

# 西宁地区沙尘暴天气的环流特征及其预报

保广裕 高顺年 戴升 达成荣

(青海省气象台, 西宁 810001)

## 提 要

通过青海省气象台建立的沙尘暴天气档案中影响西宁地区的 23 次沙尘暴天气个例, 从高空环流形势、地面冷空气强度、热力不稳定条件三方面入手进行了分析, 总结出了预报西宁地区沙尘暴天气的短期及短时预报着眼点。

关键词: 西宁地区 沙尘暴 环流特征 预报

## 引 言

扬沙、沙尘暴天气是一种常见的灾害性天气之一, 多发生在春季。扬沙是指由于风力较大, 将地面沙尘吹起, 使空气浑浊, 水平能见度在 1~10km 的天气现象; 而沙尘暴是强风把地面大量沙尘卷入空中, 使空气特别浑浊, 水平能见度低于 1km 的天气现象<sup>[1]</sup>。近两年来, 扬沙、沙尘暴天气频繁发生, 已严重干扰和影响了北方地区人们的正常活动, 对社会经济和人们的生活环境均造成了一定程度的危害, 引起了社会的广泛关注。为了做好对沙尘暴天气的预报服务, 在建立青海省北部地区大风沙尘暴个例档案的同时, 对造成西宁地区沙尘暴的天气形势、影响系统进行分析, 总结出了造成西宁地区沙尘暴天气的短期及短时预报指标, 并在 2001 年春季进行试报, 效果较好, 这为建立青海省大风沙尘暴天气预警系统打下了基础。

## 1 资料及天气个例选取

选取青海省北部地区的格尔木、德令哈、冷湖、茫崖、共和、海晏、刚察、湟源和西宁 9 个代表站, 统计 1970~2000 年 3~5 月的沙尘暴资料。当某日格尔木、德令哈、冷湖、茫崖、共和、海晏、刚察、湟源 8 个代表站中有 3 站或以上出现沙尘暴天气, 同时西宁地区也有沙尘暴天气出现时, 便定该日为一个沙尘暴天气个例, 按此标准共选出影响西宁地区的 23 个个例。

## 2 高空环流形势及影响系统特征分析

普查造成青海北部地区沙尘暴天气的个例发现: 在 500hPa 高空环流形势图上, 乌拉尔山东部为一稳定的高压脊, 蒙古高原为一深厚的低槽区, 脊前槽后的西北气流将极地附近的冷空气源源不断地向青海北部地区输送, 这是这一地区出现大风沙尘暴天气时典型的高空环流形势。

根据所选的 23 个个例, 结合短期及短时预报实效要求, 主要普查西宁地区出现沙尘暴时前一日的 08 时(北京时, 下同) 500hPa 高空天气图和 14 时地面变压图, 将造成西宁地区沙尘暴天气的影响系统分为蒙古冷槽型、西风带急流型、巴尔喀什湖槽型和西北气流型四类, 对各型的主要环流特征进行了总结, 各影响系统出现的次数如表 1。

表 1 四类影响系统所占的次数

环流类型	蒙古冷槽型	西风带急流型	巴尔喀什湖	西北气流型
次数	9	7	4	3

### 2.1 蒙古冷槽型

这是造成西宁地区沙尘暴天气最多的一种环流形势, 占个例总次数的 39%。在前一日 08 时 500hPa 高空图上, 乌拉尔山以东为较强的暖高压脊控制, 其脊前为西北气流, 风速均  $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 槽位于关键区  $45\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $85\sim 100^{\circ}\text{E}$  内, 蒙古至南疆东部一带为低压槽区, 并有  $\leq -32^{\circ}\text{C}$  的冷中心相配合(见图 1)。14 时西北区地面图上河西西部到南疆有较

