

气氮氧化物总量控制项目《NO_x控制技术指南》&《NO_x控制效果评估方法手册》
普及研讨会日程

时间：2015 年 11 月 27 日 8:30~17:30

会场：北京凯迪克格兰云天大酒店 云海厅

参加人员：环保部、环境规划院、地方环保行政部门及相关企业等

翻译：日→中（交传） 中→日（耳语同传）

时间	内容	发言人
8:30—8:45	开幕致辞（交传）	环保部 JICA 中国事务所 官崎卓
8:45—9:00	项目总体介绍	JICA 专家 田畑亨
9:00—9:15	构建污染源清单及实施大气扩散模拟试验的意义	环境规划院 薛文博
9:15—9:45	湘潭市大气扩散模拟模型的实施结果	湘潭市环保局 谢焱鑫
9:45—10:00	休息	
10:00—10:20	《NO _x 控制效果评估方法手册》介绍	JICA 专家 仲田伸也
10:20—10:40	讨论	
10:40—11:00	《大气氮氧化物控制技术指南》概要介绍	环境规划院 蒋春来
11:00—12:00	湘潭市调查研究案例介绍 • 湘潭市环境保护局 • 湘潭电化科技股份有限公司 • 湖南华菱湘潭钢铁有限公司	马跃龙 黄小芦、侯瑶 何峰、杜力
12:00—13:30	午餐、休息	
13:30—16:50	介绍各行业技术指南的相关内容 13:30—14:15 水泥 14:15—14:30 钢铁焦炉 14:30—15:30 钢铁烧结炉 15:30—15:40 休息 15:40—16:50 [燃煤火力发电 工业锅炉	JICA 专家 藤井重雄、富田武
16:50—17:20	讨论	
17:20—17:30	结束致辞（交传）	

中华人民共和国 大气氮氧化物总量控制项目

2015年11月27日
JICA专家组
组长 田畑 亨

1

目录

1. 项目概要
2. NO_x控制技术的相关活动(成果 1)
3. NO_x控制效果评估方法的相关活动(成果 2)

2

1. 项目概要

- 总体目标
先进的NO_x减排技术及方法得到更广泛的应用
- 项目目标
NO_x减排方法得到改善
- 项目时间
2013年3月~2016年2月
- 主要对口单位(C/P)
环保部污染物排放总量控制司大气处
环境规划院、湘潭市环保局

3

309

项目预期成果

- 成果 1
编制大气氮氧化物控制技术指南,使
技术指南得到充分利用。
- 成果 2
通过实施大气污染物扩散模拟试验,
使NO_x控制效果评估方法得以改善。

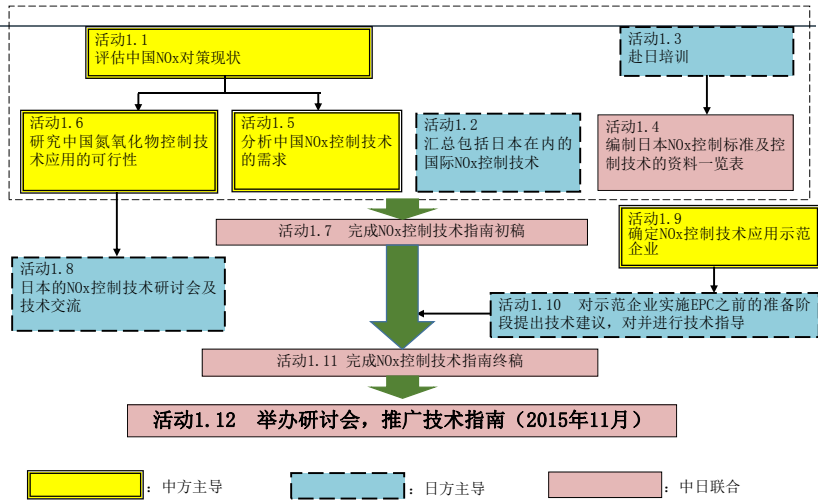
4

项目对象地区：湖南省湘潭市



注：地图上所示点位环境监测总站每天公布大气环境标准达标情况的城市
出处：环境监测总站网页

2. NO_x控制技术的相关活动：成果 1



：中方主导 ：日方主导 ：中日联合

为编制《NO_x控制技术指南》所开展的各项活动之间的关系 6

在湘潭市示范企业开展的减排措施研究

通过补充监测烟气浓度、温度、流量流速等以及向现场人员了解情况，掌握示范企业的现状后，JICA专家从企业既容易改造又可节能的角度出发，提出了风箱重组降低SO_x排放浓度、主烟道烟气循环降低NO_x排放浓度等措施，为企业达到国家新的排放标准提供了有效的技术建议。



补充监测现场情形



了解新建工厂的设计图

举办专家座谈会，充实技术指南的内容

通过举办专家座谈会，对中国的水泥、钢铁烧结机、工业锅炉行业NO_x防治现状及需求有了进一步了解。



举办NOx控制技术研讨会及技术交流

通过研讨会和技术交流，介绍了本项目截至目前的活动内容，加深了与会人员对NOx防治措施的状况以及今后防治规划的理解。并在介绍国际上实际应用的NOx防治技术的同时，还邀请了日本企业介绍了NOx相关技术，并布置了展台，让大家有一个直观的了解



9

NOx控制技术指南

- 介绍对象行业的NOx减排技术
- 研究湘潭市示范企业的减排措施
根据监测结果制作NOx排放路线图，商讨NOx减排的空间及节能空间
- 对示范企业实施EPC之前的准备阶段提出技术建议
- 举办专家座谈会，充实技术指南内容
- 举办NOx控制技术研讨会及技术交流

完成技术指南初稿（2015年3月）

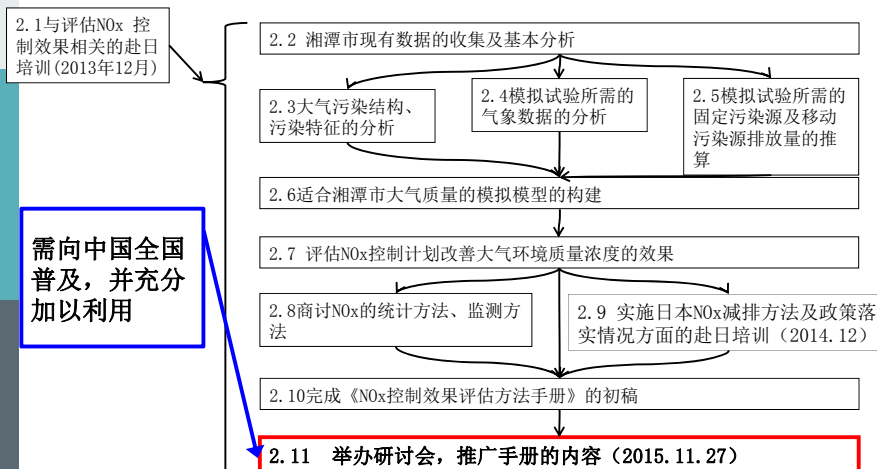
环保部举办评估会

完成技术指南终稿（2015年10月）

举办终期研讨会，推广技术指南（2015年11月）

10

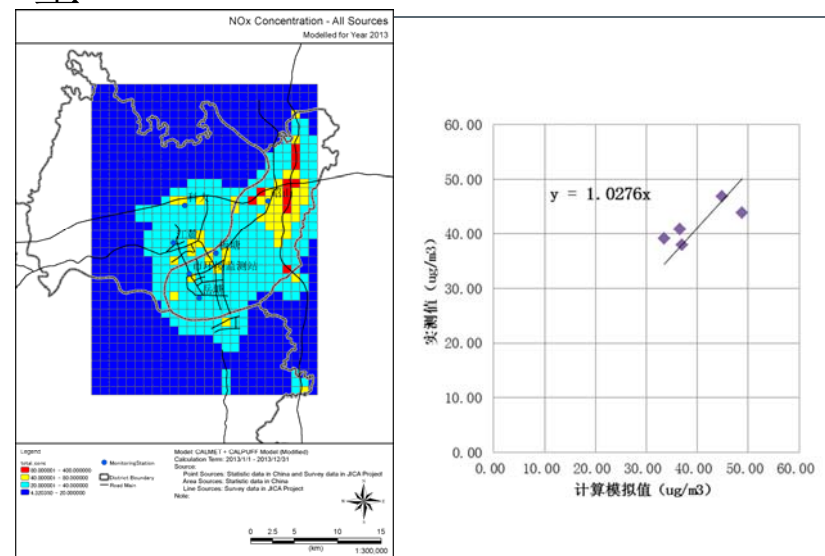
3. 成果2各项活动关系图



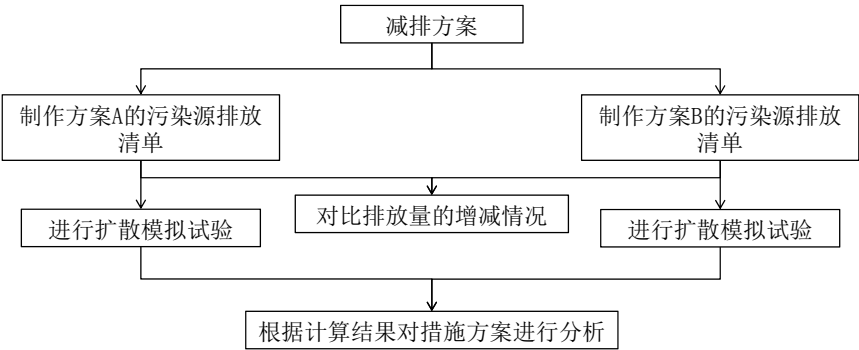
11

311

构建适合湘潭市的大气扩散模拟模型



评估NOx控制计划改善大气环境质量浓度的效果



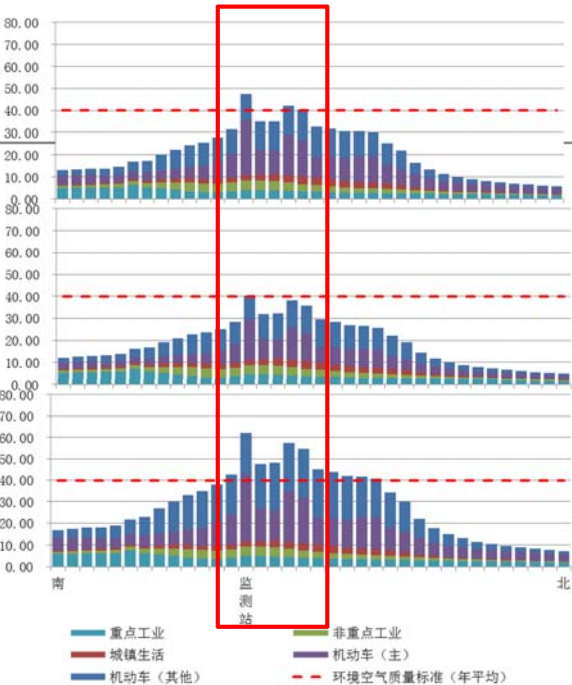
在本项目中，按以下情况计算湘潭市的减排规划：
减排方案A：完全未实施减排规划时； 减排方案B：完全实施了减排规划后。

对于今后的减排方案，也可按照上述方法进行分析评估。

2013年

2015年规划
完全实施后

2015年规划
未实施时



商讨NOx的统计方法、监测方法



黄色:保留的原有点位
绿色:需迁移的点
蓝色:增加点位时的候补点位



赴日培训

培训主题	日本的NOx减排方法及政策落实情况
培训时间	2014年11月23日(日)~2014年11月29日(六)
参加培训人数	16名(其中,湘潭市4名)
培训内容概要	<讲座> 日本的总量控制制度(日本环境省) 地方政府的大气污染对策(东京都、川崎市) 利用扩散模拟模型评估总量控制效果的方法(数理计划) <参观> 参观大气污染物在线监测及分析设施(川崎市) 水泥厂的NOx减排措施(太平洋水泥) 煤电厂的NOx减排措施(吼子煤电厂) 低NOx锅炉在工厂的使用案例(三浦工业)



编制NO_x控制效果评估方法手册

根据在湘潭市的活动以及与环境规划院商讨的基础上编制



← 与环保部一起举办手册评估会

NO_x控制效果评估方法手册（终稿）

- 第1章 概要
- 第2章 利用大气扩散模拟模型的目的
- 第3章 基准年的模型化
- 第4章 减排规划的评估
- 第5章 参考资料
- 第6章 参考文献

空气质量模型在中国环境管理中的实践

薛文博 副研究员
环境保护部环境规划院
2015-11-27

内容

- 一、空气质量模型发展历程
- 二、空气质量模拟实验重要性
- 三、在中国环境管理中的应用
- 四、下一步应用方向

一、空气质量模型发展历程

- **总体概念：**空气质量模型是在大气物理和化学的科学基础上，运用气象学原理及数学方法，再现污染物在大气中输送、反应、清除等过程的数学工具；
- **广泛应用：**空气质量模型在全球已广泛应用于环境影响评价、重大科学研究、重污染天气预报、环境决策领域，近期在“国家大气污染防治行动计划实施效果评估”、“APEC蓝”“阅兵蓝”等重大会议空气质量保障中发挥重要作用。

一、空气质量模型发展历程

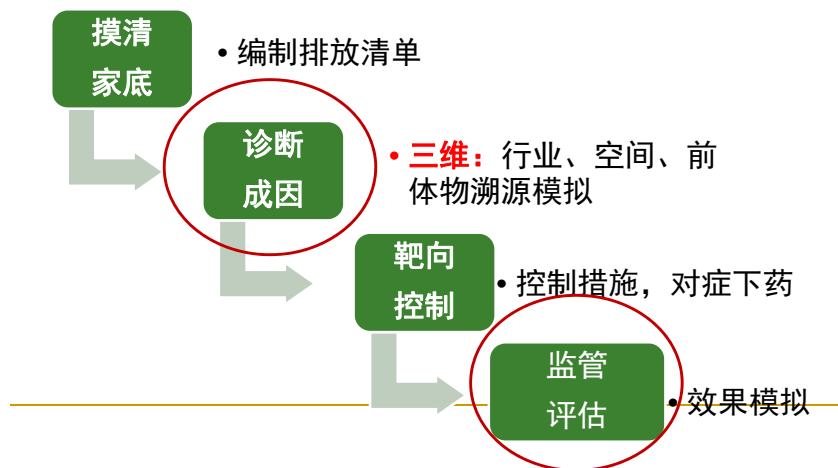
US EPA或其他机构共资助开发了三代空气质量模型：

- **70、80年代：**EPA推出了第一代空气质量模型—优点：简单易用；缺点：化学过程过于简单；
- **80年代到90年代：**第二代空气质量模型包括UAM、ROM、RADM在内的欧拉网格模型—特点：有化学过程，但主要用于模拟臭氧等光化学污染；
- **90年代以后：**出现的第三代空气质量模型是以CMAQ、CAMx、WRF-CHEM为代表的综合空气质量模型—特点：化学过程复杂，能模拟气、固、液多相污染过程。

二、空气质量模拟实验重要性

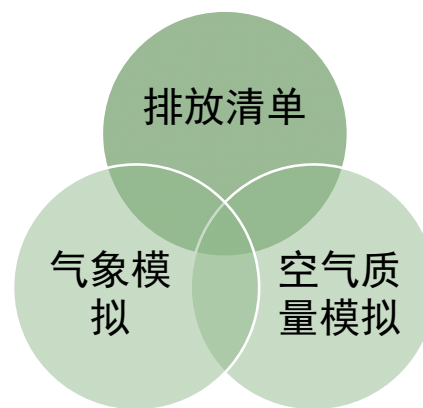
(1) 空气质量模型是快速有效的决策工具

环境管理与决策过程四步法—模拟实验必不可少



二、空气质量模拟实验重要性

(2) 空气质量模拟实验三要素

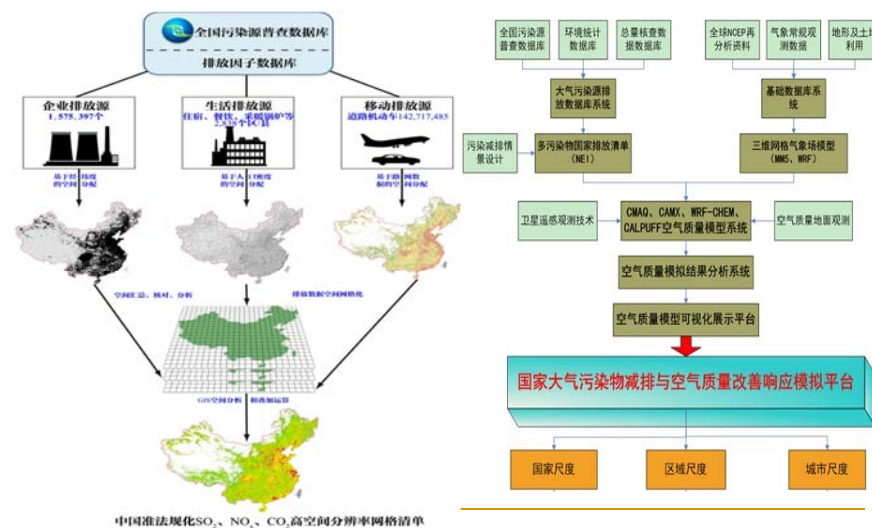


- **排放清单**: 工业源、生活源、交通源、农业源、天然源、扬尘等无组织源—**关键!**
- **气象模拟**: 可靠准确的气象观测数据、选择合适的气象模拟, 常用: WRF模型;
- **空气质量模型**: CMAQ、CAMx、WRF-Chem及CALPUFF等。

三、空气质量模型在中国环境管理中的实践

- **实践案例1**: 国家大气污染防治行动计划实施效果预评估
- **实践案例2**: 全国PM_{2.5}跨区域输送特征与大气环境容量模拟

国家尺度大气环境政策模拟平台

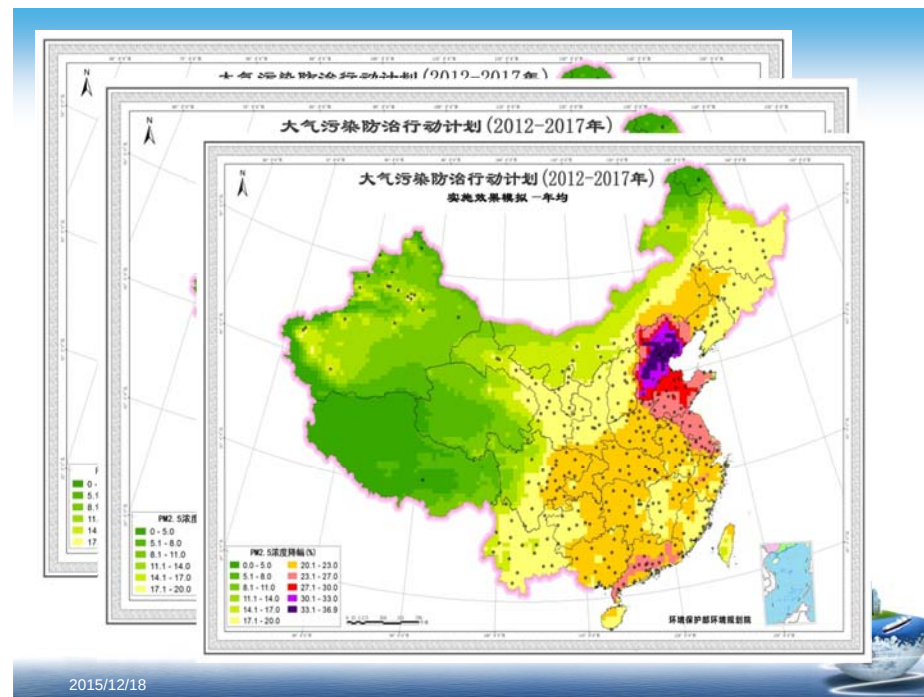


案例1：国家大气污染防治行动计划效果预评估

计划目标：到2017年京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降25%、20%、15%左右，其中北京市细颗粒物年均浓度控制在60微克/立方米左右；

关注问题：行动计划拟定的十项污染治理措施（国十条）实施后，PM_{2.5}到底能下降多少？能否实现预期目标？

2015/12/18



2015/12/18

评估结果

区域 ^①	统计城市数 ^②	1月降幅 ^③	7月降幅 ^④	年均降幅 ^⑤
长三角 ^⑥	25 ^⑦	23.09 ^⑧	26.20 ^⑨	23.98 ^⑩
珠三角 ^⑪	9 ^⑫	24.37 ^⑬	23.27 ^⑭	24.04 ^⑮
京津冀 ^⑯	13 ^⑰	33.66 ^⑱	35.02 ^⑲	33.99 ^⑳
全国 ^㉑	333 ^㉒	21.78 ^㉓	23.02 ^㉔	22.08 ^㉕

国家实施《大气污染防治行动计划》实施后，全国、京津冀、珠三角、长三角PM_{2.5}年均浓度将分别下降：**22%、34%、24%、24%**，《计划》拟定目标合理、可达。

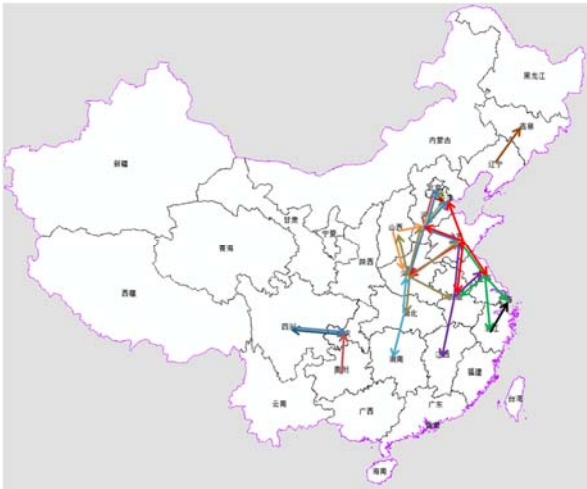
2015/12/18



案例2：全国PM2.5跨界输送与大气环境容量模拟

	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	
北京	63.4	24	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
天津	6.58	26	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
河北	5.6	64	5	3	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
山西	0	0	4	69	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	1	0	
内蒙古	0	0	3	3	78	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	3	0	
辽宁	1	1	5	1	7	67	3	2	0	2	0	1	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
吉林	0	0	3	1	8	22	52	8	0	1	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黑龙江	0	0	1	0	4	4	8	80	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	0	0	2	1	1	1	0	0	46	27	11	4	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
江苏	0	1	3	2	1	1	0	0	2	50	5	19	0	0	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浙江	0	0	3	2	1	1	0	0	4	17	52	8	1	1	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
安徽	0	0	4	2	1	1	0	0	1	9	2	58	0	2	8	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
福建	0	0	2	1	1	1	0	0	1	6	9	5	59	3	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
江西	0	0	2	2	1	0	0	0	0	4	3	10	1	52	4	4	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
山东	1	2	12	2	1	1	0	0	0	6	1	5	0	0	59	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
河南	0	0	9	8	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	5	63	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
湖北	0	0	3	3	1	0	0	0	0	2	1	6	0	4	3	10	58	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
湖南	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	3	0	5	2	5	10	61	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
广东	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2	4	5	6	3	2	2	3	65	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
广西	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	3	1	3	2	4	5	12	8	54	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
海南	0	0	2	2	1	1	0	0	0	3	3	5	4	5	3	3	4	6	24	4	29	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
重庆	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	69	13	10	1	0	0	0	0	0	0	0
四川	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	14	72	5	1	0	0	1	0	0	0	0
贵州	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	5	0	3	4	8	63	6	0	0	0	0	0	0	0	0
云南	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	3	0	3	9	13	64	0	0	0	0	0	0	0
西藏	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0
陕西	0	0	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	69	3	0	2	0
甘肃	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	8	1	0	0	0	9	67	4	4	0
青海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宁夏	0	0	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	1	65	0
新疆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

重点突出华东、西南两大地区区域联防联控



- 京津冀、长三角和山东、山西、河南、湖北、安徽等11个省市之间；
- 重庆、四川、贵州3个省市之间存在显著的相互输送关系。

对受体省份PM_{2.5}年均浓度影响大于或等于3.5微克/立方米

PM_{2.5}达标约束下的环境容量——
考虑跨界输送、化学过程

省份	SO ₂	NO _x	一次PM _{2.5}	NH ₃	省份	SO ₂	NO _x	一次PM _{2.5}	NH ₃
北京	4.11	6.79	2.79	1.35	湖北	31.37	24.21	21.67	29.09
天津	8.68	10.7	3.57	1.57	湖南	34.09	25.59	18.03	29.07
河北	48.58	51.19	23.19	19.55	广东	68.95	105.72	37.21	35.16
山西	85.37	66.08	34.78	10.9	广西	50.5	38.4	41.15	32.16
内蒙古	130.96	118.77	42.67	39.52	海南	3.11	8.03	3.18	6.84
辽宁	72.81	59.05	29.12	20.48	重庆	35.07	20.78	14.32	15.55
吉林	32.53	42.98	21.81	17.72	四川	37.9	23.88	27.72	39.09
黑龙江	39.19	55.01	24.34	24.08	贵州	63.81	23.2	19.04	16.92
上海	14.4	22.78	5.4	1.7	云南	65.47	46.52	31.76	47.26
江苏	52.38	63.37	24.57	28.4	西藏	0.42	3.83	0.57	9.59
浙江	39.74	45.36	14.15	11.59	陕西	60.43	47.06	21.5	19.15
安徽	20.78	30.71	16.8	17.52	甘肃	52.06	35.24	18.51	17.64
福建	39.05	43.71	18.73	18.91	青海	14.37	9.89	5.98	6.85
江西	41.86	39	16.1	16.48	宁夏	34.61	35.85	6.85	5.91
山东	70.92	57.17	33.85	27.61	新疆	62.33	53.33	17.75	24.73
河南	47.39	44.27	21.92	35.32	合计	1363.26	1258.48	619.04	627.71

