

我国氟化钠行业现状与发展趋势

李程文

(宜昌晶能富新材料有限公司, 湖北 宜昌 443208)

[摘要] 近年来,随着新能源、新材料、新医药行业的发展,氟化钠应用领域不断扩展,市场需求也呈现持续增长趋势。而与此同时,新的应用领域对氟化钠产品也提出了新的要求。因此,为了满足市场对氟化钠产品的新要求,探索当前新形势下我国氟化钠行业发展趋势是一项非常迫切而又有意义的任务。结合不同等级的氟化钠产品,从市场现状、技术现状以及生产现状3个方面详细阐述当前我国氟化钠行业现状。同时,从新应用、新产品、新技术、新智造4个角度详细论述了我国氟化钠行业未来发展方向,为促进我国氟化钠行业发展提供支撑。

[关键词] 氟化钠; 现状; 新应用; 发展方向

[中图分类号] TQ124.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 07-0068-06

Current situation and development trend of sodium fluoride industry in China

LI Chengwen

(Yichang Jingnengfu New Materials Co., Ltd., Yichang 443208, China)

Abstract: In recent years, with the development of new energy, new materials, and new pharmaceutical industries, the application field of sodium fluoride has been continuously expanding, and the market demand for sodium fluoride has also shown a sustained growth trend. At the same time, new application areas have also put forward new requirements for sodium fluoride products. Therefore, in order to meet the new requirements of the market for sodium fluoride products, exploring the development trend of China's sodium fluoride industry under the new situation is a very urgent and meaningful task. Combining different grades of sodium fluoride products, the current situation of China's sodium fluoride industry is elaborated in detail from three aspects: Market status, technological status and production status. At the same time, the future development directions of China's sodium fluoride industry are discussed in detail from four perspectives: New applications, new products, new technologies, and new intelligent manufacturing, providing support for promoting the development of China's sodium fluoride industry.

Key words: sodium fluoride; current situation; new application; development direction

氟化钠是一种离子化合物,分子式为NaF,相对分子质量为41.99,呈无色晶体或白色固体状,无嗅,无味^[1],熔、沸点分别为993℃和1700℃,密度为2.558 g/cm³。其离子化合物晶体结构类似氯化钠结构,呈八面体配位^[2]。氟化钠微溶于乙醇,可溶于水,在100 g 0℃水中能溶解4 g,水溶液呈弱碱性^[3]。氟化钠有毒,能腐蚀皮肤,刺激黏膜,长期接触对神经系统有损害。

国内氟化钠行业历经30多年的发展,生产工艺已经成熟,然而各生产厂家产品同质化较为严重,生产成本趋于透明化,部分企业为了占领市场采取低价倾销、以次充好等不正当竞争手段,导致行业存在恶性竞争现象,严重影响了国内氟化钠行

业的健康发展。而氟化钠因其低溶解度、不吸潮、无腐蚀性、价格便宜、使用方便等特点,不仅在冶炼、陶瓷、饮用水、牙膏等传统应用领域一直被使用,在新能源、新材料、医药等行业也产生了新的应用。面对新的应用市场,对氟化钠产品质量也提出了新的要求,因此,分析当前国内氟化钠行业市场现状与技术现状,研究氟化钠行业未来发展趋势,引导企业向高品质发展,避免行业内部同质化恶性竞争,对促进国内氟化钠行业健康发展具有重

