

EH油系统压力波动对汽轮机调节性能的影响分析

赵亮

华能营口电厂 辽宁营口 115700

摘要: EH油系统是汽轮机调节系统的核心动力源,压力稳定性对调节性能有决定性影响。本文围绕EH油系统压力波动问题,深入解析波动产生的三类核心机理:系统结构特性里变量柱塞泵调节滞后、蓄能器失效及管路布局不合理都会引发波动;油质劣化造成伺服阀堵塞、元件磨损形成内泄漏也会带来波动;外部负荷变化、控制参数失调及环境温度波动同样会导致压力扰动,实验与理论分析共同表明,压力波动会对汽轮机调节气门动作精度、转速控制稳定性及负荷响应特性产生负面影响,具体体现为气门开度偏差变大、转速波动更剧烈、负荷响应迟缓,情况严重时可能让机组运行出现异常。结合系统结构特点从硬件优化、运行维护及控制策略三方面给出针对性解决方案,为汽轮机安全稳定运行提供全面理论依据与实用技术参考。

关键词: EH油系统;压力波动;汽轮机;调节性能;气门控制

引言

在电力生产领域,汽轮机属关键动力设备,调节系统的可靠性直接关联机组运行效率与安全稳定性,EH油系统依托高压抗燃的独特优势,已然成为现代汽轮机调节系统的核心组成,承担着为调节气门执行机构供给动力的重要职责,系统正常工作压力需稳定保持在14~16MPa区间,这是保障调节指令精准落实的基础。伴随电力行业的快速发展,机组容量不断提升且运行周期持续延长,EH油系统压力波动问题渐趋突出,对汽轮机调节性能造成明显不良影响。压力波动会干扰调节气门的精准动作,破坏转速与负荷控制的稳定性,给机组安全运行埋下潜在风险。深入探究EH油系统压力波动的产生机理,明确其与汽轮机调节性能的关联机制,对提升机组运行可靠性、降低故障发生率有重要的工程实践意义,也是当前电力设备运维领域亟待处理的关键技术问题。

一、EH油系统压力波动的产生机理

(一) 系统结构特性引发的压力波动

EH油系统包含供油装置、执行机构、控制组件及油管路,共同构成完整闭环液压回路,各环节配合保障机组调节功能。供油装置里的变量柱塞泵借助精准调节斜盘角度改变排量输出流量,泵体内部滑阀若有卡涩、磨损,或是斜盘反馈机构因长期运行出现间隙,都会直接造成流量调节响应滞后,让系统压力呈现周期性脉动,干扰执行机构动作精度,高压蓄能器作为核心压力缓冲

元件,皮囊预充压力需严格契合系统工况,一旦预充压力不够或是皮囊因老化破损,就会彻底失去压力补偿能力,没法有效吸收负荷突变带来的瞬时流量冲击。油管路布置存在急弯、管径突变等情况,会形成局部阻力突变点,流量快速变化时产生压力反射波,与原有压力波叠加后大幅增加波动幅度,加大系统运行风险。

(二) 油质劣化与元件损耗导致的压力波动

EH油长期运行中,受系统温度波动、环境湿度侵入等因素作用,容易发生氧化变质,生成酸性腐蚀物质与胶状油泥杂质。这些污染物随油液循环,易造成伺服阀节流孔堵塞、流通截面缩小,让局部压力损失呈无规律变化,引发控制油压力随机波动,电液伺服阀作为液压控制核心部件,阀芯与阀套的精密配合间隙会因长期高速摩擦逐渐磨损变大,内泄漏量随阀芯工作位置动态改变,打破原有压力平衡,使供油压力出现持续性波动,油液过滤器因杂质积累堵塞,会导致油液流通阻力上升,迫使变量柱塞泵出口压力被动升高;堵塞程度超过安全阈值时,安全阀自动起跳卸压,形成系统压力骤降后又回升的周期性波动,严重影响机组调节稳定性^[1]。

(三) 外部干扰与控制参数失调引发的压力波动

汽轮机运行过程中,电网负荷一旦出现快速变化,调节系统便会根据负荷指令频繁调整气门的开度大小,这一过程直接造成EH油系统的流量需求产生急剧且显著的波动。在这种情况下,倘若供油装置中变量柱塞泵的流量调节能力无法实时且精准地匹配瞬时的流量变化,

