



2008 年 7 月威海市暴雨过程成因分析

李 强¹, 周淑玲¹, 周丽峰², 李 韬³, 吕守敏¹

1. 山东省威海市气象局, 山东威海 264200
2. 陕西省气象台, 西安 710015
3. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710015

摘要 利用美国环境预报中心(NCEP)/国家大气研究中心(NCAR)1°×1°的 6 h 再分析资料和常规观测资料, 对 2008 年 7 月 19 日和 24 日威海市两次暴雨过程的形成机制进行了天气学诊断分析, 结果表明, 中高纬度欧亚上空阻塞高压的建立、加强, 使得 500 hPa 高度上西风锋区南压, 冷空气南下, 有利于山东半岛暴雨的加强; 造成两次暴雨的天气系统高空为冷涡, 低层为切变线或低压; 冷空气和暖湿气流在山东半岛附近交汇, 使暴雨产生和发展; 来自东海-黄海中部的水汽对强降水的维持起重要作用; 切变线和低涡暴雨都是低空为散度辐合, 高空为散度辐散, 但辐合中心高度不同, 两类系统的垂直上升运动都到达 200 hPa, 这种配置是暴雨产生的动力条件; 山东半岛高能、高湿区的存在是暴雨形成的热力条件。

关键词 威海暴雨; 成因分析; 冷空气; 动力、热力和水汽条件

中图分类号 P458.1+21.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)20-0091-06

The Causes of Heavy Rainfall in Weihai in July 2008

LI Qiang¹, ZHOU Shuling¹, ZHOU Lifeng²,
 LI Tao³, LU Shoumin¹

1. Weihai Meteorological Office, Weihai 264200, Shandong Province, China
2. Meteorological Observatory of Shaanxi Province, Xi'an 710015, China
3. Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710015, China

Abstract By employing the NCEP/NCAR reanalysis data and routine observation data, the causes of heavy rainfall in Weihai on 19 and on 24 July 2008 are analyzed. It is shown that the establishment and the maintenance of the blocking anticyclone over Northern Asia lead to the southward movement of the westerly frontal zone and the dry cold air. The changes of the general circulation enhance the torrential rain over Weihai. The rainstorm processes are the result of the joint action of the high-level cold vortex and the low-level shear line or low pressure. It is also

revealed that once the dry cold air meets the moist warm air over Shandong Peninsula, the heavy rainfall develops. The vapor comes from the East Sea and Yellow Sea. The vapor convergence comes into existence in Shandong Peninsula and plays a crucial role in the maintenance of the strong precipitation. In the period of rainstorms, the convergence in the underlying bed and the divergence in a high-level are characteristic of a divergence distribution. The convective ascending movement and the strong updraft found over 800 hPa and below 400 hPa provide a favorable dynamic condition for the rainstorms. The sufficient high energy of the potential pseudo-equivalent temperature θ_{se} in the rainfall region, the energy frontal zone in the northwest of the high energy area and the moisture provide the thermal condition for the formation of heavy rainfall.

Keywords Weihai heavy rainfall; analysis of causes; cold air; dynamic, thermal condition and vapor condition

0 引言

2008 年 7 月, 威海市降水比历史同期偏多 150%, 强降水主要集中在 7 月 19-24 日, 期间出现了两次暴雨天气过程, 局部出现大暴雨。由于两次暴雨过程时间间隔短、强度大, 其给威海市造成了重大的灾害。近年来, 许多学者研究了不同

