

山东半岛冷流降雪的气候 特征及其前兆信号

杨成芳^{1,2} 周雪松¹ 王业宏¹

(1. 山东省气象台, 济南 250031; 2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室)

提 要: 采用山东省近 41 年冬季逐日降雪资料和近 25 年历年 11 月的海温资料, 运用数理统计及小波分析方法, 对山东半岛冬季冷流降雪的时空分布特征、演变规律及其与前期 11 月渤海海温的关系进行了诊断分析。结果表明, 降雪分布与丘陵地形密切相关, 主要集中在半岛的东北部, 自东北向西南地区降雪量急剧减少; 暴雪分布具有显著的中尺度特征; 冷流降雪以 12 月最为显著; 小波分析表明冷流降雪的主要周期为 4 年、7 年和 17 年左右; 11 月渤海海温偏高时, 降雪偏多的可能性较大, 反之降雪则偏少。

关键词: 冷流降雪 气候特征 周期 渤海海温

Climatic Features and Previous Signal of Cold Airflow Snowfall in Shandong Peninsula

Yang Chengfang^{1,2} Zhou Xuesong¹ Wang Yehong¹

(1. Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031; 2. State Laboratory of Severe Weather,
Chinese Academy of Meteorological Science)

Abstract: With statistical and wavelet analysis, snowfall data in recent 41a and SST of November in recent 25a are analyzed for cold airflow snowfall in Shandong Peninsula in winter. The results show that snow distribution has close relation to the landform with more snowfall in the northeast peninsula and less snowfall in the other areas. Cold airflow snowstorms are of remarkable mesoscale character and often occur in December. By using wavelet analysis it is also found that the main period is about 4, 7 and 17 years. The statistical analysis shows that SST of Bohai sea in November is remarkably useful signal for cold airflow snowfall prediction in winter.

Key Words: cold airflow snow climatic features period SST in Bohai Sea

引 言

冷流降雪是山东半岛东北部沿海地区冬季常见的一种特殊的地方性天气,产生在西北冷平流和渤海暖海面背景下。冷流降雪有时持续几日,常常给交通运输、工农业生产和人民生活带来重大影响和损失。如 2005 年 12 月 3—22 日,山东半岛地区发生了历史罕见的持续性冷流降雪,出现了 17 个降雪日,威海市累计降雪量达到了 98.5mm,烟台市达到 80.3 mm,最大积雪厚度 39cm。由于降雪持续时间长、强度大、积雪深,导致两地学校停课 6 天、陆上交通瘫痪、高速公路关闭、航班延误、客运航线停航等,给当地生产和生活造成严重影响,经济损失 5 亿元以上。山东半岛的冷流降雪因此引起人们的格外关注。过去国内对冷流降雪的研究多集中于以单站观测事实为基础的成因分析^[1-4],李洪业^[1]分析了烟台的冷流降雪,认为适宜的环流形势、低层稳定度、低层风切变等是冷流降雪产生的主要原因;郑丽娜等的研究^[2]表明渤海的特殊地形对山东境内沿渤海地区的冬季冷流降雪有很大贡献;也有研究^[3]认为冷流降雪与海气感热传输有关。利用长时间序列资料从整体上以及从海温场的角度研究山东半岛冷流降雪的文献较少见。由于对海温在冷流降雪中所起的作用认识不够,预报员在日常冷流降雪的预报中,往往只关注环流形势和气温场而忽视了海温场背景。因此,本文除了分析山东半岛冷流降雪的时空分布特征及其变化规律等基本特征外,还初步研究了渤海海温和冷流降雪的关系,试图寻找海温的指示信号,为冷流降雪的预报预测提供有益参考。

1 资料和方法

资料包括山东省 114 个气象观测站

1965—2005 年共 41 年冬季(12 月至次年 2 月,某年冬季中的年份指 12 月所在的年份)的逐日降水观测资料和天气图资料,美国国家环境预报中心提供的 1981—2005 年历年 11 月的海温再分析资料,分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。采用小波分析方法分析冷流降雪的周期特征及用其它数理统计方法诊断分析其时空分布特征和变化规律。

根据冷流降雪产生在西北气流背景下且仅限于山东半岛(对于山东省范围来说)的特点确定冷流降雪日。确定方法是:取山东半岛的所有观测站共 21 站,其它 93 站为内陆站,若半岛某站某降水日满足以下 3 个条件则为一个冷流降雪日:(1)半岛站有降水而所有内陆站均无降水,(2)当日该站平均气温低于 0°C ,(3)该日 700hPa 和 850hPa 天气图上山东半岛为西北气流控制。

