

一次中尺度对流系统分析

于仁成 高瑞华 宋同文 矫卫兵

(山东省烟台市气象局, 264001)

提 要

应用卫星云图、雷达回波、地面加密观测和各种常规资料,分析了1996年7月1日在黄海北部~山东半岛发生的一次中尺度强对流天气过程。高空冷温度槽和低空、地面增温产生的不稳定能量是强对流系统形成的条件;中尺度辐合线、中气旋、近地层加热不均匀性、海陆风的辐合抬升等促进了强对流天气发生;对流云团的并合加强,产生异乎寻常的能量,是该系统加强和发展的重要条件;云团呈准静止状态是产生暴雨和长时间降雹的主要原因。

关键词: 中尺度 对流 传播 准静止 并合

引 言

1996年7月1日上午(简称960701),黄海北部、辽东半岛一带不断有对流云系生消变化,中午前后一中-β^[1]系统发展南移,18时左右开始影响烟台市,半夜前后影响结束。受此影响,烟台市辖区内9区(市)50余处乡镇遭暴风雨袭击,雷雨中有3~4个小时伴有间歇性降雹,冰雹直径多在5~6cm,最大达11cm,并有短时7~8级大风,阵风达10级以上,最大降水中心出现在市区,雨量为128.9mm。由于雨急风骤,并伴有强冰雹,覆盖范围广,给本市工农业生产和人民财产造成极大危害,所以有必要对该次过程进行分析。

1 960701强对流天气形成条件

众所周知,强对流天气主要是由水汽、不稳定层结和抬升力3个条件综合作用而成,为分析方便起见,本文将水汽条件与不稳定层结条件结合在一起讨论。

1.1 不稳定层结条件

1.1.1 高低空冷暖平流

7月1日,在700hPa和850hPa两层上,环渤海区域为2~4℃正变温,暖温度脊控制山

东半岛。850hPa山东半岛一带的 $T_{850} > 20^{\circ}\text{C}$,最大 27°C ,该地区500hPa的 ΔT_{24} 为 $-2\sim-4^{\circ}\text{C}$,冷温度槽在渤海海峡~山东半岛一带,半岛为 $-11\sim-12^{\circ}\text{C}$,高空冷平流和低空暖平流均较明显。上、下两层温度的变化可引起稳定度的局地变化,在高层为冷平流、低层为暖平流情况下,气层趋于不稳定,形成对流不稳定层结。

1.1.2 不稳定层结的一些指标

计算物理量 θ_{se} ,得出烟台附近 $\Delta\theta_{se} = \theta_{se500} - \theta_{se850} = -12.51^{\circ}\text{C}$,根据一些文献的分析^[2~4],当 $\Delta\theta_{se} \leq -10^{\circ}\text{C}$ 时,有利于雹暴天气的发展,因此当日烟台附近出现了冰雹。

经点绘烟台周围3站(青岛、大连、成山头)的探空温度对数压力图发现,08时各站的不稳定能量明显;计算3站08时 $\Delta T_{850-500}$,均 $>30^{\circ}\text{C}$,超过降雹指标 25°C ^[4],有利于冰雹的形成;计算3站沙氏指数可以看出,08时、20时两个时次3站最小值都 $\leq -5^{\circ}\text{C}$,符合 $< -3^{\circ}\text{C}$ 发生强雷暴指标;08时、20时两个时次3站K指数符合产生雷雨指标($>33^{\circ}\text{C}$)也有一半。

表1 青岛、成山头、大连站探空的物理量值

台站	$\Delta T_{850-500}$		沙氏指数		K 指数	
	08时	20时	08时	20时	08时	20时
青岛	35.1	34.7	0.5	-6.9	12.7	33.1
成山头	33.9	28.1	-0.6	-5.5	23.7	33.2
大连	30.3	39.3	-5.1	0.6	35.5	22.3

