

# 烟气中硫氧化物和氮氧化物控制技术综述

彭会清, 胡海祥, 赵根成, 田爱堂

(南方冶金学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 综述了国内外的烟气脱硫脱氮技术, 并对这些技术的优缺点作了评述。

关键词: 烟气脱硫; 烟气脱氮; 综述

中图分类号: X701; X733 文献标识码: B 文章编号: 1671-8380(2003)04-0064-05

## 1 引言

$\text{SO}_x$  和  $\text{NO}_x$  是大气污染的主要物质, 二氧化硫的主要来源是金属冶炼工业(包括铁及有色金属铜、锌和铅等)和能源工业(包括煤、石油和天然气)<sup>[1]</sup>, 尤其是燃煤火力发电厂和工业锅炉。 $\text{NO}_x$  主要来自化石燃料和硝酸、电镀等工业废气及汽车尾气。其中  $\text{SO}_x$  中的  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$  中的  $\text{NO}$  和  $\text{NO}_2$  是污染大气的主要成分, 能引起人体中毒、植物损害、酸雨酸雾等, 并与碳氢化合物形成光化学烟雾, 造成臭氧层的破坏<sup>[2]</sup>。我国每年  $\text{SO}_2$  的排放量约为  $2\,400 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{NO}_x$  的排放量为  $770 \times 10^4 \text{ t}$ , 给国家和人民造成巨大经济损失<sup>[3]</sup>。美国宇航局资助的 CHINA-MAP 项目通过 PAINS-ASIA 模式检测了中国 29 个地区的污染物排放情况, 结果表明, 如果不加以排放控制, 预计到 2020 年  $\text{SO}_2$  的排放量将增加到约  $6\,070 \times 10^4 \text{ t}$ ,  $\text{NO}_x$  的排放将增加到  $2\,660 \sim 2\,970 \times 10^4 \text{ t}$ 。因此, 如何尽快解决这些污染是一个亟待解决的问题。本文综述了目前国内国外已经应用普遍的技术。目前烟气脱硫脱氮方法有很多, 近年来联合脱硫脱氮技术是燃料气治理的发展方向之一, 目前国际上将可同时脱硫脱氮的过程称为  $\text{NO}_x\text{SO}$  过程, 已经有很多的国家的政府和大型的企业资助这个项目, 有些已取得中试和小试成果, 显示出强劲的发展前景。

## 2 烟气脱硫技术

### 2.1 湿法烟气脱硫工艺

#### 2.1.1 石灰石/石灰—石膏法<sup>[4,5,6]</sup>

石灰石/石灰—石膏法是目前最为广泛的一种脱硫技术, 其原理就是采用石灰石/石灰粉制成浆液作为脱硫吸收剂, 与进入吸收塔的  $\text{SO}_2$  烟气混合反

应, 烟气中的  $\text{SO}_2$  最终反应生成  $\text{CaSO}_3$  和石膏。此法开发最早, 技术上较成熟, 并已积累了不少设计制造和运行经验。

石灰石/石灰—石膏法其主要优点是: 脱硫效率高, 适应煤种广, 吸收剂利用率高(可大于 90%), 设备运转率高(可大于 90%), 工作的可靠性很高, 脱硫剂来源丰富而廉价。它也存在着比较明显的缺点: 初期投资费用高, 运行费用高, 占地面积大, 系统管理操作也很复杂, 磨损腐蚀结垢现象较为严重, 副产物石膏销路问题很难处理, 废水较难处理。

#### 2.1.2 氨法<sup>[4,7,8]</sup>

氨法的原理是采用 25% ~ 30% 的氨水作为脱硫吸收剂, 与进入吸收塔的  $\text{SO}_2$  烟气混合反应, 生成亚硫酸铵, 经与鼓入的强制氧化空气进行氧化反应, 生成硫酸铵溶液, 经结晶、脱水、干燥后即制得化学肥料硫酸铵。

