

信阳市某产业园区地闪气候特征分析

赵战友

河南省气象灾害防御技术中心, 河南 郑州

收稿日期: 2022年6月22日; 录用日期: 2022年7月21日; 发布日期: 2022年7月28日

摘 要

本文使用河南省闪电定位数据和人工观测雷暴日数据, 对信阳市某产业园区的地闪活动气候特征进行了统计分析。分析发现: 园区内地闪密度平均为 $1.1 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 总雷暴小时数最多的年份是2013年, 为18小时, 雷暴小时数最少的年份是2015年, 为4小时; 园区地闪活动年变化大体呈下降趋势, 其中2013年地闪次数最多, 为51次; 2015年地闪次数最少, 仅有4次。园区地闪活动主要在7~8月, 占全年地闪数量的79%, 14时和18~19时是地闪活动的高发期。园区地闪雷电流主要集中在15~50 kA, 占地闪数量的76.6%。

关键词

地闪, 气候特征, 雷电流强度

Analysis on Climatic Characteristics of CG-Lightning in an Industrial Park in Xinyang

Zhanyou Zhao

Henan Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Zhengzhou Henan

Received: Jun. 22nd, 2022; accepted: Jul. 21st, 2022; published: Jul. 28th, 2022

Abstract

In this paper, the climatic characteristics of CG-lightning activity in an industrial park in Xinyang are statistically analyzed using the CG-lightning data and artificial thunderstorm data in Henan Province. The analysis shows that the average CG-lightning density in the park is $1.1 \text{ fl/km}^2/\text{a}$. The year with the most thunderstorm hours in the park is 2013, which is 18 hours; The year with the lowest thunderstorm hours is 2015, which is 4 hours; The annual change of CG-lightning activities in the park generally shows a downward trend. The most CG-lightning is 51 in 2013; The least

CG-lightning is only 4 in 2015. The CG-lightning activities are mainly from July to August, accounting for 79% of the total number of CG-lightning in the whole year. 14:00 and 18~19:00 are the high incidence periods of CG-lightning activities. The flash current in the park is mainly in 15~50 kA, accounting for 76.6% of the total CG-lightning.

Keywords

CG-Lightning, Climatic Characteristics, Flash Current

Copyright © 2022 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

雷电是云与云之间、云与地之间和云体内各部位之间的强烈放电现象。一次闪电过程历时约 0.25 秒，窄狭的闪电通道上要释放巨大的电能。闪电的温度，从摄氏一万七千度至二万八千度不等，也就是等于太阳表面温度的 3~5 倍。闪电的电流很大，其峰值一般能达到几万安培，但是其持续的时间很短，一般只有几十微秒。世界各地大约每秒钟约发生 600 次闪电，其中有 100 次袭击地球(也就是地闪)，闪电发生时的机械力、热效应、电效应、以及电磁感应等破坏力比较强大。地闪是对人类危害比较大的十大自然灾害之一，也一直是影响我省的重要气象灾害。随着经济的发展，雷电灾害的发生频率和危害程度越来越大。关于闪电的研究一直受到气象工作者的重视[1]-[6]。郑栋等[7]分析北京地区雷暴发现，闪电活动与潜在对流性稳定度指数、对流有效位能、抬升指数和 700 hpa 相当位温具有较强的相关性。Maribel [8]研究了 14 个对流单体在形成初期雷达反射率因子和闪电活动关系后发现，要想单体中能够发生闪电，单体回波中 40 dBZ 以上回波的顶高必须高于 7 km；只发生云闪和将要发生地闪的单体在闪电初始激发高度，以及激发位置的雷达反射率都是不同的。冯桂力等[9]研究发现降雹的雷暴正地闪比例通常较高，降雹阶段恰好对应着正地闪快速增加的阶段。张一平等[10]对河南省强雷暴天气过程中雷达回波结构及闪电时空特征进行了细致分析。不仅不同类型强对流天气闪电活动特征不同，不同季节的天气过程也表现出不同的闪电特征。陈涛等[11]分析了我国南方春季中尺度对流系统(MCS)的发生、发展特征，重点探讨了环境条件差异及其对 MCS 的影响。于庚康等[12]对两次飚线过程进行了分析，认为夏季发生的飚线过程的热力作用更强。除了研究闪电资料对强对流天气的指示作用外，闪电自身的预报也是当前探讨的重要问题。Brandon 等[13]认为在-10℃层结高度处 40 dBZ 回波强度是预测初次地闪发生的最佳预测因子。国内外利用闪电定位资料已做了许多研究工作。陶祖钰等[14]利用 LLP80-02 型闪电定位系统获取的资料对京津冀地区闪电的气候特征进行了分析。冯桂力等[15]利用 1998~2000 年山东地区雷电探测网获取的地闪电资料，从闪电的日变化、强度、密度和极性等方面研究了山东地区的雷电分布特征。李照荣等[16]利用兰州地区的闪电定位系统监测资料，分析了兰州周边地区地闪日频次、强度谱分布和累计百分数、日均月变化、闪电密度、极性等特征，并与山东地区的分布做了比较。上述研究都是根据本地区的闪电资料进行分析，由于闪电的分布具有较强的地域性。虽然对雷暴天气闪电活动特征的研究已经有很多，但由于闪电物理机制的复杂性，不同地区、不同类型甚至不同季节的雷暴闪电活动都表现出不同的特征，目前尚未获得对雷暴天气闪电特征完全清晰的认识。本文利用河南省闪电定位系统数据，对信阳市某园区雷电气候特征进行分析，并给出了雷电灾害防护建议，希望能够对园区防御雷电灾害提供有价值的参考信息。

