◆磷及关联产业工艺创新◆

饲料级磷酸氢钙产业现状与发展趋势

沈海龙，侯屹东，周江润，李　雪

（云南磷化集团有限公司 磷化工事业部，云南 昆明　650600）

［摘　要］基于饲料级磷酸氢钙产业上、中、下游的基础数据，详细分析饲料级磷酸氢钙产业现状，找出饲料级磷酸氢钙产业在发展过程中面临的困难与挑战。结合时代发展需要及相关专业知识，提出针对性的改善建议，一是构建数字化、自动化生产线；二是坚持打造绿色清洁产品；三是提升产品质量与安全性；四是推动新工艺、新技术研发升级，旨在采取一系列行之有效的策略，促进饲料级磷酸氢钙产业快速完成转型升级，坚定不移迈向健康可持续发展的道路。

［关键词］饲料级磷酸氢钙；产业现状；发展趋势

［中图分类号］TQ126.3+5　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2024）09-0028-06

Current situation and development trend of feed-grade dicalcium phosphate industry

SHEN Hailong, HOU Yidong, ZHOU Jiangrun, LI Xue

(*Phosphorus Chemical Business Unit*, *Yunnan Phosphate Group Co.*, *Ltd.*, *Kunming* 650600, *China*)

Abstract: Based on the basic data of the upstream, midstream, and downstream of feed-grade dicalcium phosphate industry, the current situation of the feed-grade dicalcium phosphate industry is analyzed in detail, and the difficulties and challenges faced by the feed-grade dicalcium phosphate industry in its development process are pointed out. Based on the needs of the times and relevant professional knowledge, targeted improvement suggestions are proposed, firstly, build a digital and automated production line; Secondly, persist in creating green and clean products; The third is to improve product quality and safety; The fourth is to promote the research and upgrading of new processes and technologies, aiming to adopt a series of effective strategies to quickly complete the transformation and upgrading of the feed-grade dicalcium phosphate industry, and firmly move towards the path of healthy and sustainable development.

Key words: feed-grade dicalcium phosphate; industry situation; development trend

0　引言

饲料级磷酸氢钙（$CaHPO_4·2H_2O$，简称饲钙，DCP），是一种富含磷、钙两种营养元素的家禽、家畜饲料添加剂[1]，适用于《饲料添加剂　磷酸氢钙》（GB 22549—2017）的质量标准。

饲料级磷酸氢钙的磷钙质量比为1.00∶1.29，刚好等同于动物骨骼中的磷钙比[2]。动物的胃酸能全部溶解饲料级磷酸氢钙，促进营养吸收、新陈代谢，为动物体内机能运转提供必要的激素、酶以及维生素等[3]。国内较为常见的饲料级磷酸氢钙产品主要有4种规格，磷含量（以w(P)计）分别为16.5%、17.0%、18.0%、21.0%[4]。饲料级磷酸氢钙一直是国际上公认的最佳饲料矿物添加剂产品，畅销于国内外各个国家和地区，未来应用前景十分可期。

但是饲料级磷酸氢钙的生产环保压力越来越大，局部市场竞争趋于白热化，部分地区产能过剩、产品质量问题突出，依靠传统生产加工工艺，很难满足市场与日俱增的消费需求[5]。基于此，笔者对饲料级磷酸氢钙产业发展展开探究。

1　饲料级磷酸氢钙产业现状

1.1　产能、产量

最近5年我国饲料级磷酸氢钙产品产能、产量整体保持平稳。2021年产量同比下滑20.14%[6]，从2022年开始产量稳步上升；2023年饲料级磷酸氢钙产量增长至260万t，同比增长3.17%，产能为

［收稿日期］2024-03-25

［作者简介］沈海龙（1987-），男，云南玉溪人，助理工程师，从事磷酸氢钙生产工艺技术管理工作。E-mail：152803401@qq.com

［基金项目］中央引导地方科技发展专项资金“贫杂磷矿高效生产高品质绿色饲料磷酸钙盐产业化技术开发与转化”（202207AC110017）

450万t，同比下降1.75%。2019—2023年我国饲料级磷酸氢钙产能、产量见图1。

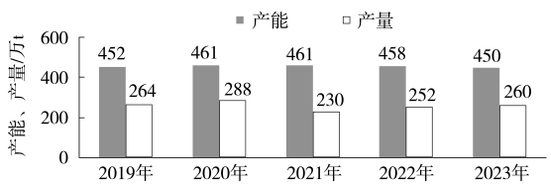

图1　2019—2023年我国饲料级磷酸氢钙的产能、产量

Fig. 1　Production capacity and yield of feed-grade dicalcium phosphate in China in 2019—2023

