

弓状雷达回波的个例分析*

何宗诚

(苏州市气象台, 苏州 215021)

提 要

文章介绍了在一次强风暴系统的雷达探测中发现的弓状回波, 讨论了回波的性质、结构及其成因, 分析了它与中尺度系统的关系. 表明藤田模式也适用于中尺度系统, 并指出气旋式运动和反气旋式运动分别出现在逗号状回波的转动头部和尾部. 尾部的向前移动方式是传播性的, 且与近地层气流的辐散辐合紧密联系.

关键词: 弓状回波 藤田模式 物理机制

雷达回波的形态一直是人们识别强对流天气的重要指标, 早在 60 年代海米尔顿 (Hamilton) 就指出, 嵌在线状回波波动型中的凹形回波是与地面破坏性直线风相伴的. 1978 年藤田 (T. T. Fujita) 把这种回波命名为弓状回波, 并给出了经典模式^[1]. 我们在对 1985 年 5 月 5 日发生在华东地区的强风暴系统的雷达探测中, 观测到一例维持 2~3 h 的弓状回波的完整生消过程. 本文以苏州雷达站回波资料结合逐时地面资料, 自记记录和高空风记录进行综合分析, 得到一些有益的启示.

1 探测事实

1.1 雷暴带的初生和发展

1985 年 5 月 5 日 15:50 首次探测到在太湖西部 250 km 处有孤立的回波点, 16:45 回波点发展成单体群, 并开始向东移动, 它的前方是中尺度辐合区, 辐合中心在芜湖附近(图略). 18:52 在回波带中段出现了一块大单体(图 1), 对应地面图是辐合中心(图 2), 回波带由原来大约 150 km 增长到 250 km, 中段向前凸出, 带上单体也在不断壮大, 从原来 7~8 km 发展到 13~14 km.

1.2 弓状回波的发展演变

在 18:50 左右, 回波带中段出现了一块水平尺度约 50×30 km、高度 10 km 左右的形如弯月的大单体, 至此弓状回波基本形成. 它位于风暴带最前沿, 经衰减 20 dB 可见到有很大的前沿梯度, 且成双凸型, 隐含着两个核心 A 和 B(图 3(a)). 对应 19:00 地面流场, 该大单体有两个辐合中心与之配合, 向偏东方向移动(图 2(a)). 1 h 后发展成两

* 1996-01-16 收到, 1996-04-28 收到修改稿.

