

1992年 Andrew 飓风的中尺度特征*

陆汉城 钟科

(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

张大林

(马里兰大学气象系, 美国)

摘要 根据 PSU-NCAR 中尺度模式 (MM5) 对 1992 年 Andrew 飓风数值试验的高分辨率输出资料, 分析了 Andrew 飓风的中尺度特征, 研究飓风中的眼区、眼壁区及螺旋性雨带区不同的热力学和动力学结构。轴对称的物理量分布展现了眼壁区区别于眼区和螺旋性雨带区的动力学特征, 非对称的物理量分布则表明眼壁区的强风暴天气发生在飓风的西北侧区域。揭示了飓风眼壁区的强倾斜上升气流与外圈的螺旋性雨带具有不同发展机制的天气学概念模型。

关键词: 飓风; 螺旋性雨带; 眼壁

1 引言

热带气旋的研究已经有相当多的工作, 热带气旋的水平尺度约数百公里乃至上千公里, 生命史为几十小时, 但有意义的强对流发生在几十到几百公里的范围内。产生热带气旋的天气学条件包括海表温度 (SST) 异常等。关于天气尺度或次天气尺度的分析, 揭示了热带气旋的一些主要物理过程。然而对产生强风暴天气的飓风内的 β 中尺度系统和环流的形成发展的原因的分析目前尚不多见, 其主要原因是观测资料分辨率的缺乏, 而热带气旋的中尺度结构特征的分析对于了解眼区、眼壁区及其外围螺旋性雨带发展机制具有极其重要的作用。

1992 年 Andrew 飓风被认为是美国历史上遭受损失最严重的一次飓风过程。造成的经济损失达 250 亿美元。观测研究表明^[1], 热带气旋扰动初始形成于非洲西北部的大西洋洋面 (8 月 14 日), 西移到安的列斯 (Antilles) 群岛 (8 月 16 日) 时形成热带低压, 向西北移时得到加强, 组织了深对流, 并有螺旋雨带出现 (8 月 17 日), 随后形成热带风暴, 定名为 Andrew, 此时海面风速达 18 m s^{-1} , 但以后的两天, 风暴遇到了不利的环境条件, 使中心气压下降受到截断, 特别是一个大尺度地面高压和高层强低压位于风暴的北面, 使风暴的发展受到阻尼, 8 月 20 日中心气压上升到 1 015 hPa。8 月 21 日高空西北低压进入槽内, 在 Andrew 飓风上空产生一个高压出流, 即强和深厚的副热带高压形成于美国东南沿海, 脊线在风暴的北部, 为风暴提供了东风出流, 由于环境条件的变化, Andrew 飓风转向西移, 并且有一个爆发性发展 (8 月 22 日), 其中从 8 月 21 日 0000 UTC 到 23 日 1800 UTC, 中心气压从 1 014 hPa 下降到 922 hPa, 下降了 92 hPa, 即下降率为 2.2 hPa h^{-1} , 当 Andrew 飓风达到最大强度以后, 通过眼壁的收缩有一个短暂的减弱, 在登陆佛罗里达 (Florida) 以前保持 922 hPa 及表面风为

2000-07-03 收到, 2000-11-06 收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49875009 和美国 NASA 提供给张大林教授的科学基金联合资助

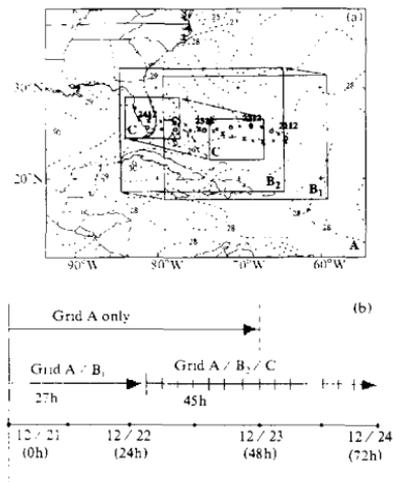


图 1 Andrew 飓风模拟示意图

(a) 模式区域; (b) 模式积分

(a) 中的圆点表示飓风的实际移动路径, 叉点表示模式输出的飓风移动路径, 虚线为 SST 场, 两条虚线的间隔为 0.5°C , 引自文献[1]

