

北京石景山热电厂 4 号 200MW 机组 烟气脱硫设计特点

国电华北电力设计院工程有限公司 龚立贤 王益忠

内容摘要:本文论述了北京石景山热电厂 4 号 200MW 机组采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫的特点。着重介绍了吸收塔、烟气系统、制浆系统、石膏脱水系统和脱硫设备布置、主要技术指标。并对脱硫特点做了小结。

关键词:烟气脱硫 石灰石制浆 石膏脱水

1、概况

北京石景山热电厂现称北京京能热电股份有限公司,装设 4 台 200MW 燃煤供热机组,向北京市城市供热供电,该电厂由北京国电华北电力工程有限公司(原华北电力设计院)设计,一期 3 台 200MW 机组 1991 年全部建成投产,二期 1 台 200MW 机组 1995 年投产。当时未考虑烟气脱硫,随着环境保护要求越来越高,电厂需装设烟气脱硫设备,北京国电 2000 年 4 月编制了《北京石景山电厂 #1~#4 炉烟气脱硫工程可行性研究报告》。

经上级批准,先进行 4 号机组脱硫改造工程,通过总承包招标,北京国电龙源环保工程有限公司中标,采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统。北京国电编写总承包标书并承担了脱硫工程的施工图设计。

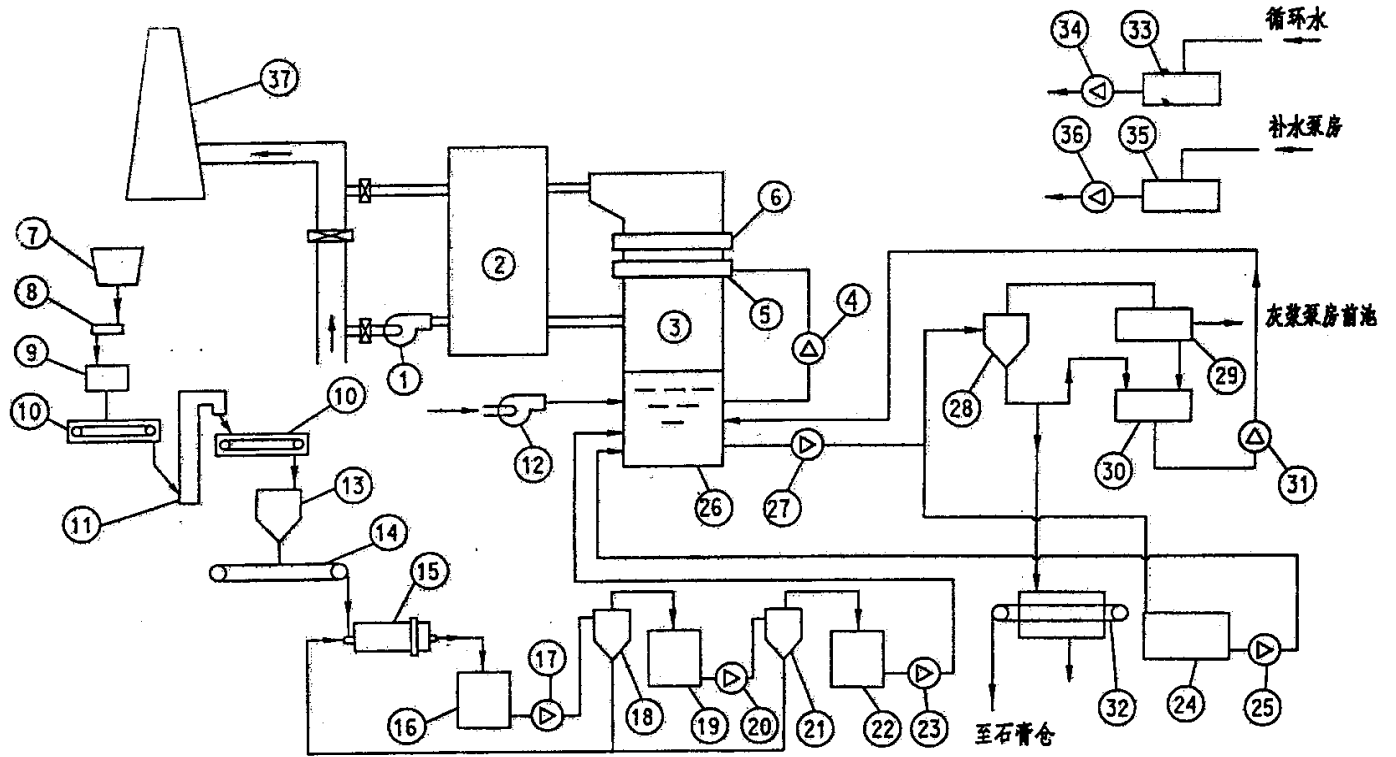
该工程从 2001 年 6 月开工,历时 18 个月完成了设计、设备供货、施工安装及调试,于 2002 年 12 月 29 日通过 168 小时试运行,现已正式移交生产投入运行,运行情况良好,为减轻北京市大气污染作出了贡献。原国家经贸委将该工程列入锅炉烟气脱硫国产化的示范工程。

