

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第2期

Vol.36 No.2

**2015**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

霾与非霾期间汞在不同粒径颗粒物上的分布特征 ..... 朱琮宇,程金平,魏雨晴,薄丹丹,陈筱佳,江璇,王文华(373)

大气传输路径对上甸子本底站气溶胶光学特性的影响 ..... 蒲维维,石雪峰,马志强,赵秀娟,张小玲,徐晓峰(379)

近3年太原市夏季降水的化学特征研究 ..... 郭晓方,崔阳,王开扬,何秋生,王新明(388)

太原市PM<sub>2.5</sub>中有机碳和元素碳的污染特征 ..... 刘珊,彭林,温彦平,白慧玲,刘凤娴,史美鲜,李丽娟(396)

青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中有机氯农药和类二噁英多氯联苯的水平与分布 ..... 李秋旭,何畅,马召辉,马丽花,扎西卓玛,王英,金军(402)

北京10个常绿树种颗粒物吸附能力研究 ..... 王兵,张维康,牛香,王晓燕(408)

人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征 ..... 宋志文,王琳,徐爱玲,吴等等,夏岩(415)

春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质空间分布特征研究 ..... 刘翔,郭玲鹏,张飞云,马杰,牟书勇,赵鑫,李兰海(421)

青藏高原湖泊小流域水体离子组成特征及来源分析 ..... 李鹤,李军,刘小龙,杨曦,张伟,王洁,牛颖权(430)

亚热带深水水库——龙滩水库季节性分层与富营养化特征分析 ..... 张奎,李秋华,黄国佳,欧腾,李翎,吴迪,周黔兰,高廷进(438)

长江河口水库沉积物磷形态、吸附和释放特性 ..... 金晓丹,吴昊,陈志明,宋红军,何义亮(448)

黄河口溶解无机碳时空分布特征及影响因素研究 ..... 郭兴森,吕迎春,孙志高,王传远,赵全升(457)

苕溪干流悬浮物和沉积物的磷形态分布及成因分析 ..... 陈海龙,袁旭音,王欢,李正阳,许海燕(464)

滇池表层沉积物氮污染特征及其潜在矿化能力 ..... 孟亚媛,王圣瑞,焦立新,刘文斌,肖焱波,祖维美,徐天敏,丁帅,周童(471)

城郊排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性 ..... 李如忠,钱靖,董玉红,唐文坤,杨继伟(481)

艾比湖表层沉积物重金属的来源、污染和潜在生态风险研究 ..... 张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清(490)

工矿业绿洲城郊排污渠沉积物重金属的形态分布规律及风险评估 ..... 臧飞,王胜利,南忠仁,王兆炜,任业萌,王德鹏,廖琴,周婷(497)

山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评估 ..... 戴彬,吕建树,战金成,张祖陆,刘洋,周汝佳(507)

UV协同ClO<sub>2</sub>去除三氯生及其降解产物的研究 ..... 李玉瑛,何文龙,李青松,金伟伟,陈国元,李国新(516)

氯化铁絮凝-直接过滤工艺对地下水中As(V)的去除机制研究 ..... 康英,段晋明,景传勇(523)

负载纳米零价铁铜藻基活性炭的制备及其去除水中Cr(VI)的研究 ..... 曾淦宁,武晓,郑林,伍希,屠美玲,王铁杆,艾宁(530)

磁性石墨烯吸附水中Cr(VI)研究 ..... 刘伟,杨琦,李博,陈海,聂兰玉(537)

TiO<sub>2</sub>@酵母复合微球固定床吸附荧光增白剂-VBL的研究 ..... 王菲,张凯强,白波,王洪伦,索有瑞(545)

MnO<sub>2</sub>/CFP复合电极的制备及电吸附Pb<sup>2+</sup>特性的研究 ..... 刘方园,胡承志,李永峰,梁乾伟(552)

吸附相反应技术制备微弱光响应的多组分掺杂TiO<sub>2</sub>催化剂 ..... 王挺,祝轶琛,孙志轩,吴礼光(559)

掺铁TiO<sub>2</sub>纳米管阵列模拟太阳光光电催化降解双酚A的研究 ..... 项国梁,喻泽斌,陈颖,徐天佐,彭振波,刘钰鑫(568)

天然矿物负载Fe/Co催化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>氧化降解阳离子红3R ..... 马楠,刘华波,谢鑫源(576)

臭氧微气泡处理酸性大红3R废水特性研究 ..... 张静,杜亚威,刘晓静,周玉文,刘春,杨景亮,张磊(584)

碳源类型、温度及电子受体对生物除磷的影响 ..... 韩芸,许松,董涛,王斌帆,王显耀,彭党聪(590)

低温低溶解氧EBPR系统的启动、稳定运行及工艺失效问题研究 ..... 马娟,李璐,俞小军,魏雪芬,刘娟丽(597)

O池溶解氧水平对石化废水A/O工艺污染物去除效果和污泥微生物群落的影响 ..... 丁鹏元,初里冰,张楠,王星,王建龙(604)

改善污泥脱水性能的丝状真菌的分离及其促进污泥脱水的机制初探 ..... 周雨璐,付豪逸,范先锋,王振宇,郑冠宇(612)

热碱处理对污水处理厂污泥特性的影响研究 ..... 杨世东,陈霞,刘操,肖本益(619)

不同退化程度羊草草原碳收支对模拟氮沉降变化的响应 ..... 齐玉春,彭琴,董云社,肖胜生,贾军强,郭树芳,贺云龙,闫钟清,王丽芹(625)

地表臭氧浓度升高对旱作农田N<sub>2</sub>O排放的影响 ..... 吴杨周,胡正华,李岑子,陈书涛,谢燕,肖启涛(636)

亚热带次生林不同土壤呼吸组分的多年观测研究 ..... 刘义凡,陈书涛,胡正华,沈小帅,张旭(644)

川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素 ..... 罗由林,李启权,王昌全,李冰,张新,冯文颖,翁倩,吴冕(652)

黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响 ..... 张帅,许明祥,张亚锋,王超华,陈盖(661)

汶川地震灾区不同气候区土壤微生物群落碳源代谢多样性 ..... 张广帅,林勇明,马瑞丰,邓浩俊,杜锟,吴承祯,洪伟(669)

土壤电动修复的电极空间构型优化研究 ..... 刘芳,付融冰,徐珍(678)

有机氯农药污染场地挖掘过程中污染物的分布及健康风险 ..... 张石磊,薛南冬,杨兵,李发生,陈宣宇,刘博,孟磊(686)

水稻不同生育期根际及非根际土壤砷形态迁移转化规律 ..... 杨文骏,王英杰,周航,易开心,曾敏,彭佩钦,廖柏寒(694)

植物根系体外溶液的提取方法研究:以多环芳烃为例 ..... 朱满党,都江雪,乐乐,李金凤,杨青青,陆守昆,占新华(700)

垂序商陆叶细胞壁结合锰机制研究 ..... 徐向华,刘翠英,李平,郎漫,赵小艳,杨建军,官敏(706)

1株筛自柴油污染土壤的铜绿假单胞菌对萘的降解特性研究 ..... 刘文超,吴彬彬,李晓森,卢滇楠,刘永民(712)

CdSe/ZnS量子点对斑马鱼胚胎发育的毒性效应 ..... 陈慕飞,黄承志,蒲德永,郑朝依,袁开米,金星星,张耀光,金丽(719)

锯齿新米虾对Cu<sup>2+</sup>和毒死蜱毒性的生理响应 ..... 李典宝,张玮,王丽卿,张瑞雷,季高华(727)

同步衍生超声乳化微萃取气相色谱法测定环境水样中的苯胺类化合物 ..... 田立勋,戴之希,王国栋,翁焕新(736)

