玻璃工业大气污染物排放标准
编制说明

《玻璃工业大气污染物排放标准》编制组

2024 年 **3** 月

目　录

1、项目背景 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 完善地方标准体系的需求 3
3、四川省玻璃行业现状 4
3.1 企业分布及生产状况 4
3.2 生产工艺及产污环节 6
3.2.1 平板玻璃生产工艺及主要大气污染物分析 6
3.2.2 日用玻璃生产工艺及主要大气污染物分析 11
3.2.3 玻璃纤维生产工艺及主要大气污染物分析 14
3.3 污染控制措施 15
3.3.1 清洁生产技术 15
3.3.2 颗粒物治理技术 16
3.3.3 氮氧化物治理技术 16
3.3.4 氯化氢和氟化物治理技术 17
3.3.5 二氧化硫治理技术 17
3.3.6 挥发性有机物治理技术 17
3.3.7 无组织排放控制 18
3.4 污染设施安装情况 18
3.4.1 平板玻璃制造 19
3.4.2 日用玻璃制品制造 20
3.4.3 玻璃纤维及制品制造 21
3.4.4 其它玻璃制品制造 22
3.5 污染排放情况 23

4、国内外排放标准调研 25
4.1 国外标准 25
4.2 国内标准 27
4.3 标准对比 34
4.4 四川省玻璃行业现行标准主要问题分析 38
5、标准制定的原则和依据 38
5.1 标准制定的原则 38
5.2 标准制定的依据 39
6、标准主要技术内容 39
6.1 适用范围 39
6.2 标准内容框架 39
6.3 污染物项目 40
7、标准限值与规定的制定依据 40
7.1 玻璃熔窑污染物排放限值 42
7.1.1 颗粒物 43
7.1.2 二氧化硫 46
7.1.3 氮氧化物 48
7.1.4 氯化氢和氟化物 52
7.1.5 重金属 53
7.1.6 氨 53
7.1.7 基准含氧量 55
7.2 原料配料系统污染物排放限值 57
7.2.1 颗粒物 57
7.2.2 铅及其化合物 58
7.3 镀膜尾气处理系统污染物排放限值 58
7.4 挥发性有机物排放限值 58
7.5 厂界和无组织排放限值 60

7.5.1 氨排放管控 61
7.5.2 VOCs 排放管控 62
7.5.3 其他污染物 64
7.6 监测要求 64
7.6.1 监测方法 64
7.6.2 大气污染物浓度折算 67
7.7 本标准与国内标准比较 70
8、技术可行性和经济成本分析 70
8.1 技术可行性分析 70
8.2 经济成本分析 71
9、标准实施后的环境（减排）效益 71

1、项目背景

1.1 任务来源

玻璃工业是我国国民经济发展的重要基础原材料工业，但其同时也是大气环境污染的重要来源之一。为加强玻璃工业大气污染物控制，2011 年 4 月国家环保部、质监总局已联合发布《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453—2011），2013 年发布《电子玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 29495—2013）。为进一步推进玻璃行业减排，2022 年生态环境部发布《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022 代替 GB 26453—2011，GB 29495—2013），将标准限值进一步加严，并规定了玻璃制品、玻璃纤维等行业的排放限值。除此以外，广东省、河南省、山东省、河北省等国内其他省市也相继发布了本地区的玻璃工业大气污染物排放标准，其中河北省发布了平板玻璃工业超低排放标准。

四川省玻璃行业生产企业主要分布在成都市、德阳市、泸州市等城市，2020 年全省玻璃行业 SO_2、NOx、VOCs、$PM_{2.5}$、PM_{10} 总排放量分别为 1.12 万吨、1.46 万吨、0.41 万吨、1.35 万吨和 1.42 万吨，分别占全省工业源排放量的 4.9%、2.5%、0.8%、3.8%和 1.7%，是重点排放行业之一。四川省尚未发布玻璃工业大气污染物排放标准，现有平板玻璃企业目前仍执行 GB 26453-2011，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的排放限值分别为 50、400、700 mg/m^3；现有日用玻璃等其他玻璃行业仍执行《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB 9078—1996），颗粒物、二氧化硫的排放限值分别为 300、1200 mg/m^3，无氮氧化物排放限值。2024 年 7 月 1 日以后，我省所有玻璃企业执行 GB 26453-2022，颗粒物、二氧化硫排放限值分别为 30、200 mg/m^3，玻璃制品氮氧化物排放限值为 500 mg/m^3，其他玻璃企业氮氧化物排放限值为 400 mg/m^3。

2019 年 10 月，四川省生态环境厅等四部门联合印发《四川省工业炉窑大气污染综合治理实施清单》，指出：推进工业炉窑全面达标排放，大气污染防治重点区域日用玻璃、玻璃棉颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别不高于 30、200、400 mg/m^3。“十四五”期间，将持续推进平板玻璃等重点行业深度治理，污染物排放浓度将进一步降低。可见，即使 GB 26453-2022 全面实施后，玻璃制品氮氧化物排放限值也比我省相关要求宽松，不能满足我省对玻璃行业大气污染物的管控要求。为进一步改善大

气环境质量，促进玻璃行业高质量发展，由四川省生态环境厅法规与标准处立项，四川省生态环境科学研究院负责编制了《玻璃工业大气污染物排放标准》。

1.2 工作过程

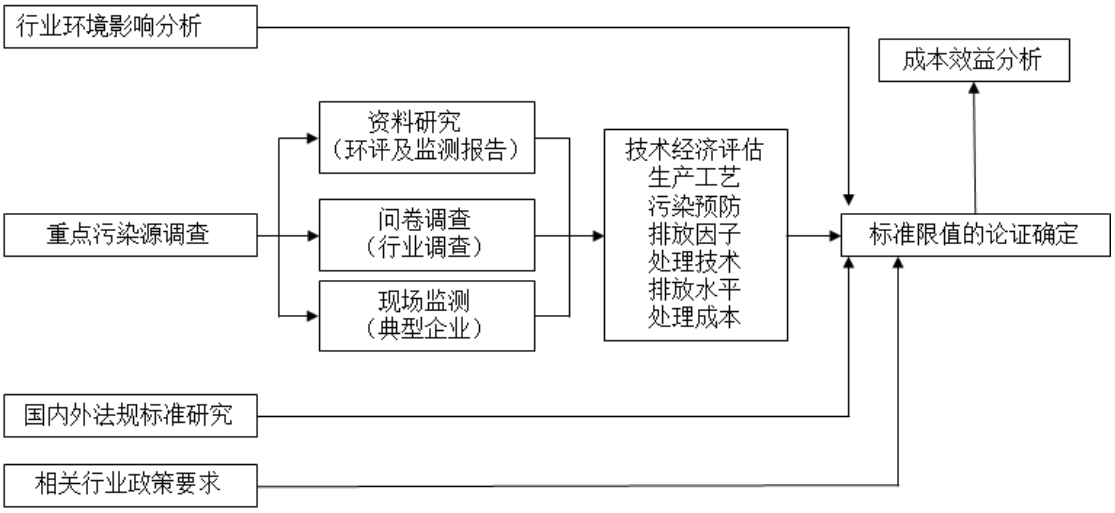


图 **1-1** 标准编制工作内容

1、**2019** 年 **1** 月**-2019** 年 **4** 月，梳理分析国家、各地方现行玻璃行业排放标准，制定玻璃工业排放标准研究实施方案。

2、**2019** 年 **5** 月**-2019** 年 **8** 月，收集全省玻璃企业名单以及基本数据，核算全省玻璃企业污染物排放量。

3、**2019** 年 **9** 月**-2019** 年 **12** 月，根据产能、污染排放分布，选取代表性企业，开展实地调研。赴河南、河北省开展玻璃企业污染控制调研和标准制定情况调研。

4、**2020** 年 **1-5** 月，开展实测，完成实验室分析。

5、**2020** 年 **6-8** 月，数据凝练，掌握四川省玻璃工业大气污染物控制水平、排放现状，编制四川省玻璃工业大气污染物排放标准编制说明。

6、**2020** 年 **9-11** 月，补充采集样品，完善标准文本和编制说明。

7、**2020** 年 **12** 月，召开专家咨询会，征求玻璃企业和专家的意见。

8、**2021** 年 **1-10** 月，根据专家意见，对企业开展补充测试。

9、**2021** 年 **11-12** 月，持续完善标准文本和编制说明。

10、**2022** 年 **1-3** 月，开展风险评估和技术评估。

11、2022 年 4-5 月，根据评估结果完善标准文本和编制说明，并公开征求意见。

12、2022 年 6 月-2023 年 9 月，根据公开征求意见，持续优化完善标准文本，形成送审稿。

13、2023 年 10 月，召开标准技术审查会，根据专家意见修改完善标准文本，形成报批稿。

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》重点任务中指出“平板玻璃行业推进清洁能源改造工程，禁止掺烧高硫石油焦，未使用清洁能源的浮法玻璃生产线全部实施烟气脱硫，浮法玻璃生产线全部实施烟气脱硝设施改造”。2019 年 10 月，四川省生态环境厅、四川省发展和改革委员会、四川省经济和信息化厅、四川省财政厅联合印发《四川省工业炉窑大气污染综合治理实施清单》，指出推进工业炉窑全面达标排放，大气污染防治重点区域日用玻璃、玻璃棉颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别不高于 30、200、400mg/m^3。近几年，四川省玻璃行业除尘脱硫技术已较为成熟，SCR 脱硝技术也在玻璃行业得到推广，复合陶瓷滤筒除尘脱硝一体化等高效治理技术也逐步得到应用，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的排放水平已明显下降，即使 GB 26453-2022 全面实施后，部分排放限值仍略显宽松，不能发挥有效约束作用，因此制定四川省《玻璃工业大气污染物排放标准》十分必要，是确保玻璃行业完成减排目标和升级改造的重要保障。

2.2 完善地方标准体系的需求

2018 年国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》规定“加快制修订污染物排放标准，鼓励各地制定实施更严格的污染物排放标准”。四川省人民政府办公厅《关于印发四川省标准化体系建设发展规划（2016—2020 年）的通知》（川办发〔2016〕104 号），工业标准化重点中指出“完善钒钛钢铁、有色冶炼、化工、建材、稀土等原材料工业标准，加快标准制定工作”。因此，开展四川省《玻璃工业大气污染物排放标准》的研究及制定工作对完善四川省地方标准体系、加强执法具有十分重要的意义。

3、四川省玻璃行业现状

3.1 企业分布及生产状况

2020 年四川省玻璃企业共 394 家，根据《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2017）进行分类，玻璃企业行业分布见表 3.1-1。特种玻璃制造、玻璃包装容器制造、光学玻璃制造企业数量排名全省前三，企业总数量占全省 57.9%。从行业产能来看，全省玻璃产量 757.6 万吨，其中平板玻璃制造、特种玻璃、玻璃纤维及制品制造产量位居全省前三，产量之和为 613.9 万吨，占全省总产量 81.0%。

表 3.1-1 四川省玻璃企业行业分布情况

行业代码	类别名称	企业个数	标准产量（万 t/a）
3041	平板玻璃制造	12	313.5
3042	特种玻璃制造	107	56.3
3049	其他玻璃制造	14	2.1
3051	技术玻璃制品制造	7	4.3
3052	光学玻璃制造	41	2.1
3053	玻璃仪器制造	4	8.6
3054	日用玻璃制品制造	24	50.8
3055	玻璃包装容器制造	80	239.5
3056	玻璃保温容器制造	3	2.6
3059	其他玻璃制品制造	36	13.0
3061	玻璃纤维及制品制造	29	60.9
3062	玻璃纤维增强塑料制品制造	37	4.0
合计		394	757.6

玻璃企业区域分布见表 3.1-2 和表 3.1-3，主要分布在成都、泸州、德阳、内江等城市，其中成都市玻璃企业数量最多，为 215 家，占全省企业数量的 55%；泸州市次之，企业数量为 37 家，占比 9%。从产量分布来看，成都市、德阳市、泸州市产量位居全省前三，其产量之和占全省 80%。从区域分布来看，玻璃企业主要分布在成都平原和川南地区，两区域玻璃产量之和占全省总产量的 96.7%。

表 3.1-2 四川省玻璃企业产量分布情况

序号	地区(市、州、盟)	企业数量	标准产量（万 t/a）
1	成都市	215	283.5

序号	地区(市、州、盟)	企业数量	标准产量（万 t/a）
2	德阳市	21	186.6
3	泸州市	37	136.7
4	内江市	28	44.2
5	乐山市	5	3.4
6	绵阳市	14	7.0
7	自贡市	10	2.3
8	眉山市	12	4.7
9	宜宾市	9	44.1
10	南充市	4	10.3
11	遂宁市	7	19.1
12	达州市	11	7.7
13	雅安市	3	0.2
14	资阳市	6	0.5
15	广元市	5	2.2
16	巴中市	1	0.3
17	广安市	2	3.2
18	攀枝花市	1	0.6
19	凉山彝族自治州	2	0.8
20	阿坝藏族羌族自治州	1	0.3
21	合计	394	757.6

表 3.1-3 四川省不同区域玻璃产量分布情况

序号	区域	企业数量	标准产量（万 t/a）	占比
1	成都平原	283	505.06	66.7%
2	川南地区	84	227.3	30.0%
3	川东北地区	23	23.7	3.1%
4	攀西	3	1.4	0.2%
5	川西	1	0.3	0.0%

从企业规模来看，以小型为主，企业个数 304 家，占比 77.2%；中型企业 65 家，占比 16.5%；大型企业最少，仅为 25 家，占比仅 6.3%。从产品产量来看，四川省玻璃企业以大型企业为主，产量占全省总产量的 72%；中型企业次之，占 20%；具体见表 3.1-4。

表 3.1-4 2020 年玻璃产量企业规模分布情况

企业规模	企业数量及占比		产品产量及占比	
	企业数量（个）	占比	标准产量（万 t/a）	占比
小型(<10000t)	304	77.2%	60.9	8%

中型(10000-50000t)	65	16.5%	150.1	20%
大型(>50000t)	25	6.3%	546.5	72%

3.2 生产工艺及产污环节

3.2.1 平板玻璃生产工艺及主要大气污染物分析

（**1**）平板玻璃生产工艺

平板玻璃按照生产工艺分类主要分为压延和浮法玻璃。

1）浮法玻璃生产工艺

浮法是将玻璃液漂浮在金属液面上制得平板玻璃的一种新方法，其工艺过程与主要产污节点见图 **3.2-1**。将玻璃液从池窑连续地流入并漂浮在有还原性气体保护的金属锡液面上，依靠玻璃的表面张力、重力及机械拉引力的综合作用，拉制成 **0.05~25mm** 不同厚度的玻璃带，经退火、冷却而制成平板玻璃。由于这种玻璃在成型时，上表面在自由空间形成火抛表面，下表面与焙融的锡液接触，因而表面平滑，厚度均匀，不产生光畸变，浮法已成为平板玻璃主要的制造工艺技术。主要包括配合料制备、熔窑熔化、锡槽成型、退火窑退火和冷端成品库等工段。

配合料制备。各种原料经提升进入粉库，称量混合系统将各种粉料按比例称量后送入强制式混合机进行混合，制成配合料。原料车间制备的配合料，由胶带输送机送到浮法联合车间熔制工段，碎玻璃经电磁振动给料机，均匀地加到混合料上，经往复移动胶带输送机送入窑头料仓。另外，在窑头设有一台电动葫芦作为配合料的备用上料系统。配合料由投料机进行薄层投料。

炉窑融化。玻璃配合料经过高温熔化、澄清、搅拌、冷却后的玻璃液，经流液道进入锡槽。玻璃液量由流液道调节闸板控制。

锡槽成型。玻璃液以 **1080~1100**℃左右的温度，从流液道进入锡槽的锡液面上，在重力、机械拉力和表面张力作用下，随即向横向伸展，在完成摊平、抛光、展薄、冷却之后，形成一定厚度和宽度的玻璃带，至 **610**℃离开锡槽进入退火窑。

在线镀膜。在线镀膜化学品经过气化在携载气体携载下，经过混合进入到镀机，并均匀地喷射到锡槽 **650**℃左右的玻璃板上，形成成分为氧化锡/氧化硅膜层的遮盖层及成分为掺氟氧化锡的功能层。在线镀膜设备按照需求开启或者停用。

退火窑退火。连续的玻璃带经过渡辊台，以 610℃左右的温度进入退火窑，在 70℃左右的温度下退出退火窑，进入冷端机组。

冷端成品库。退火窑出口处设有一台应急高速横切机和落版辊道，裁切成型入成品库。不合格的玻璃带或非正常生产的玻璃带，经落板辊道落入碎玻璃溜子，由锤式破碎机或玻璃边绞碎机将其破碎后，通过皮带输送机、斗式提升机，送入冷端碎玻璃仓，再经电磁振动给料机返回作为原料再利用。

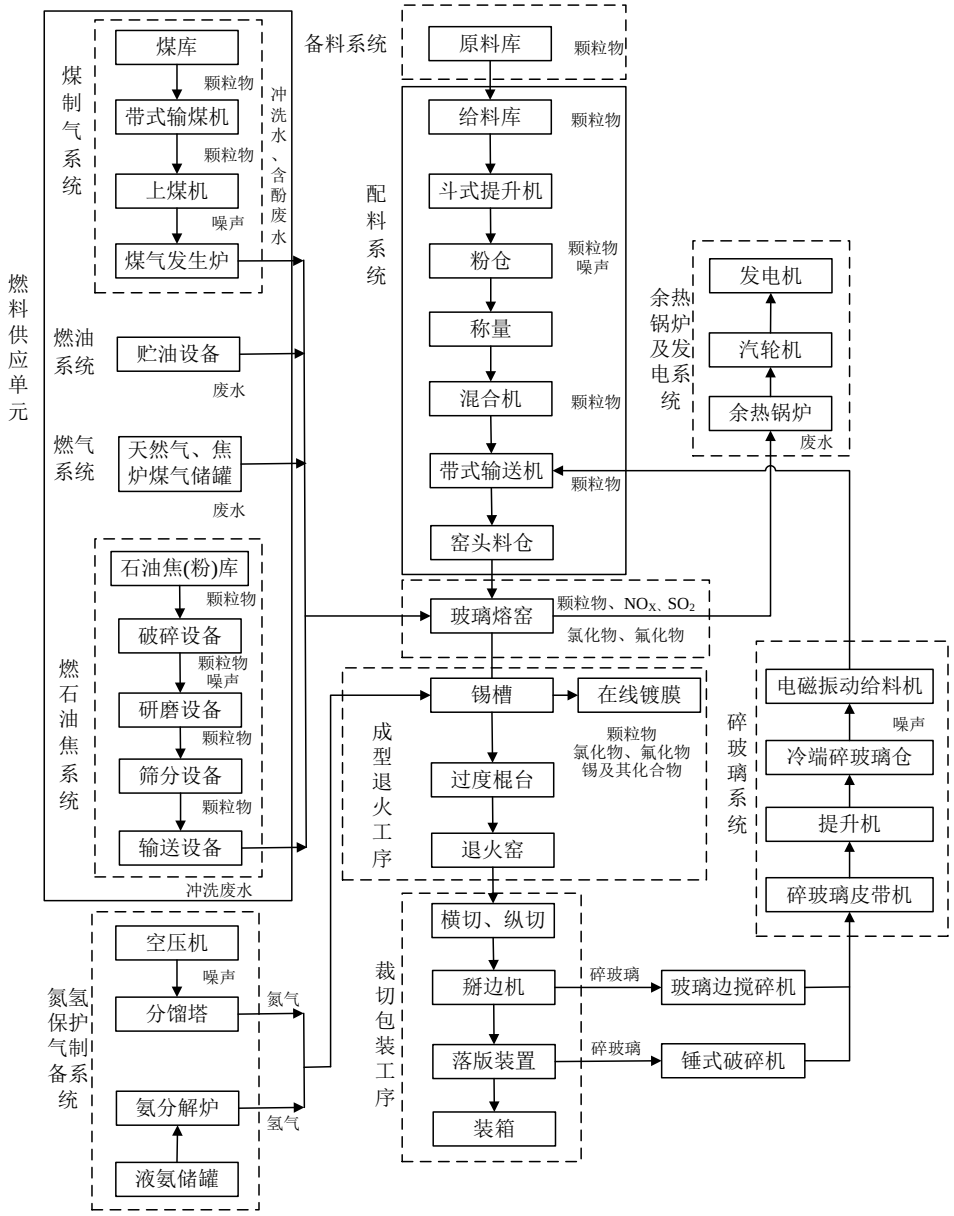
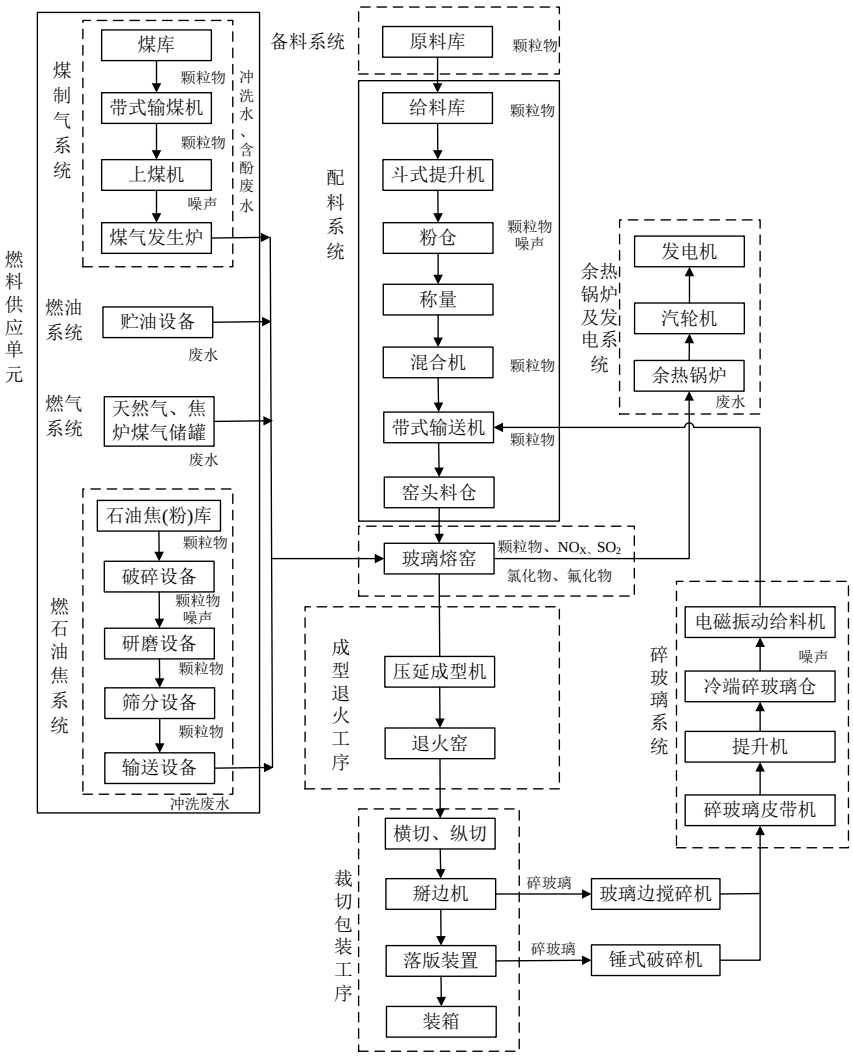


