

大豆分离蛋白生产过程自动控制系统问题 及智能化解决方案

刘娜^{1,2}, 郑峰², 李鹏², 张桂雨², 房志学², 赵树超², 李亭亭², 陈复生³

(1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 2. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东 济宁 272000; 3. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:旨在提高大豆分离蛋白生产车间的智能化水平,减少人工操作,提高产品稳定性,降低车间的不安全因素,在大豆分离蛋白车间现有自控水平上,针对酸沉工段中蛋白液 pH 检测值波动、失准,造成自控系统无法正常运行,影响产品得率,需要工人定时取样校对和调整,及干燥系统没有实现智能化一键启动,人工启动工序复杂,存在预热不彻底损坏加热器、干燥塔压力控制不当损坏干燥塔的问题,提出智能化解决方案,即在酸沉工段 pH 计自动反冲洗系统中,采用两种冲洗液(碱液+工艺水)进行自动定时冲洗,并编制了 pH 计自动反冲洗系统智能化控制程序,在干燥系统中结合现场实测结果开发了干燥系统一键启动智能化控制程序。通过工艺改进和智能化控制程序的应用,可降低生产线的不安全因素,有效避免人员和设备安全事故的发生,有力推动车间向安全、高效、智能化方向发展。

关键词:大豆分离蛋白;自动控制系统;蛋白液 pH;干燥系统;智能化控制程序

中图分类号:TS229;TP273

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2025)08-0130-04

Automatic control system problems and intelligent solutions of soybean protein isolate production process

LIU Na^{1,2}, ZHENG Feng², LI Peng², ZHANG Guiyu², FANG Zhixue²,
ZHAO Shuchao², LI Tingting², CHEN Fusheng³

(1. College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China; 2. Shandong Chemsta Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China; 3. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Aiming to improve the intelligent level of soybean protein isolate production workshop, reduce labor input, enhance product stability, and reduce potential safety hazards in the workshop, based on the workshop's existing automatic control foundation, for the inaccurate fluctuation of protein solution pH values in the acid precipitation section, which leads to malfunctioning automatic control and affects product yield, workers need to take samples regularly for calibration and adjustment. Additionally, the drying system is lack of intelligent one-key start function, leading to complex manual start-up procedures that results in incomplete preheating, damage to heaters, and poor pressure control in the drying tower, causing damage to the drying tower. To address these problems, intelligent solutions were proposed; in the automatic backwashing system of the pH meter in the acid precipitation section, two

flushing liquids (alkali + process water) were used for automatic timed flushing, and an intelligent control program for the automatic backwashing system of the pH meter was developed. In the drying system, based on actual

收稿日期:2024-04-29;修回日期:2025-03-04

作者简介:刘娜(1997),女,助理工程师,硕士研究生,主要从事油脂、蛋白工艺设计工作(E-mail) liuna1314202104@163.com。

通信作者:张桂雨,高级工程师(E-mail) zgy3836@163.com。

measurement results from the site, an intelligent one – key start control program for the drying system was developed. Through process improvements and the application of intelligent control programs, unsafe factors in the production line can be reduced, effectively preventing personnel and equipment accidents, and strongly promoting the development of workshop towards safety, efficiency, and intelligence.

Key words: soybean protein isolate; automatic control system; protein solution pH; drying system; intelligent control program

自动控制系统是一种利用自动化技术,对生产过程进行全面监测与调控的系统^[1],主要由传感器、控制器和执行器组成,能够快速、精准地响应生产过程中的变化,自动调节设备运行参数,可有效避免人工操作带来的延迟与误差,极大地提高生产效率,保障产品质量稳定,降低企业人力成本,增强生产安全性^[2]。大豆分离蛋白生产工艺主要分为萃取、酸沉、中和、杀菌、干燥 5 个工段^[3]。目前,自动控制系统在大豆分离蛋白生产领域已得到一定程度的应用,部分基础参数(如温度、压力、流量等)已实现自动控制,然而,对于复杂生产工艺的深度控制以及智能化安全监测等方面,仍存在较大的提升空间^[4]。另外,随着操作人员紧缺、节能降耗要求提高、安全生产要求提高及蛋白产品精准控制需要日益突出,大豆分离蛋白生产线的智能化精准控制已迫在眉睫^[5]。本文针对某大豆分离蛋白企业大豆分离蛋白生产线现有自动控制系统中存在的一些关键问题,如酸沉工段中蛋白液 pH 难以精准控制,干燥工段中干燥塔启动操作复杂,均未实现智能化自动控制,通过创新安全监测智能化控制技术、精准适度加工控制关键技术以及实时在线监测技术,开发了 pH 计自动反冲洗系统智能化控制程序和干燥系统一键启动智能化控制程序,将其补充到现行的自动控制系统中,以形成一套完整的车间自动控制系统,提高车间的智能化水平,减少人员操作,避免人员与设备安全事故^[6],提高产品稳定性,降低生产能耗,降低生产线的 unsafe 因素,助力企业提升核心竞争力。现将大豆分离蛋白生产车间自动控制系统存在的问题及解决方案进行阐述,以供同行参考。

