

大连城市发展规划对近岸海域环境影响评价的不确定性分析

吴洪斌, 曾思育, 陈吉宁, 刘毅

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 通过对城市规划本质的分析, 识别其产生不确定性的原因体现在社会经济发展规模、结构、空间布局的不确定性。基于此建立不确定性分析方法, 用情景分析给出未来规模、结构几种最具代表性的发展态势、处理规模和结构的不确定性; 用空间大样本随机采样模拟未来空间布局的所有可能性, 处理布局的不确定性; 预测每个样本的环境影响, 然后通过统计分析的方法对所有样本的预测结果进行超标概率分析、超标原因分析, 得到相应规划评价结论。该方法应用于大连城市发展规划近岸海域环境影响评价, 得出超标海域具体分布及超标程度、主要污染源、敏感行业、敏感原因等信息, 为形成最终的环境影响评价结论提供重要依据。

关键词: 城市发展规划; 环境影响评价; 不确定性分析; 环境敏感行业

中图分类号: X82 文献标识码: A 文章编号: 1005-8206(2008)01-0023-05

Uncertainty Analysis on Dalian Urban Development Plan to Offshore Areas Environmental Impact Assessment

Wu Hongbin, Zeng Siyu, Chen Jining, Liu Yi

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

Abstract: Uncertain impacts on urban environment due to the uncertainties in scale, structure and spatial arrangement of socio-economical development were identified by planning essence analysis. Then uncertainty analysis methods were founded. The scenario analysis method was selected to manage uncertainty from development scale and structure, with the different scenarios standing for different development possibilities. The random sampling method was used to produce all kinds of spatial arrangement in the potential urban development space. Based on simulation of environmental impact of each sample, statistic analysis methods were applied to integrate the simulation results. The method was utilized to evaluate the impacts of Dalian City's Urban Development Plan on offshore areas environment. The spatial arrangement of sea areas whose pollution loads exceeded the load discharge permission and extent of the overloading, main pollutant sources, the sensitive industries and the reason why some industries become sensitive were gained. It provided important basis for forming final results of environmental impact assessment.

Key words: urban development plan; environmental impact assessment; uncertainty analysis; environmental sensitive industry

城市规划环境影响评价(以下简称城市规划环评)对规划实施后产生的环境影响进行预测和评估,是协调经济发展与环境保护的重要途径。由于城市规划是对一定时期内城市性质、发展目标、发展规模、土地利用、空间布局以及各项建设的综合部署和实施措施^[1],因此规划文本不可能对未来发展过程中的污染源种类、规模和分布给出明确详细的描述。这意味着环评对象的细部内涵不清晰,需要根据城市规划方案做出合理假设和判断,以此作为环评工作的输入。在这一过程中包含着诸多不确定性,必须采用一定的方法进行量化分析处理。

当前,不确定性分析的方法和工具已被广泛地应用于地表水质模拟^[2-3]、地下水文模拟^[4]、大

气环境模拟^[5]、模型参数优化与识别^[6-9]、生态风险评价^[10]、区域环境风险评估^[11]、环境政策分析^[12]等领域。但是,针对城市规划及其环境影响的不确定性,目前仍缺乏实用的研究工具,亟待建立一套完整的技术方法体系,以便能够有效辨识、科学预测和系统评价规划产生的环境影响的结构特征和空间分布规律。为此,我们以城市规划环境影响的不确定性为研究对象,建立基于社会经济发展结构情景分析和社会经济发展空间布局分析的环境影响不确定性量化方法,并以大连城市发展规划对近岸海域的环境影响评价为例,应用以上方法获得环评结论。

1 大连城市发展规划对近岸海域环境影响的不确定性

《大连城市发展规划(2003—2020)》通过制定人口和各产业增加值的总量及年均涨幅等发展

预期目标来确定社会经济发展规模，如规划到 2020 年全市人口达到 800 万人，城市化水平达到 85%，GDP 达到 8 880 亿元，第三产业比例达到 65%；通过规划产业发展方向和主导行业等，同时配合相关政策约束产业结构的发展趋势，如确定石油化工、电子信息、机械制造和交通设备为 4 个主导行业；通过投资建设重点项目，如工业园区等方式来引导产业空间布局。

