城市物流系统可持续性复杂性建模

Taiwo Adetiloye[#1]，Anjali Awasthi[#2#]信息与系统工程系，康考迪亚大学，加拿大魁北克省蒙特利尔[1]t_adeti@encs.concordia.ca[2]
anjali.awasthi@concordia.ca

摘要——由于城市人口快速增长，城市地区的物流正变得日益复杂。利益相关者面临着城市物流（CL）系统动态复杂性的挑战，其特征是伴随不确定性效应，以及造成污染的货运车辆排放。在这篇概念性论文中，我们提出一种研究方法，探讨如何在非混沌情境以及假定人类轻率倾向的条件下，通过利益相关者的有效协作，实现城市物流系统的环境可持续性。我们提出不确定性效应的数学公理，同时阐述条件效应因子的概念及其假设值的赋予方法。最后，我们采用蜘蛛网络和因果回路图，研究系统要素及其随时间变化的行为。

关键词— 城市物流；复杂性；可持续性；不确定性；环境。

I. 引言

如今，农村向城市迁移正在迅速增加，大多数人口居住在城市。预计未来30年，全球城市化将显著加剧，人口增加超过30亿 [1]。因此，城市物流（CL）运营参与者正逐步采用新方法，以克服货运车辆运行造成的交通拥堵，提高车辆利用率，并在不损害城市社会经济活动的情况下减少排放和污染 [2]。许多研究创新尝试解决城市物流在环境可持续性方面的问题 [3-6]。其中一些方案旨在全面优化城市地区私营企业的物流和运输活动，同时在市场经济框架下考虑交通环境、交通拥堵以及能源消耗[7]。当前问题的核心在于环境问题，利益相关者需要采取自觉且负责任的态度，并制定符合绿色物流方向的策略 [8]。此外，改善城市货物运输的努力还必须考虑城市的动态复杂性以及利益相关者的活动。文献 [9] 指出，尽管互联网电子协作工具不断发展并发挥着“价值创造促进因素”的重要作用，但企业仍然必须面对业务和市场的“复杂性”。

可以认为，CL系统复杂性的变化在很大程度上取决于多种可变因素，包括行政政策、托运人的活动、信息技术、现有基础设施、居民的社会文化特征及其需求、货运、货物和环境；与此同时，在其动态复杂性的背景下，信息共享和集运优先推动CL的设计创新。本文的主要目标是从不确定性视角探讨城市物流系统的复杂性，并对其对CL利益相关者活动和城市环境的影响进行建模；如果不通过有效的协作策略加以缓解，这种影响可能会对供应链造成破坏。

A. 问题定义

鉴于供应链的复杂性，设计完美的城市物流系统的前景可能会受到不确定性的阻碍。我们假设，随着城市复杂性的变化，城市物流系统的复杂性会因协同商务子系统的冗余或涌现而增加或降低。基于上述内容，我们尝试回答以下问题：

- 研究城市物流系统的复杂性时，哪些关键假设至关重要?
- 如何利用城市物流系统的不确定性要素来建模复杂性?
- 协作能否缓解城市物流系统复杂性中固有的不确定性?

B. 实际意义

在现实世界中，在作出人类轻率倾向（HLT）的假设并假定城市处于非混沌状态的同时，简化复杂性模型变得十分必要。宏观或战略层面为利益相关者提供了多种协作可能性，可以通过集货中心和社交网络加以利用，以改善城市物流活动。城市物流系统的关键战略决策过程在微观层面变得十分重要，在这一层面，运营参与者必须考虑车辆选择、货物与车辆分配、货物配送以及环境影响评估，以实现高效且最优的运营。因此，利益相关者能够更好地在协作框架内寻求可行的商业策略，从而减轻城市物流系统复杂性中固有的不确定性效应 [5, 6]。此外，有研究提出，在可持续货运法规下，使用BOCR和模糊灰色关联分析评估城市物流协作伙伴，以生成协作伙伴的排名，该研究由

