



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



锅炉大气污染物主要控制技术

(SO_x、NO_x、PM、消白、BC)

哈尔滨工业大学燃烧工程研究所
中美清洁能源联合研究中心
燃煤污染物减排国家工程实验室

介绍人：高建民 教授

2019年6月13日



单位简介

哈尔滨工业大学燃烧工程研究所成立于**1987**年，所在二级学科热能工程成立于**1954**年，该学科为国家重点学科、国防科工委重点学科和黑龙江省重点学科。**1990**年被批准为博士学位授权点，**2008**年国家批准立项建设“燃煤污染物减排国家工程实验室”。**2011**年进入中美清洁能源联合研究中心。

燃烧工程研究所所长秦裕琨教授为中国工程院院士，副所长吴少华教授受聘为国家**863**先进能源技术领域专家。

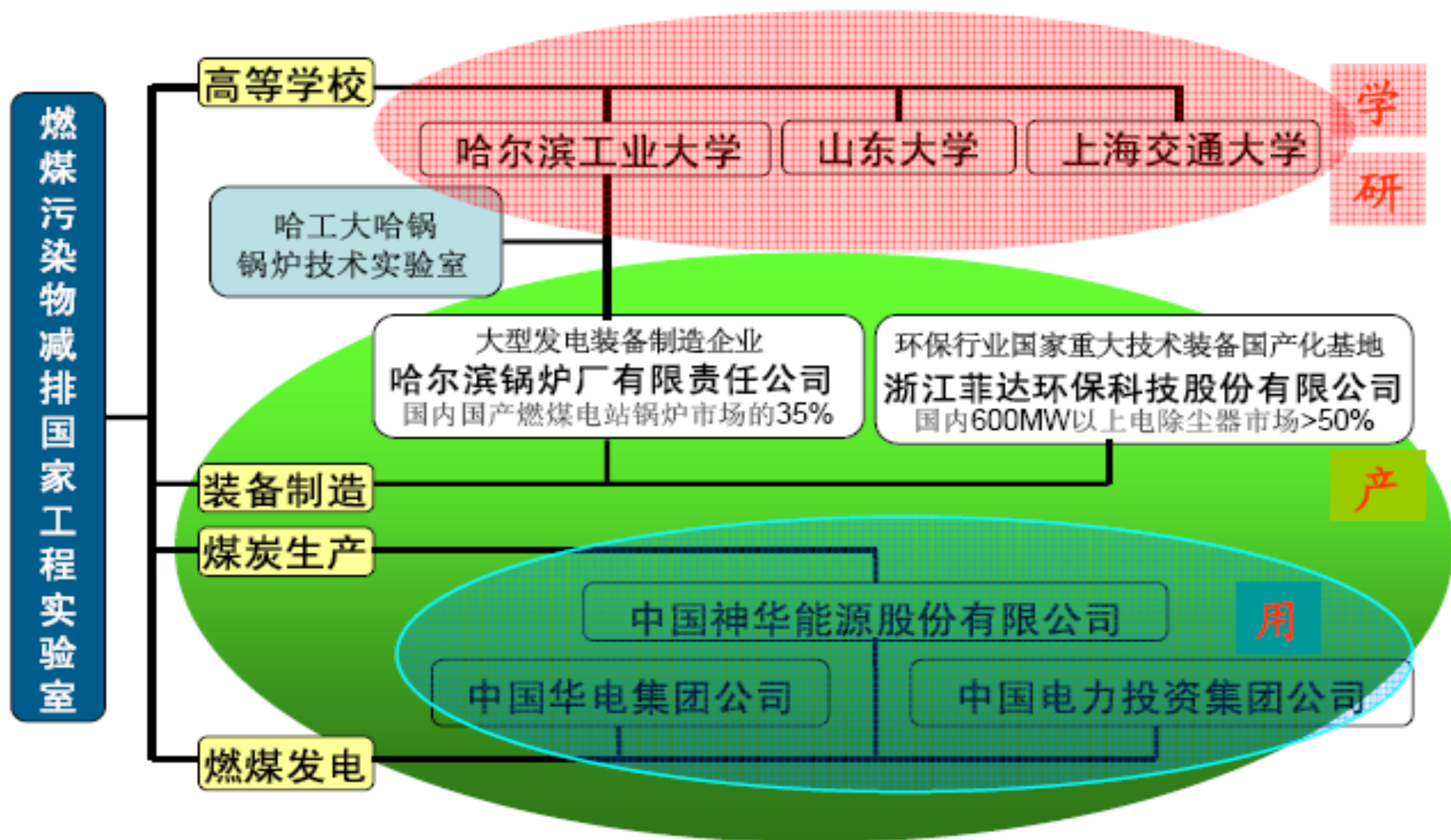
应用基础研究（**973**、国家自然科学基金重点、面上、青年、人才）

国家重大需求（**863**、支撑（攻关）、国家重点研发）

企业共性或重大问题（电力、环保）



单位简介-燃煤污染物减排国家工程实验室





单位简介-参与制定审定相关标准

参与制定标准：

- 《热水锅炉水动力计算方法》-JB/T8659-1997
- 《锅壳锅炉受压原件强度计算》-GB/T16508-1996
- 《水管锅炉受压原件强度计算》-GB/T9222-1998
- TSG G0002-2010：《锅炉节能技术监督管理规程》
- TSG G0003-2010：《工业锅炉能效测试与评价规则》

征求意见单位：

- 燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案-2014（7部委）
- GB13271-2014：《锅炉大气污染物排放标准》
- GB13223-2011：《火电厂大气污染物排放标准》
- 《排污许可证申请与核发技术规范-锅炉》-2018



十部委：北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）

清洁供暖规划通知

2017.12.20

国家发展和改革委员会
国家能源局
财政部
环境保护部
住房和城乡建设部
国务院国有资产监督管理委员会
国家质量监督检验检疫总局
中国银行业监督管理委员会
中国证券监督管理委员会
中央军委后勤保障部

文件

2018.1.24

发改能源〔2017〕2100号

关于印发北方地区冬季清洁取暖规划 （2017-2021年）的通知

2018.4.27

为深入贯彻党的十九大精神，落实习近平总书记在中央财经领导小组第14次会议上的重要指示，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，按照党中央、国务院决策部署，发展改革委、能源局、财政部、环境保护部、住房和城乡建设部、国资委、质检总局、银监会、证监会、军委后勤保障部制定了《北方地区

— 1 —



国家能源局

National Energy Administration

请输入关键字



首页 信息公开 领导活动 新闻中心 能源要闻 在线办事

您当前位置：首页 > 正文

北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)解读

发布时间：2018-01-24

来源：中电新闻网

大 中 小

国家能源局解读规划

国家能源局电力司有关负责人就《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》北方地区冬季清洁取暖现状和问题以及推动该项工作的方向目标、推进策略、



