

2004 年 7 月北京和上海两次重大气象事件的异同及其科学问题*

陶祖钰 葛国庆 郑永光 高帆

(北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

王迎春 陈明轩

端义宏 杨引明

(中国气象局北京城市气象研究所, 北京, 100081)

(上海台风研究所, 上海, 200030)

摘要

2004 年 7 月 10 日北京市出现的局地强降水导致城区交通严重拥堵, 12 日强对流伴随的飏线造成上海市重大的人员伤亡。这两次突发性气象事件都引起了社会公众和政府部门的高度关注。文中给出的观测分析和理论估算初步表明, 这两次重大气象事件都是由中尺度对流系统(MCS)引起的。但是在卫星云图上, 造成北京强降水的对流云团外形不规则、云顶温度较高、云体边缘不光滑并且没有密集的亮温梯度, 与大多数 MCS 有很大的不同。此外, 这两个事件都发生在季风极度北涌, 同时冷空气又强烈南下的经向环流背景下, 但两者发生的位置差别很大。文章认为对于这种非典型性 MCS 的结构和发生条件以及 2004 年夏东亚季风极度北涌是否与全球环流异常有关等科学问题值得引起重视。

关键词: 暴雨, 飏线, 对流系统, 季风, 经向环流。

1 引言

2004 年 7 月 10 日下午北京城区出现了罕见的局地暴雨^①。降雨集中在 16~20 时, 降水量大于 50 mm 的降雨区位于石景山、丰台、门头沟东部和中心城区, 天坛、丰台、天安门分别达到 109, 96 和 95 mm。丰台气象站 17~18 时 1 h 最大雨量达 52 mm, 其中 10 min 降雨量达到 23 mm。由于这次暴雨强度大、雨势猛和降雨时间集中, 造成全市 41 处道路积水, 部分地区交通瘫痪达数小时, 对首都生活造成严重影响。

7 月 12 日 17~19 时上海也出现了强对流天气, 整个过程只有 2 h, 雨量只有 28.4 mm。但是它所伴随的飏线最大风速达到 29 m/s, 并有龙卷风出现。由于建筑物的倒塌造成了 7 人死亡、多人受伤, 以及多起因高压输电线路损坏引起的停电事故^②。

这两次强对流天气都对大城市的生活造成了严重影响, 不仅受到政府部门的高度重视, 而且也成为广大媒体和市民的关注焦点, 对这两次过程进行深入的分析是十分必要的。本文仅就这两次过程的直接影响系统及其发生的环流背景作简要的分析和对比, 以期引起广大气象工作者的注意, 并为此类天气的预报提供一些线索。

2 影响系统

在卫星云图上, 这两次重要天气过程(分别简称北京 710 和上海 712)都是由中尺度云团造成的。图 1 给出了从 GOES 卫星红外云图反演出的云顶亮温(TBB)分布。图中箭头所指的是造成北京和上海强对流天气的云团, 它们给北京带来了 52 mm/h 的降水(丰台), 给上海带来了 29 m/s 的大风(青浦)。它们的水平尺度都属于中尺度的范畴。北京

* 初稿时间: 2004 年 8 月 7 日, 修改稿时间: 2004 年 8 月 20 日。

资助课题: 北京市科委奥运项目(H020620190091), 国家自然科学基金项目(40233036 和 40305004)

