

温带气旋浪断面结构的研究*

郭佩芳[†]

(青岛海洋大学海洋系, 青岛 266003)

王 华

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

施 平[‡]

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510275)

提要 据历史天气图和 GEOSAT (美国测地/地球物理卫星)高度计同步测到的一个温带气旋为个例,以卫星的海面轨迹为断面,分析该温带气旋横断剖面上的海浪高与风速的结构特征。认为相对于风速,温带气旋的内围波高与外围波高具有明显的不对称性,内围波高明显大于外围波高,波高与风速的关系表现为一种中空反旋结构。给出了这种结构的数学模型、参数估计方法和估计值。

关键词 卫星遥感 卫星高度计 温带气旋 海浪

温带气旋是一种重要的天气过程,温带气旋浪也是一种重要的海上波浪系统。温带气旋浪的研究,对于了解温带气旋浪场结构,提高海浪数值预报精度和海浪的应用研究均有十分重要的意义。然而,在使用卫星观测海洋之前,因气旋环境的恶劣和传统观测仪器的缺陷,对气旋很少有系统的、空间连续的观测,因此对温带气旋浪的空间结构了解甚少。

卫星高度计以微波的方式,对所经过的海面波浪和风速等物理量进行观测,这种观测具有历时长、面积大、不受环境影响的特点。因此,卫星高度计对于了解温带气旋浪的结构是一有力工具。目前卫星高度计资料的应用研究,在国外已取得了不少成果,然而在国内还是空白。本文以 GEOSAT 高度计对一个温带气旋浪的观测为例,分析了温带气旋浪的横断剖面结构,给出了描述这种结构的数学模型。

1 资料分析

GEOSAT 高度计是用于探测海洋中尺度性质的主动式微波仪,它的观测内容有海面高度、有效波高 (*SWH*) 和风速 (*U*) 等,它的重复观测周期是 17.05 天,径向轨道结点为 $1.05^\circ + 1.475^\circ n (n = 0, 1, \dots, 243)$,海面轨道速度为 6.6km/s,采样时间步长为 1 秒。国外研究表明 (Dobson et al., 1987),GEOSAT 高度计观测的有效波高和风速同锚系浮标资料相比,风速的方均根偏差为 1.7m/s,平均差为 0.36m/s;有效波高的方均根偏差为 0.49m,平均差为 0.36m,证明观测结果是可信的。

* 国家自然科学基金资助,49376255号;国家自然科学基金重点基金资助,49336300号;青岛海洋大学科研基金资助。

[†] 青岛海洋大学物理海洋实验室兼职研究人员。

收稿日期: 1992年8月25日,接受日期: 1993年3月23日。

从图 1 可以看到,1989 年 4 月 11 日 0 时,一强温带气旋中心位于 $159^{\circ}\text{E}, 53^{\circ}\text{N}$, 中心气压 988hPa 。从另一张天气图上看到, 12h 后该中心移到 $163^{\circ}\text{E}, 53^{\circ}\text{N}$, 中心气压为 992hPa , 气旋中心移动速度为 $0.33^{\circ}/\text{h}$ 。

GEOSAT 第 53 个重复周期的第 16 条轨线于 1989 年 4 月 11 日 2 时 37 分 23 秒, 由南向北上行穿过这个低压中心, 如图 1 中的粗实线所示。在卫星从 30°N 上行进入该低压气旋系统的边缘到 53°N 抵达低压中心这段测程, 高度计观测到的有效波高和风速如图 2。从图 1 和图 2 可以看到, 由天气图和高度计资料构成了一个很好的温带低压气旋断面观测资料。在这条轨线上, 该气旋的最大风速有 13.7m/s , 大风中心位于 41.3°N ; 最大有效波高为 3.8m , 位于 42°N ; 以低压中心为圆心, 大风半径约有 1200km , 大浪半径约有 1100km ; 风速大于 10m/s 的风带宽有 650km , 波高大于 2m 的海域宽有 1300km ; 大于 12m/s 的大风带有 240km 宽, 波高大于 3m 的海

