

供应链中断模型研究综述

李勇建，甄学平

(南开大学中国公司治理研究院，天津 300071)

摘要：各类突发事件的频繁发生给企业的生产运营管理造成严重影响。供应链中断也作为一个新兴的研究方向，备受业界和学术界的关注。深入调查研究供应链中断的来源、造成的影响、应对措施等实践情况，概括了供应链中断内涵和外延，以此为基础，从供应、生产、需求、援助等四个方面对供应链中断相关文献进行了系统的归纳总结，并展望了今后研究趋势。

关键字：供应链；中断管理；风险控制；运营管理

中图分类号：F406.2 F27 **文献标识码：**A

1. 引言

2001 年的“911”事件致使福特公司不能及时从其加拿大的供应商那里得到足够的零部件而不得不关闭它的 5 个工厂；2000 年由于为诺基亚和爱立信提供芯片的飞利浦工厂发生火灾，最终 2000 年爱立信手机部门总共亏损 16.8 亿美元，市场份额从 12% 下降到 9%^[1]；2008 年金融危机致使许多企业资金链断裂而破产；2009 年 9 月开始，丰田在 4 个月之内召回 800 万辆汽车，向美国政府支付大约 5,000 万美元罚款，遭受巨大损失。这一系列的供应链突发事件直接或间接造成利润和市场占有率的下降，甚至导致企业破产或供应链中断。因此，目前企业和学者都非常关注供应链应急管理，相关研究也已经展开并逐步深入。

供应链中断管理属于供应链风险管理研究范畴，Gurnani 等^[2]认为供应链风险管理备受关注主要因为以下几个方面：1) 全球化、外包、单一供应商采购以及追求高效率使得供应链变得越来越复杂；2) 公开了大量损失惨重的供应链中断 (supply chain disruption) 事件；3) 业界和学术界都非常关注供应链中断对企业绩效的影响以及如何采取措施避免负面影响；4) 法律要求高级管理者对绩效预测和股权价值的安全负责，这加大了对风险识别和管理的要求。

供应链中断管理的相关研究已经逐步展开，已经成为一个新型的学科研究方向，但其内涵和外延的界定还不够清晰，存在很多分歧，因此有必要对供应链应急管理研究成果进行梳理，在此基础上，提出研究理论框架，确定重点研究问题。

2. 中断的来源

根据供应链中断定义，中断主要有两个来源：供应链系统内部和供应链系统外部，如图：

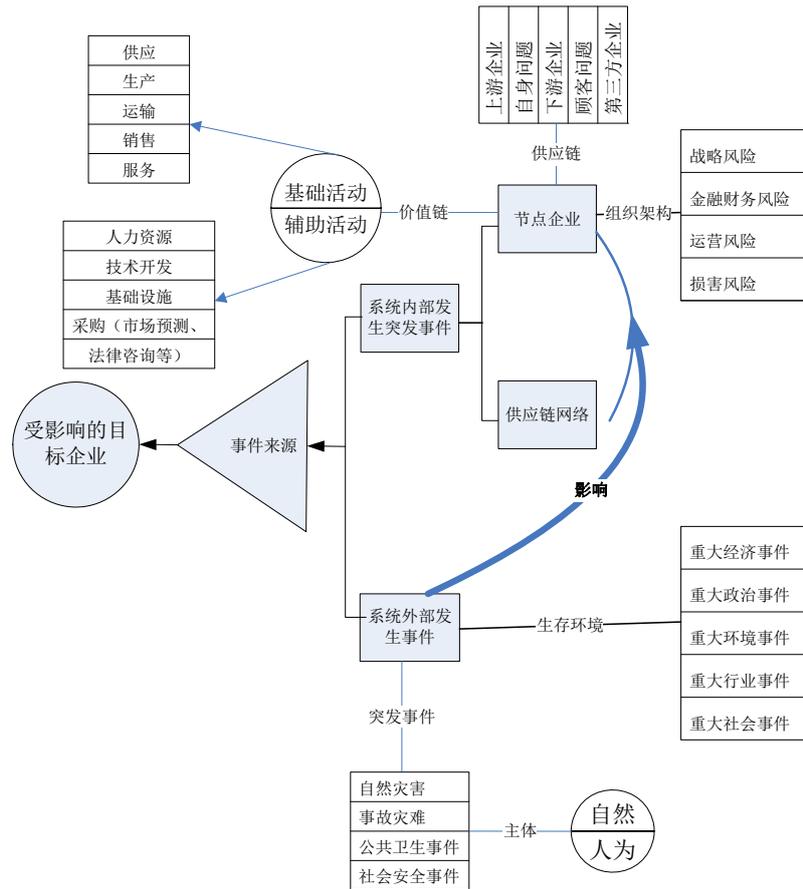


图 1 中断事件来源

供应链系统内部的中断事件可能来源于两个方面：节点企业和供应链网络。关于节点企业可能发生的中断事件，可以从组织架构、价值链、供应链等角度进行分类。例如，从供应链的角度看，中断事件可能发生在上游企业、下游企业、顾客、第三方企业和目标企业自身。可能发生的中断事件：

上游企业：原材料或零部件供应中断或不足、生产成本突然波动；

下游企业：销售渠道破坏、市场份额下降、批发商集体倒戈；

顾客：无法按时取货、违约、退货、需求突然急剧增加或者减少；

目标企业：供应能力急速下降（可能因为火灾、运营失误等）、重大产品质量事故；

企业都可能遇到的事件：破产或被收购、运营重大失误、治理问题（股东捐款潜逃、公司管理层对公司失去控制）、信息类事件（媒体大量不实报道）、信息系统瘫痪等。

系统外部事件可从企业生存的环境和突发事件两个方面分析。供应链系统外的事件通过影响供应链系统内的要素来产生作用。例如：日本地震导致丰田的零部件工厂被毁，最终导致停产，形成了丰田汽车装配厂的供应中断事件。所以，从最终的影响结果来看，无论是供应链系统内部还是供应链系统外部的的事件，中断事件对供应链的影响主要有四个方面：供应、生产、销售、售后。

对供应的影响主要包括：供应量、供应时间、供应价格、供应质量、供应成本；对生产的影响包括：生产能力、生产质量、生产时间、生产成本；对需求的影响：需求量、需求时间、退货/返修量。对售后的影响主要为维修量、维修成本、维修时间等的方面的影响。一般情况下，这些参数在一定的范围内波动，但遭遇中断事件后，波动就会超出正常范围，对企业产生巨大的影响。

