伯鑫,吴忠祥,王刚,等.CALPUFF 模式的标准化应用技术研究[J].环境科学与技术,2014,37(12O):530-534. Bo Xin, Wu Zhongxiang, Wang Gang, et al. Study on the standardized application of CALPUFF model[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(12O):530-534.

CALPUFF模式的标准化应用技术研究

伯鑫[1,2], 吴忠祥[3], 王刚[4], 胡翠娟[1,2], 丁峰[1,2], 吴成志[4], 李时蓓[1,2*]

(1. 环境保护部环境工程评估中心,北京 100012; 2. 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. Exponent,Maynard,MA,USA 01754; 4. 三捷环境工程咨询有限公司,浙江 杭州 310012)

摘 要:针对 CALPUFF 在我国大气环评预测中存在的问题,提出了 CALPUFF 在应用范围、网格设置、基础数据、模型参数、公众参与等标准化建议,解决当前 CALPUFF 应用不规范问题,可为国家环境规划、总量控制和环境影响评价提供技术支持和服务。

关键词:CALPUFF; 大气污染; CALMET; 环境影响评价; 标准化应用

中图分类号:X820.3 **文献标志码**:A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2014.12O.109 **文章编号**:1003-6504(2014)12O-0530-05

Study on the Standardized Application of CALPUFF Model

BO Xin[1,2], WU Zhongxiang[3], WANG Gang[4], HU Cuijuan[1,2], DING Feng[1,2], WU Chengzhi[3], LI Shibei[1,2*]

(1. The Appraisal Center for Environment and Engineering, The State Environmental Protection Ministry, Beijing 100012, China;
2. State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing 100012, China;
3. Exponent, Maynard, MA, USA 01754; 4. Trinity Consultants, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Aiming at the problems of CALPUFF existing in the atmospheric EIA in China, a standardized proposal was put forward about the CALPUFF in application scope, the grid setting, basic datum, model parameters, public participation and so on, solving the current non-standard problem of CALPUFF applications, providing technical support and services for the national environmental planning, total amount control and environmental impact assessment.

Key words: CALPUFF; air pollution; CALMET; EIA; standardized application

《环境影响评价技术导则——大气环境》HJ 2.2-2008 中以推荐模式清单方式引进美国进一步预测模式 CALPUFF,在国内环评工作中得到了广泛的应用,获得了良好的效果[1]。近些年来,国内研究者对 CALPUFF 在空气质量模拟开展一系列科学研究,例如张丹等[2]利用 CALPUFF 模式模拟了重庆市能见度情况;崔慧玲[3]、张玉珍等[4]利用 CALPUFF 模式模拟放射性核素迁移扩散情况;杨怀荣等[5]利用 CALPUFF 模拟秸秆焚烧造成的环境影响;伯鑫等[6]对 CALPUFF 开展了可视化二次开发研究;汪重等[7]采用 CALPUFF 模式型核算出大亚湾的区域环境容量;杜吴鹏等[8]采用 MM5 与 CALMET 模拟了北京地区不同高度的风速和风功率密度分布;王淑兰等[9]、赵伟等[10]分别采用 CALPUFF 模拟了珠江三角洲城市、北部湾经济区重点产业大气污染情况。这些研究大多数研究围绕科研领域,而关于 CALPUFF 在我国环评领域的应用,例如数据前处理、参数选取、模式规范化使用等应用研究,则尚未见到报道,仅有少量侧重于不同模式结果对比等方面的文献[11-12]。

自 2007 年以来,环境保护部环境工程评估中心依据国家相关环境管理要求和技术导则规范,针对重点项目环境影响报告书中有关大气环境影响预测与评价部分开展的一系列大气技术复核工作,发现一些环评单位在 CALPUFF 的使用过程中,存在参数设置不规范、基础数据处理错误等问题,导致环评报告大气预测结果不可信,最终影响环评审批和环境管理决策的科学性。因此本文通过分析环评报告、原始大气预测文件等资料,指出其中常见的问题,为规范 CALPUFF 在我国环评中标准化应用提出解决方案和建议对策。

