

Air Environmental Pollution and Pollution Control of Ceramic Industry

Chaofeng SHAO¹, Meiting JU¹, Xiaogang TIAN¹, Fang HUANG¹

¹College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin, China

Email: shaochaofeng@163.com

Abstract: Ceramic is the basic necessity of life that meets people's increasing need of substance, and the production of ceramics is increasing gradually. Based on the development status of ceramics industry in China, this paper analyzed the pollutant source and their threats of the conventional air pollutants (SO₂, NO_x, particulate pollutants) and the proprietary air pollutants (lead and its compounds, cadmium and its compounds, nickel and its compounds, chloride, fluoride compounds). In view of the shortage of air pollutant emission standards for ceramics industry, this paper put forward the idea to develop the standards according to pollutants emission concentration, rate and performance. In consideration of development trends of ceramic industry and requirements of energy-saving and emission-reduction, some countermeasures were proposed to control the atmospheric pollution.

Keywords: air environmental pollution; environment quality; environment health; environmental management; ceramic industry

陶瓷行业大气环境污染与控制

邵超峰¹, 鞠美庭¹, 田晓刚¹, 黄 访¹

¹南开大学环境科学与工程学院, 天津, 中国, 300071

Email: shaochaofeng@163.com

摘 要: 陶瓷产品是满足人民群众日益增长的物质需要的重要组成部分, 产品生产规模逐渐增加。针对我国当前陶瓷行业的发展现状, 分析了陶瓷行业的常规性大气污染物 (SO₂、NO_x、颗粒物) 和特征污染物 (铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氯化物、氟化物) 的来源及对人体健康的危害。针对我国陶瓷行业大气污染物排放标准缺失的现状, 从污染物排放浓度、污染物排放速率及行业排放绩效三个方面提出了制定陶瓷行业大气污染物排放标准的思路。最后, 结合陶瓷产业转移现状及我国节能减排与清洁生产要求, 提出了陶瓷行业大气污染物控制对策。

关键词: 大气环境污染; 环境质量; 环境健康; 环境管理; 陶瓷行业

1 引言

我国陶瓷的生产已有 5000 多年的历史, 素有“陶瓷王国”之称, 现已发展成为世界陶瓷制造中心, 陶瓷产量连续多年位居世界第一。目前, 我国已经形成河北唐山、邯郸, 山东淄博, 江苏宜兴, 广东佛山、湛江、潮州, 江西景德镇, 湖南醴陵、福建德化, 广西北流, 辽宁海城等大型陶瓷工业集聚区。据统计^[1], 2009 年我国规模以上日用陶瓷企业产量 204.66 亿件, 占全球的 75%; 卫生陶瓷产量 1.77 亿件, 占全球的 70%; 建筑陶

资助信息: 南开大学 2010 年度基本科研业务费项目 (编号: 65010511)

瓷产量 67.24 亿平方米, 占全球的 60%以上。然而高污染、高能耗、资源依赖型的陶瓷工业在迅速发展的同时, 矿产资源过度开采、环境污染严重等问题日益突出, 尤其是陶瓷行业大气污染物的排放已经成为部分区域最主要的大气污染源。当前, 为了改善区域环境质量、控制污染物排放总量, 在环境保护方面, 对“两高一资”行业发展的限制也越来越严格, 导致陶瓷企业大规模迁、停、并、转。因此, 未来陶瓷企业必须大力推行清洁生产、发展循环经济, 推进低碳经济改造传统工艺, 实行节能减排战略, 大幅度降低其主要污染物的排放。

2 陶瓷行业主要大气污染物分析

陶瓷行业是矿产资源消耗量大、能耗高、污染比较大的行业，在带来巨大经济效益的同时，也带来了严重的环境问题^[2,3]，产生的大气污染物主要有两类：一是能源的燃烧与利用过程中产生的常规大气污染物，主要为二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、颗粒物；二是陶瓷产品生产加工过程中产生的行业特征大气污染物，主要为铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氯化物、氟化物等。

