

近 34 年兰州中川机场沙尘暴变化趋势及成因分析

蔡云腾 张思语 / 甘肃空管分局气象台预报室

【摘要】本文利用中川机场 1979 年-2012 年地面观测资料,对沙尘暴的年际变化、月变化及日变化进行统计分析,并对本场近 34 年冬春季(选取前一年 12 月至次年 4 月)的气温及降水量进行对比分析,找出沙尘暴的年际变化与气温及降水量的相关性。并利用 NECP 再分析资料对 3 次个例进行具体分析。资料选取了 80 年代、90 年代、2000 年至今各一次典型个例,且这三次个例发生于一天的不同时段。研究表明,1979-2012 年这 34 年来沙尘暴整体是呈波动减小趋势,且沙尘暴主要集中在每年的 3 至 5 月份,沙尘暴出现的时刻主要集中在下午 15 时至 19 时。沙尘暴发生前期及发生时段的气温与沙尘暴发生次数有一定的正相关性,而与中川机场单站降水量的相关性并不明显。发生沙尘暴均要具备以下几个条件,第一,前期升温明显,使冷锋前后气压梯度增大,易形成大风;另升温明显,导致地表干燥,大风极易把沙尘卷入空中。第二,上冷下暖的不稳定层结,利于对流运动及湍流运动的发展,易把沙尘卷入空中。第三,强冷空气提供持续的动力,把沙尘从沙源地带向下游更远的地方。200hPa-700hPa 的散度场很好地表征了锋后低层辐散,高层辐合;锋前低层辐合,高层辐散的特点。

【关键词】沙尘暴;变化趋势;成因分析;中川机场;散度

1. 引言

沙尘暴是由于强风将地面大量沙尘吹起,使空气很浑浊,水平能见度小于 1km 的天气现象。沙尘暴天气是影响我国北方地区的主要灾害性天气系统之一,具有很强的危害性,常以大风的形式摧毁建筑物及公用设施、树木花果,伤害人和畜禽,以风沙流的方式掩埋农田、渠道、村舍、铁路、草场,污染环境,造成恶劣的能见度。沙尘暴对航空飞行也有巨大的影响,除了造成恶劣能见度影响飞行外,由于漫天飞舞的沙粒使电磁波严重衰减,以及机体表面与小沙粒互相摩擦而产生的静电效应,还会使无线电通信和飞机的导航性能受到严重干扰;大量的沙土进入发动机和机体内部,还会造成机件磨损、油路堵塞、导电不良等一系列机械或电器故障。因此,对沙尘暴的变化趋势和成因分析进行研究具有重大意义。近些年,人们对沙尘暴的关注程度日趋提高,使沙尘暴问题逐渐成为国内外研究的热点。张冲、赵景波在“我国西北近 50 年春季沙尘暴活动的变化与气候因子相关性研究”{1}中指出,近 50 年来我国西北沙尘暴发生总体呈波动减小趋势,且气候要素中降水量变化与气温的高低都与沙尘暴的发生呈负相关。张莉、丁一汇、任国玉在“我国北方沙尘天气演变趋势及其气候成因分析”{2}中指出,近 50 年来,造成我国北方沙尘天气频率显著下降的直接自然原因是沙尘源区和发生区平均风速和大风日数的减少,主要沙尘源区降水量特别是春季及其前冬降水量的增加以及由于源区降水增加引起的大气和土壤湿润程度的改善。冬春季节气压梯度的减小使风速减小,进而导致沙尘日数减小的关键间接因素。江灏、吴虹等在“河西走廊沙尘暴的时空变化特征与其环流背景”{3}的研究中指出,河西走廊沙尘暴的分布主要是沙漠边缘干旱化不稳定过渡带的产物,即在同样的大气条件下,下垫面的条件决定沙尘暴的空间分布,大气状况决定沙尘暴的时间变化,蒙古低槽,乌拉尔高脊的环流形式配置是沙尘暴过程中的典型背景条件。本文利用中川机场历史地面观测资料,对中川机场沙尘暴的年际变化、月变化、日变化进行了研究,并选取了三个个例,对天气形势及重要要素场进行了对比分析,希望进一步了解沙尘暴的演变的规律、变化原因,为沙尘天气未来的演变趋势及预报预警奠定理论基础。