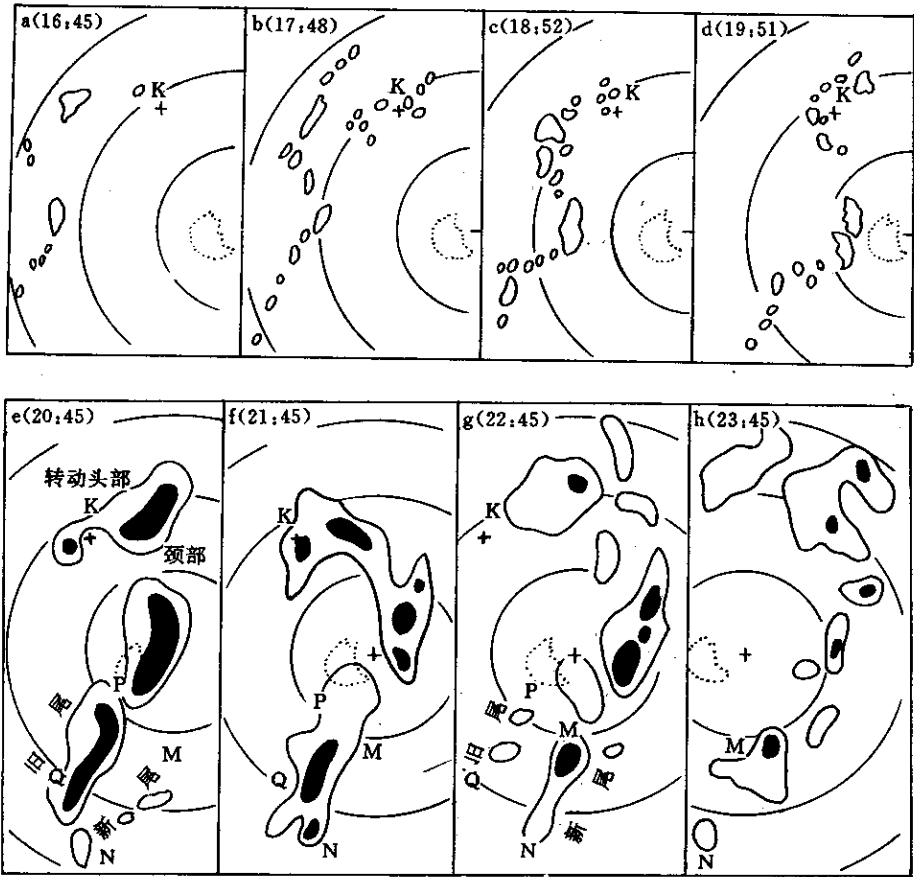


图1 1985年5月5日16:45~21:45雷达回波演变图
(测站:苏州,仰角 0° ,每圈间距100 km)

块相等规模的弓状单体(图1(d)、图3(b)). 20:30两块回波已分道而行,这一分离过程在同一时刻的 2° 仰角雷达回波上更清晰地反映出来,未经衰减时是相连在一起的回波整体,衰减20 dB后是分裂了的两块单体,40 min后即20:30两块回波则完全分离且分道而行(图3(c)). 回波B向东北方向移动,15 min后逐渐失去弓状外形及强前沿梯度特征,所经之地出现一般性雷阵雨. 回波A继续东移发展,保持其很强的前沿梯度和弓状外形,所经之地产生了强烈的雷雨大风灾害性天气. 回波A和B出现移向和发展的差异可能与地形有关. 回波A是整体移经太湖水面,由于水体与陆地热容量的不同,夜间大水体是一个相对热源,有丰富的湿热能增暖而得以强烈发展. 回波B则是主体部分从太湖北面陆地移过,没有类似的条件,发展受到了抑制.

2 物理机制分析

2.1 产生弓状回波的天气背景

在强风暴发生前一天,500 hPa高空经向度骤然加大,副高增强西伸,槽线维持在

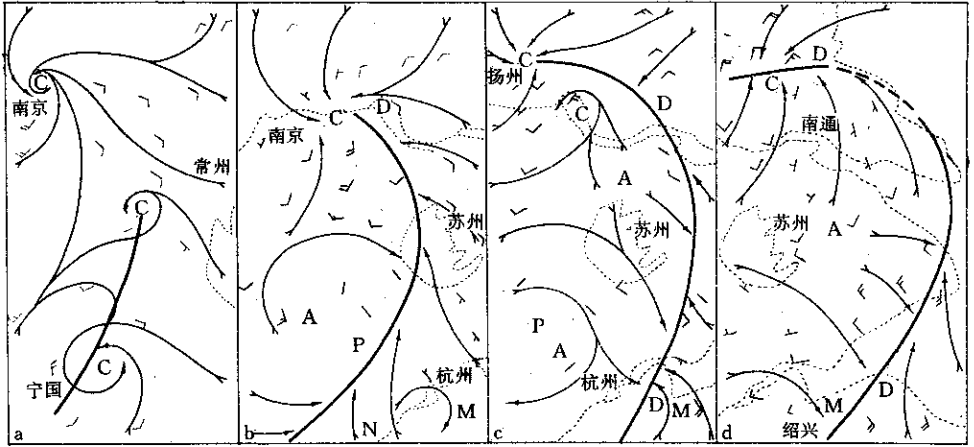


图2 1985年5月5日地面流场图 (a)19:00 (b)20:00 (c)21:00 (d)23:00
(细实线为流线,粗实线为切变、辐合线)

