

引文格式:余剑, 闫飞飞, 练以诚, 等. 高炉煤气干法精脱硫料剂技术现状与展望[J]. 中国有色冶金, 2025, 54(6): 91-99.  
YU Jian, YAN Feifei, LIAN Yicheng, et al. Research status and prospect of dry desulfurization agent for blast furnace gas [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2025, 54(6): 91-99.

# 高炉煤气干法精脱硫料剂技术现状与展望

余 剑<sup>1</sup>, 闫飞飞<sup>1</sup>, 练以诚<sup>1</sup>, 刘万超<sup>1</sup>, 赵 凯<sup>2</sup>

(1. 中铝环保节能集团有限公司, 北京 102200; 2. 华北理工大学 冶金与能源学院, 河北 唐山 063210)

[摘 要] 高炉煤气精脱硫技术作为当前钢铁冶金行业研究的焦点, 目前的主流工艺为脱氯-水解-脱硫三段式干法处理工艺, 每种工序辅以特定料剂, 料剂成本在整体脱硫工艺运维中占据 60%~80%, 对脱硫工艺意义重大。本文对三种最常见关键料剂脱氯剂、水解剂、氧化铁脱硫剂进行介绍, 从组分、制备方法、反应机理和失效机理等方面系统阐述。脱氯剂制备方法主要有机械混合法和负载法, 机械混合法主要用于制备氧化钙基脱氯剂, 制备成本较低, 负载法主要用于制备氧化铝基脱氯剂, 活性组分分散较为均匀, 其制备成本较高; 氧化铝基水解催化剂在高炉煤气精脱硫工艺中占有主导地位, 多数失活机理研究集中于 O<sub>2</sub> 等失活因子, 未对高炉煤气中的 HCl、HCN 等酸性气体的影响进行深入研究; 氧化铁系脱硫剂活性受其晶体结构影响较大, 含有较多晶体缺陷和羟基活性位点, 通常具有较高的脱硫活性。在工业化精脱硫运行成本方面, 相对于传统的末端治理方法, 源头治理工艺目前处于劣势, 成本较高。未来, 应根据实际工况, 推动三种料剂协同作用机制的研究, 以优化脱硫效果并提高料剂的使用效率; 推进制定料剂质量和评价标准体系建设, 规范料剂市场; 开展废旧料剂的再生与资源化研究, 以减少资源浪费并降低运营成本。

[关键词] 高炉煤气; 干法精脱硫; 脱氯剂; 水解剂; 氧化铁脱硫剂; 源头治理; 运行成本

[中图分类号] TF5; X756 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2025)06-0091-09

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2025.06.008

高炉煤气是钢铁行业最重要的二次能源, 其含硫量过高是导致下游各工序二氧化硫排放超标的重要原因<sup>[1]</sup>。2019年4月22日, 生态环境部印发《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》(环大气[2019]135号)正式公布实施, 首次明确提出要“加强源头控制, 高炉煤气、焦炉煤气应实施精脱硫”<sup>[2]</sup>, 同时, 部分省、市对钢铁企业实行分类限产, 其中环保绩效 A 类企业的重要评判标准之一是是否采用精脱硫工艺。

高炉煤气中的硫元素主要分为有机硫和无机硫

两大类<sup>[3]</sup>。有机硫包括羰基硫、硫醇、硫醚等, 而羰基硫(COS)占绝大部分; 无机硫则主要以 H<sub>2</sub>S 的形式存在。高炉煤气具体成分见表 1。由于羰基硫化学性质比较稳定, 传统喷碱法难以去除, 目前工业中常用的工艺是先将 COS 水解转化为 H<sub>2</sub>S, 然后进行吸附<sup>[4]</sup>。高炉煤气精脱硫工艺的核心环节在于 COS 的水解转化<sup>[5]</sup>, 鉴于高炉煤气中的酸性气体(如 HCl、HCN 等), 对水解催化剂具有毒害作用, 为确保工艺的高效稳定运行, 在水解工序之前增设脱氯工序, 形成了脱氯-水解-脱硫三段式干法处理工艺, 每种流程辅以特定料剂。据悉, 料剂成本在整体运营中占据 60%~80%, 因此对这类料剂的深入研究具有极其重要的意义。

本文对目前高炉煤气精脱硫工艺中最常见的三种关键料剂(脱氯剂、水解剂、氧化铁脱硫剂)的研究进展进行概述, 同时, 也对未来工业化应用可能面临的挑战及需深入探索的研究方向进行展望, 以期

[收稿日期] 2025-02-21

[第一作者] 余剑(1971—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事工业烟气污染物控制与治理方面的研究。

[通信作者] 闫飞飞(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事工业烟气污染物控制与治理方面的研究。

[基金项目] 中央引导地方科技发展项目(226Z3702G); 黄河流域生态保护高质量发展重点专项(2022-YRUC-01-0302)。

为相关领域的后续研究提供有价值的参考。

## 1 高炉煤气来源及成分

高炉煤气是高炉炼铁过程中产生的副产品气体,其来源与高炉内铁矿石还原、燃料燃烧及辅料反

应的复杂物理化学过程直接相关,核心是焦炭等燃料与炉料在高温下反应生成的混合气体,高炉煤气具体成分见表1。目前行业普遍采用的源头脱硫处理流程见图1。

表1 高炉煤气组分及含量<sup>[6]</sup>

Table 1 Blast furnace gas components and content

成分	体积分数/%							含量/(mg·Nm <sup>-3</sup> )		
	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	COS	H <sub>2</sub> S	HCl
含量	25~30	15~20	7~10	1.5~3	0.2~0.4	<0.3	40~50	100~200	100~200	20~100

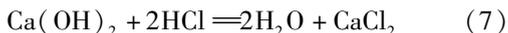
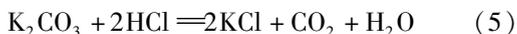
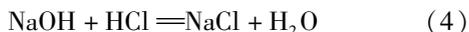
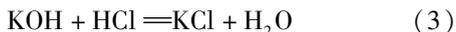
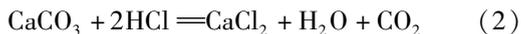
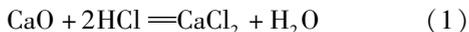