强冷锋存在,地面 24 小时变压场分布型式为:西正东负型。

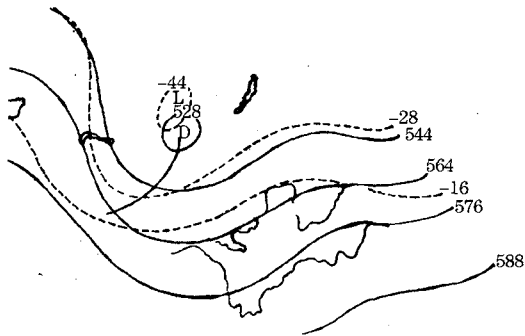


图1 1978年4月11日08时500hPa形势  
实线为等高线,虚线为等温线

### 2.2 西风带急流型

这是造成西宁地区沙尘暴天气次多的一种形势,占个例总次数的30%。在前一日08时500hPa高空图上,乌拉尔山附近为高压脊区,西伯利亚有低值系统活动,并有一横槽或东北—西南向的高空槽,槽底在巴尔喀什湖北部附近;黑海、里海附近为低压槽控制,威海以东为较强的西风带急流区,急流区位于 $38\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $70\sim 105^{\circ}\text{E}$ 之间,急流区内高空风速 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大 $\geq 36\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,并有 $\leq -28^{\circ}\text{C}$ 的冷中心(见图2)。14时西北区地面图上24小时变压场分布型式为南正北负(祁连山以南为正,以北为负)型。

### 2.3 巴尔喀什湖槽型

在前一日08时500hPa高空图上,乌拉

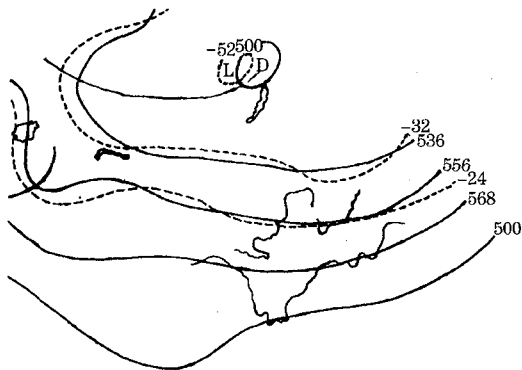


图2 1981年2月20日08时500hPa形势  
实线为等高线,虚线为等温线

尔山到里海、威海为高压脊区,巴尔喀什湖附近在 $40\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $70\sim 85^{\circ}\text{E}$ 内为低压槽,槽内

有 $\leq -26^{\circ}\text{C}$ 的冷中心配合;从新地岛附近不断有冷空气沿乌拉尔山脊前下滑补充到巴尔喀什湖槽中,新疆到青海省大部地区处在其槽前偏西气流当中(见图3)。14时西北区地面图上天山附近有弱冷锋或全区为负变压。这一形势占个例总次数的17%。

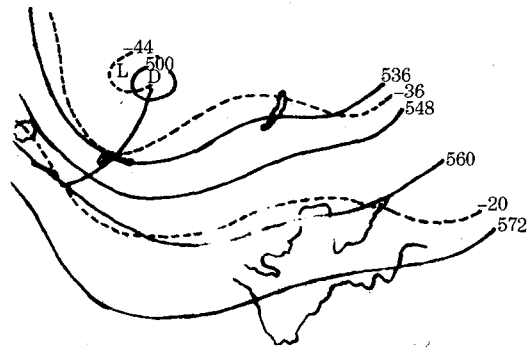


图3 1979年4月5日08时500hPa形势  
实线为等高线,虚线为等温线

### 2.4 西北气流型

在前一日08时500hPa高空图上,乌拉尔山以东到新疆上空为暖高压脊控制,里海附近为低压槽区,蒙古到柴达木盆地为一低槽,槽后风速较强且温度槽落后于高度槽(见图4)。14时西北区地面图上河西到南疆为弱冷空气活动。这是造成西宁地区沙尘暴天气次数最少的一种形势,仅占个例总次数的13%。

