

供应链中断管理研究综述

李勇建, 薛克雷, 王文

(南开大学 商学院, 中国公司治理研究院, 天津 300071)

摘要: 当下, 供应链中断领域的研究日趋深入。对国内外供应链中断管理的相关文献进行了梳理和总结。本文首先描述了供应链中断的特征, 包括中断的原因、原因分类、中断的影响、中断的分类以及中断如何建模等; 其次, 总结了企业在实践中应对供应链中断而采取的策略与措施; 然后, 从需求中断、供应中断和生产中断三个方面, 分别对国内外相关文献进行了从研究内容、研究方法和管理启示等方面进行了梳理和总结; 最后, 指出了未来可能的研究方向。

关键词: 突发事件; 需求中断; 供应中断; 生产中断; 供应链中断管理

中图分类号: F253 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 供应链遭受突发事件影响的现象越来越多。如 2000 年 3 月, 飞利浦工厂发生火灾, 致使爱立信手机部门损失 16.8 亿美元, 市场份额从 12% 下降到 9%^[1]; 2010 年, 爱尔兰火山喷发所引起的火山灰的蔓延导致航班延误, 日产汽车公司(Nissan)和宝马汽车公司(BMW)为此不得不暂缓部分生产计划^[2]。2011 年 3 月, 日本发生 8.9 级大地震, 造成当地数百家汽车零部件供应商停产, 许多汽车制造商被迫中断生产达半年之久^[3]; 2015 年 8 月, 天津港发生大爆炸, 爆炸中断了铁矿石运输和港口的运行, 据估计直接损失达 700 亿元^[4]。供应链中断属于供应链风险管理的范畴, 在学术界, 很早就有对供应链中断管理方面的研究, 但是近年来又引起了学者的广泛关注, 原因主要有以下几点: (1)一些具有重大影响事件的频繁发生, 如 2001 年美国 911 恐怖袭击, 2008 年金融危机, 2011 年日本大地震等; (2)学术界和实践界对准时制(JIT)生产方式的推崇, 提高了供应链的脆弱性, 使得供应链缺乏应对突发事件的弹性; (3)供应链的全球化以及供应链网络化的发展趋势, 使得供应链因政治动荡、恐怖主义和地区危机而遭受供应链中断的可能大大提高。由于以上原因, 近年来对供应链中断管理的研究越来越多并逐渐成为了一个研究热点。

供应链中断管理的概念自提出以来, 其内涵也经历了一个不断发展和完善的过程, 目前学术界还没有统一明确的定义和界定。在早期, 美国研究中断管理的著名华人学者 Yu Gang^[5]将中断管理定义为“在计划开始阶段, 用优化模型和求解算法得出一个好的运行计划; 计划实施中, 由于内外部不确定因素导致中断事件的发生, 使原计划变得不可行, 需要实时地产生新计划, 新计划要考虑到原来的优化目标, 同时又要使中断带来的负作用最小化。”这时候的中断事件主要指稍微偏离原计划状态的事件, 而这样的偏离只是一种微小的偏离, 没有造成很大的负面影响。此时的中断管理侧重于事件发生后对原计划的调整, 减小对系统的扰动和中断带来的负作用。因此, 国内部分学者也把中断管理(disruption management)翻译为干扰管理^[6]。Wagner 和 Bode (2008)^[7]认为供应链中断风险是不可预料、不希望发生的对企业绩效和供应链产生负面影响的事件, 例如极端天气、恐怖袭击、瘟疫等。Sodhi et al.

(2011)^[8]对学者和相关研究进行调查发现,大多数研究文献都倾向于认为供应链风险管理主要处理供应延迟或者其他经常性的且影响低的的中断。总结现有大部分学者的共识,我们认为中断事件主要是指对企业和供应链影响巨大的事件,如火灾、地震和海啸等,可能造成企业厂房的损毁、生产能力的急剧下降以及供应链网络的断裂等。我们把供应链中断管理(supply chain disruption management)定义为“为了预防和应对突发事件对企业和供应链造成的负面绩效影响,而对预防性投资、库存、供应链结构设计、生产和销售活动等,进行有效地计划、组织、协调、管理和控制以及效果评价的过程。”

一般来说,供应链中断是供应链不确定性的一种特殊形式。在文献中,对产出不确定性、产能不确定、提前期不确定性和生产成本不确定性等多种供应链不确定性形式都有探讨。几种供应链不确定性之间的界限经常是模糊的。例如,当产出服从伯努利分布的时候,中断经常被看成是产出不确定性的一种特殊情况。但是,产出不确定性经常意味着一种连续形式的不确定性,而中断意味着一种离散形式的不确定性。因此,中断和产出不确定性不仅在建模的手段,还有在获得的管理启示等方面都是不同的。对于产能不确定性和提前期不确定性来说,也存在同样的问题。为了使本文更集中于对供应链中断相关文献的梳理和探讨,本文选择的文献主要是研究供应链中断管理的相关文献,包括需求中断、供应中断和生产中断,而不涉及其他供应链不确定性形式的相关文献。本文也不包括供应链风险管理的相关文献,供应链风险管理不仅包括中断风险,也包括人员风险、财务风险、运营风险等其他形式的供应链风险。对此有兴趣的读者,可以参考其他的一些综述性文献。随机产出方面的综述性文献有 Yano 和 Lee (1995)^[9]和 Grosfeld-Nir 和 Gerchak (2004)^[10],供应链风险管理方面的综述性文献有 Tang (2006)^[11]和 Fahimnia et al. (2015)^[12]。另外,关于供应中断管理方面的综述性文献有 Vakharia 和 Yenipazarli (2008)^[13]和 Snyder et al. (2015)^[14],关于采购策略与最优供应商数量方面的综述性文献有 Elmaghraby (2000)^[15]和 Minner (2003)^[16]。但是,与以上综述性文献不同的是,本文集中关注供应链中断管理类的相关文献,不仅包括需求中断、供应中断,还有生产中断,从企业实践和研究理论两个层面,对企业应对供应链中断的策略和方法进行梳理和总结。

本文的组织结构如下:第一部分是引言;第二部分是有关供应链中断的特征;第三部分总结了实践中企业应对供应链中断风险的有关策略与措施;第四部分从需求中断、供应中断和生产中断三个方面对相关文献从研究内容、研究方法和启示等方面进行了梳理;第五部分指出了未来可能的研究方向。

2 供应链中断的特征

对实践中众多供应链中断案例进行考察,可以总结造成供应链中断的原因主要来自两个方面:供应链内部和供应链外部。供应链内部的原因主要有原材料短缺、运输损失或者延迟、工人罢工、机器故障、产品召回、资金链断裂等;供应链外部的原因主要有洪水、地震、海啸、火山喷发等自然灾害,以及政治动荡、恐怖主义、经济危机和金融危机等。除了从供应链内、外部的角度对造成供应链中断的原因进行分类,还可以从自然或者人为、中断发生的频率以及所造成的危害程度大小等角度对供应链中断进行分类。如 Oke 和 Gopalkrishnan (2009)^[17]将造成供应链中断的原因分为三类:高可能性低影响、低可能性高影响和中等可能性中等影响。从自然或者人为的角度进行分类:自然方面有洪水、地震、海啸、火山喷发等自然灾害,人为方面有工人罢工、产品召回、资金链断裂、政治动荡、恐怖主义、经济危机和金融危机等。

一般来说,供应链中断发生的可能性比较小。然而,某一具体类型的中断(如地震、火灾、罢工等)发生的频率可能比较低,但是,造成供应链中断的原因是众多的,多种原因引

发供应链发生中断的可能性就会高很多，再考虑供应链在时间在空间上的延展性(如考虑产品的整个生命周期，产品的生产复杂性和全球化采购等)，一段时间内，供应链中断可能是经常发生的。如沃尔玛甚至还有一个应急运营中心，专门用来预防和处理人为或自然灾害造成的影响。供应链一旦发生中断，则会对供应链上的企业造成重大损失。一份来自埃森哲咨询公司的报告，对 151 位供应链主管的调查发现，73%的主管都声称他们的企业在过去 5 年中经历过供应链中断^[18]。苏黎世金融服务集团针对 559 个企业的调查报告显示，2011 年度 85%的企业遭受过不止一次供应中断风险^[19]。麦肯锡咨询公司对全球高管的一项调查表明，65%的受访者认为企业的供应链风险在过去的五年间一直在持续增长，同时，供应商的可靠性是企业策略和运营计划中最为关注的三大供应链热点之一^[20]。Hendricks 和 Singhal (2012)^[21]通过对超过 800 个供应链中断案例的分析发现，经历供应链中断的企业的股票收益一般会降低 33%-40%，股票价格会降低 13.5%，经营收入降低 107%，销售量降低 7%，成本增加 11%，这些都是非常重大的经济损失，更重要的是，企业很难较快从这些影响中恢复过来，且证据显示，企业会持续保持运营低绩效至少 2 年。

按照中断事件在供应链网络中发生位置的不同，可以将供应链中断分为三种类型：需求中断，供应中断、生产中断。需求中断是指由于产品质量、环境、行为偏好等原因导致消费者突然疯狂购买或突然放弃购买产品，致使需求规律发生巨大变化或者短期需求量发生重大波动。供应中断是指供应链中供应商由于受到突发事件的影响而无法按时按量向下游供货。生产中断是指供应链中节点企业自身在生产过程中遭受突发事件的影响而导致低产、停产，因此无法按照合同规定完成订单。需求中断主要对供应链网络的需求侧产生影响，供应中断和生产中断则主要影响供应链的供给侧。供应中断和生产中断的不同是：生产中断强调制造企业的生产过程由于火灾、地震等突发事件的影响等而导致停产或产能丢失，更加关注发生中断的企业的生产调度和产能恢复过程；供应中断主要是从购买者的视角，面对供应链上游企业的供应过程发生中断的情况下，更加关注自身的采购策略与上游企业关系的维护等，上游企业的供应过程发生中断，不仅有可能是上游企业的生产过程发生中断，也有可能是生产过程正常，而运输过程发生中断或产品质量出现问题等。

