

北京地区雷暴大风的天气—气候学特征研究

秦 丽^{1,3} 李耀东^{2,3} 高守亭²

1 空军气象中心, 北京 100843

2 中国科学院大气物理研究所 北京 100029

3 空军装备研究院航空气象研究所, 北京 100085

摘 要 依据北京近郊地区沙河、南苑和西郊3个测站15年(1990~2004年)的观测资料和常规探空资料, 对北京地区局地雷暴大风发生的天气、气候特征和日变化特征进行了统计分析。研究从环流形势、探空结构和环境参数特征入手, 分析了有利于北京地区产生雷暴大风的不稳定度指数和能量特征, 得出在此期间最有利于雷暴大风产生的探空结构为: 低层暖湿, 中高层有干冷空气, 不稳定度较大, 风垂直切变较大。还探讨了一些对流参数, 如最佳对流有效位能BCAPE、下沉对流有效位能DCAPE、风暴相对螺旋度SREH、大风指数WINDEX、风暴强度指数SSI、深厚对流指数DCI等对北京地区强对流天气发展潜势的指示意义。

关键词 雷暴大风 探空分析 不稳定度 对流参数

文章编号 1006-9585 (2006) 06-0754-09 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

The Synoptic and Climatic Characteristic Studies of Thunderstorm Winds in Beijing

QIN Li^{1, 3}, LI Yao-Dong^{2, 3}, and GAO Shou-Ting²

1 *Airforce Meteorological Centre, Beijing* 100843

2 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029

3 *Beijing Aviation Meteorological Institute, Beijing* 100085

Abstract Synoptic and climatic characteristic of thunderstorm winds in Beijing are studied by using the observational data and sounding data during 1990 to 2004. The obviously diurnal characteristics was showed to thunderstorm winds occurrence. The ambient circulation, sounding structure and convection parameters are studied to discover the most favorable condition for the occurrence of the thunderstorm wind in Beijing. The instability index and energy parameters are studied as well. It shows that warm and wet at low level, dry and cold at middle level, strong convective instability, and relative strong vertical wind sheer are favorable to thunderstorm wind occurrences. More convective parameters associated to strong storms are also studied, such as the best convective available potential energy (BCAPE), downdraft convective available potential energy (DCAPE), Storm-Relative Environmental Helicity (SREH), Wind Index (WINDEX), Storm Severity Index (SSI), Deep Convective Index (DCI) and so on, which are important to the potential development of the strong convection in Beijing.

Key words thunderstorm wind, sounding analysis, instability index, convection parameter

收稿日期 2005-09-23 收到, 2006-09-10 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 40375016 和海外杰出青年基金项目 40428002

作者简介 秦丽, 女, 1975 年出生, 硕士, 工程师, 从事天气分析诊断和预报工作。E-mail: kjqxzx_qinli@sina.com

1 引言

雷暴大风是北京地区夏季（6~8月）发生的主要灾害性天气之一。由于它的发生、发展具有突发性，人们来不及做好充分的应急准备，因而给人民正常生活带来严重影响，甚至对其生命财产造成威胁。如1997年7月22日，北京南部和西南部地区傍晚到前半夜发生了一次局地强对流，并于20时32分（北京时间，下同）产生微下击暴流并伴有短时暴雨，受其影响，房山区蔡庄村有27户房屋受到破坏，直径达40cm的数十棵大树被风刮倒，还有不少树干被拦腰折断，农田的晚玉米受灾^[1]。又如2001年8月23日20时左右北京突降暴雨，部分地区还降了冰雹，并伴有6~8级以上的大风。由于这一事件的突发性使得正在举行的世界大学生运动会的中英足球赛一度被迫中断，并造成部分公共设施损坏，电力中断^[2]。可见，如何有效地做好北京地区夏季灾害性大风的预报，是一件有关国计民生的大事。

气象工作者对雷暴大风天气的研究已取得了一些成果。杨国祥等^①分析研究了北京地区弓状回波的结构、形成和演变特征，得出结论为：弓状回波是北京地区夏季发布雷暴大风警报的重要依据；王笑芳和丁一汇^[3]建立的预报强对流天气的判断树方法，主要是采用统计学方法将有利于雷暴大风产生的天气形势、水汽条件、不稳定条件和触发机制等参数特征提取出来、加以概括，总结成一定指标用于预报。

本文依据1990~2004年北京近郊3个测站观测资料和探空资料，对北京地区雷暴大风天气和气候学特征进行了统计，对一些不稳定度指数和强对流参数特征进行了诊断计算和统计分析，并对雷暴大风发生的天气类型进行了总结，旨在为分析研究和预报该类天气提供参考。

2 雷暴大风的气候学特征统计分析

雷暴大风持续的时间短，我国常规地面观测资料间隔为3h，因此很难从常规观测资料中对这种天气现象进行提取和统计。本文对雷暴大风的气候学分析基于沙河、南苑和西郊3个测站15年

（1990~2004年）的观测资料，资料除了逐时观测的记录外，每日均有各场站重要天气现象的相关记录。15年中3个测站共观测并记录到雷暴大风95次，气候学特征主要表现在以下各方面。

