

暴雨系统数值预报初值中气象变量的相对重要性*

陈受钧 谢 安 肖文俊

(北京大学地球物理系)

提 要

修改初值中的某些变量,积分模式,与“对照过程”相比较,以确定在暴雨系统数值预报中一些变量的相对重要性问题。初始的水汽分布和边界层风场相对来说是不重要的。通过动力学上的联系,在积分 6—12 小时后能迅速的调整出和“对照过程”基本上一致的场。地面气压场是重要的。修改地面气压场后,预报的形势和降水量有根本性的改变。

一、引 言

初始状态的确定是数值天气预报中的一个重要问题。并不是每一个气象变量都是同等重要的。例如:“垂直速度”,无疑的对环流系统的发生发展以及云与降水等天气现象都起着重要的作用,但在数值预报的初值问题中,相对说来却是不重要的。取垂直速度为零的初值化方案也能得到较好的预报结果^[1]。这是因为在模式的积分过程中,通过风与气压场的适应和其他非线性过程,能够较迅速地调整出与水平流场相一致的垂直速度场。作为初值问题,“垂直速度”和水平流场相比,相对的说是次要的。从这个例子可以得出:所有的气象变量虽然通过控制大气的运动方程组相互联系在一起,但是对于大气的运动来说,某些变量可能更为基本一些,而另一些变量次要一些。

在日常的天气图预报方法中也有类似的情况。对于大量的天气资料,预报员并不是同等重要看待的,而是重点分析某些层次的某些变量场(如 500 毫巴的环流形势等)来制作天气预报。这就是应用了气象变量具有相对重要性的原理。当然在实际预报工作中这种选择是经验性的,不同预报员可能会略有不同。

根据天气发展的动力和热力过程,应该能够客观地、通过数值实验来确定气象变量的相对重要性。Smagorisky 等^[2]在 1970 年作了一个有趣的数值实验。应用预报模式,用实际资料作一个长时期的时间积分,称这个积分为“对照过程”。然后对初值中的一个气象变量作一些修改再重复积分。如果得到的数值解与对照过程相比是很接近的,那么这个变量相对说来是不重要的。也就是说,这个变量在模式中可以通过与其他变量的相互调整而“复制”出来。当然,对于不同变量调整的机理是不同的。反之,如果修改后的积分与对照过程差别很大,则这个变量是重要的。根据这些试验的结果,Smagorisky 认为地

* 本文于 1981 年 3 月 26 日收到,1981 年 8 月 17 日收到修改稿。

面气压场,相对湿度场,边界层温度和风场相对其他变量来说是较不重要的。

Smagorisky 研究的对象是大尺度,准涡旋性的环流系统,其结论并不一定适用于其他尺度的系统。夏半年我国暴雨系统,次天气尺度(中间尺度)的涡旋,台风等等,其发生发展的物理过程显然和大尺度环流系统不完全相同,因此对这类系统的气象变量相对重要性问题值得进一步研究。这方面问题的了解不但对于改进数值预报初值化,了解这类系统的物理过程有帮助,而且对观测的设计和观测仪器的精度要求等方面也是有参考意义的。

二、对 照 过 程

应用五层细网格原始方程模式^[1],该模式的一般特征是:五层, σ 坐标原始方程,有限区域,模式顶部约在 100 毫巴。网格距 150 公里,固定的侧边界条件。模式中有湿绝热过程,假定相对湿度 85% 时有凝结发生。湿对流调整,调整过程中假定静力能量守恒。参数化的行星边界层,在边界层顶假定感热、潜热通量为零。洋面感热,潜热通量用空气动力学质量法计算。用该年月平均海温。陆地和海面拖曳系数分别取 2.0×10^{-3} 和 1.5×10^{-3} 。

对照过程的初值变量包括:等压面高度、修正后的实测风和温度露点差。温度场由静力学公式计算。根据 σ 坐标中质量散度垂直积分为零的约束条件修正实测风,消去初值风场中的重力外波。这种作法可以同时输入高度场和风场。计算结果是稳定的。对天气系统的预报有改进^[3]。

选择 1976 年登陆台风(7613)与西风带相互作用,在安徽形成中间尺度气旋,自河南至山东半岛产生暴雨的例子作为对照过程。在这个例子中既有热带系统——台风,又有中纬度系统——冷锋。可以兼顾这两类天气尺度系统气象变量相对重要性的分析。