① 重要天气公报, 第 63 期, 中央气象台, 2004 年 7 月 11 日。

② 灾情报告, 上海市气象局, 2004 年 7 月 13 日。

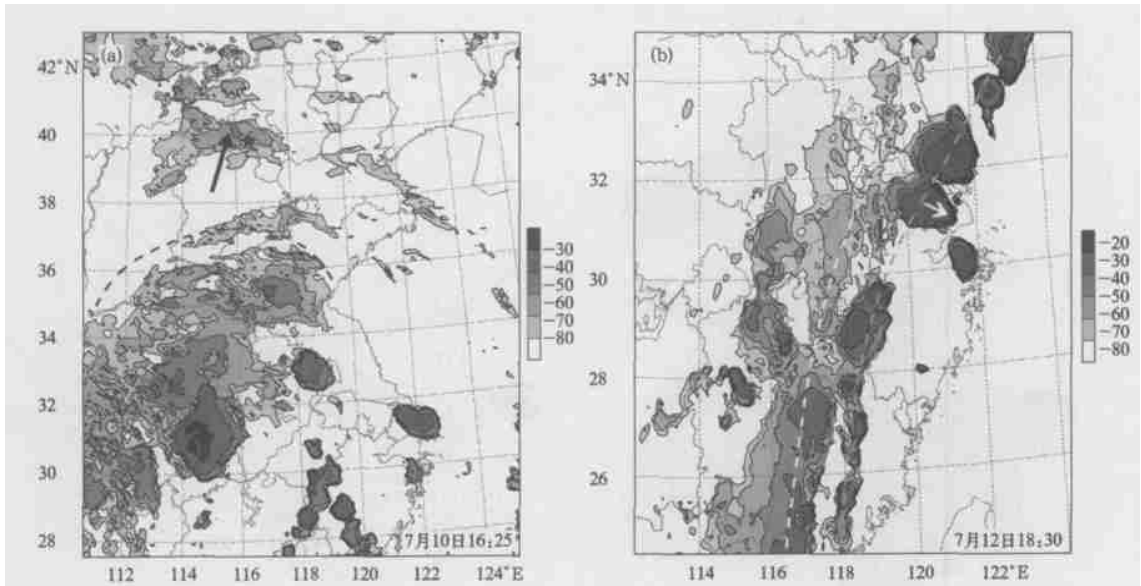


图 1 GOES 卫星红外云图亮温(TBB)的分布

(图中箭头所指的是影响北京(a)和上海(b)的中尺度云团;(a)中的粗虚线代表大尺度云带的北端,(b)中的白色粗虚线代表大尺度云带的轴线,灰色粗虚线代表大尺度云带前方暖区中发展起来的对流群排列轴线)

Fig. 1 Distribution of temperature of black body of infrared images of GEOS- 9

(a. 16: 25 July 10, 2004; b. 18: 13 July 12, 2004)

710 的云团较小,呈长条状,其宽度不到 100 km;上海 712 的云团较大,呈椭圆状,宽度超过 100 km;两者都是β中尺度系统。

值得注意的是两者在形态上存在明显的差异,北京 710 云团云顶的最低温度只达到- 50 °C,云体边缘破碎,温度梯度不大;而上海 712 的云顶最低温度达到- 70 °C,云团边缘光滑,并是很强的亮温梯度密集带,显示出上海 712 的影响系统是一个典型的中尺度对流系统(MCS),云团内的对流运动非常强烈。闵行区气象局现场调查认为,18 点 10 左右还出现了龙卷,说明对流运动非常强烈。

从上海自动气象站网稠密的地面温度和风的记录中可以清楚地看到对流云底下沉冷空气在近地面形成的外流边界(outflow boundary),也称为阵风锋(gust front)或伪冷锋(pseudo cold front)^[1](图 2)。上海市的东半部气温很高,最高达到 35 °C;而西半部受对流天气的影响温度很低,东西两边的温度对比非常显著,在大约 20 km 的距离内有将近 10 °C 的温差。在风场上,东半部为东南风,西半部为西北风,而且风速明显大于东半部。很显然,东西部之间的风场不连续线(图 2b 中的粗虚线)是一条外流边界。它经过时地面风向突变,风力急剧加大,温度急

剧下降,呈现出典型的飑线现象。地面温度场和风场的连续变化表明,飑线是自西向东移过上海市的。因此可以断言,上海 712 的影响系统是一个非常强的对流系统,所以它造成的灾害以风灾为主。

虽然从云图上北京 710 云团的对流较上海 712 弱,但灾情报告中也有两人遭雷击受伤,同时因大雨和雷电延误的航班超过 200 个,33 个进港航班备降其他机场,说明北京 710 的云团也有相当强的对流性^[2]。从丰台气象站 23 mm/10 min 的强降水看,北京 710 云团内的上升气流也相当强。

