

⑧ 110-113

电子束脱除 SO₂ 和 NO_x 的概述

刘振源 陈思富 郑威 张应发
(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

X701
~~X505~~ X511.05

摘要 综述了电子束脱硫脱氮的原理、特点和发展。中国成都电厂的电子束脱硫脱氮装置的运行，标志着我国工业应用阶段的开始。

关键词 电子束 加速器 烟道气 脱硫脱氮
分类号 TL99

燃煤环保

我国是一个燃煤大国，煤炭是我国能源的基本来源。我国1997年的原煤产量11亿多吨。其中约4亿吨用于火力发电，火力发电占全国发电总量的75%。另有4亿吨用于工业供气和采暖。还有相当数量的原煤用作化工、冶金的原料。原煤中含有不同程度的硫(S)，有的含硫量高达7%。这些S在燃烧过程中生成SO₂，随烟道气排入大气。我国1995年SO₂的排放量为2 370万吨，居世界第一位。这些SO₂造成了城市的大气污染，也是形成酸雨的主要根源。

国际上对SO₂和酸雨的控制极为重视，发达国家都有严格限制SO₂排放量的环保法

规。另外，对SO₂的处理方法也很多，大多为化学方法，即石灰石法，细分又可分为湿法、简易湿法、喷Ca法和干喷法等。日本有1 800套烟气处理装置(FGP)，总处理能力超过5 000万千瓦，美国火力发电厂配置的FGP装置的处理能力达8 000万千瓦，德国的FGP装置也能处理4 000万千瓦总装机容量。

利用电子束辐照烟道气的方法来脱除SO₂和NO_x的技术，在近几年来日趋成熟，特别是随着特大束流强度的电子加速器的研制成功，才具备了建造工业规模的净化装置的能力。

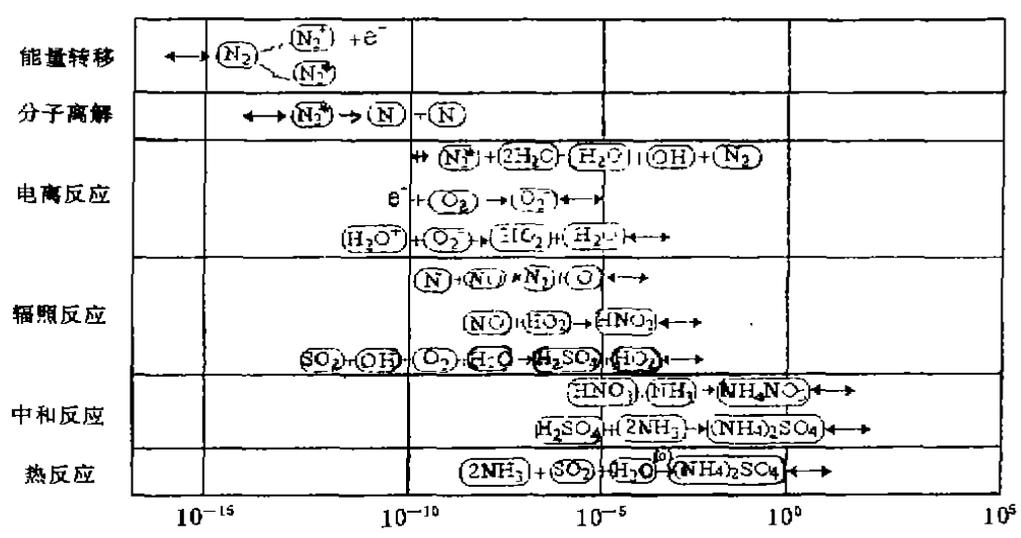


图1 电子束脱硫脱氮原理图

1 电子束脱硫脱氮的原理

烟道气的主要成份约有77%的N₂、6%的O₂、16%的CO₂和H₂O, 还含有SO₂和NO_x等痕量污染物。

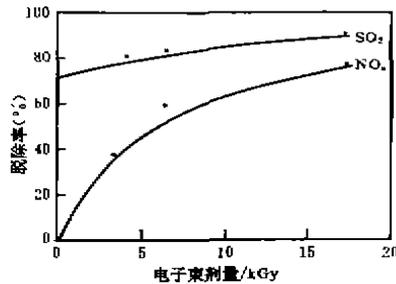


图2 SO₂和NO_x去除率 η 与电子束辐照剂量的关系

烟气质量分数 SO₂: 1.024×10^{-6} , NO_x: 240×10^{-6} , NH₃: 1.625×10^{-6} ; 反应温度: 70°C

电子束辐照烟道气时, 产生辐射化学反应, 生成OH·、O·和HO₂·等自由基, 这些自由基和SO₂、NO_x生成硫酸和硝酸, 在通入氨气(NH₃)的情况下, 产生(NH₄)₂SO₄和NH₄NO₃铵盐。图1是电子束脱硫脱氮的原理

