

AMSU 资料揭示的不同强度热带气旋热力结构特征*

王 瑾¹⁾²⁾

江吉喜²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院,北京 100081)

²⁾(国家卫星气象中心,北京 100081)

摘 要

运用美国 NOAA-16 极轨气象卫星高分辨率的 AMSU 探测资料和邻近时刻的 NCEP 数值预报资料,对 2002 年 6 月 10 日至 9 月 10 日发生在西北太平洋上的 12 个热带气旋生命史中的部分时次作了热力结构分析。发现 AMSU 资料不仅能够敏感地探测到不同强度热带气旋的多种地球物理参数,并且通过对这些参数的进一步处理,能够展示出它们各自重要的热力结构特征;由不同强度热带气旋对流层中上层暖异常区的高度、强度、范围和形状的差异以及其对流层上层温度负距平的高度、大小和分布不同,结合相应的湿度场结构特征,可以探寻其热力结构与气压变化之间的内在联系,通过这种热力结构的变化趋势可以进一步揭示出热带气旋未来的强度变化。

关键词:先进的微波探测器(AMSU) 热带气旋 热力结构

引 言

众所周知,热带气旋是一种主要灾害性天气系统,长期以来一直是众多气象学者的研究重点。然而由于观测资料缺乏,而热带气旋在发展过程中所受的影响因素复杂多变,所以许多重要问题至今认识不清,其中就包括热带气旋结构与其强度变化之间的关系,尤其是其对流层中上层的热力结构与其强度变化之间的关系。热带气旋强度的变化又是引起暴雨、大风、风暴潮及诸多灾害性天气的主导因素,与社会稳定繁荣、经济健康发展以及人民安居乐业等诸多方面有着密切联系。因此,这个问题仍是目前的研究重点。

众多研究^[1~2]显示热带气旋对流层中上层的暖核是风暴在发展过程中,眼区的下沉气流引起绝热增暖并在风暴对流旺盛区域释放潜热产生的。Rosenkranz 等^[3],Grody 等^[4~5]曾利用卫星微波资料展示了这种暖异常,但他们的研究仅局限于单个热带气旋的某个时次。Kidder 等^[6]运用云雨-6号微波扫描光谱仪 55.45 GHz 通道的亮温资料,对多个热带气旋进行了研究,发现热带气旋对流层中上层的亮温异常与风暴中心表面气压场及其外围风力有关。Velden 等^[7~8]利用空间分辨率改进的微波探测器(MSU)亮温资料,得到了卫星反演的 250 hPa 上空水平温度梯度与表面气压场之间的统计关系。

先进的微波探测器(AMSU)拥有更多的探测通道、更高的空间分辨率以及改进了的辐射计探测精度,比 MSU 能更敏感地探测到诸如大气温度、湿度、云中液态水、云中冰晶、降水和地表风速等多种地球物理参数及其重要变化。更重要的是云对于微波辐射来

* 中国人民解放军总装备部“卫星资料在军事气象要素和重要天气监测中的应用研究”课题资助。

2003-10-16 收到,2004-01-16 收到修改稿。

说近于(但不完全)透明,因而 AMSU 可以穿透阻碍卫星可见光和红外探测器探测的中心浓密云区,对热带气旋参数(如热带气旋的位置及其移动、热力异常、风速和降水等)进行测量,揭示热带气旋内部暖异常的变化。Kidder 等^[9]运用 AMSU 资料成功地反演了大气温度廓线及水汽、云中液态水等地球物理参数,将其用于热带气旋的分析应用中,得到了热带气旋对流层上层的温度异常,并初步估计了其强度。

本文主要运用 AMSU 探测反演的温度场和湿度场资料,分析不同强度、不同发展阶段的热带气旋对流层中上层热力异常结构的特点,结合相应的湿度场结构,探寻这种异常结构与热带气旋强度及其变化之间的内在联系。与此同时,通过与美国国家环境预报中心(NCEP)资料的比较,验证这种客观联系。

1 AMSU 的基本特征

AMSU 主要由 3 个相互独立的仪器组成:AMSU-A1(有 AMSU-A 的 3~15 通道);AMSU-A2(有 AMSU-A 的 1,2 通道);AMSU-B(有 5 个通道,即 6~20 通道)。AMSU-A1 和 AMSU-A2 共同组成 AMSU-A,其主要任务是探测从地球表面到 1 hPa 的温度,同时还可以反演包括总降水、云中液态水、降水率、雪盖、海冰盖在内的地球物理参数。AMSU-B 主要用来探测水汽,同时 AMSU-B 的图像还可用于确定云和风暴位置。由于 AMSU 主要是为了提高 4 个通道的 MSU 的温度探测精度而设计的,所以,AMSU-A 模型在 O_2 带 50~60 GHz 部分包含了 12 个通道以提供从地球表面到 1 hPa 的温度探测。此外,AMSU-A 还有两个窗区通道——31.4 GHz 和 89 GHz,可以监测地表特征和降水,而 23.8 GHz 的通道可以获取海洋上的总降水。AMSU-B 模型中有 5 个通道:89 GHz 和 150 GHz 的窗区通道,及在 183.3 GHz 水汽线附近的 3 个通道,由它们可以推导出低到中层湿度廓线。AMSU-A 所有通道在星下点的分辨率都是 48 km,而 AMSU-B 所有通道都是 16 km。

