

两次副热带高压外围沿海暴雨过程对比分析

崔粉娥¹ 李颯¹ 畅巨峰² 李卫敏¹

(1 河北省秦皇岛市气象局, 秦皇岛 066000; 2 河北省青龙满族自治县气象局, 青龙 066500)

摘要: 2010年8月4—5日和8月21—22日两次天气过程都是在副热带高压外围产生的沿海大暴雨天气。利用常规观测资料、自动站降水资料、NCEP再分析等资料, 从大尺度环流场、物理量场、数值预报产品等方面对这两次过程进行综合诊断分析, 以为河北海岸带暴雨提供一定的依据。结果表明, 这两次暴雨过程均具有河北海岸带夏季暴雨的特征, 是典型的副热带高压边缘大暴雨天气。水汽通量辐合区与暴雨的落区有较好的对应关系, 边界层附近水汽的输送对降水起增大作用, 两次过程的不同点在于影响系统和对流稳定度。当T639模式降水产品预报秦皇岛有大到暴雨, 且秦皇岛位于副热带高压边缘, 此时应重点分析水汽通量辐合区、高能舌和上升速度大值中心叠加区域; 如果该区域存在中尺度系统触发机制, 则该区域可能是沿海暴雨到大暴雨的落区。

关键词: 副热带高压, 暴雨, 物理量场, 对比分析

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.06.007

Comparison Analysis of the Two Coastal Rainstorm Courses of Subtropical High Peripheral Precipitation

Cui Fene¹, Li Yang¹, Chang Juzheng², Li Weimin¹

(1 Qinhuangdao Meteorological Bureau of Hebei, Qinhuangdao 066000 2 Qinglong Manchu Autonomous County Meteorological Bureau of Hebei, Qinglong 066500)

Abstract: Two coastal heavy rains on August 4-5 and 21-22, 2010 were caused by subtropical high. Based on the conventional observation data, precipitation data from automatic stations and NCEP reanalysis data from NCEP/NCAR center, it is diagnosed mainly from circulation situation, influence system, physic and numerical forecast products, providing a basis for coastal zone in Hebei heavy rains. The results indicate: both of the two processes, which happened against a favorable circulation background had the characteristics of the coastal zone in Hebei summer rainstorm, are typical of the subtropical high edge heavy storm. The rainstorm area which corresponded well with the convergence zone of vapor flux water vapor near the boundary layer has a growth effect on the precipitation. Differences appeared from the trigger mechanism and the stability of convection when it has big-heavy rains in Qinhuangdao according to T639 forecast production. If there is a trigger mechanism of mesoscale system in such area, it will probably be the falling area of coastal heavy rains.

Keywords: subtropical high, rainstorm, physical feature, comparison analysis

0 引言

秦皇岛位于河北省东北部, 濒临渤海湾, 由于受海陆风产生的次级环流影响, 是局部暴雨的多发地。暴雨常常带来局部或流域性严重洪涝灾害, 给人们的生产和生活造成严重影响^[1-4]。为此, 气象学者对暴雨做了大量研究, 取得了一系列成果^[5-11]。但目前对河北海岸带暴雨多是针对典型个例从不同角度进行分析总结, 针对多个个例的对比分析较少。如李延江等^[12-15]从不同方面分析了秦皇岛海岸带暴雨, 认为中尺度暴雨云团沿副热带高压588dagpm线西北侧的引导

气流方向移动, 在有利的低层风场辐合区, 造成河北海岸带暴雨。在同一“母体”中尺度回波带背景下, 不同时刻 γ 、 β 中尺度降水系统互相扰动导致海岸带致灾暴雨。王宏等^[16-17]和张晓亮等^[18]分别分析了湿位涡和高、低空急流耦合与河北海岸带暴雨的对应关系, 认为低空急流为暴雨的产生提供了大量的水汽。本文利用常规观测资料, 采用北京大学系开发的客观分析诊断图形系统, 对2010年8月秦皇岛海岸带两次致灾暴雨过程的天气系统、物理量、数值预报产品等进行对比分析, 以期对秦皇岛沿海暴雨预报、预警提供参考。