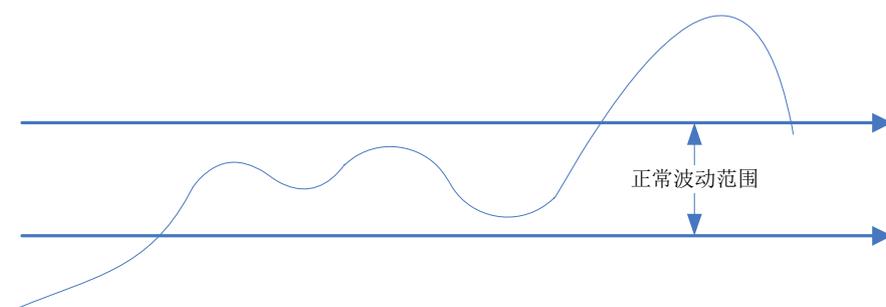


图 2 波动情况

3. 中断应对措施

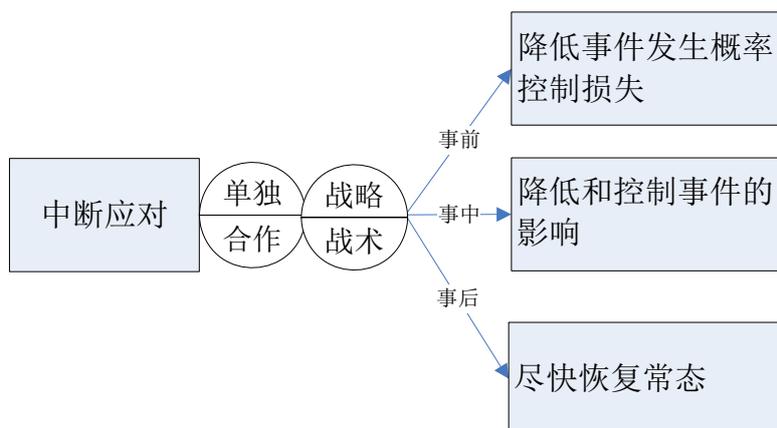


图 3 中断应对

一旦发生中断事件，企业需要尽快做出决策进行应对。这其中涉及到许多关键问题需要决策者考虑。首先，是独自应对，还是向供应链上的企业寻求帮助？要解决这个问题，企业需要对自身的情况进行了解，比如预测中断事件对企业造成的影响，了解企业有那些应对资源，独自应对能否承受中断事件造成的结果。其次，那些企业可以寻求帮助？这主要依赖两个因素：1) 下游或者上游企业所受的影响；2) 转换成本；即他们对遭遇中断事件企业的依赖程度。这两个因素共同决定了相关企业是否提供帮助以及提供多少帮助。另外，根据中断事件对企业的影响程度，企业会采取不同级别的应对措施。如果中断事件可能造成企业倒闭或者被收购，是生死攸关的问题，那么企业可能会采取战略层级的措施进行应对。如果中断事件只影响了企业的运营管理，不会造成致命的损失，那么企业可采取战术层级的措施。中断事件对企业造成的影响本身存在不确定，是变化的过程，而且会受到企业采取措施的影响，

所以刚开始只限于运营层面的影响，最后却发展成战略层级的问题，甚至直接导致企业破产。所以企业在做决策时，要对中断事件有个清醒的认识，比较客观的估计中断事件的影响。最后，中断事件不同的发展阶段，应对的目标有所不同。事前主要目标为降低中断事件发生的可能性，同时为应对突发事件储备资源，做好事中应对的准备，为事中应对中降低损失做好准备。事中主要目标是降低和控制事件的影响。事后为尽快恢复常态。

下面总结了实践中企业应对中断的主要措施。

表 1 中断的主要措施

供应	供应商选择、供应地点选择、供应商关系、供应商订单分配 供应合同选择（批发合同、收益分享合同等） 调整价格
生产	1) 投入生产线（expand product line） 2) 代产（寻找合作者一起完成订单，贴牌生产） 3) 生产多种产品 （分散风险，降低有效需求的变化，替代产品同样可以满足缺货产品的需求） 4) 调整生产计划 5) 调整契约 6) 多个供应商 7) 推迟差异化时点 8) 重新设计生产过程（工艺）或产品 如颠倒工艺顺序
销售	通过时间转移需求 1) 延迟需求（等待+降价）； 2) 鼓励消费者推迟发货，比如价格折扣 3) 不同的时间，不同的价格 4) 提价 5) 价格折扣 6) 动态价格/清仓价 7) 预订（鼓励消费者提前订货），多用于服务行业 8) 提前保证折扣，获得提前订货承诺 通过市场转移需求 1) 两个以上市场，引导消费者跨市场购买（电子商务），或者将产品跨市场销售

	<p>2) 在不同的销售季节、不同的市场出售不同的产品，特别对于两个市场销售存在时差的情况，更有效</p> <p>通过产品转移需求</p> <p>替代品（通过降价促销引导消费者购买公司其他型号的产品）</p>
--	---

4. 概念的界定

于刚和齐向彤（2004）^[3]认为是不确定导致了运营计划的中断，而中断管理是实时处理中断的方法论。他们认为中断管理应该尽量保持原计划不变，以避免需求改变造成的偏差成本。另外，他们在其著作中提到了中断管理的几个指导方针，分别为实时优化、偏差成本、多目标决策、保持原计划、中断管理时间窗、多种解决方案、局部最优解。在此中断管理概念和指导原则下，于刚等学者对供应链中断开展了一系列的研究。

Kleindorfer and Saad（2005）^[4]将中断风险分为两大类：干扰风险管理包括运营风险（设备故障、为预料到的供应中断、罢工等群体事件）和来自自然灾害、恐怖行动、政治动荡等的风险。George 等（2008）^[5]认为供应链中断是一种与产品运输有关的问题，且属于供应风险的范畴。Wagner and Bode（2008）^[6]认为是不可预料、不希望发生的对绩效和供应链产生负面影响的事件，例如天气状况、恐怖袭击、瘟疫等。Tang(2006)^[7]将供应链风险分为两大类，包括运营风险和中断风险。他认为运营风险是固有的与生俱来的风险，主要为供应和需求的不确定性，而中断风险是自然或认为的灾难造成的中断，且大多情况下对企业产生的影响比运营风险大。Snyder and Shen(2006)^[8]对中断和产出不确定进行了区分。他们认为中断一般比较罕见且短暂，但一旦发生会对系统造成巨大改变。相反，产出不确定是供应不确定的一种形式，具有随机性。Sodhi 等（2011）^[9]对学者以及相关文献进行调查研究发现虽然大多学者认为供应链风险管理是处理罕见且影响巨大的事件，比如工厂失火、自然灾害等，但研究文献倾向于认为供应链风险管理集中处理供应延迟或者其他经常性的且影响低或者适度的中断。胡祥培等（2007）^[10]概述干扰管理思想的形成及发展。

根据目前学者对供应链中断的界定，我们将供应链中断定义如下：

供应链中断为发生概率低，对绩效负面影响较大的事件，包括供应链系统内部事件（节点企业发生事故灾难、破产、罢工等，供应链网络断裂），供应链系统外事件（自然灾害、政治动荡、经济周期波动等，多为不可抗力因素），是供应链风险管理的主要研究内容之一。供应链中断会对供应、生产、销售、售后产生重大影响。

根据供应链中断的定义，供应链中断主要包括三个要素：发生可能性、结果、传播路径。发生的可能性可用概率来测量。结果分为正面的和负面的，且结果可用绩效来衡量。需要注意的是，绩效不仅仅包括财务绩效，还包括时间、质量、顾客、创新等。传播路径主要涉及中断的本质、中断来源、影响因素等。

5. 国内外相关文献综述

突发事件发生时，供应链企业间相互援助属于企业应急管理研究范畴。目前，企业应急管理的研究主要集中在研究突发事件对需求、生产、供应等影响。Snyder 等（2010）^[11]对研究供应链中断的运营模型进行了详细的综述。Tang(2006)^[7]错误！未定义书签。¹述了供应链中运营风险和中断风险的应对策略并提出了鲁棒应对策略。Chopra and Sodhi(2004)^[12]对风险以及产生的影响进行分类，讨论了避免供应链中断的各类策略的优劣。Kleindorfer and

