

选择性非催化还原脱硝技术 (SNCR) 在 W 型火焰锅炉的应用



焦传宝*

大唐阳城发电有限责任公司, 山西阳城 048012

摘要: 介绍了某电厂非催化还原脱硝技术 (SNCR) 工程应用情况, 详细介绍了该电厂主要设备型式和关键技术参数、设计煤质情况。进一步阐述了火电机组氮氧化物超低排放的改造背景、SNCR 系统设计的关键指标, 包括: SNCR 系统出、入口 NO_x 浓度和脱硝效率, SNCR 系统对锅炉运行效率的影响预测值, 系统氨逃逸的设计值和装置使用年限。同时对该非催化还原 (SNCR) 脱硝技术工程的工艺流程和主要设备系统进行了详细描述: 包括尿素溶液制备系统, 尿素溶液存储输送系统, 尿素溶液的混合分配系统, 尿素溶液喷射系统以及配套的热工测量控制系统和电气系统。通过 SNCR 装置的实际运行参数控制和运行效果, 说明了该电厂 SNCR 系统改造达到了预期目的, 实现了机组的氮氧化物稳定超低排放, 为同类型机组的脱硝改造提供了一条新的可借鉴的技术路线。

关键词: SNCR 脱硝技术; 工艺流程; 设备规范; 运行效果

DOI: [10.57237/j.wjese.2024.03.001](https://doi.org/10.57237/j.wjese.2024.03.001)

Application of Selective Non Catalytic Reduction (SNCR) Denitration Technology in W-flame Boiler

Jiao Chuan-bao*

Datang Yangcheng Power Generation Co., Ltd., Yangcheng 048012, China

Abstract: This article introduces the engineering application of non catalytic reduction (SNCR) denitrification technology in a certain thermal power plant, and provides a detailed introduction to the main equipment types, key technical parameters, and design coal quality of the thermal power plant. Further elaborated on the background of the transformation of ultra-low nitrogen oxide emissions in thermal power units, key indicators of SNCR system design, including: NO_x concentration and denitrification efficiency at the inlet and outlet of SNCR system, predicted impact of SNCR system on boiler operation efficiency, design value of ammonia escape in the system, and service life of the device. At the same time, a detailed description was given of the process flow and main equipment systems of the non catalytic reduction (SNCR) denitrification technology project, including urea solution preparation system, urea solution storage and transportation system, urea solution mixing and distribution system, urea solution injection system, as well as supporting thermal measurement control system and electrical system. Through the control of actual operating parameters and operational effects of the SNCR device, it is demonstrated that the SNCR system renovation of the thermal power plant has achieved the expected goals, achieving stable ultra-low emissions of nitrogen oxides in the unit, and providing a new technical route that can be referenced for the denitrification renovation of similar units.

*通信作者: 焦传宝, jiaocb@163.com

Keywords: SNCR Denitrification Technology; PROCESS Flow; Equipment Specifications; Running Effect

1 引言

选择性非催化还原脱硝技术 (SNCR) 是指在锅炉燃烧过程中, 将还原剂喷入炉膛适当的位置, 利用还原剂还原 NO_x, 从而实现脱硝的目的。SNCR 运行简单、成本较低, 全程无需催化剂参与, 被广泛应用于中小型燃煤锅炉等固定源设备的 NO_x 排放控制中[1-4]。对于 W 型火焰锅炉, 其炉膛温度较高, NO_x 浓度高, 单纯采用传统的 SCR 脱硝技术导致脱硝设计效率过高, 氨逃逸过大, 影响锅炉机组运行的安全性以及环保排放的稳定性和可靠性。因此该类型锅炉可以考虑增加 SNCR 脱硝设备, 配合原来的 SCR 脱硝, 满足机组 NO_x 稳定达标排放[5-7]。

2 设备概况

某火电厂二期扩建工程安装两台 600MW 燃煤发电机组, 锅炉采用东方锅炉厂引进美国福斯特惠勒 (Foster Wheeler) 公司技术制造, 型号为 DG2060/17.6-II3, 型式为亚临界、一次中间再热、双拱形单炉膛、“W”型火焰、平衡通风、固态排渣、露天布置、自然循环汽包型燃煤锅炉。

本期工程锅炉的设计参数见表 1。锅炉设计煤种为晋城地区无烟煤, 燃料特性见表 2。

本期工程两台锅炉同步安装烟气脱硫装置, 采用石灰石-石膏湿法脱硫技术。8 号锅炉同步安装烟气脱硝装置, 采用选择性催化还原 (SCR) 脱硝技术, 脱硝效率大于 80%, 两台机组分别于 2007 年 8 月和 9 月完成 168 小时试运, 投入商业运行。8 号机组脱硝系统于 2012 年 9 月进行了催化剂更换 (波纹板式改为蜂窝式) 工作。7 号炉脱硝技改工程于 2013 年 1 月完工投入运行, 同样采用选择性催化还原 (SCR) 技术, 设计脱硝效率为 83.4%。2017 年 6 月, 两台锅炉进行了超低排放改造, SCR 脱硝系统更换了全部催化剂: 7 号脱硝催化剂采用 3+1 (下 3 层布置, 1 层预留) 的布置方式, 8 号脱硝催化剂采用 2+1 (下 2 层布置, 1 层预留) 的布置方式, 催化剂的型式为平行板式, 设计脱硝效率 90%。两台炉脱硝装置均布置在省煤器和空预器之间烟道内。

