

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.04.054

基于 WinCC 的批次配方果汁自动生产线应用

刘圣林¹, 龙永树²

(1. 明度智云(浙江)科技有限公司, 浙江 杭州 310012; 2. 杭州兴润科技有限公司, 浙江 杭州 310006)

摘 要:针对果汁自动化生产过程中相关批次配方数据在不同系统中自动流通的问题,设计一个果汁批次配方的自动下发和生产全自动智能化系统。选用西门子 PLC 作为主要控制系统、WinCC 作为生产监视控制系统、MES 作为批次配方下发系统;使用西门子 IDB 数据中间层以及 SQL 关系数据库作为数据交换中心,实现了批次配方数据一键下发,生产过程数据全生命周期监控,现场自动化控制投料,批次报表数据自动生成和查询。经过现场调试,该系统完全可以满足常规果汁生产要求,可以快速、自动、可靠地完成果汁生产全流程监控,同时满足食品制药相关合规性监管需求。

关键词:食品饮料;生产线;批次配方;WinCC;法规监管

中图分类号:TP273 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)04-0298-06

Application of Automatic Production Line for Batch Formula Juice Based on WinCC

LIU Shenglin¹, LONG Yongshu²

(1. Mingdu Zhiyun (Zhejiang) Technology Co., Ltd., Hangzhou 310012, China;

2. Hangzhou Xingrun Technology Co., Ltd., Hangzhou 310006, China)

Abstract: In order to solve the problem of automatic circulation of related batch formula data in different systems during automated production of juice, this paper designs a fully automated intelligent system for automatically issuing juice batch formulas and production, which employs Siemens PLC as the main control system, WinCC as the production monitoring and control system, and MES as the batch formula issuing system. Siemens IDB data middleware and SQL relational database are applied as data exchange center to realize one-click batch formula data issuance, full life cycle monitoring of production process data, automatic feeding control on site, automatic generation and querying of batch report data. After on-site debugging, the system can fully meet the requirements of conventional juice production, and quickly, automatically and reliably complete the entire process monitoring of juice production, while fulfilling the compliance regulatory requests of food and pharmaceutical industry.

Keywords: food and beverage; production lines; batch formula; WinCC; regulatory supervision

0 引言

目前食品和饮料消费在我国国民日常消费中处于重要地位,特别是近年来,食品和饮料行业消费规模逐步扩张。随着 2023 年经济复苏的到来,食品和饮料行业将进入一条充满活力的长青赛道。为了加强食品和饮料行业质量安全监管,国家市场监管总局也陆续发布众多公告,要求相关生产企业提升自动化、信息化、智能化水平,以确保生产过程符合法规监管需求^[1],其中食品和饮料生产过程涉及到自动化系统 PLC、数据采集与监控系统 SCADA、制造执行系统 MES。如何打通三大系统之间数据无缝流转,实现与生产相关的批次数据、配方数据、生产过程关键数据(例如温度、液位、转速)全过程追踪以及数据自动化流转,

拒绝人工介入以确保数据的可靠性,是食品和饮料行业面临的重大挑战。

本文通过生产数据的自动化流转、实时数据全过程监控,利用 MES 系统一键下达生产批次和配方数据,通过 SCADA 系统启动和监控生产全过程,利用现场的自动化控制系统 PLC 完成全部的设备自动化控制,从而实现了果汁生产全流程、全自动、全面符合法规监管的智能化生产^[2-4]。

1 系统架构

1.1 总体架构设计

制造执行系统 MES 是面向车间生产的管理系统,其负责工厂设备、物料、批次数据的全局管理和配置。在本项目中使用第三方 MES 系统,该

第一作者简介: 刘圣林(1987—),男,浙江杭州人,高级工程师,学士,研究方向为人工智能、5G 工业互联网, L514644161@qq.com。

的控制系统,该系统处理速度可至毫秒级,完全可以满足现场控制需求,同时该 CPU 内置 Profinet 通信协议,可以方便地连接控制层和 IT 层,实现数据的高效交互。系统部署在现场,通过接受 SCADA 的生产指令,实现现场果汁生产线智能化设备的全自动控制需求。

