

刘雪涛, 谢屹然, 许迎杰, 等. 2001–2017年云南雷电灾害中人员伤亡特征[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 128–134. [LIU Xuetao, XIE Yiran, XU Yinjie, et al. Lightning-related fatalities and injuries in Yunnan from 2001 to 2017[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 128–134. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.024.]

2001–2017年云南雷电灾害中人员伤亡特征^{*}

刘雪涛, 谢屹然, 许迎杰, 孙绩华, 周德丽, 赵宁坤

(云南省气象台, 云南 昆明, 650034)

摘要: 利用2001–2017年云南省气象局收集的雷灾资料进行统计分析, 给出了云南省有人员伤亡的雷电灾情特征。资料包括雷灾造成了728人死亡和949人受伤, 平均每年有42.3人死于雷灾和55.3人在雷灾中受伤。在云南省每年每一百万人中有0.99人死于雷击和1.7人在雷灾中受伤。云南省雷灾伤亡多发生在东部和南部地区, 西部相对较少。红河最为严重, 总计雷灾造成107人死亡, 127人受伤; 当考虑人口权重时西双版纳雷灾人员伤亡率最高。云南雷灾伤亡主要发生在5–8月, 占全年的82%以上, 8月最高。人员伤亡的雷灾主要发生在13:00–20:00, 占73%, 16:00为峰顶。雷灾中受伤害的农民占总死伤人数的97%, 城市人员仅占3%。雷灾中男性占伤亡人数的57%, 在雷灾伤亡人员年龄分布中, 40~49岁这一年龄段最多。统计人员伤亡雷灾中的雷击地点, 最多的发生在农田, 为39%, 其次为树下, 为17%, 以下依次为开阔地和放牧等。

关键词: 雷电灾害; 雷击; 人员伤亡; 时空特征; 云南

中图分类号: X43; TU984; Q4; P45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0128-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.024

雷电灾害泛指雷击或雷电电磁脉冲入侵和影响造成人员伤亡或物体受损, 其部分或全部功能丧失, 酿成不良的社会和经济后果的事件。雷电灾害的损失包括直接的人员伤亡和经济损失, 以及由此衍生的经济损失和不良社会影响。雷电灾害已经被联合国有关部门列为“最严重的十种自然灾害之一”, 被中国电工委员会称为“电子时代的一大公害”。因此, 统计分析一定区域雷电灾害发生的时空规律、危害途径和发生的主要场所等特征, 才能制定出有针对性地防护和预警措施。

许多研究对不同国家的雷电灾害特征进行了报道。美国每年雷灾的死亡人数在逐年下降, 从20世纪每年雷灾死亡多于400人降到近年只有少于30人死于雷灾^[1-2]。在罗马尼亚, 1999–2003年平均有65人死于雷击, 而2011–2015年也下降到平均23.2人死于雷击^[3]。这种雷击死亡人数逐年下降趋势在其他发达国家也同样存在。但在发展中国家, 却是相反的变化。在孟加拉国, 2000–2009年平均有106人和72人分别在雷灾中死亡和受伤, 而2010–2015年雷灾中的死亡和受伤人数分别上升至251人和220人^[4], 在印度也同样存在雷灾伤亡人数上升的趋势^[5]。产生两种不同雷灾伤亡人数变化趋势主要与城镇化水平、防雷设施

和国家强对流天气的预报预警发布等因素有关^[6]。

国内对雷灾中的人员伤亡和财产损失也做了一些研究。马明等^[7-8]分析了1997–2006年我国雷电灾害造成的人员死伤数、财产损失情况的特征, 指出我国每年每一百万人中大约有0.53人死于雷击, 高于美国、英国。同时在此基础上, 从雷电灾情、孕灾环境、致灾因子、承灾体及其相互作用等方面对我国雷电灾害的时空分布规律和成因机制过程进行了研究。ZHANG等^[9]利用1997–2009年的全国雷灾资料也对全国雷灾伤亡和财产损失进行了研究, 指出1997–2007年我国雷灾伤亡人数呈逐年上升的趋势, 2008年开始下降。由于我国地域辽阔、气候差异大, 还有各省市人口分布、经济发展差异大, 为了掌握雷电灾害特征和时空分布特点, 做好雷电防御工作, 众多雷电科研和防护工作人员对不同省市雷电灾害特征进行了详细分析^[10-13]。

云南地处低纬高原, 受到印度西南季风和东亚夏季风的共同影响。由于受季风和特殊地形的影响低纬高原中小尺度对流系统有一定的特殊性, 局部地区的强对流灾害性天气经常发生, 是雷暴和雷灾高发区。云南气象工作者从地闪时空分布^[14]、雷灾易损区划^[15]、雷电灾情评估^[16]、特定区域的雷击

