

# 大气环境承载力评价技术规范

## 编制说明

《大气环境承载力评价技术规范》编制组

2022年11月

# 目 次

1	工作概况.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
1.3	主要起草人及所做的工作.....	2
2	标准编制的必要性.....	3
2.2	适应当前大气环境保护的新形势、新要求.....	3
2.3	适应当前大气环境承载力评价技术方法发展现状.....	3
3	国内外相关技术规范研究情况.....	3
4	技术规范编制的基本原则和技术路线.....	5
4.1	技术规范编制的基本原则.....	5
4.2	技术规范编制的技术路线.....	5
5	技术规范主要技术内容.....	7
5.1	标准适用范围.....	7
5.2	术语和定义.....	7
5.3	方法筛选.....	8
5.4	承载力核算方法.....	12
6	结果分析与对策提出.....	21
7	主要试验、验证及试行结果.....	22
8	与相关标准的关系分析.....	24
9	标准推广应用措施及预期效果.....	25
10	参考文献.....	25

# 1 工作概况

## 1.1 任务来源

2016年，科学技术部“典型脆弱生态修复与保护研究”专项的“自然资源资产负债表编制与资源环境承载力评价技术集成与应用”项目，由中国科学院地理科学与资源研究所牵头承担。所属课题“环境承载力（容量）评价与生态环境核算技术与应用”由中国环境科学研究院牵头组织实施。其中子课题之一“大气环境承载力评价技术集成与应用”专题的主要研究任务为通过对国内外大气环境承载力研究领域文献的检索、研读和对承载力评价模型分类、研究，从区域大气污染形成机理出发，通过案例分析和大气污染物扩散理论分析，构建面向不同空间尺度（省、市、县）的大气环境承载力评价模型，获取模型关键指标的修正系数，确定大气环境污染的主控因子，在大量研究试验的基础上，对大气承载力评价模型进行完善、修正，形成评价技术标准。

## 1.2 工作过程

### （1）编制启动

2016年，“自然资源资产负债表编制与资源环境承载力评价技术集成与应用”项目启动，项目组开展了国内外大气环境承载力研究领域文献的检索、研读的工作，开始了《大气环境承载力评价技术规范》的准备工作。

### （2）标准初稿

2017年~2019年，项目组在研究了国内外大气环境承载力研究成果和典型应用的基础上，编制完成了《大气环境承载力评价技术规范》初稿。

期间标准编制组多次召开内部讨论会，并向相关领域专家进行咨询，形成了标准初稿。

### （3）标准立项

2020年7月9日，中国环境科学学会组织召开了《大气环境承载力评价技术规范》团体标准立项论证会。经过会议专家组质询论证，形成以下专家意见：1.《大气环境承载力评价技术规范》应明确承载力定义、评价指标及其体系，明确承载力与环境容量的关系；2.建议各项目吸纳更多相关研究单位共同参与编制。

2020年12月3日，中国环境科学学会将《大气环境承载力评价技术规范》纳入了团体标准编制计划，予以立项。

### （4）标准修改完善

团体标准立项论证会后，项目组邀请相关专家召开《大气环境承载力评价技术规范》（初

稿)研讨会,并按专家意见对标准进行了完善。

#### (5) 标准评审

2022年4月19日,中国环境科学学会组织召开了《大气环境承载力评价技术规范(工作组讨论稿)》专家评审会,建议会后项目组按照专家意见进行修改。

#### (6) 形成征求意见稿

2022年5月~11月,按照专家意见对该文件进行完善,形成征求意见稿。

### 1.3 主要起草人及所做的工作

编制任务由中国环境科学研究院承担,协作单位包括生态环境部环境工程评估中心、北京尚云环境有限公司。主要起草人有孟晓杰、柴莹莹、郝海广、李娟花、于华通、李时蓓、王亚男、赵亚丽、刘大钧、姜昀、祝秀莲、崔青、郑雯、仇昕昕、杨帆、余剑锋、黄丽华。

中国环境科学研究院于1978年12月31日成立,国家级公益非盈利生态环境保护科研机构,隶属于中华人民共和国生态环境部。致力于围绕国家生态文明建设战略布局,开展基础性、全局性、战略性生态环境科学研究、生态环境发展战略与技术政策研究、国家重大生态环境问题基础理论和前沿技术研究,为国家生态环境管理提供全面科技支撑。共拥有16个主要研究方向和80个细分研究方向,基本涵盖生态环境各领域(除核安全)形成较为全面的学科体系,具有较强的科研基础和学科综合优势。建有生态环境系统研究生院,拥有5个硕士学位授予点,与北京师范大学、清华大学和同济大学开展博士研究生联合培养。在标准编制过程中主要负责组织管理、标准文本及编制说明起草工作。

参与单位生态环境部环境工程评估中心是生态环境部的直属事业单位,负责组织对规划、重大开发和建设项目环境影响评价文件的技术审核。开展重大经济政策与规划的环境影响调查研究,以及环境影响评价技术政策研究。承担政策、规划、战略环境影响评价,区域生态环境评价及“三线一单”的制度设计、相关政策与技术规范制修订,以及生态环境准入清单拟订技术支持工作。组织拟订环境影响评价方法与技术导则,开展环境影响评价领域信息及环境影响预测模式的研究。承担环境影响评价工程师资质管理技术支持,以及对全国环境影响评估机构的业务指导。承担排污许可制管理、生态环境保护督察执法相关研究和技术支持工作,开展挥发性有机物污染防治相关管理政策和技术研究。在标准编制过程中主要负责开展国内外大气环境保护管理及大气承载力技术方法发展进展研究。

参与单位北京尚云环境有限公司成立于2017年,主要成员在大气环境预测模型及环境咨询服务方面具有丰富的实践经验和研究基础,公司长期从事各类重大复杂项目的环境咨询服务工作,参与《化工园区开发建设导则第9部分:生态环境》(T/CPCIF 0054.9-2021)等标准编制的编制,完成《大榭开发区发展规划(2018-2030)》、《宁波石化经济技术开发区》、《山西省电力“十四五”规划》、《海南省生活垃圾处理和建筑垃圾污染防治专项规划》

等多个大型规划的大气环境评价及环境承载力研究工作。在此标准的编制过程中主要负责基于模型的大气环境承载力评价方法及关键参数的确定。

## 2 标准编制的必要性

### 2.2 适应当前大气环境保护的新形势、新要求

随着社会经济快速发展以及能源消费量的迅速增长，人类的生存环境日益受到破坏，尤其是对于大气环境的破坏备受关注。大气环境承载力对社会经济的可持续发展具有重大影响，是国家及地方环保部门制订污染物削减方案及空气质量管理政策的科学依据。党的十八大以来，中共中央、国务院印发了《关于加快推进生态文明建设的意见》提出要“严守资源环境生态红线。树立底线思维，设定并严守资源消耗上限、环境质量底线、生态保护红线，将各类开发活动限制在资源环境承载能力之内”。党的十八届五中全会明确提出，以提高环境质量为核心，试行最严格的环境保护制度，并强调以改善环境质量为核心并不是对总量控制制度的否定，从总量控制和质量改善的关系来看，污染减排是改善环境质量的重要手段。如何确定各环境要素的环境承载力，对国土空间规划、规划环境影响评价、生态环境保护规划、生态文明建设规划等环境保护政策的落地实施具有非常重要的意义。

### 2.3 适应当前大气环境承载力评价技术发展现状

目前，大气环境承载力的研究方法在逐渐完善，不同领域的研究人员从评价方法、参数选取、案例应用等方面对大气环境承载力的方法不断研究和完善，与现行的方法相比已有很大提高，对现有大气环境承载力方法进行系统梳理并指导于实际应用的时机已经成熟。

## 3 国内外相关技术规范研究情况

环境容量是 19 世纪 60 年代日本为了应对日益严重的环境污染问题而提出的<sup>[1]</sup>，其核算方法经过半个多世纪的发展，逐渐形成了定性评价和定量核算两大分支，评价对象也涵盖了城市群、城市、工业园区等多个尺度，为各级环境管理部门的管理决策提供了重要参考。上世纪 70 年代中期开始，总量控制政策开始在一些国家发挥积极作用。相应的，一些国家也开始配套颁布了相关的管理制度和技术规范，用于指导环境承载力评价工作。日本是世界上最早提出总量控制的国家。从 1970 年起，为了有效应对大气环境污染，日本开始实施全国范围内的防治污染对策。制定了环境质量标准（1969 年 2 月）、实施排放控制（K 值控制规定从 1968 年 12 月第一次制定，到 1976 年 9 月第 8 次修订，1974 年以后制定总量控制规定）等相关标准和政策规定。日本政府的总量控制的相关做法，来自于“川崎方式”在全国范围的推广。其总量控制的思路是：市政府独立设定必要的排放总量，再根据这一目标值设定各地区的排放量；对各地区的排放量设定，为获得科学性依据，将污染源位置以及排放量等污染源信息与气象模型化，通过大气扩散模拟试验，用环境浓度进行推算。1974 年川崎市实行硫氧化物以及粉尘总量排放基准。1978 年，川崎市实行氮氧化物总量排放基准。从 2000

