

汽轮机调门 LVDT 控制可靠性优化研究

康昱

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350000;

摘要: 本文围绕 LVDT 控制展开研究, 先进行故障分析, 涵盖故障类型统计与症结识别、横向与纵向对比; 接着设计可靠性优化方案, 包括安装工艺改进与冗余配置方案; 随后实施优化方案并进行效果验证, 涉及安装工艺改进实施效果、冗余配置性能试验及目标达成检查; 最后提出巩固措施与标准化建设。研究旨在提升 LVDT 控制的可靠性与稳定性, 为相关领域提供技术参考。

关键词: LVDT 控制; 故障分析; 优化方案; 效果验证; 标准化

DOI: 10.64216/3080-1508.25.12.045

引言

LVDT (线性可变差动变压器) 作为一种重要的位移传感器, 在众多工业领域有着广泛应用。其控制性能的优劣直接影响系统的测量精度和稳定性。在实际应用中 LVDT 控制可能会受到多种因素的影响, 导致故障发生, 影响系统的正常运行。因此对 LVDT 控制进行故障分析, 设计可靠性优化方案并验证其效果, 具有重要的现实意义。本文将深入探讨 LVDT 控制的相关问题, 以期提高其控制质量。

1 LVDT 控制故障分析

1.1 故障类型统计与症结识别

通过对某电厂近期 LVDT 控制故障的详细统计发现指令反馈偏差大是主要的故障类型, 占比高达 72%。这类故障通常表现为调门开度指令与实际反馈值不一致, 导致机组负荷波动, 甚至引发非计划停机^[1]。进一步分析发现, 指令反馈偏差大的原因主要包括安装工艺不合格和反馈装置质量缺陷。

安装工艺不合格是导致 LVDT 控制故障的重要原因之一。具体表现为 LVDT 反馈杆安装位置偏差、连接松动等, 这些问题导致反馈信号不稳定, 进而引发指令反馈偏差。反馈装置质量缺陷也不容忽视。由于设备安装位置环境温度较高, 若反馈装置质量不合格, 长时间运行后易出现性能下降, 导致反馈显示偏差和波动。

1.2 横向与纵向对比

为了更全面地了解 LVDT 控制故障的原因, 进行了横向与纵向对比分析。横向对比方面, 选取了规模、反馈装置类型相同的几台机组进行对比。结果显示, 采用冗余双支 LVDT 配置的机组缺陷数明显低于单支 LVDT 配置的机组。这表明冗余配置能够有效提高 LVDT 控制的可靠性。纵向对比方面分析了某电厂不同时间段内 LVDT

控制故障的变化趋势。结果显示, 随着设备运行时间的增长, LVDT 控制故障率呈上升趋势。特别是在高温季节, 由于环境温度升高, 反馈装置性能下降更为明显, 导致故障频发。通过对比分析进一步确认了冗余配置和安装工艺改进对于提高 LVDT 控制可靠性的重要性。

2 LVDT 控制可靠性优化方案设计

2.1 安装工艺改进

2.1.1 反馈杆连接方式优化

原 LVDT 反馈杆直接与门杆刚性连接, 易因机务门杆偏转导致反馈杆承受应力而弯曲甚至断裂。优化方案中, 将细反馈杆改为粗杆过渡连接, 并增设两个万向节装置, 使反馈杆与门杆形成柔性连接。通过偏转角度测试, 确保连杆偏转角度始终小于 3°, 消除机务门杆偏转对反馈杆的影响^[2]。改造后, 经 72 小时摇摆工况测试, 门杆偏转角度稳定在 3° 以内, 反馈杆断裂风险显著降低。

2.1.2 安装位置与固定方式调整

针对安装工艺不合格导致的反馈信号波动问题, 重新评估 LVDT 安装位置, 避免高温、振动等恶劣环境对设备的影响。优化反馈杆固定方式, 采用双螺母锁紧结构, 确保连接牢固且不易松动。增加安装工艺检查环节, 在设备投运前进行静态标定与动态测试, 确保反馈信号准确可靠。

2.1.3 巡检与维护机制强化

建立分级巡检制度, 每日对 DEH 画面进行远程巡检, 重点关注指令反馈一致性; 每周四进行现场特巡, 检查连杆弯曲、断裂情况, 并拍摄细节图上传至管理平台。通过提级管控, 实现故障隐患的早期发现与处理, 减少非计划停机风险。

2.2 冗余配置方案

2.2.1 交叉冗余与独立冗余设计

根据机组运行特点,设计两种冗余配置方案:

交叉冗余:一张VCC卡接入两个调门的其中一支反馈,另一支反馈接入另一张卡,形成“双调门-双卡”交叉冗余结构。该方案通过逻辑组态修改,实现两组反馈值在CRT上的同步显示,便于监视比对。

