

长江三角洲灾害性天气研究论文集

灾害性天气预报研究课题组编

气象出版社

前 言

长江三角洲灾害性天气研究论文集，汇集了“七五”国家重点科技攻关项目“中期数值天气预报及灾害性天气预报”（75—09（指国家重点科技攻关项目编号，下同））中“灾害性天气预报研究”（75—09—02）的研究成果。1986年3月由国家科委组织有关专家，对本课题任务进行分解和提出了可行性报告，我们承担的是长江三角洲的课题。根据本片任务分解成6个专题：

1. 地面气象站的改造与资料收集系统的研究（75—09—02—1）
2. 天气雷达、气象卫星资料收集和预处理方法的研究（75—09—02—12）
3. 长江三角洲雷暴和暴雨等中尺度天气分析预报方法的研究（75—09—02—13）
4. 灾害性天气短时预报方法的研究（75—09—02—14）
5. 计算机网络、数据库、图像图形分析与人工智能推理系统的研究（75—09—02—15）
6. 实时预报试验和评价方法的研究（75—09—02—16）

课题组先后两次组织了阶段成果交流会，前后共发表论文160篇，其中46篇已在南京气象学院学报专刊发表，有10多篇在国内外刊物上发表，这次选编了部分予以出版。

本课题负责单位为上海市气象局，参加单位有江苏、浙江、安徽等省气象局以及南京大学、南京气象学院、复旦大学、中国科学院大气物理研究所等，同时还得到其他有关单位及院校的大力支持，才得以完成，在这里一并致谢。

“七五”国家重点科技攻关课题
灾害性天气预报研究（长江三角洲片）

课题组长 王全发

长江三角洲灾害性天气研究论文集

目 录

论 文

- 利用数值模式对中尺度云团过程的诊断研究 党人庆 罗昌荣 冯蕊英 (1)
- 动态数字化卫星云图应用流程 姚祖庆 (6)
- 用数字化卫星云图作降水定量分析和云迹追踪 丁长根 钱 玮 (11)
- 积云强降水模式预报的初步研究 洪延超 黄 炎 胡朝霞 王昂生 (17)
- 环境对积云及其降水发展的影响 洪延超 王昂生 黄 炎 (23)
- 一种退除脉冲多卜勒雷达速度场模糊算法 刘晓阳 顾松山 张培昌 (30)
- 天气雷达 RHI 上 0°C 层亮带模式识别系统 王登炎 张培昌 顾松山 (34)
- 1990 年灾害性天气业务试验的预报评价 虞兆国 黄 炎 张家澄 (40)
- 上海短时天气预报中心工作站系统简介 黄晓虹 钱 玮 (47)
- 江苏省强对流天气短时预报系统运行中的一些技术处理
..... 唐洵昌 周曾奎 钱 鹰 姚 毅 (53)
- 梅雨锋暴雨临近预报程序及概念化模式 梁慧平 杨亚江 侯瑞燕 (57)
- 浙中北地区大暴雨天气概念模式 卢家麟 滕卫平 李清泉 杜惠良 (62)
- 上海地区强对流暴雨的云型模式预报 赵小宪 姚祖庆 杨露华 (68)
- 盛夏到 9 月底上海地区暴雨短时预报方法
..... 邓之瀛 邹 浩 陈其欢 杨美川 蒋乐贻 (73)
- 浙中北强对流天气展望预报系统 卢家麟 滕卫平 李清泉 杜惠良 (77)
- 长江三角洲地区几个暴雨云团的分析研究 李玉兰 (82)
- 江苏省暖切类冰雹的初步研究 沈树勤 李会英 (87)
- 上海地区初夏暴雨短时预报专家系统的外壳 蒋乐贻 陈其欢 (93)
- 强对流天气的临近预报 李云飞 (97)
- 一次飑线雷达回波的中尺度分析 陈亚敏 (100)

短 论

- 上海同步卫星云图实时接收和处理系统的功能与作用 ... 姚祖庆 姚洪奎 王东风 (104)
- 应用雷达回波资料的临近预报及其检验系统 许明荣 冯志娴 (105)
- 浙北强对流天气临近预报系统 李春风 袁 军 朱 明 (107)
- 增强显示红外卫星云图在暴雨中的应用 张可友 陈家华 耿 慧 (109)
- 用卫星云图分析 8108 号热带气旋暴雨和中尺度系统 梁慧平 (110)
- “88729”东风波暴雨的环境云场及暴雨云团分析 杨露华 (112)
- 8913 号热带气旋暴雨分析 李 明 陆森娥 (114)
- 一次大暴雨过程物理量场的中尺度特征 李 柏 (116)
- 1987.3.6—13 日安徽省强对流天气过程干暖盖分析 薛 兰 (118)
- 一次早春大范围强对流天气过程的综合能量分析 王子君 (120)
- 江苏省 7—9 月强对流和对流天气的雷达气候统计分析及其在临近预报中的应用
..... 周其军 黄九梅 (121)

利用数值模式对中尺度云团过程的诊断研究

党人庆 罗昌荣 冯蕊英

(南京大学大气科学系 南京 210008)

一、引言

夏季我国江淮流域引起暴雨的主要天气系统之一是中尺度云团^[1]。由于湿对流过程的复杂性,使用解析理论方法来研究中尺度云团有很多困难,因此,近年来较多采用数值模式来进行研究^[2-6]。其中, Rodgers 和 Schwartz (1986) 将美国嵌套网格数值预报模式 (NGM) 和有限区域细网格模式 (LFM) 的预报值作诊断分析,研究美国中尺度云团活动过程。本文参考了 Rodgers 和 Schwartz 的研究途径但使用周晓平等的模式^[4],对我国中尺度云团过程作实例预报,并将预报场作了组合和诊断研究。在工作中,采用了欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 的天气尺度资料作为初始场。使用天气尺度初始场来模拟中尺度系统。国内外的研究表明^[2, 5, 6, 8],一些对流性中尺度系统是可以天气尺度资料作为初始场模拟得到的。

