

中文引用格式:郝腾腾,许开立,王浩杰,等. 香樟叶提取物对铝锌废尘湿式除尘产氢的抑制影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(7): 159–166.

英文引用格式:HAO Tengteng, XU Kaili, WANG Haojie, et al. Investigation of inhibitory influence of cinnamomum camphora leaf extract on hydrogen evolution from Al-Zn dust in wet dust removal[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(7): 159–166.

香樟叶提取物对铝锌废尘湿式除尘产氢的抑制影响研究*

郝腾腾, 许开立**教授, 王浩杰, 倪辰阳, 史继航

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

中图分类号:X964

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.07.1677

基金项目:国家自然科学基金资助(52074066)。

【摘要】 为实现湿式除尘系统绿色本质化安全运行,降低铝锌废尘遇水产氢引发火灾、爆炸事故的风险,利用金属与水产氢测试系统和煎煮法制备的水基香樟叶提取物,开展质量浓度作用下的抑氢有效性试验,基于表面分析得出香樟叶提取物抑制铝锌(Al-Zn)粉产氢的吸附行为学特征、化学反应动力学参数和抑氢机制,评估最佳香樟叶提取物质量浓度在多变环境条件下的抑氢可靠性。结果表明:随着质量浓度升高,香樟叶提取物对Al-Zn粉遇水产氢的抑制效果逐渐增强,当质量浓度为50 mg/L时,抑氢效率为97.86%,化学反应速率常数接近于0,几乎无氢气产生。香樟叶提取物可自发吸附在Al-Zn粉表面,其吸附行为符合单层Langmuir模型,包括物理和化学双重吸附机制。香樟叶提取物通过络合作用在Al-Zn粉表面形成抑制膜,可有效阻隔颗粒与水接触,从而抑制金属产氢行为。在湿式除尘器内温度变化、压强波动和水体扰动的影响下,香樟叶提取物对Al-Zn粉产氢具有稳定的抑制效果。

【关键词】 香樟叶提取物; 湿式除尘; 铝锌(Al-Zn)粉; 抑氢剂; 抑氢效率; 吸附行为

Investigation of inhibitory influence of cinnamomum camphora leaf extract on hydrogen evolution from Al-Zn dust in wet dust removal

HAO Tengteng, XU Kaili, WANG Haojie, NI Chenyang, SHI Jihang

(School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110819, China)

Abstract: In order to promote the safe and eco-friendly operation of wet dust collection systems by mitigating hydrogen fire and explosion risks caused by metal waste dust in contact with water, a custom-designed metal-water hydrogen evolution testing system and a water-based Cinnamomum camphor leaf extract (prepared via decoction) were utilized. Experiments assessed the hydrogen suppression efficiency of Cinnamomum camphor leaf extract at various mass concentrations. Surface analysis and theoretical calculations were conducted to study the adsorption behavior, chemical reaction kinetics, and inhibition mechanism of Cinnamomum camphor leaf extract on hydrogen evolution from aluminum-zinc (Al-Zn) dust. The hydrogen suppression stability at the optimal mass concentration was evaluated under varying environmental conditions. Experimental results demonstrated that higher mass concentrations of extract

improved its ability to suppress hydrogen evolution from Al-Zn dust. At a mass concentration of 50 mg/L, the hydrogen suppression efficiency reached 97.86%, and the reaction rate constant was nearly zero, suggesting negligible hydrogen production. Cinnamomum camphor leaf extract spontaneously adsorbs onto the Al-Zn dust surface, following the monolayer Langmuir model and involving both physical and chemical adsorption. The surface analysis reveals that Cinnamomum camphor leaf extract forms a protective film on the Al-Zn dust via complexation, effectively preventing dust-water contact and suppressing hydrogen evolution. Tests under varying external conditions demonstrated that Cinnamomum camphor leaf extract consistently suppressed hydrogen evolution from Al-Zn dust, despite variations in temperature fluctuations, pressure changes, and water disturbances in the wet dust collection system.