图 3.2-1 浮法玻璃生产工艺流程与主要产污节点

2）压延玻璃生产工艺

压延平板玻璃是采用压延方法制造的一种平板玻璃，其工艺过程与主要产污节点见图 **3.2-2**。压延法是将熔窑中的玻璃液经压延辊辊压成型、退火而制成，主要用于制造夹丝（网）玻璃和压花玻璃。从生产工艺上来讲，压延工艺与浮法工艺的区别仅仅在于成型这一工艺环节采用的技术不同，浮法工艺采用的是锡槽成型，而压延工艺采用的是压延机成型，其余工艺环节二者均相同。压延平板玻璃成型工艺分为单辊法和双辊法。单辊法是将玻璃液浇注到压延成型台上，台面可以用铸铁或铸钢制成，台面或轧辊刻有花纹，轧辊在玻璃液面碾压，制成的压花玻璃再送入退火窑。双辊法生产压花玻璃又分为半连续压延和连续压延两种工艺，玻璃液通过水冷的一对轧辊，随辊子转动向前拉引至退火窑，一般下辊表面有凹凸花纹，上辊是抛光辊，从而制成单面有图案的压花玻璃。



3.2-2 压延玻璃生产工艺流程与主要产污节点

（2）平板玻璃主要大气污染物分析

在平板玻璃生产过程中，有物料输送过程、物料熔化过程和成型过程等。物料的输送和成型过程主要是物理过程，产生的污染主要是粉尘性废气。物料熔化过程主要是通过燃料的燃烧产生热量将物料熔化和分解的过程，在这一过程中不管是物料的分解还是燃料的燃烧都有化学过程，因此在这一过程中主要产生的污染物是烟尘和有害气体。根据平板玻璃工业使用的原料、生产工艺和对平板玻璃工业污染物的调查，平板玻璃工业主要的污染物有：

1）粉尘。平板玻璃原料中的颗粒状、粉状或尘状物料在贮存、搬运、混合工序

中飞散产生粉尘。

2）烟尘（包括金属颗粒物）。平板玻璃烟尘来源于三个方面：在加料过程中少部分的原料被带入烟气中；熔炉中易挥发物质（部分金属氧化物，如 Na_2O 等）高温挥发后冷凝生成烟尘；燃料燃烧后生成的烟尘。

3）二氧化硫。浮法玻璃生产企业排放的二氧化硫，一般为含硫燃料的燃烧和原料中芒硝的分解所产生。国内部分企业为了降低成本，使用煤焦油、发生炉煤气和石油焦，这些燃料中硫含量较高，燃烧后产生超过 **2500mg/Nm^3** 的二氧化硫污染物。芒硝作为玻璃熔化最成熟和常用的澄清剂，目前暂无更好的替代产品，芒硝在高温的熔窑内会分解为二氧化硫。

4）氮氧化物。浮法玻璃生产企业排放的氮氧化物大部分来自燃料的燃烧过程，其余为原料和燃料分解产物，形成机理主要包括燃料型、热力型和快速型。由于玻璃窑炉中的高温，氮氧化物的主要来源是受热生成的氮氧化物，氮气在超过 **1300**℃的燃烧气氛中发生氧化反应生成氮氧化物。影响氮氧化物生成的主要因素就是火焰的温度、反应区的氧气含量以及火焰在高温区域的停留时间。减少燃料的消耗量，减少空气燃烧比，降低高温区的温度，都可以减少氮氧化物的生成。

5）氯化氢。由于原料、碎玻璃中含有的氯化物杂质，当燃烧时便会生成一定量的氯化氢，一般初始浓度在 **85mg/Nm^3** 以下。在线镀膜期间产生的废气含有乙烯、硅烷、氯化氢、氟化氢、含锡颗粒物、单丁基三氯化锡等物质，经镀机两侧的排废系统进入排废管路。

6）氟化物。由于平板玻璃一般不采用萤石作为原料，但辅助原料澄清剂包括氟化物、卤化物，乳浊剂包括氟化物等，所以在生产过程氟化物主要来源于原料中的含氟物质。

7）锡及其化合物。锡槽成型时会产生少量的无组织锡及化合物。

8）氨。**SCR** 脱硝过程中，过量氨的喷入或者管理水平不足会导致氨逃逸增加。

综上，玻璃生产过程中产生的大气污染物主要包括烟（粉）尘、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、氟化氢、锡及其化合物、氨等，如下表所示。

表 3.2-1 玻璃生产过程污染物一览表

编号	主要污染物	产生工序	排放规律
1	粉尘	原料贮存、加工、配料、在线镀膜、运输等	无组织
2	烟尘、二氧化硫、氮氧化物	炉窑熔制	有组织
3	氯化氢、氟化物	炉窑熔制、在线镀膜	有组织
4	锡及其化合物	锡槽成型	无组织
5	氨	SCR 脱硝	有组织

3.2.2 日用玻璃生产工艺及主要大气污染物分析

（1）日用玻璃生产工艺

日用玻璃行业主要包括玻璃仪器制造业、日用玻璃制品及玻璃包装容器制造业、玻璃保温容器制造业。

日用玻璃配合料一般由 7~12 种原料组成。主要有石英砂、纯碱、石灰石、白云石、长石、硼砂、铅和钡的化合物等。此外，还有澄清剂、着色剂、脱色剂、乳浊剂等辅助材料。

表 3.2-2 日用玻璃原料种类及来源

原料	来源
SiO_2	石英砂等
B_2O_3	硼砂（NaB_4O_7）、硼酸（H_3BO_3）等
Al_2O_3	氧化铝（Al_2O_3）、氢氧化铝（$Al(OH)_3$）长石等
碱金属原料	纯碱（Na_2CO_3）等
碱土金属原料	方解石（$CaCO_3$）、白云石（$MgCO_3$ $CaCO_3$）等
澄清剂	氧化物澄清剂：白砒（As_2O_3）、氧化锑（Sb_2O_3）、硝酸盐、二氧化铈等 硫酸盐型澄清剂：硫酸钠、硫酸钡、硫酸钙等 卤化物澄清剂：氟化物、氯化钠、氯化铵等
着色剂	离子着色剂：锰化合物、钴化合物、镍化合物、铜化合物、铬化合物、钒化合物、铁化合物、硫、稀土元素氧化物、铀化合物 胶态着色剂：金化合物、银化合物、铜化合物 硫硒化合物着色剂：硒与硫化镉、锑化合物
脱色剂	化学脱色剂：硝酸钠、白吡和三氧化二锑、二氧化铈、卤素化合物 物理脱色剂：二氧化锰、硒、氧化钴、氧化钕、氧化镍
乳浊剂	氟化合物、磷酸盐、锡化合物、氧化砷和氧化锑
助溶剂	氟化合物、硼化合物、硝酸盐、钡化合物

日用玻璃的制造工艺主要包括：配合料制备、熔制、成型、退火、表面处理和加工、检验和包装等工序。

1）配合料制备：包括原料的贮存、称量、混合及配合料的输送。要求配合料混合均匀，化学成分稳定。

2）熔制：把配置合格的配合料加入到熔炉内，配合料在高温加热的作用下形成符合要求的玻璃液的过程为玻璃熔制过程。玻璃的熔制包括物理、化学反应，玻璃配合料在这些高温反应过程中，使各种原料的机械混合物变成了复杂的熔融物。根据过程中的不同变化实质，一般认为玻璃的熔制过程有五个阶段。包括硅酸盐形成阶段、玻璃的形成阶段、玻璃液的澄清阶段、玻璃液的均化阶段和玻璃液的冷却阶段。

玻璃熔炉是由多种耐火材料砌筑的熔制玻璃的主要热工设备。熔炉的任务就是将混合好的配合料在高温的作用下，经过一系列的物理化学反应，使之成为质量均匀的无结石、条纹、气泡等缺陷并适宜于成形各种玻璃制品的玻璃液。

玻璃熔炉也称为熔窑，一般分为池炉和坩锅炉。按加热方式又分为火焰炉和电熔炉。火焰炉按其燃料的不同分为烧煤（发生炉煤气）、天然气、重油三种热源形式。具体炉型如下：

蓄热式马蹄焰池窑：主要用于各类瓶罐、钠钙玻璃器皿的生产。采用的燃料为发生炉煤气（约占 80%）、天然气、石油焦、重油等。《日用玻璃行业规范条件（2017 年本）》规定：燃料应优先使用清洁能源。可选用优质煤制热煤气燃料，即用两段煤气发生炉气化含硫量小于 0.5%、灰分含量小于 10%的优质煤生产的热煤气，通过热煤气管道直接送至玻璃熔窑燃烧。

电熔炉：主要用于耐热玻璃制品（器皿）、仪器玻璃、太阳能集热管、晶质高脚杯、泡壳的生产。

坩埚炉：主要用于艺术玻璃（琉璃）的生产与新产品开发。

3）成形：把已熔化好并符合成形要求的玻璃液，通过一定方法转变为具有固定几何形状制品的过程，称为玻璃制品的成形。日用玻璃品种繁多，形状各异，其成形方法也彼此不同。通常有吹制成型、压制成形、压吹成形、离心浇注等成形方法。

4）退火：玻璃器皿制品特别是厚度不匀、形状复杂的制品，在成形后从高温冷

却到常温这一过程中，如冷却过快，则玻璃制品产生的内外层温度差和由于制品形状关系而产生的各部位温差，会使玻璃制品产生热应力。当制品遇到机械碰撞或受到急冷急热时，该应力将造成制品破裂。为了消除玻璃制品中的永久应力，就需要对玻璃制品进行退火处理。退火是先把玻璃制品加热，然后按照规定的温度制度进行保温和冷却，这样玻璃制品的永久应力就会减少到实际允许值，把这种处理过程称为退火。

5）表面处理：一般通过在退火炉的热端和冷端涂层的方法对玻璃瓶罐进行表面处理。

热端涂层是将成型后处于炽热状态（500~600℃）的瓶罐置于气化的四氯化锡、四氯化钛或四氯化锡丁酯的环境中，使这些金属化合物在热的瓶罐表面上经过分解氧化形成氧化物薄膜，以填平玻璃表面微裂纹，同时防止表面微裂纹的产生，提高玻璃瓶罐的机械强度。

冷端涂层是用单硬脂酸盐、油酸、聚乙烯乳剂、硅酮或硅烷等，在退火炉出口处对温度约 100~150℃的瓶罐表面进行喷涂，形成一层润滑膜，以提高瓶罐表面的抗磨损、润滑性和抗冲击强度。

6）加工和装饰：玻璃器皿制品在完成了成型和退火工序后，大多数要进行加工。玻璃器皿制品的加工工序方法复杂而多样化，包括爆口、磨口、抛光、烘口、切割钻孔、钢化等。为了美化玻璃器皿制品和提高制品的艺术性，玻璃器皿制品一般都要进行各种装饰。因此，装饰也是玻璃器皿制品生产的重要环节。

装饰按工艺特点分为成形过程的热装饰方法和加工后的冷装饰方法两类。热装饰是把不同颜色的易熔玻璃制成各种图案、颗粒、粉体等，利用成形时制品的高温作用，把其粘结或喷洒在制品表面。冷装饰方法是把已完成各种加工后的制品，用低温颜色釉料、玻璃花纸、有机染料等，通过彩绘、印花、贴花、喷花等工艺，使制品达到装饰效果。

（2）日用玻璃主要污染物分析

日用玻璃生产过程产生的大气污染物主要包括以下几类：

1）粉尘、烟尘：粉尘主要来源于原料的贮藏、粉碎、筛分、搬运、混合工序中的原料飞散；烟尘主要是原料及燃料在熔窑内燃烧产生的。

2）二氧化硫：主要来自燃料中的含硫成分的氧化以及配合料中芒硝分解。

3）氮氧化物：主要来源于助燃空气中氮的燃烧，当温度高于 1300℃，氮气与氧气反应生成氮氧化物；此外，还有部分来源于配合料中少量硝酸盐的分解及燃料中含氮物质的燃烧。

4）氯化氢：来源于含氯原料（如使用氯化钠作澄清剂）或原料中氯化物杂质。

5）氟化物：来源于含氟原料（如使用萤石作乳浊剂、助溶剂）以及原料中含氟杂质。

6）砷、锑、铅等重金属污染物：主要来源于燃料、碎玻璃以及含砷、锑澄清剂等原辅材料的添加。同时，铅晶质玻璃含铅量较高，按氧化铅的含量，分为全铅晶质玻璃（PbO 含量 30%~35%）、中铅晶质玻璃（PbO 含量 24%~30%）、低铅晶质玻璃（PbO 含量 12%以下），熔制时 PbO 挥发量可达 10%~12%。

7）挥发性有机物：主要来源于喷漆、烘干、烤花等工序。釉料主剂、固化剂等原辅材料的化学成分决定了污染物类型。原辅材料成分主要包括环氧树脂、二甲苯、乙醇等。

3.2.3 玻璃纤维生产工艺及主要大气污染物分析

（1）玻璃纤维行业生产工艺

生产玻璃纤维常用的方法有两种：池窑法、坩埚法。池窑拉丝工艺是国际主流拉丝工艺。用这种方法生产的玻璃纤维总量约占全球总量的 85%~90%，只有一些特殊的玻璃纤维品种仍使用坩埚法拉丝工艺。

1）池窑法。池窑法直接拉丝是将矿物原料磨细配制送入单元窑，用燃料燃烧加热熔化物料后直接拉丝。池窑法拉丝工艺又被称为一次成型工艺，主要包括配合料制备、玻璃熔制、纤维成型、浸润剂配制和玻璃纤维制品加工 5 个工序。

目前，我国大型池窑企业均以天然气为原料，采用纯氧燃烧技术。一些天然气匮乏的地区采用煤及重油作为原料。玻璃纤维拉丝过程中漏板拉丝工序消耗部分电能。玻璃纤维工业用玻璃球生产企业的主要燃料仍然是煤气。

2）坩埚法。坩埚法拉丝工艺被称为二次成型工艺，先把玻璃配合料经高温熔化制成玻璃球，再将玻璃球通过二次加热至熔化，再高速拉制成一定直径的玻璃纤维原

丝。这种生产工艺工序繁多，能耗高、成型工艺不稳定、产品质量不高、劳动生产率低，目前除少量特种玻璃纤维还沿用这种生产工艺外，大规模工业化生产品种已基本淘汰了这种生产工艺。

（2）大气污染物分析

玻璃纤维生产过程产生的大气污染物如下表所示。

表 3.2-3 玻璃纤维生产过程产生的大气污染物

污染物	产生来源
粉尘、烟尘	原料贮存、配料、投料环节；挥发性物质高温挥发后冷凝生成的烟尘；燃料燃烧生成的烟尘
氮氧化物	氮与氧气反应生成热 NOx；原料中硝酸盐热分解产生 NOx
二氧化硫	燃料中含硫成分的氧化；原料中作为澄清剂的芒硝分解产生的硫氧化物
氯化氢	原料、燃料中含有的氯化物杂质；氯化物作澄清剂
氟化物	玻璃纤维原料中的含氟杂质
氨	使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂去除烟气中氮氧化物时产生氨逃逸
VOCs	浸润剂的配制和使用、拉丝等工序

3.3 污染控制措施

3.3.1 清洁生产技术

通过不断改进玻璃熔窑的设计、优化熔窑运行参数、选用低硫优质燃料、控制配合料质量、采用最佳清洁生产适用技术（如：分段燃烧、低氮燃烧、纯氧燃烧等），降低玻璃熔制过程的能耗，减少熔窑烟气量，有效降低熔窑污染物的产生量。主要包括以下几个方面：

1、生产高附加值的高档玻璃产品和特殊品种玻璃产品，采用氮氧化物产生量较小的全电熔窑或全氧燃烧玻璃熔窑。

2、玻璃熔窑燃料优先选用天然气等清洁燃料，可降低因燃料燃烧产生的 SO_2，使 SO_2 初始排放浓度小于 400 mg/m^3。通过减少芒硝、硝酸盐的加入量，可降低熔化工序 SO_2 和 NOx 初始浓度。采用粉状原料，可减少原料破碎过程产生的颗粒物。平板玻璃在线镀膜工艺选用低氯化物和氟化物含量的原材料，通过优化氯化物和氟化物配比，减少氯化氢和氟化物的产生量。

3、与空气助燃玻璃熔窑相比，纯氧燃烧技术可减少系统中氮气的输入，从而

减少 NOx 的生成和降低烟气 NOx 排放量，同时提高燃烧效率。纯氧燃烧技术通常适用于采用天然气等高热值燃料的熔窑，可使 NOx 初始排放浓度达到 500~700 mg/m^3（以基准排气量 3000m^3 玻璃液折算）。

4、电熔窑技术，通过电极加热把热量直接输送到熔炉内，具有热效率高、适合于熔制高质量玻璃以及含高挥发物组分的玻璃和极深色玻璃、减少 SO_2 和 NOx 污染等优点。

3.3.2 颗粒物治理技术

颗粒物主要产生于原料的储存、称量、输送、混合、投料、熔化等过程。玻璃工业应用较多的是静电除尘器和袋式除尘器。从安全角度考虑，采用发生炉煤气为燃料的企业不采用静电除尘器，而使用袋式除尘器。玻璃行业常用颗粒物治理技术包括袋式除尘技术、滤筒除尘技术、静电除尘技术和湿式电除尘技术等。

3.3.3 氮氧化物治理技术

1、低氮燃烧技术。低 NOx 燃烧技术是通过控制燃烧过程中空气-燃料的化学计量比和温度的变化限制 NOx 的生成。低氮氧化物燃烧器大致分为以下几类：阶段燃烧器、自身再循环燃烧器、浓淡型燃烧器、分割火焰型燃烧器、混合促进型燃烧器、低 NOx 预燃室燃烧器。

2、纯氧燃烧技术。纯氧助燃是燃料燃烧时直接使用氧气助燃，一般含氧量大于 90%。该技术具有节能、降低运行成本、减少 NOx 和颗粒物排放的优点。采用纯氧助燃工艺时，每吨玻璃的 NOx 排放量减少 50%左右，最高可减少 65%，颗粒物排放量可减少 50%~60%。但纯氧助燃投资较大，熔窑对耐火材料的要求高。

