

基于炉膛温度场原理的脱硝控制优化

方久文

脱硝控制面临的难点

“十二五”期间，根据产业规划，我国采用的技术路线是：大力普及低NO_x燃烧器技术，积极开发和示范空气分段供给燃烧及时和超细煤粉再燃技术，推进各种烟气脱硝技术(SCR, SNCR, SNCR/SCR)国产化。预计到2020年，中国将安装SCR脱硝装置约有1.5亿kW，因此，消化、吸收、研究并创新SCR脱硝技术，在我国有重要的现实意义。

在保证脱硝效率的同时，如何应对机组大负荷波动，如何优化SCR脱硝系统性能，精确而经济地控制喷氨量、降低氨逃逸是脱硝系统运行面临的一个难点。

影响SCR脱硝效率的因素

微观因素

在既定反应条件下，脱硝反应速率与催化剂微孔的面积和烟气中反应物浓度成正比，与表面化学反应阻力、外传质阻力和内传质阻力成反比。因此增加微孔横截面积和反应物浓度，减少反应中各类阻力有助于脱硝反应的进行，提高脱硝效率。

可以通过提高氨气浓度和增加催化剂微孔内表面积的方法减少化学反应阻力；通过改变烟气流动状态和提高烟气温度的方法，减少层流膜的厚度，有利于减少外传阻力；

通过减少催化剂外表面与微孔内表面积之间的平均距离，增大催化剂微孔内表面积和微孔平均截面积，能够减少内传阻力，有效提高脱硝反应速率。

影响SCR脱硝效率的因素

宏观因素

烟气温度的影响

当催化剂在烟气温度280°C-400°C之间时，烟气温度越高，脱硝效率越大，但超过400°C后，脱硝效率随着温度升高开始下降。因此为了降低烟温对脱硝效率的影响，应尽量保持锅炉工况稳定或采取烟气旁路来调整脱硝入口烟温。

氨氮比的影响

氨氮比=1.0时能达到95%以上的NO脱除率，并能使NH₃的逃逸浓度维持在 5×10^{-6} 或更小。实际生产中通常是多于理论量的氨被喷射进入系统，造成反应器后烟气下游氨逃逸超标，氨逃逸是影响SCR系统安全稳定运行的另一个重要参数，燃煤机组一般将NH₃的排放控制在 2×10^{-6} 以下，以减少对后续装置的堵塞。

合理控制喷氨量

喷氨量与烟气中的NO_x含量相对应后，才能保证NO_x反应过程中脱硝效率、氨气逃逸率和催化剂寿命。在锅炉负荷变化过程中，若氨气流量与NO_x浓度对应，可以有效地避免由于过度喷氨造成的不良后果。

脱硝系统运行现状问题

目前国内的脱硝控制策略基本沿用厂家的原始设计方案，随着SCR脱硝装置的迅速普及，对于NO_x分布不均、煤种多变、机组负荷受AGC频繁调度、测量仪表存在失真等复杂影响环境，很难获得满意的控制品质。

- 1) 单一的NO_x测量方式，测得的NO_x浓度只能代表局部NO_x浓度，导致喷氨量增加，局部氨逃逸增大。
- 2) 过量喷氨的方式保证NO_x不超标，造成脱硝成本上升、氨逃逸增大，空预器腐蚀等一系列问题。
- 3) 脱硝被控过程的这种大滞后、非线性、时变性及NO_x测量会失真等特点，传统的基于常规PID控制系统的脱硝控制系统往往难于取得满意的控制品质，导致NO_x、脱硝效率波动大，氨气的使用量偏大。



如图SCR出口NO_x到烟囱入口的延迟时间将近4min（如图所示）。因此要控制烟囱入口的NO_x，采用传统的方法将变得十分困难。

脱硝系统运行现状分析

❖ SCR测量迟滞性大

受SCR采集、测量设备的特性影响，SCR进、出口及烟囱出口的NO_x浓度存在较大的迟滞性，导致喷氨量增加、局部氨逃逸过大的问题。不但造成脱硝系统运行经济性下降，还可能导致氨逃逸超标空预器堵灰从而影响机组的安全运行。

