

# 石化装置汽轮机调速系统波动解决措施及经济性分析

李剑雄 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

**摘要:** 汽轮机在石化生产过程中是核心动力设备之一, 其调速系统能否平稳运行直接影响着生产装置的安全性、连续性和经济性。本文以石化装置汽轮机调速系统中常见波动现象为研究对象, 从机械部件、液压系统和控制系统对产生波动的根本原因进行了深入分析, 然后有针对性地提出了维护改进的对策, 从成本投入和效益产出上对解决措施进行了系统的经济性分析, 以期对石化企业调速系统波动的有效治理, 保障石化装置的连续、安全运行。

**关键词:** 汽轮机; 调速系统; 波动治理; 经济性分析

**中图分类号:** TE969; TK269 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 003-0047-03

## Measures to Address Fluctuations in the Turbine Speed Control System of Petrochemical Plants and Economic Analysis

Li Jianxiong (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

**Abstract:** The steam turbine is one of the core power equipment in the petrochemical production process, and the stable operation of its speed control system directly impacts the safety, continuity, and economic efficiency of the production facilities. This paper focuses on common fluctuation phenomena in the speed control systems of petrochemical plant steam turbines, conducting an in-depth analysis of the root causes of these fluctuations from mechanical components, hydraulic systems, and control systems. Targeted maintenance and improvement measures are then proposed, followed by a systematic economic analysis of the solutions in terms of cost investment and benefit output, aiming to effectively address speed control system fluctuations in petrochemical enterprises and ensure the continuous and safe operation of petrochemical plants.

**Keywords:** steam turbine; speed regulation system; fluctuation control; Economic analysis

在石化工业生产过程中, 汽轮机的主要任务是驱动压缩机和泵类等关键设备, 其运行状态是否稳定直接关系到生产装置整体作业效率和安全水平, 调速系统作为汽轮机“中枢神经”, 承担着依据生产工况要求准确调整机组转速的任务, 保证设备处于设定参数范围内的平稳运行。

但受设备长期运行损耗、工作环境复杂以及系统设计局限等因素的影响, 调速系统容易产生转速振荡, 这不但会使汽轮机本身的工作效率降低、部件磨损加重, 而且会引起连锁反应从而导致生产流程中断, 甚至会引发安全事故而对企业造成经济损失。所以对石化装置汽轮机调速系统振荡原因进行了深入探讨, 并且提出了科学有效的解决措施并对其实施效果进行了经济性评估以确保石化企业的持续平稳发展。

### 1 石化装置汽轮机调速系统波动原因分析

#### 1.1 机械部件故障

①调速器故障。调速器是调速系统核心执行部件之一, 负责感知汽轮机转速的变化并将该变化转换为调节动作, 调速器内部飞锤和弹簧等主要部件的状态直接影响了调节效果的好坏, 在高速运转很长的时间里, 飞锤和转轴间以及飞锤和弹簧的连接部位都会不断地产生摩擦作用, 而周期性离心力和复位力将使结

构处于反复交替的应力状态下, 时间一久就会造成材料疲劳易发生。这种持续摩擦和疲劳会造成飞锤表面磨损、尺寸精度降低, 甚至局部变形, 弹簧由于材料疲劳而弹性衰减, 复位行程和复位力度不能达到设计标准, 这将使飞锤离心力传递路径偏移和传递效率下降、弹簧复位性能降低, 使调速器对于汽轮机转速改变敏感性减弱、转速波动反应迟缓、响应幅度有偏差, 不能准确地驱动后部调节机构进行相应工作, 最后引起调速系统持续振荡<sup>[1]</sup>。

②错油门故障。错油门是将调速器和油动机联系起来的关键中间环节, 在实际运行时, 液压油中含有杂质颗粒容易进入错油门阀芯及阀套之间间隙, 在阀芯运动时会产生阻力造成阀芯卡涩和不能顺利地完往复运动。阀芯和阀套经过长期相对快速运动后, 会出现自然磨损现象, 造成二者配合间隙增加和配合精度降低, 阀芯卡涩和配合精度降低将导致错油门不能按控制信号要求精确调节油液流量、油液流量输出不稳从而导致油动机行程调节偏差, 汽轮机进汽量不能稳定, 最终引起调速系统振荡。

#### 1.2 液压系统问题

①油压波动。供油系统能否正常工作对保持液压系统油压恒定具有核心保证作用, 而油压是否稳定直

接关系到油动机推力输出准确性和动作响应速度,如果供油系统油泵在连续长时间运行过程中内部转子和轴承等关键部件发生磨损就会使油泵容积效率降低,输出流量和压力不能保持稳定从而产生周期性或者非周期性振荡。油压不稳定将直接影响油动机工作状态造成油动机推力输出不够或者波动较大动作精度下降使调速系统调节时存在调节滞后、调节过强或者调节不及时的现象,不能精确匹配汽轮机转速调节要求从而引起转速波动。

