

陈雷,戴建华,韩雅萍. 上海地区近 10 年冷流降雪天气诊断分析[J]. 气象,2012,38(2):182-188.

上海地区近 10 年冷流降雪天气诊断分析^{*}

陈 雷 戴建华 韩雅萍

上海中心气象台,上海 200030

提 要: 统计了近 10 年发生在上海地区的冷流降雪过程,初步揭示了此类天气过程的产生机理,并分析了降雪发生时对应的高低空天气形势、探空图、卫星云图和雷达回波特征。结果表明:上海地区 2000—2009 年共出现冷流降雪 12 次,占降雪总日数的 25%,大部分过程降雪明显时段高空 500 hPa 上海处在槽前。冷流降雪发生时,宝山站探空图上,低层有不稳定层结,且 850~925 hPa 湿度较大。冷流降雪对应的红外云图,云阶走向和海岸线一致,且云体呈白亮波状结构,云顶高度多在 3000 m 以下,雷达反射率因子较弱,多低于 35 dBz。绝大部分过程海水和 850 hPa 温差在 10~14℃ 之间,海水和 925 hPa 温差介于 8~11℃ 之间。降雪发生时宝山站吹 NW—WNW—N 风,风速为 3~6 m·s⁻¹。与山东半岛相比,上海地区地理位置和地形条件决定其冷流降雪有分布范围小、持续时间短、降雪强度弱等特点。

关键词: 冷流降雪, 热对流, 不稳定, 卫星云图, 雷达回波

Diagnosis Analysis of Cold Airflow Snowfall Events over Shanghai Area in Recent 10 Years

CHEN Lei DAI Jianhua HAN Yaping

Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030

Abstract: Using upper and lower weather chart data, sounding data, radar and satellite data, the cold airflow snowfall events which happened in recent 10 years in Shanghai area were studied and the mechanism for this kind of weather was preliminarily revealed. The conclusions are as follows: there are total 12 cold airflow snowfall events over the year 2000 to 2009 in Shanghai area, which take up a proportion of 25% of the whole snowfall weather days for recent 10 years in Shanghai area. Most of the events, when the snowfall is notable, happened to have a trough behind Shanghai area on the 500 hPa weather chart. Before the cold airflow snowfall, the stratification in the low layer of the sounding data at Baoshan Station was often unstable, and it was usually very moist between 850 and 925 hPa levels. On the satellite image of cold airflow snowfall, the cloud which has a shape of white bright wavy structure and a height below 3000 m, goes in the same way as the trend of coastline. Radar reflectivity was very weak, usually less than 35 dBz for most of the cold airflow snowfall events, and the difference in temperature between sea surface and 850 hPa level was 10 to 14℃, while on the 925 hPa level the difference was 8 to 11℃. The wind direction of Baoshan Station was NW-WNW-N and wind speed was 3—6 m·s⁻¹ during cold airflow snowfall. Compared with Shandong Peninsula, the cold airflow snowfall in Shanghai area has a smaller range, shorter duration and lower intensity because of its special geographical position and topographic condition.

Key words: cold airflow snowfall, thermal convection, instability, satellite cloud image, radar echoes