[收稿日期] 2025-04-15

[作者简介] 李程文(1987-),男,江西南昌人,工程师,宜昌晶能富新材料有限公司总工程师,专注无机氟化工新产品、新技术、新工艺开发。

要意义。

1 氟化钠行业现状

1.1 全球市场现状

氟化钠产品共分为工业级、牙膏级两个等级。

1.1.1 工业级氟化钠

在传统行业，工业级氟化钠应用广泛^[4]。在钴、镍、钨等金属冶炼行业，工业级氟化钠作为钙镁脱除剂被添加至矿物浸出液，用于除去钙镁杂质^[5]；在钢铁冶炼行业，氟化钠作为保护渣添加剂添加至钢水中，对熔融钢水起保温、防止二次氧化、净化除杂的作用^[6]；在电解铝行业，工业级氟化钠作为助熔剂被添加至电解槽中用于降低电解液熔点，节省能耗；在磨具行业，工业级氟化钠作为黏合剂添加至磨具中^[7]，能够增强材料耐磨损性、耐腐蚀性等特性^[8]；在饮用水以及酿造行业，工业级氟化钠可作为杀菌剂起消毒、杀菌作用；在陶瓷、玻璃及搪瓷生产加工中，工业级氟化钠作为遮光剂使用。

目前，工业级氟化钠全球市场需求约为10万t/a，并且每年以5%的速度持续增长。工业级氟化钠产品质量要求执行YS/T 517—2024行业标准，如

表1所示。

表1 工业级氟化钠质量标准

Table 1 Quality standards for industrial grade sodium fluoride

等级	w(NaF)/ %	w(SiO ₂)/ %	w(H ₂ O)/ %	w(SO ₄ ²⁻)/ %	w(CO ₃ ²⁻)/ %	w(水不 溶物)/%	酸度 w(HF)/%
一级	≥98	≤0.5	≤0.5	≤0.3	≤0.37	≤0.7	≤0.1
二级	≥95	≤1.0	≤1.0	≤0.5	≤0.74	≤3	≤0.1
三级	≥84		≤1.5	≤2.0	≤1.49	≤10	≤0.1

1.1.2 牙膏级氟化钠

在牙膏行业，作为牙膏添加剂，氟化钠中的氟可与牙釉质表面羟基磷灰石形成更坚固的氟磷灰石（氟磷酸钙），从而提高牙齿表面对酸的抵抗能力，降低菌斑的产生，减少龋齿的发生率^[9]。在漱口水行业，氟化钠被添加至漱口水，能够有效清除口腔内的食物残渣和牙菌斑，保持口腔清洁^[10]。目前，牙膏级氟化钠全球市场需求量约为2万t/a。而随着人们对口腔健康的重视程度不断提高，含有氟化钠的牙膏以及漱口水在市场上也受到了广泛欢迎，未来其市场需求必然会持续增长。牙膏级氟化钠产品质量要求执行HG/T 5210—2017行业标准，如表2所示。

表2 牙膏级氟化钠产品质量标准

Table 2 Quality standards for toothpaste grade sodium fluoride

w(NaF) 干燥 (以干基 计)/%	w(水不 溶物)/ %	酸度(以100 g产品 中H ⁺ 的物质的量 计)/mmol	碱度(以100 g产品 中OH ⁻ 的物质的量 计)/mmol	w(Cl ⁻)/ %	w(硫酸盐) (以SO ₄ ²⁻ 计)/ %	w(氟硅酸盐) (以Na ₂ SiF ₆ 计)/ %	w(Fe)/ %	w(重金属) (以Pb计)/ (mg·kg ⁻¹)	w(As)/ (mg·kg ⁻¹)	
≥98.0	≤0.5	≤0.05	≤10	≤2.5	≤0.01	≤0.02	≤0.35	≤0.005	≤10	2

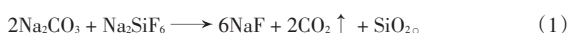
1.2 技术现状

氟化钠的生产方法主要有氟硅酸钠纯碱法、氢氟酸中和法、氟化铵法以及萤石熔浸法^[11]。

1.2.1 氟硅酸钠纯碱法

氟硅酸钠纯碱法采用氟硅酸钠与碳酸钠为原料，在含有循环母液的反应釜中进行混合反应，分离出硅胶后，即得氟化钠产品^[12]。其工艺流程如图1所示。

其化学反应方程式如下：



氟硅酸钠纯碱法工艺原料价格低廉，生产成本相对较低，反应条件温和、工艺简单易操作，对设备要求低^[13]。同时，生产过程中，除二氧化碳气体外，无废水和固废排出，属环境友好型的生产工艺^[14]。目前该工艺也是国内生产工业级氟化钠的主流工艺。

