

# 烟台市大气环境容量评价

闫佑宁,于会录,姜曙光

(鲁东大学 资源与环境工程学院,山东 烟台 264039)

**摘要:**随着工业化进程的不断加快,大气环境质量问题引起了人们的高度关注和重视.本文采用“箱模型”方法估算出烟台市的大气环境容量水平,并与烟台市近十二年的主要大气污染实际排放负荷进行对比分析,对烟台市大气环境容量进行评价,并对其污染物来源进行初步分析.结果显示,烟台市的大气污染正在逐步减轻,主要大气污染物排放量总体上大幅度低于环境容量.此结论进一步证明随着治污能力和节能减排力度的不断提高,烟台市大气环境正在逐步好转.

**关键词:**烟台市;大气环境容量;箱模型

**中图分类号:**X511 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2020)02-0176-08

烟台市作为山东省经济总量排名靠前的旅游城市,大气环境质量对其发展至关重要.同时,烟台作为沿海旅游城市对城市发展的各方面尤其是环境质量要求都比较高.环境质量的好坏取决于污染物排放量和环境容量.地区的环境纳污量是有限度的,这个界限就是环境容量.从能源消费结构上来看,烟台仍是一个典型的以煤炭为主要能源结构的城市<sup>[1]</sup>,从而导致该地区空气污染水平居高不下,二氧化硫等污染气体排放量较高;煤炭等化石燃料的使用、城市机动车尾气排放量的剧增等因素导致氮氧化物排放量增加;人类活动(例如大规模建筑施工等)导致烟粉尘这类颗粒物污染加重<sup>[2]</sup>.本文主要研究烟台市2005—2017年的大气环境容量与大气污染物排放量之间的关系,分析烟台市大气环境情况及其产生原因,以期对烟台市社会经济的可持续发展提供参考.

## 1 研究区域概况

### 1.1 自然地理概况

烟台市位于山东半岛东北部,东连威海、西接潍坊,西南与青岛毗邻,北濒黄渤海,与辽东半岛

隔海相望.全市土地面积13864.54 km<sup>2</sup>,海岸线曲长702.5 km,海岛曲长206.62 km,有大小基岩岛屿63个.烟台为低山丘陵地区,山丘起伏缓和、沟壑纵横交错.烟台位于北纬37°左右的黄金温带季风气候区,与同纬度内陆地区相比,该地降水量适中、空气湿润、气候温和,全年平均气温在12℃左右,年平均降水量为651.9 mm,年平均日照时数为2698.4 h,年平均风速内陆地区3~4 m·s<sup>-1</sup>,沿海地区4~6 m·s<sup>-1</sup><sup>[3]</sup>.

### 1.2 社会经济概况

烟台市地处我国东部沿海,是环渤海经济圈内重要节点城市、山东半岛蓝色经济区骨干城市,同时也是中国首批14个沿海开放城市之一.目前烟台市总人口为713.8万,市辖芝罘区、莱山区、福山区、牟平区、开发区、高新区、金山港区、昆嵛山自然保护区、长岛县,以及龙口、莱阳、莱州、蓬莱、招远、栖霞、海阳7个县级市.该市形成以工业和经济贸易旅游为主的经济体系,工业体系以机械制造、电子信息、黄金、食品加工制造、生物制药、轻纺、建材、化工、冶金等行业为主.其中市区人口最多、密度最大,西郊的工业区集中各大中型企业,尤其已形成了完善的海陆空交通体系,资

收稿日期:2019-12-06;修回日期:2020-02-26

基金项目:山东社科规划项目(18CSJJ14)

第一作者简介:闫佑宁(1995—),女,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为循环经济. E-mail:2810136292@qq.com

通信作者简介:于会录(1973—),男,山东禹城人,讲师,硕士研究生导师,博士,研究方向为区域生态经济. E-mail:yuhuilu73@

源、能源的消耗量较大<sup>[4]</sup>.

## 2 研究方法

我国大气环境容量研究的相关工作是从“六五”计划开始的,并逐步提出了“大气环境容量是包含大气环境的自然规律和社会效益两类参数的多变量函数,是一个多值函数”的观点,为建立大气环境容量理论体系奠定了基础.经过近几十年有关区域大气污染物总量控制技术的一系列科技攻关项目研究,大气环境容量理论体系逐步完善<sup>[5-6]</sup>.