* 国家自然科学基金面上项目(41175050)资助

2011 年 2 月 14 日收稿; 2011 年 9 月 29 日收修定稿

第一作者:陈雷,主要从事短时临近预报和雷达、闪电资料应用研究. Email:ansn001001@sina.com

引言

冷流降雪又叫海效应降雪^[1],一般在冷空气流经暖的洋面时产生,降雪主要集中在海面上以及近海地区。冷流降雪通常发生在中高纬度沿海特定区域,如大西洋西岸的加拿大魁北克地区和大西洋东部的英格兰岛、日本海东部的日本西海岸等^[1],我国的渤海地区也是冷流降雪的高发地区。与冷流降雪(海效应降雪)机制类似的是湖效应降雪,顾名思义降雪主要发生在湖面及湖畔地区,如美国的五大湖和大盐湖等^[2]。从20世纪70年代起美国便有学者对冷流降雪机理进行研究,我国在冷流降雪研究方面起步较晚,主要的研究区域也局限在渤海地区特别是山东半岛附近,曹钢锋等^[3]将造成山东半岛冷流降雪的冷空气归结为三种路径,并指出了三种路径冷空气影响下山东半岛降雪的强度和范围。李刚等^[4]统计分析了1971—2000年发生在山东半岛北部(烟台)的冷流强降雪天气过程,得出了冬季不同月份的冷流强降雪天气预报指标,为预报冷流强降雪提供了依据。刁秀广等^[5]分析了2005和2008年发生在山东半岛北部的两次冷流暴雪过程,发现冷流暴雪产生在对流层低层辐合、中层辐散的上升运动区内,上升运动厚度浅薄;特殊地形造成的中尺度海岸锋对暴雪有增幅作用。于志良等^[6]从海-气相互作用角度分析山东半岛冷流暴雪的成因,指出,对马暖流西分支把外海的暖水输送到黄海和渤海,使渤海海表水温升高,海气温差加大,半岛地区冷流降雪量也相应增大。李洪业等和杨成芳等^[7-8]研究发现,山东半岛特殊的地形条件是造成半岛地区冷流降雪量分布不均的主要原因,半岛北部沿海丘陵山地的抬升作用,造成近地面层丘陵以北地区产生辐合上升运动,而丘陵以南地区则辐散下沉,进一步造成较大降雪量位于丘陵以北地区,而丘陵以南地区较少。杨成芳等^[1,9]对海(湖)效应降雪进行了广泛的研究,回顾了国内外有关海(湖)效应降雪的主要研究成果,对其产生机制、大尺度环流背景及多尺度相互作用、影响因素和空间形态分类等方面进行总结分析,还利用多种观测资料和中尺度模式对发生在渤海地区的多次冷流降雪过程进行分析和数值模拟,揭示了渤海效应暴雪的三维热力结构特征和中尺度特征,为这类降雪过程的业务预报提供了重要的借鉴和参考。

上海地处长江三角洲东端,东濒东海,南临杭州湾,北界长江口,三面环水,地理位置特殊,属于亚热带海洋性气候。冬季,当北方有强冷空气迅速南下,影响华东中部地区时,常会在南通沿海海面、长江口江面等地产生冷流降雪,并顺着偏北气流影响到上海东部沿海以及内陆地区。与山东半岛相比,上海地理位置偏南,冬季产生冷流降雪的冷空气势力偏弱,影响时间也较短。此外,上海地区的地形条件也不利于产生较大的冷流降雪,上海境内除西南部有少数丘陵山脉外,全为坦荡低平的平原,平均海拔高度仅4 m左右,地形抬升对冷流降雪的增强作用微乎其微。因此,上海地区冷流降雪有空间范围小、历时短、降雪强度弱等特点,在降雪机制方面也和山东半岛地区有所不同,目前国内学者对山东半岛地区冷流降雪研究较多,而发生在上海地区的冷流降雪天气过程很少被讨论和研究。本文运用探空、地面和高空天气图、卫星云图、雷达反射率等资料对2000—2009年近10年上海地区冷流降雪过程进行统计分析,得出降雪发生时的海气温差、热力不稳定性、风向风速等条件,这些要素可以作为此类降雪天气的预报指标,为业务预报工作提供一定的启发和参考。

1 上海地区冷流降雪成因及统计特征

1.1 冷流降雪成因初探

冷流降雪的本质是发生在对流层低层的热对流(见图1),它的产生与海水和空气的热力性质密切相关。我们知道,水的比热约为 $4200 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,而空气的比热随着温度、湿度和气压的不同发生变化,但一般不超过 $1900 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,因此当水和空气获得或丧失相同的热量时,空气的温度变幅要明显大于水。深秋或冬季,当有较强冷空气南下经过海面时,海水的温度降幅较小,而海表上方空气的温度降幅较大,因而使得海水和大气之间形成显著的温差。由牛顿热力学第二定律可知,当水面较暖,空气较干冷时,较暖的水面将向上传导热量并蒸发水汽,使其上方空气的温度趋于与水面温度相同,而在海表上方形成一片浅薄的暖湿空气层,而这个薄层以上的大气温度随着高度的升高快速递减,这

样便使得海表浅薄的暖湿气层与其上空更干冷的空气间形成不稳定层结,产生热对流运动,形成云并产生降雪^[1]。降雪起初发生在海上,而后随风飘到陆地上空,使得海岸附近地区也产生降雪,这便是冷流降雪的机理。

