

陈琳,陈彩珠,胡雅君,等.基于熵权综合评价模型的福建省雷灾风险划分[J].气象研究与应用,2021,42(2):46-52.

Chen Lin, Chen Caizhu, Hu Yajun, et al. Thunder disaster risk division in Fujian Province based on entropy weight comprehensive evaluation model[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(2): 46-52.

基于熵权综合评价模型的福建省雷灾风险划分

陈琳¹, 陈彩珠², 胡雅君³, 杨秀敏⁴, 朱亚飞¹

(1.厦门市气象灾害防御技术中心, 福建 厦门 361012; 2.厦门市气象局, 福建 厦门 361012;

3.厦门市气象台, 福建 厦门 361012; 4.厦门市气象服务中心, 福建 厦门 361012)

摘要: 利用福建省2012—2017年闪电定位资料和雷灾资料,采用熵权综合评价模型,对福建省68个县市区域雷灾进行评价。结果表明,福建省闪电密度高值区域主要集中在闽中东部,各区域年平均密度值大部分在4次·km⁻²·a⁻¹次以下,少部分地区高达8次·km⁻²·a⁻¹次以上;闪电发生时间集中在6—8月;闪电强度区域分布均衡,强度值大部分在30kA以下。闽中部区域雷灾次数分布总体高于其他区域,闽北最低,沿海较低;雷灾和闪电在夏季时节均为高发期,雷灾次数和闪电密度分布总体具有较好的一致性。闽中南雷灾评价等级总体高于闽北,内陆地区总体高于沿海地区。

关键词: 闪电;雷灾;风险区划;熵权综合评价模型

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.09

OSID:



引言

闪电已被列入“联合国国际减灾十年”公布的十种最严重的自然灾害之一,被国家电工委员会称为“电子时代的一大公害”^[1-3]。雷电闪击、雷电反击、雷电电磁脉冲、雷电波侵入等各种形式的雷击伤害,给雷电安全防护带来了新的考验,给人身安全和经济社会带来巨大损失^[4-9]。我国作为全世界最大的工业化国家,全社会电子电气设备普及快速发展,随之而来的雷电损失也相应的呈现多样化趋势^[10-13]。因此,研究区域雷灾特征和区域闪电环境,对于区域雷电灾害防御工作具有实际应用价值。

很多学者利用多种方式对雷电灾害风险评价等级开展研究^[14-15]。黄肖寒^[16]、刘晓东^[17]、刘平英^[18]、刘垚^[19]、李彩莲^[20]、朱浩^[21]、程向阳^[22]等分别对河池市、内蒙古、云南、杭州市、陕西等地利用不同评价模型选取不同参数对所在区域进行了雷电灾害风险等级评估,上述研究对区域雷电灾害综合防御具有实际应用价值。但各地区气候、环境、经济、雷灾具体情况

等方面存在明显区别,造成评价结果明显不同。福建省位于我国东南沿海,属亚热带海洋性季风气候,东部沿海,有少量平原,西部和中部地区为山区,受地形及气候影响,福建省雷暴天气多,闪电频发,受雷击侵害事故较多,同时,福建东部沿海和内陆地区经济结构有明显不同,雷灾损失特点也有不同^[23-25]。曾金全等^[24]采引入雷电风险、地域风险和承灾体风险作为评估指标,对福建省进行了区域雷电灾害风险评估。张雷等^[26]基于层次分析法对福建省进行了雷电灾害风险区划。安徽、蒙古、湖南等省市以雷灾数据为评价因子,采用熵权综合评价模型^[11-22],在雷灾评估中取得较好评估结果。该模型在地震、水利、气象等多种自然灾害风险得以充分验证,能有效评价自然灾害风险^[27-29]。

首次以福建省具体雷灾事故、损失类型、损失强度建立熵权综合评价模型,以雷灾基础数据中的雷灾频数、人员伤亡和经济伤亡为指标对福建省68个县市级区域雷灾情况进行评价,对各地市具体行业雷灾受灾原因进行了具体分析,其评价结果和雷

收稿日期: 2020-10-30

基金项目: 国家自然科学基金(418050028)

