文章编号:1006-7639(2010)-01-0076-05

湖南2次典型的冰冻灾害天气特征及成因分析

丁小剑[1,2],杨 军[1],唐明晖[2],何正阳[2],李象玉[2]

(1.南京信息工程大学,江苏 南京 210044;2.湖南省气象台,湖南 长沙 410007)

摘 要:2005年和2008年湖南出现了2次典型的冰冻灾害天气,造成的损失都相当严重,2008年出现的特大冰冻灾害天气更是百年一遇。通过对这2次典型冰冻灾害性天气的成因、特征对比分析,指出了湖南冰冻灾害性天气的形成与发展的天气气候特征及判别因子,对进一步提高湖南省冰冻灾害性天气的精细化预报能力有指示作用。

关键词:冰冻;暖湿气流;逆温层

中图分类号:P458.1+22 **文献标识码**:A

引 言

湖南省地处长江中下游,位于洞庭湖之南,3面环山——东与江西诸山交界,南面横亘五岭山脉,西为雪峰山脉,湘中盆地以丘陵、岗地、河谷冲击平原为主。这种3面环山,北面开口的地形,极有利于冬季北方强冷空气长驱直入。进入冬季后,湖南气温一般在0~3 ℃左右,北风3~5 m/s,因此北方强冷空气与南海副热带暖湿气流交汇,很容易形成湖南省大范围的冰冻灾害性天气。冰冻又称冻雨、雨凇,它是大气中的过冷雨滴降落到近地面0 ℃以下的物体表面冻结而成的天气现象。湖南省的冰冻现象主要是由雨凇、雾凇、湿雪冻结而成的,但其中又以雨凇为主,雨凇占各地冰冻次数的60%以上,其次是雾凇和冻结雪。2008年中国南方出现了大范围的特大冰冻灾害天气,王绍武等[1]从大气环流背景、气候特征及天气动力成因等方面已做了大量的相关研究。王东海等从行星尺度经由天气尺度、大尺度环流直到云尺度较全面分析了该过程的天气特征及动力学成因,指出了促使这次冰冻极端天气事件出现的主要因素,并揭示了此次强冰冻灾害事件中的云物理特征[2];丁一汇等分析了在拉尼娜事件影响下,南方冰灾发生的主要原因,并指出该极端冰灾事件是全球性气候异常的表现之一。湖南省的冰冻灾害天气一般从12月开始,翌年2月结束(较高山地除外),因此一般习惯把12~2月称为冰冻期。2005年2月7~20日和2008年1月13日至2月5日湖南省出现了2次严重的冰冻灾害性天气,为了加深对湖南冰冻成因及天气特征的认识,本文对湖南2次典型的冰冻天气过程特征进行了分析,找出湖南冰冻灾害的典型天气特征因子及成因,以期提高湖南冰冻灾害天气精细化预报能力。

1 实况及灾情

2005年2月7~20日湖南省14个市(州)遭受冰冻灾害,大部分台站出现了冰冻 ,32个县市达到连续冰冻7 d及以上的重度冰冻标准,其中有4县市持续冰冻10 d以上。这次低温雨雪冰冻天气使电力、道路、供水、市场、水利、通信等基础设施受损严重,共造成湖南省1 289万人受灾,因灾伤病1.3万人,紧急转移安置4.5万人,因灾倒塌房屋2.1万间,损坏房屋8万间。农作物受灾面积达20.7万hm^2,成灾面积14万hm^2,经济损失20亿元。2008年1月13日至2月5日,全省各台站除一站外全部都出现了冰冻,74个县市达到连续冰冻7 d及以上的重度冰冻标准,其中宁乡、冷水江、湘乡、新宁、邵阳县、通道、桂阳等7县市冰冻持续20 d以上;这次持续低温雨雪冰冻天气和2005年那次相比强度更大、范围更广、时间更长、灾情更重,据统计,全省3 927.7万人受灾,因灾倒塌房屋8.2万间,损坏30

收稿日期:2009-09-24;**改回日期**:2009-12-14

作者简介:丁小剑(1976-),男,在读硕士,研究方向为大气物理学. E-mail:dxj760401@yahoo.com.cn

万间,直接经济损失 680 亿元,降水造成了电网电线结冰并一层层包裹着电线,负重远远超过电线设计的承载标准,最终造成整个电网大面积断电,同时道路结冰对交通运输也造成极大的阻碍,人民生活、生产和社会正常运行秩序受到了严重影响。

