

Cause Analysis and Treatment Countermeasure of Valve Vibration in DEH System of LZC83 Type Steam Turbine

Yongjun Bai

Jiangsu Huadian Tongzhou Thermal Power Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226300, China

Abstract

This paper analyzes the common issue of control valve oscillation in the DEH system of an LZC83-type steam turbine. By summarizing the characteristics of phenomena such as self-excited oscillation and instability under critical operating conditions, the study provides an in-depth examination of multiple contributing factors, including low oil temperature, improper installation and calibration of the LVDT, and failures of MOOG servo valves. Based on practical experience, comprehensive countermeasures are proposed, covering oil quality management, optimization of installation procedures, and improvement of commissioning protocols. These measures have proven effective in suppressing control valve oscillation and provide a useful reference for troubleshooting similar units.

Keywords

DEH system; control valve oscillation; LVDT; MOOG servo valve; cause analysis; countermeasures

LZC83 型汽轮机 DEH 系统调门晃动原因分析及处理对策

白永军

江苏华电通州热电有限公司, 中国·江苏 南通 226300

摘要

本文针对LZC83型汽轮机DEH系统常见的调门晃动问题进行分析。通过对自激振荡、临界工况失稳等现象的特征总结,深入剖析了油温偏低、LVDT安装与调试不当、MOOG伺服阀故障等多重原因。结合实践,提出了从油质管理、安装工艺优化到调试规程完善的综合处理对策,有效抑制了晃动,为同类型机组故障处理提供了参考。

关键词

DEH系统; 调门晃动; LVDT; MOOG伺服阀; 原因分析; 处理对策

1 引言

LZC83 型联合循环汽轮机采用西门子 T3000DCS 构成的 DEH (数字电液控制) 系统, 对机组安全经济运行起着决定性作用。其执行机构通过 MOOG G761 系列伺服阀精确控制高压调节汽阀 (GV) 开度, 从而调节汽轮机进汽量。然而, 该机组投产后 DEH 调门系统多次出现异常晃动, 严重干扰机组正常运行, 构成安全隐患。本文结合现场实际, 对调门晃动的现象、原因进行系统性分析, 并总结行之有效的处理对策, 以期提高系统运行的可靠性。

2 调门晃动现象及特征

2.1 自激振荡型晃动

自激振荡型晃动为最常见的晃动形式, 表现为调门开度在 $\pm 3\%$ 的较小范围内呈现高频、小幅度的往复振荡。这

种振荡的根源在于典型的机械-液耦合特性。DEH 系统的执行机构本质是一个高增益、快速响应的闭环伺服系统, 当系统内部因油质污染、部件磨损或调试不当等因素, 导致液压环节的相位滞后增大时, 控制器的修正作用便会延迟。一旦延迟超过稳定裕度, 负反馈就会转变为正反馈, 使系统在受到微小扰动后, 从高压油源中持续吸收能量来维持振荡, 形成一个能量输入与系统阻尼耗散相平衡的稳定振荡, 即“极限环振荡”。因此, 这种晃动一旦产生, 便无法依靠自身阻尼消除, 需从根本上排除失稳因素。

2.2 临界工况失稳

临界工况失稳现象多发生在机组启动或低负荷运行阶段, 尤其是在调门开度 $\leq 15\%$ 的特定小开度区间内, 表现为一种典型的工况依赖型失稳。在此区间, 系统会频繁触发低频、大幅度的晃动, 有时甚至导致阀位指令与反馈之间出现较大且持续的偏差。这种失稳的特征在于其“临界性”: 一旦调门开度指令增大并突破约 15% 的阈值, 进入更大的开度范围, 晃动现象便能迅速自动消失, 系统恢复稳定。这表

【作者简介】白永军 (1982-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 助理工程师, 从事热控自动化研究。

明系统的稳定性与阀门开度强相关。其机理通常与小开度下的非线性因素有关，例如 LVDT 反馈在该区间的线性度严重劣化、阀芯与阀套因微小偏心或油膜效应产生的“液压卡紧”力，或是蒸汽流经小开度阀口时产生的非定常流体激振力。这些因素在特定工况下被放大，导致系统闭环增益突变，从而突破稳定边界。

2.3 参数关联性扰动

调门晃动并非孤立的液压执行机构故障，它作为能量调节的最终环节，其不稳定性会迅速传递至整个机组的热力与电气系统，引发一系列连锁反应。调节汽阀的周期性开闭直接导致了进入汽缸的蒸汽流量脉动，进而引起汽轮机的功率输出和转速发生同频波动，其幅值可达 $\pm 0.5\text{rpm}$ 。同时，这种不稳定的蒸汽消耗量对锅炉侧构成了扰动，锅炉给水和燃料调节系统难以快速响应，导致主蒸汽管道内的压力因供需失衡而产生 $\pm 0.3\text{MPa}$ 的振荡。这种多参数的耦合振荡，不仅使整个机组的自动调节品质急剧下降，更严重的是，持续的压力和转速波动会对机组部件产生疲劳应力，并向电网传递功率扰动，直接威胁到机组设备安全和电网的稳定运行。

