

NCEP 再分析资料在大气环境预测中的应用

孟宪林¹, 国世友^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 黑龙江省气象台, 150030 哈尔滨)

摘要: 为了给大气环境预测中使用非常规气象资料提供参考依据, 基于美国法规空气质量 (AERMOD) 模式, 以 2011 年哈尔滨常规观测资料、美国国家环境预报中心 (NCEP) 再分析资料构建标准情景和 NCEP 气象情景, 分析 NCEP 气象情景与标准情景大气污染物预测质量浓度的符合度指数和相对误差。结果表明: NCEP 再分析高空资料、云量资料用于大气环境预测与标准情景相比误差小, 可以替代同类常规观测数据; 而 NCEP 再分析资料替代地面自动站资料进行大气环境预测误差偏大, 不宜采用。

关键词: 美国国家环境预报中心再分析资料; 美国法规空气质量模式; 环境预测; 气象情景; 替代
中图分类号: X820 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2013)08-0061-05

NCEP reanalyzed data used for atmospheric environment prediction

MENG Xianlin¹, GUO Shiyu^{1,2}

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
2. Meteorological Observatory of Heilongjiang Province, 150030 Harbin, China)

Abstract: In order to provide reference for using the unconventional meteorological data in environmental prediction, based on AERMOD model, the standard meteorological scenario and NCEP meteorological scenarios were constructed by using the 2011 Harbin station-observed data and NCEP reanalyzed data, and the d index and relative error on pollutant prediction concentration between NCEP meteorological scenarios and standard meteorological scenario were analyzed. The results show that the NCEP high altitude meteorological data, cloud data can be used in atmospheric environment prediction, but the NCEP data cannot replace the ground automatic weather station data for atmospheric environment prediction.

Key words: NCEP reanalysis data; AERMOD model; environmental prediction; meteorological scenarios; replace

《环境影响评价技术导则大气环境 (HJ2.2—2008)》(以下简称“导则”) 要求一、二级大气环境影响评价项目使用距离项目最近的、小于 50 km 的常规地面、高空气象资料或中尺度气象模式模拟的格点高空气象资料。我国高空气象探测站之间距离一般在 300 km 左右, 不能完全满足现实需求。区域气象自动站仅有气压、温度、风向、风速等自动观测项目, 无云量、能见度等人工观测项目, 增加了大气环境影响评价过程中气象资料收集和处理的难度^[1-2]。如今, 利用资料同化技术

再分析气象观测资料、构建高时空分辨率的格点历史气候数据集取得了巨大进步^[3-5]。美国国家环境预测中心 (NCEP) 和大气研究中心 (NCAR) 的 NCEP/NCAR 全球大气再分析资料包含从 1948 年 1 月至今的一日 4 次、逐日和逐月全球再分析数据, 为深入了解大气运动方式、认识不同时空尺度内天气系统起到了重要作用。

在进行建设项目大气污染物质量浓度预测过程中, 更多的要求预测稳态条件下污染物的扩散规律^[6-8], 常用的模式为美国法规空气质量模式 (AERMOD, AMS/EPA Regulatory Model)。AERMOD 模式是美国环保局联合气象学会组建法规模式改善委员会 (AERMIC) 于 20 世纪 90 年代中后期开发的, 以扩散统计理论为基础, 假定污染物

收稿日期: 2012-07-02.

作者简介: 孟宪林 (1961—), 男, 副教授.

通信作者: 孟宪林, hgdmxl@163.com.

质量浓度分布遵从高斯分布,适用于点源、面源、体源、农村或城市地区、简单或复杂地形、地面源和高架源等多种情景^[9-11]. 本研究从“导则”对气象数据的要求切入,使用哈尔滨气象站常规观测资料、非常规资料(NCEP 再分析资料)设置不同的气象情景,运用 AERMOD 模式进行大气污染物质量浓度预测,通过统计分析手段定性判断 NCEP 再分析资料对大气污染物质量浓度预测结果的影响,以期使用“导则”规定外的非常规气象资料提供参考依据.

