

CALPUFF Application of the model in the simulation calculation of PM_{2.5} in the lead-zinc smelting project

Dong Liang

Changsha Nonferrous Metallurgy Design and Research Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410011, China

Abstract

China attaches great importance to the treatment of fine particulate matter (PM_{2.5}). Heavy metal elements such as lead, arsenic, chromium, mercury and copper are enriched in PM_{2.5} discharged by kilns in the smelting industry, which is an important contributing source of heavy metal pollutants in the air. If these heavy metals are inhaled by the human body, they can have a very serious potential harm to both human health and environmental air quality. This paper uses a new lead-zinc smelting project, introduces the prediction, gives the prediction results and analyzes the rationality of the model has the characteristics of the operation and the correlation of PM_{2.5}, and the results of the model, which needs to continue to explore and improve in the next prediction evaluation of PM_{2.5}.

Keywords

CALPUFF model; PM_{2.5}; lead-zinc smelting project; ambient air impact

CALPUFF 模型在铅锌冶炼项目 PM_{2.5} 模拟计算中的应用

梁栋

长沙有色冶金设计研究院有限公司, 中国 · 湖南 长沙 410011

摘 要

我国对细微颗粒物(即PM_{2.5})的治理十分重视。冶炼行业窑炉排放的PM_{2.5}中富集有铅、砷、铬、汞、铜等多种重金属元素,是空气中重金属污染物的重要贡献源。这些重金属若被人体吸入,会对人体健康和环境空气质量都有非常严重的潜在的危害。本文以某新建铅锌冶炼项目作为案例,介绍利用CALPUFF模型对项目排放及转化产生的PM_{2.5}的影响进行预测,给出预测结果并对其合理性进行分析,说明该模型在预测PM_{2.5}方面具有能操作、预测结果相关性好的特点,同时也指出由于PM_{2.5}生成的复杂性和模型在模拟污染物化学转化方面的局限性,导致模型预测结果在完整性上存在一定的不足,这需要在下一步PM_{2.5}的预测评价工作中继续探索完善。

关键词

CALPUFF模型; PM_{2.5}; 铅锌冶炼项目; 环境空气影响

1 引言

PM_{2.5}是指空气动力学直径小于或等于2.5 μ m的颗粒物。冶炼行业窑炉排放的PM_{2.5}中富集有铅、砷、铬、汞、铜等多种重金属元素,是空气中重金属污染物的重要贡献源。这些重金属若被人体吸入,会对人体健康造成严重危害^[1]。

PM_{2.5}产生过程的复杂性给预测模拟工作带来困难,普通的大气影响预测软件不能对其影响进行预测,在《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2008)推荐的模式中,CALPUFF模型具有计算复杂的化学转化方面的功能。选取某新建铅锌冶炼项目,利用CALPUFF模型对项目排放及转化产生的PM_{2.5}的影响进行预测,介绍预测方法并进行合理

性分析,说明CALPUFF模型在预测PM_{2.5}方面的优缺点,为在冶炼项目中开展PM_{2.5}的预测评价工作进行探索。

2 模型简介

2.1 CALPUFF 模型简介

CALPUFF模型是《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2008)推荐的模式之一^[2]。该模型是由Sigma Research Corporation开发的空气质量扩散模式,CALPUFF模型系统由CALMET模块、CALPUFF模块和CALPOST模块三部分组成,其中CALMET是气象模块,用于在三维网络模型区域内生成小时风场和温度场;CALPUFF为三维非稳态拉格朗日扩散模式系统,是利用CALMET生成的风场和温度场输送污染源排放的污染物烟团,进行模拟扩散和转化的过程;CALPOST为后处理模块,是通过处理CALPUFF输出的文件,生成所需浓度文件用于后处理^[3]。

【作者简介】梁栋(1981-),男,中国湖南长沙人,本科,高级工程师,从事环境影响评价研究。

2.2 MESOPUFF II 方案

对于二次 PM_{2.5} 预测，CALPUFF 模型中内置了几种化学转化方案来进行处理，主要为 MESOPUFF II 方案、RIVAD/ARM3 方案和二次有机气溶胶 SOA 方案。其中 MESOPUFF II 方案和 RIVAD/ARM3 方案可以预测 PM_{2.5} 的无机部分，二次有机气溶胶 SOA 方案可以预测的 PM_{2.5} 有机部分。