2. 研究地域特点

兰州中川机场大地形上位于中纬度欧亚大陆东部，青藏高原东北侧，地处青藏高原与陇西黄土高原的交汇处，其地形特点是北部处于乌鞘岭(乌鞘岭-松山-老虎山山系)起伏山地背风坡，西部是祁连山山系支脉，且由西北折向东南将兰州峡谷盆地与秦王川盆地隔开。小地形上位于秦王川盆地东南端的马家山脚下，净空条件比较好。机场四周群山环抱，地势北高南低，机场北、东方向 10-15km 内地势较为平坦、开阔；西南和西北方向呈阶梯状沟梁地形、山势较高。距跑道 300m 处分散的山头高出道面 30-100m 左右。机场 50km 内最高峰在机场 332, 45.7km 处，山高海拔 2941m，属于控制障碍物，机场运行程序设计中，已考虑其影响。跑道方向与西部山脉走向一致，沿西山边有简易公路通向机场南部的机场高速公路，目前正在设计城际铁路。西 22km 处有庄浪河、兰新铁路、公路，南 40km 处有黄河；东约 30km 处有兰包铁路和兰银公路，地标明显可见。

3. 资料和方法

本文利用中川机场 1979 年-2012 年的地面观测资料，对沙尘暴的年际变化、月变化及日变化进行统计分析，并对本场近 34 年冬春季（选取前一年 12 月至次年 4 月）的气温及降水量进行对比分析，找出沙尘暴的年际变化与气温及降水量的相关性。并利用 NECP 再分析资料对 3 次个例进行具体分析。资料选取了 80 年代、90 年代、2000 年至今各一次典型个例，且这 3 次个例发生于一天的不同时段。

4. 沙尘暴变化趋势分析

4.1 兰州中川机场近 34 年沙尘暴出现频次年变化特点分析

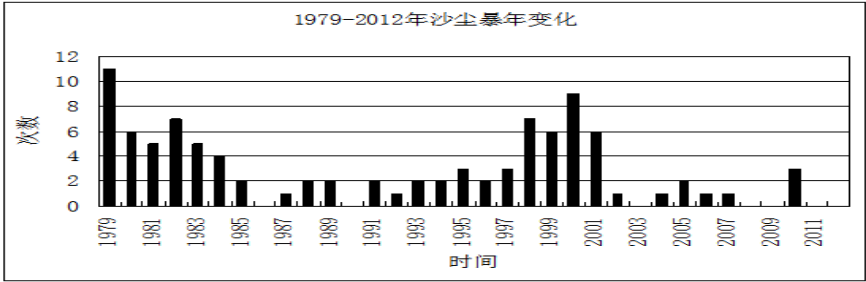


图 1 1979-2012 年沙尘暴出现频次年变化分布

1979-2012 年这 34 年来沙尘暴整体是呈波动减小趋势（图 1），这与张冲、赵景波在“我国西北近 50 年春季沙尘暴活动的变化与气候因子相关性研究”中得出的“近 50 年来我国西北沙尘暴发生总体呈波动减小趋势”的结论相一致。1979 年和 2000 年是两个波峰，这两个年份沙尘暴出现次数最高分别达到了 11 次、9 次；2001 年以后，沙尘暴的出现次数明显减少，有四年没有出现沙尘暴。

通过图 1 与图 2 的对比分析发现，沙尘暴出现较多的年份，前期平均气温也相对较高，但沙尘暴出现少的年份也有平均气温相对较高的情况。如果前期平均温度较高，增温快，蒸发强烈，很容易使沙源区的地表裸露形成沙源，再加上春季升温快，温度快速回升易导致下层大气强烈受热，造成空气不稳定，这将促使对流作用及湍流作用的加强，有利于风速的加大和上升气流的产生，为风沙活动提供了有利条件。但沙尘暴的发生还与其它因素有关，因此，有些年份前期平均气温虽然较高，但并没有出现沙尘暴。

张冲、赵景波在“我国西北近 50 年春季沙尘暴活动的变化与气候因子相关性研究”中指出，降水是影响沙尘暴发生的主要因素，降水量变化与沙尘暴的发生呈负相关。但通过图 1 与图 3 的对比分析发现，本站沙尘暴的发生与前期降水量没有明显的相关性。原因

是图 3 为中川机场单站降水资料，没有代表性，且中川机场周围没有沙源地，本场的沙尘暴一般为系统性的，是从上游移来而影响本场的。因此本场单站降水量与本场沙尘暴的发生与否没有必然的联系。

