**文章编号**：1003-1421(2026)01-0195-08
**引用格式**：李安林，兰洪杰，张迪. VMI模式下动车组配件综合采购成本评估[J]. 铁道运输与经济，2026，48(1)：195-202.
LI Anlin，LAN Hongjie，ZHANG Di. Evaluation of Comprehensive Procurement Cost of EMU Spare Parts under VMI Model[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(1)：195-202.

# VMI模式下动车组配件综合采购成本评估

李安林，兰洪杰，张　迪

(北京交通大学 经济管理学院，北京　100044)

**摘　要**：动车组配件中心作为配件供应商管理库存模式的载体，为动车组售后服务配件供应保障提供了有力支持。为探寻不同条件下配件采购方式的合理选择，提出构建动车组配件综合成本分析模型，在考虑采购价格折扣、采购提前期、需求不确定性等影响因素的基础上，测算配件中心价格涨幅的合理区间。算例结果表明：配件需求及采购提前期的不确定性越强，涨幅上限越高；公开采购的价格折扣与涨幅上限呈负相关关系，且价格折扣的影响最为直接。该模型分析不同配件在“公开采购+自管库存”和“框架协议采购+VMI”2种采购供应模式下的预期综合成本，为确定配件采购方式、降低配件供应成本提供了参考。

**关键词**：动车组配件；VMI模式；配件中心；成本评估；综合采购成本
**中图分类号**：U279；F530.5　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20240527004

# Evaluation of Comprehensive Procurement Cost of EMU Spare Parts under VMI Model

LI Anlin，LAN Hongjie，ZHANG Di

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract**: As the inventory management platform for suppliers, the Electric Multiple Unit (EMU) spare parts center provides strong support for the after-sales service of EMUs. To examine the rational choice of procurement methods under different conditions, a comprehensive cost analysis model for EMU spare parts was proposed. Based on factors such as purchase price discounts, procurement lead time, and demand uncertainty, the reasonable range of price increases for the spare parts center was estimated. Numerical results show that greater uncertainty in parts demand and procurement lead time leads to a higher price increase ceiling. Price discounts in competitive procurement are negatively correlated with this ceiling and have the most direct impact. The model further analyzes the expected total cost of different parts under two procurement modes: competitive procurement with self-managed inventory and framework agreement procurement with vendor-managed inventory (VMI) model. These findings provide a reference for determining spare parts procurement methods and reducing spare parts supply costs.

**Keywords**: EMU Spare Parts; Vendor-Managed Inventory Model; Spare Parts Center; Cost Assessment; Comprehensive Procurement Cost

**收稿日期**：2024-05-27　　**修订日期**：2025-05-10
**基金项目**：中国铁路北京局集团有限公司科技研究开发计划课题(2024BZ03，2025AZ04)

## 0　引言

随着我国动车组研发技术及检修能力的不断提升，动车组配件供应的挑战也随之增加。为提升动车组配件的供应保证能力，中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)联合中国中车集团有限公司(以下简称“中国中车”)在全路建立了7个动车组配件中心，通过签订战略采购协议，以供应商管理库存(VMI)模式为各动车段(所)提供配件，动车组配件中心的建立有效地保障了配件的供应、降低了各动车段的库存。但是，在VMI模式下，各动车段将配件的管理成本转嫁给配件中心，各配件中心则通过提升协议采购价格的方式稳固自身利润，这导致配件中心的效益难以量化，而效益的模糊也对管理者的决策造成了影响。因此，如何量化配件中心的效益、评估配件采购的综合成本，成为目前亟待解决的问题。

