

地面气象观测,少数国家则应用飞机探测作为一种重要的辅助监测手段,如美国国家飓风中心(NHC/NOAA)针对北大西洋和东太平洋飓风的飞机探测作业,而美国关岛联合台风警报中心(JTWC)也曾针对西北太平洋和南海台风开展飞机探测作业,但遗憾的是该项作业已于1987年8月停止运行。由于海洋观测资料稀缺,而地面雷达探测距离有限(最远为460 km),因此自20世纪60年代气象卫星投入业务运行以来,气象卫星探测就成为对台风监测最主要的手段,尤其对远海台风的监测。而当台风接近陆地时,由于雷达在观测时间及空间解析度上的优势,雷达则成为精确掌握近海台风动向的最佳探测工具;而一旦台风登陆后,地面实时观测资料将成为确定台风中心位置和强度的主要依据之一。

目前我国已初步建成了以气象卫星、多普勒天气雷达、地面自动气象观测站为基础的对台风进行全方位实时监测的立体综合探测体系,借助于气象卫星、多普勒天气雷达和地面自动气象站对台风的全方位精确监测,我国在台风的监测能力方面取得了长足的进步。目前我国的台风平均定位误差约为25 km,强度(近中心最大平均风速)误差在5 m/s以内,并且能给出大风和雨强的合理分布,基本达到当前世界先进水平。

### 5.2.1 卫星云图上台风中心位置的确定

气象卫星探测图像是确定台风中心位置最常用的资料。气象卫星上有3种基本的传感器,两种为被动式,一种为主动式。第一种传感器是卫星上的电视系统,能够给大气“照相”,早期的卫星只提供这种照片。第二种传感器是高级辐射仪,它能够收集来自大气和地面的上行辐射,并可调整合适的波段观测不同的大气特征。对确定台风中心位置特别有用的是可见光、近红外和微波传感器,此外还有水汽通道传感器。可见光传感器只能在白天使用,它能够直接反映出云层的外观和台风的环流结构;红外传感器可在白天或夜间使用,它能够探测由云顶所释放出的红外射线,由于红外线是由物体热能转化而成的射线,因此它能提供云顶温度的分布,并区分不同层次的云;水汽通道传感器能够提供整层大气水汽含量的图像,对弱的和正在发展的台风,使用这种图像可以对可见光和红外资料定位提供有益的补充。目前在台风监测业务中使用的上述3种卫星图像可由我国的风云2号系列卫星(FY-2C、FY-2D静止气象卫星)和风云1号系列卫星(FY-1D极轨气象卫星)以及日本的MASAT静止气象卫星等获得。微波辐射射穿透云层且很少衰减,因此可用于对台风暖心结构等的分析,目前在业务中使用的微波图像可由美国的TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)、SSM/I(Special Sensor Microwave/Imager)以及AMSU-A/B(The Advanced Microwave Sounding Unit-A/B)等极轨卫星所获得。第三种传感器是主动传感性的,它发射能量脉冲,并且测量后向散射部分,包括微波雷达和激光雷达,微波雷达能够观测云中的液态水。如美国NASA的QuikSCAT卫星所观测的海面风场资料,它通过卫星上的雷达发出回波扫描地球海面上波浪的大小来估算海面风场的分布,这对于掌握较弱台风的中心位置和强度有很大帮助。

最常见的卫星定位方法是使用Dvorak方法(Dvorak 1972,1973,1975,1982,1984,1995),并结合透明螺旋线板和主观解释(McBride等1987),该方法是通过确定适当的云系中心的位置来定位的。由于微波图像以及一些主动传感性的卫星图像是由极轨卫星所获取的,这些资料的时间分辨率都较低,一般每天只有两次,因此在台风监测日常业务中,一般都使用红外和可见光图像来确定台风中心的位置。具体一般分为4个步骤:

