

四川省陶瓷工业大气污染物排放标准 (征求意见稿) 编制说明

四川省生态环境科学研究院

2022年4月

目录

1、任务来源和工作过程.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	2
2、标准制定的必要性和意义.....	3
2.1 污染物减排的需求.....	3
2.2 更严格管控依据的需求.....	4
2.3 社会发展变化的需求.....	4
3、国内外排放标准调研.....	6
3.1 国外相关政策和标准研究.....	6
3.2 国内相关政策和标准研究.....	6
3.3 标准对比.....	8
4、四川省陶瓷行业现状.....	11
4.1 企业分布及生产状况.....	11
4.2 陶瓷生产工艺和排污节点分析.....	13
4.2.1 不同类型陶瓷生产工艺及产污环节.....	13
4.2.2 不同工艺环节产污情况.....	15
4.3 陶瓷行业大气污染物控制措施.....	17
4.3.1 颗粒物治理设施.....	18
4.3.2 二氧化硫治理设施.....	19
4.3.3 氮氧化物治理设施.....	20
4.3.4 重金属治理设施.....	21
4.3.5 氟化物、氯化物治理设施.....	21
4.2.6 无组织排放控制.....	22
4.4 四川省治理设施安装情况.....	22
4.5 四川省陶瓷行业大气污染物排放量.....	23
4.6 四川省陶瓷行业主要问题分析.....	24
5、标准制定的原则和依据.....	25
5.1 标准制定的原则.....	25
5.2 标准制定的依据.....	25
6、标准主要技术内容.....	25

6.1 适用范围.....	25
6.2 标准内容框架.....	26
6.2.1 标准文本包括的主要章节内容.....	26
6.2.2 与国家标准对比修订的主要内容.....	26
6.3 污染物项目及考核指标.....	27
6.3.1 污染物项目.....	27
6.3.2 污染物考核指标.....	27
7、标准限值与规定的制定依据.....	28
7.1 大气污染物有组织排放限值的确定.....	31
7.1.1 颗粒物.....	31
7.1.2 氮氧化物.....	32
7.1.3 二氧化硫.....	33
7.1.4 基准含氧量.....	33
7.1.5 铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氟化物、氯化物.....	34
7.1.6 烟气黑度.....	35
7.1.7 挥发性有机物.....	35
7.2 原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备排放限值.....	36
7.3 大气污染物无组织排放限值.....	37
7.4 技术与管理规定.....	38
7.4.1 无组织排放控制.....	38
7.5 监测要求.....	39
8、技术可行性和经济成本分析.....	41
8.1 技术可行性分析.....	41
8.1.1 陶瓷窑炉烟气污染防治可行技术.....	41
8.1.2 喷雾干燥塔烟气污染防治可行技术.....	41
8.1.3 窑炉-喷雾干燥塔烟气联合防治可行技术.....	43
8.2 成本效益分析.....	43
9、标准实施后的环境（减排）效益.....	44

1、任务来源和工作过程

1.1 任务来源

近十几年来,我国陶瓷产业得到了快速发展,凭借内外部的发展优势与机遇,已成为世界陶瓷的生产和消费大国,其中全球过半的陶瓷产自我国。陶瓷工业是资源、能源密集型产业,干燥、烧成、烤花等工序释放出来的颗粒物、氮氧化物和二氧化硫是我国重点控制的主要大气污染物。随着陶瓷产能提高,区域发展结构不平衡,大气环境质量受到了严重威胁。自《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010)及其修改单(2014年第38号)、《陶瓷制品制造业污染防治可行技术指南》出台以来,陶瓷行业有了指导性、规范性的发展,有力的促进了全国陶瓷行业的技术升级和提标改造。广东省、河北省随后出台了更加严格的陶瓷行业地方标准,山东省、天津市、北京市等先后制定了工业窑炉大气污染物排放标准或区域大气污染物综合排放标准,针对陶瓷行业废气排放进行严格控制,这些标准的出台对本地和区域陶瓷行业污染物减排和先进生产技术推进起到了重要作用。

四川省素有“天府之国”的称号,虽然近几年来,整体空气质量逐年好转,但四川省行业、企业、人口分布不均、气象条件复杂、区域内大气污染物排放总量大、强度高,大气环境质量与国家标准和公众期望仍存差距,四川省当前面临发展经济和保护环境的双重任务。

四川陶瓷产业近年来也得到了飞速的发展,现已形成以夹江为中心、扩展至丹棱、洪雅等地区的产业新格局,是我国第四大陶瓷产区,主要分布在乐山市、眉山市、成都市、内江市等市,2020年全省陶瓷企业共排放1.38万吨SO₂、5.75万吨NO_x、0.43万吨PM₁₀、0.16万吨PM_{2.5}、0.25万吨VOCs,分别占全省排放量的6.1%、9.9%、0.6%、0.4%、0.5%,四川省陶瓷工业大气污染物控制任重道远。目前,四川省执行《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010)及其修改单(2014年第38号)。随着全省深入践行习近平生态文明思想,加快建设美丽四川工作的推进,全省陶瓷企业大气污染排放控制有了较大提高,现行国家标准已经不能满足四川省对陶瓷行业排污的管控要求。

为了进一步改善大气环境质量,促进陶瓷行业技术进步和经济可持续发展,由四川省生态环境厅立项,四川省生态环境科学研究院负责编制了《四川省陶瓷

工业大气污染物排放标准》。

1.2 工作过程

接到四川省生态环保厅下达的工作任务后，四川省生态环境科学研究院成立了标准编制组。标准编制组对国内外有关地区陶瓷相关的大气污染物排放标准、陶瓷企业末端治理控制经验进行了广泛调研；对四川省陶瓷企业的产排污环节、生产经营现状、大气污染排放现状、尾气治理控制现状等进行了深入掌握，开展不同城市、不同类型陶瓷企业的现场调研与实测，最后标准编制组结合四川省环境保护的具体要求进行了分析与预测，在借鉴国内外陶瓷大气污染物排放控制经验的基础上，结合有关调研成果，编制完成了《四川省陶瓷工业大气污染物排放标准》（征求意见稿）。

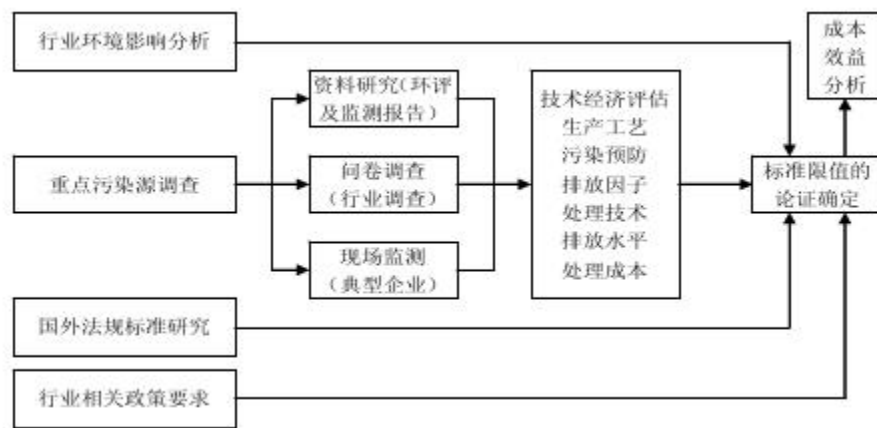


图 1-1 标准编制工作内容

具体工作过程包括：

(1) 2019 年 3 月，接到四川省生态环境厅工作任务后，四川省生态环境科学研究院立即成立了四川省陶瓷工业大气污染物排放标准编制组。

(2) 2019 年 3~5 月，通过数据调研、部门调研等方式，全面掌握四川省陶瓷企业数量、污染治理设施现状，初步了解陶瓷企业大气排放污染物排放水平。

(3) 2019 年 6~7 月，通过文献资料调研、专家咨询等方式，完成陶瓷工业大气排放标准编制实施方案。

(4) 2019 年 8-11 月，完成了乐山市 23 家陶瓷企业的调研与测试。

(5) 2020 年 12 月，与乐山市陶瓷企业进行访谈。

(6) 2020年4-5月，完成了眉山市、乐山市、成都市、宜宾市等地17家陶瓷企业的调研与测试

(7) 2020年6-8月，数据分析与资料整理、报告编制。

(8) 2020年9月，前往广东省佛山市生态环境局进行陶瓷企业调研。

(9) 2020年10月，完成陶瓷工业大气污染物排放标准初稿和编制说明。

(10) 2020年11月，组织会议，征求陶瓷企业和专家的意见。

(11) 2020年12月，组织评审。

2、标准制定的必要性和意义

2.1 污染物减排的需求

《四川省蓝天保卫行动方案（2017-2020年）》指出：到2020年，全省大气环境优良天数率比例达到84%以上，重污染天气大幅降低。到2020年，全省二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、挥发性有机物（VOCs）排放总量分别比2015年削减16%、16%、5%，其中重点工程减排量分别不少于11.2万吨、3.7万吨、5.6万吨。同时，针对重点行业指出，建筑卫生陶瓷行业所有喷雾干燥塔、陶瓷窑炉安装脱硫设施，氮氧化物不能稳定达标排放的喷雾干燥塔采取脱硝措施，建陶行业淘汰年产70万平方米以下中低档建筑陶瓷砖、年产20万件以下低档卫生陶瓷生产线，淘汰建筑卫生陶瓷土窑、倒焰窑、多孔窑、煤烧明焰隧道窑、隔焰隧道窑、匣钵装卫生陶瓷隧道窑。

同时，《四川省“十四五”生态环境保护规划》提出强化重点行业污染治理，实施平板玻璃、陶瓷、铁合金、有色等重点行业深度治理工程。完善生态环境保护标准，推进陶瓷、玻璃、锅炉、酿造、水产养殖尾水等污染物地方排放标准制定。因此加严四川省陶瓷工业污染物排放标准是确保陶瓷行业完成减排目标和升级改造的重要保障。

近年来，四川陶瓷产业以夹江为中心、扩展至丹棱、洪雅等地区，是我国第四大陶瓷产区，且产能一直处于扩张状态，新生产线数量不断增加，四川省陶瓷工业大气污染物控制任重道远。其次，我省已加快污染物排放量较大的燃煤火电机组、钢铁等行业超低排放改造，未来其污染物排放量下降空间有限，陶瓷等行业的工业炉窑排放，从标准上进一步收紧成为当务之急，

2.2 更严格管控依据的需求

2010 年国家颁布了《陶瓷工业污染物排放标准》(GB25464-2010)，2014 年国家发布了修改单，针对喷雾干燥塔、陶瓷窑烟气的基准氧含量调整为 18%，同时喷雾干燥塔、陶瓷窑的颗粒物限值调整为 30mg/m³、二氧化硫限值调整为 50mg/m³、氮氧化物限值调整为 180mg/m³。

随着《大气污染防治行动计划》和《四川省大气污染防治行动计划实施细则》执行的不断深入，《四川省蓝天保卫行动方案 2017-2020 年》等方案的出台，陶瓷行业工业窑炉综合治理积极推进，现行标准虽然对控制我省陶瓷行业的污染物排放和推动陶瓷工业的环境保护设施技术进步发挥了重要作用，但随着我省环境压力日益增长和监管强度提高，一系列清洁生产工艺技术和末端治理技术迅猛发展、日臻成熟，现行陶瓷工业的污染物排放标准已经无法满足当前新形势下环保部门对陶瓷工业大气污染物管控的需求，如现有国标《陶瓷工业污染物排放标准》(GB25464-2010) 及其 2014 年修改单对氮氧化物的限值过于宽松，四川省乐山市夹江作为四川省的陶瓷企业密集区，环保部门已严格要求陶瓷企业安装 SNCR 脱销设施，其氮氧化物排放浓度远低于标准限值，而其他地区陶瓷企业在喷雾干燥塔未安装脱销设施的情况下大部分均能达到标准限值，这样一定程度上会使陶瓷企业对投入脱销设备产生消极态度。从目前标准限值来看，氮氧化物普遍未安装脱销设备，仍有较大减排空间，同时颗粒物、二氧化硫也有进一步减排的潜力。

同时陶瓷是传统建筑材料产业，大量消耗无机非金属矿物，工艺过程易造成无组织排放且难于管控。无组织排放的工序主要包括：原料粉碎、成型、干燥、烧成、检验、包装等。现阶段，由于厂界无组织排放监管存在一定的难度，需要提出具体的控制措施要求。同时，国标配套监测分析方法缺近几年发布的废气污染物监测方法。因此，针对当前的陶瓷行业排放标准不能满足环境管理的需要，抑制陶瓷企业污染治理的积极性，减缓陶瓷企业产业调整的问题，我省有必要制定陶瓷工业大气污染物排放标准，以应对国家对环境保护的要求收严，改善我省环境质量，推动陶瓷产业的健康发展。

2.3 社会发展变化的需求

随着社会发展，居民对环境质量要求的提高与产业结构的调整以及后续经济

的发展矛盾，国家及地方环保主管部门提出了新解决方案的需求，陶瓷工业作为“高能耗的污染物排放大户”，首当其冲。

《“十三五”生态环境保护规划》要求建筑卫生陶瓷行业使用清洁能源，喷雾干燥塔、陶瓷窑炉安装脱硫除尘设施，氮氧化物不能稳定达标排放的喷雾干燥塔安装脱销设施。原料破碎、生产、运输、装卸等环节实施堆场及输送设备全封闭、道路清扫等措施，有效控制无组织排放。

国务院关于印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的通知国发〔2018〕22号中，要求开展工业炉窑治理专项行动。各地制定工业炉窑综合整治实施方案。开展拉网式排查，建立各类工业炉窑管理清单。制定行业规范，修订完善涉各类工业炉窑的环保、能耗等标准。

2019年7月9日生态环境部印发的《工业炉窑大气污染综合治理方案》中，提出“完善排放标准体系。加快涉工业炉窑行业大气污染物排放标准制修订工作。加快大气污染物综合排放标准修订。鼓励各地制修订相关行业地方排放标准。