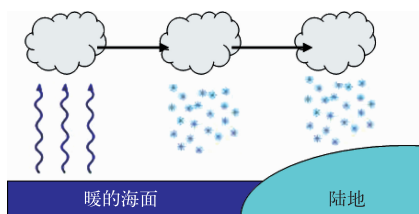


图 1 冷流降雪示意图
Fig. 1 Schematic diagram
of cold airflow snowfall

引言中已经讲过,上海处在中纬度亚热带地区,三面环水,地理位置十分特殊,其气候受海洋影响比较大。深秋或冬季,当北方有强冷空气南下影响华东中部地区时,按照前文提出的冷流降雪的产生机理,常会在苏北、上海到浙北等地的沿海海面生成冷流降雪,降雪起初分布在海面上,由于强冷空气影响下高低空多为一致偏北风,且风力较大,容易把原先位于海面上空的降雪云团吹到海岸线附近的陆地上空,从而在苏北、上海到浙北的一些沿海地区也产生降雪(见图 2)。

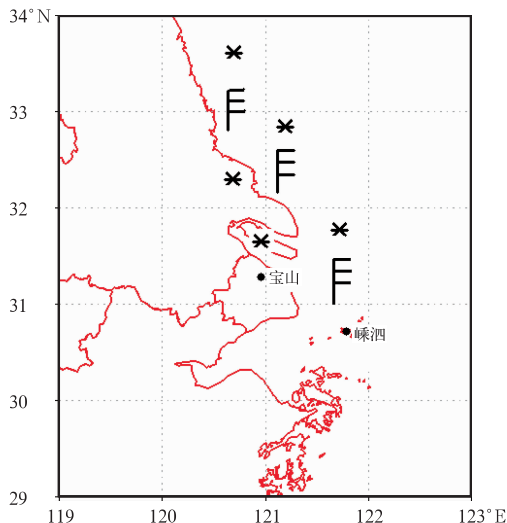


图 2 上海地区冷流降雪示意图
Fig. 2 Schematic diagram of cold
airflow snowfall in Shanghai area

1.2 近 10 年上海冷流降雪统计特征

本文规定上海地区 11 个区县站若某日有 1 个

及以上测站观测到降雪即登记为 1 个降雪日。对上海地区 2000—2009 年的实况观测资料统计发现,近 10 年共出现 48 个降雪日,平均每年 4.8 次。其中,2008 年最多,有 17 个降雪日;2007 年最少,没有出现降雪。参照上海地区冷流降雪的产生机理,初步分析,在这 48 个降雪日中,冷流降雪有 12 次,占总数的 25%,平均每年 1.2 次,其他 36 次为锋面降雪。从月际分布来看,12 次冷流降雪均出现在 12 月至 2 月,其中 12 月 5 次,1 月 4 次,2 月 3 次;从降雪时次看,12 次冷流降雪均出现在白天,且 08—14 时降雪范围和强度较大;从降雪量来看,绝大部分过程降雪量在 1 mm 以下,为小雪或小到中雪,只有两次过程降雪量在 1 mm 以上,即 2009 年 12 月 27 日下了中雪(3 mm),2004 年 1 月 18 日下了大雪(7 mm)。

2 个例分析

2.1 高空、地面等天气图分析

李刚等^[4]对 1971—2000 年烟台各月冷流降雪天气对应的 500 hPa 特征进行了统计,发现多数冷流降雪过程 500 hPa 有槽配合,说明主要降雪时段和 500 hPa 槽过境时间有较好的对应关系。本文以 2008 年 12 月 22 日冷流降雪过程为个例,着重分析降雪时对应 500 hPa 高空形势,另外对 850 和 925 hPa 等更低层次流场也进行了分析。

图 3 为 2008 年 12 月 22 日 08 时 500(a)和 850 hPa(b)高空天气图,当日降雪较明显时段(08 时前后)对应高空 500 hPa 长江中下游环流平直,上海处在槽前西南偏西气流控制下,涡度为正,而 20 时(图略)高空槽已东移入海,上海转受槽后西北偏西气流控制,冷流降雪也停止。850 hPa 图上,降雪较明显时段(08 时前后)高空主要锋区已经南压至华东南部到华南沿海一带,上海处在冷区内西北(偏北)气流控制下;925 hPa 情况(图略)和 850 hPa 类似。进一步统计上海地区近 10 年 12 次冷流降雪过程对应的高空形势资料,发现大多数个例(10 次)降雪产生时 500 hPa 有上述特征,即上海地区处在槽前,另有 2 次过程 500 hPa 处在槽底附近,上海为偏西风。

