

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第12期

Vol.35 No.12

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

北京雾霾天气生物气溶胶浓度和粒径特征 高敏,仇天雷,贾瑞志,韩梅琳,宋渊,王旭明(4415)

杭州大气颗粒物散射消光特性及霾天气污染特征 徐昶,叶辉,沈建东,孙鸿良,洪盛茂,焦荔,黄侃(4422)

太原市采暖季 PM_{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价 李丽娟,温彦平,彭林,白慧玲,刘凤娴,史美鲜(4431)

成都市城区 PM_{2.5} 中二次水溶性无机离子污染特征 李友平,周洪,张智胜,王启元,罗磊(4439)

北京市臭氧的时空分布特征 王占山,李云婷,陈添,张大伟,孙峰,孙瑞雯,董欣,孙乃迪,潘丽波(4446)

南京北郊大气 VOCs 变化特征及来源解析 安俊琳,朱彬,王红磊,杨辉(4454)

祁连山中段降水化学的环境意义研究 李宗杰,李宗省,田青,宋玲玲,贾冰,郭瑞,宋耀选,苏索南,韩春坛(4465)

中亚热带典型林分不同层次氮硫湿沉降动态变化 孙涛,马明,王定勇,黄礼昕(4475)

本底大气 CO₂ 观测分析过程中 QA/QC 方法的建立与评估 刘立新,周凌晔,夏玲君,王红阳,方双喜(4482)

轻型汽油车 CH₄ 和 N₂O 排放因子研究 何立强,宋敬浩,胡京南,解淑霞,祖雷(4489)

煤燃烧超细微颗粒粒径谱演变及排放因子的实验研究 孙在,杨文俊,谢小芳,陈秋方,蔡志良(4495)

春、夏季长江口及其邻近海域溶解 N₂O 的分布和海-气交换通量 王岚,张桂玲,孙明爽,任景玲(4502)

珠江口水体组分的吸收特性分析 王珊珊,王永波,扶卿华,尹斌,李云梅(4511)

河流汇合处水体磷素形态特征及紫外光照的影响:以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江交汇为例 闫金龙,江韬,魏世强,李玲,郭念,李璐璐,刘江(4522)

基于太湖微囊藻毒素的叶绿素 a 阈值研究 魏代春,苏婧,纪丹凤,伏小勇,王骥,霍守亮,崔驰飞,唐军,席北斗(4530)

百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征 冯源嵩,林陶,杨庆媛(4537)

自然光照对淹水条件下三峡库区消落带典型土壤磷释放影响 郭念,江韬,魏世强,闫金龙,梁俭,卢松,高洁(4544)

垂直流人工湿地 LDHs 覆膜改性沸石基质强化除磷效果及其机制 张翔凌,陈俊杰,郭露,陈巧珍,王晓晓(4553)

三峡库区消落带 3 种植物淹水后汞的动态变化及其对水体的影响 张翔,张成,孙荣国,王定勇(4560)

纳米 TiO₂ 对底泥中汞释放及活化的影响 张金洋,李楚娴,王定勇,周雄,孙荣国,张成,梁丽(4567)

首都水源地——洋河流域人为源多环芳烃(PAHs)排放清单估算及其影响分析 高佳佳,罗维,奚晓霞(4573)

石化工业园区有毒废水来源识别研究 杨茜,于茵,周岳溪,陈学民,伏小勇,王淼(4582)

污水处理厂中红霉素抗药性基因的污染特征及选择性因子 李侃竹,吴立乐,黄圣琳,何势,刘振鸿,薛罡,高品(4589)

2 种填料 BAF 深度处理印染废水沿程污染物变化规律研究 刘俊峰,范举红,刘锐,陈吕军,张永明(4596)

硫酸盐还原型甲烷厌氧氧化菌群驯化及其群落特征 席婧茹,刘素琴,李琳,刘俊新(4602)

MBR 处理腈纶废水的效能及微生物群落结构分析 魏健,宋永会,赵乐(4610)

制革废水的厌氧氨氧化 ABR 脱氮工艺研究 曾国驱,贾晓珊(4618)

生物滤池工艺的数值模拟与运行优化 邹宗森,施汉昌,陈向强,谢小青(4627)

气升装置对厌氧氨氧化污泥形态及性能的影响 李祥,黄勇,袁怡,周呈,陈宗短,张大林(4636)

给水厂污泥改良生物滞留填料除磷效果的研究 王建军,李田,张颖(4642)

北京地区不同城镇污水处理厂堆肥污泥的营养含量和重金属污染 白莉萍,齐洪涛,伏亚萍,李萍(4648)

电子垃圾拆解区污染池塘中鱼类多氯联苯及其代谢产物的组织分配及暴露风险 唐斌,罗孝俊,曾艳红,麦碧娴(4655)

广东罗非鱼养殖区水体和鱼体中重金属、HCHs、DDTs 含量及风险评价 谢文平,朱新平,郑光明,马丽莎(4663)

崇明典型水生生物中雌激素含量和分布特征 耿婧婧,叶爱丽,杨毅,刘敏,张婧,周俊良(4671)

啮虫脒光催化降解动力学的优化及其降解产物的分析 周文常,阳海,胡志斌,兰世林(4678)

氮添加对生长季寒温带针叶林土壤有效氮和酸化的影响 陈高起,傅瓦利,罗亚晨,高文龙,李胜功,杨浩(4686)

土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响 李鉴霖,江长胜,郝庆菊(4695)

上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析 唐冬,毛亮,支月娥,张进忠,周培,柴晓彤(4705)

某铅酸蓄电池污染场地表层土壤重金属 Pb 空间分布预测研究 刘庚,牛俊杰,张朝,赵鑫,郭观林(4712)