作者简介: 陈琳(1985—),男,福建厦门人,工程师,主要从事雷电防护和雷电监测预警研究。E-mail: 1642376973@qq.com

灾行业分析对福建省雷灾安全防御具有实际的指导意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源及处理

雷灾资料来源:中国气象局防雷减灾办公室 2012—2017 年汇编出版的《全国雷电灾害汇编》。该资料由全国各地气象部门通过中国气象局综合信息网每月上报,资料包括雷灾发生的时间、地点以及人员伤亡、设备设施损坏、经济损失以及行业场所等损失类型资料。灾情漏报在文中不予考虑。

闪电定位资料来源:福建省 ADTD 闪电定位系统 2012—2017 年监测数据。该系统在福建省内设有福州、厦门等 10 个子站,系统可以监测到闪电发生的时间、经纬度、波头陡度、电流强度、正负闪等多项参数。经多年实践运行和监测结果分析,各项监测参数基本准确,具有实际运用价值^[24]。

闪电资料处理:利用软件 UEDIT64 对闪电原始数据进行预处理,提取闪电发生时间、经纬度、闪电强度资料,并对资料进行标准格式化处理。利用 ARCGIS10.2.2 软件对标准格式化数据进行福建省闪电数据提取,并对闪电密度和闪电强度作图分析。

综合资料处理:利用 MATLAB7.0 软件,对熵权综合评价模型中年平均伤亡人数 M 、年平均雷灾次数 N 和年平均经济损失 E 三个评价因子进行权重计算。

1.2 主要研究方法

对福建省区域雷灾灾情评估采用的是熵权综合评价模型^[21]。

设该灾情评价共有 n 个评价指标, m 个评价对象,其计算模型为:

$$G_i = \sum_{j=1}^n w_j \times b_{ij}, i=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

其中 G_i 为每个对象的灾情综合评价指数, b_{ij} 为将评价指标归一化后第 j 个指标的无量纲化值, w_j 为第 j 个指标的权重值; b_{ij} 和 w_j 的计算方法如下:

将 n 个评价指标和 m 个评价对象构造总评价矩阵

$$R = (r_{ij})_{m \times n}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$$

对矩阵 R 进行归一化处理,得到无量纲化值 b_{ij} ,

$$b_{ij} = \frac{r_{ij} - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}}$$

利用熵权值对每个评价指标的权重值 w_j 计算为

$$w_j = \frac{1 + \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) / \ln m}{n + \sum_{j=1}^m \left[\left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) / \ln m \right]} \quad (2)$$

$$\text{其中 } f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1 + b_{ij})}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$$

2 福建省雷灾分布特征

根据雷灾资料统计,福建省 2012—2017 年共发生雷灾 833 起。其中,人员伤亡 61 人,死亡 41 人,受伤 20 人,雷击致死率达 67.2%,致死率较高,造成经济损失近 4000 万元。

2.1 雷灾的时间分布特征

2.1.1 年分布特征

从图 1 可以看出,福建省年雷灾次数存在明显的快速下降趋势,并以 2015 年为界限,存在明显的落差。2012—2014 年雷灾次数均在 150 次以上,其中 2012 年达 316 次;2015 年之后,降至 100 次以下,在 2017 年达到最低,只有 18 次,较 2012 年最高值 316 次,降幅达 94%。闪电次数则处于波动状态,无明显趋势。

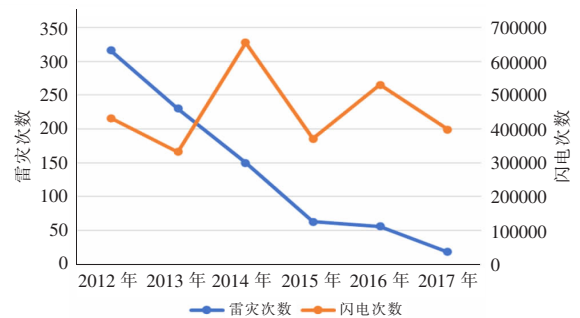


图 1 2012—2017 年福建省雷灾和闪电次数分布图

2015 年以后雷灾次数的减少,一方面是通过多年科普和防雷监管,显著提高了民众和各行各业的防雷安全意识;另一方面,从受灾行业原始数据分析(见表 1),受灾主要行业为民用、石化、工业等方面,其中,工业、石化等场所多为一、二类防雷场所,每年需要进行一至二次防雷检测,经过多年监管部门的安全检查和防雷安全制度化、防雷技术规范化提升,全社会整体防雷安全有了极大提升。人员伤亡等受灾虽然有一定的降低,但仍然有出现雷击伤亡情况,一是人员受灾主要在户外,不可控因素较

