

附件 2

《玻璃制造业废气治理工程技术规范 (征求意见稿)》

编制说明

《玻璃制造业废气治理工程技术规范》编制组

二〇二〇年七月

项目名称：玻璃制造业废气治理工程技术规范

项目统一编号：2018-62

承担单位：中国环境保护产业协会、清华大学、中国建筑材料科学研究总院有限公司、江苏科行环保股份有限公司、河北省邢台生态环境监测中心

主编人员：刘媛、彭溶、马永亮、陈建军、房晶瑞、汪澜、宋正华、孙庆宇、尹海滨

生态环境部环境标准研究所技术管理负责人：姚芝茂

生态环境部科技与财务司项目管理负责人：岳子明、刘勇华

目 录

1 任务来源	1
2 标准制订必要性.....	1
3 主要工作过程	1
4 国内外相关标准情况.....	2
5 工程案例调研	3
6 标准主要技术内容.....	13
7 实施本标准的环境效益及经济技术分析.....	15
8 标准实施建议	16

1 任务来源

为适应国家环境保护工作需要，2018 年生态环境部下达《玻璃工业废气治理工程技术规范》的编制任务，项目统一编号 2018-62。

按照财政部项目资金管理要求以及生态环境部和中国环境科学研究院项目管理的有关规定，中国环境科学研究院委托中国环境保护产业协会承担《玻璃制造业废气治理工程技术规范》的编制任务，参编单位有清华大学、中国建筑材料科学研究总院有限公司、江苏科行环保股份有限公司、河北省邢台生态环境监测中心。

2019 年 7 月召开的开题论证会上，经专家建议将本标准名称修改为《玻璃制造业废气治理工程技术规范》。

2 标准制订必要性

平板玻璃行业是我国重要基础建材产业，我国各类玻璃（平板、日用、电子、光学和器皿等）规模生产线 1000 多条，平板玻璃产能全球第一。玻璃生产具有能耗高、资源消耗大、存在一定程度的污染等特点，在玻璃产量质量不断提高的同时，国家相关部门和行业也越来越感到玻璃工业熔窑节能减排的重要性和迫切性。随着《大气污染防治行动计划》（2013 年 9 月 10 日国务院发布）、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》（GB26453-2011）、《电子玻璃工业大气污染物排放标准》《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）、《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》（公告 2013 年第 14 号）等系列文件的出台，玻璃工业废气脱硝、脱硫、除尘领域等工作全面展开。

玻璃生产工序包括配料、熔融、成型、加工等，在生产过程中会产生颗粒物、NO_x、SO_x、卤化物等大气污染物，与其他工业炉窑相比，玻璃炉窑废气具有成分复杂、烟尘粘性高、腐蚀性强、NO_x 浓度高且波动大等特性。而且，由于我国多煤、贫油、少气，玻璃生产线采用天然气、煤制气、重油等多种燃料，使得我国玻璃工业废气治理面临的问题更加复杂、深度治理难度大。在目前我国工程实践中，废气治理工艺路线多种多样，技术水平参差不齐，到目前为止还没有科学权威的工程技术规范作为参考。

根据国内外污染物治理经验以及我国其他行业的成功案例，要保证污染物实现达标排放，必须对相应的污染物治理工程工艺设计、工程建设、过程控制等作出规范。为了促进平板玻璃和平板显示玻璃行业环保发展，加快玻璃行业结构调整步伐、淘汰落后工艺设备、加强技术创新，实现玻璃行业绿色健康发展，玻璃行业有必要制订《玻璃制造业废气治理工程技术规范》。

3 主要工作过程

2018 年生态环境部下达《玻璃工业废气治理工程技术规范》的编制任务，项目承担单位组织成立了标准编制组，并组织编制组成员认真学习《国家环境保护标准制修订工作管理办法》等文件，编制组以国家相关法律法规、规章、政策和规定为依据，开展本标准的编制工作。

2018年1月开始，编制组对玻璃工业废气治理技术情况做了广泛调研，了解和掌握了国家环境保护和玻璃工业废气治理技术发展的相关政策，完成了前期资料收集。2018年7月组织编制组成员召开了启动会，明确将标准的适用范围聚焦到玻璃熔炉烟气，确定了调研单位名单，并细化编制任务及分工。2018年9月到沙河市玻璃生产园区开展实地调研，根据生产工艺、生产规模、燃料类型、烟气处理技术路线、排放情况选择具有代表性的4家玻璃生产企业的典型案例进行实地考察，收集相关资料。

2018年10月至2019年7月，编制组编制完成了《玻璃工业废气治理工程技术规范》开题报告及初稿。并于2019年7月23日在京召开了开题论证会。开题论证会上，专家组认为标准编制拟采用的原则、方法和技术路线可行，拟开展的主要工作明确、充分；拟提交的工作成果、任务分工、进度安排、经费计划等符合任务书及合同书要求；标准初稿基本框架符合该类标准编制要求，技术内容基本全面，一致同意通过规范开题论证。并建议将标准名称修改为《玻璃制造业废气治理工程技术规范》，相应调整标准适用范围。

编制组充分吸收开题论证会上专家建议，重点收集整理典型企业生产工艺、污染物排放特征、污染治理工艺与技术等有关情况，在分析调研数据和参阅相关标准基础上，完成了《玻璃制造业废气治理工程技术规范》（征求意见稿）及其编制说明。

2020年5月18日，生态环境部科技与财务司主持召开《玻璃制造业废气治理工程技术规范》（征求意见稿）技术审查会，会议审查通过了该标准征求意见稿。

4 国内外相关标准情况

4.1 国内相关标准

国内发布的平板玻璃行业相关的大气污染物排放标准见表1。

表1 平板玻璃行业大气污染物排放标准

标准号	标准名称	发布单位	主要大气污染物排放限值 (mg/m ³)		
			颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以NO ₂ 计)
GB 26453-2011/修改单	平板玻璃工业大气污染物排放标准	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	50/20	400/100	700/400
GB 29495-2013	电子玻璃工业大气污染物排放标准	环境保护部、国家质量监督检验检疫总局	50	400	700
DB 31/860-2014	工业熔窑大气污染物排放标准	上海市环境保护局、上海市质量技术监督局	20	100	200
DB 41/1066-2015	工业熔窑大气污染物排放标准	河南省环境保护厅、河南省质量技术监督局	30	200	400
DB 50/418-2016	大气污染物综合排放标准	重庆市环境保护局、重庆市质量技术监督局	50	200	200
DB 12/556-2015	工业熔窑大气污染物排放标准	天津市环境保护局、天津市市场和质量技术监督委员会	30	50	500
DB37/2373-2018	建材工业大气污染物排放标准	山东省环境保护厅、山东省质量技术监督局	25	150	400
DB 13/2168-2015	平板玻璃工业大气污染物排放标准	河北省环境保护厅、河北省质量技术监督局	30	250	600/500