独立冗余:每张VP卡仅接入一个调门的两支反馈,形成“单调门-双卡”独立冗余结构。该方案适用于对可靠性要求更高的场景,确保单支LVDT故障时,另一支可无缝切换。

2.2.2 主备切换性能优化

冗余系统需满足主备切换时间 $\leq 50\text{ms}$ 的要求。通过硬件选型与逻辑优化,确保LVDT或VP卡故障时,系统能快速识别并切换至备用通道。改造后,进行10次性能试验,模拟0%、25%、50%、75%、100%开度下的故障场景,CRT画面报警正常触发,调门动作可靠,未出现振荡或非停。

2.2.3 标准化与推广应用

将优化方案纳入设备维修作业指导书,明确冗余配置标准、安装工艺要求及巡检维护流程。在后续机组大修中,逐步推广至全厂汽轮机调门系统,形成标准化改造模式,为智慧电厂建设提供硬件基础。

3 优化方案实施与效果验证

3.1 安装工艺改进实施步骤与效果

3.1.1 问题识别与原因分析

某电厂热控QC小组通过详细分析某机组2023年2月至5月期间的大小机调门反馈装置故障数据,发现调门指令反馈偏差大是主要症结,占比高达72%。进一步调查显示,安装工艺不合格是导致指令反馈偏差大的重要原因,具体表现为LVDT反馈杆安装不当,导致连杆偏转和反馈杆断裂。

3.1.2 设计改进方案

针对安装工艺问题,QC小组与设备厂家共同设计改进方案。对LVDT变送器的R角连接位置进行单独设计,绘制详细的设计图纸。改变反馈杆与门杆的连接方式,将原有的细反馈杆直接与门杆刚性连接改为粗杆过渡连接,并增加两个万向节装置,以减少机务门杆偏转对反馈杆的影响。

3.1.3 实施改进

按照设计图纸,QC小组对该机组的GV2调门进行了改造。改造过程中,严格控制安装工艺,确保每个连接点都符合设计要求。安装完毕后,进行多次开关阀门测试,使用水平尺测量连杆偏转角度,确保偏转角度始终

小于 3° 。

3.1.4 效果验证

改造完成后, QC小组对GV2调门与未改造的GV1调门进行了对比测试。结果显示,改造后的调门在多次开关过程中,连杆偏转角度稳定在 3° 以内,有效消除了机务门杆偏转导致的反馈杆弯曲和断裂问题。

通过安装工艺改进,该机组大小机调门反馈装置的稳定性显著提升。具体表现为调门指令反馈偏差大的故障次数大幅减少,为后续冗余配置改造奠定了坚实基础。

3.2 冗余配置实施与性能试验

3.2.1 冗余方案设计

QC小组通过与厂家沟通,设计了交叉冗余和独立冗余两套改造方案。针对#1机组实际情况,决定采用交叉冗余方式,即一张VCC卡同时接入两个调门的其中一支反馈,另一支反馈接入另一张卡,形成交叉冗余结构。

3.2.2 系统改造

按照设计方案,对该机组的调门反馈系统进行改造。改造过程中,严格遵循规范要求,确保每张VCC卡都能正确接入调门反馈装置,并修改逻辑组态及画面,将两组反馈值都显示在CRT上,方便监视比对^[3]。

3.2.3 性能试验

改造完成后,进行无扰冗余切换性能试验。试验过程中,分别在0%、25%、50%、75%、100%开度下拔除LVDT接线及VP卡,模拟LVDT或VP卡故障。结果显示,主卡LVDT退出工作时,副卡LVDT能在 $\leq 50\text{ms}$ 内无扰切换,确保调门动作正确可靠。

冗余配置改造后,该机组大小机调门反馈系统的可靠性和稳定性得到显著提升。具体表现为在模拟故障情况下,系统能迅速切换至备用通道,避免调门失控,有效保障了机组的安全运行。

3.3 效果检查与目标达成情况

3.3.1 故障次数统计

QC小组对该机组2024年9月至12月期间的大小机调门相关故障进行了统计。结果显示,改造后故障次数降至0次,远低于改造前的7次/年,达到了活动设定的目标。

3.3.2 经济效益分析

改造后,#1机组在小修时无需更换LVDT反馈装置,节省了更换费用。由于故障次数减少,避免了因装置故障导致的负荷波动乃至非停,有效提高了机组的经济性和安全性。

3.3.3 智能化功能拓展

改造后的硬件基础为后续集成大数据分析、预测性

维护等智能化功能提供了可能，符合智慧电厂建设趋势。

通过安装工艺改进和冗余配置改造，某电厂#1 机组大小机调门反馈装置的故障次数显著降低，从改造前的7次/年降至0次/年，超出了活动设定的将年故障次数控制在1次以内的目标。改造还带来了显著的经济效益和智能化功能拓展空间，为电厂的可持续发展奠定了坚实基础。

