

地球资源卫星的风测量

D. Offiler

(英国气象局)

摘要 今后三年内,一种新的卫星资料——近地球表面风矢量有可能逐步在气象业务中得到应用。ERS-1 将载有能提供全天候全球海洋覆盖的微波仪器。英国气象局参与了试验的设计工作,目前正在协助欧洲空间局研制数据处理的算法。卫星发射后,经过几小时的观测,将得到可用的数据,并将其送入数值模式中去。

1. 引言

欧洲空间局(ESA)计划于1990年初发射它的第一颗遥感卫星——地球资源卫星(ERS-1)。星上主要仪器设备是工作在微波频段(5—15GHz)的各种类型的雷达,还有被动红外仪器——沿轨道扫描辐射仪(ATSR),这些仪器现在正在英国气象局的帮助下由Rutherford Appleton实验室进行制造。表1摘要列出了卫星所载的各种仪器,其主要用途及预期的准确度。该卫星的主要使命是遥感某些海洋学参数,以便用于试验目的或者用来论证这些仪器有可能在全球尺度的气象学和海洋学业务工作中发挥作用。

在星载仪器中,最适于气象学应用的是其测风模式中使用先进的微波仪器设备(AMI)。设计该仪器是为了遥感海洋上靠近海面(等效于10 m)的风矢量。本文将描述这类传感器的工作原理,以及为把原始测量数据反演成人们熟悉的地球物理学单位所必需的处理过程。任何型式的仪器都需要校准,AMI亦不例外,所以也将概述实现校准的计划。最后还要提及英国气象局对所得数据将如何应用。

2. 理论与试验背景

二十世纪四十年代微波雷达刚一获得广

泛应用,人们便发现,在低仰角区周围地形(或者海上的波浪)会引起大的有害回波。从那时起,雷达设施的设计者和使用者们一直在寻求减少这种噪声的途径(Harrold, 1974)。研究者们发现后向散射回波随着风速的增加而变大,从而开创了远距离测风的可能性(Krishen, 1971; Jones 和 Schroeder, 1978)。被设计用来测量这类回波的雷达叫做“散射计”(scatterometers)。

后向散射主要归因于来自粗糙表面的同相反射,在微波频段,它由瞬时表面风应力引起的小波纹(猫掌)所产生。来自一宽广目标(如海面)的后向散射的大小通常用归一化雷达横截面(NRCS)即 σ^0 表示。对于已知的几何关系和发射功率, σ^0 同接收到的返回雷达的功率成正比。从在海洋上工作的散射计获得的试验数据表明, σ^0 随海面风速(由船舶或浮标测得)的增大而增大,随入射角的减小而减少,它还依赖于雷达波束与风向之间的夹角。图1是在各种风速下从飞机上测得的 σ^0 数据与风向的关系图。 0° 对应于迎风向, 90° 对应于侧风向, 180° 对应于顺风向。

在过去的三个冬季里,ESA进行了多次协作试验,以证实在AMI工作的5.3 GHz频段上这种类型的曲线。在北海、大西洋和地中海上空,一些载有散射计的飞机在装有测量仪器的船舶和浮标附近飞行。因而可把 σ^0

表 1 ERS-1 的主要地球物理测量目标

主要的地球物理参数	测 量 范 围	准 确 度	主 要 仪 器
风 场			
风 速	4—24 ms ⁻¹	±2ms ⁻¹ 或 10%，误差值取大数	AMI 风散射计和高度表
风 向	0—360°	±20°	AMI 风散射计
波浪场			
有效波高	1—20m	±5m 或 10%，误差值取大数	高度表
波 向	0—360°	±15°	AMI 波模式
波 长	50—1000m	±20%	AMI 波模式
地球表面图象			
陆地/冰/海岸带等	80km (最小覆盖区宽度)	几何/辐射测量分辨率: 30m/2.5dB	AMI 合成孔径雷达 (AMI-SAR)
海洋上方高度	745—825km	2 m (绝对值) ±10cm (相对值)	高度表
卫星距离		±10cm	精确的距离和距离变率试验 (PRARE)
海面温度	500km 覆盖区	±0.5 K	沿轨道扫描红外辐射仪 (ATSR/IR)
水 汽	25km 点区	10%	微波探测器 (ATSR 试验的一部分) (ASTR/M)

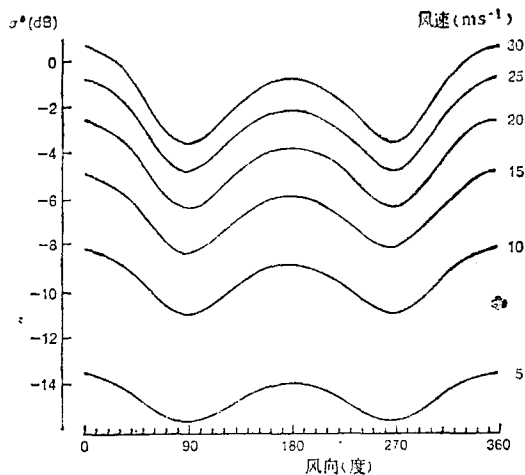


图 1 飞机上测得的后向散射 σ^0 与不同风速下风向的关系,数据是从 13 GHz,垂直极化的雷达获得的

数据同海面风联系起来,在假定是中性稳定度的条件下将风订正为普通风速表所在的 10 m 高度上的数值。可用一经验模型函数来拟合这些数据(Long, 1986):