年起,作为粉尘的替代,实行粒子状物质的一揽子总量控制标准。为了支撑相关政策的实施,川崎市于 1972 年、1976 年分别颁布了《川崎市公害防止条例》和《川崎市环境影响评估条例》,从法律上和技术上进行了规范<sup>[2]</sup>。

美国、英国、德国等国家采用排污权交易制度实现污染物总量控制,美国也是首个制定总量管制排污权交易体系的国家。排污权交易是以总量管制为前提,制定可排放污染物总量并分配排放权份额,拍卖给各个需排污企业,通过污染物排放权交易市场,一些企业也可以买入其他企业盈余排污权份额或转让出售自己剩余的那部分份额,最终达到限量排放和减排的目的。欧盟根据建立了世界上最大的跨国排放交易体系并于 2005 年开始运行。从制度和规范上面,欧盟颁布了《欧盟环境影响评价战略》,提出了结合资源环境承载力的预测和评估,对国家政策进行调整优化的方法。

我国早在“六五”时期,就开始选取试点进行污染物总量控制方面的研究,但一直到 1988 年的“全国环境保护会议”,污染物排放总量控制才正式被提上日程。1992 年 6 月 1 日,由原国家环保局发布并实施的《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T13201-91),将 A 值法作为计算总量控制区内污染物排放总量限值的推荐方法<sup>[3]</sup>。1995 年的《大气污染防治法》(修订版)和 2000 年的《大气污染防治法》逐步确定了总量控制在我国的法律效力。2003 年,我国发布了“城市大气环境容量核定工作方案”,开始实施了对北京、天津、上海、重庆等市在内的全国 113 个重点城市大气环境容量核定计划,为我国大气环境总量控制工作提供了实践数据。《开发区区域环境影响评价技术导则》(HJ/T 131-2003)提出了大气环境容量的推荐方法,但目前尚没有相关标准对大气环境容量的核算流程、方法筛选、资料收集等等进行明确的规定。

从大气环境承载力核算方法来看,A 值法、线性规划法和模型模拟法是大气环境承载力估算的常用方法。李海晶<sup>[4]</sup>概述了 A-P 值法、多源模式加数学规划法等大气环境承载力估算方法的基本原理及研究进展,并对多源模式加数学规划法所涉及的多源模拟模型,如 ADMS-Urban、ISCT3 大气扩散模型的基本原理、主要特点及适用范围和应用情况进行了重点介绍。也综述了不同方法相结合计算环境容量的研究成果,如 A-P 值法与线性规划法相结合等。刘娜和谢绍东<sup>[5]</sup>综述城市点源大气污染物总量分配方法和优化模型。许艳玲等<sup>[6]</sup>分析了我国大气环境问题和大气污染管理模式的演变历程及 4 个不同发展阶段的发展特点,并总结了 A 值法、线性优化法、模型模拟法等不同核算方法的优点和不足。

国内外学者对模型模拟法研究起步较早,且研究较多。自 1970 年起,欧美就开展了大气扩散模型的研究并编制了相应的软件,美国国家环境保护局曾规定将第一代空气质量模型 ISC3 作为官方空气质量模拟模型,该模型可模拟多种空气流动情境下的污染物扩散与稀释过程,功能强大、准确性高。之后,美国国家环境保护局又牵头研制了第三代空气质量预测模型,提出了“一个大气”的概念,统筹考虑所有大气问题研发出新一代空气质量模型 Model-3,其核心是 CMAQ (Community Multiscale Air Quality) 模式,目前已在世界各地得到了广泛应用。2018 年,国家环境保护标准《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ 2.2-2018)发

布实施,该标准中推荐的空气质量模式包括 AERSCREEN、ADMS、AERMOD、AUSTAL2000、CALPUFF、CMAQ 等,并给出了各种模型的适用条件、模拟特性。

## **4 技术规范编制的基本原则和技术路线**

### **4.1 技术规范编制的基本原则**

#### **4.1.1 适用性和指导性原则**

在本技术规范编制过程中,严格遵守适用性原则,便于在区域大气环境承载力测算中发挥指导作用。重点研究其余空间尺度、管理需求、污染特征、污染因子等等诸多因素,确保技术规范在区域大气污染防治工作中发挥广泛的指导性作用。同时,细化工作流程,规范技术方法和适用范围,确定关键阈值和参数的选取,增强技术规范的实际可操作性,体现技术规范的适用性和指导性等特点。

#### **4.1.2 科学性和先进性原则**

以我国现行的环境保护法律法规、政策、条例、标准中,有大气环境保护的规定和要求为主要依据,研究和集成当前国内外大气环境承载力主要技术方法和适用条件,明确阈值取值,确保本技术规范的科学性和先进性。

#### **4.1.3 广泛参与原则**

为确保技术规范推行后能够适应我国大气环境管理的相关要求,在技术规范编制过程中,广泛听取行业专家、管理部门的意见,编制组对科研人员、管理部门及技术应用单位进行了充分调研,充分听取各方意见,确保最终形成的技术规范更符合实际需求,且具普遍指导意义。

#### **4.1.4 与现有法规、标准和技术规范相衔接的原则**

集成现有研究成果,以最新的理念及方法与当前管理要求合理衔接,使导则符合《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》等相关的国家现行法律法规,并与国家现行各项环保评价标准和行业规范相符合。

### **4.2 技术规范编制的技术路线**

根据导则修订目标和要求,采取如下技术路线(图 4.2-1)。

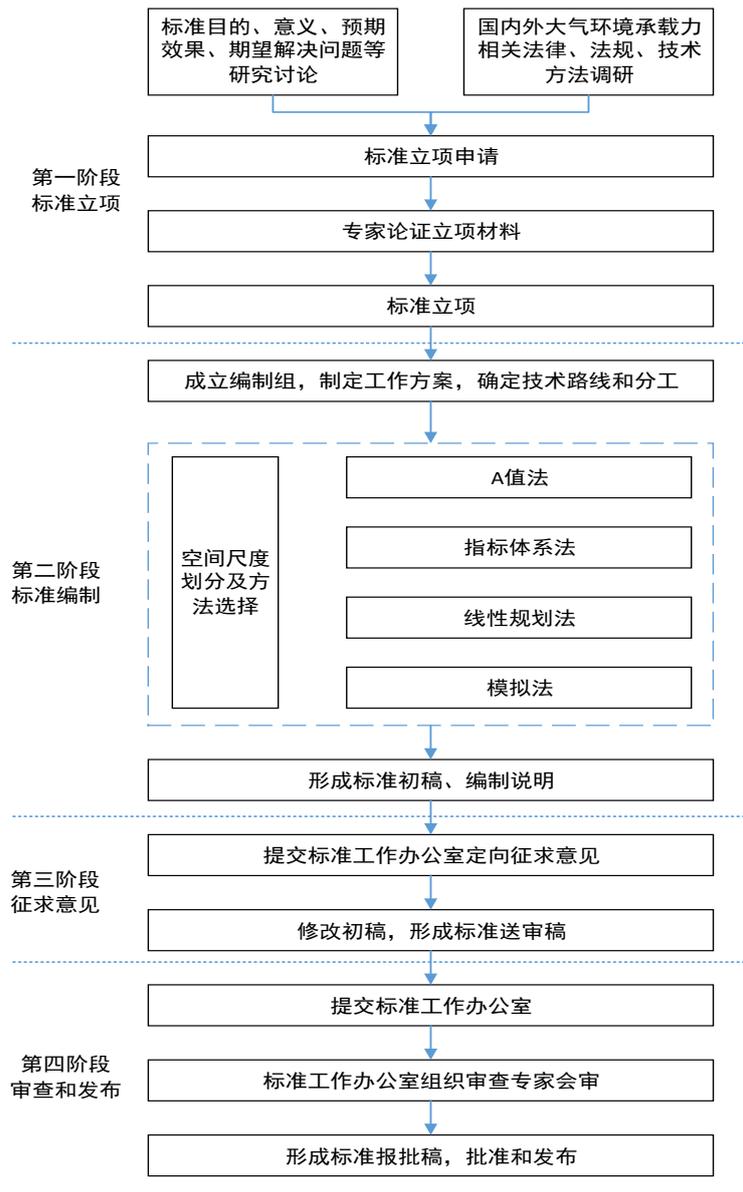


图 4.2-1 项目实施技术路线图

根据技术路线，在导则修订过程中，进行的重点研究内容包括：

- (1) 需求定位分析：总结和梳理现行大气环境承载力计算方法的应用情况，准确定位本项目的目标和用途。
- (2) 文献调研：深入调研国内外关于大气环境承载力评估的相关法律、法规、标准和技术方法，重点研究各方法基本原理、适用范围和参数选取及限制性条件。
- (3) 应用验证：选择不同尺度的代表性的区域评估方法和参数选取进行验证研究。
- (4) 广泛征求意见及论证修改：广泛征求环境保护管理部门、科研人员的意见，并对意见进行深入分析论证，对技术规范进行进一步修改。

