



# 情景分析法在赣江流域水污染控制规划中的应用

## Application of Scenario Analysis to the Planning of Gan River Basin

欧志丹 程声通 贾海峰 (清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

Ou Zhidan Cheng Shengtong Jia Haifeng (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**摘要** 采用在水污染控制规划中有广泛应用的情景分析法,从流域水环境功能分区出发,根据赣江流域各市县的社会经济发展规划和污染源排放量的预测结果,对流域的水污染控制设计了一系列不同的情景方案。首先通过情景水水质模拟和情景经济分析,初选出适用的方案,再运用多目标决策方法,从水质、经费、施工、社会影响等方面进行综合评定。据此定出筛选方案优劣和先后的顺序,并提出赣江流域水污染控制规划的推荐方案。研究表明,情景分析方法对于流域的整体规划在综合性、完整性、可持续性等方面具有着良好的指导意义。

**关键词:** 情景分析 流域规划 多目标决策分析 赣江

### 1 赣江流域水环境现状

#### 1.1 概况

赣江是江西省境内最大的河流,就水量而言,是长江的第2大支流。赣江发源于赣、闽交界的武夷山脉,全长766km,天然落差937m,自南向北纵贯全省,最终于南昌市以下分4支注入鄱阳湖,与江西省的抚河、信江、饶河、修河等来水汇集,经九江湖口进入长江。赣江流域面积8.35万km<sup>2</sup>,约占江西省总面积的51%。流域面积在1000km<sup>2</sup>以上的主要支流有13条。

#### 1.2 主要环境问题

赣江的主要污染物质为COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>4</sub>-N及挥发性酚,形成污染比较严重的断面均在沿江城市附近,特别是工业比较集中城市的下游。赣江水质以Ⅱ类水为主,占总监测断面的69.2%,其次为Ⅲ类、Ⅳ类水,分别占总断面的20.5%和10.3%,整条赣江无一断面达Ⅰ类水标准。各江段中以吉安江段水质最好,9个监测断面全部达Ⅱ类水标准;宜春江段水质最差,3个监测断面有2个为Ⅳ类水;南昌江段的NH<sub>4</sub>-N严重超标。赣江江段纳污最多的赣州市西河浮桥及储潭水质类别为Ⅵ类,其余为Ⅱ、Ⅲ类。1999年,赣江污染严重的断面为滁槎、吉里、叶楼(N)、叶楼(S)和浮桥断面<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 水环境功能区划现状

《江西省环境保护“十五”规划(草案)》将赣江规划为重要水源地保护区,袁河规划为污染控制区。按行政区界又分别在赣江划分了赣州段、吉安段、宜春段和南昌段等4个污染控制单元,袁河划分了萍乡段、宜春段和新余段等3个污染控制单元,并设定了对应的水质监测控制断面,再加上不对应具体控制单元的监管断面和国控断面。

### 2 情景分析的方法

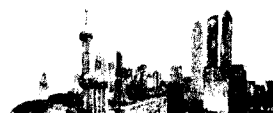
#### 2.1 方法学介绍

情景分析(Scenario Analysis)是环境预测和规划的一种基本方法。它通过对不同背景条件(称为“情景方案”)下社会经济发展情况及相关的污染物产生和削减情况进行模拟预测和比较分析,从总体上给出环境与经济发展的策略框架。

情景分析的“情景”含义是指事物所有可能的未来发展态势的描述,描述的内容既包括对各种态势基本特征的定性和定量描述,又包括对各种态势发生可能性的描述。情景分析过程实质是完成对事物所有可能的未来发展态势的描述,其结果包括对未来可能发展态势的确认,各态势的特性及发生可能性描述,以

国家环保总局2000年科技发展计划项目,编号2000-08。

第一作者欧志丹,女,1978年出生,2002年毕业于清华大学环境科学与工程系,硕士。



及各态势的发展路径分析<sup>[2]</sup>。

## 2.2 在流域规划中的应用

利用情景分析方法能对系统未来发展的可能性和导致系统从现状向未来发展的一系列事件进行详细的描述和分析,可以为流域的水污染控制规划提供动态、全面的理论支持。

情景分析法首先需要创建一个根据环境现状,结合预期的或可能的规划与增长轨迹而估计的未来变化的基础情景。在此基础上设计出多个可能的情景方案,这些方案代表着对未来发展的各种不同假设。然后,利用水质模型对不同情景的后果进行模拟和分析。最后可通过对各种情景结果在环境、经济等方面的比较,对各种情景方案的优劣作出决策评价,提出水污染控制的较佳方案。