根据水汽质量守恒定律,在局地比湿不变的情况下,单位面积上的降水量 R 应等于风场向单位面积气柱内的水汽辐合量^[3],即

$$R = \int_{p_0}^{p_t} \nabla \cdot \left(\frac{1}{g} \mathbf{V}q \right) dp \quad (1)$$

利用连续方程和质量补偿原理,并且不考虑比湿水平分布的不均匀性,上式的积分可近似为

$$R = \frac{1}{g} \bar{q}^p \omega_{500} \quad (2)$$

其中 $\bar{q}^p = \frac{1}{p_0 - p_t} \int_{p_0}^{p_t} q dp$,是整个大气层的平均比湿。

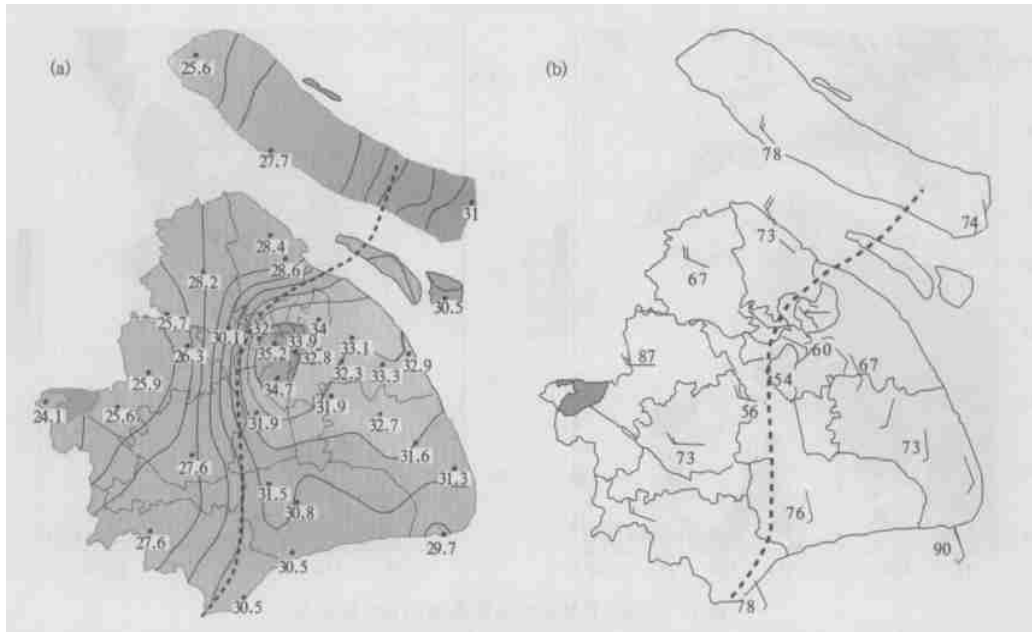


图2 上海自动气象站网观测到的地面温度(a)、风和相对湿度(b)
(等温线间隔为0.5℃,粗虚线为外流边界)

Fig. 2 Surface temperature at 18:12 (a) and winds, relative humidity at 18:10 (b) on July 12 in Shanghai observed by automatic meteorological stations

利用式(2)可从降水量反推出500 hPa的垂直速度 ω_{500} 。夏季高温高湿时 q' 为10 g/kg,按照丰台气象站10 min降水量23 mm,估算出的 ω_{500} 为 -376.4×10^{-3} hPa/s,相当于515.7 cm/s的上升速度,是典型的对流系统垂直速度的量级。由此可见,虽然北京710云团不具备典型的MCS云图特征,但它仍应属于对流云团,并带来非常强的对流性降水,值得给予高度重视。对北京710这类非典型的MCS的形成机理是一个非常值得研究的问题。

3 大尺度环流背景

北京710和上海712发生在同一的大尺度环流形势下,它的基本特征可以归结为两点:

3.1 季风极度北涌

大范围云图(图3a)上就可以看到,北京710云团发生在来自孟加拉湾和南海的季风云带的北端。云图上整个南亚地区的对流活动非常活跃,印度、孟加拉湾、中印半岛、南海都被浓密的对流云团所覆盖。从它们的排列上可以清楚地看出季风从孟加拉湾向北涌进到黄河下游。根据NCEP再分析资料绘制的印度洋和东亚的850 hPa流线图(图3b)可以印证上述卫星云图的分析结果,而且还进一步显示