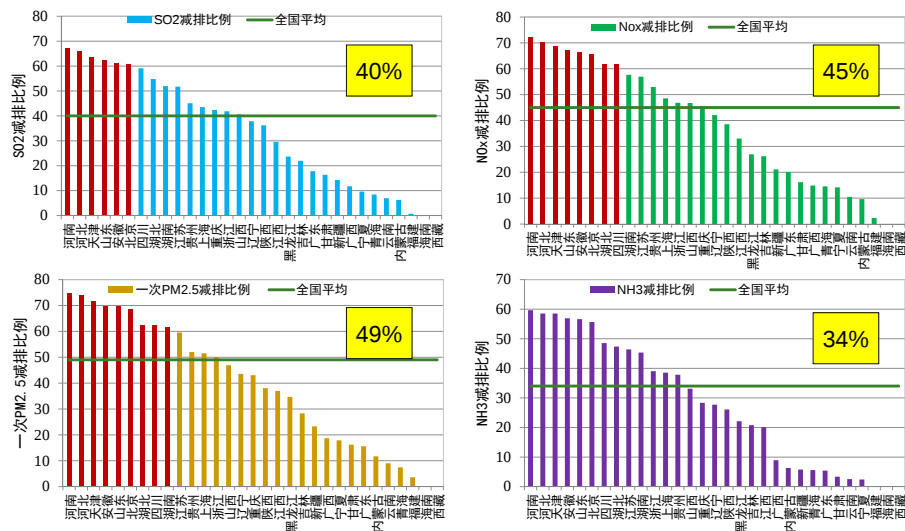
各省环境容量超载率

超载率(%)	>150	[100,150)	[50,100)	(0,50)	未超载
SO ₂	河南、河北、天津、山东、安徽、北京	四川、湖北、湖南、江苏	贵州、上海、重庆、浙江、山西、辽宁、陕西、	江西、黑龙江、吉林、广东、甘肃、新疆、广西、宁夏、青海、云南、内蒙古、福建	海南、西藏
NO _x	河南、河北、天津、山东、安徽、北京、湖北、四川、湖南	江苏、贵州、上海、浙江	山西、重庆、辽宁、陕西	江西、黑龙江、吉林、新疆、广东、甘肃、广西、青海、宁夏、云南、内蒙古、福建	
一次PM _{2.5}	河南、河北、天津、安徽、山东、北京、湖北、四川、湖南	江苏、贵州、上海、浙江	山西、辽宁、重庆、陕西、江西、黑龙江	吉林、新疆、广西、宁夏、甘肃、广东、内蒙古、云南、青海、福建	
NH ₃	—	河南、河北、天津、安徽、山东、北京	四川、湖北、江苏、湖南、浙江、上海、贵州	山西、重庆、辽宁、陕西、黑龙江、吉林、江西、广西、内蒙古、新疆、青海、广东、甘肃、云南、宁夏、福建	

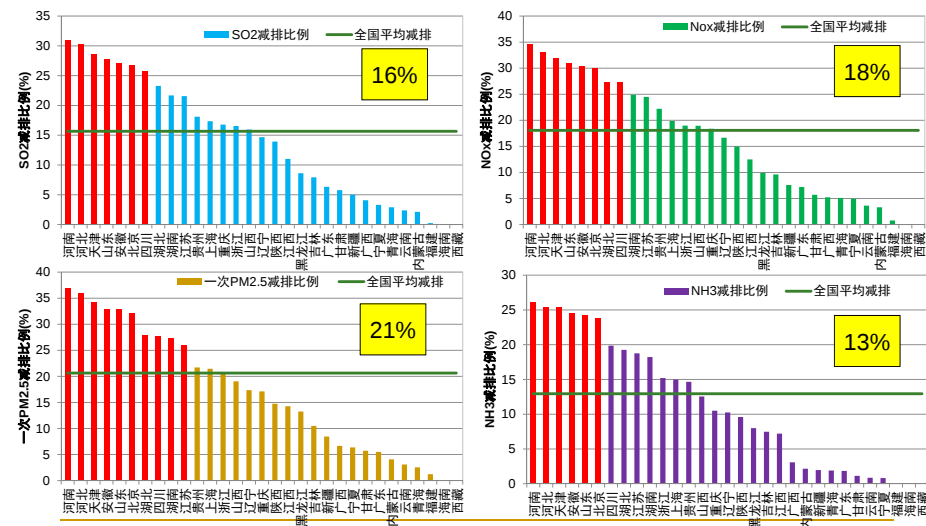
三大重污染区环境容量超载最为严重

- 以“北京—西安—杭州”为顶点的大气重污染三角区（主要包括北京、天津、河北、河南、山东、江苏、浙江、上海、安徽等省市）；
- 四川盆地成渝污染区（四川、重庆等）；
- 长江中下游两湖平原的武汉城市群和长株潭城市群（湖北、湖南等）。

PM2.5年均浓度要达标，总共需要减排多少？



2030年PM2.5达标，每五年应减排比例？



四、下一步应用方向

空气质量模拟在中国环境管理中已经发挥了重要意义，
下一步应用重点为：

- **深化方法：**以最小减排量或最小成本为目标，由设定的环境空气质量目标，反向优化总量减排方案；
- **实践应用：**以“十三五”空气质量为约束，模拟各省、各重点行业、各污染物“三维”总量减排目标，为管理决策提供参考。

谢谢



大气扩散模拟模型的充分利用 ～湘潭市的案例～

2015年11月27日
湘潭市环保局

目录

1. 项目工作成果
2. 各部分工作概要
3. 减排方案的有效性评估
4. 大气扩散模拟模型的充分利用
5. 本次活动中的不足之处

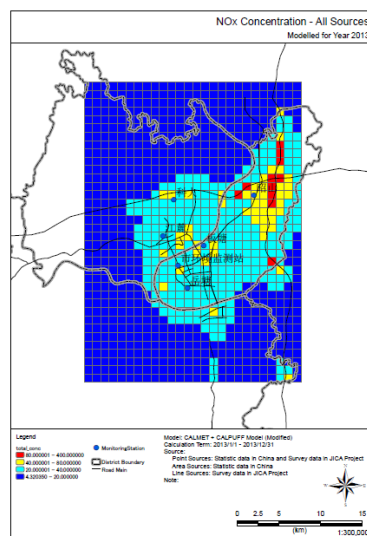
1

1. 项目成果（1）

• 2013年的浓度分布图

从2013年计算浓度结果来看，湘潭市大气NO₂浓度基本处于标准GB3095-2012年均值二级标准以下

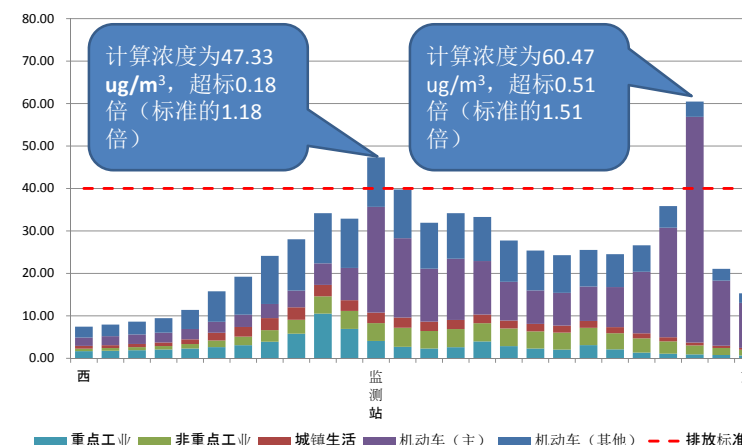
（40ug/m³, 图中淡蓝色和深蓝色网格），湘潭东北部昭山附近超标严重，市中心监测站附近也有超标现象，超标地区处于交通干线附近，受线源影响较大。如需达标，要对道路污染源进行减排。



2

1. 项目成果（2）

• 展示2013年贡献浓度剖面图



3

2. 各部分工作的概要

- 1. 气象/大气环境质量数据分析
- 2. 固定污染源排放清单的编制
- 3. 移动污染源排放清单的编制
- 4. 大气扩散模拟模型的构建

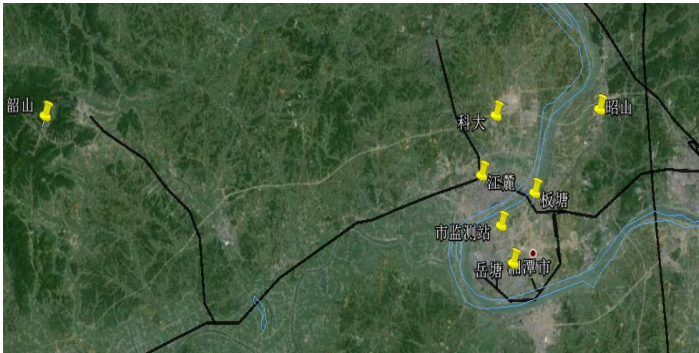
2-1 气象/大气环境质量数据分析

项目		内容
期间		2013年1月1日-12月31日
空气质量数据	监测点位	市监测站、江麓、板塘、昭山、岳塘、科大(六个点位)
	监测项目	SO2、NO2、CO、O3、PM10、PM2.5
气象数据	自动监测站 点位监测项目	大气温度、大气湿度、风向、风速、大气压
	湘潭气象局 监测项目	气温、降水量、气压、相对湿度、风向、风速、云量、云高、能见度

异常值取舍 以NO2为例：异常值条件为<5ug/m3或者>450ug/m3。气象数据的异常值条件为大气温度<-30° C的温度值以及对应的大气湿度、风向、风速、大气压。

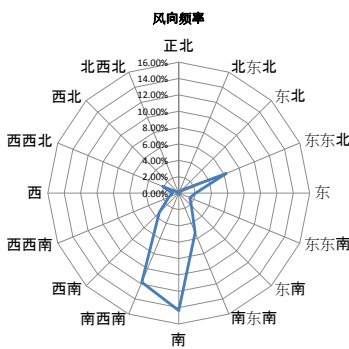
2-1 气象/大气环境质量数据分析

4) 自动监测站的分布图

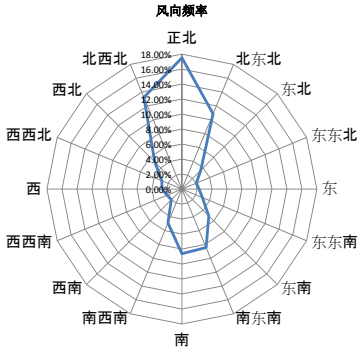


2-1 气象/大气环境质量数据分析

- 数据结果分析
- 1) 风向频率图



监测站风向频率



气象局风向频率

2-1 气象/大气环境质量数据分析

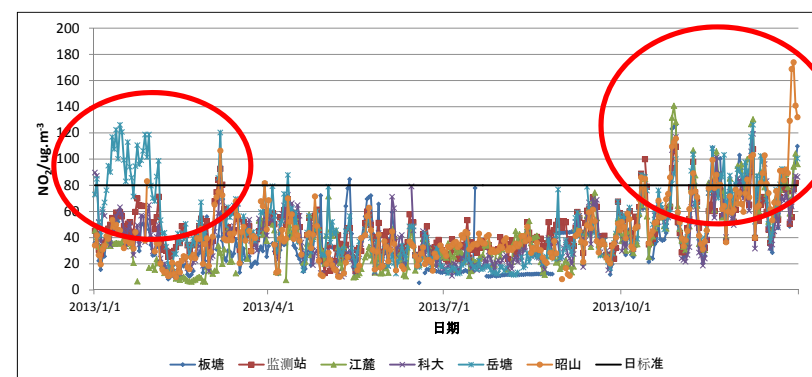
2) 浓度结果分析 (以NO₂24小时平均浓度为例)

监测点位	NO ₂ 最大24小时平均 (ug/m ³)	最大值超标倍数	超标频率 (%)	24小时平均浓度标准 (ug/m ³)
岳塘	126.25	0.58	17.54	80
市监测站	109.63	0.37	4.27	80
科大	119.29	0.49	6.31	80
昭山	173.96	1.17	9.04	80
板塘	126.04	0.58	8.90	80
江麓	140.79	0.76	8.23	80

8

气象/大气环境质量数据分析

2) 浓度结果分析 (以NO₂浓度日均值为例)



从图中可以看出, 各监测点位NO₂日均值变化存在差异, 秋冬季节出现超标现象, 季节变化都表现为冬高夏低。

9



10



321

2-2 固定污染源排放清单的编制

• 重点工业企业污染源排放清单的编制

调查工业企业数：46家

其中：岳塘区 11家，雨湖区 5家
高新区 2家，九华经开区 1家
湘乡市 10家，湘潭县 17家

调查行业涉及范围：钢铁、火电、水泥、建材、制革、玻璃、化工、食品等

调查信息：设备概要、烟囱信息、燃料特性及与大气污染防治措施相关的企业规划等

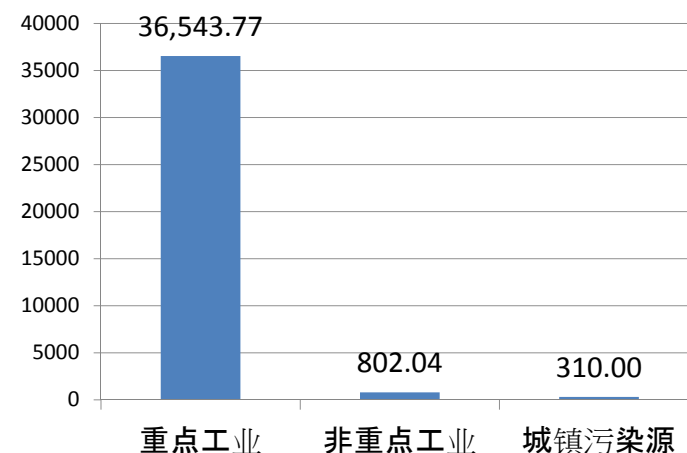
• 非重点、城镇污染源排放清单的编制

本项目非重点污染源的排放清单依据环统数据的综108表制作；城镇污染源排放清单依据环统数据的综302表制作。

12

2-2 固定污染源排放清单的编制

• 结果汇总（单位：吨）



13



322

2-3 移动污染源排放清单的编制

• 机动车污染源排放清单的编制

1) 机动车车流量调查

在湘潭市岳塘区、雨湖区、湘潭县设置25个点位（休息日7个点位）进行24小时调查。每个调查点位分别按车型和时间统计通过车辆数。

2) 行驶速度调查

— 时间段：6:00~24:00

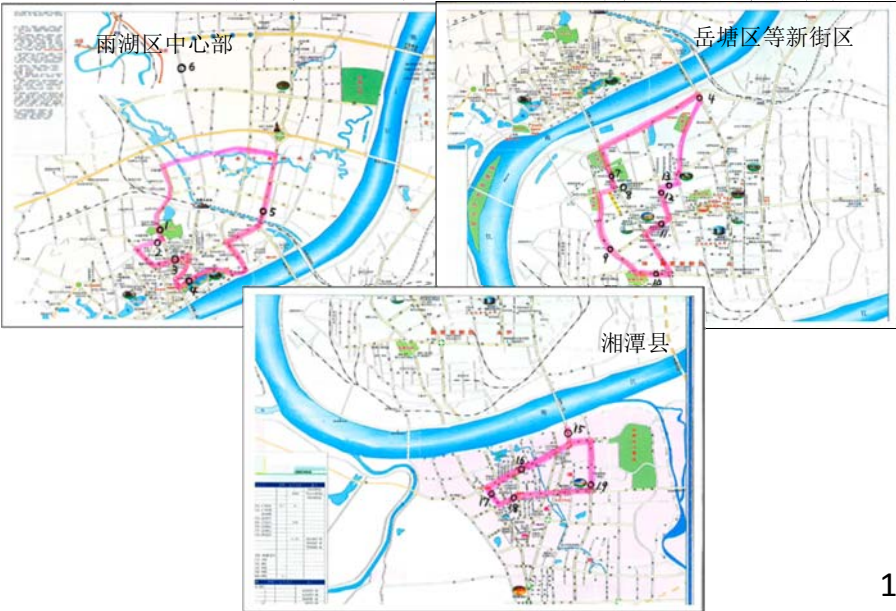
— 区域：岳塘区、雨湖区、湘潭县（行驶线路见下图）三辆调查

— 调查内容：行驶道路名、车道数、时间、状况（休息、就餐、加油等停止行驶的信息，事故、道路施工等特殊情况的

— 计算方法：根据记录的数据分别按道路、时间段计算平均行驶速度

15

2-3 移动污染源排放清单的编制



2-3 移动污染源排放清单的编制

- 调查结果汇总
根据调查得出的车流量、旅行速度、排放系数（机动车排污监控中心提供）、距离等数据，最终计算出的主要道路线源排放量为4,495.82吨。

$$-Q=\Sigma (EF \times Cnt \times Len)$$

- Q 排放量(g)
- EF 排放系数(g/km/辆)
- Cnt 机动车数(辆)
- Len 里程(km)

2-3 移动污染源排放清单的编制

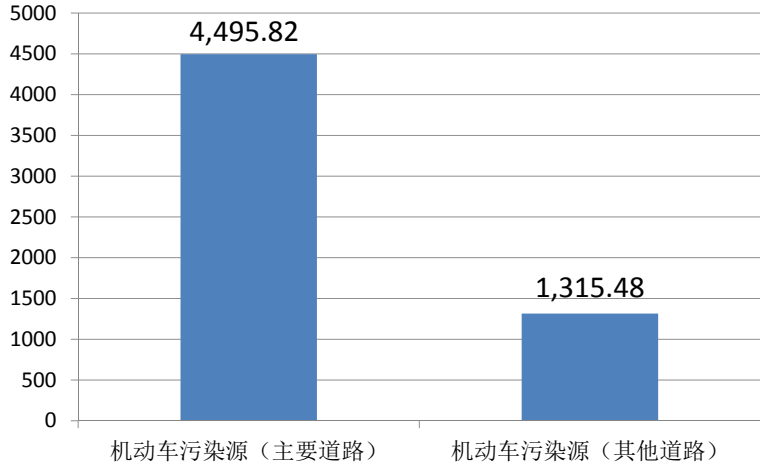
- 除主要道路外的机动车污染源排放清单的编制
主要依据环统的综402表。这里我们有个假定，即带有湘潭牌照的机动车90%在湘潭市内运行，其余不纳入计算。计算公式如下：

面源排放量（主要道路除外）
=湘潭市的机动车总排放量的90%—调查的主要道路排放量

依据环统的综402表，湘潭2013年机动车NOx排放总量为6,457吨，主要道路排放量为4,495.82吨，计算得出面源总量为1,315.48吨。

2-3 移动污染源排放清单的编制

- 移动污染源排放柱形图（单位：吨）





2-4 大气扩散模拟模型的构建

- 1. 采用的模型概要
- 2. 扩散模拟的设定
- 3. 活动的情景
- 4. 显示2013年的扩散模拟结果

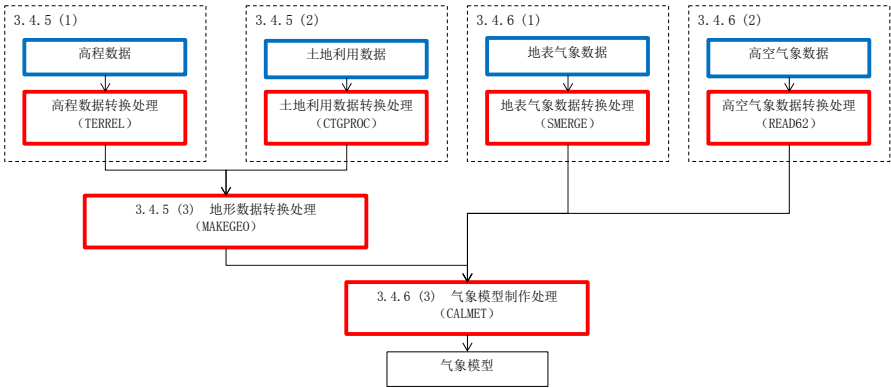
2-4-1 采用的模型概要

- 选择扩散模型的条件
 - 应为中国推荐的扩散模型；
 - 模型及各种数据应不花多少费用即可获得；
 - 排放量与贡献浓度应为线性关系的大气扩散模拟模型。

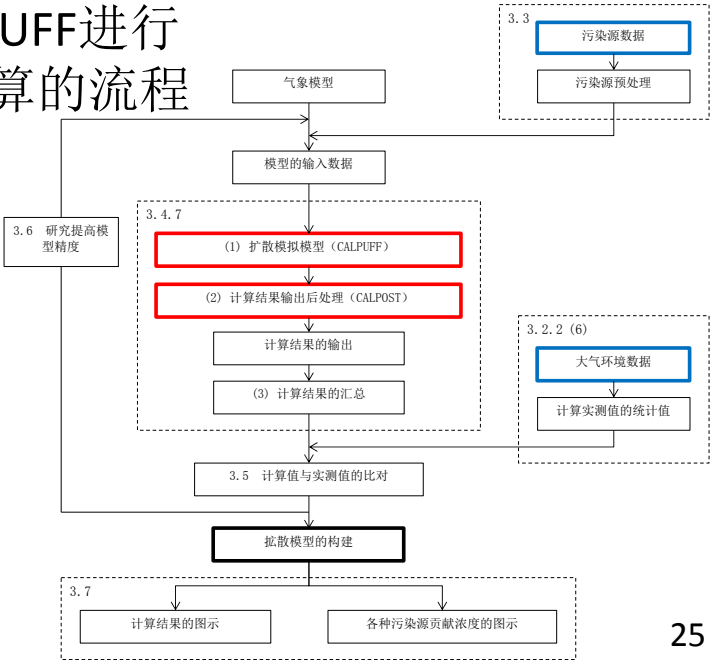
主要大气扩散模拟模型概要

模型名称	模型类型	优点	缺点	适用范围
ISCST3	解析解模型 (烟羽模型)	不考虑二次生成， 计算时间短	不属于目前US-EPA 推荐模型	50km以下
ADMS-EIA	解析解模型 (烟羽+烟团模型)	考虑具体物理过程	有偿(约6万元/许可)	50km以下
AERMOD	解析解模型 (烟羽模型)	可详细分析接近于 地表高度的动态	没有考虑PUFF模型	50km以下
CALPUFF	解析解模型 (烟团模型)	由于使用PUFF模型， 弱风时也可计算 可选择是否考虑化 学反应模型	计算时间较长	多尺度 (局部、城 市、地区)
CMAQ	数值解模型 (欧拉式模型)	可处理大气污染物 之间的相互影响及 多个物理/化学过程。	计算过程复杂，要求 非常缜密的输入 数据	多尺度
WRF-Chem	数值解模型 (欧拉式模型)	可同时进行气象场 和化学输送的计算	仅限于研究人员使用	多尺度

用CALPUFF进行扩散计算的流程



用CALPUFF进行扩散计算的流程



2-4-2 扩散模拟的设定

- 扩散模拟的有关设定
 - 计算条件的确定，包括计算方案、计算对象范围及分析对象范围；
 - 气象数据，包括地面气象数据及高空气象数据；
 - 污染源数据。

• 计算条件的确定

1) 计算方案

项目	内容
计划使用模型	CALPUFF Ver5.8.4 (USEPA推荐模型)
对象区域	计算区域：包括湘潭市全市在内的约115km×90km 分析对象区域：中心部约16km x 26km
地形	SRTM30/GTOPO30 Global Data (～900 m, 30 arc-sec)
土地利用数据	USGS Land Use/Land Cover Scheme Eurasia (optimized for Asia)
分辨率	计算区域：5km x 5km、分析对象区域：1km x 1km
对象污染物	SOx (SO ₂)、NOx (NO、NO ₂)
污染源	重点・非重点调查工业企业、城镇生活源、自動車源
对象期间	2013年1月～2013年12月
浓度计算点位	1km x 1km网格中心点、大气自动监测站

2) 计算对象范围



3) 分析对象范围



气象数据

气象数据来源及内容见下表

类型	时间	来源	监测参数
地面气象数据	2013.1.1-2013.12.31	湘潭市 气象局 购买	气象局具体监测位置、气温、风向、风速、云底高度、总云量、低云量、相对湿度（或露点温度）、地上气压等
高空气象数据		从NOAA/ESRL Radiosonde Database免费下载，选取离湘潭最近的长沙数据	监测高度、气温、露点温度、风向、风速、气压等

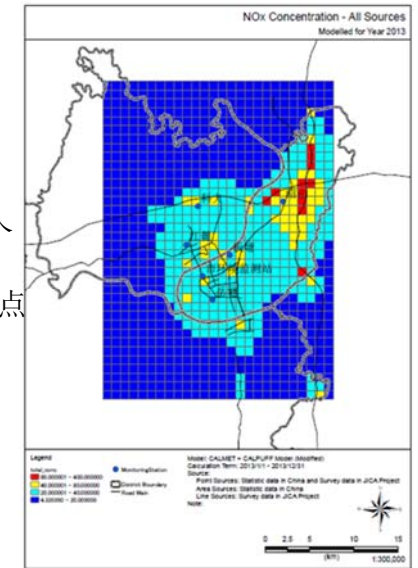
污染源数据

- NO2污染源：重点调查工业企业污染源、非重点调查工业企业污染源、城镇污染源、主要道路机动车污染源及其他道路机动车污染源
- 污染源划分：点源、面源和线源。
- 计算年份：2013年、对2015年实施十二五规划后及未实施十二五规划后的NO2浓度变化进行预测



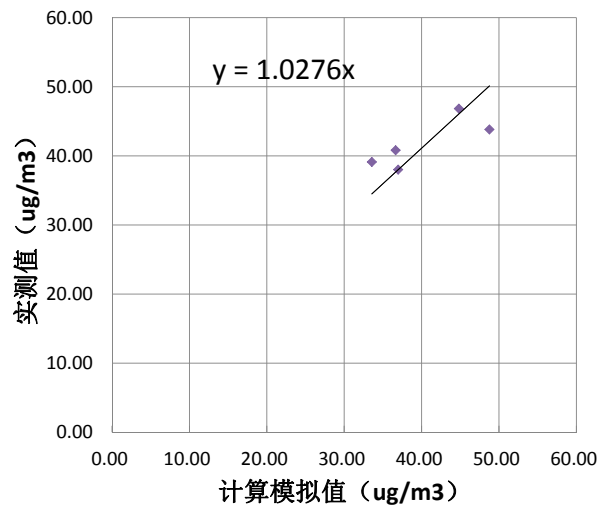
• 模拟计算结果

在计算范围内，超标格点占整个计算范围的6.41%，最大值为329.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，出现在昭山监测点附近。



33

• 模拟计算结果与实测值的契合度评估



线性模拟的近似式斜率接近于1，为1.028，相关系数较优，为0.808，

34

327

3. 减排方案的有效性评估

- 分析方法概要
 - 十二·五减排目标全部完成后的情况
 - 十二·五减排目标完全没有实施时的情况
- 将上述两种情况进行对比，评估大气环境浓度降低效果

35

3. 减排方案的有效性评估

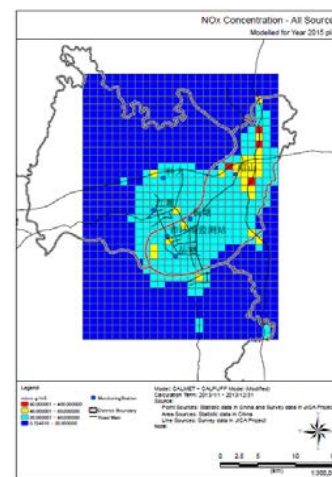
— 采取措施与未采取措施的各污染源排放量的对比



36

3. 减排方案的有效性评估

• 十二·五减排目标全部完成后的情况

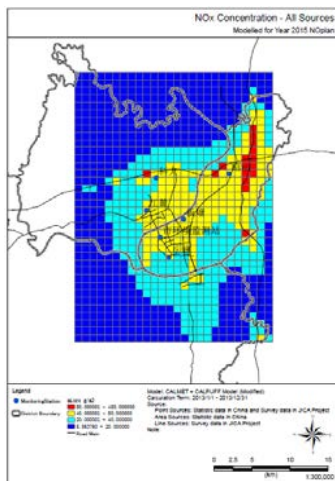


执行了“十二五”规划后，湘潭市NO₂污染有所减少，污染加重趋势有所好转。超标范围比率由2013年的6.41%下降到3.42%，浓度最大值由329.42μg/m³下降至221.22μg/m³。

