

在土地资源和环境承载力约束下的城市工业发展

莫虹频, 温宗国, 陈吉宁

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 在土地资源和环境承载力的约束条件下, 分析了当今中国城市工业发展的适宜规模。以工业结构演化理论和概率论为基础进行定量分析, 集成了情景分析、Monte Carlo 模拟与HSY 算法。以用地资源为约束条件, 设定了3种情景的大连市2010年和2020年工业结构。计算结果表明: 大连市11个行业中, 电力行业对土地占有量的影响最明显; 2010年适宜规模为87~123亿元。超越该上限, 将导致较大的突破土地资源承载力风险。

关键词: 城市工业发展; 资源承载力; 情景分析; HSY 算法; 大连

中图分类号: X 820.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0054(2008)12-2088-05

Urban industrial development of in view of the constraints of environmental and land resources capacity

MO Hongpin, WEN Zongguo, CHEN Jining

(Department of Environmental Science and Engineering,
Beijing 100084, China)

Abstract: A quantitative analysis framework was developed to analyze China's current and future urban industrial development. The analysis used Monte Carlo simulation, HSY (Hombberger, Spear and Young) algorithm based on industrial structural evolution rules and probability theory. Three scenarios were selected for Dalian industries in 2010 and 2020 in view of the constraints of environmental and land resources capacity. The results show that out of the 11 analyzed industries, the power industry has the most significant impact on land use with the proper scale in 2010 between 8.7 - 12.3 billion Yuan (RMB). Exceeding the upper limit would risk overloading the land resources capacity.

Key words: urban industry development; resource capacity; scenario analysis; HSY (Hombberger, Spear and Young) algorithm; Dalian city

污染物排放总量减少10%。这为中国的区域工业发展设定了资源环境约束。然而, 当前中国城市工业发展中片面追求规模, 缺乏资源环境承载力约束的问题十分突出^[1]。在中国当前发展阶段下, 区域工业结构在长时间尺度下快速演进, 开发适应这一特点的系统方法学和基于资源环境约束的定量化分析手段是当前亟需解决的问题。

本文专门研究城市层面的工业发展适宜规模的分析方法, 建立了基于工业结构演化和概率论的定量分析方法, 对一定时期内工业发展带来的资源消耗和环境污染压力的变化情景和风险进行评估, 并以大连市作为案例进行应用研究。

1 工业适宜规模分析的问题

工业适宜规模分析的主要内容是在资源环境等约束因子下, 分析设定一定时期内区域工业发展的速度与规模, 实现目标年区域经济与资源、环境的协调增长。目前, 在中国的工业发展中, 城市总体规划中的工业部分承担了这一任务, 其主要内容是对城市主导工业发展的速度、规模、空间布局、支撑手段等的设计, 然而这些设计往往忽视了工业发展带来的资源环境压力。

资源环境约束条件下的工业适宜规模分析通常有2大问题: 1) 目标年工业发展情景不明确: 以自主性企业为主体的城市工业发展具有不确定性, 导致目标年工业发展的规模和结构也具有不确定性; 2) 目标年工业的环境影响属性不明确: 资源消耗强度、污染物排放强度等环境影响属性, 与行业技术水平、设备更新、管理水平、环境政策等多个因素相关, 而这些因素在预测期内有极大的不确定性。

中国正处于工业化中期阶段^[1], 城市产业结构

“中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要”提出的约束性指标要求: “十一五”期间单位国内生产总值能耗降低20%左右, 主要

收稿日期: 2007-10-06

作者简介: 莫虹频(1983—), 男(汉), 江苏, 博士研究生。

通讯联系人: 温宗国, 讲师, E-mail: wenzg@tsinghua.edu.cn

转型快速, 资源利用效率和污染物排放特征变化明显。传统规划中采用的趋势外推方法适用于结构相对稳定的预测, 在中国工业结构调整显著的条件下则存在很大局限性。

从资源环境角度审视经济和工业发展的思想, 在战略环境影响评价中已经得到了体现^[2-3], 有研究者采用基于资源承载能力的多方案选优方法来选择城市发展的合理模式^[4-5], 但是目前国外战略环评方法的重点是通过公众参与使得所有利益相关者参与决策的制定^[6-7], 其分析手段多为定性评价和方案优选, 结果主观性较强。清华大学研究人员^[8]曾建立基于HSY (Homberger, Spear and Young) 算法的空间采样方法, 分析城市总体发展环境影响的空间分布, 但总体而言, 针对区域工业发展资源环境压力的定量分析工具仍然十分缺乏。