4.2 国外相关标准

国外一些发达国家的玻璃炉窑废气治理要求采用推荐技术，如美国针对不同技术手段提出不同排放限值，要求达标地区的新源采用最佳可得控制技术（BACT），对未达标地区的新源采用最低可得排放率（LAER），而对现有排放源，统一采用合理可得控制技术（RACT）；欧盟要求采用最佳可行技术（BAT），见表 2。

表 2 欧盟 BAT 给出的能够达标排放的最佳技术实践清单

序号	污染物	BAT 技术	BAT 技术能达到的效果	
			(mg/m ³)	(kg/t 熔化玻璃)
1	粉尘	静电除尘器	<10~20	<0.025~0.05
		袋式除尘器		
2	NO _x	低氮燃烧技术	700~800	1.75~2.0
		选择性催化还原（SCR）	400~700	1.0~1.75
		在配料配方内最少化使用硝酸盐。硝酸盐的使用适用于特种玻璃生产（例如，有色玻璃）。有效的替代材料有硫酸盐，氧化砷，氧化铷	<1200	<3
3	SO ₂	干燥或半干燥涤气，与过滤系统相结合（末端脱硫）	<300~500（天然气） <500~1300（重油）	<0.75~1.25（天然气） 1.25~3.25（重油）
		使配料配方内的含硫量最小化，并且优化硫平衡		
		使用低含硫量的燃料		
4	HCl	在配料配方内选择具有低氯化物和氟化物含量的原材料	<10~25	<0.025~0.0625
	HF	与脱硫系统相结合		
5	锡及化合物	通过选择具有较高保持效率的原材料，从而使玻璃配料成分中硒的挥发最小化，并且降低挥发性	<1~3	2.5×10 ⁻³ ~7.5×10 ⁻³
		采用一套过滤系统		
		采用一种干燥或半干燥涤气，与过滤系统相结合		

5 工程案例调研

5.1 玻璃制造业现状

玻璃是非晶无机非金属材料，主要成分为二氧化硅和其他氧化物，一般是用多种无机矿物（如石英砂、硼砂、硼酸、重晶石、碳酸钡、石灰石、长石、纯碱等）为主要原料，辅助原料为澄清剂、助熔剂、乳浊剂、着色剂、脱色剂等，其中澄清剂包括氟化物、卤化物，乳浊剂包括氟化物等。玻璃主要分为平板玻璃和深加工玻璃（特种玻璃）。根据我国国民经济行业分类，玻璃制造业细分为平板玻璃制造、特种玻璃制造、其他玻璃制造，其中以平板玻璃规模最大，包括浮法、压延法等生产工艺。我国自 70 年代初建成第一条浮法生产线，随着我国国民经济的快速发展，玻璃工业也得到快速发展。我国平板玻璃产能自 1989 年以来已连续 30 多年位居世界第一，产量约占世界总产量的 50%。

电子玻璃是指 CRT 显像管玻璃、平板显示玻璃、电光源玻璃等应用于电子、微电子、光电子领域的玻璃产品。近年来，随着智能显示技术的不断进步，用于制造液晶显示器（TN/STN-LCD、TFT-LCD）、等离子体显示器（PDP）、有机发光显示器（OLED）等平板

显示器件的基板玻璃、防护（触摸）玻璃及其他玻璃部件，即平板显示玻璃得到了突飞猛进的发展。

平板玻璃产品按用途分为建筑、汽车、制镜、光伏，按厚度分为 2mm~19mm。国内平板玻璃企业主要生产 2mm~19mm 的建筑、汽车用平板玻璃。由于优质平板玻璃的生产条件和技术要求较高，国内优质平板玻璃产量占比平板玻璃总产量不高，优质平板玻璃主要用于汽车风挡玻璃；国内大部分企业生产 3m~12mm 的普通平板玻璃，用于建筑行业。

近年来，平板玻璃行业产能增量逐年减少，特别是 2018 年工信部和国家发改委联合印发《关于严肃产能置换严禁水泥平板玻璃行业新增产能的通知》（工信厅联原〔2018〕57 号）以后，产能增长放缓态势更为明显。根据各省生产线清单公示和玻璃协会统计，截至 2017 年底全国共有平板玻璃生产线 334 条，年产能 12.3 亿重量箱。但随着国家的结构性调整和平板玻璃行业的去产能，平板玻璃年产量维持在 7.5 亿重量箱，市场供求关系基本平衡。

