

地形辐合对暴雨形成作用的数值模拟

白人海 高顺清

高煜中

(黑龙江省气象科学研究所)

(黑龙江省气象台)

提 要

本文用一层中尺度地形模式，分析了地形对近地面流场的作用及其与暴雨的关系。

不少研究指出，暴雨与地形有密切的关系。黑龙江省暴雨日地理分布的气候分析表明，平原地区出现暴雨的机会相对较少，山区出现暴雨的机会较多。主要出现在小兴安岭、张广才岭和完达山一带〔1〕。

近年来，由于大气动力学理论和计算技术的发展，使分析近地面流场受地形影响所产生的辐合在暴雨形成中的作用成为可能。这种辐合作用多表现为定常的中尺度涡旋或辐合带。本文试用一层中尺度地形模式，分析地形对近地面流场的作用及其与暴雨发生的关系。

一、一层中尺度地形模式

这里引进了 Mass C 和 D. Dempsey 所设计的用于诊断山地和沿海地区地面风场的一层中尺度模式〔2〕。

模式假设存在一个受地形影响的边界大气层，厚度为 H ，地形影响层的上界为 $Z_H = Z_s + H$ (Z_s 为地形高度)。又假设存在一个无扰动参考层，高度为 Z_r ，可选用 850 或 700 hPa 层。参考层上的位势高度和温度是已知的，地面初值由此求得。模式采用 σ 坐标，并使用了静力学平衡的假设。模式方程组由 $\sigma = 1$ (地面) 上的水平动量方程、温度倾向方程和流体静力学方程组成。方程组中的非绝热强迫项是由地形的坡向、坡度和时

间（白天或夜间）等决定的。模式的详细情况可参见文献〔2〕、〔3〕。

数值试验区域位于黑龙江省中部， 44° — 49° N、 122° — 130° E 范围内，格距为 15 km ，共 33×33 个格点。模式的地形是从 $1 : 1000000$ 地形图上每隔 5 km 读出的，进行了 9 点平滑处理。

二、定常地形辐合带

实际地形是很复杂的曲面，地面流场的发展变化会受到地形差异的影响。这种影响包括地形的动力作用和热力作用。由于这些作用，地面流场会出现一种定常的变化，如在某个风向下某些地方总是会出现加强辐合（辐散）的特征。

图 1 是模式所用的地形图。东北部是西北—东南走向的小兴安岭，东南部是东北—西南走向的张广才岭。从图可以看出有些地区是两侧高中间低的狭长谷地（如图中标注的位置 A、B）或是呈长口袋形状（C、D、E），这种地方的地形对地面流场的改变较大，在适当的风向下会加强地面的辐合，促成暴雨的出现。

利用一层中尺度地形模式所进行的地形对地面流场影响的数值试验，可以证明上述观点。地面初始温度给定为均一值(292 K)，地面初始风场为同一风向 $4\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，积分步

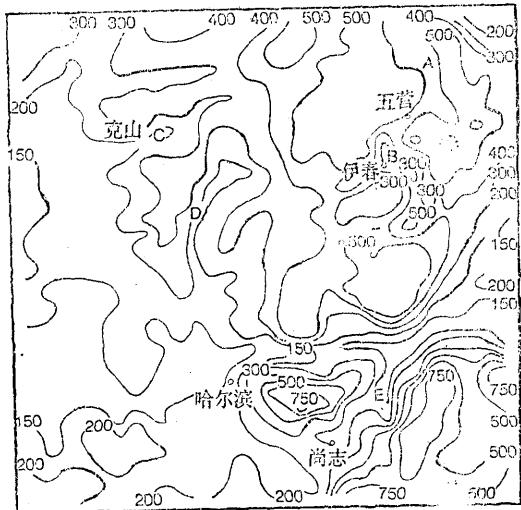


图1 黑龙江省中部地区地形图
实线为地形等高线，数字为海拔高度 (m)

长取300s，最大积分时间为12小时。图2是初始风向为东南风的模式积分12小时后的风场和相应的散度分布，根据风场的特征和辐合位置，可以确定出若干长度约为150km的定常地形辐合带。这些地形辐合带多位于地

