文章编号:1674-7070(2014)02-0163-06

刘岩[1]　李征[2]　程向阳[1]　田红[3]

安徽省雷电灾害风险区划

摘要

利用安徽省2005—2010年的闪电定位资料,以安徽省各市的行政区域为评估单元,考虑人口密度以及经济发展因素,选取雷暴日(T)、地闪密度(N)、人口密度(L)、单位面积的GDP(D)作为评估指标,建立层次分析模型,得到安徽省的雷电灾害风险区划,然后利用历史雷灾频次对区划结果进行了校验.结果表明:黄山市、马鞍山、铜陵市、池州市、安庆市、淮南市、合肥市、阜阳市具有较高的雷电灾害风险值;宿州市、亳州市、淮北市雷电灾害风险值较低;其他城市雷电灾害风险值居中.

关键词

层次分析;雷电灾害;风险;区划

中图分类号 P429

文献标志码 A

0　引言

雷电灾害风险区划就是通过科学、系统的评估计算,根据风险值的大小得到所研究范围内的风险区划,为区域的防灾、减灾规划提供科学依据.进行风险区划的关键是要确定评估指标的权重[1].近几年来,国内外在雷电灾害的风险评估和区划方面,取得了许多有意义的研究成果[2-6].郭虎等[7]对北京市的雷电灾害易损性进行了分析计算,得到北京地区的易损性区划,蒋勇军等[8]以重庆市为例,分析其雷电灾害的区域易损性,尹娜等[9]研究了广东省各地的雷电灾害风险区划.上述文献中,其评估指标的权重均由算术平均或经验得到,并未明确各指标所起作用的差异性,而层次分析法却能比较科学地体现这一点,如扈海波等[10]利用层次分析模型对北京的雷电灾害进行了风险评估,袁湘玲等[11]基于层次分析法对黑龙江地区的雷电灾害进行了风险区划.前述研究均将雷灾频次作为评价指标之一,而雷灾频次与其他评价因子(雷暴日、生命易损模数以及经济易损模数)是相关的,因此,将雷灾频次作为评价指标有所重复;另外,对风险区划的结果并没有进行验证,不能客观地说明风险区划结果的合理性.因此,本文将利用层次分析模型,在前人研究的基础上,充分考虑雷电灾害的外动力作用以及各市的社会经济指标,研究安徽省的雷电灾害风险区划,并用历史雷灾频次对区划结果进行验证,以期为安徽省的区域性雷电防护业务提供参考.

1　资料和方法

1.1　资料来源

本文使用的资料有:1)安徽省各市30年(1970—1999年)的雷暴日观测资料;2)2005—2010年安徽省气象局在全省布设的LD-Ⅱ型闪电定位网观测到的闪电定位数据(安徽全省布设的LD-Ⅱ型闪电定位网由设置在六安、阜阳、亳州、淮北、蚌埠、滁州、安庆、铜陵、黄山和宣城的10个闪电定位仪和1个数据处理中心站联网组成,其探测距离可达500~1 000 km,于2005年8月底正式投入使用);3)安徽省人民政府编写的《安徽60年》中2008年底统计的安徽省各市的人口密度、地区生产总值等数据;4)2002—2010年安徽省各市记录的雷电灾害事故.以上资料由于观测及记录年限有所差异,统计结果会略有误差,但并不会影响总体的趋势.

收稿日期 2012-04-09

资助项目 2011年度安徽省气象科技发展基金(KM201117)

作者简介

刘岩,女,硕士,助理工程师,主要从事雷电防护工作.lyyyszh@126.com

1　安徽省防雷中心,合肥,230061
2　江苏省防雷中心,南京,210008
3　安徽省气候中心,合肥,230061

1.2 资料处理和计算方法

层次分析法是将决策问题按总目标、各层子目标、评价准则直至具体的备投方案的顺序分解为不同的层次结构,然后用求解判断矩阵特征向量的办法,求得每一层次的各元素对上一层次某元素的优先权重,最后再用加权和的方法递阶归并各备选方案对总目标的最终权重,此最终权重最大者即为最优方案.简而言之,层次分析法(AHP)是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法.该方法是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂提出的,是一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,尤其适合于对决策结果难于直接准确计量的场所[12].在对安徽省雷电灾害风险的计算过程中,选取了雷暴日(T)、地闪密度(N)、人口密度(L)、人均 GDP(D)4 个指标描述了雷电灾害的外动力和承灾体特征.将以城市行政区域为统计单元的指标值分别进行归一化处理,作为雷电灾害风险评估的初始值.其分析步骤如下:

1) 建立层次结构模型.根据实际情况,在安徽省的雷电灾害风险评估过程中,将层次分析模型分为 3 层:第 1 层是雷电灾害危险度的目标层;第 2 层是雷电灾害形成条件的准则层;第 3 层是影响因素的指标层.

