

# 海南雷暴气候特征及大气环流背景分析

郭冬艳<sup>1,2</sup> 辛吉武<sup>2</sup> 吴胜安<sup>2</sup> 姜涛<sup>3</sup> 杨昌贤<sup>2</sup> 陈红<sup>2</sup>

(1 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000; 2 海南省气象科学研究所, 海口 570203;  
3 92830 部队气象台, 海口 571122)

**摘要** 利用 1966~2005 年海南地区 18 个市、县逐日雷暴观测资料及 NECP 再分析资料和 EOF 分析方法, 分析了海南地区雷暴天气的气候特征及其气候变化的可能影响因素。结果表明: 海南雷暴的年际变化呈较明显的下降趋势; 空间分布主要呈现北部内陆地区多、南部沿海地区少的特点; 全省雷暴集中发生在 4~10 月, 盛发期在 5~9 月; 雷暴异常年 5~9 月平均大气环流与同期 500 hPa 大气环流特征的关系表现在雷暴频繁年低纬地区的位势高度距平场出现大范围的负距平, 当年夏季西太平洋副热带高压较弱, 位置偏东, 雷暴偏少年则副高较强, 脊线偏西。不稳定因子 K 指数和 TT 指数对海南的雷暴有一定预报能力。

**关键词** 雷暴日数 EOF 分析 环流背景 不稳定因子

## 引言

雷暴是由发展旺盛的积雨云引起闪电、雷鸣现象的局地风暴, 常伴有强烈的阵雨或暴雨, 有时伴有冰雹和龙卷。由于其具有极强的破坏性和杀伤力, 直接威胁着人们的生命和财产安全, 是重大的灾害性天气之一, 因此研究雷暴天气有着十分重要的意义。张敏锋等<sup>[1]</sup>的研究指出, 近 30 年来我国大部分地区平均雷暴频数在波动中减少, 减少最多的地区为我国东南沿海地区; 李照荣等研究了我国西北和山东部分地区雷暴的气候特征<sup>[2~4]</sup>, 徐桂玉等<sup>[5]</sup>对我国南方雷暴的气候特征进行了研究, 结果表明我国南方雷暴自 20 世纪 70 年代初至 90 年代中期年变化的总趋势是逐渐减少的, 且我国南方雷暴的季节变化显著; 胡艳等<sup>[6]</sup>指出上海地区多雷暴年副高较弱, 少雷暴年副高较强; 张旭晖等<sup>[7]</sup>建立了江苏地区雷暴的大气环流预报模型; 高菊霞等<sup>[8]</sup>还总结出陕西大范围雷暴 850 hPa 能流场的特征。

海南岛雷电灾害发生极为频繁, 年平均雷暴日 100 多天, 是全国著名的“雷都”之一。在与海南岛相邻、雷暴活动也很频繁的广东、广西, 关于雷暴活动变化已经开展不少研究<sup>[9~12]</sup>。但迄今为止, 有关海南岛雷暴方面的研究工作尚少。本文主要分析海

南地区雷暴的气候特征、雷暴异常年的大气环流特征、雷暴 K 指数预警指标等, 以期为本地区雷电预报和防雷减灾工作提供参考。

## 1 资料和方法

按世界气象组织的定义, 把某站听到有雷声的一个观测日叫做雷暴日。本文所用资料为海南省 18 个市、县气象站 1966~2005 年雷暴日数资料和取自美国 NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 再分析资料 (1970~2004 年) 的 500 hPa 高度场, 水平分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

用 EOF (Empirical Orthogonal Function) 研究雷暴活动异常的时空结构特征, 用合成分析、*t* 检验等方法探讨雷暴活动频繁年和偏少年 500 hPa 环流特征, 利用探空资料计算 K 指数等不稳定因子。

## 2 雷暴气候特征

### 2.1 雷暴日及雷暴初终日空间分布

雷暴的发生不仅依赖大的天气系统背景, 还与地形、地貌及局地热力、动力等条件密切相关, 后者常常导致其时空分布很不均匀。海南岛中间高、四周低, 地形复杂。从 1966~2005 年雷暴空间分布

