

河南省地方标准  
《铝工业污染物排放标准》  
编制说明  
(征求意见稿)

河南省环境保护科学研究院

二〇一九年六月



# 目 录

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>1 项目背景</b>         | <b>1</b>  |
| 1.1 工作背景              | 1         |
| 1.2 工作过程              | 2         |
| <b>2 铝工业发展现状</b>      | <b>2</b>  |
| 2.1 我国发展现状            | 2         |
| 2.2 我省发展历程            | 5         |
| 2.3 我省产能及分布情况         | 6         |
| 2.4 生产工艺及装备           | 10        |
| 2.5 污染治理措施及排放情况       | 21        |
| 2.6 我省铝工业现状特点及存在问题    | 28        |
| <b>3 铝工业相关政策及排放标准</b> | <b>29</b> |
| 3.1 相关产业政策及环保要求       | 29        |
| 3.2 现行排放标准及我省执行情况     | 32        |
| 3.3 其他省份地方标准制定情况      | 35        |
| <b>4 标准制定的总体思路</b>    | <b>36</b> |
| 4.1 指导思想              | 36        |
| 4.2 基本原则              | 36        |
| 4.3 制定依据              | 37        |
| 4.4 技术路线              | 37        |
| <b>5 主要技术内容</b>       | <b>40</b> |
| 5.1 前言                | 40        |
| 5.2 适用范围              | 40        |
| 5.3 规范性引用文件           | 41        |
| 5.4 术语和定义             | 41        |
| 5.5 污染物排放控制要求         | 42        |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 5.6 污染物监测要求 .....        | 43        |
| 5.7 实施与监督 .....          | 43        |
| <b>6 污染物控制项目确定 .....</b> | <b>43</b> |
| 6.1 污染物控制项目确定原则 .....    | 43        |
| 6.2 大气污染物控制项目筛选 .....    | 44        |
| 6.3 水污染物控制项目确定 .....     | 49        |
| <b>7 标准限值的确定 .....</b>   | <b>49</b> |
| 7.1 标准限值确定原则 .....       | 49        |
| 7.2 大气污染物排放限值确定 .....    | 49        |
| 7.3 水污染物排放限值确定 .....     | 58        |
| <b>8 标准控制水平对比 .....</b>  | <b>59</b> |
| 8.1 与国家标准的对比 .....       | 59        |
| 8.2 与外省标准的对比 .....       | 62        |
| <b>9 技术经济可行性分析 .....</b> | <b>67</b> |
| 9.1 颗粒物达标可行性分析 .....     | 67        |
| 9.2 二氧化硫达标可行性分析 .....    | 71        |
| 9.3 氮氧化物达标可行性分析 .....    | 75        |
| 9.4 总体经济投入、技术路线 .....    | 77        |
| <b>10 社会、环境效益 .....</b>  | <b>80</b> |
| 10.1 推进产业结构调整 .....      | 80        |
| 10.2 促进主要污染物减排 .....     | 80        |
| 10.3 提升环境管理要求 .....      | 80        |
| <b>11 标准实施建议 .....</b>   | <b>80</b> |

# 1 项目背景

## 1.1 工作背景

随着经济社会的快速发展，工业化城市化进程的加快，资源环境问题日益凸显，特别是近年来灰霾等区域性重污染天气频发，局部区域的大气环境质量已不能满足环境质量标准要求。党的十九大紧扣我国社会主要矛盾变化，对决胜全面建成小康社会、打好污染防治攻坚战作出了重大决策部署。但我省污染底子厚、治理基础差、排污总量大，部分地区环境污染问题依然严重。为确保到 2020 年全省主要污染物排放总量大幅减少，生态环境质量总体改善，2018 年 9 月，河南省人民政府印发了《河南省污染防治攻坚战三年行动计划（2018-2020 年）》（豫政〔2018〕30 号），明确了我省近三年全省环境质量改善的总体目标和相关举措。

铝工业是国民经济发展的重要基础原料产业，也是我省优势产业，在全国具有重要地位，但同时也是高耗能、高污染产业，是以大气污染物排放为主要特征的产业。

《河南省污染防治攻坚战三年行动计划（2018-2020 年）》提出依法制修订更为严格的环保、能耗、质量、安全等政策标准，研究制定炭素等高排放行业淘汰标准，通过法律法规的手段促进污染物排放削减和环境质量改善，《河南省 2019 年大气污染防治攻坚战实施方案》中明确退出低效电解铝产能、推进 10 万吨/年以下独立铝用炭素企业退出，鼓励依托专业技术部门，开展大气污染成因、污染治理和达标规划研究，开展“一市一策”、“一企一策”及行业控制标准、行业污染物排放管控技术等科技攻关，为全省大气污染防治攻坚战提供科技支撑。

2010 年，国家颁布实施了《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010），2013 年 12 月，环保部发布修改单，增加了重点区域的大气污染物特别排放限值，但目前现行国家标准已出现控制因子缺失和标准限值宽松等问题，不能适应我省环境管理需要。为强化铝工业污染控制、减少大气污染物排放、进一步提升我省环境空气质量，2019 年 3 月，省生态环境厅决定开展河南省铝工业污染物排放标准的制定工作，该项工作由省环境厅大气处牵头组织，省环科院作为技术承担单位，负责标准的具体研制起草，中铝国际工程股份有限公司作为协作单位，参与标准的制定工作。

## 1.2 工作过程

本次标准制定工作总历时 2 年，分为初次研究制定和再制定两个阶段。

(1)第一阶段：初次研究制定阶段，2016 年 3 月至 2017 年 11 月，标准完成了前期调研、开题报告、专家论证等工作，由于我省污染防治攻坚管理要求的变化，标准暂停。

(2)第二阶段：标准再制定阶段，2019 年 3 月，根据大气污染防治管理要求，标准重新启动，在初次研究制定阶段的成果的基础上，标准组开展了新一轮的实地调研、监测，并与 2019 年 6 月编制完成标准文本及编制说明（征求意见稿）。

## 2 铝工业发展现状

### 2.1 我国发展现状

铝工业是国民经济发展的重要基础原料产业，同时也是高耗能产业，经过几十年的发展，我国已成为世界铝生产、消费大国。随着落后工艺装备的不断淘汰，技术创新和先进技术的应用，我国铝工业已经逐步进入世界先进行列。当前我国经济发展由过去的高速增长转为稳定增长，面对错综复杂的国际形势以及国内经济下行的局面，铝行业进入国际金融危机以来最困难的时期，同大部分原材料工业一样，铝产品平均价格持续走低，铝冶炼行业面临亏损，但受新兴领域铝材消费大幅增长的带动，铝消费仍保持一定的增长趋势。

#### (1) 铝土矿

我国查明铝土矿资源储量（矿石）41.5 亿吨，其中储量约 8.3 亿吨，居世界第八位，分布在全国 31 个省区，其中山西、广西、贵州和河南 4 省区储量占全国的 90%以上。我国是全球氧化铝第一大生产国，2017 年氧化铝总产量 7064 万吨，累计消耗铝土矿约 1.7 亿吨，其中国产铝土矿 1.03 亿吨，进口铝土矿 0.665 亿吨，对外依存度 40%。

#### (2) 氧化铝

我国氧化铝企业经过近几年的技术改造，技术装备水平已经达到世界先进水平。目前工业上均采用碱法生产，特别是我国独创的混联法（拜耳法和烧结法联合工艺），有效地结合了我国铝矿石资源的特点，对低品位矿石也能达到充分利用。近十年来，

我国氧化铝产量稳步提升，2018 年达到 7253.1 万吨，我国氧化铝产量变化趋势见图 2-1。

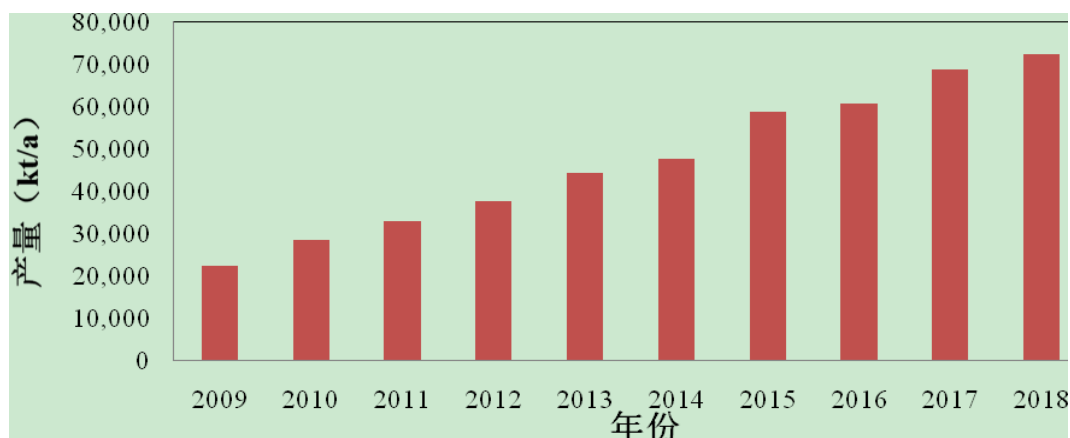


图 2-1 近年来我国氧化铝产量变化趋势

我国氧化铝产能分布较为集中，主要分布在山东、河南、山西、贵州和广西 5 省。山东最高，山西其次，河南居第三，三省合计产量 5749.37 万吨，占全国的 79.27%。2018 年氧化铝生产的地域分布见表 2-1。

表 2-1 2018 年我国氧化铝生产产量和分布情况

| 序号   | 地区       | 产量（万吨）  | 占比    |
|------|----------|---------|-------|
| 1    | 山东       | 2561.91 | 35.3% |
| 2    | 山西       | 2024.46 | 27.9% |
| 3    | 河南       | 1163    | 16.0% |
| 4    | 广西       | 816.77  | 11.3% |
| 5    | 贵州       | 421.92  | 5.8%  |
| 6    | 云南       | 139.32  | 1.9%  |
| 7    | 重庆       | 73.6    | 1.0%  |
| 8    | 内蒙古及其他地区 | 52.12   | 0.8%  |
| 全国总计 |          | 7253.1  | -     |

## （2）电解铝

电解铝方面冰晶石氧化铝溶体电解仍然是目前工业生产金属铝的主要方法，近年来国家不断淘汰落后产能，促进技术创新，电解槽型和生产规模向大型化发展，设计选型槽容量已达 600kA 以上，随着电解铝技术的不断进步，使我国跻身世界电解铝工业先进行列。

我国电解铝行业经过多年的工艺淘汰和技术升级，生产集中度逐步升高，截止

到 2018 年底，我国电解铝总产量为 3645.8 万吨/年。近年来我国电解铝产量变化趋势见图 2-2。

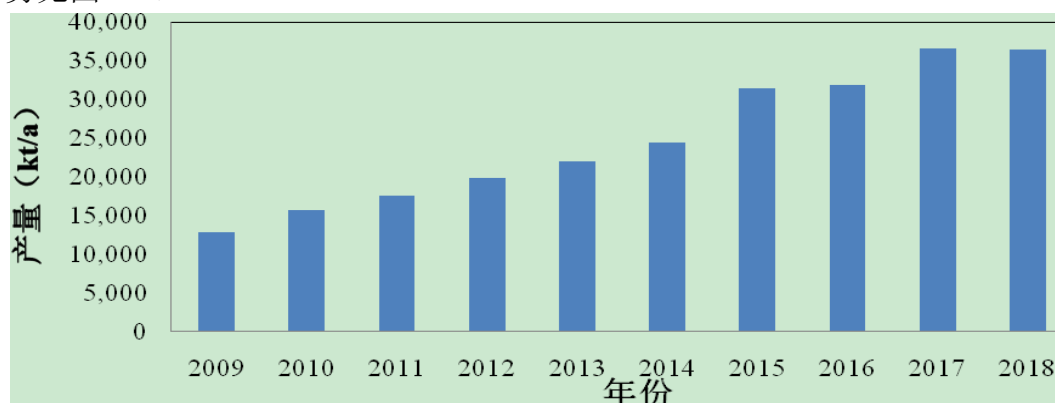


图 2-2 近年来我国电解铝产量变化趋势

我国电解铝产能布局呈现由中东部向西部，特别是西北地区及内蒙转移的趋势。截至 2018 年底，电解铝产能集中在山东、新疆、内蒙古、甘肃、河南，西部地区产能比重达 67.2%，我省电解铝产能占比 6.81%，位居全国第五。2018 年电解铝产量及地域分布见表 2-2。

表 2-2 2018 年我国电解铝生产产量和分布情况

| 序号   | 地区  | 产量（万吨）  | 占比     |
|------|-----|---------|--------|
| 1    | 山东  | 914.64  | 25.09% |
| 2    | 新疆  | 633.65  | 17.38% |
| 3    | 内蒙古 | 449.14  | 12.32% |
| 4    | 甘肃  | 258.08  | 7.08%  |
| 5    | 河南  | 248.21  | 6.81%  |
| 6    | 青海  | 238.91  | 6.55%  |
| 7    | 广西  | 169.4   | 4.65%  |
| 8    | 云南  | 161.14  | 4.42%  |
| 9    | 宁夏  | 127.48  | 3.50%  |
| 10   | 贵州  | 104.51  | 2.87%  |
| 11   | 山西  | 99.22   | 2.72%  |
| 12   | 陕西  | 68.81   | 1.89%  |
| 13   | 四川  | 54.81   | 1.50%  |
| 14   | 重庆  | 48.72   | 1.34%  |
| 15   | 辽宁  | 45.31   | 1.24%  |
| 16   | 福建  | 14.06   | 0.39%  |
| 17   | 湖北  | 9.72    | 0.27%  |
| 全国总计 |     | 3645.81 | -      |



## 2.2 我省发展历程

1960 年 3 月，郑州铝厂电解铝车间投产，成为我省铝工业发展的开端。伴随着我国铝工业的发展崛起，我省铝工业也顺势快速发展，到 1998 年，氧化铝和电解铝产量分别达到 93.5 万吨和 33.25 万吨，产量均实现全国第一，分别占到全国总产量的 28.04%和 14.24%。

1998-2008 年，我省坚持市场主导和政府调控相结合，综合运用产业政策、电价、环保和资源配置等手段，引导支持骨干企业加快技术创新，延长产业链条，积极调整产品结构，促进了铝工业的快速发展。2005 年，我省已有 10 家氧化铝、电解铝企业在郑洛工业走廊集聚，郑州、洛阳、三门峡、焦作地区集中了全省 90%以上的氧化铝产能和 70%的电解铝产能，形成了国内最大的铝工业集中区；2008 年全省氧化铝、电解铝产量分别达到 852.1 万吨和 327.54 万吨，占全国的 37.4%和 24.88%。

2008 年以来，受国际金融危机、产能过剩、电力成本过高等因素影响，我省铝工业发展遭遇困境，特别是电解铝行业，自备电比例从原来的 70%下降到目前的 40%，在取消优惠电价后，出现了全行业的不适应。目前，我省一些企业也已经开始着手产能转移，如神火集团等已经开始在新疆地区布局。

根据国家的统计年鉴以及中国铝业安泰科的产量报告，我省历年来的氧化铝和电解铝产量情况见图 2-3 和图 2-4。

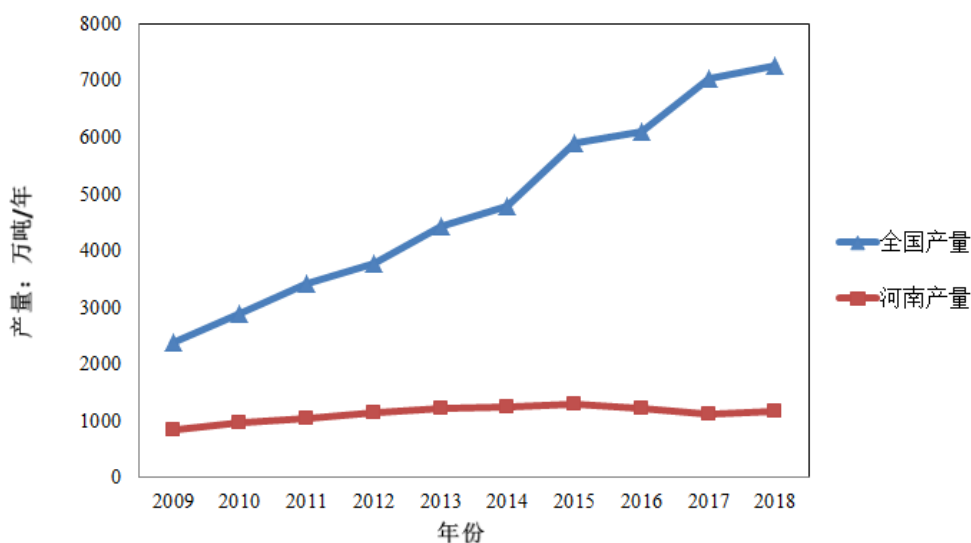


图 2-3 全国及河南省氧化铝历年产量变化曲线图（单位：万吨）

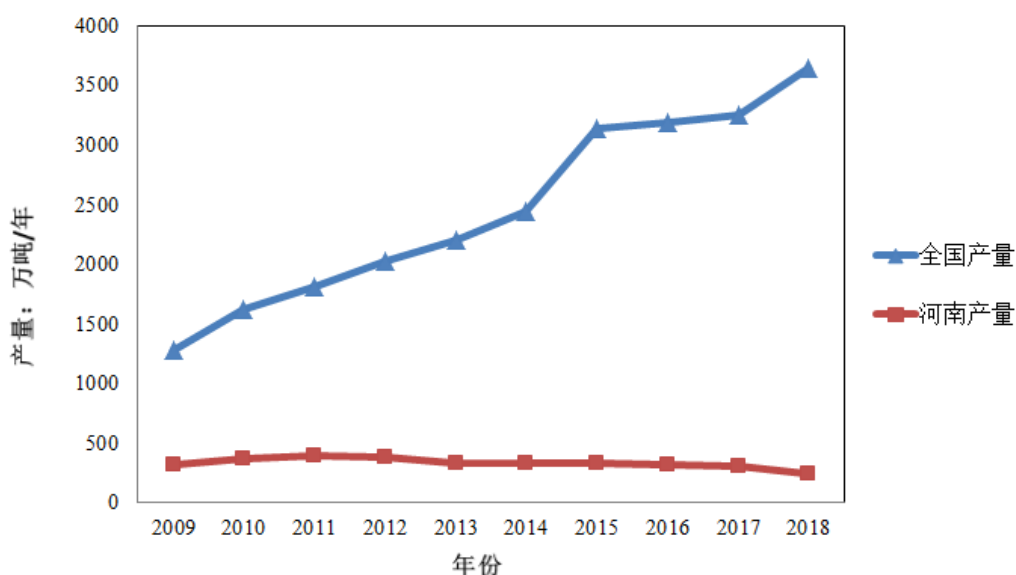


图 2-4 全国及河南省电解铝历年产量变化曲线图（单位：万吨）

从图中可以看出我国氧化铝及电解铝产量自 2009 年以来稳步增长，而我省的氧化铝产量增长缓慢，至 2016 年开始下降，电解铝产量则是逐年递减。究其原因，高昂的电力成本抑制了我省电解铝行业的发展，而作为电解铝的供应行业氧化铝，其发展也相应受到明显的制约。

### 2.3 我省产能及分布情况

我省是全国重要的铝土矿资源大省，地理位置优越、交通方便，水、煤、电充足，具有发展铝工业的独特优势。经过多年发展，我省逐步发展成为我国铝工业的重要生产基地之一。截止到 2018 年底，全省氧化铝产量 1163 万吨/年，占全国总产量 7253.1 万吨/年的 16%，排在山东山西之后，位列全国第三；全省电解铝产量 248.21 万吨/年，占全国总产量 3645.81 万吨/年的 6.81%，产量位于山东、新疆、内蒙古等省份之后，排名全国第五。

铝工业企业主要包含氧化铝厂、电解铝厂和铝用炭素厂。目前，我省共有包括氧化铝厂、电解铝厂和铝用炭素厂在内的各类铝工业企业约 66 家。其中，氧化铝厂 8 家，电解铝厂 7 家，铝用炭素厂 51 家。

氧化铝企业主要分布在郑州、三门峡、焦作、洛阳、平顶山 5 地市，其中三门峡产能最大，占全省氧化铝产能的 32%；其次是焦作、郑州，产能分别占全省产能

的 24.6%、21.3%，详细企业情况见表 2-3。

表 2-3 河南省重点氧化铝企业情况一览表

| 序号 | 地市  | 企业名称            | 生产规模（万吨） |
|----|-----|-----------------|----------|
| 1  | 郑州  | 中国铝业股份有限公司河南分公司 | 230      |
| 2  | 郑州  | 河南中美铝业有限公司      | 30       |
| 3  | 三门峡 | 三门峡义翔铝业有限公司     | 60       |
| 4  | 三门峡 | 东方希望（三门峡）铝业有限公司 | 220      |
| 5  | 三门峡 | 开曼铝业（三门峡）有限公司   | 210      |
| 6  | 洛阳  | 洛阳香江万基铝业有限公司    | 140      |
| 7  | 平顶山 | 河南有色汇源铝业有限公司    | 30       |
| 8  | 焦作  | 中国铝业股份有限公司中州分公司 | 300      |
| 合计 |     | -               | 1220     |

目前我省电解铝厂集中分布在洛阳，占全省总产能超过 50%；其次是焦作、郑州、商丘，其中洛阳、焦作 2 市产能占全省总产能的 80%以上，详细企业情况见表 2-4。

表 2-4 河南省重点电解铝企业情况一览表

| 序号 | 地市 | 企业名称                     | 生产规模（万吨） |
|----|----|--------------------------|----------|
| 1  | 洛阳 | 河南万基铝业股份有限公司（一分厂）        | 58       |
| 2  | 洛阳 | 河南万基铝业股份有限公司（二分厂）        |          |
| 3  | 洛阳 | 河南豫港龙泉铝业有限公司             | 60       |
| 4  | 洛阳 | 洛阳豫港龙泉铝业有限公司             |          |
| 5  | 焦作 | 焦作万方铝业股份有限公司             | 42       |
| 6  | 巩义 | 河南中孚铝业有限公司               | 25       |
| 7  | 永城 | 河南神火煤电股份有限公司永城铝厂（产能置换退出） | 25       |
| 合计 |    |                          | 210      |

我省铝用炭素企业主要分布在郑州、焦作和洛阳地区，产能占全省的 89.2%；其中郑州和巩义地区，产能占全省的 65.9%。另外，铝用炭素企业 10 万吨及以上的企业数量有 23 个，占全省铝用炭素企业总数的 45%，产能占全省的 73.4%。10 万吨以

下的企业数量有 28 家，占全省企业总数的 55%，产能占全省的 26.6%。详细企业情况见表 2-5。

表 2-5 河南省铝用炭素企业一览表

| 序号 | 地市 | 企业名称            | 产品      | 产能（万吨） |
|----|----|-----------------|---------|--------|
| 1  | 郑州 | 登封市嵩颖炭素有限公司     | 铝用阳极碳块  | 16     |
| 2  | 郑州 | 郑州笑峰新型材料有限公司    | 铝用预焙阳极  | 3      |
| 3  | 郑州 | 登封市铝庄炭素厂        | 铝用阳极碳块  | 1.5    |
| 4  | 郑州 | 郑州市华中炭素有限公司     | 铝用阳极碳块  | 3      |
| 5  | 郑州 | 河南金驹炭素实业有限公司    | 铝用阳极碳块  | 12     |
| 6  | 郑州 | 巩义市万佳炭素有限公司     | 铝用阳极碳块  | 2      |
| 7  | 郑州 | 河南中凯炭素有限公司      | 铝用阳极碳块  | 15     |
| 8  | 郑州 | 河南省鑫旺电碳制品有限公司   | 铝用阳极碳块  | 12     |
| 9  | 郑州 | 巩义市中山炭素厂        | 生阳极     | 1.4    |
| 10 | 郑州 | 河南竹林萨辛炭素公司将军岭分公 | 阳极炭块    | 10     |
| 11 | 郑州 | 郑州市丰华炭素有限公司     | 铝用阳极碳块  | 13     |
| 12 | 郑州 | 河南竹林萨辛炭素有限公司    | 阳极炭块    | 10     |
| 13 | 郑州 | 巩义市小关烨晟炭素厂      | 预焙阳极    | 10     |
| 14 | 郑州 | 巩义市隆昌炭素厂        | 阳极炭块    | 10     |
| 15 | 郑州 | 巩义市银山冶金材料有限公司   | 预焙阳极碳块  | 12     |
| 16 | 郑州 | 河南中孚炭素有限公司      | 铝用阳极碳块  | 18     |
| 17 | 郑州 | 中铝矿业有限公司炭素厂     | 铝用阳极碳块  | 6      |
| 18 | 郑州 | 郑州长城铝业炭素股份有限公司  | 阳极生坯    | 4.8    |
| 19 | 郑州 | 郑州天元炭素制品有限公司    | 铝用阳极碳块  | 2      |
| 20 | 郑州 | 郑州市博达电瓷炭素有限公司   | 铝用阳极碳块  | 6      |
| 21 | 郑州 | 荥阳市宏成炭素有限公司     | 阳极预焙烧熟块 | 3      |
| 22 | 郑州 | 荥阳市兴旺实业有限公司     | 生阳极碳块   | 10     |
| 23 | 郑州 | 荥阳市汇鑫炭素制品有限公司   | 铝用阳极碳块  | 4      |
| 24 | 郑州 | 荥阳东方星羽炭素制品有限公司  | 铝用阳极碳块  | 6      |
| 25 | 郑州 | 郑州方圆炭素有限公司      | 铝用阳极碳块  | 3.5    |
| 26 | 郑州 | 郑州荣盛炭素制品有限公司    | 铝用阳极碳块  | 4      |
| 27 | 郑州 | 荥阳市金孔炭素实业有限公司   | 阳极生坯    | 2      |
| 28 | 郑州 | 荥阳市鑫钰炭素有限公司     | 预焙阳极块生坯 | 15     |

| 序号 | 地市  | 企业名称            | 产品     | 产能（万吨） |
|----|-----|-----------------|--------|--------|
| 29 | 郑州  | 荥阳市玉泉炭素制品有限公司   | 铝用阳极碳块 | 7      |
| 30 | 郑州  | 荥阳市兴达炭素有限公司     | 铝用阳极碳块 | 1      |
| 31 | 郑州  | 荥阳市瑞祥炭素制品有限公司   | 铝用阳极碳块 | 10     |
| 32 | 郑州  | 郑州立方实业有限公司      | 铝用阳极碳块 | 10     |
| 33 | 郑州  | 郑州市博达电瓷炭素有限公司   | 铝用阳极碳块 | 11     |
| 34 | 焦作  | 沁阳市黄河炭素有限责任公司   | 铝用阳极碳块 | 10     |
| 35 | 焦作  | 焦作万都（沁阳）炭素有限公司  | 铝用阳极碳块 | 10     |
| 36 | 焦作  | 焦作市东星炭电极有限公司    | 铝用阳极碳块 | 5      |
| 37 | 焦作  | 焦作市英利经贸有限公司     | 预焙阳极   | 15     |
| 38 | 焦作  | 温县东方炭素有限公司      | 预焙阳极   | 11     |
| 39 | 焦作  | 河南汇豪实业有限公司      | 铝用阳极碳块 | 12     |
| 40 | 洛阳  | 洛阳龙泉天松炭素有限公司    | 预焙阳极碳块 | 32     |
| 41 | 洛阳  | 万基控股集团石墨制品有限公司  | 铝用阳极碳块 | 5      |
| 42 | 洛阳  | 洛阳万基炭素有限公司一分厂   | 铝用阳极碳块 | 8      |
| 43 | 洛阳  | 洛阳禧达炭素加工有限公司    | 铝用阳极碳块 | 0.05   |
| 44 | 三门峡 | 三门峡锦隆炭素制品有限公司   | 铝用阳极碳块 | 6.5    |
| 45 | 三门峡 | 三门峡神火炭素有限责任公司   | 预焙阳极   | 10.2   |
| 46 | 安阳  | 林州市义仁实业有限公司     | 预焙阳极   | 4      |
| 47 | 安阳  | 林州市宏昌电碳有限公司     | 铝用阳极碳块 | 1      |
| 48 | 商丘  | 河南神火煤电股份有限公司    | 铝用阳极碳块 | 4      |
| 49 | 商丘  | 河南神火煤电股份有限公司（炭素 | 铝用阳极碳块 | 8.4    |
| 50 | 新乡  | 河南金河石墨集团有限公司    | 铝用阳极碳块 | 0.5    |
| 51 | 南阳  | 河南省淅川县永昌实业有限公司  | 铝用阳极碳块 | 8      |
| 合计 |     | -               | -      | 400.85 |