37

3. 减排方案的有效性评估

• 十二·五减排目标完全没有实施时的情况



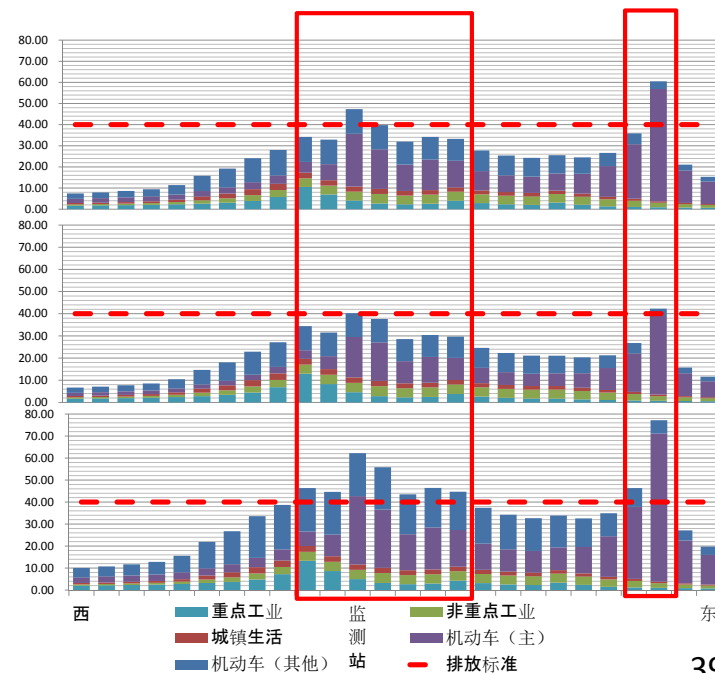
如未执行“十二五”规划，湘潭市NO₂超标范围显著增多，基本涵盖了整个市区范围，环境进一步恶化。超标范围由2013年的6.41%上升到19.76%，浓度最大值由329.42μg/m³上升至418.78μg/m³。

38

2013年

2015年规划
完全实施后

2015年规划
未实施时



39

4 . 大气扩散模拟模型的充分利用

- 1. 评估减排措施的有效性，为将来制定减排措施提供依据
- 2. 对自动监测点位进行合理化配置

5 . 本项目中的不足之处

- 1. 实测值与模拟计算值回归过程中，人为舍弃了岳塘监测点位实测值，这是否合理，须进一步采用2014年及2015年实测数据进行验证。
- 2. 本次实测值与模拟值相关性模拟的过程中，模拟计算点的监测站点高度采用是1.5m，与实际不符，应进一步求证。
- 3. 本次采用的模型适用于大范围的预测，对于网格中心点正好处于模拟线源的排放中心点的预测，不够准确，如需更好的模拟该网格点的浓度，需调查更多数据或采用其他适宜的模式。
- 4. 在非主要道路的排放量计算中，我们有一个假定，就是90%的湘潭牌照的车辆在湘潭本地使用，这个需要进一步调查。

谢谢大家！

《NO_x控制效果评估方法手册》介绍

2015年11月27日
JICA专家组 仲田 伸也

1

目 录

1. 手册的目的
2. 概要
3. 气象、大气环境数据分析
4. 污染源排放清单的制作
5. 环统数据转换系统的利用
6. 通过大气扩散模拟计算大气环境质量浓度
7. 减排规划的评估
8. 手册的利用效果

2

1 . 手册的目的

- 使地方环保部门可以利用大气扩散模拟进行大气环境评估；
 - 利用环统数据的方法
 - 通过补充调查补充数据的方法
- 使地方环保部门可以评估制定的减排规划的减排效果；
 - 根据减排效果，重新调整减排计划的依据。

3

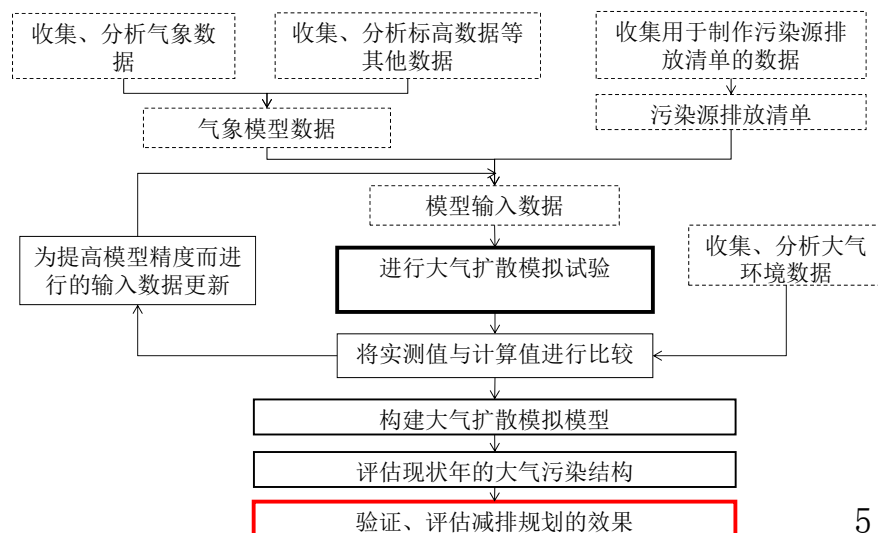
2 . 概要

- 手册的结构
 - 第1章概要
 - 第2章 利用大气扩散模拟模型的目的
 - 第3章 基准年的模型化
 - 第4章 减排规划的评估
 - 第5章 参考资料
 - 第6章 参考文献

在湘潭市的活动以及与环境规划院
商议的基础上编制。

4

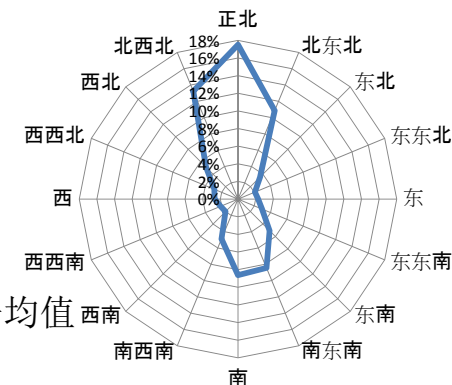
N0x控制效果评估方法流程



5

3. 气象、大气环境数据分析

- 获取气象数据
 - 地表气象数据
 - 高程气象数据
 - 气象模型
- 气象数据分析
 - 最高值、最低值、平均值
 - 风向频率图



6

3. 气象、大气环境数据分析

- 获取大气环境数据
 - 采用对象城市大气自动监测站的数据
 - 对象物质：： N02、NO、NOx、O3等
- 分析大气环境数据
 - 检出异常值
 - 大气环境超标情况
 - 时间变化统计分析（日均、月均、小时平均、经年变化）

7

4. 制作污染源排放清单

- 简易方法
 - 利用环统数据制作污染源排放清单
- 复杂方法
 - 制作清单所需的信息不全时，采取补充调查或假设的方式
 - 示范城市湘潭市的案例已介绍

8

5 . 利用环统数据转换系统

- 将各环保局拥有的环统数据转换成扩散模拟试验用的输入数据
- 对象污染源
 - 重点工业企业污染源
 - 非重点工业企业污染源
 - 城镇污染源
 - 机动车污染源

9

5 . 环统数据转换系统的利用

- 有关软件和系统的具体使用方法请咨询环保部环境规划院。



6 . 通过大气扩散模拟试验计算大气环境浓度

- 选择扩散模型的条件
 - 应为中国推荐的扩散模型;
 - 模型及各种数据应不花多少费用即可获得;
 - 排放量与贡献浓度应为线性关系的大气扩散模拟模型。



本手册中采用CALPUFF

11

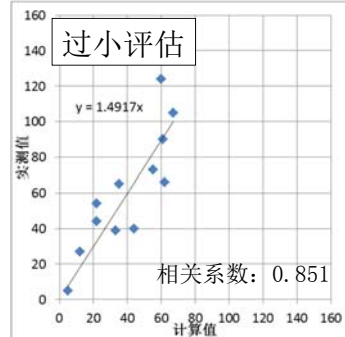
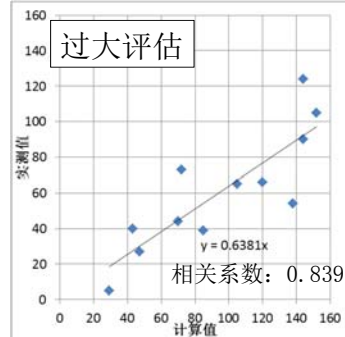
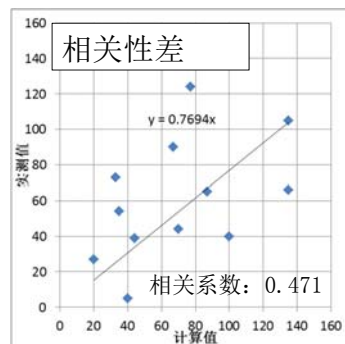
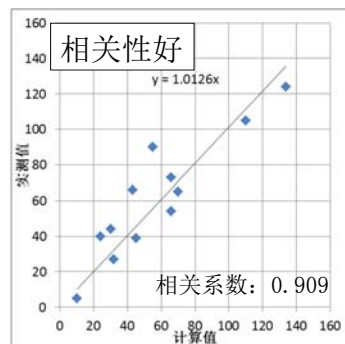
6 . 通过大气扩散模拟试验计算大气环境浓度

- 评估计算结果
 - 根据近似直线的斜度和相关系数进行评估
 - 使用显著水平评估显著差异
 - 评估同一点位各时间段浓度的相关性



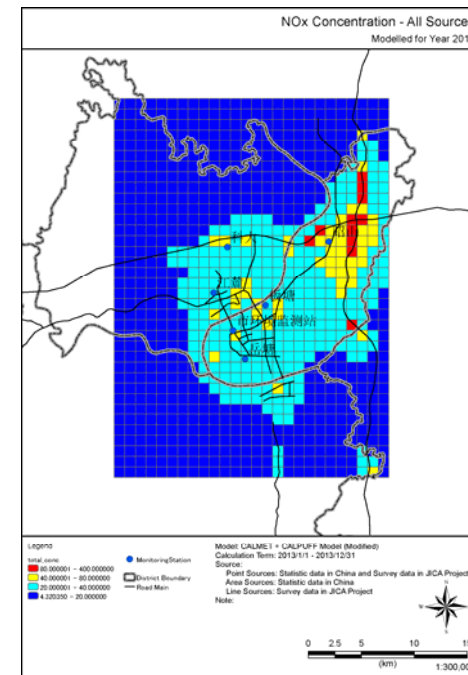
相关性好或有显著差异：模型精度高
相关性差或无显著差异：模型精度低
→重新检查输入数据或调整模型参数

12



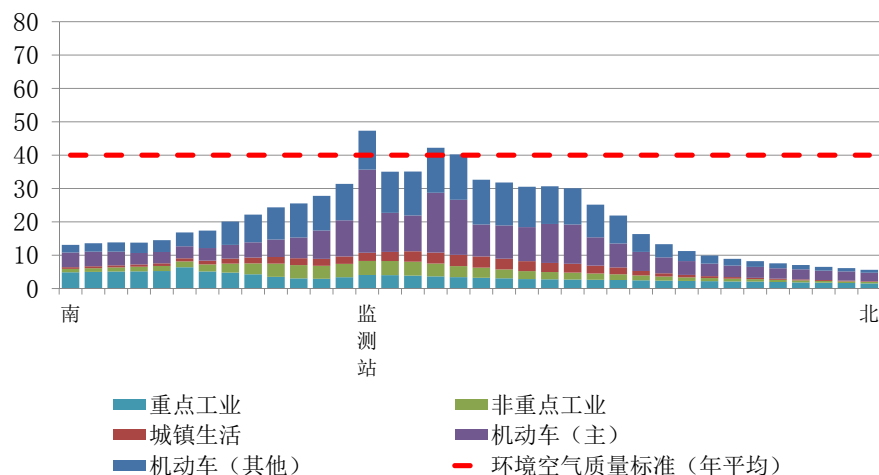
13

浓度分布图



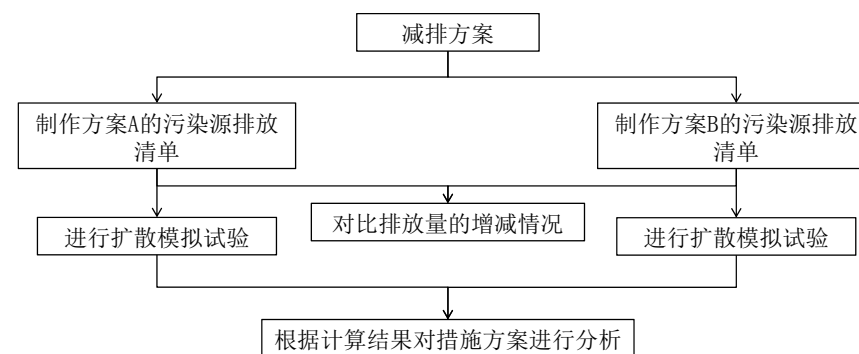
14

各污染源贡献浓度剖面图



15

减排规划的评估



在本项目中, 按以下情况计算湘潭市的减排规划:
减排方案A: 完全未实施减排规划时; 减排方案B: 完全实施了减排规划后。

对于今后的减排方案, 也可按照上述方法进行分析评估。

16

8. 手册的利用效果

- 地方政府可以利用手头有的环境数据等，通过大气扩散模拟试验跟具体地掌握所在地区的大气污染结构。
- 地方政府可以评估减排规划实施后污染物浓度降低效果以及制定的减排方案的效果。

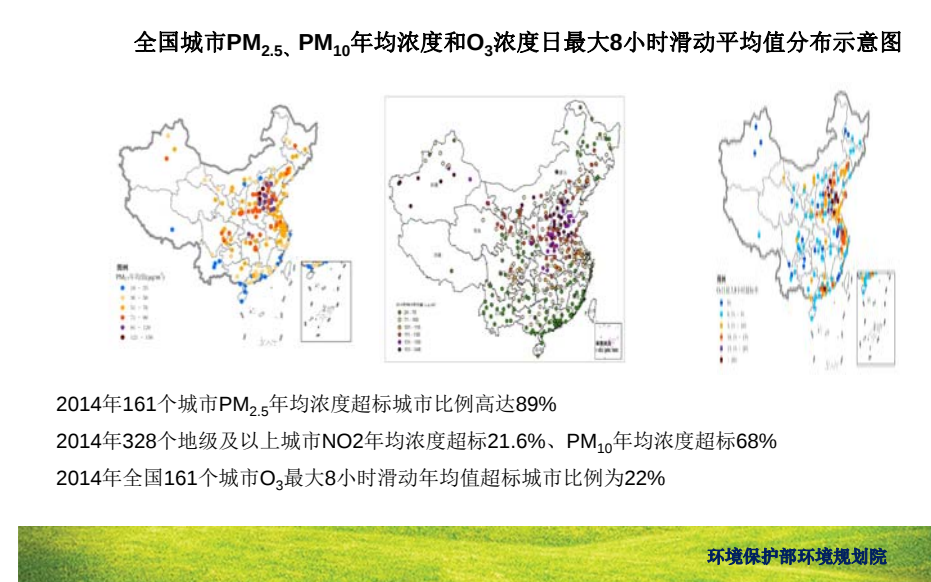
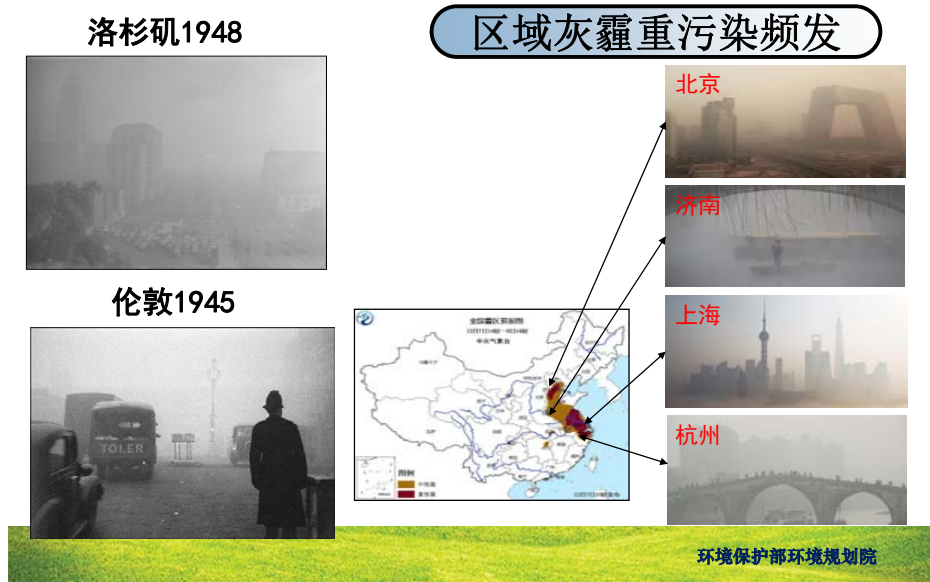
17

谢谢！

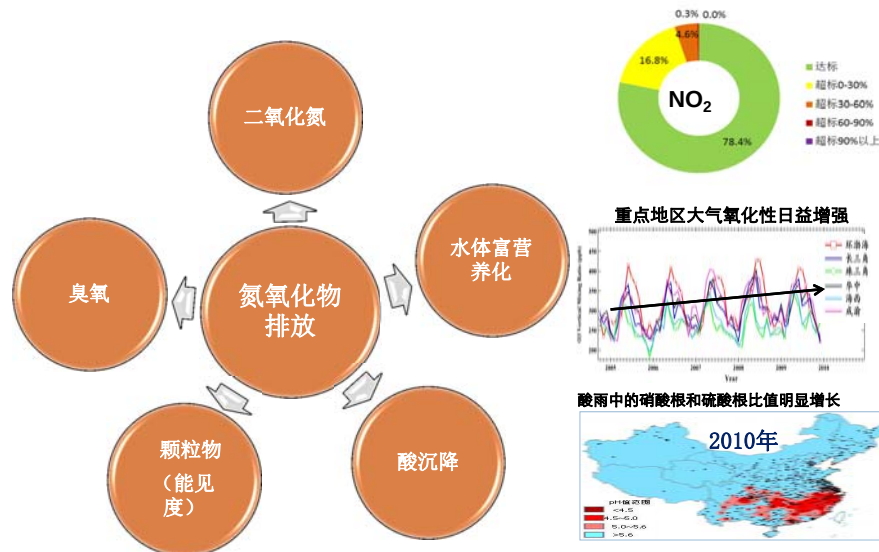
18



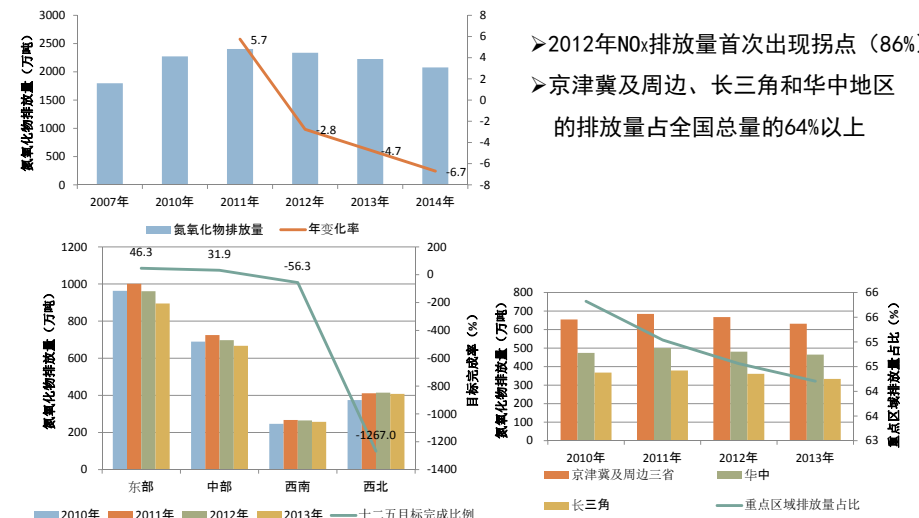
- 1 中国大气氮氧化物污染特征分析
- 2 中国大气氮氧化物控制现状及管理需求
- 3 大气氮氧化物控制技术指南的主要内容



NO_x是导致我国复合型大气污染的关键污染物



NO_x排放总量呈下降趋势 但区域集中特征明显

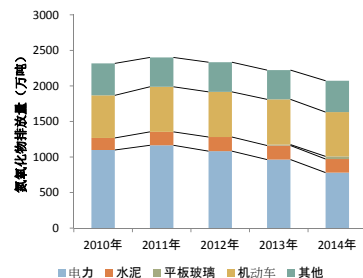


- 2012年NO_x排放量首次出现拐点（86%）
- 京津冀及周边、长三角和华中地区的排放量占全国总量的64%以上

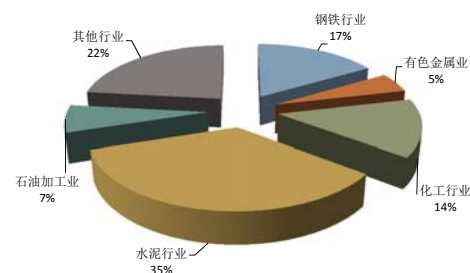
环境保护部环境规划院

电力、水泥、钢铁行业和机动车是NO_x的重点排放源

“十二五”期间，除电力行业外，其他重点行业NO_x排放量总体呈上升趋势



水泥、钢铁行业、工业锅炉是除电力行业外的最主要的工业NO_x排放来源



环境保护部环境规划院

“十二五”期间出管理重拳

空气环境质量标准与WHO和欧、美、日等发达国家接轨

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫 (SO ₂)	年平均	20	60	μg/m ³
		24小时平均	50	150	
		1小时平均	150	500	
2	二氧化氮 (NO ₂)	年平均	40	80	μg/m ³
		24小时平均	80	160	
		1小时平均	200	400	
3	一氧化碳 (CO)	24小时平均	4	10	mg/m ³
	1小时平均	10	15		
	任意1小时平均	150	250		
4	臭氧 (O ₃)	1小时平均	160	200	μg/m ³
	24小时平均	40	70		
	1小时平均	50	150		
5	颗粒物 (粒径小于等于 10 μm)	年平均	15	35	μg/m ³
		24小时平均	35	75	

	小时均值	日均值	年均值
美国 (ppb)	100		53
日本 (ppb)		40-60	
欧盟 (μg/m3)	200		40
WHO (μg/m3)	200		40
中国 (二级)	200	80	40

环境保护部环境规划院

“十二五”期间出管理重拳

电力行业——

- 燃煤标准450~1300收严到100/200mg/m³
- 2015年底现役燃煤机组完成4亿千瓦脱硝改造；新、改、扩建燃煤机组综合脱硝效率不低于70%

水泥行业——

- 800收严到400/mg/m³
- 2015年底水泥行业规模大于2000吨熟料/日的新型干法建设脱硝设施；新、改、扩建水泥生产线综合脱硝效率不低于60%

机动车——

- 提高排放标准
- 淘汰“黄标车”1000万辆

钢铁、工业锅炉行业——

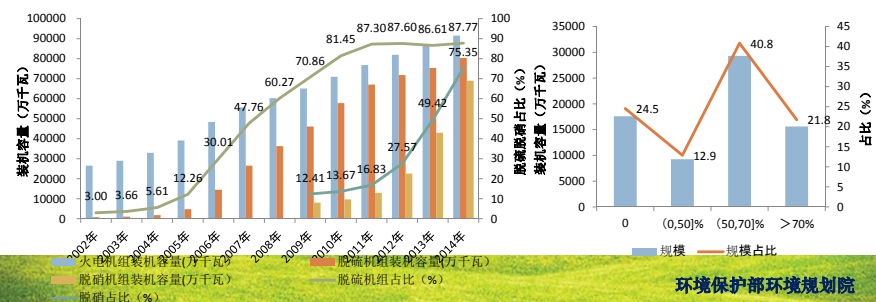
- 300mg/m³, 400(老)/300(新)
- 锅炉“上大压小”
- 钢铁加快脱硝技术研发，开展示范工程

环境保护部环境规划院

电力行业脱硝工程稳步推进 减排效果显著

截至2014年，

- 全国累计脱硝机组7.5亿千瓦，煤电脱硝占比87%
- 平均脱硝效率64%
- 电力行业氮氧化物排放量同比降低5个百分点
- 完成煤电行业超低排放改造8400万千瓦，约占全国煤电装机1/10，正在进行改造的超过8100万千瓦

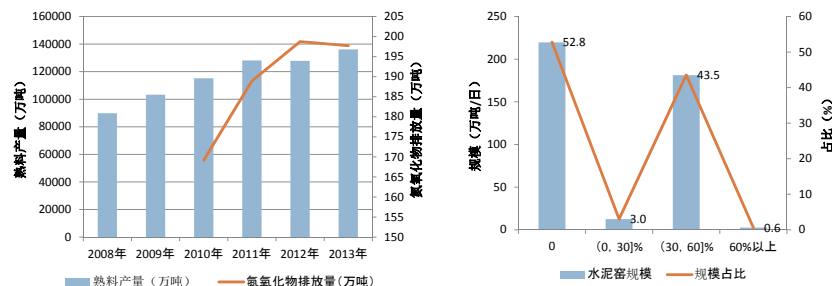


环境保护部环境规划院

水泥行业脱硝工作刚刚起步 减排效果尚不明显

截至2014年，

- 已实施脱硝水泥熟料产能达6.5亿吨，占全国总产能的83%
- 分级燃烧、SNCR等技术缺乏长期稳定运行经验，大部分未运行或处于试运行阶段，未能发挥实质减排作用



环境保护部环境规划院

钢铁、锅炉NO_x控制措施几乎空白

钢铁、锅炉行业

- NO_x排放未受到足够重视
- 对脱硝技术的基础研究薄弱
- 部分锅炉采用了低氮燃烧技术
- 监测与统计工作不完善

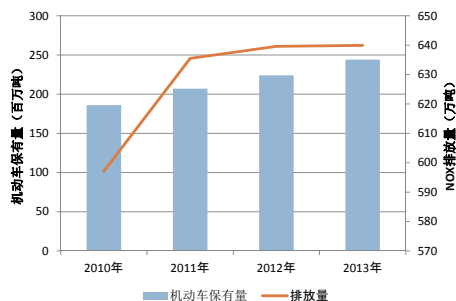
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
钢铁NO _x 排放量 (万吨)	86	95.1	95	97	100	101

