

文章编号:1006-7639(2004)-03-0026-06

# 柴达木低涡特征及其预报

荣 涛

(兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000)

**摘 要:**利用天气图和甘肃河西东部台站观测资料,统计分析了柴达木低涡的特征概况,归纳出柴达木低涡发生、发展的演变规律,选取相关性较好的预报因子,用隶属函数方法建立预报方程,对河西地区东部低云降水预报取得了较好的效果。

**关键词:**柴达木低涡;特征;预报

**中图分类号:**P458.2

**文献标识码:**A

## 引 言

研究表明,低涡是形成我国降水的主要中间尺度系统。为此,很多学者都曾对青藏高原低涡和西南涡的特征及其预报等方面进行过较为详细的研究,并取得了许多成果<sup>[1~2]</sup>。柴达木低涡是青藏高原北部柴达木盆地特定地形条件下生成的地方性涡旋,柴达木盆地平均海拔在3 000 m左右,700 hPa上存在的低涡对盆地来讲是近地面系统,低涡本身对盆地的作用并不是很明显,但当它发展东移出盆地时,一般可造成甘肃中东部及河西东部地区的低云降水甚至暴雨天气。因此,在全球变暖的大气候背景下,进一步认识柴达木低涡的特征和作用,对于进一步把握好甘肃中东部地区的人工增雨时机及做好低云降水预报工作都是很有帮助的,本文就此提出了一些粗浅的看法。

## 1 柴达木低涡特征

### 1.1 定义

凡700 hPa在区域35°~40°N,90°~100°E内有低压闭合曲线或气旋性环流,就定义为柴达木低涡。

### 1.2 出现频率

统计了1987~1991年、1998~2002年1~12月份10 a资料,共出现柴达木低涡994个,其各月频数如表1,7~9月低涡活动最为频繁,平均每月11个以上,4~6月次之,每月6个以上,11~3月最

少,月出现次数均在6次以下。一个低涡过程从形成到移出原地,每次影响时间多为1~2 d,最长3~4 d,少则1 d,一般是中午前后出现,傍晚消失。

### 1.3 低涡频数的分布变化、移动路径及其降水地理分布

从表1中看出,1987~1991年间,低涡年平均频数为108个,1998~2002年间年平均频数为90个,下降较为明显。另外,从1987~1991年和1998~2002年的暖性低涡(本文定义:700 hPa 90°~100°E间存在一暖脊或暖中心,或暖脊稍偏向西侧,进入低涡的温度平流为暖平流,或无温度平流为暖性低涡)比重分布情况看,10 a间,暖性低涡所占比重变化较大。1987~1991年柴达木低涡总数为543个,暖性低涡数178例,占33%。1998~2002年

表1 1987~1991、1998~2002年柴达木低涡逐月出现频率统计表

Tab. 1 Monthly frequency statistics of Chaidamu vortices during 1987~1991 and 1998~2002

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1987	5	6	9	13	10	9	12	12	15	11	4	5
1988	4	5	7	13	12	11	16	13	13	12	4	6
1989	5	6	6	9	8	11	15	12	12	11	4	6
1990	4	6	6	10	11	10	13	14	14	12	3	4
1991	5	4	5	8	15	15	14	15	15	10	4	5
1998	2	5	7	6	9	9	11	12	8	7	2	6
1999	4	7	4	10	10	15	13	15	6	5	5	3
2000	4	6	5	6	9	12	17	15	13	5	3	2
2001	2	6	2	10	7	11	11	14	11	5	1	1
2002	3	5	2	6	13	10	17	13	11	6	4	3

收稿日期:2004-08-26;改回日期:2004-09-10

作者简介:荣涛(1968-),男,山西浑源人,在读硕士,现从事空军航空气象预报保障工作。

柴达木低涡总数为 451 个,暖性低涡数 202 例,占 45%,增幅近 12%。这些变化数据表明,从 20 世纪 80 年代末至 21 世纪初,700 hPa 柴达木盆地附近区域气温应是趋暖的,同时,从另外一个方面也说明了柴达木低涡受冷空气影响的频率有减弱的迹象。