4 巩固措施与标准化

4.1 巩固措施制定与实施

4.1.1 强化设备巡检与维护机制

为确保优化成果持续有效，某电厂热控二班 QC 小组制定了详细的设备巡检与维护计划。每日通过 DEH 画面远程巡检，重点监控调门指令与反馈值的一致性，发现异常立即上报并处理。每周四开展现场特巡，检查连杆弯曲、断裂情况，并拍摄细节图上传至管理平台，实现故障隐患的早期发现与闭环管理。建立设备健康档案，记录每次检修、更换及测试数据，为后续分析提供依据。

4.1.2 优化备件管理与库存策略

针对 LVDT 反馈装置等关键备件，制定合理的库存策略。根据历史故障数据及设备寿命周期，预测备件需求量，确保关键备件充足且不过度积压。与供应商建立长期合作关系，确保备件质量可靠、供应及时^[4]。定期对库存备件进行性能测试，避免因备件老化导致再次故障。

4.1.3 提升人员技能与应急响应能力

组织热控专业人员参加专项培训，重点学习 LVDT 反馈装置的工作原理、安装工艺、故障现象及处理方法。通过案例分析、模拟演练等方式，提升人员对突发故障的应急响应能力。建立故障处理知识库，将典型故障案例、解决方案及经验教训整理归档，供后续参考。

4.1.4 实施预防性维护与状态监测

结合设备健康档案及运行数据，制定预防性维护计划。定期对 LVDT 反馈装置进行清洁、紧固及性能测试，确保设备处于良好状态。引入状态监测技术，如振动分析、温度监测等，实时掌握设备运行状态，提前发现潜在故障隐患。

4.2 标准化建设与推广

4.2.1 编制作业指导书与操作规程

根据优化方案实施经验，编制《汽轮机调门 LVDT 反馈装置作业指导书》，明确安装工艺、巡检内容、维护标准及故障处理流程。修订相关操作规程，确保人员操作规范、安全。通过标准化作业，减少人为因素导致

的故障风险。

4.2.2 推广冗余配置与安装工艺改进

将#1 机组的成功改造经验推广至全厂其他机组。针对#3 机组等规模、反馈装置类型相同的机组，实施独立冗余配置改造，即每张 VP 卡仅接入一个调门的两支反馈，形成“单调门-双卡”结构。推广改进后的安装工艺，确保反馈杆连接牢固、偏转角度符合要求。

4.2.3 建立持续改进机制

成立设备可靠性管理小组，定期召开会议分析设备运行数据、故障案例及改进措施效果。针对新出现的故障模式或改进需求，及时调整优化方案并实施^[5]。加强与同行电厂的交流合作，学习借鉴先进经验和技术创新，不断提升设备可靠性水平。

4.2.4 融入智慧电厂建设体系

将 LVDT 反馈装置优化成果融入智慧电厂建设体系。通过集成大数据分析、预测性维护等智能化功能，实现对设备状态的实时监控与预警。探索应用物联网、人工智能等新技术手段，进一步提升设备管理的智能化水平。

通过以上巩固措施与标准化建设，某电厂成功将汽轮机调门 LVDT 反馈装置的故障率控制在极低水平，为机组的长期稳定运行提供了有力保障。也为其他电厂提供了可借鉴的优化方案与实施经验。

5 总结

本文通过对 LVDT 控制的故障分析、优化方案设计、实施与效果验证以及巩固措施与标准化建设等一系列研究，全面探讨了提升 LVDT 控制可靠性的方法。故障分析为优化方案提供了方向，优化方案的实施与验证确保了方案的有效性，而巩固措施与标准化则有助于将研究成果推广应用。研究结果表明，所提出的优化方案能够显著提高 LVDT 控制的可靠性，为 LVDT 在工业领域的稳定应用提供了有力支持，具有一定的工程应用价值。

参考文献

- [1] 陈晶. 300MW 火电厂高调门改造研究 LVDT 防磨纠偏减振 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(11): 34-36.
- [2] 赵秀峰. 汽轮机伺服系统故障智能判断及解决方案 [J]. 应用能源技术, 2023(10): 43-45.
- [3] 徐熙瑾, 张宝. 给水泵汽轮机调门 LVDT 脱落造成的事故分析 [J]. 汽轮机技术, 2006, 48(3): 3.
- [4] 林嵐. 汽轮机 DEH 系统高调门控制故障及其分析 [J]. 科技与企业, 2013(3): 2.
- [5] 席光超. 汽轮机调门波动分析及整改措施 [J]. 电力安全技术, 2022(001): 024.