2017 年 6 月, 为满足环保部门对火电厂氮氧化物

超低排放要求, 每台锅炉新增一套 SNCR 脱硝装置, 采用德国 ERC (ERC Technik GmbH) 公司的技术和设备, 设计脱硝效率为 45%~55%。

表 1 锅炉主要设计参数

Table 1 Main Design Parameters of Boiler

项目	单位	BMCR	THA
过热蒸汽流量	t/h	2060	1834.66
过热蒸汽出口压力	MPa (g)	17.5	17.31
过热蒸汽出口温度	℃	541	541
再热蒸汽流量	t/h	1706.62	1531.33
再热蒸汽进/出口压力	MPa (g)	3.8/3.62	3.4/3.24
再热蒸汽进/出口温度	℃	324.6/541	313.2/541
给水温度	℃	278.4	271
排烟温度 (已校正)	℃	137	132
省煤器出口烟温	℃	399	394
炉膛出口烟温	℃	1130	1108
空预器入口一次风温	℃	20	20
空预器出口烟气量 (湿)	Nm ³ /h	2113421	—
烟气量 (干)	Nm ³ /h	1962292	—
除尘器入口含尘量 (6%氧, 干)	g/Nm ³	31.5	—
锅炉出口 SO ₂ 浓度 (6%氧, 干)	mg/Nm ³	4500	—
空预器入口二次风温 (BMCR/THA)	℃	20	20
一次风量	t/h	391	—
二次风量	t/h	2167.9	—
燃煤量	t/h	231.46	210.7
热效率 (按低位发热量)	%	91.34	91.66
炉膛出口过剩空气系数	—	1.3	1.3

表 2 燃料分析及特性

Table 2 Fuel Analysis and Characteristics

项目		符号	单位	设计煤种	校核煤种
元素分析	收到基碳	Car	%	66.96	62
	收到基氢	Har	%	2.71	2.07
	收到基氧	Oar	%	1.54	1.93
	收到基氮	Nar	%	0.89	0.91
	收到基全硫	St, ar	%	0.45	0.39
工业分析	收到基灰份	Aar	%	19.09	24.7
	收到基水份	Mt	%	8.9	8
	空气干燥基水份	Mad	%	3.89	3.86
	干燥无灰基挥发份	Vdaf	%	7.14	7.91

项目	符号	单位	设计煤种	校核煤种
收到基低位发热量	Q _{net, ar}	kJ/kg	24210	22380
可磨系数	HGI	—	38	36
冲刷磨损指数	Ke	—	2.23	2.4
综合着火指数*反应指数	R _{w/ri}	—	3.86/3.86	3.86/3.86
煤粉气流着火温度	IT	℃	444	446
灰熔点	变形温度	DT	℃	1410
	软化温度	ST	℃	1500
	熔化温度	FT	℃	>1500
灰成分	二氧化硅	SiO ₂	%	51.03
	三氧化二铝	Al ₂ O ₃	%	30.29
	三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	%	6.16
	氧化钙	CaO	%	4.96
	氧化镁	MgO	%	0.86
	氧化钾及氧化钠	K ₂ O+Na ₂ O	%	1.7
	三氧化硫	SO ₃	%	2.82
	二氧化钛	TiO ₂	%	0.84
	其它	—	%	1.34

3 SNCR 工艺设备介绍

该电厂一期（6×350MW）和二期（2×600MW）8 台机组全部安装了 SNCR 脱硝装置，采用 40% 的尿素溶液作为还原剂。SNCR 脱硝装置安装前的 2015 年 10 月，该厂首先在 6 号机组进行了试验，试验采用德国 ERC 公司的 SNCR 技术，利用尿素溶液作为还原剂。试验结果表明，W 火焰锅炉采用 SNCR 脱硝技术配合原来的 SCR 脱硝装置，可以实现氮氧化物的超低排放（小于 50mg/Nm³）。2016 年 8 月，该厂和德国 ERC 公司在 8 号锅炉进行了炉膛温度分布情况摸底测试和数值模拟，最终确定了尿素喷枪的开孔位置 and 不同工况下的喷枪层数和数量的控制逻辑。改造工程从 2016 年 4 月开工至 2017 年 6 月，8 台机组的 SNCR 装置全部安装调试完毕，投入运行。

该系统的工艺流程为：尿素颗粒通过密封罐车运至尿素溶液制备区，利用压缩空气将其排至溶解罐，制成 40% 的溶液。合格的尿素溶液通过供给泵送至各机组尿素溶液存储罐，然后通过尿素溶液泵送至机组的混合分配模块，和来自稀释水泵的除盐水混合、稀释及分配后送至各尿素喷枪。喷枪中的压缩空气将尿素溶液雾化后喷入炉膛，和烟气均匀混合反应，根据选择性非催化还原反应的原理，炉膛燃烧过程产生的 NO_x 一部分被转变成水蒸汽和 N₂，少量未反应的还原剂以氨气的形式进入 SCR 脱硝系统，在催化剂中和烟气中剩余的 NO_x 进行选择催化还原反应，生成水蒸汽和 N₂。为了保证 SCR 脱硝系统出口 NO_x 达标排放，