收稿日期: 2009-09-07

作者简介: 李强, 工程师, 研究方向为短期天气预报服务与应用, 电子信箱: zhoushul@sohu.com



天气系统影响下发生暴雨天气过程的成因,姚秀萍等^[1]研究指出,梅雨期中高纬度环流的演变和调整与江淮流域梅雨暴雨密切相关;何群英等^[2]指出,2006年8月海河流域暴雨发生时中低层辐合、高层辐散和对流上升运动为大暴雨的产生提供了动力条件;周丽峰^[3]对热带风暴“碧丽斯”研究后指出,风暴残留低压与季风云涌相互作用不仅对对流云团起集聚作用,也加强了对流的上升运动;裴丽丝^[4]对强对流的分析表明,中低层切变线和地面低压倒槽造成的多单体风暴通常由处于不同发展阶段的单体风暴核序列组成,其一般是在中到强的垂直风切变情况下发展起来的;李稻等^[5]的分析指出,850 hPa的高假相当位温 θ_{se} 、700 hPa强烈的上升运动,以及低空辐合、高空辐散有利于暴雨过程的发生。威海市地处山东半岛东端,夏季因受气旋、热带低压和副高边缘切变线的影响,常常产生暴雨和大暴雨。对这一地区夏季气旋、台风和切变线暴雨的研究,一直受气象工作者的关注^[6-7],但对山东半岛夏季一定时期内中高纬度环流调整,以及各种物理因子对暴雨影响的研究,目前还比较少。本文拟通过对2007年7月山东半岛强降水过程的诊断分析,探讨其形成的环流特征和物理机制,为提高威海市汛期暴雨预报的准确率提供参考。

1 降水实况和背景分析

本文使用的资料为实况降水观测资料和NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 的6 h再分析资料。

1.1 降水实况

分析2008年7月威海市4个气象观测站日平均降水量(图1)可以看出,2008年7月日降水量 ≥ 10.0 mm的降水有9 d,分别出现在1日,5日,16日,18-20日,23-24日,31日,其中强降水过程有2次,即:18-20日,23-24日,19日和24日的日降水量达到暴雨,威海的最大降水量分别为133.8和86.6 mm。本文重点分析19日和24日两次暴雨过程。

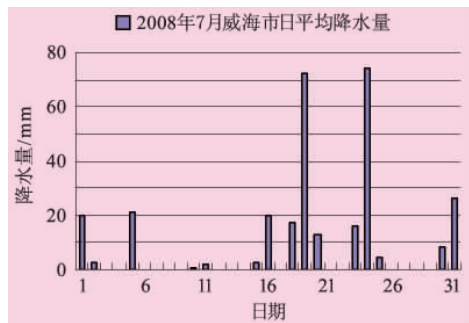


图1 2008年7月1-31日威海市4个气象观测站日平均降水量

Fig. 1 Average daily precipitation in Weihai from 1 to 31 July 2008

1.2 大尺度环流形势演变和主要影响系统

暴雨发生在一定的大尺度环流背景下,中高纬度环流的

异常和调整与暴雨过程的关系非常密切,中高纬度阻塞高压的演变导致冷空气的活动,一旦有冷空气东移南下,即可造成山东半岛的降水,2008年7月山东半岛的暴雨过程就发生在这种有利于强降雨的天气形势背景下。

图2给出了沿 60°N 的2008年7月1-31日500 hPa的纬向-时间演变,以分析中高纬度阻塞高压的演变特征及其与威海强降水过程的关系。可以看出自7月6日起,阻塞高压在 40°E - 80°E 开始建立,同时在 140°E 附近,即鄂霍次克海附近阻高也开始建立,这就在东亚中高纬度出现稳定的双阻形势,而在这2个阻高之间为低涡(低槽)区。之后,2个阻高稳定且逐渐加强;15日开始,2个阻高同时加强;16-21日,两阻高之间的低涡有所减弱,有冷空气东移南下,这次阻高加强对应于威海出现的一次副高边缘的切变线暴雨天气过程,最强降水出现在19日;24日,2个阻高开始减弱,同时在 90°E - 100°E 之间有低涡发展加深,对应于24日威海再次出现一次低压暴雨天气过程。可见,中高纬度欧亚上空双阻型高压的建立、加强和崩溃,使得500 hPa高度上西风锋区南压,冷空气南下,尤其是7月16-24日,其加强和崩溃导致了中纬度环流发生调整,中纬度地区频繁发生能量交换,大气动量和热量的频散,造成山东半岛出现持续的强降雨天气过程。