[10]。这可以进一步扩展，以解释可能对这类协作努力产生积极或消极影响的不确定性要素。

II. 文献综述ITERATURE REVIEW

城市地区的货物运输构成城市生活经济和社会活动的重要促成因素 [11]。托运人、货运承运商和管理人员提供的日常服务加剧了更大供应链中城市物流框架的复杂性，同时伴随着以各种形式产生的不确定性 [12]。“复杂性”一词往往意味着某种由不同部分以复杂方式排列而成的事物 [13]。复杂性相对于系统而言，可以是无序的，也可以是有序的。无序复杂性是指大量变量中存在随机性所导致的问题状态，其中许多变量分别表现出个体性的无规律行为，但系统本身具有一定程度的有序性或可分析的平均属性。另一方面，有序复杂性所涉及的所有问题，都是需要同时处理数量众多且具有系统关系的因素 [14]。对城市物流系统中的复杂性处理不当，可能导致不确定性和风险增加，进而产生意外成本 [15]。

文献 [15] 使用聚类分析和定量论证得出结论：道路交通流量、道路交通产生的二氧化碳排放以及国内生产总值（GDP）是可用于一个国家非物质化和物质化的因素。文献 [2]在城市物流系统（2T-CL）战术规划中，考虑了 [17, 18] 对两层城市物流系统需求不确定性的建模。在 2T-CL 系统中，来自两层设施的不同车队在设施之间运输货物，并将货物从设施运送至适当的客户。他们旨在通过提供及时的货物配送，在经济和环境效率兼顾的运营模式下，利用城市车辆和城市货运车辆在城市街道及卫星设施之间运行，从而应对复杂的交通情况，并适应不确定性和战术规划的要求。此外，他们还提出了包含四种不同补救策略和公式的两阶段随机模型解法，使规划能够根据观察到的需求进行调整。文献 [10] 建议采用模糊 BOCR-GRA 方法进行协作伙伴选择，将其作为城市物流运营商在城市货运法规（如通行、尺寸和时间限制等）下实现协作规划、提高运营效率的重要工具。他们希望通过有效协作，降低城市物流系统中通常存在的复杂性和不确定性。文献 [12]提出了在不确定性条件下开发全面供应链网络（SCN）设计方法的主要研究方向，涵盖供应链网络风险分析、供应链网络危害建模、情景开发与抽样、基于价值的供应链网络设计模型、稳健性建模，以及韧性和响应能力建模与求解方法。文献 [19]提出了一个建模框架，以更好地理解供应链中的复杂性。文献 [20]根据趋势和研究空白，对城市物流建模工作进行了综述。该综述涵盖了当前城市物流实践的复杂性与多样性，以及从利益相关者视角看建模选择过程的不同方面，正如从这些视角所呈现的

文献 [21] 观察到，由于人类行动之间存在较长的等待时间以及环境影响，系统复杂性可能成为治理面临的极大挑战，而且通常超出单方面解决方案的范围。

III. RESEARCH METHODOLOGY

A. 城市物流系统的复杂性

[7] 对城市物流系统（CL）的广泛认可定义是：“在市场经济框架下，私营企业在考虑交通环境、交通拥堵和能源消耗的同时，对城市地区的物流和运输活动进行全面优化的过程。”城市物流系统的复杂性体现在其各种要素中，例如居民的社会文化价值、行政与政府政策、托运人和货运承运商的活动，以及环境、基础设施和信息技术。此外，组织之间的市场竞争并不总能成为实现城市最优性能的可行选择，因此必须将其降至合理水平。

可以假定，城市物流系统的具体方面（行政政策、托运人的活动、信息技术、现有基础设施、居民的社会文化特征和需求、货运、货物以及环境）各自的复杂性及其相互关联的复杂性，会在不确定性的主观影响下随时间发生变化。因此，随着城市复杂性的变化，由于协作子系统的涌现或冗余，这些复杂性将增加或减少。具体如下：

$$S_C = f(C) \tag{1}$$
$$With\ C = P_o \cup S \cup I_t \cup I \cup R \cup F_e \cup G \cup E \cup \ldots$$

