

## ◆企业经营与管理◆

精益管理助力湿法磷酸生产降本增效的  
实践与探索

周华波

(云南云天化红磷化工有限公司, 云南 开远 661699)

**[摘要]** 探讨精益管理在湿法磷酸全产业链生产模式下实现降本增效的具体实践与路径。以云南云天化红磷化工有限公司为案例, 围绕磷矿石加工、湿法磷酸生产至磷复肥制造的全流程, 系统实施了以“三精管理”(组织精健化、管理精细化、经营精益化)为核心的精益管理策略。实践表明, 湿法磷酸生产全产业链实行精益管理后, 显著提升了企业运营效率与经济效益: 湿法磷酸产量同比增长5.04%, 磷复肥产量增长10.00%, 磷酸综合能耗降低8个百分点, 氟回收率由每吨 $P_2O_5$  42 kg提高至70 kg, 年增加经济效益约630万元。同时, 企业创新能力与人才队伍建设也得到同步加强。

**[关键词]** 精益管理; 湿法磷酸; 全产业链; 降本增效; 流程优化; 资源综合利用

**[中图分类号]** TQ126.3\*5; TQ273 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 12-0122-07

**Practice and exploration of lean management for reducing costs and increasing efficiency  
in wet-process phosphoric acid production**

ZHOU Huabo

(Yunnan Yuntianhua Red Phosphorus Chemical Co., Ltd., Kaiyuan 661699, China)

**Abstract:** The specific practices and paths of implementing lean management are explored to reduce costs and increase efficiency in the entire wet-process phosphoric acid production chain. Taking Yunnan Yuntianhua Red Phosphorus Chemical Co., Ltd. as a case, a lean management strategy centered on “three precision management” (organizational refinement, management refinement and operational lean) is systematically implemented around the entire process of phosphate ore processing, wet-process phosphoric acid production, and phosphate compound fertilizer manufacturing. Practice has shown that after applying lean management in wet-process phosphoric acid production chain, the operational efficiency and economic benefits of enterprises are improved significantly: The production of wet-process phosphoric acid is increased by 5.04% year-on-year, the production of phosphate compound fertilizer is increased by 10.00%, the comprehensive energy consumption of phosphoric acid is decreased by 8 percentage points, the fluorine recovery rate is increased from 42 kg to 70 kg for per ton  $P_2O_5$ , and the annual economic benefits is increased by about 6.3 million RMB Yuan. At the same time, the innovation capability of enterprises and the construction of talent teams have also been strengthened synchronously.

**Key words:** lean management; wet-process phosphoric acid; entire industry chain; reduce costs and increase efficiency; process optimization; comprehensive utilization of resources

**0 引言**

随着全球农业现代化进程加速, 对磷复肥的需求持续增长, 作为磷复肥生产核心原料的湿法磷酸, 其市场规模也在不断扩大。根据行业报道, 2015—2025年, 全球湿法磷酸市场规模已超过300亿美元, 湿法磷酸产量 $P_2O_5$ 由2000年的2 430万t增至2025年的3 944万t左右, 年均增长率在

3.0%~3.5%。预计2025—2030年, 全球湿法磷酸产量年均增速将达3.8%, 市场规模或突破400亿美元。然而, 随着市场需求增长, 行业竞争变得愈加激烈, 同时原材料价格频繁波动, 环保政策也日益

[收稿日期] 2025-09-10

[作者简介] 周华波(1981-), 男, 云南昭通人, 高级工程师, 专注于湿法磷酸生产工艺的研究与管理工作。

严格,这些因素对湿法磷酸生产企业在成本控制、产品质量和生产效率方面提出了更高的要求。作为磷复肥行业的重要参与者,云南云天化红磷化工有限公司(以下简称公司)面临着与行业内其他企业类似的挑战,而如何从纷繁复杂的市场环境中脱颖而出,增强企业的竞争能力,则成为摆在公司面前的一道待解难题。精益管理作为一种先进的管理理念和方法,已经在制造业取得了显著成效,将其引入湿法磷酸生产领域,对于公司优化生产流程、降低成本、提高效率具有重要的现实意义。

