

文章编号:1000-2022(2003)06-0852-07

多普勒天气雷达资料在 沙尘天气监测中的应用

张晰莹¹, 孙永罡², 金凤岭¹,
张礼宝¹, 张桂华³, 刘颖¹

(1. 黑龙江省人工影响天气中心; 2. 黑龙江省气象局; 3. 黑龙江省气象台, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 利用 3830 型多普勒天气雷达回波资料以及常规气象资料, 研究了 2002 年 3 月 20 日发生在从我国西部一直延伸至黑龙江省的沙尘暴、浮尘天气过程。初步分析了沙尘暴在 PPI(平面位置显示器)和 RHI(距离高度显示器)上的特征, 如沙尘暴的高度、厚度、浓度、移动特点、速度场分布以及垂直风速分布等特点。为多普勒天气雷达监测沙尘暴天气提供依据。

关键词: 沙尘; 多普勒雷达; 反射率因子; 径向速度

中图分类号: P415.2 **文献标识码:** A

随着国民经济的高速发展和人民生活质量的不断提高, 对沙尘天气表现得越来越敏感。由于人类活动对生态环境的破坏, 近几年沙尘天气发生频次明显增多。为了减轻沙尘天气的影响, 利用多普勒天气雷达对沙尘天气进行了实时监测, 为各级政府提供及时服务, 以便采取应对措施。

本文利用多普勒天气雷达资料, 对沙尘天气进行了全面分析, 在黑龙江省人工影响天气中心开展这方面工作以前, 在国内尚未见到利用多普勒雷达资料对沙尘天气进行全面分析和研究的文章。

本文只是分析了一个个例, 今后仍需长期坚持监测并积累资料, 以便探索沙尘天气发生、发展的基本规律以及与气候和环境的关系, 一方面为开展沙尘天气预测预报打基础, 另一方面更及时准确地向各级政府和社会提供服务。这也是气象服务的一个新领域。

1 沙尘暴天气概况

1.1 黑龙江省沙尘暴天气气候概况

近 20 a 资料分析显示: 黑龙江省西南部地区为沙尘暴、扬沙多发区, 沙尘暴平均 2 a 出现 1 d, 扬沙平均每年出现 3~10 d。从季节来看, 沙尘暴、扬沙天气多出现在春季, 4、5 月份最多, 3 月份次之。进入 20 世纪 90 年代, 沙尘暴、扬沙天气有所减少, 但从 1996 年以来, 扬沙天气又呈增多趋势。

收稿日期: 2003-01-28; 改回日期: 2003-04-30

作者简介: 张晰莹(1955-), 女, 黑龙江嫩江人, 高工, 研究方向: 天气雷达、卫星云图分析与应用。

黑龙江省沙尘暴和扬沙天气形成的主要原因:一是当强冷空气入侵时,带来大风和强上升气流,为沙尘升空提供动力条件。二是蒙古高原气候干旱,土壤荒漠化趋势加重,为黑龙江省沙尘天气提供了沙源。三是人为因素值得关注——由于过度放牧和垦荒,地表植被破坏,沙地面积有所扩大。

1.2 沙尘暴天气实况

2002年3月19—20日,受强冷空气影响,我国西部一直延伸至黑龙江省发生了一次大范围沙尘天气(图略)。我国北方大部分地区出现了扬沙和沙尘暴天气。

3月19日,西伯利亚有强冷空气堆积,蒙古低压生成。19日20时,随蒙古低压东移,西伯利亚主体冷空气向东南爆发,高低空风场迅速加强。20日08时,我国北方形成东北—西南向最大风速轴线,中心风速达 $28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在这种天气条件下,强烈的大风吹拂卷夹,形成了我国北方大范围的沙尘天气。

表1给出了哈尔滨3个环境检测点可吸入颗粒物浓度的变化。从20日(19日14时—20日14时)到21日(20日14时—21日14时),污染物浓度急剧上升,3个测站污染物分别增加了4、6和14倍。

