

◆磷氟产业耦合与高端材料创制◆

## 氟硅酸法制备无水氟化氢工艺概述

姜国庆<sup>1,2</sup>, 陈宏坤<sup>1,2</sup>

(1. 养分资源高效利用湖北省工程研究中心, 湖北 荆门 448000; 2. 新洋丰农业科技股份有限公司, 湖北 荆门 448000)

**[摘要]** 综述氟硅酸法制备无水氟化氢的工艺现状, 详细介绍直接法、间接法等主要工艺流程, 以及贵州开磷集团股份有限公司、云南云天化股份有限公司、多氟多新材料股份有限公司等企业的工艺实践; 分析氟硅酸法生产无水氟化氢未来发展趋势, 指出氟硅酸法无水氟化氢产能将持续增长, 氟硅酸法无水氟化氢将与低品位伴生萤石法无水氟化氢进行成本竞争, 向降本方向发展。展望未来工艺研究和优化, 为氟硅酸法制备无水氟化氢的工艺优化和资源综合利用提供参考。

**[关键词]** 氟硅酸法; 无水氟化氢; 工艺现状; 发展趋势; 资源利用

**[中图分类号]** TQ124.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 01-0069-05

### Overview of preparation of anhydrous hydrogen fluoride by fluosilicic acid method

JIANG Guoqing<sup>1,2</sup>, CHEN Hongkun<sup>1,2</sup>

(1. Hubei Provincial Engineering Research Center of Efficient Utilization of Nutrient Resources, Jingmen 448000, China;  
2. Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen 448000, China)

**Abstract:** The present situation of preparation of anhydrous hydrogen fluoride by fluosilicic acid method is summarized. The main technological processes such as direct method and indirect method, as well as the technological practices of Guizhou Kailin Group Co., Ltd., Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Do-Fluoride New Materials Co., Ltd. and other enterprises are introduced. At the same time, the future development trend of producing anhydrous hydrogen fluoride by fluosilicic acid method is analyzed. It is pointed out that the production capacity of anhydrous hydrogen fluoride by fluorosilicic acid method will continue to increase, and there will be cost competition between fluorosilicic acid method anhydrous hydrogen fluoride and low-grade associated fluorite method anhydrous hydrogen fluoride, the fluorosilicic acid method anhydrous hydrogen fluoride process will develop towards cost reduction. Finally, the future process research and optimization are prospected, which provides a reference for the process optimization and comprehensive utilization of resources for the preparation of anhydrous hydrogen fluoride by fluosilicic acid method.

**Key words:** fluorosilicic acid method; anhydrous hydrogen fluoride; process status; development trend; resource utilization

无水氟化氢作为一种关键的化工原料, 在新能源、新材料、制冷剂以及医药等领域发挥着至关重要的作用。随着全球对于高性能材料需求不断增长, 无水氟化氢的市场需求持续上升。然而, 传统的萤石硫酸法生产无水氟化氢面临着资源枯竭、环境污染和成本上升等多重挑战, 萤石资源的有限性以及开采过程中对环境的破坏, 使得寻找替代原料和工艺变得尤为迫切<sup>[1]</sup>。在此背景下, 氟硅酸法生产无水氟化氢技术应运而生, 它利用磷肥工业副产氟硅酸, 通过创新工艺实现资源高效利用和循环经济发展。这一方法不仅能够减少对萤石资源的依

赖, 还能够有效降低生产成本, 减少环境污染, 具有显著的经济和环境双重优势。在当前氟资源日益紧张背景下, 探索和优化氟硅酸法制备无水氟化氢的工艺变得尤为重要, 笔者将对目前氟硅酸法主流工艺进行综述。