Saad(2005)^[13]以美国 1995–2000 期间发生在化工行业的事故为样本数据,发现两个供应链中断风险管理的维度,即以降低中断风险发生频率和影响为目的的策略或活动,以及没有负面影响的提高供应链参与者的生产力。Wu, Blackhurst 和 O'Grady^[14]则进而为供应链在突发事件下的应急管理提供了一套方法论。我们按照表 2 对文献进行分类总结。

表 2 文献分类表

文献分类		文献涉及的主要内容
需求中断		需求规模、需求分布、价格敏感系数等发生变化时, 供应链协调问题
供应中断	多供应商采购策略	主要涉及相关的运营决策和供应商数量决策, 多供应商之间竞争、信息不对称、中断的特性等因素
	持有库存策略	供应中断情况下的库存决策, 比如再订货点、订货量、安全库存等
	后备生产策略	缺货惩罚、备选供应商等对供应中断中企业生产恢复决策的影响
	柔性生产策略	供应商柔性生产对降低中断风险的作用
	策略选择	分析策略的优势和劣势, 如何选择和应用各种策略等
生产中断		生产中断后的恢复问题。
应急援助		财务资助、价格或订单激励、分摊恢复生产的成本等如何影响供应商可靠性, 援助者如何决策等问题

5.1 需求中断研究

突发事件造成需求改变主要有两个方面,即改变潜在市场需求(需求规模)和改变需求的规律(如需求分布),且学者针对这两种改变都进行研究,提出的解决思路主要是调整已有契约,目的是尽量避免需求改变造成的偏差成本。研究的问题包括需求中断下供应协调,偏差成本分担等。

关于改变市场需求规模的研究,需求函数形式通常为与价格相关的线性或非线性函数,但没有考虑需求中断的随机性,而是考虑需求递增和需求递减两种情况讨论。Qi 等(2004)^{[15][16]}研究了确定的线性和非线性需求函数情形下,需求规模发生变化时,如何通过调整数量折扣企业协调供应链。Xu et al.(2003)^[17]and Huang et al.(2006)^[18]进一步考虑不同类型的非线性需求函数。Xiao et al. (2005)^[19] and Xiao and Qi (2008)^[20]将模型扩展,考虑多个零售商之间的竞争性。Chen 等(2009)^[21]研究了一个主导零售商和 N 个从属零售商存在的情况下,利用线性数量折扣和批发价契约协调需求变化的供应链,并比较了两种契约。傅俊辉等(2010)^[22]构建了一个制造商和两个相互竞争的零售商组成的供应链,在面临市场规模的单需求突变和双需求突变两种情况下,使用收入共享契约进行协调的问题。余睿武和肖人彬(2011)^[23]假设需求偏差是以某概率发生,研究了带有主从零售商供应链的协调问题。他们发

现无论需求随机偏差存在与否都可以运用线性数量折扣合同使得供应链有效达到协调。

Xiao 等 (2007)^[24]认为偏差成本除源于供应商之外,还可能来源于零售商,在此假设下,研究了两个零售商存在竞争情况下,考虑市场偏差成本由生产商或者零售商支付,线性或全额数量折扣契约如何协调供应链以及与原计划的差别。需求的变化也可能会同生产成本的变动同时发生, Xiao and Qi(2008)^[20]考虑一个生产商和两个竞争的零售商,同时考虑需求和生产成本的中断,认为需求规模的变化改变了生产商的生产成本,研究了全额数量折扣和递增数量折扣的供应链协调机制。Xiao et al. (2005)^[19]继续引入价格补贴率合 (price-subsidy rate contract), 综合考虑销售促销机会和需求中断。另外,大多数研究制造商承担生产偏差成本,但某些情况下,生产偏差成本是由零售商承担的 (Xiao et al.2007)。Huang 等(2011)^[25]构建了一个由一个供应商和一个零售商组成的两期双渠道(供应商直销和传统渠道)供应链,且两个渠道需求为关于自身价格和交叉价格的线性函数,研究了需求规模发生变化时的两阶段价格和生产决策问题。侯晶和赵林度(2007)^[26]同样考虑两种销售渠道,但假设渠道的市场需求相互独立,研究了传统渠道需求规模发生变化时供应链的协调问题。耿若凡和庄品(2009)^[27]研究了生产成本及市场需求同时发生变化时,三级供应链的协调应对问题。

关于改变市场需求规律的研究,主要有:于辉等(2005、2006、2008)^[28-30]认为零售商总是根据现实需求分布和批发价格来确定订货量,突发事件只会对供应商的成本造成影响,即需求偏差成本主要来源于供应商调整生产计划造成的损失,在此基础上,研究了突发事件造成需求分布发生变化情况下,如何调整回购契约或者批发价契约使其具有抗突发事件性,有效应对突发事件和协调供应链。于辉等(2007)^[31]考虑需求依赖价格,突发事件导致零售商面临的随机需求发生变化,收益共享契约下零售商如何调整价格以应对突发事件。覃燕红和傅强(2010)^[32]在于辉等(2005)研究基础上,将供应商增加的供应商成本考虑进回购价格,重新设计回购契约中回购价格参数来实现供应链协调应对突发事件。杨智辉等(2010)^[33]考虑需求分布的变化对生产成本产生的影响,研究了数量折扣契约下供应链的协调。

以上文献主要集中于需求波动下供应链的协调问题,但是突发事件引起的需求波动,特别是需求增加,会影响到制造型企业的生产计划、生产能力等决策。此类研究主要涉及生产能力扩张的相关研究文献。Sampath and Jayashankar(2001)^[34]分析了需求增长时生产计划决策和能力获取决策之间的相互关系,以总成本最小化为目标建立了函数决策模型。Wang and Lin(2002)^[35]提出了一种遗传算法用于解决预算约束条件下半导体企业的能力扩张和分配问题。Hsu^[36]研究了在需求增长量已知情况下,有限期限内确定能力扩张的时间和大小问题。Ryan(2004)^[37]建立了在需求增长呈指数分布、确定的扩张提前期以及特定的服务水平条件下的能力扩展模型。张自立等(2008)^[38]分析了突发事件发生后应急品生产企业启用剩余生产能力的情况,管理者如何通过决策信息促使企业最大的运用剩余生产能力,从而在最短的时间内生产最多的应急物品来稳定社会,缓释突发事件给社会带来的影响。较近的文獻综述可参考:Julka 等(2007)^[39], Melo 等(2009)^[40]。

5.2 供应中断研究

供应中断的研究相对比较丰富,且许多运营工具可以帮助企业管理供应中断,比如多供应商供货、持有库存、柔性生产、需求转移等。

5.2.1 多供应商采购策略

关于多供应商采购,集中于两个研究内容:多供应商采购下的运营决策;供应商数量决策。通常,多供应商采购情况下的运营决策研究中假设只有两类供应商,一类为不可靠但价格便宜的供应商,另一类为可靠但价格较贵的供应商。如果不可靠供应商以一定概率遭受中断,则供应量为零,否则可按量完成订单。Parlar and Perry(1996)^[41]假定供应商在给定时间