来源：环境统计数据

环境保护部环境规划院



机动车NO_x排放量的增长趋势有所控制



- 提前实施更严格机动车排放标准
- 调控城市机动车保有总量
- 限制高排放车辆转入
- “黄标车”淘汰鼓励政策
- 供应国IV车用油品
- “黄标车”区域限行或车牌尾号限行政策

2011年和2013年机动车保有量年增长率分别为11.3%、9.0%；2011年机动车氮氧化物排放量年增长6.4%，而2013年的排放量则几乎与上年持平

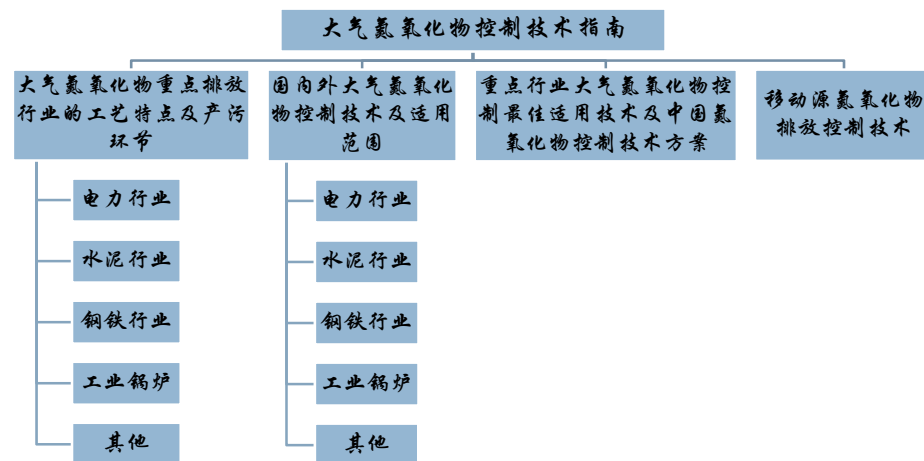
环境保护部环境规划院



关键问题与管理需求



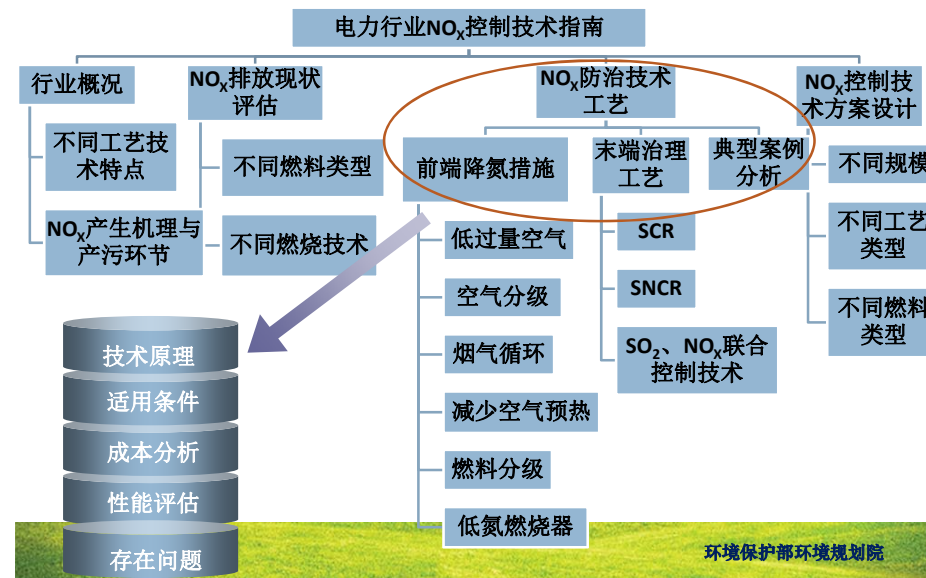
大气氮氧化物控制技术指南的框架



环境保护部环境规划院



大气氮氧化物控制技术指南的内容——以电力行业为例





中国大气氮氧化物总量控制项目 成果交流汇报

湘潭市环保局
2015年11月27日

CONTENTS 目录

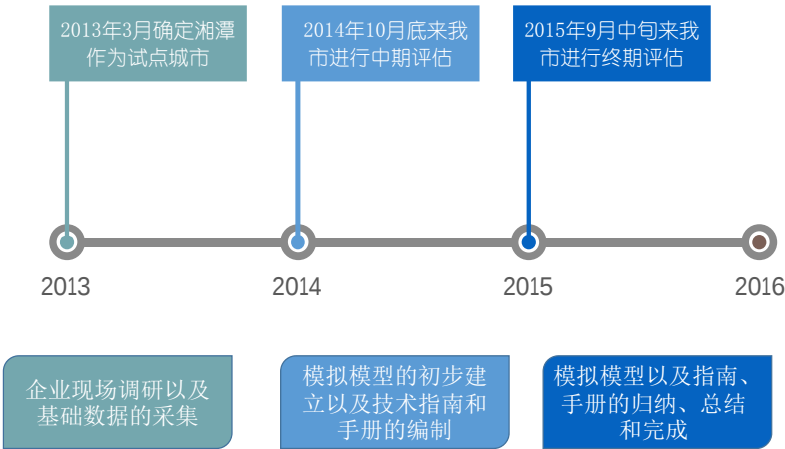
一	项目背景
二	项目过程
三	项目成果
四	项目感言

一、项目背景

“十二五”期间，氮氧化物被纳入中国减排约束性指标体系，氮氧化物成为我国当前污染减排的重点。为学习和借鉴日本在该方面的经验，2012年中国环保部总量司与日本JICA签订了大气NOX总量控制项目合作协议，由于湘潭市具有钢铁、电力、水泥、大型锅炉等多样性的污染源，治理成果便于向其他城市或地方进行推广，因此该项目于2013年3月正式在湘潭启动，为期3年。

项目名称	项目合作期	实施单位	项目目标
中国大气氮氧化物总量控制项目	2013年3月~2016年3月	中方：环保部总量司大气处、环保部环境规划院、中国环境科学研究院、环保部环境与经济政策研究中心及湘潭市环保局 日方：日本JICA组织、日本数理计划、日本国际技术转移中心	1、氮氧化物控制方法得到改善； 2、先进的氮氧化物控制技术和方法得到更广泛的应用

二、项目过程





会议研讨

5



培训学习

6

赴日交流



7

现场考察



8

三、项目成果

成果一

成果二

编制《氮氧化物控制技术指南》和《氮氧化物控制效果评估方法手册》，同时针对钢铁、水泥、燃煤锅炉等氮氧化物排放重点行业，选取了华菱湘潭钢铁集团有限公司、湘潭中材水泥有限公司、湘潭电化集团有限公司等作为示范企业，通过派遣日本专家进行现场指导，开展减排技术服务。

9

三、项目成果

成果一

成果二

建立湘潭市大气氮氧化物扩散模型，培训相关人员。目前湘潭市的模型建立已完成，并提出了湘潭市氮氧化物的控制方案，基本达到了预期的效果。

10

四、项目感言

上级部门高度
重视

无论是项目初期的工作指导，还是项目初期的困难协调解决，在整个项目过程当中，环保部、规划院、政研中心等上级部门都十分重视该项目，给了我们试点城市很多支持与帮助，多次在京、在湘潭召开项目研讨会议并来潭深入企业现场了解实际情况；同时组织试点城市人员赴日研修，以更好地理解、掌握先进的NOX总量控制技术，为该项目的顺利实施打下坚实基础。

11

四、项目感言

地方政府、企业
积极配合

由于该项目旨在促进我国NOX总量控制，减少大气污染物排放，因此作为试点城市，我们地方政府、环保部门以及企业一直保持积极的合作态度，愿意为当前日益严重的环境污染问题贡献自己的一份力量。

12

四、项目感言



在日方日常的教学培训以及在赴日研修的过程当中都可以感受得到日方对待环保工作的态度是十分认真的;在对本地企业进行现场指导时,不仅仅只针对项目内容的NOX控制,而是对企业的整个产污环节提供建设性的意见,他们扎实的基础工作以及严谨的工作作风令人印象深刻,值得我们学习。

13

THANKS
感谢各位

湘潭市环保局

14



湘潭电化项目工作汇报

1

Xiangtan electrochemical scientific ltd

公司发展简介

环保管理网络图

公司生产现场介绍

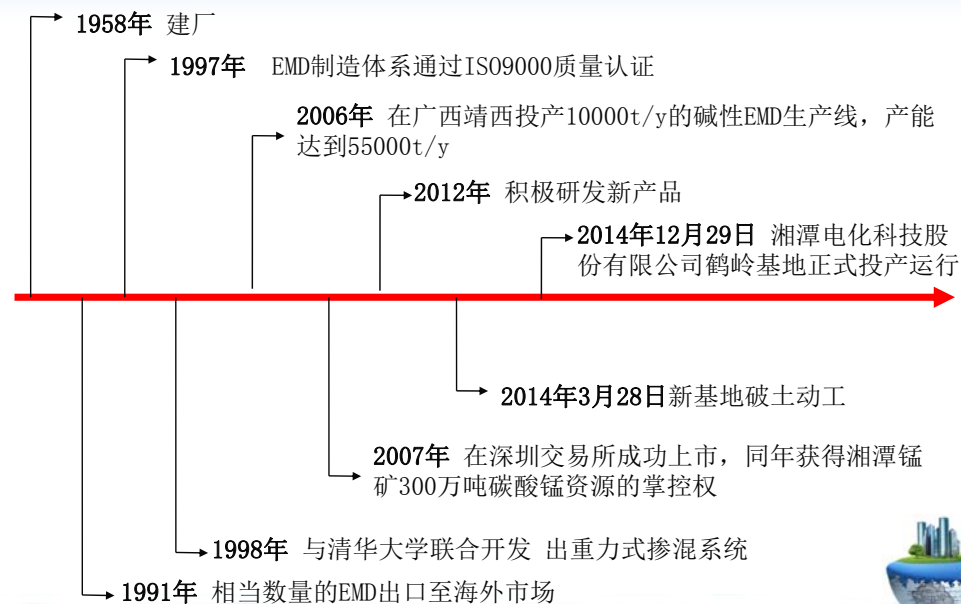
JICA专家藤井先生工作介绍

2

公司发展简介

344

一、公司发展简介



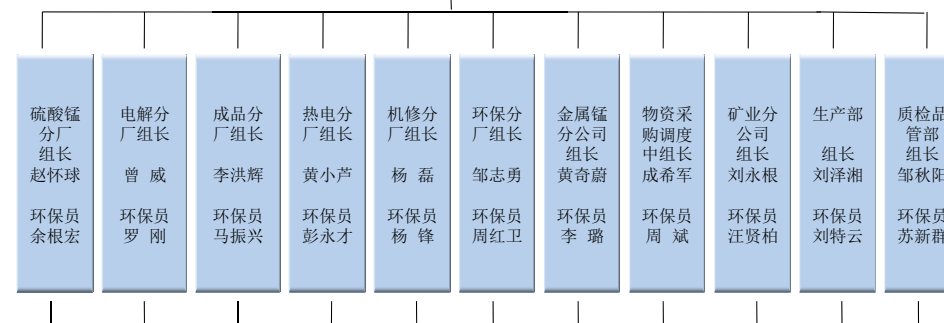
4

公司环保管理网络图

三、湘潭电化环保管理网络图

公司环境保护委员会 主任：谭新乔 副主任：成曙光

办公室主任：彭春林 副主任：侯瑶 专职环保员：吴茜



工段

班组

员工

公司生产现场介绍

搬迁后新基地掠影（1）



搬迁后新基地掠影 (2)



9

搬迁后新基地掠影 (3)



硫酸锰生产线



10

搬迁后新基地掠影 (4)



成品生产线



11

JICA专家藤井先生工作介绍



12



热电站介绍

湘潭电化鹤岭生产基地热电分厂建有110KV变电站，2台循环流化床锅炉以及7500KW背压式发电机组一台，既发电又供热。锅炉选用高效、节能、环保的循环流化床并配套高效布袋除尘器、炉外炉内脱硫、脱硝系统，同时安装了烟气排放连续监测系统，锅炉尾气排放各项指标均达到或低于国家环保排放标准。发电机组利用蒸汽差压发电，是国家明令推广应用的发电方式，发电成本大大低于火力发电，为公司创造了可观的经济效益。



13

脱硝和NO_x控制方面

1、脱硝技术的分类

燃烧前脱氮

生物脱氮技术等

燃烧过程中的NO_x脱除

低氮燃烧技术、循环流化床洁净燃烧技术（CFBC）、整体煤气化联合循环（IGCC）、洁净煤发电技术

烟气脱硝技术

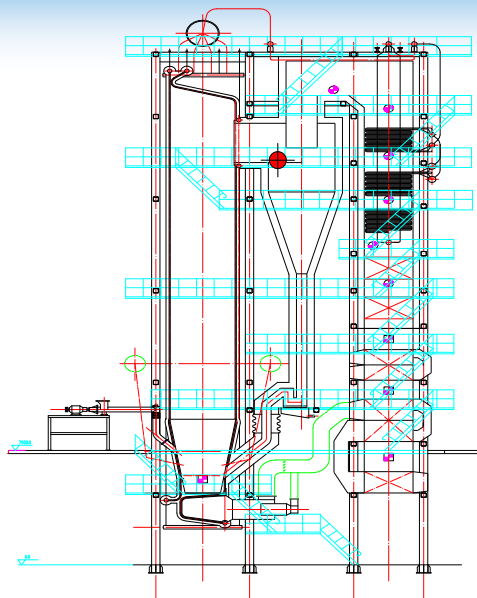
气相反应法、液体吸收法、吸附法、液膜法、微生物法
火力发电厂：选择性催化还原技术（SCR）、

选择性非催化还原技术（SNCR）

混合SCR-SNCR技术



14

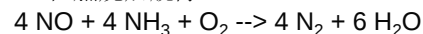


NO_x脱除原理

在燃烧过程中脱除
控制燃烧条件,从而控制NO_x的生成
一控制燃烧温度,控制燃料和空气的混合速度与时机。

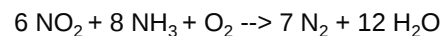
采用该原理的主要技术包括低氮燃烧技术、分级送风等。

在燃烧后脱除



条件1:温度850-1100℃;

条件2:使用催化剂,温度320-400℃。



采用以上原理产生并应用较多的有选择性催化还原技术(SCR)、选择性非催化还原技术(SNCR)、SCR/SNCR混合法技术等。



15

JICA专家与我方技术交流:

JICA专家来现场进行技术交流后,认为我公司热电站采用工艺简单实用、投资少、运行成本低的SNCR脱硝技术,足够把烟气中的NO_x控制在达标范围之内。



16



此装置是SNCR
氨水脱硝设施。



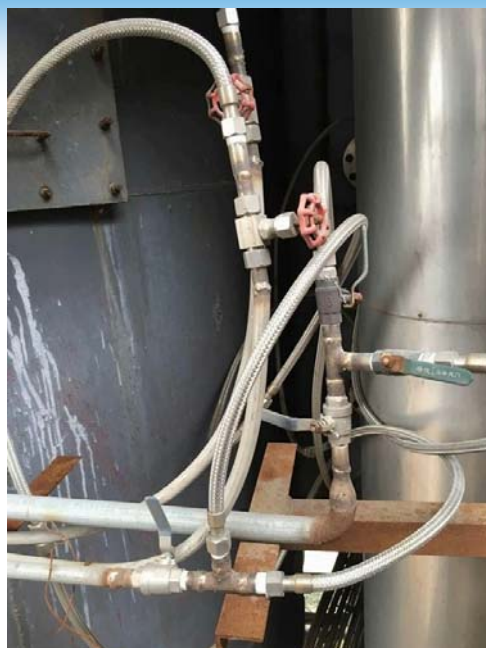
17



脱硝装置：
流量控制器



18



脱硝装置：
喷枪



19

根据JICA专家藤井先生的建议：建议我们对煤炭供应商进行甄别，选用含氮量比较低的煤种，建议煤中含氮量控制在2%以下。
如能控制煤含氮在2%以下，在脱硝系统不运行的情况下，我公司的循环流化床锅炉应也能控制 NO_x 在达标范围之内。（煤炭质量指标及结算标准作参考）



20

煤炭质量指标及结算标准

类型		指 标	结 算 标 准
贫煤	挥发份≥9%	发热量4800大卡以上	基价595元/吨（含运费）
		发热量4800～4500大卡	每低100大卡（四舍五入）在基价上降10元/吨
		发热量4500～4000大卡	每低100大卡（四舍五入）在基价上降25元/吨
		发热量4000大卡以下	大于3950大卡按4000大卡计算； 3500-3950大卡按280元/吨结算； 小于3500大卡按150元/吨结算。
无烟煤	挥发份<9%	发热量4800大卡以上	基价595元/吨（含运费）
		发热量4800～4500大卡	每低100大卡（四舍五入）在基价上降10元/吨
		发热量4500～4000大卡	每低100大卡（四舍五入）在基价上降25元/吨
		发热量4000大卡以下	大于3950大卡按4000大卡计算； 3500-3950大卡按280元/吨结算； 小于3500大卡按150元/吨结算。
水份（H ₂ O）	≤6%	挥发份每低1%扣10元/吨 超出部分（x%）扣相等重量扣重=x%×总重量	
全硫（St）	≤1%	1%≤St<1.5% 扣15元/吨， 1.5%≤St<2% 扣20元/吨， 2%≤St<2.5% 扣40元/吨， 2.5%≤St<3% 扣50元/吨， St≥3% 扣60元/吨。	
含氮量	≤2%	2%≤Nt<2.5% 扣15元/吨， 2.5%≤Nt<3% 扣20元/吨， 3%≤Nt<3.5% 扣40元/吨， 3.5%≤Nt<4% 扣50元/吨， Nt≥4% 扣60元/吨。	

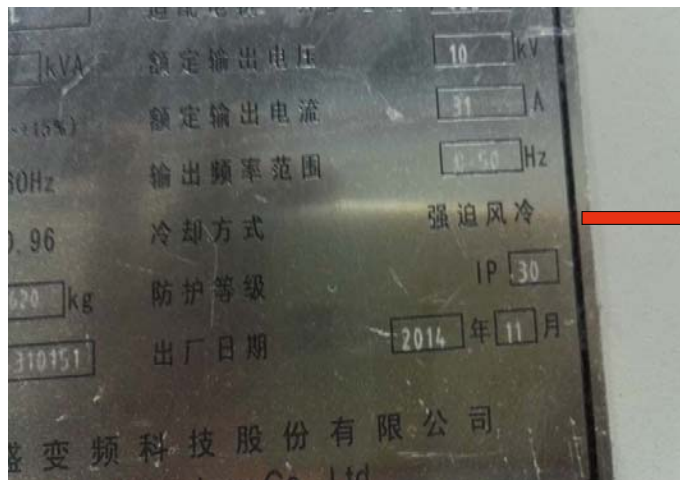
★ 从近10个月的运行情况看，脱硝系统不需要运行，NO_x在60mg/Nm³左右，完全达标排放。

节能方面

JICA专家藤井先生根据我公司原来反映的1万伏高压变频器故障比较多的情况，建议变频器柜需要采用正压冷却，要防尘、防潮，冷却风扇要多路控制。这些建议我们在变频器采购时都写进了招标技术要求中。



这是最终完成的变频器



正压冷却



防尘防潮网

锅炉移装方面

JICA专家藤井先生建议进行受热面切割时，要在原对接焊缝处切割，这样能尽量保持锅炉部件出厂时的大小和尺寸，利于搬运和重新组对。我们在实际搬迁过程中正是按此要求安装公司制定施工方案的。目前该锅炉移装工作进展顺利。



对接焊缝



25



对接焊缝



26

脱硫除尘方面

此装置是石灰-石膏炉外脱硫设施。

脱硫方面，我公司选择了用电石泥作脱硫剂，采用石灰-石膏法脱硫，藤井先生认为电石泥作脱硫剂属于废物循环利用，来源广、价格低、耗电少，认同了我们的选择。目前我公司脱硫系统运行正常，脱硫效果很好。



27



此装置是布袋除尘器。

JICA 专家藤井先生认为我公司选择的布袋除尘器是最佳方案，能保证烟气中的烟尘达标排放。

目前布袋除尘器运行正常，烟尘除尘率为99.8%以上。



28



热电站的烟囱



29



JICA专家藤井先生为我公司整体搬迁的热电站工程建设提供许多行之有效的宝贵建议，对我公司帮助甚大。

在此我们对**JICA**和藤井先生深表感谢！



30

Xiangtan electrochemical scientific ltd

钢铁烧结机的NO_x及SO_x控制



湖南华菱湘潭钢铁有限公司



目录

- 1. 企业概况
- 2. 对象烧结机概况
- 3. 存在的环保问题
- 4. JICA的技术支持及与湘钢的技术合作
- 5. 项目成果

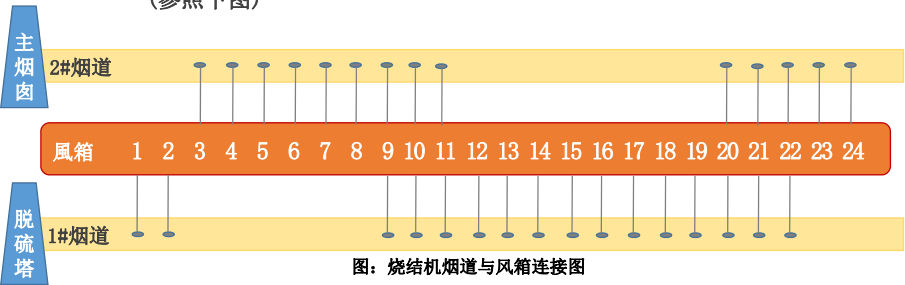
1. 企业概况

- 公司名称：湖南华菱湘潭钢铁有限公司
- 成立时间：1958年
- 生产能力：1000万吨/年
- 生产设备：拥有炼焦、烧结、炼铁、炼钢、轧材等一整套工艺装备，有烧结机4台。
- 产品：宽厚板、棒材、大盘卷、高速线材、螺纹钢等
- 产品市场：华东、广东、西南、湖南、美国、日本、欧洲、东南亚及中东地区



2. 对象烧结机概况

- 烧结机名称：新二号烧结机
- 有效烧结面积：360m²
- 有效长度：91m
- 料层厚度：750mm
- 烟道：双烟道（#1烟道、#2烟道），烟气从各风箱分别排出。（参照下图）



2. 对象烧结机概要



➤ 两主烟道的主风机和烟气参数相同：

项 目	主抽风机出口	
	平均值	范围
工况烟气量（万m ³ /h）	820000	7000000-940000
烟气温度（℃）	135	110-160
烟气湿度%	16	10-20
主抽风机参数		
风量（m ³ /min）	18000	
风机轴功率(kW)	6500	
转速（r/min）	1000	
进口负压（kPa）	17	

5

3. 存在的环保问题

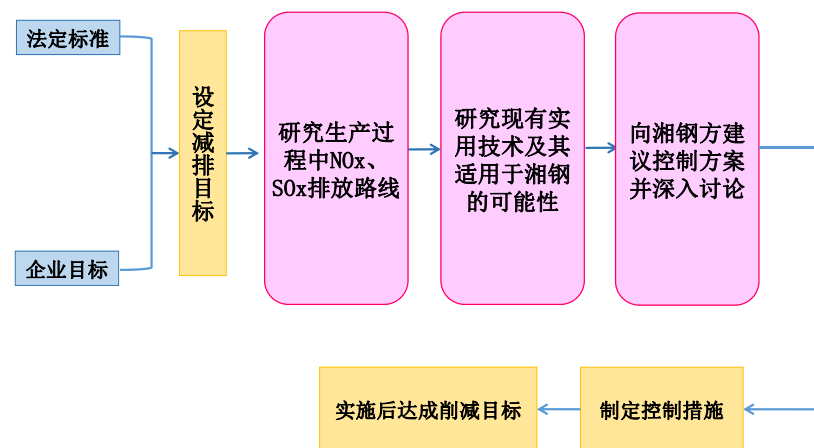
➤ 在烧结烟气尚无成熟脱硝流程的条件下使NO_x排放受控

➤ 使2#烟道的SO_x排放受控

6

4. JICA的技术支持及与湘钢的技术合作

4.1 JICA制订了湘钢烧结机NO_x、SO_x控制工作流程



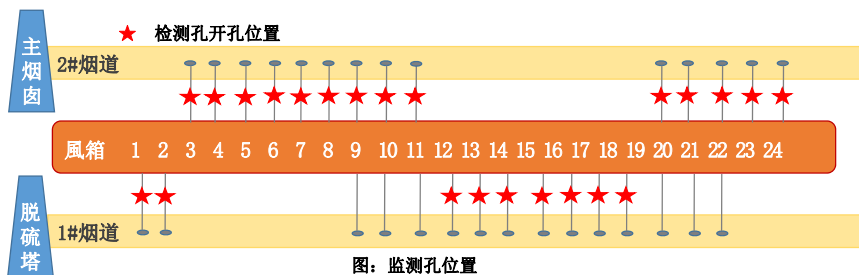
7

8

4.2 通过实际检测调研NO_x、SO_x排放路线



- 方法：现场实测
- 检测内容：流量、流速、烟气温度、静压、水分含量、NO_x浓度、SO₂浓度、CO浓度、CO₂浓度、O₂浓度
- 检测器材：烟气分析仪（HORIBA PG350）、皮托管、差压计、U字管、CaCl₂
- 检测位置：各风箱上开的检测孔



