

强沙尘暴天气过程中的若干问题思考

徐国昌

(中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要:介绍沙尘暴反馈机制观念形成的经验过程,对沙尘暴反馈机制作了进一步讨论,以期引起对沙尘暴成因研究的重视。

关键词:沙尘暴;短期天气过程;反馈机制

中图分类号: P445⁺. 4

文献标识码: A

引言

1978年4月22日,甘肃河西走廊出现了一次特强沙尘暴。强风暴来临前,风和日丽,强风暴一到,立即狂风大作,昏天黑地,能见度下降到几乎为零,当地群众称为黑风,造成人民生命财产的巨大损失。

徐国昌、陈敏莲、吴国雄结合过去沙尘暴预报经验以“甘肃4.22特大沙尘暴分析”文章发表在《气象学报》1979年第4期,是我国第一篇强沙尘暴研究论文。文章指出,强沙尘暴是干旱地区的重要灾害性天气,并对“4.22特大沙尘暴过程作了分析,提出了强沙尘暴正反馈机制。

1993年5月5日,甘肃河西走廊中、东部,宁夏和内蒙古部分地区又出现1次特强沙尘暴(黑风),造成巨大损失。“5.5黑风被金昌市1位业余摄影者偶然拍摄下来,成为我国第一个黑风实况录像,在中央电视台播放后,造成了巨大的新闻轰动,引起了有关方面的高度重视。由于人们对环境问题日益重视以及沙尘暴对全球影响重要性的认识不断提高,特别是北京申奥,人们非常关注沙尘对北京空气质量影响的问题,“5.5黑风以后,沙尘暴研究出现了一个新的高潮。

我们注意到,人们对沙尘暴正反馈机制问题的进一步研究较少,其原因可能是这种研究比较困难。沙尘暴反馈机制研究不仅涉及多种环流尺度,还涉及到下垫面沙土与大气环流相互作用等复杂问题。然而沙尘暴数值预报必须面对这个问题。过去短期数值天气预报对下垫面考虑较少,如果我们提出的沙尘暴反馈机制得到了数值试验和数值预报的证

实,则不仅可以提高短期沙尘暴数值天气预报的水平,而且还可能会对干旱地区短期天气过程的理论产生影响,沙尘暴可能是干旱地区下垫面反馈影响短期天气过程的一种重要机制。本文将介绍沙尘暴反馈机制观念形成的经验过程,对沙尘暴反馈机制作进一步讨论,以期引起对沙尘暴成因研究的重视。

1 沙尘暴反馈机制提出

20世纪50年代是我国天气预报工作发展的初期阶段,预报工作者主要进行短期天气预报,很关注天气系统分析,特别是冷锋分析。预报员似乎都觉得冷锋“喜欢”在白天经过本地。然而这是不可能的,因为冷锋一般都是连续移动的,上述感觉显然是一种错觉。为什么会产生上述错觉?

根据多年分析预报实践,发现白天冷锋过境,在风向风速等要素的变化上表现一般比较明显,给人留下较强的印象;夜间冷锋过境表现一般不如白天明显,给人印象较弱,这是产生上述错觉的原因。然而为什么白天冷锋过境一般比夜间表现明显?

20世纪50年代中后期,作者曾作过西北冷锋结构和云系分析研究,发现西北冷锋云系多数是第二型冷锋云系,冷锋云系类似于倒置的暖锋云系,锋前天气晴好,冷锋过后,云系迅速加厚并可能降水。这种锋面云系结构,白天有利于锋前暖气团日射增温,暖气团更暖,锋后云雨减弱了太阳辐射,冷气团更冷,锋面前后温度梯度加大,锋面加强,相应的天气表现如风切变,3h变压差也有所加大,锋后风速加大。夜间刚好相反,锋前暖气团晴天少云,长波辐射降温较多,锋后冷气团受云层阻挡,辐射降温少,

锋面前后温度梯度减小,锋面减弱。当然如果锋面云系与二型冷锋云系不同,则不会出现上述情况。

在冷锋经过新疆、内蒙、青海、甘肃河西走廊和宁夏西部等干旱地区时,多数云系较弱,但容易产生沙尘暴。锋后沙尘暴也起到类似二型冷锋云系影响辐射的作用。白天沙尘使锋后冷气团太阳辐射减弱,冷锋前后温度梯度加大,锋面加强;夜间锋后沙尘使地面长波净辐射减弱,冷锋前后温度梯度减小,锋面减弱。

因此,二型冷锋云系和锋后沙尘暴这样的气溶胶分布,白天使锋面加强,锋后风速加大;夜间使锋面减弱,风速减小。由于气溶胶对辐射的影响昼夜相反,正负反馈的时间不长,一般影响并不很大,而且这种影响与冷锋结合在一起,一般不太注意气溶胶分布对锋面强度的影响。但是如果云层很厚,或者沙尘暴初始起沙就很浓,反馈影响会迅速加大,如果有关条件很有利,白天沙尘暴正反馈机制将促使沙尘暴迅速加强成黑风,这就是我们提出沙尘暴正反馈机制的出发点和经验基础。

