AERMOD 模型地表参数标准化集成系统研究

伯 鑫[1,2],王 刚[3],田 军[4],杨景朝[1,2,5],高锡章[6],黄远奕[7],李时蓓[1,2*] (1.环境保护部环境工程评估中心,北京 100012；2.环境保护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；3.三捷环境工程咨询(杭州)有限公司,浙江 杭州 310012；4.南京大学环境规划设计研究院有限公司,江苏 南京 210093；5.成都信息工程大学,四川 成都 610225；6.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100094；7.北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083)

摘要：针对大气环境影响评价工作中存在的一些问题和需求,构建了基于全国高分辨率土地利用数据、GIS 地理信息系统、AERSURFACE 地表参数处理模块的集成系统.该系统以研究区域土地利用类型为核心,着眼于通过标准化、自动化的方法提高 AERMOD 的模拟效果,最终建立一套全国地表参数综合数据库.结合内蒙古上都电厂的现场监测结果,对该系统修正后的地表参数进行模拟验证,结果表明,修正后模拟结果的 FB 值和 RHC_R 值分别为 0.37、1.41,相比于修正前的结果更加接近 0 和 1,说明了经 AERSURFACE 修正后的地表参数更能反映真实的扩散情况.

关键词：AERMOD；AERSURFACE；地表参数；土地利用数据；AERMET

中图分类号：X171.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2015)09-2570-06

Standard systems of surface parameters in AERMOD. BO Xin[1,2], WANG Gang[3], TIAN Jun[4], YANG Jing-chao[1,2,5], GAO Xi-zhang[6], HUANG Yuan-yi[7], LI Shi-bei[1,2*] (1.Appraisal Center for Environment and Engineering, State Environmental Protection Ministry, Beijing 100012, China；2.State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing 100012, China；3.Trinity Consultants, Hangzhou 310012, China；4.Academy of Environmental Planning and Design, Nanjing University, Nanjing 210093, China；5.Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China；6.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100094, China；7.Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China). *China Environmental Science*, 2015,35(9)：2570~2575

Abstract：As we have a lot of problem and requirements in Atmospheric EIA (Environment Impact Assessment) work, we built an Integrated System based on the high resolution data, GIS technology and EPA surface parameters processing module. With the land use data, the system focused on improving AERMOD simulation result by the standardized and automatic ways, and finally build a national EIA surface parameters database. With a real case in Inner Mongolia, we compared the results before and after modification, the results show that FB and RHC_R index are more close to 0and 1. So we can say that the AERSURFACE system can improve the accuracy of prediction.

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

AERMOD 模型作为我国《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2008)以及美国环保署(EPA)推荐的预测模式之一,已在国内外环境影响评价等领域得到了广泛应用[1-4].国内外学者分别将 AERMOD 模型应用于 NO_2 环境影响评价、垃圾焚烧厂二噁英的扩散迁移、燃煤电厂污染物的健康风险评估、硫化氢排放因子的测定、昆明市工业区 SO_2 情景模拟、PM_{10} 扩散研究、钢铁企业大气防护距离等研究工作中[5-17].

AERMOD 是稳态烟羽模型,包括了 3 个模块:AERMOD(扩散模块)、AERMET(气象预处理模块)和 AERMAP(地形预处理模块)[18-20].通过输入地表参数(地表粗糙度、反照率、波文比)以

收稿日期：2015-01-16

基金项目：国家环保公益性行业科研专项(201309062)

* 责任作者, 研究员, lisb@acee.org.cn

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

及地形数据,该模型可以计算复杂地形条件下的污染物扩散.其中粗糙度是确定机械湍流大小的重要变量;反照率为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,这 3 个参数是计算行星边界层条件的重要依据,对模型预测结果有着非常重要的影响[21-28].然而,目前国内大部分项目在地表参数选取时以人工判断为主,不同的人判断出来的地表参数都会有一定的差别,最终会反映在预测结果的偏差上,不利于模型的标准化应用.

