

“95.1”大雪的对称不稳定数值诊断分析^①

王 文 程麟生

(兰州大学大气科学系, 兰州 730000)

提 要

利用一次较成功地模拟了“95.1”青藏高原东北部大雪过程的 MM5 中尺度模式输出资料, 根据条件对称不稳定(CSI)的非线性理论判据对这次大雪过程进行了动力学诊断分析, 结果表明, 大雪的发生发展过程与 σ^2 正值区的分布和演变非常一致, 表明“95.1”大雪是由明显的湿对称不稳定所致。

关键词: 高原大雪 非线性对称不稳定 诊断分析

引 言

雪灾是对西部高原牧业生产威胁最大的灾害性天气, 1994 年 10 月~1995 年 5 月果洛、玉树州以及黄南州部分地区连降中到大雪 10 余次, 有 13 个县, 700 余万头牲畜受灾。“95.1”大雪过程主要发生在 1995 年 1 月 17 日 23 时(北京时, 下同)至 18 日 11 时, 最大降水中心在青海省海南州塘格木、河卡一带^[1](图 1)。

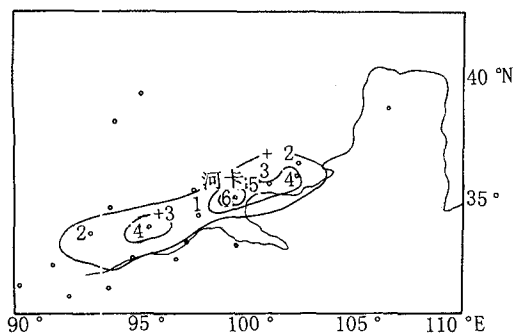


图 1 1995 年 1 月 17~18 日降水量分布

从天气分析可以看出, 在 500hPa 高空图上, 1 月 13 日西亚槽建立, 南支槽形成并发展, 到 16 日 08 时, 西亚槽东移南压至巴尔

喀什湖附近, 乌拉尔山脊建立, 南支槽前的西南气流北上至高原, 到 17 日 08 时乌拉尔山脊加强东移, 迫使巴尔喀什湖低槽向东南方向移动, 在新疆北部形成冷低压槽, 其底部分裂, 冷空气南下, 南支槽在东移过程中速度减慢并发展加深, 槽前的西南气流到 17 日 20 时发展到最强盛, 西南气流携带的含丰沛水汽的暖湿空气与巴尔喀什湖低槽分裂东移南下的冷空气交汇于 90~100°E, 在 36°N 附近形成一强烈的辐合区, 有利于本地降水的形成。在 700hPa 形势图上, 可以看到南支槽在 34~36°N, 90~100°E 之间有一个清楚的低涡扰动发生(图略), 该低涡扰动与高原上的暖脊相匹配, 有利于上升运动 and 低层辐合, 是造成“95.1”大雪过程的中尺度天气系统。隆霄、程麟生^[2]利用非流体静力模式(MM5)对“95.1”大雪过程进行了数值研究, 模拟结果与该过程中尺度低涡的演变基本一致(图 2)。

从触发机制考虑, 局地大气不稳定对大雪形成的作用是非常重要的。本文将根据非线性对称不稳定判据, 利用 MM5 预报模式模拟资料对这次大雪过程的发生发展机制进

① 国家自然科学基金资助项目: 49775271

行动力学诊断,探讨条件对称不稳定对高原大雪形成的可能作用。

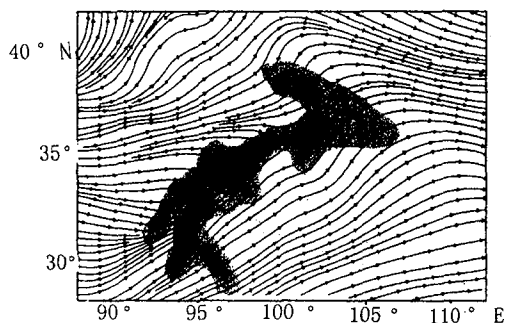


图2 “95.1”大雪 MM5 模拟流场(阴影区为雪带)

1 Lagrange 质点理论判据

Emanuel^[3]发展的非线性湿 CSI (Conditional Symmetric Instability) 质点理论,是在假设 Fr 数较小且无混合条件下,研

究了湿对称不稳定的二维水平气团倾斜上升运动问题,并且获得如下 CSI 判据:

$$\sigma^2 > 0, \sigma^2 = -f q_e (\partial \ln \theta_e / \partial z)^{-1} \quad (1)$$

