

引用格式:孔波. 脱硫引风机的腐蚀情况分析和技术改造[J]. 有色设备, 2025, 39(3): 117-124.

KONG Bo. Analysis of corrosion in desulfurization induced draft fans and technological retrofit[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(3): 117-124.

# 脱硫引风机的腐蚀情况分析和技术改造

孔波

(江西兴南环保科技有限公司, 江西横峰 334300)

**[摘要]** 针对某公司炼铜项目脱硫生产中实际运行烟气参数与设计参数偏离较大, 导致动力波前端风机及管道发生严重结露与腐蚀的问题, 本研究通过系统剖析脱硫工艺、设计数据、运行参数及风机材质等多方面因素, 从腐蚀机理着手, 结合理论、数据与实践分析, 深入探究了问题根源并制定了针对性的技术改造方案。该方案的实施有效解决了设备结露腐蚀问题, 显著提升了系统设备的开机率与生产效率, 并降低了吨铜加工成本及 SO<sub>2</sub> 脱除费用。

**[关键词]** 烟气脱硫; 风机; 腐蚀机理; 技术改造; 生产效率

**[中图分类号]** TQ116.02

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1003-8884(2025)03-0117-08

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.03.014

## 0 引言

某公司炼铜项目采用侧吹浸没燃烧工艺处理工业废弃物及低硫铜原料生产黑铜, 黑铜及其他系统产出的铜铈通过底吹炉吹炼获得粗铜。随后, 经回转式阳极炉精炼产出合格的阳极板。在底吹吹炼过程中产生的烟气, 经过余热回收、收尘后送制酸系统, 制酸采用稀酸洗涤净化、两次转化、两次吸收工艺。

原料干燥机工艺气、侧吹炉工艺气、阳极炉工艺气和制酸尾气混合后, 进入一套有机胺脱硫系统, 脱硫后尾气经烟囱排放, 有机胺溶液解吸出的高浓度

SO<sub>2</sub> 返回制酸净化工序。脱硫系统设计处理烟气量为 202 000 Nm<sup>3</sup>/h, 烟气中 SO<sub>2</sub> 平均含量为 8 300 mg/Nm<sup>3</sup>、最大 16 000 mg/Nm<sup>3</sup>; 设计脱硫效率 ≥ 99%, 脱硫后尾气 SO<sub>2</sub> 含量 ≤ 100 mg/Nm<sup>3</sup> (干基), 烟气中尘含量为 ≤ 20 mg/Nm<sup>3</sup> (干基)。

## 1 脱硫烟气参数

### 1.1 干燥机烟气

干燥机用于干燥铜镍污泥, 共 3 台, 运行 1 台, 其烟气处理工艺流程为: 干燥机 → 袋式收尘器 → 风机 → 脱硫系统。干燥机引风机出口烟气设计参数见表 1。烟气含尘量 0.20 g/Nm<sup>3</sup>, 烟气温度 180 °C。

表 1 干燥机引风机出口烟气设计参数(单台)

Table 1 Design parameters for flue gas exiting the dryer's induced draft fan (single unit)

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	合计
体积 φ/%	11.74	0.0009	2.42	69.6491	16.08	0.06	0.04	0.01	100.00
烟气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	6 814.28	0.52	1 404.64	40 426.62	9 333.39	34.82	23.21	5.80	58 043.28
烟气量/(kmol/h)	304.21	0.023	62.71	1 804.76	416.66	1.554	1.036	0.258	2 591.22

$$n = 60f/p$$

(1)

基于公式(1)<sup>[1]</sup>的计算, n: 电机转速; p: 电机极

[收稿日期] 2024-11-20

[作者简介] 孔波(1982—), 山东新泰人, 工程师, 主要从事硫酸生产技术及冶金设备管理工作。

对数;  $f$ : 电机运行频率; 风机工况运行频率为 10 Hz, 6 极电机推出此时风机转速:  $v = 200 \text{ r/min}$ ; 风机风量与其转速成正比, 推出 10 Hz 下气量:  $Q = 12\ 093.36 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , 干燥原料结构无大波动下, 推出

