

2. 中国引进氮氧化物排放对策技术的要点

2.1 近几年来火力发电的 NO_x 减排技术· 运行管理技术状况

关于日本电力行业的 NO_x 减排对策，从 20 世纪 70 年代开始不论新建或现有的发电锅炉，都分阶段地加强了管制。当时研究了各种方法，也采取了种种对策，到 20 世纪 80 年代基本完成了减排设施的建设，而到 2002 年，电力行业的 NO_x 排放量只占全部工业排放量的 26.5%。进入本世纪后，该课题已不再列入电气事业连合会的年度环境行动计划的环保课题中。日本目前的发电量中约 50% 由火力发电产生，最近来看大部分是包含高效联合发电在内的天然气发电。按发电量的火力燃料结构比率来看，如表 2.1-1 所示，天然气的比例超过了石油和煤碳火力。以核电为主的日本电力市场结构虽然不变，天然气、煤碳、石油作为燃料的火力电源，不仅采取最佳混合对策考虑到了 NO_x 对环境的影响，而且在应对高峰电力和需求变动，降低运行成本等方面起到了重要的作用。同时，热效率也有显著提高，10 家电力公司平均热效率达到 41%，最先进的 1500℃ 联合发电热效率达到约 59%。

表 2.1-1 按火力燃料分类的结构比率

	1990 年	1997 年	2007 年
煤炭	9.6	14.5	21.2
石油	29.5	16.7	11.0
天然气	21.9	23.3	22.5

现在，日本的火力发电站的排放原单位中的 NO_x 排放量，与欧美主要国家相比数值极低。表 2.1-2 显示了各国的单位火力发电的 NO_x 排放量。表 2.1-3 显示了各主要电力公司的单位电力的 NO_x 排放量。关西电力(株)把火力发电燃料中的约 74% 转为用天然气，以 2009 年度的排放量为例，与同样发电量的 1974 年度相比削减了约 14%。同样中部电力(株)的排放量从 1974 年 0.97g/kWh 减到 2009 年度 0.08 g/kWh，削减了 92%。日本电力行业的火力锅炉因为容量都很大，因而对所在地区环境的影响也非常大。因此在国家规定的公害限值之外，电力公司会与当地签署更为严厉的公害协定。

表 2.1-2 各国的单位火力发电 NO_x 排放量(2008 年度电气事业连合会调查)

国名	美国	英国	德国	法国	意大利	日本
NO _x 原单位 (g/kWh)	1.2	1.4	0.8	3.2	0.6	0.2

表 2.1-3 日本各电力公司的 NO_x 排放原单位(2009 年度各公司数据)

电力公司	东京电力	关西电力	中部电力
NO _x 原单位(g/kWh)	0.14	0.1	0.08

日本的这些 NO_x 减排效果，是采取改善燃烧方法、转换成低氮燃料、设置排烟脱硝装置等综合性对策的成果。表 2.1-4 显示了日本的火力发电设施中按不同燃料采取的具有代表性的氮氧化物减排对策。电力行业中的火力锅炉由于规模、开工、运用方面等的限制，仅用燃料转换和改变燃烧方法来降低排放量所取得的效果有限，为达到更为严格的排放标准，附设了排烟脱硝装置，所有废气中 90% 用干式选择性接触还原法 (SCR 法) 来作脱硝处理。

表 2.1-4 各种燃料具有代表性的氮氧化物对策

燃料	油	LNG	煤碳
燃烧	低 NO _x 燃烧器 (浓淡燃烧 · 火焰分割兼用) 二段燃烧 炉内脱硝 废气混合	低 NO _x 燃烧器 (浓淡烧 · 火焰分割兼用) 二段燃烧 炉内脱硝 废气混合 增加火炉冷却面积 「联合」 预混合稀薄燃烧 + HRSG 内脱硝	低 NO _x · 低烟尘燃烧器 (浓淡燃烧 · 火焰分割兼用) 二段燃烧 废气混合
排烟脱硝	干式: 氨接触还原法、无催化还原法、活性炭法、电子束照射法 湿式: 氧化还原法		

进入 21 世纪后，为了防止气候变暖，用天然气替换 CO₂ 排放量较多的煤碳，并且推进了引进生物质混烧等新能源的开发。当然防止气候变暖、节省能源资源、采取 NO_x 等环境对策，这三者很难同时都实现，这些政策是今后的电力等一次能源所存在的课题。图 2.1-1 显示的是日本各火力电源 CO₂ 排放原单位。

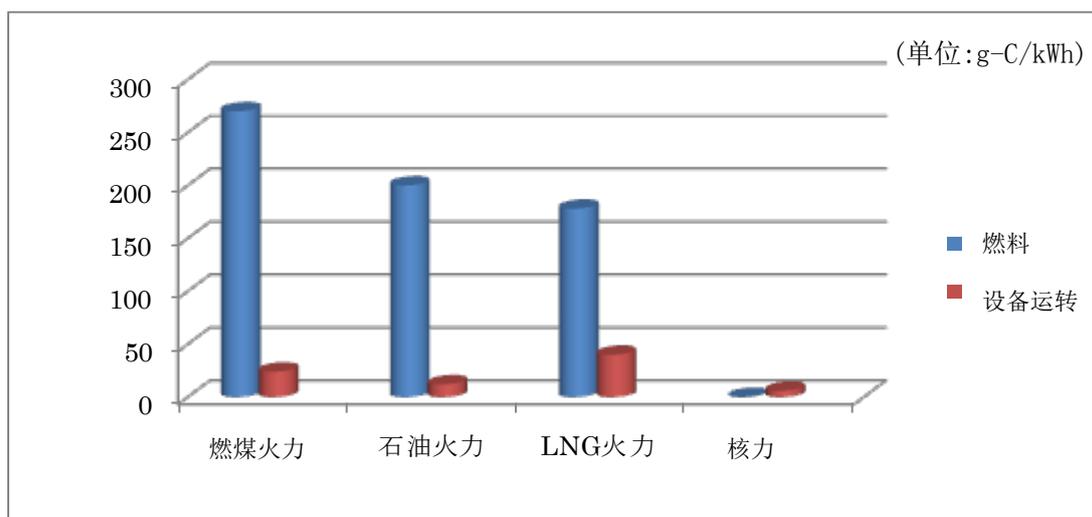


图 2.1-1 日本各火力电源 CO₂ 排放原单位 (出处:《新一代能源设想》，电中研)

2.2 引进火力发电对策技术时应注意事项、考虑要点

2.2.1 对策技术适应注意事项

在电力行业中锅炉按燃料分类有油、燃气、煤碳这几种，按燃烧方式分类的话燃烧器燃烧占一半以上。（在日本国内也有个别循环流动层和加压流动层的事例，但本报告主要以燃烧器燃烧为对象）

脱硝技术从氮氧化物的生成路径上分为燃烧型氮氧化物 NO_x (Fuel NO_x) 和热力型氮氧化物 (Thermal- NO_x)，2 种物质各自受到使用燃料、燃烧机构、负荷状况等的影响。新建锅炉在设计时就考虑采取氮氧化物对策，做到这点并不难。而对现有的锅炉进行氮氧化物减排处理，就会受到很多条件的制约，引进技术时需要针对以下基本项目充分讨论。

- 1) 改造所需停用时间上的限制
- 2) 改造空间的制约——是否可以设置燃料操作设备、燃烧机的设置空间、传热面的改造、转换方法，导管施工空间等
- 3) 燃烧器、辅助设备是否可以切换或改善
- 4) 需要研究燃气量的变化和锅炉性能 (包括燃气构成 · 燃气温度 · 火焰形状等)
- 5) 燃气处理系统中排烟脱硝的最佳设置位置及通风气压降低对策
- 6) 需要研究煤碳和废弃物等固体燃烧时产生的尘埃和有害燃气成分 (卤化合物、硫氧化物、 HCl) 等 E / C 情况

具体的减排对策有转换燃料、改善燃烧效率、增设排烟脱硝设备等，各个方法在引进时需要注意以下事项。

①转换燃料

转换成低氮燃料时的注意点

-需考虑发热量的变化和锅炉特性

在同类燃料中作转换也会因为发热量或性状 (例如:C/H、挥发物/固定碳、灰分含有量、灰的熔点等)、形状等 (尺寸、破碎性、磨损性) 变化，从而影响到锅炉功能的一些基本要素，如：燃烧室热负荷 ($\text{kJ}/\text{m}^3\text{h}$)、炉膛热负荷 ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}$)、燃烧温度、空气量/燃气量、可控性等。无论新建锅炉还是现有的锅炉，必须根据其计划条件来决定燃料是否适当。

-对集尘性能的影响

由于燃烧性的变化会导致集灰量的增减、燃气气温的变化，因而会影响到集尘机的性能。

-改善燃烧室的结构

根据热负荷的增减研究传热面的对策、火焰形状对策、增设燃烧机等一系列改造情况。

②燃烧改善

- 如采用燃烧器燃烧，基本是改善低氧燃烧、高温还原炎、强回旋气流等燃烧方式来达到氮氧化物的减排目的。改善过程中必须对风箱和管道作改善；需研究如何设置灌入燃烧室内的二次三次空气管嘴、需查看燃烧室容量和火焰形状是否适当；需研究废气再循环时是否产生腐蚀。
- 如采用流动层燃烧，需改善空气比、炉内负荷、流动层温度、流动层高度等的燃烧可控条件，同时还需改善自由板高度、燃料供给法、层内传热管排列等。采用流动层的话，燃烧温度相对较低，一般做法是要控制燃料中的氮元素。但是，由于流动层内燃烧反应不充分，自由板上的未燃烧气体(CO, H₂)和飞散的灰尘会继续燃烧。在自由板部分NO还原分解成CO、NH₃、H₂等还原性气体和未燃烧粒子。但是为了控制生成NO_x，为了进行二段燃烧、废气再循环、注入氨气等，需要考虑如何改造炉结构。

③排烟脱硝设备

- 把握脱硝率:NO_x的入口浓度/出口浓度，性能的可靠性(寿命、脱硝比率)
- 负载变化:追从性、部分负载特性、燃气温度
- 二次公害:漏泄氨气等
- 燃气流动压力降低:经年变化等
- 维护管理费:要事先估算设备费、运行费(药剂、催化剂、维护费、动力费)等。
- 脱硝触媒:需要考虑最佳温度范围、脱硝性能、耐碱性、活性寿命、空间速度(SV)付尘、尘埃组成、耐热性、耐磨损性等

表 2.2-1 选定脱硝触媒应考虑的要

燃料		考虑要点
燃气		它的活性高吗、耐热性怎样?
重油		高活性、耐热性、耐硫氧化物性、耐烟尘毒性
煤碳	低尘脱硝	低硫氧化物转换率、煤尘的附着性等
煤碳	高尘脱硝	在上述内容里增加耐磨损性

(出处:《煤烟减排对策手册》,技术员用,JSIM)

- 建设位置:需考虑到燃气温度、尘埃浓度后决定建设位置。现有锅炉很多位置不恰当,设计时要注意避免燃气偏流和尘埃堆积。

2.2.2 进入设施内部检查适应考虑的事项

(1) 基本事项

电力用火力发电站中,为减排氮氧化物需要进入设施检查时,检测方与发电站方必须考虑的问

题，如表 2.2-2所示。

表 2.2-2 进入发电站设施检查时必须考虑的基本事项

项目	检验方(确认事项)	发电站方(具备条件)
锅炉设计元素等基本的信息	各设计元素(输出功率、废气量) 氮氧化物排放浓度标准值 运行记录 燃料使用量 燃料性状 热效率	设计说明书·图纸(锅炉·脱硝) 运行记录 维护记录 采购药剂记录(使用量) 燃料采购量(储藏量、使用量) 组成分析表(发热量、氮、灰分等)
运行状况	运行时间(含脱硝装置) 负荷状况	运行时间(含脱硝装置) 负荷状况
NO _x	NO _x 、排放浓度记录 最大值、平均值、总量	NO _x 测量记录 最大值、平均值、总量
监测	测量方法(测量者、日期和时间、机器)	测量仪的调整记录(跨度、校正) 机器规格(性能)

(2) 进入设施检查适应注意的具体事项

锅炉及氮氧化物减排的信息

检查方和被检查方应该共享有关待检查锅炉的确切可靠的信息

1) 有关锅炉的信息

- 额定输出、计划使用燃料(种类、混烧比、消费量、性质)、热效率
- 氮氧化物排放管制值(最高值、平均值、总量)
- 有关实际操作的信息(负载率、对负载变化、氮氧化物浓度、燃料、运行时间)
- 应该常备详细记载了锅炉及脱硝设备的结构、性能等内容的说明书、设计书、结构图纸、操作说明书等资料。

