

基于系统动力学的物流园区与产业园区服务功能联动

陶经辉^{1,2}, 王陈玉¹

(1. 南京财经大学 营销与物流管理学院, 南京 210046; 2. 江苏省现代物流重点实验室 (南京财经大学), 南京 210046)

摘 要 运用系统动力学理论, 通过因果反馈分析图确定了模型的界限, 设计了系统流图, 并结合变量之间量化公式的构造, 构建了“ILSD”模型, 在模型的仿真模拟过程中用 GDP、第三产业产值以及进口交易额和出口交易额四个状态变量的模拟值与真实值的误差值检验了模型的有效性. 研究表明: 产业园区的功能转型升级影响物流园区的功能转型升级, 二者在功能上有较强的联动关系. 物流园区在未来功能建设中将强化增值服务功能和配套服务功能, 而弱化基本服务功能, 至 2017 年左右, 我国物流园区的增值服务额将超过基本服务额, 成为主要服务功能, 至 2020 年左右, 我国物流园区的增值服务额的增速分别约是配套服务额增速的 2 倍和基本服务额增速的 3 倍左右.

关键词 产业园区; 物流园区; 系统动力学; 联动发展

Service functions linkage between logistics park and industrial park based on system dynamics

TAO Jinghui^{1,2}, WANG Chenyu¹

(1. School of Marketing and Logistics Management, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210046, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Modern Logistics (Nanjing University of Finance & Economics), Nanjing 210046, China)

Abstract This paper determined the boundaries of model, designed the system flow chart through on analyzing the causal feedback figure based on using system dynamics theory as the main method, it also established “ILSD” model by building the quantitative formula between variables in model. On the basis of all the content, this paper started to do analogue simulation, and it checked the validity of the model by using the error between the simulation value and the real value of GDP, the tertiary industry output value, import volumes and export volumes. The results showed that the transforming and upgrading of functions in industry park had an impact on the transforming and upgrading in logistics park’s functions, they linked closely in functions. It came to the conclusion that logistics park would strengthen the value-added service and the supporting service function, while weaken the basic service functions in the near future. About the year 2017, the value-added service volumes of logistics park in China will be more than basic service volumes, become the main service function, about the year 2020, the growth rate of logistics park’s value-added service volumes is about twice as much as the supporting service function volumes, and is about three times as the basic service functions volumes.

Keywords industry park; logistics park; system dynamics; linkage development

收稿日期: 2016-02-29
作者简介: 陶经辉 (1969-), 男, 安徽马鞍山人, 博士, 教授, 研究方向: 物流系统规划与运作管理; 王陈玉 (1990-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向: 物流系统规划与运作管理.
基金项目: 国家社会科学基金 (14BGL173); 江苏高校哲学社会科学研究重点项目 (2016ZDIXM024); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)
Foundation item: National Social Science Foundation of China (14BGL173); Key Project of Jiangsu University Philosophy and Social Science Research (2016ZDIXM024); Jiangsu University Advantage Disciplines Construction Engineering Projects (PAPD)
中文引用格式: 陶经辉, 王陈玉. 基于系统动力学的物流园区与产业园区服务功能联动 [J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(10): 2660-2671.
英文引用格式: Tao J H, Wang C Y. Service functions linkage between logistics park and industrial park based on system dynamics[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2017, 37(10): 2660-2671.

1 引言

世界各国的区域发展实践表明, 区域经济发展的核心在于关联与互动, 区域经济发展也越来越强调通过产业联动来促进区域产业结构优化升级和提升区域竞争力^[1]. 国内外学者在产业联动研究方面均取得了一定的成果, Gereffi^[2] 指出地方生产网络应在同一价值链的各个环节和不同价值链中, 通过与其它经济行为体之间的互动, 嵌入全球价值链某个或某几个位置, 利用一种价值活动与另一种价值活动之间的关系, 创造、保持和捕捉更多的价值. Gereffi 的这种远见是区域产业联动理论最初的依据, 随后, Schmitz^[3], Hashino, Otsuka^[4] 等认为区域产业联动是促进产业链升级、应对全球竞争压力和提升区域竞争力的有效途径. Peng, Li^[5] 等运用系统动力学模型, 分别从产业结构、产业规模和产业效率三个因素着手, 对资源型城市的产业联动进行了相关研究, 并指出重工业应该调整转向高新技术产业.

国内学者从 2000 年开始对产业联动进行研究, 吴开亚, 陈晓剑^[6] 运用二元关系理论和 Warshall 算法计算产业系统中各产业之间的连通关联关系, 为认识产业结构和产业关联状况提供了简便的量化分析方法. 胡大立^[7] 从产业协同的角度分析了产业之间的关联, 他认为影响产业关联的因素包括产业类型、企业规模、地方政策、社会文化以及心理因素等等. 王翠霞, 贾仁安^[8] 认为农村规模养殖生态产业系统是一个关联产业系统, 并基于系统动力学反馈仿真分析理论揭示出系统内产业资源之间的关联. 王建军, 李莉^[9] 运用系统动力学模型模拟电网企业和发电企业联动行为对电力产业系统产生的效果, 证明了电网企业和发电企业之间利益联动机制的存在. 刘轶芳, 刘彦兵^[10] 等提出产业结构调整会引起水资源消耗结构的改变, 并构建了结构偏差系数指标, 用于测算产业结构与水资源消耗结构的关联关系. 杨永聪, 申明浩^[11] 构建了地区外贸包容性增长的评价指标, 并且通过空间面板计量模型探讨了地区外贸包容性增长对创新能力的影响, 提出了建立完善的地区外贸与产业联动发展机制. 由此可见, 许多学者认为产业之间存在着一定的联动关系.

随着我国物流产业的快速发展, 物流园区与产业园区的联动关系逐渐成为研究的热点. 2006 年以来, 国内一些学者开始研究物流产业与其他产业之间的联动关系, 苏秦^[12] 等研究了各国物流业与制造业之间的融合、联动现状及其动态变化规律, 有助于正确认识我国物流业与制造业的联动发展. 程艳等^[13] 认为物流产业是一个集协调性、复合性和整合性于一体的产业, 在国民经济系统中发挥类似于“动脉”的作用, 与绝大部分产业部门均存在着产业关联. 程永伟, 龚英^[14] 基于垂直专业化思想和投入产出法建立物流业与国民经济产业的供需联动发展模型, 测算和比较分析 1992-2007 年间我国及全国八大经济区域物流业与相关产业的联动发展状况. 石永强, 彭树^[15] 采用定性分析与系统动力学建模定量研究相结合的研究方法, 建立了第三方直通集配中心模式下的供应链系统动力学模型, 证明了该模式相对分散式 VMI (vendor managed inventory) 模式的比较优势. 贺玉德, 马祖军^[16] 通过区域物流和区域经济相互作用分析, 构建 CRITIC (criteria importance though intercriteria correlation) 值为权重系数的 DEA (data envelope analyse) 协同发展模型, 以 2003-2012 年四川省区域物流和区域经济发展数据进行了实证分析. 田宇, 杨艳玲^[17] 选取珠三角 242 家物流服务企业进行实证分析, 探索了互动导向对新服务开发和服务创新绩效的影响.