## 5 技术规范主要技术内容

### 5.1 标准适用范围

2013年9月10日,国务院以国发〔2013〕37号印发《关于印发大气污染防治行动计划的通知》。该《通知》提出“严格实施污染物排放总量控制,将二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘和挥发性有机物排放是否符合总量控制要求作为建设项目环境影响评价审批的前置条件。”为有力支撑该政策实施,由于挥发性有机物尚无环境质量标准,因此本标准规定了SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、细颗粒物、O<sub>3</sub>等大气污染物的大气环境承载力评价的评价内容、评价程序和评价方法。适用于适用于区域规划、环境影响评价中大气环境承载力核算。

### 5.2 术语和定义

1.环境承载力:环境承载力是由环境容量的概念演化而来,最早出现于20世纪70年代,本标准引用张慧勤、过孝民《环境经济系统分析--规划方法与模型》一书中的定义,将环境承载力定义为“区域所能容纳的污染物数量以及可支撑的经济规模与相应人口数量。”

2.大气环境承载力:本标准引用王凯丽<sup>[7]</sup>对大气环境承载能力的定义“在一定的生活水平和大气环境质量要求下,在不超出生态系统限度条件下,环境子系统所能容纳的污染物数量以及可支撑的经济国模规模与相应人口数量”为了便于提出核算方法,本标准中的大气环境承载力特指“在一定标准下,某一环境单元大气所能容纳的污染物最大排放量”<sup>[8]</sup>

3.A值法:假定污染物在研究区域上空的空气混合层内为均匀混合状态,其所能容纳的污染物量正比于混合层高度、研究区域面积、污染物净化能力以及区域污染物浓度控制限值(即,区域环境空气质量目标)。其中研究区域的混合层高度和污染物净化能力通过总量控制系数A来体现。

4.线性规划法:基于线性规划理论,以不同功能区环境质量标准为约束条件,以区域大气承载力极大化为目标函数,将满足功能区达标所对应的大气污染物最大排放量视为区域大气环境承载力。线性规划法可反映污染源与受体的响应关系,但受线性关系的制约,一般不能处理非线性过程显著的二次污染问题。

5.模拟法:通过空气质量数值模型进行迭代计算来确定评价区域目标年环境承载力的方法。该方法以空气质量达到环境管理要求为目标,根据目标年的污染源变化进行数值模型迭代计算得到控制点浓度,当控制点浓度等于环境管理要求目标浓度时,所有污染源的排放总量即为该污染物的环境承载力。

模拟法所用环境空气质量模型按尺度分为:①局地尺度模型:如AERMOD、ADMS等稳态烟羽模型;②城市尺度模型:非稳态拉格朗日高斯烟团CALPUFF模型;③区域尺度模型:光化学网格模型,包括CMAQ/CAMx、WRF-Chem、NAQPMS等。

AERMOD 的基本原理为拉格朗日烟团模式，在稳定边界层中（SBL）中，模型假定垂直和水平方向的浓度分布都符合高斯分布。在对流边界层（CBL）中，假定水平分布符合高斯分布，垂直分布用双高斯概率密度函数（pdf）来描述。该模型同一时刻模拟范围内风场一致，适合小尺度模拟范围应用。

CALPUFF 基本原理为高斯烟团模式，可模拟三维流场中随时间和空间发生变化的污染物输送、转化和清除过程。CALPUFF 模拟尺度可从几十米到几百千米，包含了化学转化、干湿沉降等污染物去除过程，CALPUFF 模型中，单个烟团在某个接受点的基本浓度公式如下：

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot g \cdot \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \dots\dots\dots (1)$$

$$g = \frac{2}{\sigma_z\sqrt{2\pi}} \cdot \sum_n \exp\left[-\frac{(H_e+2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C$ —地面污染物质量浓度， $g/m^3$ ；

$Q$ —烟团中污染物的质量， $g$ ；

$\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ —X、Y、Z 方向上污染物高斯分布的标准差， $m$ ；

$g$ —高斯方程垂直项， $m^{-1}$ ；

$d_a$ —顺风距离， $m$ ；

$d_c$ —垂直风向距离， $m$ ；

$H_e$ —污染源有效高度， $m$ ；

$h$ —混合层高度， $m$ 。

空气质量模型 CMAQ 是美国环保署(EPA)发布的第三代空气质量模型，它将各种复杂的大气物理、化学过程模式系统化，以应用于环境影响评价及决策分析中。CMAQ 在模拟过程中将中、小尺度气象过程对污染物的输送、扩散、转化和迁移过程影响融为一体考虑，同时兼顾了区域与城市尺度之间大气污染物的相互影响以及污染物在大气中的各种化学过程（包括液相化学过程、非均相化学过程、气溶胶过程和干湿沉积过程）对浓度分布的影响。

### 5.3 方法筛选

目前，大气环境承载力研究中关于空间尺度的划分并没有十分明确的界定。薛文博等学者在研究国内外典型空气质量模型时，将空气质量模型的应用分为：法规化中小尺度模型、综合型区域尺度模型、全球性大尺度模型。鉴于大气环境承载力的常用的模拟法计算方法中，气象场是模拟法重要的内核，本规范根据区域的大小，借鉴天气系统的尺度划分，结合模型适用范围，将研究区域划分为大、中、小三个尺度。其中，大尺度指边长几百公里以上的区

域，一般为大城市或城市群；中尺度指边长几十到几百公里的区域，一般为中小城市；小尺度指边长 50 公里以下的区域，一般为工业园区。

大气环境承载力现有方法适用情况如表 5.4-1 所示。

表5.4-1 大气环境承载力研究方法对比分析

分类	评价方法	关键参数	评价结果	适用范围	实际应用
单因子指数 (超标倍数法)	$R_{\bar{ij}} = \max (R_{\bar{ij}})$ $R_{\bar{ij}} = C_{ij}/S_i - 1$	年均浓度监测值; 年均浓度标准值	大气承载力是否超载、超载倍数	适用于所有具备例行监测站点的大中小城市、区域	国家发改委等《环境资源承载力监测预警技术方法》(发改规划[2016]2043号)
环境容量法	<p>A-P值法:</p> $Q_{ak} = \sum_{i=1}^n \left[ A \times (C_{ki} - C_0) \times \frac{S_i}{(\sum_{i=1}^n S_i)^{0.5}} \right]$	各环境功能区面积、数量、日均浓度监测值、标准值等	某种污染物年允许排放总量限值	适用于计算不同尺度城市、区域大气承载力限值。无法体现污染源空间分布对承载力大小的影响。由于多种因素，计算结果常常会偏离真实结果。	《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 13201-91)推荐方法,《开发区区域环境影响评价技术导则》(HJ/T 131-2003)推荐方法
	<p>线性规划法:</p> <p>目标函数为: <math>\max f(Q)=D^T Q</math></p> <p>约束条件为: <math>AQ \leq C_s - C_a, Q \geq 0</math></p>	区域内各污染源排放量、环境质量控制点的标准及现状浓度、各污染源排放单位污染物对环境控制点的浓度贡献	某种污染物年允许排放总量限值	适用于计算不同尺度城市、区域大气承载力限值。用于大气污染总量控制以及工业园区的规划环评中。可反映出污染源的数量、分布及控制点状况对大气环境承载能力大小的影响。线性规划法适用于解决受线性关系的制约,一般不能处理非线性过程显著的二次污染问题。	《开发区区域环境影响评价技术导则》(HJ/T 131-2003)推荐方法
	<p>模拟法:</p> <p>高斯扩散模型 (ISC、AERMOD、ADMS)、拉格朗日轨迹模型 (OZIP/EKMA、CALPUFF)、欧拉网格模型 (UAM、ROM、RADM)、综</p>	源清单、气象数据、环境质量控制点的标准及现状浓度、地形数据、土地利用数据等	某种污染物年允许排放总量限值	适用于计算不同尺度城市、区域大气承载力限值。可反映出污染源、气象条件、地形等对大气环境承载能力大小的影响。相比箱模型法,其输入要求高、计算量大。另外,	《开发区区域环境影响评价技术导则》(HJ/T 131-2003)推荐方法