该法的优点是氨水与  $\text{SO}_2$  的反应速度很快, 无论烟气中的  $\text{SO}_2$  浓度的高低, 均可达到很高的脱硫效率(95%以上); 吸收剂溶解浓度高, 不会造成设备的结垢和堵塞, 同时也不需要吸收剂再循环系统; 系统简单, 稳定性高, 其投资费用低; 氨法工艺无废水和废渣排放。缺点主要有吸收剂氨水价格高, 如果副产品销售收入不能抵消大部分吸收剂费用, 则不能应用氨法工艺。

#### 2.1.3 双碱法<sup>[4,9]</sup>

双碱法原理是利用碳酸钠和氢氧化钠作为脱硫剂, 脱硫剂在吸收塔中与  $\text{SO}_2$  反应生成亚硫酸钠和亚硫酸氢钠, 再用石灰浆(或石灰石)再生反应。

双碱法优点在于生成的固体的反应不在吸收塔中进行, 这样避免了塔的堵塞和磨损, 提高了运行的可靠性, 降低了操作费用, 同时提高了脱硫效率。它的缺点主要是多了一道工序, 增加了投资。

#### 2.1.4 氧化镁法<sup>[4,9]</sup>

氧化镁法在美国的脱硫的工艺系统较常见,工艺原理是利用  $\text{MgSO}_3$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的浆液与预处理之后的  $\text{SO}_2$  烟气在吸收塔内反应生成  $\text{MgSO}_3$  (部分被氧化成  $\text{MgSO}_4$ )。  $\text{MgSO}_3$  和  $\text{MgSO}_4$  沉降下来都呈现水合结晶态,固液分离后的  $\text{MgSO}_3$  和  $\text{MgSO}_4$  经再生反应生成氧化镁,再生的氧化镁与增加的氧化镁水熟化生成  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , 循环到吸收塔内。  $\text{MgSO}_3$  在煅烧中经  $833^\circ\text{C}$  高温分解;  $\text{MgSO}_4$  则以碳还原,煅烧出来的  $\text{SO}_2$  气体经出尘后制酸或制硫。

$\text{MgO}$  法比较复杂,费用也比较高,但有发展前景;脱硫率较高(一般在 90% 以上),有很大的溶解度,因此不会出现结垢现象。  $\text{MgO}$  法约占美国脱硫工艺的 5%。

#### 2.1.5 亚硫酸钠循环吸收法(W-L 法)<sup>[10,11]</sup>

W-L 法是美国 Davy-Mckee 公司 60 年代末开发的。其原理是利用亚硫酸钠在吸收塔内与  $\text{SO}_2$  反应生成亚硫酸氢钠,然后将亚硫酸氢钠分解成亚硫酸钠很高浓度的气体。亚硫酸钠循环,高浓度的  $\text{SO}_2$  用于制酸, W-L 法就是在亚硫酸钠溶液的吸收再生循环过程将烟气中的  $\text{SO}_2$  脱除的。

W-L 法的优点是:脱硫效率高(常大于 97%),变废为宝(得到的  $\text{SO}_2$  制酸),脱硫负荷可以在较大的范围内变化,系统可靠性和利用率高,适合于高硫煤,尽能回收硫的副产品。 W-L 法也有两个明显的缺点<sup>[3]</sup>:一个是废气中的氧使一部分  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  氧化成  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 消耗一定量的碱,所以在生产当中必须补充  $\text{NaOH}$ ; 另一个是排放的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  中的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  必须深加工,否则会造成二次污染。

#### 2.1.6 柠檬酸钠法<sup>[4,12]</sup>

柠檬酸钠法在 80 年代初由华东化工学院开发,1984 年在常州华工二厂实现了工业化。其原理是利用柠檬酸钠和柠檬酸形成的缓冲溶液,抑制 pH 值的降低(吸收  $\text{SO}_2$  过程中会导致 pH 下降),可吸收更多的  $\text{SO}_2$ 。从吸收塔底部排出的溶液进入还原器内与  $\text{H}_2\text{S}$  气体反应生成元素硫,然后经过过滤得到固态的硫。

