

14 时探空在改进北京地区对流天气 潜势预报中的作用

廖晓农¹ 俞小鼎² 谭一洲³

(1. 北京市气象台, 100089; 2. 中国气象局培训中心; 3. 电子科技大学计算机学院)

提 要: 为了探讨增加 14 时探空对于对流天气短时临近潜势预报的作用, 用 1995—2005 年北京地区 22 个人工观测站资料统计了夏季常见的对流天气日变化特征。结果表明, 41.6% 的雷阵雨、61.3% 的冰雹以及 58.5% 的雷暴大风发生在 15—20 时之间。利用探空资料计算并对比了出现在 2006 年 7—9 月 14 时探空释放后到 20 时期间 11 个雷暴个例的 08 时和 14 时 BCAPE、DCAPE、CIN 等对流参数。结果表明, 对于多数个例, 在判断对流是否发生时 14 时探空优于 08 时。因此, 增加 14 时探空对于提高对流天气有无预报准确率有帮助。

关键词: 加密探空 对流天气预报 气候特征 对流参数

Improvement of Convective Weather Forecasting with Enhanced 1400 BST Sounding Data

Liao Xiaonong¹ Yu Xiaoding² Tan Yizhou³

(1. Beijing Weather Forecasting Office, Beijing 100089; 2. Training Center, China Meteorological Administration;
3. University of Electronic Science and Technology of China)

Abstract: Eleven year (1995—2005) data from 22 observation stations are used in the statistic analysis in order to get the diurnal variation characteristics of convective weather events in Beijing area. The results show that 41.6% thunder showers, 61.3% hail events and 58.5% gale wind gust events occurred in the period from 1500 BST to 2000 BST. Seven cases in July and August, 2006 are selected to test whether or not the 1400 BST sounding data are useful for the improvement in forecasting thunderstorms after 1400 BST. Some convection diagnostic parameters such as CAPE, DCAPE and CIN are calculated based on the sounding data of both 0800 BST and 1400 BST. The results of comparison indicate that 1400 BST sounding data are more helpful than 0800 BST sounding data in forecasting convective weather.

Key Words: 1400 BST sounding convection potential forecast climatologic characteristics convective parameter comparison

引言

目前,我国绝大多数探空站每天施放两次探空气球,以获得北京时间08时和20时的气象要素垂直分布。众所周知,产生对流天气的系统时空尺度较小,有相当一部分冰雹、雷暴大风、局地强降雨等高影响天气生消在两次探空之间。缺乏对流天气发生临近时刻的探空资料是制约预报水平进一步提高的因素之一。而数值预报模式在预报大气温湿廓线方面精度较差^[1],因此有必要探讨增加14时探空对发生在14—20时之间的对流天气预报的作用。本文在对1995—2005年北京地区的雷阵雨、冰雹和雷暴大风等天气的日变化特征进行分析的基础上,利用2006年北京区域中心为备战2008年奥运气象服务而加密的探空资料,通过对比根据08时和14时探空计算的几个对流参数,包括最大对流有效位能^[2]、下沉对流有效位能^[3]和对流抑制能量^[4],阐述了14时探空在改进对流天气潜势预报中的作用。

1 北京地区对流天气的日变化特点

本文利用北京地区人工观测站的资料统计了出现在1995—2005年间的雷阵雨、冰雹和雷暴大风等对流性天气的日变化特征。其中,雷暴大风的定义参见廖晓农等的定义^[5]。

1.1 雷阵雨的日变化特征

雷阵雨是北京地区夏季常见的对流性天气现象,在白天其日变化呈双峰分布(图1a)。两个峰值分别出现在13—14时和15—16时。统计结果表明,在1995—2005

年期间有41.6%的个例出现在15—20时。

1.2 冰雹的日变化特征

由于冰雹总是与雷阵雨相伴出现,因此两者的日变化特征非常相似(图1b)。从13时到14时频数陡增。14—19时是冰雹集中出现的时间,其中又以15—16时冰雹发生的频数最多。出现在可以使用14时探空做潜势预报的时间内(即15—20时)的个例占61.3%。