热水环境中Na<sup>+</sup>活化斜发沸石吸附钙离子除硬过程研究 ..... 张硕,王栋,陈远超,张兴文,陈贵军(744)

区域经济-污染-环境三维评价模型的构建与应用 ..... 樊新刚,米文宝,马振宁(751)

《环境科学》征订启事(401) 《环境科学》征稿简则(437) 信息(489,522,726,735)

# 区域经济-污染-环境三维评价模型的构建与应用

樊新刚<sup>1,2</sup>, 米文宝<sup>3\*</sup>, 马振宁<sup>3</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学科学技术处, 银川 750021; 3. 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021)

**摘要:** 为深入分析区域环境经济系统变化, 在分析经济发展、环境污染、环境质量相互关系的理论基础, 构建了经济发展水平指数、环境污染指数、环境质量指数的三维立方体评价模型, 划分了8个块区, 分别表达低污染-低质量-低经济发展水平等8种状态, 提出了模型的状态评价、发展阶段划分、演变趋势分析功能, 以及相对含义、绝对含义评价途径和计算公式。以宁夏银川市为例检验模型, 以广州市为目标参照区域进行了相对含义评价, 该市1996~2010年内中时段处于高污染-低质量-低经济发展水平状态, 2007年以后转入了高污染-高质量-低经济发展水平, 目前处于环境质量趋好、污染压力大、徘徊于环境低质量与高质量“拐点”附近状态。绝对含义评价结果: 1996~2010年, 该市始终处于高污染-低质量-低经济发展水平。研究表明, 因目标参照区域选择和相关国家标准值等主要参数不同, 使模型评价具有一定的弹性范围, 无量纲的数据处理增强了指数耦合性, 评价结果的空间可视化为环境管理决策提供了直接依据, 改善了多指标模型评价结果抽象、数据口径不匹配、发展阶段划分不明确等问题, 验证了该模型的应用合理性与适应性。

**关键词:** 经济增长; 环境污染; 环境质量; 三维评价; 模型

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)02-0751-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.2015.02.050

## Construction and Application of Economy-Pollution-Environment Three-Dimensional Evaluation Model for District

FAN Xin-gang<sup>1,2</sup>, MI Wen-bao<sup>3\*</sup>, MA Zhen-ning<sup>3</sup>

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Department of Science and Technology, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** For deep analysis on the regional environmental economic system, the paper analyzes the mutual relation of regional economy development, environmental quality, environmental pollution, and builds the theoretical basis. Then, the economy-pollution-environment quality three-dimensional coupling evaluation model for district is constructed. It includes economic development level index, environmental pollution index, and environmental quality index. The model is a cube, which has spatialization and visualization characteristics. The model includes 8 sub cubes, which expresses 8 types of state, e. g. low pollution-inferior quality-low level of economic development etc. The model can be used to evaluate the status of region, divide development phase, analyze evolution trend etc. It has two ways including relative meaning evaluation (RME) and absolute meaning evaluation (AME). Based on the model, Yinchuan City in the Ningxia Hui Autonomous Region is used as an example for the empirical study. Using RME, compared with Guangzhou city, The result shows that the Yinchuan City has been a high pollution-low quality-low level of economic development state for a long period during 1996-2010. After 2007, the state changed to a high pollution-high quality-low level of economic development. Now, the environmental quality of Yinchuan city gets better, but pollutant discharge pressure is high, and tends to be the break point of high environment quality and low environment. With AME, using national standard, the Yinchuan City remains a high pollution-low quality-low level of economic development state during 1996-2010. Empirical research verifies that different target reference areas and relevant national standards have different main parameters, the evaluating result has a flexible range. The dimensionless data enhances the coupling of index. The data position in model increases the visibility to the environmental management decisions. The model improves mismatches of calculated data size, time asymmetry of spatial data, verification of the former multi-target coupling model.

**Key words:** economic growth; environmental pollution; environmental quality; three-dimensional evaluation; model

全面分析环境经济系统是科学制定宏观治理政策的基础。目前, 发达国家由于环境质量整体改善<sup>[1]</sup>, 主要关注大气、水等单个领域污染特征<sup>[2]</sup>、污染对生物和人体健康影响<sup>[3]</sup>等微观尺度研究, 宏观尺度着重于污染排放与经济增长<sup>[4]</sup>、污染排放与气候变化<sup>[5]</sup>、跨境污染与环境质量<sup>[6]</sup>等的关联性探讨。改革开放以来, 随着国内经济持续增长, 环境日趋恶化, 已经影响到生存安全, 环境经济综合评价得

到了学术界的广泛关注<sup>[7,8]</sup>。我国学者多从污染物排放和环境质量<sup>[9]</sup>、污染物排放或环境质量与经济增长<sup>[10]</sup>、生态经济<sup>[11,12]</sup>等视角研究。但总体上, 国

收稿日期: 2014-06-25; 修订日期: 2014-10-01

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(NZ14014); 国家自然科学基金项目(41161020)

作者简介: 樊新刚(1978~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为区域生态环境, E-mail: fanxg@nxu.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: miwbao@nxu.edu.cn

内外污染物排放、环境质量、经济发展三者关系的研究较少,缺乏区域环境经济的发展阶段评价、演变路径等的宏观研究。

区域环境是一个复杂系统,其主要矛盾表现是环境系统各要素之间的协调发展被破坏<sup>[13]</sup>,单方面研究不足以指导整体架构的环境治理,往往在某些指标得到重视的过程中,其他指标恶化风险加大<sup>[14]</sup>。区域环境评价研究中应用的物质流、生态足迹、能值、环境风险、生态网络分析等方法虽各有优势,但均不能完全符合区域环境管理决策要求,开发环境利益相关者所需的直接明确信息评价工具较为迫切<sup>[15]</sup>。尽管这些分析方法能够提供足够的环境系统信息,但作为管理机构决策分析评价工具,仍然缺乏直观性和足够的简便性,现实指导作用较弱。因此,构建涵盖经济增长、污染排放、环境质量指标的三维模型,评价区域环境经济系统水平、划分发展阶段、明确主要矛盾,对全面科学治理环境,指导环保政策制定和实施,具有重要的理论创新和实践应用意义。

## 1 模型构建

### 1.1 理论基础

环境质量是环境系统客观存在的一种本质属性,是环境或其组成要素对人群生存、繁衍以及社会经济发展的适宜程度<sup>[16]</sup>。环境污染是指自然环境及其组成要素受人类活动影响而引起环境质量下降,以致危害人类和其他生物正常生命活动的现象。环境污染的发生,有一个从量变到质变的发展过程。当造成污染的某物质的浓度或其总量超过环境自净能力时,就会产生危害。因此,环境污染是区域环境系统演变的因,环境质量是果。在污染物排放过程中,以环境容量为阈值,在其内,环境系统通过自身吸收和降解作用,在一定时间和空间范围内保持生物耐受或健康,为高质量阶段,之后环境质量发生质变、恶化,进入低质量阶段。环境质量和环境污染的主要表征指标具有较为复杂的非线性关系<sup>[17]</sup>,但污染减排是环境质量改善的根本途径,从宏观尺度上,有效减排与环境质量改善具有对应性<sup>[18]</sup>。因此,污染物短时间内大量、排放强度超过单位环境容量排放为高污染,反之则为低污染。

经济发展是根本,污染排放是媒介,环境质量是最终表现。经济增长与环境质量表现为复杂的相互作用关系<sup>[19]</sup>。环境污染作为经济生产不可避免的副产品,随经济规模扩张,加剧了资源与能源消耗,

