

文章编号:1673-8411 (2016) 03-0038-04

广西一次暴雨过程的数值预报产品位涡特征分析

李渝平, 王庆国, 苏兆达

(南宁市气象局, 广西 南宁 530022)

摘要:利用广西自动观测站雨量资料、欧洲中心细网格数值预报位涡产品(简称 EC-THIN PV 产品)及风场产品,对广西 2015 年 5 月 21-23 日暴雨过程进行分析。结果表明,EC-THIN PV 产品对位涡异常扰动具有预报灵敏性;EC-THIN PV 产品高位涡区与 3h 强降水落区具有较好的空间对应关系,700hPa 等压面位涡高值区与短时强降水落区对应关系最好;EC-THIN PV 产品 500hPa 等压面产生位涡扰动,扰动下传形成高位涡柱的过程,与中尺度低涡形成、发展及短时强降水的产生具有较好的时间同步性。

关键词:暴雨;ECMWF;数值预报;位涡

中图分类号:P458.1+21.1

文献标识码:A

Potential Vorticity Analysis of ECMWF Thin-grid Numerical Predication Products of a Rainstorm in Guangxi

Li Yu-ping, Wang Qing-guo, Su Zhao-da

(Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: Based on the rainfall data from automatic weather observation stations in Guangxi, potential vorticity of EC-THIN PV products and wind products, the rainstorm process appearing during 21 to 23 May in Guangxi was analyzed. The results show that EC-THIN PV products are sensitivity for predicting anomalous disturbance of PV; High PV areas of EC-THIN PV products have good spatial correlation with falling areas of 3h short-time heavy rainfall, and high PV in 700hPa pressure level have the best correlation with the short-time heavy raining area; The processes of appearing PV anomalous disturbance and downward propagating to form PV anomaly column has time-synchronization with the forming and development of the meso-scale vortex and occurring short-time heavy rainfall.

Key words: rainstorm; ECMWF; numerical prediction; potential vorticity

引言

位势涡度(简称位涡)理论最早由 Rossby^[1-2]提出,其后 Ertel^[3]提出广义位涡的概念,Hoskins^[4]等指出高位涡异常和低位涡异常可以对应高低空系统的结构和演变趋势,这种理论和分析方法被称为位涡思想(PV thinking)。关于位涡理论的发展,张述文

^[5]、陶祖钰^[6]等学者先后作了较为详细的归纳。

由于位涡包含动力因子和热力因子,且具有在绝热无摩擦的条件下守恒的特点,许多学者对位涡进行了研究。PV thinking 在许多研究成果中得到验证,一些学者已经探索位涡在暴雨研究中的应用^[7-8]。

由于等熵坐标绝热无摩擦条件下位涡的保守特性,大量研究都采用等熵坐标^[9-10],而等压坐标的位

收稿日期:2016-05-26

基金项目:南宁市气象局气象科学研究与技术开发项目(南气科 201404)资助

作者简介:李渝平(1990-),男,广西河池人,助理工程师,主要从事短期、短临天气预报工作,Email:356564526@qq.com。

涡分析相对较少。然而, 实际业务中大量分析和实践都基于等压面, 且有研究利用诊断方法分析发现等压面位涡与暴雨也具有较好的对应关系^[11-12]。因此, 本文探索 EC-THIN PV 产品对位涡异常高值的预报灵敏性及其与短时强降水落区的关系, 为广西暴雨预报, 特别是暴雨过程中短时强降水的预报提供一些直观参考。

1 资料和方法

采用 2015 年 5 月 21-23 日广西自动观测站雨量逐 24h 和逐 3h 数据资料, 及 EC-THIN PV 产品及风场产品。

EC-THIN PV 产品为 micaps 第四类数据格式, 即格点数据, 经纬向格点间距均为 0.25° , 经度范围 $70^\circ\text{--}140^\circ\text{E}$, 纬度范围 $0^\circ\text{--}60^\circ\text{N}$, 使用其中 200、300、400、500、700、850、925、1000hPa 共 8 层等压面数据。

将 EC-THIN PV 产品由 micaps 第四类数据格式转为可以被 GrADS 软件读取和绘制的二进制文件, 绘制 EC-THIN PV 产品在广西的分布图并进行剖面分析。

