需求信息共享供应链系统的稳定性分析

王 晶 唐 玲 王 璇

(北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100191)

摘 要：生产/库存系统的稳定性是供应链管理中的重要指标.需求信息共享(DIS，Demand Information Sharing)机制已在管理实践中得到广泛的应用.但对DIS供应链系统稳定性的研究仍然非常有限.使用控制工程理论建立了一个两级DIS供应链系统模型，定量分析了系统的稳定性条件，给出了系统参数的取值范围，并通过仿真实验进行了验证.研究结果表明合理调整系统参数能够提高供应链系统的稳定性.在此基础上针对阶跃需求输入研究了系统参数对供应链系统中订单、库存和在制品动态响应的影响.揭示了供应链系统的动态特性，提出了供应链成员决策的管理建议.

关 键 词：供应链；需求信息共享；稳定性；动态响应

中图分类号：F 252

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)08-1009-04

Stability analyses of demand information sharing supply chain systems

Wang Jing Tang Ling Wang Xun

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The stability of production/inventory control system is an important indicator in supply chain management, and demand information sharing (DIS) mechanism has been widely adapted in managerial section. However, research on DIS stability boundaries and conditions is by far very limited. Based on control engineering, a DIS two-echelon supply chain dynamic model was established. The stability boundary of the system parameters was derived analytically, and then verified by simulations. The results show that system stability can be improved by appropriate parameter settings. For stepwise customer demand input, the effects of system parameters to system dynamic responses including order rate, inventory level and work-in-process were analyzed. Valuable insights into dynamic behavior of supply chain systems are obtained, and then managerial strategies are proposed.

Key words: supply chain; demand information sharing; stability; dynamic response

供应链是企业间长期合作的系统，其稳定的运行是保证供应链整体优化和长期竞争优势的必要条件.从这个意义上看，供应链的稳定性是供应链的重要绩效指标.

关于供应链稳定性的研究开始于20世纪60年代初期，文献[1]从系统的角度证明了供应链中牛鞭效应的存在，分析了牛鞭效应产生的原因，并提出可以通过改善行为弱化牛鞭效应，从而提高供应链稳定性的观点.文献[2]对多级供应链模式下信息共享对牛鞭效应的影响进行了研究，同时还分析了信息共享在两种调节策略(订货点策略和平滑策略)下的有效程度.文献[3]在离散时间情形下研究了供应商管理库存(VMI，Vendor Managed Inventory)策略下供应链系统的稳定性.在以上开拓性的研究的基础上，以Towill和Disney为代表的学者将供应链系统的稳定性作为一个独立的问题提出，引起了众多学者的重视.

在这些学者的研究中，稳定性的定义都有所

收稿日期：2008-06-18

基金项目：国家自然科学基金资助项目(70572014，70521001，70872009)

作者简介：王 晶(1960—)，男，北京人，教授，pekwjing@public.bta.net.cn.

不同.本研究认为,供应链系统初始稳定状态下,若受到外界一个适当的需求扰动,订单、库存或在制品能够在一定时间后稳定在某一均衡水平上,则认为该供应链系统是稳定的.

1 需求信息共享供应链系统的模型

本研究在文献[4]利用系统动力学方法提出的基于自动在制品、库存和订单的生产控制系统(APIOBPCS, Automatic Pipeline, Inventory and Order Based Production Control System)模型的基础上,使用文献[2]和文献[5]所建立的需求信息共享(DIS, Demand Information Sharing)两级供应链系统模型(DIS-APIOBPCS),模型中包含制造商和分销商.为了简化模型和数学推导的复杂性,假设制造商和分销商采用相同的系统参数.

参数说明:

AINV (Actual Inventory):实际库存水平;

WIP (Work In Process):在制品库存水平;

CONS (Consume):实际需求量;

ORATE (Order Rate):订货量.

α 为平滑预测常数,$\alpha=\dfrac{1}{1+T_a}$;T_a 为需求预测参数;T_p为提前期参数;T_i为库存调节参数;T_w为在制品调节参数.经推导,需求信息共享供应链系统最终订单量、在制品量、库存量的传递函数为

$$\begin{aligned}&\mathrm{ORATE/CONS}=\\&\{z^{1+T_p}[T_i(T_p+T_w)(-1+z)+\\&(z+T_a(z-1))T_wX_1]\}/\\&\{[T_a(-1+z)+z][T_w+T_i(-1+\\&(1+T_w(-1+z))z^{T_p})]\}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_1=&\{z^{1+T_p}[-T_aT_w+T_i(T_p+T_w)(-1+z)+\\&(1+T_a)T_wz]\}/\{[T_a(-1+z)+z][T_w+\\&T_i(-1+(1+T_w(-1+z))z^{T_p})]\}\end{aligned}$$

