

文章编号: 1005-9679(2017)03-0012-05

供应链突发事件下柔性能力鲁棒运作： 研究述评与分析框架

孟翠翠，季建华

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘要: 能力应急管理是供应链应急管理的一个重要方面。从柔性角度出发,对柔性能力鲁棒运作进行研究。首先,从供应链能力应急、供应链柔性、鲁棒优化在供应链风险管理中的应用三方面对相关研究进行述评。然后,基于已有研究,提出柔性能力鲁棒运作分析框架,用来分析利用柔性能力应对突发事件过程中需要解决的关键问题及为了解决这些问题需要构建的模型。

关键词: 应急管理; 柔性能力; 鲁棒优化

中图分类号: F 253 **文献标志码:** A

Robust Operation of Flexible Capacity under Supply Chain Disruption Risk: Literature Review and Analytical Framework

MENG Cuicui, JI Jianhua

(Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Capacity disruption management is an important aspect of supply chain disruption risk management. This article researches the robust operation of flexible capacity. First, literatures in the following three directions are reviewed respectively: capacity disruption management, supply chain flexibility and application of robust optimization in supply chain risk management. Then the analytical framework is provided for robust operation of flexible capacity. The framework is used to analyze the key issues and corresponding models which need to be solved in the capacity disruption management problem.

Key words: disruption risk management; flexible capacity; robust optimization

1 引言

近年来,各种类型的突发事件如地震、海啸、火灾、罢工等频频发生,给供应链造成一次又一次冲击,给供应链成员的经济效益带来极大影响,也给社会经济带来破坏。在此背景下,学者和企业逐渐认识到供应链应急管理的重要性,并从多个角度对其

展开研究。

作为供应链应急管理核心之一的能力应急管理也受到研究的重视,但是相关研究主要把重点放在突发事件造成供应链中断之后的能力修复和调度问题上。由于供应链能力投资周期长、调度灵活性低的特点,当突发事件发生之后再考虑能力的修复和调度,效果往往不甚理想。因此,有必要在能力投

收稿日期: 2017-03-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“应急运作管理与鲁棒计划”(70732003)

作者简介: 孟翠翠(1984-), 博士研究生, 研究方向: 供应链应急管理。电话(Tel.): 52301085; E-mail: mengc2009@163.com。

季建华, 教授、博士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理。

资阶段就开始考虑对突发事件的应对,增加供应链弹性。Sheffi 等^[1]指出增加弹性主要有 3 种方式:增加冗余、提高柔性和改变公司文化,增加冗余会影响效用,其他两个是增加弹性的关键。本文从柔性角度出发,对柔性能力的鲁棒运作进行研究。为此,首先对柔性能力鲁棒性运作的相关研究进行述评,然后提出一个供应链柔性能力鲁棒设计性运作的分析框架,在该框架下柔性能力运作既考虑突发事件前柔性能力的投资,也考虑突发事件后柔性能力的调度。

2 柔性能力鲁棒性运作相关研究述评

供应链突发事件下柔性能力鲁棒性运作问题主要涉及供应链能力应急、供应链柔性、鲁棒优化等方面。

2.1 供应链能力应急研究述评

关于供应链能力应急的研究,大部分文献把重点放在突发事件对供应链造成冲击之后能力的应对方面,主要包括能力的修复和调度。

在运作能力修复方面,维修备件库存管理是主要研究分支,已经有很多研究来分析维修备件库存管理策略。Armstrong 等^[2]提出限期更换是维修备件库存管理的典型策略,主要解决的问题是最优订货时间问题。包兴等^[3]在研究上海地铁备件订购策略时,也将维修备件作为修复运作能力的重要保障。

在运作能力调度方面,一类研究关注突发事件发生后能力的重新安排。例如,Qi 等^[4]以能力的重新安排与原安排的偏离成本最小为目标,得到突发事件后能力调度的次优计划。除了能力重新安排方面的研究外,还有研究关注库存与能力的相互作用,Mohebbi^[5]将运作系统抽象为“生产-库存”系统,研究生产能力和库存之间的可替代性。包兴^[6]对突发事件后运作系统能力的应急协调进行了研究,建立了多阶段能力应急恢复和采购模型。

