

附件 7

《矿物棉工业污染物排放标准 (征求意见稿)》编制说明

《矿物棉工业污染物排放标准》编制组

项目名称：玻璃工业污染物排放标准——矿物棉

项目统一编号：387

承担单位：中国轻工业清洁生产中心、中国环境科学研究院、中国绝热节能材料协会、南京玻璃纤维研究设计院

编制组主要成员：孙晓峰、李晓倩、汪丽婷、韩继先、王靖、张德信、张国宁、高山、魏玉霞、张佟佟

目 录

1	项目背景.....	150
1.1	任务来源.....	150
1.2	工作过程.....	150
2	行业概况.....	152
2.1	产品介绍.....	152
2.2	矿物棉行业在我国的发展现状.....	153
2.3	矿物棉行业国外发展现状.....	154
3	标准制订的必要性分析.....	155
3.1	国家及环保主管部门的相关要求.....	155
3.2	行业发展带来的主要环境问题.....	155
3.3	行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展.....	156
3.4	现行环保标准存在的主要问题.....	156
4	矿物棉生产产排污情况及污染控制技术.....	157
4.1	岩矿棉行业产污情况及污染控制技术.....	157
4.2	玻璃棉行业产排污情况及污染控制技术.....	169
4.3	矿物棉企业废气治理现状和技术路线分析.....	172
5	行业排放有毒有害污染物环境影响分析.....	175
6	标准主要技术内容.....	175
6.1	标准适用范围.....	175
6.2	标准制订原则.....	176
6.3	标准结构框架.....	176
6.4	术语和定义.....	176
6.5	污染物项目的选择.....	176
7	污染物排放限值的确定及制定依据.....	177
7.1	水污染物排放标准制定依据.....	177
7.2	大气污染物排放标准制定依据.....	179
8	主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....	188
8.1	国外标准研究.....	188
8.2	本标准与现行标准的对比.....	189
9	实施本标准的环境效益及经济技术分析.....	191
9.1	实施本标准的环境效益.....	191
9.2	实施本标准的经济技术分析.....	192
附录 1	我国矿物棉企业大气污染排放调查数据.....	193

《矿物棉工业污染物排放标准》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

根据国家《“十一五”国家环境保护标准规划》（环发〔2006〕20号），为推进环境执法和监督管理工作实现科学化、法制化和规范化，进一步健全环境保护法规，完善环境保护技术法规和标准体系，“十一五”期间将“加大制定行业型污染物排放标准工作的力度，完成钢铁、煤炭、火力发电、农药、有色金属、建材、制药、石化、化工、石油天然气、机械、纺织印染等重点行业污染物排放标准制修订工作，增加行业型排放标准覆盖面，逐步缩小通用型污染物排放标准适用范围…”。

根据《“十一五”国家环境保护标准规划》，玻璃工业污染物排放标准体系分为五项标准：

玻璃工业污染物排放标准—平板玻璃

玻璃工业污染物排放标准—电子玻璃（包括含铅玻璃）

玻璃工业污染物排放标准—容器玻璃

玻璃工业污染物排放标准—玻璃纤维及制品

玻璃工业污染物排放标准—矿棉

2007年6月，原国家环境保护总局向中国环境科学研究院下达了制订《玻璃工业污染物排放标准—矿棉》（原下达计划名字）的标准制订计划，标准项目编号387。计划下达后，中国环境科学研究院邀请中国轻工业清洁生产中心、中国绝热节能材料协会、南京玻璃纤维研究设计院参加，共同组成标准编制组。

1.2 工作过程

1.2.1 成立编制组

2008年初，中国环境科学研究院邀请中国轻工业清洁生产中心、南京玻璃纤维研究设计院、中国绝热节能材料协会参加，共同组成标准编制组。

1.2.2 收集资料

任务下达后，标准编制组开始了相关工作的计划安排和资料收集调研工作。2009年10月～2010年3月间，标准编制组首先查阅了大量国内外有关矿物棉行业环境保护的政策法规和行业环保措施等信息资料，同时以多种形式开展调研工作。收集相关的污染数据、深入企业现场采样分析、发放调查问卷，了解掌握矿物棉生产企业污染物排放情况、污染治理技术、企业环境管理现状等。

1.2.3 现场调研

编制组自2010年起多次赴矿物棉生产企业进行现场调研，调研内容包括：

- 生产工艺

重点考察了矿物棉生产企业所采用的工艺路线、生产规模以及资源、能源消耗情况以及清洁生产技术等。

- 产排污情况

重点考察了矿物棉生产过程中的产排污环节、污染物种类、产生量、污染物排放去向等。

- 污染控制

对调研企业现有的污染物处理工艺、效果、主要设备及投资费用、运行费用等进行了调研。

- 污染监测状况

对企业废气、废水监测项目、监测方法、主要仪器、设备及人员配备情况进行了调查研究。

1.2.4 开题论证

2010年3月由环境保护部科技标准司主持召开了开题论证会。参加会议的有环境保护部总量司、污防司、环评司、环境保护部标准所、北京市劳动保护科学研究所、中国建筑材料联合会标准部、上海凡凡新型建材有限公司等各方专家与代表。经与会专家和代表的论证,确定了标准编制主导思想、基本原则、技术路线、主要工作内容等,同时,与会专家建议对标准的适用范围进行调整,适用范围应包括矿渣棉、岩矿棉和玻璃棉,标准名称做相应修改。按照专家意见要求,将《玻璃工业污染物排放标准——矿棉》改为《矿物棉工业污染物排放标准》。

1.2.5 论证后修改补充

开题论证后,标准编制组按照工作计划进入了标准的起草阶段,根据相关文件的编制原则,分别完成了标准技术内容框架中的各项要求。以前期调研数据为基础,确定了标准的污染物控制项目、指标限值等内容,结合开题论证会专家意见形成了标准征求意见稿和编制说明。

1.2.6 完成征求意见稿及编制说明,公开征求意见

标准编制组考虑生产工艺及污染控制技术,参考国内外相关排放标准确定排放限值,于2015年10月完成了《矿物棉工业污染物排放标准》(征求意见稿)的编制工作。2015年11月27日,环境保护部发布办公厅函(环办函[2015]1959号),对《矿物棉工业污染物排放标准》及其编制说明进行广泛公开征求意见。

标准征求意见单位84个,包括8个部委(局)、31个省、自治区、直辖市环保厅(局)、新疆生产建设兵团环保局、11个环保部直属单位、23家矿棉生产企业、10个环保部业务司局。回复意见单位29个,回函比例34.5%。其中提出意见单位5个,无意见单位24个,共提出意见6条。标准编制组对6条意见进行了逐条处理,完全采纳1条,部分采纳2条,未采纳3条。有50%的意见得到采纳或部分采纳。

1.2.7 标准二次征求意见

2016 年环保部对环境管理体制进行重大改革，成立大气、水、土壤三个业务司，环境标准制修订任务转移到各业务司进行管理。2017 年 2 月 22 日，环保部修订发布了新的《国家环境保护标准制修订工作管理办法》，明确了新的标准管理体制、制修订程序和内容要求。根据该管理办法的规定，对标准二次征求意见。

2 行业概况

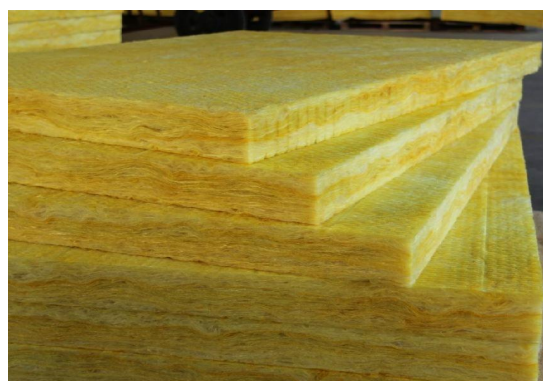
2.1 产品介绍

矿物棉是将各类矿物原料经熔融、成纤并用不同有机、无机试剂表面处理后支撑的蓬松状短细纤维。具有不燃、不霉、不蛀等性能。可做成毡、毯、垫、绳、板等。用作吸声、减震、隔热材料。

矿物棉包括岩棉、矿渣棉和玻璃棉。岩棉主要以玄武岩等岩石为原料，矿渣棉主要以冶（矿渣或粉煤灰为原料，玻璃棉主要以玻璃为原料）外加一定数量的辅助材料，经高温熔融喷吹而制成人造纤维。矿物棉的最高使用温度可达 650℃，用它制成的板、毡、管壳、粒状棉等，可耐高温，适用于工业高温设备的保温，目前建筑的外墙保温、防火、隔热也在大量使用矿物棉。



岩棉

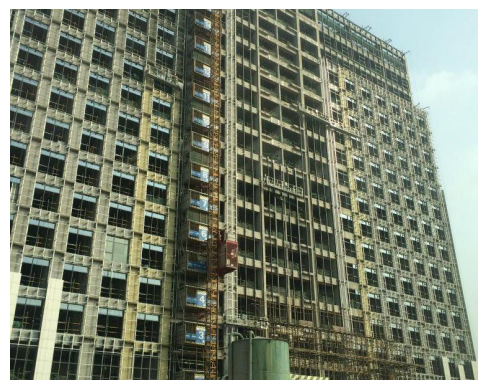


玻璃棉

图2-1 常见矿物棉产品



管道保温



建筑保温

图2-2 常见矿物棉产品用途

2.2 矿物棉行业在我国的发展现状

2.2.1 岩棉行业现状

由于岩棉和矿渣棉具有绝缘、保温、吸声等突出特性，在建筑、工业设备、热网等方面获得广泛应用，发展迅速。2016 年，岩棉产量 224 万吨，与 2015 年同期相比增长幅度为 9.3%。截至 2017 年年底，国内岩棉的总产能约 300 万吨。

2017 年，国家开展环保督察工作以来，全国范围内停产岩棉生产线约 120 万吨（主要是非连续生产线，产能≤四万吨的生产线），目前剩余 180 万吨左右。其中，河北强制关停了落后产能岩棉生产线共计 165 条线，产能 50 万吨以上；现运行的岩棉生产企业 11 家。在建的岩棉生产线约有 100-150 条（2018 年 6 月份约投产 60 条，2018 年底约投产 70 条），预计产能为 200 万吨左右。

表 1-1 近年我国岩棉行业发展情况

序号	产品名称	产量（万吨）						
		2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
1	岩棉渣棉及制品	118.41	148.01	177	195	203	205	224

我国岩棉行业仍以小型企业居多，生产工艺设备、环境管理水平有待进一步提升。

2.2.2 玻璃棉行业现状

玻璃棉具有体积小密度小，热导率低，保温绝热和吸声性能好，不燃、耐热、抗冻、耐腐蚀、不怕虫蛀、良好的化学稳定性等特性。2016 年，玻璃棉产销量 66 万吨，与 2015 年同期相比增长幅度为 3.1%。

表 1-2 近年我国玻璃棉行业发展情况

序号	产品名称	产量（万吨）						
		2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
1	玻璃棉及制品 (含火焰棉)	54.70	60.40	67.23	74	80	64	66

火焰法玻璃棉企业基本分布在油田附近有天然气源的地方，河南濮阳、东北等地；离心喷吹法玻璃棉企业分布较广，产量均在年产 5000 吨以上，河北、江浙等地大型企业居多。

目前，国内火焰法玻璃棉生产线产量基本在 300-1000 吨，以坩埚拉丝火焰喷吹法生产，按机组计算产量；离心喷吹法玻璃棉生产线是流水线作业，生产线产量规模为 5000~10000 吨/年。

国内离心玻璃棉产能在 2013 年有一个爆发增长。据统计，2013 年新建设的玻璃棉生产线达 25 条，新增产能 30 余万吨，仅河北一地新增生产线十多条。目前，全国离心玻璃棉产能达到 100 万吨，河北一地集中了 51 条玻璃棉生产线，近 60 万吨的产能（全国共 87 条生产线）。除此之外，山东、江浙、安徽、四川、广东等地区也是玻璃棉产能相对集中的地区。

随着《建材工业“十三五”发展指导意见》、《建筑材料工业“十三五”科技发展规划》

等文件的颁布实施，矿物棉行业将走向绿色发展之路。预计“十三五”期间，矿物棉产量年均增长 5%~7%。

2.2.3 工艺水平和技术装备情况

矿物棉企业主要呈现小投资、小规模、高聚集的发展模式，短期经营行为在行业中比较普遍。近年部分龙头企业发展比较迅猛，技术进步水平有所提高，投资力度加大和规模化，促进了行业的发展。部分企业在新建、改建的项目中，突出节能环保，加大二氧化硫、氮氧化物等大气污染治理力度，采用富氧燃烧、电熔炉、无甲醛粘结剂等产污较少的清洁技术。经过多年的环保综合整治工作，部分散乱的小企业被关停并转，其余企业装备水平有程度不同的改善，生产效率有所提高。

行业技术进步虽有所提升，但进展缓慢，技术开发和应用水平企业间差距较大。大多数企业生产工艺水平和装备水平不高，能源消耗大，行业节能、环保方面的投入仍然不足。

2.2.4 矿物棉企业的燃料结构

矿物棉制造方法因原料种类而不同，但基本包括原料制备、熔制、成纤、集棉、固化、切割等一系列工序，这些生产过程需消耗大量的能源，其中：原料熔制过程的能耗约占整个产品综合能耗的 70%左右。

目前，我国岩棉、矿渣棉企业大多采用冲天炉对原料进行熔制，燃料主要为焦炭，少量企业使用电熔炉，玻璃棉企业主要使用火焰池窑，燃料以发生炉煤气为主。各种能源从使用效果看，各有其特点。我国煤炭资源最为丰富，应用最为广泛，在现行的能源价格体系下，焦炭及发生炉煤气具有非常明显价格优势。

利用电能作为热源熔制岩棉是最近 50 年来发展起来的新技术。电熔岩棉大致可分为两种方式：（1）利用硅酸盐熔体在高温条件下的导电性能，即熔体作为电阻发热体是矿物原料（或玻璃配合料）熔融；（2）利用石墨或其他材质的电极通电入熔体直接加热。直接电阻电熔炉的应用最为广泛，它以硅酸盐熔体直接作为电阻来加热。电熔炉一般熔化面积较小，比较适用于小批量生产方式，以及焦炭禁燃地区的企业。

天然气具有热值高、易控制的特点，但燃烧的火焰黑度较低，传热效果稍差，热能利用率比重油稍低。天然气是一种清洁能源，燃烧产生的烟气对环境的污染小。我国石油、天然气资源比重较低，价格较高，受天然气供应能力与价格的影响，矿物棉企业仅在成纤和固化环节使用天然气加热。

除熔制、成纤、固化外的生产工序和辅助设备中，以电能消耗为主。

2.3 矿物棉行业国外发展现状

近年来，世界绝热材料的需求量持续增加，全球 2005~2008 年的增长率达 3%，2009 年达到 135 亿平方米。以销售额计算，全世界近年来绝热材料的销售金额每年增长率在 4%以上。不论产量的年增加率还是销售金额的年增长率，都超过世界经济和人均收入的增加水平。

按地区划分，北美和欧洲工业国家今后仍是绝热材料用量最大的地区，但亚太地区、非洲、中东和拉丁美洲市场的增长速度将超过欧洲、北美。由于中国制造业快速发展，以及对建筑绝热材料要求提高，将会成为需求增长最快地区，年增长率将达 7% 以上。

就绝热材料应用行业而言，建筑业会成为主要行业，因为世界各国都在提高建筑物节能能力，这必然会使绝热材料需求增加。这种趋势在发达国家主要体现为改进现有建筑的保温绝热效果（如进行外墙保温）；而在发展中国家，则主要表现为制定或提高建筑物的节能标准，推广节能住宅等，其目的都是降低建筑物能耗。