## 2.3 赣江流域规划研究的思路

结合情景分析方法的理论,我们提出使用正向算法进行赣江流域的水污染控制规划。正向算法的原理是依据所研究系统确定的水环境规划目标(近期或远期),在经济技术可行的前提下,提出为达到此目标拟订的各种控制措施,并由这些措施组合成若干个供选方案;然后通过对每个方案进行水质模拟及费用—效益分析和比较,从中选出一二个最佳的或满意的方案供决策部门采纳。由于正向算法是根据水污染的预测结果,先提出一系列的备选方案,然后直接对各个方案进行水质模拟,其优点是可以先人为地去掉不可行方案,更直观地根据水质目标来初步筛选方案,节省了人力和物力,并大大提高每个控制方案的可操作性,但对方案的提出有更严格的要求。

具体技术路线见图 1。

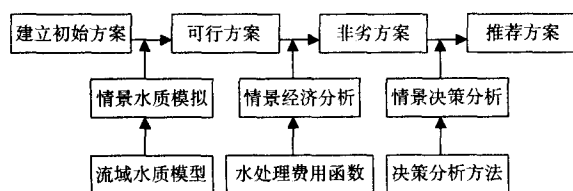


图 1 赣江流域规划的技术路线

Figure 1 Technical route of the planning in Gan river

## 3 赣江流域规划方案的情景分析

### 3.1 构造赣江流域的规划情景

首先是根据流域环境质量和污染物排放现状,由中长期环境规划目标,预期的或可能的增长而估计未

来变化,建立起一个基础情景;然后考虑对未来发展各种不同假设,包括流域内各地区社会经济发展规划、污染物排放、生态环境等设计条件的变化,从而构造多个可能的情景方案。

根据对赣江流域不同的规划目标,分别构造了 4 套规划情景。

#### 3.1.1 维持现状情景

在 2010 年工业和城市污染源预测的基础上,假设赣江流域不进行任何新的水污染措施,即工业废水和城市污水处理保持 2000 年水平。在此情景下,建立 1 个方案,主要作为原始规划与其它方案进行对比。

#### 3.1.2 基本治理情景

在 2010 年工业和城市污染源预测的基础上,对赣江流域进行基本的水污染措施规划。结合江西省的“十五”规划,首先治理工业废水的重点污染源,然后对省会和地级市进行逐步建立城市污水处理厂的规划。在此情景下,建立 3~4 个方案,主要供 2005 年的中期规划作选择。

#### 3.1.3 污染控制情景

在 2010 年工业和城市污染源预测的基础上,对赣江流域进行高级的水污染措施规划。为了使赣江流域的污染能得到控制,在基本治理情景的基础上,加强省会和地级市污水处理的程度,并逐步规划干流和支流上其他地区的污水处理厂建设。在此情景下,建立 3~4 个方案,主要供 2010 年的目标规划作选择。

#### 3.1.4 远期理想情景

在 2010 年工业和城市污染源预测的基础上,对赣江流域进行深度的水污染措施规划。赣江流域的污染完全得到治理,需要大力提高工业废水处理率和污水处理厂的规模。在此情景下,建立 1 个方案,主要作为远期规划,供决策者参考。

## 3.2 情景方案的初选

### 3.2.1 情景水质模拟

本研究建立了基于 CSTR(The Continuously-Stirred-Tank-Reactor Model, 即连续箱式模型)模型下的赣江流域水质模型。水质模型中水质控制点的设定采用了 2002 年制定的全国水功能区划分功能区,部分没有包括在规划内的河段按 III 类来水标准要求。水量条件为赣江流域 1998 年之前 40 年的 95% 保证率水量。

水质模型的控制指标选取了赣江流域中的主要污染物  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  和挥发酚,水质标准采用了地表水环境质量标准(GB3838-2002)。对各个情景方案



