

# 京津冀地区空气污染治理成本的测度与对策研究

曹景林 卫永红

摘要：京津冀一体化战略中，对空气污染治理提出了要求。本文基于合作博弈的 Shapley 模型，对空气污染治理中的成本分摊问题进行了分析，结果既降低了治理成本、保护了各地区的利益，又促成了合作。针对模型的缺陷，从京津冀地区现实状况入手，结合大数据思想，提出了综合修正因子的概念，对模型进行了加权改进。模型结果表明，北京地区应该承担更多的治理成本来补贴河北与天津地区，最后针对京津冀空气污染治理成本的控制提出了对策建议。

关键词：Shapley 模型 京津冀一体化 空气污染治理 综合修正因子

## **A Study on Measurement and Countermeasures to the cost of air pollution control in Beijing, Tianjin and Hebei**

### **Abstract**

Beijing-Tianjin -Hebei integration strategy for air pollution control requirements is proposed. Based on the Shapley cooperative game model of governance haze cost allocation problem is analyzed, calculated at a reasonable cost-sharing program, and offered to subsidize basic Shapley value allocation combined with the idea of pollution externalities, both to protect the interests of the regions, but also contributed to the cooperation. For the defect model, this article from Beijing, Tianjin region instance, combining a large data thought, the concept of comprehensive correction factor, the model was weighted improvements. Model results show that Beijing should shoulder more the costs to support the Hebei and Tianjin. Finally, the countermeasures and suggestions are put forward to control the cost of air pollution control in Beijing, Tianjin and Hebei.

**Key Words** : Shapley model; Beijing-Tianjin-Hebei integration; Air Pollution Control; Comprehensive correction factor

## 一、引言

京津冀地区近几年沙尘暴、雾霾污染等环境问题不断出现，环境质量越来越差，环境保护刻不容缓。虽然中央政府以及三个地区不断采取措施，但是京津冀地区地缘上的特殊性再加上空气的流动性，使得单一地区的空气污染治理无法达到理想的效果，这就使一体化协作治理成为了必然的措施。数据表明，北京空气污染并不是北京自己产生的，而主要是来自天津和河北地区。北京大气PM<sub>2.5</sub>污染还受到山西、河南、山东和内蒙古的影响。因此，加强区域性的环境保护是一项艰巨的任务。而环境治理成本的核算是环境保护的重要一环，只有弄清环境的治理成本，国家才能提出适宜的环境政策和法规。虽然当前中央及地方政府对环境污染的治理投入不断加大，但正因为没有一个系统的合理的治理成本核算与分担机制，投入的资金很多时候成了无谓的损失，效果并不显著。尤其是在京津冀地区，三地政治、地理、文化、产业等各方面的关联度极高，环境治理投入的大小以及如何协调三个区域协同合作是至关重要的，这是一个合作博弈，而Shapley模型正是合作博弈中求“一点解”的方法。

## 二、文献综述

目前，我国学者对污染治理成本的研究较多，大多是根据《中国环境经济核算技术指南》进行核算。李娜（2004）根据统计技术指南对天津市的环境污染损失成本进行了核算，以调查取得的各行业污染物单位治理成本为基础，计算出各行业虚拟治理成本，并从企业与宏观两方面介绍了环境成本控制方法；谭亚荣，郑少锋（2007）为了解决虚拟治理成本的核算问题，讨论了三种污染物单位治理成本的核算方法并作了评价，一是污染物边际处理费用法，二是排污收费标准表征法，三是治理成本系数法；杨建军，董小林（2014）利用单位成本模型的方法分别对西安市2000年到2007年间的固体及气体污染物治理成本进行了核算，对于各类污染物的实际治理成本，选择用该污染物的治理设施的运行费用代替，而治理设施的运行费用则从总运行费用中根据占比求出，结果表明西安市空气污染治理资金缺口呈倒U型，正在逐年减少，治理开始显现效果。

关于区域间污染治理成本的分摊问题研究，大多采用Shapley模型，通过合

作博弈求解进行分析。李维乾、解建仓、李建勋(2013)等人运用 Shapley 模型探讨了河流污染流经的地方造成生态污染后,应该选择的分摊方法;通过分析各流域的差异,采用梯形的模糊数确定方法,以此来比较不同权重,对 Shapley 模型进行了改进,获得的结果也更为合理。曹景林、王昭、戴明泽(2014)将 Shapley 模型应用于 KTV 音乐版权费用的分配问题上,实现利益主体的合理分配,并根据不同歌曲的不同热度,引入了“贡献因子”“渴望函数”等概念对模型进行了修正。戴建华,薛恒新(2003)用 Shapley 模型研究了当联盟企业的合作是动态时应该如何分配利益的问题,按照不同企业对联盟的贡献程度不同得到了利益大小也不相同,同时也考虑了风险问题并对模型进行修正,得到的结果也更合理。

