

用数字云图确定热带气旋强度的 原理和方法*

范蕙君 李修芳 燕芳杰 胡治波

(国家气象中心, 北京 100081)

摘要 本文采用数字云图资料, 分析热带气旋强度与热带气旋中云系结构的关系, 提出了云系结构紧密度因子的概念并用云带旋转的圈数表示热带气旋强度的方法。本文对原有关于热带气旋中云系结构的某些因子的取值作了适当调整, 改进了用增强红外云图确定热带气旋强度的方法。经过对 2446 组样本的拟合, 热带气旋强度最大风速估计值的平均绝对误差为 2.48 m s^{-1} 。本方法可以实现人机交互, 能更客观地作出定量估计。对 1993 年 12 个热带气旋检验, 最大风速平均绝对误差为 2.31 m s^{-1} 。

关键词 数字云图 热带气旋 强度估计

1 前言

热带气旋强度(指最大风速)的确定是热带气旋分析预报中的一个关键问题。1987 年飞机探测业务停止后, 气象卫星资料成为确定洋面上热带气旋强度的唯一手段。

过去 10 多年来, 我国已发展了使用卫星资料确定热带气旋强度的方法, 并在业务预报中使用。联合分析组^[1]、方宗义等^[2]用红外云图确定热带气旋强度的方法, 主要适用于强度在 40 m s^{-1} 以下的热带气旋, 且很大程度上取决于预报员的经验。1990 年, 我们^[3, 4]用增强红外云图对前述方法进行了重大改进, 能适用于各种不同强度的热带气旋, 但仍有不少不够客观的地方。但对强度在 55 m s^{-1} 以上的热带气旋, 用该方法确定的值一般偏小。

1989 年 1 月开始, GMS 卫星正式发送展宽数字资料(S-VISSR)以代替原来发送的 VISSR。这个资料以数字形式传输, 便于计算机定量处理, 可获得精度高、定位准确的图象产品和其他资料。由这套数字资料生成的数字云图已先后在中央气象台、各省市和地区气象台使用, 并取代原有的云图。

本文所提出的用数字云图确定热带气旋强度的方法, 能够实现人机对话, 也能更客观地确定热带气旋的强度。

2 GMS 展宽数字云图资料的特点

GMS 展宽数字云图的特点是: (1) 接收数字信息, 便于用计算机处理、精度高:

1994-04-25 收到, 1994-11-07 收到修改稿

* 本文得到国家科技攻关 85-906-05 课题经费支持。

(2) 能给任一区域或任一象素点(地理位置)上的温度值¹⁾(红外)或反照率²⁾(可见光); (3) 时间分辨率高, 每小时一次; (4) 空间分辨率, 红外为 5 km, 可见光为 1.25 km; (5) 实时性强。

3 用数字云图确定热带气旋强度的方法

采用 1990~1992 年 GMS 展宽数字云图资料, 每日 4 时次(02、08、14 和 20 北京时)。当热带气旋靠近我国海岸、岛屿时, 增加 05、11 和 17 北京时, 共有 193 时次。热带气旋强度取自上海台风研究所整编的《台风年鉴》资料。

我们分析了热带气旋强度与热带气旋云系结构的紧密程度的关系, 提出了结构紧密度因子的概念和用云带旋转的圈数表示的方法(见图 1)。根据上述展宽数字云图资料的特点(2), 可以克服增强云图只能给出固定温度等级范围的不足, 对原有某些因子的取值作了适当的调整。