2) 建立雷电灾害风险评估指标权重的成对比较矩阵.从层次结构模型的第 2 层开始,对于从属于(或影响)上一层每个因素的同一层诸因素,构造成对比较矩阵,直到最下层.依据选用的评估指标和层次模型,建立判断矩阵 $\boldsymbol{T}$:

$$\boldsymbol{T}=\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} \end{pmatrix},$$

矩阵中各项 b_{ij} 表示该项所对应的 b_i 相对于 b_j 的重要程度,常采用 Saaty 标度法,如表 1 所示.

表 1 成对比较矩阵标度含义

Table 1 Scale and connotation of contrast matrix

因素比因素	量化值
同等重要	1
稍微重要	3
较强重要	5
强烈重要	7
极端重要	9
两相邻判断的中间值	2,4,6,8

3) 成对比较矩阵的一致性检验.对于每一个成对比较矩阵计算最大特征根及对应特征向量,利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验.一致性指标 $I_c=(r_{max}-n)/(n-1)$,其中 n 为成对比较矩阵的阶数,然后查找平均随机一致性指标 I_r,最后计算一致性比例 R_c,$R_c=I_c/I_r$,当 $R_c<0.1$ 时,一般认为成对比较矩阵的一致性是可以接受的,否则,就要对成对比较矩阵做适当的修正.

4) 计算出各指标的权重值.对于构造出的成对比较矩阵用 Matlab 软件求出最大特征根 r_{max} 和特征向量 $\boldsymbol{W}$,对特征向量进行归一化后即为各指标的权重.

5) 雷电灾害风险值计算.通过层次结构分析法,计算出各指标的权重系数,得到权重矩阵($\boldsymbol{R}$),结合风险评估归一化指数 X.得到风险评估的数学模型为 $W=\sum \boldsymbol{R}\cdot X$. 依据此公式,可计算出各市的雷电灾害风险值.

6) 统计 2002—2010 年的历史雷灾频次(P),对雷电灾害风险值进行验证.

2 安徽省雷电灾害风险评估指标分析

2.1 雷暴日指标

雷暴日是指一年中有雷电放电的天数,一天中只要听到 1 次雷声就定义为 1 个雷暴日(T).以各个气象观测站的记录为依据,统计 30 年(1970—1999 年)的雷暴日观测资料,得到各市平均每年的雷暴日如表 2 所示.

表 2 雷暴日(T)统计

Table 2 Statistics of thunderstorm day (T) in Anhui province

城市	雷暴日/d	城市	雷暴日/d
合肥	25.8	马鞍山	28.5
淮北	20.9	巢湖	27.8
亳州	24.9	芜湖	29.1
宿州	26.9	宣城	37.0
蚌埠	25.7	铜陵	34.8
阜阳	24.6	池州	40.7
淮南	21.4	安庆	36.6
滁州	30.2	黄山	55.1
六安	29.8		

从表 2 中发现,黄山市、池州市的平均年雷暴日较多(40~90 d),属于多雷区[13],其他城市的雷暴日数均在 20~40 d 之间,属于中雷区.

2.2 地闪密度指标

地闪密度是指每年每平方千米的地闪数(用 N 表示,单位:$km^{-2}\cdot a^{-1}$),利用 2005—2010 年观测到的闪电资料,根据安徽省各市的行政区划边界,统计得到各市的地闪密度值如表 3 所示,地闪密度的空间分布如图 1 所示.