1 研究方案

1.1 资料

采用 2011 年哈尔滨气象观测站(126°46'E, 45°45'N)的地面、高空常规资料及 NCEP 再分析资料,用反距离加权法将(126°E,45°N)、(125°E, 45°N)、(126°E,46°N)、(125°E,46°N)4 个格点 NCEP 再分析资料插值到(126°46'E,45°45'N)点,得到哈尔滨测站位置的 NCEP 再分析资料.

地面气象资料包括总云量、低云量、干球温度、风向、风速 5 项. 哈尔滨常规资料的干球温度、风向、风速为 24 次/d 观测,总云量、低云量为 8 次/d (02、05、08、11、14、17、20、23 时)观测;NCEP 再分析地面资料有 4 次/d(02、08、14、20 时). 对于每日不足 24 次的项目使用线性插值法进行插补.

高空气象资料有大气压、高度、干球温度、露点温度、风向、风速 6 项. 用逐日 08 时的哈尔滨常规高空资料和 NCEP 再分析高空资料作研究.

哈尔滨气象观测站地面、高空观测资料来源于中国气象数据共享服务网 <http://cdc.cma.gov.cn>,NCEP 再分析资料来自美国 NCEP/NCAR 公布的大气再分析资料 <http://dss.ucar.edu>.

1.2 气象情景设置

依据“导则”对气象数据的要求,将哈尔滨气象站观测的地面资料与高空资料的组合作为标准情景,将 NCEP 再分析资料及哈尔滨气象站资料的组合作为 NCEP 气象情景,设置为以下 4 种:

1) NCEP 高空情景. 地面数据为哈尔滨测站的常规观测资料,高空数据用 NCEP 再分析高空资料.

2) NCEP 云量情景. 地面气象数据包括哈尔滨测站的干球温度、风向、风速,NCEP 再分析资料的总云量、低云量;高空数据用哈尔滨测站的高空资料.

3) NCEP 云量高空情景. 地面气象数据包括哈尔滨测站的干球温度、风向、风速,NCEP 再分

析资料的总云量、低云量;高空数据用 NCEP 再分析高空资料.

4) NCEP 情景. 地面和高空数据均用 NCEP 再分析资料.

1.3 AERMOD 模式的参数设置

1.3.1 污染源源强

假设污染源为单一污染物 SO₂ 点源,位于哈尔滨气象观测站,坐标为(0,0),排放速率 100 kg/h,高度 210 m,内径 6 m,烟气速度 60 m/s,烟气温度 430 K.

1.3.2 地表参数

如表 1 所示,一年四季均采用城市、白天中等湿度条件下的地表参数设置.

表 1 地表参数设置

季节	反照率	BOWEN 率	地表粗糙度
冬季	0.35	1.5	1
春季	0.14	1	1
夏季	0.16	2	1
秋季	0.18	2	1

1.3.3 地形数据

地形数据采用 http://csi.cgiar.org/WhItIsCGIAR_CSI.asp,以哈尔滨气象观测站(126°46'E,45°45'N)为中心,范围 25 km × 25 km.

1.3.4 预测内容

关于 NCEP 气象情景替代标准情景的可行性检验最根本的方法是对同一点位的质量浓度预测值进行比较,分析其一致程度. 因此,设定研究范围以哈尔滨气象站(0,0)为中心点的 25 km × 25 km 矩形区域,预测网格距取 0.5 km × 0.5 km,共有 101 × 101 个网格点进行质量浓度预测值检验. 预测点位置用坐标(x,y)表示, x 表示距离中心点东西向距离,污染源以东为正,以西为负. y 表示距离中心点南北向距离,污染源以北为正,以南为负.

利用 AERMOD 模式预测污染物质量浓度时不考虑建筑物下洗、化学衰变、化学转化及干湿沉降作用,分析内容为网格点 SO₂ 最大地面小时质量浓度.

1.4 预测数据的统计学检验

选用符合度指数、相对误差作为检验 NCEP 气象情景替代标准情景进行 SO₂ 地面质量浓度预测的可行性指标. 用符合度指数 d 结合均方差 MSE^[12] 来检验 NCEP 气象情景的质量浓度值与标准情景值的一致性. d 值在 0 与 1.0 之间,越接近于 1,均方误差 MSE 越小,说明预测的 NCEP 气

象情景值与标准情景值越符合, $d = 1$ 表明 NCEP 气象情景值与标准情景值完全吻合. 通过一系列点的预测值分析符合度, NCEP 气象情景值与标准情景值的相符程度在 80% 以上为优秀, 60% 以上为良好, 40% 以上认为是基本可信.