图 4 为 2008 年 12 月 21 日 08 时和 22 日 08 时地面图。21 日 08 时前后北方强冷空气开始影响上海,冷锋位于日本海南部、杭州湾到湖南南部一带,上海处在锋后大片雨雪区内,地面温度在 9℃ 左右

(图 4a);到 22 日 08 时(图 4b),冷空气的前锋已经南压至南海,锋后雨雪区也南压到华东南部到华南地区,上海地区温度骤降至 -3°C 左右,此时苏北到上海沿海海面由于受冷空气影响,对流层低层降温剧烈,使得海表与其上空气层达到显著的温差,进而生成冷流低云并产生降雪,并沿着高低空一致的偏北气流影响到盐城、南通、上海浦东、嵊泗等沿海地区,使得上述地区也出现降雪。通过对近 10 年上海地区 12 次

冷流降雪过程对应的地面图分析,粗略得出一些特征:上海地区近 10 年的冷流降雪大多发生在冷空气开始影响上海(即锋面压过上海站)24~30 小时后,且在锋面降水结束几个小时后开始出现冷流降雪,此时地面图上在河套附近常有一个 1030~1050 hPa 的分裂冷高压中心,华东中部受冷高压楔控制,上海吹北到西北风,地面温度在 4°C 以下。另外,近 10 年上海地区冷流降雪持续时间较短,一般在 12 小时以内。

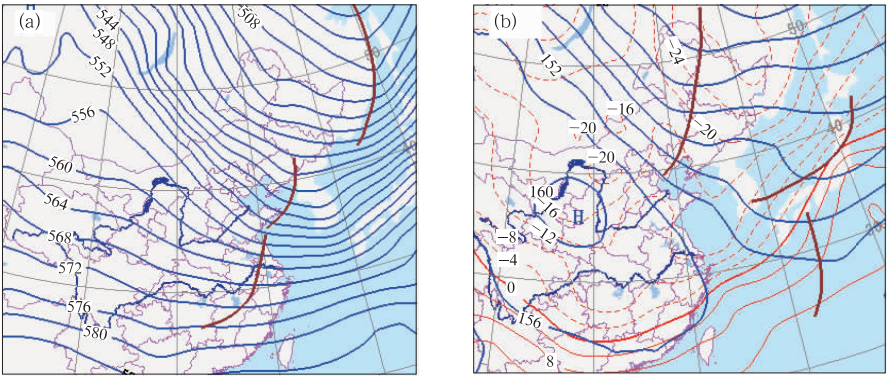


图 3 2008 年 12 月 22 日 08 时 500 hPa(a)和 850 hPa(b)高空天气图
Fig. 3 Upper weather charts at 08 BT 22 December 2008 for (a) 500 hPa and (b) 850 hPa

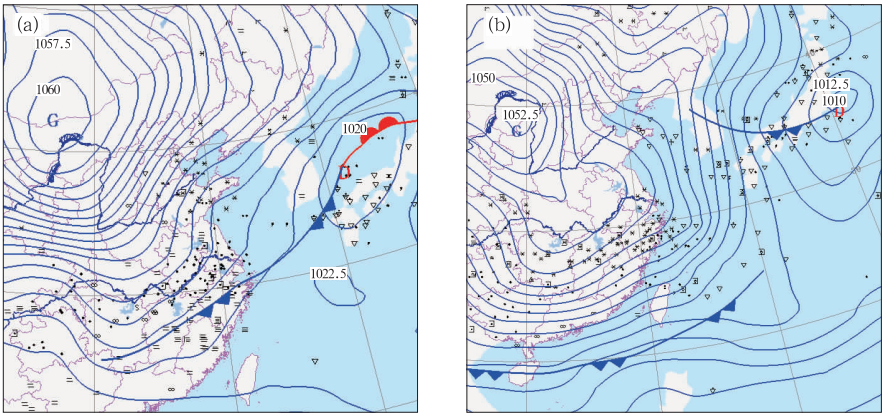


图 4 2008 年 12 月 21 日 08 时(a)和 22 日 08 时(b)地面图
Fig. 4 Surface weather charts at (a) 08 BT 21 December 2008 and (b) 08 BT 22 December 2008

