

# 制药车间智能立体库系统研究

赵爽<sup>1</sup> 赵久龙<sup>2</sup> 张瀚文<sup>1</sup>

1. 长春雷允上药业有限公司; 2. 机械工业第九设计研究院股份有限公司

**摘要:** 本文以某制药车间立体库为研究对象,开发了一套适用于制药 BDC(建设药品分配中心)的 WCS(药品库控制系统),并集成了 MES(制造执行系统)。该系统实现了库内药品存储分配、库外空药品载具转运调度及堆垛入库逻辑的分析处理;同时、它还能够统计货位状态及药品在库信息、记录药品进库操作日志,并实施监控整个 BDC 输送设备与巷道堆垛机。此外,系统能够实现生产订单计划线上自动获取,并根据药品出库序列执行药品出库任务,从而提升 BDC 的整体运转效率,智能处理突发问题,助力车间生产达到灵活可控的均衡生产状态。

**关键词:** 制药车间;智能立体库;数智化工厂

## 1 前言

自党的二十大以来,国家强调:“以科技创新和数字化变革催生新的发展动力”,各行各业为贯彻这一重要指导精神,都在通过全方位的数字化转型,谋求新时代下的数字红利,实现从传统工业经济向数字经济的升级<sup>[1]</sup>。

在制药制造领域,自动化立体仓库已得到广泛应用。利用立体仓库设备,可以实现仓库高层空间的合理化利用,存取作用的自动化,以及操作流程的简便化。自动化立体仓库是当前技术水平较高的仓储形式<sup>[2]</sup>。其调度监控与管理系统使计算机能够全面控制自动化仓储系统设备的运行过程、实现对物流信息的实时监控、管理与跟踪。物流信息管理包括作业计划、作业调度、作业过程以及作业变更。

然而,目前的技术尚缺乏智能化应用。在出现突发故障时,仍需要人工判定处理;并且无法根据实时变化的生产状态自动优化仓储进出策略。因此,本研究旨在开发一套集 WCS、MES 和 IoT(物联网平台)于一体的智能化立体库系统。

## 2 研究目的

本研究旨在开发一套制药 BDC 的 WCS,以实现库内药品存储分配、库外空药品载具转运调度及堆垛入库逻辑分析处理、货位状态及药品在库信息统计、药品进库操作日志以及整个 BDC 输送设备与巷道堆垛机的实时监控等业务。

系统将与 MES 系统集成,实现生产订单计划线上自动获取,根据药品出库序列执行药品出库任务<sup>[3]</sup>。

系统上线后,通过最优算法逻辑与高可靠自动化设备,实现调度系统、电控系统及其他信息化系统高度集成<sup>[4]</sup>,提升 BDC 整体运转效率,通过合理的计划和有效的组织助力车间生产,达到

随叫随到、灵活可控的均衡生产状态。

## 3 研究设计

设计应当遵循明确的策划流程:首先确立系统框架,接着明确系统语言,然后敲定核心逻辑与算法,继而确认运行环境,最后确定输出页面的功能形式。详细内容请参阅下文。

### 3.1 软件系统框架

立体库调度系统功能架构如图 1 所示。

### 3.2 软件系统实现语言

本次开发采用前后端分离的方式进行开发,前端采用 VUE2.0,后端采用 Java 开发,详细描述如下:

前端: VUE2.0 + Element UI

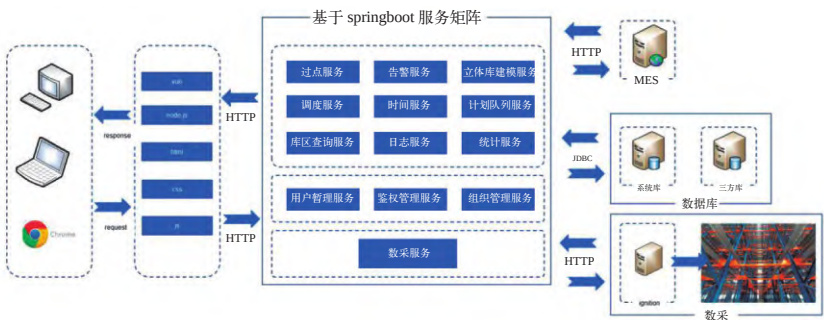


图 1 立体库调度系统功能架构图

后端: Springboot + mybatis

### 3.3 关键核心逻辑及算法

系统的逻辑和算法相当于人体的心脏,是本系统运行的核心动力源。他们必须具备可维护性、可扩展性和安全性。这些要求被细分为立体库库位分配逻辑、出入库逻辑和算法。具体细节制定详见下文。

#### 3.3.1 立体库库位分配逻辑

库位分配逻辑构成了所有逻辑的基础。务必重视基础逻辑的构建,并清晰地定义功能以及后续的优化目标。具体细节详见下文。

##### 3.3.1.1 基础逻辑

在进行库位分配时,允许自定义每个立体库的每列库位所存放的药品类型。这些类型主要包括中药、西药以及全品类药品,涵盖了包括中药、西药、保健品在内的所有药品种类。当库位分配发生调整时,库内现有的药品保持不动,而后续入库的药品将遵循更新后的库位分配规则。

原则上,堆垛机执行任务时遵循中药和西药的一出一入库循环模式。具体来说,当堆垛机处于空闲状态时,会根据上一个任务的类型来决定下一个任务。例如,如果上一个任务是中药出库,那么接下来将分配西药入库指令。在执行入库指令时,系统会检查对应入口处的药品是否到位,若药品未到位,则跳过该指令;在执行出库指令时,系统会检查对应出口处是否有药品阻塞,若存在阻塞,则同样跳过该指令。当某个立体库的所有生产计划操作都无法执行时,堆垛机将被视为闲置,并执行手动计划(第二计划)中的出入库任务;否则,堆垛机将保持闲置状态,直至生产计划中有可执行的指令。

##### 3.3.1.2 功能描述

根据生产计划和订单信息等因素,生成合理的调度指令。例如,根据订单的紧急程度和生产线的产能等因素,确定药品的优先级和运输顺序。同时,考

虑运输设备的运行状态和仓库的存储能力等因素,确保调度指令的可行性和高效性。

##### 3.3.1.3 优化目标

基于生产计划和出入库任务序列,构建叉车调度目标函数,求解出中药和西药的出入库最佳执行顺序,并输出任务调度序列。目标是提高叉车利用率,减少叉车空闲和等待时间,已实现叉车运行效率的最大化和总体运行时间的最短化。

#### 3.3.2 出入库逻辑

出入库逻辑作为核心执行逻辑,其效率、严谨性和扩展性至关重要。该逻辑细分为入库逻辑和出库逻辑两部分,详细内容参阅下文。

##### 3.3.2.1 入库逻辑

当西药或中药到达立体库的入库转台时,调度系统会请求药品信息。MES系统随后会确认该药品是否需要入库(大部分药品都是需要入库的)。如果入库,入库调度算法将计算出药品应该停放的巷道和库位,并将巷道号发送给PLC(可编程逻辑控制器),并记录相关信息,并锁定库位以待药品入库时放置。对于直通药品,系统会直接向PLC发送直通指令。如果该药品信息与入库计划不符,则系统会在该处停台并发出报警。当药品到达入口后,执行入库指令,将它存放到相应的库位。

##### 3.3.2.2 出库逻辑

严格按照MES系统下发的出库计划执行。当库存不满足设定阈值时,系统会请求出库序列。若无出库序列,系统将发出警告,并持续更新出库序列。

系统策略如下:

- 根据库存情况请求MES系统生成出库序列;

- 按照出库序列进行出库操作,将出库序列信息下发到PLC,由PLC按顺序进行出库操作;