干燥机工况引风机出口烟气参数见表 2; 烟气含尘量低 ( $0.2 \text{ g/Nm}^3$ , 烟气温度  $122 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 估算有 0.5% 的  $\text{SO}_2$  转化成  $\text{SO}_3$  即  $1.28 \text{ mg/Nm}^3$ , 计算烟气酸露点为  $68.40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 2 干燥机工况引风机出口烟气参数(单台)

Table 2 Flue gas parameters at the dryer induced draft fan outlet under operating conditions (single unit)

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	合计
体积 $\varphi/\%$	11.74	0.000 9	2.42	69.649 1	16.08	0.06	0.04	0.01	100.00
烟气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	1 419.76	0.11	292.66	8 422.91	1 944.61	7.26	4.84	1.21	12 093.36
烟气量/(kmol/h)	63.38	0.004 91	13.07	376.02	86.81	0.33	0.216	0.054	539.88

### 1.2 侧吹炉烟气

侧吹炉用于生产黑铜, 共 1 台, 其烟气在余热回收、烟气净化后经引风机送脱硫工序, 工艺流程为: 侧吹熔炼炉→余热锅炉→骤冷塔→二噁英脱除系

统→袋式收尘器→风机→脱硫系统。侧吹炉袋式收尘器引风机出口烟气设计参数见表 3。烟气含尘量  $0.2 \text{ g/Nm}^3$ , 烟气温度  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 3 侧吹炉引风机出口烟气设计参数

Table 3 Design parameters of flue gas at the outlet of the sidestream furnace induced draft fan

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	合计
体积 $\varphi/\%$	36.50	0.59	14.78	42.114	5.88	0.011	0.11	0.002	0.013	100.00
烟气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	25 718.53	415.73	10 414.25	29 674.25	4 143.15	7.75	77.51	1.41	9.16	70 461.74
烟气量/(kmol/h)	1 148.15	18.56	464.92	1 324.74	184.96	0.35	3.46	0.062	0.408	3 145.61

基于式(1)的计算风机工况运行频率为  $33.5 \sim 36 \text{ Hz}$ , 取值  $35 \text{ Hz}$  计, 6 极电机推出此时风机转速:  $v = 700 \text{ r/min}$ ; 风机风量与其转速成正比, 推出  $35 \text{ Hz}$  下气量:  $Q = 51\ 378.35 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , 侧吹炉原料无大波动

下, 推出侧吹炉工况引风机出口烟气参数见表 4; 烟气含尘量低 ( $0.2 \text{ g/Nm}^3$ , 烟气温度  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 估算有 0.5% 的  $\text{SO}_2$  转化成  $\text{SO}_3$  即  $84.29 \text{ mg/Nm}^3$ , 计算烟气酸露点为  $151.24 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 4 侧吹炉工况引风机出口烟气参数

Table 4 Flue gas parameters at the induced draft fan outlet under sidestream furnace operating conditions

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	合计
体积 $\varphi/\%$	36.50	0.59	14.78	42.114	5.88	0.011	0.11	0.002	0.013	100.00
烟气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	18 753.09	303.13	7 593.72	21 637.48	3 021.05	5.65	56.52	1.03	6.68	51 378.35
烟气量/(kmol/h)	837.19	13.53	339.01	965.96	134.87	0.25	2.52	0.05	0.30	2 293.68

熔炼系统阻力和各设备阻力合理的情况下, 推出工艺管道的沿程阻力合理, 即工艺管道内风速在其经济流速范围内; 风机进口管道经济流速为  $10 \sim 15 \text{ m/s}$ , 管径 DN1400 时, 推出工况风量为  $55\ 389.6 \sim 83\ 054.4 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 风机进口  $-2\ 000 \text{ Pa}$ 、 $180 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 折标况  $32\ 731.44 \sim 49\ 064.45 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ; 此