2 暴雨过程概述

2.1 降水的时空分布

暴雨过程出现在 2015 年 5 月 21-23 日。21 日 20 时前, 广西国家观测站未出现暴雨, 最大雨量出现在凌云 49.4mm, 广西西北部少部分地区自动站出现暴雨。21 日 20 时之后, 雨带范围增大并从广西西北部向广西中部移动, 之后在广西中部维持。据广西国家观测站 20 时-20 时雨量统计, 广西 22 日出现 8 站暴雨, 2 站大暴雨, 最大雨量出现在凌云 119mm, 23 日出现 25 站暴雨, 4 站大暴雨, 最大雨量出现在田东 157.9mm。本次过程具有雨量大, 范围广的特点, 从地理位置看主要位于广西的北部偏南到中部地区。

2.2 环流形势及天气系统

暴雨过程期间, 500hPa 中高纬为两槽一脊形势, 西西伯利亚以南的中亚至巴尔喀什湖地区以及亚洲东岸为低槽, 西西伯利亚以东到亚洲东岸地区为高压脊, 这与广西西风带暴雨环流背景吻合^[13]。21-23 日, 高原有低槽东移, 同时低纬地区不断有短波槽东移, 广西不断受到槽前正涡度平流的影响, 为暴雨的产生提供了有利的动力条件。经分析, 此次暴

雨过程与学者研究的广西大范围致洪暴雨天气模型^[14]有近似之处, 但 500hPa 天气系统振幅略偏小。对于此次暴雨过程, 黄远盼等学者作了较为细致的天气过程诊断分析^[15]。

有学者利用诊断和数值模拟对典型过程进行分析, 结果表明, 低空急流和中尺度低涡对广西前汛期暴雨的发生起到重要作用, 暴雨落区与低层切变线、急流和低涡的位置有着较好的对应关系^[16-19]。在本次暴雨集中出现的时段, 低层有西南风涌、低空急流建立及切变线加强的过程, 其中还伴随有中尺度低涡系统的强烈发展, 切变线和急流中的中尺度涡旋和辐合区是引发暴雨的直接原因^[20]。

地面气压场分析发现, 暴雨过程前, 河套地区和华东地区分别有冷高压维持, 我国东北地区 and 高原东南部各有低压中心维持, 从高原南部到广西一带为低压倒槽的形势。之后冷空气沿东路扩散, 华东地区高压东移出海, 河套地区高压向东南方向移动, 原本位于高原东南部的低压移至云南到广西西部地区, 强度增强, 高低压对峙的变形场形势有利于出现倒槽锋生, 广西地区西南-东北走向的地面倒槽形势明显, 同时在广西中部有准静止锋维持。地面倒槽暴雨个例亦有学者进行研究^[21-22]。

3 EC-THIN PV 产品与暴雨过程的关系

3.1 EC-THIN PV 产品与强降水的空间关系

广西此次暴雨过程日雨量的特征已在前文描述。以本次过程降水量较大的百色、河池、南宁等地市为例进行分析。上述这些地区雨量主要集中在 21 日 20 时-22 日 11 时, 我们把这个时段内逐 3h 雨量与 EC-THIN PV 产品进行对比得出:

(1) 21 日 20 时-22 日 11 时, 强降水落区从百色市不断东移, 且在移动过程中强降水范围迅速增大, 3h 雨量 20-70mm。在强降水发生且落区东移的过程中, 广西西北部百色到河池地区 500、700、850hPa 出现正负位涡急剧增强、正负中心成对出现并向东移动的现象, 且位置与强降水落区较接近。

(2) 22 日 02 时, 500hPa 百色市乐业出现负位涡中心, 百色市西林、田林、凌云以及河池市南丹、天峨、凤山出现正位涡中心, 700hPa 负位涡中心位于河池市凤山、东兰、巴马, 负位涡中心西侧的百色市田阳和东侧的河池市都安各有一个正位涡中心, 850hPa 百色市西林、田林有负位涡中心, 而其东侧

河池市凤山、东兰、巴马为位涡大值区,巴马县附近有正位涡中心。21 日 23 时-22 日 02 时,百色市西林雨量 20-50mm,百色市田东、田阳和河池市巴马之间地区最大雨量超过 70mm,河池南部大部雨量在 10mm 以上。

