王洪昌,朱金伟,束韫,等. 我国大气污染物可持续深度控制技术需求方向分析[J]. 环境工程技术学报,2015,5(3):180-185.
WANG H C, ZHU J W, SHU Y, et al. Analysis of requirement of sustainable and advanced air pollution control technologies in China [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2015, 5(3): 180-185.

我国大气污染物可持续深度控制技术需求方向分析

王洪昌,朱金伟,束韫,张辰,黄家玉,张凡*
中国环境科学研究院,北京 100012

摘 要: 消除灰霾的重要途径之一是实施固定污染源的大气污染物可持续的深度控制。通过总结我国目前各行业污染控制现状及进一步减排潜力,提出我国进行污染物深度控制的重点为工业锅炉和工业窑炉。进一步分析了我国目前大气污染控制技术存在的问题及各行业污染深度控制需求。由于我国目前应用的污染控制技术基本都存在投资运行成本高、副产物不可资源化等问题,在工业锅炉、工业窑炉上很难实现可持续的污染物深度控制。因此,我国污染物可持续深度控制技术的研究方向应着重于以废治废、烟气量减排的循环经济型技术和多污染物协同控制及副产物商品化技术的研发和推广应用。

关键词: 灰霾; 深度控制技术; 可持续; 大气污染
中图分类号: X32 **文章编号:** 1674-991X(2015)03-0180-06 **doi:** 10.3969/j.issn.1674-991X.2015.03.027

Analysis of Requirement of Sustainable and Advanced Air Pollution Control Technologies in China

WANG Hong-chang, ZHU Jin-wei, SHU Yun, ZHANG Chen, HUANG Jia-yu, ZHANG Fan
Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: To implement sustainable and advanced control of air pollutants from stationary sources is one important way of eliminating the haze. Based on an analysis of current situations of pollution control and further emission reduction potentials in various industries in China, it was proposed that the advanced pollution control should focus on industrial boilers and industrial furnaces. The problems of existing air pollution control technologies and the requirements of advanced control in various industries were further analyzed. The current technologies were difficult to realize sustainable and advanced pollution control for industrial boilers and furnaces, due to their high investment and operating costs and non-recyclability of the by-products. Therefore, the research of sustainable and advanced air pollution control technologies in China should highlight the R&D and dissemination of circular economy-type technologies for waste treatment and waste gas volume reduction, the multi-pollutant cooperative control technologies and the by-product commercialization technologies.

Key words: haze; advanced control technology; sustainable; air pollution

近年来,我国工业总产值持续增长的同时给环境带来前所未有的压力,大气污染物总量早已超越环境容量阈值,东中部频繁出现灰霾现象,给人民群众的生产生活带来了极大的不便,严重影响了人民群众的身体健康。灰霾现象的出现主要是由于空气中 $PM_{2.5}$ 浓度过高引起的,北京、广州、上海等城市常年的 $PM_{2.5}$ 年平均浓度在 60~110 μg/m^3,远高于世界卫生组织(10 μg/m^3)和美国(15 μg/m^3)的 $PM_{2.5}$

收稿日期: 2015-02-25
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA062505);科学技术部科研院所技术开发研究专项(2013EG166140)
作者简介: 王洪昌(1981—),男,副研究员,博士,主要从事大气污染控制技术研究,wh-c@163.com
* **通讯作者:** 张凡(1959—),男,研究员,主要从事大气污染控制技术及战略研究,zhangfan5188@vip.sina.com

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年平均浓度的标准限值，说明我国的大气污染状况已十分严重。因此，如何减少 $PM_{2.5}$ 的排放和产生，控制灰霾天气的出现是目前我国大气环保工作急需解决的问题[1]。

发达国家在其经济高速发展时也大都出现过灰霾现象，而其控制灰霾的措施主要包括能源结构调整[2]、产业结构调整[3]、动力单元调整及对动力和生产单元采取污染物控制等。纵观这些治理灰霾的经验可以看出，采用各类措施的实质是通过控制排放烟气的污染物浓度和减少污染烟气排放的共同作用控制灰霾。由于我国能源结构以燃煤为主，其单位热量产生的污染物远大于石油、天然气等能源，所以，要解决灰霾问题，必须在烟气量减排的基础上，开展重点行业的污染物可持续的深度控制。

