

2008年2月初金华市罕见冻雨灾害成因分析

骆欧阳¹, 项素清²

(1.浙江省浦江县气象局, 浙江 浦江 322200; 2.浙江省金华市气象局, 浙江 金华 321000)

摘要:2008年1月中旬到2月初我国南方一些省份遭遇了50年未遇的持续低温、雨雪和冰冻天气, 其中2月1~2日浙江省遭遇最严重的一次冻雨和暴雪天气。通过对2月1日金华市冻雨天气的诊断分析发现:前期北方冷空气不断扩散南下,各层温度都很低。2月1日700 hPa孟加拉湾槽东移,槽前西南急流给我区带来充沛的水汽,强盛的暖平流使中间层出现明显回暖形成融化层。而底层处在冷高压底部东到东北风里,受冷空气回流影响,温度仍很低是个冷层。随着850 hPa切变线北抬,中低层切变辐合加强,水汽升到高空变成冰晶、雪花。高空落下的冰晶、雪花在融化层里融化,再经过底层的冷却层变成过冷水滴,遇到地表物体冻结成冰-冻雨。2月2日河套一带的北支槽东移,槽后西北气流引导新的冷空气南下,中低层出现明显降温使融化层消失,冻雨天气转为降雪天气。

关键词:冻雨;西南急流;逆温层;南支锋区

中图分类号:P458 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2010)03-0053-06

1 引言

冻雨也叫雨淞,是指环境温度接近冰点(0℃左右或以下),在地表裸露物体表面覆冰的现象^[1]。由于雨淞边降边冻,能立即粘附在裸露物的外表面,形成越来越厚的、浓密而坚实的冰层,从而使物体负重加大,造成树木折枝、电线崩断、杆塔塌毁和路面打滑等危害。冻雨天气常出现于我国贵州、湖南、河南等地。近年来,气象工作者对冻雨开展了一些研究,如赵彩^[2]使用贵阳探空和高空风资料,分析了贵州中部严重积冰过程的云内宏观热力、动力特征,发现云层厚度、云上部0℃以上暖层的存在以及云层中上部湍流强度等因子对过冷雨滴降水量有重大影响,还分析了形成这种云层宏观特征的天气系统及大尺度环流背景。吕胜辉^[3]等对天津民航机场的几次冻雨产生的灾害性气进行了对比分析,并选取典型个例应用客观分析产品进行诊断分析,总结了冻雨的天气

形势特点和大气垂直结构特征。陈天锡^[4]等通过对1991年3月7~8日发生在驻马店地区冻雨过程的分析,得出了该地区冻雨形成的天气条件及分布规律,并建立有关冻雨的专业气象预报方法。

2008年1月中旬到2月初我国南方各省遭遇了50年未遇的持续低温、雨雪和冰冻天气。2月1~2日浙江省出现了大范围的暴雪和冻雨天气,浙北地区积雪深度普遍超过20 cm,其中浙西北部分山区超过60 cm。地处浙江中部的金华市也出现了全区性的暴雪天气,并伴有严重的冻雨现象。最大积雪深浦江站14 cm,山区积雪深达20cm、30 cm,观测到的雨淞最大直径为义乌站的20 mm。这次暴雪冻雨给我市的交通、电力、农林业带来巨大损失,全市经济损失达45亿元。暴雪天气在我市并不少见,这次降雪量也不算大,但造成的损失却非常惨重,主要是由于出现了罕见的冻雨现象。由于冻雨现象在浙江并不多见,金华市在20世纪70、80年代有7年观测到冻雨,20世纪90年

收稿日期:2009-03-18

作者简介:骆欧阳(1963-),女,工程师,从事天气预报业务工作。E-mail: 445193629@qq.com

表1 2008年2月2日金华市各站最大积雪深度和雨凇最大直径

项目	浦江	兰溪	金华	义乌	东阳	武义	永康	磐安
最大积雪深度(cm)	14	10	8	11	10	12	5	8
雨凇最大直径(mm)	无	10	16	20	9	14	无	10