从 994 个低涡的情况看,占总数 47%的低涡在没有移出盆地之前就减弱消失了,只有 53%的低涡移出盆地后发展东移。柴达木低涡的移动路径主要有 3 条。第 1 条为东北路径,它由源地移出后,过青海湖折向东偏北,影响西宁、河西西部、河套等地后,减弱消失。东北路径占全年低涡总数的 33%。第 2 条为偏东路径,低涡生成后移向偏东,过青海湖后,影响兰州、甘南等地区,比较强的东路低涡还可影响到天水、平凉等地区,造成该地的低云降水天气。第 3 条为偏南路径,低涡由源地生成后,向偏南方向发展,一直可到甘肃南部和四川北部地区,这种路径约为全年总数的 4%,所占比例不大。最后需要说明的还有一种路径其方向主要偏东,高空有深厚冷低槽配合,这种低涡发展往往比较强烈,影响范围很大,包括了以上 3 种路径的全部范围,其约占 4%~5%。通过资料普查发现,5~10 月间由柴达木低涡造成的降水地理分布为:主要雨区分布在盆地东北侧,祁连山脉东端西南侧的西宁、门源地区一带、河西东部、兰州等地区则次之,而在盆地内降水最少。这说明低涡能否东移发展,是其能否造成降水的主要原因。同时,这种降水分布与盆地周围的地形特征也有很大关系,自盆地向东,地形基本呈西低东高走向,门源、西宁等地属祁连山东南侧迎风坡,东侧主峰乌鞘岭(武威南部天祝县境内)海拔在 4 500 m 以上,西南气流到此后被抬升,加强了低涡的辐合上升,使门源、西宁地区成为盆地东北侧的大降水区。

#### 1.4 低涡气压系统的静力结构

##### 1.4.1 浅薄、正压系统

文献[1]认为,柴达木低涡通常为暖性,其水平尺度一般为 500~1 000 km,垂直厚度仅 1 km 多,上升到 500 hPa 转为暖高脊,其水平、垂直尺度数量级差异较大。从 700 hPa 天气图上可以看到,暖性柴达木低涡的温压场结构配置特点:暖中心与低中心重合,但高度场与温度场梯度方向相反,或低涡周围等温线稀疏,低压处在均温区中,表现出近似的正压大气特点,即暖性柴达木低涡具有浅薄、近似正压的系统特征(图 1)。

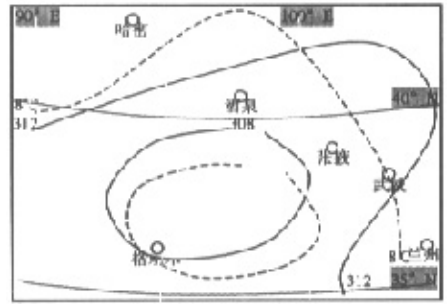


图 1 柴达木低涡 700 hPa 形势图  
(实线为等高线,虚线为等温线)

Fig. 1 Synoptic chart of Chaidamu vortices at 700 hPa

##### 1.4.2 轴对称系统

气压系统中心轴线倾斜的根本原因是中心点上空存在着平均水平温度梯度<sup>[3]</sup>。暖性柴达木低涡气压中心上空水平温度梯度近似为零,则气压系统中心点上空气压梯度等于零,即中心轴线是铅直的,也是轴对称的(图 2)。

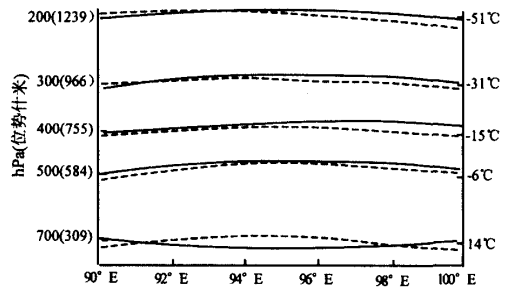


图 2 1999 年 9 月 3 日 08 时沿 37.5°N 高度场、温度场分布局部扩大图

Fig. 2 A "zoom in" picture from distribution of temperature and geopotential height field along 37.5°N at 8:00 on September 3, 1999

