

# The Influence of Air Quality on Respiratory System Disease in Pearl River Delta Based on Data Analysis

Yangmei Zhuo, Yunxin Cai, Jianchao Chen\*, Shihua Lu, Xiaoding Tang, Wanwen Cai, Yuhan Shen, Zunmeng Xu

College of Mathematics and Statistics, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou Guangdong  
Email: \*cjcat126@126.com

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 22<sup>nd</sup>, 2016; published: Sep. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Based on the related data of the nine cities in Pearl River Delta from 2006 to 2013, the article first builds a weighted API model to assess the regional air quality, and applies the principle of Dose-Response Relationship to estimate the hospitalization rate of Respiratory System Disease. Combining the obtained data, we use the Correlation Coefficient to analyze quantitatively the influence of air quality on the disease. In addition, in order to improve the status of disease, we carry on Multiple Regression Analysis and the Environmental Kuznets Curve to make a further research on the crucial problems of environmental governance. Finally, we draw the conclusions that the disease is affected complicatedly apart from air quality in most of the cities in Pearl River Delta, and what causes the disease varies in regions obviously. Furthermore, respecting the cause of the disease, the major pollutant of Guangzhou, Zhuhai and Jiangmen is SO<sub>2</sub>, while that is PM10 in other six cities. And governing the air pollution to lower the disease wouldn't discourage the economic growth, because the economy of the region is over the EKC.

## Keywords

Weighted API Model, Dose-Response Relationship, Environmental Kuznets Curve

---

\*通讯作者。

# 基于数据分析的珠三角地区空气质量与呼吸系统疾病关系研究

卓杨媚, 蔡韞昕, 陈建超\*, 卢诗华, 唐小定, 蔡婉文, 申瑜晗, 许遵猛

广东财经大学数学与统计学院, 广东 广州

Email: \*cjcat126@126.com

收稿日期: 2016年9月6日; 录用日期: 2016年9月22日; 发布日期: 2016年9月29日

## 摘要

针对2006至2013年珠三角九个城市的相关数据, 首先, 设计加权API模型以评价各地空气质量, 再运用剂量-反应关系原理估算呼吸系统疾病住院率以评价各地发病状况, 进而用相关系数定量分析各城市空气质量对呼吸系统疾病状况的影响效应。最后为改善疾病状况, 应用多元回归分析和环境库兹涅茨曲线拐点理论对空气污染物治理的两个关键问题作进一步研究。结论: 本地区大部分城市空气质量与呼吸系统疾病发病状况呈现较弱负相关关系, 致病原因复杂, 存在明显的区域差异性。此外, 广州、珠海、江门三个城市导致发病的主要污染物是SO<sub>2</sub>, 其他六个城市的主要污染物是PM<sub>10</sub>, 并且本地区均已越过EKC拐点, 因此治理空气污染不会影响经济发展。

## 关键词

加权API模型, 剂量-反应关系, 环境库兹涅茨曲线

## 1. 引言

多种大气污染物高强度集中排放使不少地区常年处于空气污染严重超标状态, 而近年雾霾等问题在新媒体平台上被提升至全民关注的新高度, 使空气污染对呼吸道疾病的影响引发人们激烈讨论。作为我国六大核心经济圈之一的珠江三角洲(简称珠三角), 上述问题也日益受到人们的重视, 而此问题及其解决又与经济发展密不可分。因此研究城市空气质量与呼吸系统疾病的影响效应, 对于珠三角地区具有重要的现实意义。

国内外学者对空气质量与呼吸系统疾病发病状况的关系作出了研究, 均说明两者有一定关系, 且关系不确切, 致病原因复杂: 黎大美, 马玉霞[1] (2012)根据兰州市 2001~2008 年可吸入颗粒物 API 指数资料及兰州大学附属一院、二院呼吸系统疾病 2003~2005 年就诊人数资料, 采用统计学方法研究, 发现空气污染与发病人数存在显著的日相关、月相关和年相关; 翟广宇[2]等(2015)使用 Apriori 关联规则算法得出结论: 上呼吸道感染的发病不仅与前 1 天、前 3 天、前 5 天的空气污染程度有关, 还与相应时间的低温和高湿度等条件有很大程度的关联; 剂量-反应函数是目前估计一些难以搜集的数据的一种统计方法: 袁波[3]等(2006)运用此函数计算出当吉林市 PM<sub>10</sub> 浓度降至国家环境空气质量二级标准时可避免的健康损失例数。在经济发展与污染程度的关系方面, 国内外许多学者投入了环境库兹涅茨曲线(EKC)的研究: Panayoutou [4] (1993)证实了污染物浓度与经济发展水平的关系呈现倒 U 型, 即在越过“拐点”后, 经济