在（1）中，表示系统复杂性，它被定义为城市复杂性（C）的S_C函数；其中，C可定义为城市行政政策（P_o）、托运人活动（S）、信息技术（I_t）、基础设施（I）、居民的社会文化特征及其需求（R）、货运（F_e）、货物（G）和环境（E）等个体复杂性的聚合或并集。此外，可得：

$$\begin{aligned}\Delta S_C &\propto \Delta C \\ &\propto \Delta(P_o \cup S \cup I_t \cup I \cup R \cup F_e \cup G \cup E \cup \ldots) \\ &\propto \Delta(P_o \cup S \cup I_t \cup I \cup R \cup F_e \cup G \cup E \cup \ldots) \\ &= k_o\,(P_o \cup S \cup I_t \cup I \cup R \cup F_e \cup G \cup E \cup \ldots)\end{aligned} \tag{2}$$

公式 (2) 表示，CL系统复杂性的变化可能与城市 ΔS_C 的复杂性成正比，其中 ΔC k_o 定义为不确定性效应：

$$k_o = \{x \in R; 0 < x < 1\} \tag{3}$$

此外，在公式 (3) 中，可以假设中性“1”和空性“0”几乎不存在；其中数字 1 和 0 被取作 k_o 为二进制。

Let

$$\Delta A = \Delta P_o \cup \Delta S \cup \Delta I_t \cup \Delta I \cup \Delta R \cup \Delta F_e \cup \Delta G \cup \ldots \quad (4)$$

排除 ΔE

然而，默认情况下，如果以 HLT 为依据，可能会产生一些这样的假设：

$$k_o \cong 1,\ \Delta A \cong 0 \quad and \quad \Delta E \cong 1 \quad (5)$$

HLT 被定义为一种行为方式：尽管有相反证据指向边界之外其他地方发生的事件，但在由人类设定的边界内假定一切正常。由此产生三个条件（或称三重条件性），如下所示：

1) 引理*1*

Fo在非混沌情境下的城市，即处于正常 状态：

$$\frac{\Delta S_C}{k_o(\Delta A \cup \Delta E)} \cong 1 \quad (6)$$

非混沌情境是指一种正常状态，城市居民预期自然灾害和人为灾害只会造成轻微事故。在这种情境下，利益相关者通过协同规划可以实现可持续CL运营。

2) 引理*2*

对于处于近混沌情境（非近似）的城市：

$$0 < \frac{\Delta S_C}{k_o(\Delta A \cup \Delta E)} < 1 \quad (7)$$

近混沌情境可能由规模巨大的自然灾害引发，例如飓风、海啸、震级很高的地震等。这类灾害可能在短时间内席卷一座城市，持续几小时到几天。

3) Lemma 3

对于处于灾难性混沌状态的城市：

$$\frac{\Delta S_C}{k_o(\Delta A \cup \Delta E)} \cong 0 \quad (8)$$

这可能是由原子爆炸、小行星、黑洞等重大灾难引发的，它们会引发无法控制的连锁反应，吞噬一座城市以及远近的其他城市。

式（5）、（6）和（8）中的方程近似等于 1 和 0，这印证了质量守恒定律。该定律指出，一个孤立系统的质量会随时间保持不变。反之，如果假设这些方程精确等于大于 1 的数值或精确等于 0，那么质量守恒定律就会失效，这意味着城市可以完全自我维持，也就是说，可以被创造或毁灭。

