

登陆台风 Winnie(1997) 的数值模拟研究 : 结果检验和云系的模拟

朱佩君 陈敏 陶祖钰 王洪庆

(北京大学物理学院大气科学系, 暴雨监测和预测国家重点实验室, 北京, 100871)

石步鸺

(中国民航北京气象中心, 北京, 100621)

摘 要

用非静力平衡的中尺度模式 MM5(V2) 对 1997 年 11 号台风 Winnie 在登陆后演变为温带气旋的过程进行了 48 h 模拟。结果表明: MM5 不仅比较好地模拟出台风在陆地上的移动路径及其产生的降水, 而且成功地模拟出了台风登陆后次中心的产生。利用模拟大气中的水物质(云水、雨水、冰晶、雪水和霰)模拟了台风云图, 很好地展示了在卫星实际观测的红外云图上, Winnie 台风在登陆后其云系的结构从热带气旋的螺旋结构到温带气旋的锋面云系结构的转变过程。因此对 Winnie 台风的数值模拟可以作为深入研究台风登陆后从热带气旋演变为温带气旋的变性过程的基础。

关键词: 台风, 数值模拟, 云系。

1 引 言

在台风研究中, 对台风登陆后的路径, 热力学和动力学结构, 台风的衰亡、变性, 再次增强的可能原因, 台风外围暴雨以及在其北上过程中与西风带相结合的过程等等研究都已有不少。在早期的研究中, 主要以天气学方法、统计方法、诊断分析为主。目前这些方法仍不失为有效可行的方法^[1]。随着各种数值模式的发展, 利用模式对登陆后的台风的数值研究也逐渐地增多, 其中以各种参数化方案、地形以及凝结潜热对台风的影响为多^[2]。用数值模式对台风结构的详细分析大多注重于成熟台风^[3,4]。应用数值模式对登陆后台风的结构变化以及变性为温带气旋的过程的研究目前尚少见。文中通过数值模拟对台风 Winnie(1997) 登陆后的变性过程及其不同阶段的结构特征与变化的机制进行研究, 本文为该研究的第一部分内容包括对模拟的结果的检验和对台风云系的模拟。

Winnie 台风是非常典型的在华东地区登陆后北上, 并在陆地上经过长距离的行进最后演变成温带气旋的个例。它于 1997 年 8 月 10 日在西太平洋生成, 在向西北方向移动过程中不断加强发展为台风。18 日 21 时 30 分(北京时) 在浙江温岭的石塘镇登陆, 登陆时近中心最大风速仍有 40 m/s。19 日晨在浙江中部减弱为强热带风暴, 以后进一步减弱为热带风暴, 经安徽东部逐渐向北移动, 穿过江苏北部。20 日 08 时在山东中部产生次中心, 使台风路径出现了不连续北跳。次中心出现后, 继续向偏北方向移动, 于 20 日下午进入渤海海面, 20 日夜间在辽宁再次登陆。21 日上午在辽宁境内减弱为低气压, 并向东北方向移动, 22 日晨到达黑龙江东部。

Winnie 台风在陆上维持时间长, 跨越了中国东部的大部分地区。受台风环流及其倒槽的影响, 华东地区以及东北地区的东南部普降暴雨到大暴雨, 山东等地还出现了特大暴雨。

文中所使用的模式是美国宾州大学和美国国家

大气科学研究中心的非静力平衡中尺度模式 MM5 (V2)。模拟区域以 35°N, 115°E 为中心, 应用两重嵌套网格, 粗网格格距为 54 km, 格点数为 73 × 85; 细网格格距为 18 km, 格点数为 121 × 121。垂直方向为不等距的 26 层, 其值分别为: 1.0, 0.99, 0.98, 0.94, 0.92, 0.89, 0.86, 0.83, 0.78, 0.73, 0.68, 0.63, 0.59, 0.55, 0.51, 0.47, 0.42, 0.37, 0.32, 0.27, 0.22, 0.17, 0.12, 0.06, 0.02, 0。模拟时间从台风在浙江登陆后的 8 月 19 日 00 时(UTC) 开始到 8 月 21 日 00 时(UTC), 积分 48 h, 几乎涵盖了 Winnie 台风登陆后的全过程。模式的初始场由常规资料经客观分析后插值到中尺度网格上构成, 对台风未进行人工处理。在模式中粗网格使用了 Grell 对流参数化方案, 而细网格选用 Betts-Miller 对流参数化。对于计算格点尺度的饱和降水, 粗细网格都采用了 REISNER 软雹方案。边界包层参数化中应用了高分辨率的 Blackadar PBL 方案。