②油质污染。液压油作为液压系统工作介质,对系统润滑、冷却和压力传递性能有直接的影响,长期使用时,液压油由于受到多种因素的影响容易被污染,油质污染之后的润滑性能就会明显降低,不能在机械部件的表面上形成有效润滑保护膜而造成各部件间摩擦阻力增加和磨损程度加重,经过污染的液压油流动性较差和黏度较高,在循环时容易在节流孔、滤网、管路弯头和阀门等关键位置出现堵塞现象,造成液压系统压力传递阻碍并使控制信号在传输时出现失真或延迟。

### 1.3 控制系统干扰

①电气信号干扰。石化生产现场一般布置着大量的大型电机、压缩机、变频器和高频加热装置,在工作时会产生很强的电磁辐射并造成电磁干扰复杂环境,调速系统电气控制回路由多种传感器、执行器和信号传输线路组成,如果这些线路在安装时没有遵循电磁兼容的设计原则而与强电磁辐射源的距离太近或者没有采取有效地屏蔽和接地等抗干扰措施,电磁干扰信号将以空间辐射或者线路耦合的形式进入控制信号的传输链路中。这一扰动会使传感器所测量转速、负荷以及其他关键参数信号失真或者偏移,或者使得控制器输出调节指令产生偏差,调速系统根据错误信号或者指令来调节,必然会造成调节方向错误和调节幅度不够精确从而诱发汽轮机转速异常振荡<sup>[2]</sup>。

②控制算法不完善。控制算法作为调速系统控制逻辑核心的设计合理性和适配性直接影响着系统调节性能,在石化生产中,汽轮机需要面对频繁的负荷变化,还要面对原料性质的变化、工艺参数的调整以及外界环境的变化等多种复杂工况,这就对调速系统动态调节能力提出较高需求。传统控制算法大多以固定工况参数为设计基础,调节参数较为固定且缺少复杂多变工况自适应能力,造成调速系统不能迅速准确地跟上工况变化,在调速过程中出现了反复振荡现象,最后诱发了整体调速系统不稳定的运行。

## 2 石化装置汽轮机调速系统波动解决措施

### 2.1 机械部件维护与更换

①定期检查调速器。建立常态化的设备维护检修

制度,明确规定调速器检查周期、检查项目及技术标准,并把检查工作列入日常设备管理范畴,定期拆开检查调速器,重点检查飞锤和弹簧等关键部件磨损和变形,检查各部件的配合间隙和紧固状态是否正常。飞锤要重点核实的转动灵活性和惯性特性以保证没有卡滞和异常摆动现象,弹簧要检测弹簧的弹性系数和自由长度以及其他关键参数来判断有无弹性衰减和疲劳变形问题。对于已经达到使用年限或者性能指标衰减到临界值时,必须严格实施更换流程并选择符合设计规范的原厂配件或等效替代件以防止由于配件不匹配造成新的运行隐患<sup>[3]</sup>。

②修复或更换错油门。在错油门卡涩现象被发现后应当立即停止操作并采取措施,首先要对阀芯和阀套进行全面的清洁,使用特定的清洗剂来清除间隙中的油污和其他金属碎片等污垢,确保清洗时不使用腐蚀性强的溶剂以避免对阀芯和阀套表面耐磨涂层造成损害,清洗结束时应检查阀芯和阀套之间的配合间隙是否达到要求,轻度磨损可以通过研磨抛光来改善配合面的精度,如果磨损较重或者出现了划痕,变形等不能恢复的损伤就需要全面更换。

### 2.2 优化液压系统

①稳定油压。定期全面排查供油系统,形成闭环管理机制并重点检查油管路是否完好和接头是否紧固,发现漏点后及时焊接和更换密封件进行修补,并对松动接头做紧固处理以免因管路泄漏而造成油压损失,对油泵运行状态实施常态化监控并通过振动检测和性能测试来判定油泵有无磨损严重和输出性能不稳定现象,对于达到维护周期或者性能达不到要求的油泵要及时进行修理或者更换以保证供油能力符合系统设计的要求,为了达到油压动态稳定的目的在油路上安装了高精度的压力传感器和自动稳压装置,建立了实时监测反馈调节系统,压力传感器对油压数据进行实时采集并发送到控制系统中,油压发生振荡时自动稳压装置通过对溢流阀开度的调节来实现对油压的快速反馈调节使油压保持在给定的范围之内,基于此可选用变频调速油泵代替传统的定速油泵并依据系统实时油压需要自动调节运行转速,既保证供油压力平稳又减少能源消耗从而提高油压稳定性。

②改善油质。建立油质管理体系,把油质监测、过滤和更换纳入标准化管理流程中,并且定期检测液相油水分含量、杂质浓度、粘度及酸值这些关键指标,制定出油质合格标准并及时监测油质状况并记录检测数据并形成油质变化趋势分析报告以支持油质维护,安装高效滤油设备并建立油液循环过滤系统采用多级过滤和真空脱水技术除去油液水分和固体杂质等污染