图1 行业目前普遍采用的工艺示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the process commonly used in the industry at present

## 2 脱氯剂

高炉中煤气中的氯元素通常来源于含铁原料和高炉燃料,包括煤、焦炭、块矿、烧结矿、添加剂等,通常以HCl的形式赋存<sup>[7-8]</sup>,由于在生产中采用的原料种类、比例及工艺存在差异,不同企业高炉煤气中的HCl浓度有较大的差异,通常在20~100 mg/Nm<sup>3</sup>左右<sup>[9-10]</sup>。高炉煤气中的氯化氢除了会对煤气管道、阀门、风机叶片等关键设备腐蚀外,还会对高炉煤气精脱硫后端的水解催化剂产生毒化作用<sup>[11]</sup>。目前高炉煤气中的HCl等酸性物质,通常采用碱性物质中和脱除,其反应见式(1)~(7)。



吕凯等<sup>[12]</sup>采用化学热力学软件(HSC)分别研

究了Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、MgCO<sub>3</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、KOH、Ca(OH)<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnO、CuO与HCl的反应活性,结果表明,NaHCO<sub>3</sub>、KOH、Ca(OH)<sub>2</sub>、CuO、ZnO在热力学上具有较强的反应效率;采用KOH、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>作为活性组分在实验室模拟高炉煤气脱氯处理,结果表明,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>和改性后CaO的致密度和反应活性较为适宜,可作为高炉煤气脱氯剂的活性组分。

目前脱氯剂的制备主要有机械混合法和浸渍负载法两种方式,其中机械混合法生产成本较为低廉。张铭等<sup>[13]</sup>采用CaCO<sub>3</sub>为活性组分,辅以少量粘结剂、造孔剂进行成型造粒,重点考察了第二活性组分SrCO<sub>3</sub>对脱氯性能的影响,结果表明,在CaCO<sub>3</sub>与SrCO<sub>3</sub>两种活性组分质量比为5:1、粘结剂用量为15%、焙烧温度500℃时,在对高炉煤气进行脱氯时,氯容可达到32.7%。张波等<sup>[14]</sup>研究了高炉炉顶煤气中CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O和炉尘对低温钙基脱氯剂性能的影响,结果表明,煤气中的CO<sub>2</sub>会在脱氯剂表面生成CaCO<sub>3</sub>,其晶体颗粒较大,会堵塞脱氯剂的孔道结构,阻止进一步的脱氯反应;高炉煤气中的H<sub>2</sub>O分子直径大于HCl,增加了HCl的扩散阻力,不利于脱氯。为了进一步降低脱氯剂的生产成本,胡学武等<sup>[15]</sup>采用铝工业赤泥制备高炉煤气脱氯剂,结果表明赤泥中大量的CaO和一定量的Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O等物质可以降低高炉煤气中CO<sub>2</sub>的不利影响,当赤泥占比15%、粒度38 μm、焙烧温度400℃、焙烧时间90 min时,穿透时间和氯容较大,分别为18.86 h和16.83%。

为了克服传统机械混合法制备脱氯剂活性组分利用率低的问题,近几年有学者采用浸渍负载法来

制备脱氯剂<sup>[7]</sup>。GENG<sup>[16]</sup>等采用等体积浸渍法,将活性  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  作为载体、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  作为活性组分制备了脱氯剂。结果表明,该脱氯剂能够同时脱除高炉煤气中的氯化氢、硫化氢和羰基硫,在 550 °C 温度下进行预处理可以提高其脱氯性能,在此温度下最大穿透时间、穿透氯容量和活性成分的最高利用率分别为 47.5 h、11.59% 和 75.6%,所制备的脱氯剂对 HCl、 $\text{H}_2\text{S}$  和 COS 的最高去除效率均超过 99%。

在反应机理方面,滕艾均等<sup>[17]</sup>采用数学模型研究了脱氯剂反应过程中的反应动力学,得出了吸附率  $x$  与吸附时间  $t$  的方程式,见式(8)–(10)。

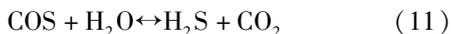
表 2 不同脱氯剂制备方法及脱氯性能

Table 2 Preparation methods and dechlorination performance of different dechlorinating agents

制备方式	活性组分	反应条件	穿透氯容	穿透时间	文献	成本
机械混合法	$\text{CaCO}_3$ 、SrO	$\text{CaCO}_3$ 与 SrO 质量比为 5:1、粘结剂用量为 15%、 焙烧温度 500 °C	32.7%	—	[13]	
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	—	—	15 min	[14]	较低
	铝工业赤泥、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$	赤泥占比为 15%、粒度在 38 $\mu\text{m}$ 、400 °C 焙烧 90 min	16.83%	18.6 h	[15]	
浸渍负载法	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$	等体积浸渍、焙烧温度 550 °C、焙烧时间 180 min、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 负载量为 15%	11.59%	47.5 h	[16]	较高

### 3 水解剂

高炉煤气中的 COS 主要来源于焦煤中无机硫热解<sup>[18]</sup>,水解工序是高炉煤气精脱硫工艺的核心工序,其通过特定水解催化剂将 COS 转化为  $\text{H}_2\text{S}$ ,反应方程见式(11)。目前,针对水解催化剂的研究主要集中在配方、失活机理等方面。



#### 3.1 反应机理

根据催化剂的不同,COS 水解反应机理也不尽相同<sup>[19]</sup>。George 等<sup>[20]</sup>提出了“协调机理”的论述,首先—OH 和  $\text{H}_2\text{O}$  覆盖在催化剂的表面,COS 因离子耦合作用吸附在催化剂表面,从而发生水解反应,如图 2 所示,同时提出水解反应为碱催化反应;Hoggan<sup>[21]</sup>等发现碱性活性位点对 COS 具有较强的吸附作用;也有学者认为催化剂表面的—OH 基团可以吸附 COS 生成  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,并进一步生成  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ <sup>[22]</sup>。