《四川省工业炉窑大气污染综合治理实施清单》指出推进重点行业深度治理。大力推进水泥行业深度治理或超低排放改造，积极推进平板玻璃、电解铝、焦化、有色、砖瓦、陶瓷、石化等行业污染治理升级改造。全面加强无组织排放管理。严格控制工业炉窑生产工艺过程及相关物料储存、输送等无组织排放，在保障生产安全的前提下，采取密闭、封闭等有效措施，有效提高废气收集率，产尘点及车间不得有可见烟粉尘外逸。积极推进四川省涉工业炉窑行业大气污染物排放标准和规范制订，研究和推进制订四川省水泥、平板玻璃、陶瓷等行业大气污染物排放标准。

《成都市打赢蓝天保卫战实施方案》要求加强工业企业无组织排放管理。针对水泥、平板玻璃、钢铁、铸造、砖瓦、陶瓷等重点行业，在物料（含废渣）运输、装卸、储存、转移、输送以及生产工艺过程的无组织排放，制定粉尘防控技术导则，并组织实施。

《乐山市打赢蓝天保卫战实施方案》要求实施陶瓷行业深度整治。编制全市陶瓷行业产业发展规划，并开展规划环评，科学确定全市陶瓷行业产能控制规模、准入条件及布局。“退城入园”陶瓷生产线喷雾干燥塔、烧成窑出口烟尘排放浓度低于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫排放浓度低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 排放浓度低于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，

破碎、煤磨、球磨工艺粉尘排放浓度稳定低于 10mg/m³，原料库实现全封闭。现有陶瓷生产线 2020 年 6 月底喷雾干燥塔、烧成窑烟气完成深度整治、2020 年 12 月底前完成全厂大气污染物深度治理。

以上可以看出现行排放标准已无法满足经济社会发展和环境保护管理的需要。因此，制定四川省陶瓷行业排放标准的研究，不仅符合国家及环保主管部门的相关要求，还可以促进地方环境管理，引导四川省工业行业进行产业结构调整，增强四川省在区域经济合作中的纽带作用和承接产业转移中的对接功能，改善环境空气质量，提高人们环境空气质量的满意度。

3、国内外排放标准调研

3.1 国外相关政策和标准研究

韩国、意大利、德国、日本等国家陶瓷工业大气污染物排放标准情况汇总见表 3-1。由于修订时间较早，同时受制于标准制定当前的尾气处理技术和陶瓷制备工艺，以及各国自身陶瓷行业产品特种，市场占有率、生产工艺、所处环境容量等差异，国外的标准相对当前的国标修改单限值较高，除了意大利对颗粒物的排放限值要求外，其他国家排放限值远高于我国当前水平。从收集到的国外标准资料情况分析，本标准制订应结合国家现行的环境管理要求，采用国际先进的废气污染治理工艺技术水平，来控制 and 满足国家以环境质量为核心，采取严格的大气污染防治措施。

表 3-1 部分国家陶瓷行业大气污染物排放限值 单位： mg/m³

项目	欧盟	韩国	意大利	德国	日本
颗粒物	1-30（喷雾干燥） 1-5（陶瓷窑）	50	30（喷雾干燥） 5（陶瓷窑）	40	100
二氧化硫	500	715	35（喷雾干燥）500 （陶瓷窑）	500	地区总量 控制
氮氧化物 （以 NO ₂ 计）	500（>1300℃） 250（<1300℃）	411	350（喷雾干燥） 200（陶瓷窑）	500	821
基准氧含量(%)	18	16	18	17	18

3.2 国内相关政策和标准研究

我国是世界陶瓷最大生产国，陶瓷工业是国家环保规划重点治理的行业之一，国家先后发布了许多与陶瓷工业建设、生产、运行、排放有关的环境保护政策、法律法规和标准规范，一些地方政府也根据实际情况制定了针对性政策和地方标

准。

(1) 国家相关政策和标准

我国的陶瓷工业大气污染物排放管理限值在 2010 年 10 月 1 日之前执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 和《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078-1996)，2010 年 10 月 1 日起执行《陶瓷工业污染物排放标准》(GB25464-2010)。2014 年 12 月 12 日《关于发布国家污染物排放标准<陶瓷工业污染物排放标准>(GB25464-2010) 修改单的公告》(环境保护部 2014 年第 83 号公告) 发布，其中将基准含氧量从原来的 8.6% 修改为 18%，将颗粒物、二氧化硫于氮氧化物的浓度排放限值调整至 30mg/m³、50mg/m³、180mg/m³。具体有组织排放相关限值如表 3-2 所示。无组织排放监控点浓度限值如表 3-3 所示。

表 3-2 国家现行标准限值 (有组织排放) 单位: mg/m³

生产工序	原料制备、干燥	烧成、烤花	监控点位
生产设备	喷雾干燥塔	辊道窑、隧道窑、梭式窑	车间或生产设施排气筒口
燃料类型	水煤浆、油、气	水煤浆、油、气	
颗粒物	30		
二氧化硫	50		
氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	180		
烟气黑度 (林格曼黑度, 级)	1		
铅及其化合物	-	0.1	
镉及其化合物	-	0.1	
镍及其化合物	-	0.2	
氟化物	-	3.0	
氯化物	-	25	
颗粒物无组织排放	1.0		

表 3-3 企业厂界无组织排放 限值单位: mg/m³

序号	污染物项目	最高浓度限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	1.0	监控点处 1 小时浓度平均值	企业边界

(2) 地方排放标准

国内地方排放标准中，与陶瓷行业大气污染排放相关的标准包括河北省《陶瓷工业大气污染物排放标准》(DB13/5214-2020)、广东省《陶瓷工业大气污染物排放标准》(DB44/2160-2019)、陕西省《关中地区重点行业大气污染物排放限值》(DB61/941-2018)、山东省《建材工业大气污染物排放标准》(DB37/2373-2018)、

北京市《大气污染地方排放标准》(DB11/501-2017)、重庆市《工业窑炉大气污染物排放标准》(DB50/659-2016)、天津市《工业窑炉大气污染物排放标准》(DB12/556-2015), 具体相关污染物排放限值见表 3-4、表 3-5 和表 3-6。

3.3 标准对比

国内外标准对比如表 3-4、表 3-5 和表 3-6。相较于国际标准, 我国标准 GB25464-2010 (2014 年修改单) 二氧化硫、氮氧化物限值规定较欧盟、韩国、德国等国家严格, 颗粒物规定而言, 喷雾干燥塔限值与欧盟、意大利、德国等国家较为一致, 陶瓷窑限值规定相对较松。

国内主要城市有组织排放标准对比: 山东省、重庆市和天津市由于基准含氧量分别为 16%、9%和 8.6%, 各污染物限值要求对比其他地区 18%基准含氧量的情况下更为严格。基本含量为 18%的城市中, 河北省、北京市颗粒物浓度限值最严格, 限值为 10mg/m³, 低于国家限值 66%, 其次广东省限值较低, 为 20mg/m³, 其余城市标准与国家标准较一致; 二氧化硫限值北京市要求最为严格, 浓度最大值为 20mg/m³, 低于国家重点区域标准 60%, 其次是河北省和广东省, 低于国家标准 50%, 其余城市限值均在国家限值范围之内; 氮氧化物限值中北京市、河北省和广东省低于国家限值。

表 3-4 国内外排放标准常规污染物对比情况 限值单位: mg/m³

区域范围	标准来源	设备类型	燃料类型	颗粒物	SO ₂	NO _x	基准氧含量%
中国	国家 陶瓷工业污染物排放标准 GB25464-2010 (2014 年修改单)	不区分	不区分	30	50	180	18
	河北省 《河北省《陶瓷工业大气污染物排放标准》(DB13/5214-2020)	喷雾干燥塔、干燥塔(室)	不区分	10	30	100	18
		辊道窑、隧道窑、梭式窑	不区分	10	30	100	18
	山东省 《山东省建材工业大气污染物排放标准》(DB37/2373-2018)	不区分	不区分	10	35	80(重点控制区)	16
		不区分	不区分	10	35	100(一般控制区)	16

				分				
广东省	《陶瓷工业大气污染物排放标准》征求意见稿	不区分	不区分	20	30	100	18	
天津市	天津市《工业窑炉大气污染物排放标准》DB12/556-2015	喷雾干燥塔	不区分	30	100	240	8.6	
		烤成、烤花	不区分	30	100	300	8.6	
北京市	北京市《大气污染物地方排放标准》DB11/501-2017	工业窑炉	不区分	10	20	100	18	
重庆市	《工业窑炉大气污染物排放标准》DB 50/659-2016	不区分	不区分	30	100	200	9	
台湾	-	喷雾干燥塔	不区分	100	286	308	18	
		窑炉	不区分	100	286	308	18	
香港	-	不区分	不区分	50	-	200	18	
欧盟	欧盟 IPPC 指南——陶瓷工业	喷雾干燥塔	不区分	1-30	500	500 (> 1300℃) 250 (< 1300℃)	18	
		陶瓷窑	不区分	1-5	500	500 (> 1300℃) 250 (< 1300℃)	18	
韩国	大气环境保护法	不区分	不区分	50	715	411	16	
意大利	EN14411-2006	陶瓷窑	不区分	5	500	200	18	
		喷雾干燥塔	不区分	30	35	350	18	
德国	GMBI.p511	不区分	不	40	500	500	17	

			区分				
日本	JIS A5209-2008	不区分	不区分	100	地区总量控制	821	18

表 3-5 特征污染物对比情况可以看出，山东省、河北省、北京市铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氟化物、氯化物(以 HCl 计)标准限值均与国家要求一致，严格于中国台湾、中国香港、韩国、意大利德国等地区；氨的排放标准仅河北省和山东省规定限值，为 8.0mg/m³，其余地区未对此指标做限值规定。

表 3-5 国内外排放标准特征污染物对比情况 限值单位：mg/m³

污染物项目/地区	国家	山东省	河北省	北京市	中国台湾	中国香港	韩国	意大利	德国
铅及其化合物	0.1	0.1	0.1	0.1	-	金属合计 5		0.5	0.5
镉及其化合物	0.1	0.1	0.1	0.1	-			-	-
镍及其化合物	0.2	0.2	0.2	0.2	-			-	-
氟化物	3.0	3.0	3.0	3.0	10	10	4.5	5	5
氯化物(以 HCl 计)	25	25	25	25	130	50		-	-
氨		8	8						

国内部分城市无组织排放标准对比：河北省陶瓷工业无组织排放限值监测点位要求为符合 HJ/T 55 的要求，上风向设置参照点，下风向设置监控点，为监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1 小时浓度值的差值，允许最高排放浓度为 0.5 mg/m³，严格于国家标准，广东省和山东省厂界颗粒物限值与国家标准一致，但监测方式有所不同，国家标准为监控点处 1 小时浓度平均值，广东省为监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1 小时浓度值的差值。

表 3-6 无组织排放国内标准对比 单位：mg/m³

标准	监测点位	颗粒物
国家	企业边界	1.0 ^b

河北	符合 HJ/T 55 的要求，上风向设置参照点，下风向设置监控点。	0.5 ^a
山东	—	1.0
广东	企业边界	1.0 ^b
a:监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1 小时浓度值的差值。		
b:监控点处 1 小时浓度平均值。		

4、四川省陶瓷行业现状

4.1 企业分布及生产状况

根据 2020 年四川省大气污染源排放清单系统填报数据，2020 年四川省陶瓷行业生产企业共 180 家，主要分布在乐山市、眉山市、成都市、内江市等城市，四个城市陶瓷企业数量之和占四川省陶瓷企业数量的 74%，其中乐山占 34%。陶瓷制品制造行业按用途分类分为卫生陶瓷制品制造、特种陶瓷制品制造、日用陶瓷制品制造、园林艺术及其他陶瓷制品制造，四川省陶瓷企业主要为建筑陶瓷和日用陶瓷，分别为 100 家、47 家，占总陶瓷企业数量的 55%、26%。其中乐山市建筑陶瓷企业数 61 家，占总建筑陶瓷企业的 61%，眉山市建筑陶瓷企业 18 家，占总建筑陶瓷企业数量的 18%。成都市以日用陶瓷制品为主，其企业数量占全省日用陶瓷企业总数的 26%。具体各市州陶瓷企业分布如表 4-1 所示。

表 4-1 四川省陶瓷制品制造业分布情况（家）

城市	建筑陶瓷制品制造	日用陶瓷制品制造	卫生陶瓷制品制造	特种陶瓷制品制造	园林艺术陶瓷制造	其他陶瓷制品制造	总计
成都市	3	12	4	3	4	7	33
达州市	1	1	1	0	0	0	3
德阳市	0	1	0	1	0	1	3
广安市	4	0	1	0	0	1	6
乐山市	61	0	0	0	0	0	61
泸州市	1	9	1	0	0	0	11
眉山市	18	2	0	0	0	1	21
绵阳市	0	1	0	0	1	0	2
内江市	6	10	0	0	0	2	18
攀枝花市	0	0	0	1	0	0	1
雅安市	0	0	0	1	0	0	1

宜宾市	5	0	0	0	0	0	5
自贡市	1	11	0	2	0	1	15
总计	100	47	7	8	5	13	180

从行业产能来看，四川省陶瓷制品制造业标准产量分布情况如表 4-2，全省陶瓷标准产量为 1126.7 万吨，其中建筑陶瓷制品制造产量位居全省第一，产量为 1090.2 万吨，占全省总产量 96.8%，其次为日用陶瓷制品制造 22.9 万吨，占全省总产量 2%，建筑陶瓷和日用陶瓷制品制造产量之和占全省 98.8%。

从产量分布城市来看，乐山市和眉山市产量位居全省前列，其产量之和占全省 76%。从区域分布来看，陶瓷企业主要分布在成都平原和川南地区，两区域陶瓷产量之和占全省总产量的 97.3%。

表 4-2 四川省陶瓷制品制造业产量分布情况（万 t/a）

城市	建筑陶瓷制品制造	日用陶瓷制品制造	卫生陶瓷制品制造	特种陶瓷制品制造	园林艺术陶瓷制品	其他陶瓷制品制造	总计
成都市	16.4	0.9	1.1	0.7	0.1	0.2	19.3
达州市	11.2	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0	19.1
德阳市	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.4
广安市	9.7	0.0	1.1	0.0	0.0	0.1	10.8
乐山市	654.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	654.3
泸州市	6.0	5.6	0.2	0.0	0.0	0.0	11.8
眉山市	197.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	198.5
绵阳市	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
内江市	66.2	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.2
攀枝花市	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1
雅安市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宜宾市	128.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128.4
自贡市	0.1	212.6	0.0	0.4	0.0	0.4	213.6
总计	1090.2	233.0	10.3	2.5	0.1	0.8	1336.8