图1给出了3月20日哈尔滨站的气压、湿度、温度、风速等要素的变化情况。从图中可以看到,17时开始,湿度明显增加,温度开始下降。20时锋面到达本站,出现弱降水,湿度继续增加,气温迅速下降。

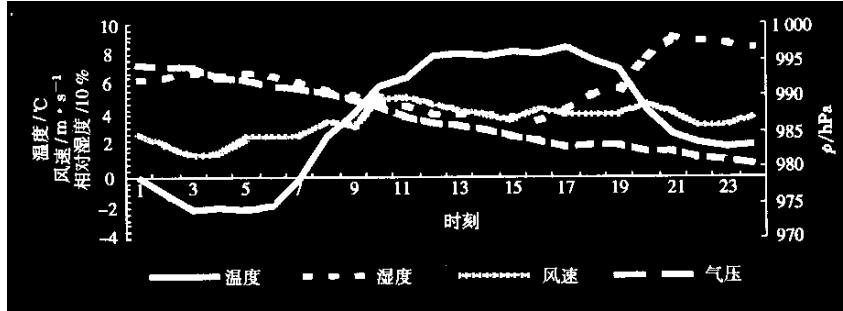


图1 哈尔滨站2002年3月20日气压、温度、风速和湿度变化

Fig. 1 Pressure, temperature, wind speed and humidity of Harbin on March 20, 2002

2 卫星云图特征分析

在卫星云图上,表现为一次明显的冷锋天气过程(图2)。强冷锋云带在向东偏北方向移动过程中迅速发展,云带变宽、密度增强;在云带的北端有明显的盾状急流云系。

20日02:00(图2a),在我国内蒙古东部至河套地区有一条宽广的冷锋云带(A),其低压中心云系在贝加尔湖的东南部,冷锋云带与低压中心云系断开。地面天气图上,锋区附近的风速较大($16\sim20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),部分测站有沙尘和高吹雪天气相伴。20日06:00,冷锋云带向东北方向

表1 2002年3月19—23日哈尔滨3个环境

监测点可吸入颗粒物浓度的变化(单位: mg/m^3)

Table 1 The concentration of inhalable particles at three environmental monitoring sites of Harbin from March 19 to 23, 2002 (units: mg/m^3)

	19日	20日	21日	22日	23日
岭北	0.069	0.128	0.959	0.499	0.067
香坊	0.195	0.207	0.826	0.592	0.184
道里	0.153	0.266	0.984	0.517	0.192

移动,云带在移动过程中发展、增强,云带增宽,结构密实。云带的北部前沿正位于黑龙江省的西南边界处。20 日 12:00(图 2b),冷锋云带的北端(B)已经全部覆盖黑龙江省的大部分地区,后边界整齐。11 时的地面天气图上,在锋区及其后部已经产生大范围的沙尘暴、扬沙和浮尘天气,黑色线是沙尘产生的地区。在卫星云图上,产生沙尘的地区呈灰白色,云顶亮温在 $-30 \sim -40^{\circ}\text{C}$ 。

20 日 14:00(图 2c),冷锋云带继续向东北方向移动,后部边界仍很整齐。在其云带的北部有明显的盾状急流云系(C)已经覆盖了黑龙江省除大兴安岭、黑河以外的地区。20 日 17:00(图 2d),与冷锋相配合的低压云系涡旋状十分明显,涡旋中心在内蒙古的北部(D)地区。

冷锋云带在继续逐渐向东北方向移动的过程中,沙尘暴、扬沙、浮尘范围逐渐扩大,盾状急流云系仍很明显,高空急流是产生沙尘暴的重要因素之一。在这一段时间,黑龙江省、吉林省等大部分地区都产生了沙尘暴、扬沙和浮尘天气。

