

用地球同步气象卫星红外云图估计 热带气旋的强度*

方 宗 义

周 连 翔**

(中国科学院大气物理研究所)

(国家海洋局水文气象预报总台)

提 要

本文根据日本的地球静止卫星红外云图,概括了与热带气旋强度有关的四方面云图特征,即:环流中心与深对流密蔽云区的相对位置关系;眼区的形状、大小和清晰程度;中心深对流密蔽云区范围的大小和螺旋云带的特征。然后,把上述四个因素作为热带气旋强度的指数。综合这些因素,得到热带气旋的强度特征数 T 。由近 100 次观测得出热带气旋中心的最大风力 V_{\max} 与 T 的相关曲线和描写它们的经验关系式 $V_{\max}=7.813(T-1)$ (米/秒)。在仅有卫星观测的情况下,用上述关系可以估计热带气旋的强度。

卫星云图是发现和监视热带气旋的一种有效工具。不少人对用卫星云图估计热带气旋的强度和强度变化趋势做了许多工作^[1-3]。后来,达沃雅克(Dvorak)^[4]详细地分析了北太平洋和北大西洋的热带气旋的云图特征,得出了一个用卫星云图估计和预报热带气旋强度的“ T 指数”法,并投入了业务使用,取得了较好的效果。所有上述方法都建立在可见光云图的基础上。

目前,位于东经 140 度赤道上空的日本地球静止气象卫星已投入业务使用,由这种卫星可以得到可见光和红外两种云图。因而,如何用红外云图监视和估计热带气旋的强度就成为一个十分需要研究的问题。可见光和红外云图在分析方法上有相似的地方,也有差异。这里我们主要使用日本的地球静止气象卫星红外云图资料,更便于分析和识别热带气旋中的深对流云系。方宗义、肖稳安等人^[5]对红外数字云图的分析表明,热带气旋中云顶最高、对流最为旺盛的区域大小与气旋的强度有一定的关系。本文把热带扰动和热带气旋的中心深对流云区大小、环流中心与深对流密蔽云区的关系、眼的形状、大小和清晰程度以及螺旋云带的特征等几个方面的特征,作为与热带气旋强度有关的因子。综合这些因子,得到描写热带气旋强度的强度特征数。根据观测资料得出热带气旋的中心最大风力 V_{\max} 和强度特征数 T 之间的相关曲线和相应的经验公式,并以此作为估计热带气旋强度的依据。

一、与热带气旋强度有关的云系特征

1. 环流中心与深对流密蔽云区的相对位置

在热带扰动发展、加强成为热带气旋的过程中,卫星云图上的一个明显特征是由深

* 本文于 1979 年 4 月 17 日收到,1979 年 9 月 3 日收到修改稿。

** 国家海洋局水文气象预报总台的杨苏雅、翟自强参加了部份工作。

对流密蔽云区和对流云线所确定的环流中心与深对流密蔽云区的相对位置的变化。在扰动发展的初期，环流中心位于深对流密蔽云区之外。以后，随着扰动的发展和加强，环流中心逐渐接近深对流密蔽云区的边沿，最后进入密蔽云区内。

图 1 a、1 b 和 1 c 是 7816 号台风发展过程中的三张云图。9 月 11 日 02 时 (图 1 a) 扰动还处于发展的初期，深对流密蔽云区的东边有若干环状的低云线，低云线所构成的

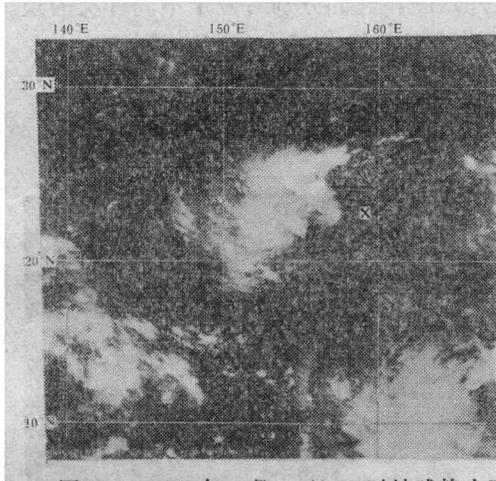


图 1 a 1978 年 9 月 11 日 02 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7816 号台风的前期扰动，环流中心在强对流云区东侧“×”所示的位置