从上面的描述可以看出，在城市发展的规模、结构和布局 3 个层面上，仅利用规划文本很难直接确定大连市发展过程中可能产生的污染源类型、污染物排放强度和空间分布，因此存在环境影 响的不确定性。大连市未来 20 a 社会经济发展规模、结构和布局的不确定性最终将导致近岸海域环境质量在空间分布和好坏程度上的不确定性。或者反过来看，大连市海域水环境质量是否达标取决于陆源污染负荷是否超过海域环境容量；陆源污染负荷和分布取决于工业污染、农业污染及居民生活污染在汇流区内的类型、强度和分布情况；工业、农业污染则取决于产业发展规模、产业结构及其空间分布，居民生活污染取决于人口规模、城市化率以及居民区分布。所有这些决定性因素存在或多或少的不确定性，如何处理这些不确定因素成为大连城市发展规划环评的关键环节。

2 城市规划环评中不确定性分析的步骤和方法

根据前面的分析，城市规划环境影响不确定性分析处理方法应该以城市社会经济发展的规模、结构和布局的不确定性为处理对象。为此，可以运用情景分析法处理发展规模和结构的不确定性，用空间随机模拟采样的方法处理发展空间布局的不确定性。在此基础上，对每一个可能的社会经济发展情景样本产生的排海污染物总量进行预测，然后对样本进行统计分析，根据海域环境容量或者污染物排放总量控制目标的大小，量化城市规划对海域环境的影响，得出最终的环评结论。图 1 列出了分析过程的关键步骤及其相互关系。

2.1 城市发展规划与结构的情景设计

情景分析是预测未来一段时间内可能呈现的态势，并比较分析可能产生影响的整个过程^[3]。为了解决发展规模和结构的不确定性，需要设计不同的情景模拟不同的规模和结构。以城市的工业发展为例，可根据规划提出的工业总产值目标和主导行业清单给出基准情景，对主导行业的发展做出进一步优化的产业结构可以设计为高端情景，

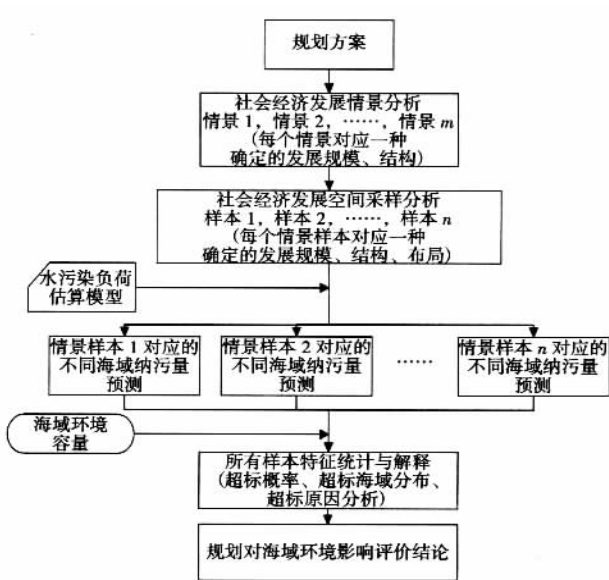


图 1 基于不确定性分析的城市规划环评方法流程

相反地制订低端情景。可根据需要设置情景的个数。

2.2 基于土地利用方式的城市发展布局空间采样

首先需要综合考虑土地利用现状和土地利用规划方案，并结合土地的生态适宜性分区结果确定城市未来可能适宜建设的发展空间。而空间采样则是在城市未来可能的发展空间内，以蒙特卡罗方法为核心，对建设用地空间布局的所有可能性进行随机采样。在此基础上，利用各种限制规则确认随机样本的合理性，如在饮用水源地保护区范围内不允许新建企业。这样，不同情景下所抽取的每个样本就代表了大连市社会经济发展规模、结构和布局的一种可能。接下来，每个样本中土地利用的具体方式，可以转化为各种具体的社会经济活动的类型、强度和空间分布，进而可以转化成相应的污染源类型、污染物排放强度和空间分布。

2.3 单个样本对海域环境影响的模拟预测

针对每个样本，都可以根据其代表的污染源情况模拟预测其环境影响。如对近岸海域的环境影响可以通过判断各海域对应的陆域污染物排放总量是否超过其环境容量的方式考察。首先根据每个样本所对应的污染源类型、强度和分布，计算出每个样本中各种水污染物的产生量和空间分布，然后根据规划中的各类水环境基础设施建设情况，预测进入大连市不同海域的水污染物总量。结合各海域的环境容量，可以判断单个样本的排

