

知识介绍

应用电子束辐照法脱除烟气中的硫、氮

张 慧 明

(青岛建工学院环境工程系)

传统的排烟脱硫及脱氮技术,通常是对 SO_2 和 NO_x 分别进行控制,这在经济及技术上往往是不太合理的。假如在净化 SO_2 的过程中,一同将 NO_x 除去,即在净化烟气的同一过程中同时除去 SO_2 和 NO_x ,那是极为理想的。应用电子束辐照法处理含有 SO_2 和 NO_x 的烟气,可高效地从烟气中同时脱除 SO_2 和 NO_x 。这项新技术,是近年来新开发的排烟同时脱硫脱氮技术中最有前途和希望的^[1]。

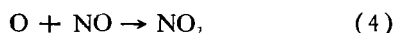
一、电子束辐照法脱硫脱氮的化学

反应机理^[2,3]

矿物燃料燃烧产生的烟气,是由 N_2 、水蒸汽、 CO_2 、 O_2 、 Ar_2 以及 SO_2 和 NO_x 等组成。其中, N_2 、 O_2 和水蒸汽为主要成分,而 SO_2 和 NO_x 的含量很低。当烟气受到电子束的辐照时,由于电子束的能量效应很大,数量级为 MeV,烟气中各种组分很容易发生分解。其分解过程主要由电子束产生的离子化作用所决定。在电子束产生的化学反应过程中,除了离子化作用外,还有电子能态的激发,分子的分解,自由基生成等。当电子束辐照处理烟气时,电子束的能量主要被 N_2 、 O_2 以及水蒸汽所吸收,其中水蒸汽和 O_2 发生如下的分解反应,生成中间产物 O 和 OH 。



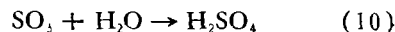
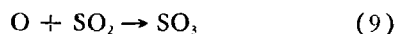
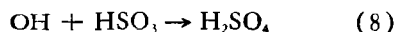
由反应 (1) 和 (2) 分解生成化学活性很强的原子氧和氢氧基,分别与 NO 发生反应生成 HNO_2 和 NO_2 :



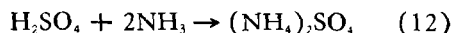
氢氧基与 NO_2 反应生成 HNO_3 , 而原子氧也可将 HNO_2 氧化成 HNO_3 。



同样,氢氧基也可与 SO_2 反应生成 H_2SO_4 ; 而原子氧可将 SO_2 氧化成 SO_3 , SO_3 被水吸收后生成 H_2SO_4 。

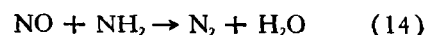


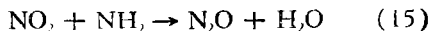
生成的 HNO_3 和 H_2SO_4 与加入烟气中的 NH_3 发生反应,生成 NH_4NO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 粉末:



生成的 NH_4NO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 粉末,可用袋滤器或电除尘器捕集后用作化肥。

其次,氢氧基也与 NH_3 发生反应生成氨基,氨基可使 NO 和 NO_2 还原成无害的 N_2 和 N_2O :





二、电子束辐照法脱硫脱氮的中间试验^[4-7]