2、脱硫工艺系统

国外火电厂烟气脱硫 80% 以上采用石灰石—石膏湿法脱硫,技术成熟可靠,运行维护比较简单,脱硫效率高达 95% 以上,石灰石价格低,易取得,脱硫副产品石膏可以综合利用,国内很多电厂采用湿法脱硫,效果好,系统运行稳定,对煤种和负荷变化适应范围广,故本工程采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统。

脱硫工艺系统见石景山热电厂 4 号机组脱硫工艺流程示意图:

石颍山热电厂四号机组脱硫工艺流程示意图



示意图编号名称:

1. 增压风机 2. 烟气换热器 3. 脱硫吸收塔 4. 浆液再循环泵 5. 喷淋装置
6. 除雾器 7. 石灰石卸料斗 8. 振动给料机 9. 破碎机 10. 刮板输送机
11. 斗式提升机 12. 氧化风机 13. 石灰石仓 14. 皮带称重(电子计量)给料机
15. 湿式球磨机 16. 一级石灰石浆液循环箱 17. 一级浆液循环泵
18. 一级旋流器 19. 二级石灰石浆液循环箱 20. 二级浆液循环泵
21. 二级旋流器 22. 石灰石浆液罐 23. 石灰石浆液泵 24. 事故浆液罐
25. 事故浆液罐输送泵 26. 吸收塔浆液池 27. 石膏浆液输送泵
28. 石膏旋流器 29. 浆液废水箱 30. 石膏浆液溢流箱 31. 石膏浆液溢流泵
32. 真空皮带脱水机 33. 工艺水箱 34. 工艺水泵 35. 工业水箱 36. 工业水泵

2.1 吸收塔

吸收塔是烟气脱硫的关键设备,在吸收塔内烟气与石灰石浆液混合,烟气中 SO_2 与浆液中的碳酸钙(CaCO_3)和鼓入空气中的氧(O_2)发生反应,生成二水硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)即石膏。

烟气从吸收塔下部进入,经过喷淋洗涤,脱硫后的清洁烟气,经吸收塔上部的除雾器除去雾滴后排出吸收塔。

设2台氧化风机(1台备用),向吸收塔送风,采用罗茨风机,型号为XLP210, $2455\text{Nm}^3/\text{h}$, 0.92Kpa , 110kw 。

吸收塔下部设浆液池,用3台循环浆泵将浆液打至上部三组喷淋装置后喷下。循环泵为离心式,金钢耐腐蚀泵,型号为KWPK600-824,出力 $530\text{m}^3/\text{h}$,3台泵扬程分别为18.1、20.1、22.1m,三台泵电机功率分别为400、450、500kw,电压6000V,该泵由德国KSB供货。

