青岛奥帆赛期间二个黄淮气旋暴雨对比分析

李 斌[1] 杨晓霞[2] 孙桂平[1] 黄 蓉[1] 江敦双[1]

(1. 山东省青岛市气象局, 266003; 2. 山东省气象局)

提 要: 利用青岛多普勒雷达数据、地面自动站、Profile 垂直风廓线等多种探测资料和 NCEP 的再分析资料,对2008 年 8 月 17 日和30 日奥帆赛期间两个影响青岛的黄淮气旋暴雨进行对比分析。结果表明:(1)黄淮气旋不同位置的影响造成降水量的变化十分明显,黄淮气旋的降雨中心有两个:主降雨中心在气旋中心附近,次降雨中心在垂直于气旋移动路径的左侧。次降雨中心的强弱与气旋的强度有着密切的关系。8 月 17 日降水是由黄淮气旋中心过境,主降雨中心造成的,30 日降水是由黄淮气旋的次降雨中心造成的。这两个中心都可以造成山东半岛及青岛地区的强降雨和雷电大风等灾害性天气。(2)黄淮气旋的移动路径和 500hPa 的引导气流的经向度有关,气旋强弱与 850hPa 冷空气的强度有关。(3)黄淮气旋有明显的中尺度特征。在主降雨中心,气旋中心的前部和气旋中心附近,有较强的回波,多呈块状和大的带状;次降雨中心(即移动方向左侧)也有较强的回波,但多为细条状,就是有块状回波持续时间也很短。说明两个不同的降雨中心,主降雨中心的有核性和次降雨中心的边缘性的特征。由于雷达的探测距离和性能所限,黄淮气旋的主降水中心和黄淮气旋移动方向左侧的次降雨中心不能用一部雷达清楚的共同显现,单一的雷达系统不能完全把握系统的全貌。(4)黄淮气旋为非深厚系统,黄淮气旋的 850hPa 垂直速度场和暴雨的落区有着很好的对应关系。

关键词: 黄淮气旋 暴雨 降雨中心 多种分析资料

引 言

影响山东的重要天气系统——锋面气旋,可分为两大类:一类是发生在极锋锋区(又称北支锋区)上的北方气旋;另一类是发生在副热带锋区(又称南支锋区)上的南方气旋。南方气旋是由南支锋区上的低槽引起的锋面气旋,它包括发生在长江中下游、淮河流域、东海、黄海的气旋以及一部分发生在黄河下游的气旋。

南方气旋是影响山东的主要降水系统,它提供了全年约一半的降水量,经常解除山东干旱的威胁,有时也会造成水涝灾害。南方气旋又是产生大风的重要天气系统,它的发展是造成山东风灾的重要原因之一。南方气旋分为黄淮气旋、江淮气旋、江南气旋。南方气旋暴雨主要由黄淮气旋影响造成,江淮气旋和江南气旋一般不造成暴雨[2]。

暴雨长期得到气象学者的关注,对我国暴雨的研究不断深入,尤其是对我国南方暴雨进行了比较持续和系统性的研究,在季风与暴雨、暴雨产生的环境条件与系统、高低空急流与暴雨、水汽收支与能量输送、多尺度天气系统相互作用、不同纬度间系统的相互作用、暴雨云系的卫星云图和雷达回波特征以

及暴雨预报方法等方面取得了一系列成果[3-8]。这些成果不仅对认识暴雨、而且对指导预报实践都产生了积极作用。

副热带涡旋具有多种类,多时空尺度的特点。近年来,对副热带涡旋活动的关注程度正在增大。秦曾灏等[9]详细阐述了中国近海和西太平洋温带气旋和海洋爆发性气旋的特征。Kevin[11]和 Webster et al.[12]讨论了全球变暖对副热带涡旋频数和强度影响的问题。

本文应用地面自动站、雷达、风廓线以及每 6 小时一次的 NCEP 再分析资料,对 2008 年 8 月 17—18 日和 8 月 30—31 日两场由黄淮气旋引起的暴雨进行对比分析,揭示两个气旋引起的暴雨特征和其差异并指出其降雨的分布规律,尝试对黄淮气旋降雨预报提供着眼点。

