[锅炉]

提高锅炉主汽温度调节品质的技术研究

文/高晓春
中油电能热电二公司

主汽温度调节系统对于锅炉的安全经济运行意义重大。从控制理论及逻辑控制完善方面进行探索，并从消除积分饱和、PID完善、温度测量和前馈控制等方面对主汽温度调节系统进行分析，采取相应的措施，使得主汽温度调节系统更完善，保证主汽温度自动调节的稳定性和可靠性，对提高全厂自动化水平、稳定运行和精确控制起到非常积极的作用。

锅炉是火电厂发电的动力源泉，运行效率直接影响火电厂的根本效益。主蒸汽温度指过热器或再热器出口蒸汽温度，是关系机组安全、高效和经济运行的重要参数，直接反映锅炉运行质量。主汽温度调节，就是通过优化过程参数，控制过热器（再热器）出口汽温在额定值或允许范围内，保障机组安全、经济运行。由于主汽调节系统工艺流程复杂、干扰因素较多，加之温度参数自身具有较大响应延迟，所以主汽温度调节历来是电厂过程控制中的一个难点。

锅炉运行对汽温的要求十分严格，一般不允许偏离额定汽温的±5 ℃。主汽温度过高，会使锅炉受热面及蒸汽管道金属材料的蠕变速度加快，降低使用寿命。如果长期超温，则会导致过热器爆管，汽轮机汽缸、汽阀、前几级喷嘴、叶片和高压缸前轴承等部件寿命缩短，甚至损坏；主汽温度过低，会降低机组的循环热效率，同时会使通过汽轮机最后几级的蒸汽湿度增加，引起叶片磨损；汽温变化过大，将导致锅炉和汽轮机金属管材及部件应力下降，还将引起汽轮机汽缸和转子的胀差变化，甚至产生剧烈振动，危及机组的安全，所以主汽温度有效、精准的控制策略对于机组的安全运行意义重大。

主要存在问题

1. 积分饱和

主汽温度调节系统存在积分饱和现象，使副调存在偏差、系统惯性大、延迟长和准确度低等问题。深入分析机组满负荷运行出现积分饱和的原因，通过实验数据优化PID调节参数，消除积分饱和现象，使稳态偏差、响应时间和衰减率符合相关规程标准。

2. PID参数整定

开展主汽流量变化对调节系统影响的研究，确定主要外扰因素，增加前馈调节，优化参数配置，寻求前馈调节最优化分析。

3. 温度测量准确性

主汽温度采用双支金属测温元件，增加测点质量判断，优选准确测点，保证主汽温度、减温水温度测量的可靠性、准确性。

解决方案

1. 消除控制系统积分饱和

热电二公司锅炉主汽温度调节系统存在积分饱和现象。积分饱和就是当减温水调节门已全开，而汽温仍继续升高，或减温水调节门已全关，而汽温仍继续下降的现象。积分饱和会致使副调产生偏

差，进而导致主调节器的输出继续累加。当需要副调节器反向调节时，因主调节器输出过高，造成整个调节系统惯性过大，时间延滞过大，需待积分饱和作用消除后，执行机构才能正常调节，最终造成整个调节系统反复震荡。一般在自动调节系统中，出现积分饱和现象大多数原因属于参数设置不恰当，或者系统存在故障，系统故障主要问题在于调节裕量不足。如果阀门开满或者关严仍旧不满足要求，就需要消除积分饱和功能。对大负荷情况下出现的积分饱和现象进行分析，主要原因：①主调节器逻辑功能不完善，缺少逻辑限制，主调节器输出超调严重，造成副调节器给定值与喷水减温器温度测量值之间偏差过大；②副调节器PID参数设置不合理，造成动态偏差大，自动调节超调严重；③执行机构卡涩，并且部分执行机构存在空行程，存在回差，阀门线性不好，阀门随运行时间的推移改变甚至恶化，造成调节系统线性差，调节区间小，导致减温水流量不能保证主汽温度及时调整。

近几年，对减温水执行机构进行全面的维修，对磨损的执行机构线性推力单元进行更换，对现有主汽温度自动调节系统逻辑进行修改，重新整定阀门特性曲线，消除积分饱和，消除超调现象。

通过完善主汽温度调节逻辑，对主调节器逻辑输出即副调节器给定值进行限制，在执行机构开度接近0%或者100%时，使主调节器输出保持不变，则执行机构输出也保持当前开度。当需要副调节器反向调节时，执行机构能够及时响应，立即发挥反向作用，减少积分饱和的影响。