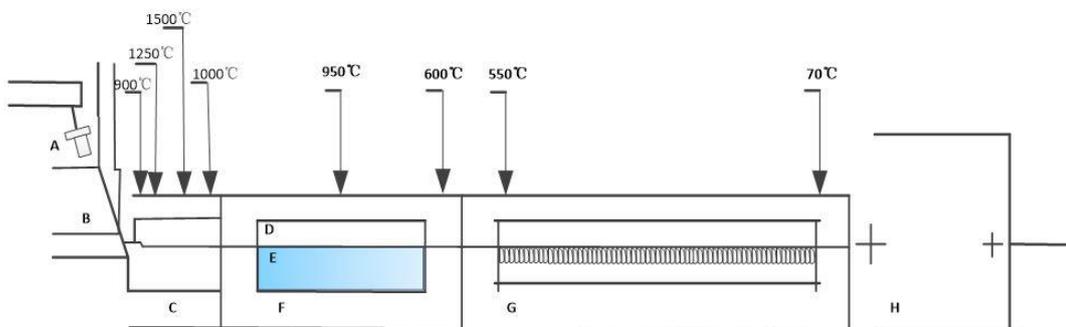
5.2 平板玻璃制造业废气污染物排放及治理情况

5.2.1 生产工艺及产污节点

平板玻璃生产工艺要包括浮法和压延法两种。

（1）浮法玻璃生产工艺

浮法玻璃生产工艺主要包括配合料制备、炉窑熔化、锡槽成型、退火窑退火和冷端成品库等工段。浮法玻璃生产工艺见图 1。



注：A、B 原料及碎玻璃混合，C 熔炉，D 保护气体，E、F 锡液及锡槽，G 退火窑，
H 成品库及自动控制台

图 1 浮法玻璃生产工艺示意图

浮法玻璃生产工艺流程图与主要产污节点见图 2。

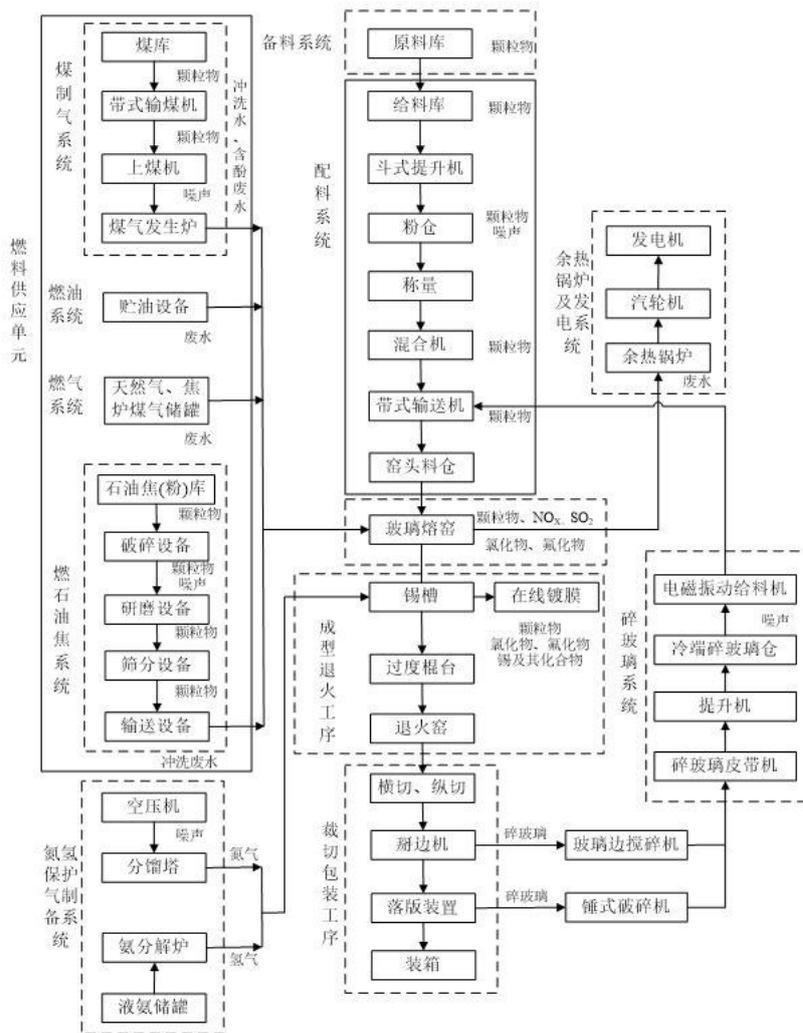


图 2 浮法玻璃生产工艺流程与主要产污节点

(2) 压延玻璃生产工艺

压延玻璃是采用压延方法制造的一种平板玻璃，制造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。压延玻璃生产工艺见图 3。

