

区域雷灾分布特征及易损度区划

殷 娴¹ 肖 稳 安¹ 冯 民 学² 焦 雪² 王 振 会¹ 李 霞¹

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 江苏省防雷中心, 南京 210008)

摘要 根据江苏省近 9 年来的雷电灾害资料、45 年的雷暴日资料以及近 4 年的地闪资料,以江苏省的自然环境、人文环境、气候环境为背景,分析了江苏省 13 个地级市的雷电灾害分布特征,指出江苏省雷电灾害多发生在 6~8 月,雷电灾害主要是物理损坏和电气与电子系统失效,其中无锡和苏州最为典型。从江苏省各地级市的资料中提取了 7 个雷灾易损性评价指标,用 SAS 软件中主成分分析方法对各地级市的雷灾易损性评价指标进行了综合评估。结果表明,区域雷灾易损性不仅取决于区域自然条件对雷电磁场环境变化的敏感性,而且还取决于区域社会体系对雷电灾害的承受能力。用聚类分析法生成了江苏省的雷灾易损度区域划分图,为区域防雷减灾规划提供了科学依据。

关键词 雷电灾害 主成分分析 聚类分析 雷灾易损度区域划分

引言

在自然灾害中,雷电引起的灾害是世界十大自然灾害之一。而雷电过程表现为强大的冲击波、剧变的电磁场、强烈的电磁辐射和炽热的高温^[1],这些效应会造成人员伤亡,建筑物击毁,森林起火,电子信息系统及网络设备损坏等,带来无法挽回的经济损失。灾害的发生是由致灾环境的危险性和承灾体的脆弱性决定的,前者就区域而言,其存在和产生在很大程度上是自然的,而对于承灾体,人为因素起着极其重要的作用^[2]。相同强度的雷电流在不同的承灾体上会造成不同的后果,易损性是对致灾环境危险性和承灾体脆弱性的概括^[3],对其进行研究对区域减灾以及灾害保险等有着重大意义。近年来,许多专家学者从灾害易损性的角度出发,以实证的方法,对区域雷电灾害进行了研究。其中尹娜^[4]等根据广东省的雷灾资料初步分析了广东地区的雷灾易损性;严春银^[5]等提出了江西地区雷灾易损性分析和区域划分的模式。由于区域环境的差异性,不同区域的雷灾易损度差异也很大,这就需要通过积累的历史资料,根据不同区域特征对雷电灾害进行全面的系统性分析,以减轻雷电灾害造成的损失

和影响。

1 江苏省雷灾区域环境背景分析

雷电灾害的孕育、发生、发展与区域环境状况有密切关系,主要表现在区域地理地貌、土壤状况、人文环境、气候环境等方面。

(1)地理地貌:江苏省位于中国东部沿海的长江三角洲,全境在东经 116°18'~121°57',北纬 30°45'~35°20'之间。全省面积 $10.26 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中地形以平原为主,平原面积 $7.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。而且有近 1000 km 的海岸线,水域面积 $1.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。由于地形以平原为主,江苏地区的雷暴活动没有我国西南山区频繁,但水网密布的地形条件有助于雷暴天气系统的发生和发展,因此雷暴发生多在东部沿江,西部丘陵山区。

(2)人文环境:全省人口为 7654 万,人口密度居全国各省第 1 位,达每 736 人/ km^2 ,特别是苏南和苏中地区的人口密度更大。到 2006 年为止,老年人口比重上升到 11%;在各种受教育程度人口中,大学及以上受教育程度仅占 7.92%,高中受教育程度占 14.52%。这些都关系到人们的防雷意识差异以及灾害发生时,人们对灾害的抵御能力。

江苏省社会发展项目(BS2005070)、南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室项目(KLME050101)及南京信息工程大学科研基金项目共同资助

作者简介:殷娴,女,1984 年生,硕士,主要从事雷电预警研究,Email:707239728@qq.com

收稿日期:2007 年 12 月 18 日;定稿日期:2008 年 3 月 26 日

(3)土壤状况:江苏省境内的土壤在低山丘陵地区主要以棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土和棕红壤为主,而在广大的苏南太湖和苏北平原,主要是河湖沉积物形成的平原土壤类型。不同的土壤类型有不同的土壤电阻率,而如果土壤中的电阻率分布不均匀,则土壤电阻率小的地方易受雷击,在不同土壤电阻率的交界处也易遭到雷击。

