



江苏省雷暴和雷击事故对比及其雷击率分布特性

摘要

基于江苏省 1980—2010 年共 31 a 逐日雷暴和雷击伤亡人数资料的统计和分析得到:1)江苏省雷暴过程和雷击事故均呈上升趋势,但后者较前者上升趋势更为明显;2)江苏省雷击事故过程的雷击率呈单峰型特性,气候倾向率为正值,呈上升趋势;3)江苏省历年雷暴和雷击伤亡总人数都呈单峰型特性,峰值出现在 7 月,趋势线基本平行,相关系数(0.627 885)较高,上升趋势较为一致,雷击死亡人数波峰出现在 7 月,而雷击受伤人数的波峰却出现在 8 月;4)雷击伤亡人数的雷击率呈双峰型特性,其峰值分别出现在 5 月和 7 月,峰谷值相差很大,各月波动明显;5)雷击伤亡总人数、死亡人数和受伤人数的各雷击率地区分布不同,雷击伤亡人数的雷击率最高值区出现在南通地区,死亡人数的雷击率最高值区在南通和淮安地区,而受伤人数雷击率最高的区域在徐州地区,其地域分布差异较大,非均一性特征明显。

关键词

雷暴;雷击事故;雷击率;地区分布

中图分类号 TK89;TM86

文献标志码 A

收稿日期 2012-10-23

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYH Y200906037)

作者简介

沈刚,男,助理工程师,主要研究方向为雷电防护与检测,sgly1234@sohu.com

严明良(通信作者),男,博士,正研级高级工程师,主要研究方向为天气预报、应用气象,njaliang@163.com

0 引言

据统计,全球每年因雷击伤亡人员超过 1 万人.Curran 等^[1]对美国 1959—1994 年发生的 3 239 起雷击死亡事故、9 818 起受伤事故和 19 814 次财产损失进行了统计分析,平均每年的雷灾死亡率是 4.2×10^{-7} .我国也是全球雷暴多发区之一,全国雷暴发生日数超过 50 d 的有 21 个省(区、市),每年大约有 3 000~4 000 人因雷暴导致雷击而伤亡.江苏省地处江淮下游,河网密集,是暖温带与亚热带过渡地带,冷暖气流频繁交汇,天气复杂多变,雷暴活动频繁,每年 3—9 月是雷暴主要发生期,平均年雷暴日超过 40 d,最高年份达 73 d.

由雷暴引起雷击灾害,引起人们极大的关注,许多专家对雷暴和雷击灾害分别进行了研究.如陈思容等^[2]对中国雷暴发生概率的空间分布、影响雷暴发生的因子等做了详细分析;张敏锋等^[3]指出,我国雷暴气候变化明显的 3 个地区是东北地区、黄河中下游地区和华南地区;王纪军等^[4]通过分析偏度系数和峰度系数等研究了河南省雷暴日数的时空分布特征;刘梅等^[5]分析了近 57 a 江苏省雷暴日的时空分布特征;胡先锋等^[6]根据 1998—2004 年全国雷电灾害资料分析指出,夏季是中国雷电灾害发生最多的季节,占全年雷电灾害的 66%,雷灾最高值区域为东南沿海地带;郭虎等^[7]研究了北京自然雷电与雷电灾害的时空分布特征;曾山泊等^[8]对雷灾等级进行了划分;殷娴等^[9]对区域雷灾易损性进行了分析与区划.

虽然雷暴能引起雷击灾害,但发生雷击灾害是雷暴过程中的一个小概率事件.本文就江苏省 1980—2010 年的雷暴日和雷击伤亡数据进行分析,对江苏省雷暴和雷击事故作对比分析,以期了解江苏省雷击伤亡重大事故出现在雷暴过程中的比率特征,为江苏雷电灾害风险评估、雷电预警和雷电防护提供科学依据.

1 资料和方法

本文以江苏省 13 个市 1980—2010 年的逐日雷暴日资料作为基本数据,利用《中国气象灾害大典(江苏卷)》^[10] 1980—2001 年江苏雷击伤亡事故资料、中国气象局雷电防护管理办公室和中国气象学会雷电防护委员会编著的《全国雷电灾害汇编》和近年来江苏省防雷中心收集的全省各市县雷电灾害资料进行统计整理.本文将雷击受伤、死亡人数与雷暴日的比率定义为雷击率(f),其表达式如下:

1 江苏省防雷中心,南京,210009

2 江苏省气象台,南京,210009

$$f = \sum_{i=0}^n S_i / \sum_{i=0}^m L_i, \quad (1)$$

其中, S_i 为雷击伤亡人数, L_i 为雷暴日. 根据式(1)统计雷击率, 并研究分析江苏雷击率的年、月演变特性和空间分布特性.

