

辽宁地面风场特征的数值分析

张云海 (中国气象局沈阳大气环境研究所 沈阳 110016)

摘要 利用中尺度模式进行辽宁地面风场数值分析,揭示辽宁几个准定常的中尺度系统,模拟地面风场的日变化特征。

关键词 地面风场 中尺度模式 数值分析

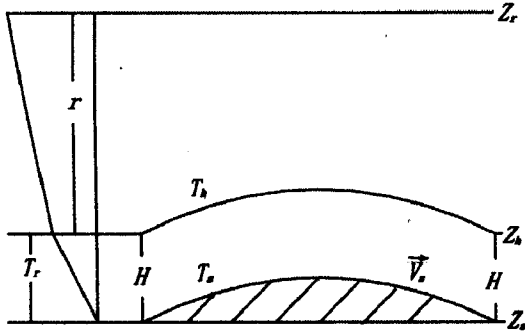
复杂地形、海陆分布和非绝热加热作用,在不同程度上影响着中尺度天气系统和地面风场,常会产生中尺度环流系统。辽宁(包括渤海辽东湾海域,黄海北部)地处中纬度地区,地形复杂,海面辽阔,海岸线较长,地形对中尺度天气系统的影响较大,由地形引起的地区性中尺度系统很多。如果这些系统与天气尺度系统叠加,很有可能形成灾害性的天气系统,因此,分析研究这些系统的产生、变化特征很有必要。本文利用一层 σ 坐标的中尺度模式,在充分考

虑地形的坡度、坡向、海陆分布、季节、太阳辐射等因素的影响下,对辽宁地面风场的日变化特征进行了数值模拟分析,分析了几个准定常的中尺度系统。

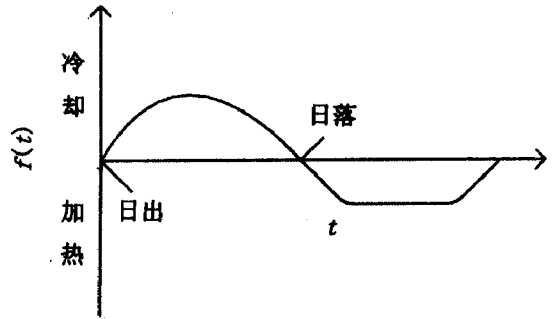
1 应用模式

一层 σ 坐标的中尺度模式是由 Mass 等设计。在给定高层温度和气压场的前提下,可作为对地面风场进行中尺度诊断的原始方程模式。模式的结构如图 1。

采用 σ 坐标, $Z_h = Z_s + H$ (H 一般取 1.5 ~



(a) 一层模式结构



(b) 非绝热强迫项系数随时间的变化

图 1 中尺度模式结构

2.0 km)。根据地形情况,参考层取 850 ~ 700 hPa, Z_r 层上的位势高度和温度已知。 σ 坐标下的水平运动方程、热力学方程和静力方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{V}_s}{\partial t} &= -\vec{V}_s \cdot \nabla_{\sigma} \vec{V}_s - f\vec{K} \times \vec{V}_s - (g\nabla Z_s + \\ &RT_s \nabla_{\sigma} \ln p_s) + \vec{E}_s + K_m \nabla_{\sigma}^2 \vec{V}_s \\ \frac{\partial T_s}{\partial t} &= -\vec{V}_s \cdot \nabla_{\sigma} T_s + \frac{RT_s}{C_p} \left(\frac{\partial \ln p_s}{\partial t} + \vec{V}_s \cdot \nabla_{\sigma} \ln p_s \right) \\ &+ \frac{Q}{C_p} + K + \nabla_{\sigma}^2 T_s \\ \frac{\partial \ln p}{\partial Z} &= -\frac{g}{RT} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中各符号同通常意义;脚标 s 表示地面上的量; σ 表示在 σ 面上求值; K_m 和 K 分别为动量和热量扩散系数;热力学方程中扩散项取为水平面上的拉普拉斯算子(脚标为 H); \vec{E}_s 表示待参数化的地表

