引文格式：李贵玲, 范俊红, 史锋旗. 雄安新区地闪特征与土地利用相关性分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 36-39. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.05.009

# 雄安新区地闪特征与土地利用相关性分析

李贵玲[1]，范俊红[1,2*]，史锋旗[3]
（1. 河北省气象服务中心，河北 石家庄 050021；2. 河北省气象与生态环境重点实验室，河北 石家庄 050021；
3. 河北省气象行政技术服务中心，河北 石家庄 050021）

**摘　要：**为更好地开展雷电灾害防御工作，提升防灾减灾服务水平，基于雄安新区 2005—2007 年、2009—2015 年地闪监测数据，通过数理统计、归一化处理、ArcGIS 空间连接分析等方法研究了雄安新区地闪空间分布特征及其与土地利用的相关性。结果表明：①雄安新区地闪发生次数年际呈波动变化趋势，2015 年最多，地闪多发于 6—8 月的傍晚至前半夜，19 时达到峰值；②地闪高密度区集中在中南部地区和白洋淀水域；③地闪电流高强度区集中在西部和东部；④地闪高风险区集中在西部区域和白洋淀水域的中南部区域；⑤不同用地类型的地闪发生频次和电流强度不同，农田频次最高，负地闪占比超过 90%，水体地闪年均密度最大，裸地地闪年均电流强度最大，灌木区年均密度和电流强度均最小。

**关键词：**地闪；空间分布；土地利用相关性
**中图分类号：**P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0036-04

## Correlation Analysis of the Cloud-to-ground Lightning Characteristics with Land-use in Xiong'an New Area

LI Guiling[1], FAN Junhong[1,2], SHI Fengqi[3]
(1. Hebei Meteorological Service Centre, Shijiazhuang 050021, China;
2. Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;
3. Hebei Meteorological Administrative and Technical Service Center, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** In order to better carry out lightning protection work and improve the service level, based on the cloud-to-ground(CG) lighting monitoring data in Xiong'an New Area from 2005 to 2007 and from 2009 to 2015, we used mathematical statistics, normalized processing and ArcGIS spatial connection analysis to analyze the spatio-temporal distribution characteristics and the correlation with land-use. The results show that ①the annual CG lightning frequency in Xiong'an New Area has a fluctuating trend and reaches the peak in 2015, and mostly occurs from June to August in the evening to the first half of the night, and reaches the peak at 19:00 BT. ②High-density areas are concentrated in the central and southern areas, also does the Baiyangdian water area. ③The high current intensity is concentrated in the west and east. ④High risk areas are located in the western area and the central and southern parts of the Baiyangdian water area. ⑤The CG lightning frequency and current intensity are different under different land-use types. Lightning occurs most frequently in farmland with negative CG lightning of more than 90%. The average annual density in water area is the highest, and the average annual current intensity in bare land area is the highest, but the average annual density in shrub area is the least, and the average current intensity is also the lowest.

**Key words:** CG lightning, spatial distribution, land-use correlation

闪电是云与云、云与地或云体内多部位之间发生的强烈放电现象。云对地放电时产生的猛烈冲击波、高温等能对地面上的生物、建筑物造成严重危害，给人类的生产和生活带来巨大破坏。地闪具有选择性，在雷云形成、发展和先导放电过程中，地面上会被感应积累与雷云极性相反的异性电荷，相同区域不同地质、地形、地貌条件下雷击发生的概率差异很大，导电性能好、土壤电阻率小的区域更易发生地闪。国内雷电专家利用闪电定位和雷暴观测资料研究了各地闪电时空分布特征，如崔海华[1]、周筠珺[2]、杨敏[3]等统计了京津冀地区的地闪频次和电流强度；刘海兵[4]等利用线性回归和网格法，对江西省不同地表覆盖类型和覆盖度下的地闪频次、落雷密度、地闪电流强度的空间分布进行了单项分析，得出多雷区在城乡建设用地、水域、未利用土地和耕地的占比较大，少雷区在草地占比最大的结论；张祎[5]、余田野[6]等分别研究了浙江省、湖北省不同土地覆盖类型下地闪特征，得出不同土地覆盖类型下地闪频次、地闪回击密度、地闪

收稿日期：2021-12-28；修回日期：2022-03-10。
第一作者简介：李贵玲（1969—），高级工程师，主要从事雷电监测预警及防御技术研究，E-mail：174251920@qq.com。
通信作者：范俊红（1968—），正研级高级工程师，主要从事暴雨、暴雪等预报预警技术研究，E-mail：378307267@qq.com。