住建部燃煤超低论坛

2018.04.27

中国·杭州

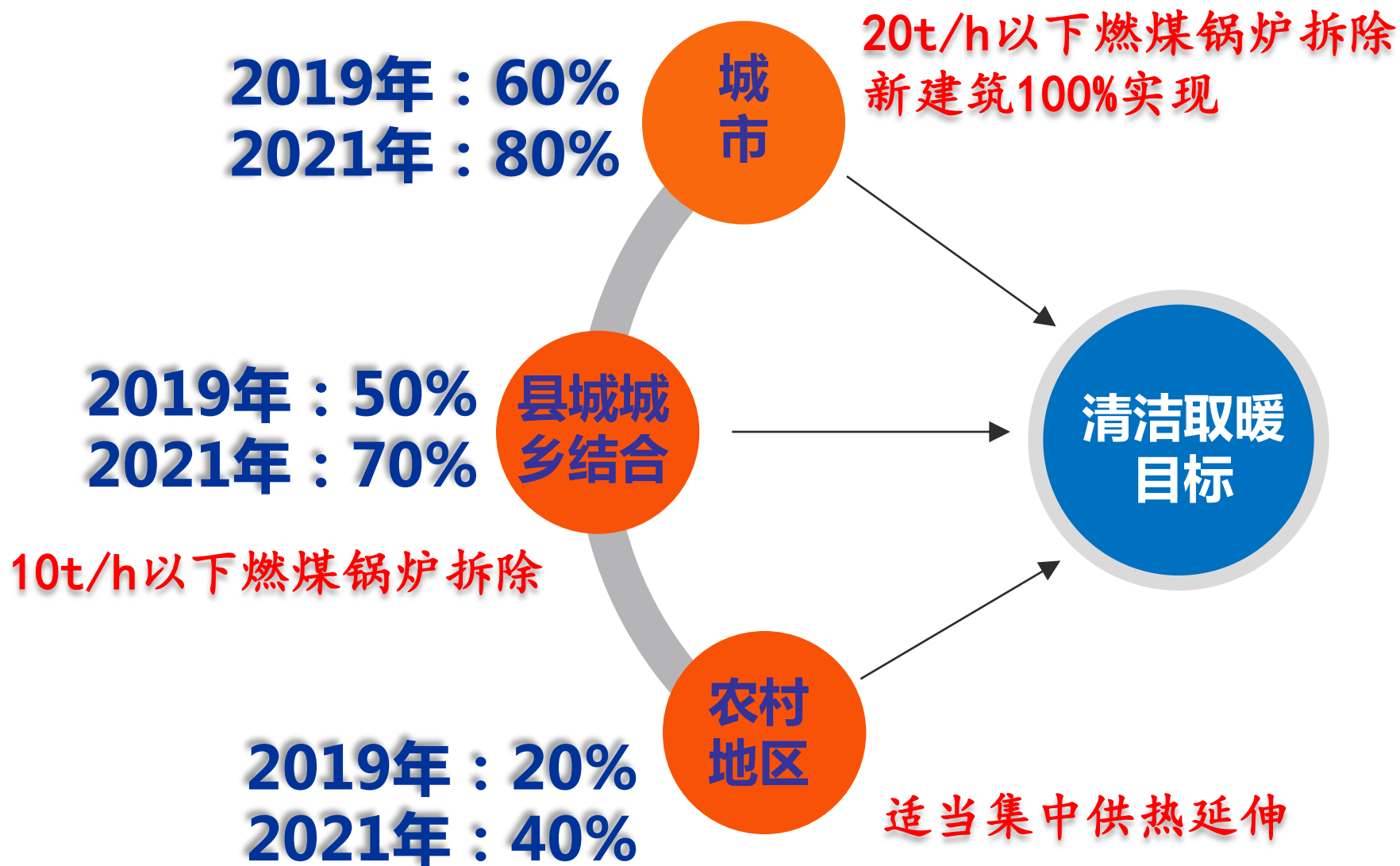


十部委：北方地区冬季清洁取暖规划（，；u2017-2021年）





十部委：北方地区冬季清洁取暖规划-目标





燃煤典型污染物超低减排技术路线



中华人民共和国生态环境部

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

热词：地表水水质 环境保护税 污染防治攻坚战 高级检索

组织机构

环境质量

污染防治

生态保护

核与辐射

信息公开

互动交流

办事服务

党风廉政

首页 > 大气环境管理司 > 动态信息

关于印发《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》的通知

关于印发《京津冀及周边地区2017-2018年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》的通知

11. 推动锅炉升级改造。北京市完成 2500 台燃气锅炉低氮改造，其他城市燃煤锅炉在改燃的过程中同步实现低氮改造。达到特别排放限值的燃煤锅炉相应环保设施基本配置包括布袋除尘器或静电除尘器、高效脱硫装置、低氮燃烧或选择性催化还原（SCR）或选择性非催化还原（SNCR）等脱硝装置。执行特别排放限值的企事业单位

PM:

布袋、静电

NOx:

低氮燃烧+SCR+SNCR

SO₂:

湿法等



燃煤典型污染物超低减排技术路线

附件 2

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ□□□—201□

排污许可证申请与核发技术规范 锅炉

Technical specification for application and issuance of pollutant permit

boiler

(征求意见稿)

201□-□□-□□发布

201□-□□-□□实施

环 境 保 护 部

发 布

表 5 锅炉废气污染防治可行技术

燃料类型		燃煤	生物质	燃气	燃油
炉型		层燃炉、流化床炉、 室燃炉	层燃炉、流化床炉、 室燃炉	室燃炉	室燃炉
二氧化硫	一般地区	燃用低硫煤、干法/半干法脱硫技术、 湿法脱硫技术	/	/	燃用低硫油、干法/ 半干法脱硫技术、 湿法脱硫技术
	重点地区	燃用低硫煤+干法/半干法脱硫技 术、燃用低硫煤+湿法脱硫技术			燃用低硫油、燃用 低硫油+干法/半干 法脱硫技术、燃用 低硫油+湿法脱硫 技术

燃料类型		燃煤	生物质	燃气	燃油
炉型		层燃炉、流化床炉、 室燃炉	层燃炉、流化床炉、 室燃炉	室燃炉	室燃炉
氮氧化物	一般地区	低氮燃烧技术、低氮燃烧技术+SNCR、低氮燃烧技术+SCR、 低氮燃烧技术+SNCR+SCR、SNCR、SCR、SNCR+SCR		低氮燃烧技术、低氮燃烧技术 +SCR	
	重点地区	低氮燃烧技术+SNCR、低氮燃烧技术+SCR、低氮燃烧技术 +SNCR+SCR、SNCR、SCR、SNCR+SCR		低氮燃烧技术、低氮燃烧技术 +SCR	
颗粒物	一般地区	布袋除尘器、电除尘器、电袋复合 除尘器	旋风除尘+布袋除尘 二级除尘	/	布袋除尘器
	重点地区		燃用生物质成型燃料、旋风除尘+布袋 除尘二级除尘		
汞及其化合物		脱硫脱硝除尘系统协同控制、炉内添加卤化物、活性炭吸附 剂		/	



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SO_2 、 NO_x 、PM

超低排放技术及发展

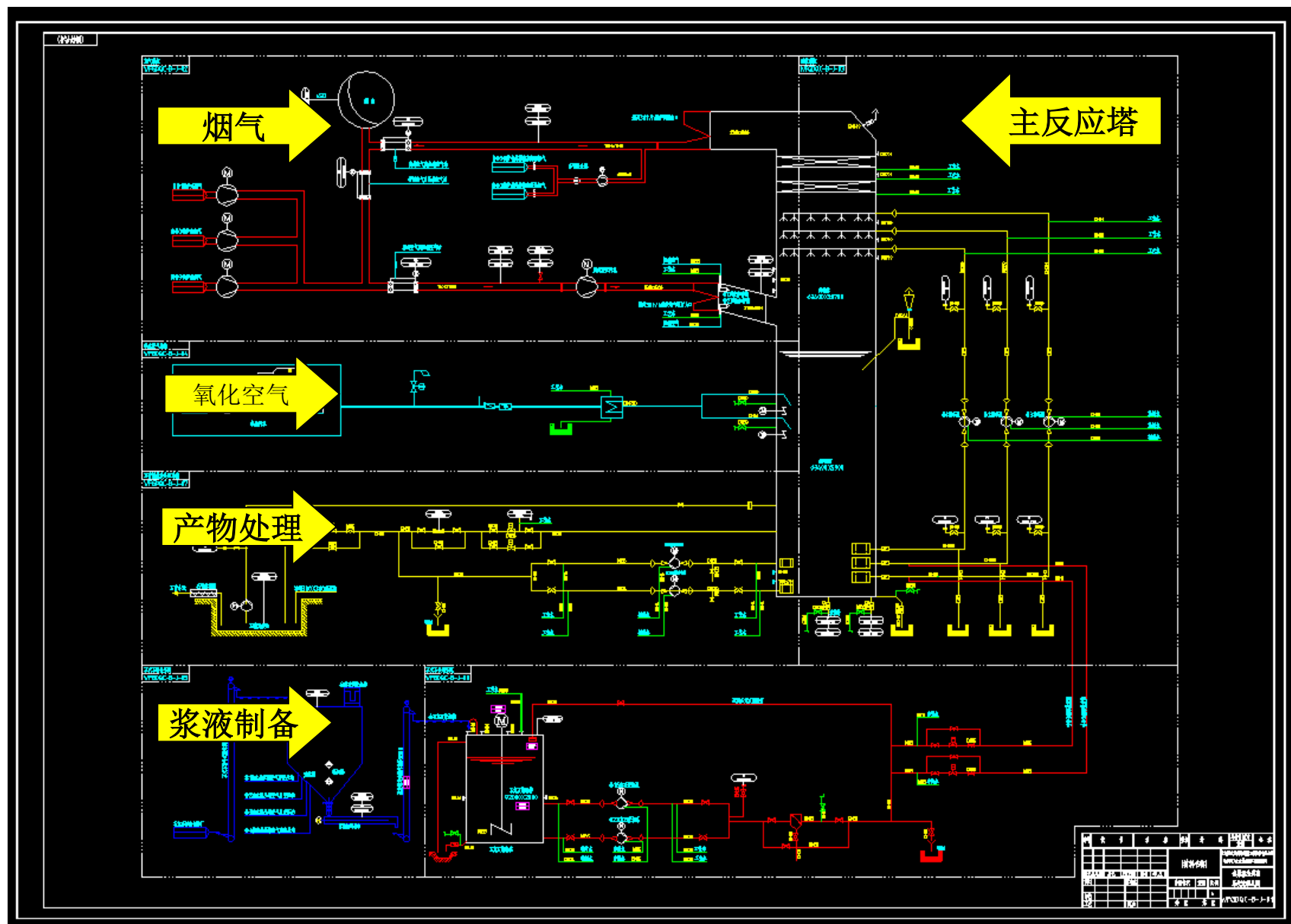


哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

湿法脱硫工艺中 消白、节能、节水、消冰、增效

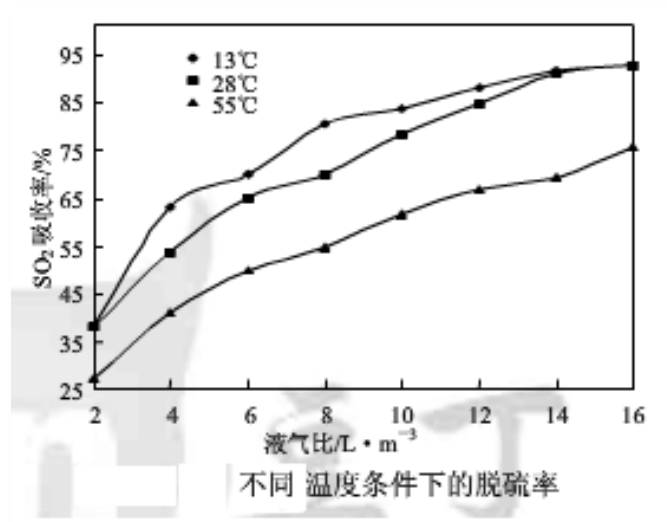
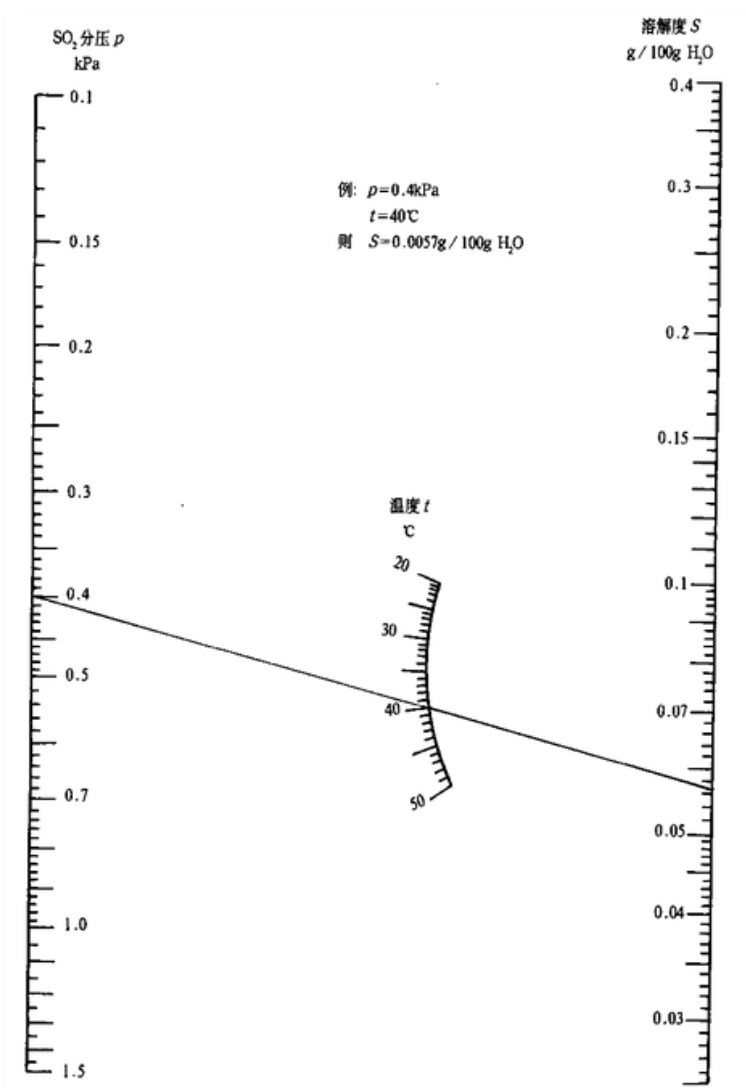


