

用雷达资料识别中尺度气旋 雹暴的形成及演变

刘洪恩

(北京市气象局, 100089)

提 要

利用国产 3824-C 波段单部多普勒天气雷达资料, 对 1998 年 6 月 9 日发生在北京地区的一次中尺度气旋雹暴的演变过程进行了详细的观测和分析, 并对它的识别和形成过程进行了研究。

关键词: 中尺度气旋 识别 形成过程

引 言

北京地区开展人工防雹工作从 60 年代初到现在已有近 40 年的历史了。在 1976~1984 年间, 本文作者利用 711 雷达的观测结果, 类似 J. D. 马尔威兹等人对雹暴的分类方法, 即根据单体的多少、单体的运动方式, 将北京地区的雹暴区分为超级单体、类超级单体、多单体、二次型多单体和单个单体几类^[1]。在当时设备的条件下, 无法得到某些雹暴低层流场旋转的结论。1995 年夏天, 北京市气象局安装了 3824-C 波段单部多普勒天气雷达, 这大大提高了监测强对流天气的能力。根据 1998 年 6 月 9 日该雷达获取的资料和灾情实况调查, 这例雹暴属于前面提到的北京地区雹暴“家族”中没有被分类的一类。这里命名为“98609 中尺度气旋雹暴”, 简称 98609 雹暴。

1 天气背景

1998 年 6 月 9 日 08 时 (北京时), 850、700hPa 上北京处于槽前暖区 (500hPa 高空槽已过北京), 但槽后 NW 气流里河套地区有一浅槽, 并有一 -16°C 的冷中心相配合; 与之相对应, 地面冷锋在锡林浩特、朱日和一线。受浅槽和冷空气影响, 北京地区下午到

前半夜产生了一次强对流天气 (天气形势图略)。

2 雷达回波分析

1998 年 6 月 9 日 14:00~16:00, 北京北部山区有孤立的对流的云生成, 17:00 发展成一条成熟的飑线, 图 1 中 a, b, c 分别给出了这一时刻飑线的 PPI 强度场、VPPI 径向速度场和相应的地面流场。图 1a 中有两个醒目的对流云团: 处于测站 NW 方向的对流云团用标号 1 表示, 它是该飑线的主体, 相应的径向速度场和地面流场为切变流场, 强回波带处于多普勒径向速度零线的 W 侧; 2 号云团处于测站的 NE 方, 其径向速度场已出现中尺度气旋标志, 在地面流场中则为气旋式流场, 它已发展为中尺度气旋。本文只研究云团 2 (98609 雹暴) 的演变特征及形成过程, 在以下有关它演变的图例中略去了云团 1 的部分。

16:00 雷达开始连续观测, 采取螺旋扫描的方式, 即仰角为 1.5° 、 2.5° 、 3.5° 、 5.7° 4 个不同仰角的 PPI 观测, 并伴以 RHI 观测, 时间间隔为 10 分钟。