### 1 国内无水氟化氢生产概况

我国是全球无水氟化氢的主要生产国, 拥有较

**[收稿日期]** 2024-09-23

**[作者简介]** 姜国庆(1994-), 男, 湖北荆门人, 助理工程师, 硕士, 从事精细化工及三农交叉研究。

**[基金项目]** 荆门市2023年度“JD”技术攻关工程项目

大的产能规模和产量。根据氟务在线统计，2023年我国无水氟化氢的总产能约为337.4万t/a，行业整体开工率约为68%<sup>[2]</sup>。我国无水氟化氢行业在满足国内需求的同时，也向海外市场出口。根据中国海关数据，2018—2022年我国无水氟化氢的净出口量均在20万t/a以上，2024年上半年我国无水氟化氢出口量为11.4万t，同比下降3.8%。我国无水氟化氢生产装置主要集中在萤石资源丰富的地区，如华东地区的浙江、福建、江西等地，这些地区产业链完善，技术成熟，且接近消费市场，物流成本较低。华北地区，尤其是内蒙古，近年来无水氟化氢产能增长较快。部分传统产区可能面临萤石资源枯竭的风险，环保压力增大，以及需要不断技术创新以提高资源利用率和降低生产成本<sup>[3]</sup>。氟硅酸法制备无水氟化氢能够缓解萤石资源紧缺的局面。

## 2 主要氟硅酸法生产无水氟化氢工艺

氟硅酸法生产无水氟化氢工艺一种是直接分解氟硅酸的技术，包括直接热分解法和直接硫酸分解法，这两种方法统称为直接法，用热量和浓硫酸分解氟硅酸得到氢氟酸；另外一种是将氟硅酸转化为氟化钙、氟化铵、氟硅酸钠等氟化物，然后再用热量或者浓硫酸分解这些氟化物，从而得到氢氟酸，这类方法统称为间接法。

### 2.1 直接法

#### 2.1.1 直接热分解法

直接热分解法主要包含原材料获取、原材料预处理、加热分解、副产品回收、气体分离、氟化氢净化、产品收集等步骤（见图1），主要反应为<sup>[4]</sup>：

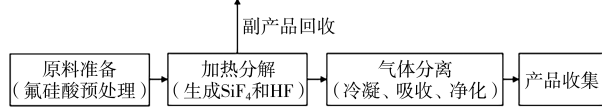


图1 直接热分解法工艺流程

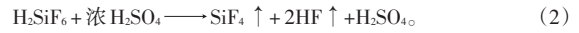
Fig. 1 Process flow of thermal decomposition method

该工艺的优势在于可直接利用磷肥副产氟硅酸，避免了传统萤石法的资源限制，同时减少了环境污染。然而，该工艺对设备和操作条件的要求较高，需要精确控制反应条件以确保产品质量和生产效率。

#### 2.1.2 直接硫酸分解法

浓硫酸分解氟硅酸制取无水氟化氢经过了多代发展。美国威尔曼电力气体（Wellman Power-Gas）公司开发了硫酸分解氟硅酸获得氢氟酸的工艺<sup>[5]</sup>。氟硅酸在125℃下用浓硫酸脱水和预处理，生成氟化氢，氟化氢被硫酸吸收成氟磺酸。逸出的四

氟化硅气体被吸收并用稀氟硅酸溶液处理后返回使用<sup>[6]</sup>。该过程化学反应式如下所示。



该工艺路线短，操作步骤简单，对设备要求低，产品附加值高，有利于提高综合经济效益。但该工艺的一个显著缺点是浓硫酸消耗量过大，会产生大量 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 约为70%并带有高浓度氟离子的稀硫酸，这将导致系统中氟元素的大量损失。因此，需要对生成的硫酸进行适当处理，不可避免地增加生产成本。

