Research on Flexible VMI Inventory Optimization Model for Tobacco Spare Parts Based on VCC Classification

Yong Chen Ke Lin Hao Wang Yang Huang Xuming Wu

Zhejiang Tobacco Industry Co., Ltd. Materials Supply Department, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

In response to the problem that tobacco spare parts have a complex category, significant differences in value and consumption characteristics, and the single supplier inventory management (VMI) strategy is difficult to adapt, a flexible VMI inventory optimization model based on the three-dimensional classification of value - consumption regularity - criticality (VCC) is proposed. The unit price and annual consumption amount define the value dimension, the monthly demand variation coefficient characterizes the consumption regularity, and expert scoring quantifies the criticality. A classification decision tree is constructed to divide spare parts into core parts, high-turnover parts, non-critical parts, and strategic reserve parts, and match four types of inventory control strategies: joint replenishment with time period, (s,S) continuous inspection replenishment, consignment, and enhanced consignment. A simulation is conducted using the recent spare part data of a tobacco industrial enterprise. The results show that under the premise of maintaining a service level of 98%, the flexible VMI model reduces the total system cost by 12.7% compared to the unified VMI strategy, and the inventory turnover rate increases by 18.8%. This can provide method references for spare part inventory management in the tobacco industry and other process-oriented manufacturing enterprises.

Keywords

supplier management inventory; VCC classification; spare parts management; inventory optimization; simulation analysis

基于VCC分类的烟草备件柔性VMI库存优化模型研究

陈勇 林珂 王浩 黄泱 吴旭明

浙江中烟工业有限责任公司物资供应部，中国·浙江 杭州 310000

摘要

针对烟草备件品类繁杂、价值与消耗特性差异显著，单一供应商管理库存（VMI）策略难以适配的问题，提出一种基于价值—消耗规律性—关键性（VCC）三维分类的柔性VMI库存优化模型。以单价与年消耗金额界定价值维度，以月需求量变异系数刻画消耗规律性，以专家打分量化关键性，构建分类决策树将备件划分为核心件、高周转件、非关键件与战略储备件四类，并分别匹配时间周期联合补货、(s,S)连续检查补货、寄售与增强型寄售四类库存控制策略。以某烟草工业企业近期备件数据开展仿真，结果表明：在服务水平保持98%以上的前提下，柔性VMI模型较统一VMI策略降低系统总成本12.7%，库存周转率提升18.8%，可为烟草行业及其他流程型制造企业的备件库存管理提供方法参考。

关键词

供应商管理库存；VCC分类；备件管理；库存优化；仿真分析

1 引言

烟草工业设备连续运行强度高、备件消耗品类繁多，备件库存既关系生产连续性，又直接影响资金占用水平。供应商管理库存（Vendor Managed Inventory，VMI）将补货决策权交由上游供应商行使，能够有效削减供应链整体库存并提升响应效率[1]。但烟草备件在价值、消耗规律性与故障后果三个维度上差异悬殊：对高价值关键件若沿用宽松的库存控制，易形成资金沉淀与供应隐患；对低值易耗件若管控过严，又会抬升管理成本与响应延迟，出现“水土不服”现象[2-3]。

现有研究主要集中在备件分类方法、需求预测与库存控制策略三个方面。分类方法已从单准则的ABC分类法演进至ABC-VED、FSN-ABC-VED等多准则体系，并引入层次分析法、多属性决策工具实现综合评判[2,4-5]；需求预测方面，针对间歇性、低消耗规律性备件，移动平均、指数平滑与Croston方法等已得到广泛应用[2]；库存控制方面，(s,S)连续检查与联合补货等经典策略为多品种库存控制提供了基本工具，学者并就第三方物流参与下的库存协同模式开展了建模与仿真验证[6]；烟草行业亦已就工商共建库存等模式开展实践探索[3]。然而，将多维度分类与差异化VMI策略系统集成、并面向烟草备件场景开展定量建模的

【作者简介】陈勇（1988-），男，中国浙江温州人，本科，工程师，从事供应链信息化管理，物资采购管理，物流管理。

研究仍较缺乏：一是分类维度多停留在成本与关键性两维，未刻画消耗规律性；二是分类结果与库存控制策略之间缺少可操作的映射机制。

基于此，本文提出价值（Value）—消耗规律性（Consumption regularity）—关键性（Criticality）三维分类框架（简称VCC），构建分类与策略联动的柔性VMI库存优化模型，并以浙江中烟备件历史数据验证其有效性。