* 收稿日期: 2018-06-05 修回日期: 2018-08-22

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(91537212); 云南省科技惠民计划项目(2014RA002; 2016RA096)

第一作者简介: 刘雪涛(1976-), 男, 四川乐至人, 高级工程师, 研究方向为气象数据分析及应用软件设计。

E-mail: kmlxt@sohu.com

通讯作者: 谢屹然(1978-), 男, 白族, 云南剑川人, 硕士, 高级工程师, 主要从事大气电学和灾害性天气监测和预警工作。

E-mail: dlxieyr@qq.com

风险评估^[17-18]和乡村雷电灾害特征等^[19]方面,对云南省雷电灾害特征进行了研究,但对于云南省雷电灾害中人员伤亡特征的详细分析目前没见报道。因此,利用云南省气象局收集的 2001 – 2017 年云南省雷电灾害资料,详细分析雷灾伤亡人员的时空分布特征及其影响因子,为云南省人员雷灾避险提供科学方法和有效的防御措施。

1 资料与方法

本文雷灾资料取自 2001 – 2017 年云南省气象局收集的云南省雷电灾害资料。云南省气象局负责收集本省的气象灾害资料,主要包括暴雨洪涝、大风、冰雹、雷电、干旱、雪灾、霜冻和低温冷害等 13 种气象灾害。其中雷电灾害里每个雷灾事件记录了雷灾发生情况、背景,受损的财物,受伤害的人员情况等,如雷灾发生的时间、地点,受损部门行业、受损财物类型,死伤人员的人数、性别、职业、雷击地点等。由于资料本身的问题,可能在部分年份的部分地区缺失雷灾记录,如 2005 年只有全省总的伤亡人数,而具体每个州市的伤亡人数却缺失,同时由于部分雷灾报告记载不规范的原因,也存在缺失一些雷灾统计信息的情况。因此本文得到的是云南雷灾特征的不完全统计结果。

云南省人口相关数据来自云南省统计局编的 2001 – 2017 年的云南统计年鉴。

2 结果与讨论

2.1 雷灾人员伤亡的空间分布特征

表 1 给出了 2001 – 2017 年云南省各州市的雷电灾害人员伤亡的详细情况,其中 2005 年分州市

的雷灾伤亡缺失,但不会影响总体结果。通过对全省 16 个州市雷电灾情排名比较,得到以下一些结果。

从雷灾造成的人员死亡来看,红河排在第 1 位,雷灾死亡人数为 107 人;昆明位列第 2,共有 79 人在雷灾中死亡;昭通位列第 3,共有 74 人在雷灾中死亡;其后依次为曲靖、文山、楚雄、临沧、普洱、玉溪、西双版纳、丽江、保山和大理,雷灾死亡人数也相对较多。雷灾死亡人数最少的怒江,有 2 人在雷灾中死亡;迪庆和德宏雷灾死亡人数也相对较少,分别为 5 人和 6 人。

从雷灾造成的人员受伤来看,普洱排在第 1 位,雷灾受伤人数为 162 人;红河位列第 2,共有 127 人在雷灾中受伤;昆明位列第 3,共有 113 人在雷灾中受伤;其后依次为临沧、曲靖、昭通、保山、文山、玉溪、楚雄、西双版纳、大理和丽江,雷灾受伤人数也相对较多。雷灾受伤人数最少的也是怒江,有 1 人在雷灾中受伤;迪庆和德宏雷灾受伤人数也相对较少,分别为 2 人和 4 人。这种分布可能与各地区闪电活动强弱、人口基数多少以及城镇化水平等综合因素有关。

从人口权重的死亡率来看,其中的人口数是 2001 – 2017 年各州市人口平均,可以看到其与人员死伤总数的排名有很大的不同,人口基数少的地区的排名有很大的提高。西双版纳和丽江处于前两名,红河排在第三。昆明和曲靖由于人口基数大,分别排在 11 位和 13 位。怒江由于雷灾少,虽然人口少,还是排在最后。