二、模式和资料

本文采用的是大气物理研究所的细网格模式,但其中考虑了地形影响〔5, 7〕。模式方程为

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_s u}{\partial t} + \nabla \cdot P_s u \vec{V} &= f P_s (v - v_g) + P_s F_u \\ \frac{\partial P_s v}{\partial t} + \nabla \cdot P_s v \vec{V} &= -f P_s (u - u_g) + P_s F_v \\ \frac{\partial P_s C_p T}{\partial t} + \nabla \cdot P_s (C_p T + \Phi) \vec{V} &= (RT - \Phi) \frac{\partial P_s}{\partial t} + f P_s (uv_g - vu_g) + LP_s Q \\ &\quad + C_p P_s F_T \\ \frac{\partial P_s q}{\partial t} + \nabla \cdot P_s q \vec{V} &= P_s Q + P_s F_q \\ \frac{\partial P_s}{\partial t} &= \frac{1}{1 - \sigma_T} \int_{\sigma_T}^{\sigma} \left(\frac{\partial P_s u}{\partial x} + \frac{\partial P_s v}{\partial y} \right) d\sigma \\ P_s \sigma &= - \int_{\sigma_T}^{\sigma} \frac{\partial P_s}{\partial t} d\sigma - \int_{\sigma_T}^{\sigma} \left(\frac{\partial P_s u}{\partial x} + \frac{\partial P_s v}{\partial y} \right) d\sigma \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \right) = - \frac{R}{\sigma} \frac{\partial T}{\partial t}$$

其中 $\nabla \cdot P_s A \vec{V} = \frac{\partial}{\partial x} (P_s A u) + \frac{\partial}{\partial y} (P_s A v) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (P_s A \sigma)$, 符号 A 表示水平风速 u , v , 气温 T , 湿度 q 或位势高度 Φ 中的任一个量。 F_A 是湍流交换项, Q 是水汽凝结。

$\sigma = P/P_s$, σ_T 是模式的顶部。 P_s 是场面气压。模式沿垂直方向分五层: $\sigma(1) = 0.2$; $\sigma(2) = 0.378$; $\sigma(3) = 0.556$; $\sigma(4) = 0.733$; $\sigma(5) = 0.911$ 。水平格距 $d = 100$ km, 东西方向 30 个格点, 南北方向 24 个格点。四个角经纬度为: $(40.5^\circ \text{N}, 96.6^\circ \text{E})$, $(20.2^\circ \text{N}, 101.3^\circ \text{E})$, $(40.7^\circ \text{N}, 132.2^\circ \text{E})$, $(20.3^\circ \text{N}, 127.7^\circ \text{E})$ 。

初始值用 ECMWF 的 12GMT 实况场分析资料, 格距为 2.5×2.5 经纬度, 用拉格朗日插值式将经纬度交点上的值插到模式的格点上。对于地形低于 1000 hPa 的格点, 由垂直插值得到地面温度, 再由静力方程求出地面气压。对于其它格点, 地面气压由样条插值得到。有了地面气压再用样条插值将标准等压面上的要素插值到 σ 面上。

对于地形, 本文采用的方法是在等压面上求气压梯度力项, 将 σ 面的位势高度加上 σ 面与等压面的位势高度差, 由此得到等压面的位势高度, 再算位势高度梯度, 即

$$\vec{V}_g = K \wedge \nabla_h \cdot \left(\Phi - \frac{R}{2} (T + T') \ln \frac{P}{P'} \right)$$

其中 T' 可通过垂直插值得到。

模式侧边界取海绵边界。垂直边界取 $\sigma = \sigma_T$, $\sigma = 0$; $\sigma = 1$, $\sigma = 0$ 。

三、云团活动过程概况

1、1982 年 6 月 20 日 12 Z, 在 29°N 、 118°E 附近有几处不大的对流云体 A 存在, 在 30°N 、 111°E — 114°E 附近有几个较小的对流云体 B, 而在 32°N 、 101°E 附近有长轴为偏东西方向的云系 C。云体 A 与 B 东起日本东部海上的锋面尾部, 云体 C 是在另一条冷锋的尾部。21 日 00 Z 时, 云体 A 出海减弱, A 东侧有小云团 E, 云团 B 变得较分散, D 是 20 日 12 Z 在 28°N 、 118°E 附近出现的一个强云团, 此时基本维持原有强度, C 几乎消失。

2、1982 年 7 月 18 日 12 Z, 长江流域为一锋面云带, 其中有较多对流云体, 长江口南部有一较紧密的云体。19 日 00 Z, 30 — 33°N 、 114 — 120°E 附近有一强盛的云团 A。在 30°N 、 105°E 有一较小的强云团 B, A 与 B 仍处在锋面云带内。

四、模拟结果的诊断分析

将数值模式进行 12 小时积分, 得到预报场, 在 700 hPa 与 850 hPa 等压面上分别计算

下列量: 温度平流 $Adv_t = -\bar{V} \cdot \nabla T$, 单位 10^{-6} K/s ; 涡度平流 $Adv_\zeta = -\bar{V} \cdot \nabla \zeta$, 单位 $10^{-11} / \text{s}^2$; 水汽辐合 $ConvM = -\bar{V} \cdot \nabla q$, 单位 $10^{-5} \text{ KJ} / (\text{m}^3 \text{ s})$; 垂直速度 $\omega = dP/dt$, 单位 10^{-4} hPa/s ; 稳定参数 $TT = T_{850} + Td_{850} - 2T_{500}$ 。其中 ω 由下式计算:

$$\omega_k = P_s \sigma_k + \sigma_k \left(m \frac{\partial P_s}{\partial x} u_{k+\frac{1}{2}} + m \frac{\partial P_s}{\partial y} v_{k+\frac{1}{2}} + \frac{\partial P_s}{\partial t} \right)$$