压延玻璃生产工艺流程图与主要产污节点见图 4。

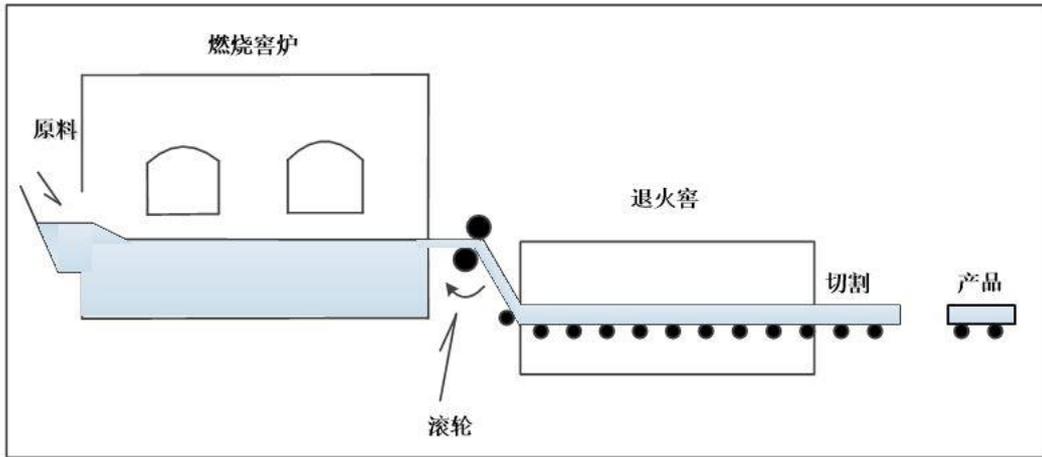


图 3 压延玻璃生产工艺示意图

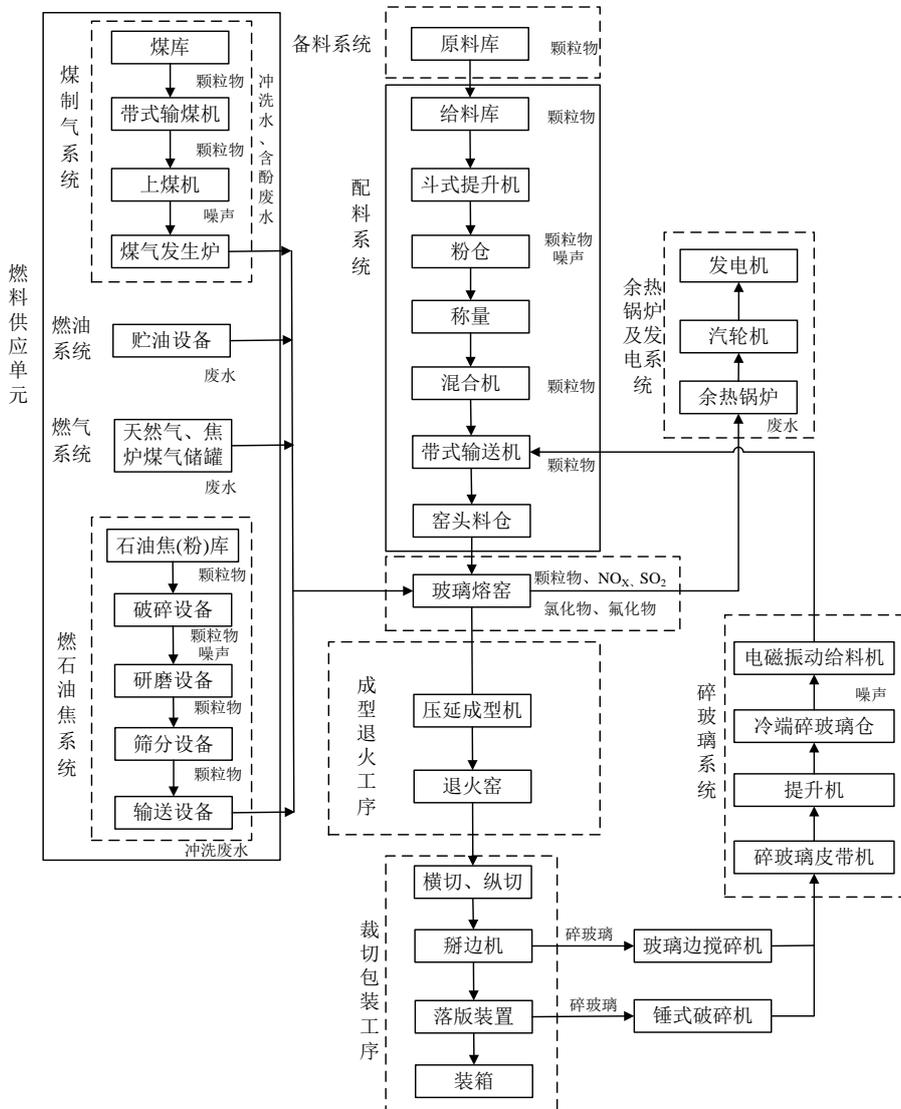


图 4 压延玻璃生产工艺流程与主要产污节点

5.2.2 废气的产生与治理

平板玻璃行业大气污染物主要有粉尘、烟尘、二氧化硫、氮氧化物、HCl、HF、锡及其

化合物。

(1) 粉尘

玻璃生产原料在破碎、装卸、存储、配料、输送等过程中会产生粉尘。原辅材料的破碎、筛分、输送、混合过程应密闭，产尘点应设置可靠的集气罩并配置除尘器。除尘器可根据粉尘产生的实际情况选择袋式除尘器、干式电除尘器和滤筒除尘器除尘。实际中多采用袋式除尘器和滤筒除尘器，除尘效率一般不宜小于 99.99%。

(2) 烟尘

平板玻璃生产过程中的烟尘主要来自配料夹带、熔化的玻璃中物质的挥发和反应、燃料中的金属杂质、未燃尽碳粒等。玻璃行业多采用电除尘和布袋除尘，少数采用湿式电除尘。由于各地排放限值不同、玻璃熔窑采用的燃料不同，电除尘和布袋除尘均有不同的应用方式。

对于采用石油焦粉等劣质燃料的玻璃窑，一般需要设置两段除尘。第一段位于脱硝塔上游，该处烟气温度较高（ $\sim 400^{\circ}\text{C}$ ），一般采用三电场的高温电除尘，其主要作用是减少进入脱硝塔烟气携带的粉尘浓度，以保障脱硝系统的正常运行；第二段位于系统末端，该段烟气温度较低（多为 180°C 以下），一般选择效率高、运行可靠的布袋除尘器，搭配性能较好的 PTFE 滤料，其主要作用是满足末端达标排放的要求。通常第一段除尘后粉尘的浓度能达到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，第二段除尘后可达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

对于采用天然气（清洁燃料）的玻璃窑，因无脱硫要求，一般在脱硝塔上游设置两电场的高温电除尘，末端烟尘的排放浓度可达到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

(3) 氮氧化物

平板玻璃生产过程中的 NO_x 主要包括燃料型（燃料或原料中氮化物的分解）和热力型（空气中 N_2 在高温下氧化）两种。一般来说当温度高于 1500°C 时，热力型氮氧化物占主导地位。玻璃行业的 NO_x 浓度一般为 $2000\text{mg}/\text{m}^3\sim 3000\text{mg}/\text{m}^3$ ，甚至达到 $3500\text{mg}/\text{m}^3$ ，减排措施可分为燃烧过程控制措施和烟气脱硝两类，包括低氮燃烧、纯氧燃烧技术、SNCR 和 SCR 技术等。

低氮燃烧工艺是通过调节空气和燃料的配比，使燃料在还原性气氛下燃烧。该技术能够在一定程度上减少 NO_x 的排放，但是在 $1650^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 高温下仍会产生大量热力型 NO_x ，而且燃料燃烧不充分，窑温上升慢，会对生产工艺造成影响。纯氧燃烧技术是采用纯度大于 90% 的氧气代替助燃空气，可减少 70%~90% 热力型 NO_x 的产生。

SNCR 脱硝技术虽然工艺简单，投资成本低，但是要求反应温度必须 $850^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，在玻璃熔窑上很难找到合适的温度窗口，而且喷入窑炉的还原剂溶液会导致窑炉局部温度降低，从而影响玻璃的质量。SCR 技术脱硝率高、稳定性好，近年来逐渐由电力行业向非电工业窑炉推广，国内多数玻璃生产线配置了 SCR 脱硝装置，使用催化剂在烟气温度 $300^{\circ}\text{C}\sim 420^{\circ}\text{C}$ 的范围内，采用 NH_3 做还原剂，将 NO_x 还原成 N_2 的反应过程。由于烟气中的粉尘、 SO_x 和碱金属等杂质且粉尘粘性较强，易造成催化剂堵塞、中毒甚至失效，仅依靠系统设置

的清灰系统并不能保证系统长期良好的运行，因此 SCR 工艺的布置方式及其与脱硫、除尘技术的协同情况对于 SCR 技术在玻璃行业的推广应用具有至关重要的作用。

(4) 二氧化硫

平板玻璃生产过程中的二氧化硫主要来源于含硫燃料的燃烧和芒硝的分解，包括 SO₂（90%以上）和 SO₃，排放浓度一般在 300mg/m³~2000mg/m³，最高可达 3500mg/m³。减排措施有采用低硫燃料及改进工艺减少芒硝的用量。

玻璃行业主要采用半干法和湿法脱硫工艺。半干法脱硫工艺有循环流化床脱硫除尘技术（CFB）、喷雾干燥法（SDA/RSDA）、新型脱硫除尘一体化技术（NID、RSD）。半干法脱硫系统简单，脱硫效率可达 95%及以上，无废水产生，系统不需防腐处理，但缺点是占地较大，副产物可利用性较差。对于采用煤制气、焦炉煤气等作燃料的玻璃窑，采用半干法脱硫工艺处理后排放浓度一般可低于 100mg/m³；对于重油，煤焦油作燃料的玻璃窑，采用半干法脱硫工艺处理后排放浓度一般可低于 400mg/m³，通常该技术不适用于高硫烟气工况。

湿法脱硫工艺有钠碱法、石灰石—石膏法、双碱法和氨法等。石灰石—石膏法和钠碱法脱硫效率高，均能达到 95%以上。采用石油焦粉等高含硫燃料的玻璃窑选择这两种脱硫工艺时，净烟气中 SO₂的排放浓度均能控制在 100mg/m³以内。但存在湿法脱硫的通病，即排放烟气温度低、湿度大、烟囱“大白烟”，脱硫废水难处理，设备腐蚀严重等问题。双碱法脱硫工艺也曾经得到大面积的应用，然而多年的实践表明，双碱法中钠碱的再生过程很难做到，系统结垢现象非常严重，运行成本较高，原建系统多数已改造为半干法脱硫和石灰石—石膏法。氨法脱硫效率高，但在实际使用中因脱硫剂利用率不高、氨逃逸较难控制、脱硫副产物回收利用较为困难等原因在玻璃行业的实际工程应用极少。

(5) HCl、HF

HCl、HF 的排放主要来源于原料中含有的氯化物和氟化物杂质。减排措施可采取合理选择原料、改进熔炉燃烧方式等，也可采用烟气治理技术。在烟气脱硫过程中，由于 HCl、HF 属于酸性气体，可与碱发生中和反应而得到去除，去除率能达到 90%以上。因此，玻璃企业很少单独设置一套除 HCl、HF 的系统。