2. 资料及方法

本文所用的地闪资料来源于河南省闪电定位系统数据，探测的雷电参量为：地闪过程的时间、位置、放电极性、峰值强度、陡度等信息。探测效率 80%~90%，探测范围平均 300 km，三站及以上定位误差约在 390~1850 米[17]，四站定位误差在 1 km 以内[18]。探测原理：闪电发生时，地闪过程向周围辐射很强的电磁波，这种闪电电磁脉冲以地波和天波形式可以传输到上千公里的位置。闪电探测站实时探测闪电辐射的电磁脉冲到达的方位角、波形峰点到达的精确时间、放电极性及强度等波形特征参数。各探测占用 GPS 进行精确时间同步，同步精度为 10^{-7} s。当有二个探测站接收到数据时，采用一条时差双曲线和两个测向量的混合算法计算位置；当有三个探测站接收到数据时，在非双解区域，采用时差算法，在双解区域，先采用时差算法得出双解，后利用侧向数据剔除双解中的假解；当有四个及四个以上探测站接收到数据时，采用时差最小二乘法定位计算。

3. 地闪密度分析

多年平均地闪密度是可以反映雷电气候的主要数据，图 1 为固始县近 10 年平均地闪密度分布图：固始县地闪密度均在 $0.2\sim2.1$ 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。南部地区、西部和东部部分地区地闪密度略高，在 1.1 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上，部分地区达 1.6 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上；其他大部分地区地闪密度在 1.1 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以下。园区平均地闪密度值为 1.1 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