针对副调节器参数设定不合理，增加部分逻辑。当出现积分饱和时，即在执行机构开度接近0%或者100%时，进行参数限制或选择切换，比例带趋向于无穷大，积分时间趋向于无穷大，微分时间等于0。这时，PID相当于与不运算，PID输出接近于不变化，就完成消除积分饱和的功能。当恢复至正常值时，再切换回PID控制。逻辑图如图1所示。

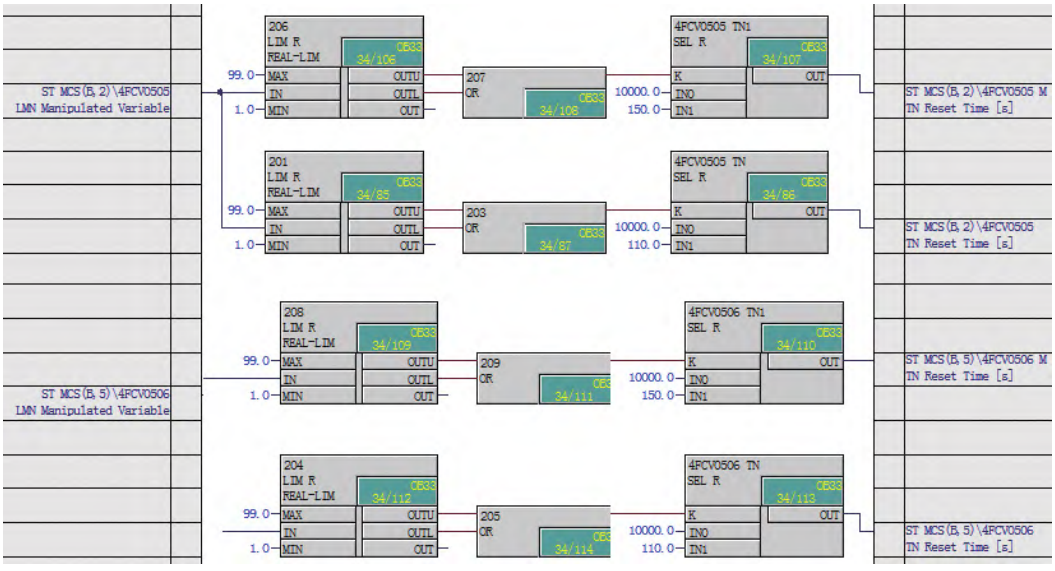

图1　消除控制系统积分饱和逻辑图

2. 主汽调节系统PID参数整定

合适的PID参数是一个调节系统好坏的保证，热电二公司主汽温度调节系统PID参数为－3.2、180、2，调节过程存在动态偏差过大、调节缓慢等问题，动态偏差一般在±5℃左右，导致执行机构频繁动作。负荷波动大时，调解过程衰减率在0.3～0.5之间，调节系统动态偏差超过23%，主汽温度调节系统调节品质差，严重时切至手动状态下进行调节。

经过长时间运行，原主汽调节系统PID参数已经不适用于现工况，通过实验数据，需进行优化PID调节参数，使稳态偏差、响应时间和衰减率符合相关规程标准，并且针对不同阀门状态采取不同的PID参数的控制策略。原比例参数作用过小，积分时间长，调节系统调节缓慢，采用稳定边界法，为了安全性考虑，取比例最小的等幅震荡，按着经验公式$P=0.6K_p$，$I=1.2K_p/T$，$D=0.075K_p*T$，确定

比例系数、积分时间和微分时间。根据经验以及现场试验，对PID参数进行多次修正，最终确定PID参数为主调：6、150、0，副调：－2.5、110、0.2；根据阀门特性实验数据，重新整定程序中的阀门特性曲线参数，使主汽温度调节系统更精确动作、及时响应如图2所示。