在研究产业联动的方法选择上, 部分学者采用了投入产出法, 李娜, 石敏俊^[18] 运用中国区域间投入产出表建立了一个静态八个区域 CGE (computable general equilibrium) 模型, 依据相关实证研究的结果刻画出区域间的主要经济联系——区域间的商品流动、劳动力流动和资金流动. 也有部分学者利用其他方法进行产业关联的研究, 李国平^[19] 利用经济联系量或空间交互作用量衡量区域间经济联系强度, 分析经济中心辐射潜能及其强弱的空间变化. 车冰清^[20] 运用三次产业相似系数、区位熵灰色关联和产业合作潜力模型, 研究得出了苏北、鲁南、皖北、豫东四大板块三次产业结构相似系数和灰色关联度. 20 世纪 90 年代以来, 系统动力学方法开始在物流及相关领域中得到应用, Angerhofer^[21] 将物流领域的系统动力学研究归纳为三类: 供应链物流研究、供应链流程再造研究以及供应链的理论研究及改进. 张力波^[22] 等基于系统动力学模型论证了系统动力学方法应用于现代供应链管理问题研究的可行性, 并提出了进一步的研究方向. 陈航^[23] 应用系统动力学对港城互动关系进行实证研究, 选用系统动力学模型构建港口系统指标、城市系统指标等重要因素, 并进行定量与定性相结合的系统动力学研究, 验证了港城之间存在较强的联动关系. 樊敏^[24] 认为我国制造业与物流业联动发展问题已具备一定的研究基础, 但相关量化分析框架及评价体系仍缺乏研究. 于宝

琴, 武淑萍^[25]等运用物流服务理论与系统动力学理论, 构建了物流服务质量下的配送及时率系统动力学模型. 李健, 张文文^[26]等基于系统动力学理论, 从政府应急管理的视角出发, 构建了应急物资调运的一般系统动力学模型, 研究影响应急物资调运速度的主要因素. 王翠霞^[27]以银河杜仲生猪规模养殖生态农业系统为例, 构建了生态农业规模化经营系统动力学模型, 并基于系统动力学仿真实验方法进行了仿真运行. 仲勇, 陈智高^[28]等通过整合挣值法和系统动力学理论, 在分析资源可用性和工作可操作性之间因果关系的基础上, 构建了大型建筑工程项目多资源配置的系统动力学模型, 并对模型进行了仿真.

由文献综述可知, 许多学者使用投入产出法进行产业联动的研究, 这一方法已经比较成熟, 部分学者使用系统动力学对物流系统、农业系统以及资源配置系统等各个方面进行了分析. 由于系统动力学理论擅长处理高阶、非线性时变问题, 尤其在处理复杂系统时有着突出的优越性, 而物流园区和产业园区作为经济领域里的重要组成部分, 是一个复杂的经济产业系统, 同时需要在联动基础上更深层次地研究产业园区与物流园区功能之间的联动, 因此, 本文尝试构建系统动力学模型, 应用 VENSIM 软件进行仿真模拟, 对物流园区和产业园区在转型升级背景下功能之间的联动关系进行研究, 以此探讨我国物流园区服务功能转型升级的发展方向.

2 模型构建

2.1 模型的边界界定及说明

1) 产业园区边界界定

产业系统是指生产系统以及生产系统的外延系统所构成的统一整体, 本文研究的产业系统包括第一产业、第二产业和第三产业, 因此, 本文选择第一产业增加值、第二产业增加值和第三产业增加值三个指标衡量产业系统的发展. 在产业转型升级背景下, 产业园区面临着跨境化、增值化、信息化以及配套化的发展趋势^[21]. 本文模型中选择主要衡量指标反映产业园区的发展趋势, 因此, 本文选取“进出口交易额”作为衡量跨境化的指标. 由于产业园区增值化趋势在一定程度上与产业园区信息化趋势密不可分, 信息化的运用使得产业园区的增值额不断增长, 而电子商务交易额在一定程度上能够反映信息化和增值化双重趋势, 因此在选择影响产业园区增值化和信息化的衡量指标时, 本文选择了共同影响指标——电子商务交易额这一指标衡量. 产业园区的配套化意味着配套设施带来的集成效应越来越明显, 产业园区所需要的配套服务, 诸如社会配套、商业配套、生活配套以及生态配套等也是产业园区转型升级的一个表现, 本文引入“固定资产投资额”这一指标衡量产业园区配套化.

2) 物流园区边界界定

物流系统是由物流各要素所组成的, 要素之间存在有机联系并具有使物流总体合理化功能的综合体. 物流园区随着产业园区的转型升级而发生改变, 本文将物流园区服务功能分为三个方面: 物流园区基本服务、物流园区增值服务以及物流园区配套服务.

物流园区基本服务额涵盖了跨境下的物流费用以及非跨境下的物流费用, 在模型中的衡量指标包括跨境交易产生的物流费用 (通过跨境交易额和跨境交易产生的物流费用占跨境交易额的比例两个指标计算得出) 以及跨境交易外交通运输、仓储和邮政业产值. 具体计算公式为: 物流园区基本服务额 = 跨境交易产生物流费用占跨境交易额比例 * 跨境交易总额 + 境内交通运输、仓储和邮政业产值. 其中, 跨境交易额、交通运输、仓储和邮政业产值以及跨境交易产生物流费用等数据分别由《中国电子商务市场数据监测报告》(2005–2013 年)、《中国物流年鉴》(2005–2013 年) 获得, 物流园区的增值服务额主要由信息化带来的物流增值服务额 (通过由电子商务交易额和电子商务交易额对物流园区增值服务额的贡献率两个指标计算得出) 这一指标衡量, 物流园区配套服务额主要由固定总投资额带来的物流园区配套服务额 (通过固定资产投资额和固定资产投资额对物流园区配套服务额的贡献率两个指标计算得出) 这一指标衡量.

2.2 系统建模思路

本文的联动系统分为产业系统与物流系统两个子系统, 根据系统动力学原理, 以产业园区和物流园区复合系统为建模对象, 在因果反馈分析的基础上, 绘制系统建模流程图. 通过对系统结构和各变量之间的逻辑关系进行分析, 建立系统动力学方程, 在此基础上确定各变量之间的定量关系, 并进行仿真运算, 得出各变量的

模拟值和模拟结果曲线图表. 通过调整模型中的控制参量, 反复模拟实验, 得到 ILSD (industry-logistics system dynamics) 模型, 见图 1 所示.

2.3 因果反馈分析

产业园区与物流园区功能联动系统仿真模型中, 各变量之间存在正向 (+) 和反向 (-) 反馈作用. 避免了单向模拟和人工干预的缺点, 使仿真模拟结果更加科学客观. 图 2 为产业园区系统和物流园区系统在功能上的主要因果反馈关系图.

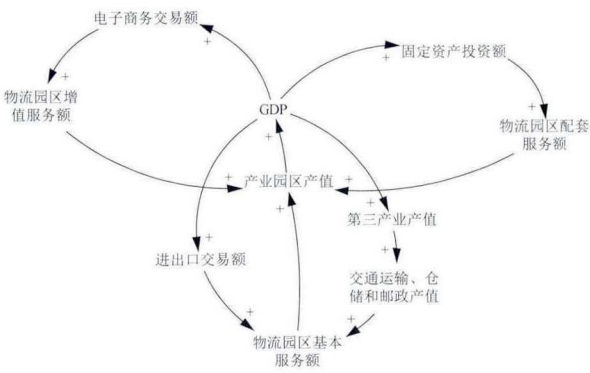


图 2 产业系统与物流系统因果反馈关系图

反馈环 1: GDP 与物流园区增值服务形成正反馈关系. 在产业转型升级过程中, GDP 平稳增加的同时, 电子商务交易额不断增加, 进而对物流园区增值服务的影响不断加大, 导致物流园区增值服务额不断增加, 进而促进了产业园区产值的增加, 而产业园区产值的增加又促使了 GDP 的增加.

