

文章编号:1000-6788(2006)02-0062-06

一种基于需求特性分类的备件库存管理方法及其实证研究

徐晓燕

(中国科学技术大学管理学院,安徽 合肥 230026)

摘要: 提出了一种基于分类的备件库存管理方法,该方法先从备件需求预测的角度对备件进行分类,然后对每一类备件的需求进行预测并给出了其适当的库存决策方法。基于分类的预测方法可以解决备件种类过多、部分备件需求的历史数据不足问题并能够为每类备件选择预测精度较高的预测方法;基于分类的库存决策模型适用于在缺少单位备件缺货成本参数条件下的订购点与订购批量决策。以石化企业的阀门为典型背景,论文说明了所提出方法的适用性和优越性。

关键词: 备件;库存管理;分类;需求预测;决策

中图分类号: F274

文献标识码: A

A Demand Classification Based Approach of Inventory Management for Spare-parts and Its Application

XU Xiao-yan

(School of management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: This paper proposes a classification based inventory management approach for spare-parts. The approach firstly divides spare-parts into different classes; then demand forecasting method and inventory control policy for each class of spare-parts are suggested. Classification based forecasting is applicable when there are too many spare-part types and some types of spare-part do not have enough historical data, a better forecasting approach can be suggested according to characteristics of a spare-part class; classification based inventory decision on reorder point and order quantity can be properly made even when the enterprise can not measure unit backorder cost, which is usual in spare-part inventory management. Thus the approach proposed in this paper provides a practical framework of spare-part inventory management for process industries. Efficacy of the approach is illustrated by its application to valve's inventory management of a petrochemical enterprise.

Key words: spare-part; inventory management; classification; demand forecasting; decision making

1 引言

设备维护与备件库存管理是流程型企业的管理重点。备件库存管理与其它物料库存管理相比,在很多方面表现出不同的特点和要求^[1]:因为缺货而导致可能的停产所造成的损失很高,所以备件库存要求较高的服务水平;备件需求的偶发性很高因而很难准确预测;备件的种类很多且不同备件的价格差异很大。这些特点和要求导致流程型企业的备件库存量很大,且库存的周转率很低。比如国内一家年加工能力为400万吨原油的石化企业,其2002年的年平均库存为1.7675亿元,其中备件库存达1.0321亿元,备件库存的年周转率为0.58次。

正如文[2]所指出的那样,备件库存管理是库存管理的一个重要部分,然而结合备件库存特点的研究结果比较少,且已有的结果大多集中在库存建模上。库存建模和库存控制策略当然是库存管理研究中的重要内容^[3,4],但对备件库存管理而言,最困难的是需求的预测。目前只有少数备件库存管理的研究涉及到备件需求的预测问题^[5~10]。备件需求的预测之所以困难,主要有以下几个方面的原因:其一,尽管某些备

收稿日期:2005-01-12

资助项目:国家自然科学基金(70571073)

作者简介:徐晓燕(1966-),女,安徽人,讲师,博士生,研究方向:供应链管理,财务管理等,E-mail:xxy204@ustc.edu.cn.

件如易耗品的需求是连续的或可以看成是连续的,但大多数备件需求是离散且间歇性的^[6]。所谓间歇性是指,需求是随机的,且很多时间点上的需求为零^[11]。对这种间歇性需求的预测往往是很困难的^[10]。其二,备件需求的历史数据往往非常少,由此很难估计订购提前期内的需求。其三,备件需求的发生往往是设备使用方式和设备维护方式的函数^[12]。这意味着,一方面,设备的维修、大修等计划影响设备备件的需求;另一方面,相邻时间段上的设备需求随着设备的使用和老化会表现出一定的自相关性。

针对上述困难,目前已有一些解决的方法,如面向间歇性需求预测的 Croston 方法^[5],当数据较少时估计订购提前期内需求的 Bootstrap 方法^[13],考虑设备维护影响和需求自相关性的 IFM 法(Integrated Forecasting Method,简称 IFM 法)等。但目前仍然缺少面向设备备件库存管理的体系化方法。本文提出一种基于备件分类的体系化库存管理方法,既能解决实际备件库存管理中备件种类繁多的问题,又能综合运用现有的备件需求预测方法和库存管理模型,以期更好地解决流程企业备件库存管理的现实问题。这里需要特别说明的是,本文中的备件分类方法,是基于备件需求的特性对备件进行分类,目的是为了更准确地预测其需求。库存管理中常见的 ABC 分类法是从库存控制对象的重要性或其库存资金占用大小的角度对库存管理对象进行分类以明确库存控制的重点。

