

卫星高度计反演海面风速

——模式函数与应用实例*

陈 戈

(青岛海洋大学海洋遥感研究所 青岛 266003)

摘 要 对迄今为止国际上公开发表的 14 种卫星高度计反演海面风速的模式函数进行了系统的分析和比较。在此基础上提出了一种“折中”模式函数,用于 TOPEX 资料海面风速反演效果良好。文中对高度计获取的全球海面风速分布特征进行了分析,最后探讨了改善海面风速模式函数反演精度的途径。

关键词 卫星高度计,海面风速,模式函数,反演

1 引 言

作为海洋表面最大的一种动量来源,风对于海洋中从波动到流动的各种运动过程都有直接或间接的影响。风对于海气间的热量、物质和水汽交换具有重要的调节作用。这种调节过程能够平衡大气和海洋之间的相互作用,从而建立并维持全球和区域天气系统。

卫星高度计是一种指向星下的主动式雷达,通常工作在 Ku 波段或 C 波段。高度计垂直向下发射脉冲信号,经地球表面(海、陆、冰等)反射后回到接收天线。通过测量脉冲往返的时间可以确定卫星质心到星下点的距离,进而计算星下点的海平面高度;通过分析返回脉冲的波形和强度,可以获取有效波高和海面风速的信息。因此,海平面高度、有效波高和海面风速是卫星高度计测量的 3 个基本参数。

迄今为止,国际上先后发射了 8 颗高度计卫星,它们是:1973 年美国发射的 Skylab,1975 年美国发射的 GEOS-3,1978 年美国发射的 Seasat,1985 年美国发射的 Geosat,1991 和 1995 年欧空局发射的 ERS-1,2,1992 年美、法两国联合发射的 TOPEX/Poseidon,以及 1998 年美国发射的 GFO。这些高度计为我们提供了高分辨率的全球海面风速资料,对于天气和海洋预报、风暴监测、海上航行、海岸工程和全球变化研究等具有重要的价值。因此,发展高精度模式函数以精确反演海面风速成为卫星高度计的一个重要研究领域。

2 高度计海面风速反演的模式函数

海面在风的作用下能够产生厘米尺度的波浪,从而引起海面粗糙度(海面均方斜率)的变化。雷达高度计对于大于或等于其工作波长(一般为 2cm 左右)的海面粗糙度变化有敏感的反应。散射理论表明,雷达后向散射截面(σ_0)与海面均方斜率($\overline{s^2}$)之间存在下列关系:

$$\sigma_0(\theta) = \frac{\alpha |R(0)|^2}{s^2} \sec^4 \theta \exp\left[-\frac{\tan^2 \theta}{s^2}\right] \quad (1)$$

其中 $|R(0)|^2$ 为 Fresnel 反射系数, θ 为入射角, α 为比例系数。另一方面,实验观测表明^[1],海面均方斜率与海面风速(U)近似满足线性关系:

$$\overline{s^2} \propto U \quad (2)$$

简单地说,高度计($\theta=0$)后向散射截面和海面风速之间存在一种反比关系。随着风速的增大,海面粗糙度会随之增加,使得雷达脉冲的侧向散射能量增加,后向散射能量减少,从而导致 σ_0 下降。后向散射截面与海面风速之间的解析关系称为“地球物理模式函数”(Geophysical Model Function),简称“模式函数”。高度计测量的 σ_0 必须通过模式函数才能转换为海面风速。因此,模式函数的质量直接关系到海面风速的反演精度。到目前为止,国际上公开发表的模式函数已有十余种,它们在精度、稳定性和适用范围等方面的差别如何,是大家普遍关心的问题。下面对 14 种有代表性的高度计海面风速模式函数进行概述和比较,并将各模式函数的主要

特征列于表 1。在此基础上,对模式函数评价中的一些问题进行初步探讨。

表 1 现有卫星高度计海面风速反演模式函数的比较

Table 1 Comparisons of existing model functions for retrieving sea surface wind speed from satellite altimeters

