

初夏南海季风低压发展的数值试验*

容广坝 谭锐志

(广东省热带海洋气象研究所)

提 要

本文用热带有限区域 σ -坐标六层初始方程数值预报模式对1979年6月下旬一次南海季风低压的发展过程进行了数值模拟,试验结果表明,本例南海季风低压的发展对大地形不敏感,与南海台风的数值试验结果不同.削减湿度场的试验表明,季风低压的发展与大气中水汽含量密切相关,湿度减小,季风低压发展缓慢甚至发展不起来.积云对流过程及其潜热的释放对季风低压发展有显著影响,它使得低压区的上升运动加强,改变低压南侧的西南风强度,导致水汽及能量输送的减小,不利于低压的发展.低压的发展主要由积云对流所驱动.

关键词: 季风低压; 数值预报; 数值试验; 积云对流.

一、前 言

人们对季风低压的研究已做了不少工作,但以前所说的季风低压主要指发生在印度季风槽内的一种季风扰动系统,是与印度西南季风密切相关联的.近年来的研究发现,东亚夏季风盛行期,南海地区也有季风低压活动,它对我国华南及中南半岛的天气有严重影响.梁必骥^[1]、冯国柱^[2]、容广坝^[3]等人分别对南海季风低压的活动特征、涡度收支和能量平衡以及合成结构等问题作过初步研究,指出南海季风低压与印度季风低压的结构特征及其发生发展的环境背景有明显不同.刘四臣^[4]强调CISK机制是南海季风低压发生发展的主要机制.他们从不同角度揭示了南海季风低压的性质.但是以前的工作多局限于诊断研究,对于更深入地认识这种季风扰动系统发展演变的内在原因是不够的.我们知道,非绝热加热、大气湿过程及山脉地形和环境场等对南海季风低压的形成发展都有影响,但对它们所起作用的相对重要性尚缺乏了解.因此,使用一个包含这些物理因子在内的有效模式对这种系统进行数值试验就有着特殊的意义.

探讨对南海季风低压作数值天气预报的可能性无疑是十分重要的.实际上,MONEX试验计划的主要目标之一就是研究季风区作数值预报的可能性.早在1976年,Krishnamurti^[5]就曾使用原始方程模式对孟加拉湾一个季风低压作数值模拟,但这以后的进展并不太大,这主要是由于热带地区缺乏资料和物理过程过于复杂给问题带来了困难.至于南海季风低压,这方面的工作更是鲜见.

基于上述两点,本文使用广东热带海洋气象所的热带有限区域 σ -坐标初始方程六层数值预报模式(简称为(TL-6))对1979年6月下旬一次南海季风低压的发展过程

1989年3月24日收到,7月19日收到修改稿.

* 国家气象局季风科研基金资助项目.

进行了数值模拟. 主要工作包括: (1) 用实测资料作 24 和 48 小时的数值预报, 预报场包括运动场、温度场、水汽场和降水; (2) 去掉地形的试验(称 T 试验); (3) 无积云对流过程的试验(称 C 试验), 并在这个试验中, 计算了有无积云对流过程时, 低压内部的能量转换过程; (4) 削减大气水汽含量试验(称 M 试验); (5) 削弱低压环境场中西南风的试验(称 S 试验).

二、数值预报结果的讨论

6 月 21 日 08 时, 该季风低压已在南海西部基本形成(中心位置在 15.7°N , 110.3°E), 并进入发展阶段, 当时低层(850 hPa)的天气形势有三个特征: (1) 西太平洋副热带高压强盛, 高压脊伸至我国内陆; (2) 印度—南海为一季风槽带; (3) 槽南侧有强烈的西南季风气流(20°N 以南), ITCZ 弱而偏东偏南. 这是一个典型的季风低压(见图1).