文献中大多是通过调整需求函数来描述需求中断模型。有的文献是在原来的需求函数里加一个随机项，表示需求函数的变化；有的文献则是将原来的需求函数乘以某一常数项，表示需求的突然增加或减少。大多数文献把供应中断或者生产中断模型描述为供应或生产过程存在两个状态，一个是正常状态，一个是中断状态。有的文献把前者称为“up”状态，后者称为“down”状态。在正常状态，供应产能一般都假设是无限的，在中断状态，产能假设为 0。然而，也有些文献假设中断状态的产能为不为 0，或者正常状态的供应产能也不是无限的。更为普遍的假设是，供应链系统处于正常状态和中断状态的时间服从指数分布，或者系统的正常状态和中断状态服从几何分布。这种中断模型描述方法可以广泛的用于描述从“低频且持续时间长”到“高频且持续时间短”的各种供应或生产中断形式。在供应中断中，不同文献对在供应或补货过程中具体哪个阶段发生中断的假设也是不一样的。在中断期间，企业能否接收订单，当持有库存时能否继续发货，中断能否影响在途货物的运输，以及发生的中断的企业能否恢复产能或者能否进行应急生产等，不同的文献对这些问题的假设是不一样的。有的文献假设发生中断的企业不能够接收订单，但是能够继续运送在途中的订单；有的文献假设运输过程遭受中断，企业接收订单不受影响，但是中断期间货物无法运输；还有有的文献假设企业自身整体发生中断，企业的生产活动停止，库存也遭受损失。

3 企业在实践中的应对策略与措施

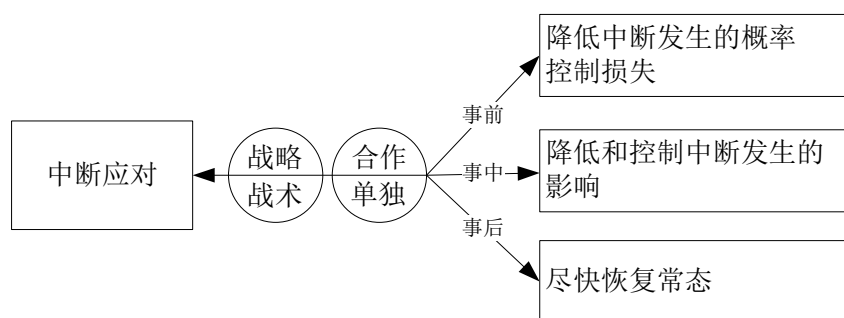


图 1 企业实践中的应对策略

在实践中，当企业面临供应链中断风险时，企业会对中断的来源、中断的类型、中断可能造成的影响以及自身的承受能力等各方面进行综合的分析和评价，以确定可以采取的策略和措施，包括是从战略层面做出反应还是从战术层面做出反应，是合作应对还是单独应对等，如图 1 所示。如果由于机器故障引起企业生产中断，企业只要在发生中断以后进行及时维修使恢复正常状态，或者在事前确定一个维护检查流程，对可能发生故障的机器及时的预防维护，因此，对于这种类型的中断主要从战术层面独立应对即可。如果由于产品质量原因引起供应中断，则需要企业在问题发生以后进行及时的反应，如进行退换货或宣布产品召回等。鉴于产品质量对企业声誉等方面的巨大影响，企业还需要从战略上重视产品质量，因此，对于质量原因引起的中断更需要企业独立的从战略和战术两个方面协同应对。如果火灾、地震等因素引起企业的生产中断，继而引发下游的供应中断，发生中断企业需要立即开展自救和产能恢复，由于这种类型的中断通常给企业造成巨大的影响，因此，企业需要在中断事件发生之前做好防火和防震的措施，甚至可以购买相应的保险，又或者在企业选址和厂房施工的时候就要考虑到这方面的影响。对于下游的企业来说，发生供应中断也意味着自身生产和销售上的巨大损失，企业一方面需要在上游企业发生中断以后进行积极援助以帮助其快速恢复生产，另一方面也需要企业在发生供应中断之前就确立一个多供应商采购的方案，因此，对于发生中断的企业和面临供应中断的下游企业来说，都需要从战略和战术层面合作共同应对供应链中断风险。

另外，处于现实环境中的企业面对的不仅仅某一种类型的中断风险，而是所有可能的中断风险。因此，企业需要做的是从战略和战术层面，综合运用各种策略与措施，协同供应链中其他成员以及第三方企业等利益相关者，共同预防和应对供应链中断风险。下面总结了一些企业在实践中的措施，如表 1 所示。

表 1 企业实践中的应对措施

过程	措施
供应	选择多个供应商 选择备用供应商 分散供应地点 改善供应商 调整供应合同
生产	扩张生产线 外包 启用备用产能 恢复损失产能 调整生产计划 调整合同 生产多种产品 推迟差异化时点 重新设计生产流程
销售	延迟需求 鼓励消费者推迟发货 提价 价格折扣 动态定价 预订 转移需求 替代品

4 国内外研究现状

对于供应链中断管理相关的文献有很多不同的分类方法。一般来说,可以划分为有两类:一类是与供应链中断评价相关的文献,一类是与供应链中断缓解策略相关的文献。Tomlin (2006)^[22]将供应链中断缓解策略又进行了分类。按照中断事件在供应链网络中的发生位置以及供应链上下游的相互关系,本文从三个方面对供应链中断管理方面的文献进行综述,分别为在需求中断方面的研究、在供应中断方面的研究和在生产中断方面的研究。

4.1 在需求中断方面的研究

突发事件造成需求中断主要表现在两个方面,即潜在市场需求的改变和需求规律的改变。研究的主要问题是当需求规律发生变动时,如何通过调整契约尽量减少需求中断所造成的偏差成本的供应链协调问题。

在改变市场需求规模方面研究,主要考虑需求函数突发增加和突然降低两种情况,需求函数一般是价格的线性或非线性形式。Qi et al. (2004)^[23]在线性和非线性两种需求函数下,研究了当市场需求规模改变时,如何通过调整数量折扣契约协调供应链的问题。Xu et al. (2003)^[24]和 Huang et al. (2006)^[25]进一步考虑了其他类型的非线性函数。Xiao et al. (2005)^[26], Xiao 和 Qi (2008)^[27]考虑了多个零售商之间相互竞争的情况。Chen 和 Xiao

(2009)^[28]考虑了一个制造商和一个主零售商还有多个边缘零售商的供应链,在面临需求中断时如何协调供应链的问题,研究了两种协调合同:线性数量折扣合同和 Groves 批发价合同,分析了主零售商的市场份额、遭受中断损失的需求量和生产成本等在这两种合同下对批发价、制造商和整条供应链的利润的影响。Xiao et al. (2007)^[29]认为偏差成本除了来源于供应商以外,还有可能来源于零售商,在需求中断导致生产成本变动的情形下,研究了两个零售商存在竞争的情况下,考虑供应商和零售商分别负担偏差成本,数量折扣合同如何协调供应链的问题。Xiao 和 Qi (2008)^[27]考虑了一个制造商和两个竞争的零售商,同时考虑了需求中断和成本中断,研究了全额数量折扣合同和递增数量折扣合同的供应链协调机制。Huang et al. (2012)^[30]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链,两个渠道的需求相互相应,研究了两个需求规模发生变化时生产和价格决策问题。Cao (2014)^[31]考虑了面临需求中断风险的双渠道供应链问题,研究制造商的最优价格、数量决策以及供应链协调机制,提出了一个改进的收益共享契约来协调需求中断情况下的双渠道供应链。另外, Zhao 等(2014)^[32]用数学模型定量分析了由于谣言传播导致需求中断的问题。他们根据谣言传播模型将消费者进行划分,分析谣言传播之后,还有哪类顾客会购买该产品。该研究为企业管理者阻止谣言传播,预测需求损失量提供了方法。吴晓志等(2015)^[33]研究了在双渠道供应链下,如何设计和调整收益共享契约以应对突发事件所造成的需求和制造成本扰动问题。

在改变需求规律方面的研究主要有于辉等学者的工作。于辉等(2005, 2005, 2007)^[34,35,36]认为需求偏差成本主要来源于供应商调整生产计划所带来的损失,零售商根据实际需求分布和批发价确定需求量,在这种情形下,考虑了突发事件造成随机需求分布变化的情况下,分别研究了应对突发事件的数量折扣契约、回购契约、批发价契约。于辉和陈剑^[37]考虑了需求依赖价格和突发事件导致需求分布发生变化的情况下,如何调整收益共享契约以应对突发事件的问题。Xiao 和 Yu (2006)^[38]研究了包含两个寡头的演化博弈问题,每个寡头都包含一个制造商和许多零售商,在一个模型中,制造商面临中断风险,在另一个模型中,零售商面临需求中断风险,目标是确定中断对模型的演化稳定策略的影响。杨智辉等(2010)^[39]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的供应链协调。

4.2 在供应中断方面的研究

在供应中断方面的研究,一般可以从战略和战术两个角度简单分类。从战略层面的研究主要有 Choprahe 和 Sodhi (2004), Kleindorfer 和 Saad (2005)等。Choprahe 和 Sodhi (2004)^[40]对风险类型及其驱动因素进行分类,讨论了一些与中断管理策略有关的定性因素,对多种中断管理策略进行了评估。Kleindorfer 和 Saad (2005)^[41]对解决供应中断风险的步骤进行了分类,并总结出了中断管理的两条重要原则,即降低中断本身的发生频率及所造成的危害和提高供应链抵御中断风险的能力。更多的文献都是从战略与战术的相结合角度出发,如 Tomlin、Babich、Dada 和 Gurnani 等学者的研究较为广泛且深入。为预防和应对供应中断,他们对多种策略进行了研究,包括多供应商采购策略、备用供应商策略、库存策略、保险以及金融援助策略等。