污总量是否超标, 以明确其环境影响。

2. 4 所有样本计算结果的统计和解释

采用统计分析的方法, 将所有单个样本的环境影响集成整个规划方案的环境影响。统计结果包括: 确定不同海域不同污染物总量超标的概率; 针对超标概率大的海域, 分析其超标原因, 确定主要的污染源类型和分布。在此基础上就可得出以下环评结论: 城市规划方案实施后, 列出容易出现环境质量不达标的近岸海域, 以及引起这些超标现象的社会经济活动类型, 进而提出城市发展规划方案的改进建议。

3 《大连城市发展规划》的实施对近岸海域环境的影响

3. 1 评价污染源与评价指标

在本案例中, 将农业面源污染、城镇和农村居民生活污水以及工业废水排放作为陆域污染源。选择 COD_{Cr}、TN 和 TP 作为主要污染物总量控制指标。根据初步分析, 在该案例中, 规模、结构和布局的不确定性主要来自大连市的工业发展, 因此情景分析和空间分析主要针对工业行业结构和工业空间布局。

3. 2 情景设计结果

根据《大连城市发展规划 (2003—2020) 》提出的工业发展规模总目标、主导行业信息及预期销售收入等相关指标, 设计工业发展基准情景。在工业发展总规模不变的前提下, 设计高端情景和低端情景。前者假设石油化工、电子信息、机械制造和交通设备 4 个规划主导产业的增长比基准情景更快; 后者假设规划发展的 4 个主导行业虽然有所增长, 但与产业结构现状相比变化不明显。具体设计结果见表 1。

3. 3 空间采样计算结果

在本案例中, 通过空间采样的方式生成了 5 万个规划情景样本。针对每个样本, 通过水污染负荷模型计算出各种污染物排海总量, 并与环境容量作比较, 可确定该样本是否属于海域纳污总量超标样本。图 2 是根据确定的采样空间 (即大连市可以用来建设发展的总空间) 生成随机样本的空间示意。表 2 显示的是某单个样本对应的不同海域纳污量及超标情况。

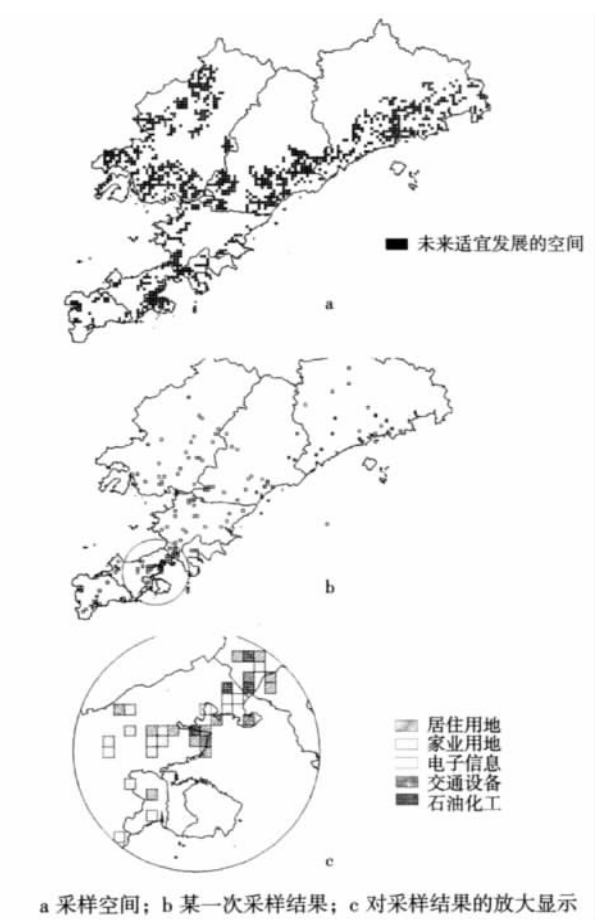
3. 4 统计分析 with 环评结论

3. 4. 1 各海域纳污总量超标概率分析

根据超标样本占总样本的比例, 可计算出 2020 年大连市近岸海域 3 类污染物受纳量的超标

表 1 大连市工业产业近期和远期发展情景的设计 (工业增加值, 亿元)