其中,X_1为分销商的订单传递函数,此时令

$$\Omega(z)=\frac{\mathrm{ORATE}}{\mathrm{CONS}}$$

则有

$$\frac{\mathrm{WIP}}{\mathrm{CONS}}=\left(\frac{1-z^{-T_p}}{z-1}\right)\cdot\Omega(z)$$

$$\frac{\mathrm{AINV}}{\mathrm{CONS}}=\frac{\Omega(z)\cdot z^{-T_p}-X_1z}{z-1}$$

2 需求信息共享的稳定性条件

本研究使用劳斯判稳依据,求得在 T_a,T_p取不同值的情况下系统的稳定性条件如表1.

表1 DIS-APIOBPCS系统的稳定性条件

T_a	T_p	稳定条件
1,2	1	$0<T_i<1,\dfrac{2T_i}{2T_i+1}<T_w<\dfrac{-T_i}{T_i-1}$ $T_i>1$ 时,$T_w>\dfrac{2T_i}{2T_i+1}$
	2	$0.5<T_i<1.618$ 时, $\dfrac{T_i(-3-T_i-\sqrt{9T_i^2-2T_i+1}}{2(T_i^2-T_i-1)}<T_w<\dfrac{T_i(-3-T_i+\sqrt{9T_i^2-2T_i+1})}{2(T_i^2-T_i-1)}$ $T_i>1.618$ 时,$T_w>\dfrac{T_i(-3-T_i-\sqrt{9T_i^2-2T_i+1})}{2(T_i^2-T_i-1)}$

由表1可以看出,需求信息共享的供应链系统稳定性条件是由 T_p,T_i和 T_w决定的,与 T_a 无关.

系统的稳定性条件是由反馈回路上的系统参数决定的,T_a位于系统的反馈回路以外,不会对系统的稳定性条件产生影响,而 T_p,T_i,T_w都位于反馈回路上,对系统的稳定性条件有决定性作用.$T_p=2$时,DIS-APIOBPCS供应链系统稳定性区域如图1所示.

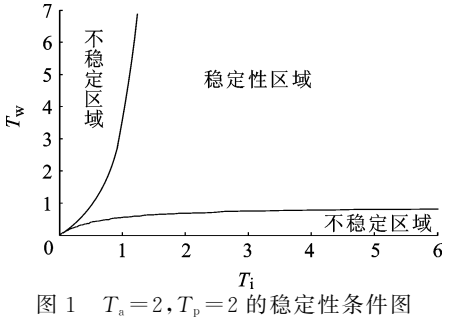


图1 $T_a=2$,$T_p=2$ 的稳定性条件图

稳定性区域的确定,为供应链系统运行的决策参数的选取提供了一个范围,只要 T_i和 T_w在稳定性区域内取值,无论供应链系统收到何种外部需求信息的干扰,系统都能最终达到稳定状态.换句话说,稳定性区域的大小反映了供应链系统的抗干扰能力.但是,在一定需求模式下,库存和在制品参数在稳定性区域内的变化会对订单、库存和在制品的动态响应特性产生影响.而 T_i和 T_w在不稳定区域内取值,无论输入何种需求信息,系统最终都不能恢复到稳定状态,而是会出现振荡行为.在实际的供应链系统中,这种振荡超过生产和库存能力时,必然会导致系统崩溃.

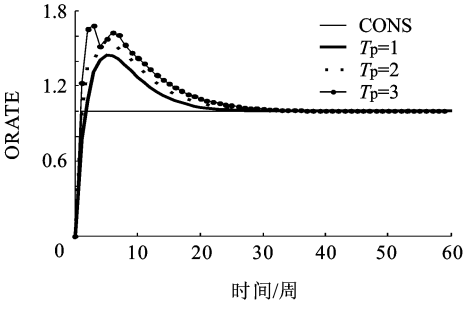
3 需求信息共享的供应链动态特性

对于供应链系统动态特性,主要围绕订单和产成品库存的波动进行考察.对于不同的需求模

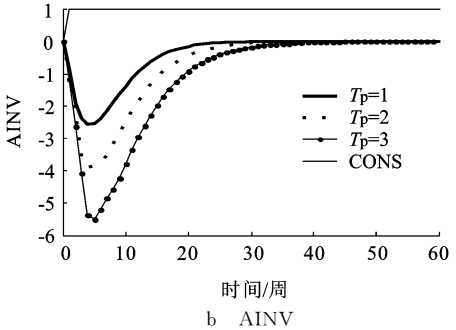
式,使用的指标也不尽相同. 对于阶跃形式的需求输入,根据文献[3]对离散 VMI 系统的阶跃响应进行的研究,考察供应链系统动态响应的指标主要有:峰值、调节时间、稳态误差.

