孙令东. 沙尘暴个例的热力动力结构分析[J]. 气象与环境科学,2016,39(4):49 - 55.
Sun Lingdong. A Case Analysis of Thermal and Dynamic Structure of Sandstorm[J]. Meteorological and Environmental Sciences,2016,39(4):49 - 55.
doi:10.16765/j.cnki.1673 - 7148.2016.04.008

# 沙尘暴个例的热力动力结构分析

孙令东

(巴彦淖尔市气象局,内蒙古 巴彦淖尔 015000)

**摘 要**:运用 Micaps 常规气象观测资料,结合天气动力学分析方法,从沙尘暴发生发展的动力、热力角度,对2011年4月29—30日发生在巴彦淖尔市沙尘暴天气个例深入分析,结果表明:沙尘暴发生前,近地层气温较高,200 hPa 附近有超低温,垂直温度梯度增大,对流旺盛。高空急流入口左侧辐合下沉运动形成逆温层,有利于不稳定能量在底层积累。500 hPa 以下高度相对湿度由底层到高层迅速增大,500 hPa 高度以上相对湿度呈减小趋势。饱和假相当位温曲线在600 hPa 以下与温度轴成钝角,饱和假相当位温曲线和假相当位温曲线距离较远,表明600 hPa 以下大气层结呈不稳定结构,且近地层到高空水汽含量较小,不稳定结构为沙尘暴发生提供了有利条件。200 hPa 附近,位温、假相当位温、饱和假相当位温三条曲线一致向左倾斜又向右倾,表现明显的超低温,假相当位温曲线上低层偏南风,高层西风、西北风,整个对流层大气表现顺滚流。700—850 hPa 高空槽前有一致的暖平流,槽后有一致的冷平流,暖区的上升运动和冷区的下沉运动得到发展,形成明显的对流运动,由冷区的下沉运动、低层由冷区指向暖区的水平运动和暖区的上升运动构成了一个垂直方向上的次级环流,次级环流的下沉支处于高空急流轴入口区的左侧下方,进一步把高空急流的动量传递到地面,次级环流在低层由冷区指向暖区的水平运动加大地面风速,致使风力增大,为此次沙尘暴提供了动力条件。

**关键词**:沙尘暴;热力结构;动力结构;次级环流;高低空急流

**中图分类号**:P425.5⁺5 **文献标识码**:A **文章编号**:1673 - 7148(2016)04 - 0049 - 07

## 引 言

沙尘暴是发生在干旱、半干旱、沙漠及其邻近地区的强烈的沙尘天气。沙尘暴的产生是由多种因素导致的,强风是沙尘暴发生的动力条件,而地表大量的沙尘粒子是产生沙尘暴必不可少的物质条件。强沙尘暴是一种危害极大的灾害性天气,由强风挟卷大量砂粒往往形成直立翻滚的沙尘壁以排山倒海之势滚滚向前移动,其成灾的作用方式有沙埋、风蚀沙割、狂风袭击、降温霜冻等。因此,加强对沙尘暴的分析研究,有效减小沙尘灾害,已成为当前防灾减灾的重点工作之一。近年来,我国对沙尘暴的研究比较广泛,得出诸多的结论。如钱正安[1-4]等对比分析了沙尘暴的多发区和季节变化;孙永刚[5-12]等对沙尘暴过程进行了天气学分析;姜学恭[13-17]等对沙尘暴遥感监测、垂直输送和数值模拟方面进行了研究;王雷[18]分析了导致猛烈强风的主要原因;赵光平等[19]则从强冷空气、热力不稳定近地层环境分析入手,建立了宁夏强沙尘暴监测与预报系统。有研究表明蒙古气旋的发生发展和冷锋后大风是2011年4月6—7日强沙尘暴过程起沙的主要动力[20];在引发沙尘天气的蒙古气旋快速发展的因子中,对流层中低层的温度平流有重要的作用[21];蒙古气旋内部的垂直环流与控制辽宁地区的冷平流对2007年3月底沙尘暴和降温过程具有一定的触发与维持作用[22]。目前,对于沙尘暴内部的热力动力结构研究很少。

**收稿日期**:2014 - 09 - 23;**修订日期**:2015 - 06 - 19
**基金项目**:国家自然科学基金项目(41365003、40965005)资助
**作者简介**:孙令东(1984—),男,内蒙古呼伦贝尔人,工程师,硕士,从事灾害性天气预报技术研究. E-mail:sld319@163.com