3、末端治理技术。目前应用较多、相对成熟的末端治理措施是选择性催化还原技术（SCR），是在熔炉出口处安装催化反应器，在反应器前喷入还原剂（如氨水或尿素），在适当的温度（300-400℃）和催化剂作用下，将烟气中的 NOx 还原成氮气和水。该技术 NOx 去除效率可达 70%~90%，排放浓度可控制在 100~200mg/m^3。SCR 技术一次投资较大，运行成本主要取决于催化剂的寿命。

但需要指出的是，钠钙玻璃熔窑的烟气中含有高活性的 Na^+、Ca^{2+}及具有吸

附性的碱性烟尘可使催化剂中毒失活。因此，2010 年欧盟玻璃工业采用最佳使用技术结论中未建议在钠钙玻璃熔炉中采用 SCR 末端治理技术，仅对含碱少量的特种玻璃建议采用 SCR 技术，并要求脱硝前烟气浓度控制在 10~15mg/m^3 以下。

3.3.4 氯化氢和氟化物治理技术

氯化氢和氟化物排放来源于原料中的杂质。通过使用含 NaCl 杂质少的纯碱、减少含氟原料的使用、增加碎玻璃的用量，可减少氯化氢和氟化物的排放量。在平板玻璃镀膜工序中，可选用低氯化物和氟化物含量的在线镀膜原材料，通过优化氯化物和氟化物的配比，可减少在线镀膜尾气中氯化氢和氟化物的产生。

通过末端治理来减少氯化氢和氟化物的排放，一般是随着烟气脱硫协同控制的。不论是湿法还是干法、半干法脱硫，均可去除氯化氢和氟化物。

3.3.5 二氧化硫治理技术

1、石灰石/石灰-石膏法。采用该技术，当入口烟气 SO_2 浓度小于 3500 mg/m^3 时，出口烟气 SO_2 浓度可达到 100~150 mg/m^3。

2、钠碱法。采用该技术，当入口烟气 SO_2 浓度小于 2000 mg/m^3 时，出口烟气 SO_2 浓度可达到 100~150 mg/m^3。

3、旋转喷雾干燥脱硫技术（SDA 技术）。适用于 SO_2 初始排放浓度小于 2000 mg/m^3 的玻璃熔化工序烟气脱硫。采用该技术，出口烟气 SO_2 浓度可达到 300~400 mg/m^3。

4、烟气循环流化床脱硫技术（CFB-FGD 技术）。适用于各种玻璃熔窑的熔化工序烟气脱硫。采用该技术，当入口烟气 SO_2 浓度小于 3000 mg/m^3 时，出口烟气 SO_2 浓度可达到 150~400 mg/m^3。

5、新型脱硫除尘一体化技术（NID 技术）。适用于各种玻璃熔窑的熔化工序烟气脱硫。采用该技术，当入口烟气 SO_2 浓度小于 3500 mg/m^3 时，出口烟气 SO_2 浓度可达到 100~400 mg/m^3。

3.3.6 挥发性有机物治理技术

1、喷漆、淋漆工序挥发性有机物治理技术。喷釉车间喷漆、调漆、烘烤工段可共用 1 套有机废气处理系统。工艺为预处理+活性炭吸附。喷漆废气先通过管道

经预处理器过滤漆渣和脱水预处理后，再采用活性炭吸附工艺进行处理，效率 90%左右。

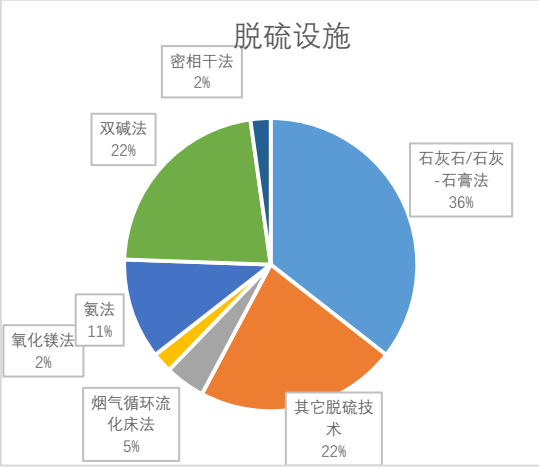
2、玻璃纤维拉丝和浸润剂配置工序挥发性有机物治理技术。玻璃纤维的生产过程中，拉丝等工序和浸润剂的配置及使用过程中会产生少量挥发性有机物，浓度较低，一般可采用活性炭、活性碳纤维、硅藻土、沸石等作为吸附材料，吸收有机废气。其中，活性炭吸附应用最多，吸附后通过解吸可回收有机溶剂。

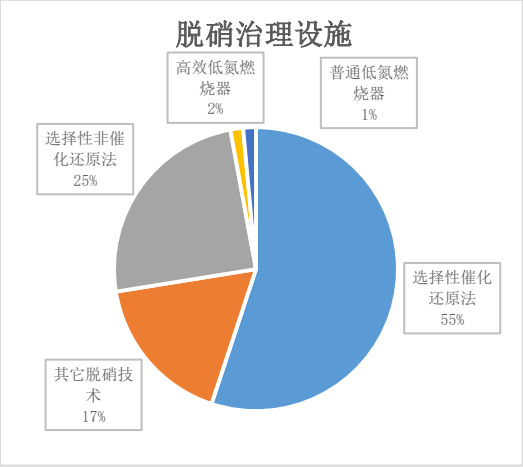
3.3.7 无组织排放控制

玻璃工业的粉尘无组织排放是一个突出的环境问题，采取封闭和密闭作业可有效予以解决。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。

3.4 污染设施安装情况

根据 2020 年四川省大气污染源排放清单系统填报数据，四川省玻璃行业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装率分别为 11.4%、17.5%、44.9%、32.5%。脱硫设施以石灰石/石灰-石膏法和双碱法为主，占比为 36%和 22%；脱硝设施安装以选择性催化还原法和选择性非催化还原法为主，占比为 55%和 25%；除尘设施安装以布袋除尘和湿法除尘工艺为主，占比为 54%和 20%；VOCs 治理设施以活性炭吸附为主，占比为 47%。





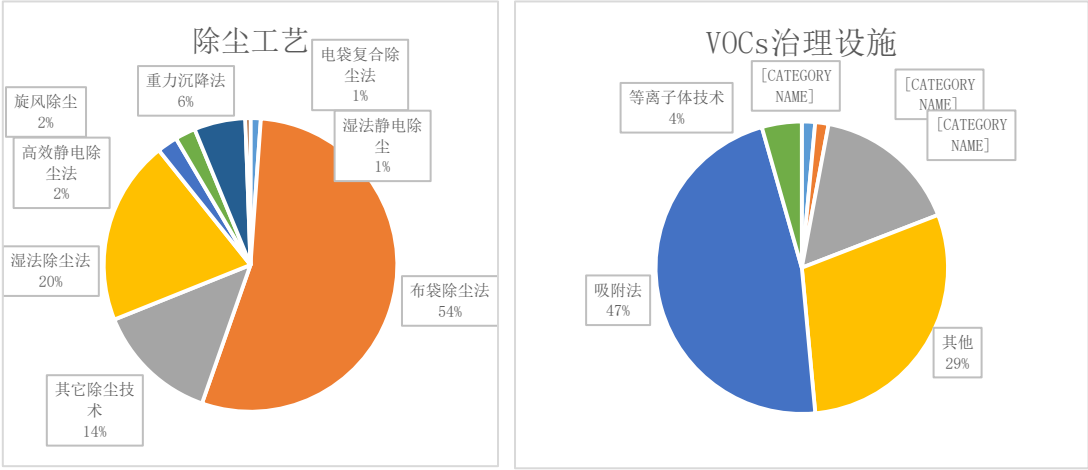


图 3.4-1 四川省玻璃行业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装情况

四川省不同玻璃企业治理设施安装情况见表 3.4-1。玻璃行业除尘设施安装率最高，平板玻璃制造、日用玻璃制品制造、玻璃纤维及制品制造安装率均在 50%以上；脱硝治理设施安装率次之，其中平板玻璃制造安装率最高，为 67%，玻璃纤维及制品制造安装率为 38%，其余行业安装率均在 30%以下；脱硫治理设施安装率仅次于脱硝，平板玻璃制造安装率最高，为 50%，其余行业安装率在 7%-33%之间；VOCs 治理设施安装率整体较低，所有行业安装率均在 40%以下。从行业来看，平板玻璃制造污染物治理设施安装率整体高于其他行业，除 VOCs 治理设施外，脱硫、脱硝及除尘设施安装率均在 50%及以上，其它玻璃制品制造业脱硫、脱硝治理设施安装率均低于 15%，远低于平板玻璃等行业。

表 3.4-1 四川省不同玻璃企业治理设施安装情况

行业类型	脱硫	脱硝	除尘	VOCs 治理
平板玻璃制造	50%	67%	75%	8%
日用玻璃制品制造	33%	29%	50%	21%
玻璃纤维及制品制造	31%	38%	69%	10%
其它玻璃制品制造	7%	13%	41%	36%

3.4.1 平板玻璃制造

根据 2020 年污染源排放清单统计结果，四川省共有 12 家平板玻璃制造企业，其

中大型企业 6 家，中型企业 2 家、小型企业 4 家。不同企业治理设施安装情况结果见图 3.4-2，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘治理设施安装情况优于小型企业，所有大、中型企业均安装脱硝、除尘治理设施，所有小型企业均未安装脱硫和脱硝治理设施。所有大、中型企业均未安装 VOCs 治理设施，小型企业安装率仅为 25%。

平板玻璃制造企业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装率分别为 50%、67%、75%、8%，从治理工艺来看，脱硫治理工艺主要有石灰石/石灰-石膏法、烟气循环流化床法以及密相干法，占比分别为 67%、17%、17%；脱硝工艺主要为选择性催化还原法，占比为 88%；除尘工艺，主要为布袋除尘法、电袋复合除尘法、高效静电除尘法，其中布袋除尘技术占比最高，为 44%，电袋复合除尘法、高效静电除尘法占比分别为 22%、11%；VOCs 治理技术均为活性炭吸附。

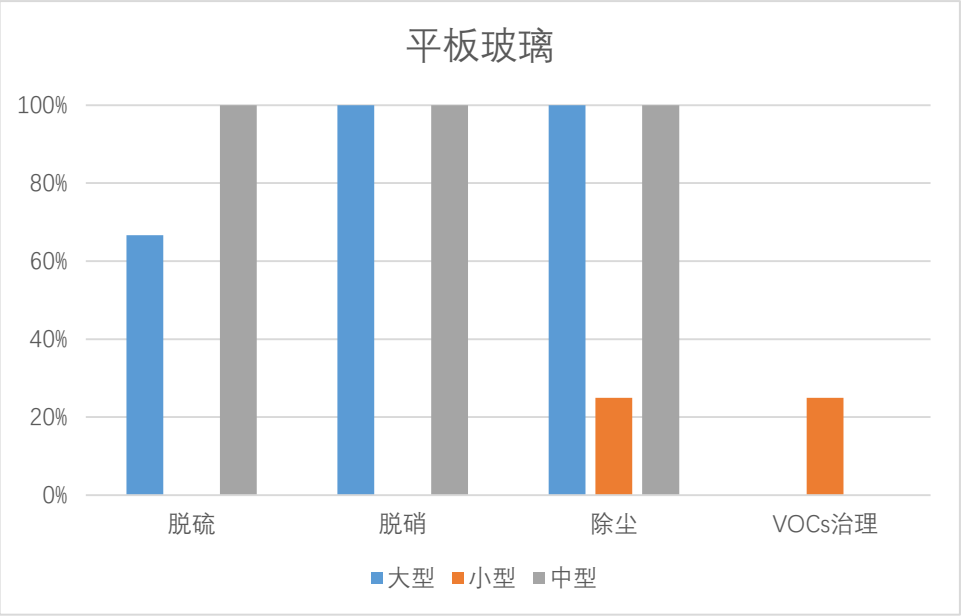


图 3.4-2 不同平板玻璃制造企业治理设施安装情况

3.4.2 日用玻璃制品制造

四川省共 24 家日用玻璃制品制造企业，其中大型企业 4 家，中型企业 6 家、小型企业 14 家。不同企业治理设施安装情况结果见图 3.4-3，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘治理设施安装情况优于小型企业，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘安装率均在 50%及以上，中型企业除尘设施安装达 100%，小型企业所有污染物治理设施安装率均在 30%以下，且均未安装脱硝治理设施。大型企业均未安装 VOCs 治理设施，中

小型治理设施安装率分别为 25%、29%。

日用玻璃制造企业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装率分别为 33%、29%、50%、21%，脱硫工艺以氨法、双碱法、石灰石/石灰-石膏法为主，占比分别为 38%、38%、13%；脱硝工艺均为选择性催化还原法；除尘工艺主要为布袋除尘和普通静电除尘，占比分别为 92%和 8%；VOCs 治理工艺均为吸附法。

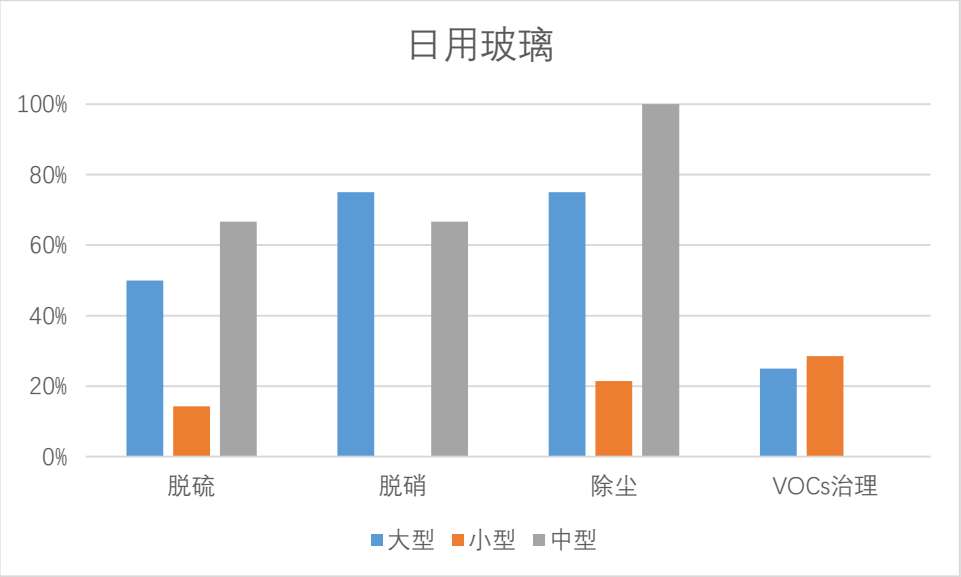


图 3.4-3 不同日用玻璃制造企业治理设施安装情况

3.4.3 玻璃纤维及制品制造

四川省共 29 家玻璃纤维及制品制造企业，其中大型企业 3 家，中型企业 9 家、小型企业 17 家。不同企业治理设施安装情况结果见图 3.4-4，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘治理设施安装情况优于小型企业，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘设施安装率均在 65%以上，其中大型企业脱硝和除尘治理设施安装率均为 100%，小型企业均未安装脱硫治理设施，脱硝治理设施安装率仅为 6%。所有大、中型企业均未安装 VOCs 治理设施，小型企业安装率仅为 18%。

玻璃纤维及制品制造企业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装率分别为 31%、38%、69%、10%，脱硫工艺包括石灰石/石灰-石膏法、氨法、其他脱硫工艺，占比分别为 56%、11%、33%；脱硝工艺包括选择性非催化还原法、选择性催化还原法、高效低氮燃烧器、其它脱硝技术，占比分别为 45%、18%、9%、27%；除尘工艺包括布袋除尘法、单筒旋风除尘法、湿法除尘法、重力沉降法和其它除尘技术，占比分

别为 70%、10%、5%、5%、10%；VOCs 治理工艺主要有吸收法和等离子体技术，占比均为 34%。

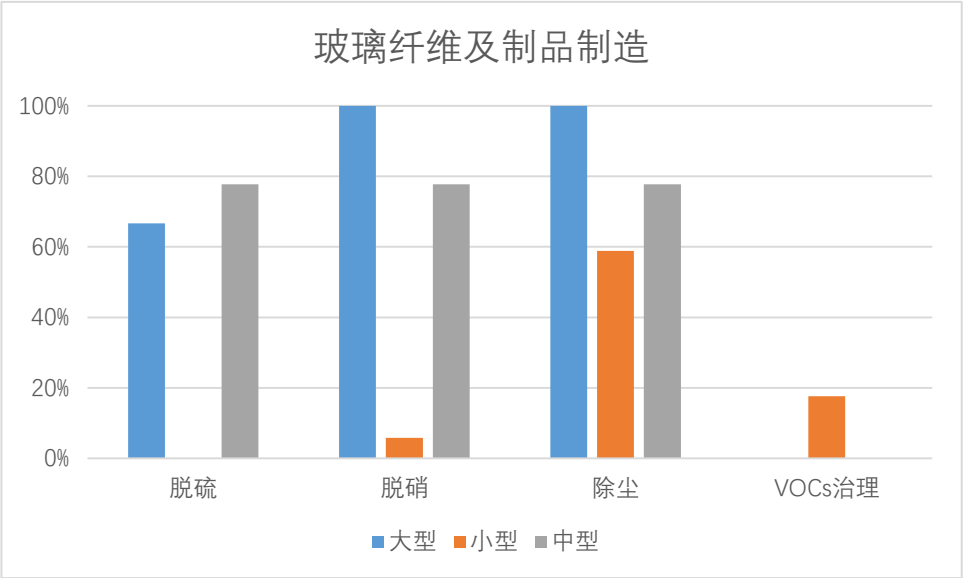


图 3.4-4 不同玻璃纤维及制品制造企业治理设施安装情况

3.4.4 其它玻璃制品制造

四川省共 329 家其它玻璃制品制造企业，其中大型企业 12 家，中型企业 48 家、小型企业 269 家。不同企业治理设施安装情况结果见图 3.4-5，大、中型企业脱硫、脱硝、除尘治理设施安装情况优于小型企业，大、中型企业除尘设施安装率均在 60%以上，脱硝设施安装率均在 40%以上，不同企业脱硫设施安装率均在 25%以下，VOCs 治理设施安装率在 21%~42%之间。

其它玻璃制品制造企业脱硫、脱硝、除尘、VOCs 治理设施安装率分别为 7%、13%、41%、36%，脱硫工艺主要包括烟气循环流化床法、氧化镁法、石灰石/石灰-石膏法、双碱法、氨法等，其中双碱法和石灰石/石灰-石膏法占比最高分别为 32%、27%，其它工艺占比均为 5%；脱硝工艺主要为选择性催化还原法、选择性非催化还原法、普通低氮燃烧器，占比分别为 51%、28%、2%；除尘工艺主要包括布袋除尘、湿法除尘、重力沉降、旋风除尘等，其中布袋除尘和湿法除尘占比最高分别为 46%、25%；VOCs 治理工艺主要包括热力燃烧法、吸附法、冷凝法、光催化降解法、等离子体技术、吸收法、水封等工艺，其中吸附法和光催化降解法占比最高，分别为 72%、9%。

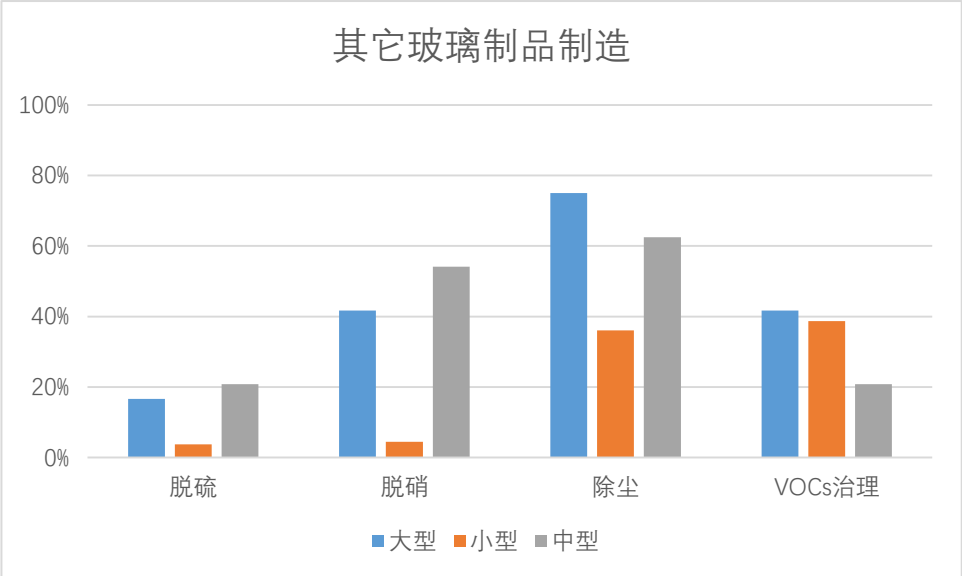


图 3.4-5 其它玻璃制造企业治理设施安装情况

3.5 污染排放情况

2020 年四川省玻璃企业污染物排放情况见表 3.4-1。由表可得，各污染物排放基本以大型企业为主。全省玻璃行业 SO_2、NOx、VOCs、$PM_{2.5}$、PM_{10} 总排放量分别为 1.12 万吨、1.46 万吨、0.41 万吨、1.35 万吨和 1.42 万吨，大型企业排放量较高，占比分别为 78.5%、72.1%、69.0%、72.4%、72.3%，应加大大型企业污染物治理力度。