海泡石对镉-铅复合污染钝化修复效应及其土壤环境质量影响研究 孙约兵,王朋超,徐应明,孙扬,秦旭,赵立杰,王林,梁学峰(4720)

盐碱区不同开发年限水田温室气体排放规律及影响因素 汤洁,方天儒,侯克怡,赵仁竹,梁爽(4727)

不同热解温度生物炭对 Cd(II) 的吸附特性 王震宇,刘国成,Monica Xing,李锋民,郑浩(4735)

碱土金属钙沉积对 Mn-Ce/TiO₂ 低温 SCR 催化剂脱硝性能的影响 周爱奕,毛华峰,盛重义,谭月,杨柳(4745)

国内外水泥工业大气污染物排放标准比较研究 江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4752)

我国水泥工业大气污染物排放标准的修订历程与思考 江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4759)

《环境科学》第35卷(2014年)总目录 (4767)

《环境科学》征订启事(4617) 《环境科学》征稿简则(4654) 信息(4474, 4529, 4536, 4744)

国内外水泥工业大气污染物排放标准比较研究

江梅, 李晓倩, 纪亮, 邹兰, 魏玉霞, 赵国华, 车飞, 李刚, 张国宁*

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 新修订 GB 4915-2013《水泥工业大气污染物排放标准》于 2014 年 3 月 1 日实施。该标准将成为水泥工业防治污染、减排总量、调整结构、优化布局的重要抓手。本文对我国、美国、欧盟、日本相关排放标准(或指令)进行了研究, 对比了污染物项目、控制指标、限值严格程度、实施手段等方面的异同, 提出了标准建议, 为我国排放标准制修订工作提供参考, 有助于提高环境管理和污染控制水平。

关键词: 水泥工业; 大气污染; 控制指标; 排放标准; 比较研究

中图分类号: X-652 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)12-4752-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.12.044

A Comparative Study on Domestic and Foreign Emission Standards of Air Pollutants for Cement Industry

JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, ZOU Lan, WEI Yu-xia, ZHAO Guo-hua, CHE Fei, LI Gang, ZHANG Guo-ning

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The new National Emission Standard of Air Pollutants for Cement Industry (GB 4915-2013) becomes effective on Mar. 1st, 2014. It will play an important role in pollution prevention, total emission reduction, structure adjustment, and layout optimization for cement industry. Based on the research of emission standard in China, U. S., EU and Japan, the similarities and differences in the pollutant projects, control indicators, limits and means of implementation were discussed and advice was proposed, with the purpose to provide a reference for revision of emission standard, and to improve the level of environmental management and pollution control.

Key words: cement industry; air pollution; control indicators; emission standard; comparative study

排放标准是环境管理的基本手段, 各国都非常重视排放标准制定工作, 并且随着技术、经济的发展不断提高排放控制要求。从全球范围看, 美国分行业制定的新固定源标准(NSPS)和危险空气污染物国家排放标准(NESHAP), 欧盟发布的工业排放指令(IED)及其配套的 BAT 指南文件, 日本主要按污染物项目规定统一的排放限值(很少区分行业、工艺), 三者与我国排放标准进行比较研究, 可以借鉴国外成熟的标准制订思路和方法, 明确污染控制技术路线, 分享污染源监督管理经验, 提高我国的环境管理和污染控制水平。

1 我国水泥工业大气污染物排放标准

从 1985 年第一版《水泥工业污染物排放标准》起, 历经 1996 年、2004 年、2013 年三次修订, 标准的制订思路、管控的污染物项目、排放限值严格程度等都发生了很大变化, 表 1 所示是不同时期标准对水泥回转窑大气污染物的排放要求。

从标准制定思路看, GB 4915-1985 标准(1985 版标准)根据水泥企业所处地区, 划分为 4 个区域类别(特殊地区、城市近郊区、城市远郊区、城镇和

农村), 分别规定了排放限值^[1]。GB 4915-1996 标准(1996 版标准)则与环境空气质量功能区挂钩, 对应 GB 3095-1996《环境空气质量标准》的一、二、三类区, 分别执行一级、二级、三级标准^[2]。GB 4915-2004 标准(2004 版标准)取消了排放限值与环境功能区直接挂钩, 区分现有企业和新建企业, 按可行控制技术(包括生产工艺技术和末端治理技术)确定排放限值^[3]。GB 4915-2013 标准(2013 版标准)则根据区域联防联控的最新环境管理要求, 区分重点地区和一般地区制订排放限值, 对重点地区要求采用最有效的污染控制技术执行大气污染物特别排放限值^[4]。

从管控的污染物项目看, 1985 版标准只控制颗粒物, 到 1996 版标准、2004 版标准控制颗粒物、SO₂、NO_x、氟化物四项污染物, 再到 2013 版标准新增了 NH₃、Hg 两项污染物(合计 6 项污染物), 污染物的控制范围不断扩大, 目前能够涵盖水泥工业的主要污染排放情况。

收稿日期: 2014-05-06; 修订日期: 2014-06-15

基金项目: 2012 年国家环境保护标准修订项目

作者简介: 江梅(1969~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为大气污染控制与环境标准制订, E-mail: jiangmei@craes.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: zhanggn@craes.org.cn

表 1 不同时期标准的污染物项目及排放限值(水泥回转窑)/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ Table 1 Pollutant projects and emission limits for cement kiln in different periods/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

指标	GB 4915-1985	GB 4915-1996	GB 4915-2004	GB 4915-2013
颗粒物	150/400/600/800	150/400/600(1985年前建厂) —/150/300(1985~1996年建厂) —/100/150(1997年后建厂)	50/100	20/30
SO ₂	—	—/400/800(1997年后建厂)	200/400	100/200
NO _x	—	—/800/1600(1997年后建厂)	800	320/400
氟化物	—	—/10/20(1997年后建厂)	5/10	3/5
NH ₃	—	—	—	8/10
Hg	—	—	—	0.05
标准特点	划分为4个区域类别	对应GB 3095三类功能区,分为一、二、三级	新建企业/现有企业	重点地区/一般地区

从排放限值看,水泥工业排放标准大约每 10 a 修订一次,每次均大幅提高了排放控制要求,累计近 30 a 间颗粒物排放限值严格了 10 ~ 20 倍,近 20 a 间 SO₂、NO_x、氟化物排放限值严格了 2 ~ 4 倍. 通过加严标准,保证了在水泥产量迅猛增长的同时,污染物排放量得到有效控制.