万方数据

本文利用Micaps常规气象资料，结合天气动力学分析方法，从沙尘暴发生发展过程中大气层结结构演变特征等方面，对2011年4月29—30日发生在巴彦淖尔市沙尘暴天气个例进行分析，揭示沙尘暴内部的热力动力结构特征。

## 1 气候概况

巴彦淖尔市地处中纬度地区[23]，东与包头市相连，西与阿拉善盟（乌兰布和沙漠所在地）接壤，南与鄂尔多斯市隔河相望，北与蒙古国（蒙古国南部有沙地及巴丹吉林沙漠）为邻，西南依黄河与乌海市相连，远离海洋，地势复杂，是中温带大陆性气候与季风气候的交界区，冬寒夏炎，四季分明，降水少，温差大，日照足，蒸发强。春秋短促，冬季漫长，无霜期短，风沙天多，雨热同季，灾害频繁。根据伊万诺夫湿润度计算[23]，巴彦淖尔市年湿润度在0.11～0.20，属于极干旱—干旱的荒漠和半荒漠地区，其中，海力素、磴口、临河、杭后为0.11～0.12，为干旱的半荒漠地区。

巴彦淖尔市各地全年蒸发量[23]在1991.5～3305.0 mm，平均为2413.9 mm，蒸发量最大中心在海力素地区，达3305.0 mm。巴彦淖尔市是全国沙尘暴天气发生比较频繁的地区之一，1971—2000年，巴彦淖尔市各地历年平均沙尘暴日数在2.1～18.4天。

## 2 天气概况

受蒙古气旋影响，2011年4月29日凌晨到夜间，巴彦淖尔市大部平均风力达5级，阵风7～8级，大部地区出现沙尘天气，其中乌拉特中旗（以下简称中旗）出现沙尘暴，持续时间较长（29日02—23时），大部分地区最高气温下降12 ℃以上，30日凌晨巴彦淖尔市北部地区出现霜冻。具体天气实况见图1。

图1 巴彦淖尔市2011年4月29日02时—5月1日08时天气实况分布

## 3 沙尘暴过程中热力参数特征

### 3.1 气温的垂直分布

从图2气温（$t$）垂直探空变化曲线可看出，2011年4月28日20时到30日08时，大气温度层结曲线在300 hPa以上和地面至500 hPa特征明显。沙尘暴发生前（28日20时），近地层气温较高，达30 ℃，同时200 hPa附近层结曲线间断性左倾（$t_1$），表明有超低温存在，高层气温低，地面气温高，垂直温度梯度增大，有利于对流发展。结合高空形势（28日20时），200 hPa有一西北急流（图略），中旗处于该高空急流入口左侧的强辐合区内，下沉运动致使200 hPa附近逆温层形成，该逆温层有利于不稳定能量在底层积累。沙尘暴发生过程中，在150—200 hPa的逆温层（$t_2$）阻挡了不稳定能量的释放，为此次沙尘暴发生提供了长时间保证。到30日08时，高层逆温层减弱消失（$t_4$），不稳定能量随之减小消失，又加上低层气温显著下降，致使大气垂直温度梯度减小，大气层结趋于稳定，沙尘暴天气趋于结束。

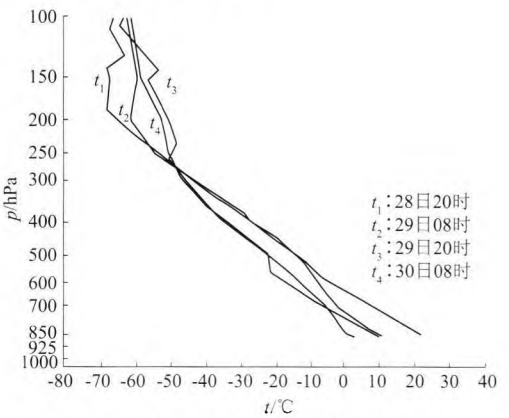


图2 2011年4月28日20时—30日08时中旗站气温垂直探空曲线变化

### 3.2 相对湿度的垂直分布

由相对湿度（$f$）垂直廓线（图3）可看出，整个沙尘暴过程中500 hPa附近有一致的相对湿度扰动。沙尘暴发生前（28日20时），500 hPa以下高度，相对湿度曲线向右倾斜（$f_1$），表明从低层到高层增湿明显，最大相对湿度出现在500 hPa，达80%。500 hPa以上高度，相对湿度曲线向左倾斜，呈逐步减小态势。到29日08时，500 hPa以下高度相对湿度增加（由10%增加到80%）比高层明显，500 hPa附近处相对湿度曲线出现折拐（$f_2$）。这是因为中旗站附近，700 hPa有明显风速辐合，850 hPa有冷式切变线，切变线和风速辐合产生的上升运动使低层水汽向上输送，并