鉴于此,本文选取跨行政区域合作这一视角,以各独立的行政主体为研究对象,结合京津冀一体化与空气污染治理这个热点问题,应用 Shapley 模型来分析治理成本的分摊比例,为现行的政策提供建议。

### 三、修正后的 Shapley 模型

当试图寻找联盟合作对策一个有效解时,最先想到的应该是沙普利值。Shapley 模型的应用主要体现两个方面:对合作联盟的收益进行分配和对合作成本进行有效分配。本文从成本的角度来解释沙普利模型。Shapley 模型虽然被广泛应用于各个领域,但是在求合作博弈解时,仍存在一些不足:如忽略了一些重要的权重因素,仅考虑到参与人的边际贡献。因此,修正后的 Shapley 模型,首先应考虑贡献程度的影响权重。在原始模型中是默认联盟中的所有成员的贡献度是相同的,在这里即为  $1/3$ 。但在实际中,我们可以轻易推断出河北地区的贡献程度最大,北京最小。其次,应该考虑积极程度的影响因素。在原模型中,默认假定三个区域的积极程度是相同的,为  $1/n$ 。但实际上并非如此,北京作为中国的政治文化中心,无论在国内国外都受到更多的关注,空气污染对其形象影响更大;其次,天津作为直辖市,相比河北受到的关注度也更高,相应的其治理的积极程度也应更高;而河北相对发展更加落后,相比治理污染,更渴望发展经济,所以积极程度应该最低。

为了方便分析,我们假设  $h_i$  地区的贡献度为  $h_i$ , 三个地区总的贡献为  $\sum h_i$ , 每个地区对

联盟的贡献比例即为  $\frac{h_i}{\sum h_i}$ ，当它大于 1/3 时，该省份的贡献大于平均水平，理应承担更少的成本，反之亦然。

调整后的 Shapley 值为： $\varphi_i'(C) = \varphi_i(C) - \sum O * (\frac{h_i}{\sum h_i} - 1/3)$  (3.1)

其中  $\sum O$  表示京津冀三个地区总的机会成本。当  $\frac{h_i}{\sum h_i} > 1/3$ ，其贡献程度就大于平均水平，那么  $\varphi_i'(C) < \varphi_i(C)$ ， $i$  地区就分摊到更少的治理成本，用来弥补较大的贡献支出。

为了量化积极程度这一指标，本文结合大数据思想，利用百度指数数据平台搜索数据，取其搜索结果的日平均值作为各地区受关注的程度。受关注程度越大，其治理积极性也应该越高。同一地区对不同的合作者拥有不同的积极程度，因此考虑将单一的积极指数变化为相对的重要指数，一个区域越倾向于治理污染，积极性越高，则它对另一个合作区域的相对重要程度就越小，应分摊的相对治理成本就越高。因此搜索的条数越多，重要程度越低，本文就以两个地区的搜索结果倒数之比作为相对重要程度，那么重要程度的倒数即为其积极程度。

假设  $\lambda$  表示相对重要程度， $\eta$  表示搜索结果， $R$  表示积极程度。

利用几何平均数便可以求出  $i$  区域对于整个合作联盟内所有成员的相对平均积极程度。即： $R_i = \frac{1}{\sqrt[n]{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n}}$  (4.4)

其中  $\lambda_1$  表示  $i$  地区相对于 1 地区参与合作的重要程度，设搜索结果为  $\eta_i$ ，那么

找到引用源。错误！未找到引用源。 $\lambda_1$ =错误！未找到引用源。 $\frac{1/\eta_i}{1/\eta_1}$  错误！未找

到引用源。=错误！未找到引用源。 $\frac{\eta_1}{\eta_i}$ 。对错误！未找到引用源。错误！未找到

引用源。 $R_i$ 进行归一化，方便与平均水平比较，使错误！未找到引用源。错误！

未找到引用源。 $R'_i$ =错误！未找到引用源。 $\frac{R_i}{\sum R_i}$ ，当错误！未找到引用源。 $R'_i >$ 错

误！未找到引用源。 $\frac{1}{n}$ 时，即错误！未找到引用源。 $i$ 区域参与合作的积极程度高

于平均水平，那么他应该承担更多的成本。

为了及时反映积极程度与贡献程度对沙普利值大小的影响，同时考虑到积极程度与贡献程度的相对重要性比较，在模型的两个影响因素前加入权重因子。我们用  $k$  ( $0 < k < 1$ ) 表示贡献程度对一个地区治理成本变化影响的因子，用  $j$  ( $0 < j < 1$ ) 作为影响积极程度的因子，且满足错误！未找到引用源。 $k + j = 1$ ，将  $k$ 、 $j$  统称为综合修正因子。那么通过改变  $k$  与  $j$  的大小比例可以改变两种因素的相对重要性，进而改变 Shapley 值，改变各地区应分担的成本。将两个因子代入模型