1.1.3 逆温层

在1日08时从青岛、成山头、大连三站的探空看,高层为明显的干冷空气,低层850hPa以下近地面层有一逆温层,由于逆温层的存在,阻碍了热量及水汽的垂直交换,使低层增暖、增湿,不稳定能量就大量积累起来,有利于强对流发展。

1.2 能量场

综合温、湿条件,分析1日14时地面总温度场,发现一个轴线呈NE~SW向的 Ω 型高能系统控制山东半岛北部地区,寿光附近有63℃低能舌伸向半岛南部,二者之间有一条能量锋,强雹暴就发生在能量锋的暖区一侧,即 Ω 高能系统的高能区北侧。

850hPa能量场上半岛东部处于高能舌中,338K的高能舌伸至半岛北部;500hPa高能区位置偏南,半岛处于低值区中;分析 $\Delta\theta_{se} = \theta_{se500} - \theta_{se850}$ 和 $\Delta\theta_{sc} = \theta_{sc700} - \theta_{se850}$,其中 $\Delta\theta_{se} < 0$ 的地方就是对流不稳定处,山东半岛就是两 $\Delta\theta_{se} < 0$ 处,高层的干冷空气加强对流不稳定。高、低空 θ_{se} 场的这种配置是有利于强对流形成的典型形势。

1.3 抬升条件

1.3.1 中尺度辐合线与中气旋

分析地面图可以看出,1日08时,鲁北有一热低压生成,中心位于滨州附近,轴线呈东北~西南向,大连位于热低压的右前方,在其附近对应有一中- β 中尺度对流云团;14时,热低压东伸到莱州湾,轴线顺时针方向旋转,在山东半岛北部莱州~蓬莱一线,形成一近东西向的辐合线,辐合线北侧为东北风,风速

在4~8m·s⁻¹之间,其南侧为西南风,风速在4~6m·s⁻¹之间(见图1);17时,莱州附近有一中气旋生成,与大泽山区的中- γ 尺度对流云团相对应。中尺度辐合线与中气旋可产生辐合抬升作用,有利于强对流天气的形成。

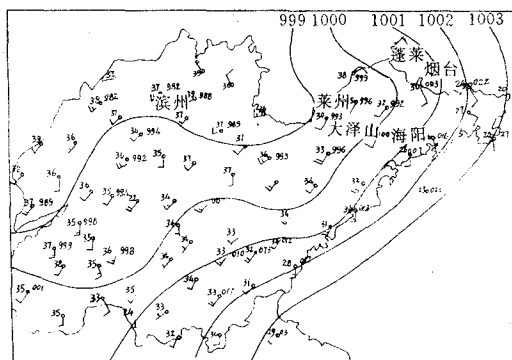


图1 1996年7月14时山东省地面图

1.3.2 低层高温和地形影响,辐合明显

分析1日山东省附加地面小图(图略)可以看出,烟台地区西北部为高温区,东南部气温较低,14、17时莱州比海阳分别高9.8℃和11.6℃,由于烟台地区中部为东~西走向的山脉,地形摩擦作用出现摩擦辐合,产生上升运动。另外,从T63资料分析来看,高层散度场也很明显,1日20时烟台附近500hPa散度约为 $1.70 \times 10^{-6} s^{-1}$,最大辐散中心在济南附近约为 $17.71 \times 10^{-6} s^{-1}$,由于低层辐合,高空为辐散场,使得垂直上升运动加强,促使对流强烈发展,在切变线附近出现雹暴。

2 强对流天气发展加强的特定条件

2.1 烟台特殊的地理地形作用

烟台在山东半岛中部,南北分别濒临黄、渤海,由于海、陆地表性质不同,使地面温度分布差异较大。陆地对太阳辐射吸收强烈,热容量小,地面升温快,而海洋对太阳辐射吸收少,热容量大,海面升温慢,从而形成海陆温差,尤以14~17时最大(表2)。

