

刘玉,林丽华,谢应龙. 宁化人工防雹作业重点区域分析[J]. 陕西气象,2023(5):54-59.

文章编号:1006-4354(2023)05-0054-06

宁化人工防雹作业重点区域分析

刘玉^{1,2},林丽华³,谢应龙⁴

(1. 三明市气象局,福建三明 365000;2. 福建省灾害天气重点实验室,福州 350007;
3. 清流县气象局,福建清流 365300;4. 宁化县气象局,福建宁化 365400)

摘要:利用2005—2021年宁化县有记载的冰雹资料和2011—2021年3—4月龙岩和三明多普勒天气雷达产品,对宁化县强对流天气的时空分布特征、对流云的移动路线和地形对对流云移动的作用进行分析,采用层次分析法,确定对流云经过各乡镇频次、对流云经过首个乡镇频次、各乡镇降雹频次和烤烟种植面积等4个要素的权重,得到各乡镇的防雹作业区的重要性指标。结果表明:宁化县境内对流云多发生在下午时段;经过宁化县的对流云路线最多的为西南路线,其次为偏西路线,再是西北路线;偏北和偏西方向来的对流云,受山系抬升作用,有利于对流云加强,西南方向来的对流云,易沿着中部凹陷地带和南部低山丘陵褶皱山地移动;与江西省接壤的宁化县中北部乡镇是防雹作业重要区域。

关键词:防雹作业点;烤烟;强对流;地形作用

中图分类号:P482

文献标识码:A

宁化县位于福建省西北部,武夷山脉东南麓,地貌复杂,属于亚热带海洋性季风湿润气候区,春季温暖湿润,强对流天气多发。宁化县气候资源丰富,农业是地方经济的支柱产业,烤烟生产是宁化县的重要经济作物,宁化县是中国八大烤烟生产基地之一。3—4月是宁化县强对流天气多发期,大风、冰雹天气时有发生,此时正值烟叶旺长期,冰雹对烟叶生产影响尤为严重,如2019年4月22—24日,宁化县的5个乡镇遭受冰雹袭击,农业经济损失达6000万余元。气象因子是影响烤烟生产的重要因素之一,开展的冰雹时空分布特征和天气形势分析研究能够较好地指导人工防雹作业^[1-3]。张云贵等^[4]建立了烤烟香型的气象因子评价模型;孟丹等^[5]通过考虑干旱、低温冻害、连阴雨、暴雨、高温热害等气象因子开展烤烟气象风险评价与区划,为指导当地合理规划烟草种植和生产具有重要意义;郭东锋等^[6]以我国主产区典型香型烤烟为研究对象,明确影响烤烟不

同香型风格形成的关键气象因子;烟田防范冰雹方面,王震东等^[7]提出了使用防雹网预防烟田雹灾的措施。为了有效减轻冰雹天气对宁化县烤烟生产造成的影响,宁化县于2004年起开展人工防雹作业,取得了一定的效果。

人工影响天气指挥系统的发展,有效提升了人工影响天气协调指挥能力和安全监管水平^[8-11];应用物联网技术后,广东人工影响天气在安全管理中取得较好的效果^[12];天气雷达在人工防雹作业效果评估中得到很好的应用^[13-15]。高国明等^[16]用AutoCAD绘制人工影响天气作业点安全射界图,为制作人影作业点安全设计提供参考;郝克俊等^[17]对如何规范地面人工影响天气作业安全事故调查进行研究,对今后的安全事故调查工作具有重要的指导意义。然而以上的研究主要是应用于人工影响天气指挥、安全管理、信息上报和作业效果评估上,在防雹作业点布设方面研究较少。由于作业点布设与地形和本地的强对流云

收稿日期:2022-07-05

作者简介:刘玉(1984—),女,汉族,福建三明人,学士,工程师,主要从事专业气象服务研究。

基金项目:福建省气象局基层科技专项(2021J06)

发生时间、主要移动路线有关,因此本文将主要分析宁化县强对流天气特征和地形对强对流天气的影响,进而优化宁化县防雹作业点布局,以提升防雹作业效率。

1 资料和方法

1.1 资料来源

冰雹数据采用宁化县 2005—2021 年期间有记载的资料,包括冰雹出现的时间和地点;雷达数据采用 2011—2021 年 3—4 月龙岩和三明 S 波段多普勒天气雷达产品;宁化县 2021 年各乡镇烤烟种植面积来源于宁化县烟草局。

