基于气象分型的大气环境允许排放量测算方法

高 爽[1,2],李时蓓[1,2*],马 岩[1,2],李 刚[3],伯 鑫[1,2],屈加豹[1,2],雷团团[1,2],毛 娜[4],路瑞娟[4],任丽红[3] (1.生态环境部环境工程评估中心,北京 100012；2.生态环境部国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室,北京 100012；3.中国环境科学研究院,北京 100012；4.沧州市生态环境保护科学研究院,河北 沧州 061000)

摘要：本文提出一种基于气象条件分型的城市大气环境允许排放量测算方法,该方法基于环境空气质量和颗粒物组分数据,对气象条件进行分污染天气类型的二次转化规律研究,并确定不同天气类型下的迁移扩散系数. 基于扩散理论, 建立了污染物排放强度、不同天气类型迁移扩散系数和目标控制浓度之间的关系,在特定区域排放布局和排放方式基本不变的前提下,测算不同天气类型达空气质量标准下的一次 $PM_{2.5}$,PM_{10},NO_x 和 SO_2 的允许排放量. 以沧州市为例,结合空气质量从优到严重污染程度将对应气象要素依次划分为 7 种天气类型,测算 7 种天气类型达空气质量目标下的主要污染物允许排放量.基于 2018 年基准年的排放量,在天气类型 7 最不利气象条件下,沧州市一次 $PM_{2.5}$,PM_{10},NO_x 和 SO_2 排放量削减率应分别在 82.62%,81.17%,75.05% 和 74.54%以上,才能达到空气质量标准.结果表明,不利气象条件下大气环境允许排放量很小,需要更大力度减少污染物排放,才能避免发生重污染天气.

关键词：气象条件分型；大气环境允许排放量；迁散系数；测算方法

中图分类号：X51 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2021)02-0588-08

DOI:10.19674/j.cnki.issn1000-6923.2021.0067

Research on atmospheric environmental capacity accounting method based on classification of meteorological conditions.

GAO Shuang[1,2], LI Shi-bei[1,2*], MA Yan[1,2], LI Gang[3], BO Xin[1,2], QU Jia-bao[1,2], LEI Tuan-tuan[1,2], MAO Na[4], LU Rui-juan[4], REN Li-hong[3] (1.Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Beijing 100012, China；2.State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Beijing 100012, China；3.Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China；4.Ecology and Environmental Protection Science Research Institute of Cangzhou City, Cangzhou 061000, China). *China Environmental Science*, 2021,41(2)：588~595

Abstract：Research on atmospheric environmental capacity accounting method based on specific meteorological conditions, especially during heavy pollution episodes has become a hot topic in recent years. An accounting method was proposed in this paper, which studied the classification of annual meteorological conditions to explore the migration and transformation coefficients under different meteorological conditions. The relationship among emission amount, meteorological conditions and constraints of multiple pollutants concentrations was established, and the permitted-emission amount for primary $PM_{2.5}$, PM_{10}, SO_2 and NO_x were measured, under the premise that the way and layout of emission was not variable. This method was applied to quantify the atmospheric environmental capacity under 7 typical meteorological conditions in the city of Cangzhou. The results showed that, taken 2018 as the basic year, the proportion of emission reduction for primary $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_x and SO_2 under most adverse meteorological conditions were at least 82.62%, 81.17%, 75.05% and 74.54%, respectively. It was obvious that the environmental capacity under adverse meteorological conditions was far less than that under the normal diffusion conditions. Therefore, greater efforts should be made to reduce pollutants emission under adverse meteorological conditions, in order to prevent heavy pollution episodes.

Key words：classification of meteorological conditions；atmospheric environmental capacity；migration and diffusion coefficient；quantification method

以环境质量改善为核心的大气污染防治模式推动了大气环境允许排放量研究的快速发展,近年来,探索基于 $PM_{2.5}$ 浓度达标约束条件下的多污染物允许排放量计算方法成为研究热点.随着对环境理论认知水平的不断提升,主要形成了 A 值法、线性优化法和模型模拟法等大气环境允许排放量计算方法.但 A 值法更适合计算理想状态下的大气容量,误差很大[1-10];而线性优化法虽能够反映“排放-受体”的响应关系,但该方法缺少边界外区域的制约,也不能处理二次转化污染问题[11-13];之后多位学者建立起来的模型模拟法可以综合考虑地形、气象、污染源排放、二次转化等因素,反应复杂的大气物理化

收稿日期：2020-06-17

基金项目：大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG0209-07, DQGG0304-07,DQGG0507)

* 责任作者, 研究员, lisb@acee.org.cn

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学过程,被广泛应用于允许排放量的计算研究中[14-21].例如李莉等[22]和卢燕宇等[23]从应用的角度利用模型模拟了城市主要污染物的大气环境容量;薛文博等[24]和李敏等[25]从算法的角度进行优化,基于 CAMx 模型,通过优化其内部算法进而得到主要污染物的环境容量.然而,模型模拟法技术复杂、计算量大、耗时较长,有一定局限性,不能对特定时段的大气环境允许排放量进行快速地估算.此外,目前允许排放量核算方法大多针对年际环境容量,缺少对于重污染天气下的允许排放量核算研究.不利气象条件是发生重污染过程的重要原因之一.研究不同气象条件下的污染程度和特征比值变化对测算重污染天气下的大气环境容量、降低和消除重污染天气有重要意义[26-30].