河南省铝工业分布情况示意图见图 2-5。

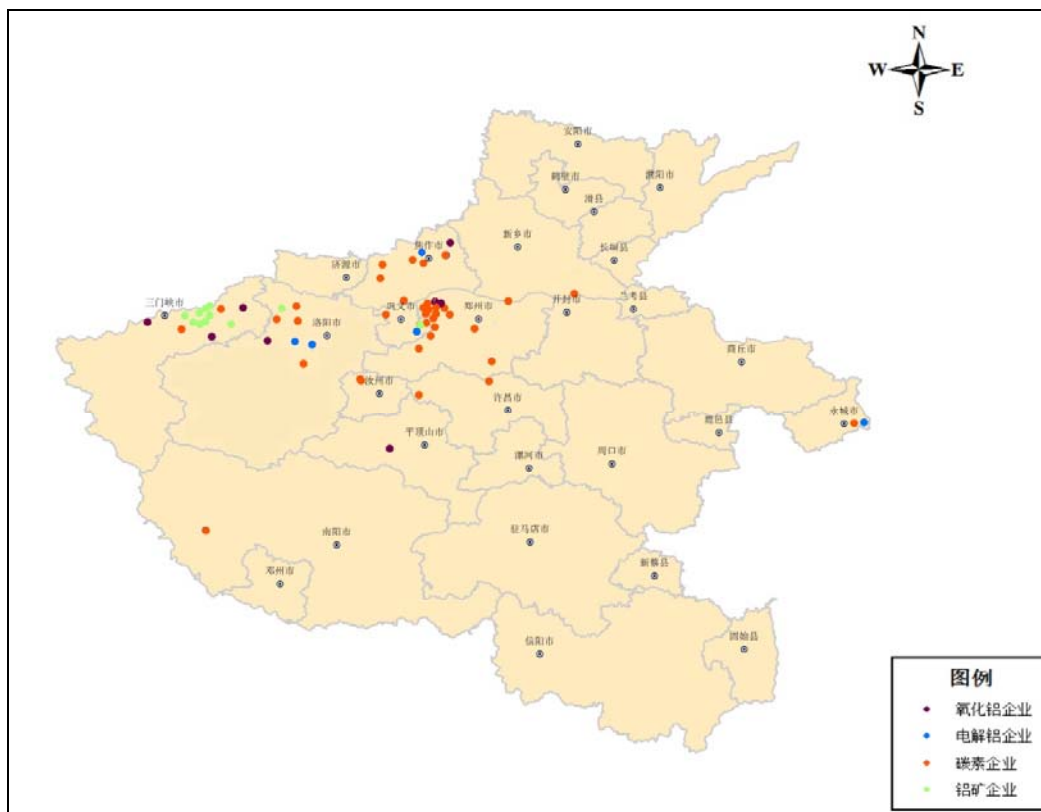


图 2-5 河南省铝工业分布情况示意图

## 2.4 生产工艺及装备

### 2.4.1 采矿及选矿

我省铝土矿资源总量为 14 亿吨，已探明储量为 4.15 亿吨，绝大部分属沉积型一水硬铝石矿床，矿石具有高铝、高硅、低铁之特征。铝硅比（A/S）大于 7 的富矿石储量占比不足 25%，大部分属于中品位矿石和贫矿石。铝土矿开采工艺较为简单，受铝土矿资源赋存条件限制，多采用露天开采方式。近年来新发现的煤下铝资源由于开采技术的提升及环保要求，采用地下开采。

为提高铝硅比(A/S)，减少后续氧化铝生产能耗，需要对中、低品位铝土矿进行选矿脱硅。目前，我省铝土矿矿山企业大部分仅进行矿石开采，铝土矿选矿设施在氧化铝厂建设。

铝土矿的选矿工艺流程见图 2-6。

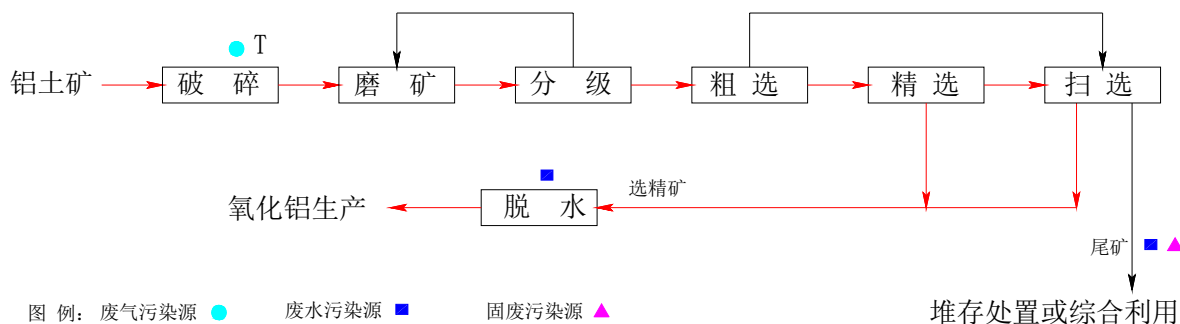


图 2-6 铝土矿选矿工艺流程及产污节点图

## 2.4.2 氧化铝

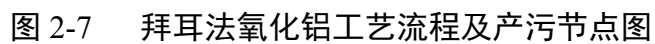
### (1) 生产工艺

从矿石提取氧化铝的生产方法多种多样，目前在工业上采用的是碱法，主要原料是铝土矿、碱和石灰（石灰石）。国内工业生产氧化铝的技术主要有烧结法、拜耳法（包括选矿拜耳法）、联合法三种。其中，烧结法、联合法由于生产能耗较高，除少部分特种氧化铝生产仍采用烧结法外，其他均为拜耳法工艺。

拜耳法工艺以铝土矿为主要原料。铝矿石按比例与蒸发母液及液碱和石灰等，同时送入矿浆磨中，磨制成原矿浆。原矿浆经预脱硅后送至溶出工序，矿石中的氧化铝与碱作用生成铝酸钠进入溶液。溶出后产生的赤泥(残渣)含矿石中不溶杂质和反应生成的沉淀物。铝酸钠溶液经稀释和赤泥分离后，送叶滤机进一步除去溶液中的残留固体物，在精液中加入氢氧化铝晶种进行搅拌分解，溶液中的氧化铝呈氢氧化铝结晶析出，溶液与固体分离后，细粒返回作晶种，粗粒经热水多次洗涤去掉附着碱，然后送氢氧化铝焙烧炉在高温下烧去附着水及结晶水，得成品氧化铝。与氢氧化铝分离的种分母液用蒸汽蒸发浓缩后返回系统循环使用。分离的赤泥经洗涤回收附碱后，送赤泥堆场集中堆放。

拜耳法氧化铝生产主要燃料消耗在焙烧工序，出于成本考虑，目前我省氧化铝厂燃料以发生炉煤气（自制）为主，也有部分氧化铝厂掺烧一部分天然气作为煤气不足部分的补充。氧化铝厂配套煤气发生炉均配备了煤气脱硫设施。

拜耳法工艺流程见图 2-7。





## (2) 装备水平

各种氧化铝生产工艺中，拜耳法工艺最简单，没有熟料烧成工序，因此能源消耗较联合法和烧结法低，大气污染物排放量相对较小，目前是氧化铝生产的最佳工艺，国际上 90% 以上的氧化铝采用拜耳法生产。因为矿石类型和品位的原因，早期我国氧化铝生产企业普遍采用烧结法和联合法生产工艺。

“十五”及“十一五”期间，是我国也是我省氧化铝工业快速发展的十年，通过不断了解、认识、引进、实践国际先进的技术装备，使氧化铝生产的技术装备水平有长足发展。在此期间建设的拜耳法氧化铝厂的技术装备及清洁生产水平已达国际领先水平，如铝土矿溶出采用间接加热强化溶出技术，母液蒸发采用多效降膜蒸发，赤泥分离洗涤采用高效沉降技术，氢氧化铝焙烧采用流态化焙烧技术，赤泥浓相输送及干法堆存等。高技术装备的采用使其生产技术指标已达到发达国家氧化铝厂如美铝(ALCOA)和加铝(ALCAN)的水平。

“十二五”期间，产业政策对氧化铝产能控制较为严格，我省没有新开工建设的氧化铝生产线项目，在此期间主要是对现有氧化铝生产线的技术升级改造，如拜耳法工艺替代现有烧结法工艺，生产能耗下降约 50%，生产成本约低 10%，各项技术指标均优于烧结法或混联法生产技术。

目前，我省氧化铝工艺装备情况见表 2-6。

表 2-6 我省氧化铝工艺装备情况一览表

| 项目        | 东方希望      | 开曼铝业      | 香江万基      | 河南分公司    |           | 中州铝业      |      | 目前国内先进装备 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------|----------|
|           |           |           |           | 现有工程     | 技改工程      | 现有工程      | 技改工程 |          |
| 拜耳法       | 220 万 t/a | 210 万 t/a | 140 万 t/a | 70 万 t/a | 160 万 t/a | 300 万 t/a |      | /        |
| 预脱硅槽      | 间接加热连续脱硅  | 间接加热连续脱硅  | 间接加热连续脱硅  | 间接加热连续脱硅 |           | 间接加热连续脱硅  |      | 间接加热连续脱硅 |
| 溶出装置      | 间接加热强化溶出  | 间接加热强化溶出  | 间接加热强化溶出  | 间接加热强化溶出 |           | 间接加热强化溶出  |      | 间接加热强化溶出 |
| 赤泥沉降槽     | 深锥高效沉降槽   | 深锥高效沉降槽   | 深锥高效沉降槽   | 深锥高效沉降槽  |           | 深锥高效沉降槽   |      | 深锥高效沉降槽  |
| 精滤(叶滤机)   | 立式        | 卧式、立式     | 立式        | 立式       |           | 卧式、立式     | 立式   | 立式       |
| 分解槽(机械搅拌) | 大型平底机械搅拌  | 大型平底机械搅拌  | 大型平底机械搅拌  | 大型平底机械搅拌 |           | 大型平底机械搅拌  |      | 大型平底机械搅拌 |

| 项目   | 东方希望          | 开曼铝业          | 香江万基      | 河南分公司         |      | 中州铝业          |      | 目前国内先进装备 |
|------|---------------|---------------|-----------|---------------|------|---------------|------|----------|
|      |               |               |           | 现有工程          | 技改工程 | 现有工程          | 技改工程 |          |
| 焙烧炉  | 悬浮焙烧炉（煤气+天然气） | 悬浮焙烧炉（煤气+天然气） | 悬浮焙烧炉（煤气） | 悬浮焙烧炉（煤气+天然气） |      | 悬浮焙烧炉（煤气+天然气） |      | 悬浮焙烧炉    |
| 母液蒸发 | 六效蒸发          | 六效蒸发          | 六效蒸发      | 六效蒸发          |      | 五效蒸发、六效蒸发     |      | 六效蒸发     |

从上述对比情况来看，我省主要氧化铝企业已广泛采用间接加热强化溶出技术、赤泥分离洗涤采用高效沉降技术、流态化焙烧技术、降膜蒸发、强制循环蒸发排盐等新技术，主要生产设备已实现大型高效化，生产技术及装备水平达到国内先进水平。从主生产工艺来看，除中州铝业特种氧化铝生产仍保留 50 万 t/a 烧结法外，其他均采用拜耳法工艺。

### 2.4.3 电解铝

#### (1) 生产工艺

电解铝生产目前国内外通用氟化盐—氟化铝熔盐电解工艺，该工艺目前也是工业生产金属铝的唯一方法。金属铝主要生产原料是氧化铝、氟化盐（冰晶石、氟化铝等）、炭素阳极。

将氧化铝、冰晶石、氟化铝等生产原料加入预焙阳极电解槽中，通入直流电，在 945-955℃ 温度下，以上原料变为熔融状态的电解质并发生复杂的电化学反应，氧化铝不断被分解，在阴极（电解槽底部）析出液态金属铝，炭素阳极与析出的氧反应生成以 CO<sub>2</sub> 为主的阳极气体，同时还散发出含氟化物、粉尘和二氧化硫等污染物的烟气，与阳极气体统称为电解烟气。在阴极析出的液态金属铝，定期用真空抬包抽出。炭素阳极不断被消耗，通过定期更换预焙阳极块进行补充。

电解铝生产工艺流程见图 2-8。

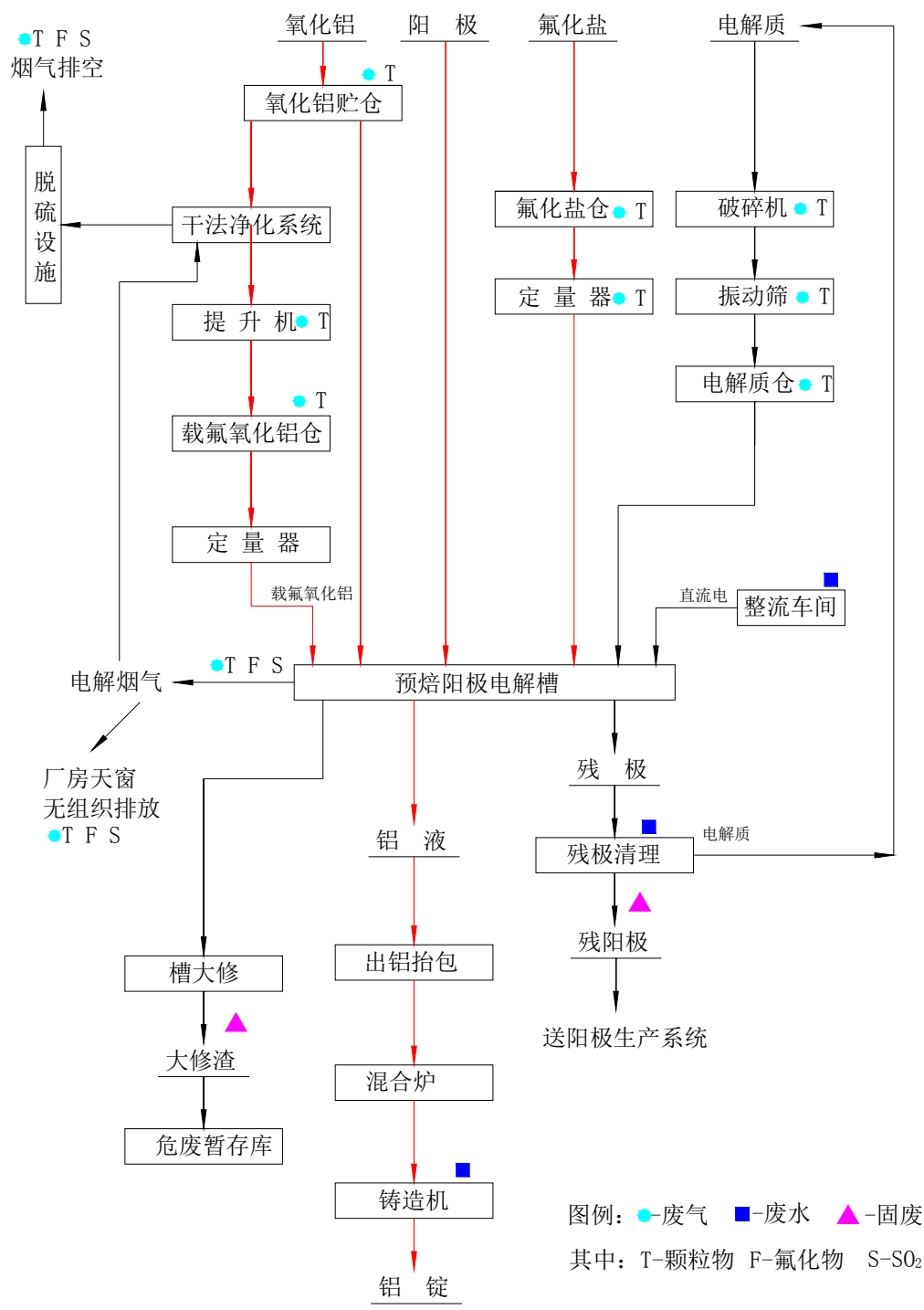


图 2-8 电解铝工艺流程及产污节点图

## (2) 装备水平

本世纪初我国成为全球最大的电解铝生产国，而我省是电解铝生产传统大省，但在产业政策的限制及电力成本的制约下，我国电解铝产业已开始由中东部向能源

丰富的西部地区转移，“十一五”至今我省新开工电解铝项目基本上处于停滞状态，特别是近年我省电解铝产量总体处于下降态势。

生产电解铝的设备称为电解槽，铝电解槽是电解铝厂生产中的关键设备，因此，在某种意义上说，铝电解槽技术，实际上也代表着电解铝厂的技术水平。电解槽总体上分为自焙槽（侧插自焙槽和上插自焙槽）和预焙槽（中心加料、边部加料）。自焙槽因环境污染严重、生产技术落后，属国家淘汰的技术装备，预焙槽具节能、低耗、少污染的优势，我省铝电解槽已全部采用预焙槽。

现代铝电解槽技术朝着大容量和高电流密度方向发展。国内投入运行且生产指标较为先进的大容量预焙槽主要有 300kA-320kA、350kA-400kA、500kA-600kA 大型及特大型预焙阳极铝电解槽等多种槽型。近几年国内新投产电解铝项目主流采用 500kA 电解槽型，部分采用 600kA 电解槽型。

而我省由于电力成本较高，当前形势和环境已不利于电解铝发展，近十年电解铝行业除一些节能、环保技术改造外没有新开工项目，且电解铝产能持续转移至外省，由于装备水平较低的产能都已转移淘汰，因此目前我省大型电解铝企业槽型为 300kA-400kA，从电解槽容量上看已略逊于国内主流水平。

高昂的电力成本也促使我省电解铝企业在技术进步和节能降耗上狠下功夫，河南以其成熟的电解铝技术在全国的电解铝行业中位于第一梯队。从清洁生产水平、生产技术指标等方面看，智能控制、模糊控制、自动加料控制、超浓相输送、烟气干法净化技术等先进的清洁生产技术在我省大型电解铝企业已普遍采用，总体来说，我省电解铝行业清洁生产水平处于我国电解铝工业先进行列。

我省电解铝工艺装备情况见 2-7。

表 2-7 我省电解铝工艺装备情况一览表

| 项目   |      | 豫港龙泉铝业 | 万基铝业                      | 中孚铝业            | 焦作万方  | 目前国内先进装备 |
|------|------|--------|---------------------------|-----------------|-------|----------|
| 产能   |      | 60 万吨  | 58 万吨                     | 25 万吨           | 42 万吨 | /        |
| 主要装备 | 电解槽  | 300kA  | 300kA、<br>320kA、<br>400kA | 320kA、<br>400kA | 300kA | 500kA    |
|      | 物料输送 | 超浓相输送  | 超浓相输送                     | 超浓相输送           | 超浓相输送 | 超浓相输送    |

| 项目 |      | 豫港龙泉铝业               | 万基铝业                 | 中孚铝业                 | 焦作万方                  | 目前国内先进装备              |
|----|------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|    | 烟气净化 | 布袋除尘+半干法脱硫（氧化钙）+布袋除尘 | 布袋除尘+半干法脱硫（氧化钙）+布袋除尘 | 布袋除尘+半干法脱硫（氧化镁）+布袋除尘 | 布袋除尘+湿式脱硫（石灰石膏）+湿式电除尘 | 布袋除尘+湿式脱硫（石灰石膏）+湿式电除尘 |

#### 2.4.4 铝用炭素

##### (1) 生产工艺

铝用炭素分为阴极炭素、阳极炭素二种，生产工艺类似，原料略有差别。均包括原料破碎筛分、配料、混捏成型、焙烧等生产工序，大部分企业还有煅烧工序。目前电解铝行业阳极炭素消耗（毛耗）约 500kg/t-Al 左右，阴极仅 12kg/t-Al 左右，因此具有一定规模的电解铝厂均配套阳极炭素生产系统，而阴极炭素生产企业则较少。

铝用阳极生产原料为石油焦和沥青，其中石油焦产品质量与环保关系密切，其硫含量直接决定了炭素生产（电解铝）大气污染物二氧化硫产生量。铝用阳极生产工序包括：原料贮运破碎、煅烧、沥青熔化、生阳极制造、焙烧及炭块贮存和残极处理等。石油焦经破碎后输送至回转窑(或罐式炉)煅烧。煅后焦经计量后由输送设施送至生阳极车间贮槽。固体沥青经破碎和沥青熔化装置熔化后，泵至沥青贮槽贮存待用（液体沥青直接存储待用）。煅后焦经粒度分级、破碎、筛分和部分料磨粉，处理后的残极碎料也经分级、破碎后进入不同配料仓。不同粒度的物料经配料、预热并加入液体沥青搅拌捏合的糊料冷却后，经振动成型制得生阳极块，检验合格的生阳极块送焙烧炉进行焙烧(炭块的装出炉作业采用焙烧专用的多功能天车完成)，焙烧成品即预焙阳极块。煅烧烟气中含有颗粒物、二氧化硫和氮氧化物等大气污染物，焙烧炉烟气中含有沥青烟、粉尘、氟化物、二氧化硫和氮氧化物等大气污染物，是碳阳极生产的主要大气污染源，设烟气净化系统治理。阳极组装工段残极压脱机落下的残极，经破碎后送入残极料仓。从残极压碎机运来的大块残极与焙烧废品、阳极组装废品以及成型废品等分别破碎后，供下道工序使用。

阳极炭素生产工艺流程见图 2-9；阴极炭素生产工艺流程见图 2-10。

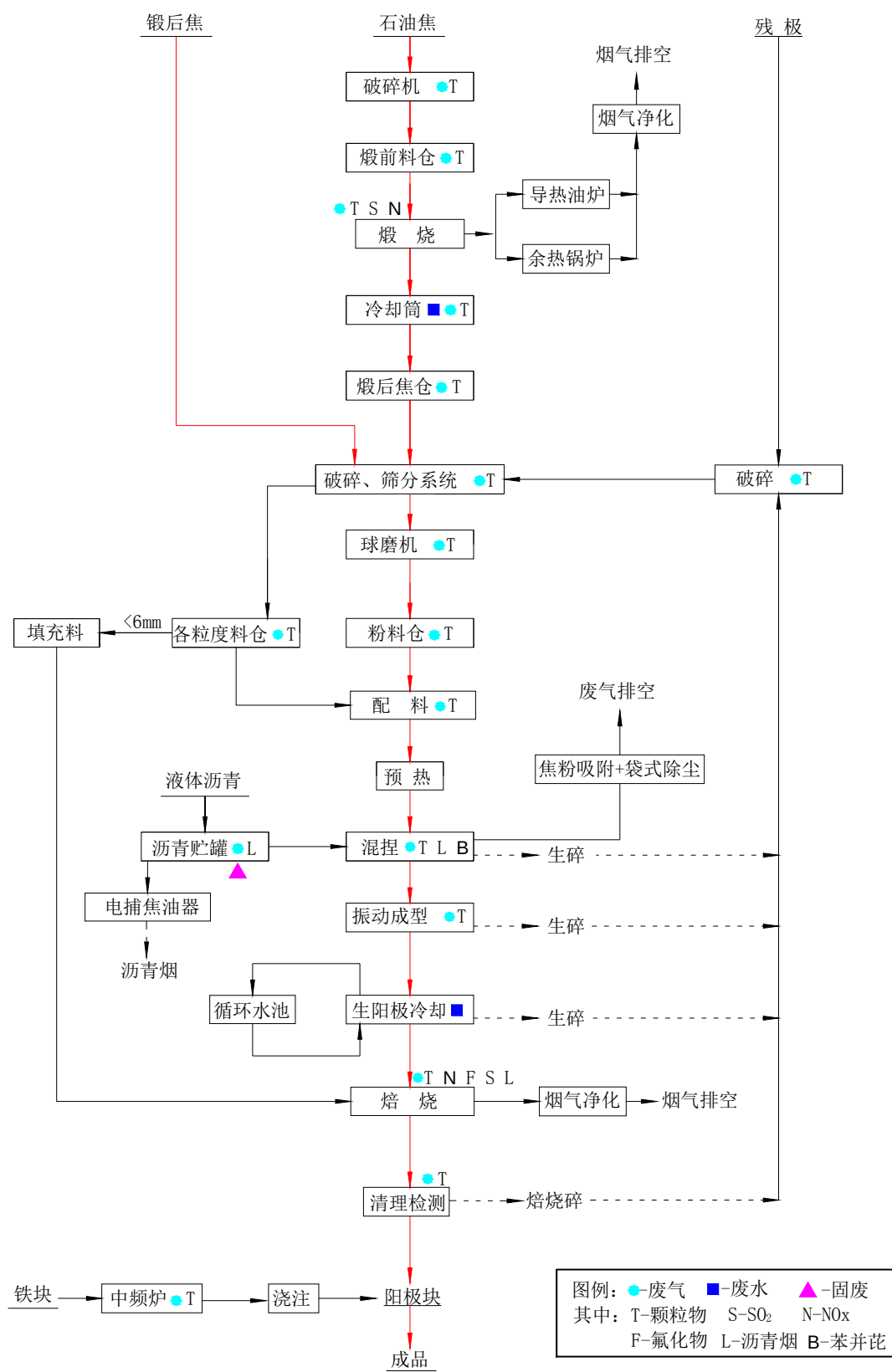
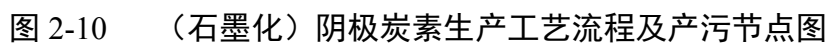