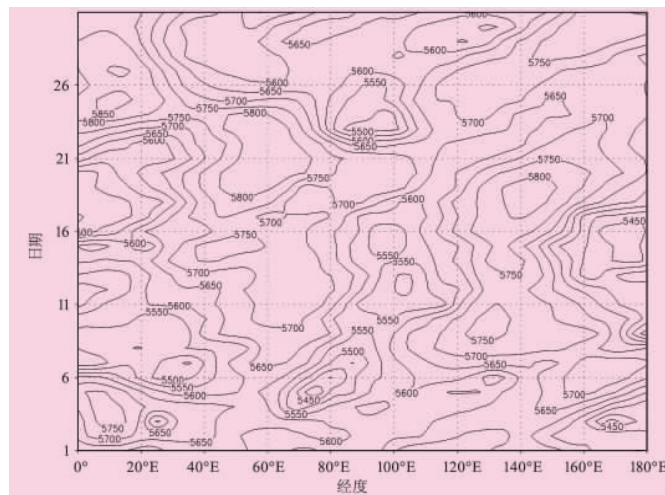


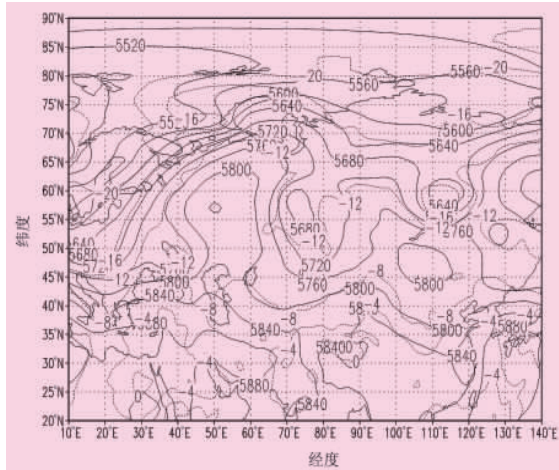
图2 沿 60°N 做2008年7月1-31日500 hPa的纬向-时间演变(单位:gpm)

Fig. 2 Zone-time cross section for 500 hPa height from 1 to 31 July 2008 along 60°N (unit: gpm)

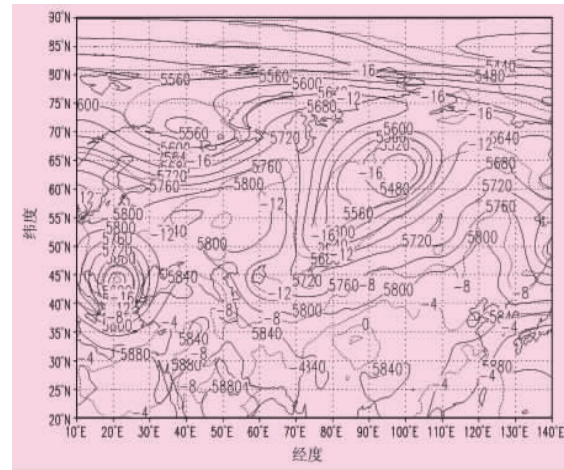
造成7月19日和24日两次暴雨过程发生时的影响系统主要是副热带高压边缘的冷空气和低层的切变或低涡。19日08:00,500 hPa高度图上, 40°E - 60°E 为高压脊, 40°N - 60°N 、 70°E - 110°E 为低压带, 70°E - 80°E 、 110°E 各为低涡,5 880 gpm线北部位于朝鲜半岛南部,山东半岛处于副热带高压边缘(图3(a));850 hPa图上,山东半岛为偏南风 and 偏东风的风切变(图3(c))。24日08:00,在 40°E - 60°E 、 125°E 附近各为一高压,两高压之间为一低涡,低涡比19日的深,山东半岛处于5 840 gpm线的边缘(图3(b));850 hPa图上,山东半岛为1 440

