

# Spatial and Temporal Distributions of Severe Convective Events and Statistical Characteristics of Convection Parameters over the Southern Part of Hebei Province

Congmei Wang<sup>1</sup>, Guocui Li<sup>2</sup>, Xiuxia Tian<sup>3</sup>, Yunling Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Xingtai Weather Office of Hebei Province, Xingtai

<sup>2</sup>Shijiazhuang Weather Office of Hebei Province, Shijiazhuang

<sup>3</sup>Handan Weather Office of Hebei Province, Handan

Email: cmwang6565@163.com

Received: Oct. 13<sup>th</sup>, 2012; revised: Nov. 8<sup>th</sup>, 2012; accepted: Nov. 17<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** Using the observational thunderstorm, thunderstorm gale, hail and rainstorm data at 50 meteorological stations in Xingtai, Shijiazhuang, Handan Districts of Hebei Province, China, and the convection parameters drawn from the MICAPS3 system during 1999-2008, spatial and temporal distributions of the severe convective events and several convective parameters have been analyzed. It has been shown that, on average, there are 74.8 thunderstorm days in a year over South Hebei, including 28.2 thunderstorm gale days, 9.4 hail days, and 12.3 rainstorm days. Strong convective weather does not appear in January, February and December. Most thunderstorm and heavy rain events appear in July, and most thunderstorm gale and hail appear in June. Strong convective weather usually occurs in the afternoon. Apparently, compared to the eastern part, more thunderstorm and hail events appear in the western region of the study area. Thunderstorm gales often appear in the central part, and the heavy rain events in the northwestern and southeastern parts. For the strong convective weather, the thermal and energy convection parameters, such as TT, K,  $T_{850-500}$  and CAPE, are all numerically higher. But the parameter of  $T_{850-500}$  for rainstorm is relatively small, indicating that the rainstorm occurrence is not caused by any strong vertical temperature variation. The dynamical parameter of the strong weather threaten index is always showing a larger value, but the Switzerland thunderstorm index always appears to be smaller, indicating those power parameters may be used as reference indexes to forecast strong convection potential. The small SI stability index (no larger than 1) and large  $\theta_{se850-500}$  (no less than 5) can always characterize the strong convection events. In addition, the convection-condensation height is lower, that is, the CCL value is larger for thunderstorm, hail and heavy rain events, but higher for thunderstorm gales. The heights where the temperature reaches 0 and -20 Degrees Celsius can be regarded as characterized heights for hail. The parameters show that convection seems to be stronger in July than in other months.

**Keywords:** Strong Convective Weather; Spatial and Temporal Distribution; Convection Parameters

## 河北省南部强对流天气的时空分布及对流参数统计特征

王丛梅<sup>1</sup>, 李国翠<sup>2</sup>, 田秀霞<sup>3</sup>, 杨允凌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>河北省邢台市气象局, 邢台

<sup>2</sup>河北省石家庄市气象局, 石家庄

<sup>3</sup>河北省邯郸市气象局, 邯郸

Email: cmwang6565@163.com

收稿日期: 2012年10月13日; 修回日期: 2012年11月8日; 录用日期: 2012年11月17日

**摘要:** 利用河北南部石家庄、邢台、邯郸三个地区 50 个县(市)气象站 1999~2008 年 10 年的雷暴、大风、冰雹和暴雨等观测资料以及由 MICAPS3 探空资料导出的同期对流参数, 对这一区域强对流天气事件的时空变化特征及相应对流参数的统计特征进行了分析总结。结果表明, 1999~2008 期间河北南部年平均雷暴日数为 74.8 d, 其中雷暴大风有 28.2 d, 冰雹有 9.4 d, 暴雨天气有 12.3 d; 10 年中 1、2 和 12 月份均未出现强对流天气, 雷暴