从面积权重的死亡率来看,和人口权重相似之处是面积相对比较小的州市排名明显上升,昆明处于首位,红河与昭通分列 2 和 3 位。怒江还是处于最后一位。

表 1 2001 – 2017 年云南省各州市雷灾人员伤亡情况

州市	面积 /km ²	人员死亡			人员受伤		人员死亡率		面积权重的死亡率	
		人口/万人	人数	排位	人数	排位	死亡率/ (人/每百万人)	排位	死亡率/ (人/10 ³ km ²)	排位
昆明	21581	605	79	2	113	3	0.82	11	3.661	1
玉溪	15285	224	36	8	35	9	1.00	7	2.355	4
昭通	23022	524	74	3	55	6	0.88	9	3.214	3
普洱	45360	252	45	7	162	1	1.12	5	0.992	12
临沧	24456	237	47	6	71	4	1.24	4	1.922	5
楚雄	29271	266	47	6	35	9	1.10	6	1.606	9
曲靖	29850	581	55	4	65	5	0.59	13	1.843	6
红河	32925	438	107	1	127	2	1.53	3	3.250	2
丽江	21235	121	30	10	26	12	1.55	2	1.413	11
德宏	11527	117	6	13	4	13	0.32	15	0.521	14
西双版纳	19705	105	33	9	34	10	1.96	1	1.675	8
怒江	14724	52	2	15	1	15	0.24	16	0.136	16
保山	19633	248	29	11	54	7	0.73	12	1.477	10
迪庆	23861	38	5	14	2	14	0.83	10	0.210	15
大理	29452	346	28	12	29	11	0.51	14	0.951	13
文山	32237	346	54	5	45	8	0.98	8	1.675	7
云南省	394125	4501	728		949		0.99		1.718	

2.2 雷灾人员伤亡的时间分布特征

图1给出云南省2001—2017年雷电伤亡的年际变化。可以看出,云南省雷电伤亡人数总体呈下降趋势,特别是人员受伤人数更明显。2001—2007年,平均每年雷灾死亡人数为76人,死亡人数相对起伏较大,特别是2004年雷灾死亡人数达到了最大的126人。2007年以后,云南雷灾伤亡人数呈现逐步下降的趋势,这十年平均每年雷灾死亡人数为20人,2012年达到最低,全省仅有8人因雷灾死亡。出现这种年际变化趋势主要是防雷相关知识的普及以及大众防雷意识的提高;其次是2006年后云南省地闪定位网建立,可以详细监测地闪活动相关信息,气象部门可以及时发布强对流天气相关的天气预警,最后还有比较重要的一点是随着云南省城镇化水平的逐步推进,相应的防雷设施也进一步健全。

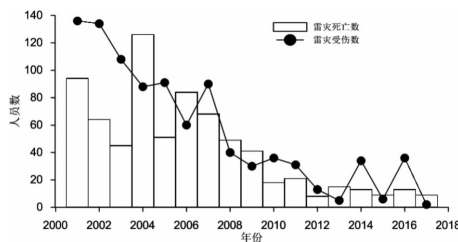


图1 云南省2001—2017年雷电伤亡的年际变化

图2a给出了云南省2001—2017年雷灾伤亡人数的月际变化。云南省雷灾伤亡主要出现在4—9月,其中96%的雷灾死亡数和92%的雷灾受伤数都发生在这6个月。从雷灾死亡人数的月际变化看,1—3月相对较少,4月开始逐渐增加,5月开始,雷灾死亡人数明显增加,雷灾死亡人数最多月出现在8月,占全年28%。进入9月,开始下降。11—12月没有发生雷灾死亡事件。从雷灾受伤人数的月际变化看,在5月和7月存在两个峰值,占全年比例一样,都为20%。图2b给出了雷灾中人员伤亡的日变化特征,可见人员伤亡数日变化呈现典型的单峰型,从13:00开始快速上升,15:00—17:00达到高值,16:00为峰顶,雷灾伤亡人员数比例为17.8%,其中低值在00:00—07:00,05:00为谷底值,没有发生雷灾伤亡。

2.3 雷灾人员伤亡的环境分析

雷灾事件的发生与周围环境密切相关。由雷击人身伤亡发生时人所处的环境和情形归纳出9种:农田、树下避雨、开阔地、放牧、建筑物内、山区、建筑物附近、交通和移动电话相关。对于人员伤亡的雷灾数,发生在农业劳动或田间地头最多为39%,其次是树下避雨为17%,其后依次是空旷地带、放牧、建筑物内、山区、建筑物附近、交通和移动电话相关。这主要原因是云南是传统农业与山地大省,森林覆盖率较高,农民主要的生产方式就是田地种植、坡地山林放牧牛羊,在野外时间长,离家较远,当雷暴突然来临时,没有地方及时躲避或者躲避方式不正确,容易遭受雷击(图3)。