本案例中采用的是其中的 MESOPUFF II 方案，该方案中包含的化学过程是：①二氧化硫转化为硫酸盐；②氮氧化物转化为硝酸盐气溶胶。其基本原理是：在白天光照条件下，大气中的氮氧化物与挥发性有机物发生耦合反应，使臭氧等强氧化性物质浓度提高，大气氧化性增强，排入环境中的二氧化硫、氮氧化物等污染物，经过各类氧化途径生成气态硫酸与气态硝酸，气态硫酸与气态硝酸和大气中的氨气反应生成硫酸铵与硝酸铵，从而进入细颗粒态。这样总 PM_{2.5} 的浓度等于一次 PM_{2.5} 浓度加上硫酸铵和硝酸铵的浓度。

3 案例概况

青海某铅锌冶炼项目位于青海省某工业园内，生产电

铅 100kt/a、电锌 150kt/a。其主要生产工艺为铅冶炼处理铅锑矿和铅精矿，并同时搭配处理锌系统产出的渣料，铅冶炼系统采用富氧强化熔池熔炼（氧化+还原）—热态还原渣烟化吹炼、大极板电解工艺，综合回收金、银、锑等有色金属。

青海某铅锌冶炼项目位于青海省格尔木市，区域环境空气质量良好。地势平坦。区域属典型高原大陆性气候，具有冬季寒冷漫长、夏季凉爽短促、干旱少雨、光照充足辐射强、多风、气压低等气候特点。年平均气温：5.3℃，年均降水量：42.8mm，最大风速：40m/s，年均风速：2.8m/s，全年主导风向：W-NW。

4 模型参数选取与条件处理

4.1 计算点

整个计算范围为 24km×24km 的长方形范围。在 12km×12km 的范围内东西格点数 241，南北格点数 241，格距 0.05km；在其余范围内东西格点数 161，南北格点数 161，格距 0.15km。

4.2 污染源参数

项目主要源参数见表 2。

表 2 项目主要污染源计算参数

污染源	排气筒高度 (m)	排气筒内径 (m)	废气量 (Nm ³ /h)	温度 (℃)	评价因子源强 (kg/h)				
					PM ₁₀	SO ₂	NO _x	Pb	硫酸雾
G1	80	5.5	986872	50	9.229	12.92	18.49	0.518	1.849
G2	15	0.7	18000	20	0.18	0	0	0.005	0
G3	32	3.5	63102	80	0	0	0	0	1.26
G4	15	1.3	70000	80	0.7	0	0	0	0
G5	15	1.1	45000	80	0.45	0	0	0	0
G6	15	0.85	24000	80	0.24	0	0	0	0
G7	20	1.2	50000	40	0.2	0	0	0	0
G8	15	1.6	120000	60	1.2	0	0	0	0
G9	15	0.35	5000	20	0.05	0	0	0	0
G10	15	0.9	20000	20	0.2	0	0	0	0
G11	30	0.9	27000	100	0.12	0	1.5	0	0
G12	35	1.5	37000	80	0.75	1.85	5.55	0	0
G13	35	1.5	37000	80	0.75	1.85	5.55	0	0
G14	35	1.5	37000	80	0.75	1.85	5.55	0	0

4.3 气象条件

本次环评中的中尺度风场模拟范围为 320km×320km，以项目为中心，水平网格距为 3km。模式垂直方向自地面至 3000m 不等距分为 10 层，各层中点离地面高度见表 3。

表 3 垂直方向分层和高度

层数	1	2	3	4	5
高度 (m)	10	40	80	160	300
层数	6	7	8	9	10
高度 (m)	600	1000	1500	2200	3000

用于风场初始插值的地面风资料来自周边常规气象站，

同时使用美国国立大气研究中心 (NCAR) 发布的全球再分析气象资料 (NCEP) 参与地面和上层风场插值。原始气象数据采用美国国家环境预报中心的 NCEP/ NCAR 的再分析数据（格距约为 110km），作背景场，通过三层嵌套网格 MM5 中尺度气象场模式计算每年得到 8760 小时的逐时气象场（温度场，风场）。原始数据还包括地形高度、土地利用、陆地 - 水体标志、植被组成等数据，数据源主要为美国的 USGS 数据。