2023年我国饲料级磷酸氢钙主要生产企业产能情况见表1，天宝动物营养科技股份有限公司、云南云天化股份有限公司、四川发展龙蟒股份有限公司、昆明川金诺化工股份有限公司产能排名前4位。

表1　2023年我国饲料级磷酸氢钙主要生产企业产能情况

Table 1　Production capacity of major enterprises producing feed-grade dicalcium phosphate in China in 2023

序号	企业	产能/(万t·a^{-1})
1	天宝动物营养科技股份有限公司	60
2	云南云天化股份有限公司	50
3	四川发展龙蟒股份有限公司	44
4	昆明川金诺化工股份有限公司	40
5	贵州川恒化工股份有限公司	36
6	云南胜威化工有限公司	36
7	四川绵竹市盘龙矿物质有限责任公司	26
8	赤峰川联矿物质饲料有限公司	25
9	广西鑫益矿物饲料有限公司	25
10	昆明云盘山农牧科技有限公司	25

1.2　市场需求与消费结构

根据贝哲斯咨询统计，2016—2022年全球和中国饲料级磷酸氢钙市场规模一直呈现上升的趋势[7]，见图2。

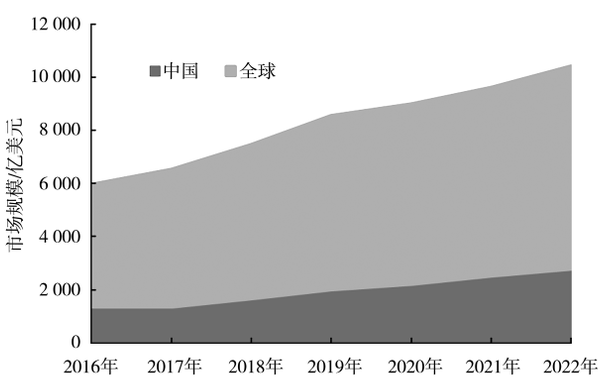

图2　2016—2022年全球和中国饲料级磷酸氢钙市场规模

Fig. 2　Market size of feed-grade dicalcium phosphate in Global and China in 2016—2022

我国是饲料级磷酸氢钙净出口国[8]。根据海关统计数据，2023年1—12月国内饲料级磷酸氢钙出口累计170 806.89 t（见图3）。

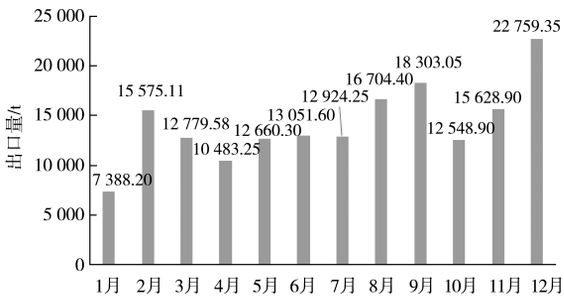

图3　2023年我国饲料级磷酸氢钙出口走势

Fig. 3　Export trend of feed-grade dicalcium phosphate in China in 2023

2023年12月，我国饲料级磷酸氢钙主要出口省份包括云南、贵州、江苏、四川、河北、山东等，其中云南省出口量最大，达到11 683.35 t，占总出口量的51.33%；其次是贵州省，出口量为2 819.5 t，占总出口量的12.39%；再次是江苏省，出口量为2 577.0 t，占总出口量的11.32%；前3位出口量约占总出口量的75.04%。由此看出，云南省、贵州省以及江苏省是我国饲料级磷酸氢钙的重要产区[9]。2023年我国各省饲料级磷酸氢钙出口量占比见图4。

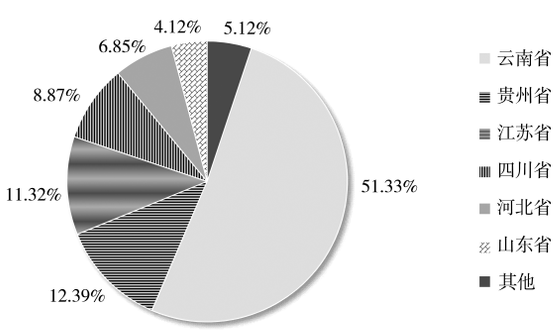

图4　2023年12月我国各省饲料级磷酸氢钙出口占比

Fig. 4　The export proportion of feed-grade dicalcium phosphate in each provinces in December of 2023