表2 海、陆温差

台 站	1日					2日				
	08	11	14	17	20	23	02	05	08	
长 岛	26.6	29.2	24.7	23.4	22.6	20.3	20.2	21.9	21.9	
莱 州	28.4	31.3	35.5	34.0	30.4	25.5	22.1	22.8	26.0	
莱 阳	26.9	29.5	32.8	30.2	24.1	21.8	19.8	21.0	25.2	
海 阳	21.6	25.3	25.7	22.4	21.5	21.1	20.9	26.3	24.6	
莱州~长岛	1.8	2.1	10.8	10.6	7.8	5.2	1.9	0.9	4.1	
莱州~海阳	6.8	6.0	9.8	11.6	8.9	4.4	1.2	-3.5	1.4	
莱阳~长岛	0.3	0.3	8.1	6.8	1.5	1.5	-0.4	-0.9	3.3	
莱阳~海阳	5.3	4.2	7.1	7.8	2.6	0.7	-1.1	-5.3	0.6	

从表2可看出,14、17时北部内陆(莱州)比北部沿海(长岛)分别高10.8℃和10.6℃,北部内陆又比南部沿海(海阳)分别高9.8℃和11.6℃,14时南部内陆(莱阳)比南部沿海和北部沿海分别高7.1℃和8.1℃。温度梯度很大,这种温差使暖区空气上升,冷区空气下沉,形成小型垂直环流,此种上升运动可起到触发机制的作用。

由于850hPa 暖脊连续控制华北地区,出现了大片晴空区,地面强烈增温,大于36℃的高温区控制山东半岛西部地区,1日上午为大片浓雾所覆盖,由于近地面层加热不均,也能触发对流的生成,其作用同低空海陆风的环流圈生成相似,在早晨有雾和云层覆盖区域,白天近地层加热比四周无云区要慢,因而空气温度比四周要低一些,冷暖空气之间形成一垂直环流圈,在雾区和云区的边界处出现上升运动,可以触发位势不稳定能量的释放。

2.2 海陆风的辐合抬升

由于地表热力性质不同,白天陆地增温比海面快,因而在海陆交界地区形成力管场,根据绝对环流原理,上层空气由陆地吹向海面,低层空气则由海面吹向陆地,因此白天北部沿海地区海风为NE向,它是由烟台特殊海陆地形造成的,具有准常定性。这股NE气流与盛行的SW气流之间可产生尺度较小的气流辐合线,即海风锋,在其两侧有较明显的温度差。从图1可知,辐合线北侧的偏东风中,

蓬莱、龙口为NE海风,而烟台、威海都是SE风,不是明显的海风。这一现象说明此辐合线是地面气压场与海陆风共同作用的产物,其东段受气压系统作用破坏了海陆风结构,而西段是二者重叠之处,保留了海风结构,也许正是这个原因,使云团总在西段附近新生、并合。气流辐合线造成垂直运动促使不稳定能量释放而形成对流天气。

一般情况,海风辐合线对天气影响不大,但在这种特定天气形势下,由于辐合线与天气系统叠加,强化了天气系统,起到推波助澜的作用,造成强烈天气。

3 960701中尺度系统的演变

这次中尺度过程于7月1日05时左右在辽东半岛形成,2日05时左右在青岛出海,历时24小时,行程约300km。1日18时左右开始影响烟台市,2日03时移出,历时9小时。过程的移动方向偏南,移速约10km·h⁻¹。本次过程时间之长、移速之慢、强度之强实属少见。

3.1 云团的并合作用是系统加强、维持的重要因素

这次过程的发展、移动都是由云团并合作用来实现的,明显的并合过程至少有5次:7月1日05~11时(见图2)、12~13时(图略)、15~16时(图略)、17~19时(见图3)、1日23时~2日02时(图略),特别明显的是17—19时的并合过程。