Keywords: Cinnamomum camphor leaf extract; wet dust collection; aluminum-zinc (Al-Zn) dust; hydrogen inhibitor; hydrogen suppression efficiency; adsorption behavior

0 引言

铝合金因其密度低、强度高、耐腐蚀性优异、韧性好、延展性和热稳定性佳等优势,被广泛应用于航空航天设备、汽车制造和武器装备等领域^[1-2]。但铝合金制品加工的抛光、打磨、去毛刺等工艺会不可避免地产生金属废尘,具有粉尘爆炸风险和职业病危害^[3]。采用干式除尘系统的金属粉尘爆炸事故数量在总事故中占比高达 27.59%^[4]。《粉尘防爆安全规程》^[5]规定,铝、镁等金属制品加工场所宜采用湿式除尘系统。然而,湿式除尘系统中,具有高反应活性的铝锌(Aluminum Zinc Alloy, Al-Zn)废尘遇水生成氢气,可能导致氢气火灾、爆炸事故的发生。因此,开展抑制湿式除尘产氢的研究具有重要的意义。

目前,生产场所采用的强制通风和氢气监测的工程方法,在设备故障或风机关闭时,湿式除尘系统仍然存在氢气爆炸问题^[6]。针对这一问题,王延瞳^[7]提出氢气抑制方法(Hydrogen Inhibition Method, HIM),向湿式除尘器的水体加入重铬酸盐、铬酸盐等,在铝废尘表面形成抑制薄膜,隔绝粉尘与水的接触,从而抑制氢气产生。王犇^[8]、郑欣^[9]等探究了有机物对铝及铝合金粉尘的抑氢性能,提供了更加绿色环保的 D-葡萄糖酸钠和柠檬酸钠抑制剂。李嘉欢等^[10]提出复配海藻酸钠和硅酸钠联合抑制镁锌合金粉产生氢气的方法,并取得了更优的抑制效果。然而,以上抑氢剂可能存在毒性、污染环境、提取工艺复杂、活性成分单一和成本高等缺点,限制了其在工业场景中的实用性。

鉴于此,笔者拟综合考虑抑氢剂材料的经济性、环保性和降解性,开展抑氢有效性试验,测试香樟叶提取物的抑氢性能,并基于表面分析和吸附模型分

析其吸附抑氢机制,探究其在湿式除尘器内不同环境条件扰动下的抑氢稳定性,发挥其天然多成分特性在抑氢效果上的协同效应,以期降低工业现场中 Al-Zn 废尘遇水产氢引发的氢气火灾、爆炸风险,实现湿式除尘系统安全运行。

1 抑氢试验材料、设备及步骤

1.1 试验材料

选取工业级 Al-Zn 粉尘为试验材料,其中,Al 含量为 90%,Zn 含量为 10%,粒径分布在 [5.02, 89.34] μm。试验水体和提取剂为去离子水。通过煎煮法制备香樟叶提取物,获取抑氢剂,流程如图 1 所示。清水洗涤香樟叶 3 次并自然晒干,使用磨粉机将其粉碎并过 100 目筛。将 40 g 粉末置于 1 L 烧杯内,加入 400 mL 去离子水,并使用磁力搅拌器在 70 ℃下持续搅拌 8 h。将过滤得到的提取液置于真空干燥箱 48 h 后,得到 5.4 g 香樟叶提取物。

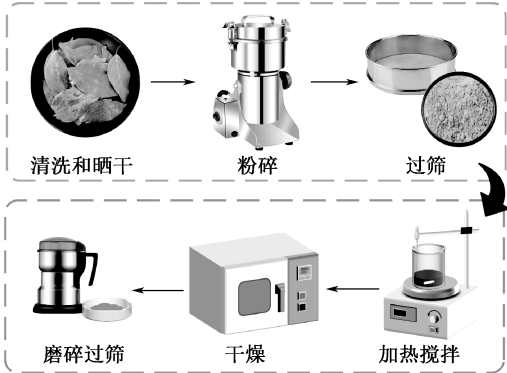


图 1 香樟叶提取物的制备流程
Fig. 1 Preparation process of Cinnamomum camphora leaf extract

1.2 试验设备

金属与水产氢测试系统如图 2 所示。铝、镁等

金属粉末遇水产氢,会引起反应容器内部的压强变化。设备通过压强传感器,将压强值传输至可编程逻辑控制系统,自动连续记录压强-时间数据。

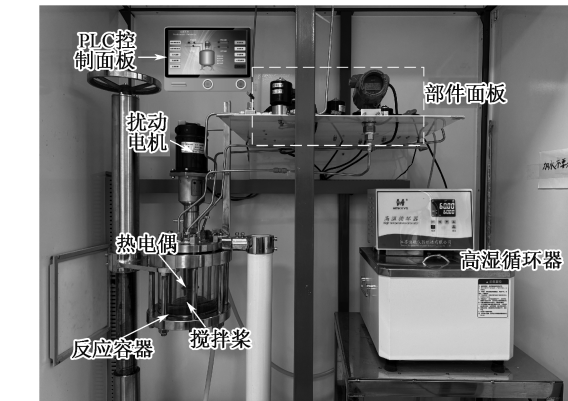


图 2 金属与水产氢测试系统

Fig. 2 Test system for hydrogen produced by metal reaction with water

基于理想气体状态方程,将压强值转换为氢气产生率 α ,对比不同试验组的产氢结果,计算式为:

$$\alpha = \frac{(p - p_0)(V - V_0)}{n_0RT} \tag{1}$$

式中: p 为反应容器内记录的压强值,kPa; p_0 为反应容器初始压强,kPa; V 为反应容器体积,mL; V_0 为水体体积,mL; n_0 为金属粉完全水解时产生的氢气的物质的量,mol; R 为理想气体常数,取值为 8.314 J/(mol · K); T 为反应温度,K。

表面分析试验所使用设备包括气相色谱-质谱联用仪 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)、扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM)、能谱仪 (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) 和傅里叶变换红外光谱仪 (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR)。

1.3 试验步骤

1) 气密性试验。在反应容器内注入 200 mL 去离子水,在压强为 200 kPa,温度为 50 ℃下,持续 24 h 记录内部的压强值。如果压力变化的范围在 ± 0.1 kPa 内,则认为反应容器的气密性良好。

2) 确定香樟叶提取物的最优抑氢质量浓度。设置 7 个梯度质量浓度,称取相应质量的香樟叶提取物溶解于 200 mL 去离子水中,配制成不同浓度的抑氢溶液。同时,将未添加香樟叶提取物的去离子水作为对照组。初始压强设为常压,温度设为 50 ℃。高温能够缩短氢气生成观察时间并保证抑氢效果^[6-7]。所有的抑氢试验均设置为 24 h,系统

连续记录反应容器的压强值。试验结束后,利用抽滤装置过滤抑制溶液中的 Al-Zn 水解粉尘,将水解粉尘放置在 70 ℃ 环境的真空干燥箱中干燥 24 h。通过表征试验分析干燥后的水解产物,探索香樟叶提取物的抑氢机制。

3) 分析不同环境条件下香樟叶提取物的抑氢稳定性。在温度为 30 ~ 60 ℃、压强为 60 ~ 120 kPa 和水体扰动转速为 30 ~ 50 r/min 的不同条件下,测试最优香樟叶提取物质量浓度对 Al-Zn 粉水解产氢的抑制稳定性。

2 香樟叶提取物的抑氢影响与机制

2.1 香樟叶提取物的化学成分表征

香樟叶提取物的成分通过 GC-MS 进行分析,测试结果如图 3 所示。依据美国国家标准与技术研究院标准质谱数据库 ([https://dx. doi. org/10. 18434/ T4W30F](https://dx.doi.org/10.18434/T4W30F)),确定香樟叶提取物含量较高的化学成分包括芹子-6-烯-4 α -醇 (26.460 0)、2-甲氧基-3-(1-甲基丙基)吡嗪 (28.875 7) 和 2,4,4-三甲基-3-(3-甲基丁基)环己-2-烯酮 (31.030 2)。香樟叶提取物的主要化学分子中含有 N 和 O 杂原子、双键和极性官能团 (-OH、-OCH₃),使其能够有效吸附在 Al-Zn 粉表面,形成抑制膜,避免 Al-Zn 粉发生水解反应产生氢气。

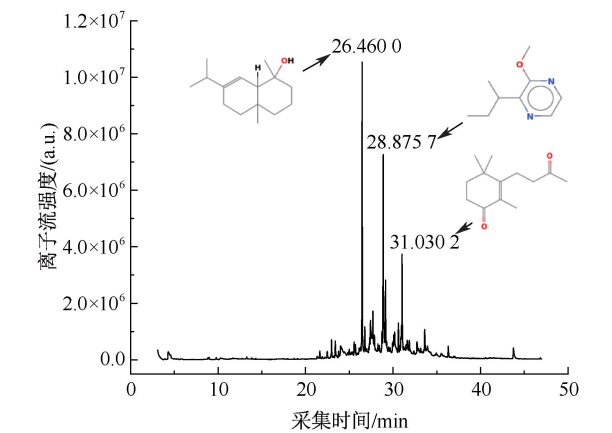


图 3 香樟叶提取物的 GC-MS 谱图

Fig. 3 GC-MS spectra for Cinnamomum camphora leaf extract

2.2 香樟叶提取物对废尘除尘产氢的抑氢影响

图 4 为对照组和不同质量浓度香樟叶提取物作用下 Al-Zn 粉与水产氢的曲线。Al-Zn 粉在水中发生的反应包括化学和电化学反应,Al 和 Zn 原子之间的微原电池效应会加快产氢反应速率^[11]。在对