1　我国大气污染物深度控制重点行业分析

目前我国巨大的能源消费量和以煤为主的能源消费结构是空气污染的主要成因[4]，SO_2 排放量的 90%，NO_x 排放量的 67%，烟尘排放量的 70% 均来自燃煤，因此，煤烟型污染源应是我国开展大气污染深度控制的主要对象[5]。由于我国发电用煤占全部煤炭消费的约 50%[6]，因此，燃煤大气污染物排放可以进一步分为电力行业排放和其他排放(包括工业锅炉，各种工业窑炉如水泥、钢铁等)。

火电行业是我国大气污染控制的重点，对燃煤电厂制定的排放标准也一直是各行业中最为严格的，同时减排效果也十分显著。据统计[6]，“十一五”期间，火电装机容量增长了 10 倍以上，但烟尘排放总量却略有下降，对 SO_2 的控制也取得明显成效。随着我国 2011 年颁布了严格的 GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》，结合国家陆续出台的一系列脱硫脱硝除尘电价政策，加快了火电行业污染治理设施的升级改造，使我国目前火电厂的污染物控制基本达到了国际领先水平。据估计[7]，虽然燃煤火电用煤占全部煤炭消费的约 50%，但其污染物排放仅占当年燃煤总排放的 15%；而其余 50% 的煤炭消耗(燃煤工业锅炉、工业窑炉等)由于污染治理设施较为滞后，其污染物排放量占当年燃煤总排放量的 85%。由于控制灰霾的手段是减少大气污染物排放总量，因此，相比火电行业进一步减排潜力有限的现状，着重于对工业锅炉、工业窑炉(钢铁、水泥等)其他排放大户进行大气污染物的深度控制，可能是成本更低、更经济可行的治理方式。

1.1　工业锅炉污染物深度控制需求分析

我国是当今世界生产和使用锅炉最多的国家，统计数据[8]显示: 截至 2013 年底，全国工业锅炉的新增产量达 5.13×10^5 t/h，工业锅炉总数约 62×10^4 台，其中 85% 以上为各类燃煤锅炉，总数约 48×10^4 台，总蒸发量约 3.2×10^6 t/h。在国家“上大压小”的节能减排政策推动下，工业锅炉正向着大容量、高参数、高能效、低排放的方向发展，10 t/h 以下的小型锅炉已逐步淘汰。但小型锅炉在广大的农村和城镇范围仍有相当大的市场，这部分燃煤锅炉不具备清洁用煤的能力，也是影响城市空气质量的重要原因之一。

燃煤工业锅炉无论在燃煤总量还是污染排放方面，均仅次于火电燃煤，是我国的第二大煤烟型污染源。据统计[9]，2012 年全国工业锅炉 SO_2、NO_x 和烟尘排放量分别约为 5.7×10^6、2×10^6 和 4.1×10^6 t，占各自全国排放总量的比例约 26%、15% 和 32%。工业锅炉大气污染具有以下特点: 1) 保有量大，燃煤多为高灰分高硫煤，污染物排放量大; 2) 排放高度低，污染物扩散条件差; 3) 效率低，平均热效率仅为 60% ~65%，污染严重; 4) 分布广泛，排放的烟气温度高、组成复杂。

近年来，我国燃煤工业锅炉粉尘控制较为有效，SO_2 的污染治理刚刚起步，但对 NO_x 的控制则少之又少，从而导致在某些城市，燃煤工业锅炉的污染物排放量已超过电站锅炉。可以认为，燃煤工业锅炉造成的环境污染一定程度上抵消了其他行业在环境质量改善方面作出的努力。因此，我国在 2014 年颁布了 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》，加严了在用和新建锅炉大气污染物的排放限值，并提出重点区域的燃煤锅炉需执行特别排放限值(颗粒物为 30 mg/m^3，SO_2 和 NO_x 均为 200 mg/m^3)。

1.2　工业窑炉污染物深度控制需求分析

目前我国仅钢铁、水泥、有色、玻璃、陶瓷行业就有 20×10^4 台工业窑炉，原煤消耗量仅次于电站锅炉、工业锅炉，已成为城市群大气复合污染的重要污染源[10]。笔者以钢铁和水泥行业为例，分析了我国工业窑炉污染现状及深度控制需求。