模拟结果的检验除了包括通常台风的移动路径、中心气压、降水之外, 还运用模式大气中的水物质制作的台风云图与 GMS 卫星红外云图进行对比检验。

2 台风移动路径、中心气压和降水的检验

图 1 给出了粗、细两种网格模拟的台风移动路径与实况(根据 1997 年的台风年鉴)的对比, 不难看出这 3 条路径是相当接近的, 都是典型的抛物线型路径。三者的移动方向非常一致, 先是向西北方向移动, 然后逐渐转向, 说明对 Winnie 台风路径的数值模拟基本是成功的。但这 3 条路径之间还是存在一定的差异。首先, 由于文中所用的初始场和实况存在一定的差异, 因此在初始时刻模式大气中的台风位置就较实况略偏南。但是在前 24 h 的模拟中, 模拟的台风路径和实况逐渐接近。在后 24 h 的模拟中, 模拟的路径无论是粗网格还是细网格, 都较实况略偏北。值得指出的是, 模拟台风路径中也出现了与实况相同的跳跃现象, 即在 20 日的 20 时到 21 日 02 时, 台风的移动速度较前 12 h 突然加快了 2~3 倍。从图中给出的每 6 h 的位置看, 三者的位置还是存在比较明显的差异, 特别是最后的 6 h。它表明在台风转向和变性后, 模式大气中台风速度明显地快于实况。每 6 h 位置与实况的偏差大约为 40~200 km, 最大的偏差发生在最后的 12 h。

台风登陆后路径的北跳现象与台风环流北部出

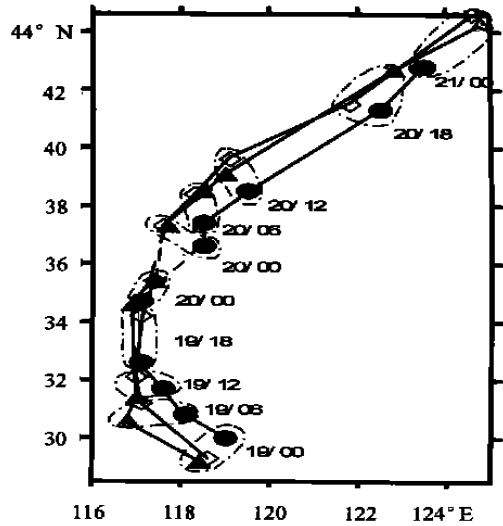


图 1 19 日 00 时~ 21 日 00 时每 6 h 一次的台风中心位置

(— 为台风年鉴的位置, - - 为粗网格模拟的位置, ··· 为细网格模拟的位置, 虚线连接的为同一时刻的两个中心)

现次中心有关, 在台风年鉴中可以找到不少这样的个别。黄伟等^[2]认为次中心的出现与台风北侧特别强的降水所释放的凝结潜热有关。励申申等^[5]对 7613 号登陆台风的能量计算后, 发现台风的衰减主要与它向暴雨区的能量输送有关, 这种能量输送使雨区的强度增强, 而强降水所释放的潜热又有利于次中心的形成。在本例中, Winnie 台风的北侧也出现了中心为 109 mm(19 日 00 时~ 20 日 00 时)的强降水区, 次中心出现的位置就在强降水发生区域。文中的模拟也成功地模拟出了次中心的产生。在积分 24 h 的 20 日 00 时, 细网格的海平面气压分布图(图 2b)上可以清楚地看到两个同等强度的低压中心, 数值为 997 hPa。与实况(图 2a)相比, 原来中心的位置基本一致, 次中心偏北约 100 km。在粗网格模拟的海平面气压图上, 只出现了一条狭长的低值区, 未形成两个闭合中心(图略)。它表明对于台风路径上产生次中心这一重要现象, 细网格具有更好的模拟能力。