SCR 脱硝系统也要喷入一定量的氨气，进行选择催化还原反应。

1、SNCR 系统主要设计性能指标（600MW 机组）

在机组最低稳燃负荷至 100% BMCR 负荷之间，当 SNCR 入口 NO_x 浓度<1000 mg/Nm³（干基，6% O₂）时，SNCR 出口 NO_x 浓度<500mg/Nm³（干基，6% O₂），即脱硝效率大于 50%，且 SCR 装置出口氨浓度不大于 2.28mg/Nm³（干基，6% O₂）。

在机组 60%至 80%BMCR 负荷之间，在燃用低挥发分煤种时（干燥无灰基挥发分 V_{daf}<12%），SNCR 装置能够达到 60%的脱硝效率，同时 SCR 装置出口氨浓度不大于 2.28mg/Nm³（干基，@6% O₂）。

正常运行负荷范围内，SNCR 投运后对锅炉效率的影响不得大于 0.5%。总排口氮氧化物排放值不得大于 50mg/Nm³。

SNCR 装置的设计寿命为 30 年，设备年利用小时数 5500h，各装置的可利用率不小于 98%。

电耗、水耗和物耗情况：每台机组正常工况下连续运行电耗不超过 120kWh/h（不含伴热）；水耗不超过 25t/h；采用 40% 的尿素溶液作为还原剂，在 100%BMCR 工况下尿素溶液耗量不超过 9t/h。

2、系统配置介绍

以尿素为还原剂的 SNCR 系统主要组成部分有：尿素溶液制备系统、尿素溶液存储、输送系统、尿素溶液和稀释水的混合与分配模块、尿素溶液喷射系统、SNCR 的热工控制系统、电气系统等。各系统的功能和设备配置介绍如下：

(1) 尿素溶液制备系统

全厂 8 台机组公用一套尿素溶液制备系统，利用尿素颗粒和除盐水配制成 40% 的溶液。尿素颗粒由密封罐车运送。其品质应符合国家标准 GB/T 2440-2017<<尿素>>中工业用尿素优等品的技术指标要求。罐车自带的连接管连接到溶解罐的固定导管后，利用压缩空气将尿素颗粒直接卸载进入溶解罐。

制备系统配置 3 台 65m³ 的溶解罐，1 台 60m³ 的热水箱，每台溶解罐配置两台尿素溶液供给泵，热水箱配置两台热水泵。溶解水与尿素按照一定比例混合制备 40% 的尿素溶液，然后通过尿素溶液供给泵送至各单元尿素溶液储罐中。溶解水取自除盐水母管，尿素溶解所需热源为热水，热水利用蒸汽加热，蒸汽取自机组辅汽。制备区电源取自机组 380V 公用 PC 段。尿素溶液制备系统主要设备规范见表 3。

表 3 尿素溶液制备系统主要设备规范

Table 3 Main equipment specifications for urea solution preparation system

设备名称	规格及技术参数	单位	数据
加热水箱	60m ³	台	1
热水泵	CDLF65-20-2FSWSR/ 65m ³ h /26m /2900r/min	台	2
热水泵电机	7.5kW 380V/14.1A/ 2925r/min	台	2
尿素供给泵	CDLF150-20-2FSWLC/ 150m ³ h /27.5m /2950r/min	台	6
尿素供给泵电机	18.5kW /380V/ 34.0A /2940r/min	台	6
溶解罐	65m ³	台	3
溶解罐搅拌器	——	台	3
溶解罐排气风机	——	台	3

(2) 尿素溶液存储输送系统（600MW 机组）

尿素溶液存储和输送系统包括尿素溶液存储罐、稀释水箱及尿素溶液输送泵、稀释水泵等设备。

二期工程 2 台 600MW 机组共配备 2 台尿素溶液存储罐和 1 台稀释水箱。每台机组配备一台尿素溶液罐，配备 2 台尿素溶液输送泵，一运一备。2 台机组公用 1