1.3 雷暴大风的日变化特征

北京地区的雷暴大风日变化(图1c)与雷阵雨和冰雹有比较大的差别。其主要原因是,并非每次雷暴大风出现时都伴有降水。图1c表明,午后到傍晚雷暴大风产生频率较

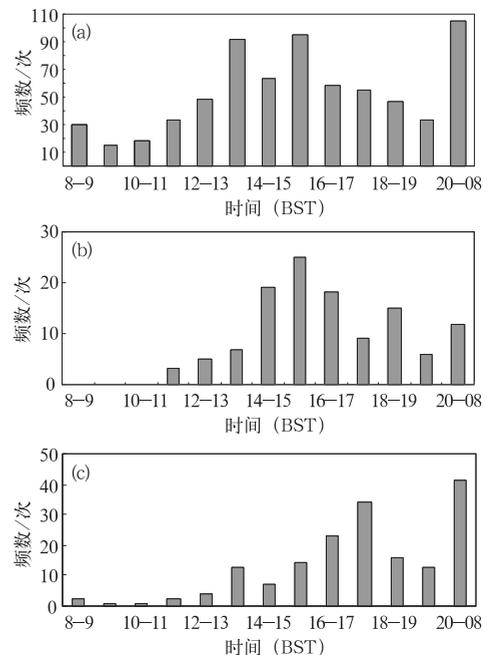


图1 1995—2005年北京地区对流天气日变化图
(a) 雷阵雨 (b) 冰雹 (c) 雷暴大风

高。15—20 时的个例数占总数的 58.5%。其中又以 16—18 时最为集中。

上述气候统计结果表明,40%以上的对流天气发生在 15—20 时。因此,如果临近探空对于对流天气的发生具有更好的指示意义的话,那么增加 14 时探空将有助于改善一定比例的对流天气潜势预报。

2 08 时和 14 时探空对流参数对比

临近探空能更好地反映对流天气发生时大气的状况。但是,它究竟对于改进对流天气的潜势预报是否有帮助呢?即增加 14 时探空是否有意义呢?本文利用加密的探空资料并选取了北京地区该期间出现在可以利用 14 时探空资料期间的 11 个对流天气个例,对比了 08 时和 14 时对流天气预报和研究中一些常用的对流参数的差别。

2.1 个例概述

本文的个例涵盖了局地短时强降水、冰雹、雷雨大风和雷阵雨等北京地区夏季常见的对流天气(表 1)。其中,7 月 13 日、23 日、8 月 8 日、12 日、25 日、9 月 7 日、11 日和 12 日为一般雷阵雨过程。造成雷阵雨天气的对流云分为局地生成和上游移入两类(图略)。7 月 12 日、20 日和 8 月 1 日则属于强对流个例。2006 年 7 月 12 日,经张家口并以西北路径移向北京的雷暴云(图略)给门头沟和石景山带来了短时强降雨(10 分钟降水量为 20mm)。汤河口和佛爷顶的阵风达到 8 级以上。八达岭出现了直径为 1cm 的冰雹。8 月 1 日是另外一个冰雹和大风个例。雷暴云的母体来自河北的张家口(图略)。在雷暴云活动的路径上,北京西部的斋堂地区观测到了 $21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬时阵风和 1.2cm 直径的冰雹。此外,房山的霞云岭和海淀也降了小冰雹。造成 7 月 20 日平谷地区雷雨和大风(阵风 $23.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

