

用增强显示云图确定热带气旋强度的方法

李修芳 范蕙君 燕芳杰 胡治波

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

文章介绍了用增强显示红外云图确定热带气旋强度的方法。利用1983—1988年GMS增强显示云图资料,对中央气象台使用的《用地球同步气象卫星红外云图估计热带气旋强度》^[1]的方法中的云特征指数进行了修改与调整,增加了眼区的温度、中心强对流云区和螺旋云带的云顶温度等新的云特征因子。经统计、拟合,得到云特征指数与热带气旋中心附近最大风速、最低海平面气压的对应关系,给出了计算热带气旋强度的人-机交互方法流程,此方法对各种强度的热带气旋都能客观地计算其强度,使用简便,且精度满足业务应用要求。

关键词:增强显示云图;云特征指数;热带气旋。

1 前 言

Dvorak^[2]1972年提出了用卫星云图估计热带气旋强度的方法,1975年和1980年曾作过修改^[3,4],1984年又提出了用增强显示红外云图分析预报热带气旋强度的方法^[5],但其方法比较繁琐,用起来比较麻烦。为在业务工作中使用方便,我们根据西北太平洋与南海热带气旋的云系特征,对上述方法作了改进,编写了《用卫星云图预报台风的方法》^[6],其中估计热带气旋强度的方法^[1]操作简单,使用方便。但本方法仍存在主观性,有些云特征指数取决于预报员的经验,而且对 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的强台风,只能根据定性判据,确定其强度为 $40\text{—}60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。自1987年8月关岛飞机停止探测以来,用卫星云图来确定热带气旋强度在目前业务工作中尤为重要。因而,我们用增强显示红外云图资料对原有的云特征指数进行修改与调整,使改进后的用云图确定热带气旋强度的方法更客观化、定量化,并适用于各种强度的热带气旋,且精度(误差在 $\pm 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之内)满足业务应用需求。

2 增强显示云图介绍和因子的选取

目前中央台所用的增强显示红外云图,实际上是一张云顶和地表温度的分布图,或是

1992年1月16日收到,8月14日收到再改稿。

• 台风基金会课题资助。

一张云顶相对高度分布图。对红外云图作增强处理,是根据不同的研究目的和业务使用要求,用对数、指数或线性等多种不同的增强方式,来突出所关心的那部分云区的云顶温度分布或地表热状况,用事先规定好的灰阶表示出来。中央台 1983 年以来所用增强曲线如图 1 所示。

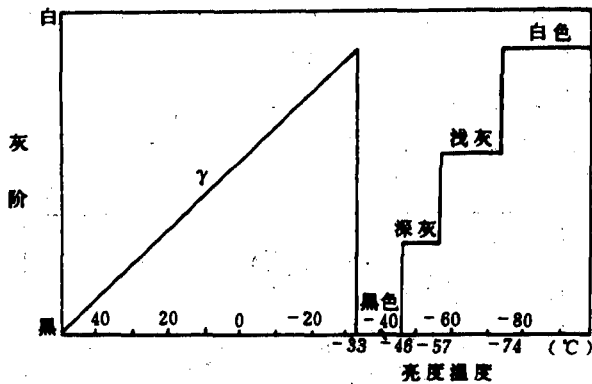


图 1 中央气象台 1983—1988 年所使用的增强曲线

在增强显示图片中,采用在云顶温度大于 -33°C 时进行 γ 增强,即图片的灰度等级与云顶温度呈线性关系,温度小于 -33°C 时采用等级增强,即一个灰度等级对应一固定的温度范围。增强灰阶与温度的对应关系见图 1。

云图确定热带气旋强度的方法中选用了眼区(或环流中心)、浓密云区和螺旋云带的特征作为因子。热带气旋云系主要由眼区(或环流中心云区)、中心浓密云区和螺旋云带三部分组成,其强度可以用这三部分云系的演变特征来描述。如热带气旋强度较弱时,其中心位于浓密云区外边,随着强度的逐渐增强,环流中心依次从云外移进云区边缘或进入浓密云区内部,形成台风眼。台风眼愈小愈圆,眼区温度愈高,台风则愈强。同样,浓密云区,螺旋云带与热带气旋的强度也有对应的关系。根据云系的特征,选取因子,对每个热带气旋读取数据,经过统计与调整,得到云特征指数,用其来表征气旋的强度。

本文利用增强显示红外云图能表达云顶温度和眼区温度的特征,在确定台风强度的云指数时,在文献[6]的基础上增加了下列因子:

- (1)在环流中心指数中,考虑了环流中心位置与最冷云区边缘的距离。
- (2)在眼指数中,用了眼区的温度和直径的大小。
- (3)在中心浓密云区指数中,除考虑浓密云区的面积外,采用了中心强对流云区顶部的最低温度。
- (4)在确定螺旋云带指数时,用了螺旋云带的最低云顶温度和螺旋云带的条数。