为说明方法的应用过程,本文以某一家石化企业的阀门库存管理为背景,介绍其体系化的库存管理方法,包括阀门的分类、预测和库存决策方法。选择阀门作为方法介绍背景的原因是因为它是一种典型的设备备件。阀门的种类很多,不同种类阀门的结构复杂性、需求规律和在设备/装置中的作用的差异很大,能充分反映各种类型设备备件库存管理的要求。

2 基于需求特性的备件分类方法

流程型企业往往会按设备备件的功能、物理特征或性能参数对备件进行分类。本文的备件分类与企业的这种分类不同,因为本文进行备件分类的目的是为了更好地预测其需求并进行库存决策。从备件需求预测的角度看,分类的目的是要将有相同或相似的需求规律的备件分在一类,然后研究这一类备件的需求规律。这种分类的作用是,一方面,由于流程型企业的备件种类很多(如上文所提到的石化企业有三万五千多种备件),难以也没有必要对每一种备件建立其需求预测和库存管理模型;另一方面,有助于克服部分备件需求的历史数据少而难以估计其订购提前期内需求的困难。从备件库存决策的角度看,由于确定库存的订购点和订购批量一般都需要缺货成本参数,而设备备件的缺货成本往往估计困难,因而需要确定设备备件需求的服务水平。当备件的种类很多时,对每一种备件都确定其服务水平也是困难而没有必要的。事实上,根据备件在设备/装置中的作用,企业往往将备件分为非常重要、比较重要和一般三种,这本身就是对备件分类。下面将结合阀门的特点介绍面向需求预测的分类方法。

阀门种类繁多,主要分成常规阀门(主要有闸阀、截止阀、球阀)和特殊阀门(滑阀、安全阀、风动闸阀等)两种。上文所提到的石化企业共有 1517 种阀门。阀门按照维修时处理方式不同可分成设备型阀门(可维修阀门)和普通阀门(不可维修阀门)两类。普通阀门通常是小阀门,如常规阀门以及部分特殊阀门,出故障直接更换,与备件相似;而可维修阀门通常是大阀门,如滑阀(待生滑阀、再生滑阀、循环滑阀以及双动滑阀)、安全阀等,出故障只更换其内部备件,可以看成设备。本文只考虑普通阀门,上文所提到的石化企业共有 1435 种普通阀门。

普通阀门的压力参数不同则其需求规律差异很大,为此,本文首先按阀门的压力参数将普通阀门分为高压、中压、低压和其它阀门四类(其它阀门指安全阀、石化专用阀等,它们的可靠型高且往往采用定期更换的维修模式,其需求无须预测)。

各种压力参数的普通阀门的需求可能与装置检修计划有关,若有关,则装置检修计划是阀门需求的一个影响因素。需求预测过程中可以考虑多种这样的影响因素,本文为简单起见,只考虑这一种影响因素。另一方面,考虑间断需求预测方法的特殊性(间断需求预测一般应考虑间断的特点,采取适当的方法预测,而利用连续需求预测方法,如移动平均或指数平滑等方法的预测误差很大^[10])。综合上述思路,面向需求预测的阀门分类结果如图 1 所示。

图 1 将普通阀门分为 10 类。图 1 中,间断需求的判别标准是给定时间段上非零需求的比重(如非零需

求小于 70 % 的归为间断需求). 至于间断需求是否与装置检修相关, 本文采用下述判断方法.

记某种备件在 n 个时间段上的历史需求为 $\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, 先将 $\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 变换为 0 - 1 时间序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 其中 1 表示非零需求, 0 表示零需求. 采用文 [14] 定义的 k 阶自相关系数 r_k 的定义按下式计算 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 的自相关性:

$$r_k = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} y_i y_{i+k} - \left(\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} y_i \right) \left(\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} y_{i+k} \right) \quad (1)$$

式(1)中, $r_k \in [-1/4, 1/4]$. 当序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 完全 k 阶负自相关时, $r_k = -1/4$; 当序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 完全 k 阶正自相关时, $\lim_{n \rightarrow \infty} r_k = 1/4$; 当序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 不自相关时, $r_k = 0$. 根据文 [10] 的结果, 本文假定序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 是一阶 Markov 过程, 即 $k = 1$. 故当序列 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 强自相关时, 对应的备件需求与装置检修无关; 否则相关.

从理论上讲, 连续需求也可以按其需求的影响因素 (如装置检修) 进行分类, 但考虑到连续需求已有很多有效的预测方法 (如指数平滑等), 本文就不对其进行进一步的细分. 第 10 类备件为需求确定类的备件, 无须进行预测.

