

烟道气的电子束处理：净化空气

当今更加严格的环境标准要求有一种能同时去除
燃料燃烧时产生的 SO_2 和 NO_x 的系统

电子束处理技术有可能成为去除各种燃烧烟道气体中的污染物的适用辐射技术。在过去 5 年里，人们在证明这项技术的经济性和环境适宜性方面已经做了大量工作。

- 研究表明，二氧化硫 (SO_2) 和氮的氧化物 (NO_x) 之类的污染物在空气中的迁移范围，要比原先想象的大得多。

- 与 SO_2 相似， NO_x 同样被认为是酸雨的一个成因，这是促使人们开发能同时去除这两种气体的系统的重要原因。

- 许多国家已经通过了更加苛刻的空气质量法规，这必然要求提高污染物的去除效率。

- 许多去除系统能产生残渣，从而引起另一个废物问题。为此，利用去除系统副产品的问题今后将变得更加重要。

- 电子束工艺在过去 3 年内已做过大量试验，并在可靠性和能耗方面做了许多改进。

为什么许多国家要开始研究更加苛刻的、在排放源处去除 SO_2 和 NO_x 的法规呢？原因很简单，因为他们认识到这两种气体会在大气中迁移和转化。（见下页图。）锅炉燃烧气体的排放物能被带到许多公里之外。它们在这一迁移过程中发生大量的转化，如 SO_2 气溶胶转化为硫酸， NO_x 气溶胶

转化为硝酸。这就产生了硫酸和硝酸在雨、雪或雨夹雪中“湿处理”这一现象。现在，原始污染物的干沉降可以发生在离开排放源很远的地方。

在欧洲、日本、美国、亚洲和几个拉丁美洲国家中，更加苛刻的环境法规已经生效。鉴于人们继续在关注硫和氮的污染物，可以预料，未来将会出现越来越严格的法规。

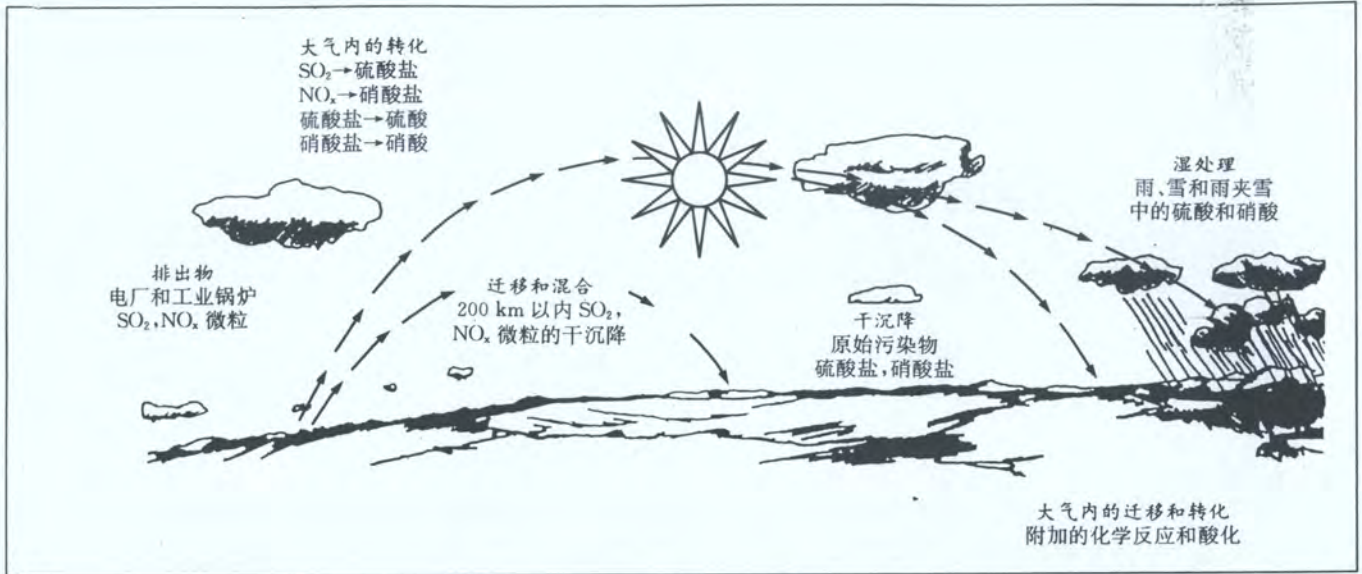
还可以预料，满足“保护臭氧层”的要求将需要更加苛刻的 NO_x 排放标准。这在一些即将生效的法规中已有所体现。可以预见，将需要效率很高的同时去除 SO_2 和 NO_x 的系统。

