



移动扫码阅读

杨新吉勒图,刘宇情,韩炜宏. 大气环境容量的影响因素及核算方法综述[J].能源环境保护,2021,35(4):9-13.

YANG Xinjiletu, LIU Yuqing, HAN Weihong. Summary of the influencing factors and accounting methods of atmospheric environmental capacity[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(4): 9-13.

# 大气环境容量的影响因素及核算方法综述

杨新吉勒图,刘宇情,韩炜宏

(内蒙古工业大学 经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:**介绍了大气环境容量的主要影响因素,探讨了常用的大气环境容量核算方法。影响大气环境容量的因素主要分为自然因素和社会因素,前者主要包括气象因素、地理因素、环境背景浓度,后者主要包括污染源布局、污染物排放种类及特征、环境目标值、外来污染源。核算方法主要包括A值法、线性规划法、模型模拟法以及系统动力学方法。A值法主要用于宏观指导,因忽略干湿沉降以及化学转化作用等自然因素而造成核算偏差;线性规划法适用于制定区域内环境质量改善方案,但无法解决非线性问题;模型模拟法可兼顾多种影响因素,主要用于省级范围的环境容量核算,但技术、操作和计算都相对复杂;系统动力学方法简化了计算过程,还考虑了社会经济影响,更适用于多目标规划模型问题和复合型空气污染问题。建议在计算过程中充分考虑影响因素且按重要程度进行排序,选择合适的核算方法并获得更准确的大气环境容量数据。

**关键词:**大气环境容量;核算方法;影响因素

中图分类号:X26

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)04-0009-05

## Summary of the influencing factors and accounting methods of atmospheric environmental capacity

YANG Xinjiletu, LIU Yuqing, HAN Weihong

(School of Economics and Management, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** The factors affecting atmospheric environmental capacity were introduced, and the common accounting methods of atmospheric environmental capacity were discussed. The influencing factors of atmospheric environmental capacity can be divided into natural factors and social factors. The former includes meteorological factors, geographical factors and environmental background concentration, and the latter includes pollution source layout, pollutant emission types and characteristics, environmental target value and external pollution sources. The accounting methods include the A-value method, linear programming method, model simulation method and system dynamics method. The A-value method is mainly used for macro guidance, but has accounting deviation caused by ignoring natural factors such as dry and wet deposition and chemical reactions. The linear programming method is suitable for formulating the environmental quality improvement plan in the area, but it cannot solve the non-linear problem. The model simulation method can take into account a variety of influencing factors and is mainly used for provincial environmental capacity accounting, but its technology, operation and calculation are relatively complex. The system dynamics method simplifies the calculation process, and considers the socio-economic impact. It is more suitable for multi-objective planning model and compound air pollution problems. During the calculation process, it is suggested to fully consider the influencing factors, sorted them by importance, select the appropriate accounting method and obtain more accurate atmospheric en-

收稿日期:2021-03-31;责任编辑:金丽丽

基金项目:国家自然科学基金项目(71864027);教育部人文社科项目(19YJA790023);内蒙古自然科学基金项目(2019LH07004)

第一作者简介:杨新吉勒图(1970-),男,内蒙古通辽人,副教授,研究方向为环境经济。

通讯作者简介:刘宇情(1994-),女,河北秦皇岛人,硕士,研究方向为产业经济。E-mail:1205586971@qq.com

vironmental capacity data.