鉴于此,本研究以高分辨率(30m)土地利用数据为基础,通过 ArcGIS、ARESURFACE 参数计算模型,实现了对目标区域土地利用类型、土壤干湿类型等要素的识别工作,最终建立了一套相对客观的 AERMOD 地表参数集成系统,旨在为法规模型的标准化应用提供参考.

1　研究方法

1.1　AERSURFACE 系统概述

为了得到较为符合实际的地表参数(地表粗糙度、反照率、波文比),2008 年美国环保署发布了 AERSURFACE 模块,并于 2013 年进行了修正.该模块在识别指定区域土地利用类型的基础上,根据内置的数据库,按照距离反比例加权的方法计算得到了能代表研究区域特征的地表参数[29].目前 AERSURFACE 在国内的应用存在以下 3 点问题:(1)无法识别我国高分辨土地利用数据格式;(2)模式部分参数不适用于我国,需要进行本地化修正;(3)操作繁琐,难以符合业务化需求.

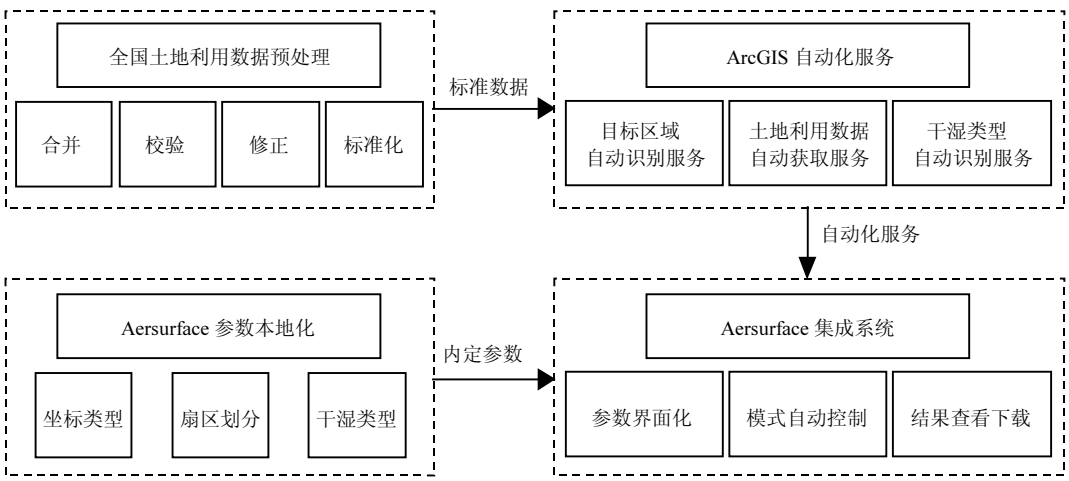


图 1　AERSURFACE 模型技术路线

Fig.1　Technology roadmap of AERSURFACE model

针对以上问题,本研究建立了 AERSURFACE 集成系统,该系统主要分为 4 块:全国土地利用数据预处理、ArcGIS 自动化服务、AERSURFACE 参数本地化、AERSURFACE 集成系统(图 1).

1.2　土地利用数据预处理模块

20 世纪 90 年代以来关于高分辨土地利用数据,美国和欧盟曾利用包括 NOAA/AVHRR、MODIS 在内的粗分辨率(250~1km)航天遥感资料,为地球系统模拟研制了 6 套空间分辨率为 300m 或 1km 的全球地表覆盖数据产品[30],但由于其精度不高,实际应用价值有限[31].2013 年美国马里兰大学利用空间分辨率为 30m 的 Landsat TM/ETM+多时相遥感影像完成了 2000~2012 年全球森林增减情况的分析[32-33],但该研究并没有考虑水体耕地等其他地表覆盖类型.

