

文章编号:1006-7639(2005)-03-0022-04

位涡分析在新疆暴雨预报中的应用

黄海波^{1,2}

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 民航新疆空中交通管理局气象中心, 乌鲁木齐 830016)

摘要:根据位涡理论, 选取 2004 年 7 月 18~20 日的一次由中亚低涡造成的盛夏暴雨过程做个例分析, 对位涡与新疆地区降水和暴雨的关系进行了初步研究。结果表明: 对流层高层干位涡能较好地反映冷暖空气的活动及天气系统的演变特征, 位涡场比温度场、高度场能更清楚地示踪冷空气, 这为研究冷空气的活动, 特别是冷空气在触发暴雨中的作用提供了新的思路; 对流层低层湿位涡与降水的强弱有良好的对应关系, 当 θ_e 线陡立时, 易导致倾斜涡度发展, 出现降水; 当湿位涡 $MPV < 0$ 时, 在 θ_e 线陡峭密集区内易出现暴雨。

关键词:新疆; 暴雨; 位涡

中图分类号: P48.1

文献标识码: A

引言

国家气象局规定的暴雨标准为日降水量 $R \geq 50$ mm, 若按此标准, 则新疆有 80% 以上的站从未下过暴雨^[1]。根据多年的预报、服务实践, 暴雨洪水成灾事实和干旱半干旱地区暴雨特点, 新疆气象局、水文部门以日降水量 $R > 24$ mm 作为“暴雨”的标准。

新疆是典型的干旱、半干旱地区, 年平均降水量约 147 mm, 不到全国平均值的 1/4, 但暴雨造成的洪水却是新疆的主要灾害之一。如 1996 年 7 月的特大暴雨洪水; 1998 年夏季天山两侧暴雨洪水; 1999 年夏季全疆大范围的暴雨加融雪型洪水。这几次暴雨及其引发的洪水给新疆国民经济和人民的生命财产带来无法弥补的巨大损失, 其中“96.7”特大暴雨造成的损失高达 48.28 亿元, 相当于当年新疆经济年产值的 7%^[2], 这还不包括对经济和生产的间接影响。

由于暴雨的出现是小概率事件, 在预报上一直是个难题, 随着新疆的气候由暖干向暖湿的转变^[3], 暴雨出现的频率可能会增加, 暴雨带来的洪涝也有可能比以往更加严重; 另一方面, 在高温干旱季节, 暴雨则有助于降温和缓解旱情, 利大于弊, 无论从哪一方面看, 加强对新疆暴雨天气的分析研究都是十分必要的。

1 环流背景和天气过程

2004 年 7 月中上旬, 北半球 500 hPa 环流形势

为: 高纬度呈 3 波型分布, 加拿大北部至北冰洋的部分地区、格陵兰东部至欧洲沿岸、中西伯利亚为平均槽区, 阿拉斯加、格陵兰南部、新地岛至欧洲东北部为平均脊区; 中纬度地区呈 4+5 波型分布, 欧洲东北部高压脊异常发展; 欧亚范围环流形势为 2 脊 2 槽型, 新疆地区受副热带高压脊的控制。

7 月 12~16 日, 新疆出现了范围广、持续时间长的高温天气过程, 全疆大部分地区气温均在 35℃ 以上, 部分地区气温达 40℃ 以上; 乌鲁木齐市 14 日最高气温达 40.6℃, 乌鲁木齐机场的气温高达 43.9℃, 突破近 30 a 来的历史极值; 奇台和昌吉日最高气温分别达到 40.9℃ 和 43.5℃, 均破近 45 a 的历史极值, 火洲吐鲁番的日最高气温达 46.2℃。这次高温天气加剧了新疆此前已经出现的严重旱情。