钢铁工业是我国国民经济的支柱产业，2013 年中国粗钢产量已达 7.79×10^8 t，占世界钢铁产量的 48%[11]。钢铁行业的大气污染物排放主要在烧结系统，其主要特点是烟气排放量大、SO_2 排放浓度低

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

且波动范围宽和烟气成分复杂等。钢铁行业目前主要开展了除尘和脱硫工作，脱硝工作尚未开展。截至 2010 年底，全国投运脱硫设施烧结机 185 台，总烧结面积约 26 447 m^2，其中 90 m^2 以上烧结机 135 台，烧结面积 23 751 m^2，球团机烧结烟气脱硫设施 33 台[12]。由于对钢铁行业宽松的环保政策和不完善的监管机制，使得钢铁行业的工业污染物排放量增加，钢铁工业大气污染物占总工业污染物的比例也由“十一五”初期的 8% 增长到 2009 年的 10%[11]。“十二五”时期，钢铁行业的工业污染治理引起了国家相关部委的关注。2012 年我国颁布了 GB 28662—2012《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》[13]，对钢铁厂烧结工序排放的主要污染物加严了限值：新建企业颗粒物排放限值为 50 mg/m^3，SO_2 排放限值为 200 mg/m^3，NO_x 排放限值为 300 mg/m^3。此外，针对炼钢过程分别颁布了 GB 28663—2012《炼铁工业大气污染物排放标准》[14]、GB 28664—2012《轧钢工业大气污染物排放标准》[15] 和 GB 28665—2012《炼钢工业大气污染物排放标准》[16]，在炼铁、炼钢和轧钢等环节也对 SO_2、NO_x 及颗粒物进行了严格的控制。最为明显的是将轧钢工序产生的 SO_2 排放限值从 250 mg/m^3 改为 150 mg/m^3。

我国是世界上最大的水泥生产和消费国，截至 2013 年底，全国新型干法水泥生产线约 1 714 条[8]，水泥年产量约 24.1×10^6 t[17]，占世界水泥总产量的 58%。水泥是我国重点污染行业之一，其煤炭消耗约占全国总需求量的 10% 左右，颗粒物排放量占全国总排放量的 15% ~20%（位列各行业之首），NO_x 排放量占全国总排放量的 8% ~10%（位列各行业第三位），SO_2 排放量占全国总排放量的 3% ~4%。2013 年我国颁布了 GB 4915—2013《水泥工业大气污染物排放标准》[18]，取代原标准（GB 4915—2004），其中水泥窑颗粒物浓度限值从 50 mg/m^3 加严到 30 mg/m^3，NO_x 浓度限值从 800 mg/m^3 加严到 400 mg/m^3。

随着各行业新标准的逐步实施，排放限值的不断加严，国内燃煤工业锅炉、工业炉窑部分原有环保设施将面临升级改造，在目前国内外经济不景气的大环境下，可行的污染控制技术的应用推广将是这些行业能否实现达标排放和企业可持续运行的关键。

2 我国大气污染控制技术现状及存在问题

我国污染物治理技术基本是以引进国外工业化国家技术为主，这些技术虽然在国外应用比较成熟，但由于我国一方面燃煤量非常大，另一方面燃煤烟气的高含尘高含硫等特点，使得一些技术在应用推广中出现了水土不服或不符合我国国情的情况。

2.1 脱硫技术

目前我国脱硫主要以石灰石－石膏法脱硫为主，该技术除了存在“石膏雨”、增加二氧化碳排放等问题外，还存在大规模应用造成了石灰石开采量大，生态环境破坏严重，脱硫石膏资源化率较低，石膏堆积和脱硫废水二次污染严重等问题[19-21]。

首先，由于我国燃煤量大，存在大气环境破坏严重，脱硫石膏资源化率较低，石膏堆积和脱硫废水二次污染严重等问题。脱硫原料石灰石的需求量也十分巨大。根据我国石灰石法脱硫规模估算，我国每年脱硫所需石灰石开采量 2×10^7 t，长期大量的石灰石开采，严重破坏了当地的生态环境。如何修复因石灰石开采而造成的生态环境破坏，将是环保产业尤其是脱硫产业急需解决的问题之一。

