

新型纤维除雾器

在驰宏锌锗硫酸系统的应用实践

云南驰宏锌锗股份有限公司曲靖分公司锌厂 丁雁波 朱化芬 周京云
南化集团研究院 张成昆 廖若博

云南驰宏锌锗股份有限公司曲靖分公司锌厂(以下简称曲靖锌厂)于2003年开工建设,2005年建成投产,设计铅冶炼产能8万吨/年,采用艾萨炉熔炼-鼓风机还原工艺,配套硫酸产能8万吨/年;设计锌冶炼产能10万吨/年,采用沸腾炉焙烧工艺,配套硫酸产能18万吨/年。两套制酸装置均采用一级动力波洗涤器—气体冷却塔—二级动力波洗涤器—两级电除雾器稀酸洗净化、IV I -III II “3+1”两转两吸工艺流程。为保护下游设备及尾气中酸雾排放达标,曲靖锌厂在两套制酸装置的一吸塔和二吸塔采用南化集团研究院专利的产品新型纤维除雾器,使用效果良好。即使经多次扩产改造后,铅系统硫酸产能达到9万吨/年、锌系统硫酸产能达到22万吨/年的工况下,新型纤维除雾器依然能够购满足生产要求。笔者就新型纤维除雾器应用谈一些体会。

1 酸雾危害

众所周知,硫酸装置中酸雾有许多危害。

① 腐蚀。干燥塔、一吸塔和二吸塔下游设备(如风机、气体换热器)和管道等设备对干吸塔出来的酸雾很敏感。特别是干燥塔和一吸塔带出的酸雾会给后续气体换热器造成严重腐蚀。国内不少硫酸装置一吸塔后换热器遭受冷凝酸腐蚀,与装置超负荷运行、除雾器选择不当、纤维除雾器超寿命运行有关。曲靖锌厂铅系统气量、气浓波动大,烟气中含有大量未燃烧充分的油烟,加上装置经常超负荷生产,干吸塔除雾器运行负荷非常大,对除雾器性能要求苛刻。

② 污染。硫酸雾是硫酸厂主要污染源之一,虽然酸雾控制与吸收酸温、酸浓、喷淋酸量、进口气温、气体短路或旁路等因素有关,但作为把关设备,二吸塔出口纤维除雾器性能直接关系酸雾排放指标。尤其是GB25466—2010《铅、锌工业污染物排放标准》、GB25467—2010《铜、镍、钴工业污染物排放标准》、GB26132—2010《硫酸工业污染物排放标准》等对制酸尾气酸雾指标提出更为严格要求,分别不得高于20, 40, 45mg/m³。而云南驰宏锌锗股份有限公司作为国家首批循环经济试点单位、国家清洁文明生产单位,对尾气污染物排放执行更为严格的标准,因此,硫酸装置选择合适的纤维除雾器是很重要的。

③ 风机危害。风机是硫酸装置最关键的动设备,当风机设置在干燥塔之后时,气体中夹带的酸雾对风机旋转叶片的腐蚀和磨损会使风机失去平衡。

笔者以为,酸雾已成为硫酸装置露点腐蚀和污染的重要原因,生产中务必要严格控制操作指标减少酸雾的产生,使用高效除雾器尽可能除去酸雾。

2 酸雾形成机理及影响因素

纤维除雾器通常被应用在硫酸吸收塔下游以收集和除去出口气流中微米及亚微米级硫酸雾，在论及纤维除雾器选择和使用前，必须对酸雾的形成机理有所了解。一般认为，硫酸雾形成机理主要有以下3类^[1]：

① 机械作用。当硫酸从分酸器排出和溅离填料表面时，液滴受到机械剪切力作用会产生1~1000 μm 粒径范围的酸雾。这类酸雾存在于任何类型的装置中，并且很容易通过纤维除雾器或丝网除沫器加以除去；

② 化学反应。当 SO_3 和 H_2O 存在于气相中时，他们反应生成亚微米级的硫酸雾。就除雾而言，化学反应所产生的酸雾属于小粒径且难以除去的雾沫。例如，HRS 低温热回收系统、湿法制酸系统产生的酸雾就属于此类，一般的纤维除雾器也难以有效除去；

