

洁净煤技术的新发展

——一种火电厂 SO₂ 的资源化技术

肖文德, 袁渭康*

(华东理工大学, 国家重点化学工程(反应工程)联合实验室, 上海 200237)

[摘要] 火电厂烟气脱硫 (FGD) 是重要的洁净煤技术之一。发达国家主要采用以石灰石为脱硫剂的钙法, 投资大, 成本高, 石膏无利用价值, 不适合我国的国情。作者提出了一种以合成氨为基础的新氨法 (NADS), 回收烟气中的 SO₂, 生产硫酸铵、磷酸铵或硝酸铵化肥, 并联产工业浓硫酸, 已在 2.5 万 kW 机组试验成功, 建立了计算机模拟软件。与现有同类技术相比, NADS 可节省投资 70% 以上, 减少运行成本 70% 以上。文中给出了一个 20 万 kW 机组和一个 30 万 kW 机组的经济分析, NADS 的投资分别为 6 000 万元和 8 000 万元, 投资回收期分别为 8 年和 5 年。该技术在我国具有十分巨大的应用前景。

[关键词] 烟气脱硫; 洁净煤技术; 二氧化硫; 电厂; 氨; 化肥

1 引言

环境与发展是人类社会长期面临的一个主题, 其中, 能源的问题最为突出。利用煤、石油和天然气等化石能源引起的酸雨、温室效应和臭氧层破坏等环境问题已成为社会和经济发展的一个制约因素, 引起了政府、科技界和民众的普遍重视。

我国是世界上最大的煤炭生产和消费国, 煤炭占总能源的 73%。在我国, 二氧化硫污染主要来自燃煤烟气。1995 年, 全国 SO₂ 的排放总量为 23.70 Mt, 超过美国成为世界第一; 1998 年为 20.91 Mt (降低的原因不是控制措施, 主要是消耗量下降); 到 2000 年预计为 25 Mt。由此造成的酸雨损失在 1998 年超过了 1 100 亿元。

火电厂的烟气脱硫 (flue gas desulfurization, FGD) 具有重要意义, 因其量大, 是最主要的烟气排放源, 且排放集中, 便于治理。据载, 我国到 2010 年的火电机组总容量将达到 3.7 亿 kW, 平均按 20 万 kW 容量计算, 将有 1 800 余台, 排放的 SO₂ 估计将达到 15 Mt/a。为此, 1997 年初, 国务院

颁布了《酸雨控制区和 SO₂ 污染控制区划分方案》, 实施 2000 年和 2010 年两步控制计划, 并重点实施燃煤火电厂的烟气脱硫。但是, 任务紧迫, 困难巨大。

首先, 我们还没有足够的技术准备。美、日等发达国家已基本解决其能源的环境污染问题, 主要手段是烟气脱硫。85% 以上的烟气脱硫技术是以石灰石为脱硫剂的石膏法。自“七五”以来我国在这方面进行了 15 年多的科技攻关, 目前还未能很好掌握这一技术, 已建、在建和将建的 10 余套装置全部进口。其次, 我们也没有足够的经济准备。石膏法的优点是脱硫剂的资源丰富, 缺点是石膏的用处不大, 为抛弃法。另外, 石膏法投资大, 占发电投资的 20% 以上; 运行成本高, 可使发电成本增加 10% ~ 20%。一台 20 万 kW 机组的 FGD 投资达 2.0 亿元 (而发电部份的投资为 8~10 亿元), 每年的运行费用将超过 2 000 万元。因此, 企业很难承受烟气脱硫的经济负担。若按此计算, 要较好地解决我国的火电厂烟气脱硫, 投资将超过 3 000 亿元, 每年的运行维持费超过 400 亿元。

[收稿日期] 1999-11-16; 修回日期 2000-02-28

[基金项目] “九五”国家重点科技攻关项目

[作者简介] 肖文德 (1965-), 男, 四川资中县人, 华东理工大学教授

* E-mail: wkyan@ecust.edu.cn

从不同的角度认识 SO₂, 就会有不同的办法。在化学家眼中, SO₂ 是一种物质, 其有害还是有利完全决定于人们的态度。以一种“友好”的态度对待 SO₂, 将其回收, 变废为宝, 划害为利, 在我国具有突出的意义。