由此可见,AMSU 这种较高分辨率的热力探测器非常适合探测热带气旋的各种参数,并可以从中提取其变化特征。

2 资料和方法

运用国家卫星气象中心反演的 $1^\circ \times 1^\circ$ (经纬度) NOAA-16 AMSU 1000 hPa 到 10 hPa 共 15 层的温度场、1000 hPa 到 300 hPa 共 6 层的湿度场资料,对 2002 年 6 月 10 日到 9 月 10 日发生在西北太平洋上的 12 个热带气旋进行研究。由于极轨卫星一天中对同一地区仅能扫描两次(约 12 h 一次),故在这 12 个热带气旋生命史中与卫星过境扫描相匹配的资料仅有 26 个时次。

对这 26 个时次的样本进行分析,分别以热带气旋中心所在纬度南北各一度的纬度带内,在东西方向上以热带气旋云系为界,勾画出热带气旋的中心云区;与此同时,中心云区外围同纬度带以东、以西各 2~3 个经度区的范围代表着未受热带气旋影响的环境场,由此确定出热带气旋中心区和其外围的环境场,这种分区方法的主要原因是受 AMSU 反演

资料 $1^\circ \times 1^\circ$ (经纬度) 分辨率和卫星扫描宽度的限制。然后用热带气旋中心区内各层格点上的温度与环境场平均温度相减, 得到热带气旋中心区各层的温度距平场, 并绘制纬向温度距平垂直剖面图, 分析热带气旋中心区的热力异常结构; 同时, 用热带气旋中心区内各层的温度场减去相应点上的露点, 得到其温度露点差, 绘制纬向温度露点差垂直剖面图, 来分析与之相匹配的湿度场特征。

另外, 选取与这 26 个样本时次相近的 NCEP 数值预报资料对所有样本进行类似的计算(其中温度场有 26 层的资料, 湿度场有 21 层的资料), 得到由 NCEP 资料计算的纬向温度距平垂直剖面图和纬向相对湿度垂直剖面图, 并对这两种资料得到的结果作对比分析。

3 热力结构特征的比较

在所选的 26 个样本中, 由于卫星扫描过程中出现丢线, 使得最终反演结果缺测过多(主要是台风环流内数据缺测), 致使资料无法使用的样本共 7 个。在剩下的 19 个样本中, 有热带风暴 3 个、强热带风暴 4 个、台风 12 个, 其中处于加强阶段的热带气旋有 5 个、减弱阶段的 6 个、维持阶段的 8 个。通过对比分析 19 个样本 AMSU 探测资料反演的温度距平垂直剖面图和温度露点差垂直剖面图, 发现随着热带气旋强度的增加, 其对流层中上层暖核的异常增温逐渐增大, 高度逐渐升高, 范围也逐渐扩大; 同时对流层上层温度负距平所在高度也逐渐升高, 而其最低负距平值有所增大。对流层低层温度负距平普遍偏大; 西侧温度露点差的垂直梯度普遍大于东侧。为进一步说明热带气旋的热力结构, 较全面地揭示其中心区的结构特征, 在选例分析中考虑了热带气旋的不同强度及其所处的不同发展阶段这两个因素, 下面以 3 个具有代表性的热带气旋为例作详细介绍。

3.1 台风的热力结构特征

15 号台风(鹿莎)的生命史为 11 d, 中心最低气压为 950 hPa, 最大风速为 45 m/s(8 月 27 日 00:00 UTC)。由于受卫星过境扫描范围的限制, 没得到台风最强时的资料。选取 8 月 30 日 17:56 UTC 台风强度已有所减弱, 但稳定维持时的样本资料, 此时台风中心位于 31.6°N 127.6°E 附近, 中心气压为 965 hPa, 最大风速为 35 m/s。