(图 1a)可见:年均雷暴日数由内陆地区向沿海地区递减,且北半部沿海地区多于南半部沿海地区;内陆地区年均雷暴日数均大于 100 天,北部内陆和西部内陆地区是雷暴高发区,形成一条“东北—西南”走向的多雷暴带;位于北部内陆地区的澄迈县是最易发生雷暴的地区,位于最南端的沿海城市三亚则最不易发生雷暴。我国以年平均雷暴日数 40 天为多雷区标准,海南省属多雷区。

初终日数是指包括初日和终日在内的初终日日期之间的日数<sup>[13]</sup>。由图 1b 可见,海南雷暴初终日数的空间分布特征与雷暴日的空间分布特征基本一致,高值区也以西北内陆地区为主,呈东北—西南走向的带状,其中初终日数最长为雷暴日数最多的澄迈县,而初终日数最少同样为最不易发生雷暴的三亚市。说明海南雷暴发生频率高的地区雷暴持续时间也较长。

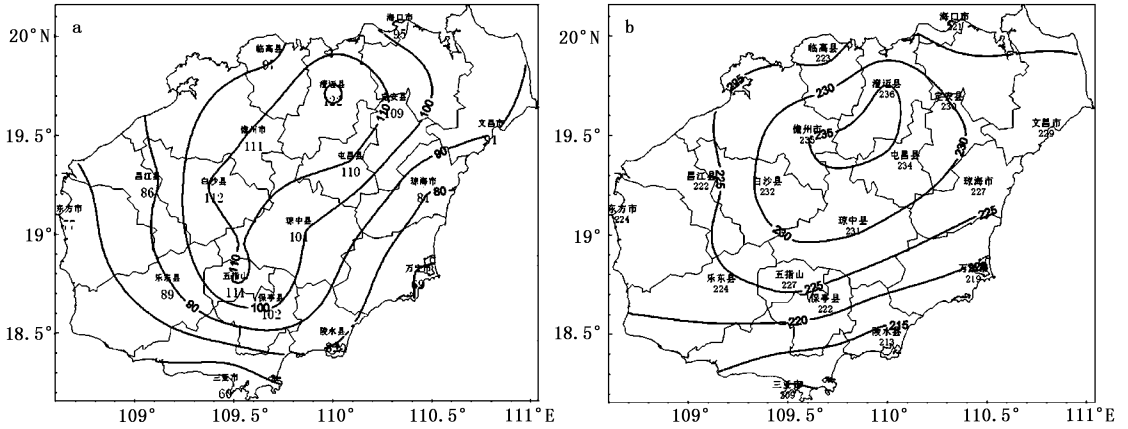


图 1 海南省 1966~2005 年年平均雷暴日数(a)和雷暴初终日数(b)空间分布

## 2.2 时间分布特征及定量化分析

### 2.2.1 年序列特征

对海南省 18 个气象观测站 1966~2005 年的年雷暴日数时间序列进行 EOF 分析(其空间总站数  $m = 18$  个,时间序列长度  $n = 40$  年)。结果表明,第 1 特征向量的方差贡献率达到 73.75%,在构成海南雷暴活动的空间分布中,具有最重要的作用;第 2 和第 3 特征向量方差贡献率分别为 6.89%和 4.34%,第 4 以后的特征向量贡献率在 4%~1%之间递减,作用不大。第 1 特征向量的空间分布(图 2)表明海

南地区雷暴活动基本具有同步性,整体上表现为全省一致,因此可认为第 1 特征向量的时间系数能够代表海南雷暴气候变化的主要趋势。

从第 1 特征向量时间系数年际变化(图 3)可看出,海南地区雷暴活动总体上呈下降趋势。20 世纪 60 年代中后期雷暴频数偏多,1971 年短暂减少后又反弹增多,1975 年达到雷暴频数最高,为 40 年之最;70 年代中后期至 80 年代初期平稳减少;80 年代中末期雷暴频数锐减,位相差变为负值;90 年代初期雷暴活动缓慢回升,频数有所增加,90 年代中期

