

炭法吸附烟气净化硫回收工程开发 进展及前景

高继贤,王铁峰,王金福

(清华大学化学工程系绿色反应工程与工艺北京市重点实验室,北京100084)

摘要:工程开发是炭法吸附烟气脱硫回收技术应用推广的核心,是其产业化过程的关键因素。在介绍工程开发背景的基础上,对工程开发的进展和应用前景进行了论述。其中对移动床炭法变温吸附烟气脱硫回收工程、再生技术、吸附设备分别进行了总结评述。指出开发低压降、大通量、连续化、低能耗和低成本的径向移动床炭法变温吸附烟气净化硫回收技术,具有重要的现实意义和广阔的发展前景。

关键词:烟气脱硫;硫回收;炭法变温吸附;径向移动床;工程开发

中图分类号:X701.3;X511;TQ028.1

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2007)02-0022-05

Progress and prospect of engineering development of adsorptive flue gas desulphurization and recovery by carbonaceous adsorbent

GAO Ji-xian, WANG Tie-feng, WANG Jin-fu

(Beijing Key Laboratory of Green Chemical Reaction Engineering and Technology, Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Engineering development is a crucial part of the application, industrialization and popularization of the carbonaceous adsorptive flue gas desulphurization (FGD) and recovery. Brief introduction of the background of the engineering development is made, and then the related progress and prospect are discussed, including the carbonaceous temperature swing adsorption (TSA) engineering development progress in FGD and recovery in moving bed, regeneration technology, adsorption equipment. It is of great practical significance and has promising prospect to exploit the carbonaceous temperature swing adsorption technique of FGD and recovery in radial-flow moving bed with the characteristics of low pressure drop, high flux, successive regeneration, low energy consumption and low cost.

Key words: flue gas desulphurization (FGD); sulfur recovery; carbonaceous temperature swing adsorption (TSA); radial-flow moving bed; engineering development

在炭法吸附烟气净化硫回收技术的工艺研究和工程应用过程中,工艺研究方面已经基本成熟,产生了一系列的典型工艺。在文献[1]中已对这些工艺进行了综述。虽然该技术在工艺方面还需要改进和提高,但在工程开发方面还存在突出的问题,这是制约该技术大规模工业应用、降低运行成本、提高运行性能及提高该技术在烟气脱硫(FGD)产业中的竞争力和应用范围的关键所在。

1 背景

烟气脱硫作为净化大气、遏制酸雨的技术和产业,在过去几十年中得到了迅速发展,并且在工业应用上取得了巨大成功^[2]。炭法吸附烟气净化硫回收作为一种治理大气污染和回收硫资源化利用的技

术,在德国、日本等发达国家被深入研究并实现了工业化。我国在可资源化烟气脱硫回收技术方面也开展了一系列研究,已取得了学术成果并初步实现了工业化^[3-6]。

到现在为止,在吸附硫回收技术和工业应用中,已经开发出了各种吸附设备^[7-10]。固定床、移动床工业化应用最多,流化床吸附塔(器)和其他的吸附器如旋转床、滴流床以及在常规床基础上加入新的内构件的吸附塔(器)等的工业化应用报道较少。在处理大型燃煤电厂、燃煤锅炉中大型机组排放的大气量烟气时,应用最多和处理烟气量规模最大的设备是移动床吸附塔,日本已将其应用于矶子火电厂600 MW机组的烟气脱硫净化工程。我国在2005年由煤炭科学研究总院和南京自动化设备总厂联合开

收稿日期:2006-11-04;修回日期:2007-01-05

作者简介:高继贤(1978-),男,博士生;王金福(1957-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事能源化工、多相反应工程与工艺方面的研究,通讯联系人,010-62785464, wangjf@flotu.org。

发了错流移动床吸附塔,用于贵州宏福有限公司烟气脱硫工业过程(煤科院-南自-宏福)^[11-14],并继续进行该技术的研[15]。

径向(错流)移动床设备由于具有低压降、大通量和连续化的优点,已应用于催化重整领域,并向环境等领域扩展。国内外开发的吸附脱硫错流或逆流移动床吸附塔是横截面为矩形或圆形的一段脱硫或两段氮硫双脱塔。虽然已开发的移动床吸附塔已应用到工业烟气净化过程,但是在结构上仍有改进的空间;催化重整领域应用的圆柱形径向移动床不能直接应用到吸附脱硫回收过程,需结合吸附脱硫净化过程进行新的改进和开发才能工业化应用。因此,为了解决炭法吸附烟气硫回收的工程问题,适应在大型燃煤电厂烟气脱硫净化过程大规模应用推广的需求,需要对设备进行工程开发。开发适合处理大型燃煤电厂和锅炉烟气硫回收,同时连续化运行的径向移动床吸附塔和逆流移动床脱附塔,与工艺相配套,为吸附法烟气硫回收技术的推广和大规模工业应用提供技术支持,有着重要的意义。