在温度距平垂直剖面图(彩图 1a)中, 15 号台风的暖心位于 350 ~ 250 hPa 之间, 最大温度距平达到 7°C 以上, 增温十分明显。暖异常垂直向下延伸直至对流层低层 700 hPa 上方附近, 暖心东西两侧有较强的径向温度梯度, 暖核整体结构较对称。台风中心区东侧对流层下层出现明显的温度负距平, 最大距平值达到 -15°C 以上, 中心区西侧温度的垂直梯度小于东侧。高层温度负距平出现在 100 hPa 上方, 且西侧负距平出现的高度高于东侧, 位于 70 hPa 附近, 说明中心区西侧垂直上升运动强烈, 对流旺盛。

结合温度距平与温度露点差的纬向垂直剖面图(彩图 1b), 可以看出在整个台风范围内 700 hPa 以下的大气接近饱和, 700 hPa 以上中心区西侧温度露点差的垂直梯度大于东侧。且在台风中心周围两个经度的范围内, 整层大气近于饱和, 中心区西侧暖湿空气区轴线随着高度的增加自西向东倾斜, 表明台风东北部的干冷空气涌入台风内部, 将会破坏台风的暖心结构, 预示着台风强度会减弱。

AMSU-B 能够很好的感应降水粒子, 确定风暴的中心位置和降水区域。在 AMSU-B

第2通道的探测图像中(彩图1c), 31.6°N 的纬度线上,中心区东侧的降水量显然大于西侧,受降水蒸发的影响,低层东侧的降温也应大于西侧,这个结果证实了彩图1a中所看到的现象,但是否有 -15°C 的强降温还有待于进一步验证。另外,图中还显示,来自北部的干冷空气与台风云系的暖湿气流在台风东北部相遇,被卷入台风环流,增强了台风的不稳定层结,促进其对流的发展,使台风得以维持。然而随着其后较高纬度大量冷空气不断注入台风(图略),将破坏台风的暖心结构,导致其减弱、消亡。

由NCEP资料计算结果绘制的温度距平垂直剖面图(彩图1d)可以看到,暖核位于对流层中上层 $400\sim 300\text{hPa}$ 之间,最大增温为 6°C 左右,暖异常向下延伸直至低层台风中心区内,在低层中心区出现近 3°C 的异常增温,范围很大,东西跨越了2个经度。中心区两侧都出现了温度负距平,但与AMSU资料反演结果不同的是彩图1d中的低层温度负距平在中心区左侧的下降幅度略大于中心区右侧。对流层上层的温度负距平出现在 100hPa 附近,西侧略高于东侧,且在 70hPa 附近有 -2°C 的温度负距平,这个结果与彩图1a中展示的一致。

由NCEP资料所作的纬向温度距平和相对湿度的垂直剖面图(彩图1e)可以看出, 500hPa 以下整个台风范围内相对湿度都很大, 500hPa 以上随着高度的增加空气饱和度自西向东逐渐增加,且中心区西侧相对湿度的垂直变化大于东侧。

上述分析表明,这两种资料所揭示的台风中心区热力结构特征整体上很相似,但也存在一定差异:一是低层温度负距平最大值出现的区域不同、范围不同,值的大小也不尽相同;二是NCEP资料虽计算出了低层中心区的异常增温,但范围过大,远远超出了中心眼区的最大范围,不能体现台风中心眼区空气下沉增温,事实上台风眼区周围的云墙内具有强烈的对流上升运动,温度应显著低于眼区温度;三是AMSU探测资料反演的对流层中上层暖异常是一个具有垂直结构的椭圆形,而NCEP资料计算出的最大增暖区却是扁平的椭圆形,对照经典的飞机探测台风结构,AMSU资料反演的暖心结构更为合理。另外,无论是从对流层中上层暖心的范围、高度,还是从暖心的径向温度梯度来看,AMSU资料的反演结果都优于NCEP资料的计算结果。

3.2 强热带风暴的热力结构特征

14号强热带风暴(黄蜂)8月19日05:49 UTC处于发展加强阶段,中心位于 20.0°N 、 111.1°E 附近,中心气压为 980hPa ,最大风速为 25m/s 。

AMSU资料反演的该风暴纬向温度距平垂直剖面图(彩图2a)表明,暖异常位于 $380\sim 280\text{hPa}$ 之间,最大温度距平达到 6°C 以上,暖区径向范围较大,约2个经度左右,增温显著。暖异常在中心区上方无明显下伸,只是在中心区东侧略有倾斜下伸的趋势。 500hPa 以下温度的垂直梯度变化很大,低层中心区内出现温度负距平,其最低值达 -22°C 。对流层上层温度负距平区自西向东逐渐向下倾斜,在 $105^{\circ}\sim 119^{\circ}\text{E}$ 14个经度的范围内,负距平面从 100hPa 下降到 200hPa 以下,说明中心区西侧的对流旺盛,凝结潜热释放大。