7 月 17~20 日, 受中亚低涡影响, 新疆自西向东先后出现较明显的降水天气, 北疆各地、天山山区、南疆西部、阿克苏地区出现微到小量的雨, 其中塔城、博州、伊犁、北疆沿天山一带、天山山区等地的部分地区达中到大雨, 南疆西部山区和阿克苏山区个别地方大到暴雨; 乌鲁木齐连续 2 d 出现暴雨, 7 月 18 日 20 时至 20 日 08 时过程降水量达到 58.8 mm, 极大地缓解了乌鲁木齐地区的旱情。

2 研究方法

由于暴雨在新疆的重大影响, 气象工作者对新疆暴雨的成因、分布规律等做了大量的研究^[1~6]。

收稿日期: 2005-01-30; 改回日期: 2005-08-10

作者简介: 黄海波(1970-), 男, 在读硕士, 现在新疆民航航空管理局气象中心从事机场天气预报工作。

E-mail: zwwwymyx@yahoo.com.cn

但是,迄今为止,还没有人应用位涡对新疆的暴雨进行过分析研究。本文应用位涡理论,选取2004年7月18~20日乌鲁木齐的一次盛夏暴雨过程做个例分析,对位涡场与降水和暴雨的关系进行初步研究,以探讨位涡分析在新疆暴雨预报中的应用前景。

位涡是描述大气热力和动力性质的重要物理量,有干位涡、湿位涡、等压面位涡和等熵面位涡等多种表达方式,被广泛用于暴雨和其它天气系统的诊断^[7~10]。

等压面干位涡(Potential Vorticity,简称PV)表达式:在 P 坐标下忽略 ω (垂直速度)的水平变化有:

$$PV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (1)$$

其中 g 为重力加速度, ζ 为涡度, f 为地转涡度, θ 为位温, p 为气压, u, v 分别为风速在 x, y 方向的分量。

PV可分解为2部分,即与静力稳定度有关的正压项及风速垂直切变和位温水平梯度有关的斜压项。由上式可见,位涡是能够综合反映大气动力学和热力学特征的物理量。 $PV > 0$,大气为对称稳定, $PV < 0$,大气为对称不稳定。

等压面湿位涡(Moist Potential Vorticity,简称MPV)表达式:在 P 坐标下忽略 ω (垂直速度)的水平变化有:

$$MPV = -g(\xi_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} = \text{常数} \quad (2)$$

其中 ξ_p 为垂直涡度分量, θ_e 为相当位温。

与干空气的动力特征类似, $MPV > 0$,大气为湿对称稳定, $MPV < 0$,大气为湿对称不稳定。

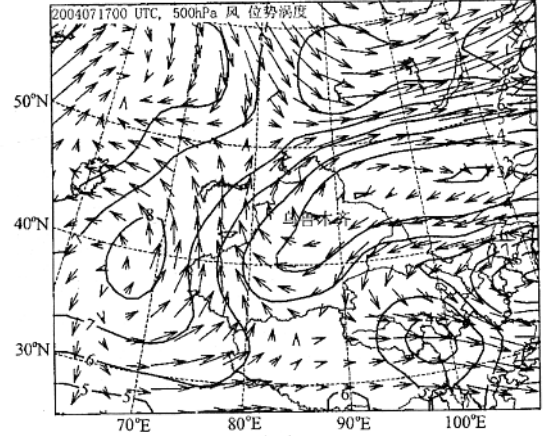
干、湿位涡的单位(PVU)是 $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3 位涡分析