在改进氟硅酸制备无水氟化氢的工艺流程中，OAKLEY<sup>[7]</sup>和MOHR等<sup>[8]</sup>通过将四氟化硅溶液循环至氟硅酸浓缩阶段，提高了生产效率。但是四氟化硅在生成氟硅酸的过程中容易发生水解反应，生成大量的硅胶。这会增加过滤难度，而且容易导致过滤器堵塞，降低过滤效率。瓮福（集团）有限责任公司（简称瓮福集团）在奥克利和莫尔等研究者及瑞士公司BUSSE技术的基础上通过修改设计，进一步提高了氟化氢生产工艺的效率。在该流程中，将稀释后的氟硅酸引入浓缩系统中进一步浓缩。过滤分离后，浓氟硅酸与浓硫酸反应，生成四氟化硅、氟化氢等混合气体。混合气体经过硫酸吸收，氟化氢气体被浓硫酸吸收并保留，而剩余的四氟化硅气体则循环回浓缩系统继续使用（见图2）。

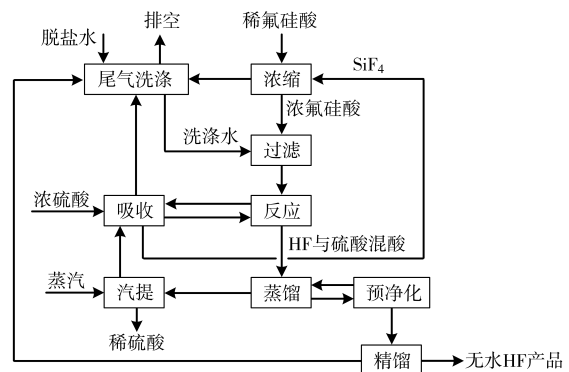


图2 瓮福集团浓硫酸分解氟硅酸制取无水氟化氢工艺流程<sup>[6]</sup>

Fig. 2 Process flow of producing anhydrous hydrogen fluoride by decomposing fluosilicic acid with concentrated sulfuric acid in Wengfu Group Co., Ltd.

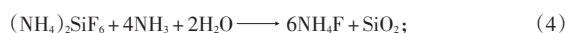
为了分离氟化氢气体，可以对吸收了氟化氢气体的浓硫酸进行蒸馏。该氟化氢气体再经过纯化、蒸馏等工序除去高沸点和低沸点杂质，得到无水氟化氢，剩余的稀硫酸可返回磷酸反应器用于磷酸生产。该方法提供了相对简单的过程，但理论上，氟硅酸分解为氟化氢的单向转化率仅为33.3%<sup>[6]</sup>。

## 2.2 间接法

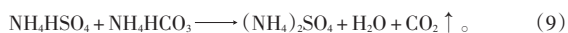
目前间接法利用氟硅酸制备无水氟化氢的工艺较多，主要涉及钙盐、镁盐、氟化钠/钾、氟化铵、氟化氢铵等。磷化工企业在这方面也开发出了部分工艺来利用湿法磷酸副产的氟硅酸，下面介绍几种磷氟化工企业的主要工艺。

### 2.2.1 氟化铵/氟化氢铵工艺

贵州开磷（集团）股份有限公司与贵州省化工研究院开发出了一种分解氟化铵制取无水氟化氢的工艺。第一步氟硅酸与氨气反应形成固体氟硅酸铵，第二步氟硅酸铵与氨水反应生成氟化铵，最后一步使用浓硫酸将氟化铵转化为HF。这种方法的大规模成功实施表明了其具有成本效益和高效工业生产的潜力<sup>[9]</sup>。该工艺已实现工业化应用，化学反应方程式如下所示：



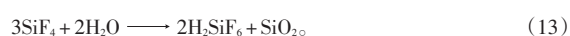
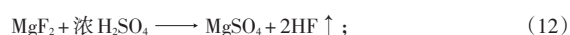
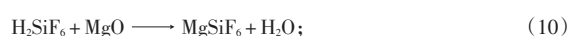
云南云天化股份有限公司与天津市化工设计研究院合作开发了一种氟化氢铵制取无水氟化氢工艺。第一步让氟硅酸在45℃和35℃下温和氨化，生成含有氟化铵的溶液，第二步将该溶液浓缩并与浓硫酸反应，生产氟化氢和硫酸铵。该工艺可产生白炭黑和硫酸铵副产品。该工艺的一个显著优点是能够回收氨，从而减少氨的消耗。但是由于生产单元的特定要求，工艺过程较为复杂。在实际生产过程中有效利用氨可能会带来挑战，可能导致副产物增加和生产成本更高<sup>[10]</sup>。化学反应方程式如下所示：



