

文章编号: 1000-2022(2001) 03-0405-05

青藏高原东部一次大雪过程的 Q 矢量分析

董安祥¹, 郭 慧¹, 贾建颖¹, 周陆生²

(1. 甘肃省气象局, 兰州 730020; 2. 青海省气象局, 西宁 810001)

摘 要: 应用 Q 矢量理论对 1996 年 1 月 16 ~18 日 青藏高原东部大雪过程进行了诊断分析, 结果表明: 在降雪前 24 h, Q 矢量散度出现了整层辐合, 锋生函数正值区南部等值线密集处与大雪区有较好的对应关系。假相当位温(θ_e)的 24 h 变量正值中心与强降雪中心相接近。

关键词: 青藏高原东部, 大雪, Q 矢量

中图分类号: P458. 2

1996 年 1 月 16~18 日, 青藏高原东部牧区自西向东先后出现了自 1995 年秋天以来最强的一次降雪过程, 雪区呈东西向带状分布。青海东南部和四川西部普降中到大雪, 降雪量一般有 3~5 mm, 其中青海杂多为 6. 1 mm, 四川甘孜出现暴雪, 降雪量达到 12. 4 mm。由于大面积草场被积雪覆盖, 雪后剧烈降温, 造成严重雪灾, 牧业损失严重。

对这次降雪过程, 文献[1, 2] 均作了天气学分析。本文旨在采用准地转 Q 矢量(简称 Q 矢量)、锋生函数和反映大气温湿条件的假相当位温(θ_e)对这次大雪过程进行分析, 揭示大雪区附近 Q 矢量特征, 给出一些有预报意义的结论。

1 资料和方法

Q 矢量表示在位温梯度方向上的地转速度水平形变的大小, 可用来诊断大尺度垂直运动, 它适用于整个对流层, 尤其是斜压性较大的对流层中低层。用 Q 矢量表示的锋生函数可以给出天气系统发生、发展的信息, 有很好的预报意义^[3]。根据文献[4], Q 矢量的计算如下

$$Q_x = - \frac{\partial V_g}{\partial x} \cdot \nabla (- \frac{\partial \Phi}{\partial p}) = - [\frac{\partial u_g}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (- \frac{\partial \Phi}{\partial p}) + \frac{\partial v_g}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (- \frac{\partial \Phi}{\partial p})], \tag{1}$$

$$Q_y = - \frac{\partial V_g}{\partial y} \cdot \nabla (- \frac{\partial \Phi}{\partial p}) = - [\frac{\partial u_g}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (- \frac{\partial \Phi}{\partial p}) + \frac{\partial v_g}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (- \frac{\partial \Phi}{\partial p})]。 \tag{2}$$

式中, $u_g = - \frac{9.8}{f} \frac{\partial H}{\partial y}$, $v_g = \frac{9.8}{f} \frac{\partial H}{\partial x}$ 。 Q 矢量散度和涡度的计算如下

$$D = \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y}, \tag{3}$$

收稿日期: 2000-12-04; 改回日期: 2001-03-26
基金项目: 国家自然科学基金项目 49765011
第一作者简介: 董安祥,男, 1944 年 10 月生, 高级工程师.

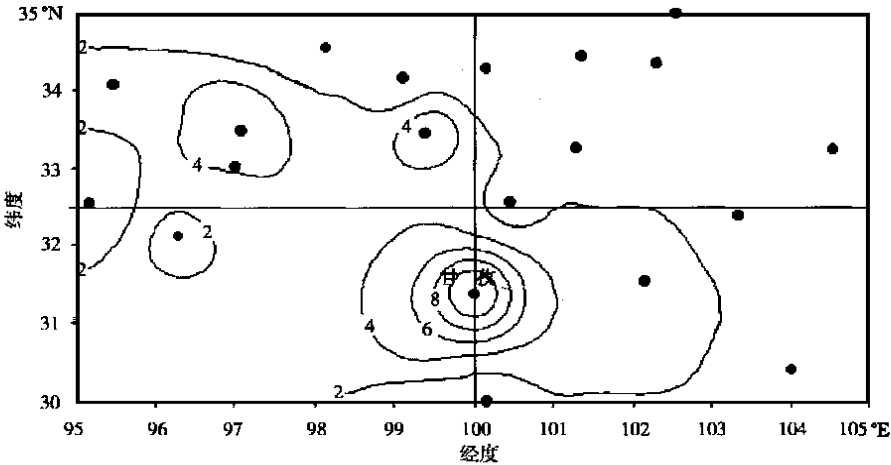


图 1 1996 年 1 月 16~18 日青藏高原东部降雪分布(单位:mm)