表 3 地闪密度(N)统计

Table 3 Statistics of cloud-to-ground lightning density (N) in Anhui province

城市	地闪密度/($km^{-2}\cdot a^{-1}$)	城市	地闪密度/($km^{-2}\cdot a^{-1}$)
合肥	5.562	马鞍山	6.025
淮北	2.563	巢湖	6.048
亳州	2.788	芜湖	4.143
宿州	3.246	宣城	5.152
蚌埠	4.270	铜陵	4.913
阜阳	4.970	池州	6.707
淮南	5.394	安庆	5.779
滁州	5.177	黄山	5.137
六安	6.279		

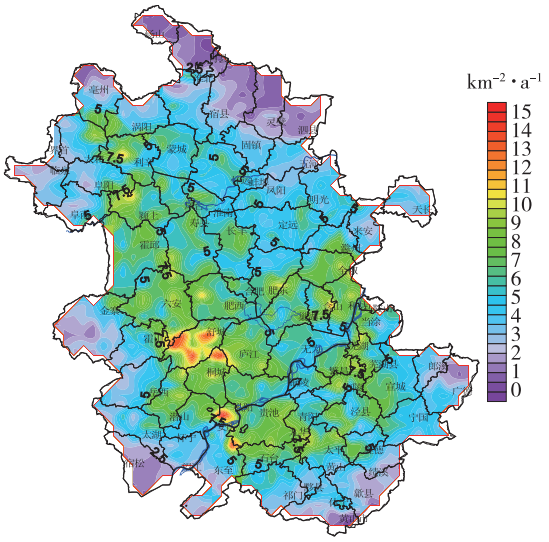


图 1 安徽省地闪密度空间分布

Fig. 1 Geographical distribution in the density of lightning in Anhui province

分析表 3 和图 1 可见,池州市、六安市、马鞍山市、巢湖市发生闪电的平均次数较多,地闪密度均值较大,这主要是由于该区域中有大片的水域以及海拔较高的山脉,而位于安徽北部的淮北市、亳州市和宿州市闪电发生相对较少.

2.3 人口密度指标

人口密度(L,单位:人/km^{-2})能够反映区域发生雷电灾害时,单位面积上受危害的人数.统计安徽各市 2008 年底的人口密度,得到表 4.

表 4 人口密度(L)统计

Table 4 Statistics of population density (L) in Anhui province

城市	人口密度/(人·km^{-2})	城市	人口密度/(人·km^{-2})
合肥	691.00	马鞍山	760.00
淮北	787.30	巢湖	486.27
亳州	703.10	芜湖	695.78
宿州	639.70	宣城	224.58
蚌埠	601.98	铜陵	663.88
阜阳	1 011.00	池州	192.13
淮南	931.79	安庆	398.70
滁州	330.80	黄山	151.27
六安	390.30		

由表 4 可以看出,阜阳市、淮南市、淮北市、马鞍山以及亳州市每平方千米都超过 700 人,人口密度较大,黄山市、池州市、宣城市的人口密度较小.

2.4 单位面积的 GDP 指标

单位面积的 GDP,可反映区域遭受雷击后单位面积上可能的经济损失,也可以间接反映各市抵御雷电灾害的能力及灾后恢复能力.其计算公式为 $D=D_s/S$,其中 D_s 为各市的 GDP 生产总值,S 为各市的土地面积,统计得到安徽省各市的 GDP 指标如表 5 所示.

表 5 GDP(D)指标统计

Table 5 Statistics of GDP (D) in Anhui province

城市	单位面积 GDP/(万元·km^{-2})	城市	单位面积 GDP/(万元·km^{-2})
合肥	2 362.42	马鞍山	3 774.02
淮北	1 281.10	巢湖	508.68
亳州	474.29	芜湖	2 260.02
宿州	522.22	宣城	333.56
蚌埠	822.02	铜陵	2 922.82
阜阳	553.76	池州	232.59
淮南	2 138.71	安庆	457.60
滁州	371.85	黄山	254.82
六安	297.06		

马鞍山、铜陵市、合肥市和芜湖市单位面积的 GDP 指标较高,从另一方面说明这些地区经济比较发达,其电子设备和微电子设备较多,遭受雷电灾害

后可能导致的经济损失较大.

3 安徽省雷电灾害风险评估与区划

3.1 建立风险评估模型

选取雷暴日(T)、地闪密度(N)、人口密度(L)、单位面积的 GDP(D)作为评估指标,按照 Saaty 标度方法,建立雷电灾害风险评估的成对比较矩阵及权重分布如表 6 所示.