### 2.2.2 镁盐工艺

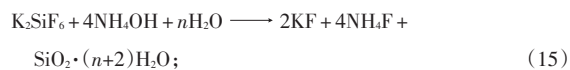
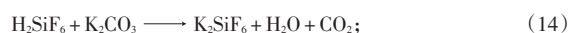
多氟多新材料股份有限公司（简称多氟多）的氟化盐工艺涉及多个步骤，从氧化镁与氟硅酸溶液的反应开始，最终通过浓硫酸分解氟化镁来生产氟化氢<sup>[11]</sup>。这一过程不仅高效且成本低廉，而且显著减少了环境污染。第一步，氧化镁与氟硅酸溶液反应，形成氟硅酸镁溶液<sup>[6]</sup>。随后，通过过滤从溶液中分离出杂质，得到纯化的氟硅酸镁溶液。然后将该纯化溶液浓缩并进行结晶，得到六水氟硅酸镁晶体。六水氟硅酸镁在250~300℃下干燥分解形成氟化镁。为了获得氟化氢，需要使用浓硫酸来分

解氟化镁。多氟多采用的生产工艺保证了氧化镁和氟硅酸盐溶液高效、可控地合成氟化氢。该工艺的特点是生产成本低，无需氨回收工艺，显著减少了环境污染。产生的氟化氢纯度不低于99.99%，而副产物硫酸镁的纯度至少为99.65%<sup>[10]</sup>。主要反应方程式如下所示：



### 2.2.3 氟化钠/钾工艺

多氟多采用钾碱中和磷肥副产氟硅酸的工艺制氟化氢。氟硅酸与碳酸钾在90℃下反应，然后在20~40℃氨化，直到pH达到8.0~8.5，过滤所得混合物以提取白炭黑，滤液为氟化铵溶液，然后将氟化钾加入氟化铵溶液中，浓缩、结晶、高温干燥，生成氟化氢钾<sup>[12]</sup>。氟化氢钾在150~450℃下预分解，得到膏体，再在500~550℃下煅烧，得到粗氟化氢，粗氟化氢经分离纯化得到最终产品，同时回收副产物氟化钾。通过该工艺生产的电子级氢氟酸符合SEMI（半导体制造设施公用事业性能标准）标准的UPSS标准<sup>[13]</sup>。需要注意的是，氟化氢钾的熔点为238.17℃，其分解温度高于其熔点，导致热解过程中出现熔化现象。这会导致连续高温分解过程中产生的氟化钾发生包裹、粘壁和结块，从而降低分解效率。为了解决这个问题，多氟多采用了预分解装置，首先产生浆料，然后通过高温煅烧将浆料分解。这缓解了因氟化氢钾熔化和包裹而引起的传热下降问题，从而降低了能耗<sup>[10]</sup>。主要反应方程式如下所示：



多氟多将氟硅酸经氨解、转化、热解等工序，氟元素转变为无水氟化氢，硅元素转变为高品质白炭黑<sup>[14]</sup>，这也是一种氟化钠工艺。相关成果“磷肥副产氟硅资源综合利用项目”被国家发展和改革委员会列为“国家先进制造业和现代服务业发展专项”（发改产业〔2022〕648号），“氟硅酸制无水氢氟酸联产白炭黑生产工艺”被列入《绿色石化工艺名录》。多氟多已与云南云天化股份有限公司合资建设氟硅酸制无水氢氟酸装置。

