

多涡自组织的初步研究*

周嘉陵^{1,2} 马镜娴¹ 陈联寿³ 罗哲贤¹

1 南京信息工程大学,南京,210044

2 江苏省气象台,南京,210008

3 中国气象科学研究院,北京,100081

摘要

在涡旋自组织动力学的框架内,用 f 平面二维准地转模式研究了初始场上不规则分布的由 12 个 和 中尺度涡构成的涡群如何自组织成一个较大涡旋的问题。结果表明,多涡自组织是一个逐次合并的过程,开始时是相邻双涡的合并,然后形成三涡流型,最后才形成一个 中尺度的终态涡。因此,多涡共存条件下的双涡作用,是多涡自组织的一个基本的物理过程。初始场上的每一个涡或涡块,主要有两类“前景”,一是其涡量与相邻涡涡量合并,成为新的一个涡的内区的涡量来源;二是被相邻涡的环流拉伸,成为新的一个涡的螺旋带涡量的来源。每一个新的涡,类似地也有这两类前景,直至惟一的一个较大尺度的涡自组织起来。初始涡结构描述精度不同,自组织过程中涡互旋和涡合并的速率均会不同,终态涡内区涡量来源也不相同,说明准确给出初始涡群涡结构特征十分重要。最后指出了二维准地转流自组织过程数值解的一个属性,即总动能缓慢衰减,总涡度拟能迅速衰减,最大尺度涡旋的环流迅速加大。

关键词: 涡旋, 涡合并, 自组织, 二维准地转流。

1 引言

沈武等^[1]初步分析了非轴对称双涡自组织的动力学,认为存在两类涡旋自组织的过程。第 1 类,终态涡内区涡量的堆集来源于初始场上的两个涡,记为涡 A 和涡 B。第 2 类,终态涡内区涡量的堆集仅来源于涡 A,终态涡外区螺旋带主要来源于涡 B。第 1 类自组织过程与 1970 年第 9 号、第 10 号台风合并过程相似。第 2 类自组织过程与西太平洋洋面上台风 Oliver 的生成相似。

实际大气中,涡自组织现象不仅在西太平洋洋面区域存在,而且在青藏高原区域存在。1995 年 8 月 9 日在高原上存在大片的对流单体群,后来这些对流单体群组织成一个 中尺度的对流系统(见文献[2]中图 3)。这个结果是根据 GMS-5 卫星增强红外云图经诊断分析得到的。至于这个 中尺度对流系统生成的物理过程,尚待进一步研究。

Chen 和 Yau 提出云块与涡块相当^[3],因此,对流体单体群的合并与涡块群的合并相当。我们可以从文献[2]的图 3a 中识别出大小不等的 12 个云块,这样,问题就可简化或归结为多涡或多涡块自组织的动力学。本文在双涡自组织研究^[1]的基础上,从多涡自组织的角度对此研究。

2 模式和试验概述

f 平面无强迫无耗散的二维准地转流满足方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + J(\psi, \nabla^2 \psi) = 0 \quad (1)$$

式中 ψ 为地转流函数, J 为雅可比算符。

用特征水平尺度 L 和特征水平风速 V 将式(1)无量纲化。这里, $L = 500 \text{ km}$, $V = 10 \text{ m/s}$ 。

$t = 0$ 时

$$\psi(x, y, 0) = \sum_{i=1}^{12} \psi_i(x, y, 0) \quad (2)$$

式中 $\psi_i = \nabla^2 \psi_i$, 为相对涡度。式(2)表明,在初始场

* 初稿时间:2005 年 8 月 10 日;修改稿时间:2005 年 10 月 15 日。

资助课题:国家自然科学基金重点项目(40333028)和甘肃省十五重点项目(CGS012-A45-118)。

作者简介:周嘉陵,女,博士,工程师,主要从事天气动力学研究,现工作单位为江苏省气象台。

上存在 12 个涡旋或涡块。假设 $i(x, y, 0), i = 1, 2 \dots 12$ 用下式描述

$$i(x, y, 0) = \begin{cases} \sin\left(\frac{x - x_{i1}}{x_{i3} - x_{i1}}\right) \sin\left(\frac{y - y_{i1}}{y_{i3} - y_{i1}}\right) & (x_{i3} - x_{i1}, y_{i3} - y_{i1}) \\ 0 & \text{其余区域} \end{cases} \quad (3)$$

初始涡中心的坐标为 (x_{i2}, y_{i2}) , 这里, $x_{i2} = (x_{i3} - x_{i1})/2, y_{i2} = (y_{i3} - y_{i1})/2$ 。令 $x_{i3} - x_{i1} = y_{i3} - y_{i1}$, 故初始涡均呈准圆形。

由于已取 f 平面假定, 故初始涡群没有系统的飘移, 可取简单的边条件。在南北边界, 令 $\frac{\partial}{\partial t} = 0$; 在东西边界, 取循环边条件。