1.3　节能环保现状

节能提效是能源战略之首，同时也是我国可持续发展道路中不可或缺的一环[10]。目前我国生态文明建设仍处于“压力叠加、负重前行”的关键时期，生态环境保护依然长期处于“滚石上山、爬坡过坎”的阶段[11]，在一定程度上促使饲料级磷酸氢钙产品的卫生指标日趋严格。卫生指标达标的饲料级磷酸氢钙能促进动物吸收、生长，增强动物的体质；反之，则会对动物的生长和身体健康带来

严重威胁[12]。因此，在生产饲料级磷酸氢钙时，对其卫生指标控制标准都有明确的要求，包括但不限于砷、铅、汞、霉菌、细菌含量等指标，相关指标见表2。

表2 饲料级磷酸氢钙产品的卫生指标控制标准

Table 2 Hygienic index control standards for feed-grade dicalcium phosphate products

分类	污染物	检测依据	限量标准
重金属	砷	《食品中砷的测定》(GB/T 5009.11—2017)	≤10 mg/kg
	铅	《食品中铅的测定》(GB/T 5009.12—2017)	≤20 mg/kg
	汞	《食品中汞的测定》(GB/T 5009.17—2017)	≤0.1 mg/kg
微生物	细菌	《食品微生物学检验方法 试验B法》(GB/T 4789.2—2016)	$\leq 1.0 \times 10^5$ cfu/g
	霉菌	《食品微生物学检验方法 试验O法》(GB/T 4789.15—2016)	$< 5.0 \times 10^2$ cfu/g

1.4 生产工艺技术现状

目前国内外饲料级磷酸氢钙的生产工艺主要分为两种，一是热法工艺，二是湿法工艺，不同生产工艺技术适用于不同的场景[13]，见表3。

表3 饲料级磷酸氢钙生产工艺技术及特点

Table 3 Production technology and characteristic of feed-grade dicalcium phosphate

分类	方法	主要生产工艺技术	工艺特点
热法工艺	稀磷酸浓缩脱氟法	磷酸与石灰石粉直接按比例混合反应;冷却空气进入料浆冷却塔,与热脱氟料浆换热排出,回收酸液,往复循环;冷却后的脱氟料浆进入脱氟压滤机压滤,压滤后的脱氟清液会进入脱硫反应槽	工艺简单,能耗比较低,但是磷酸的成本比较高;对磷矿品位要求高,同时要求磷矿中 MgO、$A1_2O_3$ 含量低;需要专业的浓缩脱氟设备
湿法工艺	稀磷酸净化脱氟法	盐酸法:盐酸分解磷矿,萃取磷酸净化除氟,两段中和,$CaCl_2$ 母液再生复用	氯化钙副产品市场需求限制,对氯含量限制比较高
		过磷酸钙水浸法:水浸过磷酸钙后,净化脱重金属,脱氟生产饲料级磷酸氢钙	生产方法简单易行,硫酸、CaO 消耗量少,可用含杂质量较高的磷矿
		两段中和法:一段中和脱氟,同时输出副产白肥;二段中和沉淀出饲料磷酸盐	工艺过程简单,操作方法易掌握,产品有害杂质含量低

目前国内大部分生产企业采用湿法工艺中的两段中和法生产饲料级磷酸氢钙[14]，其工艺流程见图5。

国内大部分饲料级磷酸氢钙生产企业采用传统生产工艺技术，造成饲料级磷酸氢钙产业生产效能一直无法取得质的飞跃，无法享受互联网信息时代带来的技术红利，带动产业腾飞发展。

