

基于低碳经济理念的城市产业规划政策研究

束 慧^{1,2}, 王文平¹

(1.东南大学 经济管理学院, 江苏 南京 211189; 2.南京邮电大学 理学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 本文以企业个体和地方政府引导下的产业集群整体为产业规划参与双方, 以节约能源、促进低能耗产业发展为低碳经济发展内涵, 建立低碳经济理念下的城市产业地理空间规划模型, 分析规划均衡条件, 求解规划均衡策略, 仿真模拟规划策略变量对产业布局、产业结构的影响, 并结合上海市的产业规划政策加以对比分析。结果表明: 以产业用地开发成本为体现, 新产业区规划中心越接近城市边界越易促进城市产业区的突破式发展; 企业规模越大, 能耗、迁移成本越低, 则产业用地开发成本控制值越大; 企业的规模和能耗特征共同决定了产业用地开发密度; 新产业区规划时, 若企业规模对用地面积的弹性大于对迁移成本的弹性, 则企业规模越大, 其土地使用费的梯度越大, 越倾向于迁移, 而企业对规划政策反应的异质性会减弱该倾向。实例分析部分表明, 在上海市当前的产业结构下, 新产业区规划不宜对低能耗产业的布局做过大调整; 上海市在促进低能耗产业的发展上还有一定的改进空间。

关键词: 产业布局调整; 产业结构优化; 产业规划政策; 低碳经济

中图分类号: F062.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2017)02-0101-08

DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2017.02.012

0 引言

低碳经济理念在我国产业规划中的重要性日趋凸显, 但由于发展起步时间短, 我国低碳经济产业转型仍然处于初级阶段, 一些能耗高的行业仍然呈现粗放的增长方式^[1-2]。以发展低碳经济为城市产业调整的基本理念, 调整城市产业空间布局、优化产业结构是各级政府重点关注的产业规划问题。国家发改委从 2005 年起, 连续多年发布《产业结构调整指导目录》, 工业和信息化部也陆续发布了各年度《产业转移指导目录》, 各级地方政府在此指导下也制定了不同的产业规划政策, 引导产业发展。

在这样的背景下, 很多学者开始以低碳经济、生态资源承载力为出发点, 探索我国产业结构调整与低碳经济发展、产业布局规划与生态资源环境间的协调性。徐承红建立了同时考虑技术进步和污染控制的动态经济增长模型, 提出中国应在改造传统产业、发展新能源和推广节能三方面推动和实现经济向低碳经济的转型^[3]。周海燕、吴宏和陈福中根据省际面板数据, 分析了我国各地区能源消耗与经济增长间的关系, 以此为基础提出了我国产业结构调整的具体思路^[4]。Zhao, Liu 和 Chen 以区域水资源承载力分布为基础, 通过构建区域产业布局规划模型, 预测区域内的水资源污染趋势, 以此为基础, 提出了区域产业布局规划的调整政策^[5]。王维, 江源和张林波等从我国城市的生态资源可承载力评价出发, 分析城市产业布局规划, 为城市产业布局规划调整提供参考意见^[6]。黄丽华、王亚男和韩笑结合产业发展规划中土地资源的影响特点, 在区域土地资源综合承载力评价基础上, 进一步研究了产业规划实施前后的土地资源综合承载力空间变化, 以此为产业规划提供参考意见^[7]。孙伟,

陈雯和陈诚等以我国江苏省的水资源分布为依据, 分析省域内的产业布局规划策略^[8]。陈诚、陈雯和赵海霞利用地理信息系统 GIS 平台, 将区域生态资源和产业分布结合, 提供了区域的产业布局规划意见^[9]。

然而, 上述研究都存在一定的不足之处。在强调低碳经济理念的前提下, 以往产业结构调整研究往往偏重宏观经济视角^[3-4], 而针对具体地区的、可操作的产业规划则没有涉及; 以生态资源承载容量为依据, 按资源在不同地理区位的分布对产业布局规划提出参考意见, 研究成果多是图形化的概括^[5-9], 而关于城市产业空间布局调整、产业结构优化的具体实施措施则没有涉及。事实上, 我国地方各级政府在设定产业政策以引导产业集群整体朝向低碳经济方向发展时, 最主要和有效的措施集中于各类产业用地指标的设置。上海、广州等一线城市都陆续发布了本市的《产业用地指南》^[10], 通过具体指标控制量的设置, 引导产业发展, 调整产业结构, 优化产业布局。规划调整的政策内容主要有如下两个方面: 一是在产业结构调整上, 设置产业用地指标控制限, 提高产业用地门槛, 淘汰落后产能; 二是在城市产业布局上, 采取行政规划、提高土地使用成本等措施将工业制造业企业等第二产业迁出城市中心甚至迁出所在城市。在一些经济发达地区, 城市经济发展多元化, 在同一城市边界内出现多个不同类型的工业园区规划, 地方政府还需要在传统制造业产业和新兴产业(典型的如软件行业)工业园区间做出调整。城市产业规划调整内容丰富, 政策措施多元化、复杂化, 更注重实践操作。在此背景下, 注重宏观经济层面的产业规划研究和以地理信息系统等地理规划工具为支撑的微、中观层面的产业规划研究越来越无法体现当前产业规划的特点, 不能很好地服务于城市地方的产业实

收稿日期: 2013-6-18 修回日期: 2014-7-30

基金项目: 国家社科基金重大招标资助项目(12&ZD207); 国家自然科学基金资助项目(71273047); 高等学校博士点基金资助项目(20120092110039); 江苏省高校哲学社会科学研究重大资助项目(2014ZDAXM002)

作者简介: 束慧(1981—)男, 江苏大丰人; 南京邮电大学理学院讲师, 博士研究生; 研究方向: 产业生态, 低碳经济。

践。低碳经济背景下的产业规划研究需要寻求宏观层面与微、中观层面规划理论相结合，需要在地理规划和经济政策间建立联系的桥梁，这对规划模型的结构提出了新的要求。本文的工作主要立足于这一思路。