式中, 下标 k 表示第 K 层, m 是地图放大因子。以下分述两次个例的情况。

1. 1982 年 6 月 20 日个例

(1) 1982 年 6 月 21 日 00Z 正涡度平流与水汽辐合场正值相交区主要有: 28°N 、 107°E 附近以及 30°N 、 $113^\circ\text{--}117^\circ \text{E}$ 附近 (见图 1), 它们分别对应云图上的云团 D 以及 B。另外, 27.5°N 、 124°E 附近也有高值相交区, 对应云团 A 与 E 南部。

(2) 700 hPa 垂直速度与 TT 指数, 上升运动与不稳定性都比较强的高值相交区基本上位于 $28^\circ\text{--}30^\circ \text{N}$ 、 $105^\circ\text{--}115^\circ \text{E}$ 之间, 这与云团 D 及 B 位置对应, 中心区在 28°N 、 110°E 附近, 与云团 D 较为一致。另有一高值相交区在 29°N 、 122°E 附近, 与云团 A 位置对应。 38°N 、 115°E 的高值区与锋面相联系。

(3) 700 hPa 暖平流高值中心与 850 hPa 上西伸的暖平流高值区相交于 30°N 、 107°E 附近, 在 29°N 、 116°E 附近也有相对高值区。第三个高值相交区在 27.5°N 、 123°E 附近。这三个区分别对应云图上的云团 D、B 及 A。

综上所述, 六个诊断量的高值相交区基本一致, 分别位于 29°N 、 107°E 、 28°N 、 123°E , 以及 29°N 、 116°E 附近, 它们与卫星云图上的云团位置基本一致。

下面察看 12 小时的风场预报图, 以作比较。在 12 小时 700 hPa 风场预报图上, 切变线从 30°N 、 102°E 向东偏北方向延伸, 东部变得不明显。850 hPa 风场预报图 (图 2) 上, 与 700 hPa 相应一致的是沿 30°N 为一条切变线, 从 29°N 、 102°E 向东至 105°E , 然后向东偏北伸展至 32°N 、 115°E , 再向东延伸至 125°E 附近。

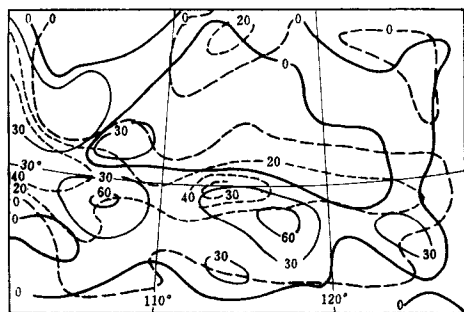


图 1 1982 年 6 月 21 日 00Z 预报的 700hPa

涡度平流 (实线) 与 850 hPa 水汽辐合 (点线) 场

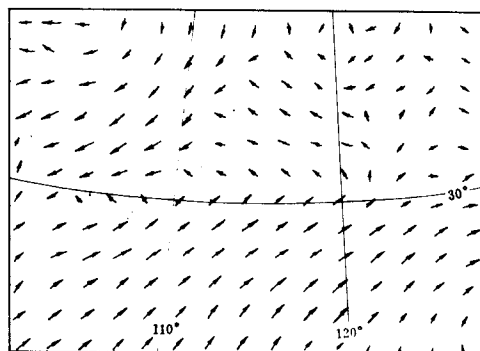


图 2 12 小时 850 hPa 风场预报图

(1982 年 6 月 21 日 00Z)

从预报的风场可知, 此切变线附近可能有对流发展, 但难以确定其位置, 因为在此切变线上不存在小涡旋等明显的特征区。

因此, 在 12 小时预报的风场上, 系统难以较清楚确定的情况下, 采用本文所选取六个

诊断量的综合分析能够较好地判断云团位置, 这表明用这种方法处理数值预报产品是有意义的。

2. 1982 年 7 月 18 日个例

(1) 700 hPa 涡度平流与 850 hPa 水汽辐合 (见图 3) 高值相交区有两处, 一个在 29°N — 32°N 、 115°E — 120°E 之间, 另一个在 29°N 、 105°E 附近。前者对应云图上的云团 A, 后者对应云团 B。

(2) 700 hPa 上升运动与 TT 值明显高值相交区在 30°N 、 105°E 附近。这与云体 B 位置一致。但在东部强上升运动区, 没有明显的高值 TT 线与它相交。

(3) 700 hPa 温度平流与 850 hPa 温度平流两组正值等值线明显高值相交区在 30°N 、 120°E 附近, 西部没有高值相交区 (除了在边界附近), 与卫星云图相比较, 30°N 、 120°E 在云团 A 的东南边缘, 位置稍偏。西部云团 B 没有对应。

预报 12 小时的风场中, 在 700 hPa 等压面上, 30°N 附近、 100°E 以西为明显的气旋性气流, 110°E 以东为较平直的西南风, 在 32.5°N 附近有明显的辐合。850 hPa 等压面 (图 4) 上, 在 30°N 附近、 110°E 以东为较一致的西南气流, 32.5°N 附近有较强的辐合, 在 30°N 的西边界附近有明显的气旋性环流, 110°E 以西为气旋性流场。

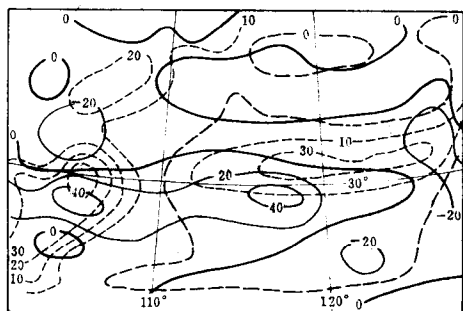


图 3 1982 年 7 月 19 日 00Z 700 hPa 涡度平流

预报 (实线) 与 850 hPa 水汽辐合预报 (虚线) 场

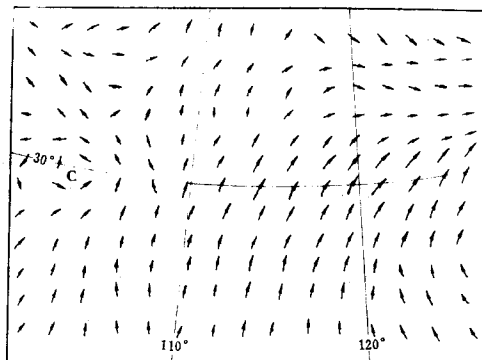


图 4 12 小时 850 hPa 风场预报

(1982 年 7 月 19 日 00Z)