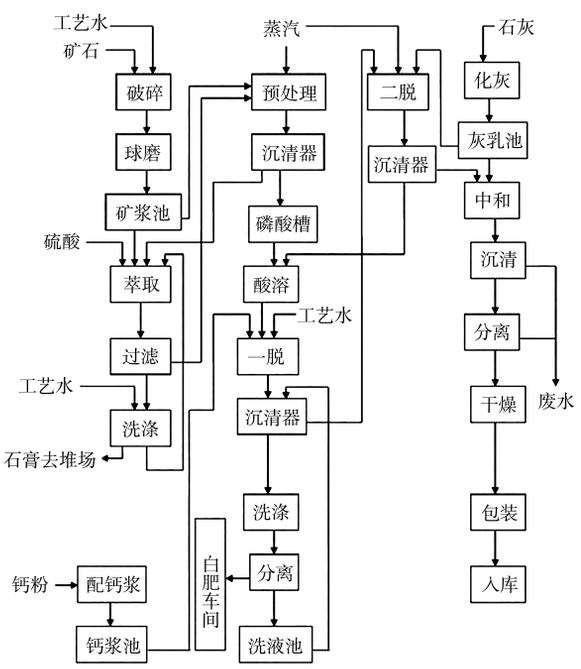

图5 两段中和法生产饲料级磷酸氢钙工艺流程

Fig. 5 Process flow of producing feed-grade dicalcium phosphate by two-stage neutralization method

1.5 原材料供应现状

饲料级磷酸氢钙产业的上游主要原材料为磷矿石、石灰石（碳酸钙），以及硫酸、氧化钙等[15]。

1.5.1 磷矿石

根据智研咨询统计数据，2019—2023年我国磷矿石产量一直处于稳步递增的状态，如图6所示。2023年我国磷矿石产量达到10 531万t，同比增加0.53%。

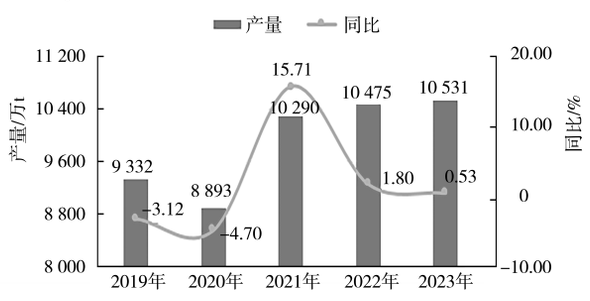

图6 2019—2023年我国磷矿石产量

Fig. 6 Yield of phosphate rock in China in 2019—2023

1.5.2 碳酸钙

2019—2023年我国碳酸钙产量处于稳中有升

的状态，如图7所示。2023年我国碳酸钙产量为4 100万t，同比增加2.24%。

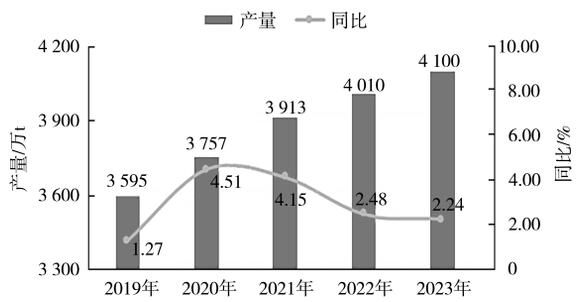

图7　2019—2023年我国碳酸钙产量

Fig. 7　Yield of calcium carbonate in China in 2019—2023

1.5.3　硫酸

2019—2023年我国硫酸产量呈一路“高歌猛进”的状态，2023年增速稍有放缓，详见图8。

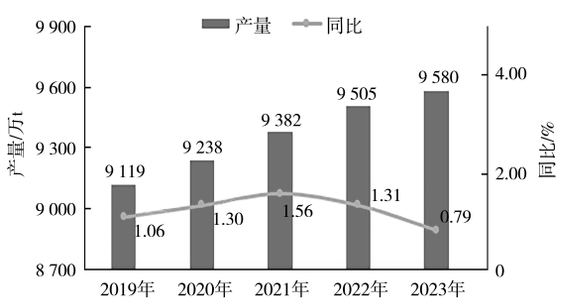

图8　2019—2023年我国硫酸产量

Fig. 8　Yield of sulfuric acid in China in 2019—2023

1.5.4　小结

综上所述，我国饲料级磷酸氢钙的原材料供应比较充分，磷矿石、碳酸钙、硫酸等上游原材料产量都处于稳步上升的态势，为扩大饲料级磷酸氢钙产业规模提供先决条件，也避免了饲料级磷酸氢钙生产过程中原材料恶性竞争、哄抬物价等扰乱市场秩序的行为发生，对饲料级磷酸氢钙产业健康、稳定、可持续发展具有积极的意义。