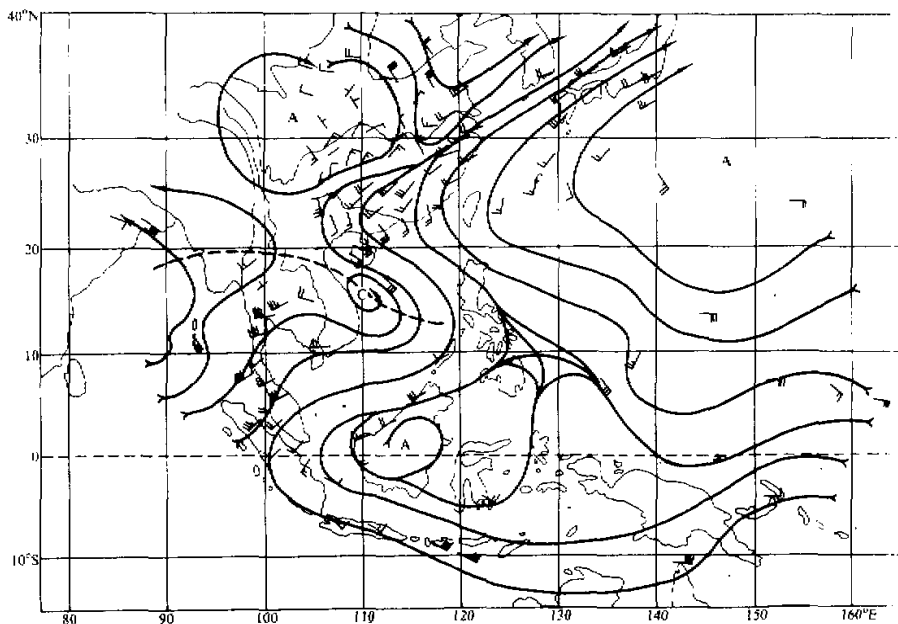


图1 1979年6月21日08时(北京时间)850 hPa 的形势

本文用 6 月 21 日 08 时的资料作为初始场, 作了 24 和 48 小时的数值预报(称 F 试验), 输出结果有各层的风场、温度场、湿度场及降水量. 从 24 和 48 小时的预报形势可以看出(图略), 中心略偏离实况, 但强度、温度与湿度的距平场, 与实况基本一致. 低压垂直轴明显向南倾斜. 而且 24 小时的预报优于 48 小时的预报. 至于对流层较高层的预报场则报得偏大了一些, 可能是由于参数化中没有考虑降水和云的蒸发的缘故. 湿度场的预报更接近实况(图略), 低压附近的高湿区很清楚, 只是中心所在高度比实

况略高一些。48 小时的预报与此类似，只是高层的预报中，增温更大些，看来需要考虑更细致的参数化方案。从 48 小时的降水量预报图可以看出，南海季风低压引起的降水比较集中，海南岛北部及华南沿岸陆地降水量都比较小，这与低压中心附近的上升运动区比较狭窄是一致的； 19°N 以北上升运动区很微弱，实际海南岛也有小雨（图略）。

以上结果说明，用这个包括积云对流、地形影响、大尺度凝结等主要物理过程的模式作初夏南海季风天气系统的数值预报，其所得的结果与实况基本相符，是可信的。

三、各类控制试验及其结果的讨论

根据过去对南海季风低压的研究结果，考虑到低压的发生发展与积云对流过程、西南季风的强弱、水汽的输送、地形等有直接关系，故分不同情况作如下试验：

(1) T 试验：本试验主要是分析地形对南海季风低压发展的影响。在试验中，去掉地形的影响、保留其它过程。试验结果表明，低压的强度、位置均与完全数值预报结果比较一致， 30°N 以南，环境流场的预报也与实况比较一致，但其中高原东侧对流层中下层及 30°N 以北的环流形势，保留地形与去掉地形之间的差别较大（图略）。在去掉地形之后，高原东侧的低压环流特别强， 30°N 以北中层（500 hPa），则环流平