我国是一个人口大国, 也是农业大国, 需要大量化肥。据报载, 2005 年, 我国的合成氨年需求量达 33 Mt, 磷肥需求量 10 Mt。硫酸是生产磷肥的主要原料, 目前我国的年产量超过 23 Mt, 等同于 15 Mt SO₂。近年来, 由于我国的硫资源相对缺乏, 为满足磷肥增长的需求, 已进口大量硫磺。据估计, 今年我国进口硫磺总量将突破 2.50 Mt, 相当于 5 Mt SO₂, 占用外汇 10 亿元以上。此外, 今年的磷肥进口量为 5 Mt, 相当于进口硫酸 6 Mt, 折合 4 Mt SO₂。所以, 按照这个发展趋势, 到 2005 年, 我国进口的硫资源折合 SO₂ 将超过 10 Mt。加上国内自产的 SO₂, 到时, 我国化肥行业需要的 SO₂ 将超过 20 Mt/a。在这同时, 却有超过 20 Mt/a 的 SO₂ 通过烟气排向大气, 严重污染环境, 造成 1 100 亿元/a 以上的酸雨损失。

为此作者研究开发了回收火电厂烟气 SO₂ 生产化肥的技术并确立了相应的技术和经济指标。应用该技术, 一台 20 万 kW 机组的烟气 SO₂ 回收装置总投资在 5 000~8 000 万元, 是国外技术的 20%~40%; 回收每吨 SO₂ 的运行费用为 300~500 元, 是国外技术的 20%~40%。

该技术, 称为 NADS (Novel Ammonia De-sulfurization), 以合成氨为吸收剂, 回收烟气中的 SO₂, 生产硫酸铵、磷酸铵或硝酸铵化肥, 联产工业浓硫酸, 将烟气脱硫与化肥生产相结合, 已在 2.5 万 kW 机组上实施, 计划于 2000 年放大到 20 万 kW 机组。

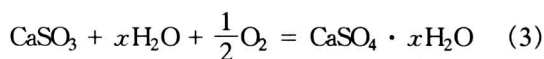
2 FGD 的国内外现状和发展趋势

按脱硫剂的种类划分: 有以 Ca₂CO₃ (石灰石) 为基础的钙法、以 MgO 为基础的镁法、以 Na₂SO₃ 为基础的钠法、以 NH₃ 为基础的氨法、还有以有机碱为基础的有机碱法。这里主要讨论钙法和氨法。

2.1 钙法

世界上普遍使用的商业化技术是钙法, 其主要优点是吸收剂的来源丰富, 且价格便宜。实践中, 钙法具有多种具体形式。

首先出现的是湿式钙法, 其原理如下:

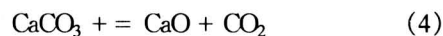


式 (3) 中, $x=1/2$ 或 2。

这种方法占的比例超过 90%, 为最成熟的 FGD 技术。其主要特点是脱硫率可高达 95% 以上, 消耗吸收剂少, Ca、S 物质的量比接近 1.0。此外, 烟气经过高效电除尘后, 石膏质量较好, 具有利用价值。因此, 对于缺乏石膏的国家和地区, 比如日本和东南亚, 脱硫石膏可利用。多数国家, 比如美国和德国, 脱硫石膏都不利用。在我国, 由于石膏资源丰富, 脱硫石膏也难以利用。因此, 钙法被称为抛弃法。

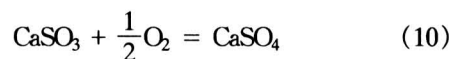
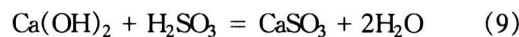
主要缺点是: (1) 脱硫反应的温度 50 ℃ 左右, 烟气被水蒸气饱和, 必须经过再热升温到 70 ℃ 以上才能排向烟囱, 再热器的投资较大, 20 万 kW 机组的再热器需 1 000 万元左右, 阻力大, 系统压降约为 1.5 kPa; (2) 石灰制浆系统复杂, 成本高, 石灰石需研磨到 300 目 (53 μm) 以上; (3) 吸收液喷淋系统要求高, 气、液比很低, 循环泵流量和扬程高, 能耗大; (4) 消耗石灰石矿产资源, 产生 CO₂ 和渣的二次污染。

