

适量的库存,对专用、贵重备件采用按需采购和提前备货相结合的方式,对备件进行规范化管理,做好备件的分类存放、标识管理、质量检验,保证备件质量,利用信息化管理平台对备件库存进行实时监控,当备件库存低于阈值时自动发出采购提醒,防止因备件短缺影响检修工作。

4.3 加强检修过程安全管控,杜绝安全事故

化工生产现场存在高温、高压、易燃易爆、腐蚀性介质等安全风险,设备检修时安全控制更要加严。检修前必须严格执行作业许可制度,办理设备停机、断电、动火、受限空间等有关作业票证,做好介质置换、清洗、隔离等安全措施,对检修现场设置安全警示标志;检修过程中要求工作人员严格按照安全操作规程操作,正确佩戴安全防护用品,现场设专人监护,及时发现检修过程中存在的安全隐患;检修完毕后要对现场进行清理,恢复设备安全防护设施,做好设备试运行的安全监护,保证检修全过程的安全生产。

4.4 建立体系运行评价与优化机制,持续提升体系效能

创建预防性检修体系运行效果评价和改进体系,从设备故障发生次数、非计划停机率、检修费用支出、设备运转效率等各方面对系统的运行状况做出全面评价。通过对比体系实施前后各项指标的变化情况,分析体系运行中存在状态监测精度不高、检修策略不合理、检修流程不规范等问题,根据设备运行实际状况和行业先进经验及时对体系进行调整和完善,不断改善设备状态监测体系、检修策略和检修标准,达到预防性检修体系持续改进的目的,充分发挥体系最大效能^[4]。

5 结论

化工转动设备稳定运行是化工生产的根基保证,创建科学完备的预防性检修体系,是化工设备由“被动维修”向“主动预防”转变的重要举措,对于削减设备故障出现率,保证生产连续运转,防止安全生产风险,改善维修费用有着十分重要的意义。该体系的建立要以设备基础信息档案为依托,创建起“在线+离线”的设备状态监测体系,制订出差别化的检修方案,明确检修程序和标准,依靠信息化管理平台达成体系的智能化运作。企业在体系实践运用的时候要强化专业团队的创建,健全备件管理机制,加强检修过程的安全监管,创建体系运转评价和改良机制,从而达成体系的持续改善。现代化工企业要将预防性检修体系融入到设备全生命周期管理当中,推进设备管理的精细化、科学化、数字化,依靠体系的有效落实,保证化工转动设备的稳定高效运行,给化工生产的安全性、连续性、高效性赋予强有力的设备支撑,助力企业提升核心竞争力和可持续发展能力。

参考文献

- [1] 李泽政,苏显勇.煤炭工程煤化工设备检修管理模式优化策略研究[J].化工管理,2025,(24):9-12.
- [2] 吴野.化工机械设备维修保养技术及管理措施探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(05):28-30.
- [3] 刘广宇.化工设备检修中的风险因素及预防措施[J].化纤与纺织技术,2024,53(06):104-106.
- [4] 陈志强.石油化工设备检修中的安全隐患及应对措施[J].化工管理,2021,(32):108-109.

Application of Mechanical Maintenance Techniques for Rotor Faults in Hydroelectric Generators

Zhanjun Xiong

Hydropower Plant of the Yiluan Project Administration Bureau, Haihe River Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Tangshan, Hebei 064310, China

Abstract

This paper focuses on the mechanical fault issues of the rotor in a 15W hydropower generator unit during long-term operation, such as abnormal vibration, shaft system eccentricity, and local wear. The formation mechanism and influencing factors of these faults are systematically analyzed. Under actual operating conditions, the rotor structure is significantly affected by the coupling of hydraulic disturbances, electromagnetic forces, and mechanical loads. By summarizing the fault characteristics of the rotor and combining vibration monitoring, shaft system inspection, and non-destructive testing techniques, accurate identification and localization of faults are achieved. This paper also discusses the application pathways of mechanical maintenance technologies, including rotor disassembly inspection, dynamic balance correction, and key component repair, and analyzes the key points of quality control during the maintenance process, in order to improve the overall operational reliability and safety of the unit.

