

◆磷及关联产业工艺创新◆

溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术研发及产业化应用

薛河南, 师永林

(云南云天化股份有限公司, 云南 昆明 650228)

[摘要] 结合云南省中低品位磷矿特点以及电池材料前驱体磷酸铁生产对原料磷酸的要求, 针对溶剂萃取法精制工业磷酸技术存在的产品磷酸浓度偏低、部分杂质含量偏高等问题, 开展了溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术研发。通过对预处理技术、萃取剂再生技术、后处理技术的优化, 大幅度提高了工业净化磷酸产品质量, 形成了100 kt/a溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术。基于该优化技术, 2022年先后建成投产3套100 kt/a湿法磷酸精制装置, 均顺利实现达标达产, 产品质量达到HG/T 4069—2022规格2 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%) 一等品的质量要求。

[关键词] 精制磷酸; 溶剂萃取法; 优化技术; 产业化应用

[中图分类号] TQ126.3+5 [文献标志码] B [文章编号] 2097-4566 (2025) 03-0030-06

Optimization technology research and industrial application of solvent extraction method for refining industrial phosphoric acid

XUE Henan, SHI Yonglin

(Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Kunming 650228, China)

Abstract: Based on the characteristics of medium and low-grade phosphate rock in Yunnan province and the requirements of raw material phosphoric acid in the production of battery material iron phosphate, the optimization technology of solvent extraction method for refining industrial phosphoric acid has been developed to address the problems of low concentration and high impurity content in the product. By optimizing pretreatment technology, extractant regeneration technology and post-treatment technology, the quality of industrial refined phosphoric acid products has been significantly improved, forming a 100 kt/a refined industrial phosphoric acid optimization technology with solvent extraction method. Based on this optimization technology, three sets of 100 kt/a wet-process phosphoric acid refining units are built and put into operation in 2022, all of which successfully achieve standard production and the product quality meets the quality requirements of first-grade product of specification 2 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%) in HG/T 4069—2022.

Key words: refined phosphoric acid; solvent extraction method; optimization technology; industrial application

0 引言

云南云天化股份有限公司(简称云天化)是国内大型湿法磷酸及磷复肥生产企业, 2010年原云南云天化国际化工股份有限公司引进四川大学和中化重庆涪陵化工有限公司溶剂萃取法精制工业磷酸成套技术, 于2012年在原云天化国际三环分公司(现云南磷化集团海口磷业有限公司)建成一套100 kt/a湿法磷酸精制装置, 产品为 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 75%的磷酸, 2015年实现达标达产, 产品质量达到《工业湿法净化磷酸》(HG/T 4069—2022)规格1 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 75%)合格品质量要求, 装置运行平稳^[1]。

根据云天化新能源产业发展规划, 需配套建设工业净化磷酸装置。基于云天化在溶剂萃取法精制工业磷酸方面多年的生产经验和技術积累,

经综合评估, 并获得四川大学技术许可, 采用四川大学溶剂萃取法精制工业磷酸技术。根据电池新材料磷酸铁的生产要求, 原技术存在产品磷酸浓度偏低、部分杂质含量偏高等问题, 公司开展了溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术研究, 形成了100 kt/a溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术。基于该优化技术, 2022年先后在云南天安化工有限公司、云南三环中化化肥有限公司建成投产3套100 kt/a湿法磷酸精制装置, 一次性投料试车成功, 装置均顺利实现达标达产, 成功获得了产业化应用。

[收稿日期] 2024-10-08

[作者简介] 薛河南(1982-), 男, 陕西咸阳人, 化工工艺高级工程师, 主要从事湿法磷加工方向技术研发及新产品开发工作。

1 国内代表性湿法磷酸精制技术

溶剂萃取法精制工业磷酸已基本取代热法磷酸，成为发展下游精细磷酸盐基础原料，广泛应用于新能源、精细磷酸盐、电镀及表面处理等领域。近十多年来，我国湿法磷酸精制技术得到了快速发展，特别是近年来随着新能源产业拉动，国内上马了数十套湿法磷酸精制装置，国内精制磷酸 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%) 总产能已接近400万 t/a。国内代表性精制磷酸技术主要有3种^[2]：一是瓮福（集团）有限责任公司（简称瓮福）湿法磷酸精制技术；二是四川大学湿法磷酸精制技术；三是华中师范大学湿法磷酸精制技术。

