



# 云锡铜冶炼制酸一吸塔新型碳纤维除雾器应用实践

李成学 王立平

(云锡股份有限公司铜业分公司, 云南 蒙自 661019)

**[摘要]** 云锡10万t/a铜冶炼项目制酸一吸塔原有玻璃纤维除雾器因烟气中氟含量过高而容易腐蚀,造成一吸塔出口酸雾量大,制酸装置设备腐蚀,影响制酸乃至冶炼系统的正常生产。针对此问题,采用新型碳纤维除雾器。碳纤维质量比金属铝轻,但强度却高于钢铁,具有高硬度、高强度、重量轻、化学性能好、耐高温等特性。一吸塔更换新型碳纤维除雾器后,经过3年多的生产运行,未出现腐蚀穿滤情况,说明该新型除雾器可满足铜冶炼烟气制酸的工艺要求。

**[关键词]** 铜冶炼; 烟气; 一吸塔; 酸雾; 碳纤维; 玻璃纤维; 除雾器

**[中图分类号]** TF811; TQ111.1 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2021)05-0065-04

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.014

## Application Practice of New Type Carbon Fiber Demister for Acid-making Primary Absorption Tower in Yunnan Tin Group Copper Smelting Project

LI Cheng-xue, WANG Li-ping

**Abstract:** The original glass fiber demister of the acid-making primary absorption tower of Yunnan Tin Group 100 000 t/a copper smelting project was easy to corrode due to the high fluorine content in the off-gas, resulting in a large amount of acid mist at the outlet of the primary absorption tower, which corroded the acid making device, affecting the normal production of acid making system and even smelting system. Aiming at this problem, the new type carbon fiber demister was used. The mass of carbon fiber is lighter than that of metal aluminum, but has a strength stronger than steel, which has the characteristics of high hardness and high strength, light weight, good chemical properties and high temperature resistance. After the demister of the primary absorption tower was replaced by the new type carbon fiber demister, the production has been operated for 3 years, no filter-broken by corrosion occurred, which meant that this new type demister can meet the process requirements of off-gas acid making for copper smelting.

**Key words:** copper smelting; off-gas; absorption tower; acid mist; carbon fiber; glass fiber; demister

### 0 前言

云锡铜冶炼项目于2012年3月建成投产,设计产能为电解铜10万t/a、硫酸44万t/a。主工艺流程采用世界领先的“顶吹熔炼-顶吹吹炼-阳极炉精

**[收稿日期]** 2021-03-04

**[作者简介]** 李成学(1977—),男,云南富源人,机械工程师,主要从事设备管理工作。

**[引文格式]** 李成学,王立平.云锡铜冶炼制酸一吸塔新型碳纤维除雾器应用实践[J].有色冶金节能,2021,37(5):65-68.

炼-永久不锈钢阴极电解精炼工艺”,配套的烟气制酸系统采用一级高效洗涤器-气体冷却塔-二级高效洗涤器-两级电除雾器稀酸洗涤净化,“3+2”两转两吸(Ⅲ、Ⅰ~Ⅴ、Ⅳ、Ⅱ)换热工艺流程。

制酸装置的一吸塔和二吸塔除雾器选用非常关键。在烟气制酸生产过程中,除雾器可以起到保护SO<sub>2</sub>风机、换热器和催化剂的作用,能够延长催化剂筛分周期,提高装置运行率,有效控制装置尾气中酸雾的排放。项目初期,一吸塔采用了玻璃纤维除雾器,二吸塔采用金属丝网玻璃纤维除雾器,使用效果不太理想。

本文分析了玻璃纤维除雾器存在的问题,介绍了一吸塔新型碳纤维除雾器的应用实践,以供同行参考。

## 1 酸雾形成机理及危害

### 1.1 酸雾形成机理

在一定气压下,含可凝组分的气体混合物被冷却到一定温度后达到气液两相平衡的临界状态,可凝组分在气相中达到饱和而凝结成液体,称此时烟气达到露点,此时的温度称为露点或露点温度<sup>[1]</sup>。

烟气制酸过程中,烟气除含有一定量的水蒸气外,还含有少量SO<sub>3</sub>。在相同气压下,其露点要高于含同样组分但不含SO<sub>3</sub>的空气中的露点。当烟气温度因换热或其他原因降至露点以下时,烟气中的水蒸气开始凝结,SO<sub>3</sub>也同时凝结,形成细小的硫酸液滴,即酸雾。另外,烟气制酸生产过程中,气液两相多次充分接触,因机械力作用也可能使部分液体分散到烟气中形成酸雾。在一定的温度和压力下,气相中的SO<sub>3</sub>和蒸汽也可能发生化学反应形成酸雾。