和暴雨天气最多出现在 7 月份, 而雷暴大风和冰雹天气则最多出现在 6 月份; 一般而言, 午后到傍晚为强对流天气的高发时段。研究区域西部的雷暴和冰雹天气明显多于东部, 雷暴大风多见于中部的平原上, 而西北和东南部则是暴雨的高发区。表征对流的参数中, 热力能量类参数, 如总指数 TT、K 指数、 $T_{850-500}$  和对流有效位能 CAPE 等, 总是在强对流天气出现的时候取值更大, 但暴雨的  $T_{850-500}$  取值却明显较小, 表明垂直方向上温度的强梯度不是发生对流性暴雨的必要条件; 表征强对流天气的动力参数——强天气威胁指数(SWEAT)在强对流事件中均表现为较高的数值, 瑞士雷暴(SWISS)指数则相反, 取值明显较低, 进一步分析表明动力类对流参数可被用作强对流潜势预报的参考指标; 表征层结稳定度的参数——沙氏指数较小( $SI \leq 1$ )、 $\theta_{se_{850-500}}$  较大( $\geq 5$ )是强对流天气比较显著的特征; 对流凝结高度(CCL)在雷暴、冰雹和暴雨事件中取值较低, 在雷暴大风事件中则取值较高。不同月份强对流天气的对流参数对比, 7 月份的对流参数大多表现出强于其它月份的特征。

**关键词:** 强对流天气; 时空分布; 对流参数

## 1. 引言

河北省南部出现的强对流天气主要包括雷暴、雷暴大风、冰雹和局地强降雨等灾害性天气, 是由发生在特定环境场中的对流系统造成的。李耀东<sup>[1]</sup>分析指出, 较强的热力不稳定和适宜的动力环境是强对流发展的基础, 各种对流参数结合对强风暴的预报有指示意义。王丽荣<sup>[2]</sup>通过统计石家庄的雷暴日和强雷暴日的对流参数, 发现不同月份和不同强度对流天气的气候特征有明显差别, 湿对流有效位能(Cape)和沙氏指数(SI)能较好反映强对流的一些特征。苏永玲<sup>[3]</sup>统计了 2001~2008 年 5~9 月京津冀地区雷雨大风、冰雹和短时暴雨 3 类强对流天气的时空分布和环流特征, 并通过典型个例的系统配置建立天气学概念模型。

本文利用河北南部的石家庄、邢台、邯郸三个地区 50 个县(市)气象站 1999~2008 年 10 年的雷暴、雷暴大风、冰雹和暴雨观测资料以及气象信息综合分析处理系统(MICAPS 系统 3.1 版)导出的对流参数, 对强对流天气时空分布特征及对流参数特征进行了统计分析, 以期对强对流天气预报提供参考。

## 2. 强对流天气时空分布特征

本文中的强对流天气事件, 雷暴或冰雹是指某日的观测现象中有雷暴或冰雹; 雷暴大风指某日的观测现象中有雷暴且伴有 8 级或 8 级以上的灾害大风; 暴雨指某日的观测现象中有雷暴且 24 小时雨量为 50 mm 及以上。本文统计的强对流天气日, 指石家庄、邢台、邯郸共 50 个气象站 1 天中有 1 站出现雷暴、雷暴大风、冰雹或暴雨中某一种或多种强对流天气事件的定义为 1 个强对流天气日。强对流天气出现的站次是指同一种强对流天气事件中出现在石、邢、邯三地的站点个数。以下分析的时空分布特征实际上是强对流日数的时间分布和强对流天气站次的空间分布特征。

### 2.1. 时间分布特征

#### 2.1.1. 年分布特征

1999~2008 年 10 年中逐年统计强对流天气发生的日数(图 1), 共发生雷暴天气 748 d, 年平均 74.8 d, 最多为 2000 年 82 d, 最少为 2007 年 63 d; 其中雷暴