2.1 地区分布不均

在95次雷暴大风中，3个测站在同一天出现雷暴大风的个例只有1次，占总数的1%；2个测站在同一天出现雷暴大风的个例有30次，占总数的31.6%；单个测站出现雷暴大风的个例有64次，占总数的67.4%。上述分析说明，北京地区的雷暴大风具有较强局地性特征，主要是由局地对流系统的强烈发展而产生的，而由较大尺度的天气系统造成的大范围雷暴大风极少。另外，就3个测站位置而言，沙河站位于北京的西北部（邻近燕山山脉），西郊站位于北京的西部，而南苑站位于北京的南部，相比较而言，西郊和南苑站的地形较为平坦。这3个测站15年里发生的雷暴大风次数大不相同，分别为20、49和58次（图略），这说明山区对雷暴大风的发生发展可能有一定的负面影响，即北京地区局地雷暴大风的产生受到地形的制约，宽阔平坦地区比山区附近更易产生雷暴大风。

2.2 雷暴大风强度较强

在发生的95次雷暴大风个例中，雷暴大风日的最大阵风风速达到了 $36\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，平均最大阵风风速为 $20.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。其中，最大阵风风速达到 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的强雷暴大风出现了5次，占个例总数的5%；而 $20\sim 29\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的中级雷暴大风出现的次数最多，有58次，占个例总数的61%，超过了半数；普通雷暴大风（阵风风速为 $17\sim 19\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）出现32次，占个例总数的34%。上述分析说明北京地区雷暴大风发生时阵风风速较大、强度较强。

2.3 伴随降水明显

这95次雷暴大风发生时，均有降水伴随，其中最大地面累计降水量达到105.7mm，平均值为14.6mm，且降水量达到0.25mm以上的有89次，占总数的94%，这说明北京地区的雷暴大风大多数是“湿”型雷暴大风。除降水外，还伴有

^① 杨国祥，何齐强．北京雷暴大风和冰雹临近预报的研究．北京地区强对流天气监测试验论文集（第二集）．1995. 258pp

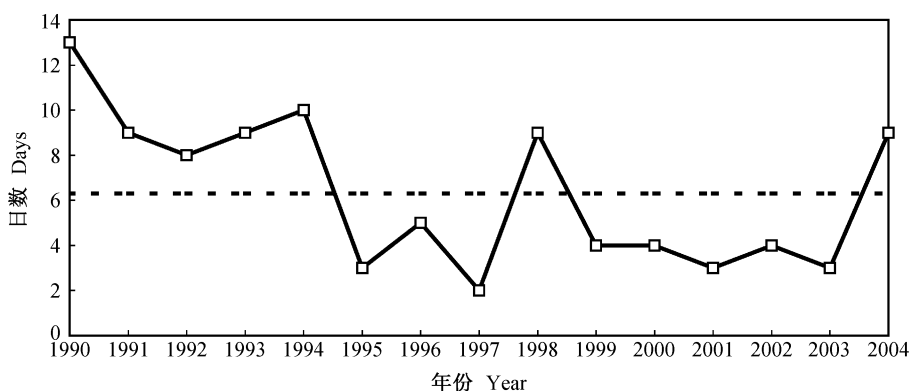


图1 1990~2004年雷暴大风日数的年际分布

Fig. 1 The annual change for the number of thunderstorm wind during 1990—2004

其他天气现象, 其中13次个例有雹产生, 占个例总数的13.7%; 有霰产生的个例为2次, 伴随飏线出现的个例为2次, 均占个例总数的2.1%。

2.4 年际变化

图1是1990~2004年各年4~10月雷暴大风日数的年际分布。从图上可以看出, 北京地区的雷暴大风日存在着明显的年际变化: 发生雷暴大风最多的年份是1990年, 有13次之多; 最少的年份是1997年, 只有2次, 两个极值相差11次; 15年平均年雷暴大风日数为6.3次; 20世纪90年代初雷暴大风日数较多, 以后相对有所减少, 即最近15年雷暴大风日数有减小趋势。

2.5 季节分布特征明显

图2是95次雷暴大风的月际分布, 可以看出, 北京地区雷暴大风出现在4~10月, 而其他月份没有发生此天气现象; 雷暴大风日数又以6~

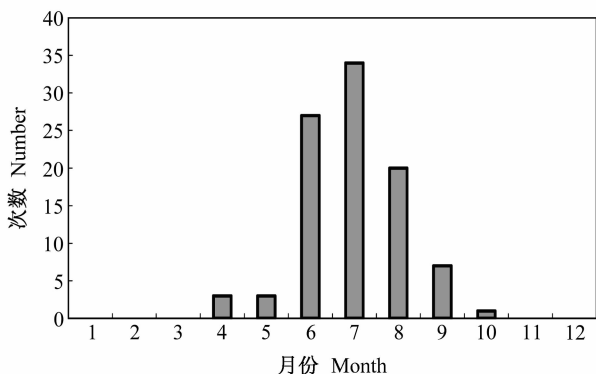


图2 雷暴大风的月际分布

Fig. 2 The monthly variation for the number of thunderstorm winds

9月居多, 其中7月最多, 共出现了34次, 占总数的36%, 6、8月次之, 分别为27和20次, 各占总数的28%和21%, 而10月最少, 只出现了1次。这说明北京地区的雷暴大风具有明显的季节性特征, 即北京地区雷暴大风主要出现在初夏和盛夏。另外, 结合最大阵风风速的月际分布图(图3)可知, 7月的最大阵风风速平均值最高, 且极大风速值也最大, 这说明盛夏发生的雷暴大风强度最强。