基于此,本文提出了一种快捷的大气环境允许排放量测算方法,将基准年气象条件分型,研究分污染天气类型的 $PM_{2.5}$ 组分浓度、二次转化比例和迁散系数,基于扩散原理,结合污染物目标控制浓度,快速测算特定气象条件下达空气质量标准的大气环境允许排放量.沧州市位于京津冀重点区域,属于“2+26”城市之一,且 $PM_{2.5}$ 年均环境空气质量不达标, 秋冬季重污染频发,是典型的秋冬季高污染城市, 通过将本文提出的测算方法应用于沧州市, 测算空气质量由优~严重污染程度的 7 种天气类型的允许排放量,探索测算特定气象条件下区域允许排放量的可行性,为制定城市重污染天气应急预案和分污染类型应急响应措施提供科学依据.

1　材料与方法

本研究提出一种基于气象条件分型的大气污染物允许排放量测算方法,该方法基于排放清单和来源解析结果,通过分污染天气类型的大气扩散规律和二次转化规律研究,测算 n 种天气类型下的二次转化比例和迁散系数,并通过建立排放强度和空气质量浓度之间的关系快速测算大气污染物允许排放量.算法过程如下:首先,综合利用区域网格模型、受体模型,融合环境空气质量监测数据,快速提取各类源对 $PM_{2.5}$ 的贡献浓度;第二步,通过统计研究区域基准年的气象条件,按污染程度划分 n 种天气类型,结合基准年污染源排放强度,计算 n 种天气类型 m 类污染源的迁移扩散系数 $F_{(m,n)}$;第三步,基于区域网格模型模拟结果、多年观测的 6 因子质量监测数据和 $PM_{2.5}$ 组分数据,获得 n 种天气类型达 $PM_{2.5}$ 规划目标下的 PM_{10}、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的控制浓度;进一步利用迁散系数计算第 j 种天气类型下达控制浓度目标的允许排放量.运用该创新方法,可以计算特定气象条件下 $PM_{2.5}$ 的允许排放量,尤其是重污染条件下的允许排放量,可为制定重污染应急管控措施提供依据.技术路线如图 1 所示.

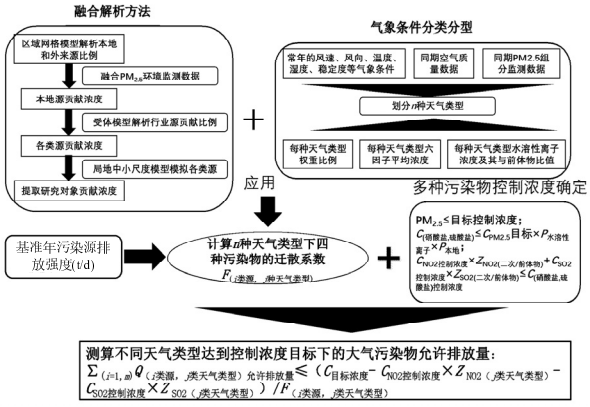


图 1　以浓度为控制目标的大气环境允许排放量核算方法技术路线

Fig.1　Technical route of atmospheric environmental capacity accounting method aimed at concentration control target

1.1　多尺度模型融合监测数据的高分辨解析方法

1.1.1　区域网格模型模拟　采用 WRF-CAMx 模式双层嵌套的方法,外层模拟区域为 57°~161°E, 1°~59°N,网格水平分辨率为 36km×36km,共划分为 200×160 个网格;内层模拟网格水平分辨率为 12km×12km,共划分为 119×101 个网格,涵盖京津冀及周边城市.垂直方向分为 20 层.污染源清单选取课题组建立的沧州市 2018 年污染源清单.通过区域网格模型模拟,得到本地源贡献 $P_{\text{区域模型本地}}$.

1.1.2　CMB(Chemical Mass Balance,化学质量平衡)模型来源解析　本研究选择沧州市监测站、青县海子公园、黄骅财政局培训中心和泊头市政府 4 个环境受体点开展 $PM_{2.5}$ 样品采集,采样时间为 2017 年 10 月 15 日~2018 年 1 月 31 日及 2018 年 10 月 15 日~2019 年 1 月 31 日,共采集有效样品 1948 个,对各点位 $PM_{2.5}$ 样品中的水溶性离子、无机元素和碳组分进行化学分析和讨论.基于颗粒物采样和环境受

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体 $PM_{2.5}$ 的化学分析,综合利用 CMB 受体模型解析得到沧州市工业源、扬尘源、交通源和民用燃烧源的分担率.