目前，欧洲、日本是使用矿物棉最多的地区，中国占据比例逐渐上升。世界矿物棉总年产量达 800 万吨以上。

3 标准制订的必要性分析

3.1 国家及环保主管部门的相关要求

（1）《国家环境保护“十二五”规划》中的要求

《国家环境保护“十二五”规划》指出“加大结构调整力度”，“加大建材等行业落后产能淘汰力度”，“着力削减化学需氧量和氨氮排放量”，“加大二氧化硫和氮氧化物减排力度”。加快电力及其他行业的脱硫脱硝步伐，并要求东部地区现有燃煤锅炉安装低氮燃烧装置。并提出“十二五”期间二氧化硫、氮氧化物减排 8%、氨氮和氮氧化物减排 10% 的约束性指标。以上对矿物棉行业提出了更高的环保要求。

（2）《“十三五”生态环境保护规划》中的要求

《“十三五”生态环境保护规划》提出“十三五”期间二氧化硫、氮氧化物减排 15%，氨氮和氮氧化物减排 10% 的约束性指标。并提出“十三五”期间对建材等重点行业，实施综合治理，对二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘以及重金属等多污染物实施协同控制。原料破碎、生产、运输、装卸等各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。

（3）《国家环境保护标准“十三五”发展规划》中的要求

《国家环境保护标准“十三五”发展规划》提出《矿棉工业污染物排放标准》拟于 2018 年颁布实施。

3.2 行业发展带来的主要环境问题

随着我国矿物棉产量的迅速增长，该行业造成的污染问题也日益严重。以岩矿棉为例，调研情况表明，目前仅少数规模较大的岩矿棉企业建有完善的环保设施。根据产排污系数表（见表 3-1）也可以看出，与大企业相比，小企业的单位产品污染物排放量要大的多，鉴于我国大多数岩矿棉生产企业都是小规模企业，该行业的产业结构调整 and 污染问题不容忽视。

表 3-1 岩棉、矿渣棉行业产排污系数

产品名称	原料名称	工艺名称	规模等级	污染物指标	单位	产污系数	末端治理技术	排污系数
岩棉、矿渣棉	矿渣、玄武岩、焦炭	冲天炉	≥6000 (吨/年)	工业废气量(窑炉)	Nm³/t	9364	直排	9364
				烟尘	kg/t	25.852	旋风除尘器	5.171
				二氧化硫	kg/t	16.603	烟气脱硫法	3.626
				氮氧化物	kg/t	5.449	直排	5.449
玻璃棉	石英砂、石灰石、长石+天然气、重油、煤气	玻璃熔窑	≥6,000 (吨/年)	工业废气量(窑炉)	Nm³/t	4507	湿法除尘	4507
				烟尘	kg/t	6.124	湿法除尘	0.982
				二氧化硫	kg/t	9.060	湿法除尘	4.430
				氮氧化物	kg/t	1.737	湿法除尘	1.563

注：根据实际运行情况，岩棉（冲天炉）废气量为 4000m³/t，玻璃棉废气量为 3000m³/t。

根据调研情况，矿物棉企业多采用湿法脱硫、布袋除尘，绝大多数企业无氮氧化物治理设施。矿物棉企业产生的水污染物处理率较低，仅有个别规模较大的企业对产生的废水进行了处理，处理方法是将含有游离酚、游离醛的废水经过简单的过滤处理后用于稀释粘结剂，实现废水回用。但是，大部分的小企业不具备完善的废水处理设施，一般仅设简易的沉淀池，将沉淀得到的酚醛回收利用，废水处理率低，达标排放难度大。

3.3 行业清洁生产工艺和污染防治技术的最新进展

根据《岩棉行业准入条件》文件，文中对岩棉行业的环境保护要求：

（一）含尘气体收集治理，达标排放。烟气经脱硫除尘等处理后，排放的废气应符合《工业窑炉大气污染物排放标准》（GB 9078-1996）、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）或项目所在地环境标准要求。鼓励新建和改扩建岩棉项目配置污染源监测设施并开展自行监测，预留烟气脱硝设施场地、配置烟气脱硝装置。

（二）生产用水循环利用，外排废水达到 GB8978《污水综合排放标准》或项目所在地环境标准要求。

（三）生产过程中产生的废棉回收再利用。

（四）完善噪声防治措施，厂界噪声达到 GB12348《工业企业厂界噪声排放标准》要求。

（五）配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

（六）开展清洁生产审核，建立环境管理体系。制定完善的突发环境事件应急预案。

3.4 现行环保标准存在的主要问题

目前，我国尚未针对矿物棉工业制定污染物排放标准，矿物棉工业污染物排放管理和建设项目环境影响评价、设计、竣工验收等目前依据《工业窑炉大气污染物排放标准》（GB 9078-1996）、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）和《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）。这几项标准行业针对性不强，对矿物棉工业污染物控制的可操作性较差。

首先，现行环保标准中控制的污染物种类不全面。矿物棉生产过程中产生的污染物不仅

包括现行标准中控制的 SO₂、烟（粉）尘，还包括玻璃熔窑产生的 NO_x，以及酚类（苯酚）、甲醛等污染物。

其次，现行环保标准中污染物排放限值的设置对矿物棉行业不合理。以二氧化硫为例，目前岩矿棉冲天炉产生的二氧化硫排放执行《工业窑炉大气污染物排放标准》中对燃煤（油）炉窑所做的规定，但实际上矿物棉冲天炉燃料是焦炭，执行燃煤（油）炉窑二氧化硫的排放限值明显是不合适的。

此外，矿物棉行业水污染物排放执行 GB 8978，其中仅第二类污染物指标就达 56 种之多，未结合行业特点设置污染物指标，事实上弱化了需要重点监测的指标项目，造成了企业部分水污染物排放没有得到有效监管。

可见，矿物棉行业目前执行的污染物排放标准不利于严格控制污染物排放，不利于促进行业污染治理和技术进步。因此，制订《矿物棉行业污染物排放标准》十分必要。

4 矿物棉生产产排污情况及污染控制技术

4.1 岩矿棉行业产污情况及污染控制技术

4.1.1 岩矿棉生产工艺

4.1.1.1 产品成分及原料成分

岩矿棉的化学成分不固定，传统上使用其所含的氧化物来表达，常见岩矿棉化学成分见表 4-1。可作矿渣棉原料的工业废渣有：冶金、化工工业炉渣、煤灰渣和采、选矿的废料（如煤矸石、工业尾矿等）、粉煤灰、旋风炉渣等，常见作为矿渣棉原料的工业矿渣成分见表 4-2。矿渣棉原料中的硫份是冲天炉及电熔炉废气中二氧化硫的重要来源之一。岩矿棉的原料有酸性岩石如玄武岩、辉绿岩、辉长岩、花岗岩、闪长岩、石英岩、安山岩等和碱性熔剂如石灰石、白云石等，常见作为岩棉原料成分见表 4-3。

表 4-1 常见岩棉、矿渣棉产品成分

单位：质量百分比

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe _m O _n	TiO ₂	R ₂ O	S 及其他
矿渣棉	36~41	9~17	28~47	3~12	1~5	—	0~1.2	0.7~2
岩棉	39~50	10~17	6~35	7~18	3.5~17	微量	0.5~4	0~1.3

表 4-2 常见矿渣棉原料成分

单位：质量百分比

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _m O _n	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	可灼烧成分
某炉矿渣	33~41	7~16	<2.5	34~47	1.5~11	0.9~1.2	<1.5	—
某高矿渣	36.65	9.80	2.76	43.24	6.14	0.72	0.96	—
石河子矿渣	35~55	10~29	1.5	30~50	<3	—	<3	—

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _m O _n	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	可灼烧成分
钢渣	15~17	4~6	14~22	44~49	9~13	<1	—	<4
铜渣	38	6.99	2.79	35.64	10.92	3.26	1.89	—
铅渣	35	8	11	33	5	1	其他	<6
锰渣	23.7	11.6	—	2.8	2.8	—	其他	<6
水泥窑灰	15.62	5.12	3.66	47.01	1.97	4.3	—	20.56
粉煤灰	48.02	28.55	8.30	2.42	1.57	—	0.21	8.25
煤渣	51.06	34.98	6.28	4.45	0.67	—	—	—
磷渣	40~43	1~10	—	40~52	<1	<4	<2	—
煤矸石	24.2	14.2	10.5	4.1	0.71	—	6.78	40.8

表 4-3 常见岩棉原料成分

单位：质量百分比

名称		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SiO ₂ Al ₂ O ₃	CaO MgO	M _k
酸性 岩石	玄武岩	48.23	2.21	14.99	4.18	6.95	0.20	7.00	9.07	3.40	2.51	1.26	0.60	0.35	2.81	1.15	4.35
	辉岩	45.05	1.00	4.79	4.28	8.14	0.31	21.61	10.78	0.97	0.37	2.28	0.16	0.26	7.78	0.499	1.57
	辉长岩	47.62	1.67	14.52	4.09	0.37	0.22	6.47	8.75	2.97	1.18	2.02	0.46	0.66	2.94	1.35	4.19
	花岗岩	71.27	0.25	14.25	1.24	1.62	0.08	0.8	1.62	3.79	4.03	0.56	0.16	0.33	4.92	2.0	35
	闪长岩	57.39	0.89	16.24	3.10	4.15	0.18	3.77	5.88	4.26	2.57	0.89	0.37	0.43	3.32	1.5	8.0
	石英岩	74.28	0.26	13.43	0.98	1.18	0.06	0.67	1.36	4.32	2.12	0.79	0.10	0.67	5.43	2.0	43
	安山岩	56.75	0.76	18.60	3.88	3.26	0.15	3.42	6.97	3.07	2.01	0.79	0.49	0.15	2.93	2.0	7.3
碱性 熔剂	石灰石	0.07~1	—	0.02~1	0.03~1	—	—	0.08~1	48~55	—	—	—	—	—	—	—	—
	白云石	0.02~1	0.01~1	0.03~1	0.02~1	—	—	21.9	30.4	—	—	—	—	47.7	—	—	—

4.1.1.2 主要工艺及产污环节

矿物棉生产工艺包括配料、熔制、成纤、集棉、成型固化、切割等工序。原料按照配比混合后送入炉窑，将熔化好的物料通过料道末端的漏板流出，进入离心机。在高速旋转的离心机带动下，离心机侧壁甩出细流，在燃烧室产生的高温高速火焰作用下细流进一步牵伸成纤维，然后施加雾化的粘粘剂，在集棉网带的负压风作用下，附着了树脂的棉纤维沉积在运行的网带上，形成均匀棉毡，然后通过固化炉树脂受热完成固化过程，产品定型。定型后的产品切割成预定规格的制品，最后进行压缩包装。

岩矿棉典型生产工艺见图 4-1。

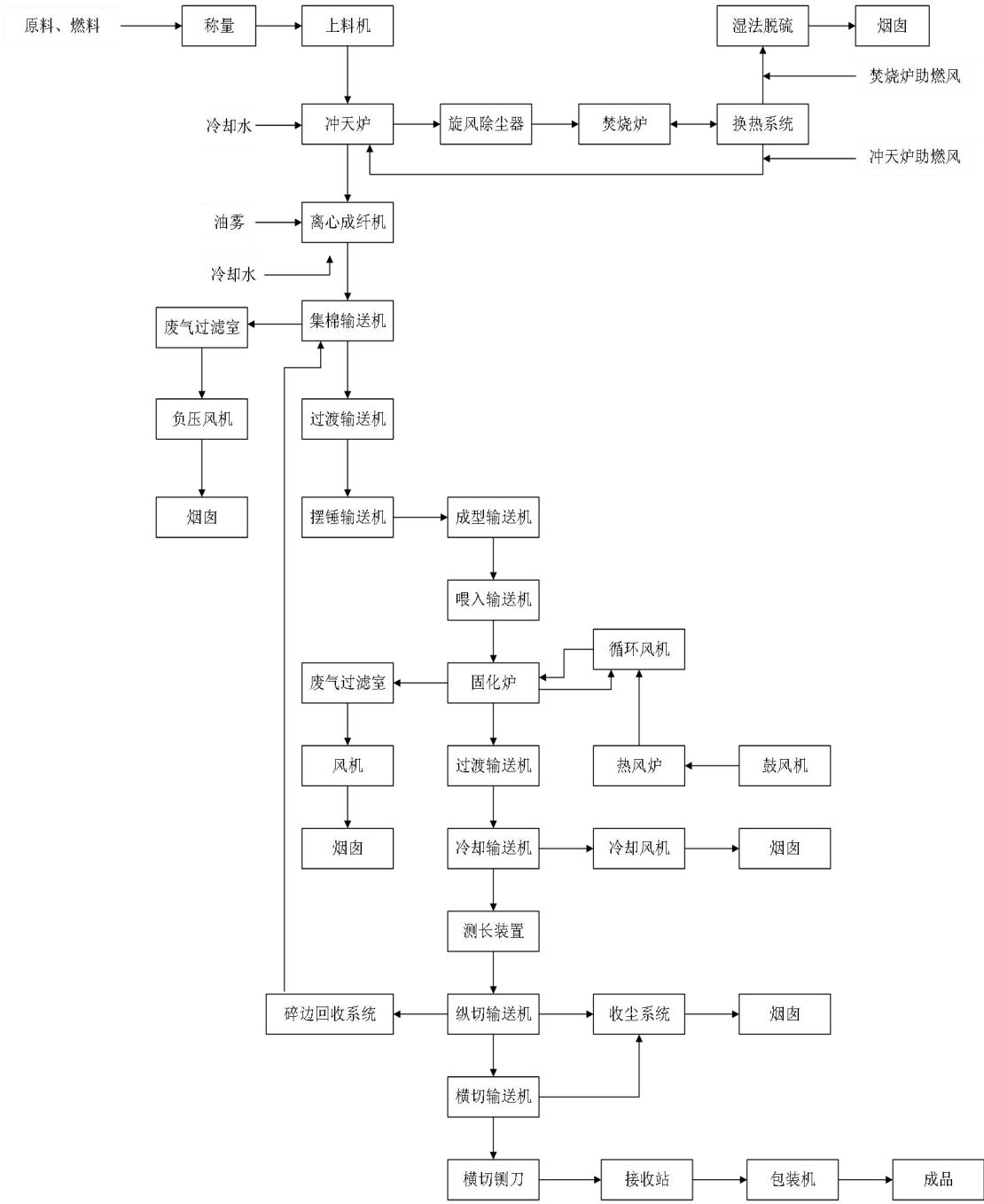


图4-1 岩矿棉典型生产工艺流程图

(1) 熔制设备及燃料

目前，岩矿棉的熔制大部分采用冲天炉熔制工艺，冲天炉结构见图 4-2；另外，少量企业采用电熔炉。如使用冲天炉熔炼，燃料为焦炭，一般常用的是铸造焦，有时也使用冶金焦，冲天炉焦炭质量要求见表 4-4；如使用电熔炉熔炼，则以电为主要能源。出于成本考虑，目前我国绝大多数岩矿棉企业以冲天炉为熔炼设备。但随着各地环保要求的提高，新建项目中电熔炉的比例逐年提高。

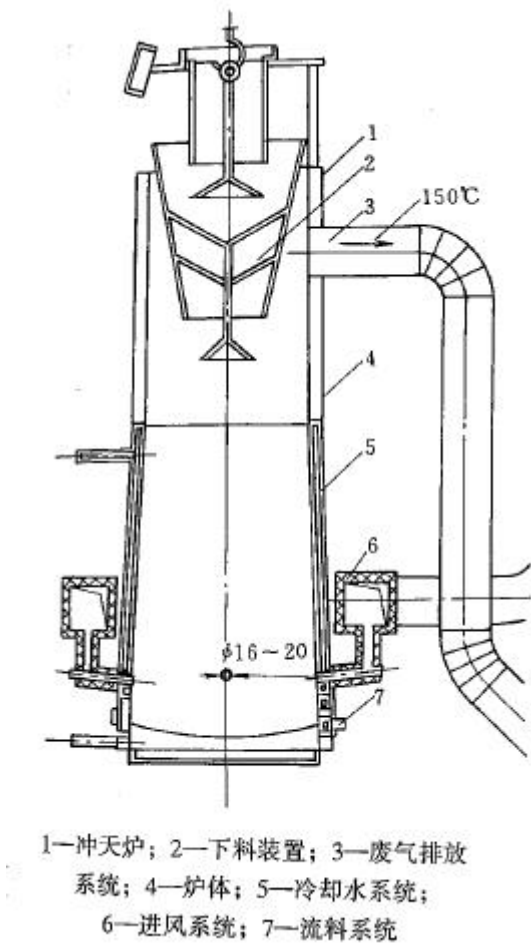


图 4-2 冲天炉一般结构

表 4-4 冲天炉焦炭质量要求

固定碳含量	灰分	挥发分	含硫量	水分	发热量	块度
>80%	<15%	<1.5%	<1%	<1%	>26000kj/kg	60~120mm

目前，我国岩矿棉冲天炉主流工艺为富氧燃烧技术：将原料和燃料（一般为焦炭）经筛分、称量、配料加入冲天炉，助燃空气经预热至一定温度，并混入一定比例的氧气（富氧处理），加热。使原料熔化成为熔体进入炉缸，熔体通过冲天炉流口进入可调活动流槽并使其流至四辊离心机制成纤维，从而制得厚度均匀的矿渣棉和岩矿棉。

