

农药精细化工生产全流程智能监控系统的构建与应用

杨 波¹ 陈华山²

1.湖北中迅长青科技有限公司 湖北 荆门 448000

2.润都制药（荆门）有限公司 湖北 荆门 448008

【摘 要】：为解决农药精细化工传统生产管控碎片化、风险处置滞后、数据管理不规范的行业痛点，本文针对性构建适配农药特殊工况的全流程智能监控体系。研究通过搭建四层分层式系统架构，配套完成硬件适配布设与软件功能模块化设计，同时集成自动化数据采集、多源数据融合、智能预警诊断、可视化溯源等核心技术，由此形成覆盖生产、安全、环保以及质量的一体化监控方案。该体系充分契合农药工序联动性强、工艺精度高、合规标准严苛的生产特征，能够有效实现工艺参数精准监测、生产风险前置防控以及生产数据全程留存。结合实际适配分析结果可知，该系统设备兼容性良好、落地成本可控，可切实提升农药生产精细化与数字化水平，能够为农药精细化工行业智能化改造提供可靠的技术参考。

【关键词】：农药精细化工；全流程生产；智能监控；系统架构；数据融合

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.032

引言

农药精细化工属于高精密、高风险的连续化生产领域，整体生产工序耦合度高，工艺容错率低，对参数稳定性、作业安全性以及环保合规性均有着严苛要求。在行业数字化转型持续推进的背景下，传统人工巡检结合单点设备监测的管控模式弊端逐步凸显。该模式普遍存在监测覆盖零散、数据更新滞后、人为误差较大等问题，难以实现全链条闭环管控，进而制约企业提质增效与规范化生产发展。目前国内现有化工智能监控技术大多针对通用化工场景研发，并未适配农药生产专属工艺特征与行业专项管控标准，使得相关技术普遍存在场景适配性弱、功能针对性不足、全流程联动性差等缺陷，无法满足农药行业一体化智能管控的实际需求^[1]。基于以上行业技术短板与现场生产实际需求，本文开展农药全流程智能监控系统构建研究，通过架构优化、软硬件适配与核心技术集成，搭建农药行业专属智能管控体系，以期为中小农药企业数字化升级及同类精细化工生产线改造提供可行方案。

1 生产工艺与监控需求

（1）农药精细化工生产核心流程：农药精细化工属于高精密、高风险的连续化生产行业，各生产工序高度耦合衔接，工艺容错空间极小，生产工况的细微波动便会直接影响成品品质与生产安全。行业完整生产流程涵盖原料预处理、催化合成、精细提纯、复配成品、三废处理等闭环环节，各工序层层递进、相互

制约。原料预处理通过提纯除杂与精准配比优化物料状态，为核心合成反应的稳定性与纯度提供基础保障。随后的催化合成、精馏结晶等工序决定农药中间体与成品的核心品质，复配灌装与质检工序完成成品标准化制备，配套的三废处理工艺则实现绿色合规生产。正是这种高度联动的连续生产特性，让农药生产对全流程动态监测具备极强的依赖性，对智能化精准管控体系提出了硬性建设需求。

（2）关键监控参数与管控要求：依托农药连续化生产体系，各工序形成了专属的核心管控参数体系，参数稳定性是保障生产安全与产品质量的核心关键。合成反应环节的温度、压力、物料流量等参数直接决定化学反应成效，提纯复配阶段的物料浓度、酸碱值与原料配比则影响成品合规性。同时，生产全程需同步监测设备运行、能耗排放等指标，兼顾生产安全、产品稳定与环保合规多重目标。行业对各类工艺参数设置了严格的波动阈值，对管控实时性与精准度要求严苛。传统人工记录的管控模式存在明显滞后性，难以捕捉微小参数异变，长期积累的隐蔽隐患极易引发产品缺陷、设备故障或环保超标问题，无法适配行业规范化、标准化的发展需求。

（3）智能化监控系统建设需求：现阶段农药生产线工序繁杂、参数维度多元、连续作业强度高，传统人工粗放管控模式的短板持续凸显，已然无法适配行业智能化转型趋势。人工采集数据效率低下且误差率

较高,难以实现生产数据实时动态更新,存在数据缺失、管控滞后等诸多问题。同时传统管控多为事后整改的被动模式,缺乏有效的风险前置预判能力,无法提前规避工艺偏差、设备异常、排放超标等潜在隐患。此外,企业工艺迭代、质量复盘与合规管理工作,均依赖完整连续的生产数据支撑,传统管控的数据储备缺陷严重制约企业精细化发展。因此,搭建适配农药专属工况的全流程智能监控系统,可有效补齐传统管控短板,实现生产动态监测、风险前置防控与数据标准化留存,是推动农药精细化工产业数字化、精细化升级的关键路径。