2.1 常规大气污染物

陶瓷行业是一个高能耗行业，而目前我国陶瓷工业的能源消耗强度较大，能源利用效率较低^[4]。据调查，目前我国陶瓷行业国内先进水平企业能源消耗强度为 200-450kg 标准煤/t 陶瓷产品，而大部分企业能源消耗强度为 500-1500kg 标准煤/t 陶瓷产品，远远高于先进国家的能耗水平（50-150 标准煤/t 陶瓷产品）；能源利用综合利用效率仅 30%左右，与先进国家相比还存在很大的差距（先进国家能源利用率一般在 50%以上）。由于产量大、能源消耗强度高，而污染治理设施与技术措施不完善，部分企业的窑炉废气甚至未经处理直接排放，导致 SO₂、NO_x、颗粒物排放浓度较高（见表 1），排放的废气经大气扩散后往往高于居住区大气中有害物质的最高容许浓度，影响区域大气环境质量、危害企业周围的生态环境及人群健康。

Table 1. Discharge concentrations of the main atmospheric pollutants in ceramic industry (mg/m³)

表 1. 陶瓷行业主要大气污染物排放浓度（单位：mg/m³）

污染物名称	国内一般水平	国内先进水平	国际水平	生产车间最高容许浓度	居住区大气中有害物质的最高容许浓度
二氧化硫	500-1500	50-100	1-100	15	0.15
氮氧化物	500-1000	100-200	1-50	5.0	0.05
颗粒物	30-100	10-30	0.5-8	10	0.15
氟化物	10-60	0.3-5	0.1-1.5	1.0	0.007
氯化氢	20-150	1-5	0.5-3	15	0.015
铅及其无机化合物	1-2.75	0.002-0.1		0.03	0.0007
镉及其化合物	0.003-0.070			0.1	-
镍及其化合物	0.20-0.40	0.06-0.20		0.001	-

备注：（1）国际水平选取欧盟《Reference Document on

Best Available Techniques in Ceramic Manufacturing Industry》中的相关统计数据；（2）生产车间容许浓度（工人工作地点空气中有害物质所不应超过的数值）、居住区大气中有害物质的最高容许浓度依据《工业企业设计卫生标准（TJ36-79）》进行选取。

广西某市拟承担广东陶瓷产业的转移建立一个新的陶瓷产业基地，根据规划，2015 年建筑陶瓷生产规模将达到 3.5 万 m²（每 m² 重量约为 20kg）、以煤作为主要能源，2025 年建筑陶瓷生产规模将达到 3.5 万 m²、以天然气作为主要能源。按此规划，能源消耗强度取当前先进水平 55t 标准煤/万 m² 建筑陶瓷，则主要污染物排放量见表 2。结合大气污染物扩散模型进行模拟分析，陶瓷工业企业的建设将使规划陶瓷工业区 2015 年 50%区域的大气环境中 SO₂ 浓度年均值超过《环境空气质量标准（GB3095-1996）》二级标准限值、烟尘超标区域达到 62%、NO_x 超标区达到 25%；2025 年由于改用清洁能源天然气，SO₂、NO_x、烟尘排放量大幅度降低，但仍有 15%以上的区域大气环境质量不能满足标准要求。工人与附近居民长期生活在这种超标的环境空气下，身体健康状况将会受到重大影响。根据关维俊等人对唐山陶瓷生产基地的调查^[5]，慢性非传染性疾病已经成为严重危害陶瓷工人健康和生活质量的主要疾病，发病率高达 16.5%。因此，未来陶瓷工业大气污染防治已经成为我国陶瓷工业发展的重要瓶颈。

Table 2. Air pollutant emissions prediction in a new ceramic industrial park in some city, Guangxi Province (10⁴t/a)