#### 3.2 催化剂组分

依据载体的差异性,羰基硫水解催化剂可区分为金属基催化剂与碳基催化剂<sup>[23–24]</sup>。目前,在高炉煤气精脱硫这一领域,氧化铝基催化剂占据了市场

化学反应控制:

$$1 - (1 - x)^{\frac{1}{3}} = g(x) = t/\tau_g \quad (8)$$

扩散模型控制:

$$1 - 3(1 - x)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - x) = p(x) = t/\tau_p \quad (9)$$

结合化学反应与产物扩散:

$$g(x) + \delta^2 p(x) = t/\tau_g \quad (10)$$

式中: $\tau_g$ 、 $\tau_p$ 表示脱氯剂吸收达到饱和时所需时间,min; $\delta^2$ 表示 HCl 通过产物层时的扩散阻力与化学反应阻力的比值。

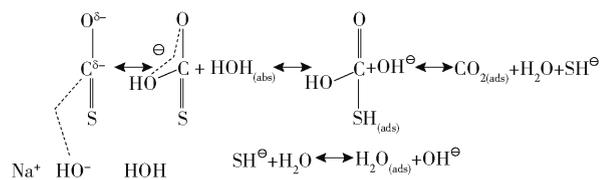


图 2 “协调机理”示意图<sup>[20]</sup>

Fig. 2 “Coordination Mechanism” schematic diagram

的主导地位,本文将不再对其他载体的水解催化剂的研究进展进行赘述。

氧化铝凭借其卓越的物理化学特性,在催化剂领域中具有广泛的应用<sup>[25]</sup>。在 COS 水解方面氧化铝本身具有一定的催化活性,上官炬等<sup>[26]</sup>考察了不添加任何活性组分的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基催化剂,其 COS 转化率为 51.20%。由于 COS 水解反应是碱催化反应,因此,增加适量的碱金属可以有利于提高催化剂表面的碱基团数量与强度。TAN 等<sup>[27]</sup>采用等体积浸渍法将碱金属化合物负载在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  表面,并进行评价,各碱金属对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化活性的增强作用表现为:  $\text{Cs}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{BaO} > \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO} > \text{MgO}$ 。此外,阴离子对催化性能也有较大的影响,ZHAO 等<sup>[28]</sup>分别考察

了阴离子  $\text{OH}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  对催化性能的影响,结果表明,负载  $\text{KOH}$ 、 $\text{K}_2\text{CO}_3$  时催化剂活性提高,而负载  $\text{KNO}_3$ 、 $\text{KCl}$  时催化剂的活性降低。

为了克服单一  $\text{Al}_2\text{O}_3$  载体在含氧气氛中容易中毒的弊端,研究人员在载体或者助剂中添加  $\text{TiO}_2$  以提高其抗氧化能力。刘艳霞等<sup>[29]</sup> 采用商用  $\text{TiO}_2$  改性  $\text{Al}_2\text{O}_3$  羰基硫水解催化剂,结果说明,经过  $\text{TiO}_2$  改性,催化剂具有良好的空隙结构,更利于  $\text{H}_2\text{S}$  的脱附。此外催化剂的制备方式也对催化剂的性能有一定的影响,刘羿良<sup>[30]</sup> 分别采用机械混合法、单相沉淀法、双相沉淀法利用  $\text{TiO}_2$  改性氧化铝载体,发现双相沉淀法制备的复合载体具有更高的  $\text{H}_2\text{S}$  选择性。为了进一步降低成本,也有学者采用固废及危废,如废活性焦、铝土矿等作为催化剂载体制备催化剂<sup>[31-32]</sup>,然而,尽管这一思路颇具前瞻性,但在实际工业应用中却鲜见实施。

### 3.3 失活因子研究

高炉煤气精脱硫水解催化剂的失活因子主要有  $\text{O}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{COS}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等,这些物质均能对催化剂造成不可逆的影响<sup>[33]</sup>。其中,  $\text{O}_2$  对催化剂影响在于其会导致催化剂表面产生硫沉积以及硫酸盐化现象<sup>[34]</sup>。刘俊峰等<sup>[35]</sup> 采用原位红外等表征手段,对催化剂在含氧气氛下中毒机理进行了研究,结果如图 3 所示,氧中毒的机理为  $\text{COS}$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  表面的  $-\text{OH}$  反应生成  $\text{HSCO}_2^-$  中间体,在无氧的条件下,中间体与水反应生成  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2\text{S}$ ,在有氧的条件下,可反应生成  $\text{SO}_4^{2-}$ ,由此可见催化剂表面的  $-\text{OH}$  在水解催化剂中毒中起着重要的作用。曹强等<sup>[36]</sup> 在考察了氧化铝基  $\text{COS}$  水解催化剂在  $\text{HCl}$  气氛中的失活机理,结果表明,煤气中  $\text{HCl}$  占据了催化剂中的强碱活性中心,形成了金属氯化物导致催化剂失活。

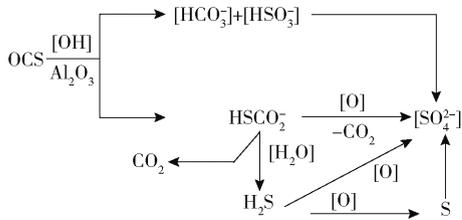


图 3  $\text{Al}_2\text{O}_3$  水解催化剂  $\text{O}_2$  中毒机理<sup>[35]</sup>

Fig. 3 Mechanism of  $\text{O}_2$  poisoning of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hydrolysis catalyst