小时移动一次, 垂直分层 23 层, 空间分辨率 6 km , 时间步长 13.33 s , 积分初值有一个气旋式环流。数值实验结果分析与 WSP-57 雷达、卫星、ODWS (Omega dropwindsnode system, 奥米加下投式测风探空系统) 等加密观测研究比较, 得到非常接近的结果, 即成功模拟了 Andrew 飓风的全过程。Liu 和 Zhang 根据数值试验的结果已经揭示了很多有意义的现象, 包括飓风中心气压变化特征及动力、热力原因, 飓风的非对称性, 眼区和眼壁区 (眼壁的外边界在边界层、对流层中层和高层距飓风中心的平均距离分别为 30 、 60 、 80 km) 的环流, 各种物理量的分布、径向流的特征等, 并且给出了飓风 Andrew 飓风的天气学概念模式。

本文将继续利用高分辨的模式输出资料进行中尺度特征及其变化的分析。这将弥补因观测分辨率的不足导致中尺度分析的困难, 特别是具有随飓风移动的 124×94 个格点的水平区域, 可提供中尺度分析的时间分辨率为 3 小时, 共有 15 个时次, 可以分析中尺度环流的生命史过程, 同时使动力诊断成为可能, 从而进一步分析飓风中尺度环流的发展机制。分析时, 轴对称分量 $v_r = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v \, d\alpha$, 式中 α 为弧度, v 为实际网格点值。

67 m s^{-1} 的强度, 在穿越佛罗里达州以后 4 小时内减弱, 中心气压达到 951 hPa , 进入墨西哥湾暖湿洋面又再加强, 继续西北移并登陆成为热带低压。根据 Andrew 飓风登陆佛罗里达前被破坏的 WSR-57 雷达的最后一张图片分析, 看到了 Andrew 飓风眼、眼壁及螺旋雨带的中尺度回波特征。Liu 和 Zhang^[1] 使用 PSU-NCAR 的中尺度数值模式 (MM5), 将 NCEP (National Center for Environmental Prediction, 美国环境预报中心) 资料作为初始场, 对 Andrew 飓风进行了数值模拟。模式积分起止时间为 8 月 21 日 1200 UTC ~ 24 日 1200 UTC, 共积分 72 小时 (因而包含了飓风迅速加强的时段, 图 1), 采用双向影响的三重套网格技术: 细网格模式从第 27 小时起进入积分, 粗网格提供细网格侧边界条件, 而细网格的积分每一步反馈到粗网格, 以描述天气尺度、中尺度条件的相互影响。细网格的积分区域可移动, 细网格区域每 3

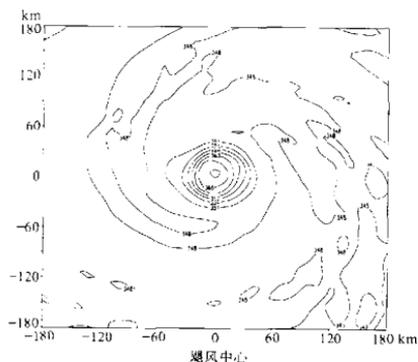


图 3 900 hPa 假相当位温 (单位: K)

将看到眼壁区最大湿度的轴线是和运动学、动力学的特征线匹配的。由非轴对称的水汽分析表明, 900 hPa 最大湿度中心在飓风西北侧, 眼壁外的水汽则呈螺旋带状分布。

