

# 青藏高原人工水汽通道对西北地区夏季降水及环流的影响\*

## I. 对降水过程个例的模拟试验

陈红 孙建华 赵思雄 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**摘要** 为探讨用人工方法在青藏高原地区打开水汽通道后, 对西北地区夏季降水及环流的影响, 我们使用我国有限区域模式对1998年汛期降水的个例做了模拟试验。结果表明, 在青藏高原上打开通道对我国汛期降水有所影响, 但要使西北地区降水增加, 改变该地区的干旱缺水状况, 效果是很不明显的。

**关键词:** 大气数值模式; 降水; 青藏高原

## 1 引言

西北地区是我国降水量最少的地方, 也是北半球同纬度带降水量最少的地方。在南疆和内蒙古西部, 由于降水奇缺, 形成了塔克拉玛干、腾格里等许多大沙漠。干旱是西北地区天气气候的最主要的特点, 也是最重要的自然灾害<sup>[1]</sup>。

西北地区紧靠青藏高原的北侧。作为一个庞然大物, 青藏高原大体覆盖(70~105°E, 25~45°N)的广大地区; 其平均海拔4 000 m以上, 是世界上最高的高原。青藏高原这样庞大的地形分布, 与世界上最大的季风区——亚澳季风区的出现有很密切的关系, 并且对全球气候也有重大影响, 特别是对我国以及东亚地区的灾害性天气气候的形成有重要作用。世界上副热带地区为环球的高压带, 多为干旱沙漠区, 而同一纬度上的我国云南与广东却是例外, 属于多种甚至珍稀动植物繁衍的场所。世界上与我国西北地区处于同一纬度上的地带不乏富饶的农牧之区, 而我国西北却干旱缺水, 这也与高原的作用有关。

直观地讲, 高原地形的存在首先是起了阻挡作用。我们注意到, 青藏高原和帕米尔高原连接在一起, 把热带潮湿空气阻隔在高原南侧, 把极地冷空气阻隔在高原北侧, 使我国的干旱区位于西北一带<sup>[2]</sup>。位于青藏高原北部的西北地区, 多数地方年降雨少。造成较大影响的降水过程, 其日雨量往往低于全国性的50 mm/d的暴雨标准。因此, 有些省、地气象台甚至作过补充规定(除西北地区东南部外), 把日雨量达到20 mm或30 mm亦作为重要天气对待, 由此可见一斑。所以一般认为, 高原大地形总体上对西

2001-01-15 收到, 2001-08-03 收到修改稿

\* 中国科学院百人计划“自然控制论研究”资助

北降水不利,是造成西北干旱,降水少暴雨更少的主要原因。

干旱是由于较长时间的少雨天气所致,属于一种天气过程长期的统计行为。甘肃中部地区的群众中流传着,“三年两头旱”,“三年一小旱,十年一大旱”的说法。对作物生长而言,干旱主要是由于土壤干旱造成的。虽然土壤干旱与大气干旱、土壤含水量、土壤性质、蒸发以及作物品种有关,但是一般来说,大气干旱是造成土壤干旱的主要原因<sup>[1]</sup>。因而,有一种设想,如果在青藏高原上某处从南向北打开一条通道,是否会有利于热带季风区丰富的水汽沿通道向北输送,使西北地区降水增加,从而缓解那里的干旱形势?这种大胆的想法是可以理解的,但是要实现起来却不是一件简单的事情。第一,国家需要投入巨资。第二,效果如何无法事先得知。为慎重计,有必要首先对这种想法的可行性做些探讨。大气环绕全球,瞬息万变,而青藏高原又是庞然大物,上述问题难于在真实的自然界中进行实验。然而,由于现代计算机技术的飞速进步以及各种大气数值模型的出现,利用大气数值模式通过计算机来做数值模拟,也许是一种值得尝试的途径。为此,本文采用数值模式来对这一问题进行研究,以对上述设想的可行程度作一探讨,同时希望弄清如果打开通道后,我国夏季汛期降水尤其是西北地区降水会出现什么样的变化。