图 3 为台风中心气压的变化图。从总的变化趋势看, 实况与模拟的中心气压变化比较一致。登陆后, 其中心气压持续减弱, 在出现次中心之后中心气压又有加深的趋势, 但在总体上模拟的中心气压略偏高, 最大偏差的数值为 3 hPa。应该指出的是, 按照台风年鉴所给的中心气压的变化趋势表现出明显的不连续现象。在登陆的初期, 中心气压突然升高,

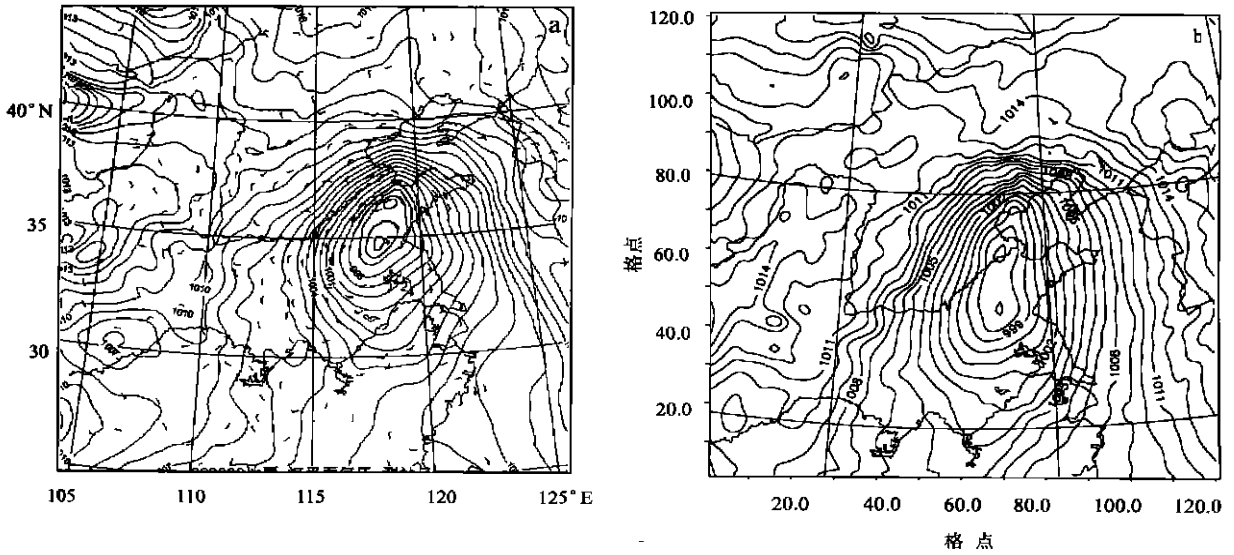


图2 20日00时的海平面气压图

(a. 海平面气压实况, b. 细网格模拟的海平面气压; 间隔1 hPa)

以后3个时次维持不变。在次中心形成时, 中心气压又一次急剧升高, 以后中心气压又稳定维持了4个时次后再加深。我们根据台风中心附近地面测站的最低实测气压, 在图中加绘了一条变化连续的中心气压变化曲线来与模拟的结果进行对比。可以看出模拟的结果和实测的最低气压变化曲线具有较好的一致性。二者变化都呈半波形, 先持续地衰减直到次中心的北跳, 然后再逐渐加深。它反映出台风

变成温带气旋后, 其斜压性促使中心气压再度下降。

粗细网格的降水模拟结果非常类似, 只不过细网格模拟的降水分布中具有更详细的中-尺度的雨团信息。为了避免累赘, 这里仅给出细网格降水与实况降水的对比。从图4所给出的前24h模拟降水(图4a)与实况降水(图4b)对比可见, 两者的降水范围基本一致。陆地上最强的降水发生在山东省东部和南部, 从江苏北部到浙江沿海有一条狭长的较弱雨带, 安徽南部有较小的强降水区。有意思的是模拟的降水分布中, 中尺度雨团的特征非常明显, 雨区中存在多个尺度在100~200 km之间的强降水中心, 而且它们的分布显示出台风降水的螺旋状结构。仔细对比可以发现, 实况降水中心在模拟图中都可以得到反映, 但在强度和位置上, 存在着一定差距。如在山东南部的模拟雨区中心位置偏西北并且强度偏弱, 东部的模拟降水也较实况偏弱。这与王建捷等^[5]用MM5模式所得的预报降水量偏小的结论相一致。

