

神福鸿电脱硝自动回路分析与优化

Analysis and Optimization of Denitration Automatic Circuit in Shenhua Fujian Energy Limited Company of Hongshan Town Shishi City Fujian Province

吴吉¹ 王伟哲¹ 毕明波²

1. 神华福能发电有限责任公司, 福建 泉州 362700

2. 内蒙古神华国华呼伦贝尔发电有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021025

WU Ji¹ WANG Wei-zhe¹ BI Ming-bo²

1. Shenhua Fujian Energy Co. Ltd., Quanzhou 362700, China;

2. Neimeng Shenhua Guihua Hulun Buir Power Generation Co. Ltd., Hulun Buir 021025, China

【摘要】结合神华福能发电有限责任公司已经投运的3#、4#超临界机组(2×1050MW),分析了不同工况下脱硝自动回路的调节效果,介绍了脱硝回路的调节原理及特点,并针对脱硝调节长期存在的问题进行了多个同类型机组的咨询与调研,同时结合机组不同工况下相关参数的变化规律进行摸索、尝试的经验,最终确定逻辑优化方案。利用机组停机期间对其回路前馈框架进行组态优化,机组运行期间根据实际调节情况在线修正各项前馈系数,通过长周期不同工况试验选择并确定最佳修正系数。逻辑优化后多次观察机组升降负荷、启停磨、暖磨、燃料量或风量突变等不同工况时,脱硝环保参数均能正常调节。完全可以解决机组投产以来存在的脱硝调节问题,优化效果非常理想。

【Abstract】 Combined with the 3#, 4# supercritical unit (2×1050MW) that has been put into operation of the Shenhua Fujian Energy Power Generation Co. Ltd., the regulating effect of denitration automatic circuit under different working conditions is analyzed, and the adjustment principle and characteristics are introduced. According to the long-standing problems of denitrification regulation, several units of the same type have been consulted and investigated, at the same time, according to the groping and trying experience of the changing rules of the related parameters under different working conditions, the logical optimization scheme is finally determined. The configuration of the loop feed forward frame is optimized during the outage of the unit, and the feedforward coefficients are corrected on-line according to the actual adjustment condition during the operation of the unit, the optimum correction factor is selected and determined through the long cycle tests under different operating conditions. After the logical optimization, we find that the environmental protection parameters of denitrification can be adjusted normally in the lifting load, start and stop grinding, warm grinding, the amount change of fuel or air mutation and other different working conditions. The problem of denitrification adjustment can be solved completely after the commissioning of the unit, and the optimization effect is very satisfactory.

【关键词】超临界机组;脱硝自动;调节原理;前馈

【Keywords】 ultra-supercritical unit; denitration automation; principles of regulation; feedforward

神华福能发电有限责任公司#3、#4机组为1050MW超超临界直流机组,锅炉为东方电气集团东方锅炉股份有限公司生产的超超临界参数、一次中间再热、单炉膛、平衡通风,对冲燃烧方式、固态排渣,露天布置,全钢构架的II型变压直流锅炉。汽轮机组为东汽N1000-26.25/600/600型超超临界1050MW汽轮机,一次中间再热、单轴、四缸四排汽、凝汽式汽轮机,从机头到机尾依次串联,一个单流高压缸、一个双流中压缸及两个双流低压缸。DCS控制设备采用杭州和利时分散控制系统,组态软件为MACS6.52系统,硬件为SM系列。

本工程脱硝工艺系统主要由三层催化层组成,每一催化层分A\B两侧,每侧声波吹灰器8个,三层共计48个。脱硝控制系统主要由3台稀释风机、2台ABB气动调节阀、2台罗斯蒙特流量计等组成。软逻辑组态实现为PID串级调节,主调对象为脱硝出口浓度(A\B侧单独调节),副调对象为供氨流量。本文以神华福能发电有限责任公司百万超超临界

