Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1227-1233
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156129

Hans汉斯

2007~2025年日照市地闪时空分布及雷电流强度特征分析

刘　杰[1*]，左迎芝[1#]，杨崇静[2]，邬铭法[3]

[1]日照市气象局综合保障中心，山东　日照
[2]山东省气象工程技术中心运行质量室，山东　济南
[3]山东省气候中心气候应用科，山东　济南

收稿日期：2026年10月5日；录用日期：2026年11月4日；发布日期：2026年11月10日

摘　要

利用山东省闪电定位系统2007年1月~2025年12月的地闪监测资料，对日照市地闪活动的时空分布及强度特征进行了统计分析。结果表明：① 空间分布上，日照市年平均地闪密度为1.62次 • km^{-2}·a^{-1}，属雷电一般易发区；高值区呈斑块状分布于西部山区及中东部沿海丘陵地带。② 时间变化上，年际变化呈“先降后升”趋势，2007年为峰值年(25,667次)，2014年为谷值年(946次)；季节变化显著，夏季(6~8月)地闪占比高达87.02%，其中8月占比47.89%；日变化呈双峰型，主峰为15~20时，次峰为01~03时。③ 强度特征上，地闪平均电流为16.92 kA，正闪平均电流(22.91 kA)显著高于负闪(15.88 kA)，正闪占比14.67%；电流强度主要集中在0~30 kA区间，历史极值为199.6 kA。本研究可为日照市雷电灾害风险评估、防雷工程设计及气象防灾减灾提供科学依据。

关键词

地闪，时空分布，雷电流强度

Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Ground Flashes and Lightning Current Intensity Characteristics in Rizhao City (2007~2025)

Jie Liu[1*], Yingzhi Zuo[1#], Chongjing Yang[2], Mingfa Wu[3]

[1]Rizhao Meteorological Comprehensive Support Center, Rizhao Shandong
[2]Operation Quality Office, Shandong Meteorological Engineering Technology Center, Jinan Shandong

[*]第一作者。
[#]通讯作者。

文章引用: 刘杰, 左迎芝, 杨崇静, 邬铭法. 2007~2025 年日照市地闪时空分布及雷电流强度特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1227-1233. DOI: 10.12677/ccrl.2026.156129

[3]Climate Application Division, Shandong Climate Center, Jinan Shandong

Received: October 5, 2026; accepted: November 4, 2026; published: November 10, 2026

Abstract

Utilizing the ground flash detection data from the lightning location system in Shandong Province from January 2007 to December 2025, a statistical analysis was conducted on the spatiotemporal distribution and intensity characteristics of ground flashes in Rizhao City. The results indicate: ① In terms of spatial distribution, the annual average ground flash density in Rizhao City is 1.62 times·km^{-2}·a^{-1}, classifying it as a moderately lightning-prone area. High-value zones are patchily distributed in the western mountainous regions and the hilly coastal areas of the central and eastern parts. ② Temporal variations show an "initial decline followed by an increase" trend over years, with 2007 as the peak year (25,667 flashes) and 2014 as the trough year (946 flashes). Seasonal variations are pronounced, with ground flashes accounting for 87.02% in summer (June–August), and August alone contributing 47.89%. Diurnal variations exhibit a bimodal pattern, with the primary peak from 15:00 to 20:00 and the secondary peak from 01:00 to 03:00. ③ In terms of intensity characteristics, the average ground flash current is 16.92 kA. Positive flashes (22.91 kA) significantly exceed negative flashes (15.88 kA), with positive flashes accounting for 14.67%. The current intensity is primarily concentrated in the 0~30 kA range, with a historical extreme of 199.6 kA. This study provides a scientific basis for lightning disaster risk assessment, lightning protection engineering design, and meteorological disaster prevention and mitigation in Rizhao City.