照组中,Al-Zn 粉在水中具有较强的反应活性,24 h 时 α 值超过 0.4。而加入香樟叶提取物的 7 组 Al-Zn 粉的 α 值和初始产氢速率均低于对照组。当香樟叶提取物的质量浓度为 5~7 mg/L 时,Al-Zn 粉的初始水解时间增加,从 10 h 开始有氢气产生,并呈现出增加趋势,抑氢效果不佳。当质量浓度大于 10 mg/L 时, α 值在 24 h 内趋于平稳,明显抑制了氢气的产生。当质量浓度在 10~37.5 mg/L 内, α 值在 0.01~0.02 之间;当质量浓度为 50 mg/L 时, α 值为 0.009 6,氢气的释放几乎为 0。这是因为随着香樟叶提取物质量浓度的增加,其含有的活性分子量增加,占据 Al-Zn 粉表面的产氢活性位点,阻断了水与活性位点的接触。

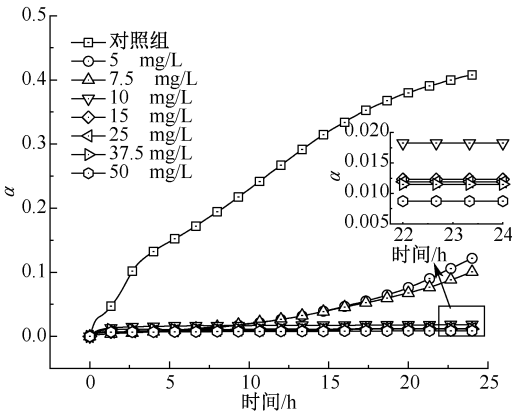


图 4 不同质量浓度香樟叶提取物作用下 Al-Zn 粉的
氢气产生率

Fig. 4 Hydrogen production rates of Al-Zn dust under
different mass concentrations of Cinnamomum
camphora leaf extract

计算 7 组香樟叶提取物溶液在 24 h 时的抑氢效率 η , 公式如下:

$$\eta = \frac{\alpha_0 - \alpha_i}{\alpha_0} \times 100\% \tag{2}$$

式中: α_0 为第 24 h 时对照组的氢气产生率; α_i 为第 i 个质量浓度下 24 h 时抑制溶液的氢气产生率。

由计算结果可知:质量浓度为 5~50 mg/L 时,抑氢效率为 70.13%~97.86%。这说明香樟叶提取物的抑氢效率随质量浓度的增加而逐渐提高,在质量浓度为 50 mg/L 时,抑制效率最高,达到 97.86%。

2.3 化学反应动力学

化学反应动力学能够表征 Al-Zn 粉的水解机制,通过反应速率确定香樟叶提取物的抑氢作用。Al-Zn 粉与水的反应可以用收缩核模型描述,其反应过程主要受内扩散和化学反应阶段的影响。香樟

叶提取物吸附于 Al-Zn 粉表面,阻隔水分子的侵入,主要为抑制界面化学反应控制过程^[7]。因此,基于界面化学反应控制阶段的收缩核模型,采用反应动力学描述 Al-Zn 粉的水解过程,公式如下:

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = kt \tag{3}$$

式中: k 为反应速率常数,1/h; t 为反应时间,h。

不同香樟叶提取物质量浓度下 Al-Zn 粉产氢的反应速率常数 k 值见表 1。

表 1 香樟叶提取物抑制作用下的 k 值化学反应速率常数
Table 1 k values under the inhibition of Cinnamomum
camphora leaf extract

质量浓度/ (mg · L ⁻¹)	k /h ⁻¹	质量浓度/ (mg · L ⁻¹)	k /h ⁻¹
5	0.001 2	25	3.264 3×10 ⁻⁴
7.5	0.001 0	37.5	2.360 9×10 ⁻⁴
10	4.670 2×10 ⁻⁴	50	1.702 6×10 ⁻⁴
15	3.480 5×10 ⁻⁴	—	—

由表 1 可知:随香樟叶提取物的加入和质量浓度的增加, k 值逐渐降低,与 α 值变化规律一致。当质量浓度为 50 mg/L 时, k 值和 α 值均接近于 0,抑氢效率达到 97.86%。这说明该质量浓度下 Al-Zn 粉与水的产氢反应得到了有效抑制。