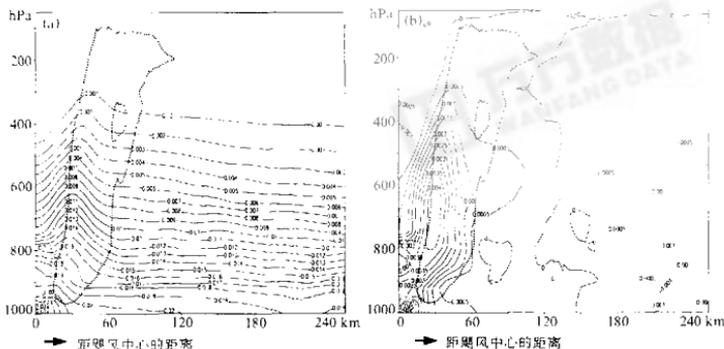


图 4 (a) 轴对称水汽混合比; (b) 轴对称水汽混合比距平 (单位: kg kg^{-1}), 虚线同图 2a

非线性对流-对称不稳定。

900 hPa 的 θ_{se} 水平分布体现了眼壁区内有轴对称的特性而眼壁外呈现螺旋带状分布, 是非对称性的 (图 3)。

一般认为飓风内是高湿、高温区域, 这实际是一种天气尺度的概念, 由水汽混合比的轴对称垂直分布可见 (图 4a), 湿度的垂直递减率很大, 即高湿主要在 800 hPa 以下, 850 hPa 以上, 眼壁为高湿中心。从水汽混合比的距平分布 (图 4b) 更明显地看出眼壁区的高湿中心、眼区 800 hPa 以上以及螺旋云带区的干心的特征。后面的分析

3 Andrew 飓风的运动学特征

柱坐标下强风暴运动的滞弹性近似的径向、切向运动方程为

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{v}{r} \frac{\partial U}{\partial \lambda} + u \frac{\partial U}{\partial r} - v \left(\frac{v}{r} + f \right) + w \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial \phi}{\partial r} = U,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + u \left(\frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} + f \right) + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \lambda} = V,$$

式中, U 、 V 为包含摩擦、对流输送的强迫项, 此时

$$\text{垂直涡度} \quad \zeta = \frac{v}{r} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \lambda};$$

$$\text{水平散度} \quad D = \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \lambda}.$$

3.1 切向风 (v) 的轴对称及非对称性中尺度分布

飓风是一个深厚的气旋式涡旋, 由轴对称的切向风 (v) 分布表明 (图 5a), 绕眼心的切向风有一个最大风速中心, 其半径为 RMW (Radius of maximum wind). RMW 在不同高度的连线随高度增加向外倾斜, 在 RMW 线上有明显的风垂直切变。其中 900 hPa 处的最大切向风达 75 m s^{-1} 。在 RMW 两侧的切向风径向水平梯度 ($\partial v / \partial r$) 方向相反, 其中 900 hPa 以下, 从眼壁向内 10 km 处的梯度达最大值。因而, 在强切向风速条件下, RMW 两侧径向气压梯度力, 离心力及强迫项分布不均匀, 将产生梯度风不平衡, 并可在眼壁区产生绕眼心旋转的小尺度涡度带, 有人认为是涡旋 Rossby 波^[5], 但它更可能是一类涡旋快波, 由于得到了较高分辨率的资料, 梯度风不平衡和涡旋快波的机理将得到进一步研究。

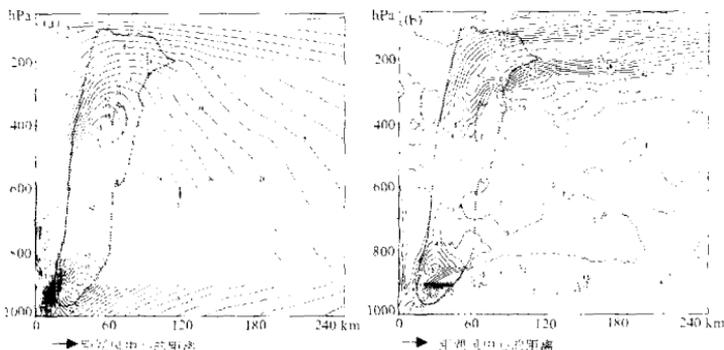


图5 (a) 轴对称切向速度; (b) 轴对称径向速度 (单位: m s^{-1}), 虚线同图 2a

切向风的非对称性在南北方向上最明显, 北侧的切向风速大于南侧, 而且北侧具有最大风速中心, 非对称切向风的分布使绕眼区的散度 ($\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \lambda}$) 分布不均匀, 因而强风暴系统出现在飓风的偏北侧。

