

刘梦迪,王一冰,于静,等. 通辽市两次大风沙尘天气过程对比分析[J]. 陕西气象, 2022(5):15-20.

文章编号:1006-4354(2022)05-0015-06

通辽市两次大风沙尘天气过程对比分析

刘梦迪,王一冰,于静,贾宁,张晨

(通辽市气象局,内蒙古通辽 028000)

摘要:利用常规观测资料、ECMWF ERA-Interim 逐小时 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料,对 2021 年 4 月 16 日、5 月 6 日通辽市两次大风沙尘天气过程从天气概况、气候背景、高低空环流形势和单站地面气象要素、高低空急流配置、垂直速度、大气稳定度等方面进行详细分析。结果表明:两次过程前期均具有干旱少雨的气候背景;高低空斜压锋区、地面冷高压和蒙古气旋是发生大风沙尘过程的环流形势;两次过程高低空急流配置有所不同,“4·16”过程高、低空为西风和西北风急流,“5·6”过程高、低空为一致西南风急流,且低空急流位置较“4·16”过程偏北,故造成“5·6”过程沙尘暴更强,地面气象要素变化也更为剧烈;垂直速度对两次沙尘暴过程有较好的指示意义,两次大风沙尘天气过程均存在锋区后冷空气较强且下沉气流区随高度向西北倾斜;两次过程大气层结构均呈现弱不稳定或中性,但“5·6”过程基础气温和能量较“4·16”更高,也是造成大风沙尘强度较“4·16”过程更强的因素之一。

关键词:大风沙尘;冷涡;高低空急流配置;诊断分析

中图分类号: P458.123

文献标识码: A

目前,国内外学者对沙尘暴的环流形势和动力、热力特征做了大量的分析研究。从大尺度环流特征来看,春季冷锋型沙尘暴区域上空通常有冷槽向南发展,形成地面冷锋,对地面的锋面东移发展起主要作用,易造成大风沙尘的形成^[1-4]。通辽市地处内蒙古东南部,属于干旱和半干旱季风气候,全市年降水量在 305~485 mm 之间变化,年降水的 70%集中在 6—8 月,春季干旱、大风等天气是影响农、牧、林业生产的主要自然灾害^[5-6]。2021 年春季通辽市频繁出现大风沙尘天气,其中以 5 月 6 日大风沙尘过程最强(下简称“5·6”大风沙尘过程),该过程影响范围广,波及内蒙古中部和东南部,4 月 16 日大风沙尘过程(下简称“4·16”大风沙尘过程)主要以大风灾害为主,沙尘影响范围相对较小。

本文利用常规观测资料及 ECMWF ERA-

Interim 逐小时 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料,对通辽市两次大风沙尘天气过程从多方面进行对比,分析两次过程的异同点,研究其形成机制,加强对通辽市大风沙尘天气过程认识,以期提高大风沙尘过程的预报监测水平。

1 大风沙尘天气概况

2021 年 4 月 15 日夜间至 16 日白天,通辽市 11 个国家气象站均出现大风沙尘天气,其中科左中旗、奈曼旗先后出现沙尘暴天气,科左中旗、奈曼旗最小能见度分别为 784 m、852 m,两站沙尘暴天气均持续 1 h,其余 8 个站均出现大风扬沙天气;冷锋后西北大风从 16 日 08 时开始影响通辽全市,极大风速出现在 12—13 时青龙山站达 25.4 m/s(10 级)。

2021 年 5 月 6 日午后到次日凌晨,通辽市出现了大风沙尘天气,其中奈曼旗和科左后旗均出

收稿日期:2021-09-15

作者简介:刘梦迪(1994—),女,内蒙古赤峰人,学士,助理工程师,主要从事天气预报工作。

基金项目:通辽市气象局科技创新项目(202101)

现沙尘暴天气,且奈曼旗本站达到强沙尘暴级别,最小能见度仅为 315 m,沙尘暴持续 2 h,青龙山、科左后旗最小能见度分别为 792 m、937 m,奈曼旗极大风速达 31 m/s(11 级)。

两次大风沙尘过程对通辽市影响均较大,“4·16”大风沙尘过程冷空气强度虽较“5·6”大风沙尘过程更强,但“5·6”过程的沙尘暴强度、影响范围以及造成的经济损失对通辽市影响更大。