万方数据

在上升过程中绝热冷却，相对湿度增大，至 500 hPa 达最大(80%)，之后，相对湿度锐减。到 29 日 20 时，整层大气相对湿度迅速减小至 10% 以下($f_3$)。沙尘暴过境后(30 日 08 时)，整层大气的相对湿度明显增加，850 hPa 处增加至 45% 以上($f_4$)。综上所述，沙尘暴发生前，500 hPa 以下高度相对湿度由底层到高层迅速增大，500 hPa 高度以上呈减小趋势；沙尘暴发生过程中，整层大气相对湿度大幅递减至 10% 以下；沙尘暴发生后，整层相对湿度快速增大。

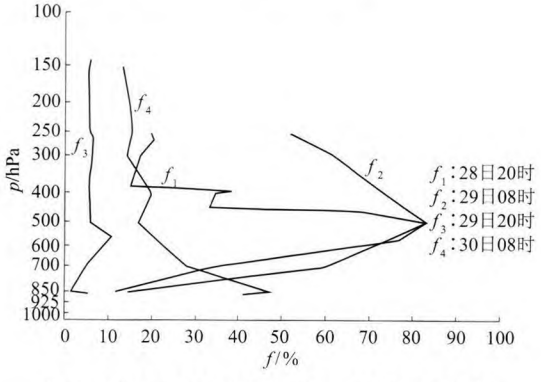


**图 3　2011 年 4 月 28 日 20 时—30 日 08 时中旗站相对湿度垂直廓线**

### 3.3　比湿的垂直分布

由比湿($q$)的垂直分布图(图 4)可看出，整个沙尘暴过程中比湿随高度的上升而减小，这与对流层内水汽含量随高度的变化趋于一致。沙尘暴过境之前低层大气相对湿润，850 hPa 附近比湿为 3 g/kg，湿层厚度延伸至 400 hPa，同时 700 hPa 附近出现逆湿现象，这可能与 700 hPa 附近逆温层有关($q_1$)。逆温层的存在，大气层结稳定，阻碍了水汽的垂直交换。沙尘暴发生过程中(29 日 08 时)，低层比湿减弱明显，湿层厚度增大，延伸至 300 hPa 高度，700 hPa 附近逆湿层仍然存在($q_2$)。到 29 日 20 时，比湿垂直分布线与 $Y$ 轴重合($q_3$)，整层大气比湿减弱较明显，也就是说在沙尘暴发生过程中整层大气比湿有大幅下滑现象。结合高空形势(图略)分析，850－700 hPa 高度，巴彦淖尔市处于低涡后部，温度槽落后于高度槽，等温线与等高线交角近 90°，冷平流强盛。由于平流过来的冷空气本来就较为干燥，再加上冷空气流向地面时下沉绝热增温，使空气更为干燥，所以沙尘暴过境时空气湿度将急剧下降。到 30 日 08 时(沙尘暴发生后)，700 hPa 以下大气增湿明显，整层大气湿层厚度增加，延伸至 500 hPa 高度($q_4$)。总之沙尘暴过境前，低层大气比湿高于高层的，湿层厚度较厚，700 hPa 附近出现逆湿现象；沙尘暴发生过程中，垂直方向上比湿随高度的上升而减小，整层大气湿度减弱较明显；沙尘暴过境后，比湿明显增加。

