

梁岱云,苏兆达,黄归兰. 广西大明山冰冻天气概念模型及其预报方法[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):13-18.

Liang Daiyun,Su Zhaoda,Huang Guilan. The frozen weather model and forecast method of Daming Mountain in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(2):13-18.

广西大明山冰冻天气概念模型及其预报方法

梁岱云, 苏兆达, 黄归兰

(南宁市气象局, 南宁 530028)

摘要: 利用广西大明山 2006—2020 年 3 个自动气象站的观测数据,对其冰冻天气特征、模型和预报方法进行分析。结果表明,大明山的冰冻天气主要出现在 12 月到次年 2 月,年均冰冻日有 20d,海拔越高,冰冻日数越多;大明山冰冻日数与南宁、上林日最低气温的相关性较好;大明山冰冻天气可分为强锋区型和强辐射降温型两类,前者可造成较严重的冰冻灾害,后者无明显的冰冻灾害;建立了大明山雨淞、雾淞、道路结冰等冰冻灾害的逐步回归预报方法,经检验大明山最低气温预报方程效果较好。

关键词: 广西大明山;冰冻灾害;天气学模型;逐步回归

中图分类号: P457

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.03

OSID:



引言

大明山地处广西首府南宁市的北部约 80km 处,北回归线横贯中心,最高峰海拔 1760m,是国家级自然保护区和 4A 级旅游景区。大明山冬天有华南少见的自然冰雪景观,由于海拔高度的差异,大明山的温度、雨雪相态等要素与周围的国家地面气象站差异很大。2008 年初南方罕见雨雪冰冻过程期间,大明山景区由于道路结冰,冰雪压断大量树木,威胁到游客安全,导致景区关闭。2016 年 1 月 24 日大明山出现罕见大雪,游客蜂拥而上,由于景区道路结冰等原因造成游客滞留、冻伤、食物短缺等困境。

2008 年以来,有很多针对南方雨雪冰冻的预报研究,孙建华等^[1-3]对 2008 年南方特大雨雪冰冻灾害的形成机理进行了研究和数值模拟,发现与中高纬阻塞形势、中纬干冷空气和低纬暖湿空气交绥、准静止锋和逆温层的长期维持有关。高安宁、陈茂钦、刘蕾、李向红等^[4-7]对广西 2016 年 1 月的降雪天气成因进行了分析,认为中低层较好的辐合抬升作用为雨雪提供了较好的动力条件。唐熠等^[8]将广西重

大雨雪冰冻天气模型分为三类:乌山阻塞型、两槽一脊型和多波动型。吴兑^[9]对 2008 年雨雪冰冻过程中冻雨、雨淞、雾淞等现象的成因进行了总结。廖玉芳^[10]对湖南雨淞的影响因子进行概率和统计分析,得出基于气象和地理因子的雨淞日数学模型。顾光芹^[11]对河北省雾淞和雨淞的气候特征及气象条件分析,认为逆温对雨淞、雾淞的形成关系密切。丁国香、吴有训等^[12-13]对黄山雾淞特征及气象条件分析,章开美^[14]对庐山的雨淞积冰日数气候变化特征及其与海温异常关系进行了统计,黄归兰等^[15]尝试用地面气温、风、湿度及 850hPa 的温度、湿度建立广西大明山雾淞的预报指数。

目前基于数值模式的温度预报,对范围小的孤立高山的气温预报能力相对较差,而旅游气象服务对冰、雪、雨淞、雾淞等天气现象的预报提出了更高的要求。如何利用现有的气象资料做好大明山风景区冰冻天气预报是广西旅游气象服务亟需解决的问题。2006 年,在大明山不同海拔高度安装了 3 个自动气象站,开始对其进行立体气象观测。因此,利用大明山 2006—2020 年自动站气象观测数据,对其冰

收稿日期: 2021-01-09

基金项目: 广西气象局科研项目“大明山雾淞雨淞预报技术研究”(桂气科 2020M12)

作者简介: 梁岱云(1972—),女,广西南宁人,高级工程师,主要从事灾害性天气预报及研究。E-mail:1037314711@qq.com

冻天气特征进行统计分析,并结合其天气模型,采用逐步回归方法,建立其预报方程,为开展更精细化的冰冻天气预报服务打下了基础。

1 资料来源与方法

资料来自于大明山 3 个气象自动观测站(灯笼花苑海拔 640m、天坪海拔 1237m、观日山庄海拔 1502m)2006—2020 年观测数据(由于供电、信号等原因缺 2013 年 12 月、2014 年 1 月、2017 年 2 月、12 月及 2018 年 1—2 月资料),以及南宁、上林、桂林站的常规地面、高空观测资料和数值预报产品资料。采用逐步回归方法,建立大明山最低气温预报方程。