③ 冷凝酸二次夹带。当冷凝在冷却表面或除雾器上的酸雾被二次夹带，会产生亚微米级酸雾。

硫酸生产过程中，总会有一些硫酸逃逸出净化系统，其结果是干燥塔酸雾除了包括上述机理一生成的较大雾粒外，通常还会包含上述机理二和机理三生成的亚微米级雾粒，丝网除沫器很难除去这些亚微米级酸雾，因此，在不少工厂发生风机叶片及气体换热器腐蚀问题。

干吸塔酸雾形成可能受诸多因素影响，如酸温、酸浓、喷淋酸量、进口气温、蒸汽泄漏等，这些因素的改变都有可能造成除雾器的操作偏离其可接收的操作范围，从而造成除雾器效率下降、高压降或二次夹带等不良后果。除雾器气体短路或旁路（即使占总流量很小的比例）也可能导致大量收集酸的二次夹带，从而产生酸雾；这些酸雾将对纤维除雾器的总体性能产生显著的不良影响。此外，分酸器和供酸管道的性能、塔填料的压力降和可能的液泛条件也是不能忽略的。喷淋酸量及酸冷却器能力也会影响塔性能及除雾器状况。

3 除雾器的选择

3.1 除雾机理

除雾器通常是基于惯性碰撞、直接拦截和布朗扩散中的一种或几种分离气流中的液滴。

丝网除沫器基于碰撞和拦截机理，此类除雾器对于大于或等于 5 μm 的微粒具有很高的捕集效率；金属丝网中加入混编材料可提高对 2 μm 的微粒具有很高的捕集效率。干燥塔出口烟气酸雾粒径通常在 3~10 μm 范围内，国内通常在干燥塔设置丝网除沫器予以去除。

纤维除雾器主要基于布朗扩散机理，既可 100%除去 3 μm 以上的微粒，也可以有效除去 1 μm 以下的微粒。一吸塔和二吸塔出口烟气酸雾粒径通常在 0.01~1 μm 范围内，国内通常在吸收塔设置纤维除雾器予以去除。对于直接拦截和布朗扩散机理而言，标靶越小、越多，停留时间越长（气速越低），除雾效率越高，这意味着其效率随着气速的降低而增加。

3.2 除雾器选择原则

对于硫酸厂而言，除雾器选择决策依据不外乎以下方面：

① 硫酸装置类型。硫铁矿、冶炼烟气、石膏、废硫酸等原料制酸对除雾器的要求高于硫磺制酸，特别是原料中存在氟离子；

② 除雾效率。跟装置实际运行工况有关，特别是冶炼烟气制酸装置烟气波动情况、净化工序运行质量、干吸系统操作指标等都显著影响后续除雾效率；

③ 操作费用。主要影响因素是除雾器压力降，压力降的增长速度与硫酸装置类型及所选用的除雾器类型有显著关系；

④ 安全性。包括操作安全性及检查、更换时的安全性；

⑤ 生产能力。与单根除雾单元操作能力及塔内能够安装的单元总数有关；

⑥ 使用寿命。除雾器使用寿命主要受三个因素的影响，腐蚀、堵塞及排液不畅；

⑦ 初始及更换费用。进口除雾器价格总是高于国内的除雾器，国产纤维除雾器性价比要高于进口产品。

⑧ 供货期及现场服务。受运输和进出口的影响，进口除雾器的供货期一般都很长。新建装置还可以预先定货，大修改造装置供货期一般难以保证，这是进口产品与国内的产品竞争的薄弱环节。更何况许多厂希望技术人员现场服务，这一点有硫酸技术背景的厂家无疑优于其他供应商。

总体而言，干燥塔产生的酸雾粒径较大（3~10 μm ），采用碰撞型丝网除沫器基本可以有效去除，如果采用节能型塑料纤维除雾器酸雾去除效率则更高，只是压力降有所增加。一吸塔产生的酸雾量远远多于二吸塔，酸雾粒径较小（0.01~1 μm ），在这里一般选择高效型纤维除雾器，以尽可能除去所有酸雾。二吸塔产生的酸雾是尾气酸雾量的来源，酸雾粒径较小（0.1~1 μm ），在这里一般选择高速型纤维除雾器，以便在减少能耗得情况下控制酸雾排放。