## 2 影响柴达木低涡生成与发展的因子

摩擦作用总是使涡度(不论是正或负)耗损,故讨论一地的涡度变化应主要考虑其它因子的作用。略去摩擦项的涡度方程可写为:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot (\overline{\eta v}) = -\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p} - \left( \frac{\partial \omega \partial v}{\partial x \partial p} - \frac{\partial \omega \partial u}{\partial y \partial p} \right), \text{ 式中 } \eta = f + \zeta, \eta \text{ 为绝对涡度, } f \text{ 为地转参数, } \zeta \text{ 为相对涡度, } \zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, \omega = \frac{dp}{dt} \text{ 为垂直速度}^{[4]}。$$

经过一系列变换,相对涡度的局地变化方程可写为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_A + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_T + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_H \\ \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_A &= -\bar{v} \cdot \nabla \eta \\ \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_T &= \frac{M}{P} \left(\frac{R}{f} \nabla^2 T - k\eta\right) \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial s}\right) + \\ &M\eta \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial s}\right) + \frac{MR\partial T}{fp} \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial s}\right) \\ \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)_H &= \frac{M}{P} \left(\frac{R}{f} \nabla^2 T - k\eta\right) \frac{H}{C_p} - \frac{M}{C_p \eta} \frac{\partial H}{\partial p} - \\ &\frac{MR\partial T \partial H}{C_p f p \partial \gamma \partial \gamma} \end{aligned}$$

其中,  $\gamma$  轴垂直于等温线并指向高温侧,  $k = R/C_p$ ,  $V$  为全风速,  $S$  为流线方向,  $M = -\frac{(P_0/P)^k}{\partial \theta / \partial p}$ , 因一般情况  $\partial \theta / \partial p < 0$ , 故  $M$  为一正数, 但不是常数。

由此可见, 相对涡度的局地变化可分解为 3 方面因子组成:

$(\partial \zeta / \partial t)_A$ : 即涡度平流作用, 为流场特征所决定。

$(\partial \zeta / \partial t)_T$ : 即温度场特征所引起的变化。

$(\partial \zeta / \partial t)_H$ : 即加热场的直接作用, 由加热场特征决定。

下面分别对以上 3 个方面, 结合柴达木低涡进行讨论:

#### $(\partial \zeta / \partial t)_A$ , 高空正涡度平流

当 500 hPa 上有槽移来时, 其槽前的高空正涡度平流常能促使柴达木低涡的生成与发展。500 hPa 槽主要有以下几类, 第 1 类为从中亚地区有规律移来的西风大槽; 第 2 类为中亚为高压或高压脊时, 新疆附近形成的低槽; 第 3 类是高原北部槽, 由于西部特别是青藏高原地区测站稀少, 对高原槽的形成移动难以确切了解。在日常预报中规定, 凡 500 hPa  $30^\circ \sim 40^\circ \text{N}$ ,  $85^\circ \sim 90^\circ \text{E}$  之间有系统性的 SW 气流出现, 就定义为一次高原槽过程, 这种低槽出现后往往也会造成盆地上空低涡的发展。

#### $(\partial \zeta / \partial t)_T$ , 温度场变化项

温度场特征所引起的变化包括 2 项, 即  $\partial T / \partial t$  局地变温和  $v \partial T / \partial s$  温度的冷暖平流。本文中分析柴达木低涡是 08 时 700 hPa 定时资料, 因而对  $(\partial \zeta / \partial t)_T$  一项时只分析温度冷暖平流项。低层气流的辐合上升, 是产生低云降水的必要条件之一。而低层辐合气流与冷空气是密切相连的, 在 4~10 月份冷空气强度与冬半年相比虽有明显减弱, 但活动较为频繁。在低涡特定流场下, 弱冷空气活动对加强低涡强度的贡献是不可忽视的, 冷空气一方面加剧

了暖湿空气的动力抬升; 另一方面, 斜压性也能促使低涡的强烈发展。在 10a 的资料统计中, 90% 的低涡发展东移个例都与冷空气的侵入有关, 可见, 冷空气活动的强弱对盆地下游的低涡中低云影响极为重要。