关于该模型的详细实际应用，可参见 [6] 。该研究基于利益相关者协作，旨在实现可持续城市物流运营，涉及微观或运营层面的城市物流运营中的车辆选择、货物与车辆分配、货物配送和环境影响评估。需要指出的是，尽管其协作方格模型简化了本文提出的复杂性模型，但其运营模型扩展了 [3]中的CILOSIM框架。此外，城市物流运营宏观或战略层面的技术旨在评估城市居民活动的社会文化特征、经济和环境影响，同时忽略不确定性的影响。欲了解更全面的讨论，请参阅 [3] 和 [5]。

B. 不确定性与城市物流系统复杂性

一项数学诊断表明，可通过为自然条件（如空气、风、雪和干燥天气）以及龙卷风、飓风、小行星（撞击城市）、外星人入侵等的不可预测性效应赋予二进制值来对其进行k_o评估。该论点的有效性基于两个基本公理：

- 几乎不存在k_o的中性“1”和空性“0”

  存在：

$$k_o = \{x \in R; 0 < x < 1\} \quad (9)$$

- k_o is an effector (or effect vector) such that:

$$k_o = \left|\vec{k_o}\right| = \left|\vec{k}_1 n_1 + \vec{k}_2 n_2 + \vec{k}_3 n_3 + \vec{k}_4 n_4 + \ldots\right| \quad (10)$$

我们称的效应因子是k_o个独立条件效应因子的总和，等等。$k_1 n_1$、$k_2 n_2$、$k_3 n_3$、$k_4 n_4$

需要指出的是，效应器或效应向量不同于向量，因为向量具有大小和方向，而效应器具有大小以及正面或负面效应。使公理2满足公理1所必需的约束条件是：

$$k_1, k_2, k_2, k_4, \ldots = \{x \in R; 0 < x < 1\} \quad (11)$$

标量.....；不能同时全部等于零，n_1、n_2、n_3、n_4

(12)

效应因子可以是正面的，也可以是负面的。条件可定义为地球圈内的事物

例如地球圈内存在的空气、水、风、核能等；也包括感知到的事物，如阳光、小行星、外星人，以及存在于地球圈之外、外太空某处的事物，例如黑洞等。条件被识别为负效应因子或正效应因子。龙卷风、飓风、小行星和黑洞等条件主要属于负效应因子。因此，可以说，负效应因子会造成有害的不确定性效应，而正效应因子会造成无害的不确定性效应，二者都会影响城市中CL利益相关者之间的协作。例如，在存在空气污染的情况下，微风可能产生负面影响；若风力增强，也就是其强度增大，则可能危及城市，从而阻碍参与CL运营的利益相关者开展协作。正效应因子通常不会危及城市，反而会促进参与CL运营的利益相关者开展协作，但其强度过高时也可能产生抑制作用。表一介绍了赋予若干条件效应因子的“假设值”。这些条件的假设值基于以下假设：

1) 人类对某种条件严重程度的感知。例如，空气被认为严重程度最低，因此赋予其最小的假设值；而黑洞被认为严重程度最高，因此赋予其最高的假设值。

2) 被视为性质相反的条件（例如潮湿天气和干燥天气）被赋予相同的假设值。

3) 对于具有相同效应尺度的条件，例如发射光子和热能的光与小行星，小数点前赋予相同的二进制数，小数点后则以不同的二进制数加以区分。

4) 条件距离地球圈层越远，其假设值越大。

此外，选择以“1”作为假设值的二进制数，是因为相较于人类的思维认知系统，计算机更擅长处理二进制数的算术运算；随着算术运算日益复杂，其枯燥和困难也愈发明显。其次，使用二进制数“1”和“0”表示开关状态。此外，条件效应因子的假设值虽以“1”初始化，表示唯一的完美状态，但在不确定性效应公理中，“1”和“0”的混合往往会形成复数。另外，尝试用二进制数求解不确定性问题的公理，往往会得到不可预测的复数值，最能模拟不确定性效应。通过这一讨论，我们说明了不确定性对城市个体复杂性的影响，以及它如何影响参与城市物流系统运作的利益相关者之间的协作。

