

肖昀,张昆,曾志明,等. 怀化冻雨时空分布及其温湿垂直结构特征[J]. 陕西气象,2024(1):10-14.

文章编号:1006-4354(2024)01-0010-05

怀化冻雨时空分布及其温湿垂直结构特征

肖 昀,张 昆,曾志明,刘恩弘,王 强

(怀化市气象局,湖南怀化 418000)

摘 要:利用 1996—2020 年怀化常规地面观测资料和探空资料,根据地面冻雨观测记录,统计并总结了怀化冻雨时空分布特征,并利用探空资料分析了怀化冻雨形成机制及温湿垂直结构特征。结果表明:(1)怀化冻雨总体上呈南多北少的空间分布特点,其中北部沅陵冻雨日数最少(20 d),南部靖州最多(75 d)。从时间分布来看,最早从 12 月上旬开始,最迟于 3 月上旬结束,主要集中在 12 月下旬至 2 月中旬,1 月下旬出现最多。(2)怀化冻雨的形成可分为冰相机制和暖雨机制,温湿结构可分为六类。其中暖雨机制冻雨占总数的 47.3%,冰相机制冻雨占 52.7%;平均云顶高度,暖雨机制均在 3.6 km 以下,冰相机制高于 3.6 km;平均云顶温度,暖雨机制 -6.6°C 以上,最高 1.7°C ,冰相机制 -3.0°C 以下;平均地面温度,暖雨机制和冰相机制均 $\leq 0^{\circ}\text{C}$,暖雨机制 $\leq -0.9^{\circ}\text{C}$,冰相机制 $\geq -1.0^{\circ}\text{C}$;暖层顶高和底高,暖雨机制较冰相机制更高,冰相机制相差不大;暖层厚度,冰相机制基本在 0.84 km 以上,云顶温度越低,暖层厚度越厚。

关键词:怀化;冻雨;时空分布;温湿结构

中图分类号:P426.63

文献标识码:A

冻雨是大气中过冷雨滴下降到近地面 0°C 以下的物体表面冻结而成的天气现象。严重的冻雨会压断树木、电线杆,妨碍交通,使通信、供电中止等,对工农业生产、交通运输、人民生命财产和生活危害很大。2008 年 1 月中旬至 2 月上旬中国南方发生的持续冻雨天气,范围之广、强度之大、持续时间之长为历史所罕见,给怀化也造成了严重的经济损失。中国出现冻雨较多的地区是贵州省,其次是湖南、江西、湖北等地,其中山区比平原多,高山最多^[1]。怀化地处湖南西部,境内以山地地形为主,冻雨相对较多,是怀化冬季灾害性天气预报的重点。

对于冻雨,国外从形成的物理机制出发进行了研究,取得了一些成果。Huffman 和 Norman^[2]发现冻雨发生机制有两种,一种是冰相机制,另一种为暖雨机制。Rauber 等^[3]根据有无暖

层(温度 $> 0^{\circ}\text{C}$)、云顶与暖层相对位置关系、云顶温度对冻雨机制影响很大的 3 个条件将冻雨结构分为 6 类。2008 年中国南方大范围持续低温雨雪冰冻天气发生后,国内针对冻雨进行了大量研究,研究结果也在业务中广泛应用。马晓刚等^[4]通过对大气逆温水平分布与冻雨落区关系的研究,提出了由大气逆温水平分布区、高空湿区、地面气温 0°C 线、逆温层极值点 0°C 线构成的冻雨落区的基本概念模型。徐辉等^[5]对 2008 年初湖南雨雪冰冻天气进行了分析,结果表明冰晶层、融化层、冷层这种两头冷中间暖的温度垂直分布结构以及地面微风、低温、潮湿的气象要素条件共同导致了湖南这次严重的冰冻灾害。姚容等^[6]对“14·02”湖南三次雨雪过程对比分析得出,湘南出现冻雨温度层结表现为 850~700 hPa 有明显逆温层,700 hPa 温度高于 0°C ,850 hPa 和 925 hPa