综上所述，Shapley 值的最终公式为

$$\varphi_i'' = \varphi_i(c) - k * \sum O * (\frac{h_i}{\sum h_i} - \frac{1}{n}) + j * C(N) * (R'_i - \frac{1}{n}) \quad \text{错误！未找到引用源。}$$

(4.5)

$\sum \varphi_i''$ =错误！未找到引用源。 $\sum \varphi_i(c)$ 错误！未找到引用源。= $C(N)$  京津冀三地沙普利值总和。最终的 Shapley 模型满足区域间合作治理的四个前提条件，同时针对京津冀地区的实际情况，将积极程度、重要程度的影响因素纳入模型，使得模型更加合理。

## 四、京津冀地区空气污染治理成本核算

### 4.1 京津冀地区 2009 年-2014 年空气污染治理成本核算

2006年9月，我国原环保局和国家统计局发布了《中国环境经济核算技术指南》一书，其中对环境成本的核算给出了理论与方法指导。本文正是基于这份指

南对京津冀三地的空气污染治理成本进行估算与分析,假定空气污染物主要包括二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘。本文核算2009—2014年的京津冀地区空气污染治理成本的大小,计算步骤如下:

(1) 污染实物量核算,其中包括污染物产生量、处理量和排放量。产生量=处理量+排放量,因此产生量不单独列出;

(2) 污染价值量核算:利用污染治理成本法计算实际污染治理成本和虚拟污染治理成本;其中实际治理成本需要获得相关治理设施的运行成本,对于缺失的数据需要经过一定处理方法核算获得;虚拟治理成本则假设当前环境中的污染都没有排放,而是在排放前就被处理过了,那么用当前的技术水平处理这一部分污染物所需要的成本,根据实际治理成本的结果,计算出污染物的单位治理成本后,乘以排放量计算得出。

京津冀三个地区的污染物实物量数据见表1:

表1 京津冀地区空气污染物实物量数据(单位:万吨)

年份	地区	二氧化硫			氮氧化物			烟(粉)尘数据		
		排放量		工业去除量	排放量		工业去除量	排放量		工业去除量
		工业	生活及其他		工业	生活及其他		工业	生活及其他	
2009	北京	6	5.9	11.3	5.4	12.7	3.06	3.6	2.5	262
	天津	17.3	6.4	25.7	20.1	1.3	4.02	6.7	1.3	485.4
	河北	104.3	21.1	123.74	83.8	15.8	4.10	75.7	18.9	2916.60
2010	北京	5.7	5.8	13	10.9	11.4	0.12	3.8	2.7	168.9
	天津	21.8	1.8	37.4	23.6	1	4.09	6.2	1.1	539.3
	河北	99.4	24	170.58	95.8	15.7	6.64	64.4	17.7	3333.37
2011	北京	6.13	3.66	10	9.03	9.8	1.1	2.94	3.64	258.6
	天津	22.19	0.9	35.7	30	5.89	1	6.53	1.06	763.4
	河北	131.71	9.5	226.05	122.09	58.03	3.88	122.35	9.9	6317.12
2012	北京	5.93	3.45	10	8.53	9.22	1.3	3.08	3.6	418.9
	天津	21.55	0.9	40.9	27.56	5.86	2.1	5.9	2.5	770
	河北	123.87	10.25	199.39	119.48	56.63	8.17	105.57	18.01	6106.33
2013	北京	5.2	3.5	10.5	7.59	9.04	1.9	2.72	3.21	420.2
	天津	20.78	0.91	121.8	25.06	6.11	9.9	6.28	2.47	664
	河北	117.31	11.15	219.56	110.56	54.69	19.98	118.72	12.61	5132.13
2014	北京	4.03	3.85	9.48	6.4	8.66	3.44	2.27	3.47	316.79
	天津	19.54	1.38	65.47	21.69	6.54	15.09	11.22	2.73	480.22
	河北	104.74	14.25	227.23	98.73	52.52	35.45	145.07	34.7	5305.53