### 3 其他工艺方法探索

四川大学利用微通道装置制备无水氟化氢的方法主要涉及使用微通道反应器来提高氟硅酸与硫酸的反应效率,从而生产出高纯度的无水氟化氢。这种方法的优点包括高纯度、低硫酸消耗量和低成本,是一种较先进的工业生产方法。在微通道反应器中,氟硅酸与硫酸的反应可以在非常小的尺度上进行,这有助于提高反应的传热和传质效率。微通道的设计可实现更均匀的物料混合和更快的热量传递,这对于控制反应条件和提高产物的质量至关重要<sup>[15]</sup>。此外,微通道反应器的操作可以在较低压力下进行,这有助于减少设备腐蚀和延长设备使用寿命。具体到操作过程,将氟硅酸和硫酸按一定比例加入微通道反应器中,通过精确控制反应温度和时间,可以优化氟化氢的生成率和纯度。在反应过程中,可以通过调整硫酸的流量或浓度来进一步提高反应效率。反应完成后,可以通过蒸馏等后处理步骤去除副产品和其他杂质,从而获得高纯度的无水氟化氢<sup>[16]</sup>。利用微通道装置制备无水氟化氢的方法具有高效、环保和成本低廉的优点,是未来氟化氢生产技术发展的一个重要方向<sup>[17]</sup>。

### 4 氟硅酸法生产无水氟化氢的发展趋势

#### 4.1 氟硅酸法无水氟化氢产能将持续增长

氟硅酸法无水氟化氢产能有望进一步增长。主要原因:一是在当前市场环境下,氟硅酸法生产无水氟化氢依然具备成本优势,根据公开信息显示,相较于萤石法,氟硅酸法生产氟化氢存在约50%的成本优势,同时采用该生产工艺的磷化工企业还可以与磷化工实现磷氟化工协同发展,向下游高附加值氟化工产品延伸,有望进一步降低其生产成本<sup>[18]</sup>。二是政策鼓励,工业和信息化部六部门发布《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》,强调了对萤石资源的保护性开采,并鼓励开发利用伴生氟资源,这表明政府对于氟资源的可持续利用给予了高度重视。此外,国家发展和改革委员会在《产业结构调整指导目录(2024年本)》中将磷矿和萤石矿的中低品位矿、选矿尾矿、伴生资源综合利用纳入鼓励类目录,同时将氟化氢(除企业下游深加工产品配套自用、电子级及湿法磷酸配套外)生产装置纳入限制类目录,这进一步体现了国家对于提高资源利用效率和减少对单一资源依赖的决心。工业和信息化部等八部门印发的《推进磷资源高效高值利用实施方案》,提出了推进中低品位磷矿及尾矿综合利用,加大钙、氟、硅、

碘、镁等伴生资源利用的具体措施。这些政策的实施将有助于提升磷矿资源的综合利用率,减少资源浪费,促进氟化工行业向更加高效、环保的方向发展。

#### 4.2 氟硅酸法无水氟化氢将与低品位伴生萤石法无水氟化氢进行成本竞争,向降本方向发展

氟硅酸法无水氟化氢与低品位伴生萤石法无水氟化氢成本接近,氟硅酸法无水氟化氢生产成本将受到挑战。根据金石资源集团股份有限公司(简称金石资源)2023年一季度业绩说明会信息,金石资源利用包头钢铁(集团)有限责任公司从尾矿中回收的萤石制造氢氟酸,从选化一体的角度只考虑氢氟酸作为最终产品,成本可以控制在5 000~6 000元/t,与主流萤石法无水氟化氢生产企业的成本相比,具备约2 000元/t的成本优势<sup>[18]</sup>,同时与氟硅酸法无水氟化氢的成本处在同一水平,三者将形成竞争格局,未来行业竞争将进一步加剧。

