AERMOD 模型地表参数更新对模拟效果影响

王成鑫[1],楚英豪[1],阮建辉[2],桑敏捷[3],程 吉[4],吴成志[4],伯 鑫[5,6*] (1.四川大学建筑与环境学院,四川 成都 610065；2.北京化工大学经济管理学院,北京 100029；3.河北科技大学环境科学与工程学院,河北 石家庄 050018；4.三捷环境工程咨询(杭州)有限公司,浙江 杭州 310012；5.北京化工大学环境科学与工程系,北京 100029；6.北京化工大学,北化中国工业碳中和研究院,北京 100029)

摘要：基于 2018 年高分辨率土地利用数据,对 2012 版 AERSURFACE 集成系统进行了更新,以沧州市合围区为例,研究了地表参数更新对 AERMOD 模型模拟效果的影响,并利用沧州市大气环境监测系统(国控站、省控站、微站)进行了验证.结果表明,AERSURFACE 集成系统土地利用数据更新可为 AERMOD 模型提供更准确的地表参数,使得模拟结果与实测值的相关系数提升,对国控站日均值和小时值年相关系数最大提升值分别为 0.073 和 0.024;从统计学角度分析,该提升显著,使模型模拟结果与实测值的变化趋势更加一致,说明地表参数更新对模型模拟具有正向作用.从时间尺度上看,土地利用数据更新对冬、春季的模拟效果提升比夏季更大;对日均值的模拟效果提升比小时值更大.

关键词：AERSURFACE；AERMOD；地表参数；土地利用数据

中图分类号：X51,X171.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1000−6923(2022)05−2070−08

DOI:10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20220129.002

Research on the influence of AERMOD model surface parameter update on simulation effect. WANG Cheng-xin[1], CHU Ying-hao[1], RUAN Jian-hui[2], SANG Min-jie[3], CHENG Ji[4], WU Cheng-zhi[4], BO Xin[5,6*] (1.College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China；2.School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China；3.School of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China；4.Trinity Consultants, Hangzhou 310012, China；5.Department of Environmental Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China；6.BUCT Institute for Carbon-neutrality of Chinese Industries, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China). *China Environmental Science*, 2022,42(5)：2070~2077

Abstract：Based on the high-resolution land use data in 2018, this paper updated the AERSURFACE integrated system (version 2012). Taking the enclosed area of Cangzhou Expressway as an example, the influence of surface parameter update on the simulation effect of AERMOD model was studied. The atmospheric environment monitoring system (including national control station, provincial control station and micro-station) in Cangzhou was used for verification. The update of land use data of the AERSURFACE integrated system could provide more accurate surface parameters for the AERMOD model simulation, which improves the correlation coefficient between the simulation results and the measured value. The maximum improvement in the daily average and hourly correlation coefficients of the national control station was 0.073 and 0.024, respectively. From a statistical point of view, this significant improvement made the results of the model simulation more consistent with the change trend of the measured values, indicating that the update of surface parameters had a positive effect on the model simulation. From the perspective of time scale, the improvement of the simulation effect of the land use data in winter and spring was greater than that in summer; and the simulation effect of the daily average value was improved more than the hourly value.

Key words：AERMOD；AERSURFACE；surface parameter；land use data

作为我国大气环评导则(HJ 2.2−2018)[1]推荐的大气预测模式,AERMOD 模型不仅被广泛应用于大气环评中的污染物扩散模拟、大气防护距离计算等方面[2−7],国内外学者还探索了 AERMOD 模型在放射性核素扩散、排气筒高度分析、环境健康风险评估、城市大气污染物空间分布、企业布局选址、大气污染预报等方向的应用[8−14].

AERMOD 模型是由主程序模块 AERMOD 和 2 个预处理模块 AERMET、AERMAP 构成的大气扩散模型[3].AERMET 模块的作用是基于地面气象数据、高空气象数据和地表参数,计算 AERMOD 所需边界层参数[4].AERMET 模块需要输入的地表参数包括地表粗糙度、正午反照率和波文比 3 个参数,其中地表粗糙度指平均水平风速为 0 处的高度,是

收稿日期：2021−10−18

基金项目：国家重点研发计划项目(2018YFC0214005);国家自然科学基金项目资助(72174125);中央高校基本科研业务费资助项目(buctrc202133)

* 责任作者, 教授, boxin@buct.edu.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表征机械湍流大小的变量;反照率指太阳辐射通过地表反射回去的比例;波文比是感热通量和潜热通量之比,波文比越大,空气稳定度越低,这 3 个参数是模型计算边界层条件的重要依据,其准确与否影响着模型的模拟效果.在实际应用中,地表参数多是通过人工判定模拟区域的土地使用情况等来确定,这一主观判断过程导致不同的人确定的地表参数存在差异,最终影响 AERMOD 的模拟结果[15].2013 年,本文前期研究基于美国 EPA 开发的 AERSURFACE 系统,结合 2012 年中国高分辨率土地利用数据,建立了具有中国本土化特征的AERSURFACE集成系统,为获取客观的地表参数提供了途径[15].但是,随着我国城市化、工业化进程的不断推进,我国土地在使用类型上也在发生着演变,基于 2012 年的土地利用数据计算的地表参数已不能准确的反应当前的地表特征.此外,国内当前针对 AERMOD 的研究主要关注模型的应用研究,较少涉及模型的模拟结果与实测数据的验证分析,并且验证时采用的观测点位较少,无法全面客观评价模型的模拟结果[16-18].