❖ 早期固定摩尔比控制方式是简单的开环控制

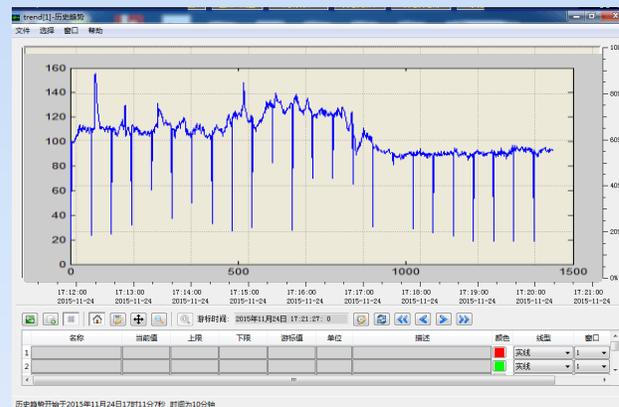
设定值为氨氮摩尔比或者脱硝效率。这种控制方式近似于开环控制，脱硝系统的NH₃需求量仅根据静态物理特性计算得出，在实际运行过程中很难稳定控制SCR出口NO_x。

❖ 固定SCR出口NO_x值控制方式与环保考核目标不一致

设定值为SCR出口NO_x浓度，并根据其与实际出口NO_x浓度的偏差来动态修正氨氮摩尔比。该方式下NO_x控制目标与环保考核点不一致，考核点位于烟囱入口，无论在静态和动态特性上都与SCR出口测点有很大不同。

❖ 带预测模型前馈的控制方式

增加预测模型前馈，根据SCR脱硝机理，以烟道入口处NO_x浓度、给煤量、烟气流量（由烟气流速计算得到）作为控制器前馈，提高控制响应时间。但此种计算方法无法反映出煤粉在炉膛里的燃烧状况，因此适应性较差。