gpm 闭合低涡(图 3(d))。可见两次暴雨过程在高空贝湖东部都有低涡,但低涡中心的位置与低涡的深度不同,在低层影

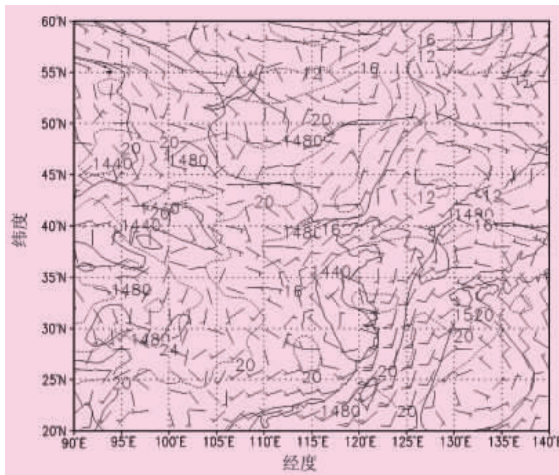
响系统 19 日为副高边缘切变线,24 日为副高边缘低涡。两种高、低空天气形势配置都有利于强对流天气的发生。



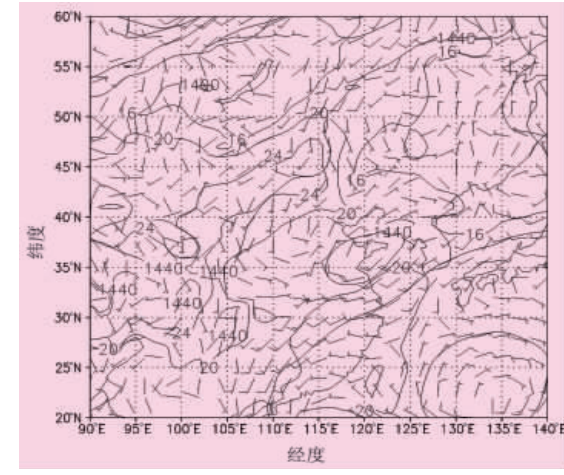
(a) 2008-07-19-08:00, 500 hPa



(b) 2008-07-24-08:00, 500 hPa



(c) 2008-07-19-08:00, 850 hPa



(d) 2008-07-24-08:00, 850 hPa

图 3 7 月 19 日和 24 日 08 时 500、850 hPa 高度场(实线,gpm)和温度场(虚线,℃)

Fig. 3 Geopotential height (solid line, gpm), temperature (dashed line, °C) at 500 hPa and 850 hPa at 08:00 on July 19 and 24 2008

2 暴雨过程的成因分析

2.1 冷空气对暴雨过程的作用

强降雨的产生与冷空气的活动密不可分。本文的冷空气特征用北风表示,北风的强弱表征冷空气活动的强弱。

图 4 为 500 和 850 hPa 118°E~124°E 范围内平均径向风的经向-时间演变图,2008 年 7 月在 500 hPa 图上(图 4(a)), 40°N 以北存在明显的偏北风活动,40°N 以南暖湿气流活跃,在 37°N~42°N,南、北气流交汇,且暖湿气流活跃的主要有 3 次过程,即 16~20 日,23~24 日和 31 日,3 次过程都是北风的南下和较强的暖湿气流在山东半岛相遇,分别对应于两次暴雨和一次大雨天气过程。850 hPa 图上,南北风的演变(图 4(b))也存在相似的特征。可见,切变线暴雨和低涡暴雨产生时,在山东半岛都有冷、暖气流的交汇,能够为暴雨的产生和发展提供有利的条件。

