

烟气脱硫技术的现状与发展前景

杨 颢

(上海宝山钢铁总厂)

发展烟气脱硫技术,控制二氧化硫,这是工业发达国家所普遍重视的。在我国,随着四化建设的进展,广泛采用这项技术,将是一项积极的环保措施。因此,本文就此谈点粗浅的认识。

一、国外烟气脱硫技术简介

七十年代,全球二氧化硫排放总量平均每年递增5%,1980年达到2亿吨,预计本世纪末可能超过3.3亿吨。无控制地大量排放造成了世界范围的大气污染。北美和欧洲的酸雨已酿成国际诉讼。据统计^[1],每排放1公斤二氧化硫造成的社会经济损失约为0.22美元,全世界每年蒙受的损失高达数百亿美元。发达国家的环境危机感远比发展中国家强烈,他们已把控制二氧化硫视为发展经济和确保福利的需要,每年投入巨额资金用于研究和发展烟气脱硫装置。例如1979年

在日本的环保投资中,这方面(包括除尘和脱氮)的费用占57.3%。美国为了使密西西比河以东31个州的二氧化硫排放量减少1000万吨,每年耗资28亿美元用来建造烟气脱硫装置。

目前,在脱硫装置的数量、容量和技术水平方面,日本和美国居于领先地位,它们各具特色^[2]。日本是最早实行大规模烟气脱硫的国家,七十年代初,日本国土的二氧化硫平均负荷高达25吨,大气中二氧化硫浓度达到0.05~0.09ppm。1970—1975年的五年内,脱硫装置数量增加10倍,达1000套。1975—1980年,日本经济持续发展,污染物增加139%,排放量却减少了68%,其中一个重要因素就是烟气脱硫装置的建造,它在减少二氧化硫排放中的贡献占三分之一。据报道,1981年,日本拥有脱硫装置1400套,处

理能力达13000万标米³/小时。

日本发展烟气脱硫装置,采取大量引进技术并加以消化改进,比较成熟的装置是湿式石灰—石膏法,约占总容量的一半;其次是亚钠法,占24%;双碱法占16%。

日本烟气脱硫装置发展状况 表 1

年 份	装 置 数 量 (套)	处 理 能 力 (Nm ³ /hr)
1 9 7 0	102	540×10 ⁴
1 9 7 3	220	1000×10 ⁴
1 9 7 5	226	3700×10 ⁴
1 9 7 7	58	670×10 ⁴
1 9 7 9	39	270×10 ⁴
1 9 8 1	33	420×10 ⁴
合 计	1362	13000×10 ⁴

日本在发展烟气脱硫技术方面表现出以下几个主要特点:

(1) 以烧油锅炉烟气为主要对象。

(2) 偏重于回收法,以回收石膏为主。日本每年消费的石膏全部取自脱硫装置尚有剩余。

(3) 冶金工厂的烟气脱硫具有以副治废和以废治废的特点,例如钢管公司的氨—硫铵法和新日铁的钢渣法。

(4) 注意发展同时脱硫脱氮新技术。

美国开展大规模烟气脱硫晚于日本。多年来在要不要烟气脱硫的问题上, EPA(美国环保局)和TVA(田纳西工程局)各执己见,争论不休。1978年经最高法院裁决,持脱硫观点的EPA获得胜诉,从而结束了这场旷日持久的“环境官司”。根据1979年美国新政府颁布新的二氧化硫排放标准, EPA规定新建燃煤电厂一律要安装烟气脱硫装置。即使烧低硫煤,也必须脱除70%的二氧化硫。这就大大推动了烟气脱硫装置的发展。最近几年情况表明,美国的烟气脱硫技术水平和应用规模已后来居上,超过了日本。1974—1981年的七年间,美国火电厂的脱硫装置数量增加了3.5倍,容量增加了9倍,已达3000万千瓦,约占火电厂总容量的10%。预计1990

年前将新建和改建200家燃煤电厂的脱硫装置,总容量在6000万千瓦以上。

美国烟气脱硫技术的发展具有与日本不同的特点。由于自然环境和资源条件优越,美国大多采用抛弃法,回收法甚少。据1981年3月统计,在各类脱硫装置中,抛弃法占总容量的95%,回收法仅5%。预计到1990年回收法可能有所上升,但不会超过30%。

美国的燃料以煤为主,烟气脱硫主要针对燃煤锅炉。通常燃油烟气与燃煤烟气相比,在相同条件下,后者的二氧化硫浓度较低,而氮氧化物、粉尘、氯化物以及氧的含量均较高,因而处理时比较困难。这可能也是美国烟气脱硫技术发展晚于日本的原因之一。