间点可用或者不可用,且持续的时间服从指数分布,分析了价格-数量和再订购点模型。Gürler and Parlar(1997)^[42]扩展了 Parlar and Perry (1996) 的研究,考虑两个供应商的随机库存模型,采用半马尔科夫过程 (semi-Markov) 描述供应商的有效性,有效和无效的持续时间也服从一定的分布,研究了最优库存策略。Dada 等 (2007)^[43]构建了一个报童和多个供应商模型,且假定供应商有两种状态——可靠或不可靠,可靠指交货量等于订货量,不可靠指以一定的概率交货量小于订货量。他们集中研究了报童的订单分配以及供应商选择问题。Chopra 等 (2007)^[44]在 Dada 等 (2007) 基础上,关注两个供应商,其中不可靠供应商可能同时面临供应中断和产出不确定,即如果不发生中断,供应量会具有随机性,故假定供应商可能会超过订货量。他们发现如果大多供应风险来源于产出不确定,那么增加不可靠供应商的订单会有效缓解风险,反之如果来源于供应中断,可增加可靠供应商的订单。Li 等 (2010)^[45]考虑突发事件可能造成供应商的供应中断,研究了由一个零售商和两个供应商组成的供应链中零售商的采购策略和供应商的定价策略。

但是,大多文献并没有考虑多个供应商之间的竞争性以及供应商中断信息的不对称性。Babich 等 (2007)^[46]研究了一个零售商和多个存在竞争的供应商的博弈,其中供应商为领导者,零售商为跟随者,但是任何供应商可能随机性的遭遇中断,且中断时点也随机,研究了定价、订货、供应商选择等决策问题。Chaturvedi and Martínez-de-Albéniz (2011)^[47]研究了当供应商可靠性和生产成本信息不对称时的多方采购策略。Tomlin (2009b)^[48]引入了供应学习的贝叶斯模型描述供应商产出分布的信息更新问题,探讨了供应学习对双供应商采购和库存策略的影响。Yang 等 (2012)^[49]考虑中断概率为供应商的私有信息,研究了制造商的最优采购合同设计问题。他们发现最优的合同设计为制造商权衡多样化(从多个供应商采购)和竞争性。Gümüs等 (2012)^[50]同时考虑了两个供应商的竞争性以及不可靠供应商中断概率信息的私有性,且不可靠供应商会向购买者提供价格和数量保证,研究了这种保证的潜在动机以及对竞争强度和供应链参与者绩效的影响。

另外,实际上,一个灾难性事件可能同时导致多个供应商的中断问题,因此多个供应商的中断可能具有相互依赖性。Tehrani 等 (2010)^[51]考虑多个供应商中断的依赖性,建立具有多个不可靠供应商的报童模型,研究了库存策略、关键绩效度量的性质。他们提出两个系统:多采购系统,即所有供应商生产相同零件,报童分配订单以避免供应中断风险;装配系统,即每个供应商生产不同的零件,报童要求每个零件的某个供应商生产最终产品。他们研究发现相互依赖性对两个系统的绩效都有正效用,但是多采购系统偏好风险分散,装配系统偏好风险集中。

财务也是供应商中断的重要原因,比如供应商资金流断裂,陷入财务困境等。因此一些学者将供应商的财务状况考虑到供应中断应对过程中。Swinney and Netessine (2009)^[52]假定如果生产成本过高,供应商将面临破产,构建了具有两个同质供应商、需求确定、生产成本不确定的两周期博弈模型,研究了购买者短期合同和长期合同的选择问题。他们发现不存在供应中断的情况下,购买者会偏好短期合同,否则偏好长期合同,且两种合同都不能协调供应链。Babich (2010)^[53]和 Wadecki 等(2010)^[54]都考虑供应商破产造成的供应中断问题,研究了如何通过制造商的财务补助而增强供应商的可靠性。

关于供应中断风险下供应商数量决策问题的相关研究主要有: Berger 等 (2004)^[55]采用决策树研究了存在中断风险的供应商数量决策问题。他们将风险来源分为可以影响所有供应商的灾难性事件和只对单一供应商产生影响的独特事件,同时分析了事件发生概率、财务损失、多供应商采购的运营成本对供应商数量决策的影响。Ruiz-Torres and Mahmoodi (2007)^[56]扩展了 Berger 等的模型,他们认为任何一个供应商中断都会造成损失,且将假设放松为每个供应商遭遇中断的概率是不相等的。他们发现当供应商可靠性较高时,单一采购成本最低,相反当供应商可靠性降低时,增加供应商可帮助降低成本。Sarkar and

Mohapatra(2009)^[57]将 Berger 等中提到的三类中断事件,即特大(super)事件、半特大(semi-supper)事件、独特事件(unique),构建模型决策最优的供应商数量。他们发现从不同的地点选择供应商比从同一地点选择供应商更有效。Yang and Qian (2008)^[58]考虑数量折扣以及补货机制,但假定所有供应商具有相同的生产能力和相同的中断概率,这与实际可能不相符。Meena 等(2011)^[59]扩展了 Yang and Qian (2008)的模型,假定供应商具有不同的生产能力和独特事件发生概率,构建模型分析了供应商数量的决策问题。

5.2.2 持有库存策略

通过临时增加库存预防或规避供应中断风险,例如在 2004 年,联合技术公司临时增加库存持有规避由于关键供应商财务问题而可能导致的供应中断(Tomlin and Wang(2010)^[60])。另外,在日常库存管理中考虑可能的供应中断问题,会提高应对中断风险的能力,降低中断对企业绩效的影响。许多学者在经典 EOQ 模型中考虑供应中断的问题,且通常假定中断随机发生且持续时间也具有随机性。此类模型可简称为 EOQD 模型。

Parlar and Berkin (1991)^[61]第一次将供应中断引入到 EOQ 库存模型中。他们假设需求确定且连续,供应在某一随机时间段内可用(称为湿阶段),供应失败会维持一段具有随机性的时间(称为干阶段),且分为两种情况分析:全为指数分布和湿阶段为指数分布而干阶段确定。他们证明当全为指数形式分布时,成本函数为凸函数。但是, Berk and Arreola-Risa (1994)^[62]证明 Parlar and Berkin (1991)的模型是不正确的。他们指出 Parlar and Berkin (1991)的两个假设存在问题,即 1) 如果供应失败则产出缺货; 2) 每个单位时间都产生缺货成本。第一个假设不正确,因为存在以正库存结束循环的可能性,特别是当供应失败的状态持续时间比供应可用持续时间长很多时。当存在丢失销售额的情况时,第二个假设也是不恰当的。Snyder (2006)^[63]在 Berk and Arreola-Risa (1994)的基础上,提出了近似法得到了闭合解,并分析了近似法的误差界限问题。Weiss and Rosenthal (1992)^[64]假定在未来的某一时点上,需求或者供应会中断,且持续的时间具有随机性,研究了 EOQ 模型的订货策略。

Bar-Lev 等(1993)^[65]放松 Berk and Arreola-Risa (1994)的假设,将随机需求引入到 EOQD 模型中。Parlar and Perry (1995)^[66]在随机库存模型中考虑供应商的有效性过程为两状态连续时间的马尔科夫过程,其中一种状态为供应商有效,另一种状态为供应商无效,研究了供应有效时的再订货点、订货量和供应无效时下次订货的等待时间。

以上研究大多考虑中断只来源于供应商,但实际上可能中断同时来源于供应商和零售商,并且造成供应商中断的因素很多,不同的中断情况会导致不同的应对策略,比如机器故障导致供应中断,那么维修时间就会影响到决策。Qi 等(2009)^[67]考虑中断可能来源于零售商自身或来源于供应商,且假定需求确定。如果中断来源于供应商,零售商无补货机会;如果中断来源于零售商自身则全部库存被毁。他们证明成本函数为准凸函数并分析了成本函数的性质。Groenevelt 等(1992b)^[68]指出中断可能来源于制造商的机器设备故障,假定中断率固定但维修时间随机,研究了这些中断对经济订货批量的影响。