图 1 为对照过程与实况的比较,对照过程报出了在安徽地区新生的气旋,位置较实况偏北约 300 公里,预报雨区分布和实况相近,相应的几个最大降水中心与实况也基本一致,仅雨量较小。差别较大的是气旋西部的高压。实况并没有出现对照过程中高压减弱的情况,其部分原因可能是由于固定边界条件的缘故。本文目的是探讨模式中气象变量初值的相对重要性问题,因此这些差别并不影响我们的结果。

根据一般预报员经验和以前对暴雨系统的天气动力分析结果,选择适当变量来判断它的相对重要性。本文选择三种变量(1)水汽分布,(2)边界层风场和(3)地面气压场。

三、实 验 结 果

1. 水汽分布(实验 M-HUM)

水汽凝结释放的潜热在次天气尺度系统发生发展的作用已得到理论上和实际分析的确认。这里讨论的不是水汽的重要性而是水汽的初始分布对预报结果的影响。修改水汽的初始场是将温度露点差取纬向平均。使水汽初值成为一个很粗略的,只随温度和纬度变化的分布。图 2 a 为 M-HUM 积分 12 小时 $\sigma=0.73$ 面上比湿的分布。以河南为中心的

湿舌及其西部的干区与对照过程(图 2 b)相比两者很一致,相关系数达 0.93。由此可得出,水汽的初始分布是不重要的。即使是粗略的初值水汽场,在模式中也能复制出和对照过程十分相似的水汽分布。

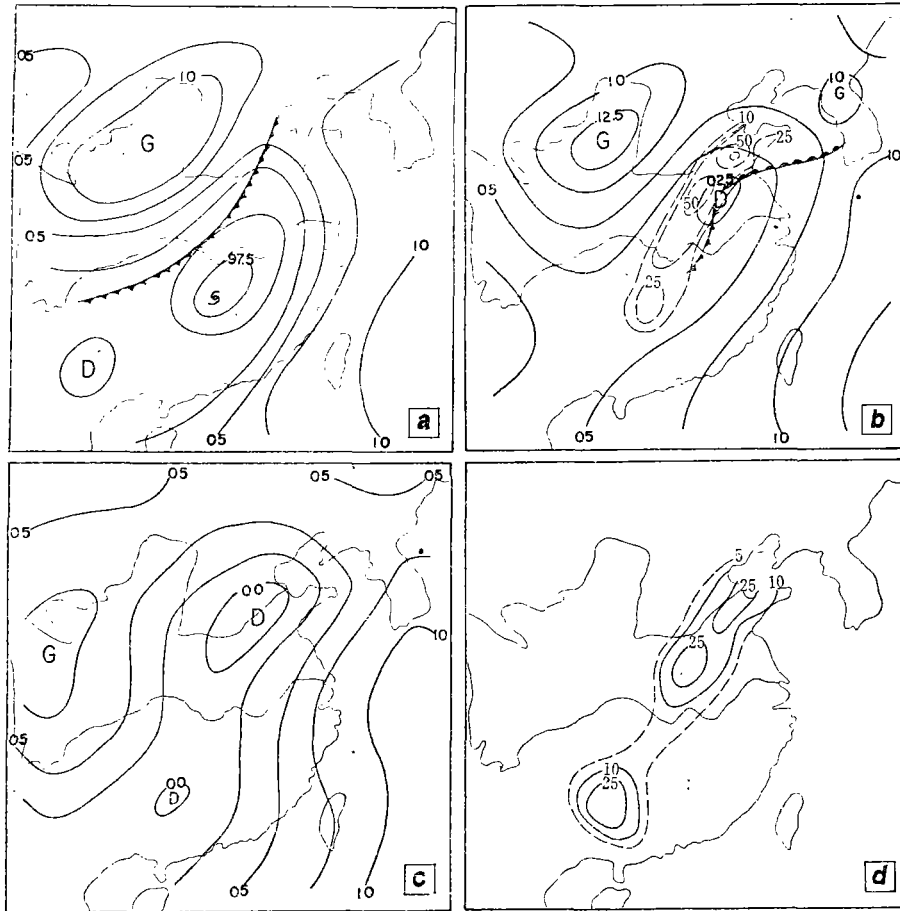


图 1 实况与对照过程

- (a 1976年8月11日12Z地面图,初值;
 b 1976年8月12日12Z地面图,虚线为24小时雨量;
 c 对照过程的24小时地面预报图,和b相比较;
 d 对照过程的24小时降水量预报图,和b相比较)

