

# 磷酸品质提升技术改造

马付云, 杨雄俊

(云南磷化集团有限公司, 云南 晋宁 650600)

**[摘要]** 饲料级钙盐用磷酸生产过程中, 预处理后的中浓度磷酸在沉降过程中形成渣酸, 并富集在贮槽下部, 中浓度磷酸固含量逐渐升高 ( $w(\text{固}) \geq 2.0\%$ )。为满足饲料级钙盐用磷酸需求, 需要增加过滤机以降低磷酸固含量, 提升清磷酸产量。通过分析各种过滤设备的特点, 并结合中浓度磷酸特点, 选择新增3台板框压滤机进行改造。介绍过滤机的参数及配置、过滤工艺流程以及改造效果。改造后, 预处理中浓度磷酸淤渣量减少,  $w(\text{固})$  降至  $\leq 1\%$ , 氟含量降低, 从而降低渣酸的处置量和脱氟生产成本。

**[关键词]** 磷酸; 过滤; 板框压滤机; 渣酸; 脱氟; 成本

**[中图分类号]** TQ126.3\*5 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 04-0040-04

## Technical transformation for improving product quality of phosphoric acid

MA Fuyun, YANG Xiongjun

(Yunnan Phosphate Group Co., Ltd., Jinning 650600, China)

**Abstract:** In the production process of phosphoric acid for feed grade calcium production, the pretreated medium concentration phosphoric acid forms slag acid during the sedimentation process and accumulates in the lower part of the storage tank. The solid content of the medium concentration phosphoric acid gradually increases (solid content  $\geq 2.0\%$ ). To meet the phosphoric acid demand of feed grade calcium, it is necessary to increase the filter to reduce the solid content of phosphoric acid and improve the production of clean phosphoric acid. By analyzing the characteristics of various filtration equipment and combining with the characteristics of medium concentration phosphoric acid, three new plate and frame filters are selected for renovation. The parameters and configuration of the filter, the filtration process flow, and the transformation effect are introduced. After the transformation, the amount of sludge in the pre-treatment medium concentration phosphoric acid decreases, the solid content decreases to  $\leq 1\%$ , and the fluoride content decreases, reducing the amount of slag acid disposal and the production cost of defluorination.

**Key words:** phosphoric acid; filtering; plate and frame filter; slag acid; defluorination; cost

云南磷化集团有限公司磷酸一二钙、磷酸二氢钙生产线由硫黄制硫酸装置、湿法磷酸装置<sup>[1]</sup>、饲料级磷酸氢钙装置组成。在饲料级钙盐用磷酸生产过程中, 磷酸预处理过程采用  $w(\text{P}_2\text{O}_5)$  40% 的中浓度磷酸与硫化钠反应形成硫化物沉淀, 从而将磷酸中的重金属去除<sup>[2]</sup>; 预处理磷酸经过澄清后作为深度脱氟的原料磷酸。中浓度磷酸预处理后淤渣量增加, 需要外卖或返回萃取工序, 且后续工序深度脱氟生产工艺对原料磷酸固含量要求也较高 ( $w(\text{固}) \leq 1\%$ )。随装置产能释放, 每天须产出饲料级钙盐用磷酸约  $1\ 100\ \text{m}^3$ , 需要过滤清磷酸量  $1\ 500\ \text{m}^3$  方能

满足下游磷酸钙盐生产用磷酸需求, 现有装置产能出现缺口, 且渣酸外卖或返回萃取工序会影响萃取负荷和成本。

随着磷酸中固体物析出, 并在贮槽内长期富集, 磷酸固含量逐渐升高, 现有过滤清磷酸无法满足脱氟用磷酸的需求, 需要增加过滤机提升过滤清磷酸产量。但目前配置的2台超滤膜过滤机难以过滤浓酸槽<sup>[3]</sup>、预处理酸槽下部  $w(\text{固}) \geq 2.0\%$  的磷酸。选用可以过滤高固含量磷酸的过滤机对部分固含量高的预处理磷酸进行过滤后再进入脱氟系统, 可以有效提升预处理磷酸的利用率, 减少渣酸的

