经验交流

一次暴雪、雨凇、冰雹天气过程的综合分析

王崇洲　贝敬芬

（武汉中心气象台）

提　要

本文分析了一次罕见的暴雪、雨凇、冰雹天气过程，指出：晚冬、早春季节，当西太平洋副热带高压（以下简称副高）异常增强时，若500hPa西藏高原南侧有明显的长波槽发展东移，随着槽前暖湿平流的加强、东扩，将使低层（850hPa）江南锋区和暖切变稳定加强并北抬到江淮流域和鄂西北地区，使上述地区出现大范围、连续性暴雪天气。此外，由于南支槽前暖湿平流的加强东扩，导致700hPa长江中游地区出现爆发性增温增湿，形成具有潜在不稳定的大气逆温层，产生大范围雨凇冰冻天气，并伴有“雷打雪”、冰雹等强对流不稳定天气。

一、引　言

近年来长江流域在晚冬—早春季节（2月中、下旬—3月中、下旬）不时有大范围、连续性暴雨天气发生。如1987年3月底鄂西北发生了罕见的早春暴雪、冰冻天气；1988年2月25—27日和3月14—16日在湖北全省范围内自西向东相继出现了大范围“雷打雪”和冰雹天气；1989年2月22—24日受南支槽发展东移影响，又在湖北省西、北部广大地区爆发了一场历史上罕见的大范围持续性暴雪天气过程，并伴有大面积雨凇、冰雹和“雷打雪”天气现象发生，尤其是在鄂西北和江汉平原北部地区，共有18个县（市）测站降雪强度和积雪深度打破自有记载以来的历史记录（图1）。其中测站最大积雪深度为50cm（十堰市），山区平均积雪深度为100cm以上，最大积雪深度达130cm（保康）。过程降雪量普遍为50—80mm。日平均气温连续4天维持在零度以下。因暴雪连降3日，积雪太深，低温持续时间过久，给湖北省工农业生产、交通、电信、经济林木等带来较大的影响和一定程度的经济损失。为了进一步提高晚冬—早春时节暴雪、雨凇、冰冻等灾害性天气的预报能力，我们对1989年2月22—24日天气过程进行了综合诊断分析。