2.4 吸附等温线模型

吸附等温线模型能够表征抑氢剂和金属表面的相互作用。选择 Langmuir、Freundlich 和 Temkin 等温线模型拟合不同质量浓度的香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面的吸附过程,并使用决定系数 R^2 确定最佳拟合模型。Langmuir 模型拟合的 R^2 为 0.997 8,远大于 Freundlich ($R^2 = 0.648 8$) 和 Temkin ($R^2 = 0.654 2$) 模型。香樟叶提取物的 Langmuir 模型拟合结果如图 5 所示。

因此,香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面的吸附遵循下式给出的 Langmuir 模型,其吸附行为表现为单分子层均匀吸附^[12]。

$$\frac{c}{\theta} = \frac{1}{K} + c \tag{4}$$

式中: c 为香樟叶提取物的质量浓度,g/L; θ 为覆盖度; K 为吸附平衡常数,L/g。Langmuir 等温线拟合的 K 为 82.7 L/g。

标准吉布斯自由能 ΔG^0 反映抑制剂吸附行为和类型, ΔG^0 为负时,抑氢剂的吸附行为是自发且不可逆的。 $-20 \text{ kJ/mol} < \Delta G^0 < 0$ 时,抑氢剂在金属表面的吸附类型为物理吸附; $\Delta G^0 < -40 \text{ kJ/mol}$ 时为化学吸附^[13]。其值与 K 相关,计算如下:

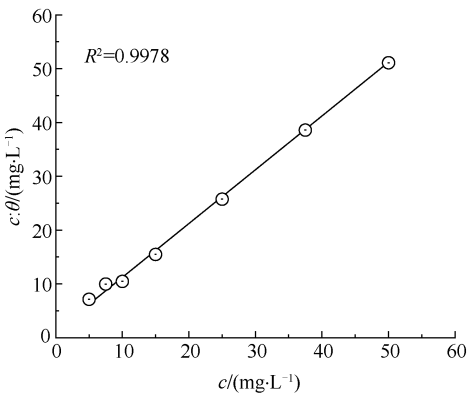


图 5 香樟叶提取物的 Langmuir 模型拟合线

Fig. 5 Fitting lines of Langmuir model of Cinnamomum camphora leaf extract

$$\Delta G^{\theta} = -RT\ln(1\,000 \times K) \tag{5}$$

式中 1 000 为水分子质量浓度, g/L。

通过计算得到 $\Delta G^{\theta} = -30.42\text{ kJ/mol}$ 。因此, 香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面的吸附是不可逆的自发行为, 其吸附类型处于物理吸附和化学吸附之间, 表明该吸附过程可能同时包括物理吸附和化学吸附。

2.5 SEM-EDS

采用 SEM 分析原粉、对照组和 50 mg/L 香樟叶提取物溶液中的 Al-Zn 粉, 结合 EDS 对比 Al、Zn 和 O 元素的占比, 结果如图 6 和表 2 所示。

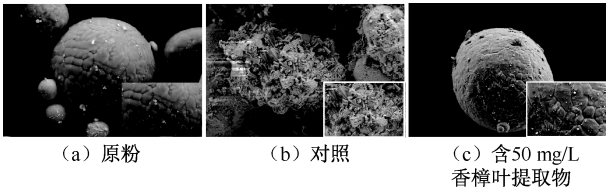


图 6 原粉、对照组和含 50 mg/L 香樟叶提取物的 Al-Zn 粉的 SEM-EDS 分析结果

Fig. 6 SEM-EDS analysis results of raw dust, Al-Zn dust from the control group and with 50 mg/L Cinnamomum camphora leaf extract

表 2 原粉和反应产物的 Al、Zn 和 O 元素含量			
Table 2 Content of Al, Zn, and O elements in raw dust and reaction products			
EDS 测试粉末	Al	Zn	%
原粉	88.80	9.78	1.42
对照组的反应产物	55.08	0.15	44.77
50 mg/L 抑制液的反应产物	87.62	9.99	2.39

由图 6 可知: 原粉大致为球形, 表面致密、光滑, 存在枝晶状结构的“网格通道”(图 6a)。在对照组中, Al-Zn 粉与水发生氧化还原反应生成氢气, 表面被生成的棒状拜耳石和尖刺状勃姆石覆盖, 为明显

的粗糙和不规则的颗粒状结构(图 6b)。整体结构较为松散, 颗粒形态不均匀。使用香樟叶提取物作为抑制剂后, Al-Zn 粉表面能够清晰观察到纹理、裂缝和孔洞结构, 没有观察到片状和棒状物质(图 6c), 表明香樟叶提取物对 Al-Zn 粉的产氢反应具有明显的抑制作用。