Keywords

hydropower generator unit; rotor fault; mechanical maintenance technology; operational stability

水轮发电机转子故障机械检修技术应用

熊占军

水利部海河水利委员会引滦工程管理局水力发电厂, 河北 唐山 064310

摘要

对15W水轮发电机组转子在长期运行过程中出现的振动异常、轴系偏心、局部磨损等机械故障问题实行系统的分析,找出其形成机理和运行影响因素。在机组实际工况下,转子结构受到水力扰动、电磁力作用以及机械载荷耦合作用的影响比较明显,借助对转子故障特征实行归纳,融合振动监测、轴系检测、无损检测等技术手段,对故障实行准确识别及定位。本文主要研究转子拆检、动平衡校正、关键部件修复等机械检修技术的应用途径,对检修过程中质量控制要点实行分析,然后增加机组整体运行可靠性、安全性。

关键词

水轮发电机组; 转子故障; 机械检修技术; 运行稳定性

1 引言

水轮发电机组是水电站能量转换的主要设备,水轮发电机组运行状况好坏直接影响到电力系统的稳定输出。转子系统属于核心的旋转部件,在长时间的高负荷运行过程中,会受到冗杂的交变载荷影响,继而产生各种各样的机械性能退化问题。大容量机组运行时振动增大、轴系偏移、局部结构疲劳等现象比较明显,给设备安全运行带来威胁。由于转子结构精密、质量分布要求严格,一旦出现异常,就会对整个机组运行能力产生连锁影响。所以,在实际运行维护过程中,要根据结构特征和故障表现来建立针对性的检测以及检

修体系,然后到了对运行风险的有效控制,保证设备长期稳定运行。

2 水轮发电机组转子故障类型与机械失效特征分析

2.1 转子不平衡振动故障的形成机理

15W水轮发电机组在长时间运行中,转子不平衡振动大多是由质量分布偏移及结构局部附加质量变化引起的。叶轮残余水垢沉积量为0.8kg~3.5kg时,会使质心偏离几何中心约0.05mm~0.12mm,在高速旋转时产生周期性离心力扰动。当转速稳定在223r/min时,不平衡力随转速平方增大,振幅由原来的0.06mm增大到0.18mm。转子制造误差、磁极紧固不均、运行中磨损脱落都会使该现象加重。振动信号一般以 $1\times$ 转频为主,伴随有谐波分量增大,轴承受力呈周期性波动,长期作用下容易使轴瓦局部温升到75℃以上,

【作者简介】熊占军(1971-),男,中国山西大同人,技师,从事水轮发电机机械检修研究。

加速润滑膜破坏,扩大振动幅值,形成恶性循环。

2.2 轴系偏心与磨损引发的运行异常特征

轴系偏心主要表现为主轴中心线以及机组几何中心偏离,在15W机组运行中偏心量一般控制在0.03mm以内,超过0.08mm时运行稳定性明显下降。偏心会使得转子和导轴承之间油膜厚度不均,最低油膜厚度可以降到0.02mm,局部金属接触概率增大。长期磨损作用下,轴颈圆度误差可扩大至0.05mm~0.15mm,造成振动幅值由0.05mm升高至0.20mm。运行过程中伴随轴承温度不均,左右温差可达6℃~12℃,周期性摆动信号增强。负荷波动时,该异常特征更加明显,容易引起机组低频振荡,影响整个调速系统的稳定性。

2.3 连接部件松动与疲劳裂纹的表现形式

转子磁极键、联轴螺栓、压紧结构在长期交变载荷的作用下容易产生松动、疲劳裂纹。螺栓预紧力由设计值120kN降至90kN以下时,连接刚度下降25%,局部微动磨损激化,产生间隙冲击载荷。疲劳裂纹多出现在应力集中区,裂纹扩展速率约为 10^{-6} m/循环量级,初期裂纹长度一般为1mm~3mm,发展到8mm以上时振动信号中高频成分明显增强。松动结构在运行中会产生周期性敲击声,频率在20Hz~60Hz之间,伴有局部温升3℃~8℃。该类故障隐蔽性强、发展速度不均衡,对整体结构完整性影响大^[1]。