2 黑风暴形成机制的进一步探讨

1993年“5.5”黑风出现时,甘肃河西走廊东部民勤等个别站出现了微量的雷雨,卫星云图上发现1条东北西南向的对流云带,于是有人认为黑风是飑线造成的。诚然,黑风是一种突发性超强的大风天气,并伴随气压猛升,温度剧降,确实具有飑的特征,由于它基本上没有降水,所以人们把它叫干飑。但是把黑风干飑与过去人们熟悉的由强对流云造成的飑(为了与黑风干飑相区别,姑且把它称为雷暴湿飑简称湿飑)混淆起来,这是作者不敢苟同的。

湿飑和湿飑线是中尺度天气系统,宽度约20~25 km,大风持续时间短暂,一般仅10~30 min左右,并伴有强雷阵雨。湿飑和湿飑线形成于强烈潮湿不稳定大气层结中,多出现在冷锋前的暖湿气团中,其能量来源是凝结潜热的释放。

黑风干飑是天气尺度系统造成的,多出现在快速移动加强的冷锋后部。黑风区宽度达300 km左右,整个沙尘暴区宽度约500~800 km,黑风干飑仅出现在干旱气候区及其毗邻的半干旱气候区。历史资料表明,绝大多数黑风干飑没有降水,或仅有个别地方有少量降水,一般是微量降水,因此黑风干飑的能量来源不可能是凝结潜热。我们认为黑风发生发展至少需要3个条件:

(1)迅速向东南方移动加深的高空短波槽及其相应的地面移动性冷高压和较强的冷锋,这是造成较强的初始起沙的天气系统,我们的前述文章曾

对其作过分析。应该指出,西北方向下来的短波槽和冷锋是很多的,只有少数位于西北急流中且能迅速加深的槽,才是可能形成强沙尘暴和黑风的天气系统,要善于区别。然而上述天气系统只是形成黑风的必要条件,而不是充分条件;

(2)大范围干燥疏松的沙漠和土壤是形成强沙尘暴和黑风的另一个必要条件。春季蒸发量大,降水量少,地表干燥,作物矮小,是沙尘暴多发季节。前期降水量少,土壤干燥是有利于沙尘天气的短期气候背景。人为活动不当,如过度放牧,过度采樵,过度开垦,过度挖药,以及上中游过度用水,使下游耕地撂荒等均可人为增加沙土量,使沙尘暴增多;

(3)白天沙尘暴正反馈机制。白天冷锋过后,风速加大,一旦起沙,沙尘暴正反馈机制就开始起作用,如果冷锋较强,初始起沙量就很大,所经之地沙土干松且充足,则在沙尘暴正反馈机制作用下,沙尘浓度会越来越大,风速也越来越强,如果有足够长的时间,最后就可能形成黑风。入夜以后,正反馈机制变成负反馈机制,风速和沙尘暴会很快减弱下来。这就是绝大多数强沙尘暴和黑风入夜会迅速减弱的原因。

“4.22”黑风的沙尘暴形成于南疆,清晨进入甘肃敦煌已是强沙尘暴,中午过酒泉,黑风已形成,下午到张掖达到最强,到山丹时已入夜,很快减弱。“5.5”黑风冷空气从西北方下来,清晨到甘肃西北部,开始起沙,中午到张掖已成强沙尘暴,下午到金昌,黑风形成,以后黑风横扫武威地区和宁夏西部,再往东入夜很快减弱。可以看出,从沙尘暴形成到黑风,大约需要5~8 h,所以绝大多数黑风都出现在下午到傍晚,而黑风的减弱消失,出现在入夜和离开沙土地区的时候。

黑风正反馈机制是叠加在冷锋上的,有黑风的冷锋锋区特别强,“4.22”和“5.5”黑风最盛时期,锋后水平温度梯度达到了10/100 km以上,3 h变压达到+5~+9 hPa。除了黑风,从未见过如此强的冷锋。可见在条件非常有利的時候,在5~8 h内,沙尘暴正反馈作用可以使锋区强度增强到多么惊人的程度!根本原因在于强沙尘暴,特别是黑风对太阳辐射的削弱作用远比云层大得多,黑风使白天太阳辐射大大减弱甚至接近于零,何时见过如此黑暗的云层!一锋之隔,锋前烈日当空,锋后如同黑夜,温度梯度巨大是必然的。

“4.22”和“5.5”黑风锋后大风的风向几乎与等压线垂直,计算表明,黑风主要是非地转风,在如此短的时间,气压梯度和温度梯度加大得如此之快,出现非地转风是可以理解的。