2.2 探空、卫星、雷达等探测资料分析

对流天气发生有三个基本条件:水汽、不稳定层结和动力抬升。图 5 为 2008 年 12 月 22 日上海地区冷流降雪发生前一个时次(12 月 21 日 20 时)宝山站探空图,从中可见降雪发生前 850 hPa 以下层结曲线接近于干绝热线,对流有效位能为正值,表明低层有不稳定层结,且 850~925 hPa 湿度较大,可以为对流发生提供一定的水汽条件。从高空风来

看,850 hPa 到地面一致为西北风,风速在 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,700 hPa 以上至 200 hPa 均为西到西南风,表明上海地区高空处在槽前,槽前的上升运动可以作为对流的触发机制。另外,探空图中自由对流高度(LFC)很低,在 1000 hPa 左右,逆温层顶在 775 hPa 左右,表明对流容易触发,且对流主要发生在低空,对流云发展高度较低,在 3 km 以下。综上所述,通过对 2008 年 12 月 21 日 20 时宝山站探空图分析,表明此次冷流降雪发生前,大气层结条件

较好,有利于对流层低层热对流的触发和维持。

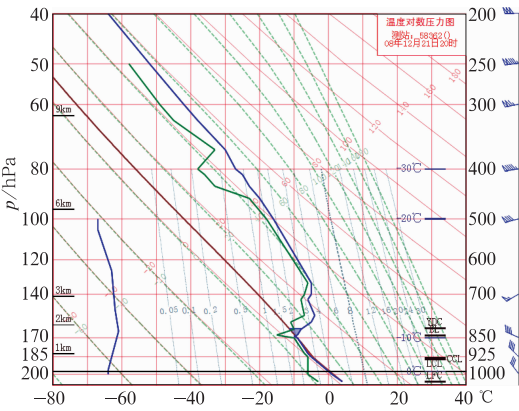


图 5 2008 年 12 月 21 日 20 时宝山站探空图
Fig. 5 Sounding observation at Baoshan
Station at 20 BT 21 December 2008

表 1 为上海地区近 10 年 12 次冷流降雪过程对应的探空物理量情况,表中第一行为降雪日期,如“20011221”表示 2001 年 12 月 21 日的降雪过程。从表中可以看出,近 10 年发生在上海地区的 12 次冷流降雪过程大部分(10 次)个例对应的探空物理量有如下特征:降雪发生前 CAPE 值为正,但数值较小,介于 $2.4\sim31.2\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间; K 指数条件较差,在 15°C 以下;自由对流高度(LFC)大多在 1000 hPa 左右,逆温层高度在 700 hPa 附近。

图 6 为 2008 年 12 月 22 日 08 时红外云图(a)和南通、盐城雷达拼图(b),从云图可见,降雪发生时黄海到东海均被大片低云覆盖,云阶走向和海岸线一致,为西北—东南向,且云体呈白亮波状结构,从同时次地面观测资料可知,该云带云底高度在 600 m 左右,云状为积雨云或浓积云,该云带即为产

表 1 上海近 10 年 12 次冷流降雪过程对应的探空物理量值
Table 1 Physical parameters of the 12 cold airflow snowfall events in Shanghai area in recent 10 years

降雪日期	2001 1221	2002 0118	2002 1225	2003 0127	2003 0211	2004 0118	2006 0105	2006 0204	2006 0217	2008 0114	2008 1222	2009 1227
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$	-16	8	-5	-3	12	9	-14	-29	-33	-55	-43	-16
CAPE/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	13.8	25.7	2.9	27.9	31.2	2.4	15.3	11.5	6.3	0	0	4.6
LFC/hPa	1009	1012	949	1010	1017	1019	1012	1017	1010	/	/	1018
逆温层高度/hPa	680	700	740	640	700	730	620	820	650	700	800	775