2.1 PPI 强度场的演变特征

图 2 给出了 16:00~18:04 98609 雹

暴从产生到消亡的演变过程。可以看到云团 展；强回波的分裂，导致该雹暴减弱、消亡 2 中单体间的合并，导致该雹暴的增强、发 展的特点。

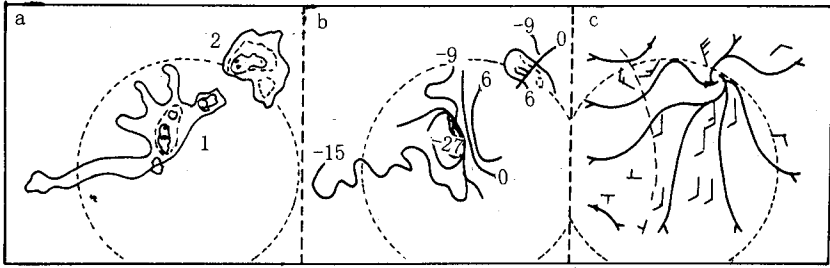


图1 1998年6月9日17:00仰角1.5°的PPI强度场(a)、VPPI(b) 径向速度场和地面流场(c)组合图。

图中+字表示测站位置，半径80km

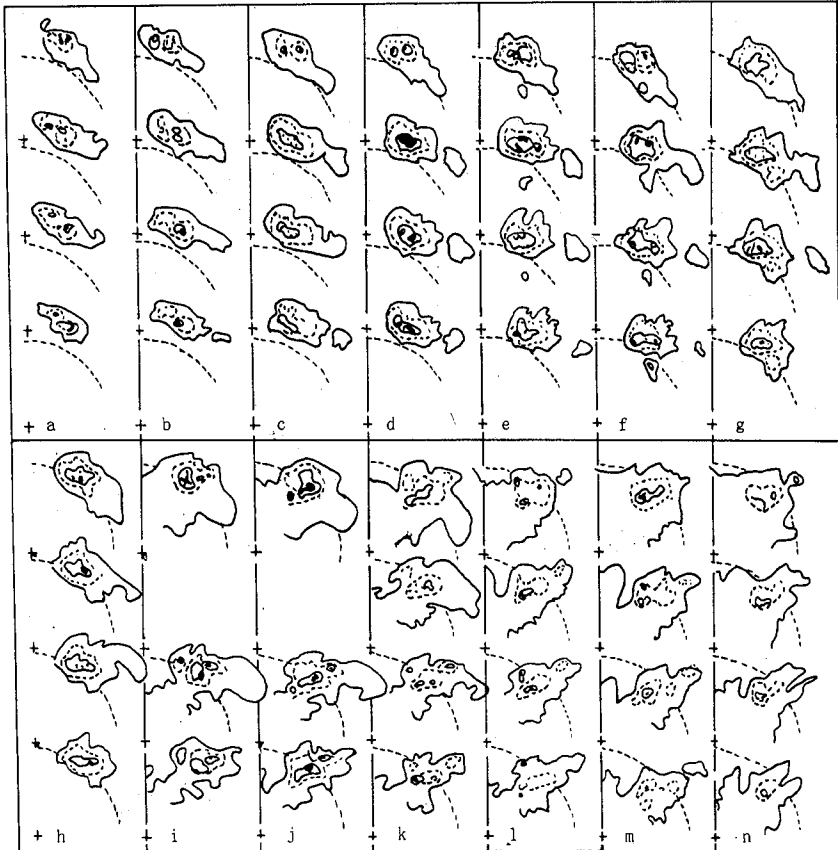


图2 98609雹暴16:00~18:04多层PPI强度场历史演变图

各标号分图水平方向表示同一仰角不同时刻，垂直方向，从下往上仰角分别为1.5°、2.5°、3.5°、5.7°，时间间隔1分钟；参照时间以1.5°仰角为准，从标号a~n分别为：16:00、16:11、16:22、16:32、16:44、16:55、17:05、17:14、17:23、17:27、17:35、17:53、18:04；回波强度等值线从外向内分别为2、30、45，实心为50dBz。其它说明同图1。

16:00~16:14 (图中标号 a、b), 云团 2 中 30dBz 回波外围线可见回波呈双单体结构, 比较这两图中 3.5°仰角的回波位置, 处于 NW 侧的单体反时针方向转动一个角度, 与另一个单体接近; 16:22~16:35 (图中标号 c、d), 仰角 1.5°~3.5°, 可见 30、45dBz 的等值线已经合并, 说明双单体在中、低层回波迅速合并已成为一个大单体, 时间经历 11 分钟, 仰角 5.7°即较高层仍可见双单体结构; 16:44~17:17 (图中标号 e、f、g、h), 仰角 1.5°~5.7°, 30、45dBz 的等值线全

都合并, 回波外形成为近似圆形或椭圆形, 这 33 分钟是 98609 雹暴发展的最盛期; 17:23~17:29 (图中标号 i、j), 45dBz 的等值线开始分裂; 17:35~18:04 (图中标号 k、l、m、n), 回波强度继续处于减弱状态, 强度等级扩展到 30dBz; 18:04 以后消失。

