

# 上海虹桥机场雷暴观测的统计分析

阎凤霞<sup>1</sup>, 许建明<sup>2</sup>, 王峰云<sup>1</sup> (1. 中国民用航空华东地区空中交通管理局气象中心, 上海 200335; 2. 上海市气象局, 上海 200135)

**摘要** 利用上海虹桥机场 1986~2008 年的雷暴观测资料, 分析了虹桥机场雷暴日数、雷暴时数和雷暴持续时间的长期变化特征。结果表明, 1986~2008 年虹桥机场的雷暴日数和雷暴时数呈现先缓慢下降后迅速上升的变化趋势, 2000 年左右是转折点; 雷暴主要发生在夏季(65.95%)和春季(23.36%), 其发生具有明显的日变化特征和季节差异, 夏季雷暴主要发生在午后到上半夜, 而春季雷暴主要出现在夜间, 这与不同季节雷暴的促发机制有关。利用雷暴持续时间度量雷暴强度, 发现持续时间为 0~1 和 1~2 h 的雷暴发生频数最多, 不同强度的雷暴均集中在夏季发生, 统计时段内最长的一次雷暴过程持续时间达 12.5 h。

**关键词** 雷暴; 虹桥机场; 长期变化

**中图分类号** S429 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)35-13614-03

## Observed Data of Thunderstorms in Shanghai Hongqiao Airport

YAN Feng-xia et al (Meteorological Center of CAAC East China Air Traffic Management Bureau, Shanghai 200335)

**Abstract** Observed data of thunderstorms in Shanghai Hongqiao Airport from 1986 to 2008 was used to analyze changes of rainstorm days, hours, and duration in Hongqiao Airport. The results showed that rainstorm days and hours declined slowly and then increased fast from 1986 to 2008, and the year of 2000 was the turning point. Thunderstorms occur mostly in summer (65.95%) and spring (23.36%), showing obvious daily changes and seasonal differences; summer thunderstorms occur mainly in the afternoon and before midnight, while spring thunderstorms at night, which depends on the rainstorm promotion mechanism. Duration and intensity of thunderstorm was analyzed, and it was found that most thunderstorms lasts for 0-1 h, 1-2 h, thunderstorms of different intensity are concentrated in summer. Within the study period, the longest thunderstorm lasts for 12.5 h.

**Key words** Thunderstorm; Hongqiao Airport; Long-term variation

雷暴是指由于强积雨云引起的伴有雷电活动和阵性降水的局地风暴, 在地面观测中仅指伴有雷鸣和闪电的天气现象。雷暴天气是夏季常见的天气现象, 由对流旺盛的积雨云产生, 常伴有闪电、雷鸣、暴雨、大风, 有时还会产生冰雹、龙卷风和下击暴流等灾害性天气。在世界十大自然灾害中, 雷击排名第 6, 年经济损失约 10 亿美元。雷暴是目前被国际航空界和气象部门公认的严重威胁航空飞行安全的天敌。据统计, 全球每小时发生雷暴 1 820 次。美国民航部门分析了近年来由于气象原因发生的飞行事故, 与雷暴有关的占 47.9%, 美国空军的统计结果为 55%~60%。事实证明, 雷暴仍然是目前严重危及飞行安全的重要气象因素。

早在 20 世纪 70 年代, 顾震潮就对我国雷暴的气候特点进行了研究, 指出我国雷暴日数有 3 个区域特别多, 分别是雷州半岛及海南岛北部、云南东南部和四川西部<sup>[1]</sup>。张敏锋等研究我国 104 个台站雷暴日数的时空分布发现, 20 世纪 60~90 年代我国的雷暴日数总体呈下降趋势, 但 2000 年以后的变化规律在不同地区的研究有所差异<sup>[2]</sup>。徐桂玉等研究表明 1971~1995 年我国南方雷暴呈总体减少的变化趋势, 20 世纪 90 年代以后表现为 3~4 年的振荡周期<sup>[3]</sup>。气象和民航部门均非常重视局地雷暴的研究, 包括对不同机场雷暴过程的天气诊断、雷暴预报技术的讨论和对雷暴日数的统计分析等<sup>[4-9]</sup>。笔者利用上海虹桥机场 1986~2008 年的人工雷暴观测资料, 分析虹桥机场雷暴日数、雷暴时数、雷暴持续时间以及初雷日和终雷日的特征, 揭示其长期变化规律和