柠檬酸钠法具有工艺和设备简单、占地面积小、操作方便、运转费用低、污染少等特点;但是用贵重的柠檬酸钠脱硫是不经济的,不适合国情。

#### 2.1.7 磷铵复肥法(PAFP)<sup>[4,13]</sup>

该法是以磷矿石和氨为原料,在脱硫过程中直接生产氮磷复合肥料的一种烟气脱硫回收技术。 PAFP 的工作原理是用活性碳吸收烟气中的  $\text{SO}_2$

后,在烟气中过剩氧和水的作用下可催化氧化成硫酸,当达到每克碳含 20% 时,停止吸收,换成稀硫酸和水喷淋 20% 浓度的稀硫酸,然后用稀硫酸浸磷矿石;经萃取过滤而得到磷酸,磷酸加氨中和得到磷铵,中和液重新作为吸收剂返回吸收塔进一步吸收  $\text{SO}_2$  烟气,二级脱硫后的磷铵溶液经氨氧和蒸发浓缩干燥处理后,生成磷铵复肥。

PAFP 烟气脱硫为回收法脱硫技术,与一般的烟气脱硫法相比,脱硫率高(95% 以上),脱硫原料磷矿石来源丰富,价廉易得,其副产品价值足以抵偿全部运行费用并稍有剩余。该法的缺点是一次性投资大,技术还未成熟,二次污染磷石膏废渣和含 HF 气体需要处理。

#### 2.1.8 海水脱硫<sup>[4,14,15]</sup>

天然的海水含有大量的可溶性盐,其主要是氯化物和硫酸盐,也含有一定量的碳酸盐。海水呈碱性,自然碱度大约为  $1.2 \sim 2.5 \text{ mmol/l}$ ,则使得天然海水具有一定的  $\text{SO}_2$  吸收能力。原理是利用海水与烟气在吸收塔内反应脱除  $\text{SO}_2$ 。

海水脱硫的工艺特点:投资少,运行费用低,工艺简单,无需脱硫剂的制备,系统可靠利用率高(可达 100%),脱硫效率高(可达 90% 以上),无废物排放,易于管理。但只能适用于燃煤含硫量小于 1.5% 的中低硫煤<sup>[7]</sup>,该工艺是否给海洋造成污染难以评估,该法只能适用于海边电厂。

### 2.2 干法脱硫

#### 2.2.1 炉内喷钙尾部增湿活化法(LIFAC 法)<sup>[16,17]</sup>

LIFAC 法由芬兰 IVO 公司和 TAMPELLA 公司联合开发,是在炉内喷石灰石粉末,脱除部分  $\text{SO}_2$ 。为了提高脱硫率,在炉后尾部烟道增加了一个活化器,继续进行脱硫反应,最终可使整个工艺脱硫率达到 60% ~ 85%。

LIFAC 工艺的主要优点是耗电量小,占地面积小,工艺简单,投资明显低于湿法和喷雾干燥法,同时维修方便,比较适合中小容量机组和老电厂的改造。主要缺点是脱硫低要求有高的钙硫比,不适合用于含硫份高的煤种;烟气中的碱性钙使得静电除尘器的烟气击穿电压下降,从而使除尘效率下降;石灰石的分解要吸收热量及送入的冷空气的加入也会使锅炉的热效率减低,此外磨损问题、灰熔点降低的问题都需要进行分析研究。

#### 2.2.2 荷电干式吸收剂喷射脱硫法(CDSI)<sup>[18]</sup>

CDSI 的脱硫原理是:脱硫剂熟石灰以高速通过静电晕充电区,使脱硫剂得到强大的负电荷后,在吸

收塔内通过喷射系统喷射到烟气中,由于脱硫剂都带同一种电荷而相互排斥,很快在烟气中扩散,并形成均匀的悬浮状态,使每个脱硫剂颗粒表面充分暴露于烟气中,增加了 $\text{SO}_2$ 反应的机会。同时由于脱硫剂表面的电荷,增强了其活性,缩短了与 $\text{SO}_2$ 的反应时间,提高了脱硫率。