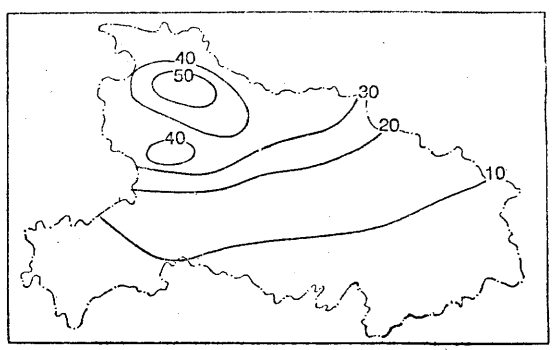


图1　1989年2月22—24日湖北省最大积雪深度（单位：cm）

二、天气学诊断分析

图2是大面积暴雪发生前12小时500hPa形势图。从图中可以看到，副高位于台湾岛

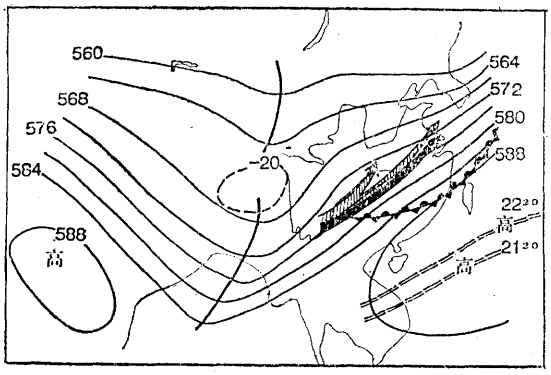


图 2　1989年 2 月21日20时500hPa形 势及地面静止锋、700hPa急流轴（斜矢线）
双虚线为500hPa脊线，实矢线为500hPa急流轴

南部呈东北—西南走向，其外围5880gpm等值线北抬到东南沿海大陆。位于西藏高原南侧到孟加拉湾海域的西风带为一深厚长波冷槽，拉萨附近有一－21℃冷中心；槽前昆明、贵阳、芷江、长沙、汉口、南京一线有一40 m·s^{-1}西南风急流轴。与此同时700hPa贵阳到宜昌和贵阳到汉口、南京一线分别有一支风速＞20m·s^{-1}的西南低空急流。地面在华南有一准静止锋，从锋后到长江流域为大片雨区。500hPa环流形势和各层天气系统配置表明，在地面静止锋后部上空的长江中、下游流域具有强烈的大尺度抬升运动。从22日02时GMS-3 IR云图上可以清晰地看到，江淮南部有一切变中、低云带，江淮北部有一支槽前中、高云系（图略），两支云系的结合区正好在江淮流域。

图3是21日08时至24日08时850hPa切变流场及其相应锋区演变特征图。图 4 是根据150km格距计算以50km格距内插所得到的

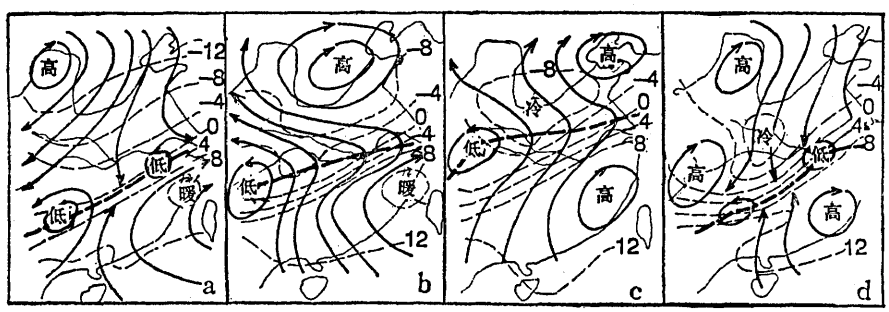


图 3　1989年2月21日08时至24日08时850hPa切变线（粗虚线）、流线（矢线）和等温线（虚线）
a：21日08时，b：22日08时，c：23日08时，d：24日08时

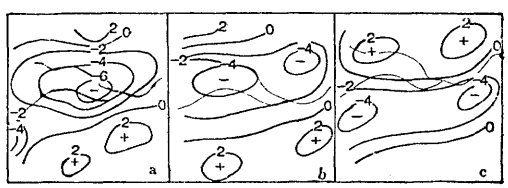


图 4　1989年2月22日（a）、23日（b）和24日（c）08时的700hPaω场
（单位：×10^{-3}hPa·s^{-1}）

700hPaω场分布图（单位：10^{-3}hPa·s^{-1}）。从图3和图4可以清楚地看到：21日08时（暴雪发生前12—24小时）江南有一明显的准静止切变流场和锋区存在，切变北部河套地区有一高压环流和冷舌自北向南伸展，切变南侧东南沿海为副高环流，此时沿江江南有一片雨区。随着500hPa高原南部长波冷槽的发展东移和槽前强西南暖湿气流的向东扩展，850hPa江南准静止切变发展演变成为暖切变北抬到沿江地带（图3）。切变南侧850、700hPa和500hPa分别出现16m·s^{-1}、20m·s^{-1}和40m·s^{-1}强而深厚的西南风急流，切变北部原来向南伸展的河套冷高压同时收缩到华北地区。此时由850hPa暖切变气旋性流场和西南风风速辐合所产生的动力辐合上升运动和由500hPa槽前强西南风所形成的大范围抬升运动正好在湖北省上空叠加在一起。加上700hPa长江中游强暖平流

所引起的爆发性增温、增湿和潜热释放等热力效应，导致在700hPa高度附近出现-6.1×10^{-3}hPa·s^{-1}的强上升速度（图4a），从而在3000m中空形成强烈的上升运动。此时鄂西北出现首场大面积暴雪，鄂西南恩施、宜昌等地区有冰雹和“雷打雪”天气现象发生。

23日08时，500hPa高原南部冷槽东移靠近四川盆地，使850hPa暖切变及其锋区进一步北抬到江淮流域（图3c），此时850hPa、700hPa和500hPa各层西南风仍强盛不衰。垂直上升运动最强仍出现在700hPa高度附近，强上升运动中心带位于湖北省西、北部到安徽北部（图4b），此时在鄂西北、鄂东北和江汉平原北部出现了第二场大范围暴雪。与此同时，鄂西南、江汉平原中南部和鄂东中部地区有大面积雨凇、冰雹和“雷打雪”等多种天气现象发生。

