

张侠,程路,王琦,等. 基于 WRF/CALMET 的关中盆地中部典型风场模拟[J]. 陕西气象,2019(4):8-12.

文章编号:1006-4354(2019)04-0008-05

基于 WRF/CALMET 的关中盆地中部 典型风场模拟

张 侠¹,程 路¹,王 琦¹,吴 琼²

(1. 陕西省气候中心,西安 710014;2. 旬阳县气象局,安康旬阳 725700)

摘 要:利用中尺度天气预报模式 WRF 耦合小尺度诊断风场模型 CALMET 进行降尺度风场模拟,模拟了 2016 年 12 月—2017 年 2 月覆盖关中盆地中部典型天气条件下的 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 空间分辨率风场,用气象站观测值与模拟值进行对比分析,对模拟时段和典型天气过程期间关中盆地中部近地面风场特征进行了分析,结果表明:(1)模拟风速、风向与实测风速、风向均基本一致,模拟风场可代表关中盆地中部的真实风场。(2)关中地区风速主要分布在 $1.6\sim 3.3\text{ m/s}$ 和 $0.3\sim 1.5\text{ m/s}$ 风速区间,风速较小;关中地区除南部由于受秦岭地形的影响以南风和西风为主,其余地区均以东北风为主。(3)当风速较小、天气形势较为稳定时,容易在关中地区中南部出现气流的辐合,不利于污染物的扩散;当风速较大、风场气流较为平整时,扩散条件较好,有利于污染物的扩散。

关键词:WRF/CALMET;风场;关中盆地

中图分类号:P404

文献标识码:A

改革开放 40 周年来经济的高速发展,城市进程的不断加快,使我国各地区大气环境问题频发。学者们对我国大气环境问题开展了许多研究,其中通过数值模拟来分析大气污染过程已成为研究大气污染机理的有效手段之一。大气污染物的对流扩散作用主要是靠风的作用来完成的,风场在对流扩散求解中是一个非常重要的输入量,对风场模拟的准确度是污染物扩散计算中至关重要的^[1]。近年来国内外学者利用数值模式对风场的模拟研究越来越多。姜金华等采用中尺度大气动力模式 RAMS 与大气扩散模式 HYPACT 相结合的方法,对兰州市复杂地形条件下冬季大气污染过程进行了数值模拟研究,分析了模拟风场与污染物浓度分布的关系^[2]。蒋宁洁等采用 MM5 中尺度气象模式和 CALMET 气象诊断模型模拟了武汉市边界层气象要素场,并对大气污染物的扩散进行了模拟分析^[3]。张弛等利用 WRF 中尺

度动力模式和 CALMET 诊断模型对琼州海峡的两次冷空气过程的近地层风场进行了模拟和诊断^[4]。王文勇等利用 WRF/CALMET 耦合模式对某山谷工业园区的风场进行了模拟,结果表明模拟值与实测值比较接近,模拟结果比较符合实际^[5]。

以西安为中心的陕西关中盆地,持续性霾天气多发重发,并和京津冀共发。由陕西关中、晋西南和豫西北地区组成的汾渭平原在 2018 年 2 月全国环境保护工作会议上已被列为国家大气污染防治重点区域。不少学者对关中地区霾天气特征及形成机制开展了一些研究,周辉等利用霾天气现象数据对关中地区 1983—2012 年霾天气时空分布特征进行了分析^[6],刘瑞芳等利用高空探测、自动站观测、激光雷达等对 2013 年 12 月 17—25 日关中地区持续性霾天气的气象条件进行了诊断分析^[7],而对霾天气过程发生时近地面风场的数

收稿日期:2018-12-28

作者简介:张侠(1984—),女,汉族,陕西渭南人,硕士,工程师,从事大气环境方面的研究。

基金项目:陕西省气象局科学技术研究重点科研项目(2017Z-1)