图. SO₂还发生一种热反应, 在低剂量辐照区, 用降低温度的方法也可去除相当数量的SO₂。图2表示SO₂和NO_x的去除效率与电子束辐照剂量的关系。

2 电子束脱硫脱氮技术的发展和现状

电子束脱硫脱氮的方法首先由日本在70年代初期提出, 并首先开展了原理性和实验室研究, 处理烟气量在1000 Nm³·h⁻¹以下, 大约历时15年。在实验室研究取得成功, 即开展了中试研究, 先后在日本、美国、德国和波兰的电厂, 处理烟气量为10000~20000 Nm³·h⁻¹, 这一阶段历时10年。当前处于工业装置的开始阶段。

2.1 实验室研究阶段

实验室的研究工作在日本、德国、波兰和我国都曾开展过, 如表1所示。

当前, 中国工程物理研究院正在建造烟气处理量为3000 Nm³·h⁻¹的试验装置, 加速器功率50 kW, 电子能量0.5~0.8 MeV, 最大束流40 mA。

表1 电子束辐照烟道气研究的情况

单位	时间	烟气流量 (Nm ³ ·h ⁻¹)	加速器	烟气质量分数(10 ⁻⁵)		NH ₃ 加入量	反应温度 °C
				SO ₂	NO _x		
日本荏原公司	1970	201	1.2 kW/2~20 MV	1 000	0	0	100
日本原子能研究所	1972	60	15 kW	900	80	0	90~120
日本荏原公司	1974	1 000	30 kW/750 kV	200	240	*	70~100
日本东京大学	1974	36~84	100 W/1 MV	900	0	0	70~120
德国卡尔斯鲁尔大学	1984	1 000	22 kW/190~220 kV	1 000	400	相应的化学当量	75~170
波兰核工艺化学研究所	1989	400	5.4 kW/775 kV	1 200	400	相应的化学当量	60~150
中科院上海原子核所	1987	25	2 kW/2 MV	1 000~1 600	200~300	相应的化学当量	40~100

* NH₃质量分数 700×10^{-6} 。

表2 电子束脱除 SO₂和 NO_x的主要技术参数

单位	时间	烟气流量 (Nm ³ ·h ⁻¹)	加速器		烟气质量分数(10 ⁻⁶)		NH ₃ 加入量	反应温度 ℃
					SO ₂	NO _x		
美国印第安纳波利斯	1984	8 000~24 000	2×80 kW	800 kV	1 000	400	相应的化学当量	65~149
德国卡尔斯鲁尔大学	1985	10 000~20 000	180 kW	260~300 kV	50~500	300~500	*	70~100
波兰核工艺化学研究所	1992	20 000	2×50 kW	500~700 kV	200~600	250	*	60~120
日本荏原、原研中部电厂	1992	12 000	3×36 kW	800 kV	800~1 000	150~300	*	65

* NH₃质量分数同 NO_x.

2.2 中试阶段

中试阶段是从80年代中期开始,历时约10年,其主要技术参数如表2所示.

2.3 工业化阶段

这一阶段从90年代中期开始,表3给出了

一些装置的规模和技术参数.

中国成都电厂引进日本设备,并于1998年5月28日正式运行.波兰和日本的装置正在建造中.

表3 烟道气处理工厂的规模和技术参数

装置地点	燃料	烟气流量 (Nm ³ ·h ⁻¹)	烟气质量分数(10 ⁻⁶)		脱除指标		加速器束流	
			SO ₂	NO _x	SO ₂	NO _x	E/keV	I/mA
中国成都电厂	煤	30×10 ⁴	1 800	400	80%		800	2×400
波兰、玻莫扎尼电厂	煤	27×10 ⁴	400	340	90%	80%	800	4×375
日本西名古屋电厂	原油	62×10 ⁴					800	6×500

3 电子束脱硫脱氮的特点

(1) 这项技术可同时脱除硫和氮,脱除率可分别高达90%和80%以上.