季节差异, 以期对虹桥机场雷暴的预报和预警提供依据。

## 1 资料与方法

利用的是虹桥机场逐日每小时定时观测和特殊天气纪要栏记录的雷暴资料, 时间段为 1986~2008 年。只要在这一天内曾经发生过雷暴, 听到过雷声, 而不论雷暴延续了多长时间, 都记为一个雷暴日。如果在该天文小时内发生过雷暴, 即听到过雷声, 就记为雷暴小时, 按照该定义统计虹桥机场每年发生的雷暴小时数。初雷日和终雷日分别指一年中第一次和最后一次听到打雷的日期。

## 2 结果和分析

**2.1 雷暴日数统计** 由 1986~2008 年虹桥机场每年的雷暴日数和 5 年滑动平均(图 1)可见, 过去 23 年虹桥机场年平均雷暴日数为 26.4 d, 与上海徐家汇站 27.9 d(1951~2004 年)的统计结果<sup>[10]</sup>相近; 雷暴日数最多的年份是 1987 年, 共 41 d, 这也是唯一超过 40 d 的年份, 最少的是 2000 年, 为 16 d; 过去 23 年里 4 年的雷暴日数少于 20 d, 4 年介于 30~40 d, 1 年超过 40 d, 其余 14 年均均为 20~30 d。5 年滑动平均的结果表明, 2000 年之前虹桥机场的雷暴日数呈缓慢下降的趋势, 2000 年以后则迅速上升, 上升的速度明显高于前期下降速度, 至 2007、2008 年雷暴日数已逼近历史最高记录。很多文献的研究结果均表明 20 世纪 60~90 年代我国大部分地区的雷暴日数均呈减少趋势<sup>[2]</sup>, 但对于 2000 年以后雷暴日数变化特征的研究存在地域差异, 如北京机场 2000 年后的雷暴日数依然呈下降趋势<sup>[9]</sup>, 而青岛的雷暴日数在 2000 年开始增加<sup>[11]</sup>。顾震潮等分析指出雷暴日的气候变化具有复杂的非线性特征, 除了受大气环流影响外还与局地的地理条件有关<sup>[1-4]</sup>, 一些研究表明雷暴与城市热岛也存在一定联系<sup>[12]</sup>。虹桥机场雷暴日数的转折特征(2000 年后发生了转折开始迅速回升)是大气环流改变所致还是由于局地环境变