3 资料与方法

我们采用中央气象台使用的 1983—1988 年增强显示红外云图资料,每日 4 个时次(02、08、14、20 点北京时)增强显示图片共 1904 张;热带气旋强度取自上海台风研究所编的《台风年鉴》资料。

用增强显示图片确定热带气旋强度的方法,是根据云系的特征与热带气旋强度的对应关系,用云特征指数来表征热带气旋强度。其方法简述如下:

(1)确定眼指数(或环流中心指数) A

$$A = A_1 + A_2 \tag{1}$$

眼指数 A 有两种情况,无台风眼时,用环流中心指数 A_1 表示, $A = A_1, A_2 = 0$; 有台风眼时,用眼指数 A_2 表示, $A = A_2, A_1 = 0, A_2 = E_1 + E_2 + E_3$ 。

在热带风暴阶段,通常是无眼的。无台风眼时,根据热带气旋环流中心与浓密云区的相对位置来确定环流中心指数 A_1 值。而环流中心的类型、特征由图 2 给出。

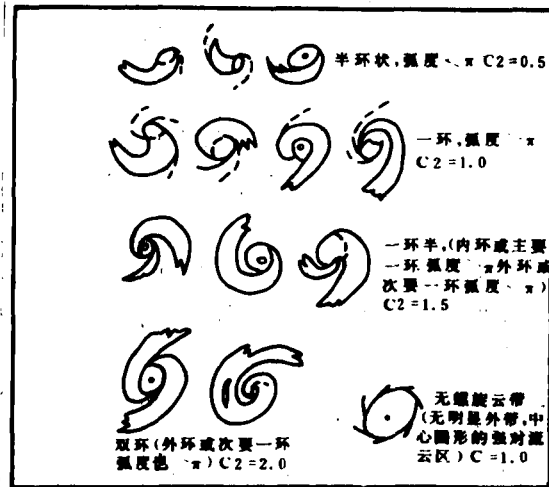


图 2 环流中心指数及其特征

有台风眼时,分别根据台风眼的形状、直径和眼区的温度(表 1)来确定指数 E_1 、 E_2 和 E_3 。

表 1 眼指数

眼的形状	指数 E_1	直径(纬度)	指数 E_2	眼的温度($^{\circ}C$)	指数 E_3
螺旋眼	2.5	0.0-0.3	1.0	>20	3.0
				20-12	2.5
				11-5	2.0
不规则	3.0	0.4-0.7	0.5	4-32	1.5
				-33--45	1.0
圆眼	3.5	>0.7	0.2	-46--56	0.7
				-57--74	0.4

眼的形状特征见模型图 3。其中大眼、椭圆眼的直径取长短轴的平均值,不规则的眼、螺旋眼一般不计算 E_2 。

(2)确定浓密云区指数 B

$$B = B_1 + B_2 \tag{2}$$

没有浓密云区时,指数 $B=0$ 。

当环流中心在云外、云系的边缘或进入浓密云区的中心(称CDO)时,则根据强对流云区或CDO的最低云顶温度和云顶温度 $< -57^{\circ}\text{C}$ 的面积,分别确定 B_1 和 B_2 (见表2)。

表2 浓密云区指数

浓密云区的最低云顶温度($^{\circ}\text{C}$)	指数 B_1	浓密云区面积*	指数 B_2
-46---56	1.0	1-5	0.5
-57---74	1.5	6-10	1.0
< -74	2.0	> 15	2.0

*指浓密云区最低云顶温度 $< -57^{\circ}\text{C}$ 以下的面积,以 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ (经纬度)为单位。

表3 螺旋云带指数

螺旋云带的云顶温度($^{\circ}\text{C}$)	指数 C_1	螺旋云带长度	指数 C_2	螺旋云带条数	指数 C_3
-33---45	1.0	半环	0.5	1条	1.0
-46---56	1.5	一环	1.0	2条	1.5
-57---74	2.0	一环半	1.5	3条	2.0
< -74	2.5	两环	2.0	≥ 4 条	2.5

