

基于水环境分析的南方典型中小城市类型划分及水污染驱动力研究

焦士兴^{1,2}, 王腊春^{1*}, 霍雨¹, 陈昌春¹, 滕娟¹

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2. 安阳师范学院资源环境与旅游学院, 安阳 455002)

摘要: 根据我国南方中小城市水环境污染的主要来源, 选取工业废水排放量等 10 项指标, 建立城市类型划分及其影响因素的评价指标体系, 并以江苏、浙江、湖北和安徽的 16 个典型中小城市进行了研究. 结合 SPSS 11.0 聚类分析结果, 依据经济发展指标值与综合污染排放指标值划分了城市类型, 运用主成分分析法研究了水环境污染的驱动力. 结果表明, 南方 16 个典型中小城市可划分为经济发展好、水环境污染轻和经济发展一般、水环境污染重两类 IV 亚类; 水环境污染的影响因素依次为工业用水污染、农业面源污染和城镇生活污染; 影响第 I 亚类、第 II 亚类以及 IV 亚类和第 III 亚类城市的主要因素分别为工业用水污染、城镇生活污染和农业面源污染.

关键词: 中小城市类型; 聚类分析; 主成分分析; 水污染驱动力

中图分类号: X32 012 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)07-1888-05

Study on the Types and Water Pollution Driving Forces of the Typical and Medium-Small Sized Cities in the Southern China Based on the Analysis of Water Environment

JIAO Shi-xing^{1,2}, WANG La-chun¹, HUO Yu¹, CHEN Chang-chun¹, TENG Juan¹

(1. School of Geographic and Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Department of Resource & Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, China)

Abstract: According to the major pollution sources of urban water environment, 10 indexes such as industrial sewage quantity were chosen to establish evaluation indexes system about the types and influencing factors of the typical and medium-small sized cities in the southern China. Case studies of 16 typical and medium-small sized cities were taken in Jiangsu, Zhejiang, Hubei and Anhui provinces. Combined with SPSS 11.0 cluster analysis results, city types were divided in reference to the values of water resources comprehensive pollution indexes and economical development indexes. The driving forces about city water environment pollution were studied by principal component analysis method. The result indicates that the 16 cities belong to two categories and four sub-categories, which are rich economy as well as light pollution of water environment and poor economy as well as heavy pollution of water environment. The influencing factors of water environment pollution are in sequence of industrial water pollution, agricultural non-point source pollution and urban domestic water pollution. The main factors of water environment pollution influenced I category cities, II as well as IV category cities and III category cities are industrial water pollution, urban domestic pollution and agricultural non-point source pollution respectively.

Key words: types of medium-small sized cities; cluster analysis; principal component analysis; water pollution driving forces

随着城市化进程的日益加快, 城市经济的快速发展, 环境污染问题严重^[1,2], 有关城市经济与环境污染的研究日益增多. 吴玉萍等^[3]运用典型的二次曲线, 建立了北京市经济增长与环境污染水平的计量模型, 评价了北京市的环境政策; 张妍等^[4]对经济发展与环境保护这 2 个主因子的发展层次和协调程度进行了耦合机制评价; 王西琴等^[5]建立了天津市的环境库茨涅兹曲线, 分析了产生的原因; 郭远凯等^[6]剖析了城市环境污染问题产生的根源, 从经济学的角度提出了解决的对策和措施; 王腊春等^[7]选择江苏 3 个典型经济发展区域, 研究了经济发展与污水排放的关系, 动态分析了区域的水环境保护成

就. 从目前的成果来看, 研究对象主要集中在单个城市, 内容主要集中在经济增长与环境污染之间的关系, 而依据经济发展与水环境污染状况对中小城市类型划分及其影响因素的研究则相对薄弱.

我国南方经济相对发达、水资源较为丰富, 但由于利用不当, 水质性缺水问题普遍存在^[8,9]. 针对我国南方中小城市水环境污染现状, 选择江苏、浙江、湖北及安徽南部的 16 个典型中小城市, 在研究经济

收稿日期: 2008-07-29; 修订日期: 2008-09-16

基金项目: 中国科学技术协会咨询项目(2007ZCY109-B)

作者简介: 焦士兴(1970~), 男, 博士研究生, 副教授, 主要研究方向为水资源、水环境. E-mail: jiaoshixing@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wang6312@263.net.cn

发展指标和工业污染、生活污染和产业结构等指标的基础上, 根据经济发展指标值和水资源综合污染指标值划分了城市类型; 探讨了水环境污染的驱动力, 以期为区域经济和 水环境协调发展提供科学依据.