(3)22 日 02-08h,500hPa 负值中心持续向东移动,02-05h 负值中心由河池市乐业移至河池市南丹县南部、都安县北部,05-08h 负值中心东移至河池市环江,于此同时负值中心东侧及西侧的两个正值中心也随之移动,移动速度和方向与负值中心基本一致;02-05 时 700hPa 位涡正负中心移动与 500hPa 基本相同,但在 05-08 时原本位于河池南丹的负值中心消失,迅速转变为正值中心,而在 02 时原负值中心以南出现新的负值中心,在此负值中心东、西侧也随之出现对应的正值中心;850hPa 负值中心在东移过程中持续减弱,至 22 日 08 时原本的负值中心已经消失,而在 500、700hPa 位涡正负中心移经的地方,850hPa 位涡迅速增加。22 日 02-08 时,强降水区东移,22 日 08 时强降水位于百色市田林、凌云、乐业,河池市天峨、凤山、巴马、都安,南宁市马山、上林、宾阳、武鸣。

综上,当中低层位涡数值异常变化,出现成对正负位涡中心或者位涡大值区域时,产生短时强降水

的可能性较大,3h 强降水的落区多出现在该时段的负位涡中心的西南侧或正位涡中心附近及南侧,两者经纬度偏差较小,且相对而言 700hPa 位涡与 3h 强降水落区的对应关系最好。

3.2 EC-THIN PV 产品与强降水的时间关系

21 日 20 时-22 日 02 时,500hPa 有小槽波动从贵州省西南部东移,影响广西西北部,850hPa 西南风风速涌增,逐渐达到急流强度,在高空槽前正涡度平流的作用下,低层切变线增强,广西西北部风向由一致的东南风转变为西南-偏南-东南风的切变,涡度显著增强,逐渐形成近似闭合的小低涡,且低涡大致沿着切变线自西向东移动,而这一时间段,正好与西北地区位涡显著增强的时间一致。

为探究小低涡的位涡特征,取低涡中心大致位置,沿 107.5°E 作纬度-等压面剖面(图 1),可以看到,在广西西北部低涡发展,雨量激增的时段,位涡有一个快速扰动加强的过程,先从 400-500hPa 高度开始,之后位涡扰动迅速下传,形成一个从 400hPa 到 900hPa 贯通的高位涡柱,位涡柱向东偏北方向移动,与雨区移动方向近似,并随着天气系统的发展、移动而快速生长、消亡,生命期约 3-6h。

为探索某地短时强降水发生前后位涡的演变,

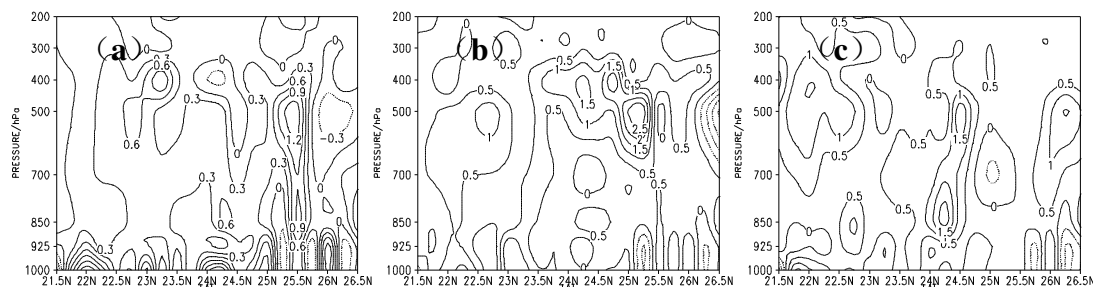


图 1 EC-THIN PV 产品沿 107.5°E 经向垂直剖面图(单位: $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a:21 日 23 时;b:22 日 02 时;c:22 日 05 时)

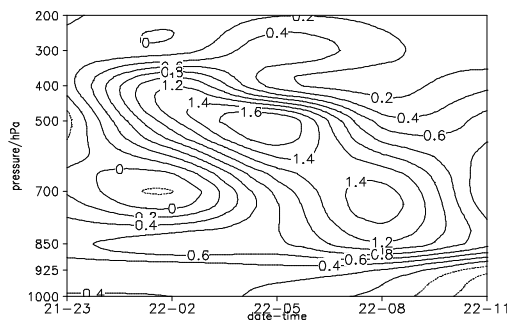


图 2 EC-THIN PV 产品在 (24.5°N, 107.5°E) 的时间-等压面剖面图(单位: $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

选取河池市东兰县 (24.5°N, 107.5°E), 制作 EC-THIN PV 产品的时间-等压面剖面图(图 2),结果表明,在强降水发生前,当地从 200hPa 以下整层气柱位涡数值都很小,在短时强降水雨区移近时,其上方 500hPa 高度附近开始出现位涡扰动中心,然后位涡下传形成强的高位涡柱,同时正位涡中心下沉至 700-850hPa 高度。

