

## 夏季青藏高原雪盖对东亚大气环流影响的数值试验

边巴次仁<sup>1)</sup> 陈万隆<sup>1)</sup> 周锁铨<sup>1)</sup> 王革丽<sup>2)</sup>

(1) 南京气象学院应用气象学系, 南京 210044; 2) 内蒙古气候中心, 呼和浩特 010051)

**摘要** 采用钱永甫(1985)模式与颜宏(1987)模式嵌套,并引入修正的青藏高原雪盖下垫面下的反照率参数化,来研究理想状态下青藏高原东部及南侧夏季有雪盖对东亚大气环流的影响。结果表明,模式大气对夏季高原雪盖引起的热力异常非常敏感,在高原雪盖影响下,(1)高原地区对流层上层高度场降低,下层高度场升高,而我国东部地区高度场变化与此相反;(2)对流层下部东亚大部分地区出现冷夏,东亚夏季风环流减弱;(3)高原东部至沿海地区及日本南部降水明显减少,而黄淮下游、新疆北部降水增多。

**关键词** 雪盖, 青藏高原, 大气环流, 数值试验

**分类号** P463.22

青藏高原地处中低纬,平均海拔达 4 000 m 以上。特殊的地理位置及地形高度,使其在东亚夏季大气环流的形成及异常中起着相当重要的作用。其中地表热状况(尤其是积雪和反照率)对东亚大气环流的作用十分显著。

早在 100 多年以前,Blanford<sup>[1]</sup>就研究了喜马拉雅山积雪的范围和厚度与印度西北的夏季降水呈负相关,并成功地预测出 1885 年印度西部夏季的干旱。Vernekar<sup>[2]</sup>利用一个二层线性准地转定常模式,研究了去除青藏高原雪盖在大气中产生的准定常扰动。去除雪盖后,很多物理量发生了变化。Zhang Zhengqiu 等<sup>[3]</sup>认为增大青藏高原积雪深度和增大地面反照率均使东风急流强度减弱,高原南部降水减少,高原对流层上层(100 hPa)大气温度升高。刘晓东等<sup>[4]</sup>认为青藏高原主体范围内的地表反照率增大将造成东亚夏季风减弱。

本文利用钱永甫有地形五层原始方程模式<sup>[5]</sup>与颜宏复杂地形条件下有限区域细网格模式<sup>[6]</sup>进行嵌套,参照卫星雪盖资料并假设青藏高原东部及南侧夏季基本被积雪覆盖,对东亚大气环流影响作了数值试验,以进一步探讨这种极端积雪情况下对夏季东亚大气环流及气候造成的影响。

### 1 数值模式及初边值条件

粗网格模式采用钱永甫有地形  $p$ -原始方程模式<sup>[5]</sup>,初始资料取 ECMWF 多年平均的 100 hPa、300 hPa、500 hPa、700 hPa、1 000 hPa 的高度场和 300 hPa、500 hPa、700 hPa、850

hPa 的湿度场。积分的初始时刻取为 6 月 26 日 12 时(世界时),积分 5 d 后达到准稳定态。

细网格模式的动力学框架和各种物理过程,见颜宏复杂地形条件下  $p$ -混合坐标的有限区域方形细网格模式<sup>6)</sup>。初始场采用大网格计算 5 d 后的 100 hPa、200 hPa、300 hPa、500 hPa、700 hPa、850 hPa、1 000 hPa 的高度场和湿度场。在垂直和水平方向与大网格不重合的格点上采用样条插值取得,细网格模式每计算 24 h 从大网格取得一次边界值。该嵌套系统对夏季东亚大气环流模拟效果较好<sup>7)</sup>,模拟的 7 月东亚高度场与实况吻合(图略)。

比较积分 240 h 与 720 h 的结果发现两者很接近,故以积分 240 h 作为结果分析。先不考虑高原雪盖的作用,计算 10 d 求得平均值;再考虑有雪盖状况,计算 10 d 求得平均值,用有雪盖的结果减去没有雪盖的结果,进行对比分析。

## 2 反照率参数化方案

在颜宏模式中引入刘晓东等<sup>8)</sup>的地面有积雪时的反照率参数化方案并修改成

$$s = \begin{cases} s_b + \frac{S}{S_c} (s_c - s_b) & s < s_c = 1 \text{ g cm}^{-2} \\ s_c & s \geq s_c \end{cases}$$