目前，减少 SO_2 和 NO_x 排放量的常规技术，主要适用于日本和欧洲采用的低硫煤。这些技术称作湿式烟道气脱硫 (FGD)

Norman W.
Frank 和
Vitomir Markovic



Frank 先生是美国宾夕法尼亚州格林斯堡的荏原环保公司经理，Markovic 先生是国际原子能机构物理学与化学处职员。



大气内的迁移过程

和选择性催化还原(SCR)。SCR 系统是最常见的 NO_x 去除系统, 尽管并未证实它能用于高硫煤。FGD 和 SCR 系统是一种要求把性质不同的两种技术组成一个供锅炉使用的污染控制流程的系统。

因此, 重要的是开发一些能满足未来要求的使用单一技术的系统, 即能从低硫或高硫煤及石油的烟道气中同时去除 SO_2 和 NO_x 的系统。

电子束工艺正好属于这类技术, 因为它就是使用同一种基本技术同时去除上述两种污染物的系统。(见下页图。)日本、德国、美国和波兰的示范车间已经表明, 这种系统去除 SO_2 的总效率通常超过 95%, 去除 NO_x 的效率达到 80—85%。这样高的效率可满足最苛刻的法规要求。

去除 NO_x 要比去除 SO_2 需要更多的能量, 为此, 已在称作区域辐照的技术方面做了大量研究工作, 以降低去除 NO_x 所需能量。为了尽量减少去除 NO_x 所需的能量输入, 已经做过不少试验, 目前还在做。使用区域辐照后的结果表明, 可节省 20—30% 的能量, 这使得该技术与其它复合技术相比具有极好的竞争力。

许多国家已建成了一批电子束试验设施和示范车间, 有 4 个试验设施仍在运行。它们分别属于日本高崎的日本原子能研究所(JAERI)、波兰华沙的核化学与技术研究

所、德国卡尔斯鲁厄的 KfK 和日本藤泽的荏原公司。这些试验设施均在进行改进工艺和降低能耗方面的工作。

近几年来, 各个研究设施和中试车间都取得了许多值得注意的成就:

- 氮和硫的质量平衡已得到确认, 发现约 22% 的氮是以 N_2O 的形式释放的。

- 对烟道的构形进行了研究和试验, 现在已研制出适用于这种工况的不同构形。

- 区域辐照概念已做过试验, 并已证实可大大降低能耗。

- 分析和试验了避免副产品积累和烟道阻塞的各种方法, 使这一工艺能够长期运行。

- 气体中 NO_x 浓度较低情况的试验已完成, 结果良好。

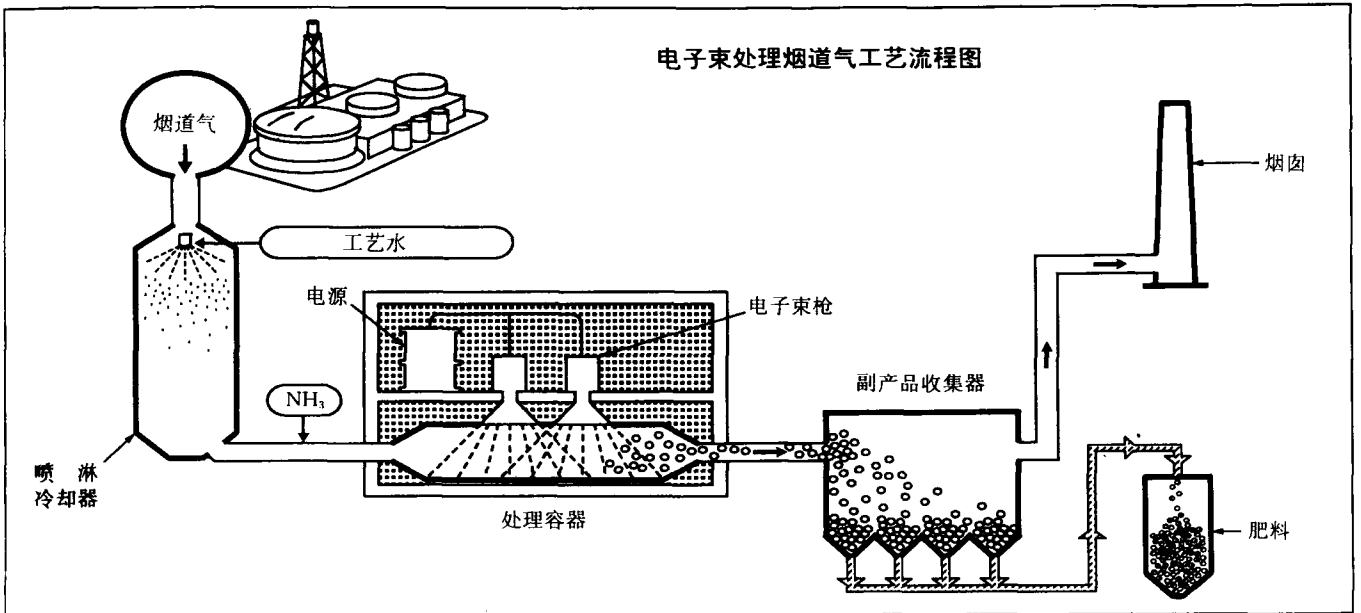
- 去除挥发性有机化合物的试验正在继续进行。

- 有关焚烧炉气体的试验正在继续进行; 这将提供去除氯化氢(HCl)之类的其它污染物方面的宝贵信息。

- 美国电力研究所(EPRI)最近的一份报告指出, 电子束工艺正在被看成未来的可同时去除 SO_2 和 NO_x 的系统之一。

- 现有电子束加速器的功率已经增大至 300—400 kW, 并且可以非常可靠地立即启动。

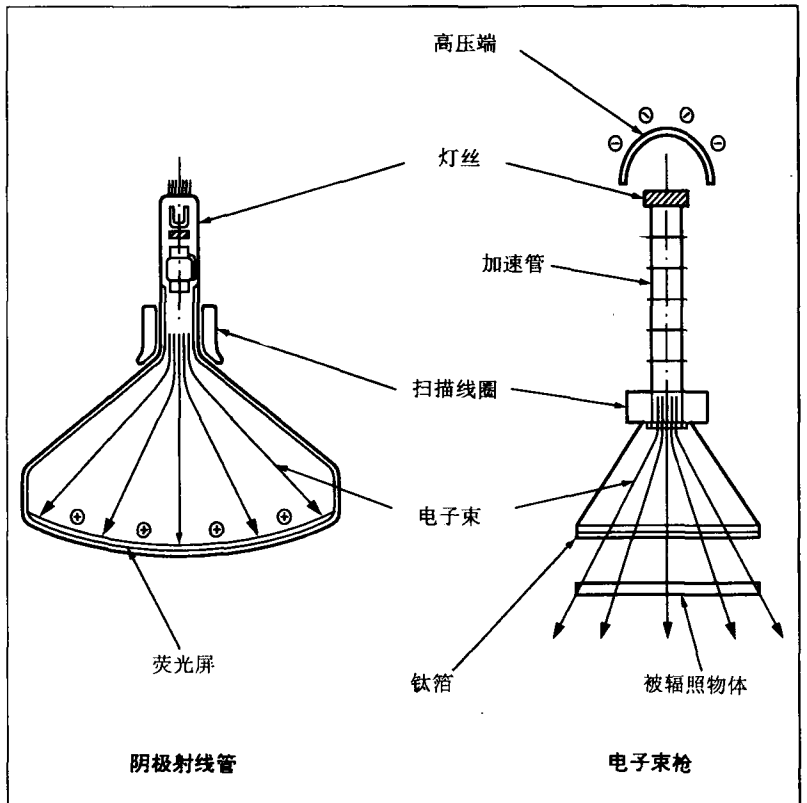
电子束处理烟道气工艺流程图



电子束工艺: 去除 SO₂ 和 NO_x

电子束工艺可同时去除燃烧烟道气中的两种污染物——SO₂ 和 NO_x，它实质上是一种干法涤气工艺。烟道气在进入喷淋冷却器之前，先用常规技术除去飞灰。烟道气通过冷却器时，利用工艺水降低温度和增加湿度。在进入辐照区之前，再加入接近理想配比数量的氨气。混合后的气体在通过处理容器时用高能电子束照射，此时 SO₂ 和 NO_x 转化成相应的酸，然后分别转化成硫酸铵和硫酸一硝酸铵。再利用静电除尘器回收这些硫酸铵和硫酸一硝酸铵。这些副产品是有用的肥料，可供农业使用。净化后的气体排入大气。