目前,对于  $\text{COS}$  水解催化剂的失活因子的研究,大多聚焦于  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{COS}$  等,这主要是源于此类催化剂最初被广泛应用于焦炉煤气脱硫过程,而焦炉煤气中的  $\text{O}_2$  含量相对较高(2%左右), $\text{HCl}$  等酸性物质的含量则相对较少,然而,从实际的工业测线试验数据来看, $\text{HCl}$  对催化剂的毒化影响显著高于  $\text{O}_2$ 。因此,研究人员需要更加关注  $\text{HCl}$  等强酸性物质对催化剂性能的影响,以进一步完善催化剂的失活机理研究。

### 3.4 废催化剂再生技术研究

鉴于水解催化剂寿命的有限性,频繁更替这些催化剂导致了大量固体废弃物的产生,为了解决这一问题,部分学者对废催化剂的再生技术进行了初步研究。孙金宇等<sup>[37]</sup> 采用“焙烧-水洗”的处理方法将废羰基硫水解催化剂进行再生,结果表明,焙烧温度对再生效果具有重要影响,在焙烧温度为  $850^\circ\text{C}$ 、 $650^\circ\text{C}$ 、 $550^\circ\text{C}$  时,有较好效果,6 h 内水解转化效率在 99% 以上。也有学者将废催化剂经过湿法浸出、火法脱毒、再负载的处理方式制备来工艺前端工序的保护剂<sup>[38]</sup>。

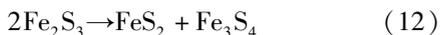
## 4 氧化铁脱硫剂

氧化铁脱硫剂具有饱和硫容高、反应速率快、制备成本低、易于再生等优点,通常被作为高炉煤气精脱硫脱硫剂<sup>[39]</sup>。氧化铁的脱硫过程中主要有两方面的作用,一是在解离  $\text{H}_2\text{S}$  生成  $\text{H}_2$  的过程中起到催化剂作用,二是  $\text{H}_2$  夺取  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  表面的氧原子。上述两条路径在动力学上具有相同的限速步骤,互为竞争关系。同时  $\text{Fe}$  原子表面具有较强的碱活性位点和电子吸附能力,因此具有更好的脱硫性能<sup>[40-41]</sup>。

氧化铁具有多种晶型,不同晶型对  $\text{H}_2\text{S}$  的吸附活性也有很大的差别,其中  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeOOH}$  晶型具有较强的脱硫活性,分别为立方晶系和斜方晶系,而  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  为三角型,较为稳定脱硫活性不高<sup>[41-42]</sup>。同时采用不同方式制备的  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,脱硫活性也存在一定的差异,巩志坚等<sup>[43]</sup> 采用不同方法制备  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,并进行了评价表征,结果表明,由  $\gamma\text{-FeOOH}$  缓慢脱水制备的  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  具有较高的脱硫活性,前 100 min 内,脱硫率高达 96.61%,其形貌特征为纳米线状,具有较高的比表面积。此外也有学者考察了  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  制备过程中  $\text{pH}$  值对脱硫剂性能的影响。

CAO 等<sup>[44]</sup>以  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  为沉淀剂,采用沉淀法在不同 pH 值下制备了一系列  $\text{FeOOH}$  脱硫剂,结果发现,沉淀 pH 值对  $\text{FeOOH}$  的结构和性能有显著影响。具体而言,中性和碱性条件制备出的  $\text{FeOOH}$  具有更多的晶体缺陷和羟基活性位点,具有较高的穿透硫容,此外,随着 pH 值的变化,脱硫剂的比表面积也在随之变化。SHEN 等<sup>[45]</sup>通过调节反应体系的 pH 值,制备了具有规则棒状形貌的  $\text{FeOOH}$ ,并对其进行了室温  $\text{H}_2\text{S}$  吸附测试,发现  $\text{H}_2\text{S}$  穿透容量随着沉淀 pH 值的增加而显著增加,在  $\text{pH} = 7$  时达到最大值。 $\text{pH}$  值为 7 时制备的样品  $\text{H}_2\text{S}$  穿透容量为 54%,比  $\text{pH}$  为 5 的样品的  $\text{H}_2\text{S}$  穿透容量提高了约 50 倍。考虑到孔径对分子传质的影响,也有学者采用三维有序大孔制备氧化铁脱硫剂<sup>[46-47]</sup>,但目前工业中尚未得到广泛应用。

氧化铁脱硫剂在脱硫反应中生成  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ,这种物质性质不稳定,容易分解为其他铁硫化物,如  $\text{FeS}$ 、 $\text{FeS}_2$ 、 $\text{FeS}_2$  和  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  混合物,此类物质中 S 均属于还原价态,在含氧气氛下容易发生化学反应,生成铁的高价氧化物和单质硫或  $\text{SO}_2$ <sup>[48-51]</sup>。具体反应方程式见(12)~(15)。



在工业的实际应用中,若脱硫剂尚未达到其饱和硫容,而出口处的  $\text{H}_2\text{S}$  含量却已超出标准范围,此时便需对脱硫剂实施再生处理,以确保其继续有效运行并符合环保要求。吉轲<sup>[52]</sup>对脱硫剂进行再生研究,考察了不同再生方法、氧气含量、再生温度、水含量对脱硫剂再生性能的影响,结果发现,最佳再生条件为  $\text{H}_2\text{O}$  含量 2%、温度  $40\text{ }^\circ\text{C}$ 、再生后的穿透硫容为新鲜样品的 37.5%。FENG 等<sup>[53-54]</sup>采用微波对高温氧化铁脱硫剂进行再生,分别考察了再生温度、再生空速、氧气浓度对脱硫剂再生性能的影响,结果发现温度在  $650\text{ }^\circ\text{C}$ 、氧气浓度 4%、空速  $3\ 000\ \text{h}^{-1}$  时,有较好的再生性能。但在工业生产中,目前尚未有精细化的控制手段,通常在脱硫剂效率下降时,通入空气,以保证氧气浓度不低于 0.3%。由于 S 元素在脱硫剂表面以  $\text{S}^{2-}$  形态存在,这导致氧化铁脱硫剂在空气中极易自燃,这给氧化铁脱硫剂的应用造成极大的安全风险。