水汽和流场的关系是十分清楚的。由水汽连续方程可知,除了凝结和蒸发外,水汽的变化决定于水平和垂直平流。垂直运动与水汽之间有明显的正相关^[4]。所以初始的水汽场会很快的随流场调整,形成一个与流场一致的分布。这种调整过程约为12小时左右。

为了了解预报降水量的调整情况。图3给出预报的每6小时降水量。在积分过程的前12小时,M-HUM和对照过程在降水量上差别较大。而在后12小时,无论在雨区位置和雨量上都都很一致。降水量的调整和水汽一样,也是很迅速的。

由于水汽的调整过程是相当快的。因此对形势场的预报没有明显的影响(图4)。M-HUM的结果和对照过程没有很大的差别。从这个意义上讲水汽的分布也是次要的。

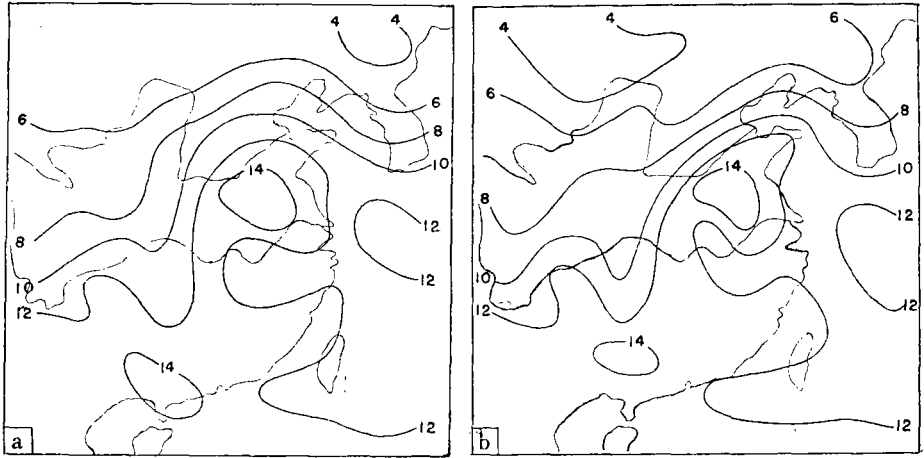


图 2 积分 12 小时后 $\sigma=0.73$ 面上比湿分布
(a M-HUM; b 对照过程; 单位 克/千克)

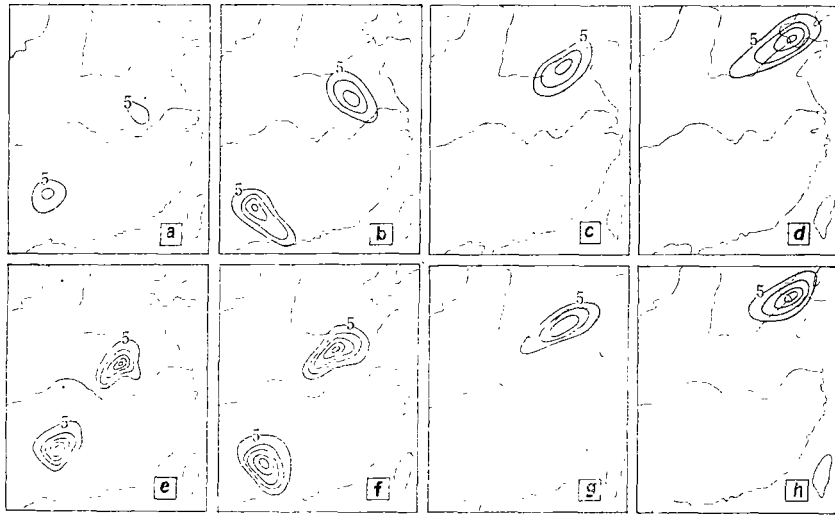


图 3 每 6 小时预报的降水量
(a—d M-HUM; e—h 对照过程; 等值线间隔 5 毫米)

显然,对水汽的初值要求有一个定量的约束,如果给出比湿初值为零,或其他极端情况将不能得到上述结果。这里所说的水汽初值分布是次要的,是指在湿度分析不十分精确的条件下,通过方程组内的调整,能复制出相应的水汽场。