关于云团并合加强的现象,很多文章都进行了分析^[6],首先,并合本身使云体扩大,其次并合造成强大的上升运动,使云体垂直发展。从本次过程的移动(下节介绍)和发展过程也证实了这一点,从大连雷达站的观测(图略)可见,7月1日14时32分渤海海峡中部(大连与烟台之间)就有强回波存在,15时左右山东半岛有散乱回波出现,但强回波还在黄海北部,16时46分强回波区在烟台以北30~80km的海面上,主体回波的范围较大,强度也很强,厚度很厚(超过15km),回波弱区

厚度也很厚,此时已发展成强大的对流主体,到19时40分左右,回波进入我区(图略),强回波中心亦在烟台市。22时40分左右(图略),我区回波仍很强,PPI强回波区在烟台市中部,回波强度达45dBz,高度仍超过12km(图略)。

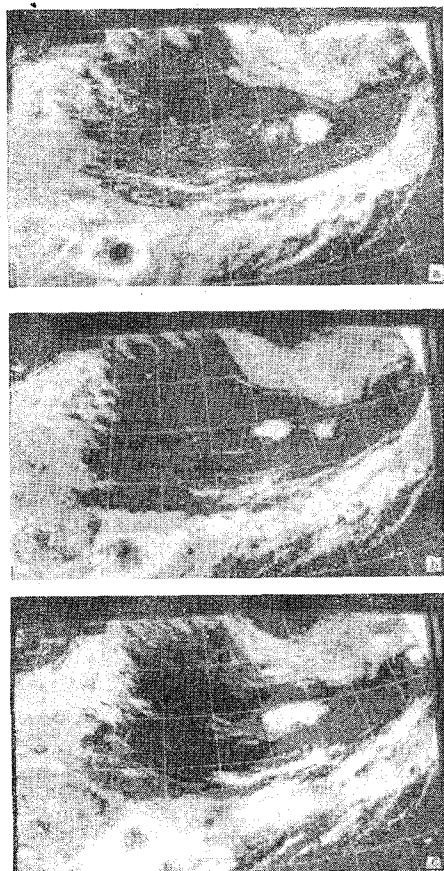


图2 1996年7月1日05(a)、08(b)、11(c)时红外云图

7月1日上午,黄海北部不断有对流云系生消变化。05时,渤海有几个对流单体生成,黄海北部一云团逐渐减弱东移(图2a),08时,辽东半岛对流单体合并,形成一个对流云团,并不断发展(图2b),11时,实现第一次新陈代谢,对流云团发展,范围扩大,云团东部云系开始减弱,逐渐分裂东移(图2c)。15时,在对流云团西部新生一椭圆形对流云系,由于