3.2 径向风 (u) 的轴对称及非对称性中尺度分布

飓风轴对称的径向风场的明显特征是 850 hPa 以下为强的流入气流 (图 5b), 大约在 950 hPa 高度上, 眼壁入流速度达 32 m s^{-1} , 形成边界层的强流入中心, 因而眼壁区将径向流入风速带分成两个部分, 其外侧的径向流向内增加, 而眼壁到眼心径向入流的径向梯度 ($\partial u / \partial r$) 很强, 因此形成梯度不平衡风的不连续, 并将造成非常强烈的边界层辐合, 到了离眼心 10 km 处, 径向流有一个突变, 即入流转为出流, 这就为飓风中尺度动力学提出了十分有意义的问题, 这种非平衡动力学的特性是超梯度流阻止了低层入流到达眼区, 而使眼区底部气流辐散, 减小了中心气压。

900 hPa 以上, 在眼壁区形成倾斜外流带, 外流带中 900~500 hPa 之间, 径向外流随高度减小, 在 850 hPa 有外流极值, 500 hPa 以上外流随高度增加, 200 hPa 左右形成最大外流中心, 径向外流达 15 m s^{-1} 。径向风的高度变化的一个显著特征是对流层中层 700~500 hPa 有相对的径向风速区。

径向流的非对称性也是十分明显的, 若以过飓风中心的东北-西南方向为轴线, 则 900 hPa 上, 轴线的西北方向径向流入要明显大于东南方向; 850 hPa 则在轴线左侧有径向流入, 右侧有径向流出; 到了高层则是径向入流呈螺旋状分布 (图略)。这种径向入流的中小尺度非均匀性也是导致小尺度涡旋带绕飓风中心旋转的原因。

4 Andrew 飓风的中尺度动力学特征

天气尺度分析指出飓风是一个数百公里的正涡度气旋, 由径向和切向流的非对称性可见眼心四周具有非均匀特征, 因此眼壁、眼区及外围螺旋雨带的涡、散度及垂直运动分布也是不一样的。

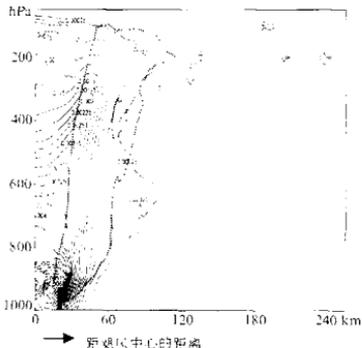


图 6 轴对称涡度 (单位: s^{-1}), 虚线同图 2a

由轴对称涡度分布的垂直剖面图 (图 6) 可见眼壁区的涡度随高度减小; 在 900 hPa 左右其值达 $8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 涡度最大值连线随高度外倾斜, 眼心具有较小的正涡度值。

为了将模式输出资料的动力诊断与观测研究比较, 给出美国迈阿密 WSR-57 的雷达回波 (图 7a) 和数值积分到相应时间的回波图 (图 7b), 它们十分清楚地显示了眼、眼壁和螺旋云带区对流强度的差异, 也表明绕眼区的中小尺度带状分布的回波特征, 强回波区与眼壁的强上升运动相联系; 在眼壁外围一系列的垂直运动带也是显而易见的, 它们相距约 10 km 左右, 但垂直伸展高度明显低于眼壁区, 它们与螺旋云带相对应, 这些回波特征提供了飓风对流运动非均匀分布的依据。

5 结论和讨论

由飓风中尺度动力学物理量的计算, 可以进一步得到轴对称的二维环流图(图 10)。从图上可以见到径向入流、出流, 倾斜上升运动组成的飓风中尺度强风暴气流的流程, 还可见螺旋云带区几个伸展高度较低的弱的垂直环流圈, 这是由高分辨数值模式资料给出的飓风中尺度环流模型, 有助于揭示其内在发展机理。

根据飓风眼区、眼壁区及螺旋云带区轴对称和非轴对称的位温及运动学和动力学变量的中尺度特征, 我们可以得到如下的物理概念:

(1) PBL 或 MBL(Marine Boundary Layer, 海洋边界层)中, 径向入流从螺旋云带区经眼壁到达眼区有一突变, 入流途径中, θ_{se} 的分布则是由不稳定层渐变 θ_{se} 为向上倾斜。切向流在眼壁区有很强的梯度。眼壁区产生最强涡度, 涡度的发展又是与等 θ_{se} 线的倾斜相联系, 小尺度强涡度带绕眼区旋转。因此, 飓风眼、眼壁和螺旋云带区的热力学和动力学特征有很大的差异。特别是分析得到径向和切向风中尺度分布不均匀, 产生了 PBL 或 MBL 区的梯度风不平衡, 由此引起局地强上升运动和涡度发展, 这是飓风中强风暴发生机理的一个重要的中尺度动力学问题。

(2) 900 hPa 以上, 眼壁区具有很强的水平位温梯度, 即中尺度锋区配合很强的倾斜上升运动, 这样强倾斜上升运动几乎是沿着等 θ_{se} 线的, 也与径向流的最大速度连线, 即和 RMW 线几乎一致, 850 hPa 的上升运动极值中心与径向向外流速度极值的位置是一致的。这种眼壁区的狭窄的强倾斜上升运动带是 β 中尺度的, 它可能是梯度风不平衡及对流-对称不稳定的结果, 将用动力诊断的方法分析这一机理存在的可能性。

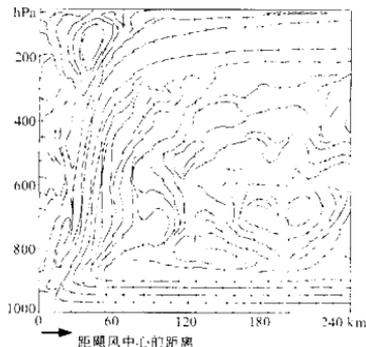


图 10 轴对称流场图

参 考 文 献

- 1 Yubao Liu and Da-Lin Zhang et al., A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part I: explicit simulation and verification, *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**, 3073~3092.
- 2 吴国雄等, 准位涡和倾斜涡度方程, *气象学报*, 1995, **53**(4), 385~405.
- 3 Montgomery, M. T. and R. J. Kallenbach, A theory for vortex Rossby-waves and its application to spiral bands and intensity changes in hurricanes, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1997, **123**, 435~465.

Mesoscale Characters of the 1992 Hurricane Andrew

Lu Hancheng and Zhong Ke

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Daling Zhang

(Department of Meteorology, Maryland University, U.S.A)

Abstract Based on the high resolution output of the numerical simulation of the 1992 Hurricane Andrew with a mesoscale model MM5 of PSU-NCAR, the paper represents the mesoscale characters of the Hurricane Andrew and the differences in thermodynamic and dynamic structures among the eye, eyewall and spiral rainbands. The axisymmetrical distribution of physical variables discloses the dynamic characters of the eyewall different from the eye and spiral rainbands, while the asymmetrical distribution reveals that the weather of strong storm takes place in the northwest of the hurricane. At the same time, the asymmetrical distribution also shows a synoptic conceptual model, where there is different developing mechanism between the strong slant ascending flow in the eyewall and the spiral rainbands.

Key words: hurricane; spiral rainbands; eyewall

《中国稻田甲烷排放》出版

中国科学院大气物理研究所研究员王明星著的《中国稻田甲烷排放》一书近日已由科学出版社出版。该书是以作者及其领导的课题组对中国稻田甲烷排放进行长达 15 年的实验研究工作为基础, 结合深入的理论研究成果写成的一部专著。

该课题组通过对中国稻田甲烷排放的研究, 在田间实验方法以及排放和输送机理研究中有许多发现和新的见解, 证明了过去国外文献报道的全球和中国稻田甲烷排放过高, 实际排放量只有过去估计的 1/4 到 1/3。稻田不是大气甲烷的主要来源。相关的研究成果曾获中国科学院自然科学一等奖一项, 二等奖一项, 所采用的技术系统曾获国家专利两项和中国科学院科学技术进步三等奖两项。