1 大豆分离蛋白生产车间自动控制系统存在的问题

目前,大豆分离蛋白车间生产线上主要有 5 个简单的闭环自控单元,分别为流量自控、压力自控、料位自控、pH 自控、温度自控。上述自控单元中主要存在两个问题。

问题 1:pH 自控单元在酸沉工段中出现蛋白液 pH 检测值波动、失准的情况,造成自控系统无法正

常运行,影响产品得率,需要工人定时取样进行校对和调整。

问题 2:温度自控单元在干燥工段没有实现智能化一键启动,人工启动工序复杂,存在预热不彻底损坏加热器、干燥塔压力控制不好损坏干燥塔的风险。

2 解决方案

2.1 问题 1

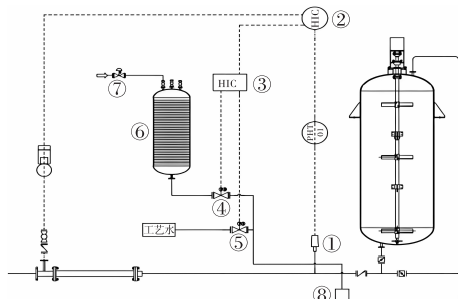
经过现场查看分析及与操作工人讨论,确认问题 1 的原因为蛋白液在酸性条件下容易在 pH 计探头部位凝固结垢。虽然选用的 pH 计带有自动反冲洗功能,但反冲洗液一般采用常温工艺水,无法把探头表面的蛋白冲洗干净,造成 pH 计在运行一段时间后检测值波动、失准。针对这一问题提出以下解决方案。

在 pH 计自动反冲洗系统中增加碱液冲洗液系统[主要包括碱液储罐(具备加热功能,储罐内压力不小于 0.2 MPa)、反冲洗控制箱、碱液冲洗电磁阀、压缩空气减压阀],采用两种冲洗液(碱液+工艺水)进行自动定时冲洗,消除蛋白在 pH 计探头部位结垢对测量值的影响。根据蛋白车间 CIP 清洗原理,确定第一种冲洗液为质量分数 2% 的氢氧化钠溶液,第二种冲洗液为车间工艺水。冲洗时间设定为每隔 1 h 在线 pH 计自动反冲洗 1 次,每次总冲洗时间 30 s,其中先用 2% 氢氧化钠溶液冲洗 20 s(冲洗温度 60℃),再用车间工艺水冲洗 10 s。改进的 pH 计自动反冲洗系统工艺流程见图 1。

如图 1 所示,两种冲洗系统以并联方式连接到在线 pH 计进口,通过管道上的电磁阀实现两种冲洗液的自动交替更换冲洗。具体冲洗流程如下。

在碱液储罐⑥中加入清洗碱液,开启中温电伴热带,保持碱液温度在 60℃ 左右,调节压缩空气减压阀⑦使碱液储罐⑥内压力为 0.3 MPa,以便为清洗碱液的输送提供动力。当反冲洗控制箱③收到 pH 计控制箱②发出冲洗信号后,反冲洗控制箱③发出控制信号开启碱液冲洗电磁阀④,开始碱液冲洗,冲洗液排入冲洗废液罐⑧,当冲洗 20 s 后,反冲洗

控制箱③发出控制信号关闭碱液冲洗电磁阀④,开启工艺水冲洗电磁阀⑤,开始工艺水冲洗,冲洗 10 s,然后反冲洗控制箱③发出控制信号关闭工艺水冲洗电磁阀⑤,至此一个清洗周期结束。改进的 pH 计自动反冲洗系统智能化控制程序如图 2 所示。



注:1. 在线 pH 计;2. pH 计控制箱;3. 反冲洗控制箱;4. 碱液冲洗电磁阀;5. 工艺水冲洗电磁阀;6. 碱液储罐;7. 压缩空气减压阀;8. 冲洗废液罐