其中, σ 是 Lagrange 增长率, q_e 是相当位涡度,其定义式是:

$$q_e = (f k + \nabla \times \mathbf{V}) \cdot \nabla \ln \theta_e \quad (2)$$

再注意到饱和的 Brunt-Vaisala 频率 N_w^2 的下述定义式^[3]:

$$N_w^2 = g(\Gamma_m / \Gamma_d) \partial \ln \theta_e / \partial z \quad (3)$$

其中 Γ_m 和 Γ_d 分别为湿和干的绝热直减率。那么,由判据(1)显然可知,在对流稳定大气中($N_w^2 > 0$, 即 $\partial \ln \theta_e / \partial z > 0$),对条件对称不稳定($\sigma^2 > 0$),则相当位涡度必须为负,即 $q_e < 0$,这与线性理论结论一致;但在对流不稳定大气中($N_w^2 < 0$ 即 $\partial \ln \theta_e / \partial z < 0$)和相当位涡度 q_e 为正的区城, CSI 条件同样可以满足,这一结果是线性理论没有的。

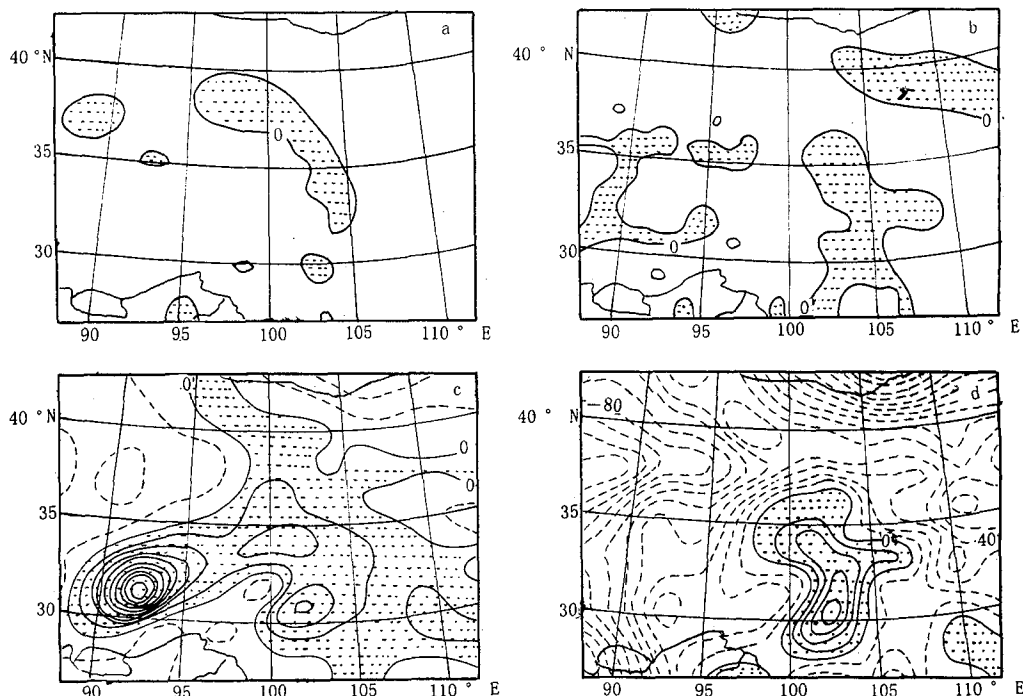


图3 1995年1月17日20时 σ^2 分布(点区为正值区,等值线间隔为10,单位: s^{-2})

a. 700hPa b. 500hPa c. 400hPa d. 300hPa

2 “95.1”大雪过程 CSI 非线性诊断

根据 Lagrange 质点理论判据式(1),我们分析了非线性 CSI 对“95.1”大雪的可能作用。在 17 日 20 时 400hPa 上有大范围的 $\sigma^2 > 0$ 的区域,特别是在 $30 \sim 35^\circ\text{N}$, $90 \sim 95^\circ\text{E}$ 之间有一类似于涡旋的 σ^2 正值区(图 3c),它与此时 700hPa 扰动低涡的位置相当接近,但在其高低空水平面上没有与它相配合的 σ^2 正值区域(图 3a,b,d)。这一正值区向东偏北方向移动并逐渐成为东北~西南向狭长带状