**Key Words:** Atmospheric environment capacity; Accounting methods; Influencing factors

## 0 引言

随着我国经济的迅速发展,雾霾、温室气体等大气问题也日趋严重,不仅制约着经济的发展,更是影响着人们的身心健康。在我国,大气环境容量不仅是环境管理和减排措施制定的重要依据,同时也在经济社会发展科学决策中扮演着越来越重要的角色。大气环境容量的核算主要用于环境质量的制定和大气污染的防治<sup>[1]</sup>,后来也用于工业园区的规划选址、区域的工业布局以及环境资产负债表的编制等<sup>[2-4]</sup>,为资源环境与经济发展提供科学的决策。

继日本学者第一次提出环境容量之后,加拿大学者应用拉格朗日箱模式和烟云复合模型确定了 Alberta 地区的平均污染物浓度<sup>[5]</sup>。印度主要采用空气污染扩散模型法和通风系数法,来确定区域大气同化能力<sup>[6-7]</sup>。Goyal 等<sup>[8]</sup>基于空气质量模型,对印度某一地区的最大允许排放负荷量进行了评估。D. Deniz Genc 等<sup>[9]</sup>利用空气污染指数及其与大气吸收能力的关系,对土耳其某地区的大气污染进行了预测。另外,国外为了实现对大气污染的有效预防与控制,在制定环境政策与措施时,运用了许多模型进行分析。Markus 等<sup>[10]</sup>欧洲学者基于成本最小化,运用 GAINS 模型确定了既可以提高空气质量,又可以减少温室气体排放的措施组合。Mathias 等<sup>[11]</sup>认为 WRF-CHEM 可以用于复杂地区的空气污染建模。Mathur 等<sup>[12]</sup>等使用 CMAQ 和 WRF 模型进行了多年的半球尺度模拟,验证了在物理、化学和动力学一致性的各种空间和时间尺度上发生的大气过程之间的相互作用。这些模型对引领区域大气模型的发展具有显著作用。

大气环境容量是指对一定的区域,根据其自然净化能力,在特定的污染源布局和结构条件下,为达到环境目标值,所允许的大气污染物的最大排放量<sup>[13]</sup>。我国自 2003 年也逐渐开始了对大气环境容量的研究与探讨<sup>[14-15]</sup>。大气环境本身是复杂的、动态的、随机的,使得大气环境容量也存在时空性和不确定性<sup>[16]</sup>。不同的核算方法考虑的影响因素不同,会造成各种方法之间核算结果的差异。核算方法的选择不当,使得大气环境容

量的核算与实际情况存在着较大的差距。在详细分析大气环境容量主要影响因素的基础上,对当前主要使用的核算方法进行了综述,为改进大气环境容量的核算方法,提高测算结果的精确性提出相关建议。

## 1 大气环境容量的影响因素

由于大气环境的复杂性,影响大气环境容量的因素主要有:一类是包括气象因素、地理因素、环境背景浓度等的自然因素;另一类是包括污染源的布局、污染物、环境目标值、外来污染源的输送等的社会因素<sup>[17]</sup>。

### 1.1 自然因素

气象条件主要通过污染物在大气中的输送扩散、干湿沉积以及各种化学清除与转化过程对大气环境容量产生影响。风速的大小决定了大气污染物稀释扩散的程度和范围,众多学者认为风速与大气环境容量的相关性显著,并且是最主要的影响因素<sup>[13,18]</sup>。湿沉积过程指通过降雨和降雪,将悬浮于空气中的污染物进行稀释和冲洗,并且一些污染物会溶解于水中,进而使其浓度降低。降水因地区的气象条件(降水量等)的差异,对地区大气环境容量的影响略有不同。张天宇等<sup>[13]</sup>认为重庆地区降水对大气自净产生较为明显的正向影响,而地处干旱地区的内蒙古,相对于降水丰富地区的湿沉积作用大大减弱,则降水对大气环境容量的正向影响相对较小<sup>[19]</sup>。地理位置同样对大气环境容量存在着至关重要的影响<sup>[20]</sup>,张焱等<sup>[21]</sup>认为工业园区位于平原或者山区,相对于沿海地区的大气扩散能力较差,导致其大气环境容量也相对较小。最后,环境背景浓度也与大气环境容量的大小有一定的关系<sup>[22]</sup>。可以看出气象条件是影响大气环境容量的重要因素之一<sup>[23]</sup>。