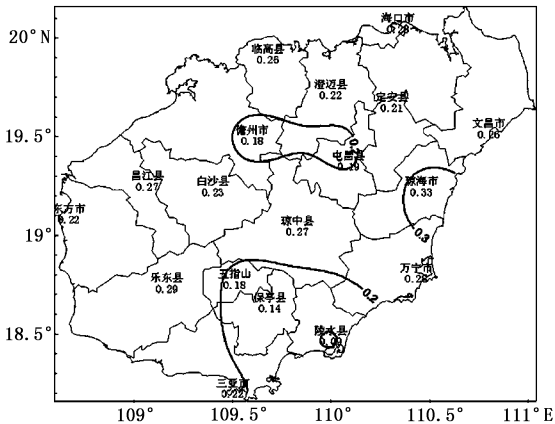


图 2 海南雷暴日数 EOF 分析第 1 特征向量空间分布

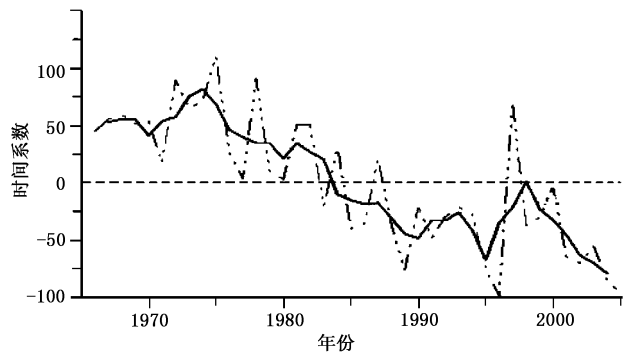


图 3 海南雷暴日数 EOF 分析第 1 特征向量的时间系数(虚线)和 3 年滑动平均(实线)

出现了一个明显的波谷,为雷暴的一个相对低值期,继而在1997年雷暴日数又大幅激增,至2005年又进入平稳减少阶段。从时间系数3年滑动平均趋势线可以看出,海南雷暴近40年来在波动中减少,其中70年代前期和90年代初期雷暴活动有所增加,1997年出现强势反弹,但总的来说呈下降趋势。

### 2.2.2 年变化

海南地区雷暴的季节变化显著,一年四季均可发生雷暴,但多出现在夏季。海南地处低纬热带地区,热带季风海洋性气候明显,尤其在夏季,足够的热力、动力作用和旺盛的西南季风带来的充沛水汽以及海陆风切变等因素的共同影响,使得局地强对流天气非常容易发生发展,雷暴活动频繁。海南雷暴的主要发生期在4~10月,占全年雷暴日数的97.11%,盛发期在5~9月,占全年雷暴日数的83.73%,10月以后,雷暴量骤减,其中以12月至翌年1月为最少,基本无雷暴活动。

## 3 大气环流背景分析

### 3.1 雷暴活动频繁年及少雷年的确定

根据世界气象组织和一些国家的规定,把雷暴日数距平 $|\Delta S|$ 达到2倍标准差( $2\sigma$ )的事件称为异常,距平达到 $1.3\sigma$ 的称为严重事件<sup>[14]</sup>。由图4可见,1966~2005年间只有1975、1996年 $|\Delta S|$ 接近 $2\sigma$ ,但并未达到异常事件的标准,取图中距平 $\Delta S > 1.3\sigma$ 的年份(1972、1975、1978、1997年)为雷暴活动频繁年, $\Delta S < -1.3\sigma$ 的年份(1989、1995、1996、2004、2005年)为少雷暴年。

