

用地理信息系统改进热带气旋的客观定位精度*

鲁小琴 雷小途

(上海台风研究所,上海 200030)

摘要

基于地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)技术,初步建立了一个能集成多种数据资料和多种算法的热带气旋(Tropical Cyclone,简称TC)客观定位系统。其中不同卫星及同一卫星不同波段资料(如Quikscat洋面风场、云顶亮温等)的矢量及栅格信息的叠加和分析功能,有助于从多个侧面揭示TC的结构特征;而多种定位方法(如云图形态分析法、云顶亮温极值法、洋面风场涡度极值法、数学形态学算法等)的客观化及其综合运用的实现,不仅可以减小TC定位过程中的随机(人为)误差,而且能提高TC定位工作的效率。利用该系统对编号为0203、0209、0212、0417和0419的5个TC进行的定位试验结果表明:利用该系统进行TC定位的精度与目前业务定位精度相当,具有良好业务应用前景。

关键词:热带气旋 客观定位 GIS

引言

TC主要在海洋上活动,由于常规探测资料稀少,加之自1987年9月停止了穿越西北太平洋TC的飞机探测,西北太平洋的TC定位因此变得较为困难。此后,西北太平洋TC的定位主要依赖于卫星遥感资料(云图)^[1~5]。为了确定TC的位置,国内外许多专家已作了大量的工作,并总结出了一些经验方法,如:美国DVORAK方法^[3],将TC的不同发展阶段分成若干云型,对照描述TC发展的这种模式云型,分析确定TC中心的位置。此后,许多学者对该方法作了改进并广泛应用于业务。然而,该方法缺乏足够的客观性,精度因人而异,这给实际业务应用造成许多不便。针对这种情况,旨在提高TC定位方法客观化、自动化程度的工作方兴未艾。如:日本利用云体构成同心圆来确定TC中心的位置;上海中心气象台则利用TC的特征云系结构进行“四步分析”来定位;刘正光等^[4]利用数学形态学确定TC中心;以及采用对TC螺旋云带形态特征提取螺旋线拟合来定位的方法等等^[2,5~7]。虽然这些方法在TC定位客观化和自动化方面较DVORAK模式方法有所改善,然而,至今仍需要较繁杂的主观判断,即客观化和自动化程度仍十分有限。

此外,由于TC结构的特殊性,其“云眼”(在云图上表现出的台风中心)、“风眼”(TC流场中心)、“气压眼”(TC气压中心)等大多是不一致的,加之不同探测资料的精度也不尽相同,因此,基于不同资料、不同要素确定的TC位置往往有差别,特别是当TC的轴线发生倾斜时,同一要素、不同高度上中心位置也不完全重合^[8]。以往的TC定位方法,由

* 上海台风研究基金项目(2003ST003)资助。

2004-07-06收到,2005-08-15收到再改稿。

于所用资料单一,无法综合考虑上述差别。因此,将利用不同方法、不同要素确定的 TC 中心位置叠加到同一个系统平台上,并进行对比、分析和集成,对于提高 TC 定位的精确度也是非常有益和必要的。

1 GIS 的应用

如何建立一个桌面系统,来集成多种资料和算法进行客观、自动化的 TC 综合分析定位对业务部门来说是迫切需要的。GIS 作为一种具有管理、处理和分析空间数据的有效工具,可以集成基本气象资料、卫星遥感资料、相关的分析处理模型等在同一个环境中,从而可以实现对某些气象要素的显示、综合分析、预测和预报。

进行 TC 分析定位时可利用的相关资料很丰富,包括数值预报场、实况观测资料、遥感栅格图像或矢量场、地图、表格等,而这些信息具有空间性和动态性,便于在具有空间显示特性的 GIS 中叠加、显示;同时 GIS 中自带的邻域分析、相关分析、栅格图像波谱及地形分析等空间分析功能组件为开发者根据 TC 定位的需求进行定制开发提供支持;GIS 的可视化环境也为分析者提供了清晰、直观、便于操作的界面。