当观测站日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时定义为该站的一个冰冻日,大明山 3 个观测站中有一站日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 即定义为大明山冰冻日。

2 结果与分析

2.1 大明山冰冻日数

2006 年至 2020 年,观日山庄站共出现冰冻日 247d,年平均 16.5d;天坪站 222d,年平均 14.8d;灯笼花苑站 22d,年平均 1.5d。冰冻日数与海拔高度成正比。

大明山冰冻日出现在 11 月到次年 3 月,其中主要集中在 12 月到次年 2 月,占全年冰冻日数 91%以上,1 月出现冰冻日最多。大明山极端最低气温出现在 2016 年 1 月 24 日,为观日山庄站 -8.9°C 。

冬季最早出现冰冻日为 11 月 16 日(2009 年),最晚出现为 3 月 27 日(2011 年)。

最长连续冰冻过程出现在 2008 年 1 月 29 日至 2 月 15 日,持续长达 18d;其次为 2013 年 12 月 16 日至 31 日,持续 16d。

表 1 2006—2020 年广西大明山年平均站冰冻日数月分布表

观测 站点	冰冻 总日数	年平均冰 冻日数(d)	极端最低 气温($^{\circ}\text{C}$)	1 月冰冻日数 /年均日数	2 月冰冻日数 /年均日数	3 月冰冻日数 /年均日数	11 月冰冻日数 /年均日数	12 月冰冻日数 /年均日数
观日山庄	247	16.5	-8.9	87/5.8	67/4.5	15/1	7/0.5	71/4.7
天坪	222	14.8	-6.8	99/6.6	54/3.6	7/0.5	7/0.5	55/3.7
灯笼花苑	22	1.5	-3.4	13/0.9	6/0.4	0/0	0/0	3/0.2

2.2 冰冻日与附近气象观测站气温的相关性

由于大明山的海拔高度及观日山庄自动站的海拔高度与 850hPa 大致对应,而灯笼花苑自动站海拔高度与 925hPa 大致对应,通过大明山南北两个探空站(南宁、桂林)08 时 850hPa、925hPa 温度及其附近两个地面站(上林、南宁)日最低气温统计分析其与大明山冰冻日的关系,结果如图 1。

从图 1 分析发现,南宁、上林的日最低气温箱体

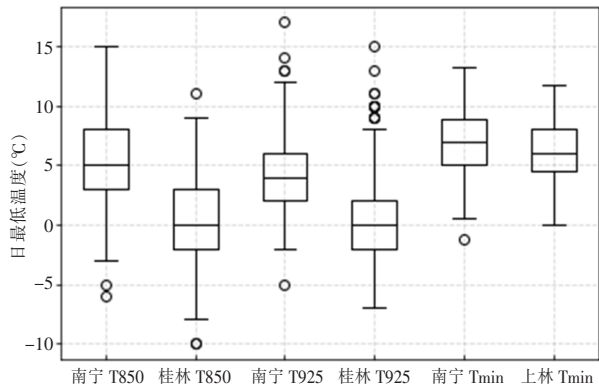


图 1 大明山冰冻日与附近气象站气温的关系箱线图

最短,数据最集中,预报参考性也更好,925hPa 南宁、桂林温度次之,850hPa 温度参考性略差。另外,除上林日最低气温外,其余各要素的箱线图都出现了异常值,特别是 925hPa 南宁和桂林气温箱体上方的异常值较多,作为预报指标时需谨慎分析。

3 大明山冰冻天气学概念模型

大明山地处华南,受较强冷空气影响引起的降温是产生冰冻天气的原因。由于海拔高度差,大明山在出现冰冻的时间上与地面冷空气到达的时间并不完全一致,强度也有所差别,与温度的垂直分布有关。因此考虑从造成冰冻的原因和直接影响系统的高度层次来进行天气分型。通过对 15 个大明山冰冻个例的大气环流类型进行总结归类,分两个类型。

3.1 强锋区型

冬季 500hPa 亚洲中高纬度为西高东低型,极涡偏在东北亚,乌拉尔山附近为高脊区,东亚大槽槽后的偏北气流引导切变线和地面冷锋南下影响广西,大明山气温降至 0°C 以下,出现冰冻天气。此类型占大明