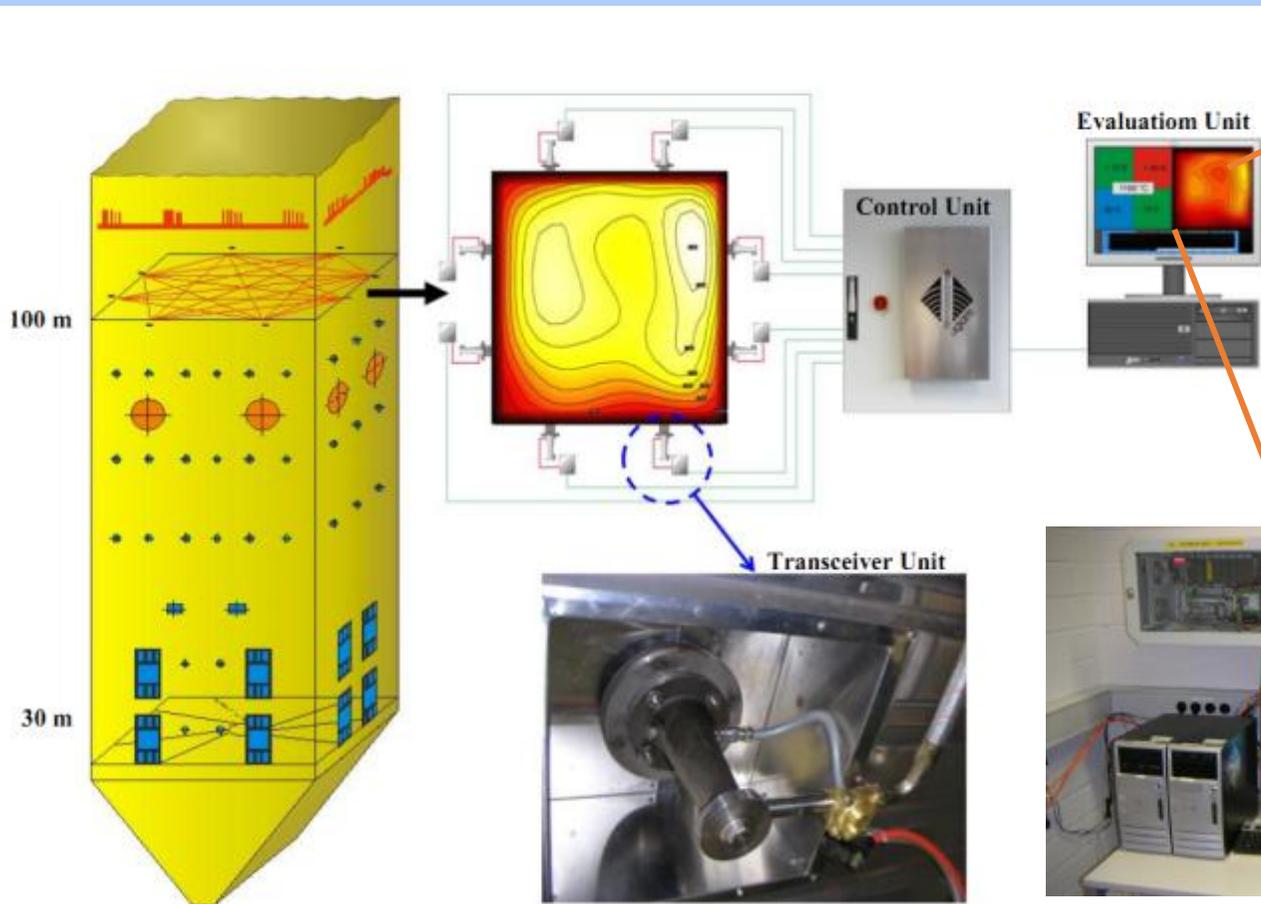
基于炉膛温度场原理的SCR脱硝控制优化解决方案

以烟囱入口处的NO_x浓度测量值作为调节目标，根据现场试验结果，脱硝被控对象（NH₃流量→烟囱入口处NO_x浓度）的响应纯延迟时间接近3分钟，整个响应过程达十几分钟，是典型的大滞后被控对象，在此种方式下的控制难度将明显增加。

为实现喷氨量更优控制、使得控制目标与环保考核目标相一致，根据锅炉炉膛温度场温度信息，利用过程数据与NO_x生成量的耦合关系，建立起动态模型，在锅炉负荷波动的情况下，对锅炉出口处氮氧化物的浓度生成量进行判断，从而有效控制催化还原法脱硝装置的喷氨量。并根据实测NO_x数据，不断修正并在当前时刻给出最优的控制量。同时根据锅炉负荷情况、给煤量、烟气流量作为温度场校核因素，提高控制响应时间和精度。