发展水平越高，污染情况越得到缓解。

针对城市空气质量对呼吸系统疾病的影响效应的研究，难点在于，第一，传统 API 指数忽略了次要污染物对当地空气质量的影响，使空气质量评价结果具有片面性；第二，区域性呼吸道疾病住院率是衡量区域疾病状况的关键数据，在常用数据库中却很难获得。为此，本文用以下两个方法解决了上述的难点，第一，构建加权 API 模型消除传统空气质量评价的片面性；第二，运用剂量 - 反应函数方法估算呼吸道疾病住院率，为研究相关问题提供了数据支撑。本文结构安排如下：第一部分给出研究背景及前人对空气质量、经济水平与呼吸系统疾病关系的部分研究成果；第二部分说明全文所用数据来源；第三部分介绍空气质量与呼吸系统疾病相关性的研究方法；第四部分将实际数据代入模型给出实证结果；第五部分从主要致病污染物以及治理主要污染物是否影响经济发展水平的两个关键问题对改善疾病状况的进一步研究；第六部分为结束语。

## 2. 数据来源

空气污染物监测资料来源于《粤港珠江三角洲区域空气监控网络》，选取的数据样本区间为 2006 年至 2013 年，其中，收集的信息包括 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 的年平均浓度。原始数据存在极少数缺失值，对缺失值进行均值补全。

为了计算各地区的住院率，我们在国家统计局中查找出 06~13 年的广东省总人口数以及九个城市的常住人口数，在《广东省卫生统计年鉴》查找到 06~13 年的广东省总住院人数，在《中国第四次全国卫生服务调查分析报告》查得全国年普查地区的平均呼吸系统疾病住院率。

## 3. 空气质量与呼吸系统疾病的相关性研究方法

首先本文将观察实际数据，改善传统的 API 模型，建立加权 API 模型以评价空气质量；再通过采用大气颗粒物(PM<sub>10</sub>)的剂量 - 反应关系函数式计算出在 PM<sub>10</sub> 浓度影响下超额患呼吸系统疾病数，结合 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 三种空气污染物的权重估算出各城市各年的呼吸系统疾病年均住院率，以量化呼吸系统疾病状况；最后分析空气质量与呼吸系统疾病状况的相关关系。

### 3.1. 加权 API 模型的构建

查阅大量文献可知，PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> 是现在被普遍采取的评价空气质量的指标，对呼吸道疾病的发病有重要的影响。为计算空气质量综合指标 API，本文选取 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 的年平均浓度三个基础指标。这里没有采用 PM<sub>10</sub> 作为指标，原因是这一监测指标从 2013 年才开始被纳入检测范围，而我们采用的数据是 2006 至 2013 年的。

根据上述污染物指标可计算空气污染指数(API)，按照《我国环境空气质量标准》，传统 API 的计算方法如下：根据某一污染物的浓度计算该污染物的 API 分指数  $I_i$  ( $i = \text{PM}_{10}, \text{SO}_2, \text{NO}_2$ )，然后在各分指数中选取最大值  $I_i$  (首要污染物)作为该地区的 API。根据 API 数值可以确定空气质量级别。

由于珠三角各城市环境空气质量状况差异很大，根据《粤港珠江三角洲区域空气监控网络监测报告》，发现结果 2006 至 2013 年这几年来大多数城市的首要污染物都是 PM<sub>10</sub>，从而使 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 这两种污染物对空气质量的影响信息在空气质量报告得不到体现，使评价结果存在很大的片面性。为了克服传统 API 的这一缺点，本文在得到 API 分指数  $I_i$  后，利用加权求和法最终确定该地区的 API 值，加权求和 API 的计算如下：

$$\text{API} = w_1 I_1 + w_2 I_2 + w_3 I_3 \quad (1)$$

式中， $w_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 分别表示 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 对空气质量的影响程度(以下用权重表示)。