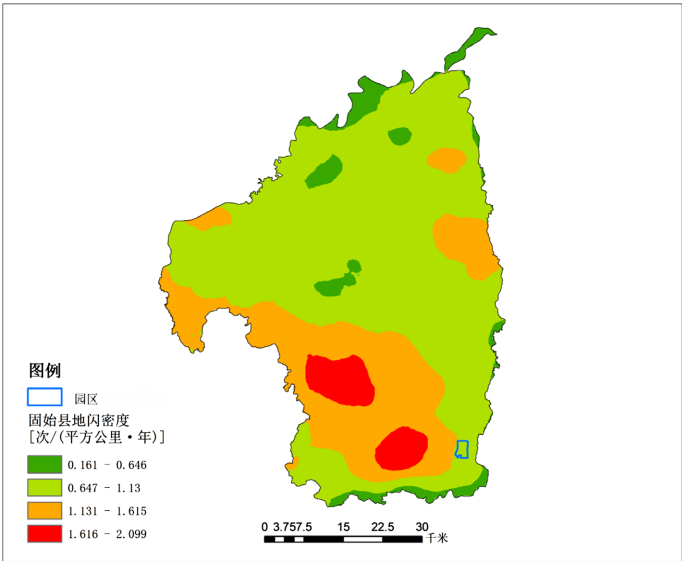


Figure 1. CG-lightning density of the administrative area where the park is located from 2011 to 2020
图 1. 2011~2020 年园区所在行政区地闪密度图

4. 历年最强雷暴天气分析

在评估区域内，一个自然时内闪电定位系统探测到 1 次及以上地闪，我们把它记为一个雷暴小时。雷暴小时强度是一个反映评估区域极端雷暴天气过程的值，该值越大则表明短时间内评估区域内地闪次数越多。短时间内的连续地闪可能使评估区域内原本完好的雷电防护装置失效，极大的提高了雷电灾害发生的风险。这是一个进一步细化评估区域内雷电气候的物理量。

从表 1 统计结果可知，园区内总雷暴小时数最多的年份是 2013 年，为 18 小时；雷暴小时数量最少的年份是 2015 年，为 4 小时；园区最强雷暴活动天气出现在 2019 年 8 月 1 日 19 时，观测到了 18 次闪

击。从表中可以看出一年中较强的雷暴过程主要出现在 6~8 月；值得注意的是 3 月份最强雷暴过程共有 2 次，要注意防范春季雷暴的发生。

Table 1. Statistics of thunderstorm hours and maximum thunderstorm hour intensity in the park from 2011 to 2020

表 1. 2011~2020 年园区雷暴小时数及最大雷暴小时强度统计表

年份	总雷暴小时数	最强雷暴小时(月日時)	最强雷暴小时闪击次数
2011	5	7-23 12 时	4
2012	6	8-18 14 时	9
2013	18	8-23 22 时	14
2014	5	3-28 19 时	2
2015	4	6-24 17 时	1
2016	5	6-21 22 时	4
2017	7	7-05 11 时	11
2018	10	3-04 05 时	8
2019	9	8-01 19 时	18
2020	10	8-20 18 时	15

5. 雷暴路径分析

地面测站雷暴路径分析可以体现园区所处区域的雷暴发生发展趋势，为提升园区防范雷电灾害的能力提供重要依据。统计 1953~2013 年园区附近地面气象观测站雷暴发生路径记录，得到历年雷暴路径图(图 2)，从图可以看出全年中园区所在地由西南方向进入的雷暴比例最高，其次是正西方向；东北方向进入的雷暴最少。因此，雷暴主导方向是西南和正西方位，建筑物在这两个方位上雷击概率大于其它方位。所以若要进行区域防护，应将接闪器等主要设施设置在雷暴主路径上。建议园区尽量不要在雷暴主路径上布置对雷电敏感度高的建(构)筑物或易燃易爆场所等。