2 冷流降雪的空间分布特征

图 1a 为山东半岛冬季冷流降雪量多年平均分布图。从图中可以看出山东半岛冬季冷流降雪分布具有显著的地域性特征。降雪主要集中在半岛东北部的烟台、牟平、威海、文登和荣城(因此下文将取该 5 站作为山东半岛冷流降雪的代表站),多年平均降雪量在 6~10mm 之间,威海最多为 10.0mm,自东北向西南地区降雪量急剧减少,乳山、海阳等地不足 1mm。山东半岛冷流降雪的这种分布特点和低山丘陵地形有很大关系,丘陵地带成为降雪量明显的分水岭。山东半岛地形的分布特点为, 37.2°N 附近即为东西方向的低山丘陵地带,11 座低山海拔高度均在 500m 以上,其中最高峰为昆嵛山,海拔 922.8m(图 1b)。地形的抬升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。当渤海海面的暖湿空气由西北气流输送到山东半岛北部沿海时,由

于受到东西向丘陵的阻挡而抬升,从而使上升水汽达到凝结高度产生降雪。这就造成了较大降雪量位于低山丘陵的北部地区,而丘陵以南地区降雪量减少。低山丘陵地形因此成为低云降雪的触发条件。

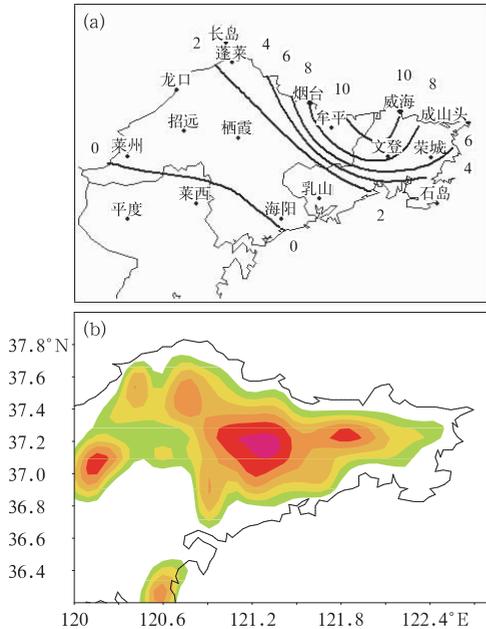


图 1 山东半岛冬季冷流降雪量多年平均分布(1965—2005 年)和地形图
a. 降雪量,单位: mm; b. 图中阴影区域为海拔高度在 150m 以上的地形,单位: m

3 冷流降雪的时间变化特征

3.1 年际变化

取多年平均降雪量排在前 5 位的烟台、牟平、威海、文登和荣成 5 个站点作为代表站,并将该 5 站的降雪量平均值作为山东半岛冷流降雪量。图 2 给出了 1965—2005 年历年冬季各站降雪量平均值。山东半岛各站冬季冷流降雪量多年平均值为 8.4mm,降雪量在 10mm 以下的年份占 67%,20mm 以上的只占 10%。从图 2 中可以看出,山东省冬季冷流降雪年际变化较大。1960 年代至

1980 年代,各年降雪量变化相对平稳。1991—1994 年连续 4 年冬季没有出现冷流降雪。值得注意的是,进入 1990 年代中期以后,冷流降雪量变化幅度增大起来,1997 年的降雪量猛增为 27.2mm,到 2005 年,降雪量则达到了 53.0mm,成为 41 年来的最高值。

从冷流降雪的日数来看(图略),半岛各代表站冬季平均为 5.8 天,最多的年份为 1967 年,13.8 天,而降雪量最多的年份 2005 年的降雪日数为 11.6 天。

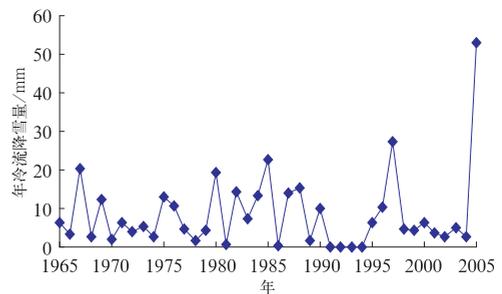


图 2 山东半岛冬季冷流降雪量的年际变化图(1965—2005)

3.2 月变化

山东半岛 12 月的冷流降雪量占整个冬季的 66%,降雪日数占 47%;从降雪量级来看,大雪以上降雪 12 月占 80%,1 月占 15%。可见,冬季的冷流降雪量主要集中在 12 月,且 12 月的降雪强度是最强的。其次是 1 月,降雪量占 24%,降雪日数占 37%,大雪以上降雪占 15%。研究表明^[1-2],海面面向大气输送感热的多少与海气温差和海面上风速呈正比,进入 12 月,冷空气势力增强,气温迅速下降,而海温下降速度缓慢且滞后,海气温差在一年中达到最大,因此 12 月的冷流降雪量多且强度大。