鉴于此,本研究以沧州市高速合围区(简称合围区)为例,采用合围区内大气污染源 PM_{10} 排放清单作为输入源强,分别基于 2012、2018 两套地表参数,将气象数据处理成适用于 AERMOD 的边界层参数,利用 AERMOD 模型分别对两个情景进行了模拟,分析了合围区大气污染源对周边大气环境的贡献情况;同时,基于合围区内 378 个监测站点的 2018 年实测数据(370 个微站、4 个省控站和 4 个国控站),对模拟结果进行验证,分析了地表参数更新对 AERMOD 模拟效果的影响.

1　研究方法

1.1　研究对象及数据来源

本文研究区域位于河北省沧州市,为沧州市石黄高速、京台高速、沧廊(京沪)高速合围的沧州市中心城区,包括新华区、运河区以及沧县、青县的部分区域.沧州市为河北省第三大城市,2020 年常驻人口 730 万人,全年生产总值 3699.9 亿元,同时也是京津冀大气污染传输通道城市[19].沧州市在大气环境治理的进程中,建立了涵盖国控站、省控站、微站的大气环境监测体系[20],为验证本文结果,获取了沧州市合围区 2018 年 378 个站点监测数据,包括 370 个微站、4 个省控站和 4 个国控站(分布见图 1(a)).为控制两情景在模型设置时仅有地表参数不同,本研究两情景污染物排放清单均采用沧州市 2018 年大气污染源排放清单中合围区部分,PM_{10} 排放总量 13686.8t,约占 2018 年沧州全市 PM_{10} 排放量的 0.55%,包括工业源、生物质燃烧、道路扬尘等 8 种源类排放的 PM_{10},各类源 PM_{10} 排放量见表 1[21],工业源是合围区 PM_{10} 的主要来源,在合围区总量中占比 49.35%,其次为民用燃烧源、道路扬尘(仅含合围区内主干道扬尘),分别占比 21.08% 与 18.27%,其他污染源的累计贡献仅占 11.31%,PM_{10} 源强的空间分布见图 1(b).

1.2　AERSURFACE 系统概述

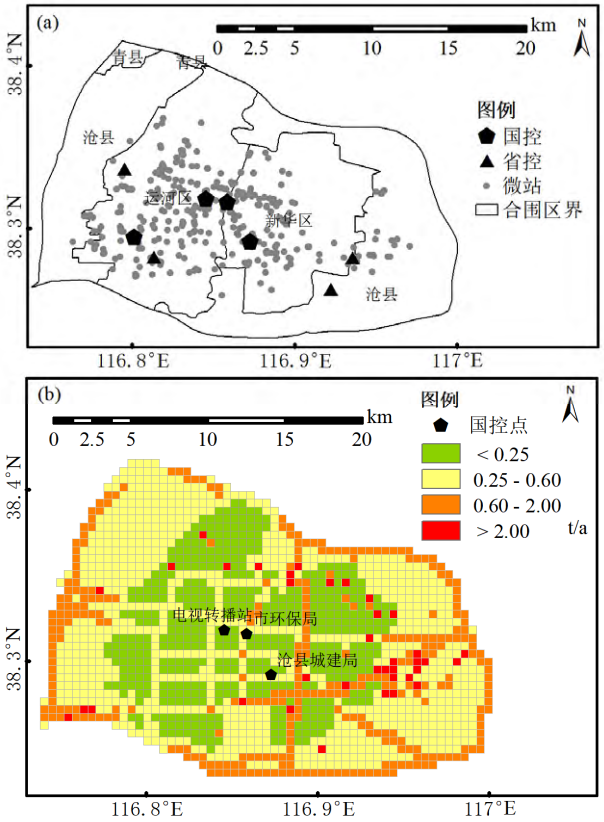


图 1　沧州市合围区监测站点分布(a)与 PM_{10} 源强分布(b)

Fig.1　Distribution of monitoring stations (a) and PM_{10}source intensity (b) in Cangzhou expressway closing area

2008 年,美国 EPA 开发了 AERSURFACE 模式,为 AERMOD 模型模拟提供了更加科学的地表参数计算方法[22].2013 年,为解决 AERSURFACE 模式在我国高分辨率土地利用数据识别和参数设置上的差异性问题[23],本团队伯鑫等开发了 AERSURFACE 集成系统,为众多环评项目地表参数计算提供了支撑[24].本文对集成系统所使用的土地利用数据由

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2012 年更新到 2018 年.