瓮福2005年引进国外溶剂萃取法精制磷酸技术，以 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 52%的浓磷酸为原料，适应于较高品质磷矿，萃取剂甲基异丁基酮溶解度偏高，需设置萃取剂回收系统，工艺流程偏长。清华大学与瓮福合作开发微结构萃取器以及脉冲塔，具有生产能力强、单套装置生产规模大等优势。瓮福技术生产净化磷酸纯度高、杂质低，产品可以达到食品级磷酸标准，已大规模推广应用，总产能达240万 t/a，占比超过60%^[3]。

四川大学溶剂萃取法精制工业磷酸技术，以 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 47%的浓磷酸为原料，对磷矿适应性较强，萃取剂磷酸三丁酯溶解度较低，不需设置萃取剂回收系统，工艺流程较短，有利于降低投资。另外，四川大学开发的振动筛板塔具有较高效率且能满足装置大规模生产需求。先后在中化重庆涪陵化工有限公司、安徽六国化工股份有限公司、云天化等多家单位推广，产能接近130万 t/a，占比超过30%^[4]。

华中师范大学溶剂萃取法精制工业磷酸技术，以 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 47%的浓磷酸为原料，对磷矿适应性较强，萃取剂为混合溶剂（醇-酮体系），溶解度偏高，需设置萃取剂回收系统，产品质量介于瓮福技术与四川大学技术之间，采用传统槽式萃取，占地面积较大。先后在湖北三宁化工股份有限公司、湖北中孚化工集团有限公司推广应用，产能达到18万 t/a，占比5%^[5]。

2 优化技术开发

四川大学溶剂萃取法精制工业磷酸技术是国内代表性技术之一，为四川大学自主开发，优势是对我国磷矿适用性强，工艺流程较为简单，投资较低，自主开发的振动筛板塔在精制磷酸生产方面具有较大优势及先进性。2010年云天化引进四川大学

溶剂萃取法精制磷酸技术，建成100 kt/a湿法磷酸精制装置，在多年生产经验和技术积累的基础上，结合云南中低品位磷矿特点以及下游生产对原料新的质量要求，针对原技术存在的产品磷酸浓度偏低、部分杂质含量偏高，特别是砷、氟、有机质（TOC）偏高等问题，开展了溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术研究，重点开展了预处理优化技术、萃取剂再生优化技术、 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓缩技术、砷及重金属脱除技术、汽提法深度脱氟技术、有机质深度脱除技术、萃余酸节能浓缩技术等技术开发。

2.1 预处理优化技术研发

四川大学原预处理工艺采用磷矿浆对浓磷酸脱硫，所得脱硫料浆经96 m²全自动立式板框压滤机压滤，所得清酸送入活性炭脱色塔进行脱色处理。生产实践表明，该预处理工艺脱硫效果差、料浆液固分离困难、全自动立式板框压滤机故障频繁，活性炭脱色塔易堵塞，较难运行，自建成后基本处于闲置状态。四川大学原预处理工艺流程如图1所示。

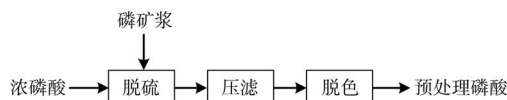


图1 原浓磷酸预处理工艺流程

Fig. 1 Original process flow of pretreatment of concentrated phosphoric acid

针对原预处理工艺运行困难等问题，开展了预处理优化技术研究，采用磷矿浆对浓磷酸进行脱硫，筛选浓磷酸沉降专用絮凝剂，实现了脱硫料浆良好沉降分离，打破了云南浓磷酸脱硫料浆不能沉降的论断；为降低预处理磷酸氟含量，采用氢氧化钠溶液进行脱氟，采用膜过滤器进行过滤，大幅度提高了预处理磷酸品质。通过预处理优化技术研究，确定了预处理优化工艺流程及较优工艺条件，采用絮凝沉降+膜过滤新工艺，大幅度提高了液固分离效率及预处理磷酸品质，预处理优化技术工艺流程如图2所示，絮凝沉降效果及脱硫脱氟效果分别如图3、表1所示。云南天安化工有限公司