(1) 眼的形状、直径和温度: 当热带气旋较弱时, 根据环流中心与浓密云区的相对位置确定。

(2) 中心密蔽云区(简称 CDO) 的最低云顶温度和面积。

(3) 螺旋云带的最低云顶温度和条数。

(4) 结构紧密度。

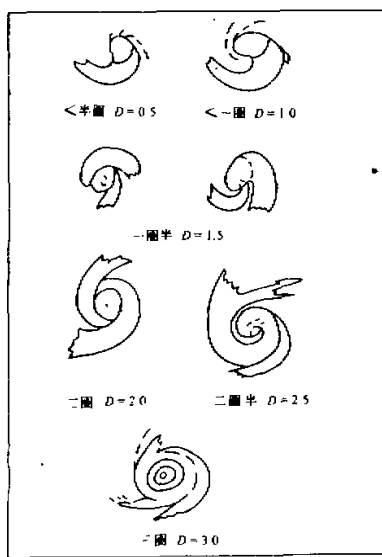


图 1 结构紧密度

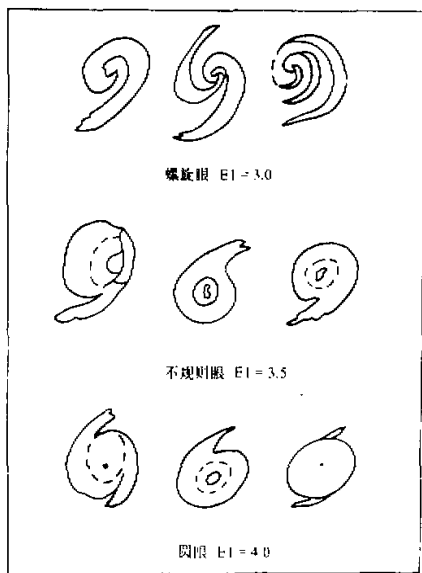


图 2 眼的种类

1) 温度指辐射亮温, 即卫星探测器接收到的红外波段的能量对应的等效黑体温度。

2) 反照率指卫星探测器接收的可见光波段的能量与到达地球边界的(这一波段的)太阳光能量的比值。

有关热带气旋强度的上述各类云系因子确定方法如下：

(1) 眼指数（环流中心指数） A 的确定。

无热带气旋眼时，根据热带气旋环流中心与浓密云区的相对位置（见表 1）来确定环流中心指数 A_1 值。

有热带气旋眼时，分别根据热带气旋眼的形状、直径和温度（见表 2）来确定眼指数 E_1 、 E_2 和 E_3 ，得到 $A_2 = E_1 + E_2 + E_3$ 。确定眼的形状时，可参见图 2。

表 1 环流中心指数 A_1

环流中心与浓密云区的相对位置	指数 A_1
位于浓密云区之外	1.0
位于浓密云区边缘	1.5
位于浓密云区内部，距边缘 <1.0 纬距	2.8
位于浓密云区内部，距边缘 ≥ 1.0 纬距	4.0
位于浓密云区中心	4.5

表 2 眼指数 A_2

眼的形状	指数 E_1	直径/纬距	指数 E_2	眼的温度/ $^{\circ}\text{C}$	指数 E_3
螺旋眼	3.0	0.0~0.3	1.0	>20	2.2
不规则眼	3.5	0.4~0.7	0.5	20~12	2.0
圆眼	4.0	>0.7	0.2	11~5	1.8
$A_2 = E_1 + E_2 + E_3$				4~-32	1.5
				-33~-45	1.0
				-46~-56	0.7
				-57~-74	0.4

(2) 中心密蔽云区指数 B 的确定

根据中心密蔽云区最低云顶温度，由表 3 确定指数 B_1 。

根据中心密蔽云区云顶温度 $\leq -57^{\circ}\text{C}$ 的面积，由表 3 确定指数 B_2 。

当无 CDO 时，则指数 $B = 0$ 。

(3) 螺旋云带指数 C 的确定

根据螺旋云带的最低云顶温度，由表 4 确定指数 C_1 。

根据螺旋云带的条数，由表 4 确定指数 C_2 ，得到 $C = C_1 + C_2$ 。

表 3 CDO 指数 B

CDO 的最低云顶温度/ $^{\circ}\text{C}$	指数 B_1	CDO 的面积*	指数 B_2
-46~-56	1.0	1~5	0.5
-57~-73	1.5	6~10	0.8
-74~-80	2.0	11~15	1.2
≤ -81	2.5	16~20	1.6
$B = B_1 + B_2$		>20	2.0

表 4 螺旋云带指数 C

螺旋云带的云顶温度/ $^{\circ}\text{C}$	指数 C_1	螺旋云带条数	指数 C_2
-33~-45	1.0	1	1.0
-46~-56	1.5	2	1.5
-57~-73	2.0	3	2.0
-74~-80	2.5	4	2.5
≤ -81	3.0	中心圆形强对流云带	3.5
$C = C_1 + C_2$			

* CDO 的云顶温度 $\leq -57^{\circ}\text{C}$ 的面积，以 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ （经纬度）为单位。

(4) 结构紧密度指数 D 的确定

根据表 5 确定指数 D 值。

表 5 结构紧密度 D 指数

云带旋转的圈数	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
指数 D	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

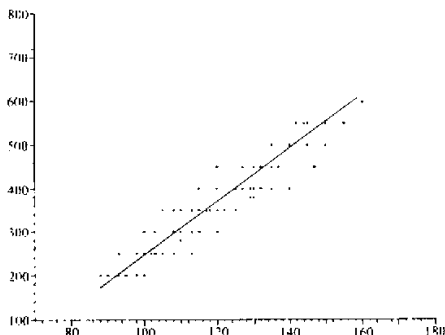


图 3 1990~1992 年 193 组 $I-V_{\max}$ 值
与拟合的线性函数关系
图中坐标放大 10 倍

D 采用人-机对话方式, 根据表 1、表 2、表 3、表 4 和表 5 选取对应值输入。由计算机自动完成运算, 输出热带气旋中心最大风速值和中心最低海平面气压值。用这个方法, 从接收到实时热带气旋云图资料, 到获得 V_{\max} 和 $P_{0\min}$ 值只需 1~2 分钟便可完成。