表 1 沧州市合围区 2018 年 PM_{10} 源强

Table 1 List of PM_{10}source strength in Cangzhou expressway closing area in 2018

源类	PM_{10}(t)	源类	PM_{10}(t)
工业源	398.20	非道路移动源	58.48
堆场扬尘	14.66	民用锅炉	0.04
土壤扬尘	8.62	民用燃烧	170.07
道路扬尘	147.44	生物质炉灶	3.20
道路移动源	6.26	合计	806.96

为探究地表参数更新前后对模拟效果的影响,本文以沧州市合围区为例,基于 2012、2018 版的地表参数,设置了 2 种模拟情景进行验证.AERSURFACE 模式设置时,时间尺度上按照春(3、4、5 月)夏(6、7、8 月)秋(9、10、11 月)冬(12、1、2 月)划分,空间尺度上以研究区域内源强集中区域的中心位置为中心参考点(同时该点也位于模拟区域的中部区域,代表性较好),自 0°~360°将周边区域划分为 12 个 30°的扇区.两情景地表参数如表 2,地表参数更新前后,主要有如下差异:①波文比整体变大,其中以春季变化最大,通过对比参考点周边土地利用数据,发现 18 年与 12 年的主要差别是居民区(波文比 1.5)占比提高,行栽作物(波文比 0.3~0.7,春季为 0.3)占比降低,导致 AERSURFACE 集成系统计算的波文比变大特别是春季的差异最大;根据波文比对空气稳定状况影响关系,波文比变大,将导致区域感热交换加强,空气变得不稳定.②各季度第 10 扇区粗糙度由 0.63 提升至 1.0,对比该扇区土地利用数据发现是因为 18 年城市居民区比例提高,水体占比降低,导致计算的粗糙度变大;粗糙度变大对近地面空气的影响表现为空气与地面的摩擦增强,导致近地面风速降低,影响边界层的稳定性[25].

表 2 2012、2018 版地表参数对比

Table 2 Comparison of surface parameters between 2012 and 2018 edition

季节	扇区	地表反照率		波文比		地表粗糙度		季节	扇区	地表反照率		波文比		地表粗糙度	
		2012	2018	2012	2018	2012	2018			2012	2018	2012	2018	2012	2018
冬	1	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00	夏	1	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	2	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		2	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	3	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		3	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	4	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		4	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	5	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		5	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	6	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		6	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	7	0.18	0.18	0.98	1.18	0.95	1.00		7	0.18	0.18	0.84	1.06	0.95	1.00
	8	0.18	0.18	0.98	1.18	0.99	1.00		8	0.18	0.18	0.84	1.06	0.99	1.00
	9	0.18	0.18	0.98	1.18	0.90	1.00		9	0.18	0.18	0.84	1.06	0.90	1.00
	10	0.18	0.18	0.98	1.18	0.63	1.00		10	0.18	0.18	0.84	1.06	0.63	1.00
	11	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		11	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
	12	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00		12	0.18	0.18	0.84	1.06	1.00	1.00
春	1	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00	秋	1	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	2	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		2	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	3	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		3	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	4	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		4	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	5	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		5	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	6	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		6	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	7	0.16	0.17	0.67	0.92	0.95	1.00		7	0.18	0.18	0.98	1.18	0.95	1.00
	8	0.16	0.17	0.67	0.92	0.99	1.00		8	0.18	0.18	0.98	1.18	0.99	1.00
	9	0.16	0.17	0.67	0.92	0.90	1.00		9	0.18	0.18	0.98	1.18	0.90	1.00
	10	0.16	0.17	0.67	0.92	0.63	1.00		10	0.18	0.18	0.98	1.18	0.63	1.00
	11	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		11	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00
	12	0.16	0.17	0.67	0.92	1.00	1.00		12	0.18	0.18	0.98	1.18	1.00	1.00

1.3 模拟设置

本研究基于不同的地表参数,设置 2 个模拟情景,除地表参数外,两情景参数设置完全一致.模拟区域为沧州市合围区外接长 25km×宽 23km 的矩形范围,网格受体格距为 500m×500m,离散敏感受体即沧州市 378 个空气站点.排放源类型包括点源、面源以及线源,模型使用的气象、地表参数及地形设置见表 3.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　模型数据设置

Table 3　Model data setting

情景	地面气象	高空气象	地形	地表参数
情景 1	沧州市气象站 2018 年地面数据	中尺度数值模拟 WRF2018 年高空数据	平坦地形	AERSURFACE 集成系统 2012 计算获取
情景 2				AERSURFACE 集成系统 2018 计算获取

1.4　模型验证

使用沧州市 370 个环境空气质量微站逐时监测数据,但因各微站运维情况不同,部分站点数据存在较多缺失,无法支撑验证使用;因此对微站数据进行了质控,数据质控主要考虑数据量问题,以全年有效数据量达 90%作为筛选标准,经质控后最终筛选出含国控站、省控站以及微站共 120 个站点的数据用作模型验证.