为克服湿法的缺点, 出现了将石灰石直接喷入燃烧炉或蒸汽锅炉的干式钙法。其原理如下:



式 (4~6) 所示反应在高温 (850~1 000 ℃) 下进行 其缺点是生成的石膏与煤灰混在一起, 不能利用, 脱硫率低, 脱硫剂消耗大, $n(\text{Ca})/n(\text{S}) > 2.0$ 。

为了克服干法和湿法的缺点, 出现了半干式钙法。半干法以生石灰 CaO 为脱硫剂, 其原理如下:



生石灰先经过消化变为氢氧化钙浆液, 经喷雾装置雾化喷入烟气中。脱硫温度一般 70 ℃ 左右, 烟气未达到饱和, 无需再热即可排入烟囱。

生石灰一般不需要粉碎和研磨, 因此, 消石灰的成本与 300 目 (53 μm) 以上的石灰石的成本相近。

半干法又有两种实施方式。一是石灰浆在电除尘器前喷入,二是在电除尘器后喷入。前者的石膏与煤灰混在一起,不能利用;后者的石膏可以利用,但必须再配置电除尘器。电除尘器的造价和占地面积是再热器的两倍以上。可见,与湿法相比,半干法的优越性并不明显,甚至不如湿法。这便是湿式钙法被国际普遍采用的原因。

抛弃法的问题是显然的。它没有经济效益,且投资和操作运行费用很高。美国空气净化集团公司研究院于1995年在《Power Engineering》发表了题为:“Scrubber Myths and Realities (烟气脱硫的传言与现实)”的文章,对世界的石灰石—石膏法作了综述。其结论是,烟气脱硫的投资为150~300美元/kW,操作运行费用为每吨SO₂约400美元。

虽然经过近二十年的研究,我国FGD的工业化技术还未形成,无从比较,可供参考的是引进装置。迄今,我国共有烟气脱硫装置4套,都在重庆珞璜电厂,4台36万kW机组,是日本三菱公司的技术和装置,脱硫投资占电厂建设总投资的12%。最近,北京热电一厂2台10万kW机组和杭州半山电厂的2台12.5万kW机组引进德国的技术,情况大致相同。这些引进装置都是石灰石湿法,使用的资金是外国政府优惠贷款。

在抢占中国烟气脱硫市场方面,发达国家政府和跨国公司是不遗余力的。日本公司分别与山东电力局合作在黄岛电厂,与四川省电力局合作在成都热电厂,与华北电力局合作在太原电厂进行试验。德国、丹麦、荷兰和芬兰等欧洲国家的公司也在我国寻找伙伴进行FGD试验。美国某公司与四川电力局将进行循环流化床燃烧及干法FGD合作。最近,电力和环保部门又作出规划,我国的FGD发展钙法,走发达国家的道路。

然而,对中国而言,这将是一个“Myth (神话)”。因为,我国目前既没有作好技术的准备,又没作好经济的准备,主要是接受外国政府的援助,建设一定的示范装置。

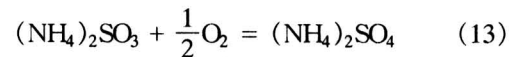
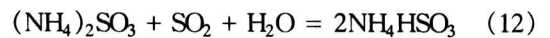
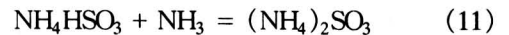
为解决电厂FGD在经济上的巨大困难,发达国家从未停止探索、研究和开发低投资、低成本的FGD技术。其中将烟气中的SO₂回收变为有价值的产品的回收法是最引人注目的。

在前面讨论的几种方法中,钙法代表抛弃法,镁法、钠法和氨法都是回收法。镁法和钠法的脱硫剂损耗大,能耗高,投资大,目前已不再受重视。

氨法是最早出现的FGD技术之一,后钙法占了优势。但是,进入90年代后,也许是发达国家在进入中国的FGD市场上受挫,氨法又倍受重视,有关FGD的专利大部份是与氨法有关的。