本文计实施 3 组试验, 令 $\omega_0 = 20.0$ (无量纲量), 积分 72 h。

试验 A。计算区域为 $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$ 的正方形, 计 251×251 个格点, $I = 1, 2 \dots 251; J = 1, 2 \dots 251$ 。I 自西向东, J 自南向北依次加大。 $x = y = 4 \text{ km}$, 时步 30 s。初始场上, 12 个涡中心的坐标 (I_{i2}, J_{i2}) 分别为: (140, 130), (71, 81), (186, 118), (172, 94), (156, 84), (149, 108), (139, 99), (183, 159), (168, 170), (153, 182), (133, 176), (93, 161)。初始涡半径 r_i 分别为 50, 32, 32, 24, 32, 16, 20, 40, 32, 40, 36, 32 km。由 (I_{i2}, J_{i2}) 和 r_i 可以确定 $(I_{i3}, I_{i1}, J_{i3}, J_{i1})$ 的取值。初始相对涡度场如图 1a 所示。

试验 B。计算区域为 $1400 \text{ km} \times 1400 \text{ km}$ 的正方形, 计 351×351 个格点, $I = 1, 2 \dots 351; J = 1, 2 \dots 351$ 。 $x = y = 4 \text{ km}$, 时步 30 s。初始时刻 12 个涡中心的坐标 (I_{i2}, J_{i2}) 分别为 (190, 180), (121, 131), (236, 168), (222, 144), (206, 134), (199, 158), (189, 149), (233, 209), (218, 220), (203, 232), (183, 226), (143, 211)。初始涡半径与试验 A 相同。

试验 B 与试验 A 的差别只是计算区域大小不同。若将试验 A 的 4 条计算边界 (图 1a) 沿东、南、西、北 4 个方向各向外扩展 200 km, 即为试验 B 的计算区域。对比试验 A、B 的结果, 可以分析计算参数 (格点数或计算区域大小) 的影响。

试验 C。计算区域为 $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$ 的正方形, 计 501×501 个格点, $I = 1, 2 \dots 501; J = 1, 2 \dots 501$ 。 $x = y = 2 \text{ km}$, 时步 30 s。初始时刻 12 个涡中心的坐标 (I_{i2}, J_{i2}) 分别为 (279, 259), (141, 161),

(371, 235), (344, 188), (311, 168), (299, 216), (277, 198), (366, 319), (336, 339), (306, 364), (266, 351), (186, 321)。初始涡半径与试验 A、B 相同。

试验 C 与试验 A 的差别在于分辨率的高低不同。试验 A、C 中, 初始场上空间尺度最大涡的半径为 50 km, 相应的涡廓线由 13 个 (试验 A) 和 26 个 (试验 C) 格点值确定。空间尺度最小涡的半径为 16 km, 相应的涡廓线由 5 个 (试验 A) 和 9 个 (试验 C) 格点值确定。我们知道, 目前对初始中尺度涡的精细描述比较困难, 必然会带来一定的误差。对比试验 C、试验 A 的结果, 可以分析初始涡结构不同描述精度的影响。

3 主要结果

3.1 多涡共存环境中双涡相互作用

试验 A 中, 每隔 0.5 h 输出一次相对涡度场。 $t = 0 \text{ h}$, 在计算区域中心点 O 附近有一个涡, 记为涡 a。涡 a 东南方有一小的涡块, 记为涡 b (图 1a)。

在 0—1.5 小时, 涡块 b 被拉伸 (图 1b—1d)。在 2.0—3.5 小时, 涡块 b 继续被拉伸, 并成为涡 a 外围的一条螺旋带; 同时, 涡 a 本身也有涡量向外排放, 逐渐形成涡量外缘羽翼 (图 1e—1h)。这是尺度小的涡块 b 被尺度相对大的涡 a 吸收的过程。

除了涡 a 和涡 b 外, 在试验 A 的初始场上, 还有一个涡 c 和一个涡块 d (图 1a)。

在 0—1.5 小时, 涡块 d 也被拉伸, 形成涡 c 西南侧的一条涡量带; 涡 c 本身涡量向外排放形成涡量羽翼的现象更清楚 (图 1b—1d)。在 2.0—3.5 小时, 涡 c 与涡块 d 已融为一体, 合并成一个涡。这个涡内区的涡量基本上来源于涡 c; 这个涡的外区有两条螺旋带, 其北侧的螺旋带来源于涡 c 涡量的排放, 其南侧的螺旋带来源于涡块 d 的不断拉伸 (图 1e—1h)。

现在, 我们讨论初始场上涡 e 和涡 f 的演变。在 0—1.5 小时, 涡 e 与涡 f 逆时针互旋。 $t = 0.5 \text{ h}$, 两个涡的外缘接近, 但仍然独立存在 (图 1b)。 $t = 1.0 \text{ h}$, 两个涡明显变形, 成三角状, 但外缘部分已经连成一片 (图 1c)。这是双涡合并过程中共有的一个现象。 $t = 1.5 \text{ h}$, 涡 e、涡 f 均被拉长 (图 1d)。在 2.0—3.5 小时, 涡 e、涡 f 在互旋过程中合并。显然, 合并后的涡, 其内区涡量堆集来源于这 2 个涡, 其外区螺旋带有 2 条, 分别来源于涡 e、涡 f 涡量拉