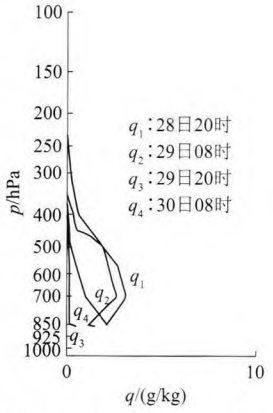


**图 4　2011 年 4 月 28 日 20 时—30 日 08 时中旗站比湿垂直廓线**

### 3.4　三种位温的变化特征

沙尘暴发生前，4 月 28 日 20 时(图 5a)3$\theta$($\theta$、假相当位温 $\theta_{se}$、饱和假相当位温 $\theta^*$)结构特征为：$\theta$ 曲线与 $\theta_{se}$ 曲线距离相对较近，并由地面到 600 hPa 准垂直于温度轴，600 － 500 hPa $\theta$ 曲线与 $\theta_{se}$ 曲线较 600 hPa 以下的右倾。$\theta^*$ 曲线在 600 hPa 以下与温度轴成钝角，表明 600 hPa 以下大气构成不稳定结构。综合 3 条曲线可看出，近地层到高空大气水汽含量较小，空气干燥，且近地层气温较高，气层呈不稳定状态。不稳定结构为沙尘暴发生提供了有利条件。由于大气水汽含量少，不稳定能量只能以大风携带沙尘的形式释放。200 hPa 附近，3 条曲线一致的向左倾斜又向右倾，表现明显的超低温。$\theta_{se}$ 曲线上低层偏南风，高层西风、西北风，整个对流层大气表现顺滚流(“顺滚流”可以理解为：北半球中、低层大气(700 hPa)为偏南风(包括西南、东南风)或临近海洋的东风，高层大气(500 hPa 以上)为西到西北风，代表了冷空气来袭时大气低层到高层的风场配置)。沙尘暴发生过程中，29 日 08 时(图 5b)，对流层上层 250 hPa 处超低温，3 条曲线呈折拐状维持。低层偏北风到西北风构成了整体上的顺滚流[24]，这时临河、中旗、海力素出现了沙尘暴。到 29 日 20 时(图 5c)$\theta$ 曲线与 $\theta_{se}$ 曲线表明不稳定结构已经有所改变，不稳定气层的高度已延伸到 600 hPa，整层大气风速增大，尤其 500 hPa 以下风速达 28 m/s，250 hPa 处超低温，3 条曲线仍然呈现明显的折拐状。到 30 日 08 时(图 5d)超低温仍然存在，但已有所减弱，$\theta$ 线与 $\theta_{se}$ 线距离进一步增大，$\theta^*$ 线与 $\theta_{se}$ 线距离进一步减小，大气中的水汽进一步增