云南省雷灾伤亡人数呈明显下降趋势,平均每年雷灾伤亡人数接近个位数,比较大的雷灾伤

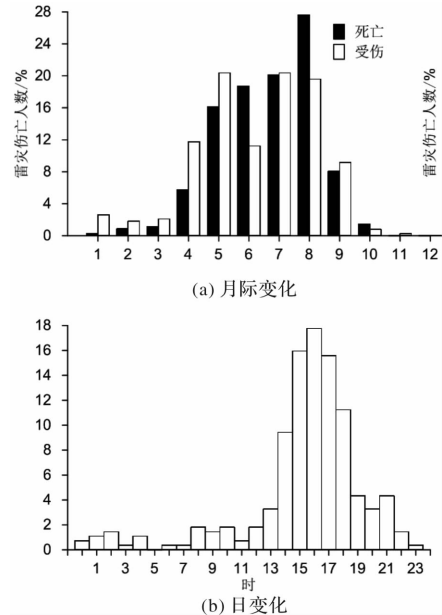


图2 云南省雷灾死亡人数的月际变化(a)和日变化(b)

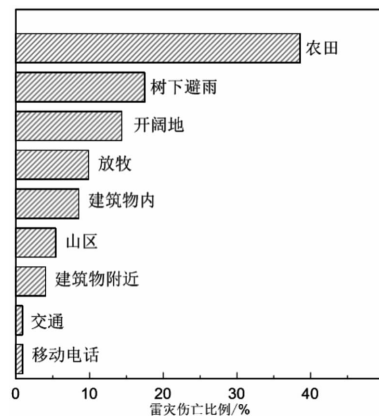


图3 不同雷击环境的人员死伤分布

亡事件主要发生在农村,具体环境主要是田间地头、树下避雨和山上放牧,还有风景区。在农田、开阔地、水域这些环境下多直接雷击效应,造成雷击人员死亡概率大,如表2中灾情1、3、5和7;在树下,旁侧闪击容易造成多人死伤,如表2中灾情2、4和6。表2给出近几年比较典型的雷灾伤亡事件的详细情况,可以看出这些雷灾事件伤亡人员多,究其环境还是比较典型的容易遭受雷击的区域,属于主要是树下和开阔地带。各地区雷灾主要集中在午后14:00—17:00这段时间里。

2.4 雷灾人员伤亡的性别和年龄分析

云南雷灾人员伤亡基本发生在农村,2001—2017年云南雷灾人员伤亡的97%发生在农村,仅有3%发生在城市。这与彭启洋等^[19]的研究结果一样。和其他研究结果对比,云南雷电灾害中农村人口所占比例明显高于其它地区。马明等^[7]指出我国雷电灾害中受伤害的农民占总死伤人数的93%,城市人员仅占7%。在其它国家,雷灾人员伤亡也基本发生在农村,这个比例在罗马尼亚^[3]和土耳其^[20]分别为78.5%和86%。

表 2 云南省近几年比较典型的雷灾伤亡事件

序号	时间	地点	灾害环境	死亡人数	受伤人数
1	2010 年 7 月 13 日 16 时	昆明市石林县石林景区	石林景区野外南天门	2	5
2	2010 年 9 月 28 日 17 时	普洱市墨江县联珠镇	5 人在山上劳动, 到大树下避雨的过程中遭到雷击	3	2
3	2011 年 8 月 12 日 14 时	曲靖市会泽县大桥乡	地里挖洋芋, 遇雷雨天气, 共用一把雨伞躲雨	4	0
4	2014 年 5 月 31 日 14 时	曲靖市罗平县老厂乡	树下避雨	2	1
5	2016 年 8 月 8 日 14 时	昆明市寻甸县六哨乡	地里挖洋芋	2	19
6	2016 年 9 月 29 日 15 时	普洱市澜沧县竹塘乡	树下避雨	3	3
7	2017 年 8 月 29 日 16 时	玉溪市峨山县大龙潭乡	田间采烟叶	2	0

关于雷灾伤亡人员的年龄和性别情况, 国内相关研究也没有相关报道, 可能是相关资料比较难收集。在云南省雷灾伤亡数据中, 有 252 个伤亡人员数据记录比较详细, 下面对相关数据进行分析。图 4 给出 2001–2017 年云南省雷灾伤亡人员的年龄分布情况。可以看出, 雷灾伤亡人数在每个年龄段几乎都有, 10~50 岁这个年龄段占 81%, 其中 40~49 岁这个年龄段最多为 21%。在罗马尼亚, 雷击死亡人员的在 10~39 岁最多^[3]; 在土耳其, 雷击死亡人员的在 10~20 岁最多^[20]。这些差异可能与当地人口性别、年龄结构、社会风俗等因素有关。