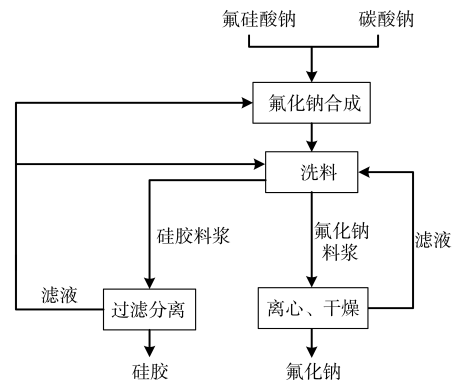
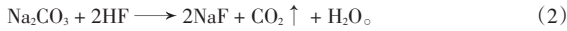


图1 氟硅酸钠纯碱法工艺流程

Fig. 1 Process flow of sodium fluorosilicate and soda ash method

1.2.2 氢氟酸中和法

氢氟酸中和法是以氢氟酸与碳酸钠为原料^[15]，用碳酸钠中和氢氟酸制得氟化钠。其化学反应方程式如下：



氢氟酸中和法工艺流程如图2所示。该工艺流程简单，产品质量稳定，但存在设备腐蚀严重的问题，对设备材质要求较高。同时采用氢氟酸为原料，其原料成本较高，因此该工艺主要用于生产牙膏级氟化钠。

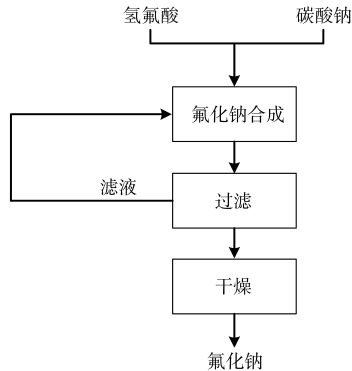


图2 氢氟酸中和法工艺流程

Fig. 2 Process flow of hydrofluoric acid neutralization method

1.2.3 氟化铵法

氟化铵法以氢氟酸、氨气、氯化钠为原料，首先将氨气通入氢氟酸中制得氟化铵溶液，再向氟化铵溶液中加入氯化钠溶液，依托氟化钠的低溶解度特性，使氟化钠结晶析出^[16]。

其化学反应方程式如下：



工艺流程：(1) 吸收，将氯化铵结晶分离后的母液返回到酸化工序，再加入部分水，用HF将其酸化，酸化液中HF的适宜质量分数为5%~10%，酸化液送入吸氨罐，同时通入氨气，至pH≥6，温度控制在80~90℃；(2) 结晶，将吸氨后液体送入氟化钠结晶器，加入氯化钠，以使氟化钠结晶析出，严格控制氯化钠的加入量，以保证产品质量，再将结晶氟化钠经增稠分离后，母液送至氯化铵冷析结晶器结晶，冷析温度为5~40℃，用工业水作为冷媒；(3) 分离，除包括分离氟化钠结晶外，还包括将冷析出的氯化铵经增稠后分离，所得母液送至酸化工序；(4) 干燥，将所分离出的氟化钠和氯化铵分别干燥而得到成品。

也有将纯碱和氟化铵混合，加热升温至300℃，直到把氨除尽为止的工艺，该工艺在俄罗斯采用较多，工艺简单，但质量不稳定。其化学反应方程式如下：

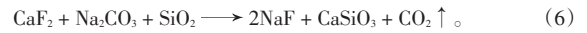


氟化铵法优点是原料易得，反应温度较低，设备腐蚀较小。缺点是流程长，产品质量不高。

1.2.4 萤石熔浸法

该法是氟化钠最早的生产方法，即将萤石、纯碱和石英砂在高温下(约900℃)煅烧，然后用水浸取，再经蒸发、结晶、干燥后即得成品^[17]。

其化学反应方程式如下：



该工艺最大优点是原料成本低，但存在一些问题：一是反应不完全，产率不高；二是氟化钠在水中的溶解度很小，且随温度变化不大，造成耗水量大，而且浸取不完全；三是煅烧温度高，因烧结成硬块，造成浸取困难；四是能耗高；五是反应过程产生大量粉尘和CO₂，对环境造成污染。