24日08时，新疆到高原北部地区暖脊发展东移，促使四川盆地低槽加速东移进入湖北。槽后冷平流和槽前暖平流使850hPa江淮暖切变西段南压，东段维持，在鄂东地区有一波动生成（图3d），引起鄂东中、北部地区出现第三场大到暴雪。由于槽后冷平流较强，促使850hPa鄂东波动迅速东移南压，雨雪天气亦随即移到江南地区。此时从地面到500hPa高空，江淮流域为一致下沉运动。从图4c可以看到，原位于江淮地区的上升运动中心带已南压到江南，江淮地区转为正值下沉区。到24日20时，鄂东南雨雪天气停止，整个过程在湖北省结束。

综上所述，500hPa副高异常增强，西藏高原南部冷槽发展东移，促使850hPa江南暖切变及其锋区北抬到江淮流域，并造成700hPa长江流域剧烈增温、增湿而形成中空强烈的上升和水汽、质量辐合，是产生湖北省中、北部地区大范围连续性暴雪天气过程的主要环流演变特征。

三、热力学、动力学诊断分析

在湖北省中、北部发生持续性暴雪的同时，湖北省中、南部地区相继出现了雨凇、冰冻、“雷打雪”和冰雹等灾害性天气。雨凇强度分布（图略）有两个中心，一个在鄂西南绿葱坡（50mm），另一个中心位于鄂东北孝感（18mm）。现以宜昌、汉口两站地面天气实况为例，结合探空曲线特征和南北锋区剖面图，对上述多种天气现象同时出现的物理机制进行简要的热力、动力学诊断分析。

1. 天气实况

附表是21日08时至24日20时（共4天）宜昌、汉口两站地面定时观测实况。从表中可以看到，21日08时宜昌上空700hPa $\omega=-4\times10^{-3}$hPa·s^{-1}（图略），其地面首先出现雷暴和冰雹天气，22日08时宜昌到汉口一带700hPaω均为-4×10^{-3}hPa·s^{-1}上升运动带（图4a），且在宜昌附近有-6.1×10^{-3}hPa·s^{-1}强中心，此时从宜昌到汉口一带均有“雷打雪”或冰雹出现。23日08时南支槽入川后，槽前华中地区西南风发展、加强，汉口700hPa温度由零度上升到零上3℃，其地面降水性质由冰雹→雪→雨夹雪→雨；而宜昌上空700hPaω仍有-5×10^{-3}hPa·s^{-1}强中心（图4b），其地面一直观测有“雷打雪”或冰雹等对流性天气。24日08

附表　　21—24日宜昌、汉口观测实况

日期	21日		22日		23日		24日	
时间	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时
宜昌	雷、雹	雹	雷、雪	雹、雪	雷、雪	雷、雪	暴雪	
汉口	大雪	雨夹雪	雹、雪	雨夹雪	雨	雨夹雪	暴雪	雪

时500hPa低槽由四川盆地逼近湖北，槽后和槽前冷、暖平流促使850hPa气旋波动发展东移，湖北省中、南部出现了一场短时性暴雪过程。由此可见晚冬到早春季节“雷打雪”和冰雹等对流不稳定天气的发生与700hPa高空的$\omega = -4\times10^{-3}hPa\cdot s^{-1}$所包围的强上升运动有较好的对应关系。

2. 探空曲线和剖面特征分析

图5是22日08时到23日08时宜昌、汉口两站探空层结曲线；图6为22日08时赣州到郑州南北垂直剖面图。从图5可以看到，22—23日湖北省中部（宜昌到汉口一带）700hPa以下有一个明显的逆温层，其厚度为1500—2000 m，强度达7—8℃。这一逆温层的出现，主要是由于850hPa以下自北向南盛行东北气流和冷平流，而850hPa以上自南向北盛行西南气流和暖湿平流所致（图6）。这种中空暖湿平流在底层冷空气垫上滑行爬升