SO_x (传质、节能、节水 (废水)、脱白、PM)





SO_x (传质、节能、节水 (废水)、脱白、PM)



温度 °C	pH值	脱硫效率 %	平均脱硫效率变化 %/°C
25	5.5	63.5	0.143
40		60.0	
55		59.2	
25	6.5	64.9	0.09
40		62.4	
55		62.2	



SO_x (传质、节能、节水 (废水)、脱白、PM)

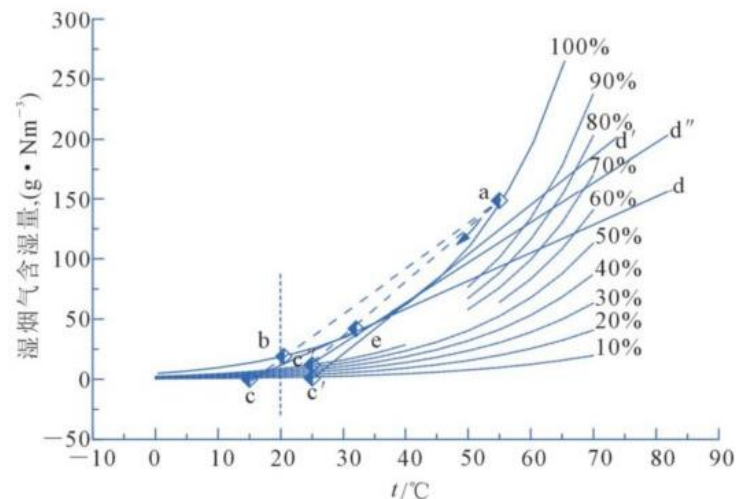


图1 湿烟气的饱和含湿量与温度的关系

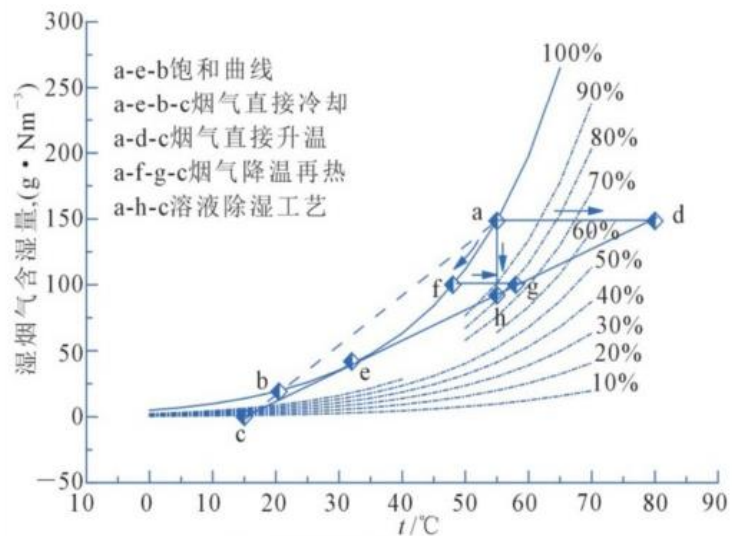
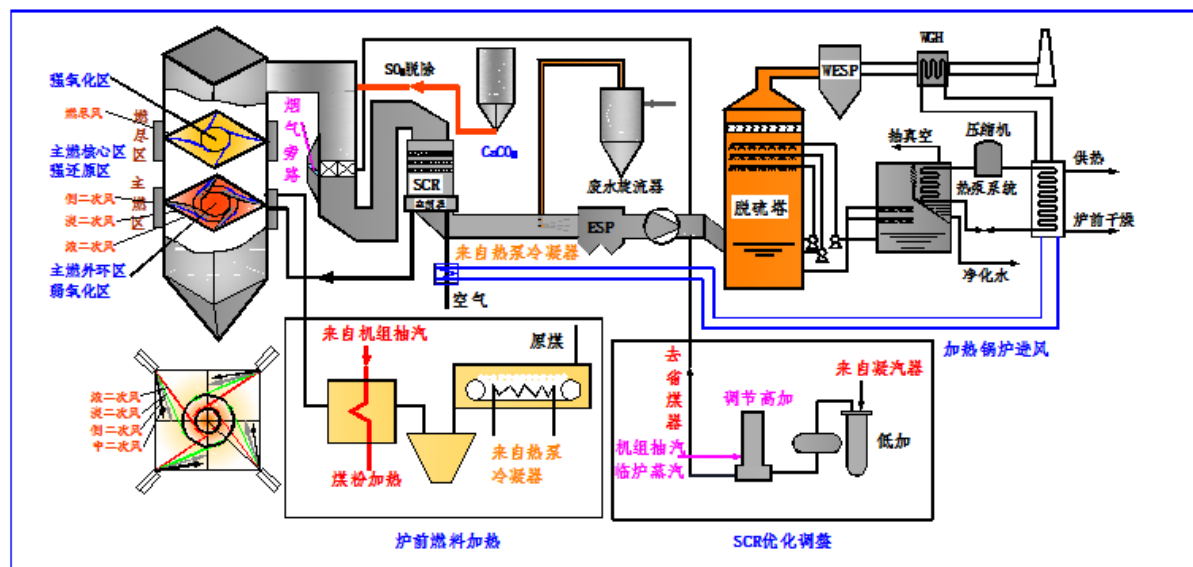
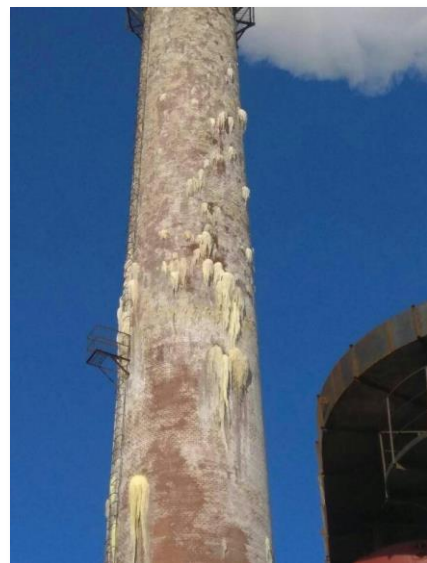
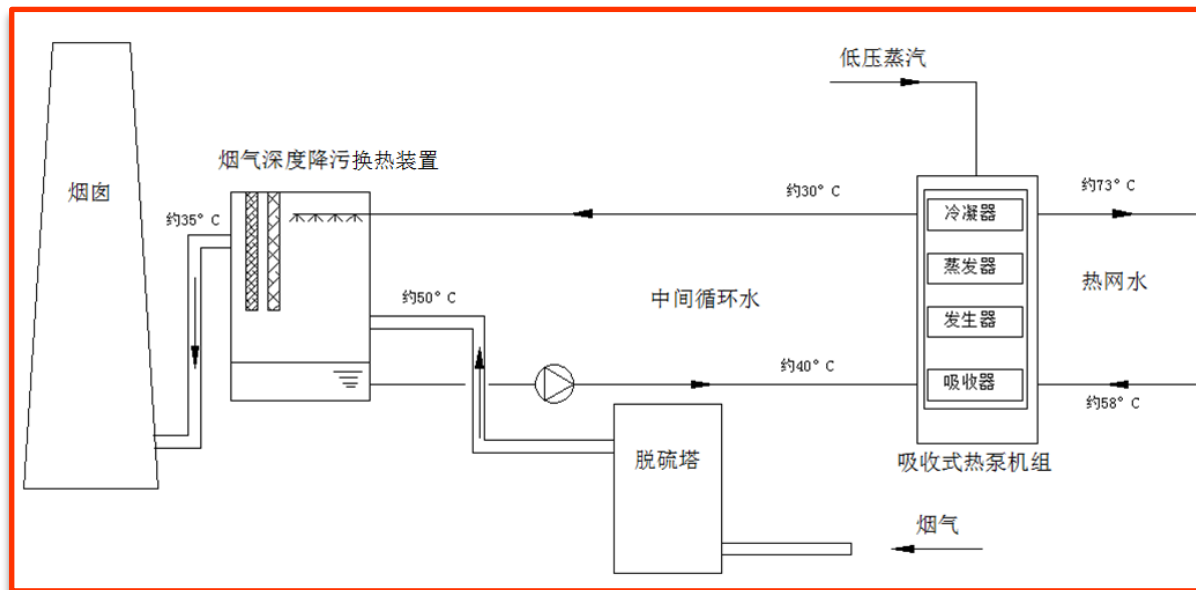