2 柔性VMI集成模型

2.1 VCC三维分类框架

烟草备件属性差异较大，为把它们区分清楚，本文从价值（V）、消耗规律性（C）、关键性（K）三个维度来分类。

价值维度从单价和年消耗金额看，价值函数 $V = f(p, D)$，p 是单价，D 是年耗用量。企业先定一个门槛 V_0，达到或超过就算高价值备件。这个维度用来挑出占用资金多的品种。

消耗规律性维度看月需求量波动大小，用变异系数 $CV = \sigma/\mu$ 衡量，σ 是月需求量标准差，μ 是月需求量均值。企业定阈值 CV_0，CV 不超过 CV_0 就算消耗有规律。这个维度决定需求预测靠不靠谱：规律性强的可以按历史数据自动补货，规律性弱的就得留出灵活调整的余地。

关键性维度不好直接算，属于定性判断。看备件坏了以后，对停机时间、产品质量、生产安全影响有多大。操作上按德尔菲法，邀请设备管理、维修、生产调度人员进行多轮打分，最后分成高、低两档。

三个维度定好后，按下面的顺序建分类决策树（见图1）：先用价值维度筛出高价值件；再看消耗规律性和关键性怎么组合，把高价值件分成四类管理对象。$V < V_0$ 的低价值件品种多但占资金少，统一走寄售或简化补货流程。四类备件的特征、典型物料和对应策略见表1。

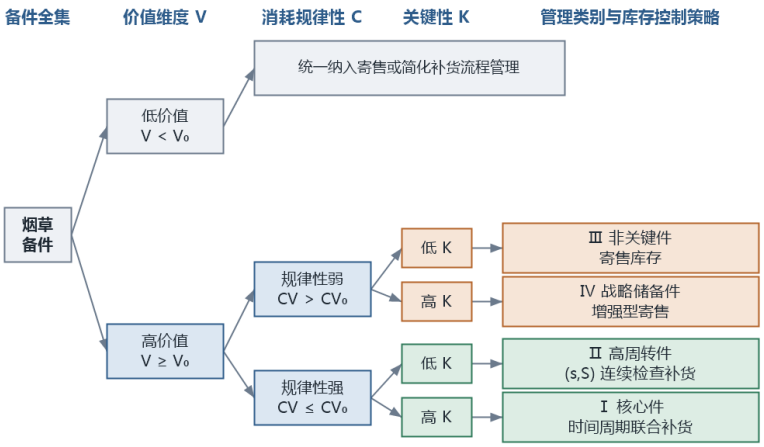


图1 备件VCC三维分类框架

表1 备件VCC分类类别与差异化库存控制策略

类别	特征	典型物料	库存控制策略
Ⅰ 核心件	高V、高C、高K	铜排链、烟枪总成	时间周期联合补货
Ⅱ 高周转件	高V、高C、低K	布带、搓板	(s,S)连续检查补货
Ⅲ 非关键件	高V、低C、低K	通用阀门、标准传感器	寄售库存
Ⅳ 战略储备件	高V、低C、高K	进口电机、定制控制芯片	增强型寄售

2.2 差异化库存控制策略

类别Ⅰ为核心件价值高、消耗规律性强且对生产连续性有决定性影响，采用时间周期联合补货策略，以总成本最小为目标：

$$\text{Min } TC = \Sigma(C_0 N + C_h Q/2) \quad (1)$$

上述列式中 C_0 为单位订购成本，N 为年订购次数，C_h 为单位持有成本，Q 为单次订购量。约束条件为合同期末完成交货，且补货周期需与供应商生产排

程协调。

类别II高周转件消耗频繁、金额较大，但故障影响可控，采用(s,S)连续检查补货策略：当库存水平 I(t) 降至再订货点 s 时就立即触发补货，订货量 Q = S − I(t)。再订货点由前置时间内的期望需求与安全库存共同确定：

$$s = \mu L + z\sigma\sqrt{L} \quad (2)$$

上述列式中 μ 为月均需求量，L 为补货前置时间，z 为目标服务水平对应的正态分布分位数；最高库存水平 S 综合考虑订货经济性与持有成本后确定。

类别III非关键件采用寄售库存模式，物料存放于供应商仓库、企业按实际消耗量结算，将持有成本转移至供应商端，此模式管理重点在于建立透明的消耗信息共享机制。

类别IV战略储备件则是在寄售基础上采用的增强型模式，对供应商附加地理位置与物流响应能力约束，要求其仓库位于生产基地一定半径范围内并设置加急发货通道，同时在相关合同中明确服务水平条款与激励约束机制。