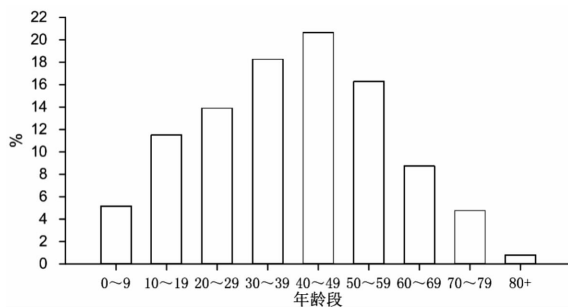


图 4 2001–2017 年云南省雷灾死亡人数的年龄分布

图 5 给出 2001–2017 年云南省雷灾死亡人数的性别比例情况。其中儿童是指年龄小于 18 岁。从性别比例来看, 云南省雷灾伤亡最多的为男性占 57%, 女性和儿童分别为 31% 和 12%。说明在云南省雷击灾害中, 男性容易受到雷击。这与其他地区的研究结果大体相似, 只是比例小于其他地区。在英国, 男性在雷灾死亡人数中占 73%^[21]; 在美国, 这个比例是 85%^[22]; 在印度, 更是达到 89%^[5]。

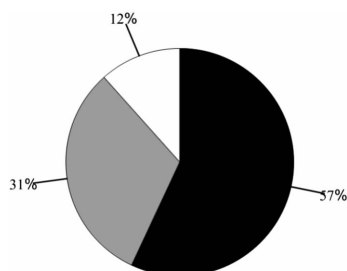


图 5 2001–2017 年云南省雷灾伤亡人数的性别变化

2.5 讨论

2.5.1 空间特征的相关分析

先从致灾因子地闪空间分布来看, 云南地闪空间分布特征是东部地区地闪活动最活跃, 地闪密度从西部小于 $0.5 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 到东部和中部大于 $2 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, 地闪密度最大值 ($3.9 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$) 出现在金沙江河谷的华坪, 另一个地闪密度的大值区 ($3.8 \text{ fl} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$) 位于云南省中部的昆明市附近区域。云南东北部、西北部和南部地闪活动相对较少^[14]。和雷灾伤亡率的空间分布 (见图 6b 和图 6d) 对比, 在丽江, 有一雷灾死亡率高值区与地闪高值区对应外, 总体来看, 地闪密度高值区与雷灾伤亡率高值区并不对应。

云南省人口高密度区位于昆明、昭通、曲靖和玉溪等东部地区城市, 其中昆明人口密度最大。西部人口密度较低, 特别是迪庆和怒江等州市 (见图 6a)。但从雷灾伤亡的空间分布看 (见图 6b 和图 6d), 云南雷灾伤亡重的区域位于云南南部。其中雷灾死亡率最高位于云南南部的西双版纳, 雷灾受伤率最高位于云南南部的普洱。可见空间分布上, 云南省雷灾伤亡率的与人口密度不一致。

图 6c 给出了 2001–2017 年云南省面积权重的雷灾死亡率的空间分布。可以看出, 面积权重的雷灾死亡率的高值区为云南省东部, 其空间分布与人口密度基本一致。

总之, 雷灾中的人员伤亡的空间分布与人口和地闪密度的空间分布都不一样, 它是由人口密度、闪电活动等诸多因素共同作用的结果^[23]。

2.5.2 时间特征的相关分析

图 7 给出了云南省百万人口雷灾伤亡率和对应的农村人口比例的年变化。可以看出, 云南省百万人口雷灾伤亡率的年际变化与伤亡人数的年际变化一样, 总体呈下降趋势。2001–2017 年云南省百万人口雷灾伤亡率平均每年为 2.2 人, 最大出现在 2001 年为 5.4 人, 最小出现在 2017 年为 0.2 人。在此期间, 云南省总人口由 2001 年的 4 287 万增长到 2017 年的 4 800 万, 人口增加了 513 万人。但农村人口比例呈逐渐下降的趋势, 从 2001 年的 84% 下降到 2017 年的 53%。所以, 云南省百万人口雷灾伤亡率和农村人口比例的年际变化趋势一致, 两者相关系数为 0.92。美国在 1900–2000 年间每年每百万人口雷灾死亡率由 6