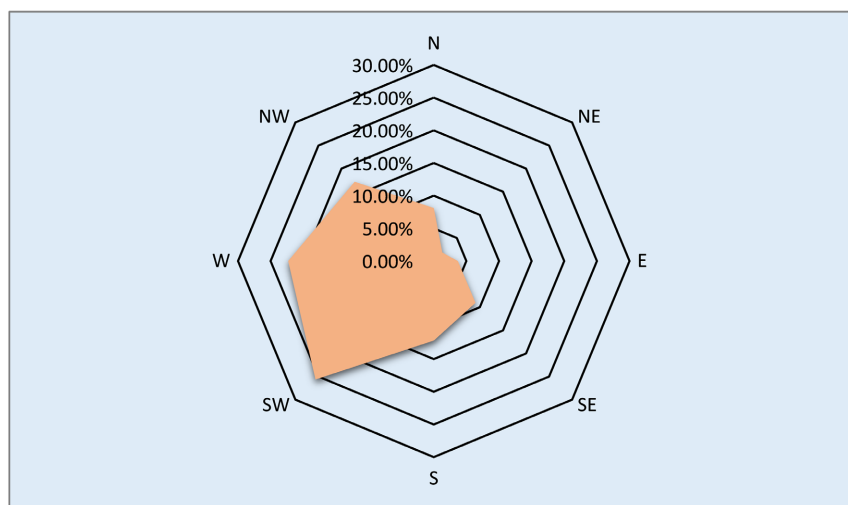


Figure 2. Statistical diagram of thunderstorm path

图 2. 雷暴路径统计图

6. 地闪时间分布

6.1. 年变化特征

近 10 年来, 园区地闪活动年变化大体呈下降趋势(见图 3)。2013 年地闪次数最多, 为 51 次; 2019 年地闪次数次之, 为 36 次; 2020 年有 33 次。2015 年闪击次数最少, 仅有 4 次。从统计数据来看, 园区内雷暴频次年变化较大, 不排除未来个别年份地闪活动会剧增的可能性。

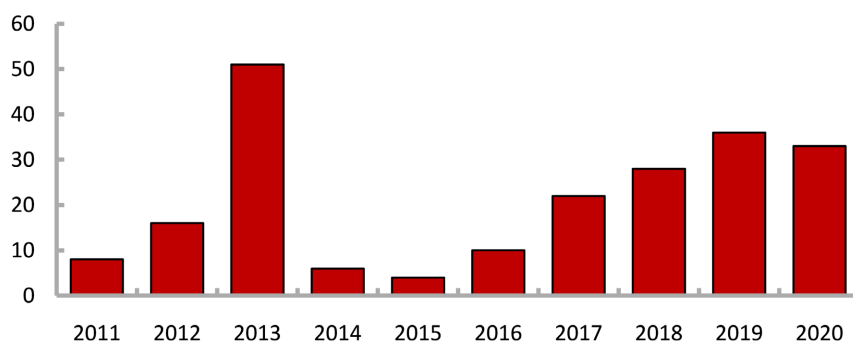


Figure 3. Annual variation characteristics of CG-lightning in the park from 2011 to 2020

图 3. 2011~2020 年园区地闪年变化特征

6.2. 月变化特征

由历年地闪频次月变化(图 4)可知: 园区 2011~2020 年所发生的地闪主要分布在 7~8 月, 占地闪总数的 79%。其中 8 月份最多, 为 123 次, 占地闪总数的 57.5%; 7 月份为 46 次, 占地闪总数的 21.5%; 其他月份有少量闪击发生或没有闪击发生。园区内的雷电主要出现在盛夏季节, 春季次之, 冬季的雷电活动较少。主要原因是 7~8 月易触发对流性天气; 而秋、冬季节不易触发对流天气, 雷电活动减少。9 月以后, 雷电活动虽然相对夏季明显减少, 遇到雷暴天气的概率降低, 但仍有雷电发生, 其危害强度并不小, 所以秋、冬季的防雷工作仍然不能忽视。

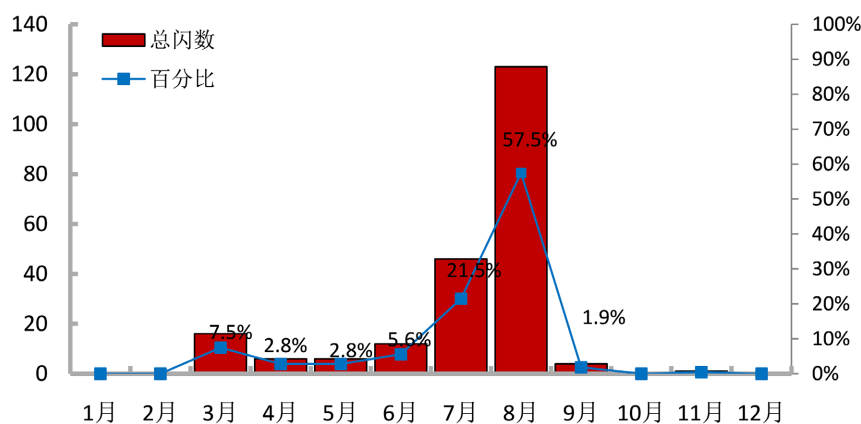


Figure 4. Monthly variation characteristics of CG-lightning in the park from 2011 to 2020