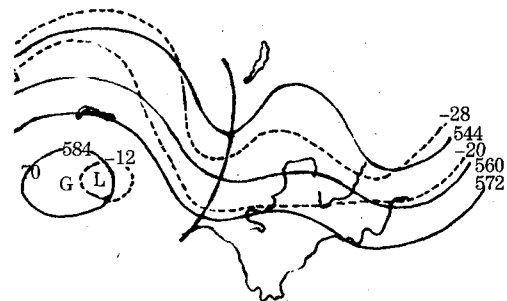


图4 1971年3月16日08时500hPa形势  
实线为等高线,虚线为等温线

## 3 地面冷空气路径

通过对23个个例地面冷空气入侵青海的路径分析,将造成西宁地区沙尘暴天气的冷空气路径分为三条:西(或西北)方路径、北方路径和东部回流路径。

(1)西(或西北)方路径:冷空气首先进入北疆,在天山以北堆积,然后在东移过程中倒灌南疆盆地,之后在阿尔金山至祁连山以北堆积。冷空气主力进入柴达木盆地,首先在海西、格尔木地区出现大风沙尘暴天气,并继续东移,影响青海湖及西宁地区造成大风沙尘暴天气。另一部分冷空气经河西走廊东南移,且有部分沿湟水河谷倒灌进入青海东部地区。这一冷空气势力较弱,一般青海东部地区先吹弱的偏东风,当柴达木冷空气东移后,西宁及东部地区即转为偏西大风。此路径是造成西宁地区沙尘暴天气的主要路径。

(2)北方路径:冷空气在天山以北堆积后扩散东南下,主力不进入南疆盆地,从河西走廊直接翻越祁连山,首先影响海北、海西东部、青海湖及海南地区,然后东移造成西宁地区的沙尘暴天气。这一路径的冷空气对柴达木盆地西部影响不大,一般盆地西部产生的大风沙尘暴天气比东部为弱。这是冷空气侵入西宁造成沙尘暴天气的次要路径。

(3)东部回流路径:冷空气主力沿河西走廊东南移,经兰州倒灌入河湟谷地,青海东部河谷地区吹偏东大风,从而造成西宁地区沙尘暴天气。这一路径的冷空气入侵西宁时,一般柴达木盆地冷空气较弱,形成东强西弱之势。

#### 4 沙尘暴天气预报着眼点分析

沙尘暴天气的产生主要是受三大因子的支配,即强风因子、热力不稳定因子和沙源因子<sup>[2]</sup>。

##### 4.1 沙源因子分析

沙源因子是地理条件。西宁地区虽处青海东部,但其西部、北部和周围均具十分丰富的沙源地<sup>[3]</sup>。南疆盆地、柴达木盆地和北部的河西走廊,有面积固定、半固定的沙丘或戈壁滩;青海湖环湖地区有大片的农场,其土地沙化十分严重;西宁周围东部农业区秋收后翻茬,土壤变得疏松,来年春季解冻后,也成为一沙源地。加之这些地区冬春季节降水稀少,土壤疏松干燥,这就为沙尘暴天气的发生提供了丰富的沙源。

##### 4.2 热力不稳定因子分析

当气层处于不稳定状态时,湍流发展旺盛,沙尘靠空气浮力和湍流混合的作用,不断地被带到空中,并随着天气系统的移动而带到很远的地方。

(1)理查逊数  $R_i$  是判断某层热力不稳定的一个重要判据<sup>[4]</sup>,其公式为

$$R_i = \frac{g}{\bar{T}} \left( \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} + \gamma_d \right) / \left( \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right)$$

其中  $\bar{T}$  为两个高度上绝对温度的平均值,  $\frac{\partial u}{\partial z}$

和  $\frac{\partial v}{\partial z}$  为两个高度之间的风速分量随高度的

变化,  $\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z}$  为大气温度随高度的变化率,  $\gamma_d$  为

大气干绝热温度直减率,  $g$  为重力加速度。若  $R_i > 1$ , 则乱流减弱;若  $R_i < 1$ , 则乱流发展。通过对 23 个个例 700~500hPa、500~400hPa 和 400~300hPa 三层当日 08 时西宁地区的  $R_i$  计算得到:当三层中有一层  $R_i \leq 0.95$  时,西宁地区出现沙尘暴天气的概率为 65%。

(2)温度垂直递减率:西宁地区地处青藏高原的东北部,由于高原突出于大气中,白天近地面层接受太阳辐射较强,对自由大气起着热源的作用,这在春季更明显,通过计算西宁 700~500hPa 的平均温度递减率,在 23 个个例中有 17 次过程每千米温度降低 6.5℃ 以上,当高原上空出现急流时,温度的垂直递减率也是比较大的,大气层经常处于不稳定状态,容易发生大气垂直涡动运动。