图 1 b 1978 年 9 月 12 日 14 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7816 号台风发展初期的云系，环流中心位于强对流云区东侧边沿“×”所示的位置

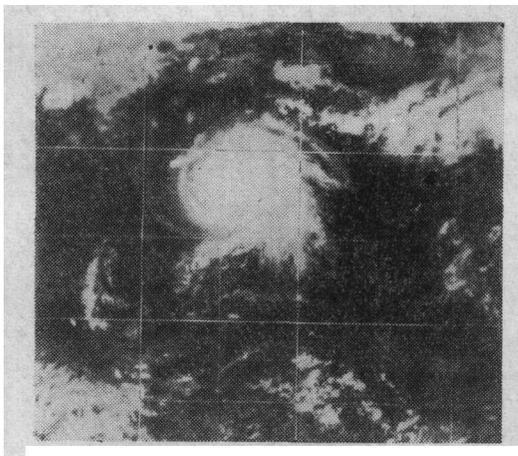


图 1 c 1978 年 9 月 14 日 14 时地球静止卫星红外云图，图上给出 7816 号台风的云系，环流中心位于强对流云区内部

环流中心位于密蔽云区之外。9 月 12 日 14 时 (图 1 b)，环流中心已位于深对流密蔽云区的东沿，扰动获得一定程度的发展。9 月 14 日 14 时 (图 1 c)，环流中心进入深对流密蔽云区的内部，热带扰动发展加强达到台风强度。

图 4 a 是根据经验概括出的三种环流中心演变的素描云图。它表明，在扰动发展过程中，环流中心可以在密蔽云区的东侧，也可以在密蔽云区的北侧和西侧。

2. 热带气旋眼区的种类

卫星云图的分析经验表明，当热带扰动发展到较大强度时就会在云系中心的深对流密蔽

云区内出现晴空的眼，这种无云的眼并不都是圆形的。眼的形状、大小和清晰程度与气旋本身的强度和气旋的发展程度有关。按其形状和大小，大致可以分为如下四种情况：(1) 无规则的眼：它对应的热带气旋强度不大。这种情况通常出现在热带气旋加强和减弱的过程中。(2) 圆形大眼 (包括椭圆形眼)：眼的直径大于或等于 60 公里，在原

始的麦卡托投影云图上相当于直径大于或等于 3 个毫米。它对应的热带气旋强度较无规则的眼大,但它并不出现在热带气旋生命的最旺盛时期,通常与中等强度的热带气旋相对应。(3)小而圆的眼:指眼的直径小于 60 公里,这种情况都出现在热带气旋生命的最旺盛时期。因此,与它相对应的气旋一般较强。(4)清晰的小而圆的眼:这种情况都出现在特强热带气旋的充分发展时期,它是台风强烈发展的一个重要标志。

图 2 a、2 b、2 c、2 d 是四张热带气旋的红外云图,它们分别对应于不同种类的眼。图 4 b 是根据经验概括出的三种不同类型眼的素描云图。

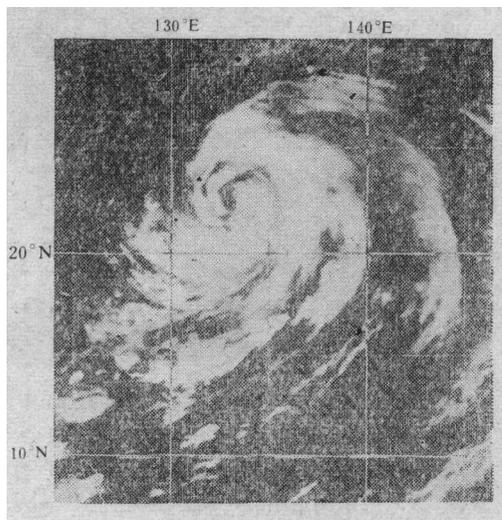


图 2 a 1978 年 7 月 26 日 20 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7806 号台风的螺旋云系,中心的晴空区是无规则的眼区。