图 4. 2011~2020 年园区地闪月变化特征

6.3. 日变化特征

由图 5 可知, 2011~2020 年园区内所发生的地闪主要分布于下午 14 时和 18~19 时, 占总闪击次数的

36.4%。最大值出现在 18 时，闪击次数为 28 次；其次是 19 时，闪击次数为 26 次；再是 14 时，闪击次数为 24 次；其他时间段的闪击次数均在 20 次以下。由此可见，园区的对地闪击大致集中在下午 14 时和 18~19 时。因此园区应关注这两个时间段的雷电天气。

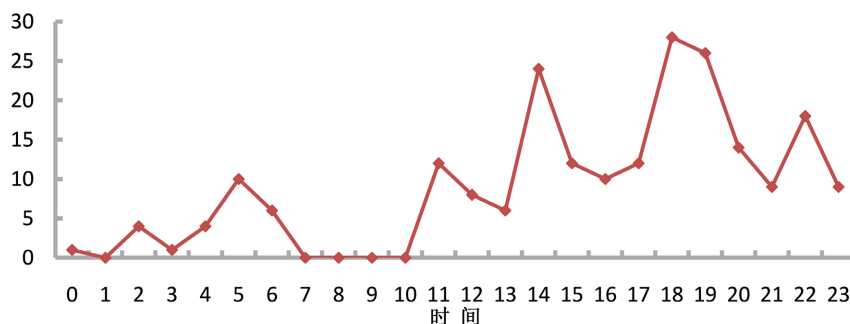


Figure 5. Daily variation characteristics of CG-lightning in the park from 2011 to 2020

图 5. 2011~2020 年园区地闪日变化特征

6.4. 雷电流强度分析

统计园区雷电流强度可知，各月平均雷电流强度在 34.4~53.9 kA 之间，其中 11 月最小，4 月最大；最大雷电流强度在 34.4~166.1 kA 之间，其中最大值出现在 3 月，最小值出现在 11 月。雷电流强度分布概率见图 6，园区地闪雷电流主要集中在 15~50 kA，占地闪数量的 76.6%；15 kA 以下的雷电流占 7.0%；50~100 kA 的雷电流占 14.5%；100 kA 以上的雷电流占 1.9%。

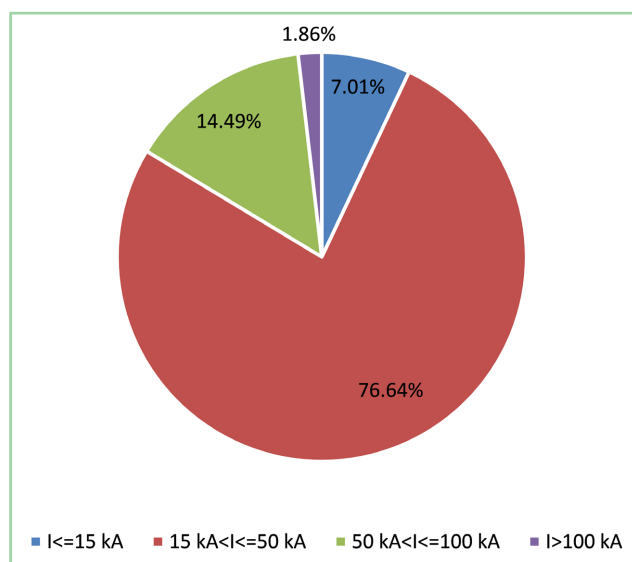


Figure 6. Distribution probability of lightning current intensity in the park from 2011 to 2020

