

西北地区东部一次连阴雨过程等熵位涡分析

程 鹏¹, 赵庆云¹, 李江萍², 孙国武³(1. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要:应用等熵位涡原理,对2005年5月中旬西北地区东部的一次连阴雨过程进行了诊断分析。结果表明:影响这次连阴雨过程的大环流背景是乌拉尔山附近存在一高压脊,同时在巴尔喀什湖附近存在一不断加深的槽;这次连阴雨过程是由高原不断生成的低涡与北边分裂下来的冷空气所共同造成的;由于青藏高原大地形的作用,等熵面上高位涡沿高原北侧向下游输送;等熵位涡高值区与降水区有较好的对应关系,IPV正值区能够反应冷空气的移动,具有较好的预报指示意义。

关键词:连阴雨;等熵位涡;西北地区东部

中图分类号:P458

文献标识码:A

引言

连阴雨是在大尺度环流背景下,某些关键地区天气系统影响的结果。国内对西北地区东部的连阴雨研究已有不少工作,如林纾^[1]分析总结了西北地区中东部连阴雨的候平均环流特征;魏锋^[2]分析了甘肃省近35 a来连阴雨的时空分布特征;史宝秀^[3]、蔡忠兰^[4]分别分析了2001年和2000年甘肃省秋季连阴雨发生的环流背景;方建刚^[5]分析了陕西省2003年秋季连阴雨降水的特征和形成秋季连阴雨天气的天气学、热力学特点;王秀文^[6]分析指出阻塞高压形势且贝加尔湖附近伴有冷涡是造成北方连阴雨天气最主要的环流特征。这些研究成果揭示了影响连阴雨天气的大气环流背景及西北地区东部连阴雨的时空分布特征,但对影响连阴雨天气的天气系统诊断分析还比较少。本文将利用等熵位涡原理对2005年5月中旬西北地区东部的一次连阴雨过程进行诊断分析,试图揭示其影响系统。

1 资料说明

等熵位涡计算所使用的资料是2005年5月12~16日的高空常规观测资料,每天2个时次,分别为:08:00和20:00(北京时间);水平分辨率4×4经纬

度。计算范围取30°~46°N,88°~120°E。所用降水资料是地面常规观测资料的逐日24 h资料(08时至次日08时)。

连阴雨分析选取了西北地区东部的111个站点,其中甘肃60个,宁夏6个,陕西45个。范围覆盖了甘肃河东地区、宁夏南部、陕西大部分地区,站点分布见图1。本文所分析的连阴雨过程属于春季连阴雨。

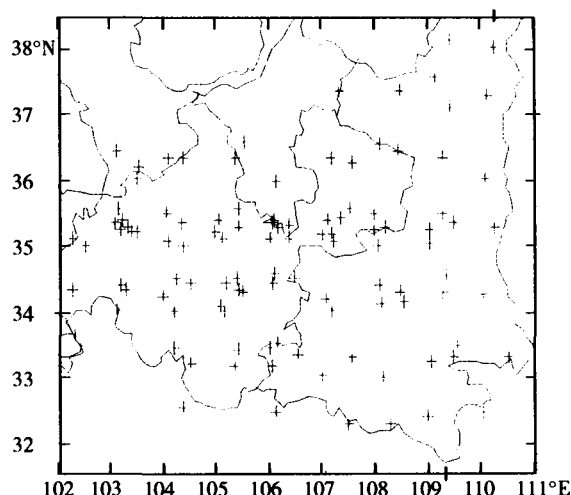


图1 西北地区东部站点分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in the east of Northwest China

收稿日期:2006-09-26;改回日期:2007-01-11

基金项目:甘肃省气象局“现时预报”项目资助

作者简介:程鹏(1981-),男,甘肃临泽人,助理工程师,主要从事中短期天气预报工作。

2 等熵位涡的基本性质与分析方法

降水天气的形成需要有丰富的水汽供应以及有利的动力、热力不稳定条件,位涡作为一个将动力和热力作用相结合的物理量,对降水的发生发展过程有较好的指示性。

2.1 等熵位涡的定义

Ertel 位涡在等熵面的定义是:

$$PV = \frac{1}{\rho} \zeta_a \cdot \nabla_3 \theta \approx -g \left(\frac{\partial \theta}{\partial p} \right) (f + \zeta_\theta) \quad (1)$$