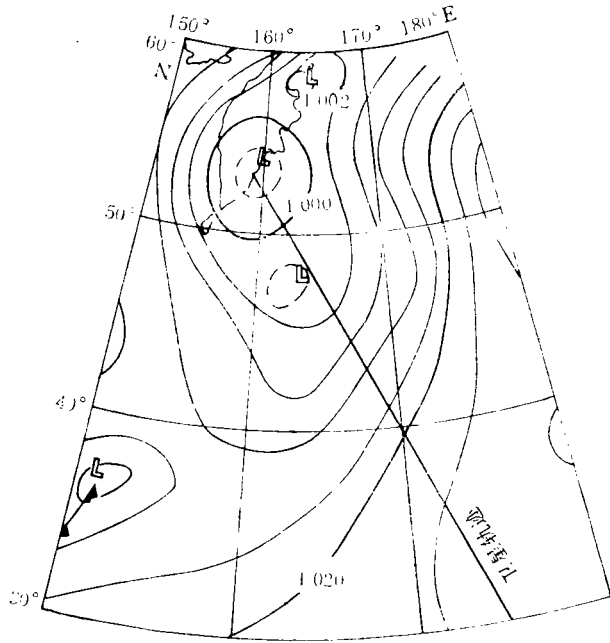


图 1 温带低压气旋状态
Fig. 1 The state of the temperate depression

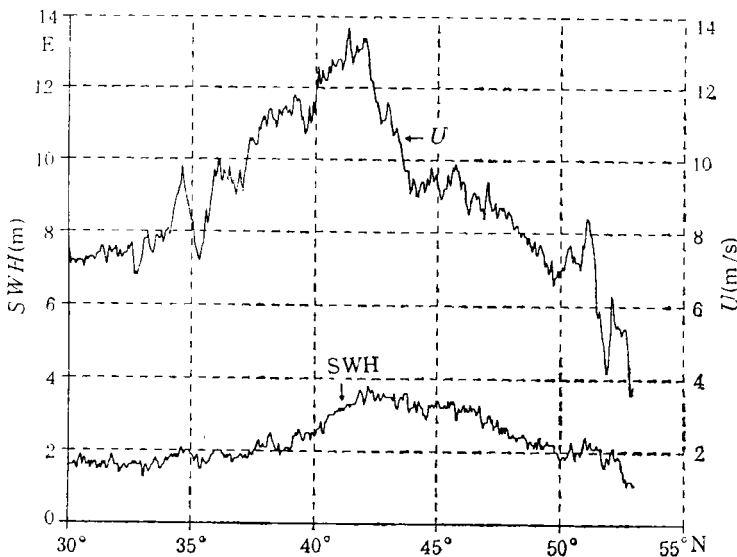


图 2 卫星轨线上的有效波高和风速
Fig. 2 The significant wave height SWH and wind speed U in the GEOSAT track

区有 600km 宽, 相当于 10m/s 的风带宽度; 在相同风速下, 大风圈内围(41.3°N 以北)波高明显大于大风圈外围 (41.3°N以南)波高, 两者相差最大处约有 1m。

2 数学模型

根据卫星高度计在这个低压气旋断面测程上观测的值, 以卫星上行为序绘入图 3。当卫星从 30°N 沿轨线上行至大风中心时, SWH 随 U 增大而非线性增长, 如图 3 中的