2 工业适宜规模分析方法学

工业是城市经济中物质流动转化规模最大的行业, 环境影响非常突出。针对工业发展的特征, 本文采用工业发展阶段理论代替传统的线性外推方法, 构建目标年工业发展情景, 预测目标年资源利用效率、污染物排放等工业环境属性。在此基础上, 以城市的资源环境承载力为约束, 采用Monte Carlo 方法评价工业发展的适宜规模。整体技术路线如图1所示。

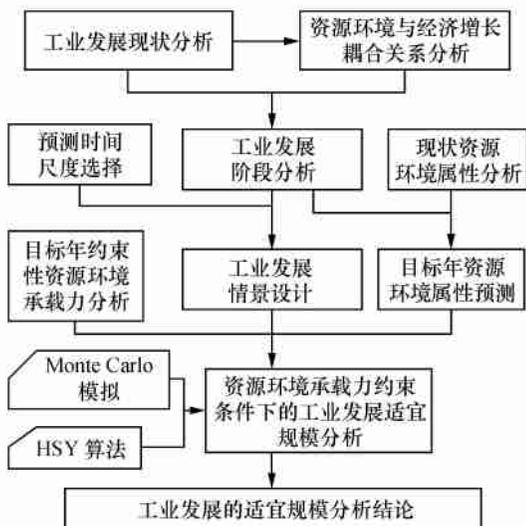


图1 城市工业发展适宜规模分析技术路线

2.1 基于工业发展阶段理论的情景分析

根据工业发展阶段理论, 工业发展通常先后经历轻工业、重化工业、重加工业、信息工业几个阶段, 而每一阶段的产业结构、资源消耗和环境污染特征明显不同。工业发展阶段与人均GDP、三次产业结

构、城市化率等一系列外部指标具有显著的相关性, 可以通过上述外部指标综合判断某地区的工业发展阶段, 进而对目标年的工业发展情景和资源环境属性特征进行预测。

1) 行业划分

工业统计数据都是基于国标分类(GB/T 4754-2002), 与决策过程中主导行业的划分通常相差较远。另一方面, 由于数据稀缺, 过细分类会使预测的不确定性加大, 反而降低结果的可信度, 因此需要对行业进行聚类。聚类遵循以下原则: 1) 决策过程中关心的重点行业、主导行业单列为一类; 2) 污染物排放强度、资源能源消耗强度、生态敏感性等环境特征相近的行业聚为一类。根据以上原则, 将大连市的工业划分为11个行业。

2) 工业化发展阶段评价

工业化阶段演替是影响目标年工业发展情景的重要因素, 与决策者意愿、工业规模惯性扩张等因素共同决定城市工业未来的发展趋势。通常选用人均GDP、三次产业结构、三次产业就业人口分布、居民消费结构和城市化率等外部指标的时间序列数据进行分析, 作为判断城市工业化发展阶段的标准^[9-10]。以大连为例, 大连人均GDP近年来持续增长, 2004年已达到4260美元(折合1980年美元为1858美元); 三次产业构成为8·50·42; 第二产业比重最大且出现加速转化特征(见图2); 2003年三产劳动力比例为59·11·30(见图3); 食品支出在居民消费中的比例不断下降, 已低于40%(见图4); 城市化率达到53%, 且城市化进程不断加快(见图5)。以上指标均与工业化中级阶段的特征相符(见表1)。

表1 人均GDP与经济发展阶段之间的关系

时期	人均GDP 1980年美元	经济发展阶段	
1	300~ 600	初级产品生产阶段	
2	600~ 1200	初级阶段	
3	1200~ 2400	中级阶段	工业化阶段
4	2400~ 4500	高级阶段	
5	4500~ 7200	初级阶段	发达经济阶段
6	7200~ 10800	高级阶段	

3) 工业发展情景设置

按照大连工业处于中期初级阶段的判断, 以及决策者意愿和工业化发展的经济规律, 以各行业增加值现状和工业规划值为基准, 参考决策者目标设定和近年来各行业发展速度及趋势, 设定若干情景:
a) 基准情景: 工业规模、结构与决策者所设定的目