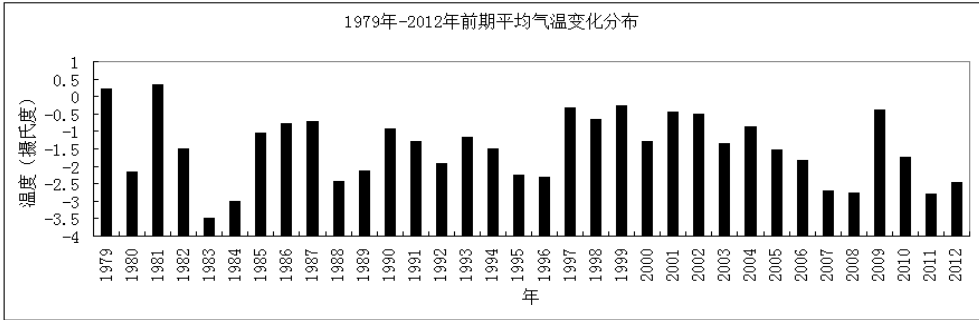


图 2 1979-2012 年前期平均气温变化分布

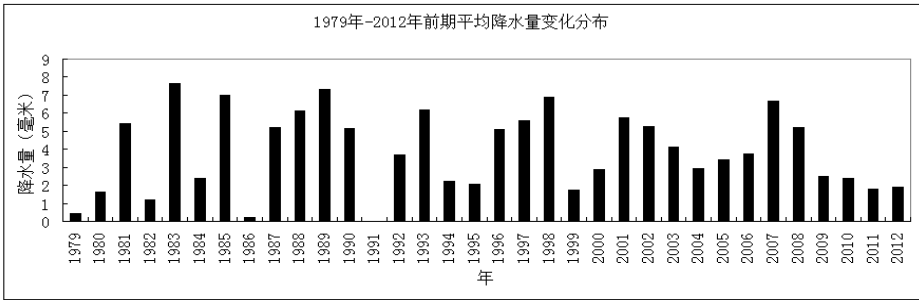


图 3 1979-2012 年前期平均降水量变化分布

4.2 兰州中川机场 34 年来沙尘暴月平均次数分布

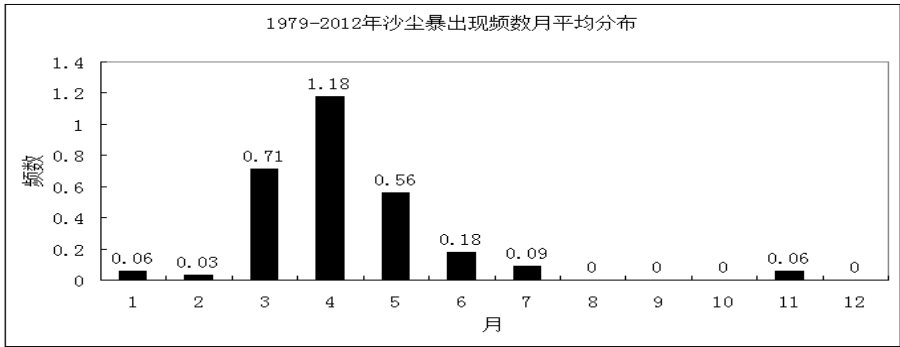


图 4 1979 年-2012 年沙尘暴出现频数月平均分布

34 年来中川机场沙尘暴月分布特点，沙尘暴主要集中在每年的 3 至 5 月份，且在 8 月、9 月、10 月、12 月没有出现沙尘暴，而在 1 月、2 月、6 月、7 月、11 月沙尘暴出现日数相对较少（图 4），这与冷空气的活动、降水量、植被覆盖状况、温度等有直接关系。1 月、2 月、11 月、12 月份温度较低，地表冻结，因此沙土不易被风刮起，不易产生沙尘暴。春季冷空气活动频繁，升温较快，地表干燥，因此 3 至 5 月沙尘暴出现次数最多，而 6 月、7 月沙尘暴的出现，主要是由对流性天气的大风引起的。

4.3 兰州中川机场 34 年来沙尘暴日发生时段分布

沙尘暴出现的时刻主要集中在下午 15 时至 19 时（图 5），其它时刻都相对较少或者没

有，17 时出现的次数最多是因为午后热力不稳定，对流及湍流作用在一天中最强，时常伴有动量下传，最容易起风沙，而凌晨至上午层结比较稳定，一般不容易出现沙尘暴，但是如果有范围广、强度大的系统过境时，也会起沙尘暴，且持续时间长、能见度低。