(2) 粘结剂系统

矿物棉原料在经过熔制、离心、集棉工序之后形成离心棉，此时纤维交织形成棉毡，但这种毡强度低、没有固定形状、压缩后回弹性不好，为了改变这种情况，需要在每根纤维表

面喷上一层粘结剂，以提高产品强度并固定形状。根据调研数据，矿物棉产品粘结剂含量约为 5%。目前国内岩矿棉所用粘结剂主要是水溶性的酚醛树脂，原料为苯酚、甲醛。酚醛树脂中甲醛单体结构含量的平均值约为 53%，其中酚醛树脂（未添加尿素前）的游离甲醛含量平均值可达 10%左右，即使加入尿素与氨水（危险品）吸收甲醛，甲醛的平均含量仍达到 2%，在集棉及固化的过程中会大量挥发释放，对工人健康和环境造成严重危害。目前国外玻璃棉生产已普遍采用无甲醛粘结剂，岩矿棉制造商也在向无甲醛技术过渡中，国内目前仅有 2~3 条无甲醛矿物棉生产线，产量约 2 万吨/年，并且为不连续生产。

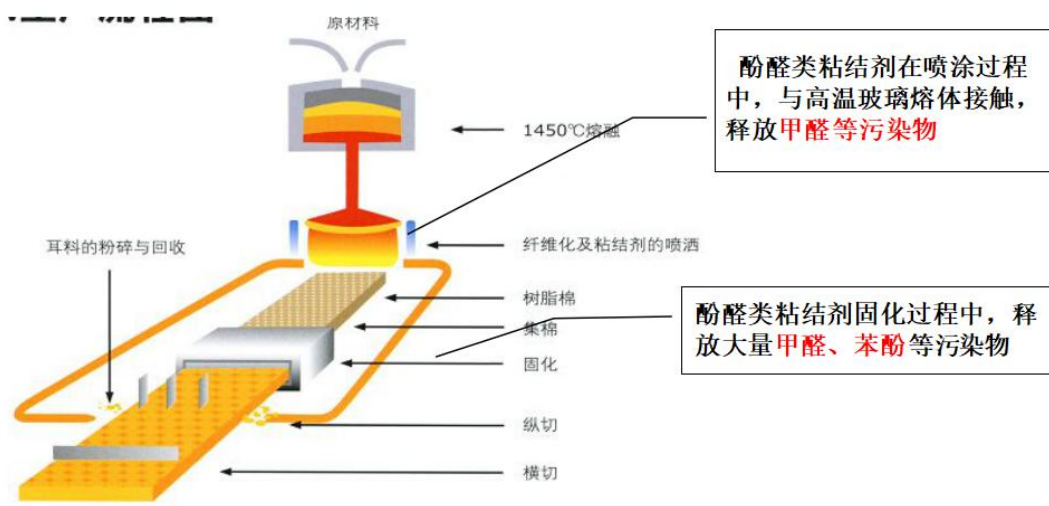


图 4-3 用酚醛类粘结剂生产矿物棉制品过程中污染物的排放

4.1.2 岩矿棉产污分析

4.1.2.1 废气产污分析

岩矿棉生产过程中产生的污染物大气污染物主要有粉尘、烟尘、二氧化硫、氮氧化物、苯酚、甲醛等，其产生环节分析见表 4-5、图 4-4 所示。

表 4-5 岩矿棉生产过程中污染物产生情况一览表

产生环节		污染物种类	产生原因
原料处理		粉尘	原料储存、运输、混合过程中的原料飞散产生的颗粒物
熔制	电熔炉	烟尘	加料时部分原料飞散产生的颗粒物；挥发性物质高温挥发后冷凝生成的烟尘
		氮氧化物	高温条件下，空气中氮与氧气反应产生的热 NO _x ；原料中硝酸盐热分解产生 NO _x
		硫氧化物	含硫原料分解产生的硫氧化物
	冲天炉	烟尘	加料时部分原料飞散产生的颗粒物；挥发性物质高温挥发后冷凝生成的烟尘；燃料燃烧后生成的颗粒物
		氮氧化物	高温条件下，空气中氮与氧气反应产生的热 NO _x ；原料中硝酸盐热分解产生 NO _x ；燃料中氮的氧化
		硫氧化物	燃料中含硫成分氧化；含硫原料分解产生的硫氧化物
集棉室 固化室	粉尘、苯酚 甲醛	成型时酚醛粘结剂的使用；固化时酚醛粘结剂的挥发	

产生环节	污染物种类	产生原因
冷却带 切割带	粉尘	切割产生

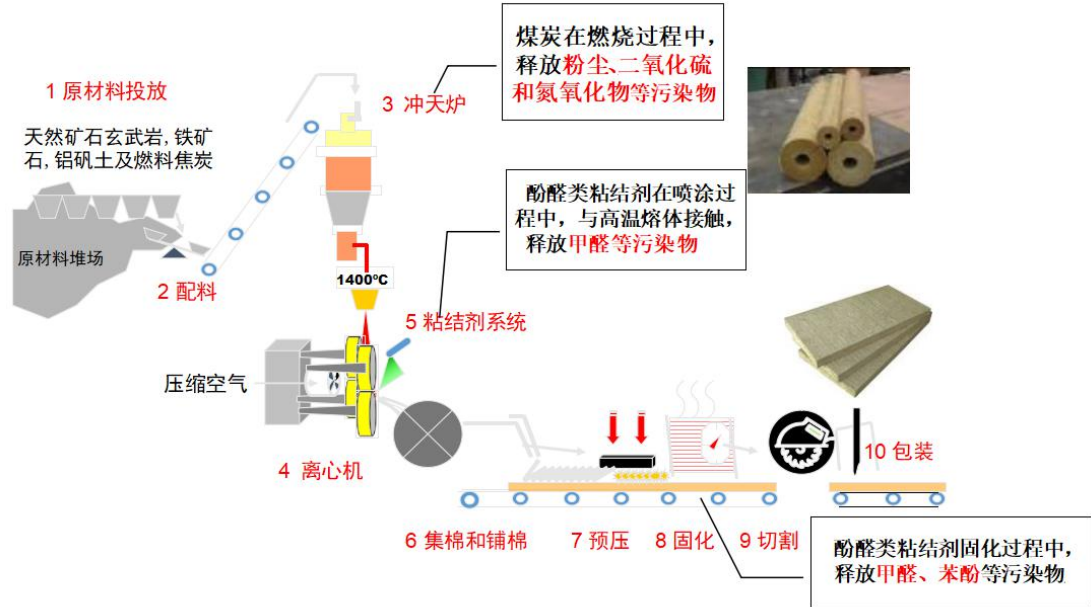


图4-4 岩矿棉生产废气产生节点图

4.1.2.2 废水产污分析

岩矿棉生产过程中产生的废水主要来自：设备冷却水（如：离心机冷却水）、设备清洗水；离心成纤时漏洒的含酚醛树脂的废水；集棉室和固化室后采用矿棉板过滤+水喷淋工艺处理废气的也会产生相应的废水。这些废水中主要含有游离酚、甲醛。此外，采用湿法除尘或湿法烟气脱硫处理废气的企业还会产生相应的废水。

（1）设备冷却水

包括冷却循环水、含污冷却水。冷却循环水指熔窑池壁水包和水管冷却水、离心机及其他设备冷却水。此类水使用后水质不起变化，主要是水温升高，属热污染，经冷却后可循环使用。而含污冷却水是指冷却设备时，可能会带入一些油类污染物，这类废水经处理后可以循环使用。

（2）原料加工处理中的废水

碎玻璃或其他废料回收清洗所产生的含有悬浮物、污泥、有机物等废水。

（3）地面与设备冲洗水

根据车间各工段生产情况与不同类型、不同用途的设备冲洗时废水中含有的污染物也不同，如原料车间的粉尘、各种矿物粉尘；熔制工段污水含有配合料粉尘等；成纤、离心工段污水中含有粘粘剂成分游离酚、甲醛等。

（4）过滤喷淋废水

集棉室和固化室后采用矿棉板过滤+水喷淋工艺处理废气的也会产生相应的废水。这些废水中主要含有游离酚、甲醛。

总之，矿物棉工业废水的特点是 pH 值高、无机固体悬浮物较多，含有酚、醛，BOD 和 COD 值较低。

4.1.3 岩矿棉污染防治技术

4.1.3.1 清洁生产技术

我国岩矿棉的技术发展应走大型、高效、节能、高质量的道路。采用自动配料与上料技术来保证原料的稳定，采用年产 4-8 万吨熔化能力的大型冲天炉及其配套大型离心机与施胶机、大型摆锤成型与多维打褶技术，采用高速自动叠板与自动包装技术的岩矿棉生产线，生产产生的废热充分利用，渣球经过加工全部利用，做到生产废渣全部回用。

《岩矿棉行业准入条件》（工信部公告 2012 年 第 10 号）对岩矿棉生产规模、生产工艺装备提出明确要求，如下所示：

- 1) 新建岩矿棉项目总规模不得低于 4 万吨/年，单线规模不得低于 2 万吨/年。改扩建岩矿棉项目单线规模不得低于 2 万吨/年。鼓励建设单线 3 万吨/年及以上的项目。
- 2) 新建和改扩建岩矿棉项目应使用清洁燃料，严禁使用发生炉煤气。鼓励使用电熔炉。
- 3) 采用冲天炉的，应配套建设烟气脱硫、除尘和余热综合利用等系统。鼓励采用富氧燃烧技术。
- 4) 新建和改扩建岩矿棉项目应采用自动控制技术。进料工段实现自动称量、自动配料、自动加料。成纤集棉、固化成型工段实现在线控制。

4.1.3.2 大气污染物治理技术

(1) 熔化过程

1) 烟尘控制技术

烟（粉）尘是岩矿棉工业（冲天炉）对大气的主要污染物之一。烟尘含量一般为 3500~15000mg/m³。烟尘中各粒径段的质量分数如表 4-6 所示。

表 4-6 冲天炉烟尘中各粒径段的质量分数（%）

颗粒尺寸/μm	<1000	<500	<200	<100	<50	<20	<10	<5	<2
冷风炉（%）	90~100	80~90	60~80	40~65	20~50	10~30	5~25	2~20	1~5
热风炉（%）	95~100	90~100	65~90	40~80	30~60	20~40	15~35	10~30	5~20

冲天炉除尘器分为干法与湿法两种基本类型，如表 4-7 所示。

表 4-7 冲天炉除尘器的基本类型与特性

基本类型	除尘器	说明
干法除尘器	旋风除尘器	1、干法为优先采用的冲天炉除尘方法； 2、旋风除尘器、沉降除尘器等适合于初级除尘，袋式除尘器、静电除尘器可达标，袋式除尘器最适合冲天炉除尘； 3、对炉气中有害气体缺乏净化作用
	沉降除尘器	
	袋式除尘器	
	静电除尘器	

基本类型	除尘器	说明
湿法除尘器	喷淋除尘器	1、除尘同时可净化炉气中的有害气体； 2、喷淋除尘器、泡沫除尘器等适合于初级除尘，泰森除尘器、文氏（文丘里）除尘器可达标； 3、存在器壁腐蚀、冬季结冻等问题，污水、污泥处理设备复杂，投资费用高，占地面积大
	泡沫除尘器	
	水击除尘器	
	泰森除尘器	
	文氏除尘器	

常用冲天炉除尘器特性如下表所示。

表 4-8 常用冲天炉除尘器特性

名称		一般适用范围			粒径与除尘效率 (%)		
		粉尘直径/ μm	粉尘浓度/ (g/m^3)	温度限制 / $^{\circ}\text{C}$	$50\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
沉降除尘器		>20	>10 但 <100	<400	95	16~20	3~5
旋风除尘器		>5	<100	<400	94	27	8
袋式 除尘器	振打清灰	>0.1	3~10	<300	>99	>99	99
	脉冲清灰	>0.1	3~10	<300	100	>99	99
	反吹清灰	>0.1	3~10	<300	100	>99	99
干式静电除尘器		>0.05	<30	<300	>99	99	86
喷淋除尘器		0.05~100	<10	<400	100	96	75
文氏除尘器		0.05~100	<100	<800	100	>99	93

袋式除尘器是一种利用有机或无机纤维过滤布将含尘气体中的粉尘过滤出来的净化设备。袋式除尘器采用深层过滤或表面过滤的过滤机理将粉尘阻挡在滤布外部而通过洁净气体，为维持持续稳定的处理能力和较高的净化效率，需要采取清灰机将附着的粉尘抖落。袋式除尘器具有除尘效率高、适应性强、维护简单等优点，其除尘效率可以达到 95-99%。

旋风除尘器：旋风除尘器是使含尘气流作旋转运动，借助离心力作用将尘粒从气流中捕集下来的装置。旋风除尘器尤其适合于捕集粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物，是一种中效除尘装置，对于粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物，其捕集效率在 45%-90%。旋风除尘器具有结构简单、制造、安装和维护管理容易、投资少、占地面积小等优点。但一般只适用于净化非黏结性的和非纤维性粉尘，温度在 400°C 以下的非腐蚀性气体。

湿式洗涤器：湿式洗涤器既能净化废气中的固体颗粒污染物，也能脱除气态污染物，湿式气体洗涤是使废气与液体互相密切接触，从而使污染物从废气中分离出来，对大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘的净化效率可达 90%以上，湿式气体洗涤器的优点主要有：结构简单、造价低和净化效率高，适于净化非纤维性和非水硬性的各种粉尘，尤其适宜净化高温、易燃和易爆气体。

颗粒物也是电熔炉熔制岩棉矿棉的主要污染物，其主要来源于加料过程和原料熔制产生的烟气，产生量远小于冲天炉。电熔炉颗粒物主要使用干法除尘进行治理，绝大多数企业使用袋式除尘器，少数企业使用重力除尘器及湿法除尘。

2) 二氧化硫控制技术

岩矿棉（冲天炉）生产过程中，二氧化硫的产生量与燃料和原料有关，来源于生产时使用的含硫原料矿渣（组分见表 4-2）以及燃料焦炭（组分见表 4-4，4-9），其中焦炭燃烧产生的二氧化硫通常占到二氧化硫排放总量的 30-70%。电熔炉产生的二氧化硫仅来源于含硫矿渣原料在熔化过程中的分解，产生量远小于冲天炉。

二氧化硫的控制方法主要包括：①减少原料中含硫工业矿渣的比例，②使用低硫焦炭（低硫焦炭来源有限，且价格较高），③使用电熔炉和烟气脱硫。

表 4-9 焦炭质量标准

项目	冶金焦（GB/T 1996）		铸造焦（GB 8729）	
	等级	指标	等级	指标
硫分的质量分数（%）	1 级	≤0.60	特级	≤0.60
	2 级	≤0.80	一级	≤0.80
	3 级	≤1.00	二级	≤0.80

从烟气中去除二氧化硫的技术称为烟气脱硫，烟气脱硫的方法很多，主要分为两大类，干法和湿法。干法采用粉状或粒状吸收剂、吸附剂或催化剂来脱除烟气中的 SO_2 ，特点是处理后的烟气温度降低很少，烟气湿度没有增加，有利于烟囱的排气扩散，同时在烟囱附近不会出现雨雾现象。但是干法脱硫时 SO_2 的吸附或吸收速度较慢，因而脱硫效率低，且设备庞大，投资费用高。

