

文章编号: 2096-1618(2019)06-0676-05

基于修正 A 值法天府新区季节大气环境容量初步研究

王俊喜¹, 王誉晓²

(1. 东营市气象局, 山东 东营 257091; 2. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

摘要:选取 2013 年天府新区内 7 个站点的风速、降水量、总云量/低云量实际观测数据,以箱式模型为基础,利用季节平均计算公式,重新计算了其四季 A 值,对天府新区的 4 种主要污染物 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 的季均大气环境容量进行了核算。研究表明:(1)天府新区 2013 年四季 A 值分别为 0.79、0.82、0.49 和 0.40;(2)天府新区 4 种污染物的季节环境容量在夏季均为最大值,冬季均为最小值;(3)干沉积清除量与化学转化清除量在 4 项清除量中的数值最小,湿清除量所占比重最大,是造成研究区年内分布不均的主要因素。

关键词:大气科学;大气环境;天府新区;A 值法;季节大气环境容量

中图分类号:X51

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2019.06.018

0 引言

大气环境容量是指研究区域内各大气污染物在符合国家规定的大气环境质量标准的条件下的最大排放量,即其范围内所能允许排放的污染物总负荷量^[1-2]。对于大气环境容量的研究开展以来,国内外学者提出了许多种核算方法,A 值法是基于一种单箱模型发展而来的预测模型,A-P 值法则是从大气扩散统计理论的基础上,采用点源排放得出的预测模型,由于 A-P 值法适用范围大、估算方法实用等特点,使其在当前的大气污染防治工作中得到广泛应用^[3]。多源模式法相较于 A 值法,不止需要气象资料,还需要对研究区域地理网格化处理,使用多种模式模拟实验结果,并结合污染源资料的排放关系,又被称为空气污染扩散模型^[4]。模拟法则是使用多种模式算法,在假设的气象参数和污染源参数下,对研究区大气污染物研究周期内的排放总量与空气环境指数建立响应关系,从而计算其大气环境容量^[5]。为合理确定 A 值,欧阳晓光^[6]以箱模型原理为基本方法,利用大气稳定度影响大气环境容量的原理,对区域性地理系数的算法加以修正。XU D H 等^[7]使用 A 值法核算出了中国大气环境容量,并与城市大气负荷进行比较。张碧莹^[8]以锦州市为例,测算其大气环境容量,分别利用 A-P 值法、A 值法和模拟法进行计算,说明要综合使用多种方法才能科学合理的计算研究区域的大气环境容量。Zhang W N 等^[9]、黄涛等^[10]使用 A 值法,分别计算了神农架和兰州新区主要污染物的大气环境容量。李文慧等^[11]

对西安市各区县的大气环境容量研究也使用修正 A 值法的单箱模型为基本模型,并计算得到大气剩余容量。匡耀求^[12]、刘彦等^[13]同样应用 A 值法,分别对珠江三角洲和景德镇的 SO_2 大气环境容量进行估算。

天府新区作为未来四川省重要经济发展区,发展现代制造业、打造宜居的旅游区域是其发展方向,但人口密度高、城镇化水平较高的特点导致其大气环境面临严峻挑战。在此背景下,利用以修正 A 值法的单箱模型为基本模型,对天府新区 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 4 种污染物季节大气环境容量进行核算,了解该区域 2013 年四季的大气环境容量数值差异,力图为天府新区未来大气污染问题的治理提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

按照《制定大气污染物排放标准的技术方法》^[14](下文称《方法》)中提出的 A 值法及使用《方法》中国标法计算混合层高度的计算要求。选用天府新区(温江、新津、龙泉驿、双流、彭山、简阳、仁寿,共 7 个站点)2013 年云量、风向、风速、降水量及探空资料来进行大气环境容量的核算。