(4)气候环境:江苏省处于亚热带向暖温带的过渡地带,气候具有明显的季风特征,大致以淮河—灌溉总渠一线为界,以南属亚热带湿润季风气候,以北

属暖温带湿润季风气候。雷暴是大气中发展旺盛的强对流天气现象,江苏每年 3 月气温开始回升,雷暴发生的次数逐月增加,至 7 月空气中水汽含量最充足,雷暴现象最多,8 月略有回落,9 月以后迅速减少。图 1a 为江苏省大于 50 kA 的强地闪月分布与历年平均雷暴日对比图(资料来源:江苏省电力部门 2003~2006 年已校正过的地闪资料以及江苏省 1998~2006 年各站点的雷暴日资料),图 1b 为雷电灾害次数的月分布图。可以看出,强地闪和雷电灾害多发生在 6~8 月。

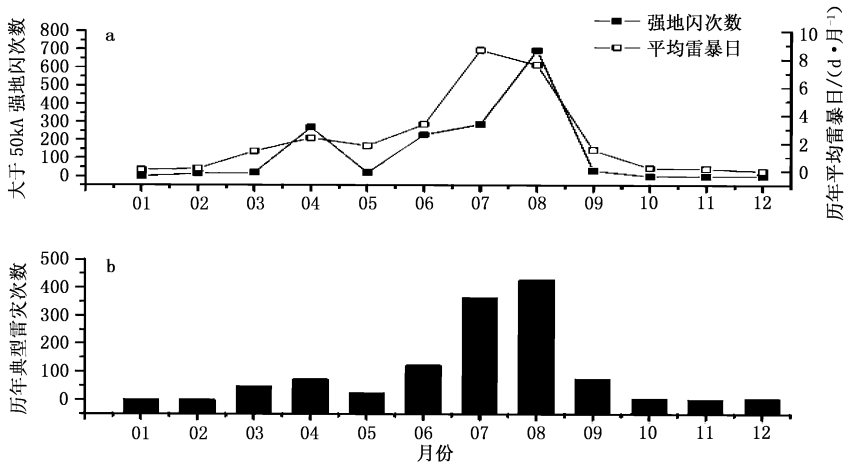


图 1 江苏省强地闪(大于 50 kA)次数月分布与月平均雷暴日数(a)和雷电灾害次数(b)月分布

2 江苏省雷电灾害的分布特征

2.1 典型雷灾区域分布与区域雷暴日数的关系

江苏省现有 13 个地级市,以这 13 个地级市为单位,统计分析 1998~2006 年的典型雷灾,结果如图 2 所示。虽然总体上雷暴日较多的地区雷灾发生的频率也较大,但这种变化趋势在局部范围内是不

一致的。例如无锡的雷灾发生频率最高,但它的平均雷暴日数不是最多;镇江的雷灾发生频率最低,但它的平均雷暴日数不是最少。可见,雷电灾害的发生不仅与自然因素有关,还与人为因素比如地区经济结构、区域雷电防护水平等有很大关系。区域雷暴日数不是反映区域雷电灾害的唯一指标。

2.2 按损坏类型分类的雷灾区域分布

根据国际电工委员会雷击损害风险评估规范(IEC62305-2)的规定,可将雷击引起的损害分为生物伤害、物理损害以及电气和电子系统失效 3 种类型。由图 3 按损坏类型分类的区域雷灾分布可以看出,这 3 种类型的损害中电气和电子系统失效的损害占的比重最大,而其中又以苏州和无锡最为典型。苏州和无锡都是有名的电子工业城市,大量的微电子设备在雷暴发生时极易受到损坏。同时苏州受到的物理损坏相对其他地区也较多,这是因为苏州老城区由于保护历史文化遗产的原因,高层建筑物很少;而处于市区边缘的老国有企业、老化工企业由于生产的需要,

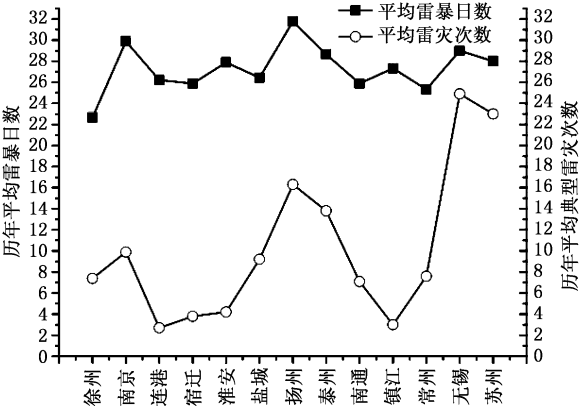


图 2 区域雷灾分布与雷暴日数比较

存在一定高度的混合塔等其他较高建筑物,城市热岛效应显著,当整个市区上空出现雷云时,由于雷云的静电感应,使附近地面或地面上的建筑物上积聚起与雷云相反的电荷,从而地面与雷云间形成能使云地击穿的强大电场,产生雷击^[6]。因此,处于市区边缘的老国有企业、化工企业的建筑物极易受到物理损坏。