2 工程开发进展

2.1 移动床炭法变温吸附烟气脱硫回收工程

移动床炭法变温吸附烟气净化硫回收工程是目

前开发最成功、最有发展前景的可资源化烟气脱硫技术。活性焦脱硫技术在日本、德国除用于电厂烟气处理外,大量用于城市垃圾、医疗垃圾、石油精炼等废气处理,已建成装置规模为 600 MW 机组的烟气净化工程。移动床炭法变温吸附烟气净化硫回收工程的研究开发已有近 50 年的历史,在德国、日本和中国已有十几套工业化装置在运行,其主要由吸附系统、再生系统、物料输送系统和副产品生产系统组成,工程的技术要点主要是吸附剂、吸附塔、脱附塔、吸附剂再生和硫资源回收,而吸附、脱附设备是整个工程技术的核心^[11]。所用吸附剂为直径 5 ~ 9 mm 的柱状煤制活性焦或活性炭,由三井-BF 工艺、GE(MET)-Mitsui-BF 工艺、住友-TOXFREE 工艺和中国煤炭科学研究总院北京煤化学研究所 4 种主流工艺生产^[16];吸附塔为错流移动床,其横截面为矩形或圆形;脱附塔为列管式构件;再生时热介质为热惰性气体或热蒸气^[3],还有采用热砂作为加热介质^[4,17]。表 1 列出了移动床炭法变温吸附烟气脱硫回收工程开发进展情况。

2.2 再生技术

在曾经建成和已建成运行的炭法吸附脱硫回收工业装置中,所采用的再生技术分为加热再生、水(酸)洗再生和还原再生。其中,以加热再生应用

表 1 移动床炭法变温吸附烟气脱硫回收工程开发进展

年份	国家	工程进展
1957 ^[7,18]	西德	开始研究,世界上第一个移动床加热再生 FGD 技术净气法(Reinluft)
1959—1969 ^[7,18]	西德	在西德进行了一系列中试试验,虽未能工业化,但具有开创性的炭法移动床变温吸附技术为后来的工程开发做了有益的探索。
1965 ^[4]	西德	德国 BF(Bergbau-Forschung)公司开始研究活性焦错流移动床变温吸附法
1965 ^[4,7]	日本	日本住友重工机械公司(Sumitomo Heavy Industry Corporation)开始开发住友重工活性焦变温吸附脱硫技术。
1968 ^[7]	日本	在关西电力公司(Kansai Power Corporation)姬路第二发电厂对住友技术进行了中试,随后在界港发电厂进行了移动床活性焦变温吸附脱硫技术的工业试验。
1969 ^[4,18]	日本	日立造船法(Hitachi Zoosen)进行 1 万 m ³ /h 中试,移动床-水蒸气脱附法。
1971 ^[19-20]	日本	错流式移动床活性炭干法吸附脱硫,处理烟气流 17.5 万 m ³ /h,加热脱附。
1974—1980 ^[4,21]	西德	在德国吕能(Lunen)公司的 Kellermann 电厂进行了 15 万 m ³ /h 烟气示范试验
1977 及其后 ^[11]	日本	日本电源开发公司(Electric Power Development Corporation,简称 EPDC)和住友重工公司开发了“炭法吸附氮硫双脱技术”,在竹原电厂进行 1 万 m ³ /h 的脱硫实验,在松岛发电厂建立了 30 万 m ³ /h 的干法脱硫示范装置。
1981—1983 ^[4,22-24]	日本	日本三井矿山(株)公司(Mitsui Mining Company,即 MMC)1982 年和 BF 公司签署协议,开发了 Mitsui-BF 技术,为移动床活性焦变温吸附两段塔氮硫双脱技术。
1984—1986 ^[4,22]	日本	工业示范装置,日本三井矿山(株)公司(MMC)对移动床两段吸附塔活性焦氮硫双脱技术进行了 3 万 m ³ /h 的工业试验。
1987 ^[22]	日本	“出光爱知”炼油厂(Idemitsu Achi)建成烟气流处理量为 20 万 m ³ /h 的装置。
1987 ^[4,22,24]	西德	应用 BF-Uhde 移动床活性焦氮硫双脱技术在巴伐利亚 EVO 阿茨贝格格电厂 5 [#] 机组上处理 45 万 m ³ /h 烟气流,在 7 [#] 机组上处理 66 万 m ³ /h 烟气流。