的模拟后,分别考核了 221 个水功能区的水质达标情况,并对主要污染物  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  和挥发酚进行了水质分析。

### 3.2.2 情景经济分析

参考长江、嘉陵江重庆段水污染控制规划研究(1994 年)中一级、二级城市污水处理厂建设费用函数,采用《城市基础设施工程投资估算指标排水工程》(1989 年)所列的城市污水一、二级处理厂建设费用表,根据表中一系列污水处理量与基建费用对应值,回归处理得到一、二级城市污水处理厂建设费用函数<sup>[3]</sup>。通过这些费用函数,对各个情景方案进行基建费用和运行费用的估算。

### 3.2.3 初选的原则

对赣江流域的水污染控制规划构建了 4 个规划情景后,需要在各个情景下建立可行的具体方案,以供进一步的决策分析。为了使得控制方案不会过多和有序,结合水质模型的模拟情况,首先根据水质的模拟初步结果和经济初步估算,综合考虑后剔除不合理的方案组合。

对于江西的实际情况,应该实行分期逐步规划。方案的生成将实行从宽到严的逐步控制,遵从 3 项原则:先治理城市的污水,再治理地区的污水;先控制干流的污染,再控制支流的污染;先满足低标准的水质目标,再满足高标准的水质目标。

### 3.2.4 初选的结果

根据水质模型的初步模拟结果和初步的经济评价,可得出以下 7 个可行的候选方案。

方案 1: 考虑到南昌和新余的污染负荷最为严重,结合《城市污水处理及污染防治技术政策》中城市和建制镇的污水平均处理率不低于 50% 的目标,首先规划南昌和新余 2 个城市要对 50% 的城市污水进行二级处理。

方案 2: 在方案 1 的基础上,结合《城市污水处理及污染防治技术政策》中城市和建制镇的污水平均处理率不低于 50% 的目标,规划其他 3 个地级市要对 50% 的城市污水进行二级处理。

方案 3: 根据方案 2 的水质模拟情况,可以知道袁河部分功能区仍未满足要求,需要提高宜春市和新余市的城市污水处理程度,并规划分宜县对 90% 的污水进行二级处理。

方案 4: 为了保证干流的部分水功能区能满足 II 类水的水质目标以及支流的水功能区能满足不低于 III 类水的水质目标,根据方案 3 的水质模拟情况,对

未能满足要求的功能区进行分析,对影响这些未达标功能区的主要城市进行相应的污水处理厂规划。

方案 5: 根据方案 4 的水质模拟情况,对仍未能满足要求的功能区进行分析。对影响这些未达标功能区的所有城市进行相应的污水处理厂规划。

方案 6: 根据方案 5 的水质模拟情况,对仍未能满足要求的功能区进行分析。对影响这些未达标功能区的所有城市进行相应的污水处理厂规划。

方案 7: 根据方案 6 的水质模拟情况,对仍未能满足要求的功能区进行分析。对影响这些未达标功能区的所有城市进行相应的污水处理厂规划。

7 个方案将根据上述不同的水质目标,对赣江流域 43 个地区具体进行了不同规模和不同级别的城市污水处理厂规划。7 个方案的水质模拟和投资费用估算结果见表 1。

表 1 候选方案的水质和经济分析结果  
Table 1 Analysis results of water quality and investment of the candidate schemes

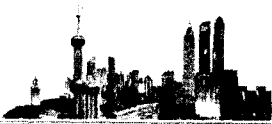
| 序号   | 水功能区的达标情况(%)             |                        |     |    | 投资费用<br>(亿元) |
|------|--------------------------|------------------------|-----|----|--------------|
|      | $\text{COD}_{\text{Mn}}$ | $\text{NH}_4\text{-N}$ | 挥发酚 | 汇总 |              |
| 方案 1 | 9                        | 12                     | 0.9 | 14 | 9.12         |
| 方案 2 | 9                        | 11                     | 0.9 | 12 | 13.29        |
| 方案 3 | 9                        | 10                     | 0.9 | 11 | 15.68        |
| 方案 4 | 7                        | 7                      | 0.5 | 7  | 34.63        |
| 方案 5 | 2                        | 5                      | 0   | 5  | 42.63        |
| 方案 6 | 1                        | 3                      | 0   | 3  | 51.74        |
| 方案 7 | 0.9                      | 1                      | 0   | 1  | 62.73        |