图2 浓硫酸预处理优化技术工艺流程

Fig. 2 Optimization process flow of pretreatment of concentrated phosphoric acid

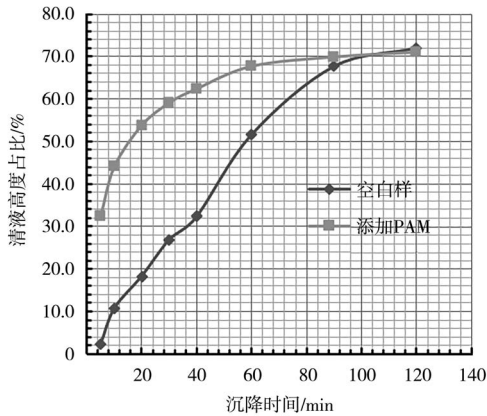


图3 脱硫料浆絮凝沉降效果对比

Fig. 3 Comparison of flocculation and sedimentation effect of desulfurization slurry

表1 预处理前后磷酸质量指标

Table 1 Quality indicators of phosphoric acid before and after pretreatment %

名称	$w(\text{P}_2\text{O}_5)$	$w(\text{SO}_4^{2-})$	$w(\text{F})$	$w(\text{固})$
原料磷酸	47.80	4.00	1.00	2.04
脱硫清磷酸	46.94	1.64	1.06	0.90
脱硫脱氟清磷酸	49.92	1.58	0.65	0.33

100 kt/a 湿法磷酸精制项目采用该预处理优化技术，自装置投产后，运行良好，脱硫脱氟效果稳定，为100 kt/a 湿法磷酸精制装置提供了优质原料酸保障。

2.2 萃取剂再生优化技术研发

在溶剂萃取法精制湿法磷酸过程中，湿法磷酸中有机杂质与磷酸三丁酯结合生成较为稳定的配合物，在萃取剂长时间循环使用后，随着配合物逐步富集会造萃取剂黏度增大、颜色加深，导致萃取分相速率减慢，影响精制磷酸产品质量及装置负荷。四川大学原萃取剂再生以氢氧化钠溶液为原料，采用再生塔将萃取剂与氢氧化钠溶液混合分相，然后进入洗涤塔，再生后萃取剂与冷凝水混合洗涤分相，再生塔及洗涤塔均为振动筛板塔。在生产实际中存在的主要问题是萃取剂再生效果差，废碱液中夹带有大量萃取剂，萃取剂损失严重。四川大学原萃取剂再生工艺流程如图4所示。

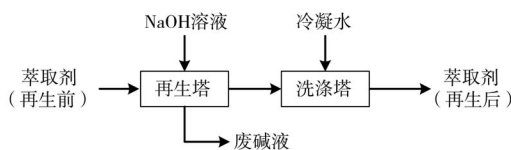


图4 原萃取剂再生工艺流程

Fig. 4 Original process flow of extractant regeneration

针对萃取剂再生的问题，分别开展了碱液法、活性炭法、蒸馏法再生萃取剂实验研究，这些方法均可实现该萃取剂良好再生。结合不同再生方法的特点以及装置实际，综合考虑优选碱液再生法。采用静态混合器+离心萃取机再生工艺，实验表明萃取剂再生效果好，再生后萃取剂收率达到95%以上，萃取剂再生优化技术工艺流程如图5所示，萃取剂再生前后效果如图6所示。云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制项目，采用萃取剂再生优化技术，萃取剂再生装置运行稳定，萃取剂再生效果良好。

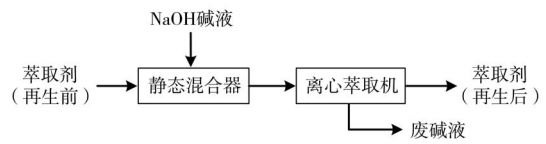
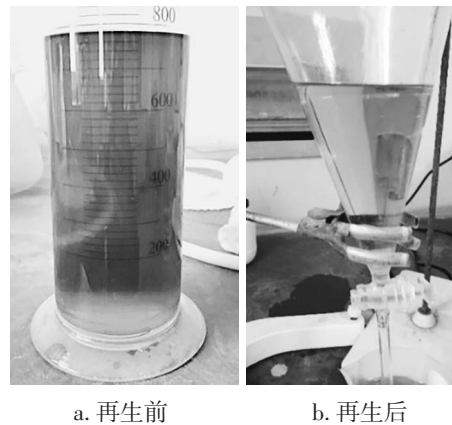