## 5 结论与展望

随着钢铁行业对超低排放政策的实施,源头脱硫技术已逐步成为高炉脱硫工艺的主流,作为这一工艺中的心脏,料剂的性能变得至关重要。本文对高炉煤气精脱硫工艺中所用的三种料剂的研究进展进行了综述,得到以下结论:①机械混合法主要用于制备氧化钙基脱氯剂,其制备成本较低,负载法主要用于制备氧化铝基脱氯剂,其活性组分分散较为均匀,但其制备成本较高;②氧化铝基水解催化剂在高炉煤气精脱硫工艺中占有主导地位,多数失活机理研究集中于  $\text{O}_2$  等失活因子,未对高炉煤气中的  $\text{HCl}$ 、 $\text{HCN}$  等酸性气体的影响进行深入研究;③氧化铁系脱硫剂活性受其晶型结构影响较大,含有较多晶体缺陷和羟基活性位点,通常具有较高的脱硫活性。

尽管高炉煤气精脱硫所用料剂研究近些年取得了较大发展,但仍然存在一些问题制约其进一步应用。①多数研究仍局限于实验室模拟气氛,而实际工况的复杂性远非模拟所能及,同时料剂研究多聚焦于单一料剂,缺乏对多种料剂协同作用机制的深入探讨。②市场中的料剂品质参差不齐,缺乏统一的料剂质量标准与评价标准,需进行相关标准的研究。③关于高炉煤气中可能影响水解催化性能的因素,现有研究尚不充分,使得更换料剂的标准主要依赖于下游  $\text{SO}_2$  浓度是否超标。一旦超标,则需一次性更换三种料剂;羰基硫水解催化剂的整体使用寿命仅维持在 6 至 9 个月,远低于工业应用的期望值,导致精脱硫运维频繁更换料剂,目前每吨保护剂、水解剂、铁基脱硫剂的生产成本分别为 10 000 元、10 000 元、2 000 ~ 4 000 元,运营成本显著增加。相比之下,传统末端脱硫的吨铁成本约为 5 ~ 6 元,而精脱硫成本高达 8 ~ 10 元,经济压力显著。④鉴于料剂寿命有限,废旧料剂的再生与资源化处置问题亟待解决,以缓解经济压力并降低环境污染。

未来的研究工作可从以下几个方面展开。①实际工况与多种料剂协同作用机制研究:a. 开展更多针对实际高炉煤气工况的试验研究,以更深入地理解复杂工况条件下的脱硫过程;b. 推动三种料剂协同作用机制的研究,以优化脱硫效果并提高料剂的使用效率。②料剂质量和评价标准体系建设:制定统一的料剂质量标准和评价体系,以指导工业用户

选择最合适的料剂以及精准更换料剂。③废旧料剂的再生与资源化研究:a. 废旧料剂的再生技术研究,延长料剂的使用寿命,减少资源浪费;b. 推动废旧料剂资源化处置研究,废水解剂转化为保护剂、废脱硫剂提取硫磺等,以便降低运营成本。

#### [参考文献]

- [1] 李庄,许友静,易文杰,等. 钢铁企业低碳技术评价选择与应用[J]. 环境科学研究, 2022, 35(6): 1538-1546.  
LI ZH, XU Y J, YI W J, et al. Evaluation, selection and application of low-carbon technology in iron and steel enterprises [J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(6): 1538-1546.
- [2] 关于推进实施钢铁行业超低排放的意见[J]. 中国钢铁业, 2019(6): 5-8.  
Suggestions on promoting the implementation of steel extra low emission[J]. China Steel, 2019(6): 5-8.
- [3] 孙曼丽,张敏,王键,等. 高炉煤气全干式精脱硫工艺路线探讨[J]. 钢铁, 2022, 57(4): 148-157.  
SUN M L, ZH M, WANG J, et al. Discussion on process route for full-dry fine desulfurization of blast furnace gas[J]. Iron & Steel, 2022, 57(4): 148-157.
- [4] 王广建,田爱秀,陈晓婷,等. COS水解催化剂及其脱硫机理研究进展[J]. 炼油技术与工程, 2017, 47(9): 37-40.  
WANG G J, TIAN A X, CHEN X T, et al. Study on COS hydrolysis catalyst and its desulfurization mechanisms [J]. Petroleum Refinery Engineering, 2017, 47(9): 37-40.
- [5] 王宏涛,潘程,何子祥,等. 活性组分对羰基硫水解效率与脱硫效果的影响[J]. 钢铁, 2024, 59(8): 189-199.  
WANG H T, PAN CH, HE Z X, et al. Effects of active component on hydrolysis efficiency and desulfurization efficiency of carbonyl sulfur[J]. Iron & Steel, 2024, 59(8): 189-199.
- [6] 赵瑞壮,郜国平,王康,等. 钢铁行业高炉煤气精脱硫技术应用现状和未来趋势研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(6): 83-88.  
ZHAO R ZH, GAO G P, WANG K, et al. Current situation and tendency of blast furnace gas fine desulfurization technology in iron and steel industry[J]. Environmental Science and Management, 2024, 49(6): 83-88.
- [7] 董辉. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 负载型脱酸剂干法脱除高炉煤气酸性组分研究[D]. 上海:上海大学, 2021.  
DONG H. study on the dry removal of acidic components in blast furnace gas using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supported desulfurization agents [D]. Shanghai: Shanghai University, 2021.
- [8] 程正霖,朱晓华,李鹏飞. 高炉生产过程中氯的来源、迁移转化及影响[J]. 环境工程, 2021, 39(4): 86-91.  
CHENG ZH L, ZHU X H, LI P F, et al. The sources, migration, transformation, and impacts of chlorine in the blast furnace production process [J]. Environmental Engineering, 2021, 39(4): 86-91.
- [9] 王泽,郑敏,郑峰伟,等. 高炉煤气脱氯剂的开发及工业应用[J]. 山东化工, 2022, 51(17): 132-134.  
WANG Z, ZHENG M, ZHENG X W, et al. Development and industrial application of dechlorination agent for blast furnace gas [J]. Shandong Chemical Industry, 2022, 51(17): 132-134.
- [10] 刘长云. 高炉煤气中酸性气体分析及应对措施[J]. 上海煤气, 2007(3): 29-31.  
LIU Y C. analysis of acid gas of blast furnace gas and countermeasure [J]. Shang hai Gas, 2007(3): 29-31.
- [11] 王树忠. 高炉煤气中含氯对煤气系统运行的影响[J]. 冶金动力, 2006(5): 22-24.  
WANG SH ZH. Influence of chlorine in blast furnace gas on running of gas system [J]. Metallurgical Power, 2006(5): 22-24.
- [12] 吕凯,胡宾生,贵永亮,等. 高炉煤气中脱氯剂的活性组分[J]. 钢铁研究学报, 2014, 26(12): 15-18.  
LÜ K, HU B S, JIA Y L, et al. Active components of hydrogen chloride in blast furnace gas [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2014, 26(12): 15-18.
- [13] 张铭,胡达,邓仕英,等. 双组份脱氯剂的制备与应用研究[J]. 化学工程与装备, 2014(9): 19-22.  
ZHANG M, HU D, DENG SH Y, et al. Study on the preparation and application of dual-component dechlorination agents [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2014(9): 19-22.
- [14] 张波,胡宾生,滕艾均,等. 高炉炉顶煤气中CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O和炉尘对低温钙基脱氯剂脱除HCl的影响[J]. 环境工程, 2016(5): 65-69.  
ZHANG B, HU B SH, TENG A J, et al. Effect of CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and dust in the top gas of blast furnace on the removal of HCl by low-temperature calcium-based dechlorination agent [J]. Environmental Engineering, 2016(5): 65-69.
- [15] 胡学武,胡宾生,贵永亮,等. 以赤泥和熟石灰为活性组分制备高炉炉顶煤气脱氯剂[J]. 铸造技术, 2017, 38(4): 873-876.  
HU X W, HU B SH, JIA Y L, et al. Preparation of gas dechlorinating agent for HCl removal from blast furnace top with red mud and slaked lime as active ingredient [J]. Foundry Technology, 2017, 38(4): 873-876.
- [16] DONG H, ZHANG M, GENG S, et al. Preparation and characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-loaded deacidification agents for blast furnace Gas [J]: 1-12.
- [17] 滕艾均. 高炉炉顶煤气中HCl气体脱除的动力学研究[D]. 唐山:华北理工大学, 2015.  
AI T J. The Research of dynamics on HCl removal from blastFurnace top gas [D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2015.
- [18] 华建明,郑壮,游洋,等. 高炉炼铁炉料中硫的迁移规律[J]. 钢铁, 2024, 59(4): 34-41.  
HUA J M, ZHENG ZH, OU Y, et al. Migration of sulfur in raw materials of blast furnace ironmaking [J]. Iron & Steel, 2024,