1.2 总体流程设计

首先在 MES 系统中输入批次名称、配方信息(例如纯水配比、糖分配比、果汁配比、搅拌时间、保温时间)等,将数据一键下发到 SCADA 系统;然后在 SCADA 系统中选择 MES 下发的批次配方信息,一键传递到现场控制系统 PLC 中,同时启动生产、结束生产,并监控生产过程数据,还可以生成批次报表;接着现场控制系统 PLC 接受 SCADA 控制指令,按照编写好的工艺生产控制指令,可以自动控制现场设备,实现自动启停一键完成果汁生产全流程控制;最后在 MES 系统中可以查询相关批次生产数据,完成整个数据下发、生产、查询全过程闭环管理。具体如图 1 所示。

现场部署西门子 S-300 系列 315-2PN/DP

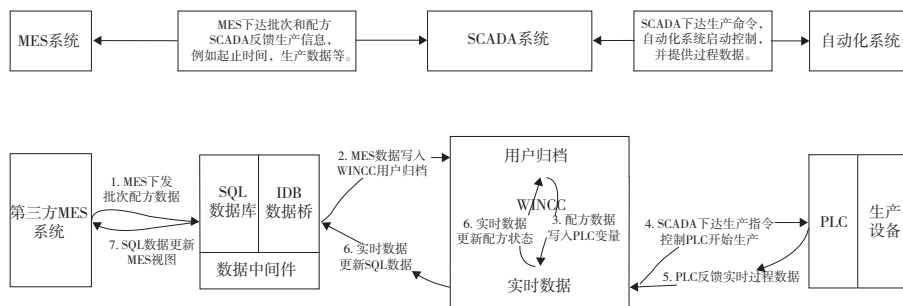


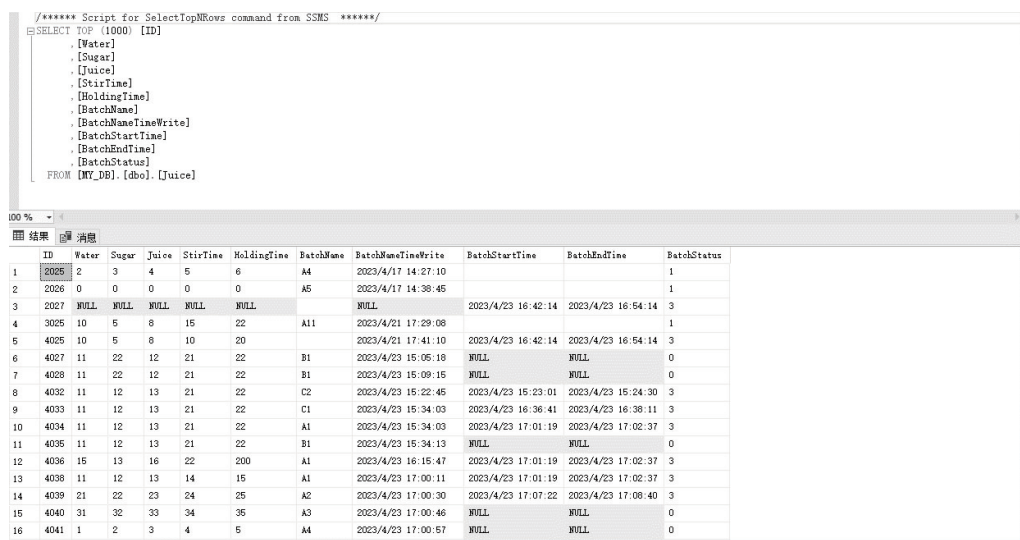
图 1 系统架构总图

数据完整性符合法规及监管需求。

2.2 数据库中间件设计

1) SOL 数据库设计

通过在 SQL 数据库中新建批次配方数据存储表 Juice,该表包含如下字段,分别为:[Water]、[Sugar]、[Juice]、[StirTime]、[HoldingTime]、[BatchName]、[BatchNameTimeWrite]、[BatchStartTime]、[BatchEndTime]、[BatchStatus],借此用来存储从 MES 下发的批次配方数据以及从 SCADA 上传的生产状态数据。表格整体设计如图 2 所示。