图5 萃取剂再生优化技术工艺流程

Fig. 5 Optimization process flow of extractant regeneration



a. 再生前 b. 再生后

图6 萃取剂再生前后对比

Fig. 6 Comparison of extractant before and after regeneration

2.3 后处理新技术研发

四川大学原设计精制磷酸产品 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 为75%，磷酸浓度偏低，由于缺少后处理工序，产品砷、氟、TOC等杂质偏高。根据电池新材料前驱体磷酸铁的生产要求，开展了净化磷酸后处理系列新技术研发，主要包括 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓缩新技术、汽提法深度脱氟新技术、过氧化氢深度脱除TOC新技术、萃余酸节能浓缩新技术等，为大幅度提高工业净化磷酸产品质量奠定了基础。

2.3.1 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓缩新技术研发

四川大学原设计精制磷酸产品 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 为75%，无 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓缩工序。由于 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%的磷酸沸点较 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 75%的磷酸高约30℃，这对浓缩工艺，特别是浓缩设备材质提出了很大挑战。

国内工业净化磷酸装置 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓

缩工序均采用石墨材质。为了降低项目投资，缩短建设周期，在既保证设备安全，又保证产品质量的前提下，经分析测试评估，浓缩装置最终选用316L复合904L材质。开展了 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸浓缩新工艺设计开发，重点从浓缩设备选型上进行设计开发，确定了浓缩新工艺及关键设备选型，确保浓缩操作温度 $\leq 90\text{ }^\circ\text{C}$ 。另外，对浓缩装置开停车进行了严格规定，保证浓缩装置的安全性。该技术成功应用于云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置，装置自建成投产以来， $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%磷酸装置浓缩工序运行正常，设备安全可靠，经浓缩后产品磷酸 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 在85%~86%，产品质量稳定。

2.3.2 汽提法深度脱氟新技术研发

四川大学原设计无深度脱氟工序， $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 75%的磷酸 $w(\text{F})$ 约为0.03%，较难满足新能源电池材料磷酸铁的生产要求。针对该问题，开展了汽提法深度脱氟新技术研发。

经溶剂萃取所得净化磷酸中氟主要以HF形式存在，根据亨利定律，向净化磷酸中通入蒸汽，通过改变蒸气分压，达到磷酸深度脱氟的目的。国内工业净化磷酸深度脱氟设备均为石墨材质的泡罩塔，如瓮福、中化重庆涪陵化工有限公司等的装置。为了降低项目投资，缩短建设周期，经充分分析评估，选用钢衬四氟材质的泡罩塔。开展了汽提法深度脱氟新工艺及装备设计开发，确定了汽提法深度脱氟新工艺及关键设备选型，汽提法深度脱氟工艺流程如图7所示。该技术成功应用于云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置，装置自建成投产以来，汽提法深度脱氟工序运行正常，设备安全可靠，脱氟效果良好，磷酸中 $w(\text{F})$ 可从约0.03%降低至 $\leq 0.004\%$ ，较好满足了电池材料前驱体磷酸铁的生产要求。

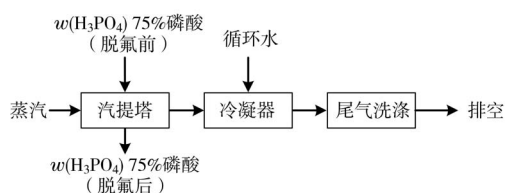


图7 汽提法深度脱氟工艺流程

Fig. 7 Process flow of deep defluorination by stripping method

2.3.3 过氧化氢深度脱除TOC新技术研发

四川大学原设计仅有活性炭脱色塔，由于脱色塔再生频繁，再生废液量大、不易处理，且活性炭脱色效果较差，经处理后精制磷酸产品总有机碳

(TOC)质量分数偏高，约为0.05%，在精制磷酸下游生产中存在有机质富集等问题。

针对该问题，开展了过氧化氢深度脱除TOC新技术研发。利用过氧化氢强氧化性，将净化磷酸中有机物分子氧化为气相小分子(CO_2)，进而达到脱除磷酸中TOC的目的。通过开展过氧化氢深度脱除TOC实验研究，确定了过氧化氢深度脱除TOC工艺流程及较优工艺条件；开展了过氧化氢深度脱除TOC新工艺及装备设计开发，确定了过氧化氢深度脱氟新工艺及关键设备选型，核心设备漂白塔采用钢衬四氟材质的填料塔，过氧化氢深度脱氟TOC新技术工艺流程如图8所示。该技术成功应用于云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置，装置自建成投产后，过氧化氢深度脱除TOC工序运行正常，设备安全可靠，TOC脱除效果良好，产品中 $w(\text{TOC})$ 从处理前约0.05%降低至 $\leq 0.007\%$ ，产品磷酸色度从处理前 ≥ 40 黑曾降低至 ≤ 20 黑曾，满足电池材料前驱体磷酸铁的生产要求。