Snyder et al. (2015)^[14]将供应链中断管理策略分为库存,采购与需求弹性,设施选址和与外部利益相关者的关系等四个方面。Tomlin (2006)^[22]将供应链中断管理策略分为四类:金融策略、运营策略、应急运营策略以及消极接受策略。本文参考相关文献中的分类方法与企业在实践中的应对策略,从事前和事后两个视角以及运营和金融两个层面,分别对供应中断管理方面的文献进行分类,如表 2 所示。

表 2 供应中断预防与应对策略

时间点	策略类型	策略	举例
事前	运营策略	多供应商采购	向两个或多个供应商进行采购
		库存	保有库存
		供应商改善	通过成本分担、补贴、订货量或批发价激励,提高供应商的可靠性
	金融策略	保险、期权	购买商业中断保险,签订期权合约
事中、事后	运营策略	应急采购	调整订单、启用备用供应商或向现货市场采购
		产能恢复	通过产能恢复努力恢复受损产能
		需求管理	需求转移、弹性定价
	金融策略	财务援助	给予资金援助

4.2.1 多供应商采购

多供应商采购是企业通过增加供应链弹性来适应外在环境的变化策略。增加供应链弹性可以通过增加供应链的冗余来实现。多供应商采购即是在供应链的供应侧增加冗余来管理供应中断。多供应商采购也是指在供应中断发生之前,向多个供应商进行采购的策略。

在多供应商采购策略中,最一般的情况是考虑一个零售商和 N 个面临中断风险的供应商。主要的研究问题有:需要选择多少供应商,需要选择哪些供应商以及在这些选择的供应商中间如何分配订单等。Berger et al. (2004)^[42], Ruiz-Torres 和 Mahmoodi (2007)^[43], Berger 和 Zeng (2006)^[44] 都考虑了一个购买者和多个面临中断风险的供应商的情况,这些供应商都是同质的。他们的研究目标是决策最优的供应商使用数量,研究结论是除了在供应商的可靠性水平非常低或者失败的成本非常高的情况下,最优的供应商数量是很少的。Meena et al. (2011)^[45] 在总购买成本和管理成本最小和一定的服务水平约束下也研究了一个相似的问题。在供应商异质的情况下,最初的研究主要是考虑两个供应商的情形,探讨了如何进行供应商选择和订单分配。Anupindi 和 Akella (1993)^[46] 研究了两个不可靠供应商的最优采购数量模型,模型分为单阶段和多阶段,研究表明最优采购策略依赖于当前库存量,即当前库存 x 较低时,制造商同时向两个供应商订货,当 x 适中时,向较便宜的供应商订货,当 x 较高时,不订货。Swaminathan 和 Shanthikumar (1999)^[47] 在需求离散的情形下研究了 Anupindi 和 Akella 的模型,发现最优采购策略发生变化,如存在单独向更贵的供应商进行订货的情况。Dada et al. (2007)^[48] 进一步扩展了 Anupindi 和 Akella 的问题,考虑了多个不可靠供应商的情况,研究得出如果一个供应商没有被选择,那么比这个供应商成本更高的供应商也不会被选择,如果一个供应商是完全可靠的,成本比其更高的不可靠供应商也不会被选择,相比经典报童模型,最优的订货量更高而最优的服务水平更低。Chopra et al. (2007)^[49] 等人在 Dada

et al. (2007)的基础上,专门考察了两个供应商的情形,研究发现,当面临供应中断风险时,买方企业可以向可靠供应商增加订单来缓解风险。Federgruen 和 Yang (2008)^[50]在考虑供应商固定成本和服务水平约束的情况下,研究了购买者向多个不可靠供应商进行订货的问题,由于模型的复杂性,给出了模型的两种渐进解法。在随后的研究中,Federgruen 和 Yang (2009)^[51]对以前的模型进行了改进,不考虑供应商的固定成本,在固定有效供应的前期下,得出了最优订货数量的闭式表达式,而且,总成本是期望有效供应的严格凸函数,最优解所包含的 k 个供应商正是成本与产出之比按升序排列的前 k 个供应商,这进一步拓展了 Anupindi 和 Akella (1993), Dada et al. (2007)的结果。

在多供应商采购策略的研究中,多数研究都假设决策者风险中性。Yu et al. (2009)^[52]在单源采购和双源采购的情形下分别建立了模型,给出了在何种条件下哪种策略最优的闭式表达式。Yan 和 Liu (2009)^[53]也考虑了向两个供应商进行采购的情形,一个是可靠的但是成本较高,一个是不可靠的但是成本便宜,研究得出最优的采购策略服从 (s, S) 的形式。在相似的情形下,Hu 和 Kostamis (2015)^[54]研究了一个追求期望收益最大制造商的最优多供应商采购问题,这些供应商既包含可靠供应商也包含不可靠供应商,最后得出渐进最优的订单分配策略。Silbermayr et al. (2016)^[55]考虑了供应商生产过程中的学习效应会导致供应成本降低的影响,建立了随机动态规划模型,研究了购买者在两个供应商之间的订单分配策略,以及可靠性、成本和供应商的学习能力对购买者采购决策的影响。也有有的学者考虑了决策者风险偏好以及服务水平的影响。Yin 和 Ma (2015)^[56]考虑了零售商可以对制造商进行奖金激励并提高其服务水平的问题。Xanthopoulos et al. (2012)^[57]建立了一个供应中断风险环境下双源采购的报童模型,分别考虑了决策者的风险中性和风险厌恶行为和服务水平约束。Ray 和 Jenamani (2014)^[58]在决策者的风险中性和风险厌恶行为以及服务水平约束下,研究了多供应商采购问题,设计了两个算法获得了最优的订购数量和供应商组合。Ray 和 Mamata (2016)^[59]在另一篇研究中考虑了一个类似的问题,购买者是风险厌恶的,建立了最大化期望利润和最小化均值方差的目标函数,通过设计算法获得了模型的最优解。Wu et al. (2013)^[60]建立了一个随机模糊多目标规划模型,利用效用理论和模糊集理论分别处理随机数据和模糊数据,研究了决策者的风险偏好,设计了一个算法进行模型求解。另外,投资理论中的许多技术,如 MV、MAD、semi-variance、VaR 和 CVAR 等风险分析技术,可以应用到供应链中断风险管理中。例如,Tomlin (2006)^[22]把 MV 和 CVaR 方法应用到对供应链供应中断的风险分析中,并且指出 CVaR 可以有效的处理具有低概率、高影响事件(例如罕见且影响重大的中断事件)所造成的供应中断风险分析。Gaonkar 和 Viswanadham (2007)^[61]借鉴 MV 理论,在确定库存环境下,提出了一个战略层面中断风险管理模型,通过选择最优供应商,建立了中断环境下最小化供应短缺的混合整数规划模型。Shu et al. (2015)^[62]研究了随机需求环境下风险厌恶零售商对不可靠供应商采购订货问题,采用 MV 理论,建立了可以有效管理零售商供应风险的最优策略。

为了获得购买者的订单,不可靠供应商之间相互竞争的情形也是广泛存在的。不可靠供应商可以通过价格优势参与竞争从而赢的订单。Swinney 和 Netessine (2009)^[63]建立了一个包含购买企业、不可靠供应商和可靠供应商的单阶段报童模型,可靠供应商的成本较高,而且需要提前订货,在可靠供应商知道购买者的行为及其竞争者的风险水平情况下,通过建模得出供应商的最优定价决策,最后给出了纳什均衡存在的条件。Babich et al. (2007)^[64]建立一个多个不可靠供应商之间价格竞争的单阶段模型,研究表明竞争可以帮助购买者实现一个多样化的供应源。如果供应商的中断风险是相互影响的,则供应商的竞争优势会被削弱,如果供应商中断的相关性是正的,则购买者会倾向于向最便宜的供应商进行订货,如果供应商中断的相关性是负的,则购买者会倾向于向多个供应商进行订货。Serel (2008)^[65]建立了一个相似的模型,也包含多个相互竞争的供应商,研究了多个阶段扩展问题和供应商违约风险

问题,研究得出如果购买者能够和供应商分享部分生产成本风险,则一个长期的动态合同可以协调整个供应链。类似 Babich et al. (2007)的研究, Li et al. (2010)^[66]考虑了一个包含两个供应商的模型,目标是发现均衡定价和订货决策和整个系统的一个协调机制,在这个机制中供应商之间是相互合作的,但是与零售商之间是相互竞争的。Shou et al. (2013)^[67]考察了两条简单供应链的协调和竞争问题,每条供应链包含一个零售商和一个面临中断风险供应商,研究得出当协调水平上升时,消费者总是收益,因为期望供应上升而期望价格下降。