干法脱硫常用的方法有活性炭法、氧化铜法、接触氧化法等。活性炭法应用较广泛，这种方法稳定性好，还能回收硫酸。氧化铜法是以氧化铝为载体，氧化铜为吸附剂吸收 SO_2 ，生产硫酸铜，然后用氢还原硫酸铜，回收氧化铜和 SO_2 ，但这种方法费用较高。接触氧化法是用五氧化二钒做催化剂，将 SO_2 转化为 SO_3 。

干法中最新的方法是喷雾干燥器同布袋或静电除尘器组合成的开式二段流程。这种方法也叫半干法，是利用喷雾干燥的原理向热烟气中喷入石灰浆液并形成雾滴，烟气中的 SO_2 与雾滴中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应，生产性质稳定的、溶解度低的 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 及少量的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，从而达到脱除 SO_2 的目的。细小雾滴可以提供较大的反应表面积，提高脱硫效率。而雾滴在吸收 SO_2 的同时被烟气干燥，生产固体粉末，大部分随烟气排出进入除尘器，除尘器将各种粉尘同时除去，而净化后的烟气因降温不多，可直接排入大气。这种方法具有运行稳定、脱硫除尘效率高的优点，但能耗大、一次性投资大，如图 4-5 所示。

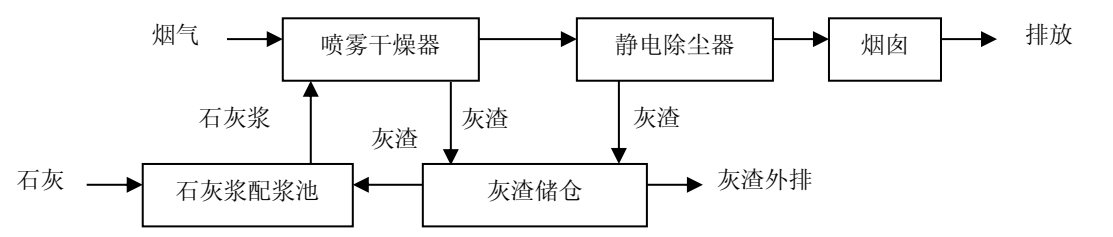


图 4-5 半干法脱硫除尘工艺示意图

湿法烟气脱硫（湿式吸收法）是采用液体吸收剂洗涤烟气去除 SO_2 ，脱硫反应速度快，

所以湿法脱硫效率高，且设备不大，投资也相当较少，见图 4-6。但处理后的烟气温度降低，含水量增加。为了提高扩散，防治烟囱附近形成雨雾，还需对烟气进行再加热，但由于近年节能意识不断提高，且水蒸气并不污染空气，所以也有不再加热烟气的例子。湿法脱硫以石灰-石灰石法应用最为普遍，其次是氢氧化镁、苛性（活性）碱、氨法等，湿法脱硫除尘的工艺流程如图。

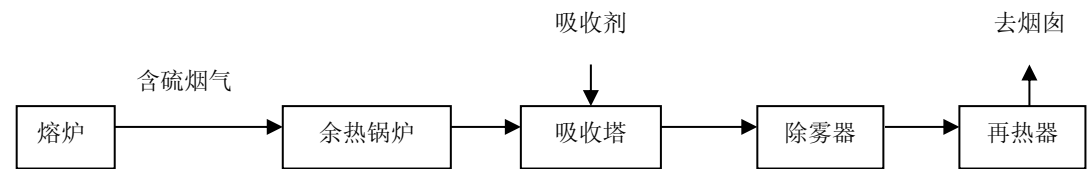


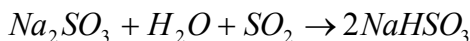
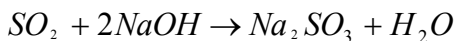
图 4-6 湿法脱硫除尘工艺图

(a) 石灰-石灰石法

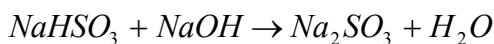
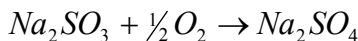
此法是用石灰石浆或石灰浆洗涤含 SO₂ 的烟气，在高效脱硫除尘装置内烟气中的 SO₂ 与碱性脱硫剂作用，生成亚硫酸钙，部分被氧化成硫酸钙，并随洗涤液排出。这种方法的优点是脱硫效率高、工艺设备简单、投资和运行费用低，但易结垢且会产生二次污染物。

(b) 苛性钠法

此法就是用苛性碱溶液与废气中的二氧化硫反应，生成亚硫酸盐和亚硫酸氢钠。



吸收液中的 Na₂SO₃ 经过氧化，形成芒硝（Na₂SO₄），而吸收液中的 NaHSO₃ 过多时，就要加入苛性碱溶液，与 Na₂SO₃ 分离、氧化，形成芒硝。



湿式脱硫在矿物棉行业使用较多。

3) NO_x 控制技术

燃料燃烧时产生的 NO_x 分为两种，一种是燃料中的 N 经过氧化生成的 NO_x，另一种为燃烧空气中的 N₂ 与 O₂ 在高温下剧烈反应生成的热 NO_x。冲天炉产生的 NO_x 主要既有燃料型 NO_x 也有热力型 NO_x。电熔炉产生的 NO_x 以热力型为主。

由于岩矿棉冲天炉、电熔炉中是还原环境，所以热力型 NO_x 产生浓度较低，如果在烟气处理过程中进行二次焚烧，那么 NO_x 的产生量会有所增加。目前，典型工艺采用富氧燃烧技术，通过在助燃空气中混入纯氧，降低氮气含量，减少 NO_x 的排放量。未来行业技术趋势是纯氧燃烧技术，燃料燃烧时直接使用氧气助燃，一般含氧量大于 90%。虽然目前在行业中尚未得到应用，但如果未来广泛应用该技术可大幅削减 NO_x 的产生量。由于电熔炉没有燃料燃烧，故 NO_x 产生量较少。

目前岩矿棉企业很少使用专门脱硝的末端处理设施。

（2）非熔化过程

1）粉尘处理

岩矿棉生产中原料、燃料处理以及冷却、切割过程中产生的粉尘主要采用袋式除尘器进行处理。

2）集棉室、固化室废气

集棉室、固化室的废气中含有颗粒物、苯酚、甲醛。目前处理方法主要包括以下几种：

旋风洗涤器：适用于集棉室和固化室废气处理。由于压降较小，该技术对细颗粒物和小液滴的去除率比较低。同时有可能对使用的其他处理技术有影响，在国外的岩矿棉厂使用的不多，在欧盟大约有 10% 的岩矿棉厂使用。

湿式洗涤：适用于集棉室和固化室废气处理。由于压降较小，对颗粒物的去除效果有限，但是对苯酚、甲醛可以达到很低的排放水平。在欧盟，大约有 10% 的矿物棉厂使用湿式洗涤技术处理废气。

岩矿棉板过滤：主要适用于集棉室的废气处理。岩矿棉板过滤对颗粒物及有机胶粒去除效果明显。在使用过程中，过滤板中的岩矿棉板需要被定期更换以保证颗粒的去除效果及减小废气流的阻力；使用过的岩矿棉板还可以重新熔制以达到重复利用的目的。在欧盟有 90% 的岩矿棉生产使用岩矿棉板过滤的方法处理成型区的废气，有不到 10% 的岩矿棉生产使用该技术处理固化区的废气，主要是因为固化区废气温度较高。由于岩矿棉过滤板投资成本及处理成本相对较低，因此国内很多岩矿棉生产企业使用岩矿棉过滤来处理集棉室和固化室废气中的颗粒物、苯酚和甲醛等有害气体。有些企业采用岩矿棉板过滤后再经过水幕处理，可以达到更好的效果。

废气焚烧：适用于固化室的废气处理。较好的废气焚烧炉可将废气中的总有机物降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。在欧盟有 60-70% 的岩矿棉生产使用该技术处理固化炉产生的废气。

4.1.3.3 水污染物治理技术

岩矿棉生产过程中产生的废水主要来自：设备冷却水（如离心机冷却水）、设备清洗水；离心成纤时漏洒的含酚醛树脂的废水；集棉室和固化室后采用矿棉板过滤+水喷淋工艺处理废气的也会产生相应的废水。其中，设备冷却水不含有污染物，可循环使用。其他废水中的污染物主要是游离酚、游离醛。规模较大的企业通常将这些废水收集，经过滤网简单过滤后用于调配酚醛树脂使用，实现循环利用，基本无废水外排。废水循环利用情况如下图所示。

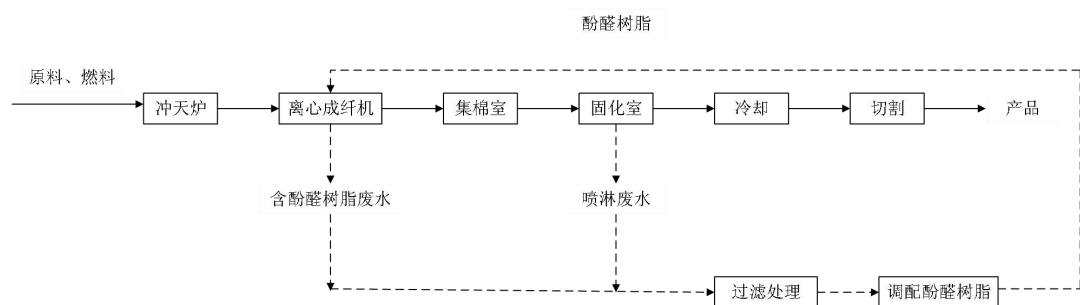


图 4-7 废水循环利用图

岩矿棉生产过程中的废水为含酚较低的废水，若不进行循环利用，则需采用废水处理方法进行处理。常用的处理方法是生物氧化法、化学氧化法、活性炭吸附法等，或者是生物氧化、化学氧化、活性炭吸附等数种方法结合起来的组合处理方法。

4.2 玻璃棉行业产排污情况及污染控制技术

4.2.1 玻璃棉生产工艺

4.2.1.1 产品成分及原料成分

由于原料成分不固定，玻璃棉产品成分同样不固定，其化学成分主要由氧化物表征，见表 4-10。玻璃棉原料主要是石英砂、纯碱、石灰石、白云石、硼砂、长石、方解石、芒硝、碎玻璃等。玻璃棉原料组成情况见表 4-11。

表 4-10 几种典型玻璃棉化学组成

单位：质量百分比

序号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
1	60.3	4.84	7.97	4.49	13.06	2.24	4.84	0.14
2	63.7	3.32	6.99	3.03	15.37	2.05	5.30	0.23
3	63.4	5.9	5.4	2.7	15.2	1.1	4.6	0.12
4	62.7	4.8	5.9	3.4	14.6	1.5	6.1	0.3
5	63.8	3.8	7.0	3.0	15.2	2.5	4.4	0.14

表 4-11 玻璃棉原料组成情况

原料	氧化物含量(%)	水分(%)
石英砂	SiO ₂ >95, Al ₂ O ₃ <3, Fe ₂ O ₃ <0.15	<6
石灰石	CaO>54, Fe ₂ O ₃ <0.05	—
白云石	CaO<30, MgO<20, Fe ₂ O ₃ <0.04	—
长石	SiO ₂ ~85, Al ₂ O ₃ ~27, K ₂ O、Na ₂ O~6, Fe ₂ O ₃ <0.2	—
纯碱	Na ₂ O~58	<1
硼砂	B ₂ O ₃ ~47, Na ₂ O~21, Fe ₂ O ₃ <0.25	—
硫酸钠	Na ₂ SO ₄ ~99.5, Fe ₂ O ₃ <0.05	<0.3
碎玻璃	玻璃熔窑流出料、平板玻璃纯净料	<10

4.2.1.2 主要工艺及产污环节

玻璃棉生产工艺可分为两种：一种是将熔融玻璃制成玻璃球、棒或块状物，使其再二次熔化，然后拉丝并经火焰喷吹成棉，也就是火焰法玻璃棉；另一种是对粉状玻璃原料进行熔化，借助离心力和火焰喷吹的双重作用，使熔融玻璃液直接制成玻璃棉，也就是离心喷吹法

玻璃棉。目前用做绝热隔音方面的玻璃棉制造工艺均采用离心喷吹法生产工艺，用于其他方面的特种玻璃微纤维则采用火焰喷吹法生产工艺。离心棉生产工艺如下图所示。

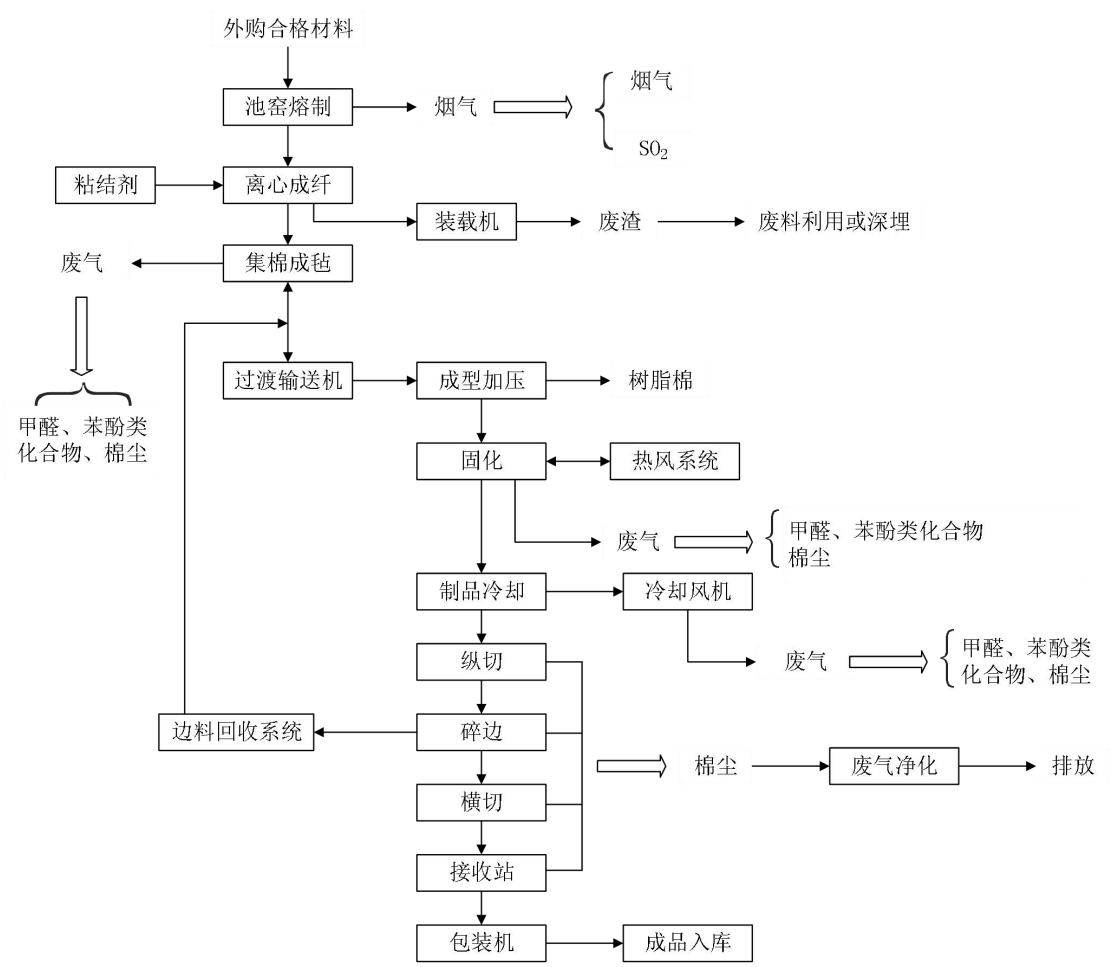


图 4-8 玻璃棉生产工艺及产污环节

(1) 离心吹喷法熔制设备及燃料

玻璃棉熔化温度较低，目前国内玻璃棉生产主要使用火焰池窑，燃料可以为天然气、液化石油气和煤制气，煤制气相较天然气及液化石油气热值较低，但价格相对便宜。目前国内玻璃棉企业出于成本考虑，主要使用煤制气作为玻璃熔窑燃料。