表 4-3 四川省不同区域陶瓷产量分布情况

序号	区域	企业数量/家	标准产量（万 t/a）	占比(%)
1	成都平原	121	872.8	77.5
2	川南	49	222.9	19.8
3	川东北	9	29.9	2.7
4	攀西	1	1.1	0.1
5	川西北	-	-	-

4.2 陶瓷生产工艺和排污节点分析

陶瓷制品生产过程中，采用的原料主要包括坯料、釉料、主要添加剂和辅料。其中除特种陶瓷之外，陶瓷坯料基本采用天然原料，特种陶瓷坯料采用新型陶瓷原料；主要添加剂包括有分散剂、助滤剂（减水剂）、助磨剂、塑化剂、助烧剂、着色剂、脱模剂；辅料主要是陶瓷贴花纸、陶瓷打印墨水。

陶瓷生产主要工序包括原料制备、成型、干燥、施釉、烧成和后加工等，对于以发生炉煤气或水煤浆为燃料的，还包括燃料制备工序。其中，烧成窑（辊道窑、隧道窑、梭式窑等）是典型的高温窑炉，是陶瓷制品制造业大气污染物主要排放源之一；不同陶瓷制品种类的最高烧成温度和烧成时间差异大，相应影响大气污染物排放水平。制品成型方式主要包括压制成型、可塑成型、注浆成型和热压铸成型等，建筑陶瓷主要采用压制成型，卫生陶瓷、日用及陈设艺术陶瓷和特种陶瓷制品制造主要采用可塑成型、注浆成型、热压铸成型等；成型方式不同，相应的坯料制备工艺不同，其中，压制成型湿法制粉技术采用了原料湿法球磨和喷雾干燥造粒的工艺组合，产生高湿度喷雾干燥塔烟气，是建筑陶瓷生产另一个主要的大气污染物排放源。

燃料方面，建筑陶瓷燃料主要是发生炉煤气（冷煤气）、天然气和其他（焦炉煤气、液化气等）；卫生陶瓷、日用陶瓷、陈设艺术陶瓷和特种陶瓷主要采用天然气、石油液化气和电力作为窑炉的供热能源。

4.2.1 不同类型陶瓷生产工艺及产污环节

（1）建筑陶瓷

建筑陶瓷指用于建筑物饰面或作为建筑物构件的陶瓷制品，主要指陶瓷墙地砖。陶瓷墙地砖品种多样，包括釉面内墙砖、墙地砖等。釉面内墙砖品种包括水晶釉、亚光釉和高光乳浊釉；地砖以仿古砖、抛光砖、抛釉砖为主流，墙砖以外墙砖为主流，外墙砖花色主要有长条砖、小方砖、石面砖及麻面砖等。

釉面内墙砖花色包括水晶釉、亚光釉和高光乳浊釉。生产工艺，从烧成工艺上可分二次烧成工艺及一次烧成工艺。二次烧成工艺又分高温素烧、低温釉烧工艺及低温素烧、高温釉烧工艺，部分产品有采用三次烧成的工艺；从制粉工艺上分为干法制粉和湿法制粉工艺。

建筑陶瓷典型生产工艺过程及污染物产生节点见图 4-1。

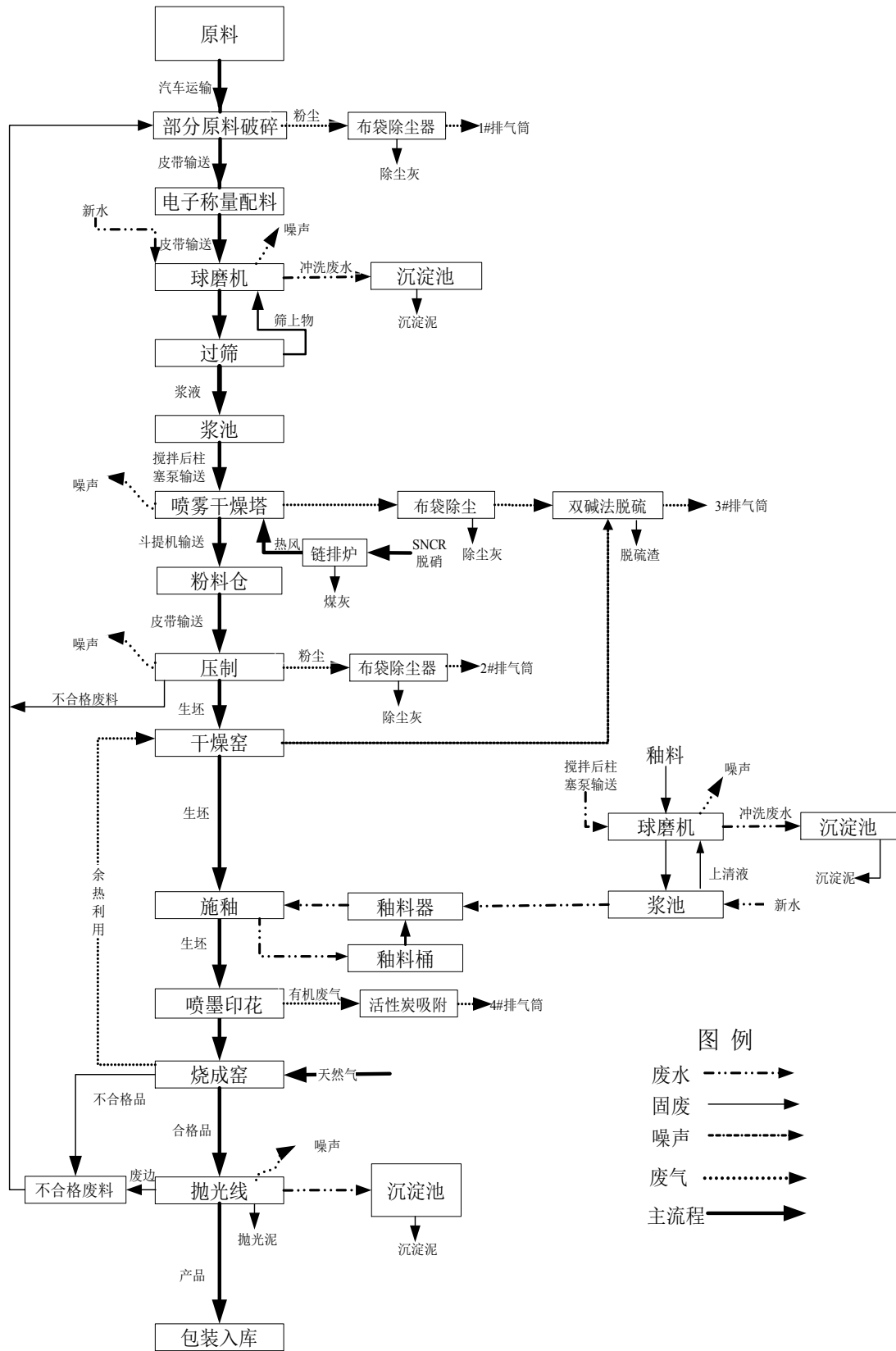


图 4-1 建筑陶瓷典型生产工艺过程及污染物产生节点

(2) 卫生陶瓷、日用陶瓷及陈设艺术陶瓷和特种陶瓷

卫生陶瓷按吸水率可分为炻陶质和瓷质两种。炻陶质：吸水率 0.5%-15%；瓷质：0.5%以下。按用途主要分为坐便器、蹲便器、小便器、洗槽、洗面器、拖布槽、水箱等。

卫生陶瓷生产工艺流程，从本质上只有一种，其主线为泥、釉料制备-注浆成型-烧成。具体而言，卫生陶瓷生产工艺流程是：根据设定配方，将不同原料按比例准确配料，配好的配合料入球磨制浆，合格的泥浆经过陈腐后送注浆线进行注浆成型，成型好的青坯经过干燥、施釉、干燥后入窑烧成，烧成的制品经过检验、加工后包装入库。

日用陶瓷按工艺品种分为日用细瓷器、日用普瓷器、日用炻瓷器、骨质瓷器、玲珑日用瓷器、釉下（中）彩日用瓷器、日用精陶器等，按花面装饰方法分类。按花面特色可分为釉上彩、釉中彩、釉下彩、色釉、未加彩的白瓷等。主要工艺流程如下：

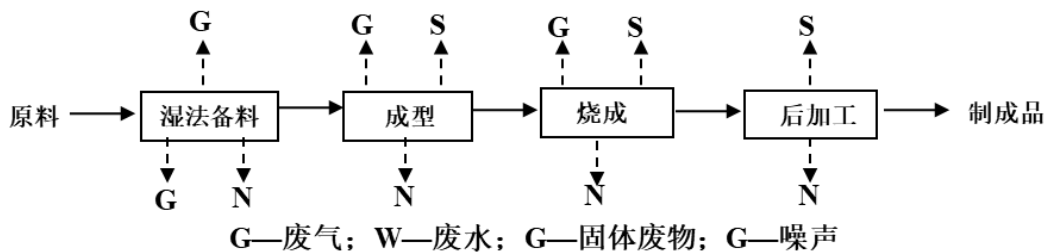


图 4-2 卫生陶瓷、日用及陈设艺术陶瓷和特种陶瓷典型生产工艺过程及污染物产生节点

4.2.2 不同工艺环节产污情况

在产品制备成型过程中，原料的干磨、制粉等加工粉碎过程；原料筛分、混合、配料等生产环节；釉料配料过程；喷雾干燥、成型、机械吹干等工序；成型过程修坯、打边，高温烧成后打磨抛光等工序；模型制备、匣钵制备过程均易产生颗粒物无组织排放，是陶瓷生产工艺过程中重要的无组织排放源。

有组织排放主要包含烧成和烤花过程中辊道窑、隧道窑、梭式窑等陶瓷工业窑炉排放窑炉烟气，产生的大气污染物主要包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化物、氟化物、铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物等；其次为喷雾干燥塔、干燥窑（室）排放的主要大气污染物包括：颗粒物、二氧化硫、氮氧化物。

表 4-4 陶瓷企业大气污染物排放源归类

要素	工序	污染源	污染物
有组织 废气 (正常 工况)	原燃料制备	喷雾干燥塔(含热风炉)	二氧化硫、氮氧化物(以 NO ₂ 计)、 颗粒物
		破碎、球磨、造粒、研磨、 配料、输送等设施	颗粒物
	成型与干燥	压制、成型、修坯等设施	颗粒物
		干燥器(辊道式干燥器、干 燥室等)	二氧化硫、氮氧化物(以 NO ₂ 计)、 颗粒物
	施釉与装饰	喷釉、甩釉、喷墨打印等设 施	颗粒物、挥发性有机物(VOCs)
	烧成	辊道窑、隧道窑、梭式窑等	二氧化硫、氮氧化物(以 NO ₂ 计)、 颗粒物、氯化物、氟化物、铅及其 化合物、 镉及其化合物、镍及其化合物
	后加工	抛光、磨边、切割、包装等 设施	颗粒物

(1) 喷雾干燥塔

喷雾干燥制粉属于湿法制粉工艺，将加工好的泥浆在高压作用下，送入由热风炉提供热空气的干燥塔内雾化成细滴，完成干燥而成颗粒状粉料的技术，主要为生产陶瓷砖用的粉料，也有用于制备可塑粉料。喷雾干燥塔配的热风炉提供热量供料雾中的水分蒸发，进塔热风温度一般在 500~650℃，出塔废气温度的一般控制在 80~115℃，废气具有粉尘浓度高、湿度大的特点。喷雾干燥塔排放的主要大气污染物包括：颗粒物、二氧化硫、氮氧化物。喷雾干燥塔的 NO_x 以热风炉燃烧产生的燃料型 NO_x 为主，相对于窑炉而言，通过 SNCR 治理简单易行，且对粉料质量基本没有影响。喷雾干燥塔排放的颗粒物主要特点是浓度高、大颗粒较多、含湿率高，颗粒物初始浓度一般在 8000mg/m³~12000mg/m³，其烟气温度一般在 80~115℃。排放的 SO₂ 主要来源燃料，排放浓度取决于燃料中的硫的成分多少，其中使用天然气的喷雾干燥塔 SO₂ 排放浓度较低，而以煤为燃料的喷雾干燥塔所产生的 SO₂ 初始浓度约 2000mg/m³。

(2) 窑炉

窑系统是主要的烧成设备，根据设定的温度制成、气氛制度和压力制度等对

生坯进行高温焙烧，使之发生质变成为预定的形状、结构和性能的陶瓷产品。陶瓷产品根据设计要求、性能要求，可采用一次烧成和多次烧成。烧成设备包括隧道窑、辑道窑、梭式窑等，排放的常规大气污染物包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物，部分使用重金属坯料和大部分使用釉料的生产线涉及铅及化合物、氟化物、氯化物（HCl 计）等的排放。SO₂主要来自于含硫燃料、其次来自原料的含硫杂质。对于窑陶瓷窑炉控制 NO_x 减排，主要控制燃料型 NO_x，其次是热力型 NO_x。

4.3 陶瓷行业大气污染物控制措施

陶瓷工业企业使用无毒、低毒或少害的辅料替代含铅、镉等有毒有害物质的色、釉料及其他辅助添加剂，采用低硫、低氯、低氟、低挥发性有机化合物等的原料和添加剂。

陶瓷工业企业使用天然气等清洁能源，窑炉应采用保温、密闭性好的设备，高温废气采取热交换技术回收热能，提高能源的使用效率，减少污染物的排放。

干粉状物料的输送设备宜密封并处于负压状态运行，减少污染物外泄。

原料、成品和固体废弃物运输应遮盖防止洒落，堆场应设置围墙和顶盖，内配套全覆盖的雾炮或其他喷淋抑尘设施，厂房、料棚四面封闭，通道口安装卷帘门、推拉门等封闭性良好且便于开关的硬质门，料棚出口设置车辆自动冲洗装置。