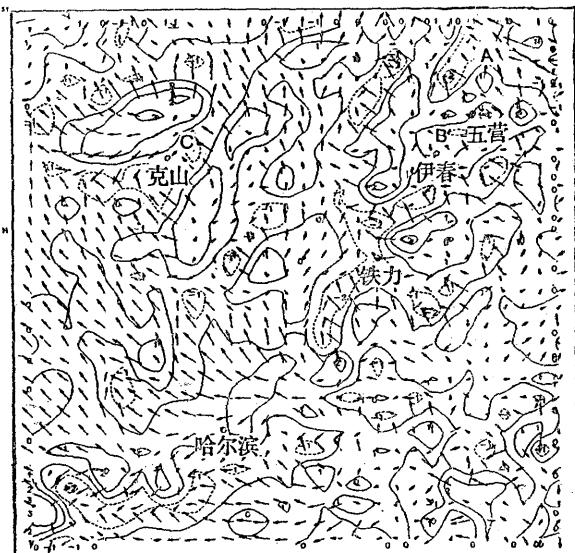


图2 模拟的地面风场和相应的散度
 $(10^{-4} \cdot s^{-1})$
初始风场为东南风 $4 m \cdot s^{-1}$ ，积分12小时。

形起伏变化较大的地方，如前述的狭长谷地和长口袋形状地区。对照暴雨日的地理分布，可以发现暴雨出现机会较多的一些站与这些辐合带有一定的联系。例如伊春、克山、铁力、五营等暴雨集中区都有相应的辐合带存在。可见地形的辐合作用对暴雨的影响是不可忽视的。对其它风向的初始场也同样进行了计算，结果在一些地区也会出现定常的地形辐合带，其中某些也与经常出现暴雨的测站相联系。如东北风条件下在E处也会出现较强的辐合，与另一个暴雨中心尚志相联系。数值试验的结果表明，同一个地方在不同风向下所产生的辐合作用是不相同的，如E处当初始风向为东南风时散度值为 -0.1 （单位为 $10^{-4} \cdot s^{-1}$ ，以下同），而在东北风时散度变为 -0.5 ，辐合明显加强了。

需要说明的是，由于只使用了气象站的降水资料，空间上是不连续的，尤其是山区空白较多。可能是缺少资料的缘故，加上产生降水的原因很复杂，故定常辐合带并不与所统计的暴雨日多发站一一对应。但这个结果确实提供了地形辐合在暴雨形成中起重要作用的事实。

三、暴雨过程中地形作用的实例

1985年8月14—15日黑龙江省出现一次暴雨过程，哈尔滨、绥化、铁力、伊春等地24小时降水量超过50mm。这次过程是8508号台风和西风带冷空气相互作用的结果。当时西太平洋副热带高压主体偏东，中心在日本以东洋面上。雅库次克有阻塞高压存在。东亚沿海地区形成强烈的经向型环流，盛行偏南风。西风带上的冷空气主体在乌拉尔山以东，即 60°N 、 75°E 附近，有小股弱冷空气分裂东移南下进入我国东北地区，在冲绳附近生成的8508号台风沿偏南气流北上，14日08时8508号台风与西风带上的弱冷空气相遇，台风虽变成温带气旋，但中心强度仅略有减弱。降水的产生先是由于暖锋的影响，

但暴雨主要是后来低压西北部的降水所造成。根据天气分析可以预报黑龙江省中部和东部将有明显降水，但暴雨具体落区难以确定。

用14日08时嫩江、齐齐哈尔、哈尔滨、伊春、长春、海拉尔、伯力和海参崴等8个站的850 hPa 层位势高度和温度，由模式自行内插成初值，进行模式计算，用积分12小时的结果进行分析。图3a是将地形的高度均取为100m的计算结果，即没有地形的影响。图3b是使用真实地形高度的计算结果，即考虑了地形的作用。对比这两张散度分布图，可以看出有相当大的区别。在高度均一的情况下，散度分布比较简单，大范围的辐合（散）比较均一，出现暴雨的哈尔滨、绥化、铁力、伊春等地的散度值分别为0.0、

0.1、-0.2、0.0。可以认为地面的辐合状况与暴雨落区之间并无联系。当实际地形加入模式以后，散度分布变得复杂，出现了一些中尺度（500—100km）的明显辐合或辐散区。在上述出现暴雨的4个站附近，分别出现了-8.9、-8.5、-9.4、-13.2的明显辐合中心。由此可见，加入实际地形的一层地形模式积分12小时后的流场状况与暴雨的出现有较好的联系，出现暴雨的测站在地面流场中尺度辐合中心的附近。该数值试验说明，地形对流场的改变可以使模式的计算结果与暴雨落区有更好的配置关系。从而证明了暴雨形成过程中，地形的作用是不可忽视的。结合天气分析，这对暴雨的落区预报有一定的参考价值。

为了更好地证明上述结论，我们又计算

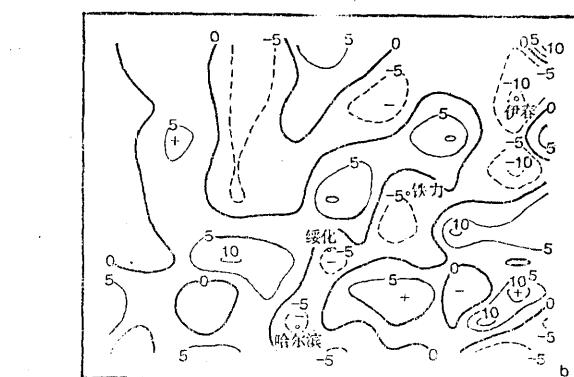
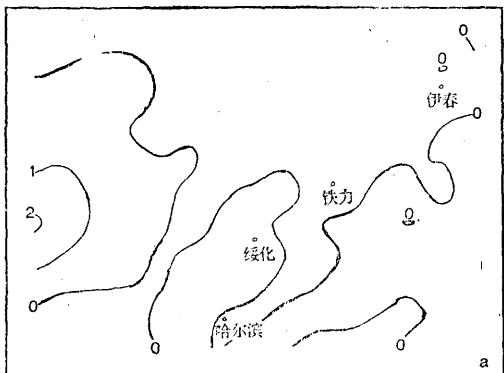


