

# 川南经济区年大气环境容量核算的初步研究

陈云强<sup>1</sup>, 崔 蕾<sup>2</sup>, 孙 明<sup>1</sup>

(1. 四川省气象服务中心, 四川 成都 610072; 2. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为促进川南经济区(内江、自贡、宜宾、泸州)大气环境容量的科学合理利用,选用该区域2013年降水、风速、露点温度及总云量/低云量观测资料,基于箱模型的宏观总量控制值法(A值法)对该区域SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 4个污染物的年大气环境容量进行核算。研究表明:(1)川南经济区SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>年均大气环境容量分别为1023.76、653.4、233.99、110.86(10<sup>4</sup> t·a<sup>-1</sup>),气态污染物大气环境容量高于颗粒物大气环境容量;(2)对于四项污染因子来说,川南经济区湿沉积为其主要清除项,化学转化清除项占比最小;(3)造成川南经济区内各市环境大气容量的差异主要源于湿沉降的空间分布不均匀。

**关键词:**川南经济区;A值法;年大气环境容量;污染物

**中图分类号:**P412.1

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2017.01.012

## 0 引言

大气环境容量是指在某个地区某个阶段内,能满足大气环境质量标准,大气环境所能容纳最大的大气污染物负荷总量,其大小与污染源分布状况、环境质量标准、大气稀释扩散、自净能力和空间大小等因素有关,也与污染物的物理状态、化学形态及生物降解等过程紧密相连,大气环境容量的核算,是区域污染源布局及污染物排放量控制的重要依据<sup>[1-3]</sup>其复杂性决定了在计算过程中,方法选择的重要地位。在目前常用大气环境容量主要计算方法中,基于箱模式的A-P值法从大气扩散的统计理论入手,着力寻求扩散粒子关于时间和空间的概率分布,求出扩散物质浓度,进而核算一定区域内的大气环境容量<sup>[4]</sup>,在目前的环境管理和总量控制工作中得到广泛的应用。欧阳晓光<sup>[5]</sup>以单箱模型A值法的基本原理为基础,对不同大气稳定度下计算A值的单箱模型法进行修正并以长江三角洲开发区为例对计算结果进行可靠性验证;韩薇<sup>[6]</sup>以测算东北SO<sub>2</sub>的大气环境容量为例,说明要科学合理地确定某一区域的大气环境容量宜综合采用A-P值法、平权法和源强优化法;匡耀求等<sup>[7]</sup>应用A值法计算珠江三角洲二氧化硫的环境容量,并探讨二氧化硫排放的控制政策;张少骞<sup>[8]</sup>、李文慧<sup>[9]</sup>利用A值法分别得到长春市及西安市各区县主要污染物的大气环境容量;崔锡训<sup>[10]</sup>利用鞍山市空气污染源排放清单,对A值法进行改进,克服原A-P值法的不足,优化该市分

配方案,得出市区污染物的允许排放总量和削减总量。

川南经济区是四川省重要经济发展区,人口密度较高、经济实力较强、工业化进程较快、城镇化水平较高的特性导致其大气污染防治的形势十分严峻。在此背景下,研究该区域SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub> 4类污染物的大气环境容量,对促进川南经济区大气环境容量的科学合理利用有重要意义。为此,基于A值法对川南经济区(内江、自贡、宜宾、泸州)进行大气环境容量的核算,力图为大气环境管理提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

选取川南经济区(内江、自贡、宜宾、泸州)2013年地面常规气象观测资料及探空资料进行大气环境容量的核算,主要包括:逐日降水、风速观测数据、一日四次露点温度及总云量/低云量数据。其中,露点温度、总云量/低云量数据主要用于混合层厚度的计算,其计算方法参见文献<sup>[11-12]</sup>。

### 1.2 控制区确定

根据《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国环境空气质量标准》、《环境空气质量功能区划分原则与技术方法》等<sup>[13-15]</sup>法律及标准的规定,目标区域内一类环境空气质量功能区是指自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的地区,同时规定其面积不得小于4 km<sup>2</sup>。由于川南经济区一类功能区