9

现场检测



照片：开检测孔



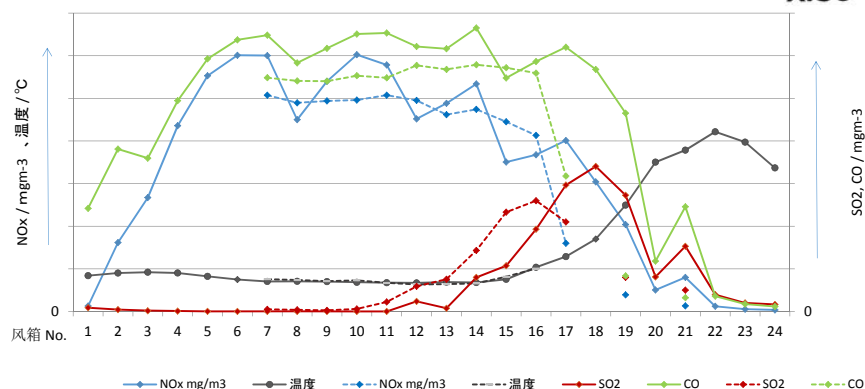
监测孔



照片：检查采样数据

10

4.3 绘制NO_x、SO_x排放路线图



图：湘钢新二号烧结机NO_x、SO_x排放路线图

11

4.4 研究对策

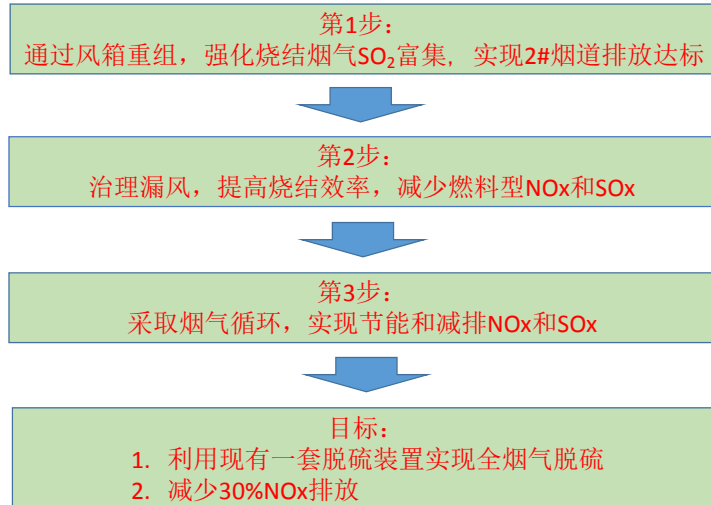


根据检测结果，结合企业现状，JICA专家：

1. 检索了国内外多项先进实用技术，
2. 编制了湘钢烧结机控制NO_x、SO_x的多种可选方案，
3. 与湘钢方面展开深入的交流和研讨。

12

4.5 JICA专家建议



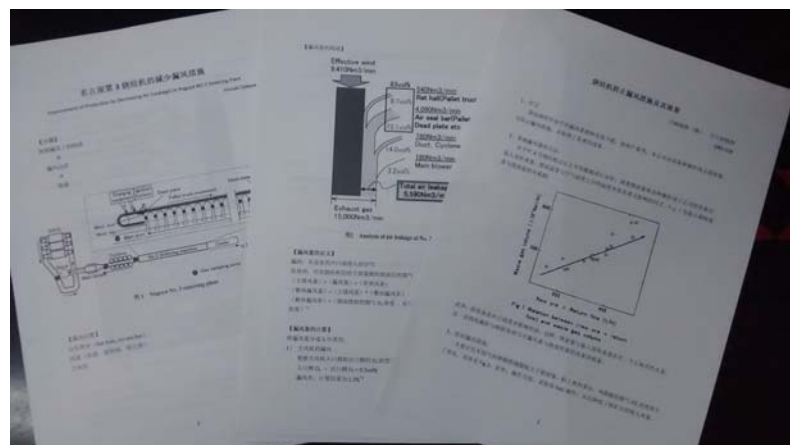
13

JICA专家测算了风箱重组效果



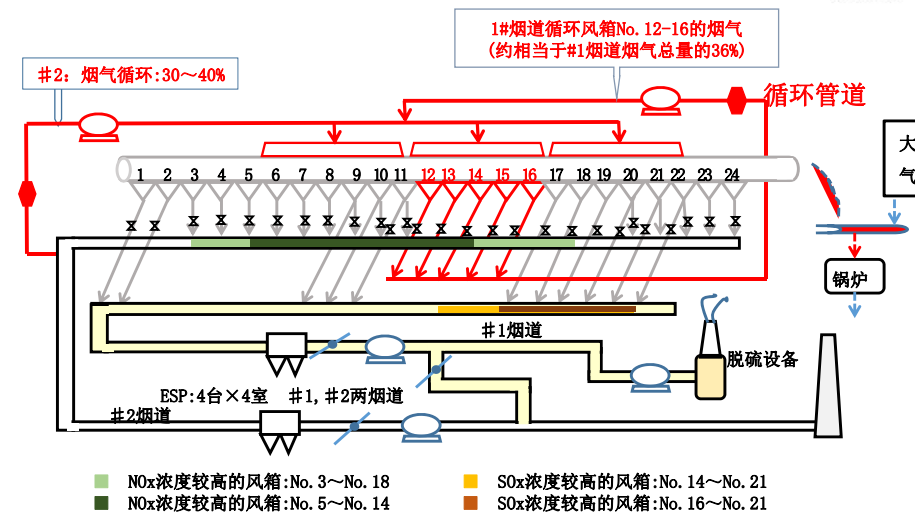
14

JICA专家介绍了日本烧结机治理漏风技术



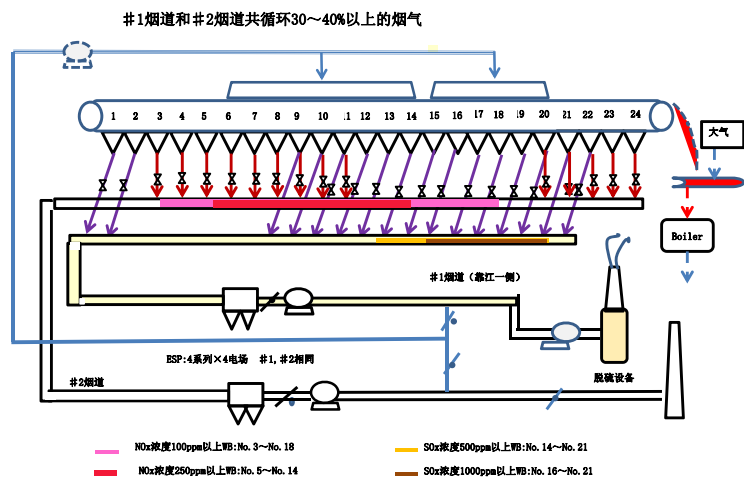
15

JICA介绍的烟气循环案例1——内循环



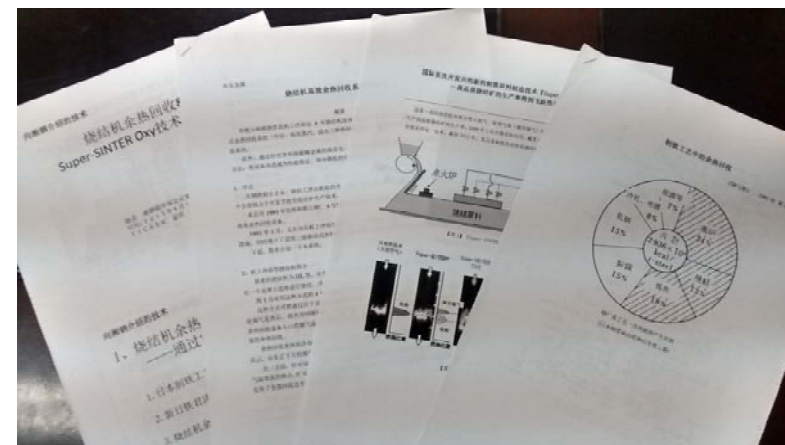
16

JICA介绍的烟气循环案例2——外循环



10

JICA专家还在交流中了解到湘钢方面对于烧结节能技术的关切，并介绍了日本的相关先进经验和技

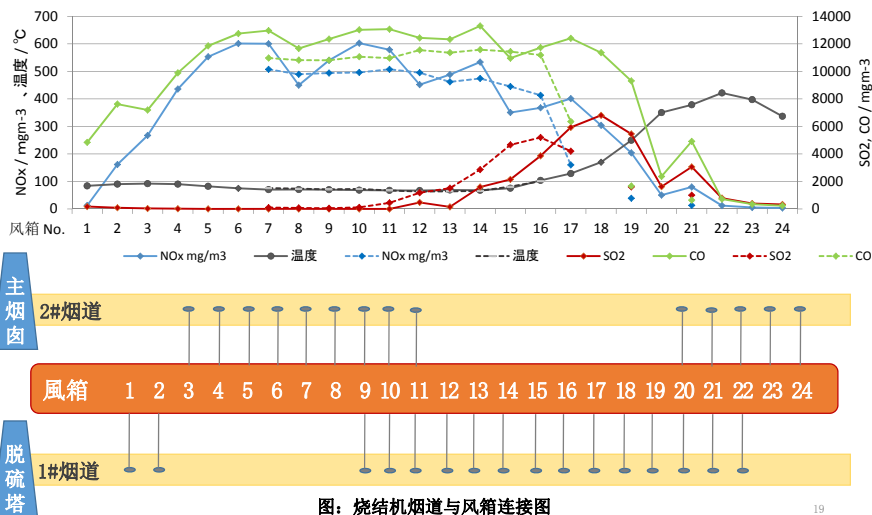


18

4.6 JICA专家与湘钢方面技术合作



- 从2014年10月至2015年10月，湘钢根据JICA专家的建议实施了风箱重组工业实验

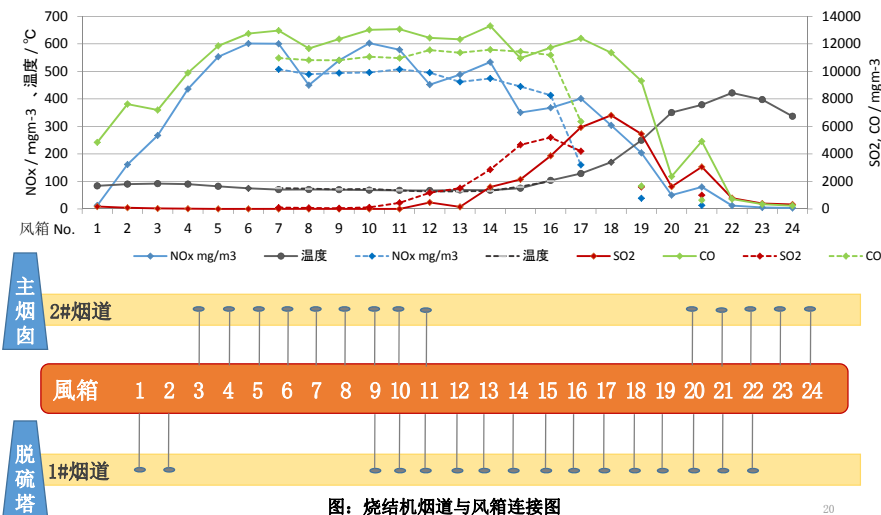


19

4.6 JICA专家与湘钢方面技术合作



- 实验遇到的难题：风量平衡、温度平衡、NOx偏析、产量和质量的改变等多种因素之间的关联影响



20

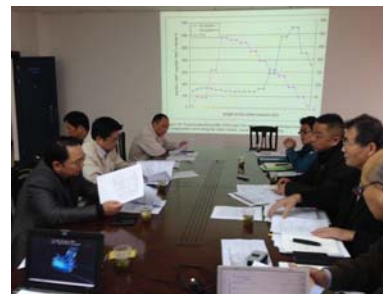
4.6 JICA专家与湘钢方面技术合作

- 为了克服实验中遇到的难题，湘钢方与JICA专家进行了密切的沟通和深入的探讨，分享了各自的分析和意见，共同推动了实验的进展



21

双方进行了深入交流

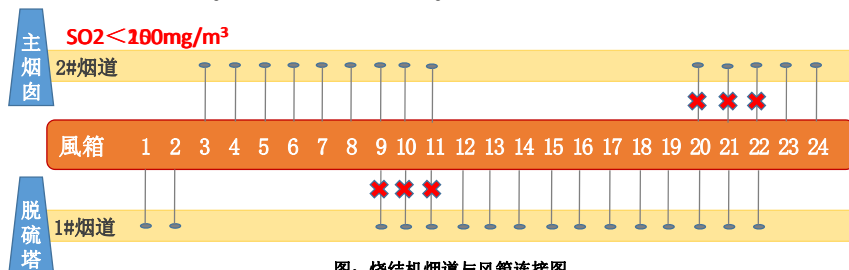
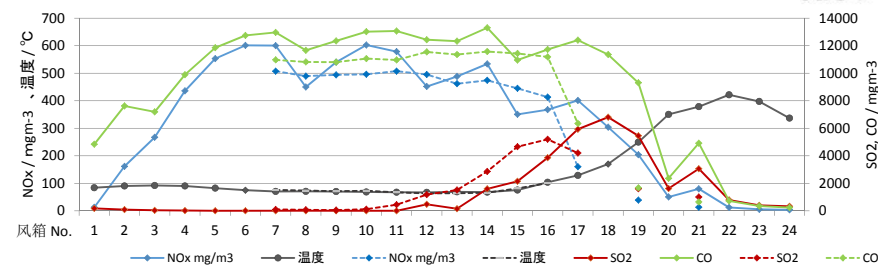


22

5. 项目成果



5.1 通过风箱重组强化烧结烟气SO₂富集



图：烧结机烟道与风箱连接图

23

24

新二烧2#烟道目前实际排放浓度

烟气温度(Avg)	O2含量(Avg)	NOx(Avg)	SO2(Avg)	烟气压力(Avg)	流量(Avg)	流量(Cou)
125.77	16.13	194.48	161.99	974.25	115.36	9967101
130.49	16.18	158.68	190.85	714.15	116.33	10050740
133.74	16.59	163.2	154.41	995.03	114.1	9858455
135.98	16.8	169.11	167.06	1153.45	108.49	9373298
136.94	17.03	162.52	149.67	1878.2	103.82	8969964
132.23	16.64	189.56	51.16	2173.95	113.4	9797572
129.37	16.52	176.01	125.66	1588.19	121.03	10457299
133.59	16.6	222.68	73.54	1912.94	118.52	10240043
135.69	17	291.55	6.5	2225.55	114.06	9854570
128.75	16.59	288.94	74.91	1373.21	119.17	10296430
126.75	15.29	250.49	128.69	-15088.98	118.48	10236824
139.69	16.02	210.88	217.6	800.13	136.07	11756312
128.05	16.97	150.83	99.14	1640.43	112.54	9723425
96.29	19.77	56.14	82.18	1772.16	50.32	4347995
148.73	17.66	161.38	145.46	2099.19	110.59	9554650
142.87	17.73	162.11	93.57	2394.08	108.91	9409948
140.54	17.46	186.65	58.01	1979.17	113.1	9771578
142.03	17.25	198.99	123.76	1428.72	119.91	10360426
137.43	17.12	202	151.23	-1577.8	124.42	10749917
135.51	16.69	227.54	220.62	-23020.71	104.34	9015203

通过风箱重组强化富集实现SO₂减排量

	SO ₂ 富集率 %	风量 m ³ /h	排放量 t/a	减排量 t/a
风箱重组前	85.53	820000	2066	
重组1组风箱	86.48	820000	1976	90
重组2组风箱	90.02	820000	1643	423
重组3组风箱	96.40	820000	1041	1025

26

该项成果已由双方合作发表



27

风箱重组强化烧结烟气SO₂富集技术的优点

✓成本低

✓见效快

技术难点：下述因素之间的平衡控制

双烟道NO_x、SO_x浓度关联

双烟道温度

双烟道风量

烧结矿产质量

28

5.2 烟气循环项目推进



针对JICA专家介绍的烧结烟气循环减排NO_x的技术，湘钢方面分别委托国内的中冶长天国际工程有限公司和无锡东方环境工程有限公司编制了项目建议书和可行性方案



中冶长天建议的外循环方案

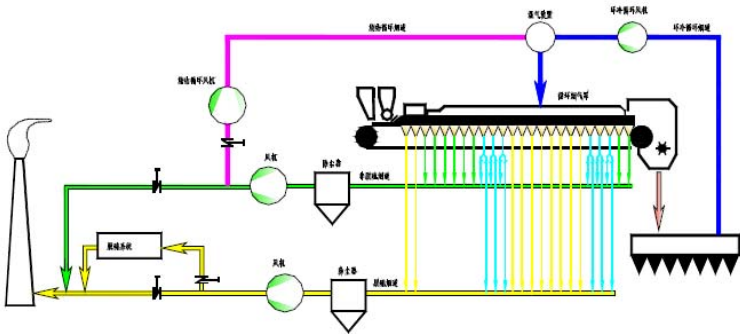
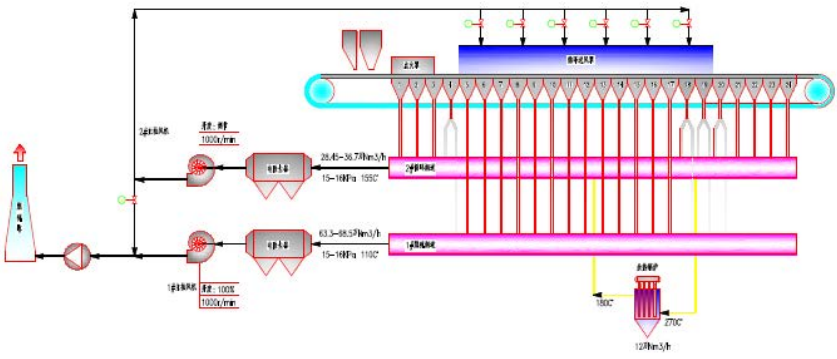


图 1 烟气循环工艺（外循环）系统流程图

无锡东方建议的外循环方案



工艺流程示意图

通过烧结烟气循环预计实现减排NO_x量

	NO _x mg/m ³	1#风量 m ³ /h	2#风量 m ³ /h	排放量 t/a	减排量 t/a
烟气循环前	~220	820000	820000	3031	
烟气循环后	~260	1000000	0	2184	847

通过烧结烟气循环预计实现减排废气量

	1#风量 m ³ /h	2#风量 m ³ /h	减排量 m ³ /h
烟气循环前	820000	820000	
烟气循环后	1000000	0	640000

通过烧结烟气循环预计实现节能量

减少焦粉单耗 kg/t	每年减少焦粉 消耗 t/a	价值 万元/a
2.5	9828	786

后续项目推进过程中
仍希望得到JICA的技术支持和合作

33

谢谢！

34

水泥行业的氧化物总量控制措施

2015年11月27日
北京凯迪克格兰云天大酒店
JICA项目组专家 藤井重雄

目录

- 1、日本的NOx减排措施概要
- 2、水泥生产工序的NOx生成控制技术
- 3、燃烧室的NOx生成控制
- 4、NOx脱除技术（烟气脱硝）
- 5、对烧成工序低NOx燃烧的改善
- 6、现有分解炉改造时的注意事项
- 7、节能措施及NOx总量控制
- 8、运行管理技术

1、日本的NOx减排措施概要

• NOx排放标准、控制的经过

水泥行业排烟量大，属公害型产业。日本从上世纪50年代开始将其作为地区大气污染的公害污染源行业列入地方政府的减排对象。

- 1972年 川崎市应用总量控制
- 1973年 设定环境标准 ⇒ 设定NO₂的环境标准
- 1974年 四日市市总量控制⇒暂缓实施
- 1978年 修订环境标准
- NO₂：1hr值的日平均值 0、04~0.06ppm或以下

• 排放标准

1973~1979年修订后 烟气量 >10万m³N/h 250 ppm (O₂=10%vol)

• 总量控制

实际于1981年在东京都、横浜市、大阪市实施，水泥行业也被列入总量控制范围。

• 实际控制效果

与1975年度相比，1985年度的排放总量达到60%以下

2、水泥生产工序的NOx生成控制技术

• NOx的生成工序

在水泥生产中，NOx的生成主要在烧成工序。

烧成由于是在高温氛围中生成熟料，因此，是Thermal NOx的生成区域。

• NOx控制措施

日本在水泥行业，针对燃料中N含量造成的Fuel NOx和上述Thermal NOx采取了控制NOx生成的措施。并且，日本以外的其他国家的水泥行业和日本一样，也采取了NOx控制措施，大致可分为以下几种：

- 控制燃烧室的NOx生成
 - ✓控制Fuel NOx的生成
 - ✓控制Thermal NOx的生成
- 烟气脱硝
 - 主要广泛应用了SNCR法
- 烧成工序的改善
 - 应用NSP法或新建烧成生产线
- 合理的管理、节能措施

3、燃烧室的NO_x生成控制

- 控制Fuel NO_x的生成

日本使用燃料多种多样，有石油、燃气、煤炭、废弃物等，NO_x就是这些燃料中所含的N转换生成的。

燃气燃料中以氮气形式存在的物质不会转化成 NO_x 。

分解炉中Fuel NO_x生成的比例比Thermal NO_x大, 适合采取以下两种控制措施:

■ 降低燃料中的N含量

换用低N燃料

低NO_x化的顺序为：粉煤>重油>轻油>天然气

- 降低初始燃烧区域的 O_2 浓度

燃烧器上采取向挥发成分燃烧区域送入烟气形成低 O_2 区域等方法。

并且，在紧急情况下，日本也采用Dual Firing（混合加热），切换成燃气燃料等方式。

5

3、燃烧室的NO_x生成控制

- Thermal NO_x的生成

水泥生产受烧成温度（温度不能降低）和窑炉结构等的制约。特别是燃烧粉煤时，控制燃烧室NO_x的生成在技术方面是有限度的。

在控制Thermal NO_x的生成方面，日本的水泥厂家与燃烧器厂家联合开发了符合以下3个条件的有效控制NO_x生成的低NO_x燃烧器，目前以多种形式得到了广泛的应用：

■降低燃烧温度...有限度,但控制局部燃烧和过高温度

■降低燃烧区域的 O_2 浓度···低过量空气燃烧

■缩短高温区域烟气滞留时间·····长火焰、风箱结构的改造

- 低NO_x燃烧器的形式

• 混合促进型 • 浓淡燃烧型

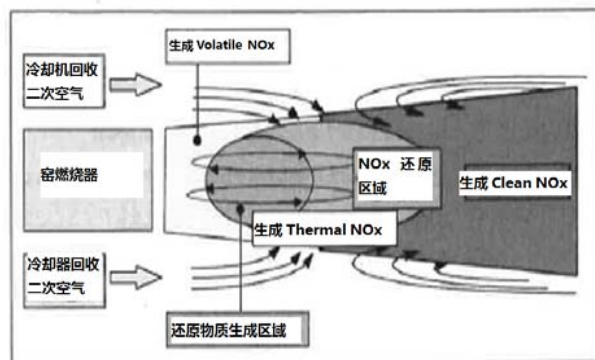
• 二级燃烧型 • 烟气再循环组合型

- 自身再循环型 等
(结构、设计等各方面几乎全部都已获得专利)

3、燃烧室的NO_x生成控制

► Kiln burner 火焰中 NO_x 的生成、还原反应的概念

燃烧室中NO_x生成的降低,受火焰区域中还原区域形成情况的影响。在火焰的动态形成中,燃烧器的结构如何创造NO_x的还原区域是开发的重点。

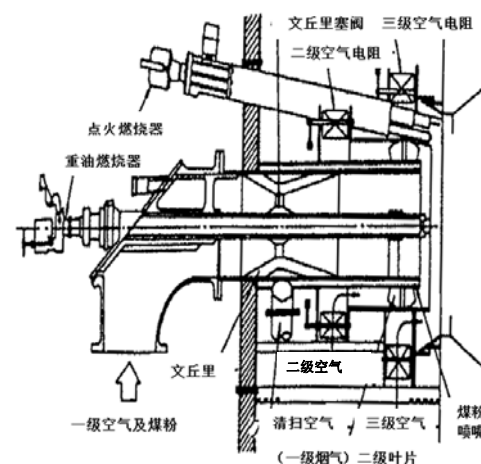


7

3、燃烧室的NO_x生成控制

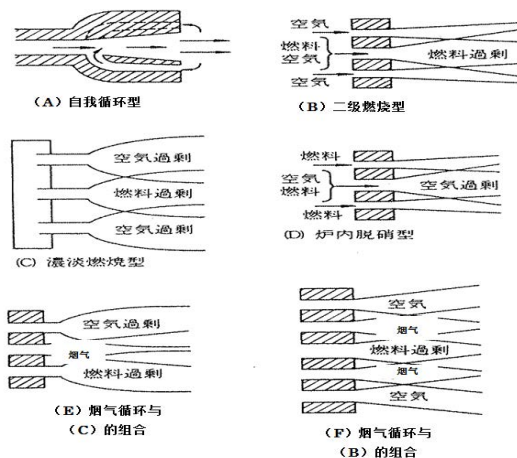
► 使用煤粉的分级燃烧低NO_x燃烧器

空气的循环以及混合方法有其独有的特点。



3、燃烧室的NO_x生成控制

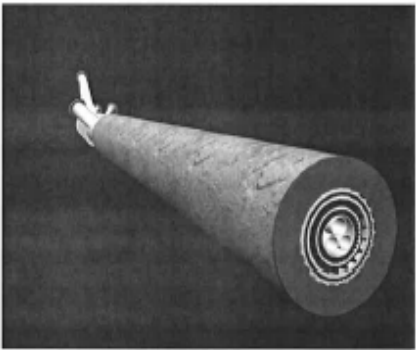
► 低NO_x燃烧器的原理结构



9

3、燃烧室的NO_x生成控制

► 多功能Kiln burner (多种燃料燃烧用)



10

4、NO_x脱除技术 (烟气脱硝)

• 水泥行业的NO_x排放浓度

由于受烧成温度的制约，燃烧技术的改善效果有一定的限度，因此，水泥行业的NO_x排放浓度高于其他制造业。当NO_x排放浓度超过地区的NO_x排放限值时应进行烟气脱硝。

• 烟气脱硝方法

有SCR和SNCR两种方法。在日本，为了应对政府发布的总量控制命令以及排放浓度超标的异常情况，很多企业都安装了SCR装置。

■ SCR (选择性催化还原法)

与SNCR相同，用NH₃作为脱硝剂。脱硝效率高，但存在催化剂寿命短、占地多、烟气流动压力损失、堵塞、需要大规模改造等缺点。

■ SNCR (选择性非催化还原法)

向烟气中喷入NH₃或尿素进行还原的方法。结构上由于不需要反应装置，比较简单。但对喷嘴的喷雾特性、耐用性以及烟气温度等的掌握方面需要实证性的试运行。

脱硝效率不如SCR。在现有的烟道或炉出口处有能够获取反应时间的空间即可，很容易改造。

国际上按烟气脱硝方法来分，SNCR的普及率占大部分。

11

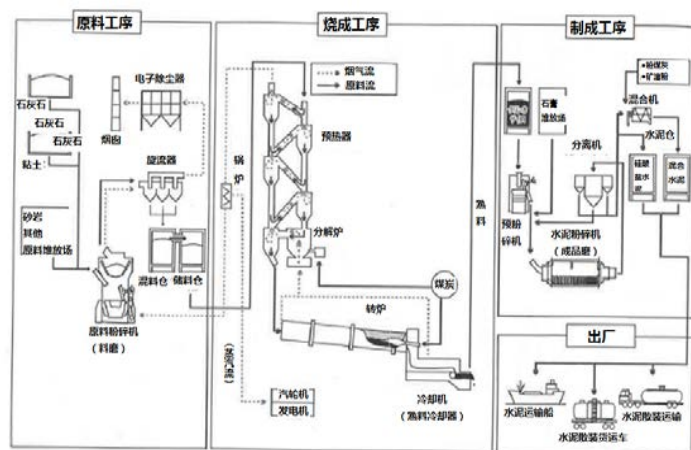
5、对烧成工序低NO_x燃烧的改善

► NSP(New Suspension Preheater)法

- 1971年作为日本的SP法改良型，由三菱水泥株式会社开发，对日本水泥行业的低NO_x化做出了巨大贡献。
- 日本在1997年国内所有的工厂都改成了NSP法（转换率世界第一）
- 现在，因其公害小、热效率高、占地少等优点获得好评，欧洲和亚洲各国很多企业都已应用。对于现有生产线的改造，需要探讨SP等的占地空间、改造期间的停运等问题。
- SP最下级安装的分解炉基本上已将碳酸钙(CaCO₃)全部分解。
- 分为烧成炉和窑两个阶段烧成熟料。
- 窑的热负荷降低，窑中生成的Thermal NO_x减少，效果好。
- 可减少整个生产工序排放的NO_x总量。
- 由于热效率高，燃料消耗率降低，削减了NO_x的排放量。
- 分解炉由于是在生成Thermal NO_x的温度区域以下进行低温反应，因此，可使用低品位的燃料（可燃性废弃物、废油、低质油等），可削减成本。