1 暴雨过程概况及特征

2010年8月4日(简称过程1)和2010年8月21日

收稿日期: 2014年7月8日; 修回日期: 2015年2月2日
第一作者: 崔粉娥(1977—), Email: cuifene@126.com

(简称过程2)是两次典型的副热带高压外围产生的暴雨天气过程(图1)。据区域自动站显示:两次过程秦皇岛各地都出现了强降水天气,过程降水量大于50mm。过程1有23个区域气象站降水量超过100mm,最大出现在抚宁榆关178mm,强降水时段出现在4日23时—5日05时,抚宁榆关站3h总降水量为126.3mm,为短时暴雨。过程2有31个区域气象站降水量超过

100mm,最大出现在青龙曹碾167mm,20日20时—21日15时强降水区在北中部,22日凌晨在沿海一带,昌黎团林站小时最大降水量为27.8mm,两次过程维持时间较长,雨量分布比较均匀。

从图1看出,两次暴雨过程强降水落区不太一致,过程1位于海岸带0~40km;过程2位于北部山区,但沿海降水量都大于50mm。由于过程2的大值区

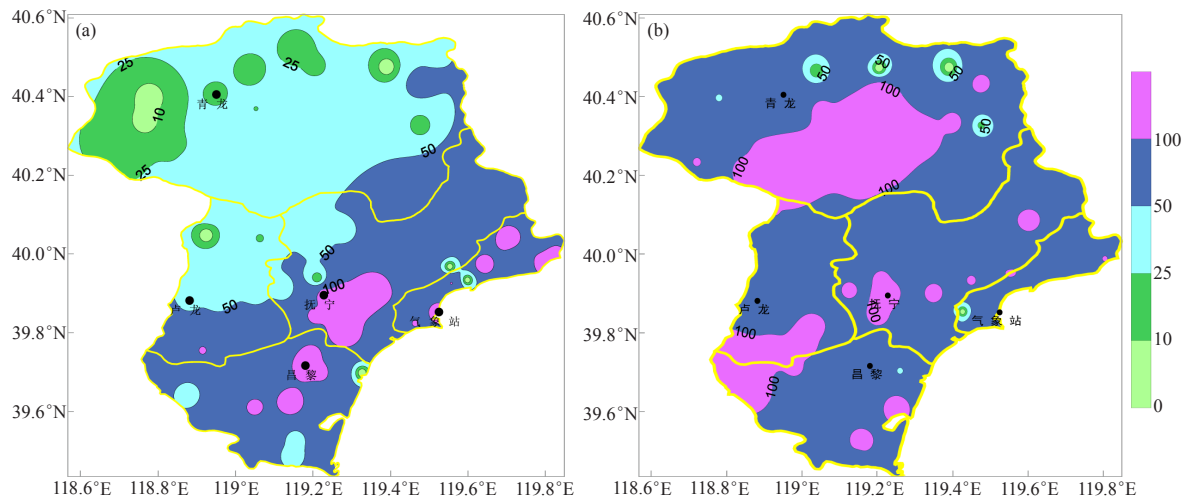


图1 两次暴雨过程秦皇岛区域气象站降水分布(单位: mm)
(a) 2010年8月4日20时—5日20时; (b) 2010年8月20日20时—22日08时

位于北部山区,且持续时间较长,故造成的损失相对要大些。据有关部门统计,过程1暴雨灾害中抚宁和卢龙县受灾较重,其他县(区)为农田小范围内涉及低洼处积水,因灾造成直接经济损失达4300万元。过程2暴雨过程有4个县(区)出现不同程度灾情,受灾人口达24.97万人,农作物受灾面积9990.6hm²,直接经济损失达8057.1万元。在两次暴雨过程中,秦皇岛市气象台将预警信号均提前升级为红色,并发布重要气象专报和地质灾害预警,提前对强降水过程进行了防御,减小了气象灾害带来的损失。

2 天气背景和环流形势

2010年8月4日08时,500hPa欧亚中高纬度呈一槽一脊型(图略),在东北以北有一低涡,低涡中心经贝湖东侧向南甩下高空槽,低涡和槽均配合有一-24℃和-18℃的冷中心,秦皇岛处于槽前宽广的西南气流中,500hPa急流轴从河套北边缘经张家口一直伸向黑龙江南部,最大风速达28m/s。副热带高压稳定少动,588线在40°N附近沿渤海海岸线呈西南—东北向,此时850hPa从大兴安岭西侧经北京到河套存在切变线。至4日20时高空槽移到了111°E,高空急流稳定少动。而850hPa切变线东移到118°E,在秦