## 2 选例及其天气形势

6、7月正值我国汛期,夏季风已爆发,印度和孟加拉湾地区水汽非常充沛,而且1998年东亚梅雨很明显,所以本文选取1998年6月24~25日,7月6~7日以及7月16日这3次过程作为试验的例子。这3次过程都伴有丰富的水汽来到喜马拉雅山南麓,降雨遍及尼泊尔、孟加拉、印度东北地区以及我国横断山脉地带,甚至北至西藏东部以及青海和四川西部。如果打开一条南北通路能够使水汽北上的话,上述这类过程应该是最有利的形势。

1998年夏季,西太平洋副热带高压非常强大,但位置持续偏南偏西。亚洲中高纬度环流异常,阻塞高压活动频繁,欧亚大陆中高纬度经常维持阻塞形势,西风带经向环流占绝对优势,有利于夏季西伯利亚弱冷空气频繁南下。对流层中低层低涡切变线活动频繁,是造成1998年强降水的主要天气系统。1998年6月24~25日正值长江第一阶段梅雨,西太平洋副热带高压向北、向西推进,控制了华南的大部分地区,西南暖湿气流与南下冷空气交汇在江南北部和中部,切变线和低涡位于长江中下游沿岸,致使江南北部、长江中下游地区和华南西部出现了持续性的大到暴雨。7月6~7日,乌拉尔阻塞高压已崩溃,中高纬为两槽一脊形势,贝加尔地区为脊区控制,加上副高的北抬与西伸,有利于我国北方和长江上游,即四川盆地的降水,而长江中下游地区降水结束。7月16日雨带位于黄淮和长江上游,长江中下游地区也开始出现降水。7月6~7日和7月16日孟加拉湾地区也出现了强降水,48h中心雨量达到了150mm以上。

## 3 模式简介

我们先考虑一个最理想的简单化通道情况,即在青藏高原上沿南北方向打开一条东

西方向宽度相等的通道,且通道底高与海拔高度相同。为此,我们使用具有陡峭地形的数值天气预报模式<sup>[3]</sup>,这种模式把地形表示为三维阶梯状,在模式内部形成侧边界。另外,该模式还应用了 IAP-GCM 模式的静力扣除方法<sup>[4,5]</sup>,以减少地形坡度带来的计算误差以及保证算得的水密度为正。这个模式后来又做了许多改进,用于夏季降雨短期数值预报工作中<sup>[6,7]</sup>。

模式物理过程主要包括:大尺度凝结降水、Betts 对流调整和对流降水、水平扩散和垂直通量输送、边界层参数化。

## 4 试验方案设计

在本工作中,模式水平分辨率取  $1^\circ \times 1^\circ$  (约为 75 km),垂直方向分为 11 层。模式计算的范围为 ( $70 \sim 110^\circ\text{E}$ ,  $10 \sim 50^\circ\text{N}$ ),包括整个青藏高原。所用的初值为 NCEP 资料(不包括雨量资料)。资料要素具体包括:位势高度、水平风速、温度、相对湿度 ( $300 \sim 1000 \text{ hPa}$  有资料)和地表气压。积分时间为 48 h。

为讨论青藏高原对我国汛期降水,尤其是西北地区降水的影响,本文特设计了以下的试验方案,即实有地形预报试验、东通道、中部通道和西通道的预报试验方案:

试验 1: 实有地形预报试验,包括完整青藏高原地形和较完全的物理过程。

试验 2: 假定 ( $89 \sim 92^\circ\text{E}$ ,  $10 \sim 50^\circ\text{N}$ ) 间的地形高度为 0,即从孟加拉湾至青藏高原北部沿南北方向打开一条东西宽为 3 个经度的通道,也就是说在高原中部开一通道,简称通道 1。