其中:  $s$  为地表有积雪反照率(试验用不同下垫面的反照率见表 1);积雪量  $s$  是由降水率  $p_s$ 、融雪率  $s_m$  及雪面上的升华率  $E_s^*$  所确定的一个诊断量;  $\frac{S}{t} = p_s - s_m - E_s^*$ , 本文取  $\frac{S}{t} = 0$ 。

表 1 不同下垫面的反照率

Table 1 Albedoes for a range of underlying surfaces for the experiment

	林草、耕地	森林	草原、干草	荒漠	沙漠	冰原山地	水	陆冰	海冰
无雪 $s_b$	0.12	0.10	0.13	0.20	0.25	0.19	0.07	0.45	0.80
有雪 $s_c$	0.50	0.41	0.58	0.53	0.55	0.70	0.07	0.45	0.80

试验中青藏高原夏季雪盖分布是以国际卫星云气候计划(ISCCTP)(1983~1990 年)全球雪盖面积资料为依据,由资料表明,7 月青藏高原西部雪盖面积的年际变化很小,而东部和南侧多雪年和少雪年差异很大,故本试验在青藏高原多雪年的基础上,东部雪盖范围比卫星资料略有增加,而且对积雪边界加以规则化,以便数值计算。如此积雪范围仅作为一种理想和极端的情况(如图 1 所示)。

## 3 结果分析

### 3.1 气压场及高度场的差值分析

从海平面气压差值分布(图 2a)可见:除高原北部以外,从高原中东部到我国东部、东北及日本基本上为正值区,最大正值中心(0.915 hPa)位于高原东部,与文献<sup>4)</sup>的结果一致。在 100 hPa 高度场差值图上(图 2b),青藏高原上空高压减弱,最低中心位于(30°N, 100°E)附近,而 105°E 以东为增压区,增压高值中心位于我国东北地区。可见在垂直方向,地面雪盖的影响可以达到 100 hPa 高度。

500 hPa 高度场差值(图略)与 100 hPa 形势大体相同,而 700 hPa 和 850 hPa 与对流层上层大致呈相反的形势变化,在 850 hPa 高度场差值图(图 2c)上,东部四川地区也出现一个 0.90 hPa 正值中心,高原北部高度场为负差值中心(-0.134 hPa),与海平面气压差值分布一致。

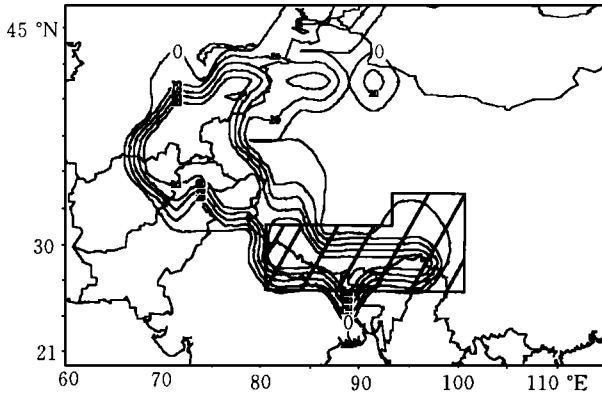


图 1 7月青藏高原雪盖面积百分率(%)

斜线区为模式模拟雪盖范围, 等值线间隔 20 %

Fig. 1 July percentage snow cover over the research area (dashed line), with the study part inside a hatched area, with contour interval of 20%