1 基于水环境污染与经济发展状况的城市类型划分

1.1 研究对象的选取

我国中小城市主要以常住人口数量来界定, 20 万~ 50 万为中等城市, 20 万以下为小城市^[10]. 研究区符合要求的中小城市(指非农业人口)共有 214 个, 其中江苏 54 个, 浙江 66 个, 湖北 71 个, 安徽南部 23 个. 考虑到城市水网结构的复杂性, 依据经济发展状况、区位条件、产业结构等特点及资料获取难易程度, 选取江苏的 7 个城市(金坛、溧阳、张家港、海安、新沂、睢宁、通州)、浙江的 4 个城市(东阳、义乌、青阳、永嘉)、湖北的 4 个城市(潜江、仙桃、当阳、天门)和安徽南部的 1 个城市(马鞍山市辖区)共 16 个典型中小城市进行研究.

江苏南部的金坛、溧阳和张家港, 经济发展较好, 中部的海安和通州属上升阶段, 而北部的新沂和

睢宁则相对缓慢; 浙江北部和江苏南部同属太湖流域, 只选择中部和南部的城市进行研究, 东阳和义乌经济发达, 青田和永嘉相对较差, 但水环境质量较好; 湖北的潜江、仙桃和天门是省属县级城市, 当阳属于宜昌市, 潜江经济发展相对较差, 水系密度较大, 仙桃经济发展相对较好, 是中南部新兴的中等城市, 天门是湖北省内河航运发达市之一, 入选 2005 年全国最具投资潜力中小城市 50 强, 当阳处于湖北西部山地向江汉平原过渡地带, 经济发展较差; 安徽南部的马鞍山为中等城市, 是地级市的代表, 属于安徽经济较发达城市, 我国七大铁矿区及十大钢铁基地之一.

1.2 指标体系的建立

为了研究中小城市类型划分及其影响因素, 从 4 个方面选取 10 个二级单项指标及其组合而成的 2 个一级综合指标(经济发展指标和水资源综合污染排放指标)建立评价指标体系(表 1). 单项指标是针对城市某一方面进行评价, 综合指标是单项指标的合理组合^[11]. 研究数据来源于研究区 16 个城市 2006 年水资源公报、统计年鉴以及环保局的统计数据.

表 1 基于水环境分析的南方典型中小城市类型评价指标体系

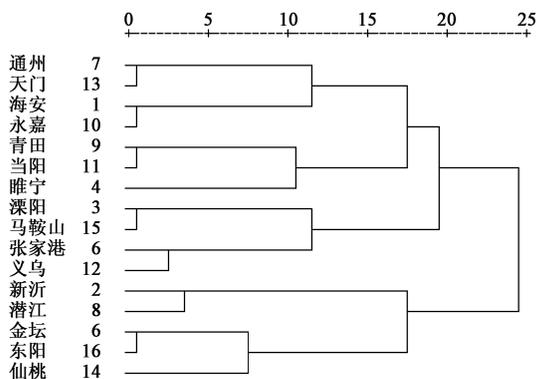
Table 1 Evaluation indices of the typical medium-small-sized cities in the southern China based on the analysis of water environment

单项指标	工业污染指标			生活污染指标			产业结构			城市人口 × 10 ⁴ /人
	工业NH ₄ ⁺ -N 量/t	工业 COD 量/t	工业废水 量 × 10 ⁴ /t	生活NH ₄ ⁺ -N 量/t	生活 COD 量/t	生活污水 量 × 10 ⁴ /t	一产产值 × 10 ⁴ /t	二产产值 × 10 ⁴ /t	三产产值 × 10 ⁴ /t	
含义	反映工业污染物排放量对水环境的压力和影响			反映生活污染物排放量对水环境的压力和影响			反映产业结构特点			反映城市规模

1.3 城市类型划分过程

聚类方法是数据挖掘和统计的重要方法, 广泛地应用于自然科学、社会科学等领域^[12]. 以 16 个典型中小城市的 10 个二级单项指标作为分析样本, 应用 SPSS 11.0 软件进行聚类分析^[13,14]. 聚类分析采用重心聚类法, 测度方法选用等间隔测度中的欧几米德距离, 标准化数值在 0~ 1 的范围内. 图 1 是反映聚类全过程的树形图, 16 个城市分为 4 类时, 间距比较大, 城市特点比较突出. 第 1 类包括通州、天门、海安、永嘉、青田、当阳和睢宁 7 个城市, 第 2 类包括溧阳、马鞍山、张家港和义乌 4 个城市, 第 3 类包括新沂和潜江 2 个城市, 第 4 类包括金坛、东阳和仙桃 3 个城市.