#### $(\partial \zeta / \partial t)_H$ , 加热场的直接作用

加热场的直接作用主要包括 2 项, 凝结释放的潜热和由积云对流及湍流所引起的地表热通量。罗四维<sup>[5]</sup>等指出: 在高原非绝热过程中潜热的贡献远比积云对流及湍流所引起的地表热通量小。主要目的是讨论加热场如何影响才能使低涡发展产生降水, 因而可主要考虑热通量的大小, 而将凝结释放的潜热置于次要位置。由于盆地及附近测站资料稀少, 定量分析地表热通量的大小比较困难, 在实际预报中, 我们把 14 时地面图中观测到的盆地内是否有积云对流, 作为定性判断盆地内地表热通量的指标, 经实际验证, 相关率较好。

### 3 柴达木低涡预报

低涡能不能影响河西地区, 主要看低涡能否向东偏北方向发展。根据经验和统计事实证明, 在一定的天气形势下, 发展与不发展的关键是低涡后部或西北部有没有冷空气侵入, 如果有冷空气侵入则发展, 没有冷空气侵入则一般不发展, 至于冷空气的强度, 不一定要很强, 一般  $2 \sim 5^\circ \text{C}$  (冷空气强度指 52602 冷湖站与 52418 敦煌站或 51886 茫崖站间的温度差值), 比较强的可到  $6 \sim 9^\circ \text{C}$ , 除此之外, 发展强弱与中低空水汽输送量的大小及低涡南侧是否有急流存在等都有很大关系。

#### 3.1 对河西没有影响的低涡消空形势

##### 3.1.1 技术规定

我们定义, 当 08 时 700 hPa 在柴达木盆地出现低涡, 在次日 06 时~18 时之间, 凡在张掖地区(包括张掖市、山丹县)、武威地区(包括民勤县、永昌县、武威市)3 站以上(包括 3 站)出现云高  $\leq 3000 \text{ m}$ , 云量  $\geq 6$  成的中低云, 维持时间  $\geq 6 \text{ h}$ , 或出现降水, 且降水时间  $\geq 2 \text{ h}$ , 则定义为一例低涡影响过程。

##### 3.1.2 资料来源

使用本站 1987~1992、1998~2003 年间 1~12 月 08 时、14 时地面图, 高空 500 hPa、700 hPa 图及武威气象台天气日志和张掖、山丹、永昌、民勤等地正点天气实况资料。

##### 3.1.3 预报范围

河西东部张掖、武威地区。

### 3.1.4 预报时效

次日06时~18时预报范围内是否出现中低云或降水。

### 3.1.5 消空

经资料普查与分析,不影响河西的低涡形势主要有以下2种。

**暖型低涡:**本型主要表现为700 hPa  $90^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 间存在一暖脊或暖中心,或暖脊稍偏向西侧,进入低涡的温度平流为暖平流,或无温度平流,则次日低涡过程将不影响河西地区。10 a间暖型低涡共出现380例,完全无影响307例,移向东南不影响河西的28例,河西产生中低云的27例,产生降水18例,历史拟合率为 $335/380=88.3\%$ 。**高压脊前型:**本型主要表现为500 hPa  $85^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}, 35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 间为高压脊前NW气流控制,或西风槽已移至酒泉至武威之间,则次日低涡过程不影响河西。10 a间高压脊前型共出现159例,完全不影响河西120例,不影响河西移向东南的12例,河西出现中低云的16例,降水11例,历史拟合率为 $132/159=83.0\%$ 。

在994个低涡过程中,暖型与高压脊前型同时出现的个例为85例,完全不影响河西,历史拟合率100%。

## 3.2 低涡预报

### 3.2.1 低涡活动的环流形势

柴达木低涡的活动在500 hPa主要受高空槽及蒙古中西部冷低涡的影响。其环流形势可归结为夏、冬2类。

#### 夏季型(4~10月)

本型500 hPa在 $30^{\circ}\text{N}$ 以北为两高一低形势,28、35区( $45^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\sim 75^{\circ}\text{E}$ )存在一闭合暖高压或高压脊,其脊稳定东伸,贝加尔湖至新疆有长波槽,槽底有分裂小槽,东北至华北往往表现为一东北西南走向的弱高压脊,河套有时有闭合小高压生成(图3)。700 hPa形势除在天山附近表现为等温线密集、有冷空气活动外,其它与500 hPa形势基本一致。