2.6 日变化特征明显

图4是15年(1990~2004年)4~9月北京地区雷暴大风最大阵风风速的时间分布, 该图是以最大阵风风速出现的时间为尺度, 间隔1h, 统计各时段出现的雷暴大风次数。可以看出, 雷暴大风主要集中在13~24时共发生了90次, 而此间15~22时发生的雷暴大风次数就有81次, 占个例总数的85%; 01~08时只发生了5次, 09~13时则无雷暴大风产生。这说明北京地区雷暴大风具有明显的日变化特征, 即主要峰值时间发生在午后15时至晚上22时之间, 次峰值时间在凌晨至上午08时之前。从最大阵风风速的大小可以发现, 15~22时发生的雷暴大风强度也较强。这可能是在一般情况下, 午后(14时后)的近地面温度将达到最大值, 热力效应造成近地面层增温将达到最强, 使得大气的层结状态不稳定性加大, 从而有利于雷暴大风的发生并且达到较大的强度。

2.7 4类探空结构

分析95次雷暴大风出现前时刻(08、14和

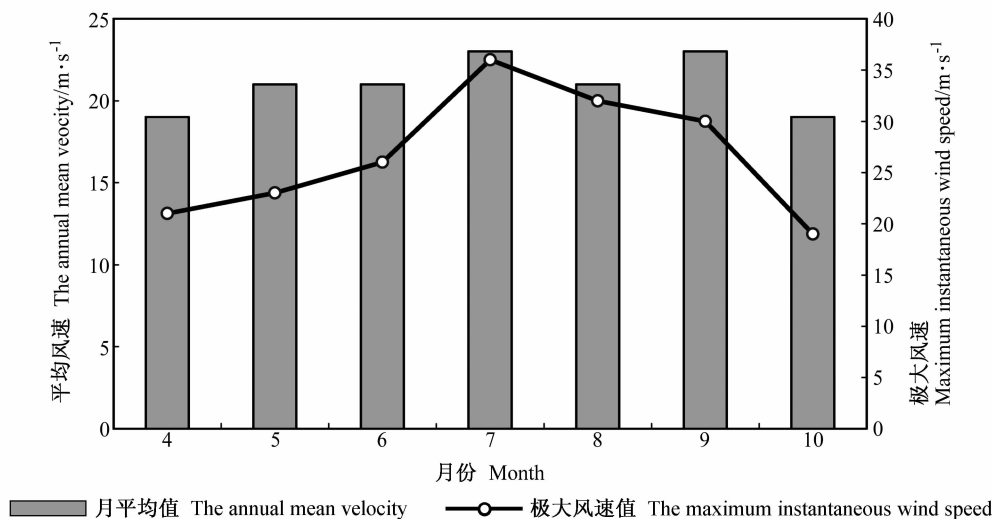


图3 雷暴大风最大阵风风速的月际分布

Fig. 3 The monthly change for the maximum gust speed of thunderstorm winds

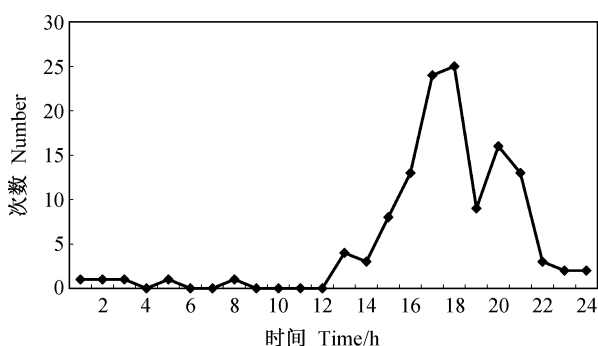


图4 4~9月雷暴大风出现的时间分布

Fig. 4 The temporal distribution for the thunderstorm winds

20时,其中14时探空资料为特殊处理的资料,即地面层用14时地面观测资料代替,其余层资料同08时)探空资料的层结廓线发现,其廓线类别可概括为4种:漏斗型(A型,图5a)、倒V型(B型,图5b)、干不稳定型(C型,图5c)和湿条件不稳定型(D型,图5d)。它们的特征分别为:

A型:低空较湿,中空有干层,层结廓线向上呈漏斗型;

B型:低空干燥,层结呈干绝热不稳定,中空有湿层,层结廓线呈倒V型;

C型:低空干绝热不稳定,整层大气很干,整层大气的 $T-T_d$ (温度露点差)均 $>5^{\circ}\text{C}$;