国外学者 Berliant, Wu, Nelson, Liaila, Cho 以及 Warziniack 先后以城市土地开发为背景，在城市经济学模型框架内建立了一系列的基于环境舒适度的城市土地开发利用模型^[11-17]。该系列模型研究城市公共设施 (local public goods) 开发的策略，模型的主要目的是在满足城市居民的个体效用和开发主体 (主要是政府部门) 的经济利益前提下规划城市公共设施。一方面，城市居民在选择居住地址时，主要以自身经济条件和目标地址的公共设施 (例如学校、公园、娱乐设施等) 为参考属性，公共设施的规划为城市居民带来“环境舒适度” (environmental amenities)，表现为直接作用在城市居民效用函数上的相关属性、参数，从而吸引居民居住，而居民自身经济条件决定了居民决策的预算约束；另一方面，公共设施的规划设置也会挤压开发主体的经济利益，开发主体通过控制公共设施的数量和规模以满足其预算约束。

模型在设计规划时主要采取离散化的空间设置，设 N 个城市居民的选址目的地集合为 $X = \{1, 2, \dots, N\}$ ，每个选址地点规模为长度，总规模以区间 $L = [0, N]$ 表示。在一个给定的选址点，居民的决策目标函数为二阶连续可微函数 $u(z, G)$ ， $(z, G) \in R_+^2$ 。其中， $z_i \in R_+$ 为给定地址 $i \in X$ 处，居民的商品消费需求； $G = G(l, H)$ 为公共设施规划属性对居民决策的影响函数，代表了“环境舒适度”， l 为公共设施的规划数量， $l < N$ ， $H = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_l\}$ 表示公共设施的选址集合， $\eta_j \in L$ 。居民的目标函数为 $\max_{l, H} u(z_i, G(l, H))$ ， $i \in X$ 。

政府部门的决策目标主要由城市公共设施开发的成本和收益决定，其决策依据则是在满足居民个体效用的前提下，通过对公共设施属性 (l, H) 的规划设置，实现土地开发和使用的收益最大化。

Berliant 的研究表明，该模型提供的规划策略非通常意义上的帕里托最优解，而是一种均衡解和最优解的混合 (mix of equilibrium and optimality)：规划双方以满足各自目标为前提，通过对城市公共设施的规划属性的选择得到模型的次优解 (second best optimum)^[11-12]，并以此为依据提供城市公共品的开发策略。Nelson 研究了城市公共品设施规划的外部决策机制^[14]；Liaila 研究了开放城市和封闭城市两种规划条件下的模型均衡解^[15]；Wu 和 Cho 研究了模型中的城市公共设施的不同属性特征对城市规划布局的影响^[13-16]；Warziniack 研究了城市公共设施属性特征外生给定对居民效用和政府部门经济利益的影响^[17]。

由于城市居民定居地点在地理位置上的离散特征，基于环境舒适度的城市土地开发利用模型主要为离散模型，且城市居民主体的属性也是同质的。而在城市产业规划问题中，产业用地往往具有集中性特征，且在考虑低碳经济约束下，企业主体的属性是必须要考虑的重要参数。本文从城市发展低碳经济角度出发，以节约能源、促进低能耗产业发展为低碳经济发展内涵，结合上述学者的资源优化配置模型，建立新的城市产业规划调整决策模型，分析地方政府低碳经济政策引导下的产业集群整体与以实现自身效用最大化的工业

企业个体在城市产业规划调整过程中的协调反应机制，为发展低碳经济背景下的我国城市产业布局、产业结构的调整优化提供量化的决策建议。本文第 1 部分建立理论模型，分析均衡规划条件；第 2 部分针对具体决策变量进行模拟分析；第 3 部分以上海市现行产业规划调整指南为参照，验证模型的适用性，并指出当前我国城市产业规划中存在的一些问题，给出决策建议。

1 模型结构

1.1 城市产业调整规划对企业个体的决策影响

如引言所述，本文模型关注的产业规划调整方式主要有两类：一是对城区企业进行迁移调整，二是对城市原产业园区进行调整。考虑城市地理坐标平面 R^2 ，坐标中心表示原产业区中心点坐标，或者表示城市中心地点坐标 (统称中心坐标)。规划调整目的地坐标 (x, y) ，给定坐标点代表一个地理位置。 $\rho = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$ 表示调整目标规划地点与中心地点间的距离，坐标也可用极坐标 (ρ, θ) 表示，满足 $(x, y) = (\rho \cos \theta, \rho \sin \theta)$ 。城市边界处坐标以 (\bar{x}, \bar{y}) 表示。

对企业而言，其对城市产业规划调整的决策反映了自身的偏好，本文记企业主体的效用函数为 $U_i(\cdot)$ 。在城市产业规划调整过程中，企业的决策主要基于如下几个方面：一是企业自身对资源的需求。这些资源包括自然资源、科技人力资源以及金融资源等，不同地理位置的资源获取方式、成本等不尽相同。二是企业自身生产经营能力。在新的规划调整要求下，企业自身的生产经营规模、特定条件优势决定了其对规划实施的成本承受能力，这其中的主要成本是土地使用成本、迁移成本等。三是企业对政府规划政策的主观反应。新规划方案对企业的影响，除了地理位置的资源、用地成本外，在现实中还有一类重要影响不能忽视，即企业主体对规划方案的主观反应。例如，规划地址与现有企业地址的距离远近会对企业的决策产生重要影响，不同产业布局调整规划政策下，企业对于规划目的地位置，规划区的用地指标等的主观意见和反应不尽相同。

