文章编号:1674-7070(2014)03-0257-06

钟颖颖[1]　束建[1]　朱恺[1]　刘红银[1]

# 常州雷灾分布特征及风险区划

**摘要**

根据常州近50 a的雷暴数据、近5 a的闪电数据和近10 a的雷灾资料,分析了雷暴和雷灾的相关性,结果表明:雷灾的发生不止与雷暴、闪电等自然因素有关,还可能与地区经济人口分布、区域雷电防护水平等人为因素有关;在雷击造成的损失中,电气和电子系统失效的损害占的比例最大,居民用户遭受雷灾的比重最大,这与各地区人们的防雷意识以及居民建筑防雷装置的完善程度有关.同时,结合实际情况,用7个指标(雷暴日数、雷击密度、雷电灾害频度、经济易损模数、生命易损模数、经济损伤模数和生命损伤模数)评价常州市雷电灾害的易损性.根据江苏省统计年鉴的常州各区县人口、面积和经济数据,采用层次分析法,分析得出常州市的雷灾易损性风险区划:高风险区(武进区)、较高风险区(天宁区、金坛市)、中风险区(钟楼区、戚墅堰区、溧阳市)和低风险区(新北区).

**关键词**

雷灾;易损性;层次分析法;区划

**中图分类号** P4

**文献标志码** A

## 0　引言

由于雷电发生的随机性、瞬时性和危险性,雷电灾害严重威胁着社会公共安全和人民生命财产安全.随着社会经济的发展和现代化水平的提高,雷电灾害的危害程度和造成的经济损失及社会影响也越来越大,为此,各级政府对防雷减灾工作高度重视.

对于雷电灾害,研究较多的是个例的灾后原因分析,指导雷电灾害防御活动的作用效果不明显.区划分析法是灾害管理的一种简便方法[1],而雷电活动的发生具有区域性或局地性,因此近年来一些省级气象部门开始研究雷电灾害区划[2],但对市县的细化分析还较少.由于区域环境的差异性,不同区域的雷灾易损性风险差异也很大[3],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.常州包括新北、钟楼、天宁、武进、戚墅堰5个区和金坛、溧阳2个市,各区域经济、人口和雷电防护水平等有很大差别,地形有平原和山脉,遭受雷击概率不同.使用常州2006—2010年地闪数据,1961—2010年雷暴数据以及1998—2009年雷灾资料,分析常州的雷灾分布特征,结合江苏省统计年鉴中常州经济、人口数据研究不同区域的雷灾易损性,可有针对性地制定科学、合理、经济的防雷设计方案,以保证人民生命财产的安全,也可以有效指导常州市城镇化建设和新农村建设过程中防雷减灾工作,尽可能减少雷电灾害造成的损失或避免雷电灾害的发生.

## 1　雷灾环境背景分析

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、人文环境、土壤状况、气候特点等方面.

常州位于江苏省南部,境内地势西南略高、东北略低,高低相差2 m左右,地貌类型属高沙平原,山丘平圩兼有.南为天目山余脉,西为茅山山脉,北为宁镇山脉尾部,中部和东部为宽广的平原、圩区.境内有运河通过,南部有滆湖.独特的地形和水网条件有利于雷暴的发生发展,年平均雷暴日约为32 d,属于雷暴多发区.人口密度达每631人/$km^2$,乡村人口逐渐减少,城市化水平提高,人口素质明显改善,高学历层次在总人口中所占比例持续上升,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.常州市内的土壤在山脉、丘陵区主要以棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土和棕红壤为主,

**收稿日期** 2012-02-13

**资助项目** 常州市气象局科研基金(1106)

**作者简介**

钟颖颖,女,硕士,助理工程师,主要从事雷击风险评估工作.view618@163.com

1　常州市防雷中心,常州,213022

而在平原区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.常州市属于北亚热带海洋性气候,常年气候温和、雨量充沛、四季分明,夏季温热多雨、雷暴多发.