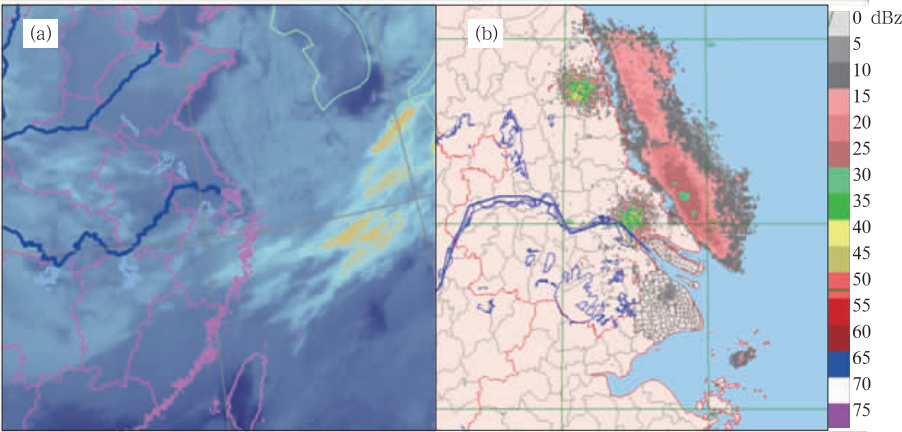


图 6 2008 年 12 月 22 日 08 时红外云图(a)和南通、盐城 0.5° 仰角雷达拼图(b)
Fig. 6 (a) Infrared cloud image and (b) radar mosaic of
Nantong and Yancheng for 0.5° elevation at 08 BT 22 December 2008

生冷流降雪的冷流低云。此外,云图中从日本南部到浙江南部沿海也有一条云带,云顶亮温较低,该云带与地面冷锋相对应。

从图 6b 可见,08 时盐城到南通沿海附近也有一条西北—东南向的回波带,与海岸线平行,回波主体集中在海上,陆地上基本无回波,回波强度在 $10\sim30\text{ dBz}$ 之间,且回波分布较均匀,30 dBz 较强回波

中心范围小。将雷达仰角抬升至 1.5° (图略),则回波范围迅速减小,表明系统发展的高度很低。由于回波离海岸很近,在高低空一致偏北气流作用下,降雪云团经常会被吹到沿海地区,从而在陆地上也产生降雪。上海地区近 10 年冷流降雪过程雷达反射率因子均较弱,低于 35 dBz,强回波范围也很小,相应产生的降雪强度也较小,而山东半岛地区冬季常

有冷流暴雪发生,对应雷达反射率因子较强,回波图上经常可见大片 30~40 dBz 的回波分布在半岛北部和东部^[10]。

3 影响上海冷流降雪的特征因子

冷流降雪除了受大尺度天气系统影响外,还与其他一些特征因子息息相关,如不稳定层结、风向风速等^[1]。

3.1 不稳定层结

3.1.1 海气温差

冷流降雪本质是发生在对流层低层的热对流,取决于海气温差的大小,海水和大气之间温差越显著,则层结越不稳定,产生冷流降雪的几率越大,相应的降雪强度也越明显。国内外已经有多位学者对海(湖)效应降雪的海(湖)气间温差进行了统计和研究。李刚等^[4]通过对 1971—2000 年发生在烟台的冷流强降雪天气过程统计分析,得出了冬季不同月份冷流降

雪发生时 850 hPa 平均气温和海水之间的温度对比,即 11 月份 13.1℃;12 月份 13.9℃;1 月份 11.7℃;2 月份 8.2℃。杨成芳等总结了 Niziol^[2]和 Lavoie^[11]等的研究成果,发现和海效应降雪(冷流降雪)一样,湖气温差也是湖效应降雪最重要的强迫机制,指出大湖和 850 hPa 温差 13℃(相当于干绝热递减率)是产生纯湖效应的必要条件^[1]。与山东半岛相比,上海地区冷流降雪强度较小,冷流云云底高度一般在 600 m 左右,对流发展高度低于 3 km。研究上海地区冷流降雪过程除了关注 850 hPa 和海水温差外,还应关注更低气层,如 925 hPa 温度和海水温度对比。表 2 为 2000—2009 年上海地区 12 次冷流降雪过程 850 和 925 hPa 温度以及同时次海水温度对比,其中高空温度取自宝山站探空资料,而海水温度以嵊泗站温度代替。从表中可以看出,降雪发生时海水温度介于 0~5℃之间,绝大部分过程海水和 850 hPa 温差在 10~14℃之间,而海水和 925 hPa 温差略低,介于 8~11℃之间。这些要素可以作为上海地区冷流降雪的一个预报指标,在业务中使用。