不同城市玻璃企业污染物排放情况如表 3.4-2。成都、德阳、泸州、宜宾排放量较高，其中成都市各污染物排放占比均在 36%以上，德阳市除颗粒物、CO 排放占比较低以外，其余污染物占比在 10.1%~21%之间，泸州市除 CO 以外，其余污染物排放占比均在 10%以上，宜宾市颗粒物排放占比均在 17%左右，达州市 CO 排放占比仅次于成都，为 49.2%，资阳市 VOCs 排放量占比为 11.7%，其余城市各污染排放占比均在 10%以下。

表 3.4-1 2020 年四川省玻璃企业污染物排放情况

企业类型	SO_2		NOx		CO		VOCs		$PM_{2.5}$		PM_{10}	
	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比
小型	450.	4.0	1542.	10.5	5.5	0.1	546.	13.2	1587	11.7	1668.	11.7

企业类型	SO_2		NOx		CO		VOCs		$PM_{2.5}$		PM_{10}	
	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比	年排放量（t）	百分占比
	0	%	0	%		%	6	%	.5	%	3	%
中型	1956.7	17.5%	2538.0	17.4%	1878.8	50.6%	735.9	17.8%	2142.6	15.8%	2272.1	16.0%
大型	8802.8	78.5%	10541.7	72.1%	1826.2	49.2%	2854.6	69.0%	9798.1	72.4%	10278.5	72.3%
合计	11209.4		14621.7		3710.5		4137.2		13528.2		14218.9	
在全省总排放量占比	4.9%		2.5%		0.1%		0.8%		3.8%		1.7%	

表 3.4-2 2020 年四川省不同城市玻璃企业污染物排放情况（t/a）

地区(市、州)	SO_2	NOx	CO	VOCs	$PM_{2.5}$	PM_{10}
成都市	4634.6	7171.8	1882.7	1505.8	7571.4	7755.0
德阳市	2002.0	3075.7	1.0	415.9	142.8	146.7
泸州市	2316.4	1477.4	0.5	627.4	1729.2	1804.6
内江市	891.1	963.8	0.0	428.8	523.7	571.0
乐山市	4.7	40.2	0.0	12.2	25.9	29.6
绵阳市	26.3	15.9	0.0	102.8	187.1	440.6
自贡市	3.0	8.5	0.0	0.6	8.7	10.8
眉山市	31.0	162.5	0.1	19.7	120.8	126.1
宜宾市	913.5	431.1	0.1	220.0	2419.7	2461.3
南充市	26.4	217.8	0.0	40.6	19.4	20.9
遂宁市	195.4	892.3	0.0	96.0	239.8	244.5
达州市	23.0	30.5	1826.1	157.7	25.9	30.2
雅安市	0.7	5.7	0.0	0.8	5.6	5.8
资阳市	0.2	2.0	0.0	482.0	445.6	506.4
广元市	9.2	71.7	0.0	8.8	8.5	9.0
巴中市	0.9	9.9	0.0	1.4	5.0	5.0
广安市	128.0	19.2	0.0	13.0	32.3	33.9
攀枝花市	1.9	16.2	0.0	2.2	16.4	17.2
凉山彝族自治州	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
阿坝藏族羌族自治州	1.1	9.4	0.0	1.3	0.1	0.1

2020 年四川省不同玻璃行业污染物排放情况见表 3.4-3。四川省玻璃企业污染物排放量较大的行业有平板玻璃制造、玻璃包装容器制造、特种玻璃制造、玻璃纤维及制品制造等，其余行业污染物排放占比均低于 2%。平板玻璃行业颗粒物排放量占全

省玻璃总排放量的 60%以上，其余污染物排放占比为 0.1%-58%。玻璃包装容器制造、特种玻璃制造行业，污染物排放占比分别为 0.0%-37.7%，0%-13.7%。玻璃纤维及制品制造行业 CO、VOC 排放量较高，占比分别为 99.9%和 14.0%。

表 3.4-3　2020 年四川省玻璃行业污染物排放情况（t/a）

行业分类	SO_2	NOx	CO	VOCs	$PM_{2.5}$	PM_{10}
平板玻璃制造	6505.1	5778.4	3.3	1563.2	8455.2	8594.8
特种玻璃制造	187.0	1519.8	0.0	424.9	1633.5	1952.7
玻璃包装容器制造	2960.1	5518.2	0.6	709.2	1676.1	1785.3
其他玻璃制品制造	39.7	238.3	0.0	48.8	172.5	184.3
日用玻璃制品制造	1250.4	616.7	0.0	726.9	511.7	579.9
其他玻璃制造	39.0	28.0	0.7	13.9	6.9	7.3
玻璃仪器制造	117.1	71.3	0.0	34.5	2.5	2.7
玻璃保温容器制造	2.0	16.8	0.0	2.3	2.2	4.7
光学玻璃制造	5.6	48.4	0.1	8.1	26.4	27.3
技术玻璃制品制造	12.5	108.6	0.0	11.1	79.2	83.1
玻璃纤维及制品制造	75.2	630.6	3705.0	577.8	934.3	967.4
玻璃纤维增强塑料制品制造	15.6	46.5	0.7	16.5	27.7	29.2

4、国内外排放标准调研

4.1 国外标准

（1）美国

美国的大气污染物排放标准体系比较复杂，包括排放指南（Emission Guidance）、州实施计划（State Implementation Plan）、新建固定污染源排放标准（New Source Performance Standard）和全国有害大气污染物排放标准（National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants）。如表 4.1-1，平板玻璃排放限值在以下标准中均有要求：一是针对常规污染物的新源标准（NSPS），其中 40 CFR Part 60 Subpart CC（1989 年修订）为玻璃工业；二是针对 189 种空气毒物的危险空气污染物标准（NESHAP），其中 40 CFR Part 63 Subpart SSSSSS（2007 年修订）为玻璃工业。两个排放标准均适用于熔窑设计规模 4.55 t/d 及以上的容器玻璃、平板玻璃、玻璃纤维和电子显示器玻璃等。NSPS 标准控制的常规污染物包括颗粒物 PM、SO_2、NOx，NESHAP 标准控制的大气污染物包括 PM、HAP（As、Cd、Cr、Pb、Mn、Ni）。

美国玻璃熔窑使用的燃料一般为气或油，对平板玻璃熔窑而言，**NSPS** 标准中不同燃料的 **PM** 排放限值一致，均为 **0.225 g/kg** 玻璃。**NESHAP** 为控制凝聚在颗粒物上的重金属，限值更为严格，为 **0.1 g/kg** 玻璃。美国标准里污染物控制指标主要采用“单位产品排放量”，一般通过自动监测系统取得 **30 d** 滑动平均值。

此外，美国各州玻璃厂排污许可证对熔窑维护、污染控制设施维护以及低产率等非正常生产期间的排放做出细化规定。一是采取总量控制，将非正常生产期间废气排放量计入年度排放总量，非正常生产期间的废气排放浓度可豁免。二是限定非正常生产总时长，在此期间，废气排放浓度可豁免。三是规定非正常生产期间的废气排放量限值。

（**2**）欧盟

欧盟于 **2010** 年发布工业排放指令（**2010/75/ EU**），之后发布玻璃工业最佳可行技术（**BAT**）。如表 **4.1-1**，对于平板玻璃熔窑，颗粒物控制技术包括静电或袋式除尘器，相应排放控制水平小于 **10～20 mg/m^3**；氮氧化物一次措施从源头上控制，包括燃烧参数优化调整（如降低空气/燃料比、分级燃烧、低氮燃烧等）、**Fenix** 技术、全氧或富氧燃烧等，二次措施主要包括 **SCR** 等，相应排放控制水平为 **400～800 mg/m^3**；欧洲平板玻璃熔窑燃料多采用气或油，二氧化硫控制技术主要为控制燃料及原辅材料含硫量等一次措施、干法或半干法等二次措施，相应排放控制水平为燃气小于 **300～500 mg/m^3**、燃油 **500～1300 mg/m^3**。欧盟 **BAT** 还给出氯化氢、氟化氢、重金属（**As**、**Co**、**Ni**、**Cd**、**Se**、**Sb**、**Pb**、**Cr**、**Cu**、**Mn**、**V**、**Sn**、**Cr^{6+}**等）、一氧化碳以及氨等指标。

欧盟 **BAT** 排放浓度计量方法分为两种：一是连续监测，按日均值进行评价；二是间断性监测，按 **3** 次监测（每次不少于 **30min**）取平均值，对蓄热式熔窑而言，每次监测周期需包含至少两次换火。

表 **4.1-1** 国外平板玻璃行业大气污染物排放标准

污染物	美国 NSPS	美国 NESHAP	欧盟 BAT	
	排放系数	排放系数（kg/t 玻璃）	浓度（mg/m^3）	排放系数（kg/t 玻璃）
颗粒物	**0.225**	**0.1**	**<10~20**	**<0.025~0.050**
二氧化硫	——	——	天然气	天然气**<0.75~1.25；**

污染物	美国 NSPS	美国 NESHAP	欧盟 BAT	
	排放系数	排放系数（kg/t 玻璃）	浓度（mg/m^3）	排放系数（kg/t 玻璃）
			<300~500； 燃油 500~1300	燃油 1.25~3.25
氮氧化物	——	——	一次措施 700~800； 二次措施 400~700； 采用硝酸盐生产特种玻璃<1200	一次措施 1.75~2.00； 二次措施 1.00~1.75； 采用硝酸盐生产特种玻璃<3
氯化氢	——	——	<10~25	<0.0250~0.0625
氟化氢	——	——	<1~4	<0.0025~0.0100
HAP(As、Cd、Cr、Pb、Mn、Ni)	——	0.01	——	——
Σ(As、Co、Ni、Cd、Se、Cr^{6+}、)	——	——	<0.2~1.0	<0.5×10^{-3}~2.5×10^{-3}
Σ(As、Co、Ni、Cd、Se、Cr^{6+}、Sb、Pb、Cr、Cu、Mn、V、Sn、CO、NH_3)	——	——	<1~5	<0.5×10^{-3}~12.5×10^{-3}

（3）其他国家相关污染项目限值

奥地利、芬兰、法国和意大利相关污染物限值如表 4.1-2 所示。除意大利外，颗粒物浓度限值均为 50 mg/m^3，意大利针对不用规模的熔炉以及燃料设置相应颗粒物和氮氧化物限值。

表 4.1-2 其他国家相关污染物限值 单位（mg/m^3）

污染物	奥地利	芬兰	法国	意大利
颗粒物	50	50	50	80-150（与熔炉规模有关）
二氧化硫	500	-	<1000	1800
氮氧化物	500-1500	2.5-4kg/t	<500-1000（2013 年执行欧盟 BAT）	天然气：1400-3500；重油：1200-3000
氯化物	30	-	-	30
氟化物	5	-	-	5

4.2 国内标准

（1）国家标准

国家的《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）有组织排放相关限值如表 4.2-1 所示，无组织排放监控点浓度限值如表 4.2-2 所示，新建企业于 2023 年 1 月 1 日起正式执行，现有企业于 2024 年 7 月 1 日起执行该标准。

表 4.2-1 国家玻璃工业标准有组织排放限值（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	适用条件	玻璃熔窑	镀膜尾气处理系统	涉 VOCs 物料加工工序[a]	原料称量、配料、碎玻璃及其他通风生产设施	污染物排放监控位置
1	颗粒物	全部	30	30	30	30	车间或生产设施排气筒
2	二氧化硫	全部	200	——	——	——	
3	氮氧化物	全部	400（500[b]）	——	——	——	
4	氯化氢	全部	30	30	——	——	
5	氟化物	全部	5	5	——	——	
6	砷及其化合物	适用含锑澄清剂	0.5	——	——	——	
7	锑及其化合物	适用含砷澄清剂	1	——	——	——	
8	铅及其化合物	铅晶质玻璃、CRT 显像玻璃及其他含铅玻璃	0.5	——	——	0.5[c]	
9	锡及其化合物	全部	——	5	——	——	
10	氨	烟气脱硝使用氨水、尿素等含氨物质	8	——	——	——	
11	NMHC	全部	——	——	80	——	
12	苯系物[d]	全部	——	——	40	——	
13	苯	全部	——	——	1	——	

序号	污染物项目	适用条件	玻璃熔窑	镀膜尾气处理系统	涉 VOCs 物料加工工序[a]	原料称量、配料、碎玻璃及其他通风生产设施	污染物排放监控位置
a 涉 VOCs 物料加工工序包括：玻璃制品调漆、喷漆、烘干、烤花工序，制镜淋漆、烘干工序，玻璃纤维浸润剂配制、拉丝工序等。 b 玻璃制品熔窑执行该限值。 c 适用于铅配料工序。 d 苯系物包括苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、乙苯和苯乙烯。							

表 4.2-2 无组织排放监控点浓度限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	适用条件	限值	无组织排放监控位置
1	砷及其化合物[a]	使用含砷澄清剂的玻璃企业	0.003	企业边界
2	铅及其化合物[b]	铅晶质玻璃及其他含铅玻璃生产企业	0.006	
3	苯	涉 VOCs 物料加工工序的玻璃企业	0.4	
4	颗粒物	监控点处 1h 平均浓度值	3	在厂房外设置监控点
5	NMHC	监控点处 1h 平均浓度值	5	
		监控点处任意一处浓度值	15	
a 总悬浮颗粒物中的砷及其化合物。 b 总悬浮颗粒物中的铅及其化合物。				

国家现行的《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2011）有组织排放相关限值如表 4.2-3 所示。无组织排放监控点浓度限值如表 4.2-4 所示。

表 4.2-3 国家平板玻璃标准有组织排放大气污染物排放限值（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值			污染物排放监控位置
		玻璃熔炉[a]	在线镀膜尾气处理系统	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	
1	颗粒物	50	30	30	车间或生产设施排气筒
2	烟气黑度（格林曼，级）	1	—	—	
3	二氧化硫	400	—	—	
4	氯化氢	30	30	—	
5	氟化物（以总 F 计）	5	5	—	
6	锡及其化合物	—	5	—	
7	氮氧化物（以 NO_2 计）	700	—	—	
a 指干烟气中 O_2 含量 8%状态下（纯氧燃烧为基准排气量条件下）的排放浓度限值。					

表 4.2-4 国家平板玻璃标准无组织排放大气污染物排放限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	1.0	监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1h 浓度值的差值	执行 HJ/T55 的规定，上风向设参照点，下风向设监控点

国家现行的《电子玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 29495-2013）有组织排放相关限值如表 4.2-5 所示。无组织排放监控点浓度限值如表 4.2-6 所示。

表 4.2-5 国家电子玻璃标准有组织排放大气污染物排放限值（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	适用条件	排放限值		污染物排放监控位置
			玻璃熔炉*1	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	
1	颗粒物	全部	50	30	车间或生产设施排气筒
2	烟气黑度（林格曼，级）	全部	1	—	
3	二氧化硫	全部	400	—	
4	氯化氢	全部	30	—	
5	氟化物（以总 F 计）	全部	5	—	
6	铅及其化合物	CRT 锥玻璃、管玻璃及其他含铅电子玻璃	0.7	3*2	
7	砷及其化合物	使用砷化合物作为澄清剂	0.5	3*2	
8	锑及其化合物*3	使用锑化合物作为澄清剂	5	—	
9	氮氧化合物（以 NO_2 计）	全部	700	—	

注：*1 指干烟气中 O_2 含量 8%状态下（纯氧燃烧为基准排气量条件下）的排放浓度限值。
*2 指铅、砷配料的颗粒物浓度限值。
*3 待国家监测方法标准发布后实施。

表 4.2-6 国家电子玻璃标准无组织排放大气污染物排放限值（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	浓度限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	1.0	监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1 小时浓度值的差值	执行 HJ/T55 的规定，上风向设参照点，下风向设监控点
2	铅及其化合物	0.006	监控点环境空气中铅的最高允许浓度	执行 HJ/T55 的规定，监控点设在周界外 10m 范围内浓度最高点

序号	污染物项目	浓度限值	限值含义	无组织排放监控位置
3	砷及其化合物	0.003	监控点环境空气中砷的最高允许浓度	执行 HJ/T55 的规定，监控点设在周界外 10m 范围内浓度最高点

（2）广东省地方标准

广东省现行的《玻璃工业大气污染物排放标准》（DB 44/2159-2019）规定有组织排放相关限值现有企业自 2020 年 1 月 1 日起执行表 4.2-7，新建企业自标准实施之日起执行该限值。无组织排放监控点浓度限值如表 4.2-8 所示。

表 4.2-7 广东省玻璃工业有组织排放大气污染物排放限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值					污染物排放监控位置
		平板玻璃			电子玻璃		
		玻璃炉窑 [a]	在线镀膜尾气处理系统	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	玻璃熔炉 [a]	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	车间或生产设施排气筒
1	颗粒物	30	20	20	30	20	
2	二氧化硫	280[b]	—	—	280[b]	—	
3	氮氧化物（以 NO_2 计）	550	—	—	550	—	

a 指干烟气中 O_2 含量 8%状态下（纯氧燃烧为基准排气量条件下）的排放限值
b 以天然气为燃料的玻璃熔炉、熔炉按现行 GB 26453、GB 29495 执行

表 4.2-8 广东省玻璃工业无组织排放大气污染物排放限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	1.0	监控点与参考点总悬浮颗粒物（TSP）1h 浓度值的差值	执行 HJ/T55 的规定，上风向设参照点，下风向设监控点

（3）河北省地方标准

河北省现行的《平板玻璃工业大气污染物超低排放标准》（DB 13/2168-2020）规定有组织排放相关限值现有企业自 2021 年 10 月 1 日起执行表 4.2-9 限值，新建企业自标准实施之日起执行该限值。无组织排放监控点浓度限值如表 4.2-10 所示。

表 4.2-9 河北省平板玻璃工业有组织排放大气污染物排放限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值			污染物排放监控位置
		玻璃熔窑 a	在线镀膜尾气处理系统	配料、碎玻璃等其他通风生产设备	
1	颗粒物	10	10	10	车间或生产设施排气筒
2	烟气黑度（格林曼，级）	1	—	—	
3	二氧化硫	50	—	—	
4	氯化氢	30	30	—	
5	氟化物（以总 F 计）	5	5	—	
6	锡及其化合物	—	5	—	
7	氮氧化物	200	—	—	
8	氨 [b]	8	—	—	
a：指干烟气中 O_2 含量 8%状态下（纯氧燃烧为基准排气量条件下）的排放浓度限值。 b：适用于使用尿素、液氨或氨水作为还原剂脱硝的企业。					

表 4.2-10 河北省平板玻璃工业无组织排放大气污染物排放限值 （单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	排放限值	限制含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	0.5	监控点与参照点总悬浮颗粒物（TSP）1h 浓度值的差值	执行 HJ/T55 的规定，上风向设置参照点，下风向设置监控点
2	氨	1.0	监控点处 1h 浓度平均值	执行 HJ/T55 的规定，下风向设置监控点

（4）山东省地方标准

山东省现行的《建材工业大气污染物排放标准》（DB 37/2373-2018）规定企业有组织排放执行表 4.2-11 相关限值，无组织排放执行表 4.2-12 相关限值。

表 4.2-11 山东省玻璃工业有组织排放大气污染物限值（单位：mg/m^3）

受控工艺或设备	污染物项目	重点控制区	一般控制区
所有玻璃熔窑	颗粒物	10	20
	二氧化硫	50	100
	氮氧化物（以 NO_2 计）	100	200
	氟化物（以 F 计）	5	5
	氯化物（以 HCL 计）	30	30
	烟气黑度（格林曼，级）	1	1
	氨 [a]	8	8

受控工艺或设备	污染物项目	重点控制区	一般控制区
日用玻璃熔窑	铅及其化合物	**0.5**	**0.5**
	砷及其化合物	**0.5**	**0.5**
	锑及其化合物	**1**	**1**
	镉及其化合物	**0.2**	**0.2**
	铬及其化合物	**1**	**1**
电子玻璃熔窑	铅及其化合物	**0.7**	**0.7**
	砷及其化合物	**0.5**	**0.5**
	锑及其化合物	**5**	**5**
所有配料、碎玻璃等其他通风生产设备	颗粒物	**10**	**20**
电子玻璃配料、碎玻璃等其他通风生产设备	铅及其化合物	**3**	**3**
	砷及其化合物	**3**	**3**
平板玻璃在线镀膜尾气处理系统	颗粒物	**10**	**20**
	氟化物（以 F 计）	**5**	**5**
	氯化物（以 HCL 计）	**30**	**30**
	锡及其化合物	**5**	**5**
a 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂去除烟气中氮氧化物的情形。			