另外,飓风、恐怖袭击、海啸、地震等不可能在一年的时间内中等可能性的发生,具有季节性特点产品的需求更与时间有关,因此需求强度、中断事件发生概率都可能与时间有关。Ross 等(2008)^[69]假定供应的状态时间服从具有阶段性特点的分布,即分布的参数随时间改变。同时,供应商中断后在一定的时间内可恢复到原来状态,其恢复后,零售商可修订订货量。他们提出了一些订货策略并比较了不同参数环境下订货策略的成本。

除了 EOQ 模型外, Gupta (1996)^[70]在需求服从泊松分布的(Q,r)系统中引入供应中断。Parlar (1997)^[71]同样讨论了一个存在供应中断风险的(Q,r)系统。他假定需求、提前期都是随机的,供应商的有效性由半马尔科夫过程刻画。Arreola-Risa and DeCroix (1998)^[72]在随

机需求的(s, S)系统中考虑供应中断,但是他们假定供应中断只造成部分缺货。Shou 等(2009)^[73]采用报童模型,构建了分别由一个零售商和一个供应商组成的两条竞争供应链模型,且每条链上的供应商都可能发生中断,零售商之间存在古诺竞争,研究了零售商和供应商的决策。张根林和谢洁(2006)^[74]构建接单装配系统中一个无时间界限的定期查看库存模型,研究了组件中断可能对企业库存状况和长期平均成本带来的影响。

5.2.3 后备生产 (backup production)

后备生产包括采用其他工厂生产、制定不同的质量控制、向二级供应商采购、恢复生产、备选供应商等。通常,后备生产的成本会比正常生产情况下高。Yang 等(2009)^[75]构建了一个制造商和一个供应商的供应链系统,供应商的可靠性或高或低,且属于其私有信息,一旦发生供应中断,供应商可选择接受制造商的缺货惩罚或者启动后备生产满足制造商订单,研究了信息不对称下合同设计和供应商策略选择。他们发现信息不对称可能会导致较低的可靠性的供应商停止采用后备生产,而较高可靠性的供应商可继续使用,同时制造商也可能停止向可靠性低的供应商订货。Schmitt(2011)^[76]研究了当唯一的供应商中断时,采取备选工厂进行生产的策略,并与生产柔性策略进行了对比分析。Hou(2010)^[77]考虑制造商有两个供应选择,即不可靠的主供应商和可靠的备选供应商,但主供应商以概率遭遇突发事件无法供应,为避免供应风险备选供应商提供部分订单,如果制造商不需要备选供应商的货,可以退货,研究了面临经常性供应中断和需求不确定性的回购企业的参数设置问题。

5.2.4 柔性策略

Tang and Tomlin(2008)^[78]集中分析了三类供应链风险,即供应风险、过程风险、需求风险,考虑了两类缓解风险策略(降低发生概率和减弱负面影响),讨论了不同柔性策略对于降低供应链负面影响的能力,他们还发现较低程度的柔性就可以极大的降低中断的影响。Tomlin and Wang(2005)^[79]考虑需求和供应不确定性,研究了混合柔性在供应网络选择影响。

5.2.5 策略选择研究

Tomlin and Wang(2010)^[60]通过案例分析认为供应链中断会给企业的财务和战略产生巨大影响,而设计合理且应用恰当的运营策略可以有效缓解中断造成的财务和战略风险。他们提出5个运营策略,即持有库存、供应多样化、后备供应、需求管理、增强供应链,并分析了在设计和应用这些策略时需要考虑的关键因素。

Tomlin and Wang(2005)^[79]考虑混合柔性和两供应商采购,提出了可供应N种产品的四种供应网络,在需求和供应都存在不确定性的情况下,研究了风险中性和损失规避企业的供应网络选择。混合柔性是指一个供应点可生产多种产品。Yu 等(2009)^[80]研究了制造商单一供应商采购和两个供应商采购的策略选择问题,其中单一供应商采购是指将不可靠的供应商作为永久且唯一的关键零部件供应商,双供应商采购指同时向可靠和不可靠供应商订货。Hu 等(2012)^[81]构建了一个制造商和两个供应商的供应链模型,其中制造商面临确定性需求,有两个策略可选:1)向不可靠的供应商订货且在发生中断时采取激励机制鼓励供应商恢复生产;2)同时向两个供应商订货。他们研究了制造商的策略选择以及不同策略下的相关决策,如如何采用激励机制鼓励供应商以及何时采用,不可靠供应商的努力如何影响制造商的订单分配。Wang 等(2010)^[82]从实践中提出一种策略——努力提高供应商的可靠性,且在随机生产力和随机产出两种情况下,将其与两方采购策略、混合策略进行对比分析。

以上研究主要关注单一产品、两个供应商的策略选择问题,而一些学者考虑了多产品或多顾客的情况。Tomlin(2009a)^[83]构建了两产品的单周期报童模型,讨论了供应商多样化(supplier diversification)、转移采购(contingent sourcing,即供应发生中断,向后备供应商订货)、转移需求(demand switching,即鼓励消费者购买可替代产品),同时研究比较了成本、

供应商可靠性、需求特点等因素对风险中性和风险厌恶决策者策略选择的影响。Schmitt(2011)^[76]考虑了多节点的分销系统,即一个工厂和多个批发商,且中断可能发生在分销系统的任何一点,以保证消费者服务水平为目标,提出了库存、备选工厂等相关策略,讨论了多个策略的选择问题。

除了通过库存、分散采购、后备生产等策略应对中断风险之外,保险也是企业转移和分散风险的一种重要工具,如信用保险、营业中断保险、财产保险等。Dong and Tomlin(2012)^[84]构建了制造商可以投资库存、购买营业中断保险、利用应急采购等策略的模型,保险费依赖于制造商的保险和运营决策,他们发现保险和运营策略并不总是可替代的,中断相对时间较长和罕见的,那么保险的价值更大,但是中断越长和越罕见,应急采购的价值保持较高水平,相反保险和库存的价值下降。

但是,以上文献多考虑单周期情况,但实际中,中断可能会造成长期的影响。Tomlin (2006)^[85]考虑企业可以向两个供应商订货,一个是可靠但价格贵的供应商,一个是不可靠供应商,其中供应商具有生产力约束,但可靠的零售商可能具有柔性库存,企业可以通过持有库存、向可靠供应商订货、混合策略(持有库存和向可靠供应商订货)、被动接受中断等策略应对中断。作者利用无限期且可周期检查的库存模型研究了零售商的策略选择问题。在Chopra等(2007)、Dada等(2007)等研究基础上,Schmitt and Snyder(2012)^[86]利用无限期模型研究了两种情况下的订货量和库存量,即只向一个面临供应中断和生产不确定性的不可靠供应商订货;向不可靠供应商和一个可靠但价格高的供应商同时订货。

