

环境影响评价中空气质量模型综述及其效果评估

张兴超

云南润环环保科技有限公司 云南 昆明 650034

摘要：环境影响评价（EIA）中，空气质量模型是污染物浓度预测、大气环境影响评估的核心工具。本文综述不同尺度常用空气质量模型，分析AERMOD、CALPUFF等局地尺度模型及CMAQ、WRF-CHEM等区域尺度模型的原理、优缺点与适用场景，构建“定量+定性”的效果评估体系，结合实例验证评估指标的可行性，提出数据、参数优化及应用规范建议，为EIA中空气质量模型的科学选用、精准应用提供支撑，助力大气污染防治与生态环境保护。

关键词：环境影响评价；空气质量；模型综述；效果评估

引言：随着大气污染防治要求提升，EIA中大气环境影响评价的精准性需求日益迫切，空气质量模型凭借其对污染物传输扩散的模拟能力，成为衔接污染源与环境影响的关键技术。依据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2—2018），模型应用需适配评价等级与场景，但目前存在模型选择不规范、模拟精度不足等问题。因此，系统综述常用模型、构建科学评估体系，对规范模型应用、提升EIA科学性、推动生态环境高质量发展具有重要意义。

1 环境影响评价与空气质量模型基础理论

1.1 环境影响评价中大气环境评价核心要求

（1）EIA大气评价工作程序：准备阶段核心任务是明确评价对象、收集相关资料，确定评价范围和等级，制定详细评价方案；调查与预测阶段重点开展污染源、气象、地形等基础调查，筛选评价因子，运用空气质量模型预测污染物浓度分布；结论与报告阶段汇总分析所有数据，明确大气环境影响程度，提出合理的污染防治措施，完成评价报告编制与报送。（2）EIA大气评价关键内容：污染源调查需全面排查点、线、面污染源，明确污染物排放强度、排放方式等；评价因子筛选优先选择与项目相关、对环境影响较大的污染物；评价等级与范围根据污染源强、气象条件等确定，确保覆盖污染物影响范围；污染物浓度预测需满足精准性要求，为评价结论提供科学依据^[1]。（3）EIA大气评价相关标准：《环境空气质量标准》（GB3095-2012）明确了各类环境空气功能区的污染物浓度限值，是评价大气环境质量的核心理论依据；《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2—2018）规范了大气评价的工作流程、技术方法和报告编制要求，指导评价工作有序开展。

1.2 空气质量模型核心原理与分类

（1）核心原理：以气象学理论为基础，结合数学方

程构建模型，精准模拟污染物在大气中的传输、扩散、转化、沉降等物理化学过程，通过量化污染物浓度变化，反映不同污染源对大气环境的影响程度，为污染防治提供数据支撑。（2）分类依据：按模拟尺度可分为局地尺度（针对小范围污染源）、城市尺度（覆盖整个城市区域）、区域尺度（跨城市或更大范围）；按模拟方法可分为高斯模式、拉格朗日模式、欧拉模式，各自适用于不同场景；按污染物类型可分为单污染物模型（针对单一污染物模拟）和多污染物模型（兼顾多种污染物相互作用）。

1.3 空气质量模型在EIA中的应用前提与流程

（1）应用前提：需提前准备完整的基础数据，包括气象数据、地形数据和污染源数据，确保数据真实准确；同时完成模型参数的校准与验证，通过对比模拟结果与实测数据，调整参数，保证模型模拟的可靠性。（2）应用流程：首先根据评价对象和范围选择合适的空气质量模型；其次结合项目实际和基础数据设置模型参数；然后输入相关数据，运行模型进行模拟计算；最后分析模拟结果，判断污染物排放对大气环境的影响，为EIA结论和污染防治措施制定提供支撑。

2 环境影响评价中常用空气质量模型综述

2.1 局地尺度常用空气质量模型

（1）AERMOD模型：作为稳态高斯烟羽扩散模式，核心模块包括气象预处理模块、扩散计算模块和浓度输出模块，可精准处理点源、面源、线源等多种污染源。其适用范围限定在50km以内的局地尺度，优点是计算简便、参数设置简洁、适配多数工业项目EIA需求，缺点是对复杂地形和非稳态气象条件模拟精度不足。在EIA中主要应用于中小型工业企业的污染物扩散预测，如化工、建材等行业的点源排放影响评价。（2）CALPUFF模型：属于非定常三维拉格朗日烟团模式，核心功能是