值模拟研究相对较少。本文通过对关中盆地典型风场的模拟研究,为进一步开展大气污染研究工作提供可靠的气象背景场,从而为政府大力实施“铁腕治霾、科学治霾”提供科学依据。

1 模拟方案设计

1.1 模式设计

WRF 模式是美国多所科研机构的科学家们共同研发的业务与研究共用的新一代高分辨率中尺度预报模式,本研究中使用的是当前较新且比较稳定的 3.6 版本。CALMET 模式是美国环保局推荐的空气质量扩散模式 CALPUFF 中的气象诊断模型,是一个网格化气象风场模式,利用质量守恒原理对风场进行诊断。为得到高空间分辨率模拟结果,采用多重嵌套耦合降尺度方法, WRF 模式利用 NCEP 的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的 FNL 再分析资料,采用 2 重区域嵌套,再耦合 CALMET 模式降尺度到 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 空间分辨率。为了充分保证模式初始条件和侧边界条件更为客观化, WRF 模式的第一层包含青藏高原及沿海等影响天气系统的地理区域,模式的第二层覆盖了整个陕西省。CALMET 模式的覆盖区域为陕西关中盆地 $120 \text{ km} \times 120 \text{ km}$ 范围。模式中引入关中地区 13 个气象台站的观测数据,通过客观分析过程,得到最终的气象场。

1.2 典型天气过程选取

由于关中地区一年四季中冬季霾天气频次最多^[8],持续时间较长且影响范围较大,为进行针对性的模拟,选择关中地区 2016 年 12 月—2017 年 2 月进行逐小时地面风场的数值模拟。再以地面气象台站观测的风速、风向、气温和空气质量指数资料为选择依据,选取 2017 年 1 月 20—28 日大气扩散条件由好转差的典型天气过程进行近地面风场分析。

2 模拟结果分析

2.1 实测模拟对比

研究模拟了关中盆地中部 2016 年 12 月—2017 年 2 月每日逐时的风场,为了了解 WRF/CALMET 模拟风场与实测风场的相关性,提取泾河气象站点位置的模拟值,与泾河站同期观测值进行对比分析。2016 年 12 月—2017 年 2 月模

拟风速平均值为 2.8 m/s ,观测风速平均值为 2.1 m/s ,模拟值比观测值略大。图 1 为逐日模拟风速与观测值对比,可见模拟值与观测值较为一致。图 2 为模拟与实测风向频率图。由图 1 可见:模拟值出现频率较多的三种风向是 NE、ENE 和 SW,风向频率分别为 17.9%、17.7%和 9.1%;实测值出现频率较多的三种风向是 ENE、NE 和 SW,风向频率分别为 16.9%、15.3%和 10.8%。对比可见,模拟值与观测值风向分布基本一致。经过风速与风向的对比发现,采用 WRF/CALMET 耦合模式进行风场模拟,模拟结果与实测风场比较接近,模拟结果可以代表关中地区的真实风场。