**基金项目** 上海市科学技术委员会科研计划项目(11231200600); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906026)。

**作者简介** 阎凤霞(1979-), 女, 山西山阴人, 高级工程师, 硕士, 从事航空气象短期天气预报研究。

**收稿日期** 2013-11-15

化产生,需要作深入研究。

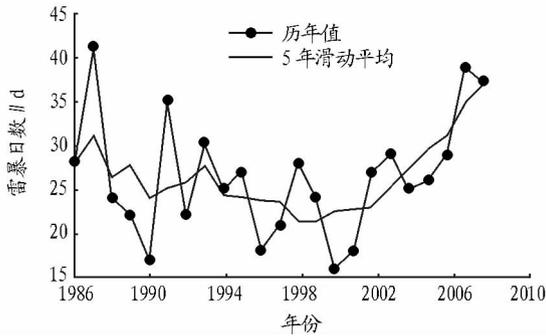


图1 1986~2008年虹桥机场雷暴日数的年际变化

为了进一步分析上述转折特征,计算了每个月雷暴日数的百分比(图2),发现7、8月份的雷暴日数最多,分别占26.15%和28.29%,其次为6月,占11.51%,3、4、5、9月的雷暴日数相当,分别为7.57%、8.55%、7.24%、7.73%,而10、11、12、1、2月雷暴日数百分比均小于1.00%,其中1月最少,仅占0.16%,这种季节差异与徐桂玉等的研究结果<sup>[3]</sup>一致。可见,虹桥机场的雷暴日数主要集中在3~9月,其中夏季(6~8月)最多,占65.95%,其次为春季(3~5月),占23.36%,而秋冬季仅占10.69%。进一步计算不同月份雷暴日数的年际变化发现,1986~2008年,8月份发生的雷暴日数除2005年异常偏少外,整体呈现明显的上升趋势,3月份的雷暴日数则缓慢下降,6、7、9月雷暴日数的变化特征与总雷暴日数的变化一致,即2000年之前下降、2000年之后迅速上升,其余各个月雷暴日数则基本维持。可见,不同月份雷

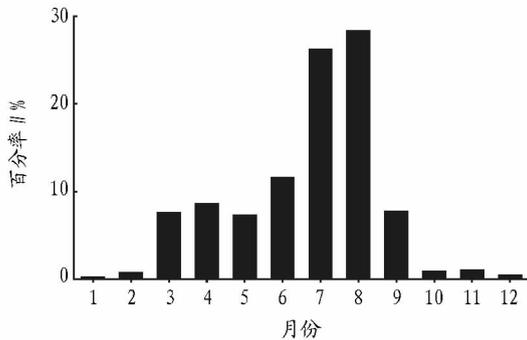


图2 1986~2008年虹桥机场不同月份雷暴日数占雷暴总数的百分比

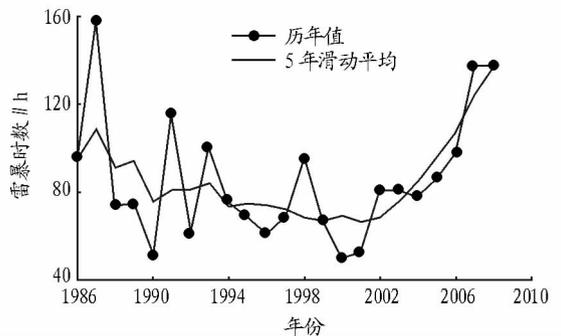
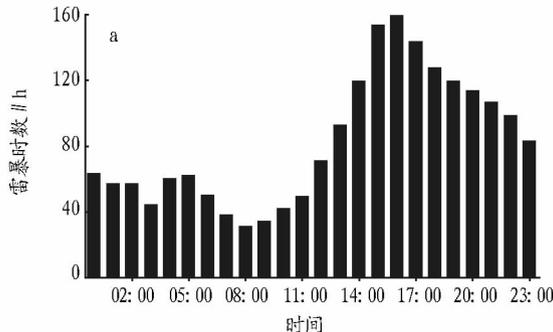