据1981年调查^[3],在美国现有的脱硫装置中,石灰/石灰石法占87%,其次是双碱法和亚钠法。八十年代以来,喷雾干燥法流程开始大规模应用,先后建成13套工业规模的装置,总容量超过300万千瓦。近年这种新型装置由于受到EPA的鼓励推广,发展很快,短短几年内已占电厂脱硫装置总容量的22%。1983年新订合同中,大部是喷雾干燥法。这表明,在美国喷雾干燥法脱硫技术已臻成熟。

由此可见,对于工业化国家来说,烟气脱硫不仅势在必行,而且是成熟可行的。早在1976年美国联邦动力委员会曾经论证烟气脱硫是控制二氧化硫排放的唯一实际可行的技术,任何其它办法,无论是炉前脱硫还是炉中脱硫,要在短期内取代它都是不现实的。近年情况有所变化,但这种观点并无多大改变,甚至有所加强,改变的似乎在装置本身,由单一脱硫转向同时脱硫脱氮,在回收法与抛弃法之间,抛弃法略居优势;在干法与湿法之间,干法正在占上风。

二、我国烟气脱硫技术的发展现状

我国的烟气脱硫工作始于五十年代。据不完全统计,建国以来先后约有八十个单位进行烟气脱硫技术的开发,也建成了一批工

业规模的脱硫装置。不过这些装置仅限于处理硫酸工业尾气和有色冶炼废气，而对二氧化硫的主要排放源——火电厂，虽然也做了不少的试验研究工作，但至今处于半工业阶段。钢铁工业的状况同火电厂差不多，基本上还是依靠高烟囱排放。

应当看到我国烟气脱硫工作起步不晚，进展缓慢的事实，但是，大量的工作已为我国广泛采用脱硫装置奠定了基础。值得特别提出的是下表所列的几个典型单位的工作。

我国几个典型脱硫装置 表 2

单 位	脱 硫 方 法	处理气量 (Nm ³ /hr)	现 状
上海闸北电厂	石灰石-石膏法	2500	已 停
上海南市电厂	催化氧化法	500	已 停
湖南三〇〇厂	W-L法	50000	时开时停
水口山矿务局	氧化锌法	48000	运 行
湖北松木坪电厂	碘活性炭法	5000	已 拟 扩 建
南化氮肥厂	氨 酸 法	130000	运 行
葫芦岛锌厂		90000	运 行
广州硫酸厂	亚 钠 法	15000	运 行
南京钢铁厂	碱性硫酸铝-石膏法	51800	运 行
沈阳冶炼厂		130000	建 造 中
西南电力设计院	喷雾干燥法	5000	建 造 中
内江白马电厂			
西安热工研究所	PAFP法	小 试	进 行 中

据估计，我国每年排放二氧化硫1800万吨，按国土面积平均每平方公里1.9吨。这些二氧化硫87%来自燃料的燃烧，此外还来自冶金和化学生产过程。通常各种工业生产过程排出的二氧化硫量如表3所列。

为了对我国的烟气脱硫现状有所了解，1982年，我们对电力、冶金和化工三个部门进行了初步调查。

化学工业的二氧化硫主要来源于硫酸厂，制酸尾气浓度在0.5%以下。这种尾气虽然浓度不高，但气量小，无粉尘，净化回收

不难。工业上多采用亚钠法和氨法装置。

各种工业生产过程排出二氧化硫量

表 3

生产过程	铜	锌	铅	铝	钢铁	硫酸	发 电
二氧化硫 (kg/t)	4000	1200	600	12	8~10	32	~20克/度

在冶金生产中，有色冶炼废气浓度在0.3~2%之间，年排放量超过100万吨。对于0.5%以上的高浓烟气一般都附设制酸车间，低于0.5%的低浓烟气基本上未回收。制酸尾气的处理办法大致与化学工业同，所不同的是某些厂尽量利用现成的金属氧化物如MnO₂和ZnO等作为吸收剂，因此有色冶金企业的烟气脱硫装置型式是多种多样的。

钢铁企业的二氧化硫主要来自烧结厂，废气浓度多在1000ppm以下，而且气量大，粉尘浓度高，给净化回收带来了困难。据统计，1981年我国62家重点钢铁企业的二氧化硫排放总量为47万吨，无脱硫设施。