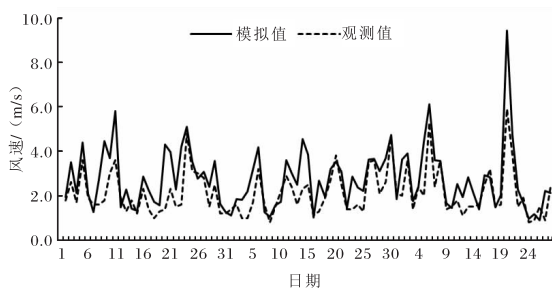


图 1 泾河气象站 2016 年 12 月—2017 年 2 月
模拟与实测风速对比图

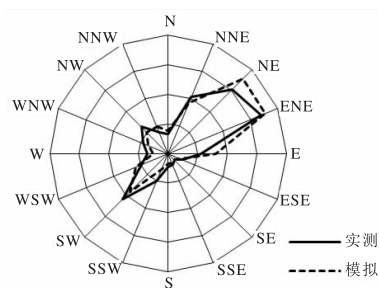


图 2 泾河气象站 2016 年 12 月—2017 年 2 月
模拟与实测风向频率(每圈间隔为 5%)对比图

2.2 分区域风场分析

根据对关中地区 2016 年 12 月—2017 年 2 月每日逐时风场的模拟结果,提取模拟区域中部、东部、西部、南部和北部共 5 个代表点的模拟值进行分析。经计算,模拟区域中部、东部、西部、南部和北部冬季平均风速分别为 2.0 m/s 、 1.7 m/s 、 1.9 m/s 、 1.7 m/s 和 2.0 m/s 。根据风力等级划分标准,将风速划分为 6 个风速区间(表 1)。由表 1 可见,模拟区域除北部风速主要分布在 $1.6 \sim$

3.3 m/s 风速区间(出现频率为 53.3%)外,其余各地均主要分布在 0.3~1.5 m/s 风速区间,出现频率分别为 48.4%、50.3%、47.9% 和 51.0%。

模拟区域各地 5.5 m/s 风速区间以上的风均较少出现(频率均小于 3%)。分析可见,关中地区冬季风速较小,主要为软轻风。

表 1 关中盆地中部 2016 年 12 月—2017 年 2 月

模拟区域各风速区间风速出现频率 %

风速区间/(m/s)	0~0.2	0.3~1.5	1.6~3.3	3.4~5.4	5.5~7.9	≥8.0
中部	1.8	48.4	37.2	9.9	2.4	0.4
东部	2.0	50.3	41.1	6.3	0.2	0.0
西部	1.9	47.9	39.1	9.0	1.8	0.2
南部	3.0	51.0	39.7	5.8	0.4	0.0
北部	0.5	37.3	53.3	7.4	1.4	0.1

图 3 为 2016 年 12 月—2017 年 2 月模拟区域各地的风向频率分布图。南部风向主要分布在 W—NW 和 S—SSE 区间,风向频率分别为 27.5%和 21.4%;而中部和北部风向主要分布在 NNE—ENE 区间,风向频率分别为 45.9%和 48.5%;东部西南风增多,主要分布在 NE—ENE

和 S—SSW 区间,风向频率分别为 20.4%和 16.7%;西部西北风增多,主要分布在 ENE—E 和 W—WNW 区间,风向频率分别为 26.9%和 18.7%。整体来看关中地区除南部由于受秦岭地形的影响以南风和西风为主,其余地区均以东北风为主。