本例预报的流场中, 30°N — 35°N 之间, 110°E 以东, 850 hPa 上有辐合线, 但并不能看出有利于中尺度环流发展的位置, 而由预报量的诊断场中, 可以看出有利于中尺度系统发展的位置大体上是在 30°N — 35°N 、 115°E — 120°E 区域, 这与实况相接近。在西部, 预报的 850 hPa 流场中, 已看出低涡, 预报量的诊断场显示在这地区有利于中尺度系统发展, 两者是一致的。此外, 700 hPa 与 850 hPa 温度平流在这西南低涡的前方 (东侧) 都有冷平流, 这表示不利于这低涡继续向东发展, 这也与实况相符。由此表明, 如果在诊断分析时, 组合得适当, 可以将原来已预报出来的信息由隐含的、难以直接看出的, 变为明显的。

五、结 语

本文利用细网格数值模式的预报产品, 对我国长江流域的两次中尺度云团过程作 12 小时数值预报, 分析了预报值的六个诊断量场: 850 hPa 水汽辐合, 700 hPa 垂直速度, 700 hPa 涡度平流, 700 hPa 温度平流, 850 hPa 温度平流, 稳定度参数 TT 。结果表明, 这

些预报量的诊断场对于从环境场中确定中尺度云团预报位置及发展演变有较好的作用。

致谢: 美国 PROFS 的 T.Schlatter 博士, 我国陶诗言教授和朱永提研究员, 对本文提出宝贵意见, 谨表感谢。

参 考 文 献

- (1) 陶诗言等, 中国之暴雨, 科学出版社, 1980.
- (2) Anthes, R.A., and T.N.Carlson, Conceptual and numerical models of the evolution of the environment of severe local storms. Joint US-China Workshop on mountain meteorology, 1982, Beijing, China.
- (3) Pielke, R.A., Mesoscale meteorological modeling. Academic Press, 1984.
- (4) Rodgers, D. M., and B. E. Schwartz, Gridpoint forecast parameters from the LFM and NGM for two convective weather events. *Eleventh conference on weather forecasting and analysis*, AMS, Boston, 1986.
- (5) 何溪澄, 党人庆, 长江中下游中尺度云团演变过程的数值模拟, 气象科学研究院院刊, 3, 2, 129-137, 1988.
- (6) Dang, R.Q. (党人庆) and D.C.Jiang (江敦春), Numerical simulation of rain storm during pre-meyu period, Abstracts, Joint US-China Workshop on mesoscale meteorology, NCAR, U.S.A., 1990.
- (7) 钱永甫, A five-layer primitive equation model with topography, 高原气象, 4, 2 (增刊), 1985.
- (8) Xia D.Q. and L.J.Zheng, Numerical simulation of the generation of mesoscale convection system in large scale environment. *Adv. Atm. Sci.*, 360-370, 1986.

动态数字化卫星云图应用流程

姚祖庆

(上海中心气象台 上海 200030)

为了充分发挥同步卫星云图实时接收和处理系统的作用, 根据对动态数字化卫星云图的大量应用实践, 总结制作了动态数字化卫星云图应用流程。按照流程的各项规定, 对连续卫星云图进行定量、动态分析, 可以得到一系列对环境云场、对流云团及影响本地区的云系的定性、定量分析结果, 为上海及长江三角洲地区短时灾害性天气预报和研究提供卫星云图分析结果。在 1989 年和 1990 年业务试验中, 曾将流程中大部分内容投入试用, 取得了较好的效果, 图 1 为动态数字化卫星云图应用流程, 下面对流程中的各项内容作简要介绍。