1.2 研究方法

将冰雹监测原始数据汇总,统计冰雹出现的时间、地点,利用天气雷达组合反射率产品,对出现大于 45 dBz 组合反射率回波的强对流天气个例进行分析^[3],统计对流云进入宁化县境内的初始时间、移动路线。定义:任意小时内只要有 1 个乡镇降雹则该小时降雹频次计为 1 次,该小时内累计降雹频次占总降雹频次的比例为该小时降雹频次占比;宁化县强对流过程对流云在某一小时内开始出现则该小时对流云初生频次计 1 次,该小时内累计对流云初生频次占总次数的比例为该小时对流云初生频次占比。统计出不同引导气流

下宁化县对流云移动路线图,最终设计乡镇人影布点重要性函数(y),对 4 个不同因子进行归一化处理后,应用层次分析法赋予 4 个因子不同的权重,最终得出乡镇人影布点重要性排名。

2 强对流天气特征

2.1 时空分布

宁化县位于福建省西部,强对流天气出现的季节性很强,主要发生在 3—4 月。从时间分布(图 1)来看,宁化县冰雹出现的时段主要集中在 13—24 时,14 时和 19 时分别出现一个峰值,04—08 时也有降雹记录,00—04 时和 08—13 时未出现冰雹记录;从宁化县境内雷达组合反射率出现大于 45 dBz 回波的初生频次占比可以看出,宁化县境内对流云多发生在下午时段,00—16 时对流云初生频次占比为增大趋势,16 时后逐渐减小;对比各时刻降雹频次占比和对流云初生频次占比,发现前者峰值出现在后者峰值的 1~4 h 之后。从空间分布(图 2)来看,2005—2021 年,除治平畚族乡外,其余乡镇均出现过降雹天气,降雹较多的乡镇主要分布在宁化县的中东部和北部,以水茜镇的 6 次降雹为最多。南部的曹坊镇降雹频次也较多。

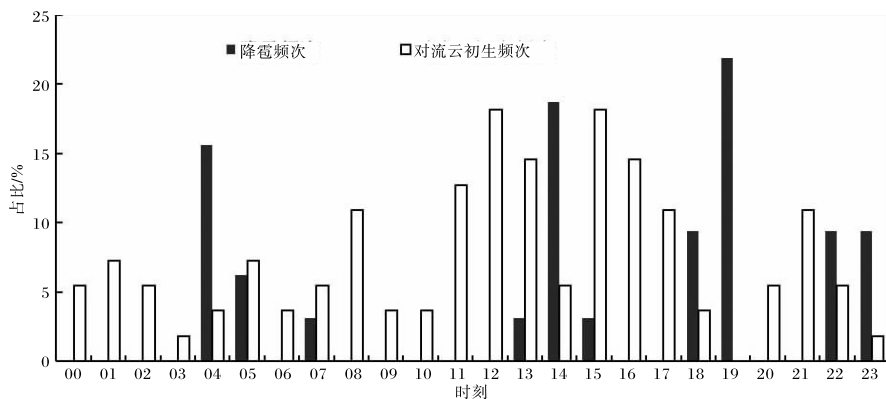


图 1 宁化县 2005—2021 年逐小时降雹频次占比和 3—4 月逐小时对流云初生频次占比

2.2 对流云的移动路线特征

3—4 月副热带高压多年平均脊线位于 16°N 及以南,宁化县位于副热带高压的北侧、西风带控制之下,中高层风以偏西风为主,在引导气流的作用下,能够影响到宁化县的对流云主要来自宁化县的西北、偏西、西南和偏南方向。统计 2011—

2021 年 3—4 月影响宁化县的强对流过程共 50 次,其中对流云由西向东移动的有 11 次,由西南向东北移动的有 29 次,由西北向东南移动的 7 次,西南偏南向东北偏北移动的 2 次,原地生成的 1 次,由于后两种路线出现的过程较少,本文不进行分析。