本研究首先采用马里兰大学 2012 年全球土地利用数据[33]对中国科学院全国土地利用数据库 (http://www.resdc.cn/rescode/data-list.asp) 中 2000 年土地利用数据进行了更新,然后利用 Landsat TM30m 分辨率数据,进一步细化土地利

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

用数据.对于部分重点区域(如天津、北京、上海等)采用了 SPOT4、SPOT5 等高分辨率影像,并辅助以 ALOS、Rapid Eye、福卫-2 等资料.在解译过程中,对于重点关注区域和地形复杂地区,主要以目视解译为主,其它区域则采用自动化解译的方式.

AERSURFACE 用地类型采用的是 NLCD92 划分标准.该数据是由美国 Landsat 卫星数据解译而成,包含了 21 种用地类型(表 1),空间分辨率为 30m,投影为 Albers Conic Equal Area,大地基准面为 NAD83,数据格式为 GeoTiff.

由于目前我国土地利用数据编码与美国存在一定差异,不能被 AERSURFACE 直接读取,因此需要对我国的数据进行一定的预处理.本研究整合了各省份的地理数据,形成一个全国的土地利用数据库,并同步开展对数据库的校验和修正工作,在此基础上将我国二级用地编码转化为 NLCD92 用地编码,从而得到 AERSURFACE 系统可以直接识别的高分辨率土地利用数据.

表 1 NLCD92 用地编码表

Table 1 NLCD92 land code table

代码	用地类型	代码	用地类型
11	水体	43	混合林
12	冰雪	51	灌木丛(干旱地区)
21	低密度居民区		灌木丛(非干旱地区)
22	高密度居民区	61	果园/葡萄园/其它
23	商业/工业/道路(机场)	71	草地/草本
	商业/工业/道路(非机场)	81	牧场/干草
31	裸岩/沙/粘土(干旱地区)	82	行栽作物
	裸岩/沙/粘土(非干旱地区)	83	小谷粒类作物
32	采石场/条矿山/砾石	84	休耕地
33	过渡地带	85	城市/休闲草地
41	落叶林	91	木本湿地
42	常绿林	92	草本湿地

1.3 模型参数的本地化

该模块主要考虑了坐标类型、扇区划分、干湿类型等要素的参数本地化.本研究建立了一套辅助数据库,让用户可以实现扇区的自定义、美国坐标系(NAD83)与 WGS84 等坐标系统的自由转化等功能;在土地干湿参数方面,本系统提供了 2 种设置方法,用户既可以通过界面自定义参数,同时也可以根据气象部门、统计部门提供的干湿分布图自动识别.

1.4 ArcGIS 自动化识别系统

ArcGIS 自动化服务分别包括研究区域位置、土地利用数据、干湿类型的自动识别功能.区域自动识别:在地图中选择目标点位,即可在参数设置面板中自动获取该点的经纬度信息;也可在参数设置面板中手动填写经纬度,方便用户快速定位.土地利用数据自动获取:用户可通过该系统自动获取目标点位的土地利用数据.干湿类型自动识别:在获取目标点经纬度信息的基础上,依据国家统计局《中华人民共和国年鉴》对干湿地区的定义和中国气象局的降雨量数据制作的干湿地区划分图,自动获取目标点位的地表湿度类型.

1.5 系统集成模块

系统集成模块分为系统管理、模型计算、结果展示 3 大部分.其中系统管理包括高级用户管理、普通用户管理等,主要实现对系统的维护和管理;模型计算包括参数设置界面、地表参数计算字等模块,用户在操作时需填写经度、纬度、半径等基本信息,然后系统将根据这些信息自动生成输入文件,并调用主程序进行计算.