2 结果分析

2.1 高质量浓度分析

将 AERMOD 模式预测的 101×101 个网格点的前 102 个 SO_2 最大地面小时质量浓度作为高质量浓度值. 得到 NCEP 高空情景与标准情景 102 个 SO_2 高质量浓度值符合度为 1, 均方误差为 0, 说明 NCEP 高空情景值与标准情景值完全符合. NCEP 云量情景值、NCEP 云量高空情景值与标准情景值的符合度均为 0.9874, 均方误差均为 0.494 4, 符合度接近于 1, 均方误差较小, 说明 NCEP 云量情景、NCEP 云量高空情景与标准情景符合较好. NCEP 情景值与标准情景值的符合度为 0.733 7, 均方误差为 2.445 8, 符合度较接近于 1, 均方误差较大, 说明 NCEP 情景与标准情景符合得并不是很好.

NCEP 高空情景与标准情景、NCEP 云量情景与 NCEP 云量高空情景的 102 个高质量浓度值相等, 下面仅分析 NCEP 云量情景值、NCEP 情景值与标准情景值的差异. 将 NCEP 云量情景、NCEP 情景与标准情景的 102 个高质量浓度值按照从大到小顺序绘成曲线图 (图 1), 可以看出, 标准情景的前 25 个高质量浓度值减小较快, 之后变化幅度趋缓; NCEP 云量情景前 13 个值下降较大, 之后变化趋缓; NCEP 情景的前 15 个值迅速下降, 以后的值相差不大.

与标准情景相比, NCEP 云量情景、NCEP 情景

大多数点质量浓度值偏小. NCEP 云量情景值与标准情景值较接近, 主要是前 50 个值存在偏差, 幅度一般小于 10%. 相对而言, NCEP 情景值偏离标准情景值的幅度较大, 一般在 30% 左右.

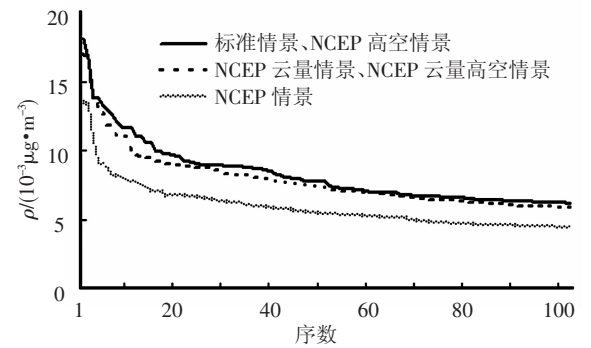


图 1 NCEP 气象情景与标准情景的高质量浓度值变化

2.2 网格点质量浓度分析

2.2.1 概率分析

对利用 AERMOD 模式计算出的 NCEP 气象情景下所有网格点 SO_2 质量浓度值与标准情景值的相对误差进行分析. 由表 2 可以看出, 4 种 NCEP 气象情景值的相对误差随着相对误差值段数值变大, 点数则减少, 相对误差位于 10% 以内的点数最多, 大于 50% 的点数很少.

4 种 NCEP 气象情景值相比, NCEP 高空情景与 NCEP 云量情景相当, 格点质量浓度相对误差主要在 20% 以内, 分别占总点数的 90%、88%; 而 NCEP 云量高空情景、NCEP 情景相对误差在 20% 以内的点相对于其他两类情景较少, 主要集中在 30% 以内. NCEP 云量高空情景与 NCEP 情景相比, NCEP 云量高空情景值格点质量浓度相对误差在 10% 以内的比例高于 NCEP 情景的 17%, 并且相对误差高值段出现概率均小于 NCEP 情景.

表 2 NCEP 气象情景值相对误差在不同值段出现概率 %

情景	0 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	> 50
NCEP 高空情景	72	18	5	3	1	1
NCEP 云量情景	75	13	5	3	1	3
NCEP 云量高空情景	55	23	13	5	2	2
NCEP 情景	38	27	17	9	6	3

2.2.2 空间分析

气象旱涝等级规定, 当降水量距平百分率 (M) 在 $-25\% < M < 25\%$ 为正常, $25\% \leq M$ 或 $M \leq -25\%$ 为涝和旱. 依此划分方法, 规定 NCEP 气象情景下网格点 SO_2 最大地面质量浓度预测值的相对误差在 25% 以内认为预测结果接近标准情景值.

