

# 青海东部一次强暴雪天气的 Q 矢量诊断分析

李加洛 达成荣 刘海明 贾红莉 韦淑侠

(青海省气象台, 西宁 810001)

## 提 要

2002年10月21~22日青海高原东部地区发生近10年以来秋季最强的一次暴雪天气过程。利用Q矢量方法以及GMS-5红外云图、水汽云图和常规观测等资料,对强暴雪天气进行了天气动力学诊断分析。结果表明:Q矢量湿锋生函数、Q矢量散度场和水汽通量散度场与青海高原暴雪区有较好的对应关系,对青海高原的降雪预报有指示作用。

**关键词:** Q矢量诊断分析 强暴雪 Q矢量湿锋生函数

## 引 言

2002年10月21~22日,青海高原东部出现了近10年以来秋季最强的一次暴雪天气过程,降雪量普遍在6~12mm,其中大通县最大达18.3mm、积雪深度16cm,互助县17.7mm、积雪深度17cm,西宁市17.6mm、积雪深度14cm,海晏县16.6mm、积雪深度最大19cm。这场降雪突发性强、强度大、暴雪集中,是历史同期罕见的强暴雪过程,但对十年九旱的青海东部农业区土壤保墒却十分有利。

近年来, Hoskins 等人的 Q 矢量方法被作为一种诊断工具用于短期天气预报业务<sup>[1,2]</sup>,尤其广泛应用于暴雨预报<sup>[3]</sup>。因为这种方法不仅避免了传统  $\omega$  方程右边涡度平流和温度平流作用的两项互相抵消问题,而且又避免了 Sutcliffe 方法中略去地转变形项作用的不足,并具有物理意义清楚、计算简便之特点,适用于整个对流层。利用 Q 矢量方法可以诊断大气垂直运动的方向和强度、可用于分析地转风场中的锋生锋消作用<sup>[4]</sup>。因此该方法对于实时天气诊断分析和预报有重要意义。

本文利用 Kriging 插值方法,用常规探空资料,在 25~50°N、75~105°E 范围内,水平分辨率为 50km × 50km,计算了本次强暴

雪过程的 Q 矢量物理量场,探讨暴雪的成因,以利做好它的预报。

## 1 环流形势和主要影响系统

这场强暴雪天气的突发与10月18~20日欧亚中高纬度环流形势调整,长波出现不连续后退密切相关。10月中旬后期,欧亚中高纬环流呈两槽一脊型,欧洲被一庞大的低涡所盘踞,中西伯利亚及其以东地区是一宽阔的低槽区,它们之间在乌拉尔山到西西伯利亚平原为一长波脊。起初,由于欧洲大低涡旋转,涡后转下一槽替代了低涡中的短波小槽并沿低涡底部逐日东移。由于低涡中温度槽落后于高度槽的斜压不稳定性致使涡后槽显著加强发展,东移短波小槽亦往南加深,导致乌拉尔山长波脊分裂,一部分东移,另一部分后退并因低涡前部出现的强暖平流动力加压作用迅速发展成为强大的高压脊,在脊前强 NW 气流的引导下,东移的短波小槽强烈向南加深。20日在新疆地区发展成为大槽,并与从印度半岛移来的南支槽同位相叠置成南北经向度很大的长波槽(图略),是本次强降雪过程的直接影响天气系统。对应 500hPa 上冷温度中心达 -28℃, 700hPa 上锋区强度为 16℃/5 个纬距,南疆和柴达木盆地出现  $\Delta T_{24}$  负值,哈密和格尔木  $\Delta T_{24}$  分别为 -6℃和 -4℃。地面图上北疆冷高压发展

完整,中心达 1035hPa。

在较低纬度上,西太平洋副热带高压呈东西向带状分布在中南半岛经华南、南海到 25°N 以南西太平洋上,西脊点位于 90°E 附近。南支槽至副高西北侧盛行一支 SW 气流,700hPa 上风速为 8~14m·s<sup>-1</sup>,是强降雪所需水汽的携带和输送者。