本研究旨在深入分析湿法磷酸生产中实施精益管理的实践经验,通过精细化管理、技术创新、精准化控制等策略,系统总结其降本增效的有效路径,为同行业企业提供可借鉴的实践经验和理论指导,帮助企业提升整体竞争力,推动湿法磷酸生产行业的可持续发展。同时,本研究也有助于丰富精益管理在化工行业应用的理论体系,为相关领域的学术研究提供新的视角和案例支撑。

## 1 精益管理理论概述

### 1.1 精益管理的内涵

精益管理源于20世纪50年代的丰田生产方式,其核心目标是消除浪费、优化流程和创造价值,并通过一系列系统的方法和工具来实现这些目标,进而实现资源的高效使用和生产效率最大化。在制造业中,精益管理通过减少库存、缩短生产周期、提高产品质量等措施,显著提升了企业的竞争力<sup>[1]</sup>。在化工行业,精益管理同样强调对生产过程的精细化管理,消除生产环节中的非增值活动,如物料浪费、能源消耗过高、设备闲置等,以实现成本降低和效益提升<sup>[2]</sup>。精益管理注重全员参与,鼓励员工积极建言献策,不断提高企业生产技术水平,完善企业文化。

### 1.2 精益管理的原则与方法

精细管理包含5个核心原则:定义价值,即明确产品或服务的价值是从客户需求出发的;价值流识别,从原材料到客户交付整个价值流对产品或服务进行分析,找出浪费的环节;流动,使价值通过流程的优化而流动顺畅,减少滞后,避免等待;拉动,生产要根据顾客的需要,切忌生产过度;做到尽善尽美,精益求精,追求零浪费、零瑕疵的目标<sup>[3]</sup>。

在具体方法上,7S管理以开展整理、整顿、清扫、清洁、素养、安全和节约等活动,对生产现场加以规范,有助于提高工作效率和安全性;价值

流程图(VSM)通过绘制生产过程中的信息流、物流和价值流,直观展示浪费环节,为流程优化提供依据;看板管理作为一种可视化的管理工具,能够实现准时化生产,并通过生产和物料信息的传递,减少库存积压;六西格玛管理则是以数据为驱动,通过统计分析和过程改进来降低产品的缺陷率,提升产品的品质。这些方法在化工生产中可以灵活运用,针对不同的生产环节和问题,制定相应的改进措施。

### 1.3 精益管理在化工行业的应用现状

近年来,精益管理在化工行业的应用逐渐增多,许多化工企业通过引入精益管理理念和方法,取得了显著的经济效益和管理成效。在成本控制上,企业通过优化生产流程,降低原料消耗和能源成本,生产成本下降幅度较大;在质量管理上,借助六西格玛管理等方法,使产品稳定性、合格率得到了提高;在生产效率上,通过价值流动分析,优化工艺,使生产周期缩短,设备利用率提高。然而,目前精益管理在化工行业的应用仍存在一些问题:(1)部分企业对精益管理的理解不够深入,对其应用流于形式;(2)精益管理的实施缺乏系统性,未能与企业的战略规划和业务流程有效结合;(3)员工参与度不高,缺乏持续改进的动力等。这些问题制约了精益管理在化工行业的进一步推广和应用,也为精益管理助力湿法磷酸生产降本增效实践提供了背景和参考。

## 2 湿法磷酸生产现状与问题分析

### 2.1 公司概况

公司成立于1966年,为集选矿、制酸、造肥及精细化工于一体的大型磷复肥生产企业,公司业务涵盖化肥生产、化工原料销售、磷矿石加工及新能源技术研发,产品(磷酸二铵等)远销东南亚市场。公司拥有先进的生产设备和完善的质量管理体系,秉承绿色发展理念,推进绿色高质量发展,随着生产规模不断扩大,现已发展成为具有完善产业链的大型化工企业。

### 2.2 湿法磷酸生产面临的挑战

1) 外部环境。受市场供求关系、政策调控等因素影响,磷矿石等原材料价格波动较大,企业采购成本增加,经营风险加大;在环保政策日益严格的情况下,湿法磷酸生产过程中产生的废气排放、磷石膏无害化处理及综合利用等问题成为企业面临的重要挑战,需要企业在环保设施建设、污染治理等方面投入大量资金,进一步加大成本压力。除此