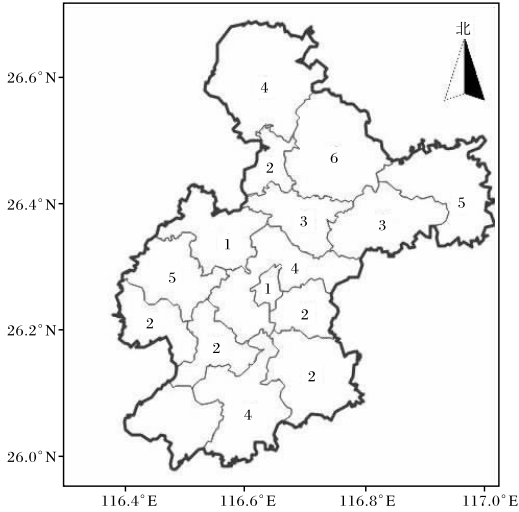


图2 2005—2021年宁化县各乡镇降雹频次分布 (审图号为GS(2019)3082号)

2.2.1 偏西路线 对对流云由西向东移动的路线(图3a)进行统计分析,6条路线出现的次数较为均匀。其中:路线1为安远,4次;路线2为河龙—中沙—水茜—湖村—泉上,4次;路线3为济村—中沙—湖村—泉上,4次;路线4为石壁—济村—城郊—翠江,3次;路线5为淮土—方田—城郊—翠江—城南,4次;路线6为治平—曹坊—安乐,4次。从路线图分布来看,路线2和路线3的移动前方在湖村和泉上汇合,两条路线合计为8次。

2.2.2 西南路线 对对流云由西南向东北移动的路线(图3b)进行统计分析,路线出现的次数存在明显差异,呈南北多于中部的特征,且路线多达12条,为了便于统计,将路线次数3次及以下的

剔除,最终留下出现次数较多的5条路线。其中:路线1为安远,13次;路线2为河龙—水茜,7次;路线3为石壁—济村—城郊—中沙—湖村—泉上,8次;路线4为淮土—石壁(方田)—城郊(翠江)—中沙—湖村—泉上,6次;路线5为治平—曹坊—安乐,10次。从路线图分布来看,路线3和路线4的移动前方同样在湖村和泉上汇合,两条路线合计为14次。

2.2.3 西北路线 对对流云由西北向东南移动的路线(图3c)出现总次数为三种路线中最少的一种,路线共7条。其中:路线1为安远,3次;路线2为安远—水茜,3次;路线3为河龙—水茜—湖村—泉上,5次;路线4为石壁(济村)—城郊—翠江,1次;路线5为石壁—城郊—翠江—城南,1次;路线6为淮土—方田—曹坊—安乐,3次;路线7为治平—曹坊,1次。从路线图分布来看,宁化县北部路线出现的次数多于中南部,出现次数最多的路线同样经过湖村和泉上。

通过以上三个方向的对流云移动路线分析可以看出:偏西路线和偏南路线中各路线出现的次数分布较为均匀,偏北路线中路线主要集中在北部;三个方向的对流云路线有一个共同的特征,经过湖村和泉上的路线出现的次数较多。50次对流天气过程中,对流云经过乡镇频次较多的8个乡镇(表1)与降雹频次较多的8个乡镇(图2)中有7个相对应,说明对流云经过乡镇的频次与降雹频次成正相关。

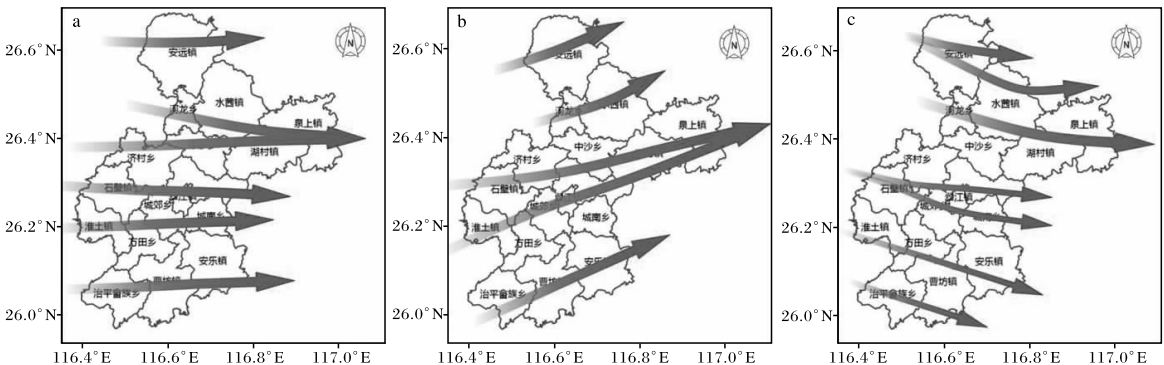


图3 基于2011—2021年3—4月S波段多普勒天气雷达产品(龙岩和三明)的宁化县对流云移动路线

(a 偏西路线, b 西南路线, c 西北路线;审图号为GS(2019)3082号)