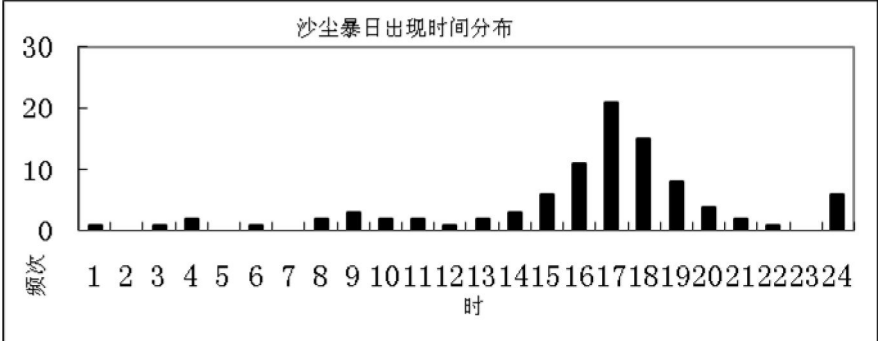


图 5 沙尘暴日出现时间分布

5. 个例成因分析

5.1 环流形势场分析

5.1.1 1982 年 5 月 2 日 03 时 20 分沙尘暴环流形势场和要素场分析

造成此次沙尘暴过程的环流形势是西北冷锋型。从 500hPa 高空图（图 6（a））上看东西环流是一槽一脊，温度场明显落后于高度场。乌拉尔山附近为暖高压脊，蒙古附近为冷槽。我国西北地区处于西北气流控制中。从 700hPa（图 6（b））锋区位置可以判断出锋面位于内蒙古东部至甘肃中部一带。从图 7（a）可看出，在沙尘暴发生前 7 小时，地面冷锋后 24 小时正变压最大达 16 百帕，最大负变温达 12 摄氏度，最大正变压中心位于贝加尔湖西侧，冷锋前 24 小时负变压最大达 8 百帕，最大正变温达 8 摄氏度，强冷空气特征非常明显。在沙尘暴发生前一小时（图 7（b）），最大正负变压中心及变温中心都已明显东移南压。因此，强冷空气迅速南下，形成显著的水平气压和温度梯度所造成的偏差风，是形成这次沙尘暴的重要原因。此次过程，锋面是由西北向东南移动，取西北路径南下。从 200–700hPa 散度场（图 8）可以看出，散度差零线位置基本与地面冷锋位置一致，呈西北东南走向。锋后散度差为负值，锋前为正值，说明锋后低层辐散，高层辐合，有利于下沉运动；锋前低层辐合，高层辐散，有利于上升运动，为把大量沙尘卷入空中提供了有利的动力条件。