编号	行业名称	基准情景		高端情景		低端情景	
		2010 年	2020 年	2010 年	2020 年	2010 年	2020 年
1	石油化工	268. 89	557. 44	282. 10	574. 78	237. 68	493. 03
2	电子信息	236. 48	510. 37	249. 69	535. 14	159. 66	384. 02
3	机械制造	358. 33	743. 26	376. 93	770. 51	313. 31	649. 11
4	交通设备	106. 84	222. 98	114. 04	227. 93	97. 23	195. 72
5	精细化工	45. 02	111. 49	35. 41	118. 92	62. 42	106. 53
6	精细钢材	18. 01	30. 97	10. 80	18. 58	38. 41	69. 37
7	纺织服装	25. 21	42. 12	16. 81	27. 25	51. 62	106. 53
8	食品加工制造	42. 01	70. 61	30. 01	43. 36	90. 03	173. 43
9	建材	20. 41	34. 69	11. 40	21. 06	42. 01	79. 28
10	轻工业	30. 01	52. 03	19. 21	30. 97	62. 42	126. 35
11	电力、燃气及 水生产和供应	49. 22	101. 58	54. 02	109. 01	45. 62	94. 15
合计		1 200. 43	2 477. 54	1 200. 42	2 477. 51	1 200. 41	2 477. 52



a 采样空间; b 某一次采样结果; c 对采样结果的放大显示
图 2 空间采样示意

概率, 结果如表 3 所示。可以看出, 小窑湾、瓦房店西侧海域、营城子湾的 COD_{Cr} 和 TN, 旅顺周边海域的 COD_{Cr}、TN 和 TP 都存在较为显著的超标概率, 说明在规划实施后这些海域出现环境质量问题的可能性相当高, 规划将给这些海域带来不可忽视的环境压力。

3. 4. 2 各海域纳污总量超标原因分析

由于分析过程的相似性, 仅以营城子湾的

表 2 某单个样本对应的各海域排污总量及其达标评价 (‰)

近岸海域名称	COD _G	是否超标	TN	是否超标	TP	是否超标
金州湾	1 267. 14	否	433. 62	否	36. 67	否
大窑湾	942. 15	否	289. 10	否	14. 45	否
庄河市东南海域	7 834. 20	否	1 412. 50	否	176. 33	否
金州及普兰店东南海域	5 690. 27	否	1 366. 89	否	189. 44	否
南部沿海	1 426. 33	否	501. 49	否	26. 45	否
小窑湾	535. 85	否	239. 76	是	13. 85	否
瓦房店西侧海域	965. 45	否	367. 50	是	40. 31	否
营城子湾	678. 89	是	178. 63	是	20. 56	否
旅顺周边海域	682. 40	是	250. 52	是	23. 40	是

表 3 2020 年大连市近岸海域纳污量超标概率 (%)

近岸海域名称	COD _G	TN	TP
金州湾	0. 0	0. 0	0. 0
大窑湾	0. 0	0. 0	0. 0
庄河市东南海域	4. 0	2. 0	0. 0
金州及普兰店东南海域	0. 0	0. 0	0. 0
南部沿海	0. 0	0. 0	0. 0
小窑湾	17. 0	100. 0	0. 0
瓦房店西侧海域	33. 0	100. 0	0. 0
营城子湾	94. 0	100. 0	4. 0
旅顺周边海域	99. 0	99. 8	100. 0

COD_G 指标为例进行超标原因分析。

对 5 万个样本对应的营城子湾 2020 年 COD_G 入海污染负荷进行统计, 其均值超过污染总量控制目标的 37%。为此需要对该海域的污染源进行解析, 确定超标原因, 结果如图 3、4 所示。

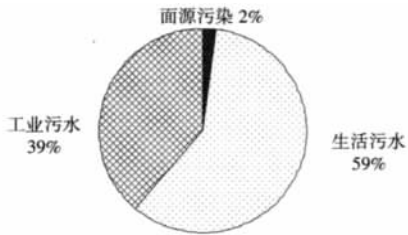


图 3 营城子湾 2020 年 COD_G 污染源的贡献率

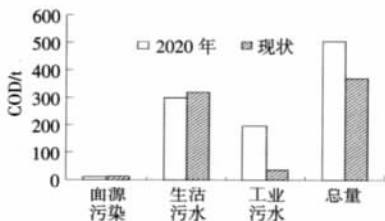


图 4 营城子湾 COD_G 污染源 2020 年与现状比较

从图 3、4 可以看出, 营城子湾生活污水和工业污水的 COD_G 负荷贡献率分别达到 59% 和 39%。与现状污染负荷相比, 工业污水排放的 COD_G 总量增加 447%, 可见总负荷的增加主要是由于工业污水 COD_G 负荷的大幅提高引起的。