右图：产生电子束的加速器原理上与许多人很熟悉的一种器件很相像，如世界各地都在使用的电视机中的阴极射线管，只不过加速器的功率大得多罢了。



● 美国国防核武器局正在开发功率范围为 0.8—1.8 MW 的用于控制空气污染的加速器。

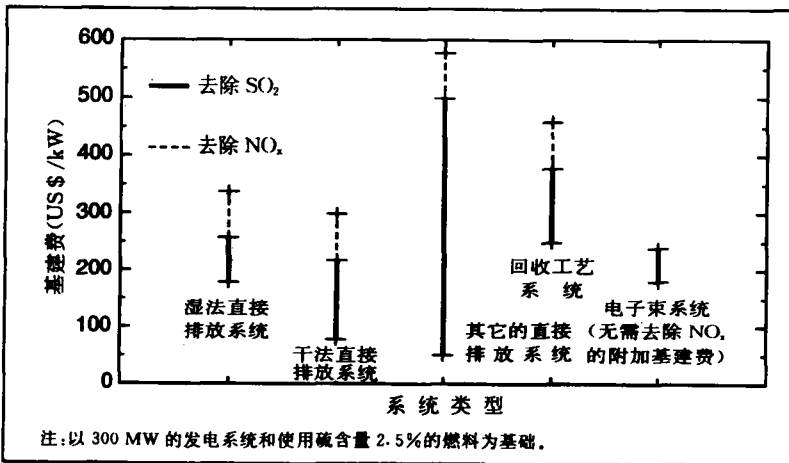
人们研究了电子束工艺用于 SO₂ 和 NO_x 浓度不同的各种燃料的经济性。看来有希望使这种系统的基建费达到 200 US \$ /kW。从现有的常规 FGD 系统的基建

费统计表可以看出，电子束工艺与现有的一切 SO₂ 去除系统相比是有竞争力的。如果加上去除 NO_x 的 SCR 系统的基建费(约 80 US \$ /kW)，则预定的电子束工艺基建费将使这一工艺成为可在电厂中安装和运行的最经济的系统之一。(见第 10 页图。)

更重要的是，已经证明这种系统对高

处理烟道气的电子束中试和示范设施

单位/年份	流 量	加 速 器	被处理气体的 SO ₂ /NO _x 浓度 (ppm)	温 度 (°C)
JAERI/1981	900 L/h	1.5 MeV 20 mA	1000/5000	80—150
核化学和技术研究 所,华沙/1989	400 m ³ /h 燃 油	775 keV 5.4 kW	0—1200 0—400	60—150
卡尔斯鲁厄,玛瑞 I /1989	1000 m ³ /h 原 油	500 keV 50 kW	400—1000 300—1000	60—120
荏原公司,藤泽/ 1991	1500 m ³ /h 燃油和天然气	500 keV 15 kW	0—1000 0—200	65
核化学和技术研究 所,华沙 Kawczyn 电厂/1992	20 000 m ³ /h 燃 煤	500—700 keV 2—50 kW	200—600 250	60—120
NKK—JAERI, 松户 市/1992	1000 m ³ /h 天 然 气	900 keV 15 kW	SO ₂ -100 NO _x -100 HCl -1000	150
荏原—JAERI, 中部/ 1992	12 000 m ³ /h 燃 煤	800 keV 36 kW×3(108 kW)	800—1000 150—300	65
荏原—东京—EPA/ 1992	50 000 m ³ /h 自动转炉废气	500 keV 12.5 kW×2(25 kW)	NO _x 0—5	室温(20)



烟道器处理基建费比较

硫燃料是非常有效的。生产高硫原油、煤或褐煤的国家在用这些燃料发电时可以行之有效地使用这一系统,而让高质量燃料继续出口。这可能会对若干国家的环境和经济状况产生重大影响。业已证明,SO₂ 含量越高,电子束工艺从烟道气中去除 SO₂ 和 NO_x 的经济性越好。

电子束加速器的可靠性和效率,近几年已取得了一定的进步,目前在其它许多辐照加工应用中使用的加速器很多。现今

供各种应用使用的加速器的功率每台可达 400 kW。预计将来可提供功率约 800 kW 的常规变压器型加速器。与此同时,正在开发功率高达~2 MW 的脉冲式加速器,这种加速器的潜在优点是尺寸比较紧凑,采用了模块式设计,因而可降低安装费和减少屏蔽。

将加速器作为净化烟道气之类的辐照处理技术使用,技术上是可靠的,也比较简单。这些系统易于安装、使用和控制,对运行人员和环境是安全的。运行过程不产生放射性,关机后也不存在剩余辐射。

由于处理燃烧烟道气的电子束工艺与常规系统相比具有许多优点,因而是一种大有前途的工艺。随着人们对保护和恢复环境的兴趣日益增加,它必将造福全人类。此外,它能将污染物转化成有用的农用肥料,而不是产生需要另外处置的废物。

这种工艺现在已可用来去除燃烧烟道气中的 SO₂ 和 NO_x。预计它将在未来的岁月中获得广泛的应用。在烟道气处理和其它的环保应用方面,当前的研究和开发计划即将提供许多新的改进和创新。 □