1.2 控制区确定

以天府新区为研究区域其范围包括高新区的南区、新津、龙泉驿、双流、彭山、简阳、仁寿,3 市 7 县共 1578 km^2 ,见表 1。

表 1 研究区域面积统计

区县名称	高新区	新津	龙泉驿	双流	彭山	简阳	仁寿	共计
面积/km ²	35	76	277	905	44	191	50	1578

1.3 大气环境容量估算方法

研究区域大气环境容量可为减少地区污染物排放,优化区域经济结构和规模提供数据支持。基于大气环境容量重要的理论研究意义和社会实践价值,其值不仅与自然环境相关,各污染源的分布情况、污染物的物理状态及化学转化等过程也与其紧密相连。按照《方法》中提到的计算方法,A 值法是以单箱模型为基础模型,使用地理区域性控制系数来进行的宏观总量控制计算,又被称为国标法。国标法就是将研究区域上空的大气层看做成一个巨大的箱体,在假设研究区混合层内污染物浓度处处相等的基础上,研究区的下垫面看作为箱子的底部,大气混合层顶看作是箱子的顶部。因此在控制周期 T 时间内,并且在考虑了整个研究区内污染物干、湿沉降及气态污染物化学转化的条件下,则在研究区域内所能允许排放的最大污染物总负荷量的计算公式为

$$Q_a=3.1536\times10^{-3}c_s\sqrt{\pi}\frac{v_E\sqrt{S}}{2}+3.1536\times c_sS\left(u_d+u_w+0.639\times\frac{H_i}{T_{1/2}}\right)\tag{1}$$

其中: Q_a 为研究区域中周期 T 内,即一年内允许污染物排放的总量; c_s 为符合空气质量要求下的各污染物浓度; v_E 为通风量; S 为研究区面积; u_d 为各污染物的干沉降速率; u_w 为各污染物的湿沉降速率; H_i 为污染物在大气层的扩散过程中与下垫面的最大垂直距离; $T_{1/2}$ 为污染物的半衰期。

1.4 季节 A 值计算

使用《方法》中的国标法对天府新区的季节大气环境容量进行测算。由于混合层高度受风速与大气稳定度即动力及热力因素的综合影响,季节不同,混合层高度值差异较大。因此,需要在式(1)的基础上,对 A 值进行校正,进而可得修正的计算公式。

季节混合层高度与年均计算不同,其公式为

$$\bar{h}=\frac{n}{\sum_{i=1}^n\frac{1}{h_i}}\tag{2}$$

其中, \bar{h} 为混合层高度各季节平均值; h_i 为混合层高度逐日平均值。

大气混合层内部的平均风速值计算公式如下:

$$u_2=u_1\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^p,z_2\leqslant200\text{ m};u_2=u_1\left(\frac{200}{z_2}\right),z_2>200\text{ m}\tag{3}$$

其中, u_1 、 u_2 分别为在距离下垫面 z_1 、 z_2 高度处的平均

风速; p 为风速高度指数。在混合层高度内,利用风速高度指数与不同高度风速积分求解,平均风速公式为

$$u=\frac{1}{H_i}\int_0^{H_i}u(z)\text{d}z=\frac{1}{H_i}\left[\int_0^{200}u_{10}\left(\frac{z}{10}\right)^p\text{d}z+\int_{200}^{H_i}u_{10}\left(\frac{200}{10}\right)^p\text{d}z\right]\tag{4}$$

其中, u_{10} 为风速在距地面高度 10 m 处的测值;当 $u_{10}>6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,取 $u_{10}=6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。根据《方法》中的规定,应由该季节内 3 个月的平均风速与平均混合层高度推出 A 值法中的平均季节通风系数 v_E :

$$v_E=\frac{3}{\frac{1}{u_{i-1}\cdot H_{i-1}}+\frac{1}{u_i\cdot H_i}+\frac{1}{u_{i+1}\cdot H_{i+1}}}\tag{5}$$

其中, u_{i-1} 、 u_i 、 u_{i+1} 为各季节内对应 3 个月份的平均风速值; H_{i-1} 、 H_i 、 H_{i+1} 为各季节内对应 3 个月份的混合层高度值。