通过比较营城子湾纳污总量超标样本和达标

样本的内部组成的不同, 进一步分析工业污水 COD_G 负荷大量增加的原因。通过 Wilcoxon 统计检验^[4] 超标样本和达标样本分布差异, 得出各行业对 COD_G 的敏感性程度, 取显著水平为 0. 05。当显著水平小于 0. 05 时, 认为该行业是本区域内的环境敏感行业。检验结果如表 4 所示。可以看出, 石油化工、电子信息、机械制造、精细化工、食品加工制造等行业是营城子湾 COD_G 总量超标的敏感行业。

表 4 营城子湾 COD_G 污染敏感行业的 Wilcoxon 检验结果 (1)

行业分类	达标样本平均秩	不达标样本平均秩	显著性概率	显著程度	是否为敏感行业
石油化工	8 960. 0	22 874. 1	0	显著	是
电子信息	19 808. 7	23 844. 3	2. 96 ×10 ⁻⁶³	显著	是
机械制造	11 689. 6	12 933. 3	7. 07 ×10 ⁻¹⁴	显著	是
交通设备	615. 5	623. 6	0. 646	不显著	否
精细化工	6 986. 0	8 033. 7	2. 03 ×10 ⁻⁸	显著	是
纺织服装	962. 0	976. 4	0. 360	不显著	否
食品加工制造	4 212. 9	4 476. 6	7. 85 ×10 ⁻⁴	显著	是
轻工业	2 319. 6	2 343. 2	0. 492	不显著	否

因为某行业之所以成为敏感行业, 是由其单位产值排污量 (排污系数) 和总产值 (发展规模) 2 方面因素共同决定的, 为此需要从排污系数和规模 2 个角度来进一步分析上述敏感行业。由于达标样本与不达标样本的行业总规模有显著的差异 (达标样本规模平均值为 0. 835 km², 不达标样本规模平均值为 1. 580 km²), 因此从所有的样本中挑选行业规模相等 (如行业总规模均为 1. 00 km²) 的达标和不达标样本, 进行类似表 4 的非参数检验。当显著水平小于 0. 05 时, 若达标样本平均秩大于不达标样本平均秩, 认为随着该行业规模的增大, 达标样本出现的概率增大, 是环境友好的, 为正显著, 这些行业之所以敏感主要是由于规模过大; 相反则为负显著, 这些行业之所以敏感则主要由于排污系数高, 对营城子湾而言可以算作高污染行业。检验结果如表 5 所示。

表 5 营城子湾 COD_G 污染敏感行业的 Wilcoxon 检验结果 (2)

行业分类	达标样本平均秩	不达标样本平均秩	显著性概率	显著程度	敏感的主要原因
石油化工	1 559. 1	2 514. 6	8. 21 ×10 ⁻⁴⁰	负显著	排污系数高
电子信息	3 822. 2	2 476. 5	7. 00 ×10 ⁻¹³²	正显著	发展规模大
机械制造	1 167. 0	1 069. 7	6. 16 ×10 ⁻⁷	正显著	发展规模大
精细化工	622. 0	668. 0	0. 020	负显著	排污系数高
食品加工制造	361. 2	371. 5	0. 252	不显著	

综合表 4、5 可以看出: 电子信息、机械制造行业的环境敏感性是由于行业规模过大造成的, 因此, 虽然它们属于清洁行业, 可以优先发展, 但是在加速发展的同时仍需适当 (下转第 30 页)

圾, 循环利用, 不允许外排。

2 臭气。腐熟的垃圾臭味降低, 保持堆肥的好氧条件, 还可在发酵堆上铺一层堆肥成品, 减少臭气的产生。

3 焚烧烟气。排放达到 GB 18485—2001 生活垃圾焚烧污染控制标准。

4 灭蝇。对进厂的垃圾和堆肥的垃圾定时灭蝇, 不定期全厂消杀。

5.3 环境监测项目

1 大气: NH_3 、 H_2S 、 NO_2 、 SO_2 、TSP、臭气浓度。2 污水: SS、氨氮、 BOD_5 、COD、大肠菌。3 噪声。4 堆肥产品的理化指标。

6 结束语

广西政府颁布的《关于实施城乡清洁工程的决定》《广西实施城乡清洁工程五年规划》《广西“十一五”城镇化发展规划》和《关于落实科学发展观建设生态广西的决定》等文件, 都明确规定城市生活垃圾无害化处理率要从现在的 36% 提高到 60%, 这为抓好县城生活垃圾无害化处理提供了强有力的政策指导和支持, 因此我们建议:

(上接第 26 页)