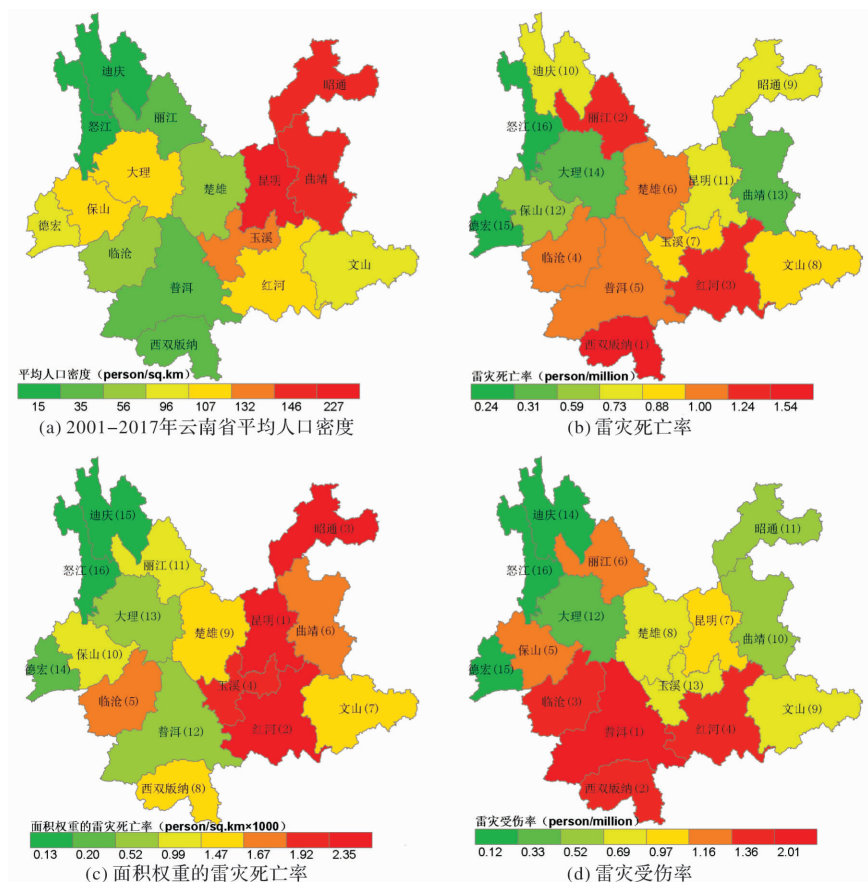


图6 2001–2017年云南省平均人口密度、雷灾死亡率、面积权重的雷灾死亡率和雷灾受伤率的空间分布(其中地名后边的数字为排名)

下降到0.1, 对应的农村人口比例也由60%下降到20%以下^[24]。

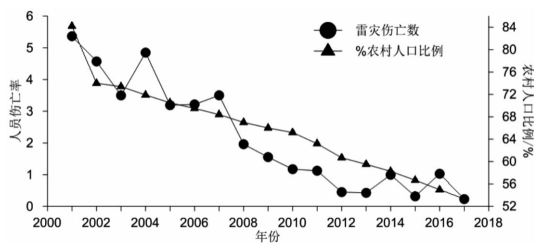


图7 2001–2017年云南省每百万雷灾死亡率和农村人口比例随时间的演变

雷灾伤亡人数和农村人口比例呈正相关。究其原因一是随着城镇化的推进, 居住环境和相关防雷设施相对农村有明显改善和提高; 二是随着农村人口的减少, 在农田和开阔地工作的人员减少, 在城市或工厂有防雷设施, 工作环境相对安全; 三是随着防雷等相关知识的科普和宣传, 防雷意识在提高。

XIE等^[14]指出云南地闪的月际分布呈现出单峰型, 大约92%的地闪发生在5–9月, 其中夏季(6–8月)大约有70%的地闪发生在这三个月。在月际分布上, 云南省雷灾人员伤亡基本上与地闪是一致的。在日分布上, 云南地闪活动大多发生在下午和傍晚。早晨地闪很少发生, 小于4%的地

闪发生在当地时间6:00–11:00之间, 到下午12:00增加很快, 并于当地时间17:00达到峰值, 76%的地闪活动发生在12:00–21:00之间, 其中发生于16:00–17:00峰值时段的地闪活动占全天地闪活动的13%^[14]。与雷灾伤亡的日变化对比, 可以看出, 云南省雷灾伤亡和地闪活动日分布具有一致性。

3 结论

本文统计分析2001–2017年云南气象局收集的雷灾资料中雷灾伤亡人员的时空分布和各种影响雷击事故的自然和社会因素, 得到以下结论。

(1) 云南省雷电灾害在这17年里造成了严重的人员伤亡, 造成了728人死亡和949人受伤, 估计云南省每年每一百万人中大约有0.99人死于雷击, 高于全国平均水平(0.53)^[7]。

(2) 云南雷电灾害多发生在东部地区和南部地区, 相对发生较少的地区为西部地区。红河州雷灾最为严重, 总计造成107人死亡和127人受伤, 昆明市以雷灾造成79人死伤仅次于, 雷灾人员伤亡严重的地区还有昭通、曲靖、文山等州市, 而迪庆和怒江则处于较低排名; 当雷灾人员伤亡率考虑各地区的人口权重后, 西双版纳和丽江处于前两名, 红河排在第三。昆明和曲靖由于人口基