1 CALPUFF 模式简介

《环境科学与技术》编辑部:(网址) http://fjks.chinajournal.net.cn (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjkxyjs@126.com
收稿日期:2014-04-18;修回 2014-05-28
基金项目:国家环保公益性行业科研专项(201309062)
作者简介:伯鑫(1983-),男,硕士,主要研究方向为大气环境质量模拟、污染源清单及大气技术复核,(电子信箱) boxinet@gmail.com;* 通讯作者。

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

CALPUFF 模式系统是中国环境保护部、美国环保署推荐的用于模拟污染物输送、转化和清除过程的法规模式[1]。CALPUFF 模式为非稳态三维拉格朗日烟团模式，可结合时空变化的气象场条件，考虑了复杂地形动力学效应以及静风等非稳态条件。CALPUFF 模式系统主要包括 CALMET 气象模式、CALPUFF 扩散模式以及一系列前/后处理程序。CALMET 气象模式可利用地形、土地类型、气象观测数据以及中尺度气象模式数据，生成 CALPUFF 所需的三维气象场，包括风场、温度场等。CALPUFF 利用 CALMET 生成的气象场，模拟污染物的传输、扩散、干湿沉降以及化学转换过程[13-14]。

2　模式应用的主要问题

2.1　应用范围

根据大气环评导则 HJ 2.2-2008 附录 A 规定，CALPUFF 适用于评价范围大于 50 km 的区域和规划环境影响评价项目。技术复核发现，一些环评项目（非复杂风场，评价范围小于 50 km）采用 AERMOD 预测结果超标，因此环评单位改用 CALPUFF 替代 AERMOD 以期降低预测结果，但未说明采用 CALPUFF 模式的依据，也无相关风场数据来验证。

2.2　网格设置与分辨率

CALPUFF 模式的三维气象数据中，各个气象格点的气象数据可不相同，这也是 CALPUFF 模式的扩散理论优势之一，考虑到烟团的迂回、回流等情况，CALPUFF 气象网格范围应大于受体网格范围。

技术复核发现，有些项目未设置缓冲区，从而导致受体网格边界附近的污染物浓度有较大误差。此外，大气环评导则 HJ 2.2-2008 要求预测受体的分辨率距源中心 1 km 内设置为 50~100 m，距源中心 1 km 外设置为 100~500 m[1]。技术复核发现，有些项目将气象网格的分辨率设成了 100 m，但由于土地利用数据采用了 1 km 分辨率数据，导致土地利用数据失真的情况（见 2.3.2 节）。

2.3　基础数据

CALPUFF 气象模块 CALMET 在生成三维气象数据时需要地形、土地利用、地面气象、高空气象、降水等基础数据。CALPUFF 自带了前处理程序，如 TERREL、CTGPROC、MAKEGEO、SMERGE、READ62、PMERGE、CALMM5 等。这些前处理程序是基于国外现有的数据源及数据格式设计的，而国内的数据格式、精度、要素与模式要求都有一定的差距，因此有些时候需要将国内的数据进行二次加工。

复核基础数据发现的常见问题包括：基础数据选用错误、基础数据处理方法错误、基础数据缺失、基础数据来源未说明等。

2.3.1　地形数据

目前国内可免费获取的地形数据有美国地质调查局（USGS）的 SRTM30/GTOPO30 数据（精度 900 m）、美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)联合测量的 SRTM3（精度 90 m）数据、以及美国 NASA 与日本经济贸易工业部（METI）联合测量的 ASTER GDEM（精度 30 m）数据，可直接用于 CALPUFF 模式的数据为 GTOPO30 和 SRTM3。大气环评导则中推荐的预测网格点的分辨率为：距源中心 1 km 范围内设置为 50~100 m，距源中心 1 km 外设置为 100~500 m[1]，故 90 m 分辨率的 SRTM3 数据基本满足要求。

技术复核发现，有些项目使用分辨率为 900 m 的地形数据，见图 1~2，从图 1 中可以看出，900 m 分辨率的地形数据很多信息丢失，无法体现地形对气象场影响，不能满足导则要求。