上述结论和实际预报工作中的经验也是一致的。在相当多的暴雨预报和暴雨总结报告中,只讨论流场的特征和演变,不考虑水汽较细致的分布情况,也能得到对暴雨落区的估计^[5]。在实际业务工作中,不分析湿度场等值线,只注意个别站的水汽含量。这说明了在实践上水汽的初始分布相对其他变量的初值说来是次要的。

2. 边界层风场(实验 M-PBLW)

模式最下面一层为边界层。在这个实验中修改边界层风场,是将最下面一层 $\sigma=0.91$ 上的风取为零。这个作法和 Smagorisky 的相同。图 5 a 是积分 6 小时后 $\sigma=0.91$ 上 M-PBLW 过程的风场,与对照过程(图 5 b)相比,流场型式很一致。 u 和 v 的相关系数分别为 0.69 和 0.91(初值的相关系数为零)。边界层风场的调整过程也是很迅速的。图 6 为相应的 $\sigma=0.82$ (相当于边界层顶)面上 $\dot{\sigma}$ 的分布,除了 M-PBLW 南边一块上升运动区较对照过程偏北外,两个预报结果的总趋势基本上一致。所以边界层风场相对来说是比较次要的。

天气学和动力学分析指出,在暴雨过程中边界层的流场是重要的^[6,7]。这里的实验结果表明,边界层

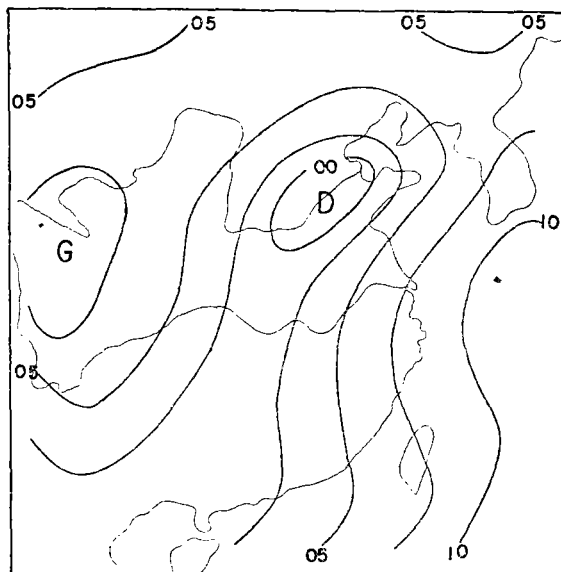


图 4 M-HUM 的 24 小时地面预报图
(和图 1C 相比较)

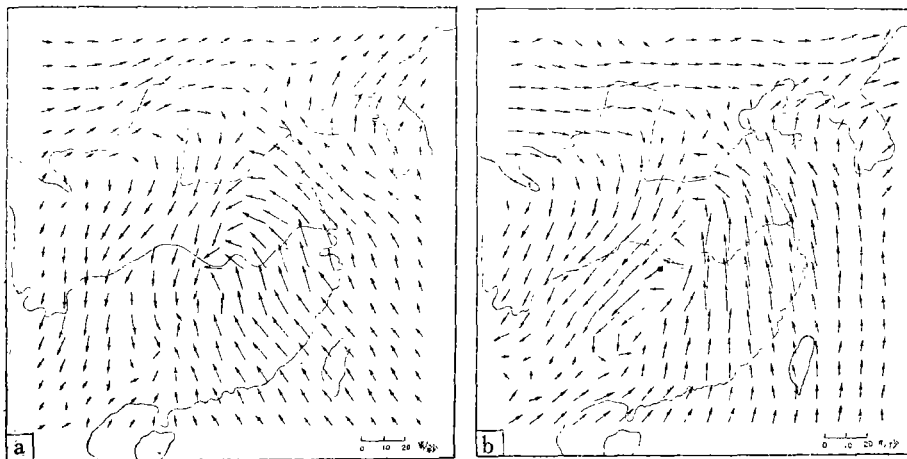
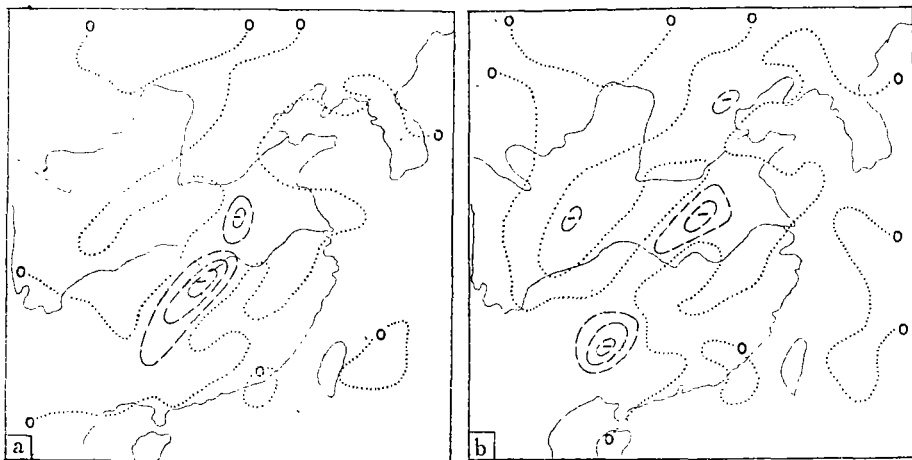