综上所述可以看出,沙尘暴正反馈作用使锋区

斜压性迅速加大,黑风能源主要是势能的迅速增加和释放。“5.5”黑风中个别站微量的雷阵雨,不是黑风干飏形成的原因,而是强冷锋抬升的产物。强沙尘暴和黑风是干旱地区在干燥气候背景下的灾害性天气。历史上的强沙尘暴和黑风天气绝大多数都没有降水,像“5.5”黑风出现微量降水的情况是非常罕见的,而且“5.5”黑风开始在金昌出现的时候并没有降水,只是到了民勤的时候才出现微量降水。因此从地区和气候背景的条件,也是不支持黑风是雷暴飏线造成的提法。

过去一般把沙尘暴仅仅看成是大气运动的被动产物,现在我们看到,沙尘暴也可以反过来影响大气运动,形成正反馈(白天)或负反馈(夜间)。大家已经公认,在气候变化的慢过程中,大气与下垫面相互作用是很重要的。现在看来,至少在干旱地区,下垫面的沙土与大气运动快过程的相互作用也是不能忽视的。

黑风形成的各种因子,正如有些人的研究所指出的那样,大气不稳定层结和上升运动,对沙尘暴的形成可能也具有重要的作用。另外,本文讨论的是比较常见的高速移动的冷锋造成的沙尘暴和黑风,少数由蒙古高压南压和南疆热低压东移相遇,在河西西部和新疆东部造成稳定持续的黑风以及局地黑风,不在本文讨论之列。

3 黑风暴中的中小尺度系统

黑风暴整体上是天气尺度系统造成的,但是黑风暴的结构比较复杂,其中有中小尺度系统,最突出的是黑风前沿的黑风墙。黑风墙是一个很强的小尺度系统,其前沿就是冷锋,与一般冷锋不同的是黑风墙几乎是直立的,以每小时 100 km 左右的速度快速东移,黑风墙过境时,狂风怒吼,风速猛增到 24 m/s 以上,最高达 40 m/s,能见度降到 50 m 以下,甚至为零,10 min 气压猛升 2 hPa 以上,温度剧降 5~8

。有意思的是黑风墙过后,气压曲线往往会微微下降,前面的猛升和后面的微降形成了“气压鼻”。

我们发现,黑风过境均有“气压鼻”,有无“气压鼻”似乎可以作为区别黑风暴和一般沙尘暴的标志。

在“4.22”特大黑风分析的文章中,我们根据黑风墙“气压鼻”前后 10 min 的气压差和温度差,用静力学方程推导出一个估算黑风墙高度的公式,“5.5”黑风分析文章又进一步推导出一个考虑沙尘量的黑风墙高度修正公式,计算结果与不考虑沙尘量的公式差不多。由于黑风墙中的强烈运动难以满足静力学要求,上述公式只能是近似的。

为什么会形成几乎直立的黑风墙?作者曾做过几次山洪暴发的实地考察,发现山洪暴发时的水头也几乎是直立的。究其原因可能是地面摩擦力造成的。水头下部受地面摩擦力影响,流速减慢,上部移动较快,形成直立甚至前倾导致翻滚,可能黑风墙直立的成因与山洪水头类似。如果真是这样,那么黑风墙的形成与地表摩擦力和风速有关。也可以这样理解,在一定地表摩擦力条件下,形成黑风墙的风速需要超过某一阈值,这需要在理论上进一步的推导和数值试验的证实。从几个黑风实例来看,河西地区形成 10 m 高黑风墙时,风速至少要达到 24 m/s 左右或以上。

黑风“气压鼻”可能是黑风墙小尺度系统过境在气压曲线上的反映。黑风墙过境大约是 10 min,通过时空转换估算,其水平尺度大约是 10 多 km。目前尚缺少空间观测的实测资料。

黑风中似乎还有其他的中小尺度环流扰动。黑风墙过后的数小时中,气压曲线总趋势是快速上升,但其中存在 2~3 个缓升到急升的交替变化,相应风速也出现相对较小到相对比较大的变化,可能是中小尺度扰动过境造成的。作者曾经将各站气压曲线上缓升到急升转折点时间标绘在一张图上,可以追踪上述中小尺度扰动的移动,当然最好用谐波分析和数值试验进行研究。在一个十分强烈的黑风天气系统中,出现若干中小尺度系统是不足为奇的。应该开展对沙尘暴和黑风结构的探测和研究。

Duststorm Effect on the Short-term Synoptic Process

XU Guochang

(Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The positive feedback mechanism of duststorm was suggested by the author in 1979 and in this paper, the experience process of the idea formation about the feedback mechanism of duststorm was introduced, and the influence of duststorm on short-term synoptic process was discussed further

Key words: duststorm; short-term synoptic process; feedback mechanism