台稀释水箱，每台机组配备 2 台稀释水泵，一运一备。

另外，尿素溶液输送和稀释水系统均有一套独立的控制回路，用于调整尿素输送泵和稀释水泵出口母管压力，保证炉前混合、计量分配模块前的尿素溶液和稀释水压力稳定。

尿素溶液存储和输送系统工艺图见图 1。

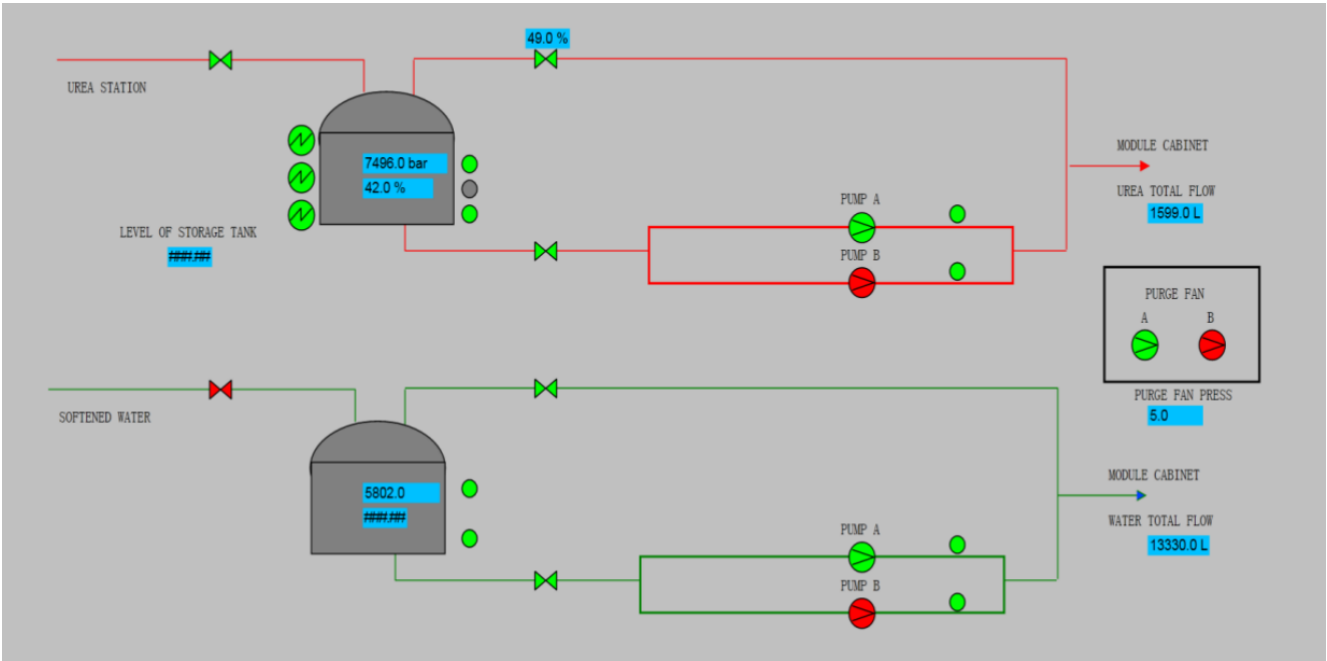


图 1 尿素溶液存储和输送系统工艺图

Figure 1 Process diagram of urea solution storage and transportation system

系统启动时，尿素溶液输送泵把 40%浓度的尿素溶液由储罐输送至各台炉混合、计量和分配模块柜，在此处稀释后送入尿素喷枪。同样的，稀释水泵把稀

释水输送到每台炉的混合、计量和分配模块，在此对尿素溶液进行稀释，送至喷枪。

尿素溶液稀释水系统工艺图见图 2。

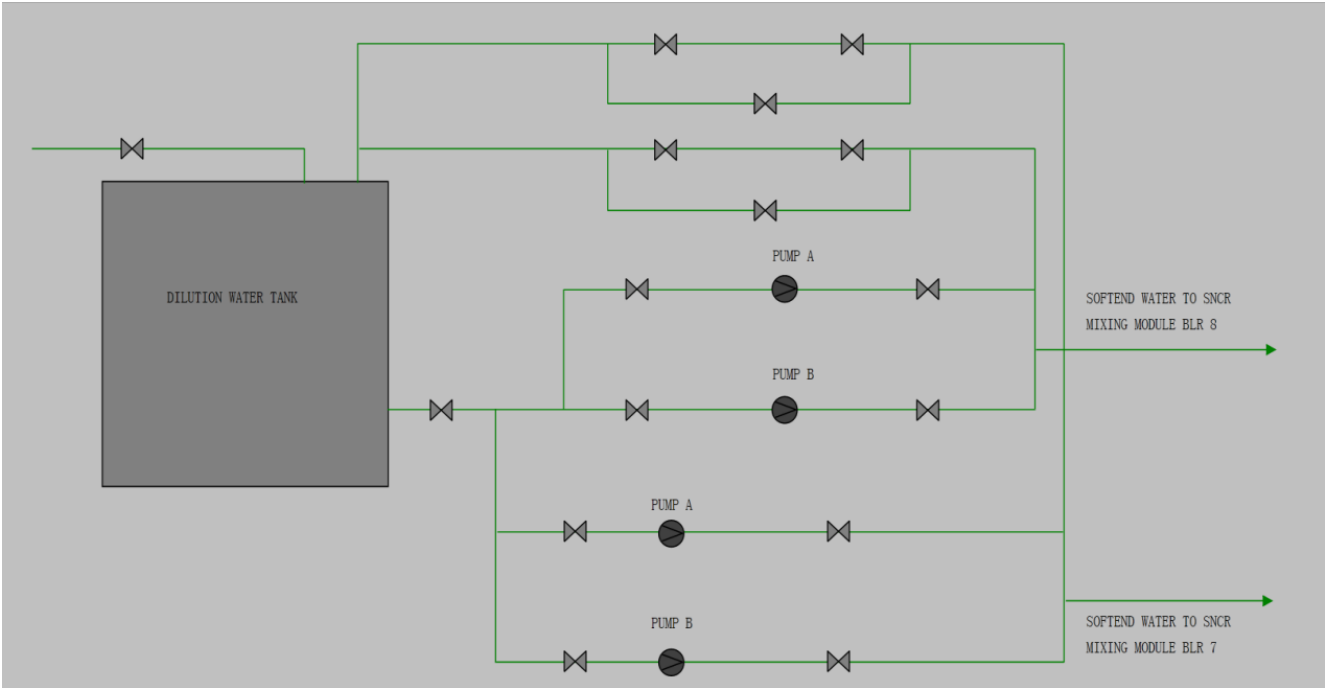


图 2 尿素溶液稀释水系统工艺图

Figure 2 Process diagram of urea solution dilution water system

尿素溶液存储输送系统的设备规范见表 4 至表 6。

表 6 稀释水泵规范

Table 6 Specification for Dilution Water Pump

序号	项目	单位	数据
1	型号	--	YTC-80
2	数量	台/炉	1
3	有效容积	m ³	80
4	设备直径	mm	3500
5	工作压力	MPa	常压
6	工作介质	--	尿素溶液
7	工作温度	℃	40~60

表 4 尿素溶液罐设备规范

Table 4 Equipment specifications for urea solution tank

序号	项目	单位	参数
1	型号	--	CDL20—12
2	转速	r/min	2935