数据来源：中国环境统计年报、中国能源统计年鉴、中国统计年鉴、中国环境统计年鉴、中国环境年鉴。

其中，对于河北地区 11 年的空气污染物去除量数据用去除率法进行模拟，工业去除率=工业去除量/(工业排放量+工业去除量)；由去除率及排放量推算出去除量。

治理成本核算的难点在于单位治理成本的确认，考虑到核算的简约性，本文采用的单位虚拟治理成本和单位实际治理成本相同，根据治理成本法，三种污染物的实际治理成本即为对其进行处理的治理设施的运行费用。在已知京津冀三个地区的治理设施运行费用时，单位治理成本的公式可以为（以北京地区为例）：

$$\text{单位治理成本公式： } c_i^{\text{bj}} = C_i^{\text{bj}} / Q_i^{\text{bj}} \quad (4.1)$$

其中， $c_i^{\text{bj}}$ 表示北京地区空气污染的单位治理成本， $C_i^{\text{bj}}$ 为北京地区对空气污染治理设施运行费用， $Q_i^{\text{bj}}$ 为北京地区总的工业去除量（二氧化硫、氮氧化物及烟（粉）尘的工业去除量）。

特别说明的是，2010 年之前氮氧化物的排放一直没有引起重视，从 2011 年开始才将脱硝设施的建设纳入规定，因此之前只存在极少数个别企业拥有脱硝设施处理氮氧化物，之前的文献在作相关统计时，均将氮氧化物的产生量等同于排放量，因此实际治理成本为零，而在本文中，虽然通过《中国环境年鉴》找到了氮氧化物在 2009 年和 2010 年的去除量统计数据，但相比其他年份的数据异常偏高，因此沿用之前学者的核算方法，在 2009 年和 2010 年，只对虚拟治理成本进行核算，默认实际治理成本为 0。而在其单位治理成本的选择上，本文选取与之临近年份的氮氧化物单位治理成本，即用 2011 年的氮氧化物单位治理成本作为核算数据，因为相邻年份的技术水平相差不大，更具有代表性。

在本文中，除了脱硫设施和脱硝设施的运行费用外，其他的废气治理设施运行费用统一算到除尘设施的运行费用内。通过统计核算，京津冀地区 2009 年-2014 年总的实际治理成本与总的虚拟治理成本见表 2：

表 2 京津冀地区 2009 年-2013 年总的实际治理成本与总的虚拟治理成本

时间	地区	实际治理成本	虚拟治理成本	合计
2009	北京	90121.7	11772.30	101894.00
	天津	168240	17342.65	185582.65

	河北	761182.9	79907.65	841090.55
2010	北京	90590	20057.01	110647.01
	天津	185777.4	17752.79	203530.19
	河北	901330.8	81388.56	982719.36
2011	北京	82698.9	10793.48	93492.38
	天津	436180.8	36291.16	472471.96
	河北	1439026.2	99695.82	1538722.02
2012	北京	87848.1	6904.10	94752.20
	天津	257708.9	20372.63	278081.53
	河北	1304985.9	89661.99	1394647.89
2013	北京	90066.3	6508.26	96574.56
	天津	256505.5	19860.88	276366.38
	河北	1331602.6	105364.69	1436967.29
2014	北京	102783.4	8940.67	111724.07
	天津	316249.60	35584.99	351834.59
	河北	1635200.9	132153.20	1767354.10

#### 4.2 京津冀地区 2009 年-2014 年空气污染治理成本分析

因为京津冀三个地区的产业分布，人口，面积均不相同，因此单从空气污染物排放量和治理成本大小方面对三个地区的治理力度和效果进行比较并不合理，因此本文选取了各地区实际治理成本占该地区 GDP 比重这一指标进行比较，具体见图 1。



图 1 京津冀地区治理成本占 GDP 比重

从图 1 中我们可以看到，河北的治理成本支出最高，其次是天津，北京的治理成本支出最少；而且北京的治理成本在逐年降低，从 2009 年 0.07% 减少到 2014 年的 0.04%，反应了北京近几年对环境治理力度有所欠缺。天津地区除 2011 年

外，治理成本占比也在下降，但比北京要高一些。相比北京与天津地区，河北省的空气污染治理成本占地区生产总值比重最大，且有上升趋势，这与河北巨大的污染排放量是相匹配的，因此，不仅河北省需要继续增加治理支出，同时也需提高空气污染治理效率、加强空气污染监管力度。

## 五、京津冀地区空气污染治理成本的控制与分摊

### 5.1 Shapley 模型在京津冀环境治理成本分配中的应用

为了模拟京津冀三个地区合作治理的效果，首先要设立假设条件，以此来保证论证的合理性：

(1)假设资本、技术、经验在合作区域内可以实现自由流动。即认为当不同区域达成建立一体化合作的约定，并付诸行动时，不同区域间的不同资本、技术、经验等非实物资源可以在一体化区域中实现自由流动。