皇岛区上游,此时,由山东半岛到辽宁东南部形成低空急流带。

2010年8月20日20时,500hPa欧亚中高纬度呈一槽一脊型(图略),副高稳定维持在40°N附近,且呈带状分布。此时700hPa在河套地区存在切变线,由于低空水汽充沛,切变线在向东北移动过程中,在河北中北部低区发展为低涡,产生秦皇岛北中部部分地区的大暴雨天气。21日20时以后随着系统东移和副高南落,不断有冷空气下滑影响秦皇岛,出现了沿海大暴雨天气。

中高纬度有利的环流形势配置为沿海暴雨的产生提供了背景场,副热带高压稳定在40°N附近(渤海沿岸),且呈带状分布,两次暴雨过程均由高空槽与副热带高压共同作用产生。强降水落区(图2)分别位于高空急流出口右侧和低空急流入口左侧,在低层切变线或低涡附近。两次区域性暴雨的降水性质均为混合型降水,但过程1对流性更强。

从强降水时段典型物理量参数(表1)可知,两过程满足暴雨基本条件,过程1的K指数和相当位温明显高于过程2,说明过程1的不稳定性较强,过程2的动力条件强盛。

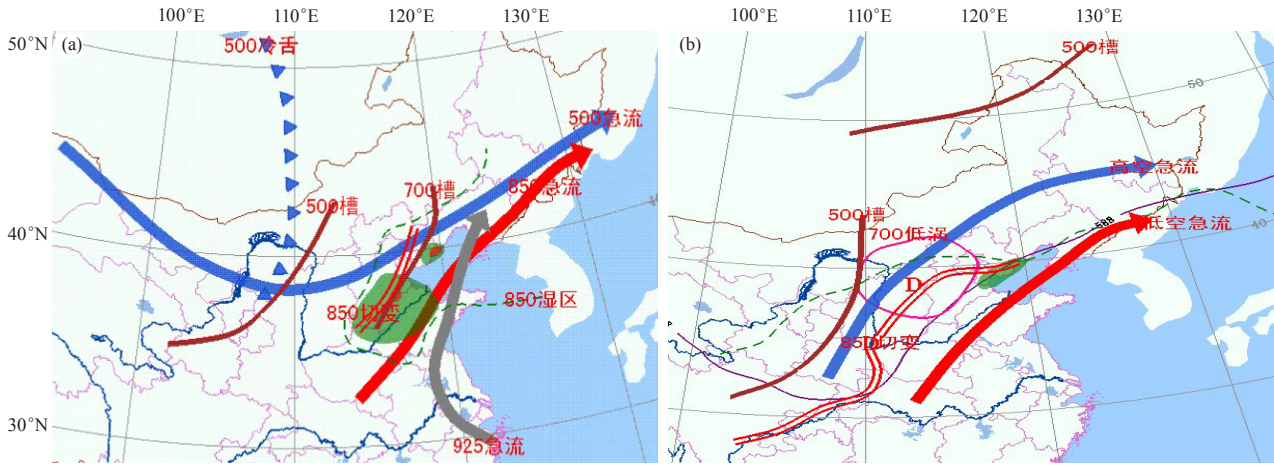


图2 两次过程强降水综合配置图：(a) 2010年8月4日20时；(b) 2010年8月21日08时

表1 秦皇岛站典型物理量参数

时间	K指数/°C	沙氏指数(SI)/°C	850hPa水汽通量/g·kg ⁻¹ ·m·s ⁻¹	850hPa相当位温/°C	850hPa比湿/g·kg ⁻¹	500hPa垂直速度/Pa·s ⁻¹
4日20时	35	-1	10	80	16	-14
21日20时	29	2	22	69	13	-17

3 暴雨成因对比分析

3.1 水汽条件

充足的水汽是形成暴雨的必要条件。在暴雨过程中通常有显著的水汽输送条件，强降水落区上空有丰富的水汽汇合。由两次暴雨过程500、700、850、925hPa的比湿和相对湿度地理分布（图略）可见，两次暴雨过程四层比湿和相对湿度都比较大。8月4日20时秦皇岛沿海比湿和相对湿度500hPa分别达4g/kg、70%，700hPa分别达9g/kg、70%，850hPa分别达16g/kg、98%，925hPa分别达18g/kg、99%，随着系统东移南压，高湿区也随之南压。8月21日20时秦皇岛沿海比湿和相对湿度500hPa分别达6g/kg、100%，700hPa分别达8g/kg、70%，850hPa分别达13g/kg、90%，925hPa分别达14g/kg、95%。