1　气旋的特征

2008 年 8 月 17—18 日在安徽南部生成黄淮气旋(此后简称第一个黄淮气旋)。第一个气旋生成以后从鲁东南进入山东,沿着山东半岛东部沿岸向东北方向移动,8 月 17 日 08 时开始影响青岛,17 日 20 时左右离青岛最近,约 30km,然后继续向东北方向移动,进入黄海北部,最后向东北方向移动登陆朝鲜半岛(见图 1a)。2008 年 8 月 30 日 08 时,在江苏中部触发形成黄淮气旋(此后简称第二个黄淮气旋)。31 日 05 时第二个黄淮气旋从江苏北部入海,离青岛最近约 200km,入海后其明显加强,并从黄海中部向对马海峡移去(见图 1b)。

从地面过程降雨图来看第一个黄淮气旋影响青岛地区时,形成暴雨并伴有雷电、大风

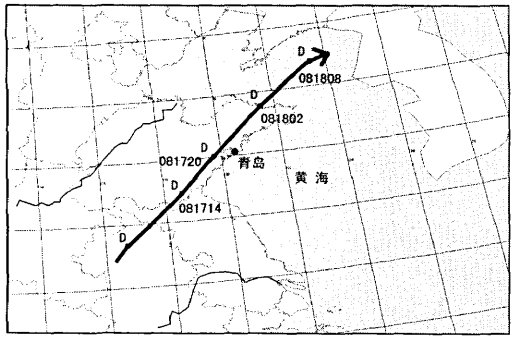


图1a　2008年8月17—18日黄淮气旋中心移动路径

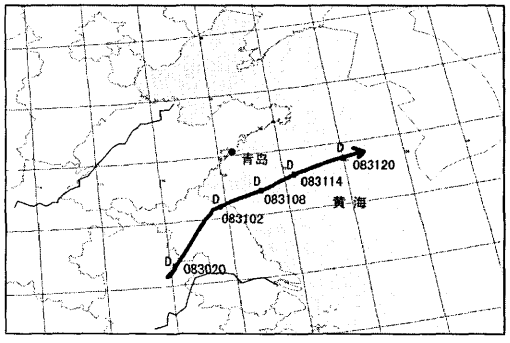


图1b　2008年8月30—31日黄淮气旋中心移动路径

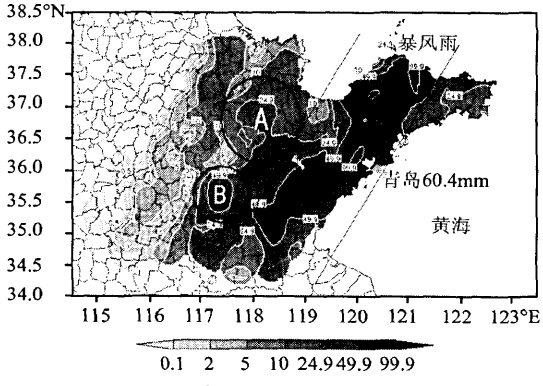


图1c　2008年8月17日08时至8月18日08时
山东降雨量图

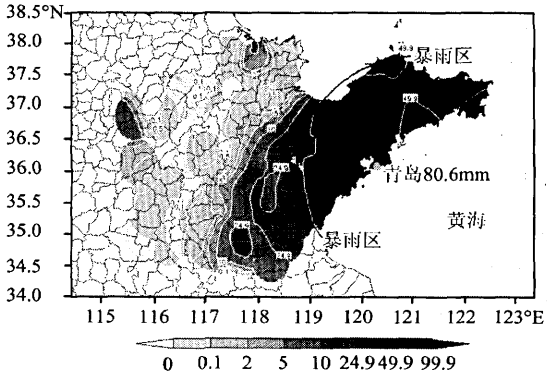


图1d　2008年8月30日20时至8月31日20时
山东降雨量图

和低能见度等天气现象。全区普降大到暴雨，其中，在胶南市西部—胶州市中部—即墨市西部为一100mm的大暴雨带，其中胶南市的理务关为169.5mm、胶州市为100.8mm、青岛本站为60.4mm；各区市最大风速均在12m·s^{-1}以上(6级)，最大达26m·s^{-1}(10级)，青岛本站为14.9m·s^{-1}(7级)。从总降雨量分布图(图1c)可以看出，≥50mm的暴雨带，气旋的中心移动路径相吻合(对比图1a)，并且在气旋移动方向相垂直的左侧还有个向外伸展的次降雨中心(如图1c A区和B区所示)，且它的范围与降雨强度与气旋强度有关，A区范围比较大，对应气旋路径上主降雨中心的降雨也明显大一些，B区对应的相对小一些。这次复杂的天气状况还使正在进行的青岛奥帆赛比赛暂停，同时也使青岛部分地区受灾。