模拟污染物在非稳态气象条件下的传输扩散,可处理复杂地形、海陆风、山谷风等特殊气象场景。其适用尺度覆盖局地及城市尺度,最大优势的是在复杂地形(如山区、丘陵)和多污染源叠加场景中模拟精度高,能准确反映污染物时空分布差异,在山区工业项目、城市周边污染源EIA中应用广泛^[2]。(3)ADMS模型:即大气扩散模型系统,具有模块化设计、操作便捷的特点,可模拟多种污染物的传输、扩散及转化过程,适配不同排放源类型。其适用条件为平坦或轻微起伏地形、稳态或弱非稳态气象,对数据需求适中。目前在EIA中主要用于城市中小型污染源、工业园区面源的空气质量预测,应用成熟且效率较高。

2.2 区域及城市尺度常用空气质量模型

(1)CMAQ模型:作为第三代多尺度空气质量模型,采用模块化结构,包含气象模块、排放模块、化学传输模块等,可灵活调整模拟尺度。其核心化学机制能精准模拟多种污染物的光化学反应、转化过程,适用于区域尺度(跨城市、省级)的大气污染模拟,在EIA中主要用于区域联防联控、大型工业园区区域影响评价,可预测PM_{2.5}、臭氧等复合型污染物的分布及影响。(2)WRF-CHEM模型:是气象与化学耦合模型,核心优势是实现气象场与污染物化学过程的双向反馈,既能模拟气象条件对污染物扩散的影响,也能反映污染物对气象场的改变。其适用场景涵盖城市、区域尺度的空气质量模拟,尤其适合复杂气象条件下的污染预测,但在EIA应用中存在局限,即计算复杂度高、对硬件要求高,且参数校准难度大,不适用于中小型项目评价。

2.3 模型对比与选择原则

(1)不同尺度模型对比:局地尺度模型(AERMOD、CALPUFF、ADMS)适用范围 $\leq 50\text{km}$,模拟精度侧重局地污染源,数据需求少、计算复杂度低;区域及城市尺度模型(CMAQ、WRF-CHEM)适用范围 $\geq 50\text{km}$,模拟精度覆盖复合型污染,数据需求量大、计算复杂度高,其中WRF-CHEM模拟精度高于CMAQ,但操作难度更大^[3]。(2)EIA中模型选择原则:核心是结合评价等级,一级评价需选择精度高、功能全的模型(如CALPUFF、CMAQ),二、三级评价可选用操作简便的模型(如AERMOD、ADMS);同时结合评价范围、污染物类型,复杂地形优先选CALPUFF,区域复合型污染优先选CMAQ;兼顾数据可获得性,避免选用对数据要求过高、难以实现参数校准的模型。

2.4 空气质量模型发展趋势

(1)国产化模型发展:以NAQPMS模型为代表的国

产化空气质量模型逐步成熟,通过自主研发实现核心算法、化学机制的自主可控,摆脱对国外模型的依赖。该模型适配我国大气污染特征,在区域联防联控、重点区域EIA中应用日益广泛,未来将进一步优化精度,扩大适用场景。(2)智能化与精准化:随着技术发展,空气质量模型正逐步结合机器学习、数据同化技术,通过大数据分析优化模型参数,提升模拟精度和计算效率;同时朝着精细化模拟方向发展,可实现污染源精准溯源、污染浓度精准预测,为EIA提供更科学、精准的技术支撑,助力污染防治措施的精准制定。

3 环境影响评价中空气质量模型效果评估体系构建与实例分析

3.1 模型效果评估核心指标体系

(1)定量评估指标:核心为反映模拟值与观测值契合程度的统计参数,其中相关系数(R)用于衡量两者线性相关程度,取值范围为 $[-1,1]$,R越接近1,表明相关性越强;均方根误差(RMSE)反映模拟值与观测值的平均偏差,数值越小,模拟精度越高;标准化平均误差(NME)用于消除量纲影响,直观反映误差占比,绝对值越小,模型可靠性越强。此外,还可辅助采用平均绝对误差(MAE)、标准化均方根误差(NRMSE)等指标,全面量化模型模拟效果。(2)定性评估指标:重点关注模型应用的合理性,包括模型适用性(是否匹配评价范围、污染物类型及地形气象条件)、参数合理性(参数设置是否贴合项目区域特征、校准是否到位)、结果与实际污染状况的契合度(模拟的污染物浓度分布、峰值时段是否与现场观测一致,是否符合区域污染特征),弥补定量指标仅能反映数值偏差的局限性。

(3)评估标准:结合EIA大气评价等级要求,明确各定量指标的合格阈值,例如一级评价要求 $R \geq 0.8$ 、 $RMSE \leq 50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 NME 绝对值 $\leq 20\%$;二、三级评价可适当放宽标准。同时制定分级标准,分为优秀、合格、不合格三个等级,不合格模型需重新校准参数或更换模型,确保评价结果科学可靠^[4]。