目前,电子束辐照法脱硫脱氮技术,均处于中间试验阶段。中间试验烟气的处理量为 1000—24000m³/h,脱硫脱氮的效率分别为 90% 和 80% 左右。

中间试验所处理的烟气,为铁矿石烧结炉的烟气,或燃煤锅炉排放的烟气。其中间试验工艺过程如图 1 所示。

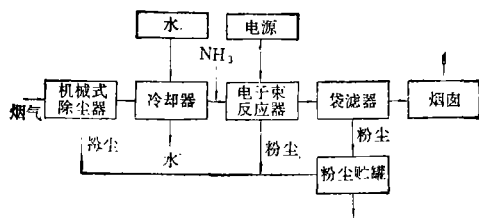


图 1 电子束辐照法脱硫脱氮的工艺流程

被净化的烟气首先通过机械式除尘器,除去烟气中粒径较大的粉尘,然后再通过水冷却塔进一步除尘、降温和增湿,大约将 150℃ 的烟气冷却到 80℃ 左右。然后,根据烟气中 SO₂ 和 NO_x 的浓度,按化学计量比例向烟气中加入氨,而后将含有氨的烟气送入到电子束反应器内。烟气经电子束辐照后,SO₂ 和 NO_x 在高压作用下生成 H₂SO₄ 和 HNO₃,并进一步与 NH₃ 反应生成 (NH₄)₂SO₄ 和 NH₄NO₃ 粉末。最后,应用袋滤器或电除尘器将烟气中悬浮的 (NH₄)₂SO₄ 和 NH₄NO₃ 粉末收集,从而将烟气中的 SO₂ 和 NO_x 一同去除。SO₂ 和 NO_x 的脱除效率,与烟气的温度,电子束的辐照量,以及向烟气中加入的 NH₃ 量等因素有关。电子束辐照烟气的温度为 80—150℃,辐照温度愈低,NO_x 的脱除效率越高。中间试验结果如图 2 所示。

试验结果表明,烟气中的粉尘对电子束辐照法净化烟气没有影响。当 NH₃ 的加入量为化学计量比例的 1.2 倍时,SO₂ 和 NO_x

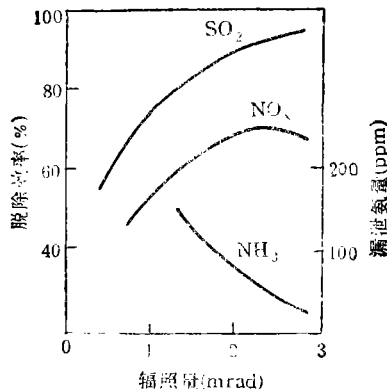


图 2 电子束辐照法处理烟气脱硫脱氮的试验结果

试验条件: 烟气温度: 90℃; 烟气处理量: 3000m³/h;
SO₂ 浓度: 2000ppm; NO_x 浓度: 200ppm; NH₃ 浓度:
600ppm。

的脱除效率均大于 90%。

试验结果还表明,电子束辐照法脱硫脱氮的投资及费用,比一般湿法同时脱硫脱氮要低。电子束辐照法处理燃煤锅炉烟气所耗电能,大约为锅炉产生电能的 3%,该值略大于选择性催化还原脱除 NO_x 所需电耗,与排烟脱硫所需电耗接近。

三、电子加速器和电子束反应器^[2]

电子加速器和电子束反应器,是电子束辐照脱硫脱氮法工艺过程中至关重要的设备,前者用来产生电子束,后者实施高能反应去除烟气中的 SO₂ 和 NO_x。

1. 电子加速器

目前,中间试验用的电子束,通常是由电压为 800kV 和电流为 100mA 的电子加速器产生的。

如图 3 所示,电子加速器一般由高压倍增和电子加速两个主要部分组成。

电子束是穿过势场被加速的电子形成的。电子束的最终能量与施加电压的电位差成正比,而电子的流动速度与电位差的平方根成正比。电子束电子的流动速度可认为与系统电流的大小成正比。电子束的功率为

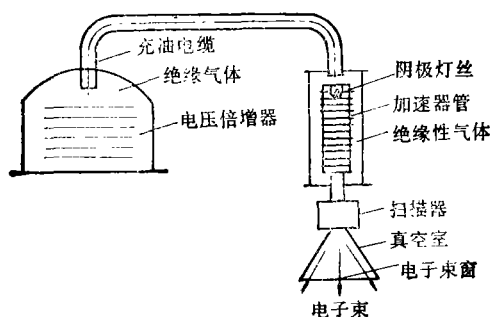


图3 电子加速器示意图

加速电压与电子束电流的乘积。系统内大约 90% 的电能量可转变成电子束。电子束穿透气体的能力，与电子束中电子的能量或加速电压成正比，而与气体的密度成反比。当处理烟气时，电子通过 800kV 的势场而被加速，在借助分子碰撞减少到热速度 (Thermal Velocity) 之前，其迁移距离大约为 3m，在很大程度上电子和气体分子碰撞导致分子发生电离作用。离子又与气体分子相互碰撞，结果产生了自由原子和自由基。当其它分子碰撞时，这些自由原子和自由基可促使反应迅速地发生。