图 2-9 阳极炭素生产工艺流程及产污节点图



## (2) 装备水平

我省铝用炭素企业主要可分为两类：一类是电解铝企业配套炭素生产设施，其产品全部自用于公司的电解铝生产；另一类是独立的炭素生产企业，其产品外售给电解铝生产企业。目前，我省部分铝用炭素工艺装备情况见表 2-8。

表 2-8 我省铝用炭素工艺装备情况一览表

| 项目   |    | 河南中孚炭素有限公司                  | 河南神火炭素制品有限公司           | 洛阳万基炭素有限公司二分厂    | 焦作市英利经贸有限公司          | 目前国内先进装备   |
|------|----|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------------|------------|
| 产品用途 |    | 自用                          | 自用                     | 自用               | 外售                   |            |
| 产能   |    | 15 万 t/a                    | 10 万 t/a               | 24 万 t/a         | 15 万 t/a             | /          |
| 主要装备 | 煅烧 | 回转窑<br>Φ2.2×45m<br>Φ2.6×50m | 罐式煅烧炉<br>8 罐、24 罐、72 罐 | 回转窑<br>Φ2.6×50m  | 罐式煅烧炉<br>48 罐        | 回转窑<br>罐式炉 |
|      | 混捏 | 连续预热混捏机 CK600-CP            | 混捏锅                    | 连续预热混捏机 CK600-CP | 混捏锅                  | 连续预热混捏机    |
|      | 焙烧 | 敞开环式焙烧炉<br>36 室             | 敞开环式焙烧炉<br>36 室、68 室   | 敞开环式焙烧炉<br>52 室  | 敞开环式焙烧炉<br>36 室、38 室 | 敞开环式焙烧炉    |
|      |    | 燃料：天然气                      | 燃料：天然气                 | 燃料：天然气           | 燃料：天然气               | /          |

由于近年来我省电解铝行业没有新增产能，因此，电解铝企业自身配套的炭素项目近年来也没有新增产能。我省的电解铝企业配套炭素生产线与电解铝生产线同步建设，从单个炭素企业生产规模来看，与国内大型炭素企业规模相比略有差距，但由于技术实力和装机水平起点较高，目前主体设备装备水平与国内先进企业相当，如焙烧设备采用大型回转窑并配套余热回收设施，混捏采用连续预热混捏机，焙烧采用大型敞开环式焙烧炉，我省电解铝企业配套大型炭素生产线装备水平总体来说处于国内先进水平。部分企业也存在一定的提升空间，如将混捏锅改造为新型混捏锅或连续混捏机等。

我省属于铝工业传统大省，独立的铝用炭素生产企业较多，不少企业规模较小并未纳入环境统计，根据 2016 年-2017 年的调研，某县级市共有炭素企业 32 家，见表 2-9。



表 2-9 某县级市炭素生产企业情况调查一览表

| 项目       | 总体情况                                                          |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| 规模       | 平均规模在 4 万 t/a 左右，总规模约 120 万 t/a，最大规模 16 万 t/a                 |
| 布局       | 布局分散                                                          |
| 燃料       | 发生炉煤气为燃料                                                      |
| 主要装备     | 罐式煅烧炉、环式焙烧炉、二段式煤气发生炉，绝大部分为国产装备                                |
| 主要污染防治措施 | 水冷或风冷降温、电捕焦油器、双碱法脱硫                                           |
| 物料堆场     | 多为半封闭式，个别企业采用全封闭式并配备有喷淋设施                                     |
| 运输方式     | 基本全部通过汽车运输，年运输量约 300 万 t                                      |
| 管理水平     | 多数企业管理粗放，厂区无规范设计，装备自动化水平低，多为人工间歇操作，厂区绿化差，生产车间和物料堆场密闭差，无组织排放量大 |

从调查期间的结果来看，独立炭素生产企业除个别生产规模较大外，总体生产规模较小，装备水平一般，管理水平较差，清洁生产水平不高，部分企业环保设施不尽完善，污染较严重。从环保角度来看，该类型企业数量较多，产能占比小，通过淘汰落后产能、企业整合及环保设施改造等手段，存在较大节能减排的提升空间。

《河南省 2019 年大气污染防治攻坚战实施方案》（豫环攻坚办〔2019〕25 号）提出：“开展炭素企业排查，列出 10 万吨/年以下独立铝用炭素企业清单。郑州、洛阳、平顶山、安阳、焦作、三门峡、新乡等省辖市列入清单的企业，2019 年要减少炭素产量 50%。积极推进 10 万吨/年以下的独立铝用炭素企业退出，鼓励各市提前关停相关企业设备。”目前，独立铝用炭素企业正在进行产能淘汰、产业整合及环保设施提升改造，2019 年底纳入保留名单的独立铝用炭素企业污染物排放须满足攻坚方案提出的超低排放要求。

## 2.5 污染治理措施及排放情况

### 2.5.1 废气

#### (1) 废气治理措施概况

近年来，随着国家及地方大气污染防治政策及排放要求日趋严格，我省铝工业企业陆续进行了一系列环保改造。2018 年 1 月 15 日发布的《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》（环境保护部公告 2018 年第 9 号）

要求：“火电、钢铁、石化、化工、有色（不含氧化铝）、水泥行业现有企业以及在用锅炉，自 2018 年 10 月 1 日起，执行二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物特别排放限值”。我省纳入重点区域的郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳市、洛阳、三门峡市等地市已要求全面执行大气污染物特别排放限值，2019 年我省已出台的大气攻坚及各专项治理文件对铝工业污染物排放提出了更为严格的要求。

通过收集资料和省内大型企业的调研，近三年来我省铝工业企业环保改造情况如下：氧化铝企业已着手开始对焙烧炉除尘系统进行改造，在治理系统末端电除尘器后增设袋式除尘器，改造为电袋复合除尘系统，部分企业在焙烧炉进行了 SNCR 脱硝改造；烧成窑已进行电除尘改造，将原三电场静电除尘器改造为五电场静电除尘器。电解铝企业电解烟气净化系统大都已增设脱硫设施。铝用炭素企业对煅烧和焙烧烟气净化系统进行升级改造，进行脱硝治理，并采用更为稳定高效的石灰石-石膏脱硫设施。我省铝工业废气治理措施现状见表 2-10。

表 2-10 我省铝工业废气治理措施现状一览表

| 产污单元名称 |           | 污染因素  | 污染因子                                         | 治理措施                                    |
|--------|-----------|-------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 矿山     | 破碎、筛分、转运  | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
| 氧化铝    | 熟料烧成窑     | 烧成窑烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>          | 旋风分离+电除尘器                               |
|        | 氢氧化铝焙烧炉   | 焙烧炉烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>          | 旋风分离+电除尘器(+袋式除尘器)，部分企业建设脱硝设施            |
|        | 石灰炉       | 石灰炉烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>          | 旋风分离+袋式除尘器                              |
|        | 原料加工、运输   | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
|        | 氧化铝贮运     | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
| 电解铝    | 电解槽       | 电解烟气  | 粉尘、SO <sub>2</sub> 、氟化物                      | 氧化铝吸附干法烟气净化+脱硫（半干法、湿法）+除尘（布袋或湿式电除雾）     |
|        | 电解质破碎     | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
|        | 氧化铝、氟化盐储运 | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
|        | 阳极组装      | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                   |
| 铝用炭    | 阳极焙烧炉     | 焙烧炉烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、氟化物、沥青烟 | 预除尘+雾化冷却+电捕焦油器+湿法脱硫+湿电（管束）除尘，部分企业配套脱硝设施 |

| 产污单元名称 |           | 污染因素  | 污染因子                                         | 治理措施                                   |
|--------|-----------|-------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| 素      | 阴极焙烧炉     | 焙烧炉烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、<br>沥青烟 | 雾化冷却+电捕焦油器+湿法<br>脱硫+湿电（管束）除尘           |
|        | 石油焦煅烧炉    | 煅烧炉烟气 | 烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>          | 预除尘+余热回收+布袋除尘<br>+湿法脱硫+湿电除尘，配套<br>脱硝设施 |
|        | 沥青熔化      | 废气    | 粉尘、沥青烟                                       | 电捕焦油器                                  |
|        | 生阳极制造     | 废气    | 粉尘、沥青烟                                       | 电捕焦油器，个别企业采用<br>焦粉吸附+布袋除尘器             |
|        | 阳极组装及残极破碎 | 废气    | 粉尘                                           | 袋式除尘器                                  |

## (2) 废气污染控制技术分析

### ①采选矿

铝土矿矿山生产主要大气污染物为粉尘，选矿厂粉尘点基本上均配备了相应的除尘措施，收尘多采用布袋除尘器除尘，国内矿山企业粉尘排放浓度一般在 10-50mg/Nm<sup>3</sup>。随着 2013 年铝行业特别排放限值的实施，目前国内先进水平粉尘排放浓度可以控制在 10mg/Nm<sup>3</sup> 以下。我省矿山企业粉尘排放浓度已部分达到了 10mg/Nm<sup>3</sup> 控制水平。

### ②氧化铝企业

氧化铝生产以大气污染物排放为主，主要污染物是颗粒物、二氧化硫和氮氧化物。目前，国内和我省氧化铝生产均以拜耳法为主，其主要大气污染源是氢氧化铝焙烧炉；烧结法（联合法）工艺在我省仅中州铝厂还有保留，其主要大气污染源是熟料烧成窑，其次是氢氧化铝焙烧炉。我省部分氧化铝厂配套建设有石灰烧制设施，石灰窑烟气也是氧化铝厂的主要大气污染源之一。

我省和国内氢氧化铝焙烧炉和熟料烧成窑烟气治理基本相同，基本都是采用旋风除尘器回收物料后，再经电除尘器（普遍采用三电场或四电场电除尘器）除尘；石灰窑烟气基本上采用旋风+袋式除尘的治理措施。2018 年开始，部分氧化铝企业已着手对焙烧和烧成烟气治理设施进行环保改造。焙烧炉对除尘系统进行改造并增设脱硝设施，将静电除尘改造为电袋复合除尘，在焙烧炉烟气出口设置 SNCR 脱硝装置；烧成窑已进行电除尘改造，将原三电场静电除尘器改造为五电场静电除尘

器。目前省内氧化铝企业陆续开展焙烧炉烟气改造或已将改造列入实施计划。但省内、外已运行氧化铝生产企业烧成窑、焙烧炉烟气均未配置脱硫设施，采用的是煤气脱硫或天然气。

原料破碎、筛分，熟料中碎，物料和氧化铝贮运等产生粉尘(烟尘)的节点较多且分散(尤其是烧结法工艺)，也是造成环境污染的重要原因之一，近年来，通过污染治理，上述工序无组织排放得到了有效控制，除尘设施基本上均采用袋式除尘器。

氢氧化铝焙烧炉烟气净化工艺流程见图 2-11。

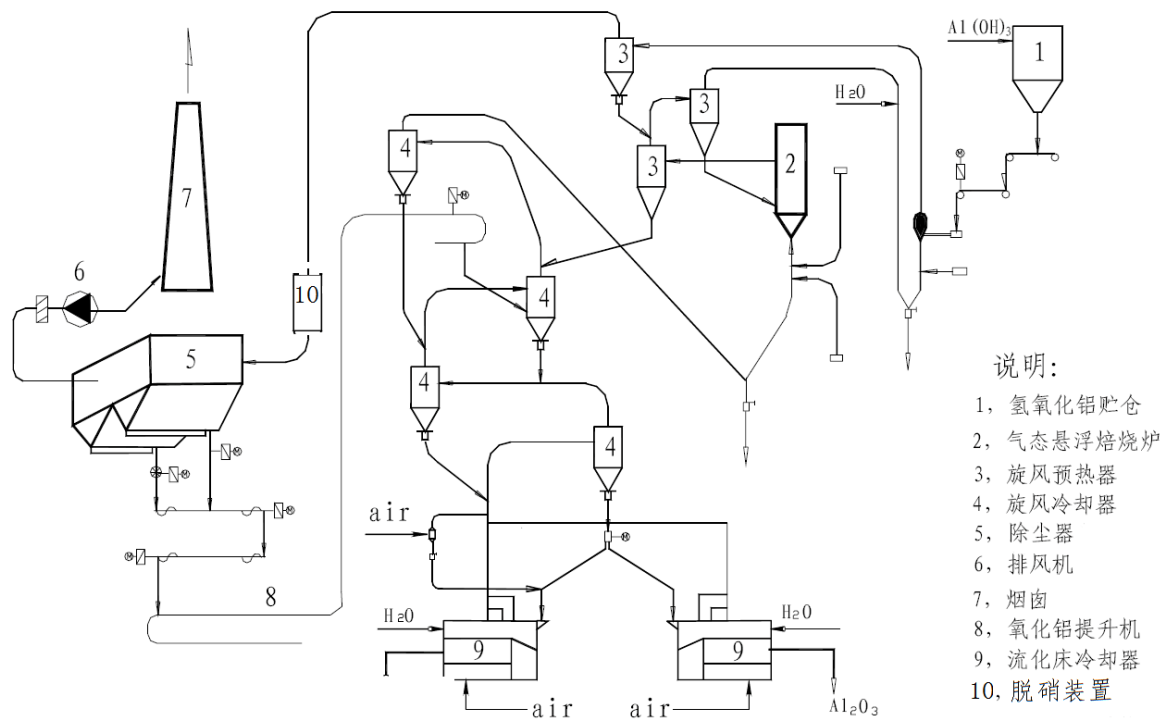


图 2-11 氢氧化铝焙烧炉烟气净化工艺流程图

③电解铝企业

我省电解铝企业采用预焙槽，其烟气中的主要污染物是氟化物、粉尘及二氧化硫，我省电解铝企业氟化物产生量约为 15-20kg/t-Al，粉尘 30-40kg/t-Al，是电解铝生产的主要大气污染工序。目前，我国及省内预焙槽烟气均采用干法技术治理，该方法是利用氧化铝对氟化氢的吸附性能，在烟道中加入氧化铝吸附氟化氢，再通过布袋除尘器实现分离，达到烟气净化，同时去除氟化氢和粉尘的目的。

大型电解槽烟气净化系统基本上能保持正常、高效运行，氟化物净化效率大于 98%（甚至超过 99%），净化后氟排放浓度一般 $<3\text{mg}/\text{Nm}^3$ （甚至 $<2\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），粉尘 $<20\text{mg}/\text{Nm}^3$ （甚至 $<10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）。

电解槽烟气中二氧化硫排放浓度主要取决于阳极炭素的含硫量，使用低硫份石油焦（ $S\leq 0.5\%$ ）制备的阳极炭素，其二氧化硫排放浓度可以控制在  $32\text{mg}/\text{Nm}^3$  左右；使用中硫份石油焦（ $S\leq 1.5\%$ ）制备的阳极炭素，其二氧化硫排放浓度可以控制在  $97\text{mg}/\text{Nm}^3$  左右；使用高硫份石油焦（ $S\geq 3\%$ ）制备的阳极炭素，其二氧化硫排放浓度超过  $195\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。因阳极炭素硫份的不同，国内和我省不同企业、同一企业不同生产批次电解槽烟气二氧化硫排放浓度的差别很大。由于我国石油已主要依靠进口，国外原油硫含量普遍偏高，部分阳极炭素生产曾用石油焦含硫量甚至达到了 6%以上。由于电解烟气量大，基于脱硫技术和成本的原因国内运行的电解铝企业通常未对电解烟气采取脱硫措施。随着国家重点区域执行特别排放要求，近年来国内部分电解铝企业开始对电解烟气采取脱硫措施，脱硫工艺包括半干法和湿法。从 2017 年开始，我省电解铝企业陆续开展电解烟气脱硫改造，目前在产的 4 家电解铝企业均已完成脱硫改造，1 家采用石灰石-石膏湿法脱硫，其余 3 家采用半干法脱硫工艺。

电解槽烟气净化工艺流程见图 2-12。

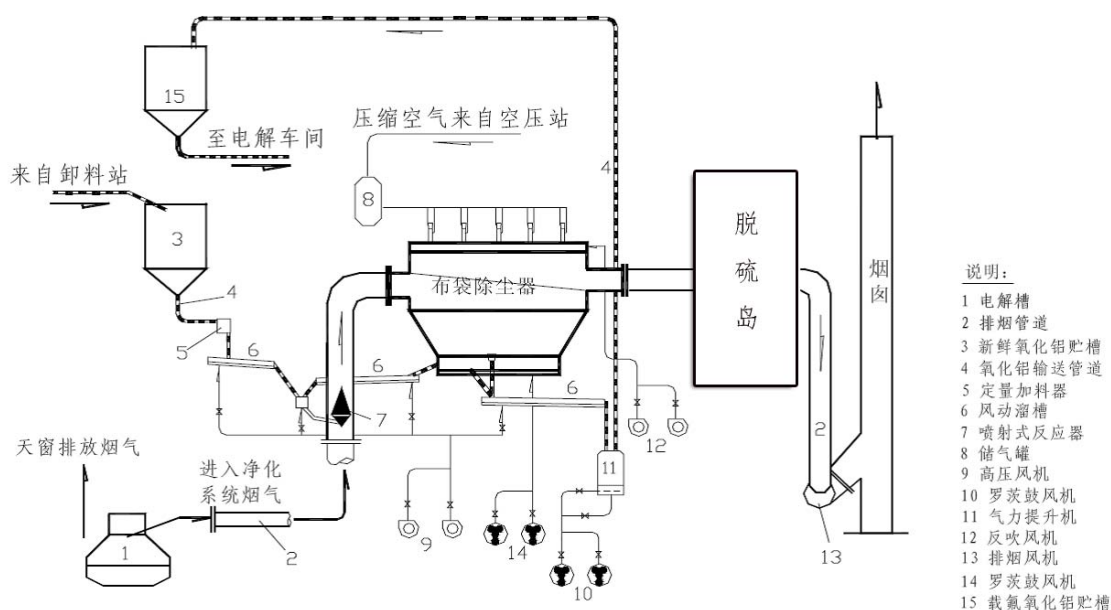


图 2-12 电解槽烟气净化工艺流程图

#### ④铝用炭素厂

电解铝的生产特点决定铝用炭素厂以阳极炭素生产为主，阳极焙烧炉的大气污染负荷占阳极生产系统的 2/3 以上，目前，阳极焙烧炉烟气治理主要有电除尘器捕集法(电捕法)、氧化铝吸附布袋除尘法(干法)和碱液吸收湿式净化法(湿法)。干法净化可同时除去烟气中的氟化物、粉尘和沥青烟，是欧、美等国的推荐最佳实用技术，发达国家多采用该方法，该方法工艺及原理与电解槽烟气净化系统相似，但由于焙烧炉烟气温度高，为使沥青烟气冷凝，进入布袋除尘器前烟气需降温到 90℃左右；湿法工艺产生大量的酚氰废水，废水处理较为困难，因此，已逐渐被淘汰。干法净化的投资基本与电捕法相当，但运行费较高且运行管理复杂，因此国内阳极厂焙烧炉烟气多采用电除尘器治理，而干法或湿法采用较少。

近年来，铝用炭素厂外购石油焦或煅后焦硫含量普遍升高，随着 2013 年大气污染重点控制区域铝行业开始执行特别排放限值，国内部分企业在焙烧炉电除尘器后加装石灰石（石灰）-石膏脱硫装置，经脱硫处理后焙烧烟气二氧化硫排放浓度控制在 100mg/Nm<sup>3</sup>，甚至可以达到 50mg/Nm<sup>3</sup> 以下。氮氧化物控制方面，国内铝用炭素厂少数大型企业对煅烧烟气、焙烧烟气进行脱硝，采取 SNCR、臭氧等方式。

国内大型铝用炭素厂在沥青烟防治措施方面，混捏成型、沥青熔化工序基本采

用电捕焦油器，与我省企业治理措施相同，我省个别铝用炭素厂混捏成型工序采用焦粉吸附装置（黑法）。

近三年来随着国家及地方大气污染防治政策及排放要求日趋严格，我省铝用炭素企业对煅烧和焙烧烟气净化系统进行升级改造（部分企业重新建设净化系统），采用更为高效的除尘、脱硫设施，并进行脱硝治理。大型铝用炭素厂环保设施改造情况如下：

烟尘控制方面：煅烧采用前部预除尘、中部布袋除尘、尾部湿电除尘，焙烧采用前部预除尘、中部电捕除尘、尾部湿电（管束）除尘。

脱硫方面：基本上都采用高效的石灰石/石灰-石膏脱硫设施。

氮氧化物控制方面：煅烧工序均采取了脱硝措施，脱硝工艺包括 SCR、SNCR 等；焙烧工序部分企业采取了 DSNCr、臭氧脱硝措施，部分企业未对焙烧工序采取脱硝措施。

## 2.5.2 废水

通过收集资料和省内大型企业的调研，我省铝工业废水治理措施现状见表 2-11。

总体来看，铝工业生产过程中，除少量循环冷却水等清下水和生活污水需处理达标排放外，其他生产废水均可做到循环使用，只补不排。

表 2-11 我省铝工业废水治理措施现状一览表

| 产污单元名称 |          | 污染因素  | 污染因子                      | 处理措施                              |
|--------|----------|-------|---------------------------|-----------------------------------|
| 矿山     | 矿井涌水     | 废水    | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS | 沉淀后回用生产                           |
|        | 浮选       | 废水    | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS | 尾矿库渗滤液回用生产<br>不外排                 |
|        | 生活污水     | 废水    | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS |                                   |
| 氧化铝    | 工艺废水     | 废水    | pH、SS                     | 废水处理站处理后，回用于氧化铝系统，赤泥库回水用于矿浆磨制，不外排 |
|        | 循环水系统排污水 | 清下水   | pH、COD、SS                 |                                   |
|        | 酸碱废水     | 清下水   | pH                        |                                   |
|        | 生活污水     | 废水    | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS | 生化处理后达标排放或回用                      |
| 电解铝    | 净循环冷却水   | 清下水   | pH、COD、SS                 | 循环使用，少量补充冷却水                      |
|        | 生活污水     | 废水    | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS | 生化处理后达标排放                         |
| 铝      | 煅烧循环冷却系统 | 定期排污水 | COD、SS、NH <sub>3</sub> -N | 作为清下水，收集后回用                       |

| 产污单元名称 |           | 污染因素 | 污染因子                      | 处理措施          |
|--------|-----------|------|---------------------------|---------------|
| 用炭素    | 生阳极循环冷却系统 | 只补水  | /                         | 不外排，沉淀后循环使用   |
|        | 煅烧烟气脱硫装置  | 只补水  | /                         | 不外排，循环使用      |
|        | 焙烧烟气喷淋水   | 只补水  | /                         | 全蒸发技术，循环使用不外排 |
|        | 生活污水      | 废水   | COD、NH <sub>3</sub> -N、SS | 生化处理后达标排放     |

### 2.5.3 行业排放情况

我省部分氧化铝企业污染物排放情况来看，主要氧化铝企业颗粒物浓度 1.0-39.4mg/Nm<sup>3</sup>（均值 16.2mg/Nm<sup>3</sup>）、二氧化硫浓度 0.86-312.9mg/Nm<sup>3</sup>（均值 98.64mg/Nm<sup>3</sup>）、氮氧化物浓度 1.13-363.6mg/Nm<sup>3</sup>（均值 114.32mg/Nm<sup>3</sup>）。

我省部分电解铝企业污染物排放情况来看，主要电解铝企业均已完成脱硫改造（部分置换退出企业除外），电解槽颗粒物 0.03-8.64mg/Nm<sup>3</sup>（均值 2.9mg/Nm<sup>3</sup>）、二氧化硫浓度 1.52-67.48mg/Nm<sup>3</sup>（均值 24.8mg/Nm<sup>3</sup>），氟化物浓度 2mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

我省部分大型电解铝企业配套铝用炭素生产线污染物排放情况来看，主要铝用炭素企业颗粒物浓度 0.06-7.9mg/Nm<sup>3</sup>（均值 2.65mg/Nm<sup>3</sup>），二氧化硫浓度 0.68-62.3mg/Nm<sup>3</sup>（均值 18.29mg/Nm<sup>3</sup>），氮氧化物浓度 0.08-86.25mg/Nm<sup>3</sup>（均值 39.7mg/Nm<sup>3</sup>），氟化物浓度可以控制在 2mg/Nm<sup>3</sup> 以下，沥青烟浓度可以控制在 20 mg/Nm<sup>3</sup>。

## 2.6 我省铝工业现状特点及存在问题

(1) 企业分布区域集中度高、排放量大。

从铝工业污染物排放特点看，铝工业的分布与我省整体工业布局和矿产资源的分布特征关系密切，具有区域集中度高的特点。从地域分布看，氧化铝厂主要分布在郑州和三门峡；电解铝厂主要分布在洛阳、郑州和焦作；铝用炭素厂以郑州地区为主。铝工业属重点行业污染物排放量较高的行业，尤其是在行业集中度较高的郑州、三门峡、焦作和洛阳地区。

(2) 企业基数减少，规模性外迁趋势。

总体来看，随着近年来环保要求提高及环境整治力度加强，我省的铝工业企业基数在减少，规模小、技术装备水平一般、管理较差、环保治理不到位的小企业大幅度减少。且有规模性的产能大的大企业外迁至西部、西南部地区的趋势。



(3)企业装备水平整体较高

氧化铝、电解铝企业及大型铝用炭素企业的主要生产技术、装备水平及污染治理技术达到国内先进水平，小型铝用炭素企业装备水平一般，管理水平较差、污染治理差。。

(4)污染治理措施逐步完善、污染物排放大幅度下降。

随着近年来国家环保要求提高及省内环境整治力度加强，氧化铝企业脱硫脱硝、电解铝脱硫、炭素粉尘及脱硫脱硝等治理措施逐步完善，污染物排放大幅度下降。

## 3 铝工业相关政策及排放标准

### 3.1 相关产业政策及环保要求

#### 3.1.1 产业结构调整政策

国家铝工业产业结构调整政策主要有《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》、《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》（国发〔2013〕41 号）、《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》（发改运行〔2006〕589 号）等，总结来看，鼓励类工艺为高效、节能、低污染、新型冶炼技术等，限制类为电解铝(淘汰落后生产能力置换项目及优化产业布局项目除外)及 10 万吨/年以下的独立铝用炭素项目，淘汰类为铝自焙电解槽及 16 万安培以下预焙槽。其中《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》（国发〔2013〕41 号）要求：“‘十三五’期间，结合产业发展实际和环境承载力，通过提高能源消耗、污染物排放标准，严格执行特别排放限值要求，加大执法处罚力度，加快淘汰一批落后产能……”。

#### 3.1.2 行业规范条件

《铝行业规范条件》（中华人民共和国工业和信息化部公告 2013 年 第 36 号）从布局与规模、产品质量、工艺与装备、能源消耗、资源综合利用、环境保护、安全生产和社会责任等方面提出了铝行业企业应具备的基本条件。