伸形成的涡量羽翼(图 1f—h)。

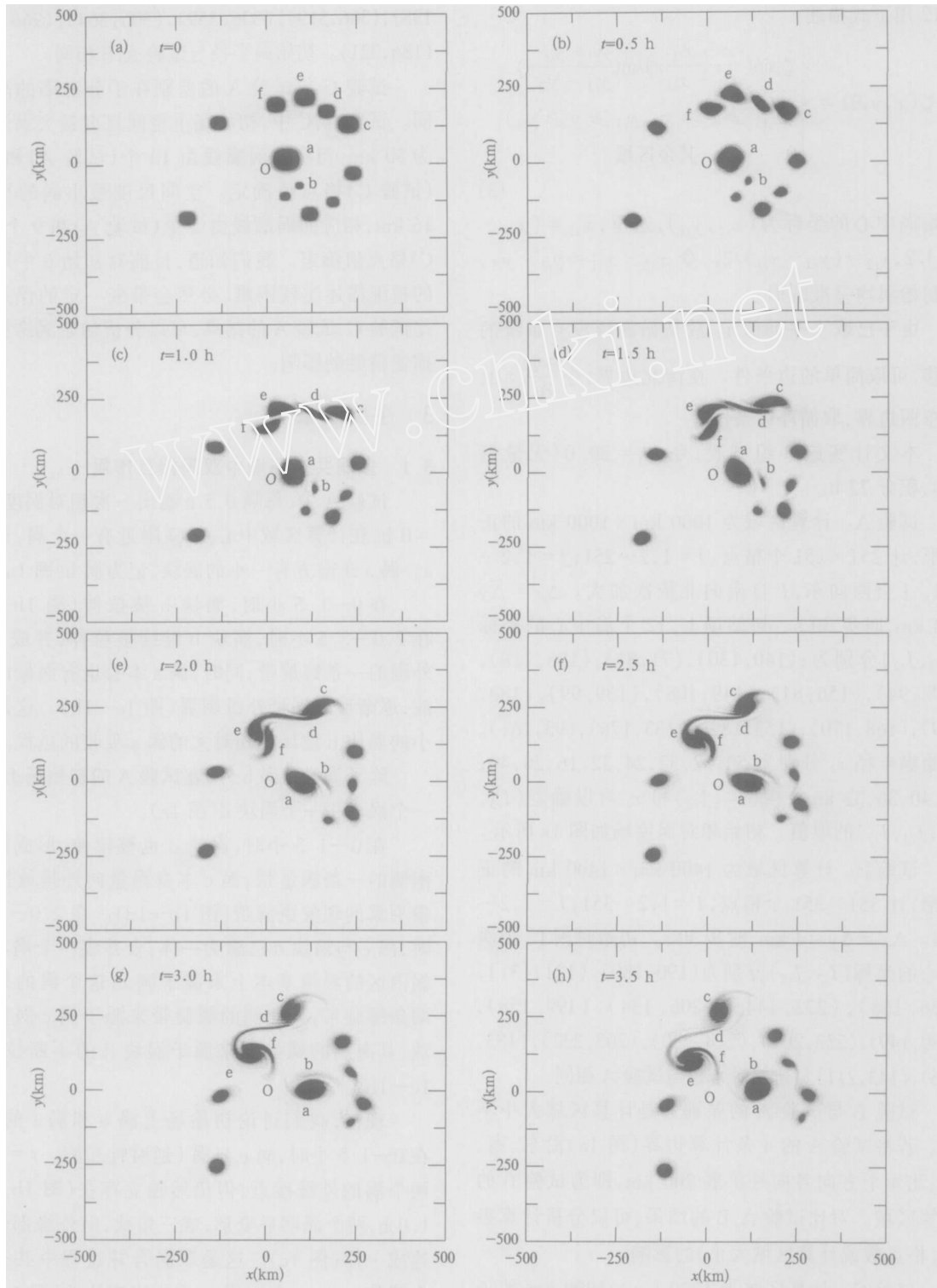


图 1 试验 A 相对涡度场随时间的变化

(a. $t=0$, b. $t=0.5$ h, c. $t=1.0$ h, d. $t=1.5$ h, e. $t=2.0$ h, f. $t=2.5$ h, g. $t=3.0$ h, h. $t=3.5$ h;
阴影最深处为相对涡度大于 9.0 的区域)

Fig. 1 Temporal evolution of the relative vorticity field in Exp A in the period of 0 - 3.5 h
(a. $t=0$, b. $t=0.5$ h, c. $t=1.0$ h, d. $t=1.5$ h, e. $t=2.0$ h, f. $t=2.5$ h, g. $t=3.0$ h, h. $t=3.5$ h; the boundary
lines between different grayscale levels denote successively the relative vorticity of 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, and
9.0 (non-dimensional quantity), respectively, with the darkest shading >9.0)

上述 3 个涡对中,涡 a、涡 c 尺度相对大,涡 b、涡 d 尺度相对小。这两个涡对的合并属于同一类型,即小涡被大涡吸收,小涡不断拉伸成为合并后涡外区的螺旋带。第 3 个涡对中,涡 e、涡 f 尺度相近,两者在合并后涡的形成过程中,所起作用相当。这些结果与文献[1]是一致的。经过 3 个涡对的双涡合并, $t=3.5$ h 时,初始时刻的 12 个涡减少至 9 个涡(图 1h)。

3.2 多涡共存环境中三涡相互作用

经过双涡合并, $t=3.5$ h,出现了 3 个尺度较大的涡(图 1h)。随后,这 3 个涡围绕着它们的几何中心呈逆时针方向旋转(图 2a)。为描述方便,在图 2a 上,这 3 个涡分别记为涡 A、B、C。除了涡 A、B、C 外, $t=3.5$ h 时位于涡 a 东侧的 4 个涡块(图 1h),在 $t=6.0$ h 时已连成一个涡量带,涡量带西段有涡 F,东段有涡 G。在涡 A 南侧还有涡 E 和涡 D(图 2a)。