3.1　T_p对供应链系统阶跃响应的影响

由于在实际的供应链管理中,企业的提前期是一个不易经常改变的参数,本研究只对提前期为 1, 2, 3 的情况进行考察. 由图 2 可以看出,无论 T_p取何值,订单和库存动态响应的稳态误差都为 0,而 T_p取值越小,峰值越小,调节时间越短,动态响应越理想. 这意味着当市场需求增加时,企业可以通过缩短提前期,降低市场需求对企业能力的需求,提高企业对需求变化的响应速度.



a　ORATE



b　AINV

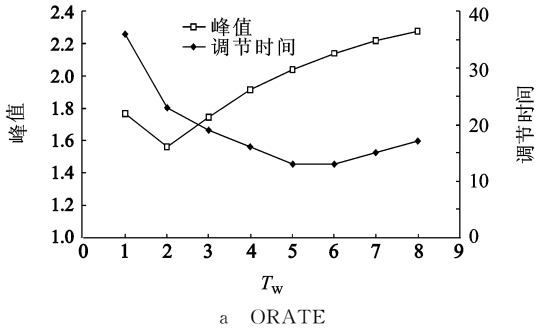
图 2　$T_a=2, T_i=3, T_w=2$ 时,
T_p对 DIS-APIOBPCS 系统动态特性的影响

3.2　T_w对系统阶跃响应的影响

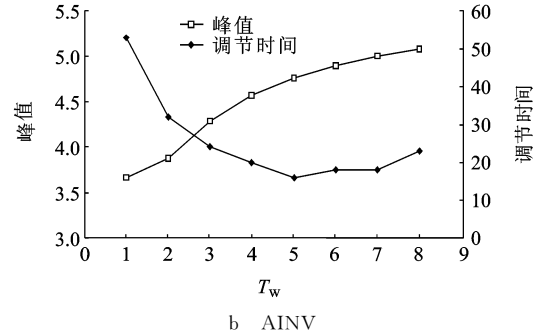
图 3 为不同在制品参数下需求信息共享供应链系统订单和库存的响应特性. 可以看出,其它条件相同的情况下,当 T_w在较小范围内取值时,随着 T_w的增大,订单和库存响应的峰值呈现先下降再上升的趋势,调节时间也呈现先降低后上升的趋势,且稳态误差为 0. 这说明如果供应链生产或库存能力设计的较低,当市场需求增加时,可以在一个较小取值范围内对 T_w进行调节,以提高供应链动态响应性能和运作绩效.

3.3　T_i对系统阶跃响应的影响

图 4 为不同库存参数下需求信息共享供应链系统订单和库存的响应特性. 可以看出,其它条件相同的情况下,当 T_i在较小的范围内取值时,随着 T_i的增大,订单、库存响应的峰值下降,但是调节时间呈现出一个先下降后上升的过程,且稳态误差为 0. 这说明市场需求增加时,供应链成员必须权衡企业的生产、库存能力和恢复能力,合理确定库存调节参数,才能最大限度地提高绩效,保持长期稳定的发展.