| 序号-代号 | 作者(年) | 导出方式 | 风速高度/m | 适用范围/m/s | 匹配方式 | 匹配数据/对 | RMS 误差/m/s |
|-------|---------------------------------|---------------------|---------|----------|----------------------|------------------------------|--|
| 1-BR | Brown <i>et al.</i> (1981) | 统计回归 | 10 | 1-18 | GEOS-3/浮标 | 184 | 1.74 |
| 2-SB | Brown <i>et al.</i> (1981) | 对 BR 进行平滑 | 10 | 1-18 | — | — | 1.84 |
| 3-CM | Chelton & McCabe (1985) | 统计回归 | 19.5/10 | 4-14 | Seasat ALT/SCAT | 1,947 | 2.37 |
| 4-GD | Goldhirsh & Dobson (1995) | 对 BR 进行平滑 | 10 | 2-18 | — | — | 1.82 |
| 5-CW | Chelton & Wentz (1986) | 加权迭代 | 19.5/10 | 0-20 | Seasat ALT/SCAT | 241, 000 | 2.20 |
| 6-WC | Witter & Chelton (1991) | 对 CW 进行风速 概率分布匹配 | 19.5/10 | 0-20 | ALT Seasat/Geosat | S: 1,360,808 G: 2,974,973 | 1.90 |
| 7-CC | Carter <i>et al.</i> (1992) | 统计回归 | 10 | 未限定 | Geosat/浮标 | 164 | 1.46 |
| 8-WU | Wu (1992) | 散射理论 | 10 | 未限定 | — | — | 1.92 |
| 9-GG | Glazman & Greysukh (1993) | 统计回归 | 10 | 未限定 | Geosat/浮标 | 865 | 1.63 |
| 10-YG | Young (1993) | 统计回归 | 10 | 20-40 | Geosat/ 预报模式 | 192 | 对 $U_{YG}=27\text{m/s}$, 95%置 信区间为 20-35m/s |
| 11-FD | Freilich & Dunbar (1993) | 加权迭代 | 19.5/10 | 1-20 | Geosat/ 预报模式 | $>9 \times 10^6$ | $U_{FD}=10\text{m/s}$, RMS=2.3 $U_{FD}=20\text{m/s}$, RMS=3.9 |
| 12-LB | Lefevre <i>et al.</i> (1994) | 统计回归 | 10 | 未限定 | TOPEX/ 预报模式 | 17,094 | 1.75 |
| 13-FC | Freilich & Challenor (1994) | 概率理论 | 19.5/10 | 1.5-20 | Geosat/浮标/ 预报模式 | — | 1.69 |
| 14-HI | Hwang <i>et al.</i> (1998) | 散射理论 | 10 | 未限定 | — | — | 1.49 |

2.1 BR 模式函数

Brown 等^[2]认为,在垂直入射的情况下,光滑海面的后向散射能量与海面的平均斜方谱成反比。根据这个假定,他们得出了一个分段指数形式的模式函数(图 1)。但它存在两方面的缺点:一是回归时所用的浮标数据精度较差;二是在 10.12dB 和 10.9dB 处存在两个不光滑点。尽管如此,该模式函数的提出和有效应用说明了从卫星高度计数据反演海面风速的可行性。

2.2 SB 模式函数

为了克服分段函数导数不连续的缺点,Brown 等^[2]建议在 0-16m/s 范围内对 BR 模式函数进行

多项式拟合,从而给出 SB 模式函数(图 1)。该模式函数在很大程度上克服了不光滑性带来的困难,但却导致低风速条件下较其它模式函数显著偏高。

2.3 CM 模式函数

Chelton 和 McCabe^[3]提出了一个以 10 为底的指数形式的模式函数(图 1),其中的回归系数是通过 1947 对 Seasat 高度计和散射计测得的同步风速而确定的。该模式函数的均方根误差在所有模式函数中是最高的(表 1),其原因主要是所使用的散射计数据有缺陷。

2.4 GD 模式函数

Goldhirsh 和 Dobson^[4]对 BR 模式函数在 σ_0 空间

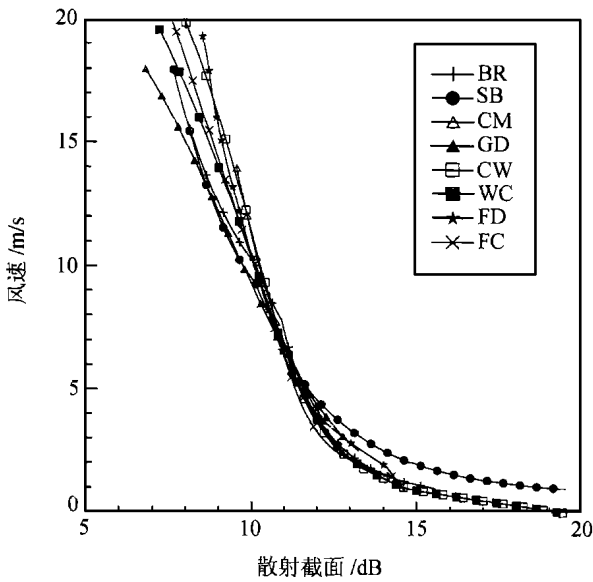


图 1 适用于 $0 < U < 20\text{m/s}$ 的高度计海面风速模式函数
 Fig. 1 The altimeter wind speed model functions for $0 < U < 20\text{m/s}$