#### 3.1.3 环境污染防治政策

《河南省人民政府关于印发河南省污染防治攻坚战三年行动计划(2018—2020 年)的通知》（豫政〔2018〕30 号）提出：

从严执行国家、省重点耗煤行业准入规定,原则上禁止新建、扩建单纯新增产能的煤炭、煤电、钢铁、电解铝、水泥、玻璃、传统煤化工、焦化等 8 大类产能过剩的传统产业项目;对钢铁、水泥、电解铝、玻璃等行业不再实施省内产能置换;在采暖季,实施钢铁、焦化、铸造、建材、有色、化工行业错峰生产(水泥行业实行“开二停一”),其中,对 2018 年 10 月底前稳定达到超低排放的企业,当年给予错峰生产豁免政策激励;2019 年年底,全省钢铁、铝用炭素、水泥、玻璃、焦化、电解铝力争完成超低排放改造;城市建成区内现有的钢铁、有色金属、造纸、印染、原料药制造、化工等污染较重的企业,应有序搬迁改造或依法关闭。

《河南省污染防治攻坚战领导小组办公室关于印发河南省 2019 年大气污染防治攻坚战实施方案的通知》(豫环攻坚办〔2019〕25 号)提出:

制定《河南省淘汰落后生产工艺产品目录》,将钢铁、电解铝、焦炭、化工、水泥、炭素、铸造、耐材、棕刚玉、铁合金、砖瓦制品等行业落后装置列入省淘汰目录;加快退出低效电解铝产能,开展炭素企业排查,列出 10 万吨/年以下独立铝用炭素企业清单。郑州、洛阳、平顶山、安阳、焦作、三门峡、新乡等省辖市列入清单的企业,2019 年要减少炭素产量 50%。积极推进 10 万吨/年以下的独立铝用炭素企业、2000 吨/日及以下通用水泥熟料生产线以及直径 3 米及以下水泥粉磨装备退出,鼓励各市提前关停相关企业设备。各地深入分析产业现状,科学确定主导产业,大力推动焦化、铸造、炭素、耐材、铁合金、棕刚玉等产业整合,实施传统产业兼并重组、退城入园和优化布局,加快企业规模化、产业集群化和装备大型化。

开展非电行业提标治理:2019 年年底,全省符合条件的电解铝企业完成提标治理,电解槽烟气颗粒物、二氧化硫排放浓度分别不高于 10、35 毫克/立方米;2019 年年底,全省符合条件的炭素(含石墨)企业完成提标治理,煅烧、焙烧工序颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、100 毫克/立方米。生产能力 10 万吨/年以下、列入淘汰范围的独立铝用炭素生产线,可不再实施提标改造。对已有明确转型转产、退城入园、关闭退出规划的企业,可不再实施深度提标治理。对逾期未完成深度治理的钢铁、水泥、炭素、焦化、电解铝、玻璃、耐材企业,研究纳入惩罚性电价政策范围。

《河南省生态环境厅关于印发河南省工业大气污染防治 6 个专项方案的通知》（豫环文[2019]84 号）相关内容如下：

《河南省 2019 年非电行业提标治理方案》提出：

炭素行业（含石墨）2019 年年底前，全省符合条件的炭素（含石墨）企业完成提标治理。生产能力 10 万吨/年以下、列入淘汰范围的独立铝用炭素生产线，可不再实施提标改造。

1. 煅烧、焙烧工序颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、100 毫克/立方米。

2. 所有排气筒颗粒物排放浓度小于 10 毫克/立方米。

3. 所有氨法脱硝、氨法脱硫氨逃逸小于 8 毫克/立方米。

电解铝行业 2019 年年底前，全省符合条件的电解铝企业完成提标治理。

1. 电解铝工业烟气颗粒物、二氧化硫、氟化物排放浓度分别不高于 10、35、2 毫克/立方米。

2. 所有排气筒颗粒物排放浓度小于 10 毫克/立方米。

对已有明确转型转产、退城入园、关闭退出规划的企业，可不再实施深度提标治理。2021 年 1 月 1 日起，所有位于省辖市建成区的钢铁、焦化、水泥、炭素（石墨）、平板玻璃（电子玻璃）企业的所有生产工序，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50 毫克/立方米。

《河南省 2019 年工业炉窑污染治理方案》提出：2019 年 10 月底前，淘汰全省范围内所有炉膛直径 3 米以下燃料类煤气发生炉。有色金属（含氧化锌）行业 2019 年年底前，有色冶炼及压延企业的焙烧炉、冶炼炉、熔炼熔化炉完成提标治理。铜、铝（不含氧化铝）、铅、锌工业烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、50、100 毫克/立方米。所有氨法脱硝、氨法脱硫的氨逃逸浓度小于 8 毫克/立方米。

表 3-1

最新管理要求大气污染物标准限值对比

| 标准名称                                                      |                                              |                      |         | 颗粒物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 二氧化硫<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 氮氧化物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|---------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 《铝工业污染物排放标准》(GB25465-2010)                                |                                              | 2010 年发布版            |         | 20-100                       | 400                           | /                             |
|                                                           |                                              | 2013 年修改单<br>特别排放限值  |         | 10                           | 100                           | 100                           |
| 近期<br>管理<br>要求                                            | 河南省 2019 年大气污染防治攻坚战实施方案<br>(豫环攻坚办〔2019〕25 号) | 电解铝                  |         | 10                           | 35                            | /                             |
|                                                           |                                              | 炭素行业(含石墨)煅烧、焙烧工序     |         | 10                           | 35                            | 100                           |
|                                                           | 河南省 2019 年非电行业提标治理方案                         | 炭素行业(含石墨)            | 煅烧、焙烧工序 | 10                           | 35                            | 100                           |
|                                                           |                                              |                      | 所有工序    | 10                           | /                             | /                             |
|                                                           |                                              | 电解铝                  | 工业烟气    | 10                           | 35                            | /                             |
|                                                           |                                              |                      | 所有工序    | 10                           | /                             | /                             |
|                                                           | 河南省 2019 年工业炉窑污染治理方案                         | 铝工业(不含氧化铝)           |         | 10                           | 50                            | 100                           |
|                                                           |                                              | 石灰制造行业(基准含氧量 10%条件下) |         | 10                           | 50                            | 100                           |
|                                                           |                                              | 省辖市建成区内有色、石灰企业       |         | 10                           | 35                            | 50                            |
| 注：豫环文[2019]84 号：电解铝工业烟气、氟化物排放浓度不高于 2 mg/Nm <sup>3</sup> 。 |                                              |                      |         |                              |                               |                               |

### 3.2 现行排放标准及我省执行情况

现行的《铝工业污染物排放标准》(GB25465-2010)于 2010 年 10 月 1 日实施。该标准分别规定了铝工业企业水污染物和大气污染物排放限值，适用于铝土矿山、氧化铝厂、电解铝厂和铝用炭素生产企业或设施。

从标准限值看，标准对铝工业废水污染物排放指标控制较为严格，且制定有水污染物特别排放限值，能够满足铝工业水污染物排放的控制要求。在大气污染物控制方面，标准针对矿山、氧化铝厂、电解铝厂、铝用炭素厂等铝工业企业类型分别制定了颗粒物、二氧化硫、氟化物、沥青烟等的标准限值，但未对氮氧化物提出排放限值要求。

为了进一步严格控制需采取特别保护措施地区的铝工业污染物排放行为，2013 年 12 月，环保部发布《铝工业污染物排放标准》(GB25465-2010)修改单，通过增

加大气污染物特别排放限值，在国土开发密度较高、环境承载能力开始减弱，或大气环境容量较小、生态环境脆弱，容易发生严重大气环境污染问题而需要采取特别保护措施的地区执行大气污染物特别排放限值。大气污染物特别排放限值提高了对颗粒物、二氧化硫的排放限值要求（ $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），同时增加了氮氧化物排放限值（ $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）。

2013年2月27日，环保部发布《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），我省未被列入《重点区域大气污染防治“十二五”规划》重点控制区，不执行特别排放限值，仍按照《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010）标准限值（颗粒物 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ - $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 之间、二氧化硫主要为 $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）。

《关于促进中原经济区产业与环境保护协调发展的指导意见》（环发[2015]136号）对中原经济区内的有色等行业实行行业大气污染物特别排放限值，在中原城市群、北部城市密集区等地区实行区域大气污染物特别排放限值，严格控制工业废气重金属排放。

2018年1月15日，根据环保部《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》（公告2018年第9号），河南省列入传输通道的郑州、开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳市等地市，有色（不含氧化铝）行业自2018年10月1日起执行二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物特别排放限值。国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知（国发〔2018〕22号），在上述城市基础上将我省位于汾渭平原的洛阳、三门峡市增加列入重点区域，要求重点区域二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物（VOCs）全面执行大气污染物特别排放限值。

经咨询，目前国家层面尚未制定现行铝工业污染物排放标准的修订计划，但已将《铝工业污染物排放标准（GB 25465-2010）实施评估》列入2019年度国家环境保护标准计划项目，据了解目前已确定实施评估的承担单位，已开展前期工作。

对比来看，《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010）的2013年修改单中的特别排放限值与国家其他有色金属冶炼行业特排限值水平基本相同，但大气污染物一般排放限值相对较为宽松，主要表现在以下几个方面：一是，标准制定时未考虑脱硫，二氧化硫排放标准限值（ $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）高，无法起到约束污染排放的作用；二

是，近年我省二氧化氮（氮氧化物）污染水平呈现上升趋势，同时氮氧化物为大气污染物总量控制的四项因子之一，但现行铝工业标准未对氮氧化物排放进行限值要求；三是，破碎、筛分，熟料烧成，氢氧化铝焙烧等环节颗粒物标准限值较高（50-100mg/Nm<sup>3</sup>），其对应的污染控制水平仍停留在较低层次，标准引导提升行业污染物控制水平的作用有限；四是，横向比较来看，国家近年来发布的有《烧碱、聚氯乙烯工业污染物排放标准》（GB15581-2016）、《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》（GB 31574-2015）等，我省发布的有《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》（DB41/1066-2015）、《河南省铅冶炼工业污染物排放标准》（DB41/684-2011），上述标准大气污染物排放限值均严于现行铝工业污染物排放标准。

表 3-2 部分行业大气污染物标准限值对比

| 标准名称                                |                 | 颗粒物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 二氧化硫<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 氮氧化物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）         | 新建锅炉            | 20（燃气）<br>50（燃煤）             | 50（燃气）<br>300（燃煤）             | 200（燃气）<br>300（燃煤）            |
|                                     | 特别排放限值          | 20（燃气）<br>30（燃煤）             | 50（燃气）<br>200（燃煤）             | 150（燃气）<br>200（燃煤）            |
| 《烧碱、聚氯乙烯工业污染物排放标准》（GB15581-2016）    | 排放限值            | 30-80                        | 100                           | 200                           |
|                                     | 特别排放限值          | 20-60                        | 50                            | 120                           |
| 《石油化学工业污染物排放标准》（GB31571-2015）       | 排放限值            | 20                           | 100                           | 150-180                       |
|                                     | 特别排放限值          | 20                           | 50                            | 100                           |
| 《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》（GB 31574-2015） | 排放限值            | 30                           | 150                           | 200                           |
|                                     | 特别排放限值          | 10                           | 100                           | 100                           |
| 《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB30770-2014）      | 排放限值            | 30-50                        | 400                           | 200                           |
|                                     | 特别排放限值          | 10                           | 100                           | 100                           |
| 《镁、钛工业污染物排放标准》（GB 25468-2010）       | 排放限值            | 50-150                       | 400                           | /                             |
|                                     | 2013 年修改单特别排放限值 | 10                           | 100                           | 100                           |
| 《水泥工业大气污染物排放标准》                     | 排放限值            | 20-30                        | 200、600（独立热源烘干）               | 400                           |

| 标准名称                                                                         |                     | 颗粒物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 二氧化硫<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 氮氧化物<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| (GB4915-2013)                                                                | 特别排放限值              | 10-20                        | 100、400（独立热源烘干）               | 300、320（独立热源烘干）               |
| 《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》<br>(GB28662-2012)                                       | 新建企业                | 50                           | 200                           | 300                           |
|                                                                              | 特别排放限值              | 40                           | 180                           | 300                           |
| 《炼焦化学工业污染物排放标准》<br>(GB16171-2012)                                            | 新建企业                | 30-80                        | 50、100                        | 200、500                       |
|                                                                              | 特别排放限值              | 15-50                        | 30-80                         | 150                           |
| 《陶瓷工业污染物排放标准》(GB 25464-2010) 2014 修改单                                        |                     | 30                           | 50                            | 180                           |
| 河南省《工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB 41/1066-2015)                                      |                     | 30                           | 200                           | 400                           |
| 河南《铅冶炼工业污染物排放标准》<br>(DB41/684-2011)                                          |                     | 30                           | 250                           | /                             |
| 团体标准《炭素工业大气污染物排放标准》<br>(T/ZGTS001-2019)<br>2019 年 2 月 1 日发布 2019 年 7 月 1 日实施 |                     | 20                           | 100、200                       | 100-200                       |
| 《铝工业污染物排放标准》<br>(GB25465-2010)                                               | 2010 年发布版           | 20-100                       | 400                           | /                             |
|                                                                              | 2013 年修改单<br>特别排放限值 | 10                           | 100                           | 100                           |

### 3.3 其他省份地方标准制定情况

其他省份发布的相关标准包括：《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》(DB12/556-2015)、《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》(DB61/941-2018)、《山东省区域性大气污染物综合排放标准》(DB37/2376-2019)，上述标准均对铝工业（铝冶炼）颗粒物、二氧化硫及氮氧化物的排放提出了限值要求。从各地制定的排放标准限值看：天津、陕西关中地区对铝工业提出的大气污染物排放限值与国家铝工业排放标准的特别排放限值基本一致（其中 DB12/556-2015 中要求电解铝烟气二氧化硫限值为 50mg/Nm<sup>3</sup>，严于特排），但铝工业不是上述两地区的传统优势产业，其铝工业发展基础弱、企业规模小，而环境质量要求高。与我省同为铝工业大省的山东对排放大气污染物的现有和新建企业提出分区控制要求，一般控制区（人口密度低、环境容量相对较大、生态环境敏感度相对较低的区域）

颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别为  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，重点控制区（人口密度大、环境容量较小、生态环境敏感度较高的区域）颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，核心控制区（生态环境敏感度高的区域）颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别为  $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，对其一般控制区的炭素行业煅烧炉提出从严控制要求，其颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值分别为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $150\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

## 4 标准制定的总体思路

### 4.1 指导思想

紧紧围绕“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局，牢固树立和贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，与我省经济社会发展和环境管理需求相适应，与国家标准相协调，以污染减排、改善环境空气质量为目标，科学制定我省铝工业污染物排放标准，从严控制大气污染物排放，推动我省铝工业工艺装备及污染治理技术的研发、应用和推广，努力缓解我省美丽河南和生态文明建设所面临的环境空气质量改善压力，为实施污染防治行动计划提供科技标准支撑，为减少大气污染物排放、改善环境空气质量发挥积极作用。

### 4.2 基本原则

**(1)统筹协调、科学制定。**与我省经济社会发展水平相协调，与我省大气环境质量改善的需求相适应，充分发挥标准的引领带动作用，促进污染物的持续削减和大气环境质量的不断改善。合理界定标准适用范围，与国家铝工业标准相协调，避免标准的交叉执行。

**(2)全面覆盖、突出重点。**充分考虑铝工业氧化铝、电解铝及铝用炭素生产各产污环节的污染排放控制，重点抓住影响大气环境改善的主要因素，结合产能和分布情况，重点提升铝用炭素行业标准要求。

**(3)适度约束、引导发展。**标准制定要宽严有度，所确定的排放限值既要考虑目前的控制水平，也要考虑生产和污染控制技术的进步和提高，同时也要考虑企业的



经济承受力，尽可能做到管理严格、技术先进、经济合理，保证标准的可实施可执行。

**(4)充分调查、多方参与。**坚持调查研究，实事求是。标准制定中，采取多种方式，听取政府、行业、企业、专家、公众、环境管理部门等意见，兼顾各方利益和诉求，以保证标准的科学性、针对性、可操作性。

### 4.3 制定依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（自 2015 年 1 月 1 日起施行）；
- (2) 《中华人民共和国大气污染防治法》（自 2016 年 1 月 1 日起施行）；
- (3) 《中华人民共和国水污染防治法》（自 2018 年 1 月 1 日起施行）；
- (4) 《国家环保标准制修订工作管理办法》（国环规科技[2017]1 号）；
- (5) 《关于加强地方环保标准工作的指导意见》（环发[2014]49 号）；
- (6) 《地方环境质量和污染物排放标准备案管理办法》（环境保护部令 第 9 号）；
- (7) 《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）；
- (8) 《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）；
- (9) 《关于促进中原经济区产业与环境保护协调发展的指导意见》（环发[2015]136 号）；
- (10) 《河南省减少污染物排放条例》（自 2014 年 1 月 1 日起施行）；
- (11) 《河南省蓝天工程行动计划》（豫政[2014]32 号）；
- (12) 《河南省碧水工程行动计划》（豫政[2015]86 号）；
- (13) 《河南省污染防治攻坚战三年行动计划（2018-2020）》（豫政[2018]30 号）；
- (14) 《河南省 2019 年大气污染防治攻坚战实施方案》；
- (15) 《河南省生态环境厅关于印发河南省工业大气污染防治 6 个专项方案的通知》（豫环文[2019]84 号）。

### 4.4 技术路线

- (1)工作内容、思路及重点

本标准制定工作内容主要包括：我省铝工业现状调查、省内外铝工业技术装备

及污染治理状况调查、相关标准的调查、污染控制项目及标准限值的研究、标准实施的技术路线及环境、经济影响研究。

对比省内外铝工业企业，我省规模较大的铝工业企业的技术装备及污染治理设施建设水平也是处于较领先的水平，同时我省铝工业产能也集中在规模较大的铝工业企业，因此，本标准将参照我省较好的铝工业企业目前的水平来制定，具有较强的技术经济可行性。

本标准制定工作重点确定为污染控制项目及标准限值的研究。目前，我省铝工业企业执行国家《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010），执行过程中存在的主要问题是个别控制因子缺失和部分控制因子标准限值宽松，本标准的制定也拟重点解决这两方面的问题。

## (2)工作程序

标准制定工作总体分为前期调研和标准制定两个阶段。本标准制定工作程序见图 4-1。

前期调研阶段：通过现有资料的整理分析和对有关情况的初步调研，研究确定标准制定的必要性与可行性，进一步调查分析我省铝工业现状，总结我省铝工业的区域分布及污染物排放特征，确定标准制定的技术路线和工作方法。

标准研究制定阶段：以标准控制对象、因子的确定，大气污染物排放标准限值的确定为重点，对标准框架、控制因子、限值、标准实施的技术经济可行性及环境效益等标准主要技术内容进行深入研究，确定标准征求意见稿，面向社会公开征求意见，并召开论证会，形成标准送审稿，经审定后，最终形成标准报批稿。

## (3)数据来源

本标准制定的基准年为 2018 年，数据来源于环境统计、统计年鉴、污染源在线监测数据、企业自行监测数据、本次实测数据和其他相关调查整理数据等。其中污染源在线监测数据为 2018 年 5 月-2019 年 5 月的时均排放数据（剔除其中非正常生产数据）进行统计分析，取值范围为：第 10 百分位数作为低值，第 90 百分位数作为高值，并统计年度平均值。

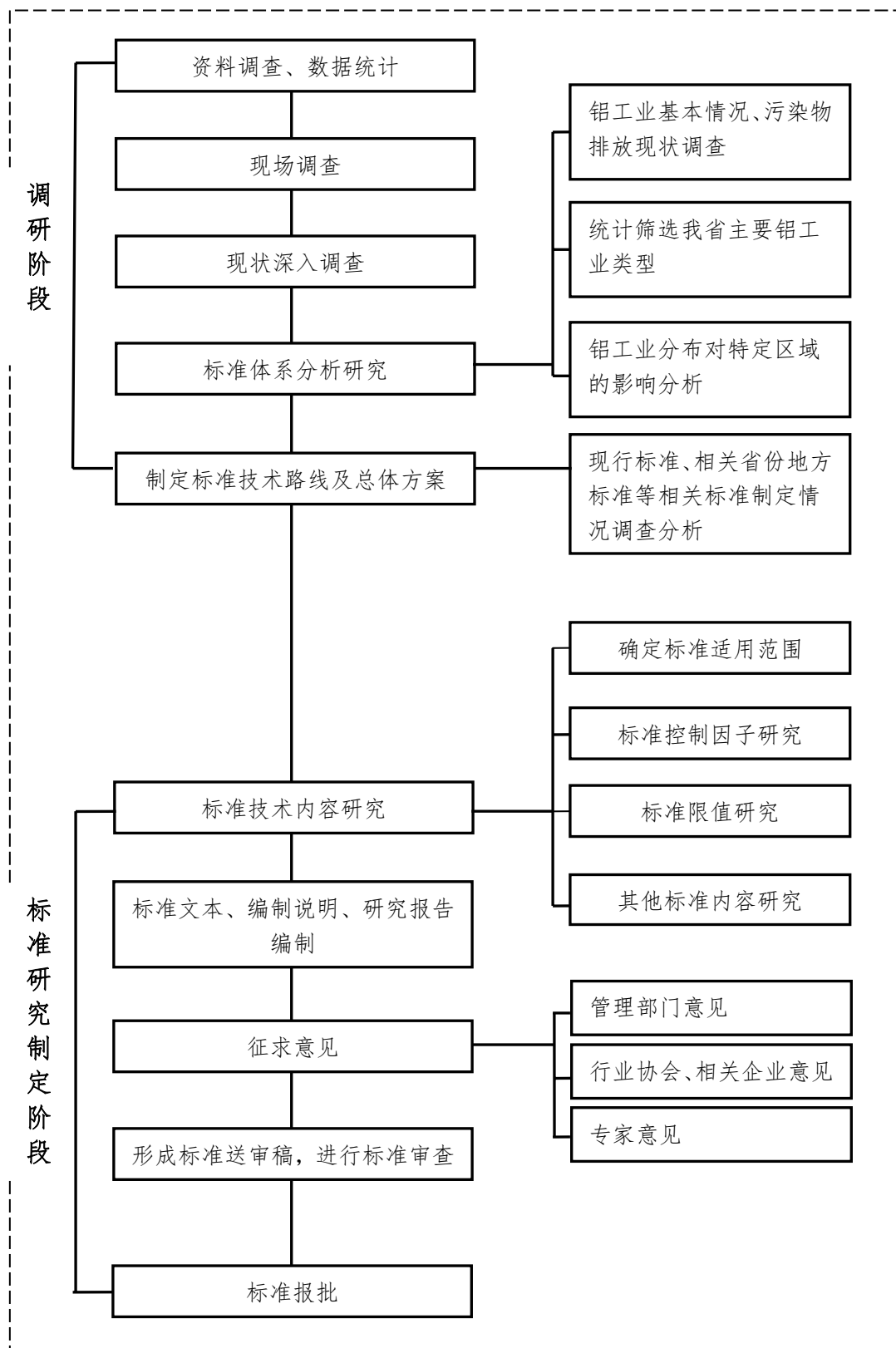


图4-1 标准制定总体技术路线

## 5 主要技术内容

本标准强制性标准，内容包括：前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物排放控制要求（大气、水）、污染物监测要求（大气、水）、实施与监督，共7部分。

### 5.1 前言

前言中给出了本标准制定的目的、标准提出单位、起草单位、起草人、标准批准部门及批准时间、标准实施时间及标准的解释单位等，与国家标准基本相同。

“环境影响评价文件或排污许可证要求严于本标准时，按照批复的环境影响评价文件或排污许可证执行。”该内容参考国家近期发布污染物排放标准中的规定，本标准原文引用。

### 5.2 适用范围

地方环境保护标准是我国环保标准体系的重要组成部分，是为解决地方环境问题而提出的，是对国家标准的有益补充。本标准的制定，要做到与国家、地方标准相协调，避免交叉、互补。因此，本标准的适用范围与国家标准一致，适用于铝工业企业的水污染物和大气污染物排放管理，以及新建、改建、扩建项目的环境影响评价、设计、竣工验收及其建成后的水、大气污染物排放管理。本标准不适用于再生铝和铝材压延加工企业（或生产系统）；也不适用于附属于铝工业企业的非特征生产工艺和装置。

这里的铝工业企业，指铝土矿山、氧化铝、电解铝和铝用炭素生产企业或生产设施。其中各类铝工业企业厂内生产系统及设备污染排放执行本标准，见表5-1。

表5-1 铝工业企业厂内生产系统及设备情况

| 铝工业企业类型 | 生产系统及设备  |
|---------|----------|
| 矿山      | 破碎、筛分、转运 |
| 氧化铝企业   | 熟料烧成窑    |
|         | 氢氧化铝焙烧炉  |
|         | 石灰炉（窑）   |
|         | 原料加工、运输  |
|         | 氧化铝贮运    |
|         | 其他       |

| 铝工业企业类型 | 生产系统及设备   |
|---------|-----------|
| 电解铝企业   | 电解槽烟气净化   |
|         | 氧化铝、氟化盐贮运 |
|         | 电解质破碎     |
|         | 其他        |
| 炭素企业    | 阳极焙烧炉     |
|         | 阴极焙烧炉     |
|         | 石油焦煅烧炉（窑） |
|         | 沥青熔化      |
|         | 生阳极制造     |
|         | 阳极组装及残极破碎 |
|         | 其他        |

其他炭素生产企业、煅后焦生产企业生产工艺、污染排放情况与铝用炭素基本相同，为避免行业间的不公平竞争、减少我省炭素行业污染排放、解决炭素行业没有行业标准可依等问题，可参照执行本标准。

氧化铝厂配备的蒸汽锅炉按火电厂锅炉排放标准、锅炉污染物排放标准及相应的地方要求进行控制，不纳入本标准管控。

### 5.3 规范性引用文件

本标准规范性引用文件共有63项，包括环境空气污染物监测方法标准、国家环境保护总局令第28号《污染源自动监控管理办法》、国家环境保护总局令第39号《环境监测管理办法》。

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改清单）适用于本标准。

这些文件经过标准条文的引用后，成为标准应用时必不可少的文件。

### 5.4 术语和定义

为方便标准的理解和使用，本标准在制定时对相关的术语进行了统一的定义，具体规定了11个术语和定义，包括铝工业企业、现有企业、新建企业、排水量、单位产品基准排水量、排气筒高度、标准状态、企业边界、公共污水处理系统、直接排放、间接排放。其中对现有企业和新建企业，按照本标准实施时间给出了明确的时间节点划分，其它基本原文引用《铝工业污染物排放标准》(GB 25465-2010) 的术语和定义表述，不再过多说明。

## 5.5 污染物排放控制要求

此部分为本标准的核心内容，分为水污染物控制要求和大气污染物控制要求，包括标准实施时间、污染物项目、排放浓度限值、单位产品基准排放量等内容。

### 5.5.1 标准实施时间

我省铝工业企业较多，要达到本标准的要求需要有改造提高的过程和时间，因此，本标准对现有和新建铝工业企业执行标准时段进行划分。从近年国家外省同类标准制定情况来看，给现有排污单位留出的过渡期都不长，一般在一年~二年。我省之前制定地方标准通常给现有企业留有一年过渡期，一年后与新建企业执行相同标准。

