

## SCR脱硝系统喷氨优化调整试验

为了调高脱硝系统效率，在满足环保超低排放标准的前提下，减少喷氨量、降低氨逃逸率、降低空预器堵塞风险，对某电厂超临界 $2 \times 700\text{MW}$ 燃煤机组脱硝系统进行喷氨优化调整试验。通过调整喷氨手动门开度，合理调节SCR喷氨量，使SCR脱硝系统出口氮氧化物浓度分布的均匀性得到改善，降低了局部氨逃逸峰值，降低了空预器堵塞的风险。

随着火电厂最新大气污染排放标准的颁布及煤电节能减排升级与改造行动计划的实施，燃煤电厂必须更加严格地控制烟气中 $\text{NO}_x$ 的排放量。选择性催化还原（SCR）脱硝技术因脱硝效率高且运行稳定可靠，而被广泛应用于燃煤电厂。

脱硝效率、喷氨量大小和氨气逃逸率是衡量SCR脱硝系统运行是否良好的重要依据。电厂在实际运行过程中，由于负荷、锅炉燃烧工况、煤种、喷氨格栅阀门开度、烟道流场均匀性、吹扫间隔时间等因素均会影响SCR脱硝效率和氨逃逸率。逃逸氨在空预器中会生成黏性的硫酸铵或硫酸氢铵，减小空预器流通截面，造成空预器堵灰。空预器堵灰不仅影响锅炉运行的经济性而且显著降低锅炉安全性，严重影响脱硝机组的安全稳定运行。

目前燃煤电厂可以选择新型的SCR脱硝系统喷氨格栅类型、布置方式及改造喷氨管，调整喷氨量和喷复均匀性，改进催化剂入口氨氮比，优化烟气导流板布置、烟气流速的均布性，或研发与应用烟气脱硝系统自动控制技术。通过提升自控系统稳定性和可靠性等措施，可提高SCR脱硝系统出口 $\text{NO}_x$ 分布均匀性，防止局部氨逃逸超标，减轻空预器堵灰、腐蚀、运行阻力等问题。

某厂由于投产时间早，投产时由于国家环保要求不高，脱硝系统按出口氮氧化物排污浓度 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 设计。随着国家环保要求的提升，为满足发改能源〔2014〕2093号文件《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014—2020年）》的要求，该厂将氮氧化物排放浓度稳定的控制到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，该厂进行了SCR烟气脱硝提效改造，主要是加装5号炉第三层及6号炉第二层催化剂来达到 $\text{NO}_x$ 浓度超低排放。

通过上述改造措施，能够将氮氧化物浓度控制到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，但运行过程中存在局部氨逃逸偏大，自动跟踪系统满足不了运行要求等问题，导致还原剂耗量高、空预器阻力上升较快等问题。因脱硝系统投产时SCR烟气脱硝系统采用传统的线性控制式喷氨格栅技术。

而目前脱硝系统新型结构改造经济成本高、周期长，在现有SCR脱硝系统中开展喷氨优化调整试验，是目前提高氨利用率、减少 $\text{NO}_x$ 污染物排放的主要手段，调节SCR脱硝系统喷氨量，改善SCR脱硝系统出口 $\text{NO}_x$ 分布均匀性和氨利用率。

### 1 试验对象及参数

该厂700MW超临界燃煤5、6号机组的烟气脱硝系统采用选择性催化还原法（SCR）脱硝工艺和板式催化剂，催化剂按“2+1”模式布置，选用二氧化钛、钒化合物作为催化剂，采用液氨制备脱硝还原剂。

SCR烟气脱硝系统采用线性控制式喷氨格栅技术。喷氨格栅中各组喷嘴之间的氨喷射具有较强的独立性。SCR脱硝系统入口每侧布置3层上下交错的喷氨格栅，21支控制喷氨量分配的喷氨手动门。每个手动门控制3根支管。每组3个手动门分别对应烟道截面前后部分喷氨。

#### 1.1 试验仪器及调整方法

SCR脱硝系统喷氨优化试验是根据GB/T16157—1996《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》，DL/T335—2010《火电厂烟气脱硝（SCR）装置运行技术规范》开展的。

根据测定的SCR脱硝系统出口 $\text{NO}_x$ 浓度分布情况，调整手动阀门开度，对应调节喷氨流量。试验时要保证煤质负荷及配风方式等条件的稳定。由于锅炉炉型、燃烧方式、燃用煤种的限制，目前的设备状况决定了该厂5、6号锅炉炉膛出口氮氧化物已经没有明显改进空间，故在设备不进行改造的情况下无法通过燃烧调整显著降低SCR入口的 $\text{NO}_x$ 产生浓度。