续表

年份	国家	工程进展
1989 ^[4,22,24]	西德	应用 BF-Uhde 移动床活性焦两段吸附塔活性焦氮硫双脱技术在德国 Hoechst 燃煤电厂处理 77 MW 机组上排出的 32.3 万 m ³ /h 烟气。
1992 ^[22]	美国	美国 GE 公司环境部(1997 年被 MET 收购)和三井矿山(株)公司在 1992 年签署技术协议,形成 MET-Mitsui-BF 脱硫技术。根据该协议,MET 拥有了在北美地区对 MET-Mitsui-BF 烟气脱硫技术开展业务的权利。
1995 ^[4,22]	日本	应用日本 Mitsui-BF(DMT)技术在日本竹原电厂建立工业示范装置,处理烟气量 116.3 万 m ³ /h,吸附温度 140℃,活性焦循环量 14.6 t/h。
1999—2001 ^[11,12]	中国	南京电力自动化设备总厂与煤炭科学研究总院北京煤化所合作开发活性焦脱硫中试装置,形成煤科总院-南自-宏福移动床活性焦变温吸附热再生法,完成了 0.1 万 m ³ /h 的试验,脱硫效率达到 95% 以上。
2001—2002 ^[25]	日本	日本 Mitsui-BF(DMT)技术应用于日本横滨矶子火电厂 600 MW 的新 1 [#] 机组上,热再生;处理烟气量 178.2 万 m ³ /h,烟气温度 155℃,脱硫率 95%。
2004 ^[3,11]	中国	煤科总院-南自-宏福移动床活性焦变温吸附技术工业示范装置投入试运行,处理贵州宏福有限公司 20 万 m ³ /h 的烟气。
2005 ^[3,11,13-14]	中国	煤科总院-南自-宏福移动床活性焦变温吸附技术工业示范装置投入生产运行,通过国家鉴定,实现工业化。

最为普遍和成功,其次是水(酸)洗再生,有关还原再生的大规模工业化应用报道较少。

在加热再生的工程中,采用热介质将热量传递给炭基吸附剂,释放出 SO₂,使吸附剂得到再生。加热再生时,炭基吸附剂需要具备高燃点的特性,同时在操作过程中需要对吸附剂定期补充。加热再生时,应用最广泛的吸附剂是德国、日本和中国开发的煤制专用脱硫、脱硝活性焦。1957 年在原西德发展的德国净气法是世界上第一个采用加热再生的技术^[7,18];1965 年,德国采矿研究院(Bergbau-Forschung)开始研究活性焦吸附法^[4],该技术最初使用热砂作为加热介质,后来发展的 BF-Uhde 工艺用热烟气对吸附剂进行再生;日本住友-关电法采用 400℃ 以上的热惰性气体再生吸附剂^[4,17];日立-造船法用 300℃ 的热蒸气对吸附剂再生^[4,17],但是未发展成为大规模应用的工程技术;我国煤科院-南自-宏福移动床活性焦法采用 300~600℃ 的热惰性气体或者热蒸气将活性焦加热到 400℃ 左右^[3,11-14],使其再生。

水(酸)洗再生在多套工业装置上得到了应用,再生时水与活性炭(焦)微孔中吸附的 H₂SO₄ 作用,生成稀硫酸溶液。水洗再生时存在的主要问题是耗水、酸稀、稀硫酸浓缩困难,设备腐蚀严重等^[18]。德国鲁奇(Lurgi)法^[4,10,26]、日本日立-东电法^[4,10,26]、日本化研法^[4,10]、日本水洗移动床法^[4,17]、我国湖北松木坪法^[2,10,27]和四川豆坝 PAFP 法^[10,27]等采用的再生方法均为水(酸)洗法再生吸附法,其中以日本日立-东电法和我国四川豆坝 PAFP 法应用较为成