摩擦作用,由阻尼定律求出,水面拖曳系数取值比陆地小。对上述方程组进行时间积分,求出小地形与海陆效应影响下的地面风场 \vec{V}_s 。 \vec{V}_s 的初值通过解 $\sigma = 1$ 面上的气压梯度力、摩擦力与科氏力相平衡的方程得到。而 $\sigma = 1$ 面上的气压梯度力是由 Z_r 层的高度场和温度场计算出:

$$T_s = T_r + \gamma \times (Z_r - Z_s) \quad (2)$$

地面温度 T_s 的初值由参考层温度 T_r 和温度递减率 γ 求得。模式中的非绝热强迫项 Q 取为: $Q = f(\alpha, \beta, t) \times Q_0$, 其中 Q_0 为常数,在水面上和陆面上取值不同,单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$; $f(\alpha, \beta, t)$ 为地形坡度、坡向和时间 t 的函数, $f(\alpha, \beta, t)$ 为无量纲量,当 $f(\alpha, \beta, t) > 0$ 时,上述关系才有意义。当 $f(\alpha, \beta, t) < 0$ 时,令 $f(\alpha, \beta, t) = f(t)$ 为时间 t 的函数:

$$f(\alpha, \beta, t) = u \sin \delta + v \cos \delta \cos \omega$$

$$- \sin\beta\sin\alpha\cos\delta\sin\omega$$

$$u = \sin\varphi\cos\alpha - \cos\varphi\sin\alpha\cos\varphi \quad (3)$$

$$v = \cos\varphi\cos\alpha + \sin\varphi\sin\alpha\cos\beta$$

本模式中不包括连续方程,不能计算垂直速度,而是通过地面气压变化来反应垂直运动及地形爬坡的影响,即地形爬坡气流引起的绝热冷却。由静力平衡假定,在迎风坡气压上升;反之,在背风坡气压下降。

我们在原有模式的基础上,做了几点改进:

(1) 将模式中的客观分析,由原来的平均场插值改为3点插值,使得客观分析中插值收敛速度加快,并提高了插值的准确性。

(2) 将气压梯度力的变换公式引入模式:

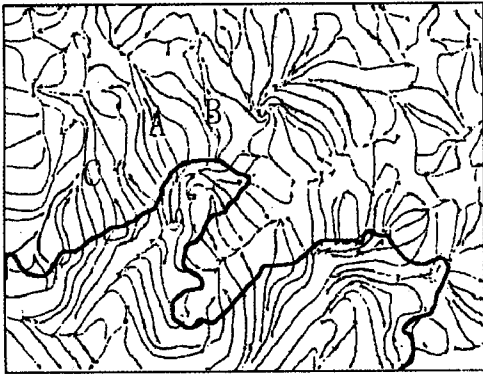
$$\left(\frac{1}{\rho}\nabla_{\sigma}p\right)_s = \frac{1}{\rho}\{\nabla_{\sigma}p_s + [\nabla_{\sigma}(\rho_s\Phi_s) - \Phi_s\nabla_{\sigma}\rho_s]\} \quad (4)$$

式(4)中 ρ 为空气密度, p 为气压, Φ 为位势高度,计

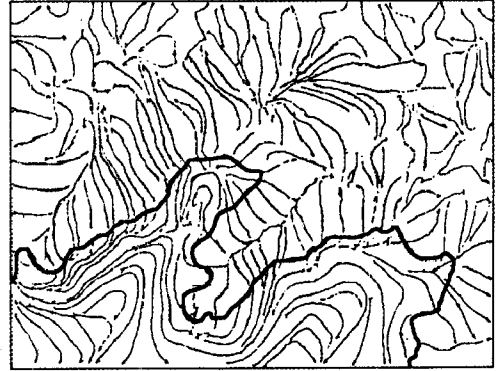
算时不考虑密度在等高面上的变化。

2 数值模拟结果分析

模拟的范围是 $38\sim 43^{\circ}\text{N}$, $118\sim 126^{\circ}\text{E}$,网格为 49×31 ,格距为17 km。配合的地形资料是“10分”地形资料,经投影得到。模式气候背景为夏至日。无扰动参考层取850 hPa,大气温度直减率为 $0.45^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。海面、陆地拖曳系数分别取0.02和0.09。加热系数陆地为 $3.0^{\circ}\text{C}/6\text{h}$ 、海面为 $0.001^{\circ}\text{C}/6\text{h}$ 。动量和热量扩散系数为 $10\,000\text{m}^2/\text{s}$,地形影响因子为6.0,地形影响层和地形高度差 H 为1500 m。取一等温面(149十位势米,290 K),进行初始风场为零的积分。自06时加热积分12 h,模拟白天的风场;自18时冷却积分12 h模拟夜间的风场。积分步长取为300 s。模拟结果见图2和图3。