本文将企业资源需求属性分为土地资源 (企业建筑面积 q) 和其他生产经营相关资源 (资源量 g)；企业自身的经营能力一般指企业的经营规模 (年产值 W)；不同选址地点，企业支付的土地使用成本为 $p(x, y)$ (表示坐标地点单位面积工业建筑使用成本，通常由规划容积率和单位土地固定资产投资强度共同决定^[10])。记企业主体对规划政策的主观反应为函数 $a(x, y)$ ，表示不同规划坐标 (x, y) 下，企业对政策的主观感受，将该反应作为企业效用的决策变量。土地使用成本和决策反应函数的形式表明，一旦选址为坐标地点 (x, y) ，则企业必须在土地使用成本和规划调整策略之间权衡。企业的效用函数表示为 $U_i(q, g, a(x, y))$ ，作为工业制造业产业而言，主要指企业的生产函数。企业在自身生产经营能力、对资源的需求下调整自身的决策：

$$p(x, y)q + g + k\rho \leq W \quad (1)$$

其中， k 表示规划调整给企业带来的单位距离迁移成本，不同规模、类型的企业迁移成本不同。

1.2 低碳经济理念下的城市产业调整规划对产业集群整体决策的影响

当地方政府以低碳经济为城市产业规划调整的主要方向时,对产业集群整体而言,不能局限于满足企业个体的需求,而更应该从产业对城市社会整体的效用角度考虑产业效益,具体需要在两方面综合权衡:一方面以经济效益 R_e 为传统目标,包括企业支付的土地使用费用、企业贡献的长远经济收益等。另一方面还要考虑城市产业的生态资源成本 C_r 。低碳经济理念下,产业发展导致的地方社会外部成本也应该纳入其成本体系中,社会外部成本主要包括各类生态资源成本,由企业利用资源的程度、方式与手段等决定,是能否促进低碳经济建设,实现城市经济可持续发展的重要影响因素。因此,设 $U_2(R_e, C_r)$ 表示城市产业效用,是在低碳经济理念引导下的产业集群整体目标收益,满足 $U'_e > 0, U'_c < 0$ 。为研究方便,本文取 $U_2(R_e, C_r)$ 为 R_e 和 C_r 的线性函数。设 s 表示目标地点 (x, y) 的规划开发密度(表示单位面积土地上的工业用建筑面积),则坐标地 (x, y) 单位土地面积上的产业效用为:

$$U_2(R_e, C_r; x, y) = R_e - C_r = p(x, y)s + T \frac{s}{q} - C(s, x, y) \quad (2)$$

其中, T 表示单位企业贡献的经济收益,该值的大小与产业税率和企业规模 W 有关。 $C_r = C(s, x, y)$ 表示规划开发所带来的单位面积上的生态资源成本:一方面,在产业规划调整时,产业集群整体面临一定的短期成本,主要指土地拆迁、转移安置以及园区建设过程的环境评测等成本,本文记此成本为 $r(x, y)$,表示坐标地 (x, y) 的单位面积产业用地开发费用,对产业集群整体而言就是考虑了外部性的开发成本;另一方面是工业企业生产经营所带来的资源消耗成本,本文以产业能耗为这类成本的体现,记为 $f(s)$,表示产业发展所带来的资源消耗成本函数,函数类型不同以及函数参数的大小可以反应产业的资源消耗特征。因此有:

$$C(s, x, y) = r(x, y) + f(s) \quad (3)$$

1.3 城市产业调整规划均衡策略

1.3.1 企业个体目标下的均衡条件

根据企业的目标特点,以 C-D 生产函数为企业的效用函数,则企业的目标规划模型记为:

$$\max_{q, g} U_1(q, g, a(x, y)) = q^\alpha g^\beta a(x, y)^\gamma \quad (4)$$

$$\text{s.t. } p(x, y)q + g + k\rho \leq W$$

拉格朗日函数:

$$L(q, g) = q^\alpha g^\beta a(x, y)^\gamma + \lambda(W - p(x, y)q - g - k\rho) \quad (5)$$

一阶条件:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(q, g)}{\partial q} = \alpha q^{\alpha-1} g^\beta a(x, y)^\gamma - \lambda p(x, y) = 0 \\ \frac{\partial L(q, g)}{\partial g} = \beta q^\alpha g^{\beta-1} a(x, y)^\gamma - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L(q, g)}{\partial \lambda} = W - p(x, y)q - g - k\rho = 0 \end{cases} \quad (6)$$

一阶条件求解后得到:

$$g^*(x, y) = \frac{\beta}{\alpha + \beta} (W - k\rho) \quad (7)$$

$$q^*(x, y) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \frac{1}{p(x, y)} (W - k\rho) \quad (8)$$

$g^*(x, y), q^*(x, y)$ 分别表示企业对其他生产经营资源的需求、企业对工业建筑面积的需求。在开放环境下,单一城市规划的层面上,企业个体的最优决策效用可以视为外部给定的,设此效用值^①为 V ,将 g^*, q^* 的表达式代入 $U_1(q, g, a(x, y))$ 得到:

$$p^*(x, y) = \left(\left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right)^\alpha \Psi (W - k\rho)^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (9)$$

其中 $\Psi = \frac{1}{V} \left(\frac{\beta}{\alpha + \beta} \right)^\beta (W - k\rho)^\beta a(x, y)^\gamma$ 。 $p^*(x, y)$ 表示企业愿意为 (x, y) 坐标处支付的最大土地使用成本,与企业资源需求弹性、自身经营能力以及企业主观政策弹性有关。(9)式代入(8)式有:

$$q^*(x, y) = (\Psi)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (10)$$

1.3.2 低碳经济理念下产业集群整体目标均衡条件

本文记资源消耗成本函数 $f(s) = \omega \left(\frac{s}{q} \right)^\mu$, ω 是能耗值

系数^②, μ 是产业类型属性,表示产业能耗的密度弹性,在不考虑技术等其他因素的影响下,一般地有 $\mu > 1$ 。 $f(s)$ 的设置表明资源消耗成本是由规划开发密度和企业所属产业类型共同决定的。因此,产业集群整体决策目标函数,即坐标地 (x, y) 单位土地面积上的产业效用为:

$$\max_s U_2(R_e, C_r; x, y) = p(x, y)s + T \frac{s}{q} - r(x, y) - \omega \left(\frac{s}{q} \right)^\mu \quad (11)$$

一阶条件:

$$\frac{\partial U_2(R_e, C_r; x, y)}{\partial s} = p(x, y) + \frac{T}{q} - \omega \mu \left(\frac{s}{q} \right)^{\mu-1} = 0 \quad (12)$$

求解得到:

$$s^*(x, y) = \left(\frac{1}{\mu \omega} \right)^{\frac{1}{\mu-1}} \left((p^*(x, y)q^*(x, y) + T) q^*(x, y)^{\mu-2} \right)^{\frac{1}{\mu-1}} \quad (13)$$

$$r^*(x, y) = \left(\frac{1}{\mu \omega} \right)^{\frac{1}{\mu-1}} \left(q^*(x, y) - \frac{1}{\mu} \left(\frac{p^*(x, y)q^*(x, y) + T}{q^*(x, y)} \right)^{\frac{\mu}{\mu-1}} \right) \quad (14)$$