图 2 为 NCEP 气象情景与标准情景的 SO_2 最大地面小时质量浓度的比值空间分布. 由图 2(a) 可以看出, 利用 AERMOD 模式预测的 NCEP 高空情景 SO_2 最大地面小时质量浓度与标准情景的相对误差大于 25% 的范围较小, 主要位于 $(-25 \sim -5 \text{ km}, -25 \sim 0 \text{ km})$ 内, 所有网格点中有 604 个点大于 25%, 占全部点数的 6%. 二者的 SO_2 最大

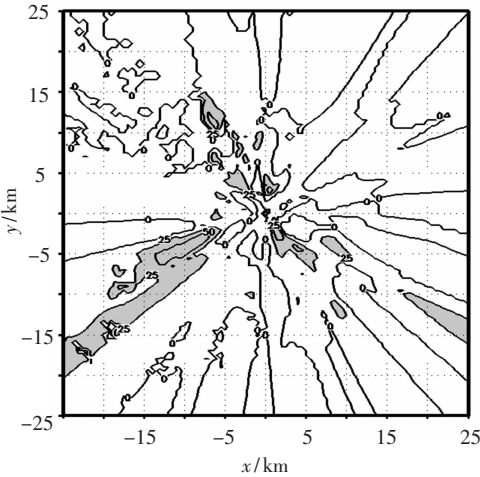
地面小时质量浓度符合度为 0.991 4,均方误差 MSE 为 0.192 7,符合度几乎等于 1,均方误差接近 0,说明 NCEP 高空情景下预测的 SO_2 最大地面小时质量浓度值与标准情景的符合很好.

NCEP 云量情景 SO_2 最大地面小时质量浓度与标准情景的相对误差大于 25% 的区域(图 2 (b))在以污染源为中心的 10 km×10 km 范围较少,主要在(10~25 km,0~25 km)内,距离污染源较远.所有网格点中有 940 个点数值相对误差大于 25%,占全部点数的 9%.与标准情景下预测的 SO_2 最大地面小时质量浓度符合度为 0.979 9,均方误差 MSE 为 0.283 4,符合度接近于 1,均方误差较小,说明 NCEP 云量情景的 SO_2 最大地面小时质量浓度值与标准情景值符合较好.

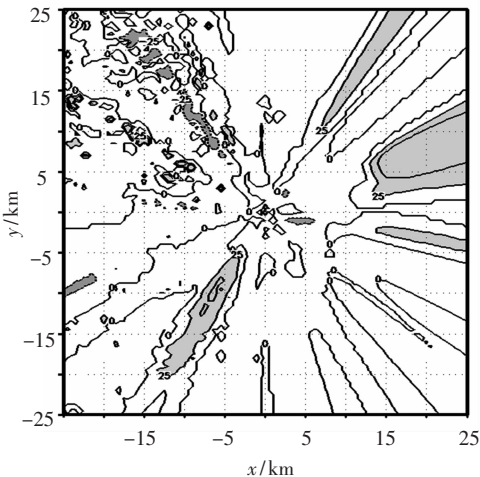
NCEP 云量高空情景值相对误差在污染源四周均有大于 25% 的区域(图 2(c)),但主要位于

5 km×5 km 范围之外,而且比较分散.所有网格点中有 1 513 个点相对误差大于 25%,占全部点数的 15%.二者的 SO_2 最大地面小时质量浓度符合度为 0.974 5,均方误差 MSE 为 0.319 4,符合度接近于 1,均方误差较小,说明 NCEP 云量高空情景的 SO_2 最大地面小时质量浓度值与标准情景值比较符合.