2　大气环流形势

2005 年 2 月 5 日起东亚高纬度为一宽广的低压区,中低纬度环流较为平直。低压区内不断有阶梯槽下滑,引导冷空气分股南下[3],西太平洋副热带高压位置稳定偏北,位于 10°N 左右,西南暖湿气流活跃,冷暖气流在 30°N 附近汇合[2]。7 日起(图 1),700 hPa 西南气流强盛,长沙站风速最高达 26

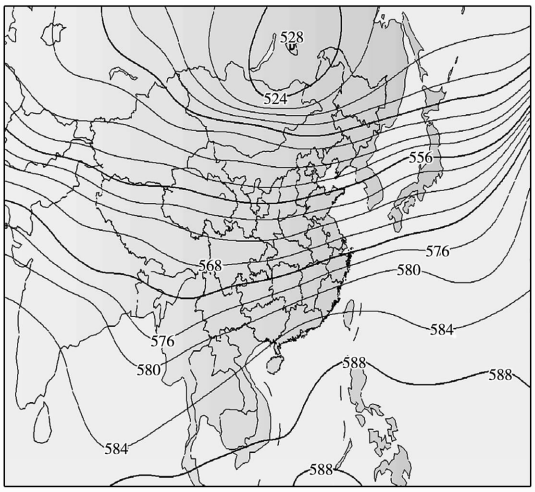

图 1　2005 年 2 月 7 日 08:00 500 hPa 环流形势

Fig. 1　The 500 hPa circulation situation at 08:00 on Feb 7,2005

m · s^{-1}, 850 hPa 切边线主要位于湘中以北, 8 ~ 12 日就在湘中一带南北摆动, 14 日偏南风加强切变线北抬,低层西南急流形成, 15 日逐步南压减弱,整个冰冻天气期间 850 hPa 为正负温度交替层,以下为稳定的负温度层,地面最低气温在 0 ℃以下。14 日环流逐步调整,乌拉尔山南部高压脊发展,南支低槽加深东移,19 日开始江南大部逐渐转受槽后西北气流控制,天气转好。2008 年冰冻过程,1 月下旬起中高纬度欧亚地区的大气环流呈现西高东低,在乌拉尔山和阿留申群岛出现阻塞高压, 而中高纬的高度场表现为持续稳定的阻塞形势,持续时间较长,在阻塞高压东侧有冷槽,槽底一直延伸到我国的华北地区(图 2)[2]。冷空气不断补充南下影响到江南、华南。西太平洋副热带高压脊线位置明显偏北、

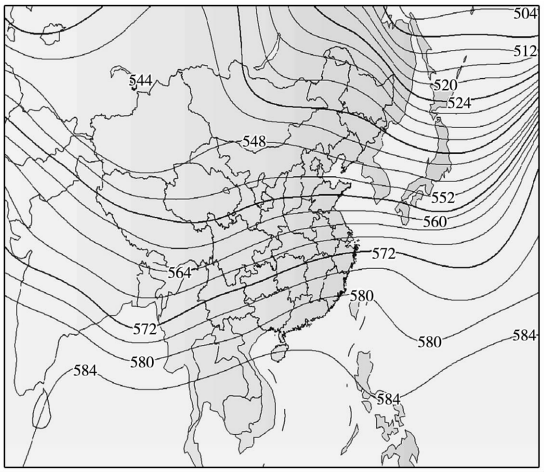

图 2　2008 年 1 月 27 日 08:00 500 hPa 环流形势

Fig. 2　The 500 hPa circulation situation at 08:00 on Jan 27,2008

偏西,位于 17°N 左右,西脊点曾达 132°E,同时,南支低压槽活跃, 短波槽不断分裂东移,促使孟加拉湾和南海的暖湿空气源源不断向我国南方地区输送[4], 700 hPa 受西南急流控制,一般西南风在 16 m/s 以上,长沙站风速达 24 m/s,武汉站达 34 m/s。2 月 1 日前 850 hPa 切变线主要位于湘中以北位置,略微有所南北移动,随后切变线压至湘南,3 日有所北抬,5 日切变线迅速南压减弱,全省受高压脊控制,天气转好。受短波槽影响,地面强冷空气不断从河套以东补充南下,由于这种环流形势的配置长时间稳定和持续,冷暖空气在长江以南的江南、华南频繁交汇[5],导致湖南省这次长时间大范围低温冰冻天气。