在当前的工业背景下,氟硅酸法生产无水氟化氢工艺面临着来自低品位伴生萤石法生产无水氟化氢的成本冲击。随着金石资源与内蒙古包钢钢联股份有限公司合作的内蒙古金鄂博氟化工有限责任公司30万t/a无水氟化氢产能逐步建成投产,装置运行逐步趋于稳定,稳定产出产品后,其成本有望在当前成本基础上进一步降低。这一变化无疑会对氟硅酸法无水氟化氢的成本优势造成冲击。因此,未来氟硅酸法无水氟化氢的生产工艺优化方向需要向降成本方向发展。为了应对这一挑战,氟硅酸法无水氟化氢的生产需要采取一系列措施来降低成本并提高竞争力<sup>[19]</sup>。一是提高原料利用率,通过优化工艺流程,提高氟硅酸转化率,减少原料浪费,从而降低产品原料成本。二是开发和应用新技术,如微通道反应器技术,以提高反应效率和产品纯度,同时降低能耗和减少副产品生成。三是副产品高值化利用,探索氟硅酸法无水氟化氢生产过程中产生的副产品的高值化利用途径,如白炭黑的生产,以增加额外的收入来源。

### 5 结语

氟硅酸法制备无水氟化氢作为一种新兴的工艺路线,对于缓解传统萤石硫酸法生产无水氟化氢所面临的资源和环境压力具有重要意义。它不仅能够减少对有限萤石资源的依赖,还有助于降低生产成本和减少环境污染<sup>[18]</sup>。尽管目前部分工艺已经实现了工业化应用,但在能耗、工艺流程、副产品处理等方面仍有待进一步优化。未来的研究和开发应

聚焦于提高生产效率、降低能耗、简化工艺流程、提高资源的综合利用率以及开发更环保的副产品处理技术<sup>[20]</sup>。此外,通过技术创新和工艺改进,实现氟硅酸法制备无水氟化氢在磷化工企业的广泛应用,将有助于推动化工行业的绿色发展和循环经济的实现<sup>[20]</sup>。随着技术不断进步和市场需求持续增长,氟硅酸法有望在未来的无水氟化氢生产中发挥更加重要的作用,并与低品位伴生萤石法生产无水氟化氢形成竞争格局。