山冰冻天气个例 85%。由于最强锋区的高度层次不同,大明山冰冻天气出现的高度也略有不同,因此又可分为两小类:850hPa 强锋区型和地面强锋区型,两者可以在同一个过程中先后出现,也可以单独出现。

3.1.1 850hPa 强锋区型

冬季高空槽引导切变线和地面强冷空气南下影响广西,850hPa 切变线和温度锋区南压过大明山,0℃线南压到桂北,则大明山可能出现冰冻天气。该类型约占大明山冰冻个例 50%。对该类个例的

500hPa 高度场、850hPa 温度场和地面海平面气压场进行平均,得出该类型的平均场(图 2)。从平均场可以看出:位于西伯利亚的地面冷高压中心达 1062.5hPa,南宁海平面气压达 1027.5hPa;850hPa 南宁为 4℃,桂林为-2℃;500hPa 亚洲中高纬为西高东低型,经向度大,南支为多波动偏西气流区。该类型的特点是 500hPa 北极极涡南落到东北亚,乌拉尔山有阻塞高压,有利于地面强冷空气的堆积和大举南下,850hPa 切变线南压过大明山。

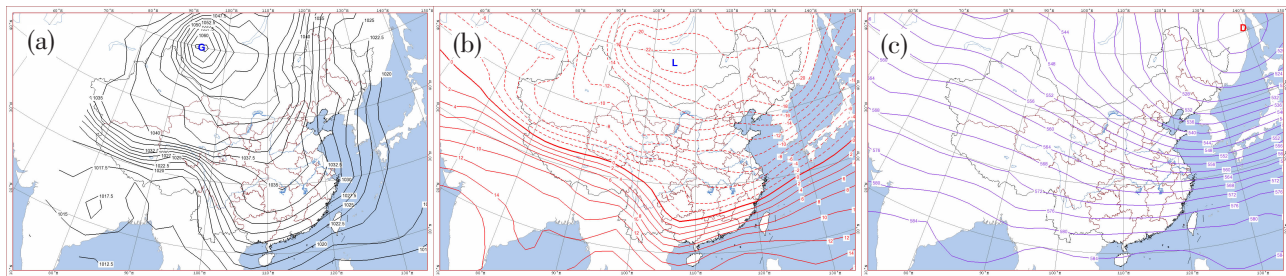


图 2 850hPa 强锋区型平均场

(a)地面海平面气压;(b)850hPa 温度;(c)500hPa 高度

分析此类型个例中附近气象站温度的箱线图(图略),取数据最集中的要素作为预报指标,75%概率为指标阈值,得出重点关注的指标和阈值为:南宁 08 时 925hPa 温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$,上林次日最低气温 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 。实际预报中,参考数值预报强冷空气到达的次日 08 时上林 2m 气温和南宁 925hPa 温度,达到指标则可报大明山出现冰冻天气。此类型由于冷空气较强,观日和天坪站一般都会出现冰冻,气温较低;灯笼花苑站在南宁 925hPa 温度 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 时可出现冰冻。

冰冻灾害判别:切变线过境影响时,有水汽辐合,容易产生降水,可出现雨淞、雪(冰粒)、道路结冰等现象,切变线南压过大明山后,山区转北风降水减弱,但只要 925~850hPa 层湿度接近饱和,就可能出现雾凇现象。

典型个例分析:2016 年 1 月 24—25 日广西出

现大范围降雪天气,雪线达到有历史记录的最南端,大明山出现罕见大雪天气。1 月 22—24 日,500hPa 中纬度东亚地区横槽转竖,引导 850hPa 切变线和地面强冷空气南下,切变线南压过南宁,南宁 850hPa 温度由 13°C 猛降至 -6°C ,但 700hPa 层为西南风,出现一个强的暖湿逆温层,配合 500hPa 南支槽前的正涡度为降水提供了水汽和热力、动力条件,雨滴下落经过 850~925hPa 负温层时,凝结成固态降水,大明山出现大雪。

3.1.2 地面强锋区型

地面有较强冷空气影响,但 850hPa 切变线未南压过大明山,或前期已受较强冷空气影响,地面继续有冷空气补充,但 850hPa 南风加大切变线北退到大明山以北,大明山的中低层可出现冰冻天气。此型约占 35%。该类型的平均场(图 3)显示:地面冷高压中