由表 2 可知: 原粉中 Al 元素占比 88.80%, Zn 元素占比 9.78%, O 元素占比 1.42%, 表明 Al-Zn 粉表面存在氧化膜。在对照组中, 水分子突破氧化膜后发生铝水反应, 生成氢氧化物, 氧元素占比增加至 44.77%。添加香樟叶提取物后, 氧元素含量逐渐降低至 2.39%, 显著低于对照组。这说明 50 mg/L 质量浓度的香樟叶提取物高效抑制了 Al-Zn 粉水解产氢。

2.6 FTIR

采用 FTIR 分析香樟叶提取物和 50 mg/L 抑制溶液中的 Al-Zn 粉, 检测波数设置为 4 000~400 cm⁻¹, 结果如图 7 所示。

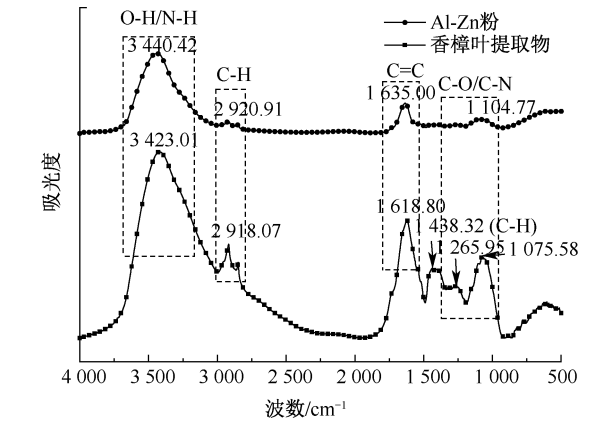


图 7 香樟叶提取物和 50 mg/L 抑制溶液中的 Al-Zn 粉的 FTIR 分析结果

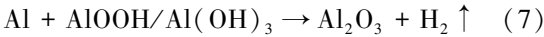
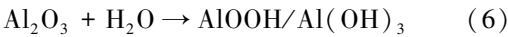
Fig. 7 FTIR analysis results of Cinnamomum camphora leaf extract and Al-Zn dust in 50 mg/L inhibitory solution

由图 7 可知: 在香樟叶提取物的 FTIR 测试结果中, O-H 的伸缩振动吸收峰位于 3 423.01 cm⁻¹。2 918.07 cm⁻¹ 和 1 438.32 cm⁻¹ 吸收峰分别为 C-H 的伸缩和弯曲振动^[14]。1 618.80 cm⁻¹ 为 C=C 和 C=N 伸缩振动的吸收峰, 1 265.95 cm⁻¹ 为芳香环的骨架振动引起的吸收峰, 1 075.58 cm⁻¹ 的吸收峰为 C-O 和 C-N 的伸缩振动^[15]。FTIR 分析结果表明: 香樟叶提取物中含有烷基结构、芳香环、不饱和双键和 N、O 等杂原子的官能团, 使其可以成为高效抑氢剂。由 50 mg/L 抑制溶液中 Al-Zn 粉的 FTIR 结果可知: 3 440.42 cm⁻¹ 吸收峰是 O-H 的伸缩振

动,该峰峰值降低,说明香樟叶提取物中的 O-H 与 Al-Zn 粉表面发生了氢键或配位作用。2 920.91 cm^{-1} 为 C-H 的伸缩振动。1 635.00 cm^{-1} 吸收峰为 C=C 的振动结果,其峰值降低归因于香樟叶提取物中的芳香环与金属表面的 π 配位作用。C-O 和 C-N 振动引起的吸收峰位于 1 104.77 cm^{-1} 。这说明含 N、O 等杂原子的官能团与 Al-Zn 粉发生了络合反应,形成配位键,从而降低了 1 265.95 cm^{-1} 和 1 075.58 cm^{-1} 的吸收峰强度。

2.7 抑氢机制

在对照组中,Al-Zn 粉和外部水分子发生化学反应,生成氢气,如下式^[7]:



加入香樟叶提取物后,其包含的有机分子会与 Al-Zn 粉表面发生相互作用。有机分子吸附在粉尘表面形成抑制膜,阻碍外部水分子与 Al-Zn 粉之间的化学反应,从而减少氢气的产生。根据 GC-MS 和 FTIR 的测试结果,香樟叶提取物中主要活性成分含有多种功能性基团和芳香环结构,使其作为反应活