与《水泥工业大气污染物排放标准》相配套,如果水泥窑用于协同处置危险废物、生活垃圾、污泥、受污染土壤等固体废物,还需要同时执行 GB 30485-2013《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》^[5]. 该标准对 HCl、HF、重金属、二噁英等有毒有害物质制订了排放限值,以控制风险.

2 美国水泥工业 NSPS 和 NESHAP 标准

美国关于水泥行业大气污染物排放控制的标准有两种,一是针对常规污染物的新源特性标准(NSPS),列入联邦法规典 40 CFR 60 Subpart F(见表 2)^[6]; 另一是针对 189 种空气毒物(Air Toxics, 近几年有修订)的危险空气污染物国家排放标准(NESHAP),列入联邦法规典 40 CFR 63 Subpart

LLL(见表 3)^[7]. 无论是 NSPS 标准,还是 NESHAP 标准,它们均是基于污染控制技术而制订的,只是对应污染物不同,选择的控制技术也不同,例如 NSPS 是基于最佳示范技术(BDT),而 NESHAP 则是基于最大可达控制技术(MACT),显然后者更加严格.

水泥工业 NSPS 标准控制的常规污染物包括 PM、SO₂ 和 NO_x, NESHAP 标准控制的有毒污染物包括 PM、二噁英、汞、总碳氢(THC)和 HCl,两者合计有 7 项污染物. 虽然 NSPS 标准和 NESHAP 标准中都规定了颗粒物(PM)项目,但出发点并不同,NSPS 标准是为了控制水泥粉尘的排放, NESHAP 标准则是为了控制凝聚在水泥尘上的重金属,由于控制措施相同,所以限值相同. 值得注意的是,对于一般性的颗粒物排放源(如磨机、料仓等),美国标准采用了简化的“不透光率”指标,该指标测量简便易行(光学法,测量仅需 6 min),代替了操作复杂的颗粒物浓度测定.

美国标准主要采用“单位产品排放量”作为反映污染源环境特性的指标,一般是通过连续排放监测系统(CEMS)获得 30 d 的滑动平均值(rolling 30-

表 2 美国水泥工业 NSPS 标准

Table 2 NSPS standard for cement industry in the United States

受控设施/工艺	污染物	现有源改建	2008-06-16 以后新建、重建	说明
水泥窑(包括窑磨一体机)	PM	0.07 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~14 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.02 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~4 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1 lb ≈ 0.454 kg, 按每 t 熟料 2 000 ~ 2 500 m ³ 烟气量计算
	NO _x	1.5 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~300 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1.5 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~300 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	30 d 滑动平均
	SO ₂	0.4 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~80 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.4 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$ (~80 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	30 d 滑动平均
熟料冷却机	PM	0.07 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$	0.02 $\text{lb}\cdot\text{t}^{-1}$	
原料干燥机; 原料磨; 水泥磨; 原料、熟料及水泥产品贮库; 输送系统转运点; 包装; 散装水泥装卸系统等	不透光率	10%	10%	

表 3 美国水泥工业 NESHAP 标准

Table 3 NESHAP standard for cement industry in the United States

受控设施/工艺	污染物	现有源	新源(2009-05-06以后建设)	说明
水泥窑(包括窑磨一体机)	PM	0.07 lb·t ⁻¹ (~14 mg·m ⁻³)	0.02 lb·t ⁻¹ (~4 mg·m ⁻³)	1 lb ≈ 0.454 kg, 按每 t 熟料 2 000 ~ 2 500 m ³ 烟气量计算
	二噁英/呋喃 (D/F)	0.20 ng·m ⁻³	0.20 ng·m ⁻³	以等当量毒性计, 7% 含氧
		或者 0.40 ng·m ⁻³	或者 0.40 ng·m ⁻³	如果在 PM 控制装置入口处, 温 度不超过 204℃ (400 ℉)
	汞	55 lb·MMt ⁻¹ (~10 μg·m ⁻³)	21 lb·MMt ⁻¹ (~4 μg·m ⁻³)	
	总碳氢(THC)	24 ppmvd (47 mg·m ⁻³)	24 ppmvd (47 mg·m ⁻³)	以丙烷计, 7% 含氧
		或总有机 HAP 12 ppmvd	或总有机 HAP 12 ppmvd	
HCl	3 ppmvd (5 mg·m ⁻³)	3 ppmvd (5 mg·m ⁻³)	7% 含氧	
熟料冷却机	PM	0.07 lb·t ⁻¹	0.02 lb·t ⁻¹	
原料干燥机	总碳氢(THC)	24 ppmvd (47 mg·m ⁻³)	24 ppmvd (47 mg·m ⁻³)	以丙烷计
		或总有机 HAP 12 ppmvd	或总有机 HAP 12 ppmvd	
原料磨; 水泥磨; 原料、熟料及水泥产品 贮库; 输送系统转运点; 包装; 散装水泥 装卸系统等	不透光率	10%	10%	

day average)。在最新版的标准中,由于颗粒物控制的浓度很低,CEMS 在低 PM 浓度下的测量不确定性问题难以克服,现已将 PM 测定改为手工方法,取 3 次测量结果(每次 1 h)的平均值,但同时建立了颗粒物连续参数监测系统(PM CPMS)用于日常监管^[8]。