本文依据珠三角地区 2006~2013 年空气各污染物浓度值的最大值和最小值将污染物国家二级标准空气质量的年平均浓度限值归一化, 计算出各污染物的权重。各污染物的权重估算被定义如下:

计算第  $i$  种污染物的归一化系数:

$$Q_i = \frac{A_i - \text{Min}_i}{\text{Max}_i - \text{Min}_i} \quad (2)$$

将  $Q_i$  再次归一化求出权重:

$$w_i = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^3 Q_i} \quad (3)$$

其中,  $A_i$  是第  $i$  种污染物的国家二级标准空气质量的年平均浓度限值,  $\text{Min}_i$  为 2006 年至 2013 年第  $i$  种污染物的最小浓度值,  $\text{Max}_i$  为 2006 年至 2013 年第  $i$  种污染物的最大浓度值(表 1)。

### 3.2. 反应函数原理

剂量 - 反应关系函数是近几年来在国内外被广泛应用于计算可吸入颗粒物 PM10 与其所产生的呼吸系统等疾病效应的严重程度的关系。由于相对于人群来说, 疾病的发生是小概率事件, 符合统计学上的泊松分布。因此本文采用剂量 - 反应法估算珠三角地区的呼吸系统疾病年均住院人数。剂量 - 反应函数被定义如下:

$$E_{kj}(\text{PM10}) = \text{POP}_{kj} \cdot P_j \cdot \left( e^{\beta(C_{kj} - A_0)} - 1 \right) \quad (4)$$

式中:

$E_{kj}(\text{PM10})$ : 第  $k$  个城市、第  $j$  年中受 PM10 影响的呼吸系统疾病住院人数;

$\text{POP}_{kj}$ : 第  $k$  个城市、第  $j$  年中暴露于污染大气之中的人口数, 这里我们设为各年各城市人口数;

$P_j$ : 广东省第  $j$  年呼吸系统疾病住院率;

$\beta$ : 因 PM10 污染导致呼吸系统疾病住院人数与大气颗粒物 PM10 浓度变化的关系系数, 即剂量 - 反应关系系数;

$C_{kj}$ : 第  $k$  个城市、第  $j$  年 PM10 的年平均浓度数据;

$A_0$ : 评估所采用的参考基准浓度值, 我们采用 WHO 的年均准则值;

上述的  $k$  和  $j$  为:  $k = 1, 2, \dots, 9$ ;  $j = 06, 07, \dots, 13$ 。

反推第  $k$  个城市第  $j$  年呼吸系统疾病住院总人数, 计算公式如下:

$$E_{kj} = \frac{E_{kj1}}{a_1} \quad (5)$$

其中  $E_{kj1}$  为利用剂量 - 反应关系估算出的第  $k$  个城市第  $j$  年在 PM10 作用下的呼吸系统疾病住院人数,  $a_1$  为上文 PM10 的权重,  $E_{kj}$  为待求的第  $k$  个城市第  $j$  年呼吸系统疾病住院总人数。最后根据住院总人数与查得的该城市总常住人口数求得疾病住院率。

### 3.3. 空气质量与呼吸道疾病状况的相关性分析

鉴于各地呼吸道疾病发病原因存在区域差异, 所以有必要对珠三角地区空气质量与呼吸道疾病状况的发病关系做出定量分析。由于本文不考虑加权 API 与住院率是否存在线性相关, 因此采用 Spearman 秩相关系数进行相关性分析[5], 衡量两者关系。

## 4. 实证结果

### 4.1. 空气质量评价结果

首先对污染物数据进行描述性统计分析, 获得对数据的整体性认识。由表 2, 从横向看, 珠三角地区不同城市污染物极值与平均水平存在较大差异; 从纵向看, 不同城市近年间污染物浓度跨度不同。