$t=12$ h,涡 A、B、C 继续以其几何中心互旋。互旋过程中,涡 E 被涡 A 吸收,涡 G 被涡 B 吸收,涡 F 被拉伸成了涡 C 的螺旋带(图 2b)。

$t=18$ h,涡 A、涡 B 的外缘线连成一片,这预示着涡 A 与涡 B 将合并(图 2c)。

$t=21$ h,涡 A、B、C 继续互旋,同时,3 个涡的外缘线已经相连(图 2d)。

24—27 h,涡 C 被拉伸,并成为涡 B 南侧的螺旋带;涡 A 与涡 B 的距离减小,涡 A 被拉伸(图 2e—2f)。

$t=30$ h,涡 A 已成为涡 B 西侧的一条螺旋带(图 2g)。

$t=33$ h,一个中尺度的类似于台风螺旋结构的涡已经初步组织起来。一直在 A、B、C 涡群外侧的涡 D,也构成了合并涡外围的一个涡块(图 2h)。至此,初始场上 12 个独立的涡已组织成一个尺度相对较大的涡旋。

3.3 水平侧边界对多涡自组织影响的分析

在自组织的动力学中,已经假定水平侧边界作用的影响可以忽略。试验 A 中,涡 D 距计算区域边界仅 125 km(图 2f),侧边界的影响是否确实可以忽略需要分析。试验 B 中,将图 2 所示水平侧边界沿东、西、南、北 4 个方向各向外伸展 200 km,计算区域从 1000 km × 1000 km 扩大为 1400 km × 1400 km,其余条件与试验 A 相同。结果如图 3。

仔细对比图 2 和 3,可见两者十分相似。特别

是涡 D 的演变过程两者一致(图 2g—2h,图 3g—3h)。说明:尽管式(1)是一个高度非线性的系统,计算区域大小等计算参数的改变对计算结果并无明显影响,上述试验 A 的分析理应可信。

3.4 初始涡结构不同描述精度对涡旋自组织的影响

如上所述,试验 A、C 对初始涡结构的描述精度不同。试验 A 中,相应涡廓线由 13 个格点值描述,试验 C 中,同样的涡廓线由 26 个格点值描述。前者属粗描述,后者属细描述。现在分析不同描述精度对结果的影响。

试验 C 中相对涡度场随时间的演变列于图 4。

对比图 2、图 4,可见试验 A、C 有以下相似之处:

(1) 经过 6 h 的积分,均从初始时刻 12 个涡变为 9 个涡。9 个涡的分布是相近的(图 2a,4a)。

(2) 若不计涡 D,都经历了 9 涡—3 涡—双涡—单涡的演变过程,都经过自组织途径生成了一个较大尺度的终态涡(图 2a—2h,图 4a—4h)。

对比图 2、图 4,可见试验 A、C 有以下不同之处,这些差异反映了初始场不同精度描述的影响。

(1) 涡互旋速率不同

6—24 小时,涡 B 与涡 A 互旋,试验 A 中,涡 B 约旋转了 390°(图 2a—2e);试验 C 中,涡 B 约旋转了 330°(图 4a—4d)。此外,涡 D 绕涡群旋转的速率也较慢。

(2) 合并过程速率不同

试验 A 涡合并过程较快,试验 C 涡合并过程较慢。

(3) 终态涡内区涡量来源不同

试验 A 中,终态涡内区涡量主要来源于涡 B(图 2e—2h);试验 C 中,终态涡内区涡量系由涡 A 和涡 B 两者涡量的堆集形成(图 4f—4h)。

3.5 涡自组织过程中涡度拟能的下降和涡旋环流的上升

式(1)描写的无耗散的非线性系统具有 2 个解析的守恒量,即总动能和涡度拟能。由于是求数值解,为抑制非线性的计算不稳定,需要加平滑运算,实质上引进了弱耗散作用。在此场合,二维准地转流的一个重要性质是选择耗散,即总动能衰减慢,涡度拟能衰减快。我们计算了试验 A 中相对总动能 R_e 和相对涡度拟能 R_v 随时间的变化(图 5a,5b)。