数据与引风机出口实际烟气量相互支撑。

### 1.3 阳极炉烟气

阳极炉用于精炼, 共 2 台, 采用周期运行模式, 分为加料期、预氧化期、氧化期、还原期、浇筑期, 2 台阳极炉交叉非重叠运行, 其烟气在净化、收尘后经引风机送脱硫系统。工艺流程为: 阳极炉→烟罩→

板式烟气冷却器→袋式收尘器→风机→脱硫系统； 0.2 g/Nm<sup>3</sup>，烟气温度 180 ℃。  
阳极炉引风机烟气设计参数见表 5。烟气含尘量 ≤

表 5 阳极炉引风机出口烟气设计参数

Table 5 Design parameters of flue gas at the induced draft fan outlet of the anode furnace

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	合计
体积 φ/%	6.52	2.43	2.22	73.97	14.86				100.00
烟气流/(Nm <sup>3</sup> /h)	1 143.87	426.32	389.47	12 977.29	2 607.05	—	—	—	17 544.00
烟气流/(kmol/h)	51.06	19.04	17.38	579.34	116.39				783.21

基于公式(1)的计算,风机工况运行频率为 40 Hz, 6 极电机推出此时风机转速:  $v = 800$  r/min; 风机风量与其转速成正比,但工况下温度为 135 ℃, 即推出 40 Hz 下风量:  $Q = 13 171.17$  Nm<sup>3</sup>/h; 阳极炉

原料结构无大波动下,推出阳极炉工况引风机出口烟气参数见表 6; 烟气含尘量低 ( $\leq 0.2$  g/Nm<sup>3</sup>), 烟气温度 135 ℃, 估算有 0.5% 的 SO<sub>2</sub> 氧化成 SO<sub>3</sub>, 计算烟气酸露点为 127 ℃。

表 6 阳极炉工况引风机出口烟气参数

Table 6 Flue gas parameters at the induced draft fan outlet under anode furnace operating conditions

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	合计
体积 φ/%	6.52	2.43	2.22	73.97	14.86				100.00
烟气流/(Nm <sup>3</sup> /h)	858.76	320.06	292.40	9 742.71	1 957.24	—	—	—	13 171.17
烟气流/(kmol/h)	38.34	14.29	13.05	434.94	87.38				588.00

#### 1.4 制酸尾气

吹炼炉烟气同脱硫系统产生的高纯度 SO<sub>2</sub> 混合进入制酸系统,采用稀酸洗涤净化、两次转化、两次

吸收工艺,制酸尾气送往脱硫系统;制酸尾气不含水分,不存在结露现象,其烟气参数见表 7。烟气压力 ~3 050 Pa,烟气温度 72 ℃。

表 7 制酸尾气烟气参数

Table 7 Flue gas parameters of sulfuric acid tail gas

成分	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	合计
体积 φ/%		0.03	1.76	85.49	12.72				100.00
烟气流/(Nm <sup>3</sup> /h)	—	6.00	438.00	21 292.00	3 170.00	—	—	—	24 906.00
烟气流/(kmol/h)		0.27	19.55	950.54	141.52				1 111.88

#### 1.5 脱硫烟气参数

上述各股烟气均进入脱硫系统,脱硫引风机前端工况烟气参数见表 8。烟气带入热量<sup>[2]</sup> 19 910 808.21 kJ/h, 计算温度值为 143.3 ℃; 烟气中粉尘结构多样化,估算有 1% 的 SO<sub>2</sub> 氧化成 SO<sub>3</sub>, 计算烟气露点<sup>[3]</sup> 为 154.9 ℃; 运行温度低于露点,此处混合烟气结露。

#### 1.6 脱硫烟气实际运行分析

投产以来,侧吹炉与底吹炉原料结构、投料量相

对较稳定,即烟气流、SO<sub>2</sub> 气浓、温度、组分等参数相对平稳。侧吹及底吹锅炉刮板机采用直连吊挂式结构,侧吹布袋收尘及底吹电收尘刮板机采用“锁气阀+刮板机”组合密封结构,两者均有效规避系统漏气风险。制酸系统中,据转化工序进口的氧硫比区间,严控净化工序稀释风的补风量;干吸工序中,对于干吸塔、循环酸槽等设备进行密封处理,保持其密封性。从理论分析到现场实际情况表明:侧吹炉系统、底吹炉-制酸系统运行平稳,无明显漏气现象。