环境容量是指在人类生存发展不受危害、自然生态系统的平衡不受破坏的前提下,某一环境所能容纳污染物的最大负荷量值<sup>[7]</sup>.当一个地区的排污量超过了它的环境容量,不仅会对当地人们的日常生活产生极大危害,同时也会对牺牲环境所追求的经济发展产生不可预估的影响.对环境容量进行估算,对环境污染总量进行控制,使社会的发展与环境保护相协调,是当今一个城市发展规划的非常重要的依据.因此,本文主要选取比较典型的大气环境容量进行测算及评价.

### 2.1 大气环境容量估算模型

大气环境容量与人类的生产生活、某区域的温度变化及风速变化等自然条件都有着密切的关系,并且与特定大气环境质量标准相对应.在制定大气污染物总量控制方案过程中可选择不同方法,目前此领域常用的方法包括A值法、A-P值法、箱模型、线性优化模型、ADMS模型、多源模拟法及多种模型相结合的复合模式等,这些方法各有一定的适用范围,在制定时可根据情况进行适当的选择.目前常用的多源模拟法在应用中涉及到很多因素,计算处理的难度大,分析时,在缺失污染源信息条件下,就不能得到区域内允许排放总量相关结果.大气环境容量控制在实际应用中受到地理因素、排放高度、气象状况等的影响,在排放浓度满足要求条件下,区域中某类污染物最大允许排放量并不是一个常量,而是污染源排放高度的函数,随着排放高度的增加而增加<sup>[8-9]</sup>.

鉴于资料限制以及各类计算方法所存在的优缺点,本研究决定采用《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 13201—91)中的箱模型的方法,并进行改进分析,对烟台市的大气环境

容量进行估算.“箱模型”即将整个区域看做一个独立的空间体,把城市上空的大气层看作为箱体,且假设此箱体混合层内污染物的浓度一致,城市的整体面源强度保持一致,对应的混合层高度设为 $H$ ,这样可通过如下的关系式确定出距城市上风向边缘 $L$ 处箱中浓度的均值,推导过程如下<sup>[8]</sup>:

$$p = p_0 + \frac{qL}{H\bar{v}}, \quad (1)$$

式中: $p_0$  具体表示箱内混合层平均浓度( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ); $\bar{v}$ 为混合层的平均风速( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ); $H$ 为箱体高度(m); $L$ 为箱长度(m); $q$ 是箱内污染源单位时间单位面积内污染物排放量( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

假设各地没有第二次污染的问题,也就是各地区出现二次污染问题也可以通过特定的方式将其内部化,因此,可以认为 $p_0 = 0$ ,所以:

$$p = \frac{qL}{H\bar{v}}. \quad (2)$$

根据已有的研究成果,用“箱模式”估算大气环境容量时,可以将其改写为:

$$p = \frac{q\Delta d}{\bar{v}H}. \quad (3)$$

若区域面积为 $s$ ,区域等效直径为 $\Delta d$ ,计算方法如式(4)所示.将式(4)代入式(3)整理可得式(5).

$$\Delta d = 2\sqrt{\frac{s}{\pi}}, \quad (4)$$

$$q = \frac{p\bar{v}H}{2\sqrt{s/\pi}}. \quad (5)$$

当满足区域大气环境容量即 $p = p_0$ (大气质量标准)时,某污染物的最大允许排放量可用式(6)计算.

$$Q_0 = qst = \frac{\sqrt{s\pi}}{2} p_0 \bar{v} H t \times 10^{-12}, \quad (6)$$

式中: $Q_0$ 为区域环境容量(t), $s$ 为区域面积( $\text{m}^2$ ), $t$ 为时间(s).

### 2.2 计算标准

#### 2.2.1 混合层平均风速

混合层平均风速是指混合层内空气水平输送平均速率 $\bar{v}$ ,参考相关文献,烟台市混合层平均风速取值 $3.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[9]</sup>.由于烟台临近青岛且同为沿海城市,而青岛的气象资料相对较为完整全

面,故本文混合层平均高度参照青岛,取值 741.9 m<sup>[10]</sup>.