$s^*(x, y)$ 表示产业集群整体目标下的规划开发密度; $r^*(x, y)$ 表示考虑到产业能耗时的单位面积产业用地开发成本控制限,该成本是城市地方为产业规划调整承担的最大土地开发成本,在这个开发成本下,产业集群整体层面的经济收益和生态资源成本是相等的。其中的 $p^*(x, y)$ 、 $q^*(x, y)$ 分别表示产业集群整体目标下对企业支付的土地使用费用

①不同规模、不同能耗特征的企业,其均衡效用值大小不同,但给定企业类型时, V 值是固定的。

②依据《2012中国统计年鉴》^[18]所用指标,本文选取能耗值系数为工业企业万元产值综合能耗(吨标准煤/万元工业产值),通过对应的能源价格,将其转换为能源消耗总量值(万元)/万元工业产值。

的预期、可接受的企业土地需求。

1.3.3 低碳经济理念下的产业调整规划均衡策略

产业调整规划均衡指的是产业调整规划的顺利实施，是规划系统整体的均衡。在低碳经济理念下，产业集群整体规划目标更多地体现了城市社会整体的利益需求，既要有利于经济建设，又要满足发展低碳经济的要求；而企业主体则更多地从自身生产经营角度设定目标，因此，产业规划均衡状态的实现需要在企业个体利益需求与产业集群整体利益目标间平衡：除了双方在各自目标下的最优化决策条件外，还应达到彼此的决策为对方所接收，这需要双方在具体的决策属性上达成一致。具体而言包括如下几条：

(1)在每个坐标地点处，企业土地需求、愿意支付的土地使用费用和产业集群整体目标下，城市可承担的企业土地需求、企业土地支付相等，即：

$$p^*(x, y) = p^{**}(x, y), \quad q^*(x, y) = q^{**}(x, y) \quad (15)$$

将(15)、(9) (10)式代入(14) (13)式，得到均衡时，城市地方为产业规划调整所承担的单位面积产业用地开发成本控制限：

$$\bar{r}^*(x, y) = \left(\frac{1}{\mu\omega}\right)^{\frac{1}{\mu-1}} \left(\Psi^{\frac{1}{\alpha}} - \frac{1}{\mu}\right) \left(\frac{\Phi}{\Psi^{\frac{1}{\alpha}}}\right)^{\frac{\mu}{\mu-1}} \quad (16)$$

均衡开发密度为：

$$\bar{s}^*(x, y) = \left(\frac{1}{\mu\omega}\right)^{\frac{1}{\mu-1}} \left(\Phi\Psi^{\frac{\mu-2}{\alpha}}\right)^{\frac{1}{\mu-1}} \quad (17)$$

其中 $\Phi = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}(W-k\rho)+T$ 。显然，由(16) (17)式可以看出，

维持其他变量不变，当 $\omega \rightarrow 0$ 时， $\bar{s}^*(x, y) \rightarrow +\infty$ ， $\bar{r}^*(x, y) \rightarrow +\infty$ 。表明在不考虑产业的资源消耗时，若没有其他约束条件，产业规划纯粹追求经济利益，产业发展将会趋于无序状态，不利于低碳经济的建设。

(2)产业规划土地的供应主要受到产业用地供应成本的限制。设坐标地 (x, y) 的开发外部成本为 r_{ex} ，该成本值外部决定，其值越大，土地开发条件越严格，一定程度上是城市低碳经济理念的体现。因此，规划可开发的工业用地区域可记为集合 $D(x, y) = \{(x, y) | \bar{r}^*(x, y) > r_{ex}\}$ 。以低碳经济理念下的产业用地供应量为限制，可以得到给定产业类型 μ 的工业企业可容纳量 N_μ^* ：

$$N_\mu^* = \iint_D \frac{s^*(x, y)}{q^*(x, y)} dx dy \approx \sum_{\bar{r}^*(x, y) > r_{ex}} \frac{s^*(x, y)}{q^*(x, y)} \Delta x \Delta y \quad (18)$$

若坐标平面区域为 $\bar{D}(x, y) = \{(x, y) | x \in (\bar{x}_L, \bar{x}_U), y \in (\bar{y}_L, \bar{y}_U)\}$ ，

等步长 h 网格化 $\bar{D}(x, y)$ ，记 $n_x = \frac{\bar{x}_U - \bar{x}_L}{h}$ ， $n_y = \frac{\bar{y}_U - \bar{y}_L}{h}$ ，

$(x_{n_x}, y_{n_y}) = (\bar{x}_U, \bar{y}_U)$ ，则有第 (i, j) 块网格处的坐标 $(x_i, y_j) = (\bar{x}_L + i\bar{h}, \bar{y}_L + j\bar{h})$ ， $i = 1, \dots, n_x$ ， $j = 1, \dots, n_y$ 。

记 S 为城市面积，实际可容纳工业企业量 \bar{N}_μ^* 为：

$$\bar{N}_\mu^* \approx \sum_{\{(x_i, y_j) | \bar{r}^*(x_i, y_j) > r_{ex}\}} \frac{s^*(x_i, y_j)}{q^*(x_i, y_j)} \frac{S}{n_x n_y} \quad (19)$$

其中的 $\frac{S}{n_x n_y}$ 表示坐标比例。

(3)产业规划土地的供应以城市为边界。即在城市边界点坐标 (\bar{x}, \bar{y}) 处满足：

$$\bar{r}^*(\bar{x}, \bar{y}) = r_{ex} \quad (20)$$

2 城市产业规划调整决策分析

2.1 产业特征对产业规划指标的影响

本模型中，产业特征主要包括企业迁移成本、企业规模、企业所属产业能耗特征等方面，本节分析这些特征对产业规划指标的影响。

2.1.1 企业迁移成本对产业规划指标的影响

根据 $p^*(x, y)$ ， $q^*(x, y)$ 的表达式(9) (10)式可知，对任意点 (x, y) ，有：

$$\frac{\partial p^*(x, y)}{\partial k} < 0, \quad \frac{\partial q^*(x, y)}{\partial k} > 0 \quad (21)$$