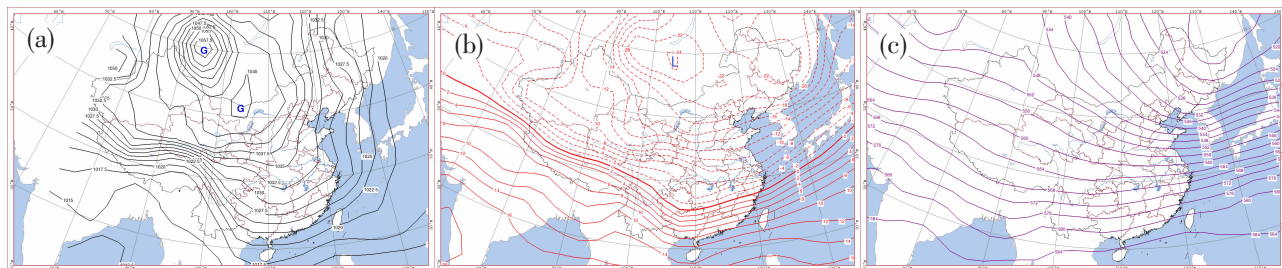


图 3 地面强锋区型平均场

(a)地面海平面气压;(b)850hPa 温度;(c)500hPa 高度

心达 1057.5hPa, 南宁海平面气压达 1023hPa; 850hPa 南宁温度为 8℃, 上林温度为 0℃; 500hPa 亚洲中高纬也为西高东低型, 孟加拉湾附近有较深的南支槽。与 850hPa 强锋区型对比, 此型冷空气势力略弱, 但不断扩散南下, 南支槽前的西南气流强盛使 850hPa 切变线和锋区位置偏北, 大明山出现下冷上暖的逆温现象。

分析此类型个例中附近气象站温度的箱线图(图略), 得出重点关注的指标和阈值为: 南宁日最低气温 $\leq 8^\circ\text{C}$ 和上林的日最低气温 $\leq 7^\circ\text{C}$ 。当数值预报出强冷空气到达次日南宁、上林的最低温度达到指标, 则大明山可出现冰冻, 主要集中在天坪站附近, 观日山庄站位于暖湿层不会出现冰冻。

冰冻灾害判别: 此类型由于冷暖气层的交汇, 容易出现雨、雾天气, 形成雨淞、雾淞、道路结冰等现象。此类型由于 850hPa 一般为 8℃ 以上的暖湿层, 负温层较薄, 因此一般不会出现降雪, 由于过冷水丰富, 容易出现冻雨和电线积冰。

典型个例分析: 2008 年 1 月 14 日至 2 月 19 日, 受强冷空气和暖湿气流交汇影响, 华南出现罕见

雨雪冰冻灾害, 大明山出现了持续时间最长的冰冻天气, 过程中共有冰冻日 28d。此次冰冻天气过程, 中高纬度的大气环流呈现西高东低型, 而低纬度为反位相, 组合成异常稳定的环流配置, 冷空气连续不断南下, 与南支槽前暖湿气流交汇形成长低温阴雨过程。其中 1 月 21—23 日, 由于暖湿气流加强, 切变线北退到大明山以北, 南宁站 850hPa 的温度高达 10℃, 而地面气温只有 4~6℃, 出现较强的逆温层结, 大明山天坪站出现冰冻, 气温为 -2℃, 而观日山庄站为 6℃。

3.2 强辐射降温型

广西地面为冷高压控制, 湿度下降, 天气转晴, 产生强辐射降温, 大明山清晨中低海拔山区可出现冰冻。此类型约占冰冻天气个例 15%。该类型的平均场(图 4)显示: 地面冷高压中心达 1055hPa, 地面锋面已南压到海面, 南宁海平面气压达 1029hPa; 850hPa 南宁温度为 5℃, 桂林为 3℃; 500hPa 中高纬和低纬均为较平直西风气流。此类型的特点是南宁为冷高压控制, 气压较高, 南支无明显槽脊, 地面到 500hPa 湿度均较小。