2 结果与分析

2.1 雷暴和雷击事故过程对比及其雷击率气候倾向率分布特征

本文将江苏区域中一日(08—08时)内发生雷击造成人员伤亡定义为一次雷击事故过程. 采用式(1), 将年雷击事故过程与之对应的年雷暴日的比率称为雷击事故过程雷击率(雷击伤亡人数雷击率等与此类同), 并利用线性方程表示江苏雷暴和雷击事故过程及其雷击率的趋势定量变化, 即:

$$y = a_0 + a_1x, \quad x = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

则江苏 1980—2010 年雷击伤亡事故过程的趋势线性方程为

$$y = 0.3774x - 0.2645, \quad (3)$$

江苏 1980—2010 年雷暴日演变的趋势线性方程为

$$y = 1.8065x + 330.1. \quad (4)$$

从图 1 中可以看出: 江苏省雷暴和雷击事故过程气候倾向率均为正值, 气候倾向率分别为 18.065 和 3.774, 表示 1980—2010 年间江苏省雷暴和重大雷击事故过程总体呈上升趋势, 但雷击事故过程上升趋势更为明显; 31 a 共发生雷击事故过程 179 次, 年平均雷击事故为 5.77 次, 历年分布差异较大; 雷击事故过程年演变(红线)的高值主要集中在 2005—2008 年, 发生雷击事故过程最多为 25 次, 出现在 2007 年; 雷暴日年演变特征(蓝线)与雷击事故过程大致相近, 虽均呈上升趋势, 但两者波动明显, 呈现出非均匀分布特征.

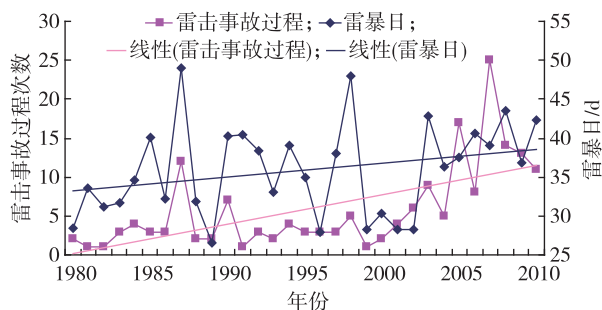


图 1 1980—2010 年江苏省雷击事故过程和雷暴日演变曲线

Fig. 1 Variation of lightning-hit accidents and thunderstorm days in Jiangsu province from 1980 to 2010

2.2 雷击事故过程的雷击率年分布特征

图 2 显示: 1980—2010 年江苏省雷击事故过程雷击率的高峰出现在 2007 年, 其数值为 0.064 2, 次峰出现在 2005 年, 数值为 0.045 2, 高值时段在 2002—2010 年, 低谷在 1991 年, 数值为 0.002 5, 峰谷值相差很大. 显然, 江苏省雷暴和雷击事故过程气候倾向率均为正值, 气候倾向率为 0.006, 表明江苏 1980—2010 年江苏省雷击事故过程的雷击率总体呈上升趋势.

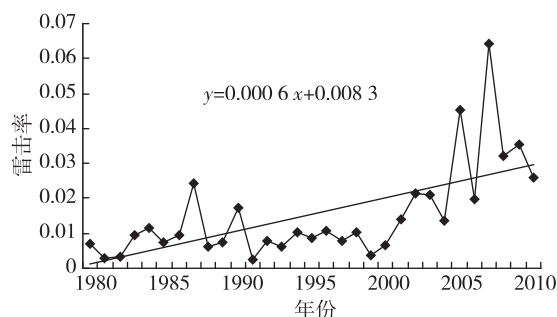


图 2 1980—2010 年江苏省雷击事故过程的雷击率变化曲线

Fig. 2 Variation of lightning-stroke rate for lightning-hit accidents in Jiangsu province from 1980 to 2010