根据 $\bar{r}^*(x, y)$ 的表达式(16)，将(21)式代入其关于 k 的导函数，有：

$$\frac{\partial \bar{r}^*(x, y)}{\partial k} < 0 \quad (22)$$

式(21)表明，迁移成本越高的企业，其期望的土地使用成本越低，相应的期望面积越高。产业规划调整时，地方政府应对迁移成本过高的企业设置相对宽松的产业用地政策。 $\bar{r}^*(x, y)$ 与企业迁移成本 k 的关系表明，产业用地的开发成本与迁移成本负相关，产业规划调整时要注意统筹安排，在不同成本间平衡。

2.1.2 企业规模对产业规划指标的影响

(1)根据 $p^*(x, y)$ ， $q^*(x, y)$ 的表达式(9) (10)式可知，对任意点 (x, y) ，有：

$$\frac{\partial p^*(x, y)}{\partial W} > 0, \quad \frac{\partial q^*(x, y)}{\partial W} < 0 \quad (23)$$

根据 $\bar{r}^*(x, y)$ 的表达式(16)，将(23)式代入其关于 W 的导函数，有：

$$\frac{\partial \bar{r}^*(x, y)}{\partial W} > 0 \quad (24)$$

式(23)表明，针对大规模企业的容积率、固定资产投资强度控制值设置应更严格，大规模企业更应该注重自身产业用地的集约化程度。 $\bar{r}^*(x, y)$ 与企业规模 W 的关系表明，企业规模越大，产业用地的开发成本控制值越大，实施产业规划调整策略时，面向大型企业的产业规划用地开发成本控制限可以适当放宽。

(2)若企业对产业规划政策反应是同质的，即企业的主体

决策属性函数 $a(x, y) \equiv const$ ，此时有 $\frac{\partial p^*(x, y)}{\partial \rho} = \frac{-k}{q^*} < 0$ ，故：

$$\frac{\partial^2 p^*(x,y)}{\partial \rho \partial W} = \frac{k}{q^* W} \left(\frac{\partial q^* W}{\partial W q^*} - \frac{\partial k W}{\partial W k} \right) \quad (25)$$

$\frac{\partial p^*(x,y)}{\partial \rho}$ 表示企业支付的土地使用费梯度, $\frac{\partial^2 p^*(x,y)}{\partial \rho \partial W}$ 代表企业规模对企业支付的土地使用费梯度的影响。(25)式表明, 当企业规模对需求面积的弹性大于企业规模对迁移成本的弹性时, 规模越大的企业, 其土地使用费梯度越大, 这表明规模越大的企业越趋向于迁移出原中心。

(3)若企业对产业规划政策反应是非同质的, 此时有

$$\frac{\partial p^*(x,y)}{\partial \rho} = \frac{-k}{q^*} + \frac{p^*}{q^*} \frac{\gamma}{\alpha} \frac{\partial a(x,y)}{a(x,y)} \frac{\partial a(x,y)}{\partial \rho}, \text{ 故:}$$

$$\frac{\partial^2 p^*(x,y)}{\partial \rho \partial W} = \frac{k}{q^* W} \left(\frac{\partial q^* W}{\partial W q^*} - \frac{\partial k W}{\partial W k} \right) + \frac{1}{\alpha} \frac{\gamma}{a(x,y)} \frac{\partial a(x,y)}{\partial \rho} \frac{\partial p^*}{\partial W} \quad (26)$$

由(23)式, $\frac{\partial p^*}{\partial W} > 0$, 因此(26)式右边第二项的符号取决于 $\frac{\partial a(x,y)}{\partial \rho}$, 由于规划目的地距离对企业的负面作用,

$\frac{\partial a(x,y)}{\partial \rho} < 0$, 当这种负作用在一定区间内时, 企业对产业

规划政策反应是异质性导致企业规模对企业支付的土地使用费梯度的影响变小。

2.2 产业规划策略的模拟分析

城市产业规划调整政策内容丰富, 不同城市的规划纲要也不尽相同, 主要内容包括如下几个方面: 一是城市工业园区的规划选址。规划中的园区地点的选择对企业的决策、工业用地的土地开发、使用成本甚至城市产业布局的分布都有重大影响。二是城市工业园区的规划密度。在实际操作时, 这两个目标是通过相关的控制指标实现的, 比如容积率、单位土地固定资产投资强度、土地产出率以及土地税收产出率^①四个指标对工业用地加以控制。控制指标的大小反应了政府的生态、资源以及经济等成本的约束, 同时也影响到企业的决策选择。三是城市规划中的产业类型。上海市产业用地指南针对不同的产业类型, 设置了不同水平的控制指标值, 以此来达到调整规划产业类型的目的。本文运用所建立的城市产业调整规划模型对规划政策进行仿真模拟分析, 决策模拟中的一些参数涵义见表1。

具体模拟时, 所有弹性指数都设置为中性值 0.5; 根据当前我国工业制造业企业的普遍税率水平, 将产业税率设置成 20%; 依据年鉴分类标准, 大型、中等、小规模企业年产值 W 设置为 10 亿、4 亿、1 千万元; 若每吨煤价为 m 元, 则工业企业万元产值综合能耗值 $\omega = W \times m \times$ 工业企业万元产值能耗; 企业能耗类型根据《2012 中国统计年鉴》^[18]统计数据, 采用 2011 年分行业能源消费总量与行业总产值之比, 参照

比值结果, 将工业行业分成了三组, 高能耗组为《2012 年国民经济和社会发展统计报告》所列的六大行业, 万元工业产值能耗均值为 0.6 吨, 中等能耗组为 0.09~0.5 吨, 均值为 0.2 吨, 低能耗组为 0.02~0.08 吨, 均值为 0.05 吨; 坐标区域 $\{(x,y) | -2 \leq x \leq 3.5, -1 \leq y \leq 1\}$ 。

