

复杂地形空气污染物风险扩散的环境影响研究

李莉, 苗雨, 范书凯

矿冶科技集团有限公司, 北京
Email: gogolily126@sohu.com

收稿日期: 2021年7月18日; 录用日期: 2021年8月19日; 发布日期: 2021年8月26日

摘要

利用空气质量模型AERMOD的大气预测模块, 建立了复杂地形高浓度SO₂气体泄漏的风险扩散模型分析方法。以某重金属冶炼企业为例, 设置50 m网格分辨率的30 km范围内的高浓度SO₂瞬时扩散风险情景, 进行真实情况下的全年的小时的最大贡献模拟分析, 得出各网格在真实气象条件下的最大影响情况图, 并将其与SLAB模型进行对比分析。结果表明, 基于AERMOD的复杂地形模块的风险预测影响范围在高浓度区与SLAB模型接近, 在低浓度区的部分区域小于SLAB模型。这说明基于AERMOD的复杂地形模块的风险预测在一定程度上可以较为真实的反应风险扩散模式。该方法为复杂地形风险扩散研究提供了科学依据。

关键词

AERMOD, 风险, 扩散

Study on Environment Impact of Air Pollutants Risk Diffusion in Complex Terrain

Li Li, Yu Miao, Shukai Fan

BGRIMM Technology Group, Beijing
Email: gogolily126@sohu.com

Received: Jul. 18th, 2021; accepted: Aug. 19th, 2021; published: Aug. 26th, 2021

Abstract

A calculated methodology of risk diffusion model of air pollutants in complex terrain of AERMOD model was developed. The technology was used in enterprise which is smelting heavy metal. We set a high concentration SO₂ diffusion risk scenario within 5 km of 50 m grid resolution, simulate and analyze the maximum hourly contribution of the whole year under the real situation, get the

maximum impact map of each grid under the real weather conditions, and analyze the score with SLAB model. The results show that the influence range of risk prediction of complex terrain module based on AERMOD is close to that of SLAB model in high concentration area and smaller than that of SLAB model in low concentration area. This shows that the risk prediction of complex terrain module based on AERMOD can reflect the real risk diffusion model to a certain extent. This method provides a scientific basis for the study of risk diffusion of complex terrain.

Keywords

AERMOD, Risk, Diffusion

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着工业的进步,我国突发性环境污染事故频发[1]。通常该类事故会带来严重的环境影响,并危害民众生命健康。本着预防性原则,做好突发性环境风险事故影响预测意义重大。在工业突发性环境风险中,由于储存体发生腐蚀、断裂等因素造成的危险化学品及有害污染物泄漏是比较常见的风险事故类型,这些事故泄漏的有害污染物浓度高,且泄漏后会迅速扩散,造成大范围的危险区域,为此这类风险事故是工业突发性环境污染事故的关注焦点。泄漏风险事故环境影响评价的研究方法很多,均以模型预测为主。目前,研究危险气体泄漏的风险模型有高斯模型、CHARM、SLAB 模型等。有研究表明高斯扩散模型在研究物质泄漏后果分析中应用较多,但高斯模型主要适用于较轻气体的预测。SLAB 模型则多见用于液化气体、H₂S、甲烷等气体泄漏事故的模拟预测中[2] [3] [4]。这些模型以平坦地形为研究对象,但是由于很多工业企业建设在较为崎岖的山地、丘陵的低洼地,使用平坦地形模拟会影响模拟结果的准确性。CHARM 模型是针对复杂地形的风险预测模型[5],但同高斯模型、SLAB 模型一样,仅模拟某一气象条件下的风险扩散结果,不能真实反映一个地方的实际情况。

风险预测模型也是一种空气扩散模式,考虑到目前应用较多的空气质量模型 AERMOD,该模型以当地地形为基础,可模拟真实气象条件下工业污染源对大气环境的影响[6] [7],曾有研究利用 AERMOD 选取出不利于风险扩散的气象条件[8]。本文拟引用大气预测模型 AERMOD,以某有色金属冶炼厂为例,计算复杂地形及真实气象条件下的风险事故的环境影响,并与 SLAB 模拟结果作对比分析。该研究结果将对风险模型预测的改进及工业企业制定应急预案有一定的借鉴意义。