2.3 雷暴和雷击伤亡人数对比及气候倾向率分布特征

经计算, 江苏省 1980—2010 年雷击伤亡人数的趋势线性方程为

$$y = 0.6556x + 9.474. \quad (5)$$

江苏省雷暴和雷击受伤人数气候倾向率均为正值, 气候倾向率分别为 18.065 和 6.556, 表示 1980—2010 年间江苏省雷暴和雷击受伤人数总体均呈上升趋势, 但雷击受伤人数趋势线和江苏省雷暴趋势线基本平行, 表明两者上升趋势较为一致. 统计表明: 江苏 1980—2010 年间雷击伤亡人数为 619 人, 年均伤亡 20 人, 雷击死亡人数占比为 59.8%, 雷击受伤人数占比 40.2%. 图 3 显示: 江苏省 1980—2010 年雷击伤亡总人数呈现双峰型特征(图 3 中蓝线), 主峰出现在 2007 年, 次峰出现在 1987 年, 雷击伤亡人数分别为 79 和 68 人. 江苏省雷暴日年演变特征(图 3 中红线)与雷击伤亡人数大致相近, 虽均呈上升趋势, 但两者仍与雷击事故过程一样波动明显, 呈现出非均匀分布特征.

2.4 伤亡人数的雷击率年分布特征

1980—2010 年江苏省雷击伤亡人数雷击率的变化曲线呈双峰型(图 4), 主峰出现在 2007 年, 其数值为 0.202 6, 次峰出现在 1987 年, 数值为 0.138 8,

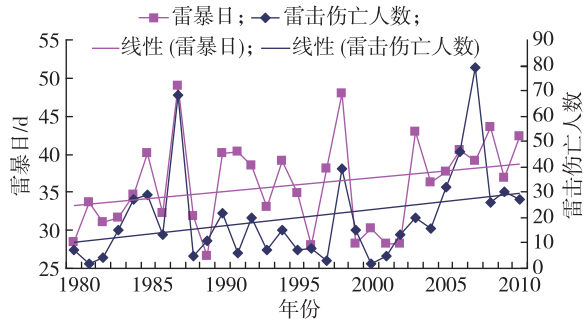


图3 1980—2010年江苏雷击伤亡人数和雷暴日演变曲线

Fig. 3 Lightning-hit casualties and thunderstorm days in Jiangsu province from 1980 to 2010

低谷在1981年,数值为0.0059,次低谷出现在2000年,数值为0.0066,峰谷值相差也是很大.雷击伤亡人数雷击率的气候倾向率为正值,说明1980—2010年江苏省年雷击伤亡人数总体呈上升趋势,但各年演变波动明显,呈现出非均匀分布特征(图4).

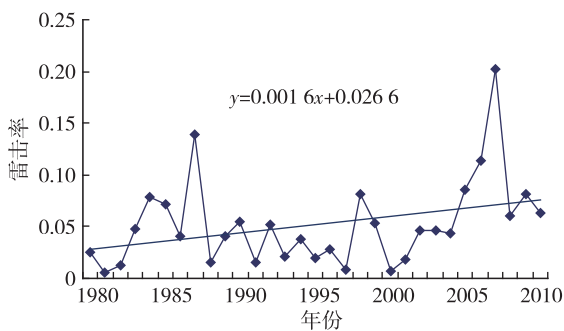


图4 1980—2010年江苏省雷击伤亡人数的雷击率变化曲线

Fig. 4 Variation of lightning-stroke rates of lightning-hit casualties in Jiangsu province from 1980 to 2010

年雷击伤亡人数与年雷暴日的相关系数为

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)(y_i - Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2}}, \quad (6)$$

其中 x_i 为自变量数列值, $i = 1, 2, \dots, n$, X 为自变量数列的平均值, y_i 为因变量数列值, Y 为因变量数列的平均值.

经计算得到江苏省年雷击伤亡人数与年雷暴日的相关系数为0.627885,表明在雷暴出现多的年份,相应的雷击伤亡人员发生事件也较多.

2.5 各月雷暴和雷击伤亡人数对比及其雷击率分布特性

对比1980—2010年江苏省雷击伤亡人数年变

沈刚,等.江苏省雷暴和雷击事故对比及其雷击率分布特性.