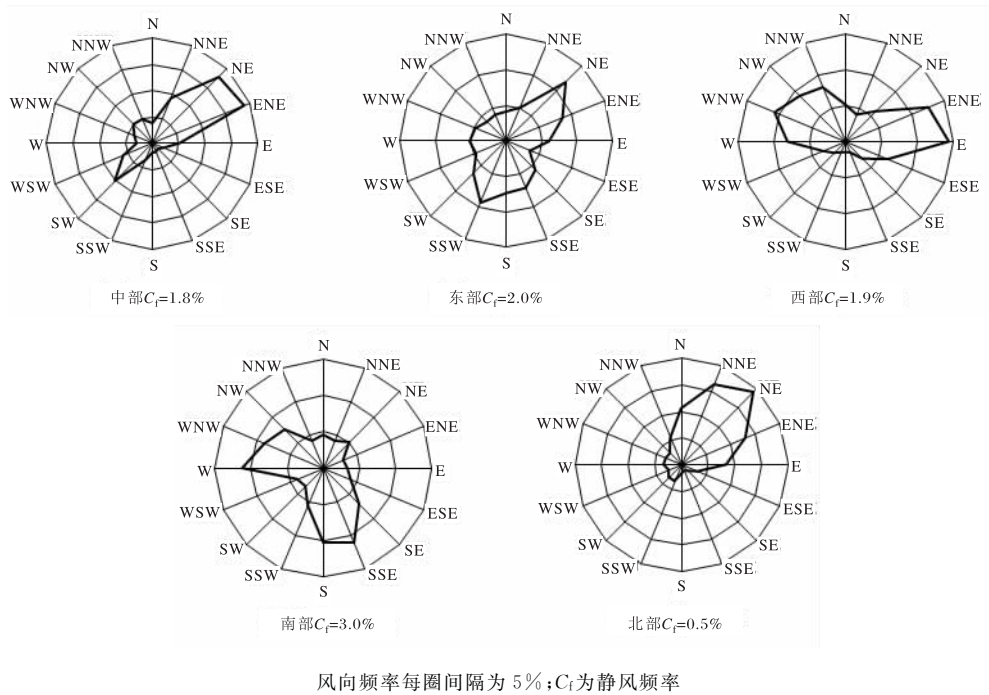


图 3 关中盆地中部 2016 年 12 月—2017 年 2 月模拟区域风向频率/%分布图

2.3 典型天气过程分析

2017 年 1 月关中地区大气扩散条件整体较差,其中 1 月 20 日大气扩散条件较好,日平均风

速较大,有利于大气污染物扩散,空气质量较好。图 4 为 2017 年 1 月 20 日及 22 日的地面风场模拟图,图中色斑表示风速,矢量箭头表示气流方

向。从图4可以看出,20日关中地区整体风速较大,基本在 $1.6\sim 5.5\text{ m/s}$ 之间,尤其09—15时关中地区中部风速基本在 $3.4\sim 5.5\text{ m/s}$ 之间,对大气污染物扩散较为有利。除08—10时由于受秦岭山区山风的影响,关中南部平原与山区结合部有一条气流辐合带产生外,20日整体上关中地区风场相对均一,不存在明显的辐散、辐合过程,这

些对关中地区1月20日的良好空气质量有较大贡献。21日以后,关中地区的风速逐渐减小,22日01时开始,地面风场的均一性受到破坏,关中地区中部出现辐合过程,且风速变小,大气扩散条件变差,由此导致关中大部分城市中度污染天气的出现。

