

刘晓东, 冯旭宇, 宋昊泽, 等. 内蒙古地区雷电活动及雷灾特征分析[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 60–65. [Liu Xiaodong, Feng Xuyu, Song Haoze, et al. Analysis of Characters of Lightning Activity and Lightning Disaster in Inner Mongolia[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 60–65.]

内蒙古地区雷电活动及雷灾特征分析*

刘晓东^{1,2}, 冯旭宇³, 宋昊泽², 博 格²

(1. 内蒙古自治区气象科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古自治区雷电预警防护中心, 内蒙古 呼和浩特 010051; 3. 内蒙古自治区生态与农业气象中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘 要: 基于内蒙古气象部门 2013–2014 年 23 站雷电定位资料和雷灾统计资料, 运用 ArcGIS 软件和数理统计等方法对内蒙古高原地区地闪频次、强度时空分布特征及雷电灾害特征进行了分析。结果表明, 内蒙古高原地区正地闪占占地闪的 10% 左右, 正闪比例高于南方省市; 该地区 50% 以上的地闪强度集中在 15~35 kA 范围, 正地闪的电流强度为负地闪的 2 倍左右; 每年 3、4 月份的地闪平均电流强度最大, 1 d 当中上午电流强度要大于午后的强度值; 地闪的空间分布主要集中在内蒙古高原中、东部地区, 地闪的最大密度和电流强度值分别在 20 次/km² 和 10 kA/km² 左右; 从雷灾分析来看, 雷电灾害主要发生在 6–8 月份, 电子电器设备发生雷电灾害次数最多, 居民家庭雷电防护措施仍需完善; 雷击人员伤亡则主要发生在农村牧区的户外环境, 农牧民的防雷意识有待进一步提高。

关键词: 地闪密度; 地闪强度; 雷电灾害; 防雷意识; 内蒙古

中图分类号: X43; P4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2016)01–0060–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2016.01.013

内蒙古地域辽阔, 属高纬高原地区, 以温带大陆性季风气候为主。内蒙古特殊的地理环境和复杂的气候类型, 使其气象灾害存在明显的时空分布特征。根据 2005–2012 年内蒙古气象灾害资料的统计分析, 全区平均每年发生气象灾害 190 次, 因灾死亡 32 人, 直接经济损失 33 亿元, 且气象灾害频率和经济损失呈逐年上升趋势^[1], 暴雨洪涝、大风冰雹和雷电灾害三种灾害是内蒙古境内发生的主要气象灾害, 内蒙古地区年平均雷暴日数为 28.6 d, 最长达 41.3 d^[2–4], 1998–2008 年全区平均每年发生雷电灾害 48.82 次, 直接经济损失 1 572.3 万元, 雷击伤亡人数为 14.2 人^[5]。雷电灾害引起社会各界的高度重视, 因此许多科技工作者开展了关于雷电活动及雷击灾害的相关研究^[6–8]。杨鹏武^[9]等利用云南省 2008 年雷电定位网监测的地闪资料 and 全省 16 个州(市)的雷电灾害资料, 对云南省 2008 年雷电活动及雷电灾害的时空分布特征进行分析; 程琳等^[10]利用江苏 2011 年闪电定位系统资料对江苏省闪电强度、闪电频数等闪电特征及其雷电灾害特征进行了分析等。但是针对内蒙古地区地闪活动特征的研究还没有

开展, 故本文首次运用内蒙古气象部门闪电定位系统 2013–2014 年雷电定位资料和雷电灾害统计资料, 对高纬度高原地区地闪活动的时空分布特征及雷击灾害特征进行分析, 为各级政府和相关部门加强防雷减灾管理、提高防雷减灾能力提供客观的科学依据。

1 资料说明

本文所用雷电定位资料来源于内蒙古气象部门的雷电定位系统, 该监测系统目前由 23 个 ADTD 闪电定位仪组成(图 1), 主要采用时差和方位混合多站综合定位方法, 探测范围主要覆盖内蒙古中部区和东北部地区。本文选取 2013–2014 年该监测网的探测资料, 每个闪电资料包括的信息有时间、经纬度、正负极性、强度、陡度等参数, 地闪密度及强度的空间分布特征采用 1 km × 1 km 的空间分辨率进行分析。雷灾资料取中国气象局雷电防护管理办公室编写的《2013 年全国雷电灾