表 1 2012—2017 年福建省 9 个地级市不同行业雷灾次数

	民用	石化	通信	电力	工业	交通	办公	水利	总次数
福州市	18	11	2	4	22	3	12	3	75
泉州市	36	7	2	10	33	1	9	3	101
三明市	7	186	3	13	22	1	12	1	245
龙岩市	36	9	1	16	11	0	11	1	85
莆田市	17	3	2	4	5	1	6	0	38
宁德市	16	4	0	6	6	1	8	1	42
漳州市	95	7	2	22	20	0	16	2	164
南平市	6	3	1	4	9	1	8	1	33
厦门市	10	4	2	4	23	1	5	1	50
合 计	241	234	15	83	151	9	87	13	833

多;二是偏远地区和部分群众雷灾意识淡薄,仍需加强雷电安全科普宣传。

2.1.2 各月分布特征

由图 2 可知,雷灾频数与闪电次数月分布百分比整体呈现较好的一致性。夏季居多,冬季和春季较少。10 月至次年 2 月,雷灾和闪电发生达到极低,均在 3 月开始发展,至 6 月达到最高值,9 月迅速下降。全省雷灾主要发生在 4—8 月,占总雷灾次数的 85.6%,其中 6 月份最多,占 21.2%;12 月最低,发生雷灾次数为 0。全省闪电主要发生在 6—8 月,8 月最高,达 25.6%;5 月和 9 月占比处于第二高发月,月均占比高于 11%;1—4 月和 10—12 月闪电次数较少,1 月最低,为 0.02%。

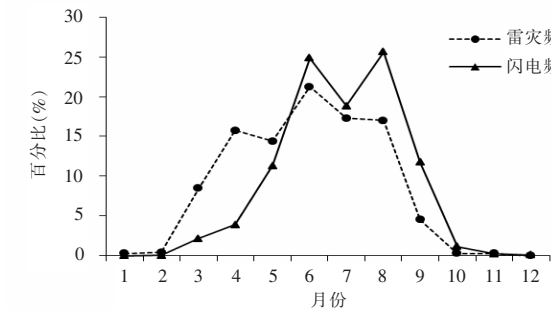


图 2 福建省雷灾和闪电次数百分比月分布图

2.2 雷灾的空间分布特征

2.2.1 地域分布特征

由图 3 可以看出:全省雷灾次数分布呈现明显的北少南多,内陆多于沿海,其中以中西南部区域最高,闽西北部最低。县市级行政区域以三明市区最多,高达 8.33 次·a⁻¹;宁化、平和、尤溪、连城、德化、永安、永定年平均雷灾次数超过 4 次·a⁻¹,为全省雷