	合空气质量模型（CMAQ、CAMx、WRF-CHEM、NAQPMS）			在容量的区域配置方面，模拟法一般采用等比例或平方比例消减技术，不具有区域优化特性。	
综合法	线性规划法与箱模型法、模拟法有机集合	分方法中所需的参数汇总	某种污染物年允许排放总量限值	适用于大尺度城市、区域大气承载力限值。兼顾了污染源的局地性和区域性的影响、污染物的一次和二次影响。	科学研究、大尺度区域环境承载力计算

## 5.4 承载力核算方法

### 5.4.1 A 值法

A 值法是计算大气环境承载力的主要方法之一，该方法是根据大气污染物扩散稀释规律，以大气环境质量控制标准为控制目标，使用控制区排放总量允许限值和点源排放允许限值来计算大气环境承载力。假定污染物在研究区域上空的空气混合层内为均匀混合状态，其所能容纳的污染物质正比于混合层高度、研究区域面积、污染物净化能力以及区域污染物浓度控制限值（即，区域环境空气质量目标）。其中研究区域的混合层高度和污染物净化能力通过总量控制系数  $A$  来体现。

其具体计算方法如下：

A 值法将研究区域分为  $n$  个功能区，每个功能区的面积为  $S_i$ 。具体计算公式为：

$$Q_{ak} = \sum_{i=1}^n A(C_{ki}) \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n S_i}}$$

式中： $Q_{ak}$ —总量控制区某种污染物年允许排放总量限值（万 t）； $n$ —功能区总数； $i$ —总量控制区内各功能分区的编号； $a$ —总量下标； $k$ —某种污染物编号； $S_i$ —第  $i$  功能区面积（ $\text{km}^2$ ）； $C_{ki}$ —大气环境标准所规定的与第  $i$  功能区类别相应的年日平均浓度限值（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）； $A$ —地理区域性总量控制系数（ $10^4 \text{tkm}^2/\text{a}$ ）。

当计算区域新增允许排放量时，引入背景浓度参数  $C_0$ ，计算公式如下：

$$Q_{akn} = \sum_{i=1}^n A(C_{ki} - C_0) \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n S_i}}$$

式中， $Q_{akn}$ —总量控制区某种污染物年允许新增排放总量限值（万 t）； $C_0$ —区域大气环境质量年日平均背景浓度（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）；其他参数同上。

A 值法自 1991 年在《制定大气污染物无排放标准的技术方法》（GB/T3840-91）中进行了明确规定以后，广泛应用于全国各城市大气环境承载力的核算。此后，很多学者对 A-P 值法的相关参数取值进行了研究实践，如，张虹<sup>[9]</sup>、欧阳晓光<sup>[10]</sup>、张军<sup>[11]</sup>引入了干沉降、湿沉降和化学转化三个过程，建立了环境容量数值计算模型，估算了研究区域二氧化硫和总悬浮物的环境容量。王勤耕等<sup>[12]</sup>在 A-P 值法的基础上，考虑了控制区内外高架点源对控制区污染物总量的实际贡献，引入“影响风向”和“影响份额”的概念，对 A-P 值法进行了改进。马晓力和王文勇<sup>[13]</sup>以箱式模型为基础，引入  $k_1$ 、 $k_2$  两个浓度修正系数，建立了适合于川西古镇区域的  $\text{SO}_2$  和 TSP 环境容量计算的修正模型。李文慧等<sup>[14]</sup>在进行西安市大气环境承载力研究时，也进行了浓度修正，西安市外围区取国家《空气质量标准》（GB3095-2012）中一级标准的 50%，主城区本底浓度取一类控制区标准值的 70%。王俊喜和王誉晓<sup>[15]</sup>引入了季节系数  $a_i$  对地理区域控制性系数进行修正，并计算了天府新区的大气环境承载力。A-P 值法计

算大气环境承载力中的参数选取如表 5.5-1 所示。

表5.5-1 A 值法主要参数

参数	主要指标	参数取值及计算	参数说明	应用尺度	参考文献
A 值	主要由当地年平均通风量决定	(1) A 值根据不同区域查表获得; (2) $A_{ki} = 3.1536 \times 10^{-3} \sqrt{\pi} V_E / 2$	$V_E$ : 平均通风量, $V_E = \bar{u} \cdot H_F$ $\bar{u}$ 为平均风速, $H_F$ 为混合层高度	城市及城市群	[15]
	主要由当地年平均通风量决定	$A = 3.1536 \times 10^{-3} \sqrt{\pi} V_E / 2$ , 将混合层厚度计算相关参数确定后, A 值计算方法如下: $A = \frac{0.027948 u_{10}}{\sum_{i=1}^{N_1} \delta_i (20 \Omega \sin \varphi / a_{si} u_{10})^{P_i+1} + \sum_{i=1}^{N_2} \delta_i (200 \Omega \sin \varphi / u_{10} b_{si}^2)^{\frac{P_i+1}{2}}}$	$a_{si}$ 、 $b_{si}$ 为不同气象条件下的混合层系数, $N_1$ 、 $N_2$ 分别对应全年中大气稳定度为 A~D 的天数和 E、F 的天数, $d$ ; $u_{10}$ 为地面 10 m 高处风速; $\delta_i$ 为不同气象条件出现的频率, %; $P_i$ 为不同气象条件下的风速幂指数; $\varphi$ 为地理纬度, deg; $\Omega$ 为地转角速度, 取 $7.29 \times 10^{-5}$ rad/s.	城市及城市群	[14][15]
	主要由 A 值的上下限值和达标保证率决定	$A = A_{min} + (A_{max} - A_{min})(I + P)$	$A_{min}$ 和 $A_{max}$ 分别为《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/3804—91)规定的不同地区总量控制系数的下限和上限; $P$ 为研究区域的达标保证率	城市及城市群	[14]
	主要由季节性系数和平均通风量决定	$A = a_i \times 10^{-3} \sqrt{\pi} V_E / 2$	$a_i$ 为季节系数, 由季节平均风速和对应混合层高度决定。	城市及城市群	[20]
	主要取决于大气边界层和地表面的特征要素	$A = 0.0031536 \times \frac{\sqrt{\pi} \times U \times H}{2} \left(1 + \frac{2 \times \sqrt{S} \times (v_d \times w_r \times R)}{\sqrt{\pi} \times U \times H}\right) 10^3$	$U$ 为平流+伪扩散速度, m/s; $H$ 为大气边界层厚度, m; $S$ 为区域面积, km <sup>2</sup> ; $v_d$ 为干沉降速度, m/s; $w_r$ 为清洗比, 无量纲 $1.9 \times 10^{-5}$ ; $R$ 为年降水量, mm/a。	城市及城市群	[8]

Co	区域背景浓度	背景浓度取《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的一级标准的50%和70%。		城市及城市群	[14][19]
----	--------	---	--	--------	----------

## 5.4.2 线性规划法

线性规划法通过建立“排放源-受体”之间的响应关系，以区域污染物排放量最大化为目标，通过调整各排放源的排放量，实现区域环境容量资源配置，最终计算出区域大气环境承载力。线性规划法可反映排放源和受体之间的响应关系，较好地考虑了污染物浓度分布及污染物在环境中迁移、转化过程中的各个参数，并以传递系数的形式体现在模型中，为区域环境容量优化配置提供了一种科学可行的思路。线性规划法可以将大气环境承载力与大气污染物总量控制结合起来，精度较高，对于管理支撑更有针对性，因此得到了广泛应用。

