

核电站调节系统控制方法优化及改进

安佰涛

广东省中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518124

【摘要】：气动调节阀在核电站有着十分广泛的应用，对调节系统的稳定运行有着重要的影响。本文从水位系统给水调节系统切入，通过研究气动调节阀调节原理，分析定位器故障点，研究优化给水调节系统并针对性提出优化建议，对解决气动调节阀控制异常、保证其调节稳定具有重要意义。

【关键词】：核电站；蒸发器水位；定位器；调节阀

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.066

1 背景概述

1.1 项目简介

气动调节阀的控制优化对阀门调节性能有着十分重要的意义。多基地使用的气动调节阀目前大多智能调节，其中使用以带有磁条反馈的DVC6200定位器最为普遍。目前水位系统给水调节阀使用的是DVC6200 PD型号定位器，水位系统给水调节系统共设计有6个给水调节阀，水位系统031/032/033VL是主给水调节阀，水位系统242/243/244VL是小流量给水调节阀。这6个阀门均为气动调节阀，主要用于调节蒸汽发生器（SG）的水位，任何一个阀门调节波动，均可能导致SG水位异常波动，严重时会导致反应堆停堆。DVC6200 PD型号定位器控制模式分为行程模式和压力模式以及应急压力模式。目前多基地均选择的是行程模式，行程控制模式是根据磁条感应作为负反馈来实现精准阀位控制。

1.2 水位系统给水阀控制原理

蒸汽发生器水位控制通过调节进入该蒸汽发生器的给水流量来完成。每台蒸汽发生器的给水回路有两条并列的管线：主管线上的主给水调节阀用于高负荷运行工况下的水位调节，旁路管线上的旁路调节阀则是应用于低负荷及启、停阶段的运行工况。其中主给水调节阀以SG出口的蒸汽流量和SG入口的给水流量之差（即汽水偏差信号）作为开环通道前馈信号，以SG的实测水位与整定值之差（即水位偏差信号）经过PID控制环节生成闭环通道的控制信号，两个信号再次经过PI控制环节输出主给水调节阀的开度信号。旁路调节阀以SG水位定值和水位测量值的偏差调节量与总蒸汽流量前馈信号之和作为旁路调节阀的开度信号。

水位系统大小阀为典型的气动调节阀，采用的是DVC6200PD版本定位器，该定位器为模块化结构，部件数量少并可快速更换组合：接线盒、壳体（带阀位测量槽和霍尔传感器）、塑封的电子模块（微处理器的印刷电路板部件）、模块基座组件、E/P电气转换器、RELAY、压力传感器和RELAY位置反馈、压力表和外盖。从控制器来的输入控制信号（4-20mADC+HART）经过传输信号电缆接到接线盒。阀杆连

接的阀位反馈磁铁组件在壳体测量槽中滑动由霍尔传感器检测出阀位信号。电子模块的微处理器读取输入控制和阀位反馈信号，经数字运算处理并转换成模拟量的控制驱动信号给E/P电气转换器的电磁线圈。

当输入的控制信号增大时，进入E/P的驱动信号增加，E/P的输出气压也增大，并由气动放大器(RELAY)放大，推动控制阀动作，阀杆位置变化（例如向下移动），阀位反馈磁铁组件随之在壳体测量槽向下滑动，霍尔传感器检测出阀位变化，信号送给电子模块。直到阀位到达与输入控制信号相一致的正确阀位上，偏差趋零，E/P电气转换器上驱动信号随之稳定，RELAY输出气压随之稳定，一个定位控制过程结束。

DVC6200系列定位器内置有压力传感器，用于气源压力、输出压力测量。还有RELAY的位置反馈，均用于阀门定位器状态监测、故障诊断和预测性维护。DVC6200系列定位器可自校准和现场快速校验、自定义特性、自动进行监测和诊断。通过提高正向增益（快速响应阀位变化，减少死区和延迟时间）和小回路反馈增益（以阀位响应速度反馈来调整超调量）来提高对执行机构/控制阀的动态响应以及控制精度。

2 智能定位器运行模式改进方案

多基地阀门使用的智能定位器中，以带有磁条反馈的DVC6200定位器最为普遍。水位系统给水阀均采用的是DVC6200 PD型号定位器。研究发现，该定位器相比其他DVC6200定位器，新增了内部控制模式，分为行程模式和压力模式以及压力应急控制模式。对各模式展开试验研究，分析各模式下对阀门调节性能的影响，结合核电站对给水调节阀的要求给出优化建议。

2.1 定位器内部运行模式分析

DVC6200 PD系列定位器内部参数Travel/Pressure Select中共有3种控制模式：①行程模式②压力模式③传感器故障或阀位偏差时切换模式。本次将第③种作为研究对象，简称压力应急模式。