图3 1986~2008年虹桥机场雷暴时数的年际变化

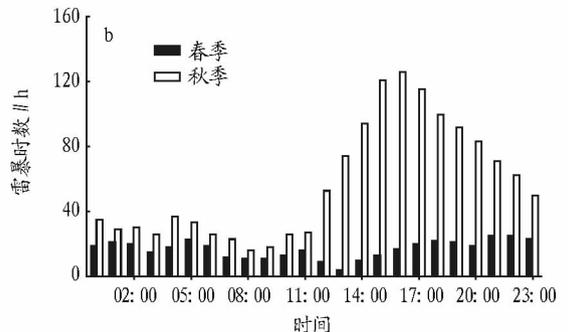


图4 1986~2008年虹桥机场雷暴时数的年平均(a)以及春夏季(b)雷暴的日变化特征对比

雷暴。

2.3 雷暴持续时间统计 在天气预报和对外服务工作中,一般将仅伴有雷声、闪电或(和)阵雨的雷暴称为“一般雷

暴日数的长期变化存在明显差异,其中6~9月雷暴日数的长期变化更加显著,可能是主导虹桥机场雷暴日数长期变化特征的主要原因。

2.2 雷暴时数统计 由图3可见,与雷暴日数的变化趋势相同,雷暴时数同样表现为先缓慢下降后迅速回升的变化特征,转折时间也发生在2000年;1986、2007和2008年是异常偏多年,雷暴时数分别为137、137和158 h。此外,受到大气层结日变化的影响,雷暴的发生具有明显的日变化特征。计算每小时雷暴的发生次数(图4a)发现,雷暴在午后到上半夜(12:00~23:00)发生最多,其次是后半夜(00:00~06:00),而在07:00~10:00的发生概率最小。雷暴发生的首先条件是大气不稳定层结,因此该地区雷暴的日变化过程与晴朗天气下边界层高度的演变非常相近。14:00以后对流发展最旺盛,是雷暴的高发时段,其中以15:00~17:00最多。雷暴的上述日变化特征与张美平等的研究<sup>[4,9,11-13]</sup>基本一致,但不同季节雷暴的日变化具有明显差异,夏季雷暴主要发生在午后到上半夜,而春季则主要发生在夜间,白天发生较少,其中13:00~14:00发生概率最少(图4b)。这与雷暴的促发机制有关,夏季由于地面加热白天升温迅速,午后水汽和不稳定能量聚集充分,一旦有冷空气加入就容易引发短时强对流天气促发雷雨过程,如由于副高西伸或东退且当地处于副高边缘时容易发生强雷暴天气,或由于高低层巨大的温度梯度而引发热雷暴。春季雷暴一般由天气系统过境促发,当锋面过境前后,槽前、切变线附近冷暖空气交界处存在强烈的辐合和上升运动,从而引发系统性、持续时间较长的

暴”或“弱雷暴”,而将伴有暴雨、大风、冰雹、龙卷风等严重的自然灾害性天气现象的雷暴叫做“强雷暴”。“弱雷暴”的强度弱,维持时间短;而“强雷暴”的强度大,维持时间长,一般

为几十分钟到几小时,个别可间歇维持数小时到几天(如冷涡雷暴)。显然,不同强度的雷暴产生的影响和造成的后果具有很大差异。如2008年7月30日,上海遭遇大暴雨,强雷电、雷雨大风和短时强降水天气导致上海两大机场共有近90个航班延误或转场。雷暴日数和雷暴时数反映的是雷暴的总体气候特征,缺乏雷暴强弱的信息,而目前雷暴观测规范中还没有关于雷暴强度的明确定义,因此对于雷暴强弱的分析仅能从雷暴持续时间入手。在此定义一次雷暴过程持续时间是指在该时间段内雷声的间隔 $<30\text{ min}$ ,按照该定义,分别统计了虹桥机场每年持续时间在0~1、1~2、2~4、4~6、6~12、12~24 h的雷暴发生次数(表1),发现虹桥机场发生雷暴的持续时间以0~1和1~2 h最多,共发生了353和275次,其次是2~4 h,为135次,上述三类雷暴每年均有发生,且它们的年际变化和雷暴日数的变化趋势一致具有转折特征。相比而言,持续时间在4~6和6~12 h的雷暴频数明显减少,分别为31和9次,其中有5年没有发生持续时间为4~6 h的雷暴,仅有8年发生过持续时间为6~12 h的雷暴;持续时间超过12 h的雷暴过去23年间仅在2001年出现1次,持续时间为12.5 h。统计不同月份发生雷暴的持续时间