2　饲料级磷酸氢钙产业发展面临的挑战

2.1　部分产能过剩，市场竞争白热化

国内饲料级磷酸氢钙产业分布不均衡，云南省、贵州省以及江苏省饲料级磷酸氢钙产业发展十分迅猛，几乎垄断了饲料级磷酸氢钙产品出口份额，产品供不应求。

但国内其他省份的饲料级磷酸氢钙产业生存空间被进一步挤压，部分地区已然出现产能过剩的问题，陷入白热化的“价格战”，不利于国内饲料级磷酸氢钙产业的可持续发展，而且很可能会陷入“寡头垄断”的市场陷阱。

为了应对这一问题，国内其他省份的饲料级磷酸氢钙产业相关企业势必要持续开拓市场，主动求变，拥抱当下互联网信息时代、高新科学技术，快速完成转型升级，跟上时代发展的步伐，大步快走缩小与云南、贵州、江苏等地的差距。

2.2　节能环保压力大，排放标准趋严

随着环境保护政策趋严，饲料级磷酸氢钙行业环保压力加大。饲料级磷酸氢钙在生产、加工、包装等环节往往会涉及各类环境污染物的排放，尤其是生产加工环节，有害物质砷、铅、汞等重金属含量，以及细菌、霉菌等控制标准十分严格。部分从事饲料级磷酸氢钙生产加工的企业不得不升级或调整工艺技术，增加或降低物理反应、化学反应的药剂用量，以减少各类环境污染物排放，这给许多饲料级磷酸氢钙生产企业带来了巨大的挑战和经营成本压力。

2.3　产品质量参差不齐，安全问题突出

目前我国饲料级磷酸氢钙执行的是国家统一质量检验标准（GB 22549—2017），磷钙质量比基本保持在1.00∶1.29。但是由于每个地区的日常监督管理存在很大的差异性，导致不同地区生产加工的饲料级磷酸氢钙产品质量参差不齐[16]。部分地区饲料级磷酸氢钙产品在抽检过程中，甚至出现了重金属、微生物含量超标等问题，严重危及养殖业的稳定发展，给养殖户带来了许多未知的风险。这些产品质量问题、安全问题反复出现，会影响饲料级磷酸氢钙产品在市场上的声誉，降低消费者对其信任度和满意度，不利于饲料级磷酸氢钙产业的健康平稳发展。

2.4　生产工艺落后，新技术应用不足

现阶段大部分饲料级磷酸氢钙产业相关企业采用湿法工艺中的两段中和法工艺作为脱氟、除硫的关键工艺。这一类生产加工工艺涉及的环节比较庞杂，工序与工序之间须紧密配合，才能最大限度保证饲料级磷酸氢钙产品通过最终的质量检验检测。无形中要求饲料级磷酸氢钙生产企业在生产加工过程中投入大量的人力、物力、财力实施强监管，以确保产品品质达标，规避安全问题。这也反映了国内饲料级磷酸氢钙产业面临着生产工艺传统落后，缺乏新技术的应用，生产加工环节多，管理内容多，整体的生产加工效率比较低下。

3　饲料级磷酸氢钙产业发展趋势

3.1　构建数字化、自动化生产线

饲料级磷酸氢钙生产企业要引入ERP（企

业资源计划）、MES（制造执行系统）等先进的生产管理系统，将饲料级磷酸氢钙生产流程全过程纳入数字化管理范畴，运用大数据技术，精准把握生产加工信息、参数以及效能，为优化提升饲料级磷酸氢钙生产企业的加工效率奠定基础。

通过在饲料级磷酸氢钙生产企业加工车间引入智能机器人、自动化设备替代传统的人工操作，尤其是一些危险性比较大的工序，应实施全自动化生产加工，提高生产效率的同时把生产加工的精准度提升至新的台阶。相关企业通过大数据技术、数字化技术、人工智能技术，精准收集饲料级磷酸氢钙的生产数据，将该数据作为生产、运营决策的重要依据，优化生产加工流程，提高产品质量，对推动饲料级磷酸氢钙产业实现智能化、数字化生产具有重要意义。

3.2　打造绿色清洁产品

鼓励饲料级磷酸氢钙产业普及推广节能环保型的原材料，采用环保的生产工艺，减少有害溶剂、添加剂或反应物的使用，降低重金属含量，降低废水、废气、废渣等环境污染物排放量，打造绿色、节能、清洁的饲料级磷酸氢钙产品。在企业生产加工饲料级磷酸氢钙产品时，在生产工艺环节增强废渣回收利用力度，妥善处置生产副产品（如白肥、氯化钙等），把固废资源化处理作为企业经济发展新的增长极。