#### ◇ 第1步:根据云型特征确定台风中心

在卫星图像上,台风表现为有组织的涡旋状云系,是一种比较容易识别的天气系统。台风云系通常由眼区、近中心浓密云区和螺旋云带3部分组成。

台风眼区指成熟台风中心附近的无云或少云区,在卫星云图上表现为一个小黑点。眼的形状一般可分为不规则的大眼、大而圆的眼和小而圆的眼等3种(图5.12)。正在发展的或较弱的台风常没有眼,这时台风中心通常位于浓密云区的外部或边缘(如图5.13(a)和图5.13(b))。

中心浓密云区是指台风眼区或云带曲率中心四周的一整片浓密的对流云区。但只有当台风中心位于该浓密云区里面时,才可称为中心浓密云区(又称密蔽云区)。如果台风中心位于浓密云区外部靠近它的边缘附近,则不能称其为浓密云区。当台风发展到成熟阶段且强度较强时,由于垂直环流的加强和

量卷云的生成和流出,中心浓密云区变为一片光滑的卷云区(或者是有纹理的卷云区),这时又称之为卷云罩。



图 5.12 台风眼的种类



图 5.13 发展中台风或弱台风中心位置

螺旋云带是指台风云系中表现为弯曲的螺旋状的云带,一般出现在台风发展初期。在成熟的强台风中,围绕中心浓密云区旋转的螺旋云带呈准圆形,云带宽度多在 50 km 以上。图 5.14 给出了各种不同型的螺旋云带。

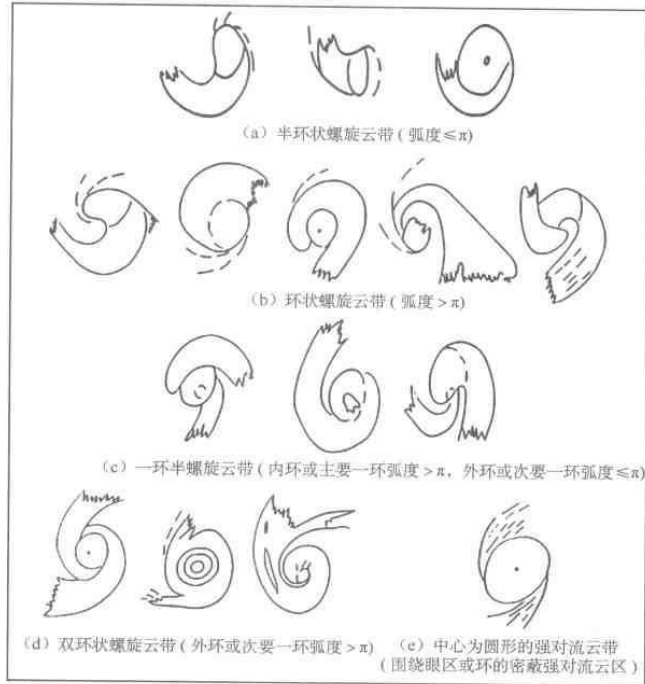


图 5.14 各种螺旋云带

当台风有眼时,可以根据眼的特征确定台风中心位置。小而圆的眼即台风中心(图 5.15(a));大而圆的眼,台风中心定在眼区的几何中心(图 5.15(b));不规则的大眼,需仔细分析红外云图上的眼区,台风中心定在最黑区的几何中心(图 5.15(c))。