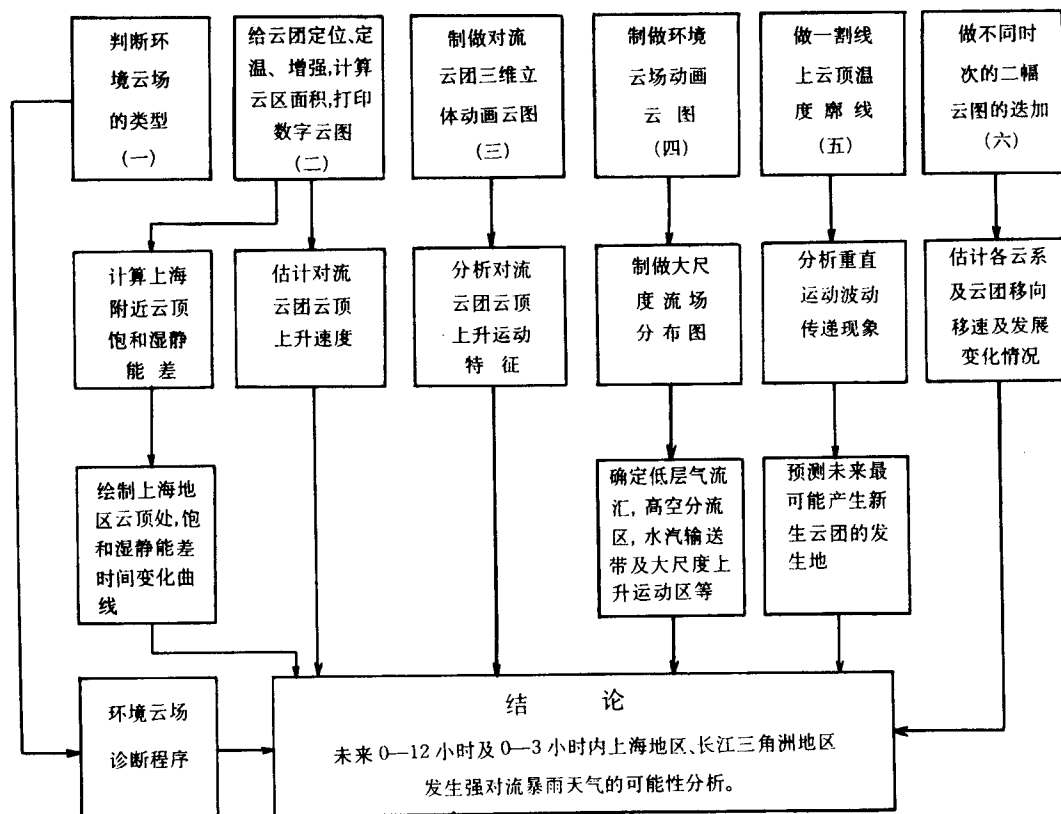


图 1 动态定量卫星云图应用流程图

一、判定环境云场的类型

根据影响上海地区强对流暴雨环境云场的研究⁽¹⁾, 将进入 110°E 以东, 40°N 以南的环境云系分为五种类型: 涡状云型, 华北冷涡型, 云带南压型, 东风型及云系相近、相接迭加型。当环境云场形势符合以上任一类型时, 则进入环境云场诊断程序, 做 0—12 小时展望预报。

二、对已产生的、可能影响上海和长江三角洲地区的对流云团进行分析

1. 确定云团经纬度位置、云顶最低温度, 计算 -32 °C 以下及 -52 °C 以下的云区面积, 打印所需范围内的温度数字云图, 并填绘云图素描图。

2. 估计长江三角洲地区内的对流云团云顶平均垂直上升速度。在云团初生及迅速发展期, 利用每小时红外云图跟踪同一对流云团, 从其云顶最低温度的变化及云所在处附近最近时次探空资料, 利用静力学方程估计该云团云顶一小时平均上升速度。具体计算方法是用等压面厚度方程

$$\Phi_1 - \Phi_2 = R T_m \ln(P_2 / P_1)$$

式中 P_1 和 P_2 分别为与云顶温度相应的前一小时和后一小时云顶处气压值, 从最靠近云团处的探空曲线上求得的; T_m 为前一小时和后一小时云团云顶温度平均值; $(\Phi_1 - \Phi_2)$ 为 $(P_1 - P_2)$ 气层的位势厚度, 其值即为一小时云顶平均上升速度的近似值。这样计算得到的云顶上升速度虽然非常粗略, 但在没有其它资料的情况下, 用这种简单、直观估计方法, 对判断对流强度还是有一定意义。我们应用这一计算方法计算了 1987 年 8 月 16 日上海附近几个对流云团云顶上升速度, 均达到 1—2 m/s, 造成上海川沙县杨园 6 小时 137 mm 降水的云团, 发展最迅速期达 1.9 m/s, 这一计算结果虽比实况要小得多, 但符合中尺度运动规律, 与不发展的对流云团云顶上升速度相比, 差异十分显著。

3. 用每小时云图上上海的云顶温度及地面温度、露点值, 从探空曲线上得到云顶处的期望温度, 然后计算上海云顶饱和湿静能差⁽²⁾, 并绘制出其随时间的变化曲线, 如曲线呈稳定上升趋势, 则说明上海地区处于层结不稳定状态。图 2 是 1987 年 8 月 15 日和 8 月 16 日上海高空云顶饱和湿静能差曲线。从图中可以看出, 8 月 16 日为稳定上升, 与 8 月 15 日有明显差别, 8 月 16 日上海局地大暴雨, 8 月 15 日上海仅有小—中雨, 而使用常规稳定度指数, 如 K 指数, 沙氏指数等, 就反应不出这一差异。

三、对流云团三维立体动画显示

对长江三角洲区内产生或移入的强对流云团及周围云系作三维立体动画显示, 观测该云团云顶上升运动的特点及其移动、传递情况。结合前面估计的云顶上升速度, 判断强对流或暴雨的强度, 将其特点简略地登记在云图素描图上, 做综合分析。一般发展与不发展云系云

顶结构呈一显明对比,例如我们研究了造成上海暴雨的1989年6月15日过程的立体动画云图,研究表明:强烈发展的云团云顶处垂直梯度特别大,呈波动式东西向排列,它发生在大范围平缓上升区边缘的暖区,强对流云团发展初期,在云系核心处极小范围内有强烈的上升气流,上升气流区域的直径,有时仅有10—20 km,以后上升运动区范围迅速扩大,这时也正是开始最强降水期,立体动画云图将上述运动过程直观地显现在屏幕上,为研究不同类型,不同发展期的强对流云团的发展提供了重要工具。