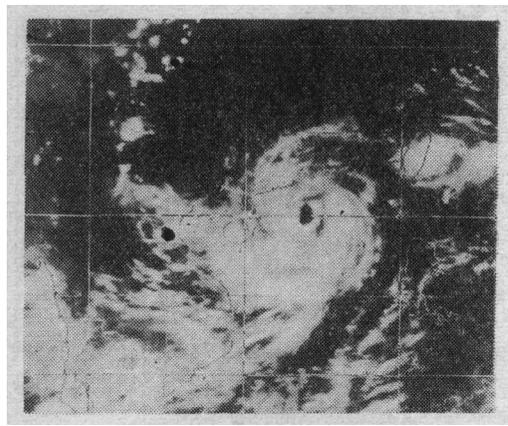


图 2 b 1978 年 8 月 27 日 02 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7812 号台风的螺旋云系,中心是大而圆(包括椭圆)的眼。

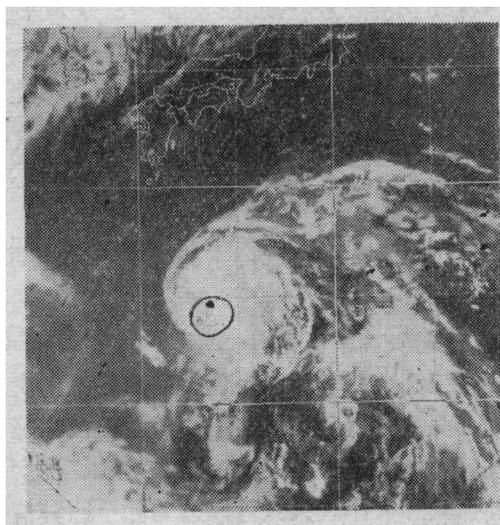


图 2 c 1978 年 8 月 14 日 14 时地球静止卫星红外云图。图上是 7810 号台风的螺旋云系,中心是小而圆的眼。

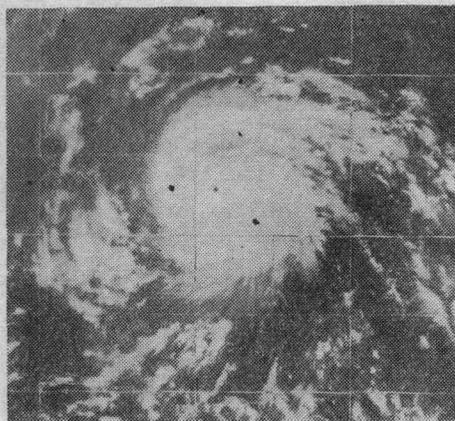


图 2 d 1978 年 10 月 25 日 14 时地球静止卫星红外云图。在 7822 号强台风的中心是清晰的小而圆的眼。

3. 中心深对流密蔽云区大小

用增强显示的红外云图最便于识别深对流云区，但我们目前还没有增强显示装置。为了把深对流云区显示出来，我们采用加强显影的办法。即加长红外云图的曝光和显影时间，牺牲色调较淡的低云、薄卷云等层次，这样云顶很高、对流十分旺盛的深对流云区在加强显影的红外云图上被保留下来。

我们是这样来确定中心深对流密蔽云区的大小的：在麦卡托投影的原始红外云图上，用玻璃铅笔勾划出深对流密蔽云区的大致范围，然后用米尺量出这片云区的东西和南北距离，用二者和的一半(单位：厘米)作为深对流云区大小的指数。这样作是会带来误差的。误差主要来自加强显影的方法不够客观和同一图片上不同纬度处云区相同的尺寸表示的实际大小不一样。另外，深对流云区形状的不规则性也给度量带来误差。考虑到热带气旋主要出现在 10 度—30 度的范围内，其纬度变化范围不大，而深对流云区的大小又仅仅是与热带气旋强度有关的几个因子中的一个。这样，纬度变化和度量等因子对估计热带气旋的强度将不至带来明显的偏差。在素描图 4 上，对每一个热带气旋我们都标出了南北深对流云区的距离。东西方向的距离与此相似，在图上没有註出。