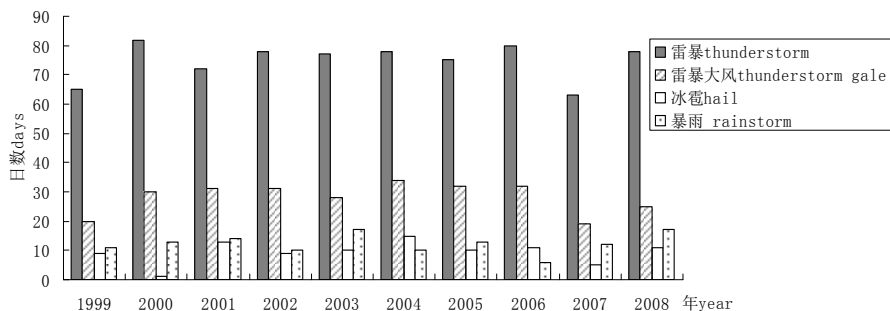


Figure 1. Day numbers of severe convective weather of 1999-2008 year by year in Shijiazhuang, Xingtai and Handan (day)  
图 1. 1999~2008 年石、邢、邯强对流天气逐年发生日数柱状图(单位: 天)

大风天气年平均 28.2 d, 最多 2004 年 34 d, 最少 2007 年 19 d; 冰雹天气年平均 9.4 d, 最多 2001 年 13 d, 最少 2000 年 1 d; 暴雨天气年平均 12.3 d, 最多 2003 和 2008 年 17 d, 最少 2006 年 6 d。

### 2.1.2. 月分布特征

1999~2008 年 10 年中逐月统计强对流天气的日数(图 2), 其中 1、2、12 月均无强对流天气出现。雷暴天气最早出现在 3 月 12 日(2008 年), 雷暴大风最早出现在 3 月 22 日(2008 年), 冰雹最早出现在 4 月 8 日(2005 年), 暴雨出现在 4 月 17 日(2003 年)。雷暴天气 7 月份出现最多, 平均出现 17.9 d, 6 月份次之平均出现 16.6 d。雷暴大风天气 6 月份出现最多, 平均出现 7.8 d, 7 月份次之的 6.4 d。冰雹天气 6 月份 3.1 d, 5 月份 1.7 d。暴雨天气 7 月份出现最多, 平均出现 4.9 d, 8 月份次之 3.6 d。

### 2.1.3. 日分布特征

图 3 中曲线为石、邢、邯三地雷暴、雷暴大风和冰雹三种强对流天气 10 年个例每个时次出现的站数。由于夜间缺少灾害时间的观测, 曲线中当日 20 时至次日 07 时的站数以平均数值代替显示。雷暴、雷暴大风和冰雹三种强对流天气均主要出现在午后, 14~19 时发生站数占全天的 43%, 其中 16、17、18 时是三种强对流天气出现最集中的时次。

## 2.2. 空间分布特征

河北省西南部的地形较为复杂, 地势东高西低, 具有山区、丘陵、平原等多种地貌特征, 西部为太行山脉, 海拔高度在 500~1000 m, 中部从山区向平原过度, 海拔高度在 100~500 m, 东部为平原, 海拔高度在 100 m 以下。

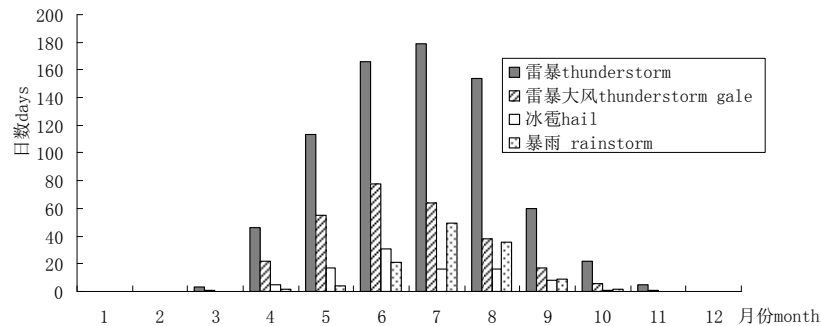


Figure 2. Monthly day numbers of severe convective weather of 1999-2008 year by year in Shijiazhuang, Xingtai and Handan (day)  
图 2. 1999~2008 年石、邢、邯强对流天气逐月发生日数柱状图(单位: 天)