- 根据设定的报工点进行报工;

- 针对出库计划,自动执行的出

库操作将按照创建订单的时间顺序与MES系统自动生产的计划进行排序。当库存为零时,系统会发出告警;

- 系统具备自动插队功能。

#### 3.3.3 算法

在算法系统中,算法扮演着人类大脑的角色,是推动系统功能实现、提升性能与智能化水平的核心引擎。其作用不仅体现在基础功能实现上,更直接影响系统的效率、可靠性和竞争力。下文将详细介绍。

##### (1) 参数说明

$I^k$ : 第k个巷道的药品集合。K: 巷道集合;

$J^k$ : 第k个巷道的库位集合;

$I_{colours}^k$ : 第k个巷道的中药集合;

$I_{white}^k$ : 第k个巷道的西药集合;

$I_{others}^k$ : 第k个巷道的第三类药品集合;

$Hot_i$ : 药品i的热度值;

$Cost_i^k$ : 第k个巷道的库位j到入口与出口的成本;

$J_{colours}^k$ : 第k个巷道中药库位集合;

$J_{white}^k$ : 第k个巷道西药库位集合;

$J_{common}^k$ : 第k个巷道公共库位集合;

$J_{occupied}^k$ : 第k个巷道库位被长期占用的库位集合;

$Q^k$ : 第k个巷道的叉车执行任务队列;

$Q_{in}^k$ : 第k个巷道的入库药品序列;

$Q_{out}^k$ : 第k个巷道出库的药品序列;

$j_m$ : 药品m的存储库位,  $m \in Q_{out}^k$ 。

##### (2) 变量定义

$x_{ij}^k$ : 值为1表示药品i存储在第k个巷道的库位j中。

##### (3) 优化目标

满足业务约束的同时,最小化叉车作业时间,同时增加药品热度惩罚项。

$$\min f = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I^k} \sum_{j \in J^k} Hot_i Cost_j^k x_{ij}^k$$

##### (4) 约束条件

约束1: 中药存储的库位号需属于中药库位集合,西药库位号属于西药库

位集合。第三类药品可以存储在中药、西药或保健品的库位集合中。

$$\sum_{j \in I_{colours}^k \cup I_{common}^k} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in I_{colours}^k, \forall k \in K$$
$$\sum_{j \in I_{white}^k \cup I_{common}^k} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in I_{white}^k, \forall k \in K$$
$$\sum_{j \in I_{common}^k} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in I_{others}^k, \forall k \in K$$

约束 2：一个药品只能存储于一个库位。

$$\sum_{j \in K} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in I^k, \forall k \in K$$

约束 3：不在出库队列里的已经占用的库位不能再分配药品。

$$\sum_{i \in I^k} x_{ij}^k = 0 \quad \forall j \in I_{occupied}^k$$

约束 4：针对队列顺序中要出库的药品对应的库位，按队列顺序在出库药品前入库的药品不能分配该库位。

$$\sum_{i=1}^m x_{ijm}^k = 0 \quad \forall k \in K \quad \forall m \in Q_{out}^k$$