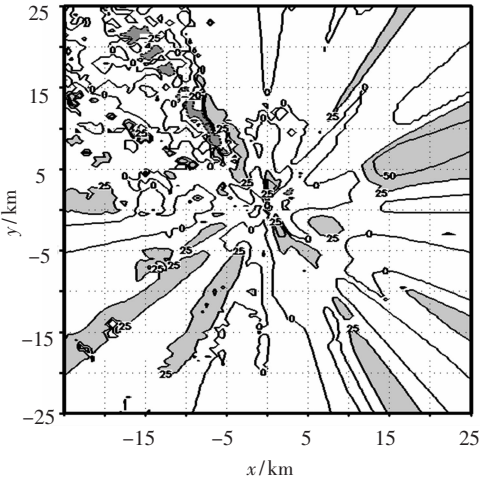
NCEP 情景值的相对误差(图 2(d))在(-10~25 km,-25~0 km)、(-25~0 km,5~25 km)范围存在大面积大于 25% 的区域,尤其是(10~25 km,-25~-10 km)范围有明显高于 50% 区域,大于 25% 的面积较大.所有网格点中有 2 695 个点相对误差大于 25%,占全部点数的 26%.二者的 SO_2 最大地面小时质量浓度符合度为 0.891 4,均方误差为 0.580 1,符合度较接近于 1,均方误差较大,说明 NCEP 情景的 SO_2 最大地面小时质量浓度值与标准情景值符合得不是很好.



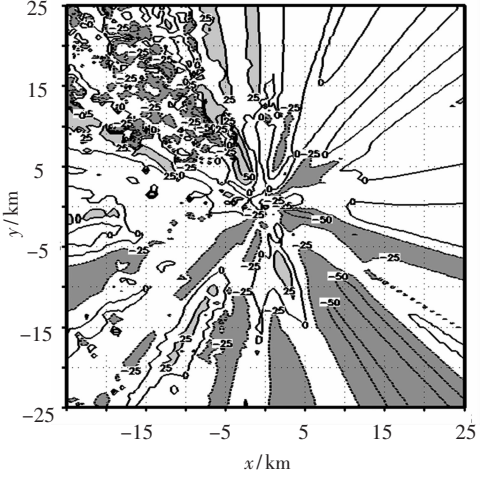
(a)NCEP 高空情景



(b)NCEP 云量情景



(c)NCEP 云量高空情景



(d)NCEP 情景

图 2 NCEP 气象情景下的 SO_2 地面最大小时质量浓度相对误差

3 结 论

1)用 NCEP 再分析高空气象资料、NCEP 再分析云量资料代替常规气象观测资料进行大气环境预测是可行的,预测结果误差较小.

2)用 NCEP 再分析地面资料代替地面自动气象站资料进行大气环境预测误差较大,此情景不宜采用.

参考文献

- [1] HJ2.2—2008. 环境影响评价技术导则 大气环境[S]. 北京:环境保护部,2009.
- [2] 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.
- [3] KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, *et al.* The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77: 437–471.
- [4] GIBSON J K, KALLBERG P, UPPALA S, *et al.* ERA Description. ECMWF re-analysis project report series No.1[R]. Reading, UK: European Centre for Medium–Range Weather Forecasts,1997.
- [5] 赵天保,符淙斌,柯宗建,等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展[J]. 地球科学进展, 2010,25(3):241–254.
- [6] MARCELO C, MARCELO G, MIGUEL S. Intercomparison of atmospheric dispersion models [J]. Atmospheric Environment, 2003,37(18):2435–2449.
- [7] CIMORELLI J A, PERRY S G, VENKATRAM A. AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. part I: general model formulation and boundary layer characterization[J]. Journal of Applied Meteorology, 2005,44(5):682–693.
- [8] YANG Duoxing, CHEN Gangcai, YU Yunjiang. Inter-comparison of aermod and ISC3 modeling results to the Alaska tracer field experiment [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2007,26(2):182–185.
- [9] 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.
- [10] KANYANEE S, VANISA S, KRAICHAT T, *et al.* Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO₂ emissions from a cement complex [J]. Journal of Environmental Sciences,2011, 23(6): 931–940.
- [11] WEI Yumei, TIAN Weili, ZHENG Yingyue, *et al.* Modelling of urban ambient N, N-dimethylformamide concentrations in a small-scale synthetic leather industrial zone [J]. Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), 2011, 12(5): 374–389.
- [12] 胡二邦. 大气环境研究若干领域的动态与进展[J]. 辐射防护通讯, 2002,21(6):13–21.

(编辑 刘 彤)