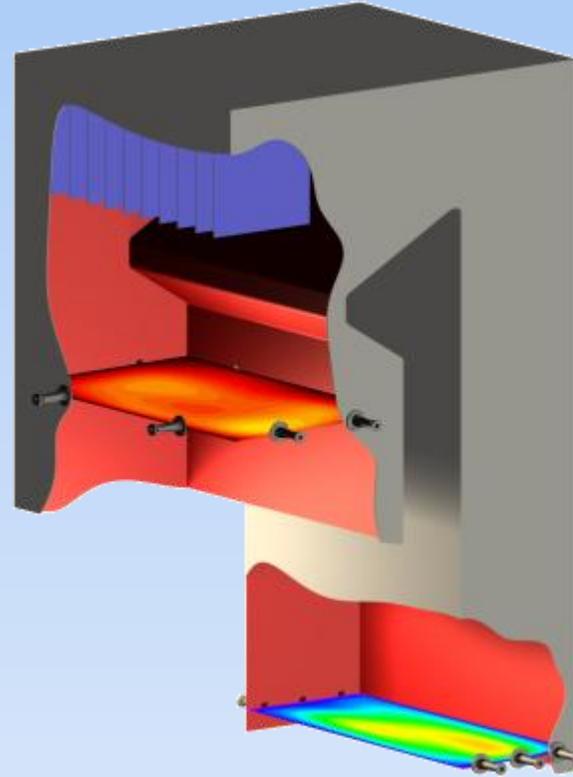
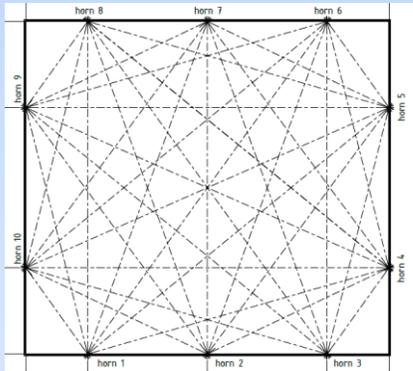
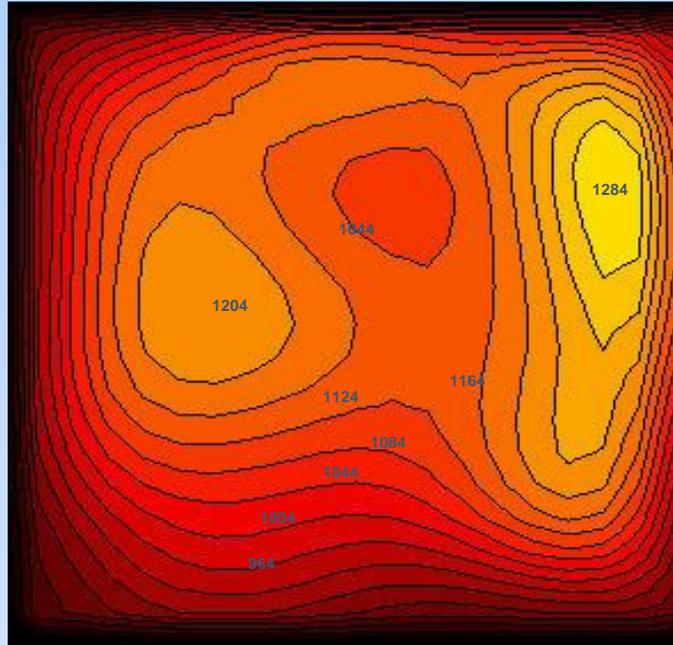
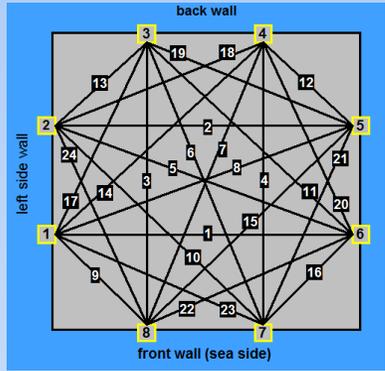
基于炉膛温度场原理的SCR脱硝控制优化解决方案

德国B+D 炉膛声波测温系统



AGAM型声波法炉膛温度场测量系统是一类先进的在线二维温度场全工况实时监测设备，此设备是德国Bonnenberg+Drescher（简称B+D）公司多年的科技研究成果，可实现在各种工况下对锅炉、焚烧炉和各种加热炉内高温燃烧气体温度的实时连续的全自动测量。