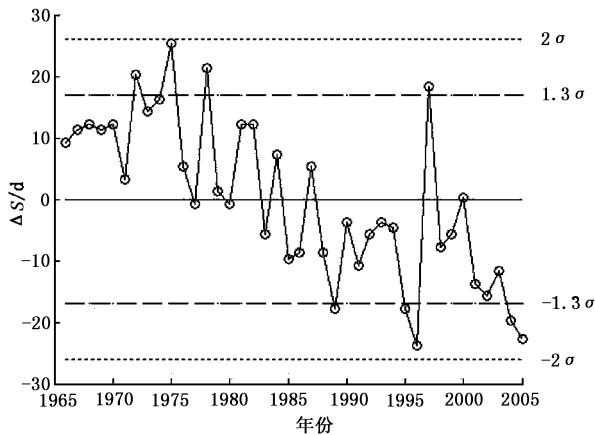


图4 1966~2005年海南地区年雷暴日数距平变化曲线

### 3.2 500 hPa 大气环流背景分析

对海南雷暴盛发期5~9月的500 hPa高度进行合成,其距平场可反映同期大气环流形势(图5)。可以看出:多、少雷暴年5~9月500 hPa合成高度场(图5a,b)的差异主要表现在西太平洋副热带高压脊线西伸脊点的经度位置及孟加拉湾低槽强弱上。在本文图中所取范围内多雷暴年看不见副高西伸脊点,而少雷暴年副高西伸脊点大约在 $137^{\circ}\text{E}$ 。多雷暴年副热带高压脊撤出南海,且孟加拉湾有深槽,海南地区由槽前西南风控制,强大的西南季风气流控制了南海大部分地区,暖湿的西南气流与撤出南海地区的副热带高压南侧的偏东气流交汇,容易形成南海夏季风槽,有利于大范围深对流出现<sup>[15]</sup>;少雷暴年则副高较强,位置偏西,海南地区受高压脊控制,天气晴热;两者副高西伸脊点位置相差十分明显,合成高度距平场(图5c,d)的差异表现更加明显,图中阴影区为差异显著性信度达到0.05的区域,多雷暴年低纬地区处于大范围的负距平高值区内,说明我国南方低纬地区低值系统活跃,南支槽活动频繁,有利于西南季风的发展,容易引起海南地区对流天气的发生;而少雷暴年中低纬地区处于正距平区内,不利于西南季风的发展,阻挡了暖湿水汽的输送,海南地区因受高压控制,下沉气流盛行,天气晴好,不利于雷暴天气的发生。副高的强弱是影响海南雷暴活动的一个重要大气环流背景条件。

## 4 不稳定因子分析

K指数<sup>[16]</sup>是衡量大气中潜在能量多少的一种指标,一般K大于 $20^{\circ}\text{C}$ 时,就有出现雷暴的可能,K大于 $35^{\circ}\text{C}$ 时,就具备出现大片雷暴的条件。海南雷暴的主要发生期在4~10月,利用分别位于海南岛北部和南部的海口、三亚2个探空站1996~2005年4~10月08:00探空资料,筛选各层资料整齐的天数,计算逐日K指数,并把结果按有、无雷暴日进行分类。

对计算结果统计发现(图6a,b),当K小于 $31^{\circ}\text{C}$ 时,不发生雷暴的几率明显高于发生雷暴的几率;海口站当K大于等于 $35^{\circ}\text{C}$ 时,发生雷暴的几率开始有较明显增加,而当K大于等于 $37^{\circ}\text{C}$ 时,雷暴发生几率大大增加;三亚站在K大于等于 $37^{\circ}\text{C}$ 之后雷暴发生几率超过30%。