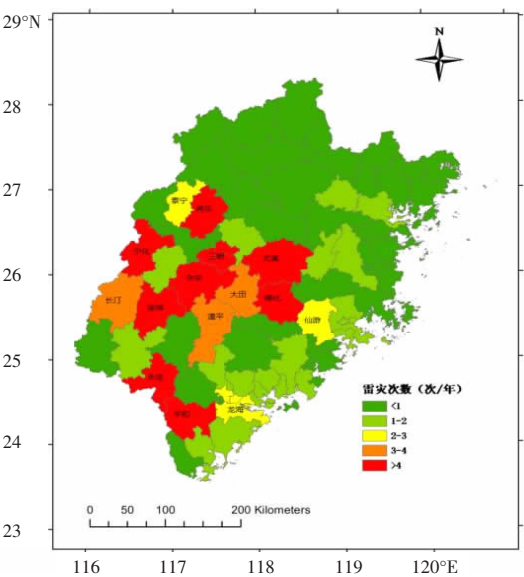


图 3 福建省年平均雷灾次数分布图

灾高发地区。全省县市级行政区域绝大部分区域雷灾次数不高于 2 次·a⁻¹。

对比图 3 和图 4,雷灾、闪电密度、雷电流强度空间分布特征可直观分析。利用 ARCGIS10.2.2 软件,以 1km×1km 网格对福建省闪电数据做点密度分析得到年均雷击密度空间分布图(图 4a),做雷电流幅值分析得到雷电流强度(负地闪强度取绝对值)的空间分布(图 4b)。由图 4a 可知,省中东部地区年雷击密度值较高,少数栅格数据高达 20 次·km⁻²·a⁻¹ 以上;省西北、沿海地区年均雷击密度值较低,在 2 次·km⁻²·a⁻¹ 以下;中部地区高于周边地区,达在 2 次·km⁻²·a⁻¹ 以上;全省大部分区域年均雷击密度值 4 次·km⁻²·a⁻¹ 以下。

将图 4a 与图 3 对比分析可知,雷灾主要高发区

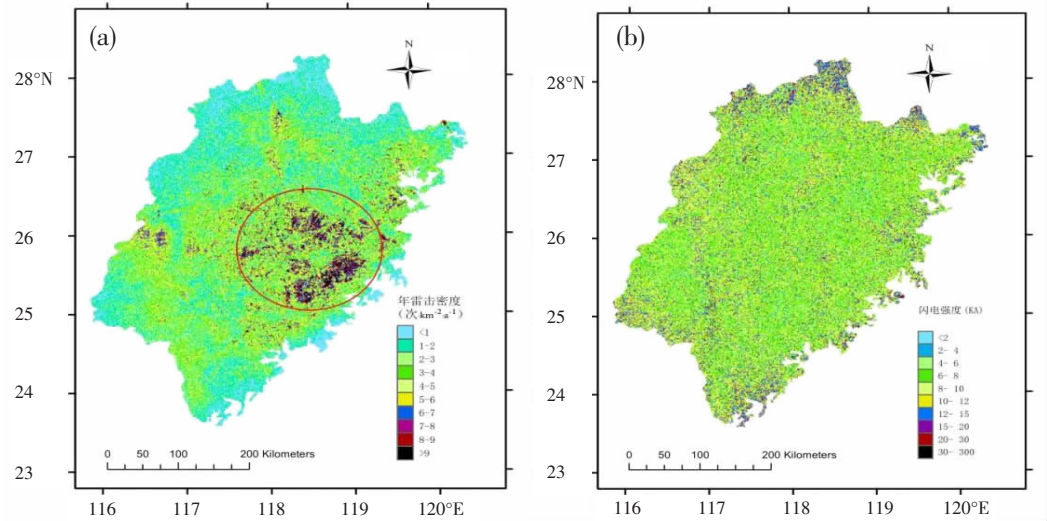


图 4 福建省雷击大地密度(a)和闪电强度(b)分布

域与区域闪电活动高发地在省中东部地区有较好的一致性,但其他区域的一致性关系并不明显。

由表 2 可知,2012—2017 年闪电次数值高达 2719952 次,闪电强度绝大部分集中在 4~15kA,占比高达 96%以上,100kA 以上超大强度闪电仅 133 次,占比不到 0.005%,而同期只有 833 次雷灾。由图 4(b)可以看出,闪电强度区域分布较均衡,这是因为

闪电发生地点具有随机性,故闪电强度分布无明显分布特征,而同期的 833 次雷灾却有区域分布特征。由此,尚无证据表明闪电强度分布和雷灾事故分布具有明显相关性。

由此得知,雷灾分布与闪电密度有关,但尚未发现闪电强度与雷灾事故分布有关。

表 2 闪电强度区间分布表

幅值区间 (kA)	闪电次数	区间占比 (%)	幅值区间 (kA)	闪电次数	区间占比 (%)
0<2	8721	0.321	12~15	262460	9.649
2~4	15307	0.563	15~20	94131	3.461
4~6	316834	11.649	20~30	43384	1.595
6~8	750247	27.583	30~100	12259	0.451
8~10	877417	32.259	100~300	133	0.005
10~12	339060	12.466	合计	2719952	100

