

某核电厂除氧器压力调节阀阀位波动问题分析及处理

王鑫龙

中广核核电运营有限公司静止机械部

DOI:10.32629/pe.v4i3.21076

[摘要] 某核电厂除氧器压力调节阀(ADG1215/2215VV)自调试阶段起持续存在阀位波动现象,最大波动幅度约为15%。即使主控切换至手动操作模式,该波动问题依然存在,不仅影响系统控制的稳定性,还可能引发设备及管道损伤。为探究阀杆频繁跳动的原因,本研究开展了常温状态下阀杆的振动与应变测试,通过理论分析及现场实践验证,最终确认通过阀芯改型与执行机构弹簧优化等措施可有效解决该问题。

[关键词] 除氧器压力调节阀; 阀位波动; 振动测试; 应变测试; 平衡式阀芯

中图分类号: O32 **文献标识码:** A

Analysis and Treatment of Pressure Regulation Valve Position Fluctuations in the Deaerator of a Nuclear Power Plant

Xinlong Wang

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd.

[Abstract] The pressure regulating valve of a nuclear power plant's deaerator (ADG1215/2215VV) has exhibited persistent valve position fluctuations since the commissioning phase, with a maximum fluctuation range of approximately 15%. This issue persists even when the main control system switches to manual operation mode, compromising system stability and potentially causing damage to equipment and pipelines. To investigate the cause of frequent valve stem oscillations, this study conducted vibration and strain tests on the valve stem under ambient conditions. Through theoretical analysis and field validation, it was conclusively determined that measures such as valve core modification and actuator spring optimization can effectively resolve the problem.

[Key words] Deaerator pressure control valve; Valve position fluctuation; Vibration testing; Strain testing; Balanced valve core

1 引言

1.1 故障描述

某核电厂除氧器压力调节阀包括两个并联的阀门,下文以该核电厂的编码ADG1215/1225VV指代。该核电厂2号机ADG1225VV曾在低功率平台、阀门开度低于30%工况下阀杆频繁出现间歇性上下跳动,阀门持续大幅度动作,波动幅度最大约15%。根据现场排查,该核电厂2号机ADG1215VV、1号机ADG1215VV/1225VV阀门均在进汽后低开度工况下出现过类似情况。

1.2 设备简介

该核电厂1/2ADG1215/2215VV阀体部分为WEIR厂家生产BV990型阀体,阀体口径为DN350。该阀门内部结构采用了三级级联式笼式调节装置,配备了出口扩散器/消音器。执行机构为STI厂家生产SC/V 600/205型单向动作弹簧复位活塞式型气动头。阀门关闭时,气动头气腔压缩空气排出、保护腔内部弹簧对阀杆施加向下作用力。阀门打开时,气腔内充入压缩空气使活塞推动气

动杆向上移动。其主要系统功能为,通过除氧器实际压力与控制压力差作为控制信号,使执行机构带动阀杆上下运动调节蒸汽流量,以达到稳定除氧器内部压力作用。

2 故障分析

通常,调节阀的动作波动多与仪表定位器或反馈装置失效,或机械摩擦力不均等因素有关^[1]。然而,该核电厂1/2ADG1215/1225VV在冷态-未进汽工况下,阀门操作与整定均表现正常,且这些阀门在多轮大修中的解体检查中也未发现异常。基于上述情况,可基本排除因异物卡涩、轴系摩擦力不均、仪表定位器或反馈装置失效导致故障的可能性。

由于正常投用该阀门时,阀门上游压力约88bar,下游压力2.5bar,阀门上下游压差大,阀腔内气流容易出现紊流。为探索阀门波动期间阀杆的应力变化和受力特征,分析力的来源及阀杆上下频繁跳动的原因,该核电厂2号机首次大修下行降功率期间对2ADG1215VV开展了阀杆常温振动及应变测试。根据应变测试

结果可知,分析阀腔处流动蒸汽压力突然增大,使得阀杆受到沿轴向上的推力,从而导致阀杆受力向上跳动。执行机构收到阀门开度减小的指令,使气动头气腔内压力降低,同时阀腔处蒸汽压力突然减小,使得阀杆向下跳动。当实际阀位无法一次调整至指令开度时,即会产生阀位追随指令开度反复调节的情况,即阀位波动现象^[2]。