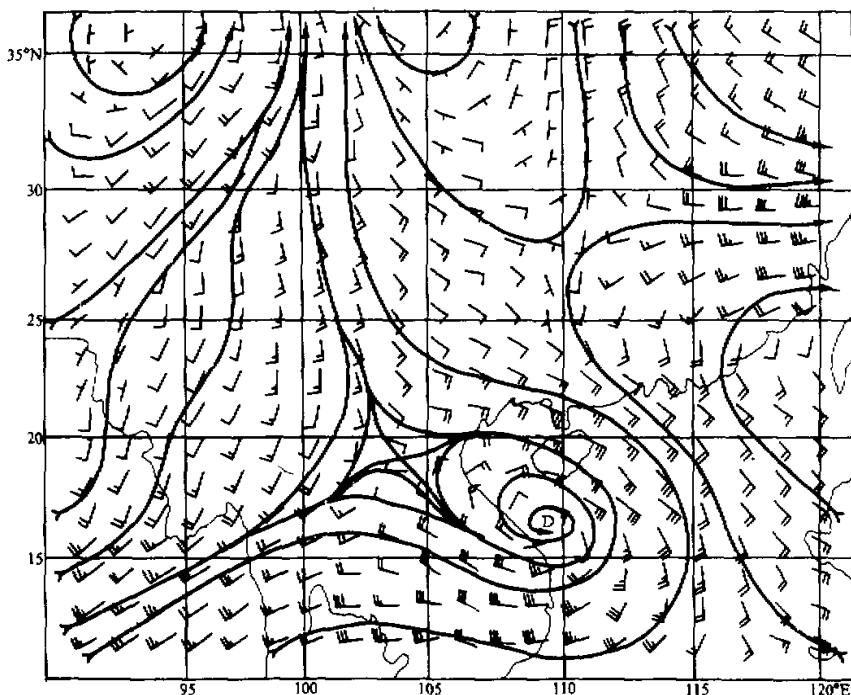


图2 去掉地形后的850 hPa 24小时预报形势(1979年6月22日08时)

直, 积分时间愈长, 差异愈明显, 说明大地形对中高纬度的环流影响明显, 但对南海季风天气系统的发展影响不大, 可能是由于南亚地势不高, 初始场用的是实时资料以及短期内风场中的地形效应仍然存在等缘故. 因此在作南海季风天气系统的短期数值预报时, 为使问题简化, 可不考虑地形的影响, 但随着时间的延长, 地形效应是需要考虑的. 至于 24 和 48 小时的垂直环流, T 试验与 F 试验的结果也无大的差异.

(2) C 试验: 本试验主要是去掉积云对流过程而保留 F 试验中的其它过程, 以便探讨积云对流过程中潜热释放对季风低压发展的贡献. 图 3 是 850 hPa 24 小时风场输出的结果. 从图中可以看出, 副热带高压的位置、强度及中纬度 (30°N) 以北的环流与 F 试验结果相一致. 但是积分 48 小时之后, 低压强度比之有积云对流过程时有显著减弱, 低压环流缩小, 近中心风力只有 $2-4\text{ m/s}$. 低压中心附近的垂直上升运动明显减弱, 中心所在高度降低 (从 300 hPa 降至 500 hPa). 说明南海季风低压的发展受积云对流的影响很大, 比 F 试验的强度要弱得多.