德国B+D 炉膛声波测温系统



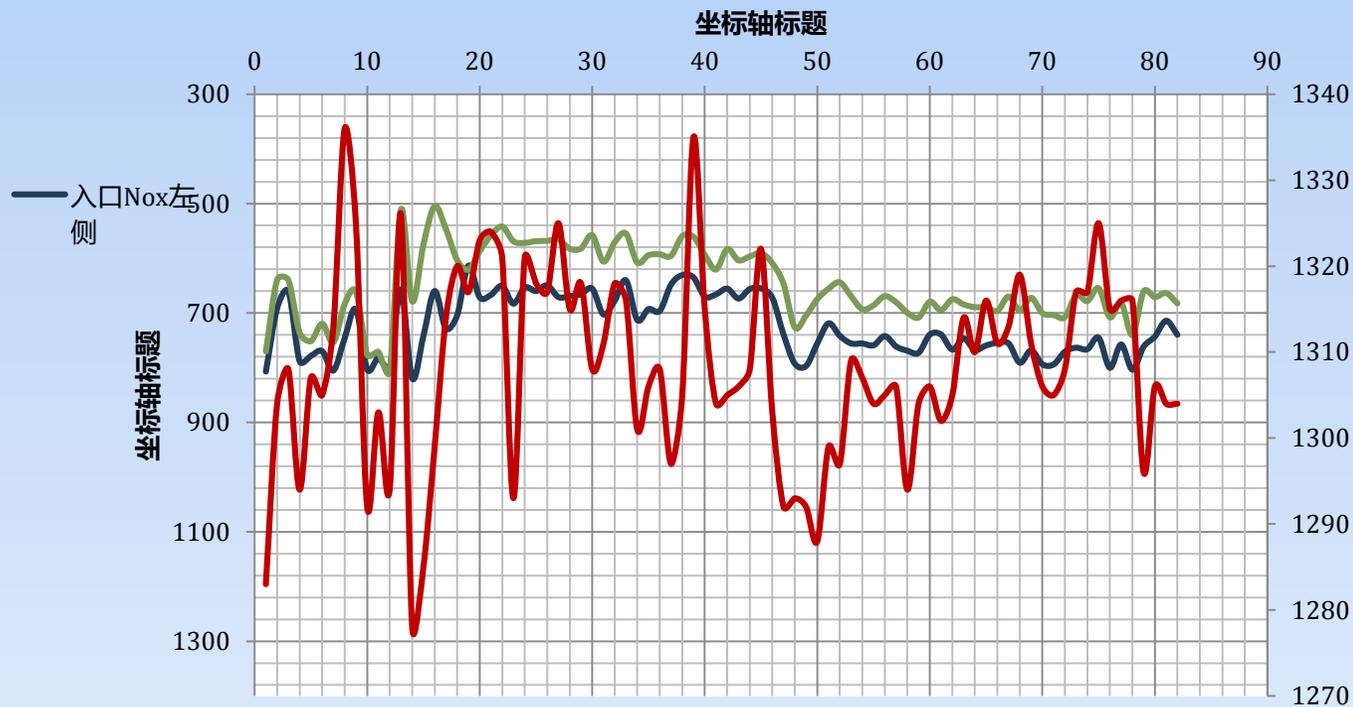
声波法气体温度测量技术通过测量锅炉内距离已知的一对声波收发装置之间一个声波脉冲的飞行时间，来计算该通道气体平均温度。声学测温系统可以使用一定数量的收发器形成一个测量网格，从而测量炉内一个水平面的温度分布情况。从通道网格测量数据可以计算得到平面二维温度分布，并使用层析成像算法得到等温图。

基于炉膛温度场原理的SCR脱硝控制优化解决方案

声学测量技术是唯一不受辐射影响，也无漂移的高温炉膛内温度测量技术。

声学系统的主要优点是声学温度信号的**反应速度非常快**。在4秒内就可以刷新一次二维温度场分析测量的结果，温度测量的反应时间比其它传统的控制信号，例如蒸汽量或O₂浓度等，快从半分钟至几分钟。

利用声波测温系统测量得到的二维温度场数据信号可作为调节前馈信号用于对SCR脱硝系统的控制。



基于炉膛温度场原理的SCR脱硝控制优化解决方案

利用声波法测量温度场，是最近节能与优化调整又一新途径，因为锅炉温度场的分布，能直接反映出炉内燃烧工况，也直接影响到NO_x的生成，他能比预控制模块更直接、更迅速的作用到控制系统里。

采用基于温度场的脱硝控制技术，可以大幅度提高氨气的利用率，降低氨气耗量，以330MW机组例，节省耗氨量10%，年节约液氨费用约为25万元。

SCR自动控制采用优化控制策略情况下，可以提高SCR的最大脱硝效率，预计提高催化剂使用寿命7%；同时由于还原剂的利用率提高，在最优的控制状态下，可以降低氨逃逸40%，大大减少了对尾部烟道内设备的威胁，降低了因空预器、电除尘腐蚀堵塞造成的维护运营成本。

基于温度场的脱硝的控制技术克服以往脱硝控制中受监测手段、负荷变化、数据滞后不良因素的影响，实现喷氨量最优控制，减少SCR出口NO_x排放量和氨逃逸量，为火电厂SCR脱硝控制系统迈上一个新的高度。

谢 谢



2017火电灵活性改造技术交流研讨会

推进火电调峰——促进电力绿色发展

主办单位：中国节能协会热电产业联盟 协办单位：北京华电光大环境股份有限公司