表8 脱硫引风机前端工况烟气参数

Table 8 Flue gas parameters upstream of the desulfurization induced draft fan

类型	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HF	HBr	合计
体积 $\varphi$ /%	20.71	8.49	60.16	9.94	0.006	0.012	0.002	100.00
烟气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	21 031.61	8 616.78	61 095.10	10 092.90	6.68	12.91	2.24	101 548.88
烟气量/(kmol/h)	938.91	384.68	2 727.46	450.57	0.30	0.58	0.10	4 533.43

2023年1月~2024年2月,干燥机工况运行1台,烟气量偏小,热量偏低,阳极炉2台交叉运行,整体负荷偏低,生产时率不高,烟气量偏小。在此期间,脱硫引风机进口流量显示为117 743~140 102 Nm<sup>3</sup>/h,比计算值偏大25 000 Nm<sup>3</sup>/h;同时,脱硫风机进口热电阻显示为109.5~113.8℃,与漏入25 000 Nm<sup>3</sup>/h空气(35℃计)时计算值124.6℃基本匹配。结合运行情况,分析干燥机和阳极炉烟气

系统未能达到设计负荷,低负荷工况运行,烟气量少且总热量低;同时两系统有严重漏风现象,漏风量约25 000 Nm<sup>3</sup>/h。阳极炉随机生产数据见表9。数据表明阳极炉二次风风量与设备材质特性及系统负压控制不匹配,负压调控不灵活,增加了O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O的漏入量,露点温度相应升高;板式烟气换热器材质为Q345R,长期使用温度上限为550℃,因此温度不得高于550℃。

表9 阳极炉随机生产数据

Table 9 Random production data from the anode furnace

二次风量/(Nm <sup>3</sup> /h)	炉膛压力/Pa	烟气板换进口温度/℃	布袋收尘进口温度/℃
3 845*	-282	281	162
3 851*	-302	218	156
3 855*	-333	181	142
4 816*	-351	455	188
4 835*	-365	476	164
4 783*	-295	527	160
922	-77	317	151
839	-80	255	141
1 284	-88	272	152
1 269	-89	291	151
1 277	-119	277	150
1 269	-78	316	151

注:标\*风量下的炉膛负压数据过大,操作中应以烟罩处微负压为准。

## 2 脱硫风机腐蚀情况

### 2.1 露点和露点腐蚀

冶炼炉窑烟气含有SO<sub>2</sub>的同时,通常会含有少量氧化生成的SO<sub>3</sub>;SO<sub>3</sub>和水有极大的亲和力以形成硫酸蒸气,低浓度的硫酸蒸气就足以把酸露点提升到显著高于水露点;如果烟气温度降到酸露点以下或者接触低温表面,硫酸蒸气即由气相冷凝为液相,发生腐蚀。

烟气露点体现了烟气中酸性物质的凝结条件。

以硫燃烧为例,燃烧生成的二氧化硫及少量的三氧化硫与烟气中的水蒸气形成酸雾,酸雾凝结时的温度即为烟气露点,其计算见(2)<sup>[3]</sup>。

$$t_p = 186 + 20 \lg v(\text{H}_2\text{O}) + 26 \lg v(\text{SO}_3) \quad (2)$$

式中: $t_p$ 为烟气的酸露点温度,℃; $v(\text{H}_2\text{O})$ 、 $v(\text{SO}_3)$ 分别为气体中H<sub>2</sub>O、SO<sub>3</sub>的体积含量,%。

### 2.2 烟气氟、氯含量分析

本项目烟气脱硫采用有机胺法,其工艺流程为:动力波洗涤—填料塔洗涤(两级)—电除雾器—有

机胺脱硫—排空。动力波洗涤器、一级填料塔、二级填料塔中,其洗涤液依次逆向串往前一级,并最终在

动力波开路外排,其外排周期为 8 h,外排液中部分离子浓度见表 10。

表 10 脱硫一级动力波外排液化验数据

Table 10 Chemical analysis data of liquid discharged from the primary desulfurization power wave