将数据应用于加权 API 模型, 可得到  $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  的权重分别为 0.13、0.31、0.56。结合三种污染物的权重, 利用 2006~2013 年的各污染物浓度值可得到珠三角各地区的加权 API 值。利用 Excel 画出各地区不同年份的 API 折线图, 如图 1。由图 1 可知, 珠三角各地区的综合空气质量指数整体呈现下降趋势, 说明空气质量总体持续改善。其中佛山下降幅度最大, 但直至 2013 年仍是九个城市中整体空气质量最差的; 惠州、珠海空气质量一直维持在较好状态, 变化幅度不大; 江门空气质量状况比较波动。

最后, 为验证加权 API 比传统 API 在空气质量评价上更有合理性, 利用 R 语言做出地区对传统算法 API 的影响方差分析和对加权 API 的影响方差分析, 得到  $F$  统计量和  $p$  值等结果。结果显示, 传统算法和加权 API 算法检验的  $p$  值分别为  $p_x = 8.517e^{-0.8}$ ,  $p_y = 6.62e^{-11} < 0.05$ , 即地区对国际算法 API 值和加权求和 API 值都有显著影响, 又  $p_y = 6.62e^{-11} < p_x = 8.517e^{-0.8}$ , 则九个地区对加权求和 API 的影响比国际算法 API 的影响要显著, 所以用加权求和 API 评价九个地区的空气质量比国际算 API 更为合理。

### 4.2. 呼吸系统疾病住院率结果

得到估算结果并绘制在图 2 中, 由图 2 可知, 广州、珠海这两城市的呼吸系统疾病住院率有逐年增

Table 1. Classification of API annual average concentration value

表 1. API 年平均浓度分级限值表

污染指数 API	污染物 $SO_2$ 浓度( $mg/m^3$ )	污染物 $NO_2$ 浓度( $mg/m^3$ )	污染物 $PM_{10}$ 浓度( $mg/m^3$ )
50	0.02	0.04	0.04
100	0.06	0.08	0.07
200	0.10	0.12	0.10

Table 2. The statistic results of air quality in Pearl River Delta region

表 2. 珠三角地区各城市空气质量的变量统计结果

PM10	广州	深圳	珠海	佛山	江门	肇庆	惠州	东莞	中山
Max	0.082	0.067	0.069	0.146	0.075	0.088	0.103	0.094	0.082
Min	0.007	0.048	0.041	0.074	0.056	0.054	0.048	0.059	0.041
Mean	0.065	0.057	0.055	0.102	0.067	0.074	0.070	0.076	0.065
$SO_2$	广州	深圳	珠海	佛山	江门	肇庆	惠州	东莞	中山
Max	0.053	0.029	0.051	0.108	0.060	0.073	0.026	0.051	0.064
Min	0.015	0.007	0.012	0.012	0.019	0.031	0.013	0.024	0.015
Mean	0.032	0.015	0.025	0.050	0.037	0.051	0.019	0.036	0.035
$NO_2$	广州	深圳	珠海	佛山	江门	肇庆	惠州	东莞	中山
Max	0.065	0.061	0.040	0.079	0.040	0.058	0.038	0.058	0.051
Min	0.040	0.041	0.029	0.059	0.029	0.044	0.032	0.040	0.033
Mean	0.053	0.049	0.035	0.067	0.036	0.050	0.035	0.049	0.041