表1 不同持续时间的雷暴在不同年份的发生次数

年份	0~1 h	1~2 h	2~4 h	4~6 h	6~12 h	12~24 h
1986	18	7	10	3		
1987	20	22	13	3	1	
1988	16	7	5	2		
1989	16	10	5	2		
1990	10	11	3			
1991	24	19	2	1	2	
1992	12	8	2	1	1	
1993	19	14	11			
1994	12	8	3	4		
1995	10	12	4	2		
1996	8	12	4	1		
1997	8	10	6		1	
1998	14	14	8		1	
1999	12	10	5	1		
2000	14	7	3			
2001	10	5	2	1		1
2002	22	8	6	1		
2003	14	12	6	1		
2004	15	13	3	1	1	
2005	19	12	5	2		
2006	11	17	8	2		
2007	24	15	12	2	1	
2008	25	22	9	1	1	

(表2)发现,持续时间在0~1、1~2、2~4 h的雷暴主要集中在3~9月发生,其中0~1 h的雷暴在每个月均发生过;相比而言,持续时间为4~6和6~12 h的雷暴发生次数较少,且主要发生在夏季,而持续时间超过12 h的雷暴仅在8月份发生过1次。不同持续时间雷暴的发生次数存在很大差异,就虹桥机场而言,持续时间为0~2 h的雷暴发生频数最多,此外夏季是不同强度雷暴的主要发生期,春季次之,秋冬季除9

月份外较少发生雷暴。

表2 不同持续时间的雷暴在不同月份的发生次数

月份	0~1 h	1~2 h	2~4 h	4~6 h	6~12 h	12~24 h
1	2					
2	2	3				
3	27	20	9	1		
4	38	26	9	1		
5	29	12	8	2	1	
6	41	33	15		1	
7	96	76	34	11	3	
8	82	84	52	13	1	1
9	24	18	8	3	2	
10	5	2			1	
11	5	1				
12	2					

2.4 初雷日和终雷日统计 统计发现,1986~2008年虹桥机场初雷日在3月份出现最多,最早的初雷日发生在2002年1月15日,即当年的第15天,最晚的在1997年4月29日,即当年的第119天,平均发生在第72.5天;终雷日在9月份发生最多,共12年,最早出现在1990年8月24日,即当年的第240天,最晚发生在1992年12月9日,即当年的第343天,平均为第271.5天。总体而言,虹桥机场初雷日、终雷日发生的时间在不同年份差异较大,振荡明显。此外,民航气象部门非常重视一年中初雷的预报,它代表雷暴季节的开始。统计1986~2008年每一年初雷的发生时间(图5)发现,初雷在夜间的发生概率最大,占65.2%,其中02:00和19:00各发生过4次,20:00发生过3次;早上和午后各发生过4次。

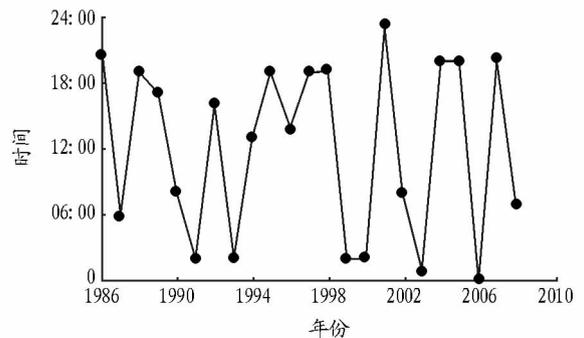


图5 1986~2008年虹桥机场初雷日的发生时间

### 3 结论与讨论

(1)1986~2008年虹桥机场雷暴日数经历了先缓慢下降后迅速上升的变化过程,2000年是转折点。

(2)虹桥机场雷暴日数集中在3~9月,夏季最多,春季次之。雷暴发生具有明显的日变化特征和季节差异,夏季主要发生在午后到上半夜,春季主要发生在夜间,这与不同季节雷暴的促发机制有关。

(3)用雷暴持续时间度量雷暴强度,计算表明虹桥机场持续时间为0~1和1~2 h的雷暴发生频数最多,不同强度的雷暴均集中在夏季发生,过去23年最长的一次雷暴过程

(下转第13622页)