AERSURFACE 系统集成逻辑结构见图 2,系统架构为 C/S 架构,采用 SmartX1 可编程加密锁和用户账号密码身份验证双重权限控制保护机制.系统为用户提供目标地址坐标和土地干湿类型参数的辅助设置服务.地址坐标识别服务采用百度地图 API 接口,即根据用户填写的经纬度在地图中标注出来,也可在地图中选择目标点位自动为用户填写经纬度.标准化的高分辨率土地利用数据存储于 ArcGIS 数据库中,土地数据获取服务根据目标点位的经纬度及区域范围从 ArcGIS 数据库中提取相应的数据.集成系统最终将根据用户提交的参数,调用土地利用数据自动获取、干湿类型自动识别等模块,获取 AERSURFACE 模式所需的数据.计算完成后,系统自动将结果文件存储于数据库中,用户可通过下载接口获取结果,系统主界面见图 3.

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

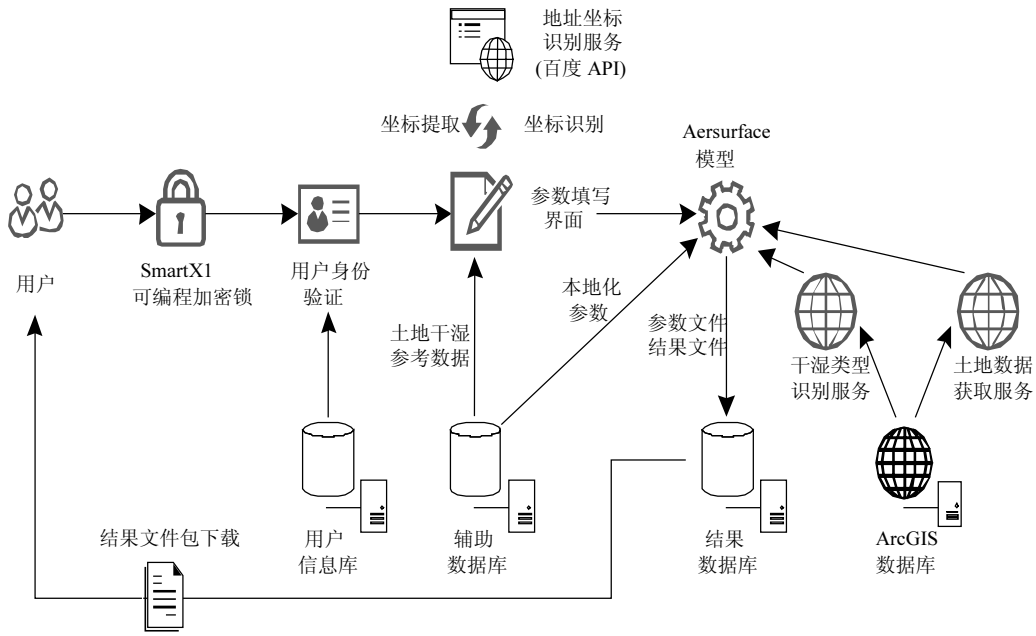


图 2　AERSURFACE 模式集成逻辑结构

Fig.2　Integration logic structure of AERSURFACE model

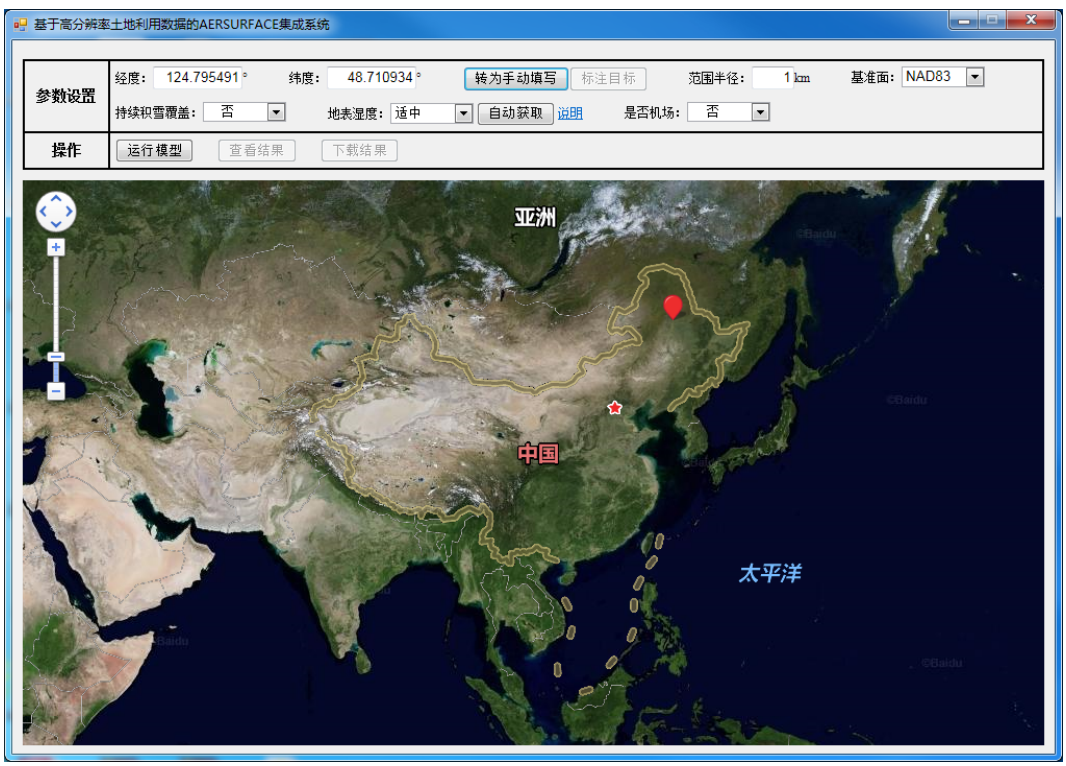


图 3　基于高分辨率土地利用数据的 AERSURFACE 集成系统应用界面

Fig.3　Application interface of AERSURFACE Integrated system based on High resolution data of land use

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

2 案例验证

为了验证 AERSURFACE 地表参数的可靠性,以内蒙古上都电厂为例,结合现场观测及参数化方案的模拟结果,定量评估了 AERSURFACE 系统对模拟效果的改进情况.

2.1 研究区概况