* 收稿日期: 2015–07–30 修回日期: 2015–09–01

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金(2015MS0410)

作者简介: 刘晓东(1981–), 男, 内蒙古五原人, 高级工程师, 主要从事雷电物理和雷灾防护研究. E-mail: lxd8135@163.com

害汇编》和《2014 年全国雷电灾害汇编》^[11-12]。

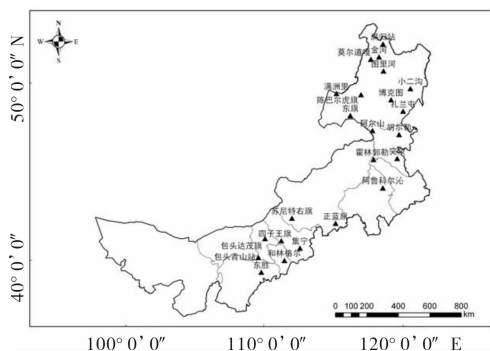


图1 内蒙古闪电定位仪站址分布

2 地闪时间变化特征

2.1 地闪频次的变化特征

2013 年闪电定位仪共监测到内蒙古高原地区地闪 351 618 次(表 1), 其中正地闪 24 643 次, 负地闪 326 975 次, 负地闪占总地闪的比例为 92.99%; 但正闪平均强度为 59.98 kA, 高于负闪的平均强度 -33.96 kA。2014 年共记录地闪 291 915 次, 其中正地闪 35 601 次, 负地闪 256 314 次, 负地闪所占比例为 87.80%; 正地闪平均强度为 64.48 kA, 也高于负地闪的平均强度 -35.57 kA。2014 年总地闪频数为较 2013 年减少 16.97%, 负地闪减少明显, 而正地闪频数增多; 2014 年正、负地闪的平均强度都增大, 正地闪平均强度增长幅度较大, 较 2013 年平均正地闪强度增大 7.5%, 为负地闪增长的 1.6 倍。内蒙古地区正地闪比例明显高于江苏等^[13-15] 南方省份的比例, 这说明在高纬高原地区正地闪发生的概率较高, 且强度大, 正地闪的破坏性较强。

表 1 内蒙古高原 2013-2014 年地闪总体特征

年份	总地闪 次数	正地闪		负地闪		正地闪 比例/%
		频次	平均电流 强度/kA	频次	平均电流 强度/kA	
2013	351 618	24 643	59.98	326 975	-33.96	7.01
2014	291 915	35 601	64.48	256 314	-35.57	12.20

2.1.1 地闪频次的月变化特征

从 2013 年、2014 年地闪频次的月分布来看(图 2), 地闪频次的月变化呈单峰型; 2013 年 8 月地闪活动最强, 频次达 201 804 次; 而 2014 年 8 月较 2013 年显著减少, 峰值出现在 7 月份, 7 月地闪次数较 8 月多 7.7%。每年的 12 月到次年的 1 月、2 月基本没有闪电发生, 3 月、4 月和 11 月有少量地闪活动, 但正地闪发生的概率较高; 2013 年 4 月份正地闪比例最高, 占总地闪的 66.67%, 而 2014 年正地闪发生概率最高的月份是 11 月, 为当月总地闪的 78.95%。总体来看内蒙古高原地区

地闪月单峰型的分布特征与其他省市基本相同^[13-15], 夏季是雷电活动的高发期。此外, 负地闪的变化特征与总地闪相似, 正地闪在初春和晚秋发生的概率较高, 其强度大破坏性较强, 应加强防范措施。

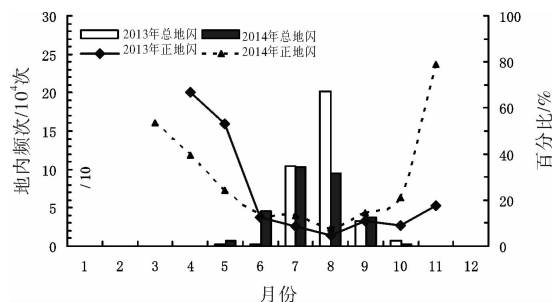
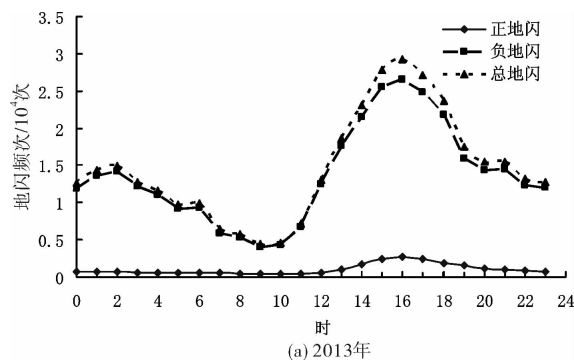