日期	取样时间	pH 值	F <sup>-</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )	Br <sup>-</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )
2023. 10. 31	8:30	2. 01	6 100	11 450	60
2023. 11. 02	8:30	1. 72	10 534	23 440	136
2023. 11. 04	8:30	1. 62	10 296	22 340	58
2023. 11. 07	8:30	2. 12	24 620	9 200	152
2023. 11. 09	8:30	2. 07	17 964	7 768	115
2023. 11. 11	8:30	1. 99	18 088	10 284	363
2023. 11. 14	8:30	1. 94	25 720	16 194	848
2023. 11. 16	8:30	1. 58	22 880	30 160	1 710
2023. 11. 18	8:30	1. 88	24 040	18 956	501
2023. 11. 19	8:30	2. 74	1 555	95	34
2023. 11. 21	8:30	1. 84	10 532	7 236	1039
2023. 11. 23	8:30	1. 91	21 980	21 600	316
2023. 12. 14	8:30	1. 98	15 528	15 234	1673
2023. 12. 16	8:30	2. 09	13 880	17 482	589
2023. 12. 19	8:30	2. 19	14 648	14 384	879
2023. 12. 21	8:30	2. 22	16 800	18 296	300
2023. 12. 24	8:30	2. 37	20 250	20 240	818
2023. 12. 26	8:30	2. 03	20 540	17 352	517
2023. 12. 28	8:30	2. 07	16 300	15 568	1220
2023. 12. 30	8:30	2. 14	16 140	17 432	335
2024. 01. 02	8:30	1. 83	16 927	14 034	422
2024. 01. 04	8:30	2. 12	7 278	8 242	186

动力波入口烟气设计参数见表 11、表 12,两级组合净化塔出口烟气设计参数见表 13、14。

表 11 动力波入口烟气设计参数

Table 11 Design parameters of flue gas at the power wave inlet

成分	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	合计
气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	12 423	25 613. 6	128 310. 2	585. 8	0. 2	35 067. 2	202 000
体积分数 φ/%	6. 15	12. 68	63. 52	0. 29	0. 00	17. 36	100

注:烟气设计参数的确定是基于小试下的烟气数据,同时参考其他相近原料的冶炼厂工况数据。

表 12 动力波入口烟气杂质设计参数

Table 12 Design parameters for impurities in the flue gas at the power wave inlet

参数	HCl	HF	HBr	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>
组分浓度/(mg/Nm <sup>3</sup> )	≤848	≤248	≤194	≤340	≤50
含尘浓度/(mg/Nm <sup>3</sup> )			≤50		
混合烟气温度/°C			≤163		
烟气压力/Pa			≤6 500		

表 13 两级组合净化塔出口烟气设计参数

Table 13 Design parameters of flue gas at the outlet of the two-stage combined purification tower

项目	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	合计
气量/(Nm <sup>3</sup> /h)	12 423	25 613.6	128 310.2	585.79	微量	12 275.30	179 207.89
体积分数 $\varphi$ /%	6.93	14.29	71.60	0.33	0	6.85	100

表 14 两级组合净化塔出口烟气杂质设计参数

Table 14 Design parameters of impurities in the flue gas at the outlet of the two-stage combined purification tower

参数	HCl	HF	HBr	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>
组分浓度/(mg/Nm <sup>3</sup> )	≤1	≤1	≤1	≤1	≤50
含尘浓度/(mg/Nm <sup>3</sup> )			≤3		
混合烟气温度/°C			≤40		
烟气压力/Pa			2 500 ~ 3 000		

动力波外排液设计参数见表 15。

表 15 动力波外排液设计条件

Table 15 Design conditions of effluent from the power wave system

组分	设计参数
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 质量分数/%	1
Na <sup>+</sup> 质量分数/%	0.2
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	0.2
HF质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	2.75
HCl质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	9.4
HBr质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	2.16
含尘质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	0.87
排放量/(t·h <sup>-1</sup> )	18 ~ 23

