[变频器]

工业锅炉热力除氧器水箱水位变频给水的实现

文/王远鹏　姜琨南　陈洪宽
红塔烟草（集团）有限责任公司昭通卷烟厂

传统的除氧器水箱水位控制，是电动泵全压给水，调节阀通过PID调节器控制的给水方式；完整阐述了用变频器替代调节阀这个改进措施的理论根据、实现的过程、控制精度及经济性的优劣比较。

工业锅炉所使用的软水，必须经过除氧才能使用。在常用的软水除氧方式中，热力除氧是最为常见的一种方式。经过除氧器除氧后的软水，通常储存在下面的除氧水水箱中。除氧箱的水位需要控制，以留出一定的空间让软水中的游离氧析出。

工业锅炉热力除氧水水箱的控制如图1所示，电动机拖动水泵全速运行，软水通过调节阀进入除氧头，蒸汽从除氧头的下部进入并进过分配，充分和水进行热交换后，进入除氧水水箱。集散控制系统根据水位变送器的反馈信号，通过一定的算法给出信号，控制电动调节阀，从而达到控制水位的目的。

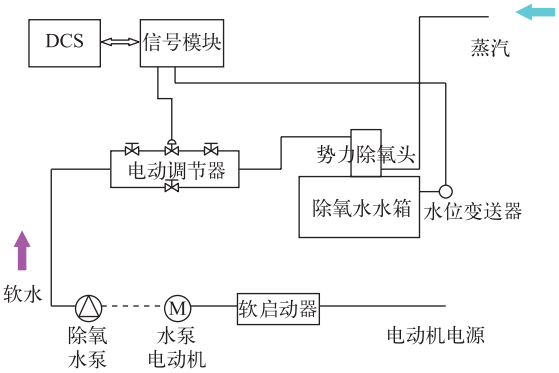

图1　传统的除氧水水箱水位控制流程图

问题的提出

传统电动调节阀控制水位的方式，是非常常用的一种水位控制的手段。但是在设备的使用过程中，存在维护量大、控制精度差、能耗高、配件费用高及经济性较差等问题。仪表修理在长期修理过程中，采取了对调节机构从新选型等办法，但终究效果不好。

问题的分析

1. 维护量大

电动调节阀和机构是通过伺服放大器拖动伺服电动机带动机械的齿轮组和动静配合的螺母套和螺杆工作。机械的润滑保养必须做到位，这是正常现象。但是突出的问题是，调节机构直接安装于管道之上。工业锅炉由于生产负荷和工作作息的缘故，生产用汽并不均匀，调节器工作的工况又处于热交换的场所，蒸汽和水通过除氧器进行热交换时，管道都会产生振动，管道时常因温差导致大量的“热击”振动现象，这种振动必然导致在复杂机械装置的调节器中，大量的紧固件松动等带来的很多故障。

生产中需要经常校准伺服放大器和阀芯的零点、行程和线性特性，同时也包括反馈板的零点行程等。作为调节机构，这些工作也是必须

的。但是，除氧间环境温度较高，极限时达到53 ℃等恶劣工况，导致调节机构电气部分故障也较多。零点和行程不准、线性不稳定等故障的几率明显高于锅炉给水等其他同品牌的调节器。

2. 控制精度差

由于电动调节机构的时间响应受制约，机构存在磨损等，控制精度一般不高。本文中，由于稳定性差的缘故，控制精度低的问题更明显，总体运行水平不佳。

3. 经济性较差

由于电动机恒速运转，没有能耗节约的余地。同时，流量越小时，由于电泵的负荷压力最大，电动机的能耗反而更高。由于故障频发，配件更换率较高，所以经济性不好。加之使用进口件，费用更高。

改进措施与方法

由于设备的环境和空间位置，调节机构要避开振动和高温环境，重新选择安装位置已无实施可能。虽然想过在调节机构两端加装柔性管道（例如不锈钢波纹管），适当减少相应振动，但是，口径到DN100的不锈钢波纹管，就算在低频次的振动上有缓解，但其材质的特性，高频次的振动波还是一样传递，同时环境温度仍无法解决。因而，在解决这个问题时，跳出用机械的方法来解决机械问题的思路，转用电气的思路来看待问题：控制泵的转速来控制泵的给水量，从而达到控制除氧器水罐水位的目的。