进行 5 次多项式拟合, 得出了 GD 模式函数(图 1)。该模式函数有一个局限性, 即在有效风速区外存在多解性, 无法延拓, 从而限制了其进一步发展。

2.5 CW 模式函数

Chelton 和 Wentz^[5]对 CM 模式函数进行了修正和发展, 主要是改进了 Seasat 高度计和散射计资料的配准方法, 以查找表的形式给出了 σ_0 与海面风速的对应关系, 其曲线表示见图 1。值得注意的是, 尽管 CW 模式函数较 CM 模式函数的精度有所改善, 但同以浮标作为同步数据的模式函数相比, 其误差仍偏高(表 1)。

2.6 WC 模式函数

Witter 和 Chelton^[6]在假定风速概率分布函数的年际变化可以忽略的前提下对 CW 模式函数进行了进一步地改进和推广: 一是扩大了高风速部分的动态范围; 二是使之适用于 Geosat 高度计。所得到的 WC 模式函数绘于图 1, 其查找表形式见文献[6]中的 Table 1。该模式函数是目前 ERS-1, 2 和 TOPEX/Poseidon 高度计使用的业务化模式函数。此外, Witter 和 Chelton 还在文献[6]中提出了一种以风速概率分布匹配原则对模式函数在不同高度计之间进行移植的方法。

2.7 CC 模式函数

Carter 等^[7]提出了一个折线形式的模式函数(图

2)。作者给出的均方根误差为 1.46m/s , 是同类研究中最小的一个。但该模式函数在 3m/s 附近存在一个不光滑点, 使用时应根据需要采取适当的平滑措施。

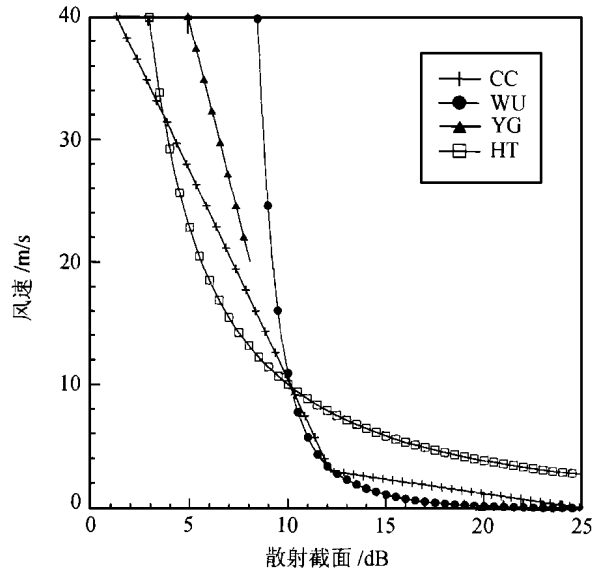


图 2 适用于 $U > 20\text{m/s}$ 的高度计海面风速模式函数
 Fig. 2 The altimeter wind speed model functions for $U > 20\text{m/s}$

2.8 WU 模式函数

Wu^[8]从镜反射原理出发, 利用实测海面斜率谱数据, 并考虑到 Geosat 高度计的工作波长(约 2.16cm)与对雷达后向散射有贡献的截止波长非常接近, 导出了一个分段指数形式的模式函数(图 2)。它是公开发表的第一个完全从理论出发导出的模式函数, 其理论基础是其它模式函数所不具备的。但从图 2 可以看出, 该模式函数对于 10m/s 以上的风速较其它模式函数显著偏高, 从而限制了它的实际应用。

2.9 GG 模式函数

Glazman 和 Greysukh^[9]的研究表明, 雷达散射截面与海面的成熟度有关, 他们通过有效波高引入波龄这一参数, 并根据波龄不同分两种情况对海面风速进行反演(图 3)。与未考虑海况的模式函数相比, GG 模式函数的总体精度有所改善。但由于使用的同步数据不足, 其结果的统计显著性在 90% 以下, 使得该模式函数的可靠性有待进一步检验。