2.3 行业分布特征

对将雷灾基础数据分为民用（此处为指民用建筑物、生活设施以及人员伤亡）、石化、通信、电力、工业、交通、办公、水利等 8 个行业进行分类统计。

由表 1 可以看出,除三明石化行业明显不同于其他省市,其他地市雷灾行业受损比率较接近,民用、工业、电力占据主要受损行业。从全省来看,民用、石化、电力、工业、办公为主要雷灾损失行业,合计值为 796 次,占比高达为 96%。从局部来看,三明的石油化工行业,漳州的民用方面,福州、泉州、三明、漳州和厦门的工业场所,遭受雷灾次数比重高于

其他地区,这主要与地区性的经济特点、地理位置有关。三明雷灾数据中,石化行业主要表现为加油站。三明地处山区,公路穿山越岭,沿线加油站往往在半山腰,相对于周边环境,加油站为孤立建筑物,容易遭受雷击。漳州雷灾数据中,人员伤亡相对较多,达 21 次,明显高于其他地级市,从雷灾基础数据看,主要为农民在户外务农时,遭受雷击。泉州厦门的港区,处于海陆交界处,同时港区往往范围较大,内部又有龙门吊、码头吊车等高耸钢结构设备,容易遭受雷击;同时泉州各县市工业厂房较多,受损数量高于其他地市。

因此,有必要加强上述行业或场所雷电防护措施。通过行业分析,各地市可根据重点行业、重点场所、易损点进行加强防护。

3 福建省雷电灾情等级评价

3.1 评价指标的选取和指标权重的计算

评价指标选取:根据 GB/T 21714.2-2008 规定和《气象灾情收集上报调查和评估试行规定》,选取人身伤亡(M)和经济损失(E)作为损失类型评价指标,同时选取年雷灾次数(N)为致灾因子评价指标,共 3 个评价指标^[30-36]。

指标权重计算:利用 MATLAB7.0 软件,以文中(2)式计算出 3 个评价指标权重;其中,年均雷灾次数 N 为 0.3251,年均伤亡人数 M 为 0.3608,年均经济损失 E 为 0.3141。将该权重值与其他省市指标权重对比分析可知,不同省市权重指标明显不同^[17-20],如朱浩^[17]等在开展安徽省雷电灾害风险等级评估中,年均雷灾次数 N 值权重高达 0.551,占比超过 50%。而福建省评价指标中,年均雷灾次数 N 值权重为 0.3251,差别明显。福建省三项评价指标值非常接近,其中伤亡人数指标较高,经济损失指标较低。在模型评价中,指标的权重值不同,将导致该指标参数的评价计算结果不同,直接导致各区域评价最终结果不同。因而,不同区域根据本区域雷灾特征开展评价具有实际意义。

3.2 区域灾情评价分析

区域灾情评价:以福建省 68 个县市级行政区域为评价对象,将评价对象和评价指标构成矩阵 R,利

用文中(1)式计算各评价对象雷灾综合评价指数 G。G 值大小表明该区域雷灾风险系数高低,各区域综合评价指数见表 3。计算结果表明,全省各区域雷灾综合评价指数均值为 0.1994,表 3 显示共有 20 个行政区域高于该值,比例比 29.4%,其中最高为平和县达 0.7085;最低为泉州市区、光泽县等市县,G 值小于 0.0073,最高值约为最低值 10 倍之多,全省各区域 G 值分布落差较大。按照等间距法将各行政区域雷灾综合评价指数 G 分为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ三个等级,分别为 G 值小于 0.2、G 值区域为 0.2~0.4,G 值大于 0.4。根据表 1,三个等级占比数分别为 48 个、14 个、6 个,占比为 71%、20.1%、8.8%;全省大部分区域雷灾评价等级为Ⅰ级,Ⅲ级区域为平和县、漳浦县、大田县、漳州市区、连城县和龙岩市区等 6 个地区。分析原始数据可知,上述 6 个县市,3 项评价指标均出现全部或个别较高值,其中最高平和县年均雷灾次数达 6 次/a,年均雷击伤亡人数接近 1 人/a。