收稿日期:2022-09-19

作者简介:肖昀(1990—),女,湖南怀化人,学士,工程师,主要从事天气预报业务管理和预报预测研究。

通信作者:张昆(1988—),男,湖南怀化人,学士,高工,主要从事天气预报技术方法研究。

基金项目:湖南省气象局短平快课题(XQKJ22B042)

温度低于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$,地面温度低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从主要影响系统配置来看,700 hPa 强盛的西南急流为水汽的输送和湘南融化层的形成和维持起到了重要作用。在日常业务预报中,中央气象台常利用700 hPa 和 850 hPa 层的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等值线位置来判断逆温层是否存在,然后在此基础上结合降水天气形势来预报冻雨的发生^[7]。欧建军等^[8]和尤凤春等^[9]分别对我国以及北京冻雨探空温湿特征和物理机制进行了分析研究。

以往这些研究多强调逆温层中暖层的融化作用。怀化预报员在预报冻雨天气时,也大多从天气形势出发分析降雨条件,再在此基础上着重分析逆温层暖层的融化作用,主要关注冰相机制的冻雨,对暖雨机制认识不足,因此有必要对本地冻雨天气进行分析研究。本文利用 1996—2020 年怀化常规地面观测资料和探空资料,根据地面冻雨观测记录,分析怀化冻雨的时空分布规律,并依据冻雨发生时探空分析的云顶与暖层相对位置等结构配置,研究冻雨形成机制及温湿结构特征,以期提升预报员对本地冻雨天气的认识以及预报能力。

1 资料与方法

1.1 资料说明

利用怀化 11 市(县)区气象台站 1996—2020 年 25 a 的地面观测月报表数据(该资料经过严格的质量控制,具有很好的准确性和代表性)作为统计资料,对冻雨时空分布特征进行统计分析。规定某日(20—20 时,北京时)某个测站出现一次雨淞天气,记为一个冻雨日(d)。利用探空资料分析

冻雨形成机制及温湿垂直结构特征。由于常规探空仅在 08 时和 20 时两个时次进行观测,考虑到探空和地面资料的时空匹配,只选取地面观测 08 时或 20 时出现冻雨天气时的高空资料。

1.2 冻雨形成机制的划分

按照 Huffman 和 Norman^[2]对冻雨发生机制的划分,冰相机制是指大气温度垂直结构呈上下冷、中间暖的状态,自上而下分别为冰晶层、暖层和冷层。固态冰晶或雪花降落过程中在暖层内融化为液态,当液滴到达冷层时冷却到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,保持为过冷却状态,碰到地物或地面即发生冻结,如图 1a 所示。暖雨机制是指大气垂直结构未出现 $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的暖层,整层 $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$,雨滴以过冷却水形式降落到地面冻结,如图 1b 所示。

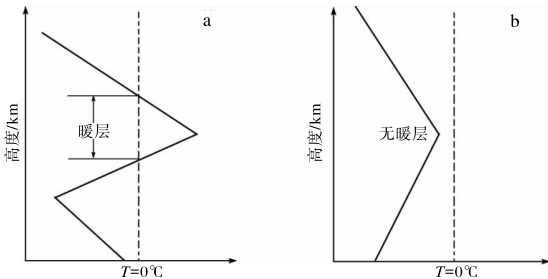


图1 冰相机制(a)和暖雨机制(b)原理示意图

1.3 冻雨温湿垂直结构分类

采用相对湿度 84% 作为云顶判据^[10],利用 Rauber^[3]提出的有无暖层(温度 $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$)、云顶(相对湿度 $\geq 84\%$)与暖层相对位置、云顶温度这 3 个条件将冻雨结构分为 6 类(表 1),对怀化冻雨形成机制及温湿垂直结构特征进行分析。

表 1 六类冻雨结构分类标准

分类条件	第一类	第二类	第三类	第四类	第五类	第六类
有、无暖层	无	有	有	有	有	有
云顶与暖层位置	—	云顶位于暖层下	云顶位于暖层中	云顶位于暖层上	云顶位于暖层上	云顶位于暖层上
云顶温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	—	—	$[-5,0)$	$[-10,-5)$	<-10