Keywords

Ground Flash, Spatiotemporal Distribution, Lightning Current Intensity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

雷电是发生在大气中的一种瞬时强放电现象，具有极高的电压和电流，常伴随强烈的电磁辐射和冲击波，是威胁公共安全、农业生产及电力系统稳定运行的重要灾害性天气之一[1] [2]。山东省日照市地处鲁东南沿海，属暖温带半湿润季风气候，夏季受东亚季风及西太平洋副热带高压影响，对流性天气频发，雷电活动较为活跃。近年来，随着城市化进程加快及电子设备普及，雷电灾害的潜在损失呈上升趋势。因此，系统分析日照市雷电活动的长期变化规律，对于提升区域雷电防御能力具有重要意义。

目前，基于闪电定位系统(Lightning Location System, LLS)的地闪资料已广泛应用于雷电气候特征研究[3] [4]。本文基于山东省 2007~2025 年长序列地闪数据，从密度空间分布、年际变化、季节变化、日变化及强度特征五个维度，全面剖析日照市雷电活动规律，旨在为当地气象防灾减灾决策提供数据支撑。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

山东省气象局于 2006 年 6 月建成全省雷电定位系统，主要用于探测云地闪电，该系统能更准确采集

云雷电波形峰点到达时间，采用时差测向混合定位算法，提高了雷电定位的精度，其平均探测范围为300 km，目前省内已建的13套站点，分别在济南章丘、青岛、烟台龙口、威海、威海乳山、菏泽、聊城东阿、德州陵县、济宁兖州、临沂临沭、临沂蒙阴和潍坊寒亭、东营河口设有探测子站。该系统由13个雷电定位仪(探测子站)、一个中心数据处理系统和图形显示终端构成。系统采用磁定向、时差综合法进行雷电定位，各个探测仪将接收到的探测信息和GPS时间信息，通过通信网络传送到中心站的计算机，经过数据系统的计算处理，得到闪击的发生时间、经纬度位置、雷电流极性、峰值强度、雷电流上升陡度等参数。该系统定向精度为1˚，时钟同步精度可达到10^{-7} s，山东省内大部分地区雷电探测效率理论值为95%，定位精度可达到300 m。

本文所用数据来源于山东省气象局布设的闪电定位系统，统计时段为2007年1月1日至2025年12月31日。数据包含每次地闪的发生时间、地理位置(经纬度)、雷电流强度、极性及定位误差等信息。为确保数据质量，对原始数据进行了严格的质量控制，剔除了定位误差大于1 km及电流强度异常(大于200 kA或小于−200 kA)的无效记录[5]。

2.2. 研究方法

地闪密度计算：采用网格法，将日照市行政区域按0.005˚ × 0.005˚ (约0.31 km^2/格)进行网格化划分，统计各网格内的地闪累计次数，计算年平均地闪密度(次·km^{-2}·a^{-1})。

等级划分：依据《雷电易发区域划分技术规范》(QX/T 405-2017)，结合自然断点法(Jenks Natural Breaks)将地闪密度划分为五级，绘制空间分布图[6]。

统计分析法：利用Excel及Origin软件，对年际、月际、日变化及电流强度分布进行统计分析，绘制相应的变化曲线及直方图[7]。

3. 结果与分析

3.1. 地闪密度空间分布特征

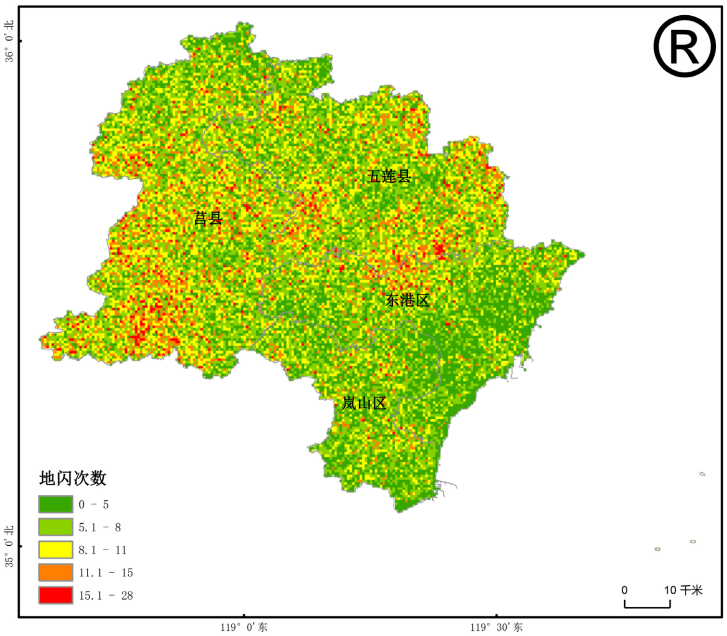


Figure 1. Distribution of cloud-to-ground lightning frequency in Rizhao City, Shandong Province
图 1. 山东日照市地闪次数分布图

