

基于土地利用变化的城市规划环境影响评价

周吉全, 何炜琪, 刘毅, 陈吉宁

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 城市规划的环境影响具有显著的不确定性, 难以定量评价。该文将社会经济活动落实到空间网格上, 以土地利用变化表征城市规划的实施, 集成情景分析和Monte Carlo技术来模拟土地利用变化, 并结合不确定性分析技术构建了城市规划环境影响的定量评价方法。对大连市发展规划的地表水环境影响评价进行了方法应用, 识别了规划年主要河流的环境风险、环境压力、极端环境影响、关键污染物和关键污染源。该方法可以系统识别城市规划环境影响的不确定性并定量评价其影响, 为科学规划提供决策支持。

关键词: 环境影响评价; 城市规划; 土地利用变化; 不确定性分析

中图分类号: X 822

文献标识码: A

文章编号: 1000-0054(2009)03-0382-05

Environmental impact assessment of land use changes for urban development planning

ZHOU Jiquan, HE Weiqi, LU Yi, CHEN Jining

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

Abstract: The environmental impacts of urban plans are difficult to assess quantitatively because of the significant uncertainties. This paper divides the social economic activities into spatial grids, with land use changes then used to represent implementation of the urban development plan. Scenario analyses and the Monte Carlo are integrated to simulate the effects of the land use changes. An uncertainty analysis is then used to quantitatively assess the environmental impacts of the urban development plan. The methodology is illustrated by a case study of the surface water environmental impact assessment for the Dalian urban development plan. The study identifies the environmental risk to the main river, the environmental pressure, the extreme environmental impact, the critical pollutants, and the critical sources during the planning year. The methodology systematically identifies environmental impact uncertainties in urban development plans and quantitatively assesses the environmental impacts to give decision support for scientific planning.

Key words: environmental impact assessment; urban plan; land use change; uncertainty analysis

城市规划环境影响评价(以下简称规划环评)是对城市规划实施后产生的环境影响进行预测和评估, 用以识别潜在的环境风险并提出解决方案。它是将环境因素系统纳入宏观决策, 协调经济发展与环境保护的重要途径和制度保障, 也是我国现阶段依法推进战略环评的主要形式^[1]。

由于规划文本不可能对城市未来发展过程中涉及的污染源种类、规模、分布都给出明确详细的规定, 而规划实施过程中还将伴随着显著的不确定性, 从而导致规划环境影响的复杂性和不确定性。这些因素制约着规划环评工作的开展^[2-3]。因此, 需要将不确定性分析纳入到规划环评当中, 全面考虑规划中规模、结构和布局的不确定性, 以保证环评的科学性^[4-5]。

规划实施过程涉及各种人类活动, 包括大量的工程项目, 均会引起相应的土地利用变化, 并产生环境影响。因此可通过土地利用变化来表征城市规划的实施, 并作为判断其环境影响的基础^[6]。这与土地利用规划环评有一定相似性, 这方面已有不少研究^[4,7-9], 但城市规划比土地利用规划有更多更详细的相关信息, 其环评可以进行得更加细致深入, 而不仅局限于讨论和研究一般性原则、框架和指标体系。

本文从土地利用变化的角度, 建立城市规划环评的方法学。

1 研究方法

1.1 土地利用变化不确定性模拟

城市规划确定了城市未来的发展方向和方式, 决定了其资源消耗和污染排放的基本特征, 从环评角度, 其相关信息可以归结为以下3类。

收稿日期: 2008-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(4070157)

作者简介: 周吉全(1969—), 男(汉), 吉林, 博士研究生。

通讯联系人: 刘毅, 讲师, E-mail: yi liu@tsinghua.edu.cn

1) 城市规模

包括人口、GDP、建设用地面积, 这部分信息在规划文本中相对清晰和明确。

2) 经济结构

包括三产比重和工业行业结构。不同产业、行业的资源消耗、污染物类型和排放强度均不相同。但规划文本一般只给出三产和主导行业的发展目标, 具体经济结构无法确定, 作为环评输入, 信息不充分。

3) 空间布局

包括各种污染源和污染受体的空间布局, 这直接决定了污染物的空间分布和环境影响。在城市规划中, 最主要的空间布局不确定性来自于工业污染源, 虽然规划中会明确主要的工业园区和工业用地布局, 但各工业行业选址仍然存在很大不确定性。