强度和陡度平均值差异较大的结论。上述研究主要对大尺度区域的地闪活动特征及其与地形的相关性进行宏观分析，地闪密度和电流强度的时空分布与植被覆盖类型、植被覆盖度相关性的研究也多以省级以上行政区域为基本分析单元。

雄安新区全境西北高、东南略低，海拔为7~19 m，土地以农田为主，面积占比为78%，其次是城镇（16%）。李贺颖[7]等以Landsat TM影像为基础数据，得到城市热力场与植被覆盖度之间存在明显的负相关关系的结论。规划为新区后，城市建设迅速推进，植被覆盖度的变化将带来地闪分布的变化。随着大批高精端电子电气设备的应用以及安防、通信、管理等智能化控制系统的建设，雷电灾害的社会影响将越来越大。目前，还没有针对雄安新区地闪分布特征的相关研究，本文对雄安新区地闪活动特征以及不同用地类型下地闪的发生频次和电流强度分布进行精细化研究，以期为做好雷电精准预报、建设雷电监测预警系统和雄安新区智能化城市建设提供技术参考。

## 1　数据来源与处理

### 1.1　数据来源

本文采用的闪电资料来源于河北省电力部门的闪电定位系统，采用方向时差综合雷电定位，定位精度为500 m，探测效率大于90%，由张家口、抚宁、承德、三河、邯郸、石家庄、衡水、保定、沧州、遵化、丰宁、围场12个探测站组成。本文选取2005—2007年、2009—2015年闪电定位系统资料，包括闪电发生时间、电流强度、经纬度、定位方式、误差等信息，闪电发生时间监测到微秒级。土壤分类数据来源于中国科学院寒区旱区科学数据中心，空间分辨率为1∶100万。

### 1.2　数据处理

闪电定位采用时差法、定向定位法和定向时差联合法，定位方式包括二站振幅、二站混合、三站混合、四站算法。由闪电定位仪探测原理可知，地闪发生时小于3个站探测到的闪电记录不够准确。张伟伟[8]等研究发现地闪通常有一次或多次回击发生，因此删去数据中回击数为0和定位站数小于3的数据，以提高数据的可靠性和准确性。雷击致灾因子主要由地闪电流强度和年均密度决定。本文以地闪发生频次、年均密度、电流强度为参数进行研究，利用ArcGIS软件将雄安新区划分为2 km×2 km的网格，与地闪监测数据进行空间链接，提取每个网格内的地闪年均发生频次、平均电流强度和每个闪电数据点的用地类型。地闪年均密度为每个网格内年地闪发生频次与相应面积之比，平均电流强度为网格内地闪的电流强度绝对值之和与相应发生频次之比。

采用式（1）对电流强度和年均密度进行归一化处理，以去除量纲。

$$x_i' = 0.5 + 0.5 \times \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{1}$$

地闪造成的危害与其发生频次和电流强度密切相关，本文采用均权法对归一化处理后的平均电流强度和年均密度进行加权组合，即为地闪强度。

$$L_i = 0.5 \times l_i + 0.5 \times N_g \tag{2}$$

式中，$l_i$ 为归一化处理后的电流强度；$N_g$ 为归一化处理后的年均密度值。

## 2　研究结果与分析

由雄安新区地闪统计数据可知，10年间共发生地闪57 143次，平均电流强度为37.6 kA，其中负地闪占比为93.7%，平均电流强度为36.3 kA；正地闪占比较小，但平均电流强度远高于负地闪，达57.6 kA。

### 2.1　地闪时间分布特征

1）地闪发生频次时间分布。由图1a可知，总地闪频次呈波动变化趋势，2005—2007年年际变化不明显；2009年有所下降，2009—2015年呈升降交替变化，2015年发生频次最多（11 488次）。正、负地闪与总地闪年际变化趋势差别不大。夏季受偏南季风影响，雄安新区对流层低层湿度大、气温高，大气层结对流性不稳定，易发生对流天气，因此地闪主要集中在6—8月，占全年总频次的89.3%。1月、2月未发生地闪；7月发生地闪最多，占比为40.5%；5月、9月相对7月、8月较少，分别为1.9%、7.8%；3月、4月、10月、11月、12月仍有地闪发生，但占比均不超过1%；11月、12月均未发生正地闪；3—10月正、负地闪与总地闪发生频次月变化趋势接近（图1b）。由于中午近地层接收的太阳短波辐射最多，午后大气层结最不稳定，最易发生对流天气。由图1c可知，8—12时发生频次占比仅为3.4%，地闪主要发生在傍晚到前半夜；16—次日1时发生频次为69.5%，且每小时占比均超过5%；19时达峰值，年均发生频次为5 080次，占全天频次的8.9%，18时占比为8.5%。负地闪与总地闪日变化趋势基本一致；正地闪则略有不同，16—次日1时发生频次占比更大，达74.2%，0时正地闪频次最高，占比为13.8%。