直流炉机组脱硝自动回路为例,分析了其在线调节存在的问题及逻辑优化后的调节品质。

1 脱硝自动现状

神福鸿电脱硝自动回路设计原理为双PID串级调节,主PID主要调节脱硝出口氮氧化物浓度,即控制脱硝效率起到细调作用;副PID主要控制喷氨流量,起到粗调作用可以快速响应调节指令。通过调研多个不同容量机组单位的相关技术人员发现,每个厂的机组工况都各不相同,而且运行人员的操作手法也会有些差别,即使是同类型机组也是如此,毫无规律可循,这就给脱硝调节优化带来很大困难。

从脱硝自动系统设计原理上来看,只要控制好脱硝出口氮氧化物浓度和供氨流量就能控制好脱硝效率,理论上很好实现,但实际情况恰恰相反。就本工程脱硝自动回路调节而言其在变负荷、启停磨、暖磨、燃料量或风量突变等不同工况时,脱硝自动调节响应很慢经常导致氮氧化物浓度超标。通过个人长期对脱硝调节分析研究,其调节的

难度不低于三冲量（除氧器、汽包水位）调节。无论是负荷、氧量、还是风量，燃料量的变化都会相互联系、相互作用、相互影响，每一个不兼顾都会降低回路调节品质，以上只是针对影响调节较大的参数进行分析的，所以从机组实际工况角度来看脱硝自动调节不单单是出口氮氧化物浓度、供氨流量的简化调节，也是多输入多输出的，耦合性比较强的调节，在调节过程中不仅要保持氮氧化物/调门开度稳态下的平衡，也要保持负荷/调门开度、氧量/调门开度、燃料量/调门开度、风量/调门开度稳态下的平衡，工况变化时也要保持其动态下的平衡。如果这种平衡关系被打破，回路的调节品质就会很差，因此脱硝调节品质的好坏不仅取决于调节对象，也和机组的其他参数密切相关。（通过调研多个厂都不相同，规律主要还是需要通过专业人员查询机组不同工况相关参数的历史趋势来确定）

2 脱硝自动回路优化前存在问题

2.1 脱硝回路主调节器

脱硝回路主调节器主要是调节氮氧化物出口浓度，逻辑优化前其PID调节器高低限制原设计区间为 $[-0.3 \sim 0.3]$ ，当氮氧化物分析仪表就地自吹扫时保持数据传输当前值不变，此时氮氧化物浓度采集值与设定值偏差存在时，主调节器会一直调节输出导致阀门控制过调，致使氮氧化物浓度超标或喷氨量过大。期间经过一次优化后逻辑为氮氧化物浓度自保持时高低限制为当前值，即调节回路不进行调节，但是负荷变化、煤量波动、启停磨等的不同仍然会造成脱硝回路调节不及时而导致氮氧化物浓度不可控。

2.2 脱硝回路副调节器

脱硝回路副调节主要调节供氨流量，起到快速粗调作用，原设计控制逻辑未进行任何前馈补偿逻辑进行修正，工况稍微有变动时调节跟踪很慢，环保参数在脱硝自动状态下经常超标。机组投产以来期间经过一次逻辑优化即采取给煤机启动前馈信号增加供氨调门偏置3%，通过在线试验效果不理想，完全实现不了脱硝回路自动调节功能。

综上所述优化前脱硝自动回路优化前存在主要问题是机组在变负荷、启停磨、暖磨、燃料量或风量突变等不同工况时，脱硝自动回路调节性能较差，响应速度较慢致使供氨量调节不及时而导致氮氧化物浓度超标。