性位点,通过物理和化学吸附作用在 Al-Zn 粉表面形成抑制膜^[16]。这些功能性基团通过氢键和范德华力等物理吸附作用与 Al-Zn 粉表面发生初步结合。芳香环通过其 π 电子提供共轭吸附能力,并与金属表面发生 π 配位作用。此外,功能性基团中的 N、O 等杂原子通过孤对电子与 Al-Zn 粉表面的金属空 d 轨道形成配位键,进一步增强吸附的化学稳定性。在上述反应协同作用下,香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面构建了一层稳定的抑制膜,有效地阻断了金属颗粒与水的直接接触,从而显著抑制了氢气的产生。

3 外界环境对抑氢稳定性的影响

将温度扰动范围设定为 40~60 $^{\circ}\text{C}$,涵盖了湿式除尘器在实际作业中可能面临的温度波动和极端情况。考虑到除尘器内部风机不同运行状态下的负压、常压和正压环境,将压力范围设置为 60~120 kPa。因固液接触、内部结构设计和循环水流动等因素而引起湿式除尘器的水体扰动现象,在一定程度上会影响抑氢效果,故将水体扰动转速设置为 30~50 r/min。不同外界环境条件下香樟叶提取物抑制 Al-Zn 粉产氢稳定性的测试曲线,如图 8 所示。

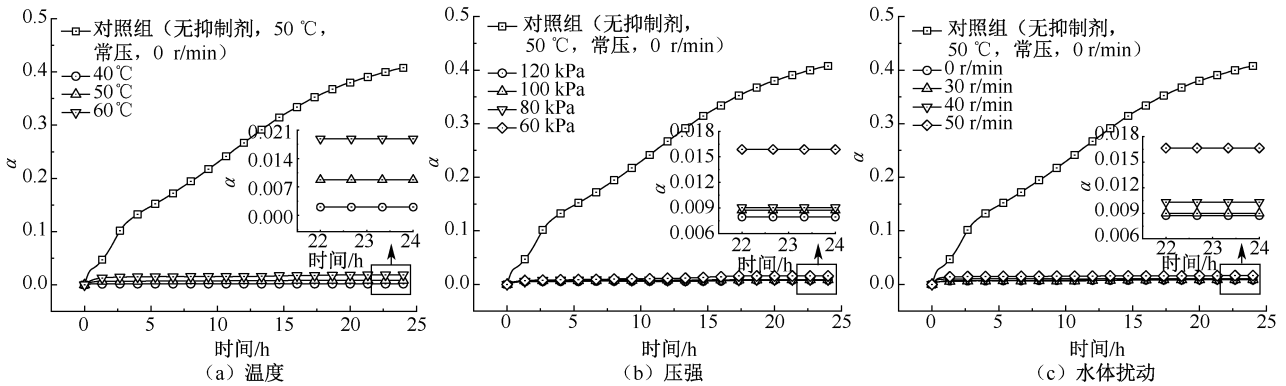


图 8 温度、压强和水体扰动对香樟叶提取物抑氢稳定性的影响

Fig. 8 Effects of temperature, pressure, and water disturbance on hydrogen inhibition stability of Cinnamomum camphora leaf extract

由图 8a 可知:温度的升高能够加速 Al-Zn 粉表面反应速率,但香樟叶提取物依然能够保持良好的抑氢效果,在 40~60 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下,其抑氢效率始终保持在 95% 以上,这说明香樟叶提取物具有良好的热稳定性。由图 8b 可知:压强因素对 Al-Zn 粉的产氢曲线影响不大,3 条曲线几乎重叠,这说明正压和负压环境对香樟叶提取物的成膜稳定性影响甚微。由图 8c 可知:在水体存在扰动的情况下,Al-Zn 粉的 α 值有小幅度的增加,但是产氢曲线几乎重合, α 值

均未超过 0.02,这说明香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面形成的抑制膜稳定性良好,能够抵挡水体扰动的影响。

综上所述,50 mg/L 质量浓度下的香樟叶提取物在不同的温度、压强和水体扰动条件下,仍然能够在 Al-Zn 粉表面形成稳定的抑制膜,显著抑制氢气的产生。这为湿式除尘器在多变的环境条件下安全运行提供了有力支持,并为减轻环境波动对氢气积聚风险的影响提供了理论依据。

4 结 论

1) 香樟叶提取物对 Al-Zn 粉产氢具有高效的抑制效果。50 mg/L 质量浓度的香樟叶提取物,抑氢效率为 97.86%,化学反应速率常数为 $1.702 \times 10^{-4} \text{h}^{-1}$,接近于 0,几乎没有氢气产生。