其中 ζ_a 为旋转流体绝对涡度矢量, ρ 为大气密度, θ 为位温, ζ_θ 是等熵面上相对涡度的垂直分量^[7]。

Hoskin 等(1985)深入讨论了位涡的重要性,提出等熵位涡 IPV (isentropic potential vorticity) 的概念。这种位涡理论易于和大尺度动力学理论结合,既能描述气块轨迹,又能有效地显示出大尺度运动的动力学性质^[8]。研究表明^[7],IPV 图形是形象地表示大尺度动力过程的最简单、最有效的方法。IPV 与地面位温的时间序列可以给出比较完整和清晰的大气动力学图解,能概括出涡度平流、温度平流和垂直运动的联合效应。

Hoskins 曾指出^[8]:绝热无摩擦大气有沿着等熵面做二维运动的趋势。IPV 不仅在绝热无摩擦大气中是守恒的,而且根据位涡运动场和质量场间可逆性原理,即使有如摩擦和动力波拖曳的非守恒效应或非绝热加热存在时,IPV 概念依然适用。等熵面上的 IPV 分布对应着一定的气流结构,能清楚地反映出天气系统。

2.2 分析方法

由于大尺度运动满足静力平衡关系,等熵面上位温为常数,所以有(2)式的位势涡度的等价关系成立:

$$PV = \frac{1}{\rho} \zeta_a \cdot \nabla_3 \theta \approx -g \left(\frac{\partial \theta}{\partial p} \right) (f + \zeta_\theta) \approx (\zeta + f)/H \quad (2)$$

其中 ζ 指等熵面上的相对涡度分布, H 指涡旋系统的有效厚度。等熵面一般取 290 ~ 330 K,在夏季取较高值,而在冬季取较低值^[7]。本文分析的个例发生在春季,位于青藏高原东北侧,若取较低值 (< 305 K),则等熵面与地形交割,天气系统的整体特征不易辨识,故分析中取 315 K (约 500 hPa) 和 345 K (约 300 hPa) 等熵面。

3 天气实况及环流背景分析

3.1 天气实况

近 50 a 中,西北地区总降水量趋于增多,极端降水事件趋于频繁^[3]。在 2000、2001 年秋季西北区中东部连续 2 a 出现自 20 世纪 80 年代以来范围最大、持续时间最长的连阴雨之后^[1],2005 年 5 月中旬,西北地区东部出现了自 80 年代以来范围最广的一次春季连阴雨天气过程。

这次连阴雨过程有效地缓解了西北地区东部的旱情,对促进农作物生长十分有利。降水从 11 日开始,17 日结束,降水区域覆盖了西北地区东部大部分地方,整个过程降水量分布见图 2,其中 12 ~ 13 日以小雨为主,15 ~ 16 日以中雨为主,局部地方大雨,过程总降水中心位于陕西南部汉中—安康一带,中心降水量达 90 mm。

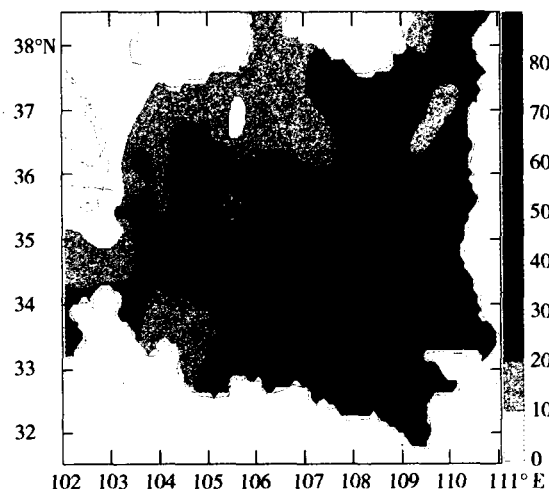


图 2 连阴雨过程总降水量

Fig. 2 The total precipitation during the continuous rain process

所选站点在这次连阴雨过程中发生连阴雨的比例占 68.5% (表 1),表 1 的统计说明这次连阴雨过程覆盖了西北地区东部的大部分地方。

表 1 发生连阴雨站数所占比例

Tab. 1 The proportion of the stations occurring the continuous rain

	总站数	发生连阴雨站数	所占比例
甘肃	60	40	66.7%
宁夏	6	5	83.3%
陕西	45	31	68.9%
总和	111	76	68.5%

3.2 影响系统

这次连阴雨过程的影响系统主要是巴尔喀什湖附近深厚的低槽和蒙古高原的高压脊,同时青藏高原中西部有低涡生成并东移南下。在 11 日 08 时至

19 日 20 时之间,高原上一共有 4 个低涡形成并向东移发展,影响西北地区东部;其中在连阴雨发生期间(12 日 08 时至 17 日 08 时),高原上一共形成了 3 个低涡,如图 3 所示,分别简称为 A、B、C。