落入浆液池的石膏结晶长大,通过2台石膏浆液泵输至石膏脱水系统。

吸收塔设计参数见下表:

吸收塔设计参数汇总表

序号	项 目	单位	数值	备注
1	型式		喷淋塔	
2	数量	台	1	
3	处理烟气量(湿)	Nm^3/h	919523	最高烟温 155°C
	(干)	Nm^3/h	857449	
4	烟气温度	$^\circ\text{C}$	135.8	
5	吸收塔区直径	m	10.9	
6	吸收塔区高度	m	~7	
7	浆池直径	m	10.9	
8	浆池高	m	14.5	

序号	项 目	单位	数值	备注
9	浆池容积	m ³	1355	
10	吸收塔总高	m	33.4	
11	烟气流速	m/s	4	
12	烟气在吸收塔内停留时间	s	~4	
13	浆液循环停留时间	min	5.5	
14	吸收塔搅拌器数量及功率	kw	5×22	国外供货
15	喷淋层数量	层	3	
16	喷嘴型式		中空锥喷嘴	国外供货
17	除雾器级数	级	2	国外供货
18	氧化空气喷嘴数		2	

2.2 烟气系统

来自锅炉的烟气经电除尘器、引风机后排入水平烟道进入烟囱，增设脱硫装置后，设旁路挡板门，原烟气经增压风机、烟气换热器进入吸收塔，脱硫后从吸收塔上部出来的净烟气，经烟气换热器至原有烟道进入烟囱。

设置1台增设风机，其目的是克服脱硫装置的阻力，原有引风机可以不作变动，这种系统运行灵活，脱硫系统故障时可切除脱硫装置，不影响锅炉正常运行。增压风机，为静叶可调轴流风机，型号为AN35，容量1515360m³/h，扬程3800Pa，电动机2240kw、6kV。

从吸水塔排出的净烟气经烟气换热器，加热至>80℃后排入烟囱。防止净烟气在排放过程中结露，减少净烟气对烟囱的腐蚀，同时可以保持烟囱出口有一定的提升高度。

烟气换热器为回转式，转子直径φ10m，加热面积9200m²，加热板材采用Q235-A表面烧结搪瓷，防止烟气结露腐蚀受热面。

为减少回转式换热器烟气泄露，设有密封装置和密封风机，使其烟气泄露率小于1%。回转式换热器采用蒸汽吹灰。并设有清洗使用的高压冲水泵1台，10m³/h，9.6Mpa。另设有1台净化风机，40000m³/h，4.5Kpa，电机功率132kw。

在原有至烟囱的烟道上装设国外供货的双挡板旁路门，在脱硫装置的进出口段装设国产双挡板门。在两挡板之间引入密封气，其压力比烟道压力大15mbar。

设2台密封风机(1台备用)，型号为Y8-39 4D，3847m³/h，2.2Kpa，电机功率7.5kw。

烟道设计压力为+60、-40mbar，设计最大温度为170℃。在回转式换热器后未处理烟气和在回转式换热器前后净烟气的烟道，为防腐蚀在烟道内衬1.2mm玻璃鳞片。所使用膨胀节为非金属膨胀节，其材质为纤维。

2.3 制浆系统

0~80mm的块状石灰石由自卸汽车运至电厂，卸到地下石灰石卸料斗，经振动给料机，送入破碎机，将石灰石破碎至0~10mm，经刮板输送机，将破碎后的石灰石输至斗式提升机，提升至高位布置的刮板输送机，输至石灰石仓，经称重皮带机称重后送入湿式球

磨机制成石灰石浆送入一级石灰浆液循环箱,经一级浆液循环泵输至一级旋流器,其出口浆液进入二级石灰浆液循环箱,经二级浆液循环泵输至二级旋流器,细度合格的浆液进入石灰石浆液罐,经石灰石浆液泵送入吸收塔浆液池。一、二级旋流器下不合格的浆液返回至湿磨入口。