之外,行业内企业数量众多,市场竞争激烈,产品同质化严重,企业只有不断向高端化、绿色化、优质化发展,提升产品品质并降低生产成本,才能获得更多市场份额,在竞争中立足。

2) 内部管理。公司存在生产效率不够高的问题,部分生产过程管理、设备管理手段等不够先进,装置产能释放不足,生产成本控制还有挖掘空间,如原材料的浪费和能源的消耗;技术创新能力不足,新技术、新工艺研发和应用滞后。这些问题一定程度上制约了公司的可持续、健康、绿色发展,促使企业寻求新的管理理念和方法来实现降本增效,提升核心竞争力。

### 3 精益管理降本增效的实践策略

公司对磷矿、磷酸、化肥生产全流程开展精益成本管理,成功实现了精益成本管理从磷矿石加工、湿法磷酸生产到磷复肥加工的全产业链覆盖。这种模式不仅有利于企业有效控制磷矿、磷石膏的质量和数量,有效统筹各种资源降低成本、提高资源利用率,还能根据市场需求变化灵活调整产品类型及组成比例,从而增强企业的市场适应能力和竞争实力。

#### 3.1 管理精细化策略

##### 3.1.1 组织变革

为打破传统管理模式桎梏,推行契约化管理模式,建立项目经理部。企业与项目经理部签订目标责任书,项目成本、质量、进度等均纳入考核指标,同时给予项目经理部充分的自主权,即人员调配权、资源分配权、绩效考核权等。项目经理部针对不同的项目,组建跨部门、跨专业的项目团队,打破部门壁垒,合理调配资源,集中兵力打歼灭战,同时充分调动全体员工的工作积极性及创造性。

从“三精管理”的组织精健化来看,公司的契约化管理模式减少了组织的层级和冗余,可使项目组更快地响应市场的需求变化以及生产环节的问题点,并提升组织的灵活度和适应性;再者,在目标责任书中明确责任到岗、任务到人,避免职责不清楚而造成低效以及无效资源的浪费,也是契合于组织精健化要求的“三精管理”。

##### 3.1.2 岗位融合

公司提出了“精一会二懂三”的目标,把“维修+操作+技术”融为一体进行岗位融合培训;并制定了相关岗位融合培训方案,采用理论教学、实操演练、一带一等方式对员工进行培训,使得员工可

以掌握不同岗位的技能、知识,例如:操作岗位人员不仅要会操作设备,还要懂一些设备的基本维修知识、工艺技术等;维修岗位人员既要会维修设备,又要懂操作设备的过程及工艺的要求。通过岗位融合培训提高了员工的技能水平以及解决生产过程中出现问题的能力,提升了团队之间的协同配合能力。实际情况显示,开展岗位融合培训后,设备故障平均减少了10%~15%,生产效率增加了2%~5%。

就管理精细化而言,实行岗位融合有利于提升员工能力、优化人力资源,进而体现“三精管理”中管理精细化要深入到企业管理的各个环节中的理念<sup>[1]</sup>,包括在岗培训、岗位联合作业。此外,通过对各岗位复合型人才的培养,在生产中可以根据需要灵活调整各岗位间的人员配置,避免因为岗位原因造成的浪费,提高企业管理的精细化和高效化。

#### 3.1.3 对标管理

完善班组成本管理。加强公司计量设施及成本测算模型建设;运用信息化平台开展实时数据收集与数据分析;执行严格的成本考核指标及激励制度,把成本控制金额折算成一定比例的绩效奖金;成立“公司级、厂级、班组级、岗位级”对标体系,以本专业(或领域)最优秀的同行业企业、本单位优秀的班组和岗位作为标杆,找出差距、找出问题,形成整改措施,持续改进。如:某班组通过对标发现原材料消耗偏高,随即组织全体成员积极开展技术攻关,努力对生产工艺进行改进,在完全满足产品质量要求的同时又尽量减少材料消耗,使生产成本得到有效控制。

基于经营精益化的视角,公司开展的对标管理就是一种对成本进行精益化管控的有效方法,在实践中也需要通过建立科学、有效的成本测算模型及运用信息化的监控平台,对企业实际发生的所有成本数据进行精细化管理;而实际测算过程中也正是严格执行与不断完善公司成本管理办法的具体体现。另外,四级对标管理工作也能使企业不断向行业内的先进标杆靠近,不断地由多方面去深挖降本增效空间,从而充分发挥“三精管理”中经营精益化思想内涵。

