

关于某680WM机组低负荷运行时4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的原因及处理

李风达

大唐黄岛发电有限责任公司 山东 青岛 266500

摘要：本文针对某680WM机组在低负荷运行时4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的问题，详细分析了机械、流体动力学、电气及控制系统、运行维护等多方面的原因。通过全面检修与优化机械部件、改善蒸汽流场与汽蚀防护、优化电气及控制系统参数、加强运行维护管理等多方面的处理措施，有效降低阀杆振动风险，提高机组运行的安全性与稳定性。本文的研究成果为同类机组类似问题的解决提供了参考和借鉴。

关键词：680WM机组；高压调节汽门；LVDT阀杆；振动；断裂原因；处理措施

引言：680WM机组作为电力生产的重要设备，其稳定运行对于保障电网安全和电力供应具有重要意义。在低负荷运行期间，4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的问题频繁出现，严重影响了机组的运行效率和安全性。因此，深入分析断裂原因并采取相应的处理措施，对于保障机组长期稳定运行至关重要。

1 某680WM机组运行概况及故障现象

1.1 机组运行概况

某680WM机组采用了先进的超临界燃煤发电技术，其汽轮机配备多个高压调节汽门，用于控制蒸汽流量，调节机组负荷。在正常运行时，各高压调节汽门根据机组负荷指令协同工作，确保蒸汽流量与机组发电需求相匹配，维持机组高效稳定运行。在电网负荷低谷时段，机组需切换至低负荷运行模式，此时各高压调节汽门的开度大幅减小，蒸汽流量降低，汽门内部的蒸汽流动状态发生显著变化。

1.2 4号高压调节汽门LVDT阀杆断裂故障现象

在机组低负荷运行期间，运行人员通过监控系统发现4号高压调节汽门的开度反馈信号出现异常波动，同时伴随着异常振动噪声。随后，在短时间内，4号高压调节汽门的开度反馈信号突然消失，汽轮机控制系统检测到该汽门反馈异常，触发相关报警信号。经停机检查发现，4号高压调节汽门LVDT阀杆发生断裂，断裂位置位于阀杆靠近连接端部位，断口呈现明显的疲劳特征，部分区域存在磨损痕迹。与LVDT阀杆相关的连接件、密封件等也出现了不同程度的损坏^[1]。

2 4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的原因分析

2.1 机械类原因

2.1.1 磨损与松动

长期运行后，4号高压调节汽门的阀杆、阀碟等部件因高温、高压蒸汽冲刷及频繁启停而磨损，导致阀杆晃动和振动。同时，连杆、铰链等机械连接件因长期承受交变应力而磨损、松动，引发阀杆受力不均和振动。

2.1.2 热膨胀不同步

机组启动、低负荷运行及负荷变化时，4号高压调节汽门阀体与周围部件热膨胀速率不同步，产生局部应力集中。阀杆因额外拉伸或压缩应力及蒸汽流量不稳定而振动，长期累积可能导致断裂。

2.1.3 阀门结构与安装问题

阀门结构设计不合理，如阀杆的刚度不足，在承受蒸汽作用力和机械传递力时，容易发生弯曲变形，引发振动。在安装过程中，如果阀门对中不良，阀杆与阀门通道的中心线不重合，蒸汽通过阀门时，会对阀杆产生不均匀的作用力，导致阀杆振动。例如，安装时阀门螺栓紧固力矩不均，使阀门一侧受力较大，运行时蒸汽流场发生畸变，对阀杆产生侧向力，引起阀杆振动。同时，LVDT阀杆的安装方式若不符合要求，如反馈杆与线圈不同心，在阀门动作过程中，LVDT阀杆会受到额外的摩擦力和剪切力，加速阀杆的磨损与疲劳，最终导致断裂。

2.2 流体动力学原因

2.2.1 蒸汽流场不稳定

在机组低负荷运行时，4号高压调节汽门开度较小，蒸汽通过汽门的流速大幅增加，汽门内部的蒸汽流场变得复杂且不稳定。蒸汽在收缩、节流过程中，容易产生涡流、紊流等现象，对阀杆产生周期性的脉动作用力。当蒸汽的脉动压力频率与阀杆的固有频率接近或相等时，会引发共振，使阀杆的振动幅度急剧增大。例

如,在低负荷工况下,蒸汽流量减少,但蒸汽压力仍然较高,汽门节流作用增强,蒸汽在阀腔内形成强烈的旋涡,这些旋涡不断冲击阀杆,导致阀杆振动加剧。长期处于这种共振状态下,阀杆材料内部的微观结构逐渐受损,形成疲劳裂纹,随着时间推移,裂纹不断扩展,最终导致阀杆断裂。