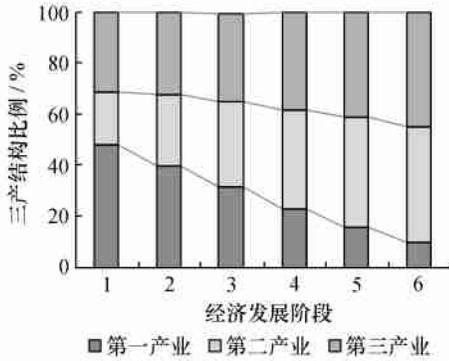


图2 不同工业化阶段的三次产业结构比例

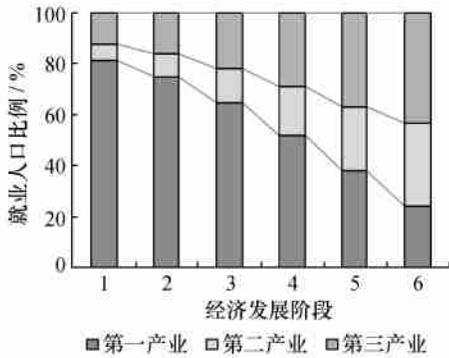


图3 不同工业化阶段的三次产业就业人口比例

标一致; b) 转型加速情景: 重点行业实现跨越式发展, 产业结构转型加速; c) 线性增长情景: 各行业维持线性增长, 产业结构与现状类似(表2)。

表2 大连11个行业3种发展情景下增加值预测

产业名称	亿元					
	a) 基准情景		b) 转型加速情景		c) 线性增长情景	
	2010年	2020年	2010年	2020年	2010年	2020年
石化	269	557	282	575	238	493
电子	236	510	250	535	160	384
机械	358	743	377	771	313	649
交通设备	107	223	114	228	97	196
精细化工	45	111	35	119	62	107
精细钢材	18	31	11	19	38	69
纺织服装	25	42	17	27	52	107
食品	42	71	30	43	90	173
建材	20	35	11	21	42	79
轻工业	30	52	19	31	62	126
电力、燃气及自来水	49	102	54	109	46	94

2.2 资源环境强度因子预测

不同工业结构造成的区域总体资源环境压力也有所区别。在决策过程中, 往往只规划主导行业和总体工业增加值, 缺乏对相关资源消耗和环境污染的预测, 存在经济增长过快突破区域资源环境承载力的风险。为了规避该类风险, 本文应用情景分析和

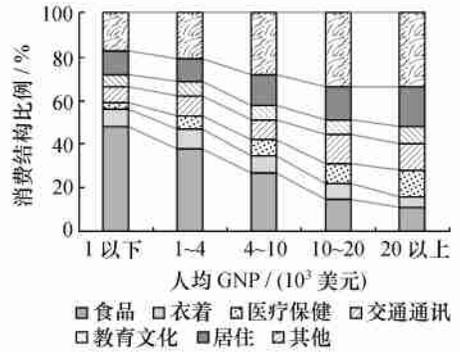


图4 不同收入水平下的消费结构比例

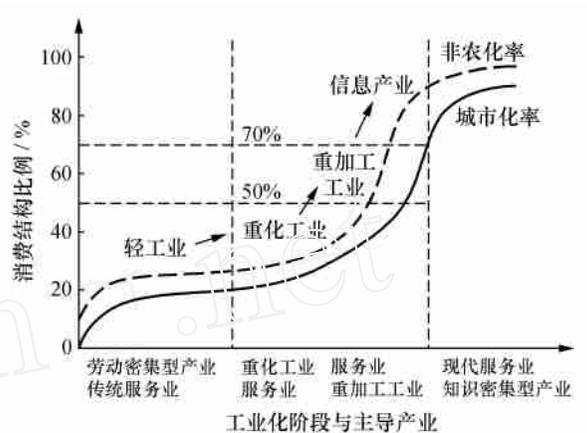


图5 工业化阶段与城市化率的关系

Monte Carlo 模拟, 分析资源环境约束条件下工业发展的适宜规模。

评价工业发展的资源环境风险, 须以目标年单位工业增加值的资源消耗量和环境污染强度等因子为基础。本文通过统计数据处理获得现状参数, 再根据工业化发展阶段的演变特征做出预测。

a) 统计数据直接计算。中国环境统计体系以企

业为单位, 分类统计单个企业的产值、增加值、多种资源消耗量和污染物排放量。虽然单个企业的统计中存在误差, 但将大量同一类型的企业数据进行合并后, 可求得较为可信的行业单位增加值的资源消耗和环境影响属性。

b) 分区二次优化解析方法。部分资源环境因子, 如土地资源, 在目前统计体系中并不按照单个企业进行统计, 不能直接计算。但是, 区域工业资源 i 消耗总量 RC_k 、 j 行业单位增加值资源 i 消耗强度 CF_{ij} 和 j 行业工业增加值 PV_j 之间存在如下关系:

$$RC_i = PV_j \times CF_{ij} \quad (1)$$

如果能获取城市多个行政区域分行业数据, 包括 k 区域 j 工业增加值 PV_{kj} 和 k 区域资源消耗总量 RC_k , 则可以式(1)为约束条件, 通过二次优化的方法反算 j 资源消耗强度 CF_j :

$$\begin{cases} \min Z = (RC_k - PV_{kj} \times CF_j)^2, \\ CF_j > 0 \end{cases} \quad (2)$$