为使检修后脱硫系统快速投入运行,设置一座事故浆液罐,保留一定数量的晶体颗粒,为启动后在吸收塔浆液池内石膏晶体的生长提供晶核。为输送事故浆液罐的浆液,还设有输送泵。

现将有关设备规范介绍如下:

石灰石卸料斗:2个,混凝土结构内表面衬钢板,有效容积约 12m^3 。

振动给料机:2台,型号为GZY-0517,出力 35t/h ,给料机宽度 600mm ,长度: 1700mm ,电机 2.2kW 。

破碎机:2台,立锤式,型号为PCFL-1250Q,出力 35t/h ,入料尺寸 $0-80\text{mm}$,出料尺寸 0.10mm ,电机 75kW 。

刮板输送机:1台,型号为PMSW32,出力 35t/h ,输送距离 6.2m ,电机 2.2kW 。

斗式提升机:1台,号为TB315,出力 35t/h ,提升高度 32m ,斗速 0.5m/s ,电机 11kW 。

刮板输送机(高位布置):1台,型号为PMSW32,出力 35t/h ,输送长度 7m ,电机 2.2kW 。

石灰石仓:钢制,有效容积约 120m^3 。

皮带称重(电子计量)给料机:1台,型号为NJGC-30,出力 $10-30\text{t/h}$,给料距离 2500mm ,电机 5.5kW 。

湿式球磨机:1台,型号为MQS-T2754,出力 12t/h ,外型尺寸 $9319\times 2756\text{mm}$,颗粒 $0-44\mu\text{m}$, $>90\%$,电动机 450kW , 6kV 。

一级浆液循环箱:1台,钢制,容积 4m^3 。箱上装有1台电动搅拌器。

一级浆液循环泵:2台(1台备用),离心式,型号为80T-36, $83\text{m}^3/\text{h}$, 3.1m ,电机 22kW 。

一级旋流器:1套(2个旋流筒) $80.8\text{m}^3/\text{h}$ 。

二级浆液循环箱:1台,钢制,容积 4m^3 ,箱上装有1台电动搅拌器。

二级浆液循环泵:2台(1台备用),离心式,型号为65T-36, $53\text{m}^3/\text{h}$, 23.3m 机 11kW 。

二级旋流器:1套(4个旋流筒) $51.1\text{m}^3/\text{h}$ 。

石灰石浆液箱:1台,钢制,有效容积 250m^3 ,箱上装有电动搅拌器1台。

石灰石浆液泵:2台(1台备用),离心式,型号为50T-40, $42\text{m}^3/\text{h}$, 63m ,电机 30kW 。

事故浆液罐:1台,钢制,有效容积 1500m^3 ,在罐上装有3台电动搅拌器。

事故浆液罐输送泵:1台,离心式,型号为100T-30, $100\text{m}^3/\text{h}$, 30m ,电机 22kW 。

2.4 石膏脱水系统

吸收塔浆液池排出的石膏浆,经输送泵过滤送至石膏旋流器,浓缩后的石膏浆进入真空皮带脱水机。稀浆经浆液废水水箱小部分废水排至电厂灰泵房前池,大部分浆液进入石膏浆液溢流箱,通过浆液溢流泵再打回吸收塔浆液池。

石膏浆经过真空脱水后,水分小于 10%,至石膏仓,然后用汽车运往用户。

真空皮带脱水机由真空泵形成负压,在真空泵前设有气水分离器。石膏脱水系统还没有滤布冲洗水箱、冲洗泵,滤饼冲洗水箱及冲洗泵。

现将有关设备规范介绍如下:

石膏浆液输送泵:2台(1台备用),离心式,型号为 3/2C-AH,55m³/h,52.5m,电机 22kw。

石膏浆液旋流器:1套(3个旋流筒),由国外进口。

浆液废水箱:1台,容积 1m³。

石膏浆液溢流箱:1台,容积 50m³,箱上装有 1台电动搅拌机。

石膏浆液溢流泵:2台(1台备用),离心式,型号为 4/3C-AH,120m³/h,40m,电机 30kw。

真空皮带脱水机:1台,过滤面积 25.6m²,出力 18t/h,电机 15kw,由国外进口。

真空泵:1台,6000m³/h,2.9m(绝对),电机 160kw,由国外进口。

石膏储仓:1座,钢制,有效容积约 500m³,上部直径 ϕ 6874mm,下部直径 ϕ 8500mm,高约 15m。

2.5 其他系统

为保证脱硫装置的安全稳定运行,还设计了浆液排放回收系统、工艺水系统、工业水系统、风机冷却系统。

在吸收塔区域设有地坑,吸收塔等处疏水,排水排至地坑,用泵将地坑浆液打至事故浆液罐或打回吸收塔。排水泵 1台,60m³/h,25m,电机 15kw。

在制浆系统处仍设有地坑,附近设备疏水,排水排至此地坑,用泵将地坑浆液打至石膏浆液溢流箱或打至石灰石浆液罐,排水泵 1台,45m³/h,18m,电机 7.5kw。

上述两个地坑均设有电动搅拌机,防止石灰浆沉淀。

脱硫用工艺水主要供除雾器及各处冲洗用水,设工艺水箱 1座,容积 200m³,设工艺水泵 2台(1台备用),离心式,型号为 KWPK125-500,200m³/h,75m,电机 90kw。所需工艺水由老厂循环水来。

脱硫工业用水,主要用于湿式球磨机等设备的冷却用水,设工业水箱 1座,容积 10m³,设工业水泵 2台(1台备用),离心式,型号为 KWPK40-250,20m³/h,20m,电机 4kw。工业水来自老厂水泵房。