利用 v_E 可以对地理区域性控制系数 A 进行修正,则季节大气环境容量计算中系数 A 计算公式订正为

$$A=a_i\cdot10^{-3}\cdot\sqrt{\pi}\cdot\frac{v_E}{2},\quad i=1,2,3,4\tag{6}$$

式中, a_i 为季节系数。 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 分别为春、夏、秋、冬的季节系数,其中 $a_1=a_2=0.79488$, $a_3=0.78624$, $a_4=0.7760$ 。

因此,各季节区域大气可承载最大允许排放量公式为

$$Q_a'=a_i\cdot10^{-3}\cdot\sqrt{\pi}\cdot\frac{v_E}{2}\sum_{i=1}^nc_s\cdot\sqrt{S}+a_i\cdot3.1536\cdot c_s\cdot S\cdot(u_d+u_w+0.639\frac{H_i}{T_{1/2}})\tag{7}$$

式中, c_s 为符合空气质量要求下的各污染物浓度,其余符号表示同上。

天府新区通风系数及 A 值见表 2。

表 2 天府新区通风系数及 A 值

季节	混合层高度/m	通风量/(m ² ·s ⁻¹)	A 值/(10 ⁴ km ²)
春	450.36	1121.06	0.79
夏	491.96	1168.28	0.82
秋	387.58	707.67	0.49
冬	302.88	580.81	0.40

2 天府新区季节大气环境容量

2.1 天府新区季节输送扩散清除量(基本大气环境容量)

式(7)中的第一项为基本大气环境容量项。对其

进行计算：

$$Q_{a1}=a_i \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{v_E}{2} \cdot \sum_{i=1}^n c_s \cdot \sqrt{S} \tag{8}$$

依照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的有关限值规定进行计算。将 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的季节平均基本浓度限值分别取为 60 μg·m⁻³, 40 μg·m⁻³, 35 μg·m⁻³, 70 μg·m⁻³。利用式(8)对 2013 年天府新区各季节的基本大气环境容量进行测算,见表 3。

由表 3 可知,天府新区 4 种污染物的季节基本大气环境容量在夏季均达到最大值,冬季均达到最小值。4 种污染物的夏季基本大气环境容量从数量对比而言,大致为冬季的 2 倍。

表 3 天府新区季节大气环境基本容量				10 ⁴ t/季
季节	SO ₂	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
春	1.88	1.25	1.1	2.2
夏	1.96	1.31	1.14	2.29
秋	1.18	0.78	0.69	1.37
冬	0.95	0.64	0.56	1.11

2.2 季节干沉积清除项

经实验研究表明,同一地区的季节干沉积速率可近似取为年干沉积速率。其中 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的年均干沉降速率分别为 0.35±0.004cm·s⁻¹、0.07±0.0007cm·s⁻¹、0.25±0.0005cm·s⁻¹、0.44±0.0005cm·s⁻¹[15]。由此,SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的年均干沉降速率取值为 0.35cm·s⁻¹、0.07cm·s⁻¹、0.25cm·s⁻¹、0.44cm·s⁻¹。

对式(7)中的第二项进行计算：

$$Q_{a2}=a_i \cdot 3.1536 \cdot c_s \cdot S \cdot u_d \tag{9}$$

天府新区各季节 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的干沉积清除量经式(9)计算,结果如表 4 所示。在 4 种大气污染物中,PM₁₀ 的干沉积清除量最大,SO₂ 次之,NO₂ 最小。

表 4 天府新区季节干沉积清除量				10 ⁴ t/季
季节	SO ₂	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
春	0.26	0.04	0.11	0.39
夏	0.26	0.04	0.11	0.39
秋	0.26	0.03	0.11	0.38
冬	0.26	0.03	0.11	0.38