化曲线与江苏省平均雷暴日的年变化曲线(图5)可以发现:

1) 江苏省各月雷暴日与雷击伤亡人数都呈单峰型变化,雷暴日峰值和雷击伤亡人数峰值都出现在7月,夏季6—8月是雷暴的盛发期,同样也是雷击伤亡事故的盛发期.由图5a可以看出,从3月开始,雷暴日和雷击伤亡人数逐渐增多,到7月达到峰值,这与江苏省从3月开始的增温有关.3—5月虽然冷暖空气交锋很激烈,有形成雷暴的动力条件(对流运动),但热力条件不是很理想,6—8月不仅对流动力条件能得到满足,而且有充沛的水汽和热力条件,是雷暴发生的最佳季节,其中7月热力条件最好,空气中水汽含量也很充足,易产生热对流,而温暖潮湿的上升气流是产生雷暴的必要条件,所以雷暴现象明显增多.在6—8月雷暴高发期中,对应雷击伤亡也出现了高峰期,到8月以后迅速回落,减小.

2) 对比江苏省1980—2010年各月雷暴日与雷击死亡人数(图5b)和雷击受伤人数(图5c)可以看出,其月变化都呈单峰型,夏季(6—8月)是雷暴高发期,也是雷击受伤人数和雷击死亡人数发生最多的季节;江苏省各月雷暴日与雷击伤亡人数都呈单峰型变化,雷击死亡人数的波峰出现在7月,雷击受伤人数的波峰则出现在8月.

3) 用式(6)计算得到的江苏省月雷击伤亡人数与江苏月雷暴日的相关系数为0.981828,相关系数极高,在雷暴出现多的月份,相应的雷击伤亡人数发生事件也是较多的月份.

统计1980—2010年各月江苏省雷击伤亡人数雷击率(图6)表明:

1) 江苏省雷击伤亡人数雷击率的年内变化呈双峰型(图6a),峰值出现在5月和7月,其数值分别为0.0436和0.0427,5—8月仍然是江苏省雷击伤亡人数雷击率的高值时段.

2) 统计1980—2010年各月江苏省雷击死亡人数雷击率(图6b)和受伤人数雷击率(图6c)与雷击伤亡人数雷击率演变特征基本一致,都呈双峰型,但6月的雷击受伤人数雷击率谷(图6c)比死亡人数雷击率谷要深得多(图6b).雷击受伤人数雷击率谷值为0.0074,而死亡人数雷击率谷值为0.0227,显然死亡人数雷击率谷值比雷击受伤人数雷击率谷值要高.

2.6 江苏雷击伤亡事故和雷击率空间分布特征

统计分析江苏全省1980—2010年雷击伤亡人

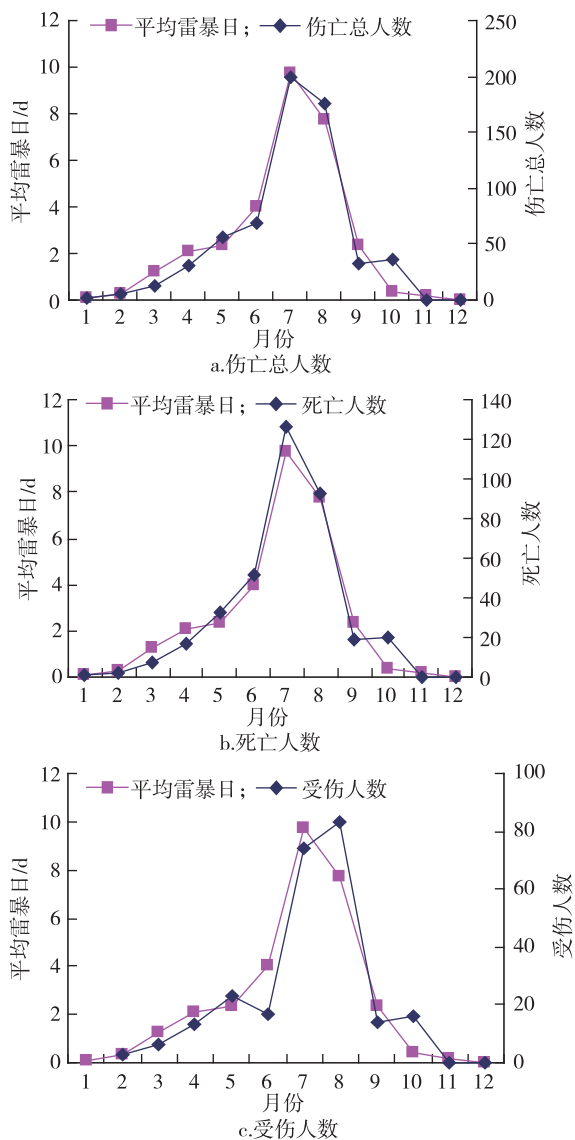


图5 1980—2010年江苏省各月雷击伤亡人数和平均雷暴日演变曲线

Fig. 5 Monthly average thunderstorm days and lightning-hit casualties, death toll and injuries in Jiangsu from 1980 to 2010