线性规划模型选取各污染源允许排放量为决策变量，目标函数为各污染源污染物最大允许排放量，约束条件为各控制点污染物浓度符合空气质量要求以及各污染源允许排放量非负且受最大排放量限制。假定研究区域内共有大气污染源  $m$  个，对应的排放量分别为  $q_1, q_2, \dots, q_m$ ，选定  $n$  个环境质量控制点，计算方法如下：

$$\text{目标函数为: } \max F(Q) = \sum_{i=1}^m D_i q_i \quad \sum_{i=1}^m q_i$$

$$\text{约束条件为: } \sum_{i=1}^m a_{ji} q_i \leq C_j \quad \sum_{i=1}^m a_{ji} q_i \leq C_{sj} - C_{aj}$$

$$0 \leq q_i \leq P_i$$

$$(i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

$$\text{即} \begin{cases} a_{11}q_1 + a_{12}q_2 + \dots + a_{1m}q_m \leq C_{s1} - C_{a1} \\ a_{21}q_1 + a_{22}q_2 + \dots + a_{2m}q_m \leq C_{s2} - C_{a2} \\ \vdots \\ a_{n1}q_1 + a_{n2}q_2 + \dots + a_{nm}q_m \leq C_{sn} - C_{an} \end{cases}$$

式中： $m$ —排放源个数； $n$ —环境质量控制点个数； $Q$ —所有污染源排放量的总和， $g/s$ ； $q_i$ —第  $i$  个排放源的优化允许排放量， $g/s$ ； $a_{ji}$ —第  $i$  个污染源排放单位污染物对第  $j$  个环境质量控制点的浓度贡献，即传递系数， $s/m^3$ ； $C_{sj}$ —第  $j$  个环境质量控制点的控制标准， $g/m^3$ ； $C_{aj}$ —第  $j$  个环境质量控制点的背景浓度， $g/m^3$ ； $P_i$ —第  $i$  个排放源的上限排放量， $g/s$ 。

Teller<sup>[17]</sup>于 1968 年首次和环境空气质量管理中引入线性规划模型。1994 年，Teng<sup>[18]</sup>开发了一套多属性规划方法以解决空气质量改善策略的优选问题。国内学者在利用线性规划法解决大气环境承载力问题方面的研究起步较晚。1991 年，原国家环境保护局与中国环境科学研究院共同编制完成了《城市大气污染总量控制方法手册》<sup>[19]</sup>，手册将线性规划法作为了总量控制规划优化方法，通过线性规划法制定切实可行又经济有效的大气环境规划。1995 年，王建平等<sup>[20]</sup>采用线性规划法计算了昌吉市大气环境承载力，为控制区域大气污染物排放总量提供了依据，控制点环境目标设置为所属环境功能区的国家标准浓度限值，传递系数采用高斯扩散模式计算得到。1996 年，王民良<sup>[8]</sup>在研究污染源源强优化时增加了技术经济的限制，规定污染源源强增加幅度不超过 1 倍，同时分析了不同浓度控制（控制点环境目标）下的允许排放量，控制浓度的设置包括环境功能区的国家标准浓度及现状浓度。同年，张淑娟<sup>[21]</sup>在其研究中推荐了控制点的选取原则，以城市多源模型计算的年日均浓度最大值点为控

制点，其余在各功能区均匀布置，此外，为了避免单源过于集中而造成区域浓度过高，提出源强削减模型，对单源采用 P 值控制，同时保证在规划实施中确定的污染源削减量尽可能小。2002 年，李凤娟<sup>[22]</sup>对线性规划法最大排放量模型进行了进一步改进，增加面源、线源分担率的约束，避免对面源、线源削减过度。2005 年，王金南等人<sup>[16]</sup>分析了线性规划方法在环境容量资源分配中的各类应用，提出了相关目标函数模型、约束条件模型以及模型建立的基本步骤，对 4 种环境容量分配规划排污上限（污染源排污调整上限）的确定方法进行了比较，分析了各种方法的优缺点。

在进行较大尺度区域大气环境承载力计算时，二次污染问题不可忽略，而线性规划法受线性响应关系的制约，在处理非线性过程显著的二次污染问题上存在短板，2011 年，钱跃东等人<sup>[23]</sup>在研究大尺度区域大气环境承载力时，引入空气质量模型考虑二次污染过程对前体物环境容量的制约，用空气质量模型计算的允许排放量作为线性规划法的约束条件，在一定程度上解决了线性规划法处理二次污染的难题。

在上述研究的基础上，本标准推荐控制点选取大气环境功能区的最大年均浓度值点，并在各大气环境功能区均匀分布，以保证整个研究区域达标。其次，根据数学公式求解要求，控制点数量不能多于污染源数量<sup>[18]</sup>。线性规划法的核心为传递系数，传递系数为污染源单位污染物对环境质量控制点的浓度贡献，可反映污染源排放量与控制点之间的响应关系，为了使计算更准确，在计算传递系数时应考虑风向、风速、扩散条件等气象参数、地形、污染物迁移转化、沉降、清洗等因素，在进行传递系数计算时，可结合 ADMS 等环境空气质量模型模拟计算<sup>[24]</sup>。另外，若不对各个污染源的排放量加以限制，则容易出现少数污染源排放量特别大，大部分污染源排放量要全部削减的情况，可按中国环境规划院推荐将排放量上限取排放标准计算的允排量与 A 值法计算的允排量中较小者<sup>[25]</sup>。线性规划法计算大气环境承载力中的参数选取如表 5.5-2 所示。

表 5.5-2 线性规划法主要参数

参数	内涵	确定方法	应用尺度	参考文献
控制点	用来检验环境质量，通过控制点的控制浓度反应区域环境目标	对环境功能区大气环境质量具有代表性的点。	开发区或城市	王建平 <sup>[20]</sup>
		以城市多源模型计算的年日均浓度最大值为控制点，其余在各功能区均匀布置。	开发区或城市	张淑娟 <sup>[21]</sup>
传递系数 $a_{ij}$	第 i 个污染源排放单位污染物对第 j 个环境质量控制点的浓度贡献	高斯扩散模式：适用于小尺度单个排气筒的计算。	开发区或城市	王建平 <sup>[20]</sup>
		拉格朗日模式：适用于污染源个数少，且地形复杂的空气质量模拟。	开发区或城市	王宝民 <sup>[26]</sup>
		欧拉模式：适宜处理多源多污染物。	开发区或城市	王宝民 <sup>[26]</sup>
环境质量控制点的控制标准 $C_{sj}$	控制点的环境质量浓度限值	控制标准为所在功能区的国家标准限值的空气质量模拟。	开发区或城市	王建平 <sup>[20]</sup>
		设置不同控制浓度，包括环境功能区的国家标准浓度及现状浓度。	开发区或城市	王民良 <sup>[8]</sup>
源强削减率	污染源源强增减幅度	限制任一污染源源强的增加幅度不超过 1 倍。	开发区或	王民良 <sup>[8]</sup>

			城市	
		结合 A-P 法,对单一排放源采用 P 值控制。 $q_i \leq P_i \cdot C_i \cdot He_i^2 \cdot 10^{-6}$ $Q_i$ :第 i 个污染源的排放量; $P_i$ : 第 i 个污染源所在功能区的环境目标值; $C_i$ : 为第 i 个污染源所在功能区的环境目标值; $He_i$ : 第 i 个污染源的烟囱有效高度。	开发区或城市	张淑娟 <sup>[21]</sup>
		污染源源强限制为排放标准计算的允排量与 A 值法计算的允排量中较小者。	开发区或城市	中国环境规划院 <sup>[25]</sup>
		对污染源源强增加面源、线源的分担率 $r_j$ 约束。 $\sum_{i=1}^m a_{ji} q_i \leq C_{sj} (1 - r_j)$	开发区或城市	李凤娟 <sup>[22]</sup>
		增加基于模拟法容量的排污量约束,主要为二次污染物对前体物环境容量的制约。 $q_i \leq M_i$ $M_i$ 为各源的模拟法容量,目前较严重的二次污染因子主要包括酸沉降、二次气溶胶粒子、臭氧等,其前体物包括二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、挥发性有机化合物等。	城市群	钱跃东 <sup>[23]</sup>

### 5.4.3 模拟法

模拟法是利用环境空气质量数值模型模拟开发活动所排放的污染物引起的环境质量变化是否导致环境空气质量超标。可按等比例或按对环境质量的贡献率对相关污染源的排放量进行增减和优化,以最终满足环境管理的要求。当满足这个充分必要条件所对应的所有污染源排放量之和便可视为区域的大气承载力。

国内外研究建立了多种空气质量模拟模型,以求通过较为精细的空气质量模式建立研究区域内排放源与环境空气质量之间的响应关系,并通过环境空气质量约束倒逼源排放强度,以此测算研究区域的大气环境承载力。