(3)确定螺旋云带指数 C

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3)$$

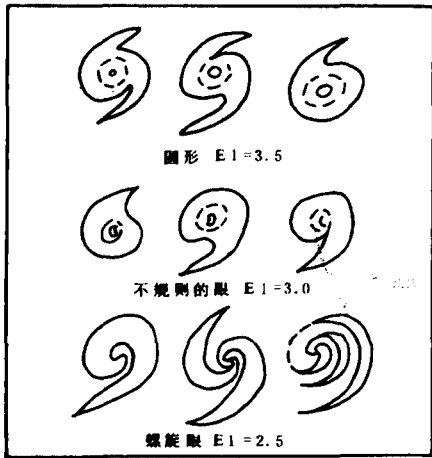


图3 眼的形状特征



图4 螺旋云带长度特征

根据螺旋云带的最低云顶温度,云带的长度(用螺旋弧度表示)和螺旋云带的条数(见表3),分别确定指数 C_1 、 C_2 和 C_3 。

当只有中心强对流云区而无明显外螺旋云带时,指数 $C=1.0$ 。

螺旋云带的长度特征由图4给出。

(4)确定热带气旋强度云指数 I

$$I = A + B + C \quad (4)$$

(5)确定热带气旋中心附近最大风速 V_{\max}

上述方法求得 1904 组热带气旋强度的云指数,经拟合得到,热带气旋中心最大风速 $V_{max}(ms^{-1})$ 与指数 I 的线性关系式为:

$$V_{max} = 5.4268I - 26.9475 \quad (5)$$

误差分析结果为:平均绝对误差为 $3.25m \cdot s^{-1}$,标准差为 $4.16m \cdot s^{-1}$ 。

(6)确定热带气旋中心地面层最低气压 p_{omin}

根据热带气旋中心所在的纬度,由 V_{max} 查表 4,求出热带气旋中心附近地面层最低气压值 p_{omin} 。

表 4 热带气旋中心附近最大风速($m \cdot s^{-1}$)与地面层最低气压(hPa)关系

V_{max}	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
0—14°N	1001	996	990	983	977	969	961	953	944	935	925	915	905	894	883	872	861	849	
p_{omin}	15—24°N	1000	994	988	980	972	964	954	944	934	923	911	899	887	874	861	847	832	818
	>25°N	999	993	986	979	970	961	951	940	929	917	904	891	877	863	849	838	818	802

根据上述分析结果,概括出了如图 5 所示的确定热带气旋强度流程。为便于业务应用,全部操作过程在微机上通过人-机交互方法实现。

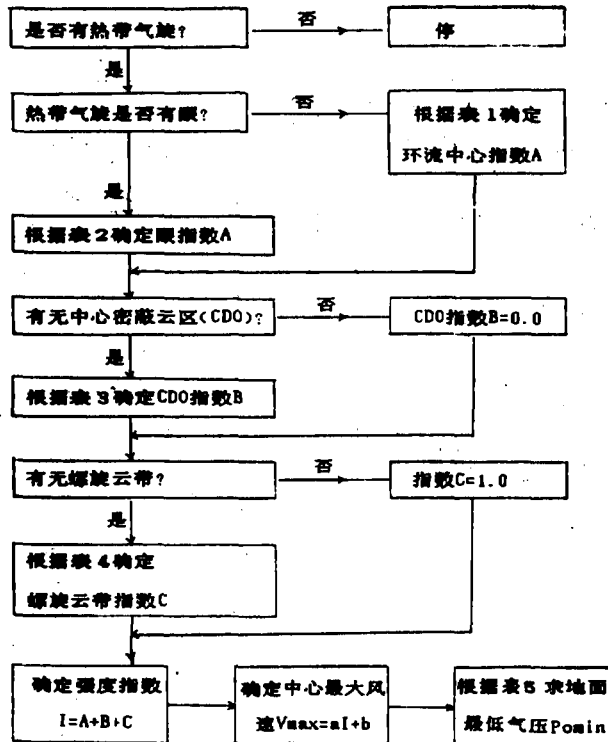


图 5 确定热带气旋强度流程

• 燕芳杰等,台风中心附近最大风力和地面层最低气压的关系,即将发表。

4 检验与实例

为了检验本方法,取 1989 年 7 月底—9 月的 10 个热带气旋(编号为:8911、8914、8915、8916、8919、8921、8922、8923、8924、8925)有增强显示云图的共 70 个时次,由本方法得到各个时次的云特征指数 I 值,再由式(5)得到 V_{\max} 拟合值,然后与台风年鉴资料中的强度 V_{\max} 值相比较,平均绝对误差为 $3.20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,标准差为 $3.88\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,其中误差最小值为 $0.0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大值为 $4.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。结果是令人满意的。根据检验所取的 70 组 $I-V_{\max}$ 值及拟合线可知,这些值均出现在拟合线附近(图略)。

下面举例说明。

取 1989 年 16 号热带气旋 8 月 14 日 20 时 32 分 GMS-3 增强显示红外云图(图略),根据表 1—4 求指数 I :

(1) 眼指数 A

这是一次有台风眼(螺旋眼)的情况,所以 $A_1 = 0, A = A_2, E_2 = 0;$

$E_1 = 2.5$ (螺旋眼)