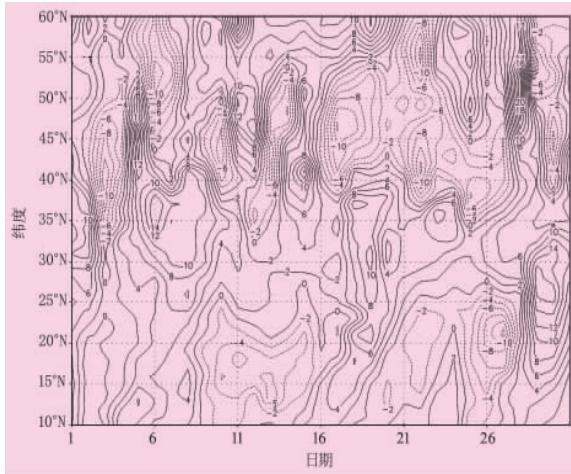
2.2 水汽特征

本文选取 2008 年 7 月 19 日和 24 日 08:00 水汽通量和水汽通量散度分析暴雨发生时的水汽输送和水汽辐合。

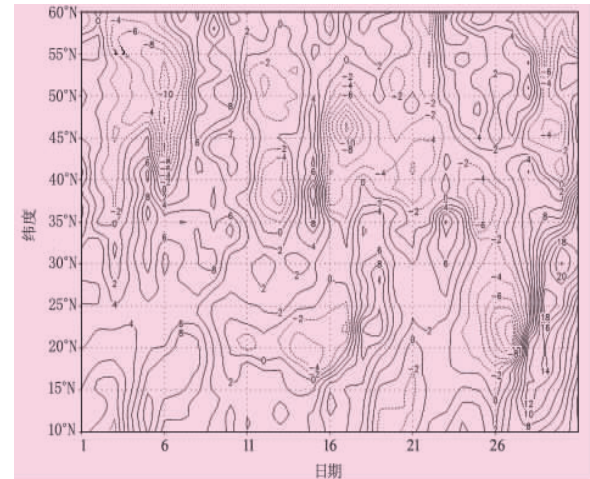
在水汽通量的分布图上,19 日 08:00(图 5(a))最大水汽通量中心位于福建-浙江-上海-朝鲜半岛南部,最大值为 $7 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,24 日 08:00(图 5(b))最大水汽通量中心位于江苏-黄海中部,最大值为 $4 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,山东半岛位于水汽通量大值区的北侧。

在水汽通量散度分布上,19 日 08:00(图 5(c))山东半岛-朝鲜半岛为水汽辐合区,最大辐合位于成山头以东到朝鲜半岛之间的黄海中部,中心值为 $-3 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;24 日 08:00(图 5(d))水汽辐合区位于渤海海峡-朝鲜半岛,最大辐合区位于威海北部的海上,中心值为 $-4 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

可见,暴雨发生的水汽主要来源于东海-黄海中部,水汽



(a) 500 hPa



(b) 850 hPa

图 4 7 月 500 hPa 和 850 hPa, 118°E~124°E 范围平均南、北风的经向-时间剖面图 (单位: m/s)

Fig. 4 Meridion-time cross of V-wind averaged over 118°E~124°E at 500 and 850 hPa in July 2008 (unit: m/s)

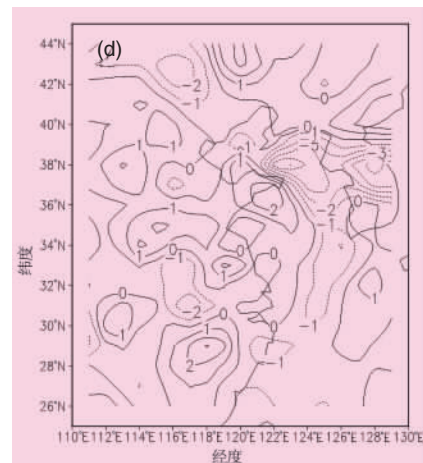
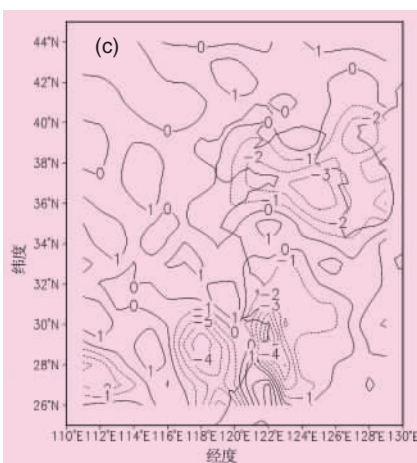
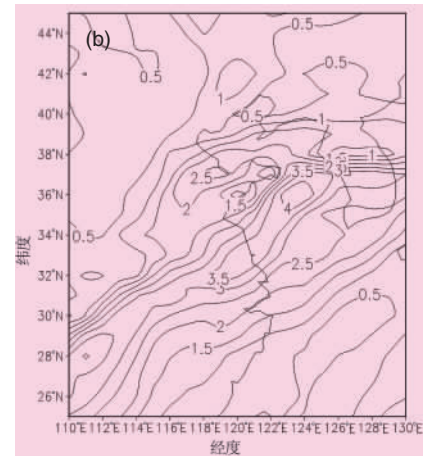
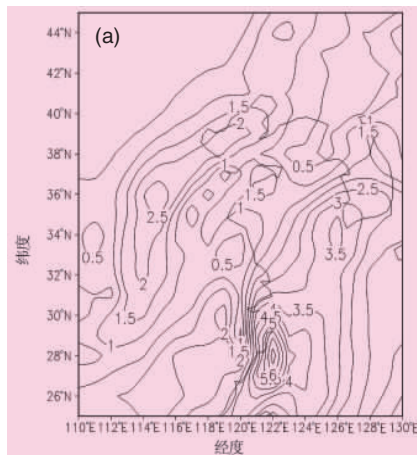