其次，石灰石－石膏脱硫工艺是我国从国外引进的脱硫技术，初衷是因其具有运行成本低，副产物脱硫石膏可以制作石膏板等建筑材料进行综合利用的优势。然而，由于国外脱硫石膏产量不大，能够实现资源化利用，但我国污染烟气量大，脱硫石膏的产量也十分巨大，根据我国石灰石法脱硫规模估算，我国每年要产生将近 1×10^8 t 的脱硫石膏，而制作石膏板、石膏粉等利用率不到 60%，其余的只能堆放储存，造成环境的二次污染，严重影响了周边的生态环境。

此外，我国目前脱硫只考虑到了降低 SO_2 排放，却没有综合考虑我国是一个硫资源相对贫缺的国家。目前我国每年需进口硫磺 1×10^7 t，但对烟气中的 SO_2 仅采用石灰石－石膏脱硫工艺简单脱除，而未作为硫资源进行回收，显然是一种硫资源的浪费。

2.2 脱硝技术

目前国内外烟气脱硝技术主要以选择性催化还原（SCR）和选择性非催化还原（SNCR）等技术为主，其脱硝剂采用氨、尿素等，脱硝的副产物为不可回收的氮气。如果我国大范围使用该类还原性技术，每年脱硝运行会消耗大量的氨资源。据估

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

算[5]，若我国 80% 的电厂采用 SCR 脱硝技术，则每年消耗约 5×10^6 t 的氨，占全国氨总产量的 10%，由于其副产物为不可回收的氮气，势必造成我国环保“与农争粮”、氨资源浪费问题，使得环境保护与农业 2 个基本国策难以协调发展。

目前 SCR 脱硝技术还存在着催化剂中毒和废催化剂处置的问题。SCR 脱硝系统多采用的是钒钨钛类催化剂，烟气中的碱金属、SO_2、氧化砷等都会引起催化剂的中毒。而我国煤种较多，同一企业不同时段燃用煤质也可能会有较大差别，如何通过改进催化剂，能够使其适应烟气成分波动，减少或避免失活现象是我国大规模开展 SCR 脱硝需解决的问题之一[22-23]。此外，环境保护部发布了《关于加强废烟气脱硝催化剂监管工作的通知》(环办函〔2014〕第 990 号)，其中将废烟气脱硝催化剂的管理、再生、利用纳入了危险废物管理，这就要求对废催化剂进行合理的处理。虽然国内外开展了大量关于提高废催化剂再生和利用处置能力的技术研发工作，但催化剂不可能完全再生，因此，如在我国大规模开展 SCR 脱硝技术，对产生的废催化剂如何合理处置将是必须要解决的难题之一。

此外，SCR、SNCR 等脱硝技术还存在运行成本高等问题，尤其是对于一些产生 NO_x 浓度较高的企业。该类技术不仅需要大量的脱硝原料氨或尿素，国内烟气的高灰、高硫等特点也会使得 SCR 催化剂的更换频率要比国外更加频繁，增加催化剂的使用成本。

2.3　趋零排放技术

燃煤电厂大气污染物“趋零排放”成为近年来能源、电力行业广泛争议的话题。“趋零排放”是以燃气机组为比较标准，即如果燃煤机组的大气污染物接近或低于燃气机组的排放水平，则称之为“趋零排放”。然而，“趋零排放”的主要问题是对环境治理的“边际贡献”很小。趋零排放对环境治理的边际贡献在于满足国家排放标准之后，进一步做到趋零排放的污染物减排量。目前执行的《火电厂大气污染物排放标准》已经很严格，相对于美国和欧盟的标准有过之而无不及，据估算[7]，燃煤电厂即使实现趋零排放，相比起特别排放限值要求，大气污染物可以进一步减排的比例不到 1%。虽然通过电价补贴等方式可以让燃煤电厂承受“趋零排放”治理，但这种通过较大的边际成本获取较小的环境边际收益，是否需要大范围推广值得商榷。

通过上述分析可以发现，我国现有大气污染控制基本都存在不可持续性问题，这也是部分企业建得起环保设施而用不起的原因所在，污染设施建成后运行成本过高、管理维护困难，直接导致了企业的环境绩效和区域环境质量难以得到根本改善。目前我国工业锅炉、工业窑炉的污染治理技术基本都是移植自燃煤电厂污染治理技术，这些行业的烟气成分更加复杂，且运行管理也不如燃煤电厂，许多火电行业的高效技术并不能在这些行业实现预期的污染治理效率。因此，要实现污染物排放总量下降，环境质量改善，必须进一步深挖目前具有较大减排空间行业的减排潜力，在相关工业行业发掘更先进、减排效率更高且可持续的控制技术，并加快成果应用、推广，以便提高我国工业行业大气污染物治理总体水平。