本文基于 GIS 技术,利用卫星云图中云形状和像元灰度值的直接分析处理或其他资料的叠加分析,对 TC 的定位技术作了客观化、自动化改进。最终建立了一个能综合多种资料(包括卫星遥感资料、天气实况资料、数值预报天气形势场资料等)、多种定位方法(基于云图的数学形态学算法、云顶亮温分析法、矢量风场涡度极大值算法等)的客观定位系统,其作业的客观化、自动化和精度已基本能满足目前 TC 定位的业务需要。

2 基于 GIS 的 TC 客观定位

2.1 云图形态定位

在卫星云图上 TC 表现为明显的有组织云系^[9]。TC 云系主要由 3 部分组成:眼区、中心浓密云区和螺旋云带。TC 发展的不同阶段,中心云区有不同的结构和形状,由此确定 TC 中心位置的方法为“云图形态定位法”,如 DVORAK 模式方法、数学形态学方法等。

2.1.1 DVORAK 模式方法

为实现“云图形态定位法”的客观化,本文利用 ArcGIS 中对栅格数据建立分析模型进行属性检索,提取红外云图中 TC 的主体云系,凸现 TC 结构框架,然后进行增强显示,再依据 DVORAK 模式法原理,客观求取密蔽云区中心或螺旋云带螺旋线曲率中心,并将其确定为 TC 的中心。

彩图 1 为 0203 号台风海贝思在 2002 年 5 月 17 日 18:00(世界时,下同)的增强云图,图中红色“●”点为《热带气旋年鉴》的最佳定位(14.5°N,139.3°E)、“★”为本算法定位结果(14.5°N,139.5°E),两者相差 19.2 km。

2.1.2 数学形态学方法

为实现“云图形态定位法”的客观化,除 DVORAK 模式方法外,还可以通过识别 TC 在云图上沿半径方向的灰度差别,来确定 TC 的位置。

在 TC 的形成和发展时期,由于中心附近的气旋高速旋转,TC 在云图上表现为局部灰值高、灰值梯度大,高灰值区域和晴空区域距离较近,两者间过渡带薄^[10-11],TC 中心位于高灰值区域中靠近灰度带梯度大的一侧。据此,本文利用 ArcGIS 中针对栅格图像的空间分析算法来对卫星遥感图像进行数学形态学处理,即通过对云图二值化后,对其进行“腐蚀”和“膨胀”等处理,将云图中灰值较高而且灰值梯度大的区域浓缩为一个点^[4,11-13],从而获得 TC 的中心^[13]。

图 2 为利用“数学形态学方法”对 0203 号台风海贝思在 2002 年 5 月 17 日 18:00 云图定位的处理过程和结果。其中图 2a 和图 2b 分别为云图二值化后的高灰值图和过渡带图,图 2c 至图 2f 为对过渡带的连续腐蚀和膨胀结果,图 2g 是腐蚀和膨胀结果的和,图 2h 是图 2a 和图 2g 的差,即为 TC 中心(14.4°N,139.26°E),与最佳位置相差 10.6 km。图 2i 是利用“数学形态学方法”定位结果(浅色圆点)在云图上与最佳定位(黑色圆点)的对比。