由图 6 可以看出,Ⅰ级主要集中在福建省北部,中西南部,以及北部沿海地带;Ⅱ级主要分布在福建省中部;Ⅲ级分布在福建省中部、中西部和东南部。结合图 4(a)和原始数据分析不同区域的主要雷灾等级权重因子,福建省中部和西南区域主要表现为年雷灾次数较多,同时经济损失较大,其中大田县年均经济损失最高,为年均损失 54 万元,龙岩和连城同样主要表现为经济损失较高,且主要体现在设备、设施及通信等领域。西南区域等级较高主要为人身伤亡较高,其中,2012—2017 年伤亡人数,平和县 5 人,漳州 5 人,漳浦 3 人,远高于其他区域。

表 3 68 个县市级行政单位雷电灾害综合评价指数 G

评价对象	雷灾综合评价指数	评价对象	雷灾综合评价指数	评价对象	雷灾综合评价指数	评价对象	雷灾综合评价指数	评价对象	雷灾综合评价指数	评价对象	雷灾综合评价指数
平和县	0.7085	宁化县	0.2891	诏安县	0.1532	建瓯市	0.0953	永春县	0.0589	周宁县	0.0221
漳浦县	0.516	清流县	0.283	泰宁县	0.1325	晋江市	0.0927	连江县	0.0554	邵武市	0.0172
大田县	0.4908	尤溪县	0.2818	南平市	0.129	霞浦县	0.0886	永泰县	0.0506	松溪县	0.0147
漳州市区	0.4609	厦门市	0.2796	惠安县	0.127	建阳市	0.087	建宁县	0.049	古田县	0.0121
连城县	0.4069	德化县	0.2752	闽侯县	0.1245	福州市区	0.0832	平潭县	0.0471	南靖县	0.0121
龙岩市区	0.4049	永定县	0.2507	长泰县	0.1229	长乐市	0.0817	罗源县	0.0395	政和县	0.0117
闽清县	0.3936	屏南县	0.2338	上杭县	0.1136	云霄县	0.0768	福鼎市	0.0322	浦城县	0.0087
永安市	0.3928	将乐县	0.2324	顺昌县	0.1111	沙县	0.0684	福清市	0.0311	石狮市	0.0087
宁德市区	0.3734	福安市	0.1701	华安县	0.1081	莆田市区	0.063	武平县	0.031	泉州市区	0.0073
三明市区	0.3578	东山县	0.1677	南安市	0.1071	安溪县	0.0589	明溪县	0.0276	金门县	0.0073
仙游县	0.3306	漳平市	0.1576	寿宁县	0.0961	武夷山市	0.0589	柘荣县	0.0221	光泽县	0.0072
龙海市	0.3169	长汀县	0.1548								

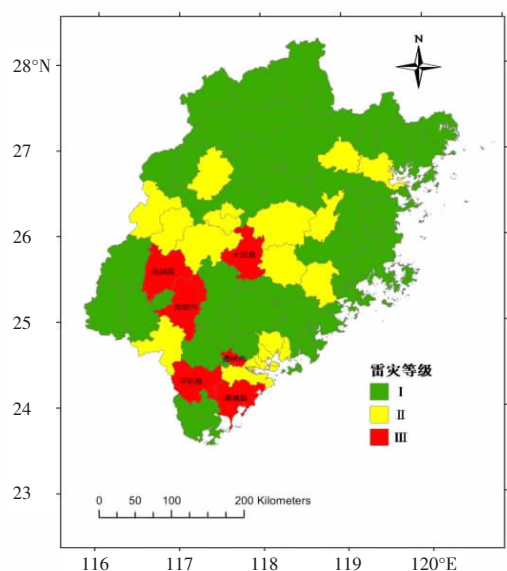


图6 福建省68个县市行政区域雷灾等级分布

4 结论和讨论

(1)2012—2017年,福建省雷灾年分布呈现逐年减少趋势;其中,2012—2014年较2015—2017年雷灾次数值明显偏高;2017年雷灾次数为18次,较2012年最高值316次,降幅达94%。闪电次数则处于波动状态,无明显趋势。雷灾频数较多区域主要集中在闽中部、西部,闽北和沿海地区较少。全省雷灾受损行业比较集中,主要在民用、工业等5个方面,占比高达96%。