过程开始之前,来自中西伯利亚低槽中的一股冷空气沿河套及以东地区东移南下,造成这些地区盛行一支 NW 气流并且高度场陡升,在中低层从河套到西南地区东部新建一个高压脊同副高连体,形成有利的东高西低降水形势;同时阻挡直接影响天气系统东移,南支槽前的暖湿气流沿该高压脊后部向北抵达青海,21 日 08 时与长波槽后偏北气流汇合,在中低层青海湖附近诱生出一个中尺度低涡,对暴雪形成起重要作用。长波槽后的冷空气沿新疆北部东南移,21~22 日通过高空低槽、低涡、地面冷锋天气系统得以与暖湿气流交绥于青海东部、产生强暴雪天气。

## 2 Q 矢量场的诊断分析

我们计算了三天的 Q 矢量诊断物理量场,诊断分析强暴雪形成机制及寻找预报着眼点。

### 2.1 Q 矢量的计算方法

根据文献[5]Q 矢量和 Q 矢量诊断物理量场由以下式(1)~式(5)得出:

$$\begin{aligned} Q_x &= -\frac{\partial V_g}{\partial x} \cdot \nabla \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \\ &= -\left[ \frac{\partial u_g}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) + \frac{\partial v_g}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q_y &= -\frac{\partial V_g}{\partial y} \cdot \nabla \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \\ &= -\left[ \frac{\partial u_g}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) + \frac{\partial v_g}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$u_g = -\frac{9.8}{f} \cdot \frac{\partial H}{\partial y}, v_g = \frac{9.8}{f} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \quad (3)$$

其中  $f = 2\Omega \sin\phi$ ,  $f$  为地转参数,  $\Omega$  为地球自转角速度,其值等于  $7.292 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

Q 矢量散度用式(4)计算

$$D = \nabla \cdot Q = \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \quad (4)$$

Q 矢量湿锋生函数用式(5)计算

$$F = Q \cdot \nabla \theta_{se} = Q_x \cdot \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} + Q_y \cdot \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \quad (5)$$

## 2.2 Q 矢量暴雪诊断场分析

### 2.2.1 Q 矢量湿锋生函数

Q 矢量湿锋生函数是反映锋区加强或减弱的物理量,与假相当位温梯度项、地转运动的水平切变及南北汇合项有关。当  $Q \cdot \nabla \theta_{se} > 0$  时,气团锋生;  $Q \cdot \nabla \theta_{se} < 0$  时,气团锋消。

经计算 10 月 20~22 日 700hPa、500hPa 和 300hPa 三层 08 时和 20 时 Q 矢量湿锋生函数,分析发现 500hPa 的湿锋生函数对本次暴雪的诊断能力最好,有较好的预报指示作用。下面仅分析 500hPa Q 矢量湿锋生函数同暴雪的关系。

21 日 08 时,从新疆长波槽中首先分裂一短波小槽已移至青海湖附近,在地面图上有一条弱冷锋,小槽前部 700hPa 上有一支风速为 6~10m·s<sup>-1</sup> 的 SW 气流,青海东部出现温度水平梯度加大的锋生过程。天气图上天气系统表现微弱。但从 21 日 08 时 500hPa 湿锋生函数图 1a 中显而易见,在青海省东部有一个较清楚的锋生带,正值中心位于青海省东北部,中心值为  $8.5 \times 10^{-16} \text{ K} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ ,21 日 08~20 时在此锋生带上出现小到中雪。同时在即将到来的主槽前部的柴达木盆地西部也有一个锋生带,中心值为  $5.7 \times 10^{-16} \text{ K} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ ,强度较弱。21 日 20 时分裂的冷空气减弱东移,青海省东部锋生带明显减弱,降雪逐渐停止。较之天气图,Q 矢量湿锋生函数能更清晰地揭示从新疆东移的冷空气的锋生和分股现象。