功,都用于较大规模的烟气处理工程中。日立-东电法在 20 世纪 70 年代分别用于日本东京电力公司(Tokyo Tenryoku Power Corporation)五井火力发电厂和鹿岛火力发电厂中,处理烟气量分别为 15 万 m³/h 和 42 万 m³/h^[4,10]。20 世纪 80 年代,我国在湖北松木坪电厂建成的工业示范装置处理燃煤锅炉烟气量为 5 000 m³/h^[3,10,27],水洗再生得到稀硫酸;我国“七五”期间在四川豆坝电厂进行了 PAFP 法中试,1997 年建成 10 万 m³/h 的工业示范装置,水洗再生产生的稀硫酸用于分解磷矿石,生产磷铵复肥^[10]。Lurgi 法建成的示范装置处理烟气量为 1.7 万 m³/h^[4,26],但未见其进一步工业放大报道,其余工程装置未见处理烟气量和后续工业化报道。

还原再生工程以 Westvaco 法、Clause 法和 Resox 法为主,将 SO₂ 还原为硫磺。Westvaco 法^[4,7]是美国的韦斯特瓦科(Westvaco)公司开展的,曾在美国南卡罗莱那州查理斯敦的小型中试工厂试验 4 年,在流化床吸附塔中进行,但是未见进一步放大的工业化报道。

2.3 吸附、脱附设备

现在发展的炭法吸附脱硫设备^[4,7-8,28-30]有固定床、移动床、流化床、旋转床、滴流床和各种改进的新型结构。世界上脱硫回收工程中应用的吸附设备以移动床发展最为普遍和具有潜力,固定床和流化床吸附塔也得到了一定程度的发展,而旋转床和三相床(滴流床)和改进的新型结构在工业上的应用和报道较少。脱附设备因吸附设备和再生方式而异,对应于移动床吸附塔变温吸附过程,脱附设备可为

列管式换热器或逆流移动床。

固定床设备^[8,28]分为立式和卧式2种,固定床吸附塔运转时,进入的烟气首先进行吸附,当穿透曲线达到突破点、吸附剂吸附饱和时,开始切换设备,进行吸附剂的再生。固定床吸附塔操作时,处理烟气流大时会遇到气流分布不均匀、压降大、再生切换频繁的问题。活性炭床层的分仓和床层厚度是设计时需慎重考虑的2个因素^[30]。仓室过大,容易造成吸附时气流分布不均,使得一部分吸附剂闲置;在水洗再生时,洗涤不均匀,从而导致部分活性炭始终得不到脱附而影响活性炭床层的脱硫效率。床层厚度过高,也会产生水洗不均匀的现象,造成床层阻力过大。再生切换虽然使得操作变为半连续,但是使得过程变得复杂。

在移动床^[4,7-8,28-29]吸附塔和脱附塔中,吸附、脱附过程连续运行,吸附剂不需要吸附设备的切换就可得到连续再生,从而使吸附气体的过程得到强化。在日本、德国和中国已有多套移动床吸附塔投入工业运行。移动床多为立式塔设备,横截面分为矩形和圆柱形2种;在吸附塔内,吸附剂层一般靠重力从上向下移动,烟气横向或从下向上流动,与吸附剂错流或逆流接触^[30],且以错流接触为主。烟气与吸附剂接触后,在吸附剂上发生吸附和催化反应,烟气中的微量SO₂得到浓集回收;达到吸附饱和的吸附剂继续向下移动,进入再生段,由热蒸气或者热惰性气体加热吹扫,使吸附剂得以再生。再生后的吸附剂通过传输设备重新送到吸附塔的塔顶,进行下一个吸附循环;被吸附净化的烟气从吸附塔的上部排出。吸附剂在塔的下部进行再生,塔下部通常称为脱附塔,目前多为列管式结构,被吸附的SO₂也在此处得到脱附浓集回收。有的移动床设备吸附塔和脱附塔(再生塔)分开,作为2个独立的设备,中间由输送设备连接;当吸附剂从移动床吸附塔的底部移出,由输送设备从再生设备的顶端送入,在脱附塔中吸附剂得到再生,同时SO₂脱附富集回收或者水洗再生得到稀硫酸;再生后的吸附剂通过输送设备重新传输到吸附塔顶端,从而进行连续的循环操作。

在流化床吸附塔中的吸附过程可以周期性或者连续性的操作^[4,7-8,28]。由于单级吸附塔存在缺陷,多级流化床吸附塔得到了应用。在吸附塔内,烟气和吸附剂层逆流接触,提高了吸附效率,将其用于处理烟气吸附脱硫时具有传热性能优良、低压降以及大流量的优点。在多级流化床吸附塔中,吸附剂在塔内的吸附区和再生区循环,所以适用于频繁吸附、