(2)假定资本、技术、经验等非实物资源的流动是完全的，无损失的。即当资本、技术、经验等资源从一个地区流向另一个地区时，接受方可以完全吸收这部分资源，并能达到与流出方相同的水平。

本文研究京津冀地区在 2014 年合作治理空气污染问题中的成本分摊金额。京津冀三个地区 2014 年的总的空气污染治理相关数据见表 3。

表 3 京津冀地区 2014 年总的空气污染治理相关数据

	总产生量 (万吨)	总治理成本 (万元)	单位治理成本 (元/吨)
北京	358.39	111724.07	311.74
天津	623.88	351834.59	563.95
河北	6018.22	1767354.10	293.67
合计	7000.49	2230912.76	*

其中总治理成本是指实际治理成本加虚拟治理成本。

我们可以发现三个地区的单位治理成本并不相同，这就为三者的合作创造了前提条件。三个地区按照其污染治理成本的大小依次分为高中低三个层次，用  $c$  代表各地区空气污染的治理成本，则  $c_b=111724.07$  万元、 $c_t=351834.59$  万元、 $c_h=1767354.10$  万元分别为北京、天津、河北三地的空气污染治理成本，可计算得总成本为  $c_1=c_b+c_t+c_h$ 。

未找到引用源。 $c_h=2230912.76$  万元；如果两两省份联盟进行空气污染治理，因为各地区的单位治理成本不同，则当两个地区组成联盟时，通过技术、资金、监管政策、运行方式等多方面的交流整合，联盟的单位治理成本能够达到其中较低一方的水平。当北京与天津组成联盟共同治理时，单位治理成本应按照较低一方进行计算，

即错误！未找到引用源。 $c_{bt}=311.74 \times$ （错误！未找到引用源。 $Q_b$ +错误！未找到引用源。 $Q_t$ ） $=311.74 \times (358.39+623.88) =306212.85$  万元

同理，当北京与河北联合时，

错误！未找到引用源。 $c_{bh}=293.67 \times$ （错误！未找到引用源。 $Q_b$ +错误！未找到引用源。 $Q_h$ ） $=293.67 \times (358.39+6018.22) =1872619.06$  万元

当天津与河北联合时

错误！未找到引用源。 $c_{th}=293.67 \times$ （错误！未找到引用源。 $Q_t$ +错误！未找到引用源。 $Q_h$ ） $=293.67 \times (623.88+6018.22) = 1950585.51$  万元

而当三个省份组成大联盟进行治理时的其治理成本则为

错误！未找到引用源。 $c_{bth}=293.67 \times$ （错误！未找到引用源。 $Q_b$ +错误！未找到引用源。 $Q_t$ +错误！未找到引用源。 $Q_h$ ） $=293.67 \times (358.39+623.88+6018.22) =2055833.90$  万元。详情如下表 4:

表 4 京津冀三省市合作治理数据（万元）

京津两地联合		京冀两地联合		津冀两地联合		京津冀三地联合
错误！未找到引用源。 $c_{bt}=306212.85$	错误！未找到引用源。 $c_h=1767354.10$	错误！未找到引用源。 $c_{bh}=1872619.06$	错误！未找到引用源。 $c_t=351834.59$	错误！未找到引用源。 $c_{th}=1950585.51$	错误！未找到引用源。 $c_b=111724.07$	错误！未找到引用源。 $c_{bth}=1684381.72$
$C_2 = c_{bt} + c_h = 2073566.95$		错误！未找到引用源。 $C_3 =$ 错误！未找到引用源。 $c_{bh}$ +错误！未找到引用源。 $c_t=2224453.65$		错误！未找到引用源。 $C_4 =$ 错误！未找到引用源。 $c_{th}$ +错误！未找到引用源。 $c_b=2062309.58$		错误！未找到引用源。 $C_5 = 2055833.90$

根据数据我们可以看到，京津冀三地形成一体化联合治理时，总的环境治理

成本最低，作为理性人，无论中央政府还是三个地区的政府，都应该选择联合治理来降低成本，但是三地政府各自应该分摊的成本大小需做出合理的分配，即1684381.72 万元的总治理成本应该在京津冀三地之间如何分配，这关系到三地联合治理的积极性以及空气污染治理的效果。此时，我们就可以通过合作博弈，并利用 Shapley 模型来解决这个问题。

首先将相关数据带入到 Shapley 模型中，可得： $N = \{b, t, h\}$ ， $C(b) = 111724.07$ ， $C(t) = 351834.59$ ， $C(h) = 1767354.10$ ， $C(b, t) = 306212.85$ ， $C(b, h) = 1872619.06$ ， $C(t, h) = 1950585.51$ ， $C(b, t, h) = 2055833.90$