针对以上3部分信息及其不确定性, 本文从土地利用变化的角度, 建立了城市规划环境影响评价的方法学, 技术路线如图1所示。

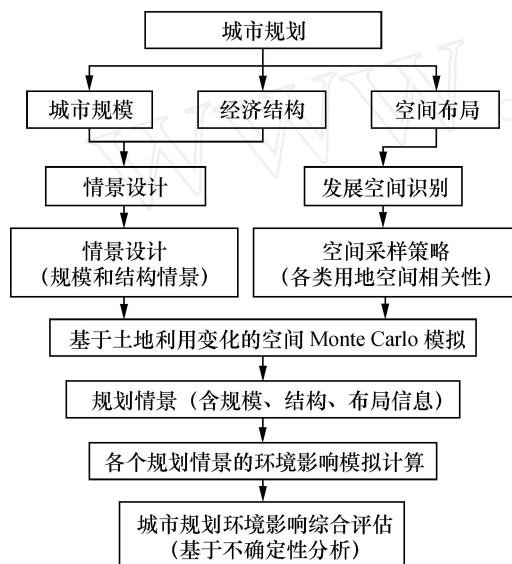


图1 基于土地利用变化的城市规划环境影响评价技术路线

1) 规模、结构的情景分析与设计。

为了解决城市规划中规模和结构的不确定性, 通过情景分析, 设计不同的情景来模拟不同的规模和结构。情景分析与设计需要依据产业规划发展指导思想, 参照国民经济发展战略, 遵循产业经济增长一般性原理。一般除了基准情景, 还会设计高端情景和低端情景, 情景个数可根据实际需要来设置。所有情景均使用土地利用来表达。

2) 城市发展空间识别与空间采样策略。

为了模拟土地利用空间布局, 首先要识别城市发展空间, 即各类土地利用可能分布的空间范围。这

需要综合考虑生态保护原则和土地开发适宜度, 运用生态功能区划方法和土地建设适宜性分析技术进行确定^[10]。城市发展过程中土地利用空间布局的变化并非纯粹的随机过程, 各类土地利用之间具有空间相关性, 为了保证空间模拟的合法性和合理性, 需要定义相应的空间采样策略来反映这些内在关系^[2]。为了便于计算机模拟运算, 一般是将城市发展空间剖分为等大小的正方形网格作为基本的模拟单元。

3) 基于土地利用变化的空间Monte Carlo 的模拟。

根据规模、结构情景的定义, 空间Monte Carlo 模拟将会依据给定的空间采样策略, 在城市发展空间内随机产生各种可能的土地利用变化。每一种土地利用空间布局方案对应了一定规模、结构情景设计下的一种具体的规划情景。所有规划情景从整体上表征了城市规划在规模、结构和布局上的可能的实施结果, 也就是其内在的不确定性。

4) 规划情景环境影响模拟。

每一个规划情景可以用一个具体的土地利用布局方案来表征, 而不同的土地利用类型对应着相应的人类活动及其资源消耗、污染物排放等特征, 因此可以使用土地利用的环境模型对每一个规划情景的环境影响进行模拟计算。

5) 城市规划环境影响综合评估。

由于城市规划内在的不确定性, 其环境影响要通过所有规划情景的环境影响的总体来表征, 因此需要对所有规划情景的环境影响进行统计分析, 具体方法在下一节中介绍。

1.2 城市规划环境影响分析与评价

设城市规划所涉及区域剖分为 M 个网格, 并将规划相关的人类活动概化为 K 种土地利用类型, 那么每一个规划情景都可以用一个 $M \times K$ 的矩阵 X 表示:

$$X = (x_{ij})_{M \times K} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1K} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MK} \end{bmatrix}$$

其中, x_{ij} 表示第 i 个网格中第 j 种土地利用类型的面积。

假设在环评中, 需要考察 C 种污染物, 各种土地利用类型的单位面积排污负荷强度可以构成转移矩阵 H :

$$H = (h_{ij})_{K \times C} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1C} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{K1} & h_{K2} & \dots & h_{KC} \end{bmatrix}.$$

其中 h_{ij} 表示第 i 种土地利用类型排放第 j 种污染物的单位面积排污负荷强度。

那么,可以得到此规划情景的排污负荷 E :

$$E = XH = (e_{ij})_{M \times C} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1C} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2C} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{M1} & e_{M2} & \dots & e_{MC} \end{bmatrix}.$$