逐步增加对环境的压力,使环境质量下降<sup>[20]</sup>。但随着经济增长和收入增加,居民环保意识增强、环境保护制度实施、生产技术提升、人类资本(教育和文化)积累等多种措施应用效应大于环境污染效应时,恶化达到一定程度后出现拐点,环境质量趋于改善<sup>[21~23]</sup>。经济发展与环境改善是兼容的,经济增长是环境问题解决办法的重要组成部分<sup>[24]</sup>。1995年,Grossman等<sup>[25]</sup>提出环境库兹涅茨曲线(EKC)假说:在经济发展初期阶段,随着人均收入增加,环境污染由低趋高,到达某个临界点(拐点)后,随着人均收入增加,环境污染又由高趋低,环境得到改善和恢复,环境质量与经济发展的关系就会进入正相关阶段,即人均收入与环境污染程度之间呈倒U形关联。之后,国外学者对EKC曲线进行了广泛的实证研究<sup>[26]</sup>。在这一理论框架下,主要应用特定污染物或环境质量替代指标与单位GDP、居民收入等指标或修正的各类模型计算<sup>[27]</sup>,得出了“倒U形、N型、M型或类似曲线”结果<sup>[28]</sup>。

目前,环境质量改善对应的经济发展指标拐点研究成为重要课题,对不同国家和地区,环境质量指标与经济发展指标的定量关系不同,但环境质量改善拐点出现位置与经济发达程度密切相关<sup>[29]</sup>。2001年,Stern等<sup>[30]</sup>对73个国家、35a的数据研究确认了环境质量拐点的位置,其处于中等偏上发展水平国家。2002年,Harbaugh等<sup>[31]</sup>对SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放研究得出排放顶点出现于高收入水平国家。2008年,Bartz等<sup>[18]</sup>研究认为在区域发展初期,由于收入水平低,环境减排不被关注,只有达到一定经济规模后减排出现,并随经济增长规模效益递增,发达国家在20世纪70年代出现“结构断裂”,污染物排放下降,环境质量改善。2013年,Aşici<sup>[32]</sup>利用替代指标法,回归分析显示收入和环境压力呈正相关,中等收入国家较低收入和高收入国家的这种相关作用更为显著。综上,环境质量和污染排放变化对应的经济发展拐点值可综合中等收入水平国家或EKC曲线“拐点值”确定,划分为低经济发展水平阶段、高经济发展水平阶段。

### 1.2 模型框架

借鉴李名升等的思路<sup>[33]</sup>,将废水、废气、固体废弃物等污染物排放强度,大气、水、土壤、声等环境质量指标,GDP、人均收入等经济指标无量纲化为0~1的正向数值(数值越大越好),以对应的环境污染指数为X轴、环境质量指数Y轴、经济发展水平指数Z轴,构建更为完善的立方体评价模型(图1)。

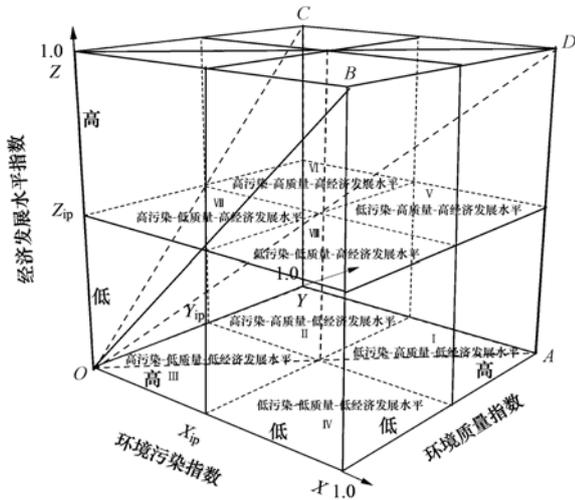


图1 区域经济-污染-环境三维评价模型

Fig. 1 Economy-pollution-environment three-dimensional evaluation model for district

### 1.3 模型解释

#### 1.3.1 指标含义及计算

模型可表达绝对和相对两类含义(图1)。相对含义:由选择的“目标参照区域”污染物排放强度值、环境质量指标值、经济发展水平值与研究区对应指标值进行比较评价。目标参照区域对应选择发达国家或国内经济-污染-环境综合水平优越的典型同等行政单元。主要表达研究区处于“目标参照区域”环境经济演变历程的位置和状态,属定性判断,主要用于区域间的环境经济水平比较,为环境管理决策者提供借鉴。绝对含义:研究区实际经济-污染-环境值与测算的环境容量、国家公布的环境质量标准值、国外典型区域或相关研究当环境质量或污染排放出现“拐点”对应经济指标值进行比较。主要用于区域环境经济发展的定量评价,为环境管理决策者提供量化评价工具。

$$X = x_i/x_i, \quad X_{ip} = x_i/x_{ip} \quad (1)$$

$$Y = y_i/y_i, \quad Y_{ip} = y_i/y_{ip} \quad (2)$$

$$Z = z_i/z_i, \quad Z_{ip} = z_i/z_{ip} \quad (3)$$

(1)相对含义  $X$  为环境污染指数,  $x_i$  为目标参照区域污染物现状单位排放量,  $x_i$  为研究区实际污染物单位排放量,  $x_{ip}$  为目标参照区域污染物单位排放量下降“拐点”值,  $X_{ip}$  为环境污染指数拐点系数;  $Y$  为环境质量指数,  $y_i$  为目标参照区域环境质量指标现状单位值,  $y_i$  为研究区环境质量指标单位实际值,  $y_{ip}$  为目标参照区域环境质量指标“拐点”值,  $Y_{ip}$  为环境质量指数的拐点系数;  $Z$  为经济发展水平指数,  $z_i$  为目标参照区域经济发展指标现状单

位值,  $z_i$  为研究区经济发展指标单位实际值,  $z_{ip}$  为目标参照区域对应环境质量“拐点”的经济发展水平指标值,  $Z_{ip}$  为经济发展指数拐点系数。

(2)绝对含义 当污染物排放量为0时,  $X$  应为1,但0排放是不可能实现;当排放量为无限大时,  $X$  趋于0。当研究区全部数据  $x_i > x_{ip}$ , 由于排放量为环境容量时环境质量发生质变,  $x_{ip}$  为研究区环境容量值,可以赋  $X_{ip}$  为0.5,  $X$  直接按公式(4)计算。当研究区全部数据中存在  $x_i < x_{ip}$  情况时,按公式(5)对  $X$  无量纲化为  $X_n$ ,  $X_n$  为最终的环境污染指数,  $X_{ip}$  值由  $x_{ip}$  对应的无量纲值确定。据文献[33],目前学术界对于环境容量的研究多限于理论探讨。但可通过分析国内外与研究区自然环境特征相似的典型区域环境质量变化对应的污染物排放量值等方法确定研究区环境容量。

$$X = x_{ip}/x_i \quad (4)$$

$$X_n = X_i/X_{max} \quad (5)$$

环境质量指数和经济发展水平指数分别按照公式(2)和公式(3)计算。对环境质量指数,当为背景值(即未受任何人为污染)时应为1,据国家环境质量标准,  $y_i$  取一级值,  $Y_{ip}$  值为0.50。对经济发展水平指数,根据 Grossman 等<sup>[25]</sup>的研究结论,  $z_{ip}$  选择人均GDP 8000美元。根据联合国开发计划署(UNDP)《2013年人类发展报告》,高人类发展指数(HDI)水平组人均国民总收入(GNI)的界限值为11501万美元<sup>[34]</sup>,  $z_i$  取其值,可知  $Z_{ip}$  值为0.70(8000美元/11501美元)。2008年, Costantini 等<sup>[35]</sup>用人类发展指数(HD)替代单位GDP指标计算的“拐点值”为0.60,与本研究接近。