### 2.2.2 大气环境质量标准

本文采用的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)中污染物一级标准限值作为大气质量标准<sup>[12]</sup>,具体见表 1.

表 1 环境空气质量标准  
Tab.1 Quality standard of atmospheric

序号	污染物	平均时间	浓度限值	
			一级	二级
1	二氧化硫(SO <sub>2</sub> )/(μg·m <sup>-3</sup> )	年平均	20	60
		24 小时平均	50	150
		1 小时平均	150	500
2	氮氧化物(NO <sub>x</sub> )/(μg·m <sup>-3</sup> )	年平均	50	50
		24 小时平均	100	100
		1 小时平均	250	250
3	一氧化碳(CO)/(mg·m <sup>-3</sup> )	24 小时平均	4	4
		1 小时平均	10	10
4	臭氧(O <sub>3</sub> )/(μg·m <sup>-3</sup> )	日最大 8 小时平均	100	160
		1 小时平均	160	200
5	颗粒物(粒径小于 10 μm)/(μg·m <sup>-3</sup> )	年平均	40	70
		24 小时平均	50	150
6	颗粒物(粒径小于等于 2.5 μm)/(μg·m <sup>-3</sup> )	年平均	15	35
		24 小时平均	35	75

### 2.3 大气环境容量评价方法

运用“箱模型”法估算区域大气环境容量时假定污染源均匀分布于该区域,这显然与实际情况并不相符.主要的大气污染物如二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘等,其排放量主要受经济发展水平的影响.一般而言,大气污染物排放量与经济规模尤其是工业生产规模呈正相关关系.而工业生产在空间上是高度集聚的,这意味着区域大气污染源在空间分布上也是高度不平衡的.对于一个地级城市而言,一方面由于地理空间上邻近,下辖各县、市、区的大气环境容量决定于其行政管辖范围,也就是说区域大气环境容量在空间上是均衡的.但另一方面,大气污染源却存在明显的空间分布不平衡现象.因此,即使整个区域的大气污染物排放量远低于大气环境容量,也不能得出区域大气环境不存在污染的结论.评价大气环境容量对社会经济发展的影响需要考虑到污染源空间分布的不平衡性.

本文以大气污染物环境压力指数(污染物排放量与环境容量的比值)来评价大气环境容量对社会经济发展的影响,以二氧化硫为例,其环境压

力指数的计算方法如式(9)~(11)所示.

$$E_i = \frac{CA_i}{CI_i}, \quad (9)$$

$$CA_i = \frac{IN_i \times Q_1}{\sum_{j=1}^n IN_j}, \quad (10)$$

$$CI_i = \frac{S_i \times Q_0}{\sum_{j=1}^n S_j}. \quad (11)$$

其中, $E_i$ 为烟台市*i*县(市、区)二氧化硫环境压力指数, $CA_i$ 为烟台市*i*县(市、区)二氧化硫排放量, $CI_i$ 为烟台市*i*县(市、区)二氧化硫环境容量, $IN_i$ 为烟台市*i*县(市、区)工业增加值, $n$ 为县市区的个数,此处为 12, $Q_0$ 为烟台市二氧化硫环境容量, $S_i$ 为烟台市*i*县(市、区)的行政面积, $Q_1$ 为烟台市二氧化硫排放量.

大气污染物环境压力指数表征着区域污染物排放量占用环境容量的程度,当指数值大于 0 而小于 1 时,意味着污染物排放在环境容量之内,大气环境恶化的风险不大;当指数值大于 1 时,环境质量开始恶化,而且指数值越大,环境污染越严重.

### 3 结果分析

#### 3.1 烟台市大气环境容量能够满足社会经济发展需要

取大气环境质量一级标准(即 $p_0$ ),其中烟粉尘环境质量标准取 GB 3095—2012 中的颗粒物(粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ )<sup>[11]</sup>,平均风速 $\bar{v}$ 为 $3.6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,混合层高度 $H$ 为 $741.9\ \text{m}$ ,区域面积 $s$ 为烟台市土

地面积 $13864.54 \times 10^6\ \text{m}^2$ <sup>[12]</sup>,带入公式(6)得出各区域主要污染物全年环境容量:

$p_{\text{氮氧化物}} = 50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,得出 $Q_{\text{氮氧化物}}$ 的环境容量 $439462.83\ \text{t}$ ;

$p_{\text{二氧化硫}} = 20\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,得出 $Q_{\text{二氧化硫}}$ 的环境容量 $175785.13\ \text{t}$ ;

$p_{\text{烟粉尘}} = 40\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,得出 $Q_{\text{烟粉尘}}$ 的环境容量 $351570.27\ \text{t}$ .