#### [参考文献]

- [1] 李金安,丁洁,陈湘鼎.无水氟化氢的制备工艺[J].有机氟工业,2022(1):48-50.  
LI J A, DING J, CHEN X D. Preparation technology of anhydrous hydrogen fluoride[J]. Organic-Fluorine Industry, 2022(1):48-50.
- [2] 中国氟硅有机材料工业协会.中国氟化工产业年度报告[R].北京:[出版者不详],2024.
- [3] 李龙伍,王洪奎,安东,等.稀土回收萤石代替制酸级萤石在氟化氢生产中的运用[J].化工管理,2021(30):9-10.  
LI L W, WANG H K, AN D, et al. Successful application of rare earth recovery fluorite in hydrogen fluoride production [J]. Chemical Management, 2021(30):9-10.
- [4] DAHLKE T, RUFFINER O, CANT R. Production of HF from H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>[J]. Procedia Engineering, 2016, 138: 231-239.
- [5] 赵陈,肖飞彪,王志昆.氟硅酸制取氢氟酸研究进展[J].有机氟工业,2020(3):32-38.  
ZHAO C, XIAO F B, WANG Z K. Research progress in the preparation of hydrofluoric acid from fluosilicic acid[J]. Organic-Fluorine Industry, 2020(3):32-38.
- [6] 唐波,陈文兴,田娟,等.氟硅酸制取氟化氢的主要工艺技术[J].山东化工,2015,44(13):41-43.  
TANG B, CHEN W X, TIAN J, et al. The main technology of preparation hydrogen fluoride from fluosilicic acid [J]. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(13):41-43.
- [7] OAKLEY J L C, HOUSTON T T. Process of producing hydrogen fluoride as a dry gas from clear fluosilicic acid-containing solutions; US3218124[P]. 1962-09-10.
- [8] MOHR A C, OBRECHT R P, CAMPBELL R G, et al. Process for recovering strong HF from phosphate rock digestion processes; US3257167[P]. 1962-09-10.
- [9] 曹骥,张志业,王辛龙.磷化工副产氟硅酸的利用及无水氟化氢的生产研究进展[J].无机盐工业,2010,42(5):1-4.  
CAO Q, ZHANG Z Y, WANG X L. Utilization of fluosilicic acid by product from phosphorus chemical industry and research progress in anhydrous hydrogen fluoride [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2010, 42(5):1-4.
- [10] 李勇辉,明大增,李志祥,等.磷肥副产氟硅酸制备氟化氢技术[J].磷肥与复肥,2010,25(2):48-51.  
LI Y H, MING D Z, LI Z X, et al. Preparation technology of hydrogen fluoride from by-product fluosilicic acid in phosphate fertilizer production [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2010, 25(2):48-51.
- [11] 赵瑞祥.工业生产氟硅酸镁工艺探究[J].无机盐工业,2021,53(8):79-82.  
ZHAO R X. Investigation on industrial process of magnesium fluosilicate [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2021, 53 (8) : 79-82.
- [12] 刘海霞,李霞,侯红军,等.一种高纯氟化氢的制备方法及高纯氢氟酸的制备方法:CN104973573B[P]. 2017-03-29.  
LIU H X, LI X, HOU H J, et al. A preparation method of high-purity hydrogen fluoride and high-purity hydrofluoric acid: CN104973573B[P]. 2017-03-29.
- [13] 张永明.磷矿加工中副产氟硅酸制氢氟酸工艺技术及研究进展[J].河南化工,2023,40(9):12-15.  
ZHANG Y M. Process technology and research progress of hydrofluoric acid production from by product fluosilicic acid, in phosphate rock processing [J]. Henan Chemical Industry, 2023, 40(9):12-15.
- [14] 李世江,杨华春,周小平,等.一种无水氟化氢的制备方法及装置:CN114804030B[P]. 2024-02-02.  
LI S J, YANG H C, ZHOU X P, et al. Preparation method an-d device of anhydrous hydrogen fluoride: CN114804030B [P]. 2024-02-02.
- [15] 冯艳冰.表面多孔微通道制氢反应器的设计与制造基础研究[D].杭州:浙江大学,2019.  
FENG Y B. Fundamental study on the design and fabrication of micro Channel reactor with porous surface for hydrogen production[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [16] 屈吉艳,杨兴东,陈高祥,等.氟硅酸制备氟化氢工艺综述及利用微通道反应器制备无水氟化氢技术简介[J].磷肥与复肥,2021,36(3):27-31.  
QU J Y, YANG X D, CHEN G X, et al. Review on preparation process of hydrogen fluoride from fluosilicic acid and technology introduction of anhydrous hydrogen fluoride preparation by micro-channel reactor [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(3):27-31.
- [17] 赵立群.我国氟硅酸法氟化氢产业竞争力分析[J].化学工业,2020,38(4):50-54.  
ZHAO L Q. Analysis on the competitiveness of fluosilicic acid process hydrogen fluoride in China [J]. Chemical Industry, 2020, 38(4):50-54.
- [18] 刘帅杰.我国氟化氢的生产现状及发展趋势[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(10):44-48.  
LIU S J. Current status and development trends of hydrogen fluoride production in China [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(10):44-48.
- [19] 康文鹏.基于 Aspen Plus 的无水氟化氢生产工艺模拟优化[J].企业科技与发展,2023(3):36-39.  
KANG W P. Simulation and optimization of anhydrous hydrogen fluoride production process based on Aspen Plus [J]. Enterprise Technology and Development, 2023(3):36-39.
- [20] 崔荣政,高永峰,王臣,等.磷氟产业协同发展势在必行[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(8):VI-VII.  
CUI R Z, GAO Y F, WANG C, et al. Collaborative development of phosphorus and fluorine industry is imperative [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(8):VI-VII.