收稿日期: 2024-07-04; 修回日期: 2025-12-02

作者简介: 马付云(1985—), 男, 云南昆明人, 工程师。

产出。

## 1 改造思路

### 1.1 磷酸生产中过滤机的工作原理

磷酸生产中过滤机以滤布作为过滤介质，料浆、高固含量的粗磷酸在过滤机真空抽滤或加压过滤的作用下，将磷酸与石膏及其他悬浮在磷酸中的较大固体颗粒进行分离，固体物质在滤布表面堆积形成滤饼，液体从滤饼颗粒间形成的通道穿透进入收集器，最终获得较为纯净的磷酸。过滤机是磷酸固液连续分离的有效方法<sup>[4]</sup>。

### 1.2 过滤机选择

板框压滤机<sup>[5]</sup>：结构比较简单，操作容易，运行稳定，保养方便，过滤面积选择范围灵活，设备占地少，对物料的适应性强，投资小，且凸点滤板设计有效增加了导水截面积，减小了过滤阻力，提高了过滤效率；采用乳白色硅胶密封圈，确保无泄漏。但存在不能连续运行，滤布常常需要人工清理等缺点。

超滤膜过滤机<sup>[6]</sup>：核心元件是滤膜，具有过滤精度较高、粒径控制比较稳定等优点；但滤膜孔径较小，当过滤原料磷酸为固含量较高的渣酸时容易出现堵塞、压力高等问题，或是因磷酸的固含量高而导致无法压滤。

WYB系列卧式叶片过滤机：由过滤罐、滤网板、拉出机构、自动排渣装置等组成，有密闭过滤、滤网板可自动拉出、可实现双面过滤、过滤面积大、容渣量大等特点，但存在需要添加助滤剂、滤液黏度较高时容易出现堵塞导致产量下降、滤网穿孔不容易察觉等缺点。

转台式过滤机<sup>[7]</sup>：连续运转，一个运行周期完成加料、初滤、过滤、洗涤、卸渣、滤布冲洗再生、滤布吸干过程，过滤效率高；但存在投资费用高、操作复杂、对黏度较高的物质过滤效果差等问题。

根据上述过滤机的优缺点，在应用成果方面，板框压滤机在湿法磷酸生产中表现出色，有效提高了磷酸的收率和生产效率，同时降低了生产成本。其高效固液分离能力、高干度滤饼产出以及简便的操作维护，都为其在湿法磷酸生产中的应用提供了有力支持。浓酸槽、预处理酸槽下部 $w(\text{固})$  2%~10%

的中浓度磷酸采用板框压滤机更为合适，可以有效去除预处理酸槽、浓酸槽下部的淤渣<sup>[8]</sup>，降低磷酸的固含量。且结合实际场地情况，压滤二楼4个预留孔（长7 000 mm、宽3 500 mm、高8 000 mm），符合新增3台板框压滤机的条件，有效降低了投入费用。

### 1.3 板框压滤机运行机制

板框压滤机用于固体和液体的分离，与其他固液分离设备相比，过滤后的滤饼固含量更高，分离效果优良。随着过滤的进行，滤饼逐渐形成，随后滤饼厚度逐渐增加，过滤阻力随之加大，分离效率会降低，产量下降。压滤机在过滤的过程中可同时对待滤饼进行洗涤，有价值的物质可得到回收，并且可以获得高纯度的滤饼。

板框压滤机过滤过程是一种间歇操作的过程，浓酸槽、预处理酸槽下部中浓度磷酸在进料泵压力的作用下进入滤室，固相颗粒被滤布截留在过滤介质表面形成滤饼，液体穿过过滤介质层流向滤液排出通道。随着过滤过程的进行，固相颗粒不断堆积，滤室内的滤饼逐渐增厚，直到充满整个滤室。

随着过滤介质孔隙率减小，过滤速率减小。主要原因是：一方面，过滤介质孔隙率减小，单位过滤介质面积上的过滤通道面积减少，从而使得过滤速率减小；另一方面，孔隙率减小也会伴随着过滤介质孔径减小，而当液体流过孔径较小的过滤介质通道时，流体与通道壁面的接触更加充分，受到相应的阻力也会增大，导致过滤速率减小<sup>[9]</sup>。