自 1970 年到现在,美国 EPA 或其他机构共资助开发了三代空气质量模型:七十年代到八十年代,EPA 推出了第一代空气质量模型,这些模型又分为箱式模型、高斯扩散模型和拉格朗日轨迹模型,其中高斯扩散模型主要有 ISC、AERMOD、ADMS 等,拉格朗日模型如 OZIP/EKMA、CALPUFF 等;八十年代到九十年代的第二代空气质量模型主要包括 UAM、ROM、RADM 在内的欧拉网格模型;九十年代以后出现的第三代空气质量模型是以 CMAQ、CAMx、WRF-CHEM、NAQPMS 为代表的综合空气质量模型,即“一个大气”的模拟系统。近些年来,空气质量模型本地化技术日趋成熟,已被广泛应用于环境影响评价、重大科学研究及环境管理与决策领域。当前国内广泛应用的空气质量模型有 AERMOD、ADMS、CALPUFF、CMAQ、CAMx、WRF-CHEM、NAQPMS 等,各模型的机理不同决定了它们各自的适用领域,空气质量模式介绍见表 5.5-3。

表 5.5-3 空气质量模式分类

扩散模式	模型机理	特点	限制
高斯烟羽模式	分布函数	以 ISC、AERMOD、ADMS 为代表，可模拟 SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、PM <sub>10</sub> 等。计算简单，可逐时、逐日进行长期浓度模拟，适用范围小于 50km	属于稳态烟羽模型，不能考虑流场的空间变化
拉格朗日模型	烟团模型	以 CALPUFF 为代表，用于模拟 SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、PM <sub>10</sub> 、O <sub>3</sub> 、一次 PM <sub>2.5</sub> 、二次 PM <sub>2.5</sub> 等，适用于从 50km 到几百千米的模拟范围	与高斯烟羽模式相比，计算工作量较大；与网格模型相比，化学机制相对简单
欧拉模型	光化学网格模型	以 CMAQ、CAMx、WRF-CHEM 为代表，可同时模拟区域和城市尺度各种大气污染过程，可在重点地区进行网格嵌套	模型机理复杂，数据需求严格，计算工作量大

AERMOD 的基本原理为稳态高斯烟团模式，在稳定边界层中（SBL）中，模型假定在垂直和水平方向的浓度分布都是高斯分布。在对流边界层（CBL）中，水平分布也假定是高斯分布，但是垂直分布用双高斯概率密度函数（pdf）来描述。该模型在同一时刻模拟范围内风场是一致的，因此适合小尺度模拟范围应用。杨志森等<sup>[27]</sup>利用 AERMOD 模型计算了某石化园区的大气环境承载力。

CALPUFF 基本原理为拉格朗日烟团模式，可模拟三维流场中随时间和空间发生变化的污染物输送、转化和清除过程。CALPUFF 模拟的尺度可以从几十米到几百千米，包含了化学转化、干湿沉降等污染物去除过程，在 CALPUFF 模型中，单个烟团在某个接受点的基本浓度公式为：

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot g \cdot \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

$$g = \frac{2}{\sigma_z\sqrt{2\pi}} \cdot \sum_n \exp\left[-\frac{(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

式中：C—地面污染物质量浓度，g/m<sup>3</sup>；Q—烟团中污染物的质量，g；σ<sub>x</sub>、σ<sub>y</sub>、σ<sub>z</sub>—X、Y、Z 方向上污染物高斯分布的标准差，m；g—高斯方程垂直项，m<sup>-1</sup>；d<sub>a</sub>—顺风距离，m；d<sub>c</sub>为垂直风向距离，m；H<sub>e</sub>—污染源有效高度，m；h—混合层高度，m。

光化学网格模型的第三代空气质量模型，包括 CMAQ、CAMx、NAQPMS 等，光化学网格模型将各种复杂大气物理、化学过程的模式系统化，以应用于环境影响评价及决策分析中。在模拟过程中能将天气系统中、小尺度气象过程对污染物的输送、扩散、转化和迁移过程的影响融为一体考虑，同时兼顾了区域与城市尺度之间大气污染物的相互影响以及污染物在大气中的气相各种化学过程，包括液相化学过程、非均相化学过程、气溶胶过程和干湿沉积过程对浓度分布的影响。

一般来说，空气质量数值模型的输入数据主要包括五类：

(1) 地理信息数据：主要包括位置信息、地形数据和土地利用数据，模拟范围至少包

含评价范围和受影响的环境保护目标。范围一旦确定，地形数据和土地利用数据一般不考虑改变。

(2) 气象数据：气象数据要求依据选择模型而定，光化学网格模型所需的气象数据还应采用 WRF 等气象模型模拟评价区域的气象场。但是气象数据的年份应与现状值基准年份保持一致。

(3) 污染源数据：大气污染源数据是进行大气环境承载力测算的基础，要根据评价区域的相关规划，在充分利用现有数据的基础上，确定更为具体，适用于模型的污染源清单。如果使用光化学网格模型，则还需要调查评价区域的污染源清单，并且经过验证后方可使用。

(4) 控制点数据：控制点的选择直接影响到模拟法计算大气承载力的计算结果，环境管理要求反映在控制点的控制浓度上，控制点的选取应对控制区内的大气环境质量具有代表性。控制点至少包括评价区域内的所有例行环境空气质量监测点常规监测点，当评价区域范围较小例行环境空气质量监测点小于 5 个时，还要考虑选取网格点作为控制点，以保证控制点数量能够满足大气承载力计算要求。设置计算范围时，要保证计算范围大于等于研究区域，同时 calpuff、光化学网格模型等烟团模型计算会受到烟团回流等边界条件的影响，需要保留足够的缓冲区。不同空间尺度下，模型设置的计算网格大小相差较大，小的计算范围可能为几百米，大的空间尺度可能为几千米，为了保留足够的网格数量以考虑边界条件影响，模型计算范围按空间尺度从小到大，在研究区域的基础上外扩 2-30km，地形起伏变化较大时，边界条件影响还会增大，因此在地形起伏较大的研究区域，计算范围还可根据地形起伏情况外扩。

(5) 现状监测数据：用来作为控制点的现状浓度值。

评价区域的常规监测点采用评价区域内所包含的所属行政区的环境质量公告或环境质量报告中的数据作为现状浓度值。

采用环境空气质量模型计算污染源数据对于控制点的环境影响，叠加现状、规划目标年的规划污染源和削减源后，判断控制点叠加后最大浓度  $C_{max}$  是否等于环境管理要求限值  $C_s$ 。

如果  $C_{max}=C_s$ ，此时排放总量即大气环境承载力。

如果  $C_{max}\neq C_s$ ，则需要评价所在区域发展规划和环境改善计划等管控要求，优化规划污染物和削减污染物的排放量，重新进行模拟预测计算，直至  $C_{max}=C_s$ 。

确定大气环境承载力  $Q_{承载力}$ ：

$$Q_{承载力} = \sum Q_{目标年} + \sum Q_{基准年} = \sum Q_{目标年规划新增} - \sum Q_{目标年削减} + \sum Q_{基准年}$$

式中： $Q_{目标年}$ —目标年每个污染源的排放量； $Q_{现状年}$ —现状每个污染源的排放量； $Q_{目标年规划新增}$ —根据区域发展规划确定的污染源排放量； $Q_{目标年削减}$ —区域环境改善计划每个污染源的削减量。

综上所述,本研究中模拟法是通过空气质量数值模型进行迭代计算来确定评价区域目标年环境承载力的方法。该方法以空气质量达到环境管理要求为目标,根据目标年的污染源变化进行数值模型迭代计算得到控制点浓度,当控制点浓度等于环境管理要求最大值时,所有污染源的排放总量即为该污染物的环境承载力。