与第一个黄淮气旋造成的暴雨分布不同，第二个黄淮气旋造成的降雨呈阶梯形(如图1d)，沿海雨量大，越往内陆降水量越小，青岛全区也是普降大到暴雨，超过100mm的大暴雨站点为点状沿海岸线分布，其中崂山区太清141mm、青岛本站为84.8mm。各区市最大风速同样均在12m·s^{-1}以上(6级)，最大达26m·s^{-1}(10级)，青岛本站为20m·s^{-1}(9级)。

总的来说，两个黄淮气旋都造成了青岛地区的暴雨并伴有雷电、大风和低能见度等天气现象。但两者也有所不同，第一个黄淮气旋造成的暴雨是由于黄淮气旋中心过境引起的区域性暴雨(离青岛最近30km)，而其大暴雨带沿其移动路径呈带状分布。第二个黄淮气旋是其入海加强后在气旋向东移动，其路径相垂直的气旋左侧的发展加强的次降雨中心所造成的(第二个气旋最近离青岛200km)，暴雨带沿海岸线分布，大暴雨点在海边，呈点状分布，越往内陆降雨量逐渐减小。第一个黄淮气旋造成的大风，在平原地带比较平均一般在12m·s^{-1}，大风都出现在高地和山顶，而第二个黄淮气旋造成的大风，一个是在海边的高地和山顶，另外沿海一线，风力都较大。

2 大尺度环境条件及其差异

2008年8月17—18日的500hPa稳定的副高与大陆高压之间有一纬向切变线，西风带有一西风槽东移，随着槽后冷空气的侵入，槽逐渐加强生成冷涡(见图2a)，700hPa与850hPa在两高之间有暖切变线，随着副高的加强北抬，其边缘切变线影响山东省，最后暖切变线与低涡相接，在地面诱发地面气旋在安徽南部生成黄淮气旋(见图2c)。

2008年8月30日08时，500hPa贝加尔湖有低涡东移，北支槽在东移过程中加强加深，副高略有北抬，脊线在25°N左右(见图2d)，850hPa的西南涡中心位于河南和湖北交界处，受高空引导气流影响，沿副高边缘向东北方向移动(见图2e)。20时，西南涡中心移至山东安徽交界处，500hPa西风槽东移加深后的低涡中心在贝加尔湖以东附近，青岛处于其槽前西南气流中，31日08时西南涡中心移至青岛附近，受其影响30日23时在江苏中部触发形成黄淮气旋(见图2f)。

尽管两个黄淮气旋的大尺度环流背景在整体上比较相似，地面黄淮气旋的生成位置较为接近，但第一个黄淮气旋的500hPa的西南引导气流的经向度明显大于第二个黄淮气旋，造成其地面移动路径为东北向，第二个黄淮气旋的移动路径为东东北(见图1a、1b)，并且2月17日850hPa西南急流明显强于8月30日的西南急流。

对两个黄淮气旋进行物理量诊断时，可以清晰地看到两场暴雨大尺度环境条件的差异，特别是底层暖湿条件方面的差异。如：在水汽通量的分布上，第一个黄淮气旋的主要水汽来源是来自孟加拉湾(图2g)，存在一个东北—西南的水汽通道，而第二个黄淮气旋在生成的初期没有明显的水汽通道，当其入海后由于来自东海的强大水汽而得到发展，