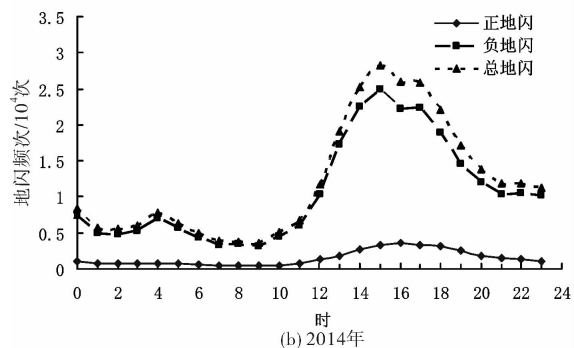
图2 地闪频次的月变化

2.1.2 地闪频次的日变化特征

地闪的日变化特征较为显著, 如图 3 所示; 其中负地闪和总地闪的变化趋势相同, 总体呈双峰单谷型, 峰值集中在午后时段。2013 年地闪主要集中在 14:00-18:00, 占全天的 37.3%; 峰值出现在 16:00, 频次达 29 214 次, 凌晨 2:00 为次峰值; 谷值出现在上午 9:00, 为 4 460 次。



(a) 2013年



(b) 2014年

图3 地闪频次的日变化

2014 年地闪也主要集中在 14:00-18:00, 占全天的 43.6%; 峰值出现在 15:00, 为 28 247 次, 占 9.7%; 谷值出现在上午 9:00, 为 3 619 次。正地闪的变化较为平缓, 峰值出现在午后 16:00; 而在 19:00 正地闪发生的概率最高, 2013 年比例达到 9.2%, 2014 年达到 14.8%。

内蒙古地闪的日变化总体特征同北京、河北、

甘肃等省市相似^[16-18], 峰值出现在午后, 谷值出现在上午, 内蒙古地区午后峰值出现时间较上述地区早 1 h 左右, 这可能与大草原下垫面的情况有关, 下垫面温度升高, 热力条件较好, 有利于雷暴发生。

2.2 地闪强度的变化特征

内蒙古 2013 年总地闪的平均电流强度 35.79 kA, 2014 年平均电流强度为 39.10 kA, 正地闪的电流强度明显大于负地闪的电流强度, 相差近 2 倍。由图 4 可知, 总地闪强度在 15~35 kA 强度等级发生最为频繁, 占总地闪的 50% 以上, 2013 年为 58.17%, 2014 年占 53.42%; 其中发生频次最大的为 20~25 kA 等级范围, 该范围 2013 年、2014 年分别占总地闪的 16.82% 和 15.29%。正地闪电流强度的分布主要集中在 30~50 kA, 该等级范围 2013 年、2014 年分别占总正地闪的 31.60 和 28.53%, 高于美国同纬度地区的雷电流强度值^[19-20]; 正地闪电流强度在 100~125 kA 出现另一峰值, 故在防雷工程电源浪涌保护器设计时应考虑加强该强度范围的雷电流的防护措施。

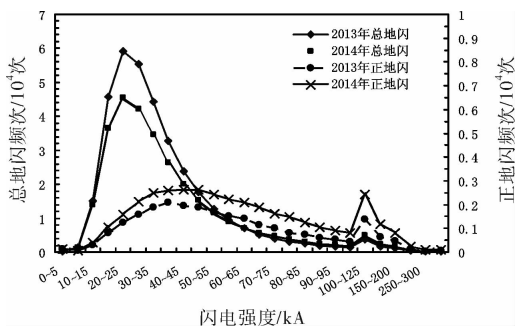


图4 地闪强度等级分布

2.2.1 地闪强度的月变化特征

内蒙古全区地闪强度月变化如图 5 所示。2013 年总地闪的月平均电流强度最大值出现在 4 月份, 峰值为 99.4 kA, 5~11 月电流强度在 34~62 kA 之间; 最小值出现在 8 月份, 为 34.9 kA。负地闪的电流强度的全年变化比较均匀, 主要分布在 33~68 kA 之间, 同样峰值出现在 4 月, 电流强度峰值为 67.6 kA; 而正地闪电流强度的月变化幅度较大, 4 月份的平均电流强度最大(115.2 kA), 最小值为 56.6 kA, 出现在 8 月份。