3	流量	t/h	20
4	扬程	m	140
5	功率	kW	15
6	数量	台/机组	2

表 7 尿素溶液输送泵规范

Table 7 Specification for urea solution delivery pump

序号	项目	单位	数据
1	型号	--	YTC-50
2	数量	台/单元	1
3	有效容积	m ³	50
4	设备直径	mm	3000
5	工作压力	MPa	常压
6	工作介质	--	水
7	工作温度	℃	常温

表 5 稀释水箱设备规范

Table 5 Specification for Dilution Water Tank Equipment

序号	项目	单位	参数
1	型号	--	CDL20—16
2	转速	r/min	2935
3	流量	t/h	13
4	扬程	m	140
5	功率	kW	11
6	数量	台/机组	2

(3) 尿素溶液的混合分配系统

尿素溶液混合分配单元包括以下几个模块：a、尿素溶液混合模块，其功能是将 40%的尿素溶液与除盐水按照一定的比例进行混合，形成尿素含量可以随时调整的稀溶液。b、尿素溶液分配模块，其功能是将由尿素溶液混合模块混合好的稀溶液分配到各支喷枪。c、

压缩空气模块，其功能是驱动各模块内的气动阀门。

每台锅炉的 SNCR 系统包括 8 个尿素溶液混合分配模块和 8 个压缩空气分配模块，控制 72 支尿素喷枪中尿素溶液流量以及为喷枪提供雾化压缩空气。根据锅炉的出力和炉内烟气温度不同，系统自动选择喷枪的层数和数量，保证喷枪在最佳位置反应，实现最大效率。

尿素溶液在混合分配模块柜中，以一定的数量和稀释水混合，并分成若干等份，均匀地分配到各支喷

枪。

压缩空气主要用于喷枪雾化及仪表用气等，雾化和冷却所需的压缩空气取自空压机房外杂用及仪用压缩空气供气母管，每台炉 SNCR 系统仪表控制所需的压缩空气，取自锅炉 0 米仪用压缩空气母管。