图 6. 2011~2020 年园区雷电流强度分布概率

6.5. 雷电流绕击及反击分析

雷电的绕击是指雷电击中在接闪器保护范围内的被保护物上的雷击现象。雷电的反击现象通常指遭受直击雷的金属体(包括接闪器、接地引下线和接地体)，在引导强大的雷电流流入大地时，在它的引下线、接地体以及与它们相连接的金属导体上会产生非常高的电压，对周围与它们连接的金属物体、设备、线路、

人体之间产生巨大的电位差,这个电位差会引起闪络。在接闪瞬间与大地间存在着很高的电压,这电压对与大地连接的其他金属物品发生放电(又叫闪络)的现象叫反击。对于一、二、三类防雷建筑物,当雷电流 I 分别大于 5.4 kA、10.1 kA、15.8 kA 时,雷电将击于接闪器上,当雷电流 I 分别小于 5.4 kA、10.1 kA、15.8 kA 时,雷电有可能穿过接闪器击中在被保护物体上也就是绕击现象。一、二、三类防雷建筑物设计能承受保护的最大雷电流幅值分别为 200 kA、150 kA、100 kA,当雷电流大于上述幅值时,可能出现反击,对人员和其他物体造成危害。统计园区近 10 年雷电流强度,发现园区内暂时还未出现雷电流大于 200 kA 和小于 5.4 kA 的地闪,其内绕击率和反击率见表 2,从表中可以看出雷电流强度小于 15.8 kA 的地闪有 18 次,第三类防雷建筑物出现绕击的可能性为 8.4%;雷电流强度大于 100 kA 的地闪有 4 次,第三类防雷建筑物出现雷电流反击的可能性为 1.9%。

Table 2. Lightning current bypass and counterattack probability in the park from 2011 to 2020
表 2. 2011~2020 年园区雷电流绕击及反击概率

	绕击频次	绕击率	反击频次	反击率
一类防雷建筑物	0 (<5.4 kA)	0.0%	0 (>200 kA)	0.0%
二类防雷建筑物	1 (<10.1 kA)	0.5%	1 (>150 kA)	0.5%
三类防雷建筑物	18 (<15.8 kA)	8.4%	4 (>100 kA)	1.9%

7. 结论及雷击防护建议

本文使用 2011~2020 年河南省闪电观测系统数据,分析了园区的地闪密度,雷暴小时数、雷暴路径、地闪时间变化以及雷电流强度特征,并对园区的雷电防护工作提出了建议。

1) 根据 2011~2020 年地闪数据统计结果,园区地闪平均密度为 $1.1 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。园区内总雷暴小时数最多的年份是 2013 年,为 18 小时;雷暴小时数量最少的年份是 2015 年,为 4 小时;最强雷暴活动天气出现在 2019 年 8 月 1 日 19 时,观测到了 18 次地闪。

2) 从雷暴路径分析来看,园区所在行政区由西南方向进入的雷暴过程比例最高,其次是正西方向;东北方向进入的雷暴最少。

3) 从园区地闪时间分布特征来看,园区地闪数量年变化较大,有逐年减少的趋势,其中 2013 年地闪次数最多,为 51 次;2019 年地闪次数次之,为 36 次;2015 年闪击次数最少,仅有 4 次。从月份来看,地闪主要发生在 7~8 月,占全年地闪活动的 79%,冬季较少,只有个别年份冬季有地闪发生。从日变化上来看,14 时和 18~19 时是地闪活动的高发期,要密切注意在这两个时间段内发生地闪时的人员安全防护。

4) 统计园区雷电流强度可知,各月平均雷电流强度在 34.4~53.9 kA 之间,各月最大雷电流强度在 34.4~166.1 kA 之间,其中最大值出现在 3 月,最小值出现在 11 月。园区地闪雷电流强度主要集中在 15~50 kA,占地闪数量的 76.6%;