万方数据

加，$\theta$ 线表明不稳定能量基本上已经释放完毕，这时沙尘暴趋于结束。

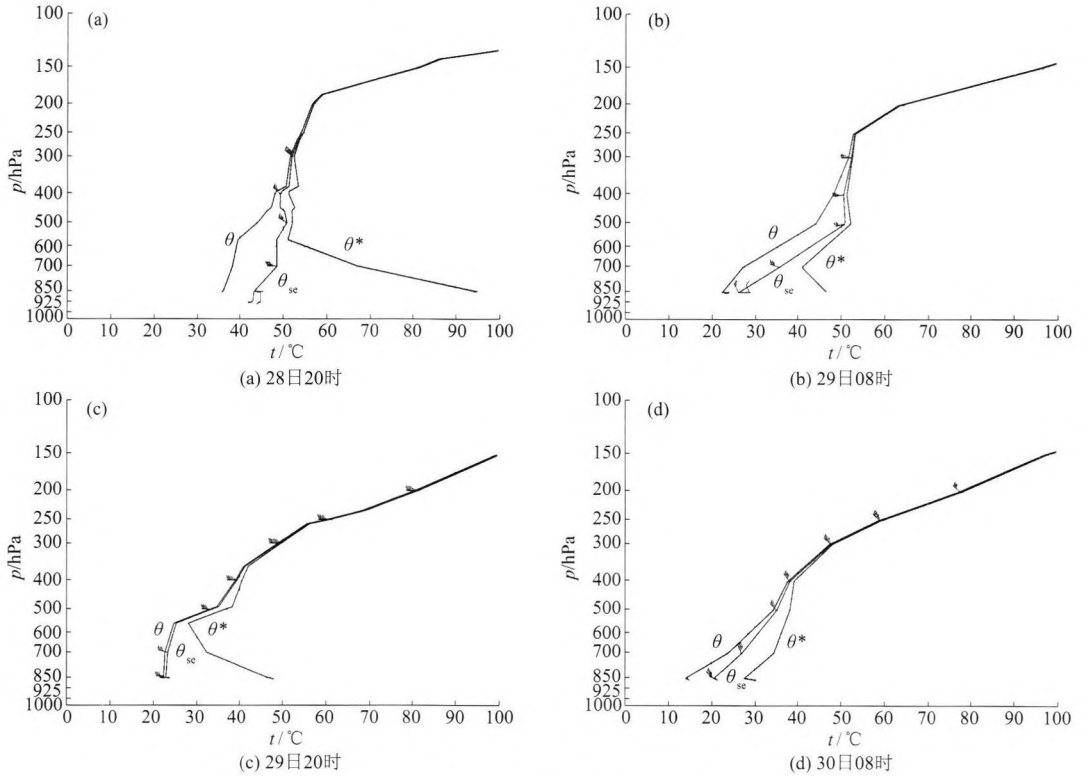


图 5 沙尘暴发生时中旗站位温（$\theta$）、假相当位温（$\theta_{se}$）、饱和假相当位温（$\theta^*$）变化特征

## 4 沙尘暴过程中地面要素变化特征

由地面要素变化图（图 6）可看出，沙尘暴发生前期（2011年4月26日20时—28日20时），气温一直呈上升趋势，最高升至25 ℃；气压降至992 hPa；露点温度升至3 ℃以上，空气暖而干燥。前期的升温降压和晴朗干燥的大气为沙尘暴的形成积蓄了热能。从中旗地面至高空各层温度变化（图略）可看出，前期整层持续增温显著，低层增温强于高层增温，不断积蓄热能。随着冷锋过境，扰动加强，触发不稳定能量释放，顿时狂风大作，出现沙尘暴天气。沙尘暴发生过程中（29日02—20时），气压跃升，气温、露点温度下降。沙尘暴发生后（30日05—14时），气压、气温、露点温度同时升高。

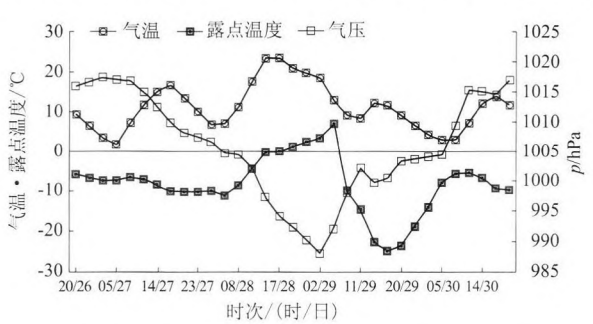


**图 6 2011年4月26日20时到30日14时中旗站地面气温、露点温度、海平面气压变化曲线**

## 5 沙尘暴发生动力结构特征

### 5.1 垂直速度

从2011年4月29日08时700 hPa 垂直速度（图 7）可看出，40—50°N、100—105°E 为 $35\times10^{-3}$ hPa·s$^{-1}$ 的正值中心，该区域下沉运动明显；40—50°N、105—120°E 为 $-20\times10^{-3}$ hPa·s$^{-1}$ 的负值中心，该区域上升运动强烈。结合海平面气压场（图略）分析可知，下沉运动大值区与冷高压控制区相对应，上升运动

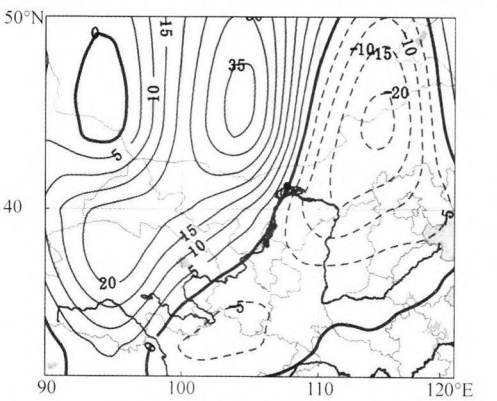


图 7 2011年4月29日08时700 hPa 垂直速度

单位：$10^{-3}$ hPa·s$^{-1}$，● 为巴彦淖尔市

万方数据

大值区与地面气旋相对应，这与天气学中所描述的冷锋前部为上升运动，冷锋后部为下沉运动较为一致。垂直速度大值区域存在说明该区域对流活动旺盛，同时表明大气层结较不稳定，不稳定大气层结为沙尘暴形成提供了有利条件。垂直速度正负中心值呈纬向分布，正值区域下沉，负值区域上升，中低层构成了垂直环流，该垂直环流的上升支促进地面气旋加深发展，下沉支则是动量下传重要机制。

### 5.2　涡度平流

从2011年4月29日08时500 hPa 涡度平流（图 8）分布可看出，40—50°N、90—97°E 中心值为 $-12\times10^{-10}\ s^{-2}$的负值区，40—50°N、98—105°E 中心值为 $14\times10^{-10}\ s^{-2}$的正值区。结合海平面气压场（图略）分析可知，负涡度平流与冷高压相对应，正涡度平流与地面气旋相对应。根据位势倾向方程，高空正涡度平流使地面气旋发展，负涡度平流使地面高压发展。随着高空正、负涡度平流的东移，地面对应的低、高压随之东移，“变压风”增强，锋面两侧的气压梯度增大，此时巴彦淖尔市大部出现大风扬沙天气，北部出现沙尘暴。