代以后未观测到冻雨现象,过去对冻雨的研究基本为空白,因此对这次罕见冻雨天气进行分析非常必要。本文将着重对冻雨的形成机理进行研究,在此基础上提出冻雨天气预报着眼点。

2 环流形势演变分析

2008年1月31日8时850 hPa图上,切变线位于邵武-赣州-百色一线。切变线以北受庞大的冷高压控制,江南、华南上空是南支锋区。700 hPa在孟加拉湾有南支槽,槽前是一支强盛的西南暖湿急流带,南北宽约有5~6个纬距,该急流带非常深厚,从700 hPa一直延升到100 hPa。急流轴位于衢州-南昌-贵阳一线,700 hPa上最大风速达28 m/s,500 hPa上最大风速达48 m/s。31日夜里随着南支槽东移,径向度逐渐加大,急流核东传,西南气流加强并影响浙江省。高空西南气流增强使850 hPa上的切变线逐渐北抬,2月1日8时850 hPa切变线已经北抬到杭州-长沙-桂林一线。衢州站700 hPa和850 hPa的温度受暖平流影响,出现明显回暖,

南支锋区随之北抬。1日20时850 hPa上在华中一带有低涡生成,切变线东段逐渐北抬到江苏中部,杭州站转成了南风,东南沿海有一支低空急流向我省输送水汽和能量。2日8时低涡东移到苏、浙、皖交界地带,700 hPa对应也出现一个低涡环流,低涡使水汽和能量向上辐合抬升,有利于强降雪的出现。由于北方有冷空气扩散南下,2日8时衢州站850 hPa(见图1a)和700 hPa(见图1b)上的温度出现明显下降,并都降到-3℃以下,中低层的暖层遭到破坏,这样形成冻雨的条件就不复存在了。2日早晨起我市开始出现强降雪,2日下午随着低涡东移入海,强降雪停止,但还有小雪。夜里高空槽过境后,天气转好。在这期间,500 hPa上在乌拉尔山一带维持着一个高压脊,欧洲北部和鄂霍次克海是两个低涡区,贝加尔湖南侧不断有小槽分裂东移,携带冷空气入侵我国,冷暖空气正好交汇在我国长江中下游及以南地区,有利的高低空系统配置,为暴雪和冻雨的形成提供了充沛的水汽、能量和适合的温度层结条件。