5) 园区内的防雷装置除应按照国家标准设计、施工、使用外,还应建立一套适用的防雷安全工作方案和防雷安全应急预案对所属防雷装置进行管理维护和发生雷击后的应急管理。

6) 园区内企业的低压配电系统及信号系统应安装电涌保护器(简称 SPD),一旦遭到感应雷击,电子电气系统极易遭损害,建议总配电开关处应设计安装 SPD,各层配电箱及重要设备配电箱或跨越防雷区的线路安装 SPD,并在防雷区分界处作等电位连接。安装和选择的 SPD 及各级 SPD 的协调配合应符合《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010 的相关规定。

7) 园区内超过 60 m 的建筑物其上部 20%应符合防侧击雷要求,其金属门窗、栏杆等应与建筑物防雷装置连接。

参考文献

- [1] 张琴, 张晓, 苟阿宁, 环海军, 张秀青. 山东两次强对流天气中尺度对流系统的闪电特征分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(28): 6-14.
- [2] 郗秀书, 刘冬霞, 孙竹玲. 闪电气象学研究进展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 1054-1068.
- [3] 袁铁, 郗秀书. 基于 TRMM 卫星对一次华南飑线的闪电活动及其与降水结构的关系研究[J]. 大气科学, 2010, 34(1): 58-70.
- [4] 孙自胜, 冯民学, 谭涌波. 雷达、闪电资料在典型雷暴单体中的应用[J]. 气象科学, 2014, 34(5): 573-580.
- [5] 刘佼, 肖稳安, 陈红兵. 全国雷电灾害分析及雷灾经济损失预测[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(4): 21-26.
- [6] 吴剑强, 许洪泽, 赵国萍, 何丽萍, 周梅. 闪电定位系统异常前后资料的对比分析及其 t 检验[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(2): 69-74.
- [7] 郑栋, 张义军, 吕伟涛, 孟青, 何平. 大气不稳定性参数与闪电活动的预报[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 196-203.
- [8] Martinez, M. (2002) The Relationship between Radar Reflectivity and Lightning Activity at Initial Stages of Convective Storms. 82nd American Meteorological Society Annual Meeting, First Annual Student Conference, Orlando, 1-18.
- [9] 冯桂力, 郗秀书, 袁铁, 牛淑贞. 雹暴的闪电活动特征与降水结构研究[J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(1): 123-132.
- [10] 张一平, 王新敏, 牛淑贞, 范学峰, 吕晓娜, 周红俊. 河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析[J]. 气象, 2010, 36(2): 54-61.
- [11] 陈涛, 张芳华, 宗志平. 一次南方春季强对流过程中影响对流发展的环境场特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 1019-1031.
- [12] 于庚康, 吴海英, 曾明剑, 尹东屏, 张蓬勃. 江苏地区两次强飑线天气过程的特征分析[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 47-59.
- [13] Vincent, B.R., Carey, L.D., Schneider, D., Keeter, K. and Gonski, R. (2003) Using WSR-88D Reflectivity for the Prediction of Cloud-to-Ground Lightning: A Central North Carolina Study. *National Weather Digest*, 27, 35-44.
- [14] 陶祖钰, 赵昕奕. 京津冀地区闪电的气候分析[J]. 气象学报, 1993, 51(3): 325-332.
- [15] 冯桂力, 陈文选, 刘诗军, 黎清才. 山东地区闪电的特征分析[J]. 应用气象学报, 2002, 13(3): 347-355.
- [16] 李照荣, 陈添宇, 康凤琴, 庞朝云, 杨增梓, 丁瑞津, 等. 兰州周边地闪分布特征[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 45-51.
- [17] 石湘波. 两套 ADTD 闪电定位系统探测效率对比分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2016, 33(3): 6-12.
- [18] 马启明, 顾永丰, 涂远琴, 邹志晶, 唐月英, 肖海文. 山东高精度雷电监测定位系统的定位精度的论证[C]//中国空间科学学会空间探测专业委员会第十二次学术会议论文集. 1999: 310-312.