厂区内物料运输采用封闭的皮带通廊或管状带式输送机输送，所有落料位置设置集气装置并配套除尘设施；皮带输送机受料点、卸料点应设置封闭罩，并配套除尘设施；厂区内禁止汽车、装载机露天装卸及倒运物料。

干磨、制粉、筛分、混合、配料、搅拌、吹扫、吹坯、打磨、吹车、修坯等产尘工序需在封闭车间进行，可封闭工序应封闭处理，建设独立操作间、操作厨等，安装集气装置并配套除尘设施。

施釉工序应设置于封闭工作间，封闭工作间呈微负压，废气集中收集，经过除尘设施处理。

干法除尘器卸灰不直接卸落到地面，卸灰区封闭；除尘灰采用气力输送、罐车等密闭方式运输；采用非密闭方式运输的，车辆应苫盖，装卸车时应采取加湿等措施抑尘。

根据企业废气特性、排放规律及排放要求，综合考虑脱硫、脱硝药剂的来源、副产物的处置途径，优先采用成熟、先进、高效、安全、经济的处理工艺。

4.3.1 颗粒物治理设施

废气中烟粉尘处理方式主要有袋式除尘器 (>99%)、静电除尘器 (>99%)、电袋复合除尘器 (70%~80%)、湿式除尘技术 (>90%)、机械除尘器 (40%~70%);此外,袋式除尘器、静电除尘器、电袋复合除尘器、湿式除尘器等除了能收集颗粒物外,还能协同捕集重金属等污染物。

(1) 袋式除尘器

袋式除尘器是一种干式滤尘装置。滤料使用一段时间后,由于筛滤、碰撞、滞留、扩散、静电等效应,滤袋表面积聚了一层粉尘,这层粉尘称为初层,在此以后的运动过程中,初层成为滤料的主要过滤层,依靠初层的作用,网孔较大的滤料也能获得较高的过滤效率。随着粉尘在滤料表面的积聚,除尘器的效率和阻力都相应的增加,当滤料两侧的压力差很大时,会把有些已附着在滤料上的细小尘粒挤压过去,使除尘器效率下降。另外,除尘器的阻力过高会使除尘系统的风量显著下降。因此,除尘器的阻力达到一定数值后,要及时清灰。清灰时不能破坏初层,以免效率下降。

(2) 静电除尘器

静电除尘器正极由不同几何形状的金属板制成,叫集尘电极。静电除尘器的性能受粉尘性质、设备构造和烟气流速等三个因素的影响。粉尘的比电阻是评价导电性的指标,它对除尘效率有直接的影响。比电阻过低,尘粒难以保持在集尘电极上,致使其重返气流。比电阻过高,到达集尘电极的尘粒电荷不易放出,在尘层之间形成电压梯度会产生局部击穿和放电现象。这些情况都会造成除尘效率下降。静电除尘器的电源由控制箱、升压变压器和整流器组成。电源输出的电压高低对除尘效率也有很大影响。因此,静电除尘器运行电压需保持 40-75kV 乃至 100kV 以上。

(3) 电袋复合除尘器

电袋复合除尘器采用高频高压电源供电、整体式布局,电、袋区过度结构等多项特色技术,电袋复合除尘器充分发挥静电除尘器和布袋除尘器的优点,有效地弥补了两种除尘器的缺点,电袋复合除尘器除尘效率高、设备阻力低,滤袋寿命长。具有运行维护费用低、占地面积小等节能和高可靠性特点。

(4) 湿式除尘技术

湿式除尘是利用洗涤液(一般为水)与含尘气体充分接触,将尘粒洗涤下来而使气体净化的方法。这种除尘方式的效率高,除尘器结构简单,造价低,占地面积小,操作维修方便,特别适宜于处理高温、高湿、易燃、易爆的含尘气体。此外,在除尘的同时还能除去部分气态污染物。因此广泛应用于工业生产的各部门的空气污染控制与气体净化。需对洗涤后的含尘污水、污泥进行处理;处理净化含有腐蚀性的气态污染物时,洗涤水将具有一定程度的腐蚀性,设备易受腐蚀,应采取防腐措施,比一般干式除尘器的操作费用要高。

(5) 机械除尘器:

机械式除尘器是依靠机械力(重力、惯性力、离心力等)将尘粒从气流中去除的装置。结构简单,设备费和运行费均较低,但除尘效率不高。按出尘粒的不同可设计为重力尘降室、惯性除尘器和旋风除尘器。适用于含尘浓度高和颗粒力度较大的气流。广泛用于除尘要求不高的场合或用作高效除尘装置的前置预除尘器。

4.3.2 二氧化硫治理设施

SO₂末端处理技术,主要包括:①湿法抛弃法:石灰石/石灰法、双碱法、加镁的石灰石/石灰法、碳酸钠法、海水法等。②湿法回收法:有氧化镁法、钠碱法、柠檬酸盐法、氨法、碱式硫酸铝法。③干法抛弃法:主要有喷雾干燥法;④干法回收法:主要有活性炭吸附法。通常干法和湿法工艺的效率通常在60~85%之间。而湿法脱硫工艺的效率可达95%以上。陶瓷窑和喷雾干燥塔的二氧化硫主要来自燃料,主要采用湿法脱硫,其中单碱法(>95%)、石灰石-石膏法(>95%)、双碱法(>95%)、喷雾干燥法(>80%)。

单碱法脱硫:采用钠碱或钙碱等制成吸收液,烟气中的SO₂与脱硫剂进行反应后去除,饱和吸收液经处理后上清液回用。单碱法脱硫率较高,成本较低,流程短。石灰石-石膏法,采用石灰石作为脱硫剂。

双碱法(Na₂CO₃/Ca(OH)₂)在石灰法基础上结合钠碱法,在吸收塔内部采用钠碱吸收SO₂,吸收后的脱硫液在再生池内利用廉价石灰进行再生,从而使得钠离子循环利用。

石灰石-石膏法:石灰石-石膏法采用石灰石作为脱硫剂,石灰石经碎磨成细粉与水混合制成吸收浆液。在吸收塔内,石灰石浆与烟气接触混合,烟气中的

SO₂与浆液中碳酸钙及鼓入的氧化空气进行化学反应,反应产物为硫酸钙-石膏被脱除。石膏浆液经脱水后回收。脱硫效率可高于95%。

4.3.3 氮氧化物治理设施

NO_x控制技术: SNCR 选择性非催化还原(50%~70%)、SCR 选择性催化还原(80%~90%);湿法多污染物协同控制技术:目前国内研发的尿素湿法多污染物协同控制技术是以尿素/碱/添加剂为吸收剂,通过吸收剂与烟气在高效吸收塔中同时得到高效净化。该技术可实现脱销效率达到50%以上,同时脱硫效率达到95%以上。

SNCR 选择性非催化还原烟气脱销技术:目前主要的烟气脱硝技术之一,在炉膛850~1000℃这一狭窄的温度范围内,在无催化剂作用下,NH₃或尿素等氨基还原剂可选择性地还原烟气中的NO_x,基本上不与烟气中的O₂作用。还原剂与烟气中的NO_x发生还原反应,脱除NO_x,生成N₂和H₂O。SNCR的优点包括:①SNCR技术应用在大型煤粉锅炉上,长期现场应用一般能够达到30~50%的脱销率,在循环硫化床锅炉上增设SNCR装置通常可达到60%以上的脱硝效率。②还原剂多样,SNCR常用的还原剂包括氨、氨水、尿素,但效果好、实际应用最广泛的是氨水和尿素。③无二次污染,SNCR技术是一项清洁的技术,没有固体或液体的污染或副产物生成,无二次污染。④经济性好,由于SNCR不需要昂贵的催化剂,其投资成本和运行成本较低。

SCR 选择性催化还原烟气脱销技术:SCR脱销技术是还原剂(NH₃、尿素)在催化剂作用下,选择性的与NO_x反应生成N₂和H₂O,而不是被O₂所氧化,故称为“选择性”,一般要求反应温度在280~420℃。SCR脱销装置主要由氨气供应储存系统、稀释空气系统、烟道系统、氨喷射系统、SCR反应器、催化剂、吹灰器等组成。液氨由槽车运送到液氨储罐,液氨储槽输出的液氨在蒸发器内蒸发为氨气,并将氨气加热到常温后,送到氨气缓冲罐备用。氨气缓冲罐的氨气经调压阀减压后,通过喷氨格栅的喷嘴喷入烟气中与烟气混合,再经静态混合器混合后进入催化反应器。当达到反应温度且与氨气充分混合的烟气流经SCR反应器的催化层时,氨气与NO_x发生催化氧化还原反应,将NO_x还原为无害的N₂和H₂O。SCR有点是由于使用了催化剂,故反应温度较低,净化效率高,可达到85%以上,工艺设备紧凑,运行可靠,还原后氨气放空,无二次污染。

4.3.4 重金属治理设施

重金属主要包括铅、镉、镍及其化合物。陶瓷工业产生的铅蒸气凝结为铅烟或形成铅尘、铅烟和铅尘易经呼吸道吸入。呼吸所吸入的镉约 50% 被吸收，长久吸入镉蒸汽，会引起肺气肿及慢性阻塞性肺疾，另外镉也是致癌物质。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。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能开形成肺癌、喉癌和鼻咽癌。大多数陶瓷原料中重金属的含量均比较低，重油和固体燃料也可能含有浓度比较低的镍和铅，但一般不会存在向大气释放问题。然而，陶瓷色、釉料常含有重金属。釉料配方中常加入一些有毒化工原料，如：铅丹、氟化钠、氟硅酸钠及稀土元素等。陶瓷釉上或釉下装饰常常在花纸、颜料中加入铅和镉等重金属，这些重金属在烤花过程中形成蒸汽排放到大气中。对于陶瓷生产烤花过程中产生的铅、镉、钴、镍及其化合物可采用袋式除尘器进行处理。但是，目前我国已有企业生产出无铅镉颜料，如东莞金义发陶业颜业颜料有限公司生产的无铅镉釉上彩颜料系列，含铅量少于 0.001mg/m²，含镉量少于 0.0003mg/m²。

4.3.5 氟化物、氯化物治理设施

氟化物是陶瓷生产特征大气污染物之一。如果未经处理直接排放到大气中，将会对臭氧层造成破坏。目前，对于陶瓷废气中氟化物的治理，主要采用的处理技术见表 4-5 和表 4-6。氯化物也是陶瓷生产特征大气污染物之一，采用石灰床吸附系统处理卫生洁具生产产生的废气，处理后的氯化物 (以 HCl 计)浓度可达到 0.8mg/m³。

表 4-5 陶瓷废气净化技术及处理效率

采用技术	叠层型填充吸附器	叠层型填充床吸附器	叠层型填充床吸附器	干式废气净化过滤器	干式废气净化过滤器	湿式废气净化	湿式废气净化
吸收剂	CaCO ₃	改良 CaCO ₃	改良 CaCO ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	水/Ca(OH) ₂ 或 CaCO ₃	氢氧化钠
处理效率%	90~99	最高达 99	最高达 99	80~96	>95	92~99	98

表 4-6 陶瓷废气处理 HCl 净化技术及处理效率

采用技术	叠层型填充吸附器	叠层型填充床吸附器	叠层型填充床吸附器	干式废气净化过滤器	干式废气净化过滤器	湿式废气净化	湿式废气净化
采用技术	叠层型填充吸附器	叠层型填充床吸附器	叠层型填充床吸附器	干式废气净化过滤器	干式废气净化过滤器	湿式废气净化	湿式废气净化

吸收剂	CaCO ₃	改良 CaCO ₃	改良 CaCO ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	水/Ca(OH) ₂ 或 CaCO ₃	氢氧化 钠
处理效率%	50	>50	50	10~85	89	50~95	90~98

4.2.6 无组织排放控制

陶瓷工业的粉尘无组织排放是一个突出的环境问题，采取密闭作业可有效予以解决。例如有些先进陶瓷企业采用封闭物料输送、帐篷式预均化库，有效控制了扬尘。当然也可根据实际情况采取其他措施，如封闭式料棚、洒水、合理的工艺布置、适当维护、加强清扫管理等。通过对这些措施的综合使用，可有效降低粉尘无组织排放。

4.4 四川省治理设施安装情况

根据 2020 年四川省大气污染源排放清单系统填报数据，图 4-3、4-4 和 4-5 分别为陶瓷行业炉窑脱硫、除尘及脱硝工艺设施安装情况。陶瓷行业炉窑主要以脱硫除尘为主，部分陶瓷喷雾干燥塔（窑）等燃烧烟气安装脱硝设施。其中，脱硫技术方面大多选择企业选择石灰石-石膏法和双碱法脱硫技术，占比分别为 66%、24%。

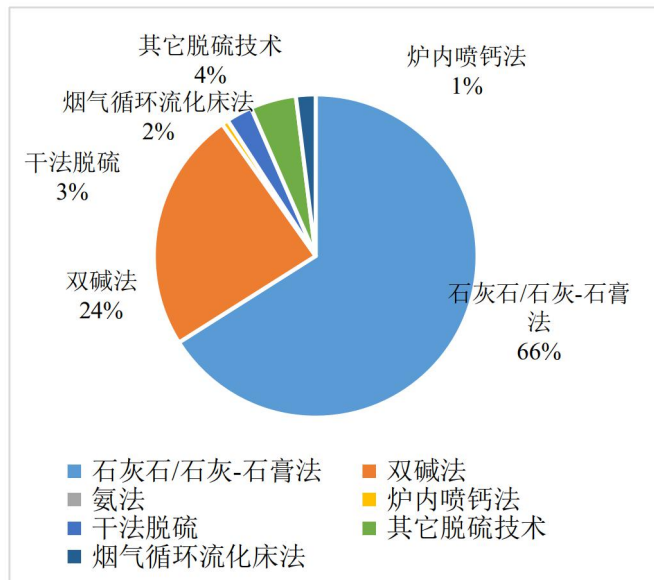


图 4-3 四川省陶瓷企业脱硫设施安装情况

除尘工艺的选择上，陶瓷行业以布袋除尘为主，占除尘技术的 59%。陶瓷行业烟气含湿量较小，含有矿物颗粒的烟尘较易被布袋捕获截留，选择布袋除尘工艺除尘效率能得到保障。湿法除尘、布袋除尘+旋风除尘、其他除尘技术分别占比 9%、2%和 2%。目前还有 27%的陶瓷生产线窑炉未安装除尘设施，主要集中在