供应链能力应急相关文献中直接对突发事件发生之前柔性能力运作的研究较少。但是,如果不仅仅针对突发事件风险,而是从一般风险的角度出发,柔性能力运作相关文献则较丰富,尤其在针对需求不确定性的柔性能力运作管理方面,这方面文献不仅仅包括不确定需求发生之后柔性能力的调度与安排,也包括不确定需求发生之前柔性能力的投资与扩张等问题。

关于不确定需求下能力及柔性投资问题,已有很多相关研究。这些研究中将能力分为专用能力和

柔性能力,专用能力只能用来生产一种产品,而柔性能力可用来在生产多种产品之间转换,又分为完全柔性能力和部分柔性能力。最初的研究关注专用能力和完全柔性能力的投资决策问题,Fine 等^[7]研究了生产 N 种产品的企业,利用两阶段决策模型分析能力投资问题,模型考虑一系列可能的需求情景,对专用能力、柔性能力及产量进行联合优化,目标是期望成本最小化。Van Mieghem^[8]研究了生产两种产品的企业对专用能力和柔性能力的投资决策,假设价格是外部给定的。Bish 等^[9]引入柔性定价,假设需求是价格的线性函数,函数的斜率已知但截距未知,以此描述需求不确定性,将能力最优投资函数构造为需求参数和投资成本的函数。后来的研究开始考虑能力的部分柔性,Netessine 等^[10]研究了下行柔性能力,即生产高层次产品的能力也可以用来生产低层次产品,假设价格是外部给定的,为最优能力水平求得解析解。

关于不确定需求下能力扩张问题也有部分研究。Goyal 等^[11]研究一个时期内两阶段能力扩张问题,来应对两种替代性产品的需求不确定问题。当需求实现的时候,能力可被增加或减少使收益最大化。还有一些研究考虑多产品多时期的能力扩张问题,目的是决策能力采购的序列及时间,如 Huh 等^[12]分析了连续时间下的多阶段能力扩张问题。

还有一个研究分支分析不确定需求下的能力分配问题。大多数研究考虑将现有能力分配给多种需求,从而使系统整体利润最大化,如 Bish 等^[13]的研究,但是没有考虑不同需求的满足水平。另外一些研究将不同需求的满足水平考虑进来,如 Huh 等^[12]针对不同需求采用均等满足率策略来分析能力分配问题。

2.2 供应链柔性研究述评

供应链柔性概念由生产柔性发展而来。最初的运营管理文献中提到的柔性概念大多数与生产柔性有关。随着生产柔性研究的深入,生产柔性的范围由车间层面发展到了企业层面。Slack^[14]最初描述了生产柔性的 5 种要素,即新产品柔性、产品混合柔性、质量柔性、数量柔性和交货柔性。随着供应链管理的发展,关于柔性的研究开始从企业层面向整个供应链扩展。如 Olhager 等^[15]在分析生产柔性要素时,不再仅仅局限于企业内部,而是扩展到企业和企业之间,直至扩展到整条供应链。因此,在层级的划分上,供应链柔性被置于生产柔性之上,它既包括企业内部的生产柔性元素,也包括供应链网络企业间的柔性元素。

供应链柔性反映了供应链对变化及风险的响应能力。很多研究通过模型分析或实证来分析供应链柔性的作用及价值,并进一步分析某些供应链参数对供应链柔性的作用和价值的影响。Fine 等^[7]分析了需求波动及需求相关性对资源柔性价值的影响,研究指出柔性作用随着需求相关性的增加而递减。而 Chod 等^[16]研究指出当且仅当产品通用性(用不同产品间通用配件的数量和重要性来表示)不超过某个阈值的时候,柔性作用随着需求相关性的增加而增加;随着需求波动的增加,柔性作用增加或减少由需求相关性和产品通用性来决定。

在研究供应链柔性在应对供应链风险中所起作用的同时,也有一些研究分析如何增加供应链柔性以应对供应链风险。Tang 等^[17]针对不同的供应链风险提出了不同的柔性战略,针对供应风险的柔性战略有选取多个供应商、柔性供应合同;针对过程风险的柔性战略有柔性生产过程;针对需求风险的柔性战略有延迟策略、柔性定价。Sheffi 等^[1]探讨了企业如何从严重的供应链冲击中复原,重点在于企业采取行动降低脆弱性,增强企业弹性。而提高柔性是增强企业弹性的一个关键方式,他从替代能力、延迟策略、灵活供应、客户关系管理和建立柔性企业文化 5 个方面分析了柔性的建构。