Fig. 1 Snowfall pattern over the eastern Tibetan Plateau
from 16th to 18th Jan. 1996(units:mm)

$$\zeta = \frac{\partial Q_y}{\partial x} - \frac{\partial Q_x}{\partial y} \circ \tag{4}$$

锋生函数的计算如下

$$F = \boldsymbol{Q} \cdot \nabla \theta = Q_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + Q_y \frac{\partial \theta}{\partial y} \circ \tag{5}$$

当 $F > 0$ 时锋生, 反之为锋消。

本文选取国家气象中心 T₁₀₆ 数值预报产品的 20 时实况诊断资料, 范围为(25~40 N, 80~110 E), 经纬网格距为 1 °×1 °。由于青藏高原东部海拔都在 3 000 m 以上, 本文选择的层次为 500~200 hPa, 垂直格距为 100 hPa。

2 诊断分析结果

2.1 Q 矢量散度

本次降雪过程最大降雪中心在川西高原的甘孜, 它位于(31.37 N, 100 E)。故选取 9 个格点(31~33 N, 98~100 E), 计算过程前、当时场和过程后的 9 个格点 Q 矢量散度的平均, 得到表 1。

表 1 1996 年 1 月 11~19 日 Q 矢量散度

Table 1 Q vector divergence from 11th to 19th Jan. 1996 $10^{-18} s^{-1} \cdot hPa^{-1}$

	Q 矢量散度			
	200 hPa	300 hPa	400 hPa	500 hPa
11 日	- 34	- 91	27	34
15 日	- 164	- 72	- 165	- 163
16 日	- 35	- 20	- 194	- 243
17 日	- 73	- 56	- 5	171
19 日	135	66	- 86	41

从表 1 可看出,当没有降雪时(11 日),低层 500 hPa 和 400 hPa Q 矢量散度为正值,流场辐散,有下沉运动。但在降雪前 24 h(15 日),从 500 hPa 到 200 hPa 低层和高层均为辐合区,出现了整层上升运动,这是一个有预报意义的物理前兆,降雪开始时(16 日)低层辐合继续增强,500 hPa 达到 $-243\times 10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。然后,低层辐合开始减小,逐步转为辐散。到 19 日,除 400 hPa 为辐合外,其余 3 层均为辐散,降雪随之结束。因此,从 500 hPa 到 200 hPa 整层辐合上升运动是青藏高原东部大雪的重要前兆物理因素,在短期天气预报中值得重视。

由青藏高原东部 1 月 15 日 500 hPa Q 矢量散度分布(图 2)可见,降雪前 24 h,青藏高原东部 Q 矢量散度大都为负值,中心位于川西高原,低达 $-469\times 10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。由于 Q 矢量散度所表示的是产生上升运动的强迫机制,在 Q 矢量辐合区的准地转上升运动会在一段时间内得以维持。这就为降雪量的增大提供了辐合的动力条件,也提供了预报前兆。降雪开始后,辐合继续增强,16 日 Q 矢量散度最低中心值降为 $-605\times 10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ (图略)。随着在降雪区上空辐合逐渐减弱,然后转为辐散,降雪也很快结束。因此,从此次例子看,当 500 hPa 图上 Q 矢量散度小于 $-469\times 10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 时,要注意未来 24 h 内有出现大雪天气的可能。