通常由机械力作用形成的酸雾粒径比较大,很容易通过纤维除雾器或丝网除沫器除去;而由冷凝或化学反应形成的酸雾粒径较小,一般的纤维除雾器难以全部有效除去。酸雾的存在会导致设备腐蚀、成品酸质量下降、换热器堵塞、催化剂失效、仪器仪表损坏等问题,严重影响制酸系统正常生产,当其排放到大气中时又会造成环境污染。

### 1.2 酸雾的危害

1) 腐蚀。制酸装置干燥塔和一吸塔带出的酸雾会造成后续设备严重腐蚀。项目投产后短期内,

Ⅲ换热器、Ⅴ换热器、管道等均被冷凝酸雾腐蚀,被迫停产检修处理。

2) 污染。酸雾是制酸装置主要污染源之一,酸雾的控制与工艺操作有一定的关系,吸收酸温度、浓度、喷淋量、进口烟气温度、气体短路或旁路等因素均会影响烟气中酸雾含量。作为烟气除雾的关键元器件,一吸塔和二吸塔除雾器的性能直接关系到制酸尾气酸雾排放指标是否达标。《铅、锌工业污染物排放标准》(GB 25466—2010)、《铜、镍、钴工业污染物排放标准》(GB 25467—2010)、《硫酸工业污染物排放标准》(GB 26132—2010)等国家相关标准对制酸尾气酸雾排放指标提出更为严格的要求,分别为不得超过20 mg/Nm<sup>3</sup>、40 mg/Nm<sup>3</sup>、45 mg/Nm<sup>3</sup>,云锡铜业分公司对尾气污染排放执行更高的标准。

3) 危害SO<sub>2</sub>风机。SO<sub>2</sub>风机是制酸装置最关键的动力设备。本项目的SO<sub>2</sub>风机设置在干燥塔之后,干燥塔采用丝网除雾器,烟气中夹带的酸雾和烟尘对SO<sub>2</sub>风机叶轮的腐蚀和磨损会使叶轮失去平衡,导致风机振动加剧。项目投产不久,SO<sub>2</sub>风机即出现振动加剧的情况,经常被迫停车冲洗处理,对正常生产影响较大。

从上面的论述可以看出,酸雾已成为制酸装置腐蚀和环境污染的重要原因。烟气制酸生产运行过程中,要严格控制工艺操作指标,减少酸雾的产生;同时使用耐腐蚀、高强度、长寿命、高效率的除雾器,尽可能提高除雾效率<sup>[2]</sup>。

## 2 除雾器工作原理

在制酸装置中,除雾器是依靠悬浮液滴运动形成的惯性碰撞、拦截及布朗运动等共同作用来去除酸雾。整个除雾过程是床层纤维不断被润湿和干燥的过程,即液滴在纤维表面黏附、破裂、聚并、脱离的过程。

当烟气流动接近纤维除雾器时,气流扩散,绕着床层纤维流动。由于惯性及纤维的阻挡,粒径5~10 μm的酸雾离开气流,直接撞击纤维表面。根据流体力学,绕过床层纤维的酸雾会加速移动,惯性力增大,因此即使是粒径稍小一些的液滴,也会与其他纤维发生二次碰撞。该除雾机理的效率会随烟气流速的增加而提高。粒径小于1 μm的液滴由于惯性

较小,只能继续跟随气流移动。这些液滴通过纤维之间的小缝隙时,会连同逃逸的较大液滴一同被拦截。粒径 $1\ \mu\text{m}$ 以下的液滴,因质量过小,在气体分子作用下作随机布朗运动。这种随机运动增大了液滴与纤维碰撞的可能性。纤维除雾器的床层纤维之间的不规则通道,给了这些微小液滴足够长的停留时间,又提供了足够多的碰撞靶,从而有效提高了布朗扩散机理的除雾效率<sup>[3]</sup>。

### 3 一吸塔技术参数及存在问题

#### 3.1 一吸塔及纤维除雾器技术参数

本项目烟气制酸系统的原料是从铜冶炼熔炼

炉、吹炼炉和沉降电炉汇集而来的 $\text{SO}_2$ 烟气,其中一吸塔为内装耐酸瓷环的填料塔,由钢外壳、内衬耐酸砖体、填料支承装置、瓷环填料、分酸装置、塔顶纤维除雾器等组成,一吸塔顶部设置ES悬挂式纤维除雾器33支,设计出口酸雾含量不超过 $40\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

一吸塔技术参数见表1,一吸塔内纤维除雾器技术参数见表2。

#### 3.2 一吸塔原纤维除雾器存在问题

项目投产初期,一吸塔使用了某进口品牌的ES悬挂式纤维除雾器,其耐腐蚀性差,强度较低,易穿滤,使用寿命较短,项目投产8个多月后即出现腐蚀穿滤情况(图1)。后改用国产某品牌B14玻璃纤维

表1 一吸塔技术参数

项目	一吸塔规格/ mm	处理气量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	介质	设计压力/ kPa	工作压力/ kPa	设计温度/ $^{\circ}\text{C}$	工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	喷淋量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	喷淋介质
参数	7 140 × 16 790	135 331	含 $\text{SO}_3$ 气体	30	26	200	190	1 100	$\text{H}_2\text{SO}_4$ (98%)