试验 3: 假定 ( $95 \sim 98^\circ\text{E}$ ,  $10 \sim 50^\circ\text{N}$ ) 间的地形高度为 0,即在高原中东部开一南北向的通道,简称通道 2。

试验 4: 假定 ( $98 \sim 101^\circ\text{E}$ ,  $10 \sim 50^\circ\text{N}$ ) 间的地形高度为 0,即在高原东部开一南北向的通道,简称通道 3。

试验 2~4 中,由于通道内地形高度为 0,故将地面气压用标准海平面气压替代,大体取为  $1013 \text{ hPa}$ ,其他初始值与试验 1 相同。图 1 为试验 1~4 中沿  $33^\circ\text{N}$  的地形剖面图。

## 5 试验结果

图 2a、b 是试验 1 中以 1998 年 7 月 16 日 00 时为初值的 48 h 雨量预报与实况。实况图上,印度孟加拉湾地区部分测站缺雨量资料,使图中雨带不连续,实际雨带位于印、缅、东南亚至孟加拉并延伸至我国西藏东南和滇、川西地区。模式成功地预报出了这个雨带,强降水中心与实况较一致,位于孟加拉湾,中心雨量达两天  $100 \text{ mm}$  以上,说明这个降水预报是有参考价值的。由于该模式在降水预报方面所具有的能力,可用它来实施本文中的其他试验方案。

对试验 2~4,分别计算 3 次暴雨过程中去掉部分地形与未去掉地形试验(即实有地形试验)所模拟的降水差值。图 3 是 7 月 16 日打开通道 1 后(即试验 2)所模拟的 48 h 降水与有实有完整地形(即试验 1)时所模拟的 48 h 降水之差值图,可以清楚地