3.3 周期变化

利用 Morlet 小波分析方法分析冷流降雪的周期特征。经过小波变化后,可以看出

山东半岛冬季冷流降雪的多尺度时间周期变化特征及其在时间域中的分布情况(图 3a)。其实线代表正值,对应着降雪量偏多期,虚线代表负值,对应着降雪量偏少期。结果显示较明显的周期为 4 年左右、7 年左右和 17 年左右。不同阶段存在不同时间尺度的周期:41 年间主要表现出 17 年左右的振荡周期,1980 年代以前则呈现出 4 年左右的周期,从 1990 年代中期开始 7 年左右的周期比较明显。小波系数等值线的疏密程度反映了降雪量的变化强度,降雪量越大,则实线等值线越密集。从图中可以看出,1985 年、1997 年和 2005 年都对应着较大的正值中心,说明这些年份降雪量比较大。从 1990 年代中期以来的等值线非常密集,以 2005 年的振荡最为强烈,表明这期间降雪多,变化幅度大。其它年代振幅相对较小,说明降雪少且年际变化小。小波系数反映出来的降雪变化程度和实际时间序列年际变化表现出来的是一致的,这也进一步证明了小波分析对信号的强分析能力。

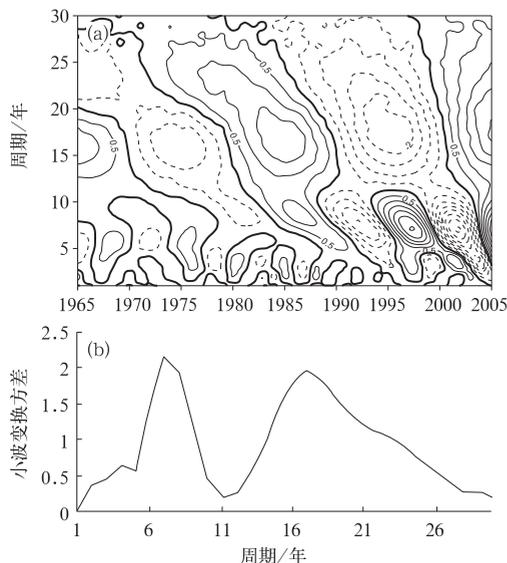


图 3 山东半岛冬季冷流降雪量 Morlet 小波系数实部等值线(a)和小波方差图(b)(1965—2005)

小波方差图反映了波动能量随时间尺度

的分布,可以用来反映一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度,对应峰值处的时间尺度为该时间序列的主周期,因此小波方差是确定时间序列主要周期的有效客观方法。图 3b 给出了冷流降雪的小波方差图。从图中可以看出,有 3 个峰值分别对应着周期为 4 年、7 年和 17 年,可见半岛的冷流降雪存在着 4 年、7 年和 17 年的周期振荡,其中以 7 年和 17 年的周期振荡更为明显一些,为主要周期。与前面的小波系数图对比,冷流降雪的特征时间尺度和主要周期是一致的。

4 冷流降雪强度特征

按照小雪、中雪、大雪和暴雪 4 个量级来统计分析各站冷流降雪的强度特征。表 1 给出的是各代表站冬季 41 年不同强度冷流降雪总日数及所占百分比。从表中可见,4 个量级中,从小雪至暴雪,降雪日数随着量级的增大而减小。小雪日数占绝对优势,41 年总日数在 166~211 天之间,占总降雪日数的 81%~86.8%,全省平均为 83%。大雪日数占总日数的 5.7%。暴雪日数在 3~6 天之间,全省平均仅占 1.7%。

规定山东半岛只要有 1 个站出现暴雪就算 1 个冷流暴雪日。41 年间,共出现了 13 个冷流暴雪日(表 2)。从暴雪出现的时间上看,除了 1 个暴雪日出现在 1 月外(1988 年 1 月 23 日出现在牟平)外,其它 12 个暴雪日均出现在 12 月,12 月的暴雪日数占冬季的 92%。从降雪量来看,日降雪量在 15mm 以上的都出现在离海边最近的地区——威海和烟台,其中威海 2005 年 12 月 7 日的日降雪量达到了 24.4mm,为冷流降雪的历史极值。暴雪的分布沿着西北气流自西北向东南分为两条线,烟台—牟平—文登为一线,威海—荣成为一线,从暴雪日数上看,相邻站牟平—文登一线的暴雪日数明显多于其它站,但是其