图 5 积分 6 小时后 $\sigma=0.91$ 面上风场
(a M-PBLW; b 对照过程)

图 6 积分 6 小时后 $\sigma=0.82$ 面上的 $\bar{\sigma}$ (a M-PBLW; b 对照过程; 等值线间隔 $5 \times 10^{-6} \text{秒}^{-1}$)

风场的初值却是次要的。即使是比较粗糙的边界层处理也能基本上复制出边界层流场。这种情况和“水汽分布”，“垂直速度”相似。不过调整的机理目前尚不清楚。研究边界层内的适应过程是重要的。

图 7 为 M-PBLW 的 24 小时降水量预报。雨区位置和对照过程相似。只是南边的雨量中心较对照过程偏北,这和图 6a 上的上升运动区相对应。

3. 地面气压场(实验 M-SP)

修改地面气压场是将积分区域内的地面气压取平均值 (1005.8 毫巴) 作为初值。用这个初值作的 24 小时地面预报以实线示于图 8。新生的黄河气旋没有报出来,反而在陕西,原为高压控制区出现了一个弱低压。和对照过程相比,两者完全不同。它们之间的相关系数仅为 0.22。相应的降水量预报(图 8 虚线)也和对照过程不同。这说明地面气压场是重要的。尽管高空的流场没有改变,地面上的次天气尺度扰动不能通过模式复制出来。

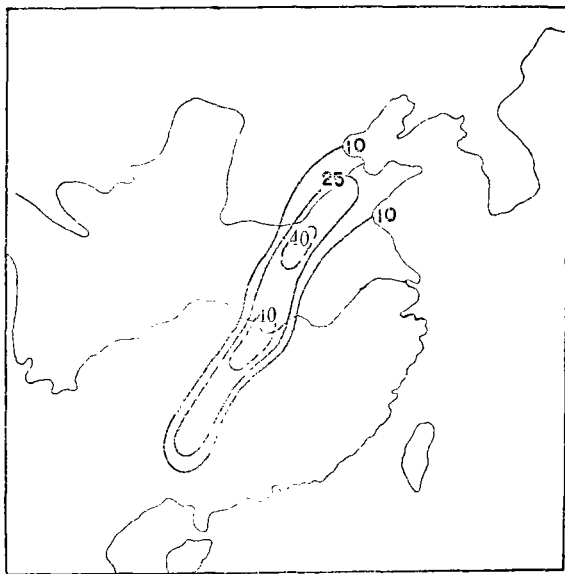


图 7 M-PBLW 的 24 小时降水量预报

(和图 1d 相比较)

Smagorisky应用北半球模式成功的复制了大尺度地面气压形势，而本文的结果却很不同。因此，对于这两类不同尺度的系统，地面气压场的相对重要性是不一样的。

早在本世纪初，提出有限区域的锋面气旋模式后，地面图在很长时期内曾作为主要的分析工具。40年代，长波理论的提出和急流的发现，使人们转而注意高空的大尺度环流形势。但在作区域性天气预报，需要考虑次天气尺度系统时，地面图仍是一个重要工具^[8]。在讨论暴雨天气过程时需要细致分析地面天气图^[9]。最近郑良杰等在模拟赤道辐合带上台风发生的工作中，用同样方法修改地面气压场后，不能模拟出台风涡旋^[9]。因此，对于这两种不同尺度的系统，地面气压场的作用是不同的。从M-PBLW和M-SP的结果看来，对于次天气尺度系统，近地面的气压场似乎比风场更为重要。