3　我国大气污染可持续深度控制技术需求分析

目前我国应用的烟气污染物控制基本都是一种污染物采取一套烟气脱除装置的控制方式，当需要同时控制多种污染物时，势必导致系统复杂、占地面积大、成本高等问题，而且脱除污染物的副产物也面临着如何有效回收利用的难题。根据当前及今后大气污染控制发展的需求，大气污染控制技术的发展重点和推广趋势主要体现为: 1) 基于循环经济理念，在工业锅炉、工业炉窑等行业实施可持续的高效低成本污染控制技术; 2) 高效新型的多种污染物协同脱除及副产物资源化技术。

我国对于火电行业大气污染治理陆续出台了相关脱硫脱硝除尘的电价政策，这对火电行业进行污染治理设施升级改造、实现污染物达标排放起到了非常重要的推动作用。但是对于工业锅炉、工业炉窑国家并未有相关的资金鼓励政策，这也使得对于钢铁、水泥、玻璃等行业在进行大气污染控制过程中更加侧重投资运行成本问题。因此，对于工业锅炉、工业窑炉的污染物深度控制需要简便、经济、高效、实用的控制技术。如通过开展企业内设备内部或设备之间的烟气循环和梯度利用技术，利用烟气量的减排实现污染物的减排[24]；通过利用废水或固体废物进行脱硫脱硝，实现以废治废等。目前国内外开展了大量的采用碱性废物(如造纸废物、印染废物、钢渣等)作为除尘脱硫剂进行湿式脱硫[25-26]，利用高浓度有机废水进行 SNCR 脱硝等污染治理技术的

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

研究，并在中小型工业锅炉、工业窑炉也已经有了相应的应用。该类技术由于具有投资省、占地少、工艺简单、运行费用低等优点，更适合我国工业锅炉、工业窑炉的烟气可持续深度控制需求。

我国现有大气污染控制基本都是采用单一污染物控制技术的组合，且其副产物不能商品化，造成投资大、运行成本高，企业很难承受。通过研发和推广使用多污染物协同控制和副产物商品化技术，不仅可以降低污染治理的投资运行成本，还可有效回收烟气中的硫、硝等资源，实现污染治理过程中的循环经济。目前国内外已研发了一些多污染物协同控制技术和副产物商品化技术，如国外研发的能够实现联合脱硫脱硝的 SNOX（WSA－SNOX）工艺、SNRB（SOX－NOX－ROX－BOX）工艺、NOXSOX 工艺、活性炭法、电子束法等[27-30]；国内也在多污染物的协同控制新技术的研发方面取得了较多较好的研究成果，如基于钢铁工业烟气污染治理的活性炭干法多污染物脱除技术、循环流化床半干法多污染物脱除技术等，能协同脱除 SO_2、NO_x 及二噁英等污染物，并在部分钢厂取得了示范应用。如太原钢铁厂活性炭干法多污染物脱除技术，马鞍山钢铁厂及成日钢铁厂循环流化床半干法多污染物脱除技术等[8]。中国环境科学研究院也开发了一种玻璃烟气多污染物协同控制技术，将烟气中的 SO_2 通过催化氧化制备成硫酸产品，NO_x 通过催化氧化、氨吸收等过程制备成农用硝酸铵钙产品，同时在催化氧化过程中，还可将烟气中的汞协同脱除。该类技术由于大多具有对多污染物协同控制效率高，投资运行成本低等特点，已成为大气污染物可持续深度控制方面的重要发展趋势。

4 结论

消除灰霾的根本途径是控制细粒子的排放和产生途径，实施固定污染源的大气污染可持续的深度控制是其主要途径之一。我国火电行业无论从排放标准限值还是开展的污染治理措施基本都已经达到了国际最先进的水平，进一步的减排潜力已经不大，因此，进行工业锅炉、工业窑炉大气污染物的深度控制是我国大气环保领域急需开展的工作。由于我国目前应用的污染控制技术基本都存在投资运行成本高、副产物不可资源化等问题，在工业锅炉、工业窑炉上很难实现可持续的污染物深度控制。因此我国污染物可持续深度控制技术的研究方向应着重于以废治废、烟气量减排的循环经济型技术和多污染物协同控制及副产物商品化技术的研发和推广应用。

参考文献

[1] PUI D Y H，CHEN S C，ZUO Z L. $PM_{2.5}$ in China: measurements sources visibility and health effects and mitigation [J]. Particuology，2014，13(2)：1-26.