也就是可以得到每个网格 i 每种污染物 j 的排放量 e_{ij} , 从而可以模拟计算此规划情景的环境影响 EP :

$$EP = f_{\text{sim}}(E).$$

其中 f_{sim} 是所选择的环境模型。城市规划的环境影响是多方面的, 包括水环境、大气环境和生态环境等。根据研究需要可以选择不同的环境模型 f_{sim} , 当然模型的输入 E 也会不同。

设 Monte Carlo 模拟产生了 N 个规划情景:

$$X_1, X_2, \dots, X_N,$$

其相应的环境影响为 $EP_1, EP_2, \dots, EP_N$ 。

设环评采用的环境标准(环境约束)为 S , 则可以对 N 个规划情景进行统计分析。首先将 N 个规划情景按照是否满足环境标准划分为达标样本集 A 和超标样本集 $\bar{A}$ 两类:

$$A = \{X_i | EP_i \leq S; i = 1, 2, \dots, N\},$$

$$\bar{A} = \{X_i | EP_i > S; i = 1, 2, \dots, N\},$$

这两个集合的情景个数分别记为 N_A 和 $N_{\bar{A}}$ 。

以上划分是针对整个规划区域进行的, 即只有整个区域全部网格达标才认为该情景达标。在规划环评中, 有时需要着眼于某个局部区域, 如某流域、某行政区等, 如果把该局部区域定义为网格子集 Ω , 则类似的划分可以定义为:

$$A^\Omega = \{X_i | EP_i \leq S; i \in \Omega\},$$

$$\bar{A}^\Omega = \{X_i | EP_i > S; i \in \Omega\}.$$

在此基础上, 可以计算城市规划的环境风险、环境压力和污染源解析, 并识别关键污染物和关键污染源。以下计算均以整个规划区域为研究区域, 但所有计算都可以很容易地推广到任意一个局部区域。

1.2.1 城市规划的环境风险

城市规划的环境风险指规划实施后, 导致环境

质量超标(即超过给定环境标准)的概率, 可以定义为规划的超标概率 R_p , 即其所有可能的规划情景中不能满足给定环境标准(环境约束)的概率:

$$R_p = N_{\bar{A}}/N.$$

若环境风险较低, 例如小于 20%, 意味着实施过程中, 大于 80% 的概率可以满足环境质量要求, 表明规划实施过程中风险较小。反之, 环境风险越高, 意味着在其实施过程中, 越有可能超出环境标准的要求; 因此, 需要进一步分析规划的环境压力的大小并识别风险来源, 以便提出相应对策。在实际应用中, 需要根据管理目标和实际情况确定环境风险阈值。

1.2.2 城市规划的环境压力

超标概率只表示规划实施导致的环境质量超标的可能性, 从环境管理的角度, 还需要知道规划实施会产生多大的环境压力和极端环境影响。因此需要进一步做定量分析, 为制定相应对策提供支持。

一个规划情景 X_i 的环境压力可以用其污染负荷比 PL_i 来表示, 即其污染负荷与所给定环境标准(环境约束)的比值:

$$PL_i = EP_i/S.$$

规划的环境压力可以由所有可能的规划情景的环境压力的均值来表示:

$$PL_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PL_i.$$

总体平均的环境压力等于 100% 时, 表示刚好达到所给定的环境标准的要求, 超出 100% 越多则表示环境压力越大。规划产生的极端环境影响, 可以用环境压力的最大值表示:

$$PL_{\text{max}} = \max\{PL_i; i = 1, 2, \dots, N\}.$$

1.2.3 城市规划的污染源解析

当环境压力显著时, 需要进行污染源解析, 确定关键污染源以便有针对性地进行防范和控制。由于污染负荷由各类土地利用叠加, 第 a 种土地利用类型对于第 b 种污染物的贡献率 Con_{ab} 可以由下面公式计算:

$$Con_{ab} = h_{ab} \sum_{i=1}^N X_{ia} / \sum_{i=1}^N e_{ib}$$

2 案例研究

以大连城市发展规划(2003—2020)(以下简称发展规划)为案例, 研究其对主要河流的环境影响。

2.1 土地利用变化不确定性模拟

发展规划对大连市城市规模和经济结构有比较

明确的规定, 不确定性较小。在空间布局方面, 对农业、交通、居住和商业用地布局也有明确规定, 不确定性主要来自于工业用地。本研究根据大连市11种主要工业行业类型, 将工业用地细分为相应的11类进行土地利用变化模拟。将发展规划中城市规模和经济结构的规定表征为土地利用, 如表1所示。