ID	Water	Sugar	Juice	StirTime	HoldingTime	BatchName	BatchNameWrite	BatchStartTime	BatchEndTime	BatchStatus
2025	2	3	4	5	6	A4	2023/4/17 14:27:10			1
2026	0	0	0	0	0	A5	2023/4/17 14:38:45			1
2027	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2023/4/23 16:42:14	2023/4/23 16:54:14	3
3025	10	5	8	15	22	A11	2023/4/21 17:29:08			1
4025	10	5	8	10	20		2023/4/21 17:41:10	2023/4/23 16:42:14	2023/4/23 16:54:14	3
4027	11	22	12	21	22	B1	2023/4/23 15:06:18	NULL	NULL	0
4028	11	22	12	21	22	B1	2023/4/23 15:09:15	NULL	NULL	0
4032	11	12	13	21	22	C2	2023/4/23 15:22:45	2023/4/23 15:23:01	2023/4/23 15:24:30	3
4033	11	12	13	21	22	C1	2023/4/23 15:34:03	2023/4/23 16:36:41	2023/4/23 16:38:11	3
4034	11	12	13	21	22	A1	2023/4/23 15:34:03	2023/4/23 17:01:19	2023/4/23 17:02:37	3
4035	11	12	13	21	22	B1	2023/4/23 15:34:13	NULL	NULL	0
4036	15	13	16	22	200	A1	2023/4/23 16:15:47	2023/4/23 17:01:19	2023/4/23 17:02:37	3
4038	11	12	13	14	15	A1	2023/4/23 17:00:11	2023/4/23 17:01:19	2023/4/23 17:02:37	3
4039	21	22	23	24	25	A2	2023/4/23 17:00:30	2023/4/23 17:07:22	2023/4/23 17:08:40	3
4040	31	32	33	34	35	A3	2023/4/23 17:00:46	NULL	NULL	0
4041	1	2	3	4	5	A4	2023/4/23 17:00:57	NULL	NULL	0

图2 SQL 数据库数据表 Juice 设计

2) IDB 数据桥设计

数据桥设计(industrial data bridge, IDB)是 WinCC 的一个增值选件,用于交换不同供应商信息化系统之间的数据,通过简单的组态便可使用多种标准接口在各种不同系统间进行数据交换。这些接口在 IDB 中组织成模块形式,其中包含多种不同系统或数据接口, IDB 凭借模块化结构,可以随时扩展与其他数据接口之间的数据交换。在本文中 IDB 数据桥实现将 SQL 数据库中表 Juice 的批次配方数据同步到 WinCC 用户归档中,同时将最新的生产过程数据同步到 SQL 数据库中的表 Juice 中,实现数据在 MES 系统和 SCADA 系统中的无缝流转并保持同步。

本项目中 IDB 组件包含组态系统“CS”和运行系统“RT”。其中组态系统“CS”负责数据编辑和保存数据对接配置,并将配置文件保存为 XML 格式;运行系统“RT”通过导入配置好的 XML 格式文件,启动运行系统后可按所加载的组态文件中的定义链接数据源,自动接受和发送数据,通过上述可视化的配置和组态,实现数据后台自动流转。

2.3 WinCC 系统设计

1) 总体设计

本项目数据采集与监视系统采用 WinCC 平台, WinCC 视窗控制中心是西门子经典的过程监视系统,具有良好的开放性和灵活性,目前已成为该市场的领导者,特别是在食品药品生产领域,已成为业界遵循的标准^[7-11]。在本项目中 WinCC 系统部署在生产现场中控室,采用冗余配置,可在单台服务器宕机期间保证数据不丢失,数据完整