2. 模型条件及参数

2.1. 事故源项分析

某锌冶炼企业生产规模 10 万 t/a 锌锭,副产硫酸 9.7 万 t/a。企业周边 5 km 范围有 8 个村庄和 2 个小学,环境风险保护目标较敏感。

二氧化硫为中间产物,主要是沸腾炉车间产生后立即随生产流程进入制酸,不单独储存,仅有生产流程中的在线量,本例中净化进口前冶炼系统管道及炉体的体积约为 4000 m³,计算得出的 SO₂ 在线量为 992 kg。这里管道压力 117,825 Pa,发生泄漏管道中 SO₂ 体积比为 5.13% (多余量转化为了 SO₃)。根据估算,该管道 SO₂ 发生泄漏的风险参数如下表 1 所示。

Table 1. The calculation parameters of risk leakage**表 1.** 风险泄漏计算参数

序号	位置	污染源名称	裂口直径/m	裂口高度/m	烟气流速/ (m ³ /h)	烟气温 度/°C	年排放小 时数/h	排放速 率 kg/h
AERMOD 参数	制酸区	SO ₂ 管道泄漏	0.2	2	131.93	280	连续	1260
SLAB 参数	制酸区	SO ₂ 管道泄漏	0.2	/	/	280	0.5	1260

2.2. AERMOD 和 SLAB 模型参数

SLAB 模型适用于平坦地形下重质气体排放的扩散模拟,可以处理的排放类型包括地面水平挥发池、抬升水平喷射、烟囱或抬升垂直喷射以及瞬时体源,其可以模拟多组气象条件[9],但不适用于真是条件下监测的实时气象数据输入。SLAB 模型主要参数包括:泄漏类型、泄漏物质属性、泄漏参数、气象数据等。对模拟结果影响较大的参数包括气象参数及地面粗糙度[10] [11]。经模型验证,最不利气象条件[12]参数(见表 2)下,其风险影响范围最大,这组参数在国内各种风险环境影响评价工作中得到了认可。地面粗糙度参数在 SLAB 模型中也是简化处理过的,通常取评价中间点周边 3 km 最主要地面特征参数。

Table 2. The calculation parameters for SLAB model and AERMOD model**表 2.** SLAB 模型和 AERMOD 模型主要参数表

参数类型	选项	SLAB 参数	AERMOD 参数
	气象条件类型	最不利气象	
气象参数	风速/(m/s)	1.5	地面气象数据: 厂址最近的气象站为南丹县气象站提供的 2018 年逐时地面气象观测资料,其内容包括:年、月、日、时、风向、风速、总云量、低云量、干球温度 高空气象数据: 长度厂址附近的 MM5 模拟数据
	环境温度/°C	25	
	相对湿度/%	50	
	稳定度	F	
地面参数	地表粗糙度/m	0.03	主要为阔叶林,评价区域属于湿度气候,地面时间周期按月计量,地面粗糙度按照 Aermet 通用地表类型选取。
地形数据	地形高程	/	外部 DEM 数据 90 m 分辨率
网格设置	网格间隔(m)	50	50
计算范围	长/宽(km)	10/10	30/30
评价标准	大气毒性终点浓度 1 级 SO ₂ (mg/m ³)	79 (大于该浓度可能对人群造成生命威胁)	
	大气毒性终点浓度 2 级 SO ₂ (mg/m ³)	2 (大于该浓度绝大多数人员暴露 1 h 不会对生命造成威胁)	

AERMOD 模型适用于真实地形和实时气象数据条件下的大气扩散模拟,可以将风场和复杂地形[13] [14]扩散相结合,其可以模拟各种地面及高架的点、面、线源和体源污染物的大气扩散。AERMOD 模型是一种稳态烟羽模型,在稳定边界层中,模型在垂直和水平方向的浓度分布采用的是高斯分布;在对流边界层中,水平分布也是高斯分布,垂直分布则采用的是双高斯概率密度函数。AERMOD 模型主要参数包括:地面气象数据、高空气象数据、地表粗糙度[15]、地形数据等。对模拟结果影响最大的是气象数据和地形数据。气象数据需要收集当地气象部门某一年的地面逐时气象数据和高空数据。如果当地没有高空数据,也可利用 MM5 [16]气象模型(MM5 是由美国大气研究中心(NCAR)和美国宾州大学(PSU)联合研