2.2.2 汽蚀作用

当蒸汽通过4号高压调节汽门时,由于汽门前后存在较大的压差,在局部区域会出现压力降低的情况。当压力降至蒸汽的饱和压力以下时,蒸汽会发生汽化,形成气泡。这些气泡随着蒸汽流动到高压区域时,又会迅速溃灭,产生强烈的冲击力,这就是汽蚀现象。汽蚀作用会对阀杆表面造成损伤,使阀杆表面材料逐渐脱落,降低阀杆的强度和刚度^[2]。同时,汽蚀产生的冲击力也会加剧阀杆的振动。例如,在汽门喉部等节流部位,汽蚀现象较为严重,阀杆表面会出现麻点、凹坑等汽蚀痕迹,这些缺陷成为应力集中源,在振动作用下,加速了阀杆的疲劳断裂进程。

2.3 电气及控制系统原因

2.3.1 LVDT位移传感器故障

LVDT位移传感器用于精确测量4号高压调节汽门的阀杆位置,并将位置信号反馈给汽轮机控制系统。如果LVDT位移传感器本身出现故障,如线圈磨损、断线,反馈杆松动、断裂等,会导致其输出的阀杆位置信号不准确或异常波动。汽轮机控制系统接收到错误的反馈信号后,会不断调整阀门开度,试图使实际开度与指令开度一致,这将导致阀杆频繁动作,产生振动。例如,LVDT传感器的线圈因长期处于高温、高湿度环境中,绝缘性能下降,发生短路故障,输出信号失真,使控制系统误判阀门开度,不断发出调节指令,造成阀杆频繁动作,加剧振动。

2.3.2 控制系统参数设置不合理

汽轮机调节系统的比例(P)、积分(I)、微分(D)参数设置对阀门的调节性能起着关键作用。在低负荷运行时,如果这些参数设置不合理,会导致系统调节过度或响应滞后,引发阀门振荡。例如,积分时间设置过长,系统对偏差的响应缓慢,当阀门开度与指令开度出现偏差时,控制系统不能及时有效地进行调节,导致偏差不断积累,最终引发阀门振荡。多阀控制机组中,相邻调节汽门的重叠度设置不当,在低负荷工况下阀门切换时,蒸汽力会发生突变,也容易引发4号高压调节汽门的振动。

2.4 运行维护原因

在机组日常运行过程中,4号高压调节汽门及其LVDT阀杆的运行维护至关重要。若日常巡检工作不到位,未能及时发现阀杆及相关部件的磨损、松动、变形等早期故障迹象,如未定期检查阀杆与阀杆套的配合间隙变化、忽略连接件的紧固状态检查等,这些问题将逐渐恶化。同时,若维护工作未按照规定的周期和标准执行,如缺乏必要的润滑、清洁等保养措施,将加速部件磨损,降低阀门运行可靠性,进而增加阀杆振动与断裂的风险。更为关键的是,当机组在低负荷运行时,若4号高压调节汽门出现异常振动或其他异常工况,运行人员未能及时采取有效处理措施,如调整机组负荷、优化蒸汽参数等,而是让机组继续带病运行,这将导致阀杆在持续的异常振动下迅速积累疲劳损伤,最终发生断裂事故。

3 4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的处理措施

3.1 机械部件检修与优化

3.1.1 磨损部件更换与间隙调整

对4号高压调节汽门进行全面解体检查,将磨损严重的阀杆、阀杆套、阀碟、套筒等部件进行更换。选择符合设计要求、质量可靠的备品备件,确保部件的材质、尺寸精度等参数满足运行条件。在更换部件后,精确调整阀杆与阀杆套之间的配合间隙,使其符合设备技术规范。例如,采用高精度的测量工具,如内径千分尺、外径千分尺等,测量阀杆与阀杆套的尺寸,根据测量结果选择合适的阀杆套,保证间隙在规定的范围内,一般控制在0.05-0.1mm之间,以减少阀杆的晃动,降低振动风险。同时,对连杆、铰链、销钉等机械连接件进行检查,磨损超过规定限度的予以更换,并确保连接件安装牢固,配合精度符合要求。

3.1.2 热膨胀补偿与结构优化

为解决阀门与周围部件热膨胀不同步的问题,在阀门与管道、阀壳之间增加有效的热膨胀补偿装置,如膨胀节等。膨胀节能够吸收因温度变化产生的热膨胀位移,减少部件之间的热应力集中。同时,对阀门结构进行优化,增加阀杆的刚度。例如,在设计允许范围内,适当增加阀杆的直径,提高阀杆的抗弯曲能力;对阀门的支撑结构进行改进,增强阀门整体的稳定性。在安装过程中,严格按照安装图纸和工艺要求进行操作,确保阀门对中良好,螺栓紧固力矩均匀,保证阀门安装质量,减少因安装问题导致的阀杆振动^[3]。