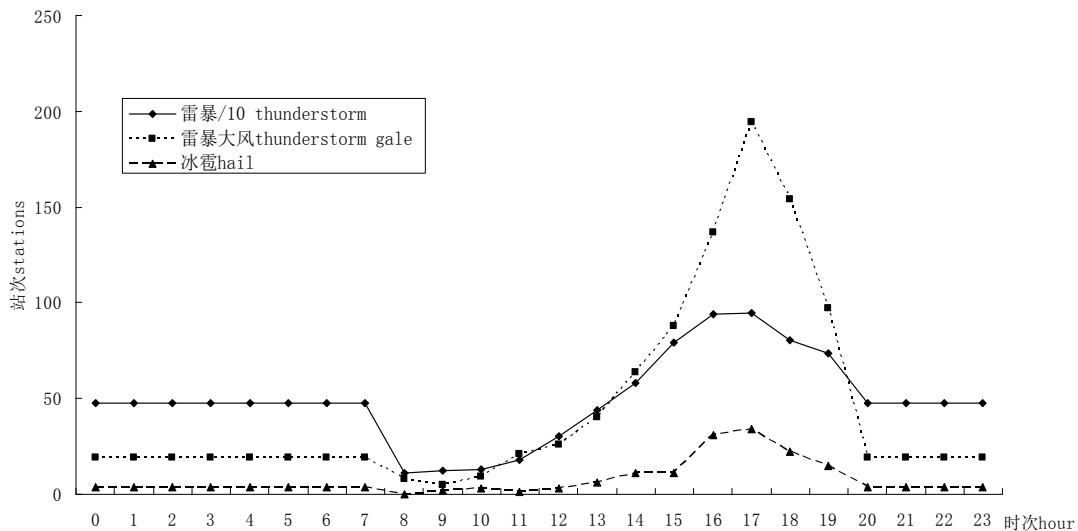


Figure 3. Hourly station numbers of severe convective weather of 1999-2008 year by year in Shijiazhuang, Xingtai and Handan  
图 3. 1999~2008 年石、邢、邯强对流天气逐时发生站数点线图

从石、邢、邯三地 1999~2008 年 10 年中雷暴总站次数的分布图来看(图 4(a)), 西部地区明显多于东部, 雷暴高发区位于石家庄西部, 井陘为雷暴次数大值中心(317 次/10y), 位于平原东南部的大名雷暴次数最少(156 次/10y)。雷暴大风的空间分布比较复杂(图

4(b)), 石家庄西部、中南部、邢台西北部、东南部和邯郸西部为高发区, 石家庄的赵县和邯郸的磁县为两个高发中心。冰雹的空间分布也呈现西多东少的特点(图 4(c)), 有两个冰雹高发区, 分别在石家庄正定和邯郸涉县, 都位于太行山东麓。暴雨的分布有明显不