表 2. 广西某市新建陶瓷工业区大气污染物排放量预（单位：10⁴t/a）

主要污染物	SO ₂	烟尘	NO _x
2015 年	1.29	0.54	1.95
2020 年	0.14	0.07	0.47

2.2 特征大气污染物

大多数陶瓷原料中重金属的含量均比较低，一般不存在向大气释放问题。但陶瓷色、釉料常含有重金属，如铅丹、氟化钠、氟硅酸钠及稀土元素等，这些重金属在烤花过程中形成蒸汽排放到大气中。

（1）陶瓷工业产生的铅蒸气经凝结为铅烟或形成铅尘，铅烟和铅尘易经呼吸道吸入。铅以无机物或粉尘形式吸入人体后，积蓄于骨髓、肝、肾、脾和大脑等处“储存库”，以后慢慢放出，进入血液，引起慢性中毒。

(2)在生产环境中大量吸入镉烟尘或蒸气会发生慢性镉中毒,出现头痛、头晕、咳嗽、呼吸困难、恶寒、呕吐和腹泻等,并产生肺炎和肺水肿。长期摄入微量镉,通过器官组织的积蓄还会引起骨痛病。

(3)进入气体中的镍能与一氧化碳结合成为强致癌性的羰基镍,羰基镍以蒸气形式迅速由呼吸道吸收,也能由皮肤少量吸收。镍及其氧化物对肺和呼吸道有刺激和损害作用,氧化镍尘粒,羰基镍蒸气及镍粉尘等吸入人体有可形成皮肤炎、呼吸器官障碍及呼吸道癌。

(4)氟化物常以氟或氟化氢的形式计量,对动、植物及人体均能形成危害。对植物的影响比二氧化硫大 10-100 倍,氟在植物中能积蓄,当氟的浓度达到 50-100ppm 时,植物叶的组织就会坏死。氟化物对人体的危害主要体现为骨骼受害,表现为四肢长骨疼痛,重者骨质疏松,骨质增生或型变,易发生自发性骨折;其次损害皮肤,使皮肤发痒、疼痛、湿疹及各种皮炎。因此氟化物(以氟化氢计)在居民区大气中最高容许浓度一次测定值为 0.02 mg/m^3 ,日平均浓度值为 0.007 mg/m^3 ;车间空气中氟化氢最高容许浓度为 1 mg/m^3 。

(5)气体中的氯化物主要是氯气、氯化氢。氯气是黄绿色有强烈刺激性异臭的有毒气体。它是一种强氧化剂,与二氧化碳作用生成毒性更大的光气。氯气刺激眼、鼻、喉及上呼吸道和深呼吸道,通过呼吸道和皮肤粘膜对人产生危害。居民区大气中氯气最高容许浓度一次测定值为 0.1 mg/m^3 ,日平均值为 0.03 mg/m^3 。氯化氢为无色有刺激性气味的气体,主要通过呼吸道危害人体健康。长期接触氯化氢可引起喉粘膜刺激、鼻粘膜溃疡、牙齿腐蚀及胃肠疾病等。氯化氢气体对金属也有严重腐蚀作用。因此,氯化氢气体在居民区大气中最高容许浓度一次测定值为 0.05 mg/m^3 、日平均浓度值为 0.015 mg/m^3 。

当前,对于陶瓷生产烤花过程中产生的铅、镉、钴、镍及其化合物主要采用袋式除尘器进行处理;对于氟化物、氯化物主要采用叠层型填充床吸附器、干式废气净化过滤器、湿式废气净化器进行处理。但由于缺乏有针对性的污染物排放标准,控制效果往往不理想,这也是导致陶瓷工业工人患病率较高的重要因素之一。