环境污染指标、环境质量指标和经济发展指标可分别设置二级指标,应用现有相关文献研究的权重系数计算方法,计算环境污染指数、环境质量指数、经济发展水平指数综合分值后,对应分别计算各指数在模型中的位置后进行评价。

#### 1.3.2 块区划分及含义

图1中,在直线  $OX(YA)$  内,随  $X$  值增加,污染物排放强度逐渐减少,  $OX_{ip}$  为高污染、  $X_{ip}X$  为低污染。在  $OY(XA)$  内,随  $Y$  值增长环境质量逐渐增高,  $OY_{ip}$  为低环境质量、  $Y_{ip}Y$  为高环境质量。在  $OZ(AD)$  内,随  $Z$  值增加区域经济发展水平逐渐提高,  $OZ_{ip}$  为低经济发展水平、  $Z_{ip}Z$  为高经济发展水平。模型划分为“ I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII”这8个块区,按顺序分别代表研究区不同的经济、污染、环境组合状态(表1)。

表 1 区域-经济-污染-环境三维耦合评价模型含义

Table 1 Meaning of economy-pollution-environment three-dimensional evaluation model for district

块区	类型	相对含义	绝对含义
I	低污染-高质量-低经济发展水平类型	处于目标参照区域的工业化初期水平	污染物排放强度低,未超出本地环境容量,环境质量符合国家一级标准,经济发展水平较低,但未越过拐点,为工业化初期或低污染低收入特别类型
II	高污染-高质量-低经济技术水平类型	处于目标参照区域的环境质量拐点前的规模化工业初期水平	污染物排放强度超出环境容量,但环境质量高,经济发展水平较低,但未越过拐点,为工业规模化初期
III	高污染-低质量-低经济发展类型	处于目标参照区域的“环境问题显现、规模化工业中期”水平	污染物排放强度超出环境容量,环境质量低,环境问题显现,经济发展水平较低,但未越过拐点,为工业规模化中期
IV	低污染-低质量-低经济发展水平类型	污染物排放强度小,但由于环境吸纳降解迟滞,环境质量低,经济发展水平也未越过拐点.处于目标参照区域的工业化后期水平	污染物排放强度低于环境容量,但环境质量较差,经济发展水平较低,未越过拐点,为污染物排放强度下降或环境治理干预的工业化中后期
V	低污染-高质量-高经济技术水平类型	处于目标参照区域的工业化后期水平	污染物排放强度低于环境容量,环境质量高,经济发展水平越过了拐点,为工业化后期或为高收益、高污染工业发展初期
VI	高污染-高质量-高经济技术水平类型	比较目标参照区域为高收益、高污染工业发展初期水平	污染物排放强度高于环境容量,环境质量高,经济发展水平超出了拐点,为高收益、高污染工业发展初期
VII	高污染-低质量-高经济技术水平类型	比较目标参照区域为高收益、高污染工业发展中期水平	污染物排放强度超出环境容量,环境质量低,环境系统恶化,经济发展水平超出了拐点,为高收益、高污染工业发展中期
VIII	低污染-低质量-高经济技术水平类型	比较目标参照区域为高收益产业污染排放强度下降的工业化中后期水平	污染物排放强度低于环境容量,环境质量低,经济发展水平超出了拐点,为高收益产业污染排放强度下降或环境治理干预的工业化中后期

## 1.4 模型应用

### 1.4.1 区域-经济-污染-环境综合状态评价

模型包含经济发展水平、污染物排放、环境质量这3个指数值,通过可视化表达,判断研究区所处位置,进而综合分析其状态.多研究区时,可将直接明确各自所处类型并进行对比分析和所处发展阶段分类.

### 1.4.2 区域-经济-污染-环境发展路径分析

低经济发展水平:①块区 I → II → III → IV,即传统的“先污染、后治理”模式;②块区 I → II → III,环境问题暴发期,若未采取污染治理措施,任由污染物排放,当污染物累积量远超出环境容量时,环境系统可能发生崩溃;③块区 I → II → I,表达了环境治理及时,环境恶化后治理效果显现;④块区 I → IV,存在跨界受污染、环境容量低等情况.

高经济发展水平:①与低经济发展水平相似,同样为块区 V → VI → VII → VIII.存在区域工业发展起步晚,经济发展指标高,但环境污染严重,如西部地区.或者是产业收益高、污染严重.后经过治理,环境控制效果显现.②块区 V → VI → VII,持续恶化类型,治理缺失,直至崩溃.③块区 V → VI → V、V → VIII,与低经济发展水平相似.

经济发展水平指数为区域人均 GDP、人均收入等指标,无论是否表达相对还是绝对含义,由于区域

产业结构调整、市场繁荣、人口规模变化、对外贸易等因素具有不确定性<sup>[36]</sup>,均存在由低向高经济发展水平各块区转化的可能性,应具体分析.

### 1.4.3 区域-经济-污染-环境指数对比分析

分析单一区域状态时,可明确经济发展、污染物排放、环境质量的关系.对角线 OD、OA、OB、OC 及 OADZ 面上各点对应指数相等,经济-污染-环境关系协调.立方体内其他各点经济-污染-环境指数均有一定偏差,代表不同含义.其中,顶面为 ZCD、底面为 OYA 的立体区内的各点环境质量指数大于污染排放指数,区域环境质量在未来一段时期可能得到较大改善;顶面为 ZBD、底面为 OXA 的立体区内各点污染排放指数大于环境质量指数,减少污染排放将是区域亟待解决的问题.立方体内任意一点垂直 OADZ 面的距离称为偏差,其大小可以表示环境质量与污染排放偏差的大小,可以判断区域未来环境问题走向.

## 2 案例分析

以银川市为例,利用 1996 ~ 2010 年市域 SO<sub>2</sub> 排放量、烟粉尘排放量,大气环境质量的 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度,以及经济发展水平的人均 GDP 数据,在分析数据动态特征基础上,利用模型评价,对照检验效果.

## 2.1 银川市概况

银川市是宁夏回族自治区首府,位于黄河上游宁夏平原中部,总面积 $9\,555.38\text{ km}^2$ ,属典型干旱半干旱大陆性气候。截至2010年11月,银川市常住人口199万人。依托资源和地域优势,银川市已基本建立起能源、化工、机电、建材、冶金、制药、食品、造纸和农副产品加工等30多个门类的现代工业生产体系。2012年全市实现生产总值1 140.83亿元,三次产业产值比为4.50:54.80:40.70。

## 2.2 数据及计算

### 2.2.1 数据

主要来源于1996~2010年宁夏环境统计年报、1996~2010年银川统计年鉴、2011中国统计年鉴、2010年和2006年广州市环境状况通报、2011年和2006年广州统计年鉴。

相对含义评价:选取我国环保模范城市广州市作为目标参照区域,评价银川市环境经济水平处于东部发达城市广州市发展的怎样程度,是否达到了广州市“拐点”水平。广州市2001年以来大气污染程度呈现“先升高后降低”的态势,以2005年为下降拐点,环境质量逐渐好转<sup>[37]</sup>。据此,“拐点”时间确定为2005年,目标时间为2010年。由于两市经济规模和产业结构差异,采用万元GDP污染物排放量计算环境污染指数。具体为:广州市2005年 $\text{SO}_2$ 、烟粉尘排放强度为 $0.0029\text{ t}\cdot\text{万元}^{-1}$ 、 $0.0005\text{ t}\cdot\text{万元}^{-1}$ ,2010年为 $0.0007\text{ t}\cdot\text{万元}^{-1}$ 、 $0.0001\text{ t}\cdot\text{万元}^{-1}$ 。2005年 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度分别为 $0.0530\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.0880\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,2010年为 $0.0330\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.0690\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。2005年和2010年人均GDP分别为6.88万元、8.75万元。