##### 4.3 预报指标的选取

###### 4.3.1 蒙古冷槽型

在前一日 08 时 500hPa 高空图上同时满足以下 4 个条件时,预报西宁地区次日有沙尘暴天气。

(1)马鬃山、敦煌、酒泉 3 站吹西风或西北风且风速  $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2)乌鲁木齐、哈密与格尔木之间的温差至少  $\geq 8^\circ\text{C}$ 。

(3)额济纳旗、乌鲁木齐、哈密 3 站中至少有 2 站的风速  $\geq 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4) 14时西北区地面图上从祁连山到南疆盆地有较强冷锋,锋后24小时正变压大于12hPa。

当日08时蒙古冷中心( $\leq -32^{\circ}\text{C}$ )较前一日南压的前提下,满足以下任意两个条件时,预报西宁地区当日有沙尘暴天气。

(1) 酒泉、格尔木、都兰3站中至少2站风速 $\geq 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2) 前一日08时马鬃山的风速与酒泉的风速差 $\geq 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(3) 西宁前一日的风速 $\geq 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或当日风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4) 西北区地面图上当日02时南疆东部至河西走廊的24小时正变压中心与西宁24小时变压之差 $\geq 12\text{hPa}$ 。

(5) 700~500hPa、500~400hPa、400~300hPa三层中有一层 $R_i \leq 0.78$ 。

(6) 700~500hPa的温度每1km降低 $6.5^{\circ}\text{C}$ 以上。

#### 4.3.2 西风带急流型

前一日08时500hPa高空图上额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、若羌、马鬃山、敦煌、酒泉、茫崖共8个站中至少6站吹偏西风 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,且格尔木、都兰2站中有1站吹偏西风 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,预报西宁地区次日有沙尘暴天气。

当日08时500hPa西风带中有 $\leq -36^{\circ}\text{C}$ 的冷中心的前提下,当满足以下任意两个条件时,预报西宁地区当日有沙尘暴天气。

(1) 额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、若羌、马鬃山、敦煌、酒泉、茫崖共8个站中至少6个站吹偏西风 $\geq 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,西宁站偏西风 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2) 700~500、500~400、400~300hPa三层中有两层 $R_i \leq 0.95$ 或有一层 $R_i \leq 0.30$ 。

(3) 700~500hPa的温度每1km降低 $6.5^{\circ}\text{C}$ 以上。

#### 4.3.3 巴尔喀什湖槽型

当日08时500hPa高空图上如满足以下三个条件中的两个条件,西宁地区当日有沙

尘暴天气。

(1) 额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、若羌、马鬃山、敦煌、酒泉、茫崖、格尔木、都兰10个站中至少有6个站吹 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西风或西北风,且茫崖、格尔木、都兰3站中有2站与前一日风速差 $\geq 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2) 额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、酒泉、茫崖站中至少4站吹 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风并有 $\leq -24^{\circ}\text{C}$ 的冷中心配合。

(3) 500~400、400~300hPa两层中有一层 $R_i \leq 0.59$ 。

(4) 700~500hPa的温度每1km降低 $6.5^{\circ}\text{C}$ 以上。

#### 4.3.4 西北气流型

当日08时500hPa高空图上额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、酒泉、茫崖站中至少有3站吹 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风,预报西宁地区次日有沙尘暴天气。

当日08时高空图上同时满足以下条件时,预报西宁地区当日有沙尘暴天气。

(1) 额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、酒泉、茫崖站中至少有4个站吹 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风,并有 $\leq -24^{\circ}\text{C}$ 的冷中心相配合。