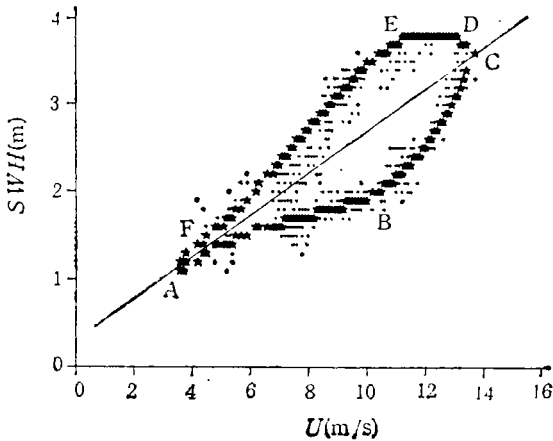


图 3 温带低压气旋断面上 SWH 与 U 的中空反旋结构

Fig. 3 The central empty and counterclockwise structure about SWH and U in the section of the temperate depression

+ 示卫星遥感数据; ★ 示式(4)计算结果。

ABC 段; 在大风中心, 风速达到最大值, SWH 并不是最大, 而是向北继续成长, 在 42°N 达到最大, 如图 3 中的 CD 段; 当卫星自大浪中心沿轨线继续上行至低压中心时, SWH 随 U 减小而非线性减小, 如图 3 中的 DEF 段。在整个上行测程上, SWH 与 U 形成了一个中部空旷、反时针旋转的独特结构。本文称之为中空反旋结构。

很明显, 这种温带低压气旋的有效波高和风速的中空反旋结构, 是一种线性结构的变异, 可以如下模型:

$$SWH = a + bU \pm (cU)^n \sin(\pi U/U_{\max}) \quad (1)$$

来描写。其中 SWH 为有效波高; U 为风速; $a + bU$ 部分用来表示结构的平均状态; $(cU)^n \sin(\pi U/U_{\max})$ 部分用来表示气旋断面上的波高的不对称性; a, b, c, n 为待定系数; U_{\max} 为断面上的最大风速; “+”号表示大风圈内围状态, 亦即图 3 中的 CDEF 段; “-”号表示大风圈外围状态, 亦即图 3 中的 ABC 段。

3 系数的确定

式(1)中 a 和 b 是平均状态的系数, 可根据断面测程上的资料, 使用最小二乘法来确定。计算结果是 $a = 0.30$, $b = 0.24$ 。

为了确定系数 c 和 n , 首先求不对称幅度:

$$SWH_a = (cU)^n \sin \theta \quad (2)$$

关于 θ 的极值方程, 式(2)中 $\theta = \pi U/U_{\max}$, 求解结果为:

$$\frac{1}{n} \theta_0 + \operatorname{tg} \theta_0 = 0 \quad (3)$$

式(3)中的 $\theta_0 = \pi U_0/U_{\max}$ 为最大不对称幅度对应的 θ ; U_0 为最大不对称幅度对应的风速。式(3)的解如表 1。

其次, 根据卫星断面资料 SWH 和 U , 按 U 的大小, 以 1m/s 间隔分段, 于各段内分别求大风圈内围与外围 SWH 的幅差, 如表 2。由表 2 可知, 大风圈内围 SWH 与外围 SWH 之最大平均幅差 $SWH_a = 0.69\text{m}$, 取对应风速为 $U_0 = 10.5\text{m/s}$ 。因为在该断

表 1 不同的 n 对应的 θ_0 的解Tab. 1 The values of θ_0 with different n

n	θ_0
1	2.03
2	2.29
3	2.46
4	2.57
5	2.65

面上,最大风速为 $U_{\max} = 13.7\text{m/s}$, $U_0 = 10.5\text{m/s}$, 根据 θ_0 的定义可得 $\theta_0 = 2.41$ 。再由表 1, 可查得 $n = 3$ 较为合适。把上面求得的 $n = 3$, $\theta_0 = 2.41$ 及 $SWH_0 = 0.69\text{m}$ 代入式(3), 可求得 $c = 0.1(\text{sm}^{-2/3})$ 。至此,把求得的各系数代入温带低压气旋断面关于有效波高和风速的中空反旋结构模型式(1)中,可得该温带低压气旋断面上有效波高与风速的关系式:

$$SWH = 0.30 + 0.24U \pm (0.1U)^3 \sin(\pi U/U_{\max}) \quad (4)$$

把式(4)的计算结果与该气旋断面上卫星遥测波高作比较,式(4)的结果与高度计资料符合良好,二者的标准偏差为 0.06m , 平均偏差为 -0.10m 。式(4)和式(1)所描写的这种温带低压气旋浪的中空反旋结构普遍性和形成机制,有待于进一步的研究,研究结果将另文发表。