那么，关于京津冀一体化治理空气污染时，北京市应承担的治理成本未找到引用源。 $\phi_b(C)$ 未找到引用源。计算如下表 5 所示，北京市参与的所有集合包括  $b, b \cup t, b \cup h, b \cup t \cup h$ 。

表 5 北京地区沙普利值计算过程

S	b	b ∪ t	b ∪ h	b ∪ t ∪ h
$C(s)$	111724.07	306212.85	1872619.06	2055833.9
$C(s/i)$	0	351834.59	1767354.1	1950585.51
$C(s) - C(s/i)$	111724.07	-45621.74	105264.96	105248.39
$ s $	1	2	2	3
$w( s )$	1/3	1/6	1/6	1/3
$w( s )[C(s) - C(s/i)]$	37241.36	-7603.62	17544.16	35082.80
$\phi_b(C)$	82264.69			

在上表中，s 是一个集合，是联盟中的一部分参与者， $C(s)$  表示联盟 s 共同治理空气污染时所需要的成本； $C(s/i)$  为联盟 s 中不包括北京地区时治理空气污染所需要的成本；那么可知  $C(s) - C(s/i)$  就是北京在联盟 s 中所需承担治理成本的边际值。将  $w(|s|)[C(s) - C(s/i)]$  的各值相加，就是北京地区对包含它的所有地区集合的边际成本的均值。可得

$\varphi_b(C)=82264.69$  万元。同理，组成一体化联盟后，天津市和河北省的空气净化治理成本分别为**错误！未找到引用源。** $\varphi_t(C)=241303.18$  万元、**错误！未找到引用源。** $\varphi_h(C)=1732266.04$  万元。

按照该计算结果可知，通过京津冀一体化措施进行该区域的空气净化治理，可以在三个地区都节省成本，北京市的治理成本支出由原来的 111724.07 万元下降到 82264.69 万元，成本减少了 26.37%。天津市的支出由 351834.59 万元下降到 241303.18 万元，成本减少了 31.42%。河北地区的支出由 1767354.10 万元下降到 1732266.04 万元，成本减少了 1.99%。

## 5.2 基于京津冀地区现状的模型修正

按照该模型对区域合作中的治理成本分摊问题进行核算，能够兼顾公平和效率。首先对于贡献程度的影响权重，本文选择 2014 年“环境污染治理投资占 GDP 比重”作为衡量指标，这一指标能更直观的在三个地区之间比较他们对环境治理支出的贡献大小， $h_b = 0.03\%$ ， $h_t = 0.16\%$ ， $h_h = 0.27\%$ 。而机会成本的核算较为复杂，因此本文直接以三个地区在 2014 年的实际治理成本作为该地区 2014 年治理空气污染的机会成本。计算可得三地机会成本  $\sum O = 2054233.9$  万元。其次，为了量化积极程度这一指标，本文利用大数据的思想，在百度指数数据分享平台以“空气治理”指数为关键词进行搜索，对 2013 年 1 月--2016 年 7 月搜索条数的日平均值统计如下表 6：

表 6 百度相关词条搜索结果

	关键词	日平均值
北京	空气治理	74
天津	空气治理	17
河北	空气治理	28

由搜索结果可以计算得：**错误！未找到引用源。** $R_b = 3.39$ ，**错误！未找到引用源。** $R_t = 0.37$ ，**错误！未找到引用源。** $R_h = 0.79$ ，进而可得，**错误！未找到引用源。** $R_b' = 0.75$ ；**错误！未找到引用源。** $R_t' = 0.08$ ；**错误！未找到引用源。** $R_h' = 0.17$ 。对于不同的综合修正因子，各地区应该承担的成本为多少，本文进行了核算，如下表 7：

表 7 综合修正后的成本分摊金额（万元）

$k + j = 1$	北京	天津	河北
$k=0; j=1$	938862.15	-279508.08	1396479.84
$k=0.1; j=0.9$	906310.63	-209519.03	1359042.31
$k=0.2; j=0.8$	873759.11	-139529.98	1321604.78
$k=0.3; j=0.7$	841207.59	-69540.93	1284167.25
$k=0.4; j=0.6$	808656.07	448.12	1246729.72
$k=0.5; j=0.5$	776104.55	70437.17	1209292.19
$k=0.6; j=0.4$	743553.03	140426.22	1171854.66
$k=0.7; j=0.3$	711001.51	210415.27	1134417.13
$k=0.8; j=0.2$	678449.99	280404.32	1096979.60
$k=0.9; j=0.1$	645898.47	350393.37	1059542.07
$k=1; j=0$	613346.95	420382.42	1022104.54