降雪强度不如威海和烟台大。从范围上看,一天中至多有 2 个测站同时出现冷流暴雪,41 年间的 13 个暴雪日中有 6 天只有 1 个站出现,另外 7 个为同时有 2 个站点出现暴雪,而且同时出现暴雪的 2 个站点在地理位置上都是相邻的,这些站点每 2 个站点之间的距离都在 50km 以内,可见在空间分布上强冷

流降雪局地性较强,具有显著的中尺度特征。在冷流暴雪的精细化预报中,冷流暴雪的这种中尺度分布特征值得注意。

5 冷流降雪异常与海温的关系

研究表明^[3],山东半岛的冷流降雪与渤

表 1 各代表站冬季 1965—2005 年不同强度冷流降雪总日数及所占百分比

站点	小雪		中雪		大雪		暴雪		总日数
	日数	百分比/%	日数	百分比/%	日数	百分比/%	日数	百分比/%	
烟台	166	81.0	19	9.3	17	8.3	3	1.5	205
牟平	172	81.5	19	9.0	15	7.1	5	2.4	211
威海	241	83.7	32	11.1	12	4.2	3	1.0	289
文登	211	81.5	26	10.0	16	6.2	6	2.3	259
荣成	211	86.8	20	8.2	9	3.7	3	1.2	243
平均	200	83.0	23	9.6	14	5.7	4	1.7	241

表 2 各代表站 1965—2005 年冬季冷流暴雪情况

日期	站名	降雪量(mm)	站名	降雪量(mm)
1967.12.28	烟台	15.8	牟平	10.0
1980.12.22	荣成	10.1		
1984.12.23	威海	13.3		
1985.12.15	牟平	10	文登	14.6
1988.01.23	牟平	14.1	文登	15.8
1988.12.16	文登	12.9		
1997.12.02	文登	11.3	荣成	10
2005.12.06	烟台	21.0	牟平	12.1
2005.12.07	威海	24.4	牟平	10.9
2005.12.11	烟台	12.4		
2005.12.12	文登	11.2		
2005.12.13	文登	12.6		
2005.12.21	威海	18.3	荣成	14.7

海面向大气底层输送的感热输送有密切关系,感热越大降雪的几率越大,而海面向大气输送感热的多少,与海气温差呈正比。由此可以推断,在冷空气强度不变的背景条件下,海面的温度越高,则海气温差越大,越有利于产生冷流降雪,反之则不利。从前面的分析可以看到,冷流降雪年际变化十分显著,那么海温的变化是否也有差别?在 11 月,当气温已经剧烈下降时,海面仍然保持相对较高的

温度。与气温相比,海温的变化较为缓慢。11 月的气温变化将直接影响到 12 月的降雪,既然冬季的冷流降雪主要集中在 12 月,因此如果我们能够从冬季前期 11 月的海温场识别出异常年份的信号,则可为冬季冷流降雪量的预测提供有益的依据。

首先找出多雪年和定义标准化距平大于 1.0 的年份为冬季多雪年,而小于 -1.0 的年份为少雪年。标准化距平的计算公式为:

$$R_1 = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

其中 $x_i (i=1, n)$ 为历年冬季降雪量, \bar{x} 为多年冬季平均降雪量, n 为样本长度, σ 为标准差。由此计算得到,1965—2005 年间,多雪年有 7 年:1967、1980、1982、1985、1988、1997、2005 年;少雪年有 6 年,1981、1986、1991、1992、1993、1994 年。根据 WMO 的规定,把标准化距平达到 2 的事件称为异常。按照这个标准,则 1985、1997 和 2005 年都达到了冷流降雪异常多的程度,其中以 2005 年最为严重,标准化距平高达 6.82,可谓历史罕见。

对多雪年和少雪年的 11 月平均海温进

行分析。图4给出了山东半岛冬季冷流降雪异常多年和无冷流降雪年的11月海温距平图。发现5个多雪年中(其中1967、1980两年海温资料缺),有1982、1985、1988和2005年4个年份降雪前期11月渤海至渤海海峡的海温均为正距平,占多雪年的80%,表明前期11月渤海海温偏高时,冬季冷流降雪偏多。2005年11月,渤海北部的海温距平

中心值达到了 1.4°C ,成为历年11月海温偏高最大的年份,这可能是2005年冬季冷流降雪异常偏多的原因之一。只有1997年为负距平,负距平中心为 -0.2°C 。6个少雪年中,1981、1986、1991和1992年4个年份11月渤海至渤海海峡的海温均为负距平,占少雪年的67%,表明海温偏低时,冷流降雪偏少。