#### 3.2 技术创新化策略

##### 3.2.1 矿浆质量提升

面对原矿品质下降的难题,公司创新采用“低压旋流+精矿再选”生产工艺,对矿浆进行深度处理。该工艺通过低压旋流器对矿浆进行分级,将

粗颗粒和细颗粒分离，然后对粗颗粒进行精矿再选，提高磷矿的回收率和品位。同时，对脱镁工艺流程进行升级，采用新型的脱镁药剂和设备，有效降低了矿浆中的镁含量，提高了矿浆质量。经过工艺改进后，矿浆 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 提高了3%， $w(\text{MgO})$ 降低了1.5%~2.0%，为后续的湿法磷酸生产提供了优质的原料。

技术创新化是公司应对原矿品质挑战的重要策略，这与“三精管理”中通过技术手段实现精细化管理和精益经营思路一致。在管理精细化方面，新的生产工艺和设备的应用，使得矿浆处理过程更加精细可控，提高了资源利用效率。在经营精益化方面，优质的矿浆原料对稳定湿法磷酸生产、降低生产成本、提升企业竞争能力、提升经营效益都有很大的帮助，有利于促进后续湿法磷酸生产的效率和产品质量提高。

### 3.2.2 优质磷酸提量

公司在浮选精矿浆过滤脱水环节应用过滤面积大、过滤速度快、自动化程度高的全新脱水设备，取代传统的过滤设备，有效提高了过滤效率和脱水效果。此外，企业积极研发半水-二水湿法磷酸生产新技术、新工艺，通过优化反应条件、改进设备结构等措施，提高了磷酸的产量和质量。实施新技术后，优质磷酸的产量提高了25.00%，产品质量也得到显著提升，满足了市场对高端磷酸产品的需求。

“三精管理”通过应用新技术、新设备简化流

程，消除人等机器和人员空余现象；实现生产组织精健化<sup>[1]</sup>；通过不断挖掘潜力，实现生产工艺、方法的过程控制精准化管理，从而达到管理精细化的目的；通过加强技术研发，生产优质磷酸产品，提高产品附加值，满足市场高端需求，创效增收，符合经营精益化追求价值最大化的诉求。

### 3.2.3 氟回收率提升

公司对磷酸生产过程中氟吸收系统工艺流程进行优化<sup>[4]</sup>，并进行环境整治及氟回收过程改造，在保证环保的前提下使用了更加先进的氟吸收技术与设备，提高了氟吸收效果，减少了氟的排放<sup>[5]</sup>。改造前氟回收工艺流程见图1。对氟回收系统升级改造<sup>[4]</sup>，将回收氟作为原料制备氟化物产品，提高产品的附加值，实现氟资源增效的目的。改造完成后氟回收工艺流程见图2，生产每吨磷酸（以 $\text{P}_2\text{O}_5$ 计）氟回收量达到70 kg，较之前的42 kg提高66.67%，每年能多回收1.4万t氟资源，创造经济效益约630万元<sup>[6]</sup>。

公司对氟回收系统的改造体现了“三精管理”的多方面要求。在管理精细化上，对氟吸收和回收流程的优化，是对生产环节进行深入细致管理的体现，通过精准控制提高了资源回收效率。经营精益化方面，氟资源的循环利用和氟化物产品的多元化生产，不仅减少了环保成本，还创造了新的经济增长点，实现了资源利用和经济效益的双重提升，符合经营精益化中对资源的高效利用和价值创造的原则<sup>[6]</sup>。