考虑到铝工业企业资金筹措、治理工程设计、建设、调试等情况，并与我省地方标准相衔接，确定自本标准批准之日起一年后现有企业排放执行本标准。

### 5.5.2 水污染物排放控制要求

本标准确定水污染物项目 12 项，包括 pH 值、SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、氟化物、石油类、总氰化物、硫化物、挥发酚及单位产品基准排水量，并相应确定了排放浓度限值，直接排放控制水平与《铝工业污染物排放标准》（GB 25465-2010）中特别排放限值水平相当，间接排放限值中铝工业特征污染物氟化物、石油类、总氰化物、硫化物和挥发酚加严到特别排放限值水平。

本标准污染物控制项目确定详见“6 污染物控制项目确定”。本标准限值的确定及达标路线详见“7 标准限值确定”。

### 5.5.3 大气污染物排放控制要求

标准确定大气污染物项目 7 项，包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟、苯并芘、氨，并相应确定了排放浓度限值，控制水平总体严于《铝工业污染物排放标准》（GB 25465-2010）。

本标准污染物控制项目确定详见“6 污染物控制项目确定”。本标准限值的确定及达标路线详见“7 标准限值确定”。

对于现有和新建企业边界大气污染物，设置了颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、苯并芘等 5 项控制项目，这些控制项目并非所有铝工业企业的特征污染因

子。为了便于标准使用，本标准较国家标准增加了适用范围，明确了矿山、氧化铝厂、电解铝厂及铝用炭素厂各自需要监测控制的项目，详见表 5-2。

表 5-2 各类氧化铝企业边界大气污染物控制项目

| 企业类型 | 企业边界大气污染物控制项目         |
|------|-----------------------|
| 矿山   | 颗粒物                   |
| 氧化铝厂 | 颗粒物、二氧化硫、氮氧化物         |
| 电解铝厂 | 颗粒物、二氧化硫、氟化物          |
| 炭素厂  | 颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、苯并芘、氟化物 |

### 5.6 污染物监测要求

此部分规定了企业对排污状况进行监测并保存原始监测记录、污染物排放自动监控、排放口规范化、污染物采样位置、污染物监测采样方法、测定方法等要求。

本章条款规定均参考国家近期发布标准内容给出，不再过多说明。

### 5.7 实施与监督

在标准“实施与监督”中分别规定了本标准实施与监督的主管部门，企业应遵守本标准的控制要求，以及环保部门监督检查、判定排污行为、实施环境管理等内容。

本标准中包括的污染物控制项目，国家或地方标准严于本标准时执行国家或地方标准。本标准中未包括的污染物控制项目执行国家或地方相关标准规定。

本章规定的其他内容是国家污染物排放标准中的通用规定，本标准基本是原文引用，不再过多说明。

## 6 污染物控制项目确定

### 6.1 污染物控制项目确定原则

本标准污染控制因子按照以下原则筛选：(1)铝工业特征污染因子；(2)环境质量标准控制因子；(3)主要污染物总量控制因子；(4)与现行国家标准相协调；(5)参考外省相关标准；(6)可量化、可监测。

铝工业具有大气污染物排放量大、生产废水循环利用不外排的特点，是典型的以大气污染物排放为主的行业，因此，在本标准制定中重点研究确定铝工业大气污

染物控制项目。

## 6.2 大气污染物控制项目筛选

### 6.2.1 铝工业主要大气污染源及污染物

从全省铝工业大气污染物排放情况看，我省铝工业具有大气污染物排放量大，区域分布集中，大气污染物排放量占所在地区比重高的特点，因此本标准重点控制大气污染物，从矿山、氧化铝、电解铝和铝用炭素四个生产过程的主要污染物的产生情况，进行筛选控制。

**矿山：**矿山排放大气污染物主要为颗粒物。采矿过程中的大气污染源以面源形式无组织排放的矿石粉尘，难以用标准进行定量控制。选矿厂主要污染物是矿石贮运、破碎、筛分等过程中产生的矿石粉尘。

**氧化铝厂：**氧化铝厂排放大气污染物主要为颗粒物、二氧化硫及氮氧化物。氧化铝厂根据生产工艺的不同可分为烧结法、拜耳法和联合法，烧结法和联合法氧化铝企业主要污染源是氢氧化铝焙烧炉和烧结法的熟料烧成窑、石灰煅烧炉产生的废气；拜耳法氧化铝企业主要污染源是氢氧化铝焙烧炉、石灰煅烧炉产生的废气。但不论是哪种生产工艺，氧化铝厂各窑炉废气中主要污染物均为颗粒物、二氧化硫及氮氧化物。同时，氧化铝企业在物料贮运、破碎、下料及产品贮运等过程中会产生颗粒物。上述污染源及污染物均需在本标准中进行控制。

**电解铝厂：**电解铝厂排放大气污染物主要为氟化物、颗粒物、二氧化硫等。电解铝厂主要大气污染源为电解槽烟气及其通风除尘系统。电解槽烟气主要污染物是二氧化硫、颗粒物和氟化物。电解铝厂的氧化铝一般采用浓相输送，颗粒物产生主要来自氧化铝及氟化盐贮运，电解质破碎、残极压脱等工序。因此上述污染因子均作为电解铝厂控制项目。

**铝用炭素厂：**铝用炭素厂排放大气污染物主要为颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、沥青烟（含苯并芘）和氟化物。铝用炭素厂主要污染源包括石油焦煅烧炉废气（若以煅后焦为原料无此项污染源）、混捏成型废气、生坯焙烧炉废气、沥青熔化保温废气以及物料转运、输送、破碎、筛分等工段含尘废气等。石油焦煅烧炉（窑）烟气中的主要污染是颗粒物、二氧化硫、氮氧化物；阳极焙烧炉烟气中的主要污染是颗



颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、沥青烟（含苯并芘）、氟化物（若不采用残阳极为原料，不产生氟化物）。炭素厂颗粒物产生源多、污染也较重，而且沥青熔化和生阳极制造中的配料、混捏、振动成型、焙烧等过程中还产生沥青烟气（含苯并芘）。

另外，对于炉窑烟气采用氨法脱硝工艺的会产生逃逸氨，逃逸氨浓度也在本标准中进行控制。铝工业企业主要污染源及主要污染物见图 6-1。

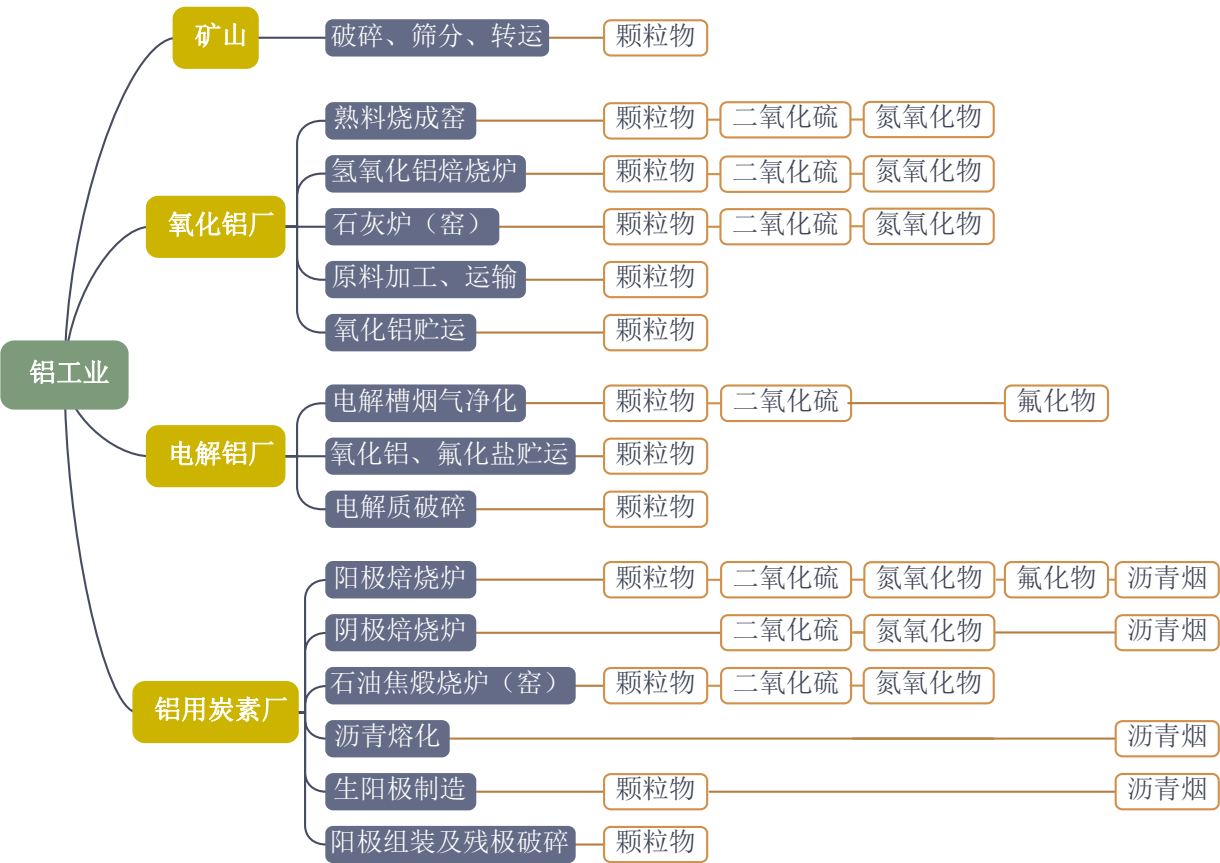


图 6-1 铝工业企业主要污染源及主要污染物示意图

综上所述，铝工业主要大气污染因子包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟和氨。

6.2.2 相关排放标准控制项目情况

(1) 国家铝工业污染物排放标准控制项目

2010年9月27日环境保护部和国家质量监督检验检疫总局联合发布了《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010），并于2010年10月1日实施。该标准分别对矿山、氧化铝厂、电解铝厂和铝用炭素厂各污染工段进行了控制，其中：

矿山主要对破碎、筛分、转运工段的颗粒物进行了控制；

氧化铝厂主要对熟料烧成窑（少量）、氢氧化铝焙烧窑、石灰窑（炉）的颗粒物和二氧化硫进行了控制，对原料加工运输、氧化铝贮运工段的颗粒物进行了控制；

电解铝厂主要对电解槽烟气净化工段的颗粒物、二氧化硫和氟化物（以F计）进行了控制，对氧化铝、氟化盐储运、电解质破碎工段的颗粒物进行了控制；

铝用炭素厂主要对阳极焙烧炉的颗粒物、二氧化硫、氟化物（以F计）和沥青烟进行了控制，对阴极焙烧炉的二氧化硫和沥青烟进行了控制，对石油焦煅烧炉的二氧化硫和颗粒物进行了控制，对沥青融化工段的沥青烟进行了控制，对生阳极制造工段的沥青烟和颗粒物进行了控制，对阳极组装及残极破碎工段的颗粒物进行了控制。

2013年12月27日环保部发布了《铝工业污染物排放标准》（GB 25465-2010）修改单，增加了大气污染物特别排放限值，其中氮氧化物排放也做为了控制指标。

### **（2）我省工业炉窑污染物排放标准控制项目**

2015年10月8日河南省环境保护厅和河南省质量技术监督局联合发布了《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》（DB 41/1066-2015），并于2016年1月1日实施，（目前正在修订中）。该标准主要对工业炉窑废气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、铅及其化合物、汞及其化合物、铍及其化合物、砷及其化合物、镉及其化合物、氯化氢、沥青烟及烟气黑度进行了控制。

### **（3）外省相关标准污染物排放标准控制项目**

外省发布的相关标准包括：《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》（DB12/556-2015）、《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》（DB61/941-2018）、《山东省区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019），上述标准均仅对颗粒物、二氧化硫及氮氧化物的排放提出了限值要求，对沥青烟、氟化物等特征因子未作出控制要求。

## **6.2.3 国家环境质量标准控制项目和主要污染物总量控制因子**

《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的控制项目有10项，包括二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、颗粒物（PM<sub>10</sub>）、颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）、臭氧、总悬浮颗粒物、氮氧化物、铅、苯并芘。

国家《“十三五”生态环境保护规划》中提出主要污染物排放总量控制指标包括二氧化硫、氮氧化物、化学需氧量和氨氮，均为约束性指标。

#### 6.2.4 相关因子监测能力

上述涉及的因子，均有成熟的国家监测方法标准，具有较成熟的监测技术，可保证标准可实施和可操作。

#### 6.2.5 大气污染物控制项目筛选确定

从铝工业的排放特点来看，铝工业排放主要大气污染物包括颗粒物、二氧化硫、氟化物、沥青烟及氮氧化物。

从相关铝工业排放标准来看，颗粒物、二氧化硫、氟化物、沥青烟四项均为国家《铝工业污染物排放标准》（GB 25465-2010）中的大气污染物控制项目，外省的铝工业控制标准中将颗粒物、二氧化硫及氮氧化物列为控制项目。我省《工业炉窑大气污染物排放标准》中将颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟列为控制项目。

从主要污染物排放总量控制指标来看，大气污染物控制指标涉及二氧化硫、氮氧化物。

从《环境空气质量标准》来看，与铝工业排放相关的控制项目包括二氧化硫、二氧化氮、颗粒物、氮氧化物、苯并芘。

在充分考虑铝工业大气污染物排放特点基础上，综合考虑与现行国家标准相协调，纳入“十三五”主要污染物总量控制指标，并参考外省相关标准，初步筛选本标准控制项目包括颗粒物、二氧化硫、氟化物、沥青烟（含苯并芘）及氮氧化物，同时针对采取氨法脱硝工艺的企业增加逃逸氨浓度的控制。这几项控制因子，目前国家均已发布监测方法标准，具有可量化、可监测性。

因此，本标准最终确定大气污染物控制项目包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟、苯并芘、氨。国家及其他省市铝行业相关标准大气污染物控制因子筛选见表6-1。

表 6-1

国家及其他省市铝行业相关标准大气污染物控制因子筛选一览表

| 序号 | 本标准控制因子 | 国家铝工业标准<br>(GB25465-2010) | 相关标准           |                   |                  |                      | 环境空气质量标准(GB3095-2012) | 主要污染物总量控制因子 | 可监测性 |
|----|---------|---------------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------|------|
|    |         |                           | 河南省工业炉窑污染物排放标准 | 山东省区域性大气污染物综合排放标准 | 天津市工业炉窑大气污染物排放标准 | 陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值 |                       |             |      |
| 1  | 颗粒物     | 烟粉尘（颗粒物）                  | 颗粒物            | 颗粒物               | 颗粒物              | 颗粒物                  | 颗粒物                   | —           | 强    |
| 2  | 二氧化硫    | 二氧化硫                      | 二氧化硫           | 二氧化硫              | 二氧化硫             | 二氧化硫                 | 二氧化硫                  | 二氧化硫        | 强    |
| 3  | 氮氧化物    | —                         | 氮氧化物           | 氮氧化物              | 氮氧化物             | 氮氧化物                 | 氮氧化物                  | 氮氧化物        | 强    |
| 4  | 氟化物     | 氟及其化合物                    | 氟及其化合物         | —                 | —                | —                    | —                     | —           | 强    |
| 5  | 沥青烟     | 沥青烟                       | 沥青烟            | —                 | —                | —                    | —                     | —           | 较强   |
| 6  | 苯并芘     | 苯并芘                       | —              | —                 | —                | —                    | 苯并芘                   | —           | 弱    |
| 7  | 氨       | -                         | -              | -                 | -                | --                   | -                     | -           | 强    |

## 6.3 水污染物控制项目确定

从全省铝工业水污染物排放情况看，电解铝及炭素生产均为干法过程，不允许水进入物料系统，氧化铝厂湿法过程碱性物流可能造成生产废水 pH 升高外，生产排水中没有其他特征污染物，铝工业生产过程中，除少量循环冷却水等清下水和生活污水需处理达标排放外，其他生产废水均可做到循环使用，只补不排。结合铝工业企业生产排水量相对较小，而厂区生活污水所占排水的比例较大的情况，生活污水所含污染物是铝工业企业排水的主要污染物。同时，考虑到与国家标准的协调适应性，本标准水污染物控制因子与国家标准控制因子一致，包括 PH 值、COD<sub>Cr</sub>、悬浮物、氟化物、氨氮、总氮、总磷、石油类、总氰化物、硫化物、挥发酚等。

## 7 标准限值的确定

### 7.1 标准限值确定原则

本标准限值确定遵循以下原则：(1)密切结合我省铝工业特点,与铝工业发展技术、经济水平相一致;(2)着力解决我省当前突出大气环境问题和炭素企业的“小乱污”问题,环境与经济协调发展；(3)与国家铝工业标准等相关标准相协调。

### 7.2 大气污染物排放限值确定

#### 7.2.1 氧化铝

##### (1)熟料烧成窑

**污染治理技术：**熟料烧成窑的窑内温度 1350℃，尾气经余热回收后温度降至 220℃-250℃，一般采用旋风+静电除尘。烧成煤含硫量是决定熟料烧成窑烟气二氧化硫浓度的主要因素。由于熟料呈碱性，相当于燃烧烟气的脱硫剂，所以烟气中二氧化硫可以得到一定程度的净化，排放烟气中二氧化硫浓度较低。若烧成煤含硫量较高，烟气中的二氧化硫浓度也会相应增加。

本次调查情况来看，目前我省仅有 1 家企业保留有熟料烧成窑，其烟气中主要污染物为烟尘、二氧化硫、氮氧化物，经旋风+五电场静电除尘器净化后直接排放，未采取脱硫、脱硝措施。

**颗粒物：**根据收集到的我省氧化铝厂仅有的 4 台熟料烧成窑的在线数据，结果显示，熟料窑烟气颗粒物小时排放浓度 0.55-37.77mg/Nm<sup>3</sup>，平均 13.9mg/Nm<sup>3</sup>，

其中 2 条除尘改造已正常运营的浓度均控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，2 条初步改造完成试运营的颗粒物浓度控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下的 60.9%。GB25465-2010 制定时调查国内熟料烧成窑烟气烟尘排放浓度  $60\text{--}604\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，其中浓度控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  内的 38%。与国家《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010）制定时相比，我省熟料烧成窑烟气治理管理水平大大提高。依据其目前的平均排放水平，**本标准确定氧化铝厂熟料烧成窑烟气颗粒物排放浓度限值为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**二氧化硫：**目前我省氧化铝厂熟料烧成窑烟气二氧化硫小时排放浓度  $0.94\text{--}175.08\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均  $80.78\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，其中浓度控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下的 76.5%。GB25465-2010 制定时调查国内熟料烧成窑烟气二氧化硫排放浓度一般情况下不超过  $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。我省熟料烧成窑烟气二氧化硫排放浓度远低于国家《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010）制定时的企业排放水平。**本标准确定氧化铝厂熟料烧成窑烟气二氧化硫排放浓度限值为  $100\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**氮氧化物：**目前我省氧化铝厂熟料烧成窑烟气氮氧化物小时排放浓度  $0.24\text{--}274.4\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均  $96.76\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，其中浓度控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下的 72.8%。GB25465-2010 制定时没有考虑氮氧化物的控制，2013 年修改单中特别排放限值氮氧化物控制浓度为  $100\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。目前国内氧化铝熟料窑烟气脱硝尚没有成熟技术，各企业提标改造正在探索熟料烧成窑烟气脱硝设施，或通过调整燃料结构，煤改气，可以降低氮氧化物排放水平。依据其目前的平均排放水平，**本标准确定氧化铝厂熟料烧成窑烟气氮氧化物排放浓度限值为  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

## (2)石灰炉（窑）

**污染治理技术：**石灰炉（窑）烟气具有烟气中粉尘浓度波动范围大、烟气含湿量高、露点温度较高、烟气温度波动范围大、烟气中含有少量二氧化硫等特点，目前采用的除尘设施基本上为旋风+袋式除尘器。

因氧化钙本身就是脱硫剂，利用无烟煤烧制石灰过程中，烟气中二氧化硫可以得到较好的净化，排放烟气中二氧化硫浓度较低，没有采用烟气脱硫措施。

石灰窑烟气温度受石灰产品纯度要求，当产品氧化钙纯度要求达到 90 度时，窑内温度需达到 1250 度，伴随配入空气量的增加，烟气中氮氧化物浓度会迅速增加，同时由于烟气中含有氧化钙、碱度高，不适宜采取炉内喷入氨水或尿素的 SNCR 脱硝法，采用 SCR 炉外脱硝，烟气温度过高、且碱性气体易造成催化剂

钝化，目前我省氧化铝厂石灰窑未建设脱硝措施。

**颗粒物：**收集到省内氧化铝厂石灰炉（窑）排放数据，结果显示，其颗粒物排放浓度基本在  $2.1-13.8\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均排放浓度在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。优化袋式除尘器的设计指标（增大过滤面积，降低过滤风速等），还能取得更好的防治效果。结合当前的粉尘治理技术水平及环保政策要求，**标准确定氧化铝厂石灰炉（窑）烟气颗粒物排放浓度限值为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**二氧化硫：**调查省氧化铝厂石灰窑在线数据显示，其二氧化硫排放浓度  $4.5-40.3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均浓度  $21.2\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，可长期稳定达到  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，因此，**本标准确定氧化铝厂石灰炉（窑）烟气二氧化硫排放浓度限值为  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**氮氧化物：**调查收集到省内氧化铝厂石灰炉（窑）排放数据，结果显示，其氮氧化物排放浓度  $165.8-300\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，均在  $300\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。建设脱硝设施，可以降低氮氧化物排放水平。参考山东省铝工业污染物排放标准及近年国家大气污染物排放标准对氮氧化物的控制水平，**本标准确定氧化铝厂石灰炉（窑）烟气氮氧化物排放浓度限值为  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，达到 GB25465-2010 特别排放限值水平。**

### **(3)氧化铝厂焙烧炉**

**污染治理技术：**焙烧烟气中氧化铝粉尘浓度高、粒径小，烟气中含湿量大、温度高，易造成布袋除尘器的糊袋，影响除尘器的正常使用，目前各氧化铝厂均采用静电除尘器除尘。

氧化铝厂焙烧炉二氧化硫排放浓度取决于燃料硫含量，目前我省焙烧气源有天然气和自制煤气两种。天然气属清洁能源，硫含量很低，使用天然气的焙烧烟气二氧化硫排放浓度一般在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。由于天然气成本较高，省内氧化铝企业使用自制煤气发生炉煤气的占较大比重。煤气烟气二氧化硫排放浓度取决于原料煤含硫量、是否有煤气脱硫设施及运行效果。煤气净化的主要目的是脱硫，即脱除原料气中的  $\text{H}_2\text{S}$ 。脱除煤气中的硫化氢方法很多，大体分为干法和湿法两种。干法脱硫一般采用固体脱硫剂吸收硫化氢，湿法采用液体脱硫剂吸收硫化氢。干法脱硫目前主要有氧化铁法与活性炭法，湿法脱硫主要有湿式氧化法脱硫等，目前我省氧化铝厂煤制气均建有脱硫设施，采用以纯碱作为吸收剂，以栲胶为载氧体的湿式氧化法脱硫。

氧化铝焙烧废气呈碱性，SCR（炉外脱硝）可能会造成催化剂中毒，目前氧

化铝企业探索 SNCR（液氨）脱硝工艺，我省某氧化铝厂焙烧炉已建设 1 套 SNCR 脱硝装置，投入运营一段时间，根据收集到数据结果显示，SNCR 脱硝效果较好。另外，通过纯燃天然气或者天然气与自制煤气掺烧是一种有效降低焙烧烟气氮氧化物的途径。目前我省几家大型氧化铝企业也都建有双气源。

**颗粒物：**从本次调查收集到的我省 4 家较大规模氧化铝企业的 18 条生产线数据来看，焙烧炉烟气中颗粒物浓度 1.0-39.4 mg/Nm<sup>3</sup>，平均浓度 30 mg/Nm<sup>3</sup> 以下，其中采用五电场+金属滤袋袋式除尘器治理措施，颗粒物浓度可稳定达到 10 mg/Nm<sup>3</sup> 以下。鉴于我省氧化铝焙烧烟气处理采用电除尘+金属滤袋袋式除尘已是目前技术可达水平，因此，本标准依据目前较好的技术控制水平，**确定氧化铝厂焙烧炉烟气颗粒物排放浓度限值为 10mg/Nm<sup>3</sup>。**

**二氧化硫：**本次调查数据显示：我省氧化铝厂焙烧炉烟气二氧化硫小时排放浓度在 0.86-312.9 mg/Nm<sup>3</sup>，均值在 150 mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

利用煤气发生炉生产煤气，原料煤采用陕西等地无烟煤，煤质硫份相对较低。以燃煤硫份 0.3-1% 计，煤气燃烧烟气二氧化硫理论浓度在 773mg/Nm<sup>3</sup>-2576mg/Nm<sup>3</sup> 之间，脱硫效率达到 95%计，煤气燃烧后理论二氧化硫浓度在 29.5mg/Nm<sup>3</sup>-99mg/Nm<sup>3</sup> 之间，基本可以控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以内，见表 7-1。

**表 7-1 煤气不同脱硫效率情况下烟气二氧化硫浓度**

| 煤中硫含量 | 煤气中硫化氢含量 (mg/Nm <sup>3</sup> ) | 脱硫效率 | 煤气脱硫后硫化氢含量(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 煤气燃烧烟气中 SO <sub>2</sub> 量(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|-------|--------------------------------|------|---------------------------------|------------------------------------------------|
| 1.00% | 2576                           | 0%   | 2576                            | 1979                                           |
|       |                                | 95%  | 129                             | 99                                             |
| 0.80% | 2061                           | 0%   | 2061                            | 1583                                           |
|       |                                | 95%  | 103                             | 79                                             |
| 0.50% | 1288                           | 0%   | 1288                            | 990                                            |
|       |                                | 95%  | 64.5                            | 49.5                                           |
| 0.30% | 773                            | 0%   | 773                             | 594                                            |
|       |                                | 95%  | 38.5                            | 29.5                                           |

注：煤中硫的转化率为 80%，每公斤煤产生煤气量按 3.3m<sup>3</sup> 计，每立方煤气燃烧产生的烟气量按 2.45m<sup>3</sup> 计。

综上分析，我省氧化铝厂焙烧炉烟气二氧化硫排放浓度不论是以天然气为燃料还是以脱硫后的煤制气为燃料，控制燃料中的含硫量，烟气中二氧化硫排放浓度可以控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以下。因此，本标准确定氧化铝厂焙烧炉烟气二氧化