Note: 1. Online pH meter; 2. pH meter control box; 3. Backwashing control box; 4. Lye flushing solenoid valve; 5. Process water flushing solenoid valve; 6. Lye storage tank; 7. Compressed air pressure reducing valve; 8. Waste flushing liquid tank

图 1 改进的 pH 计自动反冲洗系统工艺流程

Fig. 1 Process flow of the improved automatic backwashing system for pH meters

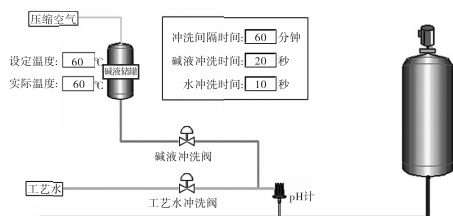


图 2 pH 计自动反冲洗系统智能化控制程序

Fig. 2 Intelligent control program of pH meter automatic backwashing system

2.2 问题 2

为避免干燥塔热风加热器预热不彻底,出现水锤现象损坏加热器,以温度最低时的预热时间为基准,缓慢升温,分阶段预热。经过现场实测,得出适宜的预热设置为整个预热过程分 6 个阶段进行,总预热时间 60 min 左右,逐步提高蒸汽压力,最终预热蒸汽压力为 0.15 ~ 0.2 MPa 达到充分预热,具备开机条件。6 个预热阶段具体操作参数如下。

第一阶段预热时间 12 min 左右,蒸汽自控阀门开度为 5%,预热蒸汽压力为 0 ~ 0.05 MPa;第二阶段预热时间 10 min 左右,蒸汽自控阀门开度为 7%,预热蒸汽压力为 0.05 ~ 0.1 MPa;第三阶段预热时间 10 min 左右,蒸汽自控阀门开度为 9%,预热蒸汽压力为 0.1 MPa 左右;第四阶段预热时间 10 min 左

右,蒸汽自控阀门开度为 11%,预热蒸汽压力为 0.12 MPa 左右;第五阶段预热时间 10 min 左右,蒸汽自控阀门开度为 13%,预热蒸汽压力为 0.15 MPa 左右;第六阶段预热时间 8 min 左右,蒸汽自控阀门开度为 15%,预热蒸汽压力为 0.15 ~ 0.2 MPa。整个预热过程平稳无水锤,同时干燥塔的空气温度不高于 120 ℃,安全可靠。

为避免干燥塔因压力控制不当而损坏干燥塔,通过现场实测,调节鼓风机和引风机的频率,使引风机的频率比鼓风机的频率低 3 Hz,干燥塔塔中压力在设定参数(- 150 ~ 150 Pa) 范围内。开机时先开鼓风机,再开引风机;增加频率时,先增加鼓风机频率,再增加引风机频率;降低频率时,先降低引风机频率,再降低鼓风机频率。具体操作如下。

预热器完成预热后,自动开启鼓风机,其启动频率设定为 10 Hz(为避免电流高启动不起来),然后每间隔 1 min 增加 5 Hz;鼓风机启动 10 s 后启动引风机,引风机频率设定始终比鼓风机频率低 3 Hz;每次鼓风机频率增加 10 s 后,引风机频率再增加,鼓风机最终频率为 45 Hz。连锁保障:①鼓风机未启动时引风机无法启动;鼓风机发生故障停机,引风机也停止;当塔负压不小于 - 500 Pa 时,报警;当塔负压不小于 - 1 500 Pa 时,引风机关闭。②当排风温度不低于 140 ℃时,加热器蒸汽自控阀关闭,同时关闭引风机及鼓风机。

根据上述操作规程,编制了干燥塔系统一键启动智能化自控程序,如图 3 所示。需指出的是,此自控程序只作为开机使用,开机正常后,自控程序停止使用。

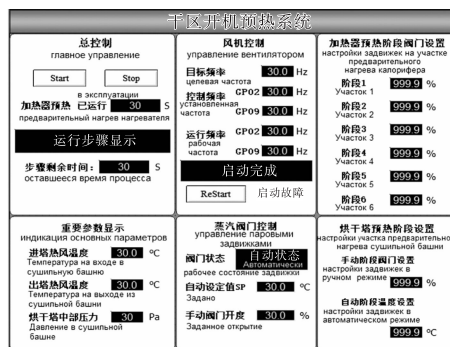


图 3 干燥塔系统一键启动智能化自控程序

Fig. 3 Intelligent self-control program of drying tower system with one-touch starting

3 结论

(1) 酸沉工段 pH 计自动反冲洗系统中,采用两种冲洗液进行自动定时冲洗,可解决蛋白液 pH 检

(下转第 147 页)