3 陶瓷行业大气污染物控制标准分析

我国大气污染物排放标准主要有两类:一是大气

污染物综合排放标准,二是根据行业特征制定的行业类污染物排放标准。当前,陶瓷工业炉窑废气排放标准执行《工业炉窑大气污染物排放标准》,但该标准只对陶瓷搪瓷砖瓦窑分为隧道窑和其它窑规定了烟(粉)尘浓度和烟气黑度,这种规定已与国家明令淘汰的“生产建筑卫生陶瓷的土窑、倒焰窑、多孔窑、煤烧明焰隧道窑等”不完全一致;同时未明确规定陶瓷工业无组织排放污染物浓度和各种炉窑有害污染物最高允许排放浓度。陶瓷工业其它生产工序的大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准(GB16297-1996)》,该标准没有明确陶瓷工业排放的特征大气污染物的排放要求。因此,现行陶瓷工业执行的标准从内容和从排污控制上都无法体现对陶瓷企业进行有效的环境管理,不利于针对陶瓷企业点多、面广、污染重、技术设备落后等方面进行有效控制。

陶瓷行业大气污染物控制标准的制定应该结合主要污染物对人体、环境的生物毒性或对生态环境危害,充分考虑当前我国节能减排要求及经济技术可行性进行综合确定,思路如下:

(1) 污染物排放浓度标准值确定

污染物排放浓度标准的制定应重点考虑污染物对人体健康及生态环境的危害性,其最大排放浓度不能超过吸入 5min 的一次接触限值(在缺乏试验数据时可参考美国政府工业卫生专家会议制订的车间空气中有害物质的容许浓度-短时间接触限值)。

(2) 污染物排放速率确定

对综合排放标准中与陶瓷工业有关的控制指标(SO_2 、 NO_x 、颗粒物)应结合区域大气环境质量与产业特征适当加严,对于陶瓷工业产生的特征大气污染物-铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氯化物、氟化物根据车间卫生标准按下式进行确定。

$$Q = C_m \cdot R \cdot K_e$$

$$\ln C_m = 0.607 \ln C_{\text{生}} - 3.166$$

式中: Q ——排气筒允许排放速率, kg/h;

C_m ——居住区大气中有害物质的最高容许浓度一次值, mg/m^3 ;

$C_{\text{生}}$ ——生产车间最高容许浓度, mg/m^3 ;

R ——排放系数;

K_e ——地区性经济技术系数,取值为

0.5-1.5。

(3) 主要污染物排放强度

当前,我国在推行污染物排放总量制度。为了实现陶瓷行业的可持续发展,应当结合我国当前节能减排要求制定陶瓷行业的排放绩效。首先从清洁生产和能源节约的角度制定陶瓷行业的能源绩效,2015年建议值为250kg标准煤/t陶瓷产品、2020年建议值为200kg标准煤/t陶瓷产品。然后,在国家总量控制管理的基础上,制定陶瓷行业主要污染物(SO₂)排放绩效,2015年建议值为1.8kg SO₂/t陶瓷产品、2020年建议值为1.6kg SO₂/t陶瓷产品。

4 陶瓷行业大气污染物控制对策

我国陶瓷行业要走出困境,必须正确认识到行业发展的现状,采取正确的环境保护战略,实现陶瓷行业的可持续发展。

(1) 进行工业技术革新,推进行业节能减排

目前我国陶瓷每百万美元能耗是世界平均水平的3.1倍,是OECD(经济合作发展组织)国家和地区的4.3倍,更是日本的9倍。因此,节能减排对陶瓷行业提出新要求。从陶瓷行业可持续发展的角度看,企业在设计过程中应引进先进的生产工艺和技术,大力发展节能型产品,开发低消耗、无污染、高性能、多功能、高附加值的新陶瓷产品,将能源消耗强度控制在250kg标准煤/t陶瓷产品以下。应大力开发和推广使用先进的节能技术和环保技术,开发款式创新、品质创新、功能创新的节能新产品、大规格超薄砖等节材新产品,推广节能环保型新型窑炉。在陶瓷生产的原料加工过程、成形与干燥过程、烧成过程等环节降低对资源和能源的消耗,同时通过加强窑炉余热利用和对工业废渣、废料管理,实现废弃物再循,从而提高区域资源、能源的集约化利用率。