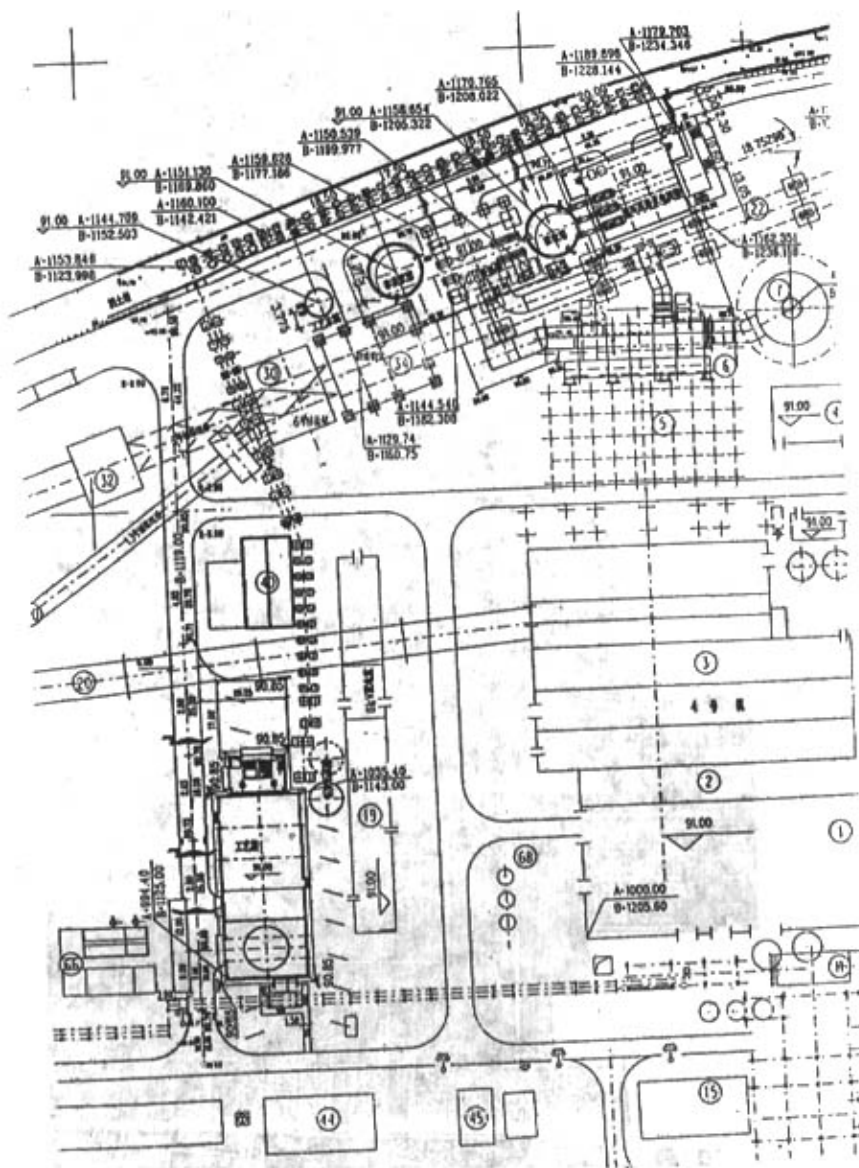
3. 脱硫布置

由于脱硫设备布置受场地狭窄限制,不得已将脱硫设备分为吸收塔区布置和工艺楼布置两部分。吸收塔区布置在锅炉引风机与围墙之间。工艺楼布置电厂厂区扩建端空压机室的旁边。吸收塔与工艺楼相距 100 多米。

吸收塔区布置由工艺水箱、事故浆液罐、烟气换热器间、吸收塔和电控楼组成。电控楼为 3、4 炉共用,0 米布置,浆液再循环泵,氧化风机,8 米层为电缆夹层,11 米层为 380V 配电装置及电子间,15.2 米层为控制室。吸收塔区长约 76 米,宽 17 米,并预留了 3 号 200MW 机组布置位置。