物,提高油液清洁度,对于污染严重的油液和性能指标不合格的油液必须严格按更换程序执行,在更换过程中对油箱和管路等系统部件进行彻底清洗以防止旧油污染新油,油箱的密封处理以及油箱结构设计的优化以及降低油箱内部油液接触空气的面积,安装高精度空气滤清器并过滤油箱中空气中的灰尘和水分等污染物从根源上保证了油质的清洁,定期清洗维护油冷却器以保证液压油工作温度平稳,以免由于油温过高造成油液粘度降低和性能劣化<sup>[4]</sup>。

### 2.3 改进控制系统

①优化抗干扰措施。优化调速系统的电气线路布局,依据电气设备电磁兼容性的需要,制定了科学线路敷设方案,把控制信号线和动力电缆分开敷设以保持安全的距离,避免了由于并行敷设而产生的电磁耦合干扰,使用屏蔽性能较好的专用控制电缆,电缆屏蔽层用单端或者双端接地处理以保证接地电阻达到技术要求并提高信号传输抗干扰能力。在电气控制柜、传感器及其他关键电气设备附近安装电磁屏蔽装置,并选择磁导率高屏蔽材料减少外电磁辐射给控制系统带来的干扰,控制信号采用硬件和软件双重滤波处理,在信号的输入端增加了滤波电路来消除高频干扰噪声,从软件方面利用数字滤波算法对所采集控制信号进行光滑处理从而进一步提高信号质量。

②优化控制算法。结合石化装置汽轮机工作状态的具体情况,深入剖析了传统控制算法所存在的局限性,并且运用智能PID控制和模糊控制的先进控制策略可以针对实时运行状态变化对控制参数进行动态调整,在实际应用时可以建立基于工况辨识的自适应控制模型,利用传感器对汽轮机转速、负荷以及蒸汽参数的运行数据进行实时采集,并由控制系统准确地识别当前工况,继而自动切换到匹配控制策略及参数<sup>[5]</sup>。

## 3 石化装置汽轮机调速系统波动解决措施的经济性分析

### 3.1 成本分析

采取上述解决措施需要投入一定的一次性或者阶段性成本,主要有机械部件的替换成本和液压系统的改造成本,例如油泵、滤油设备和稳压装置等,控制系统升级成本包括屏蔽电缆、抗干扰装置和控制算法开发等,还有有关人工安装和调试成本等。这类成本属于预防性的投入,确保设备长时间平稳运行和预防重大故障损失所必需的开支,并且大部分投资都有较长的使用寿命,在实施了该措施之后,调速系统的稳定性得到了显著改善,汽轮机的工作状态变得更加稳定,能耗水平也得到了优化,有效地降低了由于系统振动而造成的能量浪费,但设备故障率下降、维修频次和停机检修时间下降,相

应维修材料消耗、人工成本和停机损失也降低,从而间接降低企业长期运营成本。

### 3.2 效益分析

调速系统波动的处理是确保汽轮机及其他生产装置平稳持续运转的关键,避免设备故障给生产带来中断,保证生产过程的持续性,既可以提高生产效率又可以有效地确保产品质量稳定,降低因生产中断和质量不合格而造成半成品报废和订单损失等经济损失,明显提高了企业生产效益和市场竞争力,另外稳定调速系统大大减少了由于转速变化而造成设备损坏和生产事故发生的危险,在石化装置出现安全事故时不但会产生巨大的设备维修费用和人员伤亡损失,还会面临停产整顿和环境治理的后续成本给企业声誉造成严重损害,解决调速系统波动问题改善设备运行安全性、规避潜在安全风险、对企业发展可持续发展起着重要的保障作用,尽管调速系统波动问题很难以具体经济数值来定量评价,但是调速系统波动问题却有着不可取代的价值。

## 4 结论

石化装置汽轮机调速系统振荡是诸多因素综合作用而产生的一个复杂问题,直接关系到设备的正常工作状态和企业生产效益,建立常态化的针对性措施可以有效地解决调速系统中出现的振荡问题,保证汽轮机平稳运行并为企业创造长远综合效益。所以石化企业要重视汽轮机调速系统中的振荡现象,根据自己的生产实际情况不断地优化治理措施,提高设备运行安全性、稳定性及经济性,从而为企业高质量发展打下坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 孙延成军.石化装置汽轮机调速系统波动原因分析与对策研究[J].化学工程与装备.2025(10):99-101.
- [2] 乔新鸣,杨健,何科翔.汽轮机启动过程中转速异常波动预警技术的实现[J].设备监理.2024(02):40-42+46.
- [3] 张春岳.汽轮机转速波动的原因分析与诊断[J].石化技术.2023,30(05):49-51.
- [4] 张小科,王景钢,郭辉.汽轮机调速系统异常引发机组负荷波动的分析及处理[J].电站系统工程.2023,39(02):57-59+67.
- [5] 孙泽.探究工业汽轮机在石化行业中的应用[J].化工管理.2020(26):66-67.

### 作者简介:

李剑雄(1989-),男,福建厦门人,毕业于承德石油高等专科学校,初级职称,从事燃机及汽轮机运行工作。