图2 湿烟气消白技术示意



SO₂ (传质、节能、节水 (废水)、脱白、PM)





哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SO_3 控制问题



- ◆ 北京、上海地方标准规定了硫酸雾排放 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 浓度限值要求；
- ◆ 燃烧过程中1%左右“S”转化为 SO_3 ；SCR催化脱销过程1%左右转化；（含硫1%煤，原始浓度 $40\text{--}50\text{mg}/\text{m}^3$ ）
- ◆ SCR催化剂后喷入钙基、镁基、亚硫酸盐等可实现50–90%控制；
- ◆ SO_2 – SO_3 竞争关系； O_2 与 SO_3 竞争关系、硫酸氢氨抑制需关注；

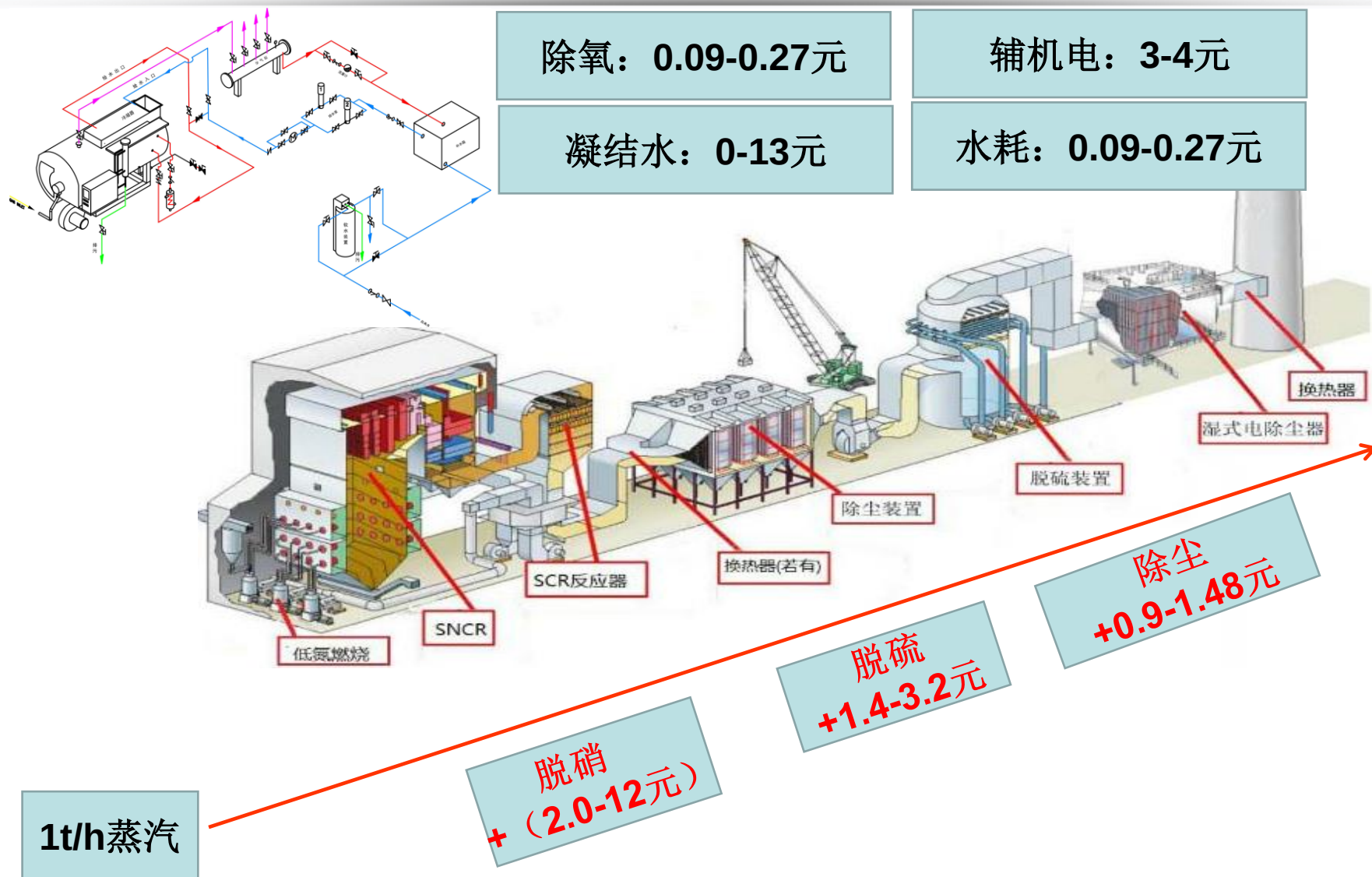


哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NO_x 控制问题



污染物控制模型及评价-经济性影响估算



煤热值: 20450.00kJ/kg; 含硫: 1%; 700元/吨; 电价0.8元/kwh



地方新政策



关于建立煤热价格联动机制的指导意见(吉省价格(2018)122号)

首个基期热力出厂价格暂由变动成本、**环保成本**和税金构成。

环保成本：环保成本逐步计入定价成本，由各地根据实际情况确定。热电联产企业单位环保成本**上限值为**：**脱硫达标企业每吉焦热量核加环保成本1.55元**；**脱硝达标企业每吉焦热量核加环保成本1.19元**；**除尘达标企业每吉焦热量核加环保成本0.24元**；**超低排放达标企业每吉焦热量核加环保成本1.19元**。

(折算91.215元/tce)



NO_x (低氮燃烧+宽温度SNCR/SCR+低成本氧化协同脱硫联合脱除)

低氮燃烧:

附件 2
ICS
Z



中华人民共和国国家标准

GB □□□□□-20□□

代替 GB13271-2001

锅炉大气污染物排放标准

Emission standard of air pollutants for boiler

(征求意见稿)

2013-□-□发布

2013-□-□实施

环 境 保 护 部

国家质量监督检验检疫总局

发 布

- 源头治理;
- 协同燃烧;
- 基本无运行费用;

《国家环境保护“十二五”规划》要求 2015 年氮氧化物总量在 2010 年的基础上削减 10%。《重点区域大气污染防治“十二五”规划》要求“在京津冀、长三角、珠三角地区开展烟气脱硝示范工程建设,推进燃煤工业锅炉低氮燃烧改造和脱硝示范。”

(2) 新建锅炉排放限值

新建锅炉拥有最佳使用技术支持,采用低氮燃烧技术氮氧化物的产生浓度可以削减 30%,达到 300 mg/m³,不需要进行尾端治理,运行良好的新建锅炉都能达到该限值。

(3) 特别排放限值

重点地区锅炉严格要求,在锅炉设计、制造和运行上采取低氮燃烧技术,氮氧化物削减达到 40-50%,执行 200mg/m³ 的排放限值。层燃锅炉和循环流化床锅炉都能达到,煤粉锅炉需要采用低氮燃烧技术。



中华人民共和国环境保护部

Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China

政府信息公开

索引号: 000014672/2014-01095

发布机关: 环境保护部

名称: 关于发布2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)的公告

文号: 公告 2014 年 第71号

分类: 环境科技及其管理信息/环境科技管理

生成日期: 2014年10月30日

关键词:

环境保护部公告

公告 2014 年 第71号

关于发布2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)的公告

为贯彻落实《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》(国发〔2011〕35号)和《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37号),加快环保先进污染防治技术示范、应用和推广,我部针对火电、钢铁、水泥等工业烟气治理重点行业的先进技术进行了筛选,形成《2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)》,现予发布。

《2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)》所列的技术是已经工程实践证明,技术指标先进、治理效果可靠、经济可行的成熟技术。

工业烟气治理领域目录以最新发布版本为准,自新版目录发布之日起,本目录自行废止。

附件: [2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录\(工业烟气治理领域\)](#)

环境保护部
2014年10月30日



NO_x (低氮燃烧+宽温度SNCR/SCR+低成本氧化协同脱硫联合脱除)

宽温度: SNCR

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 563—2010

火电厂烟气脱硝工程技术规范

选择性非催化还原法

Engineering technical specification of flue gas selective non-catalytic reduction denitration for thermal power plant

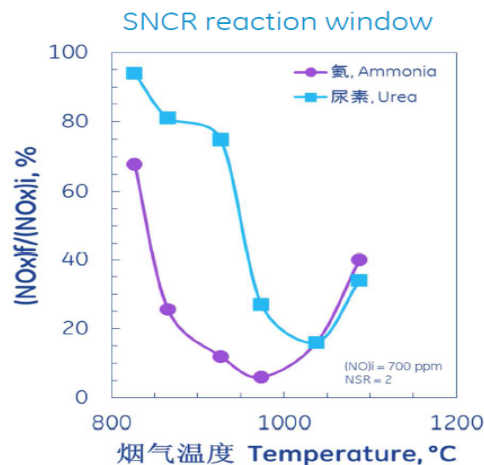
2010-02-03 发布

2010-04-01 实施

环境保护部 发布

- 系统简单;
- 协同燃烧;
- 运行费用偏高;

选择性非催化还原反应机理



- SNCR化学反应机理包括还原剂活化并与NO发生反应。

SNCR reaction chemistry involves reagent activation and reaction with NO:



- 在高于最佳温度时, 还原剂氧化生成NO_x.
At high temperatures, reagent is oxidized to NO_x.
- 在低于最佳温度时, 还原剂不反应导致过量氨逃逸.
At low temperatures, reagent is unreacted, leading to ammonia slip.