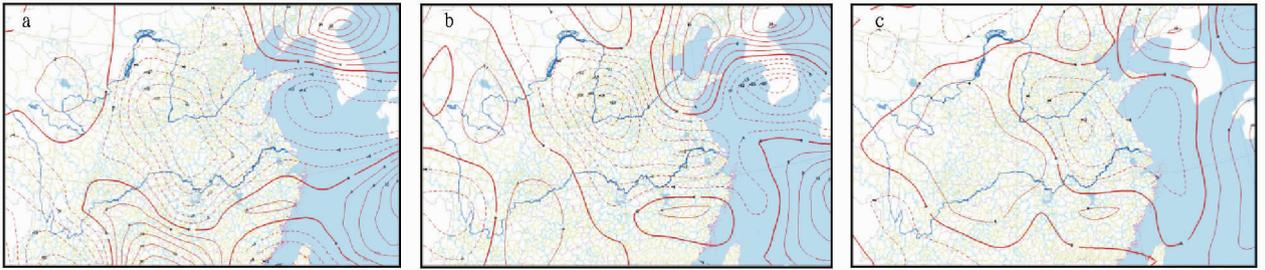


图 10 2010 年 9 月 7 日 08:00 925 hPa(a)、850 hPa(b) 和 700 hPa(c) 水汽通量散度场

#### 4 小结

(1) 在连续性暴雨过程中, 环流形势较为稳定。在中高纬环流调整、环流经向度加大、巴尔喀什湖大槽加深、其南段分裂在新疆北部形成一切断低压以后, 由于西太平洋副热带高压稳定, 使切断低压和南支槽稳定少动, 低压分裂小槽带动的一股冷空气与南支槽前西南暖湿气流在河南上空交汇, 形成了连续降水。

(2) 中低空的低槽、低涡、切变线是造成暴雨的直接影响系统, 中高空急流起了一定作用。前期(5~6 日)降水主要受中低空的中尺度切变影响, 无急流出现; 后期(6~7、7~8 日)降水主要受低涡低槽和低涡暖切变影响, 700 hPa 的急流起了作用。

(3) 高空辐散抽吸作用, 与低空较强辐合的叠加, 有利于上升运动发展加强, 为暴雨提供了有力的动力条件; 湿 Q 矢量散度与垂直运动有较好的对应关系, 其中低层辐合的重叠, 能较好地反映暴雨落区。

(4) 前期(5~6 日)暴雨是在较弱的动力条件下, 热力对流不稳定能量释放引起的, 暴雨面积较小; 后期(6~7、7~8 日)暴雨是在层结稳定条件下, 主要由强烈的动力作用引起的, 暴雨集中、面积大、强度大。

(5) 中低空(700 hPa 以下)的水汽输送, 为暴雨提供了充沛的水汽; 中层水汽来源于孟加拉湾, 低空水汽来源于黄海、东海和南海; 从低层到中层表现为一致的水汽辐合时, 其覆盖区域雨量增大; 强水汽辐合配合有利的动力、热力条件,