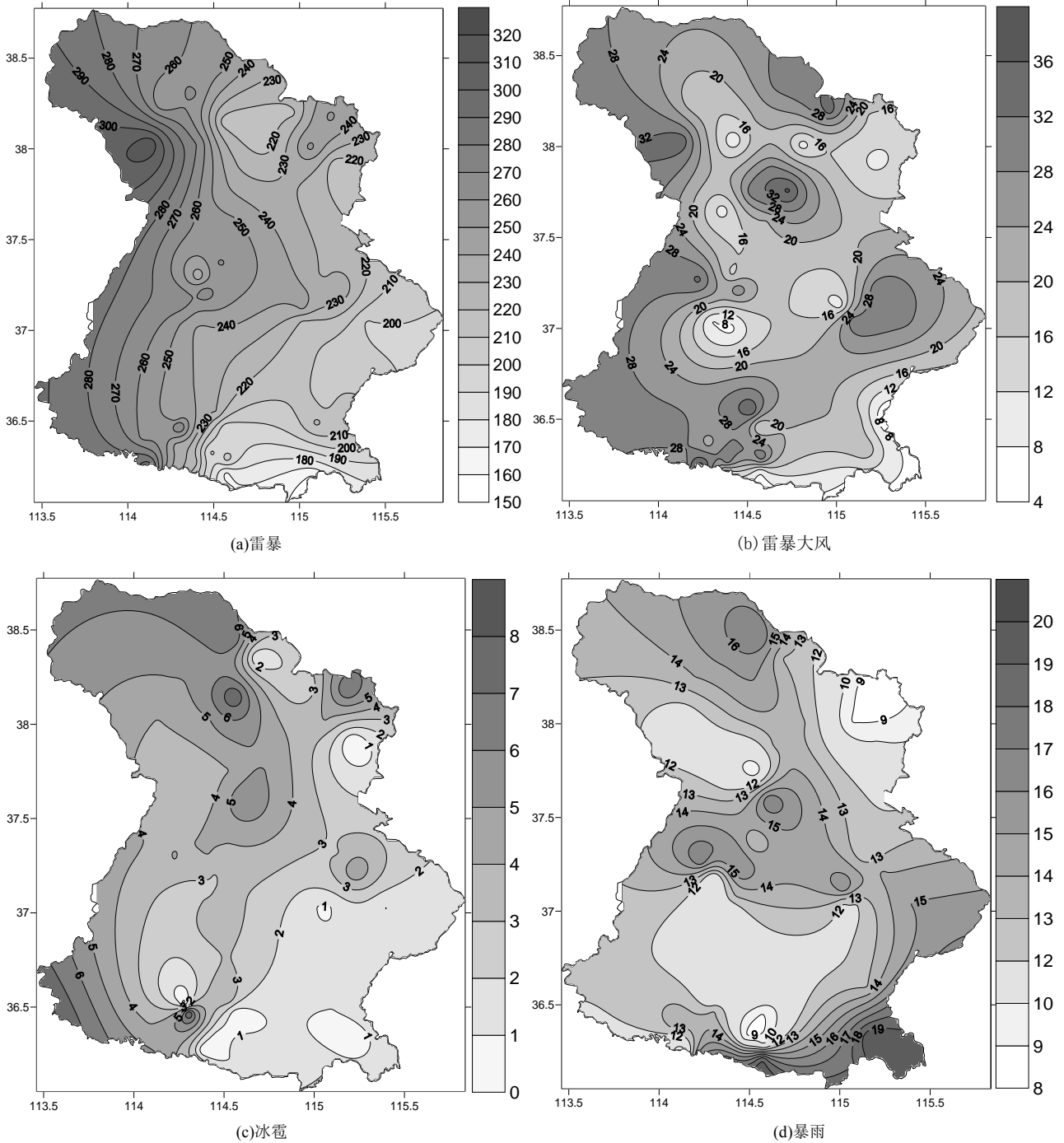


Figure 4. Station numbers spatial distribution of severe convective weather of 1999-2008: (a) Thunderstorm; (b) Thunderstorm gale; (c) Hail; (d) Rainstorm  
 图 4. 1999~2008 年强对流天气发生站(次)数空间分布图: (a) 雷暴; (b) 雷暴大风; (c) 冰雹; (d) 暴雨

同(图 4(d)), 雷暴和冰雹的多发区域却是暴雨的少发区域, 暴雨的高发区位于石家庄西部、北部、邢台西北部和邯郸东南部, 馆陶为三地暴雨发生最多的中心。

### 3. 对流参数统计特征

1999~2008 年期间 5~8 月的强对流日数占总数的 83.2%, 因此以下只统计分析 5~8 月的强对流参数, 以期对强对流天气潜势预报提取参考指标。

由于计算对流参数时多数应用单站探空资料中 850 hPa 以上的风、温、湿资料, 较少使用边界层资料, 尽管后者与局地对流天气密切相关; 假设单站对流参数可以表征周围 100 km 范围内的大气状态, 由邢台站探空资料计算出的对流参数可以用作河北省南部强对流天气预报的参考指标。