2.2 VPPI 径向速度场的演变特征

与雷达回波 PPI 强度场的演变过程相对应, VPPI 径向速度场也经历了重要的调整过程 (见图 3)。

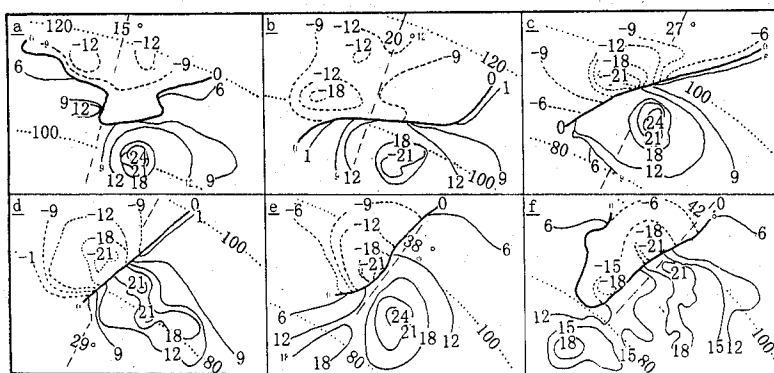


图 3 98609 雹暴 16:00~17:43 VPPI 径向速度局部放大图 (仰角 1.5°)

视径方向用长划线表示; 距离用点线表示, 单位 km; 负的径向速度值表示多普勒速度朝向雷达, 正值表示离开雷达

16:00 (图中 a), 径向速度场呈辐合型: 速度零线近似沿距离圈方向; 零线北侧、径向速度方向为趋近运动 (朝向雷达), 出现了两个 $-12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度区; 零线南侧为径向速度的正值区 (离开雷达), 最大速度达 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 这时风切变很大、辐合很强, 但还不具有中尺度气旋的特征。

22 分钟后多普勒速度场的特征出现了重大变化: 16:22~17:43 (图中 b、c、d、e、f), 径向速度零线从沿距离圈方向趋近径向, 并出现与视径方向近似对称的大速度中心。这些变化所显示的特征即所谓的兰金气旋标志^[2]; 其主要参数, 以 16:44 (图中 c) 为例, 雷达视径方向为方位 27°, 与径向速度

零线接近重合; 再沿雷达的距离圈方向, 负速度中心在零线的左侧、正速度中心在右侧; 核半径大约 5.3km; 在核半径方向上, 从气旋中心起速度为 0, 切向速度线性增加到核半径处达到最大, 这里切向速度最大值分别为 $-21\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 核半径以外, 切向速度与距环流中心的距离成反比的方式递减。由于雷达 PPI 图像取的是一个锥面上的数据, 只有低仰角时才接近水平面。图 3 给出的 6 个时刻的径向速度图仰角为 1.5°, 为较低仰角的情况。因此, 图 3 中, 16:22~17:43, 用兰金气旋理论能很容易地把中尺度气旋识别出来, 17:53 中尺度气旋标志消失 (图略)。