模拟法计算大气环境承载力的技术路线见图 5.5-1。参考环境保护部环境规划院发明专利《基于重污染天气预警的大气污染物排放总量控制方法》。

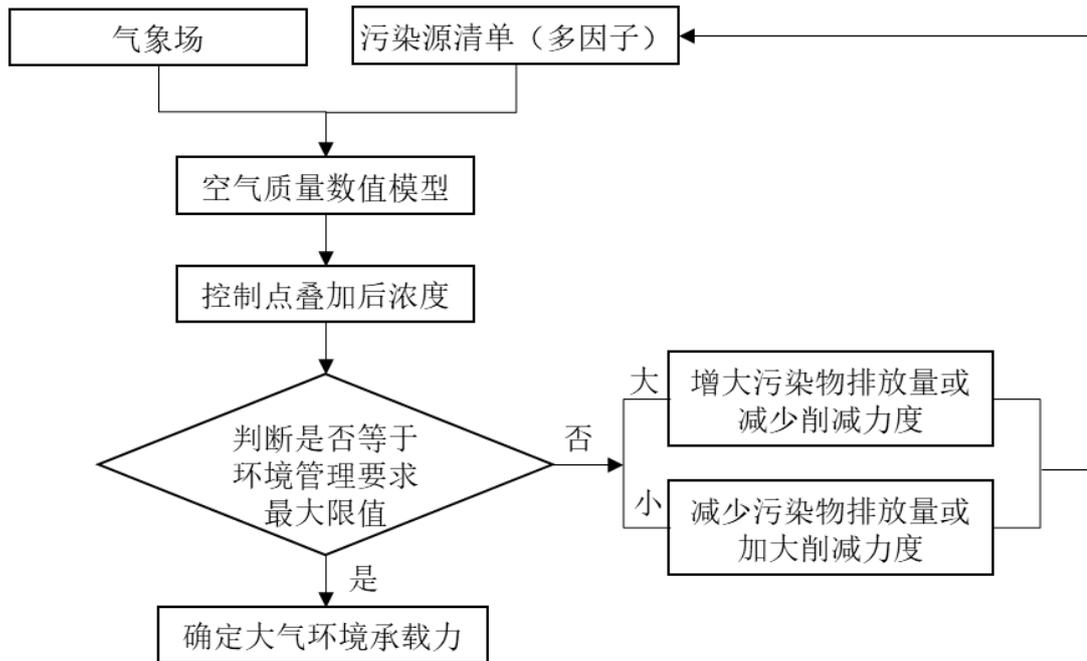


图 5.5-1 大气环境承载力计算技术路线图

## 6 结果分析与对策提出

本标准用大气环境承载力指数(AECCI)来衡量大气环境承载力的高低,计算方法为:

$$I_a = E/Q$$

式中:

$I_a$ —大气环境承载力指数(AECCI);

$E$ —某污染物实际排放量, t;

$Q$ —某污染物大气环境承载力, t。

当  $I_a > 1$  时,表示大气环境承载力为过饱和状态;

当  $I_a = 1$  时,表示大气环境承载力为临界状态;

当  $I_a < 1$  时,表示大气环境承载力为不饱和状态。

## 7 主要试验、验证及试行结果

### (1) 小尺度大气环境承载力计算

以平顶山市某产业园区为例计算大气环境承载力,该园区位于河南省平顶山市叶县东北方向 6km 处的龚店乡。规划面积为 11.46km<sup>2</sup>, 园区涉及 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 规划污染源共 8 个, 其中点源 6 个, 面源 2 个, 产业园区平面布置图见图 7-1。

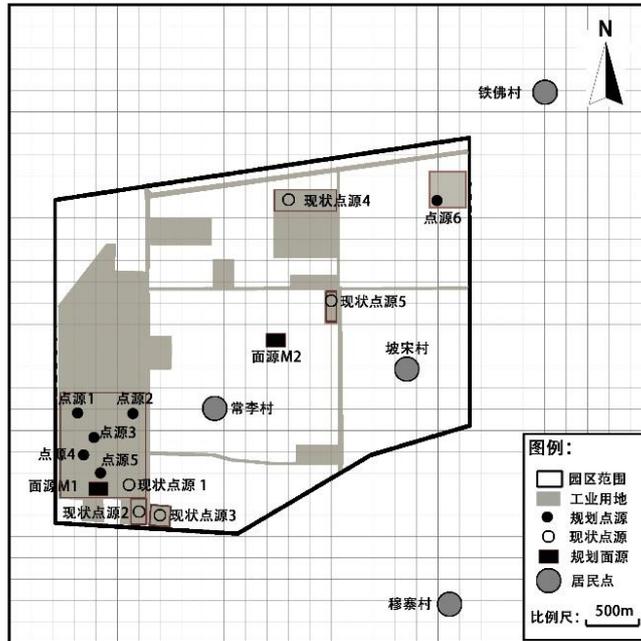


图 7-1 产业园区污染源分布 (网格为 200 m×200 m)

采用 A 值法、线性法规划法、模拟法分别计算产业园区大气环境承载力。其中 A 值法选用查表法获取 A 值; 线性法规划法传递系数  $a_{ji}$  采用 aremod 模拟得出, 控制标准  $C_{Sj}$  可选取 GB3095 中大气环境功能区限值, 各排放源的上限排放取 GB3095 中排放标准限值与 P 值法计算的允排量中较小者; 模拟法选用 aremod 模型进行模拟计算。计算结果如表 7-1 所示。

表 7-1 三种方法计算平顶山市某产业园区的大气环境承载力 (单位: t/a)

方法	SO <sub>2</sub> 环境容量	NO <sub>2</sub> 环境容量
A 值法	29400	19600
线性法规划法	8895	6782
模拟法	7039	7536

由以上计算结果可见, 三种方法计算的大气环境承载力 A 值法>线性法规划法>模拟法, 计算方法越精确得到的大气环境承载力越小。其中, 线性法规划法、模拟法计算的大气环境承载力较为相似, A 值法计算的大气环境承载力过大, 因此, 对于小尺度大气环境承载力计算建议采用线性法规划法及模拟法。

(2) 中尺度大气环境承载力计算

以鄂尔多斯市为例计算大气环境承载力，鄂尔多斯市位于内蒙古西南部，北纬 37°35'24"~40°51'40"、东经 106°42'40"~111°27'20"之间，总面积 86752 平方公里，共设置 9 个旗（区）。鄂尔多斯市根据不同旗（区）的区位特征、工业基础及资源环境优势，设立了 17 个工业园区，工业园区分布见图 7-2。

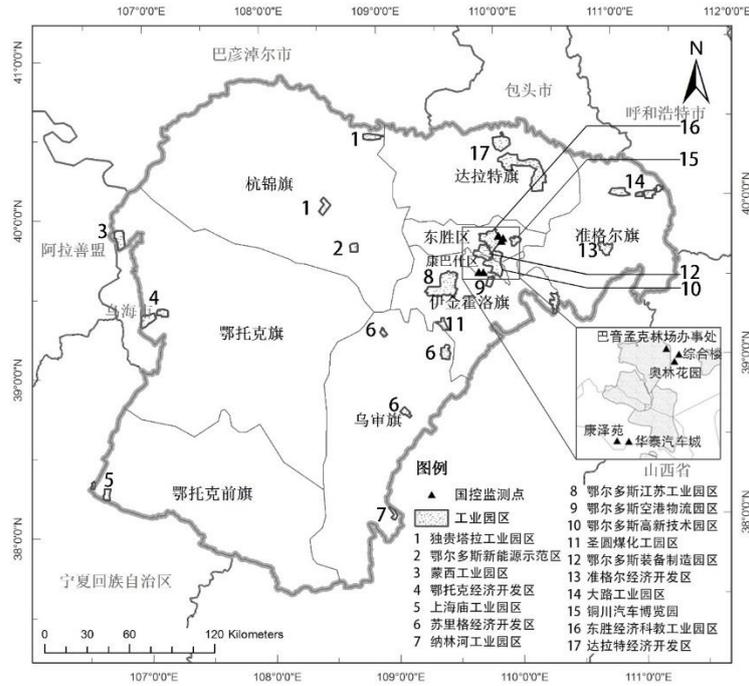


图 7-2 鄂尔多斯市工业园区位置

采用模拟法与 A 值法计算鄂尔多斯市大气环境承载力，其中 CAMx 模型以研究区域内每个计算网格的空气质量都达到 GB 3095 二级标准年均值为前提，计算结果见表 7-2。

表 7-2 鄂尔多斯市大气环境承载力计算

旗区	模拟法		A 值法	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
达拉特旗	28794.4	66411.0	39658.8	28230.0
东胜区	25723.9	24498.2	8484.5	6039.5
康巴什新区	2161.1	2058.1	1790.9	1274.8
伊金霍洛旗	43655.9	53943.4	28223.1	20089.8
杭锦旗	8388.9	6989.2	90321.7	64293.1
准格尔旗	61153.2	64479.6	36278.5	25823.9
鄂托克前旗	80344.2	11023.6	58748.8	41818.7
鄂托克旗	48664.0	46704.2	97882.9	69675.3
乌审旗	33478.4	21847.3	56011.7	39870.5
总量	332364.3	297955.2	417400.9	297115.6