制发展起来的中尺度数值预报模式,已被广泛应用于各种中尺度现象的研究)提供的模拟数据。地形数据为国内通用的 DEM 数据(90 m 分辨率)。

本项目利用 SLAB 模型的最不利气象条件模拟结果和 AERMOD 模型预测作对比。

3. 预测结果及评价

3.1. AERMOD 模拟结果

1) 预测浓度达到不同毒性终点浓度的最大影响范围

由 AERMOD 预测结果可知,SO₂ 浓度达到大气毒性终点浓度 2 级(2 mg/m³)的最大影响范围距离为 2000~15,000 m,达到大气毒性终点浓度 1 级(79 mg/m³)的最大影响范围约为 600 m,预测 SO₂ 浓度达到不同毒性终点浓度的最大影响范围见图 1 (这里给出了 10 km × 10 km 范围预测结果)。由图可见,SO₂ 风险扩散情况的走势与地形高程(见图 2)相关。

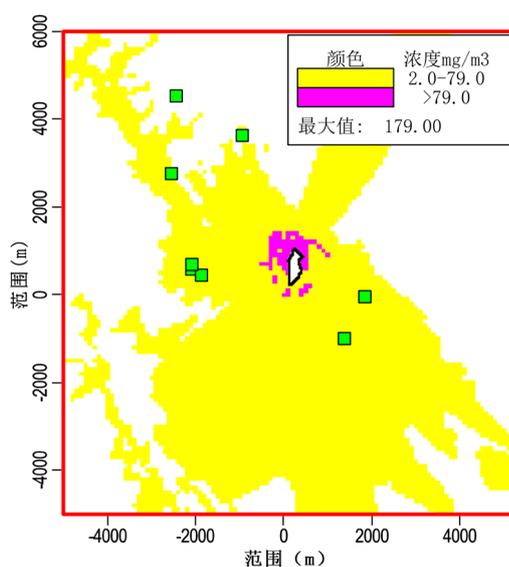


Figure 1. SO₂ concentration distribution (10 km × 10 km)

图 1. SO₂ 浓度分布图(10 km × 10 km)

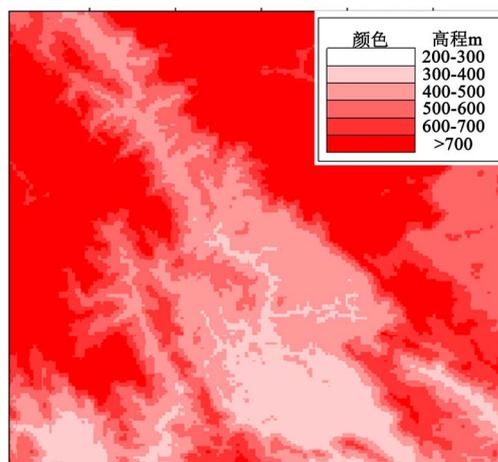


Figure 2. Topographic elevation (10 km × 10 km)

图 2. 地形高程(10 km × 10 km)

2) 各关心点的风险浓度情况

由于采用了具体的地形数据,并考虑关心点位置,AERMOD给出了各关心点的预测结果。参考上图(绿色方块为关心点),风险影响最大的关心点浓度为 19.5 mg/m^3 ,持续时间按照烟团存在时间约 30 min ,计算出该关心点的大气伤害概率为零。

3.2. SLAB 模拟结果

1) 预测浓度达到不同毒性终点浓度的最大影响范围

经预测,在最不利气象条件(F类稳定度, 1.5 m/s 风速, 温度 25°C , 相对湿度 50%)下, SO_2 浓度达到大气毒性终点浓度2级(2 mg/m^3)的最大影响范围约为 3059 m ,到达时间 47 min 。达到大气毒性终点浓度1级(79 mg/m^3)的最大影响范围约为 564 m ,到达时间 12 min ,主要风险受体为厂区内员工,预测 SO_2 浓度达到不同毒性终点浓度的最大影响范围见下图3。