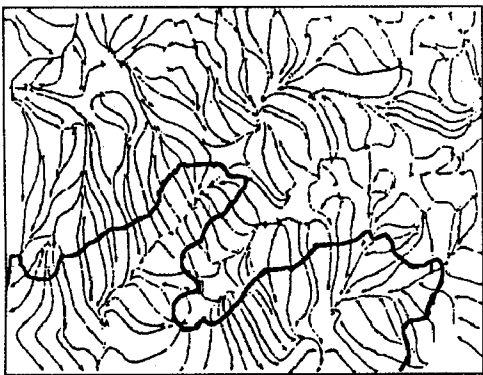


(a)白天加热积分4 h(10时)

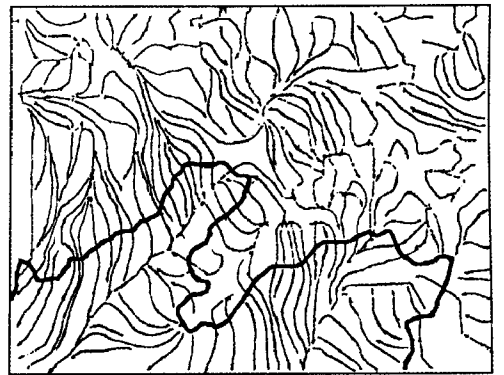


(b)白天加热积分8 h(14时)

图2 地面风场白天加热积分



(a)夜间冷却积分4 h(22时)



(b)夜间冷却积分8 h(02时)

图3 地面风场夜间冷却积分

图2、图3结果表明,积分开始时,风沿地势梯度而吹,表现为白天风从海上吹向陆地;从平原吹向山地。夜间正好相反,风从陆地吹向海面,从山地吹向平原。随着加热、冷却的继续,风场出现了有规律的日变化,由中小地形诱发的中尺度风场开始产生。辽宁出现了几个特定的中尺度系统。

2.1 辽东半岛中尺度辐合线

白天,随着加热时间的延长,辽东半岛辐合线开始形成,并逐渐加强,向东北方向延伸。开始时,辐合线在辽东半岛中南部约150 km,辽东半岛最南端是一个小流场辐合。14时辽东半岛辐合线最强,最远端在本溪地区,呈东北西南走向,长度约为

250 km。辐合线两侧分别为偏南、西北风,风速约 2.5 m/s。16 时以后辐合线开始减弱。入夜,由于冷却作用,辐合线消失。从计算的 14 时地面涡度场和散度场来看(图略),辽东半岛上,沿千山山脉有一条相对应的不连续的正涡度区,与之相配的还有散度辐合区,量级达 10^{-4} 。说明辐合线存在。

2.2 辽西辐合线

开始加热积分时,从辽东湾海面上有向辽西陆地吹的东南风。气流在辽西山地形成几个与地形配合的小的气流辐合。图 2a 中 A 为凌河河谷气流。B 为闾山的绕山气流,C 为努鲁儿虎山、松岭之间的山谷气流。继续加热,风力加强向北推进。14 时已形成了贯穿于辽西及河北交界的呈南北向、一条长约 300 km 的辐合线。辐合线最远端深入到辽宁、河北及内蒙古交界处。由于辐合线东侧的风力大于西侧,差值为 0.5~0.8 m/s,因此,辐合线略呈气旋性弯曲。

