

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.

山东半岛冷流暴雪雷达回波特征^{*}

刁秀广¹ 孙殿光² 符长静² 苏添记²

¹ 山东省气象台, 济南 250031

² 烟台市气象局, 烟台 264001

提 要: 利用烟台多普勒雷达资料, 结合天气形势, 对 2005 年 12 月 3—7 日和 2008 年 12 月 3—6 日山东半岛北部的冷流暴雪过程进行了分析研究。结果表明: 东北冷涡造成强冷空气频繁, 在对流层低层山东半岛存在强冷平流, 海面温度和低层大气温度的较大温差造成了低层大气不稳定; 渤海和黄海北部海区为降水提供了丰富的水汽; 冷流暴雪产生在对流层低层辐合、中层辐散的上升运动区, 上升运动厚度浅薄; 特殊地形造成中尺度海岸锋, 对暴雪的产生起到增幅作用。回波高度和强回波高度与低层散度、0~2 km 风切变和低层温度差等环境参数有较好的对应关系。850 和 925 hPa 辐合越强, 0~2 km 切变越大, 低层温差越大, 越利于回波发展。回波源地在雷达站北部渤海海峡区域; 强降水时段回波呈带状分布, 回波移动方向与带状长轴方向基本一致, 致使降雪维持时间较长; 回波强度基本在 25~35 dBz 之间, 高度在 3 km 左右; 径向速度图上可分析出明显的中尺度系统——海岸锋, 海岸锋的摆动决定了陆地上暴雪的落区, 海岸锋靠近海岸线(10 km 以内)降水偏西, 主要集中在半岛北部沿海的中部地区, 海岸锋远离海岸线(距海岸线 10~40 km)降水偏东, 主要集中在半岛北部沿海的东部地区。

关键词: 冷流暴雪, 海岸锋, 雷达回波特征

Doppler Radar Echo Features of Cold Airflow Snowstorms in Shandong Peninsula

DIAO Xiuguang¹ SUN Dianguang² FU Changjing² SU Tianji²

¹ Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031

² Yantai Meteorological Office of Shandong Province, Yantai 264001

Abstract: Several cold airflow snowstorms emerging in northern coast of Shandong Peninsula from 3 to 7 December 2005 and from 4 to 6 December 2008 were analyzed with Doppler radar data from Yantai and conventional observational data. The results show that the northeast cold vortex in mid troposphere influenced the Shandong Peninsula before and during the snowfall, respectively. Frequently strong cold air in the lower troposphere causes a great air-sea temperature difference which is the main reason to induce thermal instability of atmosphere. The water vapor was transported to the snowfall area from the Bohai Sea and northern Huanghai Sea in the lower troposphere and boundary layer. Snowstorms occurred in updraft area with convergence in low troposphere and divergence in mid troposphere. Updraft layer is much more lower than summer heavy rain. The forming and maintaining of mesoscale coastal front along coast line of northern Shandong Peninsula played an important role in the genesis of snowstorms. Echo top and strong echo (above 30 dBz) height have good corresponding relationship with the low-level divergence, 0—2 km wind shear and air-sea temperature difference. The strong convergence at 850 and 925 hPa, high 0—2 km shear

* 山东省科技厅科技攻关项目(2010GSF10805、2007GG20008001 和 2009GG10008001)和山东省气象局开放式基金课题(2008sdqxj01)共同资助

2010 年 6 月 22 日收稿; 2010 年 12 月 19 日收修定稿

第一作者: 刁秀广, 主要从事强对流天气临近预报和雷达产品应用研究工作. Email: radaddxg@126.com

and large low-level temperature difference were conducive to echo development. Doppler radar products show that the initial echo generated in southern Bohai Strait and the heavy snow band extended from Bohai Strait toward Shandong Peninsula, the composite reflectivity was about 25 to 35 dBz, echo top was about 3 km. In the velocity field, the coastal front along coast line of northern Shandong Peninsula was very obvious during the heavy snowfall. The swing of coastal front determines the heavy snowfall region which would be in the middle part of northern coast of Shandong Peninsula when the coastal front closes to the coast line, and would be in the east of northern coast of Shandong Peninsula when the coastal front is distant from the coast line.

Key words: cold airflow snowstorms, coastal front, radar echo features

引 言

冷平流降雪(俗称冷流降雪)是山东半岛北部地区冬季比较常见的一种天气现象,当北方的冷空气南下,到达海面时,海面上方的暖湿空气向上移动,升至一定高度时,就会凝结成雪花,飘落下来,形成降雪。其形成机制与美国大湖效应降雪(lake-effect snowstorm)十分相似。国外许多学者从不同的角度研究湖效应降雪的发生和发展规律。Peter 等^[1]和 Steenburgh 等^[2]认为这种降雪产生在一定的湖气温差、风向风速、稳定性和温度递减率条件下,其中湖气温差是最重要的条件。Joseph 等^[3]发现中尺度涡旋在多普勒天气雷达上表现为强反射率因子,并产生强降雪。

国内对暴雪的研究多集中于天气尺度分析和中尺度数值模拟,而利用多普勒雷达进行中尺度分析相对较少。徐达生^[4]研究认为华北平原冬季较大的降雪大部分与回流天气有关。林文实等^[5]利用 MM5 模式进行模拟揭示华北一次暴雪天气的发生发展及其演变过程。张迎新等^[6]初步分析了华北回流暴雪的结构特征,发现降水强度与高空风速有很好的对应关系。周雪松等^[7]采用 WRF 中尺度数值模式对华北回流暴雪发展机理进行了研究。郑婧等^[8]对江西大雪天气的影响系统分析表明,大雪期间,阻塞高压、中低纬锋区异常强盛,80%的大雪天气存在阻塞高压,以贝加尔湖阻塞高压最多,70%受南支槽影响。对于山东半岛冷流降雪现象多人也进行了研究,杨成芳等^[9]对山东半岛冬季冷流降雪进行了气候统计,冷流降雪日平均为 5.8 天。李洪业、郑丽娜等^[10-11]研究认为山东半岛特殊地形对冷