电力工业的二氧化硫排放量占工业排放总量的一半，理应成为控制的重点，然而我国火电厂至今没有一套工业规模的脱硫装置。1981年，全国5万千瓦以上的火电厂二氧化硫排放总量为240万吨，全部通过高烟囱排放。通常每发1度电排出3~5标米³烟气，浓度在1000~3000ppm之间。处理这种大气量、低浓度的烟气，涉及许多技术经济问题。一般脱硫装置的投资占电厂投资的20~30%，运行费用很难用回收产品补偿，脱硫装置的能耗约为供给锅炉能量的1~3%。正是由于这些原因，电力部门烟气脱硫工作显得特别艰难。显然，目前这种状态短期内不可能改变，不过可以预计，随着电力工业的发展，人们会发现烟气脱硫装置将可能与电除尘器一样成为电厂的一部分。

三、浅 评

通过调查分析，我们看到，我国烟气脱

硫技术的发展状况具有以下特点:

- (1) 起步不晚, 但进展迟缓;
- (2) 低浓度烟气基本无处理设施;
- (3) 对于最常用的石灰/石灰石法缺乏研究。

我国烟气脱硫装置发展迟缓的原因是多方面的, 充分体现了发展中国家的特征。首先, 在我国烟气脱硫作为控制二氧化硫的重要技术还没有广泛地为人们所接受, 更谈不上重视。人们刚刚摆脱或尚未完全摆脱贫困, 衣食住仍然是第一位的问题, 对环境质量的要求还很低。第二, 我国地域辽阔, 工业化水平不高, 环境容纳污染物的能力还很大。换句话说, 我国环境资源丰富。人们往往不够珍惜这种资源。第三, 我国现阶段百业待兴, 而经济实力不足, 对于耗资巨大, 几无经济效益的脱硫装置感到望而生畏, 以致总是试图暂时回避甚至取消它。

显然, 我国烟气脱硫技术现状同四化建设不相适应。要解决这个问题, 当前面临三个争论, 即要与不要脱硫之争, 回收法与抛弃法之争, 湿法与干法之争。所有争论无不围绕投资费用这一核心问题进行。

建造脱硫装置在很大程度上取决于国家经济实力和社会对控制污染的要求。在美国和西德等发达国家, 要不要烟气脱硫的问题现已基本解决, 而我国这种争论可能还要持续若干年。

看来, 我国还应加强环境教育和环境宣传工作, 必须让更多的人, 尤其是各个部门的负责人懂得发展(经济)与控制(污染)的关系, 它们犹如人类社会前进中的两个车轮。

烟气脱硫是伴随工业发展而发展的, 随着四化建设的进展, 在我国广泛采用这项技术将是不可避免的。据推算, 我国二氧化硫排放总量以每年递增100万吨的速度累加, 到本世纪末可能超过3600万吨, 比苏联现在的排放总量还高30%, 将成为仅次于美国的二氧化硫排放大国。某些工业发达和人口密集

的地区, 环境恶化可能大大超过人们所能忍受的限度。发展经济的同时, 如不控制大量二氧化硫的排放, 将妨碍经济的发展。事实上, 现在火电厂的发展就正在受到这种反作用力的抑制。

我国燃料构成中煤炭占72%, 在煤炭中, 以中低硫煤为主, 约占73%。要不要烟气脱硫的问题涉及二氧化硫控制政策。高烟囱排放仅可减轻局部地区的污染, 恰恰为二氧化硫的高空转化和长程迁移提供了条件, 对防治酸雨来说是不可取的; 洗煤脱硫具有很大的综合效益, 但脱硫率只有30%左右, 而且煤的成本有所提高, 因此仅可作为控制二氧化硫的一种辅助手段; 掺烧脱硫剂进行炉中脱硫还存在不少技术问题; 煤的气化和液化是比较理想的, 可能是未来控制二氧化硫的最佳方法, 不过广泛使用气化和液化燃料不是短期可以实现的, 要使全部煤炭实行气化也是不现实的。可以断言, 在一个相当试的时期内, 控制二氧化硫的主要方法应当是烟气脱硫。目前这种与四化建设不相适应的状况亟待改变。在要与不要烟气脱硫的讨论中, 迟早会作出肯定的结论。