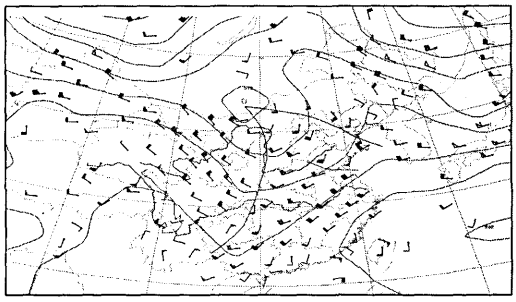


图2a　2008年8月17日08时500hPa图

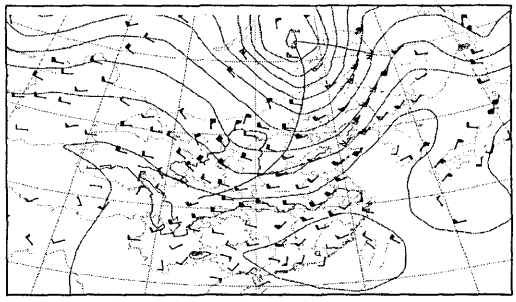


图2d　2008年8月30日20时500hPa图

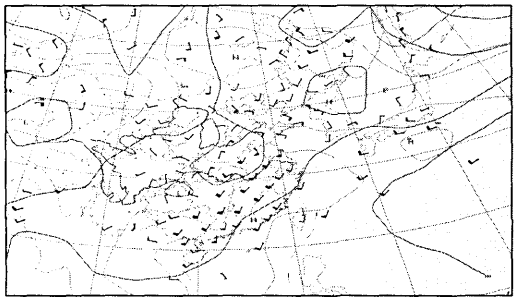


图2b　2008年8月17日08时850hPa图

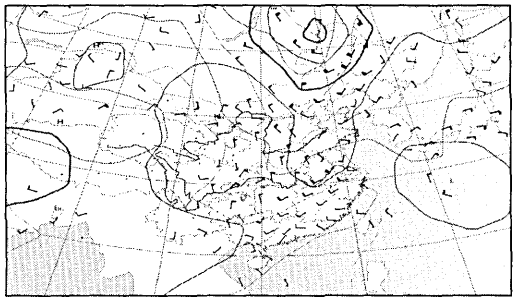


图2e　2008年8月30日20时850hPa图

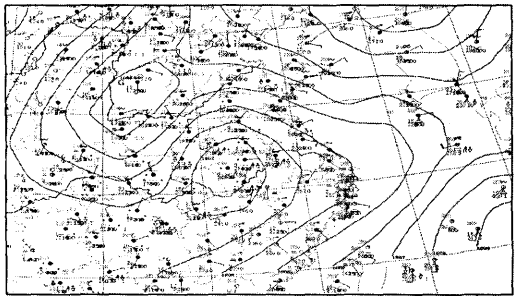


图2c　2008年8月17日02时地面图

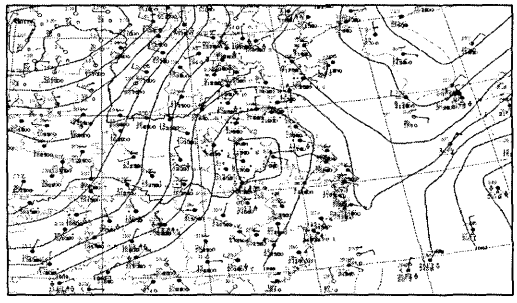


图2f　2008年8月30日20时地面图

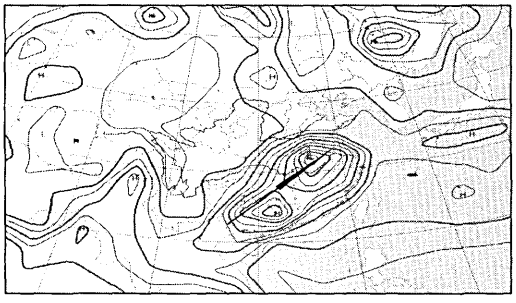


图2g　2008年8月17日 08时 850水汽通量

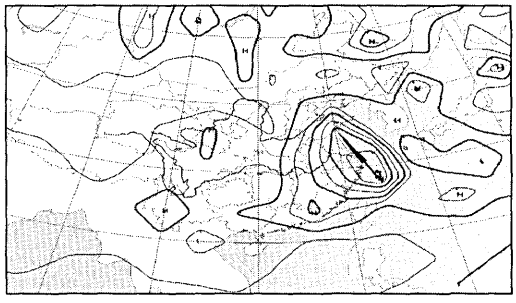


图2h　2008年08月31日20时 850水汽通量

其水汽来自东海,水汽通道呈西北—东南向(图2h);第二个黄淮气旋强于第一个黄淮气旋,主要由于第二个黄淮气旋在850hPa的冷空气明显强于第一个的缘故。

3　气旋中尺度雷达回波特征

8月17日第一个黄淮气旋过程,从17日上午9:00开始,从西南方向有30dBz的大

面积的回波开始逐步影响青岛市，10:10 开始下起小雨，一直到 13:48，回波范围大，呈大的块状，但每块都没有明显的强回波中心，都在 30～40dBz 之间，降雨一直在持续，强度不大，但之后在青岛西南 45km 处开始有 45dBz 的逗点状回波发展，14:36 连成 45dBz 的条状，移过雷达站后逐渐减弱消失，16:00 开始在雷达站西部 60km 处有一南北向条状 45dBz 的回波发展并逐步向东北方向移动，到 18:00 在雷达站正西 30～45km 南北向条状回波带，中心回波 55dBz，并且在其南部也有 50dBz 的回波发展，随着其东北移动和发展于 19:31（如图 3a，见彩图第 2 页），成为 45dBz 以上的南北条状中心为 58dBz 的回波带，20:01 最强的回波在青岛上空（如图 3b，见彩图第 2 页），这时候根据图 1a 黄淮气旋移动路径图所示，气旋中心就在青岛附近，这条回波带就是气旋中心回波，但我们还可以发现，在其后部已无明显回波，说明黄淮气旋的主降雨带主要在气旋中心及其前部的移动方向上，其气旋后部无明显的回波，降水也较弱。由 20:25 径向速度图（图 3c，见彩图第 2 页）所示，一条穿过显示中心的呈东南转西北走向的零值速度线，负速度区在其左下侧，正速度区在右上侧呈直角，说明气旋在这一时刻过境，风向由东南风转为西北风，21:02 回波明显减弱，气旋已经北移。