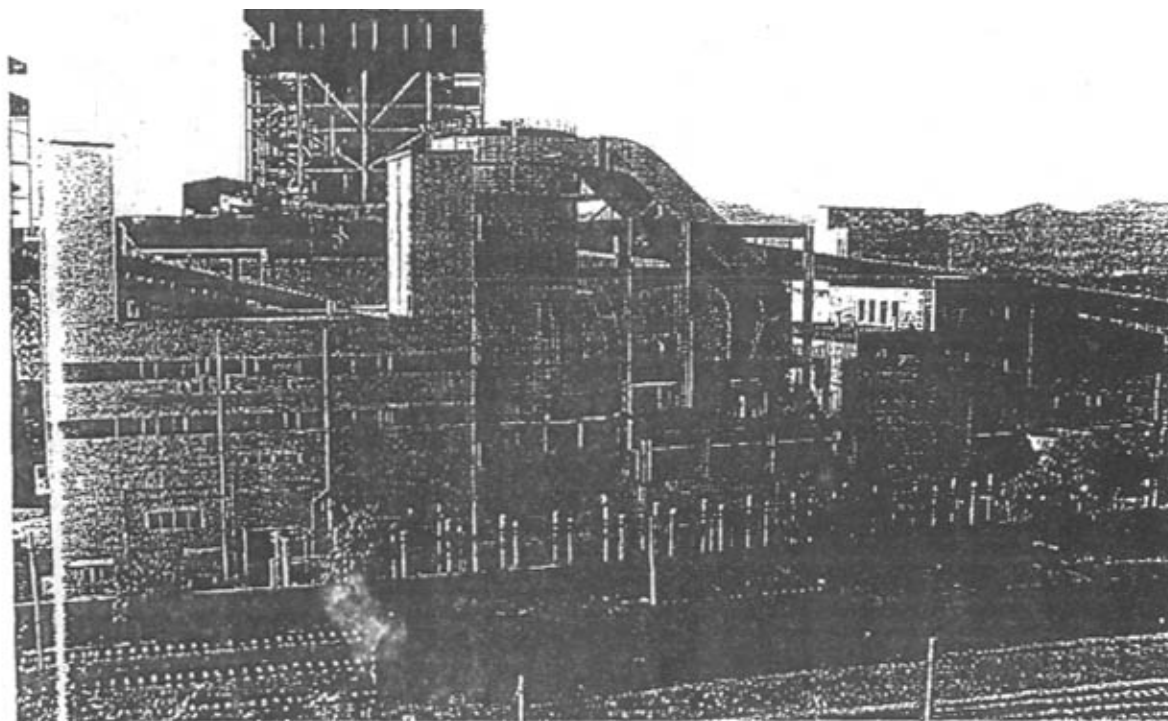
工艺楼布置由石灰石制浆和石膏脱水两部分设备布置组成。工艺楼内预留了 3 号

机组(200MW)脱硫设备布置位置。工艺楼为多层建筑。



石景山热电厂4号200MW机组脱硫总平面布置图

京能脱硫项目全景



石灰石破碎贮藏间 0 米布置有石灰石卸料斗、布袋除尘器, -6.0 米布置有振动给料机、破碎机, -10 米布置有刮板输送机、斗式提升机, 20 米层布置有刮板输送机和石灰石仓和布袋除尘器, 6.2 米层有承重给料机。

石灰石制浆及石膏脱水间, 0 米布置有湿式球磨机、石膏溢流浆罐、室外有石灰石浆液罐, 9 米层有工业水箱及水泵、二级石灰石浆液再循环箱及浆液泵, 17 米层有石灰石浆液一、二级旋流器小环式真空泵及配套的空压机、滤布冲洗水箱及水泵、滤井冲洗水箱及水泵。24 米层有真空皮带脱水机、气水分离器、钢制石膏贮罐。32 米层有石膏旋流器及废水箱。

工艺楼全长 49.75 米, 宽 18 米, 其中破碎间 12×8 米。

脱硫总平面布置见上图:

4、电气和热控

4.1 电气

装设 1 台脱硫变压器, 其容量按 4 台 200MW 机脱硫设备考虑。脱硫变压器额定容量为 31500KVA, 额定电压 220kV/6.3kV, 还相应装设了隔离开关和断路器。

采用 2 台 1600KVA, 6.3kV/0.4kV 干式变压器。

6kV 选用 KVN 型手车式开关柜, 380V 选用 GCS 低压配电盘。

直流系统和 UPS 装设 150Ah 铅酸免维护蓄电池和 15KVA UPS。

4.2 热控

脱硫采用分散控制系统(DCS), 设有工程师站和操作员站。

在控制室内可进行脱硫的启动、停止、运行的监视和操作实现脱硫的集中控制。

脱硫装置还装设一套进口烟气连续监测系统(CEM), 对烟气中的 SO_2 、 N_{OX} 、烟尘等浓度进行在线连续监测, 通过 DCS 系统进行调整。

5、主要技术参数

脱硫主要技术参数见主要技术指标汇总表:

石景山热电厂 4 号机组脱硫主要技术指标汇总表

序号	项 目	单 位	设计值	运行值	备 注
1	机组容量	MW	200		
2	燃料硫分	%	1.1		
3	锅炉耗煤量	t/h	115		
4	处理烟量(湿)	Nm ³ /h	919523		
	(干)	Nm ³ /h	857449		
5	烟气温度	℃	135.8		最高烟温 155℃
6	烟气中 SO ₂ 浓度	mg/Nm ³	≤2130		
7	烟气中烟尘浓度	mg/Nm ³	≤150		
8	脱硫效率	%	≥95	95.7-98.6	
9	石灰石耗量	t/h	3.4		