(6) 锡及其化合物

在线镀膜废气产生的污染物主要是锡及其化合物（一般为有机化合物）、氯化氢和氟化物。针对锡及其化合物可以采用两种方式处理：一种是低温冷凝法，将锡及其化合物冷凝为固体，将冷凝下的固体提纯再利用；另一种是焚烧法，将锡的有机化合物焚烧为无机物质。对于氯化氢和氟化物一般采用多级碱液喷淋塔，利用碱液将氯化氢和氟化物吸收。目前在线镀膜尾气一般采用低温冷凝+碱液吸收或者焚烧+碱液吸收处理。

5.3 平板显示玻璃制造业废气污染物排放及治理情况

5.3.1 生产工艺及产污节点

平板显示玻璃生产工艺包括浮法和溢流法两种。

(1) 浮法生产工艺

浮法工艺生产平板显示玻璃生产工艺与平板玻璃浮法工艺相同，包括配料、熔化、成型、退火和冷端加工等工段，具体工艺和产废节点见平板玻璃浮法工艺。具体过程是将石英砂、纯碱、碳酸钾、石灰石、白云石（氧化镁）、氧化铝、芒硝和碳粉等矿物原料和化工原料制成配合料，并加入窑炉中进行熔化，熔融的玻璃液从窑炉流道中连续地流入充有保护气体的锡槽中，漂浮在金属锡液面上，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 mm~1.1 mm 不同厚度的玻璃带，经退火、切裁制成成品玻璃，生产工艺见图 5。

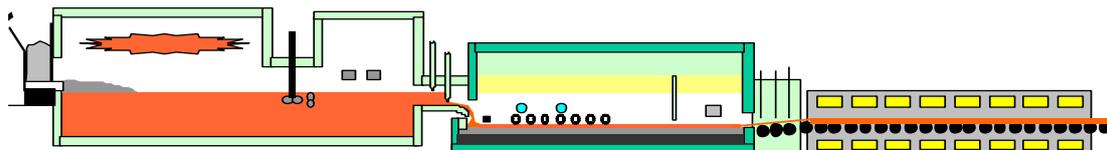


图 5 平板显示玻璃浮法工艺示意图

平板显示玻璃浮法生产工艺流程与主要产污节点见图 6。

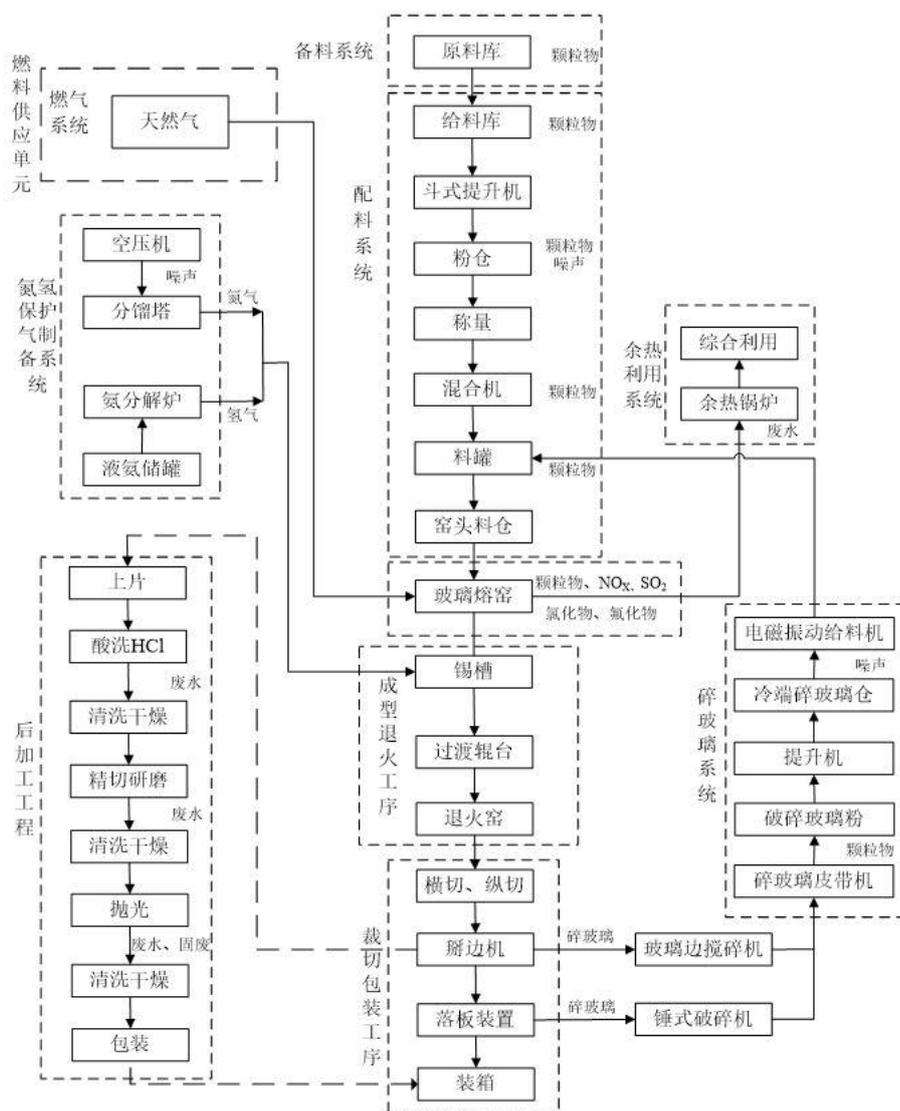


图 6 平板显示玻璃浮法生产工艺流程与主要产污节点

(2) 溢流法生产工艺

溢流法生产平板显示玻璃是将石英砂、纯碱、氧化镁、氧化铝、硝酸钾、硼酸、氧化锡等矿物原料和化工原料制成配合料，经熔化炉、马弗炉熔化后，形成的玻璃膏通过输送管输送到溢流槽的凹槽中，当玻璃液充满溢流槽后由顶部溢满流出，从两侧分流成两股，分别流向溢流槽底端，并在底端融合成单片玻璃薄板，再经固化、退火、切裁和研磨清洗制成成品玻璃。溢流法工艺适用于生产厚度小于 2mm 的超薄平板玻璃，生产工艺见图 7。