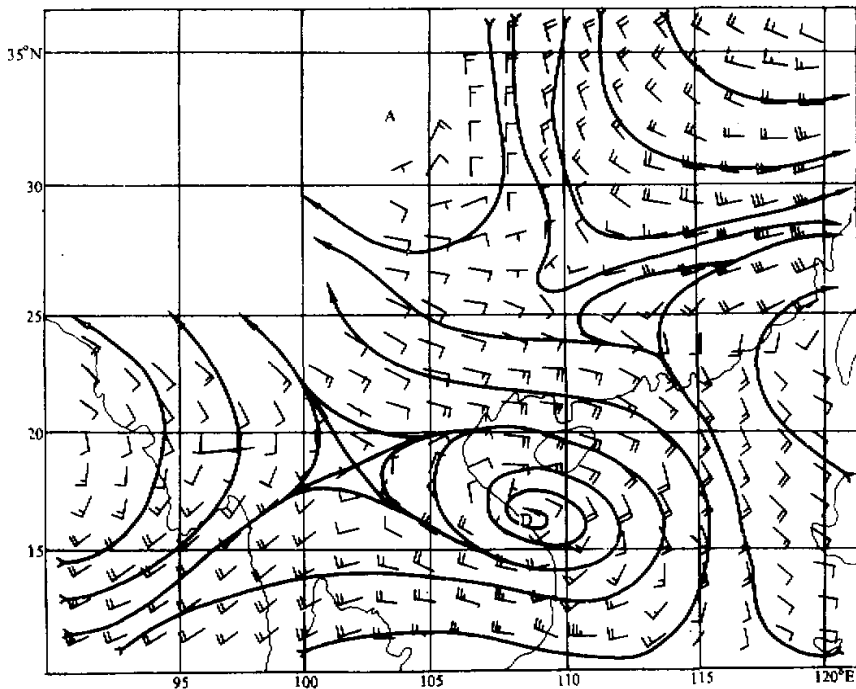


图 3 去掉积云对流过程后的 850 hPa 24 小时预报形势

为了进一步说明积云对流过程对南海季风低压发展的贡献, 在这一试验中, 计算了有无积云对流过程时低压内部能量的转换过程. 根据 Lorenz^[6] 推导的能量变换函数计算了 $\langle \bar{P} \cdot P' \rangle$, $\langle \bar{P} \cdot K' \rangle$, $\langle \bar{K} \cdot K' \rangle$, $\langle P' \cdot K' \rangle$, 其中 \bar{P} , P' , \bar{K} , K' 分别是一固定区域的纬向有效位能、涡动有效位能、纬向平均动能及涡动动能. 有效位能

的产生由两部分组成，一部分是纬向有效位能产生项 (\overline{G}_i)，另一部分是涡旋有效位能产生项 (G'_i)，下标“i”表示非绝热增温函数 H_i 的产生，这里主要包括稳定性增温（大尺度凝结）和对流增温（参数化形式）。根据 48 小时预报场在积分区内从 900—200 hPa 作积分，结果如图 4。

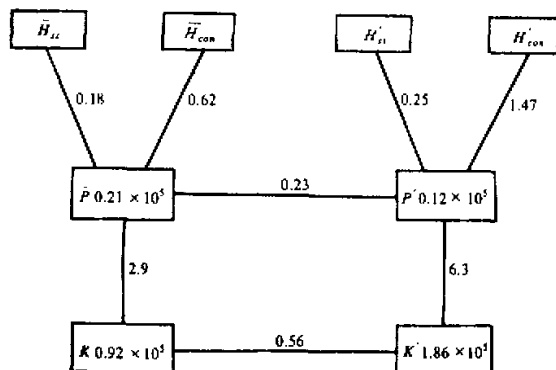


图 4 模式积分 48 小时后内部能量交换情况

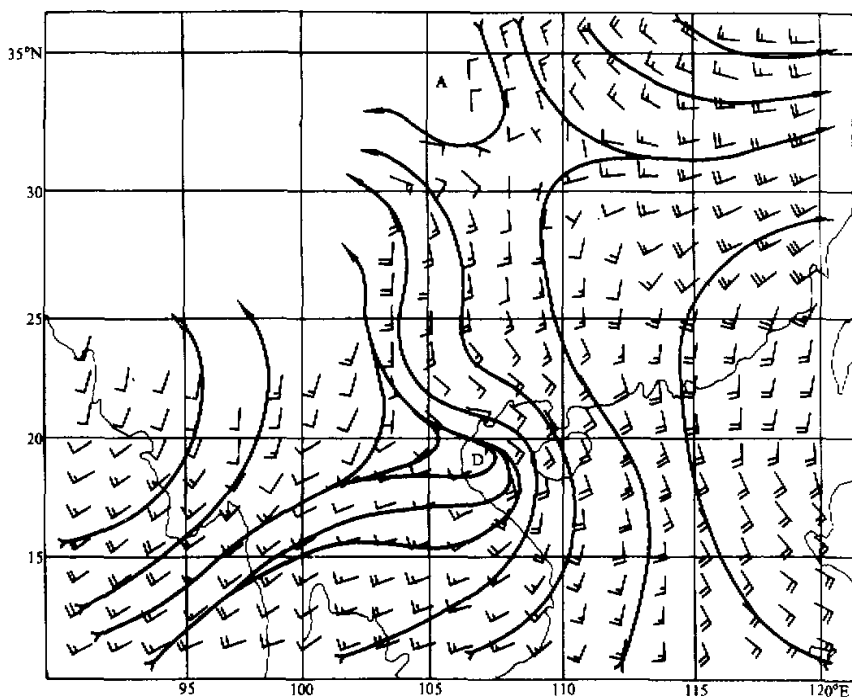


图 5 削减大气水汽含量 10% 后 48 小时的积分结果

由图 4 可以看出, 低压发展过程中, 斜压交换 $\langle P' \cdot K' \rangle$ 对涡旋动能 K' 的维持非常重要, 比正压过程交换率大得多, 在无积云对流过程的情况下, 斜压交换率也很小.