表一. HYPOTHETIC 条件效应因子的值

x	条件	负效应因子 $-k_x n_x$	正效应因子 $k_x n_x$
1	Air	$-1.1n_1$	$1.1n_1$
2	Dry	$-1.11n_2$	$1.11n_2$
4	Wet	$-1.11n_3$	$1.11n_3$
5	Wind	$-11.1n_4$	$11.1n_4$
6	Snow	$-111.1n_5$	$111.1n_5$
7	水	$-111.11n_6$	$111.11n_6$
8	龙卷风	$-1111.1n_7$	–
9	飓风	$-1111.11n_8$	–
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
$a-3$	小行星	$-11111.11n_{a-3}$	–
$a-2$	阳光	$-11111.1111n_{a-2}$	$11111.1111n_{a-2}$
$a-1$	外星人入侵	$-11111111.1n_{a-1}$	$11111111.1n_{a-1}$
a	黑洞	$-1111111111.1n_a$	–

C. 城市物流系统中的不确定性

蜘蛛网呈螺旋状多边形自有其道理，那就是满足蜘蛛的需求；然而，蜘蛛在网中心维系蛛网的灵巧程度，以及捕食昆虫的能力，却难以预测、充满不确定性。这一说法为城市物流系统各要素的分类提供了类比。图1为蜘蛛图，展示了城市物流系统中存在的各种不确定性。城市物流系统中的不确定性可能源于城市个体复杂性的变化（其中包括：ΔC）

1) 行政及政府政策的变化（）。ΔP_o *2)* 托运人活动的变化。ΔS（） *3)* 信息技术的变化（）。ΔI_t *4)* 基础设施的变化（I）。Δ *5)* 居民的社会文化价值观及需求的变化（R）。*6* Δ *)* 货运的变化（）。ΔF_{e_8} *7* Δ *)* 货物的变化（G）。*)* 城市环境（E）的变化。Δ

它们可以由八角形蜘蛛网络的节点表示。这些复杂性之间的双向连接被分为有形连接器或无形连接器。有形连接可以直接测量，而无形连接由于缺乏清晰的物理形态而无法测量。然而，这两类连接器都遵循顺时针、逆时针或双向方向，表示城市各项动态复杂性的聚合。一个在正相对两侧具有两条有形路径的节点可称为有形节点，通常被标识为。 ΔR

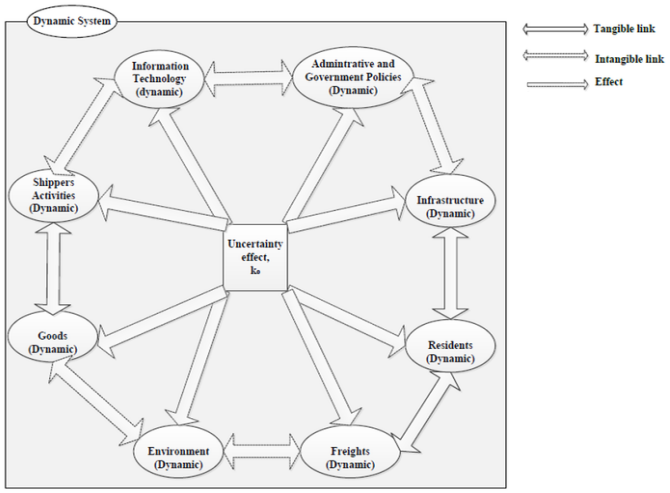

图1. 显示城市不确定性效应与个体复杂性之间连接关系的蜘蛛网络

一个在正相对两侧具有两条无形路径的节点可被视为无形节点，由、以及 E 组成；而ΔP_o ΔI_t Δ一个在正相对两侧分别具有一条有形连接和一条无形连接的节点可称为半有形节点，这种情况包括、G以及ΔS Δ ΔI_t, ΔF_e。