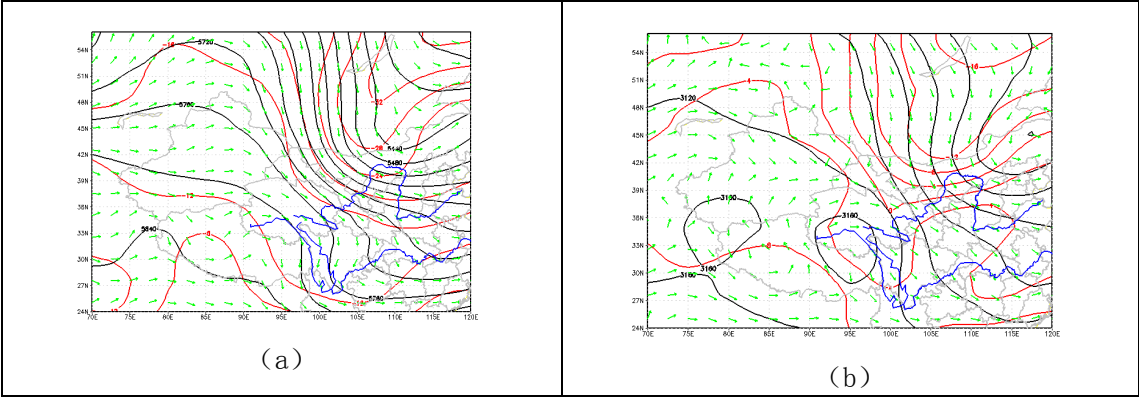


图 6 (a)和(b)分别为 1982 年 5 月 2 日 02 时 500hPa 和 700hPa 风场、高度场、温度场

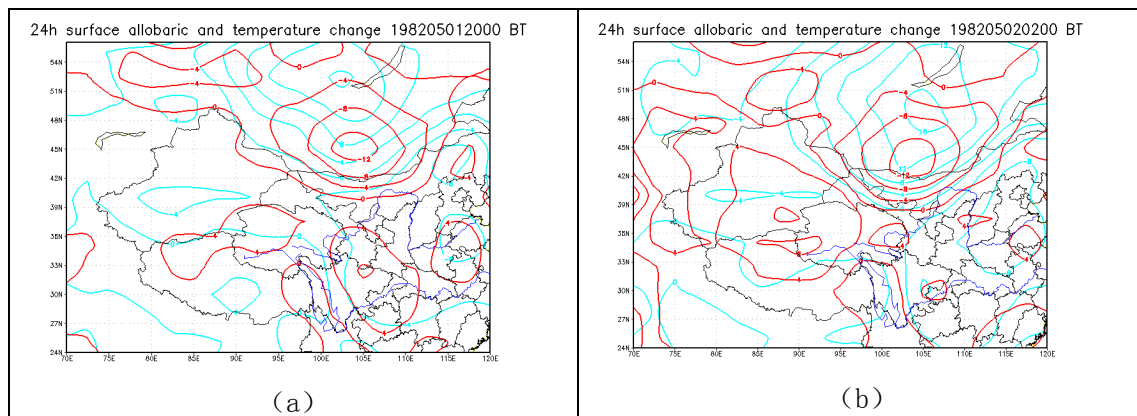


图 7 (a) 和 (b) 分别为 1982 年 5 月 1 日 20 时和 5 月 2 日 02 时 24 小时海平面变压场和变温场

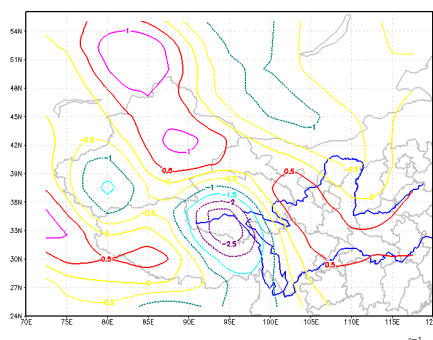


图 8 1982 年 5 月 2 日 02 时 200-700hPa 散度场

5.1.2 1998 年 4 月 27 日 16 时 33 分沙尘暴环流形势场和要素场分析

此次沙尘暴过程是地面锋由西北向东南移动而造成的。本场沙尘暴发生前一个半小时，500hPa 高空图上（图 9（a）），甘肃大部都受脊后西南暖湿气流控制。700hPa 高空图上（图 9（b）），甘肃大部及青海高原受低压槽控制，槽线位置在银川—兰州—青海高原中部一带，河西走廊为一致的偏北风，冷平流较强。从图 10（a）（b）可以看出，正变压中心及负变温中心都呈东北、西南带状分布，且向东南方向移动，在移动过程中，河西中部气压梯度不断增大，负变温中心也不断增强。河西走廊低层为强冷平流，高层为强暖平流，垂直风切变很强，促使湍流及对流运动的发展，从而极易使沙尘卷入空中。从 200-700hPa 散度场（图 11）可看出，地面锋后为正值，锋前为负值，是因为此次过程冷空气非常浅薄，700hPa 的散度场不能表征地面散度场的实际情况。