下文所用的对流参数是由气象信息综合分析处理系统(MICAPS3.1 版)中的 T-lnP 软件将探空资料计算和导出的, 软件导出的参数超过 40 个, 通过对比不同参数的数值以及其物理意义, 参考其他文献<sup>[4-6]</sup>, 选择了以下参数来表征对流强度, 其中包括总指数(TT)、K 指数(K)、850 hPa 与 500 hPa 温度差( $T_{850-500}$ )、湿对流有效位能(Cape)、沙氏指数(SI)、850 hPa 与 500 hPa 的  $\theta_{se}$  差( $\theta_{se_{850-500}}$ )、整层比湿积分(TQ)、强天气威胁指数(SWEAT)、瑞士雷暴 1(SWISS00)、瑞士雷暴 2(SWISS12)、0 度高度(ZH)、-20 度高度(ZH20)和对流凝结高度(CCL)等。这些指数中, TT、K、 $T_{850-500}$ 、Cape 为热力能量类参数, 由不同高度的温度、露点计算得到的, 低空水汽愈丰沛、层结愈不稳定, 热力能量指数值愈大; 作为稳定度指数, SI 指数值越小或  $\theta_{se_{850-500}}$  值越大表明大气越不稳定; TQ 作为湿度类指数, 湿度越大值越大; SWEAT 和 SWISS 为热力动力综合指数, 为热力学和动力学参数组合而成, 反映了不稳定能量与风垂直切变对风暴强度的综合作用, SWEAT 指数值越高发生强雷暴的可能性越大, 而 SWISS 值越小发生强雷暴的可能性越大; ZH、ZH 和 CCL 可作为表征特殊高度类指数。这些表征动力、水汽和层结条件的参数可综合反映出对流大气的基本状态。

#### 3.1. 不同强对流天气事件的对流参数对比

首先计算了邢台单站 10 年中 5~8 月逐日 08 和 20 时的对流参数, 然后分别针对河北南部四种强对流天

气, 对其发生之前 08 时和 20 时的对流参数做平均, 再与无对流天气时的相应量作比较, 发现: 强对流天气的总指数(TT) > 45℃, 其中冰雹的总指数最高, 暴雨的总指数最小(表 1); K 指数 > 28℃, 暴雨的 K 指数最大, 雷雨大风的 K 指数最小; 850 hPa 与 500 hPa 两高度处的温度差( $T_{850-500}$ )都在 25℃以上, 雷雨大风的  $T_{850-500}$  最大, 甚至在 29℃以上, 暴雨的  $T_{850-500}$  较小, 甚至低于无对流天气时的平均值, 表明对流性暴雨的发生不一定需要垂直方向上的温度梯度很大。强对流事件中, 湿对流有效位能(Cape)的平均值均大于 700 J·kg<sup>-1</sup>, 其中暴雨最大, 为 991.2 J·kg<sup>-1</sup>; 沙氏指数(SI) ≤ 0.2℃, 其中冰雹的沙氏指数最小, 雷暴的沙氏指数最大; 850 hPa 与 500 hPa 高度上的  $\theta_{se}$  差( $\theta_{se_{850-500}}$ ) > 5℃, 冰雹最大, 为 7.7℃; 整层比湿积分(IQ) > 3400 g·hPa/kg, 暴雨的 IQ 最高, 冰雹最低; 强天气威胁指数(SWEAT) > 190, 暴雨指数最大, 为 222.7; 瑞士雷暴 1(SWISS00)和瑞士雷暴 2(SWISS12)分别 ≤ 2.0 和 ≤ 3.4, 暴雨的两个瑞士雷暴指数均较小; 暴雨的对流凝结高度(CCL)最低, 在 867.2 hPa 高度上, 雷雨大风的 CCL 位置最高, 在 793.4 hPa。0 度高度(ZH)和-20 度高度(ZH20)是通常人们所公认的适宜冰雹成长的高度, 值得注意的是, 就对流和非对流天气相比, 两者均无太大差异, 计算表明, 冰雹日的 0 度高度和-20 度高度平均值分别约为 4200 m 和 7300 m。

