

汽轮机调速系统错油门故障分析及防范

赵兵

华电新疆发电有限公司红雁池分公司

【摘要】汽轮机调速系统对机组安全稳定运行至关重要。本文详细剖析调速系统的基本构成,涵盖调速器、伺服机构、执行机构(油动机)和反馈控制系统,并阐述其工作原理。同时,结合汽轮机实际案例分析错油门故障的成因与影响。最后提出一系列防范措施,从机械系统优化、液压系统维护、电子控制系统改进和操作管理优化等方面着手,提升调速系统的精准性与可靠性,降低错油门故障发生率,保障汽轮机高效运行。

【关键词】汽轮机;调速系统;错油门故障;防范措施

Analysis and prevention of oil gate fault in turbine speed control system

Zhao Bing

Huadian Xinjiang Power Generation Co., LTD. Hongyanchi Branch

【Abstract】 The speed control system of a steam turbine is crucial for the safe and stable operation of the unit. This paper provides a detailed analysis of the basic components of the speed control system, including the governor, servo mechanism, actuator(oil motor), and feedback control system, and explains their working principles. It also analyzes the causes and impacts of misalignment faults in steam turbines through practical case studies. Finally, a series of preventive measures are proposed, focusing on mechanical system optimization, hydraulic system maintenance, electronic control system improvements, and operational management enhancements to improve the accuracy and reliability of the speed control system, reduce the incidence of misalignment faults, and ensure efficient operation of the steam turbine.

【Key words】 steam turbine, speed control system, misstep fault, preventive measures

1 引言

汽轮机是现代工业动力系统的关键部分,其运行稳定性和调速精度影响生产安全与经济效益。调速系统控制汽轮机转速以适应不同负载工况,防止异常波动。但实际运行中,受机械磨损、液压异常、电子控制失灵和人为误操作等因素影响,可能出现错油门故障。这种故障会使机组转速失控,甚至引发严重安全事故。因此,研究调速系统的构成与原理,结合案例分析错油门故障成因并提出防范措施,对保障汽轮机安全稳定运行意义重大。

2.汽轮机调速系统概述

2.1 调速系统的基本构成

2.1.1 调速器

调速器是调速系统的核心控制单元,用于测量汽轮机转速并与设定值比较,生成控制信号以调整蒸汽流量,维持汽轮机稳定运行。调速器分为机械调速器和电子调速器两类。传统机械调速器依靠离心飞锤机构,通过离心力变化控制油动机开度来调节蒸汽供给量;现代电子调速器采用高速处理芯片和精密传感器,能实时检测转速,利用PID控制算法快速响应负载波动,调节精度和稳定性更高,更适合复杂负载工况。

2.1.2 伺服机构

伺服机构将调速器发出的控制信号转化为执行机构可

执行的动作。传统伺服机构采用液压或电动驱动方式确保调节稳定性和精准度。在液压伺服系统中,控制信号驱动液压阀调节液压油流量,从而驱动执行机构实现精确调速控制。现代汽轮机多采用电液伺服系统,结合电控技术和液压驱动优势,提高响应速度和控制精度。伺服机构的动态特性对调速系统稳定性至关重要,优良的伺服机构可减少系统振动,提高汽轮机运行可靠性。

2.1.3 执行机构(油动机)

执行机构(油动机)是调速系统的核心动力部件,接收伺服机构信号,驱动调节阀控制进入汽轮机的蒸汽流量。油动机由液压缸、伺服阀和油源组成,通过控制油压变化实现高精度阀门位置调节。其响应速度和控制精度直接影响汽轮机调速性能,现代油动机采用电子控制液压系统并结合高精度位移传感器,确保阀门开度调节的实时性和稳定性,且需具备抗干扰能力,避免外部振动或压力波动影响调速性能。

2.1.4 反馈控制系统

反馈控制系统是调速系统的重要组成部分,实时监测汽轮机运行状态并将数据反馈给调速器,确保调节精度和稳定性。反馈信号包括转速、负载变化、蒸汽流量和阀门位置等参数,采用高精度传感器和信号处理单元保证数据实时性和准确性。现代反馈系统多采用闭环控制方式,不断调整调速信号实现汽轮机精准调节。智能化反馈控制系统还能自适应不同负载条件,提高系统抗干扰能力,确保汽轮机长期稳定运行。

2.2 调速系统的工作原理

汽轮机调速系统基于闭环控制理念工作,核心是检测转速变化并调整蒸汽流量以实现稳定速度控制。运行时,调速系统通过转速传感器获取实际转速并与设定转速比较。当汽轮机负载变化使转速偏离设定值时,调速器计算偏差并生成控制信号,驱动伺服机构调整执行机构开度,最终改变蒸汽流量使转速恢复到设定范围。

实际应用中,调速系统采用比例-积分-微分(PID)控制策略提高响应速度和稳态精度。PID 控制根据速度偏差大小动态调整调节阀开度,使汽轮机迅速恢复稳定。例如,负载突然增加时汽轮机转速下降,调速系统快速增加蒸汽供应量使转速回升;负载减少时减少蒸汽供给防止转速过冲。