动车组配件中心目前采取VMI模式对配件进行管理，该模式的主要特点是由供应商承担配件的积压风险及库存成本[1]，但这导致供应商的利润率降低，因此如何对VMI模式产生的效益进行分析成为重点[2]。现有关于VMI模式的研究更侧重于库存与订货决策的优化。Pasandideh等[3]采用VMI采购模式对不同产品联合补货，通过实证研究出VMI模式下最优订货次数和最佳订货时间点。徐友良等[4]在合作博弈的视角下，对VMI模式的库存与运输的集成系统进行优化分析。具体到动车组配件领域，邵作敬[5]基于动车组检修配件特性，运用两步矩阵分类法，对检修配件进行分类管理，提出对二级、三级配件建立VMI库存管理模式。王辉[6]以上海动车配件中心为例进行分析，表明配件中心的运行对于中国铁路上海局集团有限公司降低动车配件库存资金及采购金额成效显著。在物资管理方面的研究中，部分学者从库存管理的角度对配件储备策略进行优化。Tseng等[7]提出利用马尔可夫决策过程对库存问题进行分析，解决物资采购数量与采购时间点等问题，以减少库存物资的积压。Teixeira等[8]提出对备件进行多准则分类，针对不同类别备件提出适合的库存管理策略。Dhahri等[9]考虑了不可靠的制造系统和多个零售商的综合生产系统，为复杂环境下的库存管理和备件储备策略优化提供了重要参考。进一步聚焦到铁路物资管理方面，王来祥[10]基于新时代铁路物资管理高质量发展的背景，提出建立集约化铁路物资采购管理体系，增强价格管控，强化国铁集团集中采购管理，发挥采购规模效益。生迪[11]提出根据重要程度、需求数量等因素，将动车组配件分为市场采购物资、主机厂生产物资和主机厂外采物资3类，并分别提出采购方式优化建议。聂荣远[12]针对动车配件供应模式，提出建立集约化配件采购供应渠道，发挥配件中心代储供应职能，进而提升配件质量和保供能力。合理确定采购最高限价是铁路企业确保采购产品质量、压缩成本支出的重要方式，也是提升铁路运输生产经营整体效益的重要举措[13]。在铁路物资采购价格研究方面，韩鹏[14]从原材料价格波动、采购数量、生产技术及政策等影响物资价格的因素入手，探究价格影响因素与最终采购价格之间的量化关系，建立价格预测模型。鲁绪承[15]分析了动车新购、维修服务以及铁路易损易耗件采购价格的影响因素，并选取通用型易损易耗件物资的采购价格，运用统计模型进行了实证研究。

综上所述，大部分学者更加关注VMI模式下的企业库存管理问题，从配件采购视角出发的采购成本评估、采购模式选择以及VMI模式效益分析方面的研究较少。其次，在铁路物资采购价格研究中，较多考虑原材料价格、生产技术及政策等外部环境影响因素，对于采购提前期和需求波动对采购价格的影响考虑较少。因此，提出构建配件综合成本核算模型，分析不同采购供应模式效益均衡点处的成本情况，转化为VMI模式下的价格涨幅上限。并进一步考虑价格折扣、采购提前期及需求波动等因素对价格涨幅上限的影响，分析不同情形下VMI模式效益的变化，为各铁路局集团公司动车组配件采购供应模式的选择提供理论参考。

## 1　问题描述与基础模型

### 1.1　问题描述

“公开采购+自管库存”是动车组售后服务配件供应保障体系中最普遍的采购供应模式，各动车段根据配件需求进行公开采购，包括公开招标、网上

竞价等方式，由各主机厂等配件供应商对配件进行供应，并由各动车段对配件进行管理。

与之相对的是“框架协议采购+VMI”模式，VMI模式的核心是由供应商对产品库存进行管理，由中国中车各主机厂在动车段内建立配件中心，各动车段与配件中心协商“供应目录”，并签订战略采购协议，各动车段所需在“供应目录”上的配件根据协议价格向配件中心采购，同时各主机厂需保障配件的“随用随领”，并承担配件需求波动导致的不确定性。动车组配件主要采购供应模式如图1所示。

VMI模式实行“先用后付，日清月结”的支付方式，并承担配件需求波动导致的不确定性，有效提升了各动车段的配件供应保障效率，降低了资金占用成本，但随之带来的是配件采购价格的提升。为探寻配件价格涨幅的合理区间，提出构建动车组配件综合成本测算模型，以对不同影响因素下2种采购供应模式的效益进行分析。

## 1.2　基础模型

提出一个配件综合成本核算模型，包含2种采购供应模式，分别为VMI模式与自管库存模式。为便于在建模分析中区分，设置下标$z$代表自管模式，下标$v$代表VMI模式。根据动车组售后服务配件供应保障现状设以下假设：①在基础模型中，动车组配件的日均消耗量$d$固定不变；②动车组配件库存的盘点方式为定期盘点，且订货周期固定为$T$；③动车组配件的采购与供应是长期行为，考虑其采购供应周期为无限周期。