表 6 成对比较矩阵权重分布

Table 6 Different proportion of contrast matrix

T	B1	B2	B3	B4
B1	1	2	3	5
B2	1/2	1	2	4
B3	1/3	1/2	1	3
B4	1/5	1/4	1/3	1

注:B1、B2、B3、B4 分别代表雷暴日、地闪密度、人口密度和单位面积的 GDP.

采用 Matlab 软件,通过计算,得到最大特征值 r =4.051 1、$\boldsymbol{R}$ = [0.472 85 0.284 38 0.169 92 0.072 85]$\boldsymbol{T}$、一致性指标为 0.017. 由于 R_c < 0.1,说明成对比较矩阵具有较为满意的一致性.

雷电灾害风险评估模型为 W = 0.472 85T + 0.284 38N + 0.169 92L + 0.072 85D.

3.2 风险计算

为了使各指标值取统一量纲,对指标进行归一化处理,将值统一转化到[0,1]范围.本文采用归一化函数对各指标进行无量纲化:

$$R_i = \begin{cases} 1, & x_i \geqslant x_{i\max}, \\ x_i / x_{i\max}, & x_{i\min} \leqslant x_i \leqslant x_{i\max}, \\ 0, & x_i < x_{i\min}, \end{cases}$$

其中 R_i 是归一化后的值,x_i 是各项指标的实际值,$x_{i\max}$是各项指标的最大值.利用指标归一化结果及推算出的风险评估方程,计算出各市的风险值, 结果如表 7 所示.

3.3 风险区划

根据表 7 给出的计算结果,得到安徽省各市的风险值如图 2 所示.风险值相对较大的地区(W > 0.6)有黄山市、马鞍山、铜陵市、池州市、安庆市、淮南市、合肥市、阜阳市;风险值较小的地区(W < 0.5)有宿州市、亳州市、淮北市;其他地区的风险值 W 在 0.5 ~ 0.6 之间.

表 7 安徽省各地市的风险值

Table 7 Assessment results of risk in different cities of Anhui province

城市	雷暴日	地闪密度	人口密度	GDP	风险值
合肥	0.468 239 56	0.829 282 839	0.683 481 701	0.625 969 126	0.618 977 593
淮北	0.379 310 34	0.382 138 065	0.778 733 927	0.339 452 361	0.445 080 893
亳州	0.451 905 63	0.415 685 105	0.695 450 049	0.125 672 360	0.459 222 209
宿州	0.488 203 27	0.483 971 970	0.632 739 862	0.138 372 346	0.486 074 446
蚌埠	0.466 424 68	0.636 648 278	0.595 430 267	0.217 810 186	0.518 641 931
阜阳	0.446 460 98	0.741 016 848	1	0.146 729 482	0.602 448 688
淮南	0.388 384 75	0.804 234 382	0.921 651 830	0.566 692 810	0.610 246 555
滁州	0.548 094 37	0.771 880 125	0.327 200 791	0.098 528 890	0.541 449 483
六安	0.540 834 85	0.936 186 074	0.386 053 412	0.078 711 825	0.593 298 705
马鞍山	0.517 241 38	0.898 315 193	0.751 730 959	1	0.700 624 585
巢湖	0.504 537 21	0.901 744 446	0.480 979 228	0.134 784 659	0.586 555 556
芜湖	0.528 130 67	0.617 712 837	0.688 209 693	0.598 836 254	0.585 957 577
宣城	0.671 506 35	0.768 152 676	0.222 136 499	0.088 383 209	0.580 153 187
铜陵	0.631 578 95	0.732 518 264	0.656 656 775	0.774 458 005	0.674 954 034
池州	0.738 656 99	1	0.190 039 565	0.061 629 244	0.670 435 170
安庆	0.664 246 82	0.861 637 096	0.394 362 018	0.121 250 020	0.634 964 526
黄山	1	0.765 916 207	0.149 624 135	0.067 519 515	0.721 004 181

注:风险值表示每平方千米的雷电灾害风险指数[0,1].