对应地面图上,1月31日白天浙江省处在地面

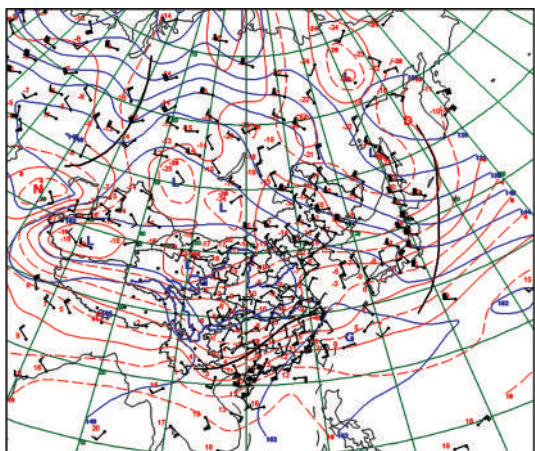


图1a 2008年2月1日8时850 hPa高空图

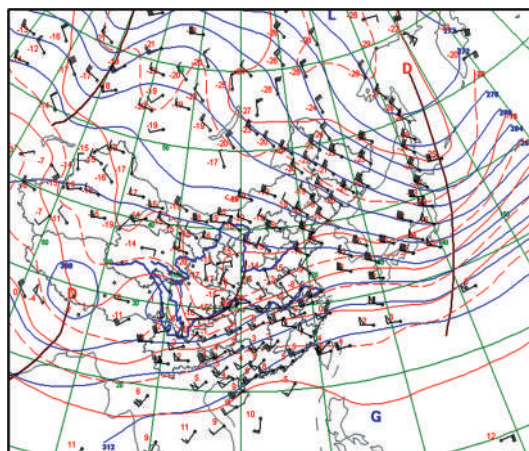


图1b 2008年2月1日8时700 hPa高空图

冷高压底部, 华西有雨雪区东移。31日夜里雨雪区移到江西, 江西附近有弱倒槽生成并进一步东移, 2月1日凌晨我市开始出现冰粒, 早晨到上午有比较明显的降雪, 下午转为雨或雨夹雪, 傍晚开始出现冻雨现象, 一直持续到2月2日凌晨。2日早晨开始转为纯雪, 到下午2点, 全市普降暴雪。随着北方冷空气继续扩散南下, 雨雪区东移南压, 2日后期强降雪停止。

3 物理量场的诊断分析

3.1 水汽条件

要形成雨雪, 首要条件是要有充分的水汽供应。500、700 hPa南支槽前的西南急流源源不断地将来自孟加拉湾的水汽和能量输向我国南方地

区。从各层温度露点差来看, 2月1日20时从底层925 hPa到高层300 hPa浙江省上空都处在小于 4°C 的湿区里, 说明湿层相当深厚。

2月1日8时700 hPa水汽通量图(图略)上, 我国长江以南地区有一条东北-西南走向的水汽通量高值带, 高值轴线位于南昌-长沙-贵阳一线, 在西南地区还有高值中心东移, 浙江省上空有一个水汽通量辐合区。1日20时(见图2a)水汽通量中心移到了湖南, 中心值达 $14\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。500 hPa上也有一条水汽通量高值带, 位置与700 hPa相似。但850 hPa上水汽通量高值中心在华南沿海, 位置明显偏南, 中心数值偏小, 说明这次暴雪和冻雨的水汽主要是由700、500 hPa上的强西南气流输送而来, 因此南支槽前的强西南气流是出现暴雪和冻雨的必要条件。

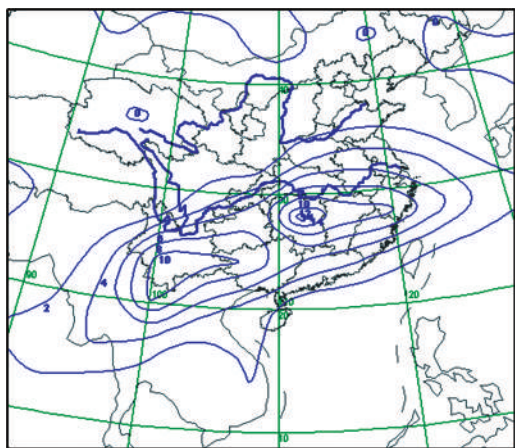


图2a 2008年2月1日20时700 hPa水汽通量场

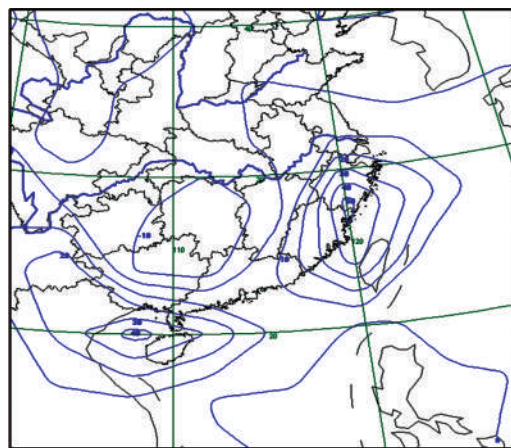


图2b 2008年2月1日8时850 hPa总温度平流

3.2 上升运动

水汽通过辐合上升运动, 在上升过程中绝热膨胀冷却才能成云致雨。1日20时700 hPa全风速图(图略)上, 急流轴位于衢州-郴州-百色一线, 在江西到浙中南一带有一个 24 m/s 的风速中心。200 hPa急流轴位于汉城-蚌埠-南阳, 急流中心在海上。浙北地区处在高空急流入口区右侧和低空急流出口区左侧, 高低空存在强切变区。由于南支槽前西南急流风速大, 对应有很强的正涡度平