因此从天气形势来看,2005 年冰冻天气期间是典型的横槽转竖的环流演变特征,乌拉尔山地区阻塞高压建立到崩溃持续不到 10 d,而 2008 年冰冻天气期间乌拉尔山阻塞高压建立后经历了多次加强—减弱—再加强的过程,形成持续稳定的阻塞形势,过程持续时间将近 20 d。2 次过程副热带高压西脊点的位置比常年都要偏西(图 3,图 4),在低纬地区都有较密集锋区,孟加拉湾源源不断的水汽输送,使得江南上空暖湿气流异常强盛,湖南长时间持续处于冷暖空气的交汇区, 切变线的存在是上述 2 次过程最直接的影响系统。但是 2008 冰冻天气过程比 2005 年过程亚欧阻塞高压要强盛得多,副高更加偏西、偏北、偏强,南支槽更加活跃更稳定,使槽前的水汽输送明显加大,造成的冰冻时间更长。

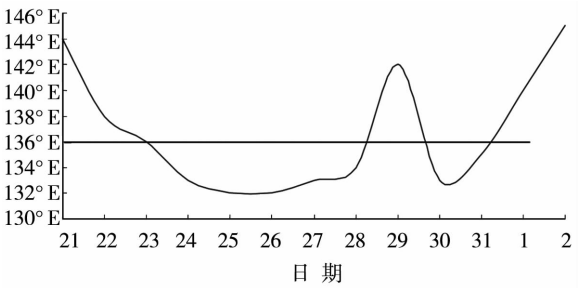

图 3 2008 年 1 月 21 日至 2 月 2 日
副热带高压西脊点位置

Fig. 3 The position variation of the west ridge of the subtpical high from Jan 21 to Feb 2, 2008

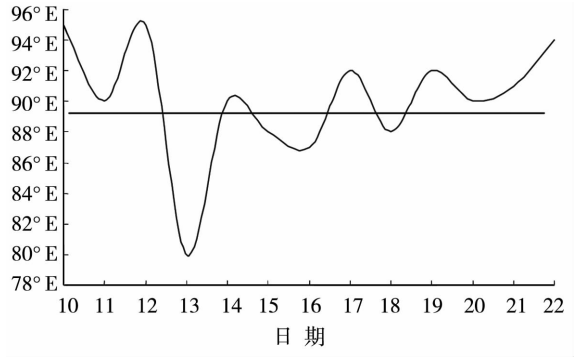

图 4 2005 年 2 月 10 ~ 22 日
副热带高压西脊点位置

Fig. 4 The position evolution of the west ridge of the subtropical high from Feb 10 to 22, 2005

3 温度、湿度分布特征

3.1 气温垂直分布

中层的逆温以及有一层温度 >0 ℃的暖层，是冰冻天气发生的重要条件[6]，当大气层结逆温明显，并且存在一定厚度的融化层时，有利于冰冻天气的形成、维持或发展。对于 2005 年的冰冻天气过程，700，850 hPa 温度见表 1。从气温的垂直分布来看，2 月 4 日起 700 hPa 逐步增温，5 日 3 ℃以上暖层已扩展到 800 ~ 700 hPa，6 日 700 hPa 附近气温达 5 ℃，850 hPa 附近气温达 7 ℃左右，地面气温在 0 ℃附近。

但从 7 日开始（图 5），中层温度开始下降，长沙单站 700 hPa 附近气温 7 日是 4 ℃，8 日是 2 ℃，随后到 18 日一直持续在 2 ℃左右，850 hPa 附近气温下降至 0 ℃，10 日后持续在 0 ℃以下。而逆温层下冷层降温不明显，温度基本保持不变。因此 6 日开始湘西地区已出现了冰冻层结[6]，7 日冰冻层结自西向东、向南迅速发展加强，9 日湘南冰冻减弱，10 日有冷空气补充，冰冻层结向南发展，维持到 13 日，随后湘中以南地面气温回升 2 ℃以上，湘南冰冻解除，但湘西、湘北冰冻维持到 20 日左右。而对于 2008 年的冰冻天气过程，逆温层主要位于 850 ~ 700 hPa 之间，逆温层内温差越大、厚度越大冰冻越明显。700，850 hPa 的温度值见表 2。14 日逆温层底气温 −5.2 ℃，逆温层顶气温 2.4 ℃，温差为 7.6 ℃，15 ~ 17 日湖南上空 $T \geqslant 0$ ℃的暖层约位于 700 ~