2.10 YG 模式函数

Young^[10]通过对理论模式预报和卫星高度计观

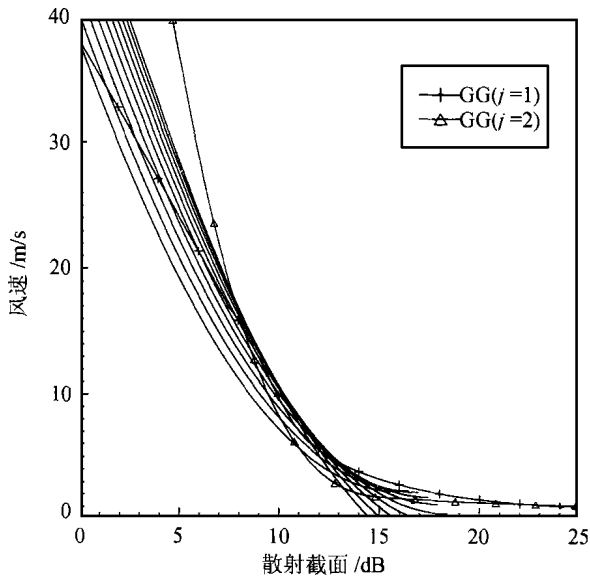


图 3 考虑海况因素的多参数高度计海面风速模式函数 (未加标注的 10 条曲线为 LB 模式函数, 左上角自左向右依次为 $H_s=1\text{m}, 2\text{m}, \dots, 10\text{m}$)

Fig. 3 The multi-parameter sea state dependent altimeter wind speed model functions (the 10 unidentified curves represent the LB model function, corresponding to, from left to right in the top-left part of the diagram, $H_s=1\text{m}, 2\text{m}, \dots, 10\text{m}$)

测的热带气旋风速进行对比分析, 给出了一个适用于 20—40m/s 风速的模式函数(图 2)。这是迄今为止唯一一个完全针对高风速的模式函数。作者指出, 鉴于目前高风速观测的离散程度, 任何非线性模式函数都不会有太大意义。上述线性模式函数在低风速端(20m/s)与现有的其它模式函数吻合, 在高风速端(40m/s)与理论预测一致。

2.11 FD 模式函数

Freilich 和 Dunbar^[11]通过对业务化天气预报风速和 Geosat 高度计测量的 σ_0 进行加权迭代得到了 FD 模式函数(图 1)。该模式函数在 4.5—15m/s 范围内与目前 TOPEX 业务化使用的 WC 模式函数非常接近, 但在 15—20m/s 范围内前者较后者偏高。考虑到 FD 模式函数在导出过程中用到了九百万对以上的同步数据(包括相当数量的 15m/s 以上风速), 是迄今为止使用同步数据量最大的模式函数, 其结果应该更符合实际。我们认为, 在现阶段建立高风速模式函数过程中, 天气预报风速可能比浮标实测风速更为现实和有效。

2.12 LB 模式函数

Lefevre 等^[12]建立了一个多项式形式的模式函

数, 包括后向散射截面和有效波高两个参数(图 3)。LB 模式函数是对 GG 模式函数的进一步发展: 一是将海况分类从 2 种增加到 10 种; 二是用 TOPEX 数据代替 Geosat 数据; 三是显著增加了同步数据的数量。与 BR 和 WC 模式函数相比, LB 模式函数的精度在各种风速条件下均有所提高。我们认为, 如能获得高质量的同步有效波高数据, 考虑海况的海面风速模式函数可能是一种发展方向。

2.13 FC 模式函数

Freilich 和 Challenor^[13]提出了一种确定高度计海面风速模式函数的新方法。该方法利用 σ_0 随风速单值单调变化的特点, 只需已知 U 和 σ_0 的独立分布, 即可通过统计理论导出高度计海面风速的模式函数, 而无需采用通常靠同步数据确定回归系数的做法。这是海面风速模式函数发展过程中的一个新思想。FC 模式函数的曲线表示见图 1。它的系统偏差和均方差优于现有的大多数模式函数, 在经过充分的独立验证之后, 可望成为下一代业务化模式函数的有力竞争者。

2.14 HT 模式函数

最近, Hwang 等^[1]从散射理论出发提出了一种考虑长波引起的海面倾斜对高度计后向散射截面影响的模式函数(图 2)。根据他们的实验结果, 如果能够独立地精确测量倾斜海面的斜率分布, 高度计海面风速的反演精度可以在现有基础上提高 40%。这可能是高度计测量海面风速的极限潜力。

3 讨论

上节中已将现有海面风速模式函数分 3 组分别绘于图 1、图 2 和图 3。图 1 为适用范围在 0—20m/s 内的 8 个模式函数, 包括 BR, SB, CM, GD, CW, WC, FD 和 FC; 图 2 为适用范围大于 20m/s 的 4 个模式函数, 包括 CC, WU, YG 和 HT; 图 3 为考虑海况因素的 2 个多参数模式函数, 即 GG 和 LB。下面对上述模式函数进行比较和讨论。