图 1 表明,从 1998 年至今,雷灾次数和雷暴日都在波动变化,但规律不明显,只在 2003—2007 年间,雷灾的增多与减少和雷暴日的增减一致,其他时间无明显关系.图 2 显示,每年 3 月开始,气温回升,雨量增多,雷暴也开始发生,至 7 月温度高,水汽足时,雷暴、闪电达到峰值,8 月略有回落,9 月以后迅速减少,雷暴的发生存在着明显的季节变化.因此,雷暴和闪电的月变化规律一致,峰值都出现在 7 月,雷灾的发生也存在着月变化规律,但是不完全和雷暴发生情况一致,虽然雷暴少的月份,雷灾也少,但雷灾最多的 8 月雷暴、闪电并不是最多,因此雷灾的发生不只是和雷暴、闪电等自然因素有关,还可能与地区经济、人口分布、区域防雷水平等人为因素有关.

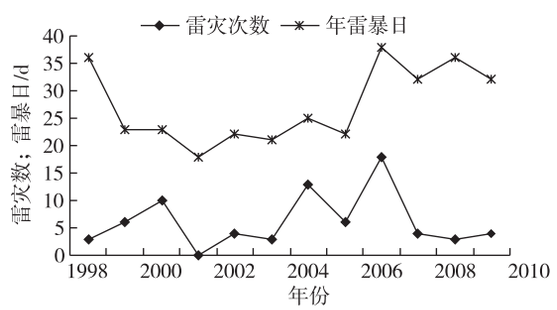



图 1　常州年雷灾数与年雷暴日数变化

Fig.1　Variation of lightning disasters and thunderstorm days

## 2　雷灾分布特征

### 2.1　雷灾区域分布与地闪的关系

从常州地区的地闪密度(图 3)中可以看出,地闪呈中部多、四周少分布,围绕 3 个密度中心向周围辐散减少.密度中心达到 7 $km^{-2}\cdot a^{-1}$,出现在金坛中部,次密度中心出现在武进以及武进和戚墅堰交界处,约为 6 $km^{-2}\cdot a^{-1}$.金坛是雷击频繁区域,其次为常州市中部地区.根据 1998—2009 年常州各区县雷灾资料分析得出,武进区年雷灾次数最多,其次是天宁区,这 2 个地区地闪较密集,但地闪密度并不是最大的,戚墅堰发生的雷灾最少,可是地闪密度却较高,因此雷灾次数与地闪密度的相关性较差.