烟台市 2005—2017 年氮氧化物、二氧化硫和烟粉尘的排放量如图 1 所示。

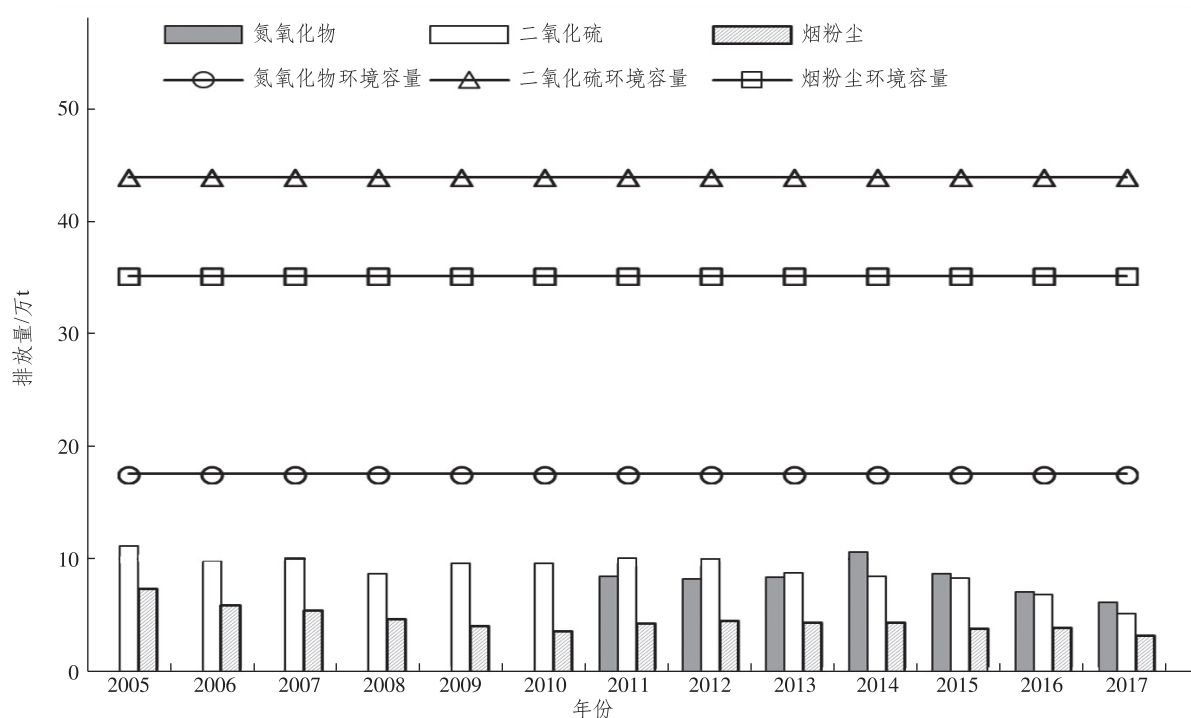


图 1 2005—2017 年氮氧化物、二氧化硫、烟粉尘排放量趋势

Fig. 1 Emission trend graph of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> from 2005 to 2017

根据 2005—2017 年氮氧化物(仅有 2011—2017 年数据)、二氧化硫、烟粉尘的排放量变化曲线图(图 1)可看出,这三类污染物的排放量随着时间的推移,总体呈现逐渐减少的趋势.自 2005 年以来,三种大气污染物排放量始终低于各自环境容量,说明从整体上看,烟台市社会经济发展的环境压力不大.从发展趋势看,烟台市各污染物的剩余环境容量(污染物环境容量与排放量之差)越来越大,表明环境资源对经济社会发展的支撑作用在加强.