1.3 生产现状

我国氟化钠生产自20世纪90年代开始起步，历经30多年的发展，行业逐步走向成熟。据统计，在2010年，国内氟化钠生产厂家还有40多家^[18]，生产规模偏小，行业集中度低。而如今，存活企业不到一半，但有几家产能已达到万吨级以上。2024年国内氟化钠总产量约8万t，国内氟化钠生产企业产能分布及生产工艺如表3所示。

表3 国内氟化钠生产企业产能分布及生产工艺

Table 3 Capacity of domestic sodium fluoride

production enterprises and their production processes

序号	生产企业名称	产能/(t·a ⁻¹)	生产工艺
1	宜昌晶能富新材料有限公司	30 000	氟硅酸钠纯碱法
2	衡阳锦轩化工有限公司	15 000	氟硅酸钠纯碱法
3	岳阳天瀛化工有限责任公司	15 000	氟硅酸钠纯碱法
4	攸县胜利氟化工股份有限公司	6 000	氟硅酸钠纯碱法
5	乐平市佳宏化工有限公司	6 000	氟硅酸钠纯碱法
6	莹科新材料股份有限公司	4 000	氢氟酸中和法
7	攸县盛发精细化工有限公司	4 000	氟硅酸钠纯碱法
8	攸县三星化工有限责任公司	3 000	氟硅酸钠纯碱法

目前工业级氟化钠主要采用氟硅酸钠纯碱法制备，而牙膏级氟化钠主要采用氢氟酸中和法制备。氟化铵法以及萤石熔浸法因产品质量不稳定、能耗高已被淘汰。

1.3.1 氟硅酸钠纯碱法生产流程

(1) 纯碱溶液配制：向纯碱溶解槽内加入水和回用母液，启动搅拌，然后逐步往溶解槽内投加纯碱。加完纯碱后，打开蒸汽阀，通过调节蒸汽阀开度保持溶解槽内温度60℃左右。待纯碱完全溶解清亮后，用输送泵把纯碱溶液输送至纯碱成品储

罐, 备用。

(2) 氟硅酸钠制浆: 往氟硅酸钠制浆槽内加入成品母液, 启动搅拌机, 逐步投加氟硅酸钠, 配制成质量分数为35%的氟硅酸钠料浆, 再由氟硅酸钠料浆输送泵打入反应釜中, 备用。

(3) 合成反应: 启动反应釜搅拌, 打开反应釜蒸汽阀, 通过调节蒸汽阀开度使反应釜内温度维持在90~95℃。打开纯碱溶液进料阀, 逐步加入纯碱溶液进行反应, 控制终点pH为7~8。加入过量的纯碱使氟硅酸钠反应彻底, 形成二氧化硅与氟化钠混合料浆。待反应完成后, 关闭纯碱溶液进料阀、反应釜蒸汽阀, 打开反应釜卸料阀, 将反应后料浆放入洗料机中。

(4) 洗涤分离: 将母液储罐内上清液输送至洗料机中洗涤, 依托氟化钠与二氧化硅的密度差, 将上层硅胶料浆转入真空转鼓过滤机中进行洗涤分离, 过滤得到的硅胶可作为副产品外售, 而洗涤滤液经泵输送至母液储罐, 备用。洗料机底部氟化钠料浆则转入离心机脱水。