2.3 季节湿沉积清除项

根据式(7)可知,第三项为湿沉积清除项。由于计算颗粒物与气态物的湿沉积清除公式有所不同,因

此湿沉积清除项的计算分为两项。其中计算颗粒物季节湿沉积量的公式为

$$Q_{a3}=a_i \cdot 3.1536 \cdot c_s \cdot S \cdot u_w \tag{10}$$

式中,u_w=w_r·R;其中 w_r 为清洗比,取值 1.9×10⁻⁵;R 为降水量。

计算气态污染物季节湿沉积量公式为

$$Q_{a3}=a_i \cdot 3.1536 \cdot c_s \cdot S \cdot K_w \tag{11}$$

式中,K_w 为气态污染物湿沉积速率,K_w=aR^b;其中,R 为平均每小时降水量,即雨强;a、b 为与季节有关的经验常数。其中,有关计算 SO₂ 湿沉积速率的经验常数 a、b 在春季取值为 0.036 与 0.530,在夏季经验常数 a、b 取值为 0.140 与 0.120,在冬季经验常数 a、b 取值为 0.009 与 0.700,秋季的经验常数 a、b 取值与春季相同;而 NO₂ 的湿沉积速率经验常数则为 SO₂ 的 0.25 倍[16]。

天府新区各季节 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的湿沉积清除量经式(10)、(11)计算,结果如表 5 所示。由表 5 可知,SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5} 4 种污染物的季节湿沉积清除量均为夏季最多,冬季最少。

表 5 天府新区季节湿沉积清除量				10 ⁴ t/季
季节	SO ₂	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
春	3.61	0.85	0.10	0.20
夏	8.74	2.15	0.73	1.45
秋	4.42	0.94	0.23	0.45
冬	0.56	0.17	0.01	0.02

2.4 季节化学转化清除项

由于颗粒污染物的化学清除过程不予考虑,则此项只进行 SO₂ 和 NO₂ 两种气态污染物的化学转化清除量的计算。对式(7)中的第四项进行计算：

$$Q_{a4}=a_i \cdot 3.1536 \cdot c_s \cdot S \cdot 0.639 \cdot \frac{H_i}{T_{1/2}} \tag{12}$$

式中,H_i 为利用式(2)计算得出的各季混合层高度;T_{1/2} 为半衰期。SO₂ 的半衰期为 10⁵ s,NO₂ 的半衰期为 7.2×10⁵ s。天府新区 SO₂、NO₂ 的化学转化清除量经式(12)计算,结果见表 6。

表 6 天府新区季节化学转化量				10 ⁴ t/季
污染物	春	夏	秋	冬
SO ₂	0.22	0.24	0.18	0.14
NO ₂	0.02	0.02	0.02	0.01

2.5 天府新区季节大气环境容量

综合上述的 4 项清除量,则得到天府新区 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀ 的季节大气环境容量,见表 7。

表 7 天府新区季节大气环境容量 10⁴ t/季

污染物	季节	基本环境容量	干沉积清除量	湿沉积清除量	化学转化清除量	总环境容量	年大气环境容量
SO ₂	春	1.88	0.26	3.61	0.22	5.97	25.12
	夏	1.96	0.26	8.74	0.24	11.2	
	秋	1.18	0.26	4.42	0.18	6.04	
	冬	0.95	0.26	0.56	0.14	1.91	
NO ₂	春	1.25	0.04	0.85	0.02	2.16	8.30
	夏	1.31	0.04	2.15	0.02	3.52	
	秋	0.78	0.03	0.94	0.02	1.77	
	冬	0.64	0.03	0.17	0.01	0.85	
PM _{2.5}	春	1.1	0.11	0.1	0	1.31	5.00
	夏	1.14	0.11	0.73	0	1.98	
	秋	0.69	0.11	0.23	0	1.03	
	冬	0.56	0.11	0.01	0	0.68	
PM ₁₀	春	2.2	0.39	0.2	0	2.79	10.63
	夏	2.29	0.39	1.45	0	4.13	
	秋	1.37	0.38	0.45	0	2.2	
	冬	1.11	0.38	0.02	0	1.51	

3 总结与讨论

根据天府新区内 7 个站点(温江、新津、龙泉驿、双流、彭山、简阳、仁寿)2013 年气象观测资料,重新计算了其四季 A 值,对天府新区的 4 种主要污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀的季均大气环境容量进行了核算。研究表明:

(1)天府新区 2013 年春、夏、秋、冬四季 A 值分别为0.79、0.82、0.49 和0.40。

(2)天府新区 4 种污染物的季节环境容量在夏季均为最大值,冬季均为最小值。SO₂ 的夏季大气环境容量为冬季的 5 倍。其余 3 种污染物的夏季基本大气环境容量从数量对比而言,大致为冬季的 2 倍。