分布较零散,因此将研究区域总体归为二类功能域,总面积为35281 km<sup>2</sup>,各研究区面积见表 1。

表 1 研究区面积统计

城市	内江	自贡	宜宾	泸州	总面积
面积/km <sup>2</sup>	5385.46	4372.6	13283	12240	35281.06

1.3 大气环境容量核算方法

参考《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》<sup>[11]</sup>可知,以箱模型为基本模型推导出的宏观总量控制值法(A 值法)为大气污染物排放总量的测算方法。该方法将整个区域空间看作由一个或多个矩形的箱体组成,箱底和箱顶分别为城市下垫面和混合层顶,且假设污染物在箱体充分混合,考虑到干、湿沉降及化学衰变因素,在控制周期  $T$  时间内,整个城市内允许排放的污染物总量  $Q_a$  应为

$$Q_a=3.1536\times10^{-3}(C_s-C_b)\sqrt{\pi}\frac{V_E\sqrt{S}}{2}+3.1536\times C_sSu_d+$$
$$3.1536\times C_sSu_w+3.1536\times C_sS\times0.639\times\frac{H_i}{T_{1/2}}\quad(1)$$

在式(1)中: $Q_a$ (10<sup>4</sup>t/a)为污染物排放量; $C_s$ (mg/m<sup>3</sup>)为污染物年均浓度的标准限值, $C_b$ (mg/m<sup>3</sup>)为由上风向进入该箱内的大气污染物本底质量浓度; $V_E$ (m<sup>2</sup>/s)表示通风量,其计算公式为  $V_E=\bar{u}H_i$ ; $S$ (km<sup>2</sup>)为研究区面积; $u_d$ (m/s)为干沉降速度; $\bar{u}$ (m/s)为平均风速; $U_w$ (m/s)为湿沉降速率; $H_i$ (m)为污染物可到达的高度,在此即为混合层厚度; $T_{1/2}$ (s)为污染物半衰期,与污染物转换时间常数  $T_c$  的关系为  $T_c=T_{1/2}/0.693$ 。

式(1)中①项为输送扩散清除项(基本大气环境容量项);②项为干沉降清除项;③项为湿沉降清除项;④项为化学转化清除项。

2 结果与分析

2.1 川南经济区年输送扩散清除量(基本大气环境容量)

对式(1)中输送清除项①进行计算

$$Q_{a1}=3.1536\times10^{-3}(C_s-C_b)\sqrt{\pi}\frac{V_E\sqrt{S}}{2}\quad(3)$$

根据《环境空气质量标准》<sup>[13]</sup>的规定,二类功能区中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的年平均浓度限值分别为 60、40、70、35(单位:μg/m<sup>3</sup>)。

根据公式(3),研究区年平均基本大气环境容量

测算结果见表 2。由表 2 可知,川南经济区 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 4 个污染物的年均基本大气环境容量分别为 25.34、13.94、25.34、10.14 (单位:10<sup>4</sup>t·a<sup>-1</sup>)。

表 2 研究区年基本大气环境容量/(10<sup>4</sup>t·a<sup>-1</sup>)

城市	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
宜宾	5.24	2.88	5.24	2.1
内江	5.05	2.78	5.05	2.02
泸州	10.69	5.88	10.69	4.28
自贡	4.36	2.4	4.36	1.74
川南经济区	25.34	13.94	25.34	10.14

2.2 川南经济区年干沉积量

对式(1)中干沉降清除项②进行计算,其中,中国地区 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 的年均干沉降速率分别为 0.35±0.004 cm/s、0.44±0.0005 cm/s、0.07±0.0007 cm/s。由于 PM<sub>2.5</sub> 粒径小,雨水冲刷效率很低,以致其沉降速度较小,因此,在确定 PM<sub>2.5</sub> 干沉降速度这方面存在着很大的困难。研究表明,PM<sub>2.5</sub> 中成分比较复杂,其主要化学成分包括硫酸盐、碳元素、硝酸盐、钠盐等。所以,有关 PM<sub>2.5</sub> 干沉降速度的计算中,将采用的干沉降速度,取值为 0.25±0.0005 cm/s。

$$Q_{a2}=3.1536\times C_sSu_d\quad(4)$$

据此 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 年均干沉降速率分别为:0.44、0.25、0.35、0.07(单位:cm/s)。据式(4),得到表 3,即研究区 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 各污染物干沉积量分别为:34.27、9.73、23.36、3.16(单位:10<sup>4</sup>t·a<sup>-1</sup>)。在 4 项污染因子中,PM<sub>10</sub> 的干沉积量最大,SO<sub>2</sub> 次之,NO<sub>2</sub> 最小。