(2) 西宁地区上空500~400、400~300hPa两层中有一层 $R_i \leq 0.59$ 。

(3) 700~500hPa的温度每1km降低 $6.5^{\circ}\text{C}$ 以上。

利用1970~2000年3~5月的历史资料对以上4种类型的指标进行了回代,历史拟合率达87%,预报指标是可用的。

## 5 试报情况

根据上述环流形势和预报指标在2001年3~5月对西宁地区的沙尘暴天气进行了试报:2001年4月7日500hPa高空图上,乌拉尔山附近为一高压脊,西伯利亚有低压槽活动,槽底在巴尔喀什湖附近;黑海、里海附近为低压槽控制,威海以东有较强的西风带急流区,急流区位于 $38^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 之间,急流区内高空风速 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大风速 $\geq 36\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,且有温度 $\leq -28^{\circ}\text{C}$ 的冷中心,14时西北区地面图上24小时变压分布形式为

南正北负型,此形势为西风带急流型,满足预报指标:额济纳旗、乌鲁木齐、哈密、若羌、马鬃山、敦煌、酒泉、茫崖站中至少6站偏西风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,且格尔木、都兰2站中有1站偏西风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,可预报西宁地区8日有沙尘暴天气。另外8日08时500hPa高空西风带中有 $-40^{\circ}\text{C}$ 的冷中心,且满足以下预报指标:额济纳旗、哈密、若羌、马鬃山、敦煌、酒泉、茫崖7站偏西风速 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其中若羌站的风速为 $46\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,西宁站为偏西风 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,且500~400hPa、400~300hPa两层 $R_i$ 分别为0.31和0.47,满足该型指标,预报西宁地区8日有沙尘暴天气,与实况相符。

4月8日08时500hPa高空图上,乌拉尔山以东为较强的暖高压脊控制,其脊前为西北气流,风速均 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,蒙古至新疆东部一带为低压槽区,槽位于关键区 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $85^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 内,并有 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ 的冷中心相配合,14时西北区地面图上新疆至河西西部有较强冷锋存在,此形势为蒙古冷槽型,且满足以下4个预报指标:(1)马鬃山、敦煌、酒泉3个站吹西风或西北风且风速 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。(2)乌鲁木齐、哈密与格尔木之间的温差至少 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ 。(3)额济纳旗、乌鲁木齐、哈密3站中至少有2个站的风速 $\geq 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。(4)14时西北区地面图上从祁连山到新疆盆地有较强冷锋存在,锋后24小时正变压为27hPa,满足该型指标,预报西宁地区9日有沙尘暴天气,与实况相符。到9日08时蒙古上空-

$36^{\circ}\text{C}$ 冷中心南压,且满足了以下3个预报指标:(1)西北区天气图上当日02时新疆东部河西走廊的正24小时变压中心与西宁24小时变压之差为25hPa,(2)400~300hPa层 $R_i=0.39$ ,(3)700~500hPa的温度每1km降低 $6.5^{\circ}\text{C}$ 。满足12小时预报指标,实况是西宁地区9日下午出现了沙尘暴天气。

利用以上指标准确预报出了2001年春西宁地区两次沙尘暴天气,另外对3次扬沙天气也作出了较好的预报,预报效果是满意的。

## 6 小结

(1)通过对造成西宁地区沙尘暴天气的影响系统进行分型,从强风因子和不稳定因子着眼,分别总结了4种形势的沙尘暴天气预报指标,从历史拟合率和试报结果看,效果是满意的。

(2)在沙源因子不变的情况下,对沙尘暴天气的预报,重点要考虑强风和热力因子,而局地热力作用的强弱,是沙尘天气严重与否的关键。

## 参考文献

- 1 地面气象观测规范.北京:气象出版社.1979:21~23.
- 2 钱正安,贺慧霞等.我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:1~10.
- 3 李锡福.青海省沙尘暴天气气候特征及成因分析.青海气象,2001(2):14~19.
- 4 朱乾根,林锦瑞.天气学原理和方法.气象出版社.1981:452~453.

## Forecasting of Dust Storm Weather in Xining Region

Bao Guangyu Gao Shunnian Dai Sheng Da Chengrong

(Qinghai Meteorological Observatory, Xining 810001)

### Abstract

The atmospheric circulation, the intensity of cold air and the thermal instability are analyzed through the twenty-three cases of sandstorm weather events affecting Xining region. The scientific method of the sandstorm weather now forecasting in Xining region are obtained.

**Key Words:** Xining region sandstorm characteristics of general circulation forecasting