聚类分析中的测度方法和聚类方法都可能影响聚类的结果^[13], 因此可结合 2 个一级综合指标对聚类结果作必要调整. 具体方法: 人均 GDP(包括第一、



纵向: 表示城市排序, 即第 1 个、第 2 个……第 16 个城市; 横向距离: 表示差值的大小(无量纲), 不影响城市分类结果

图 1 基于水环境分析的南方典型中小城市聚类结果

Fig. 1 Hierarchical result of the typical and medium-small-sized cities in the southern

China based on the analysis of water environment

第二和第三产业)是衡量经济发展最主要的综合性经济指标^[15],为了和区域污染情况比较,可把该指标定为经济发展指标;水资源综合污染指标是工业污染指标和生活污染指标的组合,分别对人均工业污水、 NH_4^+-N 、COD 和生活污水、 NH_4^+-N 、COD 共 6 项

排放指标进行极差标准化^[16]处理,并赋予各项指标等额权重(1/6),然后对每个城市的 6 项指标加权求和,即得综合污染排放指标;分别对经济发展指标值和综合污染排放指标值进行极差标准化处理,并作出二者的关系图(图 2)。

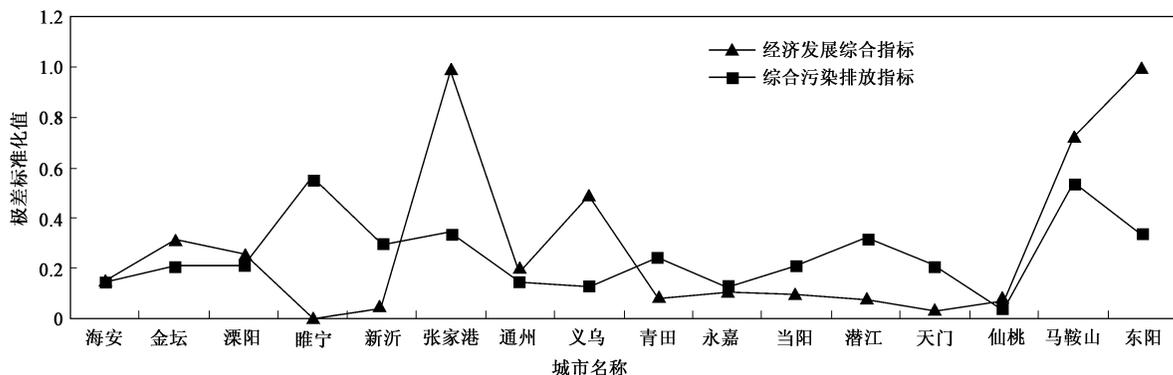


图 2 南方典型中小城市经济发展指标与综合污染排放指标对比

Fig. 2 Comparison between overall pollution indexes and economical development indexes of the typical and medium-small-sized cities in the southern China

1.4 城市类型的结果分析

结合聚类分析的结果(图 1),依据经济发展指标值和综合污染排放指标值(图 2),南方 16 个典型中小城市分为两类 IV 亚类。

第一类为经济发展指标值大于综合污染排放指标值的城市,包括东阳、张家港、义乌、马鞍山、金坛、溧阳、通州、仙桃、海安 9 个城市,属于经济发展好、水环境污染轻的城市,包括聚类分析中第 2 类的 4 个城市和第 4 类的 3 个城市。根据经济发展指标值与综合污染排放指标值的差值,分为 2 个亚类,第 I 亚类(差值 ≥ 0.15)为经济发展好、污染相对较轻的城市,包括东阳、张家港、义乌、马鞍山 4 个城市;第 II 亚类($0 < \text{差值} \leq 0.15$)为经济发展好、污染相对较重的城市,包括溧阳、通州、仙桃、海安、金坛 5 个城市。第一类城市的经济发展状况较好,并不表明污染程度低。从目前来看,东阳等 4 个第 I 亚类城市污水排放量大,但污水处理水平较高,污染相对较轻;第 II 亚类城市中溧阳、通州、仙桃排污量较大,海安排污量较小但污水处理率低,金坛河流长期污染,水质较差,所以第 II 亚类城市污染相对较重。因此第一类城市应在发展经济的同时,加大水环境整治力度,实现经济与环境的持续发展。