的对流云源于河北省的赤城附近。

表 1 2006 年 7—9 月北京地区 11 个对流天气个例及天气概况

| 日期 | 天气概况 | 第一个雷暴 | |
|-------------|---------------|-------|-------|
| | | 测站 | 时间 |
| 2006. 7. 12 | 局地短时强降水、冰雹、大风 | 佛爷顶 | 17:20 |
| 2006. 7. 20 | 雷雨大风 | 平谷 | 15:15 |
| 2006. 8. 1 | 雷雨大风,冰雹 | 佛爷顶 | 14:41 |
| 2006. 7. 13 | 雷阵雨 | 顺义 | 18:37 |
| 2006. 7. 23 | 雷阵雨 | 上甸子 | 16:30 |
| 2006. 8. 8 | 雷阵雨 | 延庆 | 18:30 |
| 2006. 8. 12 | 雷阵雨 | 延庆 | 17:15 |
| 2006. 8. 25 | 雷阵雨 | 观象台 | 17:45 |
| 2006. 9. 7 | 雷阵雨 | 丰台 | 17:23 |
| 2006. 9. 11 | 雷阵雨 | 上甸子 | 17:03 |
| 2006. 9. 12 | 雷阵雨 | 汤河口 | 15:50 |

2.2 对流参数对比

使用 08 时和 14 时的探空资料分别计算了 11 个个例的最大对流有效位能(BCAPE)、对流抑制能量(CIN)和雷暴大风个例的下沉对流有效位能(DCAPE)(表 2)。其中,BCAPE 是指将起始抬升高度选定为假相当位温所在高度计算得到的有效位能。其含义为有可能转化为动能之位能的最大值。正如 Rochette 等^[6]指出的那样,使用最大对流有效位能是为了更好地预测对流发生的可能性。表 2 表明,11 个个例中有 8 个个例的 14 时 BCAPE 大于 08 时,即单纯从最大对流有效位能的角度来说,获得临近探空对于对流天气的预报是有意义的。而且,对于有些个例临近探空的作用比较明显。例如:7 月 12 日和 8 月 12 日,从 08 时到 14 时 BCAPE 明显增大。预报员有可能依据环境条件的演变做出更加正确的判断。在大风个例中,临近探空同样也表现出了它的价值。对于出现在 7 月 12 日和 20 日的两次过程,反映环境条件是否有利于雷暴大风产生的物理量——DCAPE 在 08 时不足 $700\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$; 但 14 时的 DCAPE 分别达到了 $1570.1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和

$1461.7\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,超过了北京地区雷暴大风日 DCAPE 的平均水平^[5]。在北京地区,当 DCAPE 小于 $700\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,雷暴大风出现的几率非常小。因此,仅仅依靠 08 时探空资料很难预报出这两次大风天气,而 14 时探空所提供的新信息将有助于预报员修正对流天气的预报。

表 2 基于 08 时和 14 时探空计算的对流参数

| 时间 | BCAPE/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ | | DCAPE/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ | | CIN/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ | |
|-----------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|------------------------------------|------|
| | 08 时 | 14 时 | 08 时 | 14 时 | 08 时 | 14 时 |
| 2006.7.12 | 49.7 | 930.0 | 624.7 | 1570.1 | 0 | 0 |
| 2006.7.20 | 230.1 | 400.9 | 1108.3 | 1461.7 | 97.1 | 0 |
| 2006.8.1 | 885.1 | 497.2 | 1238.7 | 978.0 | 155.2 | 0 |
| 2006.7.13 | 1073.1 | 1373.2 | — | — | 0 | 0 |
| 2006.7.23 | 0 | 57.5 | — | — | ∞ | 0 |
| 2006.8.8 | 1292.1 | 883.0 | — | — | 282.2 | 0 |
| 2006.8.12 | 951.7 | 1646.5 | — | — | 66.5 | 0 |
| 2006.8.25 | 785.1 | 308.3 | — | — | 42.3 | 0 |
| 2006.9.7 | 0 | 172.9 | — | — | ∞ | 0 |
| 2006.9.11 | 0 | 47.6 | — | — | ∞ | 28.5 |
| 2006.9.12 | 0 | 274.9 | — | — | ∞ | 0 |