2.3 PPI 和 VPPI 综合图的分析

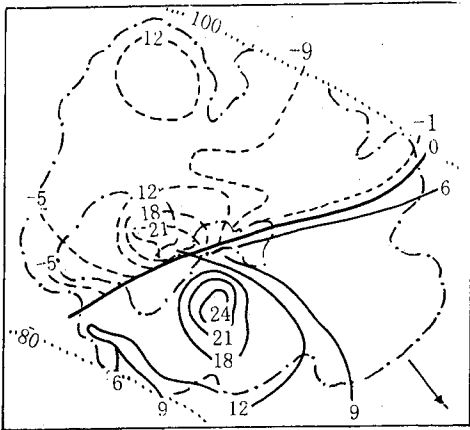


图4 98609 雹暴 16:44 仰角 1.5° 的 PPI 强度场和 VPPI 径向速度场综合图

矢线表示雹暴移动方向；点、弯曲线表示强度场，从外向内分别为 2、45dBz；其它说明同图 3。

在 98609 雹暴发展加强期间，将同一时刻 PPI 强度场、VPPI 径向速度场叠加起来，不难发现：径向速度的正、负中心处于 45dBz 强度等级的回波外围线向内弯曲曲率大的地方，这里是回波强度相对小的区域，强度值为 30~45dBz。图 4 是 16:44 的叠加图，从图中很容易看到上述特征；若以移动方向为参考，正速度中心位于移行方向的右前侧，这里是低层入流的地方，入流是 SW 气流，在正速度中心上空应当是最大上升速度区；在移行方向的右后侧，负速度中心在强回波的后边沿，这里是下沉气流区。当这种关系受到破坏，已不明显的正速度中心偏到移行方向的左后侧时，中气旋将要失去旋转运动（图略）。需要指出，就低层流场而言，98609 一中尺度气旋雹暴与超级单体的区别是：超级单体在低层，有界弱回波区的右侧经常可以观测到钩状回波，它偏离主体回波，是超级单体的一个特征性回波，这里是气旋式旋转流场，通常是龙卷气旋的发生区；而 98609 雹暴（如图 4），由径向速度场所揭示的兰金气旋的核半径范围与气旋主体回波配合紧

密、深入到气旋内部，而无特征性钩状回波。

3 强回波移动路径和地面雹击带

图 5 是 16:00~18:04 98609 雹暴强回波的移动路径，主路径是中间的一条，其移动方向为 145°、移速 35km·h⁻¹，两侧分裂出的回波路径短。



图5 98609 雹暴 16:00~18:04 强回波的移动路径和地面雹击带

实心三角和空心三角符号分别表示成灾冰雹和不成灾冰雹；中心表示测站位置；回波强度外围线为 45dBz，虚、实线相间表示不同时刻。

地面雹击带的特点：①从地面果树、农作物受灾的情况来看，45dBz 回波的外围线扫过的地区基本上与地面雹击带相对应，只是地面雹击带呈片状和线状，还有间隙性；②雹击带与地形有关，沿密云县 NW 侧的白马关河谷往南、云蒙山东侧及 SW 部的山前平原。

地面降雹时间长（16:40~18:04），路径长（40 多公里），灾情重。重灾地区主要有 5 个乡，从北往南有：冯家峪、石城、溪翁庄、西田各庄以及水库北侧的不老屯。

除雹灾外，风也很大。在石城乡，公路两侧到处可见断枝、落叶，沿途电话线杆被风刮倒，河谷低处一排直径达 40cm 的大树连根拔起，属近几年来密云县境内出现的范

围大、灾情最严重的一次风、雹灾害。

4 形成条件和机制分析

4.1 前提条件

这个中尺度气旋产生在飚线的发展过程中,中尺度切变线的存在和发展是这个中尺度气旋产生和发展的前提条件。

4.2 水平射流效应

本文把局地水平风的加速运动称为“水平射流”,风速界限定义为大风级,即 $17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。水平射流的第一个作用是可以使局地水平风切变突增、辐合加强;第二个作用是在水平射流两侧产生涡旋运动(图略)。这种推断基于“修正的对流概念模式”中关于射流的概念^[3]。