比较图6a,b可以看出,当三亚站08:00 K指数达到指标数值( $37^{\circ}\text{C}$ )时不发生雷暴的几率比海口

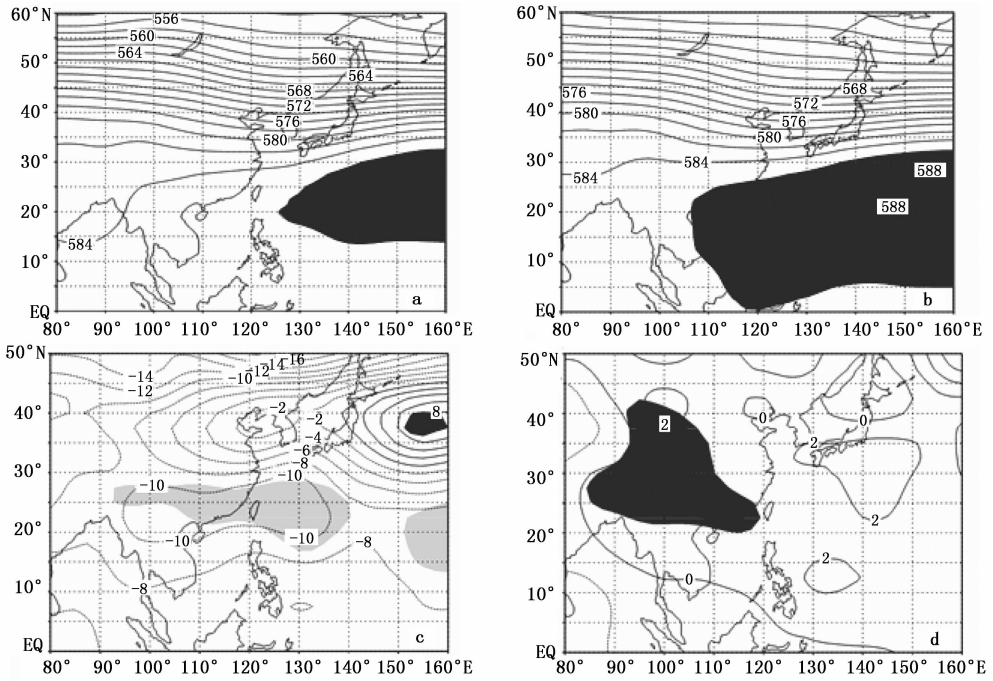


图 5 海南地区雷暴异常年 5~9 月 500 hPa 合成高度场及距平场

(a: 多雷暴年高度场, b: 少雷暴年高度场, c: 多雷暴年距平, d: 少雷暴年距平;

图 a、b 中阴影区等高线大于等于 586 dagpm, 图 c、d 中阴影区可信度大于等于 0.05)

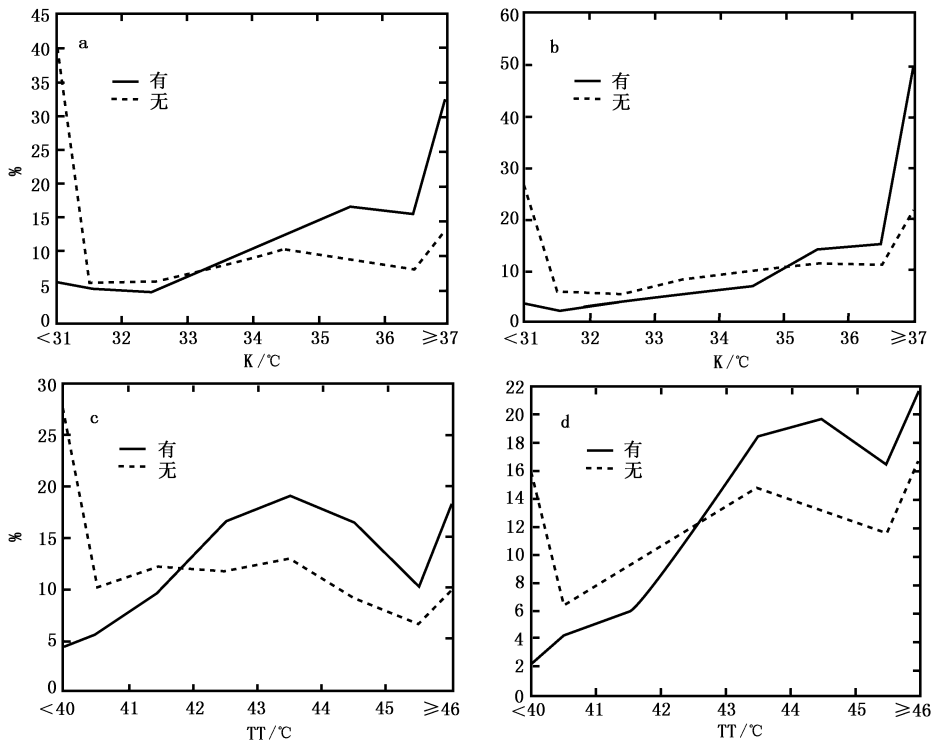


图 6 测站未来 24 h 出现(或不出现)雷暴的概率随指数变化

(a: K 指数, 海口; b: K 指数, 三亚; c: TT 指数, 海口; d: TT 指数, 三亚;

纵坐标为分布在各数值段内指数所占总样本数百分比)