使雨量急剧增大, 出现暴雨甚至于大暴雨天气。

#### 参考文献

- [1] 张婷, 魏凤英. 2008 年 5-6 月华南地区强降水过程的大尺度环流背景[J]. 热带气象学报, 2010, 26(4): 633-640.
- [2] 陈栋, 顾雷, 蒋兴文. 1981-2000 年四川夏季暴雨大尺度环流背景特征[J]. 大气科学学报, 2010, 33(4): 443-450.
- [3] 倪允琪, 周秀骥. 我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展[J]. 气象, 2005, 31(1): 9-12.
- [4] 赵玉春, 王叶红. “7·22”长江中游暴雨中尺度系统的数值模拟与分析[J]. 气象, 2005, 31(1): 13-18.
- [5] 陶诗言, 王捷, 张小玲. 2007 年梅雨锋降水的大尺度特征分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 3-15.
- [6] 何群英, 东高红, 贾慧珍, 等. 天津一次突发性局地大暴雨中尺度分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 16-22.
- [7] HOSKINS B J, DRAGHICI I, DAVIES H C. A new look at the  $\omega$ -equation[J]. Q J R M eteorol Soc, 1978, 104(1): 31-38.
- [8] 岳彩军, 寿绍文, 董慧莹. 定量分析几种 Q 矢量[J]. 应用气象学报, 2003, 14(1): 38-48.
- [9] 李柏, 李国杰. 半地转 Q 矢量分析及其在梅雨锋暴雨研究中的应用[J]. 气象, 1997, 12(1): 31-38.
- [10] 傅灵艳, 寿绍文, 黄亿, 等. 圣帕台风暴雨的非地转 Q 矢量的诊断分析[J]. 气象科学, 2009, 29(6): 727-733.
- [11] 刘志雄, 岳彩军, 寿绍文, 等. 应用湿 Q 矢量诊断梅雨锋暴雨[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 102-109.
- [12] 鲁亚斌, 普贵明, 赵宁坤, 等. “2006.10”云南严重秋季连阴雨水汽输送特征和湿 Q 矢量分析[J]. 气象科学, 2009, 29(1): 64-70.
- [13] 岳彩军, 寿亦莹, 姚秀萍, 等. 中国 Q 矢量分析方法的应用与研究[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 450-455.
- [14] 岳彩军, 寿绍文, 曾刚, 等. “海棠”台风(2005)雨强差异成因分析[J]. 气象科学, 2010, 30(1): 1-7.
- [15] 胡燕平, 梁钰, 程锦霞, 等. 河南省两次春季暴雨的对比分析[J]. 气象科学, 2011, 31(5): 646-651.
- [16] 林良勋, 梁巧倩, 温晶, 等. 广州地区雷电时空分布特点及天气学分析[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 679-683.
- [17] 郭冬艳, 辛吉武, 吴胜安, 等. 海南雷暴气候特征及大气环流背景分析[J]. 气象科技, 2008, 36(4): 404-409.
- [18] 丁叶风, 李秀连, 田勇, 等. 首都机场夏季雷暴气候特征及其变化规律[J]. 气象科技, 2009, 37(4): 420-424.
- [19] 朱洁华, 周伟东. 上海徐家汇地区雷暴的统计特征[C]//第三届长三角气象科技论坛论文集, 2006: 589-592.
- [20] 高留喜, 杨成芳, 冯桂力, 等. 山东省雷暴时空变化特征[J]. 气候变化研究进展·南京, 2007, 3(4): 239-242.
- [21] 胡艳, 端仪宏. 上海地区雷暴天气的气候变化及可能影响因素[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(4): 12-17.
- [22] 汪顺勤, 孙惠合, 张丙振. 宿州雷暴气候特征及其灾变 G-ANN 预测模型研究[J]. 气象科技, 2009, 37(6): 753-758.
- [23] 顾震潮. 我国雷暴的气候特点[J]. 地理学报, 1978, 33(1): 42-48.
- [24] 张敏峰, 冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 156-162.
- [25] 徐桂玉, 杨修群. 我国南方雷暴的气候特征研究[J]. 气象科学, 2001, 21(3): 299-307.
- [26] 张美平, 敖淑珍, 刘翔, 等. 广州白云国际机场近 46 年来雷暴气候的统计特征[J]. 应用气象学报, 2004, 15(1): 66-73.
- [27] 山义昌, 王善芳. 近 40 年潍坊地区雷暴日的气候特征[J]. 气象科技, 2004, 32(3): 191-194.
- [28] 张旭晖, 高苹, 许祥, 等. 江苏雷暴日发生规律及其大气环流预报模型的建立[J]. 气象科技, 2006, 34(5): 532-537.

(上接第 13616 页)

持续时间为 12.5 h。

#### 参考文献