通过 AERMOD 模型计算,得到两种情景下沧州市合围区大气 PM_{10} 排放对合围区大气环境的贡献情况,包括对网格受体及敏感受体的年均、日均和小时贡献.本研究对两情景的区域年均贡献进行了对比,统计分析了污染源对国控点的日均贡献情况;针对两情景的日均与小时贡献,在对沧州市实测数据进行了质控后,分别从年和月的角度计算了 PM_{10} 模拟值同实测值的相关系数并分析了国控点相关系数变化情况.通过配对样本 t 检验评估了地表参数更新对 AERMOD 模拟精度的改进效果,相关系数和配对样本 t 检验公式分别见公式 1~3.根据《环境空气质量模型遴选工作指南(试行)》的要求,使用误差指标分析实测值与模拟值差异时,实测值的源强来源与模型模拟的源强来源应当一致,而本研究源强总量仅占沧州市 PM_{10} 排放总量的 0.55%,其模拟的贡献值与站点实测值在量上差异较大,因此本研究未对二者进行误差分析.

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{pred}_i-\mathrm{PRED}\right)\left(\mathrm{Obs}_i-\mathrm{OBS}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{pred}_i-\mathrm{PRED}\right)^2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{Obs}_i-\mathrm{OBS}\right)^2}} \tag{1}$$

$$\Delta R=R_{2018}-R_{2012} \tag{2}$$

式中:OBS 和 PRED 分别表示监测值和模拟值的平均值;Obs_i 和 pred_i 分别表示第 i 个监测值和模拟值;n 为监测站点数.ΔR 表征地表参数更新前后模拟结果同实测值的相关性变化情况[26-27].

$$t=\frac{\bar{d}-\mu_0}{s_d/\sqrt{n}} \tag{3}$$

式中:μ_0=0; $\bar{d}=\frac{\sum_{i=1}^{n}d_i}{n}$ 为情景 1 与情景 2 相对系数差值之平均数; $s_d=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(d_i-\bar{d}\right)^2}{n-1}}$ 为情景 1 与情景 2 相关系数差值之标准偏差;n 为样本容量(即站点数)[28-29].t 值与差异显著性关系判定表如表 4.

表 4　差异显著性判定表

Table 4　Difference Significance Judgment Table

t 值	P 值	差异显著程度
$t\geq(\mathrm{df})_{0.01}$	P<0.01	差异非常显著
$t\geq(\mathrm{df})_{0.05}$	P<0.05	差异显著
$t<(\mathrm{df})_{0.05}$	P>0.05	差异不显著

2　结果与讨论

2.1　合围区 PM_{10} 大气污染贡献分析

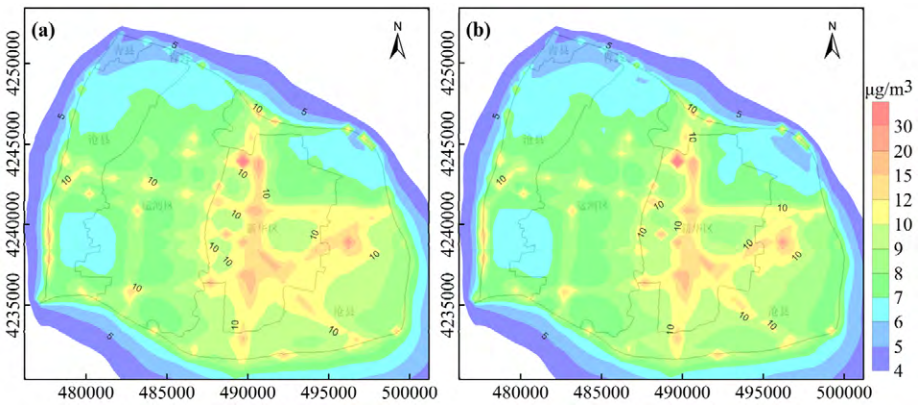


图 2　2012(a)与 2018(b)情景下 PM_{10} 年均贡献浓度分布

Fig.2　Distribution of annual average PM_{10} contribution concentration under 2012(a) and 2018(b) scenarios

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

采用 AERMOD 模型,分别基于 2012 和 2018 地表参数开展了模型模拟,分析了两情景下合围区对周边大气环境的贡献情况.结果显示两情景下 PM_{10} 的浓度空间分布特征相似,高浓度值都主要集中在长芦南大道、海河东路、解放东路等主干道及交叉区域,道路源对区域空气质量的贡献较大,这可能是因为道路源排放高度低所引起(图 2).情景 1 的年均贡献值从区域第 1 大值到区域第 10 大值均高于方案 2 的结果,两种方案的前 10 大值模拟结果差值达 0.96~0.42μg/m^3,变化率在 0.73%~5.30%(表 5).两情景下污染源对国控点(市环保局、沧县城建局、电视转播站)全年日均贡献情况见表 6,平均贡献分别为 8.75~15.83μg/m^3 和 8.29~15.43μg/m^3,年均贡献占比分别为 8.19%~15.83%和 7.77%~14.85%,两情景结果相近,2012 情景的模拟结果稍高于 2018 情景.因沧州市并未开展对 PM_{10} 来源的精细化源解析,本团队参考肖致美等人的相关研究,认为本研究在不考虑合围区外源强、污染物传输以及二次转化等过程的情况下,仅考虑合围区城区内 PM_{10} 排放对国控站点的贡献,这一贡献水平具有一定的合理性[30-32].