第二类为经济发展指标值小于综合污染排放指标值的城市,包括永嘉、当阳、青田、天门、潜江、新沂、睢宁 7 个城市,属于经济发展一般、水环境污染

重的城市,包括聚类分析中第 3 类的 2 个城市和第 1 类的 5 个城市。根据经济发展指标值与综合污染排放指标值的差值,分为 2 个亚类,第 II 亚类($-0.2 < \text{差值} \leq 0$)为经济发展一般、污染相对较轻的城市,包括永嘉、当阳、青田、天门 4 个城市;第 IV 亚类(差值 ≤ -0.2)为经济发展一般、污染相对较重的城市,包括潜江、新沂、睢宁 3 个城市。从目前来看,第 II 亚类城市排污量较小,河流主要断面清洁、水质较好,水资源较为丰富;第 IV 亚类城市河流水质较差,污水处理水平一般,水资源短缺,如潜江属工程型缺水。第二类城市经济发展一般,排污量相对较小,但是环境保护投资也较少。因此要加快经济发展速度,做好污染物的排放与治理工作,避免走“先污染后治理”的老路。

由于通州、海安的经济发展指标值大于综合污染排放指标值(图 2),经济发展呈上升趋势,且污染相对较重,应归入第一类城市中的第 II 亚类。

2 城市水污染的驱动力分析

2.1 城市水污染因素的主成分分析

根据主成分分析的思路,应用 SPSS11.0 软件对 10 个指标因子(简称因子)进行分析^[17,18]。采用“斜交旋转”方法对初始因子载荷矩阵进行最大旋转,因子旋转系数由大到小排列,并剔除载荷量绝对值 < 0.1 的 1 个因子。按特征值 > 1 和累计贡献率 $> 80\%$ 的原则对公因子进行选择^[19]。结果表明,旋转前第

一、第二、第三主成分的特征值 > 1 且方差累计贡献率为 82.77%; 旋转后因子方差贡献率发生变化, 但 3 个因子的相对重要性并未发生改变, 方差累计贡

献率接近 80%, 因此概括为包含绝大部分信息的 3 个公因子(表 2). 根据 3 个公因子的特征根, 求得因子的载荷矩阵(表 3).

表 2 特征根及主成份贡献率

Table 2 Characteristic root and principal component contribution rate

因子序号	旋转前			旋转后			
	初始特征值	方差贡献率/%	方差累计贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	方差累计贡献率/%	特征值
1	4.82	48.18	48.18	3.47	34.67	34.67	3.96
2	2.50	25.02	73.21	3.16	31.65	66.32	2.20
3	0.96	9.56	82.77	1.16	11.55	77.88	3.56
4	0.85	8.49	91.26	—	—	—	—
5	0.39	3.91	95.17	—	—	—	—
6	0.24	2.36	97.53	—	—	—	—
7	0.13	1.33	98.87	—	—	—	—
8	0.07	0.72	99.59	—	—	—	—
9	0.02	0.23	99.81	—	—	—	—

表 3 旋转因子载荷矩阵

Table 3 Factor rotated load matrix

主成分	二产 GDP	工业污水	工业 COD	工业NH ₄ ⁺ -N	人口	一产 GDP	生活NH ₄ ⁺ -N	生活 COD	三产 GDP	生活污水
1	0.98	0.96	0.82	0.59	—	-0.1	0.54	0.59	0.64	—
2	-0.25	-0.24	-0.27	0.11	0.99	0.78	0.18	0.21	-0.34	0.46
3	0.56	0.4	0.4	0.32	0.28	0.28	0.98	0.96	0.67	0.58

2.2 城市水污染的驱动因子分析

旋转后的因子载荷矩阵表明, 南方典型中小城市水污染驱动力可归纳为工业用水污染、农业面源污染和城镇生活污染 3 个因子.