对流作用在生成项 $\langle \overline{H}_{con} \cdot \overline{P} \rangle$ 及 $\langle H'_{con} \cdot P' \rangle$ 中表现出来, 有效位能的产生, 主要靠积云对流增温 (在计算过程中略去了感热增温及辐射作用). 积云对流在低压上空对流层较高层次释放出潜热, 产生涡旋有效位能, 促使低压发展. 用 24 小时预报场作的同样计算, 其显著特点是所有量值都较 48 小时的结果为小. 其中又以涡旋动能和参数化对流增温产生的有效位能的量值最突出, 说明随着季风低压的发展, 各种能量交换增大, 对流增温对于有效位能的产生也越发重要, 它使得能有更多的有效位能转化为动能, 促使 K' 增大, 低压发展.

(3) M 试验: 本方案主要是削减大气的水汽含量而保留 F 试验的其它物理过程, 以便弄清季风低压的强度变化与大气水汽含量之间的关系. 第一步, 削减原大气水汽含量的 6%, 积分结果, 低压的强度及气旋性环流明显减弱 (图 5). 第二步, 削减水汽含量的 10%, 这时低压减弱更加明显, 积分 48 小时后, 低压填塞成了一个季风槽, 闭合环流基本消失. 低压已不清楚. 由此看出南海季风低压的强度变化对大气水汽含量的反应是很灵敏的.

(4) S 试验: 本方案主要是削弱低压西南象限环境场的西南季风, 保留 F 试验中的其它过程.

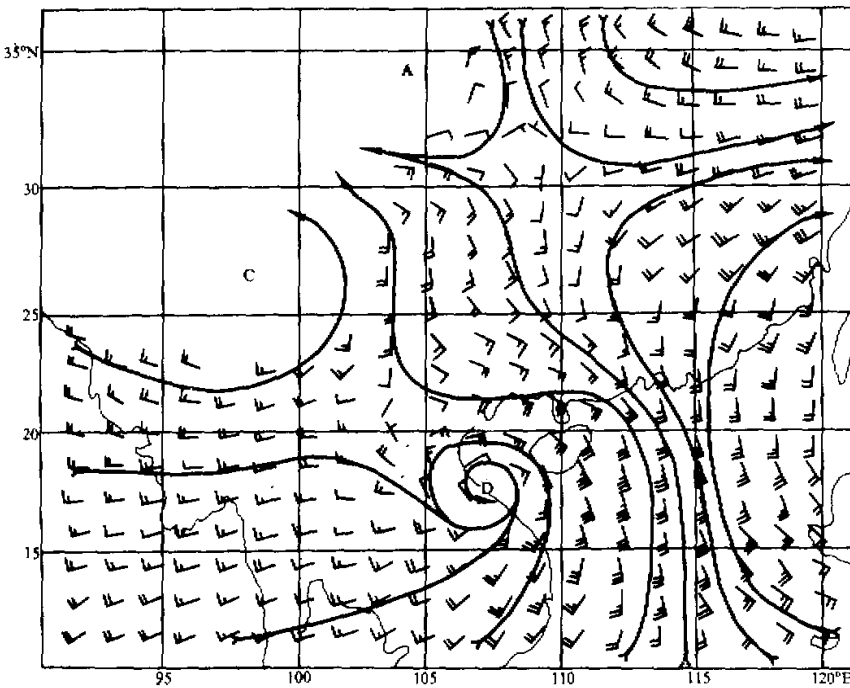


图 6 削减低压西南象限环境场西南季风后的 48 小时积分结果

南海季风低压是季风槽内的强扰动，从天气业务实践中可知，它的生消、移动等与西南季风的消长强弱有密切关系，所以本试验有助于我们弄清两者的进一步关系。在试验中，削减西南风风速的 $1/3$ ，由于西南风的减弱，输入低压内部的水汽量减少，积云对流减弱，潜热的释放减少，因而季风低压的发展受到较大影响。由图 6 可见，低压的气旋性环流比 F 试验明显减弱缩小，而且因积分时间长些，中心偏离实况稍大些。