4 采用数字云图和增强红外云图资料的结果比较

根据上节定义的热带气旋眼(环流中心)指数值、CDO 指数值、螺旋云带指数值和结构紧密度指数值, 用 1983~1989 年 2253 张增强红外图片重新计算云指数, 并确定热带气旋强度, 得到图 5 所示的热带气旋云指数和强度值与拟合的线性关系式的分布(见图 5 中实线)。相关系数为 0.9575, 平均绝对误差为 2.48 m s^{-1} , 标准差为 3.14

热带气旋强度云指数是上述各个指数的和, 即 $I = A_1 + A_2 + B + C + D$ 。

我们根据历史资料(1990~1992 年)求取热带气旋中心最大风速 V_{\max} 与云指数 I 的拟合关系。我们采用一次(线性)、二次、三次、指数、对数等各种类型拟合, 发现线性拟合相关的系数最高。其表达式为

$$V_{\max} = -36.1002 + 6.0558I$$

图 3 给出 193 组 $I-V_{\max}$ 值与拟合的线性关系式的分布。其中, 相关系数为 0.9586, 平均绝对误差为 2.27 m s^{-1} , 标准差 2.85 m s^{-1} 。

在热带气旋中心附近, 可以根据风压关系来确定热带气旋中最低海平面气压 $P_{0\min}$ [5]。我们将这个方法概括成图 4 的流程。

在具体操作时, 指数 A 、 B 、 C 、

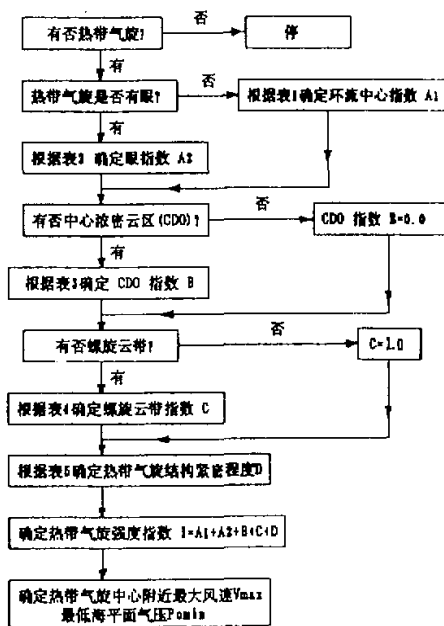


图 4 确定热带气旋强度流程

m s^{-1} 。这一结果比原方法^[3]精度有所提高(原方法, 平均绝对误差为 3.25 m s^{-1} , 标准差为 4.16 m s^{-1})。

将上节得到的 1990~1992 年的线性关系重叠在图 5 上(见图 5 中虚线)。可以清楚地看到, 两条拟合的直线极为接近, 几乎重合。据此, 我们认为可以将方法的样本从 1990~1992 年的 193 次扩展到 2446 次(包括 1983~1989 年 2253 次)。经拟合, 其关系式为

$$V_{\max} = -31.5786 + 5.7340I.$$

其相关系数为 0.9573, 平均绝对误差 2.48 m s^{-1} , 标准差 3.13 m s^{-1} 。这就是我们用来估计热带气旋强度的关系式。

5 检验和举例

用 1993 年的 12 个热带气旋(9307、9308、9309、9310、9311、9312、9313、9315、9316、9319、9320 和 9321)共 120 次作了检验。将估计的 V_{\max} 值与中央气象台

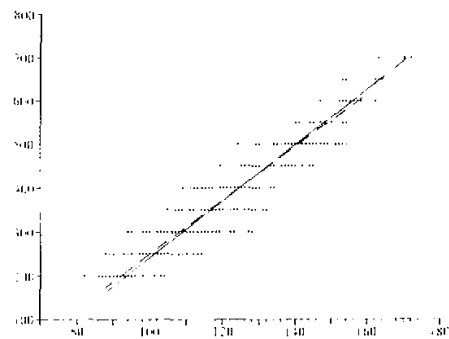


图 5 $I - V_{\max}$ 值与拟合的线性函数关系
实线: 1983~1989 年(2253 组); 虚线: 1990~1992 年
图中坐标放大 10 倍