2 智能监控系统整体设计

(1)系统设计原则与整体架构:结合农药精细化工复杂高危、连续精密的生产工况,同时兼顾中小企业低成本智能化升级的现实需求,本文系统遵循安全适配、兼容复用、可拓展迭代的核心原则完成整体设计。系统软硬件均契合化工防爆防腐规范,可适配车间高温、粉尘、强腐蚀的恶劣作业场景,保障设备长期稳定运行。架构设计兼容企业现有老旧生产设备,无需大规模产线改造,有效控制升级成本,同时预留拓展端口,可适配后续工艺迭代与功能升级需求。为适配全流程动态监控需求,系统采用四级分层架构,包含现场感知、数据传输、数据处理与终端应用四大层级,各层级独立运行且高效协同,能够拆分复杂管控业务、降低运维难度,从架构层面保障整体运行稳定高效。

(2)硬件系统设计与设备部署:硬件体系作为数据采集与工况对接的核心载体,围绕农药生产线关键工序完成针对性布设。现场部署的工业级防爆传感器,具备耐高温、抗腐蚀、抗干扰的优势,可全覆盖采集生产温度、压力、物料参数、设备工况及三废排放等核心数据。各类终端设备均匀布设于原料处理、合成反应、提纯复配等关键生产节点,搭配专用传输设备搭建稳定数据链路。硬件布设贴合生产作业动线,不会干扰正常生产秩序,可实现全工序无死角精准采集,为后续数据分析与工况研判提供坚实的硬件保障。

(3)软件功能模块整体设计:为满足农药生产精细化、闭环化管控需求,系统软件采用模块化协同设计模式,搭建一体化智能管控体系。各功能模块联动协同、分工明确,可完成生产数据从采集处理、实时监测、异常预警到溯源归档的全流程闭环管理。系统可自动筛选剔除无效干扰数据,动态展示各工序运行状态,依托行业标准阈值快速识别生产异常并推送预警信息。同时完整留存各批次生产数据,为工艺优化、

故障溯源、质量复盘提供数据支撑,搭配权限管理、数据统计、自动报表等辅助功能,有效简化管理流程、减少人工干预,全面提升农药生产管控的规范化与智能化水平。

3 系统核心关键技术

(1)全流程数据采集与传输技术:稳定的数据采集与传输体系是智能监控系统可靠运行的核心前提,直接决定整体监测效果。为此本系统依托现场布设的智能终端,高频次自动化采集生产工艺、设备运行、能耗、环保排放等全维度生产数据,有效规避人工采集滞后、疏漏、误差偏大等传统问题。同时设备自带抗干扰设计,可适配车间复杂生产环境,持续保障数据采集的连续性与精准度^[2]。在数据传输环节,系统采用通用性较强的工业传输方案,可兼容新旧型号生产设备,场景适配范围十分广泛。为进一步保障传输质量,系统增设多重数据校验机制,能够自动筛查过滤失真、缺失、错乱数据,规避数据丢失与信息偏差问题。通过搭建安全稳定的传输链路,现场工况数据可实现实时同步,为后续智能分析、工况研判与工艺优化提供精准完整的数据支撑。

(2)多源数据融合分析技术:农药生产各工序关联紧密,各类生产参数相互耦合影响,仅依靠单一维度数据无法客观判定生产线整体工况状态。为解决这一问题,本系统搭载多源数据融合技术,整合工艺参数、设备工况、能耗排放、产品品质等多类核心生产信息,打破传统单点监测的固有局限,实现多维度工况综合研判。该技术能够深度挖掘各类零散数据的内在关联,精准研判工艺参数波动对产品质量、设备安全、生产成本产生的连锁影响。在此基础上,后台系统基于融合后的综合数据完成整体工况判定,所得分析结果具备较强的实操价值,可直接指导现场工艺调控、隐患排查与工艺优化工作,进而推动企业管控从传统经验主导模式,逐步转向数据驱动的科学化管理模式。

(3)智能预警与故障诊断技术:针对农药工艺参数敏感、管控标准严苛的行业特点,系统搭载基于行业海量历史数据迭代优化的智能分析模型,模型运行逻辑高度贴合农药生产规律。系统运行过程中,可自主比对实时工况数据与行业标准阈值,快速识别异常工况,同时精准区分常规小幅参数波动与高危生产隐患。通过分级预警模式有效规避无效预警干扰,保障车间生产有序开展。依托这套分级预警与故障诊断机制,工作人员可快速定位异常工序与故障点位,大幅提升隐患处置效率。相较于传统事后整改的被动管控