反馈环 2: GDP 与物流园区基本服务形成正反馈关系. 一方面, 在产业转型升级过程中, GDP 平稳增加的同时, 进出口交易额不断增加, 进而对物流园区基本服务中的进出口服务的影响不断加大, 导致物流园区基本服务额不断增加, 从而促进了产业园区产值的增加, 而产业园区产值的增加又促使 GDP 的增加. 另一方面, 在产业转型升级过程中, GDP 平稳增加的同时, 第三产业产值不断增加, 导致物流园区基本服务额不断增加, 从而促进了产业园区产值的增加, 而产业园区产值的增加又促使 GDP 的增加.

反馈环 3: GDP 与物流园区配套服务形成正反馈关系. 在产业转型升级过程中, GDP 平稳增加的同时, 固定资产投资额不断增加, 进而对物流园区配套服务的影响不断加大, 导致物流园区配套服务额不断增加, 从而促进了产业园区产值的增加, 而产业园区产值的增加又促使了 GDP 的增加.

2.4 系统流图构建

本文通过运用 Vensim 软件建立系统动力学流图和系统动力学方程, 模型中包含状态变量、速率变量、辅助变量及常量, 部分常量由相关统计年鉴直接获得. 根据因果关系图, 以变量为基础建立系统动力学方程组. 该模型的初始年为 2005 年, 仿真终止年为 2020 年, 步长为 1 year. 模型中变量共有 37 个, 其中水平状态变量 7 个, 辅助变量 18 个, 常数 9 个, 以及包含 3 个产业转型升级前后的调节变量 (见图 3). 模型中描述系统行为的状态方程组以差分方程 (1) 来表示:

$$X(t) = X(t - dt) + F[x(t), p]dt$$
$$X(t_0) = X_0$$

(1)

式中, $X(t)$ 为 t 时刻状态变量的值; $F[x(t), p]$ 为 t 速度变量; dt 为模拟的时间步长. 在 Vensim 软件中, 用 INTEG(速率, 初值) 函数表示系统的状态方程组.

2.5 模型主要参数确定

产业转型升级前后的变化, 在某些指标上能够很好地量化体现, 这些指标即为调节变量. 转型升级前后调节变量的量化表达式会有所变化, 因此作为调节变量纳入整个模型中进行模拟运行, 可以得出产业转型

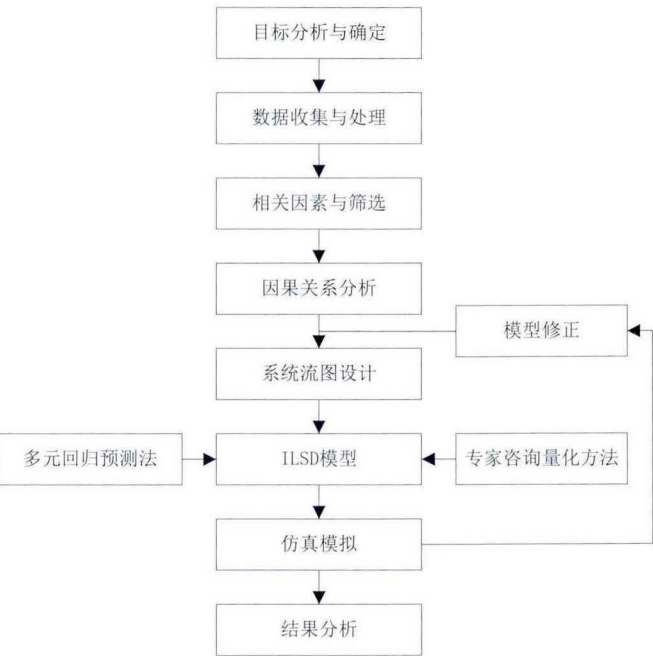


图 1 系统建模过程

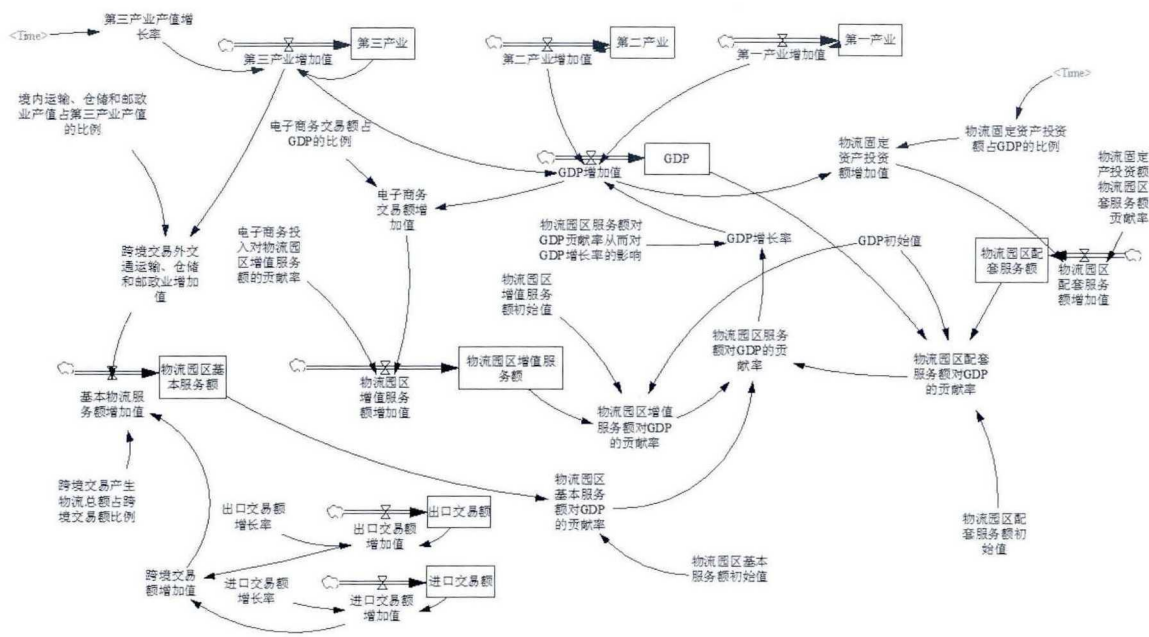


图 3 产业系统与物流系统功能联动系统动力学仿真模型

升级前后所带来的联动效应变化,更直接地体现产业园区转型升级对物流园区服务功能趋势的变化影响.本文采用第三产业产值增长率、电子商务交易额占 GDP 的比例和固定资产投资额占 GDP 的比例作为产业转型升级的三个调节变量,其理由为:1)物流园区服务功能在产业转型升级前后的变化趋势主要体现在基本服务功能、增值服务功能以及配套服务功能三个方面,而上述三个指标与这三个方面的服务功能有着较大关联,这可从系统流图中看出.2)三个调节变量的量化表达式都呈现出明显的两段式变化,且都以相似的时间节点为转折点,而这相似的转折点与我们预估的产业转型升级的时间节点大致相同.3)三个调节变量的量化趋势与产业转型升级的预判趋势基本一致.因此,本文选择上述三个指标作为调节变量,由产业转型升级前后的表达式差异考察整个模拟结果的差异.