数大, 分别排在 11 位和 13 位。怒江由于雷灾少, 虽然人口少, 还是排在最后。

(3) 云南雷电灾害主要发生在雨季(4–9 月), 从 10 月到次年 3 月的干季雷灾发生较少, 4、5 月相对 3 月雷灾有明显上升, 6–8 月为高值, 8 月达到峰值, 夏季的 6–8 月之和占全年的 66% 以上, 10 月则明显降低。云南人员伤亡雷灾的日变化曲线呈现典型的单峰型, 曲线从 13:00 开始快速上升, 15:00–17:00 达到高值, 峰顶 16:00 为 17.8%, 22:00–12:00 人员伤亡雷灾只占总数的 14.9%, 00:00–7:00 为谷底。雷灾人员伤亡与闪电活动和人们的作息时间密切相关。

(4) 云南省雷电灾害中受伤害的农民占总死伤人数的 97%, 城市人员仅占 3%。统计人员伤亡雷灾数中的雷击地点, 最高的发生在农田, 为 39%, 其次为树下避雨为 17%, 然后是开阔地为 14%, 放牧和建筑物内分别是 10% 和 9%。雷击地点多发生在农民的常在环境下, 而且农村的民居等建筑没有普及安装防雷装置, 可见农民是雷灾的主要受害者, 因此解决农村、农民防雷安全防护的工作迫在眉睫。

(5) 云南省雷电灾害中伤亡年龄主要集中在 10~50 岁这个年龄段占 81%, 其中 40~49 岁这个年龄段最多为 21%。云南省雷电灾害中伤亡最多的是男性, 占 57%。儿童所占比例也比较大, 达到 12%。因此在学校要安装防雷设施, 同时加大学校防雷方面的科普知识宣传显得尤为重要。

(6) 在空间分布上, 云南省雷灾伤亡与人口密度和地闪活动都不一致, 是许多因素共同作用的结果。在时间变化上, 云南省雷灾伤亡与乡村人口比例、地闪活动密切相关。

参考文献:

- [1] Curran E B, Holle R L, López R E. Lightning casualties and damages in the United States from 1959 to 1994[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13: 3448–3453.
- [2] Jensenius J S. A detailed analysis of recent lightning deaths in the United States[C]// Preprints, Fifth Int. Lightning Meteorology Conf., Tucson, AZ, Vaisala, 2014: 1–8.
- [3] Antonescu B, Cărbunaru F. Lightning-related fatalities in Romania from 1999 to 2015[J]. *Weather, Climate, and Society*. 2018, 10(2): 241–252.
- [4] Dewan A, Hossain M F, Rahman M M, et. al. Recent lightning-related fatalities and injuries in bangladesh[J]. *Weather, Climate, and Society*, 2017, 9(3): 575–589.
- [5] Singh O, Singh J. Lightning fatalities over India: 1979–2011[J]. *Meteorological Applications*, 2015, 22(4): 770–778.
- [6] Holle R L. A Summary of Recent National-Scale Lightning Fatality Studies[J]. *Weather, Climate, and Society*. 2016, 8(1): 35–42.
- [7] 马明, 吕伟涛, 张义军, 等. 1997–2006 年我国雷电灾情特征[J]. *应用气象学报*, 2008, 19(4): 393–400.
- [8] 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.
- [9] ZHANG Wenjuan, MENG Qing, MA Ming, et. al. Lightning casualties and damages in China from 1997 to 2009[J]. *Natural Hazards*, 2011, 57: 465–476.
- [10] 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.
- [11] 高斌, 周方聪, 劳小青. 1999–2011 年海南岛雷电灾害特征分析[J]. *自然灾害学报*, 2014, 23(05): 253–262.
- [12] 吴孟恒, 田艳婷, 崔海华, 等. 2003–2008 年河北省雷电灾害特征统计分析[J]. *自然灾害学报*, 2010, 19(01): 21–25.
- [13] 覃卫坚, 寿绍文, 王咏青, 等. 广西雷暴分布特征及灾害成因分析[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(02): 131–138.
- [14] XIE Yiran, XU Kai, ZHANG Tengfei, et. al. Five-year study of cloud-to-ground lightning activity in Yunnan province, China. *Atmospheric Research*. 2013, 129–130: 49–57.
- [15] 王惠, 邓勇, 尹丽云, 等. 云南省雷电灾害易损性分析及区划[J]. *气象*, 2007, 33(12): 83–87.
- [16] 殷娴, 尹丽云, 许迎杰, 等. 云南省雷灾特征分析及灾情评估[J]. *气象科技*, 2013, 41(1): 184–190.
- [17] 刘平英, 杨荣建, 李兆华, 等. 喀斯特地貌景区的雷击风险分析—以云南石林为例[J]. *灾害学*, 2013, 28(2): 156–160.
- [18] 殷娴, 胡颖, 周清倩, 等. 云南省地震高发区雷灾风险分析与区划研究[J]. *灾害学*, 2017, 32(4): 67–72.
- [19] 彭启洋, 熊长铮. 低纬高原乡村雷电灾害发生规律及特征分析[J]. *灾害学*, 2015, 30(4): 96–100.
- [20] Tilev-Tanriover S, Kahraman A, M. Kadioglu, et. al. Lightning fatalities and injuries in Turkey[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015, 15: 1881–1888.
- [21] Elsom D M. Deaths and injuries caused by lightning in the United Kingdom: analyses of 370 two databases[J]. *Atmospheric Research*, 2001, 56: 325–334.
- [22] Ashley W S, Gilson C W. A reassessment of U. S. lightning mortality[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2009, 90: 1501–1518.
- [23] Roeder W P, Cummins B H, Ashley W S, et. al. Mapping lightning fatality risk[C]// Preprints, 32nd International Conference on Lightning Protection, Shanghai, China, IEEE, 2014: 226–237.
- [24] López R E, Holle R L. Changes in the number of lightning deaths in the United States during the twentieth century[J]. *Journal of Climate*, 1998, 11: 2070–2077.