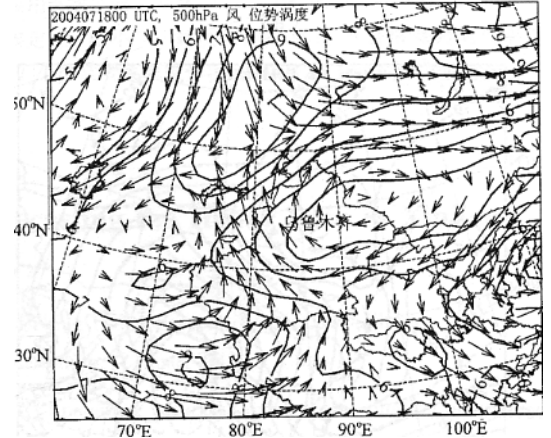
3.1 500 hPa 干位涡分析

图1是2004年7月17日00时至19日00时(世界协调时,下同)500 hPa上的位涡和风场的逐日分布图。17日00时自中亚到蒙古有呈西南东北向的PV高值区,在 $62^\circ\text{E}, 40^\circ\text{N}$ 处有一0.8 PVU的高值中心,这与中亚低涡相对应;从风场可以看出,中亚地区有暖空气北上,推动低涡向北移动。18日00时,中亚地区既有暖空气北上,也有高位涡冷空气南下,这导致在巴尔喀什湖以北地区出现了一个0.9 PVU的高值中心,与移动后的中亚低涡(槽)相对应。冷暖空气在这一带相互作用,造成新疆西部的降水。19日00时,PV高值区向东北方向推进,这和中亚低涡(槽)的移动路径一致。由于南下的冷空气增强,PV最大值增加到1.1 PVU,新疆北部冷

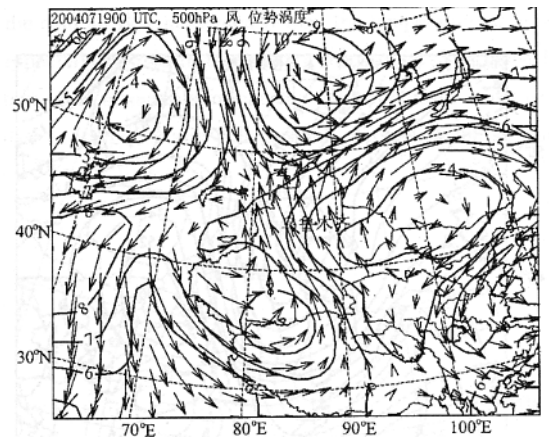
暖空气的相互作用加强,加上低涡的辐合机制,造成强烈的上升运动,促进了对流不稳定能量的释放,导致乌鲁木齐地区的降水加强。20日00时(图略),



(a)



(b)

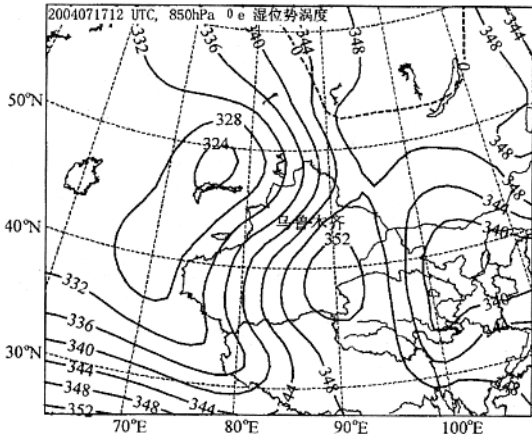


(c)

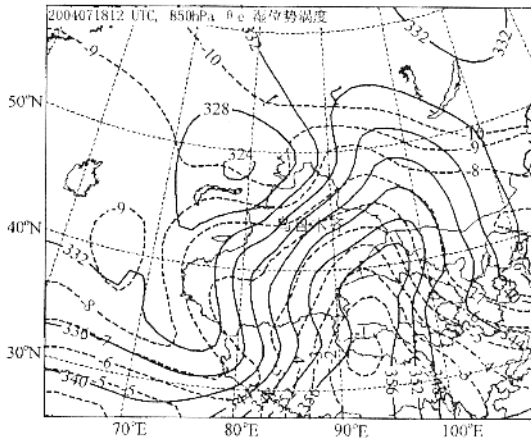
图1 2004年7月17日00时(a)、18日00时(b)、19日00时(c)500 hPa干位涡和风场分布(单位: 10^{-1} PVU)
Fig.1 The distribution of 500 hPa dry PV and wind fields at 00 UTC on 17(a), 18(b) and 19(c) July 2004, respectively. (units: 10^{-1} PVU)