(5) 离心、干燥、粉碎、包装: 洗净的含水氟化钠结晶与部分母液流入高速旋转的离心机。离心、过滤分离母液, 得到 $w(\text{H}_2\text{O})$ 8%~10%的氟化钠结晶颗粒, 洗涤后的滤液流入离心滤液中转槽再经离心滤液输送泵打入母液罐中。离心后氟化钠湿品投加至干燥机, 经热风干燥后再输送至料仓中。干燥后氟化钠($w(\text{H}_2\text{O}) < 0.5\%$)进行分级筛分, 颗粒较大的结晶氟化钠直接送产品包装; 小颗粒氟化钠产品送入雷蒙磨粉机, 破碎成粉, 达到细度要求的粉状氟化钠随气流输送至粉状产品料仓内包装。

1.3.2 氢氟酸中和法生产流程

向反应釜中加入质量分数30%~40%的氢氟酸, 将用母液溶解纯碱(或烧碱)制得的碱液用泵打入反应釜中, 在搅拌下进行反应, 直到反应液pH为8~9且无二氧化碳气泡逸出为止。反应过程中, 通入循环冷却水, 控制反应温度在60~70℃, 降低氟化氢气体的逸出。反应完成后, 开启反应釜底阀, 将物料放至结晶罐内。经过10h结晶后, 物料进行离心洗涤, 离心洗涤产生的母液返回碱溶解工序。离心后物料经105℃干燥2h, 即得氟化钠产品。氢氟酸中含有的少量氟硅酸杂质在反应过程中会生成氟硅酸钠, 当pH升高至8~9时会分解成氟化钠。为了降低产品中二氧化硅杂质含量, 除了上述控制反应终点pH在8~9外, 还可以用氢氧化

钠溶液洗涤氟化钠晶体, 将二氧化硅变成可溶性硅酸钠, 经过滤分离除去。

2 氟化钠行业发展趋势

2.1 新应用

2.1.1 钠电池

在国家“双碳”目标带动下, 新能源产业迎来了高速发展历史机遇, 与当前广泛使用的锂离子电池相比, 钠离子电池产业处于发展初期, 但对我国减少锂资源对外依存度具有重要战略意义, 钠离子电池也因此被认为最有潜力的新型储能电池。工业和信息化部2024年11月6日发布的《新型储能制造业高质量发展行动方案(征求意见稿)》, 明确提出要推动钠电池工程化和应用技术攻关。六氟磷酸钠作为钠电池电解质使用, 而氟化钠是制备六氟磷酸钠的关键原材料, 同时氟化钠还能用于合成氟磷酸钠、氟磷酸钒钠等钠电池正极材料。因此, 钠电池产业的发展, 无疑能够有效推动氟化钠行业的进步, 而提供高品质、高性价比的氟化钠产品也能为钠电池产业的发展提供助力, 共同发展。

2.1.2 锂电池回收

锂电池回收作为锂电池最后一公里的解决方案, 是保障锂电池产业可持续发展的必然途径。在锂电池回收行业, 氟化钠可作为钙、镁脱除剂使用, 依托氟化钠与钙、镁离子形成氟化钙、氟化镁沉淀的原理, 脱除酸浸液中的钙、镁杂质, 从而有效确保锂电池回收产品的质量。近年来, 随着锂电池退役潮的到来, 锂电池回收产业规模也呈现飞速增长趋势。2024年, 退役电池总量已达58万t, 预测到2030年锂电池回收的市场规模将达千亿元级^[19]。未来氟化钠主要新增市场将集中在锂电池回收行业。

2.1.3 光伏

在光伏板制造过程中, 氟化钠可作为光学玻璃涂覆在光伏板表面, 从而增强光伏板对太阳光的吸收率, 提高光电转化效率^[20]。同时在光伏板的日常运营维护过程中, 需要使用光伏板清洗剂, 用于日常清理光伏板表面灰尘、粉尘、污垢等污染物, 保障光伏板的发电效率。传统光伏板清洗剂通常添加氢氟酸, 但因氢氟酸强腐蚀、易挥发、剧毒等特性, 其对设备、操作人员都存在较大的危险性。因此, 新型光伏板清洗剂正逐步采用氟化钠来替代氢氟酸, 利用氟化钠为固体粉末、无腐蚀、不吸潮等特性, 其使用上更方便、安全, 对设备要求也低。同样基于这种安全特性, 氟化钠在涂料行业也在逐