3 水轮发电机组转子结构组成与受力运行机理

3.1 转子主轴与磁极结构组成特征

15W水轮发电机组转子由主轴、磁轭、磁极、紧固系统组成,主轴直径一般在0.8m~1.2m之间,用高强度合金钢整体锻造。磁极数量一般为24~36个,单个磁极质量约为0.5t~1.2t,用键槽与磁轭刚性连接。磁轭外径可达3.5m~4.8m,结构使用分段叠压方式来减少涡流损耗。转子整体质量约为120t~260t,在运行过程中由推力轴承承受轴向载荷。结构设计要保证同轴度误差在0.02mm以内,减少偏心振动。各部件之间用高强度螺栓以及定位键做刚性约束,预留热膨胀间隙0.5mm~1.5mm,适应运行温升变化。

3.2 运行工况下的力学载荷分布规律

额定工况下15W机组转子承受轴向水推力2.5MN~3.8MN,径向电磁力0.4MN~0.9MN,自重载荷150t对应的重力。转速223r/min时产生的离心力沿半径方向分布不均匀,最大应力集中区在磁极连接处,应力值为120MPa~180MPa。轴向载荷凭借推力轴承传给基础结构,轴瓦单位面积压力约为2.5MPa~4.0MPa。负荷突变时,载荷波动幅度可达±15%,使结构应力循环频率增大。载荷分布呈中心对称但局部非均匀,磁极区及主轴过渡区为受力薄弱区。

3.3 水力、电磁与机械耦合作用机制

水轮发电机组运行时水力作用、电磁作用、机械结构三者相互耦合。水力方面,水轮输入功率约为

150MW,水流冲击造成转轮产生周期性激励力,幅值约为0.3MN~0.6MN。电磁方面定子磁场与转子磁极相互作用产生同步电磁转矩,约6.5MN·m,同样伴有1.5%~3%的波动扰动。机械结构在两个作用下产生微幅变形,轴系挠度可达0.1mm~0.25mm。三者耦合之后就形成了复合振动源,主频和边带频率同时存在,频谱结构变得复杂。水头变化5m以上时,耦合振动幅值会增加20%~35%,对稳定运行有明显影响。

4 转子常见机械故障检测与诊断技术应用

4.1 振动监测与频谱分析技术应用

振动监测系统在15W机组中布置在轴承座和机架核心节点上,采样频率一般为2000Hz~5000Hz,可以捕捉到低频1×转频以及高频谐波信号。当振动速度有效值大于4.5mm/s时系统发出报警,大于7.1mm/s时进入保护停机区间。从频谱分析可知,不平衡故障主峰在3.72Hz左右,轴系松动表现为2×、3×转频增强。对振动幅值、相位、频谱结构实行联合分析,可以识别出约85%以上的机械故障类型。振动信号及负荷变化曲线同步对比,可以增加故障定位精度到0.1m级轴向区段,给检修提供数据支持^[2]。

4.2 轴位移与摆度在线检测方法

轴位移、摆度检测用电涡流传感器布置在轴承两侧,测量范围一般为±2.0mm,分辨率可达0.01mm。正常运行时轴向位移不大于0.15mm,径向摆度不大于0.08mm。当偏心或者磨损发生的时候,摆度值可以到了0.20mm~0.35mm,并且有周期性变化的特征。系统凭借采集实时位移曲线,融合相位分析判断轴心轨迹形态,正常情况下呈近圆形轨迹,故障状态下呈椭圆或香蕉形轨迹。数据刷新周期为50ms~100ms,可以实现连续在线监测,给轴系状态评估给出高精度的依据。

4.3 无损检测技术在裂纹识别中的应用

无损检测技术主要有超声检测、磁粉检测以及渗透检测,在转子关键部位裂纹识别中应用较多。超声检测频率一般选用2MHz~5MHz,可以检测深度到了200mm以上的内部缺陷,裂纹识别灵敏度可以到了0.5mm。磁粉检测适合于表面及近表面裂纹的检测,磁场强度控制在1200A/m~2000A/m时效果最好。渗透检测用于非铁磁材料表面缺陷的识别,显像时间一般为10min~20min。利用多种检测方法相结合的方式,裂纹检出率可以到了95%以上。在实际检修中对磁极键槽、轴颈过渡区实行重点扫描,可以提前发现早期裂纹,防止裂纹扩展失效。

5 转子故障机械检修工艺与实施方法

5.1 转子拆解与现场安全隔离操作流程

15W水轮发电机组转子拆解前要完成机组停机、断水、断电、机械锁定操作,建立双重安全隔离。机组转子静止后,用顶起装置将轴系抬高0.2mm~0.5mm,解除轴承受力状