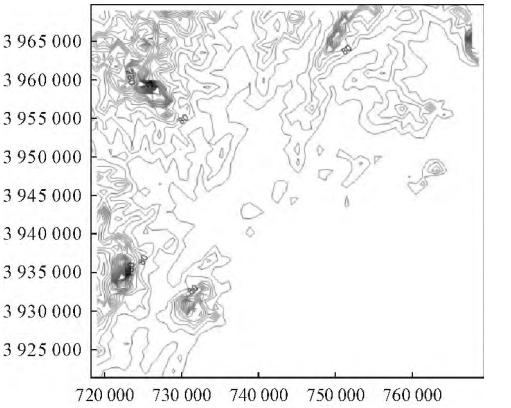


图1　某项目900 m分辨率地形高程图

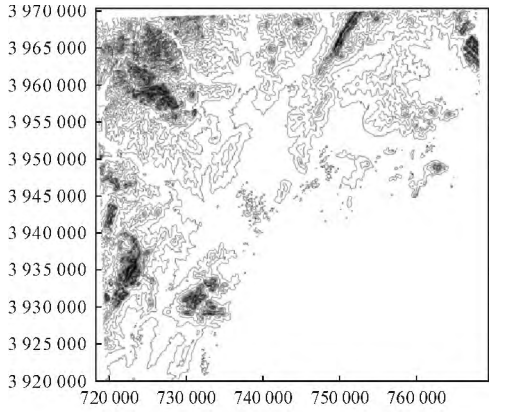


图2　某项目90 m分辨率地形高程图

2.3.2　土地利用

目前国内可免费获取的土地利用资料数据为美国地质勘探局（USGS）的 GLCC 数据库中亚洲部分（精度 1 000 m），最终会处理成 CALMET 中的 14 种

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

土地利用类型，见表 1。由于该数据分辨率为 1 km，若气象网格分辨率设成 1 km 以下，很多气象格点内就会找不到土地利用数据，且默认被水体替代（代码为 55），从而造成土地利用图失真的现象。

表 1 CALMET 中土地利用类型编码

类型	描述	类型	描述
10	城市及建筑用地	55	大水体
20	农业非灌溉用地	60	湿地
20*	农业灌溉用地	61	森林湿地
30	牧地	62	非森林湿地
40	林地	70	荒地
51	小水体	80	冻土
54	海湾及河口	90	冰原地带

技术复核发现，某些项目网格距设为 100~500 m，而采样格点数仅设为 1，导致大部分土地利用类型代码被水体代替，土地利用数据失真，见图 4。图 3~4 为不同分辨率和采样格点数下的土地利用图，从图中可以看出，网格分辨率越高，土地利用缺失量越大；采样格点数越大，土地利用缺失量越小。

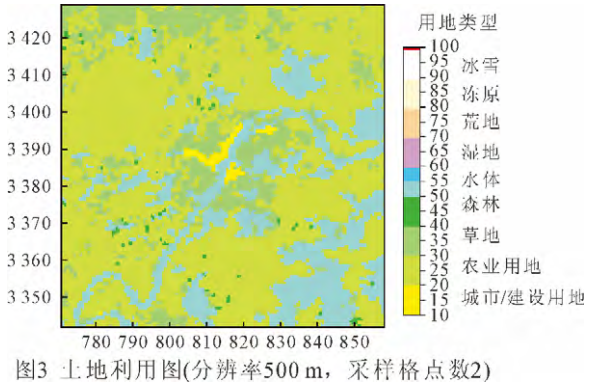


图3 土地利用图(分辨率500 m，采样格点数2)

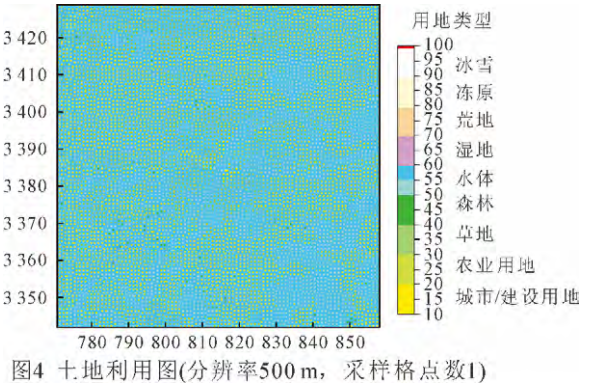


图4 土地利用图(分辨率500 m，采样格点数1)

2.3.3 地面气象

CALPUFF 预处理程序 SMERGE 可识别的地面气象数据有 CD144、SAMSON、HUSWO、TD3505 等国外气象部门提供的气象数据格式，对数据质量有严格要求。而国内地面气象数据格式与国外气象数据格式差异较大，需要将国内的数据进行插值等预处理，才能被模式读取。