PV高值区推进到新疆北部,冷暖空气的活动均减弱,PV最大值减为0.8 PVU。与此同时,乌鲁木齐以西转为南下的冷空气控制,无暖空气活动,乌鲁木齐的暴雨结束,降水区东移。

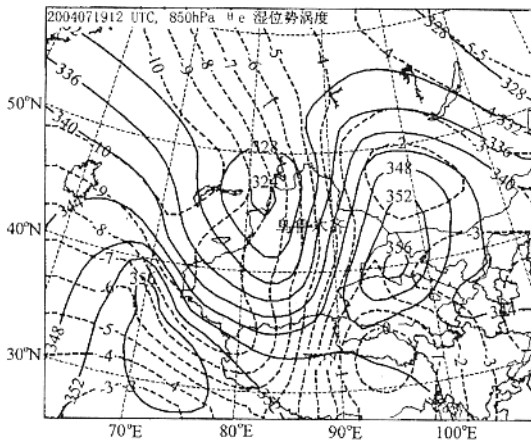
3.2 850 hPa 湿位涡分析



(a)



(b)



(c)

图2 2004年7月17日12时(a)、18日12时(b)、19日12时(c) 850 hPa 湿位涡(虚线,单位: 10^{-1} PVU)和 θ_e (实线,单位:K)分布

Fig. 2 The distribution of 850 hPa MPV (dashed line, units: 10^{-1} PVU) and θ_e (solid line, units: K) at 12 UTC on 17(a), 18(b) and 19(c) July 2004, respectively.

相当位温 θ_e 是能够综合反映温度和水汽条件(湿度)的物理量, θ_e 高值区代表的是高温高湿区。由公式(2)可知,在湿位涡守恒的制约下,由于 θ_e 面的倾斜,大气的水平风垂直切变或湿斜压性的增加能够导致垂直涡度的显著发展,倾斜度越大,气旋性涡度越强,越容易造成暴雨天气。

图2是2004年7月17日12时至19日12时850 hPa上的湿位涡和 θ_e 的逐日分布图。7月17日00时850 hPa(图略)上中亚至新疆一带的湿位涡 $MPV > 0$,为湿对称稳定区;巴尔喀什湖至乌鲁木齐有一 θ_e 锋区(θ_e 等值线密集区), θ_e 线十分陡峭,新疆西部开始出现降水。17日12时850 hPa上 $MPV \approx 0$,中亚至新疆一带由湿对称稳定转为湿对称中性稳定;中亚至新疆西部为 θ_e 低值区,对应的是由北方南下的干冷空气;乌鲁木齐位于 θ_e 高值区,这表明乌鲁木齐处于高温高湿(对流)不稳定区,只要有冷空气入侵,极易释放不稳定能量,造成强降水。18日12时850 hPa上整层 $MPV < 0$,新疆地区由湿对称中性稳定转为湿对称不稳定;与此同时 θ_e 低值区东移, θ_e 锋区推进到新疆境内,冷空气开始影响乌鲁木齐。乌鲁木齐既处于高温高湿的对流不稳定区,又处于湿对称不稳定区,位于干冷空气和暖湿空气相互作用的中心地带,不稳定能量开始大量释放,产生强烈的上升运动,造成暴雨。

19日12时850 hPa上整层 $MPV < 0$; θ_e 低值区东移到新疆西部, θ_e 锋区推进到乌鲁木齐以西地区, θ_e 线更加陡峭,几乎与纬线垂直,乌鲁木齐的降水进一步加强,继续维持暴雨天气。从上面的分析可以看出,在湿位涡守恒条件的制约下,无论大气是湿对称稳定,中性稳定还是湿对称不稳定,由于 θ_e 线的陡峭(倾斜),大气的水平风垂直切变或湿斜压性的增加都能够导致垂直涡度的显著发展,并引发降水;暴雨出现在 θ_e 锋区内,位于低层湿位涡负中心的暖空气一侧,与湿位涡负中心有一定距离,这和梅雨锋暴雨的湿位涡分析^[11]及台风暴雨的湿位涡分析^[12]中得出的结论一致。