与此同时，饲料级磷酸氢钙生产企业要加强污水处理、废气处理设施的建设，以及日常的运营维护；重点对产品的重金属（砷、汞、铅等）含量、微生物污染物（细菌、霉菌等）含量等指标实施监测，确保生产的饲料级磷酸氢钙产品符合绿色节能环保的基本要求。

3.3　提升产品质量与安全性

饲料级磷酸氢钙生产企业要进一步加强内部质量管理体系的搭建，在生产工艺流程中不断优化完善产品质量管理规范，确保饲料级磷酸氢钙产品质量稳定可靠。从源头上控制饲料级磷酸氢钙产品的原材料质量，包括磷矿石、碳酸钙、硫酸等，对进入饲料级磷酸氢钙生产加工的每一批原材料实行100%抽样送检，送检比例不小于该批次的10%，确保原材料品质达到要求。

针对不同客户对饲料级磷酸氢钙产品质量、安全性能要求有差异性的问题，通过采用先进的质量检测控制技术，对产品生产加工全过程实行全面检测把关；同时增强与客户的沟通交流，及时了解客户对饲料级磷酸氢钙产品的质量需求，在符合生产标准的前提下根据客户需求量身定制饲料级磷酸氢钙产品，提升饲料级磷酸氢钙产业在市场上的口碑，为赢得客户认可奠定基石。

3.4　推动新工艺、新技术研发升级

加大对饲料级磷酸氢钙产业的科研投入，企业积极与国内外著名的科研机构、高校协同合作，建立“校企”“科企”合作模式，依托于专业的人才优势，共同推进新工艺、新技术的研发应用，推动饲料级磷酸氢钙生产工艺的改革换代，谋求高质量发展的道路。

相关企业在现有生产工艺基础上实施“大刀阔斧”的改革，大胆引入人工智能（AI）技术、物联网技术、大数据技术、云计算技术，改变传统的生产加工思维模式，为每个生产工序赋能，利用信息技术的力量推动传统生产工艺转型升级，助力饲料级磷酸氢钙产业走向健康可持续发展的道路。

4　结论

饲料级磷酸氢钙作为国内外养殖业饲料添加剂的首选，产品的品质保证是赢得市场认可和消费者青睐的前提。饲料级磷酸氢钙产业发展过程中，面临着巨大的挑战，如部分产能过剩，市场竞争白热化；节能环保压力大，排放标准趋严；产品质量参差不齐，安全品质问题突出；生产工艺落后，新技术应用不足。这些问题的存在，严重拖累了饲料级磷酸氢钙产业高质量发展步伐。为此，结合国内外经济发展的大背景，提出推动饲料级磷酸氢钙产业发展的改善策略，建议构建数字化、自动化生产线，数字赋能企业，提高企业加工效率；坚持打造绿色清洁的饲料级磷酸氢钙产品；夯实内功，提高产品质量和安全性能；研发、推广应用新工艺、新技术，更新迭代生产工艺，为饲料级磷酸氢钙产业发展找到一条可持续发展的最佳路径。

［参考文献］

［1］　缪钊，吴德乾.降低饲料级磷酸二氢钙原料磷酸消耗[J].磷肥与复肥，2023，38(10)：25-26.
MIAO Z，WU D Q. Reduction of phosphoric acid consumption for feed-grade calcium dihydrogen phosphate[J]. Phosphate & Compound Fertilizer，2023，38(10)：25-26.

［2］　吴文彪，覃伟宁.含磷废物制备饲料级磷酸氢钙的结晶工艺研究[J].磷肥与复肥，2023，38(7)：12-16.
WU W B，QIN W N. Crystallization process of feed-grade calcium hydrogen phosphate prepared from phosphorus

containing waste[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2023,38(7):12-16.

[3] 胡兆明,郭国清,邵帅,等.含磷废水制备饲料级磷酸氢钙工艺研究[J].磷肥与复肥,2022,37(12):13-15.
HU Z M, GUO G Q, SHAO S,et al. Preparation process of feed grade DCP from wastewater containing phosphorus[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2022,37(12):13-15.