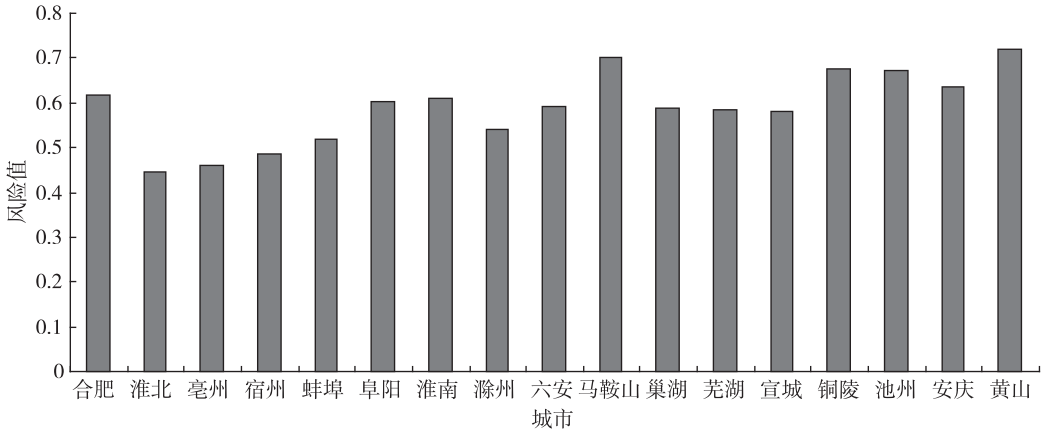


图 2　安徽省各市雷电灾害风险值

Fig. 2　Risk values of lightning disaster in Anhui province

3.4　区划结果验证

统计 2002—2010 年安徽各市记录的雷电灾害事故,得到了过去 9 年(2002—2010 年)各市总的历史雷灾频次(P,单位:次),历史雷灾频次客观地反映了过去一段时期内各市发生雷电灾害的实际情况.统计结果如表 8 所示.

表 8　历史雷灾频次(P)统计

Table 8　Statistics of previous disasters of lightning (P) in Anhui province

城市	雷灾频次/次	城市	雷灾频次/次
合肥	56	马鞍山	47
淮北	3	巢湖	39
亳州	58	芜湖	28
宿州	17	宣城	155
蚌埠	25	铜陵	12
阜阳	22	池州	77
淮南	16	安庆	91
滁州	39	黄山	94
六安	31		

利用各市的历史雷灾次数对表 7 中计算得到的雷电灾害风险值进行验证,结果如图 3 所示,发现其相关系数$r=0.32$,方差分析发现回归是显著的,可见区划结果较能反应实际情况.

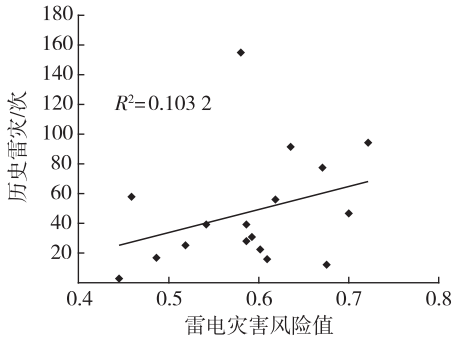


图 3　雷电灾害风险值与历史雷灾频次相关性分析

Fig. 3　Correlation between assessment result and previous disasters of lightning

4　结论

通过对安徽地区雷电灾害风险的评估与分析,并利用历史雷灾资料对其进行检验,结果表明以安徽地区各市为评估单元的风险结果与雷电灾害频次具有较为一致的变化趋势,并得到风险区划如下:

1) 风险值较大的地区($W > 0.6$)有黄山市、马鞍山、铜陵市、池州市、安庆市、淮南市、合肥市和阜阳市.

2) 风险值较小的地区($W < 0.5$)有宿州市、亳州市和淮北市.

3) 除以上地区之外的其他城市风险值居中($0.5 < W < 0.6$).

本文在考虑雷电灾害主要致灾因子和承灾体的基础上进行了风险区划,由于闪电定位资料和灾情资料年限相对较短,会对区划结果造成一定影响,随着资料的积累和评估指标的细化,区划结果将会更加准确.