根据上述假设，从配件使用单位的角度出发，现有配件采购供应模式下的综合成本由配件采购成本与配件管理成本两部分组成，以下针对这2部分成本进行建模分析。

### 1.2.1　配件采购成本

采购成本指购买配件时向供应商支付的款项，采购成本与配件的采购价格相关。一个订货周期内的采购成本如下。

$$CP_i = d \cdot T \cdot P_i \qquad i = (z,\ v) \tag{1}$$

式中：$CP_i$为一个订货周期内的配件采购成本，$i = (z,\ v)$分别代表2种采购供应模式；$d$为动车组配件的日均消耗量，件/d；$P_i$为2种模式下配件的价格，元/件；$T$为订货周期，d。

考虑到配件中心承担了配件的库存成本，并且使用单位采用“先用后付”的结算模式，这给配件中心带来了较大的库存与成本压力。因此，对于相同的配件，一般认为VMI模式下的采购价格不低于自管库存模式。基于此设置了配件价格涨幅系数$\alpha$来表达2种模式下配件采购价格的关系如下。

$$P_v = \alpha \cdot P_z \qquad \alpha \geqslant 1 \tag{2}$$

式中：$P_v$为VMI模式下的配件采购价格；$P_z$为自管库存模式下的配件采购价格。

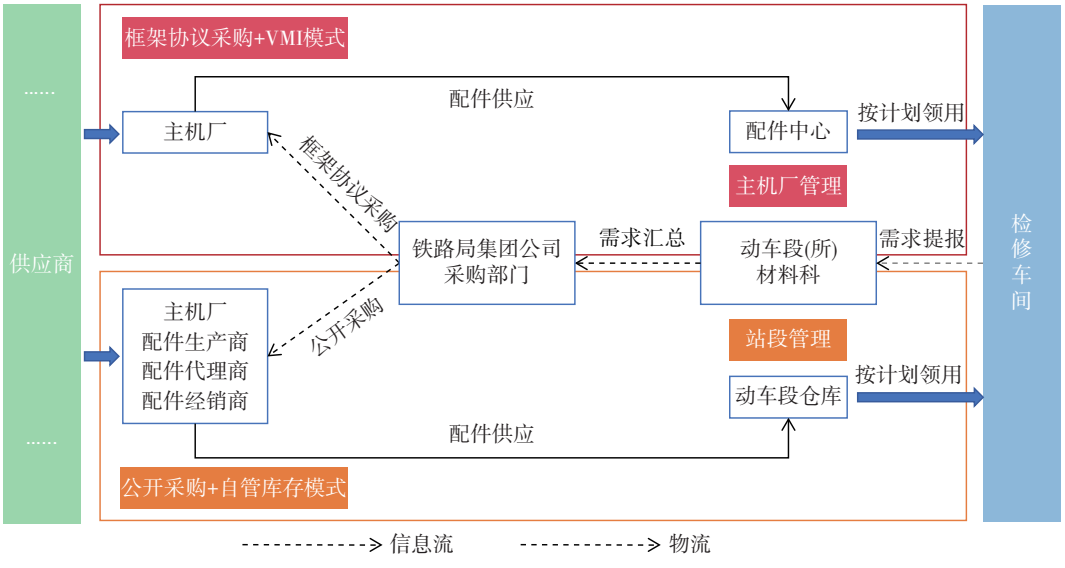


**图1　动车组配件主要采购供应模式**

Fig.1　Main procurement and supply models of EMU spare parts

### 1.2.2　配件管理成本

除采购成本外，持有配件库存将产生仓储费用和资金占用成本，配件的运输及配送过程还将产生物流费用，将其统称为配件管理成本。配件库存曲线如图2所示。

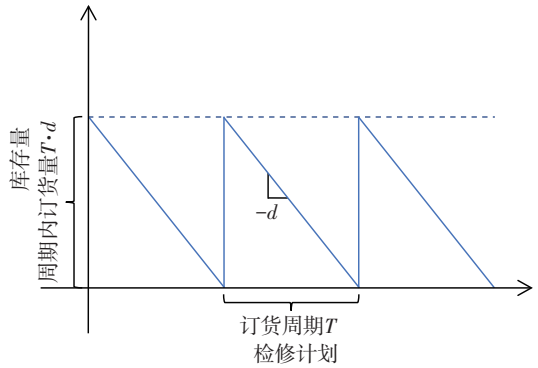


**图2　配件库存曲线**

Fig.2　Inventory curve of spare parts

在一个订货周期内的平均库存水平为$dT/2$，库存持有时间为$T$；固定订货费用仅与订货次数相关，在一个周期内仅产生一次订货，因此在一个周期内的配件管理成本公式如下。