同时，由于5、6号锅炉炉膛较宽，炉膛出口氮氧化物浓度分布均匀性偏差较大。根据投运磨组合方式、机组运行负荷、煤质等的不同，锅炉炉膛出口NO<sub>x</sub>浓度分布均匀性偏差较大。

目前炉膛出口NO<sub>x</sub>浓度大小相差约±50mg/m<sup>3</sup>，环保政策超低排放限制要求烟囱入口NO<sub>x</sub>浓度低于50mg/m<sup>3</sup>，为保证NO<sub>x</sub>浓度不超标，实际运行时一般都要求控制NO<sub>x</sub>浓度低于40mg/m<sup>3</sup>，此种情况下，容易出现局部位置的入口NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>摩尔比超过1.0，造成局部氨逃逸过大，进而引发局部氨逃逸过大导致的空预器阻力快速上升问题。

为此，通过进行喷氨调整试验来评估现有流场和氨混合系统能够满足超低排放需要，并决定是否需要进行进一步改造。

## 1.2测试内容和方法

SCR脱硝装置的喷氨优化调整试验主要在机组常规高负荷（100%负荷）进行，并在高、中、低负荷（100%、75%、50%）下进行验证和微调。根据现场条件和测试要求，试验过程如下：

预备与摸底试验：在100%负荷下实测反应器进、出口N

O<sub>x</sub>浓度、氨逃逸等，分别与在线CEMS分析仪的DCS显示值进行比较，为正式试验做准备。机组运行稳定，锅炉运行氧量、磨投运组合方式等情况下，减少脱硝装置入口NO<sub>x</sub>的波动。喷氨优化调整：

在机组100%（负荷稳定）负荷下，根据SCR反应器

出口截面的NO<sub>x</sub>

浓度

分布，对

反应器入口水平烟道上的AIG喷氨格栅的手动阀门开度进行调节，最大限度提高反应器出口的NO<sub>x</sub>分布均匀性。

AIG优化校核试

验：在机组100%、75%、50%负荷下

，在设计脱硝效率下测量反应器进出口的NO<sub>x</sub>

浓度分布和氨逃逸，评估优化结果，并根据结果对AIG手动调阀进行微调。

在SCR反应器的进口和出口烟道截面，分别采用等截面网格法布置烟气取样点。在反应器平台布置一套TESTO350型烟气分析仪，烟气经不锈钢管引出至烟道外，再经过除尘、除湿、冷却等处理后，最后接入烟气分析仪进行分析。

利

用烟

气分析仪

，在反应器的进出

口逐点切换采集烟气样品，分析烟气

中的NO与O<sub>2</sub>含量，可获得烟道截面的NO<sub>x</sub>浓度分布。取反应器进、出口的NO<sub>x</sub>

浓度的算术平均值计算脱硝效率。根据反应器出口截面的NO<sub>x</sub>浓度分布，每台反应器选取6个代表点作为NH<sub>3</sub>取样点。

## 1.3摸底试验

根据测试，5、6号机组在负荷稳定时目前脱硝装置入

口NO<sub>x</sub>浓度在约300mg/m<sup>3</sup>左右，此入口NO<sub>x</sub>浓度低于原设计的NO<sub>x</sub>。

5号机组负荷680MWA、B、C、D、E、F磨煤机投运，SCR投入自动控制前提下，进行摸底测试，作为喷氨优化调整前基准工况。6号机组负荷620MWA、B、C、D、E、F磨煤机投运，SCR投入手动控制前提下，进行对比测试。

试验过程中，同步在每台反应器进、出口测量NO<sub>x</sub>

浓度，同时在反应器出口采集氨逃逸样品，用于计算脱硝效率与氨逃逸，初步评估脱硝装置的效率和氨喷射流量分配状况。

测试结果（表1）表明，喷氨优化调整试验前，5号炉脱硝装置A、B两侧脱硝效率分别为69.6%、87.2%，A、B两侧

烟道截面平均氨逃逸浓度分别为1.7 μL/L、5.2 μL/L，A、B侧单点最大氨逃逸分别为2.4 μL/L、12.7 μL/L；6号炉脱硝装置A、B两侧脱硝效率分别为76.2%、84.7%，A、B两侧烟道截面平均氨逃逸浓度分别为1.2 μL/L、0.9 μL/L，A、B侧单点最大氨逃逸分别为2.3 μL/L、1.6 μL/L。