从以上分析可知，两次暴雨过程水汽条件充沛，湿层深厚，850hPa比湿大于12g/kg，达到沿海暴雨指标，中层湿度小说明有干冷空气入侵，有利于对流降水的产生。500~700hPa是副高边缘SW暖湿气流输送水汽，850~925hPa是低层黄海、渤海高湿区^[19]，SE-E急流作用下暖湿平流向西岸区输送水汽，这是沿海大暴雨的主要特征。过程1水汽条件明显优于过程2，所以过程1对流性较强。

水汽通量表征水汽的来源，水汽通量散度表征水汽的辐合和辐散^[11]。由两次暴雨过程中925hPa的水汽通量和水汽通量散度图（图3）可知，两次过程中水汽的主要通道主要来自于西太平洋-东海-黄海-渤海，其

次是高空槽前的西南暖湿气流。水汽通量辐合区和水汽通量散度负值区与暴雨的落区有较好的对应关系，暴雨区水汽通量均超过了一12。过程1中，水汽通量辐合大值区从赤峰到河北东北部，而过程2中，水汽通量辐合区集中在内蒙古-北京-秦皇岛，水汽通量散度值更大，最大可达-6。综合分析各高度水汽条件可知：降雨区上空气柱中的水汽条件非常有利于强降水的产生，过程1湿层深厚，维持时间较长，对流性较强，过程2水汽集中，短时水汽输送较强。

3.2 不稳定条件

相当位温 θ_e 反映了大气的温湿状况，它的分布反映了大气中能量的分布。等值线密集区为能量锋区，而暴雨的发生必需要有能量锋区的存在^[20]。由850hPa上 θ_e 场（图4）可以看出，两次暴雨过程的 θ_e 的高值区与水汽通量及水汽辐合区相对应，秦皇岛位于高能舌区，中心值大于350K。暴雨北侧有 θ_e 等值线密集区，随着系统东移和副高南落，斜压性加强且不稳定区域向东北方向移动，产生沿海地区强降水。

由乐亭探空站的大气温湿及稳定度参数（表2）可知，暴雨发生之前秦皇岛沿海为层结不稳定状态，K指数大于28，SI指数小于0，满足河北海岸带暴雨指标。整层比湿积分（IQ）大于5700g/kg，表示水汽含量是充足的。随着暴雨的发生和副高南落，各值向有利于层结稳定的方向发展。

通常用相当位温随高度的变化 $\partial\theta_e/\partial p$ 表示大气的稳定度，当 $\partial\theta_e/\partial p > 0$ 时，即当相当位温随高度降低时，