### 3.3 情景方案的多目标择优

#### 3.3.1 目标体系的建立

对于流域水污染控制规划的研究,是综合考虑环境、经济等影响后推荐出较优方案的过程,属于有限个方案的多目标决策问题。在多目标决策问题中,由于目标之间的矛盾性,往往不存在使每个属性的值都达到最优的行动方案,即如果只根据各方案的属性值对方案进行比较,方案存在多个非劣解。对有限个方案的多目标决策问题,虽然备选方案只有有限个,但如果只凭直觉和经验往往不能作出科学的决策。为使决策合理化,必须采用科学的决策方法。多目标决策分析的基本原理是建立一个描述备选方案特征的目标体系,通过对每一个目标的权重和属性的研究与分析,计算每一个方案的总积分,在此基础上进行方案排序,提出推荐方案<sup>[4]</sup>。

多目标分析的基础,是建立一个能够反映方案特



征的目标体系,根据赣江的实际情况和一般的工程方案决策分析方法,制定了用于本次水污染控制方案评比的目标体系(见图 2)。

3.3.2 情景决策分析

3.3.2.1 权重的调查及确定

权重问卷收集后,进行统计分析,结果见表 2。

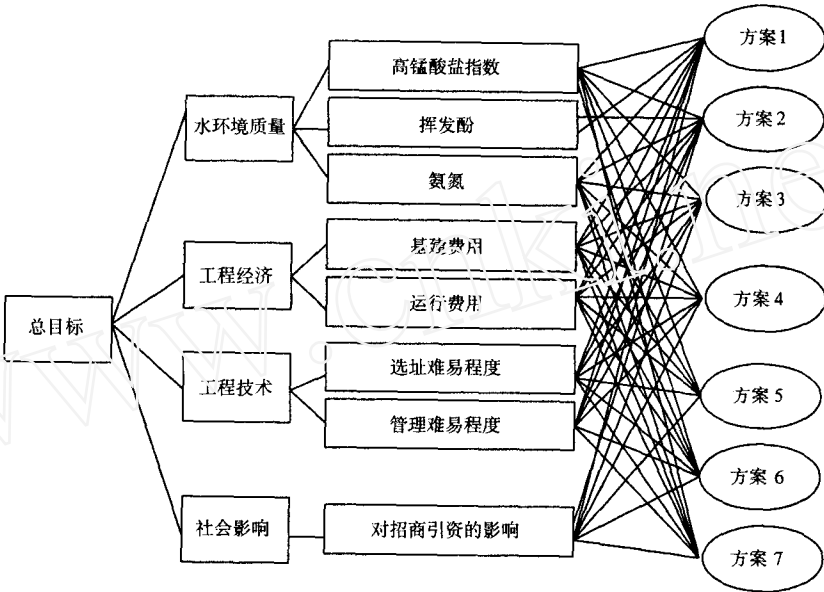


图 2 方案评比的目标体系  
Figure 2 Goal system appraisal among the schemes

表 2 各项指标的分数及权重  
Table 2 Marks and weight of the indicators

| 目标  | 分数 | 权重    | 排序指标  | 准则 1  | 分数 | 权重    | 排序指标     |
|-----|----|-------|-------|-------|----|-------|----------|
| 总目标 | 9  | 0.333 | 水环境质量 | 水环境质量 | 9  | 0.4   | 高锰酸盐指数   |
|     | 9  | 0.333 | 工程经济  | 工程经济  | 7  | 0.3   | 挥发酚      |
|     | 5  | 0.167 | 工程技术  | 工程技术  | 7  | 0.3   | 氨氮       |
|     | 5  | 0.167 | 社会影响  | 社会影响  | 7  | 0.429 | 基建费用     |
|     |    |       |       | 工程经济  | 9  | 0.571 | 运行费用     |
|     |    |       |       | 工程技术  | 5  | 0.4   | 选址难易程度   |
|     |    |       |       | 社会影响  | 7  | 0.6   | 管理维护难以程度 |
|     |    |       |       |       | 5  | 1     | 招商引资的影响  |