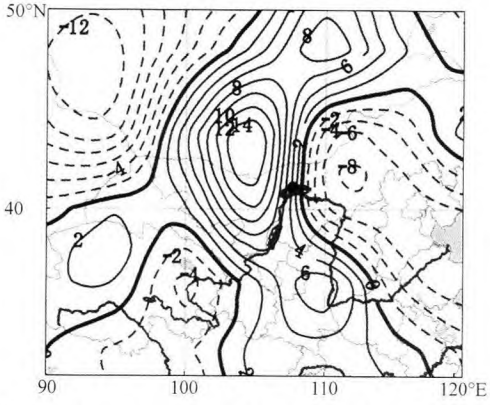


图 8　2011 年 4 月 29 日 08 时 500 hPa 涡度平流

单位：$10^{-10}\ s^{-2}$，●为巴彦淖尔市

### 5.3　高低空急流作用

沙尘暴和高空急流有着密切关系[25]。急流所伴随的动力学过程决定了关键区域内高空波动的演变，也决定了地面气旋和反气旋的活动。急流的作用主要是通过急流轴的位置及强度体现出来的。29 日 08 时（沙尘暴发生过程中）200 hPa 新疆北部经河西走廊到华北北部有一西风急流带，急流轴西北—东南走向，中心最大风速达 48 m/s，巴彦淖尔市处于该急流出口左侧（图 9a），气流辐散强烈，中心值为 $6\times10^{-5}\ s^{-1}$，由于高空辐散产生的强烈抽吸作用，引起巴彦淖尔市多站出现了沙尘暴和扬沙。高空急流是一支高速风带，蕴含着巨大的能量，并且能量主要集中在急流轴附近。由于该西风急流最大风速达 48 m/s，再加上动量下传机制，高空急流的动量传递到低层，使低层风速明显加大。随着高空西风急流干冷平流输送，冷空气堆积加快，锋区不断加强，各层等压面上均有明显反应（图略）。

结合 29 日 08 时海平面气压场（图略），巴彦淖尔市处于高压前部的地面副冷锋前，冷锋前是暖区，暖区的厚度可延伸到 700 hPa，而高空急流使高层冷平流加强，此外，导致大气层结不稳定，在锋前暖区产生上升运动，在锋后冷区产生下沉运动，使锋面的斜压性增强。巴彦淖尔市位于 200 hPa 高空急流出口左侧，因为急流轴左侧风速具有气旋性切变，右侧风速具有反气旋性切变，所以当急流轴与高空槽配合时，槽前有明显的正涡度平流，使地面气旋发展加深；而槽后有明显的负涡度平流，使地面反气旋发展，这时地面气压梯度加大，大风产生。从 29 日 08 时海平面气压场（图略）可看出，暖性低压系统位于高空急流的底层，大气层结表现出明显的不稳定状态。从 700 hPa（图 9b）、850 hPa（图略）形势可看出，高空槽前有一致的暖平流，槽后有一致的冷平流，

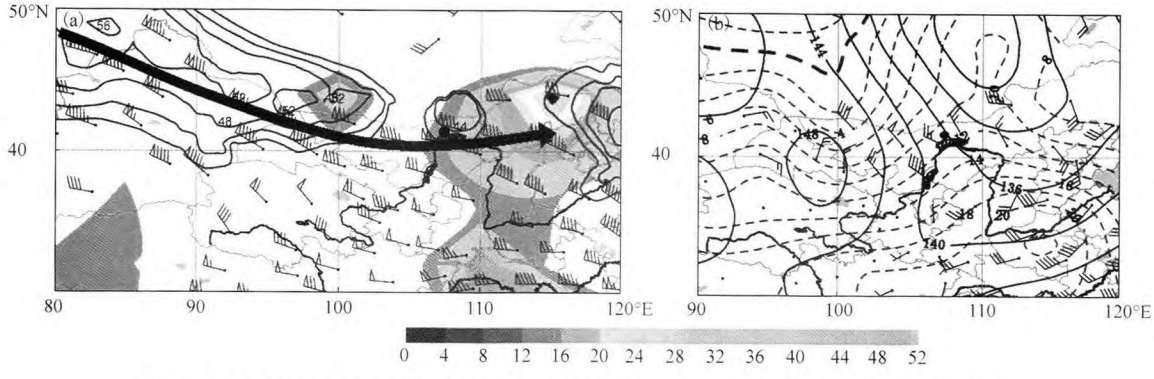


**图 9　2011 年 4 月 29 日 08 时 200 hPa 高空急流（a）和 700 hPa 位势高度、温度场（b）**

（a）中阴影区为垂直速度正值区，单位：$10^{-3}\ hPa\cdot s^{-1}$；（b）中实线为等高线，单位：dagpm，虚线为等温线，单位：℃；●为巴彦淖尔市