表 5 合围区 PM_{10} 对区域年均贡献最大值对比

Table 5 Comparison of the maximum annual contribution of PM_{10}in the enclosed area to the regional average

项目	年均贡献浓度(μg/m^3)		变化率(%)
	情景 1:2012 地表参数	情景 2:2018 地表参数	
第 1 大值	57.15	56.73	0.73
第 2 大值	24.48	23.80	2.78
第 3 大值	21.69	21.02	3.09
第 4 大值	20.25	19.71	2.67
第 5 大值	19.84	19.28	2.82
第 6 大值	19.30	18.62	3.52
第 7 大值	18.81	18.32	2.60
第 8 大值	18.62	18.18	2.36
第 9 大值	18.23	17.43	4.39
第 10 大值	18.12	17.16	5.30

注:变化率=(2018年均贡献浓度−2012年均贡献浓度)/2012年均贡献浓度×100%.

表 6 合围区 PM_{10} 对国控站日均贡献统计(μg/m^3)

Table 6 Statistics of the average daily contribution of PM_{10}in the enclosed area to the national control station(μg/m^3)

站点	2012 地表参数情景			2018 地表参数情景			国控站实测年均值
	年均值	标准差	年均贡献占比(%)	年均值	标准差	年均贡献占比(%)	
市环保局	15.83	9.39	15.23	15.43	9.09	14.85	103.94
沧县城建局	12.51	7.70	12.60	12.05	7.38	12.13	99.30
电视转播站	8.75	6.05	8.19	8.29	5.71	7.77	106.75

注:年均值与标准差基于两情景对国控点的日均贡献计算,年均贡献占比=模拟年均值/国控站实测年均值×100%.

2.2 地表参数更新前后模拟效果分析

为评估土地利用数据更新前后的模拟效果差异,本研究基于质控后的 120 个环境空气监测站点,分别计算模型模拟日均值、小时值与监测值的相关系数,并利用配对样本 *t* 检验证明相关性显著提高.

2.2.1 国控站模拟效果分析 相比于省控站、微站数据,国控站数据质量更高,将两情景下合围区 PM_{10} 对国控站的贡献进行了对比(表 7),以沧县城建局站为例,绘制了两情境对国控点贡献情况的时间序列图(图 3).从图中可以看出,在气象条件等因素不发生改变的情况下,改变地表参数对模拟结果的影响较小,两情景对国控点贡献的趋势一致,贡献浓度接近,两情景的日均模拟值年平均变化率在−3.32%.相关系数上,各站点 2018 年模拟结果同实测值的相关系数较 2012 年情景都有所提升,说明土地利用数据更新对模型模拟效果有所提升;而在提升程度上,日均值的提升较小时值的提升更大,3 站点中,电视转播站日均值相关系数的提升最大,为 0.073.

表 7 两情景下合围区 PM_{10} 对国控点贡献及年相关系数变化情况

Table 7 The contribution of PM10in the enclosed area to the national control points and the change of the annual correlation coefficient under the two scenarios

站点	贡献值年均变化率		年相关系数变化 ΔR	
	日均值(%)	小时值(%)	日均值	小时值
市环保局	−2.29	−3.67	0.056	0.010
沧县城建局	−3.32	−2.53	0.052	0.023
电视转播站	−4.57	−5.20	0.073	0.024

注:贡献值年均变化率={Σ[(2018情景日均贡献−2012情景日均贡献)/2012日均贡献]}/365.

2.2.2 所有站点模拟效果分析 所有质控后站点相关系数的计算结果显示,使用 2018 地表参数,各月

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

份和全年的小时值和日均值的相关系数较 2012 年情景基本呈现提升趋势(图 4).对于小时值与日均值维度,土地利用数据更新对日均值模拟效果提升更大.从时间维度,土地利用数据更新对冬、春月份的模拟效果提升更大,对夏季月份的提升较小,其中对 2 月的模拟效果提升最高.

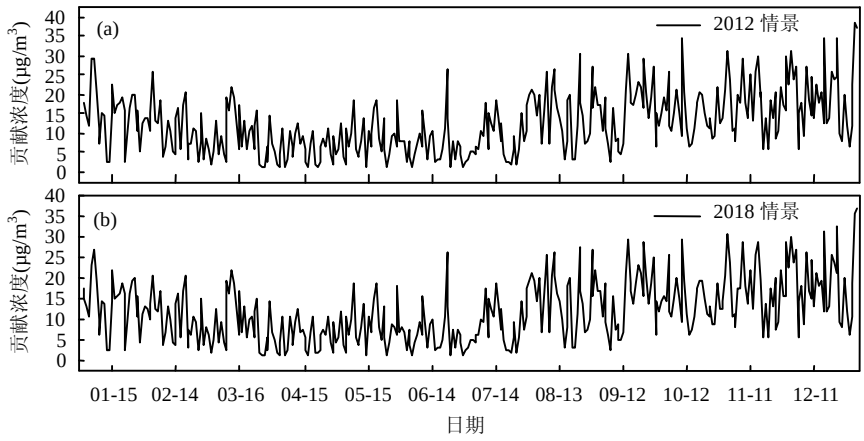


图 3　2012(a)与 2018(b)情景下合围区 PM_{10} 对沧县城建局日均贡献时间序列图

Fig.3　Time series diagram of daily average contribution of PM_{10}in expressway closing area to Cangxian Urban Construction Bureau under 2012 (a) and 2018 (b) scenarios