表 1 模型参数涵义及数值要求

参数符号	具体涵义
α	企业土地产出弹性, $0 < \alpha < 1$
β	企业非土地资源的产出弹性, $0 < \beta < 1$
γ	企业对规划政策的弹性, $0 < \gamma < 1$
W	企业的生产经营能力, 以年产值表示
μ	产业能耗的密度弹性, $\mu > 1$
r_{ex}	单位面积产业用地开发外部成本
ω	工业企业万元产值综合能耗值
T	单位企业贡献的经济收益 (税率 \times 企业年产值)

2.2.1 产业规划选址对产业布局的影响

设新规划园区的中心坐标为 (x_0, y_0) , 当该中心坐标变动时, 企业对调整规划政策的反应主要依据规划地与城市中心或者规划地与其现在所处的园区之间的距离 d , 距离越远, 在迁移成本作用下, 对企业的负面作用越大。因此, 设:

$$a(x,y) = 1 + a_d e^{-\eta d} \quad (27)$$

其中 $a_d > 0, 1 > \eta > 0$ 是函数参数, $d = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ 。将(27)式代入(16)式, 运用 Mathematica 8.0 得到了规划均衡状态下, 城市可承担的产业规划调整最大开发成本的等值线图, 如图 1 所示。

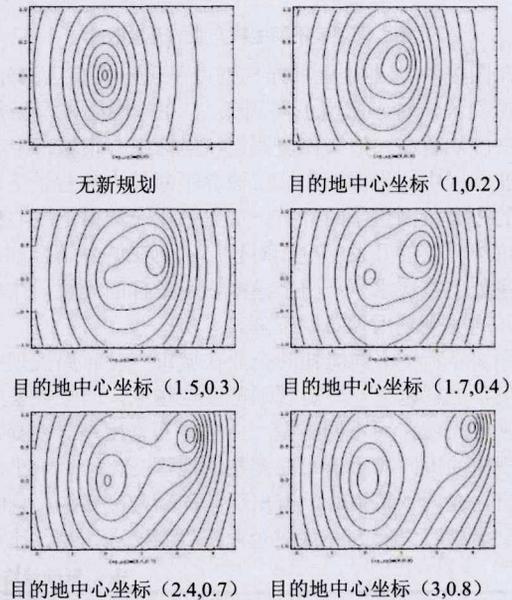


图 1 考虑资源消耗的产业用地开发成本控制线

图 1 表明, 随着规划的目的地中心坐标的调整, 城市产业规划布局发生了变化。总体上, 城市产业规划开发成本呈现阶梯形状; 在规划目的地中心坐标从 $(0,0)$ 到 $(3,0.8)$ 的过程中, 以开发成本显示的城市产业园区边界发生了“隔离”, 由原先的一个中心演变成两个, 当新规划中心越接近城市边界的时候, 这种新中心的界限越明显, 形成城市产业园区的突破式发展。这种现象和很多城市的产业园区布局特点相吻合: 产业园区围绕在城市中心周围, 大部分坐落于城市的边界处。事实上, 这种分离是有条件的, 即方程

$$\bar{r}^*(x,y) = r_{ex} \quad (28)$$

①土地产出率: 项目用地范围内单位土地面积上的主营业务收入; 土地税收产出率: 项目用地范围内单位土地面积上上缴税金数量^[10]。

在坐标面有四个解；存在一点 (x^*, y^*) ，使得 $\bar{r}^*(x^*, y^*) = \min \bar{r}^*(x, y)$ 。

2.2.2 产业特征对产业规划指标的模拟分析

本文针对产业特征对产业规划指标的影响进行模拟分析。将 (27) 式代入 (17)，得到均衡条件下的规划密度公式，以此为基础模拟不同规模、不同能耗企业类型下的城市产业用地规划密度如图 2-图 4 所示。图 2 所示为中等规模、低能耗企业，图 3 所示为中等规模企业。为方便用曲线表示，图 2、3、4 新规划中心坐标均为 (3,0)。

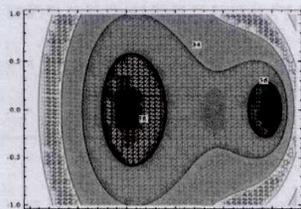


图 2 同规模、同能耗产业布局规划密度

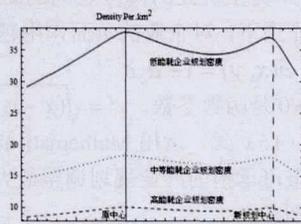


图 3 同规模不同能耗产业的开发密度

在图 2 中，工业企业的布局密度呈现阶梯起伏状分布(颜色由深到浅，对应密度由高到低)。在原中心以及新规划中心处密度均较高，根据模型假设，坐标中心指城市中心或者原工业园区中心坐标；在城市边界不断扩大的背景下，城市中心的边界范围也不断外扩，工业企业在城市泛中心处和接近城市边界处的开发密度相对较高；而在城乡结合部，产业用地量处于谷底水平；由于模型均衡条件的设置，在城市边界处，产业规划用地急剧下降。

图 3 显示了不同能耗的企业在城市产业布局规划中的分布密度，能耗越大，均衡规划密度也越低，同一类型产业的布局密度平缓，而不同类型产业的分布密度差异明显。图 4 中，规模的不同显示出布局调整的地缘变化：对于小规模企业而言，在规划新中心没有出现新的高密度布局，意味着产业规划调整时没有为小规模企业提供新产业用地，比如上海

市的规划指南明确要求，年产值 2000 万元以内的企业原则上不再批准工业用地^[10]；大规模企业则倾向于迁出城市中心范围，但仍在本城市地域内；而中等规模的企业，原中心范围内的密度要高于新规划中心的密度，在城市产业布局调整中，中等规模企业的迁移调整相对于小规模企业的布局调整力度要小。