利用水泥窑焚烧处置危险废物执行 40 CFR 63 Subpart EEE 危险废物焚烧的 NESHAP 标准^[9]。

3 欧盟工业排放指令及水泥工业 BAT 指南

欧盟对综合污染预防与控制指令(96/61/EC、2008/1/EC)、大型燃烧装置指令(2001/80/EC)、废物焚烧指令(2000/76/EC)、有机溶剂使用指令(1999/13/EC)、二氧化钛指令(78/176/EEC、82/883/EEC、92/112/EEC)进行整合,发布了统一的工业排放指令(2010/75/EU)^[10]。该指令将工业生产活动划分为能源工业、金属工业、无机材料工业、化学工业、废物管理以及其它活动 6 大类共 38 个子类(行业),水泥行业是其中之一。

为配合 2010/75/EU 指令以及许可证制度的实施,根据各成员国和工业部门信息交流的成果,欧盟委员会出版了相关行业最佳可行技术(BAT)参考文件。水泥行业 BAT 文件最初发布于 2001 年 12 月,最新的文件是 2013 年 4 月^[11],相应 BAT 排放要求见表 4。以欧盟发布的 BAT 评估结论和建议的排放

控制水平为依据,各成员国结合本国的法律传统以及工业污染控制实践,将其转化为本国的标准。

在水泥行业 BAT 文件中,对颗粒物评估确定的 BAT 技术包括布袋除尘技术、静电除尘技术以及电袋复合除尘技术,相应的排放控制水平为小于 10 ~ 20 mg·m⁻³(日均值),如采用布袋除尘器或新建、改造静电除尘器时,要求达到建议的下限值。对 NO_x 评估确定的 BAT 技术包括一次措施(低 NO_x 燃烧器、分解炉分级燃烧、工艺优化控制、添加矿化剂等)和二次措施(选择性非催化还原技术 SNCR、选择性催化还原技术 SCR),相应的排放控制水平为小于 200 ~ 450 mg·m⁻³(日均值),如窑况良好可控制在 350 mg·m⁻³以下。其他污染物如原料、燃料品质控制得当,一般不需采取额外措施。

根据排放源和污染物项目的不同,执行的监测要求亦不同。对于水泥窑的 PM、SO₂ 和 NO_x 排放,要求连续监测获得日均值,如果采用 SNCR 脱硝技术,还需要连续监测 NH₃ 逃逸浓度(日均值);重金属和 PCDD/F 要求定期监测(重金属监测至少 0.5 h、PCDD/F 监测 6 ~ 8 h);HCl 和 HF 则既可以连续监测获得日均值,也可以定期监测取平均值(现场测量至少 0.5 h)。除水泥窑外的其他污染源,监测颗粒物排放,既可以连续监测获得日均值,也可以定期监测取平均值(现场测量至少 0.5 h)。

表 4 欧盟水泥行业 BAT 排放水平

Table 4 BAT emission levels for cement industry in EU

污染物	排放源	BAT 相关排放水平	说明
颗粒物	水泥窑	$< 10 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
	冷却、粉磨	$< 10 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
	其他产尘点	$< 10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
NO_x	预热器窑	$< 200 \sim 450 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	①窑况良好时,可实现 $< 350 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$; 200 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 仅三家工厂有过报道 ②如果采用初级措施/技术后, $\text{NO}_x > 1000 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 则 BAT 排放水平为 $500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
	立波尔窑、长窑	$400 \sim 800 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	基于初始排放水平和氨逸出率
SO_2	水泥窑	$< 50 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	与原料中 S 含量有关
NH_3	水泥窑	$< 30 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	控制 SNCR 脱硝过程的氨逃逸
HCl	水泥窑	$< 10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
HF	水泥窑	$< 1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
PCDD/F	水泥窑	$< 0.05 \sim 0.1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$	
Hg	水泥窑	$< 0.05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
Cd + Tl	水泥窑	$< 0.05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
As + Sb + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	水泥窑	$< 0.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	

4 日本水泥工业相关排放标准

日本大气污染物排放标准的综合性特征非常明显,基本是按污染物项目统一规定排放限值,其中一些项目(如烟尘、 NO_x 、VOCs 等)进一步区分了源类,类似我国的《大气污染物综合排放标准》。其排放标准包括两种情况,一是对于二氧化硫,按各个地区实行 K 值控制,同时配合燃料 S 含量限制。K 值标准是基于大气扩散模式,根据 SO_2 环境质量要求、排气筒有效高度确定 SO_2 许可排放量。K 值与各个地区的自然环境条件、污染状况有关,需要划分区域确定 K 值。

二是对于烟尘、粉尘(含石棉尘)、有害物质(Cd 及其化合物、 Cl_2 、HCl、氟化物、Pb 及其化合物、 NO_x)、挥发性有机物(VOCs)、28 种指定物质,以及 234 种空气毒物(其中 22 种需要优先采取行动,目前完成了苯、三氯乙烯、四氯乙烯、二噁英 4 项),由国家制定统一的排放标准^[12]。

可见对某一行业的大气排放要求分散在不同的污染物项目标准里。一些污染物项目在制订排放限值时考虑了行业差异,以 NO_x 为例,区分了锅炉、熔炼炉、加热炉、水泥窑等,排放浓度限值从 60×10^{-6} (燃气锅炉)到 800×10^{-6} (电子玻璃熔炉)不等。表 5 为日本水泥工业执行的大气污染物排放标准^[13]。