性满足法规及监管的需求。

在本项目中整个生产过程采用自动化控制,因此系统操作员(必须具备相关权限)只需要执行三个动作即可。首先是通过 WinCC 用户归档控件选择 MES 系统下发的批次和配方数据,通过工具栏的下载按钮,自动同步到 PLC 系统中,此时现场 PLC 系统中就会更新为最新的生产配方数据;其次是点击“开始生产”按钮,启动批次生产过程, PLC 系统会按照工艺要求依次打开和关闭相关阀门、电机、烘箱等智能设备,完成整个过程的自动化控制;最后生产完成后,在检查现场设备实时状态后,系统操作员点击“结束生产”按钮,完成整个生产过程,自动生成批次报表,并将批次生产数据和状态自动同步给到 MES 系统。

2) 用户归档设计

WinCC 用户归档功能是系统高级选件,可将生产或机器参数分配产生的数据集中在一起,数据记录在用户归档和自动化系统之间连续地传送,或者当有需求时进行传送,也可以将配方中的数据在线发送到自动化系统例如本项目中的 PLC 系统^[12]。在本项目中用户归档设计起着至关重要的作用,是实现果汁批次自动化生产和核心所在,一方面用户归档数据接受来自 MES 系统下发的生产任务,并且不允许现场人员修改,另一方面 SCADA 系统操作人员选择相应的批次配方数据可以一键下载到现场控制系统 PLC 中,并通过“开始生产”按钮启动自动生成程序,因此用户归档系统设计必须和 MES 系统下发的配方数据保持一致,并通过上述的 IDB 数据中间件保持数据的自动同步。本项目中用户归档设计如图 3 所示。

域 [JuiceRecipe]												查找			
名称	别名	别名 (多语言)	类型	长度	最小值	最大值	起始值	变量名称	读取权限	写入权限	需要的值	唯一数值	带索引	上	
1 BatchName		☐	字符串	30				BatchName			☐	☐	☐	202	
2 BatchNameTimeWrite		☐	字符串	30				BatchNameTimeWrite			☐	☐	☐	202	
3 Water		☐	数字 (整型)					Water_PL			☐	☐	☐	202	
4 Sugar		☐	数字 (整型)					Sugar_PL			☐	☐	☐	202	
5 Juice		☐	数字 (整型)					Juice_PL			☐	☐	☐	202	
6 StirTime		☐	数字 (整型)					StirTime_PL			☐	☐	☐	202	
7 HoldingTime		☐	数字 (整型)					HoldingTime_PL			☐	☐	☐	202	
8 BatchStartTime		☐	字符串	30				BatchStartTime			☐	☐	☐	202	
9 BatchEndTime		☐	字符串	30				BatchEndTime			☐	☐	☐	202	
10 BatchStatus		☐	数字 (整型)					BatchStatus			☐	☐	☐	202	
11															
12															
13															
14															
15															

图 3 Wincc 系统用户归档设计

3) 批次报表设计

批次报表是食品饮品全面质量管理体系的重要组成部分,通过生产批次关键数据的采集、处理和存档,可视化报表的形式如趋势、报表的有机组合形成批次报表,可以有效记录批次全过程工艺参数,同时对于相同配方的批次,可以进行对比,快速定位批次间的差异,为工艺改进提供依据并创建有吸引力和全面的生产报告^[13-15]。另外,最

重要的是从法规监管的追溯性和完整性上,可以批号为核心,从生产开始到生产结束,通过批次报表全流程展示生产过程、过程报警、数据趋势等核心数据,对批次生产的全过程进行记录和审计追踪,让追溯更方便,让生产更合规。本项目中通过自定义报表模板以及打印样式,可以一键生成符合用户需求的批次报表,如图 4 所示。