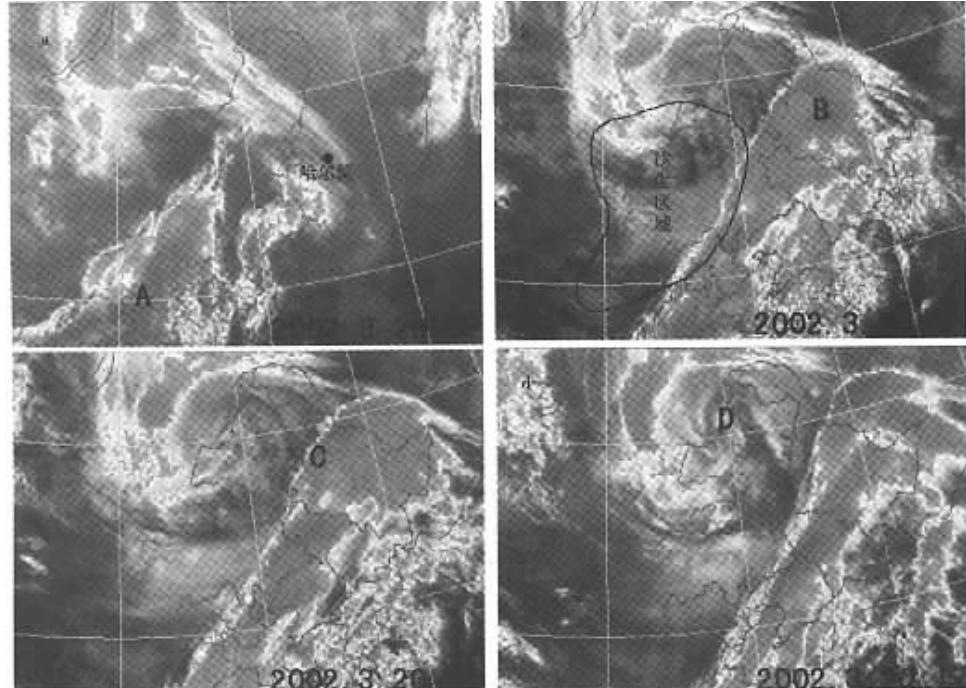


图 2 2002 年 3 月 20 日 GMS-5 卫星云图

a. 02 时; b. 12 时; c. 14 时; d. 17 时

Fig. 2 GMS-5 satellite images on March 20, 2002

a. 0200 BST; b. 1200 BST; c. 1400 BST; d. 1700 BST

3 多普勒雷达特征分析

哈尔滨 3830 型 5 cm 波长多普勒雷达对 2002 年 3 月 20 日的沙尘天气进行了监测,取得了一些有价值的回波资料,揭示了这次沙尘天气过程回波的发展、移动、强度、速度、高度等特征。万方数据

3.1 沙尘天气的生成与发展

3月20日14—15时,用0.3~0.7°仰角进行PPI观测,在测站西南部80~240 km处有一片降水回波,面积约为 $160 \times 120 \text{ km}^2$,中心强度为30~35 dBZ,距离本站80 km,向ENE方向移动。云区范围增大。

20日14:56:12(图3a),用RHI观测,在方位角为207.3°,距离150 km内有层状云和降水回波,回波顶高度均匀,约在6 km左右。从测站至85 km的回波为悬浮在空中的层状回波,其结构较松散,强度在0~10 dBZ,厚度为3 km,回波底距地面3 km左右。当时的天空状况为阴,700 hPa温度为-15 °C,850 hPa温度为-8 °C。20时哈尔滨出现小雨,降雨量为T。分析认为该高度上的层状回波应该是冰晶与沙尘并存。在85~115 km为降水回波,强度为25~30 dBZ。对速度场分析发现(图3b):在4 km附近有较强的风垂直切变,下层风速较大,出现了速度模糊,经计算^[2],实测最大径向速度应为-16.4 m·s⁻¹。

