的二元逻辑在这样的诊断情境下显然不够用。解决不确定信息序列的关键在于,持续利用新获得的数据动态修正推理模型本身。

## 4 汽轮发电机运行过程中主要故障及相关诊断

### 4.1 定子绕组故障及诊断

在我国电力系统中,汽轮发电机普遍采用空冷式冷却技术作为主要散热方案。然而,该冷却系统在实际运行过程中存在显著的质量管控缺陷,具体表现为巡检、维保及工艺控制等环节的不足。当发电机发生短路或定子接地故障时,设备极易产生异常温升现象,其中以热机械应力问题尤为突出。此类故障将对发电机组的安全稳定运行造成严重威胁。根据工程实践分析,绕组端部故障主要可归纳为四种典型类型:首先是定子运行期间

冷却通道堵塞问题;其次是定子引线与线棒连接处的铜导体断裂现象;第三是焊接工艺不达标导致的接头失效问题;最后是绕组端部紧固件磨损引发的机械损伤。

### 4.2 转子绕组故障及诊断

转子系统常见故障类型主要涵盖接地绝缘失效、绕组短路、热变形以及集电环电刷烧蚀等。经研究表明,这些故障的成因可归纳为:1)转子温升过高引发的绝缘性能劣化;2)冷却系统渗漏、导电性污染物及金属碎屑侵入转子腔体;3)制造工艺缺陷与材料局部缺陷;4)热-机械耦合应力导致的绝缘层损伤;5)冷却通道堵塞引发局部过热及旋转绝缘失效。特别汽轮发电机绕组在热膨胀和机械载荷作用下易产生塑性变形(包括残余变形和热变形),这种变形会进一步导致绕组绝缘破坏,继而引发短路或接地故障。此外,集电环-电刷接触系统的可靠性对发电机运行至关重要,当电刷环出现严重烧蚀时,可能引发电刷组件对集电环绝缘层的破坏,最终造成接地故障。

### 4.3 定子铁芯故障及诊断

定子铁芯故障的成因主要源于制造工艺与装配过程中的技术缺陷,具体表现为:绝缘层厚度控制不当、铁芯材料在温差应力作用下的形变、机械加工(包括修边与钻孔)精度不足以及轴向尺寸偏差等问题。在运行过程中,由于交变电磁力的持续作用,铁芯叠片易发生局部或整体性位移,导致层间绝缘失效,进而引发局部温升异常和片间短路故障。此类缺陷将显著降低发电设备运行可靠性,并可能诱发重大安全隐患。

### 4.4 负序电流绕损转子故障及诊断

在汽轮发电机的常规运行工况中,制造商通常采用三相对称负载的设计方案。然而,在实际电力系统中,由于电源特性或发电系统的差异性,往往无法提供理想的短路电源条件。具体表现为单相接地故障、两相短路、单相重合闸或控制阀无法实现三相负载同步切断等情况,这些都会影响系统的稳定运行并可能引发安全隐患。当设备出现故障时,定子绕组将承受负序电压和零序电流电压的作用。负序电流所产生的逆向旋转磁场会在阻尼绕组、励磁回路以及转子电路中诱发双倍工频电流,进而造成铜损和铁损显著增加。这种现象将导致发电机组运行效率降低,同时引起转子温升异常。更为严重的是,持续的负序电流作用会造成转子本体材料性能劣化,并产生附加转矩和定子振动。即便在较短的运行时间内,也可能引发转子结构损伤和保护继电器误动作等严重后果。

### 4.5 励磁机绝缘电阻不合格故障诊断及分析

励磁系统的可靠运行在很大程度上取决于其绝缘性能的优劣。在设备运输和仓储环节,励磁机铁芯与绕组易受潮气侵蚀,因此需在启停机操作及检修前后严格执行绝缘电阻检测程序,待各项指标符合规范要求后方可投入运行。鉴于励磁机转子、定子及二次回路均属于低压电气系统范畴,应采用500V规格的绝缘测试仪进行检测,确保铁芯、绕组及二次回路绝缘电阻值不低于1MΩ标准。若检测发现绝缘性能不达标,必须立即采取处理措施,严禁在绝缘缺陷未消除的情况下强行启动设备。