表 2 近 10 年上海冷流降雪 850 和 925 hPa 温度与海水温度对比
Table 2 Comparison of temperature at layer 850 and 925 hPa levels with sea surface temperature (T_s) for cold airflow snowfall events in Shanghai area in recent 10 years

降雪日期	2001 1221	2002 0118	2002 1225	2003 0127	2003 0211	2004 0118	2006 0105	2006 0204	2006 0217	2008 0114	2008 1222	2009 1227
T_{850}	-8	-5	-8	-8	-3	-8	-12	-9	-8	-8	-13	-9
T_{925}	-5	-4	-7	-6	-5	-5	-8	-9	-6	-5	-11	-6
T_s	3	5	3	2	3	3	2	2	3	4	0	2
ΔT_{850}	11	10	11	10	6	11	14	11	11	12	13	11
ΔT_{925}	8	9	10	8	8	8	10	11	9	9	11	8

注: T_s 为海水温度, ΔT_{850} 为海气温差, $\Delta T_{850}(\Delta T_{925})$: temperature difference between sea surface and layer 850 hPa (925 hPa) level

3.1.2 逆温层高度

冷流降雪除了取决于海气温差外,还和逆温层高度密切相关。杨成芳等^[1]指出,低层不稳定度取决于海(湖)气温差,不稳定层的深度取决于逆温层的高度和强度,两者都对海(湖)效应降雪的演变起重要作用。逆温层的产生多是源于高空冷平流下方的下沉运动,经过下沉增温在低层层结曲线上形成一个稳定层(逆温层或等温层)^[7]。逆温层的存在阻碍了热力对流向上发展和水汽的垂直输送,使热力对流在逆温层下进行,水汽在逆温层下凝结成云并产生降雪。研究发现,冷流低云云底高度一般在 600~1000 m,云顶高度一般在 3000 m 以下,少数对流较旺盛的暴雪过程云顶高度可达 4000 m^[7,10]。

统计表明,上海地区近 10 年冷流降雪发生时逆温层顶高度在 700~875 hPa 之间,即冷流低云云顶高度低于 3000 m。

3.2 风向风速

风向风速决定冷流降雪的分布区域和降雪强度。风向发生微小变化可以导致冷空气穿越暖水面的距离(称为穿越距离)发生很大的改变,穿越距离越大越有利于产生强冷流降雪^[1]。李洪业等^[7]通过对烟台站 1981—1990 年冷流降雪个例分析,发现 86%的过程烟台站风向为 N-WNW。而海气间热量和水汽交换与风速大小呈正比,冬季干冷空气过境,气温骤降,海气间温差加大,热量交换加剧。风速的大小还影响边界层间的垂直混合,大小合适的风速有利于产生辐合,增大垂直速度。但风速过大不利于水汽的积聚,水汽来不及凝结便会被大风吹散,不利于产生降雪,因此适当大小的风速对冷流降雪十分重要^[7]。Hjelmfelt^[12]和 Sousounis^[13]通过敏感性实验证明,中等强度的风速(4~6 m·s⁻¹)产生的

降雪量最大。图 7 为近 10 年上海冷流降雪发生时宝山站和嵊泗站风向方位和风速大小分布图,可见降雪发生时宝山站和嵊泗站风向均在 $290^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间,且大部分个例降雪发生时对应的风向在 $315^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 之间,即吹 NW—WNW—N 风。同时,近 10 年所有 12 次冷流降雪过程宝山站风速均介于 $3\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,嵊泗站风速介于 $9\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,沿海海面风力明显大于沿海陆地地区。

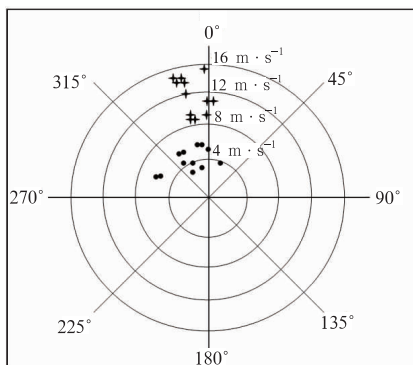


图 7 近 10 年上海冷流降雪发生时
宝山站和嵊泗站风向方位
和风速大小分布图

(图中“·”对应宝山站,“+”号对应嵊泗站)