1.1.3 融合解析方法 首先利用区域网格模型获得本地贡献占比 $P_{区域模型本地}$,然后基于受体模型获得第 i 类源贡献占比 $P_{受体解析\,i\,占比}$,再融合环境空气质量监测数据,提取第 i 类源在第 j 种天气类型下的贡献浓度,见公式(1).

$$C_{(i,j)}=C_{j监测}\times P_{区域模型本地}\times P_{受体解析占比}\ (j=1\cdots n) \quad (1)$$

式中:$C_{(i,j)}$ 为第 j 种天气类型下第 i 类源对 $PM_{2.5}$ 的贡献浓度,μg/m³;$C_{j监测}$ 为第 j 种天气类型下 $PM_{2.5}$ 环境质量监测浓度,μg/m³;$P_{区域模型本地}$ 为本地源对 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献占比,%;$P_{受体解析占比}$ 为受体模型解析第 i 类源对 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献占比,%.

1.2 基于气象条件分型的污染特征和转化规律研究方法

1.2.1 气象条件分型方法 统计研究区域基准年的风速、风向、稳定度、相对湿度等气象要素,根据 $PM_{2.5}$ 浓度从优~严重污染程度,确定对应的气象要素,划分 n 种天气类型(剔除雨雪沙尘天).气象要素统计原则以该种天气类型下风向频次超过 80%的风向为主导风向、以该种天气类型下 2min 风速平均值为平均风速、以该种天气类型下相对湿度的最小值和最大值为相对湿度范围.

1.2.2 分天气类型的污染特征和转化规律研究方法 对于每种天气类型,计算该类型下的天数(或小时数)占全部统计时间段的比例、常规污染物平均浓度、水溶性离子浓度及其与前体物比值(二次转化系数)等,据此研究分污染天气类型的二次转化规律.

1.3 不同天气类型下的迁散系数确定方法

根据扩散原理,污染浓度不仅与排放源强成正比关系,同时还与污染源排放布局和排放方式、气象条件、污染物的迁移转化以及地形地表等条件密切相关,在特定区域排放布局和排放方式基本不变的假设前提下,污染浓度的大小取决于排放强度、气象条件和迁移、转化等因素[31-32].

对于 $PM_{2.5}$,基于融合解析方法和气象分型研究,按式(2)计算得到第 j 种天气类型第 i 类源的迁散系数.

$$F_{(i,j)}=(C_{(i,j)基准}\times P_{区域模型本地}\times P_{受体解析占比})/Q_{(i,j)基准}\ (j=1\cdots n) \quad (2)$$

式中:$F_{(i,j)}$ 为第 i 类污染源在第 j 种天气类型的迁散系数,(μg·d)/(m³·t);$C_{(i,j)基准}$ 为基准年第 i 类污染源在第 j 种天气类型下的质量浓度,μg/m³;$Q_{(i,j)基准}$ 为基准年第 i 类污染源在第 j 种天气类型下的排放强度,t/d.

1.4 特定天气类型下的允许排放量测算方法

1.4.1 多种污染物控制浓度确定方法 基于区域网格模型模拟的 $P_{区域模型本地}$,结合 6 因子质量监测数据和 $PM_{2.5}$ 组分数据,分析 n 种天气类型下二次污染物占比和二次转化系数.基于 $PM_{2.5}$ 规划目标,综合上述分析方法,获得 n 种天气类型下 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的控制浓度.

$$C_{(NO_3^-、SO_4^{2-})控制}\approx C_{PM_{2.5}目标}\times P_{(NO_3^-、SO_4^{2-})占比}\times P_{区域模型本地} \quad (3)$$

$$C_{NO_2控制}\times Z_{NO_2}+C_{SO_2控制}\times Z_{SO_2}\leqslant C_{(NO_3^-、SO_4^{2-})控制} \quad (4)$$

式中:$C_{(NO_3^-、SO_4^{2-})控制}$ 为规划年 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的控制浓度,μg/m³;$C_{PM_{2.5}目标}$ 为规划年的目标浓度,μg/m³;$P_{(NO_3^-、SO_4^{2-})占比}$ 为 $PM_{2.5}$ 组分中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的占比,%;$C_{NO_2控制}$ 为基准年 NO_2 的浓度,μg/m³;$C_{SO_2控制}$ 为基准年 SO_2 的浓度,μg/m³;Z_{NO_2} 为 NO_2 转化为 NO_3^- 的比例,%;Z_{SO_2} 为 SO_2 转化为 SO_4^{2-} 的比例,%.