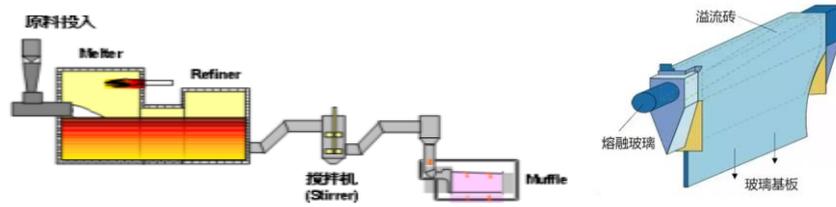


图 7 溢流法生产工艺示意图

平板显示玻璃溢流法生产工艺流程与主要产污节点见图 8。

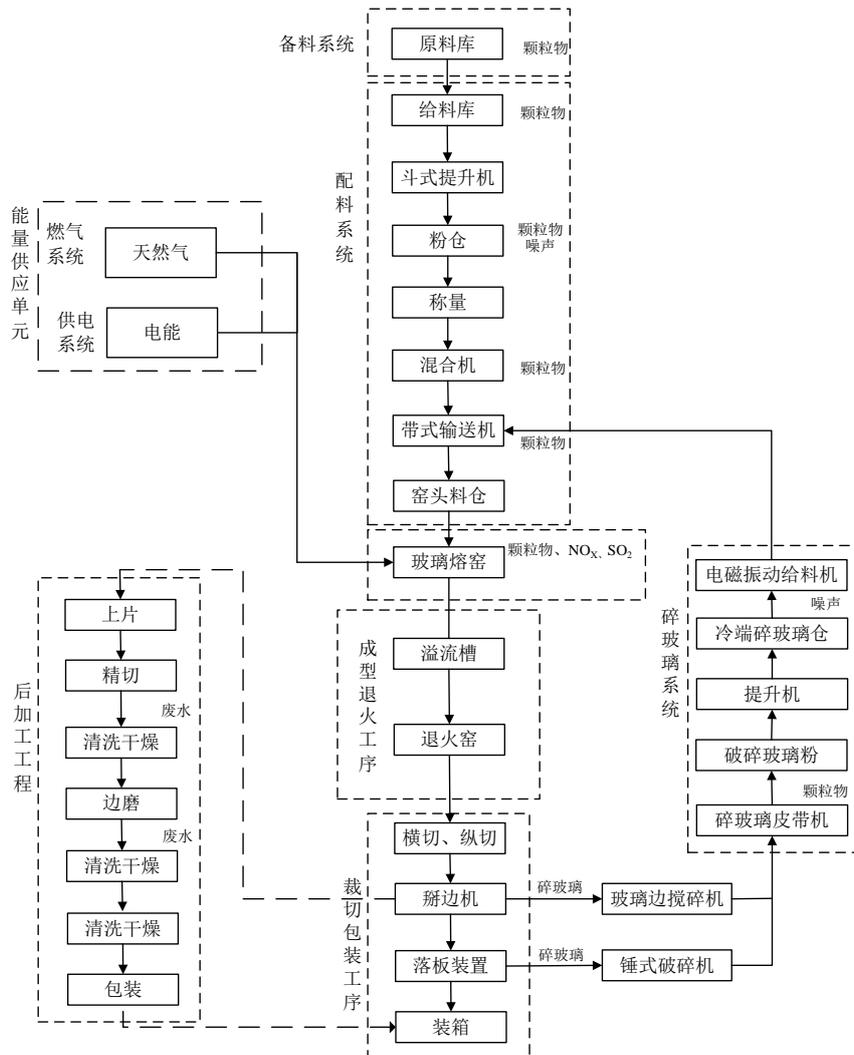


图 8 平板显示玻璃溢流法生产工艺流程与主要产污节点

5.3.2 废气的产生与治理

平板显示玻璃生产过程产生的污染物主要有颗粒物、氮氧化物、二氧化硫、HCl、HF。

(1) 颗粒物

平板显示玻璃生产原料在破碎、装卸、存储、配料、输送等过程中会产生有组织和无组织颗粒物排放。原辅材料的破碎、筛分、输送、混合过程应密闭，产尘点应设置可靠的集气罩并配置除尘器。除尘器多采用袋式除尘器和滤筒除尘器。

(2) 氮氧化物

平板显示玻璃生产线规模通常较小，对原料精度要求高，多采用天然气或天然气-电的加热形式。空气燃烧状态下 NO_x 排放浓度低于 $2000\text{mg}/\text{m}^3$ ，采用全氧燃烧技术可将 NO_x 排放浓度降低至 $700\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，联合使用 SCR 脱硝技术可实现超低排放。

(3) 二氧化硫

二氧化硫主要来源于含硫燃料的燃烧和芒硝的分解，排放浓度一般小于 $400\text{mg}/\text{m}^3$ ，采用全氧燃烧技术可将 SO_2 降低至 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

(4) HCl、HF

HCl、HF 的排放主要来源于原料中含有的氯化物和氟化物杂质。减排措施跟平板玻璃类似。

5.4 应用案例

根据生产工艺、生产规模、燃料类型、烟气处理技术路线、排放情况选择具有代表性的几家玻璃生产企业的典型案例详述如下。

5.4.1 案例 1—余热利用+中温低尘 SCR 脱硝+CFB 半干法脱硫除尘

1#企业位于广东省江门市，拥有 4 条平板玻璃生产线，其中 1 条 $600\text{t}/\text{d}$ ，1 条 $800\text{t}/\text{d}$ ，2 条 $900\text{t}/\text{d}$ ，混合使用天然气和重油两种燃料，粉尘、 SO_2 和 NO_x 的原始浓度分别为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $220\text{mg}/\text{m}^3\sim 380\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $2000\text{mg}/\text{m}^3\sim 2300\text{mg}/\text{m}^3$ 。

企业于 2011 年对 3 条玻璃生产线进行了环保改造，在余热锅炉高温段后增加了高温电除尘和 SCR 脱硝系统，在余热锅炉低温段后增设了半干法脱硫系统，最后经布袋除尘后排出，总投资 6500 万。烟气处理技术路线为余热锅炉→高温电除尘→SCR 脱硝→余热锅炉→半干法→布袋除尘；2015 年对第四条生产线（ $800\text{t}/\text{d}$ ）进行了环保改造，技术路线与前 3 条相同，总投资为 2400 万。环保改造后烟气中粉尘、 SO_2 和 NO_x 的排放浓度分别为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $200\text{mg}/\text{m}^3\sim 400\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足国家和地方环保标准限值要求。

5.4.2 案例 2—余热利用+中温低尘 SCR 脱硝+SDA 半干法脱硫除尘

2#企业位于河南省商丘市，拥有 2 条平板玻璃生产线，设计规模分别为 $600\text{t}/\text{d}$ 和 $700\text{t}/\text{d}$ ，采用天然气作为燃料，粉尘、 SO_2 和 NO_x 的原始浓度分别为 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $2800\text{mg}/\text{m}^3$ 。

企业对两条玻璃生产线进行了环保改造，在余热锅炉高温段后增加了高温电除尘和

SCR 脱硝系统，在余热锅炉低温段后增设了旋转喷雾法脱硫系统，经布袋除尘后排出。烟气处理技术路线为余热锅炉→高温电除尘→SCR 脱硝→余热锅炉→旋转喷雾法脱硫→布袋除尘；每条线环保改造投资为 3700 万。环保改造后烟气中粉尘、SO₂ 和 NO_x 的排放浓度分别为 20mg/m³、200mg/m³、300mg/m³，满足国家和地方环保标准限值要求。