$$CG_i = \frac{1}{2}dT^2 \cdot h_i + k_i \quad i = (z, v) \tag{3}$$

式中：$CG_i$为不同模式下的配件管理成本，元；$h_i$为配件的持有成本率，元/(件·d)；$k_i$为固定订货成本，元。

固定订货成本主要指配件运输时产生的物流费用，由于现有动车组配件结算体系中的物流费用一般折算到配件价格中，因此可以认为$k_i = 0$，即不存在固定订货费用。

### 1.2.3　综合成本分析

考虑到VMI模式下配件由配件中心管理，因此配件的持有成本等将由供应商承担，使用单位将不产生配件管理成本，即$CG_v = 0$，基于此得到2种模式单个周期内的配件综合采购成本如下。

$$W_z = CP_z + CG_z = dT \cdot P_z + \frac{1}{2}dT^2 \cdot h_z \tag{4}$$

$$W_v = CP_v + CG_v = dT \cdot \alpha P_z \tag{5}$$

式中：$W_z$为自管库存模式的综合采购成本；$W_v$为VMI模式的综合采购成本。

令$W_z = W_v$，可得

$$\alpha = \frac{Th_z}{2P_z} + 1 \tag{6}$$

式中：$\alpha$为VMI模式下配件采购价格的涨幅上限(以下简称“涨幅上限”)，当VMI模式下配件采购价格的实际涨幅低于该值时，可以认为VMI模式的效益高于自管库存模式，反之则认为自管库存模式下的效益更高。

$\alpha$与订货周期、持有成本率呈正相关，随着订货周期的延长和持有成本率的提高，VMI模式所节省的持有成本也随之增加，配件中心在配件管理中的应用优势更加显著；$\alpha$与采购价格呈负相关，配件采购价格的增加导致配件的采购成本占比增加、管理成本占比减少，配件中心的优势在于将配件的管理成本交由供应商承担，而管理成本占比的减少使配件中心产生的效益降低。

## 2　考虑多影响因素的综合成本模型

现有的基础模型仅考虑了配件持有成本率、采购周期等因素对综合成本的影响，但在实际工作中还有一些其他条件会对采购决策产生影响，因此需要对其他影响因素进行分析。

### 2.1　价格折扣影响

在“公开采购+自管库存”模式下，配件供应商会根据配件采购数量给予一定价格折扣。VMI模式中，配件价格在签订战略合作协议时已由双方谈判确定，因此配件价格相对固定。在增加价格折扣的影响因素后，2种模式的综合采购成本如下。

$$W_{z1} = CP_z + CG_z = dT \cdot (1 - \beta)P_z + \frac{1}{2}dT^2 \cdot h_z \tag{7}$$

$$W_{v1} = CP_v + CG_v = dT \cdot \alpha P_z \tag{8}$$

式中：$W_{z1}$，$W_{v1}$分别为考虑价格折扣影响下自管库存模式和VMI模式的综合采购成本；$\beta$为折扣系数，且$\beta \in [0, 1]$，通过设置$\beta$的取值可调整折扣的大小。

### 2.2　采购提前期影响

在实际配件采购工作中提前期的存在将对检修工作及采购决策产生影响，因此需要将其纳入影响采购决策的因素中。首先，当提前期固定时，此时各配件使用单位需要在第一个采购周期内储备一定数量的初始库存以应对采购提前期内的配件需求。除第一个周期外，固定提前期对剩余周期内的采购

成本及持有成本不产生影响，由于考虑无限周期，第一个采购周期成本的增加平摊到各个周期后可忽略不计，因此在固定提前期的情况下2种模式下的综合采购成本与基础模型相同。

其次，考虑提前期的波动对使用单位采购决策产生的影响，设置提前期$L$均值为$\mu_L$、标准差为$\sigma_L$的随机变量，此时各配件使用单位需要在原有采购量的基础上增设安全库存，以避免因提前期不确定而导致的缺货。安全库存的计算公式如下。

$$SS_L = Z_\tau \cdot d_L \cdot \sigma_L = Z_\tau \cdot \mu_L d \cdot \sigma_L \tag{9}$$