D型:整层大气潮湿, $T-T_d\leq 5^{\circ}\text{C}$,大气处于条件不稳定状态。

在95次雷暴大风个例中,以A型出现最多,有40次,占总数的42.1%;B型次之,34次,占总数的35.8%;D型13次,占13.7%;C型最少,只出现了8次,占8.4%。值得注意的是,出现 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的5次强风个例中,80%的层结廓线表现为A型特征,这说明发生雷暴大风时,中层干空气可能有利于雷暴大风发展到较强的程度。

3 雷暴大风的天气学特征诊断分析

雷暴大风是一种典型的强对流天气,各种稳定度指数、能量和动力参数能从不同角度反映出雷暴大风发生前的大气环境状态和条件。

3.1 最佳对流有效位能

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料计算雷暴大风发生前的最佳对流有效位能^[4](具体详见参考文献[5],下同),结果表明其最高值为 $6\,439.544\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中84%的个例(79次), $\text{BCAPE}>700\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, $>1\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的也有68%(63次)。这说明较强的大气不稳定能量,是北京地区出现雷暴大风的必要条件。

3.2 下沉对流有效位能

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料计算雷暴大风发生前的下沉对流有效位能^[5],结果表明其最高值为 $1\,683.566\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中85%的个

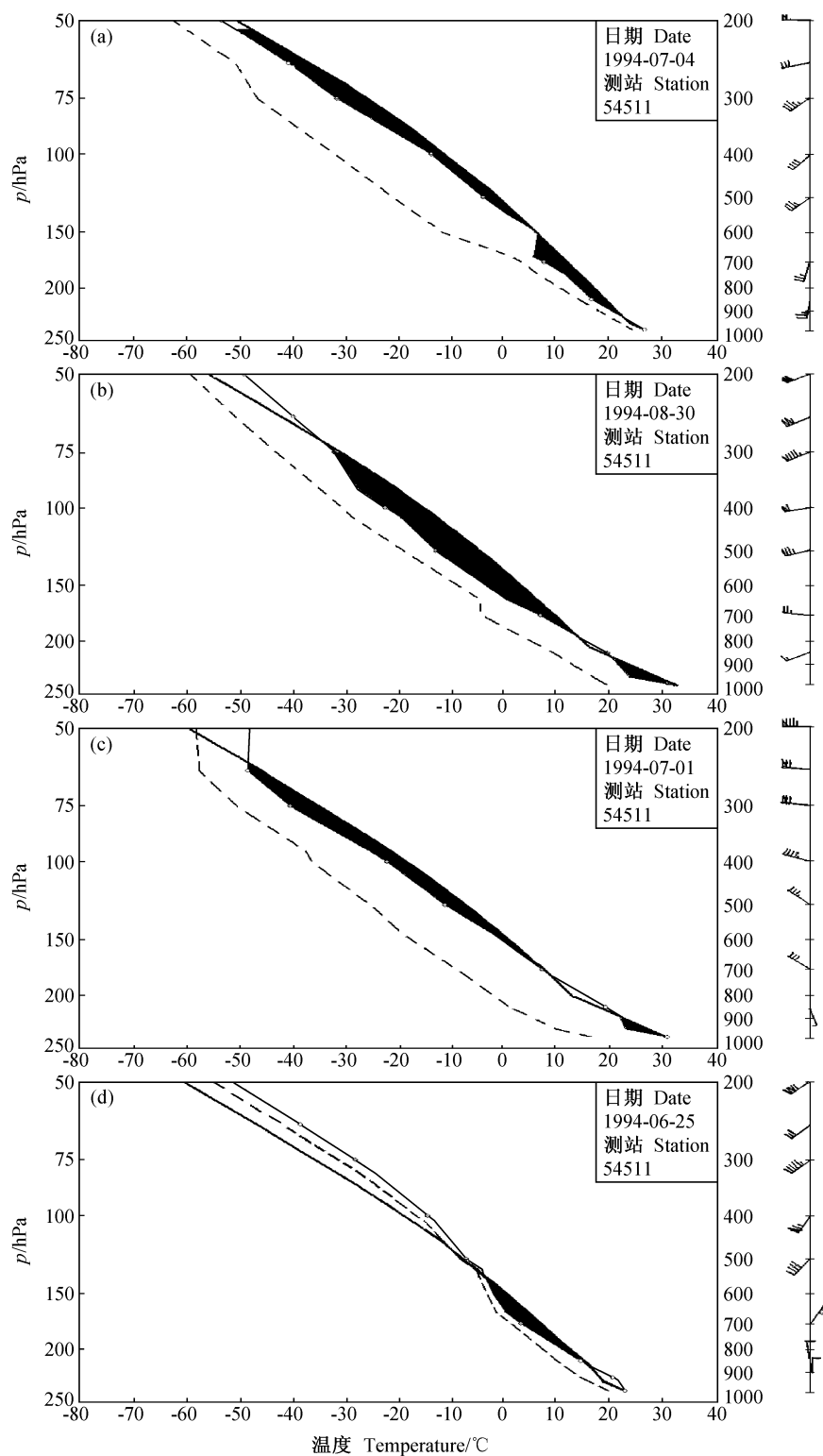


图5 雷暴大风发生前的探空结构

Fig. 5 The sounding before the thunderstorm wind happens

例 (81 次) $> 500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $> 700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的也有 75% (71 次)。结合最大风速值可以看出 (图

