

# 基于修正A值法的阿拉善高新技术产业开发区大气环境容量测算与分析

沈梦兰<sup>1</sup>, 李静<sup>1</sup>, 韩龙<sup>2</sup>, 李培龙<sup>1</sup>, 何立山<sup>1</sup>

1. 内蒙古自治区环境监测总站阿拉善分站, 内蒙古阿拉善 750306

2. 阿拉善盟委党校, 内蒙古阿拉善 750306

**摘要:**科学核算大气环境容量对于改善大气环境质量有重要意义。运用修正A值法,在充分考虑干沉积、湿沉积等因素对污染物质量浓度的影响的情况下,计算了阿拉善高新技术产业开发区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的大气环境容量,并结合污染物实测浓度和污染物排放量进行了环境容量合理性分析。结果表明:基于修正A值法计算得到的阿拉善高新技术产业开发区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>大气环境容量分别为1.12万t和0.499万t,SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>环境余量分别为0.908万t和0.014万t,这与实际监测浓度低于环境空气质量二级标准限值的现实情况相一致。高新区地理位置特殊,且每年都有新企业和新项目入驻,短期内以煤和天然气为主的能源结构无法改变,SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>虽都有环境余量,但污染控制压力仍较大。下一步,环保部门要继续加大监管力度,严格“两高”项目环评审批,重点审核污染防治措施和污染物区域削减措施的有效性,确保污染物排放量不出现反弹。

**关键词:**修正A值法;大气环境容量;污染物排放量

中图分类号:X26 文献标志码:A 文章编号:1002-6002(2025)01-0201-05

DOI:10.19316/j.issn.1002-6002.2025.01.21

## Calculation and Analysis of Atmospheric Environmental Capacity in Alashan High-Tech Industrial Development Zone Based on Modified A-Value Method

SHEN Menglan<sup>1</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, HAN Long<sup>2</sup>, LI Peilong<sup>1</sup>, HE Lishan<sup>1</sup>

1. Alashan Branch Station of Inner Mongolia Autonomous Regional Environmental Monitoring Station, Alxa 750306, China

2. Alxa League Commission Party School, Alxa 750306, China

**Abstract:** Scientific calculation of atmospheric environmental capacity is of great significance for improving atmospheric environmental quality. Using the modified A-value method, taking into account the influence of dry deposition, wet deposition and other factors on the concentration of pollutants, the atmospheric environmental capacity of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in Alashan High-Tech Industrial Development Zone was calculated, and the rationality of environmental capacity was analyzed in combination with the measured concentration of pollutants and pollutant emission. The results showed that the atmospheric environmental capacity of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> calculated by the modified A-value method was 11200 tons and 4990 tons respectively. The environmental allowance of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> was 9080 tons and 140 tons respectively, which is consistent with the actual monitoring concentration to reach the environmental air quality standards. The high-tech zone has a special geographical location, and new enterprises and new projects are settled every year. In the short term, the energy structure dominated by coal and natural gas cannot be changed. Although SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> have a surplus, the pressure of pollution control is still large. In the next step, the environmental protection department should continue to strengthen supervision, strictly review and approve the environmental impact assessment of high energy consumption and high emission projects, focusing on the effectiveness of pollution prevention and control measures and measures to reduce pollutants in areas, and ensure that the pollutant emissions do not rebound.

**Keywords:** modified A-value method; atmospheric environmental capacity; pollutant discharge

阿拉善高新技术产业开发区(以下简称高新区)位于内蒙古自治区阿拉善盟阿左旗东部,地

处西部地区“呼-包-银-兰”经济带,被鄂尔多斯和乌海工业园区半包围。高新区东靠黄河,西临贺

收稿日期:2023-07-04;修订日期:2024-03-25

基金项目:阿拉善盟科技计划项目(AMYY2020-21)

第一作者简介:沈梦兰(1984-),女,内蒙古阿拉善人,硕士,工程师。

兰山,降水量稀少,蒸发量大,沙尘天气频发,属于典型的大陆性半干旱气候。此外,该地区地面植被稀少,生态环境脆弱,破坏后很难恢复。高新区自成立以来,一直以绿色、低碳、循环作为发展方向,严格按照要求淘汰落后产能,对热电、焦化等重点行业企业污染治理设施进行升级改造,使 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的排放量得到减少。但也必须认识到,作为西部偏远地区工业园区,对现有产业结构进行彻底优化升级在短期内是无法实现的,并且伴随着大量新企业、新项目的入驻,煤、石油、天然气的消耗量不会立即大幅下降。同时,随着蓝天保卫战的持续深入,国家对大气污染防治提出了更高要求。“十四五”期间,国家将继续对重点区域、重点行业实施 $\text{NO}_x$ 等重点污染物排放总量控制制度。