(5) 算法输入

每个叉车调度顺序  $Q^k$ 。

(6) 算法输出

每个叉车调度顺序  $Q^k$ 。

$Q^k$ 为每个叉车要执行的任务队列。

任务信息包括：任务类型（入库或出库），入库药品的 VIN，所属巷道和药品位置信息。

(7) 算法求解流程

步骤 1

初始化：设定入库药品热度值，库

位距离信息及库存信息。

步骤 2

构建目标函数：目标是最小化叉车作业时间。

步骤 3

构建业务约束：基于业务约束构建约束条件。

步骤 4

求解：在满足所有约束条件下，求解出最佳库位存储策略，使得目标函数值最小。

### 3.4 系统运行环境

本系统采用单体架构部署方式，性能瓶颈主要受服务器内存和具体接口计算复杂度的影响。适用于处理每秒查询量（QPS）在 100 ~ 500 之间的相对简单的应用场景。

### 3.5 基础页面功能设计

#### 3.5.1 立体库总览（见图 2）

支持按药品分类（显示各品类数量）、按批次（显示所有批次数量）、按订单类型（包括预定单、正常单、加急单）进行筛选。

● 通过平面图展示目前各个立体库的库存状态及各类型药品的数量；

● 通过不同颜色显示立体库中各药品在立体库中的停放时长；

● 以日、周、月为时间段统计立体库的出入库药品数量和节拍对比；

● 统计库中中药和西药，以及出库

变化趋势；

● 统计各个立体库中的车位占用比例；

● 还可以通过库位的使用频次来统计库位的使用频繁程度。

#### 3.5.2 立体库管理

立体库管理属于系统的功能性的输出，必须简单、全面、直观、易操作。具体详见下文：

● 显示选择的立体库的平面图，包括药品的物料号、堆垛机的实时状态、各库位的状态，实时的报警信息以及库位的统计信息；

● 通过扫码标识显示各库位的分配状态，例如，中药库位、西药库位、全品库位，以及库位的正常和异常状态；

● 显示库位占用统计；

● 点击【入库规则】显示入库规则配置界面（见图 3）；

● 点击【出库规则】显示出库规则设置界面。

根据药品出库原则，可选择库位占用时间最长的药品进行出库，或者遵



图 3 入库规则配置界面图

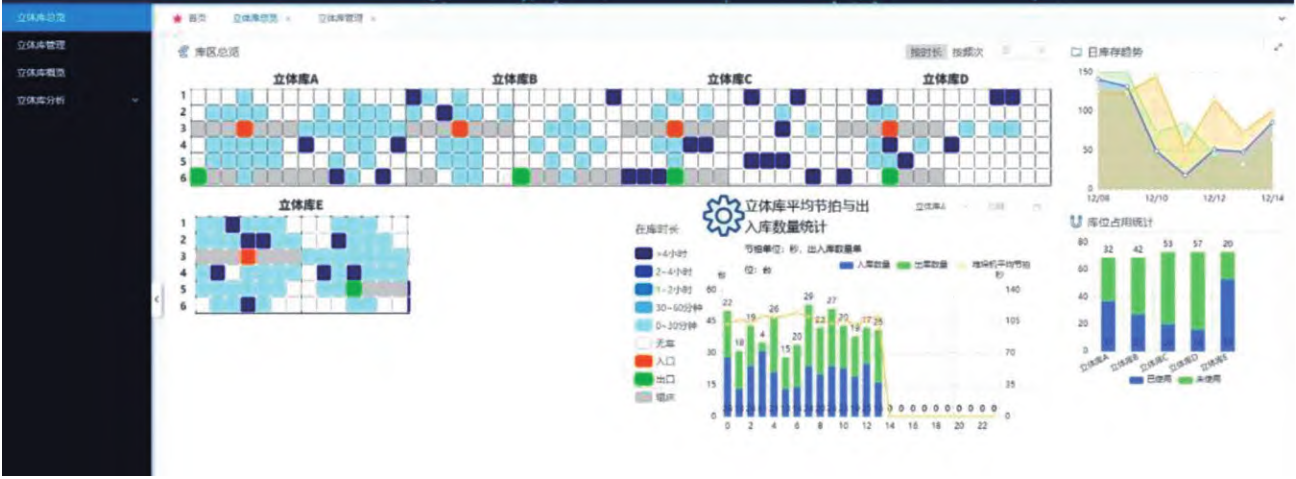


图 2 立体库总览图

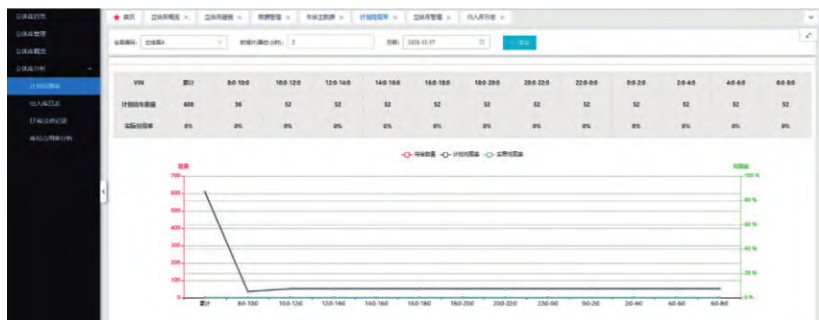


图4 出入库订单详情页面图

循最近入库先出的原则。

### 3.5.3 立体库分析

对于立体库出入情况,要求可直观简单分析,以便为是否需要更改生产计划或变更出入库逻辑做好论证基础。具体而言,可以通过图表查看出入库详情。

## 4 结论与价值

本系统在实现研究目的后成功上线,通过运用最优算法逻辑与高可靠的自动化设备,实现了调度系统、电控系统及其他信息化系统的高度集成。这显著提升了BDC的整体运转效率,并通过合理的计划和有效的组织,支持了车间生产,实现了按需应变、灵活可控的均衡生产状态。