2) 需检查确认运行数据等有关事项、确认劣化现象等

运行时间(年、月、日)，开停频率、燃料消费量、热效率

消费燃料的分析值(发热量、水分、灰分、氮成份)、种类(煤炭种类)颗粒直径分布等

脱硝需要的药剂消费记录

脱硝装置的开工时间(停止时间)

烟尘浓度测量记录

是否生成白烟或因氨气漏泄而产生恶臭现象

催化剂的劣化现象和网孔堵塞、粉尘堆积现象

酸性硫酸铵等对催化部位机器的腐蚀

3) 有关氮氧化物排放的事项

NO_x 浓度记录、O₂ 浓度(空气比), SO_x 排放浓度记录

脱硝装置的维修检查记录

4) 有关监测的事项

燃料:燃料的成份分析人、分析方法、分析频度、试料采样方法

锅炉输出功率等:计量仪器的型号(模拟、电子)、间歇/连续、可靠性

氮氧化物测量:计量仪器的型号、氧气测量方法、燃气量测量方法、燃气温度测量方法

测量间隔、测量人员

测量值的可靠性:仪器校对方向和时间、校对人

5) 检验时的注意点

检测的目的是从锅炉各设计元素和运行记录中把握实际氮氧化物的排放情况,以及探讨减排的对策。因此在检测时,有2件重要事项,一是对非现场的火力发电的管理及其氮氧化物减排技术信息管理状况的检查。同时对现场实际运行状况的检查。在现场,必须随时准备好能够接受在常规负荷下运转状况的检查。另外,为了能够检测到连续的动态特性,必须使用同一时间的记录。

2.3 近几年来工业用锅炉的 NO_x 减排技术· 运行管理技术状况

日本在工业用锅炉方面所采取的氮氧化物减排对策，由于 1970~1980 年分阶段地加强管制取得了一定的效果、以及日本的燃料资源依赖从外国进口，发电燃料从煤碳燃料转换到油燃料，进一步转换为气体燃料，这种燃料的转换使 NO_x 排放量大幅地得以削减。如果单从 NO_x 减排技术来看，东京都等特定地区颁布的严格规定和惩罚条例等总量控制措施，促进了锅炉制造厂家为了占有市场份额开发出能够达到规定标准的脱硝技术，这么说丝毫不过分。2008 年修改的《节能法》公布了制造业使用工业锅炉要改善其热效率、催化燃烧器、高燃烧负荷燃烧器、空气比等的技术指标，期待着能产生更好的氮氧化物减排效果。

中国在考虑降低氮氧化物排放对策时，日本政府方面的实施成绩、生产厂家投资开发工业技术、以及企业家的守法行动，这些都具有很好的参考价值。日本的工业锅炉与电力行业不同，规模不大而运用及燃烧方式却多种多样。因此转换低氮燃料和改善燃烧方法采取这两种对策就占了大半。近几年，产业发展从能源多消费型转向节能型，工业用锅炉也不断普及，按《劳动安全卫生法》登记的锅炉建设数量，在 1978 年度达到峰值后持续减少，21 世纪后加速减少，2000~2009 年减少了 32%。传热面积小于 40 m² 的锅炉占 70%。在锅炉形式上，水管式占 11%，炉筒烟管·小型贯流·铸铁组合型占 59%。脱硝方法上，从排气脱硝转变为转换燃料和改变燃烧方式来减排。在中国，炉膛直接燃烧煤炭的情况较多，而且现有锅炉大多为难以改造的水管锅炉。因此，中国虽不能马上适用日本的经验，然而，将来在燃料供给情况、普及环境政策、追求投资效果等多方面综合研讨时，可以借鉴日本经验。

表 2.3-1 按燃料分类 产业锅炉的建设数量 2009 年度

燃料	建设数量	结构比率 (%)
油	29,938	73.7
煤碳	173	0.4
煤气	6,460	15.9
其他	4,040	9.9

出处：日本锅炉协会 不包括小型锅炉

表 2.3-2 产业锅炉的规模 2009 年度

传热面积 (m ²)	<39	40~99	100~199	200~499	500<
建设数量	28,374	7,118	2,703	1,658	761
%	70	18	7	3	2

出处：日本锅炉协会

2.4 工业锅炉对策技术适应注意事项、考虑要点

2.4.1 前言

在工业锅炉中引进脱硝技术，为了达到改善和普及的效果，要多留意该国的锅炉市场特征。日本国内的工业用以及非民用锅炉市场，如上所述因为进化为小型锅炉批量生产，加之燃气燃料正在努力向低氮氧化物转换，大部分采用改善燃烧的措施来脱硝，能达到规定指标。仅有一部分城市垃圾和工业废弃物等固体废弃物的焚烧炉中加入了排烟脱硝设备。中国在引进氮氧化物减排技术时，需根据石油、燃气、煤炭、废弃物等各种燃料的不同而注意以下几点。

• 改善燃料以及燃烧(石油燃料)

1) 研究低氮燃料转换的可能性

一般情况下，石油中的含氮量，每降低 0.01% 就可以减少 4~5ppm (O₂=4% vol 换算) 的排放量。轻质油的减排效果更佳(重油>灯油)

2) 火焰形状的变化和火焰最高温度降低会影响锅炉特性。

3) 研究水蒸气灌入和添加乳胶的可能性

有专家认为加入乳胶的做法对含有大量氮化合物的重质油效果较差，因此采取这一措施的话事先要实验一下。

4) 低空气比燃烧

低空气比恰当的话是不会由不完全燃烧产生一氧化碳、煤尘的。有必要设定低负荷的管理标准。

4) 空气预热温度降低对锅炉输出的影响

5) 引进低氮氧化物燃烧器的情况

研究喷雾特性

低空气比燃烧:研究煤尘增加问题

降低燃烧室热负荷:输出功率降低

废气再循环和锅炉输出，强制通风机容量的变更等

下降比

• 改善燃烧(燃气燃料)

1) 燃气种类:天然气、煤气、废气等的成分组成

2) 火焰形状:薄膜火焰、炉内燃气再循环法、二段燃烧法、稀薄燃烧法、分散火焰法等

3) 下降比

4) 结构面的限制:管群燃烧、陶瓷燃烧器等

5) 安全对策:煤气相关的规则，技术标准

将煤炭燃料转换为油、气体燃料时，可根据锅炉日志等进行节能诊断；通过导入高效的锅炉系统实现节能化、污染物质的减排。该手法的具体内容，记载于本指南的 4.3 “中国工业用蒸汽锅炉效率提升和 NO_x 削减事例” 章节中。

• 改善燃料、燃烧(煤碳)

煤碳等固体燃料根据燃烧方式的不同改善的方法也有很大区别。燃烧方式基本分链条炉排燃烧(Stoker)、流动床燃烧、燃烧器燃烧(细粉末炭燃烧)。在引进氮氧化物减排技术时要探讨以下几点。

1) 煤中氮含量、燃料比率,

2) 链条炉排燃烧(Stoker):

链条炉排燃烧方式按给煤方式不同,分为撒播型和上挤型。按移动方向不同分为正转给煤和逆转给煤。每个方法都有相适合的煤炭特质和颗粒大小,对氮氧化物的生成也有很大影响。负载率、空气比、空气分配、火层厚度、局部燃烧、火焰、浮游燃烧率、空气温度等与煤炭特质相互作用,影响热力型氮氧化物的生成。这些锅炉厂商设计燃烧结构时采用的技术特性,根据每个锅炉型式各不相同,因而引进技术时需要接受设计厂商的辅导,或充分确认相关技术信息。中国大量使用煤粉,煤的尺寸关系到通风现象的发生、火层厚度、通气性,所以也是生成氮氧化物的重要因素。

一般从低空气比燃烧着手改善。

3) 流动床(层)燃烧:

有气泡型流动(层)和循环流动层,流动层内温度低于热力型氮氧化物生成温度,可以有效降低氮氧化物排放,相比其他燃烧方法产生的氮氧化物少。

为了降低流动层内温度,可以装备层内管。如发生层内温度低而氮氧化物浓度高的情况,应该认为这是由煤生成的氮氧化物。

4) 燃烧器燃烧(煤粉燃烧、燃气燃烧、油燃烧):

技术上根据电力火力标准,现有锅炉规模较小受到一定的限制。使用煤粉燃烧时要注意跟煤炭粉碎机的关系、以及二段燃烧、浓淡燃烧、分割燃烧各自的空气比,熟化、未燃部分、火焰形状、燃烧室的结构。燃气燃烧、石油燃烧时,燃烧室热负荷通常过高,需要考虑降低燃烧温度的方法。

• 排烟脱硝设备

基本与电力锅炉一样。但如果是蒸汽量在 20t/h 以下的小型锅炉,建议使用燃料转换或炉内脱硝的做法。

参考资料:

1. 脱硝装置、煤碳火力发电特集,火力核能发电,Vol 35 No10
2. 氮氧化物减排对策、能源事典(百科词典)、日本能源学会(2009)
3. 火力发电技术、能源便览、工艺篇、KORONA(可若那(音译))公司(2005)
4. 锅炉年鉴、48号、JBA(2010)
5. 锅炉中煤尘处理系统的指标、JSIM(1983)
6. 《降低煤烟技术手册(技术员用)》,JSIM(1992)

7. 《新能源设想》，电中研(1998)
8. 《电事业连合会调查资料(2008)》
9. 各电力公司的环境报告、环境行动报告书(2010)

2.4.2 工业用锅炉 NO_x 减排的相关背景

工业用锅炉的炉罐不同于发电事业用锅炉或民生用（大厦暖气等）锅炉中所用的炉罐，一般处于多种运转条件下使用。特别是由于不同行业有不同的锅炉使用方法，因此，实施的燃烧管理和排烟处理方面的对策要符合各类型锅炉特性（锅炉类型、煤炭燃料等）。

近年来，在中国城市中，已有导入以石油、燃气为燃料的高性能小型锅炉取代已有的工业用煤炭锅炉的事例。但另一方面，在全中国范围内，仍主要使用以煤炭为燃料的锅炉，且在限制 NO_x 排放前的年代设置的采用移动床炉箄子燃烧方式的锅炉占多数，NO_x 排放量少的流动层燃烧方式还未普及。表 2.4-1 中展示了工业用锅炉的一般特点。这些特点是今后在制定针对已有锅炉的 NO_x 减排对策、进行炉罐改造和设计燃烧设备等机器时，应加以考虑的内容。

表 2.4-1 中国工业用煤炭锅炉的一般特点

项目	特点
规模	小规模（蒸发输出 <30t/h 占大半）
使用燃料	煤炭：烟煤，粒子直径大、煤粉比高 石油、燃气类：轻油、LNG 等
锅炉类型	煤炭、石油、燃气类：自然循环水管式 燃气、石油类：强制循环水管式、炉筒烟管式
燃烧方式	煤炭：顺送链式炉箄子、分离式燃烧、流动层燃烧 石油、燃气类：燃烧器燃烧
热媒介	饱和蒸汽（蒸汽压一般<1MPa）
排烟处理	除尘：水膜除尘、单气旋、多气旋 脱硫：湿式排烟脱硫 脱硝：导入的事业所较少
运转形态	一般为 DSS(每天启动/停止)，且热需求较大的工厂一般都配备备用炉罐，采取多罐运转的方式。
控制	煤炭：手动供炭控制方式占大多数 石油、燃气类：ACC 方式（比例控制、位置控制等）有望得到普及

除了上表所示的一般特点外，作为导入已有炉罐的 NO_x 减排技术的相关信息，还包括为兼顾生产活动研究在改造期间能否停止送气、为进行下一项学习案例中所述的工程设计研究的负载特性、燃料品质及变动幅度、燃烧室构造、燃烧设备类型、通风方式、热效率、烟道风道有无改造空间、废气性状等。另外，从管理角度来说，还需要贯彻标准运转法；针对煤炭和液体燃料中的 N 含量、S 含量、灰分、水含量等，确立采购条件；实施保管管理以防止燃料劣化；针对废气中的大气污染物质，定期实施测量管理。