1.4.2 不同天气类型下允许排放量测算 依据 1.2 和 1.3 节的方法,确定 n 种天气类型下的迁散系数和二次转化系数,由此可测算 n 种天气类型 PM_{10}、SO_2 和 NO_x 达控制浓度目标下的允许排放量 $Q_{(i,j)允许}$,见公式(5).对于 $PM_{2.5}$ 的允许排放量,按公式(6)计算.

$$\sum_{i=1}^{i=m}Q_{(i,j)允许}\leqslant C_{控制}/F_{(i,j)}\ (j=1\cdots n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{i=m}Q_{(i,j)允许}\leqslant (C_{目标}-C_{NO_2控制}\times Z_{NO_2}-C_{SO_2控制}\times Z_{SO_2})/F_{(i,j)} \quad (6)$$

式中:$Q_{(i,j)允许}$ 为第 i 类污染源在第 j 种天气类型达控制浓度目标下的允许排放量,t/d;$C_{控制}$ 为污染物目标控制浓度,μg/m³.

1.5 数据来源

本研究区域网格模型和 CMB 受体模型解析结果引用《大气重污染成因与治理攻关项目——沧州市大气污染防治综合解决方案研究》(DQGG-05-沧州 07)项目成果,清单数据采用课题组编制的沧州市 2018 年源清单,沧州市 2018 年全年环境空气质量监测数据来自大气环境科学综合数据采集与共享平台,气象条件数据由沧州市气象局提供.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　沧州市应用实例与结果讨论

2.1　融合解析方法确定沧州市主要源类贡献浓度

表 1　沧州市主要污染源类对 $PM_{2.5}$ 贡献浓度

Table 1　Contributions of main sources to $PM_{2.5}$

污染源类	贡献浓度(μg/m³)
外地贡献	14.75
本地贡献	44.25
工业源	28.32
扬尘源	8.85
交通源	3.54
民用燃烧源	3.54

根据 1.1 节方法,采用区域网格模型模拟得到沧州市本地源贡献 75%;根据 CMB 受体模式解析结果,沧州市工业源贡献 64%,扬尘源贡献 20%,交通源和民用燃烧源均贡献 8%.2018 年沧州市 $PM_{2.5}$ 年均浓度为 59μg/m^3,运用公式(1),计算得到工业源对 $PM_{2.5}$ 贡献浓度为 28.32μg/m^3,同理得到扬尘源、交通源和民用燃烧源贡献浓度,结果见表 1.

2.2　气象条件分型结果

基于沧州市近 2a 秋冬季气象条件数据,根据 1.2.1 节所述方法,按优、良、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染分别统计风向、风速、相对湿度、静小风持续时间 4 项气象要素,由于污染水平为良时可以归纳为 2 种不同的气象条件,因此最终划分为 7 种天气类型(已剔除雨雪沙尘天).气象条件分型结果见表 2.

由表 2 可知,天气类型 1 以东北风主导,平均风速最大,相对湿度最低,扩散条件最有利;天气类型 7 静小风时间大于 72h,相对湿度在 80%~100%,扩散条件最不利.从天气类型 1~7,静小风持续时间不断升高,平均风速越来越小、相对湿度逐渐增大,污染程度呈加重趋势.污染发生时段多以偏南风和本地静小风主导.

表 2　沧州市气象条件分型结果

Table 2　7 typical meteorological conditions of the city of Cangzhou

天气类型	气象条件	$PM_{2.5}$ 浓度范围(μg/m³)	样本数(个)	占比(%)	$PM_{2.5}$ 平均浓度(μg/m³)	天气类型描述
1	主导风:东北风 平均风速:2.5m/s 相对湿度 15%~45%	≤35	32	14.61	25.25	天气类型优;扩散条件最有利
2	主导风:偏南风 平均风速:2.0m/s 相对湿度 25%~60%	35~42	27	12.33	38.38	天气类型良;扩散条件较为有利
3	主导风:偏西南风 平均风速:1.6m/s 相对湿度 45%~70%	42~75	66	30.14	57.95	天气类型良;扩散条件一般
4	主导风:偏西南风 静小风持续<24h 相对湿度 55%~75%	75~115	57	26.03	90.92	天气类型轻度污染;扩散条件一般
5	主导风:偏南风 静小风持续<24h 相对湿度 60%~80%	115~150	16	7.31	127.46	天气类型中度污染;扩散条件较为不利
6	静小风持续>24h 相对湿度 75%~90%	150~250	18	8.22	182.60	天气类型重度污染;扩散条件不利
7	静小风持续≥72h 相对湿度 80%~100%	>250	3	1.37	276.00	天气类型严重染;扩散条件最不利