2014 年总地闪、正负地闪的电流强度同 2013 年总体趋势差不多, 总地闪电流强度的最大值出现在 3 月, 幅度有所减小, 为 88.7 kA; 负地闪电流强度最大值 86.9 kA, 幅值较 2013 年增大 28.6%; 正地闪平均电流强度的变化较为平缓, 最大值也出现在 3 月份, 强度 89.0 kA, 较 2013 年减小 22.7%。由图 5 可以看出, 地闪强度每年的最大值都出现在年初, 其破坏性较大, 各单位应提前做好防雷安全的准备工作。

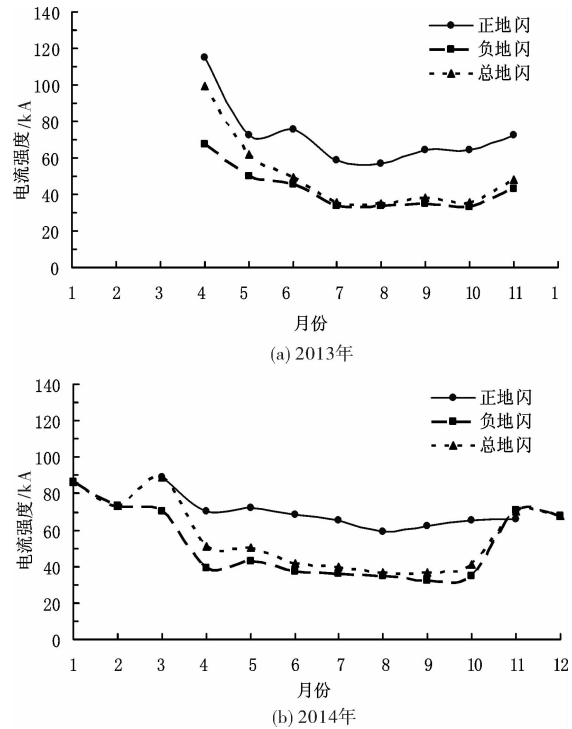


图5 地闪强度的月变化

2.2.2 地闪强度的日变化特征

由图 6 可以看出, 1 d 内各个时段正地闪强度都比负地闪强, 电流强度为负地闪的 2 倍左右; 1 d 当中 0~12 时, 正、负地闪的电流强度要大于 12~24 时的强度值, 且上午强度变化较为显著, 该特征与江苏^[10]等地的变化特征正好相反。2013