万方数据

并且呈疏散状。暖区的上升运动和冷区的下沉运动得到发展,形成明显的对流运动。这样,就由冷区的下沉运动、低层由冷区指向暖区的水平运动和暖区的上升运动构成了一个垂直方向上的次级环流(这里所说的次级环流指的是垂直方向上的环流,它与大尺度水平运动相叠加,是对流运动的体现)。由于次级环流的下沉支处于高空急流轴入口区的左侧下方,进一步把高空急流的动量传递到地面,次级环流在低层由冷区指向暖区的水平运动会加大地面风速,致使风力增大。

## 6 结 论

(1)沙尘暴发生前,近地层气温较高,200 hPa附近有超低温,高层气温低,地面气温高,垂直温度梯度增大,对流旺盛。高空急流入口左侧辐合下沉运动形成逆温层,有利于不稳定能量在底层积累。沙尘暴发生过程中,200—250 hPa逆温层维持,该逆温层阻挡了不稳定能量的释放,为此次沙尘暴发生提供了长时间保证。

(2)沙尘暴发生前,500 hPa以下高度相对湿度由底层到高层迅速增大,500 hPa高度以上呈减小趋势,500 hPa处湿度曲线有明显拐角,700 hPa附近出现比湿逆湿现象;沙尘暴发生过程中,整层大气相对湿度大幅递减至10%以下,低层大气比湿高于高层,湿层厚度较厚,垂直方向上比湿随高度的上升而减小,整层大气比湿减弱较明显;沙尘暴发生后,整层相对湿度快速增大。过境前700 hPa附近出现比湿逆湿现象。

(3)沙尘暴发生前,$\theta^*$曲线在600 hPa以下与温度轴成钝角,$\theta^*$曲线和$\theta_{se}$曲线距离较远,表明600 hPa以下大气构成不稳定结构,且近地层到高空大气水汽含量较小,不稳定结构为沙尘暴发生准备了充分条件,不稳定能量以大风携带沙尘的形式释放。200 hPa附近,三条曲线一致的向左倾斜又向右倾,表现明显的超低温,$\theta_{se}$曲线上低层偏南风,高层西风、西北风,整个对流层大气表现顺滚流。

(4)垂直速度和涡度平流表现明显特征。垂直速度正负中心值呈纬向分布,正值区域下沉,负值区域上升,中低层构成了垂直环流,该垂直环流的上升支促进地面气旋加深发展,下沉支则是动量下传重要机制;负涡度平流与冷高压相对应,正涡度平流与地面气旋相对应。正涡度平流使地面气旋发展,负涡度平流使地面高压发展。沙尘暴发生时,高空正、负涡度平流的东移,地面对应的低、高压随之东移,"变压风"增强,锋面两侧的气压梯度增大。

(5)700—850 hPa高空槽前有一致的暖平流,槽后有一致的冷平流,并呈疏散状。暖区的上升运动和冷区的下沉运动得到发展,形成明显的对流运动。由冷区的下沉运动、低层由冷区指向暖区的水平运动和暖区的上升运动构成了一个垂直方向上的次级环流,次级环流的下沉支处于高空急流轴入口区的左侧下方,进一步把高空急流的动量传递到地面,次级环流在低层由冷区指向暖区的水平运动会加大地面风速,致使风力增大,为此次沙尘暴提供了动力条件。

## 参考文献


[1]钱正安,宋敏红,李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(2):106-111.

[2]赵光平,陈楠,杨建玲,等. 环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J]. 中国沙漠,2003,23(6):642-645.

[3]赵明瑞,刘明春,钱莉,等. 民勤绿洲1971-2010年沙尘暴特征及影响因素分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2013,7(5):35-39.

[4]赵明瑞,杨晓玲,滕水昌. 甘肃民勤地区沙尘暴变化趋势及影响因素[J]. 干旱气象,2012,30(3):421-425.

[5]孙永刚,孟雪峰,宋桂英,等. 基于定量监测的沙尘暴定量预报方法[J]. 气象,2009,35(3):87-93.

[6]王伏村,许东蓓,王宝鉴,等. 河西走廊一次特强沙尘暴的热力动力特征分析[J]. 气象,2012,38(8):950-959.

[7]武威,顾佳佳,牛淑贞. 2013年春季一次沙尘暴天气成因分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):71-79.