3 调门晃动原因分析

3.1 油液系统问题

油温偏低可导致油液系统问题，尤其在冬季气温较低时启动，EH 油系统允许启动温度为 21°C ，此时抗燃油黏度偏高，流动性差。这会导致 MOOG 伺服阀内部液压放大级的响应特性变差，控制油压建立迟缓或不稳定，从而引发调门小范围晃动。再就是油质污染，EH 油系统在检修或冲洗过程中若存在死角未清理干净，会导致抗燃油颗粒度超标。这些微小颗粒会堵塞 MOOG 伺服阀前置的精细滤网或直径极小的喷嘴，甚至划伤阀芯与阀套，导致阀芯动作卡涩或内漏增加，破坏伺服阀的正常工作，是导致调门振动的最主要诱因之一。

3.2 外部环境 with 安装问题

现场振动过大可导致调门晃动，原设计将装有 MOOG 阀和接线端子的仪表箱直接安装在主汽门本体上。由于主汽门在运行时存在较大振动，长期作用下导致 MOOG 阀及 LVDT 的电气接线端子出现松动，造成信号传输瞬时中断或接触不良，从而引发指令与反馈信号的突变，导致调门晃动。再就是 LVDT 安装工艺不当，LVDT 作为阀位反馈的核心元件，其安装精度至关重要。检修人员经验不足时，易出现安装不垂直、铁芯传动杆未校正等问题。这会导致 LVDT 铁芯在运动过程中与内部骨架发生摩擦，产生非线性阻力，使反馈信号出现跳变或线性度严重劣化，最终致使控制系统误判而产生振荡，严重时甚至会导致 LVDT 传动杆断裂。

3.3 核心部件故障与调试问题

MOOG 伺服阀自身故障也可导致调门晃动，除油质污

染外，伺服阀内部的力矩马达线圈老化、反馈弹簧杆疲劳或初始零位漂移等，都可能导致其性能下降，无法精确地将电信号转换为线性液压流量输出，进而引发晃动。其次，LVDT 反馈线性度调试疏忽，在某次小修后，机组升速至 600rpm 时转速持续振荡，检修人员按常规对 GV2 的 LVDT 进行了 0%、25%、50%、75%、100% 的线性度检查，结果均显示正常。但问题在于高压调门主要在启机低负荷阶段进行小开度调节，而常规检查忽略了对 15% 以下小开度的针对性测试。后经专项检查，发现 GV2 在该区间的线性度严重异常，更换 LVDT 并重新进行全范围尤其是小开度的精确整定后，问题才得以解决，表明调试流程中存在的盲区。

4 综合处理对策与实施效果

4.1 油液系统稳定性提升与运行条件优化

针对 EH 油温偏低与油质劣化对 DEH 系统稳定性的影响，从运行管理与设备保障两方面同步入手，对油液系统进行系统性优化。在机组启停管理中，明确将油温作为挂闸前的刚性条件，尤其在低环境温度季节，提前投入 EH 油泵进行长时间循环运行，并配合油箱电加热装置，使抗燃油温度稳定提升至 25°C 以上，以有效降低油液黏度，改善伺服阀液压放大级的动态响应特性。在油质控制方面，建立常态化油液取样与颗粒度监测机制，将关键指标纳入运行考核内容，避免仅在故障发生后被动处理。同时，根据运行周期与油液检测结果，合理调整再生装置和精密滤油系统的投运频次，重点关注伺服阀前置滤网与微孔喷嘴的清洁状态。通过强化油液系统全过程管控，有效减少了因油液流动特性异常或污染颗粒侵入所引发的伺服阀迟滞、内漏及控制不稳定问题，为调门系统提供了稳定可靠的液压基础。

4.2 执行机构安装工艺与现场环境治理

针对调门执行机构长期暴露于高振动环境下引发的信号不稳定问题，对现场安装结构与工艺流程进行了系统改进。通过振动测试与运行数据分析，确认原仪表箱直接固定于主汽门本体上的布置方式存在明显缺陷，长期振动易导致 MOOG 伺服阀及 LVDT 接线端子松动，造成反馈信号瞬时失真。为此，将仪表箱整体迁移至主汽门侧方振动相对较小区域，并加装独立减振支架，使其与主汽门振动源有效隔离，从结构上消除了外界振动对信号稳定性的干扰。同时，对 LVDT 的安装工艺进行规范化整治，明确铁芯传动杆同轴度、安装垂直度及行程余量等关键控制指标，避免因机械摩擦或偏载导致反馈信号非线性变化。通过编制并执行标准化安装工艺文件，对检修人员进行针对性培训，使反馈元件的安装质量由经验控制转变为标准控制，为 DEH 系统闭环调节提供了可靠的物理基础。