构成第一主成分的因子是第二产业 GDP、工业污水排放量、工业 COD 排放量和工业 NH₄⁺-N 排放量, 可以概括为工业用水污染. 如安徽省, 2006 年工业 COD 排放强度是全国平均水平的 1.3 倍, 废水排放量高出全国平均水平约 15%^[20]; 其中马鞍山大公圩区的工业用水重复利用率几乎为 0, 污水未经有效处理直接排放, 从而导致河流的污染^[21]. 江苏省自 1980 年以来工业废水排放量在波动中平缓增长^[22].

构成第二主成分的因子是人口数量和第一产业 GDP, 可以理解为农业面源污染. 伴随着农村城镇化水平的提高, 生活用水量增加, 然而污水集中处理率较低, 致使水体中有机污染物含量增加. 如湖北当阳市, 农村年平均生活污水处理率不到 1%, 人粪尿使用率为 66%、处理率不足 33%. 此外, 农药、化肥等农用物资的不合理使用以及畜禽粪便的任意排放也加剧了水体的污染. 如江苏金坛市, 2006 年农田径流污染物入河量 NH₄⁺-N 129 t, TP 4.3 t; 化肥使用强度 269.5 kg·hm⁻²; 畜禽入河污染物 COD 1 572 t,

NH₄⁺-N 406 t, TP 55 t^[23].

构成第三主成分的因子为生活 NH₄⁺-N 排放量、生活 COD 排放量、生活污水排放量和第三产业 GDP, 可以概括为城镇生活污染. 城市人口膨胀加剧了基础设施的负荷, 影响环境质量的改善. 生产、生活排放的废弃物一旦超出城市的环境容量, 必然引起生态环境的失调^[24]. 20 世纪 90 年代以来, 江苏省的人口数量一直呈增长趋势^[25], 如张家港塘桥镇经济较发达, 以劳动密集型产业为主(如纺织业), 随着城镇人口数量的增多, 生活用水量、污水排放量相应增多, 大量污水的直接排放加剧了河流的污染程度和湖泊的富营养化^[26].

3 城市类型与水污染驱动力的关系分析

南方 16 个典型中小城市分为两类 IV 亚类, 影响城市水污染的驱动力可归纳为 3 个因子. 为了研究城市类型和驱动力之间的关系, 首先求出第一产业 GDP 等 9 个单项指标的人均值并进行极差标准化处理, 其次分别计算 I ~ IV 亚类城市的 3 个因子均值并进行极差标准化处理, 再次作出南方中小城市污染类型与驱动力关系图(图 3).

图 3 表明, 对于经济发展好、污染相对较轻的 I 亚类城市, 水环境污染的首要因素为工业用水污

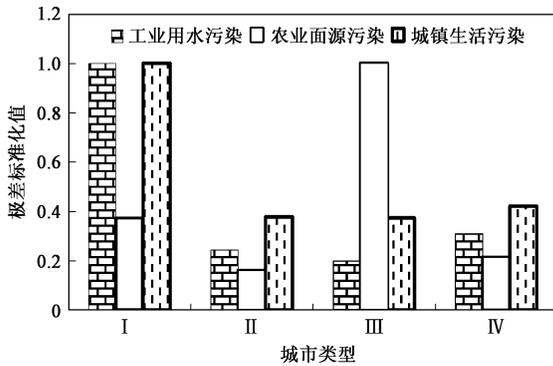


图3 南方典型中小城市类型与驱动力关系

Fig. 3 Relation between the types and influence factors of the typical and medium-small-sized cities in the southern China

染和城镇生活污染,其次为农业面源污染;治理的总体策略是控制城市规模,调整产业结构,严格控制工业污水和城镇生活污水排放达标率,提高污水处理率。对于经济发展好、污染相对较重的第II亚类城市和经济发展一般、污染相对较重的第IV亚类城市,水环境污染的首要因素为城镇生活污染,其次为工业用水污染和农业面源污染;治理的总体策略是合理布局工业,确保经济发展和环境保护相协调,严格控制生活用水定额,减少生活污水排放量,加快城市污水处理基础设施建设。对于经济发展一般,污染相对较轻的第III亚类城市,水环境污染的首要因素为农业面源污染,其次为城镇生活污染和工业用水污染;治理的总体策略是发展节水型农业,合理使用化肥和农药,增加有机肥使用,完善生活污水管网处理收集系统,加强生活垃圾的有效处理。