特殊的地形可产生地方性气流,也可对环境气流起加速或减速作用。因此,地形因素与环境气流的结合可形成局地水平射流。

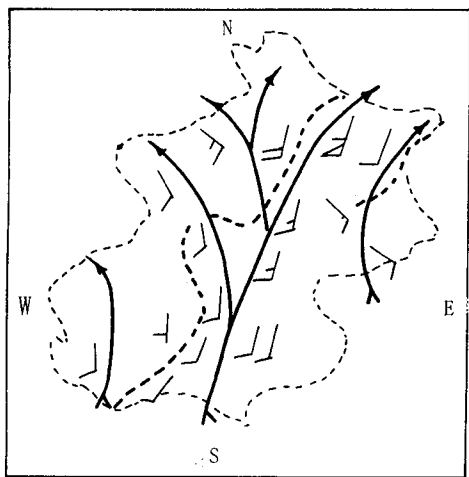


图6 16:00 环境 SW 气流沿山区和
平原分界线的加速实况

北京地区的地形特殊,如果将山区与平原交界线画出,其主要分界线可以粗略地用一条 SW~NE 向的线条把它区分为两部分:该线的左上侧为山区、半山区,右下侧为平原。这种结构的地形有利于 SW 气流在山前向 NE 方向加速。密云县则处于这种地形结

构的 NE 方,加上它北部和东部环山,西部为北马关河谷,喇叭口式的地形和河谷效应使得低层环境 SW 气流的加速作用格外显著。

16:00,98609 雹暴处于形成期,还没有出现中尺度气旋标志,但已移到白马关河谷源头,图6是该时刻地面流场与北京地形(示意)叠加图,主气流为 SW 气流,沿 SW~NE 向的山区和平原的分界线,主气流风速逐渐加大。南部平原区为 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,向 NE 方向逐步加大到 $6\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,到北马关河谷源头最大,达 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这股气流正遇到来自 NNW 逆向移来的 98609 雹暴,辐合流场出现了 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的径向大速度区。这一方面使切变突增、辐合加大,同时还起了水平射流作用。

4.3 单体的合并效应

16:22~17:14,云团 2 中发生了对流单体的持续合并,这期间正是 98609—中尺度气旋雹暴重要的发展期。单体间的合并,意味着能量的集中,辐合上升范围扩大,计算和实测都表明,合并后的云体都能得到迅速发展^[4];同时,单体合并后云体变得密实。当这种单体间的合并发生在水平射流区域附近时,有利于单体中的气流作气旋式旋转运动。

5 结论

(1) 多普勒天气雷达是探测强对流天气的重要工具,用兰金气旋理论可以很容易地识别出中尺度气旋。

(2) 由辐合(点)流场演变为气旋式旋转流场有一个短时间的演变过程,对 98609 雹暴来说,这个时间尺度为 22 分钟。实现这种转变的可能的动力因素是低层局地风切变的突增、辐合增强。同时,由于水平射流效应,导致涡旋的形成。分析结果表明,地形等因素可以造成局地风切变的突增和水平射流效应。

(3) 单体间在水平射流区附近的合并与中尺度气旋标志同时发生的现象已为 98609

雹暴的观测事实所证明。从宏观上看,在水平射流区,带有气旋式位移路径的单体间的合并,有利于中尺度气旋的生成。但不能反过来推论,单体间的合并一定会导致中尺度气旋的形成。

(4) 强度场中分析 30、45dBz 等值线对于了解强雹暴的内部结构和形成过程是非常有用的特征线。

(5) 适度增加 14 层或以上的 PPI 立体资料,可以制作任意方向的 RHI 特征剖面 and 进行垂直气流结构的分析, 98609 雹暴的研

究, 缺少这方面的观测资料是一个明显的不足。

参考文献

- 1 刘洪恩. 北京地区的雹暴及类型. 北京气象, 1985, 1: 60~71.
- 2 R. A. 布朗和 V. T. 伍德. 多普勒风速分析指南. 气科院中尺度研究所. 北京: 内部, 1990: 16~30.
- 3 C. M. 牛顿. 国外人工影响天气第二集. 中国科学技术情报研究所. 北京: 内部, 1972: 6~7.
- 4 张培昌等. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 1992: 241~242.

Recognition of Formation and Development of Mesocyclone Squall Storm by Radar Data

Liu Hong'en

(Beijing Meteorological Bureau, 100089)

Abstract

The development of the mesocyclone squall storm in Beijing region on June 9, 1998 was observed and analysed in detail by using the China-made 3824c-band single Doppler weather radar, and the storm recognition and its formation process were also studied.

Key Words: mesocyclone storm recognition storm formation process