2.4.3 有关小型煤炭燃烧锅炉的学习案例事例

(1) 学习案例对象

作为 NO_x 减排的学习案例事例，将以表 2.4-2 中所示的中国工业用锅炉中使用最多的典型性双罐式小型煤炭焚烧锅炉为对象，通过实施该学习案例，研究 NO_x 减排所需的改善对策、筛选课题。该学习案例事例在 NO_x 减排对策的改善手法和课题发现方面，与设置于相同条件下的产业用和供热所用小型煤炭焚烧锅炉具有不少共同点，可进行参考。

表 2.4-2 制定 NO_x 减排对策的学习案例锅炉的要点和规格

锅炉设置工厂所在的行业	A 公司（乳制品制造业）	B 公司（食用油制造业）
锅炉类型	自然循环 水管式	自然循环 水管式
所用的煤炭燃料	烟煤：煤粉/煤块 粒子直径：3-5 mm Max 5 mm 组成 ⁽¹⁾ ： ① 碳 水含量 5.72%、Ash 10.82%、 V/M 27.36%、F/C 55.48%、 N *%、HHV 5,293 kcal/kg ② 碳 水含量 1.96%、Ash 30.11%、 N 0.22%	烟煤：煤粉+煤块 粒子直径：平均 20mm 组成 ⁽²⁾ ： 水含量 15.35%、Ash 17.29-19.61%、 V/M 33.38-30.41%、 F/C 54.68-55.29%、 N *%、HHV 5,178-5,049kcal/kg
燃烧方式	顺送链式炉炉箅子	顺送链式炉炉箅子
通风方式	平衡通风式	平衡通风式
最高使用压力(MPa)	10	1.6
常用压力(MPa)	8.5	1.35
蒸发量(额定 t/h)	15	25
蒸发量(常用 t/h)	Max. 9 Min. 4	22

蒸汽温度 (°C)	饱和	饱和
供水温度 (°C)	Max. 38 Nor. 30 Min. 25	105
计划热效率 (%)	—	78
运转时间 (hr/yr)	24hr × 300day=7,200	24hr 连续
NOx 排放浓度 (mg/Nm ³)	224 (O ₂ = 12.9%vol.)	150 (O ₂ =8.2%vol.)
其他	设置湿式排烟脱硫装置 常态负载为额定输出的约 30%	设置湿式排烟脱硫装置 常态负载为额定输出的约 85%

备注：(1 (2 : 分析值中有不一致的地方。V/M: 挥发量 F/C: 固定碳含量 HHV: 高放热量

*无测量值

(2) 研究领域

此次着眼于燃烧、废气处理、工程设计领域，对学习案例中的 NOx 排放抑制对策进行了研究。

① 燃烧领域

- Fuel NOx 的影响
- 改善燃烧机构带来的削减效果
- 低 O₂ 燃烧等的削减效果
- 提升热效率等的削减效果

② 排烟脱硝装置的设置

- 设置的可能性等

③ 工程设计领域

- 改造所需的计划、设计、制作、工程、验收等课题
- 辅助机构的性能等相关信息

④ 其他对策

- 燃烧方式的改造等 · · 微细煤粉燃烧、流动层燃烧、分离式燃烧等

(3) 针对学习案例的研究结果

① Fuel NOx 的削减

关于使用的煤炭中的 N 含量，接收方未进行炭质管理，使用时仅参考了供应方提供的点式分析值和预测值，未实施充分的成分管理。只是设想若 N<0.2%db，则生成的 NOx 中 Fuel NOx 的量较少。因此，将该炉罐的燃料转换为低 N 煤炭后收到的效果不显著。

② 燃烧改善

顺送链式炉炉箅子燃烧是一种难以对 NO_x 的排放进行控制的燃烧方式。图 2.4-1 中展示了使用该炉箅子的燃烧机构。顺送火层中的燃烧仅在较长方向的火层面范围内进行，在该火层中将完成干燥、加热、干馏、氧化、还原这一连串的燃烧过程。如火层较厚，则容易因产生的灰分造成卷入现象或粘结导致窜气现象，从而形成局部高温燃烧区域。在低负载时容易形成的薄火层中，由于燃烧区域短，燃烧将在短时间内结束，因此，在氧化区域内局部区域会进行激烈的燃烧。上述的所有现象都是导致 NO_x 生成的要因。另外，由于炉箅子构造上的原因，燃烧容易受到煤炭粒子直径的影响，形成妨碍均匀燃烧的窜气燃烧、灰渣增加、形成过剩空气燃烧。在学习案例的对象炉罐中，A 公司以额定输出的约 30% 的低负载运转的炉罐，针对炉箅子燃烧过程的 NO_x 削减对策，空气分配的改善和燃烧火层的可控范围在低负载条件下无法实现，因此，对策的实施存在困难。

而在 B 公司以额定输出的 85% 以上的高负载运转的炉罐方面，倾向形成 100~150mm 厚的火层，容易加快炭层上部的挥发成分的燃烧，堆积于表层部的灰尘将阻碍下层燃烧，还会发生灰尘卷入，未燃烧部分增加，均匀燃烧的状态遭破坏，局部出现窜气燃烧的现象，成为导致 NO_x 生成的要因。因此，要抑制 NO_x 的生成，必须从炉箅子着手进行改善，如在炉箅子下风箱处设置分隔，采用可对风压力进行控制的构造，在煤炭切割高度和供应速度调整方面，采用与蒸汽输出关联的自动控制方式，以此根据燃烧进展状况，在必要的区域供应合适的空气量，从而有效抑制 NO_x 的产生。从一般倾向来看，顺送炉箅子燃烧难以进行对火面的控制，这种类型炉箅子无法整面在燃烧中使用。另外，这种燃烧方式无法从构造上对二次空气带来的削减效果和火焰的还原环境进行改善，因此是一种难以抑制 NO_x 生成的燃烧方式。

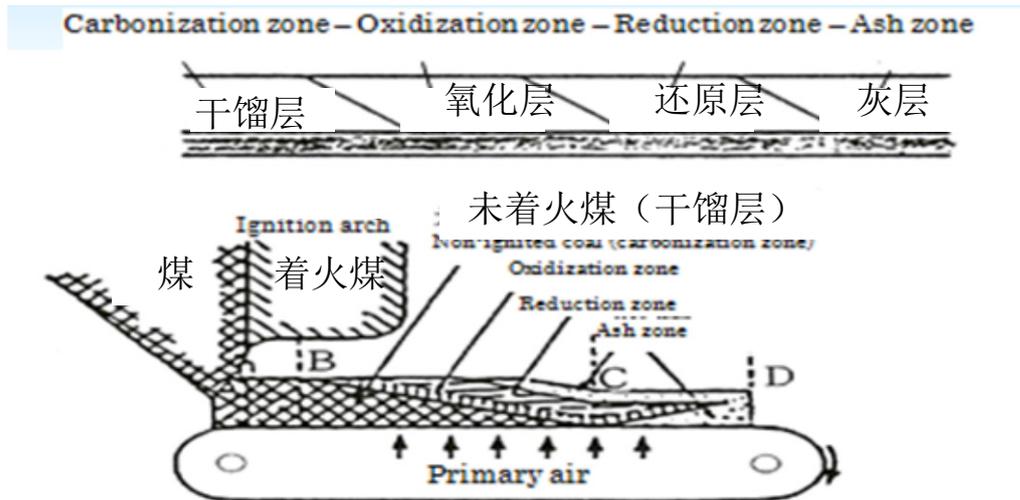


图 2.4-1 顺送链式炉炉箅子的燃烧机构

(出处: TAKUMA 产品目录)

③ 低 O₂ 燃烧

在低 O₂ 环境中进行燃烧的方式是通过废气循环法和抑制一次空气量，使空气量接近理论空气量，抑制 O₂ 量，从而削减 NO、NO₂ 生成的方式。从燃烧机构来看，由于燃烧区域广且难以维持稳定的反应相，所以顺送移动床燃烧对一次空气量的削减以空气比 < 1.4~1.5 的程度为最低限度。因此，难以期待该炉罐的 NO_x 生成量削减效果，低 O₂ 燃烧运转的实现存在困难。

废气再循环法是将浓度为 6~12% vol. 的 O₂ 和部分低燃烧废气与新鲜空气混合后，作为燃烧用空气加入炉内的方法。采用这一方法时需研究的课题是，应注意炉箅子成分的耐火性、露

点的形成、风道等气体接触部的防腐蚀对策。

NO_x 削减效果与负载状况、炭质、气体温度、循环气体量密切相关，虽然有通过试焚烧进行实证的前提，但如果解决了上述研究课题，采用该方法就有望实现 10~15%的削减效果。但目前，B 公司的已有炉罐燃烧后生成的 NO_x 浓度为 150mg/Nm³，在此情况下，要实现 5~10%以上的削减可能会导致燃烧状况的不稳定，因此该方法可能无法取得显著效果。另外，A 公司的炉罐是在低负载状态下运转的，难以进行空气分配的调整。

(4) 其他削减对策的探索

① 热效率的提升

作为 NO_x 排放总量的削减方法，可通过提升热效率，削减燃料消耗量和废气量。如配备了节碳器和空气预热器，仅以负载平均化和燃烧改善为改善对象，NO_x 削减效果将 <2%。空气预热在火层方面受到烧结块生成等炭质方面的限制，在高温回收方面受到限制。

② 燃烧室热负载的削减

学习案例中的锅炉的燃烧室热负载是合理的，而对于高负载条件下运转的锅炉或高热负载的锅炉，将蒸汽喷入炉内，可降低燃烧温度，从而抑制 NO_x 的生成。此时，为避免蒸发量的降低，必须在低温部增加热回收导热面。

③ 排烟脱硝（喷入 NH₃ 等）

该锅炉中，不存在可获得 NH₃ 的脱硝效果的烟道废气温度 >300℃ 的温度区域，如将 NH₃ 喷入 150℃ 的低温部，则损耗较大，且脱硝效果甚微。另外，缺乏保障充分反应时间的空间。

④ 向微细煤粉的转换（采用低 NO_x 燃烧器（使用煤炭燃料的案例））

从燃烧室构造角度来看，必须对设置燃烧器所需的水管构造进行大幅度的改善。{例：改造为可保证完整的火焰形状的燃烧室、变更辐射传热面的构造、对燃烧气体量和锅炉输出的关系等进行研究} 最大的课题是由于是小规模锅炉，采用微细煤粉将导致动力费用增加、操作复杂化，得益较少。

(5) 工程设计

不仅是该炉罐，作为使用工业用锅炉的企业面临的共通课题，可列举出以下几点。

① 没有常备设置锅炉相关的设计资料、规格书、构造图和性能试验结果表。因此，针对 NO_x 对策的技术性研究仅凭交货厂家难以实现。企业应在采购时索要最低限度的维持管理、改善维护所需的相关文件。

② 尤其是热平衡计算书、风量特性试验表、材料明细表、燃烧功能相关文件不完备时，难以从工学角度制定改善对策。

2.4.4 针对小型煤炭焚烧工业用锅炉的 NO_x 削减对策的提案

针对已有锅炉和新设锅炉采取的 NO_x 削减对策存在一定差异。尤其是针对已有锅炉的对策需要一定的步骤，实施时必须对实态把握、改善停止期间、对策费用等问题进行研究。

已有锅炉的改善

(1) 对使用的煤炭实施彻底的炭质管理

视煤炭的 N 含量对 Fuel NOx 的影响。由于燃烧条件会因为炭质而改变，因此应进行管理，使用符合计划的基准炭质的煤炭。而目前，工业用煤炭锅炉的管理者基本对炭质的管理都不到位。建议根据以下项目，对采购的每种炭的分析值进行确认。

- 放热量 (kcal/kg kJ/kg) ……对燃烧性、煤炭价格、煤炭消耗量有影响
- S (%db) N (%db) ……对 SOx/NOx 浓度有影响
- 粒子直径分布 ……对燃烧性、NOx 生成有影响
- 挥发物质含量 (%db) 水含量 (%) 固定炭 (%db) 灰分 (%)
……对燃烧性、NOx 生成有影响

(2) 对运转现状的确认

为把握改善的大致标准，应对表 2.4.3 中所示的运转状况加以把握。尤其是针对负载变动剧烈的锅炉、低负载或过负载运转的锅炉，必须确认运转时火床上燃烧点的移动、局部燃烧状况、火层厚度等信息。