2.3 鲁棒优化在供应链风险管理中的应用研究述评

鲁棒优化是处理不确定性问题的方法之一。Mutapic^[18]将不确定性问题的处理方法归为 3 类:规则调整法(regularization)、随机规划(stochastic optimization)、鲁棒优化(robust optimization)。其中,鲁棒优化是基于最坏情况的一种优化,有时又叫最小最大鲁棒优化,不确定参数取值于一个给定的不确定集,但是参数的概率分布不必知道,目标是将给定不确定集中最坏情况的目标值最优化,约束条件必须在所有不确定情况下都满足。Soyster^[19]最早给出系统求解鲁棒优化的方法,基于不确定集上的最坏情况,可以将带有不确定参数的线性规划问题转化为传统的线性规划问题来求解。鲁棒优化方法是基于最坏情况的一种优化方法,所以会产生过度保守的问题,针对这个问题,Bertsimas 等^[20]引入“不确定预算”参数来对鲁棒优化的保守程度进行约束。

近年来,鲁棒优化方法已被用于解决多种实际问题。在供应链风险管理领域,鲁棒优化方法被用来解决资源分配问题、库存管理问题、定价决策问题、报童问题等。徐家旺等^[21]提出了需求及原料供应不确定下的供应链多目标鲁棒运作模型,采用概

率已知的离散情景来描述需求及原料供应的不确定性。Bertsimas 等^[22]利用鲁棒优化方法研究不确定情况下的库存问题,提出了随机需求下供应链库存管理最优决策的鲁棒优化方法,该方法不需要知道不确定需求的概率分布。Yu^[23]研究了不确定情况下的经济订货批量模型,不确定参数包括需求率、单位订货成本、单位库存成本,采用基于情景的方法描述了参数的不确定性。

现有的关于供应链柔性能力运作的研究中,很多是为了应对供应链日常风险及不确定性,供应链突发事件不同于日常风险和不确定性,它的发生概率小但影响极其严重,而且其概率分布不像日常风险或不确定性事件那样容易获取,所以现有的柔性能力运作研究中的一些方法,在供应链突发事件中并不适用。鲁棒优化作为处理不确定问题的一种方法,不需要明确知道不确定问题的概率分布,这与突发事件的特点比较吻合,所以本文将鲁棒优化方法引入柔性能力设计中。

3 柔性能力鲁棒运作分析框架

基于上述对相关研究的综述,本节针对一个 3 层供应链提出柔性能力运作的分析框架。研究背景为订货型生产供应链,考虑供应商、制造商和零售商组成的 3 层供应链,供应商向制造商供应零部件,制造商利用零部件生产产品,并将产品供应给零售商进行销售。供应链面临突发事件冲击的风险,突发事件冲击存在两种可能,即供应中断和需求突变。

图 1 所示为供应链突出事件下柔性能力运作示意。假设生产商是供应链的核心企业,生产商有 4 种产品可以生产,每种产品需要 2 种零部件,分别在供应商 1 和 2 处采购,每种零部件又细分为两种形式,即第一种零部件包括零部件 A 和 B 两种形式,第 2 种零部件包括零部件 C 和 D 两种形式,用来进行下列 4 种产品的生产,即产品 AC、产品 AD、产品 BC、产品 BD。供应商具有柔性生产能力,即在供应商 1 处,柔性能力既可以用于生产零部件 A,也可以用于生产零部件 B;相应地,在零售商 2 处,柔性能力既可以用于生产零部件 C,也可以用于生产零部件 D。生产商与供应商之间签订柔性供应合同,允许生产商进行再订货。根据生产商的再订货,供应商对柔性能力进行分配。生产商可以通过调节 4 种产品的产量应对突发事件。此外,生产商还可以在二级市场进行交易,将多余的零部件卖出,或在零部件缺货时,从二级市场采购。同时,生产商还可以考虑外部能力采购。零售商面对突发事件时,可进行