(1) 从模式函数的导出方式来看, 主要有统计回归、加权迭代和理论推导 3 种。其中 6 个模式(BR, CM, CC, GG, YG 和 LB)属于第 1 类, 2 个模式(CW 和 FD)属于第 2 类, 3 个模式(WU, FC 和 HT)属于第 3 类。另外, 还有 3 个模式(SB, GD 和 WC)是在上述模式基础上派生出来的。在模式函数的导出过程

中,使用同步浮标风速的有 3 个(BR,CC 和 GG),使用同步散射计风速的有 2 个(CM 和 CW),使用同步预报模式风速的有 3 个(YG,FD 和 LB),使用非同步浮标/模式风速的有 1 个(WC)。

(2)从作者给出的误差估计来看,一般在 1.5—2.5m/s 之间(表 1)。但应注意,表中所列误差对于不同的模式函数并不完全具有可比性,因为各自使用的印证数据来源不同,数量和质量各异。但它们的确从不同侧面反映了模式函数的精度水平。从图 1 可以看出,在 $U=7\text{m/s}$ 附近,各种低风速模式函数几乎趋于重合,这显然与 7m/s 的风速出现的概率最大有关,进而也说明增加同步数据量对改善模式函数的精度至关重要;当 $U>10\text{m/s}$ 或 $U<7\text{m/s}$ 时,各模式函数的离散度逐渐增加, 10m/s 以上风速区域尤为明显。对于高风速模式函数,情况则略有不同,各模式函数的会聚点在 9.5m/s 附近,并由此向两侧迅速发散(图 2)。对于考虑海况的两种模式函数,其离散情况相对比较平缓(图 3)。作为汇总,我们将 14 种模式函数的均方差随 σ_0 的变化绘于图 4。可以看出,各种模式函数在 $\sigma_0=10.5\text{dB}$ 附近(中等风速)离散度最小, $\sigma_0<9\text{dB}$ 时(高风速),离散度迅速增加,而 $\sigma_0>12\text{dB}$ 时(低风速),离散度趋于平缓。

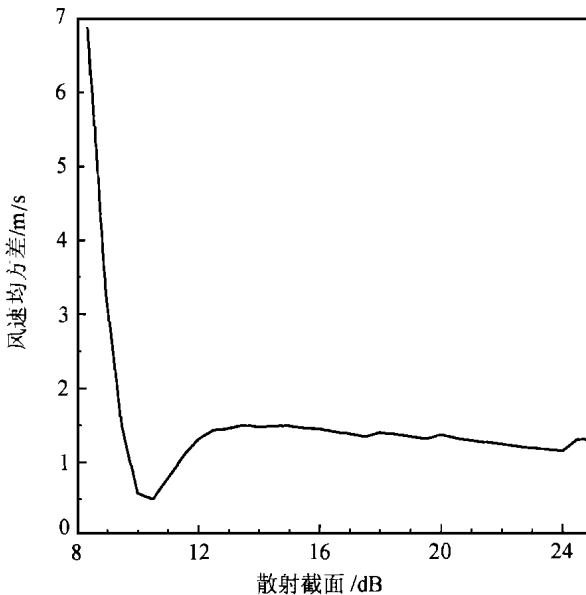


图 4 各种高度计海面风速模式函数的离散度

Fig. 4 An estimate of the scatter of various model functions for retrieving sea surface wind speed from altimeters

(3)在现有模式函数中,尚无一个公认的“最佳”模式函数,或许这样的模式函数根本就不存在。实际情况可能是对于某一风速范围,一种模式函数最佳,而对于另一风速范围,则另一种模式函数最佳。

但有一点几乎可以肯定,那就是理想中的“最佳”模式函数应该落在现有的 14 种模式函数的限度范围内。基于上述认识,我们用下列方法得到了一个“折中”模式函数:对应于每一个 σ_0 ,在现有模式函数中去掉一个最高风速和一个最低风速,然后将其余的有效风速进行平均,得出相应的“折中”风速(图 5)。