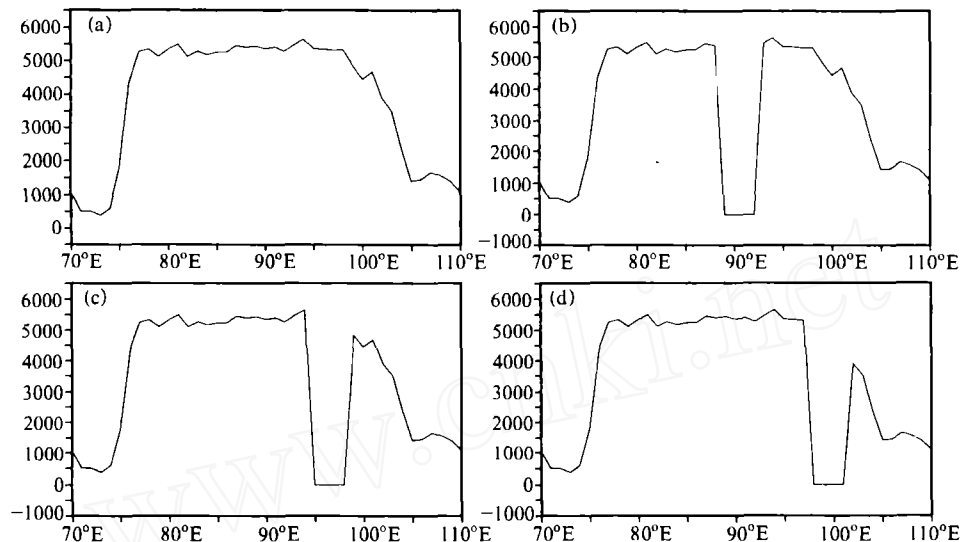


图1 地形剖面图(纵坐标单位: m)  
(a) 试验1; (b) 试验2; (c) 试验3; (d) 试验4

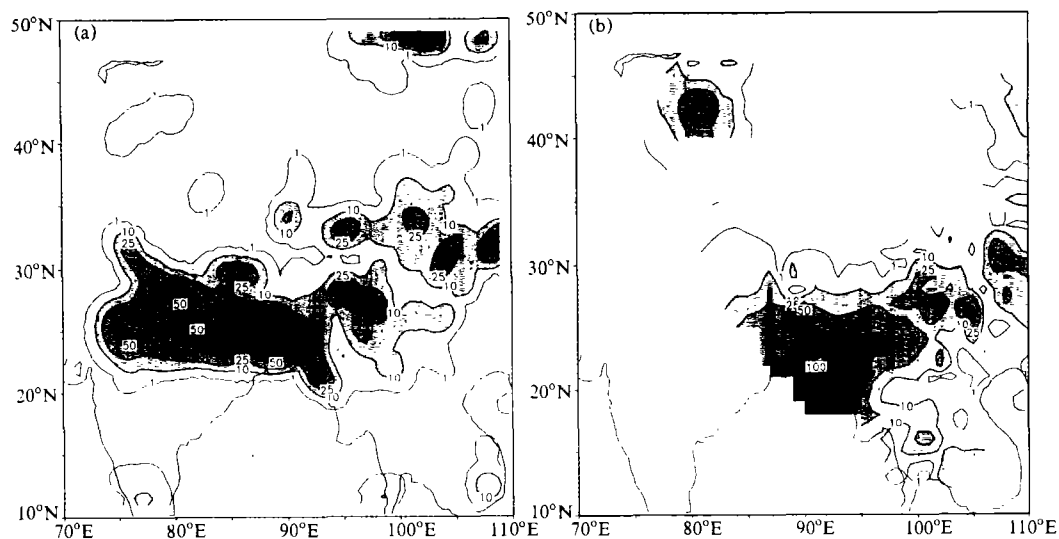


图2 以1998年7月16日00时为初值的48 h雨量预报(a)与实况(b)

看到, 通道内降水量差值有正有负。孟加拉湾地区为负距平, 降水减少。日喀则至拉萨一线为正值, 即开了通道后该地区降水有所增强, 但值不太大, 为两天 10 mm。通道内其他地区基本为负值。在通道东侧我国境内, 除紧靠通道边缘的地区和四川南部外, 大部分地区都为负值, 即降水减少。降水减少可能是由于打开通道后, 来自孟加拉湾的部分水汽沿通道向北输送, 致使沿高原南侧向东北偏东方向输送的水汽减少的缘故。从 850 hPa 风场矢量图(图 4)上也可发现, 通道内有暖湿气流向北输送, 与沿通道南