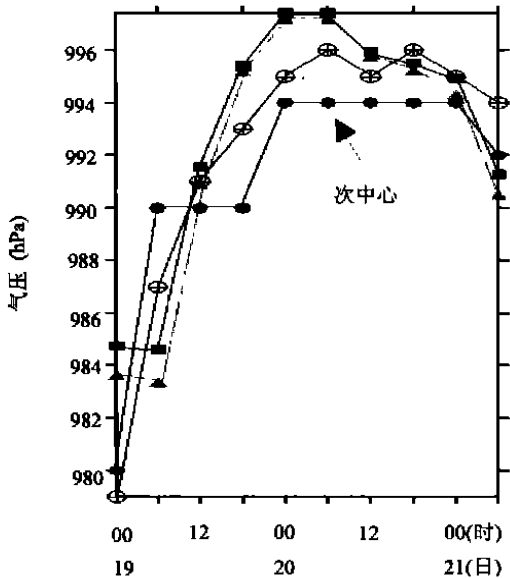


图3 19日00时~21日00时(UTC)每6h一次的中心气压的变化

(○ 为台风年鉴的中心气压, □ 为模拟的粗网格中心气压, △ 为模拟的细网格中心气压, + 台风中心附近的最低测站气压)

后24h的模拟降水(图4c)与实况(图4d)的范围吻合得很好, 降水区主要位于河北省东北部和东北地区南部。从渤海湾北部到辽宁东部的一条东北西南向的强降雨带位置也非常一致, 但在模拟的中心量值上出现了较明显的偏强现象, 最大偏差为90 mm。说明在相同的模式试验条件下, 前24h模拟降水偏弱, 后24h降水偏强, 这种现象的出现很可能与Winnie台风变性前后降水的性质发生变化有关。