数的地区分布(图7a)可以发现:雷击伤亡人数东南部和西北部多,东北部和西南部少,区域差异大,非均一性特征明显;发生雷击伤亡人数最多的区域分布在南通地区大部、盐城地区南部、泰州地区的东部和苏州地区的北部,南通地区发生雷击伤亡人数居全省首位,次多的区域在徐州地区,发生雷击伤亡人数最少的区域在宿迁地区和连云港地区,发生雷击伤亡人数最多的区域与发生雷击伤亡人数最少的区域差异十分明显。

与之对应的江苏全省1980—2010年雷击伤亡人数雷击率地区分布(图7b),与雷击伤亡人数地区

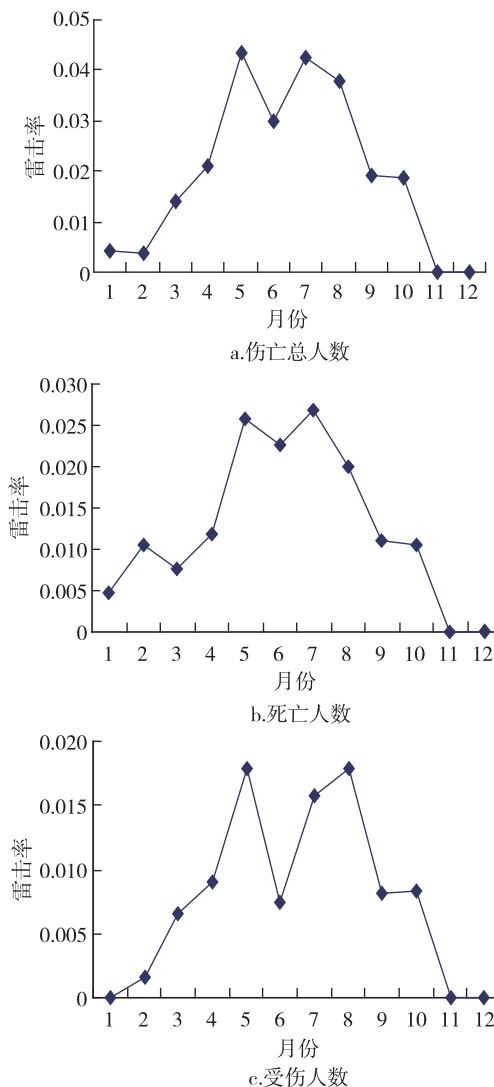


图6 1980—2010年江苏省各月雷击伤亡人数的雷击率
Fig. 6 Monthly lightning-stroke rates of lightning-hit casualties, death toll and injuries in Jiangsu province from 1980 to 2010

分布十分相似,呈东南部和西北部两头多中间少的分布特征,发生雷击伤亡人数雷击率最高的区域在南通和苏州的北部,其数值在0.1左右,比雷击伤亡人数地区分布范围要小,雷击伤亡人数雷击率次高的区域仍在徐州地区,发生雷击伤亡人数雷击率最低的地区在连云港和宿迁地区,其数值在0.01左右,其他地区大致相当.显然,雷击伤亡人数雷击率最高的区域与雷击伤亡人数雷击率最小的地区相差特别明显。

江苏省1980—2010年雷击死亡人数雷击率(图7c)和雷击受伤人数雷击率(图7d)的地区分布不同,死亡人数雷击率最高的区域在南通地区和淮安地区,其数值均在0.06左右,而受伤人数雷击率最