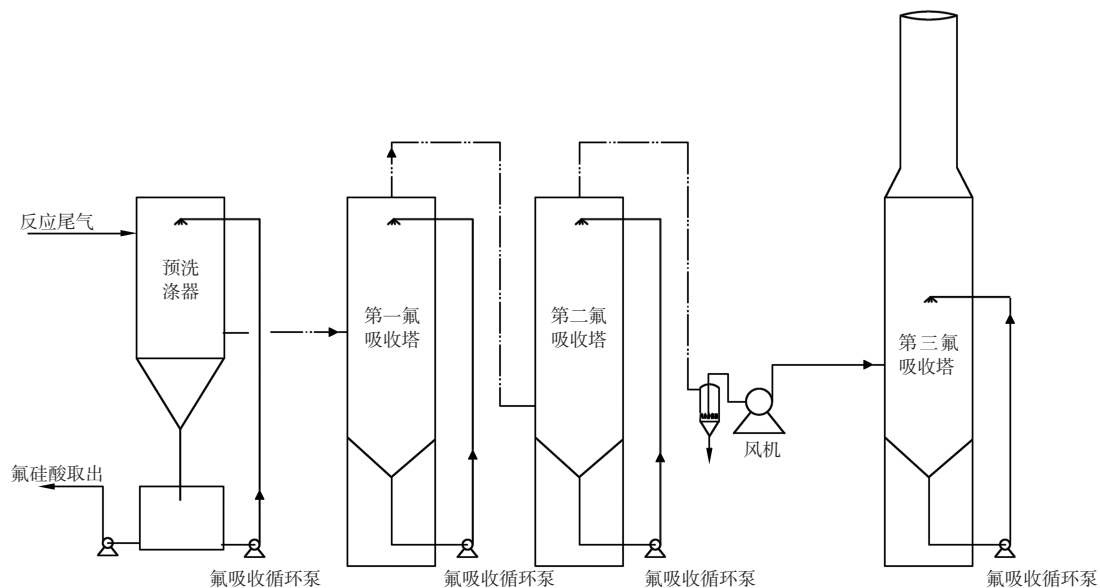


图1 优化前氟回收工艺流程

Fig. 1 Process flow of fluorine recovery before optimization

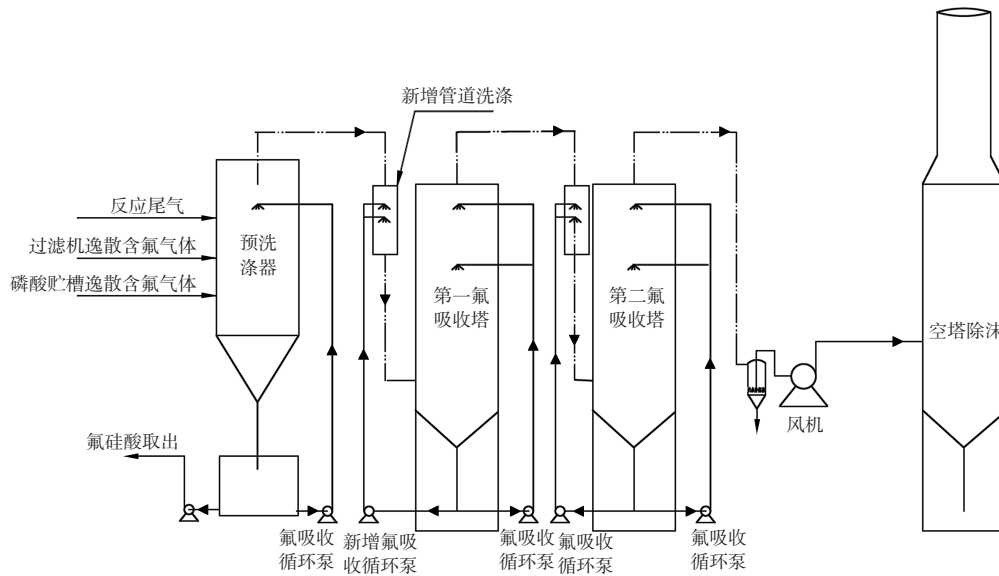


图2 优化后氟回收工艺流程

Fig. 2 Process flow of fluorine recovery after optimization

### 3.3 控制精准化策略

#### 3.3.1 矿浆质量控制

建立精矿浆配矿数学模型，通过对磷矿的化学成分、物理性质等数据进行分析，结合生产工艺要求，制定合理的配矿方案。企业对矿浆进行分段、分级控制，根据不同的生产需求，调整矿浆的浓度、粒度等指标，确保矿浆质量满足生产要求。同时，严格控制矿浆的固含量，通过优化过滤设备和工艺参数，使矿浆固含量稳定在合理范围内。通过精准的矿浆质量控制，企业能够生产出不同品质的产品，满足市场多样化的需求，提高了产品的市场竞争力。