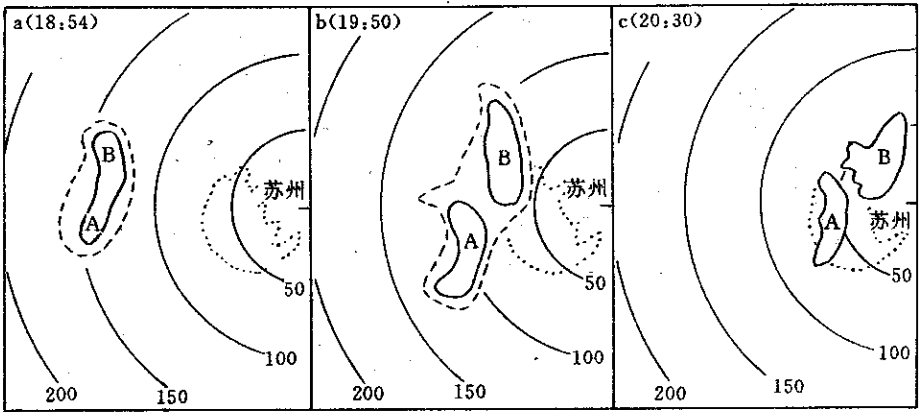


图3 1985年5月5日2°仰角下弓状单体演变
(测站:苏州,虚线0 dB,实线20 dB)

95°~105°E 之间,形成东高西低的基本形势场,华东地区处在槽前. 850 hPa 图上,形成一支从贵阳—长沙—杭州为轴线的强度为 16~18 m/s 低空急流带,北端抵达长江以北(图略). 低空急流把水汽、热量集中往下游输送贮备了能量,沿长江中下游大面积的辐合抬升作用造成那里位势不稳定. 分析了 5 月 5 日 08:00 和 20:00 500 hPa 与 850 hPa θ_e 的差值图(图 4). 08:00 $\Delta\theta_e$ 低值中心在汉口、南昌范围内,另有两个小中心在昆明和桂林附近. 12 h 后低中心移到了苏皖浙平原,恰是强风暴活动区域. 此外,长江下游地区从近地层到 500 hPa 高空是风的强烈顺转区(图略). 众所周知,风随高度的顺转及其造成的低空急流轴线交叉点上温度和湿度差动平流与对流不稳定发展有关^[2],且最大不稳定区是在强烈顺转及高、低空急流夹角很大的地方.

2.2 回波演变与地面流场的关系

从图 1 可见整条回波带各部位的发展是不平衡的. 早期中段快,然后北段加快,北

段逐与前方 K 处回波合并, 形成 S 形. 合并后的北端停滞少动, 并略有向反方向缓慢移动之势, 回波带之颈部和中部却移速很大, 表现出旋转行为, 形成逗号形状. 该逗点状回波的尾巴拖得很长, 好象一条台风雨带. 在相应地面图上, 一条约 300 km 的切变线与整个回波带紧密相连, 其头部 K 处就是切变线顶端, 附近是一个较小尺度的低压气旋系统、辐合中心及高温中心(分别在泰州、扬州及镇江).

在回波带的南端, 由于摆动很快, 好象尾巴来不及跟上, 在老回波的前面 100 km 处不断有新单体生长形成新尾, 旧尾则停留在原处越来越弱最终消失. 图 1(e-h)清楚地体现了这一交替更新过程.

20:45 尾部在 P—Q 一线, 其东侧的 M—N 处有孤立回波新生(新尾部), 22:45 新尾发展壮大东移, 旧尾回波减少, 并逐渐在原地消失. 对照地面流场(图 2(b-d))21:00~22:00 在 P—Q 区是高压反环流, 而新尾部对应的是暖性切变区, 那里辐合趋势明显, 正在发展低气压气旋式环流. 它所反映的是小尺度与中尺度的相互作用.