此后,新疆冷空气主力东移,柴达木盆地西部的锋生带显著加强,当中心移到柴达木

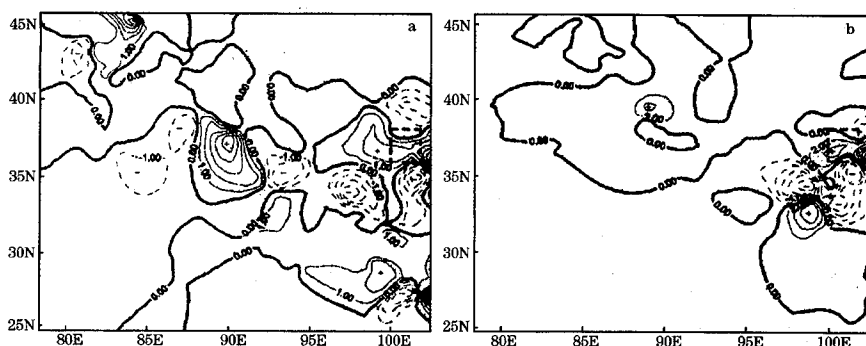


图1 2002年10月21日08时(a)和22日08时(b)500hPa湿锋生函数  
 细实线为正值,细虚线为负值,断线方框为暴雪区,单位: $10^{-16} \text{K} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$

盆地中心地带后,其值增到  $40.1 \times 10^{-16} \text{K} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ 。当强锋生带抵达青海高原东部时,22日02时降雪又重新开始,在锋生带梯度最大的青海东北部地区降雪量明显增大。此时在700hPa上,青藏高原东部生成一个直径约为500km的中尺度低涡,中心位于青海省玛玛附近,地面中心在青海湖东南部,涡前SW风达  $8 \sim 12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,涡后西北方NW风为  $8 \sim 14 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,冷空气逐渐侵入低涡,低涡变性东移。到22日08时仅6个小时,大通县降雪量达12mm、西宁市9mm、海晏县9mm、互助县8mm,均为暴雪。然后暴雪区上空的锋生中心值开始迅速减弱为  $18.2 \times 10^{-16} \text{K} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ (图1b),降雪也开始逐渐减小至11时雪止。由地面冷锋动态可知,湿锋生函数正值区分布在冷锋后部,冷锋后锋生不断加强,致使冷空气在柴达木盆地聚积,同时暖湿气流从  $100^\circ \text{E}$  附近以东地区北上到青海,使得青海东部的暖区辐合加强。当冷锋移到青海东部,受河套以东大陆高压阻挡移速减慢,致使冷暖空气在青海东部交汇达24小时以上,降雪持续时间长且降雪强度大,从而造成强暴雪。

由此可见,Q矢量湿锋生函数与两场降雪落区有较好的对应关系,强降雪区出现在锋生带上,即湿锋生函数正值区梯度最大区域。

### 2.2.2 Q矢量散度场

由于Q矢量的辐合区大致与垂直上升

运动产生的雨雪区相当;Q矢量散度激发次级环流,其辐合区对应次级环流的上升运动区。则在文献中Q矢量方法被誉为业务垂直运动估算的高级方法<sup>[6]</sup>。在这次暴雪过程中,经对700hPa、500hPa和300hPa三层08时和20时Q矢量散度场分析,发现700hPa的散度场与暴雪区对应关系最好,500hPa次之。但因青海高原海拔高度都在3km以上,于是运用文献[5]中将700hPa和500hPa散度场相加方法来分析青海省中低层Q矢量散度场。

在20日20时500hPa+700hPaQ矢量散度场图上(图略),青海省上空有多个小辐合区。其中以青海东北部辐合区较强,中心值为  $-8.7 \times 10^{-17} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ ;而南疆盆地若羌辐合区较弱,中心值为  $-4.6 \times 10^{-17} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ 。对应GMS-5红外云图上,在新疆低槽前辐合区中若羌一带有一条窄带状云系,然后云带东移逐渐变宽,其前沿分裂一条云系21日08时到达青海东部,云顶最低温度为  $-52.1^\circ \text{C}$ ,青海东北部上空辐合明显加强达  $-18.0 \times 10^{-17} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ (图2a),并产生了弱降雪天气。此后,辐合区继续增强,到21日20时青海东北部上空辐合达最强,中心值为  $-30.0 \times 10^{-17} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ ,门源县6小时降雪4.1mm。从若羌东移到柴达木盆地的辐合中心也加强,中心值为  $-6.3 \times 10^{-17} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ 。20时云图上在南疆盆地的冷锋云带滞留12小时后,云区变得厚实,就地加