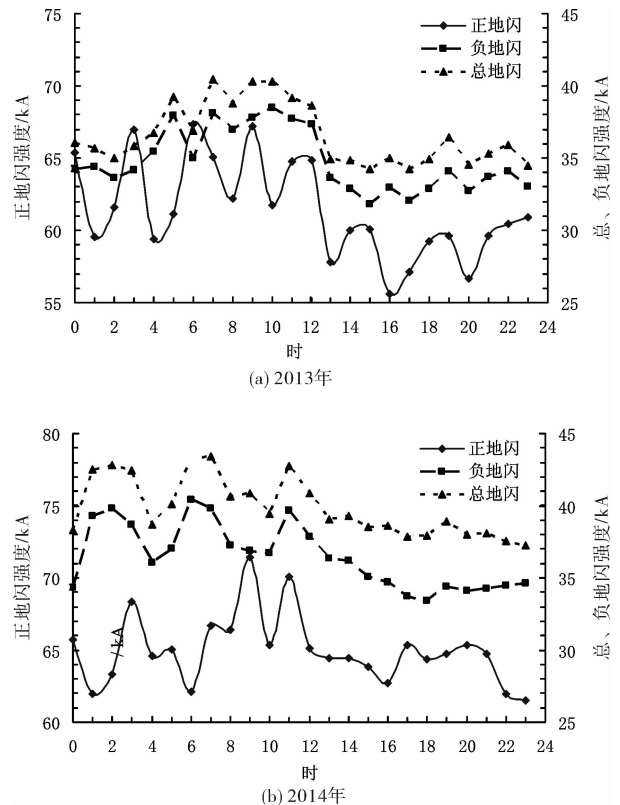


图6 地闪强度的日变化

年正地闪一天的电流强度变化从下午 16 时的 55.57 kA 到上午 6 时的 67.35 kA; 2014 年正地闪电流强度的峰值出现在上午 9 时, 幅值为 71.41 kA, 谷值为 23 时的 61.48 kA, 幅值较 2013 年增大。2013 年负地闪一天的强度变化从 15 时的 31.81 kA 到上午 7 时 38.13 kA, 2014 年负地闪的平均电流强度比 2013 年大, 电流范围从 18 时的 33.42 kA 到上午 6 时的 40.43 kA, 上午的电流波动幅度较大。总地闪一天的变化特征与负地闪相似, 2014 年总地闪变化幅度较 2013 年有所增大, 变化范围从 37.24 kA 到 43.44 kA, 且上午雷电流平均强度和变化的幅度都高于晚上, 该时段户外活动的人应加强防范意识。

3 地闪空间分布特征

3.1 地闪密度的空间分布特征

图 7 是内蒙古地区 2013 年、2014 年总地闪密度分布图, 由图可知地闪密度分布主要集中在内蒙古中部呼包鄂和东部呼伦贝尔地区, 与雷暴分布特征相似^[2]; 密度最大值分别为 18 次/km²和 22 次/km², 分别位于呼和浩特和鄂尔多斯市的北部地区。从空间分布来看, 2013 年高密度地区较 2014 年范围广, 全年地闪高密度区域主要出现在鄂尔多斯东部、包头南部、呼和浩特西部、乌兰

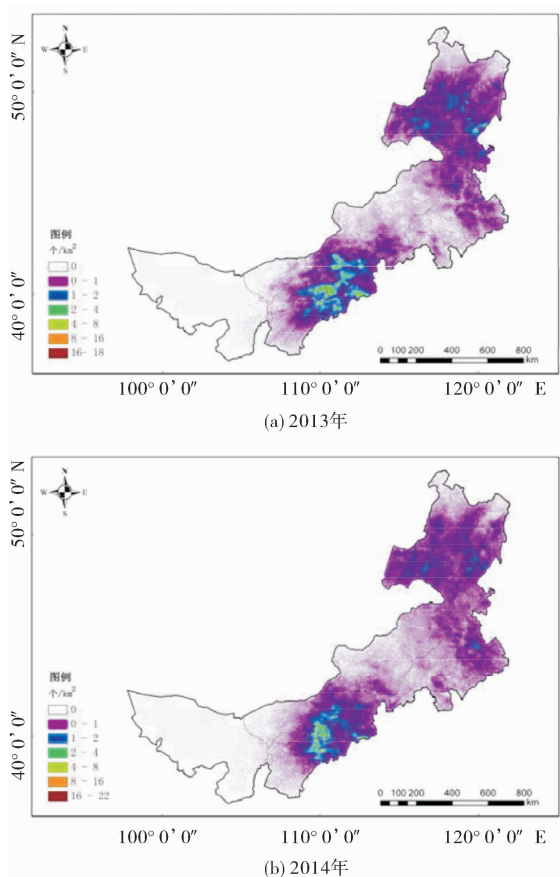


图 7 地闪密度空间分布

察布西南和呼伦贝尔东南部。对于地闪密度高的区域应加强雷电防护措施, 以提高防雷工作的有效性。

3.2 地闪强度的空间分布特征

从内蒙古 2013 年、2014 年总地闪强度分布图 (图 8) 可知, 地闪强度分布同样也是集中在内蒙古中部呼包鄂和东部呼伦贝尔地区。全年地闪强度的平均值分别为 10.88 kA/km² 和 9.87 kA/km², 其中地闪电流强度大于 150 kA/km² 的地区主要集中在呼和浩特北部、包头南部和鄂尔多斯南部及乌兰察布西部地区。结合地闪密度分布特征, 在较高地闪密度且平均地闪强度较高的地区, 发生雷灾事故的可能性较高。