### 1.2 社会因素

大气环境容量除了受客观性的自然因素影响外,还受污染源布局、污染物的种类和排放特征、环境目标值和外来源的输送等的社会因素的影响。在以省辖市为控制区域的研究中,为了方便计算,以污染源在区域内的均匀分布为假设条件,使结果与以小范围为控制区计算的加总有一定的差异<sup>[24]</sup>。另外,在计算时学者们选择了不同的约

束条件作为环境目标值,现有文献有选择以  $PM_{2.5}$  达标、 $SO_2$  达标以及环境空气质量达标等作为约束条件来计算大气环境容量的<sup>[23,25]</sup>。因此在不同的约束条件下(即环境目标值的不同)也会影响所计算的大气环境容量值。当计算区域面积较小的城市,很可能本区域内的污染物排放较少,而受外来污染源的传输影响较为显著,从而低估了该区域的大气环境容量。研究表明,上海市中心的  $PM_{2.5}$  浓度受周围外来污染源的影响几乎达到了 50%<sup>[26]</sup>;首都北京市环境中  $PM_{2.5}$  的浓度受其周边的影响最高达到了 70%<sup>[27]</sup>。对此李敏辉等<sup>[28]</sup>使用区域传输矩阵对区域容量的城市分配进行了优化,充分考虑了区域间传输作用对于大气环境容量的影响。综上,环境目标值作为人为规定的一个标准,间接影响着大气环境容量,而外来源的输送在不同程度上直接影响着一个地区的大气环境容量。

## 2 大气环境容量的核算方法

目前,我国大气环境容量的核算方法有 A 值法、线性规划法、模型模拟法、系统动力学方法等,各种方法也在逐渐通过完善对影响因素的考虑来进行改进。

### 2.1 A 值法

A 值法基于箱模型,是将总量控制区上空的空气混合层视为承纳地面排放污染物的一个箱体。该方法简单易行,应用最早也最为广泛,同时考虑到有些地区的干湿沉降作用不明显,以及化学转化作用和转化造成的二次污染问题的复杂性,A 值法忽略了这些影响因素。但是在降水较多的地区,降水对于空气污染物的冲洗作用仍较为明显;同时化学转化造成的二次污染也较为严重<sup>[29]</sup>,所以在核算大、中尺度下的大气环境容量时,应该将干湿沉积和化学转化因素考虑其中。郭毅等<sup>[30]</sup>通过对 A 值进行修正,将干沉降、湿沉降和化学转化三个因素引入模型,将与大气污染相关的指标引入研究,修正了 A 值法因忽略了这些影响因素而造成的计算结果偏小的问题。另外一种修正方法即为 A-P 值法,通过 P 值引入排气筒的高度来控制排放率,考虑了排气筒高度对于大气环境容量的影响,由于没有结合当地的地理环境和气象条件,高估了提高烟囱高度对降低污染的作用<sup>[31]</sup>。此外,该方法还因假定区域内的污染物达到了均匀混合的状态,而忽略了污染源的

实际空间分布情况对大气环境容量的影响。

A 值法不需要污染源等复杂精确的参数,主要用于对较大区域总量控制的宏观指导工作,但是忽略了干湿沉降以及化学转化作用等自然因素,以及实际上污染源并非均匀分布这一因素,造成了其估算结果的偏差。若某一地区,大气环境容量对以上这些因素影响性和敏感性较强时,就需要通过重新考虑这些被忽略的影响因素,对其结果进行必要的修正。