该方法对亚微米小颗粒粉尘的去除也很有效。因为带电的脱硫剂颗粒把小颗粒吸附在身边的表面,形成了较大的颗粒,提高了粉尘的平均粒径,也就提高了亚微米颗粒的去除率。

CDSI系统的优点在于投资小、收效大、脱硫工艺简单有效,可靠性强;整个装置占地面积小,不仅可用于新建锅炉的脱硫,而且更适合对现有锅炉的技术改造;CDSI是纯干法脱硫,不会造成二次污染,反应生成物将与烟尘一起被除尘设备除去运出厂外。其缺点是对脱硫剂要求过高,限制了其推广。

### 2.2.3 炉内喷钙循环流化床反应器技术<sup>[19]</sup>

炉内喷钙循环流化床反应器技术是由德国 Simmering Graz Pauker/Lurgi GmbH 公司开发的。该技术的脱硫原理是在锅炉膛适当部位喷入石灰石粉末,起到部分固硫的作用,在尾部烟道电除尘器前装上循环流化床反应器,这样炉内未反应完的氧化钙随飞灰输送到循环流化床反应器内,在反应器内大颗粒的氧化钙被气体湍流破碎,与 $\text{SO}_2$ 反应提供更大的表面积,从而提高了脱硫率。该类技术将循环流化床引入烟气脱硫中来,具有开创性,目前其工艺脱硫率可达90%以上。

## 2.3 半干法

### 2.3.1 旋转喷雾干燥法(SDA法)<sup>[20]</sup>

SDA法是由美国JOY公司和丹麦NIRO公司联合开发研制出来的工艺。它是利用喷雾干燥的原理,在吸收剂喷入吸收塔之后,一方面吸收剂与烟气中的 $\text{SO}_2$ 发生化学反应生成固体灰渣;另一方面烟气将热量传递给吸收剂使之不断干燥,所以完成脱硫反应后的废渣以干态亚硫酸钙与硫酸钙排出。

该法有以下的特点:吸收塔出来的物料是干的,与湿法相比省去庞大的废料后处理系统,使工艺流程简化,投资明显降低;能量与水消耗量比湿法要低;基本上不存在结垢、堵塞、腐蚀等问题;占地面积小,约为湿法的1/2。系统可靠性大,但对系统控制要求较高;脱硫率略低于湿法。

### 2.3.2 CFB循环流化床烟气脱硫工艺<sup>[21]</sup>

CFB循环流化床烟气脱硫技术是以石灰浆作为脱硫剂,锅炉烟气从循环流化床底部进入反应塔,

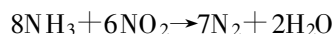
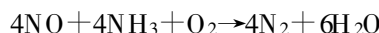
在反应塔内与石灰浆进行反应,除去烟气中的 $\text{SO}_2$ 气体。脱硫剂颗粒由分离器排出后返回塔再次参加反应,反应完全的脱硫剂颗粒从反应塔底部排出。

CFB循环流化床烟气脱硫工艺特点是脱硫率较高;在循环床内可以保证将烟气中的 $\text{SO}_2$ 含量降低到环保要求;工艺简单、运行可靠、可用率高;结构紧凑,设备效率高;设备基本上不存在腐蚀问题,运行操作简单;可在100%~30%负荷下稳定运行。

## 3 烟气脱氮技术综述

### 3.1 选择性催化还原法(SCR法)<sup>[22,23]</sup>

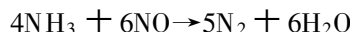
此法的原理为:使用适当的催化剂,在一定温度下以氨作为催化反应的还原剂,使氮氧化物转化成无害的氮气和水蒸汽。反应式如下:



催化剂不同,反应所需温度也不一样。以二氧化钛为载体的钨、铂催化剂,所需的反应温度为300~400℃,而以焦炭为催化剂,反应温度为100~150℃。此法具有净化率高(可达85%以上),工艺设备紧凑,运行可靠,氮气放空,无二次污染等特点,但此法存在投资与运行费用(投资费用80美元/kW)<sup>[24]</sup>较高,消耗氨液,氮氧化物不能回收等不足之处。若在联合SCR/VOC(易挥发的有机化合物)催化系统中,气流将首先通过一种氧化催化剂将VOC转化成 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。该法 $\text{NO}_x$ 脱除率可达99.0%。