强,进入柴达木盆地后,云带后边界整齐而且陡峭,前边界变得比较松散,范围明显扩大,长达10个经距,宽4个纬距,云顶高度也在逐渐增高,云顶最低温度为 $-54.4^{\circ}\text{C}$ 。该云带以 $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 速度东移,并且柴达木盆地也出现了降雪。22日02时其后边界到达青海湖,云带尾羽逐渐拉长,但尾部的中低云系在青海湖附近加强,云顶最低温度在 $-45.2\sim-30.1^{\circ}\text{C}$ ,云带层次清楚。02~08时在青海省东北部的强辐合区中以As、Sc为主的混

合云系产生暴雪天气。22日08时(图2b)在 $25\sim50^{\circ}\text{N}$ 、 $75\sim105^{\circ}\text{E}$ 范围内仅在青海东北部上空有辐合区,中心强度已减弱为 $-5.3\times 10^{-17}\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-3}$ ,降雪逐渐减小。从暴雪区上空Q矢量散度场的时空分布图中可以看出,青海东北部均为辐合区,强降雪主要出现在辐合最强的22日02~08时,22日11时冷锋云带移出青海,降雪告结束。Q矢量散度场在秋季暴雪过程中,中低层辐合明显,强降雪分布在辐合最强区中。

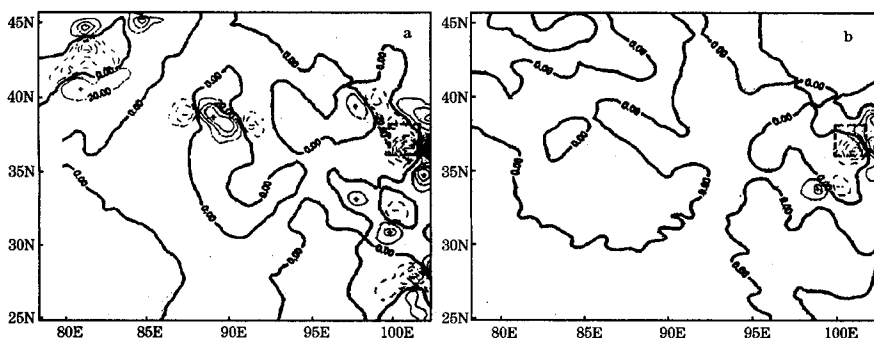


图2 2002年10月21日08时(a)和22日08时(b)500hPa+700hPaQ矢量散度场  
细实线为正值,细虚线为负值,断线方框为暴雪区,单位: $10^{-17}\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-3}$

### 2.2.3 水汽条件的分析

产生暴雪的充要条件之一须有充沛的水汽供给和水汽辐合。将500hPa+700hPa两层的水汽通量散度与水汽图像进行对比分析本次暴雪过程的水汽输送情况。

10月21日08时500hPa+700hPa水汽通量散度如图3a所示,对应新疆高空槽底部一支偏西气流,在 $25\sim30^{\circ}\text{N}$ 、 $85\sim100^{\circ}\text{E}$ 范围内是较强的水汽通量辐散区,水汽云图上可视一条带状暗色干燥区, $100^{\circ}\text{E}$ 以东是较强的辐合区;在新疆高空槽前 $30\sim40^{\circ}\text{N}$ 为宽广辐合区,南疆盆地的若羌、青海玉树、青海东北部分别有一个负中心,中心值依次为 $-1.1\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $-1.3\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-1.6\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其中青海东北部较强辐合区周围出现降雪。在水汽云图上,配合辐合区从帕米尔高原到青海、内蒙古一带对流层上部有一条E~W向灰白色的云带,表明水汽输送层较深厚。追溯暴雪水汽源于印度半

岛至孟加拉湾南部海洋上。21日20时,仅青海东北部上空有一个水汽通量辐合中心,中心值加强为 $-1.9\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在水汽云图上南疆盆地的带状云系已移入柴达木盆地,云带后部为相对暗区,6小时后,该暗区东移变得更暗,反映冷空气在东移过程中势力加强。20时500hPa图上,新疆低槽后部的NW气流明显加强,促使E~W向冷锋云带逐渐转成NE~SW向,并且云带厚度和灰度增强,后部暗区继续向东扩展。22日08时(图3b),青海东北部辐合中心加强至 $-2.5\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其南部为水汽通量辐散区与西伸副高北侧的偏西气流相伴,说明水汽通量辐合通道已被切断。强降雪主要出现在22日02~08时青海东北部中低层水汽通量强辐合中心区域。就水汽通量散度负值中心与本次暴雪区的对应关系及预报经验来看,中低层500hPa+700hPa水汽通量散度最大负值中心从南疆盆地移到青海东部需12~24小时,对暴雪落区和落时