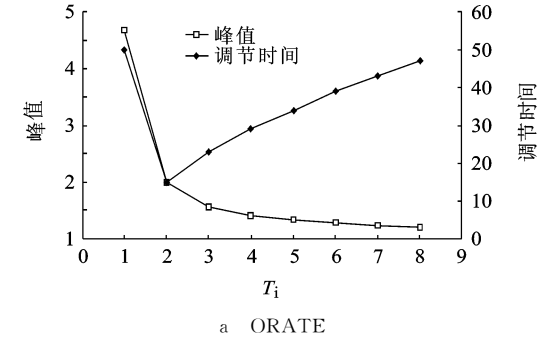


a　ORATE

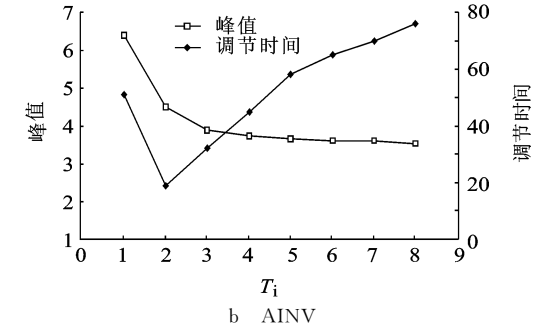


b　AINV

图 3　$T_a=2, T_p=2, T_i=3$ 时,
T_w对系统峰值和调节时间的影响



a　ORATE

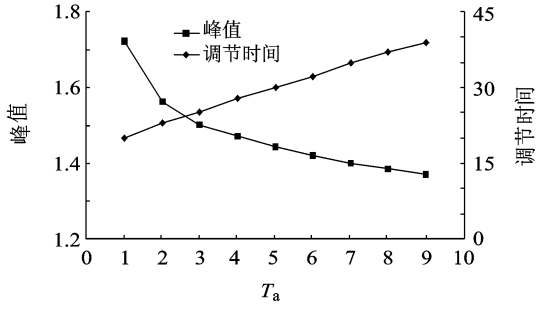


b　AINV

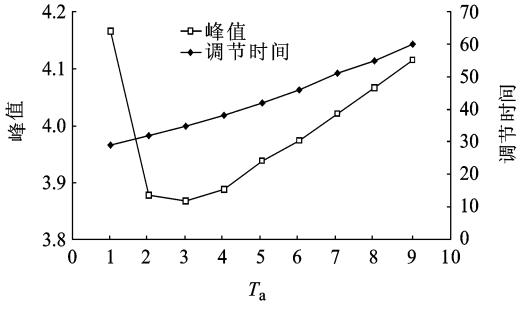
图 4　$T_a=2, T_p=2, T_w=2$ 时,
T_i对系统峰值和调节时间的影响

3.4 T_a对系统阶跃响应的影响

随着T_a的增大，订单响应的峰值逐渐延长，而调节时间逐渐上升，库存响应的超调量先下降后上升，调节时间逐渐延长，如图5所示，以上规律说明，对于供应链成员来说，如果目的是提高供应链系统响应的调节时间，那么降低订单和库存的调节时间需要减小T_a；如果目的是降低供应链系统响应的峰值，当$T_a<3.5$时，减小库存和订单的峰值需要增大T_a，而$T_a>3.5$时，需要减小T_a.



a ORATE



b AINV

图5 $T_i=2$，$T_p=2$，$T_w=2$时，T_a对系统峰值和调节时间的影响

通过以上分析可以看出，当系统输入为阶跃需求时，供应链系统的参数设置只要在稳定性区域之内，系统的动态响应的稳态误差都为0，而峰值和调节时间对系统参数取值的要求有时是一致的，有时又是矛盾的，例如降低系统动态响应的峰值和调节时间对T_p的要求都是减小，而当$T_i>2$时，这两个目的对T_i的要求是相反的. 这说明供应链成员应根据供应链对稳定性和动态响应的目标调整系统参数，提高供应链的整体性能.

4 结 论

本文在APIOBPCS生产库存控制模型的基础上，分析了需求信息共享的DIS-APIOBPCS的4个重要系统参数的管理决策意义. 使用控制论方法明确了DIS-APIOBPCS系统在不同提前期下的稳定性条件，并以单位阶跃信号为输入进行了仿真实验，证明了任何超出稳定区域的决策行为都会导致供应链系统的不稳定. 在此基础上深入研究了阶跃需求模式下系统参数决策行为对供应链订单、库存和在制品动态响应的影响. 对于阶跃需求输入，T_p越小，峰值越小，调节时间越短，企业可以通过压缩提前期策略降低市场需求增加对能力的需求. 而T_i，T_w和T_a在不同范围内对超调量和调节时间的影响趋势有所不同，需要根据供应链的整体目标进行选择.

本研究所建立的模型可以扩展为多级供应链中任意相连的2个节点，并可以在此基础上深入研究多级供应链系统和采用其它需求信息共享模式的供应链系统的稳定性和动态响应问题.

参考文献（References）

[1] Forrester J W. Industrial dynamics[M]. Cambridge, Mass: The MIT Press, 1961

[2] Dejonckheere J, disney S M, Lambrecht M R, et al. The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 153(3): 727-750

[3] Disney S M, Towill D R. A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain[J]. International Journal of Production Research, 2002, 40(1): 179-204

[4] Towill D R. Industrial dynamics modeling of supply chains [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1996, 26(2): 23-42

[5] Ouyang Yanfeng. The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 182(3): 1107-1121

（责任编辑：张白白）