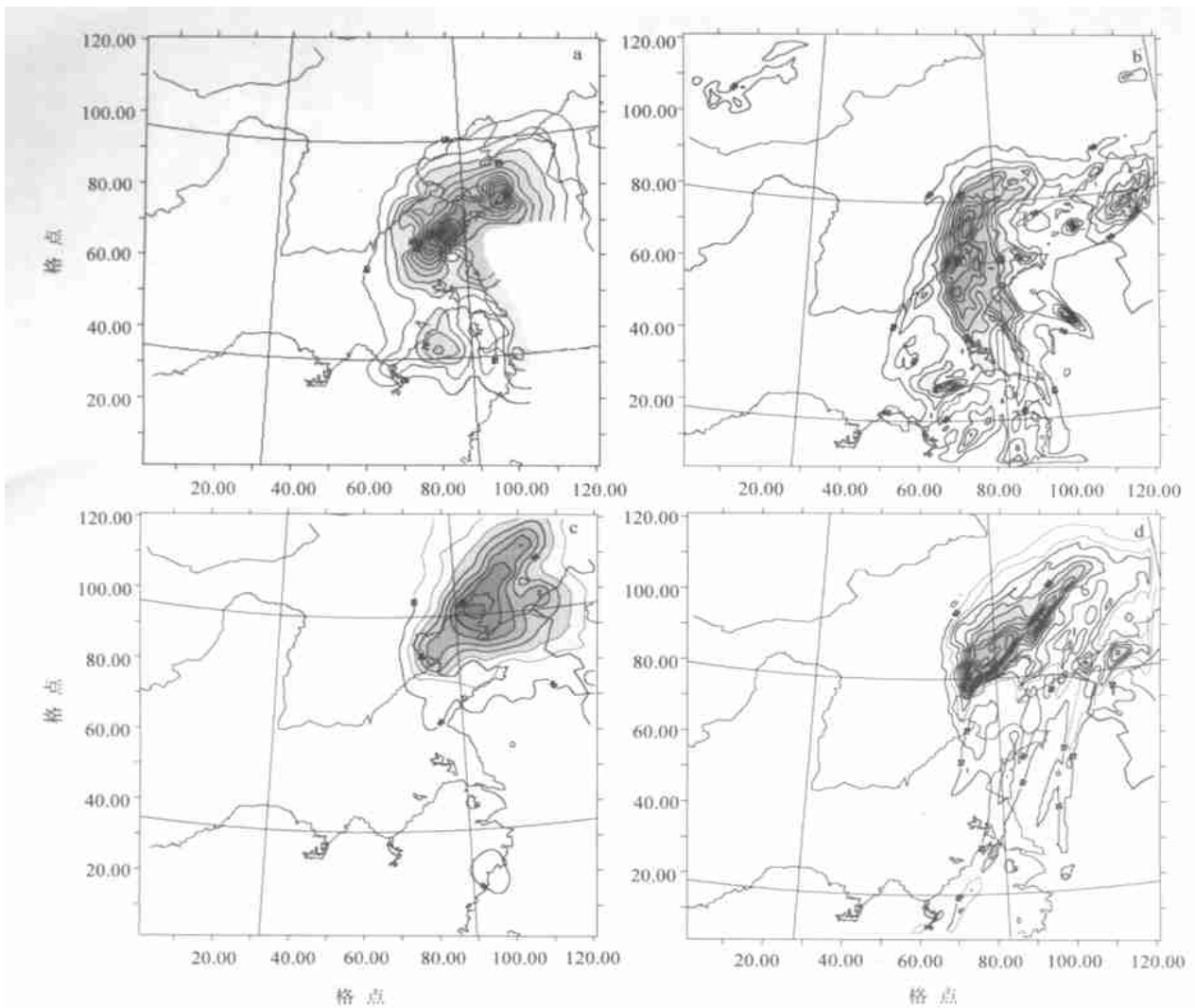


图4 24 h降水模拟值与观测值对比

(a. 19日00时~20日00时实况降水, b. 与a同时段的细网格模拟降水, c. 20日00时~21日00时实况降水, d. 与c同时段的细网格模拟降水; 单位: mm, 间隔为20 mm)

3 台风云系结构的演变和检验

由于在计算格点尺度的饱和降水中, 采用了REISNER软包方案, 所以在模式输出中提供了5种水物质(云水、雨水、冰晶、雪水以及霰)混合比, 这为将卫星所观测到的台风云系与数值模拟的结果进行比较创造了条件。为此, 文中把模式输出的大气中所含的所有液态水和固态水的总混合比, 用可视化软件Live View^[7]制作水物质的空间等值面顶视图, 作为模拟的台风云系图像, 并将它与同时刻卫星所观测的增强红外云图进行对比。结果表明, 水物质总含量为0.001 kg/kg的等值面顶视图大致相当

于红外云图中的增强部分。

在积分的前11 h内, 从模拟云图上, 都可以清楚地显示出台风云系的螺旋状结构。以积分到8小时的云图(图5a)为例, 台风眼区周围的强对流云区与台风外围的螺旋雨带及其北部的宽阔云区都与19日08时的GMS卫星红外云图(图5b)中的增强部分不仅形状很相似, 而且位置也基本一致。在红外云图中, 深厚而宽广的云区位于台风的北部和东北部, 并有清晰的螺旋状结构, 台风南部的云系较弱, 但仍可看到有两条白色的螺旋云带, 位于浙赣和福建上空。这些云系结构特征在模拟云图上都有不同程度的表现。