4. 热带气旋的螺旋云带

螺旋云带是热带气旋在卫星云图和雷达回波上最显著的特征之一。它是在热带扰动发展成为热带气旋的过程中逐步形成的。因此，它也是热带气旋发展程度和强度的一个标志。根据宽度在一个纬距以上，由强对流云组成的螺旋云带(不考虑距台风中心较远、云区范围不大的外部螺旋云系)的演变，可以把它们分为如下五种情况：(1) 半环状螺旋云带。出现在扰动由一个对流云团开始发展、加强的初期，它是围绕环流中心弯曲的对流云带。当这条对流云带的圆弧小于或等于 π 时，我们把它定为半环状螺旋云带。这时，环流中心一般在螺旋云带的边沿，强度较小。(2) 环状螺旋云带。环状螺旋云带是由半环状螺旋云带发展演变而来的，当螺旋云带的弯曲程度更大，且其弧度大于 π 时，这种螺旋云带叫做环状螺旋云带。这时环流中心开始进入深对流密蔽云区内，扰动的强度

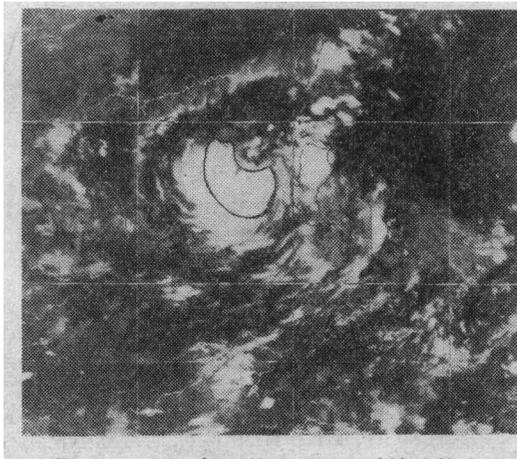


图 3a 1978 年 9 月 23 日 02 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7817 号台风的前期扰动云系。螺旋云带呈半环状分布。

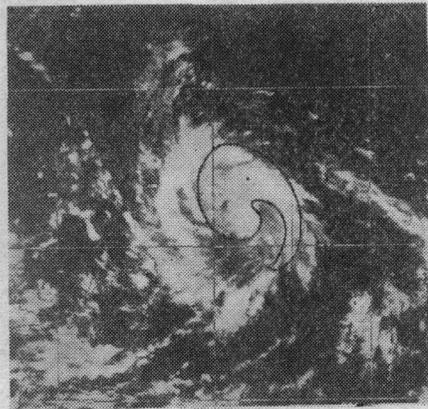


图 3b 1978 年 9 月 25 日 14 时地球静止卫星红外云图。图上给出 7818 号台风发展初期的云系分布。螺旋云带呈环状。

较半环状螺旋云带大,但仍不强。(3) 一环半螺旋云带。它一般出现在有内外两环、或两条明显螺旋云带的情况下。当内环或一条主要的螺旋云带的圆弧大于 π , 外环或一条次要的螺旋云带小于或等于 π 时, 我们把这种情况称为一环半螺旋云带。这时环流中心都已进入中心深对流密蔽云区内, 有时还有不同类型的眼区出现。与这种类型云系特征相对应的热带气旋一般可达中等强度。(4) 双环状螺旋云带。这是一环半螺旋云带的继续发展。当外环或次要一环螺旋云带的圆弧也大于 π 时, 我们把它定为双环螺旋云带。这时中心深对流密蔽云区内一般都有不同种类的眼区, 它对应的热带气旋的强度较大。(5) 中心圆形深对流云带。当热带气旋发展到最大强度时, 伴随着中心密蔽云区内有圆形眼区出现, 围绕着眼区会出现圆形、对称的云墙, 在红外云图上表现为一密蔽的圆形深