表1优化调整前的脱硝效率、氨逃逸分析

项目	单位	5号机组		6号机组	
		A	B	A	B
机组负荷	MW	680		620	
SCR 反应器	侧	A	B	A	B
实测进口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	263.8	273.2	291.5	261.5
实测入口O <sub>2</sub>	%	2.8	3.3	4.1	3.3
入口NO <sub>x</sub> 相对标准偏差	%	4.5	5.0	3.9	5.4
实测出口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	80.3	35.0	69.4	40.0
实测出口O <sub>2</sub>	%	3.6	3.6	4.3	3.4
出口NO <sub>x</sub> 相对标准偏差	%	27.0	39.0	69.4	40.0
出口NO <sub>x</sub> 最大值	mg/m <sup>3</sup>	134.0	62.7	143.3	114.5
出口NO <sub>x</sub> 最小值	mg/m <sup>3</sup>	47.8	16.7	15.1	15.5
两侧出口NO <sub>x</sub> 平均浓度	mg/m <sup>3</sup>	57.6		54.7	
实际脱硝效率	%	69.6	87.2	76.2	84.7
氨逃逸浓度	μL/L	1.7	5.2	1.2	0.9
单点氨逃逸浓度最大值	μL/L	2.4	12.7	2.3	1.6
平均氨逃逸浓度	μL/L	3.5		1.1	

对比5号机组脱硝反应器出口NO<sub>x</sub>分布结果见图1、2。

摸底试验工况下A、B侧脱硝反应器入口NO<sub>x</sub>

分布相对偏差在10%以内，说明入口NO<sub>x</sub>

分布相对较为均匀。A侧喷氨量65kg/h

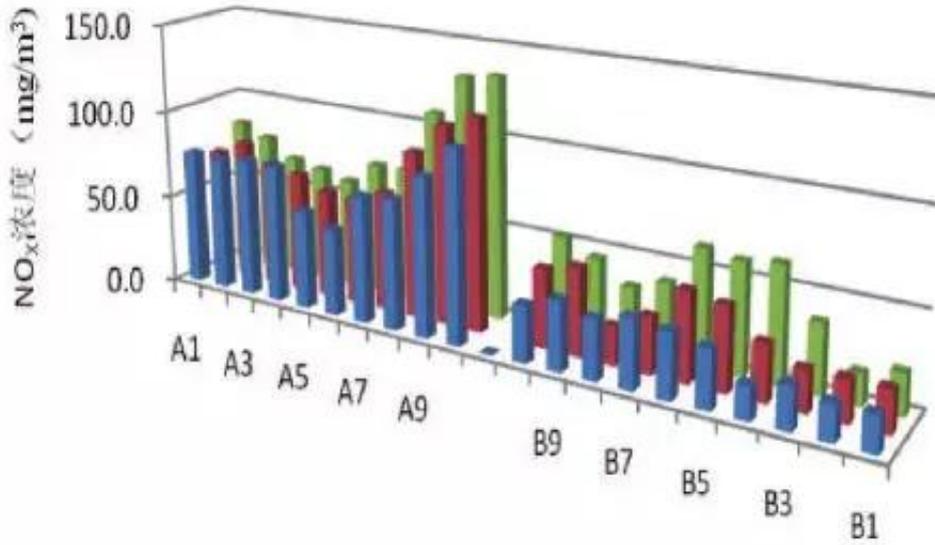
，B侧喷氨量75.18kg/h。实测A侧入口NO<sub>x</sub>浓度263.8mg/m<sup>3</sup>，B侧入口NO<sub>x</sub>浓度274.5mg/m<sup>3</sup>

；DCS显示A侧入口NO<sub>x</sub>浓度263.1mg/m<sup>3</sup>，B侧入口NO<sub>x</sub>浓度296.5mg/m<sup>3</sup>。实测A侧出口NO<sub>x</sub>浓度80.3mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>

浓度最大值为134.0mg/m<sup>3</sup>，最小值为47.8mg/m<sup>3</sup>。B侧出口NO<sub>x</sub>浓度35mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>

浓度最大值为67.2mg/m<sup>3</sup>，最小值为16.7mg/m<sup>3</sup>；DCS显示A侧出口NO<sub>x</sub>浓度87.8mg/m<sup>3</sup>，B侧出口NO<sub>x</sub>