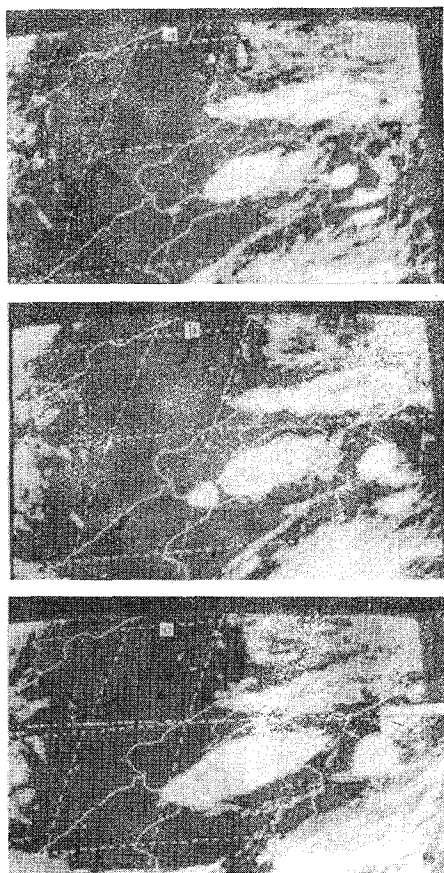


图3 1996年7月1日17~19时逐时红外云图
a:17时,b:18时,c:19时

太阳对无云区加热,对流发展强烈,云团发展扩大,并向西南方向传播,东部云团逐渐减弱东移(图略),17时,椭圆形对流云系迅速发展,范围扩大,向偏南方向缓慢移动,云团发展旺盛,色调明亮,呈东西向,具有明显的长轴,云团东北方有明显的卷云砧,南部边界光滑,呈圆弧状。与此同时,大泽山区突生一对流云团,迅速发展东移(图3a),18时东移影响莱州和招远市南部时即降雹(图3b),19时(图3c)黄海北部对流云发展,向大泽山区对流云团(即主体西南端)转移,与发展东移的大泽山区对流云团在烟台附近并合后急剧加

强,范围扩大,云区控制 120°E 以东的山东半岛大部地区和海峡以东的黄海北部海面,对流发展强烈,云顶最低温度 $<-80^{\circ}\text{C}$,并在3~4个小时内呈准静止状态,间歇性降雹持续3~4小时,为烟台历史所罕见。22时以后该对流云团南压,呈近东西向条状云带,风势加大,雨雹强度有所减弱,过程逐渐结束。

3.2 系统的移动是通过传播方式体现的

从逐时卫星云图上看,这次过程系统的移动是以新陈代谢方式发展、消亡、传播和移动的。如前所述,整个系统的发展过程都体现了并合作用,主体云系先在原地发展,其后在其西南端生成新对流云系,发展东移,主体云系的强区也向新生云系的方向(即主体西南端)转移,并与新生云系并合,接着在西南端又有新生云系产生,再次重复上述过程。与此同时,主体云系的东端强度减弱,脱离主体东移消亡。这种主体云系西南端产生新对流云系并与之并合而东端减弱、消亡的过程,构成系统的新陈代谢,并使云系向西南移动,其中尤以17~19时最为明显。

3.3 云团准静止状态是强降水产生的主要

原因

在7月1日08时850hPa高空图(图略)上,西风带暖脊与副高之间的暖切位于辽东湾到晋北一线,山东半岛位于暖切南侧,为一致的西南气流,20时暖切东西向横卧于海峡地区,1日08~20时地面中气旋与辐合线及850hPa暖切变线的维持使系统以传播方式向西南移动。地面图上 125°E 附近黄海海面有高压脊北突,正变压明显,沿海脊的存在,阻止了黄海北部中尺度强对流云团的东移,促使云团呈准静止状态。

云团发展强烈,移动缓慢,故呈准静止状态维持,导致较长时间的强降水维持,还导致间歇性降雹持续3~4个小时。

参考文献

- 1 段永明. 中尺度天气学引论. 南京气象学院油印本, 1987.
- 2 朱乾根等. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社, 1992.
- 3 “758”特大暴雨研究方法汇编摘选. 山东省气象台油印本, 1977, 5.
- 4 曹钢锋等. 山东天气分析与预报. 北京:气象出版社, 1988.
- 5 于仁成. 高空槽过境前后的雹云回波特点. 气象, 1982, 8(12): 28.

A Mesoscale Convective System on the First Day of July in 1996

Yu Renchen Gao Ruihua Song Tongwen Jiao Weibing

(Yantai Meteorological Office, Shandong Province 264001)

Abstract

The satellite cloud picture, radar echo, the intensive observation and the conventional data were used to analyse a strong mesoscale convective weather process which happened between the northern Yellow Sea and Shandong Peninsula on the first day of July in 1996. The results show that the unstable energy, which was caused by the low temperature trough in the upper air and the ascending of temperature in low level and on the ground, is the formation condition of the strong convective system. Those factors, such as mesoscale convergence zone, meso cyclone, uneven heating near the surface and the convergence of land and sea breeze, prompt the development of the convective system. An important condition of the system developing is that the extraordinary energy is produced when the convective cloud clusters merge and enhance. The quasistatic state of the cloud cluster is the main reason for the rainstorm and the continued hailfall.

Key Words: mesoscale convective system propagation quasistationary merge