表1 基于2011—2021年3—4月S波段多普勒天气雷达产品的宁化县各乡镇对流云经过频次

单位:次

乡镇名	城郊	泉上	湖村	安远	水茜	济村	中沙	石壁
频次	30	27	27	23	23	23	22	22
乡镇名	河龙	曹坊	安乐	翠江	治平	淮土	方田	城南
频次	20	18	17	15	15	13	13	5

3 地形影响

宁化县全境四周高中间低,自北而南为5个不同的地带性地貌。1区为北部安远河谷盆地;2区为西北褶皱山系,斜贯县境西北部,分布在济村、河龙两个乡全境及石壁、中沙、水茜三个乡镇的北部;3区为中部凹陷地带,含石壁、淮土、翠江、城郊、横锁、中沙、水茜、湖村、泉上等乡镇的全部或大部地区;4区为南部褶皱山系,形成以中山为主脊的治平、方田褶皱山地和城郊、湖村、泉上三个乡镇南部山地;5区为南部低山丘陵褶皱山地,在曹坊、安乐境内。

通过对比2005—2021年记录有降雹的乡镇(图2),可以发现出现冰雹较多的乡镇多位于地势较低的地区,如1区的安远,3区的石壁、城郊、中沙、水茜、湖村和泉上,5区的曹坊。1区的安远四周有高山环绕,从西北、偏西或西南方向来的对流云会受到地形抬升作用的影响,有利于对流云上升运动的加强。3区中的凹陷地带,成西南东北走向。从西北、偏西方向来的对流云,受到2区褶皱山系抬升作用的影响,有利于对流云上升运动的加强;从西南方向来的对流云,由于与2区和4区的山系走向一致,容易受到山系的影响沿着3区移动,这与图3b中统计的路线3和路线4一致。5区中的南部低山丘陵褶皱山地,从西北、偏西方向来的对流云,受到4区褶皱山系的抬升作用的影响,同样有利于对流云上升运动的加强,从西南方向来的对流云,由于与4区的山系走向一致,容易受到山系的影响沿着5区移动,这与图3b中统计的路线5一致。

4 防雹作业点布设

4.1 建立数据模型

在乡镇防雹作业点布置时需要考虑的要素较多,可分为对流云经过乡镇的频次、多年降雹频次

空间分布和烤烟种植面积分布(图4)。防雹是用播撒催化剂或爆炸等方法,抑制或削弱云中冰雹的生长,以减轻或消除冰雹的危害。人工防雹作业的目的是削弱云中冰雹的生长,通过向对流云中播撒人工雹胚,与自然胚胎争夺水分,使云中每一个胚胎都不能得到充分的水量而长成对农作物有损害的大冰雹,因此在发展阶段的对流云刚进入宁化县境内时开展防雹作业,对抑制对流云发展成冰雹云具有重要意义。在建立防雹作业区重要性模型时,应单独考虑对流云经过宁化县各乡镇(靠近江西省)的频次。定义防雹作业区重要性函数(y),表示为 $y = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + w_4 x_4$,式中 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 表示对流云经过各乡镇频次、对流云经过首个乡镇频次、各乡镇降雹频次、2021年各乡镇烤烟种植面积, w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 为以上各要素权重值。

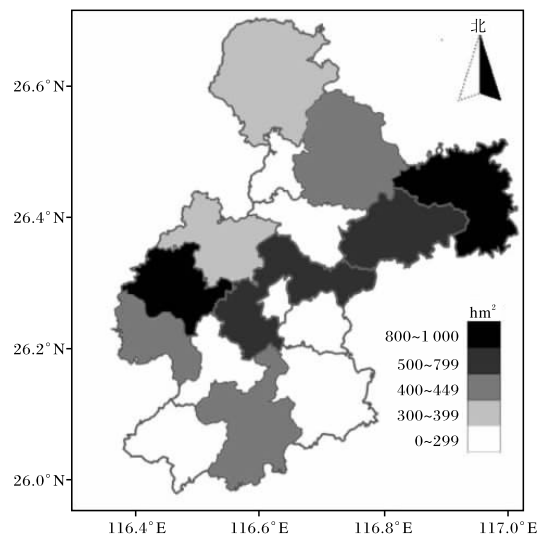


图4 2021年宁化县烤烟种植分布

(审图号为GS(2019)3082号)