出东亚季风的强烈北涌是和南印度洋的冬季风、索马里越赤道气流和印度季风相联系的。

东亚季风的强烈北涌是从7月5日开始的,从连续的卫星云图上可以清楚地看到它从南海逐渐向北推进到黄河下游的过程。它在向北推进的过程中曾在东南沿海和朝鲜半岛南部造成很强的对流活动。这一次季风强烈北涌7月8日到达朝鲜半岛后结束。随着高空槽在高原东侧加深,7月9日季风开始第2次强烈北涌。北京710和上海712这两次突发的强烈灾害性天气事件都发生在季风的第2次北涌过程中(图4)。事实上7月11日也有多个强烈的对流性云团发生,而且它们的发生位置和排列方式与12日的情况非常相似,都是在大规模云带东侧发生了多个对流云团,只是因位置偏西,没有影响上海。

北京710和上海712对流云团发生的位置有明显的不同。后者的强风暴云团发生在大规模锋面云带东侧的暖区中,这种现象在南方梅雨期和华北雨季中都很常见,但前者的局地暴雨云团发生在季风涌顶端的北面则比较少见。从7月10日的850 hPa的相当位温场和风场看(图5),中心强度达18 m/s的偏南风低空急流将低纬度暖湿气团输送到长江中游形成一个高的相当位温中心,北京位于向北伸

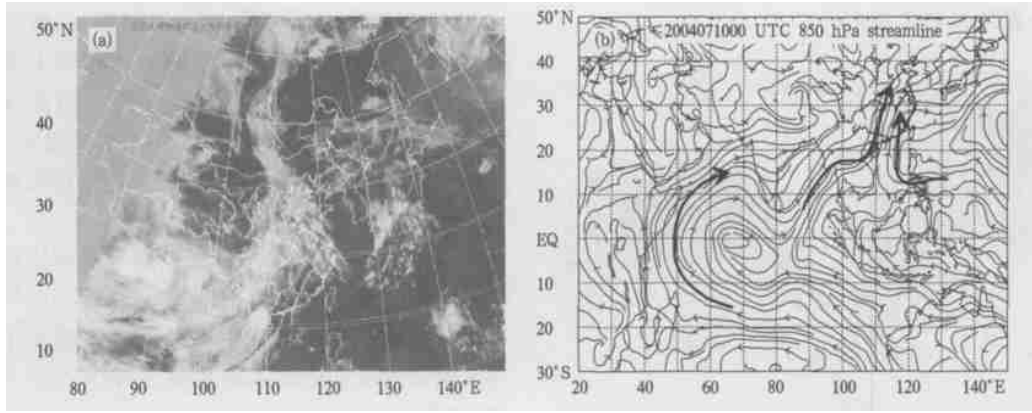


图 3 7 月 10 日 08:01 的 GOES 卫星红外云图(a) 和同时刻 NCEP 再分析 850 hPa 风场的流线分析(b) (图 b 中的粗实线分别代表索马里赤道气流和印度季风及南海季风)

Fig. 3 Infrared image of GEOS- 9 (a) and flow field at 850 hPa analyzed by NCEP (b) for 08:01 July 10, 2004