(2) 粘结剂系统

见本文“章节 4.1.1.2”部分论述。

4.2.2 玻璃棉产污分析

玻璃棉生产过程中产生的污染物主要有粉尘、烟尘、二氧化硫、氮氧化物以及甲醛、酚类（苯酚）化合物。具体的产污环节如下表所示。

玻璃棉生产过程中的废水产生情况和岩棉类似，具体见本文“章节 4.1.2.2”。

表 4-12 玻璃棉生产产污分析

单位：mg/m³

序号	产生环节	污染物种类	排放特征	污染物排放浓度*
1	原料处理	粉尘	间歇	—

序号	产生环节	污染物种类	排放特征	污染物排放浓度*
2	玻璃熔窑	烟尘	连续	10-1000
		NO _x	连续	100-1500
		SO ₂	连续	20-1000
3	集棉机	游离酚	连续	2.0-50
		游离醛	连续	2.0-30
		短纤维	连续	10-200
4	固化炉	游离酚	连续	2.0-40
		游离醛	连续	2.0-60
		短纤维	连续	5.0-55
5	切割	粉尘	纵向切割机：连续 横向切割机：间歇 飞锯：间歇	1.0-50

注：*数据来源于《欧盟 IPPC 矿棉工业 BAT 技术参考文件》，其余数据为国内某典型企业实测数据。

4.2.3 玻璃棉污染控制技术

4.2.3.1 大气污染物治理技术

(1) 原料粉尘

原料车间与一般玻璃厂原料车间相近，有少量粉尘，主要产生在玻璃原料搬运倒料过程。通过保证车间内通风，可以使整个原料车间的粉尘排放浓度小于 1mg/Nm³。

(2) 切割粉尘

在后处理机组中，纵切机和横切机在运行时会产生玻璃棉粉尘，采用袋式除尘器进行收尘，过滤效率为 95%-99%。

(3) 玻璃熔窑二氧化硫和粉尘

二氧化硫和粉尘治理技术参见岩矿棉污染控制技术相关内容。

(4) 玻璃熔窑 NO_x

玻璃熔窑 NO_x 也分为热力型和燃料型，由于玻璃熔窑一般都是在高温下运行，所以热力型 NO_x 占大部分。NO_x 主要是指 NO 和 NO₂。玻璃熔窑炉废气中的 NO_x，初始 90~95% 为 NO，但在排放过程中，随着温度的下降而逐渐转化为 NO₂。

玻璃熔窑 NO_x 控制技术可分为一次措施和二次措施，控制技术如下表所示，一次措施主要分为燃烧技术改进和纯氧燃烧两种，二次措施主要之废气末端处理的 SCR 及 SNCR 脱硝技术。目前国内企业由于相关技术不成熟，且成本较高，因此尚未推广纯氧燃烧及 SCR/SNCR 脱硝技术。

表 4-13 玻璃熔窑 NO_x 控制技术

控制技术	一次措施		二次措施	
	燃烧技术改进	纯氧燃烧	SCR	SNCR
去除效率	40%~60%	70%~90%	70%~95%	40%~75%

控制技术	一次措施		二次措施	
	燃烧技术改进	纯氧燃烧	SCR	SNCR
排放浓度	480~1800 mg/Nm ³	0.5~1.5kg/t玻璃液	<500 mg/Nm ³	500~700 mg/Nm ³

4.2.3.2 水污染物治理技术

玻璃棉生产线产生的废水来自于集棉室排出废气的喷淋水，还有集棉室清洗水及少量从树脂车间排出的清洗水。废水中主要含有游离酚、游离醛，所有这些清洗水均进入水处理系统中，除去水中的棉纤维，然后被送回到工艺系统中循环使用，其中部分作为配制粘结剂用水。处理工艺参见岩棉棉污染控制技术相关内容。

4.3 矿物棉企业废气治理现状和技术路线分析

经调研，矿物棉企业现行废气治理技术如表 4-14 所示。

表 4-14 岩棉棉企业现行废气治理技术方案

序号	能源类型	产污节点	主要方案工艺流程
1	焦炭	冲天炉	烟气→余热锅炉→布袋除尘→双碱法脱硫→风机→烟囱
2	焦炭	冲天炉	烟气→余热锅炉→引风机→水膜除尘、脱硫塔→风机→烟囱
3	电	电熔炉	烟气→余热锅炉→布袋除尘→风机→烟囱
4	煤制气	玻璃熔窑	烟气→余热锅炉→湿法除尘→双碱法脱硫→风机→烟囱
5	—	集棉室、固化炉	矿物棉板过滤

目前，矿物棉行业大气污染物治理主要采用对窑炉废气末端治理的方式，其工艺模块主要有：余热回收、除尘、脱硫三大部分。这三个模块之间相互牵扯也有制约，其前后排列对总的治理效果影响很大。

建议冲天炉采用的废气处理工艺流程如下：烟气→余热锅炉→引风机→水膜除尘、脱硫塔→风机→烟囱。建议玻璃熔窑采用的废气处理工艺如下：烟气→余热锅炉→干式除尘→双碱法脱硫→SCR/SNCR 脱硝→风机→烟囱→排放。

某岩棉企业使用冲天炉，废气治理工艺：烟气→余热锅炉→引风机→水膜除尘、脱硫塔→风机→烟囱→排放。颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放情况如下图所示。

（注：数据来源于该企业委托性监测数据。图中实线代表本标准制定的该污染物的排放限值，虚线代表本标准制定的该污染物的特别排放限值。）

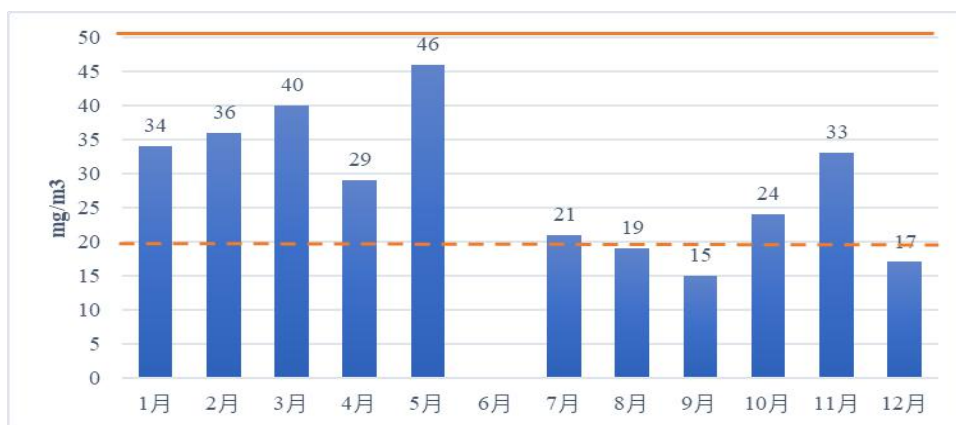


图 4-9 颗粒物监测数据

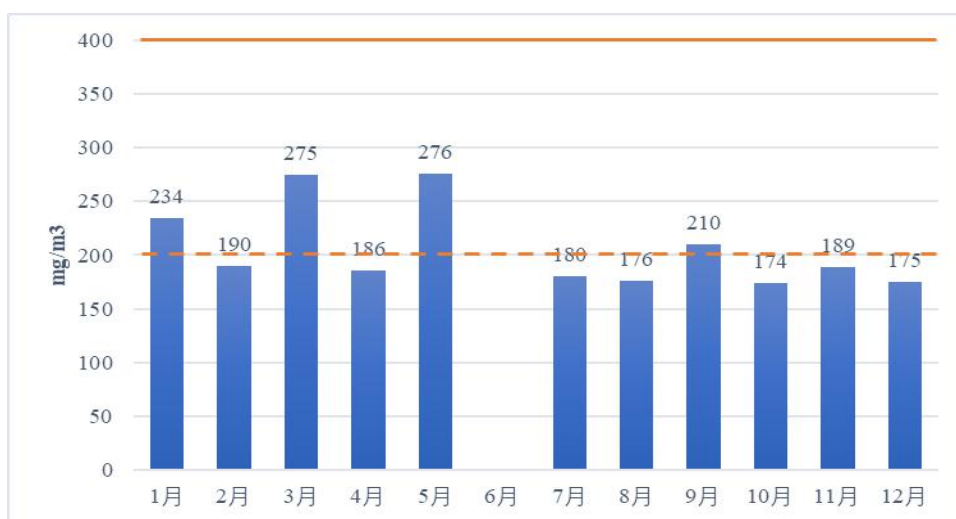


图 4-10 二氧化硫监测数据

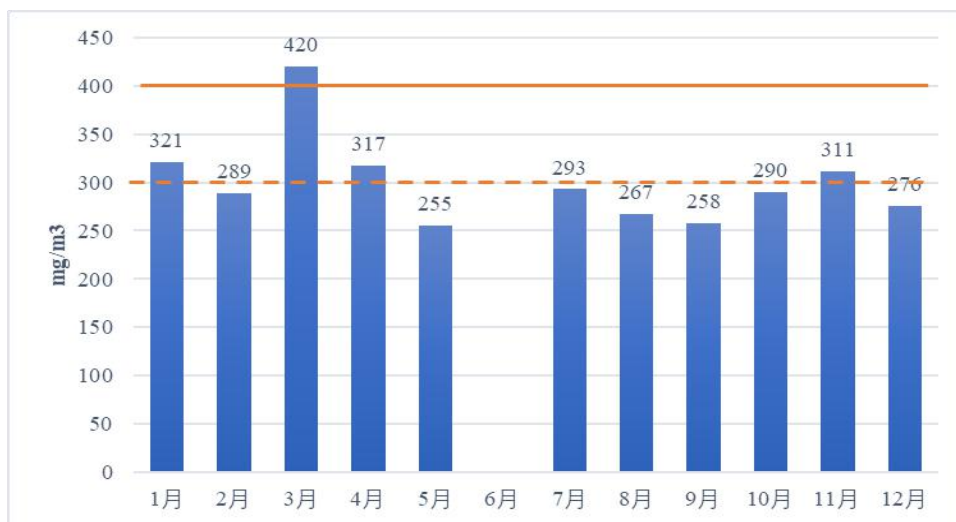


图 4-11 氮氧化物监测数据

某玻璃棉企业使用煤制气（发生炉煤气），废气治理工艺为烟气→余热锅炉→湿法除尘→双碱法脱硫→风机→烟囱→排放。颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放情况如下图所示。

（注：数据来源于该企业委托性监测数据。）

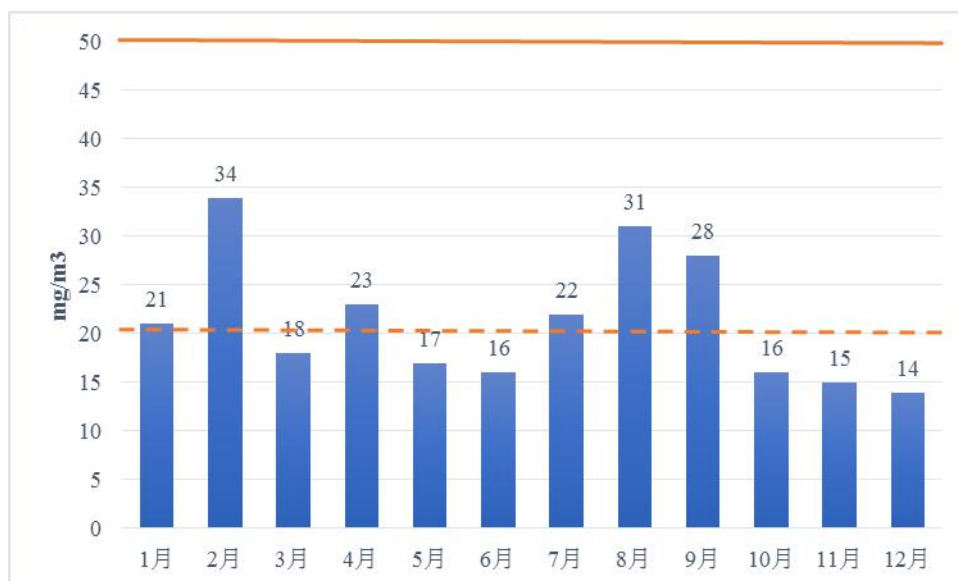


图 4-12 颗粒物监测数据

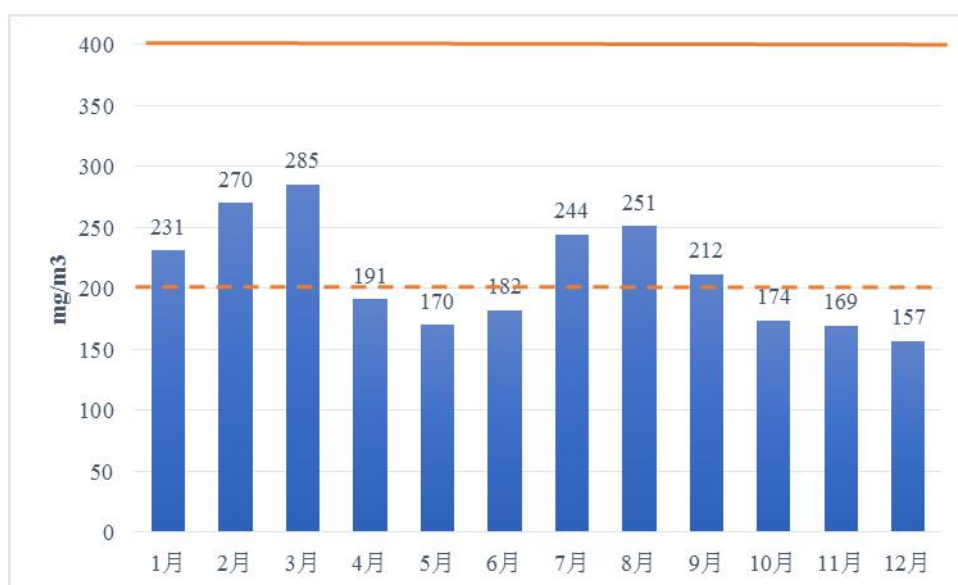


图 4-13 二氧化硫监测数据

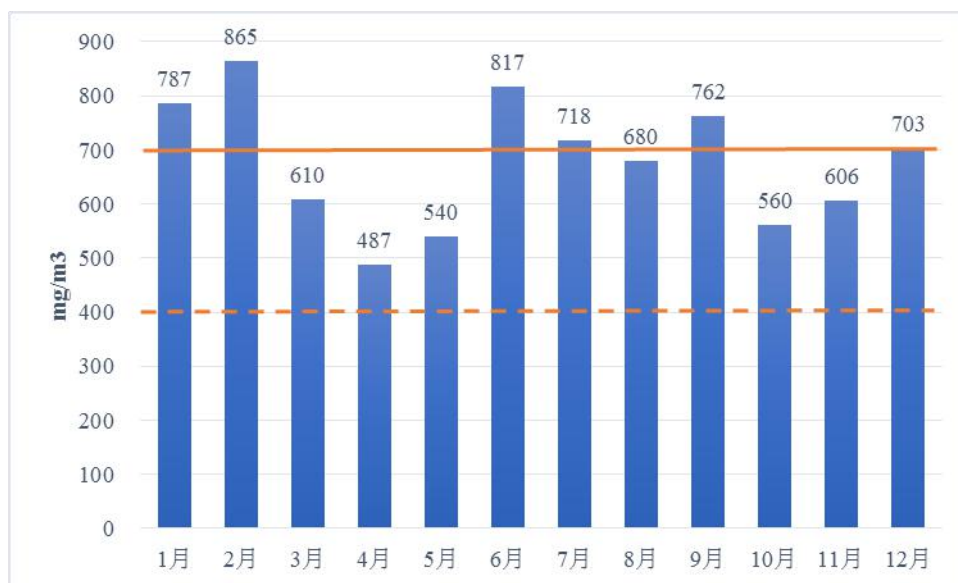


图 4-14 氮氧化物监测数据

5 行业排放有毒有害污染物环境影响分析

矿物棉生产排放的行业特征污染物主要有废水和废气中的苯酚、挥发酚、甲醛。废水中的苯酚、挥发酚、甲醛在《污水综合排放标准》中属第二类被限制的污染物质。

酚类化合物是一种原型质毒物，所有生物活性体均能产生毒性，可通过与皮肤、粘膜的接触不经肝脏解毒直接进入血液循环，致使细胞破坏并失去活力，也可通过口腔侵入人体，造成细胞损伤。高浓度的酚液能使蛋白质凝固，并能继续向体内渗透，引起深部组织损伤，坏死乃至全身中毒，即使是低浓度的酚液也可使蛋白质变性。人如果长期饮用被酚污染的水能引起慢性中毒，出现贫血、头昏、记忆力衰退以及各种神经系统的疾病，严重的会引起死亡。酚口服致死量为 530mg/kg（体重）左右，而且甲基酚和硝基酚对人体的毒性更大。据有关报道，酚和其它有害物质相互作用产生协同效应，变得更加有害，促进致癌化。当水中含酚 0.1~0.2mg/L，鱼肉有异味；大于 5mg/L 时，鱼中毒死亡。含酚浓度高的废水不宜用于农田灌溉，否则会使农作物枯死或减产。