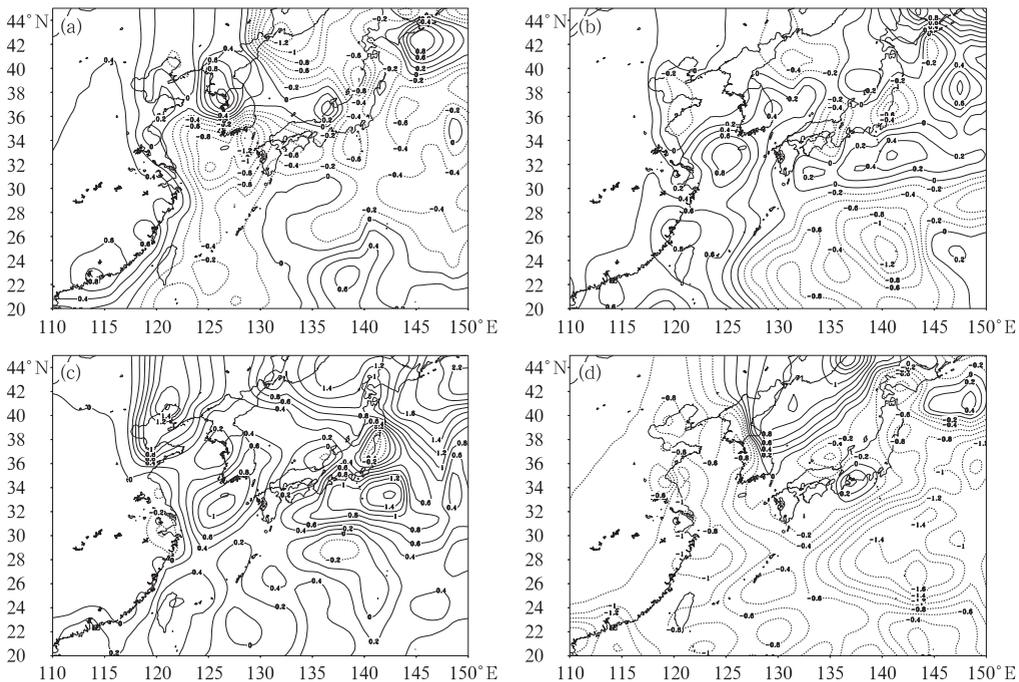


图4 山东半岛冬季冷流降雪异常多年和无冷流降雪年的11月海温距平图

a. 1985年;b. 1997年;c. 2005年;d. 1992年;单位: $^{\circ}\text{C}$

由上面的分析可见,在多数情况下,渤海海温偏高的年份,海气温差增大,从而使得冷流降雪偏多,反之,在渤海海温偏低的年份,海气温差减小,冷流降雪偏少。因此,11月渤海的海表温度对山东半岛冬季冷流降雪量有一定的指示意义。当然,除了海温以外,气温也是海气温差的影响因素之一。如果冷空气足够强,造成气温足够低,则即使在海温变化不利于降雪的情况下,同样也可以使得海气温差达到一定强度,从而产生冷流降雪;反

之,既使海温偏高,但冷空气很弱时会导致海气温差低,达不到冷流降雪的条件,降雪将偏少。这可能是1997年渤海的海温偏低但冬季冷流降雪却异常偏多以及1993、1994年海温偏高而降雪偏少的原因。

6 结论

(1) 山东半岛冷流降雪的分布与丘陵地形密切相关,主要集中在半岛丘陵的东北部,

自东北向西南地区降雪量急剧减少;每次冷流暴雪仅局限于两个县级站之间,这种显著的中尺度分布特征在冷流暴雪的精细化预报中值得注意。

(2) 在过去 41 年中,降雪年际变化较大,1990 年代中期以后降雪强度显著增强。一年中以 12 月的降雪量最多且强度最大,冷流暴雪几乎都出现在 12 月。

(3) 小波分析表明了冷流降雪的多尺度时间变化特征,主要周期为 4 年、7 年和 17 年左右,以 7 年和 17 年最为显著。

(4) 11 月的渤海海温可作为山东半岛

冬季冷流降雪量预报的前兆信号。当海温偏高时,降雪偏多的可能性较大,反之,则偏少。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 郑丽娜,石少英,侯淑梅.渤海的特殊地形对冬季冷流降雪的贡献[J].气象,2002,19(10):49-51.
- [3] 于志良.胶东半岛冷流降雪与海气湍流感热输送的关系[J].气象学报,1998,56(1):120-127.
- [4] 张黎红.大连地方性冷流降雪成因分析[J].辽宁气象,2004,4:11-13.