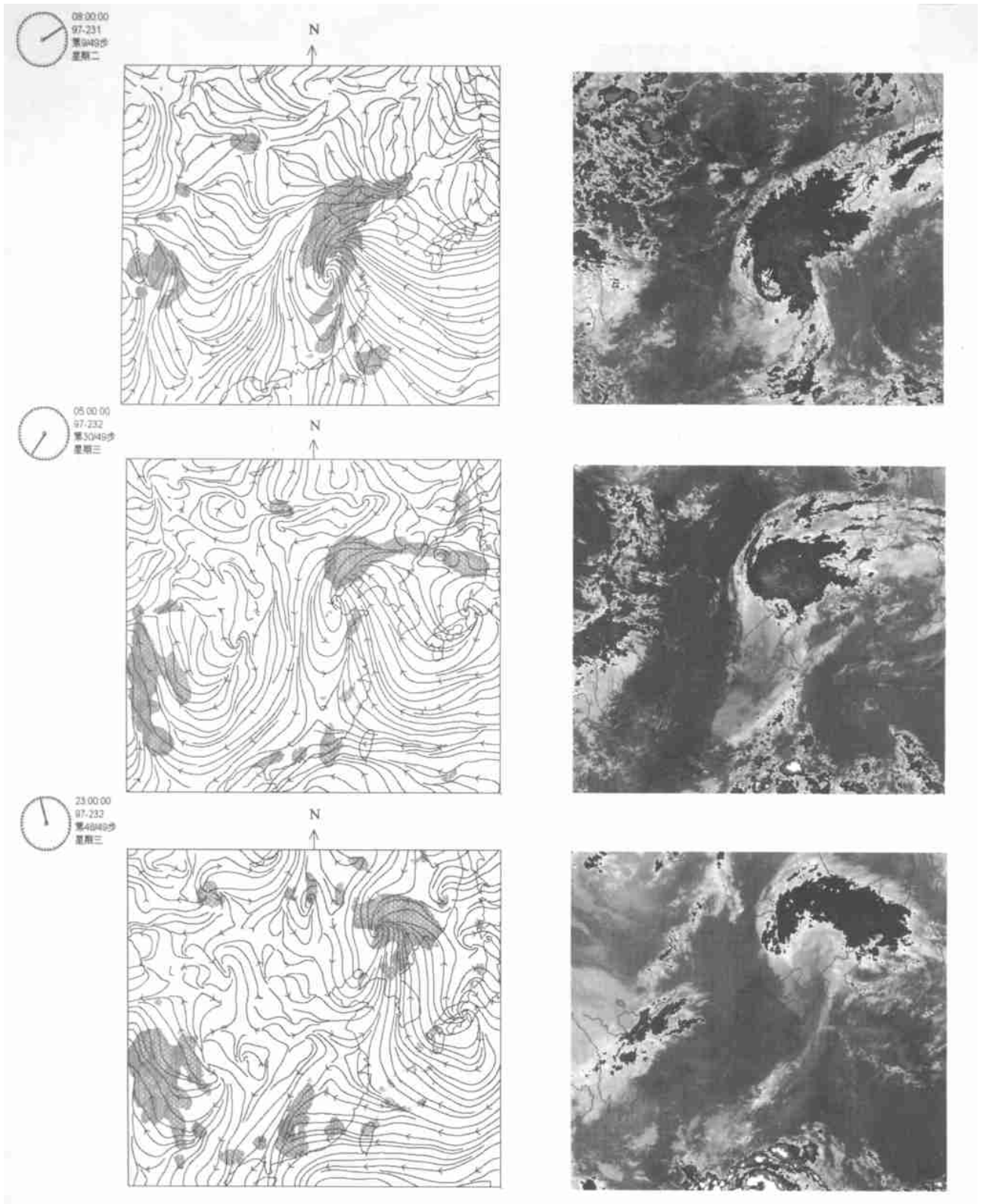


图 5 模拟云图与 GMS 红外增强云图

(左侧自上而下分别为积分 8, 29, 47 h 的模拟云图, 叠加了 1000 hPa 的流场; 右侧自上而下分别为与左侧相对应时刻的 GMS 红外增强云图)

20 日 03 时以后, 整个云系的特征开始发生明显的变化。在图 5d 所给出的 20 日 05 时红外云图上可以看到, 云系已呈现出发展中气旋的云型特征。北部为与强大的暖平流相联系的宽阔的斜压叶状云区, 南部为狭长的冷锋云带, 这与 Carlson T N^[8] 所总结的在气旋的发展初期典型的云分布模型相一致。同一时刻的模拟云图(图 5c) 也清楚地表现为一个温带气旋云系所具有的冷暖锋结构, 表明 Winnie 台风的性质由于冷空气的侵入已转变为温带气旋。上一节中提到的低压中心的气压再度下降也说明气旋的性质已发生了变化。

在后面的发展中, 红外云图上逐渐出现了成熟温带气旋的逗点状云系结构特征(图 5f)。Carlson T N^[8] 曾指出, 在气旋的发展过程中常伴随着气旋北部的云系朝气旋的西部和西南部扩展, 使云的分布形成类似于一个逗号的形状, 即所谓的逗点云系。从云型的变化可以看出 Winnie 台风在冷空气的侵入后, 一直处于逐渐加深的过程中。在模拟云图(图 5e) 中, 云区形状和位置也与同一时刻的红外云图(图 5f) 中的增强部分基本一致, 只是由于这一时刻冷锋云带较弱, 在模拟云图中没有得到反映。