5.3 生产中断研究

Groenevelt等(1992a)^[87]考虑机器故障导致的生产中断问题,假定需求固定,生产率连续有限,构建了生产中断的经济生产批量模型。他们提出了两个生产控制策略。一个为中断发生后不会恢复生产,而是在一个新的循环开始之前消耗完持有的库存;另一个是如果持有库存低于某个临界点,那么中断发生后可立即恢复生产。Xu,Qi和Yu文献^[88]则研究了突发事件造成制造商生产成本波动下的供应链协调应急问题。Iyer等(2005)^[89]考虑在生产中断后,供应商将生产恢复成本转移给顾客的情况,研究了在此情况下供应商的生产恢复决策和转移策略。

5.4 企业应急援助研究

目前突发事件下企业间援助行为的研究才刚刚开始,研究成果比较缺乏。供应链上企业的财务困境可能会导致中断,比如破产、现金流中断、资金约束等。实践中,为了解决此类问题,上下游企业可以提供财务补助、融资担保、延迟支付等,帮助改善受困企业的财务状况。Babich(2010)^[53]采用动态周期检查完全信息模型,考虑一个供应商可能因为财务问题导致供应的中断,而制造商向供应商提供财务补助以改善其财务状态,研究了制造商的订货策略和财务补助策略以及它们是否必须同时决策。Wadecki等(2010)^[54]同样考虑供应商破产造成供应中断的问题,制造商同样提供财务补助以增强供应商的可靠性,但是他们利用两个制造商的竞争性和供应商的专有使用性将供应链分为四种结构,即1)垄断的制造商和专有的供应商;2)寡头垄断的制造商和专有的供应商;3)寡头垄断的制造商和可被共享的供应商;4)垄断的制造商和可被共享的供应商。如果是采用同一个供应商,那么某个制造商有机会给供应商补助提高其可靠性,那么其他搭便车的供应商也获益;如果是专有的供应商就不存在搭便车的问题。他们建立了两阶段的完全信息博弈,第一阶段制造商决策财务补助量,然后供应商的生产能力实现,第二阶段制造商卖出产品。研究的主要问题为:制造商的竞争对财务补助策略的影响;制造商可以从供应商共享中获得什么。他们发现制造商竞争激烈,供应商获得的补助少,以及补助的数量依赖于垄断和寡头垄断利润的转移,消费者更偏好制造商存在竞争。

除了财务补助增强供应商的可靠性之外,制造商也可以向供应商提供价格或订单量等激励机制来鼓励供应商恢复生产。Hu 等(2012)^[81]建立一个制造商和两个供应商的供应链模型,研究了制造商如何向不可靠供应商提供激励以及何时提供激励的问题。另外,如果供应链上下游之间依赖性很强时,中断的企业可以将恢复生产的成本分摊给其上游或下游企业。Iyer 等(2005)^[89]考虑垄断制造商的事前中断预防投资和多个购买者的缺货成本且为私有信息,假定生产恢复成本与恢复速度相关,研究了制造商的生产恢复速度以及转移支付决策。他们发现提高生产恢复速度会降低信息的租金。

于辉等(2011)^[90]引入 CVaR 来刻画企业在突发事件下的应急目标,建立供应链应急援助的决策模型,分析了供应商和零售商遭遇突发事件且合作伙伴给予资金援助时,援助者的最优援助额决策问题。于辉和邓亮^[91]研究具有“投桃报李”特征的供应商遭遇突发事件使其生产率受影响,零售商给予资金援助,运用极小极大后悔方法求出了只知道突发事件造成损失的范围情况下零售商的最优援助资金额,最后运用动机公平博弈理论分析了供应商“投桃报李”特征对援助效果的影响。盛方正和季建华^[92]考虑了生产过程可能受到突发事件影响的供应商在发生突发事件之前的预防措施以及发生突发事件后零售商给予援助情况下的恢复策略优化和供应链协调问题。

6. 总结与研究展望

供应链中断管理是一个新兴起的研究方向,通过文献回顾,找出研究不足,进行展望。

1) 契约虽然可以帮助企业应对突发事件造成的相关因素的波动,但实践中,仅仅依靠调整契约也许无法解决企业所面临的需求中断问题,例如突发事件造成的需求巨大波动产生的大量退货问题,此时退货处理成本、库存成本等会造成企业资金的巨大外流,甚至导致企业资金链的断裂。此时,契约变的毫无意义。在实践运作中,当供应链上的节点企业遭遇突发事件时,其他节点企业会给予相应的援助,比如资金捐献、融资援助、人力和物资援助等等,那么,当因为需求波动造成大量退货使得主体企业资金严重缺乏时,其他企业应该如何给予援助,援助中如何避免机会主义,如何协调利益冲突和控制风险。对这一类问题进行深入研究将具有很强的现实意义。

2) 目前的研究主要集中于制造商对供应中断的应对,而实际中,供应商如何采取措施应对突发事件亟待学者的关注和研究。供应商是突发事件的直接受害者,一旦发生突发事件,财务、市场份额、声誉等都会遭受破坏,甚至面临破产,因此生产商的突发事件应对对于整个供应链的管理至关重要。生产商在突发事件应对中需要关注的问题主要有:如何在事前运营管理中尽量预防突发事件的发生以及规避其造成的负面影响;突发事件发生后,如何采取应急措施降低损失以及如何进行应急决策,如何处理上下游的关系等;应对结束后,是尽量恢复到原来状态,还是重新建设新的体系。在解决这些问题时,需要寻找不同类型突发事件对生产企业所产生影响的规律。

3) 供应链之间的竞争越来越激烈,节点企业之间的关系也更加紧密,因此某个企业出现问题可能会对整个供应链产生破坏性影响。应急援助就是基于上下游企业之间相互依赖关系的研究。这方面的研究刚刚开展,且关注于企业之间的资金援助和上下游的风险分担问题。但是,实际上,上下游企业之间是否相互援助以及援助多少都依赖于他们之间的依赖程度。以利益为追求目标的企业不会发慈善之心而给予别人帮助。另外,信息对称也是一个主要因素。因为遭遇突发事件的企业的损失情况、生产恢复能力、援助资源的使用等都为其私有信息,给予援助企业需要设立机制处理由于信息不对称而导致的道德风险和逆向选择问题。

参考文献

- [1] Norrman A, Jansson U. Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2004, 34(5):434-456.
- [2] Gurnani H, Mehrotra A, Ray S. *Supply chain disruption: theory and practice of managing risk*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York, 2011.
- [3] Yu G and Qi X (2004). *Disruption Management: Framework, Models, Solutions and Applications*. World Scientific Publishers: Singapore.
- [4] Kleindorfer P R, Saad G H. *Managing Disruption Risks in Supply Chain*. *Production and Operations Management*, 2005, 14(1):53-68.
- [5] Zsidisin, G. and Ritchie, B. (Eds.) (2008) *Supply Chain Risk: A Handbook of Assessment, Management, and Performance*. Springer-Verlag New York Inc., New York, USA.
- [6] Wagner, S.M., Bode, C. An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. *Journal of Business Logistics*, 2008, 29 (1): 307-326.
- [7] Tang C S. perspectives in supply chain risk management. *Int.J. Production Economics*, 2006, 103:451-488.
- [8] Snyder, L.V., Shen, Z.J.M., 2006. Supply and demand uncertainty in multi-echelon supply chains. Working paper, P.C. Rossin College of Engineering and Applied Sciences, Lehigh University, Bethlehem, PA.S
- [9] Sodhi, M.M.S., Son, B.G., Tang, C.S. Researchers' Perspectives on Supply Chain Risk Management. *Production and Operations Management*, 2012, 21(1):1-13.
- [10] 胡祥培, 丁秋雷, 张漪, 王旭坪. 干扰管理研究评述. *管理科学*, 2007, 20(2):2-7.
- [11] Snyder L V, Atan Z, Peng P, Rong Y, Schmitt A J and Sinsoyals B. *OR/MS Models for Supply Chain Disruptions: A Review* (September 20, 2010). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1689882> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1689882>
- [12] Chopra, S., Sodhi, M. S. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *Sloan Management Review*, 2004, 46(1): 53-61.
- [13] Kleindorfer, P. R., Saad, G. H. Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management*, 2005:14(1): 53-68.
- [14] Wu, T, Blackhurst, J. and O'Grady, P. ,Methodology for supply chain disruption analysis. *International Journal of Production Research*, 2007, 45 (7):1665-1682.