大气环境容量是在综合考虑气象、地形等因素的基础上,以环境空气质量标准为约束条件得到的大气环境对于污染物的最大承受限度。科学核算大气环境容量不仅有助于有效解决区域大气环境污染,改善环境质量,而且可以为相关部门科学制定大气污染防治措施、合理规划产业布局提供数据支持。到目前为止,针对大气环境容量的计算方法主要有A值法、模型法和线性规划法。模型法和线性规划法受所需气象、地理地形、污染源数据较多以及计算过程复杂等因素限制,使用频率较低。传统A值法<sup>[1-3]</sup>没有考虑气象等因素对大气污染物传输等的影响,导致计算结果偏大。修正A值法在传统A值法的基础上综合考虑了气象等因素对大气污染的影响,计算结果更为合理,且计算过程相对简单。

本文运用修正A值法,在充分考虑干沉积、湿沉积、化学转化等对污染物的影响的情况下,计算了高新区大气环境容量,并结合污染物实测浓度和污染物排放量进行综合分析,以期为高新区“十四五”环境空气质量改善提供数据支撑。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 大气环境容量计算

在箱模型A值法的基础上,考虑干沉积、湿沉积和化学转化对大气污染物的清除作用后,得到大气环境容量的计算公式<sup>[4]</sup>:

$$Q_a = A \times (C_s - C_b) \times \sqrt{S} + 3.1536 \times$$

$$C_s \times S \times \left( U_d + W_R \times R + \frac{H_i}{T_c} \right) \quad (1)$$

式中: $Q_a$ 为通过修正A值法计算得到的大气环境容量,万t/a; $A$ 为地理区域性总量控制系数,由区域通风系数 $V_E$ 决定,万 $\text{km}^2/\text{a}$ ; $C_s$ 为《环境空气质量标准》中污染物的质量浓度限值, $\text{mg}/\text{m}^3$ ; $C_b$ 为污染物背景质量浓度, $\text{mg}/\text{m}^3$ ; $S$ 为控制区面积, $\text{km}^2$ ; $U_d$ 为干沉积速率, $\text{m}/\text{s}$ ; $W_R$ 为清洗比; $R$ 为年降水量, $\text{mm}$ ; $H_i$ 为混合层高度, $\text{m}$ ; $T_c$ 为污染物转化时间常数,取 $T_{1/2}/0.693$ ,其中 $T_{1/2}$ 为污染物半衰期, $\text{s}$ 。

#### 1.1.1 传统A值法大气环境容量计算

传统A值法大气环境容量计算公式如下:

$$Q_1 = A \times (C_s - C_b) \times \sqrt{S} \quad (2)$$

$$A = 3.1536 \times 10^{-3} \sqrt{\pi} \times \frac{V_E}{2} \quad (3)$$

式中: $Q_1$ 为考虑污染物本地排放和平流输送影响的基于传统A值法计算得到的大气环境容量,万t/a; $V_E$ 为通风量, $\text{m}^2/\text{s}$ 。

由于高新区紧邻宁夏地区,故通风量 $V_E$ 采用《城市大气污染物总量控制方法手册》<sup>[4]</sup>中的宁夏地区通风量推荐值,即 $1500 \text{ m}^2/\text{s}$ 。由公式(3)计算可得, $A$ 值为4.2万 $\text{km}^2/\text{a}$ 。

#### 1.1.2 修正A值法大气环境容量计算

干沉积、湿沉积、化学转化等对于大气污染物有一定的清除作用,因此,通过计算干沉积、湿沉积、化学转化清除量,可以更加科学地计算大气环境容量。 $\text{NO}_x$ 包括 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2\text{O}_4$ 等多种化合物。除 $\text{NO}$ 和 $\text{NO}_2$ 外,其他化合物均不稳定,遇光、热等会很快转化为 $\text{NO}$ , $\text{NO}$ 又转化为 $\text{NO}_2$ ,因此,本文中 $\text{NO}_x$ 的干沉积、湿沉积和化学转化清除量均以 $\text{NO}_2$ 的干沉积速率、湿沉积速率和半衰期进行计算。