2.3　基于不同气象条件分型的迁移扩散和转化规律研究

2.3.1　不同天气类型下的污染规律研究　由表 3 可知,从天气类型 1~7 污染呈加重趋势,随着污染的加重,$PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值不断增大,细颗粒物占比增高说明二次转化加剧;硝酸盐/NO_2 和硫酸盐/SO_2 的浓度比总体呈上升趋势,硫酸盐/SO_2 平均比值要高于硝酸盐/NO_2,说明本地高湿度环境下,更有利于 SO_2 的二次转化,这与相关研究结论有一致性[33].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 沧州市 7 种天气类型下的污染特征

Table 3 Pollution characteristics under 7 typical meteorological conditions in the city of Cangzhou

天气类型	PM_{10} 平均浓度 (μg/m³)	NO_2 平均浓度 (μg/m³)	SO_2 平均浓度 (μg/m³)	$PM_{2.5}$/PM_{10}	硝酸盐/NO_2	硫酸盐/SO_2
1	47.25	28.25	18.00	0.53	0.16	0.23
2	70.38	50.44	21.27	0.55	0.11	0.23
3	100.63	55.33	26.40	0.58	0.17	0.25
4	143.88	65.14	34.39	0.63	0.27	0.28
5	209.42	71.88	33.96	0.61	0.34	0.35
6	256.14	81.47	32.09	0.71	0.43	0.60
7	371.67	104.00	55.67	0.74	0.49	0.63

表 4 沧州市 7 种天气类型下主要污染物的迁散系数 F[(μg·d)/(m³·t)]

Table 4 Migration and diffusion coefficients under 7typical meteorological conditions

天气类型	$F_{PM_{2.5}}$	$F_{PM_{10}}$	F_{SO_2}	F_{NO_2}
1	0.07	0.14	0.27	0.12
2	0.12	0.21	0.32	0.22
3	0.17	0.31	0.39	0.24
4	0.26	0.44	0.51	0.28
5	0.38	0.64	0.50	0.31
6	0.53	0.78	0.48	0.35
7	0.77	1.13	0.83	0.45

2.3.2 不同天气类型下迁散系数确定 根据排放清单,沧州市 2018 年一次 $PM_{2.5}$ 排放量为 156.71t/d、PM_{10} 为 328.22t/d、SO_2 为 67.40t/d、NO_x 为 232.05t/d.按公式(2)计算得到沧州市 7 种天气类型下四种污染物的迁散系数 F,如表 4 所示.可以看到,从天气类型 1~7,4 种污染物的迁散系数总体不断增大,表明随着污染程度的加重,单位排放量的污染物对环境空气质量浓度的贡献逐渐增大.

2.4 沧州市不同天气类型下允许排放量测算

2.4.1 $PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_2 与 SO_2 的控制浓度确定 《环境质量标准》规定的 $PM_{2.5}$ 达标浓度为 35μg/m³,$PM_{2.5}$ 主要由一次排放贡献和二次转化构成,由沧州市秋冬季 $PM_{2.5}$ 组分数据及气象条件分型结果,获得 7 种天气类型下 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的占比,天气类型 1~7,NO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度的占比在 39.3%~67.3%之间.根据式(3)、(4),获得 7 种天气类型下 NO_2、SO_2 和 PM_{10} 控制浓度见表 5.

表 5 沧州市主要污染物目标控制浓度(μg/m³)

Table 5 Target concentrations of main pollutants(μg/m³)

天气类型	$PM_{2.5}$	PM_{10}	NO_2	SO_2
1	35.00	70.00	25.23	16.08
2	35.00	70.00	33.98	16.99
3	35.00	70.00	31.66	15.83
4	35.00	70.00	28.45	14.23
5	35.00	70.00	23.94	11.97
6	35.00	70.00	19.50	9.75
7	35.00	70.00	17.37	8.68

2.4.2 天气类型 1~7 达控制浓度目标下的允许排放量测算 由表 6 可知,从天气类型 1~7,各项主要污染物的允许排放量递减.天气类型 1 下,平均风速约为 2.5m/s,平均相对湿度 50%以下,扩散条件最好,沧州市一次 $PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_x 和 SO_4^{2-} 的允许排放量分别为 273.36, 486.25, 237.05 和 73.27t/d;天气类型 7 下,静小风持续时间分别在 72h 以上,平均相对湿度为 80%~100%,扩散条件最不利,沧州市一次 $PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_x 和 SO_2 的允许排放量急剧下降,分别为 27.23, 61.82, 57.89 和 17.16t/d.