根据流体力学中对二次方转矩的单极离心泵类存有的关系为

$$Q \propto n; \quad H \propto n^2 \tag{1}$$

式中，Q为流量；H为泵出口水压；n为泵转速，也为电动机转速。

本文实例中，除氧水水泵扬程50 m，最大除氧压力60 kPa，水泵出口到除氧头的高度为12 m，管道弯头压损预估为10 kPa。

可以推出

$$f_1=\sqrt{155/500}\times 50\approx 27.8\ \text{Hz} \tag{2}$$

由此可以得出：变频器拖动电动机后给水的零流量运行点为27.8 Hz；泵类设备在工艺运行上最需要保证的安全是避免汽蚀效应。设备运行的最低点压力为155 kPa>60 kPa，可以算出，27.8 Hz运行时，即便除氧蒸汽压力意外增大为2倍的情况，也能避免产生汽蚀效应。加上管道原有的机械单向阀门，能有效避免这一问题。

基于上述理由，拆除原拖动电动机的软启动器，用一个30 kW的变频器替换。原有的控制信号不变，作如下转移：

1）原来的执行机构给定（设定值）信号，转移到变频器的给定端。

2）由于原执行机构的反馈信号为4～20 mA信号，所以，把变频器的反馈信号加装一个信号转换器（DC0～10 V转换为4～20 mA）接入原反馈线路。

3）考虑到控制失败，在控制信号线路上加装了一个继电线路，能方便地在变频控制和执行机构之间转换。

4）原执行机构断电后，手动盘车到全开位置。信号调整在变频控制一端。

5）调整好变频器的频率低限，按27.8 Hz设定，避免汽蚀危害的发生，并且提高给水的响应速度。控制线路接线图如图2所示。调整后的控制流程如图3所示。

6）投运后，在DCS中，重新整定PID参数，使控制平稳。

改进后的效果

改进控制方式后，水位控制的精度得到了很好的保证，稳定控制在±15 mm内。由于是热力除氧，除氧水的温度也至为关键，但在运行中，由于变频器的响应能力和给水量的线性优于调节机构，水温控制的情况，较调节机构的给水，波动更小。经过观察，水温控制良好。经过一月连续观察，均正常。控制的幅值更窄。

运行一周后，控制正常。一月后再次确认控制趋势，控制良好。后来的三年验证，不仅水位控制好，而且避免了原来控制不稳定的工况因素，除氧水位的控制维护量为零。有效减轻了仪表工的工作量。同时电动机转速下降，电动机加油等保养周期得以适当拉长，间接减轻了修理工的工作量。