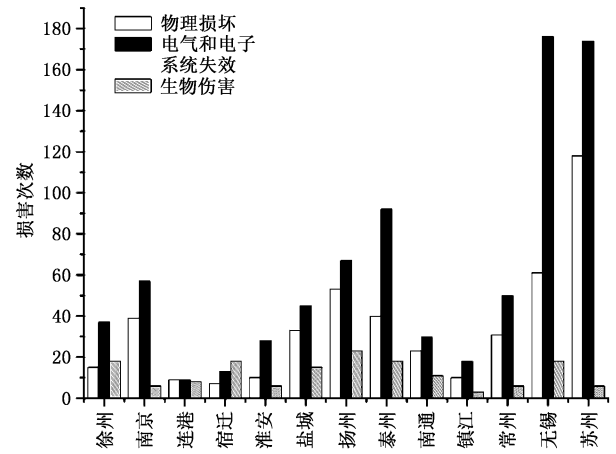


图3 按损害类型分类的区域雷灾分布

2.3 雷电灾害的行业分布

通过分析雷电灾害行业分布,发现家居民用行业遭受雷灾的比重最大(22.39%),在城市受到损害的主要是家电设备,在农村受到损害的主要是房屋,这与人们的防雷意识以及各地区家居民用雷电防护系统的完善有关。其次是石化行业(15.43%),由于该行业工作环境具有易燃易爆的特点,如果防雷措施有所疏漏,或是遭受了超过耐受能力的强雷击,都会引发雷灾事故,造成严重的后果。

3 江苏省区域雷灾易损性评估

雷灾易损性是指雷电灾害风险及其处理灾害事件的社会和经济能力的综合量度^[3]。承灾体雷灾易损性分析是雷电灾害研究的重要组成部分,它包括自然易损性、经济易损性和社会易损性等方面的内容^[4]。本文从雷电灾害发生的社会经济背景、雷电灾害强度以及自然、社会、经济损失等方面确定了易损性评价指标,对江苏省13个地级市进行了易损度区域划分的探讨和评估。

3.1 易损性评价指标

雷灾易损性评价可以根据灾后损失评估体系采用反推法确定的指标,基于社会易损性理解所构想的指标,由灾害案例采用信息量法确定的指标,从区域

宏观经济发展描述选取的指标来确定^[2]。本文综合这4种方法,确定用以下7个指标进行评价:

(1)雷击年平均密度 N_1 :雷击年平均密度是指区域单位面积上雷击大地的年平均次数。可用公式 $N_1 = 0.024 T_d^{1.3}$ 计算,单位为“次/(km²·a)”。其中 T_d 是年平均雷暴日,可根据区域气象站资料确定。

(2)区域强雷击密度 N_2 :区域强雷击密度是指一定时期内区域单位面积上强度超过50 kA的地闪次数,可用“强地闪次数/区域面积”确定,单位为次/100 km²。

(3)雷电灾害频数 N_3 :雷电灾害频数是指区域内发生雷电灾害的年平均次数,可以用“N年区域雷灾次数/N”确定,单位为“次/年”。

(4)经济损失指标 N_4 :经济损失指标是指一定时期内区域单位面积上的雷灾经济损失数额,可以用“区域雷灾经济损失数额/区域面积”确定,单位为“万元/100 km²”。

(5)人员伤亡损失指标 N_5 :人员伤亡损失指标是指一定时期内区域单位面积上的雷灾中人员伤亡人数,可以用“区域雷灾人员伤亡人数/区域面积”确定,单位为“人/1000 km²”。

(6)人口密度指标 N_6 :人口密度反映了雷灾发生时的人员伤亡隐患,人口密度越大,社会结构越复杂,雷灾发生时可能造成的损失就越大。该指标单位为“人/10 m²”。

(7)人均国民生产总值指标 N_7 :区域人均国民生产总值直接反映了区域经济发展水平的差异,是区域易损性的重要指标。该指标单位为“万元/人”。

以上指标中前3个指标反映了区域受灾可能性;第4、第5指标反映了区域受损程度;最后两个指标反映了区域受灾隐患以及抵御灾害的能力。

3.2 区域综合易损度分析

3.2.1 易损性评估

从江苏省9年雷灾资料记录中选出典型的雷电灾害事件,用历史反推法分别计算了江苏省各地级市的雷灾易损性评价指标的值(表1)。

3.2.2 主成分分析法确定区域综合易损度

因为原始指标数据的量纲不同,为了避免量纲不同对主成分的影响,首先将指标数据标准化,即用指标实际值减去其平均值再除以样本标准差。在软件SAS中使用相关阵就可以进行标准化数据的主成分分析^[7,8]。