甲醛可造成嗅觉异常、刺激、过敏、肺功能异常、肝功能异常和免疫功能异常等。长期接触低剂量甲醛可引起慢性呼吸道疾病，引起癌症、细胞核的基因突变等，甲醛具有强烈的致癌和促癌作用。

因此，含有酚醛树脂的废水进入水体，会对人体、水生生物、生态平衡造成非常严重的危害。

6 标准主要技术内容

6.1 标准适用范围

本标准主要规定矿物棉工业企业或生产设施的大气污染物和水污染物的排放限值,适用于矿渣棉、岩矿棉、玻璃棉生产企业的污染物排放控制管理。也适用于对矿渣棉、岩矿棉、玻璃棉工业企业建设项目的环境影响评价、设计、竣工验收及其建成后的污染物排放控制管理。

为贯彻《中华人民共和国水污染防治法》,规范水污染物直接或间接向其法定边界外的排放行为,根据《国家排放标准中水污染物监控方案》(环科函[2009]52号),本标准规定的水污染物排放控制要求适用于企业直接或间接向其法定边界外排放水污染物的行为。

6.2 标准制订原则

本标准制订原则如下:

(1) 根据矿物棉行业环境影响分析、污染源调查、国外法规标准以及行业相关政策要求,制订可行的污染物排放限值;

(2) 区分生产环节及炉窑类型,电熔炉(矿渣棉、岩矿棉)、冲天炉(矿渣棉、岩矿棉)、玻璃炉窑(玻璃棉)、集棉室、固化室、切割带、冷却带的大气污染物排放提出不同要求;

(2) 区分新老污染源,制订现有企业及新建企业排放限值,新源限值适当从严;

(3) 不区分燃料类型,鼓励企业采用天然气等清洁能源,岩矿棉企业需达到准入条件相关要求;现有企业经一段时间过渡期后逐步达到新源标准。

6.3 标准结构框架

本标准的主要内容包括前言、适用范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物排放控制要求、污染物监测要求、标准的实施与监测七个部分。

本标准对现有企业和新建企业分别提出控制要求。对于现有企业,根据目前污染物控制水平,设立一个相对合理的指标,自年月日起至年月日执行,期间为现有企业进一步改造期限,自年月日起执行新建企业的标准指标;对于新建企业的指标要求是根据当前先进的生产工艺、清洁生产技术和治理技术可以达到的水平而确定的限值指标,自年月日执行。

6.4 术语和定义

标准定义了矿物棉、岩矿棉、玻璃棉、电熔炉、冲天炉、玻璃熔窑、排水量、单位产品基准排水量、直接排放、间接排放、标准状态、大气污染物排放浓度、排气筒高度、现有企业、新建企业、企业边界等术语。

6.5 污染物项目的选择

污染物控制项目的选择首先要满足新形势下环境保护的需要,原则上重点考虑对人体健康和生态环境有重要影响的有毒物质、以及国家实行总量控制的污染物和本行业的特征污染物。

6.5.1 大气污染物指标项

本标准污染物项目的选择从普遍性、代表性和污染危害的严重性三个方面着手，同时参考《大气污染物综合排放标准》、《工业炉窑大气污染物排放标准》、《水污染物大气排放标准》中的基本控制项目和排放限值，对我国矿物棉工业废气和废水排放情况进行综合分析后，按照生产环节提出了应当控制的大气污染物控制项目，主要包括：

（1）岩矿棉

冲天炉监测项目：颗粒物、二氧化硫、氮氧化物；

电熔窑监测项目：颗粒物、二氧化硫；

集棉室、固化室监测项目：颗粒物、酚类（苯酚）、甲醛；

冷却带、切割带监测项目：颗粒物。

（2）玻璃棉

玻璃熔窑监测项目：颗粒物、二氧化硫、氮氧化物；

集棉室、固化室监测项目：颗粒物、酚类（苯酚）、甲醛；

冷却带、切割带监测项目：颗粒物。

6.5.2 水污染物指标项

通过对行业废水排放现状的调研，矿物棉及玻璃棉企业产生的特征污染物基本一致。根据矿物棉行业废水污染物排放特点提出应当控制的水污染物项目包括：基准排水量、pH 值、悬浮物、石油类、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总氮、总磷、挥发酚、甲醛。

7 污染物排放限值的确定及制定依据

7.1 水污染物排放标准制定依据

7.1.1 新建企业水污染物排放标准制定依据

（1）污染物排放限值的确定

根据调研，我国部分矿物棉生产企业水污染物排放水平如下表所示。

表 7-1 部分企业水污染物排放情况

单位：mg/L（pH 值除外）

编号	pH	悬浮物	石油类	COD _{Cr}	氨氮	挥发酚	甲醇
1	8	60	2.8	92	13.5	0.61	0.81
2	6.9	38	—	108	—	—	—
3	6-9	25-48	2.1-3	54-72	11-21	0.12-0.41	0.73-0.89
4	7.95	15	—	34	—	—	—
5	7.31	23	—	48	—	—	1.14
6	6-9	31-51	—	60-83	7.2	—	—
7	7.12	27	1.75	45	6.7	0.38	0.53

编号	pH	悬浮物	石油类	COD _{Cr}	氨氮	挥发酚	甲醇
8	7.68	—	—	64	—	—	—
9	7.51	12	1.22	87	5.6	0.26	0.37

基于矿物棉行业水污染物排放现状、企业达标情况和污染防治技术，参考国家、地方和行业现行水污染物排放标准，制定新建企业水污染物排放标准。本标准规定：pH 6-9，悬浮物 50mg/L，石油类 3mg/L，化学需氧量(COD_{Cr}) 100 mg/L，五日生化需氧量(BOD₅) 20mg/L，氨氮 15mg/L，总氮 25 mg/L，总磷 1 mg/L。

挥发酚属于为以发生炉煤气为燃料及使用水溶性酚醛粘结剂的企业特征污染物。甲醛属于使用水溶性酚醛粘结剂的企业特征污染物，本标准规定：挥发酚 0.5mg/L，甲醛 1mg/L。

所有排放限值均为企业排放口浓度。

(2) 单位产品基准排水量

岩棉、玻璃棉生产企业废水均主要来源于设备冷却水、设备清洗水、离心成纤时漏洒的含酚醛树脂的废水、集棉室和固化室后采用矿棉板过滤+水喷淋工艺处理废气的也会产生相应的废水，其中设备冷却水经过自然冷却后可经定期补水后重复利用，规模较大的矿物棉企业的设备冷却水以外的生产废水可收集后，经过滤网简单过滤后用于调配酚醛树脂使用，实现循环利用，基本无废水外排，只有部分生活污水外排。近年来，已有部分龙头企业生产废水可做到全部回用，只有生活废水外排，循环用水少量定期排放。根据典型企业调研数据，矿物棉企业单位产品废水排放量在 0.3m³~1.8m³ 之间。根据矿物棉行业产排污系数，本标准规定矿物棉生产企业单位产品基准排放量为 1m³/t 产品。

7.1.2 水污染物特别排放限值制定依据

太湖蓝藻暴发等多起环境污染事件的发生，使人们认识到工业的发展已经严重影响了人类饮用水资源。目前，为了保护三河、三湖等重点水域的水质，逐步恢复已受污染的水体，在国土开发密度已经较高、环境承载能力开始减弱，或环境容量较小、生态环境脆弱容易发生严重环境污染问题而需要采取特别保护措施的地区，执行更为严格的水污染物特别排放限值。根据环境保护部相关要求，在本标准中增加水污染物特别排放限值。

特别排放限值的确定以《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)中的一级标准的A标准为本标准环境敏感地区水污染物排放限值。A标准是城镇污水处理厂出水作为回用水的基本要求。

为达到特别排放限值，矿物棉企业必须进行产业结构调整，推行清洁生产。执行特别排放限值区域的矿物棉企业，在生产规模上必须做大做强；使用清洁能源和原料；在生产工艺方面必须应用最先进的清洁生产技术，降低水资源消耗，减少污染物产生强度；在末端治理方面，采用先进废水治理技术，严格环境管理，尤其应推广含酚醛树脂废水的循环利用，争取达到生产废水零排放。

基准排水量根据矿物棉行业最先进的技术、设备水平而定。

本标准规定矿物棉行业单位产品基准排水量为0.4 m³/t。

本标准特别排放限值与《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 对比情况如下表所示。

表 7-2 本标准特别排放限值与 GB 18918-2002 对比情况

单位: mg/L, pH 值除外

序号	污染物	排放限值	GB 18918-2002	
			A 标准	B 标准
1	化学需氧量	50	50	60
2	五日生化需氧量	10	10	20
3	石油类	1	1	3
4	悬浮物	20	10	20
5	总磷	0.5	0.5	1
6	总氮	15	15	20
7	氨氮	8	5 (8)	8 (15)
8	pH 值	6-9	6-9	
9	挥发酚	0.5	0.5	
10	甲醛	1	1	

对现有和新建矿物棉企业执行水污染物特别排放限值的地域范围、时间,由省级人民政府规定。

7.1.3 间接排放限值制定依据

矿物棉企业中的废水来源主要设备冷却水、设备清洗水、离心成纤时漏洒的含酚醛树脂的废水、集棉室和固化室后采用矿棉板过滤+水喷淋工艺处理废气的也会产生相应的废水。废水常规污染物包括pH、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、石油类、氨氮、总氮、总磷,特征污染物为挥发酚和甲醛。

矿棉企业废水以常规污染物为主,废水如去除挥发酚和甲醛后排入城镇污水处理厂或园区污水处理厂,影响不大。

因此,根据矿物棉工业废水水质,考虑城镇污水处理厂基本设计要求,本标准规定了排入城镇污水处理厂的水污染物间接排放限值。排放限值可按《污水综合排放标准》(GB 8978) 三级标准执行。企业向其他公共污水处理系统排放废水时,挥发酚和甲醛在本标准规定的监控位置执行相应的排放限值;其他水污染物排放控制要求由企业与企业与公共污水处理系统商定或执行相关标准,并报当地环境保护主管部门备案。

7.2 大气污染物排放标准制定依据

7.2.1 非熔化过程大气污染物排放限值制订依据

(1) 颗粒物限值制定依据

矿物棉生产中原料、燃料处理以及冷却、切割过程中产生粉尘。目前我国矿物棉生产企

业主要采用袋式除尘器进行处理，袋式除尘器的除尘效率可以达到 95%以上，颗粒物的排放浓度可以稳定在 50mg/Nm³ 以下。欧盟 IPPC 矿棉工业 BAT 技术参考文件中指出，最佳控制技术为布袋除尘器，使用布袋除尘器排放浓度可以达到 5-30mg/Nm³。由于非熔化过程中颗粒物排放量较熔化过程排放量少，多数企业并未对非熔化过程颗粒物控制，表 7-3 中列出我国部分岩棉生产企业非熔化过程中颗粒物排放水平。

表 7-3 我国部分企业集棉室、固化室颗粒物排放水平

企业编号	集棉室 (mg/Nm ³)	固化室 (mg/Nm ³)	污染控制工艺
1	37	29	袋式除尘
2	—	20	旋风除尘+水幕
3	—	25	湿式洗涤器
4	—	30	岩棉棉板过滤

由于岩棉、玻璃棉非熔化过程工艺相同，颗粒物排放水平相当。据此，按现有行业除尘技术水平，对比国内外相关排放标准，本标准规定：岩棉、玻璃棉企业的集棉室、固化室、切割带及冷却带颗粒物排放浓度定为 30mg/Nm³。

(2) 酚类、甲醛限值制定依据

目前，国内绝大多数矿物棉生产过程中需要使用水溶性酚醛粘结剂，酚醛胶粘剂会在集棉室、固化室产生部分无组织排放。目前，我国矿物棉企业多采用岩棉棉板过滤集棉室产生的苯酚和甲醛。目前，矿物棉行业对于酚类及甲醛的监测数据较少，编制组选取了 7 家企业共 14 个点位补充了现场测试和函调分析。表 7-4 是国内某企业现有生产线的集棉室、固化室产生的酚类（苯酚）、甲醛的排放水平，集棉室与固化石的酚类及甲醛浓度大致相当。其中酚类浓度大于 15 mg/Nm³ 共 2 个点位，甲醛浓度大于 20 mg/Nm³ 共 3 个点位，其他点位均酚类及甲醛浓度均分别小于 15 mg/Nm³、20 mg/Nm³，酚类和甲醛浓度分布如图 7-1 所示

表 7-4 国内现有生产线集棉室、固化室污染物排放水平

项目		处理工艺	污染物排放浓度 (mg/Nm ³)	
			酚类（苯酚）	甲醛
集棉室	我国现有企业生产线	岩棉棉板过滤	7.2~19.6	10.8~27.7
	欧盟 IPPC 矿棉工业 BAT 技术参考文件	岩棉棉板过滤	5-15	5-10
固化室	我国现有企业生产线	岩棉棉板过滤	8.6~18.7	12.6~29.2
	欧盟 IPPC 矿棉工业 BAT 技术参考文件	岩棉棉板过滤	<5	<5

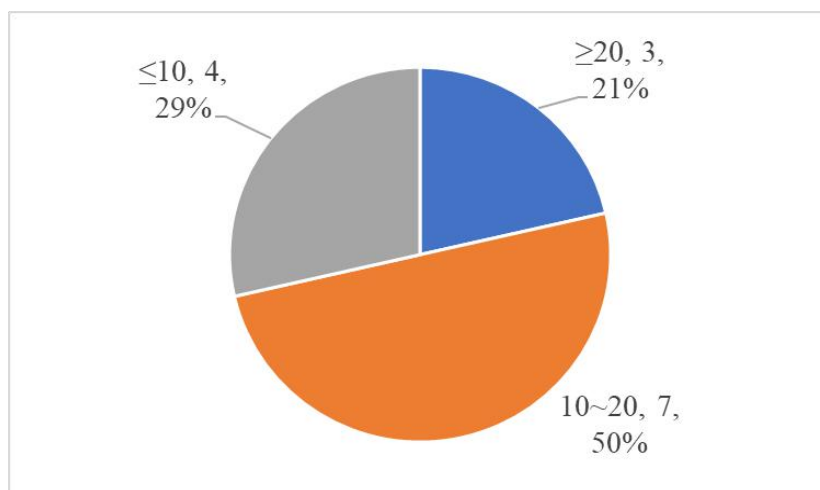


图 7-1 甲醛排放浓度分布情况 (mg/m³)