第三产业产值增长率的取值:从表 1 所涉及的模型中主要参数的历年数据可以看出,2011 年前,第三产业产值平均增长率为 18.35%,而 2011 年后,第三产业产值的平均增长率为 13.04%,增速明显放缓,这与我国经济发展实际情况相一致.因此引入“第三产业产值增长率”这一调节变量.以 2011 年为拐点,转型升级前的表达式为:第三产业产值增长率 = 0.184,转型升级后的表达式为:第三产业产值增长率 = IF THEN ELSE(Time<2012, 0.184, 0.130).

电子商务交易额占 GDP 的比例取值:2005 年的初始值为 0.0703,2005-2013 年的平均增长率为 1.296%.

表 1 主要参数历年数据表

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GDP(万亿元)	18.494	21.631	26.581	31.405	34.090	40.151	47.310	51.947	56.885
第三产业产值(万亿元)	7.492	8.855	11.135	13.134	14.804	17.360	20.521	23.193	26.220
运输、仓储和邮政产值(万亿元)	1.067	1.218	1.460	1.636	1.673	1.913	2.243	2.466	2.728
货物进出口总额(万亿元)	11.692	14.097	16.686	17.992	15.065	20.172	23.640	24.416	25.817
出口总额(万亿元)	6.265	7.760	9.356	10.039	8.203	10.702	12.324	12.936	13.713
进口总额(万亿元)	5.427	6.338	7.330	7.953	6.862	9.470	11.316	11.480	12.104
出口增长率(%)	/	23.86	20.58	7.30	-18.29	30.47	15.15	4.96	6.01
进口增长率(%)	/	16.77	15.66	8.49	-13.72	38.01	19.50	1.45	5.43
电子商务交易额(万亿元)	1.300	1.500	2.170	3.100	3.850	4.500	5.880	7.850	9.900
物流园区基本服务额(万亿元)	3.171	3.756	4.464	4.875	4.384	5.544	6.499	6.861	7.375
物流园区增值服务额(万亿元)	2.394	2.921	3.589	4.383	5.000	5.800	7.300	9.800	11.500
物流园区配套服务额(万亿元)	1.157	1.375	1.742	2.070	2.364	2.780	3.290	3.731	4.229
固定资产投资额(万亿元)	0.972	1.200	1.428	1.7508	2.600	3.070	3.200	4.000	4.229

2011 年前, 电子商务交易额占 GDP 比例呈直线增长趋势, 增长率为 0.836%, 而 2011 年后, 电子商务交易额占 GDP 比例也呈现直线增长趋势, 但增长率明显增大到 2.063%, 一定程度上与整个产业朝着信息化、互联网方向发展相吻合. 因此引入“电子商务交易额占 GDP 的比例”这一调节变量. 以 2011 年为拐点, 转型升级前的表达式为: 电子商务交易额占 GDP 的比例 = $0.0703 + \text{RAMP}(0.01296, 2005, 2020)$, 转型升级后的表达式为: 电子商务交易额占 GDP 的比例 = $0.0703 + \text{RAMP}(0.00836, 2005, 2011) + \text{RAMP}(0.02063, 2011, 2020)$.

物流固定资产投资额占 GDP 的比例取值: 2011 年前, 物流固定资产投资额占 GDP 比例基本不变, 平均值为 5.438%, 而 2011 年后, 物流固定资产投资额占 GDP 的比例维持在较高的水平, 平均值为 7.434%, 一定程度上与产业配套逐步完善相吻合. 因此, 引入“物流固定资产投资额占 GDP 的比例”这一调节变量. 以 2011 年为拐点, 转型升级前的表达式为: 固定资产投资额占 GDP 的比例 = 0.05438, 转型升级后的表达式为: 固定资产投资额占 GDP 的比例 = $\text{IF THEN ELSE}(\text{Time} < 2012, 0.05438, 0.07434)$.

在表 1 数据的基础上, 运用系统动力学软件 Vensim, 针对产业园区与物流园区功能联动进行模拟, 每两个相关变量 (箭头指向的变量) 之间都涉及一个方程公式以表达二者之间的关系. 本文将 ILSD 模型在 Vensim 软件模拟过程中的公式从模型中导出, 并绘制成一览表, 结果如表 2 所示.

表 2 ILSD 模型中变量间公式表达式

变量性质	变量名称	公式表达	单位
状态变量	GDP	$\text{GDP} = \text{INTEG}(+ \text{GDP 增加值}, 18.494)$	万亿
	物流园区基本服务额	物流园区基本服务额 = $\text{INTEG}(+ \text{物流园区基本服务额}, 3.171)$	万亿
	物流园区增值服务额	物流园区增值服务额 = $\text{INTEG}(+ \text{物流园区增值服务额}, 2.394)$	万亿
	物流园区配套服务额	物流园区配套服务额 = $\text{INTEG}(+ \text{物流园区配套服务额}, 1.157)$	万亿
	出口交易额	出口交易额 = $\text{INTEG}(+ \text{出口交易额增加值}, 6.265)$	万亿
	进口交易额	进口交易额 = $\text{INTEG}(+ \text{进口交易额增加值}, 5.427)$	万亿
	第三产业产值	第三产业产值 = $\text{INTEG}(+ \text{第三产业产值增加值}, 7.492)$	万亿
	GDP 增加值	$\text{GDP 增加值} = \text{GDP} * \text{GDP 增长率}$	万亿
	物流园区服务额对 GDP 贡献率从而对 GDP 增长率的影响	物流园区服务额对 GDP 贡献率从而对 GDP 增长率的影响 = $[(0.32, 0) - (0.43, 0.3), (0.322, 0.086), (0.342, 0.178), (0.357, 0.181), (0.36, 0.178), (0.38, 0.229), (0.409, 0.098), (0.424, 0.17), (0.427, 0.095)]$	Dmnl
	GDP 增长率	$\text{GDP 增长率} = \text{物流园区服务额对 GDP 贡献率从而对 GDP 增长率的影响} (\text{物流园区服务额对 GDP 的贡献率})$	Dmnl
	物流园区服务额对 GDP 的贡献率	物流园区服务额对 GDP 的贡献率 = $\text{物流园区基本服务额对 GDP 的贡献率} + \text{物流园区增值服务额对 GDP 的贡献率} + \text{物流园区配套服务额对 GDP 的贡献率}$	Dmnl
	电子商务交易额增加值	电子商务交易额增加值 = $\text{GDP 增加值} * \text{电子商务交易额占 GDP 的比例}$	万亿
	物流园区增值服务额增加值	物流园区增值服务额增加值 = $\text{电子商务交易额增加值} / \text{电子商务投入对物流园区增值服务额的贡献率}$	万亿
	物流园区增值服务额对 GDP 的贡献率	物流园区增值服务额对 GDP 的贡献率 = $\text{XIDZ}((\text{物流园区增值服务额} - \text{物流园区增值服务额初始值}), (\text{GDP} - \text{GDP 初始值}), 0.168)$	Dmnl
	物流固定资产投资额增加值	物流固定资产投资额增加值 = $\text{GDP 增加值} * \text{物流固定资产投资额占 GDP 的比例}$	万亿
	物流园区配套服务额增加值	物流园区配套服务额增加值 = $\text{物流固定资产投资额增加值} / \text{物流固定资产投资额对物流园区配套服务额的贡献率}$	万亿
	物流园区配套服务额对 GDP 的贡献率	物流园区配套服务额对 GDP 的贡献率 = $\text{XIDZ}((\text{物流园区配套服务额} - \text{物流园区配套服务额初始值}), (\text{GDP} - \text{GDP 初始值}), 0.069)$	Dmnl
辅助变量	出口交易额增加值	出口交易额增加值 = $\text{出口交易额} * \text{出口交易额增长率}$	万亿
	进口交易额增加值	进口交易额增加值 = $\text{进口交易额} * \text{进口交易额增长率}$	万亿