在不可靠供应商和零售商之间存在中断信息不对称的情况。在考虑包含一个购买者和两个不可靠供应商的供应链中, Gümüs et al. (2012)^[68]考虑一个购买者和两个不可靠供应商的情形,研究了不可靠供应商提供供应保证合同间接显示自身的可靠性水平,从而参与买方企业的合同竞争问题,一个有趣的结论是购买者并不希望不可靠供应商发送这种信息,因为这会降低供应商之间的竞争性。Tomlin (2009)^[69]在假设企业可以对不可靠供应商的产出分布进行预测更新的情况下,研究了供应学习如何在单源采购和双源采购模式下分别影响采购和库存策略的。Yang et al. (2012)^[70]在供应商的中断信息是私有的情况下,比较了供应商之间的竞争与多样化采购的相对优势,研究得出有关中断的更多的信息提高了多样化采购的优势,降低了供应商之间的竞争带来的优势。Wagner et al.(2009)^[71] 提供了一个汽车行业的实证证据,证明供应商的违约风险总是存在正相关性,因此,有必要在建模的过程中考虑供应商中断风险的相关性。Tehrani et al. (2010)^[72] 等人考虑了多个供应商之间出现中断具有相关性的情况。Chen (2014)^[73]考虑了供应商和买方企业关于供应中断信息估计的差别。Gao 和 Li (2010)^[74]是从买方企业的视角,研究了通过合同激励供应商分享其风险水平信息的问题。拍卖是另一种可以促进供应商显示自身可靠性水平信息的机制。Chaturvedi 和 Martínez-de-Albéniz (2011)^[75]在购买方选择供应商方面引入了拍卖理论,提出了密封拍卖机制以揭示投标者的真实信息。Yang 和 Babich (2014)^[76]研究了采购服务提供商所带来的优势问题,采购服务提供商拥有更多的供应商的中断信息,研究结果表明采购服务商会给购买者带来好处。竞争不仅存在于供应商之间,也存在于整个供应链上。另外, Gurnani et al. (2014)^[77]还就面临中断风险下的订货模式进行了行为实验研究,在其研究中,参与人可以向两个中断风险水平和订货成本均不同的任何一个供应商进行订货,在他们的实验中,虽然向一个供应商单独订货是最优的,但是被试人员还是倾向于向两个供应商同时订货。

4.2.2 库存

库存也是最常见的一种应对供应链中断的策略。库存管理主要关心的是如何找到最优的补货策略,也意味着什么时间订货,向谁订货以及订多少的货物。在大多数问题中,优化的目标都是最小化期望成本或在满足一定的服务水平约束下。对于库存管理方面的大部分问题,尤其是中断环境下,都很难获得闭式解,只能通过算法来求解,甚至很多最优库存策略形式是未知的。因此,下面的综述的很多文章都是选择一个合理的库存策略并寻找这个模型的最优参数,而不用证明这种策略是最优的。

最基本的连续检查库存模型是 EOQ 模型。Parlar 和 Perry (1996)^[78]首次将中断引入到 EOQ 模型中,这个问题也被称为考虑中断影响的 EOQ 问题,即 EOQD,研究了在确定性需求下中断时间服从指数分布的并且中断期间供应能力完全损失的供应中断模型。Bar-Lev et al. (1993)^[79]在 EOQD 模型中考虑了随机需求,通过数值分析得出最优订货量决策。Snyder (2014)^[80]找到了求解 EOQD 模型最优订货量的简单而有效的渐进算法,这种渐进算法是通过在模型中的指数项替换成常数项从而获得闭式形式的渐进最优解。Weiss 和 Rosenthal (1992)^[81]分别在供应中断和需求中断情况下,研究了 EOQ 系统的最优的订货量决策,文章假设中断在未来的某一确定时刻出现,而中断持续时间具有随机性。Qi et al. (2009)^[82]考虑了中断既影响供应商又影响企业的情况,数值分析表明企业发生中断比供应商

发生中断有着对成本和需求满足率更大的影响。

在实践中, (s, S) 、 (r, Q) 和基本库存策略也是经常用在库存管理中的。Song 和 Zipkin (1996)^[83]在供应过程服从马尔科夫分布的情况下研究了最优库存策略结构问题,发现有固定成本时基本库存策略是最优的,否则 (s, S) 策略是最优的。Kalpakam 和 Sapna (1997)^[84], Arreola-Risa 和 DeCroix (1998)^[85], Liu 和 Cao (1999)^[86]都在考虑中断风险下研究了连续检查的 (s, S) 策略的参数选择。Gupta (1996)^[87], Mohebbi (2003, 2004)^[88, 89], Parlar (1997)^[90], Mohebbi 和 Hao (2006, 2008)^[91, 92] 都在考虑中断风险下研究了连续检查的 (r, Q) 策略参数选择。这些研究在需求分布、提前期以及中断持续时间的假设方面是不同的。基本结论都是在忽略中断影响下的最优策略参数选择都会导致运营成本的上升。Güllu et al. (1997, 1999)^[93, 94], Li et al. (2004)^[95], Lewis et al. (2013)^[96]和 Atan 和 Rousseau(2015)^[97]也在不同的假设环境下研究了基本库存策略,这些研究在确定了最优或渐进最优的基本库存水平的表达式之后,还分析了供应中断对期望利润或成本的影响。

另外,还有文献研究了库存策略与其他的供应链中断管理的相互关系。Tomlin (2009b)^[98]讨论了易逝品的中断管理策略,对多供应商采购策略、应急采购和需求转移策略进行了建模分析,考察了风险中性和风险厌恶的决策者以及最优策略随模型参数(如成本、供应商可靠性和需求参数等)的变动情况,发现库存策略并不是最有效的策略,当需求风险上升时,需求转移策略成为更好的策略,当供应风险上升,多供应商采购和应急采购策略成为更好的策略。MacKenzie et al. (2014)^[99]基于日本 2011 年大地震和海啸的真实案例,利用仿真模拟技术,在当中断风险同时影响多个供应商时,比较了多采购策略和库存策略。

4.2.3 供应商改善

还有一部分研究对供应商改善策略进行了研究。供应商改善策略是指投入人力、物力和财力资源,通过人员培训、生产指导、流程改进、改善财务状况等方法,提高供应商的生产以及供应可靠性。在实践中,许多公司都投入大量资源在成本、质量和订单执行可靠性等方面改善供应商可靠性^[100,101]。例如在本田公司的采购部门的 310 名专家中,超过 50%是专门服务供应商的专家^[102]。其他行业如汽车行业的公司有戴姆勒、宝马和现代和一些非汽车行业的公司如喜力、英特尔和西门子等也会采取行动改善供应商的可靠性^[103]。

自从 Porteus (1986)^[104]开展了对生产者质量改善的研究以来,越来越多的学者对过程改善策略进行了研究。Bakshi 和 Kleindorfer (2009)^[105]运用博弈理论研究了供应商和零售商在供应链可靠性投资上的竞争与合作问题。Liu et al. (2010)^[106]等认为 RFID 标签可实现对货品的追踪以改善供应可靠性,强调供应过程的可靠性,主要研究供应可靠性改善的价值以及相关成本参数对单位改善投资的影响,其中,可靠性改善投资实质上体现为单位商品变动成本的增加。Wang 和 Tomlin (2010)^[107]考虑了买方企业可以对供应商可靠性进行改善的情形,采用单产品的报童模型,在两种生产模式(随机产能和随机产出)下,将供应商过程改善策略与双源采购策略进行了比较。Wang et al. (2014)^[108]考虑了竞争性制造商在帮助供应商提高可靠性过程中的溢出效应。Tang et al. (2014)^[109]认为 Wang 和 Tomlin (2010) 是基于密切合作伙伴关系基础上由买方实施努力对供应商进行流程改进,而这种良好的伙伴关系可能并不容易达成。因此, Tang et al. (2014)考虑了供应商可以对自身的可靠性进行投资改善的情况。在其模型中,零售商可以分担供应商的可靠性改善投资成本,在部分中断和完全中断两种中断模式下,研究了零售商的两种激励策略,直接激励策略(投资补贴)和间接激励策略(增加订货量),发现在供应商完全中断情况下,企业更倾向于直接型激励策略,在供应商部分中断情况下,企业则倾向于间接型激励策略。朱传波和季建华(2013)^[110]分析了买方企业投资单个供应商以提升其可靠性的订货和投资改善策略。事实上制造商越来越多的依靠供

应商来创造价值、降低成本和改进产品或服务。尤其在汽车制造业中，大多数原始设备制造商自身所创造的价值仅占 30%到 35%^[116]。为了让供应商实施努力，众多制造商减少自己的供应采购源。较少的供应采购源使得制造商与供应商能够建立和培育良好伙伴关系，进而鼓励供应商付出更多资源来改善自身绩效。

也有学者在考虑改善供应商可靠性问题的同时，考虑了信息不对称的情况。Huang et al. (2015)^[111]，申笑宇、黄河和徐鸿雁(2015)^[112]与黄河、申笑宇和徐鸿雁(2015)^[113]都考虑了供应商初始可靠性信息私有的情况，运用委托代理理论，研究了制造商流程改进和采购策略联合优化的最优合同设计问题。供应商可靠性改善努力，有时也会降低供应商的单位生产成本。在实践中，管理供应风险和降低采购成本一直是企业追求的目标。2011 年日本大地震后丰田明确要求与供应商合作实施努力来管理风险和降低成本^[114]。Wu et al. (2005)^[115]通过案例剖析认为制造商应该管理好供应商的供应风险和供应成本问题。Li (2013)^[116]研究了买方企业如何通过供应采购源设计和采购合同机制激励供应商竞争和付出努力以降低生产成本的问题。Friedl et al. (2012)^[117]研究了买方企业对在位供应商实施努力改善进而降低其单位生产成本同时共享成本节约收益的努力改善模型。黄河、何青和徐鸿雁(2015)^[118]在买方和卖方实施努力提高供应可靠性的同时，也考虑了生产成本的不确定问题。

4.2.4 应急采购

与多供应商采购策略关注事前角度不同的是，应急采购策略关注的视角是在供应中断发生之后，企业所采取的行动，如向其他正常的供应商增加订单或向备用供应商进行紧急采购等。在有的文献中，应急采购策略也称为后备采购策略。紧急采购行为虽然是企业在中断发生之后的反应，但是，紧急采购行为也会影响企业事前所做出的决策，如采购结构、产能投资决策等。