结合温度距平与温度露点差的纬向垂直剖面图(彩图2b), 300hPa 以下强热带风暴中心区周围 $109^{\circ}\sim 113^{\circ}\text{E}$ 约4个经度内空气近乎饱和,说明在中心区周围 300hPa 以下对流层中下层非常潮湿,不断有水汽输入和补充,为强热带风暴的进一步发展提供了能量来

源。850 hPa 以下低层中心区比其上层大气略干,中心区西侧温度露点差垂直梯度远大于其东侧,表明西侧大气上干下湿的不稳定结构强于东侧,位势不稳定能量的释放也会比东侧大,对流发展旺盛。

在 AMSU-B 第 2 通道的探测图像(彩图 2c)中,风暴中心区西侧降水强度明显大于东侧,再次证明了西侧的对流旺盛,有大量凝结潜热释放。另外,从图中还可看出,弱的干冷空气从东北部卷入风暴环流外围,使得风暴的斜压性增强,不稳定度增强,对流加强,风暴出现短暂的加强。但随着冷空气的进一步侵入中心区附近,风暴的暖心结构将减弱、破坏,直至风暴消亡。而且此时 14 号强热带风暴已在雷州半岛登陆,地面摩擦作用和海洋水汽源的切断,也促使风暴很快减弱。

在 NCEP 资料相近时刻的纬向温度距平垂直剖面图(彩图 2d)中,暖异常位于 350 ~ 200 hPa 之间,最大温度距平为 3 °C,远小于 AMSU 资料反演的暖异常,但其最大增暖范围却明显偏大,自西向东至少跨越了 5 个经度;虽然在 300 hPa 左右暖核下伸指向中心区,但在 400 hPa 以下暖异常的下伸却明显向东偏移,直至对流层低层 850 hPa 附近,而且径向尺度相当大。低层中心区西侧出现温度负距平,上层温度负距平较水平地出现在 200 hPa 以上高空。

在 NCEP 资料所作的纬向温度距平和相对湿度的垂直剖面图(彩图 2e)中,湿度场的垂直分布与 AMSU 资料反演结果较为相似。即 100 hPa 以下中心区周围整层大气的相对湿度达到 80 % 以上,中心区西侧的相对湿度垂直梯度远大于东侧,850 hPa 以下低层中心区大气的饱和度略低于其上层大气。

上述这两种资料的对比分析表明,由它们得到的强热带风暴热力结构有很多相似之处,都反映出了中心区西侧对流活跃,暖湿空气上升,凝结潜热释放大于东侧;从地面到 700 hPa 的低层流入明显,弱的干冷空气从东北部汇入风暴环流,增强了风暴的位势不稳定度,促使风暴进一步发展。这两种资料显示的对流层上层温度负距平值都很大,分别是 - 4 °C 和 - 6 °C,这可能是由于环境因素造成的,也可能暗示了对流旺盛,风暴将进一步发展。由此可见,这两种资料在一定程度上都反映了强热带风暴的热力异常结构,并且间接的揭示了其发展趋势。但对于仍处于发展加强阶段的强热带风暴来说,AMSU 资料反演出的对流层中上层暖核 6 °C 异常增温和 2 个经度的径向尺度均比 NCEP 资料计算出来的 3 °C 增温及 5 个经度的径向尺度合理,而且由 NCEP 资料计算出来的风暴暖心垂直下伸的径向范围过大,有悖于人们熟知的风暴结构。

3.3 热带风暴的热力结构特征

4 号台风(浣熊)的生命史共 6 d。经过了 5 d 的发生、发展、增强,当 6 月 10 日 05:15 UTC 卫星扫过时,它已处于减弱消亡的热带风暴阶段,此时风暴中心位于 26.9°N、127.0°E 附近,中心气压为 990 hPa,最大风速为 18 m/s。

由彩图 3a 可见,4 号风暴暖心位于中心区正上方 400 hPa 到 350 hPa 之间,最大温度距平为 4 °C 左右,范围不大,暖异常在中心区附近呈圆形,无明显下伸,且异常值在中心区有东部上翘,西部下垂的趋势。低层中心区出现温度负距平,最大降温达到 - 10 °C 以上。对流层上层弱的温度负距平出现在 200 hPa 左右,且中心区西侧温度的负距平已降到了 400 hPa 下方,由此可以推得风暴西北侧有干冷空气涌入,破坏风暴暖心结构;同时风暴

东南侧有不断减弱的暖湿气流辐合流入,勉强维持着风暴的对流系统。

温度异常与温度露点差的纬向垂直剖面图(彩图 3b)表明,在 $125^{\circ} \sim 129^{\circ} \text{E}$ 的区域内 300 hPa 以下大气接近饱和,中心区西侧的温度露点差垂直梯度远大于东侧。AMSU-B 第 2 通道的亮温图像(彩图 3c)展示,此时风暴已经接近消亡,整个云系在东西方向上的范围不到 3 个经度,而且云系边缘较为整齐,说明此时热带风暴高空辐散流出很弱。