### 1.4 板框压滤机的配置及参数

采用XMGFZ230/1250/U板框压滤机，3台板框压滤机配置了2台原料磷酸进酸泵、流量计及相应配套设施；增加原料磷酸输送泵联锁，避免运行压力过高损坏滤板；板框压滤机为自动卸渣、自动清洗滤布，提高自动化程度，降低了操控人员劳动强度；增加2台搅拌浆及1台调浆槽输渣泵及配套设施，利用原有管道进行输送；增加板框压滤机清磷酸收集盒，用DN250不锈钢管进行切割改造，杜绝清磷酸收集盒焊缝腐蚀通洞情况；滤布进行特殊设计可截留粒径小于1  $\mu\text{m}$ 的粒子。板框压滤机主要参数见表1。

表1 XMGFZ230/1250/U板框压滤机参数

Table 1 Parameters of XMGFZ230/1250/U plate and frame filter

总功率/ kW	用电电压/ V	整机长度/ mm	整机质量/ kg	起吊最大件 质量/kg	起吊最大件 长度/mm	过滤压力/ MPa	安装高度/ mm	原料酸 $w(\text{固})/\%$	磷酸温度/ $^{\circ}\text{C}$	磷酸 $w(\text{P}_2\text{O}_5)/\%$	压滤后清磷酸 $w(\text{固})/\%$	出磷酸量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	滤饼 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$
7	380/220	10 040	12 000	4 000	8 000	0.8	3 100	2~10	$\leq 50$	40~45	$\leq 0.5$	$\geq 500$	$\leq 30$

1.5 工艺流程

在浓酸槽 (A、B、D) 和预处理澄清槽 (A、B、C) 壁管下部口配管, 将浓酸槽和预处理澄清槽下部渣酸送至板框压滤中间槽, 再由送酸泵送至板框压滤机; 压滤后, 清磷酸 ( $w(\text{固}) < 1\%$ ,  $w(\text{砷})$ 、 $w(\text{铅}) \leq 10 \times 10^{-6}$ ) 收集至配套的清磷酸槽内, 供

脱氟使用, 不符合指标要求的中浓度磷酸返回至浓酸槽再次进行预处理。压滤后的滤饼卸渣至地下槽, 调制成为  $w(\text{固}) 15.0\% \sim 20.0\%$  的渣酸, 输送至渣酸槽外销或者返回萃取槽。

同时配备板框压滤机洗涤液管, 定期对滤布进行清洗, 延长滤布使用周期, 工艺流程如图1所示。

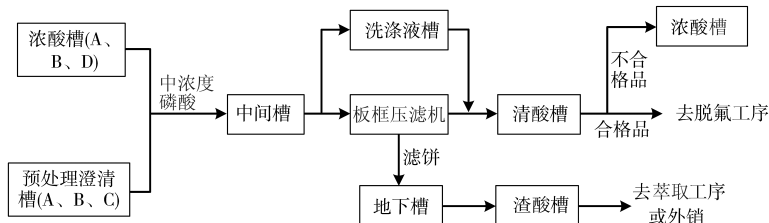


图1 板框压滤机工艺流程

Fig. 1 Process flow of plate and frame filter

2 运行情况

经过1个月的现场施工, 板框压滤机安装调试正常, 具备投用条件, 使用浓度、温度满足板框压滤机条件的浓酸槽、预处理澄清槽下部中浓度磷酸组织生产。进入板框压滤机的原料磷酸指标如表2

所示。

从表2数据看, 浓酸槽和预处理澄清槽下部磷酸指标稳定, 对板框压滤机运行时测出的各项指标具有代表性, 板框压滤机出磷酸分析数据如表3所示。

表2 浓酸槽和预处理澄清槽下部磷酸指标

Table 2 Index of phosphoric acid in the lower part of concentrated acid tank and pretreatment tank