脱附再生的工业过程。达到吸附饱和的吸附剂输送到流化床设备的上端储罐里,从此处连续地把吸附剂送往再生区,通过热蒸气或者热惰性气体吹扫得到再生。再生后的吸附剂向下进入吸附区,在每层吸附塔板上和流过的烟气逆流接触,发生吸附;达到吸附饱和的吸附剂再送往储罐,如此循环得以连续操作。

3 工程开发的方向和前景

移动床炭法(活性焦)吸附烟气脱硫回收技术适合我国国情,是值得大力发展的脱硫新技术^[3,11]。我国煤炭资源多分布在山西、西南、西北等中西部地区,该地区缺水严重,发展节水烟气脱硫技术有独特的优势。移动床炭法(活性焦)吸附烟气脱硫回收技术作为集高效、硫资源化、节水烟气脱硫技术于一体的技术,在工艺上已经发展比较成熟,在国内外有多套工业装置在运行,在国外已经进入工业推广和产业化阶段,在国内也已经进入工程开发和工业应用阶段。

炭法吸附烟气脱硫技术在基础开发和工业运行上相对成熟,但是在工程和设备方面还需完善。其中移动床活性焦脱硫回收技术是运行最为成功和最有发展前景的技术。吸附塔和再生塔是工程开发的核心,世界上已经开发和工业运行的设备在结构上为错流移动床;而固定床吸附塔进行切换再生,使得操作不连续,且在压降、布气、通量诸方面均受到限制。因此,应借鉴催化重整中开发的圆柱形径向移动床以开发吸附塔,以列管式逆流移动床为方向开发脱附塔。研究开发设备时,结合合适的吸附剂形状、粒径和吸附、脱附动力学,设计新的结构和尺寸,研究探索气固两相流体力学行为、热质传递行为和吸附、脱附反应行为,进行工程放大和优化。由此使装置在运行时具有连续化、大通量、低压降、高吸附速率、高脱除率、易再生、低成本等优点。成功开发相应的工业装置,进行工业推广和产业化运行,是发展的一个重要趋势。

4 结论

针对选择专用的脱硫吸附剂进行径向移动床吸附塔和脱附塔的结构设计、工程放大与优化,开发一种低压降、大通量、连续化、低能耗和低成本的径向移动床吸附塔和脱附塔,并将其大规模应用于燃煤电厂和燃煤锅炉中大型机组所排放的烟气处理,进行脱硫回收,这对于治理大气硫污染和遏制酸雨危