##### 1) 干沉积清除量

干沉积可以使大气污染物得到一定程度的清除。干沉积清除量的计算公式如下:

$$Q_2 = 3.1536 \times C_s \times S \times U_d \quad (4)$$

式中: $Q_2$ 为污染物的干沉积清除量,万t/a。

实验方法和模拟方法可用以计算干沉积速率,但需要大量气象数据和沉积通量参与计算。而在本研究中,相关数据暂时无法取得,故干沉积速率 $U_d$ 直接采用相关文献<sup>[5-7]</sup>研究成果,即 $\text{SO}_2$ 取 $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{s}$ , $\text{NO}_2$ 取 $0.7 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{s}$ 。

## 2) 湿沉积清除量

气体湿沉积清除量计算公式如下:

$$Q_3 = 3.1536 \times C_s \times S \times K_w \quad (5)$$

式中: $Q_3$  为气态污染物的湿沉积清除量,万 t/a; $K_w$  为气体的湿沉积速率,m/s。

依据相关文献<sup>[6-10]</sup>, $SO_2$  湿沉积速率取  $1.9 \times 10^{-5}$  m/s; $NO_2$  湿沉积速率取  $SO_2$  湿沉积速率的四分之一,为  $4.75 \times 10^{-6}$  m/s。

## 3) 化学转化清除量

$SO_2$  和  $NO_x$  在大气环境中的化学转化过程比较复杂,主要包括衰减过程和气态污染物在光化学反应下向颗粒物的二次转化过程。

气体衰减化学清除量计算公式如下:

$$Q_4 = 3.1536 \times C_s \times S \times 0.639 \times \frac{H_i}{T_{1/2}} \quad (6)$$

$$H_i = V_E / \bar{u} \quad (7)$$

式中: $T_{1/2}$  为污染物半衰期, $SO_2$  的半衰期为  $1.0 \times 10^5$  s<sup>[7]</sup>, $NO_2$  的半衰期为  $7.2 \times 10^5$  s<sup>[7]</sup>; $H_i$  为混合层高度,m; $V_E$  为通风量,高新区紧邻宁夏地区,故采用《城市大气污染物总量控制方法手册》<sup>[4]</sup> 中的宁夏地区通风量推荐值,为  $1500$  m<sup>2</sup>/s; $\bar{u}$  为混合层平均风速,高新区年平均风速为  $3.5$  m/s。由公式(7)计算得到的混合层高度为  $429$  m。

$SO_2$ 、 $NO_x$  和 VOCs 在光照条件下经过一定的反应可以生成二次硫酸盐与硝酸盐颗粒。由于上述转化过程相对复杂,笔者暂未对其转化率进行实验和专项研究。高新区距离银川市仅有  $100$  km,地理地形、气象条件非常接近,因此,本文中的  $SO_2$  和  $NO_x$  二次转化率采用仇惠琼等<sup>[11]</sup> 的已有研究成果,即  $SO_2$  的硫氧化率为  $0.22$ , $NO_x$  的氮氧化率为  $0.14$ 。

## 1.2 数据来源

污染物质量浓度数据来源于高新区 4 个环境空气质量自动监测站(阿拉善职业技术学院站、佳醛化工站、晨宏力站和生态绿化泵房站,图 1) 2020 年全年逐时监测数据,取 4 个站点年均浓度的平均值。

## 1.3 污染控制因子及其环境标准限值

### 1.3.1 污染控制因子

“十三五”期间,高新区空气质量呈恶化趋势,而且未来几年其化石能源消耗量不会显著减少, $SO_2$  和  $NO_x$  排放量不会出现大幅下降。原因是园区内每年仍有大量新企业、新项目入驻。同时,对高新区 2018—2022 年空气质量情况进行分

析发现,超标天数在逐年增加,优良天数比例呈下降态势, $SO_2$ 、 $NO_x$  是影响区域环境空气质量的最主要污染物。因此,取  $SO_2$ 、 $NO_x$  作为环境容量测算因子。



图 1 阿拉善高新技术产业开发区空气自动监测站点位示意图

Fig. 1 Distribution of air automatic monitoring stations in Alashan High-Tech Development Zone

### 1.3.2 环境标准限值

该工业园区无环境空气功能一类区,整个园区全部执行《环境空气质量标准》(GB 3096—2012)二级标准限值,具体数值见表 1。

表 1 环境标准限值及背景值

Table 1 Limits and background values of environmental standards

指标	$SO_2$	$NO_x$
一级标准限值	0.02	0.05
二级标准限值	0.06	0.05
背景值	0.012	0.030

### 1.4 控制区面积及背景浓度

高新区规划控制区面积为  $54.5$  km<sup>2</sup>。区域内 4 个环境空气质量自动监测站点均为污染监控点,未设置环境空气质量清洁对照点,同时也未开展过环境背景浓度相关监测,因而依据现有资料无法获得背景浓度值。参考相关研究<sup>[12]</sup>,本文采用空气质量标准中的一级标准限值的 60% 作为背景浓度,具体数值见表 1。