表 3 研究区年干沉积量/(10<sup>4</sup>t·a<sup>-1</sup>)

城市	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
宜宾	12.90	3.671	8.8	1.17
内江	5.23	1.49	3.57	0.48
泸州	11.89	3.38	8.11	1.08
自贡	4.25	1.21	2.9	0.39
川南经济区	34.27	9.73	23.36	3.16

2.3 川南经济区年湿沉积量

对湿沉降清除项③进行计算,其中,颗粒物湿沉降清除量和气态污染物湿沉降清除量算法有些许差异,颗粒物湿沉降算法为

$$Q_{a3}=3.1536\times C_sSu_w\quad(5)$$

式中  $U_w=W_r\cdot R$ ,; $W_r$ 为清洗比,无量纲量,取值为 1.9×

$10^{-5}$ ;  $R$  为年累计降水量(单位为:mm)  
气态污染物的湿沉降计算公式为

$$Q_{a3}=3.1536\times C_sSK_w\tag{6}$$

$K_w=aR^b$ 为湿沉降速率,式中, $a$ 、 $b$ 是与不同季节的经验常数; $R$ 为年降水量。 $\text{SO}_2$ 湿沉降率不同季节的经验常数  $a$ 、 $b$  在冬季分别为0.009和0.700,夏季为0.140和0.120,春季和秋季相同,为0.036和0.530。同时,有研究表明, $\text{NO}_2$ 的湿沉降率在不同季节分别为  $\text{SO}_2$  的 1/4。

据此得出表 4,研究区  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 各污染物湿沉积量分别为:174.38、87.19、957.77、638.5(单位: $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )。在 4 项污染因子中, $\text{SO}_2$ 的湿沉积量最大, $\text{NO}_2$ 次之, $\text{PM}_{2.5}$ 最小。

表 4 研究区年湿沉积量/( $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )

城市	$\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_2$
宜宾	68.13	34.06	363.8	242.53
内江	23.3	11.65	143.16	95.44
泸州	61.19	30.6	331.68	221.12
自贡	21.76	10.88	119.13	79.41
川南经济区	174.38	87.19	957.77	638.5

2.4 川南经济区年化学转化清除量

对化学转化清除项④即式(7)进行计算,其中  $\text{SO}_2$  的半衰期为  $10^5\text{ s}$ , $\text{NO}_2$ 半衰期为  $7.2\times10^5\text{ s}$ 。

$$Q_{a4}=3.1536\times C_sS\times0.639\times\frac{H_i}{T_{1/2}}\tag{7}$$

由于颗粒物不考虑化学物清除,故仅计算气体污染物的化学清除项,结果见表 5。

由表 5 可知,研究区气体污染物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 的化学转化清除量分别为:17.29、1.6(单位: $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )。研究区各市(内江、自贡、宜宾、泸州) $\text{SO}_2$ 化学转化清除量分别为:2.75、2.11、5.98、6.44(单位: $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )。研究区各市(内江、自贡、宜宾、泸州) $\text{NO}_2$ 化学转化清除量分别为:0.25、0.2、0.55、0.59(单位: $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )。

表 5 研究区年化学转化清除量/( $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )

污染物	内江	自贡	宜宾	泸州	川南经济区
$\text{SO}_2$	2.75	2.11	5.98	6.44	17.29
$\text{NO}_2$	0.25	0.20	0.55	0.59	1.60

2.5 年大气环境容量

综合上述 4 项因子(基本环境容量、干沉积清除项、湿沉积清除项、化学转化清除项),研究区年大气环境容量计算结果如表 6 所示。研究区内 4 项污染因子  $\text{SO}_2$ 、

$\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  的年环境容量分别为:330.3452、64.2155、116.3856、58.1575(单位: $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )。

表 6 研究区年大气环境容量/( $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ )

污染因子	基本环境容量	干沉积量	湿沉积量	化学转化清除项	全年总环境容量
$\text{SO}_2$	25.34	23.36	957.77	17.29	1023.76
$\text{NO}_2$	10.14	3.16	638.5	1.6	653.4
$\text{PM}_{10}$	25.34	34.27	174.38	—	233.99
$\text{PM}_{2.5}$	13.94	9.73	87.19	—	110.86