害,同时回收硫资源以发展循环经济,具有重要的工程意义和广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 高继贤,王铁峰,王金福. 炭法吸附烟气净化硫回收技术进展及应用前景[J]. 现代化工, 2006, 26(10): 31 - 34.
- [2] 杨颢. 二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [3] 吴济安,刘静,张文辉. 可资源化烟气脱硫技术与发展[J]. 中国科技产业, 2006(2): 53 - 56.
- [4] 张守玉. 煤制活性焦脱除烟道气中二氧化硫的研究[D]. 太原: 中国科学院山西煤炭化学研究所, 2001.
- [5] 上官炬. 改性半焦烟气脱硫剂的物理结构和表面化学特性变化机理[D]. 太原: 太原理工大学, 2006.
- [6] 冯治宇. 褐煤基催化-吸附剂制备及其脱硫脱氮性能研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006.
- [7] 斯莱克 A V. 废气脱硫[M]. 上海市轻工业设计院技术情报组, 上海同济大学供热通风教研室, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1977.
- [8] Wieckowska J. Catalytic and adsorptive desulphurization of gases[J]. Catalysis Today, 1995, 24(4): 405 - 465.
- [9] 立本英機,安部鬱夫. 活性炭的应用技术: 其维持管理及存在问题[M]. 高尚愚, 译. 南京: 东南大学出版社, 2002.
- [10] 刘勇军,尹华强,裴伟征,等. 炭法烟气脱硫技术现状与趋势[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(9): 50 - 54.
- [11] 翟尚鹏,刘静,杨三可,等. 活性焦烟气净化技术及其在我国的应用前景[J]. 化工环保, 2006, 26(3): 204 - 208.
- [12] 张文辉,刘静,郝淑君. 活性焦烟气脱硫技术研究[J]. 洁净煤技术, 2004, 10(4): 55 - 59.
- [13] 史红云,翟尚鹏. 可资源化活性焦烟气脱硫技术与贵州经济可持续发展[J]. 贵州环保科技, 2006, 12(2): 5 - 9.
- [14] 孙仲超,张文辉,李雪飞,等. 活性焦在烟气脱硫中的应用[C]// 中国环境科学学会. 2006 年学术年会优秀论文集: 下卷, 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 2578 - 2581.
- [15] 翟尚鹏,刘静,辛昌霞,等. 移动床活性焦烟气脱硫与除尘中试研究[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 850 - 854.
- [16] 沈曾民,张文辉,张学军,等. 活性炭材料的制备与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [17] 张守玉,曹晏,朱廷钰,等. 活性炭(焦)脱除烟道气中二氧化硫工艺[J]. 煤炭转化, 1999, 22(3): 28 - 34.
- [18] 李友平,尹华强,刘中正. 炭法烟气脱硫技术研究进展[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(5): 8 - 10.
- [19] 金文松. 日本烟气脱硫技术近况[J]. 硫酸工业, 1985(2): 29 - 33, 37.
- [20] 炭素材料学会. 活性炭基础与应用[M]. 高尚愚, 译. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [21] Knoblauch K, Richter E, Juntgen H. Application of active coke in processes of SO₂ and NO_x removal from flue gases[J]. Fuel, 1981, 60: 832 - 838.
- [22] Golson D, Tsuji K, Shiraishi I. The reduction of gas phase air toxics from combustion and incineration sources using the MET-Mitsui-BF activated coke process[J]. Fuel Proc Technol, 2000, 65/66: 393 - 405.
- [23] Tsuji K, Shiraishi I. Combined desulfurization, denitrification and reduction of air toxics using activated coke: Activity of activated coke[J]. Fuel, 1997, 76(6): 549 - 553.
- [24] Tsuji K, Shiraishi I. Combined desulfurization, denitrification and reduction of air toxics using activated coke: 2. Process applications and performance of activated coke[J]. Fuel, 1997, 76(6): 555 - 560.
- [25] 黄其励. WTO 的挑战与西部电力跨越式发展[J]. 世界科技研究与发展, 2003, 25(4): 13 - 21.
- [26] 张力,刘伟. 活性炭吸附烟气脱硫的展望[J]. 辽宁化工, 1996(5): 16 - 18.
- [27] 沈迪新,陈宏德,田群,等. 我国烟气脱硫技术与应用: 我国自行研究开发[J]. 中国环保产业, 2001(3): 31 - 33.
- [28] 陈军辉,尹华强,刘勇军,等. 脱硫反应器及其应用[J]. 环境污染治理技术与装备, 2004, 5(10): 84 - 88.
- [29] 国家电力公司南京电力自动化设备总厂. 一体化错流移动式净化装置: 中国, 1377720A[P]. 2002 - 11 - 06.
- [30] 王建伟,曹子栋,张智刚. 活性炭吸附法烟气脱硫关键参数的研究[J]. 锅炉技术, 2004, 35(5): 67 - 70. ■

欢迎订阅 2006 年《现代化工》增刊

《现代化工》是由中国化工信息中心主办, 1980 年创刊并公开发行的综合性化工技术类月刊。为全国中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、中国期刊方阵双奖期刊及国家期刊奖期刊。被美国化学文摘(CA)和工程索引(EI)收录。《现代化工》以战略性、工业性和信息性为特色, 全面报道国内外最新化工科研、技术应用和技术革新成果, 探讨化工行业和科研领域的热点、焦点话题, 报道内容广, 发行范围大, 是化工及其相关领域从事科研、设计、教学、信息研究和技术管理人员的首选综合性期刊。

《现代化工》编辑部已于 2006 年 7 月 30 日出版了增刊(1), 刊载论文 87 篇, 其中“技术进展”30 篇、“科研与开发”38 篇、“工艺与设备”13 篇和“知识介绍”6 篇, 总页码 329 页。定价 50 元/本(含邮费); 并于 2006 年 10 月出版了《现

代化工》增刊(2), 该刊为 2006 化工应用技术开发热点研讨会论文集, 刊载论文 112 篇, 其中“专论与综述”3 篇, “技术进展”17 篇、“科研与开发”66 篇、“工艺与设备”16 篇和“知识介绍”10 篇, 总页码 403 页。定价 100 元/本(含邮费)。欢迎大家踊跃订购!

联系电话: 010 - 64444025 转 842 传真: 010 - 64437104
联系人: 杨瑞影
通讯地址: 北京市安外小关街 53 号《现代化工》编辑部 (100029)

E-mail: yangry@cheminfo.gov.cn mci@cheminfo.gov.cn

开户行: 农行北京亚运村支行营业室

户名: 中国化工信息中心

账号: 230101040008441

汇款时请注明“订现代化工增刊”。