8 月 30 日第二次黄淮气旋过程，16:30 在青岛西部及西南部有中心 30dBz 的大片零散的回波带向东北方向移动。18:06 青岛周围为 30dBz 的回波，青岛开始下小雨，此后一直有回波从青岛西南方向移来，覆盖范围广，但总体强度不大，多在 30～40dBz 之间，但是持续时间很长。直到 31 日 01:26 在青岛开发区近海有一条 45dBz 的东北—西南向的细长回波条发展，此回波带稳定少动，范围逐渐扩大，强度增强。04:08，中心强度达到 55dBz，强回波带主要沿青岛海岸线呈东北—西南向分布。05:08 发展到极致（如图 3d，见彩图第 2 页），中心呈块状，中心强度达 57 dBz，地面出现大风，其中灵山岛达 $26m \cdot s^{-1}$，然后减弱消散。至 06:38（如图 3e，见彩图第 2 页），强回波逐步移出青岛市。由 05:08 径向速度图（如图 3f，见彩图第 2 页）所示，一条穿过显示中心的呈正 S 形的零值速度线，负值区在左侧，正值区在右侧，说明风向正在逆转，由东北风逐渐转为西北风，表明气旋在本站的南部逐渐向东移动。根据图 1b 所示，31 日 05 时正是气旋在苏北入海后其在青岛正南方的位置并向东移动，说明第二次黄淮气旋所引起的青岛地区的暴雨是在其入海东移发展过程中，受其北部影响所造成。

由这两次黄淮气旋雷达对比发现，第一个黄淮气旋中心的前部和气旋中心附近，有较强的回波，多呈块状和大的带状，但第二个黄淮气旋的次降雨中心（即移动方向左侧）也有较强的回波，并都对应着较强的降水，但多为细条状，就是有块状回波持续时间也很短，说明两个不同的降雨中心，主降雨中心的有核性和次降雨中心的边缘性的特征，由于雷达的探测距离和性能所限，黄淮气旋降水主中心和黄淮气旋移动方向左侧次降雨中心不能用一部雷达清楚地共同显现，单一的雷达系统不能完全把握系统的全貌。

4 气旋低层风场特征

2008 年 8 月 17 日第一个黄淮气旋在高空引导气流的引导下，由西南向东北移动（图 1a），20 时前后其中心位于青岛附近。图 4a 是 17 日风廓线图，图中时间间隔 30 分钟，高度间隔为 240m，时间为世界时。

从图 4a 上可以看出，8 月 17 日的气旋过程并非深厚天气系统，垂直高度约为 2200m，不到 700hPa 高度。因为空中风向的变化主要发生在该高度以下。气旋中心到达位于胶州湾北侧的青岛风廓线雷达（城阳区上马街镇）所处纬度的时间是 17 日 20 时 50 分左右，即图 4a 中箭头所指示时间，此时其中心位于上马镇西侧，1000m 高度以下为南

略偏东。由于气旋周边风向总是从高压一侧吹向低压一侧,当风向为正南风时,表明气旋中心已经从上马镇西侧越过雷达所在纬度。气旋中心由青岛西南从青岛北侧移向东北过境时,空中风的变化从东南→南→西南→西→西北顺转,变化迅速明显,这一过程约为2.5小时,表明气旋中心距此站不远。