#### 冬季型(11~3月)

本型500 hPa在 $30^{\circ}\text{N}$ 以北、以西风平直气流为主,呈弱的东高西低形势,38、25区为冷低槽或冷低涡控制,蒙古西部至塔里木盆地存在浅西风槽,东北、华北为弱脊控制(图4)。700 hPa与500 hPa环流形势大体一致。

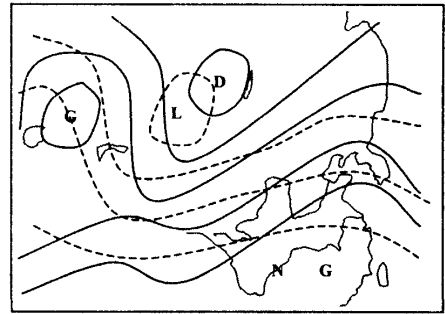


图3 夏季型500 hPa形势图

(实线为等高线,虚线为等温线)

Fig. 3 Synoptic chart at 500 hPa in summer

(solid lines represent contour, broken lines represent isotherm)

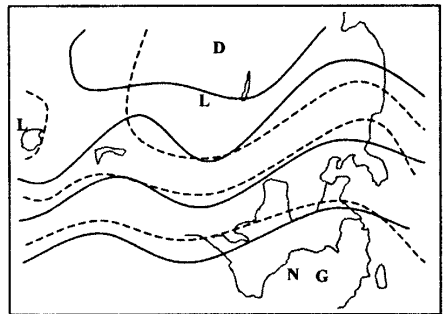


图4 冬季型500 hPa形势图

(实线为等高线,虚线为等温线)

Fig. 4 Synoptic chart at 500 hPa in winter

(solid lines represent contour, broken lines represent isotherm)

### 3.2.2 柴达木低涡的预报

以冷空气侵入柴达木盆地的路径划分,柴达木低涡可归为西北路型和西路型2类。西北路型是与南下的冷空气紧密相连的。南下冷空气从北路翻越祁连山或从西北方向翻越阿尔金山进入盆地,促使低涡发展。西路一般在700 hPa上只表现为3站(51886、51885、51777)温度场为一冷槽或冷中心,当其移入盆地后才能对低涡发展有所贡献,在影响程度上,西路型要比西北路型弱。在日常预报中,我们把这2类低涡分开进行预报。

#### (1)设计隶属函数

$X_1$ :指700 hPa 52602站与52418或51886站间的最大温度差值,当52602站已为冷空气控制后, $X_1$ 为52818站与上述2站最大温度差值。它表示了即将进入低涡的冷空气强度。

#### 西北路型:

$$A(X_1) = \begin{cases} 0 & X_1 \leq 2.8 \text{ } ^\circ\text{C} \\ (X_1 - 2.8)/3.2 & 2.8 \text{ } ^\circ\text{C} < X_1 < 6.0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 1 & X_1 \geq 6.0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

西路型:

$$A(X_1) = \begin{cases} 0 & X_1 \leq 4.0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ (X_1 - 4.0)/4.0 & 4.0 \text{ } ^\circ\text{C} < X_1 < 8.0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 1 & X_1 \geq 8.0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

$X_2$ : 指 700 hPa 52818 站与 52602 两站间风向切变角的大小, 令切变角为  $X_2$

4~10月:

$$A(X_2) = \begin{cases} 0 & 100^\circ \leq X_2 \leq 180^\circ \\ 0.5 & 60^\circ \leq X_2 < 100^\circ \\ 1 & 0^\circ \leq X_2 < 60^\circ \end{cases}$$

11~3月:

$$A(X_2) = \begin{cases} 0 & 130^\circ \leq X_2 \leq 180^\circ \\ 1 & 0^\circ \leq X_2 < 130^\circ \end{cases}$$

$X_3$ : 指 500 hPa 52602、52836、52818、52886 4 站  $\Delta H_{24}$  的平均值。

$$A(X_3) = \begin{cases} 0 & X_3 \leq -4 \\ -X_3/4 & -4 < X_3 < 0 \\ 1 & X_3 \geq 0 \end{cases}$$