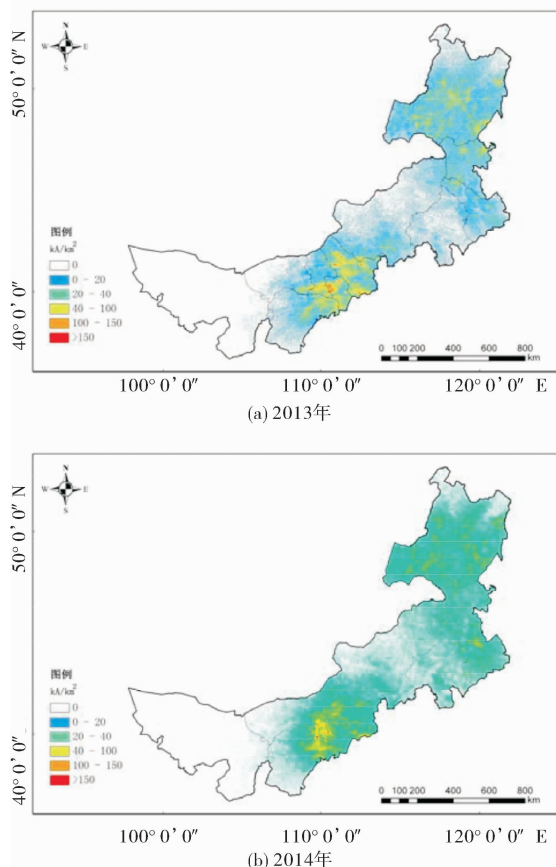


图 8 地闪强度空间分布

4 雷电灾害特征分析

据不完全统计 (表 2), 内蒙古地区近 2 年雷电灾害事故呈增多趋势, 2013 年雷灾事故为 27 起, 2014 年增加到 30 起, 特别是农村雷灾事故增加显著。通过近年来内蒙古自治区气象局防雷中心的广泛宣传, 雷灾造成的人员伤亡和经济损失逐年下降, 2014 年雷击直接经济损失降为 2013 年的一半, 死亡人数降为 2013 年的三分之一, 但雷击人员伤亡地区主要是发生在农牧区, 农牧区防雷形势依然严峻, 农牧民的防雷意识需进一步提高。

表 2 2013–2014 年雷电灾情概况

年份	雷灾事故总数	农牧区雷灾事故	导致人员伤亡的雷灾起数	死亡人数	受伤人数	直接经济损失/万元
2013	27	11	11	9	3	107.91
2014	30	23	5	3	5	55.47

从雷灾事故的月分布图 9 来看, 内蒙古地区全年 10 月至次年 4 月均无雷电灾害发生, 每年 6–8 月雷灾事故数最多, 农村雷灾事故 7、8 月最高。2013 年雷灾事故呈双峰型特征, 6、8 月雷灾事故数 8 起最多; 人员伤亡事故 7 月最多为 4 起, 雷击死亡 4 人、受伤 1 人。而 2014 年 7 月雷灾事故最多, 共发生 14 起雷灾事故, 为近 6 年同期最高^[21], 雷击受伤人数 4 起; 8 月份雷击死亡人数最多, 为 2 人。夏季是农牧区户外活动最多的季节, 农牧民应提高防雷意识, 正确掌握户外雷电避险知识, 防止雷击事故的发生。

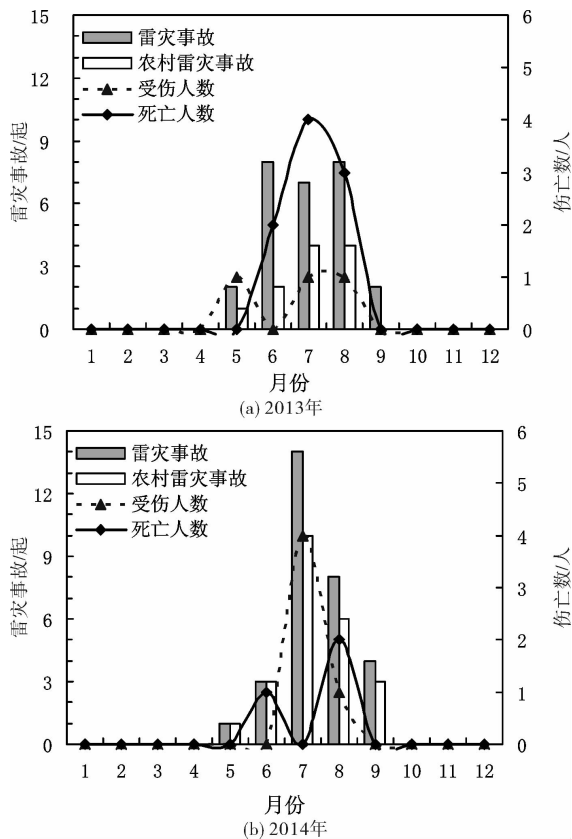


图 9 雷灾事故月分布

从雷灾受损类别统计来看(图 10), 内蒙古地区雷击事故主要是电子电器设备受损和人员伤亡事故, 雷击人身伤亡的事故近 2 年来有所下降, 由 2013 年的 40% 降至 2014 年的 17%。雷击造成电子电器设备损坏的案例最多, 2013 年雷击电子电器设备受损事故占总事故的 45%, 2014 年增加大 76%, 且家用电子电器雷击案例显著增多, 家用电器的防雷措施需进一步加强。