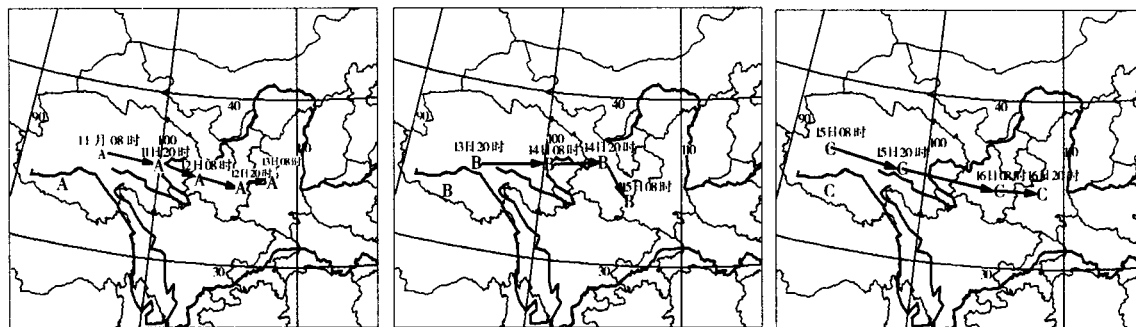


图 3 高原低涡时间变化

Fig. 3 The temporal variations of the plateau low vortices

A 形成于 11 日 08 时,位于高原中西部,这一低涡加深发展并向东移,12 日在甘肃定西—天水—陇南一带维持,13 日移至陇东,这次由于北边冷空气偏北,未能与低涡配合,故 12、13 日的降水量并不大,日降水以小雨为主,14 日 20 时 A 减弱移出西北地区东部;B 形成于 13 日 20 时,位于高原中西部,该低涡移动迅速,24 h 后即 14 日 20 时东移到了兰州附近,与此同时,从巴湖附近分裂下来的冷空气的前锋在 14 日 08 时进入到河西西部,14 日 20 时东移到了白银—兰州附近,该低压槽与高原低涡加深发展,14 日夜间在兰州—天水—陇南一带发展成—槽,该槽在 14 日夜间至 15 日在天水—陇南—宝鸡一带维持,并缓慢东移;与此同时,C 在 15 日 08 时形成,位于高原西部,C 移动较快,16 日 08 时已移到天水—陇南—宝鸡一带,并与处于发展末期的 B 合并加深,持续并加强了降水天气的发展。B 与 C 造成了 15 日至 16 日西北地区东部大部分地方的中到大雨天气。17 日 08 时,西北地区东部受西北气流控制,天气转好。

在 700 hPa 高空图上,此期间来自孟加拉湾的暖湿气流一直存在,为连阴雨天气的形成提供了良好的水汽条件(图略)。

4 等熵位涡理论诊断分析

利用 2005 年 5 月 10 日至 17 日的常规观测资

料,计算出 345 K(约 300 hPa)等熵面上的位涡,分析发现等熵位涡能很好地反映高原上天气系统的移动。图 4 分别为 11 日 20 时、13 日 20 时、15 日 20 时和 16 日 08 时的等熵位涡。通过计算发现 315 K(约 500 hPa)等熵面上的位涡在本次天气过程中不容易识别,故本文没有做分析。