流。按涡度方程, 高空有正涡度环流, 则气旋性涡度增加, 流场与气压场不再适应, 在地转偏向力的作用下, 在这附近的气旋性流场中有气流向外辐散, 而辐散的结果, 又使上升运动加强。在1日20时850~200hPa的散度场上, 东海上有个中心值为 $60\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 正值区, 对应下沉运动, 江西、湖南有一个负值区, 中心值达 $-30\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, 我市上空处在 $-15\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 的辐散区里, 对应上升运动。从垂直速度剖面图(图略)也可以看到, 我市上空为上升运动区, 其中400hPa的垂直速度最大,

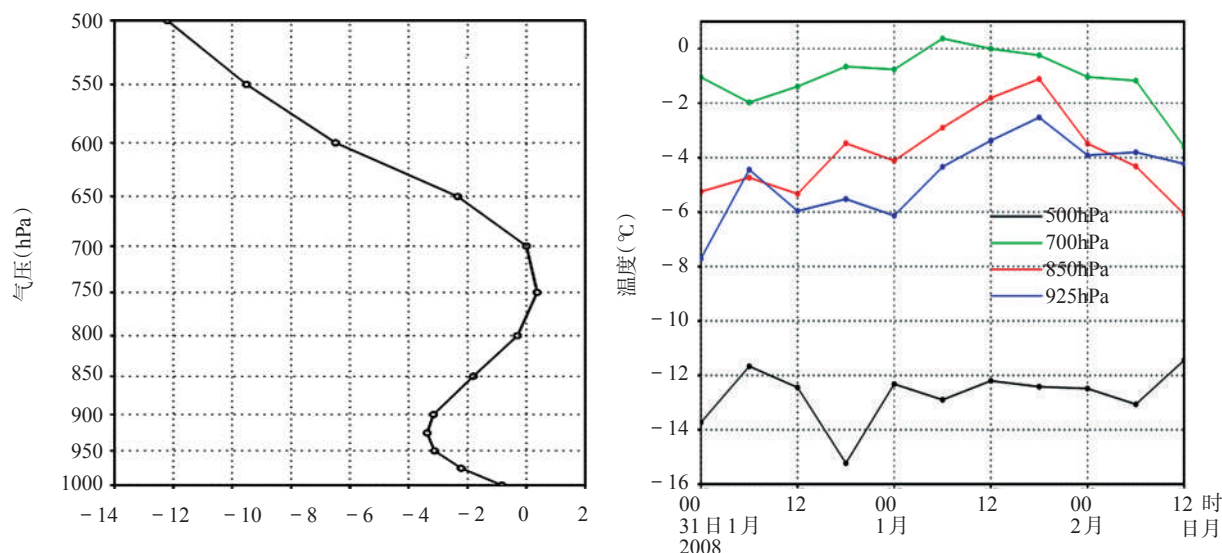


图 3a 2月1日20时29°N、120°E处温度随高度变化图 图 3b 29°N、120°E处各层温度随时间演变图

达 $-35 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{S}^{-1}$ 。上升气流强,就能把更多的水汽向高空输送,从而带来更大的降水量。

3.3 温度平流

暴雪和冻雨的形成都需要特殊的温度层结。上、下的冷层和中间的暖层是冻雨形成的关键。中间暖层的形成与温度平流密切相关,2月1日08时850 hPa总温度平流图(见图2b)上,在江南、华南沿海有比较强的正温度平流,我省南部有个大值中心达 $50 \times 10^{-5} \text{°C} \cdot \text{S}^{-1}$,说明暖平流非常强。到20时我省上空仍是正温度平流,浙中南有 $20 \times 10^{-5} \text{°C} \cdot \text{S}^{-1}$ 的正温度平流中心。1日08时700 hPa从广西到我国东部沿海都是正温度平流区,我省上空有 $15 \times 10^{-5} \text{°C} \cdot \text{S}^{-1}$ 的温度平流中心,20时正温度平流区有所东移,但我省仍为正温度平流。由于强正温度平流(暖平流)的作用,700~850 hPa之间形成一个大于等于 0°C 的暖层,使高空掉入其中的冰晶、雪花融化,导致1日后期我市冻雨的出现。随着江西一带负温度平流区的东移,2日8时我省受负温度平流(冷平流)影响,700 hPa、850 hPa温度下降,虽然700和850 hPa间的逆温层仍存在,但导致冻雨的条件已经消失,因此2日白天又转为降雪。