3 脱硝自动控制策略优化内容

针对神福鸿电脱硝自动存在问题，调研多个600MW及以上机组脱硝自动回路调节情况，了解到各厂机组运行工况都不相同，对于600MW机组在高负荷段其风量变化不大，因此对氧量影响不大，风量扰动对脱硝自动调节影响很小，负荷变化对氧量影响也是如此，阀门自动给定指令几乎不变。其中咨询两台百万机组不同工况风量变化对其调节影响也不是很大，但是燃料量波动时对调节扰动比较大。通过长期观察我厂不同工况相关参数历史趋势分析得出，上述所调研的机组与本工程机组运行工况截然不同，因此调研结果只能作为本次优化的理论依据、借鉴，具体逻辑、参数优化还是要根据我厂实际工况进行确定。

通过对脱硝自动调节回路设计和逻辑优化，解决原脱

硝回路在线调节过程中存在的问题，提高机组脱硝调节系统的可靠性，改善其调节品质，实现脱硝自动真正意义上自动控制，大幅度降低运行人员操盘工作量，最终实现机组变负荷、启停磨、暖磨、燃料量或风量突变等不同工况时，脱硝自动均能正常投入并调节，以此满足氮氧化物环保参数可控、不超标，为环保参数调节、监视、传输的实时性、准确性提供可靠的技术保证。结合长期对本工程脱硝自动回路的分析和研究确定优化方案具体如下。

3.1 增加负荷前馈修正逻辑

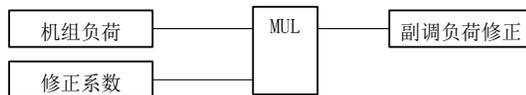


图1 负荷前馈修正逻辑框图

负荷前馈修正逻辑框图如图1所示。通过调取不同负荷段脱硝出口氮氧化物浓度、氧量、脱硝调节阀门指令历史趋势，当脱硝出口氮氧化物浓度在小范围内变化时，负荷越高供氨调门给定指令越大，即正向作用；氧量越小供氨调门给定指令越小，即反向作用。具体参数见表1、表2。

表1 功率、氧量、NOX、调门给定历史数据

功率输出	氧量	A侧脱硝出口氮氧化物浓度	A侧脱硝阀门指令给定
1009MW	2.36%	33.92mg/Nm ³	43.51
907MW	2.86%	33.88mg/Nm ³	37.88
776MW	3.56%	33.94mg/Nm ³	35.88
656MW	3.99%	33.91mg/Nm ³	24.06
604MW	4.51%	33.89mg/Nm ³	22.98
562MW	4.90%	33.87mg/Nm ³	22.21

表2 功率、氧量、NOX、调门给定历史数据

功率输出	氧量	B侧脱硝出口氮氧化物浓度	B侧脱硝阀门指令给定
1009MW	2.36%	35.95mg/Nm ³	35.29
907MW	2.74%	35.69mg/Nm ³	33.54
774MW	3.58%	35.96mg/Nm ³	30.11
660MW	3.90%	35.91mg/Nm ³	22.62
604MW	4.51%	35.90mg/Nm ³	22.14
544MW	4.54%	35.86mg/Nm ³	17.83

由上述表1、表2历史数据计算初步确定A侧脱硝自动调节负荷前馈修正系数为0.04，B侧脱硝自动调节负荷前馈修正系数为0.045。

3.2 增加氧量前馈修正逻辑



图2 氧量前馈修正逻辑框图

氧量前馈修正逻辑框图如图2所示。由于启磨是先加风再加煤；停磨是先减煤再减煤；升负荷是先加风再加煤；降负荷是先减煤再减风。并结合机组实际工况历史趋势确定无论是上述哪种工况都是前期短时间导致氧量增大，由于折算后氮氧化物与氧量成正比关系，当折算后氮氧化物浓度突然增大时势必会对供氨调节产生扰动，为了提前避