**硫排放浓度限值为 100mg/Nm<sup>3</sup>。**

**氮氧化物：**本次调查过程中发现氧化铝工序的氢氧化铝焙烧炉采用天然气和企业自制煤气时，其氮氧化物排放量存在较大的差异。监测数据显示如采用天然气作为燃料，其氮氧化物 < 100mg/Nm<sup>3</sup>，使用企业自制煤气，氮氧化物在 200-300mg/Nm<sup>3</sup>，使用天然气与煤气掺烧，氮氧化物可以达到 200mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

根据本次实地调研情况，我省氧化铝企业大部分已完成或正在进行脱硝改造，根据收集到数据显示，未采取脱硝措施情况下，我省氧化铝厂焙烧烟气中氮氧化物排放浓度为 1.13-363.6mg/Nm<sup>3</sup>，平均浓度在 200mg/Nm<sup>3</sup> 以下，已完成脱硝改造并投入运行的焙烧烟气中氮氧化物浓度为 47.8-140.2mg/Nm<sup>3</sup>，其中 1 家企业脱硝效果较好，可长期稳定达到 100 mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

我国富煤、贫油、少气，如果企业纯燃天然气，可能面临天然气供应不足和生产成本大幅升高的状况。同时，目前在技术层面上焙烧烟气脱硝也还存在一定困难。为尽量减少污染排放，且不大幅提高我省氧化铝生产成本，本标准确定氧化铝厂焙烧炉烟气氮氧化物排放浓度限值为 100mg/Nm<sup>3</sup>，与我省周边同为铝工业大省的山东省排放标准控制水平持平。

## 7.2.2 电解铝

电解铝生产的主要大气污染源是预焙阳极电解槽产生的电解烟气。

**污染治理技术：**预焙阳极电解槽产生的大气污染物主要是含氟化氢、氧化铝粉尘及二氧化硫等污染物的电解烟气。电解烟气净化方法主要有湿法净化和干法净化两种处理方法。目前湿法净化由于存在二次污染等问题，已基本被淘汰，干法净化技术实际上已成为国际上大型预焙阳极电解槽采用的唯一一种高效烟气净化方法。目前我省电解铝企业均已建设了脱氟除尘+半干法/湿法脱硫设施。

**颗粒物：**本次调查收集到的我省 4 家电解铝厂 26 条生产线数据及 1 家企业自行监测数据显示，电解烟气颗粒物排放浓度 0.03-8.64mg/Nm<sup>3</sup>，平均浓度在 10 mg/Nm<sup>3</sup> 以下。根据目前调研情况，我省电解铝企业电解烟气经氧化铝干法吸氟+布袋除尘设施处理后，颗粒物浓度基本可控制在 10mg/Nm<sup>3</sup> 以下。综合考虑目前技术经济水平，**本标准确定电解烟气颗粒物排放浓度限值为 10mg/Nm<sup>3</sup>。**

**二氧化硫：**电解铝及铝用炭素生产中的二氧化硫的排放基本来自炭素生产原料——石油焦。电解铝及铝用炭素生产硫平衡示意图见图 7-1，其中以焙烧燃料

采用天然气考虑，燃料、沥青中含硫份很低未计入。

目前，石油焦产品质量执行国家能源局 2015 年 10 月 27 日发布（2016 年 3 月 1 日实施）的《中华人民共和国石油化工有限公司标准-石油焦（生焦）》（NB/SH/T0527-2015）。共有 5 种类型石油焦，其最低硫含量要求为不大于 0.5%，最高硫含量要求为不大于 3%。以石油焦硫份 $\leq 3\%$ 计，核算电解铝、炭素烟气二氧化硫排放浓度约  $195\text{mg}/\text{m}^3$ 。

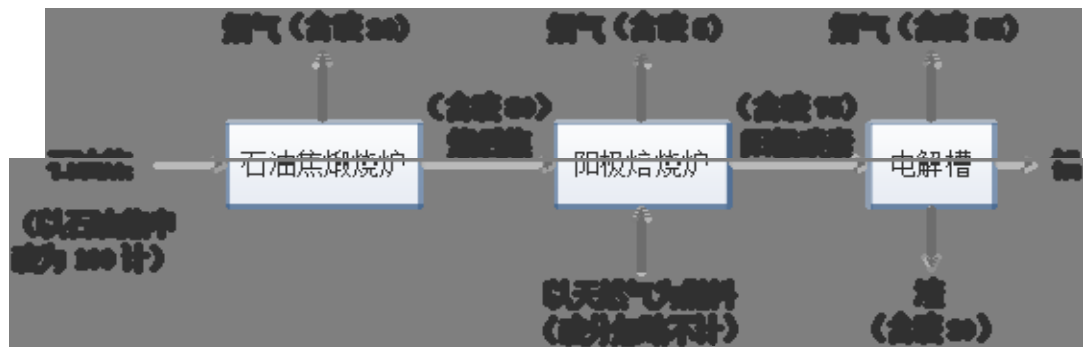


图 7-1 电解铝及铝用炭素生产硫平衡示意图

我省 4 家电解铝企业，均已完成脱硫改造，脱硫工艺包括湿法工艺（石灰石石膏）和半干法工艺（钙法、氧化镁法）。本次调查收集数据显示：电解槽烟气二氧化硫小时排放浓度  $1.52\text{--}67.48\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，其中采用湿法工艺和钙法半干法工艺的生产线平均浓度在  $30\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下；采用氧化镁法半干法工艺的生产线平均浓度在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  左右，该工艺是我省脱硫改造的试验线，脱硫措施为箱体结构，运行长时间之后，脱硫效率会下降，通过对脱硫设施进行改造，二氧化硫排放浓度可控制在  $35\text{mg}/\text{m}^3$  以下。综上分析，根据我省电解铝企业目前的经济技术水平，我省电解铝厂电解烟气中二氧化硫排放浓度可以控制在  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。因此，本标准确定电解烟气二氧化硫排放浓度限值为  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

**氟化物：**目前电解烟气脱氟均采用氧化铝吸附工艺，形成载氟氧化铝，脱硫措施对电解烟气中的氟化物也有一定的脱除作用，目前我省在产的电解铝企业均已完成电解烟气脱硫改造。调查收集到我省 4 家电解铝企业日常自行监测报告及 1 家企业本次实测数据，结果显示：我省电解铝企业氟化物排放浓度在  $0.01\text{--}1.51\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均浓度均在  $2\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。因此，本标准电解烟气氟化物排放浓度限值为  $2\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

### 7.2.3 阳极炭素

#### (1)石油焦煅烧炉

**污染治理技术：**煅烧炉利用原料中挥发份作为燃料，不外加燃料。石油焦中的硫分在煅烧过程中一部分进入煅烧烟气，煅烧烟气主要污染为二氧化硫、氮氧化物和烟尘。煅烧炉排出的高温烟气分别经过余热利用后再经引风机送至煅烧烟气处理装置。目前，我省大型铝用炭素企业煅烧炉普遍采用旋风除尘或布袋除尘+石灰石/石灰-石膏法脱硫，部分企业还建设了 SCR 或 SNCR 脱硝设施。

**颗粒物：**本次调查收集到的我省 4 家规模较大铝用炭素厂 5 煅烧炉烟气在线数据，结果显示：煅烧烟气经旋风、布袋除尘+石灰/石灰石-石膏法脱硫+湿电除尘等高效脱硫除尘系统后，烟气颗粒物小时排放浓度为  $0.23\text{--}7.85\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均浓度可控制在  $5\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。综合考虑目前行业技术经济水平，**本标准确定石油焦煅烧烟气颗粒物排放浓度限值为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**二氧化硫：**本次调查收集到的我省 4 家大型铝用炭素厂煅烧烟气二氧化硫排放数据，结果显示，煅烧炉烟气采用石灰、石灰石-石膏法脱硫处理后，小时排放浓度为  $0.68\text{--}62.3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均浓度  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。因此，**本标准确定石油焦煅烧烟气二氧化硫排放浓度限值为  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**氮氧化物：**根据标准企业调研情况及调查收集到的数据情况，目前我省大型铝用炭素企业石油焦煅烧烟气大部分已经建设了 SCR 或 SNCR 脱硝措施，煅烧烟气在线数据结果显示，氮氧化物小时排放浓度为  $0.08\text{--}86.25\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，均值  $61.14\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，基本可稳定达到  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。因此，**本标准确定石油焦煅烧烟气氮氧化物排放浓度限值为  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

#### (2)阳极焙烧炉

**污染治理技术：**目前我省规模较大的铝用炭素企业焙烧炉基本都采用天然气为热源，由于焙烧烟气中含有沥青烟和焦油，大部分企业进一步完善处理工艺建设了“喷雾塔+电捕+石灰-石膏脱硫”，由于焙烧烟气中含有沥青烟，有 2 家企业采取 DSNCR 等中、高温烟气脱硝工艺，还有一家企业在电捕焦油器后采取了低温臭氧脱硝，烟气  $\text{NO}_x$  排放浓度均可控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。

**颗粒物：**本次调查收集到的我省 4 家规模较大的铝用炭素 5 条生产线的焙烧烟气数据，阳极焙烧烟气颗粒物小时浓度为  $0.06\text{--}7.9\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，均值在  $5.94\text{mg}/\text{Nm}^3$

以下，基本可稳定控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。综合考虑我省对炭素行业的行业控制要求，**本标准确定炭素焙烧炉烟气颗粒物排放浓度限值为  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**二氧化硫：**本次调查收集到的我省铝用炭素厂阳极焙烧炉烟气二氧化硫小时排放浓度在  $1.04\text{--}53.84\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均排放浓度在  $30\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。我省铝用炭素企业通过对阳极焙烧烟气采用电捕焦+石灰石/石灰-石膏法脱硫处理后，二氧化硫浓度可控制在  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。因此，**本标准确定阳极焙烧炉烟气二氧化硫排放浓度限值为  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**氮氧化物：**本次调查收集到的我省铝用炭素厂阳极焙烧炉烟气氮氧化物排放浓度在  $17.15\text{--}67.3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均浓度在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，我省大型铝用炭素企业对焙烧烟气采取低温臭氧脱硝、DSNCR 或 SCR 脱硝处理后，烟气氮氧化物排放浓度可稳定控制在  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。综合考虑铝用炭素企业目前的排放水平，**本标准确定阳极焙烧炉烟气氮氧化物排放浓度限值为  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。**

**氟化物、沥青烟：**目前阳极焙烧烟气治理技术较国家标准制定时已有明显改进，部分铝用炭素企业阳极焙烧烟气自行实测结果显示，可做到沥青烟排放浓度  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，阳极焙烧烟气中氟化物来源于残极炭块返回生阳极系统利用，氟含量小。因此，本标准确定阳极焙烧烟气氟化物排放浓度限值为  $2\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、沥青烟排放浓度在  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

#### 7.2.4 企业边界大气污染物浓度限值

本标准参考《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）及《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010），确定本标准企业边界大气污染物浓度限值，见表 7-2。

表 7-2 现有和新建企业边界大气污染物浓度限值（单位： $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）

| 污染物项目  | 适用范围                  | 限值      |
|--------|-----------------------|---------|
| 二氧化硫   | 氧化铝企业、电解铝企业、铝用炭素企业    | 0.5     |
| 氮氧化物   | 氧化铝企业、铝用炭素企业          | 0.25    |
| 颗粒物    | 矿山、氧化铝企业、电解铝企业、铝用炭素企业 | 0.5     |
| 氟化物    | 电解铝企业、有残极回收的铝用炭素企业    | 0.02    |
| 苯并(a)芘 | 铝用炭素企业                | 0.00001 |

#### 7.2.5 基准排气量和基准含氧量

##### （1）基准排气量

铝工业企业中，不同的生产工艺、设备状况，会使企业排气量差别很大。氧化铝厂选用不同的生产工艺（烧结法、拜耳法或混联法），有没有配备选矿工序，石灰窑等，其废气量差别很大；电解铝工序选用不同的电解槽，气量也有差别；再如炭素行业，有没有煅烧工序，采用回转窑还是罐式炉，其煅烧气量差别也很大。原料及输送系统配备的原料仓不同，设备运转率不同，基准气量也有差异，吨产品的基准气量难以确定。

### （2）基准含氧量

标准编制组通过搜集在线监控数据和现场实测，调查了氧化铝焙烧炉、电解铝电解工序、炭素煅烧和焙烧工序共 24 条生产线排放烟气的含氧量，两途径调查结果基本一致。我省铝工业生产中，电解槽烟气含氧量基本与空气中的相同，氧化铝焙烧炉和炭素焙烧工序随生产周期波动较大，炭素煅烧工序随原料批次的变化也会有一定波动，不宜于采用基准含氧量指标进行控制。

与国家铝工业标准负责人和沈阳铝镁设计院相关行业专家沟通、交流，大家都认为铝工业标准中不宜对基准排气量和基准含氧量进行控制。

表 7-3 实测铝工业烟气含氧量情况

| 企业   | 生产环节    | 烟气含氧量 | 企业   | 生产环节   | 烟气含氧量 |
|------|---------|-------|------|--------|-------|
| 企业 1 | 氧化铝焙烧炉  | 10.4% | 企业 6 | 炭素煅烧工序 | 18.1  |
| 企业 2 | 氧化铝焙烧炉  | 8.4%  | 企业 7 | 炭素焙烧   | 18.1  |
| 企业 3 | 电解铝电解工序 | 20.8% | 企业 8 | 炭素焙烧   | 17.8  |
| 企业 4 | 电解铝电解工序 | 20.3% | 企业 9 | 炭素焙烧   | 18.2  |
| 企业 5 | 炭素煅烧工序  | 17.6  |      |        |       |

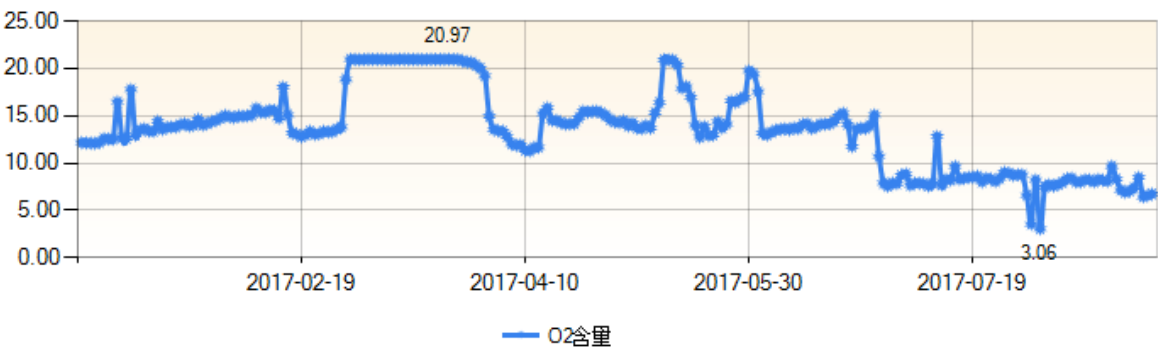


图 7-2 氧化铝焙烧炉烟气含氧量

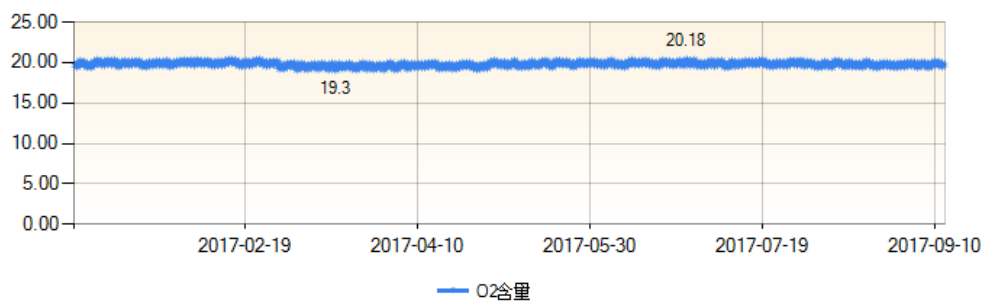


图 7-3 电解工序烟气含氧量

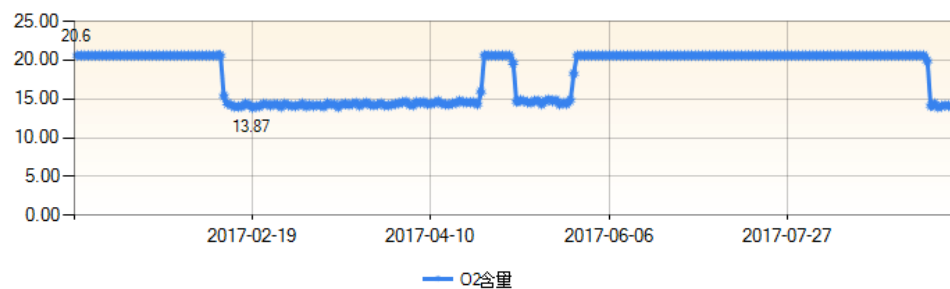


图 7-4 炭素煅烧工序烟气含氧量

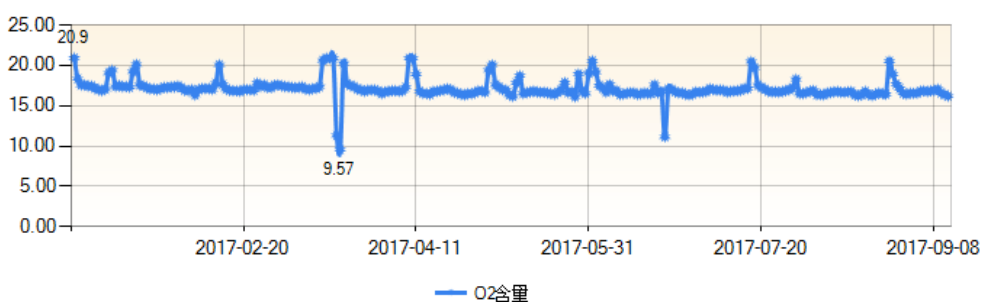


图 7-5 炭素焙烧工序烟气含氧量

### 7.3 水污染物排放限值确定

从全省铝工业水污染物排放情况看，电解铝及炭素生产均为干法过程，不允许水进入物料系统，氧化铝厂湿法过程碱性物料可能造成生产废水 pH 升高外，生产排水中没有其他特征污染物，铝工业生产过程中，除少量循环冷却水等清下水和生活污水需处理达标排放外，其他生产废水均可做到循环使用，只补不排。据调研了解，目前我省规模较大铝工业企业可以做到生产废水不外排。本标准加严水污染物排放限值，直排限值及间排限值中的生产废水特征因子控制到 GB25465-2010 特别排放限值水平。

## 8 标准控制水平对比

### 8.1 与国家标准的对比

从控制因子来看，本标准控制因子包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟，较国家铝工业污染物排放标准 GB25465-2010（一般限值）增加了对氮氧化物、氨的控制。

从标准限值来看，本标准厂界浓度控制水平与国家铝工业污染物排放标准 GB25465-2010 相同，有组织排放源控制水平总体严于 GB25465-2010 一般限值，电解铝、铝用炭素严于特别排放限值，氧化铝达到特别排放限值控制水平（详见表 8-1）。

对于氧化铝企业，本标准颗粒物的控制水平（ $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）基本收紧到 GB25465-2010 一般限值（ $30\text{--}100\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）的五分之一，达到 GB25465-2010 特别排放限值（ $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）；二氧化硫大幅加严，达到  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，收紧到 GB25465-2010 一般限值（ $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）的四分之一，达到 GB25465-2010 特别排放限值水平（ $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）；氮氧化物控制水平，达到 GB25465-2010 特别排放限值水平（ $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）

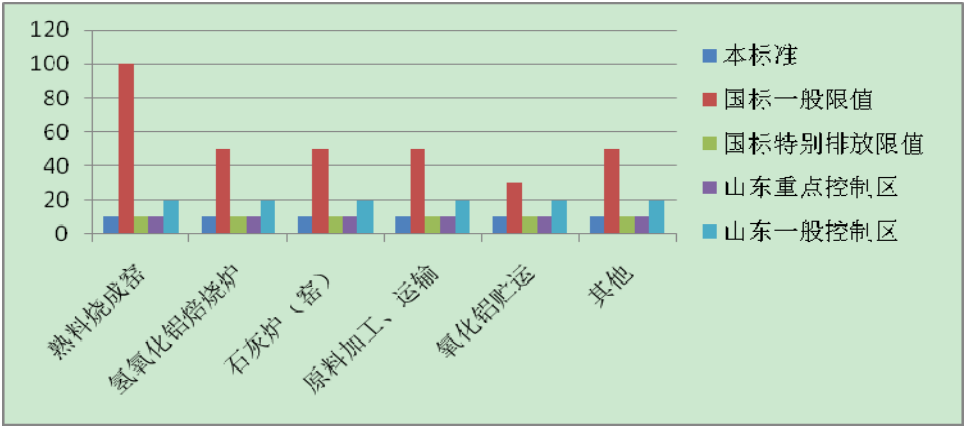


图 8-1 氧化铝厂颗粒物标准限值对比

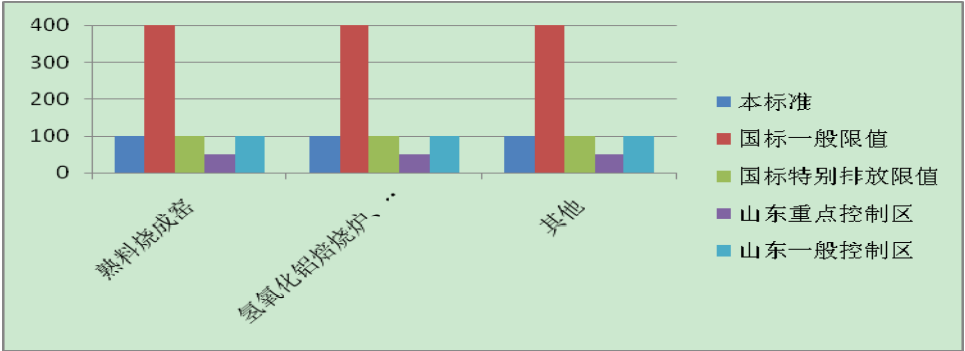


图 8-2 氧化铝厂二氧化硫标准限值对比

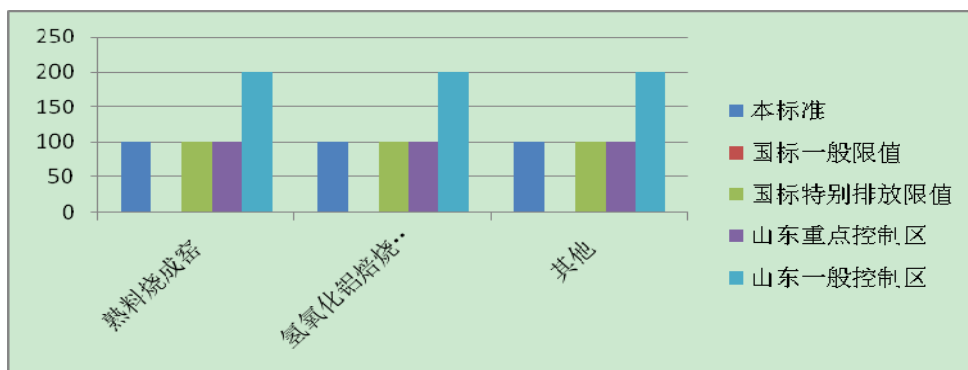


图 8-3 氧化铝厂氮氧化物标准限值对比

对于电解铝企业，本标准对各有组织排放源颗粒物一律控制到  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，较 GB25465-2010 一般限值（ $20\text{--}50\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）有所加严，达到 GB25465-2010 特别排放限值（ $10\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）；二氧化硫控制到  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，达到 GB25465-2010 特别排放限值（ $100\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）的三分之一；氟化物排放浓度控制到  $2\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，达到 GB25465-2010 一般限值（ $3.0\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ）的三分之二。

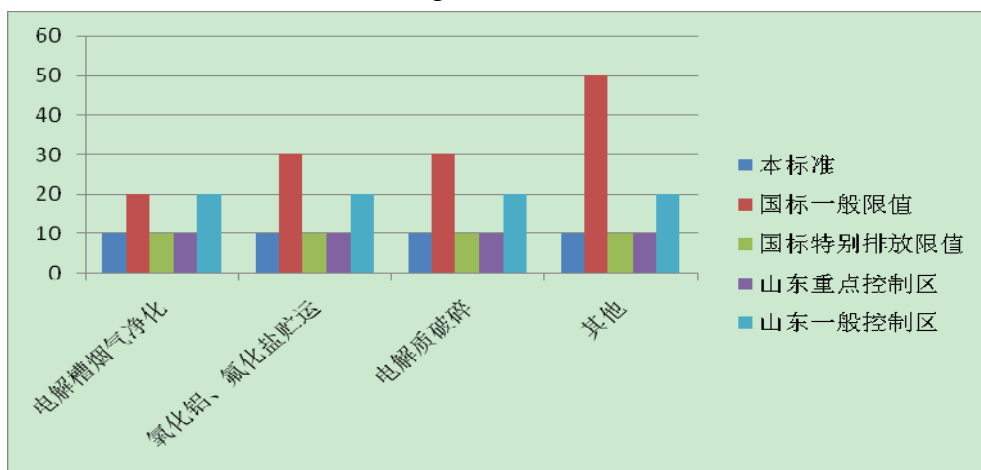


图 8-4 电解铝厂颗粒物标准限值对比

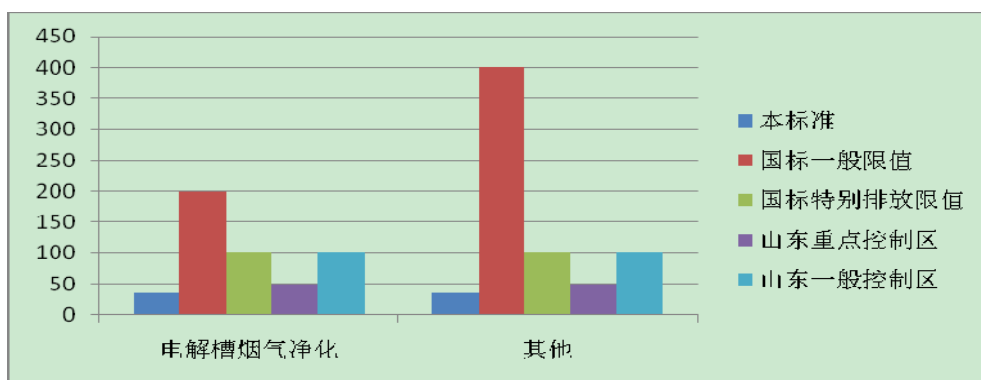


图 8-5 电解铝厂二氧化硫标准限值对比



对于铝用炭素企业，本标准对各组织排放源颗粒物、二氧化硫、氮氧化物加严到  $10 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $35 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $100 \text{ mg/Nm}^3$ ，颗粒物较 GB25465-2010 一般限值（ $30\text{-}50 \text{ mg/Nm}^3$ ）有所加严，达到于 GB25465-2010 特别排放限值（ $10 \text{ mg/Nm}^3$ ），二氧化硫加严到 GB25465-2010 特别排放限值（ $100 \text{ mg/Nm}^3$ ）水平的三分之一，氮氧化物达到 GB25465-2010 特别排放限值（ $100 \text{ mg/Nm}^3$ ）。本标准沥青烟、氟化物排放浓度与 GB25465-2010 相同（ $20\text{-}30 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $3.0 \text{ mg/Nm}^3$ ）。