[4] 安玉波.饲料级磷酸氢钙预混器的研究与应用[J].设备管理与维修,2022(21):118-120.
AN Y B. Research and application of feed-grade calcium hydrogen phosphate premix[J]. Plant Maintenance Engineering, 2022(21):118-120.

[5] 黄平.盐酸生产氯化钙和饲料级磷酸氢钙技术经济分析[J].硫磷设计与粉体工程,2022(3):11-14.
HUANG P. Technical and economic analysis of calcium chloride and feed-grade calcium hydrogen phosphate production from hydrochloric acid [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering,2022(3):11-14.

[6] 黄平.盐酸法饲料级磷酸氢钙生产技术改造[J].磷肥与复肥,2022,37(2):23-25.
HUANG P. Technical modification for production of feed-grade dicalcium phosphate by hydrochloric acid process[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2022,37(2):23-25.

[7] 王波,周志鑫,许德华,等.渣酸制饲料级磷酸氢钙工艺研究[J].无机盐工业,2022,54(4):141-144.
WANG B, ZHOU Z X, XU D H, et al. Study on preparation process of feed grade DCP from sludge acid [J]. Inorganic Chemicals Industry,2022,54(4):141-144.

[8] 张国,姜威,何宾宾.饲料磷酸氢钙用湿法磷酸脱氟工艺[J].云南化工,2021,48(9):83-84.
ZHANG G, JIANG W, HE B B. The Feed Calcium Hydrogen Phosphate Aqueous Method Phosphoric Acid Defluorinate Craft Summarizes [J]. Yunnan Chemical Technology, 2021, 48 (9): 83-84.

[9] 韩朝应,张彩芹.含磷废水制备饲料级磷酸氢钙的技术研究[J].硫磷设计与粉体工程,2021(4):20-23.
HAN C Y, ZHANG C Q.Technological research on production of feed grade calcium phosphate from phosphorus-containing effluent [J].Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering,2021(4):20-23.

[10] 邓国颂,吴文彪,覃伟宁.硫磷混酸废液浸出含磷污泥工艺研究[J].磷肥与复肥, 2023,38(11):12-15.
DENG G S, WU W B, QIN W N. Leaching process of phosphorus-containing sludge by mixed waste acid containing sulfuric acid and phosphoric acid[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023,38(11):12-15.

[11] 崔玲,谢聪,邱朝坤.氢化物-原子荧光光度法检测饲料级磷酸氢钙中砷含量[J].轻工科技,2021,37(4):145-146.
CUI L, XIE C, QIU C K. Determination of arsenic in feed grade dicalcium phosphate by hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. Light Industry Science and Technology,2021,37(4):145-146.

[12] 王丽萍,汪武萍.ICP-AES测定饲料级磷酸氢钙中的磷、镁、铁、铝、硅、钙、铬[J].云南化工,2021,48(1):62-64.
WANG L P,WANG W P. ICP-AES determination of feed grade calcium hydrogen phosphate phosphorus, magnesium, iron, aluminum, silicon, calcium, chromium content [J]. Yunnan Chemical Technology,2021,48(1):62-64.

[13] 刘洪波,刘安荣,彭伟,等.硫酸法制备低氟饲料级磷酸氢钙试验研究[J].湿法冶金,2020,39(5):415-418.
LIU H B,LIU A R, PENG W,et al. Preparation of Feed-grade Calcium Hydrogen Phosphate with Low Fluorine by Sulfuric Acid Method [J]. Hydrometallurgy,2020,39(5):415-418.

[14] 李燕凤.生产饲料级磷酸氢钙用湿法磷酸净化技术探讨[J].硫磷设计与粉体工程,2020(4):22-26.
LI Y F. Review of Technology for Purification of Wet-process Phosphoric Acid for Production of Feed Grade Calcium Hydrogen phosphate[J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering,2020(4):22-26.

[15] 王硕磊,陈葵,周晓葵,等.以制备饲料级磷酸氢钙的副产物为原料制备水溶肥料[J].化工矿物与加工,2019,48(1):46-51.
WANG S L, CHEN K, ZHOU X K, et al. Preparation of water-solute fertilizer from by-product of feed grade calcium hydrophosphate[J]. Industrial Minerals & Processing, 2019, 48 (1):46-51.

[16] JOHN A,GISELE A. Recovery and separation of phosphorus as dicalcium phosphate dihydrate for fertilizer and livestock feed additive production from a low-grade phosphate ore[J]. RSC Advances, 2020, 10 (63): 38640-38653.