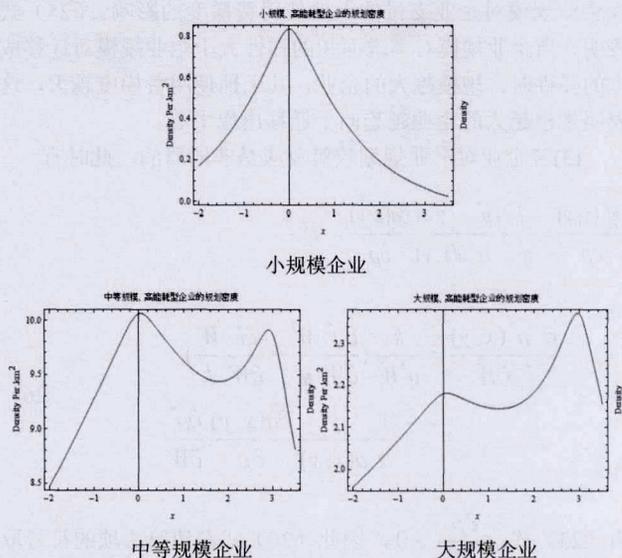


图 4 高低能耗、不同规模型企业随坐标 x 变化的布局密度比较

3 实例分析

本文将《上海产业用地指南 (2012 版)》^[10]中的指标数值和本模型计算出的指标数值进行对比。比较平均开发密度时，将其中的企业规模统一为本文的规模设置；现有企业数量比例中数据来源于《2012 上海统计年鉴》^[19]；企业类型以《国民经济行业分类》(GB/T 4754--2011)的行业代码区分。在计算模型结果时，模拟上海市的规划，对应城市规模为 1100 km²，坐标区间为 $\{(x,y) | -2 \leq x \leq 3.5, -1 \leq y \leq 1\}$ ，步长为 0.1 (等步长对应实际距离 1km)，计算各个网格点上的产业规划理论特征量。模拟时，参照上海统计年鉴企业数量数据，设置了大、中规模企业数量比例 1:5 的前提，计算容纳不同能耗企业数量比例时的 r_{ex} 设置为所有网格点上的均值，所得结果汇总于表 2，表 3。

表 2 中可以看出，城市产业用地开发成本控制与产业

表 2 低碳经济理念下的城市产业规划调整特征量

能耗类型与企业规模		产业用地平均开发成本控制值 (亿元/平方公里)		平均开发密度 (家/平方公里)		规划企业数量比例 (每千家工业制造企业)	
		无新规划	有新规划	无新规划	有新规划	无新规划	有新规划
高能耗	小	0.0020	0.0018	0.35	0.32	6	5
	中	21.51	20.96	9.54	9.27	120	124
	大	13.73	13.39	2.17	2.12	26	28
		合计				152	157
中等 能耗	小	0.0042	0.0036	0.71	0.62	13	11
	中	44.00	42.33	17.14	16.50	220	223
	大	23.49	22.72	3.52	3.41	43	45
		合计				276	279
低能耗	小	0.0085	0.0071	1.41	1.19	26	21
	中	94.35	89.68	35.15	33.48	460	455
	大	47.37	45.41	6.94	6.66	85	88
		合计				571	564

能耗大小成反比。总体上,能耗越大的产业在规划开发时更应该限制开发成本;城市产业用地开发成本控制也受企业规模、结构的影响,上海市中等规模企业数量较多,对应的控制值也越大。新规划提供了更多的产业用地,从而降低了平均开发密度。每千家企业数量比例栏显示,企业数量与产业能耗间成反比,能耗越高,对应的企业数量越少;当城市有新的产业用地开发规划时,在企业所属产业能耗特征上,低能耗企业数量比例减少了,而中高能耗企业的有一定增加,这是由于模型中的迁移成本对低能耗产业的副作用,表明对低能耗产业不宜进行大范围的迁移。城市新规划的产业用地处于城市边界,主要迁移对象应为中高能耗的企业;在企业规模特征上,小规模企业数量减少,而中大型企业数量

在增加,这表明了城市在发展低碳经济,推进节能减排目标时,应该引导和促进各型企业的整合,鼓励企业做大规模,设定集约化的低碳经济发展思路。

表3中数据表明,上海市的规划产业密度中,中等规模、中低能耗产业类型的密度和模型的理论结果匹配度高于其他类型企业;企业数量比例栏,上海市的产业结构中高中低能耗企业比例为每千家企业 152: 313: 539,和模型理论结果的每千家企业 152:276:571 基本一致,表明上海市政府对高能耗企业的控制上比较严格,在低能耗企业的发展上仍有改进空间。事实上,上海市也是我国最早实施产业结构调整、产业迁移的地区之一,模型结果有效检验了上海市产业结构调整规划实施的效力。

表3 上海市产业规划相关控制特征值

能耗类型与行业代码	土地产出率指标均值 (亿元/平方公里)	开发密度均值(家/平方公里)		企业数量比例 (每千家工业企业)
		以中等规模企业计	以大型企业计	
高能耗(30、31、26、25、44、32)	98	24.5	9.8	152
中等能耗(46、20、22、17、33、23、28、27、29、15、14、41、45)	69	17.13	6.85	313
低能耗(42、38、13、39、21、19、35、34、37、18、24、40、36、16)	139	34.73	13.89	539

资料来源:《上海产业用地指南(2012版)》^[10],《2012上海统计年鉴》^[19]。

4 研究结论

本文以满足自身需求为主要目标的企业和以社会整体利益为目标的产业集群整体为规划参与双方,以城市经济学中的公共品开发模型为框架,建立了城市产业规划调整决策模型。该模型从地理规划角度出发,以发展低碳经济为主要理念,引入产业用地的相关控制指标,详细分析了城市产业结构调整和产业布局优化的决策机理,研究结果揭示了城市产业规划政策对产业结构和产业布局的具体影响方式,为相关机构提供了量化的决策参考意见。

产业规划中的新产业园区选址策略可以导致产业用地开发成本的差异化,这种差异化与具体的企业规模、产业能耗特征紧密相关,新规划中心坐标越接近城市边界,这种差异化越明显,越易促进产业园区的突破式发展。企业规模、能耗特征以及企业迁移成本对产业规划控制指标的影响各异,地方政府在调整产业时,可以依据这些产业特征,确定相关产业用地控制指标大小,规划产业布局密度,引导产业集群整体朝向低碳节能方向发展,加快城市地方的经济发展方式的转变进程。在调整城市产业规划时,要加速淘汰或迁移各类小型企业,保持中等规模、低能耗企业的原址建设,调整大型、中高能耗企业在城市范围内的布局。以上海市为标准,当前我国城市的产业结构还有进一步优化的空间,城市低能耗产业的发展潜力巨大。