由以上计算结果可见，模拟法计算的鄂尔多斯市 SO<sub>2</sub> 大气环境承载力为 33 万吨，NO<sub>x</sub> 为 29 万吨。利用 A 值法计算的鄂尔多斯市 SO<sub>2</sub> 大气环境承载力约为 41 万吨，NO<sub>x</sub> 为 29 万

吨。两种方法所计算的大气环境承载力较为接近，其中，NO<sub>x</sub>环境容量基本相同，A值法所计算的SO<sub>2</sub>环境容量增加了25.6%。可见，模拟法和A值法适用于中尺度大气环境承载力计算。

### (3) 大尺度大气环境承载力计算

国家层面，薛文博等<sup>[28]</sup>在全国333个地级市PM<sub>2.5</sub>达标的约束条件下，采用WRF-CAMx的多源化学过程模拟、优化削减得到全国SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NH<sub>3</sub>等污染物的大气环境承载力分别为1363.26万吨、1258.48万吨、619.04万吨和627.71万吨。徐大海等<sup>[29]</sup>采用A值法，计算了中国大陆及各省份5年、10年、20年、30年和100年气候重现期和气候平均条件下的大气环境承载力，其中，气候平均条件下，中国大陆SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NH<sub>3</sub>的大气环境承载力分别为1302万吨、868万吨、1085万吨、1519万吨、759万吨和521万吨，薛文博等<sup>[28]</sup>所计算的333个地级市大气环境承载力与徐大海等人的计算结果相比，全国SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NH<sub>3</sub>分别增加4.71%、15.99%、20.48%，PM<sub>2.5</sub>减少18.44%。计算结果差异不大，可见模拟法和A值法适用于大尺度大气环境承载力计算。

城市群层面，郝吉明等<sup>[30]</sup>以京津冀和西北五省（自治区）为研究对象，利用GEOS-Chem全球大气化学传输模式模拟计算大气污染源排放所带来的环境中期中污染物的浓度，以京津冀和西北五省（自治区）的网格平均地面PM<sub>2.5</sub>年均浓度达到环境空气质量标准（GB3095-2012）为约束条件，计算出京津冀和西北五省（自治区）SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs和NH<sub>3</sub>五种污染物的大气环境承载力分别为60.9万吨、74.5万吨、29.5万吨、132.2万吨和626万吨。刘新等<sup>[31]</sup>采用箱式模型，计算了呼包鄂地区1961-2016年PM<sub>2.5</sub>年平均的大气环境承载力为62.4t/d/km<sup>2</sup>。王大本等<sup>[32]</sup>从污染物、技术管理、使用消费3个方面构建了大气环境承载力评价指标体系，对北京市、天津市、河北省3个地区2006—2015年的大气环境承载力水平进行了综合评价，并分析了主要影响因素。可见，模拟法、A值法、指标体系法在城市群尺度计算大气环境承载力方面也得到了广泛应用。

## 8 与相关标准的关系分析

1992年6月1日，由原国家环保局发布实施了《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》（GB/T13201-91），将A值法作为计算总量控制区内污染物排放总量限值的推荐方法。1995年的《大气污染防治法》（修订版）和2000年的《大气污染防治法》逐步确定了总量控制在我国的法律效力。2003年，我国发布的“城市大气环境容量核定工作方案”实施了对北

京、天津、上海、重庆等市在内的全国 113 个重点城市大气环境容量核定计划。为我国大气环境总量控制工作提供了实践数据。

当前国内外虽然对大气环境承载力方法进行了大量的研究，但研究内容多为针对某一方法的研究和试验。针对不同方法的适用程度、适用范围、阈值选取尚未形成实用性、指导性技术规范，因此，大气环境承载力评估结果的规范性、可比性差异较大。本标准系统梳理和研究现有大气环境承载力评价方法，针对其适用条件和限制因素，给出不同空间尺度大气环境承载力评价推荐技术方法和阈值参数。集成现有大气环境承载力评价研究成果，结合案例研究和试验，突出评价方法的灵活性、实用性和先进性。

## 9 标准推广应用措施及预期效果

### (1) 推广措施

结合标准发布及实施情况组织 3-5 场标准宣贯培训，由标准编制组和邀请的专家对于导则条款和具体应用进行技术培训，同时积极配合相关咨询机构开展典型区域大气承载力核算案例试点，根据标准试点应用及用户的反馈情况编写并发布技术规范条款解释及相关案例说明。

### (2) 预期效果

#### ①指导国土空间规划等规划的落实

本标准给出不同空间尺度大气环境承载力评价的技术方法，其发布对国土空间规划、规划环境影响评价、生态环境保护规划、生态文明建设规划等环境保护政策的落地实施具有非常重要的意义。

#### ②完善大气环境管理体系

本标准系统梳理和研究现有大气环境承载力评价方法，针对其适用条件和限制因素，给出不同空间尺度大气环境承载力评价推荐技术方法和阈值参数，为国家及地方环保部门制订污染物削减方案及空气质量政策的科学依据，有助于完善大气环境管理体系。

## 10 参考文献

[1]刘鸿亮, 缪天成, 杨本金, 等. 环境容量、背景值赴日考察团考察报告 [J]. 环境科学动态, 1983(S2):1-8.

[2]李蒙. 日本是如何治理大气污染的[J]. 法人, 2014.

[3]GB/T 3840-91, 制定地方大气污染物排放标准的技术方法[S]

- [4]李海晶. 大气环境容量估算及总量控制方法的研究进展, 四川环境, 2007, 26(1): 67-71.
- [5]刘娜,谢绍东. 城市点源大气污染物总量分配方法及其进展[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(6): 824-828.
- [6]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.
- [7]王凯丽,袁彩凤,张晓果,等. 我国大气环境承载力研究进展[J]. 环境与可持续发展, 2018,43(6): 35-39.
- [8]王民良, 曹健, 乔美芳. 上海市大气环境承载力研究[J]. 上海环境科学, 1996, 15(4): 16-20.
- [9]张虹. 区域大气环境总量控制模型研究及应用[J]. 中国科技信息, 2005, (6): 116-121.
- [10]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.
- [11]张军. 基于修正 A 值法的西安市大气环境容量估算[J]. 干旱资源与环境, 2011, 25(1): 127-129.
- [12]王勤耕,吴跃明,李宗恺. 一种改进的 A-P 值控制法[J]. 环境科学学报, 1997, 3(1):65-69.
- [13]马晓力,王文勇. 川西古镇大气环境容量计算模型[J]. 四川环境, 2006, 25(1):88-90.
- [14] 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, 20(4): 71-75.
- [15]王俊喜, 王誉晓. 基于修正 A 值法天府新区季节大气环境容量初步研究[J].成都信息工程大学学报, 2019, 34(6): 676-680.
- [16]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.
- [17]Teller, A. The use of linear programming to estimate the cost of some alternatives air pollution abatement policies. Number 20 in IBM, 1968:345-353.
- [18]Teng, J., Tzeng, G. Multi-criteria evaluation for strategies of improving and controlling air quality in the super city : A case study of Taipei City. Journal of Environmental Management, 1994, 40: 213-229.

- [19]原国家环境保护局与中国环境科学研究院. 城市大气污染总量控制方法手册[M]. 中国环境科学出版社, 1991.
- [20]王建平,张永福. 线性规划在昌吉市大气总量控制中的应用[J]. 新疆环境保护, 1995, 17(2): 20-23.
- [21]张淑娟, 李雁, 余冠明. 线性规划方法在城市大气污染物排放总量控制中的应用[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(4): 29-32.
- [22]李凤娟. 线性规划在大气污染物总量控制中的应用研究[J]. 内蒙古环境保护, 14(3): 15-16.
- [23]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.
- [24]肖扬,毛显强,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, 21(3): 13-16.
- [25]中国环境规划院. 城市大气环境容量测算技术指南（试用）[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [26]王宝民,刘辉志,等. 基于单纯形优化方法的大气污染物总量控制模型[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 520-526.
- [27]杨志森,赵东风,等. AERMOD 模型在石化园区大气规划环评中的应用[J]. 环境科学与技术, 2016(S1)
- [28]薛文博,付飞,王金南,等. 基于全国城市 PM2.5 达标约束的大气环境容量模拟[J].中国环境科学,2014,34(10):2490-2496.
- [29]徐大海,王郁,朱蓉. 中国大陆地区大气环境容量及城市大气环境荷载[J]. 中国科学,2018,48(7):924-937.
- [30]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.
- [31]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.
- [32]王大本,刘兵. 区域大气环境承载力评价—以京津冀地区为例[J]. 环境工程,2018,36(10):86-92.