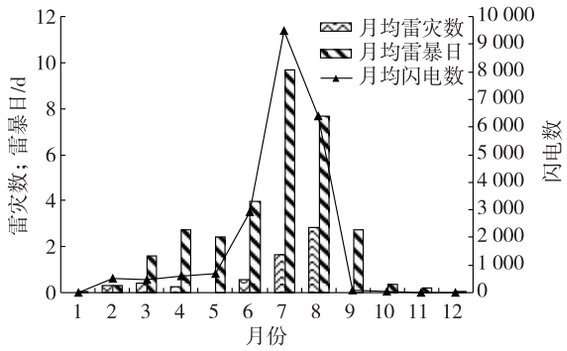



图 2　雷灾、闪电和雷暴日的月变化

Fig.2　Monthly variation of lightning disasters, lightning and thunderstorm days

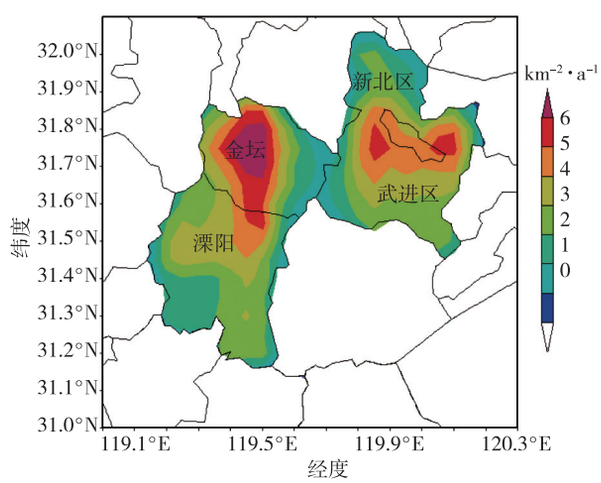



图 3　常州 2006—2010 年地闪密度分布

Fig.3　Distribution of lightning in Changzhou from 2006 to 2010

### 2.2　雷灾损害类型区域分布

根据 IEC623052-2 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 4 按损害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例最大,为 70.49%,生物伤害所占比例最少.除金坛、戚墅堰外,各地区都以电子系统损害占主要地位.武进、天宁和钟楼区的电子失效情况比较严重,因为这些地方部分区域企业集中、电子设备密集;另外,部分区域住宅、办公楼和智能大厦较多,家用电器、办公设备集中,非常敏感,极易遭雷击破坏.武进和金坛的 4 次人员伤亡都发生在农村,应加强农村防雷知识的宣传,提高农民的防雷意识.

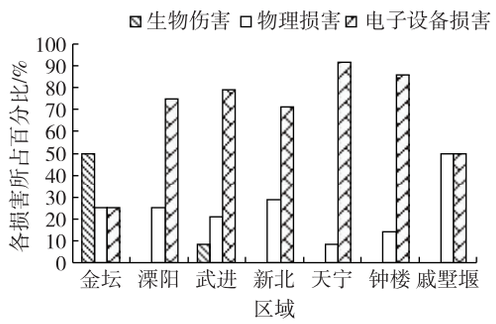



图 4 各区域雷灾损害类型分布

Fig.4 Distribution of regional disaster damage types

### 2.3 雷灾行业分布

将雷灾按所属行业分类,得出居民用户遭受雷灾的比重最大(50.82 %),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,少数为家用电器,这与各地区人们的防雷意识以及居民建筑防雷装置的完善程度有关;其次是制造业(16.39 %),由于该行业人员密集、设备集中,如果未安装防雷装置或者防雷措施不到位,一旦发生强雷击,就会引发雷灾事故,造成严重的损失.

## 3 区域雷灾易损性风险分析

全球自然灾害发生频率不断增加,造成的人员、物质甚至环境的损失逐渐上升,国内外对灾害风险评估的研究日趋关注[4].李家启等[5]根据重庆市各区县的雷击易损性指标,计算了雷电灾害易损性风险评估参数,并在此基础上对重庆进行了风险区划;殷娴等[6]对江苏的雷灾分布进行了分析,并提取易损度指标,按易损度进行全省的区域划分.

灾害的发生是由致灾环境的危险性和承灾体的易损性(脆弱性)共同决定的[7].雷灾易损性反映出一定区域和时段内由于雷电而导致人身和财产损失的最大可能性,刻画了区域经济社会对雷电灾害的敏感性.常州由于其独特的地理位置、气候背景以及经济、人口现状对雷电灾害的敏感度不尽相同.

### 3.1 风险指标

对于一个地市级行政辖区而言,它的地理地貌、土壤环境、气候背景等在数十年时间内是相对稳定的,不会发生较大改变,因此常州市雷电灾害的致灾因子具有相对稳定性,即为雷暴.承灾体易损性包括自然易损性、经济易损性和社会易损性等各方面的内容,由于地理环境、人文环境以及经济状况等的不平衡性,相同强度的雷电灾害在不同的区域造成的灾害损失严重程度有着很大差异.常州市雷电灾害易损性反映了常州各区县面对雷电灾害时的敏感度,与各区域自然雷暴的气候背景有关,也与雷电灾害发生区县的经济总量、人口密度特征等有关.在尹娜等[2]、蒋勇军等[7]、郭虎等[8]对雷电灾害易损度区划研究的基础上结合本地实际情况,确定采用以下 7 个指标分析常州市雷电灾害风险:雷暴日数 $N$、地闪密度 $N'$、雷电灾害频度 $R$、经济易损模数 $E$、生命易损模数 $L$、经济损伤模数 $L'$和生命损伤模数 $E'$.

1)雷暴日数.雷暴日数是指某区域每年发生雷暴的天数,是反映雷暴活动的重要指标之一. $N=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_i$,$T_i$ 表示某区域第 $i$ 年雷暴日数,其中,$n$ 为统计样本年数.由常州龙虎塘观测站、金坛和溧阳地面气象观测站近 50 a 的观测资料统计而得.