混合与分配模块就近布置在喷枪层附近锅炉平台上。

尿素溶液混合与分配模块概况图见图 3。

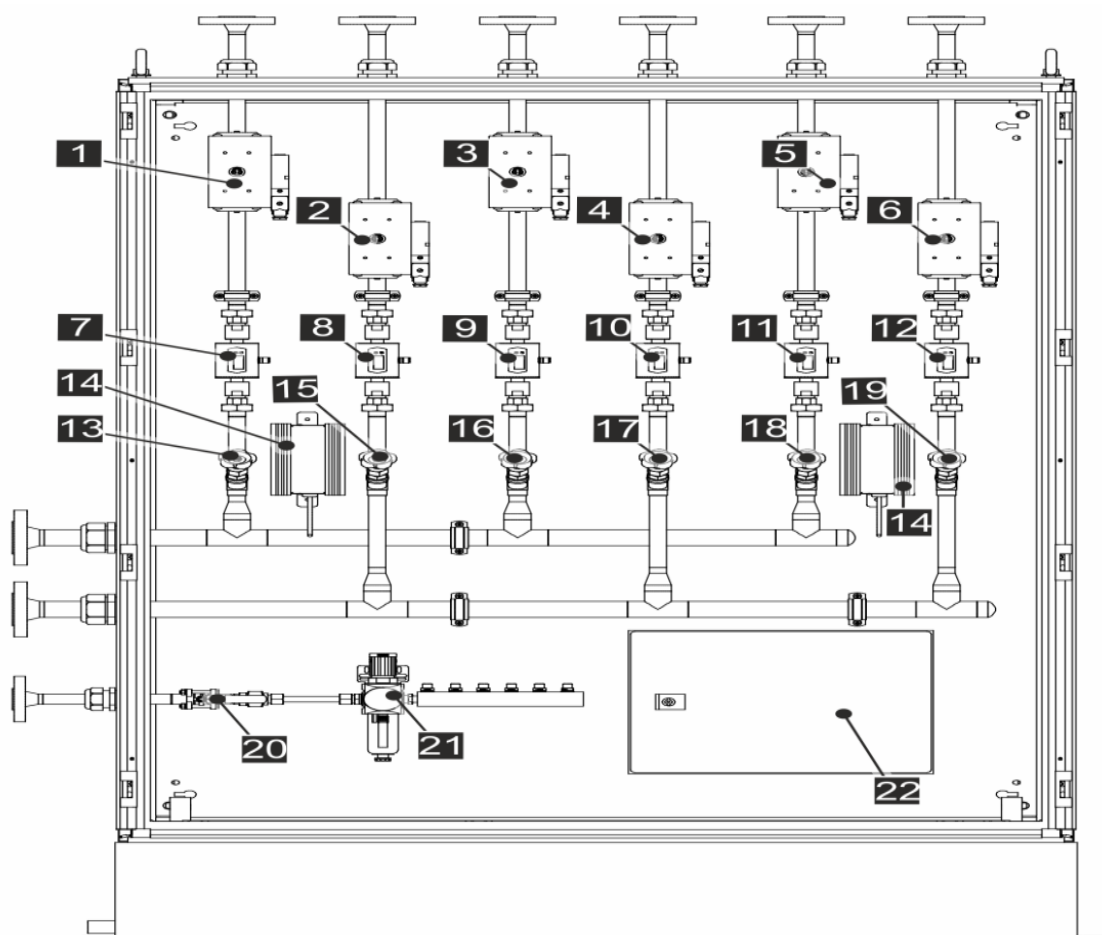


图 3 混合与分配模块概况

Figure 3 Overview of Mixing and Allocation Module

1-6 电磁阀；7-12 流量计；13 角阀；14 加热器；15-19 角阀；20 球阀；21 过滤减压阀；22 接线盒。

另外，在除盐水和尿素溶液混合之前的管道中安装有过滤器，以避免堵塞喷枪。每个喷枪均安装有流量计，用于测量经过稀释后的尿素溶液流量。作为雾化介质的压缩空气，可通控制柜中的阀门控制其流量。

稀释的尿素溶液经过喷枪喷入炉膛，分布于吹扫炉膛的横截面。喷射点位置的选取和切换是根据氮氧

化物与尿素溶液发生反应的最佳反应温度所在区间来选择。喷嘴能使尿素溶液形成微粒状水雾，保证烟气与之均匀混合。

(4) 尿素溶液的喷射系统

尿素溶液的喷射系统主要包括尿素喷枪、压缩空气、冷却吹扫风机。见图 4。

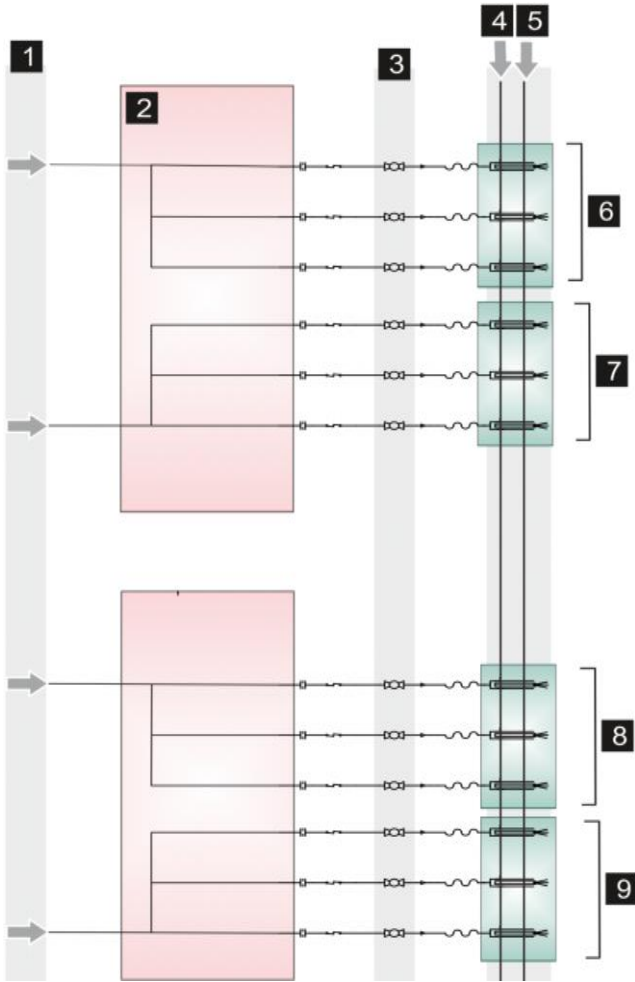


图4 尿素溶液喷射系统（前墙）简图

Figure 4 Schematic diagram of urea solution injection system (front wall)

1 来自混合与计量模块的混合溶液；2 混合分配模块；3 球阀；4 雾化压缩空气；5 吹扫风供应；6-9 第4层至第一层尿素喷枪。

SNCR 尿素喷枪设置在锅炉屏过折焰角区域，前墙4层，后墙2层，每层12支，每台炉共72支喷枪。根据锅炉负荷、炉内温度及氮氧化物浓度，系统可以自动调节尿素流量及切换喷射层。