针对曲靖锌厂铅锌系统操作不太稳定、对酸雾指标控制严格等要求，经过与南化集团研究院专业技术人员技术交流，综合上述因素，曲靖锌厂最终选用 CT 系列新型纤维除雾器，一吸塔安装 CT-GX 纤维除雾器，二吸塔安装 CT-GS 纤维除雾器。

4 CT 系列新型除雾器结构及特点

南化集团研究院自 20 世纪 70 年代就开始纤维除雾器的研发工作，经过数次升级换代，其具有自主知识产权的 CT 系列新型除雾器（CN201020500341.2），无论是纤维材料、骨架材料、纤维缠绕方式、防二次夹带方式等都处于国内领先水平，并在硫酸、磷酸、氯碱、磺化、有机化工等领域得到广泛应用。该除雾器有以下技术特点^[2]：

① 采用特殊设计和制作工艺，有效解决了除雾效率和压力降平衡问题。在进口酸雾 300~2000 mg/Nm^3 工况下，平均除雾效率达到 98% 以上，而系统压力降不超过 2kPa。同时，独特设计的纤维层有自净及消除雾沫二次夹带功能，确保尾气酸雾指标达到最新国家标准。

② 根据不同工况，采用国际先进的整体连续纤维毡工艺和纤维条混编工艺。纤维毡和纤维条混编使用的纤维可以由多种材料制成，如玻璃丝、聚酯、聚丙烯等。纤维毡材料是整体连续的，与烛式滤芯长度相当，采用无缝对接工艺，形成事实上无缝的过滤器元件；独特的纤维条混编工艺也能达到同样效果。这种无缝结构确保没有气体能够通过接缝或孔隙形成旁流或短路，有利于提高除雾效率。

③ 纤维毡和纤维条混编由上百万个微米级玻璃纤维随意覆盖和交织在一起，从根本上使每个独立的纤维相互紧密结合并贯穿整个介质深度，即气体流动的方向。由于纤维毡和混编纤维条具有均匀的密度、纤维分布和介质厚度，因此整个过滤器表面拥有均匀的气流分布和压降剖面，有利于降低压力降。

④ 除雾元件内外圆筒框架为整体结构，上下法兰与内网筒通过焊接连成一体，纤维床层与上下法兰之间设有密封挡环结构，避免了除雾器元件在使用中因纤维床整体沉降而产生气体旁流或短路。

⑤ 与酸雾直接接触的内外圆筒框架、法兰、密封挡环均采用特制合金材料，使得设备耐腐蚀性好、性能稳定、使用寿命更长。

⑥ 针对特殊工况，有混编聚四氟乙烯、碳纤维、聚丙烯纤维等纤维材料可供选择，可有效避免纤维层腐蚀问题。

5 纤维除雾器运行情况

5.1 铅制酸系统

曲靖锌厂铅制酸系统一吸塔设有 11 根高效型纤维除雾器元件，规格均为 $\phi 620\text{mm}$ 、高 3500mm；二吸塔设有 4 根直立式圆筒形高速型纤维除雾器元件，规格均为 $\phi 620\text{mm}$ 、高 1950mm。由于艾萨炉是世界上第一座粗铅顶吹沉没熔炼工艺的炉子，所以在设计、生产操作方面存在一些问题，因此，铅系统烟气成分较为复杂。装置刚投产的一段时期，受铅冶炼系统的影响，硫酸系统烟气量波动较大，转化器进口气体 $\varphi(\text{SO}_2)$ 在 4.1%~10.2% 波动，硫酸尾气流量在 31827~58452 m^3/h 波动，一吸塔和二吸塔纤维除雾器经受住了考验，一吸塔出口冷换热器未见冷凝酸，二吸塔出口尾气酸雾指标在 30 mg/m^3 以下。

最近几年，铅系统超负荷运行，硫酸产能逐步提高到 9 万吨/年，超出设计能力 12.5%。铅冶炼烟气中含有的油污、油烟、有机物、氮氧化物和雾状油渍，超负荷运行后硫酸装置净化工序效率变差，尤其是电除雾器阴极线经常肥大，除雾效率很差。最终结果是油污带入干燥塔和吸收塔，致使一吸塔和二吸塔纤维除雾器效率变差、压力降逐步增大。2009 年 12 月曲靖锌厂对铅制酸系统纤维除雾器进行了更换，仍选用 CT 系列新型纤维除雾器。为了应对超负荷运行的不良工况，将一吸塔纤维除雾单元增至 12 根、二吸塔纤维除雾单元增至 6 根。改造后至今已稳定运行 7 年时间，各项指标均达到预期要求，尤其是在线检测二吸塔出口尾气酸雾指标在 20 mg/m^3 以下。