#### 3.2 烟台市大气环境压力存在明显的空间差异

(烟台大气环境压力指数具有明显的空间差异) Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

性,如表 2 所示.其中,二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘的环境压力指数排名前三位的区域集中在开发区、龙口市、招远市,尤其是开发区,三大污染物环境压力指数都大于 1,表明该区域大气污染物排放量超过了环境容量.这三个区域是烟台市经济发展水平最高的地区,表明经济发展从某种程度上需要付出资源环境等方面的代价.从三种污染物的环境压力指数的平均值来看,二氧化硫环境压力指数均值高达 0.6158,其次是氮氧化物环境压力指数(0.2935),最后是烟粉尘环境压力指数(0.1917),表明当前大气污染治理的核心工作是控制二氧化硫的排放.

表 2 2017 年烟台市各县市区大气污染物环境压力指数  
Tab. 2 Environmental pressure index of air pollutants in Yantai in 2017

地区	氮氧化物	二氧化硫	烟粉尘
芝罘区	0.1409	0.2956	0.092
福山区	0.1409	0.2956	0.092
牟平区	0.0704	0.1478	0.046
莱山区	0.1409	0.2956	0.092
开发区	2.1131	4.4342	1.38
龙口市	0.3824	0.8024	0.2497
莱阳市	0.0822	0.1724	0.0537
莱州市	0.0704	0.1478	0.046
蓬莱市	0.1585	0.3326	0.1035
招远市	0.1831	0.3843	0.1196
栖霞市	0.0188	0.0394	0.0123
海阳市	0.0201	0.0422	0.0131
均值	0.2935	0.6158	0.1917

### 3.3 大气污染物来源分析

以氮氧化物、二氧化硫和烟粉尘为主的大气污染物,主要是由于能源矿产的大量使用造成的,图 2 反映了 2005—2017 年烟台市规模以上工业企业主要能源消费量. 热力能源和电力能源早期主要是由煤炭、石油等化石能源的燃烧得到,此过程不但消耗了大量的化石能源,而且会产生大量的大气污染物. 近年来,随着科学技术的发展,天然气、水能、核能等清

洁能源开始广泛应用于热力能源和电力能源的生产,从而减少了煤炭等化石能源的使用,减少了大气污染物的产生量和排放量. 如图 2 所示,原煤是消耗量最大的能源(清洗煤这项指标自 2016 年起被天然气这项指标所取代). 由此得出,烟台市仍然是一个以煤炭资源为主要消费能源的城市,并且随着工业的稳步发展,各种能源的消耗总量呈现逐年递增的趋势.

随着科学技术的发展,各类化石能源的使用效率不断提高、工业生产设备逐渐优化升级,全社会节能环保意识不断加强,工业的主要能源消耗量结构随之产生相应的变化,如表 3 所示.

由表 3 可知,烟台市煤炭使用量较大,但所占比重在逐年降低. 大气中的二氧化硫污染主要来自工业用煤. 制造业、电力、热力、燃气及水生产和供应业都是用煤量巨大的产业;三大产业的全行业用电量也是占据了社会用电量的绝大部分份额. 发电厂、铝电基地等都需要大量能源尤其是煤炭的燃烧,因此会产生大量二氧化硫,这样的经济结构以及能源消费结构必然会成为降低二氧化硫排放量的障碍性因素. 煤炭的使用比重从 2005 年的 77.3765% 降至 2017 年的 58.66%,使得烟台市二氧化硫排放量开始呈现出逐年下降的趋势,说明近些年能源结构调整发挥了重要作用,政府的减排措施取得了很好的成效.