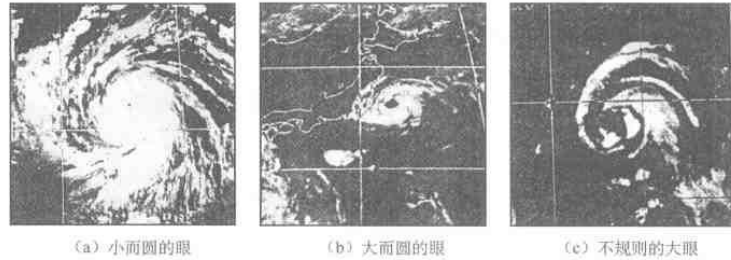


图 5.15 具有不同特征台风眼的卫星云图

当台风无眼,但有密闭云区时。①出现对称的近似圆形的密蔽云区时,台风中心一般位于其几何中心(图 5.16(a))。②密蔽云区中出现弧状云隙或裂缝时,台风中心位于云缝内密蔽云区的中央部位(图 5.16(b))。③当密蔽云区减弱,有舌状干空气侵入时,台风中心位于干舌的顶端(图 5.16(c))。④具有不对称的密蔽云区时,台风中心偏于云区边界整齐光滑的一侧。如图 5.16(d)中,台风密蔽云区不对称,东侧边界整齐,尤其是东北侧最光滑,台风中心位于靠近最光滑边界一侧。

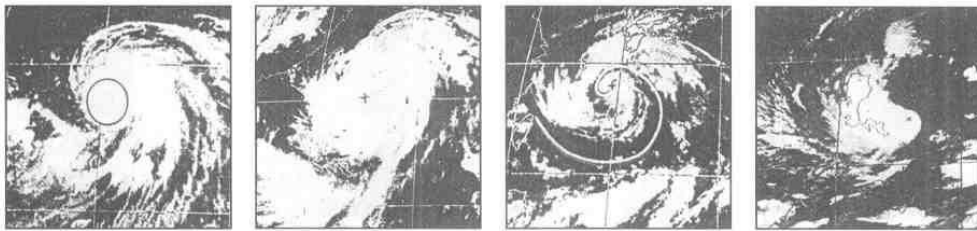


图 5.16 无眼,台风中心位于密蔽云区内部时的卫星云图典型示意图

当台风无眼,且台风中心在云区外部时。①用可见光云图上出现在浓密云区外部的半环状和螺旋状积云线的曲率中心来确定。如图 5.17(a),台风中心是由可见光云图上位于浓密云区东北侧的半环状积云线的曲率中心来确定的。②用红外云图上浓密云区外部或边缘附近出现的圆形无云区确定。在红外云图(图 5.17(b))上看不到积云线,但仔细分析浓密云区附近少云区的色调,发现其东北边缘有一个圆形无云区,色调比四周要黑,即为台风中心。③根据螺旋云带的曲率中心确定。当有两条或两条以上的云带时,台风中心通常位于这些云带中间的晴空区,如图 5.17(c),台风中心位于两条正在旋转云带的共同曲率中心。

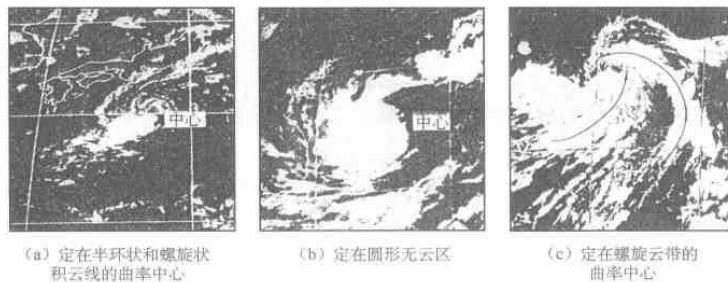


图 5.17 无眼,台风中心位于密蔽云区外部时的卫星云图典型示意图

## ◇ 第2步: 网格误差校正

位于卫星正下方的一点,称为“星下点”。由于卫星本身倾斜并不停地摇摆和旋转,使“星下点”的位置也有变化。因此以“星下点”为基点所确定的网格也相应发生偏差,所以在确定台风中心位置后,需要进行网格误差校正。目前所接收的云图,网格一般有0.1~0.2个经纬距的误差,少数图片的误差可达1个经纬度。在实际操作中,一般是根据云图上的海岸线、湖泊、河流及岛屿等地标特征校正网格。