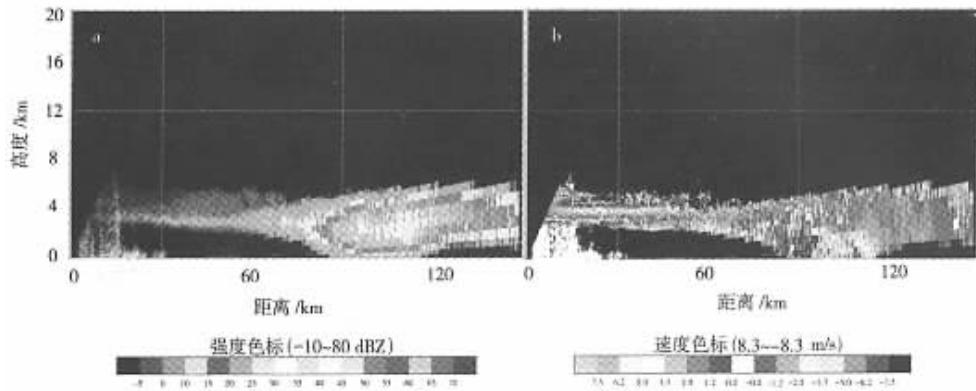


图3 2002年3月20日14:56:12,方位角为207.3°,仰角范围为-0.5~30.0°的RHI扫描强度(a)和速度(b)

Fig. 3 RHI reflectivity of strength(a) and speed(b) at the azimuth of 207.3° in the range of elevatum angle of -0.5~30.0° at 145612 BST March 20, 2002

表2 2002年3月20日08时、20时探空资料中相对湿度随高度的变化

Table 2 Relative humidity of sounding data at 0800 BST and 2000 BST on March 20, 2002

时间	相对湿度/%							
	925 hPa	850 hPa	700 hPa	600 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
3月20日08时	30	25	50	66	28	35	45	43
3月20日20时	63	77	79	75	73	69	65	64

由表2可以看到20日相对湿度随高度的变化情况。08时,600 hPa(4 089 m)为最大值(66%),其他高度上相对湿度在25%~50%之间。随着系统的临近,相对湿度逐渐增大,20时从低层到高层相对湿度,在63%~79%。对比图3,云体高度在3 000~6 000 m之间,恰好与湿度大值区相对应,说明回波中沙尘与冰晶共存。

20日14:57,用PPI观测到西南部的大片回波逐渐向本站移动,范围扩大,强中心面积扩大,回波前沿距离本站75 km,同时在测站的西北部、东南部也出现了层状回波,西北部回波强

度为 $0\sim 15$ dBZ, 东南部回波强度为 $15\sim 20$ dBZ。15:30 时, 在仰角为 1.9° 的 PPI 图上, 西北—西南—东南层状回波已经连成一片。

3.2 沙尘天气加强及“蜂窝状结构”的生成过程

20 日 15:30:36, 步骤抬高仰角观测时, 测站的西北—西南—东南全部是层状云和弱降水回波。当仰角为 2.4° 时, 强度中心为 $20\sim 25$ dBZ, 其他为 $0\sim 15$ dBZ(图 4a)。当仰角抬高为 9.4° 时, 回波距本站小于 20 km, 强度为 $15\sim 20$ dBZ。说明悬浮在空中的层状回波在加强, 比 14:56:12 时增强了 $10\sim 15$ dBZ。在速度场上(图 4b), 中空风速较大, 在西南部出现了风速模糊现象, 经退模糊计算^[1], 风速最大值为 $-21.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