3.2 流体动力学优化

3.2.1 蒸汽流场优化

通过对4号高压调节汽门内部流道进行优化设计,

改善蒸汽在低负荷工况下的流动状态。例如,采用CFD(计算流体动力学)模拟技术,对汽门内部蒸汽流场进行数值模拟分析,找出蒸汽流动的薄弱环节和易产生涡流、紊流的区域,针对性地对汽门的型线、喉部尺寸等进行优化改进。优化后的汽门能够使蒸汽更加顺畅地通过,减少蒸汽对阀杆的脉动作用力,降低共振风险。同时,在机组运行过程中,合理调整蒸汽参数,如控制蒸汽压力、温度、流量等参数的稳定性,避免蒸汽参数大幅波动,进一步稳定蒸汽流场,减少对阀杆的不良影响。

3.2.2 汽蚀防护措施

为减轻汽蚀对阀杆的损害,可在4号高压调节汽门的易发生汽蚀部位,如阀座、阀杆表面等,采用抗汽蚀材料进行堆焊或涂层处理。例如,选用司太立合金等抗汽蚀性能优良的材料进行堆焊,提高部件表面的硬度和抗汽蚀能力。同时,优化汽门的运行工况,通过调整机组负荷、控制汽门前后压差等方式,尽量避免汽门在容易产生汽蚀的工况下运行。在蒸汽系统中设置除气装置,去除蒸汽中的不凝结气体,降低蒸汽中的含气量,也有助于减少汽蚀现象的发生。

3.3 电气及控制系统优化

3.3.1 LVDT位移传感器维护与更换

对4号高压调节汽门的LVDT位移传感器进行全面检查,对于出现故障的传感器,如线圈磨损、反馈杆断裂等,及时更换。选择质量可靠、性能稳定的LVDT位移传感器,并确保其安装符合规范要求。在安装过程中,仔细调整反馈杆与线圈的同心度,保证反馈杆在调节阀全行程范围内始终与阀杆保持平行,避免反馈杆与线圈发生摩擦。定期对LVDT位移传感器进行校准和校验,确保其输出的阀杆位置信号准确可靠。

3.3.2 控制系统参数优化

对汽轮机调节系统的比例(P)、积分(I)、微分(D)参数进行重新优化整定。根据机组在不同负荷工况下的运行特性,尤其是低负荷运行时的特点,通过理论计算与实际试验相结合的方法,确定最优的控制参数。例如,在低负荷工况下,适当减小积分时间,提高系统对偏差的响应速度,使控制系统能够更加及时有效地调

节阀门开度,避免调节过度或响应滞后。对多阀控制机组中相邻调节汽门的重叠度进行优化调整,通过试验确定合理重叠度范围,使阀门切换时蒸汽力变化平稳,减少对4号高压调节汽门的冲击,降低振动风险。

3.4 加强运行维护管理

为了加强4号高压调节汽门及LVDT阀杆的运行维护管理,需完善巡检与维护制度,明确巡检内容、周期和标准,确保巡检人员能定期对阀门及相关部件进行全面检查,采用振动测试仪、超声波探伤仪等先进检测手段进行无损检测,及时发现潜在缺陷。严格按照维护计划对阀门进行润滑、清洁等保养工作,如使用专用高温润滑脂润滑转动部件,定期清理阀门内部积垢和杂质,以确保阀门各部件运行顺畅^[4]。另外,还需制定详细的异常工况应急处理预案,明确在阀门出现异常振动、LVDT阀杆反馈异常等情况时的运行人员应对措施,如降低机组负荷、减小蒸汽流量等,以缓解汽流对阀杆的作用力,并在必要时果断停机检查处理。同时,加强对运行人员的培训,提高其异常工况判断和应急处理能力,确保在问题出现时能够及时、准确地进行处理,避免故障扩大。

结束语

综上所述,通过全面的原因分析和处理措施的实施,某680WM机组4号高压调节汽门LVDT阀杆振动导致断裂的问题得到有效解决。这不仅提高了机组的安全性和稳定性,还为同类机组类似问题的解决提供有益的参考。未来,将继续关注机组运行状态,不断优化处理措施,确保机组长期高效稳定运行。

参考文献

- [1]郭永刚,范文凤,樊宝祯.保证轻烃装置低气量生产膨胀机低负荷运行研究[J].中国设备工程,2024,(17):107-109.
- [2]陈东波,方真,金军洁.多措施保障背压机低负荷下安全稳定供热[J].上海节能,2025,(02):233-238
- [3]金鑫,董锋.火电机组调峰低负荷工况对环保装置运行的影响[J].黑龙江环境通报,2024,37(06):33-35.
- [4]张晓明.火电机组低负荷稳燃运行优化策略研究[J].电力工程学报,2022,42(5):123-130.