从“三精管理”角度分析，矿浆质量控制的各项举措体现了管理精细化和经营精益化。对生产过程中的原料质量控制进行精细化操作，确保每个生产环节都达标，这就是管理精细化的具体实践<sup>[1]</sup>。通过对矿浆品质的精准把控，生产出满足市场需求的多样化产品，使得相应产品满足市场多样化的需求，并通过控制质量来提高产品自身市场竞争力，而这些都是经营精益化工作的一个具体表现，以市场为导向更加精准地服务客户。

#### 3.3.2 萃取指标精准控制

磷酸萃取生产过程中，硫酸的加入量及反应温度、时间等参数，均按矿浆成分及生产工艺要求，采用定矿调硫酸自动控制的操作方式进行精确控制，保证萃取反应的稳定性和高效性。同时，公司建立同岗位对标机制，通过对中控操作人员的操作数据进行对比分析，找出操作差异，分析造成差异

的原因，相互借鉴学习，统一操作方式方法，及时对异常指标进行调整和优化。通过这些措施，萃取过程的指标稳定性得到显著提高<sup>[7]</sup>，磷酸纯度和收率也得到有效提升，产品质量更加稳定。

在控制精准化策略中的萃取指标控制，符合“三精管理”思想的要义。通过对萃取过程中各个参数实行精准化管理以及同岗位中控人员之间对比互控，实现整个生产过程精准化，从而保证生产过程平稳运行、产品品质可控。从精益经营化的视角来看，稳定的萃取指标不仅提高了磷酸的纯度和收率<sup>[7]</sup>，进而提升了产品质量，降低了生产成本，还增强了企业的经济效益，从而实现了经营效益的精益化。

#### 3.3.3 过滤标准化操作控制

收集多年过滤机操作控制数据和操作经验，编制完成《过滤机操作标准化作业指导书》，对过滤机的操作流程、参数设置、维护保养等方面进行详细规范。对所有过滤操作人员、中控操作人员和相关管理人员进行培训，在日常生产操作过程中实现标准化管控。公司通过规范过滤操作关键控制点的过程管理，如滤布的选择和更换周期、滤饼的厚度控制、过滤真空度的调节、滤液液位控制范围等，确保磷酸料浆过滤过程的高效运行。同时，开展对标比武、劳动竞赛活动，激发职工的工作热情和创造性，使职工的操作技能、工作效率得到提高。通过这些措施，过滤机的运行效率得到显著提高，磷收率提高了0.8个百分点，吨磷酸标矿消耗量减少0.029 t，生产成本（按标矿

1 000元/t计)降低约29元/t。

### 3.3.4 浓缩操作精细化控制

在浓缩环节,引入先进的浓缩设备和自动控制系统,实现对浓缩过程温度、压力、液位等参数的精准监控和调节。通过优化浓缩工艺参数,降低了蒸汽消耗,提高了浓缩效率,使磷酸浓度稳定达到工艺要求。同时建立浓缩装置定期检修、维护体系,降低装置故障次数,保证生产连续、稳定。经统计,实施浓缩操作精准控制后,蒸汽单耗降低了16.00%,装置运转率提升8%左右,有效提升了生产效益。

## 4 精益管理实施成效

### 4.1 经济效益显著提升

采取管理制度精细化、技术创新化、控制精准化等一系列举措,企业的经济效益得到了极大的改善:2023—2024年湿法磷酸产量同比增长5.04%,磷复肥产量同比增长10.00%,装置产能得到了充分释放,市场供给能力得到了有效增强;成本管控成效明显,通过管理精细化实现了人资优化和管理

精简,人力与管理成本降低10%,通过技术创新提高了原料利用率,减少了原料的损耗,节能减排水平得到进一步提高,全年磷酸的综合能耗同比降低8个百分点左右。控制精准化保证了生产的安全性和可靠性,提高了产品的附加值,进一步增强了企业市场竞争力及盈利能力。