2.3 回波演变与弓状回波概念模型的相似性

1978 年藤田首次提出的弓状回波模式^[1]. 他指出弓状回波是由高、大、强的对流回波演变而成, 后期它变为逗点状, 其前进方向左端是一个旋转的头部, 强大的下击暴雨就发生在其前侧附近和旋转头部的钩状回波处. 当初他是针对小尺度和微尺度提出的, 我们对中尺度系统探测到的事实表明, 它与弓状回波概念模型有很好的相似性, 在系统发展后期也可呈逗点状, 也有一个转动头部和向后拽的尾部. 同样, 我们对中尺度地面形势的分析结果也适用于小尺度系统, 即气旋式和反气旋式运动或辐散辐合运动是弓状回波生消的原动力, 高温高能中心是它得以发展的能量源泉.

3 小 结

(1) 弓状回波是雷暴带发展到强盛阶段, 个别大单体在有利的环境条件下发展而成, 从地面条件看, 下垫面平坦广阔, 并有充沛湿热能补充的地方就是最有利的生成场所.

(2) 小尺度系统和强雷暴单体可见到弓状特征, 中尺度系统和强风暴带也有弓状特征; 藤田模式既适用于小尺度也适用于中尺度系统, 同样有转动头部和尾部, 其中, 头部与气旋式环流相联系, 旧尾部与反气旋性辐散环流相对应, 新尾部则与已经形成或即将发展的气旋性或辐合环流对应.

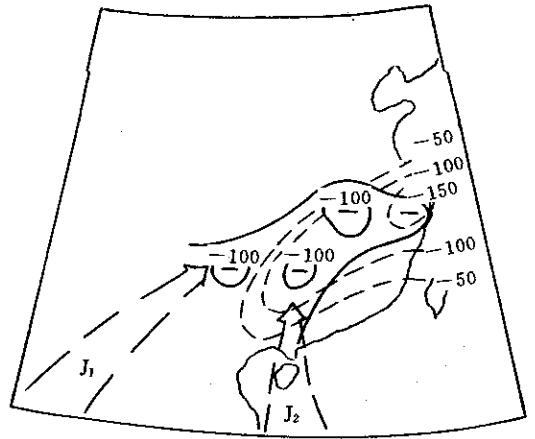


图 4 1995 年 5 月 5 日 08:00 和 20:00
500 hPa 和 850 hPa $\Delta\theta_w$ 图
(实线 08:00 虚线 20:00)

(3) 不同尺度相互作用是一个十分复杂的问题. 在大尺度气流特征所决定的区域中, 大尺度使中尺度系统活跃起来, 然后, 在中尺度流场特征所决定的区域中, 中尺度环流又使小尺度运动活跃起来, 能量是通过涡旋运动从大尺度经中尺度流场被逐级传入小尺度系统的. 中尺度弓状回波的头部和尾部的气旋性和反气旋性环流运动, 十分生动地体现了这一过程.

参考文献

- 1 T T 藤田. 下击暴流. 北京: 气象出版社, 1980.
- 2 Ucellini 等. 对流层高、低空急流的耦合和强对流风暴发展的关系. 气象科技, 1980. 附(四).

A CASE ANALYSIS OF BOW RADAR ECHO OBSERVATION

He Zongcheng

(*Suzhou Meteorological Observatory, Suzhou 215021*)

Abstract

A bow echo found in a radar observation of a severe storm is described. The characteristics, formation and structure of this echo are discussed, and the relation with the mesoscale system is analysed. It is shown that Fujita model is also suitable to mesoscale system. It is pointed out that the cyclonic and anticyclonic motions would appear in the rotating head part and tail part of the bow echo, respectively. The forward movement of the tail is in a way of propagation and closely linked with divergence and convergence of near surface flow.

Key words: Bow echo Fujita model Physical mechanism