在日用陶瓷、卫生陶瓷以及园林艺术陶瓷企业，燃料均以天然气为主，烟尘排放量总体较小。

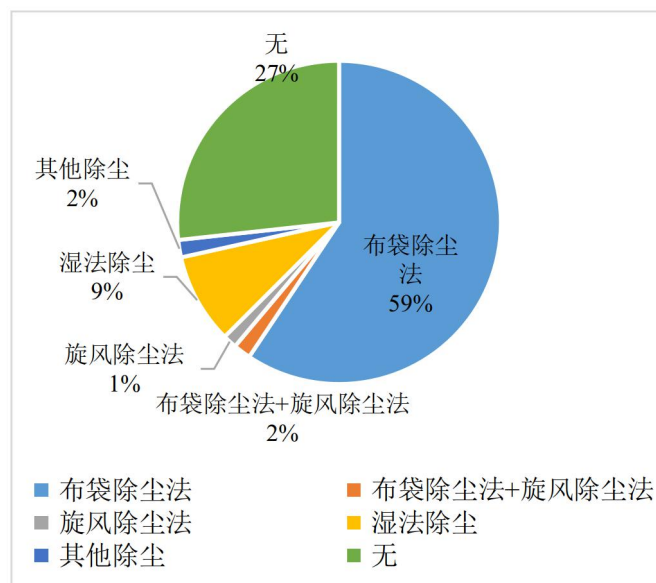


图 4-4 四川省陶瓷企业除尘设施安装情况

目前四川省陶瓷烧成窑主要以天然气为主，烧成窑烟气颗粒物和二氧化硫排放浓度较低，但建筑陶瓷干燥窑目前大多数使用低硫煤，脱硝设施或低氮燃烧器往往是保证燃烧烟气氮氧化物达标的重要手段，目前脱硝设施安装率较低，全省安装脱硝设施的生产线仅 49 条，主要集中在乐山夹江县，脱硝工艺均为 SNCR。

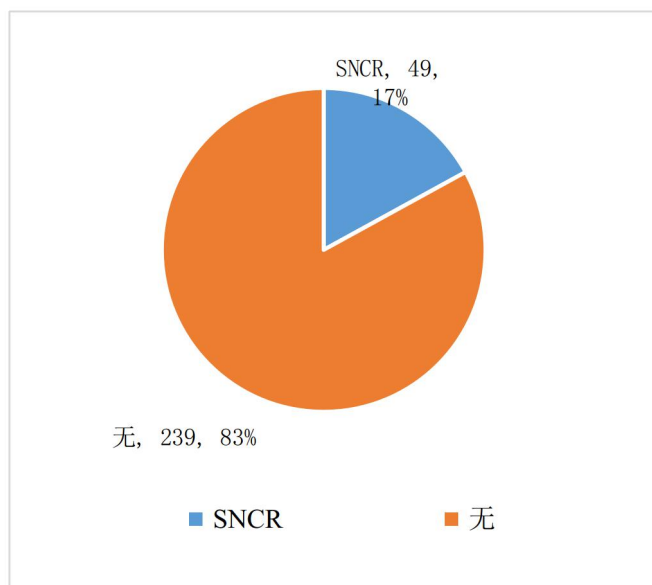


图 4-5 四川省陶瓷企业脱硝设施安装情况

4.5 四川省陶瓷行业大气污染物排放量

根据 2020 年四川省大气污染源排放清单系统填报数据，结合陶瓷企业活动

水平计算 2020 年陶瓷行业污染物排放量，SO₂ 排放量 13820.1 吨，NO_x 排放量 57537.0 吨，PM_{2.5} 排放量 1552.0 吨，PM₁₀ 排放量 4324.6 吨，其中 NO_x 排放量占四川省建材行业总排放量的 39.1%。乐山市、眉山市为四川省陶瓷企业污染物排放量较大的两个城市，其中 SO₂ 排放量分别占陶瓷行业总排放量的 45.0%、20.6%，NO_x 排放量分别占陶瓷行业总排放量的 58.9%、19.6%，PM₁₀ 排放量分别占陶瓷行业总排放量的 29.6%、13.7%，PM_{2.5} 排放量分别占陶瓷行业总排放量的 30.0%、12.9%。

表 4-7 各市州陶瓷行业 2020 年污染物排放量（吨/年）

城市	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
成都市	426.8	921.6	23.4	7.4
自贡市	605.7	2567.5	44.8	17.4
攀枝花市	4.9	54.0	0.1	0.0
泸州市	265.1	338.8	137.6	38.9
德阳市	8.6	19.6	7.1	2.0
绵阳市	5.9	16.2	0.0	1.1
广元市	0.0	0.0	0.0	0.0
遂宁市	0.0	0.0	0.0	0.0
内江市	1715.6	2692.5	1099.7	399.4
乐山市	6224.1	33913.0	1279.1	464.9
南充市	0.0	0.0	0.0	0.0
眉山市	2845.8	11298.0	592.8	200.7
宜宾市	1533.2	4067.2	1109.9	411.0
广安市	98.3	694.0	28.9	8.4
达州市	85.9	953.8	1.0	0.6
雅安市	0.4	0.8	0.4	0.1
巴中市	0.0	0.0	0.0	0.0
资阳市	0.0	0.0	0.0	0.0
阿坝州	0.0	0.0	0.0	0.0
甘孜州	0.0	0.0	0.0	0.0
凉山州	0.0	0.0	0.0	0.0
合计	13820.1	57537.0	4324.6	1552.0

4.6 四川省陶瓷行业主要问题分析

(1) 环保设施投入不足

烧成窑炉及燃煤为主的干燥塔，虽然对各产尘工序基本均采取了布袋除尘器等收尘措施，但烟气相应的脱硫脱硝除尘设施安装率仍有不足，特别是脱硝设施安装上还有很大提升空间。

(2) 无组织排放管控不到位

近几年随着大气污染防治要求的提高,全省陶瓷企业有组织污染浓度实现达标排放,但部分企业无组织排放管理不到位,主要表现在:煤场和原料储存、装卸区未采取全封闭,物料周转频繁,导致堆场无组织排放明显;在物料制备、配料和输送系统未采取半封闭化管理,原煤、硬质料和软质料在破碎、筛分转运过程中易产生颗粒物无组织排放;同时,产品制备成型工序以及釉料配置过程、成型修坯、打边抛光等工序均存在无组织排放。

5、标准制定的原则和依据

5.1 标准制定的原则

(1) 衔接性原则

以国家标准《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010)(2014年修改单)为基础,结合国家和地方相关法律法规,制定污染物排放限值,与国家标准相当或严于国家标准。

(2) 先进性原则

研究国内外发达地区陶瓷行业污染控制技术发展状况,结合国内工艺和技术发展现状,基于本地实际情况,以促进环保技术进步为原则,制定此标准。

(3) 可行性原则

结合本地区污染水平和治理能力,充分衡量客观科学、技术可行、经济合理、操作可行四方面,制定排放标准,促进经济与环境协调发展。

5.2 标准制定的依据

标准制定符合现行法律、法规和标准体系的要求,主要依据为:中华人民共和国环境保护法、中华人民共和国大气污染防治法、陶瓷工业大气污染物排放标准等。

6、标准主要技术内容

6.1 适用范围

本标准规定了四川省陶瓷工业企业的大气污染物排放限值、控制要求、污染物监测要求及实施与监督等相关规定。

本标准适用于陶瓷工业的大气污染物排放控制与管理。适用于现有、新建、

改建及扩建的陶瓷工业企业或生产设施建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、环境保护竣工验收、排污许可及其投产后的大气污染物排放管理。

本标准不适用于陶瓷原辅材料的开采及初加工过程的大气污染物排放管理。

本标准适用于法律允许的污染物排放行为。新设立污染源的选址和特殊保护区域内现有污染源的管理，按照《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国环境影响评价法》等法律、法规和规章的相关规定执行。

6.2 标准内容框架

6.2.1 标准文本包括的主要章节内容

本标准正文由 6 部分组成，包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、大气污染物排放控制要求、大气污染物监测要求、实施与监督。

大气污染物排放控制要求是本标准的重点，主要技术内容包括三部分：

(1) 大气污染物排放限值

根据前述生产工艺与污染物排放分析，区分“陶瓷烧成和烤花工序的辊道窑、隧道窑、梭式窑”、“喷雾干燥塔、干燥窑（室）”、“原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备”三类不同性质的生产设备，其中干燥窑（室）采用独立热源加热的情形。它们执行不同的污染物控制项目与考核指标。

(2) 无组织排放限值

无组织排放是陶瓷工业大气污染物排放的重要形式。在原料干磨、制粉、筛分、混合、配料、搅拌、修坯、釉料配料等生产环节，喷雾干燥、成型、机械吹干等工序，施釉工序，成型过程、陶瓷烧成和厂区道路等方面防止无组织排放，针对无组织排放相关污染物项目及浓度限值、排放监控位置等作出要求。

(3) 废气收集、处理与排放

包括无组织排放控制措施、废气收集处理要求、净化处理装置与生产工艺设备同步运转的要求，以及排气筒高度要求等。

6.2.2 与国家标准对比修订的主要内容

本标准与 GB25464-2010 相比，主要修订内容如下：

(1) 修改了陶瓷窑、喷雾干燥塔的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物（以 NO₂ 计）大气污染物排放浓度限值；

- (2) 修改了厂界颗粒物无组织排放浓度限值；
- (3) 取消了不同燃料类型；
- (4) 增加了无组织排放控制要求；
- (5) 修订了 2 种监测方法，增加了 11 种监测方法，取消了规范性引用文件的版本号，其更新版本适用于本标准；

6.3 污染物项目及考核指标

6.3.1 污染物项目

(1) 生产环节：区分“陶瓷烧成和烤花工序的辊道窑、隧道窑、梭式窑”、“喷雾干燥塔、干燥窑（室）”、“原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备”三类不同性质的生产设备

(2) 辊道窑、隧道窑、梭式窑执行颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、烟气黑度、重金属、氟化物、氯化物、氨浓度等；

(3) 喷雾干燥塔、干燥窑（室）执行颗粒物、二氧化硫、氮氧化物，烟气黑度等；

(4) 其他通风生产设备执行颗粒物控制项目；

(5) 企业边界无组织排放颗粒物控制项目。

6.3.2 污染物考核指标

考虑到生产工艺情况、防止稀释排放的环境管理要求，以及标准的前后衔接等，本标准对受控设施的大气污染物排放，规定了最高允许排放浓度指标。

(1) 陶瓷工业干燥塔、干燥窑（室）、烤花及烧成窑排气，应同时对排气中含氧量进行监测，实测大气污染物排放浓度应按公式以下换算为基准含氧量状态下的基准排放浓度，并以此作为判定排放是否达标的依据。其他车间或生产设施排气按实测浓度计算，但不得人为稀释排放。

$$C_{基} = \frac{21 - O_{基}}{21 - O_{实}} \times C_{实}$$

式中：

$C_{基}$ ——大气污染物基准排放浓度， mg/m^3 ；

$C_{实}$ ——实测大气污染物排放浓度， mg/m^3 ；

$O_{基}$ ——基准含氧量百分率，基准含氧量为 16%；

$O_{\text{实}}$ ——实测含氧量百分率。

(2) 其他车间或生产设施排气按实测浓度计算，但不得人为稀释排放。

7、标准限值与规定的制定依据

本标准的污染物排放限值包括两类：一是最高允许排放浓度限值；二是无组织排放监控点浓度限值。

通过对成都、乐山、宜宾、眉山等城市的陶瓷企业开展实测和调研，共获取 40 家陶瓷生产企业 52 条生产线排放信息，其中建筑陶瓷生产线 40 条，日用陶瓷生产线 5 条，卫生陶瓷 3 条，特种陶瓷 3 条，文化陶瓷 1 条，编制组对 30 条生产线开展了实测。测试指标包括各工序有组织颗粒物、SO₂、NO_x、氯化氢、氟化物、铅及其化合物、氨、挥发性有机物等，以及无组织颗粒物、VOCs 等排放浓度。调研信息包括产品产量、在线监测、污染控制技术 & 投资等。

表 7-1 本次标准制定调查测试企业情况

企业	城市	区县	规模 (万立方米/年)	生产线条数 (条)	陶瓷类型
企业 1	乐山市	夹江县	1200	2	建筑陶瓷
企业 2	乐山市	夹江县	900	1	建筑陶瓷
企业 3	乐山市	夹江县	1200	1	建筑陶瓷
企业 4	乐山市	夹江县	2350	2	建筑陶瓷
企业 5	乐山市	夹江县	600	1	建筑陶瓷
企业 6	乐山市	夹江县	600	1	建筑陶瓷
企业 7	乐山市	夹江县	750	1	建筑陶瓷
企业 8	乐山市	夹江县	600	1	建筑陶瓷
企业 9	乐山市	夹江县	1500	2	建筑陶瓷
企业 10	乐山市	夹江县	1000	2	建筑陶瓷
企业 11	乐山市	夹江县	800	1	建筑陶瓷
企业 12	乐山市	夹江县	800	1	建筑陶瓷
企业 13	乐山市	夹江县	1500	2	建筑陶瓷
企业 14	乐山市	夹江县	150	1	建筑陶瓷
企业 15	乐山市	夹江县	1500	2	建筑陶瓷
企业 16	乐山市	夹江县	200	1	建筑陶瓷
企业 17	乐山市	夹江县	600	1	建筑陶瓷
企业 18	乐山市	夹江县	400	1	建筑陶瓷
企业 19	乐山市	夹江县	200	1	建筑陶瓷
企业 20	乐山市	夹江县	600	1	建筑陶瓷
企业 21	眉山市	丹棱县	240	1	建筑陶瓷
企业 22	眉山市	丹棱县	700	2	建筑陶瓷
企业 23	眉山市	丹棱县	560	1	建筑陶瓷