(2) 工艺流程属于干法处理,无废水和其它二次污染物排放.

(3) 副产品是硫铵和硝铵,可作为化肥.

(4) 建设成本和运行费用略低于常规湿法.

电子束脱硫脱氮的操作简单,其副产品硫酸铵和硝酸铵,它是一种复合肥料.硫是植物需要的继氮、磷、钾之后的第4种元素,其需求量与钾相当.长期使用高浓度尿素,虽然解决了植物对氮的需求,但造成土壤中

硫含量的降低.90年代联合国粮农组织和南京土壤所联合调查了我国的湖南、陕西、辽宁、广东、江西等12个省,发现30%的土地缺硫.合理使用化肥硫铵,对小麦、水稻、油菜和花生等农作物都有8%~18%的平均增产率.

电子束脱硫脱氮的副产品硫铵和硝铵复合化肥已经在日本和美国通过了国家农业管理部门的检验和批准,可作为农田化肥在市场上销售.

我国成都电厂的电子束脱硫装置,可脱除80%的SO₂和20%的NO_x,其副产品复合化肥的产量为2.47吨/小时,售价为500元/吨,年产值为800万元.

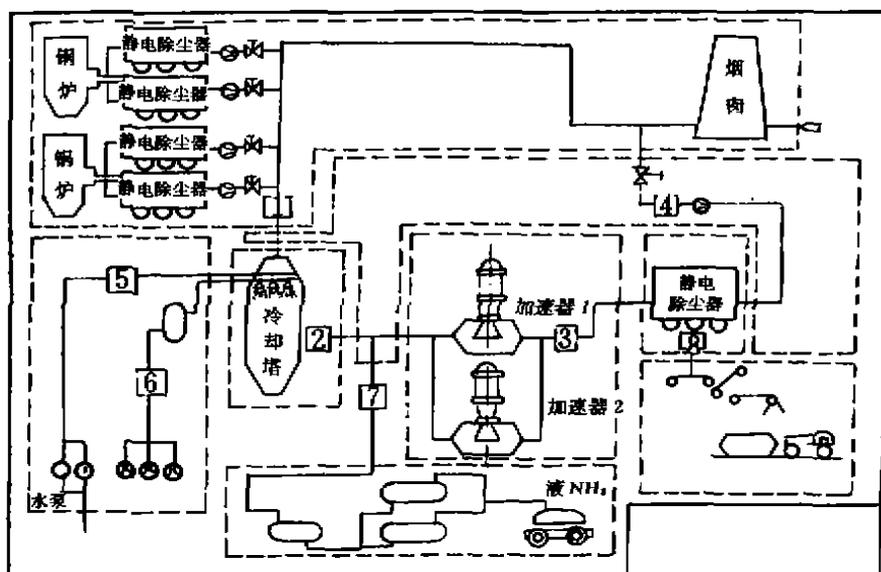


图3 电子束脱硫脱氮工艺流程示意图

4 辐照处理燃煤烟气的工艺流程

火力发电厂的废气经静电除尘器排除尘粒后的烟道气, 首先要经过冷却塔将150℃左右的烟气降温至65℃左右, 这个温度可提高辐照反应室的脱硫效率, 然后烟道气进入反

应室经电子束辐照, 同时输入氮气, 完成了去除SO₂和NO_x并生成(NH₄)₂SO₄和NH₄NO₃, 这种白色结晶态的铵盐经静电收集器扑集, 烘干后即可装袋销售。

参 考 文 献

- 1 Chmielewski A G, Tyminski B, Iller E *et al.* Pilot Plant Flue Gas Treatment with Electron Beam Start up and Two Stage Irradiation Tests. *Radia Phys Chem*, 1993, 42(4~6): 663~668
- 2 Hideki Narnlea, Tokunaga O, Tanaka T *et al.* The Study on Electron Beam Flue Gas Treatment for Coal-fired Thermal Plant in Japan. *Radia Phys Chem*, 1993, 42(4~6): 669~672

Review of Removal SO₂ and NO_x by Electron Beam

Liu Zhenhao Cheng Sifu Zheng Wei Zhang Yingfa

(Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract Removal SO₂ and NO_x by electron beam is reviewed. Its basic procedure is described. The electron beam method has many advantages compared to chemical one. The first industrial facility in China has been built in Chengdu Electric Power Plant and it is running successfully.

Key words electron beam accelerator flue gas removal SO₂ and NO_x

Classifying number TL99