表2 一吸塔内纤维除雾器技术参数

项目	纤维除雾器 规格/mm	数量/ 支	处理气量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	气体操作 压力/kPa	压降/ kPa	液滴去除率/ %	网笼及紧 固件材质	除雾器 材质	过滤 类型	安装方式
参数	610 × 508 × 3 693	33	142 000	70 ~ 80	24	< 2.5	100(大于 $3\ \mu\text{m}$ 液滴), 99(小于 $3\ \mu\text{m}$ 的液滴)	316L 不锈钢	进口特种 纤维	扩散型	悬挂式 (带液封杯)



图1 纤维除雾器腐蚀穿滤

除雾器,使用情况同样不佳。2012年3月至2015年12月期间,纤维除雾器故障导致了制酸装置Ⅲ换热器、V换热器、管道等腐蚀损坏,以及催化剂多次筛分、更换等一系列问题,经常被迫停产检修处理,运行率较低,直接影响了冶炼系统的生产和成本。

经过分析和研究,确认腐蚀是纤维除雾器穿滤

的最主要原因。由于本项目铜精矿成分复杂、氟含量超标,烟气净化工序未能有效除去氟、砷等杂质,进入转化、干吸制酸工序的烟气含氟量较高,氟与玻璃纤维中的硅元素发生化学反应,从而导致纤维除雾器腐蚀。

结合铜冶炼制酸行业除雾器材料选用经验,项目更换了某进口品牌的双层玻璃纤维除雾器,纤维除雾器使用情况有所改善,使用寿命延长至一年左右,但仍未完全解决上述问题。

### 4 新型碳纤维除雾器的应用

碳纤维是一种含碳量在95%以上的新型纤维材料,质量虽比金属铝轻,但强度却高于钢铁,具有高硬度、高强度、重量轻、化学性能好、耐高温等特性。碳纤维既具有碳材料的固有无本征特性,又兼备纺织纤维的柔软、可加工性,是新一代增强纤维,广泛应用于航空航天、军事、工业等领域。

碳纤维由聚丙烯腈纤维、沥青纤维在上千摄氏度的温度下经预氧化、碳化、石墨化形成类似石墨晶体的微晶结构,这种结构本身就具有极强的耐介质腐蚀性。碳纤维是一种非金属材料,电化学活性不高,因此在一些酸碱盐中,其弹性模量、强度等优秀性能基本不会发生变化。而玻璃纤维是一种无机非金属材料,以叶腊石、石英砂、石灰石、白云石、硼钙石、硼镁石七种矿石为原料经高温熔制、拉丝、络纱、织布等工艺制造而成。此外,碳纤维不含二氧化硅,因此,制酸烟气中的氟对碳纤维腐蚀较小。而玻璃纤维主要成分为二氧化硅,二氧化硅会和氢氟酸发生反应,生成气态的四氟化硅,形成腐蚀穿滤。总体来说,碳纤维复合材料要比玻璃纤维复合材料更具性能优势。

2017年5月,一吸塔的玻璃纤维除雾器更换为国外某品牌的CB-24144新型碳纤维除雾器。经过3年多的生产运行,目前未出现腐蚀穿滤现象(图2)。新型碳纤维除雾器性能稳定、可靠,制酸系统因故障停车次数减少,运行率提高,尾气酸雾排放值不超过 $20\text{ mg/Nm}^3$ 。碳纤维除雾器的使用寿命和除雾效率显著提高,达到了预期的效果,满足了本项目复杂铜精矿双顶吹炼铜烟气制酸生产的实际要求。

## 5 结束语

云锡10万t/a铜冶炼项目制酸一吸塔更换新



图2 碳纤维除雾器使用3年多后的检修图

型碳纤维除雾器,经过3年多的生产运行,未出现腐蚀、穿滤等问题,新型碳纤维除雾器性能稳定可靠,使用寿命和除雾效率显著提高,达到了预期效果。新型碳纤维除雾器具有耐腐蚀、强度高、寿命长、效率高的优点,能满足复杂铜精矿炼铜烟气制酸系统生产技术要求,解决了制酸装置纤维除雾器的腐蚀穿滤问题,有效保护了下游设备,消除了影响冶炼系统的生产和成本的不利因素,具有良好的经济效益,可供类似工程参考使用。

### [参考文献]

- [1] 张玉杰. 烟气露点与露点腐蚀防护[J]. 硫酸工业, 2020(10):7-12.
- [2] 张成昆,丁雁波,廖若博,等. 新型纤维除雾器在硫酸系统的应用实践[J]. 硫酸工业,2017(1):52-56.
- [3] 李忠于. 纤维除雾器除雾机理研究及选型[J]. 硫酸工业,2020(12):42-46.