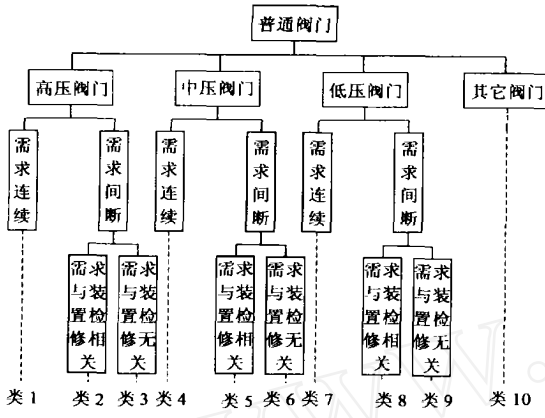


图 1 普通阀门分类

3 面向备件类的需求预测方法

需求预测的基本思路是运用同类备件需求的历史数据来预测备件订购提前期内的需求分布. 一般而言, 指数平滑 (Exponential Smoothing, 简称为 ES) 和指数加权移动平均法 (Exponential Weighted Moving Average, 简称为 EWMA) 是预测连续需求的较好方法^[6]. 而对于间断需求的预测, 当备件需求服从正态分布、需求间隔比较稳定 (如服从泊松分布) 的需求序列, Croston 法是预测精度较高的有效预测方法^[10]; 当备件订购提前期内的需求序列自相关, 但不满足需求的正态分布条件时, 可以将备件订购提前期内的需求序列看成是一个 Markov 过程, 而采用文 [10] 中所提出的预测方法 (简称为 Willemain 方法); 对于需求与装置检修相关备件, 可以采用文 [14] 所提出的整合预测方法 (Integrated Forecasting Method, 简称为 IFM 法).

综合上述分析, 图 1 中各类备件的需求预测方法如表 1 所示.

表 1 分类备件的需求预测方法

	备件类别		
	类 1、类 4、类 7	类 2、类 5、类 8	类 3、类 6、类 9
类别特征	连续需求	间断需求, 与装置检修相关	间断需求, 与装置检修无关
预测方法	ES, EWMA	IFM	Croston, Willemain

这里需要特别说明的是 IFM 方法在实际备件库存管理中的作用. 随着信息技术的普及和企业管理信息化的发展, 企业拥有大量的可能与备件需求相关的信息, 如设备的维修方式, 设备 BOM (Bill Of Material), 预防性设备维修记录, 各台设备备件的临时更换记录等. 这些信息为 IFM 方法的应用奠定了基础; 另一方面, IFM 方法也为企业管理信息化对企业效益的提升提供了一种工具和途径.

4 库存决策方法

库存管理的目标是在保证供应的情况下, 尽量减少库存成本. 记有关的成本参数为: A 为单位采购成本, h 为单位年库存成本, b 为单位年平均缺货成本. 备件的采购提前期为 L . 通过预测可以得到提前期内需求的密度函数 $f(x)$ 和概率分布函数 $F(x)$, 则提前期内备件的平均需求为 μ , 每年的总需求量为 D . 对于企业常用的订购点、订购批量的 (Q, r) 模型, 订购点 r 和订购批量 Q 是需要确定的决策变量.

根据 (Q, r) 策略的要求, 每年订购 D/Q 次, 年固定订购成本为 $\frac{D}{Q}A$, 年均库存水平约为 $\frac{(Q+s)+s}{2} = \frac{Q}{2} + s = \frac{Q}{2} + r -$, 故年平均保管成本为 $h\left(\frac{Q}{2} + r -\right)$. 若订货提前期内的需求为 x , 则每个订购周期 (两次订购之间的时间为一个订购周期) 内的缺货量为 $x - r$ (当 $x > r$ 时), 单周期平均缺货量为 $n(r) = \int_r^{\infty} (x - r) g(x) dx$. 故每年期望的平均缺货量为 $\frac{D}{Q}n(r)$, 年平均缺货成本为 $b\frac{D}{Q}n(r)$. 对于任意的订购点 r 和订购批量 Q , 年平均总成本为

$$TC(Q, r) = \frac{AD}{Q} + CD + \left(\frac{Q}{2} + r -\right) h + \frac{Dbn(r)}{Q} \tag{2}$$

分别令 (2) 式对 Q 和 r 的偏导为零, 可得:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(A + bn(r^*))}{h}} \tag{3}$$

$$r^* = F^{-1}\left(1 - \frac{hQ^*}{bD}\right) \tag{4}$$

可以验证, (3) 式和 (4) 式的解是使得年平均总成本最小的解.