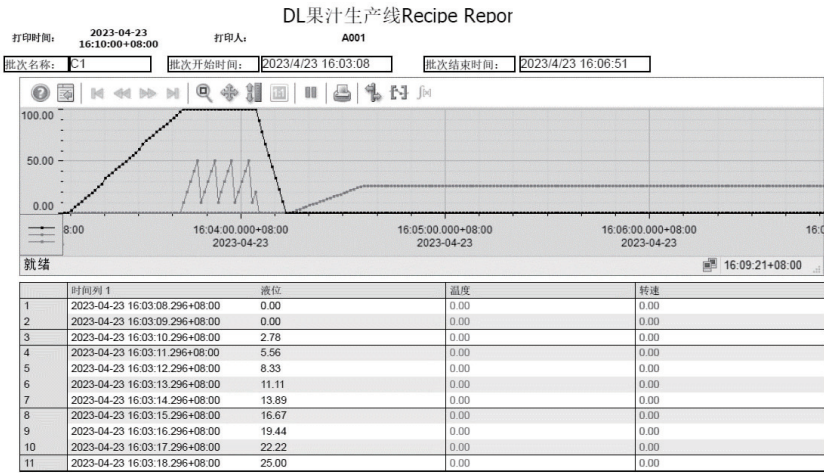


图 4 WinCC 系统批次报表设计

2.4 PLC 系统设计

本项目现场控制系统采用西门子 S7 系列 CPU,型号为 315-2PN/DP。这是一款经过全面开发的成熟控制器,包含 1 个 MPI/DP 12M B/s 接口,2 个以太网 Profinet 接口,支持强大通信承载能力,是应用非常广泛的高性能 CPU,且性价比非常高,在自动化领域有着非常高的应用率^[16-17]。本项目生产工艺设备包括多个开关阀门、反应釜、搅拌器、输送系统以及加热保温系统,一共包括数百个逻辑输入输出控制 IO 以及中间临时变量。

根据工艺要求,本项目的控制流程如下。

1) PLC 系统检测并接受 SCADA“开始生产”

指令,一旦 SCADA 系统指令到达后即立刻启动生产,开始果汁自动化生产流程。

2) PLC 系统根据配方输入的系统设定值(配方数据来自 MES 系统),系统启动后,依次打开 XV001/XV002/XV003 三个纯水、糖分、果汁原料的出料阀门,当流量计检测到的累计流量等于配方设定值后,即关闭相关阀门。

3) 现场反应釜 TT004 汇聚所有原料,并根据配方设定值启动原料搅拌程序,启动搅拌器 MV001,当搅拌时间达到设定值后关闭搅拌器 MV001,同时启动输送系统 MV002 输送泵,将经过搅拌混合后的原料打入保温发酵反应器 T005。

4) 混合物料到达保温发酵反应器 T005 后,系

统根据配方设定值启动加热保温程序,保温时间到达后,关闭加热器,并发出提示信息,通知系统操作员结束该批次过程生产,系统操作员在检查现场设备状态后,在 SCADA 界面点击“结束生