序号	项 目	单位	设计值	运行值	备 注
10	钙硫化		1.05		
11	石膏产量	t/h	5.912		
12	石膏表面水分	%	≤10	<10	
13	CaCO ₃ 残留物	%	≤5	1-3	
14	烟囱入口烟气温度	℃	≥80	>80	
15	净化后烟气 SO ₂ 浓度	mg/Nm ³	≤110	<100	
16	净化后烟气 灰尘浓度	mg/Nm ³	≤50	<50	
17	烟气压力损失				
	吸收塔	mbar	10		
	烟气换热器	mbar	11		
	烟气系统总阻力	mbar	30		
18	系统使用年限	年	30		
19	系统年可用率	%	95		
20	设备轴功率	kw	2680		
21	工业水耗量	m ³ /h			平均值
	工艺水量	m ³ /h	38		
	冷却水量	m ³ /h	3		
	其他水量	m ³ /h	5		
	合计耗水量	m ³ /h	46		

6、设备国产化问题

本工程作为国产化试点工程,承包商做了大量工作,在保证质量前提下,能采用国产设备的,尽量采用国产,以降低工程造价,通过运行考验,所选设备满足了电厂安全稳定运行,其脱硫效率超过设计值,电厂比较满意。

由国外进口设备见下表:

石景山热电厂 4 号 200MW 机组脱硫工程进口设备汇总表

序号	名 称	数量	备 注
1	吸水塔		
	除雾器	2 级	
	喷淋装置	3 层	
	搅拌器	5 台	每台 22kw
2	浆液循环泵	3 台	全钢耐腐蚀泵
3	烟气旁路双挡板门	1 套	

序号	名称	数量	备注
4	事故浆液罐 搅拌器	3台	每台 22kw
5	一级石灰石浆液旋流器	1套	2个旋流筒
6	二级石灰石浆液旋流器	1套	4个旋流筒
7	石膏浆液旋流器	1套	3个旋流筒
8	真空脱水设备	1套	含真空皮带脱水机、气水分离器、真空泵、滤井、滤布冲洗水箱及水泵。
9	浆液调整阀	1套	
10	烟气连续监测系统	1套	

7、小结

7.1 石景山热电厂4号200MW机组采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫系统,通过运行表明技术成熟可靠,运行维护比较简单,脱硫效率高达95.7—98.6%。

7.2 本工程采用德国斯坦米勒公司先进技术,脱硫设计主要参数选择合理、正确。

7.3 在电厂内磨制石灰石粉,比到市场购买石灰石粉价格低。采用湿式球磨机制浆,减少了厂区污染。

7.4 在老厂增加脱硫设备,受场地狭窄的限制,本工程脱硫设备布置因地制宜。

7.5 脱硫副产品石膏,已被建材部门综合利用,使电厂取得一定经济效益。

7.6 4号机组脱硫工程投产后,每年少向大气排放SO₂8000多吨,改善了城市大气环境质量。

7.7 北京国电龙源环保工程有限公司对本工程进行总承包,从设计到投产仅用了18个月,我公司承担了安装、土建施工图设计,满足了电厂和总承包方的进度和质量要求,也提高了我公司脱硫工程设计技术水平。

8、参考资料

- 8.1 北京石景山热电厂#1—#4炉烟气脱硫工程可行性研究报告
北京国电华北电力工程有限公司 2002年4月
- 8.2 北京京能热电股份有限公司#4炉脱硫改造工程总承包投标书
北京国电龙源环保工程有限公司 2002年11月
- 8.3 北京京能热电股份有限公司#4炉脱硫改造工程竣工图
2003年3月
- 8.4 国内几个厂家生产湿法烟气脱硫情况报告
北京国电华北电力工程有限公司 龚立贤 2003年5月