上都电厂周边地势平坦开阔,东侧为山地,厂址附近干扰源较少,区域其他污染源的影响可以忽略.2013 年 8 月,在电厂周围布设 12 个监测点位,用来监测电厂逐小时排放的 SO_2 浓度贡献数据,试验期间对地面气象场和边界层气象场进行逐小时观测.为便于比较分析,在地面气象数据、污染源等参数不变的情况下,设置了 2 种地表参数方案.方案 1 采用传统人工目视的方法来判断地表参数,方案 2 是基于 AERSURFACE 系统客观分析得到的结果,两者计算的地表参数见表 2.

表 2 两种方案地表参数对比

Table 2 comparison of surface parameters in two cases

方案	正午反照率	波文比	地表粗糙度(m)
1	0.18	0.8	0.1
2	0.18	1.9	0.194

2.2 结果与讨论

利用 AERMOD 模型对上述 2 种方案进行模拟,并将输出的 SO_2 预测值与监测值进行比较,以选出最优方案.案例的验证采用的是美国 EPA 推荐的评估方法,包括平均百分比偏差(FB 值)、高端值比值(RHC)和 Q−Q 图.求解 FB、RHC 值的公式分别见公式 1、公式 2.

$$\mathrm{FB}=\frac{2(\overline{C_{\mathrm{mod}}}-\overline{C_{\mathrm{obs}}})}{\overline{C_{\mathrm{mod}}}+\overline{C_{\mathrm{obs}}}} \tag{1}$$

式中:$\overline{C_{\mathrm{mod}}}$ 和 $\overline{C_{\mathrm{obs}}}$ 分别为模拟和监测的平均浓度,FB 值越靠近 0,表明模拟的效果越好.

$$\mathrm{RHC}=C(n)+(\overline{C}-C(n))\ln\left(\frac{3n-1}{2}\right) \tag{2}$$

式中:$C(n)$为所有数据中最大的$(n-1)$个浓度值的平均.在模型比较中一般选用模拟与监测的 RHC 之比(即 $\mathrm{RHC_R}$)来反映预测的合理性,其取值一般在 0.5~2,$\mathrm{RHC_R}$ 越接近 1,模拟效果越好[34-35].