2 气候背景

“4·16”大风沙尘天气发生前 10 d,通辽市气温较常年平均气温偏高 0.5 °C,降水量较少,全市降水量不足 10 mm,西南部地区不足 5 mm;而“5·6”过程前 10 d,全市降水较常年明显偏少,10 d 平均日降水量不足 1 mm,较常年平均值偏少 5~15 mm,但前期气温较常年偏低 1.5 °C。两次过程前期均干旱少雨,土壤水分蒸发剧烈,导致土壤干燥疏松,且 4 月和 5 月初全市植物覆盖率偏低,同时正值春播,田地翻耕,利于起沙,且通辽市拥有中国最大的科尔沁沙地,这些条件均为两次过程提供了有利的沙源条件。

3 环流形势特点

3.1 高空环流形势

“4·16”大风沙尘过程属于冷锋型^[6]。15 日 08 时 500 hPa 天气图上,贝加尔湖北部存在一低槽,蒙古国至我国河套地区也存在一低槽(称为北槽、南槽),北槽对应 -40 °C 冷中心,两个高度槽超前于对应的温度槽。发展过程中两温度槽逐渐合并,贝加尔湖西北部有极涡东移南下,伴随锋区南压,16 日 08 时,南槽加深为低涡,温度槽位于内蒙古中部,等高线与等温线交角近乎 90°,大气斜压性加强,沙尘暴出现在槽后。700 hPa 上,槽线位置较 500 hPa 偏东,表明斜压槽随高度向西北倾斜。16 日 08 时,700 hPa 低涡中心移至通辽市东北部,受冷锋后大风影响,通辽市出现大风沙尘天气。

“5·6”大风沙尘过程属于蒙古气旋型^[6]。5 日 08 时,500 hPa 上内蒙古东部为东北冷涡后部的西北气流控制,贝加尔湖西北部有冷涡分裂出来的冷槽,配合 -36 °C 的冷中心,冷槽经向度迅速加强并向东南方向移动,20 时,冷槽南压至贝

加尔湖南部。6 日 08 时冷槽在内蒙古中部偏北地区形成一冷涡,配合 -28 °C 冷中心缓慢东移,20 时移至通辽市西部。6 日 08 时高低空冷涡中心位置近乎重合,20 时冷涡减弱为冷槽,有冷平流输送至通辽中南部地区。

3.2 地面冷锋及蒙古气旋

“4·16”过程前,15 日 08 时地面图上,蒙古气旋位于锡林郭勒盟与蒙古国交界处,后部冷高压在蒙古国西部至里海北部呈带状分布,内部有多个冷高压中心,东移发展过程中,逐渐合并加强。16 日 08 时,冷高压主体移至贝加尔湖西南地区,中心强度达 1 035 hPa,蒙古气旋则移至内蒙古东部,中心强度为 997.5 hPa,冷锋过境后出现西北大风,通辽市西南部局地出现沙尘暴天气。

“5·6”过程期间,5 日 08 时,位于贝加尔湖西部的冷高压前部有两个闭合的低压中心,其中位于我国东北地区的气旋中心强度为 995 hPa,此时通辽市位于东北气旋底部等压线密集带中,而位于蒙古国地区的低压中心迅速加强东移。6 日 08 时,蒙古气旋中心强度达 997.5 hPa,气旋前部出现西南大风,造成内蒙古东南部地区大范围大风沙尘天气。20 时,蒙古气旋减弱移出,中心位置位于通辽市东部,锋面逐渐过境。

4 气象要素变化

地面气象要素对冷锋过境及沙尘暴爆发有强烈反应,可以在沙尘暴预报中作为参考依据^[7],图 1 为两次过程地面气象要素变化情况。“4·16”大风沙尘过程期间,蒙古气旋强度较强且移动缓慢,冷锋后西北大风影响通辽市时间较长,冷空气主体移动过程中在内蒙古西部南下,且强度减弱。由奈曼站气象要素变化(图 1a)可看出,过程期间,冷锋过境后,奈曼本站气压逐渐上升,速度较缓慢,12 h 共上升 7.1 hPa。相对湿度在 09—12 时下降 6%,此时段为沙尘暴发生时段,极大风速在 09 时后加大,由 20.5 m/s 上升至 24.5 m/s,大风持续 8 h,气温变化不明显,在沙尘暴期间温度略有升高。