### 2.2 线性规划法

线性规划法以不同功能的环境质量标准作为约束条件,然后利用线性规划方法,得到区域内所有目标控制点源的污染物排放总量的最大数值。线性规划法以区域污染物排放量最大化作为最终目标,既考虑了污染物的浓度分布,也考虑了其在大气中的迁移和化学转化过程,还包括区域外污染源的输入对于大气环境容量的影响,解释了空气源与环境质量的单向关系,同时对于区域的环境容量进行优化配置,主要应用于区域内改善环境质量的管控方案制定<sup>[32]</sup>。线性规划法的计算区域一般不超过 1 000 km<sup>2</sup>,目前更多的是结合模型模拟法一起核算大气环境容量<sup>[33-34]</sup>。其不足之处就是不能处理非线性问题,对因化学转化作用而形成的二次污染问题无能为力,详尽的气象和污染源信息的获取也在一定程度上增加了核算难度。

### 2.3 模型模拟法

模型模拟法能够同时利用区域内的点源、面源、线源分布数据,基于大气物理知识和化学反应机理,模拟污染物在大气中的清除、扩散、沉降、转化等变化过程,并进行计算。常用的空气质量模型在历经了三代的演变之后,当前应用较为普遍的有 CAMx、CMAQ、WRF-Chem 等。这些模型模拟法突出的优点就是在模拟复杂的大气物理化学过程时,既考虑了气象、地形等自然因素,又考虑了部分社会因素对于大气环境容量的影响。杨清健等<sup>[23]</sup>模拟评估蒙自市大气环境容量时,运用 WRF-Chem 方法考虑了污染物的排放、传输、转化、干湿沉降等自然因素。为了更充分考虑大气间化学反应的相互关系和区域间传输作用的影响,李敏辉等<sup>[28]</sup>基于 CAMx-PSAT 模型并结合区域传输矩阵,获得了更严谨的广东省各地级市的大气环境容量。然而,大气环境容量并非常数,为了给相关部门提供实时的科学决策和建议,阿永

嘎等<sup>[20]</sup>运用 WRF 模型和 CAMx 模型并基于动态大气自净能力评估了乌海及周边地区的五种主要大气污染物的大气环境容量,计算得到更加准确合理的结果。模型模拟法兼顾多种影响因素,其计算结果受污染源排放特征和气象条件等因素的影响也较大。目前可应用于长三角、京津冀以及全省范围内环境容量的核算<sup>[25]</sup>。但是,近年来我国区域性、复合型空气污染问题尤为突出,大气的流动性使得不同区域间的环境相互影响和制约,考虑到技术、操作和计算都相对复杂,该方法在区域和全国范围内的应用还有待加强<sup>[16]</sup>。

#### 2.4 系统动力学方法

大气环境容量与大气的自清除过程密切相关<sup>[35]</sup>。由于复杂的物理及化学过程在计算大气环境容量时较为困难, Yejing Zhou 等<sup>[36]</sup>运用系统动力学的方法解决了当考虑复合空气污染时,传统的方法无法计算大气环境容量的问题,该模型考虑了理化过程等自然因素对于大气环境容量的影响,但是并没有像模型模拟法一样,去模拟大气复杂的理化过程,而是通过引入边界层参数、贡献率以及转化率等相关参数,从事物的外在来研究其内在逻辑,简化了计算过程。同时,系统动力学的方法还考虑了社会经济的影响,它更适合解决社会、经济、环境、能源等在内的多目标规划模型问题和复合型空气污染问题,并将其成果运用于环境与经济的可持续发展研究。

### 3 结论与建议

大气环境容量是环境科学管理以及经济社会科学决策的重要依据,科学、适合的核算方法更能有效地反应真实的大气环境容量值。但将所有因素一一考虑在内较为困难,在大气环境容量核算的实际工作中,必须结合本地环境和气象特征,充分考虑影响因素,选择适合的核算方法,并加以修正,以得到与实际情况较为相符合的结果。为此提出以下建议:

(1)模型模拟法兼顾气象、地理环境以及污染源等因素,对于当前严重的区域性复合空气污染问题更需要充分考虑各种影响因素,在技术和经济可行的前提下,加强模型模拟法在多省域和全国尺度下有关大气环境容量核算的应用;对于其他方法,应加强对理地理位置信息、自然环境信息、气象观测信息以及污染源信息的整合,以实现在大气环境容量核算过程中对其影响因素的充分