4 结论

(1) EC-THIN PV 产品对位涡扰动具有较好预报敏感性。暴雨过程期间, 特别是过程中短时强降水发生时, EC-THIN PV 产品中低层位涡显著增大, 出现较强的正负位涡中心或大值区, 对暴雨发生具有一定的提示和追踪意义。

(2) EC-THIN PV 产品与短时强降水落区具有较好的空间对应关系, 强降水多发生在中低层预报负位涡中心的西南侧或正位涡中心附近及南侧, 两者经纬度差距较小, 其中 700hPa 位涡中心和大值区域发展与移动与短时强降水落区对应关系最好。

(3) EC-THIN PV 产品与中尺度低涡发展及短时强降水的产生在时间上较为同步。中尺度低涡初形成, 雨强仍较小时, EC-THIN PV 产品在 500hPa 高度附近出现高位涡中心, 当高位涡扰动下传, 逐渐形成整层高位涡气柱, 同时位涡中心下沉到 700–850hPa 高度附近时, 低涡强烈发展, 雨强迅速增大, 短时内雨量迅速累积。当高位涡柱逐渐消散时, 降水明显减弱。

参考文献:

- [1] Rossby C G. Planetary Flow Patterns In the atmosphere [J]. Quart J R Meteor Soc, 1910, 66 (supple): 68–87.
- [2] Rossby C G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semi-permanent centers of action [J]. J marine Rev, 1939, 2 (1): 38–55.
- [3] Ertel H. Ein Neuer Hydrodynamischer Wirbelsatz [J]. Met Z, 1942, 59: 271–281.
- [4] Hoskins B J, M E McIntyre, A W Robertson. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps [J]. Quart J R Meteor Soc, 1985, 111: 877–946.
- [5] 张述文, 王式功. 位涡及位涡反演 [J]. 高原气象, 2001, 20 (4): 468–473.
- [6] 陶祖钰, 周小刚, 郑永光. 从涡度、位涡、到平流层干侵入——位涡问题的缘起、应用及其歧途 [J]. 气象, 2012, 38 (1): 28–40.
- [7] 王川, 周丽峰. 位涡理论在暴雨分析研究中的应用 [J]. 陕西气象, 2003, (3): 14–17.
- [8] 范可, 琚建华, 寿绍文. 位涡守恒原理在中尺度低涡降水中的应用研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2001, 23 (5): 374–378.
- [9] 周小刚, 王秀明, 陶祖钰. “等熵思维”到“等熵位涡思维”回顾与讨论 [J]. 气象, 2014, 40 (5): 521–529.
- [10] 周小刚, 柳士俊, 王秀明, 等. 对气象常用坐标系中位涡形式的探讨 [J]. 物理学报, 2011, 60 (5): 1–7.
- [11] 盛华. “81.7”大暴雨位涡与相当位涡的诊断分析 [J]. 高原气象, 1983, 3 (2): 10–18.
- [12] 赵小平, 沈新勇, 朱晶晶, 等. 2009 年豫南一次强暴雨过程的位涡方程诊断分析 [J]. 气象, 2014, 40 (1): 38–47.
- [13] 黄海洪, 林开平, 高安宁, 等. 广西天气预报技术和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [14] 黄香杏, 林开平, 赵红洁. 广西大范围致洪暴雨天气模型 [J]. 广西气象, 2001, 22 (1): 21–23.
- [15] 黄远盼, 林振敏, 葛意活, 等. 2015 年 5 月广西一次连续性暴雨天气过程诊断分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4): 59–63.
- [16] 欧徽宁, 梁珊珊, 杨胜才. 2013 年广西一次前汛期暴雨过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (4): 14–17.
- [17] 姚胜芳. 急流对一次特大暴雨形成的影响分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (S1): 35–37.
- [18] 何草青, 郭洪权, 陆鸿生, 等. 一次低涡影响造成的暴雨分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3): 16–18+107.
- [19] 陈绍河, 李祖敏, 李赛声, 等. 广西防城港 2011 年 5 月 30 日大暴雨落区诊断分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (S2): 70–72.
- [20] 苏兆达, 赖雨薇, 韦覃武, 等. 一次边界层急流触发的大范围暴雨过程诊断分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4): 53–58.
- [21] 马振清. 西南倒槽降水预报方法 [J]. 山东气象, 1983, (1): 15–20.
- [22] 邹锦明, 杨晓琳, 余青松. 一次夏季暴雨过程预报失误原因分析 [J]. 高原山地气象研究, 2009, (S): 63–65.