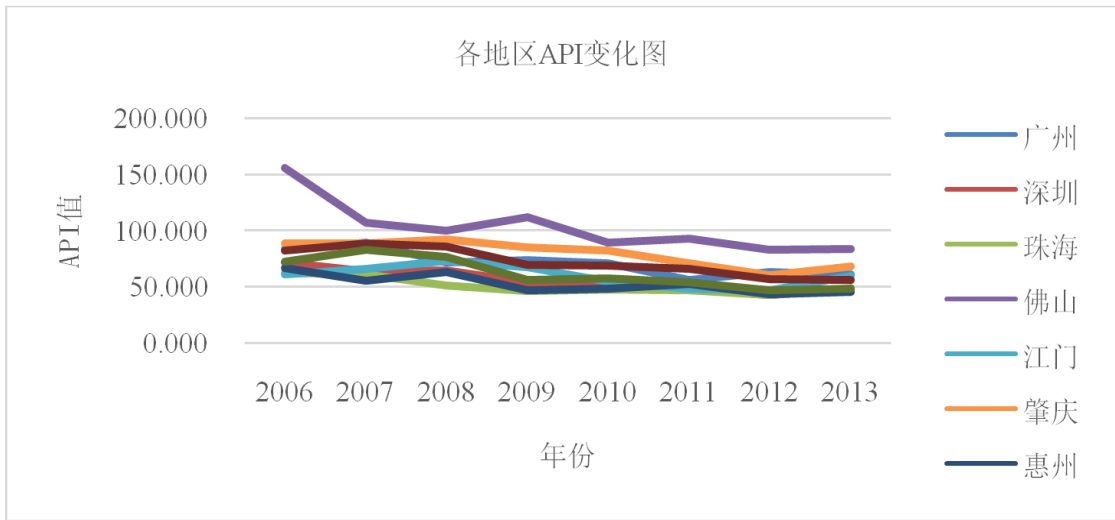


Figure 1. Analysis of regional API changes  
图 1. 各地区 API 变化分析图

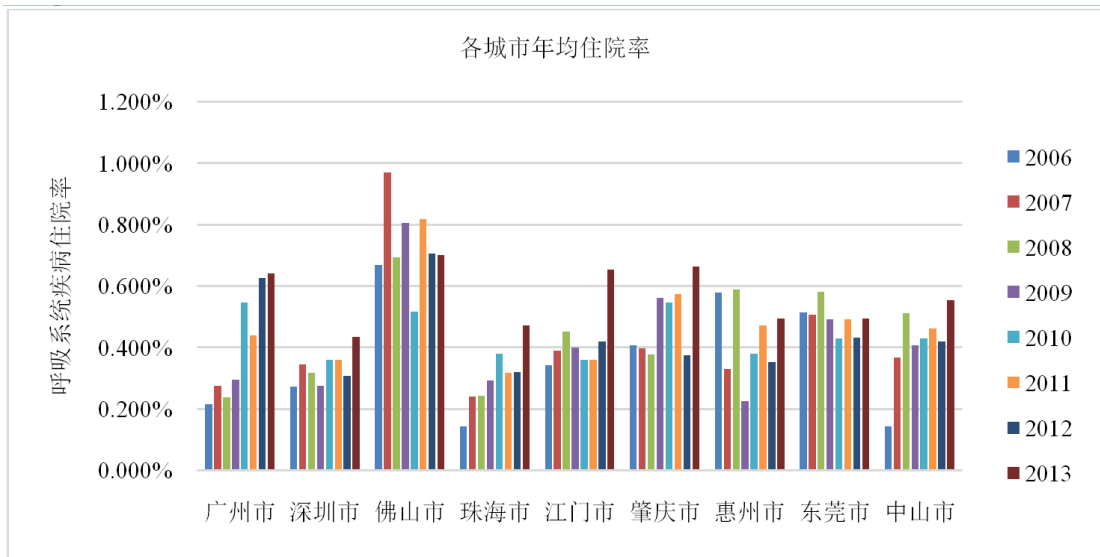


Figure 2. The average hospitalization rates of each city  
图 2. 各城市年均住院率

长的趋势，佛山市的住院率这几年一直持有较高的住院率；2012 年和 2013 年的各个城市的住院率都比较高。

### 4.3. 相关性结果

将已计算出的 2006~2013 年的加权 API 值与估算的呼吸道疾病住院率导入 SPSS 中，算得 Spearman 秩相关系数结果如表 3 所示。

结果显示，各地 2006~2013 年的加权 API 与呼吸道疾病住院率有呈现负相关的，也有呈现正相关的现象。原理上，加权 API 与呼吸道疾病住院率应是负相关的。一方面，呼吸道疾病住院率可能是受各方面综合影响的结果，另一方面，通过无量纲化，加权等处理的 API 值，可能削弱了三种污染物中某一种对综合值的影响，改变了序列的数字特征，从而使相关性有上述表现。



## 5. 改善疾病状况的进一步研究

通过上文的探讨,虽然珠三角地区空气质量与呼吸系统疾病状况相关关系较弱,但不能否定空气质量的影响效应。因此为了改善疾病的状况,本文对治理空气污染物的两个关键问题作进一步的研究:首先利用多元回归找出影响各个城市的呼吸系统疾病住院率的主要污染物;其次运用环境库兹涅茨曲线拐点理论判断各城市是否越过 EKC 拐点,分析大幅治理主要污染物以改善疾病状况,是否会影响经济发展。