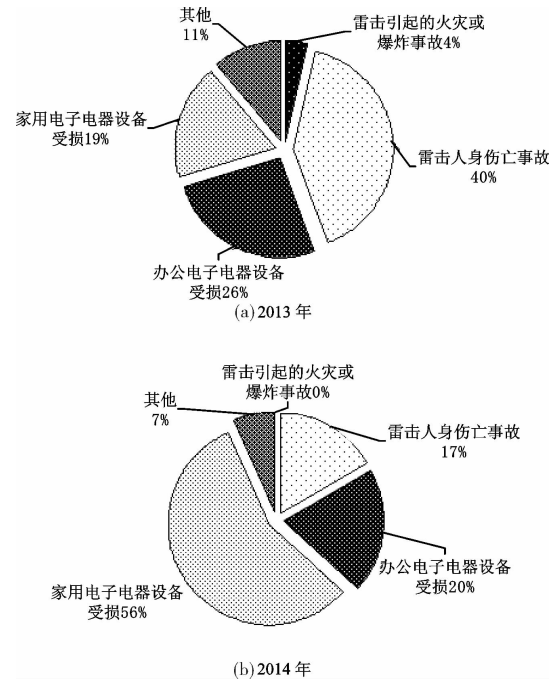


图 10 各类型雷灾事故所占比例

5 结论

(1) 内蒙古高原地区正地闪发生的概率较高, 占地闪的 10% 左右, 2014 年正地闪的比例较 2013 年增加 74%。夏季是地闪活动的高峰期, 地闪的月分布呈单峰型分布特征, 2013 年、2014 年的峰值分别出现在 8 月和 7 月份, 正地闪在初春和晚秋发生的概率较高。1 d 之中午后为雷电发生的高峰期, 主要集中在 14:00–18:00, 而下午 19:00 正地闪发生的概率最高。

(2) 该地区 50% 以上的地闪强度集中在 15 ~ 35 kA, 正地闪的电流强度大, 为负地闪的 2 倍左右; 2013 年、2014 年 30% 左右的正地闪电流强度集中在 30 ~ 50 kA, 正地闪的破坏性较强。地闪电流强度的月变化幅度较大, 3、4 月份地闪平均电流强度最大; 1 d 当中上午电流强度变化较为显著, 且上午的正、负地闪的电流强度要大于午后的强度值。

(3) 地闪的空间分布主要集中在内蒙古高原中部呼包鄂和东部呼伦贝尔地区, 地闪密度最大值在 20 次/km²左右, 2013 年、2014 年地闪强度的平均值分别为 10.88 kA/km²和 9.87 kA/km², 其中地闪电流强度大于 150 kA/km²的地区主要集中在呼

和浩特北部、包头南部和鄂尔多斯南部及乌兰察布西部地区, 在上述地区发生雷灾事故的可能性较高, 应加强防雷措施。

(4) 内蒙古近 2 年雷电灾害事故呈增多趋势, 但总的经济损失和人员伤亡数有所下降, 每年的 6—8 月是雷灾事故的高发期。电子电器设备受损和人员伤亡事故是内蒙古地区雷击的主要事故, 2014 年雷击电子电器设备受损事故较 2013 年增加 76%; 而雷击人员伤亡地区主要是发生在农牧区, 农牧区防雷形势依然严峻。

参考文献:

- [1] 孔文甲, 荀学义, 樊斌, 等. 内蒙古气象灾害时空分布特征 [R]//全区优秀决策气象服务产品汇编. 呼和浩特: 内蒙古气象局, 2012: 74—81.
- [2] 刘晓东, 张其林, 冯旭宇, 等. 内蒙古地区雷暴活动特征分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(2): 119—124.
- [3] 冯旭宇, 薛胜军, 巴特尔, 等. 高纬高原雷暴气候特征及变化规律[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 176—181.
- [4] 刘晓东, 冯旭宇, 卢士庆, 等. 神州飞船发射与回收场雷暴活动特征[J]. 内蒙古大学学报, 2010, 41(4): 475—480.
- [5] 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.
- [6] 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—53.
- [7] 袁湘玲, 王振会, 肖稳安, 等. 雷电灾害潜在与现实易损性分析及区划研究——以黑龙江省为例[J]. 灾害学, 2011, 23(1): 20—25.
- [8] 余蜀豫, 任艳, 覃彬全. 基于模糊数学的重庆地区雷电灾害风险评估方法研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 75—78, 84.
- [9] 杨鹏武, 尹丽云, 许迎杰, 等. 2008 年云南省雷电活动及雷电灾害特征分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2011 (Supp. 1): 26—34.
- [10] 程琳, 周俊驰, 许蓓, 等. 2011 年度江苏省雷电活动及雷击灾害特征[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2013, 5(2): 139—142.
- [11] 中国气象局雷电防护管理办公室. 2013 年全国雷电灾害汇编 [R]. 北京: 中国气象局. 2013.
- [12] 中国气象局雷电防护管理办公室. 2014 年全国雷电灾害汇编 [R]. 北京: 中国气象局. 2014.
- [13] 王锡中, 冯民学, 钟颖颖, 等. 2008—2009 年江苏省闪电特征分析及应用研究[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2010, 2(5): 445—450.
- [14] 焦雪, 冯民学, 钟颖颖. 2006—2009 年江苏省地闪特征分析及应用[J]. 气象科学, 2011, 31(2): 205—210.
- [15] 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.
- [16] 郗秀书, 郭昌明, 刘欣生. 北京与兰州地区的地闪特征[J]. 高原气象, 1990, 9(4): 388—394.
- [17] 周筠珩, 张健龙, 孙凌. 京、津、冀地区地闪特征的统计分析[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 101—105.
- [18] 刘岩, 王振会, 康凤琴, 等. 浙江和甘肃两地区地闪特征的初步对比分析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 669—674.
- [19] Richard E, Orville, Alan c Silver. Lightning ground flash in the Contiguous United States: 1992—95 [J]. M. W. R. 1997, 125(4): 631—638.
- [20] Orville R E, Haffines G R. Lightning ground flash measurements over the contiguous United States: 1995—1997 [J]. Monthly Weather Review, 1999, 127: 2693—2703.
- [21] 李庆君, 李艳娜, 张锐. 2007—2011 年内蒙古雷电灾害特征分析[J]. 内蒙古气象, 2013(2): 39—41.

Analysis of Characters of Lightning Activity and Lightning Disaster in Inner Mongolia

Liu Xiaodong^{1, 2}, Feng Xuyu³, Song Haoze² and Bo Ge²

(1. Inner Mongolia Meteorological Institute, Hohhot 010051, China; 2. Inner Mongolia Lightning Warning & Protection Center, Hohhot 010051, China; 3. Inner Mongolia Ecological and Agricultural Meteorological Center, Hohhot 010051, China)

Abstract: Based on the cloud to ground (CG) lightning data collected by location lightning detection network and lightning disaster data in Inner Mongolia for 2013–2014, by using the software of ArcGIS and the method of Mathematical statistics, we make a study on the temporal-spatial distribution characteristics of lightning frequency, intensity and lightning disaster in Inner Mongolia plateau. It shows that the positive CG flashes is about 10% of the total CG flashes, the positive CG flashes ratio is higher than the south provinces. More than 50% of the flash intensity focused on the range of 15 to 35 kA in Inner Mongolia, the average intensity of positive CG flashes is two times that of the negative. The average current intensity is the biggest in March and April every year; the morning lightning current intensity is greater than the strength of the afternoon in a day. The spatial distribution of the CG flashes mainly concentrated in the middle and eastern regions of Inner Mongolia, the maximum density of the CG flashes is about 20 times per square kilometer, and the average intensity value of the lightning is about 10kA per square kilometer. The lightning disasters occurred mainly between June and August, and the electronic equipments damage cases were the biggest, household lightning protection measures still need to improve, While the casualties occurred mainly in the outdoor environment of the rural areas, the farmers and herdsman lightning protection consciousness need to be further improved.

Key words: lightning density; lightning intensity; lightning disaster; lightning protection consciousness; Inner Mongolia