12

► NSP法的流程图



13

6、改造现有分解炉时的注意事项(1)

• 安装脱硝剂喷入装置时：

① 应事先确认脱硝剂的喷入位置

- 烟气温度（℃）、烟气压力（mmWC）、粉尘浓度（mg/m³）

- 烟气通过截面形状以及前后的形状（确认烟气是否偏流）

② 确认喷嘴的喷射功能

- 喷射压力计其控制特性（设定值值± 〇%）

- 喷雾角度（尽可能为有效到达距离←可在气氛下进行试验）

- 耐用性（材质、耐温耐腐蚀性）

③ 确认NH₃浓度传感器及调节仪的功能（是否正常工作）

④ 确认脱硝剂注入量调节阀是否正常工作

⑤ 管理用仪器的维护、管理

- 脱硝剂注入压力计、温度计和流量计的指示和工作状况

- 使用稀释空气时，确认空气压力

14

6、改造现有分解炉时的注意事项（2）

• 安装低NO_x燃烧器时：

① 确认煤质

使用燃煤中N含量（平均值、Max值）

② 粉煤粒径分布（确认PC粉碎机的粉碎功能）

③ 燃烧炉的形状（风箱、挡板等）与采用的燃烧器类型是否合适

④ 燃烧用空气的温度⇄进行再循环烟气量、温度的可控性及最佳量的实证实验

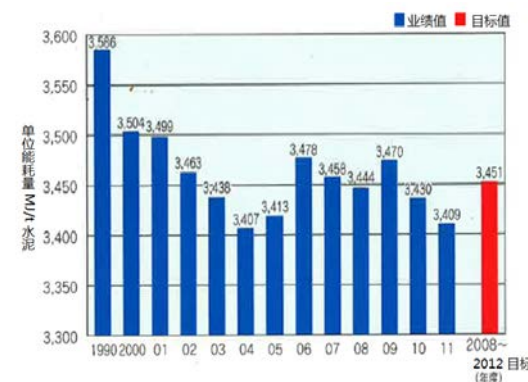
⑤ 确认Kiln的形状与火焰的性状是否合适

7、节能措施与NO_x总量控制

水泥行业是典型的高能耗产业。

节能措施是间接降低产品中所占的能源成本、降低烟气中的CO₂和NO_x等的重要的合理化措施和环保措施。

日本的能耗强度从上世纪90年代以来一直居世界第一位。



15

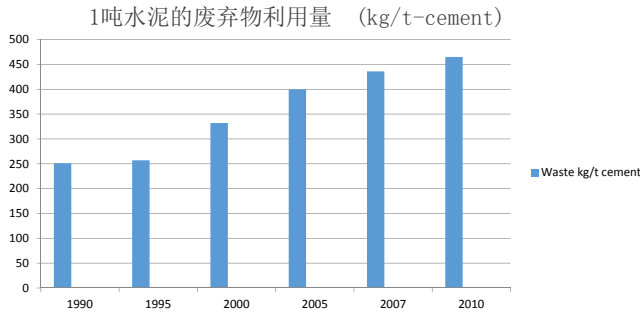
16

► 节能技术的普及率、削减率（经济产业省资料）

对象设备	普及率（%）	能源削减率
余热发电（AQC等）	60	3.5～4.0 kWh/t clinker
Slag Mill（立磨）	73	40 kWh/t clinker
Roller Mill（预粉碎）	46	10～20% / 修整工序
Air-Beam Grate Cooler(充气式篦冷机)	50	0.5～1.5 kWh/t clinker
原料Mill（立磨）	46	30% /原料工序

► 废弃物的利用

具有合理处理废弃物和作为原燃料再生利用的双重效果，在日本是水泥商业的重要策略。
减少化石燃料的消耗也有削减NOx排放量和环境保护的效果。



8、运行管理技术

不仅是水泥行业，日本在环境管理方面也建立了多重管理方法，对NOx等大气污染物实施排放监控和设施管理。

• 在线监控系统

水泥行业由于排放烟气量大，几乎所有的企业都在行政机构的在线监控之下。法律要求建立可掌握小时值等完全可控制度。

• 管理者制度

根据排放烟气量的大小被法律指定为特定工厂的，法律要求企业必须任命具有国家资格的公害防治管理者。管理者负责监督、监测设施、紧急情况采取措施以及设施的维护管理等。管理者制度为日本的公害防治做出了巨大贡献。

• 环境管理系统（EMS）

ISO14000、ECO ACTION-21制度的普及，在企业自主开展NOx减排活动方面取得了很好的效果。

• 计量制度：

环境监测及燃料分析等必须有具有国家资格，保证了监测的可信度和数据的妥善管理。

钢铁行业焦化炉的
氮氧化物总量控制措施

2015年11月27日
北京凯迪克格兰云天大酒店
JICA项目组专家 藤井重雄

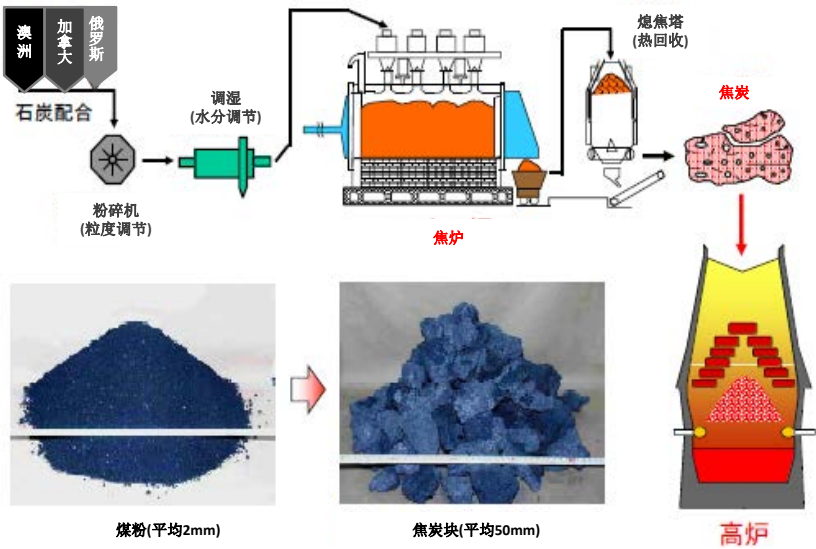
1

NO_x减排技术

- 日本的焦炉煤气（COG）不是直接排到大气中，而是作为其他设施的热源级联利用。
- 因此，在末端设施和熄焦设备CDQ进行余热回收等后，进行除尘、脱硫和脱硝等处理。
末端脱硝法：SNCR・SCR（与锅炉等相同）
- COG中含有氯化氢（HCN）和氨气（NH₃）。
- 减少NO_x生成的方法：再循环法、部分燃烧法等（专利）

2

生铁生产工艺中焦炉的地位



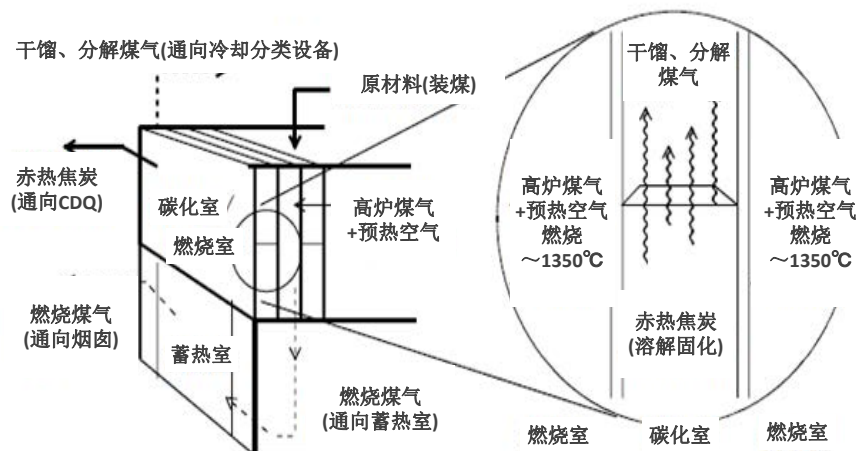
3

日本的NO_x排放标准

设备	型式	烟气量 (万m ³ N/h)	On (%)	排放标准 值(ppm)
焦炉	奥托型	10 以上 10以下	7	170
	其他型式	10 以上 10以下	7	170

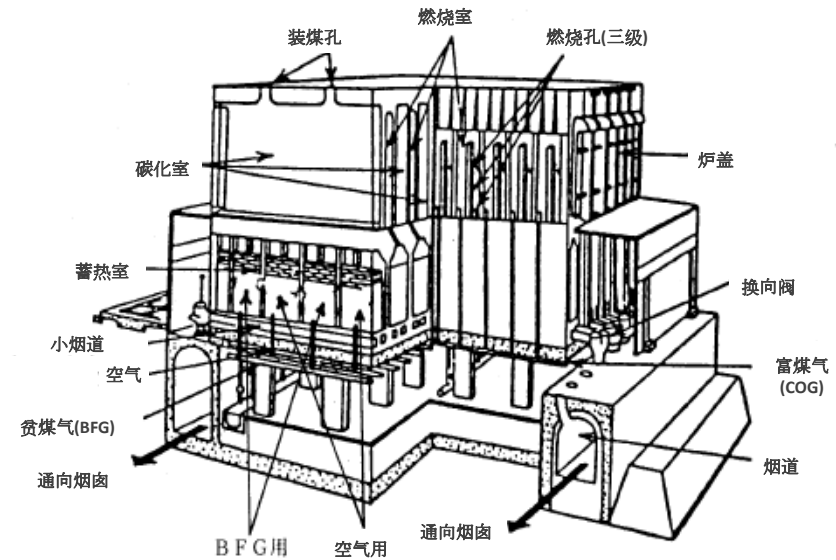
4

焦炉的概念结构



5

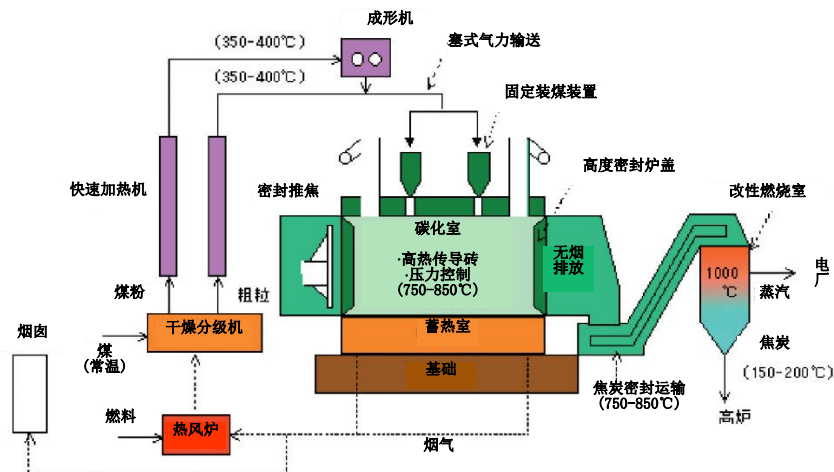
典型的焦炉部位结构



6

新一代焦炉的开发 SCOPE21

开发目标 $\text{NO}_x < 170\text{ppm}$



7

焦化炉的热管理

- 日本的焦化炉法律要求必须进行热管理。
- 要求定期向行政部门报告热平衡核算结果
- 计量监控、自动燃烧管理

-管理对象-

-结果-

测量装煤水分
测量装煤温度
燃料温度、焦炭温度
产生煤气量

以炉组为单位调整煤气分配量
调整各炉的灭火时间

8

钢铁烧结机行业的氮氧化物控制措施

2015年11月27日
北京凯迪克格兰云天大酒店
JICA专家 富田 武

1

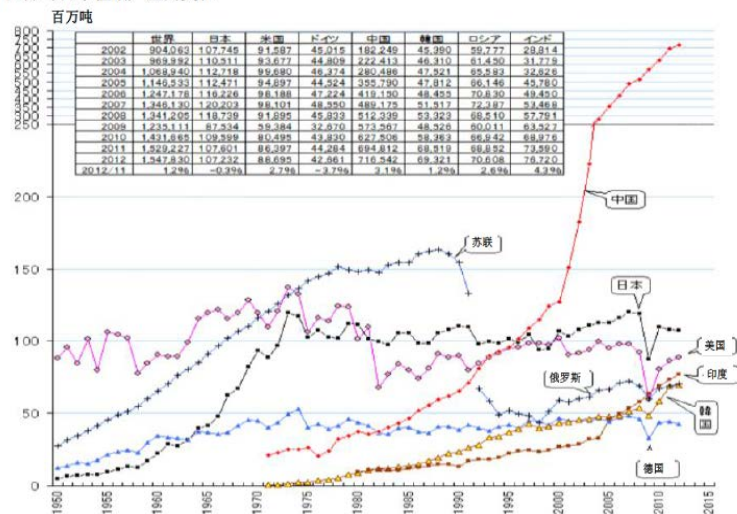
目录

- 钢铁行业的现状及环保措施
- 烧结机的管理项目及运行管理
- 烧结机的NO_x产生机理及烟气排放路线图
- 烧结机的NO_x控制技术
 - 原料管理、运行管理及烟气处理
- 烟气处理
 - 通过烟气循环控制NO_x的排放及其效果
 - 选择性催化还原法(SCR)
 - 干法烟气脱硝(AC)
- 烧结机减少漏风措施
- 余热回收
- 示范企业的NO_x减排措施
 - 制作NO_x排放路线图
 - 通过案例研究商讨措施方案

2

钢铁行业的现状及环保措施

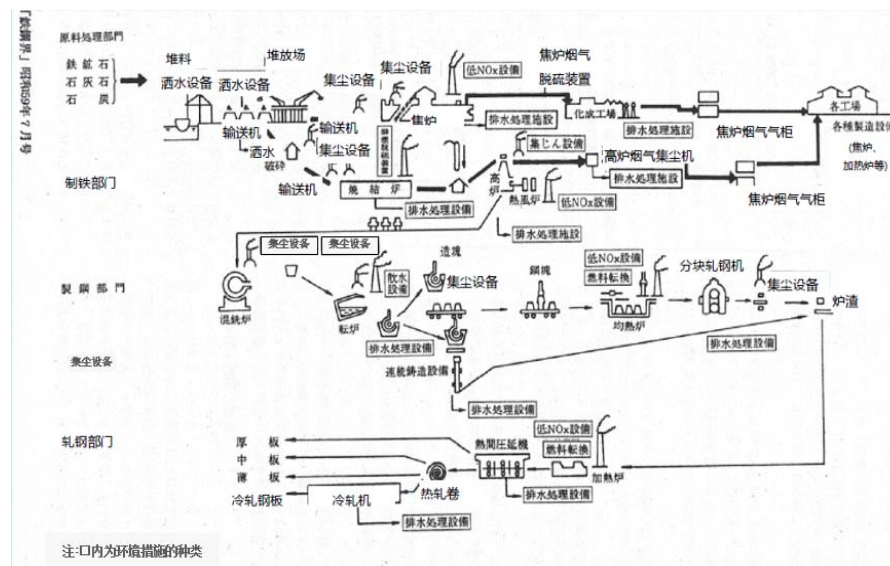
国际与日本粗钢产量的变化



全球总计

3

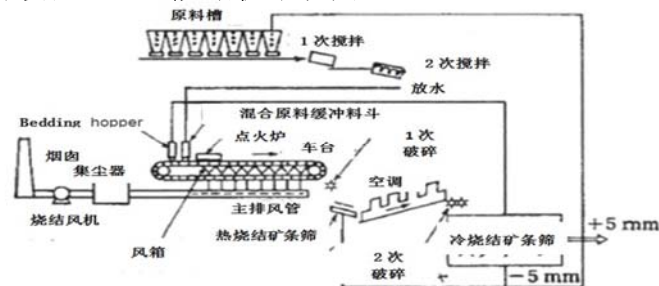
钢铁行业的环境对策



4

钢铁行业的环境对策

德怀特 - 劳埃德 (DL) 烧结机系统图



有害成分	排放浓度
Dust	0.5~3g/Nm ³
SO _x	400~1000mg/Nm ³
NO _x	300~700mg/Nm ³
DXN類	0.5~5ngl-TEQ/Nm ³

烧结烟气中的有害物质

资料来源: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel December 2001

5

烧结机的管理项目及运行管理

(1) 烧结机的管理项目

- ①产品质量: 落下强度、转鼓强度、还原性等
- ②燃料消耗率
- ③生产率

(2) 运行管理

- ①混合料预处理
- ②给料、点火、烧成
- ③冷却、产品粒度调整
- ④烟气管理

6

烧结机的NO_x产生机理及烟气排放路线图

Fuel NO_x 的产生机理

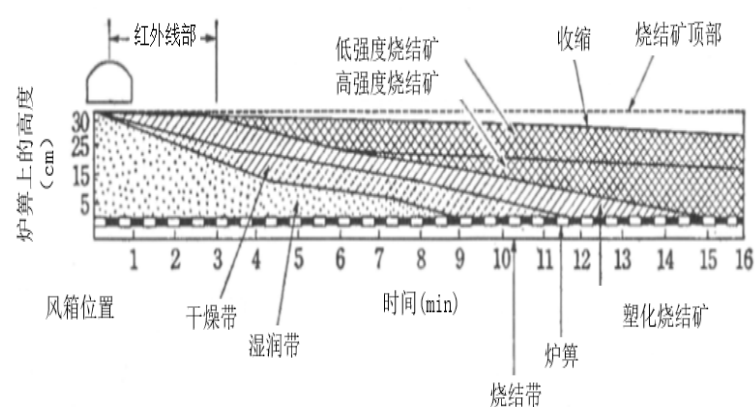


图3 烧结行进状况

7

烧结机的NO_x产生机理及烟气排放路线图

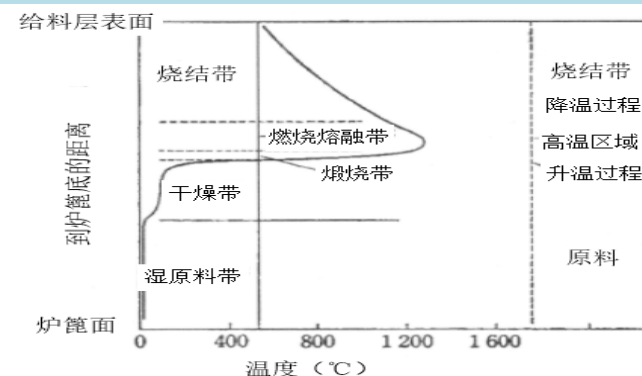


图4 给料层的代表性温度曲线

产生原因: 焦炭中所含的氮及原料铁矿石中的氮

(焦炭中所含的氮是产生Fuel NO_x的主要原因)

焦炭中的氮分解成N、NH、NH₂、NH₃、CN、HCN, 在氧化带中与氧气反应, 根据 $N + 1/2O \rightarrow NO$ 生成NO_x。

从降温工序开始在火焰内的氧分压较低的还原带, 由于再结合反应的 $N + N \rightarrow N_2$ 、 $NH + NH \rightarrow H_2 + N_2$ 等抑制了NO_x生成。

烧结机的NOx产生机理及烟气排放路线图

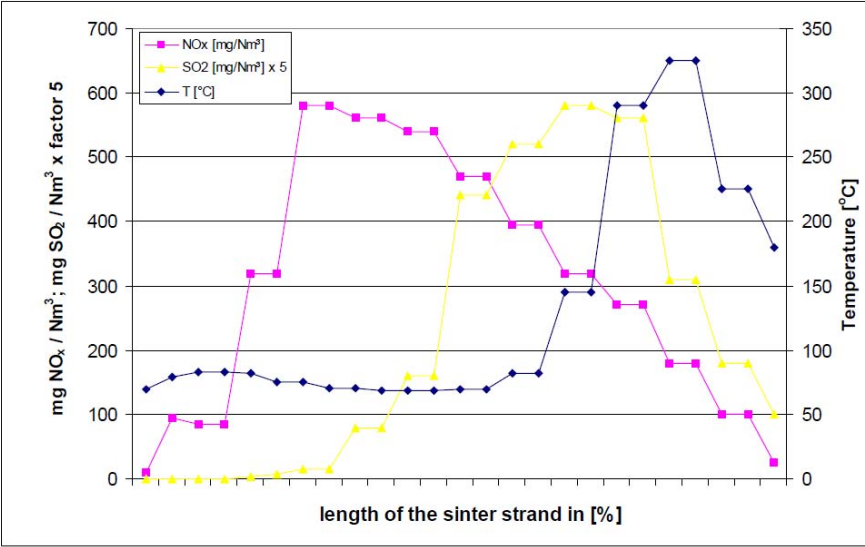


Figure 4.8: Typical emission profile of SO₂ and NO_x in the waste gas (individual wind-boxes) and the temperature curve along the sinter strand - based on [Nenschütz, 1996]

烧结机的NOx控制技术

钢铁行业主要产生NOx设备的控制对策及效果

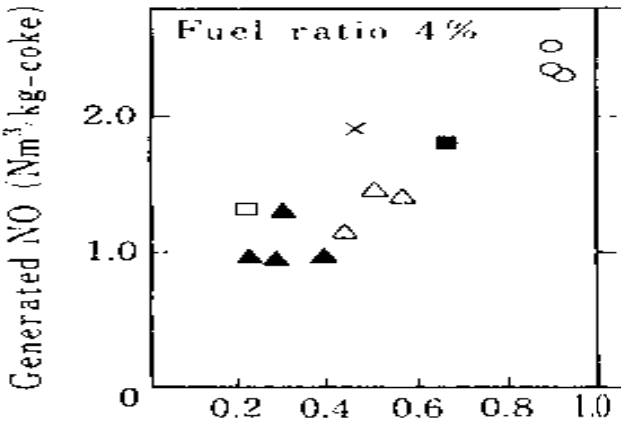
设备名	主要产生机制	控制对策	效果	备注
烧结机	F-NOx	使用低氮焦炭	含氮量低，产生量也随之降低	需确保使用低氮粘结煤
		添加生石灰	有效	用生石灰抑制NOx的产生
		改善点火列管燃烧器		节能效果：事例 COG率 1976年约 7m3N/t→1988年约1.7m3N/t
		烟气循环	25~40%削减	节能效果：循环烟气 流量 25~50%
		干法烟气脱硫脱硝装置	脱硝性能： 一级处理约40% 二级处理约80%	1999年开始实际应用同时去除 粉尘、NOx、SOx、二噁英及 其他有害物质
		选择性催化脱硝装置（SCR）	脱硝性能：80-90%	上世纪70年代开始实际应用
焦炭炉	T-NOx	使用低N煤	有效	
		改善燃烧装置		
		低氮燃烧器	有效	
		分级燃烧	有效	
加热炉	Thermal-NOx	烟气循环	有效	
		低氮燃烧器	有效	
均热炉	Thermal-NOx	再生烧嘴	NOx约 30ppm	蓄热式超低氮燃烧、 燃料消耗量约削减25%
		再生烧嘴	NOx 120ppm以下	

【注】成本分析属于厂家保密信息，无法获取信息。因此，表部分不做成本分析。

10

烧结机的NOx控制技术

Relation between Nitrogen Concentration in fuel



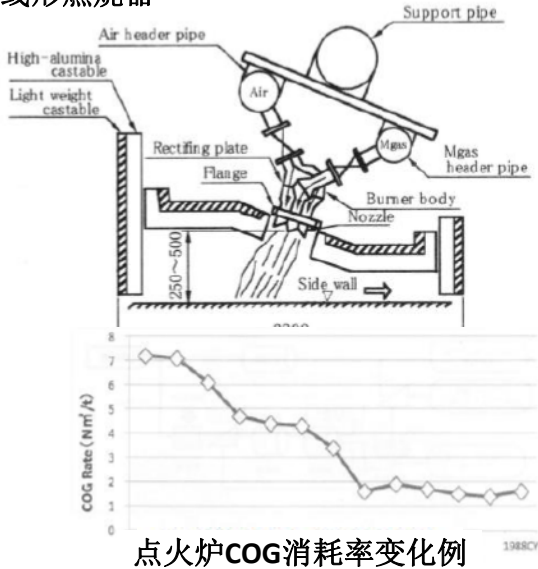
燃料添加量、原料粒度、引风负压等烧结条件固定不变的情况下，燃料中的氮浓度越低，NOx的生成量越少。

资料来源:佐々木晃等 烧结过程中NOx的生成与燃料含氮量、燃烧条件的影响 川崎制铁技报 Vol.10 No4 pp 19-28

11

烧结机的NOx控制技术

点火炉线形燃烧器

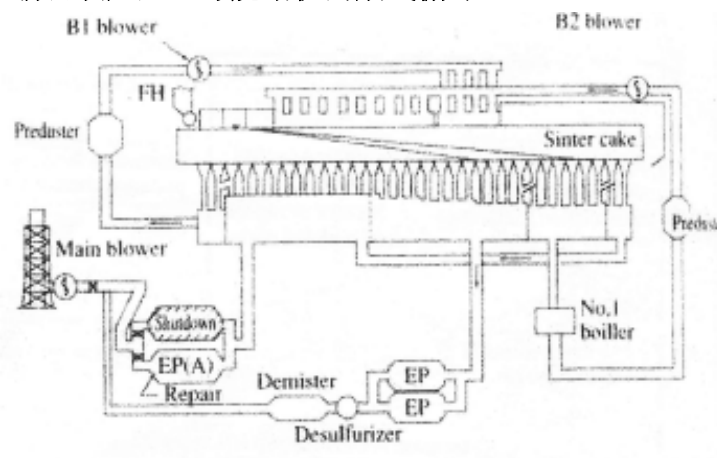


点火炉COG消耗率变化例

12

烟气处理

新日铁户畑三号烧结机的烟气循环



资料来源：新日铁技报第360号 P48

13

烟气处理

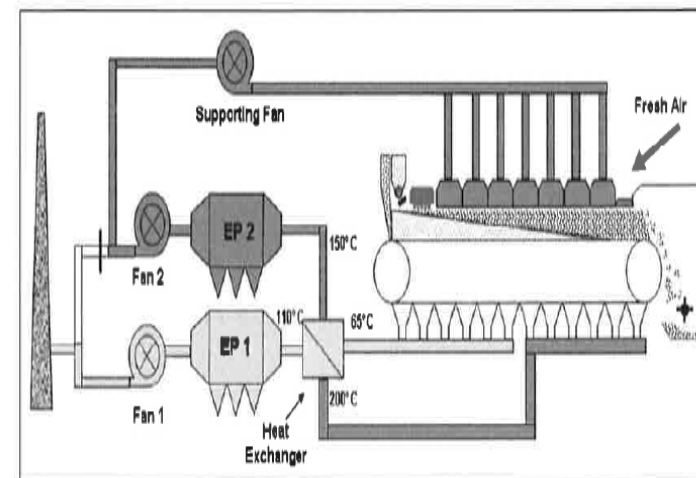


Figure 3.23: The LEEP (Low Emission and Energy optimised sintering Process) process was developed by Hüttenwerke Krupp Mannesmann