4 结论

(1) 在斜压大气中,对流层高层干位涡能较好地反映冷暖空气的活动和天气系统的演变特征,位涡场比温度场、高度场能更清楚地示踪冷空气,这为研究冷空气的活动,特别是冷空气在触发暴雨中的

作用提供了新的思路。

(2) 对流层低层湿位涡与降水的强弱有良好的对应关系,在湿位涡守恒条件的制约下,无论大气是湿对称稳定,中性稳定还是湿对称不稳定,由于 θ_e 线的陡峭(倾斜),大气的水平风垂直切变或湿斜压性的增加都能够导致垂直涡度的显著发展并引发降水。当 θ_e 线陡立密集且湿位涡 $MPV < 0$ 时,在 θ_e 线陡峭密集区内易出现暴雨。暴雨区位于低层湿位涡负中心的暖空气一侧,与湿位涡负中心有一定距离。

(3) 位涡是能够综合反映大气动力学和热力学特征的物理量。通过对新疆夏季常见的中亚低涡暴雨个例的研究发现,位涡分析在新疆暴雨预报中有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张家宝,邓子凤.新疆降水概论[M].北京:气象出版社,1987.4-5.
[2] 徐羹惠.“96·7”新疆特大暴雨洪水预报服务技术研究的综述与

- 启示[J].“96·7”特大暴雨专辑.新疆气象,1997,20(1):1-5.
[3] 胡汝骥,姜逢青,王亚俊,等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J].干旱区地理,2002,25(3):194-200.
[4] 张家宝,苏起元,孙沈清,等.新疆短期预报指导手册[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986.218-270.
[5] 马淑红,席元伟.新疆暴雨的若干规律性[J].气象学报,1997,55(2):239-248.
[6] 杨涛,杨莲梅.新疆强对流暴雨的气候特征和概率分布模式研究[J].灾害学,2003,18(1):47-52.
[7] 王永生,杨大升.暴雨和低层流场的位涡[J].大气科学,1984,8(4):411-417.
[8] 盛华.“8.17”大暴雨位涡与相当位涡诊断分析[J].高原气象,1984,3(4):10-17.
[9] 陆尔,丁一汇.1991年江淮特大暴雨的位涡分析与冷空气活动[J].应用气象学报,1994,5(3):266-274.
[10] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓箐.湿位涡和倾斜涡度发展[J].气象学报,1995,53(4):387-405.
[11] 王建中,马淑芬,丁一汇.位涡在暴雨成因分析中的应用[J].应用气象学报,1996,7(1):19-27
[12] 侯定臣,庄小兰,黄燕波,等.9012号台风暴雨的位涡分析[J].南京气象学院学报,1997,20(1):64-70.

Application of Potential Vorticity Analysis in Forecasting the Heavy Rain in Xinjiang

HUANG Hai-bo^{1,2}

- (1. Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;
2. Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Administration, Urumqi 830016, China)

Abstract: Based on the potential vorticity theory, the relations between the PV (potential vorticity) and the precipitation or heavy rain occurred in Xinjiang region are preliminarily studied in this paper through a heavy rain case caused by Central-Asia vortex from July 18 to 20, 2004. The results show that the dry PV in the upper troposphere can well reflect both the cold and warm air flow motions and present the developing features of the weather system, and the PV can trace the cold air flow more clearly than the temperature or height field, which provides a new idea for the study of the cold air flow motion, especially its role in triggering a heavy rain. The moist PV in the lower troposphere has good relations with the intensity of the precipitation. It is favourable for causing a rain when the moist isentropics are very stiff, which can lead to the development of slantwise vorticity, and a heavy rain will probably happen in the stiff and dense section of the moist isentropics when $MPV < 0$.

Key words: Xinjiang; heavy rain; potential vorticity