模型也存在不足之处。一是模型研究的产业集群整体目标是在单一产业类型的前提下设定的,然后再分类型求解,而探讨多产业类型集群整体的优化目标是非常有意义的工作;二是在具体建模时没有考虑到技术因素对低碳经济的影响,而在实际中,技术因素对低碳经济的发展作用巨大;三是在单一的城市层面考虑产业规划均衡的条件,而在实际产业规划中,区域间的资源,典型的如劳动力资源的流动和配置都会影响到城市产业规划均衡的实现。以上都是本模型可

以改进和提高的地方。

参考文献

- [1] 陈诗一.中国各地区低碳经济转型进程评估[J].经济研究, 2012(8): 32-44.
- [2] 陈诗一.能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J].经济研究, 2009(4):41-55.
- [3] 徐承红.低碳经济与中国经济发展之路[J].管理世界, 2010(7): 171-172.
- [4] 周海燕,吴宏,陈福中.异质性能源消耗与区域经济增长的实证研究[J].管理世界, 2011(10):174-175.
- [5] Zhao N, Liu Y, Chen JN. Regional industrial production's spatial distribution and water pollution control: A plant level aggregation method for the case of a small region in China[J]. Science of the Total Environment, 2009(407):4946-4953.
- [6] 王维,江源,张林波等.基于生态承载力的成都产业空间布局研究[J].环境科学研究, 2010,23(3): 333-339.
- [7] 黄丽华,王亚男,韩笑.黄河中上游能源化工区重点产业发展战略土地资源承载力评价[J].环境科学研究, 2011, 24(2): 243-250.
- [8] 孙伟,陈雯,陈诚.水环境协同约束分区与产业布局引导研究——以江苏省为例[J].地理学报, 2010,65(7): 819-827.
- [9] 陈诚,陈雯,赵海霞.江苏沿江地区生态保护与产业分布空间匹配格局分析[J].地理研究,2011,30(2): 269-277.
- [10] 上海市经济和信息化委员会.上海产业用地指南(2012版)[EB/OL]. <http://www.sheitc.gov.cn/cy/fz/658410.htm>,2012.
- [11] Berliant M, Dunz K. A foundation of location theory: existence of equilibrium, the welfare theorems, and core[J].Journal of Mathematical Economics, 2004(40): 593-618.
- [12] Berliant M, Peng SK, Wang P. Welfare analysis of the number and locations of local public facilities[J]. Regional Science and Urban Economics, 2006(36):207-226.
- [13] Wu J. Environmental amenities, urban sprawl, and community characteristics[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2006(52): 527-547.
- [14] Nelson E, Uwasu M, Polasky S. Voting on open space: What explains

- the appearance and support of municipal level open space conservation referenda in the United States? [J]. *Ecological Economics*, 2007(62): 580-593.
- [15] Liaila T, Robert GH, Stephen P. A discrete-space urban model with environmental amenities[J]. *Resource and Energy Economics*, 2008(30): 170-196.
- [16] Cho SH, Poudyal NC, Roberts RK. Spatial analysis of the amenity value of green open space[J]. *Ecological Economics*, 2008(66): 403-416.
- [17] Warziniack T. Efficiency of public goods provision in space[J]. *Ecological Economics*, 2010(69):1723-1730.
- [18] 中华人民共和国国家统计局. 2012中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [19] 上海市统计局. 2012上海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.

Research on the adjustment of city industrial planning in a low carbon economy

SHU Hui^{1,2}, WANG Wen-ping¹

(1. School of Economics & Management, Southeast University, Nanjing 211189, China;

2. College of Science, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: Taking low carbon economy as the basic concept of industrial development, local governments in China have been facing two industrial planning problems: adjustment of city industrial layout and optimization of industrial structure. An increasing number of scholars begin to study different types of industrial planning policies used to promote the coordination among industrial structure, industrial layout and the low carbon economy development. There are two general approaches: one approach is to study industrial planning policy research from macroeconomic perspective, and another approach is to study industrial layout planning from microeconomic perspective based on geographic information system. However, previous studies have not achieved convergence between industrial planning policies and geographical space layout. The purpose of this paper is to establish the city industrial layout planning model that implements the interface, and provide quantitative decision-making advice for the adjustment and optimization of industrial layout under the background of low carbon economy development.

The low carbon economy strategy emphasizes on energy conservation and low energy consumption industry development. City industrial planning involves taking individual enterprises and industrial cluster under the guidance of local government. This paper proposes a new industrial planning model from the perspective of geographical planning and discusses the equilibrium conditions and the city industrial planning adjustment strategy based on the optimal resource allocation model of city public goods. On the basis of theoretical analysis, this paper simulates the impact of planning strategy variables on industrial layout and structure and conducts a comparative analysis of industry planning policy of Shanghai. The first part of this paper establishes a theoretical model and analyzes equilibrium planning conditions. The second part conducts a simulation analysis according to specific decision variables. Taking the current industrial planning adjustment policy of Shanghai city as a reference, the third part verifies the applicability of the model, points out some problems existing in current Chinese city industrial planning, and gives some policy recommendations.

The results show that the closer to the city boundary of new industrial district centers the more easily a leapfrog development of city industrial zone can be promoted to reflect industrial land development cost. Lower enterprise migration cost and enterprise energy consumption will increase the threshold of industrial land development cost. However, the relationship between enterprise size and the threshold value is on the contrary. Enterprise size and enterprise energy consumption together determine the density of industrial layout. If the size of enterprise has larger elasticity on area demand than on marginal migration cost, large enterprises will have high bid price gradient, and the heterogeneity of policy reaction of enterprises will decrease the gradient. The empirical analysis indicates that industrial layout adjustment of low energy consumption enterprises in new industrial planning should not be excessive against the current industrial structure of Shanghai. The current industrial structure of Shanghai needs to further promote low energy consumption industry.

In summary, the formulation of different industrial land development policies can effectively promote the development of low carbon economy based on enterprise size, energy consumption and enterprise migration cost characteristics.

Keywords: Industrial layout adjustment; Industrial structure optimization; Industrial planning policy; Low carbon economy

中文编辑：杜 健；英文编辑：Charlie C. Chen