2.2 氨法

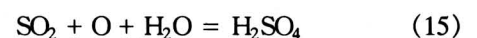
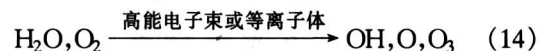
其原理如下:



这一技术在电厂烟气脱硫中用得并不多。在我国,早期的硫酸厂采用较多。主要原因是电厂烟气与硫酸厂尾气不同:在硫酸厂,吸收温度低,在25℃左右,且气量低;在火电厂,气量大,且吸收温度高达40~60℃,氨的带出损失大。进入90年代以来,这一方法受到了进一步重视。德国的Krupp Koppers公司在80年代末建了一个250 t/h蒸汽锅炉(6万kW)的氨法脱硫装置,生产硫酸铵,其技术被Bischoff公司买断(该公司又被Lurgi公司收购)。美国的GE环境系统公司也进一步开发了这个方法。

实际过程中,以上反应也分两步进行:吸收阶段,氧化率较低;氧化阶段需鼓压缩空气。整个吸收过程要求高的液、气比和低的pH值。GE公司拟在威斯康辛州的Kenosha电厂建一个50万kW的工业性示范装置,其燃煤中硫的质量分数为2.6%,脱硫率为90%。GE氨法的总投资比石灰石湿法高,并认为,只有在含硫量较高时,才具有优越性。

日本荏原制作所开发了高能电子束技术,其原理如下:



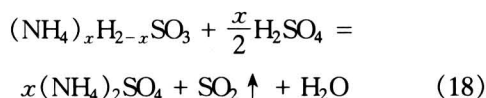
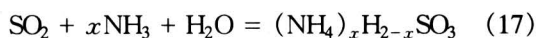
它借助于高能电子束产生高氧化活性的原子氧或臭氧,在氨的加入下,形成硫酸铵,可作化肥。1997年,日本技术商与四川电力局在成都电厂建了一套处理烟气流速 $V^\ominus/t = 3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 的半工业性装置(相当于7.5万kW机组),实际烟气中 $w(\text{SO}_2)$ 为0.1%左右,脱硫率80%,单位投资为1250元/kW,能耗为发电量的2.5%。目前,国内正开发高能等离子体技术,希望降低能耗,但关键设备上的困难很大。

可见,烟气脱硫似乎很简单,但在电厂,却显得极为复杂。它是一个典型的化工过程。与常规化

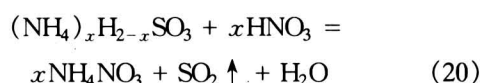
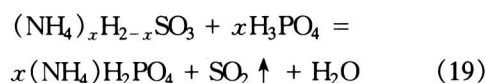
工过程相比,烟气量巨大(规模相差10~100倍),SO₂浓度低,脱硫技术既要效率高又要能耗低,这对化学工程学本身也是一个挑战。

3 新氨法脱硫技术(NADS)的特点

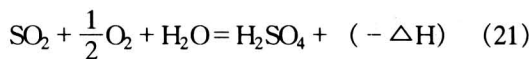
与现有的氨法相比,NADS在工艺上更为灵活,其原理如下:



或者,



反应式(17)代表式(11)和(12),表示氨选择性吸收烟气中SO₂,反应(18)~(20)分别表示根据不同的情况,生产硫酸铵、磷酸一铵或硝酸铵化肥,并产生高纯度的SO₂气体。浓缩后的SO₂气体用于生产高质量的工业硫酸:



式(17)~(21)所示反应都放热,不耗能,而且, $x=1.2\sim 1.4$ 。在Lurgi、GE技术中, $x=2.0$,耗氨量大,而且氧化反应式(13)受氧传质控制,需要压缩空气,能耗较大。在荏原技术中,高能电子束的能耗很大,尤其不适合SO₂浓度低的烟气。

NADS的突出优点是其灵活性,除结合硫铵外,还可结合磷铵和硝铵。我国的磷铵产量到2005年为10 Mt/a,可结合烟气脱硫回收4 Mt/a SO₂生产磷肥厂必备的原料硫酸,显著改善FGD的投资效益。四川内江发电总厂的2.5万kW机组NADS装置就是结合了四川银山磷肥厂生产磷铵化肥,效益明显。