4.2 权重和重要性指标

权重采用层次分析法确定。层次分析法

AHP 是美国运筹学家 Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的,将一个复杂的系统问题分为若干个有序并相互联系的层次,然后对每一个层次要素的相互重要性进行比较并定量化,再计算每一个要素的重要性指标并进行排序,对排序结果进行一致性检验,从而确保权重排序的可靠性,其中各指标相互重要性采用介于 1~9 的数字表达,1 表示两个指标同等重要,9 表示前者比后者极端重要,2~8 表示重要性介于相应的档次之间^[18-19]。通过问卷形式针对宁化人工防雷作业区重要性指标向三明市 12 个县(市、区)从事一线人工防雷指挥作业的专家进行咨询,提取问卷表中任意两个要素相互重要性出现次数最多的数值,作为任意两个要素相互重要性数字,通过计算依次对 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 赋予权重 0.390 8、0.390 8、0.067 5、0.150 9,要素层判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 4.043 4$,通过 λ_{\max} 计算获得一致性指标 $I_C = 0.014 4$,一致性指标 I_C 与相应矩阵阶数的随机一致性指标 I_R 的比值获得一致性比率 $C_R = 0.016 2$,判断矩阵通过一致性验证($C_R < 0.1$)。

为了消除各要素的量纲差异,分别对宁化县 16 个乡镇的 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 四个指标进行归一化处理,处理后的指标分别与对应权重相乘后相加,得到各乡镇的防雷作业区的重要性指标(图 5)。由于各乡镇的烤烟种植面积每年不同,可根据每年烤烟种植面积的配额,通过此方法重新计算结果。

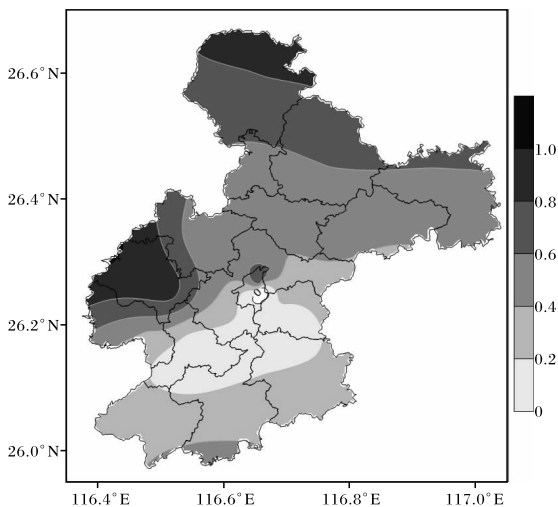


图 5 2021 年宁化防雷作业区重要性指标分布
(审图号为 GS(2019)3082 号)

4.3 防雷作业的优化技术

目前宁化县气象局能够组建 13 支人工防雷作业队伍,以机动的形式在三明市人影指挥中心的指挥下开展作业。由于宁化县地形呈成南北向狭长带状分布,又以丘陵为主,地势复杂多变,对流云常由西向东移动,且呈多发、散发的情况;因此宁化人工防雷作业战线较长,人工防雷作业点多位于山区,路况较差、路程长,加上作业队伍数量有限,三明市人工影响天气指挥中心需根据预报员个人经验和雷达外推预先布设作业队伍到各乡镇作业点上,常出现防雷队伍到达作业现场后无作业条件的现象。现根据宁化县防雷作业区重要性分布图,可以看出重要性较高的多位于宁化县与江西接壤的中部和北部乡镇,东部和南部乡镇的重要性次之,中部及中部偏南的乡镇重要性较低。三明市人工影响天气指挥中心可依据宁化防雷作业区重要性分布图,将部分防雷作业队伍预先布置在宁化县石壁镇、济村乡、淮土镇、安远镇、河龙乡、水茜镇、泉上镇等乡镇,其余队伍在县城待命,根据后续对流云的发展变化将预留防雷作业队伍分配到相应的乡镇开展作业,这样可提升三明市人工影响天气指挥的科学性,减少漏防率。