- 59(4): 34-41.
- [19] 张晓东,易红宏,唐晓龙,等. 羰基硫、CS<sub>2</sub> 水解催化剂及脱硫机理研究现状与进展[J]. 化工新型材料, 2020(5): 266-270.
- ZHANG X D, YI H H, TANG X L, et al. Research status and progress on carbonyl sulfide, CS<sub>2</sub> hydrolysis catalysts and desulfurization mechanism [J]. New Chemical Materials, 2020(5): 266-270.
- [20] GEORGE Z. Kinetics of cobalt-molybdate-catalyzed reactions of SO<sub>2</sub> with H<sub>2</sub>S and COS and the hydrolysis of COS \* 1 [J]. Elsevier Bv, 1974, 32(2): 261-271.
- [21] HOGGAN P, ABOULAYT A, PIEPLU A, et al. Mechanism of COS hydrolysis on alumina [J]. Elsevier Bv, 1994, 149(2): 300-306.
- [22] LIU J, LIU Y, XUE L, et al. Oxygen poisoning mechanism of catalytic hydrolysis of OCS over Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> at room temperature [J]. Acta Physico-chimica Sinica & University Chemistry Editorial Office, Peking University, 2007, 23(7): 997-1002.
- [23] 温慧敏,裴永彪,郭燕,等. 羰基硫水解催化剂最新研究进展 [J]. 应用化工, 2024, 53(2): 386-391, 397.
- WEN H M, PEI Y B, GUO Y, et al. Recent research progress on carbonyl sulfide hydrolysis catalysts [J]. Applied Chemical Industry, 2024, 53(2): 386-391, 397.
- [24] 周鹏翔,李彬,杨迪,等. 羰基硫净化用过渡金属基催化剂研究进展 [J]. 天然气化工—C1 化学与化工, 2022, 47(6): 6-14.
- ZHOU P X, LI B, YANG D, et al. Research progress of transition metal-based catalysts for carbonyl sulfide purification [J]. Natural Gas Chemical Industry, 2022, 47(6): 6-14.
- [25] 朱昌盛,赵顺征,唐晓龙,等. 铝基催化剂催化水解羰基硫研究进展 [J]. 材料导报, 2023, 37(20): 62-69.
- ZHU CH SH, ZHAO SH ZH, TANG X L, et al. Research progress in catalytic hydrolysis of carbonyl sulfide by aluminum based catalysts [J]. Materials Reports, 2023, 37(20): 62-69.
- [26] SHANGGUAN J, ZHAO Y, et al. Desulfurization behavior of zinc oxide based sorbent modified by the combination of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> [J]. Fuel, 2013, 108: 80-84.
- [27] TAN S, LI C, LIANG S, et al. Compensation effect in catalytic hydrolysis of carbonyl sulfide at lower temperature compensation effect in COS hydrolysis [J]. 1991, 8(2): 155-167.
- [28] ZHAO SH ZH, TAN X L, HE M Y. The potential mechanism of potassium promoting effect in the removal of COS over K/NiAlO mixed oxides [J], 2018, 194: 33-39.
- [29] 刘艳霞,上官炬,王泽鑫,等. TiO<sub>2</sub> 改性  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基催化剂的中温水解羰基硫活性 [J]. 化工进展, 2018(10): 3885-3894.
- LIU Y X, SHANGGUAN J, WANG Z X, et al. Activity of TiO<sub>2</sub>-modified  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based catalysts for the hydrolytic carbonylation of carbonyl sulfide at medium temperature [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018(10): 3885-3894.
- [30] 刘羿昆. 高炉煤气钾负载型钛铝基羰基硫水解催化剂的制备与反应机理研究 [D]. 南京:东南大学, 2022.
- LIU Y L. Preparation and reaction mechanism of potassium-supported titanium-aluminum-based carbonyl sulfide hydrolysis catalyst in blast furnace gas [D]. Nanjing: Southeast University, 2022.
- [31] 马铭宇,王超,李运甲,等. 高炉煤气中羰基硫水解吸附催化剂的制备及性能研究 [J]. 化工学报, 2022, 73(1): 275-283.
- MA M Y, WANG CH, LI Y J, et al. Preparation and performance study of catalyst for COS hydrolysis and adsorption in blast furnace gas [J]. CIESC Journal, 2022, 73(1): 275-283.
- [32] 江莉龙,曹彦宁,魏可镁,等. 一种载体、基于该载体的羰基硫水解催化剂及其制备方法: CN104549542 A [P]. 2013-10-28 [2015-04-29].
- JIANG L L, CAO Y N, WEI K M, et al. A carrier, a carbonyl sulfide hydrolysis catalyst based on the carrier and its preparation method: China, CN104549542 A [P]. 2013-10-28 [2015-04-29].
- [33] 温慧敏. 金属改性铝基羰基硫水解催化剂及其抗氯中毒性能的研究 [D]. 太原:太原理工大学, 2023.
- WEN H M. Study on metal modified aluminum-based catalyst for carbonyl sulfide hydrolysis and its resistance to chlorine poisoning [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2023.
- [34] 李翔,王学谦,李鹏飞,等. 高炉煤气特征组分分析及其对脱硫过程的影响研究进展 [J]. 化工进展, 2021, 40(12): 6629-6639.
- LI X, WANG X Q, LI P F, et al. Progress on characteristic components analysis of blast furnace gas and its influence on desulfurization process [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2021, 40(12): 6629-6639.
- [35] 刘俊锋,刘永春,薛莉,等. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上羰基硫常温催化水解的氧中毒机理 [J]. 物理化学学报, 2007(7): 997-1002.
- LIU J F, LIU Y CH, XUE L, et al. Mechanism of oxygen poisoning in the catalytic hydrolysis of carbonyl sulfide on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> at room temperature [J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2007(7): 997-1002.
- [36] 曹强,李玉然,王斌,等.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基 COS 水解催化剂在含 HCl 气氛的失活机理 [J]. 环境工程, 2023, 41(12): 182-189.
- CAO Q, LI Y R, WANG B, et al. Deactivation mechanism of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based catalysts for the catalytic hydrolysis of carbonyl sulfide in the presence of HCl [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(12): 182-189.
- [37] 孙金字,杜向前,于宏超,等. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基羰基硫水解催化剂再生方法研究 [J]. 稀土, 2024(4): 41-52.
- SUN J Y, DU X Q, YU H CH, et al. Study on the regeneration method of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based carbonyl sulfide hydrolysis catalyst [J]. Rare Earths, 2024(4): 41-52.
- [38] 闫云飞,赵平,刘万超,等. 一种废羰基硫水解剂资源化利用