Fig. 7 Distribution of winds at Baoshan
and Shengsi Stations during cold airflow
snowfall events in Shanghai area
in recent 10 years

(mark “·”: Baoshan, mark “+”: Shengsi)

4 结 论

本文对近 10 年发生在上海地区的冷流降雪过程进行统计和分析,初步揭示了上海地区冷流降雪的产生机理,并通过与山东半岛地区冷流降雪过程进行比较,得出了上海本地冷流降雪的一些局地特征,主要结论总结如下。

(1) 上海地区 2000—2009 年共出现冷流降雪 12 次,占降雪总日数的 25%,且降雪都发生在 12 月至 2 月,绝大部分过程降雪量在 1 mm 以下。

(2) 上海地区冷流降雪过程与高空 500 hPa 低压槽过境时间有比较好的对应关系,大部分过程降雪明显时段,高空 500 hPa 上海处在槽前,涡度为正。地面图上,冷流降雪发生时在河套附近常有一个 1030~1050 hPa 的分裂冷高压中心,冷空气的前锋已明显南压,位于华南沿海或南海地区。

(3) 冷流降雪发生时,宝山站探空图低层有不稳定层结,对流有效位能为正值,自由对流高度大多在 1000 hPa 左右,逆温层高度在 700 hPa 附近,且 850~925 hPa 湿度较大。冷流降雪对应的红外云图,云阶走向和海岸线一致,多为西北—东南向,且云体呈白亮波状结构,云顶高度较低,多在 3000 m 以下。降雪发生时雷达反射率因子较弱,绝大多数低于 35 dBz,且回波形态与云图类似,分布在海岸线附近。

(4) 冷流降雪和不稳定层结、风向风速等特征因子息息相关。上海冷流降雪发生时海水温度介于 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间,绝大部分过程海水和 850 hPa 温差在 $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ 之间,而海水和 925 hPa 温差略低,介于 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$ 之间。降雪发生时宝山站和嵊泗站风向在 $290^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间,即吹 NW—WNW—N 风。宝山站风速为 $3\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,嵊泗站风速 $9\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,沿海海面风力明显大于沿海陆地地区。

参考文献

- [1] 杨成芳,陶祖钰,李泽椿.海(湖)效应降雪的研究进展[J].海洋通报,2009,28(4): 81-88.
- [2] Niziol W, Snyder R, Waldstreicher J S. Winter weather forecasting throughout the eastern United States. Part IV: Lake effect snow[J]. Wea Forecasting, 1995, 10: 61-77.
- [3] 曹钢锋,张善君,朱官忠,等.山东天气分析与预报[M].北京:气象出版社,1998: 292-298.
- [4] 李刚,党英娜,袁海豹.烟台冷流强降雪天气预报指标统计分析[J].山东气象,2007,27(3): 24-26.
- [5] 刁秀广,孙殿光,符长静,等.山东半岛冷流暴雪雷达回波特征[J].气象,2011,37(6): 677-686.
- [6] 于志良.海-气感热输送在冷流降雪形成中的作用[J].海洋预报,1997,14(1): 17-24.
- [7] 李洪业,徐旭然.冷流低云降雪成因的分析[J].气象,1995,21(12): 21-24.
- [8] 杨成芳,周雪松.山东半岛冷流降雪的气候特征及其前兆信号[J].气象,2007,33(8): 76-82.
- [9] 杨成芳.渤海海效应暴雪的三维热力结构特征[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2010,40(2): 17-27.
- [10] 周淑玲,朱先德,符长静,等.山东半岛典型冷涡暴雪个例对流云及风场特征的观测与模拟[J].高原气象,2009,28(4): 935-944.
- [11] Lavoie R L. A mesoscale model of lake effect snowstorms[J]. J Atmos Sci, 1972, 29: 1025-1040.
- [12] Hjelmfelt M R. Orographic effects in simulated lake-effect snowstorms over Lake Michigan[J]. Mon Wea Rev, 1992, 120: 373-377.
- [13] Sousounis P J. A numerical investigation of wind speed effects on lake-effect storms[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1993, 64(3): 261-290.