然而, 当某些行业工业增加值比重较小, 或可获得的行业种类齐全的区域数量过少时, 式(2)计算得到的结果会存在较大误差。针对这些问题, 可建立参考本地区或其他地区同类行业已知资源环境因子 CF_{j0} 赋予初值, 再以式(1)开展二次优化方法求解:

$$\begin{cases} \min Z = (CF_j - CF_{j0})^2, \\ s.t. \quad RC_k - PV_{kj} \times CF_j = 0, \\ CF_j > 0 \end{cases} \quad (3)$$

以工业土地利用强度为例, 本文可获取大连市7区4县的工业土地利用总量以及各区分行业的工业增加值数据。以《工业项目建设用地控制指标》中大连地区的土地利用强度控制指标为参考值, 进行优化运算得到土地因子的最终解析解(表3)。

表3 2003年大连市分行业土地利用强度

km ² /亿元			
行业类别	土地利用强度	行业类别	土地利用强度
建材	0.346	机械	0.173
纺织服装	0.278	精细钢材	0.173
食品	0.278	精细化工	0.166
轻工业	0.274	交通设备	0.139
石化	0.208	电子	0.122
电力、燃气及自来水	0.173		

2.3 基于Monte Carlo 算法的资源环境压力评价

传统的情景分析方法只能对几种特定发展情景下的资源环境压力进行分析, 不能解决未来工业发

展不确定性较强的现实问题。为此, 本文采用Monte Carlo 模拟方法, 以工业发展基准情景为参照, 设定各行业目标年增加值的波动范围, 进行随机采样, 并利用公式(1)对每一随机样本的环境资源影响予以评价。采用HSY 算法, 以目标年城市资源环境承载力为约束, 将随机样本分为“符合”环境资源承载力要求和“不符合”要求的两个样本群。通过分析这两个样本群的统计特征, 识别影响工业发展规模的关键因素和决定性行业, 从而提出工业发展的适宜规模。步骤如图6所示。

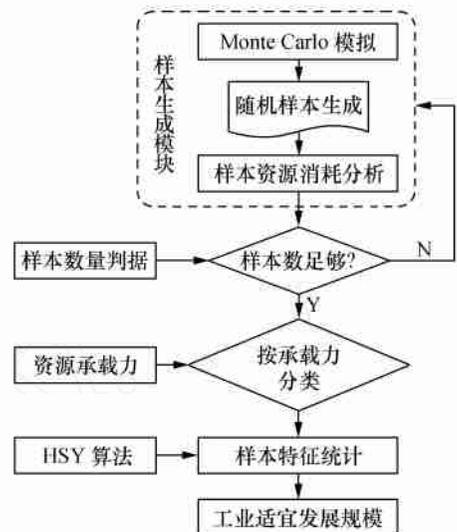


图6 基于Monte Carlo 算法的工业适宜规模分析

2.4 工业发展的适宜规模分析

对HSY 算法产生的“符合”环境资源承载力的样本群和“不符合”的样本群进行统计分析: 以某一行业的工业增加值为横坐标, 将以上两组样本进行频数分析; 如果两组样本在统计学意义上的差异显著, 则该行业对于整体工业发展的资源环境压力影响显著。

对资源环境影响较为显著的行业, 可通过对不符合资源环境承载力的样本群的统计特征分析, 得出其适宜规模。以该行业目标年工业增加值为横坐标, 对样本群分布进行频数分析。通过统计分析可得: 该行业以97.5% 概率符合资源环境承载力要求的规模阈值 P_1 ; 以97.5% 概率不符合资源环境承载力要求的规模阈值 P_2 。由此, 以满足资源环境承载力约束为标准, 将某行业的发展规模划分为可行域、临界域和不可行域3个范围(图7):

- 1) 当该行业目标值 $P < P_1$, 则超越承载力的概率很小, 该行业规模仍可适度增加;
- 2) 当该行业目标值 $P > P_2$, 则超越承载力的概

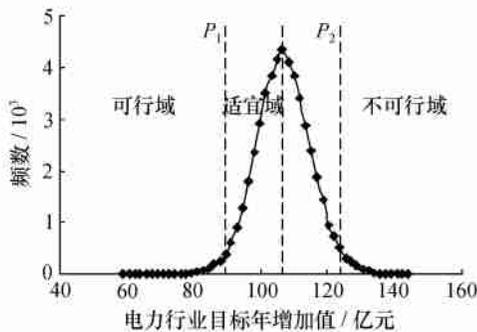


图7 行业发展规模的适宜度分析

率很大, 该行业设定的规模过高, 将影响城市工业系统的稳定发展;