表 2.4.3 运转状况的确认项目

确认项目	单位	备注
NOx 排放浓度	mg/Nm ³	O ₂ 浓度测量值
常态蒸发量负载率	%	平均蒸发量/额定蒸发量×100
燃烧用空气温度	℃	预热空气量率
煤炭炭质	%, kcal/kg	N、S、放热量、灰分、挥发物质
废气温度	℃	
NH ₃ 喷入量	kg/h、%	实施脱硝时，NH ₃ 的纯度

(3) NOx 排放削减对策

以对已有锅炉的运转状况的确认为基础，改善对策如下所示。

- ① 转换为低 N 炭……削减 Fuel NOx 的产生量
- ② 燃烧改善……削减 Thermal NOx 的产生量

低 O₂ 燃烧

移动床燃烧……改善风箱、实现火层的均匀化、控制空气量（低空气比燃烧）

微细煤粉燃烧……实现低空气比燃烧

流动床燃烧……实现低温燃烧和流动层内温度的控制

废气再循环废气作为燃烧用空气实现循环。（低 O₂ 燃烧）

削 减燃烧室热负荷 室内喷入蒸汽实现低温燃烧

采用低 NO_x 燃烧器……二段燃烧法、浓淡燃烧法等，市面上已有不少该类设备

③ 排烟脱硝

选择性非催化还原脱硝法

在燃烧炉内或废气烟道中喷洒 NH₃ 的喷雾作为还原剂进行脱硝的方法。
气体温度较低时，脱硝率会下降。

针对新建锅炉的对策

(1) 导入低NO_x排放型燃烧方式

按照使用煤炭燃料时，不同燃烧形式的锅炉实施 NO_x 生成抑制对策的难易度，对锅炉排序，以烟煤为例，排序结果如下。在选定机种时，应确保导入的机种符合 NO_x 排放限制时代的要求。固定炭含量较多的煤炭无法使用以一定火焰长度和辐射持续进行燃烧的炉算子燃烧方式。另一方面，流动床燃烧（沸腾型、循环型）是利用流动媒介进行低温燃烧的方式，生成的 Thermal-NO_x 最少，主要是在低温区域生成的 N₂O，因此，只需注意煤炭中的 N 含量。同时，可轻松实现 SO_x 的炉内脱硫，因此可以说是一种大气污染抑制型的锅炉。

流动床燃烧（沸腾性、循环型） < 微细煤粉燃烧 < 分离式燃烧 < 移动床炉算子燃烧
--

(2) 低空气比燃烧设备的应用

无论采用何种燃烧形式，低空气比都是抑制 NO_x 生成的基本条件，也有助于节能。

(3) 燃烧室热负载

应避免选择燃烧室热负载过度的锅炉。虽然热负载越高，NO_x 生成量越容易增加，但由于燃烧室容积变小，价格也相对低廉。导入时，在对厂家进行比较选定时，应作为 NO_x 减排的指标加以注意。

热效率高的锅炉一般辐射热的吸收率也较大，因此，目前有将燃烧室热负载设计得较高的倾向，这一点从产生 NO_x 的角度来看有不利影响。在导入前应对使用的炭质、锅炉价格、蒸汽负载变化等因素进行全面考虑。

(4) 排烟脱硝

如果仅利用使用的煤炭和燃烧方面的对策无法达成标准时，应进行排烟脱硝。考虑到工业用锅炉运用方面等因素，建议实施选择性非催化还原脱硝法（SNCR）或干式同时脱硝脱硫。虽然还有其他多种排烟脱硝方式，但由于工业用锅炉多为小规模锅炉，因此应采用无需催化剂再生和水处理，维护和维持费较低的方式，以实现简化排烟脱硝的过程。

参考资料

1. 脱硝装置、煤炭火力发电特辑、火力核能发电 Vol 35 No10
2. NO_x 减排对策、能源的百科全书 日本能源学会（2009）
3. 火力发电技术、能源手册、过程篇 CORONA 出版社（2005）
4. 锅炉年鉴 48 期 JBA（2010）
5. 锅炉用煤尘处理系统指南 JSIM（1983）

6. 煤烟削减技术手册（技术者用）JSIM(1992)
7. 新时代能源构想 电中研（1998）
8. 电气事业联合会调查资料（2008）
9. 各电力公司环境信息、环境行动报告（2010）

2.5 近几年来钢铁厂 NO_x 减排技术及其运行管理技术状况

2.5.1 钢铁产业的生存环境

钢铁产业代表了一个国家的实力，也是基础生产力。所以针对这个行业，各主要国家都采取了一系列政策来保持具有一定的产业规模。日本的钢铁产业所处的市场环境非常严峻。国内的需求基本停顿，还受到中国、印度、韩国等赶超的影响，企业需淘汰一些老朽设备、资产合并、重组。日本的钢铁行业从最初的 1953 年川崎制铁所(千叶)开始生产，之后陆续建设了一批大型高炉、带钢热轧机、纯氧转炉等最先进的设备。日本在 1973 年粗钢产量达 1.2 亿吨，继前苏联、美国之后排世界第 3，到了 1982 年更是达到世界第 2 位。不过，此后钢产量逐年下降，至今维持在每年 1 亿吨左右。另一方面中国的粗钢生产量增长显著，1996 年达到世界第 1 位，2010 年的产量占全世界总量的 45%，中国、印度、韩国 3 国都呈现持续增长。图 2.5-1 显示了最近几年日本、中国、印度、欧盟的粗钢产量推移。

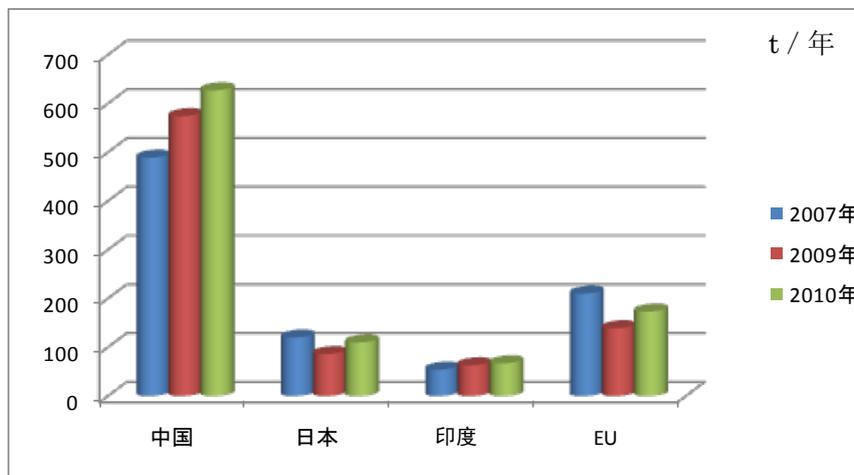


图 2.5-1 最近粗钢产量的推移 (出处: 日本钢铁连盟)

钢铁生产过程整个工序以高炉为核心由烧结炉、焦炭炉、高炉、转炉、电炉和铸铁锭、分块、轧钢加工等构成。炼钢过程中产生的导致污染空气的物质主要有 SO_x、NO_x、煤尘。日本的 5 大高炉公司对 NO_x 采取以下措施：减少燃料使用量、使用 LNG·LPG 等清洁燃料、使用低硫磺/低氮煤；合理管理燃烧、设置低 NO_x 燃烧器、加入废气处理装置等。从直接污染大气环境的单位能源来看，日本的炼钢厂具有世界最高水准。如以日本为 100 指数，中国则是 129，韩国是 107，印度是 132。而且，为了使能源消费合理化、防止全球变暖、确保燃料资源有效利用，日本在 2008 年修改了《节能法》，该法律将钢铁产业(高炉炼钢产业、炼钢轧钢产业、钢材制造业等)指定为高能耗特定行业，从中长期的角度要求行业采取合理化使用能源的相关措施。表 2.5-1 显示了 5 大高炉公司 15 个高炉设施的运行状况。图 2.5-2 表示各主要国钢铁产业能耗情况。表 2.5-2 显示了按制造业行业分类的能耗比率。

表 2.5-1 日本高炉设施的运行状况

企业名称	炼钢厂	高炉编号	炉容量(m ³)	最近一次点火
新日铁	君津	第 2 高炉	3,273	2009 年 10 月
		第 3 高炉	4,822	2001 年 5 月
		第 4 高炉	5,555	2003 年 5 月
	大分	第 1 高炉	5,775	2009 年 8 月
		第 2 高炉	5,775	2004 年 5 月
	名古屋	第 1 高炉	5,443	2007 年 4 月
		第 3 高炉	4,300	2000 年 4 月
	八幡	户田第 4 高炉	4,250	1998 年 2 月
室兰	第 2 高炉	2,902	2001 年 11 月	
日新制钢	吴	第 1 高炉	2,650	
		第 2 高炉	2,080	2003 年 11 月
住友金属	鹿岛	第 1 高炉	5,370	2004 年 9 月
		第 3 高炉		2007 年 5 月
	和歌山	第 5 高炉		2012 年休止预定
		新第 1 高炉	3,700	2009 年 7 月
		新第 2 高炉	3,700	2012 年预定
	小仓	高炉		2002 年
神户制钢所	加古川	2 号高炉	5,400	2007 年 5 月
		3 号高炉	4,500	2007 年
	神户	新第 3 高炉	2,112	2007 年 12 月
JFE	千叶	第 6 高炉	5,153	1998 年 5 月
	京浜	第 2 高炉	5,000	2004 年 3 月
		第 2 高炉	4,100	2003 年 11 月
	仓敷	第 3 高炉	5,055	2010 年 2 月
		第 4 高炉	5,005	2002 年 1 月
	福山	第 2 高炉	2,828	1998 年 9 月
		第 4 高炉	5,000	2006 年 5 月
		第 5 高炉	5,500	2005 年 3 月

(出处:日本钢铁连盟)

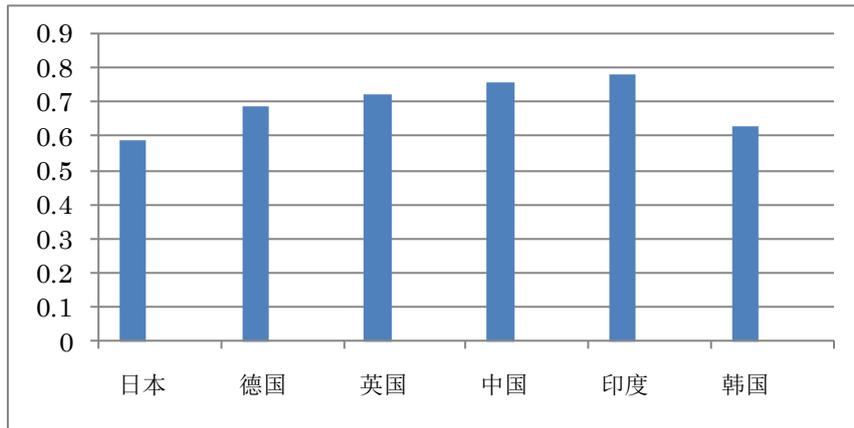


图 2.5-2 各主要国钢铁产业的能耗比较 (单位:t-oil/t 粗钢)
(出处:能源效率的国际比较 RITE, 2008)

表 2.5-2 各制造业能源消费比率 (2008 年度)

行业	能源消费率(%)
钢铁产业	27.2 (内原材料 74%)
化学制造业	35.5
造纸·纸浆业	6
窑业·土石产业	5.5
非原材料相关	25.8

出处:《能源白皮书 2010 年度》

2.5.2 各公司的 NO_x 排放状况

日本各钢铁公司的经营基本方针之一就是要把环境放在首位,将环保成果公开,编制《环境报告书》。虽然各钢铁公司每年的氮氧化物排放量因为高炉停运、炉容量基数不同而很难做比较,但数据显示各公司都在尽力做好减排的工作。图 2.5-3 显示各炼钢厂 NO_x 排放量的推移。