注:“—”表示无此项。

2 冻雨发生的时空分布特征

2.1 空间分布

分析怀化地区 11 市(县)区气象台站 1996—

2020 年地面观测数据,对冻雨日数进行统计,怀化市共出现冻雨日 455 d,具体分布见图 2。可以看出怀化冻雨总体呈南多北少的空间分布特点,

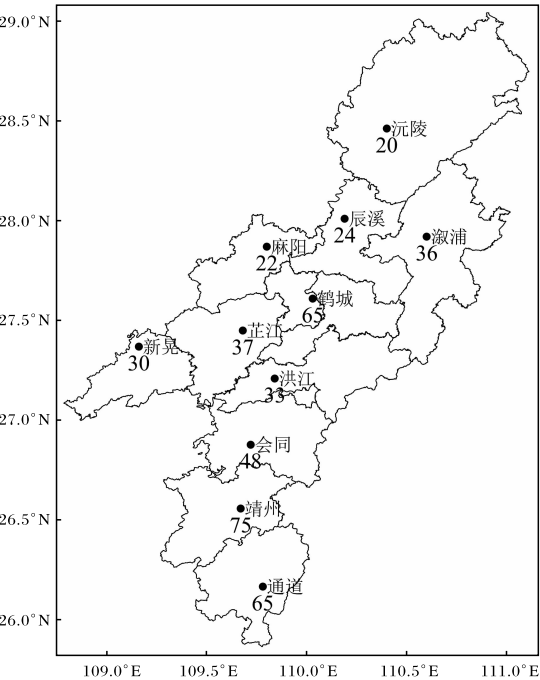


图2 1996—2020年怀化地区冻雨日数分布
(单位为d;审图号为湘S(2020)025号)

其中北部沅陵冻雨日数最少,为20 d,南部靖州最多,达75 d。

2.2 时间变化

怀化地区冻雨基本出现在12月至次年的3月(见图3),最早从12月上旬开始,最迟3月上旬结束。其中1月出现冻雨日数最多,占总数的69.7%,又以1月下旬出现冻雨日数最多,达165 d;其次是2月,占总数的17.8%;3月冻雨出

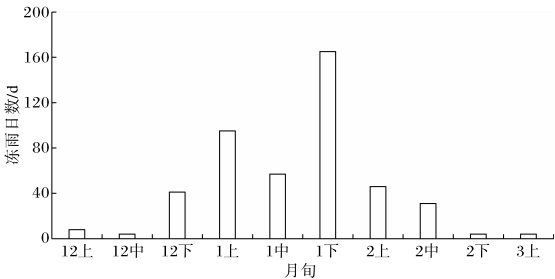


图3 1996—2020年怀化地区冻雨月变化

现较少,为4 d。

3 怀化冻雨温、湿垂直结构分类特征及形成机制

根据 Rauber^[3]对冻雨的六类分类法,利用怀化探空资料分析发现,怀化冻雨温湿结构特征也对这六类结构适用,表2给出了六类冻雨出现的频次和温湿度、云结构特征的平均情况,图4给出了六类冻雨代表性的温湿廓线。从表2可以看出,怀化地区有暖层出现的冻雨占总冻雨日数的72.6%,而无暖层出现的占27.4%,表明怀化地区冻雨过程出现暖层的概率很大。

按照冰相机制和暖雨机制划分冻雨^[2],第一类(图4a)冻雨天气(即无暖层)平均云顶高度为3.58 km,平均云顶温度为-6.6℃,表明在冻雨形成过程中没有发生相态转变,冻雨的发生机制为暖雨机制。第二类(图4b)和第三类(图4c)由于云顶位于暖层以下或云顶位于暖层中,导致云顶的平均高度较低,云顶平均温度较高,云中产生冰晶的可能性较小,冻雨的形成过程与第一类相

表2 1996—2020年怀化六类冻雨垂直结构特征

表征要素	第一类	第二类	第三类	第四类	第五类	第六类
云顶平均高度/km	3.58	2.25	2.90	3.60	4.49	5.28
云顶平均温度/℃	-6.6	-5.4	1.7	-3.0	-7.4	-13.6
地面平均温度/℃	-1.1	-1.8	-0.9	-1.0	-0.6	-1.0
暖层平均顶高/km	—	3.55	3.31	3.13	3.17	3.13
暖层平均底高/km	—	2.95	2.14	2.29	2.29	2.22
暖层平均厚度/km	—	0.60	1.16	0.84	0.88	0.92
暖层平均最高温度/℃	—	2.1	4.1	3.2	3.3	2.7
出现频次/次	26	8	16	29	10	6
出现比例/%	27.4	8.4	16.8	30.5	10.5	6.3