Table 1. Comparison on the mean convective parameters respectively for four types of severe convective weather and no severe convective weather days

表 1.4 类强对流天气与无对流天气的对流参数对比

|                              | 雷暴     | 雷雨大风   | 冰雹     | 暴雨     | 无对流天气  |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TT (°C)                      | 46.3   | 48.0   | 48.9   | 45.6   | 40.7   |
| K (°C)                       | 29.7   | 28.8   | 29.7   | 33.0   | 20.8   |
| $T_{850-500}$ (°C)           | 27.1   | 29.3   | 28.8   | 25.4   | 26.0   |
| Cape (J·kg <sup>-1</sup> )   | 729.6  | 770.3  | 928.1  | 991.2  | 334.8  |
| SI (°C)                      | 0.2    | -0.2   | -0.6   | -0.4   | 4.1    |
| $\theta_{se_{850-500}}$ (°C) | 5.5    | 6.8    | 7.7    | 7.4    | -0.8   |
| TQ (g·hPa/kg)                | 3859.4 | 3499.4 | 3461.3 | 4690.3 | 3014.0 |
| SWEAT (无量纲)                  | 195.7  | 191.7  | 203.2  | 222.7  | 135.4  |
| SWISS00 (无量纲)                | 2.0    | 1.6    | 1.3    | 1.2    | 6.7    |
| SWISS12 (无量纲)                | 3.4    | 3.3    | 2.8    | 2.3    | 8.5    |
| ZH (m)                       | 4526.1 | 4354.9 | 4294.7 | 4777.3 | 4399.4 |
| ZH20 (m)                     | 7660.8 | 7421.6 | 7321.7 | 8062.8 | 7582.6 |
| CCL (hPa)                    | 826.8  | 793.4  | 806.4  | 867.2  | 790.4  |

### 3.2. 不同月份强对流天气的对流参数对比

表2中分别为5~8月不同月份强对流天气平均的对流参数值。对比可以看到不同月份强对流天气的热力、动力、水汽和特殊高度条件不尽相同。5月份的K、TQ、 $\theta_{se_{850-500}}$ 都明显低于其它月份,SI和SWISS00、SWISS12明显高于其它月份,表明5月份的热力和动力条件相对较弱;但 $T_{850-500}$ 相对最大,表明上冷下暖的层结结构较为显著;6月份的TT和 $T_{850-500}$ 相对最大,SI相对最小,表明6月份强对流天气的高低空温度递减率都是最大的,即上冷下暖的层结结构最显著,而5、6月份的动力条件相对较弱。7月份的参数大多表现出强于其它月份的特征,如K、Cape、 $\theta_{se_{850-500}}$ 、TQ、SWEAT、SWISS00、SWISS12都表现出较大的值,SI表现出较小的值,表明7月份的热力和动力条件相对较强。8月份的K、Cape、 $\theta_{se_{850-500}}$ 、TQ也都比5、6月份的值更大一些,表明7、8月份低层的热力水汽条件更强。从特殊高度对比,5月强对流天气的0度层高度和-20度层高度均低于其它月份,7月份强对流天气的0度层高度和-20度层高度均为最高,分别为4848.8 m和8124.2 m。5、6月份对流凝结高度在较高的层次,7、8月份对流凝结高度在较低的层次。

Table 2. Comparison on the average convective parameters on severe convective weather of different months  
表2. 不同月份强对流天气平均对流参数对比