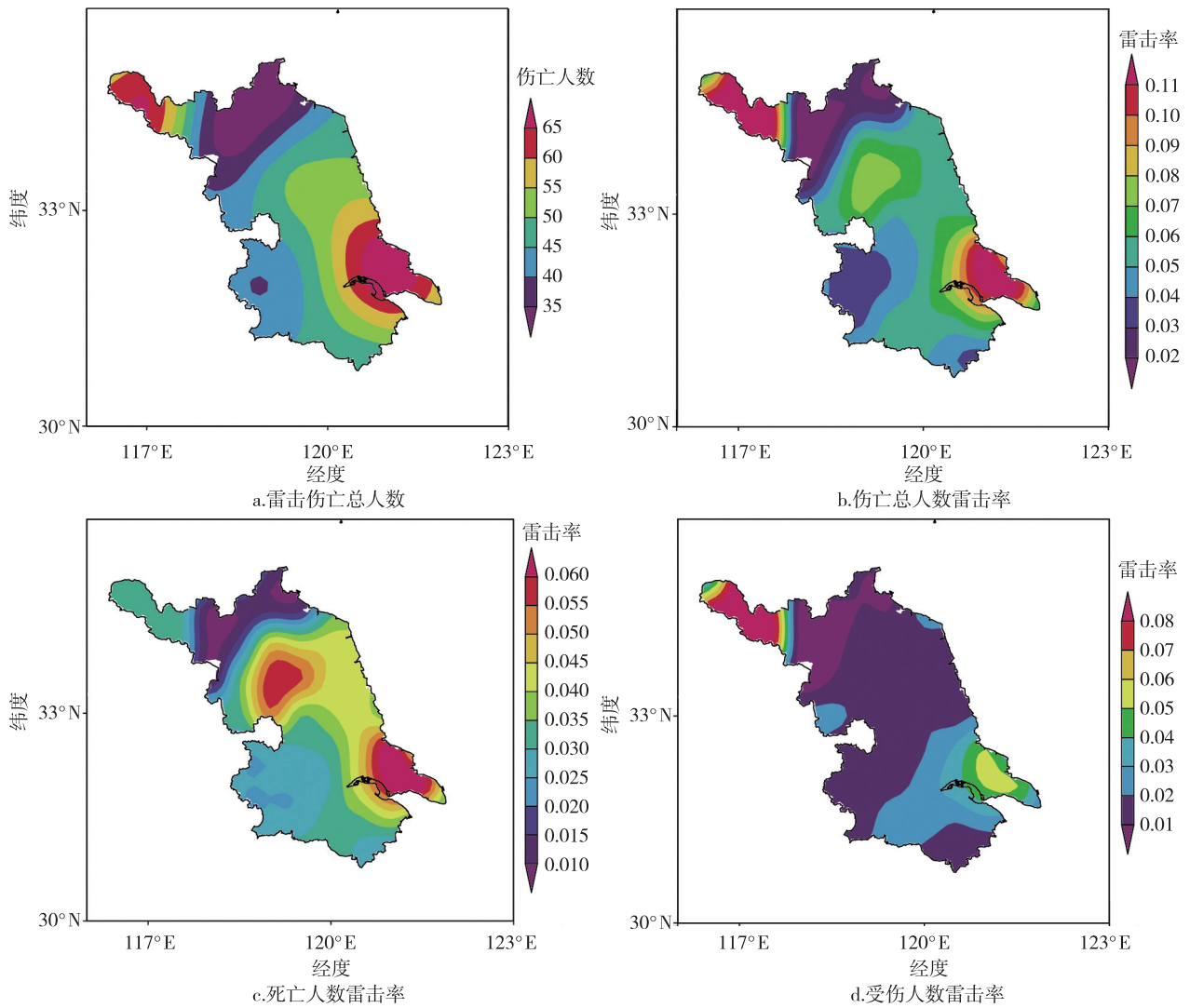


图7 1980—2010年江苏省雷击伤亡人数雷击率的地区分布

Fig. 7 Regional distribution of lightning-hit casualties, lightning-stroke rate of casualties, lightning-stroke rate of death toll and lightning-stroke rate of injuries in Jiangsu province from 1980 to 2010

高的区域在徐州地区,次高值区在南通地区。

由此可见,雷击伤亡人数雷击率最高区域出现在南通地区,受伤人数雷击率最高的区域在徐州地区,伤亡人数雷击率、受伤人数雷击率和死亡人数雷击率区域分布差异大,非均一性特征明显。

3 结论与讨论

通过对江苏省1980—2010雷暴日、雷击受伤人数、雷击死亡人数、雷击伤亡总人数及其雷击率的时空变化特征的分析,得到如下结论:

1) 江苏省雷暴过程和雷击事故过程气候倾向率分别为18.065和3.774,均为正值,总体呈上升趋势,但雷击事故过程上升趋势较雷暴过程上升趋势

更为明显.江苏省年内雷击事故过程雷击率呈单峰型变化,气候倾向率为0.006,总体呈上升趋势。

2) 江苏省历年雷暴过程和雷击伤亡总人数气候倾向率均为正值,趋势线基本平行,表明两者上升趋势较为一致.江苏雷击伤亡人数雷击率的年际变化出现双峰双谷型,主峰出现在2007年,其数值为0.2026,峰谷值相差较大.江苏省年雷击伤亡人员与江苏年雷暴日的相关系数为0.627885,表明雷暴出现多的年份,相应的雷击伤亡人员也较多。

3) 江苏省年内各月平均雷暴日和各月雷击伤亡人员的分布曲线都呈单峰型,峰值都出现在7月,夏季6—8月是雷暴的盛发期,各月雷击受伤人数和雷击死亡人数虽呈单峰型,但雷击死亡人数波峰出

现在7月,雷击受伤人数的波峰出现在8月,其波峰前后相差一个月.江苏省雷击伤亡人员与雷暴日的相关系数为0.981 828,表明雷暴出现多的月份,相应的雷击伤亡人员也较多.江苏省年内雷击伤亡人数雷击率呈双峰型分布,波峰分别出现在5月和7月,其数值分别为0.043 6和0.042 7,5—8月仍然是江苏省雷击伤亡人数雷击率的高值时期,但在双峰之间的6月雷击受伤人数雷击率比死亡人数雷击率要少得多.

4) 江苏全省1980—2010年雷击伤亡人数的地区分布总体呈东南部和西北部多、东北部和西南部少的格局,发生雷击伤亡人数最多的区域在南通地区大部、盐城地区南部、泰州地区东部和苏州地区北部.发生雷击伤亡人数最少的区域在宿迁地区大部 and 连云港地区大部,发生雷击伤亡人数最多的区域与最少的区域差异十分明显.雷击伤亡人数雷击率、死亡人数雷击率和受伤人数雷击率的地区分布不同,雷击伤亡人数雷击率最高地区发生在南通地区,死亡人数雷击率最高的区域在南通地区和淮安地区,而受伤人数雷击率最高的区域在徐州地区,次高值区在南通地区,其地域分布差异较大,非均匀性特征明显.

本文对江苏省雷暴过程和雷击事故、江苏雷击伤亡人数雷击率的年际变化和月际变化特征进行分析,表明年际变化和月际变化差异都较大,非均匀性特征明显,虽对月际变化差异原因做了一些解释,但仍需要进一步深入探讨其原因.南通地区东临黄海,南部是长江,西北部为洪泽湖和高邮湖,该区的沙土地与沿海的盐碱土具有不同的土壤属性.南通地区海风锋、较大水体、不同种类的土壤属性等所构成的热力非均匀性对强对流发生和不稳定发展有直接影响.在有利的天气形势背景下,南通这个“半岛”地区有别于平原地区的一般气候特征,不但是江苏降雹的多频中心,也是江苏发生龙卷风最多的地区.但对南通地区是江苏雷击伤亡人数雷击率高发区以及江苏省雷击率地域分布差异的原因还需要进一步深入研究.