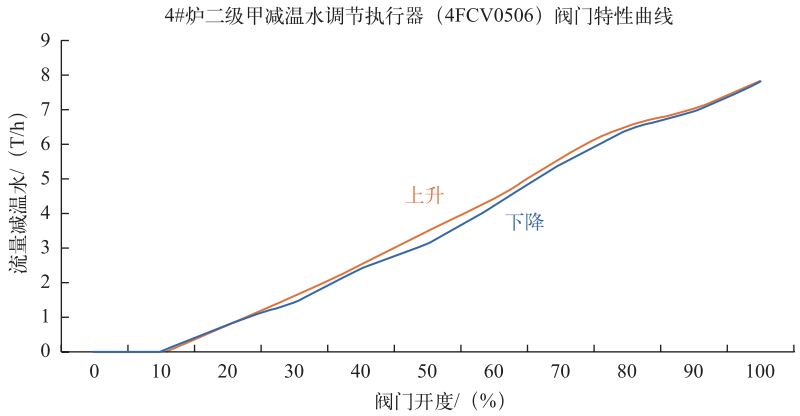

图2　4#炉减温水调节执行器阀门特性图

3. 主汽温度测量元件可靠性研究

主汽温度测量元件可靠性研究，通过检查温度元件、消除线路干扰，保证主汽温度、减温水温度可靠性、准确性。提高主汽温度的可靠性，采取相应控制策略，在主汽温度逻辑关系中新增温度质量判断逻辑，使主汽温度在各种工况下都可控，自动调节程序能做出相应调节。

主汽温度测量采用双支热电偶元件测量，自动调节参数一般取两个测量值中的高值，如突然发生测量元件或电缆断线时，会引起主汽温度调节系统震荡，甚至解列自动调节。为此，在温度测量逻辑中增加信号测量质量判断，对测量信号进行筛选。程序判断一旦出现测量线路或元件出现断线、短路等不正常现象或者故障时，程序自动选取测量值完好的测量线路，以保证自动调节稳定运行。

另外，如测量线路发生虚接时，温度会突增或锐减，在逻辑中通过判断温度曲线斜率的方法来确定上述故障。一旦发生上述现象，此测量回路也退出自动调节系统，在排除故障之前不再参与自动调节，保证自动调节系统的稳定运行逻辑图如图3所示。

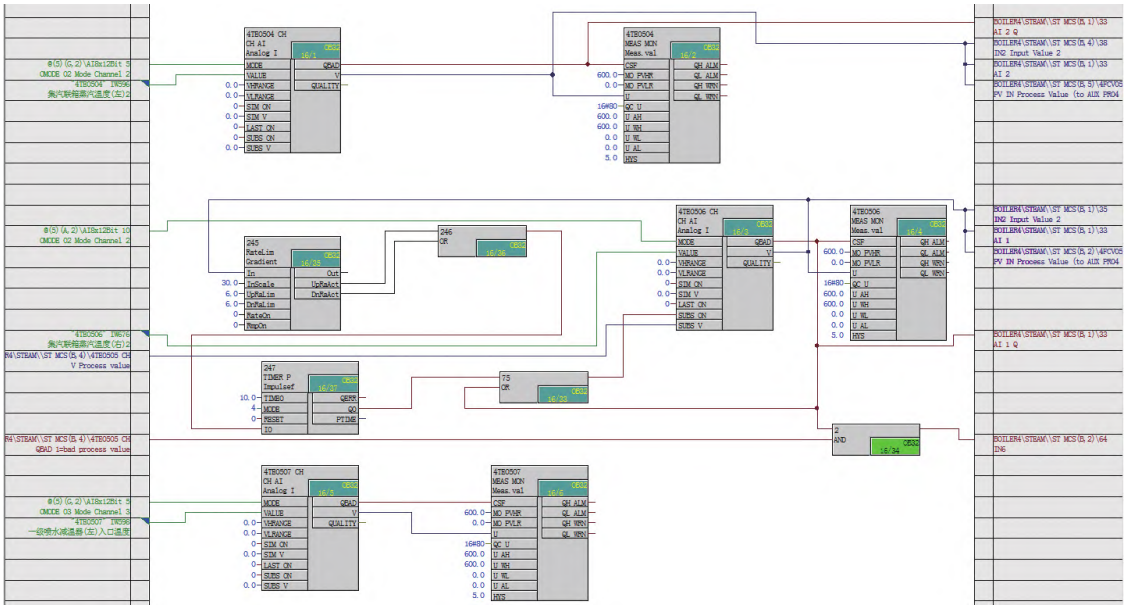

图3　温度质量判断逻辑图

4. 前馈调节及逻辑完善

主汽温度容易受到多种因素的影响，如主汽流量的变化、烟气温度和压力的波动、主汽压力的变化、燃料量的变化、给水温度和流量的波动及减温水流量的变化、吹灰器投入以及磨煤机的切换等都会引起主蒸汽温度的变化。