表 **4.2-12** 山东省玻璃工业无组织排放大气污染物限值 （单位：**mg/m^3**）

行业	污染物项目	浓度限值
日用玻璃、电子玻璃	铅及其化合物	**0.006**
	砷及其化合物	**0.003**

（**5**）河南省地方标准

河南省现行的《工业窑炉大气污染物排放标准》（**DB41/1066-2020**）规定玻璃制品工业有组织排放执行表 **4.2-13** 相关限值，无组织排放执行表 **4.2-14** 相关限值。

表 **4.2-13** 河南省玻璃工业有组织排放大气污染物限值（单位：**mg/m^3**）

序号	污染物项目	排放限值	污染物排放监控位置
1	颗粒物	**10**	车间或生产设施排气筒
2	二氧化硫	**100**	
3	氮氧化物（以 NO_2 计）	**300**	
4	烟气黑度（格林曼，级）	**1**	
5	氟化物（以总 F 计）	**6**	
6	铅及其化合物	**0.1**	
7	汞及其化合物	**0.01**	
8	铍及其化合物	**0.01**	

序号	污染物项目	排放限值	污染物排放监控位置
9	砷及其化合物	**0.4**	
10	镉及其化合物	**0.8**	
11	氯化氢	**30**	

表 4.2-14 河南省玻璃工业无组织排放大气污染物排放限值 （单位：**mg/m^3**）

污染物	周界外最高允许浓度	监控位置
颗粒物	**1.0**	企业边界

4.3 标准对比

国内外标准对比如表 **4.3-1** 和表 **4.3-2**。相较于国际标准，国内标准颗粒物浓度限值整体高出欧盟标准 **0.5~1.5** 倍，低于法国、意大利等其他国家。山东省、河南省和河北省颗粒物限值与欧盟限值相当；二氧化硫、氮氧化物浓度限值整体严于国际标准，其中山东省氮氧化物重点区域要求最为严格，限值为 **100 mg/m^3**，仅为欧盟标准（**700~800 mg/m^3**）的 **0.125-0.14** 倍；对于砷、铅、镉、铬等化合物的限值要求，国内是针对单一元素及其化合物分别作出要求，而国际标准是针对多种元素以及化合物的合计浓度作出相应要求，总体而言，限值浓度相当。

国内主要城市有组织排放标准对比：所有工段中颗粒物浓度限值均为河南省、河北省和山东省重点区域最为严格，限值仅为 **10mg/m^3**，低于国家标准 **67%~80%**。二氧化硫限值河北省和山东省重点区域最低，均为 **50 mg/m^3**，低于国家标准 **75%~88%**。氮氧化物浓度限值山东省重点区域最为严格，为 **100 mg/m^3**，低于国家标准 **75%~86%**。氯化物、氟化物、氨以及金属及其化合物国内标准限值较为一致。此外新国标中新增涉 **VOCs** 物料加工工序相关污染物浓度限值；新增 **VOCs** 燃烧装置排放烟气中二氧化硫和氮氧化物排放限值，均为 **200 mg/m^3**，地方标准中均未涉及。

国内主要城市无组织排放标准对比：河北省颗粒物浓度限值低于国家标准，山东省铅及其化合物限值低于国家标准，其余城市无组织排放限值均与国家标准一致，此外 **2022** 年新国标中新增苯浓度限值，为 **0.4 mg/m^3**；河北省无组织排放要求氨限值为 **1 mg/m^3**。

表 4.3-1 有组织排放国内外标准对比（单位：mg/m^3）

排放限值	污染物项目	广东省	河南省	山东省		河北省	国家标准			欧盟 BAT		美国		其他国家
				一般控制区	重点区域		电子玻璃	平板玻璃	2022 年新国标	浓度	排放系数（kg/t 玻璃）	NSPS	NESHAP	法国、意大利、奥地利、芬兰
玻璃熔窑	颗粒物	30	10	20	10	10	50	50	30	<10-20	<0.025~0.050	0.225（排放系数 kg/t）	0.1（排放系数 kg/t）	50
	二氧化硫	280	100	100	50	50	400	400	200	天然气<300-500；燃油 500-1300	天然气<0.75~1.25；燃油 1.25~3.25	—	—	500-1800
	氮氧化物	550	300	200	100	200	700	700	400（其他）；500（玻璃制品制造）	一次措施 700-800；二次措施 400-700；采用硝酸盐生产特种玻璃<1200	一次措施 1.75~2.00；二次措施 1.00~1.75；采用硝酸盐生产特种玻璃<3	—	—	500-3500
	氯化氢	—	30	30	30	30	30	30	30	<10-25	<0.0250~0.0625	—	—	30
	氟化物	—	6	5	5	5	5	5	5	<1-4	<0.0025~0.0100	—	—	5
	砷及其化合物	—	0.4	0.5	0.5	—	0.5	—	0.5	Σ(As、Co、Ni、Cd、Se、Cr^{6+})：0.2~1.0	<0.5*10^{-3}~2.5*10^{-3}	—	—	
	锑及其化合物	—		1（日用玻璃），5（电子玻璃）		—	5	—	1			—	—	
	铅及其化合物	—	0.1	0.5（日		—	0.7	—	0.5	Σ(As、Co、	<0.5*10^{-3}~12.5*10^{-3}	—	—	

排放限值	污染物项目	广东省	河南省	山东省		河北省	国家标准			欧盟 BAT		美国		其他国家
				一般控制区	重点区域		电子玻璃	平板玻璃	2022 年新国标	浓度	排放系数（kg/t 玻璃）	NSPS	NESHAP	法国、意大利、奥地利、芬兰
				用玻璃），0.7（电子玻璃）						Ni、Cd、Se、Cr^{6+}、Sb、Pb、Cr、Cu、Mn、V、Sn、CO、NH_3)：1~5				
	镉及其化合物	—	0.8	0.2（日用玻璃）		—	—	—	—			—	—	
	铬及其化合物	—	—	1（日用玻璃）		—	—	—	—			—	—	
	氨	—	—	8	8	8	—	—	8	—	—	—	—	
	烟气黑度（格林曼，级）	—	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	
镀膜尾气处理系统	颗粒物	20	—	20	10	10	—	30	30	—	—	—	—	
	氯化氢	—	—	30	30	30	—	30	30	—	—	—	—	
	氟化物	—	—	5	5	5	—	5	5	—	—	—	—	
	锡及其化合物	—	—	5	5	5	—	5	5	—	—	—	—	
配料、碎玻璃等其他通风生产设备	颗粒物	20	—	20	10	10	30	30	30	—	—	—	—	
	砷及其化合物	—	—	3（仅电子玻璃）		—	3	—	—	—	—	—	—	
	铅及其化合物	—	—	3（仅电子玻		—	3	—	0.5	—	—	—	—	

排放限值	污染物项目	广东省	河南省	山东省		河北省	国家标准			欧盟 BAT		美国		其他国家
				一般控制区	重点区域		电子玻璃	平板玻璃	2022 年新国标	浓度	排放系数（kg/t 玻璃）	NSPS	NESHAP	法国、意大利、奥地利、芬兰
				璃）										
涉 VOCs 物料加工工序	颗粒物	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	
	NMHC	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	
	TVOC	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	
	苯系物	—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	
	苯	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	
VOCs 燃烧装置大气污染物排放限值	二氧化硫	—	—	—	—	—	—	—	200	—	—	—		
	氮氧化物	—	—	—	—	—	—	—	200	—	—	—		

表 4.3-2 无组织排放国内标准对比（单位：mg/m^3）

标准	颗粒物	铅及其化合物	砷及其化合物	氨	苯
国家电子玻璃	1	0.006	0.003	—	—
国家平板玻璃	1	—	—	—	—
2022 年新国标	—	0.006	0.003	—	0.4
广东省	1	—	—	—	—
山东省	1	0.003	0.003	—	—
河北省	0.5	—	—	1	—
河南省	1	—	—	—	—

4.4 四川省玻璃行业现行标准主要问题分析

（1）部分污染物排放限值宽松，不利于促进行业技术进步和污染防治。近几年，四川省玻璃行业除尘脱硫技术已较为成熟，SCR 脱硝技术也在玻璃行业得到推广，复合陶瓷滤筒除尘脱硝一体化等高效治理技术也逐步得到应用，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的排放水平已明显下降，使得《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB 9078-1996）、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2011）、《电子玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 29495-2013）以及《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）中的部分排放限值略显宽松，不能发挥有效约束作用。

（2）污染物控制指标不全。玻璃熔窑废气脱硝过程中存在氨逃逸，氨的装卸、贮存、输送等过程存在无组织排放，《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）中仅规定了有组织氨排放限值，未制定无组织氨排放限值。

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：《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2011）、《电子玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 29495-2013）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

研究国外发达地区玻璃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、《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2011**）、《电子玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 29495-2013**）等。

6、标准主要技术内容

6.1 适用范围

本标准规定了玻璃工业大气污染物排放控制要求、监测和监督管理要求。

本标准适用于现有玻璃工业企业或生产设施的大气污染物排放管理，以及玻璃工业建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可证核发及其投产后的大气污染物排放管理。

6.2 标准内容框架

本标准内容包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、有组织排放控制要求、无组织排放控制要求、企业边界污染物监控要求、污染物监测要求、实施与监督共 **8** 章。

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）有组织排放限值

根据生产工艺与污染物排放分析，分为玻璃熔窑，镀膜尾气处理系统，涉 **VOCs** 物料加工工序，原料称量、配料、碎玻璃及其他通风生产设施四个部分执行不同的污染物控制项目与排放限值。

（2）无组织排放控制要求

包括颗粒物、氨无组织排放控制要求，**VOCs** 无组织排放控制要求，厂区内无组织排放监控要求。

（**3**）废气收集与排放

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。

6.3 污染物项目

（**1**）玻璃熔窑执行颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、氟化物、氨等控制项目；

（**2**）镀膜尾气处理系统执行颗粒物、氯化氢、氟化物和锡及其化合物控制项目；

（**3**）配料、碎玻璃等其他通风生产设备执行颗粒物等控制项目；

（**4**）涉 **VOCs** 物料加工工序项目包括：颗粒物、**NMHC**、苯系物和苯等控制项目；

（**5**）厂区无组织排放执行颗粒物、**NMHC** 等控制项目；

（**6**）企业边界执行氨、苯、砷及其化合物、铅及其化合物等控制项目。

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、德阳、绵阳、泸州、宜宾等城市的玻璃工业企业开展实测和调研，共获取 **35** 条生产线信息，其中平板玻璃生产线 **15** 条，日用玻璃生产线 **15** 条，玻璃纤维生产线 **5** 条。测试指标包括各工序有组织颗粒物、SO_2、**NOx**、氨、**VOCs**、氯化氢、氟化物、铅及其化合物等，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、污染控制技术及投资等。

表 7.1-1 本次标准制定调查测试企业情况

企业名称	城市	区县	生产线条数	玻璃类型	备注
企业 **1**	泸州市	纳溪区	**1**	平板玻璃	
企业 **2**	泸州市	龙马潭区	**2**	平板玻璃	共用 **1** 个排放口
企业 **3**	宜宾市	珙　县	**1**	平板玻璃	
企业 **4**	绵阳市	经开区	**1**	平板玻璃	

企业名称	城市	区县	生产线条数	玻璃类型	备注
企业 5	德阳市	旌阳区	2	平板玻璃	
企业 6	成都市	双流区	3	平板玻璃	
企业 7	成都市	高新西区	2	平板玻璃	生产线一备一用
企业 8	成都市	青白江区	2	平板玻璃	
企业 9	泸州市	泸　县	1	平板玻璃	
小计 1			15	平板玻璃	
企业 10	宜宾市	翠屏区	4	日用玻璃	
企业 11	乐山市	夹江县	1	日用玻璃	
企业 12	内江市	东兴区	1	日用玻璃	
企业 13	成都市	崇州市	2	日用玻璃	共用 1 个排放口
企业 14	成都市	简阳市	1	日用玻璃	
企业 15	成都市	东部新区	1	日用玻璃	
企业 16	成都市	龙泉驿区	1	日用玻璃	
企业 17	成都市	新津区	1	日用玻璃	
企业 18	成都市	双流区	1	日用玻璃	
企业 19	成都市	大邑县	1	日用玻璃	
企业 20	成都市	邛崃市	1	日用玻璃	
小计 2			15	日用玻璃	
企业 21	泸州市	泸　县	1	玻璃纤维	
企业 22	内江市	威远县	2	玻璃纤维	共用 1 个排放口
企业 23	成都市	青白江区	1	玻璃纤维	
企业 24	成都市	金堂县	1	玻璃纤维	
小计 3			5	玻璃纤维	

图 7.1-1 现场测试

图 7.1-2 实地调研

7.1 玻璃熔窑污染物排放限值

玻璃熔窑是玻璃生产企业的重要设备，也是最重要的大气排放源。其排放的污染物有颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、氟化物、重金属等。

目前，四川省平板玻璃熔窑主要以天然气为燃料，少数平板电子玻璃生产企业采用“电+气”为燃料的纯氧助燃方式，课题组搜集到 9 家平板玻璃生产企业（含 1 家平板电子玻璃）中，8 家采用天然气为燃料，1 家采用纯氧燃烧方式。

日用玻璃池窑主要以天然气、煤气和电为燃料，本次课题组搜集到 11 家日用玻璃生产企业，有 10 家采用天然气为燃料，1 家采用煤气发生炉。

玻璃纤维熔窑主要以天然气为燃料，本次课题组搜集到 4 家玻璃纤维生产企业均采用天然气为燃料，其中 2 家采用纯氧助燃方式。

常见的玻璃熔窑大气污染物及产生浓度如表 7.1-2 和 7.1-3 所示。

表 7.1-2 平板玻璃熔窑大气污染物产生浓度（单位：mg/m^3）

产品种类	燃料类型	颗粒物	SO_2	NOx
平板玻璃	天然气	300~400	200~400	3000~4000
	发生炉煤气、焦炉煤气	300~500	600~1500	2500~3000
	重油、煤焦油	500~800	800~3500	1200~2800
电子玻璃	天然气（空气燃烧）	100~300	≤400	3000~4000
	天然气（纯氧燃烧）	50~100	≤400	500~700

表 7.1-3 日用玻璃熔窑废气主要成份及产生浓度（单位：mg/m^3）

熔炉类型	颗粒物	SO_2	NOx	氯化氢	氟化物	重金属
热煤气熔窑	~800	800~1500	~2400	5~90	1~38	1~15
石油焦熔窑	~1500	~2000	~2400			
天然气熔窑	~600	60~420	~4200			

7.1.1 颗粒物

1、污染物排放浓度现状分析

不同类型玻璃熔窑颗粒物产生浓度有一定差异。平板玻璃熔窑颗粒物产生浓度相对较低，大多在几十至 **500 mg/m^3** 之间；日用玻璃熔窑颗粒物产生浓度较高，在 **600~800 mg/m^3** 之间。如采用石油焦，颗粒物产生浓度可达 **1500 mg/m^3**。通过使用清洁燃料（如天然气、灰分含量小于 **10%**的优质煤生产的热煤气等），可降低颗粒物产生浓度。

表 **7.1-4** 为玻璃熔窑排放口的颗粒物浓度分布情况，数据来源于课题组人员现场实测或企业的在线监测，表中所有浓度均按照国家标准要求以 **8%**为基准含氧量进行折算（下同）。平板玻璃熔窑颗粒物排放浓度在 **10 mg/m^3** 以下的占比 **46%**，**10~20 mg/m^3** 之间占比为 **31%**，**20~30 mg/m^3** 和 **30 mg/m^3** 以上的占比分别为 **15%**和 **8%**。日用玻璃熔窑颗粒物排放浓度 **10 mg/m^3** 以下占比 **21%**，**10~20 mg/m^3** 的占 **7%**，**20~30 mg/m^3** 以及 **30 mg/m^3** 以上占比均为 **36%**。玻璃纤维熔窑颗粒物排放浓度均在 **10 mg/m^3** 以上，其中 **10~20 mg/m^3** 和 **20~30 mg/m^3** 占比均为 **25%**，有 **50%**的生产线颗粒物排放浓度大于 **30 mg/m^3**。

表 **7.1-4** 平板玻璃熔窑颗粒物排放浓度分布

行业类别	浓度区间	10 mg/m^3 及以下	10~20 mg/m^3	20~30 mg/m^3	30 mg/m^3 以上	总计
平板玻璃	生产线数量	6	4	2	1	13
	占比	46%	31%	15%	8%	100%
日用玻璃	生产线数量	3	1	5	5	14
	占比	21%	7%	36%	36%	100%
玻璃纤维	生产线数量	0	1	1	2	4
	占比	0%	25%	25%	50%	100%
合计	生产线数量	9	6	8	8	31
	占比	29%	19%	26%	26%	100%

2、排放限值确定

玻璃熔窑颗粒物治理可采用袋式除尘技术、静电除尘技术、旋风除尘技术等技术中的一种或多种技术相结合的方式。根据本次调研结果，现有玻璃熔窑采取的除尘设施主要有布袋除尘、静电除尘、电袋复合式除尘、陶瓷纤维一体化设施和湿法除尘，湿法除尘最高效率为 93%，电袋复合式除尘、布袋除尘、陶瓷纤维一体化设施等最高能达到 99%的瞬时去除效率。

（1）平板玻璃

表 7.1-5 为玻璃熔窑颗粒物排放统计情况。课题组调研的平板玻璃颗粒物治理技术有 5 条生产线采用静电除尘和袋式除尘相结合，5 条采用静电除尘，采用旋风除尘和袋式除尘相结合、布袋除尘、陶瓷纤维一体化设施的各 1 条。

本研究所调研测试的平板玻璃生产线颗粒物排放浓度均满足我国平板玻璃熔窑、电子玻璃熔窑中的颗粒物限值 50 mg/m^3（含氧量 8%）的要求。其中采用静电除尘技术颗粒物排放浓度为 5~37 mg/m^3，平均浓度为 17 mg/m^3；采用静电除尘和布袋除尘相结合技术，颗粒物排放浓度为 9~18 mg/m^3；采用旋风除尘和布袋除尘相结合、袋式除尘、陶瓷纤维一体化治理技术颗粒物排放浓度分别为 21 mg/m^3、5 mg/m^3 和 13 mg/m^3。整体而言，布袋除尘颗粒物排放浓度最低。

7.1-5 平板玻璃熔窑颗粒物排放统计

统计项目	陶瓷纤维一体化设施	静电除尘	布袋除尘	静电除尘+布袋除尘	旋风除尘+布袋除尘
生产线数量	1	5	1	5	1
平均排放浓度（mg/m^3)	13	17	5	14	21
浓度最大值（mg/m^3)	13	37	5	18	21
浓度最小值（mg/m^3)	13	5	5	9	21

（2）日用玻璃

表 7.1-6 为日用玻璃熔窑颗粒物排放统计情况。课题组调研的日用玻璃颗粒物治理技术有 9 条生产线采用布袋除尘、5 条采用触媒管陶瓷纤维一体化设施。采用布袋

除尘技术颗粒物排放浓度为 21~110 mg/m^3，平均浓度为 39 mg/m^3；采用触媒管陶瓷纤维一体化设施的颗粒物排放浓度为 7~29 mg/m^3，平均浓度为 13 mg/m^3。采用触媒管陶瓷纤维一体化技术的颗粒物排放浓度明显低于布袋除尘。

7.1-6 日用玻璃熔窑颗粒物排放统计

统计项目	陶瓷纤维一体化设施	布袋除尘
生产线数量	5	9
平均排放浓度（mg/m^3)	13	39
浓度最大值（mg/m^3)	29	110
浓度最小值（mg/m^3)	7	21

（3）玻璃纤维

表 7.1-7 为玻璃纤维熔窑颗粒物排放统计情况。课题组调研的玻璃纤维颗粒物治理技术有 2 条生产线采用布袋除尘、2 条生产线采用湿法除尘。采用湿法除尘技术颗粒物平均浓度为 45 mg/m^3；采用布袋除尘技术颗粒物平均浓度为 25 mg/m^3。总体上讲，采用布袋除尘的颗粒物排放浓度明显低于湿法除尘。

7.1-7 玻璃纤维熔窑颗粒物排放统计

统计项目	湿法除尘	布袋除尘
生产线数量	2	2
平均排放浓度（mg/m^3)	45	25
浓度最大值（mg/m^3)	60	36
浓度最小值（mg/m^3)	30	14