图3 1985年8月15日暴雨过程的一层地形模式积分12小时后的散度分布

(局部，单位： 10^{-4} s^{-1})

a. 假设均一地形高度的结果

b. 实际地形高度的结果

了1984—1989年期间的多个例子，结果列在附表中。可以看出，有地形加入的计算结果中暴雨区的散度值绝大多数（20/22）是负的，且绝对值较大，即有较强的地面辐合与暴雨落区相对应。而不加入地形时，散度的数值较小，分布无规律，根本反映不出地形与暴雨有什么联系。为进一步说明地面辐合与暴雨落区的关系，表中还列出了散度梯度的平均值，即该点与周围4点散度差的平均。

显然此值为负时，说明该点的辐合比周围强，可能是辐合中心，否则辐合较弱甚至是辐散中心。从此表可以看到有地形的结果绝大多数（21/22）是负值，即辐合中心附近为暴雨区。而无地形影响时则看不出正、负之间哪个占优势。表中所列的暴雨落区位置不仅有位于山区也有位于平原的测站，分析结果是有代表性的。

附表 暴雨过程中地形作用的数值模拟结果 (散度单位: $10^{-4} \cdot s^{-1}$)

日期 (年月日)	地 点	降水量 (mm)	散 度		散度梯度	
			有地形	无地形	有地形	无地形
840811	尚志	105	-2.1	+0.2	-1.3	+0.1
850722	通河	58	+0.9	0.0	-2.1	+0.0
	海伦	64	-9.0	-0.2	-6.2	-0.1
	尚志	67	-4.5	+0.9	-5.7	-0.0
	勃利	81	-19.7	+0.2	-14.6	-0.7
	北安	68	-1.1	+0.2	-1.2	+0.1
850726	铁力	85	-9.3	+0.4	-7.1	+0.2
850812	铁力	50	-3.9	+1.3	-4.4	+0.2
	明水	61	-2.4	+1.0	-4.1	+0.2
	安达	68	-5.3	+0.8	-6.9	-0.1
860729	尚志	116	-0.5	-0.7	-0.8	+1.1
860810	甘南	53	+9.4	-0.2	+2.9	+0.1
	哈尔滨	55	-10.2	-0.1	-9.7	+0.1
870721	明水	60	-15.9	-0.7	-9.4	+0.2
	北安	50	-7.7	+0.1	-7.4	-0.0
	庆安	57	-15.3	-1.0	-13.3	-0.1
880702	铁力	49	-3.8	+0.3	-0.9	-0.1
	绥化	54	-4.9	+0.2	-5.1	-0.0
880719	嫩江	54	-7.4	-0.3	-3.5	+0.2
	齐齐哈尔	61	-7.9	-0.6	-5.6	+0.1
890719	铁力	51	-4.8	+0.3	-0.3	+0.2
	绥化	61	-1.0	+0.3	-6.6	-0.1

四、小结

本文通过一层中尺度地形模式所进行的数值模拟，证明了复杂地形对暴雨的形成有很大的作用。有无地形的计算结果对比表明，考虑地形的作用后，近地面流场将与暴雨落区有更好的配置关系。模式可以在实际预报业务中与天气分析配合使用，对确定暴雨的强度和落区有很大的意义。

致谢：陈受钧教授对本工作给予了热情帮助，对此表示衷心的感谢

参 考 文 献

- (1) 白人海、郭家林, 黑龙江省暴雨的季节变化及地形的影响, 黑龙江气象科技, 1984年第1期。
- (2) Mass, C and D. Dempsey, A one-level Mesoscale Model for Diagnosing Surface Winds in Mountainous and Coastal Regions, Mon. Wea. Rev., Vol. 113, P. 1211—1227.
- (3) 卢莹, 近海区域地面风场日变化的较值模拟, 气象, 1988年第6期。

(上接第57页)

础、大气信号学与遥感原理研究中的前沿问题。作者将这些理论和重大应用的前沿问题建立在严格的大气物理过程和规律的基础上，从而使读者能主动地运用大气物理原理去理解和解决各种重大问题。

第四，本书相当密切地结合我国大气物理科学的研究和应用的实际，较好地反映了中国大气物理学界，包括作者在内的贡献。正是由于作者在这方面有出色的研究和对整个大气科学的深刻理解，使本书在理论基础和前沿问题的配合上显出高水平。由于本书是在多年教材的基础上编著而成，它已经经过了较多的实践考验。

本书读者主要对象是大气物理专业高年级学生和研究生。事实上，此书对广大大气科学工作者也是一本很好的参考书。由于当代气象、气候、环境和许多军用和民用应用气象领域的重大问题，越来越与大气物理理论和方法的进展密切相关。本书对这些领域的科学工作者亦有重要参考价值。读者可从本书全面了解当代大气物理学的内容和前沿。

作为曾采用过此书内容作为研究生教材的一名读者，我乐意推荐此书给广大读者。