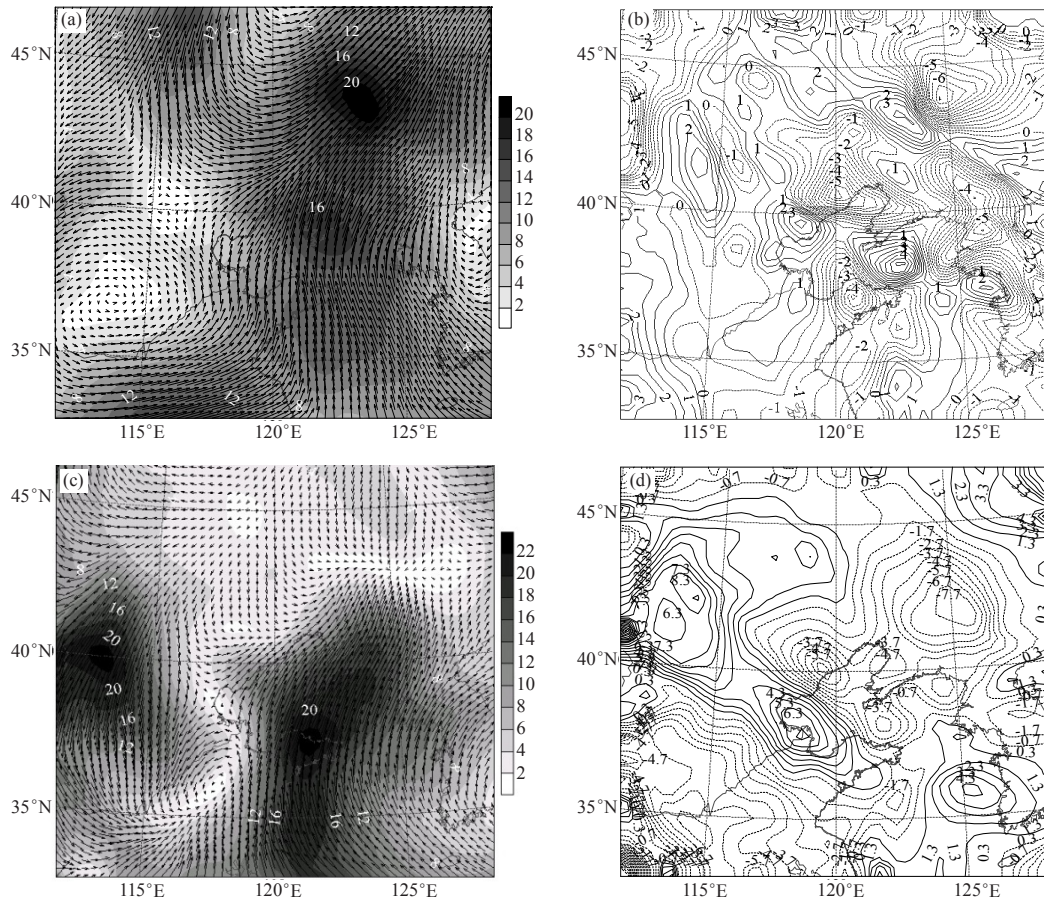


图3 两次暴雨过程925hPa水汽通量(矢量)(a和c, 单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(b和d, 单位: $10^{-8}\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (a, b) 2010年8月4日20时; (c, d) 2010年8月21日20时

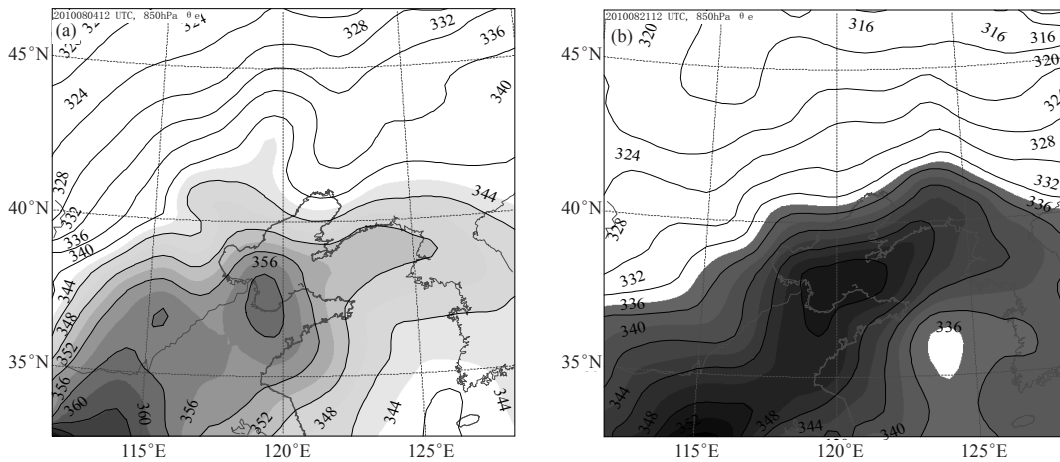


图4 两次暴雨过程850hPa相当位温场(单位: K, 阴影区为 θ_e 高值区)

(a) 2010年8月4日20时; (b) 2010年8月21日20时

表2 乐亭探空站两次暴雨过程大气温湿度及稳定度参数

	20100804过程			20100821过程		
	4日08:00	4日20:00	5日08:00	21日08:00	21日20:00	22日08:00
K/C°	33	41	18	29	38	34
SI/C°	0.46	-2.41	14.7	0.63	-1.78	2.44
$CAPE/(\text{J}\cdot\text{kg}^{-1})$	64.3	226.8	1.3	0	0.4	0
$IQ/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	5757.3	7044.1	4520.4	4366.8	5814	5094.6