统计显示，2007~2025 年间日照市累计发生地闪 164503 次，年平均落雷次数约为 8653 次(164503 次/19 年)，年平均地闪密度为 1.62 次·km^{-2}·a^{-1}。依据 QX/T 405-2017 标准，该数值处于 0.5~4.0 次·km^{-2}·a^{-1}区间，判定日照市整体属于雷电一般易发区(III级)。

从空间分布图(图 1)可见，地闪活动呈现明显的区域差异性。单网格内地闪次数最高达 28 次。高值区(>20 次/网格)并非连续分布，而是呈斑块状散布于日照市西部山区(如五莲县、莒县西部)及中东部沿海丘陵地带。这种分布特征与地形抬升作用密切相关：西部山区地形迫使暖湿气流抬升，触发对流；沿海地带则受海陆热力差异及海风锋影响，易形成局地对流不稳定。相比之下，中部平原地区地闪密度相对较低。

3.2. 地闪活动的年际变化特征

图 2 展示了 2007~2025 年日照市地闪次数的年际变化。统计期内，地闪活动呈现显著的“先降后升”波动趋势。2007 年地闪次数最多，达 25667 次；2010 年次之，为 19886 次。2014 年为统计期内的最低值，仅为 946 次。2007~2014 年，地闪次数总体呈梯度下降趋势；2015 年起，地闪活动开始逐步回升，特别是 2022 年，地闪次数达到近 11 年来的最高值。这种年际波动可能与西北太平洋副热带高压的年代际振荡、全球气候变化背景下的区域气候异常，以及闪电定位系统探测效率的提升有关。

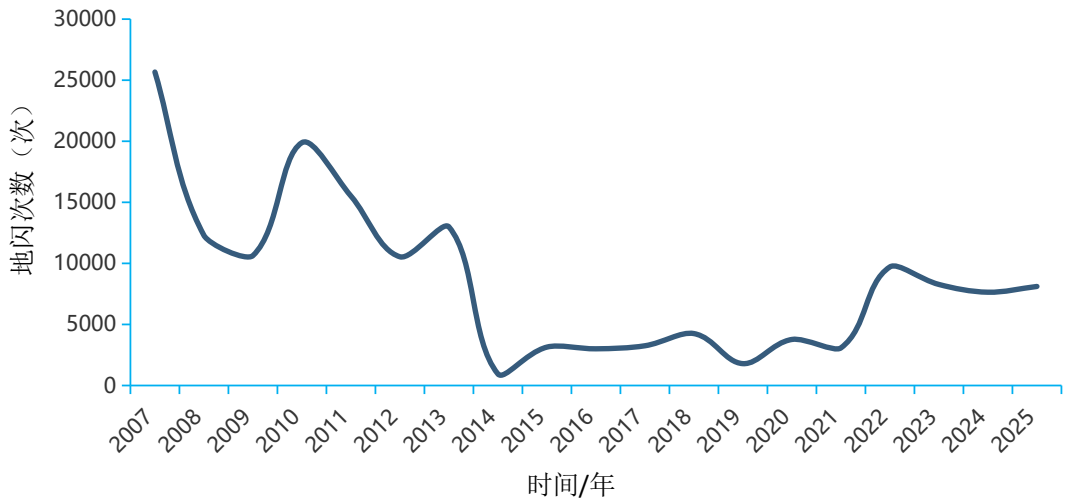


Figure 2. Statistics of annual cloud-to-ground lightning frequency in Rizhao City, Shandong Province
图 2. 山东省日照市年落雷地闪次数统计图

3.3. 地闪活动的季节变化特征

日照市地闪活动具有显著的季节不对称性(图 3)。夏季(6~8 月)是地闪活动的绝对高发期，共发生地闪约 143200 次，占全年总次数的 87.02%。其中，8 月份地闪活动最为频繁，占比高达 47.89%；7 月份次之，占 29.77%。春季(3~5 月)地闪开始增多，占 5.37%；秋季(9~11 月)迅速减少，占 7.34%；冬季(12~2 月)仅有极少量地闪发生。