表 6 沧州市不同气象条件下 4 种污染物的减排比例

Table 6 Reduction percentages of main pollutants under 7 typical meteorological conditions

天气类型	$PM_{2.5}$ 允许排放量(t/d)	PM_{10} 允许排放量(t/d)	NO_x 允许排放量(t/d)	SO 允许排放量(t/d)	$PM_{2.5}$ 减排比例(%)	PM_{10} 减排比例(%)	NO_x 减排比例(%)	SO_2 减排比例(%)
1	273.36	486.25	237.05	73.27	0	0	0	0
2	159.34	326.47	173.83	66.41	0	0.53	25.09	1.46
3	146.64	228.33	155.42	50.62	6.43	30.43	33.02	24.89
4	49.48	159.68	165.46	35.64	68.43	51.35	28.70	47.12
5	42.90	109.71	124.45	32.00	72.63	66.57	46.37	52.52
6	39.40	89.70	79.04	32.45	74.86	72.67	65.94	51.85
7	27.23	61.82	57.89	17.16	82.62	81.17	75.05	74.54

从减排比例结果来看,要达到 $PM_{2.5}$ 目标控制浓度,从天气类型 1~7,各项主要污染物的减排比例递增.天气类型 1 下各污染物已达到控制目标,不需要再做削减;天气类型 7 可认为发生严重污染过程,气

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

象条件最为不利,一次 $PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_x 和 SO_2 减排比例需分别在 82.62%、81.17%、75.05%和 74.54%以上,才可达到环境质量控制目标.可以看出最不利气象条件下大气环境允许排放量很小,允许排放量约是有利气象条件的 1/6~1/10.因此,在该气象条件下,需要更大力度削减污染物排放,才能避免发生重污染过程.

通过该方法获得了沧州市基于气象条件分型的大气环境允许排放量.该方法是以源清单、源解析研究结果为基础的,由于京津冀、汾渭平原、长三角等重点区域大部分城市均已开展源清单和源解析研究,因此该方法对这些城市具有可行性,可以快速测算特定气象条件下的允许排放量.

2.5　研究方法的不确定性分析

由于污染浓度与排放源强、污染源排放布局、排放方式、气象条件、污染物的迁移沉降、地形地表和物理化学反应等条件存在着密切的关系,大气污染物允许排放量的计算十分复杂,本研究旨在排放布局和排放方式不变的前提下,提出一种简便的快速测算方法.本研究的不确定性主要体现在以下几方面.

2.5.1　基准年选取的不确定性　本研究是统计区域内基准年的气象条件、环境质量监测数据、颗粒物组分数据、模型模拟和解析结果等,但是气象条件分型研究可能受到基准年选取的影响,同时,污染源排放布局和排放方式、$PM_{2.5}$ 来源解析结果也与基准年选取有关,因此需要考虑基准年选取对测算结果带来的不确定性影响.

2.5.2　数据样本代表性影响　本研究案例中 $PM_{2.5}$ 组分数据是采用近 2a 秋冬季的膜采样分析数据,采样时间为秋冬季 4 个月(当年 10 月份~次年 1 月份),对于特定天气类型下(例如严重污染日)的样本数有限,后续可进一步增加采样分析数量,提高数据代表性.

2.5.3　模型计算的不确定性　本研究方法基于区域网格模型和受体模型解析结果.由于模型模拟本身在参数选取、模型计算等方面具有一定不确定性,模型计算结果叠加也会对测算结果带来影响.

3　结论

3.1　本研究提出一种基于气象条件分型的大气污染物允许排放量测算方法,该方法能快速测算特定污染天气类型下的允许排放量,对以改善环境空气质量为目标核算最大允许排放量探索了一条可行的技术路线.

3.2　本研究以沧州市为例,得到沧州市秋冬季 7 种天气类型,天气类型 1 的气象条件最有利于扩散,天气类型 7 最为不利,从天气类型 1~7,污染程度不断加重,静小风持续时间不断升高,平均风速不断减小、相对湿度增大,硝酸盐/NO_2 和硫酸盐/SO_2 的浓度比总体上升.

3.3　以沧州市 $PM_{2.5}$ 控制目标 35μg/m^3 为约束,在最不利气象条件下,沧州市一次 $PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_x 和 SO_4^{2-} 排放量削减率应分别在 82.62%、81.17%、75.05%和 74.54%以上,才能达到空气质量标准.不利气象条件下大气环境允许排放量很小,需要更大力度减少污染物排放,才能避免发生重污染天气.

参考文献:

[1] 许艳玲,薛文博,王金南,等.大气环境容量理论与核算方法演变历程与展望 [J]. 环境科学研究, 2018,31(11):1835-1840.
Xu Y L, Xue W B, Wang J N, et al. Development and prospect of atmospheric environment capacity theory and accounting method [J]. Research of Environmental Sciences, 2018,31(11):1835-1840.

[2] 徐大海,王　郁,朱　蓉,等.大气环境容量系数 A 值频率曲线拟合及其应用 [J]. 中国环境科学, 2016,(36):2922.
Xu D H, Wang Y, Zhu R, et al. The atmospheric environmental capacity coefficient cumulative frequency curve fitting and its application [J]. China Environmental Science, 2016,(36):2922.