“5·6”过程冷锋过境前后,奈曼站气象要素变化剧烈(图 1b)。冷锋前,气压下降,相对湿度

很低,气温升高,风速不大;冷锋过境后,风速加大,气压急升,湿度增加,气温下降。08—14时,气压持续下降,14时下降至948.4 hPa,气温在08—13时由23.4℃上升至27.2℃,相对湿度在

13时降至12%,极大风速略有加大,14时为14.2 m/s。沙尘暴发生时,气压急升,14—17时气压上升了9.4 hPa,气温下降13.7℃,此时段奈曼旗发生了强沙尘暴天气。

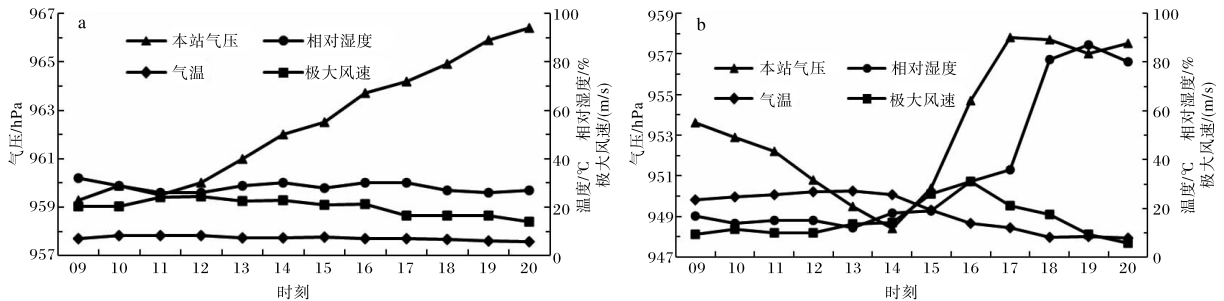


图1 通辽市奈曼站气象要素变化(a 2021-04-16T09—20;b 2021-05-06T09—20)

5 高低空急流配置

分析300 hPa高空急流演变发现:4月15日20时,我国中部地区存在西风急流核,核区最大风速达58 m/s;16日08时,大风核区北移至华北至渤海东部,核区最大风速加强至80 m/s,通辽市位于西风急流北侧正涡度平流区,其下部产生辐合上升运动,造成地面气旋增强。700 hPa西北风急流和切变线逐渐东移,16日08时,通辽市开始受大风影响,最大风速超过20 m/s,且高低空风向均在通辽市南部地区呈气旋式弯曲,沙尘暴出现在高空西风急流左侧和低空西北风急流入口区左侧。

分析“5·6”过程高空300 hPa和低层700 hPa的急流形势演变发现:沙尘暴发生前期,5日08时,高空西风急流发展强盛,大风核区位于渤海一带,核区最大风速达70 m/s,通辽市位于急流核左侧,东部存在气旋式切变;低层对应西北急流,最大风速达26 m/s。6日20时,高空西风急流转为西南急流,且大风速核明显北抬至山东西部,最大风速62 m/s;700 hPa转为西南急流,急流核位置向北移动,风速加大,最大风速达30 m/s,通辽市位于低空西南急流左侧。

以上分析可看出,“4·16”过程高空到低空为强西风和西北风,“5·6”过程高、低空为强西南风,“4·16过程”的高空急流较“5·6”过程更强,但低空急流位置偏南,故造成沙尘暴区域较小,“5·6”过程高低空急流位置更靠近内蒙古东南

部,所以造成沙尘暴区域更大,强度更强^[8]。

6 垂直速度和大气层结稳定度

6.1 垂直速度

4月16日11时沿43°N垂直速度剖面图(图2a)上,在124°E以东整层大气几乎全部为上升气流区,最大上升速度在600 hPa附近,达到 -12×10^{-3} hPa/s。124°E以西基本为下沉气流区,最大下沉速度在奈曼旗以西上空700 hPa附近,为 9×10^{-3} hPa/s。14时(图2b),下沉气流区迅速东移至125°E,上升气流区收缩至400 hPa以下,最大上升速度也明显减弱。表明此时冷空气在东移过程中迅速减弱,预示大风沙尘过程趋于结束。

5月6日14时沿43°N垂直速度剖面图(图2c)上,120°E附近上空存在强烈上升气流,上升高度达300 hPa以上,最大上升速度达到 -4×10^{-2} hPa/s。118°E以西下沉气流区随高度向西北倾斜,但下沉速度最大为 1×10^{-2} hPa/s。上升速度和下沉速度均比“4·16”过程强。17时最强上升气流区位置略有东移,但上升速度明显减小(图2d),表明14—17时地面气旋维持少动,导致大风沙尘天气持续影响通辽市。