Tomlin 和 Wang (2005)^[119]考虑了利用双源采购和混合弹性策略来共同应对不确定供应风险问题，在模型中，供应商是不可靠的而且是混合弹性的，混合弹性指的是可以生产多种产品，采购决策都是在中断实现之后确定。考虑了四种情形：专一单源采购(SD)，弹性单源采购(SF)，专一双源采购(DD)和弹性双源采购(DF)。研究得出在一些情况下专一策略会比弹性策略更好。Hopp et al. (2009)^[120]考虑了两个竞争性的企业共同向一个不可靠主供应商和一个有限产能的后备供应商订货，并且存在第三个企业生产次级产品来争抢市场份额的情况，这两个企业的决策是决策投资后备产能的数量和中断检测资源的数量。Hou et al. (2010)^[121]等人研究了两个供应商的情况，其中核心供应商为不可靠供应商，备用供应商为可靠供应商，制造商可同时向两个供应商下达订单，且可以向备用供应商退货，研究了该情境下制造商如何进行采购决策的问题。Schmitt 和 Tomlin (2012)^[122]研究了管理供应中断风险的多供应采购策略和后备供应商策略，建立了一个无限期模型，研究得出中断的持续时间和发生频率对策略的选择具有很大的影响。Babich (2006)^[123]研究了供货快的供应商的价格延期问题，供货快的供应商可以在观察到供货慢的供应商的中断状态之后再决定价格，研究表明购买者会向供货慢的供应商处下更多的订单，而供货快的供应商被看作一个备用供应商。

如果供应商发生中断以后能够迅速恢复，Qi (2013)^[124]建议企业可以继续向其订货，该研究的主要结论是企业的最优决策是在安全库存消耗完之后立即向后备供应商订货，或者是选择等到主供应商产能恢复完成之后继续向该供应商订货。Chen et al. (2012)^[125]也考虑了一个相似的问题，有一个不可靠的主供应商和一个成本较高的备用供应商，该研究表明企业的最优订货策略与状态相关的。另外，在信息不对称情况下，Yang et al. (2009)^[126]考虑了一个制造商和一个面临中断风险的不可靠供应商，不可靠供应商的可靠性信息是私有的，发

生中断以后,不可靠供应商可以选择接受惩罚也可以启用紧急生产,利用机制设计理论研究了制造商的合同菜单设计问题,研究发现信息不对称使得可靠性低的供应商放弃使用紧急生产策略。在供应中断风险管理中,现货市场也是一个需要考虑的重要因素。当企业发生供应中断风险时,向现货市场进行紧急采购也是管理需求和供应风险的一个重要方法。Haksoz 和 Kadam (2008)^[127]建立了一个仿真模型,对供应商中断风险、现货市场价格风险和 demand 波动风险进行了分析,强调了企业降低利润波动性的重要性,研究表明,如果需求的波动性大,向合同供应商少订货是最优选择。

4.2.5 产能恢复

Iyer et al. (2005)^[128]考虑了一个具有中断风险的供应商和多个购买者的情形,不可靠供应商的产能恢复成本依赖于所选择的恢复速度,研究了供应商的菜单合同问题。Hu et al. (2013)^[129]研究了促进供应商对其产能恢复进行投资的激励机制问题,考虑了不可靠供应商可以通过事前的可靠性投资和事后的努力进行产能恢复的情形,制造商可以对产能恢复努力成本进行分担,研究了制造商的批发价激励策略和订货量激励策略,并将其与制造商的双源采购策略进行了比较,研究发现,当恢复努力更可预测的情况下,产能恢复策略更优,当市场需求变大的时候,双源采购最优。Kim et al. (2010)^[130]利用排队理论和委托代理理论建模分析了连续时间框架下系统恢复问题,与其他文章不同的是,这篇文章考虑的中断影响购买者设施的运营,购买者需要接受供应商的服务,以备中断以后可以帮助恢复运营能力,供应商的服务能力决策是私有信息,但是供应商可以接受来自购买者的补偿,研究了供应商服务能力选择决策的道德风险问题。包兴等^[131]对大型服务运作系统受损后的能力采购和恢复策略进行了研究。服务运作系统不同于一般的生产型运作系统,服务运作系统最大的特点是服务能力无法贮存,因此不能采用库存缓解策略。常见的服务运作系统有电力系统、电信系统、能源系统等。在处理服务运作系统的服务能力损失问题中,企业最常用的策略利用自身的资源进行服务能力的恢复,对于不能满足的服务需求,企业通常会向其他企业进行能力采购。在服务企业之间建立战略联盟也是常见的现象。鲁其辉和朱道立^[132]研究了制造商参与到供应商的质量改进努力活动中的战略联盟策略。

4.2.6 需求管理

当一种产品的供应过程发生中断时,企业会采用调整价格即弹性定价的方式来管理需求,也会引导消费者购买另一种产品,通过需求转移的方式来管理需求。Tang (2006)^[133]提出采用促销、动态定价和转移需求等中断管理策略,可以增强供应链鲁棒性。Tang 和 Tomlin (2008)^[134]研究得出较小的对供应链弹性的投资可以大幅度降低中断造成的危害,因此,建议通过增加供应链的弹性来降低中断影响,如弹性定价和弹性采购等。Tomlin (2009)^[98]将需求转移策略与多供应商采购策略、应急采购进行了建模分析,研究发现当产品采购于同一供应商时,需求转移策略并不是最优的,当中断风险比较小时,需求转移策略是较优的策略。Atan 和 Chockalingam (2014)^[135]研究了弹性定价的中断管理策略,提出了一种价格调整策略,即当库存水平下降到一定水平线以下时,通过提高价格来管理需求。

4.2.7 保险、期权和财务援助等金融策略

除以上各种运营措施之外,也有学者对保险、期权和财务援助等金融策略进行了研究。涉及到供应链中断的保险主要有商业中断(Business Interruption, BI)保险。BI 保险可以保护企业生产设施因突发事件发生中断而不能正常运营所带来的损失,也可以保护企业因供应中断而造成的损失。

Xia et al. (2011)^[136]在期权合同和订货合同机制下研究了后备供应商和过程改善策略,

作者得出可靠供应商的价值体现依赖于合同类型，在期权合同下，即使供应可以得到保障，购买者还是会选择可靠的供应商，除此之外，投资补贴会激励供应商进行可靠性改善的投资从而提高产能水平。在实践中，供应商企业还有可能由于破产导致供应中断问题，买方企业可以选择对供应商进行投资以确保其财务稳定性。Babich (2010)^[137]对此进行了建模，研究了供应商财务状况如何影响它的订单完成能力以及购买者如何通过降低供应商的财务风险来改善其供应能力问题。财务补助既可以帮助供应商降低债务也可用于资产投资，两者都可以改善供应商的供应水平。在对财务补助用于资产投资的情况下，作者的研究表明购买者的最优订货量决策与补助决策无关，最优补助决策符合一个补助上限结构。Hu et al. (2013)^[129]研究了制造商可以面对中断风险供应商的产能恢复努力成本进行分担的一种金融激励策略问题。Tang et al. (2014)^[109]研究了可以提高供应商可靠性的投资补贴激励策略。Li et al. (2016)^[138]研究了如何通过事前的惩罚条款和事后的资金援助这一“胡萝卜加大棒”策略使供应商尽可能的进行产能恢复的问题，对制造商来说，结合资金援助和缺货惩罚的策略在大多数情况下是最优的，对于供应商来说却并非如此。于辉、邓亮和孙彩虹(2011)^[139]引入 CVaR 来刻画企业在突发事件下的应急目标，进而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时的应急援助状况并给出了在一定置信水平控制下的最优援助额。研究表明 CVaR 方法能够恰当地描述供应链应急援助行为且援助合作能够有效地维护供应链可持续运营。

Dong 和 Tomlin (2012)^[140]研究了商业中断保险对企业应对供应中断的作用，其中制造商可以选择购买商业中断(Business Interruption, BI)保险以及保险额度和覆盖范围，也可以选择持有库存策略和应急采购运营策略。文章发现购买 BI 保险与运营策略并不总是可以相互替代的，并给出了何种条件下两者可以搭配使用，文章还发现对于那些更难承受中断造成的损失的企业，BI 保险具有更大的价值。Serpa 和 Krishnan (2014)^[141]指出 BI 保险降低了供应链中的努力激励程度，合理的保险使用还可以防止搭便车行为。Zhen et al. (2016)^[142]考虑了面临运输中断风险的分销中心 BI 保险购买和运输恢复策略的选择问题，追求利润最小化损失的企业更加偏向混合策略(既选择购买 BI 保险，又采用后备运输策略)，BI 保险策略与运输恢复是相互补充的，后备运输与运输恢复是相互替代的。现货市场的存在可以帮助弥补供应短缺从而满足顾客需求，然而，现货市场也是有风险的，如价格波动风险。

4.3 在生产中断方面的研究

生产中断风险是供应中断和需求中断风险的重要来源。在现实中，企业一般由于设备故障或突发自然灾害等问题经常会出现生产中断的情况。上游企业如果发生生产中断，从下游企业或者购买者的角度来说，则企业面临供应中断的风险。4.2 部分就是从下游企业或者购买者的角度，综述了企业可以采取的应对策略。从发生生产中断的企业来说，企业所要采取的应对策略可以分为两个方面，一方面是企业在生产中断前采取策略，如会考虑调整批发价、购买保险以及上下游相互援助等方法来降低生产中断可能造成的损失，另一方面是在中断发生后，企业组织开展各种生产恢复活动，如应急援助，来降低中断造成的影响。

由于供应商的生产中断即是下游企业的供应中断，在第 4 小节，我们主要从购买者的视角，对下游企业所采取的策略进行了综述，在这部分我们站在发生中断的企业角度，对企业所能采取的生产中断管理策略进行综述。Babich et al. (2007)^[64]研究了一个零售商和多个批发价竞争的供应商的博弈，其中可能遭遇生产中断的供应商为领导者，制定批发价格，面临需求不确定的零售商为跟随者，确定订单量，考虑造成生产中断的事件为外生，不依赖价格、支付方式、订货量，研究了供应商定价、零售商订货和供应商选择等决策问题以及供应商的支付策略和生产中断的相关性对企业绩效的影响。Li et al. (2010)^[66]在以上研究的基础上，考虑供应商生产中断后，零售商可以向现货市场紧急订货以满足需求，分别研究了供