表一 铅制酸系统除雾器性能指标

时间	一吸塔除雾器			二吸塔除雾器		
	进口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	压力 降/kPa	进口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	压力 降/kPa
2012年 1月	932.13	26.19	0.64	556.39	17.86	0.61
2012年 6月	821.23	24.72	0.66	597.15	16.78	0.64
2013年 1月	976.13	26.45	0.62	549.14	15.98	0.59
2014年 6月	891.43	24.25	0.64	612.77	17.28	0.61
2014年 1月	910.73	25.32	0.63	603.60	16.78	0.60
2015年 1月	908.74	24.45	0.61	554.28	14.91	0.59
2015年 6月	986.57	22.40	0.62	656.76	15.02	0.58

5.2 锌制酸系统

曲靖锌厂锌制酸系统一吸塔设有 20 根高效型纤维除雾器元件，规格均为 $\phi 620\text{mm}$ 、高 3500mm；二吸塔设有 7 根高速型纤维除雾器元件，规格均为 $\phi 620\text{mm}$ 、高 1950mm。由于 109m² 沸腾炉运行稳定，制酸装置烟气量波动较小，转化器进口气体 $\varphi(\text{SO}_2)$ 在 6.8%~8.5%，硫酸尾气流量在 71827~81452m³/h，一吸塔和二吸塔纤维除雾器运行良好，一吸塔出口冷换热器未见冷凝酸，二吸塔出口尾气酸雾指标在 30mg/m³ 以下。

最近几年，锌系统也是超负荷运行，硫酸产能逐步提高到 22 万吨/年，超出设计能力 22.2%；比铅系统负荷增加大。一吸塔和二吸塔纤维除雾器长期在超负荷下运行，除雾效率和压力降有逐步恶化的趋势，加之 GB25466—2010《铅、锌工业污染物排放标准》规定从 2012 年 1 月 1 日起现有企业执行 20mg/m³ 的酸雾排放浓度限值。曲靖锌厂 2009 年大修期间对锌制酸系统纤维除雾器进行了更换，仍选用 CT 系列新型纤维除雾器。为了应对超负荷运行的不良工况，大修中将一吸塔纤维除雾单元增至 22 根、二吸塔纤维除雾单元增至 8 根。改造后至今已稳定运行 7 年时间，各项指标均达到预期要求，尤其是在线检测二吸塔出口尾气酸雾指标在 20mg/m³ 以下。

表二 锌制酸系统除雾器性能指标

时间	一吸塔			二吸塔		
	进口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	压力 降/kPa	进口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出口酸雾/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	压力 降/kPa
2012年 1月	896.43	23.76	0.76	587.23	13.86	0.72
2012年	854.13	22.29	0.80	591.23	15.49	0.76

6月						
2013年 1月	901.13	21.54	0.81	580.16	11.14	0.74
2014年 6月	897.12	24.31	0.76	624.86	11.75	0.77
2014年 1月	889.03	23.74	0.79	621.13	13.29	0.72
2015年 1月	897.74	24.60	0.82	594.28	12.60	0.79
2015年 6月	926.57	24.92	0.82	599.43	10.73	0.73

6 纤维除雾器使用的几点体会

纤维除雾器虽小却是硫酸装置一台重要设备，对减少硫酸装置腐蚀、减少尾气酸雾排放、提高装置运行效率等都有至关重要的作用。虽然纤维除雾器在国内应用已有很多年，但仍存在不少误区。通过与业内专家交流及现场使用经验，笔者有以下体会。

① 要重视并正视酸雾危害，严把酸雾控制关。不少企业往往忽视酸雾危害的严重性，对除雾器的选用不当，例如，不少厂一吸塔和二吸塔仍选用金属丝网除雾器，虽然可以节省设备投资和运行费用，但其结果必然是吸收塔下游设备和管道很快腐蚀泄漏，停车维修和二次投资增加，企业损失巨大。有些人提出，硫酸装置上了尾吸系统，大可不必采用纤维除雾器。笔者认为，即使有尾吸系统也应选用高效的纤维除雾器把关，一是纤维除雾器可以最大限度地除去酸雾，可以很好地保护换热器、管道。二是采用纤维除雾器可以减轻尾吸塔负荷，除下来的液滴可以返回制酸系统增加硫酸产量，如果大量酸雾直接进入尾吸塔必然增大脱硫剂消耗，增大运行成本。三是大量酸雾可能会影响副产品质量，如副产亚硫酸钠、亚硫酸氢铵时，不希望带入的硫酸盐过多。