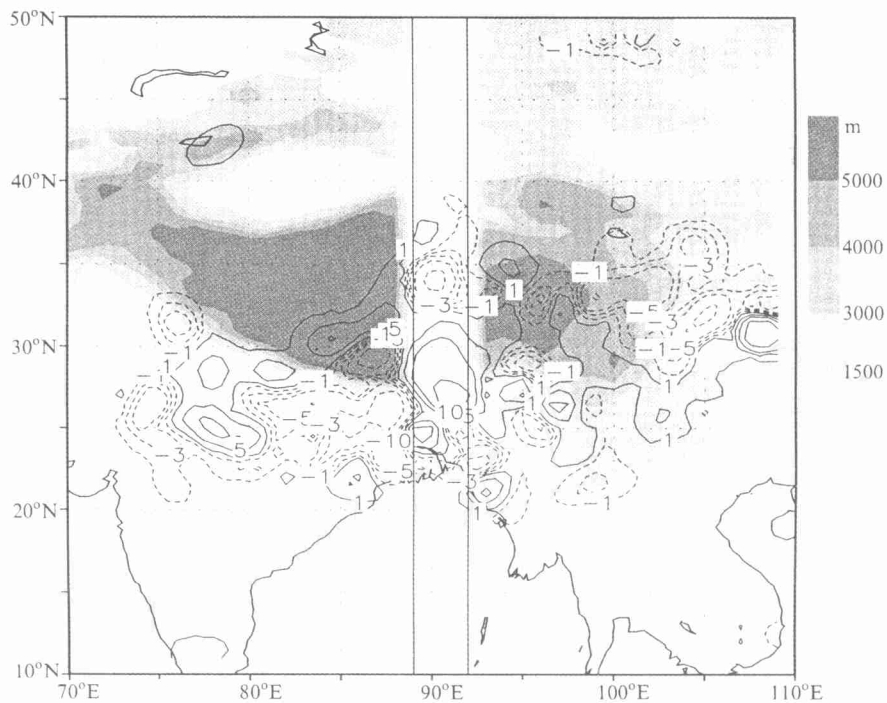


图3 试验2和试验1模拟的48 h降水差值

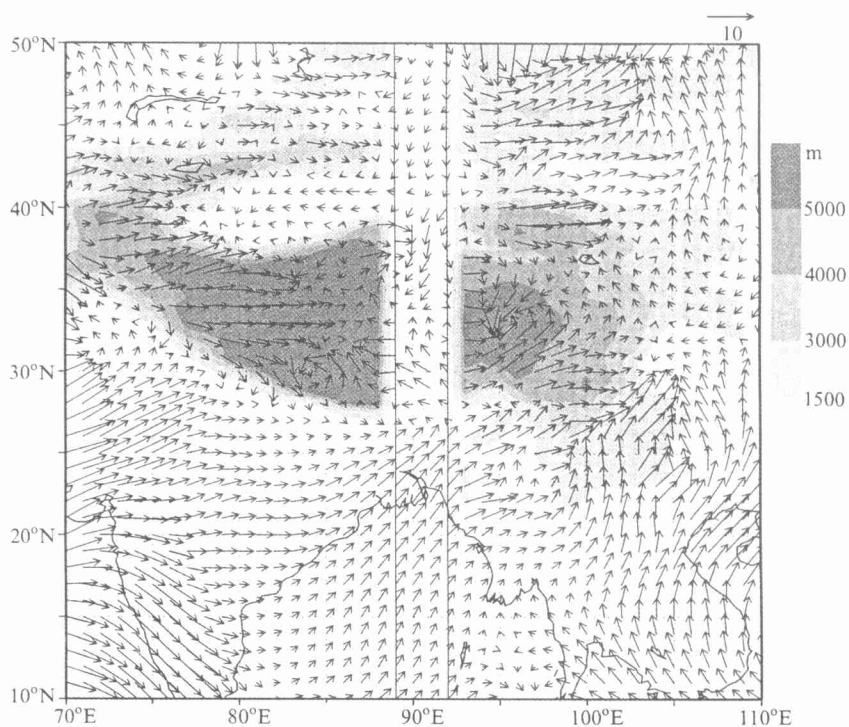


图4 试验2的850 hPa风场矢量图

下的北方冷空气交汇,致使通道内有些地区降水增加,但暖湿空气输送只到达 $35^{\circ}\text{N}$ 附近,到不了更北的地区。打开通道对西北地区降水影响很小,只有小部分地区降水增加几个毫米,难于减轻那里的干旱状况。从整层的水汽通量辐合图(图略)上也可发现,挖了通道后,孟加拉湾地区水汽辐合明显减弱,导致降水减少。我国西北地区水汽辐合无多大变化,故降水也没有明显的变化。

图5是开了通道2后所模拟的48h降水与包含实有完整地形时模式所模拟的48h降水之差。可以发现,通道内降水差值有正有负。通道东侧四川盆地降水增加,秦岭以南地区降水减少。西北地区降水变化不大。850 hPa风场矢量图(图略)上,在通道内有暖湿气流向北输送,但由于受周围高原地形及原气流流向(东北偏东)和北方南下冷空气的影响,暖湿气流不能输送得太远,所以对 $35^{\circ}\text{N}$ 以北的北方地区影响不大。