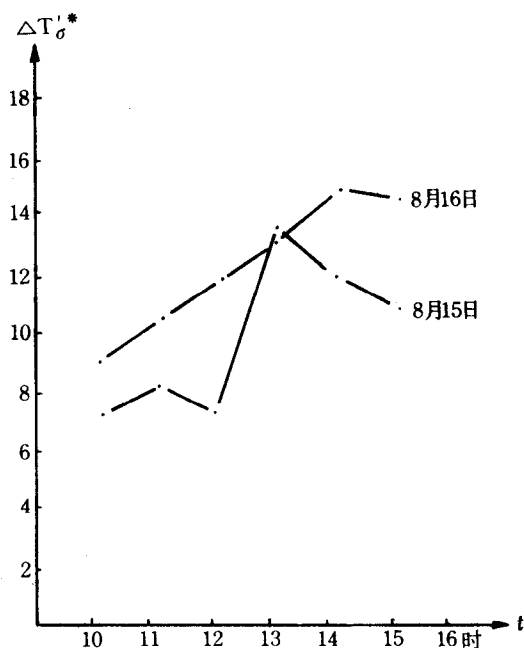


图2 1987年8月15—16日上海云顶饱和湿静能差

四、制作动画云图

根据需要制作环境云场及影响云团的动画云图。对分析环境场的动画范围要取得大一些,可将原始图做 2×2 采样,对研究影响云团的动画,要使用原分辨率云图,动画云图可制作4、6、9、12、16、25幅六种,除红外云图动画外,还可作可见光云图动画。根据动画云图显示,可分析出高、低层次大尺度—中尺度流场分布。将流场分布描绘在云图素描图上,并标明低层气流汇区,高空分流区、高空冷涡、水汽辐合区、水汽通道及大尺度上升运动区等,这些分析与天气形势及各种物理量场相结合做深入分析,对研究强对流暴雨云团发生、发展的触发机制提供了重要依据,对研究中间尺度的流场分布非常重要。图3为使用1991年8月7日10时—8月8日01时每小时云图制做的环境流场分布图。从图中可以清楚地看到,大尺度—中间尺度环境流场的分布,对上海地区产生大暴雨是非常有利的,强对流云团正产生于西南气流和沿海东南气流之间的强烈辐合区。

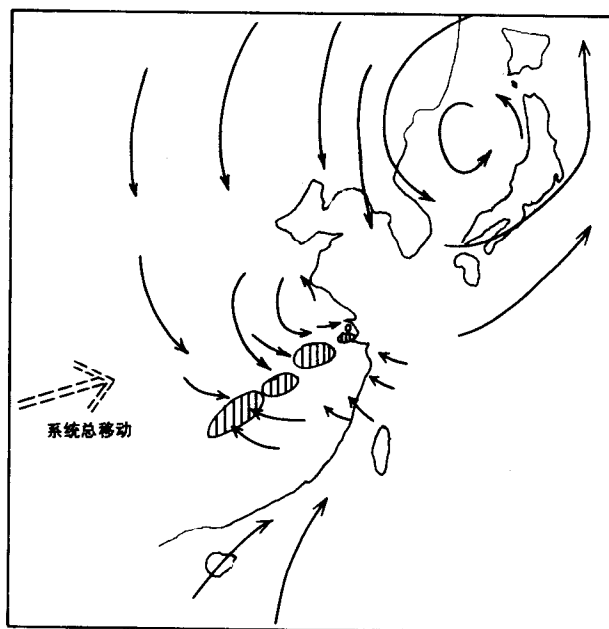


图3 1991年8月7日环境流场分布图
(阴影区为7日17时的强对流云团)

五、制作并分析云顶温度廓线

在上海上游方向选定一对流活跃区,选取适当的方向,作云顶温度廓线分析,并将同一方向、不同时刻的云顶温度廓线进行对比分析,研究中尺度垂直运动的波动传递现象,判断产生新云团的区域。图4为1987年8月16日沿东-西方向的云顶温度变化廓线。可以看出其波动现象是十分明显的。

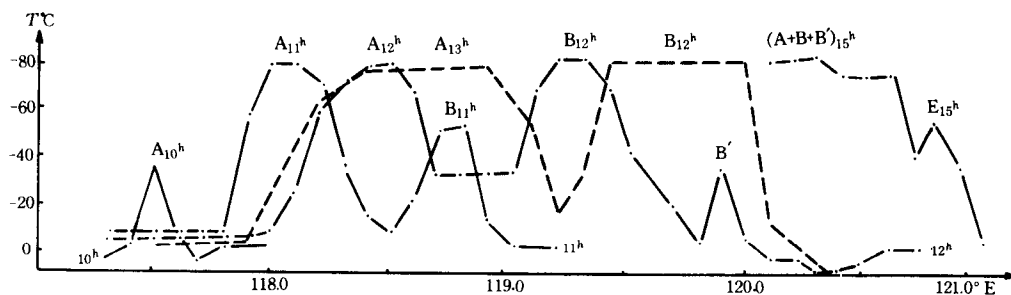


图4 1987年8月16日各时次沿30°N线上云顶温度曲线

六、 不同时刻云图的叠加

将不同时刻的两幅云图叠加, 配合动画云图, 可直观地在静态图上看云系移动、发展、变化的动态。

我们应用这一流程, 对 1987 年 8 月 16 日上海局地大暴雨过程作了详细分析⁽³⁾, 说明这一应用流程, 在实际业务预报中确实起到重要作用。

参 考 文 献

- (1) 姚祖庆, 上海地区中尺度强对流暴雨系统的环境云场分析研究, 南京气象学院学报, 12, 3 (增刊), 16, 1989.
- (2) 霄雨顺, 能量天气学讲义, 陕西气象, 7, 1982.
- (3) 姚祖庆、杨露华, 由动态定量卫星云图分析夏季两次中尺度云团发展过程, 南京气象学院学报, 12, 3 (增刊), 87, 1989.

用数字化卫星云图作降水定量分析和云迹追踪

丁长根 钱 玮

(上海中心气象台 上海 200030)

一、 前 言

随着卫星信息处理和传送技术的进步,国外从80年代初开始研究卫星云图和降水的关系。瑞典 Liljas (1981年)利用 TIROS-N 卫星的三个通道(VIS, NIR, IR)资料,通过经验方法确定降水等级定性指标,并把这些定性指标作为降水强度分类阈值,用于卫星图像自动化分析系统⁽¹⁾。目前许多国家正在进一步开展卫星信息和降水强度(或降水量)的研究。对于降水云团的预报,目前基本上都采用客观外推方法,其准确性很大程度上依赖于对云团移动追踪的准确性。云团的追踪类似于雷达回波的追踪,其方法很多,如矩心追踪,高空风引导以及基于图象识别技术的交叉相关和矩不变量等追踪方法⁽²⁾, Elvander 经对矩心法和交叉相关等方法作了同步对比后,认为交叉相关方法效果较好。我们也曾用交叉相关法和矩不变量法作过时间间隔为一小时的云团追踪同步对比,发现两者效果差不多,都有一定的错判率,但交叉相关法耗费的机时要少得多。本文将着重介绍我台利用 GMS-4 卫星红外和可见光云图信息作降水强度定量分析和利用交叉相关方法作云迹追踪的自动处理系统。