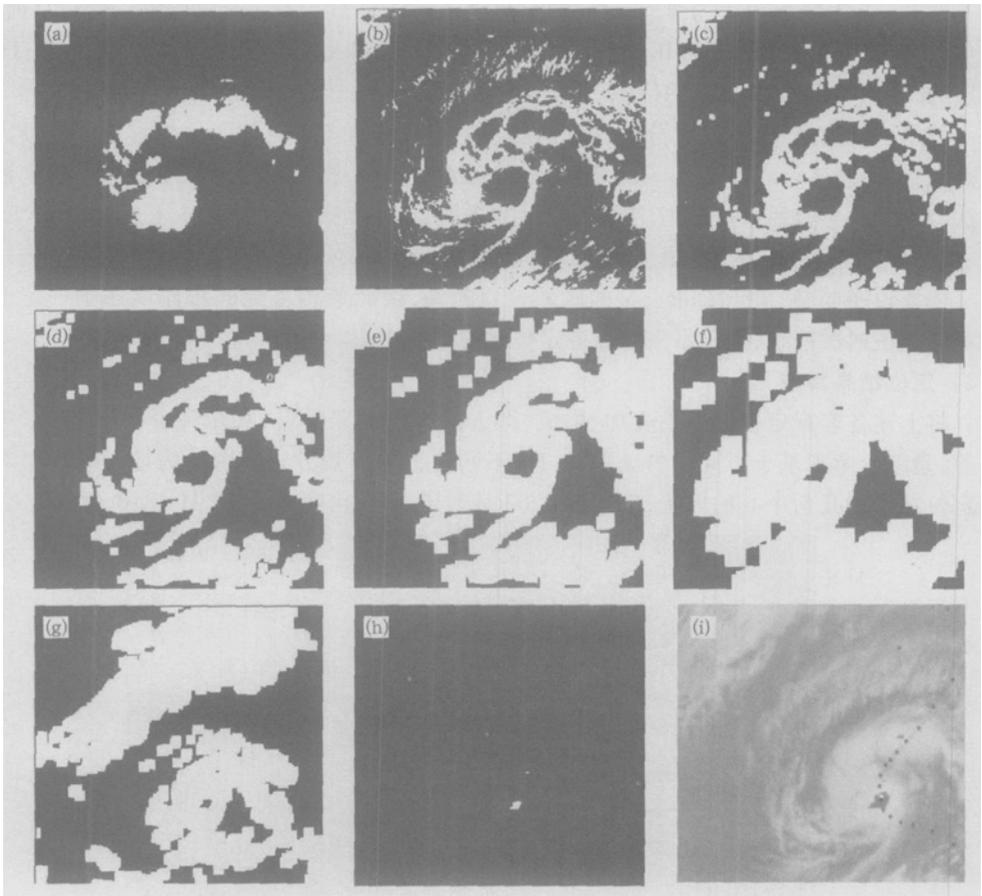


图 2 利用“数学形态学方法”实现“云图形态定位法”客观化的定位过程及结果

2.2 云顶亮温(TBB)极值定位

除上述通过确定 TC“云眼”进而定位 TC 中心位置外,还可利用卫星探测的其他要素(如温度场、风场等)来客观确定 TC 的“温度眼”、“风眼”等进而定位 TC 中心位置。

根据 TC 的定义^[9]:TC 是一种发生在热带海洋上一种很强的暖心性气旋型涡旋。说明在 TC 的内部,中心暖,四周冷。若在 TC 顶部(或某一高度)做一水平剖面,观测温度的水平分布,其等温线呈现由内向外递减的特征。因此在红外云图上,TC 中心的亮温数值应明显高于同高度的四周云区,这有助于利用红外云图来判断 TC 的中心位置。

对于有眼 TC,眼区有明显的晴空(或少云)区,通常可将其几何中心确定为 TC 中心位置;对于无眼 TC,从云图上看,其中心区域为大片冷云区,肉眼无法分辨其具体的中心点。然而,根据上述云顶亮温极值法,可通过求取冷云区亮度温度的相对极大值点,来确定 TC 的中心。

彩图 3 为 0203 号台风海贝思在 2002 年 5 月 17 日 18:00 的云图亮温图。其中红色三角形标志“▲”为温度极值点,即利用云顶亮温极值法客观确定的 TC 中心(14.64° N, 139.14° E),与最佳定位之间相差 20.5 km。

2.3 Quikscat 洋面风场涡度极值定位

Quikscat 卫星所获得的洋面风场数据,反映了海洋表面上 10 m 高度处的风场,目前,可从互联网上获取经订正的 0.25° × 0.25° 格点上的 Quikscat 风场资料,可据此求出 TC 低层的“风眼”进而确定 TC 的位置。