绝对含义评价:据文献[33],美国与我国国土面积相近,自然条件有相似之处,其环境质量较好且20世纪70年代以来基本呈改善趋势,污染物排放量可认为处于环境容量内,排放强度约为我国2010年的1/2。据此,环境容量值取我国单位国土面积污染物排放量的1/2, $\text{SO}_2$ 为 $1.13\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ,烟粉尘为 $0.67\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度取国家环境空气质量标准(GB 3095-2012)一级值,分别为 $0.02\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.04\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。其他数值及经济发展水平指数相关数值按前文所述确定。

### 2.2.2 计算

按公式(1)分别计算 $\text{SO}_2$ 和烟粉尘排放强度对应的各自指数值后,取平均值,得到相对含义的环境污染指数 $X$ ;由于1996~2010年银川市 $\text{SO}_2$ 和烟粉

尘排放强度均高于前述环境容量值,直接用公式(4)分别计算 $\text{SO}_2$ 和烟粉尘排放强度对应的各自指数值,后取平均值,得到绝对含义的环境污染指数 $X$ ;用公式(2)分别计算空气 $\text{SO}_2$ 和 $\text{PM}_{10}$ 浓度对应的各自指数值,取平均值后得到相对含义与绝对含义下的各自环境质量指数 $Y$ ;相对含义与绝对含义的经济发展水平指数 $Z$ 按公式(3)计算。

利用计算的环境污染指数 $X$ 、环境质量指数 $Y$ 、经济发展水平指数 $Z$ 值,由Origin8.0软件输出相对含义和绝对含义的经济-污染-环境三维评价模型图,分析银川市相对及绝对含义评价结果。

## 2.3 结果与分析

### 2.3.1 污染物排放强度与环境质量变化

1996~2010年,银川市 $\text{SO}_2$ 、烟粉尘排放强度均为“先下降、后升高”的类似“U”型变化(图2)。对比人均GDP,2004年人均GDP增速加快,两类污染物在2006年后逆转下降趋势迅速增加。1996~2004年,人均GDP在1万元左右缓慢增长, $\text{SO}_2$ 排放强度在2003年前持续下降,烟粉尘排放强度也在2006年前下降迅速。相对应地,空气中 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度在2002年前处于高位阶段,之后进入低水平平缓阶段,环境质量在2005年后明显改善。

$\text{SO}_2$ 排放强度在2004年到达了最低点,对应于2004年以后空气中 $\text{SO}_2$ 浓度保持在 $0.054\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 水平以下。烟粉尘排放强度2006年到达最低,为 $2.20\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ,对应的 $\text{PM}_{10}$ 浓度在2005年后也进入 $0.097\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 水平。

总之,污染物排放强度与空气中污染物含量水平、拐点时间的对应性较为明显。但2007年以后,污染物排放强度增加,空气中对应污染物浓度水平变化不明显,应与污染物高强度排放时间短、环境质量反应迟滞、大气污染管理力度加大等因素有关。

### 2.3.2 经济-污染-环境综合水平变化及阶段划分

相对含义评价结果可分为两个阶段(图3):1996~2004年为高污染-低质量-低经济发展水平阶段,2005~2010年为高污染-高质量-低经济发展水平。第一阶段历时9a,第二阶段为6a,表明银川市总体处于广州市的高污染、低环境质量水平,属于其工业化中期阶段水平。同时,由前文可知,2007年以后,银川市 $\text{SO}_2$ 、烟粉尘排放强度又有加大,对应的环境质量未来返回低质量阶段的可能性较大。

对比图2,银川市在环境污染指数15a连续处于高污染水平下,环境质量先低后高,与表1的模型解释不符,呈现了“逆向变化”特征。这与环境污染

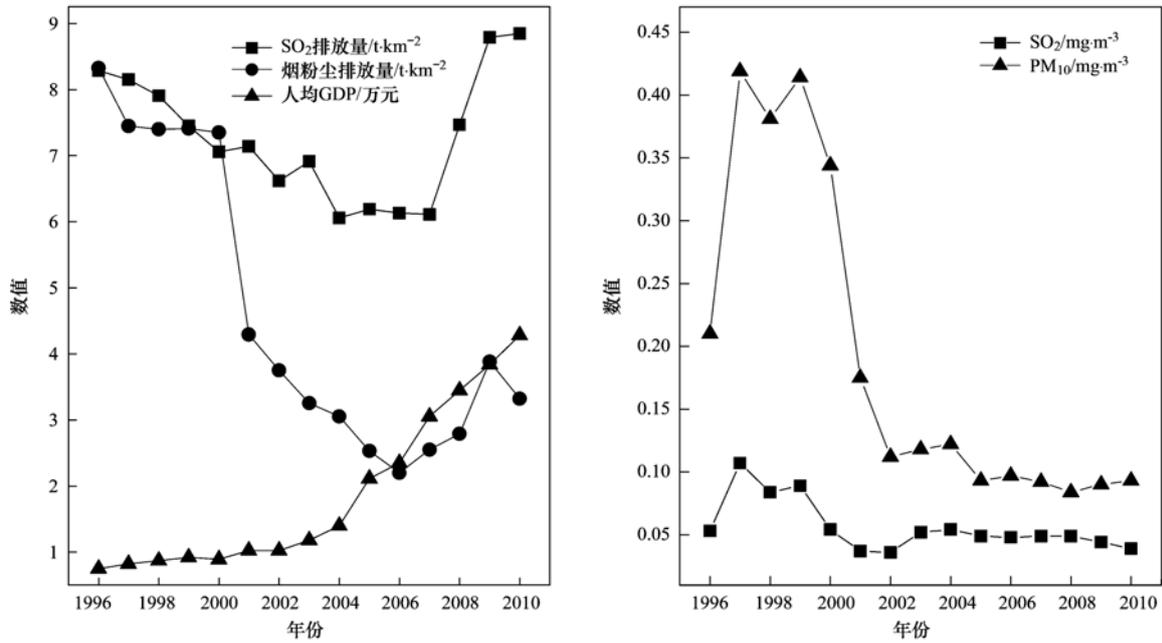


图 2 银川市经济增长-环境污染-环境质量变化

Fig. 2 Changes of economic growth-the pollution of the environment-environmental quality of Yinchuan City

指数采用单位 GDP 指标计算有关,广州市地处珠三角地区,工业及第三产业发达,GDP 规模庞大,是我国为数不多的超万亿城市,单位 GDP 污染物排放量极低,银川地处西北内陆,经济规模小,工业偏重,单位 GDP 能耗较高且效益较低,属典型的投资拉动型和资源型经济,造成了相对环境污染指数过高,也与其长期处于低经济技术水平的结果相一致。

环境质量指数自 2005 年进入高质量阶段,相对广州市 2005 年出现“拐点”的变化较为接近,表明银川市环境质量改善的速度和幅度成效均较为显著。从投影位置看,银川市经济发展水平和环境质

量改善速度较快,但污染物排放削减速度较慢,环境空气污染压力较大,未来环境系统恶化的可能性较大。

绝对含义评价表明(图 4):银川市 1996 ~ 2010 年的 15 a 间,始终处于高污染-低质量-低经济发展水平阶段。从投影位置看,环境污染指数先上升后下降,根据前文公式(4)含义及污染物排放强度变化可知,中期有所改善,2007 年以来的排放又有增加趋势,且相对于以全国环境平均容量值长期超标。环境质量指数在 2004 年前总体上持续改善,接近拐点位置,但 2004 ~ 2005 年出现了大幅下降,之后持续好转,到 2010 年已经再次接近拐点位置。对比两个指数的变化增速和幅度来看,环境质量指数迅速接近拐点值,改善最为明显。经济发展水平指数持续上升,2010 年已经接近拐点位置,未来环境污染管理和环境质量改善的预期较好。但由于 2007 年后污染物排放强度加大又增加了不确定因素。总体上,随着银川市经济快速增长,环境污染排放和环境质量变化曲折,改善压力较大。