表 1 2005 年 2 月 8 ~ 23 日年长沙站 700、850 hPa 温度变化（单位：℃）

Tab. 1 The temperature variation at 700 and 850 hPa from Feb 8 to 23, 2005 over Changsha stations

日期	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
700 hPa	4.2	3.7	2.4	2.2	2.1	2.1	2.4	2.0	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	19	1.5	1.6
850 hPa	0.4	−1.2	−1.8	−2.1	−2.8	−3.0	−3.4	−4.0	−3.2	−3.0	−2.6	−2.2	−2.0	−1.5	−1.1	−0.8

表 2 2008 年 1 月 14 ~ 29 日长沙站 700、850 hPa 温度（单位：℃）

Tab. 2 The temperature variation at 700 and 850 hPa from Jan 14 to 29, 2008 over Changsha stations

日期	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
700 hPa	−1.4	−0.7	−2.0	−2.0	−0.8	0.5	2.4	−0.7	−0.8	−0.7	0.5	1.0	1.5	2.9	2.2	−2.4
850 hPa	−6.0	−6.3	−6.5	−6.6	−4.0	−2.7	−3.4	−5.0	−5.6	−5.4	−7.1	−6.4	−7.4	−7.0	−6.4	−7.9

600 hPa,并缓慢上升,18 日逆温层出现在 850 ~ 700 hPa 之间,逆温层顶气温 -3.1 ℃,逆温层底气温 3.9 ℃,温差达到 7.0 ℃,22 日以后逆温层增温明显,暖层厚度也明显增加,5 ℃以上暖层已扩展到 800 ~ 700 hPa,且暖层中心区域高度在逐渐降低, 26 ~ 28 日逆温强度达到了本次过程最强时段(图 6),其中 27 日 20 时逆温层底气温 -6.9 ℃,逆温层顶气温 8.2 ℃,温差高达 15.1 ℃,750 hPa 附近气温升高到 6 ℃,暖中心出现在 28 日的 750 hPa($T \geqslant 6$ ℃);暖