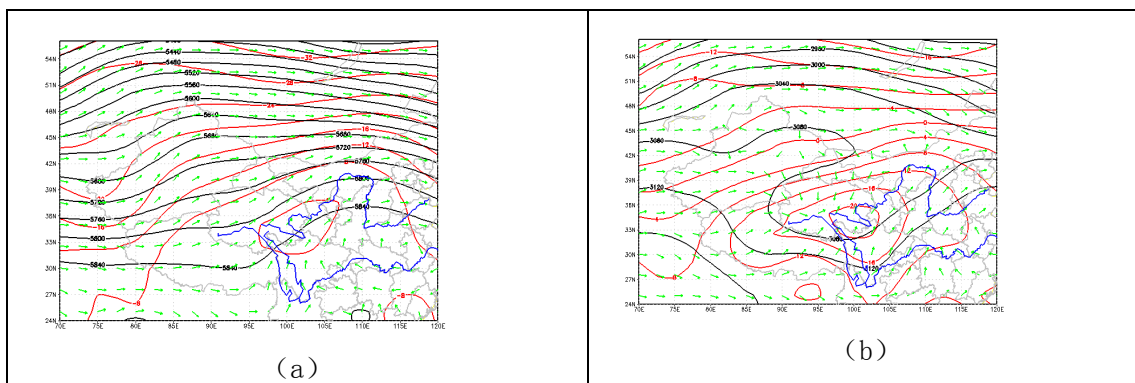


图 9 (a) 和 (b) 分别为 1998 年 4 月 27 日 14 时 500hPa 和 700hPa 风场、高度场、温度场

注：200-700hPa 散度场表示 200 hPa 散度场 与 700hPa 散度场之差

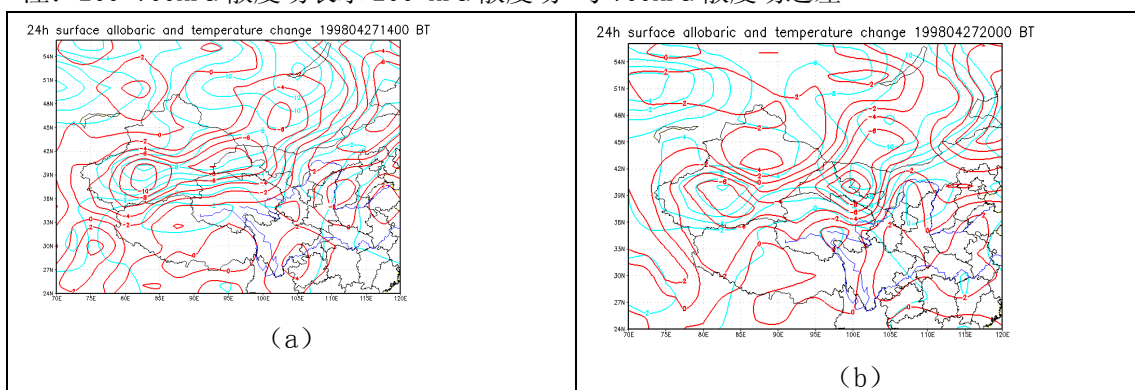


图 10 (a) 和 (b) 分别为 1998 年 4 月 27 日 14 时和 4 月 27 日 20 时 24 小时海平面变压场和变温场

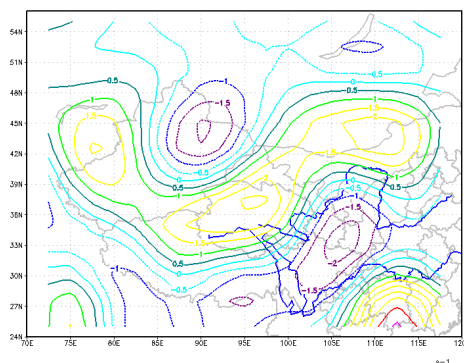


图 11 1998 年 4 月 27 日 14 时 200-700hPa 散度场

5.1.3 2013 年 3 月 9 日 07 时 30 分沙尘暴环流形势场和要素场分析

8 日 20 时，500hPa 高空图上（图略），巴尔克什湖至贝加尔湖之间为一脊，贝加尔湖附近为一槽；9 日 08 时，500hPa 槽脊已发展东移（图 12 (a)），高空槽已移至蒙古东部至甘肃中部，槽后西北风较前一日已明显增大，西北气流携大量冷空气南下。8 日 20 时，700hPa 高空图上（图略），槽前为暖脊控制，暖平流很强，为沙尘暴的发生积累了热能；9 日 08 时，700hPa 锋区明显加强（图 12 (b)），槽后冷平流发展强烈，风向与等温线的交角几乎为 90 度，我国西北地区处于偏北气流控制之中。甘肃河西地区受地形影响，出

现了冷空气回流形势。3 月 8 日 08 时，地面冷锋位于新疆中部一带，冷空气在天山堆积（图略），到 8 日 23 时，冷锋前沿已到达本场。9 日 02 时地面冷锋后（图 13（a）），24 小时正变压最大达 20 百帕，最大负变温达 16 摄氏度，最大正变压中心及最大负变温中心都位于贝加尔湖西侧，锋前 24 小时负变压最大达 12 百帕，最大正变温达 8 摄氏度；9 日 08 时（图 13（b）），最大正负变压及变温中心明显南压，24 小时最大负变温增大到了 20 摄氏度。本场附近等压线非常密集，气压梯度很大。此次过程中，锋后冷空气很强，锋面两侧温差较大，利于气压梯度的增大，利于大风沙尘天气的发展和维持。图 14 表明，锋前低层辐合，高层辐散，有利于上升运动的发展，从而把大量沙尘卷起到空中。此次过程，冷空气是取北方路径南下。