由表 6 可知,4 个清除项中,干沉积清除项和化学转化清除项所占比例最小,分别占全年总环境容量的 0.93 %、3.5 %。湿沉积清除项所占比例最大,占全年总环境容量的92 %。

此外,针对颗粒物污染物,湿沉积为其主要清除项,干沉积清除项所占比最小;针对气态污染物来说,湿沉积为其主要清除项,化学转换清除项占比最小。4 个污染物中, $\text{SO}_2$ 的年总环境容量最大, $\text{PM}_{2.5}$ 年总环境容量最小。

综上,针对 4 类污染物,川南经济区可根据允许排放总量对比实际污染物排放现状及污染源调查情况,对不同污染物进行削减总量的求算,从而进行区域性污染物排放总量控制,为环保管理部门提供总量控制的科学依据,并逐步分时段、分类别地对此区域污染源进行科学分配。

3 结论

利用 2013 年川南经济区地面常规气象观测资料及探空资料。基于 A 值法对该区域  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的年大气环境容量进行核算,研究结果表明:

(1)川南经济区  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 年均大气环境容量分别为1023.76、653.4、233.99、110.86( $10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ ),气态污染物的大气环境容量为颗粒物大气环境容量的 4.9 倍。

(2)4 个清除项中,干沉积清除项和化学转化清除项所占比例最小,分别占全年总环境容量的0.93 %、3.5 %。湿沉积清除项所占比例最大,占全年总环境容量的92 %。

(3)造成川南经济区内各市环境大气容量的差异主要源于湿沉降空间分布不均匀。

参考文献:

[1] 宁平. 大气环境容量核定方法与案例[M]. 北

- 京:冶金工业出版社,2013.
- [2] Pinto L D S, L M F dos Santos, B Al-Duri, et al. Supercritical water oxidation of quinoline in a continuous plug flow reactor-Part 1: Effect of key operating parameters[J]. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2006, 81(6): 912-918.
- [3] Rice S F, R R. Steeper. Oxidation rates of common organic compounds in supercritical water [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1998, 59(2-3): 261-278.
- [4] 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.
- [5] 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, 21(1): 37-40.
- [6] 韩薇. 大气污染物总量控制目标值确定方法实例研究[D]. 长春:东北师范大学, 2007.
- [7] 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, 18(3): 201-205.
- [8] 张少骞, 蔡靖, 陈柏言. 基于 A 值法测算长春市大气环境容量的研究[J]. *中国环境管理*, 2011, (2).
- [9] 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.
- [10] 崔锡训. 多源模式测算大气环境容量问题探讨[J]. *干旱环境监测*, 2006, 20(1): 27-30.
- [11] GB/T13201-91, 制定地方大气污染物排放标准的技术方法[S].
- [12] 孟庆珍, 冯艺. 成都大气混合层厚度的计算和分析[J]. *成都信息工程学院学报*, 1996, (1): 73-81.
- [13] GB3095-1996, 中华人民共和国环境空气质量标准[S].
- [14] GJ14-1996, 环境空气质量功能区划分原则与技术方法[S].
- [15] GB3095-2012, 环境空气质量标准[S].

## Calculation of the Annual Atmospheric Environmental Capacity in Economic Zone of Southern Sichuan

CHEN Yun-qiang<sup>1</sup>, CUI Lei<sup>2</sup>, SUN Ming<sup>1</sup>

(1. Meteorological Service Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to promote the intelligent use of atmospheric environmental capacity in economic zone of southern Sichuan, based on the value method the atmospheric environmental capacity of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  were calculated by using meteorological observation data of economic zone of southern Sichuan. The results show that: (1) the annual atmospheric environmental capacity of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  are 1023.76, 653.4, 233.99, 110.86 ( $10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ), the atmospheric environmental capacity of gaseous are higher than of particulate; (2) For the four pollution items, wet deposition is the main impact factor economic zones, and the chemical conversion has minimal influence; (3) The differences of atmospheric environment capacity of different cities in economic zone of southern Sichuan uneven.

**Keywords:** economic zone of southern Sichuan; A value method; the annual atmospheric environmental capacity; pollutant