NADS的工艺流程如图1所示。由电除尘器来的SO₂烟气(温度140~160℃)经过再热器回收热量后,温度降为100~120℃,再经水喷淋冷却到<80℃,进入SO₂吸收塔。吸收塔的吸收温度50℃左右,SO₂吸收率>95%,烟气出口 $w(\text{NH}_3)<20\times 10^{-6}$ 。吸收后的烟气进入再热器,升温到>70℃,进入烟囱排放。吸收塔为多级循环吸收,一般级数为3~5级。

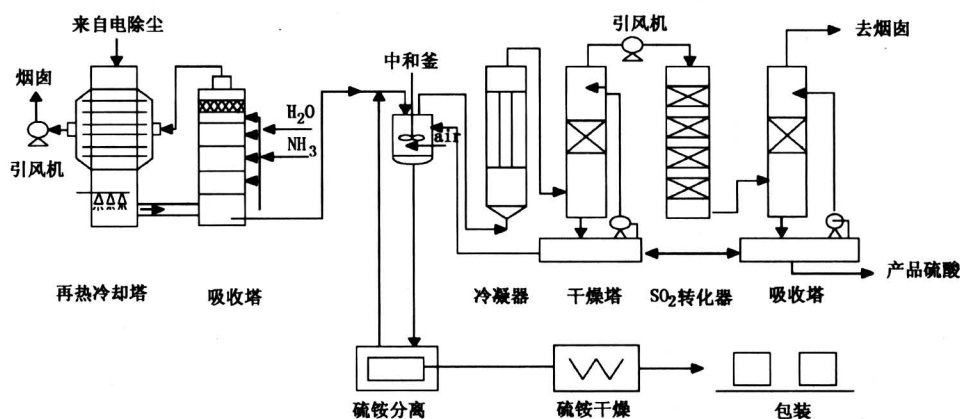


图1 NADS工艺流程简图

Figure 1 Schematic Flowsheet of NADS

与Lurgi、GE和荏原技术不同,NADS技术中的NH₃和H₂O是分别进入吸收塔,由此带来了三个优点:第一,吸收塔出口烟气的NH₃含量低,氨损耗小;第二,吸收液的循环量小,气、液比大,是国外技术的30~60倍,能耗低,解决了大型循环泵的技术难题;第三,得到的吸收产品亚硫酸铵浓度较高,为后续化肥生产装置节省蒸汽,可确保回收1 t SO₂的蒸汽消耗<1 t。

由吸收塔出来的亚硫酸铵溶液经过离心分离除去

灰尘后,进入硫酸中和反应釜,得到硫酸溶液和高浓度的SO₂气体。硫酸溶液经过蒸发结晶、干燥、包装得到商品硫酸铵化肥。SO₂气体进入硫酸装置生产质量分数为98%的硫酸,约70%~80%返回中和反应釜,20%~30%作为商品出售。

NADS的关键设备是吸收塔。它是一种大孔径、高开孔率的筛板塔,阻力低,通量大。在2.5万kW机组的装置上,每块塔板的压降为150~300 Pa,是传统塔板的50%,空塔气速达到4 m/s,是传统塔

板的 2 倍。它采用整体玻璃钢拼装技术，容易大型化，防腐性能高，使用寿命长。

图 2 是 2.5 万 kW 机组的试验结果。该吸收塔为三级吸收。可以看到，在此期间，烟气中， $w(\text{SO}_2)$ 在 0.11% ~ 0.18%，变化较大，平均

0.14%，除在 66 小时，SO₂ 吸收率都大于 90%，大部分大于 95%。吸收率由加氨量和加水量控制，得到的吸收产品中 $w[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3]$ 为 40% ~ 50%，在化肥车间得到 $\varphi(\text{SO}_2)$ 为 8% ~ 10% 的气体，生产 98% 的浓硫酸和满足质量指标的磷铵化肥。