从上表可以看到，选择不同的修正因子大小，对京津冀各地区需承担的治理成本产生了较大的影响。随着贡献程度影响因子  $k$  的值不断增加， $j$  值不断下降，北京地区与河北地区在合作联盟中需承担的成本不断下降，天津地区需承担的成本上升。同理，积极程度的影响因子对天津有利，因为北京与河北地区参与联盟治理京津冀空气污染的积极性更高，更渴望参与联盟，那么当积极因子  $j$  占比上升时，北京地区相应应该增加成本分摊金额，而天津则相应降低。

### 5.3 对京津冀地区 2014 年空气污染治理成本分摊结果的分析

综合修正因子的不同产生不同的结果，如何选取合适的修正因子至关重要。首先按照积极程度由高到低排序为北京、天津、河北。贡献程度考虑“环境污染治理投资占 GDP 比重”指标，贡献程度最高的是河北，然后是天津和北京。考虑到保护环境是我国的一项基本国策，中央的强制力才是政策运行的保障，因此积极程度因子不宜过高，但也要排除极端值。因此综合考虑，北京的修正因子选取为  $k=0.6$ ， $j=0.4$ ；天津的修正因子选取为  $k=0.7$ ， $j=0.3$ ；河北的修正因子选取为  $k=0.8$ ， $j=0.2$ 。那么由表 6 可知，北京的治理成本应为 743553.03 万元，天津的治理成本应为 210415.27 万元，河北的治理成本应为 1096979.60 万元；分别计算各地治理成本占三地总和的比例，将所得比例乘以原 Shapley 模型计算的总和即可得到修正后的模型值。将修正后的成本值与之前计算结果进行比较，结果见表 8：

表 8 京津冀地区 2014 年合作治理空气污染分摊成本（万元）

	原值	Shapley 模型值	修正模型值
北京	111724.07	82264.69	745324.41

天津	351834.59	241303.18	210916.55
河北	1767354.10	1732266.04	1099592.95
合计	2230912.76	2055833.91	2055833.91

相比较原来的治理成本，北京、天津、河北三地 2014 年的空气污染治理总成本都有所降低。修正后的模型结果显示，北京的治理成本应该为 745324.41 万元，天津的治理成本应该为 210916.55 万元，河北的治理成本应该为 1099592.95 万元。与原 Shapley 模型核算的结果相比，北京应该取出 663059.72 万元补贴天津与河北地区的支出，而且重点在补贴河北。天津与河北地区的修正后的成本降低，北京地区修正后的成本上升，这是因为河北为北京和天津提供了大量的资源，每年承受巨大的治理成本；天津污染物的产生比较少，且技术和经验相对成熟；北京作为首都充分的利用周边资源，对环境治理有较高的要求和期待，因此应该承受较多的治理成本。可以看到，在添加了综合修正因子之后的各地区承担成本发生了变动。既从完全理性的角度通过沙普利模型进行了计算，又从感性的角度结合实际对模型进行了修正，得到的结果是合情合理的，按照这一结果分摊空气污染治理成本，有助于京津冀联盟内的公平与效率，加强联盟的稳固，促进京津冀一体化可持续发展。

## 六、关于京津冀地区空气污染治理与控制的建议

通过上文对京津冀空气污染治理成本的核算与控制研究可以看到，地区一体化战略有助于环境污染的治理，技术及经验的交流使得治理成本大大降低，各地区政府的效用得到提高，但总的来看，要达到模拟值的效果，目前的政策措施还远远不够，想要节约成本，提高治理效率，仍需要国家在宏观层面给予支持。

(1) 建立区域间沟通合作机制，加强京津冀三地之间的合作与交流。京津冀三地的现状各不相同，污染状况不一样，科技、政治环境也有差别，表现在环境污染治理方面则带来治理效率的差异。三地以此为基础，在中央政府的主导下，地方政府通过交流谈判，彼此达成合作共识，建立高层之间协调机制，突破地域行政区划的刚性约束，构建有利于区域经济协调发展与环境治理的体制环境，对整个京津冀三个省市地区内的可利用资源进行有效的整合，以此来推进跨区域环境污染问题的合作治理；信息互通互联机制的建立，能够保证区域内交流合作的有效性，保证政府间协商交流的及时性，消除区域内各地区间的不信任以及信息不对称问题，还可以减少地区合作过程中的沟通成本，这是帮助建立一体化联盟