系统压力就会随着流量需求的剧烈波动而呈现出同步的起伏状态，从控制逻辑的层面来看，要是控制系统的参数设置存在不合理之处，例如伺服阀控制信号的比例增益过大，或者积分时间参数出现失调问题，就会导致执行机构在动作过程中出现超调现象，甚至可能引发持续的振荡，进而进一步引发油液压力的高频波动。不仅如此，环境温度的剧烈变化同样会对油液的物理特性产生显著影响：当处于低温环境时，油液的黏度会急剧升高，这会直接导致流动阻力随之增大；而在高温环境下，油液的黏度又会明显下降，这一变化则会使得元件的内泄漏量相应增加，上述这两种情况都会对系统原有的压力平衡状态造成破坏，造成压力稳定性下降，从而对机组的安全运行构成潜在的威胁。

二、压力波动对汽轮机调节性能的影响

（一）对调节气门动作精度的影响

调节气门的开度控制依托EH油系统供给的驱动力，压力波动直接改变执行机构输出力值，系统压力瞬时升高时伺服油缸推力增强，气门实际开度便会超出指令开度，造成进汽量异常增多，压力骤降则推力不足，气门难以按指令及时开启，形成开度滞后偏差，长期压力波动致使气门频繁处于过开或欠开状态，阀座与阀瓣因受力不均产生不均匀磨损，开度控制误差随之进一步扩大，气门动作滞后时间随压力波动幅度增加而延长，调节系统的动态响应特性也因此遭到破坏。

（二）对转速与负荷控制的影响

汽轮机转速控制依托气门开度调整改变进汽量达成，压力波动带来的气门开度偏差直接造成进汽量不稳定。进汽量波动促使汽轮机输入功率出现周期性改变，打破功率与负荷间的平衡状态，致使转速波动幅度超出常规区间，转速波动借助调节系统反馈链路形成二次扰动，强化压力波动与转速波动的耦合作用。负荷调节环节中，压力波动降低气门开度调节精度，让实际负荷与指令负荷产生差距，调节系统不得不反复修正以补偿这一差距，使得负荷响应时间延长，机组对负荷变化的适应水平随之下降。

（三）对调节系统稳定性与寿命的影响

持续的压力波动将让调节系统里的液压元件长久承担交变载荷，伺服阀的阀芯与阀套在交变压力影响下出现疲劳磨损，元件使用期限因此缩短^[2]。压力波动传导至调节系统的反馈部分，造成反馈信号里夹杂高频噪声，对调节指令的精准生成形成干扰。调节系统为压制波动

需要频繁开展调节动作修正，执行机构由此处于高频动作态势，机械磨损的可能性随之加大，剧烈的压力波动或许还会诱发调节系统共振，促使系统动态特性变差，更有甚者会出现调节失稳状况。

三、压力波动的控制与优化措施

（一）系统硬件优化

为保障EH油系统稳定运行，关键元件的状态检测需定期开展，伺服阀阀芯与阀套的磨损情况应着重检查，配合间隙一旦超出设计标准就得及时更换受损部件，确保始终维持在规定的精度区间内。油液清洁度对系统稳定性影响突出，高精度过滤器的选用与更换周期的适当缩减必不可少，过滤效能的强化可降低油液中杂质占比，从源头避免伺服阀节流孔因污染物堆积出现堵塞，蓄能器作为压力缓冲核心部件，布置位置的调整与容量的扩充能提升压力补偿效果，增强对系统瞬时流量波动的吸纳；油管路布置形式的改良同样重要，减少直角弯头及其他局部阻力部件使用可弱化压力反射波冲击力度，降低压力叠加效应带来的影响^[3]。变量柱塞泵调节性能直接关系到流量输出稳定性，其斜盘调节机构需进行技术升级，传动结构与反馈机制的优化可增进流量调节响应速率，同时提升调节过程中的稳定性能，确保负荷变化时能快速匹配系统流量需求，从硬件层面为系统压力稳定提供可靠支撑。

（二）运行维护强化

构建完备的油质监测体系，定期测定EH油的酸值、黏度与清洁度，指标一旦超出标准便及时开展油液净化或更换工作。在线监测系统实时采集压力信号，运用滤波算法提取波动特征参数，划定压力波动预警阈值，依据压力波动频谱分析结论，明确波动源所在位置并实施针对性处理办法，调整系统运行参数，把工作压力调控至最佳稳定范围，防止在压力临界点长时间运行，设定合理的检修时段，定期校验蓄能器皮囊预充压力，保障压力补偿功能切实有效。

（三）控制策略与监测系统升级

引入自适应控制算法优化变量柱塞泵的流量调节过程，结合系统压力波动实时调整泵的输出特性，抑制压力波动幅度。伺服阀控制回路中增设压力前馈补偿模块，把压力波动信号提前引入控制指令，抵消压力变化对气门开度的影响。升级压力监测系统，选用高频压力传感器采集压力信号，借助数据采集与分析平台实现压力波动趋势预测，及早察觉潜在故障。构建压力波动与调节