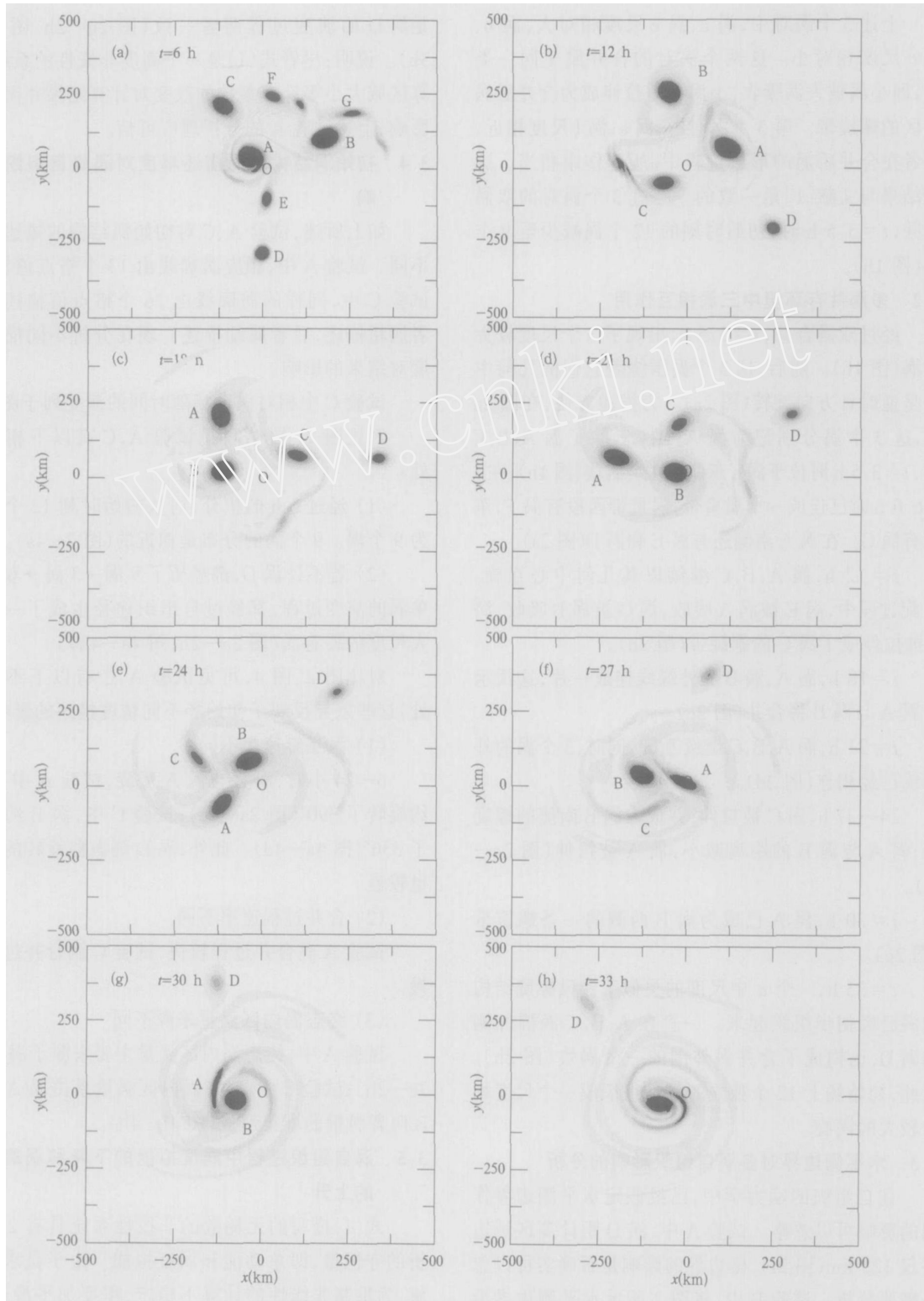


图 2 试验 A 相对涡度场随时间的变化

(a. $t=6$ h, b. $t=12$ h, c. $t=18$ h, d. $t=21$ h, e. $t=24$ h, f. $t=27$ h, g. $t=30$ h, h. $t=33$ h;
 相对涡度 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 为不同深浅阴影区的分界线, 阴影最深处(无量纲))

Fig. 2 Same as Fig. 1 but for in the period of 6.6 - 33.0 h

(a. $t=6$ h, b. $t=12$ h, c. $t=18$ h, d. $t=21$ h, e. $t=24$ h, f. $t=27$ h, g. $t=30$ h, h. $t=33$ h)