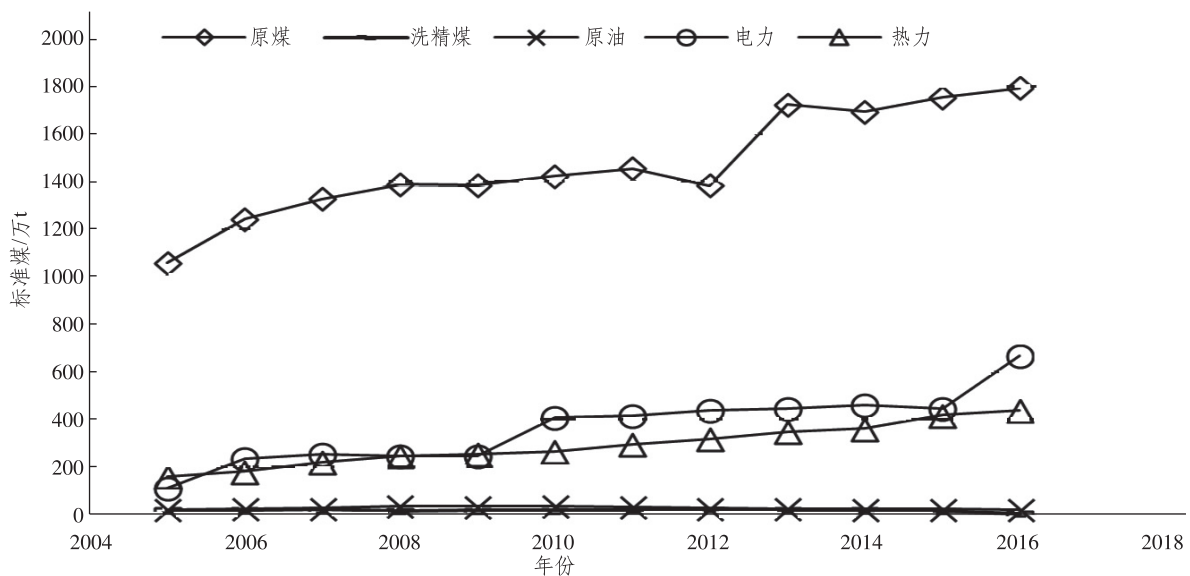


图 2 2005—2017 年规模以上工业企业主要能源消费量

Fig. 2 Major energy consumption of industrial enterprises above designated size from 2005 to 2017

表3 烟台市各主要能源的消耗量在主要能源消耗总量中所占比重

Tab.3 Percentage of main energy consumption in total main energy consumption

年份	原煤	清洗煤/天然气	热力	电力	汽油	煤油	柴油	原料油
2005	77.3765	1.3957	7.9283	11.7339	0.4798	0.0402	0.9248	0.1206
2006	73.0223	1.1366	13.8013	10.6087	0.4258	0.0387	0.8409	0.1258
2007	71.9641	1.1057	13.6705	11.8624	0.454	0.0497	0.7986	0.0951
2008	71.8951	0.7976	12.6985	12.733	0.7686	0.0331	0.9833	0.0908
2009	71.6523	0.8398	12.686	13.0322	0.601	0.0212	1.083	0.0846
2010	66.2933	0.7494	18.965	12.2977	0.5812	0.0138	1.0318	0.0677
2011	65.7267	0.8537	18.7334	13.2315	0.4472	0.0091	0.9176	0.0809
2012	63.2856	0.9445	20.058	14.5021	0.3358	0.0162	0.8364	0.0213
2013	67.398	0.7296	17.3757	13.5505	0.2736	0.0172	0.6443	0.0112
2014	66.259	0.7284	18.0007	14.0846	0.2567	0.0075	0.651	0.0120
2015	66.0368	0.5641	16.7944	15.7037	0.2313	0.0062	0.6516	0.0120
2016	60.4494	1.6967	22.4296	14.7093	0.1905	0.0055	0.5043	0.0148
2017	58.6600	2.1835	23.6148	14.9247	0.1681	0.0035	0.4352	0.0101

单位:%

注:2016年及其以后,清洗煤这项指标改为天然气

氮氧化物主要产生于化石燃料的燃烧,如工业生产过程中的燃烧过程,有色金属冶炼,生产过程中硝酸的大量使用,氮肥的生产过程,汽车、飞机等交通工具的使用等。氮氧化物会刺激人的肺部,使人较难抵抗感冒之类的呼吸系统疾病,而且会危害环境。从表3可以看出,烟台一次能源消费结构中,煤、石油等所占比重明显降低,热力、电力等能源所占比重大幅度提高,氮氧化物的排放量近年来呈现出逐渐降低的态势。政府及相关部门在节能环保方面的投入以及废气处理工作取得了一定的成果,新能源汽车的推广使用、清洁能源占比的增加,使得烟台市氮氧化物这类大气污染物的排放量处于一个可控的范围之内。