[2] 吴剑奴. 美国能源结构演进 [J]. 生产力研究，2012(7)：178-180.

[3] DANIEL A M. 美国洛杉矶空气管理经验分析 [J]. 环境科学研究，2006，19(增刊 1)：98-108.

[4] HETLAND R B，CASSEE F R，REFSNES M，et al. Release of inflammatory cytokines，cell toxicity and apoptosis in epithelial lung cells after exposure to ambient air particles of different size fractions [J]. Toxicology in Vitro，2004，18(2)：203-212.

[5] 陈运法，朱廷钰，程杰，等. 关于大气污染控制技术的几点思考 [J]. 中国科学院院刊，2013，28(3)：364-370.

[6] 易爱华，丁峰，胡翠娟，等. 我国燃煤大气污染控制历程及影响分析 [J]. 生态经济，2014，30(8)：173-176.

[7] 新华网. 燃煤电厂"趋零排放"边际成本较高 [R/OL]. (2014-11-28). http://news.xinhuanet.com/energy/2014-11/28/c_127259035.htm.

[8] 中国环境保护产业协会脱硫脱硝委员会. 我国脱硫脱硝行业 2013 年发展综述 [J]. 中国环保产业，2014(9)：4-15.

[9] 王占山. 工业锅炉大气污染物排放清单的分配方法研究 [J]. 环境工程，2014，32(增刊 1)：453-456.

[10] 朱广为. 工业炉窑的环保治理分析 [J]. 工业炉，2012，34(4)：30-34.

[11] 兰国谦，刘建秋，张江伟. 钢铁行业烧结烟气脱硫技术现状和发展趋势 [J]. 中国环保产业，2014(6)：42-46.

[12] 谢赛，贵永亮，胡宾生. 钢渣用于烧结烟气脱硫的现状和展望 [J]. 环境工程，2014，32(增刊 1)：523-526.

[13] 环境保护部. GB 28662—2012 钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[14] 环境保护部. GB 28663—2012 炼铁工业大气污染物排放标准 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[15] 环境保护部. GB 28664—2012 轧钢工业大气污染物排放标准 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[16] 环境保护部. GB 28665—2012 炼钢工业大气污染物排放标准 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[17] 统计局. 年度数据 [DB/OL]. [2015-03-02]. http://data.stats.gov.cn/workspace/index?m=hgnd.

[18] 环境保护部. GB 4915—2013 水泥工业大气污染物排放标准 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[19] 田斌. 湿法脱硫技术问题及脱硫效率探讨 [J]. 电力环境保护，2008，24(5)：35-38.

[20] LV T，LU K，SONG L J. Analysis and settlement of gypsum rain issue in the wet-type FGD [J]. Advanced Materials Research，2012，347/348/349/350/351/352/353：3396-3399.

[21] 翁卫国，张军，李存杰. 湿法脱硫系统"石膏雨"问题的成因及

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

解决对策 [J]. 化工进展,2015,34(1):239-245.

[22] QI G S,YANG R T,CHANG R. Low-temperature SCR of NO with NH_3 over USY-supported manganese oxide-based catalysts [J]. Catalysis Letters,2003,87(1):67-71.

[23] CHEN L,LI J H,GE M F. The poisoning effect of alkali metals doping over nano V_2O_5-WO_3/TiO_2 catalysts on selective catalytic reduction of NO_x by NH_3 [J]. Chemical Engineering Journal,2010,170(2):531-537.

[24] DAWSON P R. Recent developments in iron ore sintering new development for sintering [J]. Ironmaking and Steelmaking,1993(2):135-136..

[25] 于峥,程波,林志宁. 脱硫增效剂与白泥在湿式 FGD 系统中的应用分析 [J]. 电力科技与环保,2014,30(4):39-41.