为保证有机胺脱硫吸收系统中 SO<sub>2</sub> 的脱除,确保吸收剂的有效吸收容量及吸收效率,脱硫净化工序需去除酸雾、As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和灰尘等杂质,这一过程通过动力波及两级净化塔洗涤实现。根据实际运行数据推算,脱硫入口烟气中 HF 为 950 ~ 2 320 mg/Nm<sup>3</sup>, HCl 数据为 1 403 ~ 2 720 mg/Nm<sup>3</sup>, SO<sub>3</sub>、尘含量均高于设计参数,导致外排液中的氟、氯远高于设计值,烟气净化效率下降。

### 2.3 卤族元素腐蚀分析

气相中的卤族元素腐蚀机理<sup>[4]</sup>与液相中完全不同,此文不做详细阐述。分析烟气中氟、氯元素对风机腐蚀的影响如下。

1) 脱硫引风机蜗壳内易发生结露,大量液态水

析出、稀硫酸形成。后续烟气通过时,由于气相分压和液相分压不平衡,氟、氯化物在吸收推动力的作用下溶解到稀硫酸中。

2) 由亨利定律<sup>[5]</sup>可知,当温度升高时,气体的溶解度减小。由此可知,烟气温度高时,相应的液相温度更高,有利于缓解氟、氯元素对不锈钢的腐蚀。

### 2.4 脱硫引风机现状

脱硫引风机位于动力波前,从上述分析可以看出,本项目实际运行的烟气参数与设计参数偏离较大,风机也出现了一定的腐蚀情况。

1) 机壳排污室滞留大量冷凝酸、酸泥;排污口堵塞严重。

2) 引风机附件、工艺管道不同程度有滴、渗冷凝酸的现象。

3) 两端轴气封处结露腐蚀严重,酸泥阻塞气封气进而偏流形成局部涡流,密封效果差。

4) 原 2205 双相钢材质轻微腐蚀,316L 材质腐蚀严重,表现为晶粒、晶格、晶间的点蚀、面蚀、蚀孔。

## 3 技改措施及效果

### 3.1 措施

基于风机腐蚀现状,结合原因分析,本项目进行了大量的技改措施,详见表 16。

### 3.2 技改效果

2024 年 3 月,公司针对脱硫引风机腐蚀问题进行专项技改治理,技改前、后随机生产数据对照表见表 17。

表 16 针对风机腐蚀问题的技改措施

Table 16 Technical improvement measures for addressing wind turbine corrosion issues

目标	阳极炉系统		干燥机系统	
	治理项目	技改措施	治理项目	技改措施
降低系统漏风率,减少水蒸气、O <sub>2</sub> 漏入量,降低烟气露点温度	阳极炉倾转处密封	倾转圆形轨迹处更换耐磨、耐温密封材料	杜绝多余的液相水带入系统	考核干燥机加料口冲洗水量
	工艺管道漏风点	现场检查、封闭清理孔等漏风点	工艺管道漏风点	现场检查、封闭清理孔等漏风点
	板式烟气换热器及工艺附件漏风点	现场检查、封闭壳体、灰斗漏风点以及管、机连接口	引风机机体密封	蜗壳清理孔密封
	布袋收尘器及工艺附件漏风点	现场检查、封闭壳体、反吹管、灰斗漏风点以及管、机连接口;加强喷吹压缩空气除湿	布袋收尘器及工艺附件漏风点	现场检查、封闭壳体、反吹管、灰斗漏风点以及管、机连接口;加强喷吹压缩空气除湿
	收尘输送系统漏风点	治理埋刮板方箱、头尾轮、清理孔密封;治理排灰阀填料密封,更换阀芯	收尘输送系统漏风点	治理埋刮板箱体、头尾轮、清理孔密封;治理排灰阀填料密封,更换阀芯
提高烟气总热量	根据实际生产灵活调节二次风量	了解各设备材质的屈服强度及耐温极限;生产中根据实际情况调节二次风量		
	提高生产时率、炉体容积负荷;阶段性核算入炉氧浓度	阶段性冶金计算;阶段性核算风料比	据原料含水量、黏结性情况,酌情调整投矿量;原料采购时降低含水率	
提升风机耐腐蚀水平	风机叶轮 2205 材质不变,风机蜗壳及主轴轴套材质由 316L 材质升级为 2205;风机进、出口膨胀节材质由 316L 更换为碳钢 + 内衬 PTFE			