自由基的产率，如自由基 OH 的产率，与吸收电子束的能量成正比。对于给定的电压，烟气吸收的能量与电子束电流的大小成正比。

电子束本身可产生低能的电子流，这些电子是被加热的灯丝热离解而释放出来的。这种低能的电子流仅通过调节灯丝的温度便可控制。在处理烟气的情况下，灯丝置于电位差的阴极，电位差的起始电压为 -800kV 而末端电压为 0V。这种电位差可用图 3 所示的加速器管产生。加速器管由许多粘结在一起的金属电极和玻璃绝缘体组成，电子从这种叠层 (Sandwich) 结构的中心孔道中穿过。每一电极相对保持愈来愈高的电压，这可借助在相邻电极之间连结电阻来实现。加速器管内的空气要抽空，然后在其外部环绕管子填充高压绝缘气体。

从加速器管的接地端产生的电子，其速度被加速到接近光速。此时，电子束进入扫描区。在扫描区内，电子束成 60° 角进行磁性扫描，扫描频率为 200 次/s。如图 3 所示，扫描器安装在三角形真空室的顶部。真空室的底面安装了厚 2.54×10^{-2} mm 的钛金属薄片制作的电子窗，电子束须穿过此窗射入到反应器内。电子扫描可防止过浓的电子束穿过电子窗时将孔道烧坏，并将电子束分散到反应器内。

加速电压是由高压电源产生的。高压电源可将三相 460V 的交流电变成 800kV 的直流电。电源大体上是一台变压整流器。三相一次线圈的电压由备用马达驱动的可调变压器控制，电源变压器的二次线圈是由许多模块 (model 或 deck) 组成的。模块中配置有二次线圈、整流器、电容器以及连结电压——高压倍增器线路上的电阻器。许多垂直排列和串联的模块，可确定达到最高的输出电压。整个电源同样应用高压绝缘气体环绕填充。在这种结构中，电源输出的模块通过充油的高压电缆与加速器管连结。

2. 电子束反应器

如图 4 所示，电子束反应器是一个内装足够多的由扫描器组成模块的导管，模块以串联或并联方式配置，以便可以输入功率。一个大型的加速器或扫描器，可产生电流强

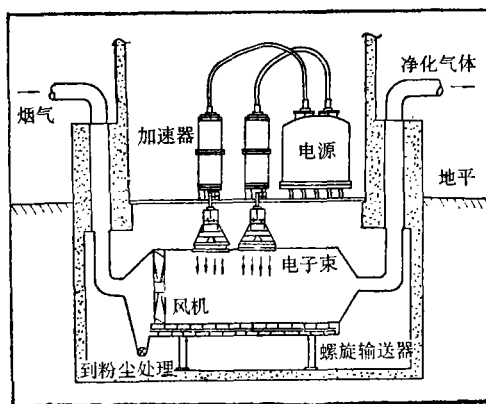


图4 电子束反应器

度为 375mA 的电子束。为了尽可能减少容量为 800kV 电子束反应器的能量损耗,反应器导管的长度应为 2.4—3.0m。图 4 所示为中间试验用电子束反应器。该反应器由两台 50mA 电子束加速器或扫描器组成,两台电子加速器与 800kV 的电源连结。这两台电子扫描器,使电子束向下射向直径为 1.8m 和长度为 6.1m 的导管内。导管和电子束扫描器要埋置到地下,以便防止射线辐射。为了有效地利用功率为 800kV 的电子束,需要大直径的导管。