站要高。分析原因可能是:从本文 2.1 节中所分析的海南雷暴气候分布特征来看,北部地区较南部地区更易发生雷暴,而位于最南端的三亚市是全省最不易发生雷暴的地区,因此当 K 达到指标数值时,不发生雷暴的几率也会相对较大。同样分析对流不稳定指数  $TT^{[17]}$ (图 6c、d),发现该指数对海口和三亚不发生雷暴的指示性均表现较好,即当  $TT$  小于  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,发生雷暴几率小,而  $TT$  大于等于  $46\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,发生雷暴可能性大。

以上分析表明,K 和  $TT$  指数的数值大小对于海南雷暴天气的预报具有一定效果,综合得出海南雷暴不稳定参数的海口、三亚区域性指标如表 1 所示。

表 1 K 和  $TT$  指数预报有、无雷暴参考指标

指数	计算公式	参考指标
K	$(T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$	有雷暴 海口 K 大于等于 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (可能性很大) 三亚 K 大于等于 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (可能性很大)
		无雷暴 K 小于 $31\text{ }^{\circ}\text{C}$
TT	$(T_{850} - T_{500}) \times 2 - T_{850} + T_{d850}$	有雷暴 $TT$ 大于等于 $46\text{ }^{\circ}\text{C}$
		无雷暴 $TT$ 小于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

注: $(T_{850} - T_{500})$  为温度递减率, $T_{d850}$  为低层水汽条件, $(T - T_d)_{700}$  为中层饱和程度,公式引自文献[16]、[17]。

## 5 结论与讨论

通过统计及经验正交函数(EOF)分析方法,得出了海南地区 1966~2005 年雷暴的基本气候变化特征:海南地区雷暴日的空间分布主要呈现北部内陆地区多、南部沿海地区少的特点;发生频率高的地区雷暴持续时间也较长;全省雷暴集中发生在 4~10 月,盛发期在 5~9 月;近 40 年来雷暴日年际变化总体呈下降趋势。运用合成分析给出了海南地区 5~9 月雷暴日异常年与同期 500 hPa 大气环流特征的关系:多雷暴年,低纬地区的位势高度场出现大范围负距平,夏季副高很弱,位置偏东;少雷暴年则相反。K 和  $TT$  指数对海南雷暴预报有一定意义。

本文仅利用合成分析方法从大尺度环流的角度得出了海南雷暴活动频繁和偏少年可能与同期 500 hPa 大气环流背景异常有关的结论,雷暴活动与其

他大尺度气候背景的关系还有待进一步研究。

致谢:海南省气候中心邢旭煌高级工程师为本文资料提供方便,在此深表谢意。

## 参考文献

- [1] 张敏锋,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.
- [2] 李照荣,康凤琴,马胜萍.西北地区雷暴气候特征分析[J].灾害学,2005,20(2):83-88.
- [3] 李亚丽,杜继稳,鲁渊平,等.陕西雷暴灾害及时空分布特征[J].灾害学,2005,20(3):99-102.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 胡艳,端义宏.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,2006,36(4):588-594.
- [7] 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.
- [8] 高菊霞,庞亚峰,梁生俊.陕西大范围雷暴 850hPa 能流场特征分析[J].陕西气象,2007,(2):29-32.
- [9] 吴恒强.广西雷暴活动特点分析[J].热带地理,2004,24(2):123-126.
- [10] 易燕明,杨兆礼,万齐林,等.近 50 年广东省雷暴、闪电时空变化特征的研究[J].热带气象学报,2006,22(6):539-546.
- [11] 张敏锋,刘欣生,张义军,等.广东地区雷电活动的气候分布特征[J].热带气象学报,2000,16(1):46-53.
- [12] 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.
- [13] 尹丽云,许迎杰,张腾飞,等.云南雷暴的时空分布特征分析[J].灾害学,2007,22(2):87-92.
- [14] 吴志伟,王镇江,朱筱英,等.镇江地区雷暴日的时空分布及雷暴日异常多年的特征分析[J].气象科学,2003,23(2):245-252.
- [15] 潘静,李崇银.夏季南海季风槽与印度季风槽的气候特征之比较[J].大气科学,2006,30(3):377-390.
- [16] 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,2005:216-217.
- [17] Huntrieser H, Schiesser H H, Schmid W, et al. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland [J]. Weather and Forecasting, 1997, (12):108-125.