技术复核发现，某项目处理一日 4 次观测的云量数据时，其他时刻的云量未按大气导则要求进行插值，而是简单设置成 0。此外，复核还发现环评单位虽提供了地面观测数据，但在 CALMET 气象预处理时未使用地面观测数据，仅使用 MM5/WRF 模拟数据来驱动 CALMET，也缺少模拟气象数据与实测数据的验证过程。

2.3.4 高空气象

目前国内可获取的高空实测数据有美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的 FSL 格式数据。技术复核发现，某项目在不考虑 MM5/WRF 模拟数据情况下，CALMET 气象预处理时仅使用一个高空实测站，而且高空实测站代表性太差，导致无法形成三维气象场。

2.4 模式参数

与 AERMOD、ADMS 模式相比，CALMET/CALPUFF 模式中参数非常多，大部分参数都有默认推荐值。此外，美国环保署 EPA 在 1998 年对 CALPUFF 模式参数推荐一系列参考值[15]。技术复核发现，有些环评单位为了使预测结果达标，故意修改了一些默认的推荐参数，例如修改了对结果影响较大的地形调整参数、不考虑烟囱下洗等，在报告书中却没有说明修改依据，见表 2。

2.5 其他问题

2.5.1 商业版本问题

国内多家软件商对法规模式进行二次开发，由于开发者的开发水平参差不齐或者开发者人为修改预测结果，导致商业软件存在一定的缺陷和风险。技术复核发现，由于国内基础数据格式与软件不兼容，导致某商业软件生成的数据存在异常值；此外还发现某软件商根据 CALMET 和 CALPUFF 自带的测试例子参数来作为商业软件的默认参数，造成软件使用者对

表 2 模式参数值对比表

参数	参数描述	EPA 推荐值	模式默认值	复核值
MCTADJ	地形调整方案	部分烟羽轨迹调整	部分烟羽轨迹调整	ISC 类型地形调整方案
MTIP	烟囱下洗	执行	执行	不执行
MDISP	计算扩散系数方法	农村区域使用 PG 扩散系数，城市区域使用 MP 系数	农村区域使用 PG 扩散系数，城市区域使用 MP 系数	从微气象学变量计算得到 σv 和 σw
MPARTL	点源部分烟羽穿透逆温层	执行	执行	不执行

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

参数选取产生误解。

2.5.2　采用 CALPUFF 开展风险预测

CALPUFF 模式缺少重气体模块，本身不支持计算重气体风险预测。重气体的扩散与中性气体、轻质气体不同，其最主要的区别在于附加的重力驱动流动。此外，重气云的形成通常涉及相变，并涉及与下垫面之间的热传递。一般而言，重气云的演变可划分为 5 个阶段：泄漏源释放阶段、下降–触底阶段、重力控制阶段、过渡阶段和湍流扩散控制阶段（被动扩散阶段）。CALPUFF 模式缺乏对此进行描述的模块。我国大气导则中以推荐模式清单方式引进 CALPUFF，但对其应用范围具有严格限定[1]；风险导则[16]中虽将多烟团模型列为中性/轻质气体预测推荐模型，但同样指出对于事故中的重气体扩散，应予以区分考虑。因此，在未验证的情况下，将目前版本的 CALPUFF 应用于重气体风险预测，既缺乏理论基础，也缺乏相应的法规文件支撑。

技术复核发现，一些石化项目采用 CALPUFF 开展重气体风险预测（苯、液氨等），超过了模式本身的计算能力。

2.5.3　$PM_{2.5}$ 预测

与大气导则推荐的 AEMROD、ADMS 相比，CALPUFF 具有较为复杂的化学反应模块，结合当前国家大气污染防治的环保要求，国内一些环评单位采用 CALPUFF 开展了火电、石化方面的 $PM_{2.5}$ 预测，但复核发现一些问题：

⑴ 某项目仅考虑生成的二次硫酸盐、硝酸盐颗粒物影响，未考虑排放源强中一次 $PM_{2.5}$ 的贡献影响；某项目同时考虑了一次和二次颗粒物的影响，未说明一次 $PM_{2.5}$ 源强取值依据；某石化项目明显有较多 VOC 排放，未考虑二次有机气溶胶（SOA）影响。