表 17 技改前后随机生产数据对照表

Table 17 Comparative table of random production data before and after technical improvements

日期	时间	治理后热电阻温度/°C	治理后烟气体积/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	治理前热电阻温度/°C	治理前烟气体积/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
2024. 5. 18	20:00	149. 7	130 113. 6		
2024. 5. 19	20:00	147. 9	129 992. 9		
2024. 5. 20	20:00	152. 1	130 572. 4		
2024. 5. 27	20:00	151. 0	136 730. 6		
2024. 5. 30	20:00	151. 6	134 865. 7	109. 5 ~ 113. 8	117 743 ~ 140 102
2024. 6. 01	20:00	152. 1	134 617. 2		
2024. 6. 02	20:00	151. 9	135 357. 4		
2024. 6. 03	20:00	152. 3	134 562. 9		
2024. 6. 04	20:00	150. 1	133 765. 2		

技改后运行数据及现场实际情况表明:阳极炉生产时率提高,烟气体积增大,气相温度提高,热量增

加;暂时运行 1 台干燥机,但生产负荷增加,原料含水率降低,烟气体积、温度增加,热量增加;技改后脱硫

烟气温度有明显提高,风机前混合烟气暂无结露腐蚀现象,预期运行 2~3 台干燥机时,脱硫烟气将彻底杜绝结露腐蚀现象。

#### 4 结语

工业生产中脱硫风机普遍存在腐蚀问题,不仅影响设备寿命,也对生产连续性和经济性造成不利影响。

本文系统性地对脱硫风机腐蚀现象进行了深入探究,包括脱硫工艺流程、设计数据、实际运行工况以及风机主体材质等多个方面。研究从腐蚀发生的内在机理出发,对腐蚀成因进行了细致分析,并基于分析结果制订了针对性的技术改造方案。

通过实施该技术改造方案,改造后的脱硫系统在冶金及化工生产环节中消除了露点腐蚀现象,显

著提升了设备的运行稳定性与开机率。这一改进不仅提高了整体生产效率,还实现了吨铜加工成本的降低以及 SO<sub>2</sub> 脱除费用的减少。本研究成果为解决其他工程中类似腐蚀问题提供了参考与借鉴。

#### [参考文献]

- [1] 冯立艳,李建功,陆玉. 机械设计课程设计(第 6 版)[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 沙业旺,孙仲坡,洪凯松,等. 硫酸工艺设计手册(物化数据篇)[M]. 南京:化工部硫酸工业科技情报中心,1990.
- [3] 张殿印,申丽. 工业除尘设备设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [4] 肖纪美,曹楚南. 材料腐蚀学原理[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [5] 谭天恩,窦梅. 化工原理(第 4 版)[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

## Analysis of corrosion in desulfurization induced draft fans and technological retrofit

KONG Bo

(Xingnan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hengfeng 334300, China)

**Abstract:** In response to the significant deviation between actual operating flue gas parameters and design parameters during the desulfurization production of a copper smelting project, which caused severe condensation and corrosion in the front-end fan and piping of the dynamic wave system, this study systematically analyzed various factors, including the desulfurization process, design data, operating parameters, and fan materials. Starting from the corrosion mechanism, and combining theoretical analysis, data evaluation, and practical investigation, the root causes of the problem were thoroughly explored, and a targeted technical modification plan was developed. The implementation of this plan effectively resolved the equipment condensation and corrosion issues, significantly improved the operational availability and production efficiency of the system, and reduced both the copper processing cost per ton and the SO<sub>2</sub> removal expenses.

**Keywords:** flue gas desulfurization; fan; corrosion mechanism; technical renovation/modification; production efficiency ▲▲