流降雪的形成也有一定的作用。山东半岛有其独特的地形特点,北部沿海地区为低山丘陵覆盖,有 11 座山峰海拔高度在 500 m 以上,其中最高峰为昆嵛山,海拔高度为 922.8 m。丘陵地带成为降雪分布的分水岭,强降雪区烟台和威海均位于低山丘陵的北部,城市依海而建。冬季,当强冷空气暴发南下经过渤海到达山东半岛时,由于地形的作用,风向会发生逆时针方向旋转,如西北风到达陆地后会变为偏西风等,在北部沿海形成一中尺度海岸锋^[12-13],使低层的辐合和上升运动得到维持,有利于对流的生成和发展,也有利于海面暖湿空气的垂直输送,因此这种冷流降雪往往以烟台、威海两地北部海岸为多。

2005 年 12 月 3—20 日,受西伯利亚强冷空气影响,山东半岛出现持续性降雪天气,期间持续出现 7 个暴雪日和 3 个大雪日,持续性强降雪天气给威海、烟台两市带来巨大经济损失,造成高速公路关闭,水陆和航班停航,各类交通中断,这次暴雪被中国气象局列为 2005 年十大气候事件之一。2008 年 12 月 3—6 日,受强冷空气影响,烟台和威海两市出现暴雪天气,造成严重经济损失。李建华等^[14]利用 WRF 模式对 2005 年 12 月 6 日降雪进行了模拟,结果表明垂直方向上云水和云中霰的含量出现在 700 hPa 高度层以下,强上升速度中心在 850 hPa 附近,风场在 800 hPa 层以下辐合,以上辐散,进一步说明了冷流过程在低层表现更为明显一些。杨成芳等^[15]也对 2005 年 12 月连续性降雪过程动力特征进行了分析,结果表明对流层中低层的垂直速度、散度场、涡度场的动力耦合结构配置有利于暴雪的形成和维持。乔林等^[16]对干冷空气侵入在 2005 年 12 月山东半岛持续性降雪中的作用进行了分析,结果表明强降雪是低层饱和湿空气受地形强迫、锋生强

迫的抬升作用及湿对称不稳定能量释放的共同作用造成的,而干冷空气的侵入触发了不稳定能量的释放。牛若芸等^[17]对2008年12月2—6日寒潮过程的分析指出,山东半岛降雨和强降雪的环境成因和物理量特征存在明显差异,降雨为冷暖空气交汇所致,强降雪则是冷平流、海陆分布差异和地形抬升共同影响的结果。

1 概述

1.1 强降雪实况

2005年12月3—20日,受强冷空气影响,山东威海和烟台两地出现了罕见暴雪天气,威海市累计平均降水量25.8 mm,最大为威海市区54.6 mm;烟台市累计平均降水量18 mm,最大为芝罘区40 mm。烟台市芝罘区最大降水量出现在6日,为21 mm,其中6日08:00—12:00为9 mm,12:00—20:00为8.6 mm;威海市区大的降水量分别出现在4日和7日,分别为18.4和24.4 mm,其中4日02:00—14:00为12.4 mm,7日02:00—08:00为11.4 mm。

2008年12月3—6日,半岛东部降中到大雪,局部暴雪,文登过程降水量最大,为37.3 mm。4日08时到6日08时,烟台全市过程平均降水量8.7 mm,最大降水量出现在牟平区,为26.6 mm,雪深31 cm,其次为莱山区和芝罘区24.6 mm,雪深33 cm,其中莱山区和牟平区从4日20时到5日20时单日降雪量分别为23.3 mm和26.5 mm,均为本地有气象记录以来的历史极值。4日08时到6日08时,威海全市过程平均降水量12.8 mm,最大降水量出现在文登区,为28.2 mm,其中4日20时到5日20时降雪量为23.2 mm。

1.2 天气形势

2005年12月连续降雪过程影响系统是冷涡(图1a₁),我国东北地区至日本为深厚冷涡,涡后横槽不断携带强冷空气南下,以西北路径影响山东,在4,6,7日出现三次暴雪,都伴随着850 hPa温度明显下降。3日20时,850 hPa西北风达16 m·s⁻¹,等温线与等高线垂直,为强冷平流影响,且黄海、渤海等温线密集,4日08时成山头850 hPa气温下降

到-16℃(图1a₂),4日烟台、威海分别出现大雪和暴雪。4日20时,锋区移过山东,黄海、渤海等温线变得稀疏,5日20时成山头850 hPa气温回升到-9℃,5日降雪减小。6日08时,又一股冷空气沿西北气流影响,表现在冷平流再度加强,黄海、渤海等温线梯度增大,且成山头850 hPa气温再度下降到-12℃(图略),6日白天及夜间,烟台、威海相继出现暴雪。

2008年12月3—6日暴雪过程影响系统也是冷涡(图1b₁),冷涡中心位于我国东北地区,西北气流携带冷空气南下影响山东,4日晚到5日晚出现暴雪天气。4日20时,850 hPa西北风达14 m·s⁻¹,等温线与等高线之间有较大交角且等温线密集,为强冷平流影响;4日20时成山头850 hPa气温下降到-12~-16℃之间(图1b₂)。

1.3 动力特征

2005年12月4日08时散度场图上(图1c₁、1c₂)850 hPa以下渤海至黄海中部地区的散度都是负值,说明该区域850 hPa以下为辐合上升运动;850 hPa辐合上升强于925 hPa。700 hPa以上为散度正值区,对应辐散运动。

2008年12月4日20时散度场图上(图1d₁、1d₂)850 hPa以下渤海至黄海中部地区的散度都是负值,说明该区域850 hPa以下为辐合上升运动;925 hPa辐合上升强于850 hPa,上升运动较为浅薄。700 hPa以上为散度正值区,对应辐散运动。