2）电流强度时间分布。由图2a可知，总地闪、负地闪年际变化基本一致，2005—2007年缓慢上升，2007—2013年持平，2014—2015年缓慢下降，2015年

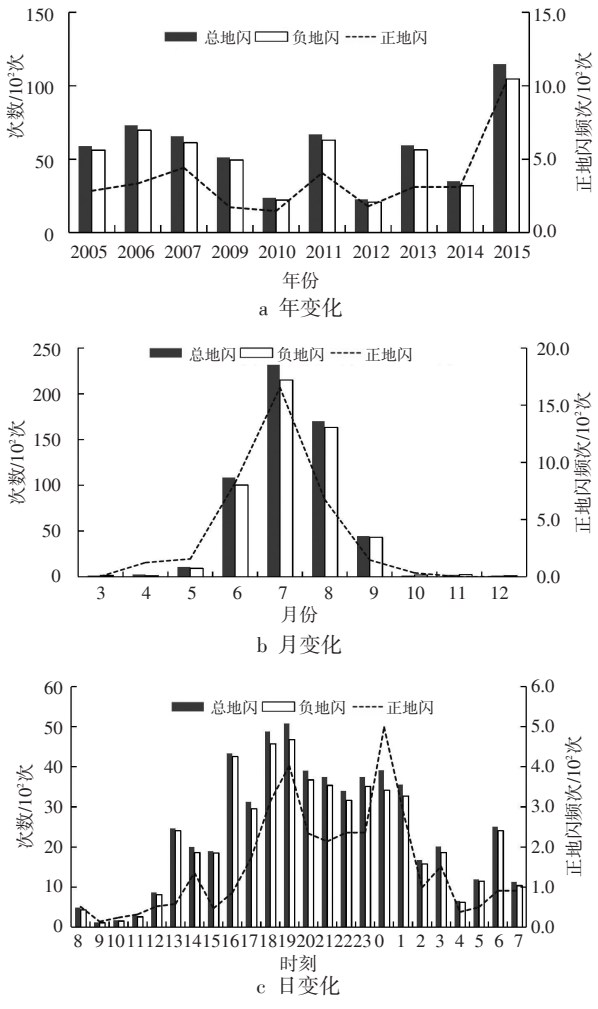



图1　雄安新区地闪发生频次时间分布

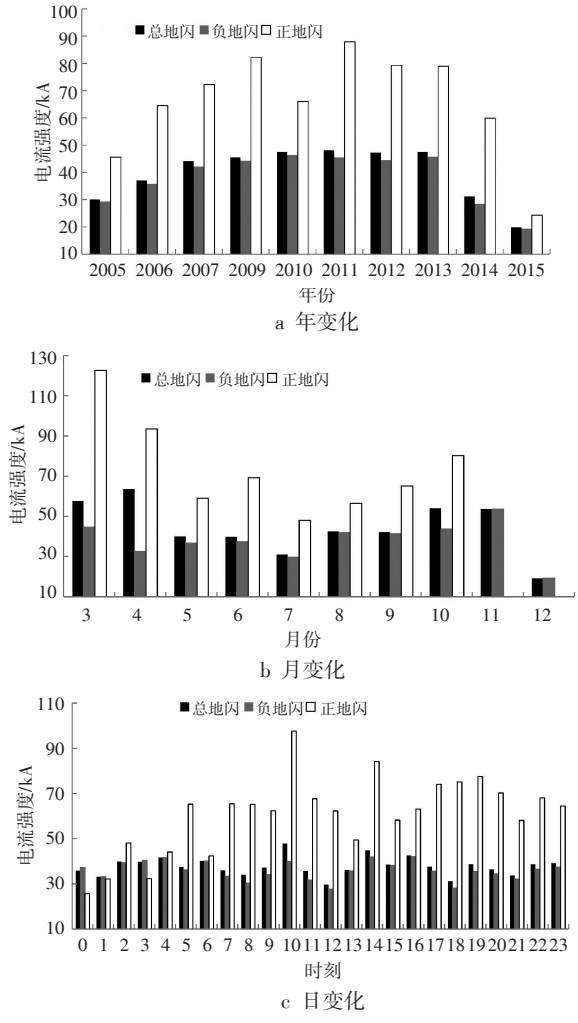



图2　雄安新区电流强度时间分布

地闪发生频次最高，但平均强度最低，降至19.8 kA。2010年正地闪与总地闪电流强度变化趋势不同，正地闪平均电流强度比2009年下降16.1 kA。由图2b可知，3—11月总地闪平均强度在31.1~63.7 kA之间变化，4月总地闪强度最大，12月最小；负地闪与总地闪变化趋势基本一致；正地闪平均强度3月最高，达122.6 kA，明显高于负地闪，4—10月正地闪平均强度变化趋势与总地闪相近。由图2c可知，总地闪、负地闪强度日变化趋势不明显，总地闪在29.7~47.8 kA之间变化，负地闪在27.7~42.7 kA之间变化，正地闪在25.7~97.6 kA之间变化，10时达到最大，0时最小。

## 2.2　地闪空间分布

1）地闪密度空间分布。由于白洋淀水体蒸发、农田浇灌和植物蒸腾作用，雄安新区西部和南部地区近地层湿度较大，易形成对流不稳定层结，在西移或本地天气系统影响下，对流天气易在该地区发展或加强，出现地闪最大值。由雄安新区年均密度空间分布可知，总地闪密度为1.1~3.7次·km$^{-2}$·a$^{-1}$，高密度区有3个：集中分布于雄安新区中部偏南区域的圈头乡、刘李庄镇、端村镇、七间房乡，年均地闪密度均超过2.6次·km$^{-2}$·a$^{-1}$；雄安新区西部小里镇、寨里乡；米家务镇北部区域，范围较小。低密度区分布于雄安新区中部偏东北区域的朱各庄镇、平王乡、雄县、赵北口镇附近。白洋淀南部水域位置属于地闪高密度区，而北部为低密度区。负地闪年均密度空间分布与总地闪基本一致。正地闪高密度区主要集中在白洋淀区域的刘李庄镇、端村镇、圈头乡、七间房乡，并在张岗乡东部有零散分布。