银川市相对广州市在 2005 年后环境质量有所改善,进入了高质量阶段,但根据国家环境空气质量标准一级值的绝对含义结果仍然处于低质量阶段。据此,银川市环境质量应处于高低水平的“徘徊”阶段。同时,相对含义与绝对含义评价的经济发展水平指数均属于低经济发展水平,与银川市现状发展水平相符合。具体从图 3、图 4 上位置看,绝对含义

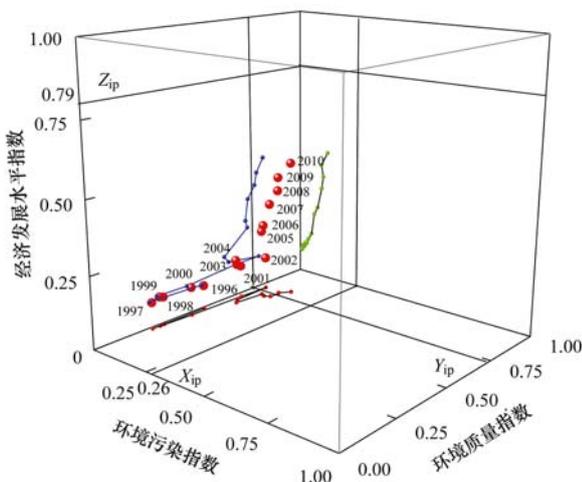


图 3 相对含义评价

Fig. 3 Economy-pollution-environment three-dimensional evaluation using Guangzhou City as object

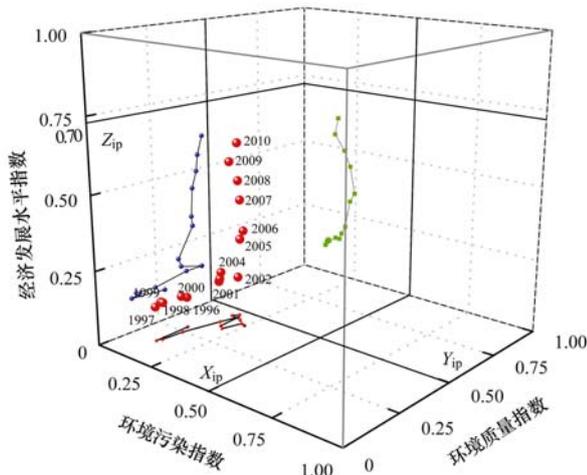


图4 绝对含义评价

Fig. 4 Economy-pollution-environment three-dimensional evaluation for absolute meaning evaluation of Yinchuan City

评价中的经济发展水平指数位置较相对含义评价距离拐点值更短,表明未来较短时间内环境质量改善可能性较大,但相对我国发达地区环保典型城市仍存在较大距离。另外,整体上“经济发展水平较低、污染物排放量大”是共性问题,这与银川市经济欠发达,产业规模小及产业结构不合理有较强的关联性。

### 3 讨论

模型的环境污染指数、环境质量指数和经济发展水平指数为无量纲数据,主要表达了对环境、经济发展目标的可达程度。指数间属性关系有待于进一步量化,应在此基础上结合“立方体”模型中位置关系,提出统一的数学支持模型,在微观上分析区域经济-污染-环境相互演进的数量规律,以明确主要驱动因素,使模型具有更强的分析预测功能。

模型应用有以下前提:一是以往研究显示我国部分区域经济发展与环境污染间存在“N”型、“U”型等关系,应选择“倒U”型或存在类似规律的目标参照区域,才能使“拐点”值和目标值设定更具可比性。二是由于区域环境污染和质量变化往往起伏较多,短期内显著意义“拐点”出现可能性较小,相对含义评价必须首先对目标参照区域进行尽可能长的时间序列分析,才能找准其拐点,以提高模型评价准确性。三是绝对含义评价必须明确环境质量指数、环境污染指数各自包含指标的“拐点”和“目标值”。由于不同国家和区域参照的环境质量标准不同、环境容量存在差异,使各指数数值存在一定弹性,跨国评价应使用世界卫生组织(WHO)或欧盟(EU)的标准

值,国内采用我国相关标准。

影响不同区域经济-污染-环境综合状态的因素繁多,8个块区含义主要按照经济发展水平指数、环境污染排放指数、环境质量指数的“直观或直接含义”解释,未能纳入政策管理、技术进步、地理环境差异等因素,相关研究应在此基础上改进。

绝对含义评价的环境容量计算是难点。不同地区因地理差异、污染物种类等因素,具有不同的环境容量。银川市大气环境容量值采用了全国平均值,只考虑了宏观尺度上的共性水平,根据具体情况测算环境容量后评价应具有更强的合理性;相对含义评价中的指标选择尤为重要。在环境污染指数计算中,银川市地处西北,国土面积较大,单位面积污染物排放强度值较低,而广州市较高。应用单位GDP污染物排放量计算,银川市污染排放强度显著大于广州市,使评价结果出现了差异。如何选择兼顾目标参照区与研究区特征,又能符合模型计算要求的指标需要进一步改进。

### 4 结论

(1) 区域经济-污染-环境三维评价模型可空间化和可视化表达区域环境经济综合水平。模型的8个块区分别代表不同的经济发展水平、污染排放强度、环境质量的组成状态,具有评价区域综合状态、所处经济发展与环境治理变化阶段、演变路径等的功能。

(2) 以环境空气为研究内容,应用模型的相对含义与绝对含义评价结果与银川市 $\text{SO}_2$ 、烟粉尘排放量, $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度,人均GDP原始数据变化特征的分析结果具有对应性,与实际相符合,较好检验了模型3个指数设置、计算方法、主要参数等的合理性。

(3) 通过案例检验,相对含义评价结果主要由“目标参照区域”与研究区的经济发展水平、环境污染、环境质量差距决定,绝对含义基于对区域经济的实际状况评价,二者能够较好地结合使用并相互印证。

(4) 模型的数据无量纲处理增强了3个主要指数的耦合性,空间可视化评价为环境管理决策提供了直接依据,避免了以往多指标模型评价结果抽象、数据口径不匹配、发展阶段划分不明确等问题,具有较强的应用性。