产”,相关生产转入下一工序,至此生产过程全部结束。

PLC 系统相关界面如图 5 所示。

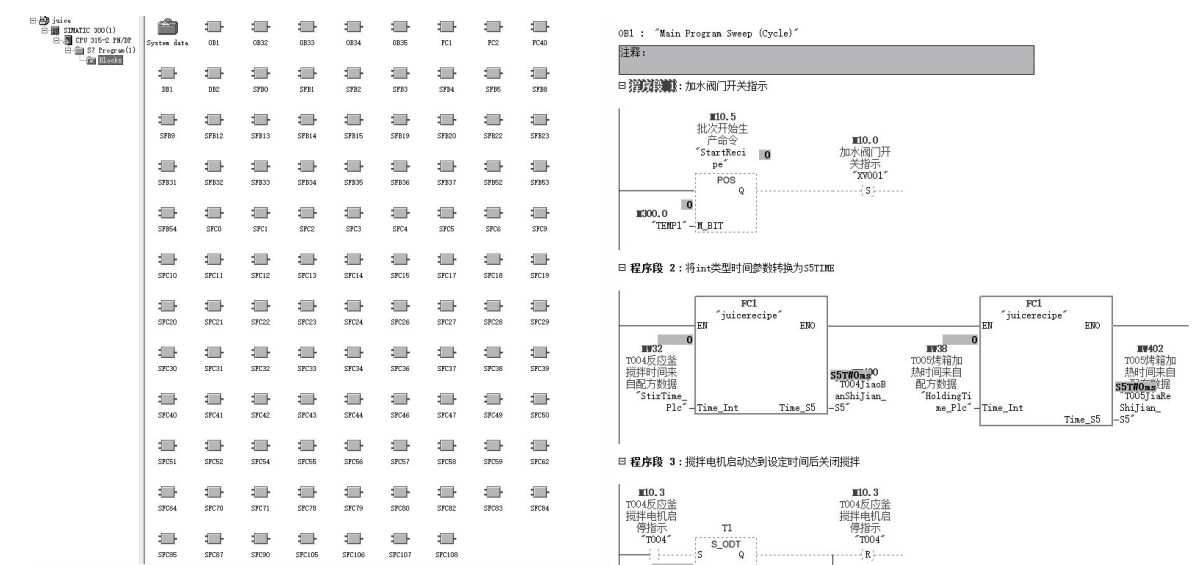


图 5 PLC 系统程序设计

3 功能测试与验证

本系统的设计目的是实现果汁生产过程的全闭环全自动监管,因此为了验证系统功能的可靠性和完整性,必须按照真实工艺生产过程中全流程操控进行测试。

3.1 MES 下发批次配方数据

首先在 MES 系统里面按照生产工艺要求下发当日果汁自动生产线的批次生产数据,MES 系统下发任务的配置界面以及相关数据如表 1 所示。

表 1 MES 系统生产任务数据

项目名称	1#批次数据	2#批次数据
批次名称	batch0601_1	batch0601_2
下发时间	2023 06 14 20:42:04	2023 06 14 20:45:08
配比/L	15	10
配比/kg	15	10
配比/L	15	10
搅拌时间/s	20	20
保温时间/s	120	60

3.2 SCADA 启动生产任务

在 SCADA 生产控制界面观察右上角的批次配方管理界面,发现已经自动出现相关生产任务。点击配方管理界面工具栏上面的配方下载工具,将相关批次配方数据下载到 PLC 自动化控制系统,同时点击“开始生产”按钮启动生产,PLC 自动化控制系统收到指令后,按照编写好的控制逻辑开始自动化生产,此时注意监控 SCADA 系统监控界面,观察生产过程以及相关数据变化趋势,同时待生产结束后,点击“结束生产”按钮,完成对应批次的生产任务。

3.3 生产结果数据分析

生产结束后,在 SCADA 系统中可以查询相关的批次生产报表,分析批次生产过程,满足法规对生产过程全程溯源的要求,1#批次数据生产过程的批次报表如图 6 所示。同时也可以可以在 MES 系统中查询该批次生产结果。

功能测试与验证结果表明,本系统完全实现了预期的设计目标,从 MES 生产任务下达、SCADA 生产监控、PLC 系统自动控制到生产数据可视化分析,均实现了生产过程的全流程管控,可以应对食品饮料行业的合规性挑战。

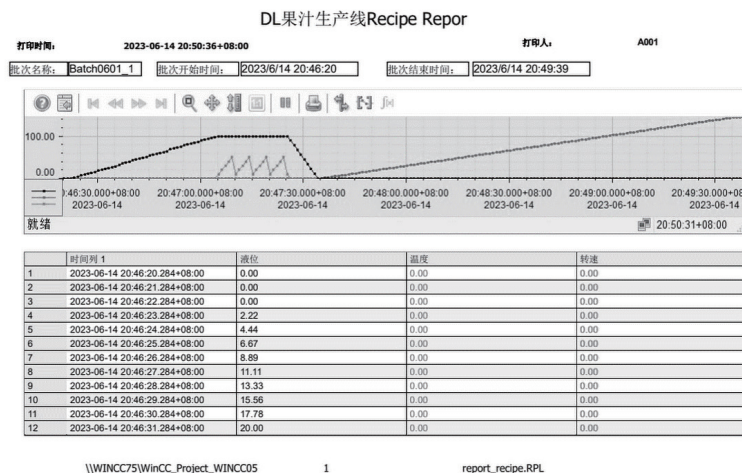


图 6 1#批次生产分析报表

4 结语

本文以 SCADA 控制系统为核心,打通生产制造执行系统 MES,自动导入批次配方数据,避免了人工介入修改参数的风险。同时 SCADA 系统无缝集成现场自动化控制系统 PLC,一键下载批次配方数据,实现全流程设备自动化控制。整个系统既有信息化层面的数据对接,也有自动化层面的智能控制,可以有效地提升果汁生产线自动化和信息化水平,同时全程数据的自动流转和批次报表完整呈现,满足了数据完整性和可靠性的监管需求。