4.4 地形数据

地形数据使用 SRTM3 90m 数据，下载地址：http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/ 每个文件是 1°x1°

格点内的数据。土地利用数据使用 USGS 数据，下载地址：
http://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/glcc/ea/lamberta/causgs2_0la.img.gz

4.5 预测内容

预测内容主要包括：①计算项目产生 $PM_{2.5}$ 最大日均、年均落地浓度；②绘制评价范围内所有网格点 $PM_{2.5}$ 最大地面日均、年均浓度分布图。

5 青海某铅锌冶炼项目环境空气影响预测分析

在 2016 年逐时气象条件下，利用 CALPUFF 模型对预测区域内所有网格点进行预测，经预测得到项目产生 $PM_{2.5}$ 最大日均、年均落地浓度及出现位置见表 5；各网格点 $PM_{2.5}$ 最大日均、年均落地浓度分布情况见图 1 与图 2。

表 5 模型预测结果

类别	X	y	距离 (m)	浓度 ($\mu g/m^3$)	标准值 (mg/m^3)	占标率 (%)
$PM_{2.5}$ 最大日均值	300	-600	670.8	2.93	75	3.91
$PM_{2.5}$ 最大年均值	300	-750	807.8	0.967	35	2.76

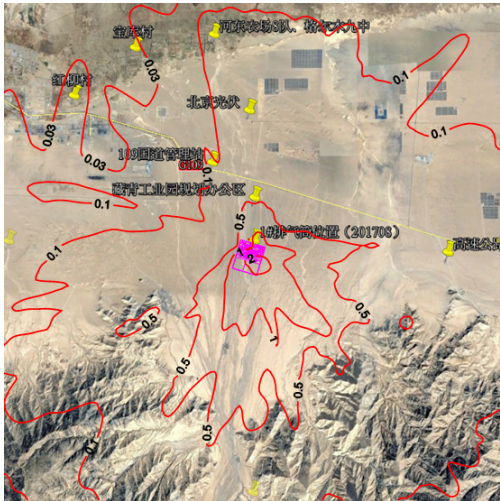


图 1 $PM_{2.5}$ 最大日均落地浓度分布图

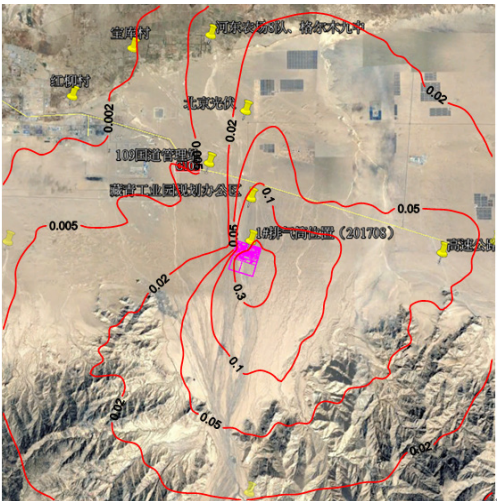


图 2 $PM_{2.5}$ 最大年均落地浓度分布图

6 结语

- ①通过以上案例可知，利用 CALPUFF 模型能够对 $PM_{2.5}$ 进行模拟计算，而这是其他利用高斯理论为基础的模型所不具备的。
- ② CALPUFF 模型含有较为简单的化学机制，但化学转化过程是线性的。用于计算化学反应生成硫酸盐和硝酸盐，能广泛应用于大气环境影响评价。
- ③要注意的是案例中对 $PM_{2.5}$ 的模拟仅计算一次污染物与二氧化硫、氮氧化物等通过化学反应间接生成 $PM_{2.5}$ 的情

况，没有考虑挥发性有机物及其他因素的影响，因此案例中得到的 $PM_{2.5}$ 的结果比项目运行后实际产生的量要小，这有待于在以后的工作中进一步深入分析研究。

参考文献

[1] 杨洪斌, 邹旭东, 汪宏宇等. 大气环境中 $PM_{2.5}$ 的研究进展与展望[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 77—82.
[2] 中华人民共和国环境保护部. 环境影响评价技术导则大气环境: HJ2.2-2008[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009. .
[3] 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.