表 5 日本水泥工业执行的大气污染物排放标准

Table 5 Emission standard of air pollutants for cement industry in Japan

项目	颗粒物	SO_2	NO_x
排放限值	一般地区 $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 特殊地区 $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	K 值法	$250/350 \times 10^{-6}$ ($500/700 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
监测要求	①烟气量大于 $4 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 每 2 个月至少监测 1 次 ②烟气量小于 $4 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 每年监测 2 次以上	SO_2 排放量大于 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时需要监测: ①总量规制地域内的特定工厂开展日常性监测 ②总量规制地域外的工厂每 2 个月至少监测 1 次	①烟气量大于 $4 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时,总量规制地域内的特定工厂开展日常性监测;总量规制地域外的工厂每 2 个月至少监测 1 次 ②烟气量小于 $4 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时,每年监测 2 次以上

根据所处地区和设施规模(NO_x 烟气量、 SO_2 排放量)的不同,水泥企业执行不同的监测要求。如设施规模较大(NO_x 烟气量大于 $4 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, SO_2 排放量大于 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$),总量规制地域内的特定工厂要求开展日常性监测,总量规制地域外的工厂要求每 2 个月至少监测 1 次。如设施规模

小,可降低监测要求,每年监测 2 次以上即可^[14]。

5 标准对比分析

5.1 污染物项目

污染物项目的确定主要依据污染源排放的污染

物数量、浓度及其危害程度,同时也要兼顾污染控制措施的技术经济可行、监测方法的配套.我国《水泥工业大气污染物排放标准》管控的污染物项目是逐渐增多的,根据行业特点,污染控制先从颗粒物开始,之后才扩展到 SO_2 、 NO_x 以及 Hg 等,这与我国的经济社会发展阶段相适应,污染控制是分步走的:从 20 世纪 70、80 年代就开始颗粒物控制,但直到“十一五”期间(2006~2010 年)才从火电行业开始 SO_2 控制,“十二五”期间(2011~2015 年)才从火电、水泥行业开始 NO_x 控制.

目前我国水泥工业控制的大气污染物项目有 6 项,对比美国、欧盟水泥工业相关标准,污染物项目还可能包括重金属、有机物、二噁英、HCl、HF 等.由于水泥窑的高温、长停留时间、氧化气氛、碱性条件以及固化反应,非常有利于酸性气体(HCl、HF)、有机物、重金属(Hg 除外)等的排放控制,它们的排放量和浓度都很低,因此我国标准暂未规定.考虑到水泥窑在协同处置固体废物时一些有毒有害物质可能的高排放,为防范风险,在配套发布的 GB 30485-2013《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》中对它们进行了限制.

从国外情况看,美国在常规污染物之外,制定了《危险空气污染物(HAPs)名录》(目前有 187 种有毒物质)和《城市危险空气污染物控制战略》(其中列明了城市重点关注的 33 种有毒物质)^[15],列入其中的物质是标准制订需要重点考虑的污染物项目.欧盟在《工业排放指令》2010/75/EU 中也明确了需要控制的 13 类大气污染物名单(包括常规污染物)^[10].日本也有类似的有害物质(6 种)、空气毒物(234 种,其中 22 种需要优先采取行动)名录^[13].由于这些国家和地区有明确的污染物清单,污染控制的边界是清晰的,在制订排放标准时从中选择行业特征的污染物纳入监管,使得行业污染控制的针对性很强.

借鉴国外成熟经验和做法,我国也应建立类似的污染物管控清单,明确污染控制的边界,对行业特征污染物进行全面控制.

5.2 控制指标

大气污染物排放标准采用的控制指标通常有三类,第一类是从污染控制技术角度提出的指标,包括单位产品排放量($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$ 产品或物料)、排放浓度($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)、污染物削减率(%)等;第二类是从环境质量标准反推排放控制要求而提出的指标,包括总量控制指标($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)、大气污染物最高允许排放

速率($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)、排气筒高度要求等;第三类是感官性指标,如烟炱黑度、不透光率、臭气浓度等.这三类指标在我国和欧、美、日的水泥工业污染物排放标准中都有反映,如单位熟料排放量(美国标准,针对 PM、 SO_2 、 NO_x 、Hg 项目)、排放浓度(各国普遍采用)、与环境质量挂钩的 K 值标准(日本 SO_2 控制)、不透光率(美国对小型排放源的简化控制),可见各国采用的控制指标并不统一,这与各国的污染控制思想密切相关.

单位产品排放量指标最能代表污染源的环境特性,其理论依据是:同一类型污染源(如火电厂、水泥厂),生产相同或相似的产品,创造相同的社会价值,承担的环境成本就应该相同,即单位产品或单位产值的污染物排放量相同.公平性是它的首要特征,因而在强调公平竞争的市场经济国家成为基本控制指标,美国是主要采用这一指标的典型代表.但由于涉及到产品的计量,对很多排污企业、监测执法部门来说实施存在难度(产量的统计和计量较为困难,考核周期长,一般为一个工作日、一周甚至一个月,需配合在线监测或等时间间隔多次采样),因此对于连续稳定生产工艺,常常采用简便的排放浓度指标加以控制,这对于大部分工业行业是可行的,但要注意防止稀释排放.

排放浓度指标的最大优势在于监测和达标评定都很容易,因此成为污染物排放标准中应用最大量的控制指标,但也存在着稀释达标的缺陷,一般通过规定基准排气量、烟气含氧量加以避免.对于燃烧型的大气污染源,通过规定烟气含氧量(如水泥窑烟气含氧量 10%)或过剩空气系数,可以保证排放浓度指标的真实、准确.

如果生产工艺过程的污染物产生量随时间波动很大,且这种波动是合理的(如周期式生产工艺、车间通风除尘、饮食业油烟),或者类似火电、石油天然气开发等能源生产企业,原料不可选择且品质变异大,也常采用污染物削减率指标.削减率指标的实质是要求安装污染治理设备,但不利于污染物的源头削减,也增加了监测负担.