大气层结处于对流不稳定。分析暴雨区上空相当位温沿 119°E 的垂直剖面图(图5)可见,过程1在秦皇岛以东有一相当位温高值区,中心值达 360K ,暴雨区上空 850hPa 以下大气处于不稳定状态,为暴雨的发生积累了大量不稳定能量;过程2暴雨区上空 850hPa 以下大气

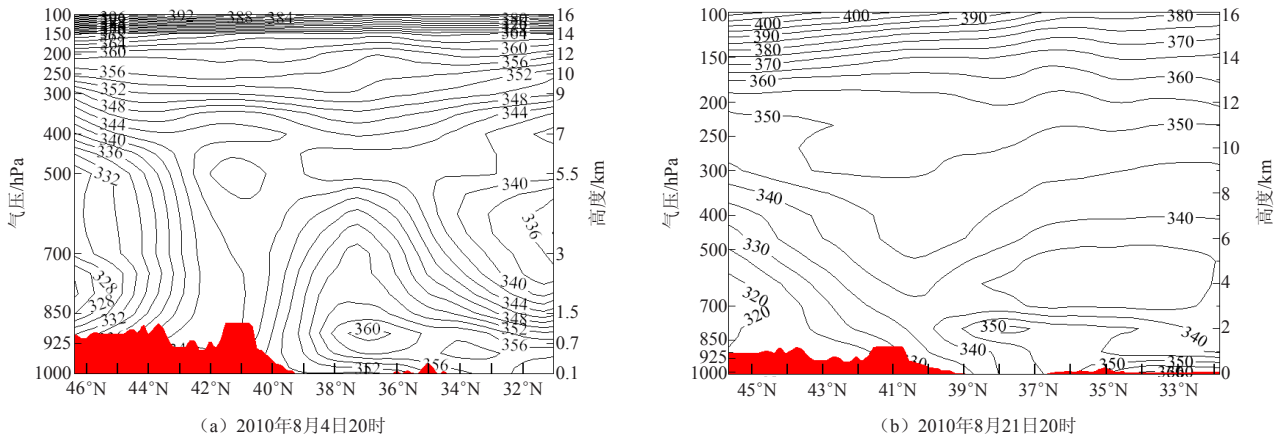


图5 两次过程相当位温 (单位: K) 沿119°E的高度-纬度剖面 (暴雨中心位于40°N处, 红色代表地形高度)

处于对流稳定状态。总之, 过程1中各不稳定参数均优于过程2, 说明过程1表现出强烈的层结不稳定, 对流活动比过程2旺盛。

3.3 动力条件

分析两次过程的垂直速度剖面(图6)可知, 两次过程的高低空垂直运动有较相似之处, 在40°N附近

存在明显的垂直运动大值区, 且上升速度在500hPa左右的高度表现最为强烈, 与暴雨落区有很好的对应关系。细微之处在于, 过程2中, 垂直速度大值区范围较广, 中心数值明显大于过程1。