3 案例分析

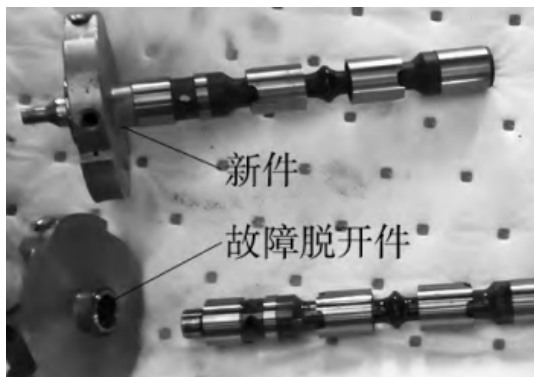
本文以 NG 系列汽轮机为例,分析错油门故障的实际案例,探讨故障原因、排查过程和防范措施,提升调速系统的稳定性和安全性。NG 系列汽轮机调速系统由调节汽阀、传动机构和油动机三部分组成,油动机作为调节汽阀的执行机构,包括油缸、错油门、连接体和反馈机构。错油门的滑阀组件通过转动盘和滑阀体以约 300r/min 的速度旋转并上下微动调整汽轮机转速。错油门的套筒与壳体腔室构成五挡不同功能的油路,包括动力油进油路、油缸活塞上下腔通道及回油油路,由滑阀控制油流方向。稳定运行时,滑阀处于平衡位置,调节汽阀开度稳定。工况变化时,如转速降低导致二次油压升高,滑阀上移改变油缸进出油方向,调节汽阀开度恢复系统平衡。

3.1 故障情况分析

3.1.1 故障 1

2023 年 8 月,某石油化工企业的石化柴油加氢装置运行中,配套工业汽轮机出现严重转速波动,设备运行不稳定。具体表现为油动机活塞异常升降,调节汽阀频繁大幅度开关,二次油压及控制油压剧烈波动,错油门零位调节螺钉异常旋转。这表明调速系统失去对汽轮机转速的精准控制,严重影响生产安全和稳定性。

检修人员停机后对错油门组件拆解检查,发现滑阀组合件的转动盘与滑动体完全脱开,滑阀无法正常旋转和上下调整,丧失对汽轮机转速的稳定调节功能。更换新滑阀组件后系统恢复正常,机组重新投入运行。



如图 1 所示因转动盘与滑动体脱开。

分析发现,该滑阀组件的转动盘与滑动体采用的是厌氧粘结剂粘合,而非整体加工,一旦粘结剂老化或失效,极易导致转动盘脱落,使调速系统功能失效,进而引发汽轮机转速剧烈波动。因此,该案例的主要故障原因在于错油门滑阀组件的设计缺陷以及粘结剂老化失效,导致设备运行失控。

3.1.2 故障 2

2023 年 12 月,该企业另一台重整装置汽轮机中,运行人员发现二次油压力在六个月内从最初的 0.28MPa 逐步下降至 0.15MPa,同时 MCS 调节系统的输出阀位从 48%逐步减小至 0%。虽然现场观察调节汽阀标尺变化不明显,但机组转速从设定的 6700r/min 升高至 7300r/min,汽轮机运行偏离预设工况。为避免设备损坏,操作人员手动调整入口阀门降低实际转速。停机检查发现错油门内部多个关键零部件磨损,包括滑阀组件、轴承、弹簧和顶杆等,导致调速系统失去精准控制。更换所有磨损部件后系统恢复正常,汽轮机重新稳定运行。

进一步分析表明,该故障主要诱因是错油门零位调整顶杆的端面磨损形成凹陷,导致滑阀组件和弹簧轴承整体上移,引起调速系统静态零位漂移;错油门弹簧座长期运行磨损使平衡弹簧上移、弹簧力下降,影响调速性能;弹簧倾斜导致轴承受力不均,使滑阀组件旋转时受摩擦力影响,致使整个系统运行异常。

4. 错油门故障的防范措施

4.1 机械系统优化

机械系统的稳定性对汽轮机调速系统极为重要。运行时间增加时,执行机构、阀门组件和连接机构可能出现磨损或松动,导致调节精度下降甚至错油门故障。因此,需定期检查执行机构的机械磨损情况,确保关键部件正常运行。例如定期测量油动机活塞、连杆等机械部件的间隙,及时更换异常磨损零部件,防止机械结构松动导致调速失准。

采用高精度调节机构可有效减少机械误差,提高调节精准度。先进的伺服阀和高精度滚珠丝杠装置能减少机械摩擦,提高位移控制精度,使调速系统执行指令更稳定。同时,优化阀门结构提高调节精度也是防范错油门故障的重要措施,如采用低滞后、线性响应更好的节流阀,提高阀门开度调节的精准性,避免机械滞后导致的调速波动。

4.2 液压系统维护

液压系统是执行机构的重要动力来源,其稳定性直接影响调速系统的精准性。液压油品质下降、油路堵塞或压力波动过大,可能导致油动机响应滞后或误动作,引发错油门故障。所以,定期更换液压油保持油液清洁度是必要的维护措施,应按制造商建议的周期更换液压油,避免油液氧化、污染等问题影响液压元件正常运行。