企业 24	眉山市	丹棱县	1500	3	建筑陶瓷
企业 25	眉山市	丹棱县	1600	2	建筑陶瓷
企业 26	眉山市	丹棱县	900	1	建筑陶瓷
企业 27	眉山市	丹棱县	580	1	建筑陶瓷
企业 28	眉山市	丹棱县	200	1	建筑陶瓷
企业 29	眉山市	丹棱县	300	1	建筑陶瓷
企业 30	宜宾市	珙县	900	1	建筑陶瓷
企业 31	成都市	彭州市	60 万件/年	1	日用陶瓷
企业 32	成都市	彭州市	80 万件/年	1	日用陶瓷
企业 33	成都市	彭州市	60 万件/年	1	日用陶瓷
企业 34	成都市	彭州市	120 万件/年	1	日用陶瓷
企业 35	成都市	彭州市	200 万件/年	1	日用陶瓷
企业 36	成都市	彭州市	65 万套/年	1	卫生陶瓷
企业 37	成都市	彭州市	60 万套/年	1	卫生陶瓷
企业 38	成都市	彭州市	120 万件/年	1	卫生陶瓷
企业 39	宜宾市	叙州区	2953 万件/年	3	特种陶瓷
企业 40	成都市	彭州市	120 万件/年	1	文化陶瓷



图 7-1 现场测试



图 7-2 本省企业调研



图 7-3 外省企业调研

7.1 大气污染物有组织排放限值的确定

7.1.1 颗粒物

通过对调研实测与收集到的陶瓷企业在线监测数据进行分析,其中图 7-4(左)为通过手工实测的 1 小时浓度均值。从实测的结果来看, 43.3% (13 条生产线) 颗粒物实测浓度低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$, 33.3% (10 条生产线) 的颗粒物实测浓度高于 $20\text{mg}/\text{m}^3$, 高于当前标准 ($30\text{mg}/\text{m}^3$) 的陶瓷企业占总样本的 16.7% (5 条生产线)。而图 7-4 (右) 为陶瓷企业在线颗粒物日均值浓度, 由图中可见超过 90% 的时间企业的颗粒物排放浓度低于 $20\text{mg}/\text{m}^3$, 其中浓度低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 占 63.3%, 几乎所有时间段企业均能达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 的国标要求。

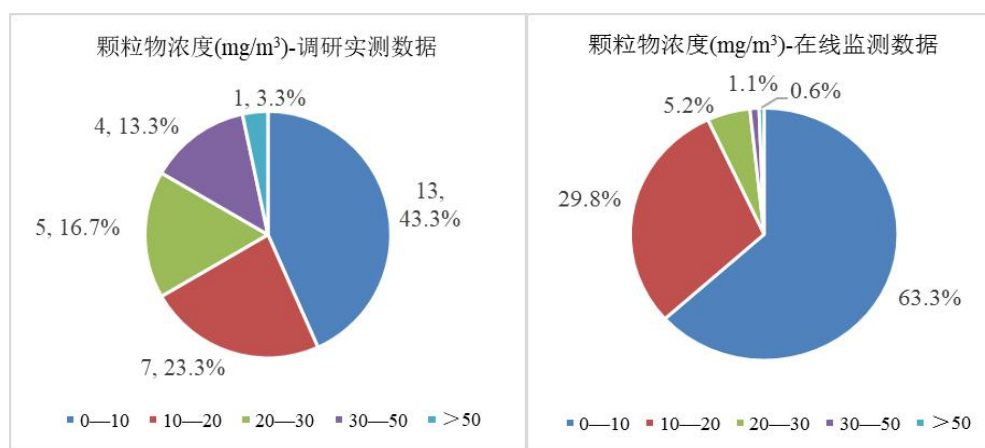


图 7-4 颗粒物浓度分布图

陶瓷工业颗粒物(烟尘)主要来源于陶瓷燃料、陶瓷原料和陶瓷坯体附着的颗粒物。陶瓷制品制造业窑炉颗粒物初始浓度常见范围在 $15\sim 200\text{mg}/\text{m}^3$, 通过袋式除尘、静电除尘等尾气处理手段, 除尘效率能达到 90% 以上, 颗粒物的排放水平可低 $10\text{mg}/\text{m}^3$, 技术上将陶瓷工业颗粒物排放浓度控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 不存在问题。

测试的 30 条窑炉和烘干工序均采用天然气或煤气, 通过检测数据统计, 废气中颗粒物排放浓度在 $2.6\sim 53.9\text{mg}/\text{m}^3$ 之间。其中 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下的生产线 13 条, 对应的治理状况均为布袋除尘(含日用卫生陶瓷-无措施/水喷淋); $10\sim 30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下的生产线 12 条, 对应的治理措施为布袋、旋风、湿法除尘; 高于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 的生产线 5 条, 对应的治理措施为布袋除尘或重力除尘。

因此, 综合颗粒物排放浓度现状分析可以得出, 排放限值确定在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 能同时保证预期企业的达标率, 其次通过提高除尘标准, 淘汰落后低效的除尘器, 建设布袋、湿电等高效除尘器, 同时提高除尘器运行维护与管理, 大部分企业可

做到 10mg/m³ 以下达标排放。

7.1.2 氮氧化物

通过对调研实测与收集到的陶瓷企业在线监测数据进行分析，从实测的结果图 7-5（左）来看，23.3%（7 条生产线）的陶瓷企业 NO_x 实测浓度高于 100mg/m³，高于当前标准（180mg/m³）的陶瓷企业占总样本的 3.3%（1 家，干燥塔和烧成窑炉烟气综排），排放浓度在 100mg/m³ 以上的未上 SNCR 措施或者 SNCR 脱硝设施未运行，由图 7-5（右）企业氮氧化物在线监测数据可见超过 90% 的企业的氮氧化物排放浓度低 100mg/m³，所有企业均能达到 180mg/m³ 的国标要求。

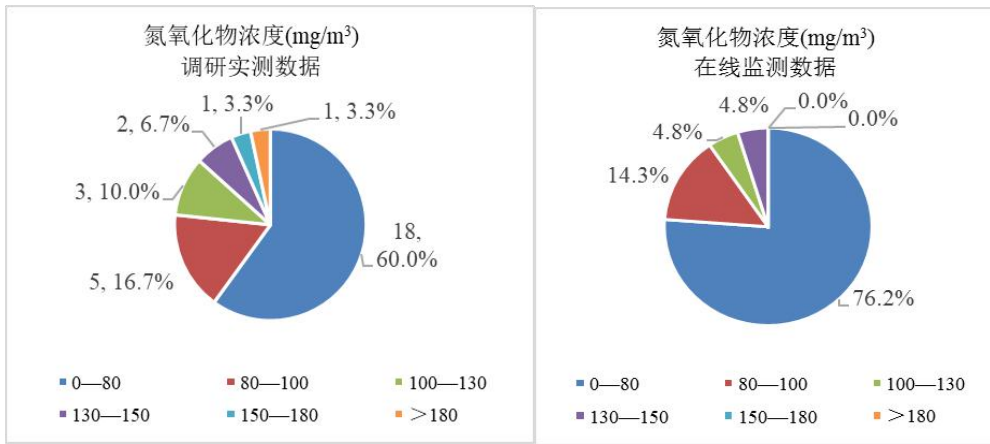


图 7-5 氮氧化物浓度分布图

我们对实测氮氧化物浓度低于 100 mg/m³ 的 23 条生产线（76.6%）进一步分析，其中 0~50 mg/m³ 范围的生产线 5 条，占比 16.7%，对应的氮氧化物治理措施为 4 条建筑陶生产线为 SNCR、1 条为卫生陶瓷生产线（无脱硝措施）；50~80 mg/m³ 范围的生产线 13 条，占比 43.3%，对应的治理措施为 11 条建筑陶瓷生产线为 SNCR、2 条日用卫生陶瓷（无脱硝措施）；80~90 mg/m³ 范围的生产线 3 条，对应的治理措施为 2 条建筑陶瓷生产线为 SNCR、1 条卫生陶瓷（无脱硝措施）；90~100 mg/m³ 范围的生产线 2 条，对应的治理措施为 2 条建筑陶瓷生产线为 SNCR。可以看出在 30 条氮氧化物浓度实测生产线中，浓度低于 90 mg/m³ 占比 70%，浓度低于 80 mg/m³ 占比达 60%，浓度低于 70 mg/m³ 占比为 40%。

陶瓷烟气的氮氧化物主要由空气中的氮气在高温中反应生成。陶瓷烧成窑的氮氧化物产生水平在 30~250 mg/m³ 范围，喷雾干燥塔在 90~250mg/m³ 范围，SNCR 脱硝技术预期能降解 30%~70%的氮氧化物，理论上设定氮氧化物的浓度稳定控制在 100mg/m³ 在技术上是可行的。进一步结合监测调研数据，采用布袋

除尘器，采用双碱法脱硫，SNCR 脱硝设施的企业，氮氧化物的排放浓度可以控制 70mg/m³ 之内，对此，我们对氮氧化物的标准修订值由国标的 180 mg/m³ 加严至 100 mg/m³，为了体现区域管控差异，浓度限值设定具体为大气污染重点管控区域进一步加严至 70 mg/m³，其他区域为 100 mg/m³，企业可通过末端增加 SNCR 措施，完全可以进一步降低氮氧化物的排放浓度。

7.1.3 二氧化硫

废气中 SO₂ 主要来源于燃料及陶瓷原料中的硫。高温时，原料中一部分硫形成 SO_x 释放到窑炉气中。当陶瓷原料中含有 CaCO₃ 时，CaCO₃ 与 SO_x 反应可减少硫的排放，反应产物留在陶瓷坯体中。陶瓷窑二氧化硫产污浓度常见范围在 10~300 mg/m³ 范围内，喷雾干燥塔在 15~500 mg/m³ 范围内，通过采用干法、半干法、湿法脱硫等措施，二氧化硫的去除率能高于 95%，排放浓度能有效地控制在 30 mg/m³ 以下。

从调研实测的结果来看（图 7-6（左）），90%的陶瓷企业排放浓度在 30mg/m³ 以下，其中安装脱硫设施的企业排放浓度均在 30mg/m³ 以下，说明烟气脱硫工艺已趋成熟。进一步来看，其中低于 25mg/m³ 的生产线为 25 条，占比为 73.3%，25~30mg/m³ 的生产线为 2 条，占比为 6.7%。而从在线监测的结果来看（图 7-6（右）），接近 90%的时间企业 SO₂ 浓度在 30 mg/m³ 以下，对此，我们对 SO₂ 的标准修订值由国标的 50 mg/m³ 加严至 30 mg/m³，限值的加严设定能淘汰一批陶瓷企业落后产能外，同时能保证标准的可操作性。

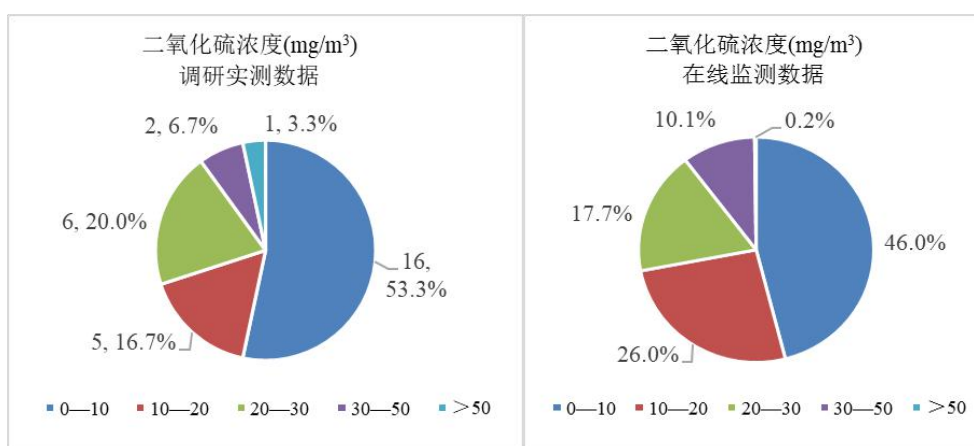


图 7-6 二氧化硫浓度分布图

7.1.4 基准含氧量

根据测试企业实测值，如图 7-7，含氧量在 16.5%~19%之间，本标准基准含

氧量沿用陶瓷工业污染物排放标准（GB 25464-2010）及其修改单（2014 年第 38 号）中的 18%基准含氧量要求。

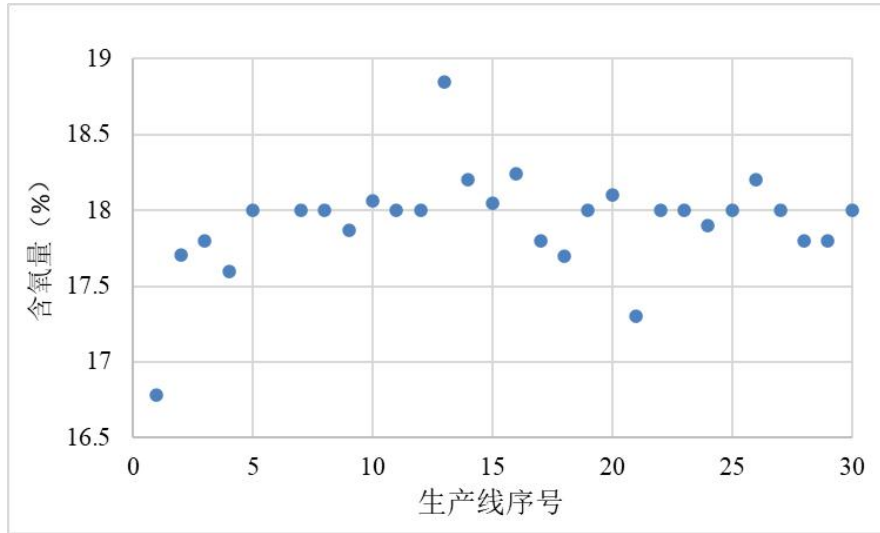


图 7-7 陶瓷企业干燥窑、烧成及烤花窑排气筒氧含量分布情况

7.1.5 铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氟化物、氯化物

氟化物、氯化物、铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物主要为物料或辅料中含有的氯、氟、铅、镉、镍等杂质以及固体燃料燃料中含有镍、铅等重金属物质在窑炉烧制过程中排放，根据《陶瓷工业污染防治可行技术指南》（HJ2304-2008）中最佳可行技术，通过采取原料控制技术（低氟化物、低氯化物和低重金属），铅及其化合物排放浓度小于 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，镉及其化合物小于 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ ，镍及其化合物小于 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，氯化物排放浓度小于 $15\text{mg}/\text{m}^3$ ，氟化物排放浓度小于 $3.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。另外，在烟气脱硫过程中，由于氯化氢、氟化物属于酸性气体，可与碱发生中和反应而得到去除。例如，采用半干法、湿法脱硫，采用碳酸钠作为脱硫剂，对氯化氢、氟化物均有一定的去除效率。