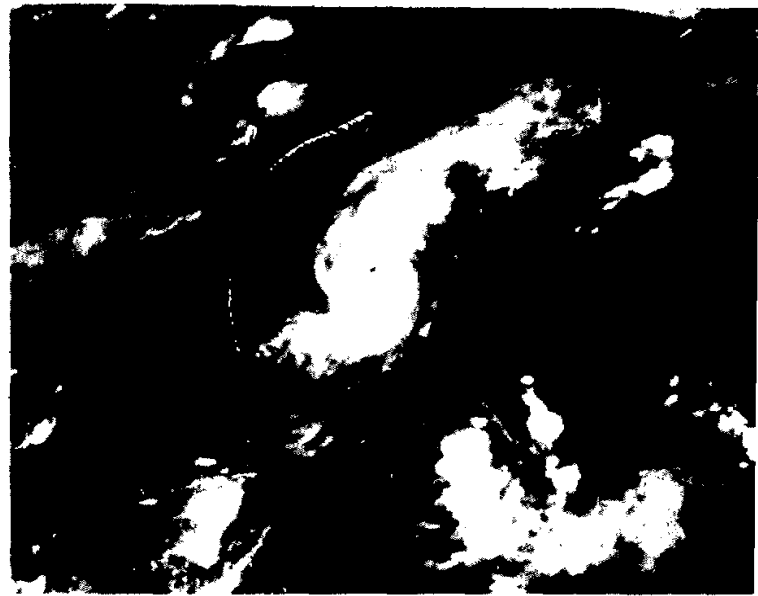


图 6 1993 年 9 月 2 日 12 Z GMS 红外云图

整理后的热带气旋强度进行比较, 其平均绝对误差为 2.31 m s^{-1} , 标准差为 2.92 m s^{-1} 。

图 6 给出 9313 台风 (Yancy) 的云图。根据台风云系特征, 采用人-机对话方式输入:

眼指数 A : 圆眼, $E_1 = 4.0$; 眼区直径 0.4 个纬距, $E_2 = 0.5$; 眼区温度 11°C , $E_3 = 1.8$ 。

CDO 指数 B : 最低云顶温度 -74°C , $B_1 = 2.0$; $\leq -57^\circ\text{C}$ 面积 7 个经纬距, $B_2 = 0.8$ 。

螺旋云带指数 C : 最低云顶温度 -74°C , $C_1 = 2.5$; 条数 2, $C_2 = 1.5$ 。

结构紧密度指数 D : 圈数 2, $D = 2.0$ 。

屏幕显示 $V_{\max} = 55.0 \text{ m s}^{-1}$, 与中央气象台整理后的强度 55 m s^{-1} 一致。

本方法尽管在定量化、客观化方面有了显著的进步。但是, 在确定云指数时, 结构紧密度指数 D , 有时还需要一些人的经验。目前, 可以通过对图象的多种增强显示帮助我们确定, 同时也有待于计算机图象识别技术的提高。我们也正在研究更客观的方法。另外, 对弱热带气旋来说, 热带气旋定位误差有时会影响强度的确定。

参 考 文 献

- 1 联合分析组, 1980, 用卫星云图分析预报台风的方法, 气象, No.9, 24~26; No.10, 25~27.
- 2 方宗义等, 1980, 用地球同步气象卫星红外云图估计热带气旋强度, 气象学报, 38, No.2, 150~158.
- 3 范蕙君等, 1990, 确定台风强度方法的改进, 气象, No.8, 10~14.
- 4 李修芳、范蕙君等, 1993, 用增强显示云图确定热带气旋强度的方法, 应用气象学报, No.3, 10~14.
- 5 燕芳杰等, 1994, 西北太平洋热带气旋平均最大风速与最低海平面气压的统计相关, 气象科技, No.1, 362~369.

A Technique to Estimate the Intensity of Tropical Cyclone Based on S-VISSR Data

Fan Huijun, Li Xiufang, Yan Fangjie and Hu Zhibo

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract In this paper, the concept of tightness of cloud system structure is proposed based on the relationship between the intensity of tropical cyclones and cloud system structure. The number of spiral layers of cloud band is used to estimate the tropical cyclone intensity from S-VISSR data. This is modified for assessing some factors to describe cloud system structure and improved significantly estimation for the tropical cyclone intensity based on enhanced IR cloud images. A statistic fitting analysis for 2446 samples indicates that the mean absolute error of estimated maximum wind speed near the center of tropical cyclone is 2.46 m/s . This technique is performed in a Man-Computer Interactive Data Access System, in a more objective way to make a quantitative estimation. A test for 12 tropical cyclones in 1993 results in the mean absolute error of 2.31 m/s for the estimated maximum wind speed.

Key words S-VISSR data tropical cyclone intensity estimation