尿素喷枪采用特制的由压缩空气雾化的双流体结构。经过喷枪的喷射，可以将尿素溶液雾化成极细的、分布均匀的液滴。尿素喷枪设置有保护和吹扫套管以防止喷嘴堵塞及飞灰侵蚀。

喷枪套筒采用独立的吹扫空气进行冷却，每台炉设置两台吹扫风机，一运一备。喷枪实物图见图5。

(5) 温度测量系统

其功能是测量烟气温度并提供给控制系统，用以控制尿素喷枪的投入层数和数量。

温度测量系统主要包括高温计和压缩空气、吹扫风系统。



图5 尿素喷枪实物图

Figure 5 Physical picture of urea spray gun

高温计采用美狄斯 M3F1 型非接触式红外测温仪，测量范围为 750 ℃—2000 ℃。其测量原理是根据火焰的光学密度来测量烟气的温度，其数学关系为： $\varepsilon = 1 - \exp(-D)$ ， ε 为烟气排放温度， D 为火焰的光学密度。



图6 高温计实物图

Figure 6 Physical image of a pyrometer

高温计安装在吹扫空气管道中（图6），以保持其表面清洁。即使吹扫空气短时停运，高温计也不会受到损坏，但光学端口和镜头会被灰垢沾污，需要进行清理。

烟气温度对于 SNCR 系统反应效率非常重要。因此，尿素溶液应喷入锅炉内部具有最佳反应温度的区域。高温计温度测量系统可以持续提供炉膛温度数据。温度测量系统沿炉膛横截面分成不同的温度区域，高温计读取当前烟气温度，系统经过数据处理得出二维图像。二维图像中的温度平均值由各个点综合计算得

出。区域温度平均值将显示并提供给过程控制系统。SNCR 控制系统根据不同区域的平均温度,通过切换适合的喷枪组,达到系统高效率运行的目的。

高温计安装在第一层喷枪下部,沿炉膛宽度方向共安装 12 支。另外,在屏过的下部安装 2 支高温计。

(6) SNCR 的电气系统

SNCR 系统设置一个配电盘,电源取自机组 380V 锅炉 PCI、II 段,双路电源供电,可以自动切换。SNCR 配电盘接带负荷有:模块控制电源和伴热电源,各风机、泵、仪控用电,照明加热用电。

(7) SNCR 的控制系统

尿素溶液的流量由 NO_x 控制器的输出量确定。通过在线监测的 NO_x 值、锅炉负荷信号计算的需求值和 NO_x 控制器的设定值进行比较,作为 NO_x 控制器的输入值,用来确定所需要喷入的尿素溶液的量。

3 个喷枪分为 1 组,每个喷枪组的尿素溶液单独控制。喷枪组混合溶液的分配与炉膛测量的烟气温度分布保持一致。如果某一个喷枪组的反应区的烟气温度太低或太高,这组喷枪喷入的尿素溶液的量将会减少;如果烟气的温度超出范围,喷射会停止。

当尿素溶液用量变化时,系统通过调节稀释水量来保持混合溶液压力恒定。同时,压缩空气的压力也保持恒定,以保证在各种工况下雾化良好。

同时,控制系统根据温度测量系统测得锅炉截面烟气温度,来确定喷枪层级的选择。

4 调试运行情况

该电厂 2×600MW 机组的 SNCR 运行调试除了常规设备的冷态单体调试、系统调试和热态调试外,还特别进行了冷态喷枪喷射效果的调试和热态各负荷工况喷枪尿素最佳流量的试验、投运层数的优化试验和控制逻辑的优化试验,整个调试过程历经 3 个多月。通过细致的运行调试,确定了最佳的尿素喷枪喷射距离、各负荷工况下最佳的尿素喷枪投运层数和运行方式,确定了各层尿素喷枪最佳的尿素流量。解决了投运初期尿素单耗高、脱硝效率低以及氨氮分布不平衡的问题。表 8 为 SNCR 系统调试结束后性能验收试验数据。

从表 8 可以看出,各负荷工况下,SNCR 系统脱硝效率均能达到 55% 以上,低负荷甚至达到 74%。配合 SCR 脱硝系统,联合脱硝效率可达 98%,可以满足超低排放的要求。因性能试验时为了考核系统的最高脱硝效率,SCR 和 SNCR 系统均加大了还原剂的用量,正常运行时,为了提高 SNCR 系统还原剂的利用效率,可以适当降低 SNCR 系统的脱硝效率,从而使还原剂尿素的用量大幅下降。根据该厂的运行经验,一般保持 SNCR 系统的脱硝效率在 30% 左右,SCR 系统的脱硝效率保持在 91.5% 左右,可以实现超低排放的同时,将尿素单耗降至 1.0g/kWh。

表 8 8 号脱硝 (SNCR+SCR) 性能验收数据

Table 8 Performance Acceptance Data for No. 8 Denitration (SNCR+SCR)