14

烟气处理

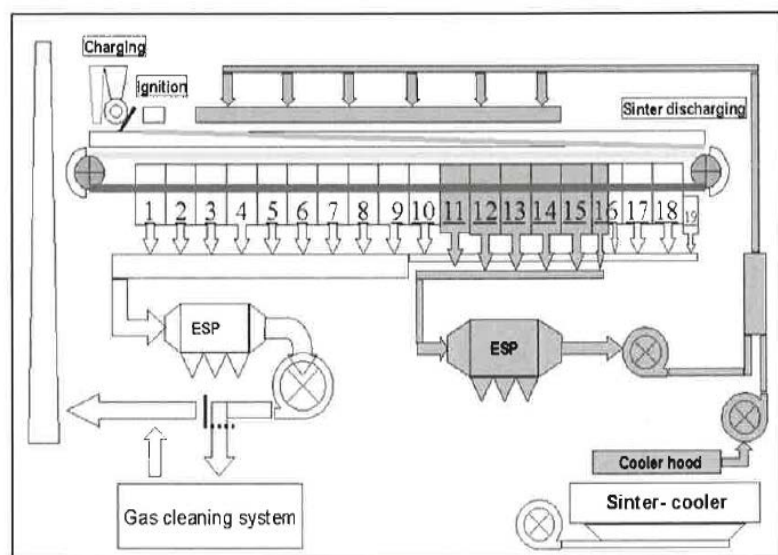


Figure 3.24: Schematic diagram of the EPOSINT gas recycling technique installed at sinter strand No. 5 of Voestalpine, Linz, Austria

371

烟气处理

烧结烟气循环的减排效果

序号	技术名称	开发单位	废气量和污染物产生量减少情况					节能效果
			废气量	颗粒物	SO ₂	NO _x	二恶英	
1	EOS (能量优化烧结技术)	荷兰艾默伊登	烟囱处减少的粉尘和NO _x 量接近45%	接近45%		接近45%	减少的二恶英量几乎70%	
2	Eposint (环境友好优化烧结)	奥地利奥钢联	吨烧结矿废气量减少25%~28%	降低30%~35%	降低25%~30%	降低25%~30%	减少约30%	焦粉单耗降低2~5kg/t烧结矿
3	LEEP (低排放能量优化烧结工艺)	德国HKM	吨烧结矿废气量减少45%	减少50%~55%	减少27%~35%	减少25%~50%	减少75%~85%	固体燃料降低7kg/t烧结矿
4	区域性废气循环技术	日本新日铁	减少28%	减少40%	减少46%	减少3%		吨烧结矿净能耗减少6%
5	烧结废气余热循环利用技术	宝钢宁波钢铁	减少30%~40%以上	最大可减少50%		排放总量最大可以减少40%左右	排放量最大可以减少60%~70%	降低烧结工序能耗5%以上

资料来源：《钢铁行业NO_x控制技术及其存在的主要问题》，刘文权著 冶金工业规划研究院 2014年5月 JICA 中华人民共和国大气氮氧化物总量控制项目专家座谈会2014年5月16日 北京

烟气处理

NKK 选择性催化还原法（NKK 京浜）



选择性催化脱硝装置

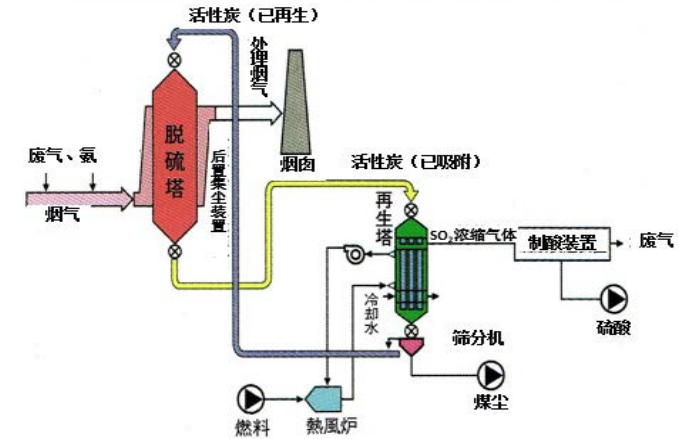
钢厂名称	设备名称	NO _x 去除率	启运年
川崎制铁千叶制铁所	No4烧结机	90%以上	1974
NKK京浜制铁所	No4烧结机	70~75%	1979
China Steel Taiwan	No4烧结机	约80%	1997
	No1烧结机	约80%	1999

17

烟气处理

干法烟气脱硫装置

先将烟气引入填充有活性炭的脱硫塔，使活性炭吸附烟气中的SO_x后再送入再生塔。在再生塔中将SO_x与活性炭脱离，活性炭再生后送入脱硫塔循环使用。脱离的SO_x作为浓硫酸回收利用。



8

烟气处理

干式排烟脱硫脱硝装置

钢铁厂名称	成套设备名	去除对象物	启运年
新日铁制铁（株）名古屋制铁所	No1&2 烧结机	SO _x 、NO _x 、DUST	1999
新日铁制铁（株）大分制铁所	No1 烧结机	SO _x 、NO _x 、DUST、Dioxin's	2003
PCSCO 浦项制铁所	No3 烧结机	SO _x 、NO _x 、DUST、Dioxin's	2004
々	No4 烧结机	SO _x 、NO _x 、DUST、Dioxin's	2004
新日铁制铁（株）君津制铁所	No3 烧结机	SO _x 、NO _x 、DUST	2004
（株）神户制钢所加古川制铁所	烧结机	OX、NO _x 、DUST、Dioxin's	2009
山西太原不锈钢有限公司	No2 烧结机	OX、NO _x 、DUST、Dioxin's	2010
々	No3 烧结机	OX、NO _x 、DUST、Dioxin's	2010

注）根据在日本国内文献检索获得的信息编制。

新日铁住金千叶 By J-Power EnTech
Blue Scope Steel Port kembla Steel Works No3 Sinter Plant Australia
EU,USA未实施（截至2010年）

19

烧结机的减少漏风措施

目的&效果：

减少烟气处理量 → 烟气循环的效率化

↓
缩小设备规模，减轻设备负荷

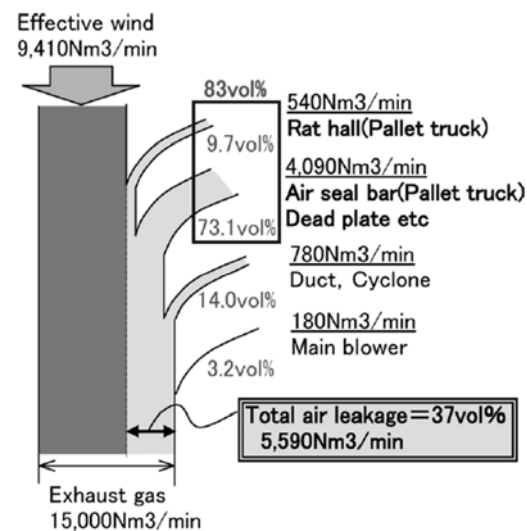
↓
提高生产力，降低设备成本和运行成本

↓
促进节能，提高生产率

20

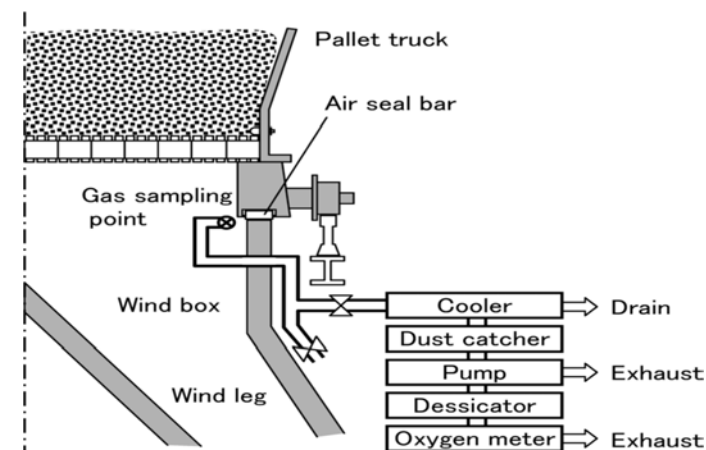
烧结机的减少漏风措施

【漏风量的构成】



烧结机的减少漏风措施

【台车和风箱的滑动部漏风监测】



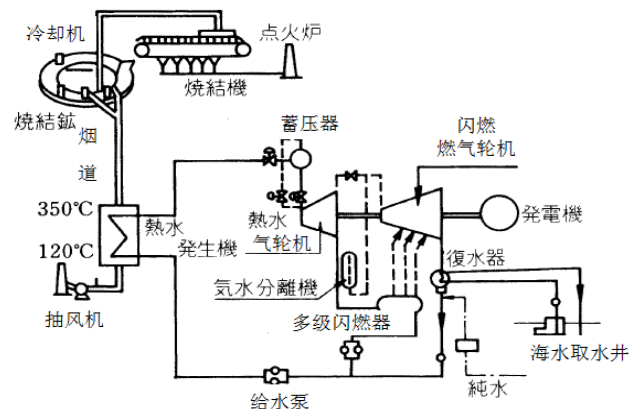
名古屋第3烧结机的减少漏风措施

22

余热回收

烧结矿冷却机：新日铁八幡厂

1979年开始运行 出处:铁与钢 66 (1980) S629



回收方法：电力

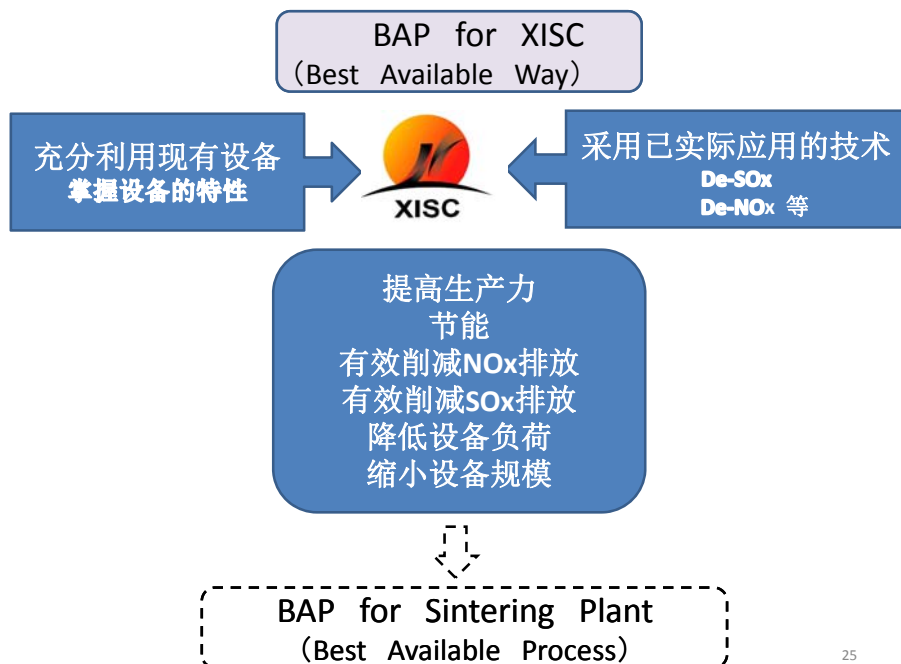
热水发电(热水250°C、50atg)+后段闪燃燃气轮机

23

示范企业的NO_x减排措施

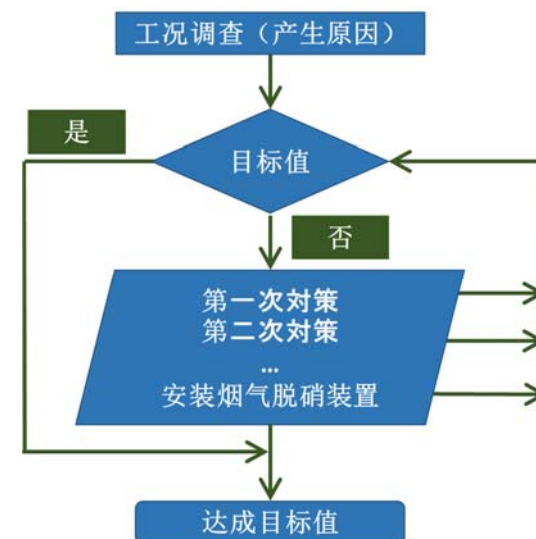
JICA 中华人民共和国
大气氮氧化物总量控制项目
湖南华菱钢铁有限公司 新2号烧结机
NO_x减排技术研究

24



25

示范企业的NOx减排措施



示范企业的NOx减排措施

【目的】

研究新二号烧结机的NOx减排措施，提供技术建议。

【流程】

- 1) 首先，研究现有的已实际应用及开发技术是否适用于新二烧。
- 2) 然后，选择适用可能性大的技术，进一步详细研究是否适用于新二烧。研究时，充分利用2014年3月及6月进行的新二烧烟气特性监测数据。
- 3) 根据目前的设备情况和运行情况，为达到NOx烟气浓度目标值，提出有效的技术措施方案。

27

示范企业的NOx减排措施

—适合可能性的评估—

从新二烧的设备改造、成本、节能效果、技术可靠性等方面进行综合判断，认为通过烟气循环实现NOx减排的方法最具有可行性。

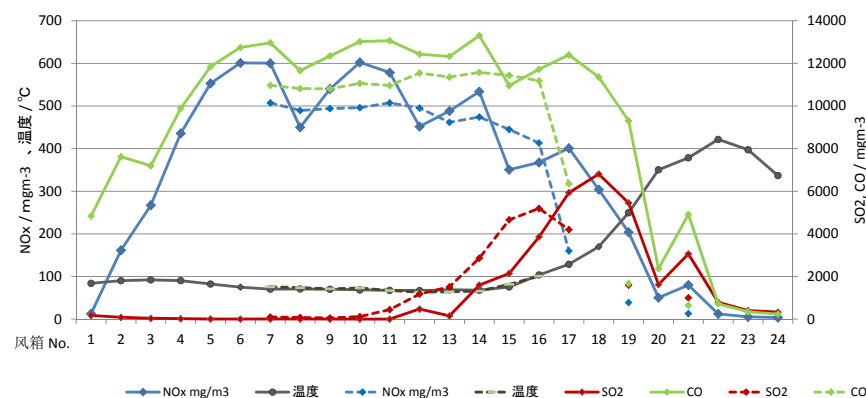
	NOx mg/m ³	SOx mg/m ³
排放限值:	300	200
计划目标值:	***	***

烧结机排放标准

2012.10.01- 2014.12.31现有企业	2015.01.01开始现有企业 2012.10.01开始新建企业	特别限值	在线监测位置
500 mg/m ³	300 mg/m ³	300 mg/m ³	工厂或生产设备的 烟道

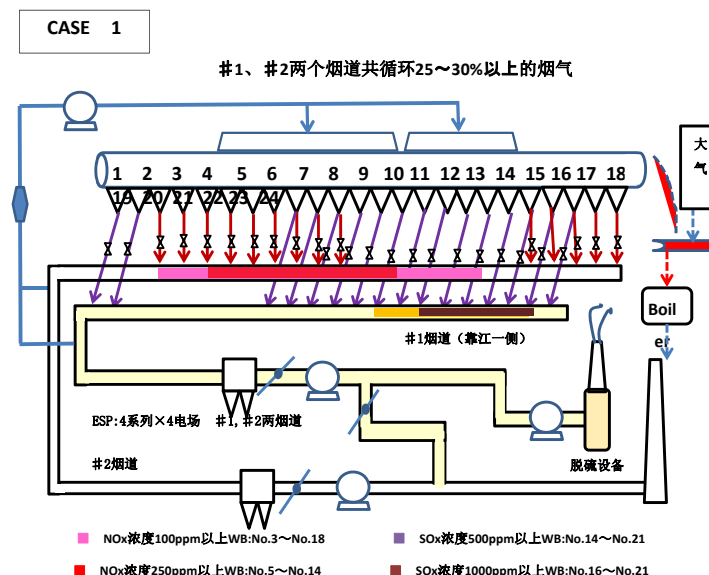
示范企业的NO_x减排措施

掌握现状

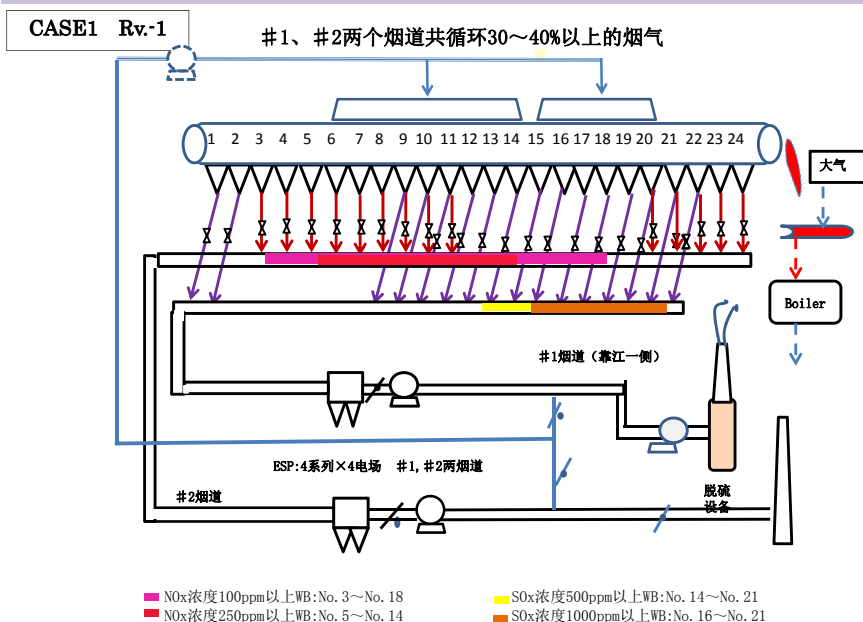


图：根据监测结果制作的NO_x排放路线图

示范企业的NO_x减排措施



示范企业的NO_x减排措施



【湖南华菱钢铁有限公司与JICA的合作成果】

- 针对新2烧的NO_x减排问题，双方在设备层面上进行了具体的技术交流，共享了改善措施。
- 作为附带成果，JICA专家还与湘钢共同商讨制定了SO_x减排方案后，湘钢通过实验取得了预想的效果，并将计划将这一成果推广应用到其他烧结机上。

在此，我们对湖南华菱钢铁有限公司及其相关部门的大力协助表达深深的谢意，有了他们的支持和协助，才有了现在的成果。

在本项目非常感谢中国环保部、环境规划院、湘潭市环保局等中国相关部门在项目实施过程中给予我们的大力支援和协助，同时还要感谢冶金工业规划研究院为我们提供了宝贵的信息！

谢谢大家！

1

NO_x生成机理

- 与工业锅炉相同，燃烧产生NO_x

Thermal NO_x + Fuel NO_x

- Thermal NO_x

① 捷里多维奇NO_x (Zeldvich NO_x)

燃烧温度越高、氧浓度越高、在高温下滞留的时间越长，NO的产生量越多

② 快速型 NO_x (Prompt NO_x)

在火焰处生成，HCN·NH等是生成的原因

5

NO_x减排措施

1. 燃烧室的NO_x生成控制

- ①改善燃料 · 使用有机氮化合物含量低的燃料（燃煤）
- ②改善燃烧 · 降低燃烧区的氧浓度
缩短燃烧气体在高温区域的滞留时间
降低火焰温度

2. 烟气脱硝

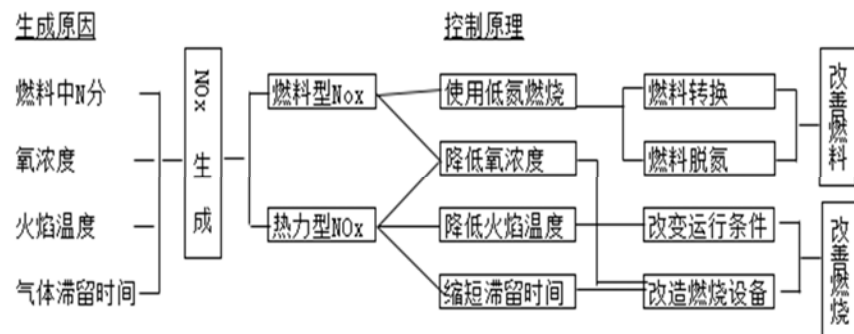
SCR 选择性催化还原法

SNCR 选择性非催化还原法

活性炭吸附法

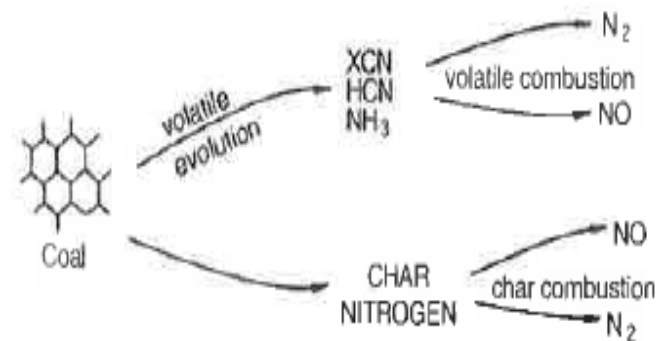
3. 降低燃料消耗量 · 节能（高效化）

NO_x生成控制技术



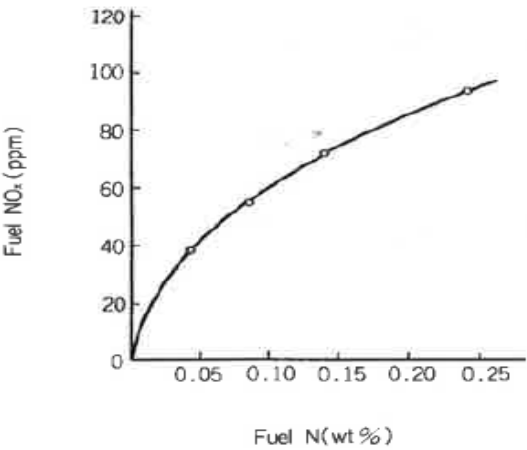
7

燃煤中氮份在燃烧过程中的变化



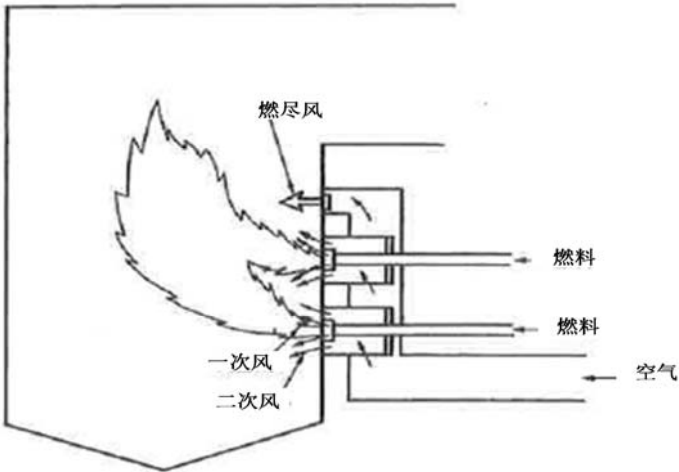
8

燃料中氮份与Fuel NO_x的关系



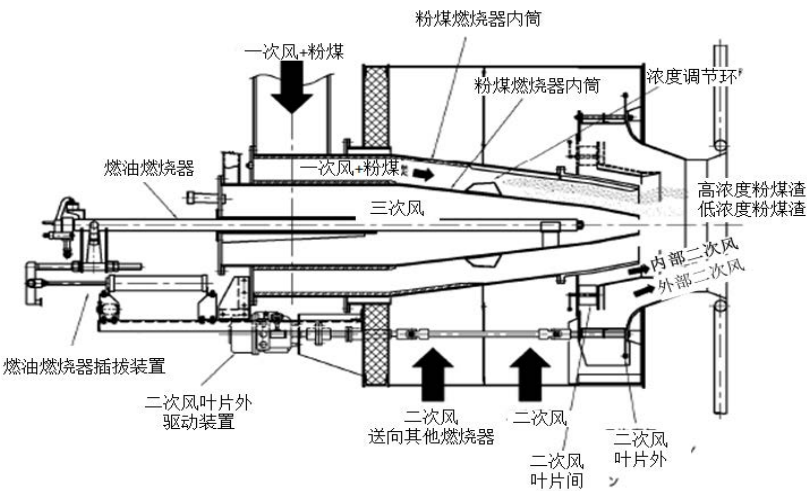
9

二级燃烧法概念图



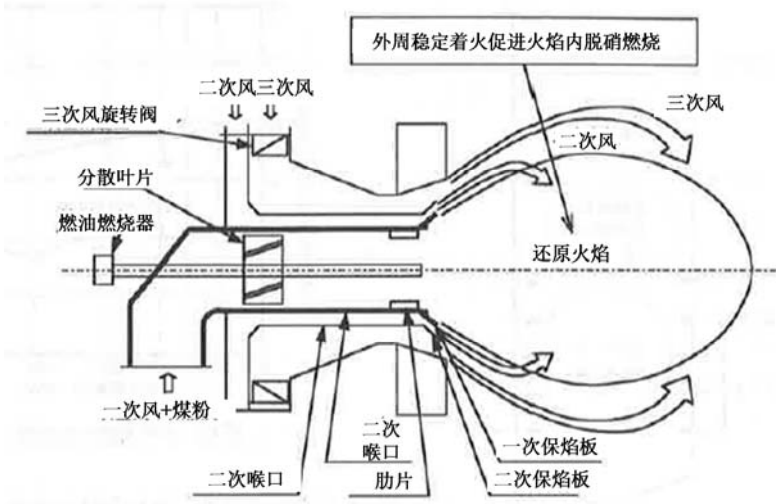
10

二级燃烧低NO_x燃烧器 (IHI)



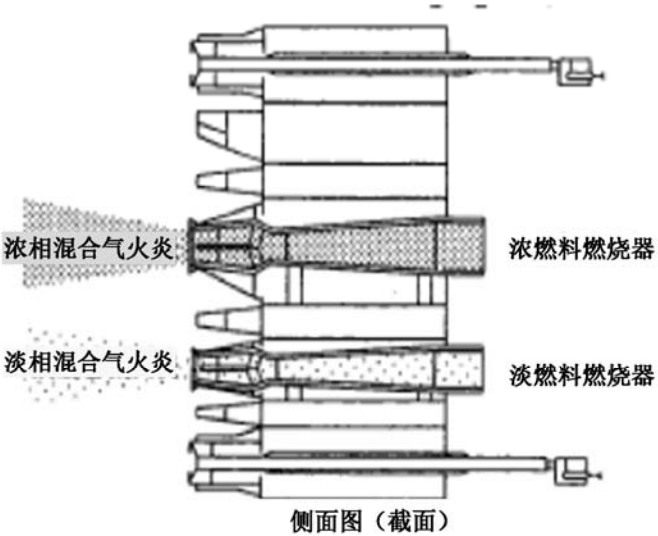
11

低NO_x煤粉燃烧器 (川崎工厂)