从上述分析可知,两次大风沙尘天气过程均存在锋区后冷空气较强且下沉气流区随高度向西北倾斜。冷锋后冷空气下沉,高空动量下传,抬升前部暖空气,从而造成冷锋后部大风;而锋区前强烈的上升运动可以使地面气旋发展,使锋后冷高压和气旋之间的气压梯度加大,造成近地面大风

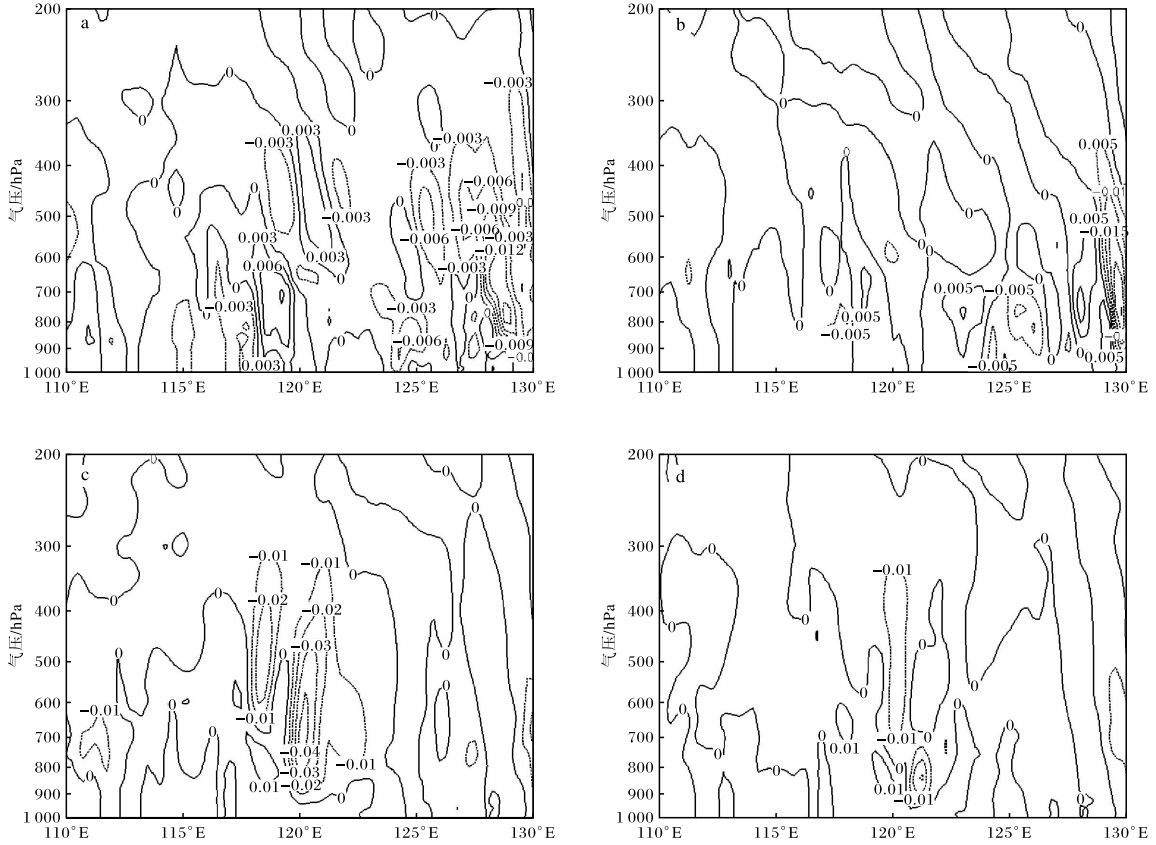


图2 沿43°N垂直速度(单位为hPa/s)剖面图(a 2021-04-16T11;b 2021-04-16T14;
c 2021-05-06T14;d 2021-05-06T17)