略), 最大阵风风速 $> 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的雷暴大风日数有 63 次, 其中下沉对流有效位能 $> 500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

的占 81% (51 次), $> 700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的占 72% (45 次); 而最大阵风风速 $> 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的雷暴大风日数有 10 次, 其中下沉对流有效位能值全部 $> 500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 80% (8 次) $> 700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $1\,009.7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。上述结果表明较强的下沉对流有效位能, 有利于北京地区出现雷暴大风。

3.3 大风指数

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料计算雷暴大风发生前的大风指数^[6], 最大值为 49, 平均值为 28.7, 其中 > 20 的有 87 次, 占总数的 92%, 这说明大风指数对北京地区的雷暴大风的潜势预报有一定的指示作用。

3.4 抬升指数

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料计算雷暴大风发生前的抬升指数^[7], 结果显示, 其最小值为 -13.5°C , 平均值为 -4.6°C , 其中 81% 的雷暴大风日抬升指数 $< -2^\circ\text{C}$, 这说明雷暴大风日的大气结构具有较强的条件不稳定性。

3.5 深对流指数

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料计算雷暴大风发生前的深对流指数^[7], 结果显示, 其最大值达到了 49°C , 平均值为 32°C , 其中 85% 的雷暴大风日深对流指数 $> 25^\circ\text{C}$, 这说明雷暴大风日的对流层低层有较厚的湿层, 且地面至 500 hPa 条件不稳定性强, 满足深厚对流发展的条件。

3.6 近地面假相当位温和假相当位温最低值差值特征

由雷暴大风发生前最近时刻的探空资料绘出

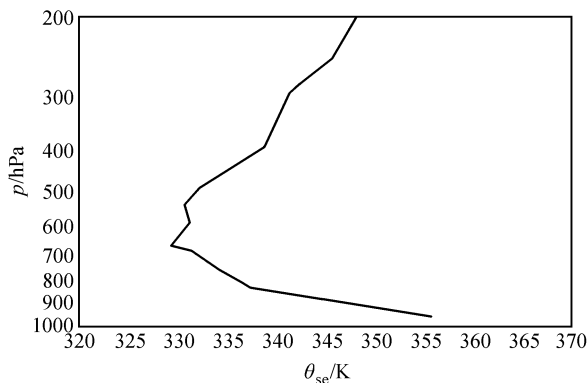


图 6 北京地区雷暴大风日的假相当位温垂直廓线 (以 1990 年 7 月 4 日 14 时探空为例)

Fig. 6 The potential pseudo-equivalent temperature of thunderstorm wind in Beijing (for example, the sounding at 1400 LST 4 July 1990)

的假相当位温 $\theta_{se} = T \left(\frac{1000}{p_d} \right)^{R_d/C_{pd}} \exp \left(\frac{L_{ws}}{C_{pd}T} \right)$ 廓线 (图 6) 可知, 对流层中低层的假相当位温呈递减变化, 而中层向上逐渐增大。另外, 计算雷暴大风发生前的近地面最大假相当位温和中层假相当位温最低值差值 ($\Delta\theta_{sefc-win}$), 结果显示, 其范围在 $3 \sim 46 \text{ K}$ 之间, 平均值为 21.6 K , 其中 61% (58 次) 的个例 $\Delta\theta_{sefc-win} > 15 \text{ K}$ 。说明雷暴大风日的大气层结为对流层中层冷干、低层暖湿; 另外, 最低假相当位温所在的平均高度为 591 hPa, 位于对流层中层, 这说明大气中层相对干冷空气的存在有利于雷暴大风的发生。

3.7 垂直风切变特征

计算得到的地面至 500 hPa 风暴相对螺旋度^[8]值平均为 62, 是正值, 这说明风暴的风向随高度呈现顺时针变化 (图略); 而风速切变值最强为 $4.6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 最弱为 $0.1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 平均值为 $1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 其中 $1.0 \times 10^{-3} \sim 4.6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的占 82% (78 次), 表明中低层大气具有一定的风垂直切变, 这有利于强对流的发生发展。此外, 一定的风切变导致高空一定的强气流水平动量下传能增强雷暴大风的强度。

4 雷暴大风和暴雨发生的大气环境参数对比

为了区别有利于产生雷暴大风的环境条件, 本文特别诊断并统计了 1995~2000 年北京地区发生的暴雨 (共 15 次), 并将部分温、湿特性和不稳定性及能量参数与雷暴大风发生前的环境参数进行了对比, 结果如表 1 示。