应商竞争和合作情况下零售商的采购策略和供应商的批发价策略。Dong 和 Tomlin(2012)^[140]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，保险费由平均年损失、保险公司运营费用、风险负载组成，考虑了由中断而造成的财务成本，他们发现保险和库存策略并不总是可替代的，且中断时间较长、很少发生时，保险的价值更大，但是中断越长和越罕见时，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。

Groenevelt et al. (1992)^[143, 144]在 EOQD 系统模型中考虑了由于机器故障导致生产中断的情景，研究了两种生产控制策略，一种是中断发生后不会恢复生产，待库存被使用完以后，重新开始新的生产，另一种是当库存使用到某个临界值后，中断发生之后可立即恢复生产。作者研究了中断对批量决策的影响，研究发现在中断情形下的最优批量订货总是大于 EOQ 下的最优批量订货。Moinzadeh 和 Aggarwal (1997)^[145]研究了生产率和需求率都为常数的生产系统，这个生产系统面临着随机中断风险，提出了(s, S)生产策略并给了策略的最优参数值。Gallego (1994)^[146]，Xia et al. (2004)^[147]，Yang et al. (2005)^[148]和 Eisenstein (2005)^[149]等都在生产库存系统中，研究了生产中断情况下的生产恢复模型。Iyer et al. (2005)^[128]等人研究了突发事件导致中断后，企业将生产恢复成本转移给顾客的情形，分析了企业的生产恢复策略和成本转移策略。Xu et al. (2006)^[150]等人研究了受到突发事件影响而导致成本波动的制造商如何和供应链成员之间进行协调的问题，文章研究了单一零售商和多个零售商，价格需求曲线为线性和非线性的情况等多种情况。Hu et al. (2012)^[129]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：一个是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；另一个是同时向两个供应商订货。他们研究了不可靠供应商的生产恢复努力决策以及制造商的策略选择。

5 未来可能的研究方向

由于突发事件的频繁发生、供应链网络全球化的发展趋势以及中断对供应链上企业的巨大影响，供应链中断领域的研究得到了国内外学者的广泛重视。本文对供应链中断管理领域的相关文献进行了综述，以期能为对供应链中断管理感兴趣的读者以及本领域的学者提供帮助。未来关于供应链中断的相关研究还将更加丰富，下面给出我们认为重要的并且有前途的研究方向。

1. 考虑决策者行为与风险态度的供应链中断管理。通常来说，中断事件都是异常事件，因此，决策者的行为有可能偏离模型所给定的最优方案。行为研究恰好可以描述这种非理性行为。这方面的研究可以有：面临中断风险的情形下，如何描述和解释管理者的行为，以及在面临其他非理性的供应链上下游成员的情况下，管理者应该如何决策等。现有关于供应链中断的研究较少考虑决策者风险偏好的影响，大多都是假设决策者是风险中性的，试图对期望利润或期望成本进行优化。既然中断事件具有发生概率小并且影响大的特点，作为决策者很有可能具有风险厌恶偏好，从而可以优化其他的一些指标，如最坏情况下的目标值(worst-case objectives)、 p 鲁棒性(p -robustness)或者条件风险值(CVAR)。对于这类问题，鲁棒优化是一个比较好的工具。

2. 考虑集成多种策略的供应链中断管理。大多数模型都只是考虑一种中断管理策略，或者对几种中断管理策略进行比较，从而选择最优的策略。但是，在实践中，企业都是联合应用多种中断管理策略，如联合使用预防性策略与反应性策略等。未来的研究应探索交叉使用多种不同中断管理策略的价值以及最优的部署方案。

3. 考虑内生性中断过程的供应链中断管理。在有关供应商改善的研究中,有考虑过内生性中断过程,即供应商可以通过提高自身的可靠性来降低中断的发生概率。但是,大多数的研究都假设中断是外生的。然而,在现实情形下,中断有时是受企业的行为和环境所影响的,例如,在企业需求比较高或者企业库存比较低的时候,工人罢工发生的可能性大,因为这时候工人具有更高的议价能力。另一方面,在内生性中断情形下,企业的应急管理策略可能也会影响中断的持续时间,例如,如果企业向工会妥协,工人罢工可能就会停止,对企业造成的中断也就停止。

4. 考虑信息不对称的供应链中断管理。相比供应链上的其他成员,面临中断风险的企业可能更清楚自身发生中断的可能性,也就是说面临中断风险的企业与供应链上的合作方之间是信息不对称的。然而,现有的大多数研究都是假设供应链上下游企业拥有相同的关于中断的信息,这是不符合实际情况的。另一方面,企业可能没有动力与其合作方分享中断信息,因为面临中断风险,可能会使企业丧失竞争优势,因此,企业有隐藏自身中断信息的动机。考虑信息不对称的供应链中断管理会是一个有前景的研究方向。在信息不对称条件下,可以研究面临中断风险的企业与其合作方之间的博弈行为以及最优决策。机制设计和委托代理理论是研究这方面问题的重要工具。

参考文献

[1] Latour A. Trial by fire: A blaze in Albuquerque sets off major crisis for cell-phone giants[J]. Wall Street Journal, 2001.

[2] Banker S. Volcano disrupts European supply chains[J]. Logistics Viewpoints. <http://logisticsviewpoints.com/2010/04/22/volcano-disrupts-european-supply-chains/>, 2010.

[3] Kim Chang-Ran. Toyota: supply chain will be ready by autumn for next big quake [Z]. <http://www.reuters.com/article/us-toyota-supply-chain-idUSTRE8210CA20120302>, 2012.

[4] 王红茹. 天津港爆炸直接损失或达 700 亿间接损失难估量 [Z] 中国经济周刊. <http://www.ceweekly.cn/2015/0831/125579.shtml>, 2015.

[5] Yu G, Qi X. Disruption management: framework, models and applications[M]. World Scientific, 2004.

[6] 胡祥培, 张漪, 丁秋雷, 等. 干扰管理模型及其算法的研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(10): 40-46.

[7] Wagner S M, Bode C. An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk[J]. Journal of business logistics, 2008, 29(1): 307-325.

[8] Sodhi M M S, Son B G, Tang C S. Researchers' perspectives on supply chain risk management[J]. Production and Operations Management, 2012, 21(1): 1-13.

[9] Yano, C. A., Lee, H. L. Lot sizing with random yields: A review[J]. Operations Research, 1995, 43(2): 311-334.

[10] Grosfeld-Nir, A., Gerchak, Y. Multiple lotsizing in production to order with random yields: Review of

- recent advances[J]. *Annals of Operations Research*, 2004, 126(1): 43–69.
- [11] Tang, C. S. Perspectives in supply chain risk management[J]. *International Journal of Production Economics*, 2006, 103(2): 451–488.
- [12] Fahimnia, B., Tang, C. S., Davarzani, H., Sarkis, J. Quantitative models for managing supply chain risks: A review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 247(1): 1–15.
- [13] Vakharia, A. J., Yenipazarli, A. Managing supply chain disruptions[J]. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*, 2008, 2(4): 243–325.
- [14] Lawrence V. Snyder, Zümbül Atan, Peng Peng, Ying Rong, Amanda J. Schmitt Burcu Sinsoyal. OR/MS Models for Supply Chain Disruptions: A Review[J]. *IIE Transactions*, 2015. DOI: 10.1080/0740817X.2015.1067735.
- [15] Elmaghraby, W. J. Supply contract competition and sourcing policies[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, 2(4): 350–371.
- [16] Minner, S. Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A review[J]. *International Journal of Production Economics*, 2003, 81: 265–279.
- [17] Oke, A., Gopalakrishnan, M. Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 118(1): 168–174.
- [18] Ferrer J, Karlberg J, Hintlian J. Integration: The key to global success[J]. *Supply Chain Management Review*, 2007, 11(2):24-30.
- [19] Veysey S. Majority of companies suffered supply chain disruption in 2011: Survey[J]. *Business Insurance*, 2011.
- [20] Muthukrishnan R, Shulman J A. Understanding supply chain risk: a McKinsey global survey[J]. *The McKinsey Quarterly*, 2006, (9): 1-9.
- [21] Hendricks K B, Singhal V R. Supply chain disruptions and corporate performance[M]. *Supply Chain Disruptions*. Springer London, 2012: 1-19.
- [22] Tomlin B. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks [J]. *Management Science*, 2006, 52 (5): 639-657.
- [23] Qi, X., Bard, J. F., & Yu, G. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. *Omega*, 2004, 32(4): 301-312.
- [24] Xu, M., Qi, X., Yu, G., Zhang, H., & Gao, C. The demand disruption management problem for a supply chain system with nonlinear demand functions[J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2003, 12(1): 82-97.
- [25] Huang, C., Yu, G., Wang, S., & Wang, X. Disruption management for supply chain coordination with exponential demand function[J]. *Acta Mathematica Scientia*, 2006, 26(4): 655-669.