步替代氢氟酸,产生新的应用场景。

2.1.4 建材添加剂

速凝剂作为一种建材添加剂被广泛应用于混凝土中,是喷射混凝土施工中重要的材料,其主要功能是加速喷射混凝土的凝结硬化,减少回弹损失,防止喷射混凝土因重力引起脱落,加大一次喷射厚度和缩短喷射层的间隔时间。传统速凝剂主要为有碱速凝剂,但随着技术进步以及人们对安全的要求逐步提高,无碱速凝剂因其碱含量较低、后期强度保留率高且对操作人员伤害较小等优点,已开始逐渐取代传统的有碱速凝剂^[21]。而氟化钠作为无碱速凝剂的主要功能成分,其在建材行业的应用也将逐步打开市场。

2.2 新产品

2.2.1 电子级氟化钠

电子级氟化钠作为钠电池专用材料^[22],为了满足钠电池的要求,不仅要求其 $w(\text{NaF})$ 大于99.9%,各项金属杂质质量分数都要低于 10×10^{-6} ,同时对水分、粒径都有要求^[23]。国内具备生产电子级氟化钠能力的企业也只有两三家,而下游钠电池厂商也会根据自身产品情况对电子级氟化钠原料质量提出特定的约束条件,因此电子级氟化钠目前还没有形成统一的行业标准。

2.2.2 吸附级氟化钠

吸附级氟化钠为多孔氟化钠结构,通常为球状或片状^[24]。由于拥有一定孔隙率,因此可以对氟化氢产生一定的物理吸附^[25],再加上氟化钠可以与氟化氢反应生成氟化氢钠,在物理吸附以及化学反应的双重机制下,吸附级氟化钠对氟化氢有很高的吸附容量,其氟化氢最大吸附量可达 0.5 g/g ^[26]。

当前,在电解质(六氟磷酸锂)、有机氟材料(制冷剂、氟代碳酸乙烯酯、聚偏二氟乙烯)制备以及锂电池回收过程中,都会产生大量含氟尾气,其中氟主要为氟化氢。为了降低成本,企业通常采用碱液吸收+石灰中和+深度处理的方法,将含氟尾气转变成含氟废水,进行沉淀处理。产生的氟化钙废渣,无法作为产品销售,作为固废进行堆积、填埋,造成环境污染以及资源浪费。

吸附级氟化钠依托其对氟化氢的选择吸附性^[27],可实现对氟化氢的吸附,而在高温下又能将吸附的氟化氢脱除。利用吸附级氟化钠对氟化氢的吸附与脱附,不仅解决了氟的处理问题,也能够回收高附加值的氟化氢产品,大幅度降低处理成本,提高工艺的经济可行性。

2.2.3 光学级氟化钠

光学级氟化钠是一种透明的晶体^[28],它的折射率为1.354,其在紫外线和可见光范围内具有较高的透过率。在紫外线波长为185 nm时,透过率可达70%以上;在可见光波长范围内,它的透过率也比较高。依托其高折射率和透过率,氟化钠被广泛应用于制造紫外线和红外线光学元件,如光学窗口、透镜、棱镜和偏振器等。同时还可以用于光学涂层,提高光学元件的反射率和透过率,起到防腐保护和作用。光学级氟化钠不仅要求 $w(\text{NaF})$ 大于99.95%,各项金属杂质质量分数小于 10^{-5} ,同时产品外观为无色透明晶体,红外透过率大于85%(波长 $3 \sim 8 \mu\text{m}$)。光学级氟化钠作为氟化钠产品质量的天花板,目前国内还没有厂家具备生产能力,完全依赖进口,而高额的产品价格也严重制约了国内光学级氟化钠晶体行业的发展。