[8]贺哲. 2006年3月末河南一次沙尘暴过程的天气成因分析[J]. 气象,2012,38(8):932-942.

[9]王伏村,付双喜,张德玉,等. 一次雷暴大风引发的强沙尘暴天气的中尺度系统分析[J]. 干旱气象,2014,32(6):954-961.

[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.

[11]霍文,张广兴,秦贺,等. 塔城3·12东风沙尘暴天气模拟分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(4):26-31.

[12]路爽,张菁,孙凤华. 沈阳地区沙尘天气分析[J]. 气象科学,2004,24(1):112-119.

[13]姜学恭,陈受钧,云静波. 基于CALIPSO资料的沙尘暴过程沙尘垂直结构特征分析[J]. 气象,2014,40(3):269-279.

[14]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.

[15]刘宁微,马雁军,刘晓梅,等. 蒙古气旋引发辽宁沙尘暴天气过程的数值模拟[J]. 中国沙漠,2011,31(1):217-222.

[16]赵仕伟,胥永文,史荟燕,等. 我国沙尘灾害遥感监测研究与展望[J]. 气象与环境科学,2009,32(4):65-68.

[17]李光林,张铁军,任余龙,等. 2014年春季甘肃一次特强沙尘暴过程的中尺度模拟及触发机制分析[J]. 干旱气象,2014,32(6):980-988.

[18]王雷. 一次冷空气强风的成因分析[J]. 海洋预报,2005,22(4):96-101.


万方数据

[19]赵光平,王连喜,杨淑萍.宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统[J].中国沙漠,2001,21(2):175-181.
[20]孙燕,沈桐立,李强,等.我国北方地区一次沙尘暴天气特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(2):6-9,15.
[21]赵琳娜,赵思雄.一次引发华北和北京沙尘天气的快速发展气旋的诊断研究[J].大气科学,2004,28(5):722-734.
[22]钱莉,杨永龙,殷玉春,等.一次飑线引发的大风强沙尘暴诊断分析[J].气象,2009,35(3):42-48.
[23]李金田,张喜林.巴彦淖尔市农牧业气候资源与区划[M].北京:科学普及出版社,2006:1-6.
[24]于希里,闫丽凤.山东半岛北部沿海强对流云团与局地暴雨[J].气象科技,2001,29(1):39-41.
[25]顾润原.内蒙古自治区天气预报手册[M].北京:气象出版社,2012:474-475.

# A Case Analysis of Thermal and Dynamic Structure of Sandstorm

Sun Lingdong

(Bayannur Meteorological Office, Bayannur 015000, China)

**Abstract**: By using Micaps conventional meteorological data, combined with weather dynamical analysis, from the dynamic and thermal point of view on the sandstorm occurrence and development, the sandstorm occurred in Bayannur on 29—30 April, 2011 was deeply analyzed. The result showed that before the outbreak of the sandstorm, the temperature of surface layer is higher, with ultra-low temperature near 200 hPa, the vertical temperature gradient increases, and convection is strong. The left side of the upper-level jet stream entrance convergence and subsidence resulting in the inversion layer is conductive to the energy accumulation at the bottom. The relative humidity below 500 hPa increases rapidly from the bottom to the top, when it decreases above 500 hPa. Saturated pseudo equivalent potential temperature curve constitutes an obtuse angle with temperature shaft below 600 hPa, saturated pseudo equivalent potential temperature curve is far from pseudo equivalent potential temperature curve, indicating atmospheric stratification is unstable below 600 hPa and vapor content is small from surface layer to high altitude, unstable structure has prepared a sufficient condition for the sandstorm. Near 200 hPa, potential temperature, pseudo equivalent potential temperature, saturated pseudo equivalent potential temperature curves consistently lean to the left then to the right performs obvious ultra-low temperature. The wind at the low level of pseudo equivalent potential temperature curve is southerly, upper level is westerly and northwesterly, the troposphere tumbles along the whole atmosphere. There is a consistent warm advection before the 700—850 hPa trough and a cold advection after the trough, leads the development of sinking motion in cold zone and upward movement in warm region, forming obvious convective motion. Owe to the sinking motion in cold area, horizontal movement from cold to warm zone of lower level and upward motion in warm region produce a secondary circulation in vertical direction. The sinking part of the secondary circulation drops below the left of upper level jet stream entrance region, further transferring the momentum of the upper air jet stream to surface. Horizontal motion in the low level from cold to warm zone in secondary circulation increases surface wind speed, providing dynamic condition for sandstorm.

**Key words**: sandstorm; thermal structure; dynamic structure; secondary circulation; high and low level jet

万方数据