2)地闪密度.地闪密度是指单位面积内所发生的地闪数量,能够精确地反映小区域范围遭雷击情况. $N'=\frac{1}{n}\cdot\frac{F}{S}$,$F$ 为闪电总数,$S$ 为面积,$n$ 为统计样本年数.文中所用地闪密度根据江苏省闪电定位系统 2006—2010 年闪电数据计算而得.

3)雷灾频度.雷灾频度是指某区域内每年出现雷电灾情的次数,表示该区域雷电灾情发生频率和次数的高低. $R=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}N_i$,$N_i$ 表示某区域第 $i$ 年内发生雷电灾害的总次数,$n$ 为统计样本年数. 根据全国雷电灾害年鉴 1998—2009 年的资料统计而得.

4)生命易损模数. $L=P/S$, $L$ 表示某区域发生雷电灾害时,单位面积上可能受到雷电危害的人口数量,即该区域内单位面积上的人口数量,单位是(人/$km^2$),$P$ 是从江苏省统计年鉴中统计的 2009 年常州各区域人口总数,$S$ 为该区域的国土面积.该指标客观反映了某区域生命对灾害的敏感性.

5)经济易损模数.经济易损模数的含义是指发生雷电灾害时某区域单位面积上可能遭受损失的经济总量,即该区域内单位面积上的生产总值. $E=\frac{D}{S}$,其中 $E$ 表示某区域的经济易损模数,单位(万元/$km^2$),$D$ 表示发生雷电灾害时该区域内经济总量,单位为万元,文中 $D$ 取 2009 年常州市各县市区生产总值(GDP),$S$ 为该区域的国土面积.该指标客观反映了该区域雷电灾害可能造成的损失程度和分布情况,间接反映了该区域防御、抗击雷灾的能力以及可恢复能力.

6)生命损伤模数.生命损伤模数的含义是指某区域单位面积内直接由雷电灾害造成的死亡和受伤人口数量,表示该区域雷电灾害导致的人身伤亡情况,间接反映了区域防御雷灾的能力. $L' = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} p_i\right)/S$, $L'$表示生命损失模数(人/km$^2$),$p_i$ 为某区域第 $i$ 年由雷电灾害所造成人员伤亡总数,包括因雷电灾害而死亡和受伤人数.

7)经济损伤模数.经济损伤模数的含义是指某区域单位面积内直接由雷电灾害造成的经济损失数量,表示该区域雷电灾害导致的经济损失情况,间接反映了区域防御雷灾的能力. $E' = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i\right)/S$, $E'$表示经济损伤模数单位(万元/km$^2$),$d_i$ 为某区域第 $i$ 年由雷电灾害所造成经济损伤总数(万元),包括因雷电灾害而造成的直接经济损失和间接经济损失.

### 3.2 指标权重的确定

本文采用层次分析法确定雷灾易损性风险评估模型中各个因子的权重,把雷灾易损性风险评估确定为层次分析的总目标(图 5),即第 1 层(A 层),以致灾因子危险性、承灾体、脆弱性作为第 2 层次(B 层),选取 7 个指标作为第 3 层(C 层).经过专家咨询打分,用 1~9 比例尺度构造判断矩阵,然后对每一个判断矩阵计算最大特征值和特征向量,即可获得因子的权重系数(表 1).

最后计算得出雷暴日数、地闪密度、雷灾频度、生命易损模数、经济易损模数、生命损伤模数、经济损伤模数的权重分别为 0.10、0.25、0.16、0.11、0.07、0.18 和 0.13.

### 3.3 雷灾易损性风险评估

为了将指标值统一量纲,需要对指标进行归一化处理,将值统一转化到[0,1]范围.采用以下归一化函数进行无量纲化:

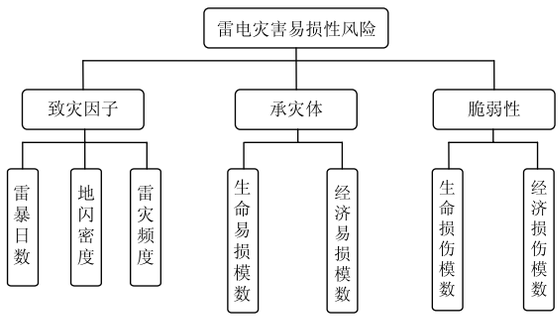



图 5 雷电灾害易损性评估的层次分析法模型

Fig.5 AHP model of assessment for lightning disaster vulnerability

**表 1 C 层各指标的权重值**

Table 1 Index weights on C layer

| | B1(0.51) | B2(0.18) | B3(0.31) | 权重 |
|---|---|---|---|---|
| C1 | 0.20 | | | 0.10 |
| C2 | 0.49 | | | 0.25 |
| C3 | 0.31 | | | 0.16 |
| C4 | | 0.63 | | 0.11 |
| C5 | | 0.37 | | 0.07 |
| C6 | | | 0.59 | 0.18 |
| C7 | | | 0.41 | 0.13 |

$$X'_i = \frac{X_i}{X_{\max}},$$

其中 $X'_i$表示 $X_i$ 原始值的归一化值,$X_{\max}$表示指标 $i$ 所在项中的最大值.

在上述指标体系基础上,根据所得指标数据和构造模型式,计算常州各区县雷电灾害易损性风险.

$$V_i = \sum_{i=1}^{7} X_i' W_i,$$

其中 $V_i$ 为雷灾易损性风险值,$W_i$ 为第 $i$ 个因子的权重.各因子权重由上述层次分析法确定.

根据原始数据进行归一化后得到结果如表 2.

**表 2 归一化后的评估指标**

Table 2 Normalized evaluation index

| 区域 | 致灾因子 | | | 承灾体 | | 脆弱性 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 雷暴日数 | 雷击密度 | 雷灾频度 | 生命易损模数 | 经济易损模数 | 生命损伤模数 | 经济损伤模数 |
| 天宁区 | 0.93 | 0.87 | 0.58 | 0.38 | 0.27 | 0 | 1.00 |
| 钟楼区 | 0.93 | 0.96 | 0.32 | 0.35 | 0.25 | 0 | 0.34 |
| 戚墅堰区 | 0.93 | 1.00 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0 | 0.96 |
| 新北区 | 0.93 | 0.67 | 0.27 | 0.45 | 0.42 | 0 | 0.11 |
| 武进区 | 0.93 | 0.87 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.78 | 0.14 |
| 溧阳市 | 1.00 | 0.77 | 0.32 | 0.79 | 0.37 | 0 | 0.02 |
| 金坛市 | 0.90 | 0.98 | 0.21 | 0.56 | 0.27 | 1.00 | 0.01 |

计算得常州各区县雷灾易损性风险值分别为天宁区(0.59)、钟楼区(0.48)、戚墅堰区 0.50)、新北区(0.40)、武进区(0.81)、溧阳市(0.46)、金坛市(0.63).将结果按>0.70、(0.60~0.70]、(0.30~0.60]和≤0.30 作为划分雷灾易损性高、较高、中和低风险区的限界值,划分结果如图 6 所示.




图 6 常州雷电灾易损性风险区划

Fig.6 Zoning map of lightning disaster vulnerability in Changzhou

## 4 小结

根据常州近 50 a 的雷暴数据,近 5 a 的闪电数据,分析了雷暴和雷灾的相关性,可知:从 1998 年至今,雷灾次数和雷暴日都在波动变化,但规律不明显,只在 2003—2007 年间,雷灾的增多与减少和雷暴日的增减一致,其他时间无明显关系;雷暴和闪电的月变化规律一致,峰值都出现在 7 月,雷灾的发生也存在着月变化规律,但是不完全和雷暴发生情况一致,虽然雷暴少的月份,雷灾也少,但雷灾最多的 8 月雷暴、闪电并不是最多;武进区年雷灾次数最多,其次是天宁区,这 2 个地区地闪较密集,但地闪密度并不是最大的,戚墅堰发生的雷灾最少,可地闪密度却较高,因此雷灾的发生不仅与雷暴、闪电等自然因素有关,还可能与地区经济人口分布、区域雷电防护水平等人为因素有关;在雷击造成的损失中,电气和电子系统失效的损害占的比例最大,居民用户遭受雷灾的比重最大,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,少数为家用电器,这与各地区人们的防雷意识以及居民建筑防雷装置的完善程度有关.