(表中 CIN 为 ∞ 表示自由对流高度在 300hPa 以上)

为了进一步说明临近探空的作用,本文又选择了 3 个出现在 20 时(BST)之后的个例并计算了相应的对流参数(表 3)。其中,7 月 8 日和 9 日两天入夜后的对流活动给北京海淀、石景山等地带来了短时强降水。8 月 9 日夜间为一般雷阵雨。从 08 时到 14 时,3 个个例的 BCAPE 均有不同程度的增加。尤其是 7 月 8 日,其增加值超过了 $600\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。到临近时刻(20 时),7 月 9 日和 8 月 9 日的最大对流有效位能分别达到了 $1492.3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2171.3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,对于即将发生的对流天气之指示意义较 14 时更优。

当然,仍然存在一定比例的个例(2006 年探空加密期间可以使用 14 时探空的时间段内为 3 个个例),临近探空对预报员的帮助不大,14 时的有效能量小于 08 时。通过分析天气形势和探空曲线发现(图略),造成 14 时 BCAPE 较 08 时小的主要原因是太阳加

热使得近地面层升温,在露点变化不大的情况下,温度露点差增大。而 BCAPE 对于对流层底层的湿度是敏感的(例如 8 月 1 日和 8 日)。8 月 1 日 DCAPE 减小主要是由于对流层中层槽靠近时分布在系统附近的湿区造成中层大气的湿度增加。

在 CIN 较小 CAPE 较大的环境中,对流最有可能发生。在 11 个个例中,有 9 天在 08 时都存在不同厚度的稳定层,特别是 7 月 23 日、9 月 7 日、11 日和 12 日 08 时大气非常稳定,自由对流高度在 300hPa 以上。但是,临近探空显示这些个例的 CIN 在对流天气出现前均减小为 0 或降低到较低的水平。Crook 等^[7]指出,当 CIN 降低为 0 时,深厚湿对流将沿着辐合线发展。尽管 Conrad 等^[8]在后来的研究中发现 CIN 降低为 0 并不是深对流发生的充分条件,但是他们同时也指出在对流发生前对流抑制能量降低到一个较低的水平(小于 $20\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)也是必要的。在其它个例的分析中也得到了类似的结论^[9]。因此,本文中个例 CIN 的变化可以被认为是对流即将发生的指示。8 月 1 日 08 时 CIN 达到 $150\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,如果没有足够强的抬升机制,对流很难发展。而到 14 时 CIN 减小为 0,这时几乎不需要什么触发力就可以使对流发生。因此,尽管从 08 时到 14 时 BCAPE 降低了,但是仍然有对流天气出现。

2006 年 7—9 月北京上游的张家口站也进行了加密观测。本文计算了雷暴云经过张家口移入北京的 3 个个例张家口之对流参数(表 4)。表 4 表明,上游探空对于下游地区预报对流天气的发生是一个有力的补充工具。在有些情况下,上游探空站距离雷暴起始地点的距离比北京南郊探空站更近,因此可以较好地反映对流发生时的环境大气条件。对于下游的预报员来说相当于探空被再次加密,从而可以帮助他们预测本地条件的演变趋势。7 月 23 日的雷阵雨过程就是很

好的例子。与北京相比张家口的 BCAPE 在午后增加的幅度更大。此外,从 8 月 1 日有效能量对比来看,如果将上下游探空、上游天气实况以及上游雷达观测资料等结合起来使用,预报类似的对流天气发生也并不是不可能的。

表 3 基于 08 时、14 时和 20 时探空计算的对流参数

| 时间 | BCAPE/ $J \cdot kg^{-1}$ | | | CIN/ $J \cdot kg^{-1}$ | | |
|----------|--------------------------|-------|--------|------------------------|------|------|
| | 08 时 | 14 时 | 20 时 | 08 时 | 14 时 | 20 时 |
| 2006.7.8 | 228.1 | 830.0 | 704.8 | 0 | 0 | 0 |
| 2006.7.9 | 199.4 | 584.7 | 1492.3 | 83.7 | 0 | 54.7 |
| 2006.8.9 | 306.6 | 422.0 | 2171.3 | 282.2 | 0 | 0 |