散度是反映辐合辐散的物理量, 从散度垂直剖面(图6)可知, 两次过程辐散中心位于200~300hPa,

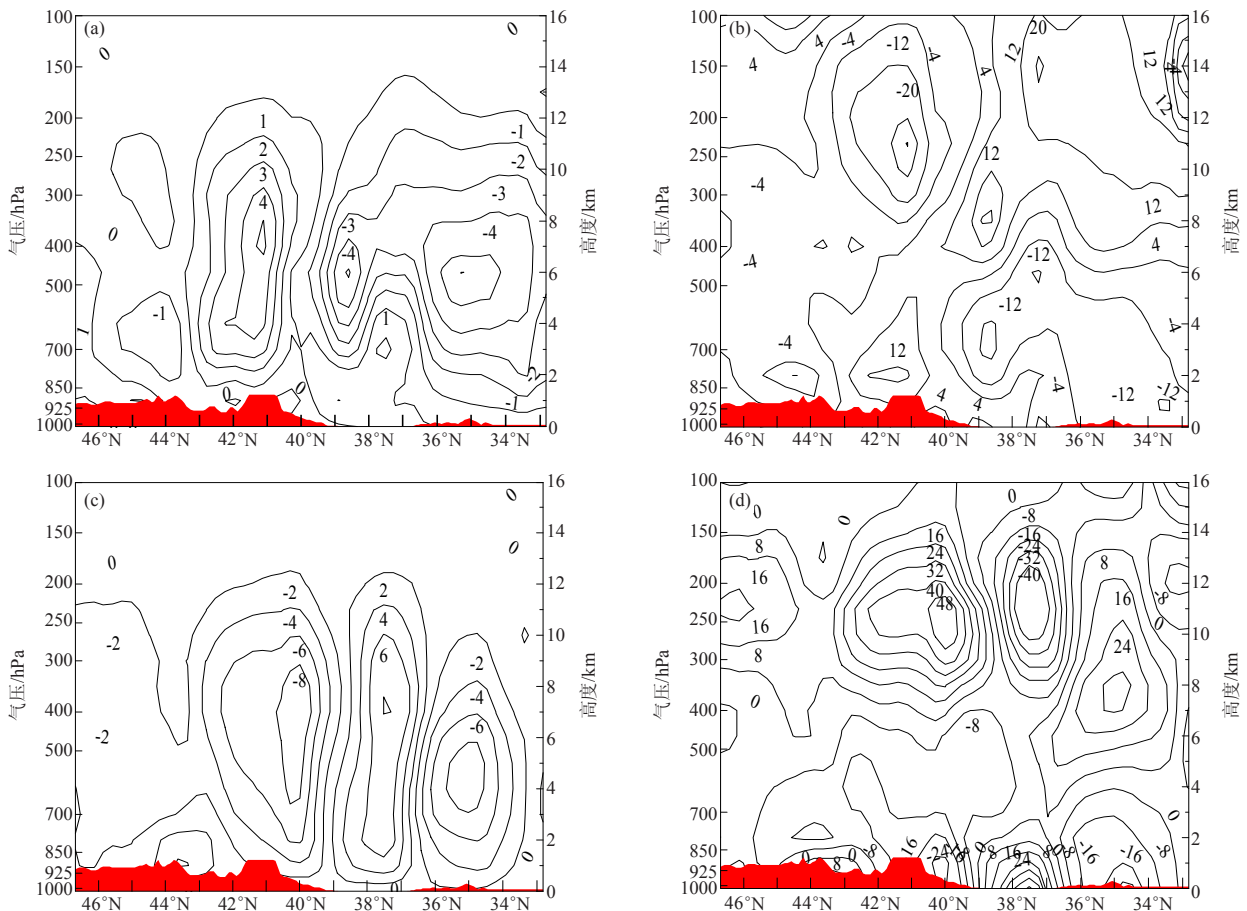


图6 两次过程垂直速度 (a和c, 单位: $10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) 和散度 (b和d, 单位: 10^{-6}s^{-1}) 沿119°E的高度-纬度剖面 (红色代表地形高度) (a, b) 2010年8月4日20时; (c, d) 2010年8月21日20时

辐合中心位于850~700hPa, 辐散轴与辐合轴上下对应比较一致, 都位于39°—40°N附近, 但中心数值过程2大于过程1, 说明此时低层辐合高层辐散条件较好, 辐合中心和上升运动中心有较好的对应, 强烈的辐合上升运动为两次暴雨天气过程提供了很好的动力场。

3.4 T639 降水预报效果检验

应用T639数值预报产品的24h实效降水预报, 与加密自动站实况降水资料对两次暴雨过程的降水预报进行检验, 发现过程1中, T639模式预报秦皇岛为大值区, 降水量小于50mm, 明显比实况偏弱, 且降水中心位于天津静海一带, 与实况偏差较大。过程2中, T639模式对秦皇岛北中部暴雨到大暴雨落区把握较好, 对南部沿海强降水区, 比实况偏弱。

总之, 两次暴雨过程中, T639降水预报产品有一定的参考性, 但强降水中心都有偏差, 且过程1预报效果明显不如过程2。当T639降水预报产品预报有大到暴雨, 且秦皇岛位于副高边缘, 如果综合其他有利条件, 可以考虑沿海出现暴雨到大暴雨的可能性。因此, T639预报大到暴雨可以作为秦皇岛暴雨预警的一个参考。

4 小结及讨论

1) 中高纬度有利的形势配置为沿海暴雨的产生提供了背景场, 两次过程均具有河北海岸带夏季暴雨的特征, 是典型的副高边缘大暴雨天气。不同点在于影响系统和对流稳定度。