表 2(续)

变量性质	变量名称	公式表达	单位
辅助变量	跨境交易额增加值	跨境交易额增加值 = 出口交易额增加值 + 进口交易额增加值	万亿
	第三产业增加值	第三产业增加值 = 第三产业产值 * 第三产业产值增长率	万亿
	境内运输、仓储和邮政业产值占第三产业产值的比例	境内运输、仓储和邮政业产值占第三产业产值的比例 = 0.1424 - RAMP(0.00479, 2005, 2013)+0.1	Dmnl
	跨境交易外交通运输、仓储和邮政业增加值	跨境交易外交通运输、仓储和邮政业增加值 = 第三产业增加值 * 境内运输、仓储和邮政业产值占第三产业产值的比例	万亿
	基本物流服务额增加值	基本物流服务额增加值 = 跨境交易产生物流费用占跨境交易额比例 * 跨境交易额增加值 + 跨境交易外交通运输、仓储和邮政业增加值	万亿
	物流园区基本服务额对 GDP 的贡献率	物流园区基本服务额对 GDP 的贡献率 = XIDZ((物流园区基本服务额 - 物流园区基本服务额初始值), (GDP-GDP 初始值), 0.186)	Dmnl
常量	GDP 初始值	GDP 初始值 = 18.494	万亿
	电子商务投入对物流园区增值服务额的贡献率	高新技术投入对物流园区增值服务额的贡献率 = 0.937	Dmnl
	物流园区增值服务额初始值	物流园区增值服务额初始值 = 2.394	万亿
	物流固定资产投资额对物流园区配套服务额的贡献率	物流固定资产投资额对物流园区配套服务额的贡献率 = 1.149	Dmnl
	物流园区配套服务额初始值	物流园区配套服务额初始值 = 1.157	万亿
	出口交易额增长率	出口交易额增长率 = 0.113	Dmnl
	进口交易额增长率	进口交易额增长率 = 0.115	Dmnl
	跨境交易产生物流费用占跨境交易额比例	跨境交易产生物流总额占跨境交易额比例 = 0.180	Dmnl
	物流园区基本服务额初始值	物流园区基本服务额初始值 = 3.171	万亿
转型升级前后的调节变量	第三产业产值增长率	转型升级前: 第三产业产值增长率 = 0.184; 转型升级后: 第三产业产值增长率 = IF THEN ELSE(Time<2012, 0.184, 0.13)	Dmnl
	电子商务交易额占 GDP 的比例	转型升级前: 电子商务交易额占 GDP 的比例 = 0.0703+RAMP(0.01296, 2005, 2020); 转型升级后: 电子商务交易额占 GDP 的比例 = 0.0703+RAMP(0.00836, 2005, 2011)+RAMP(0.02063, 2011, 2020)	Dmnl
	物流固定资产投资额占 GDP 的比例	转型升级前: 物流固定资产投资占 GDP 的比例 = 0.05438; 转型升级后: 物流固定资产投资额占 GDP 的比例 = IF THEN ELSE(Time<2012, 0.05438, 0.07434)	Dmnl

3 仿真模拟及结果分析

3.1 模型有效性验证

针对产业园区与物流园区功能联动的系统动力学模拟时,分为产业转型升级前和产业转型升级后两个数据集进行对比模拟. 为了验证模型的有效性, 本文选择 GDP、第三产业产值、出口交易额和进口交易额 4 个变量的模拟值与实际值进行误差描述.

首先, 我们通过模型的运行得出产业转型升级前后 GDP、第三产业、出口交易额以及进口交易额的模拟值, 如图 4 所示 (每个指标中第一列为产业转型升级后模拟值, 第二列为产业转型升级前模拟值):

在图 4 模拟值的基础上, 本文采用 2005-2013 年产业转型升级前和产业转型升级后两个不同背景下 GDP、进口和出口交易额以及第三产业产值的实际值与模拟值进行误差对比, 如表 3 和表 4 所示.

由表 3 和表 4 可知, GDP 以及第三产业产值的模拟值与实际值的平均误差基本控制在 5% 以内, 说明了模型的有效性. 但进口和出口交易额的模拟值与实际值之间分别出现了较大的误差, 这是由于 2008 年发生的金融危机, 导致 2009 年的进出口交易额出现了较大的负增长, 实际值中出现明显的波动 (由于 2008 年全球金融危机的影响, 进出口交易额增长率出现了从 23.86% 到 -18.29% 的大幅度变化), 故在仿真模拟

Table Time Down								
Time (年)	选择的变量	GDP	出口交易额		第三产业产值		进口交易额	
2005	运行:	18.494	18.494	6.265	6.265	7.492	7.492	5.427
2006	产业转型升	21.5492	20.3896	6.97044	6.97044	8.87053	8.86678	6.04839
2007	级后联动数	23.4024	23.5023	7.75531	7.75531	10.5027	10.4938	6.74093
2008	据集0825	28.2778	28.3877	8.62856	8.62856	12.4352	12.4195	7.51277
2009	产业转型升	31.8569	32.6092	9.60013	9.60013	14.7233	14.6984	8.37298
2010	级前联动数	37.5457	38.4222	10.6811	10.6811	17.4324	17.3956	9.33169
2011	据集0825	43.7065	45.2655	11.8838	11.8838	20.6399	20.5877	10.4002
2012		51.5033	53.3435	13.2219	13.2219	24.4377	24.3655	11.591
2013		60.7388	62.8966	14.7107	14.7107	27.6146	28.8366	12.9182
2014		71.6342	74.2114	16.3671	16.3671	31.2045	34.1281	14.3973
2015		84.5292	87.6314	18.2101	18.2101	35.261	40.3906	16.0458
2016		99.782	103.631	20.2605	20.2605	39.845	47.8023	17.883
2017		118.781	124.21	22.5419	22.5419	45.0248	56.574	19.9306
2018		143.87	150.573	25.0801	25.0801	50.878	66.9553	22.2127
2019		175.821	184.403	27.9041	27.9041	57.4922	79.2417	24.756
2020		207.401	224.175	31.0461	31.0461	64.9662	93.7825	27.5906

图 4 产业转型前后 2005–2020 年相关指标模拟值

表 3 主要参数历年数据表									
年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GDP 模拟值与实际值的误差 (%)	/	5.74	10.58	8.61	4.34	4.31	4.32	2.69	9.57
平均误差 (%)					5.02				
进口交易额模拟值与实际值的误差 (%)	/	4.57	8.04	5.54	22.02	1.46	8.09	0.97	6.73
平均误差 (%)					6.38				
出口交易额模拟值与实际值的误差 (%)	/	10.17	17.11	14.05	17.03	0.20	3.57	2.21	7.28
平均误差 (%)					7.96				
第三产业产值模拟值与实际值的误差 (%)	/	0.13	5.76	5.44	0.71	0.21	0.33	5.06	9.98
平均误差 (%)					3.07				

表 4 产业转型升级后 GDP、进出口交易额及第三产业产值模拟值与实际值比较表									
年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GDP 模拟值与实际值的误差 (%)	/	0.38	10.96	9.96	6.55	6.49	7.62	0.85	6.77
平均误差 (%)					4.96				
进口交易额模拟值与实际值的误差 (%)	/	4.57	8.04	5.54	22.02	1.46	8.09	0.97	6.73
平均误差 (%)					6.38				
出口交易额模拟值与实际值的误差 (%)	/	10.17	17.11	14.05	17.03	0.20	3.57	2.21	7.28
平均误差 (%)					7.96				
第三产业产值模拟值与实际值的误差 (%)	/	0.18	5.68	5.32	0.55	0.42	0.58	5.37	5.32
平均误差 (%)					2.60				