当单位缺货成本 b 未知时, 无法通过上式计算订货点 r 和订货批量 Q , 本文采用给定服务水平 F_0 的方法计算 r 和 Q .

对于给定的服务水平 F_0 , 因为提前期内需求的预测概率分布函数为 $F(x)$, 根据服务水平的定义: $P(\text{提前期需求} \leq r) = F(r) = F_0$, 得

$$r = F^{-1}(F_0) \tag{5}$$

将 (5) 式代入 (4) 式得

$$b = \frac{hQ}{D(1 - F_0)} \tag{6}$$

将 (6) 式代入 (3) 式得

$$Q = \frac{n(r)}{1 - F_0} + \sqrt{\frac{2AD}{h} + \left(\frac{n(r)}{1 - F_0}\right)^2} \tag{7}$$

即当单位缺货成本未知时, 先对备件按其设备/装置中的重要程度进行分类, 然后确定其服务水平 F_0 . 再按 (5)、(7) 式确定其订购点和订购批量. 通常, 设备 BOM 中含有备件的重要程度说明. 若按 (7) 式计算出的批量过小 (< 1), 则采用提前期平均发生的需求量作为批量. 通常企业将备件重要程度分为: 高、中、低三种, 对应的服务水平分别取为^[12]: 95%、85%、70%.

5 实证研究

为验证本文方法的合理性, 本文选择前文所提到的石化企业的 10 种阀门 (其中连续需求有 3 种, 间断需求且与装置检修相关有 3 种, 间断需求且与装置检修无关的有 4 种), 分别对应分类体系中的 9 类阀门. 收集 10 种阀门的历史数据, 历史数据的一部分用来作为预测建模, 截取历史数据一个提前期的长度作为预测精度的测试数据. 本文采用平均绝对百分误差 (MAPE)^[6] 描述预测方法的精度

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|\text{提前期内预测需求} - \text{提前期内实际需求}|}{\text{提前期内实际需求}} \times 100\% \tag{8}$$

从预测结果上看, 连续需求预测的精度都比间断需求高, 而指数平滑预测方法是本文考察的所有方法中最好的. 指数平滑相对于其它方法预测精度的平均改善情况表 2 所示.

与装置检修计划相关的间断性阀门需求, IFM 预测方法的平均精度最高, 如表 3 所示. IFM 方法相对

表 2 ES 误差改进比例

	Croston	Bootstrap	IFM
ES 改进比例	38.91 %	28.04 %	14.73 %

于 ES、Croston 和 Bootstrap 的平均精度改进分别为 :47.29 %、42.52 %和 55.65 %。

表 3 与装置相关的间断需求备件预测误差表

ES	Croston	Bootstrap	IFM
0.4286	0.3930	0.5093	0.2259

表 4 几种方法预测误差情况

ES	Croston	Bootstrap	IFM
1.1661	0.6609	0.6594	0.7222

对于与装置检修计划无关的间断性阀门需求,几种方法平均预测误差情况如表 4 所示。从表 4 的结果看,Croston 与 Bootstrap 方法相差不多,但都比 ES 和 IFM 方法好。其中,Croston 相对于 ES、Bootstrap 和 IFM 的平均精度改进分别为 :43.32 %、0.23 %和 8.49 %。

更多数据的 T 检验论证了上述结论。

对于所选的 10 种阀门,前 3 种为连续需求,采用指数平滑法预测其需求;第 4~6 种为与装置相关的阀门,采用 IFM 预测其需求;第 7~10 种为与装置无关的备件,采用 Croston 预测其需求。不同类别的备件,可以设定不同的服务水平(均设为 85 %),其订购点和定购批量如表 5 所示。

表 5 10 种备件的订购点和订购批量

阀门种类	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
订购点	113	449	76	45	8	0	10	2	3	2
批量	46	305	40	20	5	1	4	2	2	1

由于该企业 1435 种普通阀门均可纳入所分的 10 个类别之中,所以有些历史消耗数据不全的阀门,只要找到与其需求规律同类的阀门,企业就可以采用同类阀门的需求预测方法和库存决策模型对这些阀门的库存进行管理。

6 结论

备件库存管理是库存管理的一个重要部分,然而结合备件库存特点的体系化库存管理方法研究结果比较少。随着信息技术的普及和企业管理信息化的发展,充分应用企业信息化管理的平台,以更准确地预测备件需求和更有效地进行备件库存管理已成为企业现实而迫切的需求。