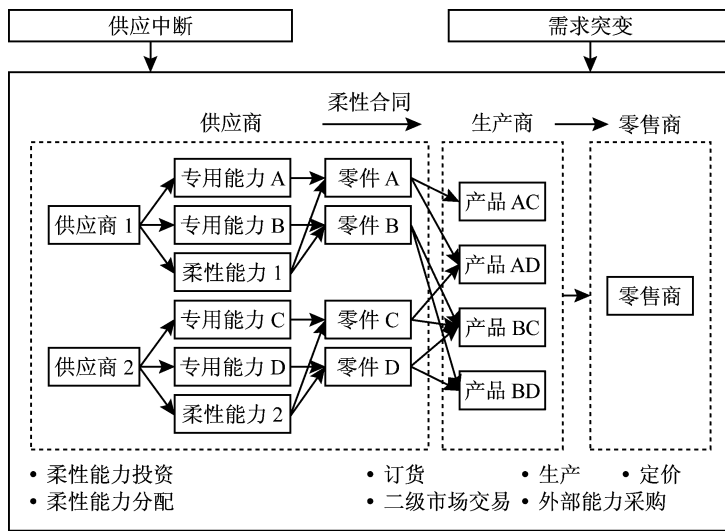


图 1 供应链突发事件下柔性能力运作示意图

柔性定价来应对。

在整个供应链柔性能力运作过程中,各事件发生顺序如下:在突发事件发生前,即不确定性未知的情况下,供应商进行柔性能力投资决策,生产商进行初次订货决策;在突发事件发生后,即不再存在不确定性的情况下,生产商进行再订货决策,供应商进行

柔性能力分配决策,生产商进行产量决策及二级市场交易决策,零售商进行定价决策。各种决策虽然有时间上的先后顺序,但相互之间有影响,需要联动考虑,而不是独立决策。供应链柔性能力运作时间轴如图 2 所示。

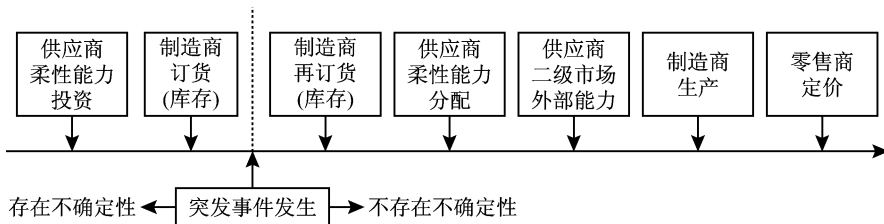


图 2 供应链柔性能力运作时间轴

在上面所描述的柔性能力鲁棒运作框架下,需要研究的关键问题包括以下几个问题:

(1) 柔性能力投资问题。即什么条件下对柔性能力进行投资,而什么情况下不进行柔性能力投资,柔性能力投资的多少受哪些因素的影响,通过对这些问题的分析可以给出柔性能力投资的充要条件以及柔性能力投资与相关参数之间的关系。

(2) 柔性能力协调问题。即生产商和供应商之间如何协调,才能促使供应商实现最优水平的柔性能力投资,通过对这个问题的分析,可以给出柔性能力协调的均衡条件。

(3) 柔性能力与柔性定价问题。即柔性能力与柔性定价之间存在什么样的关系,柔性定价对柔性能力作用的发挥起到促进作用还是阻碍作用。

为了对上述几个问题进行分析,可以针对柔性能力鲁棒运作框架构建数学模型。为了构建这一模型,引入鲁棒优化方法,将其构建为双层鲁棒优化模

型。其中,上层模型对应突发事件冲击前,供应商作出柔性能力投资决策,生产商进行订货决策;下层模型对应冲击后,制造商进行再订货决策,供应商进行柔性能力分配决策,制造商进行产量决策和二级市场交易决策,零售商进行定价决策。在上层优化中,目标函数为供应链总体利润最大化,将总体利润设置为柔性能力投资、订货量、再订货量、柔性能力分配、产量、二级市场交易量、价格这几个变量的函数,上层优化要决策的变量为柔性能力投资和订货量,其中再订货量、柔性能力分配、产量、二级市场交易量、价格这几个变量通过下层优化获得。在下层优化中,目标函数为供应链应急成本最小化,将应急成本设置为柔性能力投资、订货量、再订货量、柔性能力分配、产量、二级市场交易量、价格这几个变量的函数,下层优化要决策的变量为再订货量、柔性能力分配、产量、二级市场交易量、价格,柔性能力投资和订货量通过上层优化获得。通过对该数学模型的解