- field nuclear magnetic resonance[J]. *Anal Sci*, 2019, 35 (12): 1381–1384.
- [20] 杨雪萍, 刘宝林, 王欣, 等. 基于 LF-NMR 弛豫特性的煎炸油总极性化合物含量定量建模方法[J]. *食品科学*, 2014, 35(24): 110–114.
- [21] ZHAO L, ZHANG M, WANG H, et al. Monitoring of free fatty acid content in mixed frying oils by means of LF-NMR and NIR combined with BP-ANN[J/OL]. *Food Contr*, 2022, 133: 108599 [2024-04-24]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108599>.
- [22] 申云刚, 肖竹青, 陈舜胜, 等. 低场核磁共振法快速检测炸油质量[J]. *食品科学技术学报*, 2013, 31(5): 37–42.
- [23] 张瑜, 刘睿杰, 金青哲, 等. 低场核磁共振技术检测大豆煎炸油品质的研究[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(9): 115–119, 123.
- [24] SUN Y, ZHANG M, FAN D. Effect of ultrasonic on deterioration of oil in microwave vacuum frying and prediction of frying oil quality based on low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) [J]. *Ultrason Sonochem*, 2019, 51: 77–89.
- [25] 夏义苗, 王欣, 毛锐, 等. 不同温度下葵花籽油低场核磁弛豫特性的变化及与理化指标的关系[J]. *中国油脂*, 2016, 41(3): 30–35.
- [26] 成实, 王欣, 刘宝林. 碳链长度及不饱和度对脂肪酸低场核磁弛豫特性的影响[J]. *分析化学*, 2018, 46(2): 281–287.
- [27] HAN Z, YANG X, LI X, et al. The thermal oxidation evolution and relationship of unsaturated fatty acids and characteristic functional groups in blended oils with raspberry seed oil during deep-frying process by low field nuclear magnetic resonance and ^1H nuclear magnetic resonance[J/OL]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 133: 110055 [2024-04-24]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110055>.
- [28] LI X, XING C, WANG Z, et al. LF-NMR intelligent evaluation for lipid oxidation indices of polar compound distribution, fatty acid unsaturation, and dynamic viscosity: Preference and mechanism[J/OL]. *Food Res Int*, 2022, 161: 111807 [2024-04-24]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111807>.
- [29] LIU Y, WANG Y, CAO P, et al. Degradation of edible oil during deep-frying process by electron spin resonance spectroscopy and physicochemical appreciation [J/OL]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2018, 120(2): 1700376 [2024-04-24]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700376>.
- [30] 彭丹, 陈名扬, 史翠熠, 等. 基于低场核磁共振弛豫特性结合多元线性回归同步评价菜籽煎炸油品质[J]. *分析化学*, 2023, 51(6): 1042–1050.
- [31] ZHU M, SHI T, CHEN Y, et al. Prediction of fatty acid composition in camellia oil by ^1H NMR combined with PLS regression[J]. *Food Chem*, 2019, 279: 339–346.

(上接第 132 页)

测值波动、失准,造成自控无法正常运行,影响产品得率的问题,通过 pH 计自动反冲洗系统的智能控制程序,降低了车间工人的劳动强度,增加了 pH 工艺点的稳定性,降低了因人为操作带来的产品 pH 指标的不稳定性。

(2)干燥工段采用干燥塔系统一键启动智能化自控程序,避免了因人工启动工序过程中操作不当造成干燥塔的损坏,以及突发情况或人为操作情况下,因热风温度过高而损坏干燥塔除尘器或发生粉尘爆炸等重大设备安全隐患。

参考文献:

- [1] 屠祖望. 电气自动化技术在工厂机械设备中的应用[J].

中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(6): 19–22.

- [2] 蒋祥龙. 电气自控技术在工厂的应用分析[J]. *微型计算机*, 2024(1): 139–141.
- [3] 冯子龙, 杨振娟, 袁保龙, 等. 大豆分离蛋白生产工艺与实践[J]. *中国油脂*, 2004, 29(11): 29–30.
- [4] 时玉强, 马军. 大豆分离蛋白生产质量控制探讨[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(6): 134–138, 147.
- [5] 王伟宁, 张海荣, 王宁, 等. pH 值对大豆分离蛋白功能性质的影响及其精准调控研究[J]. *农业机械学报*, 2024, 55(2): 363–371.
- [6] 姜自营. 基于火因分析的脉冲布袋除尘器火灾勘验要点及火灾预防措施[J]. *今日消防*, 2023, 8(6): 116–118.