### 3.2 非催化选择性还原性(SNCR法)<sup>[22,25]</sup>

该法原理同SCR法,由于没有催化剂的帮助,反应所需温度较高,为900~1200℃。反应式为



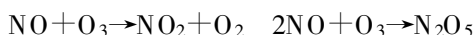
由于反应温度高,此法要控制好反应温度,以免氨被氧化成氮氧化物。此法的净化率为50%~60%,其特点是不需催化剂,旧设备改造少,投资较SCR法小(投资费用15美元/kW)<sup>[24]</sup>。但氨液消耗量较SCR法多。近来研究用尿素代替 $\text{NH}_3$ 作为还原剂,使得操作系统更加安全可靠,而不必担心因 $\text{NH}_3$ 的泄漏造成新污染。

### 3.3 催化助热燃烧技术<sup>[26]</sup>

催化助热燃烧技术(catalytic support technology, CST)是采用催化剂使燃烧火焰温度从1800~2000℃降低到1500℃左右,从而显著地阻止了 $\text{NO}_x$ 的生成。这是针对含氮少的气体燃烧的燃烧法,可有效降低 $\text{NO}_x$ 的排放。

### 3.4 臭氧氧化吸收法<sup>[25, 27]</sup>

采用 O<sub>3</sub> 使 NO 氧化, 然后用水溶液吸



生成物 HNO<sub>3</sub> 经浓缩而得到浓度为 60%。实践证明, 该法不会将其它污染物带入反应系统中, 而且采用水作吸收剂比较便宜。但是, 臭氧要用高压电制取, 故耗电量, 费用大。

### 3.5 高锰酸钾 KMnO<sub>4</sub> 液相氧化吸收法<sup>[25, 27]</sup>

用 KMnO<sub>4</sub> 将 NO 氧化成 NO<sub>2</sub>, 然后将它固定生成硝酸盐, 此法亦可同时脱硫, 此法用于产生 MnO<sub>2</sub> 沉淀, 易于分离再生, 且副产品 KNO<sub>3</sub> 可做化肥用。此法脱硝率为 90%~95%。但 KMnO<sub>4</sub> 价格高。总之, 湿法脱硝率高, 而且可以同时脱硫, 但带来水污染问题。

## 4 烟气脱硫脱氮一体化技术

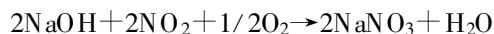
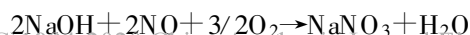
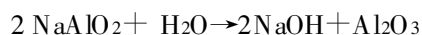
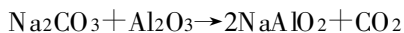
### 4.1 电子束照射法(ER 法)<sup>[22, 28]</sup>

该法的原理是在烟气进入反应器之前先加入氨气, 然后在反应器中用电子加速器产生电子束照射烟气, 使水蒸气、氧等分子激发产生高能自由激, 这些自由激使烟气中的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 很快氧化, 产生硫酸和硝酸, 再和氨气反应形成硫酸铵和硝酸铵化肥。

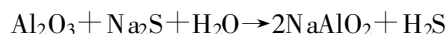
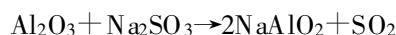
该流程工艺的特点是: 能同时脱硫脱硝, 脱硫效率高(90%以上), 脱硝率 80%以上, 不产生废水和废渣, 副产品可以做化肥使用, 系统操作方便简单, 过程易于控制, 运行可靠, 无堵塞、腐蚀和泄漏等问题, 对负荷的变化适应性强, 处理后烟气无需加热可直接排放, 占地面积小(约为常规方法的 1/2~1/3), 投资和运行费用低, 实际运行中, 燃煤含硫量在 0.8%~3.5%之间变化时, 脱硫率在 80%以上脱硝率在 20%以上。电子束辐射法已在我国六大脱硫示范工程之一的成都发电厂脱硫脱硝工程中得到应用。