单位产品排放量、排放浓度、污染物削减率这 3 项指标体现了污染源的污染控制技术水平.与此不同,总量控制指标、大气污染物最高允许排放速率、排气筒高度要求则与环境质量有一定关联,但与生产特性无关.理论依据是基于大气扩散原理,由污染物环境允许浓度(环境质量标准),考虑适当的气象扩散条件,反推年允许排放量、小时排放速

率、排气筒高度等排放控制要求。由于是以单独企业为考核对象,仅适用于一个区域内只有一家或少数几家排污企业的情况,不能解决区域多污染源共同影响问题。

烟气黑度、臭气浓度等感官控制指标通常具有直观性强、实施方便的特点。但鉴于有时排污企业难以接受这种人为判断的执法方式,目前采用不多。不透光率指标是从烟气黑度发展而来,即保留了烟气黑度指标操作简单、现场出结果、方便快捷的特点,又实现了仪器观测,减少了人为判断的主观性,可用于

颗粒污染物的控制。美国对一些不重要的小型颗粒物排放源采用简化的不透光率控制方式,值得借鉴。

以上控制指标的单独或组合应用,应根据实际情况确定。特别要注意多项控制指标之间“和”或者“或”的关系。如“污染物削减率”和“排放浓度”两个指标搭配使用,以“或”的关系为宜,这样可增加标准实施的灵活性。

5.3 限值严格程度

以水泥工业排放最突出的颗粒物、 NO_x 、 SO_2 为例,排放水平对比见表 6。

表 6 污染物排放控制水平比较

Table 6 Comparison of pollutants emission control level

项目	颗粒物	NO_x	SO_2
GB 4915-2013	一般地区 $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 重点地区 $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	一般地区 $400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 重点地区 $320 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	一般地区 $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 重点地区 $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$
美国	新源 $\sim 4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 现有源 $\sim 14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\sim 300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\sim 80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$
欧盟	$10 \sim 20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$200 \sim 450 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$50 \sim 400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$
日本	一般地区 $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 特殊地区 $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	按气量规模划分,大型 $500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$; 小型 $700 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$	K 值法

从标准对比来看,我国的颗粒物控制与美国、欧盟要求还有少许差距,但 NO_x 、 SO_2 控制已达到了国际最先进的污染控制水平。由于欧盟 BAT 指南仅指明了最佳控制水平,还不是现实执行的标准,例如环保要求非常严格的德国,水泥工业执行《空气质量控制技术指南》(Technical Instructions on Air Quality Control, TA Luft)^[16],限值要求为:颗粒物 $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 SO_2 $350 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 NO_x $500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。可见我国水泥工业排放标准严于欧洲、日本等绝大多数国家标准,仅略宽松于美国标准。考虑到我国考核的是污染物浓度一小时均值,国外一般为日均值(甚至月均值),相同限值水平下我国标准要严格很多。

为达到上述标准要求,颗粒物控制需要采取高效静电或布袋除尘技术,如静电除尘器增加电场级数(4、5 级电场)、提高高压电源性能、采用移动电极技术、电改袋或电袋复合除尘技术,布袋除尘器降低过滤风速、采用 PTFE(聚四氟乙烯)覆膜滤料等。对于 NO_x 控制,则需要在低氮燃烧技术(低氮燃烧器、分解炉分级燃烧、燃料替代等)的基础上,采用 SNCR(选择性非催化还原)技术进行烟气脱硝,考虑到喷氨衍生的环境问题,脱硝效率宜维持在 50% 左右,一般不应超过 60%。为满足未来更严格的环境保护要求,目前正在积极开发水泥窑适用的 SCR 技术、SNCR-SCR 复合技术。

标准对新建企业于 2014 年 3 月 1 日执行,对现有企业将于 2015 年 7 月 1 日生效。目前各地结合 NO_x 总量减排要求,已全面开展了水泥企业脱硝改造工作,可实现到“十二五”末将水泥行业 NO_x 排放量控制在 150 万 t 的国家战略目标。

5.4 标准实施手段

以排放标准规定的排放限值或技术/管理规定为依据,开展污染源监测或现场检查,证明符合排放标准要求,如不符合则要求限期治理或责令改正,并予以相应处罚,这是污染物排放标准实施的基本制度,体现了排放标准的法定约束力。在此要求下,污染源单位可开展排污状况自我监测,环境保护主管部门则开展污染源监督性监测,以保证排放标准制度的落实。对比国外排放标准地实施,基于信用制度的污染源自我监测是主要实施方式,要求记录、报告、公开相关信息,由于有企业信用作担保,排放标准得到了很好地实施。我国在这方面差距很大,企业的达标责任主体意识不强,很少开展自我监测并声明达标情况。目前这一情况有所改变,在排放标准中原则规定:企业应按照有关法律和《环境监测管理办法》等规定,建立企业监测制度,制定监测方案,对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测,保存原始监测记录,并公布监测结果。这条原则规定将通过出台相应办法予以明确、细化。

受技术条件和管理水平限制,环保部门的监督性监测还主要依靠手工监测,虽然一些重点污染源要求安装了污染物排放自动监控设备,但主要用于监视目的,没有用到环境执法中.正是由于基于手工监测,我国的排放限值都是规定小时均值,适用于抽查方式的执法,这同国外主要基于在线监测规定的日均值、周均值、月均值有很大不同.没有在线监测,依靠环保部门抽查,很难保证污染源连续稳定达标,排放标准和环保措施的作用会大打折扣.

为适应新的环境挑战,借鉴发达国家经验,国家正在努力建设企业自我声明与环保监督执法相结合的新型管理体制.企业是污染物排放标准的责任主体,具有环境守法、达标排放的义务,应通过年报公示、网站信息披露等方式,自我证明达到了排放标准的要求,接受公众监督.环保部门可通过在线监测、监督性监测等方式,督促企业落实环保责任.两者结合将有效解决目前污染严重、被动执法的局面.