析,可以总结出对回答上述问题有用的结论。

4 结 论

本文对供应链突发事件下柔性能力鲁棒运作问题的研究现状和分析框架进行了讨论。首先,对对柔性能力鲁棒性运作的相关研究进行述评,研究述评包含了 3 个方面的内容:供应链能力应急、供应链柔性、鲁棒优化在供应链风险管理中的应用。基于对相关研究的述评,我们提出了一个流程较为明确的柔性能力鲁棒运作分析框架,利用该框架来分析供应链利用柔性能力应对突发事件风险过程中需要解决的关键问题,以及为了解决这些问题需要构建的模型,以期为进一步的研究构建理论基础。

参考文献:

- [1] Sheffi Y, Rice J B. A supply chain view of the resilient enterprise [J]. MIT Sloan Management Review, 2005, 47(1): 41-48.
- [2] Armstrong M, Arkins D. Joint optimization of maintenance and inventory policies for a simple system [J]. IIE Transactions, 1996, 28(5): 415-424.
- [3] 包兴,季建华,连海佳. 核心备件的订货策略与模型 [J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(7): 1097-1101.
- [4] Qi X T, Bard J F, Yu G. Disruption management for machine scheduling: The case of SPT schedules [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 103: 166-184.
- [5] Mohebbi E. A Production-inventory model with randomly changing environmental conditions [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174: 539-552.
- [6] 包兴. 运作系统能力受损后的应急管理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [7] Fine C, Freund R. Optimal investment in product-flexible manufacturing capacity [J]. Management Science, 1990, 36(4): 449-466.
- [8] Van Mieghem J A. Investment strategies for flexible resources [J]. Management Science, 1998, 44(8): 1071-1078.
- [9] Bish E K, Wang Q. Optimal investment strategies for flexible resources, considering pricing and correlated demands [J]. Operations Research, 2004, 52(6): 954-964.
- [10] Netessine S, Dobson G, Shumsky R A. Flexible

- service capacity: Optimal investment and the impact of demand Correlation [J]. Operations Research, 2002, 50(2): 375-388.
- [11] Goyal M, Netessine S. Volume flexibility, product flexibility, or both: The role of demand correlation and product substitution [J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2011, 13(2): 180-193.
- [12] Huh W T, Roundy R O. A continuous-time strategic Capacity planning model [J]. Naval Research Logistics, 2005, 52(4): 329-343.
- [13] Bish E K, Muriel A, Biller S. Managing flexible capacity in a Make-to-order environment [J]. Management Science, 2005, 51(2): 167-180.
- [14] Slack N. Flexibility as a manufacturing objective [J]. International Journal of Operations & Production Management, 1998, 3(3): 4-13.
- [15] Olhager J, West B M. The house of flexibility: using the QFD approach to deploy manufacturing flexibility [J]. International Journal of Operations & Production Management, 2002, 22(1): 50-79.
- [16] Chod J, Pyke D, Rudi N. The value of flexibility in Make-to-order systems: The effect of demand correlation [J]. Operations Research, 2010, 58(4): 834-848.
- [17] Tang C, Tomlin B. The power of flexibility for mitigating supply chain risks [J]. International Journal of Production Economics, 2008, 116(1): 12-27.
- [18] Mutapcic A. Robust optimization: Methods and application [D]. Stanford University, 2008.
- [19] Soyster A L. Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming [J]. Operations Research, 1973, 21(5): 1154-1157.
- [20] Bertsimas D, Sim M. Robust discrete optimization and network flows [J]. Mathematics Programming, 2003, 98(1-3): 49-71.
- [21] 徐家旺, 黄小原. 市场供求不确定供应链多目标鲁棒运作模型[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(6): 35-40.
- [22] Bertsimas D, Thiele A. A robust optimization approach to inventory theory [J]. Operations Research, 2006, 54(1): 150-168.
- [23] Yu G. Robust Economic Order Quantity Model [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 100(3): 482-493.