⑵ 考虑化学反应时，未说明 CALPUFF 模式中背景臭氧和 NH_3 输入值的取值依据。

3　CALPUFF 标准化应用

3.1　应用范围标准化

当环评项目评价范围小于 50 km，风场变化趋势一致时，无特殊原因不应使用 CALPUFF 模式[1]。若环评项目采用 CALPUFF 开展大气污染模拟工作，应说明 CALPUFF 替代大气导则推荐模式 AERMOD 或 ADMS 的依据，并采用当地风场观测数据来验证 CALMET 模拟气象场的优势性。

当项目评价范围小于 50 km，且风场变化复杂时，采用风场观测数据验证后，可考虑使用 CALPUFF 模式。由图 5 可知，案例排放源位于北京西部山区峡谷中，排放源处于复杂风场（风向空间变异、下坡气流等），此时排放的污染物对北京西部、西南、东部地区均可能造成影响，此时采用 CALMET 来模拟风场更具有代表性。

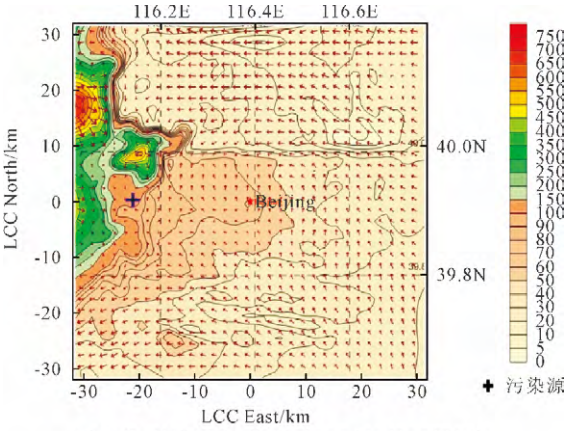


图5 北京地区风场图(2013年1月12日0时)

3.2　网格设置标准化

针对污染烟团迂回、回流等情况，受体网格每个方向应设置 10 km 以上的缓冲区。在气象网格分辨率较粗时（如 1 km），CALPUFF 可采用多密度离散网格受体，也可采用嵌套因子生成更密的受体网格，以解决 100 m 网格距预测问题。

3.3　基础数据标准化

环评报告应对 CALMET 使用的地形数据、土地利用数据的来源和分辨率予以说明。当地形数据和土地利用数据为公开下载数据时，地形数据分辨率不应小于 90 m，土地利用数据不应小于 1 000 m。针对土地利用数据分辨率低的问题，可通过加密土地利用处理程序中的参数采样格点数，来获得更多的土地利用数据点赋值解决。

对于每日实际观测次数不足 24 次的地面气象数据，在应用气象资料前对原始资料进行插值处理，插值方法可采用连续均匀插值法（实际观测次数为一日 4 次或一日 8 次）或者均值插值法（实际观测次数为一日 8 次以上）。在 CALMET 气象预处理时，应严格按照导则规定，考虑多个地面观测数据和多个高空观测数据。针对国内高空气象站相对比较稀疏（中国范围内约 90 个国际交流站），项目范围内及附近也可能没有高空实测数据站，可采用 MM5/WRF 模拟数据作为高空数据补充。

针对大气环评基础数据不同来源的问题，国家应建立国家级大气环评基础数据库（气象、地形、土地利用等），对外提供统一的数据服务，解决因不同数据来源造成的模拟差异。

3.4　模式参数标准化

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

国家应建立模型技术支持中心，开展 CALPUFF 模式参数敏感性、重点行业排放一次 $PM_{2.5}$ 源强因子、背景污染物浓度等研究和试验来验证 CALPUFF 在不同尺度范围预测结果的科学性，制定并发布相关参数的参考值，对于当前无法说明一次 $PM_{2.5}$ 源强因子、背景臭氧和氨气浓度以及二次前体物排放量极少的环评项目，不应采用 CALPUFF 来进行 $PM_{2.5}$ 污染的模拟；针对 CALPUFF 二次开发的商业软件，模型技术支持中心应开展一系列审查试验，来检验其参数和模拟结果的科学性。