4 结论

(1) 采用聚类分析方法,在依据综合污染指标值和经济发展指标值的基础上,尝试将南方16个典型中小城市划分为经济发展好、水环境污染轻和经济发展一般、水环境污染重两类IV亚类。

(2) 城市水污染的驱动力归纳为工业用水污染、农业面源污染和城镇生活污染;其中影响第I亚类、第II亚类以及IV亚类和第II亚类城市的主要因素分别为工业用水污染、城镇生活污染和农业面源污染。

(3) 以南方16个典型中小城市为研究对象,划分了城市类型,研究了水污染的驱动力,对于探讨南方中小城市经济和环境协调发展之间的关系具有一定的启示意义。今后可在选取更多城市数量和指标的基础上,开展深入的研究工作。

参考文献:

- [1] 何雨徽, 刑会歌. 我国城市水污染现状及其对策[J]. 水利科技与经济, 2006, 12(1): 44-45.
- [2] 吴舜泽, 夏青, 刘鸿亮. 中国流域水污染分析[J]. 环境科学与技术, 2000, (2): 1-6.
- [3] 吴玉萍, 董锁成, 宋键峰. 北京市经济增长与环境污染水平计量模型研究[J]. 地理研究, 2002, 21(2): 239-245.
- [4] 张妍, 尚金城, 于相毅. 城市经济与环境发展耦合机制的研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 107-113.
- [5] 王西琴, 李芬. 天津市经济增长与环境污染水平关系[J]. 地理研究, 2005, 24(6): 834-842.
- [6] 郭远凯, 李传裕. 城市环境污染的治理及经济分析[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(1): 102-104.
- [7] 王腊春, 霍雨, 朱继业, 等. 区域经济发展与污水排放协调分析[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 593-599.
- [8] 苏征耀. 我国水资源形势及其应对策略[J]. 水资源研究, 2007, 28(1): 11-13.
- [9] 何成达, 张键. 江苏水质型缺水地区水生态环境修复研究[J]. 水资源保护, 2001, (4): 24-26.
- [10] 唐彬. 初探我国市镇规模级别标准[J]. 柳州职业技术学院学报, 2004, 4(2): 5-11.
- [11] 李文华, 刘某承. 关于中国生态省建设指标体系的几点意见与建议[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 2-7.
- [12] 于翔. 聚类分析中一均值方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007. 10-12.
- [13] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006. 347-358.
- [14] 张文彤, 田晓燕, 刘晓云, 等. SPSS 应用系列丛书(2)[M]. 北京: 北京希望点出版社, 2002. 171-176.
- [15] 张耀光, 刘桓, 张岩. 中国海岛县的经济增长与综合实力研究[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 18-24.
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2002. 70-71.
- [17] 黎一畅, 周寅康, 吴林, 等. 城市土地集约利用的空间差值研究——以江苏省为例[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2006, 42(3): 309-315.
- [18] 殷少美, 金晓斌, 周寅康, 等. 基于主成分分析法和AHP-GEM模型的区域新增建设用地指标合理配置——以江苏省为例[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 372-379.
- [19] 薛薇. 统计分析与SPSS的应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001. 250-259.
- [20] 谢贤政, 张之源. 安徽省工业污染特征分析与减排对策[J]. 环境保护, 2007, (20): 21-24.
- [21] 尚新红. 马鞍山大公圩水环境综合治理水利对策[J]. 江淮水利科技, 2007, (4): 43-44.
- [22] 周静, 杨桂山. 江苏省废水排放与经济增长的动态关系[J]. 地理研究, 2007, 26(5): 931-939.
- [23] 霍雨. 我国南方部分中小城市水环境问题研究及对策分析[D]. 南京: 南京大学, 2008. 49-49.
- [24] 赵艳霞. 人口因素对环境污染的宏观分析[J]. 辽宁城乡环境科技, 2002, 22(4): 1-4.
- [25] 李栋, 何康林, 纪振. 江苏省人口产业结构与环境污染的关系研究[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(5): 458-462.
- [26] 陆平, 李新, 谢敏. 工业型城镇水环境调控研究——以张家港塘桥镇为例[J]. 环境保护科学, 2008, 34(1): 13-16.