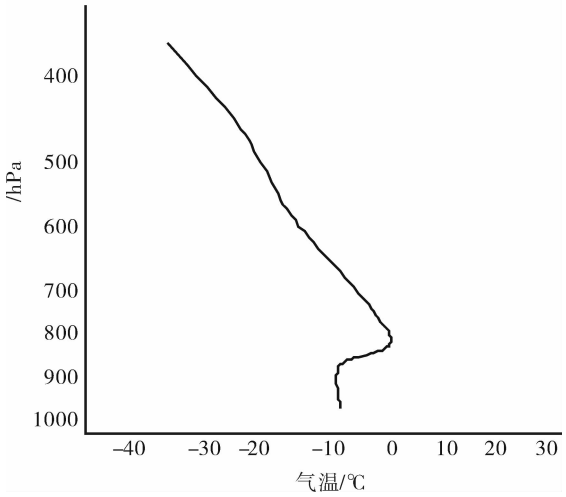

图 5　湖南长沙站 2008 年 2 月 7 日 08 点 T - LnP 图

Fig. 5　The T - ln$P$ chart at 08:00 at Changsha station on Feb 7,2008

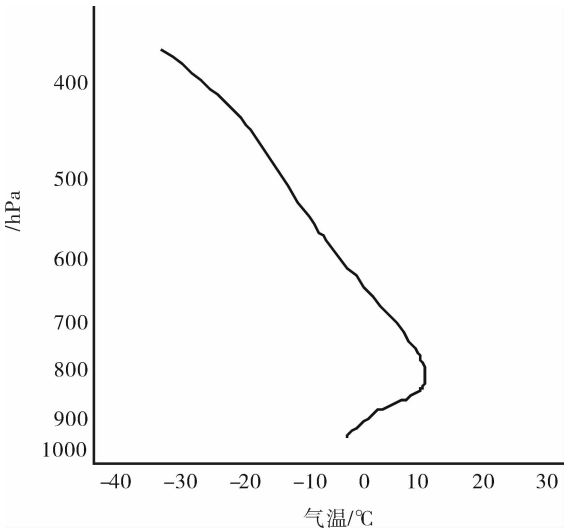

图 6　湖南长沙站 2005 年 1 月 27 日 08 点 T - LnP 图

Fig. 6　The T - ln$P$ chart at 08:00 at Changsha station on Jan 27,2005

层内伴有西南风,当 800 ~ 600 hPa 的西南气流加强时,暖层内相应高度上的温度明显升高,对应关系非常一致,暖平流的增温效果明显。29 ~ 30 日逆温减弱,冰冻明显减弱; 2 日天气转好,冰冻结束。而逆温层下冷层降温明显,自 22 日开始, 冷平流加强,冷层的温度显著降低, 27 日达到最低,出现在 900 hPa 气层高度($T \leqslant -6$ ℃), 长沙单站 1 月 26 日 850 hPa 为 -7.4 ℃, 700 hPa 为 1.5 ℃,郴州站 1 月 27 日 925 hPa 为 -6.2 ℃,850 hPa 为 7.2 ℃,逆温层暖层下出现明显冷气层,暖层中降下的液态降水需要在此冷层冷却成为过冷却水而成为冻雨[7],地面气温在 0 ℃以下或附近,逆温层的厚度约 2 km, >0 ℃的融化层高度约为 1.5 ~ 2 km 左右,温度为 0 ~ 6 ℃。整个逆温层持续到 2 月 5 日才结束。

因此 1 月 13 日开始湖南省绝大部分地区连续出现冰冻,一直持续到 2 月 5 日,30 mm 以上的冰冻站点有 6 个,最高的汝城站 44 mm。对比这 2 次过程可以发现,低层冷平流、中层暖平流是这 2 次过程逆温形成的主要原因。前一次过程逆温层形成时间早,强度和后次过程差不多,但减弱得快,而后次过程逆温层形成时间没前次快,但持续时间长,强度维持久。

3.2　湿度分布特征

水汽对这 2 次冰冻灾害性天气而言是非常重要的。水汽主要来自副热带高压外围西南气流输送的东海和南海的水汽以及南支西风槽前西南急流携带的孟加拉湾水汽[8]。2005 年 2 月 6 日开始湘北相对湿度逐渐增大,8 日 850 hPa 相对湿度达到了 80%,随后范围向南扩展,直到 12 日整个湘中以北都在 80% 以上,一直维持着高湿环境,根据水汽通量散度场,水汽辐合中心位于湘北,随后高湿环境往南扩展,但强度逐渐减弱。对于 2008 年冰冻灾害过程,从 1 月 12 日开始,全省的相对湿度逐渐增大,1 月 22 ~ 26 日 650 hPa 以下全省相对湿度都 >75%,在水汽通量散度场中,水汽辐合中心位于湘中偏北的位置,28 日 850 hPa 以下全省相对湿度都 >85%,2 月 2 日,湘北相对湿度降至 65%,而湘南却还保持在 85% 以上,水汽辐合中心也移到湘南,5 日全省相对湿度迅速下降至 60% 以下。当逆温层下是 <0 ℃的过冷层时, 便可形成过冷雨滴群[9], 当过冷雨滴碰到 -3 ~ 0 ℃ 的地面或物体时就会发生冻结, 形成地面或物面结冰,如果地面气温过低, 达到 -3 ~ -8 ℃ ,毛毛雨或冷雾滴冻结迅速形成颗粒冰。

这 2 次过程的共同点就是西南暖湿空气输送到湖南上空,水汽充足,由于逆温层及地面温度在 0 ℃左右及以下,降水造成了电网电线结冰程度严重。2 次过程相对比,前次过程相对来说由于暖湿空气输送维持时间不长,地面温度上升要快些,因此冰冻造成的灾害主要是位于湘中以北,持续时间相对短,但对输电线路、道路等造成的危害也相当严重。2008 年的冰冻天气过程由于大量暖湿空气源源不断输送到长江一带,暖湿空气沿着锋面抬升,在湖南上空形成稳定、持久的逆温层,水汽条件长时间保持充足,地面温度也持续 0 ℃以下,使得降水很容易形成冰冻灾害[10],维持时间相当长,并逐步加重,造成的危害比 2005 年要大得多。