6 结论与建议

(1)我国水泥工业排放标准目前管控的污染物项目有6项,能够涵盖水泥工业的主要污染排放情况,但少于美国、欧盟管控的污染物项目.今后应结合污染物管控清单的建立,明确污染控制的边界,对行业污染物排放进行全面控制.

(2)各国采用的控制指标与各国的污染控制思想密切相关.由于各种污染控制指标优缺点各有不同,应考虑工艺特征、指标原理、监测实施的简便易行等因素,选择合理的控制指标,提高环境监管的效率和污染控制的有效性.

(3)我国水泥工业的颗粒物、NO_x排放控制已达到国际先进控制水平,需要采用高效的静电或布袋除尘技术、工艺控制(低氮燃烧器、分解炉分级燃烧、燃料替代等)与末端治理(SNCR技术)相结合的组合降氮技术,大幅削减污染物排放量.

(4)积极推进企业自我监测,建立企业自我声明与环保监督执法相结合的新型管理体制,落实企业的环保责任主体地位.环保管理部门应强化对污染源的监督性监测,全面推广应用先进的在线监测手段,监督污染源连续稳定达标.

参考文献:

- [1] GB 4915-1985, 水泥工业污染物排放标准[S].
- [2] GB 4915-1996, 水泥厂大气污染物排放标准[S].
- [3] GB 4915-2004, 水泥工业大气污染物排放标准[S].
- [4] GB 4915-2013, 水泥工业大气污染物排放标准[S].
- [5] GB 30485-2013, 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准[S].
- [6] USEPA. (40 CFR 60 Subpart F) Standards of performance for portland cement plants[S].
- [7] USEPA. 40 CFR PART 63, Subpart LLL-National emission standards for hazardous air pollutants from the portland cement manufacturing industry[S].
- [8] USEPA. National emission standards for hazardous air pollutants for the portland cement manufacturing industry and standards of performance for portland cement plants [J]. Federal Register, 2013, 78(29): 10006-10054.
- [9] USEPA. Subpart EEE-National emission standards for hazardous air pollutants from hazardous waste combustors[S].
- [10] The European Parliament and the Council. Directive 2010/75/EU on industrial emissions[S].
- [11] European Commission. Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide [R]. Seville: European IPPC Bureau (EIPPCB), 2013. 341-354.
- [12] 张国宁,郝郑平,江梅,等.国外固定源VOCs排放控制法规与标准研究[J].环境科学,2011,32(12):3501-3508.
- [13] 日本环境省.工場及び事業場から排出される大気汚染物質に対する規制方式とその概要[EB/OL]. <http://www.env.go.jp/air/osen/law/t-kisei1.html>, 2014-05-01.
- [14] 大气污染源控制手册编写组.水泥工业大气污染源控制手册[M].北京:中国环境科学出版社,2000.58-65.
- [15] USEPA. National air toxics program: The integrated urban strategy[J]. Federal Register, 1999, 64(137): 38706-38740.
- [16] BMUB. Technical instructions on air quality control-TA Luft [S].