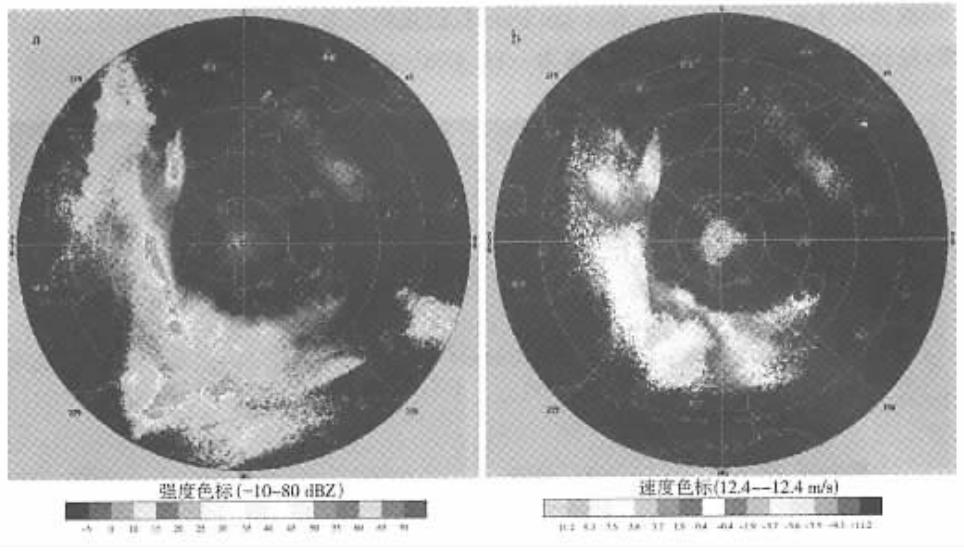


图 4 2002 年 3 月 20 日 15:30:36, 仰角为 2.4° 的 VPPI 扫描强度(a)和速度(b)

Fig. 4 VPPI reflectivity of strength(a) and speed(b) at the elevation angle of 2.4° at 153036 BST March 20, 2002

20 日 16:17:28, 从低仰角到高仰角、从远距离档到近距离档观测, 层状回波已经全部覆盖测站周围, 强度为 $20\sim 25$ dBZ。利用 3.2° 仰角观测, 可以看到在测站的西部出现明显的“蜂窝状”回波(图 5a), 在“蜂窝状”回波处, 50854 与 50949 站已经出现扬沙和沙尘暴天气, 本站出献扬沙天气, 54063、54161 和 54171 站出现降水。当时的天气实况是 50854 站能见度为 $6\,000$ m, 50949 站能见度为 0 m, 本站能见度为 $2\,000$ m。在 20 日 17 时的地面天气图(图略)中可见, 吉林省的西北部、黑龙江的西南部出现了大范围的沙尘天气。当沙尘暴天气伴有微量降水时, 在雷达上就会有回波出现。在 PPI 上回波特征为蜂窝状结构。这样的结构反映大气极不稳定, 上升与下沉气流共存。回波中的空洞地区表明有强烈的上升运动, 而回波区则是下沉气流造成的微弱降水区^[2]。“蜂窝状”结构的出现, 表明云系发展到成熟阶段, 云中冰晶与沙尘并存。从天气图(图略)上可见, 此时湿度明显增加, 温度开始下降。锋面到达本站后, 出现弱降水, 湿度继续增加, 气温迅速下降。

20 日 16:17:28, 在多普勒速度场上, 径向速度较大, 重复频率选用 900 Hz, 出现了速度模糊。由图 5 可见, 低层风速较小, 随着高度的增加风速逐步增大, 当高层风速达到 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 在“蜂窝状”回波处风速出现了不连续的跳跃, 说明“蜂窝状”回波处的风速很大。