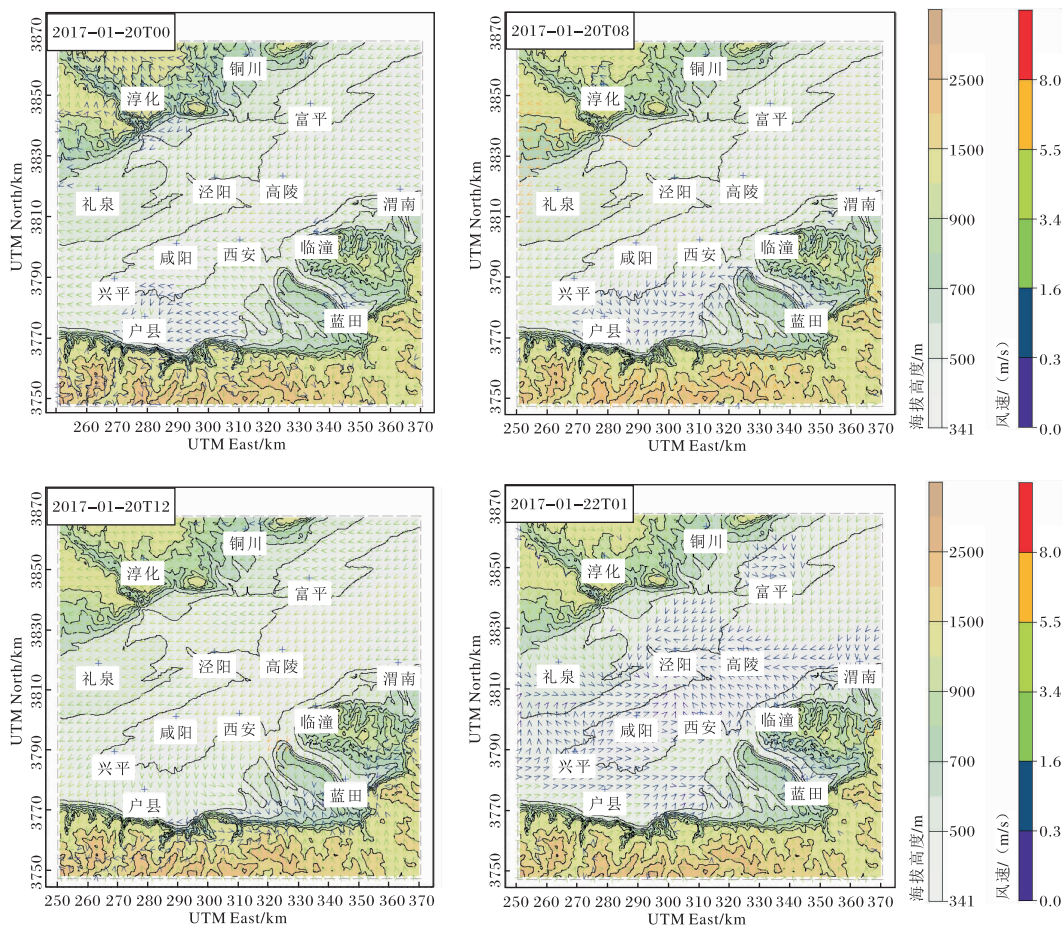


图4 2017年1月20日及22日关中盆地中部地面风场模拟结果(UTM坐标)

1月22—28日期间,关中地区基本处于风速较小、大气扩散条件较差的天气状况中,空气质量持续较差,其中25日西安AQI指数高达420。图5为2017年1月25日的地面风场模拟图。25日风速整体较小,西安、咸阳等关中中部地区全天基本在 $0.3\sim 1.6\text{ m/s}$ 之间,且不同时段均有局部地区出现静风。从流场上可以看出,04时在关中地区中南部有一较大范围的气流辐合区,25日全天除09—12时南部秦岭山区为较弱的偏北风向的谷风外,其余时段均为偏南风向的山风,而关中平

原地区全天基本风向为偏东北风及北风,从而造成大气污染物在关中地区的堆积,形成污染天气。

3 结论

(1)采用WRF/CALMET耦合模式对关中盆地中部进行风场模拟。以泾河站为代表站,分析发现:模拟时段风速平均值和观测风速平均值分别为 2.8 m/s 和 2.1 m/s ,模拟值比观测值略大;模拟风向和观测风向出现频率较多的三种风向均为NE、ENE和SW,风向分布基本一致。模拟值与实测值比较接近,说明模拟风场可代表关中地区的真实风场。