表1 大连市2020年工业用地规模与结构情景设计		
工业行业	GDP 亿元	土地利用面积/km ²
石油化工	3 114 7	174 42
电子信息	2 119 0	97 47
机械制造	2 696 1	132 11
交通设备	866 9	22 54
精细化工	403 4	18 15
精细钢材	119 7	5 87
纺织服装	156 2	7 50
食品加工	267 9	19 56
建材	99 8	3 89
轻工业	182 4	10 58
电力	193 3	13 34

兼顾计算效率和统计有效性, 将大连市剖分为6 135个空间网格, 网格边长为1.5km。经过城市发展空间识别, 有1 095个网格适宜作为工业用地。根据空间采样策略, 通过空间Monte Carlo模拟, 共产生5万个有效的样本, 用以表征5万种可能的规划情景。

2.2 规划的环境风险分析

以复州河为例, 其COD和NH₃-N污染负荷比的概率分布如图2所示。图中横坐标表示污染负荷比, 纵坐标表示其概率。横坐标上以100%为界,

左侧部分为达标样本的分布概率, 右侧部分为超标样本的分布概率(即超标概率)。右侧部分面积越大, 表示环境风险就越大。其他河流的概率分布图略。

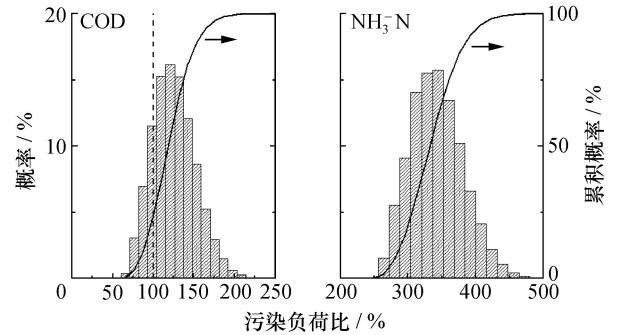


图2 复州河COD和NH₃-N污染负荷比概率分布

本研究中定义超标概率大于20%时为高风险环境风险。将各河流流域作为局部区域, 分别计算其在所有规划情景中的超标概率, 从而得到各河流在规划实施条件下的环境风险, 如表2所示。

结果显示, 6条河流都有可能超标。从COD来看, 复州河的超标概率最高(90%), 庄河和大沙河的超标概率也较高(分别为40%和42%), 而其他3条河流的超标概率相对较低。对于NH₃-N, 除了英那河和登沙河的超标概率分别为55%和41%外, 其他河流的超标概率均达到100%。在环境管理中, 一项指标超标即表示河流的环境质量超标, 因此在综合考虑COD和NH₃-N两项指标时, 6条河流的环境风险都很高, 均需要采取相应措施。

2.3 规划的关键污染因子识别

规划的关键污染因子就是在规划实施过程中应该首要控制的关键污染物, 可以通过各项污染物指标的环境压力进行分析识别, 如表2所示。

表2 大连2020年主要河流的超标概率、环境风险、污染负荷比和平均污染源贡献率													
河流	超标概率/%		环境 风险	COD 污染 负荷比/%		NH ₃ —N 污 染 负荷比/%		COD 贡献率/%			NH ₃ —N 贡献率/%		
	COD	NH ₃ —N											
				平均值	最大值	平均值	最大值	生活	农业	工业	生活	农业	工业
碧流河	14	100	高	58	166	171	310	32	14	54	19	61	20
复州河	90	100	高	125	271	289	464	43	5	52	40	30	30
英那河	3	55	高	49	199	109	268	37	7	56	30	42	28
庄河	40	100	高	85	189	180	274	57	5	38	51	23	26
大沙河	42	100	高	94	272	277	484	42	13	46	25	56	19
登沙河	14	41	高	52	324	109	442	36	6	59	30	32	38