那么如何选择脱硫装置呢? 现在脱硫流程共有百十种, 商业化的亦有十种左右。按照副产物的处置方式分为回收法和抛弃法两类, 按照反应方式不同, 分为湿式和干法两种。

有人从资源利用出发, 主张回收法, 这无疑是正当的。他们强调全国年进口硫磺30万吨, 每吨硫磺国家补贴400元, 仅此一项每年须支付1亿元补贴费用。尚若能从火电厂烟气中回收四分之一的硫, 便足以避免进口。他们还以湖北松木坪电厂为例, 说明利用脱硫装置回收硫酸的单位投资和成本分别只有硫铁矿制酸的56%和76%。另一种观点主张抛弃法。他们认为, 发展脱硫装置是为了追求环境效益。实际上, 在使用中、低硫煤的条件下, 回收法无论回收何种副产品均

无甚经济效益。烧高硫煤时,回收法有小利可图,才显得比抛弃法合算。

在我国,尤其在现阶段,强调回收法是不利于烟气脱硫装置的发展的。我国资源和地理条件同美国类似,从综合技术经济观点出发,宜发展以抛弃法为主的脱硫技术。回收石膏,价值低,在我国的前景不广阔。回收二氧化硫,从国外情况看,投资和运行费用均较高。回收硫酸,看上去似乎要比硫铁矿制酸和进口硫磺制酸合算,实际上并不完全如此。

关于湿法与干法之争,只是近年出现的。早年国外蜂涌而上的脱硫装置,基本上都是湿式洗涤法。在生产实践中,人们深感湿法有不少缺点,如堵塞、结垢、腐蚀、泄漏以及淤泥的后处理等等。七十年代晚期,丹麦Niro公司提出喷雾干燥法,它兼有湿法和干法的优点。一经问世,立即获得广泛应用。几年来,这种装置数量猛增,总容量已达740万千瓦。它的主要优点是:

(1) 流程简单、设备少、生成物易处理。

(2) 消除结垢堵塞现象,无严重腐蚀。

(3) 投资和运行费用比湿法装置减少20%。最近的资料表明,喷雾干燥法的投资将只占电厂投资的15%。如果能进一步将该装置与电厂现有的除尘装置结合起来,则投资还可能大大降低。

(4) 能耗低,约为湿法的60%。烟气可以不加热,直接排放。

(5) 水耗不到湿法的1%,操作人员只及湿法的一半。

当然,喷雾干燥法并非十全十美,它对自动控制的要求很严,脱硫效率较湿法低,运行的可靠性还不够高,处理高浓烟气时动力消耗较大。不过这些缺点都是可以克服的。喷雾干燥法尤其适用于燃用中、低硫煤和采用抛弃法,这对我国来说是特别有意义的。在湿法与干法之间,我国现在最好以发

展干法为主。

当然,选择脱硫装置不可一概而论,应当根据具体情况,进行综合分析确定。通过调查研究,可以将我国几种脱硫装置的主要优缺点加以比较(见表4)。

由表4比较可见,在我国的几种烟气脱硫装置中,比较成熟的是氨法,如南化的两段氨法吸收流程。碱性硫酸铝法是从日本引进的技术,运行可靠,但副产品成本嫌高。W-L法和碘活性炭法虽然各有优点,但由于投资大、能耗高,经济上不合算,缺乏推广价值。水口山的氧化锌法,利用双旋灰作为吸收剂,副产品用作炼锌还原剂,这种因厂制宜的办法是值得赞赏的。以石灰石为吸收剂的脱硫方法,在我国研究得还很不够。闸北电厂试验工作的中断是可惜的。因为石灰石廉价易得,用它作吸收剂具有很强的普适意义,今后应加强这方面的研究。喷雾干燥法的试验研究,西南电力设计院已经开了个头,为了加速这项技术的发展,从美国引进一套示范装置是值得的。磷铵肥法还处于可行性研究阶段,但这是一项有前途的脱硫技术。副产品是廉价的混合肥料,因而比单纯的抛弃法优越得多。

综上所述,我国现阶段火电厂发展烟气脱硫装置宜侧重于抛弃法和干法,适当发展湿法装置。无论干法或湿法,吸收剂应考虑以石灰和石灰石为主。

钢铁企业的烟气脱硫可考虑氨法,利用焦化副产品氨水吸收二氧化硫;也可以考虑钢渣法和其它脱硫方法。

有色冶炼厂可参考一般硫酸尾气处理办法,同时应充分利用本厂的条件,选用合适的吸收剂。

最后,为适应四化建设需要,发展我国的烟气脱硫事业,概要地提出以下几项对策,供有关部门参考:

(1) 修订和厉行环境法规,严格限制污染排放。

我国几种脱硫装置优缺点比较

表 4

	主 要 优 点	主 要 缺 点	前 景
上海闸北电厂 (石灰石-石膏法)	吸收剂廉价易得, 适用性广, 投资较少。	易堵塞, 影响运转率; 石膏成本高, 销路受限; 有腐蚀磨损问题。	使用添加剂, 提高运转率; 石膏制成板材, 扩大销路; 有推广价值。
上海南市电厂 (催化氧化法)	无堵塞结块现象; 流程简单, 操作容易。	动力消耗大, 腐蚀严重; 产品稀酸须中和处理。	推广有困难
湖南三〇〇厂 (W-L法)	回收产品价值高, 用途广; 运输方便, 脱硫率高。	设备流程复杂, 碱耗大, 碱 源受限制, 投资费用大, 有腐 蚀问题。	建造大规模工业装置有困 难
湖北松木坪电厂 (碘活性炭法)	可直接回收稀酸用于磷肥生产	设备庞大, 投资大, 操作复 杂, 腐蚀严重。	推广有困难
南化氮肥厂 (氨 法)	脱硫率高, 运行可靠, 副产品 有销路。	流程比较复杂, 氨源受限制	适用于有氨源的化工和钢 铁企业
广州硫酸厂 (亚 钠 法)	流程简单, 运行可靠, 脱硫率 高。	碱源和副产品销路受限制	适用于处理小气量烟气
南京钢铁厂 (碱性硫酸铝-石膏法)	无堵塞结块现象, 脱硫率高, 操作稳定, 自动化程度高。	动力消耗大 副产品成本高	适用于处理大气量烟气
水口山矿务局 (氧化锌法)	流程简单、成本低廉、吸收剂 就地取用、副产品用作还原剂。	氧化锌的利用率不高, 有腐 蚀问题。	适用于有色冶金企业
西南电力设计院 (喷雾干燥法)	流程简单、投资小、能耗低, 副产物易处理。	自控要求高, 运行可靠性较 差, 脱硫率低。	有推广价值, 特别适用于 处理低浓烟气。
西安热工研究所 (PAFP法)	可直接制取混合肥料	脱硫率较低	有发展前途

目前的环境标准是1973年制订的, 在施行中发现有不少条款已不能适应新的要求, 有的甚至是疏漏和不合理的, 必须加以修订和补充。国家还应加紧制订大气法。环境工作必须严守法规, 奖惩严明。现行的排污收费和超标罚款, 流于形式, 甚至使排放合法化, 这种做法要改变。

(2) 调整煤价, 定向供煤。

现在煤价是按热值评定的, 应当将硫含量纳入价格评定标准中。依含硫量的高低, 把煤分成多个等级, 含硫量低则价格高些, 含硫量高则价格低些。不同等级的煤供应不同的地区和用户。这样做, 使供煤同当前的二氧化硫控制政策相适应, 使高硫煤用户在采用脱硫装置时有所补偿。

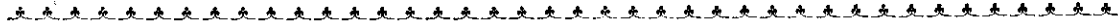
(3) 正确选定脱硫装置, 集中力量攻克技术经济关。

发展脱硫装置, 关键在于选择流程, 降低投资费用。通过综合技术经济评价分析, 选定几个适用于我国和预计有前途的脱硫方法, 如石灰—喷雾干燥法, 湿式石灰/石灰石法和磷铵肥法等, 作为主要攻关项目, 集中人力物力, 设法在完善工艺的同时将投资降至120元/千瓦左右。

(4) 及时引进新技术, 建造示范装置。

对已引进的氨—硫酸法和碱性硫酸铝—石膏法, 要加强消化翻版和总结工作, 同时有必要引进一套干法示范装置, 以便加速我国脱硫技术的发展。

(下转第45页)



(上接第15页)

(5) 建立排烟脱硫联合开发机构, 制订鼓励性和支持性政策。

我国排烟脱硫技术队伍并不薄弱, 但由于分散, 缺乏统一指挥和协同合作, 往往事倍功半, 或者相互重复。因此, 应建立一个联合开发机构, 把各个部门之间的横向联系同科研—设计—生产的纵向联系结合为一

体, 有助于推动排烟脱硫工作。为了鼓励和支持这项事业, 有关部门应向研制和建造脱硫装置的单位提供优惠贷款和津贴, 对回收副产品的企业实行产品包销和成本补贴。

参 考 文 献

- [1] Sulfur in the Environment . Part1.
JO.Nriagu 1978.
- [2] 杨颢, 上海环境科学, 4, 21(1983)。
- [3] PB81-225773.