- [26] Xiao T, Yu G, Sheng Z, et al. Coordination of a supply chain with one-manufacturer and two-retailers under demand promotion and disruption management decisions[J]. *Annals of Operations Research*, 2005, 135(1): 87-109.
- [27] Xiao T, Qi X. Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers[J]. *Omega*, 2008, 36(5): 741-753.
- [28] Chen K, Xiao T. Demand disruption and coordination of the supply chain with a dominant retailer[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197(1): 225-234.
- [29] Xiao T, Qi X, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete[J]. *International Journal of Production Economics*, 2007, 109(1): 162-179.
- [30] Huang, S., Yang, C., & Zhang, X. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 62(1): 70-83.
- [31] Cao E. Coordination of dual-channel supply chains under demand disruptions management decisions[J]. *International Journal of Production Research*, 2014, 52(23): 7114-7131.
- [32] Zhao, H., Lin, B., & Guo, C. A Mathematics Model for Quantitative Analysis of Demand Disruption Caused by Rumor Spreading[J]. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2014, 13(03): 585-602.
- [33] 吴晓志, 陈宏, 解东川, 等. 多因素扰动下同价双渠道供应链协调应对突发事件[J]. *运筹与管理*, 2015, 24(6): 95-102.
- [34] 于辉, 陈剑, 于刚. 协调供应链如何应对突发事件[J]. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(7): 9-16.
- [35] 于辉, 陈剑, 于刚. 回购契约下供应链对突发事件的协调应对[J]. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(8): 38-43.
- [36] 于辉, 陈剑, 于刚. 批发价契约下的供应链应对突发事件[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(8): 33-41.
- [37] 于辉, 陈剑. 需求依赖于价格的供应链应对突发事件[J]. *系统工程理论与实践*, 2007, 27(3): 36-41.
- [38] Xiao T, Yu G. Supply chain disruption management and evolutionarily stable strategies of retailers in the quantity-setting duopoly situation with homogeneous goods[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 173(2): 648-668.
- [39] 杨智辉, 陈宏, 赵千, 等. 随机需求和生产成本同时扰动下的供应链波及效应[J]. *管理学报*, 2010 (5): 728-732.
- [40] Chopra S, Sodhi M M S. Managing risk to avoid supply-chain breakdown[J]. *MIT Sloan management review*, 2004, 46(1): 53-61.
- [41] Kleindorfer P R, Saad G H. Managing disruption risks in supply chains[J]. *Production and operations management*, 2005, 14(1): 53-68.

- [42] Berger P D, Gerstenfeld A, Zeng A Z. How many suppliers are best? A decision-analysis approach[J]. *Omega*, 2004, 32(1): 9-15.
- [43] Ruiz-Torres A J, Mahmoodi F. The optimal number of suppliers considering the costs of individual supplier failures[J]. *Omega*, 2007, 35(1): 104-115.
- [44] Berger P D, Zeng A Z. Single versus multiple sourcing in the presence of risks[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2006, 57(3): 250-261.
- [45] Meena P L, Sarmah S P, Sarkar A. Sourcing decisions under risks of catastrophic event disruptions[J]. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 2011, 47(6): 1058-1074.
- [46] Anupindi, R., Akella, R. Diversification under supply uncertainty[J]. *Management Science*, 1993, 39(8): 944–963.
- [47] Swaminathan J M, Shanthikumar J G. Supplier diversification: effect of discrete demand[J]. *Operations research letters*, 1999, 24(5): 213-221.
- [48] Dada, M., Petruzzi, N. C., Schwarz, L. B. A newsvendor's procurement problem when suppliers are unreliable[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2007, 9(1): 9–32.
- [49] Chopra, S., Reinhardt, G., Mohan, U. The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain[J]. *Naval Research Logistics*, 2007, 54(5): 544-555.
- [50] Federgruen, A., Yang, N. Selecting a portfolio of suppliers under demand and supply risks[J]. *Operations Research*, 2008, 56(4): 916–936.
- [51] Federgruen, A., Yang, N. Optimal supply diversification under general supply risks[J]. *Operations Research*, 2009, 57(6): 1451–1468.
- [52] Yu H, Zeng A Z, Zhao L. Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks[J]. *Omega*, 2009, 37(4): 788-800.
- [53] Yan X, Liu K. An inventory system with two suppliers and default risk[J]. *Operations Research Letters*, 2009, 37(5): 322-326.
- [54] Hu B, Kostamis D. Managing supply disruptions when sourcing from reliable and unreliable suppliers[J]. *Production and Operations Management*, 2015, 24(5): 808-820.
- [55] Silbermayr L, Minner S. Dual sourcing under disruption risk and cost improvement through learning[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 250(1): 226-238.
- [56] Yin, Z., & Ma, S. Incentives to improve the service level in a random yield supply chain: The role of bonus contracts[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 244(3): 778-791.
- [57] Xanthopoulos, A., Vlachos, D., Iakovou, E. Optimal newsvendor policies for dual-sourcing supply chains: A disruption risk management framework[J]. *Computers & Operations Research*, 2012, 39(2): 350–357.

- [58] Ray P, Jenamani M. Sourcing decision under disruption risk with supply and demand uncertainty: A newsvendor approach[J]. *Annals of Operations Research*, 2014: 1-26.
- [59] Ray P, Jenamani M. Mean-variance analysis of sourcing decision under disruption risk[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 250(2): 679-689.
- [60] Wu D, Wu D D, Zhang Y, et al. Supply chain outsourcing risk using an integrated stochastic-fuzzy optimization approach[J]. *Information Sciences*, 2013, 235: 242-258.
- [61] Gaonkar R S, Viswanadham N. Analytical framework for the management of risk in supply chains[J]. *IEEE Transactions on automation science and engineering*, 2007, 4(2): 265-273.
- [62] Shu L, Wu F, Ni J, et al. On the risk-averse procurement strategy under unreliable supply[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2015, 84: 113-121.
- [63] Swinney R, Netessine S. Long-term contracts under the threat of supplier default[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2009, 11(1): 109-127.
- [64] Babich V, Burnetas A N, Ritchken P H. Competition and diversification effects in supply chains with supplier default risk[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2007, 9(2): 123-146.
- [65] Serel D A. Inventory and pricing decisions in a single-period problem involving risky supply[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(1): 115-128.
- [66] Li J, Wang S, Cheng T C E. Competition and cooperation in a single-retailer two-supplier supply chain with supply disruption[J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 124(1): 137-150.
- [67] Shou B, Huang J, Li Z. Managing supply uncertainty under chain-to-chain competition[J]. Available at SSRN 1462589, 2009.
- [68] Gümüs M, Ray S, Gurnani H. Supply-side story: Risks, guarantees, competition, and information asymmetry[J]. *Management Science*, 2012, 58(9): 1694-1714.
- [69] Tomlin, B. Impact of supply learning when suppliers are unreliable[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2009, 11(2): 192–209.
- [70] Yang, Z., Aydin, G., Babich, V., & Beil, D. R. Dual-sourcing option under asymmetric information about supplier reliability[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(2): 202–217.
- [71] Wagner S M, Bode C, Koziol P. Supplier default dependencies: Empirical evidence from the automotive industry[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 199(1): 150-161.
- [72] Masih-Tehrani B, Xu S H, Kumara S, et al. A single-period analysis of a two-echelon inventory system with dependent supply uncertainty[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, 45(8): 1128-1151.
- [73] Chen Y J. Supply disruptions, heterogeneous beliefs, and production efficiencies[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(1): 127-137.

- [74] Gao L, Li Z. Managing supply interruptions with contract coordination and information sharing[R]. Working Paper, Anderson Graduate School of Management, University of California, Riverside, CA, 2010.
- [75] Chaturvedi A, Martínez-de-Albéniz V. Optimal procurement design in the presence of supply risk[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, 13(2): 227-243.
- [76] Yang Z, Babich V. Does a procurement service provider generate value for the buyer through information about supply risks?[J]. *Management Science*, 2014, 61(5): 979-998.
- [77] Gurnani H, Ramachandran K, Ray S, et al. Ordering behavior under supply risk: an experimental investigation[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2014, 16(1): 61-75.
- [78] Parlar, M., Perry, D. Inventory models of future supply uncertainty with single and multiple suppliers[J]. *Naval Research Logistics*, 1996, 43(2): 191–210.
- [79] Bar-Lev S K, Parlar M, Perry D. Impulse control of a brownian inventory system with supplier uncertainty[J]. *Stochastic Analysis and Applications*, 1993, 11(1): 11-27.
- [80] Snyder, L. V. 'A tight approximation for a continuous-review inventory model with supplier disruptions', *International Journal of Production Economics*, 2014, 155: 91–108.
- [81] Weiss, H. J., Rosenthal, E. C. Optimal ordering policies when anticipating a disruption in supply or demand[J]. *European Journal of Operational Research*, 1992, 59(3): 370-382.
- [82] Qi, L., Shen, Z. J. M., Snyder, L. V. A continuous-review inventory model with disruptions at both supplier and retailer[J]. *Production and Operations Management*, 2009, 18(5): 516-532.
- [83] Song J S, Zipkin P H. Inventory control with information about supply conditions[J]. *Management science*, 1996, 42(10): 1409-1419.
- [84] Kalpakam S, Sapna K P. A lost sales inventory system with supply uncertainty[J]. *Computers & Mathematics with Applications*, 1997, 33(3): 81-93.
- [85] Arreola-Risa A, DeCroix G A. Inventory management under random supply disruptions and partial backorders[J]. *Naval Research Logistics*, 1998, 45(7): 687-703.
- [86] Liu B, Cao J. Analysis of a production–inventory system with machine breakdowns and shutdowns[J]. *Computers & Operations Research*, 1999, 26(1): 73-91.
- [87] Gupta D. The (Q, r) Inventory System With An Unreliable Supplier[J]. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 1996, 34(2): 59-76.
- [88] Mohebbi E. Supply interruptions in a lost-sales inventory system with random lead time[J]. *Computers & Operations Research*, 2003, 30(3): 411-426.
- [89] Mohebbi E. A replenishment model for the supply-uncertainty problem[J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 87(1): 25-37.