3.3.2.2 属性分析及确定

对应每一条准则,确定每一个方案的性质;把每一个方案的相对值归一化,使它们之间的性质是一致的或标准的。在此使用了百分制对属性的价值进行标准化。关系到某些准则的每一个方案的成绩都能够被量化。但在量化过程中,大部分的属性是不能客观地被估算的。在这种情况下,可通过小组决策的过程,来对这些准则进行定性的或主观的评分,结果见表 3。

3.3.2.3 方案的综合评价

在方案的价值计算中,指标的权重和属性值是最重要的因素。可以通过公式(1)计算出一个方案的

总值:

$$V_i = \sum_{k=1}^m w_k \cdot S_{ik} \tag{1}$$

式中:

- $i$ ——方案的序号;
- $k$ ——目标树底层的指标序号;
- $m$ ——目标树底层的指标数目;
- $V$ ——方案的总值;
- $W$ ——目标的绝对权重;
- $S$ ——目标属性的分数。

方案的评分结果见图 3。



表3 属性的标准化值(分)  
Table 3 Standardization of attributes

| 序号  | COD <sub>Mn</sub> | 挥发酚    | NH <sub>4</sub> -N | 基建费用  | 运行费用  | 选址难易程度 | 管理维护难易程度 | 招商引资的影响 |
|-----|-------------------|--------|--------------------|-------|-------|--------|----------|---------|
| 方案1 | 0.00              | 0.00   | 0.00               | 85.46 | 77.50 | 95.35  | 97.10    | 4.65    |
| 方案2 | 5.00              | 0.00   | 7.41               | 78.81 | 71.08 | 88.37  | 91.30    | 11.63   |
| 方案3 | 10.00             | 0.00   | 11.11              | 75.00 | 66.13 | 86.05  | 86.96    | 13.95   |
| 方案4 | 55.00             | 50.00  | 40.74              | 44.80 | 34.98 | 62.79  | 59.42    | 37.21   |
| 方案5 | 75.00             | 100.00 | 59.26              | 32.04 | 23.49 | 51.16  | 47.83    | 48.84   |
| 方案6 | 85.00             | 100.00 | 74.07              | 17.52 | 3.21  | 0.00   | 0.00     | 100.00  |
| 方案7 | 90.00             | 100.00 | 88.89              | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00     | 100.00  |

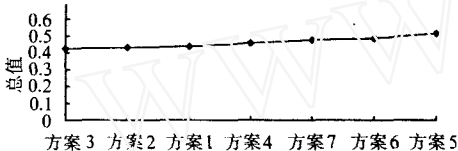


图3 方案的评分结果  
Figure 3 The results of schemes appraisal

4 结论

根据多目标决策分析的结果,再结合赣江的实际情况综合考虑,从前3个方案中选出方案1作为2005年的中期规划方案,从后4个方案中选出方案5作为2010年的目标规划方案,从而组成了一套既满足一定的水质目标又符合赣江水污染治理承受能力的水污染控制方案。  
方案综合评价见表4。

表4 推荐方案的综合评价  
Table 4 Comprehensive assessment of the recommended schemes

| 目标阶段  | 推荐方案 | 治理措施                                          | 投资估算(亿元) | 估计能获得资金(亿元) | 功能区的达标率(%) |
|-------|------|-----------------------------------------------|----------|-------------|------------|
| 2005年 | 方案1  | 南昌和新余2个污染最严重的城市对50%的污水进行二级处理。                 | 9.12     | 10.92       | 86         |
| 2010年 | 方案5  | 中心城市、干流上城市、支流上部分污染严重的城市共21个地区平均对70%的污水进行二级处理。 | 42.63    | 46.45       | 95         |

5 参考文献

1 江西省统计局. 江西统计年鉴 2000. 北京: 中国统计出版社, 2000.  
2 宗蓓华. 战略预测中的情景分析. 预测, 1994, 2.