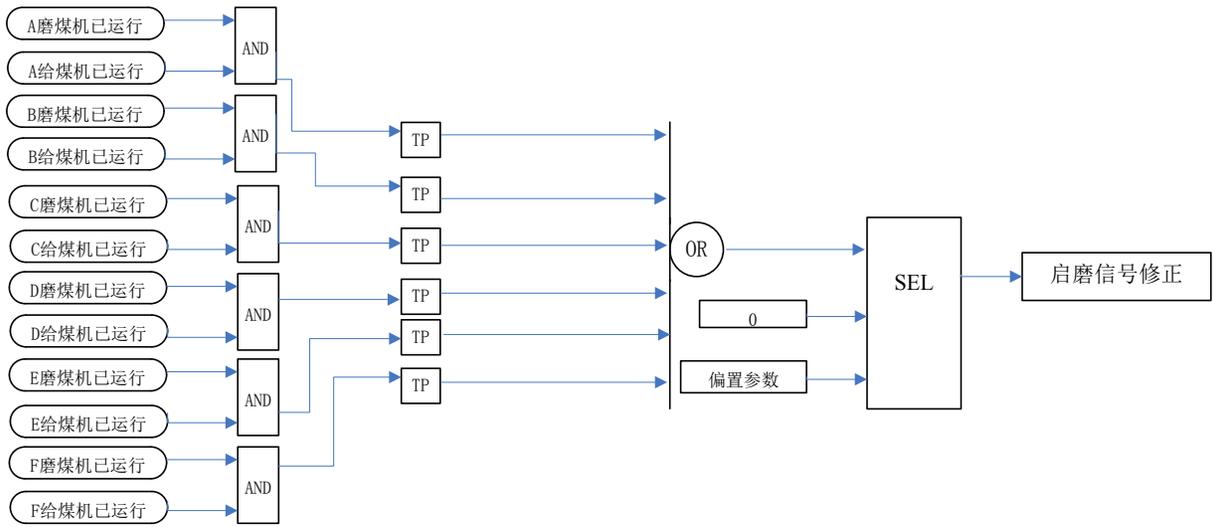


图4 启磨偏置修正逻辑框图

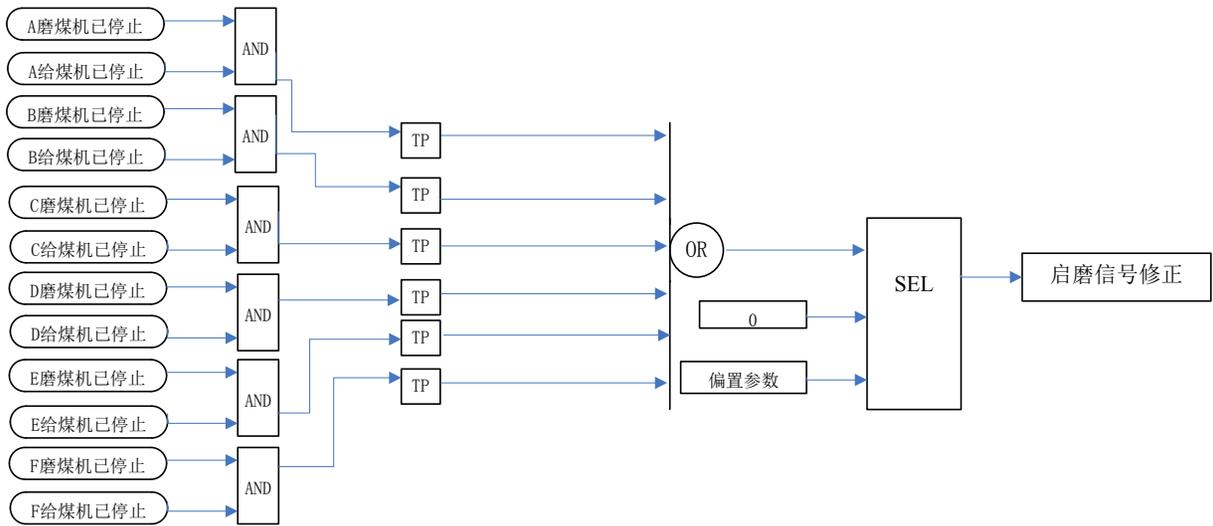


图5 停磨偏置修正逻辑框图

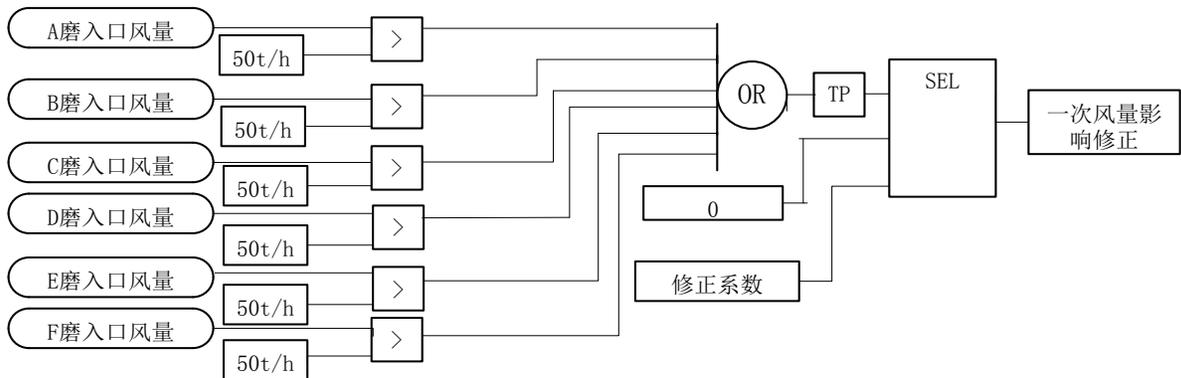


图6 启停磨风量偏置修正逻辑框图

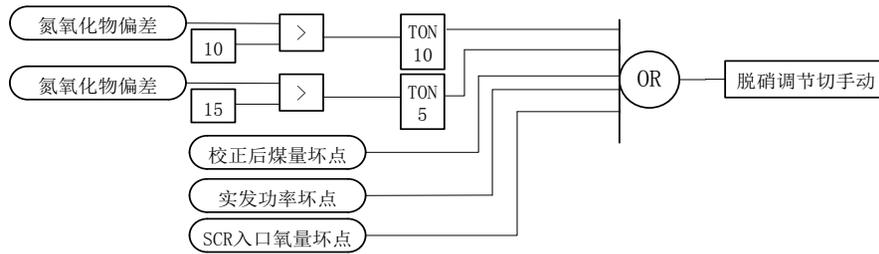


图7 脱硝自动切手动逻辑框图

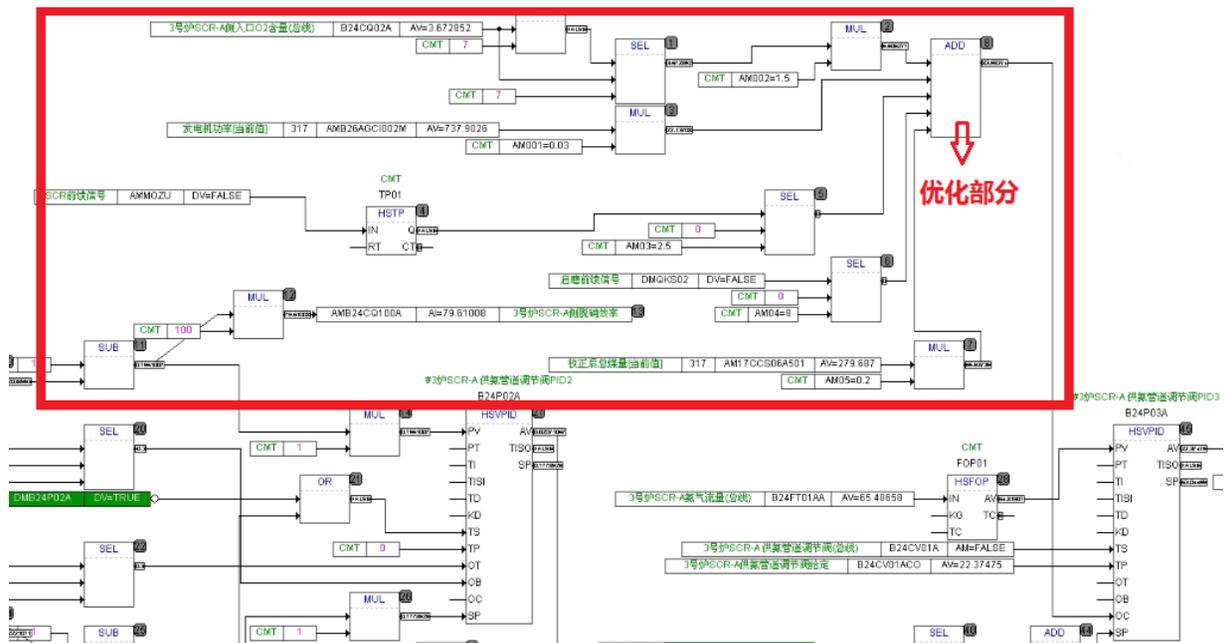


图8 优化后逻辑框图

免扰动发生，故增加氧量修正前馈回路，修正系数根据不同工况历史数据（表1、表2）同时也结合负荷变化前馈修正量计算初步确定本工程A侧脱硝自动回路氧量修正系数为3，B侧脱硝自动回路氧量修正系数为4。