依据风场信息中的 u, v 分量计算涡度 ξ ,并在指定的 TC 大致区域内求取涡度极大值点 ξ_{max} ,同时该点四周 u, v 分量符号与气旋情形一致,则该点为 TC 中心。利用上述方法,对 0203 号台风海贝思在 2002 年 5 月 17 日 20:00 的定位位置(15.1° N, 139.1° E)与 2002 年 5 月 17 日 18:00 最佳定位的偏差为 65.2 km。

需要说明的是,由于 Quikscat 的时效性比较差,因此遥感得到的海面风场不一定能和业务定位时次一致,但仍不失为业务定位时的参考方法。

2.4 定位结果集成

将上述各客观定位的结果叠加、集成,即去除不合理定位点、取几何中心作为 TC 中心等,是综合考虑基于不同资料获取的 TC 不同位置的有效方法。图 4 为通过取多个客观定位结果的几何中心的方法,确定的 0203 号台风在 2002 年 5 月 17 日 18:00 的中心位

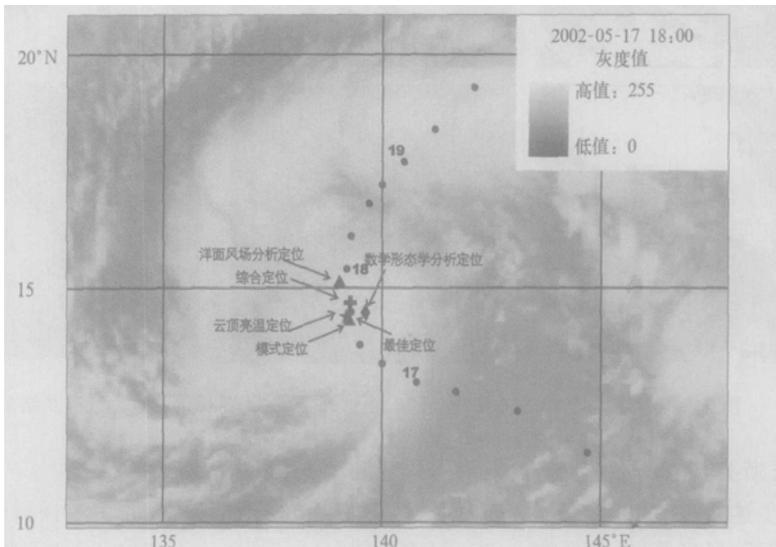


图 4 多种客观定位结果的集成(暂取几何中心)

置(14.65°N,139.3°E),它与最佳定位(14.5°N,139.3°E)之间相差 16.8 km。

3 TC 客观定位系统的建立

为使多种客观定位结果叠加、集成更直接,同时为简化用于 TC 定位资料的调阅、分析和处理步骤,提高 TC 定位业务工作的效率,本文利用 ESRI 公司 ArcGIS 8.3 软环境作为平台,在此基础上利用 VBA 开发定制 TC 客观定位系统,将可供 TC 定位使用的有关资料和方法有效地组织起来^[14],实现了资料的格式转换、导入、叠加、处理分析、定位及集成等功能,初步改进了 TC 的客观化定位精度。

其中,资料的导入包括:各类文件格式向 GIS 可识别数据格式转换、投影变换、统一坐标系、卫星图像校正、信息提取、数据表编辑、图例分类显示等。叠加包括:将卫星图像、矢量风场、天气资料、数值预报叠加至 GIS 视图中便于分析。分析包括:卫星图像按属性表信息提取、图像增强、腐蚀、膨胀、切片等,涡度、散度的计算,图例气象标志化,绘制气压、温度等值线、邻域空间分析等。定位及集成包括:对分析、处理后的信息进行 TC 中心位置的客观确定及综合各种结果的最终 TC 定位。系统平台的框图及界面如图 5 和图 6 所示。