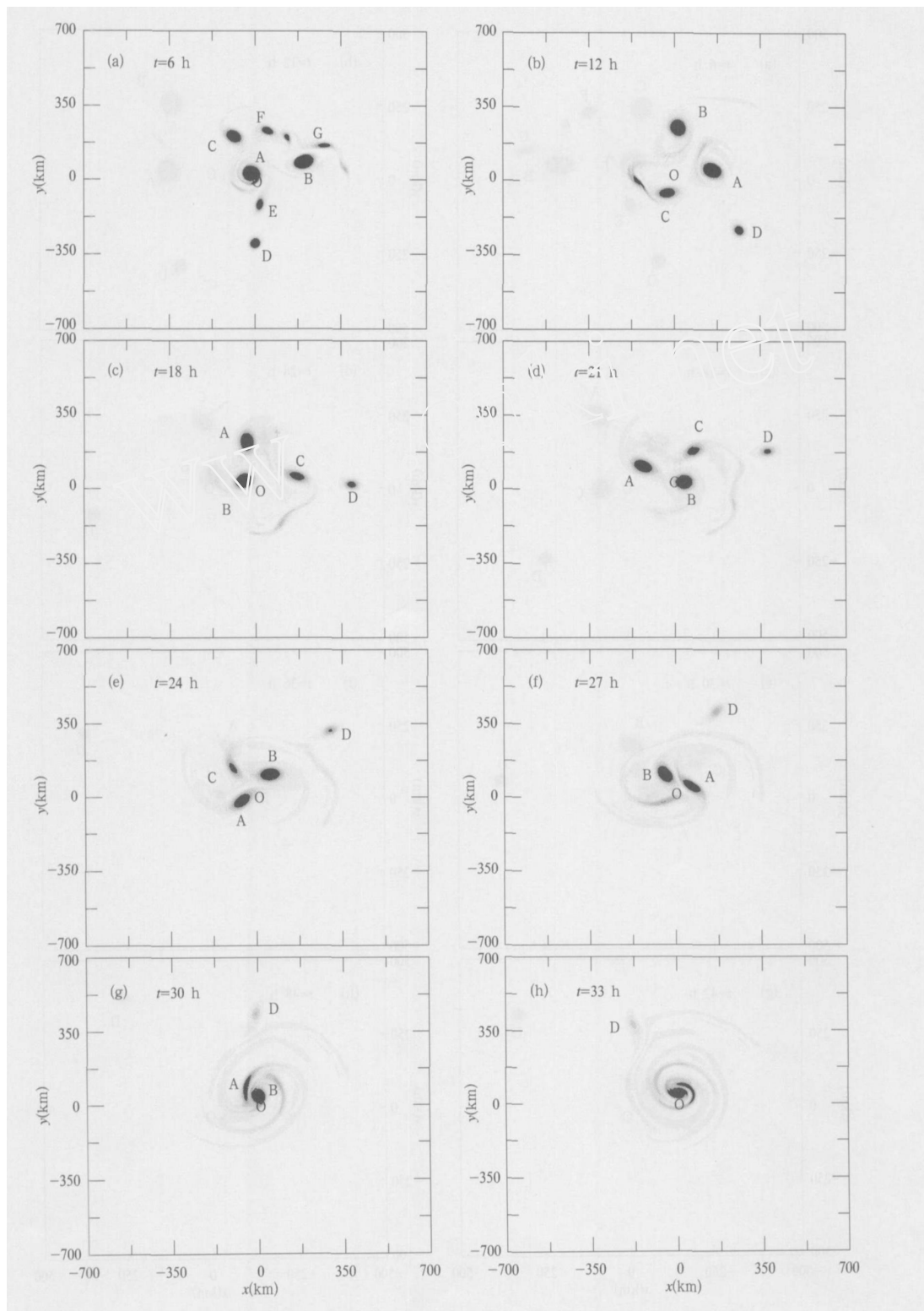


图 3 试验 B 相对涡度场随时间的变化

(a. $t=6$ h, b. $t=12$ h, c. $t=18$ h, d. $t=21$ h, e. $t=24$ h, f. $t=27$ h, g. $t=30$ h, h. $t=33$ h; 其余同图 2)