图 5 2008 年 7 月 19 日和 24 日 08:00 的水汽通量 ((a), (b), 单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 和
水汽通量散度 ((c), (d), 单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Water vapor flux fields ((a), (b), unit: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and water vapor divergence fields
((c), (d), unit: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 08:00 July 19 and 24 2008

向北输送,到达山东半岛附近产生水汽辐合,为暴雨的维持提供有利的水汽条件。

2.3 动力条件分析

通过分析散度场、垂直上升运动的分布揭示暴雨发生前后的动力机制。

分析 17 日 08:00–25 日 20:00 在 37°N , 122°E 点 (威海附近) 水平散度的时间–高度剖面图 (图 6(a)), 发现, 18 日 08:00 和 19 日 08:00, 500 hPa 以下为散度辐合, 以上为散度辐散, 辐合中心在 700~600 hPa 之间, 最大辐合值为 $-3\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; 23 日 08:00–24 日 08:00, 700 hPa 以下为散度辐合, 以上为散度辐

散, 辐合中心在 900~700 hPa 之间, 最大值为 $-2\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

分析 17 日 08:00–25 日 20:00 在 37°N , 122°E 点 (威海附近) 的垂直上升速度时间–高度剖面图 (图 6(b)) 发现, 18 日 08:00–20 日 08:00、23 日 20:00–24 日 08:00, 在 200 hPa 以下为垂直上升运动, 上升运动中心在 800~400 hPa 之间。

可见, 切变线暴雨散度场的辐合中心和辐散高度都比低涡暴雨的高, 两者的垂直上升运动都到达 200 hPa, 切变线造成的上升运动比低涡造成的强, 这与降水强度强弱相一致。低层辐合、高层辐散和垂直上升运动是两种天气系统暴雨的动力特征, 为暴雨的发生和维持提供了有利动力机制。

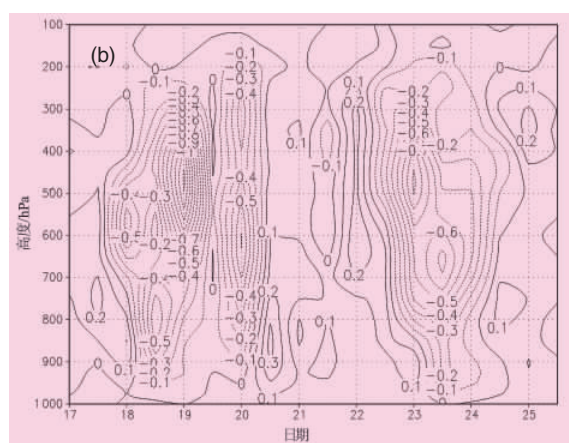
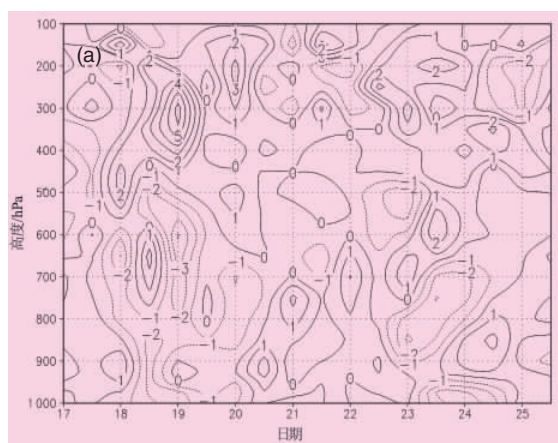