式中：$SS_L$为提前期不确定下的安全库存；$Z_\tau$为在$\tau$服务水平下的安全系数，其取值受服务保障要求影响；$d_L$为采购提前期内的需求。

VMI模式下，采购提前期的不确定性由配件中心承担，配件使用单位选择该模式的成本函数不变。自管库存模式下，单次订购的最优订货量仍为$dT$，但采购周期内的持有成本发生改变，2种模式下的综合采购成本公式如下。

$$W_{z2} = dT \cdot P_z + \frac{1}{2}(dT + SS_L) \cdot Th_z \tag{10}$$

$$W_{v2} = dT \cdot \alpha P_z \tag{11}$$

式中：$W_{z2}$，$W_{v2}$分别为考虑采购提前期影响下自管库存模式和VMI模式的综合采购成本。

## 2.3　需求波动影响

现有模型中设定日均需求$d$为固定值，但在实际检修过程中，日均需求随时间波动，产生波动的主要影响因素如下。

（1）动车组检修计划的变动性。尽管动车组每年的计划检修量较为固定，但具体到每月或者每周，其检修数量是变化的，需求也将产生波动。

（2）每个配件在每个修程时是否更换存在不确定性，除部分必换件外，大部分配件均为偶换件，单次检修时配件的更换数量具有不确定性。

（3）存在突发性、临时性的故障修、专项修等。

考虑到上述因素，设日均需求$d$为均值为$\mu_d$、标准差为$\sigma_d$的随机变量(为使需求$d \geqslant 0$，一般设置$\mu_d \gg \sigma_d$)，为应对需求不确定性，各配件使用单位需要在原有采购量的基础上增设安全库存，安全库存的计算公式如下。

$$SS_d = Z_\tau \sqrt{L\sigma_d} \tag{12}$$

式中：$SS_d$为需求不确定下的安全库存；$L$为采购提前期。

由于考虑无限周期，单个周期内的平均配件采购量为$\mu_d T$，VMI模式下，不确定性由配件中心承担，配件使用单位的采购成本为$\mu_d T \cdot \alpha P_z$。自管库存模式下，采购策略应保证在每个订货周期开始时，其库存水平达到$\mu_d T + SS_d$，采购周期内的采购成本及持有成本发生改变，2种模式下的综合成本分别如下。

$$W_{z3} = \mu_d T \cdot P_z + \frac{1}{2}(\mu_d T + SS_d) \cdot Th_z \tag{13}$$

$$W_{v3} = \mu_d T \cdot \alpha P_z \tag{14}$$

式中：$W_{z3}$，$W_{v3}$分别为考虑需求波动下自管库存模式和VMI模式的综合采购成本。

## 2.4　综合成本分析

综合以上价格折扣、采购提前期及需求波动3个主要影响因素，本节将整合并分析不同单一影响因素下的价格涨幅上限。不同影响因素对涨幅上限的影响如表1所示。

考虑到部分配件的采购供应情景受多个影响因素的共同影响，因此将对上述影响因素进行综合分

**表1　不同影响因素对涨幅上限的影响**

Tab.1　Effect of different factors on price increase ceiling

| 影响因素 | 价格涨幅上限$\alpha$ | 分析 |
|---|---|---|
| 基础模型 | $\alpha = \frac{Th_z}{2P_z} + 1$ | VMI模式的涨幅上限与配件价格、订购周期及持有成本率有关 |
| 考虑采购价格折扣因素 | $\alpha_1 = \frac{Th_z}{2P_z} + 1 - \beta$ | 公开采购存在价格折扣时，涨幅上限有所下降，下降幅度与折扣力度正相关 |
| 考虑固定采购提前期因素 | $\alpha_2 = \frac{Th_z}{2P_z} + 1$ | 固定提前期除影响第一个采购周期的采购量外，对涨幅上限的影响等同于基础模型 |
| 考虑采购提前期不确定性 | $\alpha_3 = \frac{(T + Z_\tau \mu_L \sigma_L)h_z}{2P_z} + 1$ | 提前期存在不确定性时，涨幅上限有所增加，并与提前期的波动幅度、服务水平有关 |
| 考虑配件需求量不确定性 | $\alpha_4 = \frac{Th_z}{2P_z} + \frac{Z_\tau \sqrt{L}\,\sigma_d h_z}{2P_z \mu_d} + 1$ | 需求存在不确定性时，涨幅上限有所增加，并与需求波动幅度、服务水平有关 |