由相近时刻 NCEP 资料计算的纬向温度距平垂直剖面图中(彩图 3d),看不出与经典的飞机探测结构和由 AMSU 探测资料反演出的结构有相似的地方。在 127.0°E 的中心区上方出现了两个温度异常中心,一个在 500 hPa 附近,最大增暖为 2°C 左右;另一个在 250 hPa 附近,最大增暖同样为 2°C 。这两个增暖中心范围都很大,呈东西带状分布,反映不出热带气旋的对流活动与热力结构,且整个垂直剖面图中温度距平值的差别都不大。

在 NCEP 资料所作的纬向温度距平与相对湿度的垂直剖面图(彩图 3e)中,湿度场与 AMSU 资料反演结果略有相似。在 $126^{\circ} \sim 129^{\circ} \text{E}$ 的区域内 100 hPa 以下大气的相对湿度很大,西侧相对湿度的垂直变化略大于东侧,垂直梯度的变化率不如由 AMSU 探测资料反演的变化大。

由于 AMSU 对大气温度、湿度的测量非常敏感,其资料能够反映出处于减弱消亡中的热带风暴的热力结构,反演信息优于由 NCEP 资料计算的结果。由上述分析可知,热带风暴中心区东侧对流活跃,暖湿空气上升,凝结潜热释放大于西侧。弱的暖湿空气从热带风暴东南部辐合流入后,迅速减弱,强的干冷空气从西北部大量涌入,破坏了热带风暴的暖心结构,使热带风暴减弱、消亡。

4 结 语

通过以上的比较分析,可以看出 AMSU 探测反演资料可以很好地揭示热带气旋对流层中上层的热力结构,包括其暖异常区的高度、强度、范围、形状以及其对流层上层温度负距平的大小、高度。但是,上述 3 种不同强度热带气旋的温度距平剖面图展示,AMSU 资料对低层温度负距平的反映有些失真,比如温度负距平值过低、范围过大等,这可能与 AMSU 4~6 通道受到强降水干扰的影响有关。相对而言,NCEP 资料对对流层低层中心区附近的温度负距平的描述相对准确一些。

根据上述 3 个不同强度、不同发展阶段热带气旋的温湿场结构,结合另外 16 个热带气旋的温湿场,可以对热带气旋非降水区的热力结构得到以下结论:

(1) 台风中心区的对流层中上层异常增温最强、范围最大、高度最高,强热带风暴次之,热带风暴的异常增温最小、范围最小、高度也最低。

(2) 对流层上层负距平出现的高度,台风的最高,强热带风暴次之,热带风暴最低。与此同时,由温度负距平常值的大小和高度,结合 AMSU 资料反演的温度露点差的垂直剖面图还可以看出热带气旋对流发展的强弱,并以此推测其发展趋势。

由此可见,热带气旋对流层中上层暖异常与其强度关系密切,暖异常的变化趋势预示着其强度的变化趋势。

AMSU 这种具有较高分辨率的探测器,能穿透热带气旋云区获取各种地球物理参

数,对热带气旋结构特征和发展机理的研究大有裨益。随着探测仪器的改进,资料处理方法的优化,将有更深入的机理性问题被揭示,扩宽人们对热带气旋认识的视野,提高热带气旋分析预报能力,减轻其灾害。

致 谢: 张凤英、吴雪宝同志提供了文中所用的全部 AMSU 的 ATOVS 资料,并对资料性能特征给出了充分说明,在此特表谢意。

参 考 文 献

- 1 张婉佩,陈善敏. 台风内区中尺度结构研究. 中国气象科学研究院院刊,1988,3(2):206~214.
- 2 王作述,何煜光. 近海台风结构和能量平衡的对比研究. 应用气象学报,1992,3(2):190~197.
- 3 Rosenkranz P W, Staelin D H, Grody N C. Typhoon June (1975) viewed by a scanning microwave spectrometer. *J Geophys Res*,1978,83:1857~1868.
- 4 Grody N, Hayden C M, Shen W C, et al. Typhoon June winds estimate from scanning microwave measurements at 55.45 GHz. *J Geophys Res*,1979,84:3689~3695.
- 5 Grody N, Shen W C. Observation of Hurricanes of Hurricane David (1979) Using the Microwave Sounding Unit. NOAA Tech Rep, NESS 88. Washington DC: Nat Earth Sat Service,1982.
- 6 Kidder S Q, Gray W M, Vonder Haar T H. Estimating tropical cyclone central pressure and outer winds from satellite microwave data. *Mon Wea Rev*,1978,106:144~152.
- 7 Velden C S. Observational analyses of North Atlantic tropical cyclones from NOAA polar orbiting satellite microwave data. *J Appl Meteor*,1989,28:59~70.
- 8 Velden C S, Goodman B M, Merrill R T. Western North Pacific tropical cyclone intensity estimation from NOAA polar orbiting satellite microwave data. *Mon Wea Rev*,1991,119:159~168.
- 9 Kidder S Q, Goldberg M D, Zehr R M. Satellite analysis of the tropical cyclones using the Advanced Microwave Sounding (AMSU). *BAMS*,2000,81:1241~1259.