《中国稻田甲烷排放》全书共分 6 章: 第一章系统介绍了研究大气中甲烷变化的重要性, 对其源、汇和全球时空分布做了详尽阐述, 并对稻田甲烷排放对未来大气中甲烷变化趋势的影响作了预测; 第二章系统介绍了甲烷陆地生物源特别是稻田甲烷排放的观测方法; 第三、四章系统介绍了中国稻田甲烷排放规律、机理, 以及影响甲烷排放量的关键因子; 第五章介绍中国稻田甲烷排放的模式研究, 以及中国稻田甲烷排放清单的编制过程和方法; 第六章介绍稻田甲烷减排方法研究, 论述了如何在不影响水稻产量的基础上尽可能地减少甲烷排放。

该书可供从事大气科学研究的科研、教学人员以及大学生、研究生阅读参考。

(王跃恩)

Mesoscale Characters of the 1992 Hurricane Andrew

Lu Hancheng and Zhong Ke

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Daling Zhang

(Department of Meteorology, Maryland University, U.S.A)

Abstract Based on the high resolution output of the numerical simulation of the 1992 Hurricane Andrew with a mesoscale model MM5 of PSU-NCAR, the paper represents the mesoscale characters of the Hurricane Andrew and the differences in thermodynamic and dynamic structures among the eye, eyewall and spiral rainbands. The axisymmetrical distribution of physical variables discloses the dynamic characters of the eyewall different from the eye and spiral rainbands, while the asymmetrical distribution reveals that the weather of strong storm takes place in the northwest of the hurricane. At the same time, the asymmetrical distribution also shows a synoptic conceptual model, where there is different developing mechanism between the strong slant ascending flow in the eyewall and the spiral rainbands.

Key words: hurricane; spiral rainbands; eyewall

《中国稻田甲烷排放》出版

中国科学院大气物理研究所研究员王明星著的《中国稻田甲烷排放》一书近日已由科学出版社出版。该书是以作者及其领导的课题组对中国稻田甲烷排放进行长达 15 年的实验研究工作为基础, 结合深入的理论研究成果写成的一部专著。

该课题组通过对中国稻田甲烷排放的研究, 在田间实验方法以及排放和输送机理研究中有许多发现和新的见解, 证明了过去国外文献报道的全球和中国稻田甲烷排放过高, 实际排放量只有过去估计的 1/4 到 1/3。稻田不是大气甲烷的主要来源。相关的研究成果曾获中国科学院自然科学一等奖一项, 二等奖一项, 所采用的技术系统曾获国家专利两项和中国科学院科学技术进步三等奖两项。

《中国稻田甲烷排放》全书共分 6 章: 第一章系统介绍了研究大气中甲烷变化的重要性, 对其源、汇和全球时空分布做了详尽阐述, 并对稻田甲烷排放对未来大气中甲烷变化趋势的影响作了预测; 第二章系统介绍了甲烷陆地生物源特别是稻田甲烷排放的观测方法; 第三、四章系统介绍了中国稻田甲烷排放规律、机理, 以及影响甲烷排放量的关键因子; 第五章介绍中国稻田甲烷排放的模式研究, 以及中国稻田甲烷排放清单的编制过程和方法; 第六章介绍稻田甲烷减排方法研究, 论述了如何在不影响水稻产量的基础上尽可能地减少甲烷排放。

该书可供从事大气科学研究的科研、教学人员以及大学生、研究生阅读参考。

(王跃恩)

Mesoscale Characters of the 1992 Hurricane Andrew

Lu Hancheng and Zhong Ke

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Daling Zhang

(Department of Meteorology, Maryland University, U.S.A)

Abstract Based on the high resolution output of the numerical simulation of the 1992 Hurricane Andrew with a mesoscale model MM5 of PSU-NCAR, the paper represents the mesoscale characters of the Hurricane Andrew and the differences in thermodynamic and dynamic structures among the eye, eyewall and spiral rainbands. The axisymmetrical distribution of physical variables discloses the dynamic characters of the eyewall different from the eye and spiral rainbands, while the asymmetrical distribution reveals that the weather of strong storm takes place in the northwest of the hurricane. At the same time, the asymmetrical distribution also shows a synoptic conceptual model, where there is different developing mechanism between the strong slant ascending flow in the eyewall and the spiral rainbands.