Fig. 3 Same as Fig. 2 but for Exp B

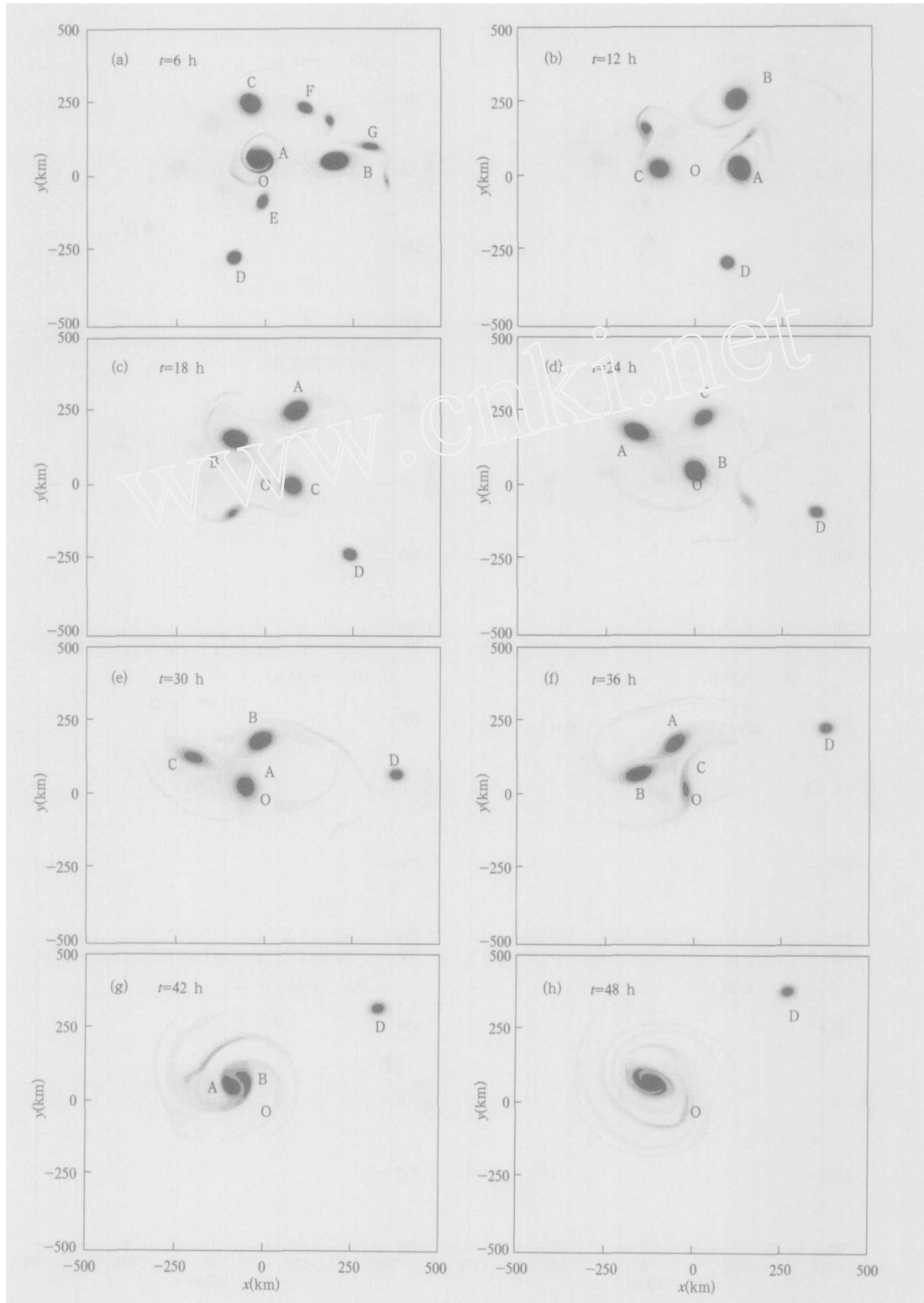


图 4 试验 C 相对涡度场随时间的变化

(a. $t=6$ h, b. $t=12$ h, c. $t=18$ h, d. $t=24$ h, e. $t=30$ h, f. $t=36$ h, g. $t=42$ h, h. $t=48$ h; 其余同图 2)

Fig. 4 Temporal evolution of the relative vorticity field in Exp C in the period of 6.0 - 48 h

(a. $t=6$ h, b. $t=12$ h, c. $t=18$ h, d. $t=24$ h, e. $t=30$ h, f. $t=36$ h,

g. $t=42$ h, h. $t=48$ h; the shadings are same as Fig. 2)

这里, $R_e(t) = E(t)/E(0)$, $R_v(t) = E_v(t)/E_v(0)$, E 与 E_v 分别为总动能和涡度拟能。结果清楚地显示了选择耗散的性质。

众所周知,相对涡度描述的是空气微团的旋转属性,是流体涡旋运动的微观描述。环流描述涡旋整体的旋转属性,是流体涡旋运动的宏观描述。我们每隔 3 h 输出一组相对涡度场,挑选出每个时刻计算区域内空间尺度最大的涡,计算这些涡的相对环流,记为 R_c 。这里,定义 $R_c = \Gamma(t)/\Gamma(0)$, 为环流。 R_c 随时间的演变如图 5c。

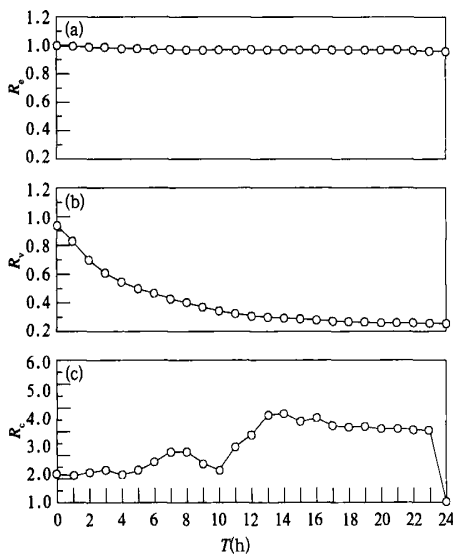


图 5 试验 5 中,相对总能量 R_e (a),相对总涡度拟能 R_v (b),和最大尺度涡的相对环流 R_c (c) 随时间的变化

Fig. 5 Temporal evolution of relative total kinetic energy R_e (a) and enstrophy R_v (b), and the relative circulation R_c of the largest vortex (c) in Exp A

由图 5 可见二维准地转流自组织过程数值解的一个属性,即总动能缓慢衰减,总涡度拟能快速衰减,最大尺度涡旋的环流迅速加大。

4 结论和讨论

实际大气中,存在着双涡合并的观测事实。如 1970 年 9 号与 10 号台风开始是各自向偏西方向移动,后来在台湾岛以东洋面上合并为一个台风,继续西行。9 号、10 号台风的两个台风眼在合并后的台风环流中继续存在,这两个台风眼在福建中部和南

部分别登陆,使登陆过程复杂化并带来预测上的困难^[4]。双涡合并的另一个例子是两个中尺度涡合并生成了一个尺度较大的涡,后来发展为台风 Oliver^[5]。

涡合并的观测事实不仅存在于西太平洋洋面。Akiyama^[6]根据云图分析,认为梅雨锋中,天气尺度、 β 和中尺度系统共存。丁一汇^[7]进一步指出,中尺度系统可以通过合并的途径维持中尺度系统。

涡合并的观测事实不仅限于双涡,还可包括多涡。截止目前,可能最为典型的一个多云块或多涡块(云块合并与涡块合并有一定的等价性)合并的例子是马禹、王旭和陶祖钰^[2]提出来的。这个例子(见文献[2]中图 3)非常引人注目,以致于张玉玲^[8]将此例合并后的图片作为“中尺度大气动力学引论”专著的封面。

在大气科学领域,双涡合并动力学已取得显著进展^[1],但多涡合并的动力学结果较少。有的工作^[9]用正压原始方程模式积分,分析初始场上 8 个涡随后的演变。通过合并,8 个涡变成了 5 个涡。由于积分时间短,这 5 个涡如何继续演变并不清楚。

我们根据文献[2]中图 3a(即合并前的云图)的云图识别出了大小不等的中和中尺度的云块计有 12 个,用同样区域,同样大小的 12 个涡块来近似描述这种分布并作为数值计算的初始场。在模式大气中,这 12 个涡经过逐次合并,最终形成了一个中尺度的终态涡,这是本文最主要的结果,与文献[2]中图 3 也是定性一致的。由于本文模式中没有引进非绝热强迫,这个 12 个涡演变为一个较大尺度涡的过程是一个自组织的过程。