1.4 水汽特征

2005年12月3日20时至6日20时,925 hPa半岛北部比湿在1.0~2.0 g·kg⁻¹之间,850 hPa半岛北部比湿在1.0~1.5 g·kg⁻¹之间,700 hPa半岛北部比湿在0.5 g·kg⁻¹左右,湿层在850 hPa之下。

2008年12月4日08时925 hPa半岛北部比湿在2~3.5 g·kg⁻¹之间,850 hPa半岛北部比湿在1~2.5 g·kg⁻¹之间,700 hPa半岛北部比湿在1.5~2.0 g·kg⁻¹之间,湿层在700 hPa之下。

2008年12月3—6日暴雪过程的湿度层厚于2005年12月3—7日暴雪过程。

2 多普勒雷达回波结构特征

2.1 2005 年 12 月 3—7 日暴雪雷达回波特征

2.1.1 回波强度特征

图 2 左列给出了 3—4 日几个时次的组合反射率因子产品。可以看出,前期回波分布较为零散(图 2a₁、2b₁)。主要降水时段回波呈带状(图 2c₁、2d₁、2e₁)分布,回波主体移动方向与带状长轴基本一致,回波强度在 25~35 dBz 之间。回波主要生成区域在雷达站北部的渤海海峡区域。回波高度基本在 3~4 km 之间。

图 3a₁ 和 3b₁ 是 6 日 07:59 和 11:59 两个时次的组合反射率因子产品,可以看出,回波呈带状分布,回波强度在 25~35 dBz 之间,回波主要生成区域在雷达站北部海区。回波顶高在 2.5 km 左右,与 4 日相比偏低。

图 3c₁ 和 3d₁ 是 7 日 01:30 和 08:01 两个时次的组合反射率因子产品,可以看出,回波呈带状分布,回波强度在 25~35 dBz 之间,回波主要生成区域在北部的海上。该时段回波顶高度在 2.5 km 左右,与 4 日相比偏低,与 6 日相当。

图 4a₁、4a₂ 是与图 2c₁ 中蓝线位置相对应(雷达原点为起点,113°方位)的 RSC 和 VCS,图 4b₁、4b₂ 是与图 3a₁ 中蓝线位置相对应(经过雷达原点)的 RSC 和 VCS,图 4c₁、4c₂ 是与图 3d₁ 中蓝线位置相对应(雷达原点为起点,335°方位)的 RSC 和 VCS。可以看出,4 日回波高度明显高于 6 日和 7 日的回波高度,4 日回波高度基本维持在 4 km,而 6 日和 7 日基本在 2.5 km 左右;强度在 30 dBz 以上的回波高度,4 日在 3 km 以下,而 6 日和 7 日在 1.5 km 以下。

2.1.2 径向速度特征

图 2 右列给出了 3—4 日几个时次的 0.5°仰角平均径向速度产品(V27)。可以看出,降雪前期零速度线呈弓状分布,负径向速度区大于正径向速度区,烟台至威海海岸一带风向为北风,雷达站西部陆地上为西北风(图 2a₂),半岛北部内陆为风向风速辐合区。3 日 22:06 平均径向速度图上零速度线经过雷达中心并在东北方向产生折角,其右端基本与烟台—威海的海岸线方向一致,说明海岸线附近存

在中尺度系统——海岸锋,基本呈东西向分布。之后,海岸锋一直维持,距离海岸线的距离在 10~20 km 之间变化(图 2b₂、2c₂、2d₂)。4 日 07 时之后海岸锋逐渐远离海岸,并逐渐消失,而回波强度和范围也逐渐减弱(图 2e₂)。

图 3a₂ 和 3b₂ 是 6 日 07:59 和 11:58 两个时次的 0.5°仰角平均径向速度产品,可以看出,零速度线经过雷达中心并在东北方向产生折角,说明海岸锋的存在,与海岸线的距离基本维持在 10 km 之内(图 3a₂、3b₂)。

图 3c₂ 和 3d₂ 是 7 日 01:30 和 08:01 两个时次的 0.5°仰角平均径向速度产品,与 4 日和 6 日相似,速度产品上仍可分析出明显的海岸锋,海岸锋距海岸线的距离在 10~30 km 之间变化。

从图 4a₂、4b₂、4c₂ VCS 产品上可以看出,回波区域从上到下基本是一致的西北气流。3 次强降水时段均与中尺度系统——冬季海岸锋密切相关,回波在北部海区生成,东南方向移动,在半岛北部海岸锋附近发展维持,造成持续性降雪天气。

2.2 2008 年 12 月 4 日暴雪雷达回波特征

2.2.1 回波强度特征

图 5 左列给出了 2008 年 12 月 4—5 日几个时次的组合反射率因子产品。可以看出,回波演变基本与 2005 年 12 月 3—4 日回波演变一致,前期回波分布较为零散(图 5a₁、5b₁),主要降水时段回波分布呈带状(图 5c₁、5d₁、5e₁)分布,回波主体移动方向与带状长轴基本一致,回波强度在 25~35 dBz 之间。回波主要生成区域在雷达站北部的渤海海峡区域。回波高度基本在 3 km 左右。

图 4d₁、4d₂ 是与图 5b₁ 中蓝线位置相对应(雷达原点为起点,115°方位)的 RSC 和 VCS,图 4e₁、4e₂ 是与图 5e₁ 中蓝线位置相对应(经过雷达原点)的 RSC 和 VCS。可以看出回波高度基本在 3 km 以下,强度在 30 dBz 以上的回波高度基本维持在 2 km 以下。

2.2.2 径向速度特征

图 5 右列给出了 4—5 日几个时次的 0.5°仰角平均径向速度产品(V27)。可以看出,降雪前期零速度线呈弓状分布,负径向速度区大于正径向速度区(图 5a₂),半岛北部内陆为风向风速辐合区。4 日