析。此时，该配件的需求量及采购提前期均为随机变量(与2.2和2.3节假设相同)，并考虑公开采购下的价格折扣，考虑3种影响因素的综合成本如下。

$$W_z' = \mu_d T\cdot(1-\beta)P_z + \frac{1}{2}(\mu_d T + SS)\cdot Th_z \tag{15}$$

$$W_v' = \mu_d T\cdot\alpha P_z \tag{16}$$

$$SS = Z_\tau\sqrt{\sigma_d^2\mu_L + \mu_d^2\sigma_L^2} \tag{17}$$

式中：$W_z'$，$W_v'$分别为综合3种影响因素下自管库存模式和VMI模式的采购成本；$SS$为考虑提前期不确定和需求不确定下的安全库存。

另$W_z' = W_v'$，可得

$$\alpha' = 1-\beta+\frac{Th_z}{2P_z}+\frac{SS\cdot h_z}{2P_z\mu_d} \tag{18}$$

可根据式(18)对任意配件在不同情况下的价格涨幅进行测算，当该配件的价格涨幅高于1时，代表该类配件适用于VMI模式进行管理，$\alpha'$越高则采用VMI模式的收益越高。

## 3　算例分析

### 3.1　数值分析

以A动车段及其所管辖的配件中心为例，对配件采购成本进行分析。A动车段是全路最早开行动车组列车且最早开展动车组高级修的站段之一，其配件储备种类丰富、库存金额较大。该动车段管辖的配件中心是由3家主机厂共同构成，2022年此配件中心供应配件金额达1亿元。配件X的物资属性为动车组配件，物资编码为970200120XXX，为该动车段的常用偶换件，该配件在公开采购中的平均采购单价约为1 000元/件。2022年A动车段配件X月均消耗数量如表2所示。

根据对该动车段的数据调研，相关参数设置如表3所示。其中，配件的持有成本率$h_z$一般包括资金的时间占用成本和仓储成本，时间占用成本通过资金利率乘以配件单价测算，仓储成本包括场地租金、设施费、人工费等费用。

**表2　2022年A动车段配件X月均消耗数量**　件

Tab.2　Monthly average consumption of Part X at Maintenance Depot A in 2022

| 月份 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 |
|---|---|---|---|---|
| 消耗量 | 70 | 80 | 200 | 80 |
| 月份 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 |
| 消耗量 | 40 | 40 | 70 | 60 |
| 月份 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 消耗量 | 160 | 90 | 100 | 80 |

**表3　相关参数设置**

Tab.3　Relevant parameter setting

| 参数 | 采购周期 $T$/d | 提前期均值 $\mu_L$/d | 提前期标准差 $\sigma_L$/d | 持有成本率$h_z$/(元/(件·d)) | 安全系数 $Z_\tau$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 数值 | 30 | 7 | 1 | 0.157 | 3.08 |

注：资金利率设置为5%，仓储成本设置为0.02元/(件·d)，服务水平设置为99.99%。

根据表2可计算出配件X月消耗的均值和标准差分别为$\mu_x = 90$，$\sigma_x = 43.69$，公开采购存在价格折扣$\beta = 1\%$，可计算得到配件X的价格涨幅上限如下。

$$\alpha_x = 1-0.01+\frac{30\times0.157}{2\times1\,000}+\frac{451.23\times0.157}{2\times90\times1\,000} = 99.27\% \tag{19}$$

当价格折扣$\beta = 0\%$时，配件X的价格涨幅上限为$\alpha_x = 100.27\%$。结果表明，在公开采购不存在价格折扣且VMI模式下的价格低于1 002.7元时，配件X适用VMI模式；当公开采购存在1%的价格折扣时不适用采用VMI模式。

### 3.2　灵敏度分析

#### 3.2.1　配件消耗规律对价格涨幅上限影响

配件消耗规律由消耗均值和标准差刻画，对这2项影响因素进行分析。分别在保证消耗均值、标准差不变的情况下，对另一影响因素不同取值下的价格涨幅上限进行测算(考虑公开采购价格折扣为0)。配件消耗情况对价格涨幅上限的影响如表4所示。

灵敏度分析结果表明，需求标准差与价格涨幅

**表4　配件消耗情况对价格涨幅上限的影响**

Tab.4　Effect of spare parts consumption on price increase ceiling

| 消耗系数 | $\mu_x$ | $\sigma_x$ | $\alpha_x$/% |
|---|---|---|---|
| $\mu_x = 90.00$ | — | 21.85 | 100.26 |
| | | 32.77 | 100.27 |
| | | 43.69 | 100.27 |
| | | 54.61 | 100.28 |
| | | 65.54 | 100.29 |
| $\sigma_x = 43.69$ | 45.00 | — | 100.30 |
| | 67.50 | | 100.28 |
| | 90.00 | | 100.27 |
| | 112.50 | | 100.27 |
| | 135.00 | | 100.27 |