- [15] Qi XT, Bard J F, Yu G. Supply chain coordination with demand disruptions. *Omega*, 2004, 32(4): 301 – 312.
- [16] Xu M H, Qi X T, Yu G, Zhang HQ, Gao C X. The demand disruption management problem for a supply chain system with nonlinear demand functions. *JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING*, 2003, 12(1): 82-97.
- [17] Minghui XU, Xiangtong QI, Gang YU, Hanqin ZHANG, Chengxiu GAO. The demand disruption management problem for a supply chain system with nonlinear demand functions. *JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE AND SYSTEMS ENGINEERING*, 2003, 12(1): 82-97.
- [18] Huang Chongchao, Yu Gang, Wang Song, Wang Xianjia. Disruption management for supply chain coordination with exponential demand function, *Acta Mathematica Scientia* 2006, 26B(4): 655-669.
- [19] TIAOJUN XIAO, GANG YU, ZHAOHAN SHENG, YUSEN XIA. Coordination of a Supply Chain with One-Manufacturer and Two-Retailers Under Demand Promotion and Disruption Management Decisions. *Annals of Operations Research*, 2005, 135, 87-109.
- [20] Xiao, T.J., Qi, X. Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers. *Omega*, 2008, 36(5): 741-753.
- [21] Chen K B, Xiao T J. Demand disruption and coordination of the supply chain with a dominant retailer[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197 (1): 225-234.
- [22] 傅俊辉, 张卫国, 梅琴, 杜倩. 零售商竞争的供应链对突发事件的协调应对. *工业工程与管理*, 2010, 15(5): 29-34.
- [23] 余睿武, 肖人彬. 需求随机偏差下带有主从零售商的供应链协调. *控制与决策*, 2011, 26(2): 237-242.
- [24] Xiao TJ, Qi XT, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete [J]. *International Journal of Production Economics*, 2007, 109 (1-2): 162-179.
- [25] Huang S, Yang C, Zhang X. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions. *Computers & Industrial Engineering*, 2011.
- [26] 侯晶, 赵林度. 需求突变情况下的双渠道供应链协调. *东南大学学报(自然科学版)*, 2007, 37(II): 272-277.
- [27] 耿若凡, 庄品. 应急环境下三级供应链利益共享契约研究. *价值工程*, 2009, (12): 60-64.
- [28] 于辉, 陈剑, 于刚. 回购契约下供应链对突发事件的协调应对. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(8): 38-43.
- [29] 于辉, 陈剑, 于刚. 批发价契约下供应链应对突发事件. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(8): 33-41.
- [30] 于辉. 供应链合作与企业应急管理[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2008. 160-171.

- [31] 于辉,陈剑.需求依赖于价格的供应链应对突发事件.系统工程理论与实践, 2007,27(3): 36-41.
- [32] 覃燕红,傅强.回购契约下应对突发事件的供应链协调策略.工业工程,2010,13(1):21-24.
- [33] 杨智辉,陈宏,赵千,马荣华.随机需求和生产成本同时扰动下的供应链波及效应.管理学报,2010,7(5) : 728-738.
- [34] Sampath R, Jayashankar M. A coordinated production planning model with capacity expansion and inventory management[J]. ManagementScience, 2001, 47(11): 1562-1580.
- [35] WangK J, Lin SH. Capacity expansion and allocation for a semiconductor testing facility under constrained budget[J]. Production Planning&Control 2002, 13(5): 429-437.
- [36] Hsu V N. Dynamic capacity expansion problem with deferred expansion and age-dependent shortage cost[J]. Manufacturing &Service OperationsManagement, 2002, 4(1): 44-54.
- [37] Ryan SM. Capacity expansion for random exponential demand growthwith lead times[J]. Management Science, 2004, 50(6): 740-748.
- [38] 张自立,李国峰,李向阳.突发事件中应急产品生产问题研究.运筹与管理,2008,17(4):100-105.
- [39] N. Julka, T. Baines, B. Tjahjono, P. Lendermann, V. Vitanov, A review of multifactor capacity expansion models for manufacturing plants: Searching for a holistic decision aid, International Journal of Production Economics,2007, 106: 607-621.
- [40] Melo M.T.,Nickel S. and Saldanha da Gama F. Facility location and supply chain management-a review. European Journal of Operational Research,2009,196:401-412.
- [41] Parlar M, Perry D. Inventory models of future supply uncertainty with single and multiple suppliers. Naval Res. Logist.,1996,43(2):191-210.
- [42] Gürler, Ü., M. Parlar. An inventory problem with two randomly available suppliers. Oper. Res., 1997,45(6): 904-918.
- [43] Dada M, Petruzzi NC, Schwarz LB .A newsvendor's procurement problem when suppliers are unreliable. Manufacturing Service Oper. Management ,2007, 9(1):9-32.
- [44] Chopra S, Reinhardt G, Mohan U. The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain. Naval Research Logistics,2007;54(5):544-55.
- [45] Li J, Wang SY,Cheng T.C.E. Competition and cooperation in a single-retailer two-supplier supply chain with supply disruption, Int. J. Production Economics,2010,124(1): 137-150.
- [46] Babich V, Burnetas AN, Ritchken PH. Competition and diversification effects in supply chains with

supplier default risk? *Manufacturing Service Oper. Management*, 2007,9(2):123-146.

[47] Chaturvedi, A., Martínez-de-Albéniz, V..Optimal procurement design in the presence of supply risk. *Manufacturing Service Oper. Management*, 2011,13(2):227-243.

[48] Tomlin, B. Impact of supply learning when suppliers are unreliable. *Manufacturing Service Oper. Management*,2009b,11(2):192-209.

[49] Yang, Z., G. Aydin, V. Babich, Beil,D.R.Using a dual-sourcing option in the presence of asymmetric information about supplier reliability: competition vs. diversification. *Manufacturing Service Oper. Management*, 2012,14(2):202-217.

[50] Gümüs, M., S. Ray, H. Gurnani. Supply side story: Risks,guarantees, competition, and information asymmetry. *ManagementSci.*,2012,58(9):1694-1714.

[51] Tehrani, B. M., S. H. Xu, S. Kumara, H. Li. A single period analysis of a two-echelon inventory system with dependent supply disruptions. Working Paper, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University, 2010.

[52] Swinney, R., S. Netessine. 2009. Long-term contracts under the threat of supplier default. *Manufacturing Service Oper. Management* 11(1) 109–127.

[53] Babich, V. Independence of capacity ordering and financial subsidies to risky suppliers. *Manufacturing & Service Operations Management* ,2010,12(4),583-607.