### 4.1 结论

本研究旨在开发适用于制药车间的智能立体库系统。经过9次升级优化,系统运行已达到稳定状态。该系统已成功应用于某制药项目的前中期阶段,提前识别并解决了立体库对线体产能的潜在影响。通过实验,我们确定了最合理的库位数量,并调整优化了进出库策略。此外,在后期的实际生产中,该系统也展现了其智能化处理的能力。

### 4.2 价值

此立体库系统的价值不仅体现在技术实现层面,更深刻影响着企业运营、社会效率和人类生活方式的变革。以下是其核心价值的结构化分析,结合数据与案例说明:

- 经济价值:通过系统优化,最

终减少了30个库位,节约了约20万元的配套设备及材料成本;同时减少了59个药品载具,直接节省了8万元的经济成本。这些成果在后续的实际生产中得到了进一步验证。

- 风险价值:在设计和输送方案中提前识别出7个潜在瓶颈点,并提出了最合理的解决方案。同时,验证了最佳缓存位数量,有效降低了方案风险,确保了风险可控。

- 能效价值:通过实时监测生产过程并实施智能决策,系统能够迅速且准确地解决突发问题,从而减少损失<sup>[5]</sup>。

- 成本价值:整个过程周期短,所需人力少,具有广泛的应用推广价值。

### 参考文献:

- [1] 赵爽,赵久龙.药厂立体库仓储方案仿真研究[J].流程工业,2024(4):42-45.
- [2] 赵久龙,赵爽.制药生产车间柔性高效立体库研究[J].制药工艺与材料,2023(3):68-72.
- [3] 张东栓.立体仓库在智能铸造工厂中的应用[J].中国铸造装备与技术,2024,59(4):44-46.
- [4] 王玉,赵皎云.SEW电机智能工厂的物流系统规划与建设[J].物流技术与应用,2023,28(10):100-104.
- [5] 吴炜斌.现代物流仓储智能高架立体库结构设计要点[J].福建建设科技,2024(1):88-90.



上海意发玛制药设备有限公司  
E-PHARMA (SHANGHAI) PHARMACEUTICAL EQUIPMENT CO., LTD



We are **E-Pharma**  
sanitary heat exchanger  
supplier

我们是 **意发玛**  
卫生级换热器提供商

Your good **Partner**  
良好的 **合作伙伴**

Specialized, Focus, Try for the Best  
专业、专注、精益求精



Web: www.e-pharmatech.com  
E-mail: info@e-pharmatech.com  
Tel: +86-21-32503721 32503722  
No.39, Xinjin Road Qingpu District, Shanghai, PRC  
中国·上海市青浦区新金路39号

广告