单向连接从中心的黑箱延伸至八边形边缘的每个动态复杂性。单向连接被认为是不确定性效应对城市个体复杂性施加的影响。由表示的不确定性效应由中心的方框表示；而 k_o

动态系统复杂性由包围整个蜘蛛网络的ΔSc较大的灰色方框表示。蜘蛛网络的组成部分如表二所示。因此，动态CL系统复杂性可能与ΔS_C成正比的表述，

城市的动态复杂性，。ΔC

表二。 蜘OMPONENTS 蛛网络的组成部分。

连接	节点实例
有形	居民
无形	行政与政府政策
	环境
	信息技术
半有形	货运
	托运人
	货物
	基础设施

此外，如果我们假设动态城市物流系统状态，即系统的模式或条件，其被定义为S_T动态CL系统复杂性的倒数，如下所示：

$$S_T = \frac{1}{\Delta S_C} \tag{13}$$

因此，可以推导出：

$$lim_{k_o->\infty} S_T = 0 \tag{14}$$

公式（13）和（14）表明，由不同子系统（如企业对企业、企业对政府、消费者对企业、政府对企业等）组成的协作系统，在趋于无穷大时即不复存在k_o，无论城市个体复杂性的集聚状态如何。

D. 协作与*CL*复杂性

协作策略基于以下需求：创建并扩展城市的半无形属性，同时优化无形属性的利用。这可以通过促进利益相关者之间的协作来实现，并努力理解单个城市复杂性的动态特征，例如居民对需求的社会文化价值、行政与政府政策，以及托运人与货运承运商的活动，还有环境、基础设施和信息技术。

对这些策略的评估可能基于协作社区对不确定性效应公理和CL蜘蛛网络关键知识的利用程度。一种评估方法是使用因果回路图（CLD）来可视化CL系统各要素之间的关系，如图2所示。

正极性连接（+）将一个变量参数的点连接到另一个变量参数，并意味着输入变量参数的增加（或减少）将导致输出变量参数的增加（或减少）。例如，由税率、法规和结构化所决定的行政政策发生增加（或减少）变化，会直接导致托运人活动和信息技术发生增加（或减少）变化。同样，托运人与货运承运商之间基于货物供应率存在正极性连接，居民与信息技术之间也存在这种连接。可以观察到，货运承运商的活动和基础设施的增加会导致城市系统内拥堵增加。在CL语境下，“拥堵”一词可定义为由空间减去货运和基础设施所得的结果。一个重要的观察结果是，协作和污染与几乎所有源自管理人员、货运承运商、托运人和居民的变量之间都存在正极性连接。

同样，负极性（-）的连接意味着输入变量参数增加（或减少）会导致输出变量参数减少（或增加）。不确定性效应使因果回路图中识别出的几乎所有变量都呈现负极性连接。不确定性效应分为温和型和极端型。这两种不确定性的区别在于，温和不确定性效应总是伴随延迟，而极端不确定性效应则具有即时性。这意味着，温和型和极端型不确定性效应增强（或减弱），会导致城市复杂性的动态状态下降（或上升）；若不确定性效应为温和型，这种变化会有所延迟，若为极端型，则会即时发生。模拟不确定性效应的实际情况可能是一项艰巨的任务，甚至是不可能完成的任务。

因此，我们可以说，通过加强协作，能够最好地保障利益相关者的利益，因为他们的

数量和活动不断增加，以应对日益严峻的环境污染和不确定性效应带来的挑战。



图2. 用于可视化CL运营的因果回路图（使用Vensim[1]设计）

IV. 结ONCLUSIONS

本文研究了实现环境可持续性的城市物流系统复杂性。理解城市物流系统的复杂性，有助于决策者深入了解供应链活动对城市环境的影响，强调制定高效协作策略如何在确保显著减少负面环境影响的同时，减轻不确定性效应。未来的工作将详细研究利益相关者为实现可持续性而采取的协作策略，同时遵守城市法规，并利用信息与通信技术的优势支持决策。