2.2 Q 矢量涡度

青藏高原东部的海拔高度基本在 3 000 m 以上。 Q 矢量近似表示非地转运动, Q 矢量涡度与低空非地转风成正相关,它能很好地表征低值系统的生成和特性。没有降雪时,在 500 hPa 上 Q 矢量涡度为负值,没有低值系统生成。在降雪前 24 h(15 日 20 时),500 hPa 上自西藏北部到青海省北部,自西西南向向东北出现正涡度带,中心位于青海湖西侧(图略)。它缓慢东南压,于 16 日 20 时到达青海省南部和川西高原(图 3),中心位于川西高原,强度为 $12\times 10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。随着降雪开始,告诉我们 15 日有冷空气已侵入高原,500 hPa 上有低值系统向东南移动。在 500 hPa 高度场上,有时难以判断高原上低值系统的移动和强弱变化,而 Q 矢量涡度图能帮助我们判断低值系统的位置和强度变化。文献[2]指出,1 月中旬高原东部冷槽活动频繁,正涡度带的移动和变化,为判断高原冷槽活动,进而预报天气过程提供了依据。

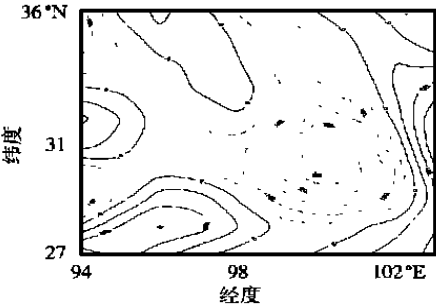


图 2 1996-01-15T 20 的 500 hPa Q 矢量散度分布
(单位: $10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)
Fig. 2 Distribution of Q Vector divergence at 500 hPa at 20:00 BST for Jan. 15, 1996 (units: $10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

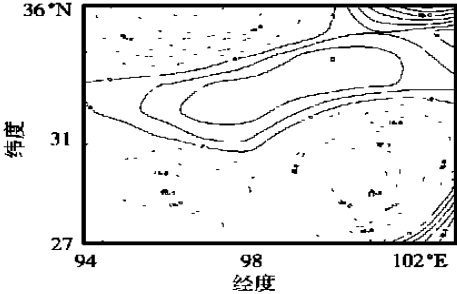


图 3 1996-01-15T 20 的 500 hPa Q 矢量涡度分布
(单位: $10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)
Fig. 3 Distribution of Q Vector vorticity at 500 hPa at 20:00 BST for Jan. 15, 1996 (units: $10^{-18}\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

2.3 锋生函数

根据 Q 矢量的定义可知, 锋生是由于地转风的伸展变形造成的^[3]。当低空有明显的 Q 矢量辐合, 位温梯度增大, 相应高原有切变线产生。当 $Q \cdot \nabla \theta > 0$ 时, 即 Q 矢量指向冷空气时, 易有高原切变线产生; 反之, 高原切变线消失。分析 1996 年 1 月 11~20 日 20 时 500 hPa 的锋生函数分布(图 4)可知, 从 1 月 11 日起中亚维持横槽, 高原北侧气流较平直, 持续偏西气流, 等温线密集, 稳定维持一个锋生正值带。从 1 月 15 日起, 由于欧洲阻高崩溃, 中亚横槽转竖, 其堆积的冷空气开始东移, 故锋生带开始东南移, 15 日 20 时东段锋生中心位于祁连山中部, 16 日 20 时锋生函数正值区呈带状分布, 中心位于川西高原。它表明中亚冷空气进入川西高原, 降雪区出现在锋生函数正值区南部等值线密集处。从上述分析看出, 锋生函数对冷空气的运动有指示意义, 锋生函数梯度大的地方是冷暖空气交汇处, 在该处由于冷空气从低层切入, 迫使暖气上升, 造成大范围的垂直运动, 引起降雪。

2.4 假相当位温

假相当位温(θ_e)考虑了气压和水汽对温度的影响, 在干绝热过程、假绝热过程和湿绝热过程中都具有守恒性。在等压面上高温高湿地区 θ_e 值大, 低温低湿地区 θ_e 值小, 因而, 它在天气诊断中得到了广泛的应用。本文计算了 θ_e 的 24 h 变量($\Delta_{24}\theta_e$), 分析它与降雪的关系。

在没有降雪时, $\Delta_{24}\theta_e$ 大都为负值, 在降雪前 24 h(15 日)降雪区 $\Delta_{24}\theta_e$ 出现正值, 有两个正中心, 一个位于甘肃省肃北县, 另一个位于青海省的兴海县。16 日 20 时, 两个中心东南移, 一个位于青南高原中部, 另一个位于川西高原(图 5), 两个最大降雪处与 $\Delta_{24}\theta_e$ 中心比较接近。在 $\Delta_{24}\theta_e$ 最大值附近, 往往非地转气流强, 增温增湿强, 因而降雪量也大。