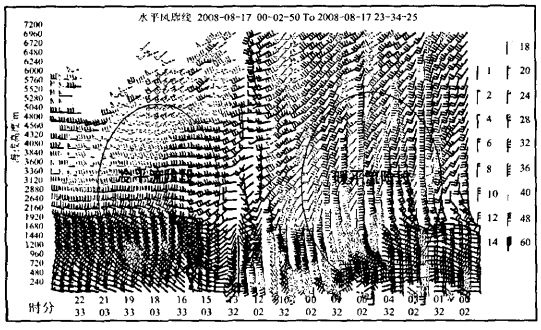


图4a　2008年8月17日08时至18日07时风廓线图

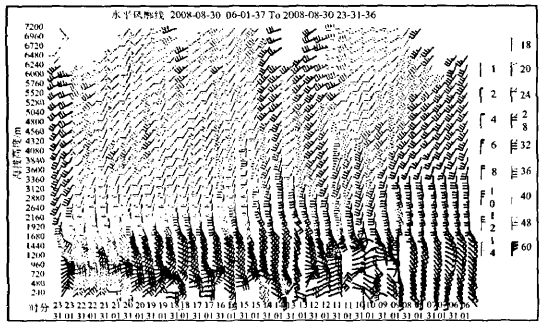


图4b　2008年8月30日14时至31日07时风廓线图

2008年8月30日第二个黄淮气旋生成于湖北南部(图2a),同样在高空西南引导气流(图2b)的引导下,由青岛西南侧经青岛南部海区向东北移动(图2c),垂直高度约为2000m,气旋中心经过上马镇所在经度的时间在31日2时20分左右。不同的是,空中风的变化为东南→东→东北→北逆转,其风向变化过程长约9小时,表明该气旋中心在"过境"期间,也就是刚入海时,在青岛南部海区移速减缓或短时停滞并有所加强。至于风向不稳定,摆动较大,则与过境时间较长和受到东部海拔1130m的崂山地形影响有关。由于上马镇区域气象自动站距离气旋中心较远,所记录的气压变化情况虽不像8月17日那样明显,但与风廓线探测到的情况(图4b)大体一致。而距气旋中心较近的胶南市琅琊台镇自动站气压记录则较为明显(图4d)。

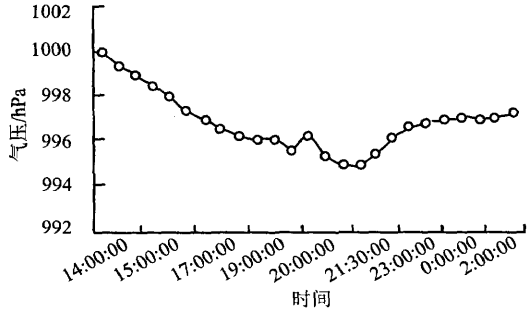


图4c　2008年8月30日上马镇气压变化曲线图

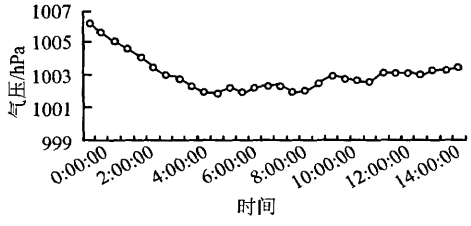


图4d　2008年8月30日琅琊台气压变化曲线图

从图4a风廓线实况中的风向垂直分布可以看出,气旋过境过程中风向随高度的变化是较为明显的,说明冷、暖平流活动和空气的垂直运动较为强烈。17日20时50分之前,气旋中心位于青岛西南地区,青岛地区上空风向随高度顺转,风速较大,达12m·s^{-1},暖平流强盛,此时水汽充沛的湿空气在较强的辐合抬升区得以抬升,冷却凝结;而2400m高度以上风向变化不大,表明没有过多的水汽向高空辐散,使得气旋系统中的降水效率较高。从气旋中心的移动路径上看,该中心从青岛西侧北上,较强的辐合抬升区和高湿空气始终覆盖着青岛地区大部,所以强降水的出现也就不足为奇了。而17日20时50分之后,青岛地区上空风向随高度逆转,冷平流开始加入气旋,青岛地区逐渐转为气旋西侧西北下沉气流控制,有利于强降水的水汽条件也明显减弱,呈现为扰动低云的降水,雨