本文结合常州实际情况,提出 7 个指标(雷暴日数、地闪密度、雷电灾害频度、经济易损模数、生命易损模数、经济损伤模数和生命损伤模数),根据常州各区县人口、面积和经济数据,采用层次分析法,计算得出常州各区县的雷灾易损性风险,将其分为 4 个等级:高风险区(武进区)、较高风险区(天宁区、金坛市)、中风险区(钟楼区、戚墅堰区、溧阳市)和低风险区(新北区).

## 参考文献

References

[1] 黄崇福,张俊香,陈志芬,等.自然灾害风险区划图的一个潜在发展方向[J].自然灾害学报,2004,13(2):9-15
HUANG Chongfu,ZHANG Junxiang,CHEN Zhifen,et al. Toward a new kind of natural disaster risk zoning map [J].Journal of Natural Disasters,2004,13(2):9-15

[2] 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
YIN Na,XIAO Wenan.Regional vulnerability analysis,evaluation and vulnerability zoning of lightning[J].Journal of Tropical Meteorology,2005,21(4):441-448

[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):230-235
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 & Technology:Natural Science Edition,2010,2(3):230-235

[4] 黄蕙,温家洪,司瑞洁,等.自然灾害风险评估国际计划述评.Ⅰ:指标体系[J].灾害学,2008,23(2):112-116
HUANG Hui,WEN Jiahong,SI Ruijie,et al.International natural disaster risk assessment program.Overview Ⅰ:Indicator systems[J].Journal of Catastrophology,2008,23(2):112-116

[5] 李家启,申双和,秦健,等.重庆市雷电灾害易损性风险综合评估与区划[J].西南大学学报:自然科学版,2011,33(1):96-102
LI Jiaqi,SHEN Shuanghe,QIN Jian,et al.Comprehensive estimate and zoning of lightning disaster vulnerability risk in Chongqing[J].Journal of Southwest University:Natural Science,2011,33(1):96-102

[6] 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
YIN Xian,XIAO Wenan,FENG Minxue,et al. Regional distribution and vulnerability regionalization of lightning disaster[J]. Meteorological Science and Technology,2009,37(2):216-220

[7] 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 vul-

nerability zoning-taking Chongqing as an example[J]. Journal of Catastrophology,2001,16(3):59-64
[8] 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
GUO Hu,XIONG Yajun,HU Haibo.Synthetic assessment model of lightning disaster in Beijing[J]. Journal of Catastrophology,2008,23(1):14-17

# Characteristics of lightning disaster distribution and risk zoning of Changzhou

ZHONG Yingying[1] SHU Jian[1] ZHU Kai[1] LIU Hongyin[1]
1 Changzhou Lightning Protection Bureau,Changzhou 213022

**Abstract** The correlation between thunderstorm and lightning disaster is analyzed,based on thunderstorm data in past 60 years,lightning data in recent 5 years and lightning disasters in past 10 years of Changzhou.Results show that the occurrence of lightning disaster can not be solely attributed to natural factors like thunderstorm,flash;anthropogenic factors like economic development,population density,and lightning protection level may also influence the occurrence and level of lightning disaster.In the loss caused by lightning,failure of electrical and electronic system accounts for the largest proportion.And the local residents are the most vulnerable to lightning disasters in all industries,which is associated with people's indifference to lightning protection and short of lightning protection device for residential buildings.Combined with actual situation,7 indexes are put forward to evaluate the lightning disaster vulnerability of Changzhou,including thunderstorm days,lightning density,lightning disaster frequency,economic development,population density,vulnerability of economy and population. Based on data about the population,area and economy in all districts of Changzhou from the statistical yearbook of Jiangsu,lightning disaster vulnerability risk of each district is calculated by analytic hierarchy method,and the risk zoning is classified as high risk area(Wujin district),relatively high risk area(Tianning district and Jintan city),middle risk area(Zhonglou district,Qishuyan district and Liyang city) and low risk area(Xinbei district).

**Key words** lightning;disaster vulnerability;analytic hierarchy;method zone