2）地闪电流强度空间分布。由雄安新区电流强度空间分布可知，地闪平均电流强度为25.5~46.0 kA，高强度区集中在雄安新区西部的南张镇、小里镇、三台镇、寨里乡、老河头镇、芦庄乡，八于乡、鄚州镇有零散分布，强度均超过40 kA。低强度区分布在雄安新区北部的大营镇、米家务镇、昝岗镇的交界处，雄县、刘李庄镇、同口镇、赵北口镇、龙华乡、双堂乡、晾马台乡有零散分布。负地闪高强度区集中在西部的南张镇、小里镇、三台镇、寨里乡、芦庄乡。正地闪电流强度变化区间较大（16.8~91.2 kA），新区中

部和东部多地区呈现高强度，在鄚州镇、苟各庄镇、龙湾镇、张岗乡形成带状高强度区域，中部的安州镇、寨里乡、三台镇、容城县、大王镇、平王乡、朱各庄镇、雄县也呈现高强度，平均强度超过69 kA。

3）地闪强度空间分布。对地闪强度进行克里金插值处理，采用自然间断点法进行分类，得到地闪强度分布图，地闪低风险区主要集中在雄安新区中北部，范围较大；白洋淀南部水域，西部的小里镇、寨里乡、三台镇交界处，老河头镇北部小范围为高风险区。

### 2.3　不同用地类型下地闪特征

雄安新区为缓倾平原，农田占比最大（78.3%），城镇次之（16.1%），白洋淀水体和湿地占比为5.5%，草地、森林、裸地占比均不足1%。

1）不同用地类型下的地闪发生频次。通过统计雄安新区不同用地类型下的地闪发生频次发现，发生频次与用地类型面积占比相关，农田面积占比最大，年均发生地闪的频次最多，占比为77.5%，其次是城镇，占比为16.3%，水体占比为4.6%，其他类型发生频次较少。在各用地类型下，负地闪占比均超过90%，正地闪占比均不足8%，其中草地发生负地闪的占比最大，达到94.7%，灌木发生了两次地闪均为负地闪。