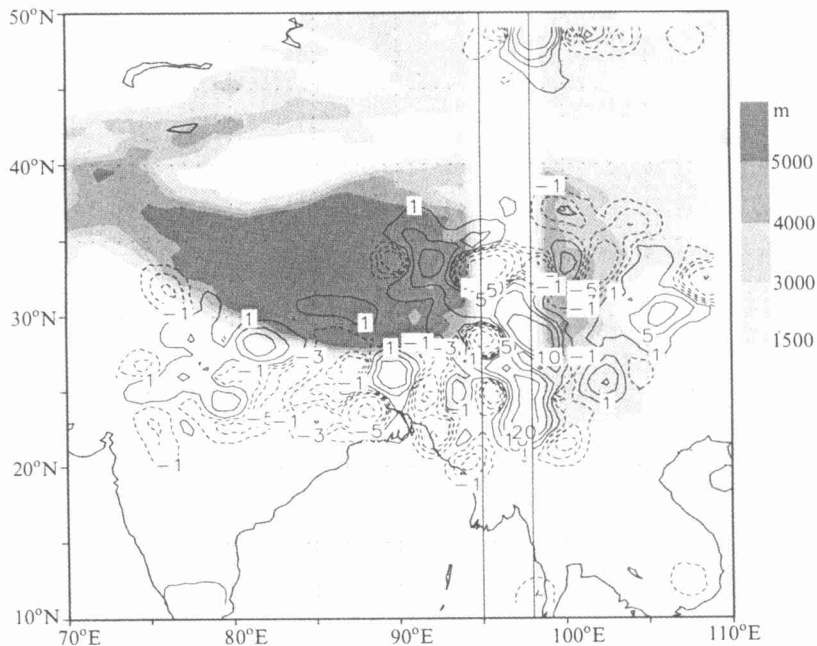


图5 试验3和试验1模拟的48h降水差值

从开了通道3后所模拟的48h降水与包含实有完整地形试验所模拟的48h降水之差值图(图略)上可以发现,通道内横断山脉北侧降水增加,其他地区基本减少。通道东侧四川盆地降水增加,北部的兰州、秦岭一带降水减少,通道西侧 $34^{\circ}\text{N}$ 附近降水略有增加。

最后,我们给出以6月24日、7月6日和7月16日为初始场的3个个例的平均图。图6是3个个例打开通道1后所模拟的48h降水增量的平均图。可以发现,通道内南侧的孟加拉湾地区降水减少,日喀则与拉萨之间的区域降水有所增加。通道东侧大部地区降水减少。我国西北仅昆仑山脉北部及唐努乌拉山不大一部分地区降水增加,说明若能打开如此大的通道,使长江源区局部地区降雨量增大也许有可能,但其他地区雨量减少,得失似乎相当。从3个个例开了通道2后所模拟的48h降水增量的平均图

(图略)上可以发现, 通道内  $23^{\circ}\text{N}$  左右降水增加, 玉树一带降水减少, 横断山脉北侧降水增加,  $37^{\circ}\text{N}$  即格尔木一带降水增加。通道东侧降水量减少。西北地区降水有增有减。开了通道 3 后, 通道内横断山脉北侧降水增加, 其他地区基本为负。通道东侧, 四川盆地一带降水略有增加, 其他地区有增有减, 但基本为减。增加量为  $1\text{ mm}$  左右。