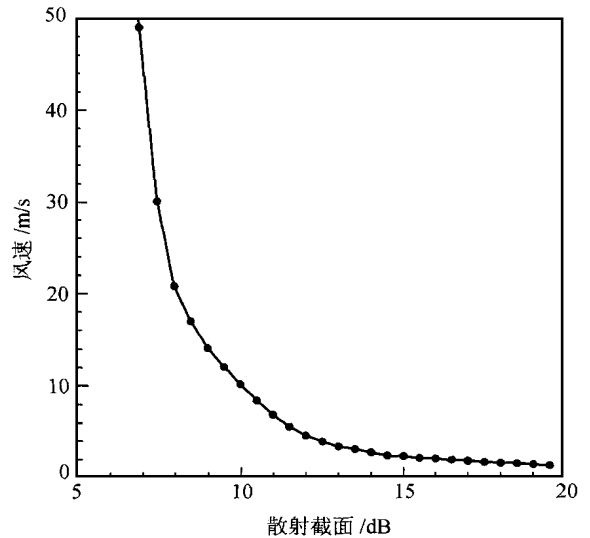


图 5 高度计海面风速反演的“折中”模式函数

Fig. 5 The “intermediate” model function for retrieving sea surface wind speed from altimeters

4 TOPEX 高度计资料反演全球海面风速

我们利用上节得出的“折中”模式函数(图 5)对 1992 年 12 月至 1993 年 12 月的 TOPEX 资料进行了反演。得到了高度计星下点的海面风速,然后通过加权插值^[14],得到了 $66^{\circ}\text{S}-66^{\circ}\text{N}$ 范围内 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的海面风速分布(封四图版 I 图 6)。该图清晰地反映出以下几个特点:

(1)海面风速在全球范围内沿纬向呈明显的带状分布。对于太平洋和大西洋而言,风速分布以赤道为轴线呈对称结构。印度洋由于南北半球海陆分布的巨大差异而无法体现对称性。

(2)海面风速在全球范围内沿经向呈显著的振荡分布。赤道附近是横跨全球的“无风带”;在南北亚热带海域存在东南信风带和东北信风带;在南北纬 30° 附近存在另外一个狭窄的低风带,被称为“马纬度”;再向两极延伸,则是强大的西风带。

(3)两半球比较而言,海面风速呈明显的南强北弱态势,即对于同一纬度,南半球的平均风速要显著

大于北半球。全球最高年平均风速出现在南纬 50° 附近的印度洋中,对应于人们习惯上所称为“咆哮的四十度”。

另外,从图 6 还可以看出全球年平均海面风速的变化范围在 $0-14\text{m/s}$ 之间,这与已有的现场观测相吻合^[15],从而证明我们采用的“折中”模式函数是合理的和可信的。

5 结语

我们来探讨一下改善模式函数精度的途径。如前所述,许多模式函数的推出者都曾作过与实测数据或其它独立卫星传感器数据的比较,从均方根误差来看,各种算法之间的差别似乎并不太大,但仔细分析表明,在模式函数印证中所使用的风速绝大部分都在 $0-15\text{m/s}$ 之间,在这个范围内,所有模式函数与独立测量结果的均方差几乎都在 2m/s 以内。因此,评价一个模式函数好坏的关键在于看它在高风速下的精度。我们认为,改善模式函数的精度应当从以下几个方面入手:一是在高风速下获取更多和更为准确的实测资料;二是强化模式函数的物理机制,使其更为全面、真实地反映探测过程的各个环节对测量结果的物理影响;三是改进高度计的采样方案设计,并对多颗和多波段高度计数据进行融合,最大限度地减少由于卫星资料和实测资料的时空配准问题而带来的误差;四是发展区域性和季节性模式函数,以更好地反映风速的空间分布特征和时间变化规律。

根据我们最近的一些研究结果^[16,17]有必要强调指出,提高模式函数在高风速下的反演精度,其关键之一是考虑异常大气过程的影响,而这一点恰恰是现有模式函数所欠缺的。我们知道,在世界上大多数海域, 30m/s 以上的风速往往出现在热带气旋或台风中,而这些天气变化往往伴有强大的降水过程。在卫星高度计直接测量的参数中,受降水影响最大的是 σ_0 。多数情况下,由于台风和暴雨等带来的降水对雷达信号有吸收作用,使得 σ_0 在降水区附近出现 2dB 左右的下跳,产生相应的吸收峰^[17]。这些峰值显然不是由于海面风速的变化引起的。在另外一些情况下,伴随着降水过程会出现 σ_0 的异常增加,这种现象经常出现在降水区的边缘地带,很可能是由于雨水使得海面某些波长的振幅受到衰减而造成的,因而也不反映海面风速的变化。由于现有的海面风速模式函数均未考虑这些因素的影响,降水

过程必然会给风速反演带来不可忽略的误差,对于高风速反演的影响尤为严重。在表 1 所列的模式函数中,只有一个是完全针对高风速的,即 YG 模式函数,它的导出就是基于 6 个热带气旋的 192 个高风速数据^[10],但也未考虑降水的影响。我们认为,为了在高海况下获取高精度的海面风速反演数据,必须对降水等大气效应进行补偿和修正,这也是我们下一步的一个研究重点。

致谢:本项研究的部分工作是作者在中国科学院遥感应用研究所做博士后期间完成的,得到了导师徐冠华院士的热情鼓励和指导;法国空间局(CNES)的 Patrick Vincent 博士和法国海洋开发研究院(IFREMER)的 Rierre Queffeuilou 博士在研究过程中提供了有益的帮助,谨致谢忱!