表 2 大风圈内围与外围 SWH 的幅差均值Tab. 2 The average different values of SWH in every field of U

风速段 (m/s)	记录个数(N)	$\Sigma(SWH_{\text{内}} - SWH_{\text{外}})$	$\Sigma(SWH_{\text{内}} - SWH_{\text{外}})/N$
$1 < U \leq 2$	1	0.516	0.516
$2 < U \leq 3$	1	0.204	0.204
$3 < U \leq 4$	3	0.160	0.053
$4 < U \leq 5$	7	1.964	0.281
$5 < U \leq 6$	18	5.128	0.285
$6 < U \leq 7$	11	2.416	0.220
$7 < U \leq 8$	124	40.896	0.330
$8 < U \leq 9$	64	25.740	0.415
$9 < U \leq 10$	87	58.204	0.669
$10 < U \leq 11$	26	17.964	0.690
$11 < U \leq 12$	51	35.120	0.689
$12 < U \leq 13$	28	11.056	0.395
$13 < U \leq 14$	16	2.592	0.162

4 结论

在温带低压气旋中,大风圈内围波高明显大于大风圈外围波高。

在温带低压气旋断面上,波高与风速形成一种中空反旋结构,这种结构可用模型式(1)来表示;式(4)可用来描写本文讨论的低压气旋波,式(4)与高度计资料符合良好。

参 考 文 献

Dobson, E., Monaldo, F. and Goldhirsh, J., 1987, Validation of Geosat altimeter-derived wind speeds and significant wave heights using buoy data, *J. Geophys. Res.*, **92**(c10): 10 719—10 731.

STUDY ON THE SECTION STRUCTURE OF WAVES IN THE TEMPERATE DEPRESSION WITH GEOSAT ALTIMETER DATA

Guo Peifang

(Department of Physical Oceanology and Marine Meteorology, Ocean
University of Qingdao, Qingdao 266003)

Wang Hua

(The National Marine Information Service, Tianjin 300171)

Shi Ping

(South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301)

ABSTRACT

This paper reports results of study of an April 11 zero o'clock, 1989 GEOSAT record of a TDCW (Temperate Depression Cyclone Wave) (16th of 52 repeat cycles) and a weather report of the same time and place. The cyclone center was at 159°E, 53°N, the center atmospheric pressure was 992 hPa, the maximum wind speed was 13.7m/s, the maximum significant wave height (*SWH*) was 3.8m, and the radius of maximum wind speeds was about 1200km.

Analysis on the structural characteristics of the *SWHs* and the wind speeds in the track revealed differences between the heights of the internal and external *SWHs* about the large wind speeds center. The internal *SWHs* were larger than those of the external *SWHs* at same wind speeds, the maximum difference was about 1.0m. The relation between the *SWHs* and the wind speeds expressed a hollow core structure turning counterclockwise inward in the following mathematical pattern

$$SWH = a + bU \pm (cU)^n \sin(\pi U/U_{\max})$$

where $a = 0.30$; $b = 0.24$; $c = 0.1$; $n = 3$; U is the wind speeds; U_{\max} is the maximum wind speed; $a + bU$ express the average state of the structure; $(cU)^n \sin(\pi U/U_{\max})$ express the structural non-symmetry; “+” applies to the internal whorl of the cyclone; “-” applied to the external whorl.

Key words Satellite remote sensing Satellite altimeter Temperate depression Ocean wave