2.3 VMI集成业务流程

柔性VMI模型的落地需要配套流程支撑。本文设计的集成业务流程包含信息共享、需求预测、补货决策与绩效评估四个环节并形成闭环：依托数字化接口与供应商实时共享备件消耗、库存水平与生产计划信息；由供应商主导、企业配合，按备件类别分别选用预测方法；系统依据各类别策略函数自动生成补货建议，经双方确认后执行；按月考核服务水平、库存周转率与成本节约率，并据此滚动修正策略参数。

3 仿真分析

3.1 实验设计

选取某烟草工业企业近期备件消耗记录、库存台账、采购订单及供应商交货记录开展仿真，仿真周期为1年。选取两类典型物料作为实验对象：某高价值关键机械件M1代表类别I，某高周转易损件M2代表类别II。设置三种对比策略：策略A为本文提出的柔性VMI模型；策略B为统一VMI策略，对所有物料均采用(s,S)策略且参数取两类物料的折中值；策略C为无VMI的传统采购模式，企业自主持有库存并采用固定订货量策略。评价指标包括系统总成本（库存持有成本、订货成本与缺货成本之和）、服务水平（以订单满足率衡量）与库存周转率（次/年）。

3.2 结果与讨论

仿真结果如表2所示。

表2 不同库存策略仿真结果对比

策略	成本指数	服务水平/%	库存周转率/(次·年−1)
A 柔性VMI模型	77.5	98.2	3.8
B 统一VMI策略	88.8	98.5	3.2
C 无VMI策略	100	95.1	2.1

注：为保护企业商业秘密，文中企业名称等信息均已脱敏处理，成本数据以基准策略为100进行归一化处理，不影响策略间比较结论。

从总成本看，策略A较策略B降低12.7%，较策略C降低22.5%。成本优势来自两方面：一是类别I采用时间周期联合补货，避免了基于库存水平的频繁订货，压缩了固定订货成本；二是类别II保留(s,S)自动补货机制，在保障供应连续性的前提下将库存维持在经济合理水平。从服务水平看，策略A（98.2%）与策略B（98.5%）均显著优于策略C（95.1%），两者仅相差0.3个百分点，说明成本优化并未以牺牲服务质量为代价。从库存周转率看，策略A（3.8次/年）较策略B提升18.8%，较策略C提升81.0%，资金占用改善明显。敏感性分析进一步表明，当需求波动性（CV值）增大时，柔性VMI模型的成本优势更为突出；当前置时间延长时，策略A与策略B的差距收窄，但仍保持领先。

4 结论

本文提出并验证了基于VCC分类的柔性VMI库存优化模型，主要结论如下：价值、消耗规律性与关键性三个维度能够有效刻画烟草备件的管理属性差异，据此形成的四类划分与差异化策略具有清晰的映射关系；在服务水平维持98%以上的前提下，柔性VMI模型较统一VMI策略降低系统总成本12.7%、提升库存周转率18.8%，实现了成本与服务的同步优化；分类精细化程度与策略适配度是VMI实施效果的决定性因素，对高价值关键件应侧重预测精度与供应可靠性，对高周转件应侧重补货自动化与管理成本下降。

后续研究可将随机需求与随机提前期同时纳入模型，考虑多级库存环境下的协同优化，并探索机器学习方法在低消耗规律性备件需求预测中的应用。

参考文献

[1] GHASEMI E, LEHOUX N, RÖNNQVIST M. Coordination, cooperation, and collaboration in production-inventory systems: a systematic literature review[J]. International Journal of Production Research, 2023, 61(15): 5322-5353.

[2] 李春秀, 孙明明. 备件分类与需求预测研究综述[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2023, 41(5): 116-121.

[3] 孟迪云, 沈辉. VMI在烟草物流中的应用分析[J]. 物流技术, 2012, 31(1): 7-9.

[4] BRAGLIA M, GRASSI A, MONTANARI R. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2004, 10(1): 55-65.

[5] 刘晓冉, 秦绪伟, 成姝慧, 等. 面向设备性能服务的多类多层次备件分类与两级库存策略联合优化[J]. 管理工程学报, 2026, 40(3): 286-300.

[6] 汪小京, 刘志学, 徐娟. 基于系统动力学的第三方物流管理库存模型[J]. 系统管理学报, 2016, 25(2): 317-325.