煤炭燃烧、汽车尾气排放以及建筑扬尘都是烟台市烟粉尘污染的主要来源。根据烟台市统计年鉴中的各县市区污染物排放总量的统计结果,工业生产中烟粉尘排放量占据了主要部分。以烟台市的下属县市莱州市为例,该市有丰富的矿产资源储量,黄金在全国居于首位,滑石、菱镁石储量居全国第二位;矿产资源的开采以及相关产业的发展极大地促进了当地经济的发展,同时也带来了许多负面影响,其中最严重的就是粉尘的肆虐<sup>[13-14]</sup>。加之城市发展带来的建筑扬尘,工业生产中煤炭燃烧带来的颗粒物排放,生活用煤带来的颗粒物排放,汽车使用过程中产生的尾气的共同作用,使得烟粉尘排放量巨大。然而随着政府部门环保意识的不断加强,建筑行业等产生的烟粉尘量得到控制、清洁能源得到相应的推广使用、相关的环保政策被推广使用,烟粉尘的排放量已经

被控制在一个合理的范围内。

## 4 应对措施及建议

综上所述,近年来伴随着经济的快速发展,烟台市大气环境整体上有持续优化的态势,说明烟台市的污染治理工作比较到位,政府加大监管和整改力度效果较显著。为了让烟台市保持巨大的发展空间,烟台市民能继续享受蓝天白云,政府应该继续加大力度,从各方面降污减排,为烟台市创造更好的发展和生活环境。

烟台市主要的大气污染物是氮氧化物和二氧化硫,其次是烟粉尘,随着国民经济的发展、人口的不断增加和能源消耗量的不断增大,烟台市经济也得到了持续快速的发展,全国和烟台市排入空气中的各种污染物也在逐渐增加。大气中的污染物主要来自燃煤等产生的烟粉尘、煤燃烧时产生的二氧化硫、工业生产以及汽车尾气所排放的氮氧化物、建筑施工和交通运输产生的烟粉尘污染。通过比较烟台市近年大气主要污染物的排放量变化趋势和烟台市大气环境容量,可以从以下几个方面进行大气污染的防治。

### 4.1 以污染源比较集中的县市区为环境整治重点,增加政府在环保领域的财政支出

大气污染物环境压力指数显示,烟台辖区内经济技术开发区、龙口、招远等地环境压力较大,是大气污染物排放比较集中的地区。这些地区工业规模大,污染源分布集中,是环境污染防治的核

心区域.将大气污染防治的政府资源重点投放在这些关键区域,能起到事半功倍的效果.另外,政府也应加大公共财政在节能环保领域的支出规模,对节能减排的企业给予适度的补贴或优惠政策,引导企业资金增加在节能环保领域的投入,进而促使烟台市大气环境质量进一步提升.

#### 4.2 促进产业结构进一步优化升级,增加清洁能源在能源消费结构中的占比

化石能源的大规模消耗是大气污染物的主要来源,不同的能源污染物排放的强度是不同的.一般来说,煤炭的污染物排放强度(单位质量煤炭燃烧时二氧化硫等污染物的排放量)要高于天然气、石油等.因此,增加天然气、水能、核能、风能等清洁能源的消费占比,有利于进一步改善大气环境质量.产业结构优化也能产生节能减排的作用,借助当前山东省经济发展新旧动能转换的有利时机,烟台市应该针对性地制定政策措施,推动高耗能企业加快技术升级,促使企业发展战略从依靠要素投入转向技术创新.

#### 4.3 加强机动车尾气排放控制

随着机动车保有量的持续增长,机动车尾气的大量排放成为我国氮氧化物类污染气体排放的重要来源.因此,机动车尾气排放也成为雾霾、光化学烟雾等污染灾害发生的重要原因.加强机动车尾气排放控制成为大气污染防治的重要途径.为此,建议政府相关部门着手做好如下工作:建立严格的机动车尾气排放标准体系;建立完善的机动车油品质量标准体系;建立完善的机动车尾气排放监督管理体系;建立有序的机动车淘汰管理体制;建立有效的新能源机动车激励机制等.

#### 4.4 大力发展循环经济

资源充分利用、减少废物排放甚至达到零排放,发展集约型经济,努力构建资源节约型、环境友好型社会,早日实现区域协同发展.推动产业转移,形成合理的要素配置;贯彻落实新旧动能转换重大工程,坚持以“四新”促“四化”的发展方向,助力经略海洋、推动乡村振兴、优化产业结构配置.