表 1 江苏省各地级市易损性评价指标(N)							
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇
徐州	1.39	1.25	7.4	1.39	3.2	8.14	1.58
南京	1.99	1.46	9.9	7.69	2.0	8.95	4.30
连云港	1.68	1.64	2.7	0.44	2.1	6.29	1.34
宿迁	1.65	1.52	3.8	0.68	2.4	6.26	0.82
淮安	1.82	2.05	4.2	4.81	1.7	5.84	1.43
盐城	1.69	2.18	9.2	1.56	2.0	5.49	1.47
扬州	2.15	3.14	16.3	5.77	4.5	6.84	2.42
泰州	1.88	1.86	13.8	10.07	5.7	8.65	2.17
南通	1.65	1.40	7.1	2.47	1.8	9.06	2.30
镇江	1.77	2.13	3.0	3.56	1.3	7.00	3.96
常州	1.60	0.96	7.6	8.61	2.4	8.35	4.47
无锡	1.90	2.07	24.9	23.36	6.9	9.34	5.69
苏州	1.83	1.45	23.0	31.06	2.1	9.56	7.94

江苏省有 13 个待评区域,每个区域对应 7 个评价指标,则原始数据矩阵表为 $N = (n_{ij})$, $i=1,2,\cdots,13,j=1,2,\cdots,7$ 。用 SAS 可求出第 i 个区域的

表 2 易损性主成分得分排名							
第 1 主成分		第 2 主成分		第 3 主成分		综合指标	
宿迁	-1.94930	常州	-1.90474	徐州	-1.45834	宿迁	-1.37
连云港	-1.92410	苏州	-1.54101	泰州	-1.28252	徐州	-1.12
盐城	-1.58933	南通	-1.19406	无锡	-1.06689	连云港	-1.01
淮安	-1.55058	徐州	-1.16890	宿迁	-0.32748	南通	-0.71
徐州	-1.21365	南京	-0.74755	南通	-0.27648	常州	-0.56
镇江	-0.98446	宿迁	-0.10265	常州	-0.10334	盐城	-0.53
南通	-0.66944	连云港	-0.01928	连云港	0.00065	淮安	-0.51
常州	-0.04019	镇江	0.14040	盐城	0.26335	镇江	-0.36
南京	0.68753	无锡	0.71533	扬州	0.33297	南京	0.25
扬州	0.84508	泰州	0.76801	淮安	0.71789	泰州	0.65
泰州	1.10790	淮安	0.82474	南京	0.81228	扬州	1.39
苏州	3.53545	淮安	0.92706	镇江	1.09079	苏州	1.58
无锡	3.74508	扬州	3.30265	苏州	1.29712	无锡	2.05

3.2.3 聚类分析进行指标分级以及区域划分

通过 SAS 程序在综合指标中选取初始凝聚点进行聚类。按照易损程度可将江苏省 13 个地级市分为 5 类区域,即选取 5 个凝聚点进行分类,分类结果见表 3。

第 k 个主成分 $Z_{ik} = \sum_{j=1}^7 (n_{ij} \times e_k)$, $k=1,2,\cdots,m$ ($m \leq 7$), e_k 是原始数据矩阵对应相关阵的特征向量。主成分彼此不相关,而且分别以方差贡献率 $\alpha_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^7 \lambda_j$ 为权重解释了各区域的 7 个指标。其中 λ_k 为第 k 个主成分的方差贡献(特征值),它反映了第 k 个主成份提供信息的大小。当累计贡献率 $C = \sum_{k=1}^m \alpha_k$ 达到 70%~80%时,这 m 个主成分就能综合反映所有指标。前 3 个主成分的特征值分别为 0.5269、0.2730、0.1111,则累计贡献率 $C = 52.69\% + 27.3\% + 11.11\% = 91.11\%$, $C > 80\%$,所以 m 取 3 就可以体现所有指标的信息。

表 2 中的综合指标是在 3 个主成分得分的基础上,以各主成分的方差贡献率为权重构建的,即第 i 个区域的综合指标 $F_i = \sum_{k=1}^3 (\alpha_k \times Z_{ik})$ 。正值越大说明易损性越大,反之,负值越大区域的雷灾易损性就越小。