- 方法; CN117797883 A[P]. 2015-04-29.
- YAN F F, ZHAO P, LIU W CH, et al. A method for resource utilization of waste carbonyl sulfide hydrolytic agents; CN104549542 A[P]. 2015-04-29.
- [39] 唐朝勇, 闫鹏飞, 练以诚, 等. 常温干法脱硫剂研究进展与展望[J]. 低碳化学与化工, 2024; 1-10.
- TANG CH Y, YAN F F, LIAN Y CH, et al. Research progress and prospect of desulfurizer for room temperature dry desulfurization [J]. Low-Carbon Chemistry and Chemical Engineering, 2024; 1-10.
- [40] 宋佳佳. 氧化铁基脱硫剂对 H<sub>2</sub>S 的脱除及脱硫剂的再生机理研究[D]. 太原理工大学, 2013.
- SONG J J. Study on the desulfurization mechanism of iron oxide-based desulfurizers for H<sub>2</sub>S removal and the regeneration of desulfurizers [D]. Taiyuan University of Technology, 2013.
- [41] SONG J J, NIU X Q, L L X. A density functional theory study on the interaction mechanism between H<sub>2</sub>S and the  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) surface[J]. Fuel Processing Technology, 2013, 115: 26-33.
- [42] 熊慧欣, 周立祥. 不同晶型羟基氧化铁(FeOOH)的形成及其在吸附去除 Cr(VI) 上的作用[J]. 岩石矿物学杂志, 2008 (6): 559-566.
- XIONG H X, ZHOU L X. Synthesis of iron oxyhydroxides of different crystal forms and their roles in adsorption and removal of Cr(VI) from aqueous solutions [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2008(6): 559-566.
- [43] 巩志坚, 田原宇, 李文华, 等. 氧化铁的制备原理及脱硫活性研究[J]. 煤炭转化, 2006(3): 75-78.
- GONG ZH J, TIAN Y Y, LI W H, et al. Study on the preparation principle of iron oxides and desulfurization activity [J]. Coal Conversion, 2006(3): 75-78.
- [44] CAO Y, LIN X, LIN Y. Low-temperature desulfurization on iron oxide hydroxides; influence of precipitation pH on structure and performance[J]. 2015, 54(9): 2419-2424.
- [45] SHEN L, CAO Y, DU Z, et al. Illuminate the active sites of  $\gamma$ -FeOOH for low-temperature desulfurization [J]. 2017, 425: 212-219.
- [46] GUAN H, HE E, WANG Z, et al. The synthesis and characterization of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for H<sub>2</sub>S removal at low temperature [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2015, 54: 8469-8478.
- [47] 孙婷, 樊惠玲, 上官炬, 等. 三维有序大孔氧化铁脱硫剂的制备[J]. 煤炭学报, 2011(9): 1538-1542.
- SUN T, FAN H L, SHANGGUAN J, et al. Preparation of three-dimensionally ordered macroporous iron oxide desulfurizer [J]. Journal of China Coal Society, 2011(9): 1538-1542.
- [48] DAVYDOV A, CHUANG K, SANGER A. Mechanism of H<sub>2</sub>S oxidation by ferric oxide and hydroxide surfaces[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 1998, 102: 4745-4752.
- [49] WANG T, HU B, LI J, et al. Removal of hydrogen sulfide by hydroxyl-ferric oxide in a slurry reactor at low temperature[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2020, 59: 1402-1412.
- [50] CAO Y, SHEN L, HU X, et al. Low temperature desulfurization on Co-doped  $\alpha$ -FeOOH: tailoring the phase composition and creating the defects [J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 306: 124-130.
- [51] GUAN H, HE E, WANG Z, et al. Synthesis and characterization of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for H<sub>2</sub>S removal at low temperature [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2015, 54 (34): 8469-8478.
- [52] 吉轲. 铁基脱硫剂常温脱硫与再生性能研究[D]. 大连理工大学, 2021.
- JI K. Study on the desulfurization and regeneration performance of iron-based desulfurizer at room temperature [D]. Dalian University of Technology, 2021.
- [53] 冯宇. 微波强化制备氧化铁脱硫剂及其硫化-再生特性研究[D]. 太原理工大学, 2018.
- FENG Y. Microwave strengthened preparation and desulfurization-regeneration characteristics of iron oxide desulfurizer [D]. Taiyuan University of Technology, 2018.
- [54] FENG Y, MI J, CHANG B W, et al. Regeneration performance and characteristic of iron oxide/arenaceous sorbents in the atmosphere of O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> [J]. Fuel, 2016, 186: 838-845.