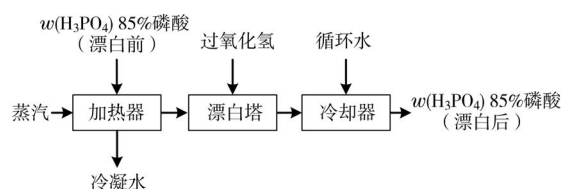


图8 过氧化氢深度脱除TOC工艺流程

Fig. 8 Process flow of deep removal of TOC by hydrogen peroxide

2.3.4 连续化脱砷新技术研发

四川大学原设计无磷酸脱砷工序， $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 75%的磷酸产品中 $w(\text{As})$ 约为0.005%，较难满足新能源电池材料磷酸铁以及精制磷酸下游生产要求。湿法磷酸精制工业磷酸过程中砷及重金属的脱除，一般可采用前处理或后处理两种工艺，均可达到相应的脱除要求。前处理工艺是采用硫化钠或硫化氢等对湿法磷酸进行砷及重金属脱除处理，生成不溶性硫化物沉淀，经液固分离、曝气处理后所得预处理酸送往溶剂萃取工序，该工艺易实现连续化生产，存在的主要问题是因磷酸中有 H_2S 残留，会加大后续系统的腐蚀，一般均需提高设备材质等级才能满足要求。

后处理工艺一般采用五硫化二磷或硫化氢对净化磷酸进行砷及重金属脱除，大多数情况均是以五硫化二磷为原料，主要问题是均为间歇工艺，无法满足连续化的生产要求。针对该问题，开展了精制磷酸连续脱砷实验研究，确定了连续脱砷工艺流程

及较优工艺条件；开展了100 kt/a湿法磷酸精制装置连续化脱砷新工艺及装备设计开发，连续化脱砷新技术工艺流程如图9所示。该技术成功应用于云南天安化工有限公司、云南三环中化化肥有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置，装置自建成投产后，脱砷工序运行稳定，安全可靠，砷脱除效果良好，产品磷酸 $w(\text{As})$ 可从0.005%降低至 $\leq 0.0005\%$ ，较好地满足了精制磷酸下游的生产要求。

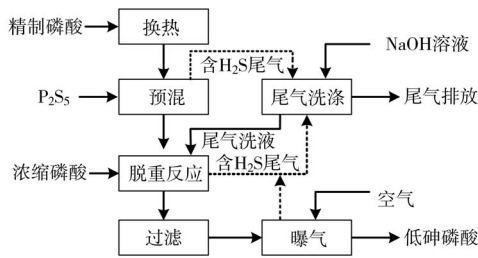


图9 精制磷酸连续化脱砷新工艺流程图

Fig. 9 New process flow of continuous removal of arsenic from refined phosphoric acid

2.3.5 萃余酸节能浓缩新技术研发

四川大学原设计云天化国际三环分公司100 kt/a湿法磷酸精制装置，配套建设12万 t/a料浆法磷酸一铵(MAP)装置，用于消化副产萃余酸。根据云南天安化工有限公司、云南三环中化化肥有限公司的基础肥生产装置实际情况，需对萃余酸进行浓缩，制得萃余浓酸，便于实现萃余酸消化利用。萃余酸因杂质含量高，金属阳离子含量约为湿法浓缩磷酸的2倍，黏度高，且含少量萃取剂，有机萃取剂易造成传统磷酸浓缩钢衬胶设备的橡胶溶胀，需开展萃余酸浓缩新工艺及装备开发。