项目	单位	90%负荷		75%负荷		60%负荷	
		A 侧	B 侧	A 侧	B 侧	A 侧	B 侧
SNCR 入口 NO _x (标态, 干基, 6% O ₂)	mg/m ³	600.4	776.3	572.9	648.9	501.9	511.6
SCR 入口 NO _x (标态, 干基, 6% O ₂)	mg/m ³	219.4	370.5	201	117.6	146.1	115.1
SNCR 脱硝效率	%	63.5	52.3	64.9	81.9	70.9	77.5
	%	57.9		73.4		74.2	
SNCR 尿素溶液耗量	L/h	11684		9309		8405	
SCR 入口 NO _x (标态, 干基, 6% O ₂)	mg/m ³	219.4	370.5	201	117.6	146.1	115.1
SCR 出口 NO _x (标态, 干基, 6% O ₂)	mg/m ³	10.2	17.3	22.1	18.3	34.1	23.7
SCR 脱硝效率	%	95.4	95.3	89	84.4	76.7	79.4
	%	95.3		86.7		78	
SNCR+SCR 联合脱硝效率	%	98.3	97.8	96.1	97.2	93.2	95.4

5 结论和建议

近年来,随着国家环保排放标准的日趋严格,SNCR 技术作为一种投资低,改造工期短的脱硝工艺,

配合 SCR 脱硝技术,可以满足大型电站煤粉锅炉的 NO_x 超低排放的要求 [8-12]。目前,某火电厂的 SNCR+SCR 联合脱硝技术已经安全稳定运行多年,各项运行指标平稳,系统运行可靠,具有广泛的推广价值,特别是针对燃烧低挥发分煤种的锅炉,由于这类

锅炉燃烧生成的 NO_x 浓度高, 单纯利用 SCR 脱硝技术难以稳定可靠的实现超低排放, 甚至会导致空预器的严重堵塞, 影响机组的带负荷能力和风机的运行安全, 可以考虑增加高效 SNCR 脱硝系统, 利用 SNCR+SCR 联合脱硝技术实现锅炉 NO_x 的超低排放[13-17]。

参考文献

- [1] 朱传强, 胡利华, 沈宏伟, 等. 生活垃圾焚烧选择性非催化还原 (SNCR) 的工程试验研究 [J]. 工程热物理学报, 2020, 41(8): 2089-2095.
- [2] 刘凤, 李昊天, 张彩端, 等. 基于吸收剂分区的同时脱硫脱硝反应特性研究 [J]. 动力工程学报, 2019, 39(12): 994-998, 1004.
- [3] 杨希刚, 陈国庆, 黄林滨, 等. 尿素法 SNCR 对大型电站煤粉锅炉运行影响的工业试验 [J]. 化工进展, 2022, 41(7): 3573-3581.
- [4] GHOLAMI F, TOMAS M, GHOLAMI Z, et al. Technologies for the nitrogen oxides reduction from flue gas: A review [J]. Science of the Total Environment, 2020, 714: 136712.
- [5] 罗晨, 马素霞, 崔志刚, 等. 基于碳酸氢铵的 SNCR 低温脱硝实验研究 [J]. 热能动力工程, 2022, 37(8): 128-134, 142.
- [6] PARK P M, PARK Y K, DONG J I. Reaction characteristics of NO_x and N_2O in selective non-catalytic reduction using various reducing agents and additives [J]. Atmosphere, 2021, 12(9): 1175.
- [7] 陆续, 吴庆龙, 张向宇, 等. 高温还原区喷氨脱硝试验研究 [J]. 动力工程学报, 2020, 40(6): 481-485, 501.
- [8] 王菁, 张瑞娉, 杨凤玲, 等. 水蒸气在 NO_x 控制技术中机理研究及应用进展 [J]. 洁净煤技术, 2021, 27(5): 89-97.
- [9] 汪宝宝, 池作和, 王进卿, 等. 雾化喷枪参数对流化床锅炉 SNCR 脱硝效率的影响 [J]. 热力发电, 2015, 44(5): 45-49.
- [10] 李穹, 吴玉新, 杨海瑞, 等. SNCR 脱硝特性的模拟及优化 [J]. 化工学报, 2013, 64(5): 1789-1796.
- [11] 唐志雄, 曾环木, 岑超本, 等. NH_3 选择性非催化还原含硫烟气中 NO_x 的实验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(20): 34-39.
- [12] 屈卫东, 周建强, 杨建华, 等. 循环流化床锅炉 SNCR 脱硝系统优化及应用 [J]. 热力发电, 2014, 43(1): 133-136.
- [13] 高阳, 赵博, 嵇玉群, 等. 中温条件下粉煤灰对氨气脱硝性能的影响 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(5): 668-671.
- [14] 张彦文, 蔡宁生, 李振山. 加入 CH_4 促进 SNCR 过程的计算与机理分析 [J]. 热力发电, 2005, 34(12): 9-12.
- [15] 郝江涛, 于伟, 卢平, 等. 烟气组分和添加剂对选择性非催化还原脱硝特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(12): 3054-3060.
- [16] 段传和, 夏怀祥, 谭效德, 等. 选择性非催化还原法 (SNCR) 烟气脱硝 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 37.
- [17] 罗朝晖, 王恩禄. 循环流化床锅炉选择性非催化还原技术及其脱硝系统的研究 [J]. 动力工程, 2008, 28(3): 442-446.

作者简介

焦传宝

1975 年生, 正高级工程师. 研究方向为电站锅炉技术管理、节能减排技术研究.

E-mail: jiaocb@163.com