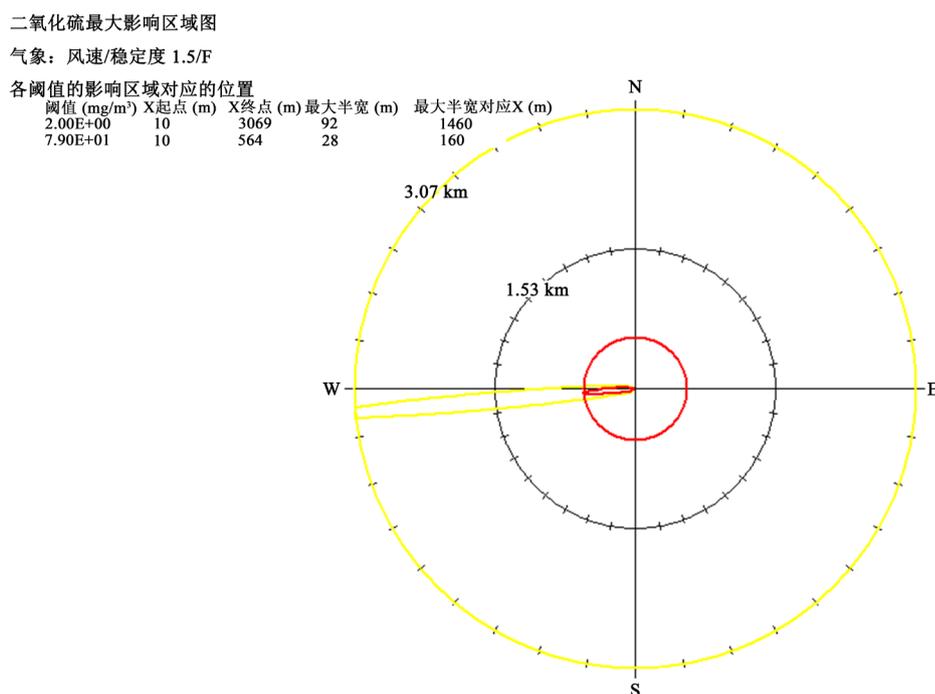


Figure 3. The impact range under the most unfavorable meteorological conditions (SLAB model)
图 3. 最不利气象条件下的影响范围(SLAB 模型)

2) 各关心点的风险浓度情况

评价范围内有10个关心点,根据预测可知,所有关心点均在大气毒性终点浓度2级的范围外,但大部分关心点位于大气毒性终点浓度1级的影响范围内。当最不利气象条件时(风向按照最近关心点为正下风向选取),对下风向最近的关心点的浓度为 3.6 mg/m^3 。持续时间按照烟团存在时间 30 min ,计算出该关心点的大气伤害概率为零。

3.3. 结果对比分析

基于AERMOD复杂地形模块的风险预测影响范围在高浓度区(大气毒性终点浓度1级)情况下与SLAB模型接近,均在 600 m 左右。在低浓度区(大气毒性终点浓度2级)情况下其影响距离不等,变化范围较大,且部分地区范围小于SLAB模型结果。这主要是受距离厂址周边地形的影响,距离厂址较近的

地区,地形相对平坦,两种模型计算出的影响距离接近,这说明 AERMOD 模型用于突发性环境风险事件的模拟是有一定可靠性的。另外,距离厂址较远的地区,由于地形变化较大,AERMOD 和 SLAB 呈现出不同的结果,AERMOD 模拟结果更直观。

SLAB 对关心点的最大预测浓度仅为 3.6 mg/m^3 ,小于真实气象条件下 AERMOD 对关心点的最大浓度 19.5 mg/m^3 。这是因为 AERMOD 模拟结果的前提是 2018 年某小时真实气象条件下的结果,虽然该时刻不一定发生风险泄漏事故,但其结果一定是此次风险事故的最大影响情况。本着从最不利角度考虑风险事故的影响,AERMOD 模拟结果仍然是值得推荐的。