上述结果表明, 用模式大气中水物质所制作的模拟云图随时间的演变相当成功地复制出卫星红外云图上热带气旋的云系结构从螺旋云系特征到温带气旋云系特征的转变过程。关于 Winnie 台风云系结构变化的机理及与其相联系的空间流场结构, 将表模拟研究的第二部分中给出^[9]。

参考文献

- 1 陶祖钰, 田佰军, 黄伟. 登陆台风暴雨和台风的不对称结构. 热带气象学报, 1994, 10(1): 69~ 77
- 2 黄伟, 陶祖钰. 1993 年 16 号台风的数值模拟研究. 气象学报, 1996, 54(2): 225~ 231
- 3 王鹏云, 刘春涛. 1996 年第 8 号台风中尺度的数值研究. 气象学报, 1998, 56(3): 296~ 310
- 4 Liu YuBao, Zhang DaLin, Yau M K. A multiscale numerical study of hurricane Andrew (1992) Part I: Explicit simulation and verification. Mon Wea Rev, 1997, 125: 3073~ 3093
- 5 励申申, 寿绍文, 王信. 登陆台风与其外围暴雨的相互作用. 气象学报, 1992, 50(1): 33~ 40
- 6 王建捷, 王迎春. 北京地区中尺度非静力数值预报系统的开发与实时预报应用. 应用气象学报, 2000, 10(4): 385~ 393
- 7 王洪庆, 张焱, 陶祖钰等. 五维大型复杂数据集计算的可视化. 自然科学进展, 1998, 8(6): 742~ 747
- 8 Carlson T N. Ariflow through midlatitude cyclones and the Comma cloud pattern. Mon Wea Rev, 1980, 108: 1498~ 1509
- 9 朱佩君, 陈颖, 陶祖钰等. 登陆台风 Winnie(1997) 的数值模拟研究: 结构演变特征分析. 气象学报, 2002, 60(4): 560~ 567

4 结 论

通过对台风 Winnie 在登陆后的 48 h 模拟表明, 由美国宾州大学和美国国家大气科学研究中心开发的非静力平衡中尺度数值模式 MM5(V2) 可以很好地对模拟台风在陆地上的移动路径和降水、次中心的形成、热带气旋变性成温带气旋后的再度发展。可以认为, MM5(V2) 对本过程的模拟是成功的, 它的结果可以作为进一步深入研究台风登陆后变性过程物理机制的基础, 有关的工作正在进行之中, 其研究结果将在今后陆续发表。

利用 MM5 模式输出的云水、雨水、冰晶、雪水和霰 5 种水物质含量所制作出的模拟云图和卫星红外云图很相似, 展现出了卫星红外云图上台风登陆后云系结构从热带气旋的螺旋云系到温带气旋的逗点云系的转变过程。

由于地面气象站和雨量站的分布很不均匀, 有的相距百公里以上, 同时测站降水资料还存在代表性 问题, 即站点雨量严格讲只能代表观测场附近的降水, 特别是对流性降水, 因此常会影响到模拟结果的检验。卫星云图资料具有均匀的分布密度, 其空间分辨率大大高于地面测站的分布, 与中尺度模式的空间分辨率相似。因此, 运用卫星云图资料作为检验的标准可以很好地避免雨量资料的不均匀性和代表性 问题。上述结果表明, 用模式大气中的水物质所制作的云图不失为一种对模拟结果进行检验的有效的手段。

致谢: 山东省气象台为本研究提供了详细的雨量资料。

NUMERICAL SIMULATION OF TYPHOON WINNIE(1997) AFTER LANDFALL PART : MODEL VERIFICATION AND MODEL CLOUDS

Zhu Peijun Chen Min Tao Zuyu Wang Hongqing

*(Key Laboratory of Severe Storm Research, Department of Atmospheric Sciences,
Physics School, Peking University, Beijing 100871)*

Shi Bujiu

(Beijing Meteorological Center of Civil Aviation Administration of China, Beijing 1000621)

Abstract

Using the Penn State-NCAR nonhydrostatic mesoscale model(MM5), the evolution of typhoon Winnie after landfall is simulated. Verified against observations, the track, minimum center pressure, precipitation and in particular, the birth of secondary cyclone were well reproduced. Significantly, the model clouds made from water contents of output favorably resemble the satellite infrared images, and also show the evolution of typhoon Winnie from tropical cyclone to extratropical cyclone after landing.

Key words: Typhoon, Numerical simulation, Model clouds.