从COD的分析结果来看, 除了复州河, 其他河流的平均污染负荷比均小于100%, 但其中庄河和大沙河的平均污染负荷比已接近100%, 即平均污

染负荷已接近环境容量, 其环境压力不容忽视。另外, 虽然复州河以外的其他河流的平均污染负荷都在环境容量之内, 但它们的极端环境影响都比较显

著,最大污染负荷比高达166%至324%,存在潜在的风险。

$\text{NH}_3\text{—N}$ 的分析结果表明,规划实施的环境压力非常大,所有河流的平均污染负荷比都大于100%,只有英那河和登沙河刚刚超过环境容量(均为109%),其他河流都远远超过环境容量(171%~289%)。各河流的最大污染负荷比更是高达268%至484%。

综合分析环境风险和环境压力,可以看出 $\text{NH}_3\text{—N}$ 应该作为首要控制的污染物。

2 4 规划的关键污染源识别

本研究主要考虑了生活污水、农业面源和工业污染。对于不同的规划情景,污染源的贡献率是不确定的,可以通过总体平均的污染源贡献率来识别关键污染源,如表2所示。

对于大多数河流,工业对COD的贡献率较大,而生活和农业对 $\text{NH}_3\text{—N}$ 的贡献率较大。COD的分析结果表明,除了庄河的关键污染源是生活污水外,其他河流的关键污染源都是工业。从 $\text{NH}_3\text{—N}$ 的分析结果来看,碧流河、英那河和大沙河的关键污染源是农业,复州河和庄河的关键污染源是生活污水,而登沙河的关键污染源是工业。根据污染源解析可以分别制定各流域污染源控制对策。

3 结 论

本文构建了基于土地利用变化的城市规划环境影响评价方法,解决了规划环评中城市规划内在的不确定性问题,能够系统分析和评价城市规划的环境风险、环境压力和极端情况下的环境影响,识别关键污染物和关键污染源,为制定预防或减轻不良环境影响的对策和措施提供支持。

参考文献 (References)

- [1] 周生贤 严格执行环评制度 全力推进历史性转变——在全国环境影响评价管理工作会议上的讲话[J]. 环境保护, 2006, 6A(11): 4-8

- ZHOU Shengxian Speech in national conference on environmental impact assessment and management [J]. *Environmental Protection*, 2006, 6A(11): 4-8 (in Chinese)
- [2] 刘毅, 陈吉宁, 何炜琪, 等 基于不确定性分析的城市总体规划环评方法与案例研究[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 566-571
- LIU 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 Environmental Science*, 2007, 27(4): 566-571 (in Chinese)
- [3] Hilden M, Valve H, Jonsdottir S, et al EIA and Its Application for Policies, Plans and Programmes in Sweden, Finland, Iceland and Norway [M]. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 1998
- [4] 刘晓丽 土地利用规划环境影响评价中不确定性分析[J]. 山东国土资源, 2007, 23(9): 28-30
- LIU Xiaoli Analysis under uncertainty in environmental evaluation in land utilization plan [J]. *Land and Resources in Shandong Province*, 2007, 23(9): 28-30 (in Chinese)
- [5] Prato T. Evaluating land use plans under uncertainty [J]. *Land Use Policy*, 2007, 24(1): 165-174
- [6] Willis M R, Keller A A. A framework for assessing the impact of land use policy on community exposure to air toxics [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 83(2): 213-227.
- [7] 冯春涛 构建土地利用规划环境影响评价的指标体系[J]. 资源开发与市场, 2004, 20(6): 416-420
- FENG Chuntao. Study on developing index system of environmental impact assessment in land use planning [J]. *Resource Development & Market*, 2004, 20(6): 416-420 (in Chinese)
- [8] Menoni S, Pergalani F. An attempt to link risk assessment with land use planning: A recent experience in Italy [J]. *Disaster Prevention and Management*, 1996, 5(1): 6-21.
- [9] 杜晓艳, 陈龙乾, 李相兰 浅析土地利用总体规划中的环境影响评价[J]. 国土资源导刊, 2007, 4(2): 29-31
- DU Xiaoyan, CHEN Longqian, LI Xianglan. Environmental impact assessment on land use master plan [J]. *Land & Resources Herald*, 2007, 4(2): 29-31 (in Chinese)
- [10] 刘毅, 李天威, 陈吉宁, 等 生态适宜的城市发展空间分析方法与案例研究[J]. 中国环境科学, 2007, 27(1): 34-38
- LIU Yi, LI Tianwei, CHEN Jining, et al Ecologically feasible space for urban development: A methodology and case study on Dalian Municipality, Northeastern China [J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(1): 34-38 (in Chinese)