值得注意的是，正闪比例的季节变化与总闪不同。正闪比例最高出现在 7 月，占全年正闪总次数的 44.58%。这可能是因为 7 月强对流天气系统(如副热带高压边缘的强雷暴)更为活跃，云内冰相过程剧烈，更易产生高电荷的正闪。

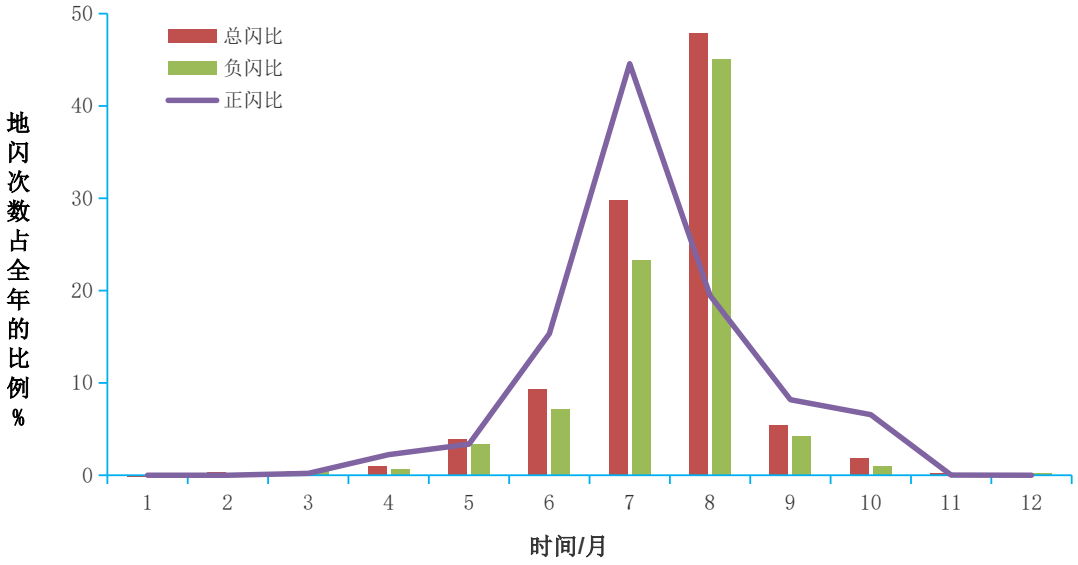


Figure 3. Monthly variation of cloud-to-ground lightning activity in Rizhao City, Shandong Province
图 3. 山东省日照市地闪活动月变化

3.4. 地闪活动的日变化特征

地闪频次的日变化呈现典型的双峰双谷型特征(图 4)。主高峰出现在 15~20 时，峰值位于 17 时左右，这与日照加热导致的大气不稳定能量在午后至傍晚达到最大，从而触发对流性雷暴的物理机制相符。次高峰出现在凌晨 01~03 时，推测与夜间低层大气不稳定能量释放及局地海风环流的维持有关。地闪低发时段为 09~12 时，此时大气层结相对稳定，对流活动受到抑制。