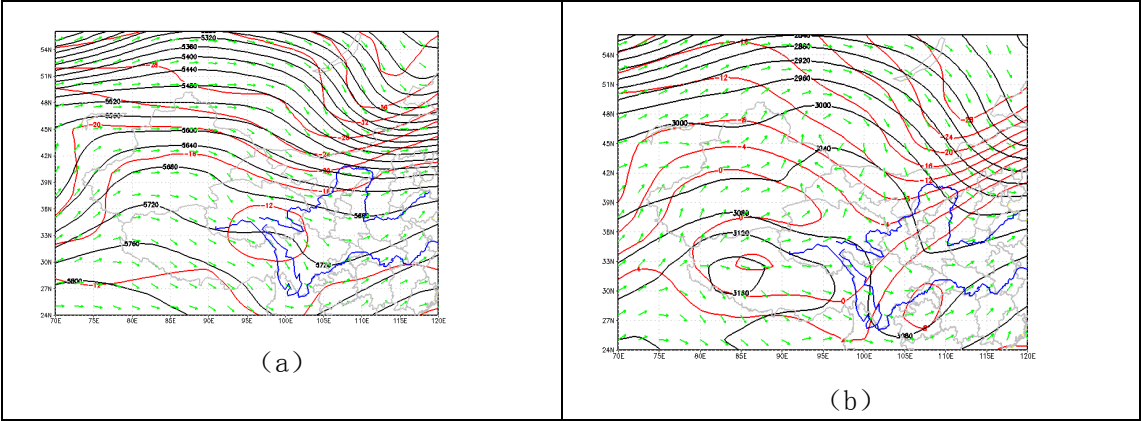


图 12 （a）和（b）分别为 2013 年 3 月 9 日 08 时 500hPa 和 700hPa 风场、高度场、温度场

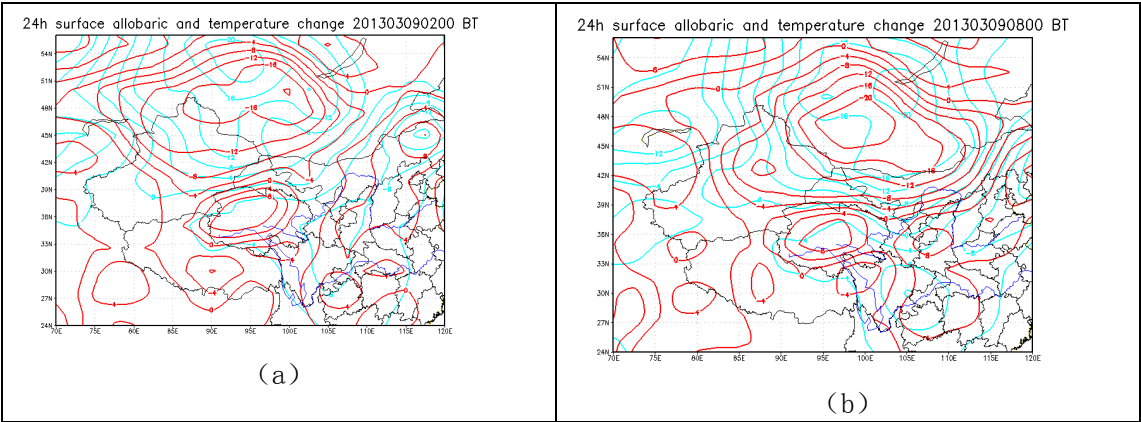


图 13 （a）和（b）分别为 2013 年 3 月 9 日 02 时和 3 月 9 日 08 时 24 小时海平面变压场和变温场

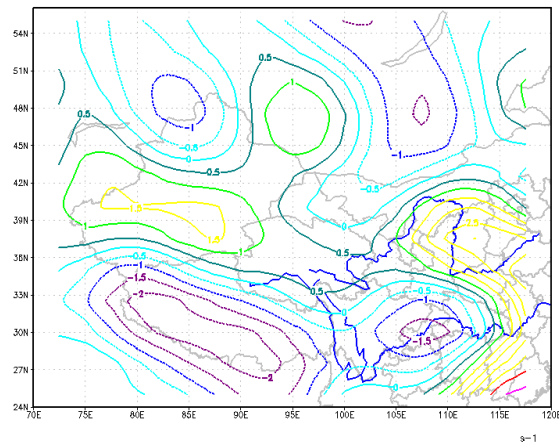


图 14 2013 年 3 月 9 日 08 时 200-700hPa 散度场

5.2 三次沙尘暴异同点分析

从以上个例分析知,1982 年 5 月 2 日沙尘暴和 2013 年 3 月 9 日沙尘暴都有高空冷槽过境,且冷平流很强,地面有明显的冷锋,锋后正变压、负变温都很大,锋前负变压、正变温也很大,使得气压梯度不断加大,从而形成大风。其次,500hPa 伴有强冷平流,700hPa 低层相对较暖,导致层结极不稳定,非常有利于上升运动,因此大风极易把沙尘卷入空中,形成沙尘暴。不同之处是,1982 年 5 月 2 日沙尘暴是取西北路径南下影响本场的,而 2013 年 3 月 9 日沙尘暴是取北方路径南下影响本场的。对于 1998 年 4 月 27 日沙尘暴,500hPa 受强暖高控制,700hPa 低层有冷空气下滑,导致上下层温度梯度增大,风切变增大,从而导致边界层极不稳定,加之前期升温明显,为沙尘暴的发生积累了能量,因此大风极易把沙尘卷入空中,引起沙尘暴。1998 年 4 月 27 日沙尘暴与其它两次沙尘暴的天气形势有明显的区别,其它两次沙尘暴天气形势是中空有强冷平流,低空较干暖,是春季沙尘暴发生的主要天气形势,而 1998 年 4 月 27 日沙尘暴的天气形势是中空受西南暖湿气流、暖高控制,低层特别是地面附近有明显的锋面,这种形势在发生沙尘暴的天气形势中所占比重很小,但危害大,且预报难度也大,因此更值得我们关注和研究。综上所述,发生沙尘暴均要具备以下几个条件,第一,前期升温明显,使冷锋前后气压梯度增大,易形成大风;另升温明显,导致地表干燥,大风也极易把沙尘卷入空中。第二,上冷下暖的不稳定层结,利于对流运动及湍流运动的发展,易把沙尘卷入空中,而不会很快落地。第三,强冷空气提供持续的动力,把沙尘从沙源地带向下游更远的地方。