$E_3 = 1.5$ (眼区温度 $4\text{C} - - 32\text{C}$)

$A_2 = E_1 + E_3 = 4.0$

$A = A_2 = 4.0$

(2) 中心浓密云区指数 B

$B_1 = 2.0$ (最低云顶温度 $< - 74\text{C}$)

$B_2 = 0.5$ (面积 1—5 经度 \times 纬度)

$B = B_1 + B_2 = 2.5$

(3) 螺旋云带指数 C

$C_1 = 2.0$ (最低云顶温度 $- 57\text{C} - - 74\text{C}$)

$C_2 = 2.0$ (双环)

$C_3 = 1.5$ (两条)

$C = C_1 + C_2 + C_3 = 5.5$

(4) 热带气旋强度总指数 I

$I = A + B + C = 12.0$

(5) 热带气旋中心最大风速 V_{\max}

$V_{\max} = 5.4268 \times 12.0 - 26.9475 = 38.2(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$

(6) 热带气旋中心最低海平面气压 $p_{0\min}$

热带气旋中心所在纬度 $15^\circ - 24^\circ\text{N}$, 查表 4 得: $p_{0\min} = 966\text{hPa}$

此值与台风年鉴所确定的该时刻强度 $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 960hPa 十分接近。

5 结 束 语

本方法能够比较客观和定量的求出热带气旋中心的强度值,且使用起来比较方便,在GMS实时系统接收完云图后,在微机上只需1—2分钟,便可得到热带气旋强度值。但还存在以下问题:

(1)对于强热带气旋($55\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上)多数 $I-V_{\max}$ 值偏于拟合线之下,是由于两个原因造成的:其一,这类强热带气旋的云顶最低温度在 -80C 以下,而图1给出的增强曲线在 -74C 以下均为白色灰阶,不能准确表征其强度值;其二,增强曲线(图1)在高于 -33C 时采用 γ 增强,因此眼区温度的确定误差较大,影响强度的确定。这类问题,在应用了GMS高分辨展宽数值云图资料实时接收系统及微机处理后,将逐步解决。

(2)当热带气旋较弱时,常由一片白色云区覆盖,中心位置难以确定,影响环流中心指数 $A1$ 的确定。我们正在研究无限热带气旋客观化的云图定位方法,以便得到较精确的热带气旋的中心位置,来支持我们确定强度的方法。

(3)由统计得到的线性关系式(5),当 $I \geq 8.2$ 时, $V_{\max} \doteq 17.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,达热带风暴强度; $I \geq 9.5$ 时, $V_{\max} \doteq 24.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,达强热带风暴强度; $I \geq 11.0$ 时, $V_{\max} \doteq 32.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,达台风强度; $I \leq 8.0$ 时,即为热带低压强度。 I 的最低取值范围,目前尚不能确定,因在历史样本和检验资料中, I 最小值为7.4,相应的 V_{\max} 只有 $13.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,达弱热带低压强度,有一定的误差。这是此方法的不足之处,我们将在业务应用中,逐步完善,继续改进。

参 考 文 献

- 1 方宗义等. 用地球同步气象卫星红外云图估计热带气旋的强度. 气象学报, 1980, 38(2): 150—158.
- 2 Dvorak, V. F. A technique for the analysis and forecasting of tropical cyclone intensities from satellite pictures. NOAA Technical Memorandum NESS, 1972, 36.
- 3 Dvorak, V. F. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. *Mon. Wea. Rev.*, 1975, 103(5): 420—430.
- 4 Dvorak, V. F. Tropical cyclone intensity analysis using enhanced infrared or VIS imagery. Application Division Training Notes, NOAA, 1980, 23pp.
- 5 Dvorak, V. F. Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Technical Report NESDES 11, U. S. Department of Commerce NOAA, 1984.
- 6 卫星云图联合分析组. 用卫星云图分析预报台风的方法. 气象, 1980, 6(9): 24—26. 6(10): 25—27.

THE TECHNIQUE FOR DETERMINING TROPICAL CYCLONE INTENSITY WITH ENHANCED SATELLITE CLOUD IMAGERY

Li Xiufang Fan Huijun Yan Fangjie Hu Zhibo

(*National Meteorological Center, Beijing, 100081*)

Abstract

This paper develops a new technique for determining the tropical cyclone intensity, which is based on the statistical relationships of cloud intensity index in EIR imagery with the maximum velocity and the minimum sea level pressure of tropical cyclones in the period of 1983—1988. A flow diagram of this technique in a man-computer interface structure is designed for operational use in NMC of China. This technique is more objective and quantitative than those used in the NMC.

Key words: EIR imagery; Cloud characteristic index; Tropical cyclone.