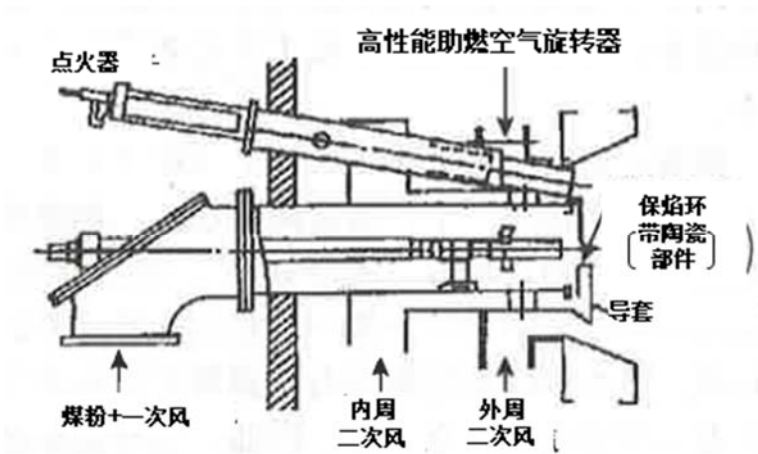
12

浓淡燃烧+二级燃烧组合型低NO_x燃烧器（三菱重工）



13

煤粉NR燃烧器（日立）



14

烟气脱硝技术
—方法及原理—

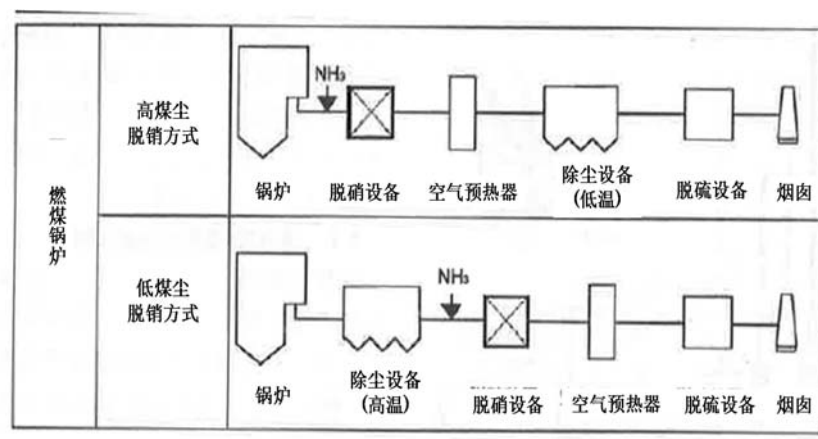
方法	原理
选择性催化还原法 (SCR)	用NH ₃ 作还原剂，催化时选择性还原去除NO _x 。干法，适合用于烟气量多的处理。 反应式 $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
非催化还原法 (SNCR)	在高温区非催化条件下喷NH ₃ ，还原去除NO _x 。 $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (脱硝反应) $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (药剂燃烧反应)
活性炭吸附法	使用活性炭，在喷NH ₃ 选择性去除NO _x 的同时，吸附去除SO _x 。

15

工业用燃煤锅炉安装SCR设备条件标准例

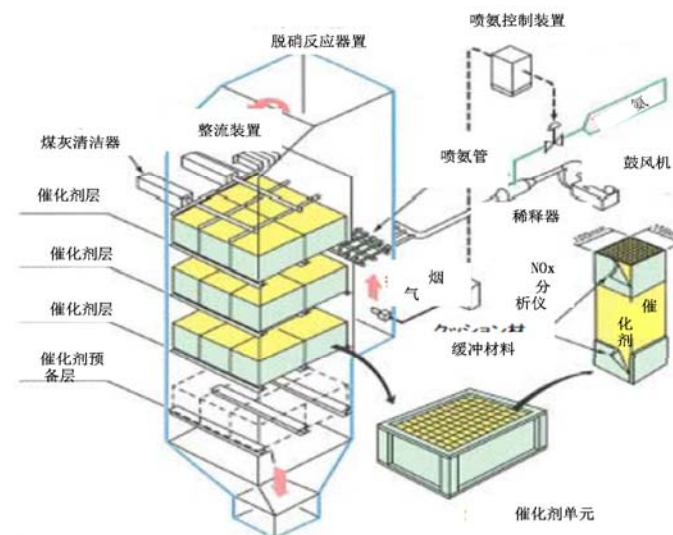
	例 I	例 II	例 III
压损	0.5~2 kPa	~100 mmWC	~100mmWC
燃烧温度℃	≒350~400	300~550	180~550
脱硝率%	<80 - 90	~95	~95
反应塔压损	<60 mm WC		

烟气脱硝设备典型的工艺结构



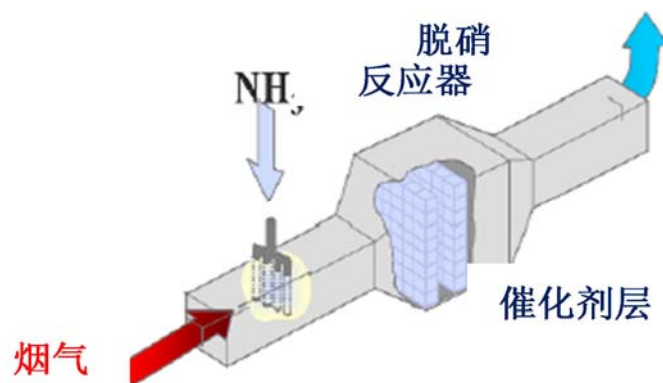
17

燃煤选择性催化还原法脱硝系统（KHI）



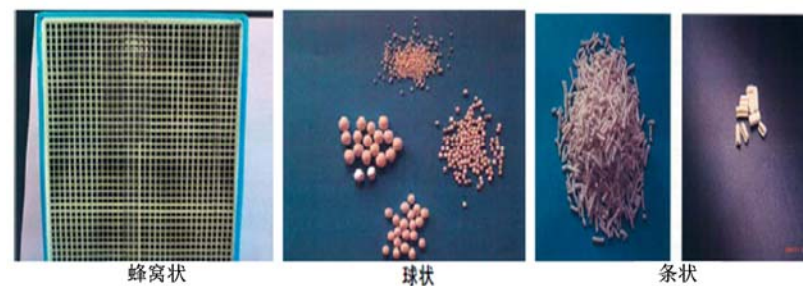
18

选择性催化还原法脱硝（SCR）（IHI）



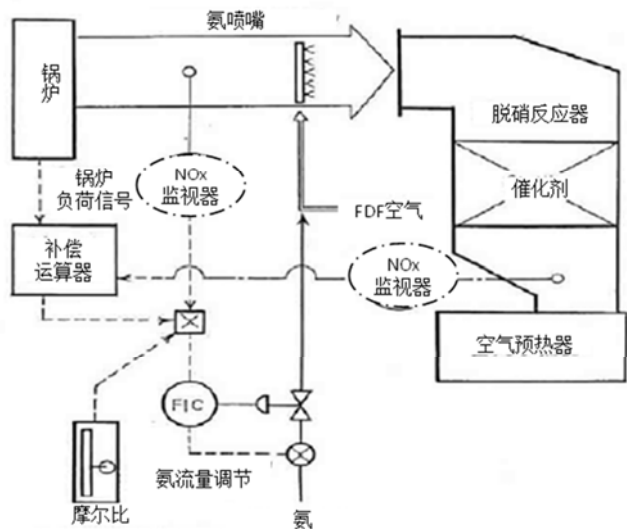
19

各种形状的脱硝催化剂例（堺化学）



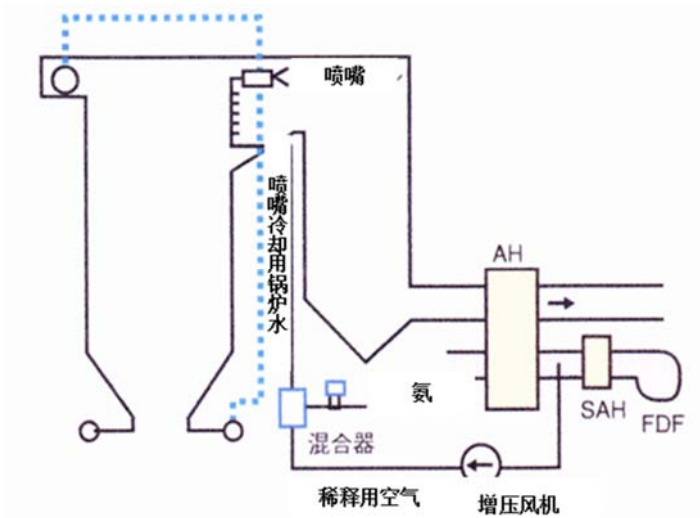
20

选择性催化还原法脱硝控制例



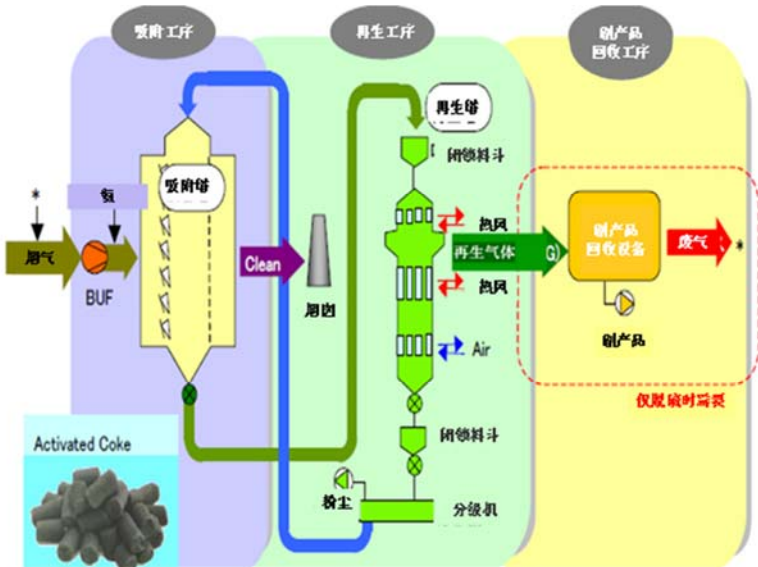
21

非催化还原法 SNCR



22

活性炭吸附法烟气脱硝 (J-Power)



23

NO_x化学分析法

分析法的类型	定量范围	vol ppm (mg/m ³)	对象成分气体
Zn-NEDA法	真空烧瓶法	1-50(2-100)	NO + NO ₂
	圆筒法	5-250(10-510)	
NEDA法	真空烧瓶法	3-500(5-1000)	NO + NO ₂
	圆筒法	7-1200(13-2500)	
离子色谱法	真空烧瓶法	4-1400(8-2800)	NO + NO ₂
	圆筒法	20-7000(40-145000)	
PDS法	真空烧瓶法	10-300(20-620)	NO + NO ₂
	圆筒法	12-4200(24-8400)	
萨尔茨曼分光光度法		5-200(10-400)	NO ₂

24

连续分析法的自动计测器的种类和测定范围等

测量仪器的种类	测定范围 vol ppm	测定对象 物质	适用条件
化学发光法	0-10 0-2000	NO NO _x * ¹	适用于可忽视同时存在的CO ₂ 的影响时或可消除其影响时
红外线吸收法	0-19 0-2000	NO NO _x * ¹	适用于可忽视同时存在的CO ₂ 、SO ₂ 、水分、炭化氢的影响时或可消除其影响时
紫外线吸收法	0-50 0-2000	NO NO ₂ NO _x * ²	适用于可忽视同时存在的SO ₂ 、炭化氢的影响时或可消除其影响时

*¹ 先将NO₂转换成NO后再测定

*² NO和NO₂各测定值的和量

25

工业锅炉的氮氧化物总量控制措施

2015年11月27日
北京凯迪克格兰云天大酒店
JICA项目组专家 藤井重雄

1

目录

- 1、日本的工业锅炉相关信息
定位、类型、特点、安装情况等
- 2、NOx生成、控制、脱硝技术方面的信息
排放标准・生成机制・减排措施等
- 3、不同燃料的锅炉事例等
燃气、燃煤、油、废弃物
- 4、NOx监测技术

2

1、日本的工业锅炉相关信息

◆ 行政管辖分工

日本的锅炉根据发用途（电用/工业用）确定管辖部门。法定标准、设计标准、结构材料、使用资质、检修管理等必须按照各自相应的规定执行。

	发电锅炉	工业锅炉
用途	公共用电：一般电力公司、批发电力公司、特定电力公司 自己用电：用于企业自用电（剩余的可销售）	工业用：一般不供发电的制造业等的热源、动力 商业用：冷暖气、厨房、医院等工作热源
管辖部门	经济产业省	厚生劳动省
适用规格等	电力事业法、技术标准、保安检查规定等	劳动安全卫生法、锅炉压力容器安全规则等

◆ 环保方面的标准

环境省规定的各项环境标准、地方政府制定的条例等

3

1、日本的工业锅炉相关信息

工业锅炉的类型

现在已普遍应用的锅炉根据分类可分为：

分类	型式
水管锅炉	炉胆锅炉 水管锅炉
水循环方式	自然循环式 强制循环式 直流式
燃烧方式	燃烧器(Burner)燃烧 炉(Stoker)燃烧 流化床(FB)燃烧：1) 鼓泡流化床燃烧 (Bubbling-FBC) 2) 循环流化床燃烧 (Circulation-FBC)
传热	蒸汽（饱和蒸汽、过热蒸汽） 温水（高温水・中温水） 传热油
特殊	余热回收 铸铁锅炉（供暖用）

1、日本的工业锅炉相关信息

工业锅炉的特征

与发电锅炉相比，考虑到工业锅炉的规格和机能等，在采取NOx减排措施时应注意以下几点：

- ① 小中输出功率（1-100t/h）占绝大多数，低压、饱和蒸汽多。
- ② 负荷波动大、燃烧器调节比为1:5
- ③ 启动停止的情况多。 DSS(Daily Start & Stop)
- ④ 须与多种燃料混烧。
 - 形状与发热量等燃料品质波动大，需要具有随动性。
- ⑤ 操作人员技术不过硬。
 - 技能老化时难以应对。
- ⑥ 未安装NOx监测设备的事例很多。
 - 无法进行在线监测。

5

1、日本的工业锅炉相关信息

日本按使用燃料统计的工业锅炉安装数量

使用燃料	安装数	构成比（%）
油	26,776	71.7
燃煤	186	0.5
燃气	6,440	17.3
其他（废弃物、副产品等）	3,926	10.5
合计	37,325	

- * 工业用锅炉在油、燃煤等石化燃料的基础上增加了废弃物及生物质燃料。
- * 商业用锅炉没有使用燃煤燃料的事例。

6

1、日本的工业锅炉相关信息

各种型式工业锅炉的安装数量（截至2012年12月）

型式	安装数	构成比（%）
水管 自然循环型	3,145	11.1
强制循环型	198	0.7
直流型	4,312	15.3
炉胆锅炉（炉筒、烟管）	10,170	36.0
铸铁组合型	3,148	11.1
其他	1,205	4.3
温水锅炉	6,072	21.5
合计	28,250	

- 本表所示为厚生劳动省管辖的锅炉安装数量（来源：JBA）
- * 不含小型锅炉（不在法律使用范围）
 - * 包括商业用锅炉

7

2、NOx生成、控制、脱硝技术相关信息

日本的NOx排放标准值

燃料、锅炉形式	规模 万m³N/h (最大额定烟气流)	On (%)	排放标准值 (ppm)
专烧燃气	>50 10~50	5	60 100
专烧劣质煤 <20,930 kJ/kg 受火炉隔墙、火炉热产生率的制约	>70 50~70	6	200 250
专烧劣质煤 <20,930 kJ/kg	>70 30~70	6	200 250
专烧燃煤 炉头燃烧方式、自然循环型	20~25	6	250
专烧燃煤 接线型摇摆式燃烧器	>100	6	200
专烧燃煤 散布型炉排式	4~10	6	320
专烧燃煤循环流化床锅炉	0.5~4	6	350
固体燃烧循环流化床锅炉	~4	6	350
固体燃烧	>70 4~70	6	200 250
液体燃烧	1~50	4	150

8

2、NO_x生成、控制、脱硝技术相关信息

工业锅炉的NO_x生成

工业锅炉的NO_x生成限定在燃烧反应及燃烧室中高温燃烧气体的活动区域。

- ◆ Thermal NO_x
 - 燃烧机制：Zeldovich-NO_x、Prompt-NO_x
 - Burner燃烧（火焰中）
 - Stoker燃烧（火床层）
 - 流化床燃烧（Free board、流化部）
 - 燃烧室（与过剩空气中的未反应O₂合成）

- ◆ Fuel NO_x

因燃料中含有的N化合物燃烧生成

2、NO_x生成、控制、脱硝技术相关信息

NO_x生成的主要原因及削减措施

锅炉是一台燃烧热⇒热回收的热装置(热交换机)。

- ◆ 采取NO_x减排措施时的前提条件
 - 燃烧室的容积是一定的，无法依靠输出功率来控制燃烧热负荷。
 - 负荷波动的随动需要通过燃料供给量及空气量来控制燃烧。
- ◆ 生成的主要原因及削减措施

由于具有上述特征，一般针对锅炉中NO_x生成的主要原因采取以下削减措施：

 - 含N燃烧（NO_x） ⇒ 使用N含量低的燃料
 - 燃烧区域的O₂浓度 ⇒ 低过量空气、降低浓度
 - 火焰温度、火炉燃烧温度 ⇒ 降低温度
 - 在高温区域的烟气滞留时间 ⇒ 缩短滞留时间

3、不同种类燃料的锅炉事例等

不同煤燃烧方式的NO_x生成特征

燃烧类型	CFBC	BFC	Stoker	煤粉（PC）
燃烧效率(%)	>98	95—98	92—97	97—99
锅炉热效率(%)	88—92	85—92	85—90	>90
适用煤种	各煤种的整粒煤可与其他可燃性固形物混烧	可与劣质煤及含水量多的污泥等废弃物混烧，也可专烧	劣质煤～烟煤燃烧比在2.5以下	适用范围广需要确证破碎性
Turn Down(%)	>65	50—60	>30	30—35
燃烧控制性	优	良	劣	优
NO _x 生成	低温燃烧 ↓ 生成控制	低温燃烧 ↓ 生成控制	受燃料比及粒径影响 注意局部燃烧	可用燃烧器控制生成，受火炉热负荷的影响 一般需要烟气脱硝

3、不同种类燃料的锅炉事例等

煤粉燃烧炉

Mono-tube, 6MPa 520℃ 150t/h



3、不同种类燃料的锅炉事例等

燃煤锅炉的NOx生成控制方法事例

方式	适用锅炉	内容
低NOx燃烧器	煤粉燃烧炉	有混合促进型、缓慢燃烧、火炎分级、自然循环型、预混合型等。通过降低火焰温度、缩短高温区域滞留时间、降低O2浓度、还原作用及均匀燃烧温度等控制NOx生成的方法。
二级燃烧	煤粉燃烧炉 (混烧、大输出功率)	多个燃烧器分为上下二级安装，第一级的过量空气系数为0.8左右的方法。一般多采用这一方法。
降低空气预热温度	所有类型	降低火焰及燃烧室的气氛温度。但未燃尽部分增多。
降低燃烧室热负荷	所有类型	火焰、燃烧烟气温度、烟气滞留时间与NOx生成是相关的，因此是一种降低热负荷的削减法。
炉内脱硝	所有类型 (大输出功率)	将生成的NOx在炉内还原去除的方法。 烟气循环+二级燃烧的组合方法。 在燃烧区域上方多层喷入二次空气、还原用燃料及三次空气。

3、不同种类燃料的锅炉事例等

燃气自然循环水管锅炉

Fuel : #13A Gen、cap =10t/h
Pnor= 2 MPa Saturated steam



3、不同种类燃料的锅炉事例等

燃气燃烧直流锅炉

- ◆ 日本应用的背景
在日本的大都市圈，根据制定的NOx减排措施实施燃料限制，一般将重质油及燃煤转换成了城市燃气#13A等燃气燃料。

◆ 事例

锅炉类型	直流锅炉（多炉合设）
燃料	#13A燃气（发热量：46MJ/m³）
额定热效率	97%
NOx减排措施	安装低NOx燃烧器
NOx排放浓度	30ppm（O₂=0%）

3、不同种类燃料的锅炉事例等

燃油锅炉

◆ 日本的液体燃料概要

	A重油	B重油	C重油
LHV MJ/kg	42.37	42.4	40.92
N %wt	0.03	0.18	0.29
S %wt	< 0.85	2.1	2.85
Ash %wt	< 0.05	< 0.05	—

- ◆ 低NOx措施
 - ①需要制约火炉结构的设计以及采取NOx燃烧器、各种低O₂燃烧、烟气脱硝等措施。
 - ②对于常用的蒸汽负荷，为了保持在一定负荷率及其以上的运行，安装多个小输出功率的锅炉，通过这样的数量控制进行负荷应答，缓解因1台的过剩空气及负荷波动造成的燃烧不稳定，从而控制NOx的生成。

3、不同种类燃料的锅炉事例等

燃油直流锅炉

Fuel: A 重油 Gen.cap= 2 t/h
Pnor=1MPa Saturated steam



3、不同种类燃料的锅炉事例等

流化床燃烧的特点

工业锅炉中流化床燃烧已非常普及，具有良好的控制NOx和SOx排放的机能。

- ◆ 特点
 - 普及行业：BFBC—小输出功率、劣质燃料、容易DSS
CFBC—大输出功率、品质均衡的优质燃料、连续运行
⇒ 可适用小输出功率～中输出功率（1～300t/h）的多种类型工业锅炉
 - 燃料：可燃烧 高水分、高灰分等劣质可燃性固形燃料
例：污泥、产业废弃物、MSW、褐煤、副烟煤等
 - 低温燃烧：由于处于900～1000℃的低温，Thermal NOx的生成很少。
⇒ 无需烟气脱硝
 - 炉内脱硫：通过向炉内流化床添加脱硫剂即可实现炉内脱硫。
⇒ 无需安装烟气脱硫设施。

3、不同种类燃料的锅炉事例等

CFBC锅炉的煤烟浓度值事例

企业	燃料	煤尘 mg/m³N	SOx ppm	NOx ppm
A	Coal, Wood	< 20	< 100	< 120
B	RPF	< 40	< 50	< 200
C	RPF, Coal	< 30	< 50	< 150
D	Coal	< 50	< 100	< 100

* 监测值为根据日本环境计量法规规定的条件监测的值。

3、不同种类燃料的锅炉事例等

以有机可燃物为燃料的锅炉的低NOx技术

有机质及有机可燃废弃物作为替代燃料已得到广泛使用，并应用以下技术控制NOx的生成：

- 低NOx燃烧：热分解气化
低温燃烧(800～900℃)
低O₂燃烧
CFBC・BFBC
- 炉内脱硝 喷NH₃、喷尿素
- 烟气脱硝 SCR

3、不同种类燃料的锅炉事例等

生物质燃烧发电锅炉

Fuel : Waste wood , RPF, RDF
Pnor = 3MPa 425 °C SH Steam



3、不同种类燃料的锅炉事例等

代表性的烟气脱硝

大分类	方法	备注
干法	接触分解法	
	接触还原法	选择式、非选择式
	非催化剂还原法	喷入NH ₃ 、尿素、(H ₂ CO) ₃
	电子束辐照	电子束辐照、自由基氧化
	炉内脱硝法	炉内喷入还原剂
湿法	氧化吸收法	接触氧化、O ₃ 氧化
	氧化还原法	二氧化氯-亚硫酸钠法
	等摩尔吸收法	

3、不同种类燃料的锅炉事例等

去除NOx：烟气脱硝

方式	方法	特点
非催化还原法（SNCR） Selective Non-Catalytic Reduction	向高温烟气中喷入NH ₃ ，通过均相气相反应将NO _x 还原成N ₂ 的方法 $4NO+4NH_3+O_2 \rightarrow 4N_2+6H_2O$ $6NO_2+8NH_3 \rightarrow 7N_2+12H_2O$	• 无需特殊的反应装置，结构简单 • 没有燃气压损及堵塞的现象 • 现有锅炉只要有空间即可安装 • 需要注意燃气温度
催化还原法（SCR） Selective Catalytic Reduction	向烟气中喷入NH ₃ ，依靠催化作用使其与烟气中的NO _x 反应，还原成N ₂ 和H ₂ O的方法	• 脱硝率高，达80%以上 • 也使用尿素，氨水 • 可适用多种类型的燃烧烟气 • 不会产生二次公害 • 催化剂有使用寿命
电子束辐照法	用电子束辐照烟气，使其生成OH、H ₂ O、O的自由基及原子，作为HNO ₃ 、NH ₄ NO ₃ （硝安）进行除尘的方法。	
液相氧化吸收法	在强碱性溶液中使用KMnO ₄ 氧化吸收NO	• 可同时去除SO_x • 需要处理废水，维护管理费用高

4、NOx监测技术

NOx化学分析法

分析法的类型	定量范围 vol ppm (mg/m ³)	对象成分气体
Zn-NEDA法	真空烧瓶法 1-50(2-100)	NO + NO ₂
	圆筒法 5-250(10-510)	
NEDA法	真空烧瓶法 3-500(5-1000)	NO + NO ₂
	圆筒法 7-1200(13-2500)	
离子色谱法	真空烧瓶法 4-1400(8-2800)	NO + NO ₂
	圆筒法 20-7000(40-145000)	
PDS法	真空烧瓶法 10-300(20-620)	NO + NO ₂
	圆筒法 12-4200(24-8400)	
萨尔茨曼分光光度法	5-200(10-400)	NO ₂

4、NOx监测技术

连续分析法的自动计测器的种类和测定范围等

测量仪器的种类	测定范围 vol ppm	测定对象物质	适用条件
化学发光法	0-10 0-2000	NO NOx * 1	适用于可忽视同时存在的CO ₂ 的影响时或可消除其影响时
红外线吸收法	0-19 0-2000	NO NOx * 1	适用于可忽视同时存在的CO ₂ 、SO ₂ 、水分、炭化氢的影响时或可消除其影响时
紫外线吸收法	0-50 0-2000	NO NO ₂ NOx * 2	适用于可忽视同时存在的SO ₂ 、炭化氢的影响时或可消除其影响时

* 1 先将NO₂转换成NO后再测定
* 2 NO和NO₂各测定值的和量