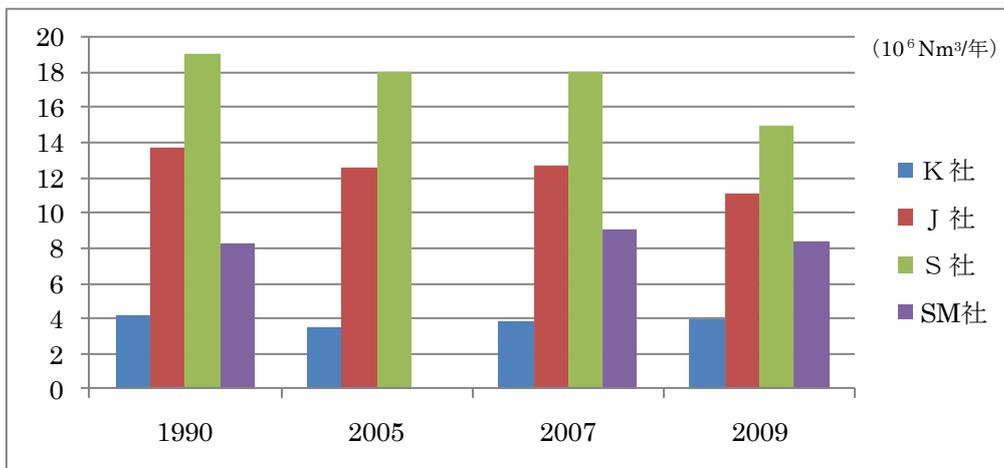


图 2.5-3 各钢铁公司 NO_x 排放量的推移 (出处:各公司 2010 年版环境报告书)

2.5.3 各公司的 NOx 削减对策

各钢铁公司都致力于削减 NOx 以及 SOx、煤尘、化学物质(苯·VOC·Dxn 类等), 从而降低环境负荷。以 K 公司为例, 其投资在环保及相关设备的维护费用约 30 亿日元(2009 年度设备投资额), 维护管理费 310 亿日元。其中防止大气污染所需的维护管理费占 37%。据报告显示, 各公司在 NOx 减排上采取了以下措施。

- ① 节能对策:减少燃料的使用,
- ② 转换燃料:使用清洁燃料
- ③ 燃烧管理的合理化:低空气比燃烧、限制炉温过高、稳定炉压,
- ④ 设置低 NOx 燃烧器、废气循环利用
- ⑤ 增设或改造脱硝装置:烧结设施等
- ⑥ 通过回收利用焦炭干式灭火设备 CDQ(Coke Dry Quenching)产生的余热, 达到节能和废气处理的目的
- ⑦ 通过实时监控管理来改善操作管理: 确认是否正常运行

监控标准值和协定值,

履行与当地签署《环保协议》中的责任



照片 2.5-1 新设节能形 CDQ 的事例 (出处:J 公司环境报告 HP)



照片 2.5-2 烧成炉废气处理设备(出处:J 公司环境报告 HP)

2.6 引进炼钢相关对策技术时的注意点、要点

2.6.1 引进技术时的注意点、应考虑的要

钢铁产业由于在各种工业领域中规模最大、能耗最高。排放 NO_x 的设备有烧结炉、焦炭炉、加热炉、锅炉等；燃料的种类也涉及很广，有高炉煤气、焦炭炉煤气、重油、液化天然气、液化煤、粉炭等。钢铁产业排放的废气具有高浓度粉尘、含有有毒物质的特征，其主要对策是把燃料转换为低氮燃料。引进技术时，必须充分考虑每个设备在燃烧过程中的适应性、经济性、运用、技术可靠性、减排效果等。对于各关键设备具体需针对以下事项进行研究。

- 对投资效果作出正确的评价：要从社会影响、降低地区环境负荷等广泛的角度对于环保效果进行计量性评价。由于这些设备规模大且长期连续运行，设备建设后的可靠性和寿命都会对当地环境具有潜在的风险，因而运用环境会计法去评价其投资效果非常重要。
- 中长期角度考虑固定费用和变动费用之后决定设备种类：正确估算固定资产折旧、设备维护费、潜在风险、消耗品、药剂费等的损益分界点，
- 烧结炉：很大程度受到焦炭投放比率、吸风量、原料层厚度的影响，要求从技术角度选择烧结矿的品质、生产效率
- 轧钢工序：增设低 NO_x 燃烧器时需要讨论火焰形状、通风方式、燃烧器风箱空间等项目。
- 焦炭炉：一般需考虑燃料转换、低空气比燃烧、二段供给燃烧等。同时，COG 的脱硫脱硝也是必须考虑的重要事项。炉内构造和温度，控制方法都是锅炉制造厂的重要技术。如果自己公司不具备管理技术，那就需要请锅炉制造厂进行技术指导。
- 燃料转换：跟油和燃气相比，粉炭燃烧产生绝大多数的是燃烧型 FuelNO_x，如果使用低氮煤效果较好。根据炉内构造不同可探讨低氧燃烧、炉内脱硝等方法。
- 排烟脱硝设备：对于烧结炉的排烟脱硝的课题是高浓度粉尘以及催化剂所含毒素。对于焦炭炉需讨论燃气温度和催化反应温度。

2.6.2 进入设施内部检查时应考虑的事项

(1) 基本事项

表 2.6-1 中列举了为了达到 NO_x 减排目的，对烧结炉、焦炭炉、高炉、转炉构成的整个钢铁产业工序设备进行现场检查时需要注意的基本事项。这与其他工业设备现场检查不同，检查在设备持续运行条件下进行，而且排放 NO_x 的各个设备都是独立的体系，需要特别选定检查对象。检查的设备规模大、用气量也大，检查方与受检方之间要对检查的要领、次序、项目、实施时间、开工等各方面，细心地事先去调整。

表 2.6-1 发电站设施现场检查时应考虑的基本事项

项目	检查方检查(确认事项)	炼钢厂方(具备条件)
炼钢厂的基本信息	明确检查对象设施 确认炼钢厂的基本要件 • 原料→产品的物质收支 • 把握整体工序 确认主要设备规格 NO _x 排放浓度的标准值 运行记录 燃料使用量·燃料特性	计划说明书·图纸(特定设备及脱硝对策) 运行记录 维护记录 采购药剂记录(使用量) 燃料采购量(储藏量、使用量) 组成分析表(出发热量、氮、灰分等) 原料
运行状况 (特定设施)	运行时间(脱硝装置含) 负荷状况	运行时间(含脱硝装置) 负荷状况
NO _x (特定设施)	NO _x 、排放浓度记录 最高值、平均值、总量	NO _x 测量记录 最高值、平均值、总量
监测 (特定设施)	测量方法(测量人、测量时间、机械)	测量仪的调整记录(跨度、校正) 机器规格(性能)

(2) 现场检查中具体应考虑的事项

1) 关于明确的检查对象设备检查及NO_x减排对策的信息

对于将要检查的设备，检查方和被检方需要共享正确的信息。

① 焦炭炉

1) 焦炭炉相关信息

- 额定煤碳投放量、煤碳种类及特性、粉碎后的尺寸
- NO_x 规定排放量(最高值、平均值、总量)
- 实际运行的相关信息(负载率、负载变化、NO_x 浓度、燃料、运行时间)
- 常备关于炉内构造、COD/CDQ 等燃气及机器性能的详细规格书、设计书、构造图纸、操作说明书等

2) 运行数据等有关事项、劣化等的确认检查

运行时间(年、月、日)、开停频率、煤炭消费量、热效率

煤碳分析值(发热量、水分、灰分、氮成份)、种类(煤炭种类)颗粒直径分布等

空气比控制方法和实际操作情况(包含预热温度)

如装有脱硝设备→脱硝药剂的消费记录

脱硝设备的运行时间(停止时间)

煤尘浓度测量记录

是否生成白烟或因氨气漏泄而产生恶臭现象

催化的劣化现象和网孔堵塞、粉尘堆积现象

酸性硫酸铵等对催化部位、机器部位的腐蚀

3) 关于 NO_x 排放

NO_x 浓度记录、O₂ 浓度(空气比)、SO_x 排放浓度记录

脱硝装置的维护检查记录

4) 关于监测

燃料：燃料的组成分析人、分析方法、分析频率、试料采样方法

环境测定计量仪器的型号(模拟、电子)、间歇/连续、可靠性

NO_x 测量：计量仪器的型号、O₂ 测量方法、气体测量方法、气体温度测量方法

测量间隔、测量人

测定值的可靠性：机器校正方法和时间、校正人员

② 烧结工序

1) 关于烧结炉的信息

使用燃料的种类、特性(氮分、硫分等)，

炉内构造、废气脱硫脱硝的规格、结构图等相关信息

2) 运行数据相关事项：按照上述焦炭炉标准。

3) NO_x 排放相关事项：按照上述焦炭炉标准。

4) 监测相关事项：按照上述焦炭炉标准。

③ 高炉

一般情况下，高炉废气可以通过炉顶压发电、除尘后作为钢铁厂内热能使用等进行再利用。因此通过燃烧等不同用途，最终各自在不同的燃烧设备中做脱硝处理。检查的时候按照上述设备检测标准执行。

④ 轧钢工序等

1) 关于加热炉等燃烧设备的技术信息

按照上述设备标准。使用燃料包括液化 LNG、石油等的特性(氮分、硫分等)的信息

与连续铸造相关的再资源化工序信息

关于燃烧管理的控制、记录、设备等信息

2) 排烟脱硝设备的信息等按照上述设备标准。

2) 检查检查时应留意的事项

① 复合检查检查和评估

关于一贯式炼钢厂的 NO_x 排放的检查，需要从两方面进行检查，一方面是各工序的规模、设备组成、原料、燃料等设备规格方面的静态特性，另一方面是关于操作技术的动态特性。从各工序排出来的大气污染物质，产生的原因有多方面而且会带来综合性的影响。因此在控制发生和采取减排对策方面，就需要根据煤尘、SO_x 和其他的气体成分、温度等计量性的数据对行为进行评价。

② 节能对策和其他相关事项

如果把检查当成是单纯地了解实际状态以及是一种行政行为的话，检查只达到一半的目的。对于所有燃烧设备来说，燃料消费量和废气排放量的减少是和节能政策息息相关的。而节能政策来说是防止空气污染政策中不可缺少的技术政策。日本的钢铁产业主动制定了二氧化碳(CO₂)减排的行业行动指南。即使在竞争激烈的市场环境下，近几年也对节能减排进行了大规模的投资。节能减排对策是和 NO_x 的减排密切相关、能够取得更大的协同效果的对策。具体的协同效果的事例如下所示。

- 燃烧温度的降低→延长炉内耐火寿命、减少散热损失
- 低空气比→减少动力
- 高度自动化燃烧控制→高效率、减少人工

参考资料:

1. 日本钢铁连盟调查资料(2010)
2. 能源效率的国际比较, RITE(2008)
3. 新日本制铁、JFE 钢铁、神户制钢所、日新制钢等各家公司的环境报告书(2010)
4. 《锅炉年鉴》48 号, JBA(2010)
5. 《锅炉中的煤尘处理系统指南》, JSIM(1983)
6. 《降低煤烟技术手册(技术员)》, JSIM(1992)
7. 《新一代能源设想》, 电中研(1998)
8. 《电气事业连合会调查资料(2008)》
9. 《降低煤烟技术调查报告书》, JSIM(1991)
10. 《能源白皮书 2010 年度版》(2010)

2.7 近几年有关水泥生产方面的 NO_x 减排对策技术以及运行管理技术的状况

2.7.1 水泥生产中氮氧化物削减对策

(1) NO_x的运行管理

作为防止 NO_x 排放管理的措施，水泥窑在运行过程中，通过红外线吸收法连续监测废气中的 NO_x 浓度，烧成控制室做连续记录，来进行监控。另外，以实际数值按照 10%的氧化浓度换算出 NO_x 数值，连续纪录瞬间值、1 小时平均值以及 24 小时平均值，进行运行管理以便排放量始终能满足排放标准及总量控制标准值。同时，向各市镇村政府汇报排放量。

表 2.7-1 日本的 NO_x 排放标准

设备种类	标准值(O ₂ =10%)
1975 年 12 月 9 日以前安装的设备	480ppm
1975 年 12 月 10 日以后安装的设备	250ppm

(2) NO_x削减对策

NO_x 削减对策有燃料、燃烧法、装置等各种技术，对策技术一览表如表 2.7-2所示。

表 2.7-2 NO_x 对策手法一览表

技术分类	降低原理	降低效果 (%)
改善燃料 1.低N成份燃料 2.乳胶燃料	N成份降低 火炎温度、O ₂ 降低	30-50
改善燃烧方法 1.低空气比燃烧 2.低负荷燃烧 3.空气低温余热	O ₂ 低减 火炎温度低减 火炎温度低减	10-20 10-30 10-30
低NO _x 燃烧器	火炎温度降低 O ₂ 降低 滞留时间降低	20-40
燃烧装置の改造 1.排气再循环 2.注入水分 3.二段燃烧 4.多段燃烧	火炎温度、O ₂ 降低 火炎温度降低 火炎温度、O ₂ 降低 还原反应	30-50 30-50 30-50 30-50
脱硝装置 1.无催化·还原脱硝 2.催化·还原脱硝	NH ₃ 还原	30-70 90以上