5.4.3 案例 3—余热利用+中温低尘 SCR 脱硝+双碱法脱硫+湿电除尘

3#企业位于河北省沙河市，拥有 2 条 600t/d 规模的平板玻璃生产线，采用燃煤产生高温水煤气作为燃料，粉尘、SO₂ 和 NO_x 的原始浓度为 350mg/m³、550mg/m³、2300mg/m³。

企业对两条玻璃生产线同期进行了环保改造，在余热锅炉高温段后增加了高温电除尘和 SCR 脱硝系统，在余热锅炉低温段后增设了双碱法脱硫系统，然后经湿式电除尘后排出，烟气处理技术路线为余热锅炉→高温电除尘→SCR 脱硝→余热锅炉→双碱法脱硫→湿式电除尘，平均每条生产线环保改造投资为 2215 万。环保改造后烟气中粉尘、SO₂ 和 NO_x 的排放浓度分别为 20mg/m³、100mg/m³、≤200mg/m³，满足国家和地方环保标准限值要求。

5.4.4 企业 4—余热利用+中温低尘 SCR 脱硝+NID 半干法脱硫除尘

4#企业位于山东省威海市，在产平板玻璃生产线 3 条，设计规模均为 500t/d，采用石油焦作为燃料，粉尘、SO₂ 和 NO_x 的原始浓度分别为 1500mg/m³、600mg/m³、1800mg/m³。

企业于 2012~2016 年分别对三条玻璃生产线进行了环保改造，在余热锅炉高温段后增设高温电除尘和 SCR 脱硝系统，在余热锅炉低温段后增设增湿灰循环脱硫（NID）系统，最后经布袋收尘排出，烟气处理技术路线为余热锅炉→高温电除尘→SCR 脱硝→余热锅炉→增湿灰循环脱硫（NID）→布袋收尘；平均每条生产线环保投资 2500 万元，经改造后粉尘、SO₂ 和 NO_x 的排放浓度分别低于 30mg/m³、100mg/m³、300 mg/m³。

5.4.5 案例 5-余热利用+陶瓷滤筒脱硫除尘脱硝一体化

5#企业位于江苏省常熟市，拥有 2 条平板玻璃生产线，设计规模分别为 500t/d 和 600t/d，采用重油作为燃料，粉尘、SO₂ 和 NO_x 的原始浓度分别为 200mg/m³、1550mg/m³、1500mg/m³。

企业于 2016 和 2017 年分别对两条玻璃生产线进行了环保改造，在余热锅炉高温段后增加了高温干法脱硫和陶瓷管 SCR 脱硝、除尘一体化系统，处理后的烟气经余热锅炉低温段后排出，烟气处理技术路线为余热锅炉→高温干法脱硫→陶瓷管 SCR 脱硝、除尘一体化→余热锅炉→烟囱；平均每条生产线环保投资 3000 万元，经改造后粉尘、SO₂ 和 NO_x 的排放浓度均满足排放标准。

5.4.6 案例 6—余热利用+中温低尘 SCR 脱硝+石灰—石膏湿法脱硫

6#企业位于山东省青岛市，拥有 2 条压延玻璃生产线，设计规模为 300t/d，采用煤制气作为燃料，粉尘、SO₂ 和 NO_x 的原始浓度分别为 200mg/m³、500 mg/m³、2200mg/m³。

企业于 2014 年对两条玻璃生产线进行了环保改造，在余热锅炉前增加了高温电除尘和 SCR 脱硝系统，处理后的烟气经余热锅炉之后排出，排出的烟气汇总进入石灰—石膏脱硫系统，实现脱硫除尘一体化处理。烟气处理技术路线为窑炉→高温电除尘→SCR 脱硝→余

热锅炉→石灰—石膏脱硫；平均每条生产线环保投资 1200 万元，经改造后粉尘、SO₂ 和 NO_x 的排放浓度均满足排放标准。

6 标准主要技术内容

本标准的主要章节有适用范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测及过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与验收、运行与维护。

6.1 标准适用范围

本标准规定了玻璃制造业废气治理工程的设计、施工、验收、运行和维护的技术要求。

本标准适用于平板玻璃和平板显示玻璃制造的废气治理工程，可作为建设项目环境影响评价、工程咨询、环境保护设施设计与施工、建设项目竣工环境保护验收及建成后运行管理的技术依据。

6.2 规范性引用文件

本标准引用部分国家和行业标准、规程、规范，以及建设项目竣工验收（管理）规范性文件，作为本标准的延伸技术规定，引用文件的管理规定和技术要求视为本标准的一部分。

为简洁表述，本标准重点引用了《石灰石/石灰-石膏法烟气脱硫工程通用技术规范》、《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法》、《袋式除尘工程通用技术规范》、《电除尘工程通用技术规范》等标准。

6.3 术语和定义

根据玻璃工业废气治理工程的特点和主要内容，术语和定义中选择了 10 个名词进行了解释和定义，包括平板玻璃、平板显示玻璃、浮法、压延法、溢流法、在线镀膜、选择性催化还原法、还原剂、氨逃逸浓度、净化效率。

6.4 污染物和污染负荷

本节主要介绍了平板玻璃和平板显示玻璃生产过程中的主要生产工艺、排污节点、污染物种类及不同燃料条件下污染物初始浓度，并提出了确定污染物浓度和处理烟气量的基本原则。

6.5 总体要求

一般要求中提出废气治理工程应符合国家和地方关于建设项目基本建设程序、建设项目环境保护设计与管理的规定，应遵循清洁生产、回收利用、达标排放、减排最大化的原则，及治理后的废气应达到的排放要求。

源头控制部分主要对燃料和原料的选择、物料制备过程中无组织排放的控制提出一般要求。

废气治理工程建设规模应与生产规模和工艺合理配套，主要包括主体工程和辅助工程。主体工程包括废气收集系统、主体治理设施（除尘、脱硫、脱硝）、风机与废气排放系统。辅助工程包括电气系统、蒸汽/压缩空气系统、暖通/消防系统等。

平面布置要求部分提出了脱硫系统、除尘系统及脱硝系统主要工艺环节的布置原则。

6.6 工艺设计

治理工艺设计应本着成熟可靠、技术先进、经济适用的原则，并考虑节能、安全和操作简便，确定治理工艺路线、技术与装备，同时考虑不同净化单元间的协同作用。本节主要给出了工艺设计的一般规定、针对不同燃料的治理工艺技术组合以及工艺设计要求。