表 4 张家口和北京 08 时及 14 时的对流参数

| 时间 | | BCAPE/ $J \cdot kg^{-1}$ | | DCAPE/ $J \cdot kg^{-1}$ | |
|-----------|------|--------------------------|-------|--------------------------|--------|
| | | 张家口 | 北京 | 张家口 | 北京 |
| | | 2006.7.12 | 08 时 | 0 | 49.7 |
| | 14 时 | 830.7 | 930.0 | 1486.0 | 1570.1 |
| 2006.8.1 | 08 时 | 0 | 885.1 | 747.0 | 1238.7 |
| | 14 时 | 856.0 | 497.2 | 1151.6 | 856.5 |
| 2006.7.23 | 08 时 | 0 | 0 | — | — |
| | 14 时 | 974.2 | 57.5 | — | — |

3 结 语

为了考察增加 14 时探空在北京地区对流天气预报中的必要性,本文分析了出现在 1995—2005 年期间的雷阵雨、冰雹和雷暴大风等 3 类对流天气的日变化特征。结果表明,午后到傍晚是北京地区对流天气的高发时间段。如果增加 14 时探空,那么就可以得到 40% 以上的对流天气发生前最临近的气象要素垂直分布状况。

有了临近探空资料是否可以改进北京地区对流天气的潜势预报呢? 本文对比了由 08 时和 14 时探空计算的主要对流参数,得到了以下结论:

(1) 临近探空(即 14 时探空)对预报对流是否发生具有较高的价值。在多数个例中,用 14 时探空计算出来的 BCAPE 等对流

参数对于对流天气发生的指示意义优于 08 时。它不仅减少了漏报的概率,同时也增强了预报员继续预报雷暴发生的信心;

(2) 对比探空加密期间张家口和北京的对流参数发现,上游加密探空对于提高下游对流天气的准确率有非常重要的帮助。

本文利用了 2006 年 7—9 月北京地区 11 个个例来说明增加 14 点探空对于对流天气短时临近预报的作用只是一个初步的研究,为了确定是否有必要在我国对流天气多发区普遍增加 14 点探空,需要对更大范围内大量的个例进行分析。

参 考 文 献

- [1] 李佳英,俞小鼎,王迎春. 用探空资料检验中尺度数值模式对强对流天气的诊断分析能力[J]. 气象, 2006, 32(7):13-17.
- [2] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社,2005:93.
- [3] 赵秀英,彭治班,吴宝俊,等. 下沉对流有效位能[J]. 气象,2000,26(6):封三.
- [4] Colby F. P.. Convective Inhibition as A Predictor of Convection During AVE-SESAME [J]. Month Weather Review, 1984, 112: 2239-252.
- [5] 廖晓农,王华,杨洁,等. 北京地区雷暴大风日平均特征[J]. 气象,2004,30(11):35-37.
- [6] Rochette S. M., Moore J. T. and Maket P. S.. The Importance of Parcel Choice in Elevated CAPE Computation[D]. National Weather Digest,1999, 23 (4):20-32.
- [7] Crook N. A. and M. W. Moncrieff. The Effect of Large Scale Convergence on the Generation and Maintenance of Deep Moist Convection[J]. J. Atmos. Sci, 1988,45:3606-3624.
- [8] Conrad L. Ziegler and Erik N. Rasmussen. The Initiation of Moist Convection at the Dryline: Forecasting Issues from a Case Study Perspective [J]. Weather and Forecasting, 1998, 13(12):1106-1131.
- [9] Richard L. Thompson and Roger Edwards. An Overview of Environmental Conditions and Forecast Implications of 3 May 1999 Tornado Outbreak[J]. Weather and Forecasting, 2000, 15(12):682-699.