本文提出了一种基于分类的备件库存管理方法,该方法先从备件需求预测的角度对备件进行分类,然后对每一类备件的需求进行预测并给出了其适当的库存决策方法。基于分类的预测方法可以解决备件种类过多、部分备件需求的历史数据不足问题并能够为每类备件选择预测精度较高的预测方法;基于分类的库存决策模型适用于在缺少单位备件缺货成本参数条件下的订购点与订购批量决策。本文提出的基于分类的备件库存管理方法为流程型企业的备件库存管理提供了一个体系化的方法,并为流程型企业充分应用其企业信息化管理的平台,以更准确地预测备件需求和更有效地进行备件库存管理提供了一条现实的途径。

本文所提出的备件库存管理方法,是假定一个决策主体(流程型企业),以更好地预测并满足其备件需求为目标的。从需求满足的角度看,进一步从备件供应及其供应商的角度探讨备件库存的管理问题,是本文未来需要研究的一个重要方向。从供应商或供应链管理的角度看,流程型企业和设备备件供应商也许是合作的或非合作的关系,供应的模式可以是买卖关系、长期契约关系或供应商管理库存模式。这时,决策的主体将是多个,包括:流程型企业,备件供应商和/或物流服务商。这时相关的库存控制决策(订购点和订购批量等)需要应用已有的供应链管理或博弈分析方法^[16]进行确定,而备件需求不确定性对决策结果和决策主体行为的影响分析^[17]也是一个值得研究的课题。

参考文献:

- [1] 杨杰,张斌,华中生. 间断需求预测方法综述[J]. 预测,2005,24(5):70-75.
Yang J, Zhang B, Hua Z S. Review of forecasting methods for intermittent parts demand[J]. Forecasting, 2005, 24(5):70-75.
- [2] Huiskonen J. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices[J]. International Journal of Production Economics,2004,71:125-133.
- [3] 华中生,陈晓伶. 考虑质量风险时供应链订货批量的博弈分析[J]. 系统工程理论方法应用,2005,14(4):303-307.
Hua Z S, Chen X L. Game analysis of order quantity of a supply chain considering quality risk [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2005, 14(4):303-307.
- [4] 华中生,陈晓伶. 考虑质量失误与延期交货问题的供应链博弈分析[J]. 运筹与管理,2003,12(2):11-14.
Hua Z S, Chen X L. A game analysis in quality failure and delivery delaying of supply chain [J]. Operations Research and Management Science, 2004, 12(2):11-14.
- [5] Croston J D. Forecasting and stock control for intermittent demands[J]. Operational Research Quarterly, 1972, 23(3):289-303.
- [6] Ghobbar A A, Friend C H. Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: A predictive model[J]. Computers & Operations Research, 2003, 30:2097-2114.
- [7] Johnston F R, Boylan J E. Forecasting for items with intermittent demand[J]. Journal of the Operational Research Society, 1996, 47:113-121.
- [8] Rao A V. A comment on: Forecasting and stock control for intermittent demands[J]. Operational Research Quarterly, 1973, 24(4):639-640.
- [9] Willemain T R, Smart C N, Shockor J H, DeSautels P A. Forecasting intermittent demand in manufacturing: A comparative evaluation of Croston's method[J]. 1994, International Journal of Forecasting, 1994, 10(4):529-538.
- [10] Willemain T R, Smart C N, Schwarz H F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories[J]. International Journal of Forecasting, 2004, 20:375-387.
- [11] Silver E A. Operations research in inventory management: A review and critique[J]. Operations Research, 1981, 29:628-645.
- [12] Kennedy W J, Patterson J W, Fredendall L D. An overview of recent literature on spare parts inventories[J]. International Journal of Production Economics, 2002, 76:201-215.
- [13] 姜仁峰,卢兵. 实用预测技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1993.
Jiang R F, Lu B. Practical Forecasting Technology[M]. Harbin: Press of Harbin Engineering University, 1993.
- [14] Hua Z S, Zhang B, Yang J, Tan D S. A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries[J]. Journal of the Operational Research Society, 2006, 57:889-898.
- [15] Herzog H, Groe I. Measuring correlations in symbol sequences[J]. Physica A, 1995, 216:518-542.
- [16] 华中生,孙毅彪,李四杰. 单周期产品需求不确定性对供应链合作的影响[J]. 管理科学学报,2004,7(5):40-48.
Hua Z S, Sun Y B, Li S J. Effect of demand uncertainty on supply chain cooperation for single-period product [J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(5):40-48.
- [17] 华中生,孙毅彪,陈强,黄飞华. 具有对策行为的不完美信息风险决策问题及应用[J]. 系统工程理论与实践,2003,23(9):75-80.
Hua Z S, Sun Y B, Chen Q, Huang F H. Game based risk decision-making under imperfect information and its application [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2003, 23(9):75-80.