NO_x (低氮燃烧+宽温度SNCR/SCR+低成本氧化协同脱硫联合脱除)

宽温度：SCR

HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 562—2010

火电厂烟气脱硝工程技术规范

选择性催化还原法

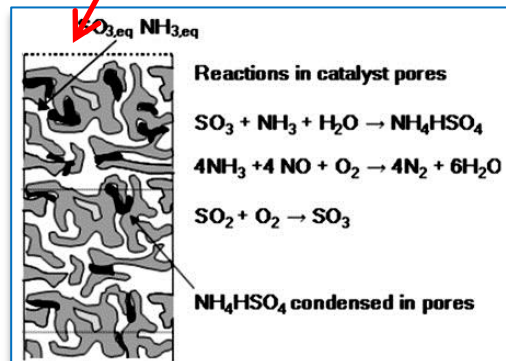
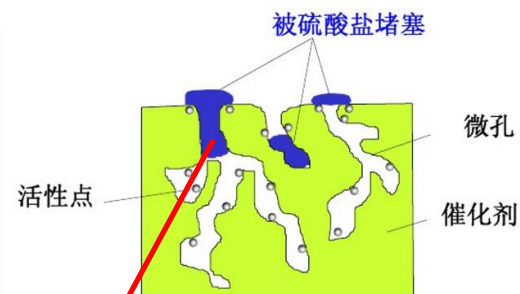
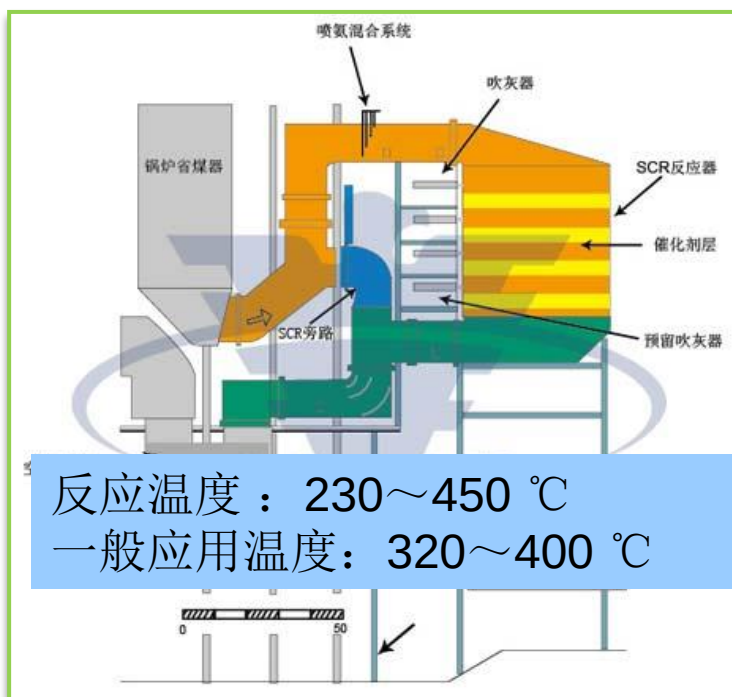
Engineering technical specification of flue gas selective catalytic reduction
denitration for thermal power plant

2010-02-03 发布

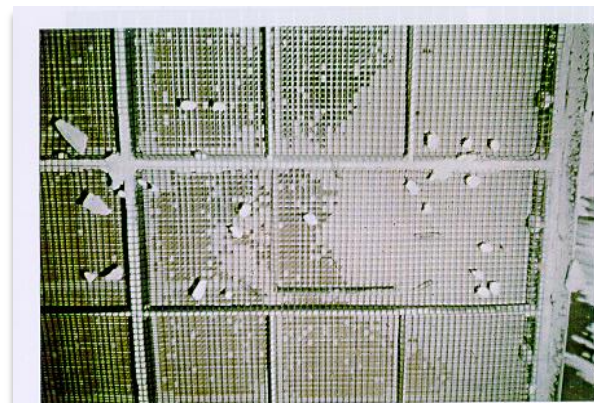
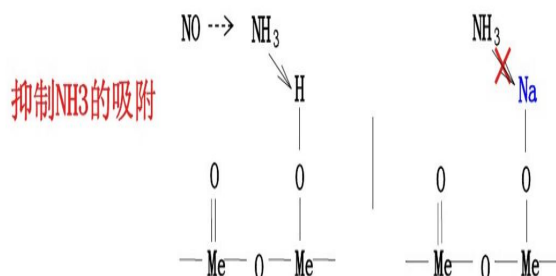
2010-04-01 实施

环境保护部 发布

- 效率高 (80-90%)
- 投资高、运行低
- 二次污染

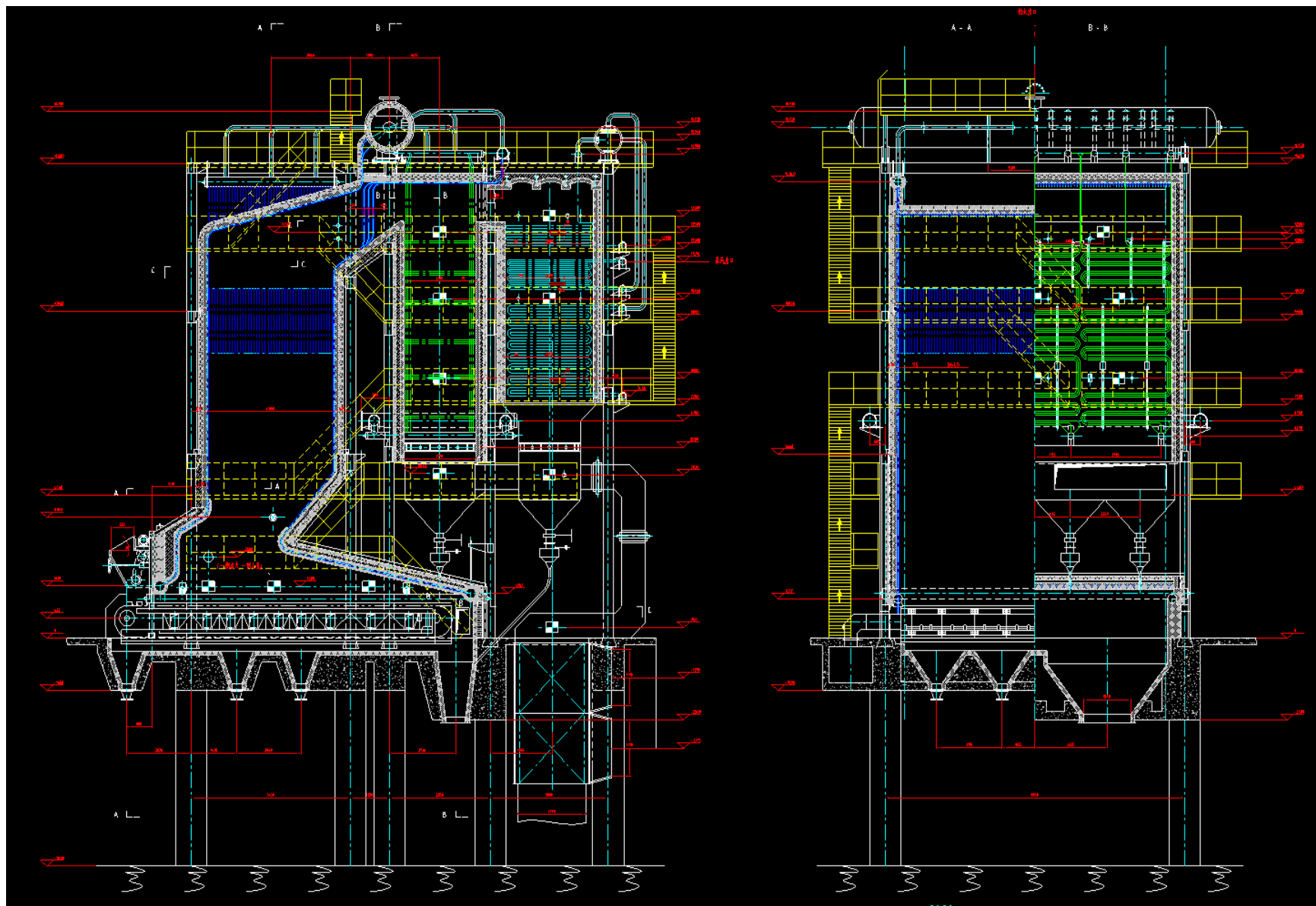


· 中毒 (Na, K)





我国供热（汽）重要锅炉设备-层燃锅炉





常规SCR应用于层燃锅炉-问题?

3#炉 SCR 脱硝 记录表

2017年 12月 17日

名称	仪用空气压力	氨水压力	氨水流量	氨水阀门开度	喷氨格栅		反应器催化器前后压差		高温烟气温度	催化剂前温度		NO _x	O ₂	氨逃逸	锅炉负荷	氨罐液位
					温度	压力				1	2					
时间																
08:00							0.11		495	295	294	174	10	0	74	75
09:00	0.6	1	0.126	70			0.1		469	279	277	155	12	1.7	62	
10:00	0.5	1	0.126	70			0.1		488	270	289	140	9	3.2	74	
11:00	0.5	1	0.125	70			0.1		459	278	277	170	11	0.6	64	
12:00	0.5	1	0.126	70			0.1		454	274	273	173	12	0.6	60	
13:00	0.6	1	0.125	70			0.1		445	273	272	181	12	0.9	58	
14:00	0.6	1	0.125	70			0.1		457	277	276	148	10	4.2	70	
15:00	0.4	1	0.124	70			0.1		459	282	281	141	10	0.5	72	
16:00	0.6	1	0.125	70			0.1		473	285	285	155	11	0.9	71	
17:00	0.6	1	0.126	70			0.1		480	284	278	134	11	3.2	80	
18:00	0.34	1	0.125	70			0.108		451	277	276	130	11	5.4	80	
19:00	0.42	1	0.125	70			0.1		474	283	282	130	11	2.5	80	
20:00	0.3	1	0.125	70			0.1		471	284	283	180	10	4.2	80	
21:00	0.5	1	0.124	70			0.1		485	287	286	162	11	2.2	80	
22:00	0.5	1	0.145	80			0.1		480	286	285	154	11	3.7	80	
23:00	0.5	1	0.145	80			0.1		472	283	284	134	10	4.6	80	
00:00	0.6	1	0.145	80			0.1		473	286	285	154	11	4.3	80	
01:00	0.6	1	0.145	80			0.094		477	260	259	137	13.08	2.1	52	
02:00	0.5	1	0.143	65			0.1		477	280	279	145	10.85	2.7	70	
03:00	0.5	1	0.143	65			0.101		486	288	288	131	10.60	3.9	70	
04:00	0.6	1	0.143	65			0.095		442	266	265	124	12.79	1.3	58	
05:00	0.6	1	0.142	65			0.1		477	266	265	127	12.66	3.4	55	
06:00	0.5	1	0.142	65			0.1		473	269	269	129	12.66	3.4	56	
07:00	0.5	1	0.1	65			0.1		443	270	271	132	12.32	4.2	59	
08:00	0.5	1	0.1	65												