浓度68.3mg/m<sup>3</sup>。图15号炉脱硝反应



宽度方向测点编号  
图1 5号炉脱硝反应器出口NO<sub>x</sub>分布图

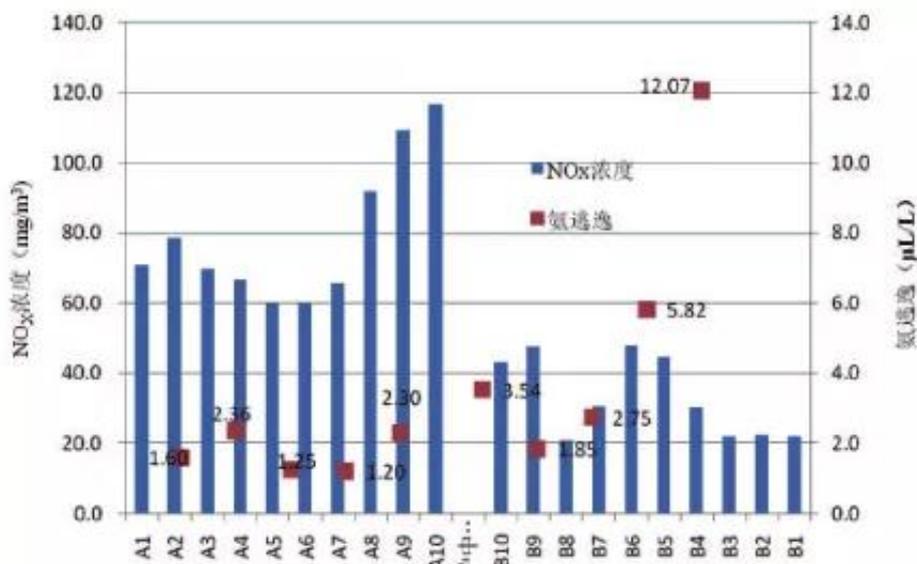


图2 5号炉摸底试验反应器出口测孔内NO<sub>x</sub>及氨逃逸分布

A侧反应器出口截面NO<sub>x</sub>

浓度分布相对标准偏差为27.0%，初步计算第一层催化剂入口NH<sub>3</sub>/NO摩尔比偏差为8.2%；B侧反应器出口截面NO<sub>x</sub>浓度分布相对标准偏差为39.0%，初步计算第一层催化剂入口NH<sub>3</sub>/NO摩尔比偏差为5.0%。从图2可以看出，摸底试验表现出A侧靠近中心线位置处存在单点过大的情况，但整体NO<sub>x</sub>浓度分布无明显规律。根据实测值与表盘氨气用量，B侧由于喷氨量高于A侧，导致B侧的氮氧化物较A侧低，且B侧由于喷氨不均，出现了氨逃逸超过3 μL/L的点，意味着B侧空预器堵塞的风险较A侧高，烟风系统也显示B侧空预器阻力高于A侧约300Pa，反映出现场实测数据无误。

对比6号机组脱硝反应器出口NO<sub>x</sub>分布结果（图3和图4）：摸底试验工况下A、B侧脱硝反应器入口NO<sub>x</sub>分布相对偏差在10%以内，说明入口NO<sub>x</sub>分布相对较为均匀。A侧喷氨量75.6kg/h，B侧喷氨量78.1kg/h。实测A侧入口NO<sub>x</sub>浓度291.5mg/m<sup>3</sup>，B侧入口NO<sub>x</sub>浓度261.5mg/m<sup>3</sup>；DCS显示A侧入口NO<sub>x</sub>浓度342.5mg/m<sup>3</sup>，B侧入口NO<sub>x</sub>浓度310.6mg/m<sup>3</sup>。实测A侧出口NO<sub>x</sub>浓度69.4mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>浓度最大值为143.3mg/m<sup>3</sup>，最小值为15.1mg/m<sup>3</sup>。B侧出口NO<sub>x</sub>浓度40mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub>浓度最大值为114.5mg/m<sup>3</sup>，最小值为15.5mg/m<sup>3</sup>；DCS显示A侧出口NO<sub>x</sub>浓度51.1mg/m<sup>3</sup>，B侧出口NO<sub>x</sub>浓度42.7mg/m<sup>3</sup>。

A侧反应器出口截面NO<sub>x</sub>

浓度分布相对标准偏差为44.7%，初步计算第一层催化剂入口NH<sub>3</sub>/NO摩尔比偏差为10.6%；B侧反应器出口截面NO<sub>x</sub>浓度分布相对标准偏差为63.1%，初步计算第一层催化剂入口NH<sub>3</sub>/NO摩尔比偏差为9.6%。从图3可以看出，摸底试验中反应器出口整体NO<sub>x</sub>浓度分布无明显规律。