### 4.2 创新成果丰硕

公司的创新成果是在精益经营的带动下产生的,契约化管理模式、岗位融合机制等实践经验在行业内广泛推广,获得“化工行业管理创新示范企业”等荣誉称号,成为行业管理创新标杆。公司矿浆处理、磷酸生产、资源回收等核心生产环节技术创新成果突出,近3年累计申请专利32项,其中发明专利12项、实用新型专利20项。例如,“低压旋流+精矿再选”工艺专利显著提升矿浆质量,为行业解决原矿品质下降难题提供有效方案;圆盘加压过滤机(见图3)<sup>[8]</sup>应用及半水-二水湿法磷酸生产新技术,推动行业生产技术升级,提升了企业在行业技术领域的话语权与影响力<sup>[9-10]</sup>。

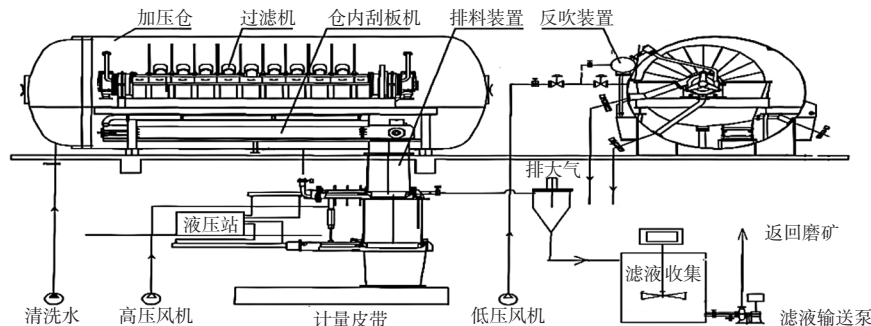


图3 圆盘加压过滤机示意图

Fig. 3 Schematic diagram of disc pressure filter

### 4.3 人才培养成果

基于省级技师工作站和创新工作室平台,公司建立了完善的后备人才培养体系。通过岗位融合培训、技能竞赛和项目实践等多种培养方式,成功培育了15名省级技术能手和25名高级技师,构建一支技术娴熟、具备强大创新能力的高素质人才团队。员工技能提升直接转化为生产效能提升,设备故障平均修复时间从原来的4.0h缩短至1.5h,设备综合效率(OEE)提高18%。人才队伍的成长为企业持续推进精益管理、开展技术创新提供坚实人才支撑,形成人才发展与企业创新相互促进的良性循环。

## 5 存在的问题与改进方向

### 5.1 存在的问题

公司的精益管理虽然成效显著,但仍有不少问

题需要解决。①技术创新方面,研发投入技术力量不足,导致智能化生产技术、磷石膏高值化利用等前沿技术研发进展缓慢。②自动化智能化水平较低,大量生产环节依赖人工操作,数据采集与分析智能化程度不足,无法实现生产过程实时精准调控。③对标工作深入挖掘潜在改进空间不足,无法充分发挥对标管理的效能。

### 5.2 改进方向与措施

公司需要制定系统性的改进方案,以应对目前存在的问题。在技术创新方面,增加研发投入,与国内一流高等院校和科研机构建立长期战略合作关系,建立联合实验室,重点攻克智能化生产和磷石膏资源化利用等关键技术。优化技术创新激励机制,设立专项创新奖励基金,为在重大技术突破方面的团队提供相应奖励,以加快研发成果的转化应

用,缩短新技术从研发到产业化的时间。在自动化智能化升级方面,将分阶段制定装备自动化改造计划,如在关键生产环节引入智能传感器、工业机器人、数字双胞胎等自动化、智能化的先进技术;利用大数据分析、人工智能算法,实现生产预测、决策智能化、调度优化,提升企业整体运营效率。

继续挖掘和完善涵盖生产经营、质量控制、成本控制、环保安全等全维度指标的对标潜力,构建战略性导向型指标体系;采用物联网技术,实时采集数据并自动传输;对标杆成果进行深入分析,制定长期改进方案,在企业战略制定和日常经营管理中融入标杆成果,不断增强企业综合竞争能力。

## 6 结论与展望

### 6.1 研究结论

精益管理在公司湿法磷酸生产中的应用成效显著。企业通过有效实施精细化管理、技术创新、精准化控制等策略,成功解决了企业生产效率低、成本高、技术创新不足等问题,实现了经济效益、创新能力、人才培养水平等方面全面提高<sup>[2]</sup>。公司的实践充分证明了“三精管理”理论在湿法磷酸生产领域的适用性和有效性,为行业内的企业实施精益管理提供了可复制和可推广的成功经验。