4 小 结

湖南地形的分布特征对冰冻的发生、发展有很重要的作用,东、南、西 3 面环绕高耸的山地, 中间为低缓起伏的丘岗, 北部为低平的平原湖泊, 形似一个向北开口的马蹄形盆地,北方南下的冷空气受南岭山脉阻挡,易在湖南境内滞留堆积形成冷空气垫; 而西南来暖湿气流则翻越南岭山脉,与冷空气交汇生成云雨, 降下的雨滴经低层大气低温冷却成为过冷却水滴, 降到地面或物体上立即冻结。

副热带高压位置偏北和持续时间长短是湖南 2 次典型冰冻灾害的一个重要的天气特征。孟加拉湾源源不断的水汽输送和副高西北侧的西南气流将来自热带西太平洋和南海的暖湿空气源源不断输送到中国南部大陆,使得江南上空暖湿气流异常强盛,同时北方冷空气不断补充南下,湖南持续处于冷暖空气的交汇区。因此充足的水汽条件是湖南 2 次典型冰冻灾害形成发展的一个重要原因,因此 700 及 850 hPa 的西南急流是湖南冰冻灾害天气发生、发展的重要条件之一。

由于大量暖湿空气沿着锋面抬升,在江南南部和华南北部很容易形成水汽辐合区,冰冻灾害发生严重地区与中低层切变线位置一致,强烈的水汽辐合在动力条件下辐合上升,强烈的水汽辐合也是湖南 2 次典型冰冻灾害发生、发展的一个主要条件。

冰冻灾害严重的地区与中低层切变线位置基本保持一致。逆温层的存在是冰冻天气出现的必要条件,逆温层的稳定、持久是湖南冰冻天气维持的重要判据,逆温层存在明显增温以及暖层下冷气层的加强是冰冻天气发生发展的重要因素,因此,对于湖南冰冻天气的预报,850 ~ 700 hPa 逆温层产生的时间、强度及持续时间对湖南冰冻灾害天气的发生、发展有着非常重要的指示作用。

参考文献:

[1] 国家气候中心,2008 年初我国南方低温雨雪冰冻灾害及气候分析[M]. 北京:气象出版社,2008. 34 - 95.
[2] 王东海,柳崇健,施晓晖,等. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报,2008,66(3):405 - 422.
[3] 贾宏元,赵光平,沈跃琴,等. 宁夏一次大暴雪天气过程的物理成因[J]. 干旱气象,2007,25(4):36 - 40.
[4] 王遵娅,张强,陈峪,等. 2008 年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征[J]. 气候变化研究进展,2008,4(2):63 - 67.
[5] 郭萍,王亚莉,李成武,等. 云南临沧市 3 次罕见雨雪天气对比分析. 干旱气象,2009,27(1):21 - 25.
[6] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007. 280 - 358.
[7] 王晓兰,李象玉,黎祖贤,等. 2005 年湖南省特大冰冻灾害天气分析[J]. 气象,32(2):87 - 91.
[8] 王凌,高歌,张强,等. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析[J]. 气象,34(4):95 - 100.
[9] 王崇洲,贝敬芬. 一次暴雪、雨凇、冰雹天气过程的综合分析[J]. 气象,18(4):48 - 52.
[10] 郑婧,许爱华,许彬. 2008 年江西省冻雨和暴雪过程对比分析[J]. 气象与减灾研究,31(2):29 - 35.

Characteristic and Formation Analysis on Two Typical Freezing Disaster Weather Events in Hu'nan Province

DING Xiaojian[1,2], YANG Jun[1], TANG Minghui[2], HE Zhengyang[2], LI Xiangyu[2]

(1. *Nanjing University of Information Science & Technology*, *Nanjing* 210044, *China*;
2. *Meteorological Observatory of Hu' nan Province*, *Changsha* 410007, *China*)

Abstract: In 2008 and 2005, there were two typical freezing disaster weather events occurred in Hu' nan Province and resulted in severe damages due to their powerful intensity. In the paper, we made comparative analysis from charactereristics and formation causes of these two weather events and pointed out the forecast factors for freezing weather, which can further improve forecasting capabilities of freezing weather in Hu' nan Province.

Key words: Freezing; warm and humid airstream; inversion layer