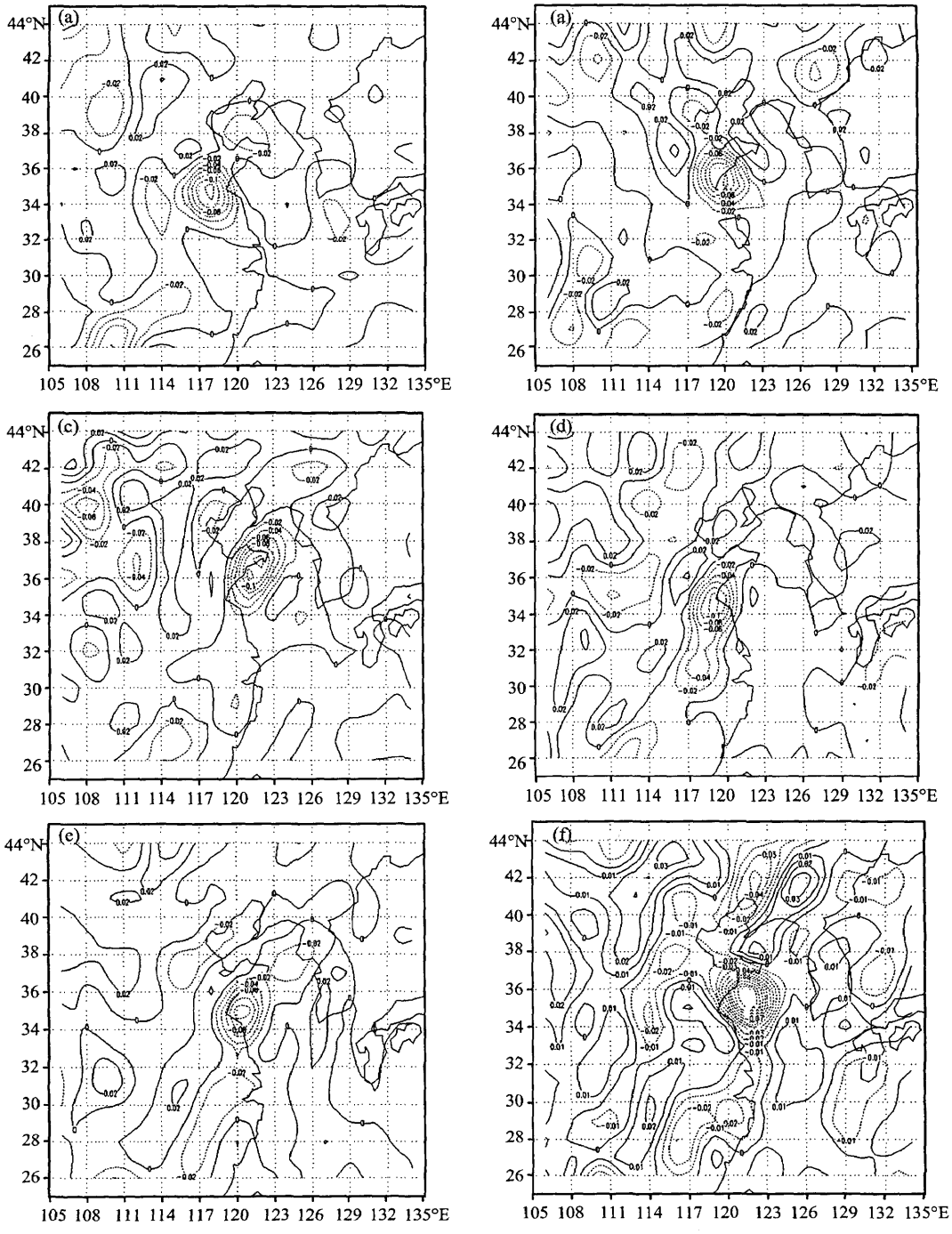


图5 2008年8月17日08时(a)、14时(b)、20时(c)、30日20时(d)、31日02时(e)、08时(f) 850hPa垂直速度图(单位：$hPa \cdot s^{-1}$)