4.1 大气的热力结构特征对比分析

对流风暴是大气中不稳定能量释放的产物, 因此对流风暴的类型与风暴环境的热力结构有密切的关系。本文的统计结果显示 (见表 1), 雷暴大风的各种不稳定性参数平均值都比暴雨的相应值要大, 如二者发生前大气的最佳对流有效位能平均值分别为 $1553.9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $674.5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下沉对流有效位能平均值分别为 $874.9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $727.23 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 抬升指数平均值分别为 -4.6°C 和 -1.15°C , 这均说明产生雷暴大风的对流风暴的大气不稳定性比产生暴雨的要大, 前者的不稳

表 1 雷暴大风与暴雨发生前的环境参数对比

Table 1 The comparison of the ambient parameters between thunderstorm winds and rainstorms before their occurrences

对流参数 Convective parameter	平均值 Means	
	雷暴大风 Thunderstorm winds	暴雨 Rain gush
最佳对流有效位能 Best convective available potential energy/ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	1553.9	674.5
下沉对流有效位能 Downdraft convective available potential energy / $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	874.9	727.23
抬升指数 Lifted index/ $^{\circ}\text{C}$	-4.6	-1.15
$t_{500} - t_{850} / ^{\circ}\text{C}$	-28.3	-22.7
$t_{500} + t_{700} + t_{850} / ^{\circ}\text{C}$	13.9	19.6
$(t - t_d)_{500} + (t - t_d)_{700} + (t - t_d)_{850} / ^{\circ}\text{C}$	26.5	12.0
$\theta_{se850} / \text{K}$	331.7	339.2
$\theta_{se500} / \text{K}$	325.3	336.7
$\theta_{se500} + \theta_{se700} + \theta_{se850} / \text{K}$	982.5	1012.35
$\theta_{se500} - \theta_{se850} / \text{K}$	-6.4	-2.5
$V_{500} / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	12.3	13.1
$V_{700} / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	8.8	9.9
500 hPa 以下垂直风切变 Vertical wind sheer under 500 hPa/ 10^{-3}s^{-1}	1.9	1.6
风暴强度指数 Storm severity index	65	46
能量螺旋度指数 Energy helicity index/ $\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-4}$	0.44	0.1

注: t 表示温度, t_d 表示露点温度, θ_{se} 表示假相当位温, V 表示速度, 下标数字表示标准气压层。

Note: t denotes temperature, t_d denotes dew-point, θ_{se} denotes potential pseudo-equivalent temperature, V denotes velocity, and subscript denotes standard pressure level.

定性更强一些。此外,二者发生前的中低层环境温度及其直减率都不相同,雷暴大风发生前中低层环境温度较低、直减率较大,850、700 和 500 hPa 3 层温度之和平均为 13.9°C ,500 hPa 与 850 hPa 温度差为 -28.3°C ;而暴雨发生前的环境温度较高、直减率较小,3 层温度之和平均为 19.6°C ,500 hPa 与 850 hPa 温度差为 -22.7°C 。较大的温度直减率将使上升气流产生的正浮力能较大,这也说明了产生雷暴大风的大气的不稳定性较强。其次,湿度层结也是环境热力结构的重要表征之一,雷暴大风发生前中低层环境湿度较低,850、700 和 500 hPa 3 层温度露点差之和平均为 26.5°C ;而暴雨发生前的环境湿度较高,3 层温度露点差之和平均为 12.0°C 。

以上分析表明,雷暴大风发生在中层相对较冷、较干的环境中,而暴雨的出现整层相对较暖、较湿,两者环境条件差别较大。另外,对于结合温、湿特性的假相当位温 (θ_{se}) 的统计分析也表现出了上述特点,如雷暴大风的 850、700 和 500 hPa 3 层 θ_{se} 之和平均为 982.5 K,而暴雨的 3 层 θ_{se} 之和平均为 1 012.35 K。详细比较两类天气各层的 θ_{se} 还可看到,它们的差别主要不在对流层低层 (850 hPa 二者平均差 7.5 K),而在对流层中层 (500 hPa 二者平均差 11.4 K),可见预报雷暴大风发生前注意中层干冷空气入侵是非常必要的。

两类天气发生前大气的层结状态也可由 500 hPa 与 850 hPa 的 θ_{se} 之差体现出来,雷暴大风的平均值为 -6.4K ,暴雨的为 -2.5K (表 1),这也说明雷暴大风发生在较强的对流不稳定环境中。

4.2 对流层中低层的动力结构特征对比分析

已有分析表明,环境的动力结构对对流风暴也有重要影响,这里环境动力结构主要指风的垂直分布,即风的垂直切变。从表 1 可以看出,地面以上至 6 km 以下的大气层中的风速垂直切变对不同类型的风暴 (雷暴大风和暴雨风暴) 有明显的不同:暴雨发生前中低层的风速都较大,500 和 700 hPa 风速分别为 13.1 和 $9.9 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,而雷暴大风的相对较小,分别为 12.3 和 $8.8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;对于对流层中低层的风速垂直切变来说,产生雷暴大风的垂直风切变比产生暴雨的垂直风切变要大,中层 500 hPa 以下至地面的风速垂直切变二者分别为 1.9×10^{-3} 和 $1.6 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$,这说明雷暴大风产生在较强的垂直风切变环境中,而暴雨则产生在相对较弱的垂直风切变环境中。对于风向来说,发生暴雨的中低层 (500 hPa 和 700 hPa) 环境多南西气流,而发生雷暴大风的中层吹北西气流,低层吹南西气流,这也说明发生雷暴大风的大气环境的中层空气较干,暴雨则中低层大气均较湿。