从图 8、图 14 可以看出,200hPa-700hPa 散度场很好地表征了锋后低层辐散,高层辐合;锋前低层辐合,高层辐散的特点,可较准确地判断出锋面的强度、范围和移动方向,从而再结合沙源地分析和判断沙尘暴的移动速度和移动路径,来为预报沙尘暴的发生和发展提供理论依据。而图 11 与图 8、图 14 刚好相反,这是由于图 11 的冷空气在近地层,700hPa 散度场不能表征地面散度场的实际情况。

6. 结论

(1) 34 年来中川机场沙尘暴年变化整体是呈波动减小趋势,原因是通过治沙强度和广度的不断加强,使沙尘暴出现日数整体明显地减少,但中间也有明显的反弹,说明沙尘暴的发生与其它因素也有关,比如:大气环流的异常等,有待进一步的证实。

(2) 沙尘暴发生次数与沙尘暴发生前期、发生时段温度有一定的正相关性,而与中川机场单站降水量的相关性并不明显,这可能与本场处于主要沙源地下游且周围没有沙源地有关。

(3) 34 年来中川机场沙尘暴月分布特点,沙尘暴主要集中在每年的 3 至 5 月份,且在 8

月、9月、10月、12月没有出现沙尘暴,而在1月、2月、6月、7月、11月沙尘暴出现日数相对较少,这与冷空气的活动、降水量、植被覆盖状况、温度等有直接关系。

(4) 34年来中川机场沙尘暴日发生时段分布特点,沙尘暴出现的时刻主要集中在下午15时至19时,其它时刻都相对较少或者没有,17时出现的次数最多是因为午后热力不稳定,对流及湍流作用在一天中最强,时常伴有动量下传,最容易起风沙,而凌晨至上午层结比较稳定,一般不容易出现沙尘暴,但是如果有范围广、强度大的系统过境时,也会起沙尘暴,且持续时间长、能见度低。

(5) 沙尘暴发生的条件:[1]前期升温明显,使冷锋前后气压梯度增大,易形成大风;另升温明显,导致地表干燥,大风也极易把沙尘卷入空中。[2]上冷下暖的不稳定层结,利于上升运动的发展,使大风易把沙尘卷入空中。[3]强冷空气提供持续的动力,把沙尘从沙源地带向下游更远的地方。

(6) 200hPa-700hPa散度场很好地表征了锋后低层辐散,高层辐合;锋前低层辐合,高层辐散的特点,可较准确地判断出锋面的强度、范围和移动方向,从而再结合沙源地分析和判断沙尘暴的移动速度和移动路径,来为预报沙尘暴的发生和发展提供理论依据,但也有个例,比如:冷空气层很薄,处于近地层,且低于700hPa时,700hPa散度场就不能表征地面散度场的实际情况。

参考文献:

- [1] 江灏,吴虹,尹宪志,高晓清,王可丽.河西走廊沙尘暴的时空变化特征与其环流背景.
- [2] 张冲,赵景波.我国西北近50年春季沙尘暴活动的变化与气候因子相关性研究.干旱区资源与环境,2008,8.
- [3] 张莉,丁一汇,任国玉.我国北方沙尘天气演变趋势及其气候成因分析.应用气象学报.
- [4] 王春红.乌鲁木齐机场一次强沙尘暴天气过程分析.气象.2001,27(2).
- [5] 徐国昌,陈敏连,吴国雄.甘肃省特大沙尘暴分析.气象学报.
- [6] 胡金明,崔海亭,唐志尧.中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响.自然灾害学报.
- [7] 王式功,董光荣,陈惠忠等.沙尘暴研究的进展.中国沙漠.
- [8] 牛生杰,孙继明,桑建人.贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势.中国沙漠.
- [9] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径.地理学报.
- [10] 周自江.近年中国扬沙和沙尘暴天气.第四纪研究.
- [11] 夏训诚,杨根生.中国西北地区沙尘暴灾害及防治.北京中国环境科学出版社.
- [12] 王式功,杨德保,金炯等.我国西北地区沙尘暴时空分布及其成因分析.北京中国科学技术出版社.
- [13] 王社教.历史时期我国沙尘天气时空分布特点及成因研究.陕西师范大学学报 哲学社会科学版.
- [14] 全林生,时少英,朱亚芬等.中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因.地理学报.
- [15] 王式功,王金艳,周自江等.中国沙尘天气的区域特征.地理学报.
- [16] 陆均天,邹旭皓,王锦贵等.近年我国沙尘天气较频繁发生的原因分析.气候与环境研究.
- [17] 龚道溢,王绍武.西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究.地理学报.