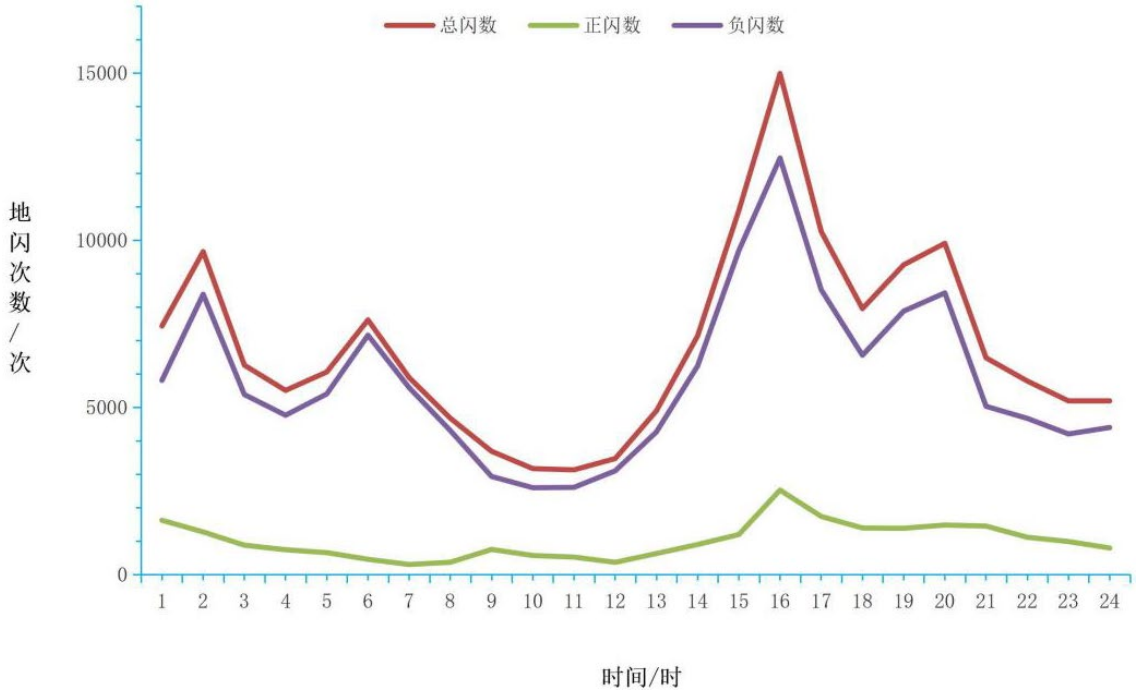


Figure 4. Diurnal variation of cloud-to-ground lightning activity in Rizhao City, Shandong Province
图 4. 山东省日照市地闪活动日变化

3.5. 地闪强度特征

统计期内，日照市地闪平均电流强度为 16.92 kA。其中，正闪的平均电流强度(22.91 kA)显著高于负闪(15.88 kA)，但正闪出现的概率较低，仅占总地闪次数的 14.67%。监测到的历史最大地闪强度为 199.6 kA，发生于 2016 年 8 月 19 日 20:13:49，地理位置为(35.37˚N, 118.96˚E)，该时段正值傍晚对流活跃期。

图 5 显示了地闪强度的概率分布。正地闪电流主要集中在 0~30 kA 区间，占正地闪总数的 78.32%；负地闪电流主要集中在 0~25 kA 区间，占负地闪总数的 84.83%。尽管大电流(>100 kA)地闪占比不高，但其破坏力极强，是防雷工程设计中需重点校核的对象。

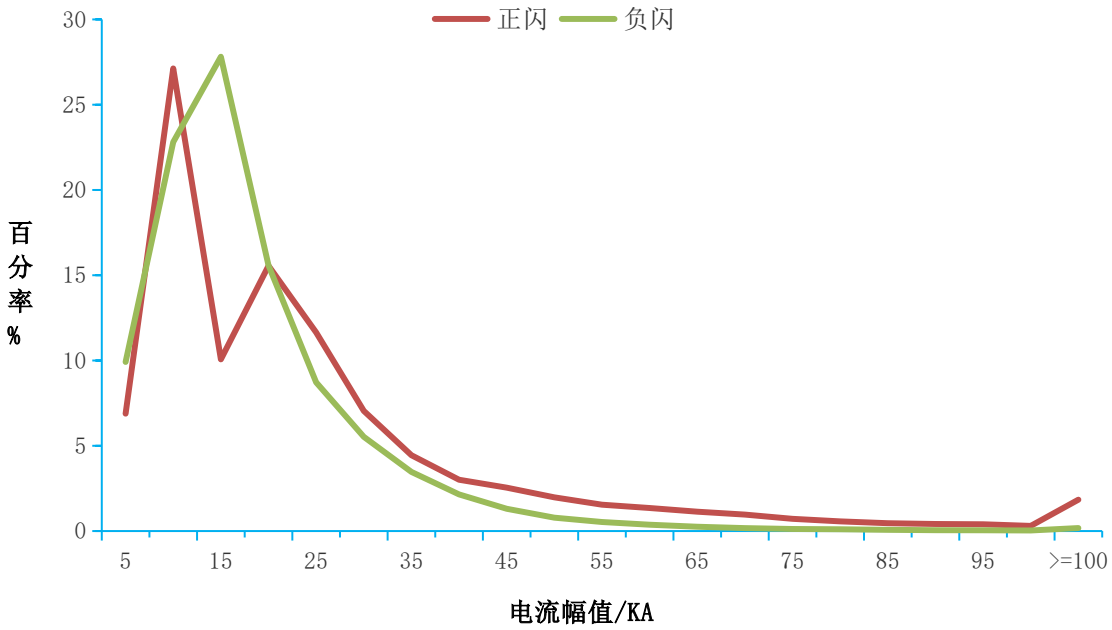


Figure 5. Variation of cloud-to-ground lightning intensity in Rizhao City, Shandong Province
图 5. 山东省日照市地闪强度变化图