(2)雷灾次数与闪电频数月分布具有较好的一致性,均主要集中在夏季,冬春季较少。雷灾次数与雷击大地密度分布具有较好的一致性。雷击大地密度高值区域为福建省中东部,该区域内雷灾次数相对较多;而闽北地区和北部沿海地带雷击大地密度和雷灾次数均较少。闪电强度分布较为均衡,尚未发现与雷灾次数分布具有相关性。

(3)福建省雷灾风险等级评价结果为:闽北及北部沿海地区等级较低,闽中和闽西南等级较高。等级较高区域主要表现为人员损失和经济损失明显高于其他地区。风险评价结果与历史雷灾对应较好,风险评价指标能有效评估该地区雷灾风险,不同地区可根据雷灾风险评价等级,制定差异性雷灾防护措施以科学合理降低雷灾风险。

本文雷灾数据仅来源于气象系统收集,其他雷灾数据收集较少,且雷灾事故分析较少,雷灾数据信息缺乏详细定位等信息,缺乏进一步深入分析雷灾

事故原因的基础。此外,基于现有研究成果,将以厦门等地为试点,对具体雷灾个案开展分析,进一步优化完善雷灾致灾因子雷灾评价模型。

参考文献:

- [1] 马明,吕伟涛,张义军,等.我国雷电灾害及相关因素分析[J].地球科学进展,2008,23(8):856-865.
- [2] 胡先鋒,刘彦章,肖稳安.等.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.
- [3] 刘佼,肖稳安,陈红兵,等.全国雷电灾害分析及雷灾经济损失预测[J].气象与环境科学,2010,33(4):21-26.
- [4] 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.
- [5] 陈小艳,康强,植耀玲.1998—2019年南宁市雷电灾害特征分析[J].气象研究与应用,2020,41(1):21-25.
- [6] 李京校,钱慕晖,李如箭,等.北京市雷击人身伤亡事故特征及防雷装置研究[J].中国农学通报,2016,32(29):161-168.
- [7] 梁志文,刘晓东,宋昊泽,等.2013年内蒙古地区雷电及其灾害特征分析[J].内蒙古气象,2015(5):59-61.
- [8] 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):12-17,129.
- [9] 郭虎,熊亚军,扈海波.北京市雷电灾害灾情综合评估模式[J].灾害学,2008,23(1):14-17.
- [10] 冯真祯,曾金全,张烨方,等.福建省地闪时空分布特征分析[J].自然灾害学报,2013,22(4):213-221.
- [11] 郭媛,吴量,何宽,等.基于层次分析法的广西雷灾风险区划[J].气象研究与应用,2018,39(2):108-113,145.
- [12] 李彩莲,赵西社,赵东,等.陕西省雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J].灾害学,2008,23(4):49-52.
- [13] 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):441-449.
- [14] 殷娴,肖稳安,冯民学,等.区域雷灾分布特征及易损度区划[J].气象科技,2009,37(2):216-220.
- [15] 王义耕,刘洁.2008年广西雷电活动和雷电灾害分析[J].自然灾害学报,2011,20(6):124-130.
- [16] 黄肖寒,黄卓帆,李有为,等.河池市雷电时空分布特征及雷击灾害风险区划[J].气象研究与应用,2016,37(4):102-105,133.
- [17] 刘晓东,尤莉,宋昊泽,等.基于GIS和AHP的雷电灾害风险区划分析与评估——以内蒙古雷灾为例[J].中国农学通报,2019,35(20):75-82.
- [18] 刘平英,朱勇,杨宗凯,等.基于层次分析模型的云南省雷电致灾评价及易损性区划[J].中国农学通报,2018,34(22):125-131.
- [19] 刘垚,包云轩,缪启龙,等.杭州市雷电灾害风险区划及分析[J].西北师范大学学报(自然科学版),2014,50