## ◇ 第3步: 斜视误差校正

由于西北太平洋和南海地区的大多数台风离星下点较远,必须进行斜视误差校正,通常向东南方校正0.1个经纬度。

## ◇ 第4步: 合理性检验

经过上述两步校正,再根据台风的前期位置和强度变化以及路径与台风位置的相关性来检验所确定的位置是否合理,最后定出台风中心位置。

## 5.2.2 雷达图像上台风中心位置的确定

当台风移近雷达时,通常首先出现的是较大的降雨带,称为先行雨带,它以几乎相同的速度和方向在台风之前随之一起向前移动,此阶段难以获得精确的定位。一旦观测到一定长度的螺旋云带,用 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 等角对数螺旋线拟合,就可以初步确定台风中心的位置(Senn等1959)。基本方法是作一组对数螺旋线,然后选取与观测到的螺旋云带最合适的一个,其螺旋中心就是台风中心的位置。

在大多数情况下,一个发展完整的台风都可以在雷达回波图像上看到明显的眼壁回波。虽然有时候眼壁回波可能不全或结构有些零乱,但只要观测到这种眼壁回波,一般都可以比较准确地以台风眼的几何中心来确定台风的中心位置。在台风实时业务中,根据台风眼的雷达回波结构特征,可以将其分为同心双套圆眼、圆形眼、椭圆形眼、半圆环眼、不规则眼、破碎眼和无眼等7类台风(图5.18)。一般而言,强度强的台风多数出现同心双套圆眼和圆形眼,中等强度的台风则呈现椭圆形眼和半圆环眼,弱台风则多数出现不规则眼、破碎眼或无眼。对于存在同心双套圆眼、圆形眼、椭圆形眼和半圆环眼的台风,我们可以将上述眼回波的几何中心确定为台风中心。而对于存在不规则眼、破碎眼和无眼台风,用雷达回波来确定台风中心存在着非常大的困难,这时可以借助多普勒雷达径向速度场或其他观测手段来确定台风中心。

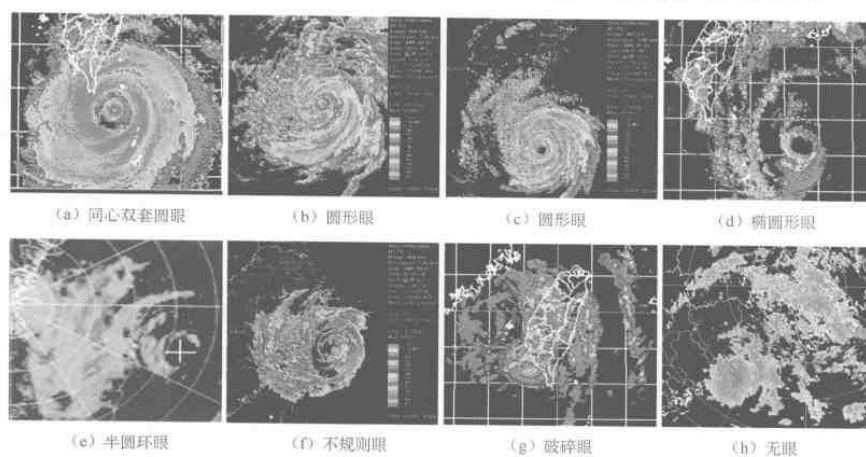


图 5.18 台风眼的雷达回波结构

## 5.2.3 地面观测对台风中心位置确定的作用

结合使用地面观测与其他观测,可为台风定位提供有价值的资料分析。如当卫星资料显示有一个结构松散的正在发展的台风云系时,对台风环流整体的地面观测,特别是观测赤道西风,有助于解释卫

星观测。可使用两种主要的分析方法(Australia Bureau of Meteorology 1978),第一种方法是:垂直于实测风画直线,并根据摩擦效应适当地调整直线的方向,这些交叉射线包围的区域就是台风中心的大概位置;第二种方法是:将一个预估气压场或风廓线与观测环境风场拟合(Holland 1980),然后根据地面观测资料手工画出向内的同心圆而完成定位。当有独立的办法确定台风强度时,这些方法能够帮助确定台风中心的近似位置,但实际上很少使用(Holland 1981)。