表 3 江苏省雷灾综合易损度区划表				
极低易损区	低易损区	中易损区	高易损区	极高易损区
徐州	淮安	泰州	苏州	无锡
连云港	盐城	南京	扬州	
宿迁	南通			
	镇江			
	常州			

3.3 易损度区域划分

通过建立江苏省雷电灾害数据库,运用图像处理工具生成雷电灾害易损度区域划分图(图 4)。

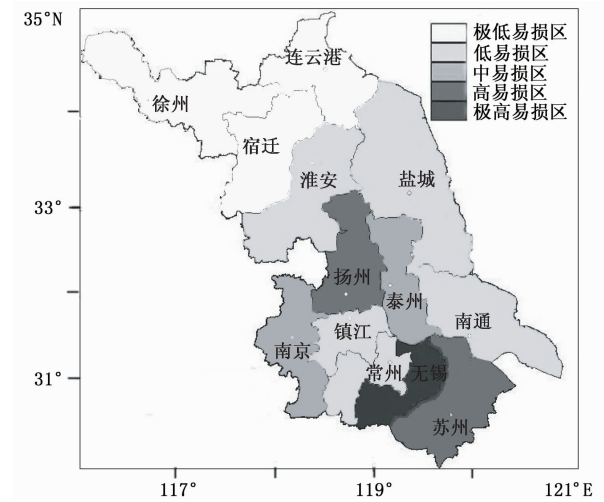


图 4 江苏省雷电灾害易损度区划图

4 结论

(1)江苏省雷电灾害多发生在 6~8 月;雷电灾害类型主要是物理损坏和电气与电子系统失效,其中以无锡和苏州最为典型;遭受雷灾的各行业中以

家居民用以及石化行业所占比重最大。

(2)区域雷灾易损性不仅取决于区域自然条件对雷电磁场环境变化的敏感性以及区域雷电防护水平,而且还取决于区域经济发展水平和社会体系对雷电灾害的承受能力。

(3)用主成分分析方法对江苏省雷灾易损性进行了科学的综合评估,得出了雷灾易损度区划图,为江苏省防御雷电灾害、减低雷电灾害损失提供了科学依据。

参考文献

[1] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2003:1-2.
[2] 樊运晓,罗云,陈庆寿. 承灾体脆弱性评价指标中的量化方法探讨[J]. 灾害学,2000,15(2):52-59.
[3] 郭跃. 灾害易损性研究的回顾与展望[J]. 灾害学,2005,20(4):92-96.
[4] 尹娜,肖稳安. 区域雷灾易损性分析评估及易损度区划[J]. 热带气象学报,2005,21(4):441-448.
[5] 严春银,吴高学,朱建章. 区域雷灾易损性及其区划的实证分析[J]. 气象与环境学报,2007,23(1):17-21.
[6] 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.
[7] 赵卫权,郭跃. 基于主成分分析法和 GIS 技术的重庆市自然灾害社会易损性分析[J]. 水土保持研究,2007,14(6):319-325.
[8] 朱道元,吴诚鸥,秦伟良. 多元统计分析 with 软件 SAS[M]. 南京:东南大学出版社,2003:386-389.

Regional Distribution and Vulnerability Regionalization of Lightning Disaster

Yin Xian¹ Xiao Wenan¹ Feng Minxue² Jiao Xue² Wang Zhenghui¹ Li Xia¹

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044;

2 Jiangsu Provincial Lightning Protection Center, Nanjing 210008)

Abstract: By means of the recent 9-year lightning disaster and 45-year thunderstorm day and 4-year cloud-to-ground lightning flash data in Jiangsu Province, an analysis is made of the distributions of lightning disasters in 13 cities based on the background of natural and human culture environment in Jiangsu Province. It is point out that lightning disasters mainly occur from June to August, and damages are mainly found in physical devices and electricity and electronic systems, with Wuxi and Suzhou being most typical. Vulnerability indexes are extracted and calculated, and the comprehensive assessments are made on these indexes using the method of the principal component analysis with SAS software. The results indicate that the regional thunder disaster vulnerability is depended on not only the sensitivity of the regional natural condition to the environmental variation of the lightning magnetic field and but also the bearing capacity of the social system in the region to lightning disasters. The vulnerability regionalization chart of lightning disasters in Jiangsu Province, based on cluster analysis, is given, which can provide a scientific basis for regional lightning protection and disaster reduction.

Key words: lightning disaster, principal component analysis, cluster analysis, vulnerability regionalization