## 5 结论

烟台市的大气污染正在逐步减轻,主要大气污染物排放量总体上大幅度低于环境容量.这进一步证明随着治污能力和节能减排力度的不断提高,大气环境正在逐步好转.烟台市大气污染物环境压力指数存在明显空间差异性,经济高度集聚的开发区、龙口市、招远市等地区是今后大气污染防治的重点地区.

#### 参考文献:

- [1] 邢闪,赵景波.山东省烟台市大气环境质量状况及评价[J].上海环境科学,2011,30(2):65-69.
- [2] 柴发合,陈义珍,文毅,等.区域大气污染物总量控制研究[J].中国科技成果,2008,18:31-34.
- [3] 赵修基,慕香有.烟台市志[M].北京:科学普及出版社,1994.
- [4] 许艳玲,薛文博.大气环境容量理论与核算方法演变[J].环境科学研究,2018,31(11):1835-1840.
- [5] 薛文博.PM<sub>2.5</sub>输送特征与环境容量模拟研究[M].北京:中国环境出版社,2017:150-160.
- [6] WANGW Y, CHEN N, MA X J. Research on atmospheric environmental capacity model of urban agglomeration[J]. Advanced Materials Research, 2012(18): 1311-1320.
- [7] 张红,王绪龙.基于大气环境容量的山东省最优经济规模的测算[J].统计与决策,2008(12):40-42.
- [8] 国家环境保护总局.GB/T3840-91 大气环境容量测算模型简介[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [9] 陈永玲,贺先玲.烟台大气污染状况及规律分析[J].内蒙古环境保护,1999,11(2):20-23.
- [10] 秦娟娟.青岛市大气环境容量及总量控制研究[D].青岛:山东科技大学,2011.
- [11] 环境保护部.环境空气质量标准(GB3095-2012)[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [12] 烟台市统计局.烟台统计年鉴(2006-2017)[M].烟台:中国统计出版社,2018.
- [13] 曹传法,周峰,郭彦光等.新旧动能转换下煤机企业脱困转型升级研究[J].煤炭经济研究,2018(9):23-27.
- [14] 陈铁林.关于我国机动车尾气治理的策略与设想[J].人民交通,2017(8):60-61.

## Atmospheric Environment Capacity of Yantai City

YAN Youning, YU Huilu, JIANG Shuguang

(School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

**Abstract:** With the rapid development of industrialization, the trend of declining atmospheric environmental quality has been widespread throughout the country, which has aroused people's high attention. In order to evaluate the atmospheric environmental capacity of Yantai City, this paper calculated the atmospheric environmental capacity level of Yantai City by adopting the "box model" method, and compared and analyzed the actual atmospheric pollution discharge load of Yantai City in the past 12 years. The source of the pollutants was analyzed, and it was concluded that the air pollution in Yantai City was gradually reduced and was always lower than the atmospheric capacity. This conclusion further proves that the atmospheric environment of Yantai is gradually improving with the improvement of pollution control capacity, energy conservation and emission reduction.

**Keywords:** Yantai City; atmospheric environment capacity; box model

(责任编辑 李维卫)

(上接第154页)

**Abstract ID:** 1673-8020(2020)02-0148-EA

## Advances in the Photocatalytic Degradation of Five Herbicides in the Practice of Forensic Toxicology

CHENG Baozhi, YANG Bin, GUO Wan

(Faculty of Forensic Medicine, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** Herbicides play an important role in modern agricultural production, but the environmental pollution caused by herbicides also follows with the continuous expansion of its dosage and range of use. Some herbicides have stable chemical properties and are not easy to degrade. Long-term environmental accumulation will threaten human health and ecological balance. How to effectively remove residual herbicides in water environment has become the focus of current attention. Photocatalytic technology is an effective method to degrade herbicides because of its high efficiency, cleanness and green, but the mechanism of catalytic degradation needs to be further discussed and the photocatalytic performance needs to be further improved. In this paper, the review is focused on the research on photocatalytic degradation of herbicides in the practice of forensic toxicology.

**Keywords:** herbicides; photocatalytic degradation; progress

(责任编辑 刘军深)