中出现了 2009 年进口交易额模拟值与实际值之间的最大误差值达到 22.02%。虽然受金融危机的影响, 但进出口交易额的模拟值和实际值之间的平均误差也能大致控制在 6%~8% 之间, 表明模型总体是有效的。

3.2 产业园区转型升级变化分析

本文反映产业转型升级的调节变量有三个, 包括第三产业产值增长率、固定资产投资额占 GDP 的比例以及电子商务交易额占 GDP 的比例。本文通过模型运行, 得到产业转型升级前后三个变量的趋势图 (见图 5、图 6 和图 7), 进而分析产业转型升级对物流园区服务功能的影响。

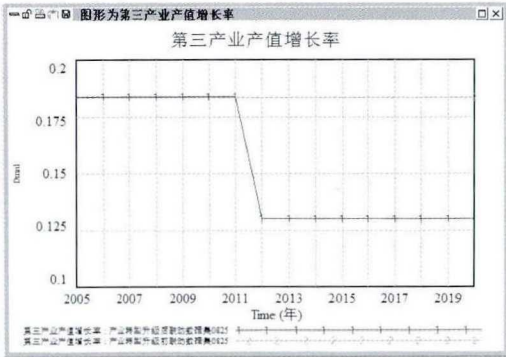


图 5 第三产业产值增长率转型升级前后变化图

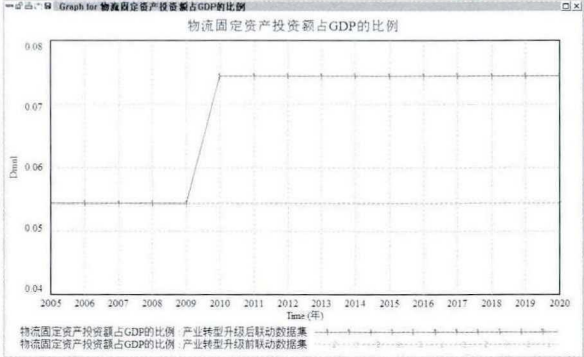


图 6 固定资产投资额占 GDP 转型升级前后变化图

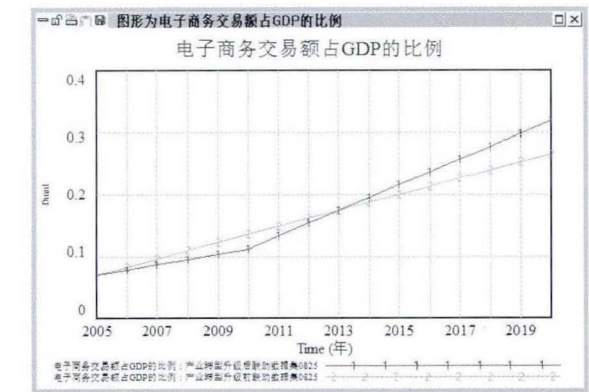


图 7 电子商务交易额占 GDP 比例转型升级前后变化图

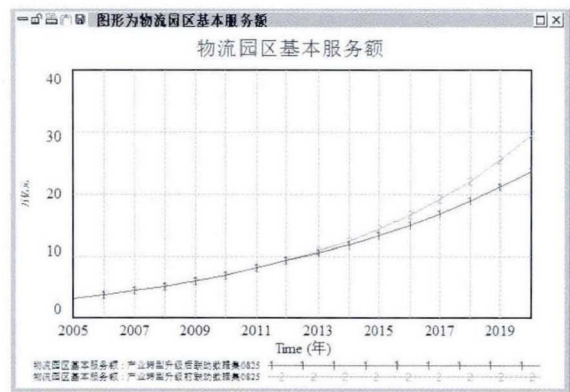


图 8 产业转型升级前后物流园区基本服务额发展趋势

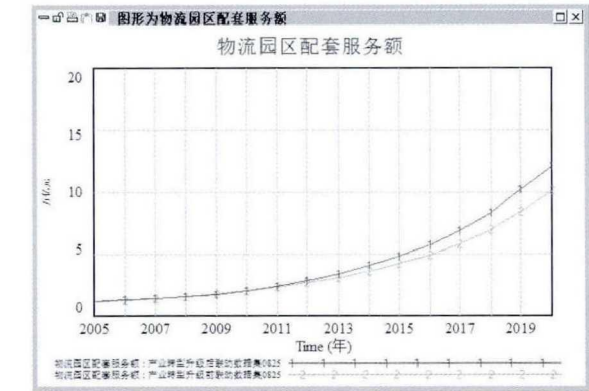


图 9 产业转型升级前后物流园区配套服务额发展趋势

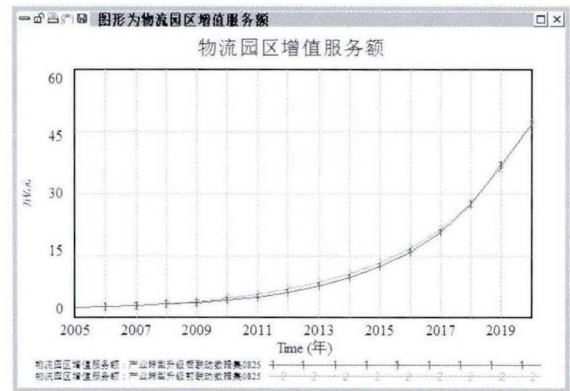


图 10 产业转型升级前后物流园区增值服务额发展趋势

由图 5 可知, 第三产业产值增长率在产业转型后有增速放缓的趋势, 这与我 国 GDP 增长率增速放缓在一定程度上是吻合的, 但第三产业产值的增长率放缓与第三产业产值逐年上升并不矛盾, 第三产业产值在未来仍然呈现增长趋势。

由图 6 可知, 以 2011 年左右为产业转型升级的临界点, 固定资产投资额占 GDP 的比例在产业转型升级前后的变化加大. 2010 年之后, 固定资产投资额占 GDP 的比例有突然增速的上升趋势, 说明在产业转型升级后固定资产投资有明显加大趋势。

由图 7 可知, 电子商务交易额占 GDP 的比例在产业转型前后并不相同. 尽管在产业转型升级前, 电子商务已经呈现了逐年上升的发展趋势, 但以 2011 年为分界点, 2011 年前后电子商务交易额占 GDP 的比例增长趋势发生大幅度变化. 因此, 在产业转型升级前, 电子商务交易额占 GDP 的比例是增速较慢, 而在产业转型升级后, 电子商务交易额占 GDP 的比例增速明显加快。

3.3 产业园区转型升级对物流园区服务功能的影响分析

在上述模型基础上, 本文进一步比较在产业转型升级前后物流园区基本服务额、增值服务额以及配套服务额的增长变化趋势, 见图 8、图 9 和图 10。

由图 8 可知, 在产业转型升级前后, 物流园区基本服务额均呈现出了不断上升的趋势, 且基本服务额的增长速度随着时间的增长也越来越快, 这说明现阶段我国物流园区的盈利基础仍然以提供基本服务功能为主. 但相对于产业转型升级前, 物流园区基本服务额在转型升级后的增速明显下降, 表明物流园区的基本服务功能将被逐渐弱化。

图 9 表明在产业转型升级前后, 物流园区配套服务额也均呈现出了不断上升的趋势, 且配套服务额的增速随着时间的增长而加速增加. 但物流园区配套服务额在产业转型升级后相对于产业转型升级前有较大幅度的增长, 表明未来物流园区的配套服务功能将被强化, 物流园区配套服务功能的建设和完善是未来物流园区服务功能建设的重点之一。

图 10 表明在产业转型升级前后, 物流园区增值服务额均呈现出了不断上升的趋势, 我国电子商务从 2005 年起已呈现快速发展的趋势. 但从图 10 的曲线增长趋势来看, 基于 2011 年后电子商务交易额增长更为迅速,

且相对于图 8 和图 9 而言, 图 10 中所表达的物流园区增值服务额的增速更快, 表明未来物流园区的增值服务功能将会得到强化, 物流园区增值服务功能将会成为未来物流园区服务功能建设的重点.