表 7.1-8 是玻璃熔窑颗粒物排放浓度的累积分布，样品数量是 31。可以看出，有 19%的玻璃熔窑颗粒物排放控制在 9 mg/m^3 左右，45%的熔窑达到了 16 mg/m^3 以下，约 55%的熔窑可控制在 20 mg/m^3 左右。综合来看，本次标准将玻璃熔窑颗粒物排放浓度定为 20 mg/m^3，所有区域执行统一排放限值。标准提高后，部分企业需要对现有玻璃熔窑的除尘设备进行改造，如将布袋除尘器更换为涤纶覆膜或 P84 覆膜滤料、增大除尘器过滤面积等，改造费用在 240~500 万元之间；或将静电除尘器提效改造（如增加电场级数、提高高压电源性能、采用移动电极技术）或“电改袋”、“电改为电袋复合”，改造费用为 70~900 万；或采用触媒管陶瓷纤维一体化治理技术费用为 600~1000 万元。

表 7.1-8 玻璃熔窑颗粒物排放浓度累积分布

比例	19%	45%	55%	68%	77%	94%	100%
浓度（mg/m^3）	9	16	21	25	35	39	110

7.1.2 二氧化硫

1、污染物排放浓度现状分析

二氧化硫来源主要有两方面，一是燃料中含硫，因此燃烧产物中有二氧化硫；二是玻璃配合料中芒硝（Na_2SO_4）分解形成的二氧化硫。四川省目前玻璃熔窑均使用天然气或电作为燃料，由燃料带来的二氧化硫相对较低，企业只需要控制玻璃生产原辅料芒硝的用量即可大幅度减少二氧化硫的产生量。

表 7.1-9 为玻璃熔窑二氧化硫排放浓度分布情况，数据均来自于课题组人员实测或企业在线数据，所有浓度均按照国家标准要求以 8%为基准含氧量进行折算。整体而言，大部分玻璃熔窑二氧化硫排放浓度低于 100 mg/m^3，占比为 71%。从具体行业来看，平板玻璃熔窑二氧化硫排放浓度 100 mg/m^3 以下占比为 46%，100~150 mg/m^3 之间占比为 31%，有 23%的生产线二氧化硫排放浓度大于 150 mg/m^3。日用玻璃熔窑二氧化硫排放浓度大多在 100 mg/m^3 以下，占比 86%，其余 14%生产线在 150 mg/m^3 以上。玻璃纤维 4 条熔窑生产线的二氧化硫排放浓度均在 100 mg/m^3 以下。

7.1-9 玻璃熔窑二氧化硫排放浓度分布

行业类别	浓度区间	0~100 mg/m^3	100~150mg/m^3	150 mg/m^3 以上	总计
平板玻璃	生产线数量	6	4	3	13
	占比	46%	31%	23%	100%
日用玻璃	生产线数量	12	0	2	14
	占比	86%	0%	14%	100%
玻璃纤维	生产线数量	4	0	0	4
	占比	100%	0%	0%	100%
合计	生产线数量	22	4	5	31
	占比	71%	13%	16%	100%

2、排放限值确定

玻璃熔窑二氧化硫治理技术有干法（半干法）脱硫技术和湿法脱硫技术。其中，干法（半干法）脱硫技术又包括旋转喷雾干燥脱硫技术（SDA 技术）、烟气循环流化床脱硫技术（CFB-FGD 技术）和新型脱硫除尘一体化技术（NID 技术）；湿法脱硫技术有石灰石/石灰-石膏法和钠碱法。根据本次调研结果，四川省现有玻璃熔窑采取的脱硫技术主要为干法脱硫、半干法脱硫、湿法脱硫（碱法）以及干法半干法结合脱硫。采用干法脱硫、湿法脱硫（碱法）以及干法半干法结合脱硫效率可达 90%以上，而半干法脱硫效率最高为 80%。

（1）平板玻璃

表 7.1-10 为玻璃熔窑二氧化硫排放统计情况。课题组调研的 13 条生产线中，有 9 条生产线有脱硫设施，其余 4 条生产线未安装脱硫设施。13 条线中二氧化硫排放浓度最低为 23 mg/m^3，最高为 178 mg/m^3，平均排放浓度为 109 mg/m^3。安装脱硫设施的主要以半干法、干法以及干法和半干法相结合的方式，其中，无脱硫设施的二氧化硫排放浓度在 31~178 mg/m^3 之间，采用干法脱硫的二氧化硫排放浓度为 115~123 mg/m^3，采用半干法脱硫的二氧化硫排放浓度为 42~156 mg/m^3，采用干法和半干法相结合脱硫的二氧化硫排放浓度均在 50 mg/m^3 以下。

表 7.1-10 平板玻璃熔窑二氧化硫排放统计

统计项目	半干法脱硫	干法脱硫	干法脱硫+半干法脱硫	无脱硫
生产线数量	5	2	2	4
平均排放浓度（mg/m^3)	110	119	34	101
浓度最大值（mg/m^3)	156	123	45	178
浓度最小值（mg/m^3)	42	115	23	31

（2）日用玻璃

调研获取的 14 条日用玻璃熔窑生产线中，有 7 条生产线有脱硫设施，其余 7 条生产线未安装脱硫设施，二氧化硫排放浓度最低为 2 mg/m^3，最高为 1483 mg/m^3，二氧化硫平均排放浓度为 145 mg/m^3。安装的脱硫设施主要以干法脱硫（含触媒管陶瓷一体化设施）为主，采用干法脱硫的二氧化硫排放浓度为 2~74 mg/m^3；采用湿法脱

硫二氧化硫排放浓度为 285 mg/m^3，主要是由于企业管理不当，脱硫塔漏液严重，脱硫液呈弱碱甚至偏酸性，脱硫效果差；而无脱硫设施的二氧化硫排放浓度在 2~1483 mg/m^3。

表 7.1-11 日用玻璃熔窑二氧化硫排放统计

统计项目	干法脱硫	湿法脱硫	无脱硫
生产线数量	6	1	7
平均排放浓度（mg/m^3)	22	285	231
浓度最大值（mg/m^3)	74	285	1483
浓度最小值（mg/m^3)	2	285	2

（3）玻璃纤维

调研获取的 4 条玻璃纤维熔窑生产线中，有 3 条生产线有脱硫设施，1 条生产线未安装脱硫设施，二氧化硫排放浓度最低为 3 mg/m^3，最高为 35 mg/m^3，二氧化硫平均排放浓度为 23 mg/m^3。安装的脱硫设施主要以湿法脱硫（碱法）为主，采用湿法脱硫的二氧化硫排放浓度为 3~32 mg/m^3，平均浓度为 19 mg/m^3。

表 7.1-12 是玻璃熔窑二氧化硫排放浓度的累积分布，样品数量是 31。可以看出，有 65%玻璃熔窑二氧化硫排放控制在 65 mg/m^3 以下，有 74%的熔窑二氧化硫排放浓度在 115 mg/m^3 以内。本次标准将玻璃熔窑二氧化硫排放限值定为 100 mg/m^3。

表 7.1-12 玻璃熔窑二氧化硫排放浓度的累积分布

累计比例	26%	61%	65%	74%	87%	94%	97%	100%
浓度 mg/m^3	20	45	65	115	155	177	285	1483

将二氧化硫排放标准提升后，企业首先需要控制玻璃生产原辅料芒硝的用量或选择其他原辅料替代进而从源头减少二氧化硫的初始浓度，再者，通过对玻璃熔窑烟气进行一定的脱硫，如干法脱硫（含触媒管陶瓷一体化设施）、干法与半干法相结合等，投资 700~1200 万元。

7.1.3 氮氧化物

1、污染物排放浓度现状分析

氮氧化物主要来源：原料中硝酸盐分解；燃料中含氮物质燃烧；燃烧空气中的

N_2与O_2在高温下剧烈反应生成的热力型氮氧化物，玻璃熔炉一般都是在高温下运行，热力型氮氧化物占大部分。

表 7.1-13 为玻璃熔窑氮氧化物排放浓度分布情况，数据均来自于课题组人员实测或企业在线数据，课题组共获取 13 条平板玻璃熔窑、14 条日用玻璃熔窑和 4 条玻璃纤维熔窑的氮氧化物排放数据，所有浓度均按照国家标准要求以 8%为基准含氧量进行折算。其中，平板玻璃熔窑排放浓度在 200mg/m^3 以下的占比 38%，200~300 mg/m^3 占比 38%，300~350 mg/m^3 占比 15%，350 mg/m^3 以上的占比为 8%。日用玻璃熔窑氮氧化物排放浓度在 200 mg/m^3 以下的占比 29%，200~300 mg/m^3 占比 14%，300~350 mg/m^3 占比 14%，350 mg/m^3 以上占比 43%。玻璃纤维熔窑氮氧化物排放浓度在 200 mg/m^3 以下、200~300 mg/m^3、300~350 mg/m^3 占比分别为 50%、25%和 25%，无 350 mg/m^3 以上。

表 7.1-13 玻璃熔窑氮氧化物排放浓度分布

行业类别	浓度区间	200 mg/m^3 以下	200~300 mg/m^3	300~350 mg/m^3	350 mg/m^3 以上	合计
平板玻璃	生产线数量	5	5	2	1	13
	占比	38%	38%	15%	8%	100%
日用玻璃	生产线数量	4	2	2	6	14
	占比	29%	14%	14%	43%	100%
玻璃纤维	生产线数量	2	1	1	0	4
	占比	50%	25%	25%	0%	100%
合计	生产线数量	11	8	5	7	31
	占比	35%	26%	16%	23%	100%

2、排放限值确定

玻璃熔窑产生的氮氧化物主要为热力型氮氧化物，受燃烧温度的影响，玻璃企业大多采用 SCR 和 SNCR 进行脱硝。

（1）平板玻璃

表 7.1-14 为平板玻璃熔窑氮氧化物排放统计情况。课题组调研的 13 条生产线中，

有 12 条脱硝设施，氮氧化物排放浓度为 88~440 mg/m^3 之间，平均 237 mg/m^3。1 条生产线无脱硝设施，纯氧燃烧氮氧化物排放浓度为 220 mg/m^3。

表 7.1-14 平板玻璃熔窑氮氧化物排放统计

统计项目	SCR 脱硝	无脱硝
生产线数量	12	1
平均排放浓度（mg/m^3)	237	220
浓度最大值（mg/m^3)	440	220
浓度最小值（mg/m^3)	88	220
备注：无脱硝生产线为纯氧燃烧		

（2）日用玻璃

表 7.1-15 为日用玻璃熔窑氮氧化物排放统计情况。课题组调研的 14 条生产线中，1 条生产线未安装脱硝设施，1 条生产线采用其他脱硝技术（浓缩脱硝剂兑水循环喷淋），其余有 13 条生产线均有脱硝设施，所有生产线氮氧化物平均排放浓度为 601 mg/m^3。采用 SCR 脱硝生产线的氮氧化物排放浓度在 69~2642 mg/m^3 之间，平均 675 mg/m^3，采用 SCR 技术的企业因治理设施运行工况不同（如烟气温度不够、催化剂用量不够、催化剂失效等）、喷氨系统设计不合理、管理水平不同，导致氮氧化物排放浓度各不相同。采用 SNCR 脱硝生产线的氮氧化物排放浓度为 668 mg/m^3，未安装脱硝设施生产线氮氧化物排放浓度为 364 mg/m^3。

表 7.1-15 日用玻璃熔窑氮氧化物排放统计

统计项目	SCR	陶瓷纤维一体化	SNCR	其他脱硝技术	无脱硝
生产线数量	9	2	1	1	1
平均排放浓度（mg/m^3)	675	143	668	1017	364
浓度最大值（mg/m^3)	2642[a]	243	668	1017	364
浓度最小值（mg/m^3)	69	43	668	1017	364
a：1 条生产线浓度达到 2642mg/m^3，是由于其烟气温度达不到 NOx 与氨水的反应温度，起不到实际脱硝作用。					

（3）玻璃纤维

表 7.1-16 为玻璃纤维熔窑氮氧化物排放统计情况。课题组调研的 4 条生产线中，2 条生产线安装脱硝设施，2 条生产线未安装脱硝设施，所有生产线氮氧化物平均排放浓度为 207 mg/m^3。采用 SNCR 脱硝生产线的氮氧化物平均排放浓度为 101 mg/m^3，

未安装脱硝设施生产线氮氧化物排放浓度为 314 mg/m^3。

表 7.1-16 玻璃纤维熔窑氮氧化物排放统计

统计项目	SNCR 脱硝	无脱硝
生产线数量	2	2
平均排放浓度（mg/m^3)	101	314
浓度最大值（mg/m^3)	161	345
浓度最小值（mg/m^3)	41	283

表 7.1-17 是玻璃熔窑氮氧化物排放浓度的累积分布，样品数量为 31。可以看出，玻璃熔窑中约有 61%玻璃熔窑氮氧化物排放浓度在 300 mg/m^3 以内，有 77%玻璃熔窑氮氧化物排放浓度在 345 mg/m^3 以下。其中平板玻璃 76%在 300 mg/m^3 以下，92%在 400 mg/m^3 以下；日用玻璃仅 43%在 300 mg/m^3 以下，57%在 350 mg/m^3 以下，64%在 400 mg/m^3 以下。本次标准将阿坝、甘孜、凉山州玻璃氧化物排放限值定为 400 mg/m^3；其他地区平板玻璃的玻璃熔窑氮氧化物排放限值定为 300 mg/m^3，其他玻璃为 350mg/m^3。

表 7.1-17 玻璃熔窑氮氧化物排放浓度的累积分布

累计比例	19%	35%	52%	61%	65%	77%	84%	90%	100%
浓度 mg/m^3	88	197	246	294	302	345	440	800	2642

目前四川省玻璃熔窑大多采用 SCR 脱硝技术，均采用五氧化二钒作为催化剂，由于长期不更换催化剂，导致催化剂失效的现象普遍存在，同时个别企业的烟气温度根本达不到脱硝反应温度，其脱硝设施形同虚设，甚至有的企业因为目前无相关行业标准约束，存在污染物直排现象。

标准提升后，部分无污染治理设施的日用玻璃企业可通过新建一套陶瓷纤维一体化治理设施（包含脱硫脱硝除尘）来降低氮氧化物的排放，同时也降低了二氧化硫和颗粒物的排放，全套设施预计投资为 600~1000 万，建成后各项污染物均能达标排放；无脱硝设施的企业可以建设一套 SNCR 脱硝系统，投资 200~300 万元，或建设一套 SCR 脱硝系统，投资 500~1000 万元；现有采用 SCR 脱硝的企业除应按时更换催化剂外，还需加强企业管理水平，保证脱硝设施正常稳定运行，此外，也可以参照水泥行业超低排放改造方案，对喷氨工艺等进行优化，预计投资 300 万元；采用 SNCR 脱硝的企业可通过对工艺进行优化，预计投资为 30~300 万元，具体与实际改造内容

有关。

7.1.4 氯化氢和氟化物

氯化氢和氟化物的排放主要来源于原料中含有的氯化物和氟化物杂质。氯化氢和氟化物的削减可采用原料选择、改进熔炉燃烧方式等措施，通过使用含 NaCl 杂质少的纯碱、减少含氟原料的使用、增加碎玻璃的用量，可减少氯化氢和氟化物的排放量，也可通过烟气脱硫过程协同去除氯化氢和氟化物。通过末端治理来减少氯化氢和氟化物的排放，一般是随着烟气脱硫协同控制的，不论是湿法还是干法、半干法脱硫，均可去除氯化氢和氟化物。如采用氢氧化钠湿法脱硫，氯化氢的去除率可达 90%以上；氟化氢与氢氧化钙反应能生成难溶于水的氟化钙，氟化物去除效率达 95%以上。

图 7.1-3 和 7.1-4 是玻璃熔窑氯化氢和氟化物排放浓度分布情况，数据均来自于课题组人员实测，所有浓度均按照国家标准要求以 8%为基准含氧量进行折算。玻璃熔窑的氯化氢排放浓度在 1.53~206.98 mg/m^3 之间，氟化物排放浓度在 0.34~73.93 mg/m^3 之间，按照 GB 26453-2022 中相应的浓度限值（氟化物不超过 5 mg/m^3，氯化氢不超过 30 mg/m^3），实测氟化物超标比例为 17%，氯化氢超标比例为 14%。

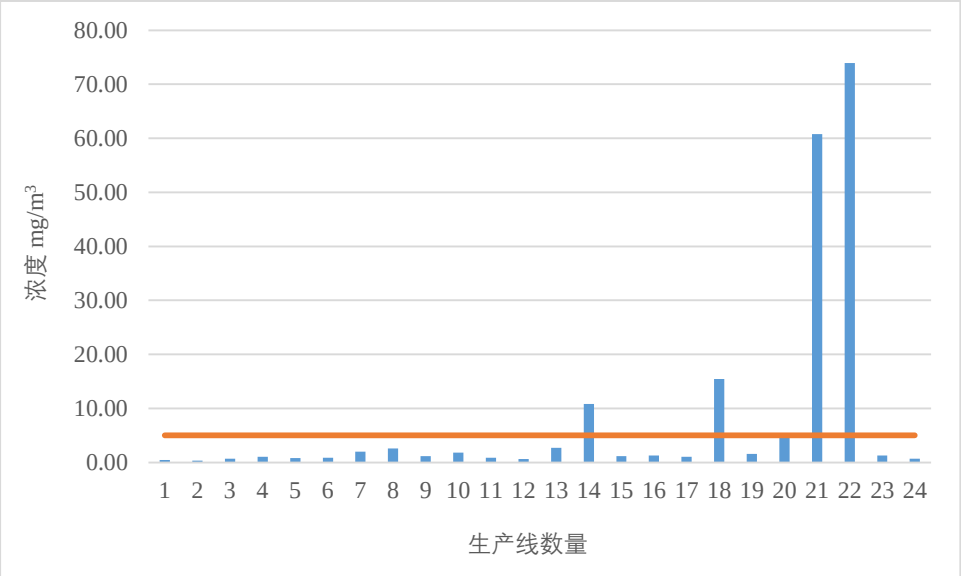


图 7.1-3 玻璃熔窑氟化物排放浓度分布情况

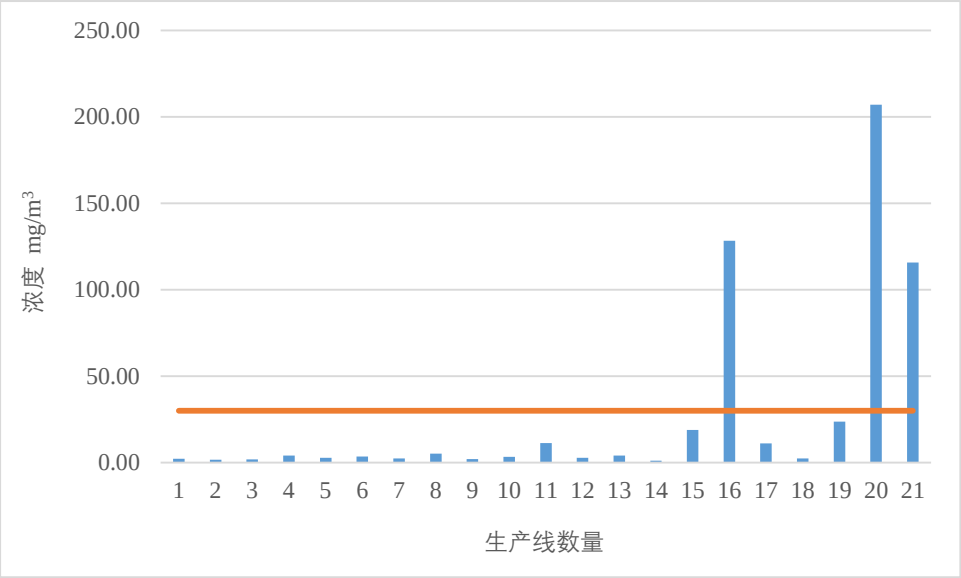


图 7.1-4 玻璃熔窑氯化氢排放浓度分布情况

根据四川省现有玻璃熔窑氟化物和氯化氢排放浓度，结合欧盟 BAT、意大利、奥地利等国外标准以及 GB 26453-2011、GB 29495-2013、GB 26453-2022 中的有关氯化氢和氟化物的排放浓度限值要求，本次标准将玻璃熔窑氯化氢排放浓度定为 30 mg/m^3，氟化物排放浓度定为 5 mg/m^3。

7.1.5 重金属

玻璃熔窑的重金属主要来源于燃料、碎玻璃以及澄清剂等原辅材料的添加。结合国外和国内行业相关标准，参照《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022），本标准规定：玻璃熔窑中铅及其化合物排放浓度定为 0.5 mg/m^3；砷及其化合物排放浓度定为 0.5 mg/m^3；锑及其化合物排放浓度定为 1 mg/m^3。