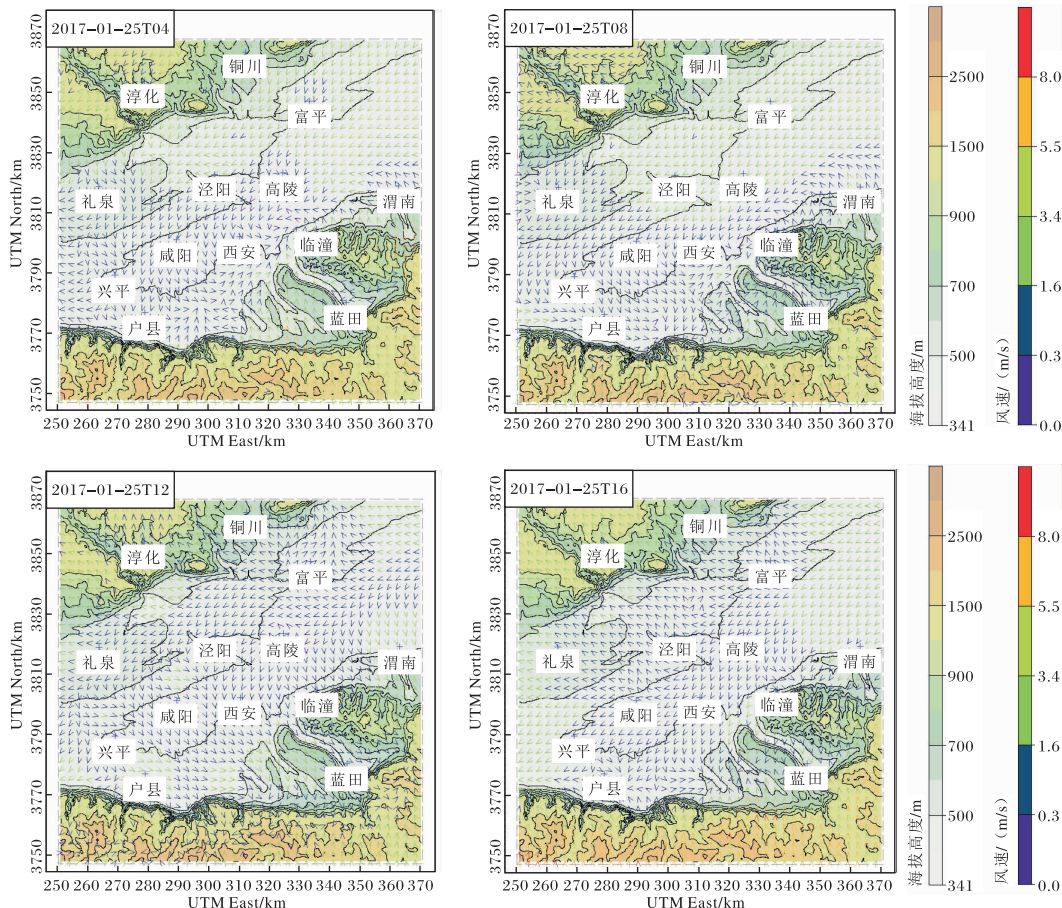


图5 2017-01-25 关中盆地中部地面风场模拟结果(UTM 坐标)

(2) 关中地区中部风速主要分布在 $1.6 \sim 3.3 \text{ m/s}$ 和 $0.3 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 风速区间, 5.5 m/s 风速区间以上的风均较少出现; 关中地区冬季风速较小, 主要为软轻风。关中地区除南部由于受秦岭地形的影响以南风和西风为主, 其余地区均以东北风为主。

(3) 根据典型天气过程分析结果表明, 当风速较小、天气形势较为稳定时, 容易在关中地区中南部出现气流的辐合, 不利于污染物的扩散; 当风速较大、风场气流较为平整时, 扩散条件较好, 有利于污染物的扩散。

参考文献:

- [1] 谢东, 王汉青, 李向阳. 复杂地形条件下大气风场的三维数值模拟研究[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2009, 23(3): 68-71.
- [2] 姜金华, 彭新东. 复杂地形城市冬季大气污染的数值模拟研究[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 1-7.
- [3] 蒋宁洁, 王繁强, 刘学春, 等. 武汉市下垫面变化对大气污染物扩散和气象要素影响的数值模拟[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(6): 270-276.
- [4] 张弛, 王东海, 巩远发. 基于 WRF/CALMET 的近地面精细化风场的动力模拟试验研究[J]. 气象, 2015, 41(1): 34-44.
- [5] 王文勇, 陈楠. 山区风场的 WRF/CALMET 模式模拟[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(6): 990-996.
- [6] 周辉, 权文婷, 赵青兰. 陕西省关中地区霾天气时空分布特征[J]. 陕西气象, 2015(4): 21-23.
- [7] 刘瑞芳, 陈小婷, 姚静, 等. 陕西关中持续性雾霾天气的气象条件分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(1): 82-88.
- [8] 程肖侠, 方建刚, 雷向杰, 等. 2016 年陕西气候影响评价[J]. 陕西气象, 2017(5): 27-29.