doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201903009

燃煤机组脱硝自动控制系统优化

张成林

(中国石化集团胜利石油管理局胜利发电厂,山东东营 257000)

摘要:结合 DCS 自动控制策略优化和硬件设备升级改造,分析研究了某电厂脱硝自动控制系统 存在的问题。通过优化控制器理论计算 NO_x 的前馈回路和理论需氨量计算回路,经过在线参 数整定,最终完成了自动控制系统的优化。运行情况表明,脱硝出口 NO_x 控制稳定、数值达标; 新系统的稳定性和调节品质得到了明显改善。

关键词:NOx; PID 控制器;前馈回路;调节品质

中图分类号:TP273 文献标识码:A 文章编号:1671-5322(2019)03-0058-06

我厂1×660 MW 燃煤机组烟气脱硝装置,于 2015 年12 月完成 168 h 试运行,烟气脱硝与主体 工程同步运行。脱硝设计采用"选择性催化还原 技术"(SCR),原 SCR 出口 NO_x 分析仪表因采用 量程为0~500 mg/m³,出口 NO_x 数值难以满足国 家环保新标准的要求;同时,自动控制系统存在其 他软硬件缺陷,且自动投入率较低。为此,拟对该 脱硝自动控制系统进行优化。

由于脱硝系统存在较大的时延特性,自动调 节品质的完善需要设备和控制策略的协调。如果 设计方案不合理、自动仪表和调节机构选型不当、 安装质量不高、被控对象存在缺陷等,则无论如何 优化控制器,都不会得到满意的结果。同样,一个 设计合理、安装正确的控制系统,只有经过正确的 参数整定,结合不同工况的运行情况进行优化,才 能达到预期的调节品质。

1 现状分析

1.1 硬件缺陷的影响分析

本脱硝控制系统即脱硝烟气连续监测系统包括 CEMS 分析系统、IDAS 系统、脉冲及声波吹灰系统、DCS 自动调节系统、催化剂反应系统等子系统,各系统协调工作,实现最终的 NO_x 达标排放。

CEMS 系统是脱硝系统的硬件核心,包括样 气采集系统、气体分析系统、定时反吹系统等子系 统。任何一个子系统发生故障,都对最终 NO_x 数 值是否达标产生重要影响,因此日常工作中工程师都特别重视 CEMS 的定期检查和校验工作。 DCS上位机系统对各子系统都有运行状态和故障的监视,在其控制策略中也增加了故障判断和应对措施。

1.1.1 出口 CEMS 分析仪表的精度低

设计之初,按照当时的环保标准,本系统出口 分析仪表的量程和入口分析仪表的量程相同,都 为0~500 mg/m³。随着"50355"新标准的施行, 出口仪表量程太大的弊端逐渐显现。通过分析历 史数据,发现:出口量程仪表过大,直接造成出口 NO_x 超过 50 mg/m³;同时,分析仪出口测量 NO_x 的数值在 0~500 mg/m³范围内变化,其幅度相对 被放大 10 倍,造成了调节系统的波动。

1.1.2 入口系统氧含量波动大

 $NO_X(mg/m^3@6\%O_2) =$

$$NO_X(mg/m^3) \times \frac{21-6}{21-O_2}$$
 (1)

式中: $NO_x(mg/m^3@6\%O_2)$ 为修正到标准状态下氧含量为6%时干烟气中 NO_x 的排放浓度, $mg/m^3;NO_x(mg/m^3)$ 为分析仪实际测量的烟气中 NO_x 浓度, $mg/m^3;O_2$ 为实测干烟气中氧含量,%。

本系统出口及入口干烟气中 NO_x 的排放浓度分别按照公式(1)修正到标准状态下氧含量为 6%时计算^[1]。通过理论分析发现,当实测干烟 气中氧含量偏高时,NO_x(mg/m³@6% O₂)的数值