加强油压监测防止压力波动过大也是关键措施。安装高

精度压力传感器实时监测液压系统压力,并结合电子控制系统动态调整,确保液压系统稳定运行。采用高效滤油装置防止油路堵塞,减少杂质对伺服阀和油动机的损害。过滤系统应具备自动报警功能,当油液污染度超标时及时提醒维护人员处理,防止油路堵塞影响调速精度。

4.3 电子控制系统维护

电子控制系统在汽轮机调速过程中承担信号采集、计算和输出任务,其稳定性和精度直接影响调速系统的可靠性。首先,采用高精度传感器提高信号反馈准确性,可减少因传感器误差导致的错油门故障。例如选用高分辨率光电编码器或磁感应式转速传感器提高信号采集精度,使调速系统能准确判断转速变化并作出调整。

其次,增强调速器软件逻辑、优化控制算法是提高调速系统稳定性的关键措施。现代调速系统虽通常采用PID控制算法,但复杂工况下单一PID控制可能无法满足高精度调速要求,可结合模糊控制、自适应控制等先进算法提高调节过程的稳定性和适应性。此外,增加软件异常检测机制,如设定防抖动阈值,避免短暂信号波动导致错误调节,提高系统对信号噪声的容错能力。

为进一步提高系统可靠性,设立冗余控制系统也是重要优化措施。例如在关键控制链路增加备用信号通道,确保主传感器故障时备用传感器能立即接管工作,防止单点失效导致调速系统异常;采用双CPU或双冗余控制模块的调速器架构,使控制单元故障时能快速切换至备用系统,提高整体运行稳定性。

4.4 操作与管理优化

人为操作失误是错油门故障的重要因素,强化操作人员培训、提高设备操作规范性可减少故障发生。操作人员应熟练掌握汽轮机调速系统工作原理,了解不同运行模式下的调节方法,正确识别异常情况并及时采取应对措施。定期组织专业培训提高操作人员应急处理能力,避免误操作导致调速系统失稳。

为确保调速系统长期稳定运行,定期进行设备校准与试验至关重要。定期对调速器、伺服机构和执行机构精准校准,确保各部件协同配合,提高调速系统精度和稳定性。定期模拟不同工况下的调节过程,检测系统响应速度和调节能力,及时发现潜在隐患并采取针对性优化措施。

参考文献

- [1]刘光宗.循环氢压缩机组汽轮机错油门故障分析及对策[J].山东工业技术, 2018, (04): 75.
- [2]尉旭, 黄国钢.火力发电厂汽轮机主油箱事故放油门隐患的探讨与治理[C]//中国职业安全健康协会.中国职业安全健康协会2016年学术年会论文集(下册).[出版者不详], 2016: 7.
- [3]郭振, 李安东, 张忠良.汽轮机危急遮断油门动作故障分析及处理[J].河南冶金, 2015, 23(03): 48-50.
- [4]徐彬.循环氢压缩机汽轮机错油门故障分析及对策[J].安全、健康和环境, 2012, 12(11): 8-9.

此外,制定应急预案减少故障损失也是汽轮机安全管理的重要环节。例如针对错油门突发故障设置自动保护机制,系统检测到异常信号时立即触发安全阀切断蒸汽供给,防止汽轮机失速或过载运行;制定详细应急处理流程,确保操作人员遇到突发故障时能迅速执行正确处理步骤,最大程度降低故障对生产系统的影响。

5.结语

汽轮机调速系统的可靠性决定机组运行稳定性和生产安全。通过优化机械系统、加强液压系统维护、改进电子控制系统和规范操作管理,可有效降低错油门故障发生率,提高调速系统响应速度和精准性。案例分析表明,定期维护关键部件、采用先进监测技术、优化控制算法和加强人员培训能显著提升调速系统的可靠性。

未来,随着智能化技术的推动下,调速系统将不断朝着更加精细化、高效化的方向发展。大数据分析将能够更精准地捕捉机组运行过程中的各种数据特征,为调速系统的优化提供坚实的数据基础。人工智能优化算法将不断学习和适应不同工况下的运行需求,自动调整控制参数,以实现调速系统的最佳性能。

远程监测技术的进一步发展,使得运行人员可以实时掌握汽轮机调速系统的运行状态,及时发现潜在的故障隐患并采取相应的措施。通过与云端数据平台的连接,还可以实现对调速系统的远程诊断和维护,大大缩短故障处理时间,提高机组的可用率。

同时,在调速系统的设计和研发过程中,将更加注重系统的冗余性和容错性。采用多重备份和故障自动切换等技术,确保在关键部件出现故障时,调速系统仍能保持稳定运行,避免因调速系统故障而导致机组停机严重后果。

此外,随着环保要求的日益严格,调速系统也将在节能减排方面发挥更加重要的作用。通过优化控制策略,使汽轮机在不同负荷下都能保持最佳的运行状态,降低能耗和污染物排放,为企业的可持续发展做出贡献。

总之,随着智能化技术的不断进步,汽轮机调速系统将迎来更加广阔的发展前景,为电力行业的安全生产和高效运行提供强有力的保障。