参 考 文 献(References)

- Hwang, P. A., W. J. Teague, G. A. Jacobs, D. W. Wang. A statistical comparison of wind speed, wave height, and wave period from satellite altimeters and ocean buoys in the Gulf of Mexico region. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**(C5): 10451-10468.
- Brown, G. S., H. R. Stanley, N. A. Roy. The wind speed measurement capability of spaceborne radar altimeters. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 1981, **OE-6**(2): 59-63.
- Chelton, D. B., P. J. McCabe. A review of satellite altimeter measurement of sea surface wind speed; With a proposed new algorithm. *J. Geophys. Res.*, 1985, **90**(C3): 4707-4720.
- Goldhirsh, J., E. B. Dobson. A recommended algorithm for the determination of ocean surface wind speed using a satellite-borne radar altimeter. Rep. SIR85U-005, 1985, Appl. Phys. Lab., Johns Hopkins Univ., Laurel, Md.
- Chelton, D. B., F. J. Wentz. Further development of an improved altimeter wind speed algorithm. *J. Geophys. Res.*, 1986, **91**(C12): 14250-14260.
- Witter, D. L., D. B. Chelton. A Geosat altimeter wind speed algorithm and a method for altimeter wind speed algorithm development. *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**(C5): 8853-8860.
- Carter, D. J. T., P. G. Challenor, M. A. Srokosz. An assessment of Geosat wave height and wind speed measurements. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**(C7): 11383-11392.
- Wu, J. Near-nadir microwave specular returns from the sea surface — Altimeter algorithms for wind and wind stress. *J. Phys. Oceanogr.*, 1992, **9**(10): 659-667.
- Glazman, R. E., A. Greysukh. Satellite altimeter measurements of surface wind. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(C2): 2475-2483.
- Young, I. R. An estimate of the Geosat altimeter wind speed algorithm at high wind speeds. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(C11): 20275-20285.
- Freilich, M. H., R. S. Dunbar. Derivation of satellite wind model

- functions using operational surface wind analyses: An altimeter example. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(C8): 14633—14649.
- 12 Lefevre, J. M., J. Barckicke, Y. Menard. A significant wave height dependent function for TOPEX/POSEIDON wind speed retrieval. *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**(C12): 25035—25049.
- 13 Freilich, M. H., P. G. Challenor. A new approach for determining fully empirical altimeter wind speed model functions. *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**(C12): 25051—25062.
- 14 Chen, G. (陈戈), M. X. He (贺明霞), M. Akiyama, Y. Sugimori, J. Suwa. Mean sea level and sea surface variability of eastern China Seas and NW Pacific Ocean from Geosat altimetry. *Chin J. Oceanol. and Limnol.*, 1994, **12**(2): 154—164.
- 15 US Navy. Navy marine climatic atlas of the world ocean. Version 1.10, Nav. Oceanogr. Command Detachment, 1992, Asheville, NC.
- 16 Chen, G. (陈戈), B. Chapron, J. Tournadre, K. Katsaros, D. Vandemark. Global oceanic precipitation: A joint view by TOPEX and the TOPEX microwave radiometer. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(C5): 10457—10471.
- 17 Chen, G. (陈戈), B. Chapron, J. Tournadre, K. Katsaros, D. Vandemark. Identification of possible wave damping by rain using TOPEX and TMR data. *Remote Sens. Environ.*, 1998, **63**(1): 40—48.