Key words: hurricane; spiral rainbands; eyewall

《中国稻田甲烷排放》出版

中国科学院大气物理研究所研究员王明星著的《中国稻田甲烷排放》一书近日已由科学出版社出版。该书是以作者及其领导的课题组对中国稻田甲烷排放进行长达 15 年的实验研究工作为基础, 结合深入的理论研究成果写成的一部专著。

该课题组通过对中国稻田甲烷排放的研究, 在田间实验方法以及排放和输送机理研究中有许多发现和新的见解, 证明了过去国外文献报道的全球和中国稻田甲烷排放过高, 实际排放量只有过去估计的 1/4 到 1/3。稻田不是大气甲烷的主要来源。相关的研究成果曾获中国科学院自然科学一等奖一项, 二等奖一项, 所采用的技术系统曾获国家专利两项和中国科学院科学技术进步三等奖两项。

《中国稻田甲烷排放》全书共分 6 章: 第一章系统介绍了研究大气中甲烷变化的重要性, 对其源、汇和全球时空分布做了详尽阐述, 并对稻田甲烷排放对未来大气中甲烷变化趋势的影响作了预测; 第二章系统介绍了甲烷陆地生物源特别是稻田甲烷排放的观测方法; 第三、四章系统介绍了中国稻田甲烷排放规律、机理, 以及影响甲烷排放量的关键因子; 第五章介绍中国稻田甲烷排放的模式研究, 以及中国稻田甲烷排放清单的编制过程和方法; 第六章介绍稻田甲烷减排方法研究, 论述了如何在不影响水稻产量的基础上尽可能地减少甲烷排放。

该书可供从事大气科学研究的科研、教学人员以及大学生、研究生阅读参考。

(王跃恩)

Mesoscale Characters of the 1992 Hurricane Andrew

Lu Hancheng and Zhong Ke

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Daling Zhang

(Department of Meteorology, Maryland University, U.S.A)

Abstract Based on the high resolution output of the numerical simulation of the 1992 Hurricane Andrew with a mesoscale model MM5 of PSU-NCAR, the paper represents the mesoscale characters of the Hurricane Andrew and the differences in thermodynamic and dynamic structures among the eye, eyewall and spiral rainbands. The axisymmetrical distribution of physical variables discloses the dynamic characters of the eyewall different from the eye and spiral rainbands, while the asymmetrical distribution reveals that the weather of strong storm takes place in the northwest of the hurricane. At the same time, the asymmetrical distribution also shows a synoptic conceptual model, where there is different developing mechanism between the strong slant ascending flow in the eyewall and the spiral rainbands.

Key words: hurricane; spiral rainbands; eyewall

《中国稻田甲烷排放》出版

中国科学院大气物理研究所研究员王明星著的《中国稻田甲烷排放》一书近日已由科学出版社出版。该书是以作者及其领导的课题组对中国稻田甲烷排放进行长达 15 年的实验研究工作为基础, 结合深入的理论研究成果写成的一部专著。

该课题组通过对中国稻田甲烷排放的研究, 在田间实验方法以及排放和输送机理研究中有许多发现和新的见解, 证明了过去国外文献报道的全球和中国稻田甲烷排放过高, 实际排放量只有过去估计的 1/4 到 1/3。稻田不是大气甲烷的主要来源。相关的研究成果曾获中国科学院自然科学一等奖一项, 二等奖一项, 所采用的技术系统曾获国家专利两项和中国科学院科学技术进步三等奖两项。

《中国稻田甲烷排放》全书共分 6 章: 第一章系统介绍了研究大气中甲烷变化的重要性, 对其源、汇和全球时空分布做了详尽阐述, 并对稻田甲烷排放对未来大气中甲烷变化趋势的影响作了预测; 第二章系统介绍了甲烷陆地生物源特别是稻田甲烷排放的观测方法; 第三、四章系统介绍了中国稻田甲烷排放规律、机理, 以及影响甲烷排放量的关键因子; 第五章介绍中国稻田甲烷排放的模式研究, 以及中国稻田甲烷排放清单的编制过程和方法; 第六章介绍稻田甲烷减排方法研究, 论述了如何在不影响水稻产量的基础上尽可能地减少甲烷排放。

该书可供从事大气科学研究的科研、教学人员以及大学生、研究生阅读参考。

(王跃恩)