上限呈正相关关系，当配件需求标准差增大时，需求波动性增强，价格涨幅上限随之提高，采用VMI模式的收益也相应增加。需求均值与价格涨幅上限呈负相关关系，当配件需求均值越大时，价格涨幅上限越小，采用VMI模式的收益越低。与标准差变化带来的影响不同，配件需求均值与价格涨幅上限具有非线性关系。不同需求均值下价格涨幅上限如图3所示，当需求均值处于较低水平时，价格涨幅上限对需求的变动更敏感。

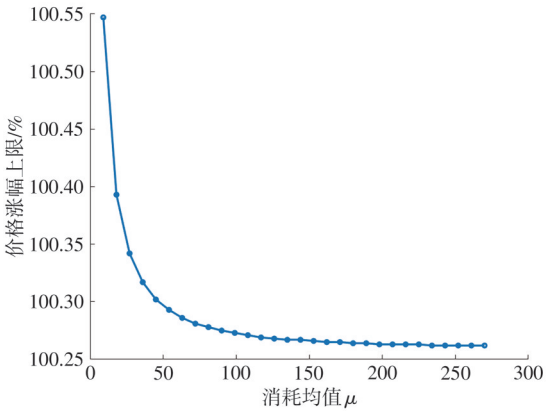


**图3　不同需求均值下价格涨幅上限**

Fig.3　Price increase ceiling under different demand means

### 3.2.2　外部市场因素对价格涨幅上限影响

外部市场影响因素包括配件采购价格、持有成本率以及公开采购价格折扣等。考虑到配件价格与持有成本间存在相关关系，因此对持有成本率$h_z$进行进一步分析，持有成本率由时间占用成本和仓储成本两部分构成，其计算公式如下。

$$h_z = (aP_z/365) + b \tag{20}$$

式中：$a$为资金利率；$b$为单位仓储费率。

在不考虑价格折扣的影响时，将式(20)代入式(18)可得

$$\alpha' = 1 + \left(\frac{T}{2} + \frac{SS}{2\mu_d}\right)\cdot\left(\frac{a}{365} + \frac{b}{P_z}\right) \tag{21}$$

不同采购价格的配件对仓储费率的灵敏度不同，将对不同仓储费率下的配件采购成本进行灵敏度分析。采购成本的灵敏度分析如表5所示。

从表5可以看出，灵敏度分析结果与基准模型中的结论相同，配件价格与价格涨幅上限具有负相关关系，其主要原因是VMI模式的效益在于降低配件的管理成本，而过高的配件价格会增加配件采购的总成本，使VMI模式下获取的效益被稀释，并且

**表5　采购成本的灵敏度分析**

Tab.5　Sensitivity analysis of procurement costs

| 仓储费率 | $P_z$ | $\alpha_x$/% | 仓储费率 | $P_z$ | $\alpha_x$/% |
|---|---|---|---|---|---|
| | 500 | 100.55 | | 500 | 100.83 |
| | 750 | 100.37 | | 750 | 100.55 |
| $b$ = 0.02 | 1 000 | 100.27 | $b$ = 0.1 | 1 000 | 100.41 |
| | 1 250 | 100.22 | | 1 250 | 100.33 |
| | 1 500 | 100.18 | | 1 500 | 100.28 |

随采购价格的提升，其价格涨幅的绝对值未产生明显变化。此外，数值结果表明，仓储成本率较高的配件对配件价格、需求的变化更敏感。

## 4　结束语

VMI模式作为一种新型的配件采购供应模式有效地提升了各动车段在动车组配件需求不确定下的供应保障能力，降低了各动车段的资金占用成本，但同时也增加了采购成本。为探寻VMI模式带来的效益，在考虑配件公开采购折扣、需求不确定性、提前期不确定性等影响因素的基础上构建配件成本分析模型，测算不同配件在VMI模式下的价格涨幅上限，为配件中心供应目录的设定提供参考。根据模型结果得到管理启示如下。

（1）需求量较大且具有批量折扣的配件建议采取“自管库存”模式进行管理。公开采购价格折扣对价格涨幅上限的影响最为显著，当配件需求量较大时，各铁路局集团公司以及国铁集团有较强的议价能力，以获取批量折扣。在实践中，国铁集团根据全路需求情况组织配件的集采、联采，在一定程度上降低了采购成本，与本研究结论相符。

（2）非常用偶换配件建议采取VMI模式进行管理。与直觉相符的是VMI模式更适合需求不确定的配件，但根据数值分析结果，在总体需求量较小时，需求均值的变化所带来的影响远高于标准差变化带来的影响。因此，对于需求量较少的偶换配件，尽管其需求波动不大，但仍应将其纳入配件中心，以VMI模式进行管理。