项目	密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$w(\text{固})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5)/\%$	$w(\text{F})/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{MgO})/\%$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{Pd})/10^{-6}$	$w(\text{As})/10^{-6}$	MER值
最大值	1.516	4.59	41.35	1.64	0.97	1.39	1.14	18	30.0	0.084 6
最小值	1.512	2.27	40.36	1.58	0.90	1.22	0.99	13	4.8	0.077 1
平均值	1.514	3.51	40.92	1.60	0.93	1.33	1.08	15	21.0	0.081 6

表3 板框压滤机出磷酸指标

Table 3 Index of phosphoric acid at the outlet of plate and frame filter

项目	密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$w(\text{固})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5)/\%$	$w(\text{F})/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{MgO})/\%$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{Pd})/10^{-6}$	$w(\text{As})/10^{-6}$	MER值
最大值	1.508	0.45	42.26	1.15	0.99	1.19	0.84	8	29	0.071 5
最小值	1.500	0.22	41.94	1.12	0.95	1.06	0.74	5	15	0.065 6
平均值	1.503	0.32	42.13	1.13	0.96	1.11	0.78	6	17	0.067 6

结合表2和表3数据, 可以罗列出经板框压滤机处理后磷酸指标的变化情况, 具体如表4所示。

表4 板框压滤机处理后磷酸指标变化

Table 4 Changes of phosphoric acid index after treatment by plate and frame filter

项目	指标升高/%	项目	指标升高/%
密度	-0.73	$w(\text{MgO})$	-16.54
$w(\text{固})$	-90.88	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	-27.78
$w(\text{P}_2\text{O}_5)$	2.96	$w(\text{Pd})$	-60.00
$w(\text{F})$	-29.37	$w(\text{As})$	-19.05
$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	3.23	MER值	-17.12

由表4可以看出, 变化最明显的是固含量<sup>[10]</sup>,

下降了90.88%; 随着磷酸中固含量下降, 主要指标氟、砷、铅随滤饼移除, 氟、砷、铅也分别下降29.37%、19.05%、60.00%, 其他指标也有不同程度的变化。生产过程中3台板框压滤机的产量较为稳定, 每台板框压滤机的出磷酸量在68 t/h, 每天有效运行时间为10 h, 每台板框压滤机每天共计生产中浓度磷酸680 t。

3 实施效果

3台板框压滤机投入运行后, 从生产数据和实际运行效果看, 取得以下几方面的成效:

(1) 使浓酸槽、预处理澄清槽下部的混酸得到了有效利用, 根据渣酸占比约减少渣酸量 (以  $\text{P}_2\text{O}_5$

计) 20 400 t, 减少中浓酸淤渣外卖量和返回萃取槽的量, 降低了对萃取和过滤效果的影响<sup>[11]</sup>。

(2) 压滤清磷酸固含量大幅度降低,  $w(\text{固})$  平均为 0.32%, 有效延缓了浓缩、脱氟系统堵塞结垢, 一定程度上降低了脱氟工序进口磷酸氟含量。

(3) 经济效益提升。压滤清酸中的部分固相氟被过滤除去, 降低了后续脱氟剂的消耗<sup>[12]</sup>。通过对板框压滤机进出口脱重金属磷酸氟含量测定跟踪, 发现脱重金属磷酸经过板框压滤机压滤后清磷酸氟含量相较于压滤前平均减少 0.47 百分点。每吨磷酸可减少脱氟剂消耗 2.47 kg/t, 脱氟剂近 3 年的均价为 6 133 元/t。以磷酸装置运行 300 d 的生产设计为准, 板框压滤机满足 20 400 t 的过滤需求。用压滤后的清磷酸进行脱氟, 每年可减少脱氟剂费用:  $20\ 400 \times 2.47 \times 6.133 \text{元} = 30.903 \text{万元}$ 。

在计算取得的经济效益时, 不计算渣酸减少带来的收益, 此效益主要体现在提升预处理磷酸的利用率上; 板框压滤机投入的人工和配制脱氟剂的人工抵消, 板框压滤机的维护费用未产生故未计算。故每年减少费用 30.903 万元。3 台板框压滤机共计投资 180 万元, 可以在 5.82 年收回成本。