### 6.2 研究不足

本研究还有待完善之处:一是研究对象是单个企业的案例,对象具有单一性,因此得出的结论,对于其他企业的适用性有待检验;二是对精益管理的效果主要是基于本企业的内部情况展开评价,尚没有与其他企业的结果进行横向对比,结果本身还需要得到更多的检验,比如从其他企业的角度对其进行评价;三是关于精益管理与企业战略和文化融合的研究比较少,也没有深入挖掘精益管理如何在企业长期发展战略中发挥作用,以及借助文化的手段来促进精益管理的不断深化等问题。

### 6.3 未来展望

展望未来,湿法磷酸生产行业精益管理将朝着智能化、绿色化、协同化方向深入发展。智能化方面,人工智能、数字孪生、5G(第五代移动通信技术)等新技术将深度融入生产运营全流程,实现生产过程智能决策、设备智能运维、质量智能管控。绿色化领域,企业将更加注重资源循环利用与清洁生产技术研发,降低磷石膏排放,提高资源综合利用率,实现绿色低碳发展<sup>[3]</sup>。协同化趋势下,企业将加强与上下游企业的深度合作,构建精益供

应链体系,实现信息共享、资源协同,提升产业链整体竞争力。后续研究可围绕精益管理与新兴技术融合路径、绿色精益管理模式构建、精益供应链协同机制等方向展开,为湿法磷酸生产行业高质量发展提供更深入的理论与实践指导。

### [参考文献]

- [1] 宋志平.三精管理[M].北京:机械工业出版社,2022.
- [2] 万玲.浅析精益生产方式与生产效率的改善[J].科技风,2015(18):78-79.
- [3] 杜忠宝.精益生产管理在企业管理中的应用[J].黑龙江科技信息,2016(19):8.  
DU Z B. The application of lean production management in enterprise management [J]. Heilongjiang Science and Technology Information,2016(19):8.
- [4] 段思勤,蔡杰,姜威,等.湿法磷酸装置提高氟收率技术改造[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(3):73-77.  
DUAN S Q, CAI J, JIANG W, et al. Technical transformation of wet-process phosphoric acid plant to increase fluorine yield [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(3):73-77.
- [5] 陈恩国,周华波,钟鸥,等.湿法磷酸生产中氟的回收实践[J].云南化工,2025,52(2):98-100.  
CHEN E G, ZHOU H B, ZHONG O, et al. Fluorine Recovery Method for Wet Process Phosphoric Acid Production [J]. Yunnan Chemical Technology, 2025, 52(2):98-100.
- [6] 何宾宾,傅英,张儒学,等.湿法磷酸中伴生氟的赋存形态与回收现状及展望[J].磷肥与复肥,2023,38(12):30-36.  
HE B B, FU Y, ZHANG R X, et al. Present situation and prospect of occurrence and recovery of associated fluorine in WPA [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(12):30-36.
- [7] 张存康,严达攀,冯伟珍,等.湿法磷酸生产工艺优化探讨[J].磷肥与复肥,2023,38(4):23-24.  
ZHANG C K, YAN D P, FENG W Z, et al. Optimization of wet-process phosphoric acid production process [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(4):23-24.
- [8] 梁吉军,杨震,陈超,等.圆盘加压过滤机系统节能降耗技术研究[J].通用机械,2020(9):35-36.  
LIANG J J, YANG Z, CHEN C, et al. Research on energy saving and consumption reduction technology of disc pressure filter system [J]. General Machinery, 2020(9):35-36.
- [9] 蒲昌筭.装备制造业精益生产管理实践探讨[J].中国高新技术企业,2017(6):240-241.  
PU C S. Discussion on lean production management practice of equipment manufacturing industry [J]. China High-Tech Enterprises, 2017(6):240-241.
- [10] 靳建顺,赵云湘,陈永水,等.加压过滤机的技术发展及实践应用[J].煤炭工程,2009(7):106-108.  
JIN J S, ZHAO Y X, CHEN Y S, et al. Technical development and practical application of pressure filter [J]. Coal Engineering, 2009(7):106-108.