3 故障处理

3.1 阀芯换型

阀门供应商WEIR厂家针对上述波动问题,认为原先导式阀芯结构(如下图1(a))稳定性不足,在相同工作条件下,采用平衡式阀芯结构(如下图1(b))时,阀瓣下游高速射流区域小且分布更均匀,同时湍流强度更小,阀芯受到流体作用力及瞬时振动范围更小,受上、下游流体湍流扰动影响更小,更不易发生阀位波动现象。因此,厂家建议将原来的先导阀阀芯更换为平衡式阀芯和C型环的结构,并在不改变阀门的Cv调节曲线和系统控制曲线对平衡式阀芯进行了重新设计(如下图1)。

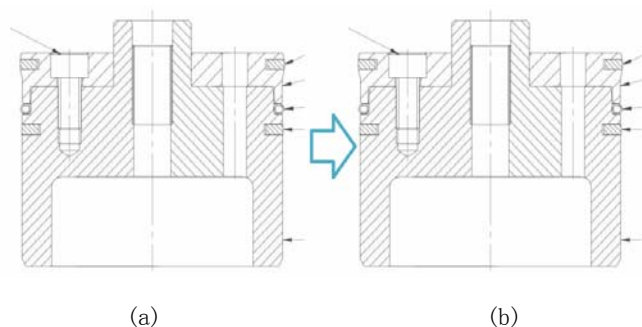


图1 原先导式阀芯与新平衡式阀芯结构对比图

该核电厂1号机小修时选取1ADG1215VV更换平衡式阀芯进行验证,并在小修并网前升功率阶段开展了1ADG1215VV阀杆常温振动及应变测试。为进一步分析ADG1215VV阀门改造后的效果,对阀门开度在30%时的数据进行分析,对应的阀杆测试结果如下表1所示。

表1 1ADG1215VV阀门在30%开度下的振动应变测量结果

阀门改造信息	指令开度	实际开度	波动幅值	应变幅	加速度幅值
原先导式阀芯	30%	19%~55%	25%	49.50 $\mu\epsilon$	22.96g
新平衡式阀芯	30%	24%~38%	8%	30.70 $\mu\epsilon$	15.69g

由表1可知,1ADG1215VV调节阀更换为平衡式阀芯后,阀门开度为30%工况下,更换为平衡式阀芯后阀门开度波动范围和波动幅值明显降低,波动幅值降低68%,阀杆应变幅值减小38%,加速度幅值减小32%。

3.2 弹簧换型

3.2.1 弹簧换型

上文可知,1ADG1215VV调节阀更换为平衡式阀芯后,阀门波动相比以前有改善,但是在20%左右阀位平台依旧存在波动,波

幅最大8%,历史波幅一般20%左右。结合振动应变测试数据得到的阀腔处蒸汽压力的不稳定是阀杆异常跳动的主要原因,进一步分析认为执行机构的单向调节不足以消除阀杆的这种异常跳动。因此,为进一步解决此问题,考虑通过提升弹簧刚度增加气动执行机构的推力来改善阀门的调节波动现象^[3]。原始弹簧尺寸为370mm*54mm*765mm*8.2(外径*内径*高度*圈数),考虑到弹簧的安装空间及气压推动时执行机构力矩输出情况,将新弹簧尺寸定为351mm*55mm*765mm*8.2。根据计算(如下表2),新设计弹簧的弹簧刚度比旧弹簧刚度增加了29.63%。

表2 新旧弹簧刚度计算对比

计算内容	式中符号	公式	单位	原弹簧	新弹簧
弹簧线径	d	设计给定	mm	54	55
弹簧中径	D	设计给定	mm	316	296
弹簧总圈数	n1	设计给定		8.2	8.2
自由高度	H0	设计给定	mm	765	765
弹簧内径	D1	设计给定	mm	262	241
弹簧外径	D2	设计给定	mm	370	351
有效圈数	n	$n=n1-1.5$		6.7	6.7
合金钢剪切模量	G	设计给定	MPa	79000	79000
弹簧刚度	P	$P=G*d^4/(8*n*D^3)$		397.169686	514.840995

3.2.2 弹簧刚度提升后执行器抗波动性能分析

抗波动分析的核心是评估系统在偏离平衡状态后,产生的“恢复力”大小。其分析过程遵循以下三个步骤:

① 建立基准平衡:

在初始开度(如31%),根据力平衡方程: $F_{gas} + F_{media} = F_{spring}$,

其中:

$F_{gas} = P \times S$: 气缸向上推力;

F_{media} : 介质作用于阀杆向上的轴向力(+);