参考文献

References

- [1] Curran E B, Holle R L, Lopez R E. Lightning casualties and damages in the United States from 1959 to 1994[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(19): 3448-3464
- [2] 陈思蓉,朱伟军,周兵.中国雷暴气候分布特征及变化趋势[J]. *大气科学学报*, 2009, 32(5): 704-710
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 王纪军,郭红晨,卢广建.河南省雷暴日数时空分布的非均一性特征[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(4): 115-119
- [7] 王纪军,郭红晨,卢广建.河南省雷暴日数时空分布的非均一性特征[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(4): 115-119
- [8] 王纪军,郭红晨,卢广建.河南省雷暴日数时空分布的非均一性特征[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(4): 115-119
- [9] 刘梅,魏建苏,俞剑蔚,等.近57 a江苏省雷暴日时、空分布气候特征[J]. *气象科学*, 2009, 29(6): 827-832
- [10] 刘梅,魏建苏,俞剑蔚,等.近57 a江苏省雷暴日时、空分布气候特征[J]. *气象科学*, 2009, 29(6): 827-832
- [11] 刘梅,魏建苏,俞剑蔚,等.近57 a江苏省雷暴日时、空分布气候特征[J]. *气象科学*, 2009, 29(6): 827-832
- [12] 胡先锋,刘彦章,肖稳安.1998—2004年中国雷电灾害特征分析[J]. *气象与减灾研究*, 2007, 30(3): 56-59
- [13] 胡先锋,刘彦章,肖稳安.1998—2004年中国雷电灾害特征分析[J]. *气象与减灾研究*, 2007, 30(3): 56-59
- [14] 胡先锋,刘彦章,肖稳安.1998—2004年中国雷电灾害特征分析[J]. *气象与减灾研究*, 2007, 30(3): 56-59
- [15] 郭虎,熊亚军,付宗钰,等.北京市自然雷电与雷电灾害的时空分布[J]. *气象*, 2008, 34(1): 12-17
- [16] 郭虎,熊亚军,付宗钰,等.北京市自然雷电与雷电灾害的时空分布[J]. *气象*, 2008, 34(1): 12-17
- [17] 郭虎,熊亚军,付宗钰,等.北京市自然雷电与雷电灾害的时空分布[J]. *气象*, 2008, 34(1): 12-17
- [18] 曾山泊,肖稳安,李霞.苏州地区雷暴活动规律和雷灾分析[J]. *气象科学*, 2006, 26(5): 517-524
- [19] 曾山泊,肖稳安,李霞.苏州地区雷暴活动规律和雷灾分析[J]. *气象科学*, 2006, 26(5): 517-524
- [20] 曾山泊,肖稳安,李霞.苏州地区雷暴活动规律和雷灾分析[J]. *气象科学*, 2006, 26(5): 517-524
- [21] 殷娴,肖稳安,冯民学,等.区域雷灾分布特征分析及易损度区划[J]. *气象科技*, 2009, 37(2): 216-220
- [22] 殷娴,肖稳安,冯民学,等.区域雷灾分布特征分析及易损度区划[J]. *气象科技*, 2009, 37(2): 216-220
- [23] 殷娴,肖稳安,冯民学,等.区域雷灾分布特征分析及易损度区划[J]. *气象科技*, 2009, 37(2): 216-220
- [24] 温克刚,卞光辉.中国气象灾害大典:江苏卷[M].北京:气象出版社,2008
- [25] 温克刚,卞光辉.中国气象灾害大典:江苏卷[M].北京:气象出版社,2008
- [26] 温克刚,卞光辉.中国气象灾害大典:江苏卷[M].北京:气象出版社,2008
- [27] 沈树勤.下垫面热力非均匀性及其对冰雹等强对流天气影响的初步研究[J]. *气象*, 1991, 17(8): 20-25
- [28] 沈树勤.下垫面热力非均匀性及其对冰雹等强对流天气影响的初步研究[J]. *气象*, 1991, 17(8): 20-25
- [29] 沈树勤.下垫面热力非均匀性及其对冰雹等强对流天气影响的初步研究[J]. *气象*, 1991, 17(8): 20-25

Comparison between lightning events and their deprived accidents and pattern of lightning-stroke rate distribution in Jiangsu Province

SHEN Gang¹ YAN Mingliang² YE Yuzhen¹ ZHOU Junchi¹

1 Lightning Protection Center of Jiangsu Province, Nanjing 210009

2 Meteorological Observatory of Jiangsu Province, Nanjing 210009

Abstract The statistical characteristics of the daily lightning events and their deprived injury and death amount from 1980 to 2010 in Jiangsu province were analyzed in this paper. The results were displayed as follows: 1) The lightning events are increasing in these years as well as their deprived accidents. The lightning-stroke rate of lightning accidents shows a single peak pattern with positive and ascent climatic tendency. 2) The lightning events and deprived accidents in Jiangsu province shows a single peak in July with a paralleling trend line, a high relative coefficient (0.627 885) and an unanimous ascent trend. The lightning-hit death toll reaches its peak in July while the injuries peak in August. The lightning-stroke rate of casualties peaks in May and July with considerable peak valley difference and month-to-month disparity. 3) There was obvious regional difference of the lightning-hit casualties in Jiangsu province. Nantong and Huaian has the highest lightning-stroke rates of the death toll while Xuzhou has the highest lightning-stroke rate of the injuries.

Key words lightning event; lightning-hit accidents; lightning-stroke rate; regional distribution