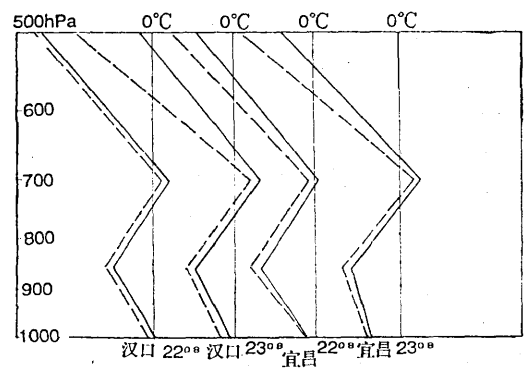


图5 汉口、宜昌两站的探空曲线

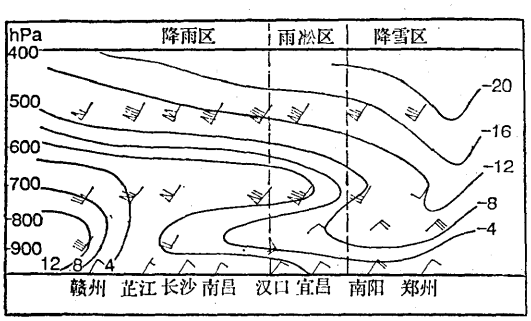


图6 1989年2月22日08时赣州—郑州的南北垂直剖面图

所形成的平流逆温层，是造成江淮流域出现大面积雨凇、冰冻天气非常有利的条件。

3. 雨凇发生机制分析

由图5和图6可以看出，22日08时湖北省中部（汉口至宜昌一带）有一明显的平流逆温层，即低空有一冷舌自北向南伸展，冷层的厚度均为1500m，冷层内风向为东北风，温度在0℃—－7℃之间；中空是个暖舌自南向北伸展，以700hPa高度处增暖最为显著，700hPa以下则是一个很强的逆温层；暖舌上方温度随高度迅速递减，到500hPa高度处温度降到－14℃以下。雨凇天气主要发生在冷层较厚的汉口至宜昌一带，汉口、宜昌以南则冷层较薄而暖层较厚且温度高，所以只有降雨天气发生。由此可见形成雨凇的物理机制可简述如下：

在500hPa槽前西南暖湿平流作用下，700hPa暖层上空有足够的冰晶或雪花形成，当冰晶或雪花降落到700hPa暖层里时，应有足够厚的暖空气使冰晶或雪花融化为液态水，因此暖层高度应在2000—4000m之间，暖层中温度高于0℃的厚度约为1--2km。从上述较深厚的暖层中降落的液态水滴到达近地面温度在0℃以下的冷却层中后，碰到地面任何物体很快就会冻结而形成雨凇。由此可见，雨凇的预报应着重注意700hPa附近的增温和850hPa以下的降温。在有降水发生的天气形势下，当850hPa以下出现0℃以下的冷舌且700hPa附近有1—2km厚、温度在0℃以上的暖舌时，就可以考虑有雨凇天气发生。

四、小 结

通过以上综合诊断分析可以得到如下几点结论：

1. 晚冬到早春季节，副高异常增强、西藏高原南侧有明显的长波冷槽发展东移和850hPa附近江南有暖切变加强北抬，这是导致江淮流域大范围、持续性暴雪发生的主

要天气学成因。

2. 长江流域雨凇的形成主要是由于850hPa以下低空有一冷舌自北向南伸展，850hPa以上中空有一暖舌自南向北伸展，这种中空暖湿平流在低空冷空气垫上滑行爬升所形成的平流逆温层是江淮流域出现大面积雨凇、冰冻天气非常有利的条件。

3. 雨凇的预报应着重注意700hPa附近的增温和850hPa以下的降温。在有降水发生的天气形势下，当850hPa以下出现0℃以下的冷舌且700hPa附近有1—2km厚、温度在0℃以上的暖舌时，就可以考虑有雨凇、冰冻天气发生。

4. “雷打雪”和冰雹等对流不稳定天气的发生与700hPa高度附近的$\omega = -4 \times 10^{-3}$hPa·s^{-1}所包围的强上升运动区有较好的对应关系。