班长:

值班人:

值长: 李强

班长: 王明 值班人: 李强



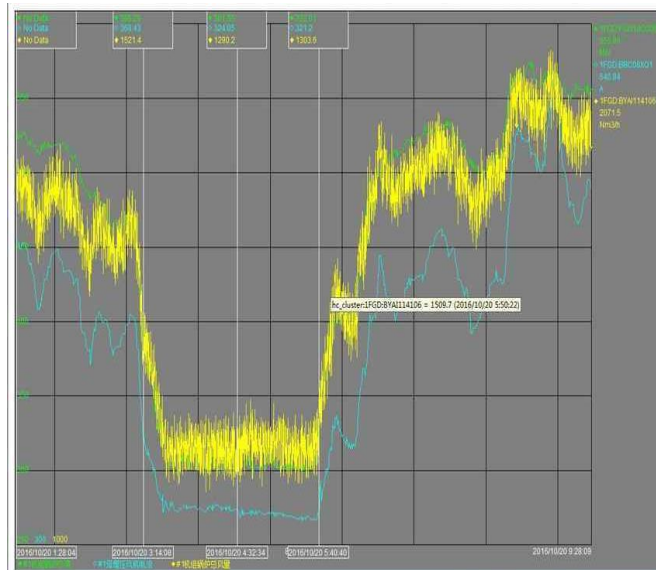
2018年 2月 6日

名称		氨流		过量136%,										O ₂		氨逃逸		锅炉负荷		氨罐液位							
时间																											
8:00																											
9:00		0.062	128.4	14	0.12	34.8	0.131	0.170	362	348	374		83	5	1.5	95	1360										
10:00		0.083	128.5	14	0.12	34.8	0.134	0.171	360	348	374		82	6	1.6	94	1360										
11:00		0.099	128.5	14	0.12	34.8	0.134	0.172	360	348	376		109	6	1.04	92	1360										
12:00		0.077	128.7	14.6	0.598	789.8	34.8	0.137	0.175	362	351	377		80	5	1.25	95	1360									
13:00		0.079	128.7	14.6	0.598	790.2	34.8	0.137	0.174	364	350	377		94	5	1.02	96	1350									
14:00		0.078	128.8	14.6	0.596	790.9	34.8	0.136	0.174	360	349	379		101	6	1.0	94	1350									
15:00		0.078	128.9	14.6	0.595	791.5	34.8	0.135	0.174	358	346	380		115	6	1.17	90	1350									
16:00		0.079	128.9	14.6	0.594	791.9	34.8	0.131	0.172	357	345	378		93	6	1.00	87	1340									
17:00		0.082	129.0	14.6	0.594	792.4	34.8	0.135	0.172	359	346	377		102	6	1.80	91	1340									
18:00		0.078	129.16	14.6	0.593	793.27	34.9	0.133	0.171	357	347	371		86	5	1.02	95	133/1355									
19:00		0.079	129.26	14.6	0.595	794.0	34.9	0.129	0.176	357	345	371		76	5	1.35	90	132/1348									
20:00		0.078	129.33	14.6	0.598	794.63	34.9	0.132	0.175	362	347	381		85	5	1.41	93	132/1345									
21:00		0.078	129.42	14.6	0.593	795.23	34.9	0.133	0.171	365	349	393		119	6	1.85	92	132/1356									
22:00		0.081	129.54	14.6	0.593	796.1	35	0.137	0.173	365	349	391		127	6	1.15	93	132/1335									
23:00		0.080	129.64	14.6	0.592	796.82	34.9	0.14	0.181	367	352	394		150	7	1.4	88	132/1326									
0:00		0.090	129.72	16.4	0.601	797.41	37.1	0.142	0.18	365	351	398		166	7	1.46	91	132/1326									
1:00		0.076	129.82	14.7	0.588	798.12	35	0.138	0.177	362	347	389		140	7	1.12	91	132/1327									
2:00		0.076	129.82	14.7	0.581	799.12	35	0.138	0.179	362	347	389		140	7	1.2	91	132/1326									
3:00		0.076	129.9	14.7	0.586	799.71	35	0.136	0.178	361	347	383		133	6	1.4	93	132/1326									
4:00		0.076	129.95	14.7	0.587	799.32	35	0.135	0.177	365	351	387		141	6	1.1	83	132/1325									
5:00		0.072	130.06	14.7	0.588	799.94	35	0.136	0.179	364	350	384		125	6	1.2	93	128/1295									
6:00		0.071	130.15	14.7	0.586	800.62	35	0.139	0.181	359	346	384		178	7	1.3	90	128/1295									
7:00		0.073	130.22	14.7	0.582	801.13	35	0.14	0.181	364	351	382		168	7	1.2	93	127/1285									
8:00		0.072	130.3	14.7	0.586	801.7	35	0.14	0.18	364	350	387		162	7	1.2	92	127/1280									
值长:王立新		班长:李维国		值班人:				值长:张德				班长:李振喜				值班人:张坤				值长:王立新		班长:李维国		值班人:王立新			



煤层燃设备存在客观问题与现象

- ❑ 负荷波动幅度大，蒸汽锅炉10分钟，负荷相差50-70%；
- ❑ 煤宽筛分，大容量锅炉横向 燃烧偏差大，左右烟道差别明显；
- ❑ 燃烧不稳定时容易出现 火口，氧量控制难；





2018年底国内第一批达到 **NO_x** 超低企业

- ◆ 潍坊元利化工 1×40t/h 链条炉排蒸汽锅炉
- ◆ 沈阳国惠低碳电力 120MW 往复炉排热水锅炉
- ◆ 青岛能源集团 2×75t/h 链条炉排蒸汽锅炉
- ◆ 哈尔滨哈投集团哈投供热 2×70MW 链条炉排热水锅炉
- ◆ 哈尔滨太平集中供热 1×64MW 链条炉排热水锅炉





NO_x (低氮燃烧+宽温度SNCR/SCR+低成本氧化协同脱硫联合脱除)

低成本氧化协同脱硫
联合脱除

耦合烟气脱硫工艺

耦合溶析结晶

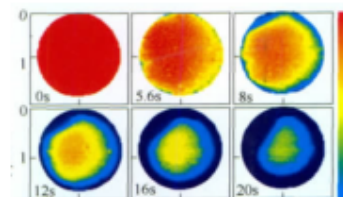
耦合MVR工艺

- 效率较高 (65-80%)
- 投资低、运行高
- 二次污染

O₃-NaClO-K₂MNO₄-H₂O₂

氧化关键问题1: •OH产生与利用

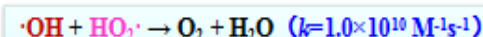
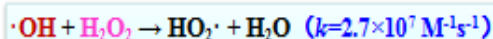
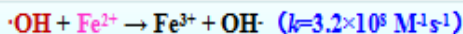
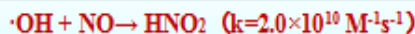
•OH {
 活性高 反应速率常数 $10^6 \sim 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [1]。
 寿命短 气相 $0.01 \sim 0.1 \text{ s}$ [2], 液相 $10^{-6} \sim 10^{-9} \text{ s}$ [3]。



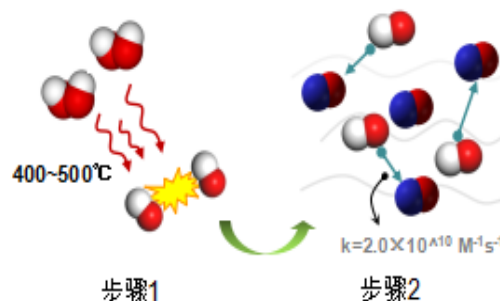
•OH反应的竞争与协同 (液相)

H₂O₂高效裂解氧化 (气相)