#### 4 结束语

湿法磷酸装置浓酸槽和预处理澄清槽下部的中浓度磷酸经过板框压滤机过滤后, 固含量得到大幅度降低, 达到脱氟原料磷酸的标准; 减少了中浓度磷酸淤渣外卖量或返酸量, 渣酸的利用率得到提升; 有效降低了浓缩、脱氟系统堵塞结垢风险, 一定程度上提升了脱氟效率; 浓酸槽和预处理澄清槽下部的中浓度磷酸经过滤后磷酸中的固相氟有一定程度的减少, 降低了脱氟剂的消耗, 节约了生产成本; 且板框压滤机在过滤过程中操作简单便捷, 易于维护清洗, 投资小、回本快。

#### [参考文献]

[1] 邹鸿. 二水物湿法磷酸生产工艺、设备的优化改进[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(10): 45-47.  
[2] 解秘, 李建闻, 朱桂华. 脱重磷酸澄清技术研究与应用[J]. 磷肥与复肥, 2024, 39(1): 20-22, 26.  
XIE M, LI J W, ZHU G H. Research and application of

clarification technology for phosphoric acid after removing heavy metals [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39 (1) : 20-22, 26.  
[3] 刘志平. 湿法磷酸转台式过滤机长周期高负荷运行探索[J]. 低碳世界, 2020, 10(6): 43-44.  
LIU Z P. Exploration on long-term and high-load operation of wet-process phosphoric acid rotary filter[J]. Low-carbon World, 2020, 10(6): 43-44.  
[4] 陈志军, 王昕, 於娟, 等. 大型湿法磷酸装置过滤设备选型[J]. 山东化工, 2024, 53(8): 227-229.  
CHEN Z J, WANG X, YU J, et al. Type Selection of filtration equipment for large-scale wet-process phosphoric acid [J]. Shandong Chemical Industry, 2024, 53(8): 227-229.  
[5] 马小刚, 张颖. 板框压滤机运行过程常见问题与处理[J]. 氮肥与合成气, 2024, 52(1): 43-46.  
[6] 郭燕峰. 过滤新技术[J]. 明胶科学与技术, 2005(4): 199-200.  
GUO Y F. New filtration technology [J]. The Science and Technology of Gelatin, 2005(4): 199-200.  
[7] 王敏, 刘闯, 刘超, 等. 磷酸转台式真空过滤机分区挡皮支架结构改进[J]. 磷肥与复肥, 2023, 38(9): 39-40.  
WANG M, LIU C, LIU C, et al. Structure improvement of partition leather bracket for rotary table vacuum filter in phosphoric acid plant[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(9): 39-40.  
[8] 涂忠兵, 何宾宾, 姜威, 等. 湿法磷酸渣酸资源化利用研究现状与展望[J]. 化学工业与工程, 2024, 41(2): 148-154.  
TU Z B, HE B B, JIANG W, et al. Research status and prospect of resource utilization of sludge acid from wet phosphoric acid [J]. Chemical Industry and Engineering, 2024, 41(2): 148-154.  
[9] 陈以明, 张品, 刘昆. 磷酸装置转台式真空过滤机节能技术研究[J]. 磷肥与复肥, 2022, 37(5): 39-41.  
CHEN Y M, ZHANG P, LIU K. Study on energy-saving technology of rotary vacuum filter in phosphoric acid plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(5): 39-41.  
[10] 周智武, 杨琴, 肖银兵. 湿法磷酸浓缩系统氟回收优化改造[J]. 磷肥与复肥, 2024, 39(5): 27-28.  
ZHOU Z W, YANG Q, XIAO Y B. Optimization and transformation of fluorine recovery from wet-process phosphoric acid [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(5): 27-28.  
[11] 谢敏尧. 降低湿法净化磷酸半水石膏磷损失的工艺[J]. 磷肥与复肥, 2023, 38(8): 30-31.  
XIE M Y. Process of reducing phosphorus loss in wet purification of phosphoric acid hemihydrate gypsum [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(8): 30-31.  
[12] 刘显波. 提升湿法磷酸品质的优化改进[J]. 磷肥与复肥, 2024, 39(3): 26-28.  
LIU X B. Optimization and improvement to improve quality of WPA [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(3): 26-28.