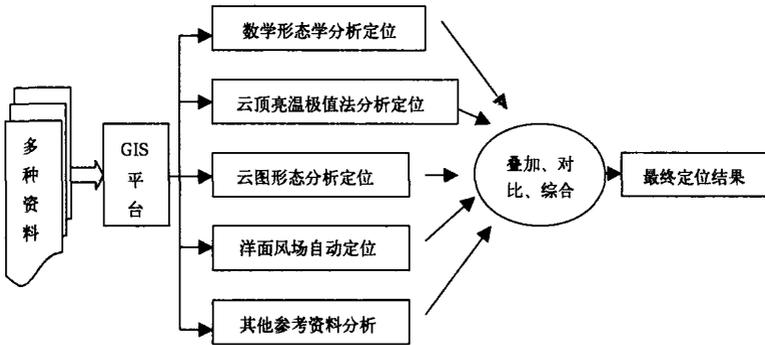


图 5 定位系统框图

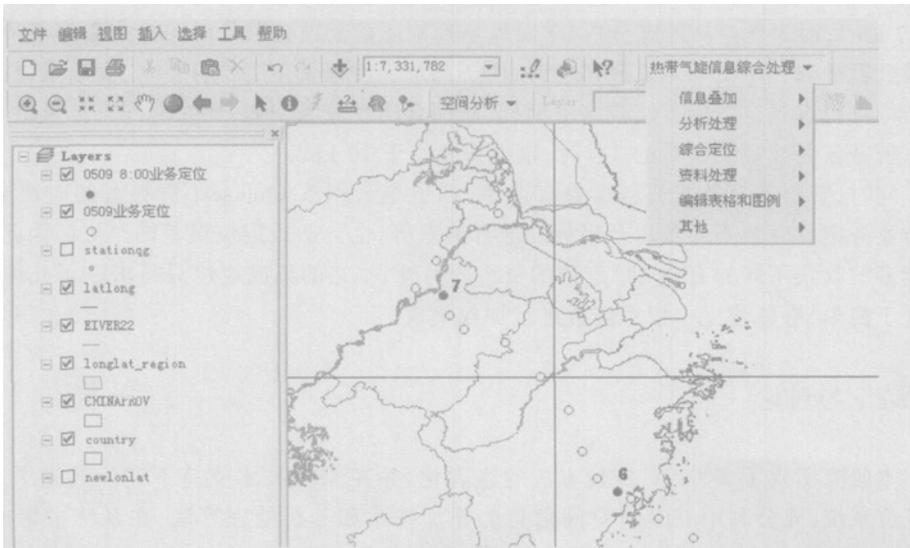


图 6 TC 客观定位系统界面

4 试验

利用本定位系统,对 2002 年的 0203,0209 和 0212 号 3 个 TC 共 61 个时次进行了定位试验。定位结果与最佳定位相比,偏差如表 1 所示。

表 1 0203,0209 和 0212 号 TC 定位结果与业务定位和最佳定位的偏差 km

热带气旋 中央气象台编号	本系统定位与业务定位 平均偏差	本系统定位与最佳定位 平均偏差
0203	22.4(10 次)	26(10 次)
0209	20.4(38 次)	19.8(41 次)
0212	29.96(10 次)	33.8(10 次)
平均	21.5(共 58 次)	24.2(共 61 次)

注:括号内为定位次数。

对 2004 年汛期编号为 0417 和 0419 号的两个 TC,共 64 个时次做定位试验,结果与业务定位及最佳定位的预定位结果之间的偏差如表 2 所示。

表 2 0417 和 0419 号 TC 定位结果与业务定位和最佳定位的预定位的偏差 km

热带气旋 中央气象台编号	本系统定位与业务定位 平均偏差	本系统定位与最佳定位的 预定位平均偏差
0417	21.3(39 次)	18.1(35 次)
0419	20.8(25 次)	17.3(25 次)
平均	21.1(共 64 次)	17.8(共 60 次)

注:括号内为定位次数。

以上 TC 的定位试验结果表明:利用该系统进行 TC 定位,精度与业务定位精度相当,而且稳定可靠,表明该系统能满足日常业务及最佳路径定位需求。

但是,从 TC 发展的不同阶段来看,本系统定位的精度有所差别。当 TC 刚生成时,TC 较弱,在形态上表现为若干个分散的对流单体小云团,这时定位偏差较大(偏差最大达 37 km),因为无论从形态分析、洋面风场判别还是云顶亮温分析,TC 中心都不清晰;在发展过程中遇到干扰如垂直风切变时,由于高层云特征发生了位移,主要会给根据云图形态结构进行客观定位的方法带来了困扰,从而会出现较大偏差;而在遇到有台风眼或未变形的密蔽云区或螺旋云带的 TC 时,定位偏差小于 10 km。