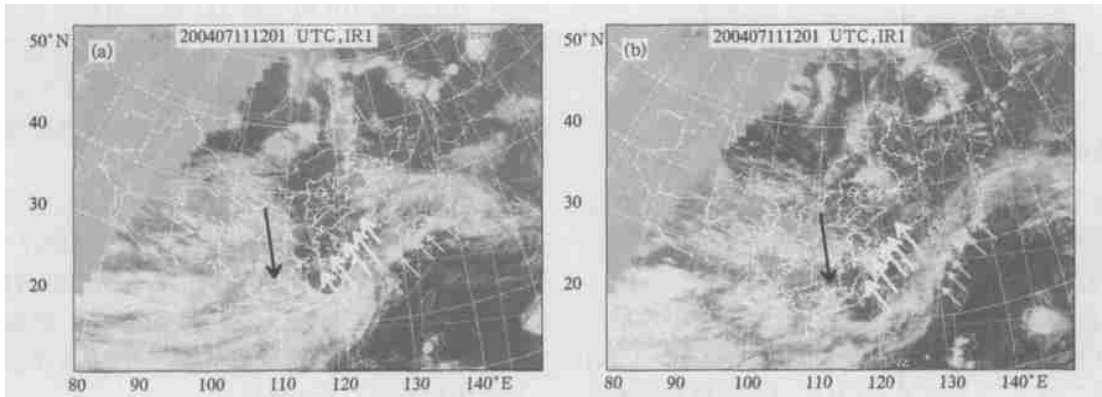


图 4 与图 3(a) 相同,但分别为 7 月 11 日 20:01(a)和 12 日 20:01(b) (图中白箭头所指为大尺度云带前方发生的中尺度对流群,黑箭头所指的暗区代表北方冷空气的南侵)

Fig. 4 Infrared images of GEOS- 9for 20:01 July 11 (a) and July 12 (b), 2004

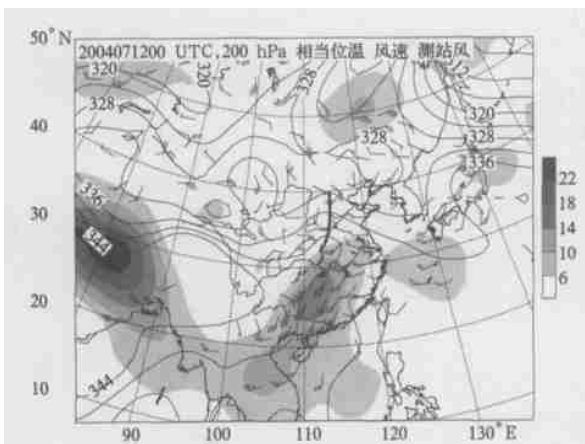


图 5 2004 年 7 月 10 日 08 时 850 hPa 风场和相当位温场(实线为等相当位温线,间隔 4 K;灰度等级表示全风速,间隔 4 m/s)

Fig. 5 Wind and equivalent potential temperature fields at 850 hPa for 08:00 July 10, 2004

展的高相当位温舌北端。该处又是偏南风 and 偏东风的汇合处,对产生暴雨是有利的。

3.2 稳定的经向环流

北京 710 和上海 712 的另一个共同点是都发生在稳定的经向型大尺度环流背景下。前面的云图中我们已经看到,大尺度的云带基本上呈南——北走向。其西侧是一片晴空区,并在 10~12 日 3 d 中不断向南伸展,反映了有冷空气从青藏高原东侧南下到华南。

高空风场大尺度环流背景的经向型特征非常突出。以 7 月 12 日 08 时的 200 hPa 风场为例(图 6),高空副热带西风急流分裂成一支偏南风高空急流和一支偏北风高空急流,两者之间是一个非常深的槽。西太平洋的副热带高压强而偏北。这种大尺度经向环流形势与 1981 年雷雨顺 10 个经向型持续性特大

暴雨的合成结果非常相似^[4]。

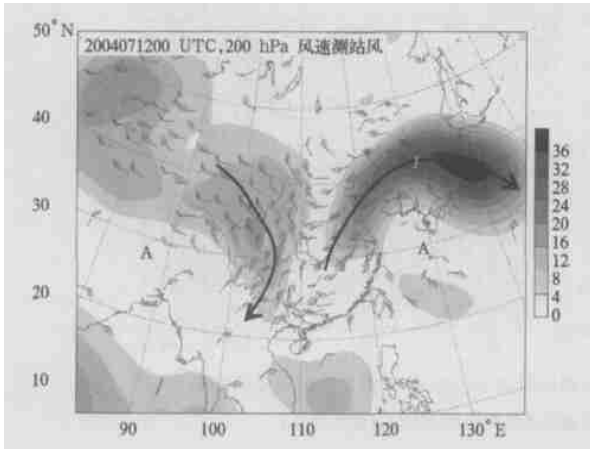


图6 2004年7月12日08时200 hPa风场
(灰度等级表示全风速, 间隔4 m/s, 粗虚线代表急流轴,
J表示急流中心, A表示反气旋中心的弱风速区)