作者简介:张成林(1986一),男,山东东营人,工程师,硕士,主要研究方向为控制理论与控制工程。

也偏高;当烟气中氧含量波动时, $NO_x (mg/m^3@6\%O_2)$ 的数值也会随之波动,从而导致控制系统不稳定。

结合 CEMS 分析系统中冷凝子系统的设计原 理和系统的工作过程,我们找到了入口系统氧含 量波动大的原因,即当自动反吹系统运行结束瞬 间,冷凝子系统会反吸大量水分,造成反吹结束后 系统 O₂ 含量明显升高且长时间保持,其具体表现 为入口系统氧含量在每个吹扫周期内都会由正常 值 6% 瞬间增长到满量程 21%,然后再随机恢复 到比正常值偏高的某一范围内。

1.1.3 吹灰系统的改造

原有脱硝系统反应器平面尺寸为 10.15 m× 15.60 m,声波吹灰器布置在 15.60 m 侧,吹灰器 轴向距离为 10.15 m。原每层催化剂布置 4 台声 波吹灰器,声波吹灰器间距为 3.9 m。鉴于吹灰 器距离较长,吹灰效果不佳,本次改造为原初装层 每层增加一台声波吹灰器,原吹灰器相应移位,新 增一层催化剂层以增加声波吹灰装置及管路系 统,共增加 14 台吹灰器。

声波吹灰改造结束后,完善了 DCS 顺控逻辑,增加了自动循环功能,并可以根据工况设定循 环次数和时间。吹灰效果的改善有利于反应器寿 命的延长和催化还原效果的提高,从而间接地提 高了自控系统的调节品质。

1.2 DCS 控制器的影响分析

在自动控制领域,应用最广泛的调节器控制 策略是 PID 控制。PID 控制器是根据系统的误 差,利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制 的,它以结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便 而成为工业控制的主要技术之一。图 1 为经典 PID 控制器传递函数方框图^[2]。



图 1 PID 控制器传递函数方框图 Fig 1 Block diagram of transfer function of PID controller

利用 PID 控制器进行 DCS 自动调节时,我们 将串级 PID 控制器优化为串级摩尔比控制器,其 逻辑控制如图 2 所示。该控制策略是通过模拟量 反馈运算控制提供理论需氨量,以维持反应器出 口 NO_x 浓度,使其在设定范围;利用炉膛烟气入 口 NO_x 数值和炉膛烟气流量的乘积运算得出炉 膛内 NO_x 含量,通过 NH₃/NO_x 摩尔比运算得到 氨气需求量,并以此控制喷氨调门,实现喷氨系统 的自动控制^[3]。

由于脱硝系统具有明显的大时延特性,初次 优化后的串级摩尔比控制器调节效果并不理想, 特别是工况变化较大、中调指令开关投切瞬间,系 统的响应负荷特性差,频繁出现超调现象,环保 NO_x 数值多次超标。

2 系统优化及 PID 整定

2.1 设备改造

针对出口 CEMS 仪表量程太大的情况,决定 采用具有高、低两种量程且能够相互切换的 CEMS 仪表为系统的出口仪表,以满足不同工况 的要求。其大量程模式(0~80 mg/m³)是为了监 视非正常工况下喷氨自动调节品质而设计;低量 程模式(0~40 mg/m³)为本系统常规运行模式, 其精度高、反应灵敏,有效改善了脱硝系统的时滞 特性。

针对入口 CEMS 大量水分反吸的问题,决定 将冷凝子系统改造为双蠕动泵系统,优化部分旁 路设计,增强了系统的密闭性和可靠性。系统投 入后,改造效果明显,解决了 O₂ 含量波动大、系统 吹扫后长期不恢复的难题,降低了维护成本。

2.2 优化控制器

2.2.1 优化 PID 控制器

结合工况变化, 在反复试验的基础上从以下 几个方面进行了创新应用, 即优化 PID 控制器中 理论计算 NO_x 的前馈回路^[4], 增强了控制器的机 组响应特性和可靠性; 增加烟囱 NO_x 测量值的前 馈环节, 提高了理论需氨量计算的准确性和系统 的稳定性; 经过在线参数整定和优化, 最终完成自 动控制系统的优化。优化后的喷氨量串级控制系 统见图 3。优化过程及优化方法如下:

(1) 实现无扰切换

脱硝 NO_x 的控制可以由人工通过操作器操 作喷氨调门等设备进行调节控制,但因工作量很 大,经常会出现脱硝 NO_x 超标的情况。所以一般 将控制系统投入自动模式,即运行人员只需要通 过控制器设定要达到的脱硝出口 NO_x 目标值,控 制系统将自动调节阀门,达到控制目的。

控制系统投入自动模式时,首先应避免扰动,



图 2 串级 PID 控制图





Fig 3 Final cascade PID control chart

即实现"无扰切换"。因此控制系统必须实现跟 踪功能,具体做法是:将操作器的输出设定为自动 控制器的跟踪值,当系统由手动切入自动状态时, 系统会首先跟踪到手动模式下运行人员的设定 值,而不会由于投入自动模式引起系统的扰动。

(2) 优化死区等参数

根据工况及系统运行效果,结合现场执行器的特性,对喷氨调节阀死区、模拟量传送死区、自动反吹保持时间、声波吹灰顺控系统控制时序等 参数进行校核和优化,使得各子系统和现场执行 器协调工作,整体提升调节品质。

(3) 优化理论计算 NO_x 的前馈回路

为了提高系统响应负荷的快速性和理论计算 NO_x含量的准确性,将反应锅炉负荷的重要参数 主蒸汽流量实时值的平均值引入前馈回路;同时, 考虑炉膛内燃烧变化的影响,在子回路中增加了 炉膛 O₂含量实测值的前馈环节,从而更直观可靠 地补偿燃烧的变化量。

(4) 优化理论需氨量计算回路

由于环保部门实时监控各电厂烟囱出口的 NO_x 浓度,因此烟囱出口 NO_x 测量值的可靠性要 求很高。为了提高理论需氨量计算的准确性和系 统的稳定性,增加了脱硫塔净烟气 NO_x 浓度值微 分前馈环节;同时,为平衡各种工况和煤质变化, 增加了调节开关,以便选择最合适的前馈补偿。

2.2.2 PID 整定

控制器参数整定是根据被控对象的特性及工 况选择最佳的参数,如 PID 参数、内部函数 f(x)、 补偿量等。在本系统,完成硬件改造及软件优化 后,各元件特性已经确定,但能否工作在最佳状态 并适应不同工况将主要取决于控制器参数整定的 结果。根据系统特性,对最终的串级摩尔比 PID 控制器采用临界比例带法^[2]进行 PID 参数整定。

(1)将参数 T_i 设为无穷大、 T_d 设为0、比例带 δ 设为较大的数值后,将控制系统投入闭环。

(2)在系统稳定后,逐步减小比例带,观察控制过程,直到出现4~5次等幅振荡,如图4所示, 记下此时的临界比例带δ_κρ和临界振荡周期*T*_{κρ}。

图 4 中, 横坐标为时间 *t*, 单位为 s; 纵坐标为 PID 控制器的输出值 *y*, 单位为%; *T_{KP}*为 PID 控制 器的临界振荡周期, 单位为 s。





(3)根据记录的 δ_{KP} 和 T_{KP} 由表1查得调节器 参数 T_d 。按照以上参数设定控制器并适当增大 比例带,同时根据工况进行系统的阶跃扰动试验, 并观察控制过程,然后再次整定各参数。

表1 临界比例带法参数对照表^[2]

 Table 1
 Contrast Table of Critical Proportional Belt

 PID Parameter Diagram^[2]

整定参数	δ/%	T_i/s	T_d/s
Р	$2\delta_{\scriptscriptstyle K\!P}$		
PI	2. $2\delta_{KP}$	0. $85T_{KP}$	
PID	1.67 δ_{KP}	0.5 T_{KP}	0.13 T_{KP}

注: δ 为比例度,%; T_i 为积分时间,s; T_d 为微 分时间,s。

3 优化效果检查

闭环控制系统,特别是具有时延特性的串级 控制系统,调试过程比较缓慢,必须根据工况的变 化反复整定参数,并重视各系统之间的协调性;不 能过分强调控制器的动态控制作用,而忽视系统 与系统之间、系统内部各环节之间的静态配合。