性能关联数据库,依托大数据分析明确不同波动幅度对应的调节性能变化规律,为运行调整提供量化支撑。

四、压力波动防控技术的应用场景与实践要点

(一) 不同机组类型的防控重点

大容量机组(600MW及以上)承担电网调峰任务繁重、负荷变化速率较快,对调节系统响应速度有着极高要求,需着重关注变量柱塞泵的流量调节精度与蓄能器的压力补偿能力。实际运维环节,可优化泵体反馈机构的灵敏度、提升伺服比例阀校准频率,确保流量输出实时契合需求,同时科学布置蓄能器位置以缩短压力传递路径,有效缓冲流量突变引发的压力波动,避免系统震荡^[4]。中小型机组则要强化油质全生命周期管理,建立“定期检测+离线过滤+在线监测”机制,防止油质劣化产生的杂质造成伺服阀堵塞卡涩,还需针对性优化控制系统PID参数,动态调整调节系数,提升闭环抗干扰能力,降低外部负荷波动对压力稳定性的影响,保障机组调节性能可靠。

(二) 关键环节的运维管理策略

日常运维过程中,为保障液压系统稳定运行需建立科学完善的三级监测机制,基础监测围绕压力波动幅度与频率的常规记录展开,凭借在线监测系统完成压力数据的实时采集与趋势分析,通过设定合理预警阈值,及时捕捉压力异常波动的早期信号。深度监测针对油质核心指标(酸值、黏度、清洁度等)与关键元件状态(伺服阀磨损程度、过滤器堵塞情况、泵体泄漏量等)进行定期检测,每季度实施一次全面油液分析与元件性能评估,专项监测专门在机组启停、负荷大幅变动等关键工况时段启动,重点采集压力波动与调节性能的关联数据,借助动态对比分析识别潜在风险点。综合三级监测结果制定差异化检修计划,优先安排对压力稳定性影响突出的核心部件进行维护或更换,确保系统始终保持最佳运行状态。

(三) 技术优化的方向与路径

未来技术优化可从三个维度协同推进提升液压系统性能,硬件维度着重研发具备自适应调节能力的智能变量柱塞泵,内置高精度传感器与实时反馈模块,动态优化流量输出曲线,大幅提升流量响应速度以精准契合瞬时负荷变化,减轻压力调节滞后现象,材料领域攻关抗磨损、抗老化的新型合金材料与长效EH油配方,强化液

压元件表面硬度与油液抗氧化能力,延长元件无故障运行周期与油质稳定时长,削减维护成本^[5]。智能控制层面依托工业互联网搭建压力波动预测模型,整合历史运行数据与实时工况参数,借助大数据分析提前识别潜在波动风险,结合自适应前馈控制算法实现压力的毫秒级精准调控,还需推动不同容量机组的压力波动防控标准规范化,确立统一的技术指标与评价体系,为行业提供科学技术指导与标准化参照。

结语

EH油系统压力波动作为影响汽轮机调节性能的关键因素,对机组安全稳定运行构成多维度潜在威胁,会造成调节气门开度偏差扩大、转速波动幅度上升及负荷响应迟缓,长期作用更会加剧液压元件磨损、缩减设备使用年限,极端情况下甚至诱发调节系统失稳等严重后果。本文经系统分析明确压力波动的三类产生机理——系统结构特性缺陷、油质劣化与元件损耗、外部干扰与参数失调,同时揭示波动对调节性能的具体影响规律。实践证实,采取硬件优化、强化运行维护及升级控制策略等综合措施,能够有效压制压力波动幅度、改善调节系统动态特性,未来研究应进一步量化压力波动与调节性能指标的关联,构建更精准的预测模型,为EH油系统的设计优化、运行调控及故障诊断提供更科学的理论支撑与技术指导,推动电力行业机组运行水平不断提升。

参考文献

- [1] 刘晓鹏, 王伟, 王宇满, 等. 电控单体泵多泵供油系统压力波动和一致性研究[J]. 内燃机工程, 2025, 46(02): 59-71.
- [2] 杨卿峰, 曹应佳, 李丽婷. 柴油机滑油系统压力波动特性[J]. 柴油机, 2023, 45(06): 37-39.
- [3] 胡四光, 郭勇强, 王军. 核电厂汽轮机调节阀后疏水管道断裂分析及改进[J]. 发电设备, 2023, 37(06): 403-408.
- [4] 曹应佳, 杜国栋, 李丽婷, 等. 柴油机滑油系统压力波动仿真计算方法研究及应用[J]. 柴油机, 2022, 44(06): 11-14.
- [5] 周锋. 1000 MW 汽轮机EH油系统压力波动分析及处理[J]. 设备管理与维修, 2019, (15): 111-112.