## 2 结果计算与分析

### 2.1 污染物清除量

由公式(2)~公式(7)计算得到污染物的大

气环境容量、干沉积清除量、湿沉积清除量和化学转化清除量,计算结果见表2。

表2 污染物清除量及大气环境容量  
Table 2 Pollutant removal and atmospheric environmental capacity

指标	万 t/a	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
干沉积清除量	0.036 1	0.006 02
湿沉积清除量	0.001 96	0.000 408
化学转化清除量(衰减)	0.283	0.032 7
化学转化清除量(二次转化)	0.046 6	0.081 9
总清除量	0.368	0.121
大气环境容量(传统 A 值法)	1.49	0.620
大气环境容量(修正 A 值法)	1.12	0.499

由表2可知,SO<sub>2</sub>的干、湿清除量大于NO<sub>x</sub>,这与分子的扩散作用和气体的溶解度有关;SO<sub>2</sub>的化学转化清除量远大于NO<sub>x</sub>,是NO<sub>x</sub>的3倍,这是因为NO<sub>2</sub>的半衰期较大。

从单项污染物来看,SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的化学转化清除量分别占总清除量的89.6%和94.7%,干沉积清除量分别占总清除量的9.8%和5.0%,湿沉积清除量占比较小,说明温度、风速等气象因素对气体污染物的清除作用远大于降水,这也与高新区干旱、少雨、多风的气象条件相吻合。

## 2.2 大气环境容量

由表2可见,由传统A值法计算得到的研究区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>大气环境容量分别为1.49万t/a和0.620万t/a,由修正A值法计算得到的SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>大气环境容量分别为1.12万t/a和0.499万t/a。由修正A值法计算得到的大气环境容量均小于传统A值法计算结果,这是因为传统A值法未考虑干沉积、湿沉积、化学转化等因素的影响,计算结果偏大。与传统A值法计算结果相比,由修正A值法计算得到的SO<sub>2</sub>大气环境容量减少了24.8%,NO<sub>x</sub>大气环境容量减少了19.5%。

## 2.3 大气环境容量分析

2020年高新区SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>年均浓度如表3所示,重点工业企业SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放量如表4所示,其中排放量数据来源于2020年环境统计数据。

表3 阿拉善高新技术产业开发区2020年  
空气污染物年均浓度

指标	μg/m <sup>3</sup>	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
年均浓度	45	30
二级标准限值	60	40

表4 阿拉善高新技术产业开发区2020年  
SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放情况

Table 4 Emissions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in Alashan High-Tech Development Zone in 2020

指标	万 t	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
排放量	0.212	0.485
环境容量	1.12	0.499
环境余量	0.908	0.014

据统计,截至2022年底,高新区常住人口共有27214人,其中20~60岁人群占总人口数的76%,其余多为学生和老人。20~60岁人群为高新区主要从业人员,企业职工和行政事业单位工作人员占大多数。企业职工上班基本以单位通勤车为主;90%以上的行政事业单位工作人员由于离家较远,工作日主要居住在单位宿舍,通勤方式基本为步行。因此,高新区移动源主要为企业运输车辆、通勤车等,生活源和移动源SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放量相比工业源可忽略不计。从表3和表4可以看出,2020年高新区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放量小于大气环境容量。其中:SO<sub>2</sub>剩余0.908万t,余量较大;NO<sub>x</sub>剩余0.014万t。这与表3中的高新区SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>年均浓度满足环境空气质量二级标准限值相符,说明利用修正A值法计算得到的大气环境容量符合区域扩散特点,数值大小合理,可以为高新区大气污染综合治理提供科学支撑。

## 3 结论

1)阿拉善高新技术产业开发区常年干旱少雨,沙尘天气频发,生态环境脆弱,因此,混合层高度、风速、降水等气象因素对高新区大气环境质量存在不可忽略的影响。在综合考虑干沉积、湿沉积、化学转化等因素对污染物的影响的情况下,由修正A值法计算得到的高新区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>容量分别为1.12万t/a和0.499万t/a。与传统A值法相比,利用修正A值法计算得到的大气环境容量明显偏低,其中SO<sub>2</sub>减少了24.8%,NO<sub>x</sub>减少了19.5%。

2)由修正A值法计算得到的2020年高新区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>大气环境容量大于工业企业污染物排放量。其中:SO<sub>2</sub>剩余0.908万t,余量较大;NO<sub>x</sub>剩余0.014万t。这与高新区SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>年均浓度满足环境空气质量二级标准限值相符,说明利用修正A值法计算得到的大气环境容量符合区