7.1.6 氨

采用 SNCR、SCR 进行脱硝，需要使用尿素、氨水等还原剂，它们喷入适宜温度区间的烟气内与 NOx 反应，会有部分氨逃逸。过量的氨逃逸后和烟气中的 SO_3 发生反应生成硫酸氢铵，导致空气预热器堵塞、除尘效率下降、催化剂受损等一系列问题，严重时还会影响整个废气治理系统的运行，降低系统经济性和安全性。同时过量的氨逃逸到大气中，易与大气中的 SO_2、NOx 气体反应形成硝酸铵、硫酸铵等二次颗粒物，进而增加大气中细颗粒物的浓度，且硝酸铵和硫酸铵会降低大气能见度，危害人体健康，对灰霾污染的形成有重要作用。

图 7.1-5 是玻璃熔窑氨逃逸浓度分布情况，数据均来自课题组人员现场实测，所有浓度均按照国家标准要求以 8%为基准含氧量进行折算。本次实测 21 条玻璃熔窑氨逃逸浓度为 2~638 mg/m^3，平均氨逃逸浓度为 87mg/m^3。其中，平板玻璃氨逃逸为 8.9~502 mg/m^3，均值 88 mg/m^3；日用玻璃氨逃逸为 1.2~638 mg/m^3，均值 72 mg/m^3；玻璃纤维氨逃逸浓度为 225 mg/m^3。

按照《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）中氨逃逸浓度（8 mg/m^3）限值要求，本次测试有 21 条生产线氨逃逸浓度均存在不同程度的超标现象，最高超标 78.75 倍。其中，10 条平板玻璃熔窑和 1 条玻璃纤维熔窑的氨逃逸浓度全部超标，最大超标倍数分别为 61.75 倍和 27.1 倍；10 条日用玻璃熔窑的氨逃逸浓度超标率为 30%，最大超标倍数为 78.75 倍。

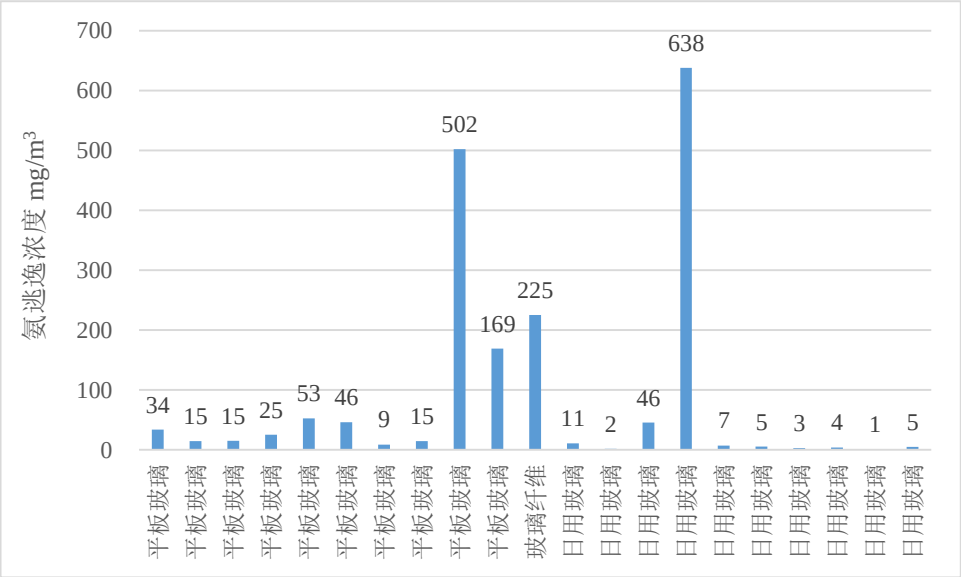


图 7.1-5 玻璃熔窑排放口氨逃逸浓度分布

将获得的氨逃逸浓度和脱硝氨水（20%）用量进行对比分析，结果如图 7.1-6 所示。根据测试结果来看，氨水用量与氨排放量无明显的相关性。喷氨量相差不大时，氨逃逸浓度却相差很大，如氨水用量分别为 9.32 千克/吨-玻璃液和 9.85 千克/吨-玻璃液时，氨逃逸浓度却为 14.65 mg/m^3 和 502.01 mg/m^3，可以说明氨逃逸的浓度与催化反应的条件以及企业管理水平有很大关系。

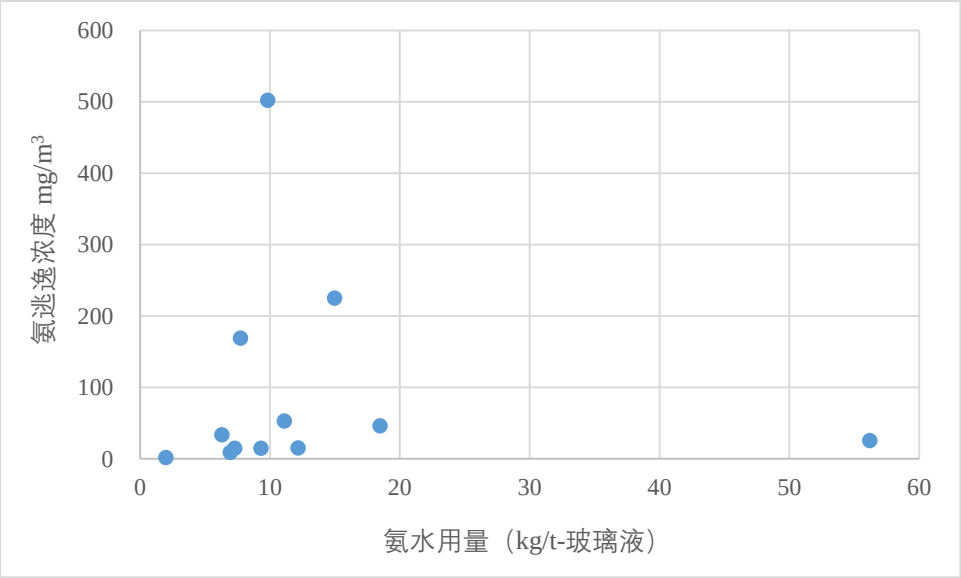


图 7.1-6 氨水用量与氨排放浓度散点图

因此，在保证氮氧化物稳定达标的前提下，企业通过加强管理，保证脱硝催化剂活性、流场均匀性和喷氨系统的稳定控制，氨的排放浓度可得到进一步控制。本标准规定氨的排放限值与《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）中规定值一致，即氨排放浓度为 8 mg/m³。

7.1.7 基准含氧量

图 7.1-7 为本次获取的玻璃熔窑含氧量分布。本次标准制定共获得 30 条生产线玻璃熔窑含氧量数据，数据均由课题组人员实测获得。获取的纯氧燃烧玻璃熔窑 3 条，含氧量在 19.07%~21.6%之间。非纯氧燃烧玻璃熔窑含氧量在 8.80%~17.61%之间，平均含氧量为 11.98%，其中平板玻璃熔窑含氧量在 9.55%~13.70%之间，平均含氧量为 11.71%；日用玻璃熔窑含氧量在 8.80%~17.61%之间，平均含氧量为 12.45%；2 条非纯氧燃烧玻璃纤维熔窑含氧量分别为 9.9%和 11.84%。说明不同企业玻璃熔窑的管理水平有很大差异，而窑况的含氧量又直接影响颗粒物、二氧化物和氮氧化物等大气污染物排放浓度。

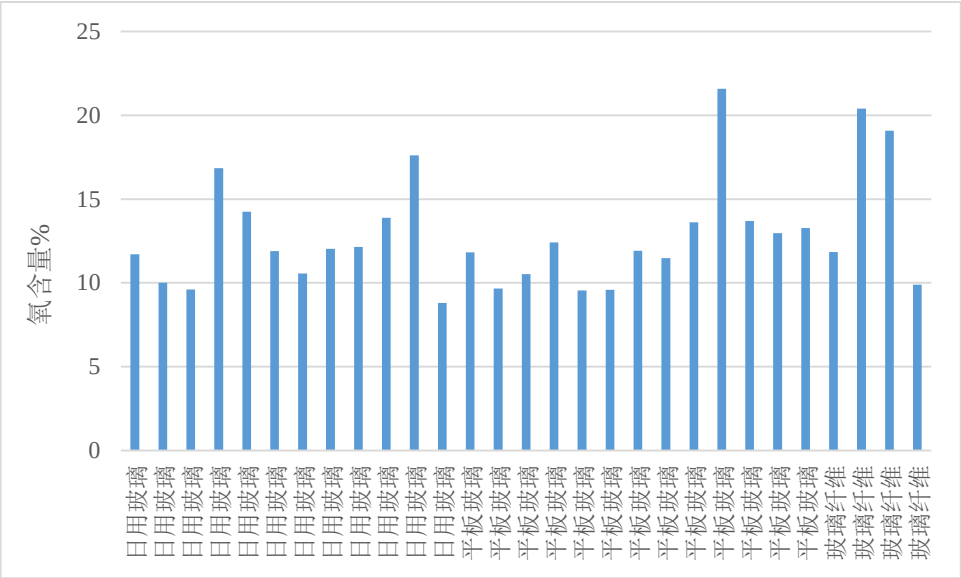


图 7.1-7 玻璃熔窑含氧量分布情况

为了更好的约束企业，保证玻璃熔窑具有较好的运行状况，结合国家排放标准的基准含氧量标准，本标准非纯氧燃烧玻璃熔窑的基准含氧量定为 **8%**。

四川省现仅有 **1** 条纯氧燃烧的平板玻璃熔窑，实测废气含氧量为 **21.57%**，略大于空气。同时，课题组还获取了 **2** 条纯氧燃烧的玻璃纤维熔窑，含氧量分别为 **19.07%** 和 **20.40%**，略小于空气。采用纯氧燃烧的企业，按基准排气量折算基准排放浓度，不使用含氧量折算。

根据《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2011**）、《排污许可证申请与核发技术规范玻璃工业—平板玻璃》（**HJ 856-2017**）、《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）中规定：平板玻璃、玻璃纤维等基准排气量（纯氧燃烧）为 **3000 m^3/t-**玻璃液。不同日用玻璃制品能耗不同，废气排放量有所差异。其中，硼硅玻璃器皿能耗较高，根据《玻璃器皿单位产品能源消耗限额》（**QB/T 5362—2019**）的规定，硼硅玻璃器皿（天然气）单位玻璃液熔化能耗限额（准入值）**≤500kg** 标煤/吨，基准废气排放量为 **4500 m^3/t-**玻璃液。《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）中规定：硼硅玻璃、微晶玻璃基准排气量（纯氧燃烧）为 **4500 m^3/t-**玻璃液。

因此，本标准规定：纯氧燃烧的玻璃熔窑中生产硼硅玻璃、微晶玻璃的基准排气量为 **4500 m^3/t-**玻璃液，平板玻璃、玻璃纤维等的基准排气量为 **3000 m^3/t-**玻璃液。

7.2 原料配料系统污染物排放限值

7.2.1 颗粒物

除玻璃熔窑外，颗粒物还产生于物料的破碎、筛分等过程。配料车间一般采用密闭通风法进行颗粒物治理，即把原料加工处理、配合料的称量、混合以及输送设备封闭起来，各个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 7.2-1 为原料配料系统颗粒物排放浓度分布情况。课题组共获取到企业配料工序的颗粒物浓度数据 33 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在 5~20 mg/m 范围内，个别工序颗粒物排放浓度超过 40mg/m 3。

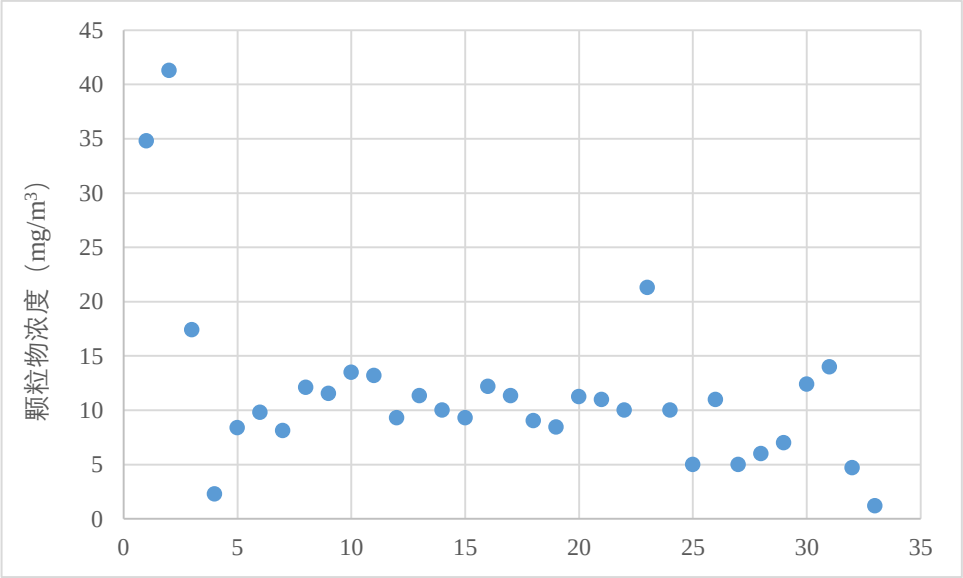


图 7.2-1 原料配料系统颗粒物排放浓度分布

表 7.2-1 是配料系统颗粒物排放浓度的累积分布，样品数量是 33。可以看出，有 91%配料系统产生的颗粒物排放控制在 20 mg/m^3 以下，有 88%配料系统产生的颗粒物排放控制在 15 mg/m^3 以下，有 52%的颗粒物达到了 10 mg/m^3 以下，颗粒物平均排放为 11.6 mg/m^3。本标准颗粒物排放限值为 20 mg/m^3。

表 7.2-1 配料系统颗粒物排放浓度的累积分布

累计比例	15%	33%	52%	55%	88%	91%	94%	100%
浓度 mg/m^3	5	9	10	11	14	17	21	41

7.2.2 铅及其化合物

由于部分产品存在含铅原料，在原料配料系统中会产生一定的铅，因此本标准规定了铅及其化合物排放限值。一般含铅配料为 **PbO** 或 **$PbSiO_3$**，采用布袋除尘技术，运行良好的情况下，铅尘的排放浓度可小于 **3mg/m^3**。参照《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**），本标准规定：铅及其化合物排放浓度定为 **0.5 mg/m^3**。

7.3 镀膜尾气处理系统污染物排放限值

在线镀膜化学品经过气化在携载气体携载下，经过混合进入到镀机，并均匀地喷射到锡槽 **650**℃左右的玻璃板上，形成成分为氧化锡/氧化硅膜层的遮盖层及成分为掺氟氧化锡的功能层。期间产生的废气经镀机两侧的排废系统进入排废管路。产生的废气含有乙烯、硅烷、**HCl**、氟化物、含锡颗粒物、单丁基三氯化锡等物质。

根据文献调研，在线镀膜尾气中的 **HCl**、氟化物通过碱液吸收被有效去除，通常 **HCl** 排放浓度小于 **30 mg/m^3**，氟化物小于 **5 mg/m^3**。颗粒物通过布袋除尘技术等，排放浓度可控制在 **10~30 mg/m^3** 以下。

由于四川省内现有玻璃生产企业均无在线镀膜工艺，本标准制定的镀膜尾气处理系统中锡及其化合物、氯化氢、氟化物的限值参考《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）及国内其他地方出台的标准，便于对后期有建设在线镀膜工艺的企业在该环节的大气污染物排放浓度进行约束。本次标准规定：在线镀膜尾气处理系统锡及其化合物排放限值为 **5 mg/m^3**，氯化氢排放限值为 **30mg/ m^3**，氟化物排放限值为 **5 mg/ m^3**，颗粒物排放限值为 **20mg/ m^3**。

7.4 挥发性有机物排放限值

玻璃熔窑 **VOCs** 主要来自于玻璃生产原料（废玻璃）中，而窑内煅烧温度约在 **1500**℃左右，部分电子玻璃熔窑温度在 **1600**℃以上，因此熔窑实际排放的 **VOCs** 很少，现场调研的四川省平板玻璃熔窑均未安装 **VOCs** 治理设施。日用玻璃 **VOCs** 主要来自于调漆、喷漆、烘烤和烤花工段，采用的 **VOCs** 治理工艺主要有活性炭吸附、**UV** 光氧、**UV** 光解等中的一种或多种。玻璃纤维行业 **VOCs** 主要来自于玻璃纤维固化工序、表面处理（过胶）工序、浸润剂配制、拉丝工序、烘烤工序等，采取的 **VOCs**

治理设施有活性炭+UV 光氧、采用高压离子净化器和特殊燃烧装置等。根据文献调研，玻璃行业涉 VOCs 排放工序苯系物产生浓度为 20~50 mg/m^3，VOCs 产生浓度为 100~300 mg/m^3。

课题组现场获取了 16 条玻璃熔窑和 3 条玻璃纤维（非熔窑）的非甲烷总烃（NMHC）、总烃、苯系物（包括苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、乙苯和苯乙烯）以及苯的排放浓度，如图 7.4-1。玻璃纤维（非熔窑）的非甲烷总烃和总烃排放浓度相对较高。实地调查测试中发现，玻璃熔窑 VOCs 排放浓度很低，均没有 VOCs 治理设施。共测试 3 家玻璃纤维企业，2 家企业安装有 VOCs 治理设施，为光氧+活性炭和高压离子净化器，VOCs 浓度均较低；1 家企业没有 VOCs 治理设施，非甲烷总烃和总烃浓度均明显高于有治理设施的企业，非甲烷总烃浓度为 22 mg/m^3，总烃浓度为 98.5 mg/m^3。

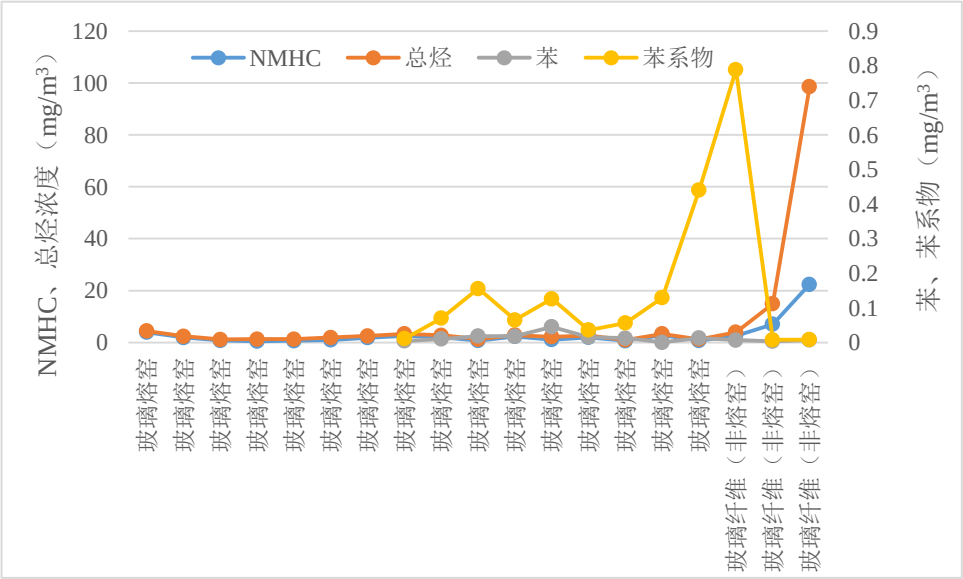


图 7.4-1 玻璃熔窑和固化窑挥发性有机物排放现状

表 7.4-1 玻璃熔窑和玻璃纤维挥发性有机物排放浓度（单位：mg/m^3）

项目	非甲烷总烃	总烃	苯	苯系物	治理设施
玻璃熔窑	0.665~3.941	0.995~4.466	0.0004~0.045	0.011~0.440	无
平均值	1.614	2.250	0.015	0.121	
玻璃纤维 1	2.580	3.939	0.007	0.788	光氧+活性炭
玻璃纤维 2	7.034	14.925	0.004	0.008	高压离子净化器

项目	非甲烷总烃	总烃	苯	苯系物	治理设施
玻璃纤维 3	22.425	98.552	0.008	0.008	无
平均值	10.679	39.139	0.006	0.268	

表 7.4-2 是玻璃行业非甲烷总烃、总烃、苯系物及苯的排放浓度累积分布情况，共获取非甲烷总烃和总烃数据 19 组，苯系物及苯数据 12 组。数据结果显示，非甲烷总烃排放浓度最高为 22 mg/m^3，有 95%的非甲烷总烃排放浓度在 10 mg/m^3 以内；TVOC 排放浓度最高为 98 mg/m^3，有 95%的总烃排放浓度在 20 mg/m^3 以内；苯系物排放浓度最高为 0.788 mg/m^3，苯的排放浓度最高为 0.045 mg/m^3，均在 1 mg/m^3 以内。