Fig. 6 Wind field at 200 hPa for
08: 00 July 12, 2004

4 结论与思考

从上面对2004年7月10和12日分别在北京和上海发生的两次突发性灾害性天气事件的初步分析和对比中可以得出以下几点结论:

(1) 这两次突发性的灾害性天气都是由水平尺度100 km左右的中尺度对流系统(MCS)产生的; 在卫星云图上, 上海7月12日的对流云团具有典型

的MCS特征, 外形规则接近椭圆形, 边缘有密集的亮温(TBB)梯度, 它所伴随的飑线和闪电是造成灾害的主要原因; 北京7月10日的云团云顶温度较高, 外形不规则, 云图上MCS的特征很不典型, 但降水强度非常大, 其上升气流也达到对流系统的典型量级 $10^0 \sim 10^1$ m/s。

(2) 两次过程都发生在经向环流的大尺度背景下, 都和东亚季风极度的向北涌进及冷空气强烈南下有关; 但是两次过程中中尺度云团的发生位置不同, 前者发生在暖湿舌的北端, 后者发生在大尺度云带的前沿。

以上仅是从这两个个例中得到的初步研究结果, 更重要的是我们从中发现有以下几个非常值得深入研究的科学问题:

(1) 北京710和上海712的云图特征差异非常明显, 它们所带来的气象灾害也很不相同, 说明存在一种像北京710那样的非典型中尺度对流系统(MCS), 有必要对这类非典型MCS的发生条件和结构进行研究。

(2) 为什么在不同的位置会产生不同类型的MCS, 其初始对流的触发机制是否也不相同?

(3) 这两个个例发生在印度季风非常活跃(据新闻报道2004年夏季孟加拉国有2/3的国土被淹^[5])的情况下, 它是否意味着它们和该年全球大气环流的某种异常相联系?

参考文献

- 1 张玉玲. 中尺度动力学. 北京: 气象出版社, 1999. 157~ 161
- 2 高衫, 陈德媛. 200起降航班延误. 北京青年报, 2004年07月11日
- 3 陶祖钰, 谢安. 天气诊断分析原理和实践. 北京: 北京大学出版社, 1989. 131~ 134
- 4 雷雨顺. 经向型持续性特大暴雨的合成分析. 气象学报, 1981, 39(2): 166~ 180
- 5 刘襄. 孟加拉国天灾人祸多. 新华网, 2004年8月8日

SIMILARITIES AND DIFFERENCES BETWEEN TWO DISASTROUS WEATHER EVENTS OCCURRED IN BEIJING AND SHANGHAI JULY 2004 AND THE AROUSED SCIENTIFIC PROBLEMS (PRIMARY RESEARCH REPORT)

Tao Zuyu Ge Guoqing Zheng Yongguang Gao Fan

(Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

Wang Yingchun Chen Mingxuan

(Beijing Institute of Urban Meteorology, Beijing 100081)

Duan Yihong Yang Yinming

(Shanghai Institute of Typhoon, Shanghai 200030)

Abstract

Two disastrous weather events in July 2004, the local heavy precipitation caused the serious traffic jam in Beijing July 10 and a squall line associated with the severe convection caused seven lives loss in Shanghai July 12, turned into the focus of the public and government authority attention. The primary research of observational analysis and theoretical estimation suggested that both of them were caused by meso- β - scale convective systems (MCS). But, the infrared satellite images of GOES shown that the MCS caused heavy precipitation of Beijing had irregular external form, higher temperature of cloud top, un-smooth edge of cloud body, and weak temperature gradient. Those characteristics were different to the normal MCS. Otherwise, both two cases took place when the large-scale circulation were in very strong meridional situation and the Asia summer monsoon pushing northward exceedingly too, but the locations of two MCSs occurrence were different considerable. Finally, the scientific problems were suggested which are the internal structure and development conditions of this kind of atypical MCS, and the relationship between the exceedingly pushing northward of Asia summer monsoon and the global general circulation.

Key words: Heavy rainfall, Squall line, Convection, Monsoon, Meridional circulation.