V. 参EFERENCES

[1] H. Buhang，和H. Urdal，“城市化炸弹？城市的人口增长与社会失序”，《全球环境变化》23，页码1-10，2013年。[2] T.G. Crainic、F. Errico、W. Rei和N. Ricciardi，“两层城市物流战术规划中的需求不确定性建模”，《运输科学》，2016年。[3] A. Awasthi和J. Proth，“基于系统的方法在城市物流决策中的应用”，《管理研究进展》3(2)，页码7-17，2006年。[4] S. Tadić、S. Zečević和M. Krstić，“贝尔格莱德的城市物流概念”。第一届国际物流会议，页码14-19。（塞尔维亚贝尔格莱德：贝尔格莱德大学交通与交通工程学院，2013年。[5] T. Adetiloye，“利益相关者围绕可持续城市物流运营的协作规划”，未发表硕士论文，康考迪亚大学，加拿大蒙特利尔，2012年。[6] T. Adetiloye和G. Pervez，“对利益相关者在可持续城市物流运营中的协作进行宏观与微观层面评估”。《运营与供应链管理》8(2)，页码90–100，2015年。[7] E. Taniguchi、R.G. Thompson，“城市物流建模”，载于：《城市物流I》。T. Taniguchi和R.G. Thompson（编）。系统科学研究所，京都，页码3-37，1999年。[8] M. Thiell和J.P.S. Zuluaga，“在新兴市场实施绿色物流是否可行？”《应用物流国际期刊》4(1)，页码1-13，2013年。[9] O.R. Ovalle和A.C. Márquez，“在供应链中使用电子协作工具的有效性：一项基于系统动力学的评估研究”，《采购与供应管理》9，页码151-163，2003年。[10] A. Awasthi、T. Adetiloye和T.G. Crainic，“城市货运法规下城市物流规划的协作伙伴选择”，《应用数学建模》40，525，2015年510页。-[11] 经济合作与发展组织。满足货物交付需求：21世纪城市货物运输面临的挑战。技术报告，经济合作与发展组织（OECD）：http://www.oecdbookshop.org（2003年）。访问日期：2014年1月24日。[12] W. Klibi、A. Martel和A. Guitouni，“稳健的价值创造型供应链网络设计：批判性综述”，《欧洲运筹学杂志》，页码283-293，2010年。[13] 维基百科——“复杂性”。检索日期：2014年1月17日，来源：http://en.wikipedia.org/wiki/Complexity（2013年）。[14] W. Warren，《科学与复杂性》，《美国科学家》36，页码536，1948年，纽约。[15] M. Christopher，“物流与供应链管理”，第4版，英国哈洛：金融时报普伦蒂斯霍尔，2011年。[16] P. Tapio，《气候与交通：芬兰的前景》。《全球环境变化》12，页码53–68，2002年。[17] T.G. Crainic、N. Ricciardi和G. Storchi，拥堵城市地区的先进货运运输系统。《运输研究 C辑：新兴技术》12(2)，页码119-137，2004年。[18] S. Gragnani、G. Valenti和M.P. Valentini（2004年）。意大利城市物流：一项国家项目。载于E. Taniguchi和R. Thompson（编）：《可持续城市的物流系统》，页码279-293。[19] A. Hashemi、T. Bucher和P. Chhetri，“利用产品设计和需求特征分析供应链复杂性的建模框架”，《国际工程、科学与技术期刊》5(2)，页码150-164，2013年。[20] N. Anand、H. Quak、R. van Duin和L. Tavasszy，“城市物流建模工作：趋势与空白——综述”，《普罗塞迪亚：社会与行为科学》39，页码101–115，2012年。[21] Underdal, A. “长期环境治理的复杂性与挑战”，《全球环境变化》20，页码386-393，2010年。

[1] Vensim 是 Ventana Systems, Inc. 的注册商标。http://www.vensim.com/