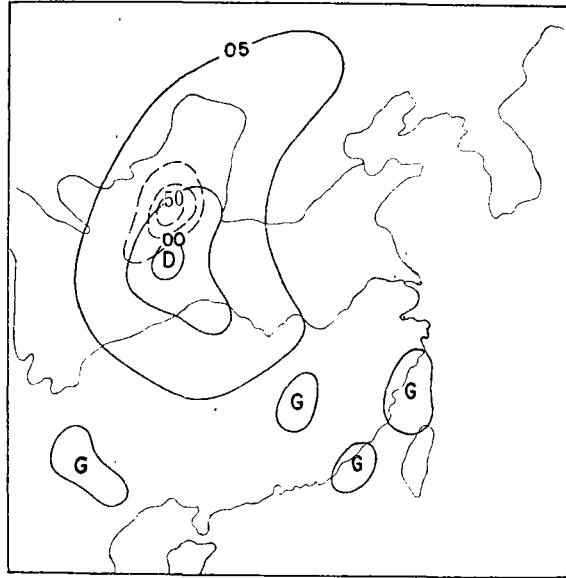


图 8 M-SP 的 24 小时预报
(与图 1 c, d 相比较)

四、结 论

在暴雨系统的数值预报中，水汽分布，边界层风场的初值相对说来是不重要的。在模式中能较迅速的调整出与对照过程基本一致的场。为了作出更精确的预报，改进水汽和边界层风场的初值化方法仍然是必要的。但相对于其他变量的初值化而言，水汽和边界层风场是处于第二位的。

地面气压场是重要的，对地面气压场的初值化必须予以足够的重视。

各种气象变量之间的调整过程中研究得比较多的是气压场与风场之间的调整。本文结果启示我们，进一步研究不同层次上变量调整，包括水汽，边界层在内的调整机理是十分重要的。

显然，这里的实验仅仅是初步的，所得的结果也与模式的情况有关（如物理过程的处理，差分格式，分层等）对于实际大气，还应做更多的工作。另外没有考虑各个变量场结构的内部联系。在计算条件得到改进后还需要作更多的实验。同时改变几个变量（包括不同层次上的各种变量）。更深入的研究变量的相对重要性及其动力学上的联系。

参 考 文 献

- [1] 北京大学数值预报协作组, 一个用于降水预报的五层原始方程模式, 第二次全国数值预报会议文集, 科学出版社, 1980。
- [2] Smagorisky J., K. Miyakoda and R. F. Strickler, The relative importance of variables in initial conditions for dynamical weather prediction, *Tellus*, **22**, 141—157, 1970.
- [3] 陈受钧等, 应用测风资料形成原始方程初值的一个方法。气象学报, **38**, 122—129, 1980。
- [4] Atkins. M., The objective analysis of relative humidity, *Tellus*, **26**, 663—671, 1974.
- [5] 陶诗言等, 中国的暴雨, 科学出版社, 1980。
- [6] 陶祖钰, 行星边界层流场和暴雨预报, 北方天气文集, **1**, 33—45, 1981。
- [7] 周晓平, 行星边界层在形成暴雨及强对流中尺度系统中的作用, 北方天气文集, **1**, 89—96, 1981。
- [8] Bergeron, T., Methods in scientific weather analysis and forecasting. The Atmosphere and Sea in Motion, Rockefeller Institute Press, NY, 440—474 (1959).
- [9] 郑良杰, 陈受钧, 张玉玲, 热带辐合带上台风发展的数值模拟, 气象学报, **39**, 394—407, 1981。

THE RELATIVE IMPORTANCE OF THE INITIAL VARIABLES FOR THE NUMER- ICAL RAIN STORM PREDICTION

Chen Shoujun, Xie An, Xiao Wenjun

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

Some experiments were made to determine the relative importance of the meteorological variables in the initial condition for the numerical rain storm prediction. A time integration has been made with a 5 L-FLM, using a complete set of realistic initial conditions. This is called as a "control run". Next, the integration is repeated, but one of the initial variable is modified. Both results are compared. If the solutions are found to be essentially same, it may be concluded that the variable is redundant. Three variables: moisture, boundary wind and surface pressure are tested. It is found that the initial condition of the moisture and boundary layer wind are redundant. They will be adjusted to the "control run" in 6—12 hrs because of dynamical coupling. While the initial surface pressure is important in the numerical rain storm prediction. Using modified surface pressure as an initial variable, the predicted charts are quite different from that of the control run.