5 结论

(1)宁化县境内对流云多发生在下午时段,防雷频次占比的峰值出现在对流云初生频次占比峰值的 1~4 h 之后;防雷较多的乡镇主要分布在宁化县的中东部和北部,南部的曹坊镇防雷频次也较多。

(2)经过宁化县的对流云路线主要为偏西、西南和西北路线,出现次数最多的为西南路线,其次为偏西路线,第三是西北路线。偏西路线中各路线出现次数的分布较为平均,西南路线中各路线出现的次数呈南北多于中部的特征,西北路线中北部路线出现的次数多于中南部;三个方向的对流云路线中经过湖村和泉上的路线出现的次数较多。

(3)从偏北和偏西方向来的对流云,受褶皱山系抬升作用,有利于对流云上升运动的加强,从西南方向来的对流云,由于与山系走向一致,容易沿

着中部凹陷地带和南部低山丘陵褶皱山地移动。

(4)宁化县中北部乡镇(与江西省接壤)是防雹作业重要区域,宁化东部和南部的乡镇防雹作业区重要性次之。三明市人工影响天气指挥中心按照宁化防雹作业区重要性指标分布图安排作业队伍的防雹工作,可有效提升市人工影响天气指挥的科学性。

参考文献:

- [1] 仇莉,王凌军,郑小阳,等. 延安市冰雹时空分布及灾害特征[J]. 陕西气象, 2022(4): 37-41.
- [2] 王旭,张立清,李奎广,等. 黄河入海口地区冰雹分布特征及环境场特征[J]. 陕西气象, 2022(2): 33-38.
- [3] 许敏,刘璇,沈芳,等. 京津冀强对流天气的环境场条件及触发机制[J]. 陕西气象, 2022(4): 23-29.
- [4] 张云贵,刘青丽,王建伟,等. 基于气象因子的烤烟香型分区模型构建及应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(10): 19-25.
- [5] 孟丹,陈正洪,李建平,等. 气候变化背景下鄂西烟草种植气象风险评价与区划[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 50-55.
- [6] 郭东锋,邹鹏,边文杰,等. 典型香型烤烟大田期气象因子分析[J]. 烟草科技, 2014(9): 73-79.
- [7] 王震东,李义春,宝建民,等. 烟田防雹网防雹试验推广初报[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(1): 32-33.
- [8] 冯宏芳,李丹,廖燕珍,等. 基于3D GIS的福建省人工影响天气指挥系统设计及应用[J]. 干旱气象, 2019, 37(4): 683-691.
- [9] 鲍向东,丁建芳,杜春丽,等. 河南省人工防雹作业指挥系统研发及应用[J]. 气象与环境科学, 2019, 42(1): 127-134.
- [10] 毕力格,达布希拉图,苏立娟,等. 基于三维GIS的内蒙古人工影响天气电子沙盘系统设计与应用[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 207-213.
- [11] 高建秋,陈荣,肖伟生,等. 广东人影综合业务系统的设计与实现[J]. 广东气象, 2019, 41(5): 47-50.
- [12] 赵博,郑凯,钟晨,等. 物联网技术在广东人工影响天气安全管理中的应用[J]. 广东气象, 2018, 40(2): 48-50.
- [13] 赖巧珍,焦志敏,陈菲,等. 龙岩人工防雹作业效果分析[J]. 海峡科学, 2017(4): 44-49.
- [14] 刘昭武,田世芹,王凤娇,等. 一次冰雹过程的对流单体识别与防雹效果分析[J]. 气象与环境学报, 2021, 36(3): 10-16.
- [15] 陈羿辰,张龙斌,金永利,等. 利用双线偏振雷达分析人工防雹作业效果[J]. 气象科技, 2016, 44(34): 479-488.
- [16] 高国明,和文仙,杨春香. 用AutoCAD绘制人工影响天气作业点安全射界图的方法[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(6): 64-66.
- [17] 郝克俊,范思睿,林丹. 如何规范地面人工影响天气作业安全事故调查[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(4): 77-83.
- [18] 王春玲,郭文利,李迅,等. 京津冀地区高速公路冰冻灾害风险区划[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(1): 45-51.
- [19] 段丽瑶,熊明明,李大鸣,等. 基于AHP的天津泥石流灾害评估[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(6): 109-116.