当将对流有效位能与风切变结合讨论风暴强度时,常用到能量螺旋度指数^[9]和风暴强度指

数^[10]。由表 1 可以看见, 雷暴大风发生前环境的能量螺旋度指数平均值比较大 ($0.44 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-4}$), 暴雨发生前环境的能量螺旋度指数较小 ($0.1 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-4}$)。风暴强度指数的大小对于雷暴大风和暴雨来说, 差别也较大, 前者发生前环境的风暴强度指数比后者的要大许多, (雷暴大风的为 65, 暴雨的为 46), 这说明对于风垂直切变和对流有效位能大小的综合效应来说, 雷暴大风的风暴强度要比暴雨的风暴强度大些。

综上所述, 有利于产生雷暴大风的环境热力条件是层结稳定度较强和中层有干冷空气入侵, 动力条件是对流层中低层有较强的垂直风切变, 且风向随着高度的升高呈顺时针变化。

5 雷暴大风的环境场形势特征分析

雷暴大风的发生同其他强对流天气一样也要受到大气环流的影响, 即天气尺度环境的影响。环境场对于雷暴大风发生、发展和维持的作用是: 持续输送大量的潮湿空气, 引起不稳定能量的释放, 提供雷暴大风发展及维持的有利环境条件。对北京 15 年雷暴大风的统计分析表明, 出现雷暴大风的 500 hPa 环流形势以冷涡型、西来槽型和槽后锋生型最为常见。下面就北京地区局地雷暴大风的几种典型个例分析其环境特征。

5.1 东北冷涡型

以 2004 年 7 月 7 日北京地区雷暴大风天气为例。其在天气图上的特征表现为: 在 08 时的 500 hPa (图略), 我国东北的哈尔滨与佳木斯之间存在一个低涡, 并有冷中心配合, 冷中心位置偏在低涡的西侧; 从低涡向西南伸出的槽线已过北京, 位于哈尔滨—长春—锦州—天津一线; 而在该槽后低涡的西南方赤峰至朱日和一线, 存在一个准东西向的横向切变线, 并有冷槽伴随, 该横槽为午后北京地区发生雷暴大风天气的直接影响系统。在对流层低层 850 hPa (图略), 低涡及涡后的横槽也有表现, 但是位置较 500 hPa 的稍微偏前, 说明该低涡系统具有一定的斜压性。08 时地面图上 (图略), 哈尔滨地区存在一气旋, 其冷锋延伸至赤峰—张家口一线, 北京地区位于锋前暖区。结合上述的垂直配置可以看出本型的特点是: 横

槽附近, 温压场呈斜压结构, 槽后有强冷空气, 随着横槽南下, 冷空气向南侵袭, 叠加于低层暖空气上, 形成“上冷下暖”的热力结构; 加之锋面附近有辐合、上升运动, 其位于高空横槽附近, 又提供了动力条件; 二者结合, 有利于雷暴大风强天气过程的发生。

5.2 西北冷涡型

以 1993 年 9 月 11 日北京地区雷暴大风天气为例。其在天气图上的特征表现为: 在 08 时的 500 hPa (图略), 贝加尔湖附近 (50°N , 110°E) 存在一个闭合低压中心, 其后有冷中心配置, 槽后冷平流较强, 槽前高压脊区温度线稀疏, 暖平流很弱, 使得河套地区有锋生倾向; 从低涡伸出的槽线位于呼和浩特—天水—成都一线, 北京位于此槽前, 受南西气流控制; 低涡后有横槽伸出, 使得低涡区多短波槽活动, 易带动涡后冷空气南下。在低层 850 hPa (图略), 低涡和低槽也有表现, 且呈后倾结构; 低槽前部暖脊明显, 位于 500 hPa 冷区下方。综上所述的垂直配置可以看出本型的特点是: 低层槽前暖脊明显, 暖湿空气强盛, 而高层的低涡配合冷涡, 使得温压场具有强斜压性, 这种“上冷下暖”结构提供了热力条件; 槽前为强上升运动区, 动力条件充足, 二者结合, 有利于雷暴大风强天气过程的发生。

5.3 槽后锋生型

以 2004 年 5 月 28 日北京地区雷暴大风天气为例。其在天气图上的特征表现为: 在 08 时的 500 hPa 有两支槽线 (图略), 南支槽线位于葫芦岛—蚌埠—洪湖—常德一线, 北京位于该槽线后部, 盛行北西气流; 北支槽线位于北京西北方向的蒙古境内, 并且伴有冷中心, 这将有利于在中空形成强干冷空气入侵, 增强了大气的不稳定性。低层 700 hPa 和 850 hPa (图略), 北京仍处于槽后北西气流控制, 但是其西北方向锡林浩特至二连浩特一线存在一个准东西向的切变线, 位置与冷槽接近, 有强冷平流; 另外, 从 700 hPa 和 850 hPa 图上的温度线的密集程度可以看出, 北京上空处于暖脊控制, 暖脊位于 500 hPa 横切变的下方; 冷槽前暖脊处等温线密集, 使得北京地区未来将有锋生倾向。从上述的垂直结构配置可以看出本型的特点是: “上冷下暖”创造了热力条件, 近地面锋生造成的扰动和抬升作用又构成动力条