图 6 2008 年 7 月 17 日 08:00–25 日 20:00 在 37°N , 122°E 点 (威海附近) 水平散度的时间–高度剖面图 ((a), 单位: 10^{-5} s^{-1}) 和垂直上升速度时间–高度剖面图 ((b), 单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

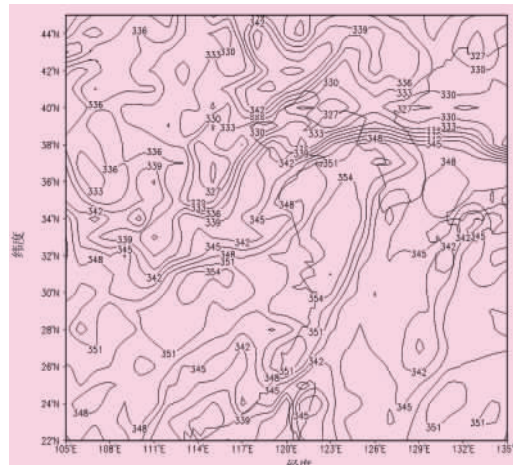
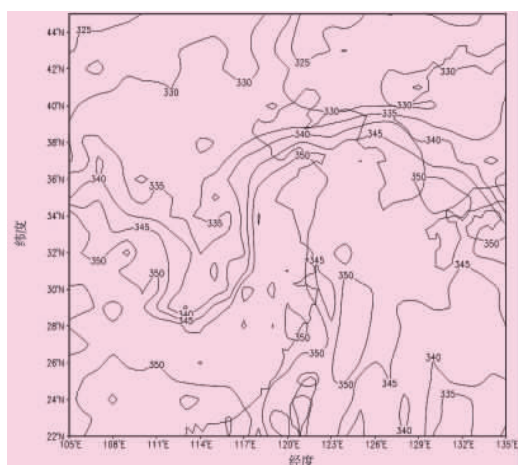
Fig. 6 Time–height cross–section of horizontal divergence ((a), unit: 10^{-5} s^{-1}) and vertical velocity ((b), unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) over 37°N , 122°E from 08:00 July 17 to 20:00 July 25 2008

2.4 热力条件分析

分析 19 日 08:00 和 24 日 08:00 850 hPa 假相当位温 θ_{se} 的分布表明, 19 日 08:00 (图 7(a)) 从长江中下游向东北延伸到山东半岛为 $\geq 350 \text{ K}$ 的 θ_{se} 大值区范围, 山东半岛处于高能区北部顶端处, 山东半岛北部到大连为等 θ_{se} 密集带; 24 日 08:00 (图 7(b)) 从东海到黄海中部为 $\geq 350 \text{ K}$ 高 θ_{se} 区, 山东半

岛处于高 θ_{se} 西北侧高 θ_{se} 密集带里, 说明山东半岛能量锋区大。

可见, 两次暴雨过程中, 在山东半岛上空都存在高能高湿, 为暴雨的发生提供有利的热力条件, 暴雨区西北侧能量锋区具有锋面的斜压性质, 高能舌和能量锋区与上升运动的同时存在, 有利于强对流的发展和暴雨的形成。



(a) 2008-07-19-08:00

(b) 2008-07-24-08:00

图 7 2008 年 7 月 19 日和 24 日 08:00 850 hPa 的 θ_{se} (单位: K)

Fig. 7 Distribution of θ_{se} at 850 hPa at 08:00 July 19 and July 24 (unit: K)

3 结论

1) 中高纬度欧亚上空双阻型高压的建立、加强和崩溃,使得 500 hPa 高度上西风锋区南压,冷空气南下,导致中纬度环流发生调整,造成山东半岛出现强降雨天气过程。造成山东半岛暴雨的天气系统高空都是低涡天气,但低层天气系统却不同,19 日为切变线,24 日为低压。