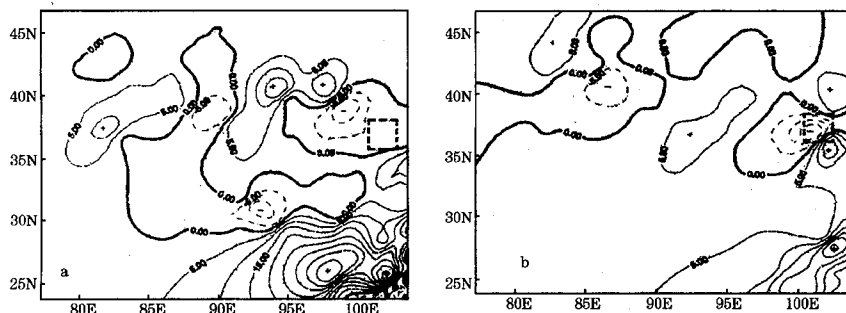


图3 2002年10月21日08时(a)和22日08时(b)500hPa+700hPa水汽通量散度  
细实线为正值,细虚线为负值,断线方框为暴雪区,单位: $10^{-8}g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$

预报有指示意义。

### 3 小结

(1)青海高原东部这场罕见的暴雪天气是发生在欧亚中高纬环流形势调整、长波不连续后退的经向环流条件下,主要影响天气系统是新疆高空槽、低层低涡和地面冷锋,天气系统相互作用引发了强降雪。

(2)分析发现 500hPa Q 矢量湿锋生函数与暴雪落区有较好的对应关系,湿锋生函数强锋生带梯度最大区域是未来强降雪落区。

(3)500hPa + 700hPa Q 矢量散度场辐合加强过程和强辐合中心对天气系统的加强和减弱及暴雪的落区具有较好的对应关系和预报指示意义, Q 矢量散度最大负值中心、水汽通量辐合强中心是未来 12~24 小时暴雪的落区。

(4)Q 矢量物理量场和卫星云图综合分析,能够直观而较准确地判断影响系统移动和强度变化。中低层辐合上升与水汽辐合的重叠区可为暴雪落区预报提供着眼点。

### 参考文献

- 1 白乐生. 准地转 Q 矢量分析及其在短期天气预报中的应用. 气象, 1988, 14(8): 25~30.
- 2 李英, 段旭, 潘里娜. 昆明准静止锋的准地转 Q 矢量分析. 气象, 1999, 25(8): 6~10.
- 3 杨小艳, 曹希孝. 准地转 Q 矢量诊断场与暴雨关系的分析. 气象, 1995, 21(11): 17~21.
- 4 孔玉寿, 章东华. 现代天气预报技术. 北京: 气象出版社, 2000: 85~94.
- 5 省地气象台短期预报岗位培训教材. 北京: 气象出版社, 1998: 117~120.
- 6 Lawrence B D. Evaluation of vertical motion: past, present and future. Wea. Forecasting, 1991, 6(1): 65~73.

## Q-Vector Diagnostic Analysis of a Snow-Storm in the Eastern Part of Qinghai Province

Li Jialuo Da Chengrong Liu Haiming Jia Hongli Wei Shuxia  
(Qinghai Province Meteorological Observatory, Xining 810001)

### Abstract

The snow-storm in the eastern part of Qinghai Plateau during 21—22, October 2002 was the heaviest process in the last 10 autumns. Based on infrared imagery, vapor image and some conventional observation, the synoptic diagnostic analysis of the snow-storm is made. The results show that there is a good corresponding relationship between Q-vector moist frontolysis function, Q-vector divergence, vapor flux divergence and the snow-storm region of the Qinghai Plateau, and this has a good implication for the snowfall forecast in the Qinghai Plateau.

**Key Words:** Q-vector diagnostic analysis snow-storm Q-vector moist frontolysis function