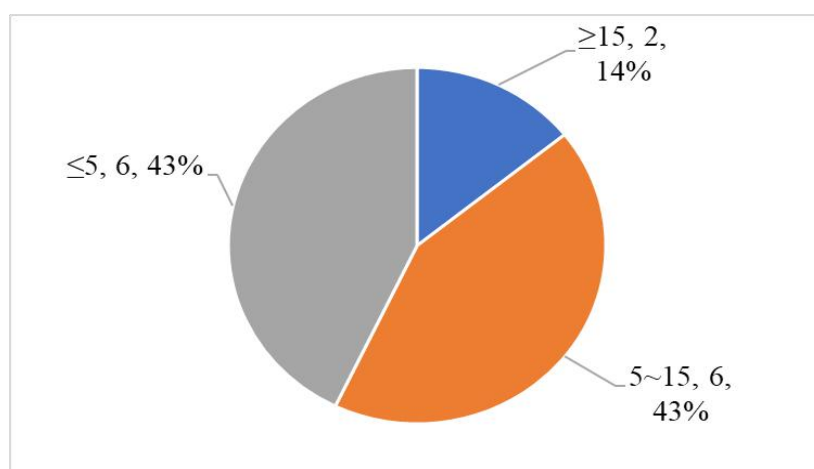


图 7-2 酚类排放浓度分布情况 (mg/m³)

综上所述，对比国内外相关排放标准，综合考虑矿物棉行业整体的治理水平，本标准制定矿物棉、玻璃棉的集棉室、固化室的苯酚、甲醛的非熔化过程中大气污染物排放浓度限值见下表。

表 7-5 集棉室、固化室的苯酚、甲醛排放限值

项目	污染物种类	排放浓度 mg/Nm³
集棉室、固化室	酚类	15
	甲醛	20

7.2.2 熔化过程大气污染物排放限值制定依据

(1) 颗粒物限值制定依据

目前我国绝大多数岩矿棉行业生产线，熔融过程多采用旋风除尘或水幕除尘，除尘效率不是非常高，多数情况下，颗粒物的排放水平稳定在 180mg/Nm³ 左右。玻璃棉企业除尘装置主要是袋式除尘，袋式除尘器除尘效率高，一般可以达到 95%-99%。粉尘也可通过封闭式运输进行控制。我国部分岩矿棉企业熔化过程中颗粒物排放水平如下表所示。

表 7-6 部分岩矿棉生产企业熔化过程颗粒物排放水平

生产线编号	炉型	污染控制工艺	排放水平 (mg/Nm ³)
1	冲天炉/ 玻璃熔窑	旋风水幕脱硫+袋式除尘器	39.8
2		XYDS 双碱脱硫除尘装置+袋式除尘器	49
3		旋风除尘器+喷淋降温塔+涡流旋流脱硫塔	21
4		旋风除尘+水幕	199
5		碱法脱硫除尘	163
6		直排	678
7		直排	3293
8		直排	3215
9	电熔炉	袋式除尘	18
10		旋风除尘	25
11		直排	120
12		直排	143

本限值的制定还参考欧盟 IPPC 矿棉工业最佳可行性技术参考文件，该文件规定了岩矿棉及玻璃棉实施 BAT 后不同生产区域排放的颗粒物浓度，如下表所示。

表 7-8 欧盟采用 BAT 最佳可行技术后颗粒物排放水平

不同阶段	岩矿棉 (mg/Nm ³)	玻璃棉 (mg/Nm ³)
熔化阶段	5-30	5-30
成型、固化阶段	20-50	20-50
固化炉	5-30	20-50

整体来说，矿物棉企业一般采用布袋除尘技术处理颗粒物，如脱硫后颗粒物浓度增加，也可考虑增加湿式电除尘工艺。本标准规定：冲天炉、玻璃熔窑颗粒物排放限值为 50mg/Nm³；电熔炉颗粒物排放限值为 30mg/Nm³。

(2) SO₂ 限值制定依据

目前，我国岩矿棉、玻璃棉规模以上生产企业绝大多数生产线采用湿法工艺去除 SO₂，但仍有部分企业未对 SO₂ 进行处理。因此，参考有治理设施的矿物棉企业，并以湿法脱硫技术为基础制定排放限值。大型的岩矿棉厂采用湿法烟气脱硫后，二氧化硫可以稳定控制在 400mg/Nm³ 以下。部分岩矿棉生产企业熔化过程中 SO₂ 排放情况如下表所示。

表 7-9 部分矿棉生产企业熔化过程 SO₂ 排放水平

生产线编号	炉窑类型/燃料类型	污染控制工艺	排放水平 (mg/Nm ³)
1	冲天炉/焦炭	旋风水幕脱硫除尘器	182
2	冲天炉/焦炭	XYDS 双碱脱硫除尘装置	382
3	冲天炉/焦炭	旋风水幕脱硫除尘器	790
4	冲天炉/焦炭	碱法脱硫除尘	251
5	玻璃棉熔炉/煤制气	湿法脱硫	105

生产线编号	炉窑类型/燃料类型	污染控制工艺	排放水平 (mg/Nm³)
6	玻璃棉熔炉/天然气	湿法脱硫	62
7	冲天炉/焦炭	旋风除尘器+喷淋降温塔+涡流 旋流脱硫塔	202
8	电熔炉 (矿渣棉)	无脱硫设施	89
9	电熔炉 (矿渣棉)	无脱硫设施	106
10	电熔炉 (岩棉)	无脱硫设施	65
11	电熔炉 (岩棉)	无脱硫设施	36
12	冲天炉/焦炭	直排	1970
13	冲天炉/焦炭	直排	1821
14	玻璃棉熔炉/煤制气	直排	923

国内类似行业排放标准如下表所示。

表 7-10 国内类似行业 SO₂ 排放标准

单位: mg/Nm³

污染物种类		SO ₂ 排放限值
工业炉窑, GB 9078-1996, 新建企业, 二级		850
北京地标, 大气综合, DB11/501-2017, II 时段		20
河北地标, 工业炉窑, DB13/1640-2012, 新建企业		400
上海地标, 工业炉窑, DB31/860-2014		100
山东地标, 工业炉窑, DB37/2375-2013, 新建企业	煤、重油、煤制气	300
	轻油、天然气	200

通过对 79 家矿物棉企业现场调研和函调分析 (详见附录 1), SO₂ 排放浓度分布情况如下图所示。

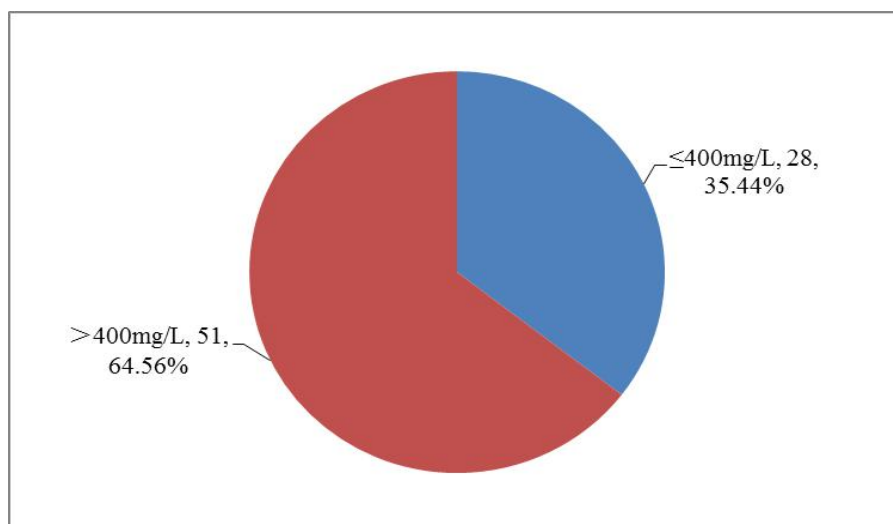


图 7-3 SO₂ 排放浓度分布情况

本标准以优质煤制热煤气燃料、低硫焦、低硫原料等为依据, 同时考虑双碱法脱硫技术的稳定性、窑炉废气治理成本、窑炉运行稳定性等实际情况, 制定二氧化硫排放限值。

本标准规定: 冲天炉、玻璃熔窑二氧化硫排放限值为 400mg/Nm³; 电熔炉二氧化硫排

放限值为 200mg/Nm³。

(3) NO_x 限值制定依据

由于岩棉冲天炉中为还原环境，所以产生的 NO_x 浓度较低，正常工况下 NO_x 浓度小于 400mg/m³；玻璃棉熔炉产生的 NO_x 浓度较高，一般为 1000~2000mg/m³。部分矿物棉企业融化过程中 NO_x 排放水平如下表所示。

表 7-11 部分矿物棉生产企业融化过程 NO_x 排放水平

生产线编号	炉窑类型	污染控制工艺	排放水平 (mg/Nm ³)
1	冲天炉	YCT 型一体化除尘脱硫 2 台串联	208
2	冲天炉	湿法脱硫	174
3	冲天炉	—	256
4	冲天炉	脱硫除尘器	158
5	冲天炉	脱硫除尘器	222
6	电熔炉	布袋除尘器	131
7	电熔炉	布袋除尘器	165
8	电熔炉	—	178
9	电熔炉	—	192
6	玻璃棉熔炉	湿法脱硫	872
7	玻璃棉熔炉	—	1153
8	玻璃棉熔炉	XYDS 脱硫除尘器	909
9	玻璃棉熔炉	脱硫除尘器	1519
10	玻璃棉熔炉	脱硫除尘器	1975

参照欧盟 BAT 控制技术文件，生产玻璃棉用的玻璃熔窑 NO_x 控制技术可分为一次措施和二次措施，控制技术及其排放浓度如下表所示。

表 7-12 玻璃棉熔炉 NO_x 控制技术

控制技术	一次措施		二次措施	
	低 NO _x 燃烧器技术	纯氧燃烧	SCR	SNCR
去除效率	40%-60%	70%-90%	70%-95%	40%-75%
排放浓度 (mg/Nm ³)	480-1800	0.5-2kg/t 玻璃液	<500	500-700

一次措施突出污染源控制，即在 NO_x 源头上进行严格控制。纯氧燃烧是燃料直接使用氧气助燃，优点在于节约能源，可大大减少氮氧化物产生量，最终排放可达到 0.5-2 kg/t 玻璃液，烟气量仅为原来的 15%~30%。目前，纯氧助燃技术尚未在玻璃棉行业得到应用，但代表了行业技术的发展方向。

二次措施是对产生的 NO_x 进行末端处理，从而降低其排放浓度和排放量，主要包括 SCR、SNCR 技术，脱硝效率很高。目前，我国玻璃棉企业还未采用此技术。

国内类似行业排放标准如下表所示。

表 7-13 国内类似行业 NO_x 排放标准单位: mg/Nm³

污染物种类		NO _x 排放限值
北京地标, 大气综合, DB11/501-2017, II 时段		100
河北地标, 工业炉窑, DB13/1640-2012, 新建企业		400
上海地标, 工业炉窑, DB31/860-2014		200
山东地标, 工业炉窑, DB37/2375-2013, 新建企业	煤、重油、煤制气	300
	轻油、天然气	200
平板玻璃, GB 26453-2011		700
电子玻璃, GB 29495-2013		700

参考我国矿物棉企业 NO_x 排放水平及国内外相关排放标准, 制定 NO_x 排放限值。

本标准规定: 冲天炉 NO_x 排放限值为 400 mg/Nm³, 玻璃熔窑 NO_x 排放限值为 700 mg/Nm³。电熔炉不监测氮氧化物。

(4) 基准氧含量

国内类似行业排放标准如下表所示。

表 7-14 基准氧含量 (单位: %)

窑炉种类	冲天炉		其他工业 炉窑	玻璃窑炉
	冷风炉 (鼓 风温度 ≤ 400℃)	热风炉 (鼓 风温度 > 400℃)		
上海地标, 工业炉窑, DB31/860-2014	15	12	9	—
山东地标, 工业炉窑, DB37/2375-2013	15	12	9	—
平板玻璃, GB 26453-2011	—	—	—	8
电子玻璃, GB 29495-2013	—	—	—	8

调研发现冲天炉冷风炉含氧量主要集中在 14%~17% 之间, 均值为 15.6%。参照《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB 9078-1996) 中的掺风系数将冲天炉的 α 设定: 冷风炉 (鼓风温度 ≤ 400℃) 掺风系数为 4.0 (含氧量约 15%), 规定冲天炉冷风炉基准含氧量为 15%。热风炉企业普遍采用富氧送风。富氧率大多集中在 2~4%, 出口含氧量主要集中在 13%~16% 之间, 减去其富氧量约为 11%~14% 之间, 参照《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB 9078-1996) 中的掺风系数将冲天炉的 α 设定: 热风炉 (鼓风温度 ≥ 400℃) 掺风系数为 2.5 (含氧量约 12%), 规定冲天炉热风炉基准含氧量为 12%。玻璃棉主要使用池窑, 参考我国矿物棉企业干烟气中氧含量实际情况及国内外相关排放标准, 确定基准氧含量。

本标准规定: 冲天炉基准氧含量为冷风炉 15%、热风炉 12%, 玻璃熔窑基准氧含量为 8%。

7.2.3 单位产品大气污染物排放量制定依据

废气排放量是废气环保设施的重要参数, 是考核污染物排放强度的重要指标, 也决定了

环保设施造价。以冲天炉为例，系统排气量与焦炭燃烧产生的炉气量和从加料口吸入的空气量有关。电熔炉系统排气量则仅与加料口吸入空气量有关。

本标准吨岩矿棉（冲天炉）废气排放量 4000m³、吨玻璃棉废气排放量 3000m³ 核算冲天炉和玻璃熔窑的单位产品大气污染物排放量，如下表所示。

表 7-15 单位产品大气污染物排放量

序号	污染物项目	控制污染源	排放限值
1	单位产品颗粒物排放量（kg/t）	冲天炉	0.2
		玻璃熔窑	0.15
2	单位产品二氧化硫排放量（kg/t）	冲天炉	1.6
		玻璃熔窑	1.2
3	单位产品氮氧化物排放量（kg/t）	冲天炉	1.6
		玻璃熔窑	2.1

7.2.4 大气污染物特别排放限值制定依据

重点区域的企业或生产设施应执行大气污染物特别排放限值。执行大气污染物特别排放限值的地域范围、时间，由国务院环境保护主管部门或省级人民政府规定。

为达到特别排放限值，矿物棉企业必须进行产业结构调整，推行清洁生产。执行特别排放限值区域的矿物棉企业，在生产规模上必须做大做强；使用清洁能源和原料，如天然气、低硫煤、低硫焦等，减少熔化环节污染物产生强度；在生产工艺方面必须应用最先进的清洁生产技术，如无尘切割等，减少生产环节污染物产生强度；在末端治理方面，应进一步提高脱硫、脱硝和除尘效率。对现有脱硫设施改造（如加装喷淋层等）可进一步降低二氧化硫排放浓度。对脱硝设施通过加装催化剂、调整喷氨量等措施可进一步降低氮氧化物排放浓度。对于采用半干法脱硫的企业，对布袋除尘器提标改造，使用高效滤料；对于采用湿法脱硫的企业，在脱硫后加装湿式电除尘，可进一步降低颗粒物排放浓度。

目前有部分清洁生产水平高的矿物棉企业已经开始使用无甲醛胶粘剂，甲醛的产生和排放水平明显降低，因此本标准要求大气中甲醛特别排放限值达到更低的水平。

大气污染物特别排放限值如下表所示。

表 7-16 大气污染物特别排放限值

单位：mg/Nm³

序号	污染物项目	控制污染源	排放限值	监测位置
1	颗粒物	电熔炉、冲天炉、玻璃熔窑	20	车间或生产设施排气筒
		集棉室、固化室、切割带、冷却带	20	
2	二氧化硫	电熔炉	100	
		冲天炉、玻璃熔窑	200	
3	氮氧化物	冲天炉	300	
		玻璃熔窑	500	
4	酚类	集棉室、固化室	15	

序号	污染物项目	控制污染源	排放限值	监测位置
5	甲醛	集棉室、固化室	5	
6	单位产品颗粒物排放量 (kg/t)	冲天炉	0.08	
		玻璃熔窑	0.06	
7	单位产品二氧化硫排放量 (kg/t)	冲天炉	0.8	
		玻璃熔窑	0.6	
8	单位产品氮氧化物排放量 (kg/t)	冲天炉	1.2	
		玻璃熔窑	1.5	