表 2.7-2是目前在水泥工厂普遍采用的手法，下面选择其中几例进行介绍。

1) 低空气比燃烧

这种方法一方面能减少过剩空气量，尽可能按照接近理论空气量的空气比进行燃烧，以控制 NO_x

的生成，并能取得节能效果。

通常降低空气比的话，就会减少燃烧领域的氧气浓度，另外也会降低实际的燃烧器火焰温度，通过两者的相乘效果能控制 NO_x 的生成量。在这个情况下不仅减少热力型 Thermal NO_x 的生成量，同时也减少了燃烧性 NO_x 的生成量。随着空气比增加，氧气浓度也会增加，热力型 NO_x 和燃烧型 NO_x 都会增加。如果空气比再进一步增加的话，虽然能够因燃烧温度的降低减少 NO_x 但是不实用。

另一方面，如果空气比降低过多的话，会容易发生煤尘。因此需要通过必须的最低限度的低空气比燃烧来加强燃烧管理。一般而言，低空气比燃烧也是一种节能措施，但是不能期待它能大幅度地控制 NO_x 生成量。

燃烧温度以及燃烧区域的氧气浓度越低，燃气在高温区滞留的时间越短，NO 的生成量就会越少。图 2.7-1 用技术参数表示了空气比和生成 NO 浓度的关系、在理论燃烧温度中滞留时间。

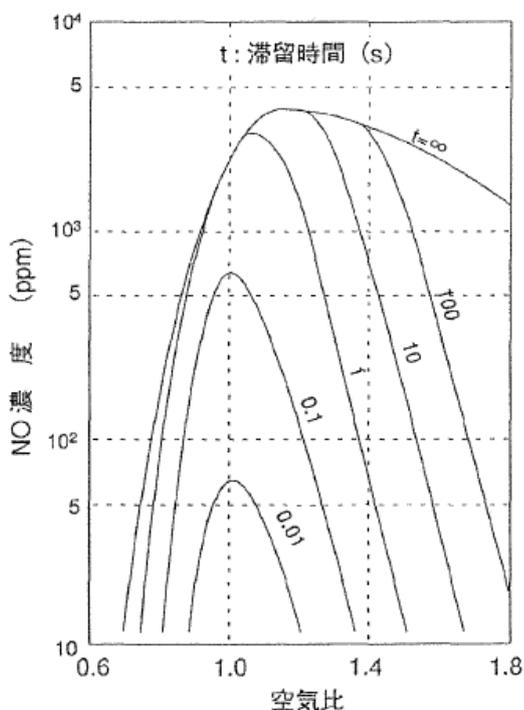


图 2.7-1 理论燃烧温度中滞留时间以及 NO_x 生成量

(出处：《防止公害机器设备机械材料事典》·防止公害机器设备机械材料事典编辑委员会)

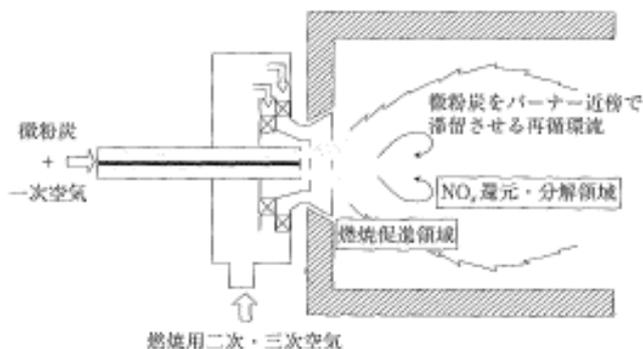
2) 低NO_x燃烧器

低 NO_x 燃烧器由各生产厂家按照各种原理开发出来，已经普遍实用化。

降低 NO_x 方法有降低氧气浓度、降低火焰最高温度、缩短高温阶段煤气的逗留时间等等。燃烧器采取其中一种或几种方式组合来试图降低 NO_x 的生成，各个厂家提出各种建议。

低 NO_x 燃烧器概念图如图 2.7-2所示。这种形式是导入了二段燃烧以及浓淡燃烧等的原理，分阶段燃烧使得在第 1 段时造成氧气浓度较低的燃烧状态，来控制 NO_x 生成。

(用于水泥烧成的低 NO_x 燃烧器，在日本国内有太平洋水泥株式会社、国外有 KHD Humboldt Wedag Aktiengesellschaft 等开发并进行了实用普及。)

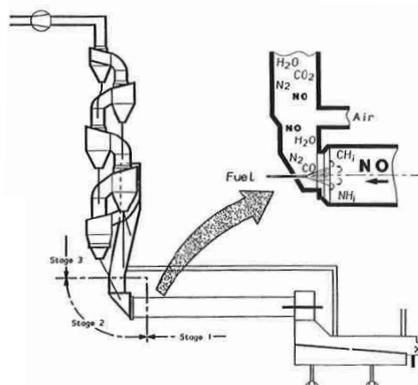


出处：《新・防止公害技术法规 2011(大气)》 社团法人产业环境管理协会

图 2.7-2 导入阶段性燃烧的低 NO_x 燃烧器概念图

3) 多段燃烧

如图 2.7-3所示，预热后的原料投放到水泥窑入口处，投入燃料，造成还原气氛抑制 NO_x 生成。水泥窑内的高温区发生的 NO_x 用燃料还原，之后投入预热过的高温空气使得燃料在 870~980℃进行完全燃烧。这个温度区域 NO_x 的发生量与水泥窑内高温区发生的 NO_x 相比是微不足道的。而且可以利用这里发生的热能来进行预热，是经济良好的还原方法。但是需要注意不要有原料附着在还原气氛部分。



出处：ZKG international (1999 No.6)

图 2.7-3 水泥窑入口部位燃烧减少 NO_x 发生的概念图

4) 脱硝装置

① 无催化还原法

把氨气或者尿素作为还原剂投放到排气中，用气相无催化方法来将 NO_x 还原成氮气。脱硝剂的最佳投放温度，如图 2.7-4所示，尿素时是 950~1050℃，氨气时是 900~1000℃。一般而言，多加入氨气或者尿素的还原剂，脱销量也就越多。但是氨气泄漏也会增加。氨气泄漏与在燃烧过程中发生的氧化硫反应产生硫酸铵，这个硫酸铵是造成排烟不透明的原因因此需多加注意。

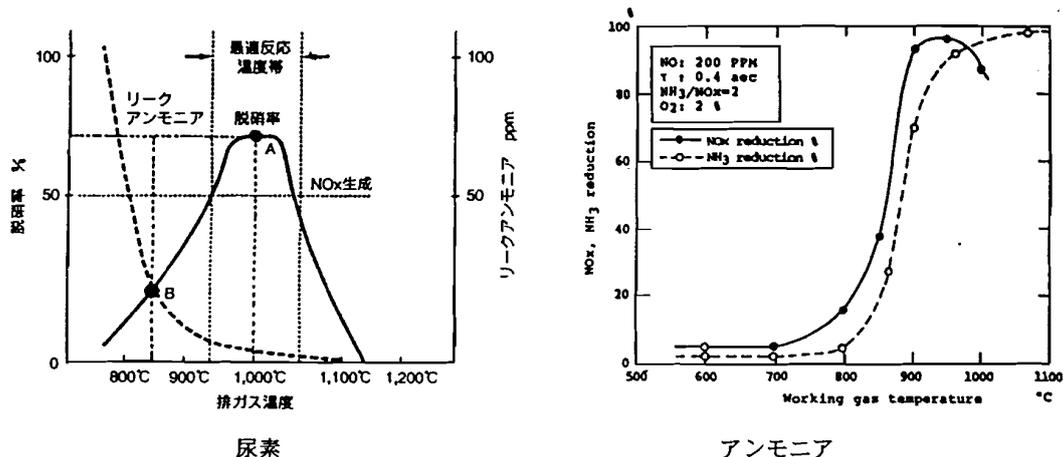


图 2.7-4 尿素及氨气脱硝的温度影响

出处：《新环境管理设备事典》（防止大气污染机器）·产业调查会 事典出版中心

② 氨气接触还原法

用催化剂让氨气和 NO_x 反应，还原成无害的氨水和蒸气的方法。

③ 活性炭法

用活性炭(又称为活性焦炭)吸附废气中的 SO_x，根据活性炭(活性焦炭)的催化作用，用氨气将 NO_x 中的氮还原、同时达到脱硫、脱硝的方法。

2.7.2 中国水泥工厂采取氮氧化物减排对策应注意事项

(1) NO_x排放管理

将监控的结果反映到数据表格，采取抑制 NO_x 的措施。同时，将 1 小时平均值、1 天平均值进行纪录，向各市镇村政府汇报备案。

(2) NO_x减排对策

原则上来说需要选择含氮成份少的燃料不生成 NO_x，或者调整燃烧器的位置、燃料及一次空气的量。设备方面来说，可以考虑引进低 NO_x 燃烧器、利用入炉部位改造设备进行多段燃烧、增设脱硝

装置，来控制 NOx 不超过标准值。

参考资料：

1. 《有关发展中国家防止大气污染的固定发生源对策手册》财团法人北九州国际技术协力协会
2. 《新・防止公害技术法规 2011(大气)》 社团法人产业环境管理协会
3. 《防止公害机器设备机械材料事典》防止公害机器设备机械材料事典编辑委员会
4. 《新环境管理设备事典(防止大气污染机器)》 产业调查会 事典出版中心

2.8 导入玻璃工业相关对策技术时的注意事项及应考虑的要害

2.8.1 玻璃工业削减 NOx 排放的相关背景

中国平板玻璃的生产量，虽说与数年前的建筑热潮时相比逐渐趋于沉静，但根据中国统计局发表的 2013 年度各月生产月报数据，同比上一年依然处于+13~15%的增长趋势。玻璃制造业的制造品种除建筑所需的平板玻璃外，还包括汽车用玻璃、光通信用光纤玻璃、磁盘基板、显示器用玻璃等，但在中国，平板玻璃的生产量明显占据绝大比例。日本平板玻璃制造业的 NOx 排放限制政策，相比一般制造业采取的措施比较宽松，这点中国也相同。主要原因在于，在平板玻璃制造工序中，是将原料（硅砂、苏打灰、芒硝、碎玻璃等）投入熔窑中，以约 1,500~1,600℃的高温使其熔解，后续的浮法槽与徐冷工序也需要 1,200℃的高温等，由于大多工序均处于高温状态下，因此容易产生 Thermal NOx。但是，中国正面临着改善大气环境的课题，因此与其他产业相同，必须重新讨论设定 NOx 总量限制及排放标准值，现针对玻璃制造业的现有工厂及新设工厂，已规定了更加严格的 NOx 排放标准值。

2.8.2 玻璃工业的学习案例事例（燃烧改善）

（1） 学习案例对象

作为 NOx 排放削减学习案例事例，以截至 2013 年度末，就 NOx 排放浓度 700mg/Nm³ 需要采取对策的工厂为对象，实施了改善方案及适用技术的研究。表 2.8-1 所示内容为学习案例对象工厂平板玻璃制造工序的燃烧相关各要素。

表 2.8-1 学习案例的熔窑燃烧条件等

项目	参数、燃烧条件等
生产能力	1,000t/day×1 Line, 700t/day×1 Line
熔窑	8 section/Line
使用燃料	使用 3 种燃料 ①石油焦炭 发热量：8,000kcal/kg 挥发量：10%、 固定碳：90%、 灰分：0.5% N 含量：不明确、S 含量：1.5% 粒子直径（燃烧时）<120mesh-100%pass ②重油 发热量：9,000kcal/kg、N 含量：不明确 ③天然气 发热量：8,500kcal/kg 供给压力：0.03Pa
NOx 排放浓度现状	2,800mg/Nm ³ O ₂ =12~13vol（烟囱出口测量值）。

削减目标值	700mg/Nm ³ O ₂ =8%vol.
熔窑内温度	1,300~1,600℃（测量方法、日期不明） 炉顶部：1,610℃、玻璃溶液：1,550℃ 火焰部：1,620℃
作业体制	24 hr 连续作业