CONTENTS

Concentration and Size Distribution of Bioaerosols at Non-haze and Haze Days in Beijing	GAO Min, QIU Tian-lei, JIA Rui-zhi, <i>et al.</i> (4415)
Light Scattering Extinction Properties of Atmospheric Particle and Pollution Characteristics in Hazy Weather in Hangzhou	XU Chang, YE Hui, SHEN Jian-dong, <i>et al.</i> (4422)
Characteristic of Elements in PM _{2.5} and Health Risk Assessment of Heavy Metals During Heating Season in Taiyuan	LI Li-juan, WEN Yan-ping, PENG Lin, <i>et al.</i> (4431)
Pollution Characteristics of Secondary Water-soluble Inorganic Ions of PM _{2.5} in Urban Chengdu, China	LI You-ping, ZHOU Hong, ZHANG Zhi-sheng, <i>et al.</i> (4439)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Ozone in Beijing	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, CHEN Tian, <i>et al.</i> (4446)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Northern Suburb of Nanjing	AN Jun-lin, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4454)
Environmental Significance of Wet Deposition Composition in the Central Qilian Mountains, China	LI Zong-jie, LI Zong-xing, TIAN Qing, <i>et al.</i> (4465)
Dynamics of Nitrogen and Sulfur Wet Deposition in Typical Forest Stand at Different Spatial Levels in Simian Mountain, Mid-subtropical Region	SUN Tao, MA Ming, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4475)
Establishment and Assessment of QA/QC Method for Sampling and Analysis of Atmosphere Background CO ₂	LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (4482)
An Investigation of the CH ₄ and N ₂ O Emission Factors of Light-duty Gasoline Vehicles	HE Li-qiang, SONG Jing-hao, HU Jing-nan, <i>et al.</i> (4489)
Experimental Study on the Size Spectra and Emission Factor of Ultrafine Particle from Coal Combustion	SUN Zai, YANG Wen-jun, XIE Xiao-fang, <i>et al.</i> (4495)
Distributions and Air-Sea Fluxes of Dissolved Nitrous Oxide in the Yangtze River Estuary and Its Adjacent Marine Area in Spring and Summer	WANG Lan, ZHANG Gui-ling, SUN Ming-shuang, <i>et al.</i> (4502)
Spectral Absorption Properties of the Water Constituents in the Estuary of Zhujiang River	WANG Shan-shan, WANG Yong-bo, FU Qing-hua, <i>et al.</i> (4511)
Characteristics of Phosphorus Forms and the Effects of UV Light in the Confluences Water of Qujiang-Jialing River and Fujiang-Jialing River	YAN Jin-long, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4522)
Research on the Threshold of Chl-a in Lake Taihu Based on Microcystins	WEI Dai-chun, SU Jing, JI Dan-feng, <i>et al.</i> (4530)
Temporal and Spatial Characteristic of Nitrogen and Phosphorus Output in the Suburb Watershed Around the Baihua Lake	FENG Yuan-song, LIN Tao, YANG Qing-yuan (4537)
Effects of Light Irradiation on Phosphorous Releases from Typical Submerged Soils of Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoirs Areas	GUO Nian, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4544)
Analysis on the Removal Efficiency and Mechanisms of Phosphorus by Modified Zeolites Substrates Coated with LDHs Reacted by Different Metal Compounds in Laboratory-Scale Vertical-Flow Constructed Wetlands	ZHANG Xiang-ling, CHEN Jun-jie, GUO Lu, <i>et al.</i> (4553)
Mercury Dynamics of Several Plants Collected from the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area During Flooding and Its Impact on Water Body	ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (4560)
Effect of Nano-TiO ₂ on the Release and Activation of Mercury in Sediment	ZHANG Jin-yang, LI Chu-xian, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4567)
Estimation Inventory of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Anthropogenic Sources and Its Impacts within the Yanghe Watershed, an Important Water-Source Site of Beijing, China	GAO Jia-jia, LUO Wei, XI Xiao-xia (4573)
Source Identification of Toxic Wastewaters in a Petrochemical Industrial Park	YANG Qian, YU Yin, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (4582)
Investigation of Pollution Characteristics of Erythromycin Resistance Genes in a Sewage Treatment Plant and the Relevant Selective Factors	LI Kan-zhu, WU Li-le, HUANG Sheng-lin, <i>et al.</i> (4589)
Variation of Pollutants Along the Height of Two Media BAF During Advanced Treatment of Dyeing Wastewater	LIU Jun-feng, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4596)
Acclimatization and Characteristics of Microbial Community in Sulphate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XI Jing-ru, LIU Su-qin, LI Lin, <i>et al.</i> (4602)
Capability and Microbial Community Analysis of a Membrane Bioreactor for Acrylic Fiber Wastewater Treatment	WEI Jian, SONG Yong-hui, ZHAO Le (4610)
Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX ABR Process in Tannery Wastewater Treatment	ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan (4618)
Numerical Simulation and Operation Optimization of Biological Filter	ZOU Zong-sen, SHI Han-chang, CHEN Xiang-qiang, <i>et al.</i> (4627)
Effect of Gas-lift Device on the Morphology and Performance of ANAMMOX Sludge	LI Xiang, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4636)
Water Treatment Residual as a Bioretention Media Amendment for Phosphorus Removal	WANG Jian-jun, LI Tian, ZHANG Ying (4642)
Nutrient Contents and Heavy Metal Pollutions in Composted Sewage Sludge from Different Municipal Wastewater Treatment Plants in Beijing Region	BAI Li-ping, QI Hong-tao, FU Ya-ping, <i>et al.</i> (4648)
Polychlorinated Biphenyls and Their Methylsulfonyl Metabolites in Fish from an Electronic Waste Recycling Site in South China: Tissue Distribution and Human Dietary Exposure	TANG Bin, LUO Xiao-jun, ZENG Yan-hong, <i>et al.</i> (4655)
Residues and Health Risk Assessment of HCHs, DDTs and Heavy Metals in Water and <i>Tilapia</i> s from Fish Ponds of Guangdong	XIE Wen-ping, ZHU Xin-ping, ZHENG Guang-ming, <i>et al.</i> (4663)
Concentration and Distribution Characteristics of Estrogen in Aquatic Organism from Chongming Island	GENG Jing-jing, YE Ai-li, YANG Yi, <i>et al.</i> (4671)
Photocatalytic Degradation of Acetamiprid by TiO ₂ and Xe Lamp: Kinetics and Degradation Intermediates	ZHOU Wen-chang, YANG Hai, HU Zhi-bin, <i>et al.</i> (4678)
Effects of Nitrogen Addition on Available Nitrogen Content and Acidification in Cold-temperate Coniferous Forest Soil in the Growing Season	CHEN Gao-qi, FU Wa-li, LUO Ya-chen, <i>et al.</i> (4686)
Impact of Land Use Type on Stability and Organic Carbon of Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Jian-lin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4695)
Investigation and Canonical Correspondence Analysis of Salinity Contents in Secondary Salinization Greenhouse Soils in Shanghai Suburb	TANG Dong, MAO Liang, ZHI Yue-e, <i>et al.</i> (4705)
Spatial Distribution Prediction of Surface Soil Pb in a Battery Contaminated Site	LIU Geng, NIU Jun-jie, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (4712)
Immobilization Remediation of Cd and Pb Contaminated Soil: Remediation Potential and Soil Environmental Quality	SUN Yue-bing, WANG Peng-chao, XU Ying-ming, <i>et al.</i> (4720)
Rules and Impact Factors of Greenhouse Gases Emission in the Saline-Alkali Paddy Fields in Different Years	TANG Jie, FANG Tian-ru, HOU Ke-yi, <i>et al.</i> (4727)
Adsorption of Cd(II) Varies with Biochars Derived at Different Pyrolysis Temperatures	WANG Zhen-yu, LIU Guo-cheng, Monica Xing, <i>et al.</i> (4735)
Poisoning Effect of Ca Depositing Over Mn-Ce/TiO ₂ Catalyst for Low-temperature Selective Catalytic Reduction of NO by NH ₃	ZHOU Ai-yi, MAO Hua-feng, SHENG Zhong-yi, <i>et al.</i> (4745)
A Comparative Study on Domestic and Foreign Emission Standards of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4752)
Revision Process and Thinking of Emission Standard of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4759)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年12月15日 第35卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 12 Dec. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行