20:03 平均径向速度图上零速度线经过雷达中心并在东北方向产生折角,海岸线附近存在中尺度海岸锋,距离海岸线约 15 km(图 5b₂);21:58 海岸锋距离海岸线约 40 km(图 5c₂)。此阶段回波带偏东,大的降水量也偏东,即在威海市区域。

4 日 23 时之后,海岸锋逐渐靠近海岸线,5 日

02:24 海岸锋距海岸线约 10 km(图 5d₂),05:02 海岸锋基本与海岸线一致(图 5e₂)。此阶段海岸锋西撤,回波带也随之西撤,大的降水量集中在烟台市区域。

从图 4d₂ 和 4e₂ VCS 产品上可以看出,回波区域从上到下基本是一致的西北气流。

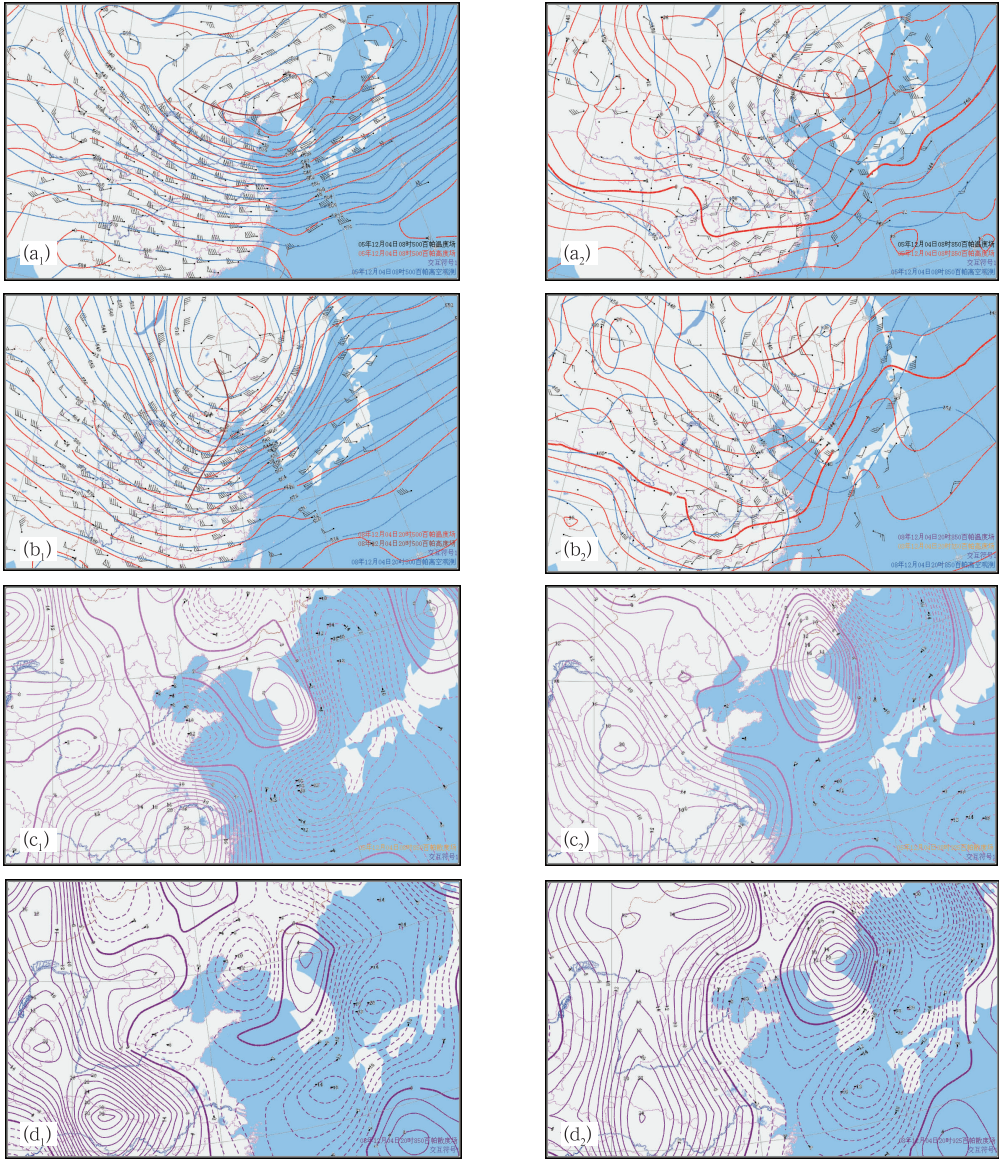


图 1 2005 年 12 月 4 日 08 时 500 hPa(a₁)和 850 hPa(a₂)形势,850 hPa(c₁)和 925 hPa(c₂)散度;2008 年 12 月 4 日 20 时 500 hPa(b₁)和 850 hPa(b₂)形势,850 hPa(d₁)和 925 hPa(d₂)散度

Fig. 1 Synoptic situation and divergence maps. (a₁) 500 hPa, (a₂) 850 hPa, at 08:00 BT 4 December, 2005; (b₁) 500 hPa, (b₂) 850 hPa, at 20:00 BT 4 December, 2008, red isolines: temperature, blue isolines: height; (c₁) 850 hPa, (c₂) 925 hPa divergence, at 08:00 BT 4 December, 2005; (d₁) 850 hPa, (d₂) 925 hPa divergence, at 20:00 BT 4 December, 2008, unit: 10^{-6} s^{-1}