（备注）1. 燃料发热量为燃料供给方提供的热量计分析值。单位等存在错误点。

2. 各参数至值全部为工厂提供的信息。

（2） 研究领域

玻璃制造工序的 NO_x 产生源来自原料熔融工序的燃烧。在其他产业中，主要在燃烧阶段实施抑制 NO_x 产生的对策，而且还研究使用排烟脱硝装置清除已产生的 NO_x 的对策。但是，玻璃制造业存在下述 1) 平板玻璃制造工序特征所示的限制，因此属于很难在“燃烧”与“排烟脱硝”两方面采取有效削减技术的制造业。

1) 平板玻璃制造工序的特征

- a. 熔解工序所需的熔融温度为 1,500~1,600℃ 的高温，无论哪种燃料，在利用空气中的 O₂ 的燃烧方式中，皆会处于实用最高温度范围，从而成为 Thermal NO_x 产生源。
- b. 玻璃材质熔解状态下的熔融、浮法槽、徐冷等所有生产工序，在规定的温度管理下连续流动、固化并形成产品。因此，粘性、流动性及温度下降梯度等非常易于受到温度控制的影响，若要采取不对玻璃品质造成影响的改善温度条件的对策极其困难。
- c. 现有生产设施由设备厂家及工程企业设计建设，在开始运转后，玻璃制造企业通常基于原料、品质、生产成本等生产经验技术实施生产。为此，若实施 NO_x 对策需要对玻璃制造企业的这些条件进行变更时，便会与厂家之间发生关于担保责任的问题。

2) 研究项目

从抑制燃烧产生的 NO_x 的对策观点出发，对以下燃烧领域及工程领域的各项进行研究。

a. 燃烧领域

—Fuel NO_x

使用燃料中的 N 成分含量、各种燃料的燃烧量、控制方法等

—Thermal NO_x

低 O₂ 燃烧方法、熔窑内的热负荷及温度、燃烧设备类型、熔窑构造等

b. 工程领域

—实施改善的计划、设计、制作、工程、验收等课题

（3） 研究结果

• Fuel NO_x

该对象工厂不了解使用的固态、液态、气体 3 种燃料中的 N 含量，也未实施管理。未掌握燃

烧量时间轴的趋势及控制记录，已确认为实施 Fuel NO_x 研究所需信息不充分的状况。这种情况不仅该玻璃制造业，在中国的产业界要研究燃烧产生的 NO_x 削减对策时，应实施研究的两种污染源（Fuel NO_x 及 Thermal NO_x）中，未对燃料中 N 含量产生的 Fuel NO_x 相关燃料的性状，实施彻底管理的事例极为常见。

- Thermal NO_x

产生 Thermal NO_x 的相关因素包括燃烧火焰形状、火焰亮度、空气比、空气温度、熔窑温度、燃气对流时间、窑炉构造、窑炉内热负荷、燃气流动等。要削减现有熔炉的 NO_x 量，首先必须确认这些因素与 NO_x 值的关系（Parameter）以及在此条件下生产的玻璃品质。但是，从该工厂得到的信息，无法针对在燃烧过程中抑制 NO_x 产生的方法进行充分研究。

作为低 O₂ 燃烧方法，虽然可对燃烧器类型及低 NO_x 燃烧方法等实施研究，但最终必然会涉及到降低燃烧温度及更改火焰形状。在对现有熔炉采取这些技术时，由于与熔解温度条件密切相关，因此必须根据窑炉相关的温度分布、热负荷、构造等技术信息，对合理的导入技术进行研究。

燃烧气体在炉内的滞留时间对产生 Thermal NO_x 的影响巨大。为了缩短气体在炉内的滞留时间，通过低空气比燃烧及节能效果等削减燃烧气体量应该非常有效。这种情况下，有必要一边确认对熔融条件造成的影响等，一边进行实证试验。

有关燃烧控制（Automatic Combustion Control System），有必要对各公司的最佳熔解温度趋势及炉内各部分的最佳燃料结构实施程序化，或构建基于数据值的控制方法。

- 工程领域

在采取改善及对策时，该设施的设计条件、功能及构造的工程学信息缺一不可。

由于对象工厂未提供研究所需的信息，因此未制作该领域的学习案例。在交付机器时，有必要规定厂家有义务提供有关规格书、设计计算书、物料平衡（燃气、燃料、空气等）、构造图、记录有保证值的合同等。

2.8.3 针对玻璃工业的 NO_x 削减对策方案（燃烧改善）

就平板玻璃制造工序的一般 NO_x 削减对策提出以下方案。

(1) 现有制造工序的 NO_x 削减对策

1) 研究抑制燃烧工序产生的 NO_x 的对策时，就以下步骤及项目实施研究。

- 收集并确认有关熔窑的工程学信息

- 炉内构造（容积、尺寸、炉壁材质、燃气流等）

- 炉内热负荷率（kJ/m³h）

- 炉内温度分布（考虑火焰分布、负荷率）

- 改造机器的装备及可改善的空间等

- 燃料性状的掌握及管理

- N 含量管理、燃烧温度的变化、火焰形状的变化、控制方法的最佳条件

- 决定燃烧设备的最佳机种

空气比、火焰形状、预热空气、燃料性状变化的对应

- 2) 在实施改善与对策时，燃烧设备厂家、熔炉厂家、玻璃制造厂家3方合作，针对各个导入技术就使用机器的功能、运转状况、品质影响等进行试行及实证。
- 3) 研究实施改善与对策工程期间的作业停止、试验及验证等所需的时间

(2) 针对新建制造工序的对策

1) 贯彻节能

实现高热效率，不仅可削减燃料消耗量，还可削减 NO_x 的总排放量。采用低空气比燃烧设备、实施热回收，采用所有可削减热损耗的对策（炉体发热损耗、燃气/空气泄漏损耗、未燃烧损耗等）等方法。

2) 掌握使用燃料的性状及贯彻管理

注意燃料组成及性状变化对燃烧温度变化的影响。所用燃料的组成与性状的容许变动范围不明确时，应事先通过实验等进行验证。

实际燃烧温度根据“燃烧效率”、“低位发热量”、“燃料显热”等以及“燃烧气体的低压比热-燃气温度”与“燃气量-空气比”发生变化。尤其灰分、水分、发热量、燃烧效率的变动，均会间接影响 NO_x 的产生量，因此应注意使用燃料的性状管理及对燃烧量/空气比的控制。

燃料中的 N 含量是产生 Fuel NO_x 的源头，采购燃料时设定 N 含量的限制值极为重要。

当为石油焦炭及煤炭等固体燃料时，根据含有成分的挥发量及固定碳等，对产生 NO_x 因素的火焰形状进行短火焰~长火焰及宽广形状等的改变。此外，由于固定碳燃烧的影响，火焰亮度及辐射率会发生变化，并对玻璃熔融相的温度造成影响，因此应特别注意对使用燃料的挥发量及固定碳成分进行管理。固定碳是决定燃烧时间、燃烧效率、燃煤残炭等燃烧设备类型参数时应该注意的成分。

3) 燃烧设备

在熔解工序中必须确保品质，因此要求具备稳定的炉内温度。为此，削减燃烧面产生 NO_x 的技术仅限于可以适用的技术，而其削减效果也很难得到保证。但是，在考虑炉内温度范围的基础上，各国制造厂家现正自主开发 CH 系列燃气燃料的使用、预混合燃烧燃烧器、低 NO_x 燃烧器、低 O₂ 分区等 NO_x 对策手法。目前，玻璃制造商及燃烧设备厂家持有许多此类专利技术，以技术合作的形式导入也是选择之一。

4) 设施管理

针对下列有关设施管理的功能管理及售后维护等必要信息，工厂管理者在接收设备时，应与设备供应商之间签订交货时履行提交义务的合同。

- NO_x 相关计划条件及验收条件（温度、燃气量、浓度、燃气性状、负荷条件、验收方法等）
- 技术图纸（构造、机器、材质等）
- 保证期间（例：催化剂、接触燃气部、控制功能等）

2.8.4 玻璃工业的学习案例事例（废气处理）

（1） 废气条件的验证

本次实施学习案例的玻璃熔炉所使用的燃料，是日本没有使用实绩的石油焦炭、重油与天然气的混烧。现就学习案例对象工厂所提供的各种废气成分含量（废气量 100,000Nm³/h、SO_x 浓度 3,500mg/Nm³、NO_x 浓度 2,500mg/Nm³、灰尘浓度 1,000mg/Nm³）分别进行验证。关于 SO_x 含量（提供值 3,500mg/Nm³），燃料石油焦炭中的 S 含量为表 2.8.2.1(学习案例熔窑的燃烧条件等)所示的 1.5%，但该数据与燃烧计算的理论值产生了很大背离。在本次的学习案例中，假定在玻璃熔炉中燃烧的是基于燃烧计算的 S 含量 3%左右的燃料。此外，NO_x 含量（提供值 2,500mg/Nm³）高于中国某公司天然气专用熔炉的实绩值 2,300mg/Nm³，假定这是来自石油焦炭中 N 含量（1.3%~3%）的 Fuel NO_x。此外，由于没有未燃烧成分飞散程度的实绩，煤尘含量不明确。通常重油专用玻璃熔炉的煤尘含量为 200mg/Nm³~500mg/Nm³，天然气专用燃烧炉则为 200mg/Nm³ 左右，但所提供的灰尘量数据（1,000mg/Nm³）高于以上数据，因此在本次学习案例中，依照煤尘含量 1,000mg/Nm³ 实施学习案例。

现将以上废气处理设备入口条件整理为表 2.8-2 所示内容。

表 2.8-2 废气处理设备入口条件

项目	数据
废气量	100,000Nm ³ /hr
温度	200℃（废热锅炉出口）
SO _x 浓度	3,500mg/Nm ³
NO _x 浓度	2,500mg/Nm ³
煤尘浓度	1,000mg/Nm ³

（2） 废气排放标准

适用于现有浮法玻璃熔炉的废气排放标准值为表 2.8-3 所示内容。现有设备从 2014 年 1 月 1 日起适用，新设设备从 2011 年 10 月 1 日起适用。

表 2.8-3 Emission Standard of air pollutants for flat glass industry (GB26453-2011)

2011 年 4 月 2 日发行 平板玻璃工业大气污染物排放标准

	修改前	修改后
煤尘	100mg/Nm ³	50mg/Nm ³
SO _x （以 SO ₂ 计算）	600mg/Nm ³ （210ppm）	400mg/Nm ³ （140ppm）
F	5mg/Nm ³	5mg/Nm ³
HCl	30mg/Nm ³	30mg/Nm ³
NO _x （以 NO ₂ 计算）	无限制	700mg/Nm ³ （341ppm）

均为氧浓度 8%换算值。

（3） 周边国家及地区的浮法玻璃熔炉的NO_x限制值

中国在修改前未规定 NO_x 的排放标准值，修改后的标准值高于日本排放标准值的 2 倍多。韩国

的标准值如下表 2.8-4 所示，虽与中国修改后的标准相近，但已开始施行，且几乎所有玻璃熔炉均设置了脱硝设备。

表 2.8-4 周边国家及地区的浮法玻璃熔炉的 NOx 标准

国家、地区	浓度 (mg/Nm ³) O ₂ 8%换算值
中国	700mg/Nm ³ (341ppm) 但不清楚城市是否有更低的浓度标准。
台湾	1,602mg/Nm ³ (780ppm) 但城市存在更低的浓度标准。 2019年1月1日~780mg/Nm ³ (390ppm)
韩国	834mg/Nm ³ (406ppm)
日本	1,602mg/Nm ³ (780ppm) 但城市存在更低的浓度标准。

设置脱硝设备的测试结果如下项所述。

(4) 实际使用燃气实施的脱硝催化剂活性测试 (于本事业实施前面向实用化的测试结果)

在浮法玻璃熔炉中实际使用燃气实施的脱硝催化剂活性测试，如图 2.8-1 所示，在废气处理灰尘内，放入如图 2.8-2 所示的小正方形催化剂样品，每隔一段时间抽样调查催化剂活性程度的经时变化。①为玻璃熔炉中排放的未经处理的废气 (稳定器入口)，②为在稳定器中进行 NaOH 喷雾、脱硫同时对灰尘改质后的废气 (EP 入口)，③为在灰尘中将脱硫、除尘后的废气 (烟囱入口) 与催化剂接触后的气体。