- (3):99-105.
- [20] 李彩莲,刘宏,王百朋,等.陕西省雷电灾情评估方法的分析研究[J].陕西气象,2010,35(2):45-48.
- [21] 朱浩,王凯,程向阳,等.安徽省雷电灾害特征分析及区域灾情评估[J].长江流域资源与环境,2015,24(1):162-168.
- [22] 程向阳,谢五三,王凯,等.雷电灾害风险区划方法研究及其在安徽省的应用[J].气象科学,2012,32(1):80-85.
- [23] 刘晓东,李松如,冯旭宇,等.内蒙古雷灾特征及灾情的灰色关联评估[J].安全与环境学报,2012,12(5):251-255.
- [24] 曾金全,朱彪,曾颖婷,等.福建省多回击闪电特征参数的统计分析[J].暴雨灾害,2017,36(6):573-578.
- [25] 朱彪,曾金全,张烨方,等.雷电学科发展与福建省雷电灾害防御研究报告[J].海峡科学,2018(10):3-10.
- [26] 张雷,涂慰云,李天诚,等.基于层次分析法的福建省雷电灾害风险区划[J].武夷学院学报,2017,36(9):53-59.
- [27] 侯保灯,赵庆绪,王焱,等.基于集对分析模型的岷江上游流域震后水质综合评价[J].水力发电,2010,36(1):29-31,47.
- [28] 王兆礼,赖成光,陈晓宏,等.基于熵权的洪灾风险空间模糊综合评价模型[J].水力发电学报,2012,31(5):35-40.
- [29] 刘媛媛,王绍强,王小博,等.基于 AHP_熵权法的孟印缅地区洪水灾害风险评估[J].地理研究,2020,39(8):1892-1906.
- [30] 程立海,唐宏,周廷刚,等.自然灾害强度的评估方法及应用——基于综合灾害指数的研究[J].自然灾害学报,2011,20(1):46-50.
- [31] 张星.自然灾害灾情的熵权综合评价模型[J].自然灾害学报,2009,18(6):189-192.
- [32] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005,25(4):552-556.
- [33] 张星.自然灾害灾情的熵权综合评价模型[J].自然灾害学报,2009,18(6):189-192.
- [34] 曾金全,冯真祯,张烨方,等.区域雷电灾害风险评估模型与应用[J].气象科技,2017,45(1):178-182.
- [35] 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.
- [36] 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.

Thunder disaster risk division in Fujian Province based on entropy weight comprehensive evaluation model

Chen Lin¹, Chen Caizhu², Hu Yajun³, Yang Xiumin⁴, Zhu Yafei¹

(1. Xiamen Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Xiamen Fujian 361012;
2. Xiamen Meteorological Bureau, Xiamen Fujian 361012; 3. Xiamen Meteorological Observatory,
Xiamen Fujian 361012; 4. Xiamen Meteorological Service Center, Xiamen Fujian 361012)

Abstract: The lightning location data and thunderstorm data of Fujian Province from 2012 to 2017 were used to evaluate the regional thunderstorms in 68 counties and cities in Fujian Province by using the entropy weight comprehensive evaluation model. The results showed that the high value areas of lightning density were mainly concentrated in the central and eastern parts of Fujian, and the annual average density of most areas was less than $4 \text{ times} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and that of a few areas was more than $8 \text{ times} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Lightning occurred mainly in June to August. The regional distribution of lightning intensity was balanced, and most of the intensity values were below 30kA. The thunderstorm frequency in central Fujian was higher than that in other regions, Northern Fujian was the lowest and coastal areas was low. Thunderstorms and lightning were high incidence in summer, and the distribution of lightning density and the number of thunderstorms were consistent. The overall evaluation level of thunder disaster in South Central Fujian was higher than that in North Fujian, and that in inland areas was higher than that in coastal areas.

Key words: lightning; thunderstorm; risk division; entropy weight comprehensive evaluation model