后三个方案的试验结果都表明，无论是削弱西南季风还是削弱大气中水汽含量都会直接或间接地损害积云对流过程，其结果使季风低压的发展受到严重的影响，因此，南海季风低压发展的主要驱动力就是积云对流过程中释放出来的潜热，积云对流过程的强弱直接制约南海季风低压的发展。

四、结 束 语

通过上述试验，可以得到以下结论：本例南海季风低压的发展对大地形不敏感，这与南海台风的数值试验结果不同。削弱湿度场的试验表明，季风低压的发展与大气中水汽含量密切相关，湿度减小，季风低压发展缓慢，甚至发展不起来。积云对流过程及其潜热的释放对季风低压发展有显著影响，它使得低压区的上升运动加强。去掉积云对流过程，将严重影响季风低压的发展，经向环流大为减弱。积分 48 小时，低压不仅没有发展，而且趋于消亡。改变低压南侧的西南风强度，导致水汽及能量输送的减小，不利于低压的发展。低压的发展主要由积云对流所驱动。

本文使用的(TL-6)预报模式，仍在完善之中，目前，模式中还缺乏一些重要的物理过程如辐射、感热过程，这些已在调试中，但即便如此，通过多个个例的试算，证实该模式对于热带地区的天气系统与天气现象，特别是热带低压与华南降水，有较好的预报能力。从本文对南海季风低压所作的尝试中可以看到，结果是令人鼓舞的。本文所作的试验，目的在于检验各物理因子对南海季风低压发展的相对重要性，看来在短期预报中，地形作用是可以忽略的。但有趣的是，对南海台风作同样的预报时，却得出完全相反的结论，这其间的原因尚需作进一步研究，本文后三个试验结果，实际上与天气学分析结论是一致的。但可看出，南海季风低压的发展对大气中水汽含量非常敏感，水汽减少，不仅影响对流凝结，也影响大尺度凝结，这对于主要依靠潜热释放得到能量的南海季风低压的发展是最为不利的。从有无积云对流的内部能量交换过程也可知，稳定性增温比对流性增温要小许多，这就不难解释为什么去掉积云对流后，季风低压的发展强度受到如此严重的影响。

参 考 文 献

- [1] 梁必骥等，1985，南海季风低压的活动和结构特征，热带海洋，4，第4期，60—66。
- [2] 冯国柱、高志成，1980，南海季风低压的一个个例分析，全国热带夏季风学术会议文集，云南人民出版社，272—284。
- [3] 容广坝等，1985，南海季风低压的综合结构及其降水，热带气象 1，第4期。

- [4] 刘四臣, 南海季风低压的发生、发展机制 (待发表).
- [5] Krishnamurti, T.N., 1976, Study of a monsoon depression (11); Dynamical Structure, *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, No. 4, 208 — 225.
- [6] Lorenz, E.N., 1967, *The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere*, W. M. O., 161 pp.

NUMERICAL EXPERIMENT ON DEVELOPMENT OF MONSOON DEPRESSION OVER THE SOUTH CHINA SEA IN EARLY SUMMER

Rong Guangxun and Tan Ruizhi

(*Guangdong Institute of Tropical and Oceanic Meteorology*)

Abstract

This paper gives a successful numerical prediction (24h and 48h) for the development process of monsoon depression over the South China Sea. A series of numerical experiments has been done. The results show that the influence of topography is little. But other experiments including reducing moisture, cancelling cumulus convection process and weakening the southwesterlies to the south of the depression produce a decaying result of the depression. It is also found that the development of depression is basically driven by the cumulus convection process.

Key words : Monsoon depression ; Numerical forecast ; Numerical experiment ; Cumulus convection .