本文工作框架为涡旋自组织的动力学,是理想模式的结果。多涡合并涉及多种物理过程,这些过程很可能十分重要^[10-12],本文并没有涉及,有待继续研究。

致谢:高守亭研究员对本研究给予了指导,谨致谢意。

参考文献

- [1] 沈武,周嘉陵,马镜娴等. 非轴对称双涡相互作用的研究. 气象学报,2006,64(4):
Shen Wu, Zhou Jialing, Ma Jingxian, et al. A study on interaction of non-axisymmetric binary vortices. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2006:64(4):

- [2] 马禹,王旭,陶祖钰. 中国及邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展,1997,7(6):701-706
Ma Yu, Wang Xu, Tao Zuyu. A survey of meso-scale convective systems and their temporal and spatial characteristics over China. Progress in Natural Sci (in Chinese), 1997, 7(6):701-706
- [3] Chen Y, Yau M K. Spiral bands in a simulated hurricane. Part I: Vortex Rossby wave verification. J Atmos Sci, 2001, 58:2128-2145
- [4] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京:科学出版社, 1979. 262-324
Chen Lianshou, Ding Yihui. A Panorama of Northwestern Pacific Typhoon. Beijing: Science Press, 1979. 262-324
- [5] Simpson S E, et al. Mesoscale interactions in tropical cyclogenesis. Mon Wea Rev, 1997, 125:2643-2661
- [6] Akiyama T. Large, synoptic and mesoscale variations of the Baiu front during July 1982. Part I: Space time scale and structure of frontal disturbances. J Meteor Soc Japan, 1990, 68:705-727
- [7] 丁一汇. 1991 年长江淮河流域持续性特大暴雨研究. 北京:气象出版社, 1993. 1-255
Ding Yihui. The Research of Severe Heavy Rainfall Storm of Jianghuai River Valley in 1991. Beijing: China Meteorological Press, 1993. 1-255
- [8] 张玉玲. 中尺度大气动力学引论. 北京:气象出版社, 1999. 1-313
Zhang Yuling. Mesoscale Atmospheric Dynamics Chinese J Atmos sci. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 1-313
- [9] 罗哲贤,徐祥德,陈联寿. 涡旋合并过程的数值研究. 大气科学, 2002, 26:807-816
Luo Zhexian, Xu Xiangde, Chen Lianshou. A preliminary study of the merge process of vorticity lumps. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 2002, 26:807-816
- [10] 谢安,肖文俊,陈受钧. 梅雨期间次天气尺度扰动的能量平衡. 气象学报, 1980, 38:351-359
Xie An, Xiao Wenjun, Chen Shoujun. Energy budget of sub-synoptic scale disturbance during mei-yu period. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 1980, 38:351-359
- [11] 郑新江,陶诗言,罗敬宇等. 1998 年 7 月 21-22 日特大暴雨过程的中尺度云团特征分析. 气象学报, 2001, 59:625-631
Zheng Xinjiang, Tao Shiyun, Luo Jingyu, et al. Characteristics of meso-scale cloud cluster during torrential rain process in Wuhan on 21-22 July 1998. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2001, 59:625-631
- [12] 徐亚梅,高坤. 1998 年 7 月 22 日长江中游中尺度低涡的数值模拟及分析. 气象学报, 2002, 60:85-95
Xu Yamei, Cao Kun. Simulation and analysis of meso-scale vortex over middle reaches of the Yangse River on 22 July 1998. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60:85-95

A PRELIMINARY STUDY ON THE SELF-ORGANIZATION PROCESS OF MULTIVORTICES

Zhou Jialing^{1,2} Ma Jingxian¹ Chen Lianshou³ Luo Zhexian¹

1 *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*

2 *Jiangsu Meteorology Observatory, Nanjing 210008*

3 *Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081*

Abstract

In the context of advection dynamics, the self-organization process of initially scattered 12 meso- and -scale vortices evolving into a synoptic-scale typhoon-like vortex is numerically explored with an f -plane 2-D quasi-geostrophic vorticity equation model in this paper. The results show that the self-organization process was a step-by-step merging course, namely the two adjacent vortices firstly merged, then tri-vortex flow pattern formed, and finally it evolved into a resultant vortex of meso- scale. Thus it can be seen that the interaction of binary vortices under an ambient environment of multi-vortices coexistence was a basic physical process of multi-vortices self-organization. Each initial vortex or vorticity lump confronted two ways out: it merged with an adjacent vortex, thus became a source of the inner region vorticity of the new formed vortex; or it was stretched by the circulation of a adjacent vortex, then became the vorticity source of the spiral band of the new vortex. Similarly, each new formed vortex also confronted the two ways out, until the multi-vortices self-organized into a single vortex of larger scale. The representation precision of the initial vortex structure directly affected the speeds of the mutual rotation and merging of binary vortices in the course of self-organization, and it also determined the source of the inner region vorticity of the resultant vortex. Therefore, it is important to provide the accurate description of initial vortices structure. At last, a property of the numerical solution of the self-organization for the 2-D quasi-geostrophic flow is that the total kinetic energy decays slowly, the total enstrophy decreases rapidly, and the circulation of the vortex of the largest scale grows quickly.

Key words: Vortex, Vortices merging, Self-organization, 2-D quasi-geostrophic flow.