对比摸底试验5、6号机组的测试数据，6号机NO<sub>x</sub>浓度分布相对偏差较小，由于两台炉导流板、喷氨系统设计均相同，主要在于锅炉燃烧和喷氨支管阀门开度不一致。因此，6号机只需对部分喷氨支管阀门开度进行微调。由于5号机NO<sub>x</sub>浓度分布相对偏差较大，此次试验重点是对5号机进行调整。

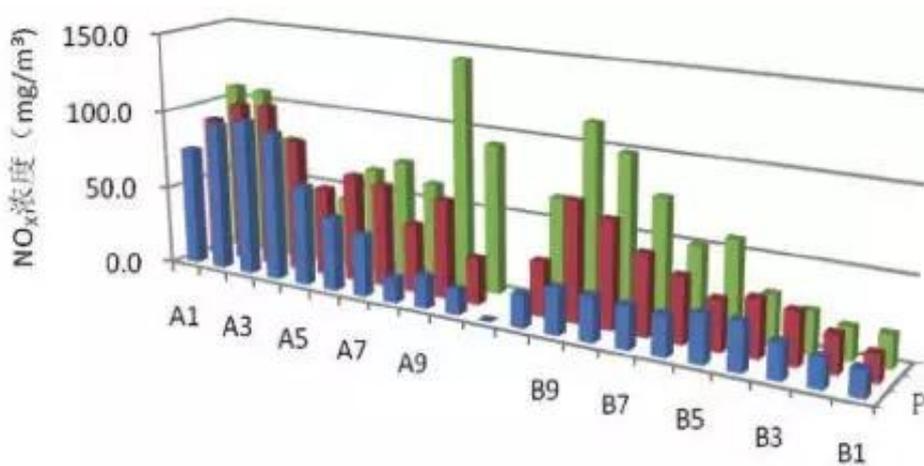


图3 6号炉脱硝反应器出口NO<sub>x</sub>分布图

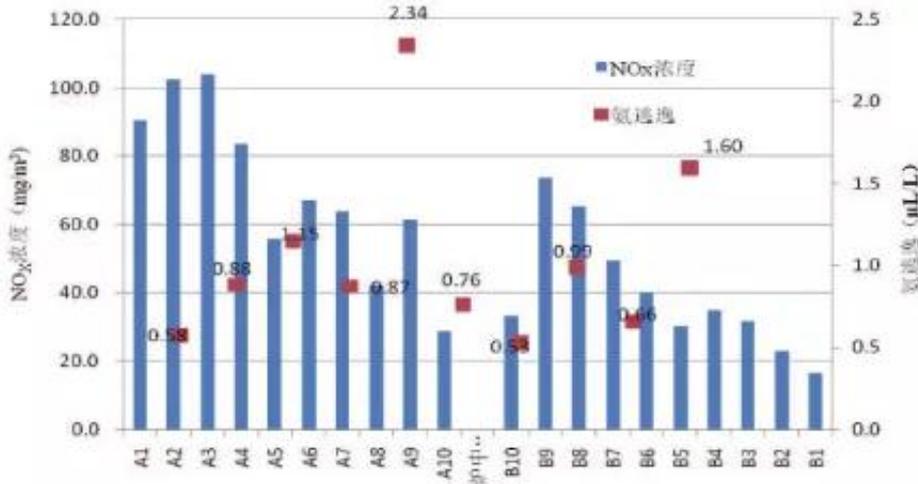


图4 6号炉摸底试验反应器出口测孔内NO<sub>x</sub>及氨逃逸分布

#### 1.4验证试验

在5号机组600~680MW稳定

负荷条件下，根据摸底测试测得SCR反应器出口截面的NO<sub>x</sub>

浓度分布结果，对反应器入口竖直通道上喷氨格栅不同支管的手动阀开度进行调节，经过多次调整格栅开度，两个反应器出口截面的NO<sub>x</sub>

分布均匀性均有一定改善。为防止个别阀门开度过小导致流过此喷氨支管的稀释风量过低，喷氨优化调整过程需要兼顾NO<sub>x</sub>均匀性和稀释风量的平衡，防止一味追求NO<sub>x</sub>均匀性而导致喷氨支管阀门开度较小导致的喷嘴堵塞积灰问题。