截至目前，水位系统智能定位器各基地目前均采用行程模式，该行程模式的设置来源是工程改造期间的设置初态，各基

地延用至今。因此对各种运行模式进行深入分析，有利于了解定位器工作原理，根据日常实际运行工况优化工作方式，验证DVC6200定位器行程模式失效后能自动切换压力应急模式的可行性。

对三种模式在现场进行反复试验，分析各个工况下各模式的优缺点，研究该定位器与水位系统给水调节系统的匹配性，以满足核电站对水位调节的运行要求。

DVC6200 定位器行程模式：定位器若选择行程控制模式，则是单纯使用磁条在定位器感应区上下运动位置作为负反馈，若选择行程控制模式，在定位器投用前需先进行行程自动校验，自动校验过程中，定位器自动识别阀门全开、全关、50%磁条的位置来作为精确标定值。校验完成后，阀门通过给定值和磁条反馈值来实现阀位的精准控制，此控制模式较为精准，阀位偏差一般在2%以内且响应速度较快。目前，水位系统阀门采用该控制方式，优点是控制准确，稳定性好。

DVC6200 定位器压力模式：若定位器选择压力控制模式，此时定位器则是单纯控制输出压力来实现对应的阀位，它的控制原理是定位器识别出阀门的低行程对应压力和高行程对应压力（可理解为阀门BS的低值和高值），将此低行程压力和高行程压力进行平均分配，从而达到从0%-100%信号输出其对应的压力，例如，定位器识别到的BS小值为0.2bar,识别到的BS大值为2.8bar,则它将0.2-2.8bar在阀门全行程进行均分，即给定定位器50%指令时定位器将输出1.3bar;给定定位器75%指令时定位器输出2.05bar。若选择压力控制模式需先标定 Pressure Range High 及 Pressure Range High 定值（即低行程压力和高行程压力），这两个值可在定位器完成校验后自动完成标定，也可以人为设置写入数值。缺点是控制不够精准，长时间运行下不能满足核电站对于水位系统给水调节的精细化要求。

DVC6200 定位器压力应急模式：阀门默认工况下处于行程模式，当行程传感器失效（如磁条脱落，定位器内部霍尔传感器失效等）或者阀位偏差大（可自行输入阀位偏差范围）时，定位器将自动切换为压力控制模式，此时定位器无法接受来自磁条的阀位反馈，而是控制定位器的输出压力来控制阀门稳定在指定阀位，给定定位器相应的指令，定位器则输出相应的压力，此类控制模式没有负反馈。定位器的输出压力中的低行程压力和高行程压力范围可在 Travel/Pressure Select 选项中输入，也可根据自动校验后由定位器内部自行来识别标定。通常会将阀门真实BS大小值识别标定定为压力控制的上下限定值，然后将此上下限值进行线性分配，即0%-100%指令定位器输出对应压力为压力下限-压力上限，成线性关系。当传感器及阀位偏差恢复正常时，可选择自动或者手动切换回行程控制模式。此时建议设置为自动模式，在恢复正常时能够恢复到精准的负反馈控制。此种模式兼顾了行程模式和压力模式的优点，在阀门定位器出现故障时，能够及时切换到压力模式，能够避免阀门大

幅波动带来的蒸发器水位波动，对蒸发器水位的稳定控制极具参考意义。

2.2 压力应急模式下的阀门动态响应情况分析

研究压力应急控制模式下的阀位偏差情况：

通过试验和数据对比分析，我们得出结论：压力应急模式在定位器失去反馈情况下能够有效控制阀门，避免阀门快速关闭引发跳堆。但因控制机理为压力控制，短时间内并无负反馈，将导致阀位控制并不精准。我们进一步研究压力应急模式下各平台压力阀位偏差情况，试验数据如下：

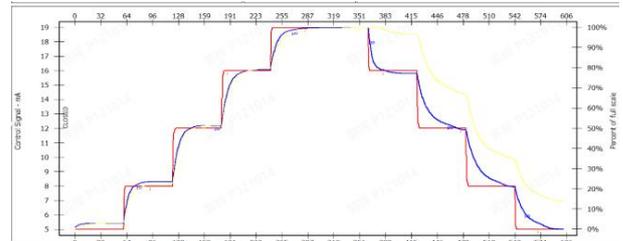


图1

这种优化后的设置能够使阀门避免大幅扰动，阀位控制偏差也在允许范围（5%）内。

研究压力应急控制模式下的阀门动态响应情况

试验过程中模拟指令信号在50%（12MA）下，手动模拟将磁条脱落后又将磁条恢复原位，使用专用工具 Flowscanner 监视膜盒压力及行程在应急故障的动态响应情况。当阀门采用行程模式时，当磁条脱落时阀门将失去反馈导致全关，蒸发器水位失去控制导致跳堆。当改为压力应急控制模式时，如下图所示，反馈磁条脱落后当定位器识别出传感器故障时，立即自动切换至压力控制，阀位会恢复至原位置，进而保持水位稳定，为操作员响应争取了时间。试验人员模拟当磁条又恢复后，定位器能够再次自动切换回行程模式，整个试验过程调节阀控制良好，如图2所示：