② 要根据企业实际选用纤维除雾器。目前国产的纤维除雾器性价比较好，品质也不错，但售后服务更有优势。不少企业都有一个传统观念，大型硫酸装置选用进口产品。笔者认为这也是一大误区，体现纤维除雾器性能最关键的是纤维材料和缠绕方式，这一点上国产纤维除雾器已经与进口产品无太大差异，并且在大装置也有很好应用业绩。

③ 要加强操作指标控制，避免除雾器超负荷运行。很多企业有这样一个意识，一旦酸雾指标不好，那就是除雾器有问题。这里有一个误区，除雾器虽然是一个酸雾把关设备，但并不是万能设备，纤维除雾器只有在设计气量、风速范围内才能发挥最佳性能。同时，纤维除雾器也是一台非常好的过滤器，一旦前面系统（如净化工序、转化器）操作不好，纤维除雾器很容易发生堵塞。笔者以为，控制酸雾最好的方法是减少酸雾的生成，即从净化工序开始就要强化电除雾器效

率，减少亚微米级酸雾带入后续系统，要严格控制干吸塔酸温、酸浓、喷淋酸量、进口气温等参数，发生波动时应及时调节。蒸汽泄漏、干吸塔气体短路、旁路等不良状况要及时发现并处理。只有操作指标控制好了，才能给纤维除雾器运行创造一个良好环境。那些操作不稳定的企业，除雾器及其他设备的使用寿命都不会太长，反之亦反。

④ 雾沫二次夹带控制。所有除雾器操作都有一个共同的制约因素，那就是可能形成雾沫二次夹带。雾沫二次夹带是指先前已经被捕获、凝聚后的雾沫又被“再次夹带”返回工艺气的过程。二次夹带是在高气速和高雾沫负荷条件下产生的；当纤维床层出现局部液泛，即塔的某个部位由于分酸器损坏或进酸总管泄漏而产生大量酸沫时，也可能形成二次夹带。显然，雾沫二次夹带是我们所不希望产生的。防止雾沫二次夹带是纤维除雾器除雾效率、压力降之外另一重要性能指标。从曲靖锌厂现场应用来看，CT 系列新型纤维除雾器排液顺畅，即使在超负荷状况下运行雾沫二次夹带也较少。

⑤ 除雾器元件清洗及重装。虽然表面清洗有助于改善除雾器性能，但并不建议采取这样的措施。这是因为，纤维除雾器是一台非常好的颗粒过滤器，所有气体中的颗粒都可以被它截流下来，表明清洗并不能将纤维床层中的颗粒物洗去，因此除雾器元件清洗只能部分改善性能。除雾器元件重装是一个不错的选择，曲靖锌厂铅、锌制酸系统更换下的除雾器元件骨架基本完好，考虑到大修工期及减少投资（除雾器元件重装只有新制元件价格的 1/2 左右），我们委托南化集团研究院进行纤维重装，除雾器元件重装后性能与新制元件基本没有差异。

⑥ 严格把好净化关，脱除氟离子。在很多硫铁矿制酸厂存在一个共性问题，就是存在氟腐蚀。现在不少厂采用高砷、高氟矿，带来的一大问题是砷和氟带入后续工序。纤维除雾器的玻璃纤维层不耐氟腐蚀，一旦净化工序没有设置除氟装置，氟离子很容易随烟气进入干吸系统，导致除雾器腐蚀穿孔而失效。建议对入炉矿的氟含量进行分析，强化净化工序除氟效率，确保净化工序出口烟气氟含量 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

【参考文献】

[1] Fabian P, Boles G, Cusack R. 新一代硫酸装置干吸塔除雾器的选择[J]. 硫酸工业, 2008 (2): 32-40.

[2] 杭德森, 张成昆. 新型纤维除雾器的开发与应用[J]. 硫酸工业, 2007 (2): 37-40.