控制其规模; 在样本数减少的情况下, 食品加工制造行业不显著, 因此对该行业需适当约束发展, 一方面控制规模, 另一方面加强基础设施建设, 提高该行业污染处理能力; 石油化工、精细化工行业的环境敏感性主要是由于排污系数过高而造成的, 因此必须大大缩减该行业的比例, 控制其发展。

4 结论

通过对城市规划的分析, 识别出产生规划环境影响不确定性的原因是社会经济发展规模、结构和布局存在不确定性。以大连城市发展规划近岸海域环境影响评价为例, 引入情景分析方法处理规模、结构不确定性, 运用空间随机模拟采样的方法处理空间布局的不确定性, 并以此为核心结合统计分析方法搭建城市规划环境影响不确定性分析的技术方法体系, 最终得出大连市近岸海域污染负荷超标概率、主要污染源、敏感行业、敏感原因等信息, 有力支持环评结论, 应对规划进行相应调整。

参考文献

- [1] 程道平. 现代城市规划[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] Whitehead P, Beck M B, E O'Connell. A Systems Model of Stream Flow and Water Quality in the Bedford Ouse River System II: Water Quality Modeling[J]. Water Research, 1981, 15(10): 1157-1171.
- [3] Keesman K. Software for Identification of Ill-defined Systems: A Water Quality Example[J]. Environmental Software, 1989, 4(1): 28-34.

1 建立投资补偿机制。建议由自治区人民政府每年安排一定的专项经费, 用于县一级城市建设生活垃圾无害化处理场的补贴。

2 由自治区政府组织有关部门对县城生活垃圾处理模式进行论证, 然后抓好试点工作, 并给予一定的专项资金。

3 试点工作完成后, 组织专家进行评审, 达到预期目的的项目在全区推广, 并简化报批程序。

参考文献

- [1] CJJ 27—2005 城市环境卫生设施设置标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] CJ/T 3059—1996 城市生活垃圾堆肥厂技术评价指标[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [3] CJ/T 52—1993 城市生活垃圾好氧静态堆肥处理技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [4] 中华人民共和国农牧渔业部. GB 8172—1987 城镇垃圾农用控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
- [5] GB 18485—2001 生活垃圾焚烧污染控制标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [6] 建设部城建司, 上海环境卫生工程设计院. 全国城镇环境卫生“十一五”规划[R]. 2006.

作者简介: 阮松宾(1974-), 工程师, 从事环境工程的技术和管理。

- [4] Chen J, Wheater H S. Identification and Uncertainty Analysis of Soil Water Retention Models Using Lysimeter Data[J]. Water Resources Research, 1999, 35(9): 2401-2414.
- [5] Apsimon H M, Warren R F, Kayin S. Addressing Uncertainty in Environmental Modelling: A Case Study of Integrated Assessment of Strategies to Combat Long-range Transboundary Air Pollution[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(39): 5417-5426.
- [6] Spear R C, Grieb T M, Shang N. Parameter Uncertainty and Interaction in Complex Environmental Models[J]. Water Resources Research, 1994, 30(11): 3159-3169.
- [7] Freedman V L. Parameter Identifiability for Catchment-scale Erosion Modelling: A Comparison of Optimization Algorithms[J]. Journal of Hydrology, 1998, 207(1): 83-97.
- [8] 刘毅, 陈吉宁, 杜鹏飞. 环境模型参数优化方法的比较[J]. 环境科学, 2002, 23(2): 1-6.
- [9] 刘毅, 陈吉宁, 杜鹏飞. 环境模型参数识别与不确定性分析[J]. 环境科学, 2002, 23(6): 6-10.
- [10] Wu F C, Tsang Y P. Second-order Monte Carlo Uncertainty/Variability Analysis Using Correlated Model Parameters: Application to Salmonid Embryo Survival Risk Assessment[J]. Ecological Modelling, 1994, 72(1): 1-20.
- [11] Chen J, Beck M B. Quantity Assurance of Multi-Media Model for Predictive Screening Task[R]. US EPA, 1998.
- [12] Basson L, Petrie J G. An Integrated Approach for the Consideration of Uncertainty in Decision Making Supported by Life Cycle Assessment[J]. Environmental Modelling & Software, 2007, 22(2): 167-176.
- [13] 张学才, 郭瑞雪. 情景分析方法综述[J]. 理论月刊, 2005, 2(2): 125-126.
- [14] 耿修林, 张琳. 管理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

作者简介: 吴洪斌(1983-), 在读硕士, 环境工程专业, 研究方向环境系统分析。