3.5 公众参与标准化

环境保护部发布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》，要求环评工作公开环评报告书全本，但目前环评报告书文本并不包含预测所用的大气模式参数，公众无法从全本中了解大气建模过程，建议国家要求环评单位将大气预测模式输入文本文件（例如 CALPUFF 模式的 INP 格式文本文件）作为全本的附件内容，大气预测模式文本公开有助于社会公众监督，另一方面也有利于督促环评单位提高自身大气预测技术水平，按照大气导则规范使用 CALPUFF。

4 结语

鉴于现阶段中国环境空气污染状况和高速的经济发展，开展 CALPUFF 模式标准化应用技术研究，制定 CALPUFF 标准化应用技术指南，解决当前 CALPUFF 应用不规范问题，可以为国家环境规划、总量控制和环境影响评价提供技术支持和服务，具有十分重大的意义和紧迫性。同时国家应制定严格的惩罚制度，公开曝光造假单位“大气源强、模式参数造假”等违规行为和对其处罚情况，真正从制度上堵住这些漏洞。

[参考文献]

[1] HJ 2.2–2008, 环境影响评价技术导则: 大气环境 [S].

[2] 张丹, 周志恩, 翟崇治. 利用 CALPUFF 模型模拟重庆主城区能见度水平[J]. 三峡环境与生态, 2013, 35(1): 8–11.

[3] 崔慧玲. CALPUFF 模式用于放射性核素不同尺度的迁移扩散研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.

[4] 张玉珍, 蒯琳萍, 杨燕华. CALPUFF 模型在模拟核电站事故源项大气扩散中的应用 [J]. 电力与能源, 2011, 32 (2): 149–152.

[5] 杨怀荣, 刘茂, 刘付衍华. 利用 CALPUFF 对安徽和河南秸秆焚烧的模拟与研究 [J]. 环境科学研究, 2010, 23 (11): 1368–1375.

[6] 伯鑫, 丁峰, 李时蓓. CALPUFF 动态可视化系统的开发与应用研究[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(4): 37–42.

[7] 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, 34(6): 201–205.

[8] 杜吴鹏, 房小怡, 轩春怡, 等. MM5 与 CALMET 对北京地区风能资源的初步模拟 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(1): 84–92.

[9] 王淑兰, 张远航, 钟流举. 珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 133–137.

[10] 赵伟, 谢文彰, 瞿群, 等. 北部湾经济区产业发展对大气环境的影响研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(S): 12–18.

[11] 王栋成, 王勃, 王磊, 等. 复杂地形大气扩散模式在环境影响评价中的应用[J]. 中国环境科学, 2009, 26(6): 89–93.

[12] 邹伟. CALPUFF 模型在洋浦区域环境空气影响评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(10): 186–189.

[13] 伯鑫, 丁峰, 徐鹤, 等. 大气扩散 CALPUFF 模型技术综述[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 9–13.

[14] Scire J S, Strimaitis D G, Yamartino R J. A user´s guide for the CALMET dispersion model[M]. Version 5 Concord,MA:Earth Tech, 2000: 1–79.

[15] EPA, 1998. Interagency Workgroup on Air Quality Modeling (IWAQM) Phase 2 Summary Report and Recommendations for Modeling Long Range Transport Impacts [R]. http://www.epa.gov/ttn/scram/7thconf/calpuff/phase2.pdf.

[16] HJ/T 169–2004, 建设项目环境风险评价技术导则[S].

（上接第 510 页）

niques of marine data warehouse and data mining [J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(3): 1–6. (in Chinese)

[9] Blagoj D, Andreja J, Dimitri P S. Development of a web application for water resources based on open source software [J]. Computers & Geosciences, 2014, 62: 35–42.

[10] 吴涛, 戚铭尧, 黎勇, 等. WebGIS 开发中的 RIA 技术应用研究[J]. 测绘通报, 2006(6): 34–37.
Wu Tao, Qi Mingyao, Li Yong, et al. On the application of RI–A technique in WebGIS development[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2006(6): 34–37. (in Chinese)

[11] 李源泰, 李红波, 赵俊三. 开源 GIS 在 WebGIS 中的应用初探[J]. 地理空间信息, 2010, 8(2): 2–5.
Li Yuantai, Li Hongbo, Zhao Junsan. Application of open source GIS toWebGIS [J]. Geospatial Information, 2010, 8(2): 2–5. (in Chinese)

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