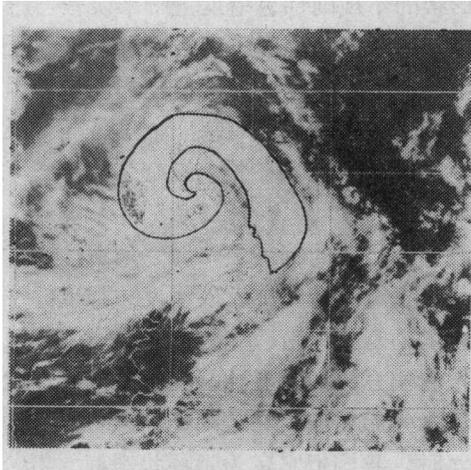


图 3c 1978年9月27日14时地球静止卫星红外云图。图上给出7818号台风的云系分布。螺旋云带呈一环半型。

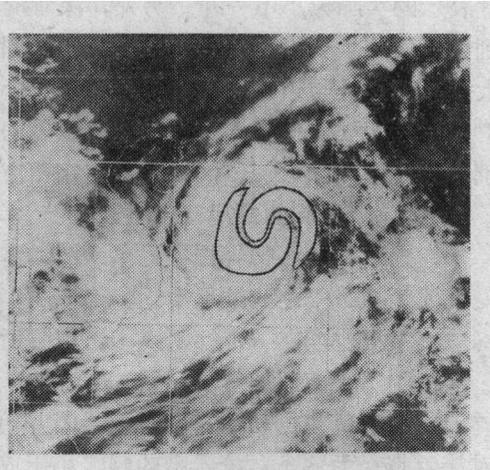


图 3d 1978年9月29日02时地球静止卫星红外云图。图上给出7818号台风的云型。螺旋云带呈两环分布。

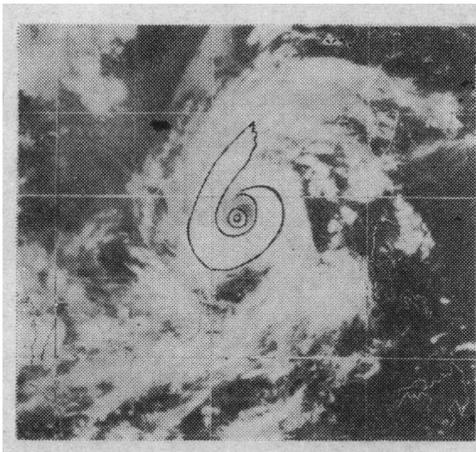


图 3e 1978年10月1日08时地球静止卫星红外云图。图上给出的7818号台风具有内外两环螺旋云带。

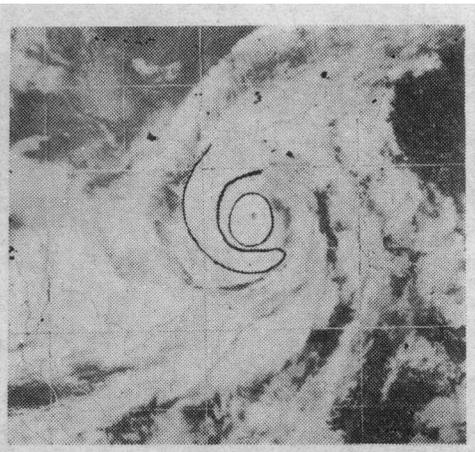


图 3f 1978年9月30日02时地球静止卫星红外云图。图上给出7818号台风的螺旋云系。围绕眼区是圆形中心强对流云带, 它外面是外螺旋云带。

对流云区。有时中心圆形深对流云区的边沿有辐散状向外的卷云，有时在其外面还环绕着一条或两条螺旋云带。

图 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f 是六张具有不同种类螺旋云带的卫星云图，它们分别表示半环状、环状、一环半状、双环和中心圆形深对流密蔽云区等几种螺旋云带。图 4c 是不同种类螺旋云带的素描云图，它大致概括了我们所见到的各种情况。

二、估计热带气旋强度的方法

上一节介绍了在地球静止气象卫星红外云图上与热带气旋强度有关的云图特征。其中每一个因素都与热带气旋发展的成熟程度、气旋强度有关。但最终决定气旋强度的不是某一个因素，而是几个因素共同决定的。因此，应综合考虑上述几个因素，对每一个因素的不同阶段给以不同的权重，从而得到一个热带气旋强度特征数。然后，求这些特征数与实际探测的气旋强度的统计关系，得到估计热带气旋强度的统计相关曲线。

1. 确定热带气旋强度特征数

在图 4a, 4b, 4c 中概括出了环流中心与深对流密蔽云区的相对位置、眼区种类和螺旋云带种类的各种特征分布。对每一种因素的不同发展阶段(即不同的特征类型)给以不同的强度数值，具体规定见表 1。求出上述各种强度数值之后把它们加在一起，就得