## 5 汽轮发电机运行过程中主要故障的预防措施

### 5.1 定子绕组故障预防措施改进

定子绕组橡胶缠绕工艺需强化端部开口线在切向与径向的固定效果,螺纹结构及塑形加工应实现连接部位的平顺过渡,执行定子腔体堵塞检测程序。实施周期性维保作业时,需系统性评估端部线圈与连接件的配合状态及机械损耗程度,针对绝缘层位移与磨损现象制定专项紧固方案或配件更新计划,优化接头设计方案以提升焊接工艺水平,通过增强铜质中空管件质检标准并调整隔离输送管的空间排布,有效提升绕组系统的结构完整性与承载能力。对于定子绕组与梯度杆间的间距参数需执行三次元精密测量,杜绝安装检修过程中残留金属异物的潜在风险,采用局部放电量测技术持续追踪绕组绝缘介电特性变化。

### 5.2 转子绕组故障预防措施

转子绕组异常状态下应对其动力学特征展开全维度观测。重点分析通风结构设计缺陷并进行针对性改良,建立孔道堵塞与位移的预防性处置机制。重新缠绕铜质导线并定期清理杂质沉积,同步实施绕组老化指数检测。环形碳粉堆积需执行动态清除策略,对滑移电机电极极性实施周期性调换。并联运行系统需优化电刷与集电环接触界面的气膜调控算法,实现电流分布均质化。集成差动式控制线圈构建在线监测网络,针对匝间短路故障建立多级预警响应机制。

### 5.3 定子铁芯故障预防措施

生产检修过程中的回转操作需实施全程监控。操作人员需谨慎去除冲压硅钢片边缘毛刺,通过精准控制压阻参数保障定子铁芯的叠压品质,防止绝缘层在装配过

程中受损。铁芯损耗测试配合红外热成像技术可有效评估铁芯性能,定期测量表面温度分布数据可辅助判断材料失效模式。

### 5.4 负序电流绕损转子故障预防措施

电力系统需配置负序电流实时监测装置与联动报警系统,运行人员应持续观察断路器三相运行参数并建立应急保护机制。当检测到断路器三相失衡状况,应优先采用励磁电流调节配合功率输出限制的复合型处理方案。

### 5.5 励磁机绝缘电阻不合格故障预防措施

励磁设备绝缘恢复可选择外部热源干燥或短路电流干燥两种工艺,前者采用电炉、蒸汽管等热源配合强制通风系统,控制热空气温度低于90℃并保持转子周期性转动,后者需在整流环设置正负极短路装置,初始阶段以40%额定短路励磁电流运行3至4小时,逐步提升至55%额定值。实施干燥作业时需注意环境湿度超标区域禁用通电加热法,温度监测系统应覆盖设备全域防止局部过热,以30分钟为周期记录绝缘电阻值,连续3小时数值稳定即判定干燥程序完成。

## 结语

火电厂汽轮发电机组作为核心发电设备,其规范操作与科学维护具有关键性意义。不当的设备维护将直接威胁机组的安全稳定运行。通过建立完善的维修档案制度,系统记录故障处理过程,有助于形成有效的维修知识库,从而提升故障诊断与处理效率。这不仅能够确保电力企业的安全生产和可靠供电,更能为区域经济发展提供坚实的能源保障。

## 参考文献

- [1]宋立远,谭平,沈德明,等.自变量关联性对故障诊断相关特征的影响分析[J].电站系统工程,2021,37(04):22-24.
- [2]方倪,王浩添,彭颖.某30MW背压机组频繁跳机原因分析与处理方法[J].黑龙江电力,2021,43(02):159-162..
- [3]孙和泰,孙彬,黄翔,等.汽轮发电机组振动故障诊断相关分析方法及应用[J].汽轮机技术,2020,62(04):292-294+299.
- [4]张文涛,邓建蔚.某660MW超超临界机组轴系振动故障诊断和处理[J].电站系统工程,2016,32(06):53-55.