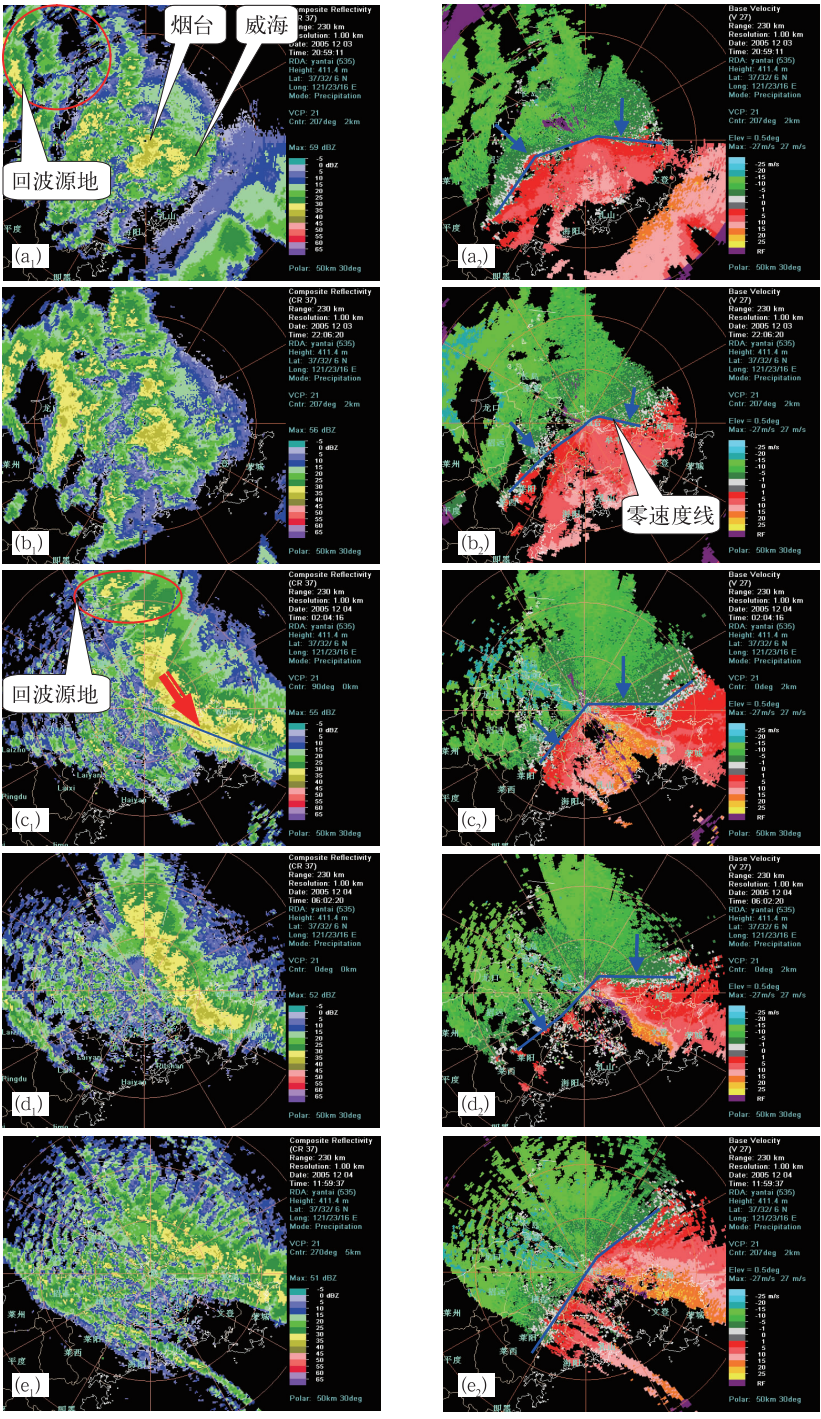


图 2 2005 年 12 月 3—4 日烟台雷达 CR37 和 0.5°V27 产品
(a₁, a₂) 3 日 20:59, (b₁, b₂) 3 日 22:06, (c₁, c₂) 4 日 02:04,
(d₁, d₂) 4 日 06:02, (e₁, e₂) 4 日 11:59

Fig. 2 Yantai radar products (left panel for composite reflectivity;
right panel for mean radial velocity on 0.5° elevation)
at 20:59 BT 3 December (a₁, a₂), 22:06 BT
3 December (b₁, b₂), 02:04 BT 4 December (c₁, c₂),
06:02 BT 4 December (d₁, d₂), and 11:59 BT
4 December (e₁, e₂), 2005