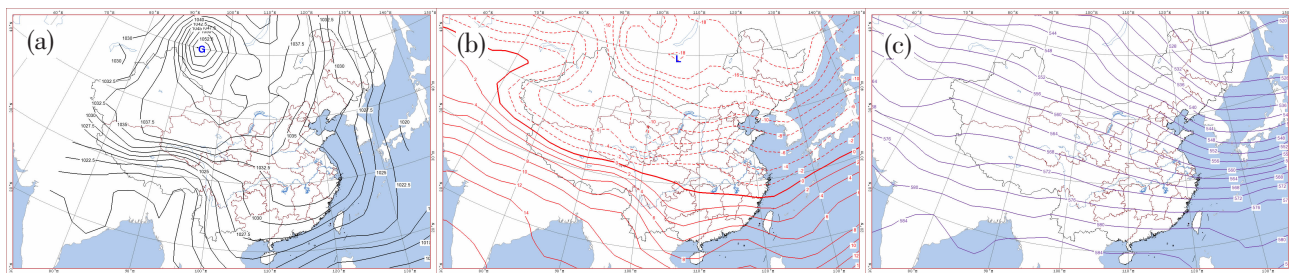


图 4 强辐射降温型平均场

(a) 地面海平面气压; (b) 850hPa 温度; (c) 500hPa 高度

分析此类型个例中附近气象站温度的箱线图(图略), 得出重点关注的指标和阈值为: 上林日最低气温 $\leq 5^\circ\text{C}$ 和南宁的日最低气温 $\leq 6^\circ\text{C}$ 。当数值预报次日天空云量预报降到 2 成以下, 且上林、南宁日最低气温预报达到指标, 则大明山可出现冰冻。冰冻一般出现在天坪和灯笼花苑站, 持续时间较短, 一般出现在 09 时前 3~5h 内。

冰冻灾害判别: 此类型大明山湿度小, 没有雨雾天气, 因此不会出现明显的冰雪现象, 大明山中低海拔区域清晨可出现霜冻或轻度的冰冻天气, 持续日数 1~3d, 冻害较轻。

典型个例分析: 2008 年 11 月 29 日, 广西地面为冷高压控制, 天气晴朗, 清晨出现较强辐射降温,

南宁最低气温降至 3.5℃, 03—05 时天坪站出现短暂冰冻天气, 最低气温 -0.2℃, 而观日山庄和灯笼花苑站均高于 0℃, 无雨、雾淞现象。

4 大明山最低气温预报方程

4.1 逐步回归方程的建立

由于大明山观日山庄站的冰冻天气日数最多, 强度最强, 因此以观日山庄站的日最低气温为因变量, 引入与其相关性较好的因子为自变量, 采用逐步回归方法建立预报方程:

$$X = -4.484 - 0.032A + 0.098B + 0.161C + 0.220D + 0.078E + 0.031F + 0.110G + 0.058H - 0.045I - 0.004J \quad (1)$$

式中, X 为观日山庄日最低气温, A 为观日山庄

日降水量、B 为南宁 850hPa 温度、C 为桂林 850hPa 温度、D 为南宁 925hPa 温度、E 为桂林 925hPa 温度、F 为南宁日最低气温、G 为上林日最低气温、H 为南宁 850hPa 风速、I 为南宁 850hPa 温度露点差、J 为南宁 850hPa 相对湿度。标准估计误差为 1.115°C ($\leq 2^{\circ}\text{C}$)。

对于部分只有天坪站出现冰冻,而观日山庄站没有出现的个例,用天坪站日最低气温为因变量,再次进行逐步回归分析。建立的预报方程如下:

$$X = -2.087 - 0.113A - 0.007B - 0.012C + 0.104D + 0.034E + 0.104F + 0.170G + 0.095H - 0.037I - 0.016J \quad (2)$$

式中, X 为天坪日最低气温,其余因子同公式(1),标准估计误差为 0.5553°C ($\leq 2^{\circ}\text{C}$)。

4.2 预报效果检验

选取 2021 年 1 月 15 个冰冻日个例,按天气学模型分类,分别运用方程(1)、(2)对大明山冰冻日中观日和天坪站的日最低气温进行客观预报,第一类 8 个个例中,观日山庄站预报绝对误差均 $\leq 2^{\circ}\text{C}$,平均绝对误差为 1.1726°C ,第二类 7 个个例中,天坪站预报绝对误差有 $2\text{d} \geq 2^{\circ}\text{C}$,其余 $5\text{d} \leq 2^{\circ}\text{C}$,平均绝对误差为 1.5012°C 。由检验结果来看,预报平均绝对误差均 $\leq 2^{\circ}\text{C}$,预报效果较好。

5 结论与讨论

(1)通过对 2006—2020 年广西大明山 3 个自动站冰冻日的统计发现,冰冻日数随海拔高度升高而增加,年平均日数最多为观日山庄站 16.5d。

(2)对大明山冰冻日中,桂林和南宁 850hPa、925hPa 的温度与上林、南宁日最低气温统计的箱线图发现,南宁和上林的日最低气温对大明山的冰冻预报参考性相对较好。