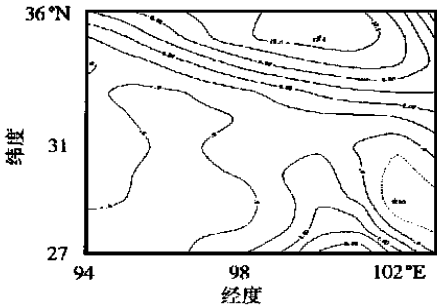


图4 1996-01-16T 20 的 500 hPa
锋生函数(F)的分布
(单位: $10^{-14}K \cdot s^{-2} \cdot hPa^{-1}$)

Fig. 4 Distribution of frontogenetical
function at 500 hPa
at 20:00 BST for Jan. 16, 1996
(units: $10^{-14}K \cdot s^{-2} \cdot hPa^{-1}$)

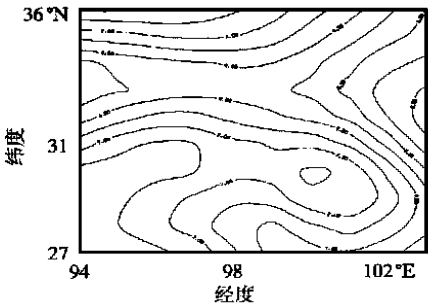


图5 1996-01-16T 20 的 500 hPa
的 $\Delta_{24}\theta_e$ 变量分布(单位: K)

Fig. 5 Distribution of $\Delta_{24}\theta_e$
at 500 hPa at 20:00 BST
for Jan. 16, 1996(units: K)

3 小 结

(1)降雪前 24 h, Q 矢量散度从 500 hPa 到 200 hPa 整层辐合。当 500 hPa 低层转为辐散时, 降雪将在短期内结束。从此次例子看, 当 500 hPa 出现小于 $-460 \times 10^{-18} s^{-1} \cdot hPa^{-1}$ 时, 要注意未来 24 h 内有出现大雪的可能。

(2) Q 矢量正涡度带可以帮助我们判断进入高原的低值系统的位置移动和强弱变化。

- (3) 锋生函数正值区南部的等值线密集处容易出现大降雪带。
- (4) 在假相当位温(θ_e)的 24 h 变量正值中心易与强降雪中心相接近。

本文采用 Q 矢量分析方法揭示的青藏高原东部大雪天气的物理成因, 为大雪短期天气预测提供了一定的线索。然而, 这仅仅是一个初步的分析, 需要更深入研究来加以证实。

参考文献:

[1] 李文源. 1996 年 1 月青藏高原东部牧区雪灾天气学成因分析[C]. 见: 中国气象局气象服务与气候司编. 牧区雪灾的分析研究. 北京: 气象出版社, 1998. 65~67.

[2] 晁淑懿. 青藏高原青海雪灾过程大尺度环流特征分析和 T_{63} 模式预报评估[C]. 见: 中国气象局气象服务与气候司编. 牧区雪灾的分析研究. 北京: 气象出版社, 1998. 124~129.

[3] 白乐生. 准地转 Q 矢量分析及其在短期天气预报中的应用[J]. 气象, 1988, 14(8): 25~30.

[4] 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 117~120.

Q -VECTOR ANALYSIS OF A HEAVY SNOW CASE
OVER THE EASTERN TIBETAN PLATEAU

DONG An-xiang¹, GUO Hui¹, JIA Jian-ying¹, ZHOU Lu-sheng²⁾
(1. Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020; 2. Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001)

Abstract: A heavy snow case over the eastern Tibetan Plateau on Jan. 16~18, 1996 is studied by means of the Q -vector, indicating that there exists convergence from 500 hPa to 200 hPa 24-hour ahead of the snow, and heavy snow may occur in the south of frontogenetical positive area(F) at 500 hPa and correspond to positive center of $\Delta_{24}\theta_e$ field.

Key words: eastern Tibetan Plateau; heavy snow; Q -vector