加强。两次过程的区别是“4·16”过程冷空气迅速东移造成冷锋后部西北大风,而“5·6”过程蒙古气旋维持少动,引起气旋前部偏南大风。

6.2 大气稳定度

动力因子满足的条件下,热力因子是判断能否出现沙尘暴的敏感因子^[9],沙尘暴通常发生在不稳定大气层结中^[10]。从两次大风沙尘过程前43°N假相当位温(θ_{sc})垂直剖面图和奈曼站的假相当位温垂直变化($\partial\theta_{sc}/\partial p$)图可以看出(图3):4月16日125°E以西,400 hPa以下 θ_{sc} 是低值区,呈东西向长条状,最低值达284 K,表明锋后干冷空气已经侵入;而在110°E~125°E,700~500 hPa等 θ_{sc} 线密集,表明中低空锋区强盛;在125°E附近600~400 hPa,有 θ_{sc} 高能舌向上凸起,表明中空层结不稳定(图3a);奈曼站的假相当位温垂直变化($\partial\theta_{sc}/\partial p$)图(图3b)上,近地层有 $\partial\theta_{sc}/\partial p > 0$,900~700 hPa有 $\partial\theta_{sc}/\partial p \approx 0$,表明此时低层大气层结呈现弱不稳定或中性状态。

5月6日14时43°N假相当位温垂直剖面图(图3c)上:120°E以西400 hPa以下为 θ_{sc} 低值区,最低值达290 K,干冷空气延伸至400 hPa,冷空气向上扩展,向上凸起呈舌状;120°E附近等 θ_{sc} 线密集,1个经度内约有5根等 θ_{sc} 线,表明锋区发展强盛;120°E东侧为 θ_{sc} 高值区,最大值为312 K。奈曼站的假相当位温垂直变化($\partial\theta_{sc}/\partial p$)图(图3d)上,近地层 $\partial\theta_{sc}/\partial p > 0$,近地面层也呈现出弱不稳定层结,900~600 hPa,假相当位温值随高度变化不大,层结状态基本为中性。

以上分析表明,两次大风过程发生前大气层结条件有所差别,“4·16”过程发生在冷锋过境后,冷空气较“5·6”过程强度更强,但由于冷锋已过境,大气层结趋于中性或弱不稳定。虽然通辽市全市均出现大风沙尘天气,但沙尘暴发生范围较小。而“5·6”过程中,基础气温比“4·16”过程高,能量也更高,大气层结为弱不稳定或中性,同时冷锋强度更强,故造成沙尘暴范围更广。