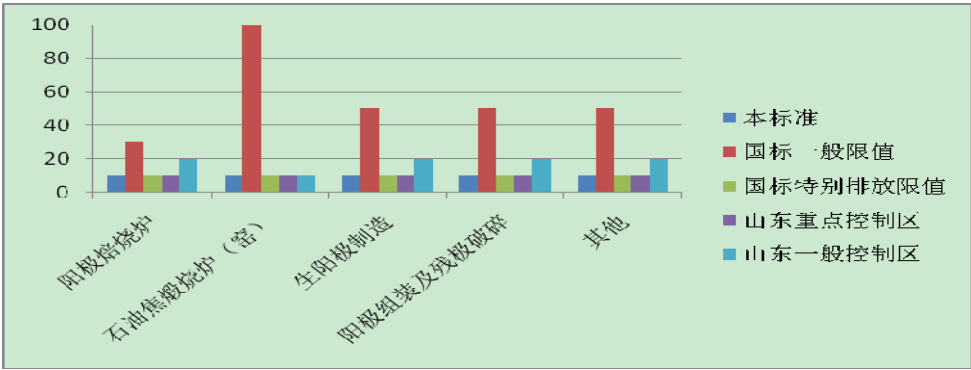


图 8-6 铝用炭素厂颗粒物标准限值对比

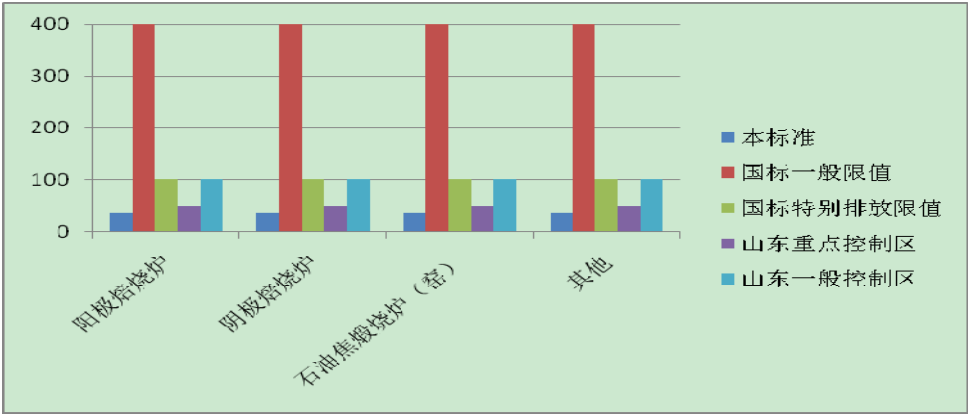


图 8-7 铝用炭素厂二氧化硫标准限值对比

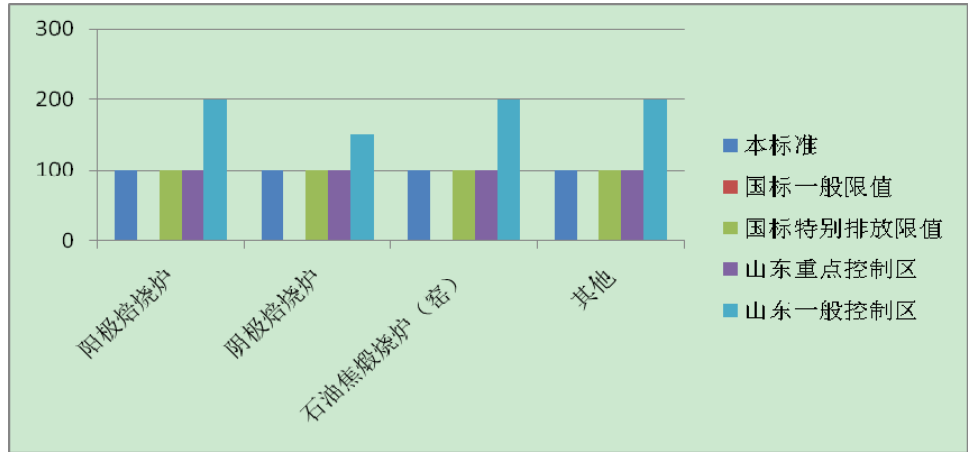


图 8-8 铝用炭素厂氮氧化物标准限值对比

## 8.2 与外省标准的对比

目前外省涉及铝工业的大气污染物排放标准有《山东省区域性大气污染物综合排放标准》(DB37/2376-2019)、《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》(DB12/556-2015)、《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》(DB61/941-2018)。其中,山东省与我省毗邻,同为铝工业大省,而天津市、陕西省关中地区目前基本没有铝工业企业分布,因此,本标准重点开展与山东省一般控制区控制水平的对比。

从控制因子来看,本标准控制因子包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氟化物、沥青烟、氨,较山东省区域性大气污染物综合排放标准 DB37/2376-2019 多了对氟化物、沥青烟、氨的控制。

从标准限值来看,本标准电解铝企业控制水平总体严于 DB37/2376-2019 一般控制区,氧化铝企业颗粒物及氮氧化物控制水平、炭素企业二氧化硫及氮氧化物控制水平严于 DB37/2376-2019 一般控制区(详见表 8-1)。

对于氧化铝企业,本标准颗粒物及氮氧化物的控制水平( $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与 DB37/2376-2019 的重点控制区控制限值持平,严于其的一般控制区控制限值( $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),严于核心控制区控制限值( $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ );本标准二氧化硫的控制水平( $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与 DB37/2376-2019 的一般控制区相同,严于其核心控制区、重点控制区控制限值( $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ )。

对于电解铝企业,本标准颗粒物、氮氧化物的控制水平( $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与 DB37/2376-2019 的重点控制区持平,严于其的一般控制区控制限值( $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),严于核心控制区控制限值( $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ );本标准二氧化硫的控制水平( $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),严于 DB37/2376-2019 的重点控制区、一般控制区控制限值( $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与其核心控制区控制限值一致。

对于铝用炭素企业,本标准颗粒物的控制水平( $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与 DB37/2376-2019 的重点控制区、一般控制区控制限值一致,严于核心控制区控制限值( $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ );本标准二氧化硫的控制水平( $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),严于 DB37/2376-2019 的重点控制区、一般控制区控制限值( $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与其核心控制区控制限值一致;氮氧化物的控制水平( $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),与 DB37/2376-2019 的重点控制区一致,严于一般控制区控制限值( $150\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),严于核心控制区控制限值( $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ )。

表 8-1

大气污染物排放浓度限值对比

单位: mg/Nm<sup>3</sup>

| 因子  | 生产系统及设备 |           | 本标准  | 《铝工业污染物排放标准》<br>(GB25465-2010) |        | 《铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB25466-2010) | 《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB31574-2015) | 《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB 41/1066-2015) | 《河南省铅冶炼工业污染物排放标准》<br>(DB41/684-2011) | 《山东省区域性大气污染物综合排放标准》<br>(DB37/2376-2019) | 《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB12/556-2015) | 《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》<br>(DB61/941-2018) |    |
|-----|---------|-----------|------|--------------------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|----|
|     |         |           | 排放限值 | 新建企业<br>(一般限值)                 | 特别排放限值 |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         |                                       |                                           |    |
| 颗粒物 | 矿山      | 破碎、筛分、转运  | 10   | 50                             | 10     | 80                               | 30                                     | 30                                      | 30                                   | —                                       | —                                     | 10                                        |    |
|     | 氧化铝厂    | 熟料烧成窑     | 10   | 100                            | 10     |                                  |                                        |                                         |                                      | 核心区 5<br>重点区 10<br>一般区 20               | 10                                    |                                           |    |
|     |         | 氢氧化铝焙烧炉   | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 石灰炉窑      | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 原料加工、运输   | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 氧化铝贮运     | 10   | 30                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 其他        | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     | 电解铝厂    | 电解槽烟气     | 10   | 20                             | 10     |                                  |                                        |                                         |                                      | 核心区 5<br>重点区 10<br>一般区 20               | 10                                    |                                           |    |
|     |         | 氧化铝、氟化盐贮运 |      | 30                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 电解质破碎     |      | 30                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 其他        |      | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     | 铝用炭素厂   | 阳极焙烧炉     | 10   | 30                             | 10     |                                  |                                        |                                         |                                      | 核心区 5<br>重点区 10<br>一般区 20               | 10                                    |                                           |    |
|     |         | 阴极焙烧炉     | —    | —                              |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | 10                                    |                                           |    |
|     |         | 石油焦煅烧炉窑   | 10   | 100                            |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | 5/10/10                               |                                           | 10 |
|     |         | 沥青熔化      | —    | —                              |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 生阳极制造     | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 阳极组装及残极破碎 | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |
|     |         | 其他        | 10   | 50                             |        |                                  |                                        |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |    |

| 因子   | 生产系统及设备 |           | 本标准  | 《铝工业污染物排放标准》<br>(GB25465-2010) |        | 《铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB25466-2010) | 《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB 31574-2015) | 《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB 41/1066-2015) | 《河南省铅冶炼工业污染物排放标准》<br>(DB41/684-2011) | 《山东省区域性大气污染物综合排放标准》<br>(DB37/2376-2019) | 《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB12/556-2015) | 《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》<br>(DB61/941-2018) |
|------|---------|-----------|------|--------------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
|      |         |           | 排放限值 | 新建企业                           | 特别排放限值 |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         |                                       |                                           |
| 二氧化硫 | 氧化铝厂    | 熟料烧成窑     | 100  | 400                            | 100    | 400                              | 150                                     | 200                                     | 250                                  | 核心区 35<br>重点区 50<br>一般区 100             | 100                                   | 100                                       |
|      |         | 氢氧化铝焙烧炉   | 100  | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 石灰炉窑      | 50   |                                |        |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 原料加工、运输   | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 氧化铝贮运     | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | 100  | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      | 电解铝厂    | 电解槽烟气     | 35   | 200                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      | 核心区 35<br>重点区 50<br>一般区 100             | 50                                    |                                           |
|      |         | 氧化铝、氟化盐贮运 | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 电解质破碎     | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | 35   | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      | 铝用炭素厂   | 阳极焙烧炉     | 35   | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      | 核心区 35<br>重点区 50<br>一般区 100             | 100                                   |                                           |
|      |         | 阴极焙烧炉     | 35   | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 石油焦煅烧炉窑   | 35   | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 沥青熔化      | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 生阳极制造     | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 阳极组装及残极破碎 | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | 35   | 400                            | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |

| 因子   | 生产系统及设备 |           | 本标准  | 《铝工业污染物排放标准》<br>(GB25465-2010) |        | 《铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB25466-2010) | 《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB 31574-2015) | 《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB 41/1066-2015) | 《河南省铝冶炼工业污染物排放标准》<br>(DB41/684-2011) | 《山东省区域性大气污染物综合排放标准》<br>(DB37/2376-2019) | 《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB12/556-2015) | 《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》<br>(DB61/941-2018) |
|------|---------|-----------|------|--------------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
|      |         |           | 排放限值 | 新建企业                           | 特别排放限值 |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         |                                       |                                           |
| 氮氧化物 | 氧化铝厂    | 熟料烧成窑     | 100  | —                              | 100    | —                                | 200                                     | 400                                     | —                                    | 核心区 50<br>重点区 100<br>一般区 200            | 100                                   | 100                                       |
|      |         | 氢氧化铝焙烧炉   | 100  |                                | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 石灰炉窑      | 100  |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 原料加工、运输   | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 氧化铝贮运     | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | —    |                                | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      | 电解铝厂    | 电解槽烟气     | —    | —                              | —      |                                  |                                         |                                         |                                      | 核心区 50<br>重点区 100<br>一般区 200            | 100                                   |                                           |
|      |         | 氧化铝、氟化盐贮运 | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 电解质破碎     | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      | 铝用炭素厂   | 阳极焙烧炉     | 100  | —                              | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      | 核心区 50<br>重点区 100<br>一般区 200            | 100                                   |                                           |
|      |         | 阴极焙烧炉     | 100  |                                | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | 100                                   |                                           |
|      |         | 石油焦煅烧炉窑   | 100  |                                | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      | 50/100/150                              | 100                                   |                                           |
|      |         | 沥青熔化      | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      | 核心区 50<br>重点区 100<br>一般区 200            | —                                     |                                           |
|      |         | 生阳极制造     | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 阳极组装及残极破碎 | —    |                                | —      |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |
|      |         | 其他        | 100  |                                | 100    |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         | —                                     |                                           |

| 因子           | 生产系统及设备 |         | 本标准 | 《铝工业污染物排放标准》<br>(GB25465-2010) |        | 《铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB25466-2010) | 《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》<br>(GB 31574-2015) | 《河南省工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB 41/1066-2015) | 《河南省铅冶炼工业污染物排放标准》<br>(DB41/684-2011) | 《山东省区域性大气污染物综合排放标准》<br>(DB37/2376-2019) | 《天津市工业炉窑大气污染物排放标准》<br>(DB12/556-2015) | 《陕西省关中地区重点行业大气污染物排放限值》<br>(DB61/941-2018) |
|--------------|---------|---------|-----|--------------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
|              |         |         |     | 新建企业                           | 特别排放限值 |                                  |                                         |                                         |                                      |                                         |                                       |                                           |
| 氟化物<br>(以F计) | 电解铝厂    | 电解槽烟气净化 | 2   | 3                              | 3      | —                                | —                                       | —                                       | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |
|              | 铝用炭素厂   | 阳极焙烧炉   | 3   | 3                              | 3      | —                                | —                                       | 3                                       | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |
| 沥青烟          | 铝用炭素厂   | 阳极焙烧炉   | 20  | 20                             | 20     | —                                | —                                       | 30                                      | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |
|              |         | 阴极焙烧炉   | 30  | 30                             | 30     | —                                | —                                       |                                         | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |
|              |         | 沥青熔化    | 30  | 30                             | 30     | —                                | —                                       |                                         | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |
|              |         | 生阳极制造   | 20  | 20                             | 20     | —                                | —                                       |                                         | —                                    | —                                       | —                                     | —                                         |

## 9 技术经济可行性分析

近年来，随着重点区域全面执行大气污染物特别排放限值以及国家、地方大气污染防治政策、排放要求日趋严格，铝工业企业陆续进行了一系列环保提升改造，部分企业正在或计划进行环保提升改造。本次达标技术路线主要以实地调研铝工业企业近年环保提升改造情况及效果进行分析。

### 9.1 颗粒物达标可行性分析

#### 9.1.1 颗粒物污染控制措施

目前对于铝工业大气污染物颗粒物的治理工艺措施主要包括重力除尘器、旋风除尘器、湿式除尘器、袋式除尘器、电除尘器、湿式电除尘器、管束除尘器等，各除尘器特点见表 9-1。

表 9-1 各种除尘器除尘效率和优缺点对比

| 除尘措施   | 优点                                                                | 缺点                                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 重力除尘器  | 结构简单、阻力小、易维护                                                      | 体积大、效率低的比较原始的净化设备，只能用于预收尘，除去大颗粒粉尘                                        |
| 旋风除尘器  | 结构简单、操作方便、耐高温、设备费和阻力较低的净化设备                                       | 颗粒物出口排放限值仍相对较高，适用于含尘气体预净化                                                |
| 湿式除尘器  | 可处理高温、高湿的烟气及带有一定粘性的粉尘，同时也能净化某些水溶性有害气体                             | 会产生废水，必须配备水处理设施，以消除二次污染，其次，对除尘设备容易产生腐蚀，在寒冷地区需要采取防冻措施，处理高温烟气时，会产生白烟，不利于扩散 |
| 静电除尘器  | 能处理高温、高湿烟气，处理风量大，运行阻力低                                            | 结构复杂，初期投资高，占地面积大，对操作、运行、维护管理要求高，且对粉尘比电阻较敏感                               |
| 袋式除尘器  | 除尘效率高、处理风量适用范围广、结构简单、维护操作方便、能回收有价值物料                              | 投资较高、对含湿烟气净化工艺控制要求严格，工艺条件波动及开、停炉时易造成糊袋；                                  |
| 电袋除尘器  | 降低滤袋的运行阻力，延长清灰周期，缩短脉冲宽度，降低喷吹压力，延长滤袋使用寿命                           | 投资较高、后续袋式除尘对对含湿烟气净化工艺控制要求严格，采用常规布袋工艺条件波动及开、停炉时易造成糊袋，采用金属滤袋可以耐温度波动；       |
| 湿式电除尘器 | 效率高、压力损失小、操作简单、能耗小、无运动部件、无二次扬尘、维护费低、生产停工短、可作于露点温度以下               | 投资费用较高、需与其它除尘设备配套使用，其投资技术经济性和运行成本要从整体进行评价                                |
| 管束除尘器  | 兼具除尘与除雾功能，对于超细粉尘、SO <sub>3</sub> 、石膏液滴均有很高的脱除效率，其投资和运行成本均低于湿式电除尘器 | 通常与湿式脱硫设备一体化设置                                                           |

### 9.1.2 颗粒物达标技术路线

铝工业各生产环节的烟气排放特点各不相同，因此采用的达标技术路线也略有差别。

#### (1)氧化铝

氧化铝生产过程中，颗粒物产生环节主要包括熟料烧成窑、焙烧炉、石灰炉、原料加工运输、氧化铝贮运等，处理的物料多为粉状或颗粒状，根据烟气颗粒物排放浓度的不同，可采用不同的达标技术路线。

焙烧炉、烧成窑烟气具有含湿量、温度和颗粒物浓度高等特点，因此不适合采用常规袋式除尘净化措施，国内外氧化铝生产企业通常采用旋风+静电除尘净化措施，氧化铝粉尘比电阻特性适用静电除尘器净化处理，除尘器选择合适的电场数量、电压、板间距等，可以取得较高的处理效果。

我省某氧化铝企业已对熟料烧成静电除尘器进行了提升改造，将三电场改为五电场，其中末级电场采用高效变流电场+横向旋转极板电除尘技术，解决了微细粉尘捕集和避免二次扬尘逃逸问题，从近期的运行效果看颗粒物浓度基本可以控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。对于氧化铝焙烧炉，可以采取电袋复合（金属滤袋）除尘技术，其适应性和稳定性更强，金属滤袋具有过滤精度高、耐温度波动等优势，该技术已在国内某氧化铝企业实际应用，颗粒物浓度可以稳定控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。我省氧化铝企业尚无运行实例，本次调研省内某氧化铝企业正在对其部分焙烧炉进行电袋复合改造，其余氧化铝企业拟着手实施改造。

我省部分氧化铝企业配备有石灰烧制窑，石灰烧制通常行业内外均采用旋风+袋式除尘的净化方式。《河南省 2019 年工业炉窑污染治理方案》已提出：“2019 年底前，符合条件的石灰制造企业完成提标治理；石灰窑实施除尘脱硫脱硝改造。”石灰烧制窑颗粒物进一步控制措施可采取在净化系统尾部增加湿式电除尘器或高效管束除尘器等措施，颗粒物浓度可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。

原料加工运输、物料和氧化铝贮运等，采用袋式除尘器进行除尘，在采取增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式，颗粒物排放浓度可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。

#### (2)电解铝

电解铝生产过程中，颗粒物产生环节主要包括电解槽、电解质破碎、氧化



铝和氟化盐储运等。我国及省内电解槽烟气治理均采用干法技术治理，其颗粒物主要由净化系统布袋除尘器去除。近年来，我省电解铝企业大都进行了脱硫改造，脱硫系统后部均配套了除尘设施。根据脱硫工艺的不同，尾部采取不同的除尘设备。湿法脱硫采取在脱硫塔顶部设置管束除尘设备，半干法脱硫采取增设袋式除尘器，颗粒物排放浓度均可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。电解铝行业其他产生工序处理粉状或颗粒状物料的达标技术路线与氧化铝相同，均采用袋式除尘器。

### (3)铝用炭素

铝用炭素生产过程中，颗粒物产生环节主要包括原料破碎、筛分、输送、煅烧、沥青熔化、生阳极制造、阳极组装及残极破碎、阳极（阴极）焙烧及装填料、出料等。

近年来我省铝用炭素企业大都进行了环保提升改造，单纯的处理粉状或颗粒状物料的达标技术路线与氧化铝相同。铝用炭素焙烧炉烟气含有沥青烟、焦油等，易造成袋式除尘器糊袋，其提升措施为：在雾化冷却+电捕焦油治理工艺的基础上再增加湿法脱硫措施并配套高效除尘设施，除尘设施采用湿电除尘器或管束除尘器均可取得良好的效果，颗粒物排放浓度均可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。根据本次调研结果，石油焦煅烧炉由于在湿法脱硫尾部增设了湿式电除尘器，部分企业前部仍采用重力除尘+旋风除尘，部分企业将旋风除尘改造为袋式除尘器，颗粒物排放浓度均可控制在  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下。

沥青熔化烟气仍采取电捕焦油的治理工艺，基于此，对现有的烟气治理工艺进行部分改造，并加强运行管理维护，提高处理效率，以稳定达到排放标准。

我省铝工业各生产环节颗粒物达标技术路线见表 9-2，且不限于表 9-2，其他等效技术亦可。

表 9-2 铝工业各生产环节颗粒物达标技术路线

| 各生产环节 |           | 行业现状（改造前）情况   |                          | 达到本标准要求                                       |                          | 备注                                       |
|-------|-----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
|       |           | 技术路线          | 浓度<br>mg/Nm <sup>3</sup> | 技术路线                                          | 浓度<br>mg/Nm <sup>3</sup> |                                          |
| 氧化铝   | 熟料烧成窑     | 旋风+三电场电除尘     | 35-95                    | 旋风+五电场电除尘（改造）                                 | <10                      | 省内某企业已完成改造，近期运行效果可满足要求                   |
|       | 焙烧炉       | 旋风+三（四）电场电除尘  | 20-35                    | 旋风+三（四）电场电除尘+袋式除尘（金属滤袋）                       | <10                      | 省内某氧化铝企业正在对其部分焙烧炉进行电袋复合改造，其余氧化铝企业拟着手实施改造 |
|       | 石灰炉（窑）    | 旋风+袋式除尘       | 25-50                    | 旋风+袋式除尘（优化改造）或旋风+袋式除尘+脱硫后部高效除尘器               | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
|       | 原料加工、运输   | 袋式除尘          | 30-50                    | 袋式除尘（优化改造）                                    | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
|       | 氧化铝贮运     | 袋式除尘          | 17-30                    | 袋式除尘（优化改造）                                    | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
| 电解铝   | 电解槽烟气净化   | 氧化铝吸附+袋式除尘    | <20                      | 氧化铝吸附+袋式除尘+半干法脱硫+袋式除尘<br>氧化铝吸附+袋式除尘+湿法脱硫+管束除尘 | <10                      | 省内除永城铝厂（产能置换）外均完成了脱硫改造，脱硫系统后均配备除尘设施。     |
|       | 氧化铝、氟化盐贮运 | 袋式除尘          | <50                      | 袋式除尘（优化改造）                                    | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
|       | 电解质破碎     | 袋式除尘          | <50                      | 袋式除尘（优化改造）                                    | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
| 铝用炭素  | 阳极焙烧炉     | 预除尘+雾化冷却+电捕焦油 | 15-30                    | 预除尘+雾化冷却+电捕焦油+脱硫（配套湿电或管束除尘）                   | <10                      | 部分企业已完成改造                                |
|       | 阴极焙烧炉     | 雾化冷却+电捕焦油     | 15-20                    | 雾化冷却+电捕焦油+脱硫（配套湿电或管束除尘）                       | <10                      | 部分企业已完成改造                                |
|       | 石油焦煅烧炉（窑） | 重力（旋风）+湿法脱硫   | 15-70                    | 重力（旋风）（+袋式除尘）+湿法脱硫+湿电                         | <10                      | 部分企业已完成改造                                |
|       | 生阳极制造     | 焦粉吸附+袋式除尘     | 15-20                    | 焦粉吸附+袋式除尘（优化改造）                               | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |
|       | 阳极组装及残极破碎 | 袋式除尘          | 30-40                    | 袋式除尘（优化改造）                                    | <10                      | 采用增大除尘器过滤面积或更换覆膜滤袋等方式                    |

## 9.2 二氧化硫达标可行性分析

### 9.2.1 二氧化硫的控制措施

根据不同生产环节二氧化硫产生和排放的特点，二氧化硫的控制措施包括两类：一是从燃料环节控制硫分以降低二氧化硫排放；二是通过末端治理有效去除烟气中二氧化硫，具体控制措施如下：

#### (1)煤制气净化

燃料燃烧产生的二氧化硫是铝工业二氧化硫排放的主要来源，因此控制燃料硫分，降低燃料燃烧二氧化硫产生是控制二氧化硫排放的重要途径。我省部分铝工业炉窑采用煤气发生炉煤制气为燃料，对煤制气实施脱硫是控制二氧化硫排放的有效途径。煤气脱硫主要有干法脱硫和湿法脱硫两种方法，干法脱硫以氧化铁法和活性炭法应用较广，而湿法脱硫以栲胶法应用较为普遍，两种脱硫工艺均十分成熟，普遍应用于各类煤气发生炉煤气的净化处理，脱硫效率可达到 90%以上。两类方法中，干法脱硫效率较高，比较适宜处理含 H<sub>2</sub>S 较低的煤气，但其处理成本相对较高，且干法脱硫效率会随着脱硫剂使用时间增加而逐渐降低；湿式栲胶法脱硫和再生为连续过程，不需要设置备用脱硫塔，净化后煤气中 H<sub>2</sub>S 含量稳定，但其工艺操作较为复杂。

表 9-3 煤制气脱硫工艺比较一览表

| 脱硫工艺 | 脱硫剂     | 优点               | 不足                                      | 适用对象                                           |
|------|---------|------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| 干法脱硫 | 氧化铁、活性炭 | 脱硫效率高；废气可非连续性处理  | 运行成本较高、脱硫剂再生劳动强度较大；脱硫效率随着脱硫剂应用时间增加而不断降低 | 适宜处理 H <sub>2</sub> S 浓度较低的煤气；煤气供应量不大的中小型煤气发生炉 |
| 湿法脱硫 | 纯碱      | 处理效率稳定，脱硫与再生同时进行 | 设备较多，工艺操作较为复杂                           | 适用于煤气发生量较大的中大型煤气发生站，煤气连续处理                     |

根据物料衡算，在原煤含硫量为 0.3-1%的情况下，煤气理论燃烧烟气二氧化硫浓度在 773mg/Nm<sup>3</sup>-2576mg/Nm<sup>3</sup> 之间，而进行煤气脱硫处理后，按照 95% 的脱硫效率计算，煤气理论燃烧后二氧化硫浓度在 29.5mg/Nm<sup>3</sup>-99mg/Nm<sup>3</sup> 之间，基本可以控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以内，煤气不同脱硫效率情况下烟气 SO<sub>2</sub> 浓度见表 9-4。