（3）橡胶件、油脂等易于老化的配件，建议采取VMI模式进行管理。橡胶件、油脂等配件由于其易于老化的特性，使其仓储成本高于其他类型配件，导致其对需求、提前期的变化更为敏感，采取VMI模式可有效规避风险。

最后，考虑到动车组配件在实际采购供应过程中VMI模式下仍存在供应不及时的问题，需进一步研究非理想状况下的综合采购成本及配件中心效益。

**参考文献：**


[1] 张菊亮，陈　剑. 供应商管理库存应对突发事件[J]. 中国管理科学，2008，16(5)：71-76.
ZHANG Juliang，CHEN Jian. Vender Manage Inventory under Disruption[J]. Chinese Journal of Management Science，2008，16(5)：71-76.

[2] JIANG N，ZHANG L L，YU Y G. Optimizing Cooperative Advertizing，Profit Sharing，and Inventory Policies in a VMI Supply Chain：A Nash Bargaining Model and Hybrid Algorithm[J]. IEEE Transactions on Engineering Management，2015，62(4)：449-461.

[3] PASANDIDEH S H R，NIAKI S T A，ABDOLLAHI R. Modeling and Solving a Bi-Objective Joint Replenishment-Location Problem under Incremental Discount：MOHSA and NSGA-Ⅱ[J]. Operational Research，2020，20(4)：2365-2396.

[4] 徐友良，周　阳. VMI模式下库存与运输集成优化研究[J]. 铁道运输与经济，2017，39(3)：26-31.
XU Youliang，ZHOU Yang. Study on Integrated Optimization of Inventory and Transportation under VMI Mode[J]. Railway Transport and Economy，2017，39(3)：26-31.

[5] 邵作敬. A高速列车制造企业动车组检修配件库存管理优化[D]. 济南：山东大学，2023.

[6] 王　辉. 精细务实 探索创新 持续推进物资管理高质量发展[J]. 铁路采购与物流，2021，16(6)：23-27.
WANG Hui. Innovation and Pragmatism to Continuously Promote the High Quality Development of Material Management[J]. Railway Purchasing and Logistics，2021，16(6)：23-27.

[7] TSENG S H，YU J C. Data-Driven Iron and Steel Inventory Control Policies[J]. Mathematics，2019，7(8)：718.

[8] TEIXEIRA C，LOPES I，FIGUEIREDO M. Classification Methodology for Spare Parts Management Combining Maintenance and Logistics Perspectives[J]. Journal of Management Analytics，2018，5(2)：116-135.

[9] DHAHRI A，GHARBI A，OUHIMMOU M. Integrated Production-Delivery Control Policy for an Unreliable Manufacturing System and Multiple Retailers[J]. International Journal of Production Economics，2022，245：108383.

[10] 王来祥. 新时代铁路物资管理高质量发展研究[J]. 铁道运输与经济，2021，43(6)：1-5，57.
WANG Laixiang. High-Quality Development of Railway Materials Management in the New Era[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(6)：1-5，57.

[11] 生　迪. 优化高铁动车配件供应保障体系的研究与思考[J]. 铁路采购与物流，2020，15(6)：31-34.
SHENG Di. Research and Consideration on Optimizing Supply Guarantee System of High Speed Railway Bullet Train Parts[J]. Railway Purchasing and Logistics，2020，15(6)：31-34.

[12] 聂荣远. 铁路运输企业大功率机车和动车配件供应新模式的构建与实践[J]. 铁路采购与物流，2020，15(5)：29-33.
NIE Rongyuan. Construction and Practice of New Supply Mode of High-Power Locomotive and EMU Parts for Railway Transportation Enterprises[J]. Railway Purchasing and Logistics，2020，15(5)：29-33.

[13] 柴亚武. 关于铁路制定采购最高限价方法的探讨[J]. 铁道运输与经济，2017，39(6)：1-5.
CHAI Yawu. Discussion on Establishing the Methods of Maximum Purchase Limit Price for Railways[J]. Railway Transport and Economy，2017，39(6)：1-5.

[14] 韩　鹏. A企业采购物资价格统计模型构建及应用研究[D]. 北京：北京交通大学，2022.

[15] 鲁绪承. 铁路重要采购的价格影响因素研究：基于限价管理视角[D]. 北京：北京交通大学，2019.


(责任编辑　金　颖)