模式,该技术可实现生产风险前置预判,提前识别设备老化、工艺偏差、排放超标等常见生产问题,从源头降低生产事故发生概率,全面提升车间安全生产管控水平^[3]。

(4)可视化与溯源管控技术:为进一步优化企业生产管理模式、提升管控便捷度,系统配套搭建了可视化管控与全流程溯源一体化体系。可视化界面可动态展示各生产线、各工序的实时运行状态,帮助管理人员远程掌握全场工况,有效降低线下巡检强度,提升整体管理效率。与此同时,系统对所有生产数据进行全程归档,将各类参数信息与生产批次、生产时间精准绑定,构建标准化电子生产档案^[4]。当企业开展质量复盘、故障溯源、工艺优化等工作时,可随时调取对应时段的历史数据,精准还原生产细节、锁定问题诱因。该管控模式不仅规范了企业生产管理流程,同时精准契合农药行业严苛的溯源合规要求,助力企业实现标准化、数字化、合规化生产管控。

4 系统应用价值与场景适配分析

(1)系统核心应用价值:结合实际应用效果来看,该智能监控体系有效弥补了传统人工管控与单点监测模式的各类短板,显著提升农药生产精细化管控水平。自动化数据采集模式从根源上杜绝人工数据偏差与遗漏问题,保障生产数据连续真实、有效可用。依托全天候动态监测能力,系统可精准捕捉传统模式容易忽略的微小参数波动,提前消解潜在生产隐患,避免质量缺陷、设备故障与环保超标问题,稳步提升生产稳定性。与此同时,智能预警功能实现了风险前置防控,彻底改变传统事后整改的被动管理模式。企业可依托系统留存的完整生产数据,常态化开展工艺优化与质量管控工作,持续稳定产品品质。此外,溯源功能可构建标准化生产档案,为质量追责、工艺迭代提供充足支撑,全方位提升企业生产质量、作业安全与管理

效率,有效解决农药精细化管理的核心难题。

(2)系统行业应用优势:相较于市面通用型化工监控设备,本系统针对农药行业专属生产需求定制优化,场景适配优势更为突出。传统监控设备大多仅支持单点、单工序监测,各环节数据相互孤立,存在大量监测盲区,无法适配农药联动式连续生产的核心特点^[5]。而本系统打通全工序数据传输链路,实现各生产环节数据互通与综合工况研判,完全贴合农药连续化生产规律。在此基础上,硬件防爆防腐、软件合规适配的专项设计,更加契合农药行业严苛的生产与合规标准。在落地应用层面,系统整体改造成本可控,操作界面简洁直观,大幅降低一线人员的学习与使用门槛,高度适配中小农药企业智能化升级需求。从行业长远发展角度分析,该方案能够助力农药化工摆脱粗放式人工管理模式,推动生产管控朝着精细化、数字化、标准化方向转型,对行业高质量可持续发展具有积极作用,具备良好的市场推广价值。

5 结论

本文立足于农药精细化工行业发展需求,结合其工序连续、参数敏感、合规标准严苛的生产特征,针对传统管控监测零散、响应滞后、数据不规范的行业短板,完成了全流程智能监控系统的设计与适配验证。通过科学搭建分层系统架构、优化软硬件配套配置、集成多类核心智能技术,成功构建了覆盖生产、安全、环保以及质量的一体化管控体系。该系统有效突破了传统人工管控与单点监测的固有局限,实现了生产参数动态监测、风险前置预判以及数据标准化溯源,显著提升了农药生产管控的精准度与规范性。经适配分析验证,该系统兼容性强、落地成本低,相较于通用监控设备更贴合农药生产专属场景,具备十分突出的应用优势与行业推广价值,可为农药精细化工数字化转型提供有效技术支撑。

参考文献:

- [1] 张健.智能制造在农药行业的应用[J].世界农药,2023,45(12):10-17.
- [2] 马晓丽,刘稼琛,刘润柱,等.农药行业自动化系统存在的问题及改造方向[J].世界农药,2023,45(5):17-21.
- [3] 翟长远,张焱龙,邹伟,等.基于农药喷施溯源的精准变量喷药监控系统设计与试验[J].农业机械学报,2024,55(2):160-169.
- [4] 马英剑,甄硕,孙喆,等.农药制剂研发的精细化、功能化与农业生产高效利用[J].农药学报,2022,24(5):1080-1098.
- [5] 杨利超,叶嘉烘,黄桂珍,等.功能高分子助剂在提升农药制剂应用性能中的应用[J].世界农药,2022,44(12):26-31.