节约了维修成本，提高了设备的效率。原来使用的SPIRAXSARCO电动执行机构，一套（含阀

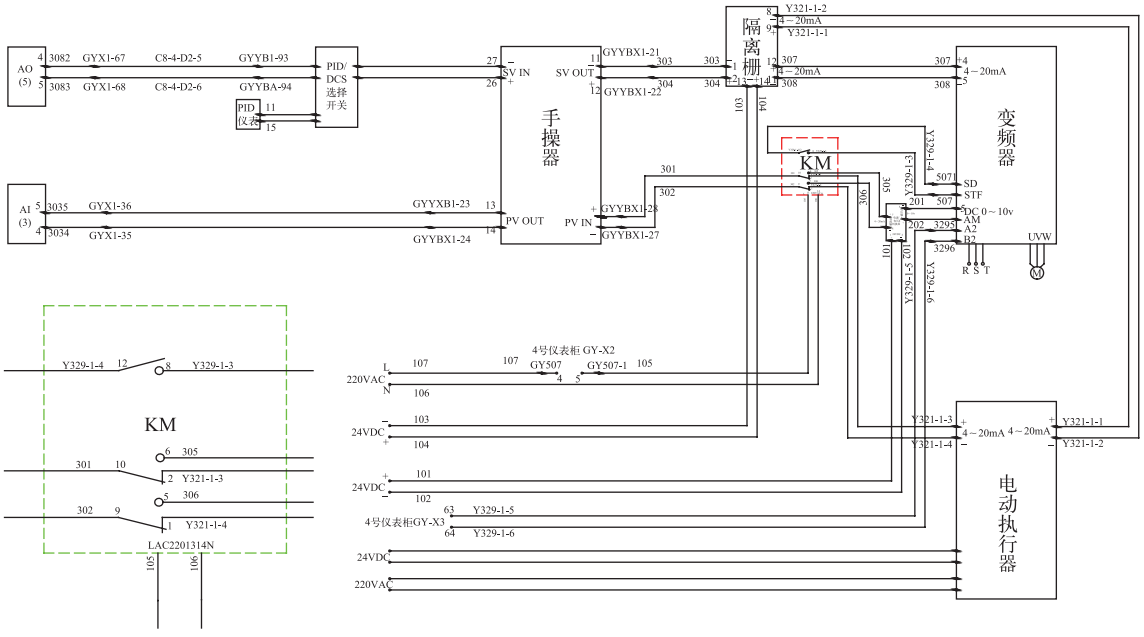

图2　控制接线图

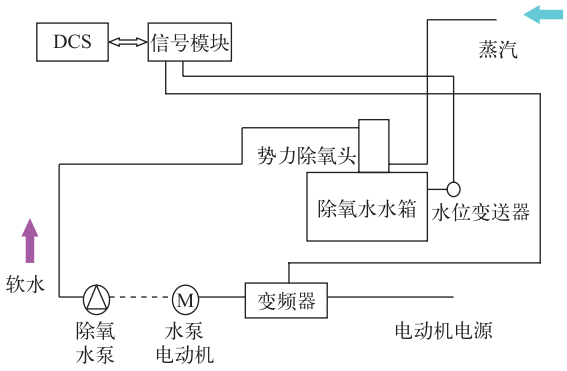

图3　变频器控制的除氧水水箱水位控制流程图

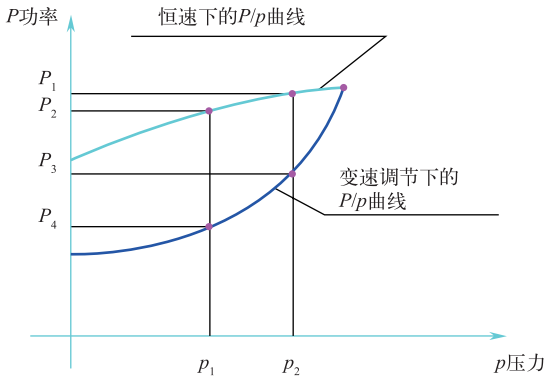

图4　两种调节下的功率比较

门）价格约40 000元，伺服板一块就几千元，一年换一两次，另外的螺杆等机械维护包还不考虑，一套机构用四年基本报废。

现在用变频器，四年下来，未发生任何故障和修理费用，事实上，一个变频器（选用的是三菱）用8～10年，基本没有维护费用。所选30 kV·A的变频器，售价不足10 000元。由于电子设备的价格逐步降低，现在还应更低。

原有的方式是水泵全速运行，水量越小，耗电量越高；现在水量大、耗电大，水量小、耗电小；节能的效果显著。从原理上分析，也可以得到印证，如图4所示。同样是两个压力工作点之间，两种不同的调节方式下，功率变化的幅度是不一样的。

投运前后，用FLUKE-435电能质量分析仪检测，原有方式每天耗电为475.2 kW·h，使用变频器后，每天耗电为367 kW·h。显然，每年节约的电价为（475.2-367）kW·h×12（月）×19.6（工作日）×0.43[元/（kW·h）]=10 942.9元。可见运行6个月就收回了投资；而置换下来的软起动器，在动力部门有大量的泵要拖动，完全可以旧物利用。

结束语

变频调速或变频拖动，在工业应用中不是新鲜的内容。如何在工艺目的和安全要求都达到的情况下，拓展变频和调速的价值和使用，才是一个技术人员对技术充分掌握的体现。EA

（收稿日期：2022-11-08）