[54] Wadecki, Adam A., Babich, Volodymyr and Wu, Owen Q., Manufacturers' Competition and Subsidies to Suppliers (March 22, 2010). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1616949>

[55] Berger, P.D., Gerstenfeld, A., Zeng, A.Z.. How many suppliers are best? A decision analysis approach. *An International Journal of Management Science*, 2004,32 (1):9-15.

[56] Ruiz-Torresa, A.J., Mahmoodi, F.. The optimal number of suppliers considering the costs of individual supplier failures. *International Journal of Production Economics*,, 2007, 35 (1):104-115.

[57] Sarkar, A., Mohapatra, P.K.J.. Determining the optimal size of supply base with the consideration of risks of supply disruptions. *International Journal of Production Economics* ,2009,119 (1):122-135.

[58] Yang, G., Qian, C. The optimal number of suppliers considering the quantity discount and supplier failure. In: *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*,2008,2(12): 2327-2329.

[59] Meena, P.L. , Sarmah,S.P.,Sarkar ,A. Sourcing decisions under risks of catastrophic event

disruptions, *Transportation Research Part E*, 2011, 47:1058-1074.

[60] Tomlin, B., Y. Wang. Operational strategies for managing supply chain disruption risk. P. Kouvelis, O. Boyabatli, L. Dong, R. Li, eds. *Handbook of Integrated Risk Management in Global Supply Chains*. John Wiley & Sons, New York, 2010, 79-101.

[61] Parlar M, Berkin D. Future supply uncertainty in EOQ models. *Naval Research Logistics*, 1991, 38:107-21.

[62] Berk, E., A. Arreola-Risa. Note on "Future supply uncertainty in EOQ models". *Naval Research Logistics*, 1994, 41:129-132.

[63] Snyder, L. A tight approximation for a continuous-review inventory model with supply disruptions. Department of ISE Technical Report 05T-005 Lehigh University, Bethlehem, PA. 2006.

[64] Weiss, H. J. and Rosenthal, E. C. Optimal ordering policies when anticipating a disruption in supply or demand, *European Journal of Operational Research*, 1992, 59(3):370-382.

[65] Bar-Lev, S. K., M. Parlar, D. Perry. Impulse control of a Brownian inventory system with supplier uncertainty. *Journal of Stochastic Analysis and Applications*, 1993, 11:11-27.

[66] Parlar, M. and Perry, D. Analysis of a (Q, r, T) inventory policy with deterministic and random yields when future supply is uncertain, *European Journal of Operational Research*, 1995, 84:431-443.

[67] Qi, L., Z.-J. M. Shen, L. V. Snyder. A continuous-review inventory model with disruptions at both supplier and retailer. *Production and Operations Management*, 2009, 18(5):516-532.

[68] Groenevelt, H., L. Pintelon, A. Seidmann. Production lot sizing with machine breakdowns. *Management Science*, 1992b, 38(1):104-123.

[69] Ross, A. M., Y. Rong, L. V. Snyder. Supply disruptions with time-dependent parameters. *Computers and Operations Research*, 2008, 35(11): 3504-3529.

[70] Gupta D. The (Q, r) inventory system with an unreliable supplier. *INFOR*, 1996, 34(2):59-76.

[71] Parlar M. Continuous-review inventory problem with random supply interruptions. *European Journal of Operational Research*, 1997, 99:366-85.

[72] Arreola-Risa A, DeCroix GA. Inventory management under random supply disruption and partial backorders. *Naval Research Logistics*, 1998, 45:687-703.

[73] Shou, B., J. Huang, Z. Li. Managing supply uncertainty under chain to chain competition. Working paper, City University of Hong Kong, Hong Kong, 2009.

- [74] 张根林, 谢洁. 供应中断情况下的库存控制模型研究. 系统工程理论与实践, 2006, (12): 69-77.
- [75] Yang ZB, Aydin G, Babich V, Beil D R. Supply disruptions, asymmetric information, and a backup production option [J]. *Management Science*, 2009, 55 (2): 192-209.
- [76] Schmitt, A. J. Strategies for customer service level protection under multi-echelon supply chain disruption risk. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, 45(8): 1266-1283.
- [77] Hou J, Zeng A Z, Zhao LD. Coordination with a backup supplier through buy-back contract under supply disruption, *Transportation Research Part E*, 2010, 46: 881-895.
- [78] Tang, C. S., B. T. Tomlin. The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(1) : 12-27.
- [79] Tomlin, B. T., Y. Wang. On the value of mix flexibility and dual sourcing in unreliable newsvendor networks. *Manufacturing Service Oper. Management*, 2005, 7(1) : 37-57.
- [80] Yu, H., A. Zeng, L. Zhao. Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 2009, 37(4): 788-800.
- [81] Hu, X., H. Gurnani, L. Wang. Managing risk of supply disruptions: Incentives for capacity restoration. *Production and Operations Management*, 2012. Forthcoming.
- [82] Wang, Y., W. Gilland and B. Tomlin. Mitigating supply risk: dual sourcing or process improvement? *Manufacturing and Service Operations Management*, 2010, 12(3): 489-510.
- [83] Tomlin, B. . Disruption-management strategies for short life-cycle products, 2009a 56(4): 318-347.
- [84] Lingxiu Dong, Brian Tomlin. Managing Disruption Risk: The Interplay Between Operations and Insurance, 2012, 1-18.
- [85] Tomlin B. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks [J]. *Management Science*, 2006, 52 (5): 639-657.
- [86] Schmitt A J, Snyder LV. Infinite-horizon models for inventory control under yield uncertainty and disruptions, *Computers & Operations Research*, 2012, 39(4): 850-862.
- [87] Groenevelt, H., L. Pintelon, A. Seidmann. Production batching with machine breakdowns and safety stocks. *Operations Research*, 1992a, 40(5): 959-971.
- [88] Xu, M.H., Qi, X.T., Yu, G. and Zhang, H.Q., Coordinating dyadic supply chains when production costs are disrupted, *IIE Transactions*, 2006, 38(9): 765-775.
- [89] Iyer A. V., V. Deshpande, Z. Wu. Contingency management under asymmetric information. *Oper.*

Res. Lett., 2005,33(6): 572-580.

[90] 于辉,邓亮,孙彩虹,供应链应急援助的 CVaR 模型.管理科学学报,2011,14(6):68-75.

[91] 于辉,邓亮.突发事件下供应链企业间援助行为分析.软科学,2011,25(2):116-120.

[92] 盛方正,季建华.基于援助合同的供应链应急管理[J].西南交通大学学报,2007,42(6):775-780.

Models for Supply Chain Disruptions: A Review

LI Yong-jian, ZHEN Xue-ping

(China Academy of Corporate Governance, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Disruption events can seriously affect production and operation management. As a new discipline direction, supply chain disruption is of particular interest to scholars and enterprise managers. Analyzing the resource of disruption, consequence and solutions, this paper summarizes the connotation and basic structure of supply chain disruption. Then based on four aspects of supply, production, demand and emergency assistance, this paper summarizes the relative literatures insider and outsider of china, and points out research trend in future.

Key words: Supply chain; Disruption management; Risk management; Operation management

收稿日期: 2012-11-16;

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (91024002)

作者简介: 李勇建(1973-), 男(汉族),山东菏泽人,南开大学教授,博士生导师。

甄学平(1984-), 女(汉族),河北石家庄人,南开大学商学院,博士研究生,供应链应急方向。