表 1 不同特征云型的强度数值表

环流中心数	密蔽云外	密蔽云区边沿	密蔽云内		
	0.5	1.0	1.5		
眼区种类数	无规则眼	大而圆的眼(椭圆)	小而圆的眼	清晰的小而圆的眼	
	2.0	2.5	3.0	4.0	
螺旋云带种类数	半环状带	环状带	一环半带	双环带	中心圆形强对流带
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
中心深对流密蔽云区数	$(\text{深对流的东} \times \text{西长} + \text{南北长}) \div 2$ (单位: 厘米)				

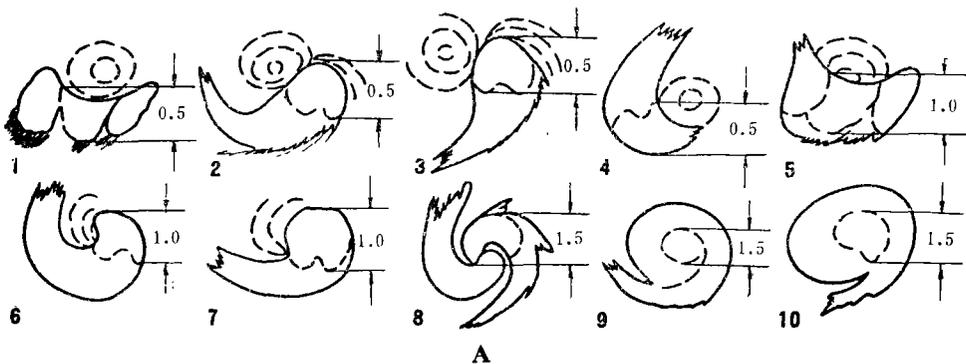


图 4a 环流中心种类的素描云图

(虚线表示积云线；实线表示深对流云区；实线云区内的虚线区表示中心深对流云区；锯齿状线表示高空卷云砧；1—4 为环流中心在深对流云区外，0.5；5—7 为环流中心在深对流云区边沿，1.0；8—10 为环流中心在深对流云区内部，1.5)

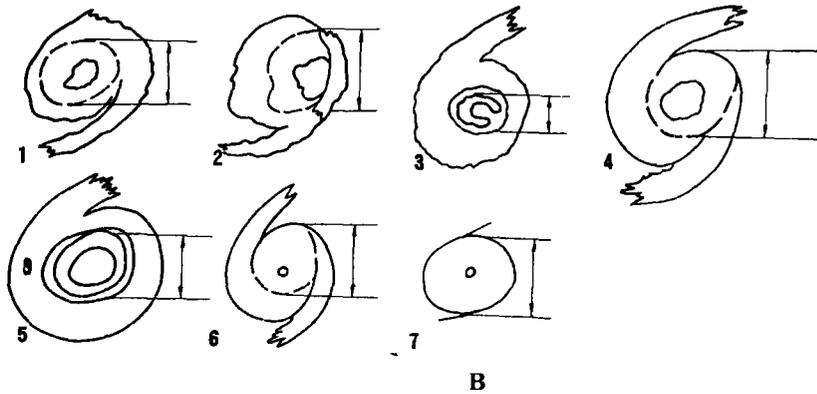


图 4b 眼区种类的素描云图

(图中的线条说明与图 4a 同。1—3: 无规则大眼, 2.0; 4—5: 大而圆眼, 眼区直径 ≥ 60 公里, 2.5; 6: 小而圆眼, 眼区直径 < 60 公里, 3.0; 7: 清晰的小而圆眼, 4.0)