在综合经验法和比例带法的基础上,经粗调 和精调的完美配合,完成了本系统控制器参数的 整定,并投入运行。图 5、图 6 分别为系统优化 前、后脱硝反应器出口 NO_x 的浓度曲线图。由图 5、图 6 可以明显看出,优化后的环保排放 NO_x 数 值能够稳定达标,系统调节稳定性好,且能更快地 响应机组负荷,调节品质明显改善。





Fig 5 NO_x concentration curve of denitrification outlet before optimization





Fig 6 NO_x concentration curve of denitrification outlet after optimization

4 总结

的一个元件,在优化控制器的同时,优化元件特性、改造硬件设备,共同提高系统的调节品质。

将各硬件子系统看作是脱硝系统控制器内部

参考文献:

- [1] 武宝会, 崔利. 火电厂 SCR 烟气脱硝控制方式及其优化[J]. 热力发电, 2013, 42(10): 116-119.
- [2] 何育生. 机组自动控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 党阿娟. 变参数串级控制在脱硝自动中的应用[J]. 山东工业技术,2018(4):184.
- [4] 许红彬. 燃煤机组脱硝自动调节控制分析[J]. 山东工业技术,2017(2):56-57.

Optimization of Automatic Control System for Denitration of Coal-fired Units

ZHANG Chenglin

(Shengli Power Plant of Shengli Petroleum Administration Bureau, Sinopec Power Plant, Dongying Sandong 257000, China)

Abstract: Combined with DCS automatic control strategy optimization and hardware equipment upgrade and transformation, the problems of denitration automatic control system in a power plant are analyzed and studied. By optimizing the controller theory to calculate the feed-forward loop of NO_x and the theoretical ammonia demand calculation loop, after the online parameter tuning, the optimization of the automatic control system is finally completed. The operation shows that the NO_x control of the denitration outlet is stable and the value is up to standard. The stability and adjustment quality of the new system have been significantly improved.

Keywords: NO_{*X*}; PID controller; feed-forward loop; adjustment quality

(责任编辑:李华云)

(上接第45页)

- [9] 何孟林,李光兵. 基于数值模拟的花键轴冷挤压参数优化[J]. 时代汽车,2017(8):103-104.
- [10] 吴淑芳,王培安,郭欢欢,等. 基于正交试验的梭心冷挤压成形工艺研究及模具优化设计[J]. 西华大学学报(自然 科学版),2018,37(1):92-101.
- [11] 王培安,吴淑芳,郭欢欢,等. 基于正交试验的轴承端盖的挤压特性分析及工艺参数研究[J]. 北方工业大学学报, 2018,30(5):77-82.
- [12] 王培安,郭欢欢,吴淑芳,等. 定径带长度对花键成形过程中损伤断裂的研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2018,36(4):456-461.

Numerical Simulation of Die Entrance Half-angle Optimization in Spline Cold Extrusion Process

GE De¹, WANG Peian², GUO Huanhuan³

(1. School of Mechanical and Electrical Technology, Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi Jiangsu 214153, China; \

2. School of Mechanical Engineering, Shangqiu Institute of Technology, Shangqiu Henan 476000, China;

3. Mechanical and Numerical Control Institute, Lankao Polytechnic College, Lankao Henan 475300, China

Abstract: Taking the spline extrusion forming process as the research object, the cold extrusion forming process of spline was simulated by DEFORM-3D software. The metal flow, deformation degree, forming load and die wear were taken as the measurement indexes in the spline forming process, and the different die entrance half angles of 15 degree, 20 degree, 22.5 degree, 25 degree and 30 degree were set respectively to simulate and analyze the influence on the spline cold extrusion forming process. The simulation results show that the overall forming quality of spline is the best when the half-angle of the die entrance is 20 degrees. Keywords: spline cold extrusion; structural parameters optimization; die entrance half angle; DEFORM-3D