2) SEM-EDS 分析结果表明:香樟叶提取物阻隔了 Al-Zn 粉与水的反应,使其保持原始球型形貌,表面光滑、致密。FTIR 分析结果表明:香樟叶提取

物的活性成分成功吸附在 Al-Zn 粉表面,其吸附行为遵循单分子层的 Langmuir 吸附模型,吸附类型包括物理吸附和化学吸附。

3) 在不同的温度、压强和水体扰动转速条件下,50 mg/L 质量浓度的香樟叶提取物在 Al-Zn 粉表面形成的抑制膜具有稳定和可靠的抑氢效果。香樟叶提取物可以作为一种环保、高效和稳定的抑氢剂,可实现金属粉尘湿式除尘系统的安全运行。

参 考 文 献

- [1] 林森,韩晓辉,李刚卿,等. 高速列车铝合金 MIG 接头应力腐蚀失效研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 115-122.
LIN Sen, HAN Xiaohui, LI Gangqing, et al. Research on stress corrosion crack failure of MIG joints on aluminum alloy of high-speed trains[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32 (6): 115-122.
- [2] YOU Xiaohan, XING Zhiquan, JIANG Shaowei, et al. A review of research on aluminum alloy materials in structural engineering[J]. Developments in the Built Environment, 2024,17: DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100319.
- [3] 韩波,李刚,马赫,等. 机械加工伴生粉尘爆炸危险性分析[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(9):51-55.
HAN Bo, LI Gang, MA He, et al. Analysis of explosion risk of dust from mechanical processing[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(9):51-55.
- [4] 陈刚,张晓蕾,徐帅,等. 我国 2005—2020 年粉尘爆炸事故统计分析[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(8): 76-83.
CHEN Gang, ZHANG Xiaolei, XU Shuai, et al. Statistical analysis on dust explosion accidents in China from 2005 to 2020[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(8):76-83.
- [5] GB 15577—2018, 粉尘防爆安全规程[S].
GB 15577-2018, Safety regulations for dust explosion prevention and protection[S].
- [6] 王犇. 铝粉尘湿式收集系统氢气爆炸风险预防技术研究[D]. 沈阳:东北大学,2021.
WANG Ben. Research on hydrogen explosion risk prevention technology of aluminum dust wet collection system[D]. Shenyang: Northeastern University,2021.
- [7] 王延瞳. 铝粉尘湿式除尘抑氢规律研究[D]. 沈阳:东北大学,2018.
WANG Yantong. Hydrogen inhibition in wet dust removal system for the treatment of aluminum dust[D]. Shenyang: Northeastern University,2018.
- [8] WANG Ben, XU Kaili, WANG Yantong. Using sodium D-gluconate to suppress hydrogen production in wet aluminium waste dust collection systems[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020,397: DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122780.
- [9] 郑欣,郝腾腾,王慧宇,等. 湿式除尘器氢气爆炸事故控制研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021,17(12): 86-91.
ZHENG Xin, HAO Tengting, WANG Huiyu, et al. Study on accident control of hydrogen explosion in wet dust removal system[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2021,17(12):86-91.
- [10] 李嘉欢,许开立,张毓媛,等. 海藻酸钠和硅酸钠对废镁合金粉尘产氢的抑制作用[J]. 材料与冶金学报,2022, 21(6):456-462.
LI Jiahuan, XU Kaili, ZHANG Yuyuan, et al. Inhibition of sodium alginate and sodium silicate on hydrogen production from waste magnesium alloy powder[J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2022,21(6):456-462.
- [11] 庞兴志,许征兵,李逸泰,等. 高铝锌基合金的腐蚀研究进展[J]. 铸造技术, 2011,32(6):887-891.
PANG Xingzhi, XU Zhengbing, LI Yitai, et al. Progress on the corrosion research of high aluminum Zn-based alloy[J]. Foundry Technology, 2011,32(6):887-891.

《年报(2024 版)》计量指标统计显示:《中国安全科学学报》影响力指数(CI)为 1 330. 207, CI 学科排序为 1/20。其他指标如下:2023 年载文量为 433, 可被引文献量为 354, 可被引文献比为 0. 82。复合总被引频次为 12 892, 即年指标为 0. 206, 复合影响因子为 2. 947, 复合他引影响因子为 2. 355, 5 年影响因子为 3. 014, 他引 5 年影响因子为 2. 620。