四、结 语

应用电子束处理烟气,可高效地从烟气中同时脱除 SO_2 和 NO_x 。这种新技术,作为工艺过程简单、经济、新型的干法排烟脱硫脱氮技术很有希望。随着能源结构的改变以及环境法规日趋严格,美国、日本等许多国家正在加快排烟脱硫脱氮技术研究及开发的速度,以适应未来大气环境质量法规对 SO_2 和 NO_x 排放量的要求。一些国家把着眼点放在应用电子束辐照法脱硫脱氮技术上。可以预料,这项新技术将作为先进的大气污染控制技术的主要一环,来推进烟气净化技术的研究和开发。

在应用电子束辐照法排烟脱硫脱氮技术中,设备的投资和运行费用与电子束的需求量有关,减少电子束的需求量又与减少电子

(上接第85页)

应的一个方面。我们的实验结果表明,蚯蚓对石化有机污水具有耐污特性。室内模拟污灌和野外实地调查都得到了验证。蚯蚓不但能耐受污水中的一些有机化学物,且其中高浓度的氨氮又为其提供了食物中所必需的营养元素。这样,蚯蚓以其趋污的特性,依不同梯度上有机物积累的差异,形成了种群密度的差异。蚯蚓密度的梯度差异与排灌废水中 COD 的梯度差异相一致。这为我们提供了一种依据,在污染地区不同地块蚯蚓种群的

加速器的容量有关。如能减少电子束需求量和研制廉价的大型加速器,就能大大减少烟气的处理费用。

电子束辐照烟气的温度为 80—150℃,辐照温度愈低, NO_x 的脱除效率愈高。烟气的温度通常为 150℃ 左右,如果在接近烟气的温度下用电子束辐照烟气,则烟气不需要冷却而简化其处理方法。

近年来针对减少电子束需求量和在较高温度下(约 150℃)辐照烟气的试验研究表明,减少电子束量或在较高温度下辐照烟气,脱硫脱氮的效率也很高。显然,开发利用电子束经济而有效地处理烟气是完全可能的。预料这种新技术将成为烟气净化技术的一大支柱。

参 考 文 献

- [1] 张慧明,上海环境科学,6(7) 30(1987)。
- [2] Robert, J. G. and Dennis, J. H., *Chemical Engineering Progress*, 81(10), 33(1985)。
- [3] Chang, S. G., "Kinetics of Reaction in a wet Flue Gas Simultaneous Desulfurization and Denitrification System" In *Flue Gas Desulfurization*, ACS Symp. Ser. No. 188 (1982)。
- [4] Calvert, S. and England, H. M., *Handbook of Air Pollution Technology*, p. 209, John Wiley & Sons, New York, 1984。
- [5] Schneider, T. and Grant, L., *Air Pollution by Nitrogen Oxides*, p. 713, Elsevier Science Publishing Company, New York, 1982。
- [6] Kawamura, K. et al., *ES&T*, 14(3), 288 (1980)。
- [7] Shui, V. H. and Kawamura, K., *Removal of SO_2 and NO_x from Gases by Electron Radiation*, 73rd Annual Meeting of APCA, Montreal, July, 1980。

不同密度,可定性地反映土壤污染状况。以蚯蚓种群密度方法评价土壤污染状况,简易快速,随时可在现场得出初步结果。

参 考 文 献

- [1] Rhee, J. A. Van., *Pedobiologia*, 17, 201—208 (1977)。
- [2] Van DE Westeringh, W., *Pedobiologia*, 12, 6—15 (1972)。
- [3] Brody, S., *Bioenergetics and Growth*, pp. 502—514, Reinhold Publishing Corp., 1945。
- [4] 岳清泉,蚯蚓的养殖与利用,1—27 页,重庆出版社,1984 年。