在了解物流园区基本服务额、增值服务额以及配套服务额增长趋势的基础上, 本文通过运行 Vensim 软件, 得到物流园区基本服务额、增值服务额以及配套服务额的具体模拟值运行, 如图 11 所示 (每个指标中第一列为产业转型升级后模拟值, 第二列为产业转型升级前模拟值):

Table Time Down						
Time (年)	选择的变量	物流园区基本服务额		物流园区增值服务额		物流园区配套服务额
2005	运行:	3.171	3.171	2.394	2.394	1.1567
2006	产业转型升级后	3.74398	3.74308	2.62322	2.53622	1.28983
2007	级后联动数	4.39774	4.39562	2.7788	2.81281	1.37058
2008	据集0825	5.14378	5.14005	3.23158	3.31449	1.58302
2009	产业转型升级后	5.99525	5.98945	3.5959	3.80638	1.73897
2010	级前联动数	6.96717	6.95871	4.22574	4.56412	1.98685
2011	据集0825	8.07667	8.06483	4.9628	5.5508	2.35384
2012		9.34331	9.32721	6.06724	6.82725	2.81827
2013		10.5137	10.768	7.57885	8.46892	3.36841
2014		11.8108	12.4122	9.60198	10.5698	4.01741
2015		13.2671	14.3188	12.2803	13.2472	4.78553
2016		14.9024	16.5311	15.7843	16.6606	5.6941
2017		16.7387	19.1005	20.567	21.3356	6.8258
2018		18.8008	22.0867	27.4353	27.6891	8.32029
2019		21.1168	25.5602	36.8856	36.3102	10.2235
2020		23.7179	29.6035	46.9215	46.9955	12.1047

图 11 物流园区三种服务额在产业转型升级前后的模拟值

由图 11 可知, 物流园区的基本服务额由 2005 年的 3.171 亿元增长到 2020 年的 23.719 亿元, 年平均增幅为 43.18%; 物流园区配套服务额由 2005 年的 1.1567 亿元增长到 2020 年的 12.1047 亿元, 年平均增幅为 63.10%; 物流园区增值服务额由 2005 年的 2.394 亿元增长到 2020 年的 46.9215 亿元, 年平均增幅为 124%. 虽然三种服务额整体均呈现增长的趋势, 但至 2020 年左右, 物流园区的增值服务额的增速分别约是配套服务额增速的 2 倍以及基本服务额增速的 3 倍左右.

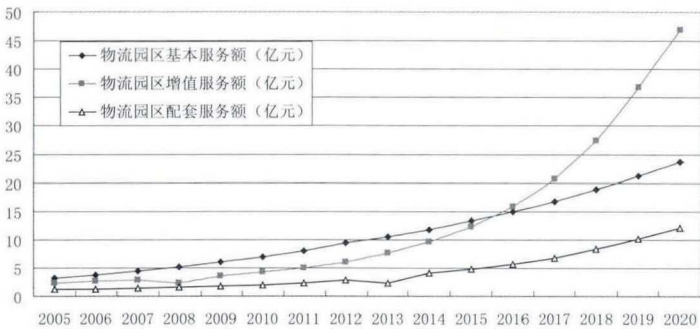


图 12 物流园区的三种服务额在产业转型升级后的发展趋势

从图 12 看, 我国物流园区增值服务额大约在 2017 年左右将逐渐超过基本服务额而处于主导地位, 表明我国物流园区未来将加快园区信息化建设, 运用物联网、互联网和大数据等技术和手段改造传统产业和传统功能, 创造新的增值空间, 这是物流园区功能创新的主要趋势. 我国物流园区的发展初期主要是通过大力发展运输、仓储等基本服务功能, 增加进出口交易额, 达到聚集产业和增加规模. 但随着产业园区转型升级的发展, 物流园区转型升级的趋势也逐渐明显, 逐渐由提供基本服务功能为主向提供配套服务特别是增值服务为主转变, 从而带动我国物流园区向服务创新、管理创新的发展阶段转型.

4 结论

本文通过应用系统动力学理论, 对产业园区和物流园区在转型升级背景下功能联动进行了研究. 通过因果反馈分析图确定了研究模型的界限, 并通过系统流图的设计, 结合变量之间量化公式的构造, 构建了“ILSD”模型, 在模型的仿真模拟过程中用 GDP、第三产业产值以及进口交易额和出口交易额四个状态变量的模拟值与真实值的误差值检验了模型的有效性. 从研究结果表明, 在产业转型升级的背景下, 产业园区功能转型升级影响物流园区功能转型升级, 二者在功能上是紧密联动的. 在此基础上, 本文通过对比转型升级前后物

流园区的基本服务功能、增值服务功能以及配套服务功能从 2005–2020 年的发展趋势, 得出了未来在产业转型升级的背景下, 物流园区在功能建设中将强化增值服务功能、配套服务功能, 而弱化基本服务功能, 至 2017 年左右, 我国物流园区的增值服务额将超过基本服务额, 成为主要服务功能。至 2020 年左右, 我国物流园区的增值服务额的增速分别约是配套服务额增速的 2 倍和基本服务额增速的 3 倍左右。因此, 未来我国物流园区的发展将以信息化和增值化为发展趋势, 为了适应物流园区转型升级的未来趋势, 需要加快物流园区信息化建设, 运用物联网、互联网和大数据等技术和手段改造传统产业和传统功能, 创造新的增值空间, 这是未来物流园区功能创新的主要趋势。同时, 物流园区的服务功能还需要完善生产配套、生活配套以及商业配套等配套服务的支撑, 才能够推动物流园区的全面转型升级。

本文还需要在以下两个方向做进一步研究: 第一, 从现有的选取指标因素中进一步考虑, 仔细斟酌是否有其它重要指标因素可以参与整个模型的构建中, 从而更加精确探索功能联动的关系。第二, 进一步细分产业园区转型升级过程中的功能需求变化, 从微观角度, 构建物流园区与产业园区功能联动模型, 从而具体探索物流园区适应产业转型升级的服务功能创新发展路径。