表 8　配对样本 *t* 检验结果

Table 8　t−test results of paired samples

项目	*t*	*P*	Δ*R*	差异显著程度
小时	2.71	0.0077	0.00072	差异非常显著
日均	9.45	3.77×10^{-16}	0.00479	差异非常显著

注:自由度df=119,对应$t(df)_{0.01}$=2.618.

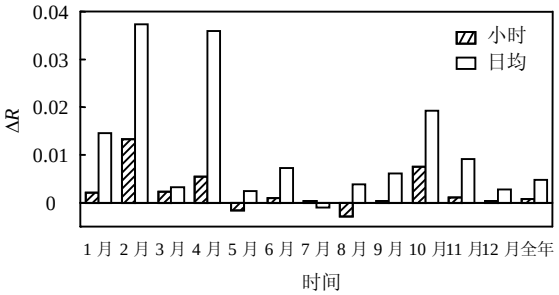


图 4　土地利用数据更新前后相关系数变化

Fig.4　Change of correlation coefficient before and after updating land use data

利用配对样本 *t* 检验方法,对两种模拟情境下,小时尺度和日均尺度的 120 个站点的全年相关系数进行了显著性检验,检验结果见表 8,在 α=0.05 时,对于小时和日均尺度的检验,均满足 P<0.01,说明在土地利用数据更新前后,两情景对站点的模拟值与实测值之间的相关系数在统计学意义上显著提高.表明 2018 年高分辨率土地利用数据更好反应实际的下垫面情况,使得模拟结果与实际监测值的变化趋势更加一致,提升了模型模拟效果.

2.3　不确定性分析

2.3.1　排放清单引起的不确定性　排放清单采用《沧州市大气污染源排放清单及环境影响研究》的相关成果,存在一定数量企业未纳入统计,另外清单主要考虑工业源、民用燃烧和道路移动源排放,未考虑天然源、外来输入等对污染物浓度的影响,可能造成对模拟浓度的差异[21].

2.3.2　模型本身的不确定性　AERMOD 模拟 PM_{10} 的扩散未考虑二次转化,存在一定误差[3,30].

2.3.3　微站数据的不确定性　随着微站的普及使用,微站数据越来越多的被应用于支撑环境决策,但因微站本身的限制以及运维管理上的不足,微站数据在质量上较国控省控站点还存在差距[33-35],因此本研究使用微站数据进行了相关性的验证,用于分析模拟值与实际监测值的变化一致性,未分析两者绝对值的偏离程度.

3　结论

3.1　2018 年高分辨率土地利用数据更新,所引起的模拟浓度变化差异较小,但在地表参数更新后,模拟结果值同实际监测值的相关系数在统计学上发生显著性提升,说明土地利用数据更新后 AERSURFACE 集成系统可计算出更准确的地表参数,使得模拟结

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

果与实际监测值的变化趋势更加一致,提升了模型模拟效果.

3.2 地表参数更新对日均值模拟效果的提升大于对小时值;对冬、春季节模拟效果的提升大于对夏季.

3.3 基于大量微站实测数据进行模型验证方法,相较于传统基于少量站点的验证,可更好地反应模拟结果同实际情况的差异性和一致性.

参考文献:

[1] HJ 2.2-2018 环境影响评价技术导则 大气环境 [S].
HJ 2.2-2018 Technical guidelines for environmental impact assessment -Atmospheric environment [S].

[2] 迟妍妍,张惠远.大气污染物扩散模式的应用研究综述 [J]. 环境污染与防治, 2007,29(5):376-381.
Chi Y Y, Zhang H Y. A review of applied research on diffusion models of air pollutants [J]. Environmental Pollution & Control 2007,29(5): 376-381.

[3] 王海超,焦文玲,邹平华.AERMOD 大气扩散模型研究综述 [J]. 环境科学与技术, 2010,33(11):115-119.
Wang H C, Jiao W L, Zhou P H. A review of AERMOD atmospheric diffusion model [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(11):115-119.

[4] 史梦雪,伯 鑫,田 飞,等.基于不同空气质量模型的二噁英沉降效果研究 [J]. 中国环境科学, 2020,40(1):24-30.
Shi M X, Bo X, Tian F, et al. Study on deposition effects of dioxins based on different air quality models [J]. China Environmental Science. 2020,40(1):24-30.

[5] 李 征.基于 AERMOD 模式的岑巩工业园控制性详规大气环境影响研究 [D]. 广州:广州大学, 2013.
Li Z. Study on the atmospheric environmental impact of Cen Gong Industrial Park controlling detailed regulations based on AERMOD model [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2013.