F_{spring} : 弹簧向下作用力(-);

由此可计算初始气腔压力: $P1 = (F_{spring,1} - F_{media}) / S$ 与体积:

$V1 = S \times h1$;

② 计算扰动后压力:

当开度变化(如31%→34%),气腔体积随之改变($V1 \rightarrow V2$);

依据理想气体等温过程方程(波义尔定律):在温度保持不变的条件下,一定质量的理想气体的压强与体积成反比关系: $P1V1 = P2V2$,可以计算出扰动后的新气压 $P2$;

③ 评估恢复能力:

在新开度下,计算系统的净恢复力。

向上波动时,评估净向下恢复力: $F_{UP} = F_{spring,2} - (P2S) - F_{media}$;

向下波动时,评估净向上恢复力: $F_{down} = (P2S) - (F_{spring,2} - F_{media})$;

该净恢复力越大,系统抵抗波动、返回基准开度的能力越强。

根据上述计算思路,结合基础数据:

介质轴向力 $F=10631.8564$ N; 活塞有效面积 $S=278894.8878$ mm²; 气缸总行程 $L=145.13$ mm; 新弹簧刚度 $k_{new}=514.840995$

N/mm；原始弹簧刚度 $k_{orig}=397.169686\text{ N/mm}$ 。经计算可得结果如下表3：

表3 弹簧刚度提升后执行器抗波动性能计算结果

评估指标	力平衡公式	原始弹簧	新设计弹簧	性能变化
向上波动(31%-34%)净向下恢复力(N)	$F_{down}=F_{spring}-F_{gas}-F_{media}$	6,357	8,518	34.00%
向下波动(31-28%)净向上恢复力(N)	$F_{up}=F_{gas}-(F_{spring}-F_{media})$	4,931	6,702	35.90%

计算结果表明，在对称的3%波动幅度下，新弹簧的抗波动性能，即设计在向上波动(31%→34%)时产生的净向下恢复力，以及在向下波动(31%→28%)时产生的净向上恢复力，均比原始弹簧提升了约35%。此结果证实，提高弹簧刚度能增强执行器在双向波动中的自我纠正能力，从而全面提升其抗波动稳定性，优化方案有效且可靠。

4 结束语

针对某核电厂1ADG1215VV历史改进情况及KNS数据梳理情况进行总结如下表4所示。

表4 1ADG1215VV历史改进情况及KNS数据梳理情况

大修轮次	101 上行	199 下行	199 上行	102 上行	103 上行
阀门形式	先导式阀芯+原弹簧		平衡式阀芯+原弹簧		平衡式阀芯+优化弹簧
堆功率(NP)	20%	24%	21.42%	21.14%	20%
波动上下限值	26%~42%	27%~48%	18%~25%	18%~24.6%	29.3%~32.4%
波动最大幅值	16%	21%	7%	6.60%	3.10%
波动震荡周期	6.37s	6.97s	5.38s	6.93s	9.04s

由上可知，该核电厂1号机ADG1215VV经过阀芯换型和弹簧刚度优化改进，阀门型式为平衡式阀芯+优化弹簧。该组合结构形式相较于原始先导式阀芯+原弹簧结构，波动最大幅值由21%降至3.1%，降幅达到85.24%，波动震荡周期由6.37s延长至9.04s，震荡周期延长41.92%。该方案在有效降低波动幅度的同时降低了波动频率，有助于保护现场设备的可靠性。由此也反向验证了弹簧刚度和阀芯类型与调节阀的动作稳定性紧密相关。

后续还可从流场-热工端动特性维度(优化Cv曲线为等百分比流量特性)，以及控制-指令算法优化维度改变阀门工作特性、提升控制精度及稳定性(PD控制→模糊PID控制)^[4]继续深入研究，以进一步对调节阀调节波动的影响因素及其解决方案更深入的理解分析。

[参考文献]

[1]陆培文.调节阀实用技术[M].北京:机械工业出版社,2005.665.

[2]明锡东.调节阀计算、选型与计算[M].成都:成都科学技术出版社,1999.324.

[3]陆佳祺,张继军,顾卫国.弹簧刚度对安全阀喘振的影响研究[J].阀门,2015(3):12-14.

[4]雷跃强.气动调节阀波动原因分析[J].大氮肥,2010,33(1):34-37.

作者简介：

王鑫龙(1991--),男,汉族,吉林省长春市人,工程师,大学本科,研究方向：阀门维修。