二、 降水强度的定量分析

观测事实告诉我们,降水强度与云厚、云中水滴的浓密程度和云顶高度有着密切的关系。通过对卫星云图信息的处理,能间接地取得同降水强度有关的云特征数据。我们利用1989年长江三角洲短时预警系统预试验期间取得的地面加密观测的一小时雨量资料以及 GMS-4 卫星红外和可见光云图数字化资料,采用逐步回归和多级分辨程序,通过反复试验,建立了卫星云图信息与雨量等级的统计关系。

1. 雨量分级

为作多级分辨处理,我们将雨量样本(共387个样本)分为五个等级,即0, 0—2, 2—8, 8—20, >20 (mm/h) 五级。

2. 可见光云图的太阳高度角修正

为使统计方程的物理意义更加明显直观,在统计处理前我们先将云图的亮度转换为云顶温度和反照率。转换按照日本气象厅制作的 IR 亮度/温度和 VIS 亮度/反照率转换表进行。但由于可见光云图的亮度随太阳照度的不同而有变化,而太阳照度又随太阳高度角而变,因此在作亮度/反照率转换前必须对可见光亮度数据作太阳高度角修正。可见光云图某象素点的亮度可表示为

$$B(\theta) = E \cdot \cos\theta \cdot \tau(\theta) \cdot f(\theta, \alpha, \beta) \cdot A$$

其中 E 为大气层顶太阳光照度, 为一常数; θ 为太阳天顶角, α 为卫星天顶角; β 为太阳和卫星的方位夹角; A 为云或地表的反照率。 $\tau(\theta)$ 为云顶以上大气的斜程透过率; $f(\theta, \alpha, \beta)$ 为反射方向指示函数。在假定云面(或地面)均为朗伯漫反射面的情况下, $f(\theta, \alpha, \beta) = \pi^{-1}$ 。在数据处理前我们规定将 $B(\theta)$ 都订正到太阳天顶角为零时的值, 其表达式为

$$B(0) = [B(\theta) \cdot \tau(0)] / [\tau(\theta) \cdot \cos(\theta)]$$

若不考虑云顶以上大气斜程透过率的变化, 则表达式可进一步简化为

$$B(0) = B(\theta) / \cos\theta = B(\theta) / \sinh$$

在上式中 $\sinh = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega$, 这里 h 为太阳高度角; φ 为该像素点的地理纬度; δ 为太阳赤纬角, 是日期的函数; ω 为太阳时角, 规定地方正午时 $\omega = 0$, 它是像素点所在的经度以及时间的函数。

3. 象场直角坐标与经纬度的转换

对可见光云图亮度作太阳高度角修正必须已知各像素点的经纬度, 另外由于雨量资料取自各地面测站而云图数据取自像素点, 因此在统计处理前, 必须配准各地面测站所对应的像素点。我们所利用的云图信息取自于经日本气象厅加上经纬度坐标的可见光和红外云图(800×800 像素点), 其地图用极射赤面投影。经纬度与像素点行列的转换公式可表达为

$$\begin{aligned} i &= A \cdot \operatorname{tg}[(90^\circ - \varphi)/2] \cdot \sin(\lambda - \lambda_0) + C \\ j &= A \cdot \operatorname{tg}[(90^\circ - \varphi)/2] \cdot \cos(\lambda - \lambda_0) + D \end{aligned}$$

其中 (i, j) 分别为横向(自西向东)和纵向(自北向南)像素点序列; (λ, φ) 分别为地理经度和纬度; A, C, D, λ_0 为待定常数。给定两个像素点的经、纬度(最好在云图的两个对角), 即可通过解上述方程组求得: $A = 1522.483$, $C = 539.9255$, $D = -426.855$, $\lambda_0 = 135^\circ$ 。确定像素点行列与经、纬度关系后, 即可找出所有地面测站所对应的像素点。

4. 多级逐步分辨和判别方程

在统计方程中考虑到云顶温度、反照率和降水强度的关系不一定是直线关系, 在设计统计因子时我们对云顶温度和反照率分别取了一次项、二次项、三次项和交叉项。一般而言, 云图信息所反映的只是卫星探测仪扫描时刻云的状况, 因此上述因子所反映的应是相应地点的瞬时降水量, 即降水强度, 而我们所取得的是一小时雨量, 在对流性降水情况下, 雨强的时、空变化都较大, 其统计效果肯定会受到影响。实际情况也确是如此。我们用一小时雨量与上述诸因子作逐步回归分析, 结果复相关系数不高, 剩余标准差也较大。通过反复试验后, 改为对雨量等级作逐步多级分辨处理, 将雨量分成五级, 取显著性检验水平 $F=3.5$ 筛选因子, 所得判别方程为

$$Y_R = a_k + b_k A + c_k T + d_k \mu T^2, \quad k = 1, 2, \dots, 5$$

其中 A 为经太阳高度角修正的云反照率(%) ; T 为云顶温度($^\circ\text{C}$) ; $\mu = T/\sqrt{T^2}$, 下标 k 为雨量等级; a_k, b_k, c_k, d_k 分别为判别方程各项系数(见表1)。在具体使用时可将因子代入各判别方程, 找出最大 Y_k 值, 所得 $\max(Y_k)$ 对应的 k 值即为判定的雨量等级。上述判别方程的历史拟合率(判别误差 <1 级)为 93.8%。从系数表可看出方程在 4 级和 5