同时,资料不充分或资料本身有误差,如卫星云图或 Quikscat 资料有的时次会缺失或与业务定位时效不一致以及坐标配准有偏差等,也会造成定位误差的产生。因此,应尽可能多的收集不同的有益 TC 定位的资料。另外,本文的集成定位只是求取了几何中心,尚过于简单,有待建立一权重函数进行加权集成。

5 结论与讨论

本研究实现了多种 TC 定位方法的客观化,并在 GIS 技术支持下初步建立了 TC 客观定位系统,充分利用 GIS 对空间信息的叠加技术和分析处理算法,在系统中集成多种资料和定位方法,提高了 TC 定位的客观化和自动化程度。初步的试验结果表明:精度与

目前的业务定位精度(20 ~ 30 km)^[15]相当。

但是,由于系统的客观化、自动化程度高,对于 TC 发展过程中遇到特殊干扰时,如风切变、陆地及冷洋面等,气旋顶部云团或风场会有异常,对于该类情况,系统不能随即根据实际情况做出具有针对性的判断,这样各种客观的定位算法都有可能产生偏差。因此,在以上情况下若能根据特殊情况作适当人机交互、判断,进行综合分析定位,可能会使结果更好。

如何进一步改进客观定位算法,改善对 GIS 技术的应用,叠加所有可以利用的且能为定位服务的可参考信息进行综合,供定位、业务预报参考;集成外部算法、模式或支持函数(如交互、分析和模拟模式等),从而进一步提高定位精度,还有待下一步工作继续研究。

参 考 文 献

- 1 陈渭民,肖稳安编著.卫星云图分析图册.南京:南京气象学院大气物理系,1988.11~17.
- 2 赵小宪.无眼台风卫星云图定位技术.气象,1991,17(8):26~28.
- 3 Vernon F Dvorak, Frank Smigielski 著.郭炜,卢乃锰,孙东联,等译.卫星观测的热带云和云系.北京:气象出版社,1996.217~240.
- 4 刘正光,邱海明,吴冰,等.基于卫星云图的无眼台风中心定位算法.天津大学学报,2003,(6):668~672.
- 5 刘凯,黄峰,罗坚.台风螺旋云带骨架跟踪方法的研究.计算机工程,2001,27(10):152~154.
- 6 谢俊元,艾早阳,高勇.台风中心定位中的螺旋线自动识别算法.软件学报,1997,8(6):398~403.
- 7 王燕燕,叶臻,孙尉迟.台风中心的旋转定位.中国图像图形学报,2002,7A(5):491~494.
- 8 雷小途,陈联寿.西北太平洋热带气旋活动的纬度分布特征.应用气象学报,2002,13(2):218~227.
- 9 喻世华,陆胜元编著.热带天气学概论.北京:气象出版社,1986.132~147.
- 10 李修芳,范慧君,燕芳杰,等.用增强显示云图确定热带气旋强度的方法.应用气象学报,1993,4(3):362~368.
- 11 Joe C H Poon, Chau C P, Ghadioli M. Using Fuzzy Mathematical Morphology for Locating Tropical Cyclone in Satellite Imagery. 1997 IEEE International Symposium on Circuit and Systems. Hong Kong, 1997. 1353~1356.
- 12 Serra J. Introduction to mathematical morphology. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1986, 35(1):283~305.
- 13 戴青云,余英林.数学形态学在图象处理中的应用进展.控制理论与应用,2001,18(4):478~482.
- 14 Shipley, Graffman, Beddoe, et al. Rapid Integration of COTS GIS for Interactive Weather Processing. AMS 13th IIPS Proceedings, 1997. 420~421.
- 15 陈佩燕,于润玲,余晖,等.2002年西北太平洋热带气旋综述.大气科学研究与应用,2003,(1):101~113.