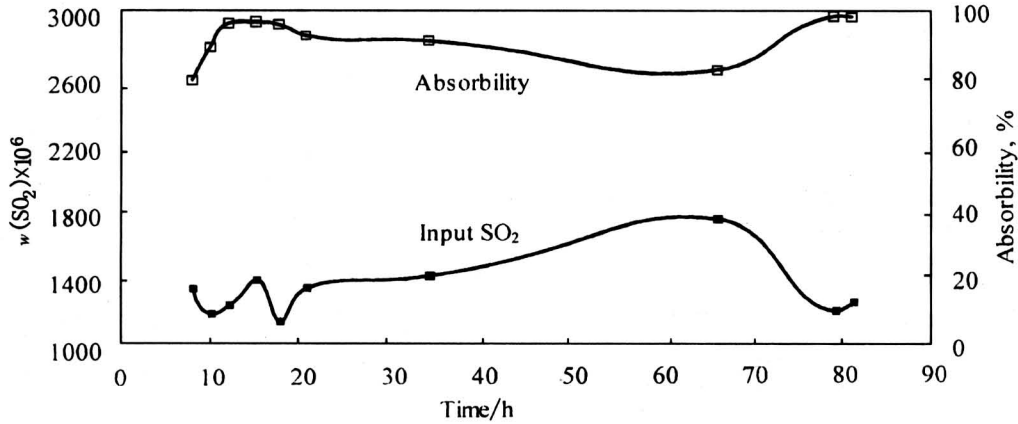


图 2 NADS 在 2.5 万 kW 机组的试验结果 (某 72 小时期间)

Fig.2 Pilot-scale experimental results of NADS in a 25MW coal-combusted power plant (three days)

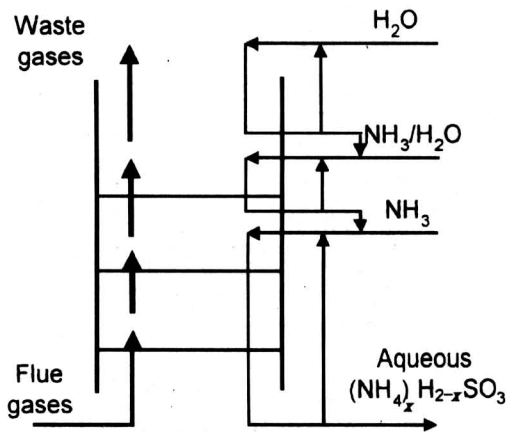


图 3 NADS 吸收塔简图

Fig.3 Schematic configuration of the NADS' absorber

图 3 是该吸收塔的简图。作者建立了严格的数学模型：质量衡算、能量衡算、相平衡和规一化方程，开发了 NADS 技术的计算机模拟软件。对于一个 20 万 kW 机组的火电机组，燃煤中 $w(\text{S})$ 为 3%，烟气中 $w(\text{SO}_2)$ 达到 0.25%，烟气流速 $V^\ominus/t = 75$ 万 m^3/h 。采用该软件可得到该吸收塔的吸收液浓度分

布、气相中 NH_3 和 SO_2 的浓度分布，和吸收温度分布等操作性能。采用四级吸收，计算得到的 SO₂ 总吸收率为 96.35%，吸收液中 $w[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3]$ 为 54.27%，出口烟气中 $w(\text{SO}_2)$ 为 87×10^{-6} ， $w(\text{NH}_3)$ 为 8×10^{-6} 。

4 NADS 的经济评价

以一台 20 万 kW 机组和 30 万 kW 机组为例分析：北京石景山热电厂共有 20 万 kW 机组 4 台，每台排放 SO₂ 约 1.2×10^4 t/a，全厂约 5×10^4 t/a。该厂对首都北京的污染很大，北京市政府要求限期治理；陕西渭河电厂共有 30 万 kW 机组 4 台，每台排放 SO₂ 约 4×10^4 t/a，全厂约 16×10^4 t/a，该厂是西安市污染的主要来源。

一台 20 万 kW 机组回收 SO₂ 约 12 kt/a，生产 16.82 kt/a 硫酸，其中商品硫酸 6 kt/a，硫酸铵 15 kt/a。其总投资为 6 000 万元，脱硫成本为 568 万元/a，相当于每吨 SO₂ 的回收成本为 458 元。这个项目可享受环保贴息贷款和免税政策。