食品饮料的安全生产关系着国计民生以及人民的生命健康,食品饮料生产者必须根据国家法规标准的要求重点监控生产过程中的物料数据、过程数据、检验数据、批次数据等。通过本项目的设计以及现场使用过程中的长期稳定反馈来看,本系统的设计完全可以满足果汁生产全过程数据流转、智能控制、过程追溯等食品饮料基础诉求和高级监管需求。同时随着应用场景的不断丰富,本系统还可以集合权限控制、电子签名、安全策略等更高级的 SCADA 增值功能,完全满足食品饮料行业应用场景下的个性化需求^[18-19]。

参考文献:

- [1] 杨会玲,毛渊磊. 河南省加强现制现售饮品食品安全监管[J]. 食品界,2022(5):138.
- [2] 程赛,韩孟,徐志文,等. 面向特殊医学用途配方食品智能制造的 MES 系统构建与实施[J]. 化工与医药工程,2020,41(3):37-41.
- [3] 万飞. 基于 SCADA 的 MES 系统研究设计及其应用[D]. 上海:上海应用技术大学,2022.
- [4] 寇腾. PLC 技术模式下的自动化控制系统集成设计

与实现[J]. 电子测试,2018(14):83-84.

- [5] 常镭民,郭海青. 基于 MES 的生产与管控系统设计[J]. 机械工程与自动化,2023(1):177-179.
- [6] 季焕淑. 试谈 SQL 数据库优化技术在信息管理系统中的应用[J]. 电脑编程技巧与维护,2022(11):82-85.
- [7] 王威. 基于 WinCC 的堆场管理与自动化系统的设计与实现[D]. 成都:西南交通大学,2013.
- [8] 潘庭龙,纪志成. 基于 WinCC6.0 的食品焙烤生产线监控系统设计[J]. 控制工程,2008,15(5):590-593,597.
- [9] 张羽洲. 基于 PLC 和 WinCC 组态的玻璃镀膜机设计[J]. 现代制造技术与装备,2023,59(2):194-196.
- [10] 邢洪波. WinCC 及 PLC 在异型钢连轧控制系统中的应用[J]. 自动化应用,2018(8):37-38.
- [11] 闫茂里,鲍春辉,高同贺,等. 植物油厂精炼车间自动控制系统设计[J]. 中国油脂,2022,47(8):141-144.
- [12] 余丹. WinCC 用户归档在报表中的应用[J]. 湖北农机化,2019(15):44-45.
- [13] 梁巍. 基于 WinCC 的干熄焦系统报表的设计与实现[J]. 自动化应用,2022(1):71-73,78.
- [14] 杨林. 基于 VBS 脚本及 SQL server 的 WinCC 报表二次开发[J]. 电子制作,2020(22):63-64,38.
- [15] 霍迎科,杨铮. 基于 SQL SERVER 2005 的 WINCC 7.0 报表系统实现方法[J]. 自动化技术与应用,2020,39(6):135-139.
- [16] 张伟,周鹏飞. 基于 S7-300 PLC 和 WinCC 组态软件的自动打料控制系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2020(3):99-102.
- [17] 张伟,王连彪,张广帅. 基于 PLC 的全自动打料系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2022(1):66-70.
- [18] 田义来. 浅谈利用 WINCC 脚本实现电子签名的方法[J]. 机电信息,2017(14):17-21,55.
- [19] 路佳特. GMP 计算机化系统审计追踪审核探讨[J]. 上海医药,2019,40(15):68-71.

收稿日期:2024-01-08