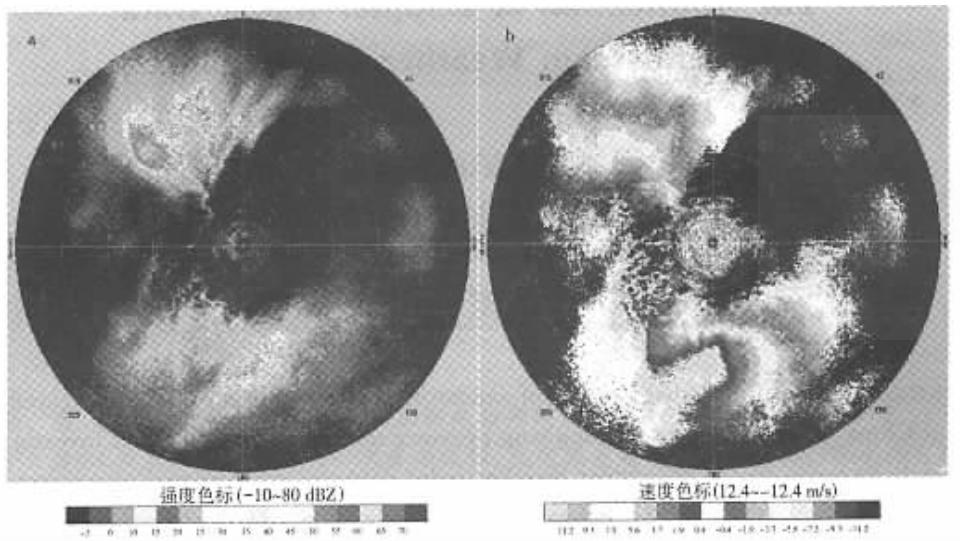


图 5 2002 年 3 月 20 日 16:17:28, 仰角为 3.2° 的 VPPI 扫描强度(a)和速度(b)

Fig. 5 VPPI reflectivity of strength(a) and speed(b) at the elevation angle of 3.2° at 161728 BST March 20, 2002

4 结语

(1) 多普勒天气雷达为探测沙尘天气的监测提供了一种新的手段, 可以从中获得常规天气雷达探测所不能得到的信息。利用多普勒雷达监测沙尘天气, 可以得到较高的时间分辨率和空间分辨率, 为今后对沙尘天气的分析和预报提供更准确的参考资料。

(2) 多普勒雷达在对这次沙尘天气过程的监测中, 在 RHI 上监测到沙尘与降水混合在一起, 所产生的回波强度在 $10\sim30$ dBZ 左右, 高度为 6 km , 厚度约为 3 km , 回波以层状为主, 回波顶部较平坦。由径向速度场分析发现, 多普勒雷达可以监测到由低层到高层风速的变化, 对风的强度、风向、风速等可以进行客观定量的分析。

(3) 在 PPI 上沙尘暴与弱降水的混合回波特征为“蜂窝状”结构。在“蜂窝状”结构处沙尘与冰晶共存。这样的结构反映大气极不稳定, 上升与下沉气流共存。回波中的空洞地区表明该处有着较强的上升运动, 而回波区则是下沉气流造成的微弱降水区。

(4) 5 cm 波长多普勒雷达对沙尘天气的监测、分析及预报具有一定的作用。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军总参谋部气象局. 多普勒天气雷达资料分析与应用 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 442.
- [2] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 333.

The Application of Doppler Radar Data to Sandstorm Weather Monitoring

ZHANG Xi-ying¹, SUN Yong-gang², JIN Feng-ling¹,

ZHANG Li-bao¹, ZHANG Gui-hua³, LIU Ying¹

(1. Heilongjiang Province Artificial Influence Weather Center;

2. The Weather Bureau of Heilongjiang Province;

3. The Meteorological Observatory of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: A large-scale weather process of sandstorm and floating dust, which occurred in the west of China and extended to Heilongjiang province on March 20 in 2002, is investigated in the article by using the 3830 Doppler weather radar data and conventional observations. The plane position indications (PPI) and range height indication (RHI) characters of the sandstorm, such as the height, thickness of echoes, the concentration and movement feature of dust, and the horizontal and vertical velocity distribution within the sandstorm, are preliminarily analyzed, thus providing a basis for the monitoring of sandstorms using Doppler weather radar.

Key words: sandstorm; Doppler radar; reflectivity; radial velocity