表 7-2 测试企业重金属及氯化氢、氟化物指标浓度范围 单位： mg/m^3

指标	铅及其化合物	镉及其化合物	镍及其化合物	HF	HCL
浓度范围	ND-0.0623	ND-0.009	ND-0.004	0.86-2.81	0.6-52.5

通过对本身陶瓷企业的铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氟化物、氯化物测试，仅一家建筑陶瓷企业氯化物出现超过国家标准情况，为窑炉和喷雾干燥塔烟气综合排放企业。

因此，通过以上分析，本次标准制定铅及其化合物、镉及其化合物、镍及其化合物、氟化物、氯化物排放限值沿用《陶瓷工业污染物排放标准》（GB

25464-2010)及其修改单(2014 年第 38 号)的要求,铅及其化合物排放浓度 0.1mg/m³,镉及其化合物 0.1 mg/m³,镍及其化合物 0.2mg/m³,氟化物排放浓度 3.0mg/m³,氯化物排放浓度 25mg/m³。

7.1.6 烟气黑度

本标准烟气黑度沿用陶瓷工业污染物排放标准 (GB 25464-2010) 及其修改单 (2014 年第 38 号) 的要求,即烟气黑度 (林格曼黑度, 级) 排放标准≤1。

7.1.7 挥发性有机物

陶瓷生产过程中的有组织废气主要来源于喷雾干燥塔干燥过程中的废气和烘干窑、烧成窑煅烧过程的燃料废气。无组织废气涉及到 VOCs 排放的主要有印花、施釉、喷墨等车间,而原料场、配料、喷雾干燥制粉、过筛、粉料压坯、干燥、输送等工序产生的多为粉尘废气。国家标准未对挥发性有机物进行限值管控,因此,本标准分两种不同废气排放类型企业进行调研、采样监测 VOCs 浓度。

监测结果见图 7-8,对各典型陶瓷企业有组织排放口和涉及 VOCs 排放的无组织车间进行监测,环节 TVOC (VOCs 物种加和) 存在一定差异。有组织排放种而言,企业 4 和企业 5 窑炉排放口 TVOC 略高于其他企业有组织排放口,浓度分别为 1733.1μg•m⁻³、1552.7μg•m⁻³,企业 6 窑炉排放的 TVOC 浓度略低,为 558.3μg•m⁻³,喷雾干燥塔排放口而言,企业 5 喷雾干燥塔 TVOC 浓度达 1034.1μg•m⁻³,企业 3 和企业 4 喷雾干燥塔浓度更低。企业 1、企业 2、企业 3 为喷雾干燥制粉废气和窑炉废气混合后,经布袋除尘、单碱脱硫塔处理后排放,其风量明显高于分开车间的风量,同时 TVOC 浓度也低于企业 4、企业 5 单独窑炉排放口,最大浓度为 1069.07μg•m⁻³。整体来看,窑炉排放口 TVOC 平均浓度为 1281.37μg•m⁻³,喷雾干燥塔排放口浓度为 498.47μg•m⁻³,喷雾干燥塔和窑炉汇集处理后排放平均浓度为 760.37μg•m⁻³。车间无组织 TVOC 排放浓度明显低于有组织排放,印花、施釉、喷墨等车间无组织 TVOC 排放浓度为 63.9~352.17μg•m⁻³。

通过测试可以看出陶瓷企业挥发性有机物排放浓度较低,通过根据四川省陶瓷行业 VOCs 排放量实际监测与计算,建筑陶瓷企业 VOCs 排放系数为 0.041~0.194 g•kg⁻¹ (产品),远低于国家排放系数,且国家及其它地区未对挥发性有机物制定限值管控,因此综合考虑本标准不针对挥发性有机物制定限值管控。

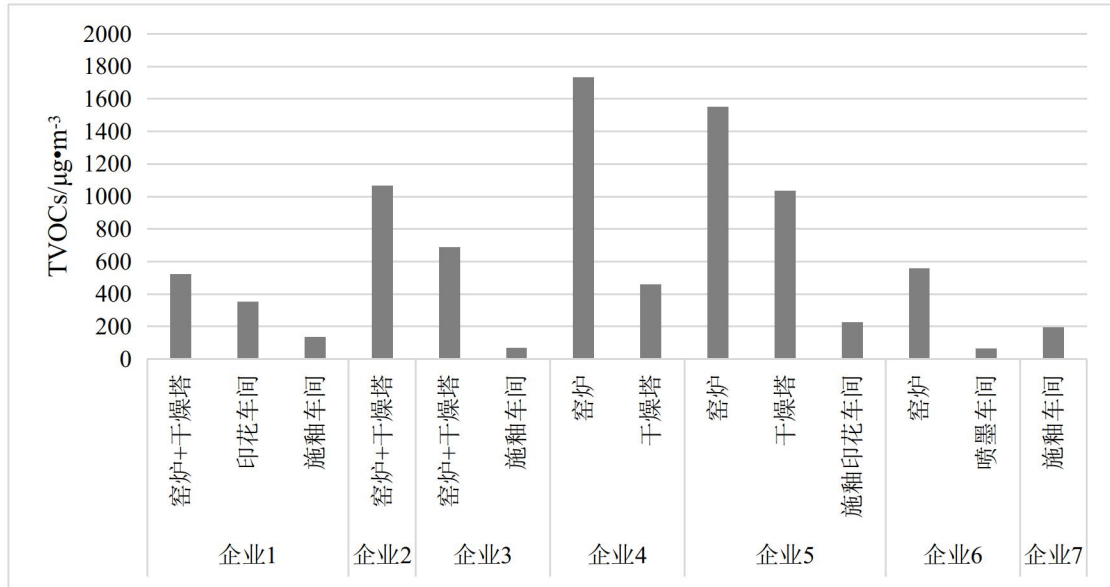


图 7-8 陶瓷企业挥发性有机物监测情况

7.2 原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备排放限值

除陶瓷烤花和烧成窑、干燥窑（室）外，颗粒物还产生于原料的破碎、筛分、成型等过程。比如原料破碎产生的粉尘，原料和煤装卸、转运等过程产生的无组织粉尘；经喷雾干燥后的粉料过筛后通过皮带斗提机输送至粉料仓暂存，再输入压机压制成坯体，压制工段产污主要为粉尘；各原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备用管道组成一个或几个抽风系统，通过抽风机将含尘空气送到除尘器，经处理后达标排放。图 7-9 为原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备颗粒物分布情况。课题组共获取到企业配料工序的颗粒物浓度数据 27 组，数据来自于课题组人员现场实测或企业自行监测报告。大多数颗粒物排放浓度分布在 0-20 mg/m³ 范围内，个别工序颗粒物排放浓度达 29mg/m³。

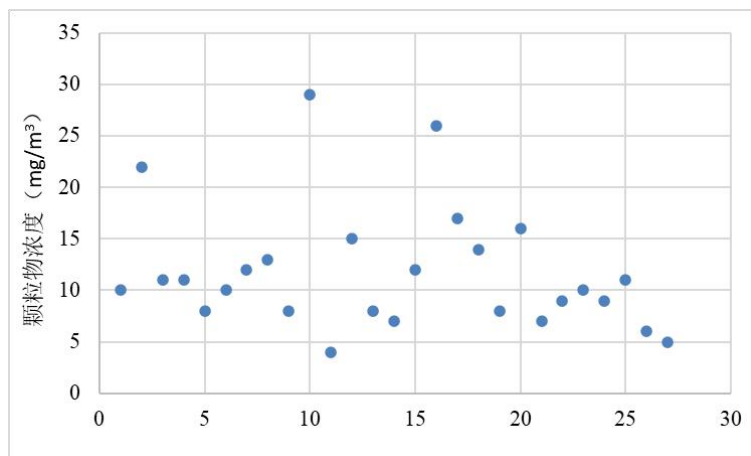


图 7-9 原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备颗粒物监测情况

表 7-9 是原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备颗粒物排放浓度的累积分布，样品数量是 27。可以看出，有 88.9%配料系统产生的颗粒物排放控制在 20 mg/m³ 以下，有 81.5%设备产生的颗粒物排放控制在 15 mg/m³ 以下，有 51.9%的颗粒物达到了 10 mg/m³ 以下，颗粒物平均排放为 11.8mg/m³。本标准将颗粒物排放限值为 10mg/m³。目前，四川省陶瓷生产企业原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备工序产生的颗粒物均采用袋式除尘技术治理，标准提高后，未达到排放限值要求的企业可将现有布袋除尘方式进行升级改造，比如将滤料更换为覆膜滤料、增加除尘室高度、增大除尘器过滤面积等方式，改造完成后颗粒物排放目标浓度均为 10 mg/m³ 以下。

表 7-9 原料破碎、筛分、成型及其它通风生产设备颗粒物排放浓度的累积分布

累计比例	3.7%	33.3%	51.9%	81.5%	88.9%	92.6%	100%
浓度 (mg/m ³)	4	8	10	15	20	26	29

7.3 大气污染物无组织排放限值

《陶瓷工业污染物排放标准》(GB25464-2010) 及其修改单(2014 年第 38 号) 中规定了厂界颗粒物的大气污染物无组织排放浓度限值为 1.0mg/m³，根据编制组现场实测，厂界颗粒物无组织排放浓度在 0.5mg/ m³ 左右，为加强陶瓷工业企业的无组织排放控制，改善周边环境质量，企业厂界颗粒物无组织排放限值标准从现行 1.0mg/m³ 加严至 0.5mg/ m³。

表 7-10 测试企业厂界无组织颗粒物浓度单位：mg/m³

企业	厂界上风向	厂界下风向 01	厂界下风向 02
企业 1	0.087	0.337	0.399
企业 2	0.042	0.071	0.155
企业 3	0.090	0.196	0.136
企业 4	0.048	0.084	0.091
企业 5	0.028	0.076	0.077
企业 6	0.061	0.131	0.271
企业 7	0.032	0.120	0.144
企业 8	0.056	0.200	0.143
企业 9	0.058	0.153	0.179
企业 10	0.101	0.215	0.184
企业 11	0.078	0.250	0.201
企业 12	0.134	0.058	0.289

同时参考大气污染物排放标准体系方法,新增陶瓷工业企业大气污染物无组织排放监控点车间及露天作业场所周边浓度限值设定为 1.0 mg/m^3 。氨的排放标准参考河北省和山东省规定限值,为 8.0mg/m^3 。因本次测试了 6 家陶瓷企业的氨逃逸有组织排放浓度,6 家企业均未测出排放浓度值,对此综合考虑进一步加严重点区域规定规定限值,为 5.0mg/m^3 。

7.4 技术与管理规定

7.4.1 无组织排放控制

陶瓷行业主要生产工艺基本相同,但细节可能有较大的区别。陶瓷是传统建筑材料产业,大量消耗无机非金属矿物,工艺过程易造成无组织排放且难于管控。无组织排放的工序主要包括:原料粉碎、成型、干燥、烧成、检验、包装等。现阶段,由于厂界无组织排放监管存在一定的难度,需要提出具体的控制措施要求。

为实现无组织排放的有效控制,配料、球磨、喷雾干燥、成型、施釉、烧成和抛光等工序都应采取必要的集中收尘措施,尽可能采用封闭式作业,配备除尘设施。模具制备、匣钵制备过程同样要求采用集中收尘控制,配备袋式收尘器。所有工序制备过程要求与除尘设施同步运行,避免产生无组织排放。

(1) 原料以及辅助原料应储存于储库、堆棚中,在保障生产安全的前提下,储存应符合《煤场、料场、渣场扬尘污染控制技术规范》(DB13/2352)相关要求控制颗粒物无组织排放。

(2) 厂区内物料运输采用封闭的皮带通廊或管状带式输送机输送,转运应在产尘点设置集气罩,并配备除尘设施;禁止装载机、车辆在露天装卸及倒运物料。

(3) 原料均化应在储库、堆棚中进行。

(4) 原料干磨、制粉、筛分、混合、配料、搅拌、修坯、釉料配料等生产环节均应在车间内采用封闭式作业,配备除尘设施。

(5) 喷雾干燥、成型、机械吹干等工序的产尘点应设置集气罩,并配备除尘设施。

(6) 施釉工序应设置密闭工作间,产尘点应设置集气罩,并配备除尘设施。

(7) 成型过程打边,高温烧成后打磨抛光等工序的产尘点应设置集气罩,并配备除尘设施。

(8) 模型制备、匣钵制备过程应配备除尘设施。

(9) 厂区道路应硬化，并定期清扫、洒水保持清洁。入厂散装物料运输车辆采取车厢遮盖等措施。

7.5 监测要求

本标准在《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010)的监测标准要求上，增加 11 个监测标准，分别为：固定污染源废气低浓度颗粒物的测定重量法 (HJ 836-2017)，固定污染源废气颗粒物的测定β射线法 (DB13/T 2376-2016)，固定污染源废气二氧化硫的测定非分散红外吸收法 (HJ 629-2011)，固定污染源废气氮氧化物的测定非分散红外吸收法 (HJ 692-2014)，固定污染源废气氮氧化物的测定定电位电解法 (HJ693-2014)，固定污染源废气铅的测定火焰原子吸收分光光度法 (HJ 685-2014)，空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法 (HJ 657-2013)，空气和废气 颗粒物中金属元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法 (HJ 777-2015)，固定污染源废气 氟化氢的测定离子色谱法 (暂行)(HJ688-2013)，固定污染源废气 氯化氢的测定 硝酸银容量法 (HJ 548-2016)，环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法 (HJ549-2016)。由于上述标准晚于陶瓷工业污染物排放标准 (GB 25464-2010) 发布，因此增加上述标准以完善污染物监测要求。此外，《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010) 的监测标准中，有 2 个监测标准已作废，分别为：固定污染源排气中二氧化硫的测定定电位电解法 (HJ/T 57—2000)，固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法 (HJ/T 76—2007)。替代标准分别为：固定污染源废气二氧化硫的测定定电位电解法 (HJ 57-2017)，固定污染源烟气 (SO₂、NO_x、颗粒物) 排放连续监测系统技术要求及检测方法 (HJ 76-2017)。故本标准中引用的规范性文件，未注明日期，其最新版本 (包括所有的修改单) 均适用于本标准。对大气污染物排放浓度的测定采用表 7-11 所列的方法标准。