在调整后的阀门开度下，进行了5号炉喷氨优化调整后的验证试验。试验结果见表2所示。

表2 5号炉喷氨优化调整后的验证试验

项目	单位	低负荷		中负荷		高负荷	
机组负荷	MW	350		530		680	
磨组合		BCDE		ABCDE		ABCDEF	
SCR反应器	侧	A	B	A	B	A	B
实测进口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	245.5	242.1	243.1	257.6	257.5	241.6
实测入口O <sub>2</sub>	%	5.2	5.2	3.8	3.9	2.8	2.3
DCS显示进口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	245.8	244.5	257.04	265.71	268.15	305.87
入口NO <sub>x</sub> 相对标准偏差	%	5.3	5.8	2.5	4.8	3.6	9.6
实测出口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	67.6	51.7	53.0	50.2	85.2	70.7
DCS显示出口NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	82.77	51.96	62.17	66.93	93.87	71.73
实测出口O <sub>2</sub>	%	4.9	5.5	4.0	4.3	2.7	2.8
出口NO <sub>x</sub> 相对标准偏差	%	14.2	18.7	17.0	19.0	7.7	13.7
喷氨量	kg/h	32.17	33.84	61.01	58.72	57.00	54.00
出口NO <sub>x</sub> 最大值	mg/m <sup>3</sup>	89.1	66.8	72.0	67.0	96.9	85.3
出口NO <sub>x</sub> 最小值	mg/m <sup>3</sup>	47.1	37.1	34.5	36.6	72.2	52.5
两侧出口NO <sub>x</sub> 平均浓度	mg/m <sup>3</sup>	59.6		51.6		77.9	
FGD出口NO <sub>x</sub> 浓度	mg/m <sup>3</sup>	41.7		36.1		39.25	
实际脱硝效率	%	72.5	78.6	78.2	80.5	66.9	70.7
氨逃逸浓度	μL/L	0.9	0.8	0.9	1.1	0.7	0.8
单点氨逃逸浓度最大值	μL/L	1.1	1.0	1.3	1.2	1.0	1.2
平均氨逃逸浓度	μL/L	0.9		1.0		0.8	

#### 2结语

- 1) 三个负荷下5号炉A、B侧脱硝反应器入口NO<sub>x</sub>浓度实测值基本一致，总体来说与A侧的CEMS仪表指示值基本接近。但高负荷B侧仪表显示偏高较多。
- 2) 中低负荷下5号炉实测值较烟囱入口CEMS仪表显示偏高10~20mg/m<sup>3</sup>，由于NO部分被氧化为了NO<sub>2</sub>，导致烟囱入口偏低，基本可以接受。但高负荷下两者相差较大，根据用氨量计算，则出口浓度基本接近脱硝反应器出口实测值，怀疑烟囱位置表计不准，热工专业对该表进行校准后正常。
- 3) 脱硝出口CEMS系统只有两个采样探头，且均安装在反应器的中心线位置处，不能较好反映各位置的NO<sub>x</sub>浓度，已建议热工专业每台反应器新增加两台采样探头，分别安装在反应器的外侧和内侧，与现有两台探头采集的烟气混合后送入CEMS系统进行分析，目前已列入明年检修计划。
- 4) 根据喷氨调整，5号炉高中低负荷下的NO<sub>x</sub>浓度分布偏差能维持到20%以内，从NH<sub>3</sub>/NO摩尔分布来看现有流场能满足超低排放需要；但目前存在催化剂磨损现象，流速场可能不均匀，后续还需委托第三方对现有脱硝流场和氨混合系统进行CFD模拟，考察能否优化导流板布置等改善磨损情况。
- 5) 5、6号炉目前喷氨调门自动调节品质差，为更好的指导运行，热工专业计划对现有脱硝自动控制系统进行优化，完善控制策略，改善调节品质。
- 6) 通过对比摸底和验证试验，通过调整，消除了氨逃逸过大的点，降低了空预器堵塞的风险。
- 7) 根据试验结果，当前机组SCR装置的流场基本能够满足超低排放运行要求，高、中、低三个负荷下的SCR反应器出口NO<sub>x</sub>浓度分布相对标准偏差均能控制到20%以内，基本能够满足50mg/m<sup>3</sup>的运行要求方式。

但是，停炉检查发现催化剂存在磨损等现象，故针对现有流场是否需要改造，仍需要锅炉专业根据催化剂磨损程度综合判断，并加强停炉时的检查。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/148065.html>