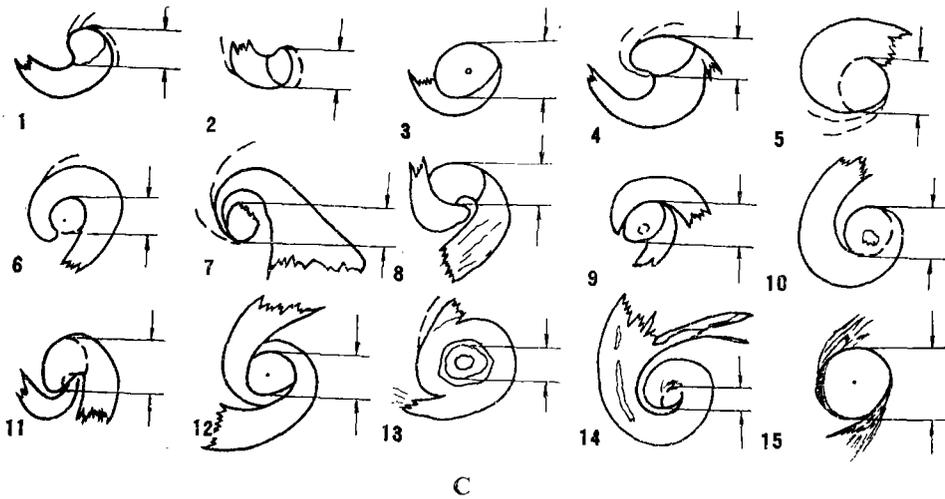


图 4c 螺旋云带种类的素描云图

(图中线条说明同图 4a。1—3: 半环状螺旋云带(弧度 $\leq 180^\circ$), 0.5; 3: 中心圆形深对流云带+半环状螺旋云带; 4—8: 环状螺旋云带(弧度 $> 180^\circ$), 1.0; 9—11: 一环半螺旋云带(内环或主要一环弧度 $> 180^\circ$, 外环或次要一环弧度 $\leq 180^\circ$), 1.5; 12—14: 双环螺旋云带(外环或次要一环弧度也 $> 180^\circ$), 2.0; 15: 中心圆形深对流云带(围绕眼区或环流中心为圆形、密蔽的深对流云区), 3.0)

到了热带气旋的强度特征数。

在此, 需要说明的是环流中心数与眼区种类数二者只能取一个。因为, 它们都是描写热带气旋环流中心特征的, 眼是环流中心在深对流中心密蔽云区内继续发展的结果。当环流中心在密蔽云区内或密蔽云区边沿的时候, 谈不上有眼, 这时眼区种类数自然为零。当环流中心在密蔽云区内并发展出眼之后, 就仅取眼区种类数, 这时环流中心数为零。正是由于这个原因, 最小的眼区种类数也比最大的环流中心数大。

2. 强度特征数与热带气旋强度的关系

用上节得到的每次卫星观测的热带气旋强度特征数 T 和实际探测到的热带气旋中心最大风力 V_{\max} 作点聚图，得到图 5。由图 5 可以看到，当中心最大风力小于 45 米/秒时，强度特征数小于 7.5，点子很多，分布也较集中，它们之间大致呈线型分布。对中心风力大于 45 米/秒这一部分，由于样本太少，还得出不出 T 与 V_{\max} 之间的确定关系，有待于今后用更多的个例来充实。如果以图 5 的实线表示总强度特征数 T 和中心最大风力