### 4.2 吸附剂吸收技术<sup>[22]</sup>

采用浸渍了碳酸钠的 γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 圆球(Φ1.6 mm)作为吸附剂同时去除烟气中的二氧化硫和氮氧化物。处理过程包括吸收、再生等步骤。吸收过程反应式为:



采用天然气—一氧化碳可对吸附剂进行再生, 再生反应式如下:



此技术对烟气中二氧化硫的净化率达 90%, 氮氧化物的净化率达 70%~90%, 但此技术需大量吸附剂, 设备庞大, 投资大, 运行动力消耗也大。

### 4.3 活性碳脱硫脱氮法<sup>[28]</sup>

在该处理系统中, 先用活性碳吸附除去烟气中的 SO<sub>x</sub>, 再让烟气通过另一活性碳层同时高效除去 SO<sub>x</sub> 和 NO<sub>x</sub>。在脱硫塔中, NO<sub>x</sub> 由于活性碳和催化作用也会被分解除去。但当 SO<sub>x</sub> 同时存在时去除效率甚低。烟气从脱硫塔出来后, 被重新注入 NH<sub>3</sub>, 然后通过填满活性碳的脱氮塔完成高效脱氮。

在解吸塔中, 从脱硫塔中转移过来的活性碳被加热到 390℃左右, 结果活性碳上的硫酸和硫酸铵被分解, 产生富含 SO<sub>2</sub> 的气体(SO<sub>2</sub> 浓度约为 15%), 然后 SO<sub>2</sub> 被还原, 并以硫黄被回收。

在解吸塔中被再生活化的活性碳先送至脱氮塔, 在活性碳的催化作用下以 NH<sub>3</sub> 还原除去 NO<sub>x</sub>, 然后把活性碳送至脱硫塔去吸附 SO<sub>x</sub>, 最后再一次被送回解吸塔。运行结果表明脱硫率在 97%以上, 脱氮率在 80%以上, 处理装置在日本已投入实际生产。

烟气中 NO<sub>x</sub> 脱除还有很多的方法正在研究阶段技术不是很成熟, 比如烟道气循环法、低 NO<sub>x</sub> 燃烧器法<sup>[26]</sup>、氨碱吸收法、尿素吸收法、亚硫酸铵吸收法<sup>[22]</sup>等。

## 5 结束语

为了减少烟气中硫氧化物和氮氧化物对大气的污染, 一方面要改进燃烧技术抑制其生成, 另一方面要加强对排烟中硫氧化物和氮氧化物的烟气净化治理。燃烧前脱硫脱硝也是控制硫氧化物和氮氧化物排放的有效方法, 现在也正在积极的研究开发当中, 很多的技术已经用到了工业上。

目前, 国内外已开发了多种脱硫和脱硝工艺, 评价各种工艺应从硫氧化物和氮氧化物净化率、装置成本、运行费用以及副产物处理和二次污染等多方面综合评价。在这方面, 国外技术开发较早, 已积累了丰富经验, 适当引进国外技术是必要的, 但最终必须实现国产化。