表 7.4-2 玻璃行业 VOCs 排放浓度累积分布（单位：mg/m^3）

累计比例	10%	20%	40%	50%	70%	80%	90%	100%
非甲烷总烃	0.665	0.765	1.146	1.904	2.378	2.579	3.941	22.425
总烃	1.198	1.282	2.256	2.554	2.870	3.341	4.466	98.552
苯系物	0.008	0.011	0.057	0.065	0.126	0.156	0.440	0.788
苯	0.0004	0.005	0.008	0.010	0.013	0.018	0.018	0.045

现阶段国家和四川省标准中规定的挥发性有机物排放限值如表 7.4-3 所示。参照国家和四川省地方标准，为进一步加强玻璃行业 VOCs 治理，减少夏季臭氧污染，本标准规定：NMHC 排放限值为 60 mg/m^3，苯系物排放限值为 10 mg/m^3，苯排放限值为 1 mg/m^3。

7.4-3 挥发性有机物排放限值（单位：mg/m^3）

序号	标准名称	NMHC	TVOC	苯系物	苯
1	《大气污染物综合排放标准》（GB16297—1996	120	—	甲苯 40/二甲苯 70	12
2	四川省《固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB 51/2377—2017）	—	60	甲苯 5/二甲苯 15	1
3	《玻璃工业大气污染物排放标准》（GB 26453-2022）	80	—	40	1

7.5 厂界和无组织排放限值

7.5.1 氨排放管控

无组织排放是玻璃生产企业大气污染物排放的重要形式。企业采取 **SNCR**、**SCR** 脱硝措施后，由于液氨、氨水、尿素等还原剂的储存、使用，存在着恶臭扰民风险，为此需对企业周边氨浓度进行监控。

本次标准制定共获取 **7** 家氨厂界排放浓度，数据来自于企业委托第三方监测报告，如表 **7.5-1**。

表 **7.5-1** 企业厂界排放浓度分布（单位：家）

排放浓度	**0.5 mg/m^3** 及以下	**0.5~1.0 mg/m^3**	合计
氨	**6**	**1**	**7**

随着国家及地方对无组织管控的要求逐步加严，企业需要加强对各生产环节的管控，应加强液氨（氨水）的卸载管理，增加对液氨（氨水）储罐、连接管线等的泄漏检测频次，对发现的问题及时进行整改，控制氨的无组织排放。具体要求见表 **7.5-2**。

表 **7.5-2** 氨无组织排放限值（单位：**mg/m^3**）

序号	污染物项目	限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	氨 [a]	**1.0**	监控点处任意 **1** 小时平均浓度值	监控点设在下风向厂界外 **10m** 范围内浓度最高点
a 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，进行烟气处理的情况。				

颗粒物无组织排放管控具体措施如下：

（**1**）粉状物料储存于封闭料场（仓、库）中。煤炭、碎玻璃等其他物料储存于封闭、半封闭料场（仓、库、棚）中。半封闭料场应至少三面有围墙（围挡）及屋顶，并对物料采取覆盖、喷淋（雾）等抑尘措施。硅质原料的均化应在封闭的均化库中进行。

（**2**）粉状物料卸料口应密闭或设置集气罩，并配备除尘设施。其他物料装卸点应设置集气罩并配备除尘设施，或采取喷淋（雾）等抑尘措施。

（**3**）物料输送采用密闭皮带输送机、密闭式斗式提升机、螺旋输送机等密闭输送方式。

（**4**）配料工序应在封闭空间操作，并收集废气至除尘设施；不能封闭的，产生粉

尘的设备和产尘点应设置集气罩，并配备除尘设施。配料车间外不应有可见粉尘外逸。

（5）厂区道路应硬化，并采取清扫、洒水等措施保持清洁。未硬化的厂区应采取绿化等措施。

7.5.2 VOCs 排放管控

VOCs 无组织排放主要来自于 **VOCs** 物料的储存、转移和运输，工艺过程 **VOCs** 无组织排放控制，**VOCs** 无组织排放废气收集处理系统等三个方面。**VOCs** 无组织排放管控具体措施如下：

（**1**）**VOCs** 物料的储存、转移和输送

涂料、树脂、固化剂、稀释剂、清洗剂、浸润剂等 **VOCs** 物料应储存于密闭的容器、包装袋或储库中。盛装 **VOCs** 物料的容器或包装袋应存放于室内，或存放于设置有雨棚、遮阳和防渗设施的专用场地。盛装 **VOCs** 物料的容器或包装袋在非取用状态时应加盖、封口，保持密闭。**VOCs** 物料转移和输送时应采用密闭管道或密闭容器。**VOCs** 物料储库、料仓应满足标准中对密闭（封闭）空间的要求，储罐控制应符合《挥发性有机物无组织排放控制标准》（**GB 37822**）的规定。

（**2**）工艺过程 **VOCs** 无组织排放控制

涉 **VOCs** 物料加工工序应采用密闭设备或在密闭空间内操作，废气应排至废气收集处理系统；无法密闭的，应采取局部气体收集措施，废气应排至废气收集处理系统。工艺过程产生的含 **VOCs** 废料（渣、液）应按要求进行储存、转移和输送。盛装过 **VOCs** 物料的废包装容器应加盖密闭。

敞开液面 **VOCs** 无组织排放控制和设备与管线组件 **VOCs** 泄漏控制应符合《挥发性有机物无组织排放控制标准》（**GB 37822**）的规定。

（**3**）运行与记录

VOCs 无组织排放废气收集系统排风罩**(**集气罩**)**的设置应符合《排风罩的分类及技术条件》（**GB/T 16758**）的规定。采用外部排风罩的，应按《排风罩的分类及技术条件》（**GB/T 16758**）、《局部排风设施控制风速检测与评估技术规范》（**WS/T 757-2016**）

规定的方法测量控制风速，测量点应选取在距排风罩开口面最远处的 **VOCs** 无组织排放位置，控制风速不应低于 **0.3m/s**。

废气收集系统的输送管道应密闭。废气收集系统应在负压状态下运行。处于正压状态的，不应有感官可察觉的泄漏；对于 **VOCs** 废气收集系统，应按照 **GB 37822** 的规定对废气输送管线组件的密封点进行泄漏检测与修复，**VOCs** 泄漏检测值不应超过 **500 μmol/mol**。

无组织排放废气收集处理系统应与生产工艺设备同步运行。废气收集处理系统发生故障或检修时，对应的生产工艺设备应停止运行，待排除故障或检修完毕后同步投入使用；生产工艺设备不能停止运行或不能及时停止运行的，应设置废气应急处理设施或采取其他替代措施。

企业应按照排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范总则（试行）（**HJ 944**）和排污许可证申请与核发技术规范（玻璃工业-平板玻璃制造）（**HJ 856**）要求建立台账，记录含 **VOCs** 原辅材料名称、使用量、回收量、废弃量、去向以及 **VOCs** 含量等信息；记录无组织排放废气收集系统、无组织排放控制措施的主要运行信息，如运行时间、废气收集量、喷淋/喷雾（水或其他化学稳定剂）作业周期和用量等；记录无组织排放监控点浓度。台账（包括无组织排放视频监控系统记录）保存期限不少于 **3** 年。

本标准规定厂区内 **VOCs** 无组织排放监控要求参照《挥发性有机物无组织排放控制标准》（**GB 37822-2019**）及《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）中相关规定执行，见表 **7.5-3** 所示。

表 7.5-3 企业 VOCs 厂界和无组织排放限值

污染物项目	排放限值 mg/m^3	特殊说明	无组织排放监控位置
NMHC	**3**	监控点处 **1** 小时平均浓度值	在涉 **VOCs** 物料加工工序厂房外设置监控点
	10	监控点处任意一次浓度值	
苯	**0.4**	适用于玻璃工业调胶、施胶工序，玻璃制品制造调漆、喷漆、烘干、烤花工序，	企业边界

污染物项目	排放限值 mg/m^3	特殊说明	无组织排放监控位置
		制镜淋漆、烘干工序，玻璃纤维浸润剂配制、拉丝工序等	

7.5.3 其他污染物

《中华人民共和国大气污染防治法》提出：排放有毒有害大气污染物的企业事业单位，应当按照国家有关规定建设环境风险预警体系，对排放口和周边环境进行定期监测。企业边界大气污染物浓度限值参照《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453—2022**）中相关内容执行，如表 **7.5-4** 所示。

表 **7.5-4** 企业边界大气污染物浓度限值

序号	污染物项目	使用条件	浓度限值 mg/m^3
1	砷及其化合物	适用于使用含砷澄清剂的玻璃企业	**0.003**
2	铅及其化合物	适用于铅晶质玻璃、**CRT** 显像玻璃及其他含铅玻璃生产企业	**0.006**

7.6 监测要求

7.6.1 监测方法

对企业排放废气的采样，应根据监测污染物的种类，在规定的污染物排放监控位置进行，有废气处理设施的，应该在该治理设施后监测。排气筒中大气污染物的监测采样按《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**）、《固定源废气监测技术规范》（**HJ/T 397**）、《固定污染源废气挥发性有机物的采样气袋法》（**HJ 732**）、《固定污染源烟气（SO_2、**NOx**、颗粒物）排放连续监测技术规范》**HJ 75**、《固定污染源废气中非甲烷总烃排放连续监测技术指南（试行）》的规定执行；企业边界大气污染物的监测采样按《大气污染物无组织排放监测技术导则》（**HJ/T 55**）的规定执行。不同污染物测试方法见表 **7.6-1**。

表 7.6-1 大气污染物测定方法标准

序号	污染物项目	方法标准名称	方法标准编号
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	HJ 1263
		固定污染源废气　低浓度颗粒物的测定　重量法	HJ 836
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
		固定污染源废气　二氧化硫的测定　非分散红外吸收法	HJ 629
		固定污染源废气　二氧化硫的测定　便携式紫外吸收法	HJ 1131
		固定污染源废气　气态污染物（SO_2、NO、NO_2、CO、CO_2）的测定　便携式傅立叶变换红外光谱法	HJ 1240
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
		固定污染源废气　氮氧化物的测定　非分散红外吸收法	HJ 692
		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　便携式紫外吸收法	HJ 1132
		固定污染源废气　气态污染物（SO_2、NO、NO_2、CO、CO_2）的测定　便携式傅立叶变换红外光谱法	HJ 1240
4	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
5	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
6	砷及其化合物	固定污染源废气　砷的测定　二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	HJ 540
		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

序号	污染物项目	方法标准名称	方法标准编号
		环境空气　颗粒物中无机元素的测定　能量色散 X 射线荧光光谱法	**HJ 829**
		环境空气　颗粒物中无机元素的测定　波长色散 X 射线荧光光谱法	**HJ 830**
		环境空气和废气　颗粒物中砷、硒、铋、锑的测定　原子荧光法	**HJ 1133**
7	锑及其化合物	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**
		环境空气和废气　颗粒物中砷、硒、铋、锑的测定　原子荧光法	**HJ 1133**
8	铅及其化合物	环境空气　铅的测定　火焰原子吸收分光光度法	**GB/T 15264**
		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**
		环境空气　铅的测定　石墨炉原子吸收分光光度法	**HJ 539**
		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**
		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　颗粒物中金属元素的测定　电感耦合等离子体发射光谱法	**HJ 777**
		环境空气　颗粒物中无机元素的测定　能量色散 X 射线荧光光谱法	**HJ 829**
		环境空气　颗粒物中无机元素的测定　波长色散 X 射线荧光光谱法	**HJ 830**
9	锡及其化合物	大气固定污染源　锡的测定　石墨炉原子吸收分光光度法	**HJ/T 65**
		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**
10	氨	环境空气和废气　氨的测定　纳氏试剂分光光度法	**HJ 533**
		环境空气　氨的测定　次氯酸钠—水杨酸分光光度法	**HJ 534**

序号	污染物项目	方法标准名称	方法标准编号
		空气质量氨的测定离子选择电极法	**GB/T 14669**
11	非甲烷总烃（**NMHC**）	固定污染源废气　总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定　气相色谱法	**HJ 38**
		环境空气　总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定　直接进样-气相色谱法	**HJ 604**
12	苯 苯系物	环境空气　苯系物的测定　固体吸附/热脱附-气相色谱法	**HJ 583**
		环境空气　苯系物的测定　活性炭吸附/二硫化碳解吸-气相色谱法	**HJ 584**
		环境空气　挥发性有机物的测定　吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法	**HJ 644**
		固定污染源废气　挥发性有机物的测定　固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法	**HJ 734**
		环境空气　挥发性有机物的测定　罐采样/气相色谱-质谱法	**HJ 759**
		固定污染源废气　苯系物的测定　气袋采样/直接进样-气相色谱法	**HJ 1261**

自行监测的排污企业须按照《排污单位自行监测技术指南总则》（**HJ 819-2017**）执行，并满足《总则》对排污单位提出了监测的一般要求、监测方案制定、监测质量保证和质量控制、信息记录和报告的基本内容和要求。

7.6.2 大气污染物浓度折算

为防止炉窑内空气量过大对排放浓度产生稀释作用，本标准规定了大气污染物浓度折算方法。从合理性和标准的衔接性等方面考虑，本标准选择了《玻璃工业大气污染物排放标准》（**GB 26453-2022**）中规定的折算方法。

对于非纯氧燃烧玻璃熔窑烟气，应同时对排气中含氧量进行监测，实测排气筒中大气污染物排放浓度，应按式（**1**）换算为基准含氧量为 **8%**的大气污染物基准排放浓度，并以此作为达标判定依据。全电熔窑、坩埚窑、因特殊工艺要求不能采用全封

闭形式的其他类型玻璃熔窑（涉及的玻璃产品类型参见表 7.6-2），以及其他车间或生产设施以实测质量浓度作为达标判定依据，不得稀释排放。

$$\rho_{基} = \frac{21-O_{基}}{21-O_{实}} \times \rho_{实} \qquad (1)$$

式中：$\rho_{基}$——大气污染物基准排放浓度，mg/m^3；

$O_{基}$——干烟气基准含氧量，%；

$O_{实}$——实测的干烟气含氧量，%；

$\rho_{实}$——实测的大气污染物排放浓度，mg/m^3。

表 7.6-2 全封闭形式玻璃熔窑的玻璃产品类型

类别	代号	名称
无色光学玻璃	FK	氟冕玻璃
	QK	轻冕玻璃
	K	冕玻璃
	PK	磷冕玻璃
	ZPK	重磷冕玻璃
	BAK	钡冕玻璃
	ZK	重冕玻璃
	LAK	镧冕玻璃
	KF	冕火石玻璃
	QF	轻火石玻璃
	F	火石玻璃
	BAF	钡火石玻璃
	ZBAF	重钡火石玻璃
	ZF	重火石玻璃
	LAF	镧火石玻璃
	ZLAF	重镧火石玻璃
	TIF	钛火石玻璃
	TF	特种火石玻璃
滤光（有色）光学玻璃	ZJB	紫外截止滤光玻璃
	JB	金黄色（黄色）滤光玻璃
	CB	橙色滤光玻璃
	HB	红色滤光玻璃
	HWB	红外透射可见吸收滤光玻璃
	ZWB	紫外透射可见吸收滤光玻璃
	ZB	紫色滤光玻璃

类别	代号	名称
	QB	青蓝色滤光玻璃
	LB	绿色滤光玻璃
	FB	防护玻璃
	GRB	隔热玻璃
	PNB	波长标定玻璃
	TB	天光玻璃
	SSB\SJB	色温变换玻璃
	ZAB	中性暗色滤光玻璃
其他光学玻璃	—	防耐辐射玻璃
	—	结晶化玻璃
	—	红外玻璃
	—	激光玻璃
	—	高铝玻璃
	—	紫外及深紫外玻璃
	—	封接玻璃
	—	封装玻璃
	—	透气玻璃
	—	半导体晶圆玻璃

纯氧燃烧玻璃熔窑应监测排气筒中大气污染物排放浓度、排气量及相应时间内的玻璃液出料量，按式（2）计算基准排气量条件下的大气污染物基准排放浓度，并以此作为达标判定依据。大气污染物排放浓度、排气量、产品产量的监测、统计周期为 **1 h**，可连续采样或等时间间隔采样获得大气污染物排放浓度和排气量数据。不同玻璃及制品基准排气量按表 **7.6-3** 规定执行。

表 7.6-3 基准排气量

序号	产品类型	基准排气量（m^3/t 玻璃液）
1	硼硅玻璃 [a]、微晶玻璃 [b]	**4500**
2	其他玻璃及玻璃制品	**3000**

a 硼硅玻璃是指硼含量≥**12%**的玻璃。

b 微晶玻璃是指将特定组成的基础玻璃，在加热过程中通过控制晶化而制得的一类含有微晶相及玻璃相的多晶固体材料。

$$\rho_{基} = \frac{Q_{实}}{Q_{基} \cdot M} \times \rho_{实} \qquad (2)$$

式中：$\rho_{基}$——大气污染物基准排放浓度，mg/m^3；

$\rho_{实}$——实测的大气污染物排放浓度，mg/m^3；

$Q_{实}$——实测的纯氧燃烧玻璃熔窑小时排气量，m^3/h；

$Q_{基}$——基准排气量，m^3/t-玻璃液；

M——与监测时段相对应的玻璃液小时出料量，t/h。

7.7 本标准与国内标准比较

本标准颗粒物排放限值严于国家标准和广东省标准，宽于河南、山东（重点区域）和河北省排放限值；二氧化硫排放限值严于国家、广东省、河南省标准，宽于山东（重点区域）和河北省排放限值；氮氧化物严于国家、广东省、河南省排放限值，宽于山东（重点区域）和河北省排放限值；氨排放限值与国家和其他省排放限值一致。总体而言，本标准限值在国内处于中等水平。

表 7.7-1 本标准主要污染物排放限值与国内其他标准对比（mg/m^3）

污染物项目	广东（平板和电子玻璃2019）	河南（2020）	山东（2018）		河北（平板玻璃，2020）	国家标准（2022）	本标准
			一般控制区	重点区域			
颗粒物	30	10	20	10	10	30	20
二氧化硫	280	100	100	50	50	200	100
氮氧化物	550	300	200	100	200	玻璃制品：500，其他：400	阿坝、甘孜和凉山州为400；其他城市：平板玻璃为300，其他玻璃为350
氨	—	—	8	8	8	8	8
基准含氧量	8%	9%	12%	12%	8%	8%	8%

8、技术可行性和经济成本分析

8.1 技术可行性分析

实施本标准，目前四川省玻璃行业达到排放限值的企业比例约为 50%，其他超

标企业采取余热回收（预热锅炉或发电）+除尘（布袋或静电除尘）+脱硫（半干法、干法或湿法脱硫）+脱硝（SCR 或 SNCR）技术，或是在上述技术的基础上采用高效滤料、加装喷淋层、加装催化剂、调整喷氨量等技术和措施，可以达到排放限值要求。所有技术在四川省内均有成功运行案例，技术上完全可行。

8.2 经济成本分析

根据已达标企业建设投资和运行成本估算，平均每吨平板玻璃建设投资和运行成本分别为 170 元和 61 元，全省约有 200 万吨（年产量）平板玻璃需要进行提标改造，则需建设投资 3.4 亿元，运行成本 1.22 亿元。平均每吨日用玻璃建设投资和运行成本分别为 330 元和 52 元，全省约有 11.3 万吨（年产量）日用玻璃需要进行提标改造，则需建设投资 3750 万元，运行成本 584 万元。平均每吨玻璃纤维建设投资和运行成本分别为 90 元和 30 元，全省约有 113 万吨（年产量）玻璃纤维需要进行提标改造，则需建设投资 1.02 亿元，运行成本 3390 万元。

9、标准实施后的环境（减排）效益

2020 年全省玻璃行业 SO_2、NOx、VOCs、$PM_{2.5}$、PM_{10} 总排放量分别为 1.12 万吨、1.46 万吨、0.41 万吨、1.35 万吨和 1.42 万吨。本标准实施后，阿坝、甘孜和凉山州玻璃熔窑颗粒物、SO_2、NOx 排放浓度分别按 20 mg/m^3、100 mg/m^3、400 mg/m^3 计算，其他城市玻璃熔窑颗粒物、SO_2、NOx 排放浓度分别按 20 mg/m^3、100 mg/m^3、300 mg/m^3（350 mg/m^3）计算；其他工序颗粒物排放浓度均为 20 mg/m^3。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。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，PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2、NOx 排放量分别减少 60%、60%、75%、50%，环境效益显著。

表 9-1　本标准实施前后四川省玻璃生产企业污染物排放量变化

项目	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NOx
2020 年排放量（t/a）	14200	13500	11200	14600
本标准实施后排放量（t/a）	5680	5400	2800	7300
减排量（t/a）	8520	8100	8400	7300
减排比例	60%	60%	75%	50%