[3] 郭　毅,杨雅媚.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.
Gu Y, Yang Y M. Estimation of environmental atmosphere bearing capacity of Xi'an City with A-value method [J]. Environmental Science & Management, 2014,39(2):69-71.

[4] 普　丽,易红宏,唐晓龙,等.曲靖市大气环境容量研究 [J]. 中南大学学报:自然科学版, 2014,(45):3700-3704.
Pu L, Yi H H, Tang X L, et al. Atmospheric environmental capacity calculation in Qujing City [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014,(45):3700-3704.

[5] 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,(4):71-75.
Li W H, Chen J, Wang F Q, et al. Estimation of the atmospheric environmental capacity and remaining capacity in Xi'an City based on amending A-value method [J]. Safety and Environmental Engineering, 2013,(4):71-75.

[6] 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]. 中国环境管理丛书, 2011,(2):32-34.
Zhang S Q, Cai J, Chen B Y, et al. The environmental atmosphere capacity estimation of Changchun City with A-value method [J].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Chinese Environmental Management, 2011,(2):32-34.

[7] 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):43-46.
Ou Y X G. Research on the A-value amending algorithm for A-P value method in EPC calculation [J]. Research of Environmental Sciences, 2008,(1):43-46.

[8] 刘 彦,姚进明,徐卫民.用 A 值法测算景德镇市 SO_2 大气环境容量 [J]. 能源研究与管理, 2006,(4):13-15.
Lu Y, Yao J M, Xu W M, et al. Estimation of the atmospheric capacity of SO_2 in Jin Dezhen City with A-Value Method [J]. Energy research and Management, 2006,(4):13-15.

[9] Wang W Y, Ma X J, Ke B J. Study on sulfur dioxide atmospheric environmental capacity of Chengdu urban agglomeration [J]. Advanced Materials Research, 2012,599:488-495.

[10] Dahai X U, Yu W, Rong Z. Atmospheric environmental capacity and urban atmospheric load in mainland China [J]. Science China (Earth Sciences), 2018,v.61(1):37-50.

[11] 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, 21(3):13-16.
Xiao Y, Mao X Q, Ma G H, et al. Atmospheric environmental capacity study based on ADMS and linear programming [J]. Research of Environmental Sciences, 21(3):13-16.

[12] 钱跃东,王勤耕.针对大尺度区域的大气环境容量综合估算方法 [J]. 中国环境科学, 2011,31(3):504-509.
Qian Y D, Wang G Q. An integrated method of atmospheric environmental capacity estimation for large-scale region [J]. China Environmental Science, 2011,31(3):504-509.

[13] 王金南,潘向忠.线性规划方法在环境容量资源分配中的应用 [J]. 环境科学, 2005,26(6):195-198.
Wang J N, Pan X Z. Application of linear programming in the allocation of environmental capacity resources [J]. Environmental Science, 2005,26(6):195-198.

[14] 任 重,马海涛,王 丽,等.CALPUFF 在大气预测及环境容量核算中的应用 [J]. 环境科学与技术, 2011,(6):206-210.
Ren Z, Ma H T, Wang L, et al. Using CALPUFF in atmospheric prediction and environmental capacity calculation [J]. Environmental Science & Technology, 2011,(6):206-210.

[15] 周业晶,周敬宣.以 GDP-$PM_{2.5}$ 达标为约束的东莞大气环境承载力模拟研究 [J]. 环境科学学报, 2016,36(6):2231-2241.
Zhou Y J, Zhou J X. Atmospheric environment capacity and its carrying capacity constrained by GDP-$PM_{2.5}$ attainment in Dongguan City [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016,36(6):2231-2241.

[16] 薛文博,王金南,杨金田,等.淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算 [J]. 环境科学, 2013,(4):42-47.
Xue W B, Wang J N, Yang J T, et al. Simulation of air pollution characteristics and estimates of environmental capacity in Zibo City [J]. Environmental Science, 2013,(4):42-47.

[17] 徐 鹤,丁 洁,冯晓飞.基于 ADMS-Urban 的城市区域大气环境容量测算与规划 [J]. 南开大学学报(自然科学版), 2010,(4):69-74.
Xu H, Ding J, Feng X F. Atmospheric environmental capacity study and programming based on ADMS-Urban [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universities NanKaiensis, 2010,(4):69-74.

[18] 薛文博,付 飞,王金南,等.中国 $PM_{2.5}$ 跨区域传输特征数值模拟研究 [J]. 中国环境科学, 2014,(6):1361-1368.
Xue W B, Fu F, Wang J N, et al. Numerical study on the characteristics of regional transport of $PM_{2.5}$ in China [J]. China Environmental Science, 2014,(6):1361-1368.

[19] 陈卫平,涂宏志,彭 驰,等.环境模型中敏感性分析方法评述 [J]. 环境科学, 2017,38(11):445-452.
Chen W P, Tu H Z, Peng C, et al. Comment on sensitivity analysis methods for environmental models [J]. Environmental Science, 2017,38(11):445-452.