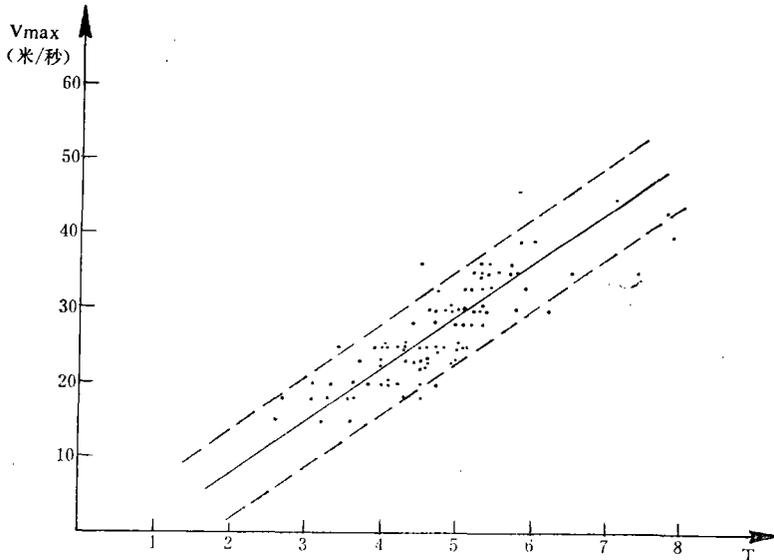


图 5 强度指数 T 与中心最大风力 (V_{\max}) 之间的相关分布图。

之间的统计相关曲线，则百分之八十九以上的点子都分布在 ± 5 米/秒的范围内。在图 5 上 T 与 V_{\max} 基本上呈线性分布。它们可以用经验公式

$$V_{\max} = 7.813(T-1) \quad (\text{米/秒}) \quad (1)$$

来描写。(1)式中 V_{\max} 是台风中心最大风力， T 是由卫星云图得到的台风强度特征数。

3. 估计热带气旋强度的操作步骤

根据上述分析和统计相关，用地球静止卫星红外云图估计热带气旋强度的具体操作步骤是：首先在麦卡托投影的云图上识别出是否有处于发展中的热带扰动或热带气旋存在。其次，根据表 1 对已识别出来的处于发展中的热带扰动或热带气旋计算每一因子的指数。最后，将几个指数相加得到热带气旋强度特征数。如果没有麦卡托投影的地球静止卫星红外云图而仅有圆盘图（全景图）或分区图，则可以在这些图上量出中心深对流密蔽云区的纬距数。在 10°N — 30°N 的范围内，大约 5.2 厘米相当于 10 个纬距，这样可以用 2 个纬距为一个强度数的近似关系进行换算。第三步是用图 5 上的相关曲线或用线性回归公式(1)由强度特征数得出估计的中心最大风力。

三、讨 论

1. 用红外卫星云图估计热带气旋强度有其固有的优点。它能对热带气旋进行 24 小

时连续监视；并能更好地考虑热带气旋中云顶最高、对流最为旺盛的深对流云区的大小与结构在热带气旋发展中的作用。在红外云图上识别出来的深对流云区的大小是估计热带气旋强度的一个重要参数。

2. 环绕热带气旋中心的螺旋云带是热带气旋中最有特色的云系。螺旋云带的紧密程度，环绕中心的圈数是气旋强度的一个重要指标，在上述方法中给予了充分地重视。

考虑中心强对流云区的大小和重视台风的螺旋云带特征是这个方法较同类方法的改进之处。

3. 统计方法需要大量的样本才能保证其稳定性。这里仅用了一年资料，这是不够的。尤其是在中心最大风力大于 45 米/秒的范围内，资料更显得不足。以后需要用更多的资料来补充、验证和修改，才会得到较为稳定的结果。

致谢：国家海洋局水文气象预报总台为此项工作提供了许多资料，在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Fett, R. W. Upper-level structure of the formative tropical cyclone, *Mon. Wea. Rev.*, **94**, 9—18, 1966.
- [2] Fritz, S., L. F. Hubert and A. Timchalk, Some inferences from satellite pictures of tropical disturbances, *Mon. Wea. Rev.*, **94**, 231—236, 1966.
- [3] 陈隆勋、王作述、方宗义等，西太平洋赤道辐合区中台风发生发展的初步分析，中国科学院大气物理研究所集刊第 2 号。
- [4] Dvorak, V. F., Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, *Mon. Wea. Rev.*, **103** 420—430, 1975.
- [5] 方宗义、肖稳安、姚祖庆等，数字云图在台风分析预报中的应用，中国科学院大气物理研究所集刊第 8 号。

ESTIMATION OF TROPICAL CYCLONE INTENSITY BY USE OF GMS INFRARED IMAGERY

Fang Zong-yi

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Zhou Lian-xiang

(General Observatory of Hydrology and Meteorology, National Ocean Bureau)

Abstract

Using GMS infrared imagery we have summarized four cloud characteristics relative to the intensity of tropical cyclone as follows: the position of the circulation center relative to deep convective cloud; the characteristics of the eye's form and its size and the degree of clearness in the eye; the characteristics of central deep convective cloud; and the characteristics of spiral cloud band. To each characteristic we assigned an index of tropical cyclone intensity. Synthesizing these four indices we obtained a T number characterizing the intensity of the cyclone. We correlated the T number with the central maximum wind speed of tropical cyclone and obtained empirical formula $V_{\max} = 7.813 (T - 1)$. It is found that we can estimate the maximum wind speed of the tropical cyclone using the GMS data.