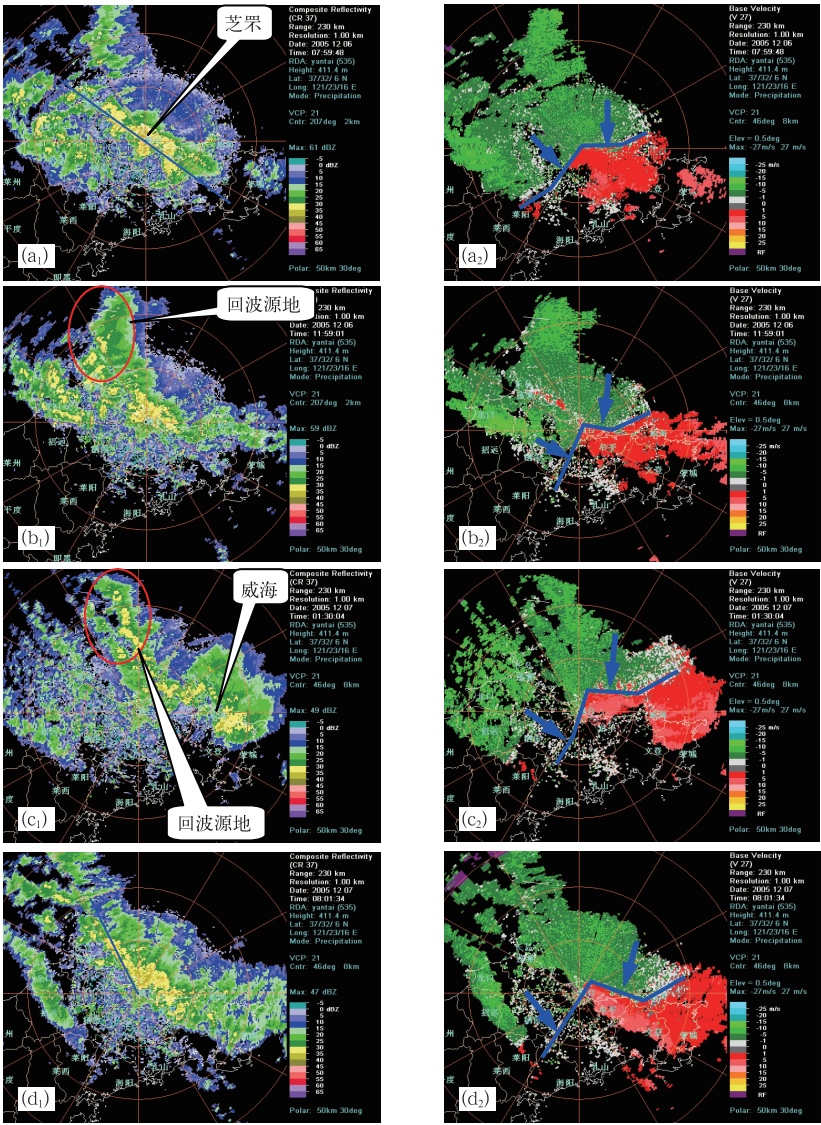


图 3 2005 年 12 月 6 日和 7 日烟台雷达 CR37 和 0.5°V27 产品
(a₁, a₂) 6 日 07:59, (b₁, b₂) 6 日 11:59, (c₁, c₂) 7 日 01:30, (d₁, d₂) 7 日 08:01
Fig. 3 As in Fig. 2, but 07:59 BT 6 December (a₁, a₂), 11:59 BT 6 December (b₁, b₂), 01:30 BT 7 December (c₁, c₂), and 08:01 BT December (d₁, d₂), 2005

3 对比分析

从雷达回波看,两次降雪过程中强降雪阶段的最大反射率因子都在 35 dBz 左右,基本没有差别;回波结构也都相似,即都是带状结构;径向速度图上也都呈现基本一致的西北气流。

回波高度存在明显差别,2005 年 12 月 4 日强降雪阶段回波高度在 4 km 左右,6 日和 7 日基本在 2.5 km 左右,2008 年 12 月 4—5 日强降雪阶段回波高度在 3 km 左右。强回波(≥30 dBz)高度也

存在明显差别,2005 年 12 月 4 日强降雪阶段强回波高度在 3 km 左右,6 日和 7 日基本在 1.5 km 左右,2008 年 12 月 4—5 日强降雪阶段回波高度在 2 km 左右。通过分析,回波高度和强回波高度的差异与散度、0~2 km 风切变和地面与 850 hPa 温度差等环境参数(见表 1)有较好的对应关系。表 1 中各参数选择的区域是半岛北部渤海海峡区域,散度包括 850 和 925 hPa 两个层次,0~2 km 风切变成为山头探空资料,温差是指 850 hPa 气温与海区表面气温的差值,以长岛地面气温代表海区气温。可以看出,2005 年 12 月 3 日夜间到 4 日白天 850 和