考虑。

(2)在不能将所有因素考虑在内时,应该对影响因素进行强弱分析以及重要性的排序,适当忽略影响较小的因素。若在核算之前不能根据以往研究和资料对影响因素的大小进行预估时,应该在核算完成后对大气环境容量的影响因素进行敏感性分析,以验证对于影响因素的忽略是否合适以及是否选择了合适的核算方法。

(3)目前,关于各种影响因素对大气环境容量的影响程度分析中,研究更多的是自然因素中的气象和地理因素,缺乏对污染源排放等社会因素的研究,应该加强不同的污染源空间分布等研究,完善环境容量的核算,更好地应用于环境管控与经济发展工作。

#### 参考文献

- [1] 刘正朋. 泰安市城区空气质量分析评价与大气环境容量计算 [J]. 环境科学导刊, 2020, 39 (6): 82-87.
- [2] 张海娟, 赵智杰, 李广茹, 等. 基于大气环境影响分析的工业园区规划选址方法 [J]. 环境工程, 2014, 32 (2): 135-138+151.
- [3] 王忠良, 华德尊, 李春艳. 大气环境容量与工业布局关系研究 [J]. 环境科学与管理, 2008 (1): 18-21.
- [4] 蒋洪强, 刘年磊, 卢亚灵, 等. 京津冀地区环境资产负债表编制研究 [J]. 中国环境管理, 2017, 9 (6): 53-59.
- [5] Karen M. McDonald, Lawrence Cheng. A comparison of box and plume model calculation for sulphur deposition and flux in Alberta [J]. Atmospheric Environment, 1996, 30 (17): 2969-2980.
- [6] P. Goyal, Sankalp Anand, B. S. Gera. Assimilative capacity and pollutant dispersion studies for Gangtok city [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40 (9): 1671-1682.
- [7] TV. B. P. S. Rama Krishna, M. K. Reddy, R. C. Reddy, et al. Assimilative capacity and dispersion of pollutants due to industrial sources in Visakhapatnam bowl area [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38 (39): 6775-6787.
- [8] S. K. Goyal, C. V. Chalapati Rao. Air assimilative capacity-based environment friendly siting of new industries—A case study of Kochi region, India [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 84 (4): 473-483.
- [9] D. Deniz Genc, Canan Yesilyurt, Gurdal Tuncel. Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 166 (1-4): 11-27.
- [10] Markus Amann, Imrich Bertok, Jens Borken-Kleefeld, et al. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications [J]. Environmental Modelling and Software, 2011, 26 (12): 1489-1501.