考虑脱硫减少的 SO₂ 排污费。北京市 2000 年的 SO₂ 排污罚款为 1 200 元/t。因此，采用 NADS 还可每年减少支出 $1 440 - 568 = 872$ 万元。由此可见，其

经济效益是相当明显的, 仅节省排污罚款一项 8 年内即可以偿还投资。

NADS 技术与现有典型 FGD 技术的比较如表 1 所示。显然, NADS 的优势是明显的。

在投资方面, NADS 法与目前普遍使用的石膏法, 和新近推出的电子束法相比, 减少了 70%。在运行费用方面, NADS 法的优越性也是明显的。与以上两种方法相比, 可减少 70% 以上的运行成本。在投资偿还方面, NADS 的投资偿还使用设备折旧费, 期限为 15 年。以上两种方法基本上是无法偿还投资的, 因为它们没有经济效益, 除非提高电价。

表 1 NADS 法与现有方法的比较 (20 万 kW 机组)

Table 1 Comparison of NADS with the conventional FGD methods based on a 200MW coal-combusted power plant

	NADS 法	湿式钙法	电子束氨法
投资/万元	6 000	20 000	24 000
耗电占发电量/%	1.1	1.8	2.5
脱硫成本/元 t ⁻¹	458	2 400	2 200
投资回收期/a	8.	∞	∞

将 NADS 技术应用于陕西渭河电厂的 30 万 kW 机组, 一台机组可回收超过 4×10^4 t/a 的 SO₂, 可生产硫酸铵化肥 6×10^4 t/a, 硫酸 2×10^4 t/a, 年产值 4 600 万元。消耗氨 1.55×10^4 t/a。表 2 是 NADS 技术与湿式钙法和电子束氨法的比较。

对这个电厂, 烟气脱硫本身就产生了明显的经济效益, 回收一吨 SO₂ 利润为 150 元, 因此, 一台机组的全年利润为 600 万元。加上节省的排污罚款 1200 万元 (西安地区 SO₂ 排污费按 300 元/tSO₂ 计), 该机组的总效益 1800 万元, 相当于 5 年可回收投资。

表 2 NADS 法与现有方法的比较 (30 万 kW 机组)

Table 2 Comparison of NADS with the conventional FGD methods based on a 300MW coal-combusted power plant

	NADS 法	湿式钙法	电子束氨法
投资/万元	8 000	28 000	32 000
耗电占发电量/%	1.0	1.6	2.3
脱硫成本/元 t ⁻¹	-150	>1 500	>1 200
投资回收期/a	5	∞	∞

5 NADS 在我国的应用前景

我国是一个人口、粮食和化肥大国, 2005 年的

合成氨年需求量 34 Mt。其中两个 50% 是我国的特色: 近 50% 的合成氨生产碳铵肥料, 利用率较低; 近 50% 的产量来自于小型合成氨厂。我国的合成氨厂遍布各县、市, 因此, 氨的供应是相当方便和丰富的。设想到 2010 年, 我国的火电厂排放 SO₂ 达到 15 Mt/a, 全部采用 NADS 技术, 需要合成氨为 5.40 Mt/a, 估计仅占我国合成氨总需求量的 15%, 占碳铵用氨的 30%。

如前所述, 到 2010 年, 我国有火电机组 1 800 余套 (按 20 万 kW 容量计算), 则 NADS 的总的市场前景将达到 1 000 亿元。每年回收 SO₂ 生产化肥和硫酸, 价值在 100 亿元以上, 对我国能源工业而言, 这是一个新兴的产业。NADS 的社会效益也是巨大的, 按 1998 年国家环保总局公布的酸雨损失数据, 届时, NADS 的社会效益每年超过 1 000 亿元。