燃烧干扰是主汽温度控制中最常见、最大，也是最难以消除的干扰。烟气流动干扰不仅与燃烧有关系，还有可能是烟风挡板开度的扰动、锅炉受管道蒸汽吹灰等因素都有关系。蒸汽吸热量的改变应该首先引起流量的变化，用主汽流量的微分代替锅炉能量变化的趋势。锅炉能量传递给过热器的时候，首先要反映到主汽流量上，然后才会逐渐改变汽温，以主汽流量的微分作为主汽温度自动的前馈信号。分析影响主汽温度变化的主要因素，增加主汽流量的前馈，实现调节快速反应，实现带有超前信号微分功能的串级调节系统前馈逻辑图如图4所示。

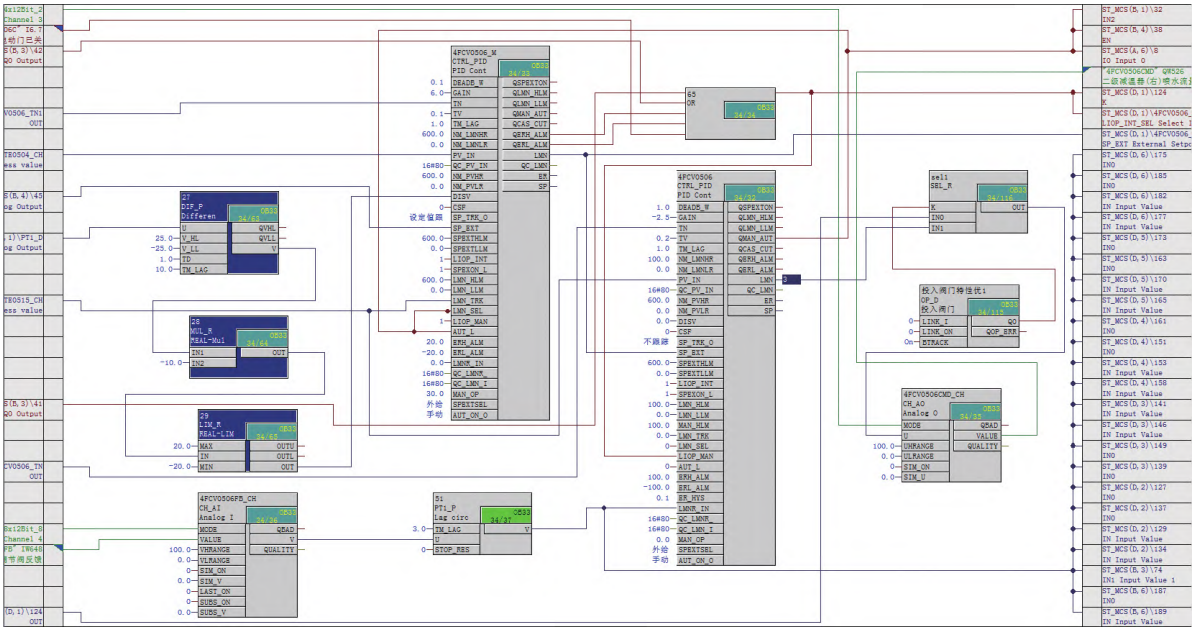

图4　前馈逻辑图

结束语

通过引进先进控制理论，修改控制逻辑，优化PID参数，提高调节对象测量的可靠性，优化主汽温度控制逻辑程序PID后，消除控制系统积分饱和，消除超调量，保证控制系统动作及时、准确，增加前馈控制逻辑，减弱了控制系统的延滞，使自动控制健康水平得到有效提高。完善锅炉主汽温度自动调节程序，保证在多种工况下，使主汽温度自动控制更合理，更迅速，更及时，并能够实现主汽温度精确控制，对锅炉安全稳定运行起到有效的作用。

本文提出的方案提高主汽温度自动投入率，减轻锅炉值班员劳动强度，提升锅炉效率，保证主汽温度自动调节的稳定性和可靠性，对提高全厂自动化水平、稳定运行和精确控制起到非常积极的作用，同时也为智能化电厂实施做了准备工作，为自动控制向更加智能化发展进行相应探索。**EA**

（收稿日期：2024-03-15）

参考文献

[1] 火力发电厂分散控制系统运行检修导则[S].
[2] 防止电力生产重大事故的二十五项重点要求[S].
[3] 巨林仓．电厂热工过程控制系统[M]．西安：西安交通大学出版社，2009.
[4] 金以慧．过程控制[M]．北京：清华大学出版社，2007.