件, 故而有利于产生雷暴大风强天气过程。

5.4 西来槽型

以 2000 年 8 月 30 日北京地区雷暴大风天气为例。其在天气图上的特征表现为: 在 08 时的 500 hPa (图略), 副热带高压主体位于海上, 北京地区上空处于高后南西气流控制, 且河套地区有一个气旋存在, 使得北京地区上空有强上升运动; 另外在哈萨克斯坦有一个低涡, 其后伴有冷中心和横槽, 温压场呈斜压结构, 使得我国新疆北部至河套地区多短波槽活动, 有利于冷涡后部冷空气间隙南下, 从而影响北京地区。低层 700 hPa 和 850 hPa 低槽和低涡也有表现 (图略), 且呈后倾结构; 河套—内蒙古—北京地区位于宽大的暖脊控制, 槽前脊处温度线密集, 暖平流位于 500 hPa 冷平流下方。地面图上, 北京地区受到高后南东气流影响, 近地面温度、湿度较大 (图略)。综上所述的垂直配置可以看出本型的特点是: 高层不断有干冷空气叠加在低层暖湿空气带上, 加之小短波槽上的扰动, 均为雷暴大风强天气的发生提供了有利的热力和动力条件。

6 结论

北京地区雷暴大风的气候学特征统计分析表明, 北京地区雷暴大风发生的次数多、强度较强, 伴有降水, 具有明显的季节变化和日变化特征。天气学研究表明, 雷暴大风前, 大气不稳定性较强, 且一些强对流参数均有一定指示。在大部分情况下, 最佳对流有效位能 $> 700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下沉对流有效位能 $> 500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 抬升指数 < -2 $^{\circ}\text{C}$, 大风指数 > 20 , 深对流指数 > 25 $^{\circ}\text{C}$, 近地面的假相当位温和中层假相当位温最低值差值 $> 15 \text{ K}$ 等。对比雷暴大风和暴雨发生前的环境参数特征, 得出了有利于雷暴大风产生的环境条件: 热力结构为大气低层暖湿、中高层冷干, 大气的不稳定能量较大; 动力结构为中低层具有较强的风速垂直切变, 且中低层风向向上呈顺时针变化。而最有利于产生雷暴大风的大尺度环流形势为高空冷涡、西来槽和槽后锋生型。

参考文献 (References)

- [1] 刘洪恩. 微下击暴流的特征及其数值模拟. 气象学报, 2001, **59** (2): 183~195
- Liu Hongen. Characteristic and numerical simulation of micro-burst. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (2): 183~195
- [2] 付丹红, 郭学良, 肖稳安, 等. 北京一次大风和强降水天气过程形成机理的数值模拟. 南京气象学院学报, 2003, **26** (2): 190~200
- Fu Danhong, Guo Xueliang, Xiao Wenan, et al. Numerical study on the formation a severe storm accompanied with gale and heavy rain in Beijing. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **26** (2): 190~200
- [3] 王笑芳, 丁一汇. 北京地区强对流天气短时预报方法的研究. 大气科学, 1994, **18** (2): 173~183
- Wang Xiaofang, Ding Yihui. Study on methord of short-range forecast of severe convective weather in Beijing area. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, **18** (2): 173~183
- [4] Cook T M C, Shirey M S. Verification and analysis of the 48 km eta-model best CAPE and best LI forecast. 16th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, Phoenix City. Amer. Meteor. Soc., 1998: 173~175
- [5] Li Yaodong, Gao Shouting, Liu Jianwen. Assessment of several moist adiabatic processes associated with convective energy calculation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, **21** (6): 941~950
- [6] McCann D W. WINDEX-A new index for forecasting micro-burst potential. *Wea. Forecasting*, 1994, **9**: 532~541
- [7] 李耀东, 刘健文, 高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究. 气象学报, 2004, **62** (4): 401~409
- Li Yaodong, Liu Jianwen, Gao Shouting. On the progress of application for dynamic and energetic convective parameters associated with severe convective weather forecasting. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (4): 401~409
- [8] Woodall G R. Qualitative forecasting of tornadic activity using storm-relative environmental helicity. 16th conference on severe local storm, Oct, 22-26, 1990. Amer. Meteor. Soc., 1990, 311~315
- [9] Huntresier H, Schiesser H H, Schmid W, et al. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland. *Wea. Forecasting*, 1997, **12**: 108~125
- [10] Turcotte V, Vigneux D. Severe thunderstorms and hail forecasting using derived parameters from standard RAOBS data. Second Workshop on Operational Meteorology. Halifax, NS. Canada. Atmospheric Environment Service/Canadian Meteor. and Oceanogr. Soc., 1987: 142~153