[6] 郭海峰,杜东升,钟艳雯,等.基于 AERMOD 的城市固体废弃物处理场空气污染扩散研究 [J]. 环境科学与管理, 2018,43(4):111-118.
Guo H F, Du D S, Zhong Y W, et al. Study on air pollution diffusion of municipal solid waste treatment plant based on AERMOD [J]. Environmental Science and Management, 2018,43(4):111-118.

[7] 伯 鑫,张 玲,刘 梦,等.复杂地形下确定钢铁联合企业防护距离研究 [J]. 环境工程, 2011,29(S1):298-302.
Bo X, Zhang L, Liu M, et al. Study on determining protective distance of iron and steel joint Enterprise under complex terrain [J]. Environmental Engineering, 2011,29(S1):298-302.

[8] 宋卫杰,侯连娇.AERMOD 在核设施辐射环境影响评价中的应用研究 [J]. 中国辐射卫生, 2020,29(2):188-192.
Song W J, Hou L J. Application research of AERMOD in radiation environmental impact assessment of nuclear Facilities [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2020,29(2):188-192.

[9] 陈陆霞,易爱华.基于 AERMOD 模式的重点行业排气筒高度变化敏感性分析 [J]. 环境影响评价, 2020,42(3):48-51,62.
Cheng L X, Yi A H. Sensitivity analysis of exhaust cylinder height change in key industries based on AERMOD model [J]. Environmental Impact Assessment, 2020,42(3):48-51,62.

[10] 傅诗婕,潘文斌,郑 鹏,等.AERMOD 模型在大气二氧化硫空间分布格局研究中的应用 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2017,45(4): 598-604.
Fu S J, Pan W B, Zheng P, et al. Application of AERMOD model to study spatial distribution pattern of atmospheric sulfur dioxide [J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science Edition), 2017,45(4): 598-604.

[11] 肖 雪,贺秋华.基于健康风险评估的燃煤电厂选址分析 [J]. 南华大学学报(自然科学版), 2020,34(2):56-61.
Xiao X, He Q H. Siting analysis of coal-fired power plant based on health risk assessment [J]. Journal of University of South China (Science and Technology), 2020,34(2):56-61.

[12] Yaman C, Anil I, Jaunich M K, et al. Investigation and modelling of greenhouse gas emissions resulting from waste collection and transport activities [J]. Waste Management & Research, 2019,37(12): 1282-1290.

[13] Amoatey P, Omidvarborna H, Affum H A, et al. Performance of AERMOD and CALPUFF models on SO_2 and NO_2 emissions for future health risk assessment in Tema Metropolis [J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2019,25(3): 772-786.

[14] 伯 鑫,雷团团,杨朝旭,等.企业大气污染预报系统 [C]//2020 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第三卷), 2020:387-390.
Bo X, Lei T T, Yang Z X, et al. Enterprise air Pollution forecast system [C]//Proceedings of the 2020 Chinese Society for Environmental Sciences Science and Technology Annual Conference (Volume 3), 2020:387-390.

[15] 伯 鑫.空气质量模型:技术、方法及案例研究 [M]. 北京:中国环境出版社, 2018:25-28.
Bo X. Air Quality Modeling: Techniques, methods and case studies [M]. Beijing: China Environmental Press, 2018:25-28.

[16] 杨洪斌,张云海,邹旭东,等.AERMOD 空气扩散模型在沈阳的应用和验证 [J]. 气象与环境学报, 2006,22(1):58-60.
Yang H B, Zhang Y H, Zhou X D, et al. Application and validation of AERMOD air diffusion model in Shenyang [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2006,22(1):58-60.

[17] 刘海龙,邹旭东,杨洪斌,等.AERMOD 模型在葫芦岛市的应用研究 [J]. 气象与环境学报, 2018,34(2):107-112.
Liu H L, Zhou X D, Yang H B, et al. Application of AERMOD model in Huludao City [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2018, 34(2):107-112.

[18] 丁 峰,李时蓓,蔡 芳.AERMOD 在国内环境影响评价中的实例验证与应用 [J]. 环境污染与防治, 2007,(12):953-957.
Ding F, Li S B, Cai F.Example verification and application of AERMOD in Domestic environmental impact assessment [J]. Environmental Pollution & Control., 2007,(12):953-957.

[19] 沧州市统计局.沧州市 2020 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. 2021-3-4[2021-9-14]. http://www.tj.cangzhou.gov.cn/zwgk/tjgb/index.shtml.
Cangzhou Statistics Bureau. Cangzhou 2020 national economic and social development statistical bulletin [EB/OL]. 2021-3-4[2021-9-14]. http://www.tj.cangzhou.gov.cn/zwgk/tjgb/index.shtml.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[20] 戴绍志.170 个乡镇全部建起空气质量自动监测站 [N]. 河北日报, 2018−10−10(10).
Dai S Z. Automatic air quality monitoring stations have been set up in all 170townships [N]. Hebei daily, 2018−10−10(10).