备注：蓝色为指令；绿色为膜盒压力；黄色为行程；

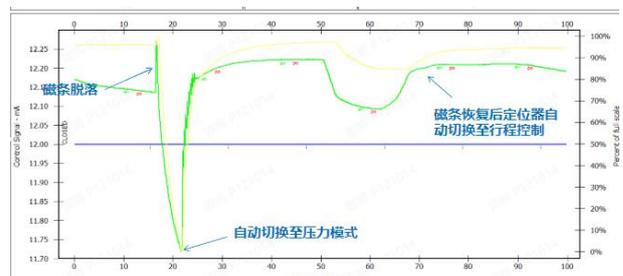


图2

压力应急模式响应情况下模拟磁条脱落后，使用 Flowscanner 监视阀门动作全行程下动态响应情况。动态曲线如下，此时阀门仍能跟随指令全行程动作，满足危急状态下对阀门调节要求，对比机械摩擦力上并无区别，阀门全行程动作

正常。得出结论：应急压力控制模式下的阀门动态响应曲线正常，满足运行对蒸发器水位控制要求。

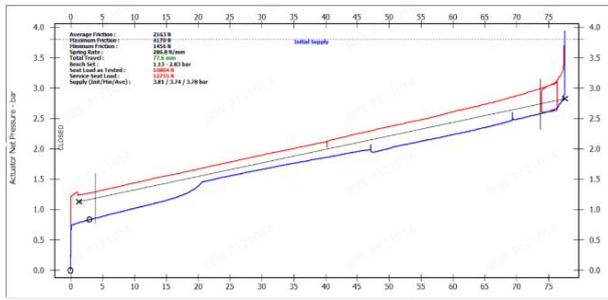


图 3

研究压力应急控制模式下的对阀门开关时间的影响

压力应急模式开关情况如下图所示，切换压力应急模式后阀门能全开全关，开时间：3.7S 关时间：2.7S 与行程控制模式下阀门开关时间无本质差别，阀门开关时间满足运行要求。

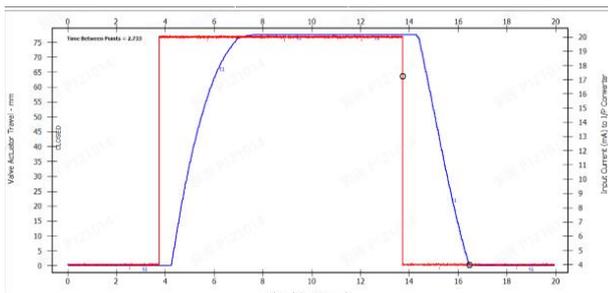


图 4

参考文献:

- [1] 中广核工程有限公司.设备运行维修手册(EOMM):ABY42EOM001X9BZ45SS[Z].2014.
- [2] Fisher 控制设备国际有限公司.DVC6200 数字式阀门控制器[Z].2013.

研究压力应急控制模式下阀门的响应速度

鉴于定位器压力应急模式响应及稳定时间较为缓慢，我们通过试验，发现压力应急控制模式下 Tuning 参数对阀门响应有着显著的影响。故分别选取以下几组压力 Tuning 参数来试验对阀门响应的影响速度。

控制模式及参数	行程控制		压力控制 比例10 回路增益30		压力控制 比例15 回路增益30		压力控制 比例20 回路增益30		压力控制 比例15 回路增益50	
	行程	回程	行程	回程	行程	回程	行程	回程	行程	回程
25%平台的一 半行程时间 (S)	0.9	1	4	14	2	14	1	13	6	15
50%平台的一 半行程时间 (S)	0.8	1	6	12	4	10	3	9	6	11
75%平台的一 半行程时间 (S)	0.6	1.8	7	9	6	8	3	6	6	12

通过调整 Tuning 参数，明确了比例系数和回路增益对阀门响应速度的影响，通过不断的试验结合现场工况最终可确定合适的参数。

3 结论

综上，智能定位器优化为压力应急模式可在阀门出现定位器传感器故障或阀位偏差时仍具有基本的调节性能，可避免水位系统阀门快速关闭导致的蒸发器水位异常导致的跳堆。智能定位器 DVC6200 新的模式设计方案后续可根据现场使用经验在各基地大范围推广，从而保证核电站调节系统的安全稳定运行，对核电站调节系统具有很好的推广意义。