#### 参考文献:

[1] Cherniwchan J. Economic growth industrialization and the

- environment[J]. *Resource and Energy Economics*, 2012, **34**(4): 442-467.
- [ 2 ] Hamaoui-Laguel L, Meleux F, Beekmann M, *et al.* Improving ammonia emissions in air quality modeling for France [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **92**: 584-595.
- [ 3 ] Oakes M, Baxter L, Long T C. Evaluating the application of multi-pollutant exposure metrics in air pollution health studies [J]. *Environment International*, 2014, **69**: 90-99.
- [ 4 ] Koop G, McKittrick R, Tole L. Air pollution, economic activity and respiratory illness: Evidence from Canadian cities, 1974-1994[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, **25**(7): 873-885.
- [ 5 ] Trail M, Tsimpidi A P, Liu P, *et al.* Sensitivity of air quality to potential future climate change and emissions in the United States and major cities[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **94**: 552-563.
- [ 6 ] Mill L, Fahana S, Xu X H. Trans-boundary air pollution in Windsor, Ontario (Canada) [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, **2**(1): 585-594.
- [ 7 ] 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J]. *地理学报*, 2012, **67**(12): 1599-1610.
- [ 8 ] 管卫华, 孙明坤, 陆玉麒. 1986~2008年中国区域环境质量变化差异研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(3): 609-618.
- [ 9 ] Fang M, Chan K C, Yao X H. Managing air quality in a rapidly developing nation: China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(1): 79-86.
- [ 10 ] 陈兴鹏, 杨冕, 杨福霞. 中国经济发展与环境质量动态关系[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, **47**(3): 35-39.
- [ 11 ] 李名升, 佟连军. 基于能值和物质流的吉林省生态效率研究[J]. *生态学报*, 2009, **29**(11): 6239-6247.
- [ 12 ] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部12省(区市)的生态足迹[J]. *地理学报*, 2001, **56**(5): 598-609.
- [ 13 ] 李本纲, 冷疏影. 二十一世纪的环境科学——应对复杂环境系统的挑战[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(6): 1121-1132.
- [ 14 ] 何淳耀. 自然资源的库兹涅茨曲线: 来自中国省级面板数据的证据[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, **23**(8): 1-6.
- [ 15 ] Loiseau E, Junqua G, Roux P, *et al.* Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods [J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, **112**: 213-225.
- [ 16 ] 邓绶林. *地学辞典* [M]. 石家庄: 河北教育出版社, 1992. 414-415.
- [ 17 ] 邢佳. 大气污染排放与环境效应的非线性响应关系研究 [D]. 北京: 清华大学, 2011.
- [ 18 ] Bartz S, Kelly D L. Economic growth and the environment: Theory and facts [J]. *Resource and Energy Economics*, 2008, **30**(2): 115-149.
- [ 19 ] 胡聃, 许开鹏, 杨建新, 等. 经济发展对环境质量的影响——环境库兹涅茨曲线国内外研究进展 [J]. *生态学报*, 2004, **24**(6): 1259-1266.
- [ 20 ] Xia Y Q, Xu M S. A 3E model on energy consumption environment pollution and economic growth—An empirical research based on Panel Data [J]. *Energy Procedia*, 2012, **16**(Part C): 2011-2018.
- [ 21 ] Kelly D L. On environmental Kuznets curves arising from stock externalities [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2003, **27**(8): 1367-1390.
- [ 22 ] Jones L E, Manuelli R E. Endogenous policy choice: the case of pollution and growth [J]. *Review of Economic Dynamics*, 2001, **4**(2): 369-405.
- [ 23 ] Gendron C. Beyond environmental and ecological economics: Proposal for an economic sociology of the environment [J]. *Ecological Economics*, 2014, **105**: 240-253.
- [ 24 ] Kijima M, Nishide K, Ohyama A. Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2010, **34**(7): 1187-1201.
- [ 25 ] Grossman G M, Kreuger A B. Economic growth and the environment [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, **110**(2): 353-377.
- [ 26 ] Dietz T, Rosa E A, York R. Environmentally efficient well-being: Is there a Kuznets curve? [J]. *Applied Geography*, 2012, **32**(1): 21-28.
- [ 27 ] Saboori B, Sulaiman J, Mohd S. Economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve [J]. *Energy Policy*, 2012, **51**: 184-191.
- [ 28 ] 虞依娜, 陈丽丽. 中国环境库兹涅茨曲线研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2012, **21**(12): 2018-2023.
- [ 29 ] Baek J, Kim H S. Is economic growth good or bad for the environment? Empirical evidence from Korea [J]. *Energy Economics*, 2013, **36**: 744-749.
- [ 30 ] Stern D I, Common M S, Sanyal K K. Is there an Environmental Kuznets Curve for sulfur? [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2001, **41**(2): 162-178.
- [ 31 ] Harbaugh W T, Levinson, A, Wilson D M. Reexamining the empirical evidence for an Environmental Kuznets Curve [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2002, **84**(3): 541-551.
- [ 32 ] Aşıcı A A. Economic growth and its impact on environment: A panel data analysis [J]. *Ecological Indicators*, 2013, **24**: 324-333.
- [ 33 ] 李名升, 孙媛, 陈远航, 等. 污染排放与环境质量关系模型构建与应用 [J]. *环境科学*, 2014, **35**(3): 1198-1204.
- [ 34 ] 联合国开发计划署. 2013年人类发展报告—南方的崛起: 多元化世界中的人类进步 [R]. 2013. 162-168.
- [ 35 ] Costantini V, Monni S. Environment, human development and economic growth [J]. *Ecological Economics*, 2008, **64**(4): 867-880.
- [ 36 ] 汤姆·蒂坦伯格, 琳恩·刘易斯. *环境与自然资源经济学* [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2011. 515-516.
- [ 37 ] 马民涛, 刘洁, 廉婕. 广州市大气环境演变过程及其控制要素的因子分析 [J]. *环境工程*, 2013, **31**(6): 62-66.