从加热的过程来看,辽西山地东南临海一侧 10 时风速已经为 2.5 m/s,而 10~14 时风速变化不大。分析这是由于辽西山地背倚大陆,陆地加热速度较快而致。

2.3 辽河下游地区辐合线及辽河口海面反气旋环流

白天辽河下游营口、鞍山等地区偏东一侧在午后形成了一个小的局地辐合气流,它在 16 时(图略)达到最强,深入内地 80~100 km;与此对应,在辽河口海面上有一反气旋环流。此环流开始生成时为 2 个小环流。14~16 时发展为一个直径约为 80 km 的中尺度反气旋环流。计算相应时刻的散度及涡度场也说明这 2 个环流的存在。

辽河下游地区是海、河、山地交汇地区。海陆加热的不同、地形的狭管效应及千山山脉对气流的抬升影响,可产生这样的系统。而海面上的反气旋环流正是我们所共知的“渤海高压”。

2.4 海面辐合线

图 3 中可见,夜间冷却开始,陆地风吹向海面。辽东半岛上的陆风吹向两侧。辽东湾海面和黄海北部海面存在弱的辐合线,02 时辐合线最强。辽东湾海面辐合线从辽河口至渤海中部,长约 350 km。黄海北部的辐合线从鸭绿江口向南延伸 150 km。由于这 2 条辐合线的存在,辽东湾和黄海北部海面夜间经常有对流云产生。

3 结论

3.1 对于局地风场,地形的动力作用非常重要。渤海和黄海北部海域对辽宁风场的影响起着非常重要

温克刚在葫芦岛会议作重要讲话

《中国气象史》进入后期编辑加工阶段

本刊讯 自气象出版社 8 月份在我省葫芦岛召开《中国气象史》后期审稿会议后,该书稿的编辑加工工作顺利进行,计划明年上半年出版发行。

《中国气象史》是中国气象局党组确定的“单位领导,政府组织,专家编撰”的 150 万字的巨著。主编温克刚,副主编刘英金、毛耀顺。本书用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点客观地反映中国气象事业所走过的历史脚步,它具有一定的学术价值和深度,但又并非学术专著,其读者对象是大众。本书由《古代篇》《近代篇》和《当代篇》及《附录》组成。《古代篇》主要由谢世俊(已故)编撰,《近代篇》主要由鲍宝堂编撰,《当代篇》主要由王奉安编撰。全书由陈少峰统稿,王奉安编辑加工。

温克刚在葫芦岛会议上指示:《中国气象史》编撰工作历时 7 年,历经中国气象局三届党组。开始由局办公室牵头,后来由气象出版社负责。编撰这部史无前例的史书,意义重大,有极高的学术价值和收藏价值。这部史书的前期工作包括搜集资料在内共有一二百人参加,可谓工程巨大。但越到后期,工作越艰苦,越细致。我们一定要以科学的、实事求是的、严肃认真的态度,抓紧时间把这部书编好。有些具体问题,可征求国史研究会意见,以免出现政治方面的差错。

参加葫芦岛审稿的专家有毛耀顺、陈少峰、张家诚、江彦文、王奉安、鲍宝堂、陆亚龙。会议由气象出版社社长毛耀顺主持。会议听取了陈少峰关于前期编撰工作的汇报和王奉安关于编写体例的说明。会议得到了辽宁省局和葫芦岛市局的大力支持。辽宁省气象局局长宋达人到会看望大家,副局长李波自始至终参加了会议。(志闻)

的作用。同时,山地地形的绕流、地形的狭管效应也是不可忽视的因素。

3.2 非绝热强迫在海陆交汇地区的作用比较明显,海陆加热的不同可产生准定常的中尺度系统。

参考文献

- 1 Mass. C and D. Dempsey A One-level Mesoscale Model for Diagnosing Surface Winds in Mountainous and Coastal Regions Mon. Wea Rev, 1985, 113.
- 2 RONALD L. LAVDIE A Mesoscale Numerical Model of Lake-Effect Storm Journal of THE ATMOSPHERIC SCIENCES, 1972, 29.
- 3 R. L. RADDATZ and M. L. KHANDEKAR Up-slope Enhanced Extreme Rainfall Events over the Canadian Western Plain: A Mesoscale Numerical Simulation Mon. Wea. Rev, 1979, 107.
- 4 钟卫国,大中地形对近地面层流场影响的数值模拟. 高原气象, 1989, (8)2.