4.3 调试流程完善与针对性参数校核

在 DEH 调门晃动治理过程中，调试环节的系统性完善是确保问题彻底消除的关键措施之一。以往调试工作多侧重

于阀门全行程开关试验及0%、25%、50%、75%、100%等典型点位的线性度校核,虽能验证调门在大开度工况下的基本性能,但难以覆盖机组启机与低负荷运行阶段频繁出现的小开度调节工况。鉴于高压调门在启动初期和负荷爬升过程中长期工作于0%至15%的小开度区间,若该区间内反馈信号存在非线性、迟滞或局部突变,极易引发闭环增益异常放大,进而诱发调门晃动甚至系统失稳。因此,在调试规程中明确引入“小开度线性度专项校核”要求,对调门0%至25%区间实施精细化分段测试,测试步长细化至5%甚至更小,并对每一测试点的指令值、反馈值及实际机械位置进行比对分析,对发现存在异常趋势的伺服阀,及时采取重新标定或更换措施,防止隐性缺陷在运行中被放大。经调试流程完善后,调门反馈精度与控制稳定性在全工况范围内得到有效保障,机组启停及低负荷运行期间未再出现调门晃动现象,验证了针对性调试策略的工程适用性与实际效果。

5 调门晃动治理的技术启示与运维管理优化

5.1 调门晃动问题的系统性认知与机理层面启示

通过对LZC83型汽轮机DEH调门晃动现象、诱因及治理过程的系统梳理可以看出,调门晃动并非单一设备故障或偶发性异常,而是油液特性、机械结构、信号反馈与控制逻辑多因素耦合下的系统性失稳表现。从机理层面分析,DEH系统本质上属于高增益、快响应的闭环伺服系统,其稳定裕度对外界扰动和内部参数变化极为敏感。一旦油液黏度、反馈线性度或执行机构摩擦特性发生微小变化,均可能在特定工况下引发相位滞后累积,导致负反馈特性削弱甚至反转,形成自激振荡或临界工况失稳。因此,在工程实践中必须突破“就故障论故障”的局部思维,将调门晃动作为系统动态稳定性问题进行整体审视,从控制原理、执行特性与运行工况三方面同步分析,才能准确识别问题根源并制定有效对策。

5.2 运维管理由被动处理向前端预防转变

调门晃动治理实践表明,单纯依靠故障发生后的应急处理难以实现长期稳定运行,必须推动运维管理模式由事后处置向前端预防转变。在油液系统管理方面,应将油温控制、油质监测和过滤状态检查作为日常运行的重要内容,而非仅在异常出现后临时干预,确保伺服系统始终工作在设计工况范围内。在设备维护层面,应强化对MOOG伺服阀、LVDT等关键元件的状态评估,关注其性能变化趋势,而不仅局限于是否“能用”。同时,针对DEH系统对振动与安

装精度高度敏感的特点,在检修策划阶段即应充分考虑现场环境因素,通过结构优化和工艺标准化降低运行不确定性。通过前端管控与过程约束相结合,可显著降低调门晃动类问题的发生概率,提升机组运行的整体可靠性。

5.3 标准化流程建设对同类型机组的推广意义

本次调门晃动治理过程中形成的安装规范、调试流程与运行管理经验,对同类型汽轮机DEH系统具有较强的借鉴价值。尤其是针对小开度工况引入专项线性度校核、细化调试步长、强化动态响应验证等做法,有效弥补了传统调试流程在启机和低负荷阶段覆盖不足的问题。通过将经验固化为标准化作业文件和技术规程,可避免因人员经验差异导致的重复性问题,提高维护工作的可复制性与一致性。同时,在新机组投产或老机组改造过程中,提前引入上述标准要求,有助于在源头阶段消除潜在失稳因素,减少投运后的反复调整。实践表明,只有将个案治理成果转化为制度化、流程化成果,才能真正实现DEH调门系统长期稳定运行目标。

6 结语

综上所述,LZC83型汽轮机DEH调门晃动是油液、机械安装与部件性能等多因素耦合作用的综合性问题。实践证明,问题的解决关键在于:一要严控EH油液品质,它是伺服系统稳定运行的基础;二要确保LVDT等反馈元件的安装与调试精度,它是闭环控制准确的保障;三要加强对MOOG伺服阀等核心部件的精细化维护。建立标准化的维护与调试流程,并不断总结经验加以完善,是预防此类故障、保障机组长周期稳定运行的根本途径。

参考文献

- [1] 张西平,牟小虎,曾强.12 MW汽轮机高调门晃动的技术改进[J].节能,2022,41(12):59-61.
- [2] 徐建梅.浅析#3机DEH控制系统负荷晃动原因及解决方案[J].江苏科技信息,2015,(28):60-62.
- [3] 张磊,王程乘,郭德军,张玖,董永超,张强.汽轮机阀门执行机构智能监测及控制研究[J].汽轮机技术,2025,67(06):421-425+476.
- [4] 翁建朝,季利雄,袁陈亮.汽轮机阀门液压缸结构优化设计研究[A].机电装备技术论文交流及技术人才培养与发展研讨会论文集[C].中国机电装备维修与改造技术协会:2025:534-540.
- [5] 张春秀,卢春田,马义良,关淳,程学亮,张亦宁,郑德宇.基于浸没边界法的汽轮机阀门流场特性研究[J].汽轮机技术,2025,67(01):28-32.