2.3 新技术

历经30年的技术发展,目前工业级氟化钠生产技术已经成熟,而牙膏级氟化钠生产依然以氢氟酸中和法为主。

宜昌晶能富新材料有限公司采用氟硅酸钠与碳酸钠为原料,依托副产氟硅酸钠分级纯化回收技术以及氟化钠诱导结晶生长技术,解决了氟化钠与二氧化硅存在包覆现象的难题,提高了产品纯度,使氟化钠能够满足牙膏级产品的要求。同时,由于氟硅酸钠法相较于氢氟酸法,其对设备的腐蚀性更小,所得牙膏级氟化钠中各项金属杂质含量更低,品质更优。再加上氟硅酸钠替代氢氟酸,其原料成本大幅度降低,所得牙膏级氟化钠产品市场竞争力显著。

当前,随着氟硅酸钠纯碱法制备牙膏级氟化钠技术的突破,在品质与价格双重优势下,牙膏级氟化钠的生产必然逐步由氢氟酸中和法转变为氟硅酸钠纯碱法。

2.4 新智造

当前,绝大多数氟化钠生产企业规模偏小,产品市场竞争力差,技术投入少,生产装置落后,自动化水平低,产品质量参差不齐。为了适应新时代、新应用、新发展的要求,氟化钠行业必然要向规范化、规模化、自动化转型升级。牢抓质量管理,从原料、过程、产品三位一体构建标准化产品质量管理体系,优化产品质量稳定性。同时,改变当前经验主义、粗放型的生产模式,提高设备自动化水平,构建现代化、自动化、智能化生产装置,

实现先进制造。

3 结语

我国作为全球氟化钠生产与出口大国,其市场份额全球占比已超过70%,决定着全球氟化钠产业的发展。历经30年的发展,在技术进步与应用领域拓展的持续助力下,我国氟化钠行业依然展现出强劲的市场增长潜力与广阔的发展前景。

面对当前新应用、新产品提出的新要求,氟化钠企业应坚持创新引领,加强技术与人才投入,实现高品质、高附加值氟化钠的转型升级,开展副产硅胶的循环利用,形成氟硅资源循环利用并行发展模式。同时,联合上下游产业进行区域资源的整合,走规范化、规模化、集群化的发展路线,提高企业自身竞争优势,并依托现代化先进制造装置,实现生产线自动化、智能化转型升级。紧跟市场趋势,加强技术创新与产业链协同,共同推动氟化钠行业的繁荣发展。

[参考文献]