4 大气垂直结构分析

发生冻雨时,大气垂直结构有比较明显的特点:中层暖,上、下层冷,因此冻雨发生时的大气垂直结构可分为冰晶层、暖层和冷层:

4.1 冰晶层

从图3a温度随高度变化平均图(29°N、120°E)可以看到,地面到900 hPa温度随高度升高而降低,900~750 hPa温度随高度升高而升高,650 hPa以上温度才降到比900 hPa低,说明900~650 hPa之间存在深厚的逆温层。该逆温层的形成主要是由于受南支槽前强盛西南气流影响,2月1日8时中低层700 hPa和850 hPa出现明显的回暖(见图3b),但底层925 hPa和中高层500 hPa温度变化不大。冻雨天气发生时,自700 hPa温度随高度递减。有文献研究表明^[9]:如果500 hPa的温度达到 $-10 \sim -14 \text{°C}$,在该层内水汽凝结就会形成冰晶或雪花。从图3a可以看到500 hPa温度为 -13°C ,在这种温度条件下5 km高度以上的降水云系主要由冰晶或雪花组成,即形成所谓的冰晶层。

4.2 暖层

冻雨天气发生时,要求中空有个暖层。从图3b可以看到,700 hPa温度2月1日白天有明显的回暖,14时温度回升到 0°C 以上,20时700 hPa温度 0°C 左右,随后开始小幅回落。850 hPa上的温度

1日也有明显回暖,半夜2时达到最高值 -1°C 左右。说明中间存在一个比较强的暖层,暖层高度在 $2.0\sim 3.0\text{ km}$ 左右,暖层厚度大约有 1.0 km ,暖层底部在 2.0 km 左右。这种温度和厚度的配置,使冰晶层中下落的冰晶或雪花在暖层里融化。由于暖层温度在 0°C 上下,特别是1日夜里该层温度有小幅下降,因此小的冰晶或雪花融化成水滴,大的雪花或冰晶只是表面融化了。而且水滴的温度也不会太高,这样就使雨滴在经过下面冷层时能形成过冷却水滴。在暖层中冰晶或雪花融化需要热量,700 hPa槽前有强西南暖湿气流不断向长江中下游输送,保证了暖层中源源不断的热量供应,从而使冻雨天气过程中暖层得以维持。

4.3 冷层

冻雨发生时,要求低空有个温度低于 0°C 的过冷却层。由于地面处在冷高压底部,东北风源源不断地将冷空气回流过来,使近地面的温度始终保持在比较低的水平。2月1日20时925 hPa温度为 -4°C 左右,1000 hPa温度为 -1°C ,地面温度在 $0\sim -1^{\circ}\text{C}$ 之间。从地面到 2.0 km 左右高度存在冷层,冷层内的温度低,从暖层中下降的液态水经过该层后能冷却到 0°C 以下,保持过冷水状态。这种过冷却水滴从空中下落遇到地面上的物体,就会发生冻结,形成冻雨现象。

5 冻雨灾害分析

浙江电网在这次冰雪灾害中受损严重,是国家电网系统在全国冰雪灾害中受损程度仅次于湖南电网的重灾区,其中500千伏主干网的损失超过湖南,而金华500千伏网架损失占浙江电网三分之一还多。金华电网14条500千伏输电线路9条停运,共倒塔58基,3基受损。浙江省网与温州、浙江与福建跨区、跨省500千伏线路全面切断。这些灾情主要发生在海拔500 m以上的山区,分析山区灾情特别严重的原因有以下一些。我市从1月中旬开始,就出现持续20多天的阴雨雪天气,由于西南气流强,空气中水汽含量非常充沛,近似饱和,前期平原上测站温度比较高,我市以阴雨天气为主,其中有3次飘过小雪,但雪量都不明显。而海拔500 m以上的山区,其温度比平原要低