4. 结论与讨论

4.1. 结论

Table 1. Analysis of lightning characteristics in Rizhao city
表 1. 日照市雷电特征分析情况

日照市雷电特征类型	日照市雷电特征分析情况
年平均落雷次数	8653 次/年
年平均地闪密度	1.62 次·km^{-2}·a^{-1}
地闪活动高发期	夏季(6~8 月)，占全年 87.02%
地闪活动日变化特征	主高峰出现在 15~20 时，峰值位于 17 时左右
平均雷电流强度	16.92 kA
地闪强度特征	地闪电流主要集中在 0~30 kA 区间，占正地闪总数的 78.32%；负地闪电流主要集中在 0~25 kA 区间，占负地闪总数的 84.83%
区域最大地闪强度	199.6 kA

(1) 空间分布：日照市年平均地闪密度为 1.62 次·km^{-2}·a^{-1}，属一般易发区。高值区呈斑块状分布于西部山区及中东部沿海，受地形与海陆分布共同影响。

(2) 时间变化：年际变化呈“先降后升”趋势，2014 年为转折点；季节变化表现为夏季集中(87.02%)，8 月为峰值月；日变化呈双峰型，主峰在 15~20 时，次峰在 01~03 时(见表 1)。

(3) 强度特征：正闪强度高于负闪，正闪占比 14.67%。电流强度多集中在 0~30 kA (见表 1)，但存在 199.6 kA 的极值记录，需警惕强雷暴的破坏风险。

4.2. 讨论与建议

本研究基于 19 年的长序列数据，揭示了日照市雷电活动的精细化特征。研究结果对当地防灾减灾具有以下指导意义：

(1) 重点防御时段：应将 7~8 月的 15~20 时作为雷电防御的关键“窗口期”，气象部门需加强该时段的短时临近预报预警。

(2) 重点防御区域：西部山区及沿海丘陵地带应提升防雷设施的安装密度与标准，特别是森林防火、旅游景区及石油化工等高危行业。

(3) 工程设计参考：鉴于正闪比例及大电流地闪的存在，建议在建筑防雷设计(如滚球半径选择、SPD 选型)中适当提高安全裕度。

然而，本研究主要依赖闪电定位系统数据，未来可结合多普勒天气雷达、大气电场仪及数值模式，进一步探讨雷电活动与中小尺度天气系统的物理联系，以提升雷电预警的精细化水平。

基金项目

山东省气象局科学技术研究项目(2023sdqxm03)、山东省气象软科学项目(2026SDRKXYB12)、日照市气象局科学技术研究项目(2025rzqxz01)。

参考文献

[1] 张义军, 孟青, 马明, 等. 闪电探测技术发展和资料应用[J]. 应用气象学报, 2006, 17(5): 611-620.

[2] 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.

[3] 冯民学, 焦雪, 韦海容, 等. 江苏省雷电分布特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(2): 246-251.

[4] 李京校, 李家启, 肖稳安. 重庆市雷暴气候变化特征分析[J]. 热带地理, 2011, 31(2): 171-177.

[5] 中国气象局. QX/T 705-2023 雷电易发区域划分技术规范[S]. 北京: 气象出版社, 2017.

[6] 陈乐奇, 徐鑫, 孔祥宁, 刘向科, 邬铭法. 雷击森林火险区划模型及其在泰山林区的应用[J]. 林业调查规划, 2024, 49(5): 214-220.

[7] 陈乐奇, 徐鑫, 邬铭法, 刘向科, 邓猛. 泰山风景区闪电特征及林区雷击火灾风险分析[J]. 林业调查规划, 2020, 45(4): 34-40.