统计结果表明,方案 1 与方案 2 的 FB 值分别为 0.47、0.37,RHCR 值分别为 1.81、1.41,方案 2 的 FB 值和 RHCR 值更接近 0 和 1,说明该经 AERSURFACE 修正的地表参数更能反映真实的扩散情况.从 Q-Q 图中分析可知,方案 2 有 607 个点比方案 1 更接近基准线,方案 1 有 153 个点比方案 2 更接近基准线.方案 2 在整个区间的落点更接近基准线,同样体现了 AERSURFACE 集成系统的优越性.

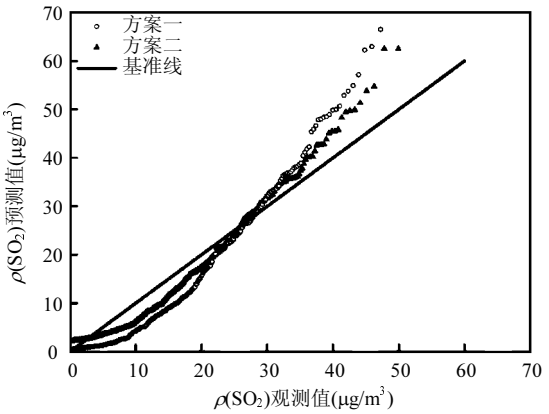


图 4 方案 1 与方案 2 的图形(Q−Q 图)对比

Fig.4 The Q−Q plots of project one respectively with two projects

本研究采用的土地利用数据为 2012 年,但我国地域辽阔,部分区域受经济发展的影响,实际土地利用情况可能已经发生变化,导致系统计算结果可能存在一定误差,因此有待建立一套动态更新的全国土地利用数据库,以提高本系统的可靠性.

3 结论

3.1 本研究基于高分辨率土地利用数据(30m)获取了大气模型 AERMOD 所需的地表参数,突破了主观判断方法的瓶颈,提高了 AERMOD 模型模拟结果的科学性、可靠性,为我国大气环境影响评价领域增添了新的技术方法.

3.2 实际案例应用表明,经 AERSURFACE 修正的地表参数能较好反映真实下垫面情况,极大地提高了预测的精确性.

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

参考文献：

[1] 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.

[2] 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.

[3] 吕信红.大气环评预测模式之 AERMOD 应用研究 [D]. 扬洲:扬州大学, 2011.

[4] 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.

[5] Seangkiatiyuth K, Surapipith V, Tantrakarnapa K, et al. application of the aermod modeling system for environmental impact assessment of NO_2 emissions from a cement complex [J]. journal of environmental sciences, 2011,23(6):931−940.

[6] 李煜婷,金宜英,刘富强.AERMOD 模型模拟城市生活垃圾焚烧厂二噁英类物质扩散迁移 [J]. 中国环境科学, 2013,33(6):985−992.

[7] Mokhtar M M, Hassim M H, Taib R M. Health Risk Assessment of Emissions from a Coal−fired Power Plant Using AERMOD Modelling [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2014,92(5):476–485.

[8] O'shaughnessy P T, Altmaier R. Use of AERMOD to determine a hydrogen sulfide emission factor for swine operations by inverse modeling [J]. Atmospheric Environment, 2011,45(27):4617−4625.

[9] 马洁云,易红宏,唐晓龙,等.基于 AERMOD 及减排政策的昆明市工业区 SO_2 情景模拟 [J]. 中国环境科学, 2013,33(10):1884−1890.