3.2 评估方法与流程

(1)评估方法:观测值与模拟值对比法为核心方法,通过收集项目区域空气质量监测站的实测数据,与模型模拟结果逐时段对比,计算各类定量指标;多模型交叉验证法用于提升评估可靠性,选取两种及以上适配模型进行同步模拟,对比不同模型的结果差异,判断模型模拟的稳定性;敏感性分析法用于识别影响模型结果的关键参数,通过调整单一参数、固定其他参数,分析参数变化对模拟结果的影响程度,为参数优化提供依

据。(2)评估流程:遵循“数据支撑—结果提取—指标计算—综合评级—问题识别”的逻辑,第一步收集基础数据,包括观测数据、模型模拟数据、参数设置资料等;第二步提取模拟结果,筛选与观测数据对应的时段、点位的模拟浓度值;第三步计算定量评估指标,结合定性指标进行综合分析;第四步根据评估标准进行分级评级;最后识别模型应用中存在的问题,明确误差来源^[5]。

3.3 实例分析

(1)实例概况:选取某化工建设项目EIA案例,该项目为二级评价,评价范围5km(局地尺度),主要排放SO₂、NO₂等污染物,选用AERMOD模型进行污染物浓度预测。基础数据包括项目污染源监测数据、区域近3年气象数据(风速、风向、温度等)、项目周边地形数据及空气质量监测站实测数据。(2)模型应用与效果评估:基于构建的指标体系,定量评估显示,SO₂模拟值与观测值的R = 0.78、RMSE = 45μg/m³、NME绝对值 = 18%,NO₂的R = 0.81、RMSE = 42μg/m³、NME绝对值 = 16%,均满足二级评价合格标准;定性评估表明,AERMOD模型适配局地尺度及项目污染物类型,参数设置贴合区域气象地形条件,模拟的浓度峰值时段与实测一致,契合区域污染状况。(3)评估结果分析:该案例中AERMOD模型应用优势为计算高效、适配项目评价需求,模拟精度满足EIA要求;存在的问题为部分时段模拟浓度与观测值偏差略大,误差来源主要为气象数据的短时波动(如突发阵风)未充分考虑,以及污染源排放强度的瞬时变化未精准输入模型。

3.4 模型应用优化措施

(1)数据优化:重点提升基础数据的准确性与完整性,加强污染源监测力度,细化污染源排放强度、排放时段、排放方式等核心数据,避免数据缺失或偏差;完善气象、地形数据收集,引入数据同化技术,整合多源监测数据,修正气象数据的短时波动偏差,提升数据

对模型模拟的支撑能力,减少数据误差对模拟结果的影响。(2)参数优化:结合项目区域地形、气象、污染源等实际特征,对模型关键参数进行针对性校准,例如调整扩散参数、抬升高度、污染物转化系数等,结合敏感性分析结果,重点优化影响模拟精度的核心参数,降低模型系统误差,提升模拟结果与实际状况的契合度。

(3)应用规范:完善EIA中空气质量模型应用的操作规范,明确不同评价等级、不同尺度、不同污染物类型项目的模型选择标准,规范模型参数设置、数据输入、模拟计算、结果分析的全流程;加强评价人员专业培训,提升模型操作、参数校准与结果分析能力,确保模型应用的规范性与科学性,保障EIA评价结论的可靠性。

结束语

综上,空气质量模型在EIA大气评价中发挥着不可替代的作用,不同尺度模型各有适配场景,科学选择与精准评估是提升评价质量的关键。本文构建的评估体系可有效检验模型应用效果,提出的优化措施能针对性解决模拟偏差问题。未来需依托国产化模型研发与智能化技术,进一步提升模型精度与适用性,规范应用流程,为EIA提供更可靠的技术支撑,助力实现大气环境质量持续改善与绿色发展目标。

参考文献

- [1]王涛.大气环境影响评价环境现状监测的技术要点[J].山西化工,2021,41(6):258-259.
- [2]张义.大气环境影响评价工作中环境现状监测的技术要点分析[J].华北自然资源,2021,(5):95-96.
- [3]尚德强.城市环境空气质量自动监测布点的优化分析[J].科技创新,2020,(6):64-65.
- [4]初静平.基于数值预报的空气质量预测模型研究[J].中国品牌与防伪,2024,(7):84-85.
- [5]王标,彭瑜,王维.数据挖掘在空气质量数值模拟中的应用研究进展[J].环境科学研究,2024,37(08):173-176.