- [90] Parlar M. Continuous-review inventory problem with random supply interruptions[J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 99(2): 366-385.
- [91] Mohebbi E, Hao D. When supplier's availability affects the replenishment lead time—An extension of the supply-interruption problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 175(2): 992-1008.
- [92] Mohebbi E, Hao D. An inventory model with non-resuming randomly interruptible lead time[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 114(2): 755-768.
- [93] Güllü R, ÖnoI E, Erkip N. Analysis of a deterministic demand production/inventory system under nonstationary supply uncertainty[J]. *IIE transactions*, 1997, 29(8): 703-709.
- [94] Güllü R, ÖnoI E, Erkip N. Analysis of an inventory system under supply uncertainty[J]. *International Journal of Production Economics*, 1999, 59(1): 377-385.
- [95] Li Z, Xu S H, Hayya J. A periodic-review inventory system with supply interruptions[J]. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 2004, 18(1): 33-53.
- [96] Lewis B M, Erera A L, Nowak M A, et al. Managing inventory in global supply chains facing port-of-entry disruption risks[J]. *Transportation Science*, 2013, 47(2): 162-180.
- [97] Atan Z, Rousseau M. Inventory optimization for perishables subject to supply disruptions[J]. *Optimization Letters*, 2016, 10(1): 89-108.
- [98] Tomlin B. Disruption-management strategies for short life-cycle products[J]. *Naval Research Logistics (NRL)*, 2009, 56(4): 318-347.
- [99] MacKenzie C A, Barker K, Santos J R. Modeling a severe supply chain disruption and post-disaster decision making with application to the Japanese earthquake and tsunami[J]. *IIE Transactions*, 2014, 46(12): 1243-1260.
- [100] Liker, J. K., T. Y. Choi. Building deep supplier relationships[J]. *Harvard Bus. Rev*, 2004, 82(12): 104–113.
- [101] Sheffi, Y. *The Resilient Enterprise*[M]. The MIT Press, Cambridge, MA, 2005.
- [102] Handfield, R. B., D. R. Krause, T. V. Scannell, R. M. Monczka. Avoid the pitfalls in supplier development [J]. *Sloan Management Review*, 2000, 4:37–49.
- [103] Wouters M, van Jarwaarde E, Groen B. Supplier development and cost management in Southeast Asia—Results from a field study[J]. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2007, 13(4): 228-244.
- [104] Porteus, E. L. Optimal lot sizing, process quality improvement and setup cost reduction[J]. *Operations Research*, 1986, 34(1): 137–144.
- [105] Bakshi N, Kleindorfer P. Co-opetition and investment for supply-chain resilience[J]. *Production and Operations Management*, 2009, 18(6): 583-603.

- [106] Liu, S., So, K. C., Zhang, F. Effect of supply reliability in a retail setting with joint marketing and inventory decisions[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(1): 19–32.
- [107] Wang Y, Gilland W, Tomlin B. Mitigating supply risk: Dual sourcing or process improvement?[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2010, 12(3): 489-510.
- [108] Wang Y, Xiao Y, Yang N. Improving reliability of a shared supplier with competition and spillovers[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 236(2): 499-510.
- [109] Tang, S. Y., Gurnani, H., Gupta, D. Managing disruptions in decentralized supply chains with endogenous supply process reliability[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(7): 1198-1211.
- [110] 朱传波, 季建华. 考虑供应商风险的订货与可靠性改善策略研究[J]. *管理评论*, 2013, 25(6): 170-176.
- [111] Huang H, Shen X, Xu H. Procurement Contracts in the Presence of Endogenous Disruption Risk[J]. *Decision Sciences*, 2015, DOI: 10.1111/deci.12167.
- [112] 申笑宇, 黄河, 徐鸿雁. 制造商流程改进与采购合同联合优化[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(5): 161-167.
- [113] 黄河, 申笑宇, 徐鸿雁. 考虑供应商流程改进的采购合同设计[J]. *管理科学学报*, 2015, 18(10): 38-55.
- [114] Chang-Ran K. Toyota says supply chain will be ready by autumn for next big quake [Z].
<http://www.reuters.com/article/toyota-supply-chain-idUSL4E8E21ZJ20120302>, 2012.
- [115] Wu Z, Choi T Y. Supplier–supplier relationships in the buyer–supplier triad: building theories from eight case studies[J]. *Journal of Operations management*, 2005, 24(1): 27-52.
- [116] Li C. Sourcing for supplier effort and competition: Design of the supply base and pricing mechanism[J]. *Management Science*, 2013, 59(6): 1389-1406.
- [117] Friedl G, Wagner S M. Supplier development or supplier switching?[J]. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(11): 3066-3079.
- [118] 黄河, 何青, 徐鸿雁. 考虑供应风险和生产成本不确定性的供应链动态决策研究[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(11): 56-61.
- [119] Tomlin B, Wang Y. On the value of mix flexibility and dual sourcing in unreliable newsvendor networks[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2005, 7(1): 37-57.
- [120] Hopp, W. J., Iravani, S. M. R. and Liu, Z. Strategic risk from supply chain disruptions. Working Paper, Stephen M. Ross School of Business, University of Michigan, Ann Arbor, MI. 2009.
- [121] Hou, J., Zeng, A. Z., Zhao, L. Coordination with a backup supplier through buy-back contract under supply disruption[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010, 46(6): 881-895.

- [122] Schmitt A J, Tomlin B. Sourcing strategies to manage supply disruptions[M]. Supply Chain Disruptions. Springer London, 2012: 51-72.
- [123] Babich V. Vulnerable options in supply chains: Effects of supplier competition[J]. Naval Research Logistics (NRL), 2006, 53(7): 656-673.
- [124] Qi L. A continuous-review inventory model with random disruptions at the primary supplier[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(1): 59-74.
- [125] Chen J, Zhao X, Zhou Y. A periodic-review inventory system with a capacitated backup supplier for mitigating supply disruptions[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 219(2): 312-323.
- [126] Yang, Z., Aydin, G., Babich, V., Beil, D. R. Supply disruptions, asymmetric information, and a backup production option[J]. Management science, 2009, 55(2): 192-209.
- [127] Haksoz C, Kadam A. Supply risk in fragile contracts[J]. MIT Sloan Management Review, 2008, 49(2): 7-8.
- [128] Iyer A V, Deshpande V, Wu Z. Contingency management under asymmetric information[J]. Operations Research Letters, 2005, 33(6): 572-580.
- [129] Hu, X., Gurnani, H., Wang, L. Managing risk of supply disruptions: Incentives for capacity restoration[J]. Production and Operations Management, 2013, 22(1): 137-150.
- [130] Kim S H, Cohen M A, Netessine S, et al. Contracting for infrequent restoration and recovery of mission-critical systems[J]. Management Science, 2010, 56(9): 1551-1567.
- [131] 包兴, 季建华, 邵晓峰, 等. 应急期间服务运作系统能力的采购和恢复模型[J]. 中国管理科学, 2008, 16(5): 64-70.
- [132] 鲁其辉, 朱道立. 供应链中产品与信息质量改进的战略联盟策略研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(10): 79-88.
- [133] Tang C S. Robust strategies for mitigating supply chain disruptions[J]. International Journal of Logistics: Research and Applications, 2006, 9(1): 33-45.
- [134] Tang C, Tomlin B. The power of flexibility for mitigating supply chain risks[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 116(1): 12-27.
- [135] Atan, Z. and Chockalingam, A. Pricing as a disruption recovery strategy, Working paper, Technical University of Eindhoven, 2014.
- [136] Xia Y, Ramachandran K, Gurnani H. Sharing demand and supply risk in a supply chain[J]. IIE Transactions, 2011, 43(6): 451-469.
- [137] Babich V. Independence of capacity ordering and financial subsidies to risky suppliers[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2010, 12(4): 583-607.
- [138] Li Y, Zhen X, Qi X, et al. Penalty and financial assistance in a supply chain with supply disruption[J].

Omega, 2016, 61: 167-181.

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

[140] Dong, L., Tomlin, B. Managing disruption risk: The interplay between operations and insurance[J]. Management Science, 2012, 58(10): 1898-1915.

[141] Serpa J, Krishnan H. The strategic role of business insurance in managing supply chain risk[J], Working paper, University of British Columbia, 2014.

[142] Zhen X, Li Y, Cai G G, et al. Transportation disruption risk management: business interruption insurance and backup transportation[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.005>.

[143] Groenevelt, H., Pintelon, L., Seidmann, A. Production batching with machine breakdowns and safety stocks[J]. Operations Research, 1992, 40(5): 959-971.

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

[145] Moynadeh K, Aggarwal P. Analysis of a production/inventory system subject to random disruptions[J]. Management Science, 1997, 43(11): 1577-1588.

[146] Gallego G. When is a base stock policy optimal in recovering disrupted cyclic schedules?[J]. Naval Research Logistics (NRL), 1994, 41(3): 317-333.

[147] Xia Y, Yang M H, Golany B, et al. Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system[J]. IIE transactions, 2004, 36(2): 111-125.

[148] Yang J, Qi X, Yu G. Disruption management in production planning[J]. Naval Research Logistics, 2005, 52(5): 420-442.

[149] Eisenstein D D. Recovering cyclic schedules using dynamic produce-up-to policies[J]. Operations research, 2005, 53(4): 675-688.

[150] Xu, M., Qi, X., Yu, G., & Zhang, H. Coordinating dyadic supply chains when production costs are disrupted[J]. IIE transactions, 2006, 38(9): 765-775.

A review of researches on supply chain disruption management

LI Yong-jian, XUE Ke-lei, WANG Wen

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

Abstract: Nowadays, the researches on supply chain disruption management increase rapidly. We summarize the literatures about supply chain disruption management. Firstly, the paper describes the characteristics of disruption, which contain disruption causes, sort of causes, disruption influences, sort of disruption and how to model disruption, etc. Secondly, the strategies and measures which are used to cope with supply chain disruption in practice are summarized. Thirdly, we review the literatures about demand disruption, supply disruption and production disruption from the aspect of content, methodology and management implication. Finally, we conclude with a discussion of future research.

Key words: emergency; demand disruption; supply disruption; production disruption; supply chain disruption management

收稿日期: 2016-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71372100)

作者简介:

李勇建(1973-), 男(汉族), 山东菏泽人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理, 突发事件应急管理, 系统分析与决策优化;

薛克雷(1988-), 男(汉族), 山东临沂人, 博士研究生, 研究方向: 物流与供应链管理;

王文(1988-), 女(汉族), 山东济南人, 博士研究生, 研究方向: 物流与供应链管理。