(3)干沉积清除量与化学转化清除量在 4 项清除量中的数值最小;湿清除量所占比重最大,是造成研究区内年分布不均的主要因素。

综上,针对 4 种污染物,天府新区可根据文中计算所得的允许排放总量与对污染物实际排放量对比,从而对区域性污染物排放总量进行分时段、分类别的科学分配,为天府新区未来环保管理部门提供大气污染物排放总量规划的科学依据。

参考文献:

[1] 王涵瑾,王源程,倪长健. 基于修正 A 值法核算成都市季节大气环境容量[J]. 环境与可持续发展,2015,40(3):71-74.

[2] Steven F Rice, Richard R Steeper. Oxidation rates of common organic compounds in supercritical water [J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, 59(2).

[3] 尹凤. 大气污染物扩散的理论和试验研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2006.

[4] 姚立英,张继东,王伟,等. 大气环境容量核算有关问题探讨[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(10):A-11.

[5] 宁平. 大气环境容量核定方法与案例[M]. 北京:卷冶金工业出版社,2013.

[6] 欧阳晓光. 大气环境容量 A-P 值法中 A 值的修正算法[J]. 环境科学研究, 2008(1):37-40.

[7] XU DaHai, WANG Yu, ZHU Rong. Atmospheric environmental capacity and urban atmospheric load in mainland China[J]. Science China (Earth Sciences), 2018, 61(1):33-46.

[8] 张碧莹,颜宏亮. 锦州市大气环境容量估算模型研究[J]. 当代化工研究, 2018(7):14-16.

[9] Zhang Wenna, Cheng Chang, Chen Tao, Jiang Li-ping. Study on Atmospheric Environmental Capacity of Shennongjia [J]. Meteorological and Environmental Research, 2014, 5(9):43-46.

[10] 黄涛,李晓霞,王让会. 兰州新区大气环境容量特征[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6):883-889.

[11] 李文慧,陈洁,王繁强,等. 基于修正 A 值法的西安市大气环境容量与剩余容量估算[J]. 安

全与环境工程,2013,20(4):71-75.

[12] 匡耀求,黄宁生,许连忠,等. 珠江三角洲区域大气环境容量的计算及二氧化硫排放控制对策探讨[J]. 中国人口·资源与环境,2008(3):201-205.

[13] 刘彦,姚进明,徐卫民. 用A值法测算景德镇市SO₂大气环境容量[J]. 江西能源,2006(4):13-15.

[14] GB/T13201-91, 制定地方大气污染物排放标准的

准的技术方法[S].

[15] 陈云强,崔蕾,孙明. 川南经济区年大气环境容量核算的初步研究[J]. 成都信息工程大学学报,2017,32(1):74-77.

[16] 胡晨燕,徐斌,施介宽,等. 高斯模型的干湿沉积化学转化综合公式研究[J]. 环境科学与技术,2004(6):61-63.

Preliminary Study on Seasonal Atmospheric Environmental Capacity of Tianfu New District based on Modified A Value Method

WANG Junxi¹, WANG Yuxiao²

(1. Dongying Meteorological Bureau, Dongying 257091, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: This paper selects the actual observation data of wind speed, precipitation, total cloud amount/low cloud amount in Tianfu New District in 2013. Based on the box model, the total control coefficient A of geographic regional was recalculated by using seasonal average calculation formula. The average environmental capacity of the four main pollutants in Tianfu New District was calculated. The results show that: (1) the seasonal A values in Tianfu New District In 2013 were 0.79, 0.82, 0.49 and 0.40; (2) The pollutants in Tianfu New District are the largest in summer and the smallest in winter; (3) The dry sediment removal and chemical conversion removals were the smallest among the four removals, the wet removals accounted for the largest proportion, which were the main factor causing uneven distribution within the study area during the year.

Keywords: atmospheric science; atmospheric environment; Tianfu New District; A value method; seasonal atmospheric environmental capacity