[21] 雷团团.沧州市大气污染源排放清单及环境影响研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
Lei T T. Cangzhou air pollution source emission inventory and environmental impact study [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2019.

[22] USEPA. AERSURFACE user's guide [M]. North Carolina: Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division Air Quality Modeling Group.2008:1.

[23] 伯　鑫,王　刚,田　军,等. AERMOD 模型地表参数标准化集成系统研究 [J]. 中国环境科学, 2015,35(9):2570−2575.
Bo X, Wang G, Tian J, et al. Research on integrated system of surface parameters standardization based on AERMOD model [J]. China Environmental Science, 2015,35(9):2570−2575.

[24] 张尚宣,伯　鑫,周　甜,等.AERMOD 模式在我国环境影响评价应用中的标准化研究 [J]. 环境影响评价, 2018,40(2):51−55.
Zhang S X, Bo X, Zhou T, et al. Research on standardization of AERMOD model for environmental impact assessment in China [J]. Environmental Impact Assessment, 2018,40(2):51−55.

[25] 于贵瑞,孙晓敏.陆地生态系统通量观测的原理与方法 [M]. 2 版.北京:高等教育出版社, 2018:45−53.
Yu G R, Sun X M. Principles and methods of flux observation of terrestrial ecosystem [M]. Second Edition. Beijing: Higher Education Press, 2018:45−53.

[26] 环境保护部办公厅.关于征求《环境质量模型规范化管理暂行办法》(征求意见稿)等 2 项文件意见的函 [EB/OL]. 2015[2021−9−14]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201508/t20150831_309098.htm.
General Office of ministry of Environmental Protection. On soliciting opinions on the Interim Measures for Standardized Management of Environmental Quality Models (draft for Soliciting Opinions) and other 2 documents [EB/OL]. 2015[2021−9−14]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201508/t20150831_309098.htm.

[27] 金　林,李　研.几种相关系数辨析及其在 R 语言中的实现 [J]. 统计与信息论坛, 2019,34(4):3−11.
JIN L, Li Y. Analysis and realization of several correlation coefficients in R language [J]. Journal of Statistics and Information, 2019,34(4): 3−11.

[28] 智冬晓,许晓娟,张皓博.z 检验与 t 检验方法的比较 [J]. 统计与决策, 2014,(20):31−34.
Zhi D X, Xu X J, Zhang H B. Comparison of Z test and T Test Methods [J]. Statistics & Decision, 2014,(20):31−34.

[29] 李广析.新型城镇化城乡居民收入差距的收敛性研究——基于成对数据的 t 检验方法 [J]. 贵州财经大学学报, 2018,(5):96−103.
Li G X. Convergence of income gap between urban and rural residents in new Urbanization −− T−test method based on paired data [J]. Journal of Guizhou University of Finance and Economics, 2018, (5):96−103.

[30] 陈　雷,王　鹏,伯　鑫,等.新冠期间河北省典型钢铁企业大气污染影响 [J]. 中国环境科学, 2021,41(8):3927−3933.
Cheng L, Wang P, Bo X, et al. Air quality impacts of emissions from a typical iron and steel plant in Hebei Province during the coronavirus disease (COVID−19). China Environmental Science, 2021,41(8): 3927−3933.

[31] 肖致美,毕晓辉,冯银厂,等.天津市大气颗粒物污染特征与来源构成变化 [J]. 环境科学研究, 2014,27(3):246−252.
Xiao Z M, Bi X H, Feng Y C, et al. Variations of Characteristics and Sources of Ambient Particulate Matter Pollution in Tianjin City [J]. Research of Environmental Sciences, 2014,27(3):246−252.

[32] 胡　敏,唐　倩,彭剑飞,等.我国大气颗粒物来源及特征分析 [J]. 环境与可持续发展, 2011,(5):15−19.
Hu M, Tang Q, Peng J F, et al. Study on characterization and source apportionment of atmospheric particulate matter in China [J]. Environment and Sustainable Development, 2011,(5):15−19.

[33] 滕　曼,姚雅伟,付　强.京津冀地区环境空气 $PM_{2.5}$ 自动监测现场比对研究 [J]. 环境工程学报, 2015,9(1):331−334.
Teng M, Yao Y W, Fu Q. Field comparison study of $PM_{2.5}$ automatic monitoring of ambient air in Beijing−Tianjin−Hebei region [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(1):331−334.

[34] 张　静.新形势下环境空气微观自动监测系统的建设思考 [J]. 环境与发展, 2020,32(10):157,159.
Zhang J. Thinking on the construction of micro automatic monitoring system of ambient air under new situation [J]. Environment and Development. 2020,32(10):157,159.

[35] 邓　琴,张　敏.环境空气自动监测小微站在浏阳市的应用 [J]. 湖南农业科学, 2019,(7):61−64.
Deng Q, Zhang M, Application of small and micro stations for automatic ambient air monitoring in Liuyang City [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2019,(7):61−64.

作者简介：王成鑫(1997−),男,四川绵阳人,硕士研究生,主要研究方向为大气环境质量模拟.发表论文 4 篇.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net