3.3 增加燃料量前馈修正

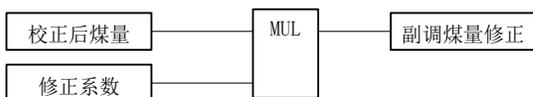


图3 煤量前馈修正逻辑框图

煤量前馈修正逻辑框图如图3所示。燃料量主要是在变负荷燃料加速回路动作时和运行人员倒磨操作时波动比较大。通过多次观察燃料量和脱硝自动回路相关参数历史变化趋势，发现燃料量波动比较大时对脱硝自动调节的影响也是很大，故本次逻辑优化也增加燃料量前馈修正。燃料量修正系数主要是根据多次采集的平均值计算所得，初步确定煤量修正系数0.1。

3.4 增加启磨信号前馈

启磨偏置修正逻辑框图如图4所示。根据运行人员反映

情况和调用历史数据分析启磨对脱硝自动回路调节的扰动也是比较大的，由于各值操作人员手法不一，很难确定偏置值，目前是根据各值人员的操作值求取平均值，初步确定A侧脱硝自动启磨偏置修正值为9，B侧脱硝自动启磨偏置修正值为8。

3.5 增加停磨信号前馈

停磨偏置修正逻辑框图如图5所示，停磨偏置修正值确定方法同上，初步定为A侧脱硝自动停磨偏置修正值为8，B侧脱硝自动停磨偏置修正值为7。

3.6 增加启停磨风量信号前馈

启停磨风量偏置修正逻辑框图如图6所示。启磨先通风，停磨先停煤，因此无论是启磨还是停磨风量与煤量比值都是要先增大，通过调用历史趋势发现启停磨初期对脱硝调节扰动都是正向的。

因此对于解决启停磨操作初期扰动大问题可以根据上述框图条件作为增加偏置信号，偏置修正值计算初步确定为A侧脱硝自动启磨偏置修正值为4，B侧脱硝自动启磨偏置修正值为3.5。