|                              | 5月     | 6月     | 7月     | 8月     |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| TT (°C)                      | 47.9   | 48.6   | 45.6   | 44.8   |
| K (°C)                       | 23.2   | 29.3   | 33.2   | 31.6   |
| $T_{850-500}$ (°C)           | 29.5   | 29.5   | 25.7   | 25.5   |
| Cape (J·kg <sup>-1</sup> )   | 318.5  | 565.7  | 1099.8 | 988.2  |
| SI (°C)                      | 1.3    | -0.4   | -0.4   | 0.2    |
| $\theta_{se_{850-500}}$ (°C) | 1.6    | 6.4    | 7.8    | 6.7    |
| TQ (g·hPa/kg)                | 2430.6 | 3292.3 | 4745.1 | 4520.3 |
| SWEAT<br>(无量纲)               | 161.8  | 197.9  | 219.1  | 201.3  |
| SWISS00<br>(无量纲)             | 3.4    | 1.4    | 1.2    | 1.9    |
| SWISS12<br>(无量纲)             | 5.1    | 3.1    | 2.3    | 3.1    |
| ZH (m)                       | 3982.0 | 4240.7 | 4848.8 | 4765.8 |
| ZH20 (m)                     | 6813.0 | 7306.3 | 8124.2 | 8026.7 |
| CCL (hPa)                    | 781.3  | 774.0  | 865.1  | 866.1  |

### 4. 结论

1) 1999~2008 期间河北南部年平均雷暴日数为74.8 d, 其中雷暴大风有28.2 d, 冰雹有9.4 d, 暴雨天气有12.3 d。1、2、12月均无强对流天气出现。雷暴和暴雨天气最多出现在7月份, 而雷暴大风和冰雹天气则最多出现在6月份。一般而言, 午后到傍晚为强对流天气的高发时段。研究区域西部的雷暴和冰雹天气明显多于东部, 雷暴大风多见于中部的平原上, 而西北和东南部则是暴雨的高发区。

2) 表征对流的参数中, 热力能量类参数, 如总指数TT、K指数、 $T_{850-500}$ 和对流有效位能CAPE等, 总是在强对流天气出现的时候取值更大, 但暴雨的 $T_{850-500}$ 取值却明显较小, 表明垂直方向上温度的强梯度不是发生对流性暴雨的必要条件; 表征强对流天气的动力参数——强天气威胁指数(SWEAT)在强对流事件中均表现为较高的数值, 瑞士雷暴(SWISS)指数则相反, 取值明显较低, 进一步分析表明动力类对流参数可被用作强对流潜势预报的参考指标; 表征层结稳定度的参数——沙氏指数较小( $SI \leq 1$ )、 $\theta_{se_{850-500}}$ 较大( $\geq 5$ )是强对流天气比较显著的特征; 对流凝结高度(CCL)在雷暴、冰雹和暴雨事件中取值较低, 在雷暴大风事件中则取值较高。另外, 0度和-20度高度对区分不同强对流天气的参考意义不是很大。

3) 不同月份强对流天气的对流参数对比, 7月份的对流参数大多表现出强于其它月份的特征。5、6月份强对流天气的高低空温度递减率较大, 即上冷下暖的层结结构较为显著, 但5、6月份的动力条件相对较弱。7、8月份低层的热力水汽条件更强, 7月份动力条件相对最强。5月强对流天气的0度层高度和-20度层高度均低于7、8月份, 对流凝结高度在较高的层次, 7月份强对流天气的0度层高度和-20度层高度均为最高。

### 5. 致谢

本文由河北省气象局科研项目(11ky41)予以资助。

### 参考文献 (References)

- [1] 李耀东, 刘建文, 高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究[J]. 气象学报, 2004, 62(4): 401-409.

- [2] 王立荣, 王丽荣, 匡顺四. 对流参数气候特征在短期预报中的应用[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(5): 39-41.
- [3] 苏永玲, 何立富, 巩远发等. 京津冀地区强对流时空分布与天气学特征分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 177-194.
- [4] 梁明珠, 向华, 盛琼. 强对流天气潜势预报研究[A]. 第 26 届中国气象学会年会灾害天气事件的预警、预报及防灾减灾分会场论文集[C], 杭州: 中国气象学会, 2009: 2357-2364.
- [5] 郝莹, 姚叶青, 陈炎等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象, 2007, 33(1): 51-56.
- [6] 王丽荣, 裴玉杰, 陈明轩等. 北京对流性天气的高空气候背景分析[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(5): 1-7.