3) 当该行业目标值 $P_1 < P < P_2$, 则该行业的资源环境消耗处于与资源环境承载力相适应, 发展规模比较适宜, 可以维持可持续发展。

以大连为例, 未来5年土地资源将对大连的工业发展构成约束; 电力行业对大连工业土地使用量影响最为明显; 电力行业受限于土地资源承载力的2个临界点分别为87亿元和123亿元, 其工业增加值处于这个范围内比较合适(图7)。同样应用以上方法, 对其他资源环境承载力约束进行分析, 结果显示: 未来工业突破能源承载能力的可能性较小; 水资源承载力在枯水年最不利条件下有可能被突破。因此, 提高土地集约化利用程度; 严格控制耗水型行业发展规模, 加大节水力度, 开发非常规水资源, 应该成为大连工业发展的首要环境控制策略。

3 讨论

在未来的研究中, 尚有一些问题需要进一步讨论和研究。如实际工业发展规模可能超前或落后于决策者所设定的目标值, 目前基于目标值的评价方法不能有效避免产业发展超过目标值所带来的环境风险, 或低于目标值所导致的环境风险高估。另外, 在工业结构的情景分析中, 缺乏定量手段表征受同种资源约束的工业行业间互相的制约关系, 以及同一产业链条上的上下游工业的带动作用, 这需要进一步综合集成经济学分析工具。

4 结论

由于中国正处于工业化转型时期, 产业结构演化加速。针对这一特殊性, 本文以基于工业化发展阶段理论的分析方法, 替代传统工业规划领域使用的线性外推方法, 试图更为准确地揭示未来目标年城市工业发展的情景。在此基础上, 应用资源环境承载力理论, 采用多种数学分析方法, 为规避工业发展突

破区域资源环境承载力的风险提供了一个评价手段。数据来源均来自城市经济、环境统计体系, 但在实际中应设计开发一些数学工具解析工业环境资源强度属性。上述一整套技术路线已经在国家环保总局的规划环境影响评价试点项目中得到了实际应用。

致谢 感谢大连市政府、环保局, 以及大连市城市发展规划环评项目组清华课题组提供的数据支持。

参考文献 (References)

- [1] 温宗国. 资本扩展方法在可持续发展决策中的模拟研究 [D]. 北京: 清华大学, 2004
WEN Zongguo. Capital Extension Methodology: the Simulation Study into Policy Alternatives towards Sustainable Development [D]. Beijing: Tsinghua University, 2004 (in Chinese)
- [2] United Nations Economic Commission for Europe and Regional Environmental Center for Central & Eastern Europe Resource Manual to Support Application of the UNECE Protocol on SEA [M]. http://www.unece.org/env/eia/sea_manual/welcome.html, 2006
- [3] Chaker A, El-Fadl K, Chamas L, et al A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries [J]. *Environ Impact Assessment Review*, 2006, 26(1): 15-56
- [4] Kyushik O, Yeunwoo J, Dongkun L, et al Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 73(1): 1-15
- [5] Khanna P, Ram B, Suju P, et al Carrying-capacity as a basis for sustainable development: A case study of National Capital Region in India [J]. *Progress in Planning*, 1999, 52(2): 101-163
- [6] William S, Suzan D, Jeremy R, et al SEA and Integration of the Environment into Strategic Decision-Making Final Report to the European Commission [R]. European Commission Contract No. B4-3040/99/136634/MAR/B4 Europe: European Commission, 2001
- [7] Nathalie R, Michel C, Philippe V, et al Implementing the European SEA Directive: The Member States' margin of discretion [J]. *Environ Impact Assessment Review*, 2003, 23(4): 453-470
- [8] 刘毅, 陈吉宁, 何炜琪, 等. 基于不确定性分析的规划环境影响评价方法学研究 [J]. *中国环境科学*, 2007, 27(4): 566-571.
LU Yi, CHEN Jining, HE Weiqi, et al Integrating uncertainty analysis into strategic environmental assessment of urban master plan: a methodology and case study [J]. *China Environ Sci*, 2007, 27(4): 566-571. (in Chinese)
- [9] Chenery H, Robinson S, Syrquin M. Industrialization and Growth: A Comparative Study [M]. Oxford: Oxford University Press, 1986
- [10] 姜爱林. 城镇化、工业化与信息化协调发展研究 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2004
JIANG Ailin. Research on the Coordinated Development of Urbanization Industrialization and Information [M]. Beijing: China Land Press, 2004 (in Chinese)