$3\sim 5^{\circ}\text{C}$,因此平原地区降雨时,山上则为降雪,而且由于持续低温,山上积雪不易融化。山上的输电线路积雪加上雨淞、雾凇反复在上面结冰,体积不断增大,负重过大超过电网线路的承受力,导致线路切断、铁塔倒塌。2月1日和2日的暴雪和冻雨天气使前期就已经受损的电网线路更是雪上加霜,发生大面积倒塌事件,造成我市50年未遇电网冰灾事故。

这次暴雪冻雨过程中,农林业损失也非常惨重,大量的树木枝叶被压折、压断,竹子成片倒伏或连根拔起,蔬菜大棚被压跨。分析原因主要是由于2月1日700~850 hPa之间的暖层温度不太高,落入其中大的冰晶、雪花没有完全融化,冰晶表面的液态水经过底层的冷却层时变成过冷却水,下到地面时在树木的叶子、枝杆上冻结形成冻雨。由于冻雨里有未融化的冰粒,所以体积和重量都比普通冻雨要大。而且水汽充沛降水量大,金华本站2月1日夜里降水量达17.3 mm,因此形成的冻雨量非常大,造成的危害也就特别大。

6 冻雨预报着眼点

冻雨和降雪的天气形势既有相似之处,又有不同点,可以相互转化。通过上述分析,此次冻雨形成的机制是:

首先前期受北方冷空气南下影响,出现明显降温,各层温度都很低。随着700 hPa上孟加拉湾南支槽东移,槽前强西南气流给我省带来充沛的水汽和能量,850 hPa切变线也随之逐渐北抬到浙中北,中低层切变辐合加强,开始出现降雪。由于受槽前暖脊影响,中低层出现明显回暖,温度达到 0°C 左右,而底层处在冷高压底部东到东北风里,受冷空气回流影响,温度仍保持在较低的水平,这样就形成了强逆温层即融化层。高层落下的冰晶、雪花在融化层里融化,再经过底层的冷却层变成过冷却水滴,遇到地面的物体冻结成冻雨。后来河套一带的北支槽东移,槽后西北气流引导新的冷空气南下,中低层出现明显降温使融化层消失,冻雨天气又转为降雪天气。

可以得到冻雨天气的预报着眼点:

(1) 500 hPa在鄂霍茨克海有稳定的低涡维持,乌拉尔山附近为高压脊,我国新疆一带不断

有分裂小槽东移,携带冷空气南下。850 hPa上冷高压南伸,中心强度达156位势什米。地面冷高压底部偏东气流里,受东路冷空气影响,底层气温维持在0℃以下。

(2) 南支锋区位于我国西南地区到长江流域,700 hPa孟加拉湾有长波槽,槽比较深,槽前西南气流强,向长江流域输送水汽和能量。

(3) 南北两支气流在长江流域交汇,形成强风速风向切变辐合,提供动力抬升条件,使水汽辐合上升,在高空凝结成冰晶和雪花。

(4) 在具备降水条件后,独特的温度层结是雨淞形成的直接原因。当700 hPa南支槽前强暖平流使我区上空出现明显回温,特别是700 hPa达到

0℃或以上时,形成中空的暖层,就可以预报冻雨。

参考文献:

- [1] 易辉.湖南电网冰害事故天气成因分析[J].电力设备.2006,6(7): 37-39.
- [2] 赵彩.贵州雨淞积冰过程的云层特征及环流背景[J].气象.1995,21(5):48-52.
- [3] 吕胜辉,王国积等.天津机场地区冻雨天气分析[J].气象科技. 2004,32(6): 456-460.
- [4] 唐 熠.一次雨淞天气与一次飘雪天气过程形势异同分析[J].贵州气象.2003,24(3):43-45.
- [5] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文.天气学原理和方法(第四版)[M].北京:气象出版社,2007.313-319.