TO IMPROVE THE OBJECTIVE POSITION PRECISION OF TC WITH GIS

Lu Xiaoqin Lei Xiaotu

(Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030)

Abstract

Supported by GIS technology, an objective TC (Tropical Cyclone) center positioning system integrating much data and arithmetic is performed. All kinds of vector and raster lay-

er data , such as Quikscat wind distribution on the ocean , weather state , forecast state , different satellite images and different band images of the same satellite , are super positioned together and analyzed in this system . It is helpful to show TC characters in many ways . Many TC center positioning methods , such as analyzing cloud form , finding the warmest point on cloud and eroding or dilating cloud image to find TC center , are synthesized to make TC center positioning more objective , precision and roboticized , centers of 0203 , 0209 , 0212 , 0417 and 0419 TC are positioned by this system . The result shows that the precision of this system is close to that of operation TC center positioning . It proves that this system could be applied in operation .

Key words : Tropical Cyclone (TC) Objective position of tropical cyclone center GIS

鲁小琴等：用地理信息系统改进热带气旋的客观定位精度

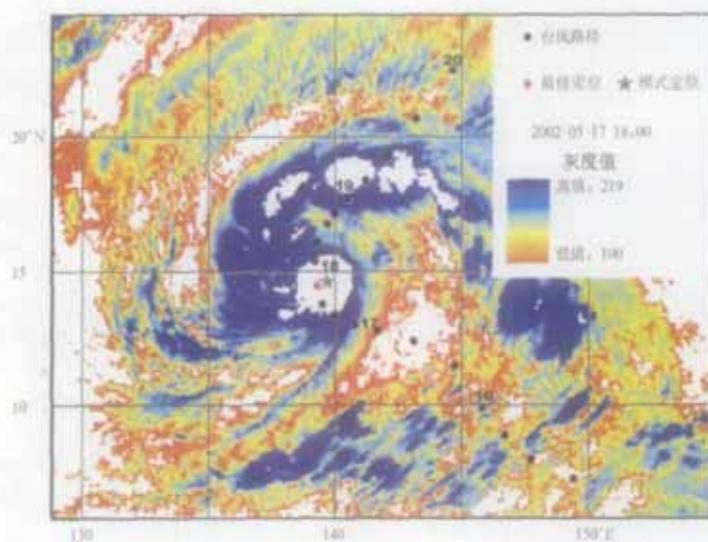


图1 利用DVORAK模式方法实现“云图形态定位法”客观化的定位个案

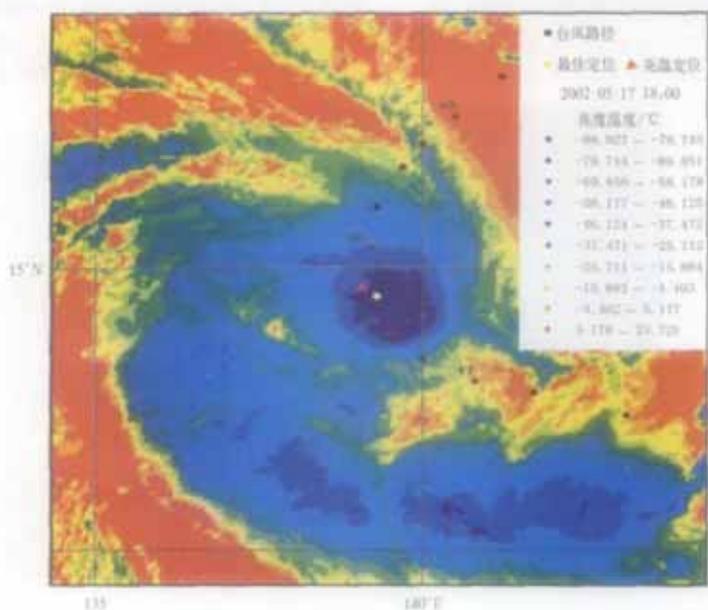


图3 利用“云顶亮温模值法”的定位个案