### 5.1. 基于多元线性回归确定主要污染物

对已估算出的珠三角各地呼吸系统疾病住院率与各污染物指标做多元线性回归,可找到各城市主要致病污染物见表 4。

根据多元回归的结果,广州、珠海、江门三个城市的主要污染物是  $\text{SO}_2$ ,其他六个珠三角城市的主要污染物是  $\text{PM}_{10}$ 。

### 5.2. 是否越过 EKC 拐点

本文通过珠三角各地人均 GDP 与各污染物指标的 Spearman 秩相关系数说明各地是否越过 EKC 拐点,人均 GDP 越高,说明经济发展水平越高。结果见于表 5。

结果显示,珠三角各地经济发展水平与相关程度最高的污染物都呈现负相关,说明珠三角九个城市都已经越过环境库兹涅茨曲线的拐点,一定程度上反映珠三角产业结构优化成果。由此可知,对珠三角这些城市而言,从各个产业中减少污染物的产生是不会影响到其经济发展水平的。

**Table 3.** The correlation of weighted API and respiratory disease hospitalization rates

**表 3.** 加权 API 与呼吸道疾病住院率相关性

年份	Spearman 秩相关系数	年份	Spearman 秩相关系数
2006	-0.502	2010	0.322
2007	-0.333	2011	-0.142
2008	-0.494	2012	0.075
2009	0.050	2013	0.184

**Table 4.** The major pollutants affected the respiratory diseases in Pearl River Delta

**表 4.** 珠三角城市影响呼吸系统疾病住院率主要污染物

城市	主要污染物	正相关/负相关	显著性
广州	$\text{SO}_2$	负相关	显著
深圳	$\text{PM}_{10}$		不显著
珠海	$\text{SO}_2$		不显著
佛山	$\text{PM}_{10}$	负相关	显著
江门	$\text{SO}_2$		不显著
肇庆	$\text{PM}_{10}$	正相关	显著
惠州	$\text{PM}_{10}$	正相关	显著
东莞	$\text{PM}_{10}$		不显著
中山	$\text{PM}_{10}$	正相关	显著

**Table 5.** The correlation of urban economic level and pollutants in Pearl River Delta  
**表 5.** 珠三角城市的经济水平与污染物的相关性

污染物	广州	深圳	珠海	佛山	江门	肇庆	惠州	东莞	中山
PM10				-0.786				-0.786	-0.786
SO <sub>2</sub>	-1.000	-0.258	-0.970		-0.762	-0.929	-0.738	-0.762	-0.922
NO <sub>2</sub>		-0.632							

## 6. 结束语

本文建立加权 API 模型计算珠三角各城市的加权 API 值, 与传统 API 相比解决了片面评价空气质量状况的问题; 其次, 运用剂量 - 反应函数估计呼吸系统疾病住院率解决了数据难获得的问题, 为此类相关问题提供了数据支撑, 并评价了各地发病状况; 再对以上已得到的加权 API 值和住院率做相关性分析, 探讨了空气质量与呼吸系统疾病的相关性。此外, 为了改善疾病状况, 对空气污染物治理的两个关键问题作了进一步研究。

## 参考文献 (References)

- [1] 黎大美, 马玉霞. 兰州市空气污染与呼吸系统疾病的关系研究[C]//中国气象学会. S7 气候环境变化与人体健康. 北京: 中国气象学会, 2012.
- [2] 翟广宇, 王式功, 董纪元, 尚可政. 兰州市不同径粒大气颗粒物污染特征及气象因子的影响分析[J]. 生态环境学报, 2015(1): 70-75.
- [3] 袁波, 董德明. 可吸入颗粒物造成的健康损失价值核算——以吉林市为例[J]. 四川环境, 2006, 25(2): 83-86.
- [4] Panayoutou, T. (1993) Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. ILO Technology and Employ Programmed Working Paper, WP238.
- [5] 唐年胜, 李会琼. 应用回归分析[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [sa@hanspub.org](mailto:sa@hanspub.org)