作者简介

陈戈,男,1965年10月生。青岛海洋大学教授。1993年在青岛海洋大学获理学博士学位。1994至1996年在法国海洋开发研究院(IFREMER)从事博士后研究。目前在中国科学院遥感应用研究所进行二站博士后研究。主要研究方向为:(1)卫星高度计及其海洋应用;(2)海洋地理信息系统。已发表学术论文²⁰余篇,被SCI收录8篇。

On Retrieving Sea Surface Wind Speed from Satellite Altimeters: Model Functions and an Application Case

CHEN Ge

(Ocean Remote Sensing Institute, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

Abstract This paper presents a detailed analysis and comparison of 14 model functions, published in the open literature, for retrieving sea surface wind speed from satellite altimeters. The accuracy of these model functions are found to be within 1.5—2.5m/s in general. Moreover, the model functions appear to converge around 7m/s, corresponding to the peak of the wind speed probability density function. An “intermediate” model function is subsequently proposed and applied to derive sea surface wind speed from TOPEX altimeter data, yielding interesting results. The characteristics of altimeter-derived global sea surface wind speed are described and potential approaches for improving the accuracy of wind speed model functions are discussed. The importance of abnormal atmospheric process, such as rain effect, on altimeter wind speed retrieval is also stressed.

Key words Satellite altimeter, Sea surface wind speed, Model function, Retrieval

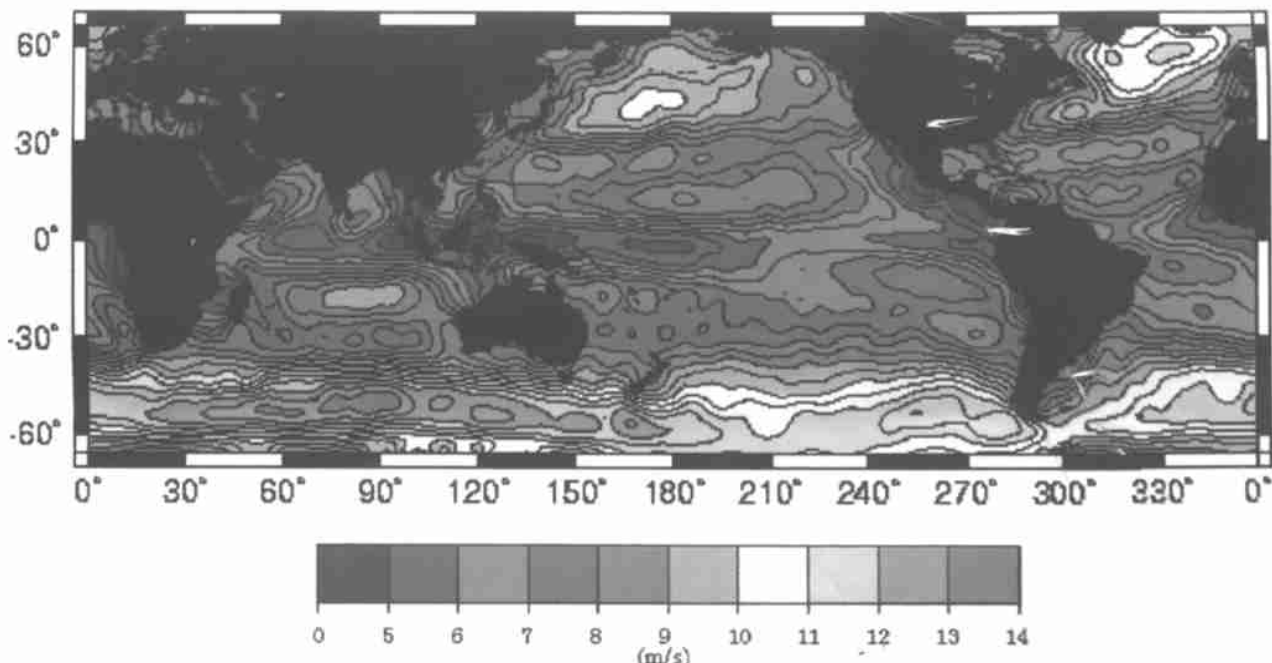


图 6 TOPEX 高度计资料反演的 1992 年 12 月—1993 年 12 月全球海面风速，反演过程使用了本文提出的“折中”模式函数

遥感学报

(季刊 1997 年创刊)

1999 年 11 月 第 3 卷 第 4 期

编辑 《遥感学报》编辑委员会

北京市安外大屯路中科院遥感所
邮政编码 100101

主编 徐冠华

出版 科学出版社

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂

总发行处 北京报刊发行局

订购处 全国各邮电局

中国国际图书贸易总公司

国外总发行 (中国国际书店)

北京 399 信箱

JOURNAL OF
REMOTE SENSING

(Quarterly, Started in 1997)

Vol. 3 No. 4 Nov. 1999

Editor: Editorial Board of Journal of
Remote Sensing

P. O. Box 9718, Beijing 100101, China

<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>

E-mail: jrscas@public.sti.ac.cn

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press

16, Donghuangchenggenbeijie Street
Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International

Book Trading Corporation

(Guoji Shudian)

P. O. Box 399, Beijing, China