Fe²⁺/H₂O₂体系



H₂O₂热裂解体系 H₂O₂ → 2•OH



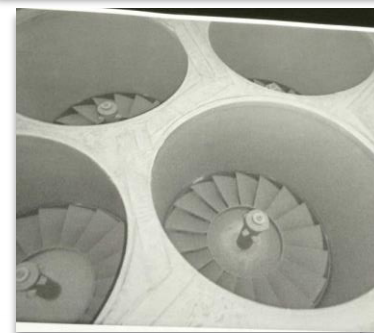
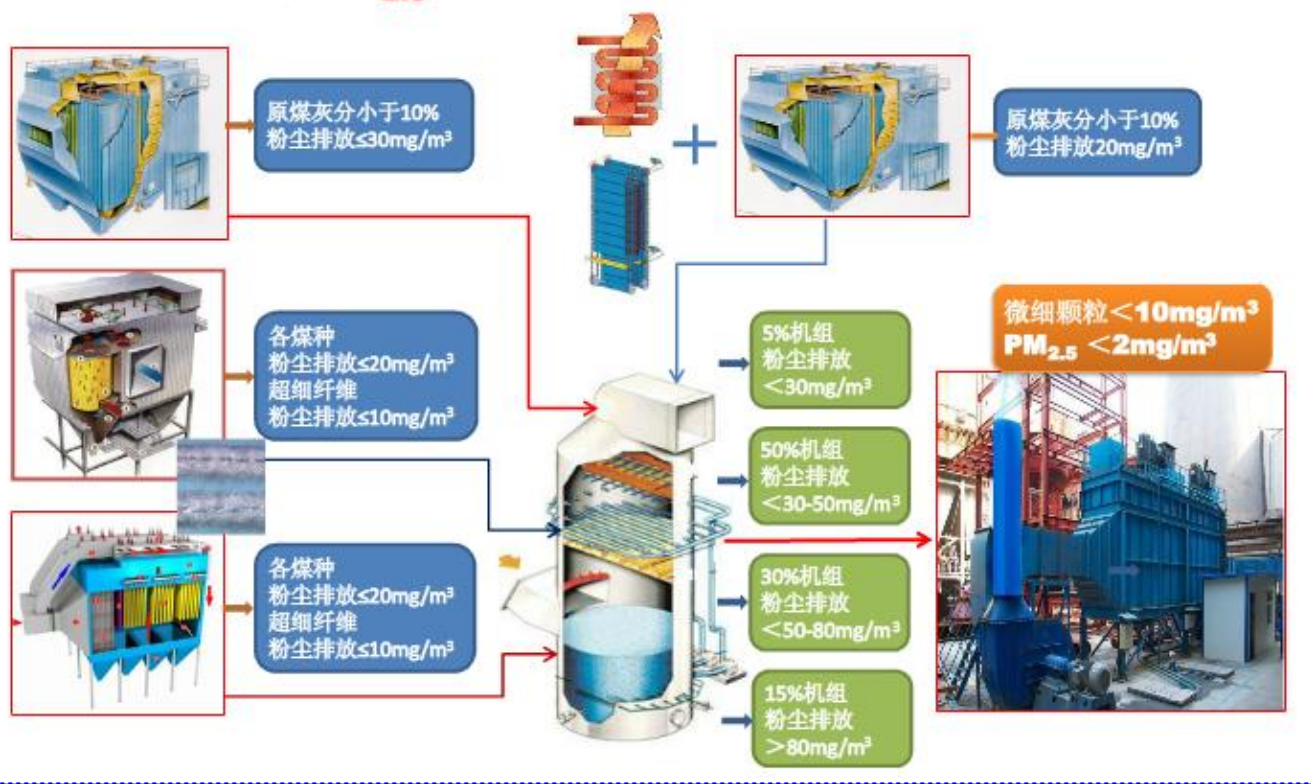
[1] Espugas, et. al., *Water Research*, 2002.

[2] Isaksen, et. al., *SCIENCE*, 2011.

[3] Fujishima, et. al., *Applied Surf. Sci.*, 2008.



PM (高效布 (电) 袋+高频电源静电+低低温静电+高效除雾+湿电)



性能测试结果

一个立式电场性能指标如下:

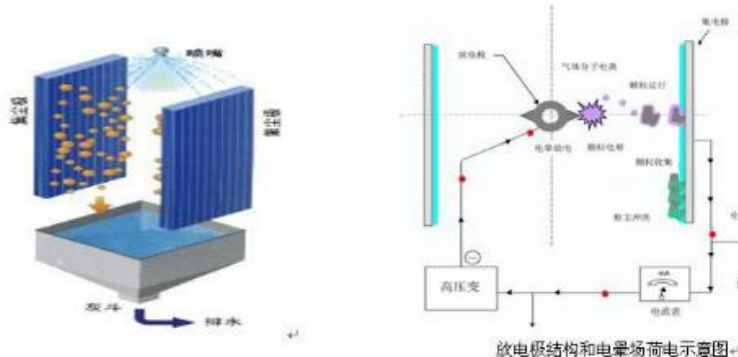
烟尘排放 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$, 甚至更低 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$;

$\text{PM}_{2.5}$ 的去除效率 $> 80\%$;

SO_3 的去除效率 $> 70\%$;

对 NO_x (NO_2) 的去除效率 $> 15\%$;

汞去除效率 $> 75\%$ 。





燃煤污染物减排技术研发指南



中华人民共和国科学技术

- ◆ “大气污染成因与控制技术研究” 试点专项 2016 年度第一批项目申报指南；
- ◆ “大气污染成因与控制技术研究” 试点专项 2017 年度项目申报指南；
- ◆ “煤炭清洁高效利用和新型节能技术” 重点专项 2017 年度项目申报指南；
- ◆ “国家质量基础的共性技术研究与应用” 重点专项 2017 项目申报指南；



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 3.2 燃煤工业锅炉超低排放控制技术

◆ 研究内容：重点研究燃煤工业锅炉超低排放控制技术，实现烟气污染物排放达到燃烧天然气排放标准，并在国家大气污染防治重点区域开展工程示范。

◆ 考核指标：烟尘排放浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 排放浓度 $\leq 35\text{mg}/\text{m}^3$ 和 NO_x 排放浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ；完成2-3个工程示范。



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 6.3 工业锅炉节能与清洁燃烧技术(应用示范类)

◆ 研究内容：研究工业锅炉系统节能及网络化远程监测技术；研发工业锅炉低温余能高效换热技术及装置；研究燃煤工业锅炉燃料提质、炉内 NO_x 和 SO_2 控制技术；进行高效低排放的工业锅炉应用示范。

◆ 考核指标：建成5座以上20-65吨/小时燃煤工业锅炉节能减排集成技术示范，锅炉热效率 $\geq 90\%$ ， NO_x 原始排放 $\leq 100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 3.1 燃煤电站低成本超低排放控制技术及规模装备

- ◆ 研究内容：重点研究燃煤电站低投资、低能耗、污染物超低和超超低排放技术与装备，突破重金属富集、可凝结颗粒物治理、劣质煤利用等关键技术，并在国家大气污染防治重点区域内的600MW等级以上机组开展工程应用示范。
- ◆ 考核指标：超低排放技术达到燃烧天然气排放标准，适应劣质煤原料，实现长期稳定运行；超超低排放在燃烧天然气排放标准基础上 SO_2 、 NO_x 、 SO_3 、粉尘、重金属等污染物排放浓度进一步降低50%。



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 3.1 燃煤烟气硫回收及资源化利用技术

- ◆ 研究内容：开发基于电力生产过程的可再生吸收剂/吸附材料及烟气净化技术，研发吸收剂/吸附材料再生和硫回收、资源化的技术与工艺；开发烟气硫回收及高值化资源利用的关键技术；开展烟气净化与烟气硫资源化利用技术的集成，并进行应用示范。
- ◆ 考核指标：烟气净化与资源化集成工艺在300MW等级，以上燃煤机组工程示范。烟气净化实现SO₂排放浓度 $\leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；实现吸收/吸附材料再生率 $\geq 85\%$ ，硫回收率 $\geq 90\%$ 。



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 3.3 燃煤电厂新型高效除尘技术及工程示范

- ◆ 研究内容：研究燃煤烟气高效除尘的新技术，并研发新型关键设备和系统，达到烟气超低排放要求；研究基于激光散射法、射线衰减法等颗粒物在线测量方法，开发复杂烟气条件下超低浓度颗粒物在线测量装备。
- ◆ 考核指标：在600MW等级以上燃煤机组进行工程示范；应用新型高效除尘装备后烟尘排放浓度不高于 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；研制完成超低浓度细颗粒物在线连续测量样机2台，当烟气中颗粒物浓度在 $1\text{--}10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 之间时，绝对测量误差不超过 $\pm 0.5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。



燃煤污染物减排技术研发指南

◆ 3.1 燃煤电站多污染物协同控制与资源化技术及装备

- ◆ 研究内容：研究燃煤电站烟气污染物资源回收和协同控制技术，突破硫氮资源化等新技术，形成多种污染物全过程深度治理的新装备。在国家大气污染防治重点区域内的300MW等级以上机组开展工程应用示范。
- ◆ 考核指标：在达到燃煤电站特别排放限值基础上，实现硫氮资源利用率 $\geq 90\%$ ，多污染物控制设备投资不大于 400元/kW。
- ◆ 另：建材、冶金、化工 多污染物全过程 协同控制



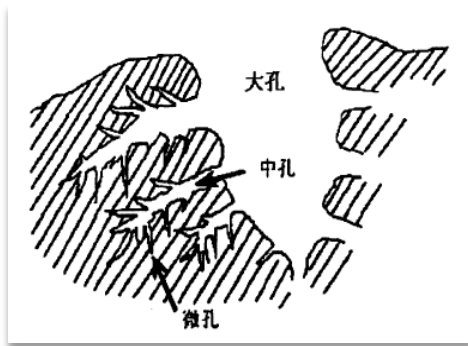
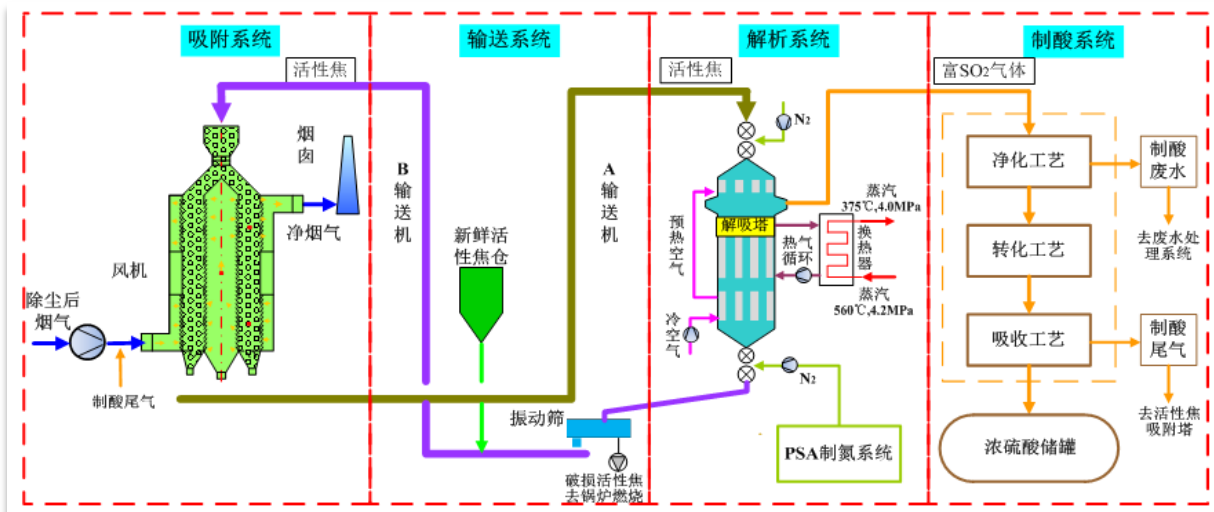
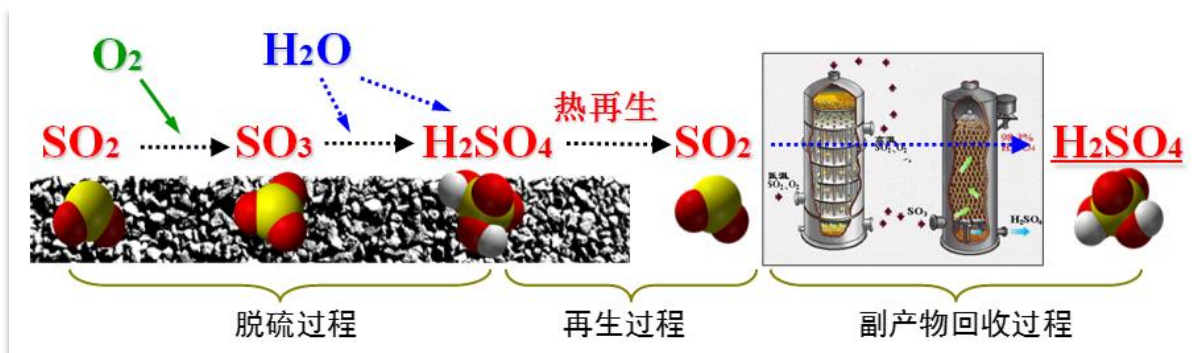
重金属 控制问题