域扩散特点,数值大小合理。

3)从计算结果来看,高新区  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  环境容量仍有余量,但  $\text{NO}_x$  余量较少。近几年,高新区每年仍有大量新企业和新项目入驻,因此,短期内的煤和天然气消费量不会出现大幅下降。同时,作为乌海及周边地区的重要组成部分,高新区面临的污染物区域传输压力较大。综上,环保部门要继续加大监管力度,做好重点区域、重点行业主要污染物排放总量管理和排污许可证审批发放,要求企业严格落实环评报告中的污染治理措施并评估治理效果,持续落实《乌海及周边地区“十四五”大气污染防治规划》和《内蒙古自治区乌海市及周边地区大气污染防治条例》,确保大气污染物排放量不出现反弹。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 姜景阳,查冬兰,曹胜,等.哈大绥城市“十三五”期间大气环境容量分析[J].中国环境监测,2023,39(3):24-31.  
JIANG Jingyang, ZHA Donglan, CAO Sheng, et al. Analysis on Atmospheric Environment Capacity in HDS (Harbin, Daqing and Suihua) During the 13th Five-Year Plan Period [J]. Environmental Monitoring in China, 2023, 39(3): 24-31.
- [ 2 ] 杨山泉,瞿德业,谌越,等.2015—2022年兰州市中心城区大气环境容量变化特征分析[J].地球化学,2024,53(2):221-233.  
YANG Shanquan, QU Deyue, CHEN Yue, et al. Analysis of the Changes of Atmospheric Environmental Capacity in the Central Urban Area of Lanzhou from 2015 to 2022 [J]. Geochimica, 2024, 53(2): 221-233.
- [ 3 ] 崔洋,王岱,高睿娜,等.宁夏近 60 a 大气环境容量变化特征及其影响因子[J].干旱区研究,2023,40(6):885-895.  
CUI Yang, WANG Dai, GAO Ruina, et al. Atmospheric Environmental Capacity Characteristics and Influencing Factors of Ningxia over the Past 60 Years [J]. Arid Zone Research, 2023, 40(6): 885-895.
- [ 4 ] 国家环境保护局,中国环境科学研究院.城市大气污染物总量控制方法手册[M].北京:中国环境科学出版社,1991.
- [ 5 ] 张艳,王体健,胡正义,等.典型大气污染物在不同

下垫面上干沉积速率的动态变化及空间分布[J].气候与环境研究,2004,9(4):591-604.

- ZHANG Yan, WANG Tijian, HU Zhengyi, et al. Temporal Variety and Spatial Distribution of Dry Deposition Velocities of Typical Air Pollutants over Different Landuse Types [J]. Climatic and Environmental Research, 2004, 9(4): 591-604.
- [ 6 ] 郭毅,杨雅梅.基于修正 A 值法估算西安市大气环境容量研究[J].环境科学与管理,2014,39(2):69-71.  
GUO Yi, YANG Yamei. Estimation of Environmental Atmosphere Bearing Capacity of Xi'an City with A-Value Method [J]. Environmental Science and Management, 2014, 39(2): 69-71.
- [ 7 ] 王晓蓉.环境化学[M].南京:南京大学出版社,2010:184-185.
- [ 8 ] CHATE D M, RAO P S P, NAIK M S, et al. Scavenging of Aerosols and Their Chemical Species by Rain [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(18): 2 477-2 484.
- [ 9 ] 康汉青,朱彬,樊曙先.南京北郊冬季大气气溶胶及其湿清除特征研究[J].气候与环境研究,2009,14(5):523-530.  
KANG Hanqing, ZHU Bin, FAN Shuxian. Size Distributions and Wet Scavenging Properties of Winter Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing [J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14(5): 523-530.
- [ 10 ] 张军.基于修正 A 值法估算西安市大气环境容量研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):127-129.  
ZHANG Jun. Estimation of Environmental Atmosphere Bearing Capacity of Xi'an City with A-Value Method [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(1): 127-129.
- [ 11 ] 仇惠琼,田娟,任学蓉,等.银川市环境空气  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  中水溶性离子化学特征及来源分析[J].宁夏农林科技,2017,58(6):59-62.  
QIU Huiqiong, TIAN Juan, REN Xuerong, et al. Chemical Characteristics and Sources of Water Soluble Ions in  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  of Ambient Air in Yinchuan City [J]. Journal of Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2017, 58(6): 59-62.
- [ 12 ] 刘翔.开发区环境影响评价方法研究与应用[D].济南:山东大学,2008.