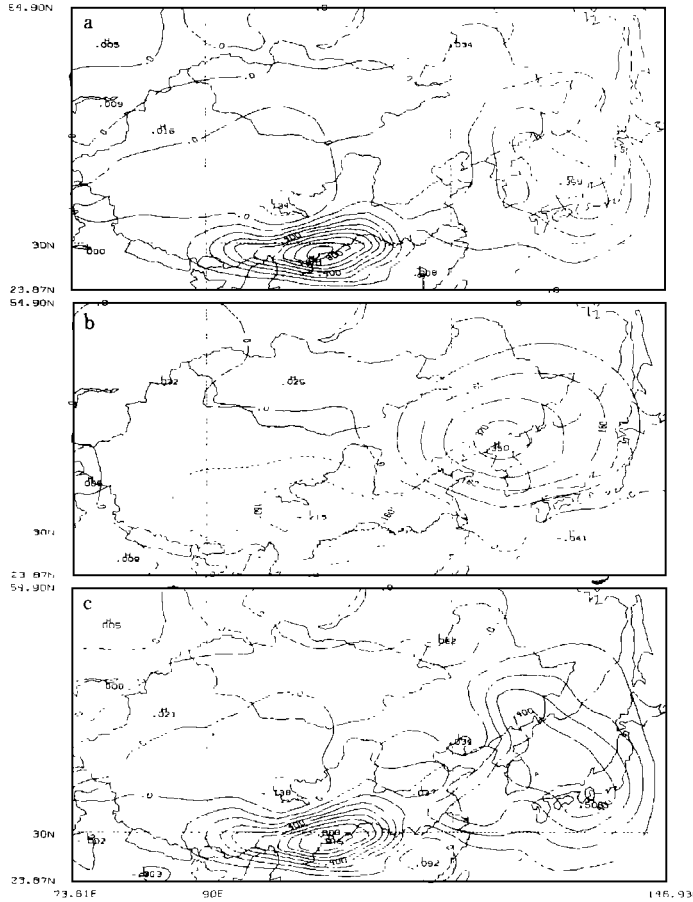


图 2 青藏高原 7 月有雪盖与无雪盖的海平面气压差(a)、100 hPa 高度场差(b)、850hPa 高度场差(c)

Fig. 2 Difference (snow cover minus no such cover) in sea level pressure (a) and 100 hPa height (b) and 850 hPa (c) in July



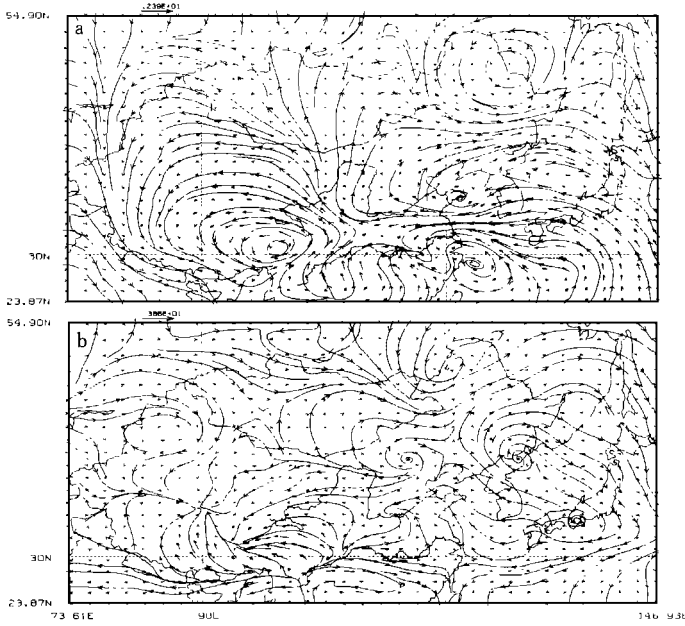


图 4 青藏高原 7 月有雪盖与无雪盖的 300 hPa 环流场(a)、850hPa 环流场差(b)

Fig. 4 Difference in streamlines at 300 hPa (a) and 850 hPa (b) in July

流差值场和湿度差值场(图 5) 的分布一致, 与文献 [4, 10, 11] 分析结果也基本一致。

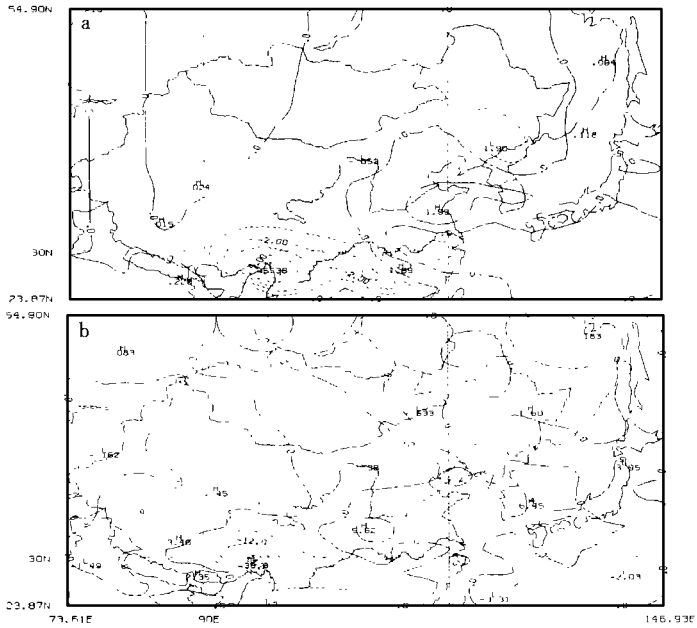


图 5 青藏高原 7 月有雪盖与无雪盖的降水差值(a)(单位:  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 和潜热通量差(b)(单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Fig. 5 Difference in rainfall ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and latent heat flux ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) shown in a) and b), respectively