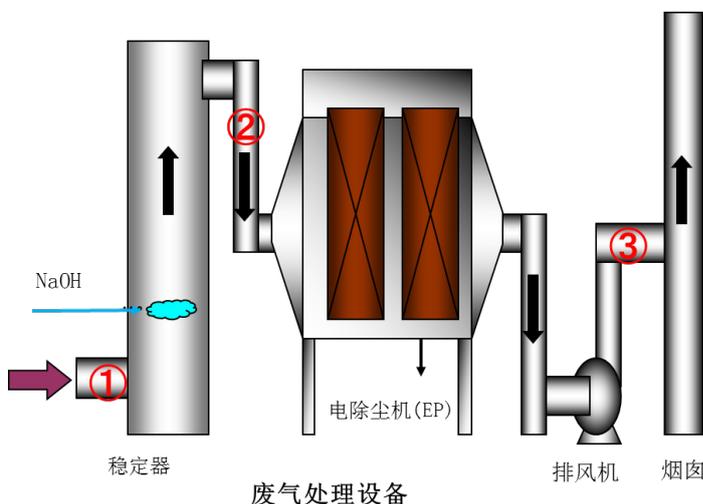


图 2.8-1 废气处理设备流程

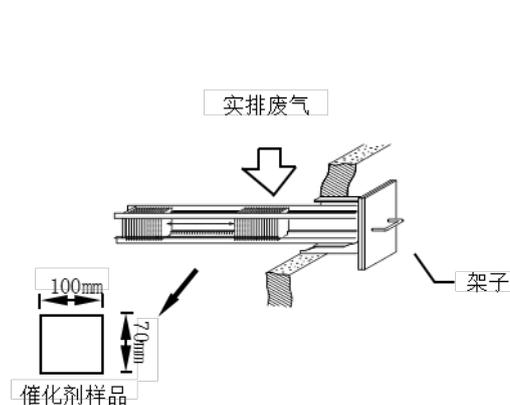


图 2.8-2 催化剂样品盒

根据抽样调查催化剂活性测试结果，如图 2.8-3 所示判明：催化剂的最佳设置位置在对废气脱硫、除尘后，也就是在烟囱前的位置。

在稳定器入口①处，催化剂的活性作用约 2 个月（2064 小时）后几乎完全消失，在 EP 入口处约 2 个月后为 80%左右，但结果表明劣化稳定性的最佳位置位于烟囱入口处。

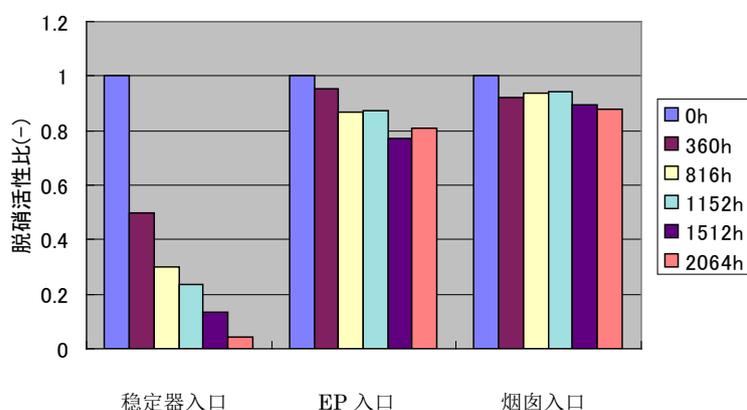


图 2.8-3 催化剂活性的经时变化

煤炭焚烧锅炉等的几乎所有工业废气，均可在除尘器前实施脱硝处理，但由于玻璃熔炉的灰尘性状比较独特，必须在除尘器后设置，这也是玻璃熔炉脱硝设备的技术难点所在。

(5) 学习案例结果

本次学习案例的玻璃熔炉为如图 2.8.-1 所示的废气设备，在此设备上设置脱硝设备时，为如图 2.8.-4 所示的流程、物料平衡。在稳定器入口①处，催化剂的活性作用约 2 个月（2064 小时）后几乎完全消失，在 EP 入口处约 2 个月后为 80%左右，但结果表明劣化稳定性的最佳位置位于烟囱入口处。

Material Balance 入口 SO_x 浓度 3,500mg/Nm³ 时

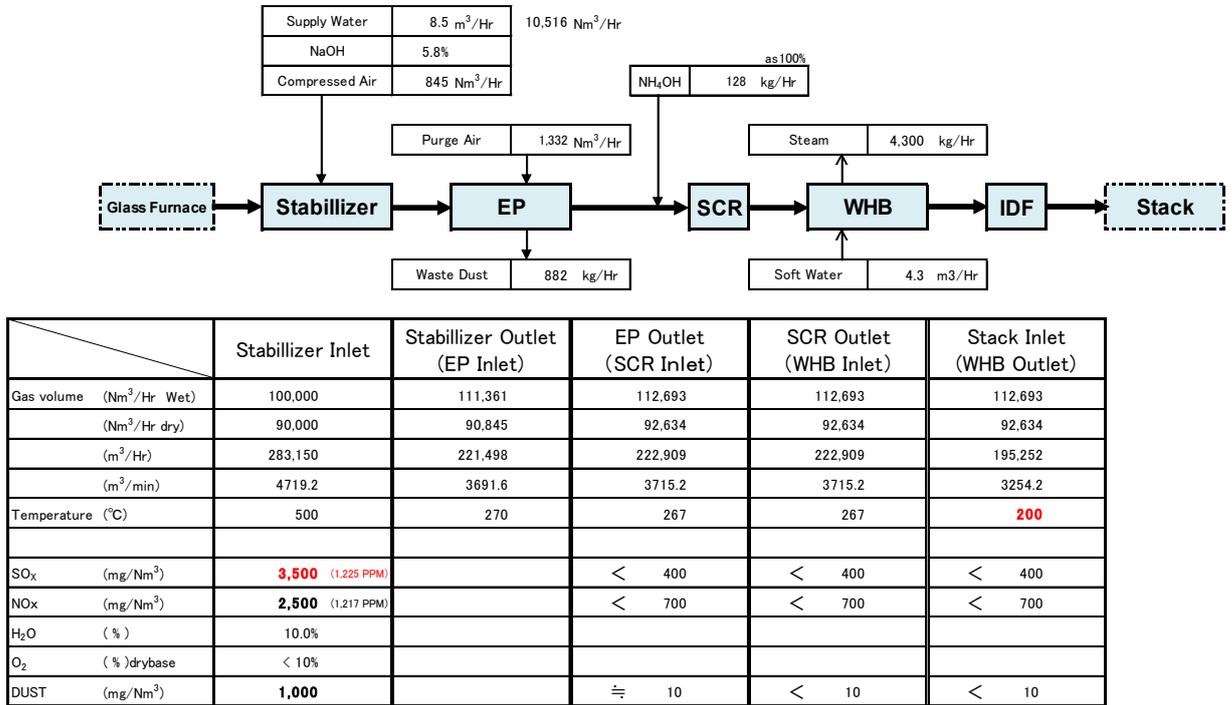


图 2.8.-4 入口 SO_x 浓度 3,500mg/Nm³ 的流程、物料平衡

此种情况下，为了实施脱硫，稳定器内废气温度降低，从而无法达到脱硝设备所需的温度。为了防止 SO_x 与脱硝所用的氨气发生反应析出硫酸氢铵，必须达到下图 2.8.5 所示的温度以上，但由于稳定器造成的温度降低，从而成为在脱硝设备前无法高于废气温度的原因。

例如 SO_x 浓度为 100ppm, SO₃ 在玻璃熔炉中的废气实绩约为 3%。那么此时 SO₃ 的浓度为 3ppm, 此时的废气温度必须为 283°C 以上。

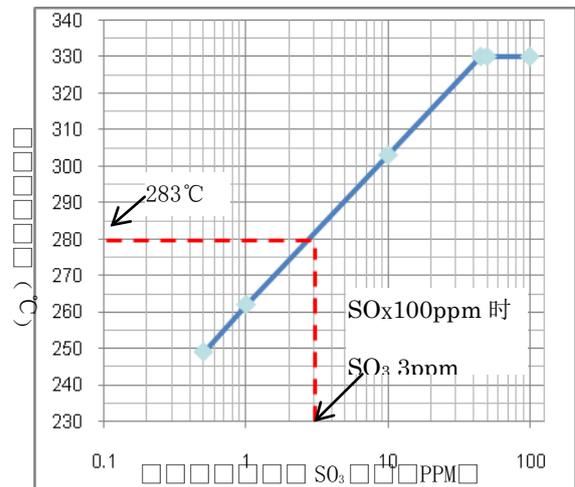
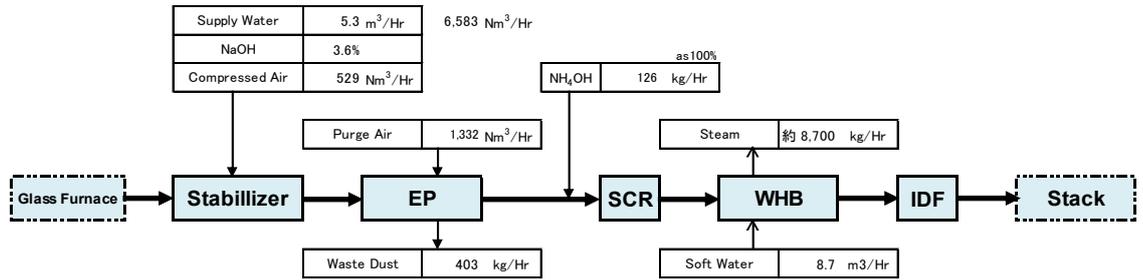


图 2.8.5 脱硝装置前的 NH₃ 注入下限温度

假如燃料中的 S 含量约为 1.5%，那么 SO_x 排放量将减少约一半成为 1,750mg/Nm³ 左右，通过上述案例改善稳定器中温度降低的情况，便可如图 2.8.6 所示设置脱硝设备。

Material Balance 入口 SO_x 浓度 3,500mg/Nm³ 时



	Stabilizer Inlet	Stabilizer Outlet (EP Inlet)	EP Outlet (SCR Inlet)	SCR Outlet (WHB Inlet)	Stack Inlet (WHB Outlet)
Gas volume (Nm ³ /Hr Wet)	100,000	107,112	108,444	108,444	108,444
(Nm ³ /Hr dry)	90,000	90,529	91,310	91,310	91,310
(m ³ /Hr)	283,150	244,435	245,886	245,886	195,835
(m ³ /min)	4719.2	4073.9	4098.1	4098.1	3263.9
Temperature (°C)	500	350	346	346	220
SO _x (mg/Nm ³)	1,750 (613 PPM)		< 400	< 400	< 400
NO _x (mg/Nm ³)	2,500 (1,217 PPM)		< 700	< 700	< 700
H ₂ O (%)	10.0%				
O ₂ (%) drybase	< 10%				
DUST (mg/Nm ³)	1,000		≈ 10	< 10	< 10

图 2.8.-6 入口 SO_x 浓度 1,750mg/Nm³ 的流程、物料平衡

但在设置了脱硝设备的情况下，废热锅炉的热回收量约减少一半，而中国的浮法玻璃工厂，利用废热锅炉产生的蒸汽发电的工厂较多，若设置了废气处理设备，发电量将伴随着减少一半。

2.8.5 针对玻璃工业的 NO_x 削减对策的提案（废气处理）

如上所述，中国的玻璃熔炉利用废热锅炉设置废热发电设备的工厂较多，此外，由于使用的燃料为石油焦炭，若要与脱硝设备兼顾，就只能牺牲节能。

废热发电所需投资的设备费用虽然很大，但约 2 年后便可充分回收设备投资费用，此外，石油焦炭与重油相比，从发热量考虑还可节省 25% 的燃料费。

本次学习案例中制作的脱硝方法（SCR 方法），需要满足 SCR 入口的废气温度。即使使用的燃料为低硫磺重油，玻璃熔炉废气灰尘也带有粘性，若不实施上述在稳定器内通过 NaOH 喷雾改变灰尘性质的步骤，电除尘器的效率便会降低，从而导致灰尘堵塞催化剂。但是，若燃料为专用天然气，便不必实施灰尘改质所需的 NaOH 喷雾，因此可通过废热发电回收与使用石油焦炭燃料相同的发电量，但燃料费用将增加 25% 以上。

最后，若不考虑使用燃料使玻璃公司的经营成本达成一致，则必须具备低温 SCR 方法的脱硝技术，同时还需设置脱硫及除尘等设备，遗憾的是这种技术还无法实现。不如对玻璃熔炉的使用燃料实施限制，比如制定燃料中的 S 含量为 1.0% 以下的法律等，并牺牲一定的废热回收利益，那么完全可以设置如上所述的采用 SCR 方法实施脱硝处理的设备。