[20] 常嘉成,赵天良,谭成好,等.基于 WRF-Chem 模拟的玉溪市大气环境容量精细估算 [J]. 环境科学学报, 2017,37(10):3876-3884.
Chang J C, Zhao T L, Tan C H, et al. An elaborative assessment of atmospheric environmental capacity in Yuxi based on WRF-Chem modeling [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017,37(10):3876-3884.

[21] 周广强,谢 英,吴剑斌,等.基于 WRF-Chem 模式的华东区域 $PM_{2.5}$ 预报及偏差原因 [J]. 中国环境科学, 2016,(8):2251-2259.
Zhou G Q, Xie Y, Wu J B, et al. WRF-Chem based $PM_{2.5}$ forecast and bias analysis over the East China Region [J]. China Environmental Science, 2016,(8):2251-2259.

[22] 李 莉,程水源,陈东升,等.基于 CMAQ 的大气环境容量计算方法及控制策略 [J]. 环境科学与技术, 2010,33(8):162-166.
Li L, Cheng S Y, Chen D S, et al. A calculated methodology of atmospheric environmental capacity based on CMAQ and control strategy [J]. Environmental Science & Technology, 2010,33(8):162-166.

[23] 卢燕宇,孙 维.基于 CALPUFF 模型的 NO_2 剩余大气环境容量测算及污染源布局优化——以合肥市为例 [J]. 环境污染与防治, 2017,39(12):1358-1362.
Lu Y Y, Sun W. Estimation of NO_2 remainder atmospheric environmental capacity and layout optimization of emission sources based on CALPUFF model: a case study in Heifei [J]. Environmental Pollution and Prevention, 2017,39(12):1358-1362.

[24] 薛文博,付 飞,王金南,等.基于全国城市 $PM_{2.5}$ 达标约束的大气环境容量模拟 [J]. 中国环境科学, 2014,(10):2490-2496.
Xue W B, Fu F, Wang J N, et al. Modeling study on atmospheric environmental capacity of major pollutants constrained by $PM_{2.5}$ compliance of Chinese cities [J]. China Environmental Science, 2014,(10):2490-2496.

[25] 李敏辉,廖程浩,杨柳林,等.基于区域传输矩阵和 $PM_{2.5}$ 达标约束的大气容量计算方法 [J]. 环境科学, 2018,39(8):3485-3491.
Li M H, Liao C H, Yang L L, et al. Capacity simulation method based on regional transfer matrix and $PM_{2.5}$ concentration target constraint [J]. Environmental Science, 2018,39(8):3485-3491.

[26] CHENG Y, LI Y. Influences of traffic emissions and meteorological conditions on ambient PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels at a highway toll station [J]. Aerosol & Air Quality Research, 2010,10:456-462.

[27] Guo J, He J, Liu H, et al. Impact of various emission control schemes on air quality using WRF-Chem during APEC China 2014 [J]. Atmospheric Environment, 2016,140:311-319.

[28] Wang H, Xu J, Zhang M, et al. A study of the meteorological causes of a prolonged and severe haze episode in January 2013 over central-eastern China [J]. Atmospheric Environment, 2014,98:146-157.

[29] Tai A P K, Mickley L J, Jacob D J. Correlations between fine

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

particulate matter ($PM_{2.5}$) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of $PM_{2.5}$ to climate change [J]. Atmospheric Environment, 2010,44(32):3976-3984.

[30] Pu W W, Zhao X J, Zhang X L, et al. Effect of meteorological factors on $PM_{2.5}$ during July to September of Beijing [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2011,2(9):272-277.

[31] 郝吉明,许嘉钰,吴　剑,等.我国京津冀和西北五省(自治区)大气环境容量研究 [J]. 中国工程科学, 2017,19(4):13-19.
Hao J M, Xu J Y, Wu J, et al. A Study of the atmospheric environmental capacity of Jingjinji and of the five Northwestern Provinces and Autonomous Regions in China [J]. Chinese Engineering Science, 2017,19(4):13-19.

[32] 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.
Yang Q J, Zhao T L, Zheng X B, et al. Assessments of the differences of atmospheric environmental capacity between strong and weak Asian monsoon years in Mengzi [J]. China Environmental Science, 2019,39(10):4054-4064.

[33] Zheng, B, Zhang, Q, Zhang, Y, et al. Heterogeneous chemistry: a mechanism missing in current models to explain secondary inorganic aerosol formation during the January 2013 haze episode in North China [J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 15(4):2031-2049.

致谢：感谢沧州市生态环境局对本研究工作的大力支持.

作者简介：高　爽(1991-),女,江苏南京人,助理研究员,硕士,主要从事大气污染防治、大气污染来源解析、大气环境规划与管理研究.发表论文 10 余篇.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net