3 王圃, 农腾悦. 长江、嘉陵江重庆城区段水污染控制方案费用估算. 重庆环境科学, 1997, 6(3): 16.  
4 高朗, 程声通. AHP与SMART方法在环境工程方案评比中的应用. 辽宁城乡环境科技, 1997, 4(4): 17.

责任编辑 王 芬 (收到修改稿日期: 2003—02—10)

(上接第567页)

活的便捷性和文化设施的功能性;注重环境生态性,全面考虑了水、气、声等居住区的外环境、与区域规划相容性和内部污染发生源的合理布局;兼顾了对居住区居住功能、生活功能和环保功能的全面衡量;融入了绿化的树种要求,居住区智能化管理要求以及停车位等新的概念,能够用于现代大都市居住区的全面评估。同时将定性指标的比重由原来的28%和65%

降低至15%,增强了指标体系的科学性及可操作性。

5 参考文献

1 杨仁杰. 生态居住园区的内涵. 住宅科技, 2002, (3): 43~45.  
2 周鸿编著. 人类生态学. 北京: 高等教育出版社, 2002, 4~5.

责任编辑 王 芬 (收到修改稿日期: 2002—11—27)

Approach on Ecological Suitability Indicator System of  
Residential Areas

Shi Chun  
(School of Resources and Environment, East China  
Normal University, Shanghai 200062)  
Huang Mengcang  
(Shanghai Academy of Environmental Sciences,  
Shanghai 200233)

The ecological suitability indicator system has been broadly adopted by environmental impact assessment and environmental protection planning of residential areas in Shanghai. Based on analyzing the application of ecological suitability indicator system of residential areas to 34 assessment and planning statements, the paper added and revised parts of the indicator from the viewpoint of ecological residential area. The revised indicator system included 2 indicators at the second level reflecting natural and human ecological environment, 8 indicators at the third level and 17 indicators at the fourth level. The quantitative measurement of the indicators has basically achieved.

**Key words:** Residential area  
Ecological suitability  
Indicator system

Application of Scenario Analysis to the  
Planning of Gan River Basin

Ou Zhidan Cheng Shengtong Jia Haifeng  
(Department of Environmental Science and  
Engineering, Tsinghua University,  
Beijing 100084)

Applying the scenario analytical method to the control planning of water pollution, a series of different schemes were designed according to economic development and prediction of pollution discharge in Gan river. After simulation, using water quality model and expense estimation, several suitable schemes were chose at the first stage. Through further multiattribute decision analysis from water quality, outlay, operation and social effect, the best scheme could be recommended to the decision-maker.

**Key words:** Scenario analysis  
River basin planning  
Multiattribute decision analysis  
Gan River

Exposure Assessment on Indoor and Outdoor  
Air Pollutants

Wu Pengzhang Zhang Xiaoshan Mu Yujing  
(Research Center for Eco-environmental  
Sciences, CAS, Beijing 100085)

Several kinds of exposure assessment methods have been introduced in this paper. The average concentrations of five air pollutants, including formaldehyde, nitrogen oxides, sulfur dioxide, ammonia and radon were obtained from monitoring in major microenvironments together with questionnaires, were used to assess the exposure levels of different age groups of people in Beijing. The results showed that most of exposure came from indoor environments, especially from workshops (or studying rooms) and residences, and also indicated that only 24-h  $\text{CH}_2\text{O}$  exposure for all age groups exceeded the standards. Indoor air pollution, especially due to indoor decoration, should be paid more attention.

**Key words:** Indoor air  
Human exposure  
Questionnaire  
Exposure assessment  
Air pollutant  
Beijing

Study Progress on Application of Activated Sludge  
Mathematical Model to Wastewater Treatment

Zhao Zhen  
(School of Environmental Science and Engineering,  
Donghua University, Shanghai 20051)  
Lin Weqing  
(Shanghai Academy of Environmental Sciences,  
Shanghai 200233)

Study and development process of activated sludge mathematical models have been discussed. The characteristics of several representative models of municipal wastewater treatment have also been introduced in detail and study of present state on application of activated sludge model were proposed, the prospect which should be done later was put forward.

**Key words:** Activated sludge  
Mathematical model  
Progress  
Wastewater treatment