对于脱硝系统工艺设计，提出以下要求：

- 1) 由于定期检修的需求，脱硝系统应设置备用设备，通常每两条生产线备用一套；
- 2) 在催化剂最大装入量情况下的设计脱硝效率不得低于 80%；
- 3) 氨逃逸浓度宜小于 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ ； SO_2/SO_3 转化率应不大于 1%；
- 4) 脱硝系统的烟气压降宜小于 1400Pa，系统漏风率宜小于 1%；
- 5) 当厂内采用氨制氢时，可根据氨气用量选用采用液氨-氨气作为还原剂，在实际设计中需校核液氨存储量，储罐容量应满足全厂设计工况耗量 3d 连续运行需求；
- 6) 采用氨水作为还原剂时，宜采用质量浓度 20%~25% 浓度的氨水溶液，存储容量不小于 3d 设计工况用量；
- 7) 反应器内催化剂迎面平均烟气流速的设计应满足催化剂的性能要求，一般取 $4\text{m}/\text{s}\sim 6\text{m}/\text{s}$ ；
- 8) 反应器内部吹灰方式可采用耙式清灰，并可辅以声波吹灰等方式。

对于脱硫系统工艺设计，提出以下要求：

- 1) 吸收剂制备系统的出力应按设计工况下脱硫剂消耗量的 150% 选择，且不小于 100% 校核工况下的脱硫剂消耗量；
- 2) 脱硫剂粉仓的容量应根据市场运输情况和运输条件确定，一般不小于设计工况下 3d 的耗量；
- 3) 吸收塔均应装设高效除雾器，在正常运行工况下除雾器出口烟气中的雾滴浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ，除雾器应设置水冲洗装置。

根据整体工艺要求、烟气温度的、粉尘负荷、粉尘特性、排放标准要求等选择适宜的除尘方式，可选工艺包括高温电除尘、低温电除尘、布袋除尘器和电袋复合除尘，也可选用高温滤管复合 SCR 脱硝的复合工艺。

针对二次污染控制，特别提出对于脱硫废水中的铵盐的处理，应在碱置换吹脱的基础上对吹脱出的氨气进行吸收回用，防止氨气直接排入环境空气。

6.7 主要工艺设备和材料

本节给出了脱硝系统、脱硫系统和除尘系统的主要工艺设备和材料。脱硝系统主要设备和材料可参考 HJ562；脱硫系统主要设备和材料选择可参考 HJ 178、HJ 179；除尘系统设备和材料选择可参考 HJ2020、HJ 2028 及 JB/T 13732。

6.8 检测和过程控制

检测与过程控制是确保废气治理工程稳定运行、达标排放的重要手段。玻璃制造业废气治理工程应在排气筒或排放管道的合适位置处设置永久性采样口、采样测试平台，符合 HJ/T 1、GB/T 16157、HJ/T397 规定的采样条件要求，并设立排污口标志；重点排污单位应按 HJ/T 76 规定安装烟气排放自动监测系统，并与环境管理部门联网；熔窑烟气的监测项目主要包括颗粒物、NO_x、SO₂、HCl、氟化物排放浓度、烟气流量、温度、湿度、氧含量等。物料制备工序通风系统的监测项目主要包括颗粒物浓度和风量。在线镀膜尾气处理系统的监测项目包括颗粒物、氯化氢、氟化物、锡及其化合物的浓度、风量等。

针对工艺过程控制，应对治理工程的废气流量、温度、湿度、压力、运行时间、治理设备关键运行参数等进行实时检测，并在中控室集中显示。静电除尘、袋式除尘、脱硝、脱硫系统的工艺过程控制分别应符合 HJ2028、HJ2020、HJ562、HJ179 的要求。另外还规定了不同设备应检测记录的关键参数。

6.9 主要辅助工程

本节包括电气系统、蒸汽/压缩空气系统、暖通/消防系统的基本要求。

电气系统设计应按 GB 50052、GB 50054 等标准的规定执行。压缩空气系统的设计应满足 GB 50029 的相关规定。消防设计应符合 GB 50016 的有关规定。

6.10 劳动安全与职业卫生

本节是工程通用技术规范中规定的必要内容，其目的就是要求在设计、建设和运行过程中要高度重视劳动安全与职业卫生，并有章可依、有法可循。在设计过程中，要遵守国家和相关行业的标准、规范、导则等文件的要求。在建设和运行过程中，保障废气治理工程的安全与工作场所的职业卫生。

6.11 施工与验收

本节规范了工程施工与验收的基本原则。施工单位应遵守国家相关施工规范，还应遵守国家有关部门颁布的劳动安全及卫生、消防等强制性标准，对废气治理工程内装置及设备进行施工，确保工程质量。

6.12 运行与维护

本标准在运行管理技术力量配置、运行人员技术培训、运行工作要求等方面进行明确规定。要求运行部门或单位制定运行、操作和维护规程，建立主要设备运行状况的台帐制度和巡检制定，建立运行记录制度，确保废气治理工程稳定可靠运行。

7 实施本标准的环境效益及经济技术分析

7.1 实施本标准的环境效益

本标准的发布能够指导玻璃制造业废气治理工程的设计、施工、验收、运行和维护，有利于保证企业选择适宜的工艺技术路线并合理开展工程施工、运行和维护，达到相关标准的要求。一方面，本标准对于不同燃料类型和初始污染物浓度的废气处理工艺方案的选择、主要设计参数的选取和关键设备的选型等均做出了指导性的规定，因此，标准的实施在合理确

定工程投资规模、最大程度发挥投资效益和控制运行成本等方面将起到非常重要的作用；另一方面，本标准也可为玻璃制造业废气治理工程的达标排放及超低排放改造提供坚实的技术支撑，实现污染治理设施长期稳定运行，有效减轻环境污染。截至 2017 年底全国共有平板玻璃生产线 334 条，按照 600t/d 的熔炉估算，每年可实现 NO_x、SO₂ 和粉尘的减排量分别达到约 70 万吨、35 万吨和 14 万吨，特别是对于 NO_x 的减排效果最为显著。

7.2 实施本标准的技术经济分析

玻璃制造业废气治理工程的投资与工艺选择、设备配置、烟气量、烟气中污染物浓度、排放要求以及工程类型等密切相关。按照每条线环保改造费用平均 3000 万元估算，工程总费用约为 100 亿元。

运行费用主要包括脱硝还原剂和脱硫吸收剂消耗、能源（水、电、气）消耗、人工费用、折旧费、维修费用等。具体运行费用跟烟气中污染物浓度和脱除效率密切相关。

8 标准实施建议

本标准通过问卷调查和实地调研，总结近十年来玻璃制造业废气治理工程工艺方案及工程设计、施工和运行管理方面的经验，吸纳新技术和新工艺，在广泛调研的基础上，并充分参考引用已发布的有关除尘、脱硫、脱硝的工程技术规范，完成本标准。本标准涉及废气治理工程中除尘、脱硫、脱硝等工艺的设计、施工、运行等各方面，涉及面广、技术性强，随着环保要求的不断提出和生产工艺水平的不断改进，需要在执行过程中不断修改和完善。