潜热通量差值表现在高原东部为一个大的负值中心, 最低达  $-38.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而西部、南部和北部, 我国东部沿海到日本南部海域及江淮流域为正值区。与降水差值的分布正好吻合。可见高原的夏季雪盖, 反照率增大, 下垫面向大气输送的潜热通量减少, 使降水量减少或造成

降水的再分配。

## 4 结 论

通过青藏高原东部及南侧夏季理想化雪盖的数值试验,发现它对东亚大气环流和短期气候具有明显的影响,主要表现在

- (1) 夏季东亚地区海平面气压升高,高原对流层上层高度场降低,对流层下层高度场升高,而我国东部地区的高度场变化与此相反。
- (2) 高原对夏季东亚大气环流的加热作用减小,对流层下部东亚大部分地区出现冷夏,高原上空、长江中游和日本海地区对流层上层气温均下降。但山东半岛、华北和河套地区对流层上层气温升高。
- (3) 高层环流场的经向度增大,低层反气旋性增强,使东亚夏季风环流减弱。
- (4) 青藏高原中东部下垫面向大气输送的潜热通量减少。
- (5) 高原东部至东部沿海地区及日本南部降水明显减少。黄淮下游和新疆北部降水有所增大。

## 参 考 文 献

- 1 Blanford H F. On the connection of the Himalaya snowfall and seasons of drought in India. *Proc Roy Soc*, 1884, 37: 3 ~ 22
- 2 Vernekar A D. Response of a steady-state model for quasi-stationary perturbations to simulated anomalies at the Earth's surface. *J Atmos Sci*, 1981, 38(3): 531 ~ 543
- 3 Zhang Zhengqi, Li Weiliang, Chen Longxun. Numerical experiments on the effect of Qinghai-Xizang Plateau snow cover on summer monsoon formation. *The Chinese academy of meteorological sciences, Annual Report 1991 ~ 1992*, Beijing: Meteorological Press, 1992. 45 ~ 51
- 4 刘晓东. 青藏高原地表反照率变化对东亚夏季风影响的数值试验. *高原气象*, 1994, 13(4): 468 ~ 472
- 5 钱永甫. A five-layer primitive equation model with topography. *高原气象*, 1985, 4(2): 1 ~ 28
- 6 颜 宏. 复杂地形条件下嵌套网格模式的设计. *高原气象*, 1987, 6(2) (附增刊): 1 ~ 64
- 7 周琐钰, 陈万隆, 王革丽. 夏季我国高原植被气候效应的数值研究 I. 模式验证, 降水及流场效应分析. *南京气象学院学报*, 1997, 20(2): 158 ~ 164
- 8 刘晓东, 惠小英. 夏季青藏高原与热带西太平洋下垫面热源异常对中国短期气候的影响. *高原气象*, 1991, 10(3): 305 ~ 316
- 9 卢咸池, 罗 勇. 青藏高原冬春季雪盖对东亚夏季大气环流影响的数值试验. *应用气象学报*, 1994, 5(4): 385 ~ 393
- 10 陈丽娟, 吕世华, 罗四维. 青藏高原春季积雪异常对亚洲季风降水影响的数值试验. *高原气象*, 1996, 15(1): 122 ~ 130
- 11 刘晓东, 马柱国. 中国短期气候变化的一个重要原因——青藏高原地表反射率的变化. *热带气象学报*, 1996, 12(3): 240 ~ 245

# NUMERICAL STUDY ON EFFECTS OF TIBETAN SNOW COVER UPON ATMOSPHERIC CIRCULATION OF EAST ASIA IN SUMMER

Bianba ciren Chen Wanlong Zhou Suoquan

(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Wang Geli

(Inner-Mongolia Center of Climate, Hohhot 010051)

**Abstract** A numerical experiment was conducted in terms of a nested mode composed of Qian's prototype (1985) and Yan's model (1987) with an improved snow-cover albedo parameterization scheme introduced to investigate effect on east Asian atmospheric circulations of east/south in summer. Tibetan snow cover available in summer in an idealized condition. Evidence suggests that the model atmosphere is highly sensitive to the cover-caused thermal anomaly: the low-level altitude (the upper level altitude) is heightened (lowered) as opposed to the change in the corresponding surfaces in east China; cool summer and weekend summer monsoon circulation occur in much of east Asia; rainfall is greatly reduced from east China to south Japan in contrast to the coastwise Huanghe-Huaihe plains and northern Xinjiang.

**Keywords** snow cover, Tibetan Plateau, atmospheric circulation, numerical experiment