- 2007年汞在大气中的排放量约为643吨，其中工业锅炉的排放量占33%。
- 我国燃煤中汞的含量在 $0.03\text{-}0.52\mu\text{g/g}$ ，平均含量为 $0.20\mu\text{g/g}$ ，但区域和煤质决定了汞含量的差异。燃料煤中的汞燃烧过程中56.3-69.7%随烟气排放，23.1-26.9%进入飞灰，仅有2%进入灰渣，煤燃烧过程中污染关键的是烟气中汞的排放，当汞含量在 $0.52\mu\text{g/g}$ 时，按69.7%进入飞灰计算，每吨煤燃烧产生的烟气量在10000-12000立方米，按11000立方米计算，烟气中汞的含量低于 0.035mg/m^3 。在我国贵州检测到汞含量达到 $1.66\mu\text{g/g}$ 的煤炭资源，当燃用这种高汞含量的煤炭时，烟气中汞的含量达到 0.1mg/m^3 。
- 烟气中的汞主要集中在亚微米级的细粉尘上，目前，汞的排放控制主要宜采取与脱硫除尘的协同控制，一般而言，静电除尘器可脱除30%的汞，布袋除尘器可脱除70%的汞，湿法脱硫装置可脱除90%的汞。在极个别的情况下烟气中汞的含量达到 0.1mg/m^3 时，锅炉尾端采用除尘、湿法脱硫等措施后，基本能达到 0.05mg/m^3 的限值要求。如果采用协同控制仍不能满足 0.05mg/m^3 的排放限值，则需要采用活性炭喷入脱汞技术进行控制。



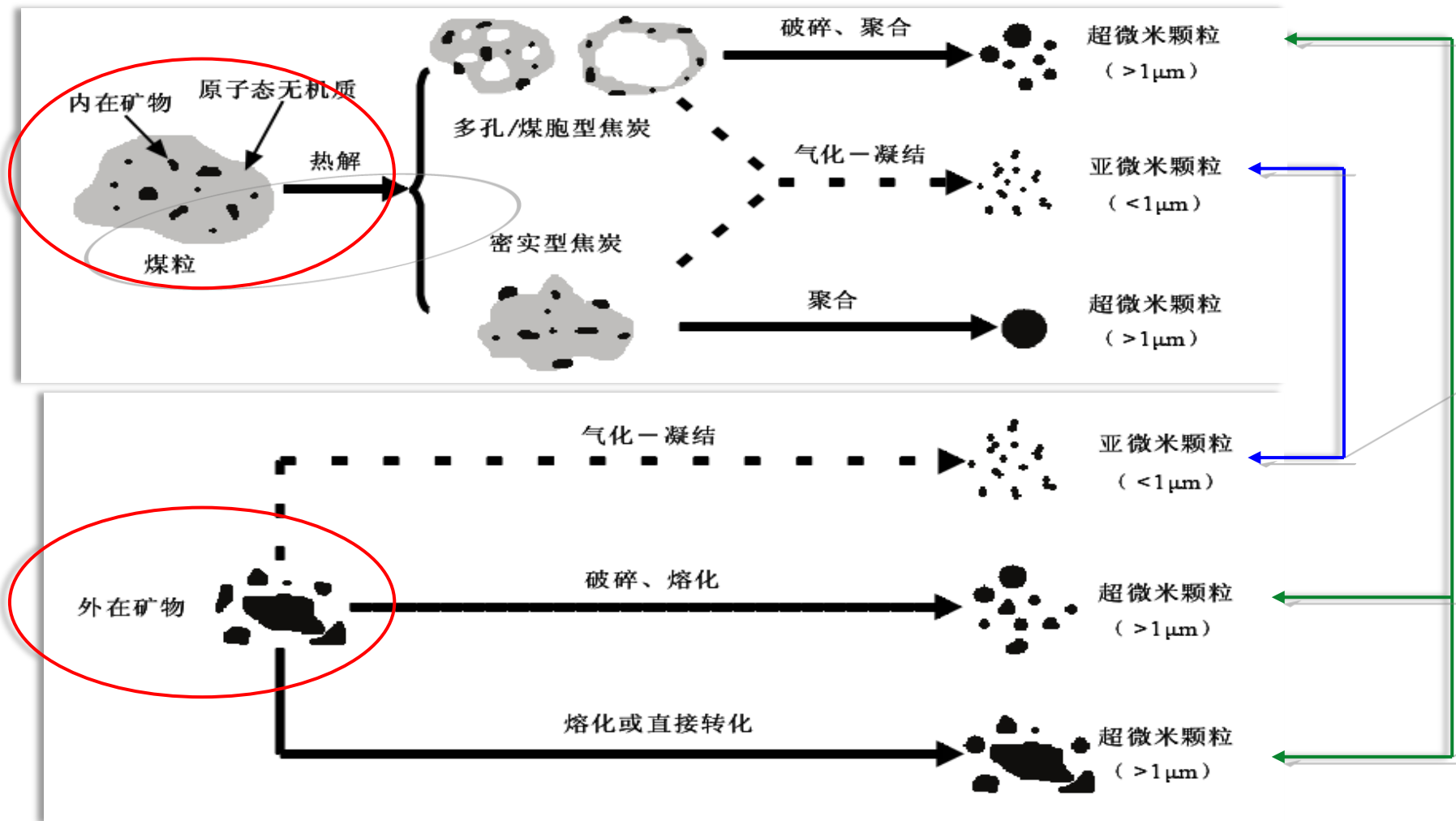
其它技术发展

可资源化活性焦烟气脱硫技术





PM (燃煤 $\text{PM}_{2.5}$ 形成机理)





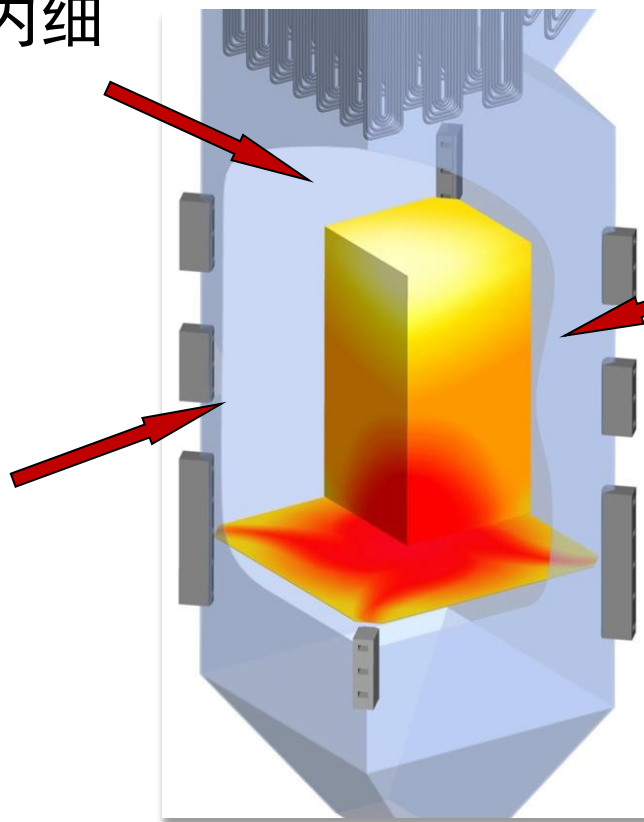
PM (燃煤 $\text{PM}_{2.5}$ 燃烧控制)

一 燃烧气氛

燃烧方式调整控制炉内细颗粒物生成；

二 燃料矿物组分调配

- 1、配煤 (煤+煤)
 - 2、混烧 (煤+生物质)
- 减少细颗粒物生成；



三 喷射吸附剂

燃烧过程中非均相反应和物理吸附抑制细颗粒物生成



清洁供暖设施超低排放建议

- ◆ 源头控制（体现技术难点）
- ◆ 过程减排（协同生产过程）
- ◆ 协同减排（耦合或联合）
- ◆ 绿色减排（无二次污染、无污染物转移）
- ◆ 低能耗减排（连续运行，提高经济性）
- ◆ 前瞻性可扩展减排（环保要求继续提高）

努力为持续减排致霾污染物做贡献！

感谢各位专家和同仁！