强和雨量随之减小。

5　垂直速度场诊断分析

本文应用 NCEP 再分析资料,由连续方程计算出 850hPa 的垂直速度,以此来诊断黄淮气旋过程中的垂直运动,来发现与暴雨落区的关系。

从 850hPa 的垂直速度图上,可以看到垂直速度的负值中心和气旋的位置是相吻合的,由图 5 可见,第一个黄淮气旋从安徽南部生成后沿山东半岛南部海岸线向东北方向移动的过程。在移动过程中在图 5b 中垂直速度中心曲线有向其移动路径左侧发展的趋势,但是不是很明显。而第二个黄淮气旋在江苏北部生成后入海东移后,对比图 5e 和 5f 发现其垂直速度中心梯度明显加强,反映了气旋入海后加强的事实,并且发现在图 5f 中垂直速度中心有向运动方向左侧发展的趋势,相对于第一个黄淮气旋其左侧发展明显强盛,也反映出其次降雨中心是造成青岛 8 月 31 日暴雨的主要因素,而 8 月 17 日暴雨(如图 5b)是气旋中心过境,由气旋的主降雨中心造成的。对于气旋次降雨中心的形成,我们猜测是由于有西北方向的冷空气渗入,而使气旋一侧的异常发展造成的降雨增强,所以在预报黄淮气旋的降雨过程中,首先要关注黄淮气旋中心的移动路径和主降雨中心,又不能忽视次降雨中心造成青岛及山东半岛南部地区强降雨和雷电大风等灾害性天气。

6　小结

(1)黄淮气旋不同位置的影响造成降水量的变化十分明显,黄淮气旋的降雨中心有两个:主降雨中心在气旋中心附近,次降雨中心在垂直于气旋移动路径的左侧。次降雨中心的强弱与气旋的强度有着密切的关系。8 月 17 日降水是由黄淮气旋中心过境,主降雨中心造成的,30 日降水是由黄淮气旋的次降雨中心造成的,这两个中心都可以造成山东半岛及青岛地区的强降雨和雷电大风等灾害性天气。

(2)黄淮气旋的移动路径和 500hPa 的引导气流的经向度有关,气旋强弱与 850hPa 冷空气的强度有关。

(3)黄淮气旋有明显的中尺度特征,在主降雨中心,气旋中心的前部和气旋中心附近,有较强的回波,多呈块状和大的带状,次降雨中心(即移动方向左侧)也有较强的回波,但多为细条状,就是有块状回波持续时间也很短,说明两个不同的降雨中心,主降雨中心的有核性和次降雨中心的边缘性的特征。由于雷达的探测距离和性能所限,黄淮气旋的主降雨中心和黄淮气旋移动方向左侧的次降雨中心不能用一部雷达清楚地共同显现,单一的雷达系统不能完全把握系统的全貌。

(4)黄淮气旋的次降雨中心的形成是由于有西北方向的冷空气的渗入,而使气旋一侧的异常发展造成的降雨增强。所以我们在预报黄淮气旋的降雨过程中,首先要关注黄淮气旋中心的移动路径和主降雨中心,又不能忽视次降雨中心。

(5)黄淮气旋为非深厚系统,黄淮气旋的 850hPa 垂直速度场和暴雨的落区有着很好的对应关系。

参考文献

[1]　陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.

[2]　曹钢锋等. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988.

[3]　丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京:气象出版社,1993: 1-25.

[4]　陈红,赵思雄. 第一次全球大气研究计划试验期间华南前汛期暴雨过程及其环流特征的诊断研究[J]. 大气科学,2000, 24(2): 238-254.

[5]　陶诗言,倪允琪,赵思雄,等. 1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M]. 气象出版社,2001: 1-183.

[6]　孙建华,张小玲,齐琳琳,等. 2002 年中国暴雨试验期间一次低涡切变上发生发展的中尺度对流系统研

究[J]. 大气科学, 2004, 28 (5): 675-691.
[7] 倪允琪,周秀骥. 我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展[J]. 气象. 2005, 31(1): 9-12.
[8] 陶诗言,卫捷. 夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系[J]. 气象. 2007, 33(3): 10-18.
[9] 秦曾灏, 李永平, 黄立文. 中国近海和西太平洋温带气旋的气候学研究[J]. 海洋学报, 2002, 24 (增刊): 105-111.
[10] EYJ R, CHAN C K. Multidecadal global and regional trends in I 000 mb and 500 mb cyclone frequencies [J]. Geophysical research letters, 1999, 26: 2053-2056.
[11] EVIN T. Uncertainty in hurricanes and global warming [J]. Science, 2005, 308: 1753-1754.
[12] Ebster P J, Holland GJ, Curryj A, et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment [J]. Science, 2005, 309: 1844-1846.
[13] 杨晓霞, 赵宇, 高留喜. 山东省春季大暴雨天气的形成机制个例分析[J]. 气象科技,2005, 33(1): 45-49.
[14] 赵玮, 王建捷. 北京2006年夏季接连两场暴雨的观测对比分析[J]. 气象,2008, 34(8): 3-14.
[15] 俞小鼎,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006.