开展了萃余酸与湿法磷酸浓缩对比实验，主要对蒸发强度、氟逸出率、材质腐蚀性等进行了对比测试。基于测试结果，根据萃余酸杂质含量高，对蒸发强度影响较大，萃余酸浓缩过程中氟逸出率很低等特点，同时，为了大幅度降低萃余酸浓缩过程中蒸汽消耗，将汽提法深度脱氟产生的二次蒸汽引入萃余酸浓缩系统，开展了萃余酸浓缩工艺优化设计，萃余酸浓缩新工艺流程图如图10所示。该技术成功应用于云南天安化工有限公司、云南三环中化化肥有限公司100 kt/a湿法磷酸精制萃余酸浓缩装置，萃余酸浓缩设备采用316L/2205金属材质。该萃余酸浓缩工艺流程较湿法磷酸浓缩大幅缩短，大幅度节省了投资、能耗和占地面积。装置自建成投产后，萃余酸浓缩装置运行稳定，为萃余酸消化奠定了基础。

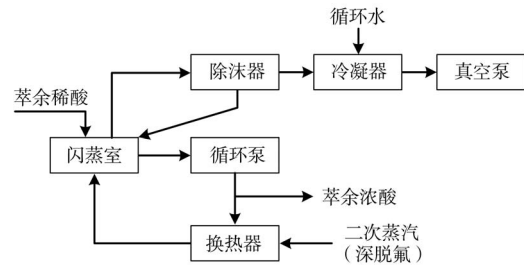


图10 萃余酸浓缩新工艺流程图

Fig. 10 New process flow of residual acid concentration

3 产业化应用

基于该成套优化技术，2022年3月在云南天安化工有限公司建成投产100 kt/a湿法磷酸精制装置一期，2022年8月在云南天安化工有限公司建成投产100 kt/a湿法磷酸精制装置二期，2022年12月在云南三环中化化肥有限公司建成投产100 kt/a湿法磷酸精制装置，3套装置均一次性投料试车成功，生产出优质精制磷酸产品，大幅提高了工业净化磷酸产品质量，产品质量达到《工业湿法净化磷酸》(HG/T 4069—2022)规格2 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%)一等品的质量要求，均顺利实现达标达产，成功实现了产业化应用，较好满足了电池材料前驱体磷酸铁生产要求。

3.1 预处理磷酸指标

湿法浓磷酸为公司自产，为二水法稀磷酸经真空浓缩、沉降所得湿法浓磷酸。根据精制磷酸的生产要求，对湿法浓磷酸进行预处理。采用磷矿浆进行脱硫、氢氧化钠碱液进行脱氟等预处理后，制得预处理磷酸，作为溶剂萃取工序的原料磷酸。云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置预处理前后磷酸质量指标如表2所示。

表2 预处理前后磷酸质量指标

Table 2 Quality indexes of phosphoric acid before and after pretreatment

项目	$w(\text{P}_2\text{O}_5)$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$w(\text{MgO})$	$w(\text{F})$	$w(\text{SO}_4^{2-})$	$w(\text{固})$
预处理前	47.46	1.12	1.48	2.08	0.80	2.90	2.82
预处理后	46.58	1.02	1.46	2.10	0.48	1.62	0.36

3.2 产品指标

云南天安化工有限公司2套100 kt/a湿法磷酸精制装置、云南三环中化化肥有限公司1套100 kt/a湿法磷酸精制装置自2022年建成投产以来，装置运行平稳，所得精制磷酸产品质量稳定，达到《工业湿法净化磷酸》(HG/T 4069—2022)规格2 ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%)一等品质量要求，产品质量指标如表3所示。

表3 工业净化磷酸产品质量指标

Table 3 Quality indicators for industrial purified phosphoric acid products

项目	色度/黑曾	磷酸 $w(\text{H}_3\text{PO}_4)/\%$	$w(\text{Cl})/$ %	$w(\text{SO}_4^{2-})/$ %	$w(\text{Fe})/$ %	$w(\text{Pb})/$ %	$w(\text{Cd})/$ %	$w(\text{As})/$ %	$w(\text{F})/$ %	$w(\text{Mg})/$ %	$w(\text{Ca})/$ %	$w(\text{TOC})$ (以C计)/%
优等品 ^①	≤ 20	≥ 85.0	≤ 0.000 5	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 0.001	≤ 0.002	≤ 0.000 1	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 0.002	≤ 0.007
一等品 ^①	≤ 30	≥ 85.0	≤ 0.001 0	≤ 0.02	≤ 0.003	≤ 0.002	≤ 0.003	≤ 0.000 5	≤ 0.02			
合格品 ^①	≤ 40	≥ 85.0	≤ 0.002 0	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.003	≤ 0.003	≤ 0.001 0	≤ 0.03			
云天化产品	12	85.40	0.001	0.008 9	0.001 6	0.000 1	0.000 02	0.000 5	0.004 4	0.000 2	0.000 5	0.001 8