参考文献

References

[1] 樊运晓,罗云,陈庆寿.区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定[J].灾害学,2001,16(1):85-87
FAN Yunxiao,LUO Yun,CHEN Qingshou.Establishment

of weigh about vulnerability indexes of hazard bearing body[J].Journal of Catastrophology,2001,16(1):85-87
[2] 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
YAN Chunyin,WU Gaoxue,ZHU Jianzhang.A case study on the vulnerability of regional lightning disaster and its division[J].Journal of Meteorology and Environment,2007,23(1):17-21
[3] 邓春林,季严飞,刘刚.基于雷电定位数据的区域雷击灾害风险评估方法探讨[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2010,2(3):230-250
DENG Chunlin,JI Yanfei,LIU Gang.Discussion on the risk assessment method for regional lightning disaster based on lightning location data[J].Journal of Nanjing University of information Science and Technology:Natural Science Edition,2010,2(3):230-250
[4] 葛全胜,邹铭,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究[M].北京:科学出版社,2008
GE Quansheng,ZOU Ming,ZHENG Jingyun,et al.Integrated assessment of natural disaster risks in China[M].Beijing:Science Press,2008
[5] Dilley M,Chen R S,Deichmann U,el al.Natural disaster hotspots:A global risk analysis[R].Washington D C:Hazard Management Unit,World Bank,2005:1-132
[6] 黄蕙,文家洪,司瑞洁,等.自然灾害风险评估国际计划述评Ⅱ:评估方法[J].灾害学,2008,23(3):96-101
HUANG Hui,WEN Jiahong,SI Ruijie,et al.International natural disaster risk assessment program.Overview Ⅱ:Assessment methods[J].Journal of Catastrophology,2008,23(3):96-101
[7] 郭虎,熊亚军.北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J].应用气象学报,2008,19(1):35-39
GUO Hu,XIONG Yajun.Vulnerability analysis,evaluation and vulnerability zoning of lightning disaster in Beijing[J].Journal of Applied Meteorological Science,2008,19(1):35-39
[8] 蒋勇军,况明生,匡鸿海,等.区域易损性分析、评估及易损度区划:以重庆市为例[J].灾害学,2001,16(3):59-64
JIANG Yongjun,KUANG Mingsheng,KUANG Honghai,et al.Regional vulnerability analysis,evaluation and vulnerability zoning:Taking Chongqing as an example[J].Journal of Catastrophology,2001,16(3):59-64
[9] 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
YIN Na,XIAO Wenan.Regional vulnerability analysis,evaluation and vulnerability zoning of lightning[J].Journal of Tropical Meteorology,2005,21(4):441-449
[10] 扈海波,王迎春,熊亚军.基于层次分析模型的北京雷电灾害风险评估[J].自然灾害学报,2010,19(1):104-109
HU Haibo,WANG Yingchun,XIONG Yajun.AHP model-based risk assessment of lightning in Beijing[J].Journal of Natural Disasters,2010,19(1):104-109
[11] 袁湘玲,纪华,程琳.基于层次分析模型的黑龙江省雷电灾害风险区划[J].暴雨灾害,2010,29(3):279-283
YUAN Xiangling,JI Hua,CHENG Lin.Risk zoning of regional lightning disaster in Heilongjiang province based on analytic hierarchy process (AHP) model[J].Torrential Rain and Disasters,2010,29(3):279-283
[12] Saaty T.The analytical hierarchy process[M].New York:McGraw-Hill,1980
[13] 中国建筑标准设计研究院.GB 50343—2010 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S].2010:12
Chinese Building Standard Design and Research Institnte.GB 50343—2010 Technical code for protection of building electronic information system against lightning[S].2010:12

Risk assessment of lightning in Anhui province

LIU Yan[1] LI Zheng[2] CHENG Xiangyang[1] TIAN Hong[3]
1 Lightning Protection Center of Anhui province,Hefei 230061
2 Lightning Protection Center of Jiangsu Province,Nanjing 210008
3 Anhui Climate Center,Hefei 230061

Abstract Based on the lightning data of Anhui province from 2005 to 2010,taking the administrative region (city) as the basic unit,the risk of lightning disaster in Anhui province was analyzed.Thunderstorm day (T),Lightning density (N),population density (L) and GDP per capita (D) were introduced as main assessment indices and Analytic Hierarchy Process (AHP) model was adopted to measure the weight.The lightning risk zoning of Anhui province was obtained by the model,and previous lightning disasters were used to verify the validity of the zoning.The result shows that cities of Huangshan,Ma'anshan,Tongling,Chizhou,Anqing,Huainan,Hefei,Fuyang belong to the high risk areas of lightning disaster,while cities of Suzhou,Bozhou,Huaibei belong to the low risk areas of lightning,and other cities belong to the middle risk area of lightning disaster.

Key words analytic hierarchy process model (AHP);lightning disaster;risk;zoning