# Climatic Changes Related to Thunderstorm Days in Hainan and Analysis of Atmospheric Circulation Background

Guo Dongyan<sup>1, 2</sup> Xin Jiwu<sup>2</sup> Wu Shengan<sup>2</sup> Jiang Tao<sup>3</sup> Yang Changxian<sup>2</sup> Chen Hong<sup>2</sup>

(1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000; 2 Hainan Institute of Meteorology, Haikou 570203; 3 Meteorological Office, PLA Unit 92830, Haikou 571122)

**Abstract:** The climate characteristics of thunderstorms at 18 stations in Hainan from 1966 to 2005 are analyzed using the EOF (Empirical Orthogonal Function) method. The results indicate that there was a decreasing tendency in the thunderstorm frequency in Hainan from 1966 to 2005; there occurred less thunderstorms in the south coastal area and more in the north inland areas; thunderstorm days were mainly concentrated in the period from April to October with the peak between May and September; in abnormal thunderstorm years, an obvious negative anomaly existed in low latitude areas at 500 hPa from May to September; the subtropical high is relatively weak and farther east in active thunderstorm years, and vice versa in less active thunderstorm years. K-index and TT-index are also analyzed, and the results show that they have certain prediction ability for thunderstorms.

**Key words:** thunderstorm frequency, EOF analysis, circulation background, instability factor

## 北极海冰快速缩减威胁永久冻土层

NCAR 新的研究表明,美国阿拉斯加州、加拿大、俄罗斯的气候变暖速度在海冰迅速损失期间增加了 2 倍。该发现引起人们关注北方永冻土解冻及其对敏感的生态系统、人类公共设施和额外温室气体排放的潜在影响。该研究由美国能源部和美国国家科学基金会共同资助,由 NCAR 研究人员完成,成果发表在 2008 年 6 月的 *Geophysical Research Letters* 杂志上。

2007 年夏季北极相对海冰平均水平缩减了 30%,达近年来最低。2007 年 9~10 月北极西部陆地上的气温也反常升高,相比 1970~2006 年平均值升高 2 °C 以上。这不禁使人们将海冰面积异常与气温升高联系起来。NCAR 的 Lawrence 等用 NCAR 的 CCSM(Community Climate System Model)模式分析了北极地区气候变化。以前的气候模拟研究认为,如果冰层足够薄,海冰迅速减少的时间将会持续 5~10 年。在这一事件中,模式结果表明,海冰缩减面积大小大致等于阿拉斯加州和科罗拉多州面积之和。

项目组人员发现,在海冰迅速减少期间,北极陆地气温上升速率是全球气候模式估计的 21 世纪平均值的 3 倍。虽然在海洋上变暖最为显著,模拟结果是变暖影响范围可向陆地伸展 1500 km,并且海冰减少期间变暖加速在秋季尤其明显。在海冰迅速减少的 10 年中阿拉斯加、加拿大、俄罗斯北极沿岸秋季温度升高达 2 °C。

Lawrence 等随后用该模式研究了加速变暖对永冻土的影响,发现在永冻土已经濒危的地区,例如阿拉斯加中部,海冰突然减少一定时间后就会引发冻土迅速融化。如果夏季融化的冻土超过来年冬季冻结的量,就会导致融冻土(talik,即季节性冻结层和最下面的永冻层之间夹着一层永久不冻土)现象出现,从而使热量在土壤中更迅速地蓄积,致使永冻土长期处于融化状态。

研究认为,北极土壤中的碳占全球土壤中储存碳的 30%以上。虽然研究人员还不能确定土壤变暖和永冻土融化后这些碳会发生什么变化,但有这样的可能:永冻土融化会促使额外的二氧化碳或甲烷的释放。北半球陆地中大约有 1/4 的地区有永冻土(至少有两年温度保持在 0 °C 以下),最近的变暖已经使大部分永冻土受到影响,包括公路变形、房屋受损、树木倒伏。

北极生物链中脆弱的平衡将会如何响应如此迅速的增温,目前还是一个没有答案的问题。如果北极海冰继续迅速缩减,海岸侵蚀将加速、甲烷排放将增加,灌木地将迅速变成苔原。该研究表明,北极系统中的各个分量是相互关联的,海冰的损失很可能会触发波及整个地区的巨大变化。