THE THERMAL STRUCTURE CHARACTERISTICS OF TROPICAL CYCLONES WITH DIFFERENT INTENSITY REVEALED BY AMSU DATA

Wang Jin¹⁾²⁾ Jiang Jixi²⁾

¹⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

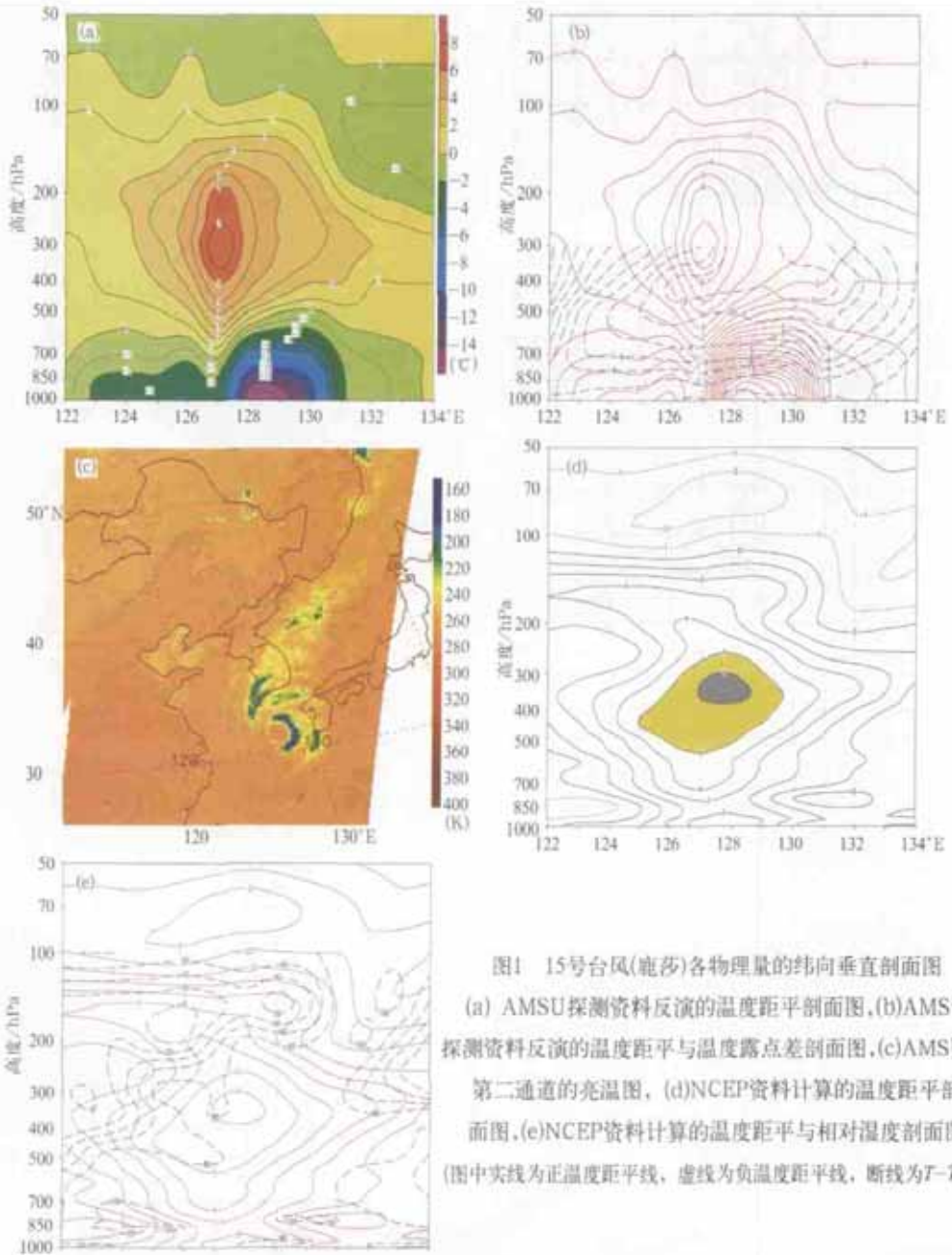
Abstract

The data from NOAA-16 AMSU and the numerical prediction data from NCEP are used to study the thermal structure of tropical cyclones (TCs) occurred over the northwest Pacific Ocean during June 10—September 10 in 2002. The results show that various geophysical parameters of the different intensities of tropical cyclones can be detected sensitively and measured further by AMSU data. Therefore, some aspects of the warm core associated with