## Research status and prospect of dry desulfurization agent for blast furnace gas

YU Jian<sup>1</sup>, YAN Feifei<sup>1</sup>, LIAN Yicheng<sup>1</sup>, LIU Wanchao<sup>1</sup>, ZHAO Kai<sup>2</sup>

(1. Chinalco Environmental Energy Conservation Group Co., Ltd., Beijing 102200, China;

2. College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

**Abstract:** As a research focus in the current iron and steel metallurgy industry, blast furnace gas fine desulfurization technology employs the three-stage dry treatment process of dechlorination-hydrolysis-desulfurization as the mainstream process. Each stage is supplemented by specific reagents, and the cost of these reagents accounts for 60% to 80% of the overall operation and maintenance of the desulfurization process, making them of great significance to the desulfurization technology. This paper introduces three most common key reagents: dechlorinating agents, hydrolyzing agents, and iron oxide desulfurizing agents, systematically elaborating on their

composition, preparation methods, reaction mechanisms, and deactivation mechanisms. For dechlorinating agents, the main preparation methods include mechanical mixing and loading methods. The mechanical mixing method is primarily used for preparing calcium oxide-based dechlorinating agents with lower production costs, while the loading method is mainly applied to alumina-based dechlorinating agents, resulting in more uniform dispersion of active components but higher preparation costs. Alumina-based hydrolysis catalysts dominate the blast furnace gas fine desulfurization process; most studies on their deactivation mechanisms have focused on deactivation factors such as  $O_2$ , with insufficient in-depth research on the impact of acidic gases like HCl and HCN in blast furnace gas. The activity of iron oxide desulfurizing agents is significantly influenced by their crystal structure, and those with more crystal defects and hydroxyl active sites typically exhibit higher desulfurization activity. In terms of industrial fine desulfurization operating costs, source control processes currently remain at a disadvantage with higher costs compared to traditional end-of-pipe treatment methods. Looking forward, future research should focus on promoting studies on the synergistic mechanism of the three reagents based on actual operating conditions to optimize desulfurization efficiency and improve reagent utilization; advancing the establishment of reagent quality and evaluation standard systems to standardize the reagent market; and conducting research on the regeneration and resource utilization of waste reagents to reduce resource waste and lower operating costs.

**Key words:** blast furnace gas; dry fine desulfurization; chlorine removal agent; hydrolysis agent; iron oxide desulfurizer; source control; operating cost

## 铸造铝合金期货首次交割顺利完成

11 月 19 日,上海期货交易所(以下简称“上期所”)铸造铝合金期货首个合约 AD2511 顺利完成交割,交割量约 2.29 万吨,交割金额约 4.76 亿元。铸造铝合金期货上市以来,运行平稳,企业积极参与。截至 2025 年 11 月 17 日,累计成交 59.64 万手,总成交金额 1 202.82 亿元,标准仓单重量合计 5.94 万吨。铸造铝合金期货的上市为再生铝产业链提供了有效的风险管理工具。

参与首次交割的企业包括中船重工物资贸易集团广州有限公司、北京金控资本有限公司、宁波海天同创实业有限公司等铸造铝合金产业链相关企业,首次交割的标准仓单在中储发展股份有限公司、浙江尖峰供应链有限公司、厦门建发仓储有限公司等多家交割库生成。铸造铝合金期货上市后,上期所分别在重庆和无锡举办了铸造铝合金期货交割业务培训会,为标准仓单生成及首次交割业务顺利夯实了基础。

上期所相关负责人表示,上期所将继续以服务实体经济为使命,围绕“强监管、防风险、促高质量发展”的主线,切实履行市场监管和风险防范的职责,维护市场稳定运行。同时,密切跟踪市场运行状况,不断优化交割流程,发挥期货市场价格发现、风险管理、资源配置功能,服务“双碳”目标和绿色发展战略目标,促进实体经济高质量发展。

(资料来源:中国有色金属报)