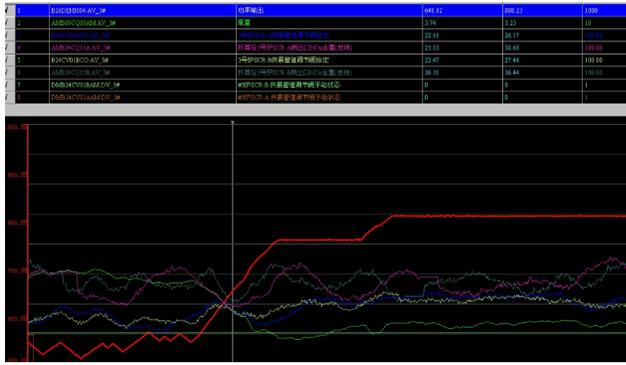


图9 负荷、氧量修正趋势



图10 燃料量、风量扰动趋势



图11 启磨信号偏置修正趋势



图12 停磨信号偏置修正趋势

3.7 增加脱硝自动回路且手动条件

图7为脱硝自动切手动逻辑框图。为避免异常工况或自动回路无法正常调节时，通过手动切换条件退出脱硝自动，提醒操作人员及时手动操作干预，保证环保参数任何工况下可控。

3.8 优化后优点

通过对脱硝自动回路的组态优化，在其副调节器增加多个前馈变量，扰动变量在调节过程中其耦合性比较强，这样可以互相牵制并调节，调节性能可以适应机组不同工况，提高脱硝自动调节品质，同时也大幅度降低了运行人员操作量，防止环保超标。图8为优化后逻辑框图。

4 上述协调控制系统投入试验

上述脱硝自动调节控制逻辑是在基建调试的基础上又进行了多次优化，优化后的脱硝自动调节逻辑在投用后，取得了不错的控制效果。机组运行期间根据实际调节情况在线修正各项前馈系数，通过长周期不同工况试验选择并确定最佳修正系数。逻辑优化后经过多次观察，发现无论是启停磨、还是煤量、负荷变化，优化后的脱硝自动回路均能在短时间内将出口氮氧化物浓度控制在允许范围内，整个过程中不需要运行人员手动频繁操作干预，通过自动调节效果良好，达到了《DL/T 774自动化设备检修规程》中关于脱硝系统出口NO_x值控制系统品质指标(增加脱硝效率指标)(AGC调节范围)要求，即稳态品质指标: ±10mg/Nm³; 脱硝系统出口NO_x值定值改变20 mg/Nm³时，过渡过程衰减率Ψ=0.75~0.95、稳定时间小于15min; 定值扰动

(扰动量±15mg/Nm³)时，过渡时间小于300S，动态偏差应小于±15mg/Nm³。脱硝自动调节达到了较高的水平，保证了机组在不工况下，脱硫净烟气氮氧化物的正常排放。图9-图12是优化后不同工况的历史趋势图，从图可以看出自动调节正常，效果良好。

5 结语

(1) 负荷修正和氧量修正是脱硝前馈中一组耦合修正变量，之所以称为耦合修正是因为氧量随着负荷升高而变小，作用相反，在调节过程中可以相互影响、相互牵制，可适应于负荷变氧量变、负荷变氧量不变、负荷不变氧量变等多种工况的调节，适应力更强，调节性能更好。燃料量修正和启停磨风量信号修正效果也是一样的。(2) 启磨信号偏置和停磨信号偏置修正有效地克服了锅炉系统惯性大的特点，现场运行效果证明了脱硝自动回路调节的同步性。(3) 从长期分析、研究脱硝自动回路调节效果来看，发现影响脱硝调节的参数也是比较多的，回路对工况的要求也是比较苛刻的，这就对脱硝自动回路控制有更高的要求，只有调试及运行阶段，精心整定各项参数，反复优化，才能达到快速、精确的调节效果。从不同工况趋势图可以看出本工程的脱硝自动控制策略完全能够解决机组投产以来存在的脱硝调节问题。对于脱硝自动调节存在上述问题的同类型机组，可以参照本工程脱硝自动控制策略并结合本厂机组实际工况进行优化调试。以上优化方案仅代表个人意见，有不足之处请多指教。

作者简介: 吴吉(1985-), 男, 辽宁营口人, 工程师, 硕士研究生, 从事电厂热工研究。