表 7-11 大气污染物测定方法标准

序号	污染源项目	方法标准名称	标准编号
1	颗粒物	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
		环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法	GB/T 15432
		固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法	HJ 836
		固定污染源废气 颗粒物的测定 β 射线法	DB13/T2376

2	二氧化硫	固定污染源排气中二氧化硫的测定 碘量法	HJ/T 56
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 定电位电解法	HJ 57
		固定污染源烟气(SO ₂ 、NO _x 、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法	HJ 76
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	HJ 629
3	氮氧化物	固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法	HJ/T 42
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ/T 43
		固定污染源烟气(SO ₂ 、NO _x 、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法	HJ 76
		固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法	HJ 693
		固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	HJ 692
4	烟气黑度	固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法	HJ/T 398
5	铅及其化合物	固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法(暂行)	HJ 538
		固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 685
		空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 657
		空气和废气 颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777
6	镉及其化合物	大气固定污染源 镉的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ/T 64.1
		大气固定污染源 镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ/T 64.2
		大气固定污染源 镉的测定 对-偶氮苯重氮氨基偶氮苯磺酸分光光度法	HJ/T 64.3
		空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 657
		空气和废气 颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777
7	镍及其化合物	大气固定污染源 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ/T 63.1
		大气固定污染源 镍的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	HJ/T 63.2
		大气固定污染源 镍的测定 丁二酮肟-正丁醇萃取分光光度法	HJ/T 63.3
		空气和废气 颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	HJ 657
		空气和废气 颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777
8	氟化物	大气固定污染源 氟化物的测定 离子选择电极法	HJ/T 67
		固定污染源废气 氟化氢的测定 离子色谱法(暂行)	HJ 688
9	氯化氢	固定污染源排气中氯化氢的测定 硫氰酸汞分光光度法	HJ/T 27
		固定污染源废气 氯化氢的测定 硝酸银容量法	HJ 548
		环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法	HJ 549

8、技术可行性和经济成本分析

8.1 技术可行性分析

8.1.1 陶瓷窑炉烟气污染防治可行技术

通常情况下，在陶瓷烧成过程中，主要是由于坯体排放的 SO_2 造成烟气中 SO_2 浓度超出本标准规定的排放限值。另外，采用干压成型建筑陶瓷干压砖表面与辊道窑辊棒摩擦会造成颗粒物初始排放浓度超过本标准限值。因而，不论采用天然气还是煤制气为窑炉燃料，窑炉烟气一般要同时对颗粒物和 SO_2 进行治理。

根据《陶瓷工业污染防治可行技术指南》HJ2304-2018，窑炉烟气污染防治可行技术中包括三项技术：（1）湿法脱硫协同除尘技术、（2）窑炉烟气 SNCR 脱硝+脱硫协同除尘技术和（3）窑炉烟气多污染物协同控制技术。湿法脱硫协同除尘技术的原理是窑炉烟气与碱性吸收浆液在吸收设备中反应，通过机械碰撞、物理截留、扩散溶解、酸碱中和等作用去除烟气中 SO_2 、颗粒物等污染物。窑炉烟气 SNCR 脱硝+脱硫协同除尘技术的主要工艺流程是在连续式窑炉烧成带 $800\sim 1200^\circ\text{C}$ 温度区间喷入脱硝还原剂，经 SNCR 脱硝之后的烟气经湿法脱硫后排放。工厂实践表明，采用尿素作为脱硝还原剂，并从辊棒下方喷入，可减轻对窑炉和产品质量的负面影响。窑炉烟气脱硝脱硫协同除尘技术工艺流程图见下图。



图 8-1 窑炉烟气脱硝脱硫协同除尘技术工艺流程图

炉烟气湿法多污染物协同控制技术的原理是以碱、尿素、添加剂高效复合吸收剂为吸收液，烟气与吸收液在吸收塔内通过机械碰撞、物理截留、扩散溶解等传质作用接触，不同种类的污染物与吸收液分别发生中和、络合、絮凝沉淀及氧化还原等化学反应，使得烟气中的 NO_x 、 SO_2 等多种污染物得到有效去除，最终实现烟气污染物达标排放。窑炉烟气多污染物协同控制技术工艺流程见下图。

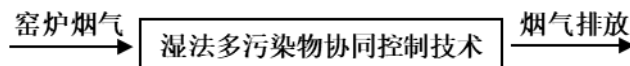


图 8-2 窑炉烟气多污染物协同控制技术工艺流程图

8.1.2 喷雾干燥塔烟气污染防治可行技术

陶瓷生产不论采用何种燃料（煤（水煤浆煤制气）、生物质、天然气），喷雾干燥塔烟气的颗粒物初始浓度都不受影响，颗粒物治理是喷雾干燥塔烟气治理的

基本内容。当 NO_x 和 SO₂ 产生浓度高于排放标准限值时，在适宜的脱硝反应温度范围内，在喷雾干燥塔热风炉烟气中喷入脱硝还原剂，经 SNCR 脱硝后的烟气与稀释风混合后作为喷雾干燥塔干燥风，喷雾干燥塔烟气随后进入袋式除尘器，去除烟气中的颗粒物，除尘烟气经湿法脱硫后排放。

(1) 喷雾干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘技术，本技术适用于必须采用脱硝、除尘和脱硫技术实现稳定达标排放的喷雾干燥塔大气污染治理，其中，袋式除尘前可选配旋风除尘，湿法脱硫后可选配喷淋除尘。

干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘技术工艺流程图见下图。

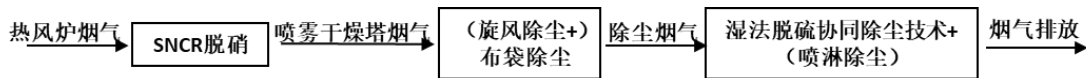


图 8-3 喷雾干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘工艺流程

(2) 喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘技术

适用于不采用脱硝技术、但必须采用除尘和脱硫技术才可实现稳定达标排放的喷雾干燥塔大气污染治理，通常是针对热风炉排烟温度一般不大于 720℃ 的喷雾干燥塔。喷雾干燥塔烟气经袋式除尘和湿法脱硫后排放，其中，袋式除尘前可配旋风除尘，湿法脱硫后可选配喷淋除尘。喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘技术工艺流程图见下图。

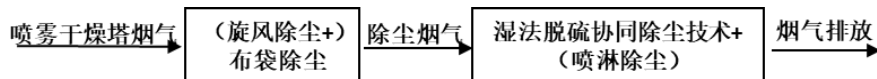


图 8-4 喷雾干燥塔烟气袋式除尘+湿法脱硫协同除尘技术工艺流程图

(3) 喷雾干燥塔烟气袋式除尘技术

适用于只采用除尘技术即实现稳定达标的喷雾干燥塔大气污染治理，通常是针对以天然气或低硫煤为燃料的喷雾干燥塔，且其热风炉排烟温度一般不大于 720℃。喷雾干燥塔烟气经袋式除尘和喷淋除尘后排放，其中，袋式除尘前可选配旋风除尘。除尘效率通常大于 99%。喷雾干燥塔烟气袋式除尘技术工艺流程图见下图。

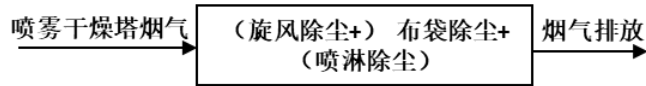


图 8-5 喷雾干燥塔烟气袋式除尘治理技术工艺流程图

(4) 喷雾干燥塔烟气旋风除尘+喷淋除尘+湿式电除尘技术

适用于只采用除尘技术即可实现稳定达标的喷雾干燥塔大气污染治理，通常是针对以低硫煤为燃料的喷雾干燥塔，且其热风炉排烟温度一般不大于 720℃。喷雾干燥塔烟气经旋风除尘、水喷淋除尘和湿式电除尘处理后排放，除尘效率通常大于 99%。喷雾干燥塔烟气旋风除尘+喷淋除尘+湿式电除尘治理技术工艺流程图见下图。

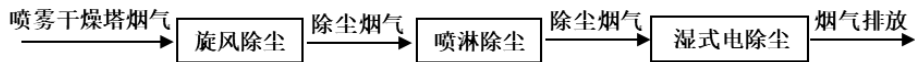


图 8-9 喷雾干燥塔烟气旋风除尘+喷淋除尘+湿式电除尘治理技术工艺流程图

8.1.3 窑炉-喷雾干燥塔烟气联合防治可行技术

对于陶瓷企业排放口数量有限的地区，以及出于增加湿式电除尘或半干法脱硫工艺要求等经济技术原因，需要对喷雾干燥塔烟气和窑炉烟气合并处理，该类技术的主要特征，包括喷雾干燥塔烟气和窑炉烟气一般需要经过共同的脱硫装置，并最终通过同一排放口排放。在联合防治系统中通常需要增设引风机，以确保窑压稳定，抵消喷雾干燥塔间歇运行对系统的负面影响。

窑炉-喷雾干燥塔烟气联合防治可行技术包括（1）喷雾干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气袋式除尘+（窑炉烟气 SNCR 脱硝）+窑炉烟气与喷雾干燥塔烟气湿法脱硫协同除尘技术、（2）喷雾干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气袋式除尘+窑炉烟气 SNCR 脱硝+窑炉烟气与喷雾干燥塔烟气湿法脱硫协同除尘技术+湿式电除尘和（3）喷雾干燥塔热风炉 SNCR 脱硝+喷雾干燥塔烟气旋风除尘+（窑炉烟气 SNCR 脱硝）+窑炉烟气与喷雾干燥塔烟气循环流化床半干法脱硫协同除尘技术。企业可根据集中排放口的 NO_x 排放浓度确定是否对喷雾干燥塔热风炉烟气或窑炉烟气进行 SNCR 脱硝处理。

8.2 成本效益分析

通过对我省部分陶瓷企业的环保投资进行调研分析，发现该行业属于大气污染排放负荷较大的行业。为控制生产过程中产生的废物排放，主要是大气污染物，

企业对环保投入较大，有的甚至达到上千万人民币，由于排放的污染物量较大，用于废气治理设施的运行成本也比较大，年环保运行费用需要投入几百万。但企业进行环保投资占企业总投资的比例并不是很大，一般不超过 10%。

本标准的实施不仅需要可行技术，同时必须具有良好的经济性。

(1) 对于采用可塑成型或注浆成型的陶瓷制品制造业，目前已经基本采用了天然气、液化石油气等能源作为污染预防技术，原有的污染治理技术正常稳定运行基本能够保证污染物排放达到本标准的要求，不会增加行业在能源和环保方面的成本。

(2) 采用干压成型生产的建筑陶瓷制品制造业通过采用低硫燃料和降低热风炉温度等预防技术，可有效降低 SO₂ 和 NO_x 生成，节省脱硫和脱硝成本，仅在增加脱硝技术设备安装方面一次性投入较大。

(3) 在治理技术方面，大气污染治理设施的投资和运行费用与产品品种、生产能力、烟气量、技术装备水平等密切相关，对于日产 1 万平方米的干压成型的建筑陶瓷制造企业，达标排放的环保设施投资一般在 500 万元~800 万元之间，增加的运行成本为约 0.2 元/m²~1.0 元/m²，从调研来看，企业通过升级改造后提升竞争力和产品附加值，对于增加技术成本投入是可以接受的。

9、标准实施后的环境（减排）效益

本标准实施后，将具有显著的社会环境效益。陶瓷生产全流程的除尘、脱硫和脱硝系统投入运行后，可明显地减少窑炉烟气中的烟尘、氮氧化物的排放量，规定了较为严格的有组织排放限值和无组织排放管控要求，有助于陶瓷提升清洁生产水平，改善厂区周围地区的生活环境，树立企业良好的社会形象，提高企业声誉及市场竞争力。

此外，由于新建项目进一步加严了排放限值，将促进陶瓷行业氮氧化物治理技术水平提高，促进新型低温催化剂研发，推动全行业技术进步。

根据 2020 年四川省大气污染源排放清单系统填报数据，计算 2020 年陶瓷行业污染物排放量，SO₂ 排放量 13820.1 吨，NO_x 排放量 57537.0 吨，PM_{2.5} 排放量 1552.0 吨，PM₁₀ 排放量 4324.6 吨。本标准实施后，颗粒物、SO₂、NO_x 排放浓度分别按 10mg/m³、30mg/m³、100mg/m³ 计算，按照现行国家标准各工序污染物排放浓度限值与本标准的差异，获得减排比例。PM₁₀、PM_{2.5} 在 TSP 中的比例根

据文献，选取为 52%和 36%。本标准实施后，各污染物减排量如表 9-1 所示。与 2020 年的污染物排放量相比，PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO_x 排放量分别减少 77.7%、45.9%、66.7%、44.4%。

表 9-1 本标准实施后四川省陶瓷工业大气污染物排放量变化

大气污染物	PM ₁₀	PM _{2.5}	颗粒物	SO ₂	NO _x
国家标准 (mg/m ³)	/	/	30	50	180
本标准 (mg/m ³)	/	/	10	30	100
执行国标污染物排放量 (t/a)	4324.6	1552.0	5876.6	13820.1	57537.0
执行本标准污染物排放量 (t/a)	964.4	839.6	1956.9	8292.1	31990.6
本标准实施后减排量 (t/a)	3360.2	712.4	3919.7	5528.0	25546.4
减排比例 (%)	77.7	45.9	66.7	40.0	44.4

依照本标准的实施，部分生产工艺和装备落后、产品技术含量或附加值低下、环保设施不到位的企业很难做到达标排放，标准的实施将促进企业向规模化、专业化发展，有助于企业下定决心转型升级，改善陶瓷企业的竞争力和周边环境质量，对推动我省陶瓷行业的技术进步和可持续发展具有重要意义。