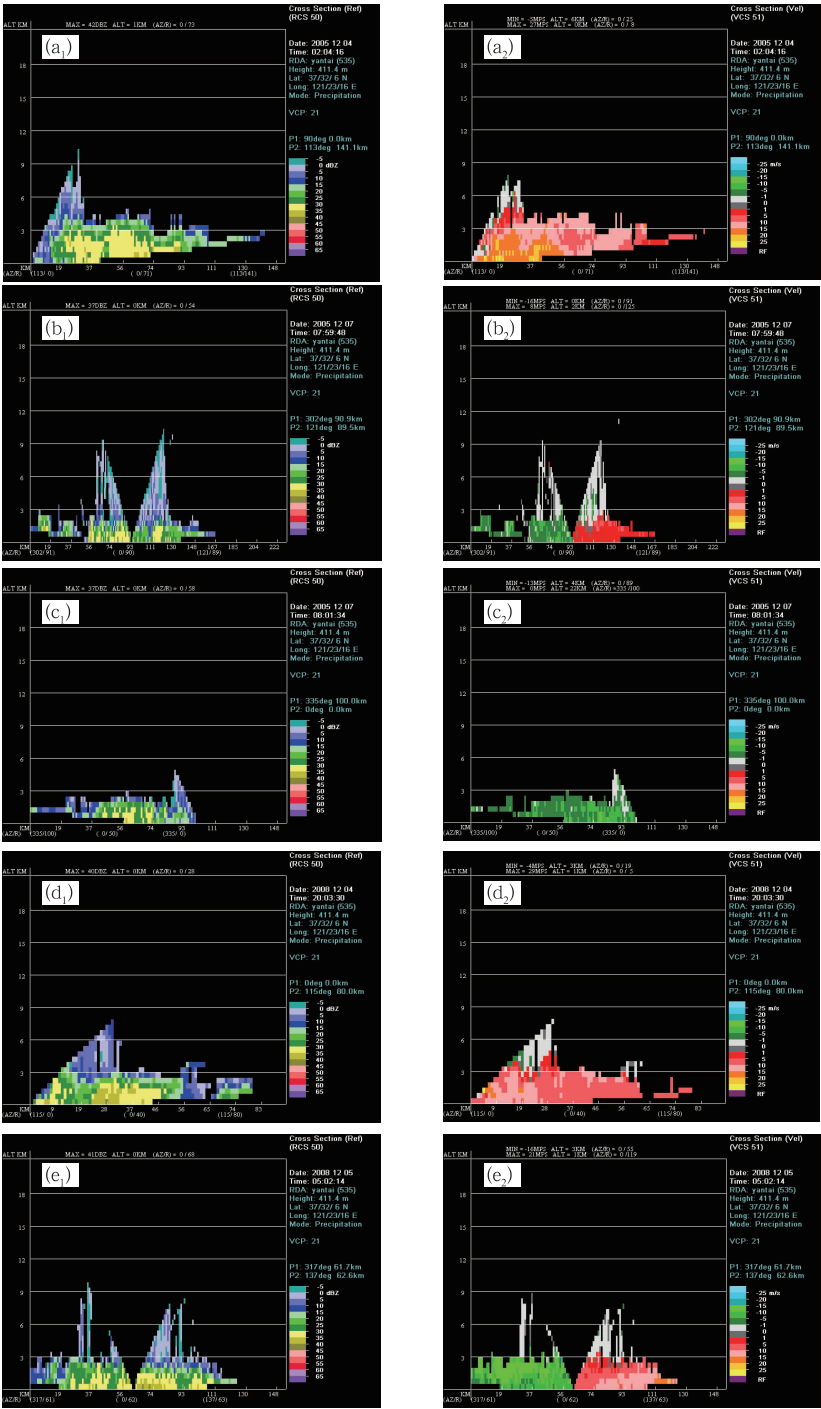


图 4 烟台雷达反射率因子剖面(RCS)和径向速度剖面(VCS)产品

(a₁, a₂) 2005 年 12 月 4 日 02:04, (b₁, b₂) 6 日 07:59, (c₁, c₂) 7 日 08:01,
(d₁, d₂) 2008 年 12 月 4 日 20:03, (e₁, e₂) 5 日 05:02

剖面图上突出的部分是雷达旁瓣产生的旁瓣回波

Fig. 4 As in Fig. 2, but for 02:04 BT 4 December 2005 (a₁, a₂), 07:59 BT 6 December 2005 (b₁, b₂), 08:01 BT 7 December 2005 (c₁, c₂), 20:03 BT 4 December 2008 (d₁, d₂), and 05:02 BT 5 December 2008 (e₁, e₂)

The echoes stretching upwards are side-lobe echoes caused by side lobes of radar beam reflected from mountains around radar site

925 hPa 散度明显小于其他时次,说明此阶段 850 和 925 hPa 辐合上升运动强于其他时次,次阶段回波发展高度高于其他时次。3 日夜间到 4 日白天低

层风切变明显增大,上下温差明显减小,说明动力和热力条件均好于其他时次,利于回波发展。2008 年 12 月 4—5 日 925 hPa 散度小于 2005 年 12 月 6—7

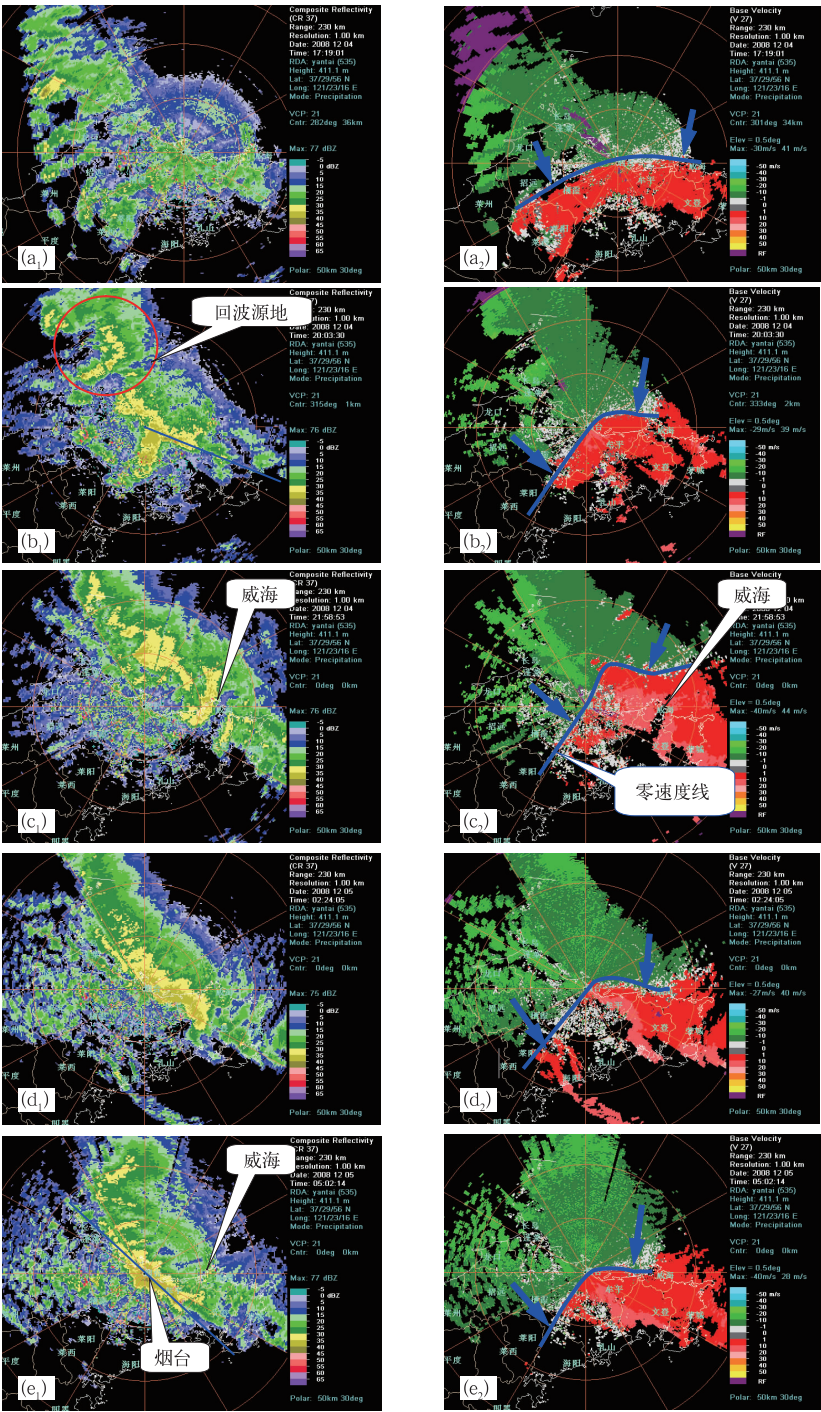


图 5 2008 年 12 月 4—5 日烟台雷达 CR37 和 0.5°V27 产品
(a₁, a₂) 4 日 17:19, (b₁, b₂) 4 日 20:03, (c₁, c₂) 4 日 21:58,
(d₁, d₂) 5 日 02:24, (e₁, e₂) 5 日 05:02
Fig. 5 As in Fig. 2, but for 17:19 BT 4 December 2008 (a₁, a₂), 20:03 BT 4 December 2008 (b₁, b₂), 21:58 BT 4 December 2008 (c₁, c₂), 02:24 BT 5 December 2008 (d₁, d₂), and 05:02 BT 5 December 2008 (e₁, e₂)