的各地政府拜托“囚徒困境”的最直接办法，能够加速各地区技术经验的溢出，使某一地区的相对优势能够产生正的外部性。

(2) 建立关于治污的一体化财政管理政策，合理调节区域内的治污支出。通过对模型的计算，我们可以看到，在京津冀地区内的环境治理成本发生了一个大的改变，有的地区增加，有的地区减少，那么这部分治理成本怎么支出成了需要解决的问题，简单通过各地区自觉缴纳显然是不现实，通过中央政府统一协调，建立公共治理基金的方案或许可行；通过合理的计算各地需要的治理成本，考虑各地区经济总产值、排放量、处理量、排污收费等数据，通过定期缴纳，合理收税，充实治理基金，并定向拨款。通过这种方式可以做到治理成本的统筹统支，既有利明确治理方向，确定区域内总体的治理金额，也能为区域内的经济的可持续协调发展提供思路。

(3) 在京津冀地区内建立区域性环保条例，启动生态补偿机制的建设。京津冀地区应结合区位特点建立相应的环保政策，建设相关法律保障制度，保证环保政策落实到位。在治理环境的同时，明确京津冀地区生态环境补偿的原则、并进一步讨论生态环境补偿方式、补偿程序以及实施细则等有关内容，为今后经济与生态环境协调发展打好基础，建立长效机制。

## 参考文献

- [1] 曹景林, 王昭等. 基于Shapley模型的KTV音乐版权费征收策略[J]. 技术经济与管理研究, 2014(2):24-29.
- [2] 曹俊文. 环境与经济综合核算方法研究[M]. 北京:经济管理出版社, 2005.
- [3] 戴建华, 薛恒新. 基于Shapley值法的动态联盟伙伴企业利益分配策略[J]. 中国管理科学, 2004(4):33-36.
- [4] 李娜. 天津市环境污染损失核算与控制研究[D]. 天津:天津工业大学, 2006.
- [5] 李维乾, 解建仓等. 基于改进Shapley值解的流域生态补偿额分摊方法[J]. 系统工程理论与实践, 2013(1):255-261.
- [6] 廖明球. 绿色GDP投入产出表的编制方法[J]. 统计与决策, 2011(3):12-14.
- [7] 马国霞, 於方, 齐霁等. 基于绿色投入产出表的环境污染治理成本及影响模拟[J]. 地理研究, 2014(12):2335-2344.
- [8] 马士华, 王鹏. 基于Shapley值法的供应链合作伙伴间收益分配机制[J]. 工业工程与管理, 2006(4):43-49.
- [9] 齐亚伟, 陶长琪. 区域经济发展和环境治理的合作博弈分析[J]. 决策参考, 2013(20):42-44.
- [10] 邵玉林. 天津市工业污染治理费用函数研究[J]. 城市环境与城市生态, 1999(1):29-32.
- [11] 谭亚荣, 郑少锋. 环境污染单位治理成本确定的方法研究[J]. 生产力研究, 2007(24):52-53.
- [12] 王金南, 高敏雪. 中国环境经济核算技术指南[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.
- [13] 王外芳, 孙浩等. 一类合作模糊对策的 Shapley 函数 [J]. 模糊系统与数学 2010(4):108-114.
- [14] 卫永红, 孙策. 关于空气污染治理成本分配的博弈研究[J]. 天津经济, 2015(4):34-36.
- [15] 夏光, 赵毅红. 中国环境污染损失的经济计量与研究[J]. 管理世界, 1995(6):198-205.
- [16] 杨丹辉, 李红莉. 基于损害和成本的环境污染损失核算—以山东省为例[J]. 中国工业经济, 2010(7):125-135.
- [17] 杨建军, 董小林, 张振文. 城市大气环境治理成本核算及其总量、结构分析—以西安市为例[J]. 环境污染与防治, 2014(11):100-105.
- [18] 袁勇. 环境经济综合核算体系(SEEA)理论与方法探析[D]. 大连:东北财经大学, 2003.
- [19] 张志军. 抚顺市重点工业行业废气污染治理成本费用分析[J]. 辽宁城乡环境科

- 技, 2007(2):31-33.
- [20]赵宝福, 张艳菊. 要素双重模糊下的合作博弈 Shapley 值的算法[J]. 计算机工程与应用, 2013(19):25-30.
- [21]朱琳. 环境成本确认与计量研究[D]. 四川:西南财经大学, 2010.
- [22]Irinel Dragan. The least square values and the shapley value for cooperative TU games[J]. Top, 2006, 14(1):61-73.
- [23]Meng, F. Y., Zhan, J. Q.. The Shapley function for Multi-choice games on Matroids[J]. Journal of Interdisciplinary Mathematics, 2015, 18(4), 321-338.
- [24]Shapley, L. S. A Value for N-person Games[J]. Analysis of Mathematics Studies. 1953(3).