图 4a 是 11 日 20 时等熵面上的位涡,在 36°N , $92^{\circ}\sim 96^{\circ}\text{E}$ 范围有一正 IPV 区的高值中心,中心强度为 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,在 12 日 08 时,该 IPV 区中心强度进一步加强为 $2.4 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,并向东移,由于青藏高原大地形的影响,该天气系统向北抬并向东移;12 日 20 时,西北地区东部已处在正 IPV 区控制之下,与此同时,该系统分裂为 2 个中心,一个中心位于青藏高原东部 32°N , 96°E ,中心强度为 $1.8 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,另一个中心位于 40°N , 120°E (贝加尔湖附近),中心强度为 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,东西跨越 12 个经度。第 2 个中心是影响 12~13 日西北地区东部降水的系统,由于该中心位置偏北,IPV 中心强度的值偏弱,所以 12 日西北地区东部降水以小雨为主。该中心与冷空气中心位置一致,与 Hoskins 位涡理论中正位涡用来反映冷空气活动相符合,因此,正 IPV 区在一定程度上可反映冷空气的位置,其强度可代表冷空气的强弱。

图 4b 是 13 日 20 时等熵面上的位涡,由于所选

计算范围的限制,高原上的正 IPV 区未清晰地显示出来,但可以看到在 36°N、88°E 处有一新的天气系统(位涡)形成。在 14 日 08 时,该天气系统中心已移动到了 40°N、92°E 处,中心强度为 $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,在随后时次的跟踪分析中发现,该系统在高原上有所停留,15 日 08 时该系统中心移动到了 37°N、108°E(神木—榆林一带)处,IPV 中心强度的值有所减弱,中心强度为 $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,低涡 B 在此时处于陇南—天水—宝鸡一带,与低涡 B 所处位置相比,位涡位置略偏北。该系统在 15~16 日缓慢东移减弱,其发展趋势基本与 B 一致,位涡可以代表高原天气系统的移动发展趋势。

图 4c 是 15 日 20 时等熵面上的位涡,与图 4b

一样,正 IPV 区未清晰显示出来,但在 16 日 08 时 40°N、92°E 处有一正 IPV 中心,中心强度为 $2.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该系统移动速度非常快,且 IPV 中心强度的值在移动过程中不断加大,16 日 20 时已到了 38°N、108°E(神木—榆林一带)处,同时 IPV 中心强度继续维持,17 日 08 时,中心强度值迅速减小为 $1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$,中心也随之东移,降水结束。此位涡系统与前文中提到的低涡 C 一致,移动很快。与低涡 C 所处位置相比,位涡位置略偏北偏东,但从它的移动路径上看,正 IPV 区的移动较好地反映了该低涡系统的移动,同时,位涡系统的加强与减弱也可以反映出高原天气系统的变化。