注:①《工业湿法净化磷酸》(HG/T 4069—2022)规格2($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%) 要求。

3.3 消耗指标

精制磷酸装置以湿法浓磷酸为原料,采用溶剂萃取法精制工业磷酸,同时副产萃余酸。云南天安化工有限公司100 kt/a湿法磷酸精制装置性能考核期间,精制磷酸($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%)吨产品消耗指标如表4所示。

表4 精制磷酸产品($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%)消耗指标

Table 4 Consumption index of refined phosphoric acid products ($w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ 85%)

物料名称	规格	吨产品消耗 设计值/t	吨产品 消耗实际值/t
预处理磷酸	$w(\text{P}_2\text{O}_5) \geq 47.0\%$	≤ 2.47	2.32
萃取剂		≤ 0.006 2	0.006
碳酸钡	纯度 ≥ 98%	≤ 0.015	0.005
碳酸钠	纯度 ≥ 98%	≤ 0.010	0.003
五硫化二磷	纯度 ≥ 99%	≤ 0.000 5	0.000 3
氢氧化钠		≤ 0.02	0.007
过氧化氢	$w(\text{H}_2\text{O}_2) \geq 27.5\%$	≤ 0.026	0.02
工艺水		≤ 6.20	0.85
电		≤ 243 ^①	168 ^①
脱盐水		≤ 1.97	1.04
饱和蒸汽	0.4 ~ 0.5 MPa	≤ 2.8 ^②	2.30 ^②
压缩空气	0.5 ~ 0.8 MPa	≤ 40 ^②	28.78 ^②

注:①单位kW·h;②单位m³。

4 结束语

根据新能源产业发展规划,云天化基于在四川大学溶剂萃取法精制工业磷酸方面多年的生产经验和技术积累,在四川大学建设原云天化国际三环分公司100 kt/a精制磷酸装置原设计基础上,针对四川大学原技术存在产品酸浓度偏低、杂质含量偏高、特别是砷、氟、TOC偏高等问题,结合电池材料前驱体磷酸铁的生产要求,开展了100 kt/a溶剂萃取法精制工业磷酸优化技术研发,形成100 kt/a溶

剂萃取法精制工业磷酸成套优化技术。基于该成套优化技术,2022年先后在云南天安化工有限公司、云南三环中化化肥有限公司建成投产了3套100 kt/a湿法磷酸精制装置,一次性投料试车成功,均顺利实现达标达产,成功获得了产业化应用,创造了显著的经济效益和社会效益,不仅为云天化新能源产业发展提供了有力支撑,同时实现了四川大学原溶剂萃取法精制工业磷酸技术的较大升级。

[参考文献]

- [1] 张俊,韩喜超,潘继斐,等.国内湿法磷酸净化技术的工业化应用[J].磷肥与复肥,2020,35(11):30-31.
ZHANG J, HAN X C, PAN J F, et al. Industrial application of domestic WPA purification technology [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(11): 30-31.
- [2] 石通杉,刘旭,杨俊.湿法磷酸净化技术研究现状及发展[J].磷肥与复肥,2023,38(6):26-28.
SHI T S, LIU X, YANG J. Research status and development of purification technology for wet-process phosphoric acid [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(6): 26-28.
- [3] 閻松柏,徐金桥,李志刚.湿法磷酸净化新技术的开发与应用[J].化肥设计,2013,51(6):48-51.
XIA S B, XU J Q, LI Z G. Development and application for new technology of phosphoric acid purification with wet method [J]. Chemical Fertilizer Design, 2013, 51(6): 48-51.
- [4] 钟本和,方为茂,李军,等.中国湿法磷酸净化技术(工程)进展情况[J].无机盐工业,2013,45(2):8-10.
ZHONG B H, FANG W M, LI J, et al. Progress in purification technology (engineering) of wet process phosphoric acid in China [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2013, 45(2): 8-10.
- [5] 侯炎学,陈志孚,吴杰,等.华中师范大学湿法磷酸精制技术的应用及优势[J].化肥设计,2018,56(3):1-3.
HOU Y X, CHEN Z F, WU J, et al. The application and advantage of wet process phosphoric acid refining technology of Central China Normal University [J]. Chemical Fertilizer Design, 2018, 56(3): 1-3.