[26] MOK Y S,LEE H J. Removal of sulfur dioxide and nitrogen oxides by using ozone injection and absorption-reduction technique [J]. Fuel Processing Technology,2005,87(7):591-597.

[27] BASFAR A A,FAGEEHA O I,KUNNUMMAL N,et al. Electron beam flue gas treatment(EBFGT) technology for simultaneous removal of SO_2 and NO_x from combustion of liquid fuels [J]. Fuel,2007,87(8):1446-1452.

[28] LIU Y X,ZHANG J,SHENG C D,et al. Simultaneous removal of NO and SO_2 from coal-fired flue gas by UV/H_2O_2 advanced oxidation process [J]. Chemical Engineering Journal,2010,162(3):1006-1011.

[29] ZHAO Y,GUO T X,CHEN Z Y,et al. Simultaneous removal of SO_2 and NO using M/$NaClO_2$ complex absorbent [J]. Chemical Engineering Journal,2010,160(1):42-47.

[30] SUMATHI S,BHATIA S,LEE K T,et al. Cerium impregnated palm shell activated carbon(Ce/PSAC) sorbent for simultaneous removal of SO_2 and NO Process study [J]. Chemical Engineering Journal,2010,162(1):51-57. ○

《环境工程技术学报》投稿须知

文稿应具有创新性、科学性、先进性、实用性,内容务求论点明确、论证可信、论据充分、数据准确、逻辑推理正确,文章结构严谨、层次清楚、重点突出、文笔精练、图表规范,并且是未在其他公开发行期刊或正式出版的论文集发表的作品。

稿件需要清楚地提出问题。对所研究问题的背景,研究工作的目的,主要方法、原理与主要仪器设备,结果(包括主要数据)与分析以及结论等内容有清楚的描述。

稿件涉及的研究项目应具有一定的前沿性,在已有的环境工程技术研究存量上,研制出新的技术方法、新系统、新设备、新仪器;在原有基础上提出新的观点、新的方法或新的改进;或是重大的新技术推广应用研究。

请作者注意保持严谨的学风。凡引用他人观点、成果,必须加以注明。

来稿全文(含图、表)以 8 000 字为宜,特别有价值的论文可放宽至 1.5 万字。为保证稿件评审的客观公正,提高本刊的质量,本刊实行双向匿名审稿制度。稿件中应注意避免影响匿名审稿的行文或注文出现。

作者进入《环境工程技术学报》网站(www.hjgcjsxb.org.cn)登录在线投稿系统,注册用户名后,在线投递论文。投稿及查看进度等使用方法请查看网站首页的"使用指南"。本刊采用 Word 2003 版本排版。稿件图、表须工整清楚,不得自造简化字。不符合本投稿须知要求的稿件,编辑部将不能受理。

来稿的编排顺序:题目、作者姓名、工作单位及城市、邮编,中文摘要、关键词,英文题目、作者姓名汉语拼音、作者单位(英文)、英文摘要、英文关键词(与中文关键词相对应),正文以及参考文献。

在首页脚注处应注明收稿日期,基金项目(省部级以上基金资助或其他资助项目及项目批准号),第一作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、主要研究领域和 E-mail)及责任作者简介。

参考文献一般不少于 15 篇,其中外文文献不少于 5 篇。

编辑部收到稿件后即登记送审,经初、复、终审,每一审稿程序完成后均可能产生不录用稿。未被录用稿将通过 E-mail 或电话通知作者,投稿时请务必写明 E-mail 和电话,以利编辑及时处理稿件,请勿一稿两投。如果超过 3 个月未收到我刊的刊用通知,作者可自行处理稿件。您的来稿,无论本刊采用与否,概不退稿,请作者务必自留底稿。

文责自负,但编辑有权对来稿做文字性修改、删节。如作者不同意删改,请注明。

来稿采用后,本刊根据文稿质量向作者支付稿酬。特殊稿件按双方协议标准执行。作者论文的著作权(含各种介质)使用费与稿酬一次付清,不再另付。

文章在《环境工程技术学报》发表后,编辑部将制作配印刷封面的抽印本 6 本和 2 本样刊赠送给作者。

作者稿件一经录用,文稿将编入我刊数据库检索系统,并提供使用功能。如不同意以上投稿须知条款内容及有关版权使用协议的规定,请作者在来稿时声明,本刊将视情况做适当处理,否则视为同意。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net