结构,于 18 日 02 时,在 700、500 和 300hPa 各层上都有与其平行的 σ^2 正值区域出现(图 4);随后,400hPa 上这一带状结构的西端向东收缩而极值中心位置基本维持少动,但强度在不断减弱,700 和 500hPa 上的 σ^2 正值区仍与它基本一致,但 300hPa 上的正值区较快地东移。从 18 日 08 时 400hPa 上 $\sigma^2 > 0$ 的区域进一步减弱并东移,到 11 时,与它对应的高低空结构已不太一致(图略),随后,对称不稳定区继续减小东移,渐渐趋于消失。

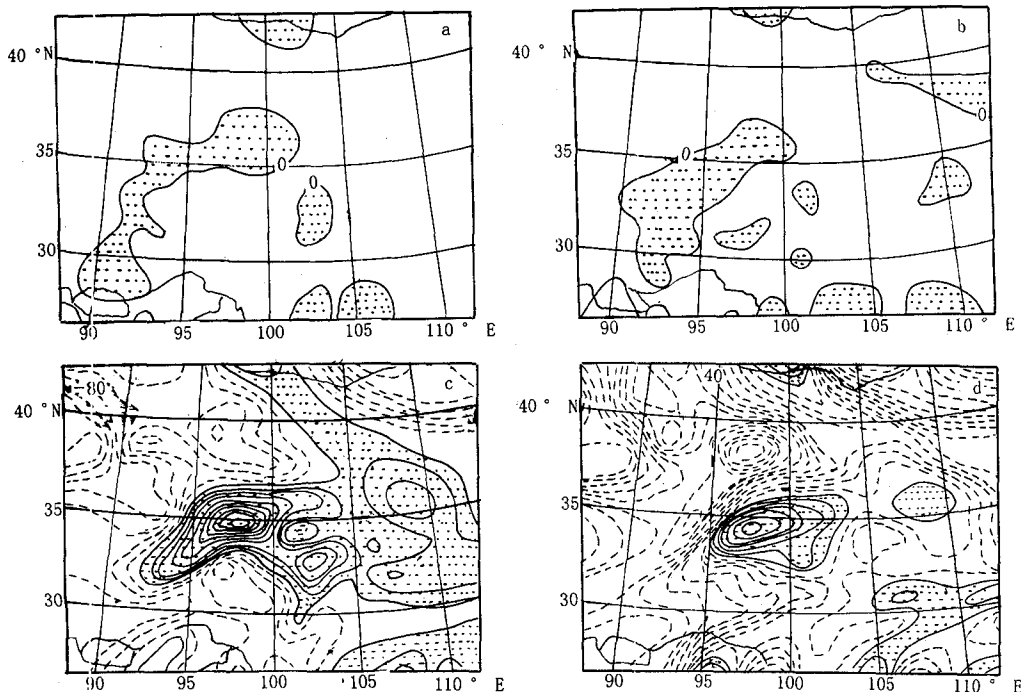


图 4 1995 年 1 月 18 日 02 时 σ^2 分布

说明同图 3

3 小结

利用“95.1”大雪过程的 MM5 中尺度预报模式模拟资料,根据条件对称不稳定(CSI)的非线性理论判据对这次大雪的发生发展机制进行了动力学诊断,得出以下结论:

“95.1”大雪的发生发展过程与 CSI 密切相关,尤其和 σ^2 正值区的分布和演变非常一致,表明“95.1”大雪是由明显的湿对称不稳定所致。

(下转第 19 页)

参考文献

- 1 王金凤. 海南地区“95.1.18”大暴雪过程分析. 青海气象, 1996, (3): 39~41.
- 2 隆 霄, 程麟生. “95.1”高原大雪中尺度系统发展和演变. 变的非静力模式模拟. 高原气象, 待发表.
- 3 Emanuel K. A. The Lagrange parcel dynamics of moist symmetric instability. J. Atmos. Sci., 1983, (40): 2368~2376.

The Diagnosis of Conditional Symmetric Instability of the “95.1” Snowstorm Process

Wang Wen Cheng Linsheng

(Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 730000)

Abstract

With the criteria of linear and nonlinear symmetric instability theory, the mechanism of the heavy snowstorm of January 17—18 1995 (“95.1”) occurred in the northeast region of the Qinghai-Xizang Plateau was diagnosed by using the output data of a MM5 mesoscale numerical model with which the developing structure and the evolution of the “95.1” snowstorm were fairly well simulated. The results suggested that the positive σ^2 is corresponding to the development and movement of the snowstorm and the limited comparison lends some support to the hypothesis that non-linear CSI can be a dominant formative mechanism of the “95.1” snowstorm, though more sophisticated studies are required.

Key Words: snowstorm Qinghai-Xizang plateau nonlinear symmetric instability diagnosis analysis