[10] Kesarkar A P, Dalvi M, Kaginalkar A, et al. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM_{10} dispersion over Pune, India [J]. Atmospheric Environment, 2007,41(9):1976−1988.

[11] 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.

[12] 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, 2007,29(12):953−957.

[13] 丁　峰,李时蓓.大气环境影响评价导则修订与对比分析 [J]. 环境科学与技术, 2011,34(4):120−124.

[14] 孙　璐,蔡　娟.AERMOD 与 EIAA 大气预测模型在环境影响评价中的应用比较 [J]. 环境污染与防治, 2008,30(10):92−95.

[15] 任春涛,赵红岩,殷文香.大气环境影响评价新旧导则的对比分析 [J]. 内蒙古环境科学, 2009,21(5):44−48.

[16] Ma J, Yi H, Tang X, et al. Application of AERMOD on near future air quality simulation under the latest national emission control policy of China: A case study on an industrial city [J]. Journal of Environmental Sciences, 2013,25(8):1608−1617.

[17] Zou B, Benjamin Zhan F, Gaines Wilson J, et al. Performance of AERMOD at different time scales [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2010,18(5):612−623.

[18] 刘仁志,张志娇,贾彦鹏.AERMOD 模型在规划环境影响评价中的应用 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2012,20:96−107.

[19] 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.

[20] 王小燕.AERMOD 在区域大气环评中的应用研究 [D]. 兰州:兰州大学, 2013.

[21] EPA. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model—AERMOD. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC, 2004.

[22] 刘桂芳,潘文斌.大气扩散模型 AERMOD 与 CALPUFF 输入数据的对比研究 [J]. 环境科学与技术, 2014,39(9):93−96.

[23] 赵国珍.环境影响评价中大气扩散模型应用的几个问题 [J]. 辽宁气象, 2004,(4):15−16.

[24] 丁　飒,丁　业,孔　杉.地表参数对 AERMOD 模型预测浓度精确度的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011,39(34):21221−21223.

[25] 洪　雯,王毅勇.非均匀下垫面大气边界层研究进展 [J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版, 2010,2(2):155−161.

[26] 蔡　福,周广胜,李荣平,等.陆面过程模型对地表参数动态变化的敏感性分析 [J]. 中国气象学会年会−s3 天气预报灾害天气研究与预报, 2011,26(3):300−310.

[27] 夏思佳,王勤耕.基于 AERMOD 模式的大气扩散参数方案比较研究 [J]. 中国环境科学, 2009,29(11):1121−1127.

[28] 董文成.大气污染物在城市下垫面扩散的分析与模拟研究 [D]. 兰州:兰州大学, 2014.

[29] EPA. AERSURFACE User's Guide. US Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC, 2008.

[30] Defriesr, Townshend J G R. NDVI−derived Land Cover Classification at Global Scales [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994,15(1):3567−3586.

[31] 陈　军,陈　晋,廖安平,等.全球 30m 地表覆盖遥感制图的总体技术 [J]. 测绘学报, 2014,43(6):551−557.

[32] Townshend J R G, Masek J G, Huang C, et al. Global Characterization and Monitoring of Forest CoverUsing Landsat Data: Opportunities and Challenges [J]. International Journal of Digital Earth, 2012,5(10):373−393.

[33] Hansen M C, Potapov P V, Moore R, et al. High−resolution Global Maps of 21st−Century Forest Cover Change15 [J]. Science, 2013,11(342):850−853.

[34] Cox W, Tikvart J.A statistical procedure for determining the best performing air quality simulation model [J]. Atmos. Environ., 1991,21:2387−2395.

[35] 江　磊,黄国忠,吴文军,等.美国 AERMOD 模型与中国大气导则推荐模型点源比较 [J]. 环境科学研究, 2007,(3):44−51.

作者简介：伯　鑫(1983−),男,山东烟台人,硕士,主要研究方向为大气环境质量模拟、污染源清单.发表论文 30 余篇.

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