表 1 环境参数表
Table 1 Environmental parameters

物理量和环境参数		2005 年 12 月					2008 年 12 月	
		3 日 20 时	4 日 08 时	6 日 08 时	6 日 20 时	7 日 08 时	4 日 20 时	5 日 08 时
散度	850 hPa	−10~−8	−8~−6	−4~−5	−6~−4	−1~0	−4~−3	−1~0
	$/10^{-6} \text{ s}^{-1}$							
	925 hPa	−14~−12	−4~−2	0~2	−6~−4	−2~0	−10~−8	−4~−6
0~2 km 风切变	$/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2.9	7.2	4.2	5.5	4.3	2.5	5.4
温差	$/^{\circ}\text{C}$	12~13	16~17	12~13	11~12	13~14	13~14	14~15

日,温差低于 2005 年 12 月 6—7 日,风切变大致相当,因此 2008 年 12 月 4—5 回波高度略高于 2005 年 12 月 6—7 日。

4 小 结

(1) 2005 年 12 月 3—7 日和 2008 年 12 月 3—6 日发生在山东半岛北部沿海的罕见暴雪天气具有以下特征:东北冷涡造成强冷空气频繁,在对流层低层山东半岛存在强冷平流,850 hPa 温度一般都在 −12 ℃ 以下;海面温度和低层大气温度的较大温差造成了低层大气不稳定;渤海和黄海北部海区为降水提供了丰富的水汽;物理量场诊断分析表明,冷流暴雪产生在对流层低层辐合、中层辐散的上升运动区,上升运动厚度浅薄;特殊地形造成中尺度海岸锋,对暴雪的产生起到增幅作用。

(2) 雷达回波具有以下特征:回波源地在雷达站北部渤海海峡区域;强降水时段回波呈带状分布,回波移动方向与带状长轴方向基本一致,致使降雪维持时间较长;回波强度基本在 25~35 dBz 之间,高度在 3 km 左右;径向速度图上可分析出明显的 β 中尺度系统——海岸锋。

(3) 回波高度和强回波高度与低层散度、0~2 km 风切变和低层温度差等环境参数有较好的对应关系。850 和 925 hPa 辐合越强,0~2 km 切变越大,低层温差越大,越利于回波发展。

(4) 临近预报:对冷流降雪天气,应该注意的是海岸锋的生成、移动,但由于海上没有自动气象站,无法监测近海区域的风向变化,因此雷达低层径向速度产品分析对该类天气的临近预报十分重要。径向速度产品上一旦能分析出海岸锋,就意味着降水强度要加强,而且海岸锋的摆动决定了陆上强降雪的落区,海岸锋靠近海岸线(10 km 以内)强降雪主要集中在半岛北部沿海的中部即烟台市区域,海岸

锋远离海岸线(10~40 km)强降雪主要集中在半岛北部沿海的东部即威海市区域内。

参考文献

[1] Peter J S, Greg E M. Lake-aggregate disturbances. Part V: impacts on lake-effect precipitation[J]. Mon Wea Rev, 1985, 113(2):728-744.

[2] Steenburgh W J, Halvorson S F, Onton D J, et al. Climatology of lake-effect precipitation[J]. Mon Wea Rev, 2000, 128 (2):709-727.

[3] Joseph A G, Neil F L. Mesoscale vortices embedded within a lake-effect shore and band[J]. Mon Wea Rev, 2004, 132 (4):2269-2274.

[4] 徐达生. 1956 年 2 月 22—25 日的华北锢囚结构和降水[J]. 天气月刊,1957 (5):5210.

[5] 林文实,孟金平,蒙伟光,等. 华北暴雪的云微物理参数化方案的比较模拟[J]. 气象科学,2009,29(2):150-156.

[6] 张迎新,张守保. 华北平原回流天气的结构特征[J]. 南京气象学院学报,2006,29 (1):107-113.

[7] 周雪松,谈哲敏. 华北回流暴雪发展机理个例研究[J]. 气象, 2008,34(1):18-26

[8] 郑婧,许爱华,刘波. 江西大雪天气的时空变化及其影响系统分析[J]. 气象,2010,36(4):30-36.

[9] 杨成芳,周雪松,王业宏. 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.

[10] 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.

[11] 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, 2003, 29(1):49-51.

[12] 周淑玲,丛美环,吴增茂,等. 2005 年 12 月 3—21 日山东半岛持续性暴雪特征及维持机制[J]. 应用气象学报, 2008, 19 (4):444-453.

[13] 高松影,李慧琳,孙连强. 一次突发性中尺度暴雪天气过程分析[J]. 气象与环境学报,2006, 22(5):33-35.

[14] 李建华,崔宜少,单宝臣. 山东半岛低空冷流降雪分析研究 [J]. 气象, 2007, 33(5):49-55.

[15] 杨成芳,李泽椿,李静,等. 山东半岛一次持续性强冷流降雪过程的成因分析[J]. 高原气象, 2008, 27(2):442-450.

[16] 乔林,林建. 干冷空气侵入在 2005 年 12 月山东半岛持续性降雪中的作用[J]. 气象,2008,34(7):27-33.

[17] 牛若芸,乔林,陈涛,等. 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程分析[J]. 气象,2009,35(12):74-82.