目前, 我国可以采用 NADS 技术回收烟气中的 SO₂, 并与化工结合联合产化肥与硫酸的火电厂很多。比如, 四川内江发电厂, 与银山化工集团股份有限公司相距 25 km; 广西柳州发电厂, 与广西柳州化肥厂相距 100m; 秦皇岛电厂与秦皇岛中阿化肥公司一墙之隔; 北京石景山电厂、高井电厂、第二热电厂, 可用北京试验化工厂的合成氨 (1×10^5 t/a); 上海石洞口发电厂、闵行电厂、吴泾热电厂, 可用崇明化肥厂、南汇化工厂和吴泾化工厂的合成氨; 南京的电厂可用南化公司和金陵石化公司的合成氨; 安徽铜陵市的电厂可用铜陵化肥厂的合成氨; 陕西渭河电厂可用渭河化肥厂的合成氨。

可以说, 我国火电厂采用 NADS 技术基本上都是具备条件的。

6 结语

NADS 是一个投资低、效益好的火电厂烟气 SO₂ 资源化回收技术, 笔者认为对我国的火电厂具有普遍适用性。回收的 SO₂ 生产化肥和硫酸在我国具有巨大的市场, 因此, 火电厂的能源环保可形成一个自负盈亏的化肥产业。

近年来, 由于受煤烟型污染的影响, 我国制定了发展天然气的优惠政策。但是, 燃煤发电仍然是最经济的, 而且可促进国内煤碳工业的发展。因此, NADS 对于我国的重要性是值得重视的。

目前, 电力行业并不认为烟气脱硫是化工过程, 对回收 SO₂ 生产化肥不易接受。实际上, 火电厂就是化工厂, 它将化学能转化为电能, 煤燃烧炉和锅

炉是典型的反应器和换热器。我国烟气脱硫的科研经过近二十年攻关, 进展不明显, 原因是多方面的, 其中, 将化工的研究力量排斥在外也是原因之一。化学工程学科是一门融科学、技术和艺术为一体的学科, 在洁净能源技术方面将发挥重要的作用。

致谢: 本研究得到国家发展计划委员会、科技部和教育部资助。

参考文献

- [1] 朱光亚. 跨世纪科学技术发展趋势和我国的差距(下)[J]. 世界科技研究与发展, 1998, 20(5): 1~6
- [2] 国家环保总局. 酸雨控制区和二氧化硫控制区划分方

案[J]. 环境保护, 1998, 3: 7~10.

- [3] Institute of Clean Air Companies, Inc. Scrubber myths and realities[J]. Power Engineering, 1995, 99(1): 35~38
- [4] Leola A S, Lititz E G. Process for the simultaneous absorption and production of ammonium sulfates [P]. USP 5362458. 1994
- [5] Dixon R K. FLue gas desulfurization may pay for itself with the ammonium sulfate process[J]. Int. Chem. Eng. Symp. Ser., 1995, 138(Desulfurization 4): 231~238
- [6] Lourecon T. Lentjes Bischoff ammonia water process for SO₂ absorption from flue gas[J]. Chem. Eng. World, 1998, 33(11): 75~77
- [7] Schultz W, Stark C. Flue gas cleaning with ammonia[J]. Power Plant and Environmental, 1997, 14: 1~10

State-of-the-Art of Clean Coal Technology : A Novel Ammonia Process for Flue Gas SO₂ Recovery

Xiao Wende, Yuan Weikang

(The State Key Laboratory of Chemical Engineering (Reaction Engineering Branch), East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

[Abstract] Flue gas desulfurization, a well-established clean coal technology, is imperative to the coal-combusted power plants. The lime-gypsum method, commonly used in the developed countries, of high investment and cost, little usage of product gypsum, is impossible to be widely adopted in China. The authors have proposed a proprietary and novel ammonia desulfurization process (NADS), which is able to recover SO₂ from flue gases, producing ammonium sulfate, or phosphate, or nitrate, and simultaneously concentrated sulfuric acid, commercialized on a 25MW unit. Compared with the conventional FGD processes, NADS can result in an investment reduction of more than 70%, and an operating cost reduction of more than 70%. In this paper, economic feasibility studies have been done based upon a 200MW and a 300MW unit, with the results that the investments are 60 and 80 million RMB, respectively, and the capital payback periods are eight and five years respectively. It can be speculated that the NADS can find great applications in China.

[Key words] flue gas desulfurization; clean coal technology; SO₂; power plant; ammonia; fertilizer

* * *

《中国工程科学》(月刊) 是中国工程院院刊
欢迎读者直接向本刊编辑部订阅