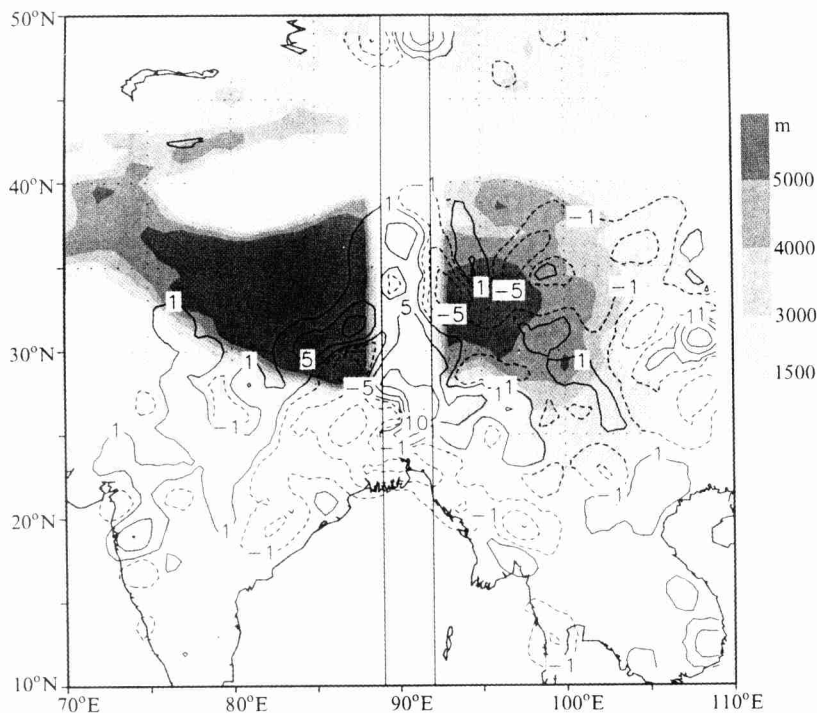


图 6 试验 2 和试验 1 模拟的 3 个个例平均的 48 h 降水差值

综上所述, 尽管打开通道后, 对我国汛期降水 (高原附近) 有所影响, 但效果并不完全为正, 也有负面的影响。对西北地区的降水影响不大。

为了较深入地分析打开高原通道对西北降水影响的原因, 我们分析了一些垂直速度的剖面图, 以探讨高原附近的气流对降水的影响。图 7 分别为试验 1 和 2 中所预报的 5 个个例 (6 月 24~25 日, 7 月 6~7 日, 7 月 16 日) 平均的沿  $95^{\circ}\text{E}$  的垂直环流图, 图中流线是由  $v$  分量和  $w$  分量合成的。从图 7a 可以看出, 高原南侧为很强的上升气流区, 上升气流在对流层上部流向南方, 这是典型的夏季风环流。高原地区也为弱上升气流区。紧靠高原北侧气流下沉, 高原以北整个地区气流来自北方——亚洲内陆地区, 且平均的大范围气流为下沉, 这是我国西北为干旱气候的主因。打开通道 1 后, 垂直环流没有多大的变化 (图 7b), 高原北侧还是为北风及下沉气流所控制, 说明挖通道后, 对高原附近的气流没有多大的影响, 故不会改善西北地区的降水。

## 6 讨论

本文利用数值天气预报模式, 对 1998 年汛期的暴雨个例进行了模拟试验, 讨论青

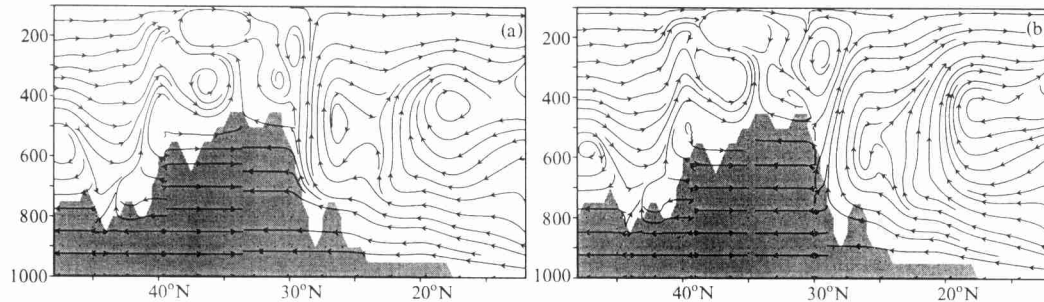


图7 沿95°E的垂直环流图

(a) 试验1; (b) 试验2

藏高原对我国尤其是西北地区汛期降水的影响, 初步得出以下一些看法:

(1) 在夏季汛期, 模式对于降水(包括印、缅、孟和我国的降水)有较好的预报能力, 可用于做人工改变地形(如挖通道)对降雨影响的数值试验。

(2) 设想在青藏高原上打开3条通道, 模式模拟的48 h降水表明, 高原附近的降水有所变化, 但变化的范围不大, 雨量变化也不大, 仅几个毫米, 且有正有负, 说明就大范围来说, 没有确定的增量效果, 尤其是对40°N以北地区影响甚微。

(3) 在上述个例中, 孟加拉湾的水汽非常充沛, 但打开通道后, 西北局部地区48 h降水也仅增加几个毫米。

综上所述, 在高原地区打开通道后, 对于西北地区降水量未见显著的增加, 对水汽输送和降水量变化, 并非都是正的贡献, 缓解不了那里的干旱状况。

上述结果是由模式模拟得出的。由于模式在某些方面尚有不足之处, 以上结论仅供参考。当然本文的结果还有待于用更多的个例进一步证实。另外, 本文仅对1998年西北夏季的几次降水过程进行了模拟。但是, 对整个月份累计降水量, 即对较大降水, 较小的降水以及无降水产生情况的时间连续的模拟, 其结果又会如何呢? 这需要作进一步的讨论。本文第二部分将讨论这一个问题。

## 参 考 文 献

- 1 白肇烨, 中国西北天气, 北京: 气象出版社, 1988, 1~443.
- 2 西北暴雨编写组, 西北暴雨, 北京: 气象出版社, 1992.
- 3 宇如聪, 曾庆存, 彭贵康和柴复新, “雅安天漏”研究 II. 数值预报试验, 大气科学, 1994, 18(5), 535~551.
- 4 曾庆存, 数值天气预报的数学物理基础(第一卷), 北京: 科学出版社, 1979.
- 5 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Zhang Xuehong, Liang Xinzhong and Bao Ning, A global grid point general circulation model, short and medium range numerical weather prediction, Collection of Papers Presented at the WMO / IUGG NWP Symposium, Tokyo, 4~8 August, 1986.
- 6 赵思雄, 张宝严, 孙建华, 杜长萱, 陈红, 蔡则怡, 贝耐芳和王俊, 长江三峡工程大江截流时期降水短期数值预报的应用研究, “东亚季风和中国暴雨”——庆祝陶诗言院士80华诞, 北京: 气象出版社, 1998, 439~447.
- 7 陈红, 孙建华, 贝耐芳, 王俊, 张宝严, 杜长萱, 蔡则怡和赵思雄, 1998年中国科学院大气物理研究所气候与环境预测研究中心汛期暴雨短期数值预测, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 382~389.



## Impact of Artificial Water Vapor Channel on the Tibetan Plateau on Rainfall in Northwest China Part I: Numerical Simulation for Some Rainfall Cases

Chen Hong, Sun Jianhua, Zhao Sixiong and Zeng Qingcun

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

**Abstract** In order to discuss the impact of the Tibetan Plateau on the south-north water vapor transportation, the numerical experiments for some cases, including June 24~25, July 6~7 and July 16, have been conducted by using China numerical model. The results show that after the man-made channel for water vapor on the Tibetan Plateau was made, precipitation amount increased somewhat in middle-channel. The precipitation amount in Northwest China was not changed obviously, even decreased in this area in some cases. Therefore, the more research work should be done especially, monthly rainfall numerical experiments should be run. In Part II of this paper, these kinds of numerical experiments have been done and will be described.

**Key words:** numerical model; precipitation; Tibetan Plateau.