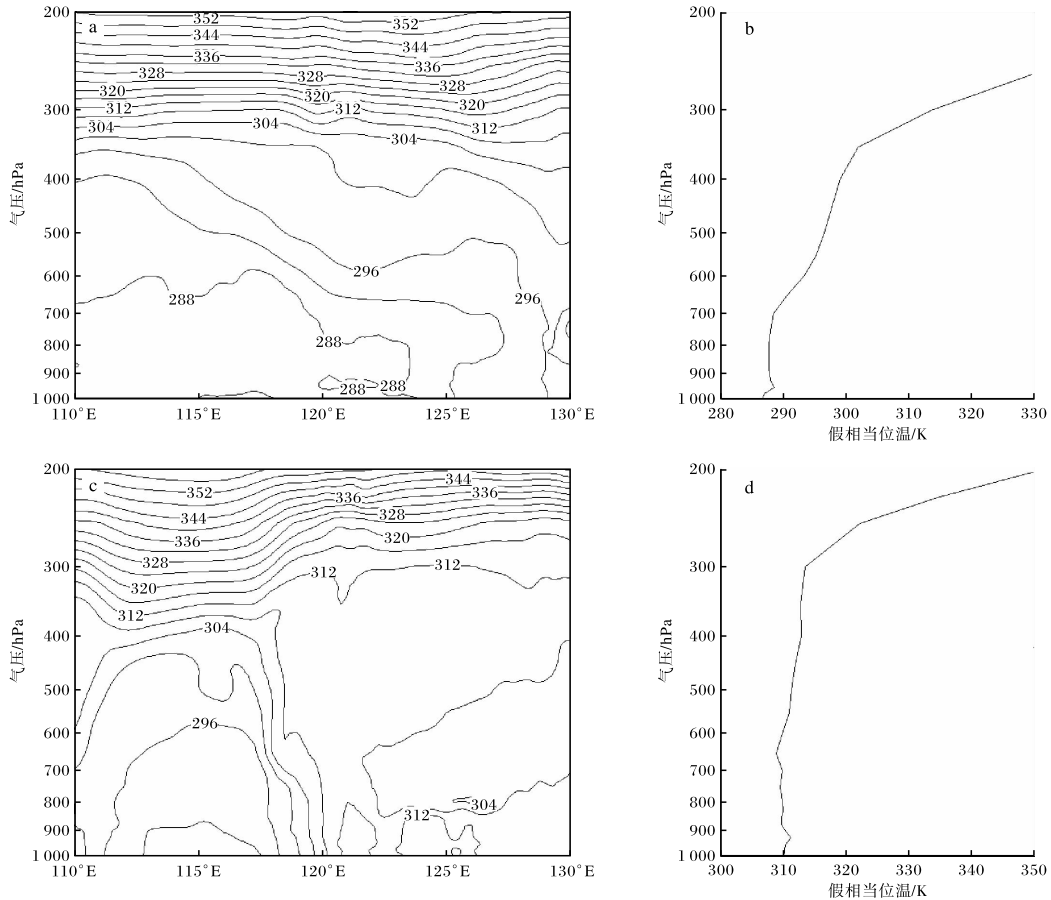


图3 沿43°N假相当位温垂直剖面(单位为K)(a 2021-04-16T11;c 2021-05-06T14;)和奈曼站假相当位温垂直变化(b 2021-04-16T11;d 2021-05-06T14)

7 结论

(1)两次过程前期均干旱少雨,植物覆盖率低,正值田地翻耕,同时存在本地沙源,这些条件均为两次过程提供了充分的沙源条件。

(2)两次过程高空和地面形势类似,高空存在较强锋区,大气斜压性强,地面虽均受蒙古气旋影响,但“4·16”过程主要受冷锋后的西北大风影响,“5·6”过程是受冷锋过境前后的西南大风和偏西大风共同影响。两次过程发生前后气压、相对湿度等气象要素均出现明显变化,“5·6”过程气象要素变化更为剧烈。

(3)两次过程中高低空急流配置有区别。“4·16”过程高空到低空为强西风和西北风。“5·6”过程高空到低空为强西南风,高空急流较“4·16”位置偏南,但低空急流位置偏北;因此造成“5·6”过程沙尘暴区域更大,强度更强。

(4)两次过程均存在锋区后较强冷空气下沉,

高空动量下传,而锋区前存在强烈的上升运动,从而使锋后冷高压和气旋之间的气压梯度加大;但“4·16”过程冷空气迅速东移造成冷锋后部西北大风,而“5·6”过程蒙古气旋维持少动,引起气旋前部偏南大风和冷锋后偏西大风。

(5)两次大风过程发生前大气层结条件有差别。“4·16”过程中,由于冷锋已经过境,大气层结处于中性或弱不稳定状态,沙尘暴发生范围较小;“5·6”过程中,基础气温比“4·16”过程高,能量也更高,大气层结为弱不稳定或中性,同时冷锋强度更强,故造成沙尘暴范围更广。

参考文献:

- [1] 姜学恭,云静波.三类沙尘暴过程环流特征和动力结构对比分析[J].高原气象,2014,33(1):241-251.
- [2] 李玲萍,李岩瑛,李晓京,等.河西走廊不同强度冷

- 锋型沙尘暴环流和动力特征[J]. 中国沙漠, 2021, 41(5): 219-228.
- [3] 陈楠, 陈晓光, 赵光平, 等. 宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 680-686.
- [4] 汤绪, 俞亚勋, 李耀辉, 等. 甘肃河西走廊春季强沙尘暴与低空急流[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 840-846.
- [5] 谭方颖, 赵晓凤, 郑昌玲, 等. 2021年春季气象条件对农业生产的影响[J]. 中国农业气象, 2021, 42(7): 616-619.
- [6] 顾润源. 内蒙古自治区天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 407-418.
- [7] 程鹏, 李光林, 刘抗, 等. 河西走廊一次区域性大风强沙尘暴天气诊断[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 245-249.
- [8] 程海霞, 丁治英, 帅克杰. 近 5a 我国沙尘暴与高空急流关系的统计分析[J]. 中国沙漠, 2005(6): 99-104.
- [9] 努尔比亚·吐尼牙孜, 热孜瓦古·孜比布拉, 孟凡雪, 等. 南疆西部冬季一次强大风的预报分析[J]. 干旱气象, 2018, 36(6): 1003-1011.
- [10] 狄潇泓, 张新荣, 刘新伟, 等. 甘肃省两次强沙尘暴天气对比分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 81-86.