2) 在 500 和 850 hPa 图上,在 37°N~42°N 之间南、北气流交汇,且对应暖湿气流活跃,北风的南下和较强的暖湿气流在山东半岛相遇,分别对应山东半岛的两次暴雨。

3) 暴雨发生的水汽主要来源于东海-黄海中部,水汽向北输送,到达山东半岛附近产生水汽辐合,为暴雨的维持提供有利的水汽条件。

4) 散度场的低层辐合和高层辐散,同时垂直上升运动的配合存在,为暴雨的发生和维持提供了动力机制。暴雨发生时,山东半岛处于 θ_{se} 高能区北部顶端,其西北侧能量锋区较大。

参考文献 (References)

- [1] 姚秀萍, 于玉斌. 2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.
Yao Xiuping, Yu Yubin. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005,

29(6): 973-985.

- [2] 何群英, 陈涛. 2006 年 8 月淮河流域暴雨过程的成因分析 [J]. 气象, 2009, 35(1): 80-86.

He Qunying, Chen Tao. Meteorological Monthly, 2009, 35(1): 80-86.

- [3] 周丽峰. 0604 号强热带风暴“碧丽斯”演变特征及灾害成因初步研究 [J]. 科技导报, 2006, 24(9): 16-20.

Zhou Lifeng. Science & Technology Review, 2006, 24(9): 16-20.

- [4] 裴丽丝. 一次多单体风暴和弓形回波过程的多普勒雷达探测特征研究[J]. 科技导报, 2006, 24(9): 13-15.

Pei Lisi. Science & Technology Review, 2006, 24(9): 13-15.

- [5] 李韬, 周淑玲, 刘澈, 等. 黄河下游春季一次大暴雨过程的结构特征及落区分析[J]. 科技导报, 2006, 24(9): 21-24.

Li Tao, Zhou Shuling, Liu Che, et al. Science & Technology Review, 2006, 24(9): 21-24.

- [6] 闫淑莲, 周淑玲, 李宏江. 远距离热带低压影响下山东半岛特大暴雨成因分析[J]. 热带气象学报, 2008, 24(1): 81-87.

Yan Shulian, Zhou Zhuling, Li Hongjiang. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(1): 81-87.

- [7] 周淑玲, 吴增茂, 闫丽凤. 山东半岛一次强暴雨的分析和数值模拟[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1149-1160.

Zhou Shuling, Wu Zengmao, Yan Lifeng. Plateau Meteorology, 2008, 27(5): 1149-1160.

(责任编辑 朱宇)

· 学术动态 ·



“第 10 届国际轧钢大会”征文

中国金属学会主办的“第 10 届国际轧钢大会”(The 10th International Conference on Steel Rolling), 将于 2010 年 9 月 15-17 日在北京市召开。会议主题是“Rolling the future: Process, Products, Environment”。全球现今越来越受到资源、能源和环境的挑战,钢铁尤甚,故本届会议将在全球共同行动的理念下,就轧钢领域如何倡导清洁轧制、优化钢铁产品全生命周期的生态效率和可持续发展进行重点交流和讨论。

自 1980 年召开第一届大会以来,国际轧钢大会已成为轧钢领域全球最具影响力的国际会议。该会议每 4 年一次轮流在不同洲际召开,此为首次在中国举办的国际轧钢大会。会议拟提供一个国际学术交流平台,积极展示中国轧钢技术的进步和中国轧钢工作者在国际学术活动中的风采。本次会议除了征集反映近 4 年来轧钢技术和产品的发展状况的论文外,更欢迎能够突出反映轧制产品和技术的清洁、绿色、生态、高效和适于可持续发展的文章。

论文摘要截稿日期:2009 年 12 月 10 日。

会议网站: <http://hy.csm.org.cn>

通信地址:北京市东四西大街 46 号(100711) 高斌,丁波,罗光敏

电话:010-65133925, 010-62185897

传真:010-65124122

电子信箱: icsr10@csm.org.cn