Lightning-related Fatalities and Injuries in Yunnan from 2001 to 2017

LIU Xuetao, XIE Yiran, XU Yinjie, SUN Jihua, ZHOU Deli and ZHAO Ningkun
(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

Abstract: Lightning-related fatalities and injuries in Yunnan are analyzed and presented using data from the Yunnan Meteorological Administration of Statistics. The database contains 728 fatalities and 949 injuries that occurred between 2001-2017 in Yunnan. The annual averages for Yunnan are 42.3 fatalities and 55.3 injuries over the entire period. Weighting by population reveals a fatality rate of 0.99 per million people per year and an injury rate of 1.7. Lightning disasters in Yunnan frequently occur in eastern and southern areas, but relatively rare in western areas. Honghe prefecture has the most deaths (107) and injuries (127) from lightning, which makes it the worst damaged areas from lightning all over the province. When population is taken into account, Xishuangbanna prefecture has the highest casualty rate. The majority of fatalities occurred in May-August (82% of all fatalities) with a peak in August (28%). The diurnal variations show that 73% of the lightning casualties occur between 13:00 and 20:00. The peak of lightning casualties occurs at 16:00. Peasants account for 97% of lightning casualties, with urban residents of 3%, which makes peasants the major population of victims. Approximately 57% of the victims were male. The most vulnerable group was males between the ages of 40-49. Farming (39%) is the major activity at the time of lightning fatalities followed by being under-tree fields (17%), open fields and herding.

Key words: Lightning disaster; Lightning-related fatalities and injuries; spatial and temporal characteristics; Yunnan

+++++
(上接第 106 页)

Impact of Geoengineering on Population Risk of Extreme Rainfall in China

KONG Feng^{1,2,3}, LU Lili^{2,3}, SUN Shao⁴, WANG Pin⁵ and XIN Yuan²

(1. Emergency Management Base, School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. China Meteorological Administration Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Central Asia Atmospheric Sciences Center, Urumqi 830002, China; 4. National Climate Center, Beijing 100081, China; 5. Institute of Remote Sensing and Earth Sciences, College of Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China)

Abstract: Based on the study of the influence of geoengineering on extreme rainfall in China, the BNU-ESM model of the geoengineering (G4 experiment) and the non-geoengineering (RCP4.5) daily rainfall data are used to define the extreme rainfall events with the 95% digits of daily mean rainfall in this research. At the same time, combined with the population data of China under the IPCC SSP3 scenario, the risk of the affected population of extreme rainfall in China is evaluated and the risk under the two scenarios is compared and analyzed. The results show that: Geoengineering can effectively reduce the affected population risk of extreme rainfall disasters in China, and the reduction during implementation is higher than the end of implementation. In the two scenario, the regional difference of the affected population risk of extreme rainfall disaster by China is increasing. Geoengineering failed to change the relative pattern of the affected population risk of extreme rainfall disasters in China. It shows that in the current GeoMIP mode of geoengineering implementation equivalence, human beings can effectively reduce the risk of climate change and do not affect the relative pattern of regional climate.

Key words: geoengineering; extreme rainfall disaster; population risk; regional difference; return period; China