(2) 严格控制高硫煤的使用,不断提高清洁能源的比例

高硫、低质煤炭的使用,是造成陶瓷行业大气污染的重要原因之一。鼓励使用低硫煤和清洁能源,促使企业提高脱硫除尘效率,提倡加设脱硝工序。采用煤炭作为燃料的企业,必须使用含硫量低于1%的煤炭、鼓励使用含硫量低于0.5%的优质煤。新建企业在建设过程中应充分考虑陶瓷行业技术进步和环境保护要求,积极采用先进的生产工艺,提高企业的清洁生产水平,对以煤炭为燃料的企业,企业综合脱硫效率必须达到70%以上,鼓励企业在隧道窑、辊道窑工序

中加设脱硫设施;采用以天然气等清洁能源为燃料的企业加在尾气排放前进行脱硫除尘。考虑远期我国对氮氧化物排放控制要求,鼓励企业在窑炉尾气排放前加设脱硝工艺。

(3) 发展绿色陶瓷产品

发展绿色陶瓷,是解决陶瓷行业中环境污染与经济发展这一日益尖锐的矛盾的可持续发展之道。绿色陶瓷主要是指在原料开采、生产制造,废弃物处理或者再循环等环节中,是无害的、健康的,并且对地球环境的污染最小,提高人们的生活质量和环境质量。发展绿色陶瓷就是研究、设计和开发人类与自然和平共处、共同发展的新型陶瓷产品。绿色陶瓷已成为陶瓷市场发展的必然趋势,我国陶瓷企业应该加快绿色陶瓷工业的发展步伐,用健康、安全、舒适、美观的陶瓷产品服务社会,抢占未来的陶瓷市场。

随着我国居民收入水平的提高和人均居住面积的增加,对陶瓷产品的需求十分旺盛。但高能耗、高污染、高排放的局面未得到根本改变,直接影响产业可持续发展。我国建陶行业发展应围绕绿色制造、节能减排的重大需求,开展原料标准化、生产装备技术更新、新产品研究与开发方等技术攻关,大力发展节能型、环境友好型产品、加快产业结构调整,大力发展循环经济,从而推动我国陶瓷行业持续快速发展。

References (参考文献)

- [1] Economic operation in China Ceramic Industry in 2009[J], *Ji-angsu Ceramics*, 2010, 43 (1), P8 (Ch).
2009年我国陶瓷行业经济运行情况[J], *江苏陶瓷*, 2010, 43 (1), P8.
- [2] Jijie Wang, Xu Li, The coordinated and sustained development between China's ceramic industry and environmental protection [J], *China Ceramics*, 2006, 42(10), P3-6(Ch).
王继杰, 李旭, 中国陶瓷产业与环境保护的协调性发展[J], *中国陶瓷*, 2006, 42(10), P3-6.
- [3] Shaoxiang Tan, Hanjie Tan, The present problem and counter-measure on energy-saving and developing circulation economy in ceramic profession in Guangdong Province[J], *Ceramics*, 2007, (4), P7-13(Ch).
谭绍祥, 谭汉杰, 广东陶瓷行业节能和发展循环经济的现状问题与对策[J], *陶瓷*, 2007, (4), P7-13.
- [4] Lingke Zeng, Weiqiang Deng, Yanchun Liu, et al, The phenomenon of ceramic industry consumption and the technology measure of economy energy[J], *Journal of Ceramics*, 2006, 27(3), P109-115(Ch).
曾令可, 邓伟强, 刘艳春等, 陶瓷工业能耗的现状 & 节能技术措施[J], *陶瓷学报*, 2006, 27(3), P 109-115.
- [5] Guan Weijun, Qi Xiao, Pang Shulan, et al. Health status survey on ceramic workers in Tangshan city[J], *Chinese Journal of Coal Industry Medicine*, 2009, 12(3), P454-456(Ch).
关维俊, 齐啸, 庞淑兰, 等, 唐山市1051名陶瓷工人健康状况分析[J], *中国煤炭工业医学杂志*, 2009, 12(3), P454-456.