$X_4$ : 指 500 hPa 52602、52836、52818、52418、52533、51886、52866 7 站温度露点差的数值。

4~10月:

$$A(X_4) = \begin{cases} 0 & 7 \text{ 站中有 } 3 \text{ 站以上 } X_4 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (不含 } 3 \text{ 站)} \\ 0.5 & 7 \text{ 站中有 } 2 \sim 3 \text{ 站 } X_4 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 1 & 7 \text{ 站中有 } 1 \text{ 站以上 } X_4 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

11~3月:

$$A(X_4) = \begin{cases} 1 & 7 \text{ 站中有 } 3 \text{ 站以上 } X_4 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (不含 } 3 \text{ 站)} \\ 0 & 7 \text{ 站中有 } 3 \text{ 站以下 } X_4 \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (含 } 3 \text{ 站)} \end{cases}$$

$X_5$ : 指当日 14 时地图上盆地内 52602、52713、52737、52836、52818 五站对流强弱的显示 (11~3 月份舍去此项)。

$$A(X_5) = \begin{cases} 0 & 5 \text{ 站内有雷暴或对流降水出现} \\ 0.5 & 5 \text{ 站内有 } \geq 3 \text{ 站同时出现 } \geq 5 \text{ 个量的对流云} \\ 1 & 5 \text{ 站内无或 } < 3 \text{ 站有对流云} \end{cases}$$

(2) 预报公式

4~10月:

$$\sum_{i=1}^5 A(X_i) = A(X_1) + A(X_2) + A(X_3) + A(X_4) +$$

$$A(X_5)$$

11~3月:

$$\sum_{i=1}^4 A(X_i) = A(X_1) + A(X_2) + A(X_3) + A(X_4)$$

(3) 确定预报判据

根据历史概括率最高原则, 分析各物理因子的重要性, 取临界值 4~10 月为 1.2, 11~3 月临界值为 1.8。

当  $\sum_{i=1}^5 A(X_i) \geq 1.2$  时, 4~10 月次日河西东部将有一次中低云或降水过程。

当  $\sum_{i=1}^4 A(X_i) \geq 1.8$  时, 11~3 月次日河西东部将有一次中低云或降水过程。

(4) 回报

将上述判据回报, 用消空形势消空后剩 455 例低涡, 4~10 月共为 353 例, 由判据回报, 回报准确率为  $321/353 = 90.9\%$ 。空报 10 例, 漏报 22 例。321 例中出现降水 214 例, 中低云个例 (无降水) 36 例。漏报 22 例中包括 10 例降水个例。

11~3 月间个例 102 例, 回报准确率为  $76/102 = 74.5\%$ 。漏报 11 例, 空报 15 例。

(5) 试报

用 1992 年、2003 年 1~12 月间资料试报, 4~10 月出现低涡 168 例, 11~3 月出现低涡 47 例, 符合消空形势指标的共 120 例 (4~10 月 102 例, 11~3 月 18 例), 消空准确率为  $99/120 = 82.5\%$ 。利用判据, 4~10 月试报准确率为  $59/66 = 89.4\%$  (空报 4 例、漏报 3 例), 11~3 月试报准确率为  $21/29 = 73\%$  (其中漏报 4 例, 空报 4 例)。

参考文献:

- [1] 青藏高原气象科学拉萨会战组. 夏半年青藏高原 500 毫巴低涡切变线的研究[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 70-101.
- [2] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987. 186-197.
- [3] 乔全明, 阮旭春. 天气分析[M]. 北京: 气象出版社, 1988. 142-143.
- [4] 黄士松, 汤明敏, 周德佩, 等. 副热带高压的变动与流场、温度场、加热场特征及预报[A]. 高由禧, 赵恕, 曹恩爵, 等编. 青藏高原气象论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1977. 221-228.
- [5] 罗四维, 杨洋. 一次青藏高原夏季低涡的数值模拟研究[J]. 高原气象, 1992, 11(1): 47.

## Characteristic and Forecast of Chaidamu Vortices

RONG Tao

(College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The characteristic of Chaidamu vortices is statistically analyzed, and the evolution characteristics of Chaidamu vortices occurrence and development are summarized by using synoptic map and observational data in eastern Hexi region. Forecast equation is established by using subject function, based on selection of high correlation predictor, and this forecast equation obtains better results to forecast precipitation of low clouds in eastern Hexi region.

**Key words:** Chaidamu vortices; characteristic; forecast