7.2.4 无组织排放限值制定依据

《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2.1-2007）规定了工作场所有害因素的职业接触限值，其 TWA 值（时间加权平均容许浓度）或 MAC 值（最高容许浓度）的 1/50 可作为制定无组织排放限值的参考依据。《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）也将作为制定无组织排放限值的重要参考依据。

表 7-17 无组织排放监控浓度限值

单位：mg/m³

标准	DB13/1640-2012	DB31/860-2014	DB11/501-2017	DB31/933-2015	GB 3095-2012	GB 16297-1996	GBZ 2.1-2007 TWA	本 标准
颗粒物	1.0	1.0	0.3	0.5	0.3	1.0	1.0	1.0
甲醛	—	—	0.05	—	—	0.2	0.01	0.05
酚类	—	—	0.20	—	—	0.08	10	0.2

无组织排放管控措施如下所示：

- 1、原料采用粉料进厂，储存于封闭料场（仓、库）中。煤炭、碎玻璃储存于封闭、半封闭料场（仓、库、棚）中。硅质原料的均化应在封闭的均化库中进行。
- 2、粉料卸料口应密闭或设置集气罩，并配备除尘设施。
- 3、物料输送选择密闭式斗式提升机、螺旋输送机等，当选用皮带输送机时应进行有效密闭。
- 4、配料车间产生粉尘的设备和产生点应设置集气罩，并配备除尘设施。配料车间外不应有可见粉尘外逸。
- 5、切割工序应局部密闭，并配置除尘设施。固化炉应采用负压操作，并配置除尘和甲醛、苯酚处理设施。
- 6、脱硝系统氨的装卸、贮存、输送、制备等各工序应密闭，并采取氨气泄漏检测措施。

7、建有煤气发生炉的企业，应设置专用储煤库（棚），禁止露天装卸堆存；采用密闭输送系统，从储煤库（棚）直接输送至加煤口。酚水池、焦油池应密闭，操作口加盖，禁止使用临时管道输送操作。

8、厂区道路应硬化。道路采取清扫、洒水等措施，保持清洁。

9、废气收集系统、污染治理设施应与生产工艺设备同步运行。废气收集系统或污染治理设施发生故障或检修时，对应的生产工艺设备应停止运转，待检修完毕后同步投入使用，玻璃熔窑应采取降低生产负荷或备用环保设施等措施。

10、企业可通过工艺改进等其他措施实现等效或更优的无组织排放控制目标。因安全因素或特殊工艺要求不能满足本标准规定的无组织排放控制要求，可采取其他等效污染控制措施，并向当地环境保护主管部门报告。

8 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

8.1 国外标准研究

8.1.1 欧盟部分成员国的排放标准

（1）荷兰

荷兰的矿物棉工业污染物排放标准 1992 年 5 月发布，标准规定：

熔炉产生的 SO₂，必须根据 SO₂ 浓度进行消减后排放。浓度低于 1500mg/Nm³ 的，适用石灰粉喷射法；浓度大于 1000mg/Nm³ 的，可以考虑转化为 H₂SO₄；处理后废气中 SO₂ 的浓度不超过 400mg/Nm³。

颗粒物：颗粒物的排放必须用布袋除尘或者其他能够达到类似除尘效果的除尘方法。

（2）芬兰

表 8-1 芬兰矿物棉污染物排放相关标准

污染物	排放限值
玻璃熔窑	
颗粒物	50 mg/Nm ³
NO _x	2.5-4kg/t
矿物棉的下游加工	
酚类（苯酚）	0.7kg/t
甲醛	0.15kg/t
氨	1.5kg/t

8.1.2 欧盟 IPPC 矿棉工业 BAT 技术参考文件

IPPC 文件中列举了矿物棉、玻璃棉生产过程不同工序和设备可采用的 BAT 技术，并对各项技术进行实施分析。其中，熔化工序、成型固化工序及固化炉采用 BAT 技术后的排放浓度如下表所示。

表 8-2 欧盟 IPPC 岩棉工业 BAT 技术参考文件

生产工序	污染物	最佳技术	排放浓度 (mg/Nm ³)
熔化	颗粒物	冲天炉BAT为布袋除尘	5-30
	NO _x	岩棉棉：冲天炉，无特殊控制	0.5kg/t
	SO ₂	岩棉棉：废物回用	600
		干法烟气脱硫	200
成型区、成型+固化	颗粒物	湿式静电除尘器、填充床洗涤器或 岩棉棉板过滤	20-50
	酚类（苯酚）		5-15
	甲醛		5-10
固化炉	颗粒物	湿式静电除尘器、填充床洗涤器或 岩棉棉板过滤	5-30
	酚类（苯酚）		<5
	甲醛		<5

表 8-3 欧盟 IPPC 玻璃棉工业 BAT 技术参考文件

生产工序	污染物	最佳技术	排放浓度 (mg/Nm ³)
熔化	颗粒物	静电除尘或布袋除尘	5-30
	NO _x	纯氧助燃或电助熔	500-700
	SO ₂	使用天然气或者电加热	≤50
		重油+酸性气体洗涤	300-1000
成型区、成型+固化	颗粒物	湿式静电除尘器、填充床洗涤器或 岩棉棉板过滤	20-50
	酚类（苯酚）		5-15
	甲醛		5-10
固化炉	颗粒物	湿式静电除尘器、填充床洗涤器或 岩棉棉板过滤	20-50
	酚类（苯酚）		5-10
	甲醛		5-10

8.2 本标准与现行标准的对比

8.2.1 大气污染物排放限值对比

目前，我国矿物棉生产企业执行的大气污染控制标准是《工业窑炉大气污染物排放标准》（GB9078-1996）、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的相关规定，表 29 是本标准中所规定的大气污染物排放限值与现行标准限值的对比。

表 8-4 本标准大气污染物排放限值与现行标准限值对比表

项目	污染物种类	本标准 (mg/Nm ³)			现行标准 (新建) (mg/Nm ³)			河北省工业窑炉大气污染物排放标准 (DB13/ 1640-2012)		山东省工业窑炉大气污染物排放标准 (DB 37/ 2375-2013)	
		电熔炉	冲天炉	玻璃窑炉	一级	二级	三级	新建冲天炉	新建非金属融化、冶炼炉	煤、重油、煤制气	轻油、天然气等
窑炉	颗粒物	30	50		禁排	200	300	80	50	50	30
	SO ₂	100	400		禁排	850	1200	400		400	300
	NO _x	—	500	700	—			400		450	300
集棉室	颗粒物	30			60			—		—	—
	酚类	15			100			—		—	—
	甲醛	20			25			—		—	—
固化室	颗粒物	30			60			—		—	—
	酚类	15			100			—		—	—
	甲醛	20			25			—		—	—
冷却带、切割带	颗粒物	30			60			—			

由上表可知，本标准规定的矿物棉企业大气污染物排放浓度均达到或严于《工业炉窑大气污染物排放标准》二级标准限值。

8.2.2 水污染物排放限值对比

目前,我国矿物棉生产企业执行的是《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中的有关规定,本标准中所规定的水污染物排放限值与现行的《污水综合排放标准》的对比如下表所示。

表 8-5 本标准水污染物排放限值与现行标准对比表

污染物	本标准	《污水综合排放标准》(GB8978-1996)		
		一级标准	二级标准	三级标准
pH值	6-9	6~9	6~9	6~9
悬浮物	50	70	150	400
石油类	3	5	10	20
COD _{Cr}	100	100	150	500
BOD ₅	20	20	30	300
氨氮	15	15	25	—
总氮	25	—	—	—
总磷	1	—	—	—
挥发酚	0.5	0.5	0.5	2.0
甲醛	1.0	1.0	2.0	5.0

从上表看出,本标准制定的新建企业排放限值均严于《污水综合排放标准》中的一级标准,或与之相当。

9 实施本标准的环境效益及经济技术分析

9.1 实施本标准的环境效益

本标准的实施对社会有显著的环境效益。烟气脱硫除尘系统的投入运行及低 NO_x 燃烧器技术的使用可大幅度减少熔窑烟气中的二氧化硫、烟尘及氮氧化物的排放量,改善矿棉企业周围地区的生活环境,对推动我国矿棉行业的技术进步和可持续发展具有重要意义。主要的环境效益体现在以下几个方面:

9.1.1 烟尘、二氧化硫削减效益

现有企业采取脱硫除尘措施可对烟尘、二氧化硫明显消减。本标准比《工业炉窑大气污染物排放标准》执行更严的标准限值(烟尘浓度从执行 200mg/Nm³ 排放标准降为 50mg/Nm³,新建企业二氧化硫从执行 850 mg/Nm³ 排放标准降为 400 mg/Nm³)。计算结果表明,本标准实施后,矿物棉企业每年烟尘排放量可降至 0.0792 万吨,削减 4.674 万吨,削减率 98.3%;二氧化硫排放量可降至 0.42 万吨,削减 3.17 万吨,削减率 88.1%。

9.1.2 氮氧化物削减效益

本标准规定了氮氧化物的限值,有助于区域大气质量的改善。本标准实施后,氮氧化物排放量每年可降至 0.566 万吨,削减 0.23 万吨,削减率 28.8%。

9.2 实施本标准的经济技术分析

以某矿物棉企业在废气治理投资情况为例说明达到本标准大气污染物排放限值,需要的环境保护设施总投资、以及以每天生产岩棉 200 吨计的脱硫除尘日常的运行费用,如下表所示。

表 9-1 大气环保设备投资表

设备名称	数量	投资费用(万元)
旋风除尘器	1	5
烟气焚烧炉	1	10
废气换热器	1	90
废气冷却器	1	70
脱硫除尘器	1	60
碱液池	1	50
风机	3	12
各种水泵	5	14
总计		301

表 9-2 脱硫除尘日常运行费用

	单位成本	数量	运行费用
磨细石灰粉	1000元/吨	2吨	2000
氢氧化钠	3400元/吨	0.5吨	1700
电费	0.75元/度	240kWh	180
水费	0.35元/吨	10吨	350
人工	100元/人.天	3人	300
总计	4530元/天		
单位产品废气运行费用	22.65元/吨产品		

附录 1 我国矿物棉企业大气污染排放调查数据

附表 1 部分矿物棉企业大气污染物排放调查数据

企业序号	主要产品	单位	产量	废气排放量（万立方米）	二氧化硫排放浓度 mg/m ³	氮氧化物排放浓度 mg/m ³	烟（粉）尘排放浓度 mg/m ³
1	岩棉制品	吨	3000	2816	533	100	1314
2	岩棉制品	吨	1000	1008	391	105	142
3	岩棉板	块	5000	265.18	1916	441	20
4	岩棉板	吨	5000	4500	69	43	220
5	岩棉板	吨	15000	9700	95	48	79
6	矿棉吸声板	万平方米	100	3087	933	286	423
7	岩棉制品	吨	3000	2809	1773	317	3082
8	玻璃棉	吨	6000	5344	425	500	200
9	岩棉制品	m ³	1597	2058	1962	343	200
10	岩棉制品	m ³	1094	1482	1910	384	80
11	玻璃棉毡	吨	13000	14765	269	366	23
12	离心玻璃棉	吨	4050	4810	171	490	218
13	矿棉吸音板	吨	0	2434.64	177	255	408
14	岩石棉	吨	3030	2102.9	1244	204	904
15	矿渣棉	吨	2000	2104.6	1914	383	2825
16	矿渣棉	吨	2500	2230.75	1915	384	2825
17	矿渣棉	吨	3830	2625.2	1241	317	277
18	矿棉	吨	1600	1509.5	1241	317	276
19	矿渣棉	吨	6300	5818	1241	316	27551

企业序号	主要产品	单位	产量	废气排放量（万立方米）	二氧化硫排放浓度 mg/m ³	氮氧化物排放浓度 mg/m ³	烟（粉）尘排放浓度 mg/m ³
20	矿渣棉	吨	381	280.6	1917	392	4027
21	玻璃棉	吨	1900	1452.2	1984	512	2346
22	玻璃棉	吨	5000	2600	312	1081	181
23	矿棉板	万平方米	100	3829.04	311	103	112
24	矿棉板	万平方米	200	3357.23	446	131	189
25	矿棉板	万平方米	350	1337.76	1244	286	311
26	矿棉板	万平方米	60	3825.28	602	138	128
27	矿棉板	万平方米	2000	7469.7	1244	286	311
28	矿棉板	万平方米	150	3543.56	576	169	121
29	矿棉板	万平方米	50	1440.66	1323	389	311
30	矿棉板	万平方米	200	2058	80	189	31
31	矿棉板	万平方米	100	6106.78	646	190	173
32	矿棉板	万平方米	180	4263.89	660	152	178
33	矿棉板	万平方米	35	4058.09	631	145	185
34	矿棉板	万平方米	100	4058.09	631	145	156
35	矿棉板	万平方米	300	3646.47	134	187	29
36	矿棉板	万平方米	200	2984.22	1244	286	311
37	矿棉板	万吨	1.1	2469.7	1244	286	311
38	矿棉板	万平方米	50	5158.09	596	137	183
39	矿棉板	万平方米	180	2881.32	1244	286	311
40	矿棉板	吨	11000	2469.7	1244	286	311
41	矿棉板	万平方米	60	4263.89	660	152	185

企业序号	主要产品	单位	产量	废气排放量（万立方米）	二氧化硫排放浓度 mg/m ³	氮氧化物排放浓度 mg/m ³	烟（粉）尘排放浓度 mg/m ³
42	粒状棉	吨	13467	12918.7	608	316	421
43	粒状棉	吨	9741.93	9122	807	317	409
44	粒状棉	吨	20216.38	24622.067	571	309	116
45	离心玻璃棉	吨	18000	6012.5	982	428	220
46	岩棉板	立方米	7750	2330.756	266	253	540
47	岩棉板	吨	3104	3592.75	340	109	795
48	岩棉板	吨	433	320	269	161	609
49	岩棉板	吨	4800	3820.78	268	112	373
50	岩棉板	吨	3000	3580.1	265	124	367
51	岩棉板	吨	1850	3230.12	271	62	399
52	岩棉板	吨	712	580	266	72	812
53	岩棉板	吨	1386	2076.43	1348	269	3295
54	岩棉板	吨	4800	7877.2	267	193	387
55	岩棉板	吨	643	486	—	70	15
56	岩棉板	吨	870	578	—	106	23
57	岩棉板	吨	940	654	284	155	338
58	岩棉板	吨	495	352.1	227	85	596
59	岩棉板	吨	1237	948	265	53	914
60	岩棉板	吨	2940	2436.6	265	153	615
61	岩棉板	吨	4600	4680.36	264	112	536
62	岩棉	吨	340	211	269	251	552
63	岩棉板	吨	83	66	283	143	433

企业序号	主要产品	单位	产量	废气排放量（万立方米）	二氧化硫排放浓度 mg/m ³	氮氧化物排放浓度 mg/m ³	烟（粉）尘排放浓度 mg/m ³
64	岩棉板	吨	3000	3848.02	264	82	525
65	岩棉	吨	360	290	247	149	531
66	岩棉板	吨	4500	7841.08	267	91	487
67	玻璃棉毡	吨	56000	50563	867	338	175
68	岩棉	吨	5800	1250	1600	354	1026
69	玻璃棉	吨	3000	5000	870	580	1028
70	玻璃棉制品	吨	1200	1500	725	339	489
71	玻璃棉制品	吨	10000	9014	533	374	1359
72	玻璃棉制品	吨	1400	1410	900	472	608
73	矿渣棉	吨	500	600	839	168	1238
74	玻璃棉	吨	2800	3292	1555	486	1042
75	矿渣棉	吨	1500	1900	821	146	1279
76	玻璃棉制品	吨	5600	6800	895	388	1000
77	矿渣棉	吨	9400	7307	821	146	171
78	岩棉	吨	1500	1487.129	1555	286	1215
79	岩棉	吨	70000	66000	990	555	606