表 9-4 煤气不同脱硫效率情况下烟气 SO<sub>2</sub> 浓度

| 煤中硫含量 | 煤气中硫化氢含量(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 脱硫效率 | 煤气脱硫后硫化氢含量(mg/Nm <sup>3</sup> ) | 煤气燃烧烟气中 SO <sub>2</sub> 量(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------------------------|------|---------------------------------|------------------------------------------------|
| 1.00% | 2576                          | 0%   | 2576                            | 1979                                           |
|       |                               | 95%  | 129                             | 99                                             |
| 0.90% | 2318                          | 0%   | 2318                            | 1781                                           |
|       |                               | 95%  | 116                             | 89                                             |
| 0.80% | 2061                          | 0%   | 2061                            | 1583                                           |
|       |                               | 95%  | 103                             | 79                                             |
| 0.70% | 1803                          | 0%   | 1803                            | 1385                                           |
|       |                               | 95%  | 90.5                            | 69.5                                           |
| 0.60% | 1545                          | 0%   | 1545                            | 1187                                           |
|       |                               | 95%  | 77.5                            | 59.5                                           |
| 0.50% | 1288                          | 0%   | 1288                            | 990                                            |
|       |                               | 95%  | 64.5                            | 49.5                                           |
| 0.40% | 1030                          | 0%   | 1030                            | 791                                            |
|       |                               | 95%  | 51.5                            | 39.5                                           |
| 0.30% | 773                           | 0%   | 773                             | 594                                            |
|       |                               | 95%  | 38.5                            | 29.5                                           |

注：煤中硫的转化率为 80%，每公斤煤产生煤气量按 3.3m<sup>3</sup> 计，每立方煤气燃烧产生的烟气量按 2.45m<sup>3</sup> 计。

## (2)石油焦

目前，石油焦产品质量执行国家能源局 2015 年 10 月 27 日发布（2016 年 3 月 1 日实施）的《中华人民共和国石油化工有限公司标准-石油焦（生焦）》（NB/SH/T0527-2015）。共有 5 种类型石油焦，其最低硫含量要求为不大于 0.5%，最高硫含量要求为不大于 3%。

《铝行业规范条件》要求：铝用炭阳极项目采用中、高硫石油焦原料时，必须配备高效的烟气脱硫净化装置，并实现达标排放。

《中华人民共和国大气污染防治法》（2015 年）第三十七条规定“石油炼制企业应当按照燃油质量标准生产燃油。禁止进口、销售和燃用不符合质量标准的石油焦。”

以石油焦硫份≤3%计，分别核算电解铝、炭素烟气排放浓度达到本标准限值 35mg/Nm<sup>3</sup> 的脱硫效率，见表 9-5。对电解铝行业，其排气量较大，脱硫效率达到 82%，其 SO<sub>2</sub> 浓度可以达到 35mg/Nm<sup>3</sup>。对于炭素石油焦煅烧、阳极焙烧烟气，脱硫效率分别达到 98.7%、93%，其 SO<sub>2</sub> 浓度可达到 35mg/Nm<sup>3</sup>。

表 9-5 炭素、电解铝不同脱硫效率情况下烟气 SO<sub>2</sub> 浓度

| 石油焦中硫含量 | 烟气 SO <sub>2</sub> 产生浓度(mg/Nm <sup>3</sup> ) |     |     | 脱硫效率  | 烟气 SO <sub>2</sub> 排放浓度(mg/Nm <sup>3</sup> ) |     |     |
|---------|----------------------------------------------|-----|-----|-------|----------------------------------------------|-----|-----|
|         | 煅烧                                           | 焙烧  | 电解  |       | 煅烧                                           | 焙烧  | 电解  |
| 3%      | 2667                                         | 500 | 195 | 0%    | 2667                                         | 500 | 194 |
|         |                                              |     |     | 82%   | 480                                          | 90  | 35  |
|         |                                              |     |     | 90%   | 267                                          | 50  | -   |
|         |                                              |     |     | 93%   | 187                                          | 35  | -   |
|         |                                              |     |     | 98.7% | 35                                           | -   | -   |
| 备注      | 电解槽按 400KA 进行测算，1t 电解铝消耗 405kg 碳阳极计。         |     |     |       |                                              |     |     |

### (3)末端治理

铝工业涉及含硫原料主要是石油焦和煤，一般采用湿法脱硫工艺，具体包括石灰/石灰石石膏法、钠钙双碱法、氨法、氧化镁法等脱硫方式；也可采用半干法脱硫工艺，根据脱硫剂类型主要分为钙法和镁法。石灰/石灰石-石膏脱硫工艺较为成熟，应用实例较多，通过设置合适的液气比、钙硫比等参数，其脱硫效率可达到 90%-95%以上甚至更高。目前我省电解铝企业陆续开展电解烟气脱硫改造，目前在产的 4 家（林州除外）电解铝企业均已完成脱硫改造，调研企业中 1 家采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，3 家采用半干法脱硫工艺。近年来我省铝用炭素企业对煅烧和焙烧烟气净化系统进行升级改造（部分企业重新建设净化系统），大型企业基本上都采用高效的石灰石-石膏脱硫设施；部分企业焙烧已采用天然气燃料替代了自制煤气。氧化铝系统中自制煤气绝大部分进行了脱硫，部分企业在焙烧炉掺烧天然气以进一步减少二氧化硫排放；而石灰窑系统由于是在碱性状态下，石灰石与煤的配比中 Ca/S 比远大于 2，已起到了炉内脱硫的作用，SO<sub>2</sub> 排放浓度一般小于 80mg/Nm<sup>3</sup>，为保证稳定达到本标准限值并结合大气污染防治政策要求需采取烟气脱硫措施；据了解，目前国内尚未有企业对氧化铝熟料烧成窑采取脱硫措施，为保证稳定达到本标准限值应进一步采取脱硫措施。

表 9-6 几种典型脱硫方法的简单比较

| 技术方法 | 原料        | 副产品        | 脱硫效率 | 优点及特点                                            | 缺点                               |
|------|-----------|------------|------|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| 氨法   | 液氨、氨水、尿素等 | 硫酸铵、化肥、高浓度 | >90% | 工艺简单，占地小，具有部分脱硝功能，适用高、中、低 SO <sub>2</sub> 浓度及大、中 | 还原剂为液氨、氨水时，厂内储存存在安全隐患；运行过程存在氨逃逸问 |

| 技术方法    | 原料         | 副产品                | 脱硫效率 | 优点及特点                                                                    | 缺点                                          |
|---------|------------|--------------------|------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|         | 氨源         | SO <sub>2</sub>    |      | 烟气量                                                                      | 题，同时有含氯离子酸性废水排放；产品为硫酸铵固体时，蒸发结晶运行成本相对较高，投资较高 |
| 石灰石/石膏法 | 石灰石、石灰、电石渣 | 脱硫石膏、亚硫酸钙          | >90% | 技术适应性较强，可部分去除烟气中的其他酸性气体，适用高、中、低SO <sub>2</sub> 浓度及大、中烟气量                 | 占地面积相对较大、吸收剂运输量较大、运输成本较高、产生固废脱硫石膏，综合利用途径不畅  |
| 钠碱法     | 氢氧化钠、碳酸钠   | 硫酸钠、亚硫酸钠           | >85% | 工艺简单，占地小，副产物有一定的回收价值，可以部分去除烟气中的其他酸性气体，适用高、中、低SO <sub>2</sub> 浓度及大、中、小烟气量 | 运行成本较高，主要污染物为废水；产品为亚钠固体时，投资及运行费用较高          |
| 有机溶液法   | 有机胺、离子液    | 高浓度SO <sub>2</sub> | >96% | 脱硫效率高，腐蚀性小，适用高、中、低SO <sub>2</sub> 浓度及大、中烟气量                              | 一次投资大，再生蒸汽消耗量大，能耗成本相对较高                     |
| 双氧水法    | 双氧水        | 稀硫酸                | >90% | 流程简短，投资省，不堵塔、阻力小，无二次污染产生，适用高、中、低SO <sub>2</sub> 浓度及适用大、中、小烟气量            | 过氧化氢具有很强的氧化性，增加运输和贮存风险                      |
| 半干法     | 石灰、氧化镁     | 石膏、亚硫酸钙；硫酸镁、亚硫酸镁   | >80% | 工艺简单，投资省，适用中、低SO <sub>2</sub> 浓度及适用大、中、小烟气量                              | 吸收剂运输量较大、运输成本较高、产生固废脱硫石膏，综合利用途径不畅           |

### 9.2.2 二氧化硫达标的技术路线

本标准确定的铝工业各生产环节二氧化硫排放限值为 35-50、100mg/Nm<sup>3</sup>，各生产环节的二氧化硫控制技术如下：

#### (1)氧化铝

氧化铝生产过程中原料含硫量较低，且燃烧过程呈碱性条件，根据调研或运行实例，通过调整运行参数，强化日常管理，其二氧化硫排放可达到本标准的排放限值要求。

#### (2)电解铝

电解铝生产过程中，二氧化硫来自阳极炭素所含的硫氧化形成，根据调研及收集资料，我省电解铝企业电解烟气大都进行了脱硫改造，调研企业中 1 家采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，3 家采用半干法脱硫工艺。采取脱硫措施后，

强化日常管理，其二氧化硫排放可达到本标准的排放限值要求。

### (3)铝用炭素

根据调研及收集资料，目前我省炭素企业煅烧及焙烧工序均配备了脱硫设施，大型企业均采用石灰石-石膏法脱硫工艺，部分中、小型企业有采用双碱法脱硫工艺，上述企业大都在 2018 年完成脱硫设施改造，根据脱硫改造后的在线监测数据，二氧化硫排放浓度可达到本标准控制要求。

## 9.3 氮氧化物达标可行性分析

### 9.3.1 氮氧化物的控制措施

随着国家对环保要求的重视，氮氧化物也逐渐成为主要关注的有害气态污染物之一，是目前环境监测和环境治理的主要对象之一，近年发布的锅炉、燃煤电厂及冶金、建材等相关行业排放标准中多数对氮氧化物提出了排放限值。

对氮氧化物进行控制的措施主要分为两种：低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术和烟气脱硝技术。低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术主要包括低过量空气燃烧、空气分级燃烧以及烟气再循环等，其对燃烧条件要求较高，铝工业由于炉窑所需温度及燃烧时大都需要与物料接触，尚未有采取该方式控制氮氧化物排放的实例。烟气脱硝技术主要包括：选择性催化还原法（SCR）、选择性非催化还原法（SNCR）、气相氧化吸收法和液相氧化吸收法等。各种脱硝控制技术比较见表 9-7。

表 9-7 常用烟气脱硝控制技术对比

| 技术名称    | SCR                                                               | SNCR                                               | 气相氧化法                                                                                                               | 螯合还原法                                                                                                | 液相氧化法                                                                      |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 还原剂或氧化剂 | 液氨 NH <sub>3</sub> 为主                                             | 氨水或尿素溶液                                            | O <sub>3</sub>                                                                                                      | 螯合捕捉剂 A、螯合还原催化剂 B 和螯合还原补充剂 C                                                                         | KMnO <sub>4</sub> 和 NaClO <sub>2</sub>                                     |
| 原理      | 液氨（NH <sub>3</sub> ）与一氧化氮发生还原反应，将一氧化氮还原为无污染的氮气（N <sub>2</sub> ）和水 | 氨水或尿素与 NO 发生还原反应，将 NO 还原为无污染的氮气（N <sub>2</sub> ）和水 | 采用 O <sub>3</sub> 等强氧化剂在气相中将 NO 氧化成容易被水、酸和碱液吸收的 NO <sub>2</sub> 和 N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 。用水或碱液吸收可回收稀硝酸或硝酸盐。 | 烟气中的 NO、NO <sub>2</sub> 与螯合捕捉剂 A 在液相中反应生成螯合态化合物，该化合物与螯合还原补充剂 C 在催化剂 B 催化下，将螯合态的 N 还原为 N <sub>2</sub> | 用液相氧化剂高锰酸钾（KMnO <sub>4</sub> ）、亚氯酸钠（NaClO <sub>2</sub> ）等将 NO 氧化，然后用碱吸收法吸收 |
| 反应温度    | 320-400℃                                                          | 850-1100℃                                          | 常温-200℃                                                                                                             | 40-180℃                                                                                              | 100-200℃                                                                   |
| 反应器     | 需要建设                                                              | 不需要                                                | 不需要                                                                                                                 | 不需要                                                                                                  | 需要建设                                                                       |

| 技术名称                                | SCR                    | SNCR     | 气相氧化法  | 螯合还原法     | 液相氧化法    |
|-------------------------------------|------------------------|----------|--------|-----------|----------|
| 催化剂                                 | 需要, 且定期更换, 价格贵         | 不需要      | 不需要    | 需要, 且定期更换 | 不需要      |
| 脱硝效率                                | 70-95%                 | 30-40%   | 80-95% | 80-95%    | 80-95%   |
| 还原剂喷射位置                             | 多选择于省煤器与空气预热器之间        | 炉膛或炉膛出口  | 烟气管道   | 风机与脱硫塔之间  | 风机与脱硫塔之间 |
| SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> 转化 | 有                      | 无        | 无      | 无         | 无        |
| NH <sub>3</sub> 逃逸                  | 3-5ppm                 | 10-15ppm | 无      | 无         | 无        |
| 系统压损                                | 1000pa 左右              | 无        | 无      | 无         | 无        |
| 燃料影响                                | 高灰粉会磨损催化剂, 碱金属氧化物钝化催化剂 | 无        | 无      | 无         | 无        |
| 脱硝废液                                | 有少量脱硝废液                | 无        | 有      | 有         | 有脱硝废液需处理 |
| 设备腐蚀                                | 少量                     | 无        | 有      | 有         | 有        |
| 占地                                  | 大                      | 小        | 小      | 小         | 大        |

### 9.3.2 氮氧化物达标技术路线

对于铝工业来讲, NO<sub>x</sub> 多产生于各类炉窑, 且多为热力型氮氧化物, 由于燃烧温度相对不高, 氮氧化物排放浓度一般小于 400mg/Nm<sup>3</sup>。目前铝工业炉窑中, 氧化铝焙烧炉、炭素煅烧及焙烧炉均有烟气脱硝实例, 其中炭素煅烧及焙烧炉脱硝实例较多。

我省某家氧化铝企业已对其厂内 1 台焙烧炉进行了脱硝改造, 采用 SNCR 脱硝工艺, 即在焙烧炉出口与余热锅炉入口间设置脱硝剂喷头, 脱硝剂采用尿素及氨水均取得了较好的效果, 烟气 NO<sub>x</sub> 排放浓度可控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以下。对于氧化铝烧成窑烟气脱硝尚没有成熟技术, 据了解国内某家氧化铝企业对烧成窑烟气进行了 SNCR 脱硝改造尝试, 但烟气中含有大量强碱性物料粉尘, 最终尝试失败。

我省铝用炭素生产企业煅烧工序大都设置了烟气脱硝设施, 根据调研采取的脱硝工艺包括 SNCR 和 SCR, 上述工艺均适用于煅烧烟气脱硝, 烟气 NO<sub>x</sub> 排放浓度可控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以下, 其中 SCR 脱硝效果优于 SNCR。焙烧炉部分企业采取了脱硝措施, 有 2 家企业采取 DSNCR 烟气脱硝工艺, 有 1 家企业在电捕焦油器后采取了臭氧脱硝 (低温脱硝工艺), 取得了较好的效果, 烟气



NO<sub>x</sub> 排放浓度可控制在 100mg/Nm<sup>3</sup> 以下。

## 9.4 总体经济投入、技术路线

近年来，随着国家及地方大气污染防治政策及排放要求日趋严格，我省铝工业企业陆续进行了一系列环保改造，由于氧化铝、电解铝、铝用炭素等不同行业环保管理要求不尽相同及不同地域环保管理的差别，再加上治理工艺技术适用性等因素，目前我省铝工业环保改造实施进展程度有一定差别。

《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》（环境保护部公告 2018 年第 9 号）要求，“自 2018 年 10 月 1 日起，执行二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物特别排放限值”，但将有色行业中的氧化铝企业排除在外。《河南省 2019 年工业炉窑污染治理方案》中，“铜、铝（不含氧化铝）、铅、锌工业烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、50、100 毫克/立方米”，该治理方案也将氧化铝企业排除在外。根据调研，目前氧化铝企业颗粒物治理措施工艺路线已基本成熟；烟气二氧化硫尚未有采取脱硫措施的企业，在不考虑经济因素的前提下，从燃料改为天然气或采取湿法烟气脱硫措施应可有效控制二氧化硫的排放水平；脱硝方面，焙烧炉烟气采用 SNCR 工艺已有应用实例，熟料烧成窑尚没有成熟的脱硝技术路线，行业相关企业及技术单位应加大技术攻关力度，需进一步论证 SCR 或低温烟气脱硝工艺的适用性。

我省某家氧化铝企业对其熟料烧成窑进行了除尘改造，主体改造内容为将静电除尘器由三电场改为五电场，4 台窑改造费用总计 4500 万元，改造后净化系统运行费用增加 20 元/t 氧化铝（不含设备折旧）。我省某家氧化铝企业对其 1 台焙烧炉进行了炉内合适温度段开孔加设喷头喷尿素的方式降低烟气中氮氧化物的改造，并对除尘系统改造（电除尘后增加金属滤袋除尘器），两项投资分别为 10 万元、1500 万元，改造后成本折合吨氧化铝增加 40-50 元，据了解，目前氧化铝生产成本约 2500 元/吨（全成本），成本增加比例约 2%，。燃用天然气的成本为自制煤气的 2-3 倍，对于 200 万吨级的拜耳法氧化铝企业，燃用天然气比自制脱硫煤气成本高出 4000-5000 万元，因此氧化铝企业二氧化硫排放控制应在天然气燃料选择、煤气二次脱硫及烟气末端脱硫等综合比选确定。

我省电解铝企业除一家因实施产能置换退出河南电解铝行业，未实施环保

改造外，其余四家均完成了脱硫改造，脱硫工艺包括石灰石-石膏湿法工艺和半干法工艺，均可满足本标准限值要求，湿法工艺效果明显优于半干法工艺且运行稳定。脱硫设施投资方面，石灰石-石膏湿法脱硫系统远高于半干法脱硫系统，我省某电解铝企业共设置 6 套石灰石-石膏湿法脱硫装置，投资共计约 21000 万元（45 万 t/a 电解铝产能）；某企业 25 万 t/a 电解铝系统设置 3 套半干法脱硫装置，投资共计约 6700 万元；某企业 18 万 t/a 电解铝系统设置 3 套半干法脱硫装置，投资共计近 6000 万元，吨铝石灰石-石膏湿法脱硫系统投资是半干法脱硫系统的 1.4-1.9 倍。运行成本方面，石灰石-石膏湿法工艺和半干法工艺相当，吨铝脱硫成本约 100 元左右（不含折旧）。目前 1 吨电解铝生产成本约 14000 元（全成本），改造前约 12600 元，增加了 10%左右，增加比例对电解铝企业来说，经济效益受较大影响，导致了电解铝企业退出河南市场。

我省铝用炭素行业大都已进行环保改造，涉及除尘、脱硫、脱硝等治理措施的升级改造，部分企业重新建设了环保治理系统。炭素行业颗粒物、二氧化硫治理工艺及煅烧炉氮氧化物治理工艺已很成熟，可以稳定达到本标准限值要求。大型铝用炭素企业，焙烧炉目前大都采用天然气燃料，氮氧化物未采取脱硝治理情况下排放水平可达到本标准限值要求，也有企业对焙烧炉烟气采取臭氧脱硝（低温脱硝工艺），取得了一定的效果。以我省某两家产能均为 15 万 t/a 铝用炭素企业为例：企业一煅烧烟气净化采用沉降室+余热回收+布袋除尘+石灰石-石膏脱硫+湿电，并采取 DSNCr 脱硝措施，烟气净化系统改造投资 4000 余万元，吨产品运行费用约 100 元（不含设备折旧）；焙烧烟气采用喷淋（四级）+沉降+电捕焦+石灰石-石膏+管束除尘，烟气净化系统改造投资 3000 余万元，吨产品运行费用约 80 元（不含设备折旧）。企业二煅烧烟气净化采用余热回收+多管旋风+SCR+空冷+石灰-石膏脱硫+湿电，烟气净化系统改造投资超过 2500 万元，吨产品运行费用约 50 元（不含设备折旧）；焙烧烟气采用水喷淋+电捕+臭氧脱硝+石灰-石膏脱硫+二次脱硝（备用）+管束除尘，烟气净化系统改造投资约 1600 万元，吨产品运行费用较改造前增加 30 元。改造完成后，总成本增加 100-200 元/吨产品，据了解，目前 1 吨炭素成本约 3200-3500 元(全成本)，污染治理改造成本增加约 3%-5%。对于大型铝用炭素企业经济效益会有影响，但可以接受，规模较小的炭素企业可能面临淘汰。

本标准依据铝工业目前可以达到的技术、运行、管理水平，并结合环保管理要求和环境保护需要，确定本标准排放限值控制水平，我省铝工业各生产环节达标技术路线见表 9-8，但不限于表中路线，其他等效技术亦可。由表可见，对于我省现有铝工业企业，多数生产环节依托现有治理技术，提高运行管理水平、适当优化改造就可以达到本标准要求，但对于石油焦煅烧炉（窑）需要优化现有湿法脱硫系统、增设脱硝设施，熟料烧成窑、石灰炉（窑）需尚无成熟脱硝技术，可通过优化运行管理，氧化铝焙烧需燃用天然气或自制脱硫煤气适度掺烧天然气或增设脱硝。

表 9-8 铝工业各生产环节达标可采用技术路线

| 各生产环节 |           | 可采用的达标技术路线                                                       | 备注                                                                |
|-------|-----------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 氧化铝   | 熟料烧成窑     | 旋风+静电除尘+湿法脱硫（尾部配套烟尘净化措施），优化运行管理等                                 | 熟料烧成窑湿法脱硫、脱硝国内尚未有企业应用实例                                           |
|       | 焙烧炉       | 旋风+静电除尘+袋式除尘（金属滤袋），SNCR 脱硝或其他有效脱硝措施，燃用天然气或自制脱硫煤气适度掺烧天然气控制二氧化硫排放等 |                                                                   |
|       | 石灰炉（窑）    | 旋风+袋式除尘+脱硫（尾部配套烟尘净化措施）等                                          | 《河南省 2019 年工业炉窑污染治理方案》要求：2019 年底前，符合条件的石灰制造企业完成提标治理；石灰窑实施除尘脱硫脱硝改造 |
|       | 原料加工、运输   | 袋式除尘等                                                            | 除尘器选择合理的过滤面积或采用高效覆膜滤袋                                             |
|       | 氧化铝贮运     | 袋式除尘等                                                            | 除尘器选择合理的过滤面积或采用高效覆膜滤袋                                             |
| 电解铝   | 电解槽烟气净化   | 氧化铝吸附+袋式除尘+脱硫措施（尾部配套烟尘净化措施）等                                     | 可采用石灰石-石膏湿法或半干法脱硫工艺                                               |
|       | 氧化铝、氟化盐贮运 | 袋式除尘等                                                            | 除尘器选择合理的过滤面积或采用高效覆膜滤袋                                             |
|       | 电解质破碎     | 袋式除尘等                                                            | 除尘器选择合理的过滤面积或采用高效覆膜滤袋                                             |
| 铝用炭素  | 阳极焙烧炉     | 预除尘（沉降、水雾等）+电捕焦油+湿法脱硫（尾部配套烟尘净化措施）等                               | 脱硫建议采用石灰石-石膏脱硫工艺，鼓励采取脱硝措施                                         |
|       | 阴极焙烧炉     | 预除尘（沉降、水雾等）+电捕焦油+湿法脱硫（尾部配套烟尘净化措施）等                               | 脱硫建议采用石灰石-石膏脱硫工艺，鼓励采取脱硝措施                                         |
|       | 石油焦煅烧炉（窑） | 沉降室+旋风除尘+SCR 脱硝+石灰石-石膏脱硫+湿电除尘等                                   | 可采取 DSNCR、SCR 等脱硝工艺                                               |
|       | 生阳极制造     | 电捕焦油或焦粉吸附+袋式除尘或其他有效措施等                                           | 鼓励尾部增设 VOC 净化设施                                                   |
|       | 阳极组装及残极破碎 | 袋式除尘等                                                            | 除尘器选择合理的过滤面积或采用高效覆膜滤袋                                             |

## 10 社会、环境效益

### 10.1 推进产业结构调整

预计本标准实施后，我省 70%以上的炭素企业有望关停淘汰，占我省铝用炭素产能的 24%，促进独立铝用炭素企业“小、散、乱”问题的解决，推动我省铝用炭素产业结构调整和污染治理水平大幅提升。

### 10.2 促进主要污染物减排

经估算本标准实施后，全省铝工业颗粒物、二氧化硫、氮氧化物减排量分别为：10047t/a、26993 t/a、15048t/a，行业减排比例分别为：38.6%、52.9%、44.3%。铝工业作为我省大气主要污染物排放量排名前五的重点行业，本标准的实施将有效降低铝工业排放总量，对推进全省环境空气质量的进一步改善具有重要意义。

表 10-1 标准实施后预计的主要污染物削减效果一览表

| 行业类别 | 颗粒物    |         | SO <sub>2</sub> |         | NO <sub>x</sub> |         |
|------|--------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
|      | 减排量(t) | 减排比例(%) | 减排量(t)          | 减排比例(%) | 减排量(t)          | 减排比例(%) |
| 氧化铝  | 4563.7 | 41.5    | 11958.5         | 56.9    | 14070           | 45.4    |
| 电解铝  | 3339.6 | 50.9    | 8733            | 82.3    | -               | -       |
| 铝用炭素 | 2143.7 | 42.8    | 6301.5          | 45      | 978             | 27.3    |
| 合计   | 10047. | 38.6    | 26993           | 52.9    | 15048           | 44.3    |

### 10.3 提升环境管理要求

本标准较国家现行的《铝工业污染物排放标准》（GB25465-2010）大幅加严，强化行业污染物排放控制，提升了环境管理要求，为严格环境执法提供依据。

## 11 标准实施建议

#### (1) 加快氧化铝熟料烧成窑、石灰窑烟气脱硝技术探索

氧化铝熟料烧成窑、石灰窑烟气中含有大量的碱性粉尘，采用常规的工艺窑炉 SCR 或 SNCR 脱硝技术，脱硝效果及持续性不好，需要加快研发经济有

效的氧化铝熟料窑烟气脱硝技术，以确保氧化铝熟料窑烟气氮氧化物达标。

## (2) 制定实施河南省炭素行业污染防治技术规范

我省炭素企业数量较多，除个别生产规模较大外，总体生产规模较小，装备水平一般，管理水平较差，清洁生产水平不高，部分企业环保设施不尽完善，污染相对较重。部分规模较大炭素企业，也存在环保设施不尽完善，无组织排放气体收集率低等问题。因此，建议制定实施河南省炭素行业污染防治技术规范，指导和规范炭素企业环保设施建设、运行和管理。