2) 两次暴雨过程湿度层较深厚, 水汽输送路径相似, 边界层附近水汽的输送对降水起增大作用。水汽通量辐合区与暴雨的落区有较好的对应关系。

3) 两次过程850hPa相当位温 θ_e 的高值区与水汽通量及水汽辐合区相对应, 代表了两次过程的不同落区; 过程1表现出强烈的层结不稳定, 对流活动比过程2旺盛。

4) 当T639模式降水产品预报秦皇岛有大到暴雨, 且秦皇岛位于副高边缘, 此时应重点分析水汽通量辐合区、高能舌和上升速度大值中心叠加区域; 如果该区域存在中尺度系统触发机制, 则该区域可能是沿海暴雨到大暴雨的落区。

参考文献:

- [1] 路爽, 廖国进, 侯亚红. 一次沈阳地区暴雨过程分析. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4665-4668.
- [2] 张杰, 张艳, 贾奎奎, 等. 鲁中山区一次暴雨大暴雨过程分析. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 1952-1954.
- [3] 张少林, 王俊, 周雪松, 等. 山东“7.18”致灾暴雨成因分析. 气象科技, 2009, 37(5): 528-532.
- [4] 毛冬艳, 乔林, 陈涛, 等. 2004年7月10日北京暴雨的中尺度分析. 气象, 2005, 31(5): 42-26.
- [5] 陈忠民, 何光碧, 崔春光. 对流、湿度锋与低空急流的耦合-持续性暴雨维持的一种可能机制. 热带气象学报, 2007, 23(3): 246-254.
- [6] 许美玲, 段旭, 孙绩华, 等. 与低空急流相伴的暴雨天气诊断分析. 云南大学学报, 2004, 26(4): 320-324.
- [7] 林毅, 刘铭, 刘爱鸣. 高低空急流在闽西北大暴雨过程中的作用及数值模拟. 气象科学, 2006, 26(4): 449-455.
- [8] 李丹, 王昌双, 刘伟. 东北冷涡引发的局地暴雨数值模拟. 气象与环境学报, 2009, 25(6): 29-33.
- [9] 王丽荣, 裴宇杰, 陈明轩, 等. 北京对流性天气的高空气候背景分析. 气象与环境学报, 2005, 23(5): 1-7.
- [10] 陈传雷, 阎琦, 吴艳青, 等. 2009年7月辽宁3次局地短时暴雨过程对比分析. 气象与环境学报, 2010, 26(4): 12-16.
- [11] 管勇, 刘玉明, 胡丽华, 等. 广东两次特大暴雨成因的诊断对比. 气象科技, 2010, 38(5): 565-571.
- [12] 李延江, 陈小雷, 张宝贵, 等. 渤海西海岸带大暴雨中尺度云团空间结构分析. 高原气象, 2013, 32(3): 818-828.
- [13] 李延江, 高岑, 周艳军, 等. “08. 8. 11”河北海岸带中 γ 、 β 尺度大暴雨分析. 气象, 2009, 35(4): 94-101.
- [14] 李延江, 陈小雷, 景华, 等. 渤海强对流天气监测及概念模型初建. 海洋预报, 2013, 30(4): 45-56.
- [15] 李延江, 张俊峰, 葛红萍. 海上偏东风对秦皇岛岸区降水及温度的影响. 安徽农业科学, 2012, 40(13): 7811-7812.
- [16] 王宏, 寿绍文, 王万筠, 等. 一次局地暴雨过程的湿位涡诊断分析. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 129-134.
- [17] 王宏, 马凤莲, 王万筠, 等. 湿位涡分析在河北东北部暴雨预报中的应用. 干旱气象, 2008, 26(4): 86-90.
- [18] 杨晓亮, 李江波, 杨敏. 河北2007年7月18日局地暴雨成因分析. 气象, 2008, 34(9): 47-56.
- [19] 陈志明. 对流云团与低空急流耦合相互作用研究——云团再生和维持的一种机制. 大气科学, 2005, 29(30): 496-502.
- [20] 施望芝, 金琪, 郭施, 等. 湖北一次冰雹天气过程的落区诊断分析和预报. 热带气象学报, 2004, 20(2): 212-217.