级之间无判别能力。这是由于样本中雨量 $>20 \text{ mm/h}$ 的个例太少 (只占 $2/387$) 所造成。通过个例分析我们另加了两个判别阈值, 当方程判定为 4 级时, 若 $A > 0.76$, $T < -68^\circ\text{C}$, 则判为 5 级。夜间由于只有红外云图, 判别方程的形式为

$$Y_k = \alpha_k + \beta_k T + \gamma_k \mu T^2 \quad k = 1, 2, \dots, 5$$

其中 α_k , β_k , γ_k 为方程各项系数 (见表 2), 其他符号意义同上, 判别方程的历史拟合率略有下降, 判别误差 ≤ 1 级的拟合率为 92.25%。

表 1 判别方程各项系数

雨量等级 \ 系数	a	b	c	d
$k=1$ (0 mm/h)	-9.1552	0.3750	-0.0552	0.0013
$k=2$ ($0-2 \text{ mm/h}$)	-13.7145	0.4645	-0.1257	0.0026
$k=3$ ($2-8 \text{ mm/h}$)	-17.4626	0.4996	-0.1402	0.0023
$k=4$ ($8-20 \text{ mm/h}$)	-19.9858	0.5195	-0.1249	0.0017
$k=5$ ($>20 \text{ mm/h}$)	-19.9858	0.5195	-0.1249	0.0017

表 2 判别方程各项系数 (夜间用)

雨量等级 \ 系数	α	β	γ
$k=1$ (0 mm/h)	-1.2104	-0.0449	0.0003
$k=2$ ($0-2 \text{ mm/h}$)	-1.5283	-0.1129	0.0013
$k=3$ ($2-8 \text{ mm/h}$)	-3.3609	-0.1265	0.0009
$k=4$ ($8-20 \text{ mm/h}$)	-4.7412	-0.1106	0.0002
$k=5$ ($>20 \text{ mm/h}$)	-4.7412	-0.1106	0.0002

三、云迹追踪

降水区是随着云团移动的, 有些正在发展的无降水云团可以发展为降水云团甚至强降水云团, 因此追踪云团比追踪降水区对于作短时降水预报将更有意义。为便于区别追踪目标的高度, 我们将追踪手段施加于红外云图, 以 10 个像素点间隔 (约 63 km) 的水平分辨率进行扫描, 对云顶在 5 km 以上的像素点作云迹追踪, 云顶高度由云顶温度估算, 并将求得的云迹矢量分为 $5-10 \text{ km}$ 和 $>10 \text{ km}$ 两层分别给出。追踪方法采用基于数字图象处理技术的交叉相关法, 但在本系统中我们对这一方法作了改进。

1. 追踪范围和时间间隔

追踪范围和雨量等级分析的范围一致, 为覆盖我国东部地区的 300×300 个像素点, 追

踪的时间间隔为一小时,即利用两张相隔一个小时的云图进行追踪。

2. 消除经纬线和海岸线噪声

经日本气象厅处理的 800×800 像素点云图,已加有经、纬度线和海岸线,这些线条对像素点定位很有作用,但对云迹追踪却是有害的,因此在追踪实施前必须予以消除。我们对判定属于经、纬度线和海岸线的噪声的像素点亮度,采用邻域平均法作平滑处理⁽²⁾。

3. 样板面积和交叉相关系数

考虑到降水区的移动特别是强降水区的移动主要是云团尺度系统的移动,因此样板面积不宜取得太小,通过试验,取样板面积为 30×30 像素点(在 30°N 附近约等于 $188 \times 188 \text{ km}$,追踪目标点放在样板中心。交叉相关系数的定义为

$$R(x, y) = \frac{\sum_{y=y_0-\frac{n}{2}}^{y_0+\frac{n}{2}} \sum_{x=x_0-\frac{n}{2}}^{x_0+\frac{n}{2}} [F(x, y, t-\Delta t) - \overline{F(t-\Delta t)}] \cdot [F(x-x_0, y-y_0, t) - \overline{F(t)}]}{n^2 \cdot \sigma(t) \cdot \sigma(t-\Delta t)}$$

其中

$$\overline{F(t)} = \frac{1}{n} \sum_{y=y_0-\frac{n}{2}}^{y_0+\frac{n}{2}} \sum_{x=x_0-\frac{n}{2}}^{x_0+\frac{n}{2}} F(x-x_0, y-y_0, t)$$

$$\sigma(t) = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{y=y_0-\frac{n}{2}}^{y_0+\frac{n}{2}} \sum_{x=x_0-\frac{n}{2}}^{x_0+\frac{n}{2}} [F(x-x_0, y-y_0, t) - \overline{F(t)}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

式中 n^2 为样板像素点数, (x_0, y_0) 为样板中心坐标,即追踪目标的初始位置, Δt 为两张图的时间间隔。

在 $x_0 - l/2 \leq x \leq x_0 + l/2$, $y_0 - l/2 \leq y \leq y_0 + l/2$ 像素场内找出最大 $R(x, y)$ 值,其 $\max[R(x, y)]$ 所对应的像素场坐标 (x, y) 点即样板中心 (x_0, y_0) 点的最佳匹配点,这里 $l \times l$ 为检测匹配范围。考虑到节省机时和追踪目标一小时可能的最大移动距离,我们取 $l=40$ 个像素点,在 30°N 附近均等于 251 km 。

4. 对匹配效果的显著性检验和筛选

通过对实际个例的追踪试验,发现不论是用交叉相关法还是用矩不变量方法进行图象匹配,都有一定的错配率。

为改进匹配效果,我们增加了两个对样板样本和匹配样本作显著性检验的过程。在交叉相关取得最佳匹配的前提下,我们假定样板样本和匹配样本的平均亮度和对比度无显著差异,然后以 $\alpha=0.01$ 的显著性水平分别对平均亮度和对比度作 t 检验和 F 检验。当两个检验都通过时,才最后认可该匹配是正确的,否则即行筛去。通过增加上述筛选步骤,匹配的效果明显改善,配准率由原来的 0.5 左右提高到 0.95 左右。

四、自动处理子系统

利用卫星云图信息作降水强度定量分析和云迹追踪的自动化处理是在 VAX 3500 Workstation 上实现的,其工作流程见图 1。进程每小时自动执行一次。卫星云