针对我国国情特别是经济承受能力,选用何种控制技术,应因地制宜,充分利用当地资源,做到经济上可行,技术成效,运行可靠。

#### 参考文献

- [1] 董志权主编. 工业废气净化与利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [2] 毕列锋, 李旭东. 微生物法净化含  $\text{NO}_x$  废气[J]. 环境工程, 1998, 16(3): 37~39.
- [3] 郭占成. 活性炭选择性催化还原(SCR)烟道气中  $\text{NO}_x$  [J]. 环境工程, 1999, 17(4): 35~37.
- [4] 陈亚非. 烟气脱硫技术综述(待续)[J]. 制冷空调与电力机械, 2001, 22(1): 17~20.
- [5] 孙雅珍. 湿式石灰石—石膏排烟脱硫技术的应用[J]. 长春大学学报: 自然版, 1994, (2)46~49.
- [6] Taha Ramzi. Environmental and engineering properties of flue gas desulfurization gypsum[J]. Transportation Research Record, 1993(1424): 14~19.
- [7] 雷海成. 火电厂烟气脱硫工艺技术经济比较[J]. 广西电力工程, 1999(1): 24~29.
- [8] 肖文德, 李伟, 方云进等. 火电厂烟气脱硫新方法—NADS—肥法[J]. 中国电力, 2001(7).
- [9] 中国环境科学学会编. 脱硫技术中国环境[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [10] IHI CORP. 土屋博隆. Flue Gas Desulfurization System, 1997.
- [11] 蒋李亚. 江西火电厂烟气脱硫工艺选择研究[J]. 江西能源, 2002(1): 11~14.
- [12] 邱礼有, 叶骏. 柠檬酸缓冲溶液吸收低浓度  $\text{SO}_2$  动力学研究[J]. 成都科技大学学报, 1990(4): 121~128, 134.
- [13] 崔莲溪. 磷酸肥法(PAFP)烟气脱硫技术[J]. 硫酸工业, 1992, (4): 3~10.
- [14] 董学德, 彭斯干, 唐崇武, 丁伟. 烟气海水脱硫技术极其应用[J]. 中国电力, 1996(10).
- [15] 姚彤, 范祖训等. 海水脱硫工艺在广东沿海火电厂应用的可行性(火电厂烟气脱硫技术选编)[M]. 南京: 电力环境科学研究所, 1993.
- [16] 段建中, 何红光. 炉内喷钙脱硫技术的现状与发展前景[J]. 热力发电译丛, 1990(3): 48~51.
- [17] IVO, Finlang. FGD document, 1998.
- [18] 陈亚非. 烟气脱硫技术综述(续一)[J]. 制冷空调与电力机械, 2001, 22(2): 35~37.
- [19] 淳于菱, 陈继录. 几种先进烟气脱硫技术综合性能评价及在我国应用前景分析[J]. 电力环境保护, 2000, 16(1): 18~22, 48.
- [20] 张慧明, 田新莲. 喷雾干燥法排烟脱硫[J]. 上海环境科学, 1989, 8(6): 36~38, 7.
- [21] 王文德, 张巍. 湿法和干法烟气脱硫工艺技术分析[J]. 齐鲁石油化工, 2001, 29(4): 314~317.
- [22] 钱斌. 燃煤锅炉氮氧化物的污染及控制技术综述[J]. 有色冶金设计与研究, 2000, 21(2)41~46.
- [23] E. D Cjchanowicz et al. Seletive Catalytic Reduction Controls  $\text{NO}_x$  in Europe, Power Eng, 1988, 92(8).
- [24] S. M. Katzberger, et al. Options are Increasing for Reducing Emissions of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$ . Power Eng 1988, 92(12).
- [25] 李玲, 孙学信, 李敏, 胡松, 于敦喜. 燃煤电厂烟气脱硫脱硝技术的发展[J]. 锅炉压力容器安全技术, 2001, (5): 1~6.
- [26] 黄军左, 顾立军, 刘宝生, 李雪辉, 王乐夫. 脱除工业烟道气中的  $\text{SO}_x$  和  $\text{NO}_x$  的技术[J]. 现代化工, 2001, 21(12): 44~47.
- [27] 郑楚光. 洁净煤技术[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [28] 劳善根, 王凯雄. 日本燃煤烟气中  $\text{NO}_x$  处理技术[J]. 煤矿环境保护, 1997, 11(4)38~40, 48.

## 2004 年《广西电力》征稿启事

2004 年《广西电力》征稿, 欢迎以下内容的稿件:

(1) 围绕“西电东送”中广西要成为电网支撑和电源补充基地以及广西 500 kV 交直流运行所要解决的技术性问题, 有关 500 kV 交直流输电技术、系统稳定技术、电网管理、配电自动化技术等。

(2) 广西电网规划、广西电力系统信息化技术。

(3) 枢纽变电站综合自动化改造技术及在线监测技术。

(4) 谐波监测分析与治理。

(5) 提高 10 kV 配电网可靠性综合技术。

(6) 电网线损监测技术。

(7) 安全生产技术和安全生产管理。

(8) 设备状态检修技术, 电气设备带电测试技术及  $\text{SF}_6$  电气设备故障检测技术。