- [1] 王秀莉,宋丹丹,尚玉俊,等.氟化钠纯度测定方法探讨与比较[J].广州化工,2022,50(9):89-92.
WANG X L, SONG D D, SHANG Y J, et al. Discussion and Comparison of Determination Methods for Sodium Fluoride Content[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(9):89-92.
- [2] 冯胜波.利用硅渣制备偏硅酸钠联产氟化钠产品的工艺研究[J].化学工程,2019,47(7):76-78.
FENG S B. Process research on producing sodium metasilicate with sodium fluoride by silicon slag[J]. Chemical Engineering (China), 2019, 47(7):76-78.
- [3] 何浩明,隋岩峰,李子燕,等.一种氟化钠的制备方法:CN102557079A[P].2012-07-11.
- [4] 明大增,王煜,李志祥,等.一种氟化钠晶体与二氧化硅的分离方法:CN101717097A[P].2010-06-02.
- [5] 吕智爽,蔡梦阳,杜春霖.利用生产氢氟酸的废酸制备氟化钠的研究[J].辽宁化工,2020,49(4):367-369.
LV Z S, CAI M Y, DU C L. Study on the preparation of sodium fluoride with the waste liquid of hydrofluoric acid production[J]. Liaoning Chemical Industry, 2020, 49(4):367-369.
- [6] 李军,张秋江,王振兴,等.氟化钠连续浸出白钨矿工艺及装备研究[J].中国钨业,2024,39(5):26-32.
LI J, ZHANG Q J, WANG Z X, et al. Research on the process and equipment for the continuous leaching of scheelite with sodium fluoride[J]. China Tungsten Industry, 2024, 39(5):26-32.
- [7] 李帅,李天祥,朱静,等.氟化钠提纯工艺研究[J].无机盐工业,2024,56(9):90-97.
LI S, LI T X, ZHU J, et al. Study on Purification Process of Sodium Fluoride[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2024, 56(9):90-97.
- [8] 邓国平,伍勇,段利中,等.含氟废液资源化制备氟化钠的工艺研究[J].无机盐工业,2024,56(6):133-138.
DENG G P, WU Y, DUAN L Z, et al. Research on process of preparing sodium fluoride with waste liquid containing fluorine as resource [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2024, 56(6):133-138.
- [9] 唐忠诚,唐文斌,刘璇,等.纯碱处理氟硅酸溶液一步法生产氟化钠[J].磷肥与复肥,2004,19(3):56-57.
TANG Z C, TANG W B, LIU X, et al. Production of sodium fluoride from fluorosilicic acid solution treated with soda ash by one step process[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2004, 19(3):56-57.
- [10] 刘晓萍,刘晓红.氟硅酸制氟化钠和白炭黑[J].化学工业与工程,2005,22(2):154-156.
LIU X P, LIU X H. Preparation of sodium fluoride and silica agrogel from fluorosilicic acid [J]. Chemical Industry and Engineering, 2005, 22(2):154-156.
- [11] 刘国定,满瑞林.水合肼碱渣与氟硅酸钠生产氟化钠工艺研究[J].无机盐工业,2006,38(9):56-57.
LIU G D, MAN R L. Study on the process of producing sodium fluoride with alkali residue of hydrazine hydrate and sodium fluorosilicate [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2006, 38(9):56-57.
- [12] 郭伟杰.由磷肥企业副产氟硅酸制备氟化钠的研究[J].中国资源综合利用,2007,25(11):4-6.
GUO W J. Study of prepared the sodium fluoride from fluosilicic acid by product of a phosphate fertilizer factory [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2007, 25(11):4-6.
- [13] 周秀梅,罗运红,陈外六,等.磷肥副产物生产氟化钠联产水玻璃工艺技术探讨[J].磷肥与复肥,2010,25(4):60-63.
ZHOU X M, LUO Y H, CHEN W L, et al. Technology of producing sodium fluoride integrated with sodium silicate by sodium fluosilicate—the by-product from phosphate fertilizer production [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2010, 25(4):60-63.
- [14] 罗运红.利用磷肥副产氟原料生产氟化钠工艺综述[J].云南化工,2011,38(2):54-57.
LUO Y H. Review on process of produce sodium fluoride from phosphate fertilizers by-product [J]. Yunnan Chemical Technology, 2011, 38(2):54-57.
- [15] 李津,左广玲,李入林.天然卤水和氟硅酸钠制备氟化钠和白炭黑的实验研究[J].无机盐工业,2010,42(7):52-54.
LI J, ZUO G L, LI R L. Preparation of sodium fluoride and white carbon black from sodium fluorosilicate and natural brine [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2010, 42(7):52-54.
- [16] 叶红勇,田广飞,李入林,等.氨水和氟硅酸钠制备氟化钠和白炭黑的实验研究[J].广州化工,2016,44(5):87-88.
YE H Y, TIAN G F, LI R L, et al. Preparation of sodium fluoride and white carbon black from sodium fluorosilicate and ammonium hydroxide [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, 44(5):87-88.
- [17] 温爱鹏.工业级氟硅酸钠制备白炭黑与氟化钠的新工艺研究[D].南昌:南昌大学,2016.
WEN A P. Research on a new process for preparing white carbon black and sodium fluoride from industrial grade sodium fluorosilicate [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.

(下转第87页)