注:“—”表示无此项。

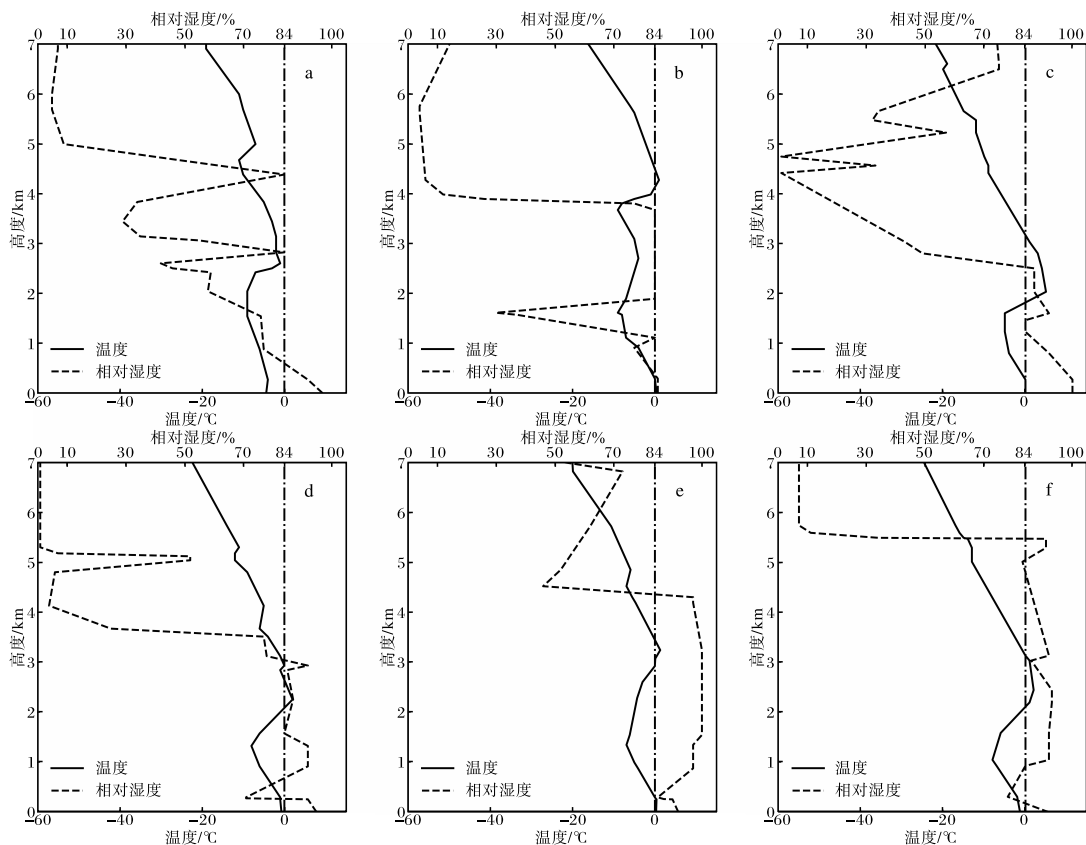


图4 1996—2020年怀化六类冻雨典型个例垂直温湿结构(a 第一类(2018-01-29T08);b 第二类(2011-01-06T08);c 第三类(2019-02-18T08);d 第四类(2019-01-01T20);e 第五类(2020-12-14T08);f 第六类(2019-01-01T08))

似,即暖雨机制。第四、五、六类存在暖层且温度垂直结构为冷-暖-冷,冻雨在形成过程中可能会发生相态转变,即冰相粒子在下落过程中由于暖层的加热而融化为液相,在近地面冷层中又转为过冷水,即冰相机制,其中第四、五类由于云顶平均温度 $>-10^{\circ}\text{C}$,云中存在冰晶的可能性较小,其冻雨过程既有可能存在冰相机制也有可能存在暖雨机制。怀化冰相机制有45次,占总数的47.3%,暖雨机制有50次,占总数的52.7%,预报员熟悉的由冰相机制产生的冻雨不到总冻雨的一半。