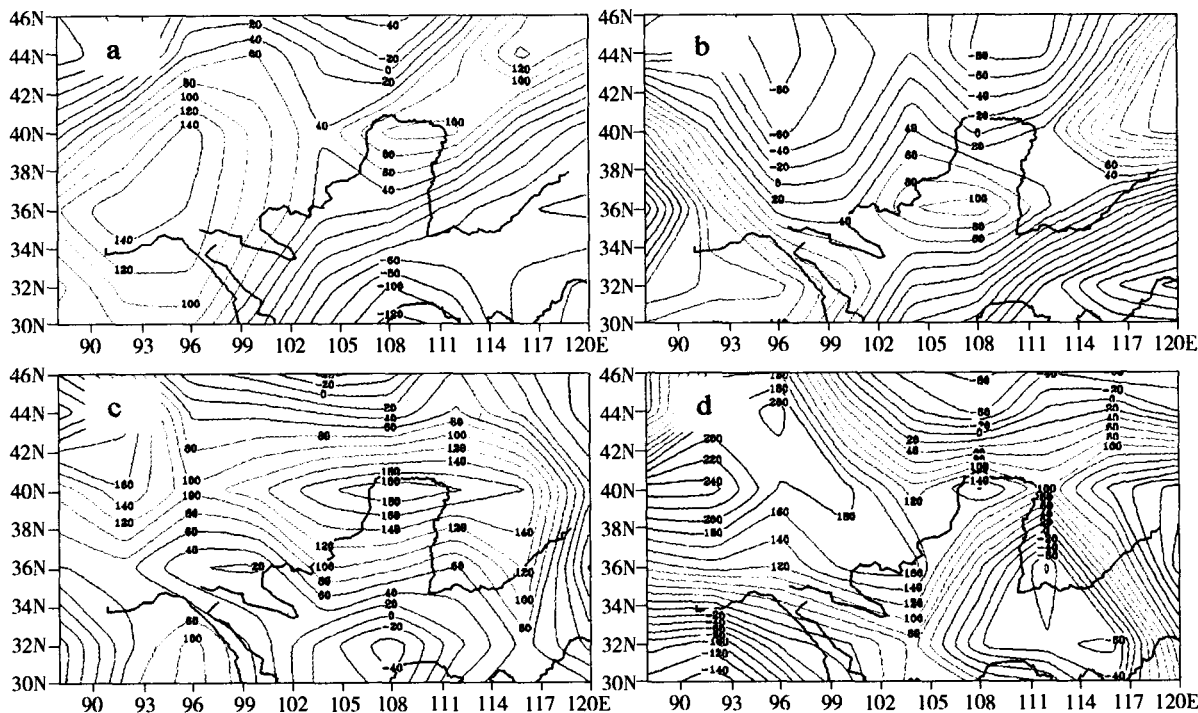


图 4 345 K(约 300 hPa)等熵面上(32°~52°N,92°~120°E)的位涡(单位: $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 11 日 20 时; (b) 13 日 20 时; (c) 15 日 20 时; (d) 16 日 08 时

Fig. 4 The potential vorticity on the 345 K(about 300 hPa) isentropic surface (32°~52°N,92°~120°E)

(a) for 20:00 May 11, (b) for 20:00 May 13, (c) for 20:00 May 15, (d) for 08:00 May 16

由此可以看出,正 IPV 区可以很好地反映高原大天气系统低涡,IPV 区的移动代表了低涡的移动;IPV 中心强度的变化反映了高原低涡的发展变化;正 IPV 区也可以代表冷空气,其中心的强弱反映了冷空气的强弱;正 IPV 区与降水区有较好的对应

关系,正 IPV 区控制的区域一般是发生降水的区域。

5 结 论

(1) 影响这次连阴雨过程的天气系统是巴尔喀什湖附近的槽分裂下来的冷空气和高原上生成的低

涡;

(2) IPV 高值区的移动代表着天气系统的移动,IPV 正值区可以较好地反映冷空气的位置;

(3) 等熵位涡高值区与降水区有较好的对应关系,可以利用高原等熵位涡追踪分析高原上的天气系统变化。

参考文献:

- [1] 林纾,章克俭. 西北地区东部2000年与2001年秋季连阴雨分析[J]. 气象,2003,29(2):34-38.
- [2] 魏锋,白虎志,孙秉强. 甘肃省近35年连阴雨天气气候特征分析[J]. 成都信息工程学院学报,2005,20(4):479-482.
- [3] 史宝秀,瞿汶. 甘肃省2001年秋季连阴雨特征分析[J]. 甘肃气象,2002,20(2):12-13.
- [4] 蔡忠兰,刘德祥,瞿汶. 甘肃省2000年秋季连阴雨气候特征分析[J]. 甘肃气象,2001,19(3):28-29.
- [5] 方建刚,白爱娟,陶建玲,等. 2003年陕西秋季连阴雨降水特点及环流条件分析[J]. 应用气象学报,2005,16(4):509-517.
- [6] 王秀文,李月安. 北方麦收期间连阴雨天气环流特征[J]. 气象,2005,31(9):52-56.
- [7] 李江萍,孙国武,王式功. 青藏高原东北侧暴雨等熵位涡分析[J]. 兰州大学学报自然科学版,2006(41):1-5.
- [8] Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps[J]. Quart J Roy Meteor, 1985(111):877-918.

Analysis of Isentropic Potential Vorticity of a Continuous Rain Process in the East of Northwest China

CHENG Peng¹, ZHAO Qingyun¹, LI Jiangping², SUN Guowu³

(1. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the theory of isentropic potential vorticity (IPV), a diagnostic analysis of a continuous rain process in the east of Northwest China in the second ten-day of May in 2005 was carried out. The results show that the large circulation background which influenced this continuous rain process was the high ridge near the Ural Mountain and the continually deepening trough near the Balkhash Lake; this continuous rain process was caused by the low vortex continually created from the plateau together with the cold air split from the north. Because of the topographic effect of the Tibetan Plateau, the high potential vorticity on the isentropic surface was transported to the lower reaches along the north side of the plateau; the high value area of IPV was closely associated with the precipitation area, and the positive value area of IPV can reflect the movement of the cold air, thus it can be a significant predictor.

Key words: continuous rain; isentropic potential vorticity; the east of Northwest China