4. 结论

本文利用空气质量模型 AERMOD 的大气预测模块,以某有色金属冶炼企业为例,建立了复杂地形高浓度 SO_2 气体泄漏的风险扩散模型分析方法。由 AERMOD 预测结果可知, SO_2 浓度达到大气毒性终点浓度 2 级的最大影响范围距离为 2000~15,000 m,达到大气毒性终点浓度 1 级的最大影响范围约为 600 m。同时,本文给出了 SLAB 模型的模拟结果,经预测,在最不利气象条件达到大气毒性终点浓度 2 级最大影响范围约为 3059 m,达到大气毒性终点浓度 1 级的最大影响范围约为 564 m。

通过与 SLAB 模型进行对比分析发现,基于 AERMOD 的复杂地形模块的风险预测影响范围在高浓度区与 SLAB 模型接近,在低浓度区情况下其影响距离变化范围较大,距离不等。这主要是受距离厂址周边地形的影响,距离厂址较远的地区,地形相对平坦,模拟结果相近;距离厂址较远的地区,由于地形变化较大,AERMOD 和 SLAB 呈现出不同的结果,AERMOD 模拟结果更直观。另外,AERMOD 可以给出真实气象条件下最大影响,符合最不利角度风险事故分析原则。本文建立的风险模型是一种值得推荐的复杂地形风险预测方法,可为相关研究提供科学依据。

参考文献

- [1] 胡翠娟,文峰,伯鑫,易爱华. 基于 CHARM 的复杂地形下风险评估方法[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集. 2013: 2968-2974.
- [2] 崔萍. 液氯泄露环境风险评价[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(8): 158-162, 188.
- [3] 杨静翎,凌敏. SLAB 模型在某工厂液氨泄漏应急响应中的应用[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(1): 102-106.
- [4] 邹旭东,杨洪斌,汪宏宇,张云海,刘玉彻. SLAB 在突发大气污染事件应急模拟中的应用[J]. 环境科学与技术, 2010(S2): 588-590.
- [5] 段勇,胡翠娟,李广茹. CHARM 模型算法及其在环境风险评价中的应用[J]. 环境工程, 2014, 32(6): 130-134.
- [6] 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.
- [7] 黄道建,陈晓雯,蔡凤珊,许榕发,庄僖,于晓巍,钱益斌. 珠江三角洲垃圾焚烧发电厂烟气污染物的呼吸暴露风险研究[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2020, 52(5): 41-48.
- [8] 马岩,付金杯,安伟铭,潘峰,全纪龙. 不利气象条件下的环境风险评价研究——以芳烃抽提装置为例[J]. 环境工程, 2015, 33(12): 121-124.
- [9] 黄天龙,杜蓉,张丹. 镍冶炼企业二氧化硫烟气泄漏在不同气象条件下的扩散对比分析[J]. 甘肃冶金, 2021, 43(2): 50-52, 56.
- [10] 肖亿群. 环境风险评价中 AFTOX 模型和 SLAB 模型的运用分析[J]. 绿色建筑, 2021, 13(3): 41-42, 45.
- [11] 孙召宾,郑洪波,张树深. 重气体扩散模型分类及工业应用模型分析比较[C]//中国可持续发展研究会. 2011 中国可持续发展论坛论文集. 2011: 435-438.
- [12] 生态环保部. HJ/T 169-2018. 建设项目环境风险评价技术导则[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [13] 杜超,全纪龙,潘峰,舒璐. 不同精度地形数据对复杂地形条件下卫生防护距离计算影响研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(9): 24-28.
- [14] 王栋成,王勃,王磊,邱黎. 复杂地形大气扩散模式在环境影响评价中的应用[J]. 环境工程, 2010, 28(6): 89-93.

- [15] 伯鑫, 王刚, 田军, 杨景朝, 高锡章, 黄远奕, 李时蓓. 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.
- [16] 杨庆周, 刘厚凤, 荆林晓. MM5 模拟数据在质量模型 AERMOD 中的应用评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(4): 28-30, 39.