2）不同用地类型下的地闪年均密度分布。分析雄安新区不同用地类型地闪年均密度分布发现，由于水体表面湿度大，易形成局地不稳定层结，导致对流天气频发，因此地闪年均密度最大为2.33次·$km^{-2}$·$a^{-1}$，其次为裸地、城镇、草地、农田，湿地、森林的年均密度较小，灌木最小，为0.11次·$km^{-2}$·$a^{-1}$。裸地区域有5年年均密度最大，水体有4年为最大。因地闪具有选择性，受土壤类型、温度、湿度、介质常数等影响，裸地区域空旷且日间地表升温快，增加了地闪发生几率。在年际变化研究中发现，2015年发生地闪频次最多，除灌木区域外，其他各用地类型上年均密度均为最大值，其中水体达到6.48次·$km^{-2}$·$a^{-1}$。

3）不同用地类型地闪电流强度分布。分析雄安新区不同用地类型地闪年均电流强度分布发现，雄安新区年均电流强度在21.0~43.2 kA之间，裸地的年均电流强度最大，其次为森林、城镇、草地、湿地，灌木最小。裸地、森林的地闪年均电流强度有3年最大，水体有2年最大，湿地有1年最大。除灌木区域外，地闪在2级及以上的占比为34.7%~46.8%，其中裸地占比最高、湿地最小。

分析雄安新区不同用地类型电流强度幅值累计概率发现，在10年研究时序中，灌木区域仅发生两次地闪，分别为37.4 kA和7.6 kA；裸地上40~100 kA幅值占比较大，为36.7%；农田、森林、草地、水体、湿地、城镇上20~40 kA幅值占比最大，其次是0~20 kA区间；大于100 kA幅值占比最小，仅裸地占比达6.3%，其他均在2%~3%之间。

## 3　结　语

1）雄安新区地闪发生频次年际总体呈波动变化趋势，2015年最多。正、负地闪与总地闪时间变化趋势基本一致。受夏季风影响，地闪主要集中在6—8月，最早在3月，发生在午后至前半夜，19时达到峰值。雄安新区地闪最大平均电流强度出现在4月，最大日平均电流强度出现在10时。

2）雄安新区地闪年均密度为1.1~3.7次·$km^{-2}$·$a^{-1}$。由于水体表面湿度大，易形成对流不稳定层结，对流天气常在该区域发展或加强，因此高密度区位于白洋淀。

3）地闪年均电流强度幅值集中在25.5~46.0 kA之间。高值区出现在雄安新区西部和东部。地闪高风险区集中在雄安新区西部和白洋淀水域中南部区域。

4）不同用地类型下地闪发生频次与面积占比具有较好的一致性。水体的地闪年均密度最大，达2.33次·$km^{-2}$·$a^{-1}$；裸地的地闪年均电流强度最大，平均值为43.2 kA，且电流强度幅值在40~100 kA区间占比最大；灌木的地闪年均密度和年均电流强度均最小。

地闪的发生发展与雷云发展以及地形、地质、地物形成的微环境密切相关，本文仅研究雄安新区，地理范围跨度较小，海拔高度基本相同，地质条件接近，因此未对地形和地质条件进行讨论。刘珍[9]等分析关中地区植被覆盖度时空变化发现植被覆盖度随季节发生变化较大。本文分析了不同用地类型下的地闪分布情况，但植被覆盖度随季节变化后对地闪的影响还有待进一步研究。本文结论可为雄安新区建设选址布局、建筑物防雷分类提供技术参考，但随着城市建设的推进，孕灾环境、承载体发生变化，需对地闪进行更深入的精细化研究，以搭建科学合理的雷电监测预报预警模式。

## 参考文献

[1] 崔海华,金晓青,张彦勇,等. 京津冀地区雷电活动时空分布特征[J]. 干旱气象,2017,35(1):36-42

[2] 周筠珺,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

[3] 杨敏,杨晓亮. 2007—2015年京津冀地区闪电分布特征[J]. 气象与环境学报,2016,32(4):119-125

[4] 刘海兵,朱海燕. 基于Landsat8 OLI数据的地表植被覆盖类型与江西省雷电活动相关性分析[J]. 气象与减灾研究,2018,41(1):63-68

（下转第58页）