调查表明,预报员认为地面观测十分重要,绝大多数气象台站把地面观测资料作为最重要、最有用的工具(McBride 等 1981)。但是用所有可能得到的地面观测资料对澳大利亚早期台风重新进行仔细的定位分析,结果表明仍然存在着定位误差,这说明澳大利亚的气旋定位质量和较大的定位分析误差与使用地面观测有关,即使这种地面观测有较好的质量和密度。尽管按平常标准来看,资料相当好,但是大量有经验预报员单独用地面资料估计台风中心位置和强度,其定位误差一般都超过 100 km,而强度估计则几乎无用(Holland 1981)。因此,在确定台风中心位置的业务实践中,必须审慎地使用地面观测资料。

应该指出的是,“真正”的台风中心位置并不存在,台风中心位置既取决于所选择的中心位置的定义,也与所使用的观测设备有关。如卫星和雷达确定的围绕眼区的云墙或雨带圆形区域的几何中心。除非可分辨出地面的台风环流中心,一般卫星云图显示的是中层环流的位置,对一个结构松散或有风切变的台风来说,中层环流中心与地面环流中心差异相当大。类似地,在台风距离雷达站较远时,雷达只能通过探测高空雨的特征确定台风中心位置,随着台风的靠近,才逐渐观测到较低层次的环流。另外,地面气压场中低压中心和风场中气旋中心很少同雷达或卫星显示的几何中心一致,地面低压中心和风场涡旋中心彼此也很少一致。因此,在实际业务中,有时需要从多种观测资料中推断出台风的中心位置。分析得不准确、不同的观测资料得出不同的位置以及中心位置的高频振荡使得可能的台风中心位置十分分散,必须从这些位置中推断出最终位置。国内外大多数气旋警报中心根据定位的可靠性权重,通过某种形式的曲线拟合或平滑来确定最终位置,而地面分析则用于检查总误差和对最终估计的位置进行调整(McBride 等 1987)。

值得注意的另一个问题是弱台风的定位问题,这时由于弱台风可能具有强的切变或包含多个中心,选择哪个中心作为台风的实际中心是一个难题。在台风发展过程中,某个中心一度起支配作用,而后又被另一个中心取代。从一些个例中已经发现,台风最佳路径的剧烈变化与多中心的支配作用更替有关,也就是说一些大的、近乎灾难性的预报误差是由于使用卫星资料定位分析时追踪了不正确的特征或局部环流中心所致。

此外,台风路径的小尺度振荡也是一个常见的定位分析难题,当准确地、高频次地加密观测(如地面基准雷达)时,可以分辨出这种振荡,并在最终路径上反映出来。然而,多数情况下,观测资料难以作出如此详细的定位分析,路径在一定程度上被平滑了,也可能被所用的特殊观测所歪曲。业务定位中,由于资料较差或实际的路径摆动或方向长期变化,通常难以指出分析出的位置是否偏向于前期路径的某一侧,因此一旦作出错误的解释,就可能导致严重的预报误差。

#### 5.2.4 台风强度的确定

根据我国台风等级标准(GB/T 19201—2006)的规定,台风强度是指台风近地面或近海面中心附近的最大平均风速或最低海平面气压。用观测风和气压的方式,直接测量台风强度几乎是不可能的。台风眼和最大风速覆盖的区域一般都很小,且未必能直接影响到一个测站,特别是船舶观测,船长总是要努力避开观测台风最强烈部分的机会。虽然从台风环流内任何地方的观测对了解台风强度及其变化都是有帮助的,但这只能揭示台风强度及其变化的部分事实,而毁灭性的风区是非常集中的,尤其是在迅速发展的台风中。

目前世界各国(包括中国、美国和日本等国家)主要是采用美国科学家 Dvorak 研发的 Dvorak 分析技术(Dvorak 1972, 1973, 1975, 1982, 1984, 1995),根据静止气象卫星在红外和可见光波段观测的台风云型特征及其变化确定台风的强度,该技术于 1987 年由世界气象组织推荐使用,已成为在缺少飞机探