## CONTENTS

Size Distribution Characteristics of Particulate Mercury on Haze and Non-haze Days .....	ZHU Qiong-yu, CHENG Jin-ping, WEI Yu-qing, <i>et al.</i> ( 373 )
Impact of Atmospheric Pollutants Transport Pathways on Aerosol Optical Properties at Shangdianzi Background Station .....	PU Wei-wei, SHI Xue-feng, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> ( 379 )
Chemical Characteristics of 3-year Atmospheric Precipitation in Summer, Taiyuan .....	GUO Xiao-fang, CUI Yang, WANG Kai-yang, <i>et al.</i> ( 388 )
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM <sub>2.5</sub> in Taiyuan .....	LIU Shan, PENG Lin, WEN Yan-ping, <i>et al.</i> ( 396 )
Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Atmospheric Particulates in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China .....	LI Qiu-xu, HE Chang, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> ( 402 )
Particulate Matter Adsorption Capacity of 10 Evergreen Species in Beijing .....	WANG Bing, ZHANG Wei-kang, NIU Xiang, <i>et al.</i> ( 408 )
Carbon Sources Metabolic Characteristics of Airborne Microbial Communities in Constructed Wetlands .....	SONG Zhi-wen, WANG Lin, XU Ai-ling, <i>et al.</i> ( 415 )
Spatial Distribution Characteristics of the Physical and Chemical Properties of Water in the Kunes River After the Supply of Snowmelt During Spring .....	LIU Xiang, GUO Ling-peng, ZHANG Fei-yun, <i>et al.</i> ( 421 )
Composition Characteristics and Source Analysis of Major Ions in Four Small Lake-watersheds on the Tibetan Plateau, China .....	LI He, LI Jun, LIU Xiao-long, <i>et al.</i> ( 430 )
Seasonal Stratification and Eutrophication Characteristics of a Deep Reservoir, Longtan Reservoir in Subtropical Area of China .....	ZHANG Lei, LI Qiu-hua, HUANG Guo-jia, <i>et al.</i> ( 438 )
Phosphorus Fractions, Sorption Characteristics and Its Release in the Sediments of Yangtze Estuary Reservoir, China .....	JIN Xiao-dan, WU Hao, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> ( 448 )
Spatial-Temporal Distributions of Dissolved Inorganic Carbon and Its Affecting Factors in the Yellow River Estuary .....	GUO Xing-sen, LÜ Ying-chun, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> ( 457 )
Distributions of Phosphorus Fractions in Suspended Sediments and Surface Sediments of Tiaoxi Mainstreams and Cause Analysis .....	CHEN Hai-long, YUAN Xu-yin, WANG Huan, <i>et al.</i> ( 464 )
Characteristics of Nitrogen Pollution and the Potential Mineralization in Surface Sediments of Dianchi Lake .....	MENG Ya-yuan, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> ( 471 )
Influence of Transient Storage on Solute Transport and the Parameter Sensitivity Analysis in a Suburban Drainage Ditch .....	LI Ru-zhong, QIAN Jing, DONG Yu-hong, <i>et al.</i> ( 481 )
Sources, Pollution Statue and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Aibi Lake, Northwest China .....	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwaili, JIANG Feng-qing ( 490 )
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Suburban Outfall of Industrial Oasis Region .....	ZANG Fei, WANG Sheng-li, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> ( 497 )
Assessment of Sources, Spatial Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in Soils in a Typical Industry-based City of Shandong Province, Eastern China .....	DAI Bin, LÜ Jian-shu, ZHAN Jin-cheng, <i>et al.</i> ( 507 )
Removal of Triclosan with the Method of UV/ClO <sub>2</sub> and Its Degradation Products .....	LI Yu-ying, HE Wen-long, LI Qing-song, <i>et al.</i> ( 516 )
Mechanism of Groundwater As(V) Removal with Ferric Flocculation and Direct Filtration .....	KANG Ying, DUAN Jin-ming, JING Chuan-yong ( 523 )
Preparation of Nano Zero-valent Iron/ <i>Sargassum horneri</i> Based Activated Carbon for Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution .....	ZENG Gan-ming, WU Xiao, ZHENG Lin, <i>et al.</i> ( 530 )
Adsorption of Cr(VI) on Magnetic Graphene from Aqueous Solution .....	LIU Wei, YANG Qi, LI Bo, <i>et al.</i> ( 537 )
Adsorption of the TiO <sub>2</sub> @Yeast Composite Microspheres for Adsorbing Fluorescent Whitening Agent-VBL in Fixed Bed .....	WU Fei, ZHANG Kai-qiang, BAI Bo, <i>et al.</i> ( 545 )
Preparation and Pb <sup>2+</sup> Electrosorption Characteristics of MnO <sub>2</sub> /CFP Composite Electrode .....	LIU Fang-yuan, HU Cheng-zhi, LI Yong-feng, <i>et al.</i> ( 552 )
Preparation of Weak Light Driven TiO <sub>2</sub> Multi Composite Photocatalysts via Adsorption Phase Synthesis .....	WANG Ting, ZHU Yi-chen, SUN Zhi-xuan, <i>et al.</i> ( 559 )
Photoelectrocatalytic Degradation of Bisphenol A in Water by Fe Doped-TiO <sub>2</sub> Nanotube Arrays Under Simulated Solar Light Irradiation .....	XIANG Guo-liang, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i> ( 568 )
Oxidation of Cationic Red 3R in Water with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Catalyzed by Mineral Loaded with Fe/Co .....	MA Nan, LIU Hua-bo, XIE Xin-yuan ( 576 )
Characteristics of Acid Red 3R Wastewater Treatment by Ozone Microbubbles .....	ZHANG Jing, DU Ya-wei, LIU Xiao-jing, <i>et al.</i> ( 584 )
Effects of Carbon Sources, Temperature and Electron Acceptors on Biological Phosphorus Removal .....	HAN Yun, XU Song, DONG Tao, <i>et al.</i> ( 590 )
Startup, Stable Operation and Process Failure of EBPR System Under the Low Temperature and Low Dissolved Oxygen Condition .....	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> ( 597 )
Effects of Dissolved Oxygen in the Oxidative Parts of A/O Reactor on Degradation of Organic Pollutants and Analysis of Microbial Community for Treating Petrochemical Wastewater .....	DING Peng-yuan, CHU Li-bing, ZHANG Nan, <i>et al.</i> ( 604 )
Isolation of Filamentous Fungi Capable of Enhancing Sludge Dewaterability and Study of Mechanisms Responsible for the Sludge Dewaterability Enhancement .....	ZHOU Yu-jun, FU Hao-yi, FAN Xian-feng, <i>et al.</i> ( 612 )
Impacts of Alkaline Thermal Treatment on Characteristics of Sludge from Sewage Treatment Plant .....	YANG Shi-dong, CHEN Xia, LIU Cao, <i>et al.</i> ( 619 )
Responses of Ecosystem Carbon Budget to Increasing Nitrogen Deposition in Differently Degraded <i>Leymus chinensis</i> Steppes in Inner Mongolia, China .....	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> ( 625 )
Impacts of Elevated Ozone Concentration on N <sub>2</sub> O Emission from Arid Farmland .....	WU Yang-zhou, HU Zheng-hua, LI Cen-zi, <i>et al.</i> ( 636 )
Multi-Year Measurement of Soil Respiration Components in a Subtropical Secondary Forest .....	LIU Yi-fan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> ( 644 )
Spatial Variability of Soil Nitrogen and Related Affecting Factors at a County Scale in Hilly Area of Mid-Sichuan Basin .....	LUO You-lin, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i> ( 652 )
Effects of Land Use Change on Soil Active Organic Carbon in Deep Soils in Hilly Loess Plateau Region of Northwest China .....	ZHANG Shuai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> ( 661 )
Carbon Source Metabolic Diversity of Soil Microbial Community Under Different Climate Types in the Area Affected by Wenchuan Earthquake .....	ZHANG Guang-shuai, LIN Yong-ming, MA Rui-feng, <i>et al.</i> ( 669 )
Optimization of Electrode Configuration in Soil Electrokinetic Remediation .....	LIU Fang, FU Rong-bing, XU Zhen ( 678 )
Distribution and Health Risk of HCHs and DDTs in a Contaminated Site with Excavation .....	ZHANG Shi-lei, XUE Nan-dong, YANG Bing, <i>et al.</i> ( 686 )
Transformation and Mobility of Arsenic in the Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soils at Different Growth Stages of Rice .....	YANG Wen-tao, WANG Ying-jie, ZHOU Hang, <i>et al.</i> ( 694 )
Extraction of Plant Root Apoplast Solution; A Case Study with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons .....	ZHU Man-dang, DU Jiang-xue, YUE Le, <i>et al.</i> ( 700 )
Mechanism of Manganese Binding to Leaf Cell Wall of <i>Phytolacca americana</i> L. ....	XU Xiang-hua, LIU Cui-ying, LI Ping, <i>et al.</i> ( 706 )
Degradation Characteristics of Naphthalene with a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain Isolated from Soil Contaminated by Diesel .....	LIU Wen-chao, WU Bin-bin, LI Xiao-sen, <i>et al.</i> ( 712 )
Toxic Effects of CdSe/ZnS QDs to Zebrafish Embryos .....	CHEN Mu-fei, HUANG Cheng-zhi, PU De-yong, <i>et al.</i> ( 719 )
Physiological Response of <i>Neocaridina denticulata</i> to the Toxicity of Cu <sup>2+</sup> and Chlorpyrifos .....	LI Dian-bao, ZHANG Wei, WANG Li-qing, <i>et al.</i> ( 727 )
Determination of Anilines in Environmental Water Samples by Simultaneous Derivatization and Ultrasound Assisted Emulsification Microextraction Combined with Gas Chromatography-Flame Ionization Detectors .....	TIAN Li-xun, DAI Zhi-xi, WANG Guo-dong, <i>et al.</i> ( 736 )
Adsorption of Calcium Ion from Aqueous Solution Using Na <sup>+</sup> -Conditioned Clinoptilolite for Hot-Water Softening .....	ZHANG Shuo, WANG Dong, CHEN Yuan-chao, <i>et al.</i> ( 744 )
Construction and Application of Economy-Pollution-Environment Three-Dimensional Evaluation Model for District .....	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning ( 751 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年2月15日 第36卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 2 Feb. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行