结合表2和图4对怀化冻雨两种形成机制进行对比分析,发现暖雨机制云顶高度较低,平均云顶高度均在3.6 km以下,而冰相机制平均云顶高度高于3.6 km,且从第四类到第六类,云顶高度逐渐增高,最高可达5.0 km以上。从云顶温度来看,暖雨机制平均云顶温度在 -6.6°C 以上,

最高 1.7°C ,冰相机制平均云顶温度在 -3.0°C 以下。此外,两种形成机制的平均地面温度均在 0°C 以下,暖雨机制平均 -0.9°C 以下,而冰相机制平均 -1.0°C 以上,暖雨机制较冰相机制地面温度更低。暖层顶高和暖层底高,暖雨机制较冰相机制更高,冰相机制相差不大。暖层厚度,冰相机制基本在0.84 km以上,随着云顶温度越低,暖层厚度越厚。暖层平均最高温度,暖雨机制在 $2.1\sim 4.1^{\circ}\text{C}$ 之间,而冰相机制主要在 $2.7\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 之间。

4 结论

(1)怀化冻雨总体呈南多北少的空间分布特点。其中北部沅陵冻雨日数最少,为20 d,南部靖州最多,达75 d。从时间分布来看,怀化冻雨从12月开始,一直持续到次年3月,其中1月出现冻雨日数最多。从逐旬冻雨日数来看,怀化冻雨最早从12月上旬开始,最迟3月上旬结束,主要

集中在 12 月下旬至 2 月中旬,其中 1 月下旬最多。

(2)怀化冻雨的形成可分为冰相机制和暖雨机制,温湿结构特征可分为六类。云顶高度方面,怀化暖雨机制的冻雨平均高度均在 3.6 km 以下,而冰相机制高于 3.6 km,且从第四类到第六类,云顶高度逐渐增高,最高可达 5.0 km 以上。平均云顶温度,暖雨机制 $-6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,最高 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,冰相机制在 $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。地面温度,暖雨机制和冰相机制均在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,暖雨机制平均在 $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,而冰相机制在 $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,暖雨机制较于冰相机制地面温度更低。暖层顶高和暖层底高,暖雨机制较冰相机制更高,冰相机制相差不大。冰相机制的暖层厚度基本在 0.84 km 以上,随着云顶温度越低,暖层厚度越厚。

参考文献:

- [1] 陈章法,欧小锋,王强,等. 湖南省怀化市天气预报手册[M]. 北京:气象出版社, 2016:45-52.
- [2] HUFFMAN G J, NORMAN G A. The super cooled warm rain process and the specification of freezing precipitation[J]. Mon Wea Rev, 1988, 116(11): 2172-2182.
- [3] RAUBER R M, OLTHOFF L, RAMAMURTHY M, et al. The relative importance of warm rain and melting processes in freezing pre-cipitation events [J]. J Appl Meteor, 2000, 39(7): 1185-1195.
- [4] 马晓刚,曲晓波,李月安,等. 冻雨落区基本概念模型的研究与建立[J]. 气象, 2010, 36(9): 68-73.
- [5] 徐辉,金荣花. 地形对 2008 年初湖南雨雪冰冻天气的影响分析[J]. 高原气象, 2010, 29(4): 957-967.
- [6] 姚容,唐佳,唐明晖,等. “14·02”湖南三次雨雪过程对比分析[J]. 气象, 2014, 40(12): 1500-1506.
- [7] 京志平,马杰. 2008 年初冻雨强度变化以及与逆温层特征之间的关系[J]. 气象, 2011, 37(2): 156-160.
- [8] 欧建军,周毓荃,杨棋,等. 我国冻雨时空分布及温湿结构特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 692-699.
- [9] 尤凤春,付桂琴,刘卓,等. 北京地区冻雨时空分布及探空温湿特征分析[J]. 气象, 2015, 41(12): 1488-1493.
- [10] 周毓荃,欧建军. 利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究[J]. 气象, 2010, 36(11): 50-58.