- [11] Mathias Ritter, Mathias D. Müller, Ming Yi Tsai, et al. Air pollution modeling over very complex terrain: An evaluation of WRF-Chem over Switzerland for two 1-year periods [J]. *Atmospheric Research*, 2013 (132): 209-222.
- [12] Mathur Rohit, Xing Jia, Gilliam Robert, et al. Extending the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system to hemispheric scales: Overview of process considerations and initial applications [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, 17: 12449-12474.
- [13] 张天宇, 张丹, 王勇, 等. 1951-2018 年重庆主城区大气自净能力变化特征分析 [J]. *高原气象*, 2019, 38 (4): 901-910.
- [14] 张稼轩, 李博, 王颖, 等. 河谷城市大气环境容量的研究 [J]. *环境科学研究*, 2020, 33 (4): 801-808.
- [15] 许启慧, 范引琪, 井元元, 等. 1972-2013 年河北省大气环境容量的气候变化特征分析 [J]. *高原气象*, 2017, 36 (6): 1682-1692.
- [16] 孟凡, 李时蓓. 大气环境容量理论的再思考和总量控制 [J]. *环境科学研究*, 2021, 34 (7): 1583-1591.
- [17] 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): 8-10+23.
- [18] 鲁洋, 李小港, 熊忆茗, 等. 基于修正 A 值法评估率水流域大气环境容量及其敏感性分析 [J]. *复旦学报 (自然科学版)*, 2019, 58 (5): 642-651.
- [19] 刘新, 刘林春, 尤莉. 内蒙古呼包鄂地区近 56 年来大气环境容量变化特征分析 [J]. *气象与环境科学*, 2019, 42 (1): 86-92.
- [20] 阿永嘎, 王晓东, 云洋, 等. 内蒙古乌海及周边区域动态大气环境容量分析 [A]. 2016 全国环境信息技术与应用交流大会暨中国环境科学学会环境信息化分会年会论文集 [C]. 北京: 中国环境科学学会环境信息化分会、《中国环境管理》杂志: 中国环境科学学会环境信息化分会, 2016: 518-523.
- [21] 张焱, 裴青. 基于 CALPUFF 模型的典型工业园区大气环境容量差异性分析 [J]. *环境与可持续发展*, 2019, 44 (5): 100-104.
- [22] 尹稚祯, 何秉宇, 陈瑞. 工业园区 SO<sub>2</sub> 大气环境容量时间变化特征分析 [J]. *新疆大学学报 (自然科学版)*, 2018, 35 (4): 522-527.
- [23] 杨清健, 赵天良, 郑小波, 等. 亚洲季风强弱年蒙自市大气环境容量差异估算 [J]. *中国环境科学*, 2019, 39 (10): 4054-4064.
- [24] 高晓敬. 基于 A-P 值法的大气环境容量计算研究 [D]. 河南: 战略支援部队信息工程大学, 2018: 49.
- [25] XUE Wenbo, FU Fei, WANG Jinnan, et al. Modeling study on atmospheric environmental capacity of major pollutants constrained by PM<sub>2.5</sub> compliance of Chinese cities [J]. *China Environmental Science*, 2014, 34 (10): 2490-2496.
- [26] Wang Yangjun, Li Li, Chen Changhong, et al. Source apportionment of fine particulate matter during autumn haze episodes in Shanghai, China [J]. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 2014, 119 (4): 1903-1914.
- [27] David G. Streets, Joshua S. Fu, Carey J. Jang, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 41 (3): 480-492.
- [28] 李敏辉, 廖程浩, 杨柳林, 等. 基于区域传输矩阵和 PM<sub>2.5</sub> 达标约束的大气容量计算方法 [J]. *环境科学*, 2018, 39 (8): 3485-3491.
- [29] Dahai XU, Junming CHEN. The macroscopic mechanisms and associated atmospheric precursor environmental capacities that lead to secondary fine particle pollution [J]. *Science China (Earth Sciences)*, 2019, 62 (12): 2069-2082.
- [30] 郭毅, 杨雅娟. 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.
- [31] 房春生, 李娟, 孟赫, 等. 规划环评中大气环境容量核算及总量控制研究 [J]. *内蒙古师范大学学报 (自然科学汉文版)*, 2008 (4): 550-553+561.
- [32] 腊孟珂, 林立清. 线性规划法在产业园区大气环境容量中的应用研究——以苏北某工业园区为例 [J]. *科技经济导刊*, 2017 (20): 148-149.
- [33] 丁峰, 李时蓓. 规划项目大气环境影响评价要点及案例研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19 (5): 572-577.
- [34] 肖杨, 毛显强, 马根慧, 等. 基于 ADMS 和线性规划的区域大气环境容量测算 [J]. *环境科学研究*, 2008 (3): 13-16.
- [35] 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.
- [36] Yejing Zhou, Jingxuan Zhou. Urban atmospheric environmental capacity and atmospheric environmental carrying capacity constrained by GDP-PM<sub>2.5</sub> [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 73: 637-652.