(3)大明山出现冰冻天气概念模型可分为强锋区型和强辐射降温型两类。以前者出现的类型为主。强锋区型可对大明山造成较严重冰冻灾害,过程持续时间也最长。其中,850hPa 强锋区型,预报主要关注指标:925hPa 南宁温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$,上林日最低气温 $\leq 8^{\circ}\text{C}$,冰冻主要出现在观日、天坪站;地面强锋区型,预报主要关注指标:南宁、上林日最低气温分别 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 7^{\circ}\text{C}$,冰冻主要出现在天坪附近。

强辐射降温型强度弱、时间短,无明显冰雪现象,灾害较轻。预报指标主要关注晴朗天气时上林和

南宁的日最低气温分别 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 6^{\circ}\text{C}$,冰冻主要出现在天坪和灯笼花苑站。

采用逐步回归的方法,以大明山观日山庄站(天坪)最低气温为因变量,引入与其相关性较好的因子为自变量,建立客观预报方程,结合大明山冰冻概念模型分类使用效果更好。

参考文献:

- [1] 赵思雄,孙建华.2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征[J].气候与环境研究,2008,13(4):351-367.
- [2] 孙建华,赵思雄.2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气的大气层结和地面特征的数值模拟[J].气候与环境研究,2008,13(4):510-519.
- [3] 孙建华,赵思雄.2008 年初南方雨雪冰冻灾害天气静止锋与层结结构分析[J].气候与环境研究,2008,13(4):368-384.
- [4] 高安宁,陈见,李艳兰,等.2008 年广西罕见凝冻灾害评估及思考[J].灾害学,2008,23(2):83-86.
- [5] 陈茂钦,刘蕾,张凌云,等.2016 年 1 月柳州低温雨雪天气特点及成因分析[J].气象研究与应用,2016,37(3):65-68,136.
- [6] 刘蕾,张凌云,李宜爽,等.广西两次典型低温雨雪天气过程的成因对比分析[J].气象科技,2020,48(1):107-114.
- [7] 李向红,陆虹,伍静,等.影响广西两次低温灾害及物理机制对比分析[J].灾害学,2018,33(4):60-64,77.
- [8] 唐熠,韦健,周文志,等.广西重大低温雨雪冰冻天气过程概念模型分析[J].灾害学,2013,28(2):25-30.
- [9] 吴兑.关于冻雨和雨淞、雾淞之我见[J].广东气象,2008,30(1):12-13,23.
- [10] 廖玉芳,李英,陈湘雅,等.雨淞环境影响因子研究与应用——以湖南省为例[J].灾害学,2011,26(4):76-81.
- [11] 顾光芹,田国强,梁秀慧,等.河北省雾淞和雨淞气候特征及气象条件分析[J].气象,2012,38(5):561-568.
- [12] 丁国香,刘安平,杨彬,等.基于逐时资料的黄山雾淞特征及气象条件分析[J].气象科技,2018,46(6):1287-1296,1296.
- [13] 吴有训,王进宝,王克勤,等.黄山光明顶雪、雨淞和雾淞的气候特征研究[J].气象科学,1999,19(3):309-315.
- [14] 章开美,龙余良,周雨,等.庐山雨淞积冰日数变化特征及其与海气关系[J].气象与环境科学,2020,43(1):75-80.
- [15] 黄归兰,黄增俊,黄磊,等.广西大明山景区气候特点及气象指数研究[J].气象研究与应用,2015,36(1):76-79.

The frozen weather model and forecast method of Daming Mountain in Guangxi

Liang Daiyun, Su Zhaoda, Huang Guilan
(Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530028)

Abstract: Using the observation data of three automatic weather stations in Daming Mountain, Guangxi from 2006 to 2020, this paper analyzed its freezing weather characteristics, models and forecasting methods. The results show that the freezing weather in Daming Mountain mainly occurs from December to February of the following year, with an average annual freezing day of 20 days. The higher the altitude is, the more the freezing days are. There is a good correlation between the freezing days in Daming Mountain and the daily minimum temperature in Nanning and Shanglin. There are two types of freezing weather in Daming Mountain: strong front area type and strong radiation cooling type. The former can cause serious freezing disaster, while the latter has no obvious freezing disaster. A stepwise regression method was established to predict the freezing disasters such as glaze, rime and road icing in Daming Mountain. The minimum temperature forecast equation of Daming Mountain had been verified to be effective.

Key words: Daming Mountain in Guangxi; freezing disaster; synoptic model; stepwise regression