参考文献

- [1] 石碧华. 长三角城市群产业联动协同转型的机制与对策 [J]. 南京社会科学, 2014, 11(11): 9–16.
Shi B H. The mechanism and policies of yangtze river delta urban agglomeration cooperative transformation and upgrading through industry cooperation[J]. Social Sciences in Nanjing, 2014, 11(11): 9–16.
- [2] Gereffi G. International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain[J]. Journal of International Economics, 1999, 48(1): 37–70.
- [3] Schmitz H. Local upgrading in global chains: Recent findings[R]. Brighton: Institute of Development Studies Sussex, 2004.
- [4] Hashino T, Otsuka K. Cluster-based industrial development in contemporary developing countries and modern Japanese economic history[J]. Journal of the Japanese and International Economies, 2013, 30(1): 19–32.
- [5] Peng K, Li W, Cheng R, et al. An application of system dynamics for evaluating planning alternatives to guide a green industrial transformation in a resource-based city[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 104(12): 403–412.
- [6] 吴开亚, 陈晓剑. 基于二元关系的产业关联分析方法研究 [J]. 中国管理科学, 2003, 11(3): 62–65.
Wu K Y, Chen X J. A 2-tuple relation theory on analysis of industrial relations[J]. Chinese Journal of Management Science, 2003, 11(3): 62–65.
- [7] 胡大立. 产业关联、产业协同与集群竞争优势的关联机理 [J]. 管理学报, 2006, 3(6): 709–713.
Hu D L. The connection of enterprise cluster's competitive advantages with industry interrelation and synergy[J]. Chinese Journal of Management, 2006, 3(6): 709–713.
- [8] 王翠霞, 贾仁安, 邓群钊. 中部农村规模养殖生态系统管理策略的系统动力学仿真分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(12): 158–169.
Wang C X, Jia R A, Deng Q Z. A system dynamics simulation analysis on the management policy of rural scale livestock breeding ecosystem in centre China[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2007, 27(12): 158–169.
- [9] 王建军, 李莉, 谭忠富, 等. 电力需求侧响应利益联动机制的系统动力学模拟 [J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(12): 2287–2295.
Wang J J, Li L, Tan Z F, et al. Simulating the electric demand response profit linkage mechanism by system dynamics[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2011, 31(12): 2287–2295.
- [10] 刘铁芳, 刘彦兵, 黄姗姗. 产业结构与水资源消耗结构的关联关系研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(4): 861–869.
Liu Y F, Liu Y B, Huang S S. Study on the correlation resources between industrial structure and water consumption structure[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(4): 861–869.
- [11] 杨水聪, 申明浩. 外贸包容性增长对地区创新能力的影响 —— 基于省级空间面板数据的分析 [J]. 国际贸易问题, 2015, 5(5): 3–10.
Yang Y C, Shen M H. The impact of the inclusive growth of international trade on the regional innovation ability: Spatial econometric analysis on provincial panel data[J]. International Trade Journal, 2015, 5(5): 3–10.
- [12] 苏秦, 张艳. 制造业与物流业联动现状分析及国际比较 [J]. 中国软科学, 2011, 5(5): 37–45.
Su Q, Zhang Y. Linkage analysis of the situation and international comparison between manufacturing industry and logistics industry[J]. China Soft Science, 2011, 5(5): 37–45.
- [13] 程艳. 长江经济带物流产业联动发展研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
Cheng Y. Study on the linkage development of the yangtze river economic belt logistics industry[D]. Shanghai:

- East China Normal University, 2013.
- [14] 程永伟, 龚英. 我国物流业的产业联动发展研究 [J]. 北京交通大学学报 (社会科学版), 2014, 1(1): 1-7.
Cheng Y W, Gong Y. A study on the interactive development of logistics industry in China[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2014, 1(1): 1-7.
- [15] 石永强, 彭树, 张智勇, 等. 基于系统动力学第三方直通集配中心模式研究 [J]. 管理科学学报, 2015, 18(2): 13-21.
Shi Y Q, Peng S, Zhang Z Y, et al. Mode of TPL cross-docking supply hub based on system dynamics[J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(2): 13-21.
- [16] 贺玉德, 马祖军. 基于 CRITIC-DEA 的区域物流与区域经济协同发展模型及评价 —— 以四川省为例 [J]. 软科学, 2015, 29(3): 34-39.
He Y D, Ma Z J. Study on CRITIC-DEA for regional logistics and regional economic coordinated development model and evaluation — A case study of Sichuan province[J]. Soft Science, 2015, 29(3): 34-39.
- [17] 田宇, 杨艳玲. 基于物流企业的服务创新研究: 互动导向视角 [J]. 科研管理, 2016, 37(2): 116-123.
Tian Y, Yang Y L. A research on logistics enterprises' service innovation based on interaction orientation[J]. Science Research Management, 2016, 37(2): 116-123.
- [18] 李娜, 石敏俊, 王飞. 区域差异和区域联系对中国区域政策效果的作用: 基于中国八区域 CGE 模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(10): 35-44.
Li N, Shi M J, Wang F. Regional differences and regional contact effect on China's regional policy effect: Based on eight regional CGE model in China[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2009, 29(10): 35-44.
- [19] 李国平, 王立明, 杨开忠. 深圳与珠江三角洲区域经济联系的测度及分析 [J]. 经济地理, 2001, 21(1): 33-37.
Li G P, Wang L M, Yang K Z. Measurement and analysis of the regional economic relations between Shenzhen and the pearl river delta[J]. Economic Geography, 2001, 21(1): 33-37.
- [20] 车冰清, 朱传耿, 杜艳. 基于产业联动的区域经济合作潜力研究 —— 以淮海经济区为例 [J]. 地域研究与开发, 2009, 28(4): 46-51.
Che B Q, Zhu C G, Du Y. The potentiality of regional economic cooperation based on industrial linkage — A case study on Huaihai economic zone[J]. Areal Research and Development, 2009, 28(4): 46-51.
- [21] Angerhofer B J, Angelides M C. System dynamics modeling in supply chain management: Research review[C]// Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2000, 1(1): 342-351.
- [22] 张力波, 韩玉启, 陈杰. 供应链管理的系统动力学研究综述 [J]. 系统工程, 2005, 23(6): 8-15.
Zhang L B, Han Y Q, Chen J. A review: The application of system dynamics in supply chain management[J]. Systems Engineering, 2005, 23(6): 8-15.
- [23] 陈航. 港城互动的理论与实证研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2009.
Chen H. Research on theory and empirical for interaction between ports and cities[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009.
- [24] 樊敏. 中国城市群物流产业效率分析及发展策略研究 —— 基于产业运作及联动发展视角 [J]. 软科学, 2010, 24(5): 11-16.
Fan M. Analysis on the efficiency and development strategy of China's urban agglomeration logistics industry based on the perspective of industrial operation and linkage development[J]. Soft Science, 2010, 24(5): 11-16.
- [25] 于宝琴, 武淑萍, 杜广伟. 网购快递物流服务系统测评的枝模型仿真 [J]. 中国管理科学, 2014, 22(12): 72-78.
Yu B Q, Wu S P, Du G W. Model simulation on evaluation logistics service system of online express[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(12): 72-78.
- [26] 李健, 张文文, 白晓昀. 基于系统动力学的应急物资调运速度影响因素研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(3): 661-669.
Li J, Zhang W W, Bai X Y. System dynamics based factor analysis for the speed of emergency materials transportation[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2015, 35(3): 661-669.
- [27] 王翠霞. 生态农业规模化经营策略的系统动力学仿真分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(12): 3171-3181.
Wang C X. System dynamics simulation analysis of the scale management strategy of ecological agriculture[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2015, 35(12): 3171-3181.
- [28] 仲勇, 陈智高, 周钟. 大型建筑工程项目资源配置模型及策略研究 —— 基于系统动力学的建模和仿真 [J]. 中国管理科学, 2016, 24(3): 125-132.
Zhong Y, Chen Z G, Zhou Z. Research on resource allocation model and strategy of large scale construction project — Modeling and simulation based on system dynamics[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(3): 125-132.