these storms can be found. In addition, the substantial correlations between this satellite-depicted warm temperature anomaly at the mid- and upper troposphere and surface pressure at the storm center can be found by the differences from height, magnitude, scale and form of temperature anomaly regions of the different intensity tropical cyclones at the target levels, the differences of height, size and distribution of negative temperature anomaly at upper troposphere and the structure characteristics of relevant humidity field. By the thermal structure of tropical cyclones, the intensity changes of tropical cyclones in the future can be acquired further. At the same time, the results show that for the temperature anomaly the magnitude, height and area of typhoon's warming is the most, and the strong tropical storm's follow it, while those of the tropical storm are the lowest. As far as the height of the negative temperature anomaly at the upper troposphere, typhoon is the topmost, the follow is strong tropical storm and the tropical storm is the lowest.

Key words : AMSU Tropical cyclone Thermal structure

王 瑾等：AMSU 资料揭示的不同强度热带气旋热力结构特征



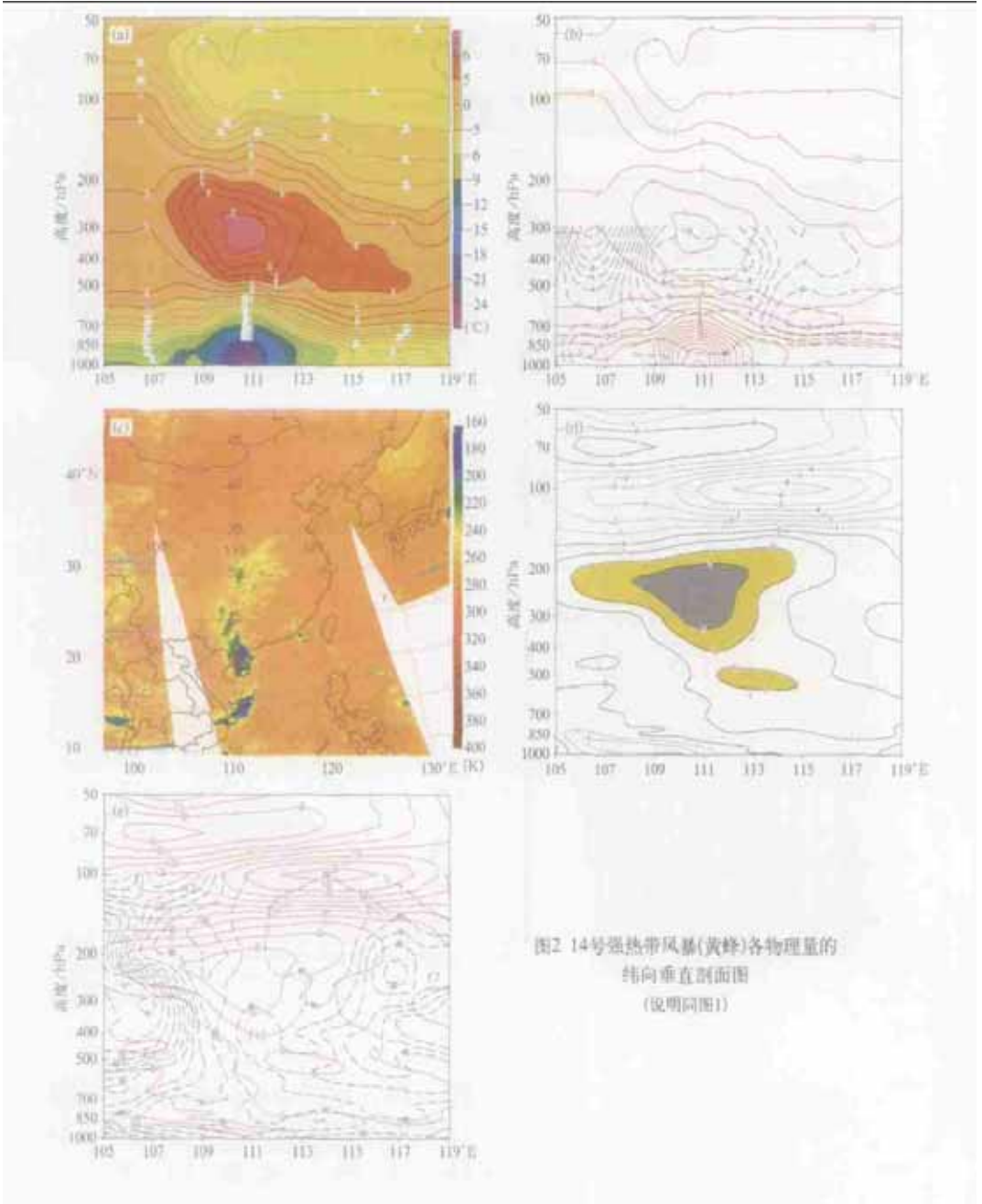


图2 14号强热带风暴(黄蜂)各物理量的
纬向垂直剖面图
(说明同图1)

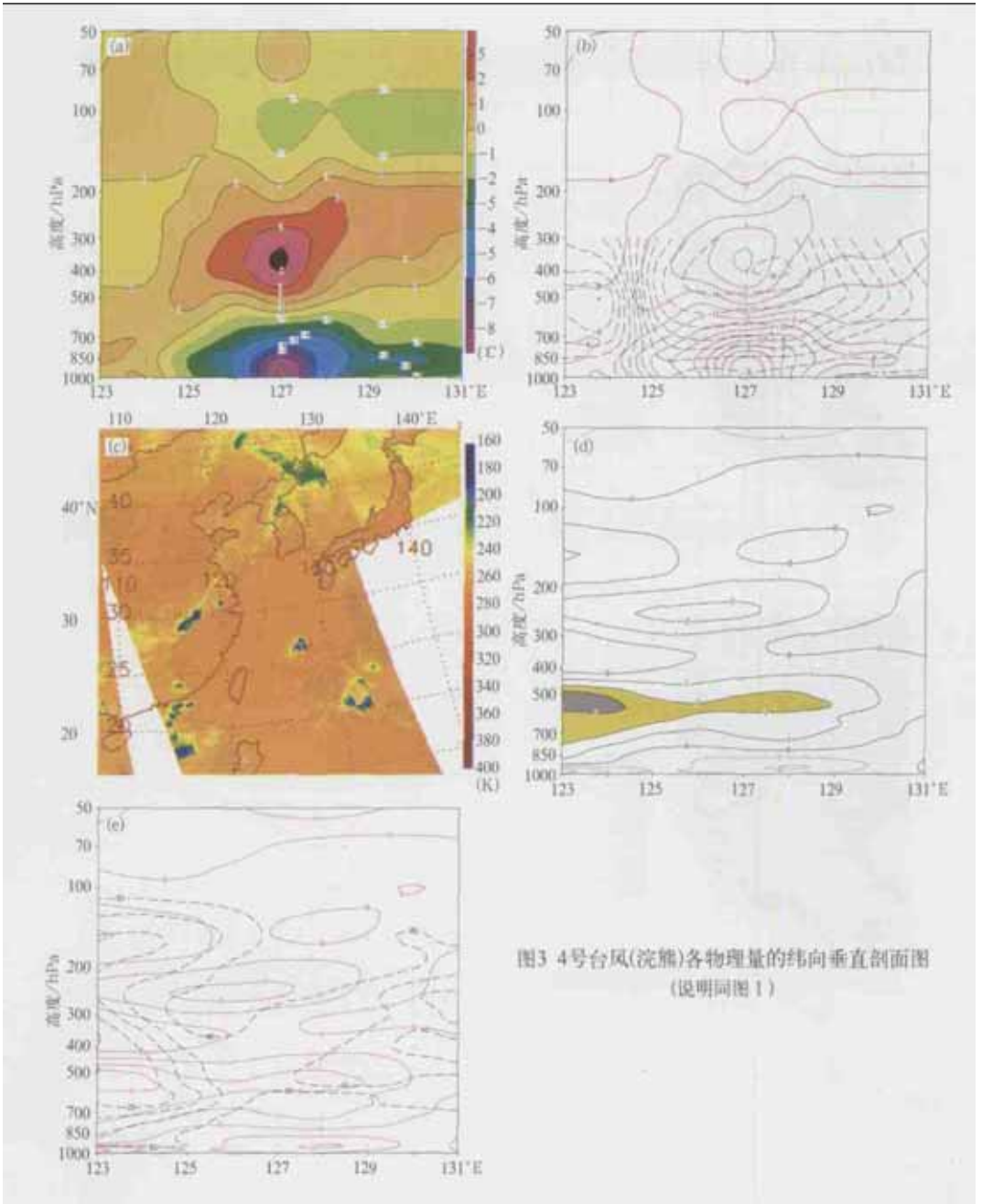


图3 4号台风(浣熊)各物理量的纬向垂直剖面图 (说明同图1)