$$\sigma^0 = a_0 U^\gamma (1 + a_1 \cos \phi + a_2 \cos 2\phi) \quad (1)$$

式中的系数 a_0, a_1, a_2 和 γ 与入射角有关。此模型把 10 m 高处的中性稳定度下的风速

U 及相对于雷达的风向 ϕ 同 NRCS 联系起来。

σ^0 也可能是海面温度、海面状况以及自然或人为的海面带纹的函数。但这些参数是否对风矢量的反演准确度有任何显著影响尚须加以证实。

3. AMI 风散射计

由于 σ^0 表明同风向风速有着明确的相互关系,故从原理上讲,测量出两个或多个不同方位角上的 σ^0 就能够反演得出风向和风速。第一台星载风散射计是 1978 年装在 SEASAT 卫星上的,它出色地证明了这种新式测量方法的准确性(Offiler, 1984)。SEASAT-A 卫星上的散射计(SASS)采用两个波束,星体两侧各一束。ERS-1 的 AMI 散射计采用了第三个波束——中间波束,以提高对风向的识别,但此散射计是单侧仪器,故其覆盖范围较小。图 2 表示 ERS-1 上散射计的几何关系。

三个天线中的每一个都发射一雷达能量波束,波束在水平方向很窄,而在垂直方向很宽,其结果使窄波束在宽度为 500 km 的海面

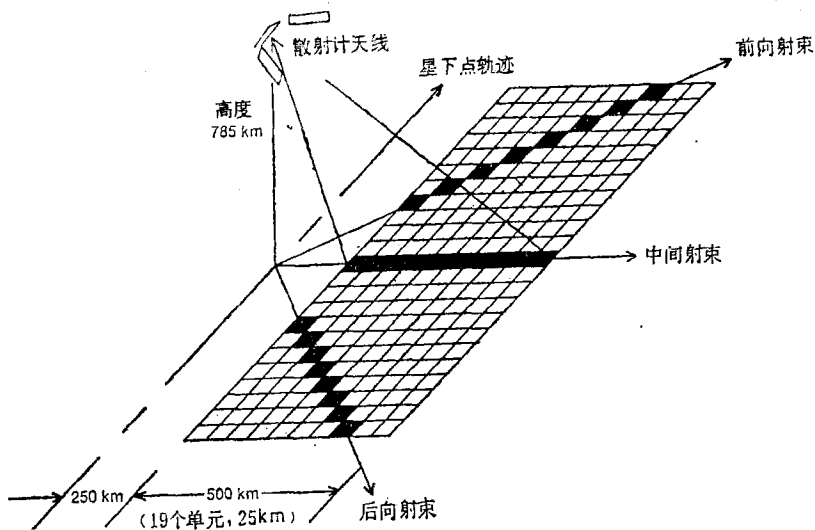


图2 ERS-1风散射计的几何关系。为清楚起见，500 km宽的仪器覆盖区用了10个不重叠的（取样）单元表示。实际使用时，覆盖区宽度内有19个单元，每个单元面积为50 km × 50 km，位于25 km的网格点上

覆盖区内照射一个窄带。当卫星向前方运动时，继前向波束之后，中间波束和后向波束也同样对海洋上的同一部位进行测量。所以，在覆盖区内被分成50 km²的每一个小区上都将有三个 σ° 的测量值，它们是从相对于该地点海面风矢量的不同方向测得的。

图3表示散射计在北大西洋上24小时的预定覆盖区。这些覆盖区不是静止的，而是向西运动的，这样才能在随后几天内使大的空白区得到填补。即使如此，整个覆盖区域仍将是是不完整的，这是因为同NOAA卫星上改进的甚高分辨率辐射计（AVHRR）的图象等相比，散射计的覆盖区宽度相对较小。然而，有可能获得覆盖区域内每50 km的风资料，ESA被责成在观测时间的三小时内把这些资料传送给业务用户。仪器的原始数据记录在卫星上，再将每条轨道的资料回传给ESA地面站。基本站位于瑞典北部的Kiruna，在那里推导出风矢量。

4. 风矢量的反演

正如前述，AMI散射计大体上测量的是某一地点不同方位角上的后向散射的大小。

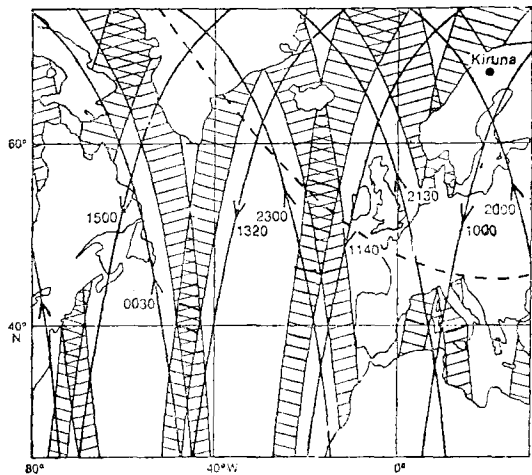


图3 一天内，ERS-1的星下轨迹（带箭头的黑线，时间是近似值），以及风散射计在北大西洋区域的覆盖范围（画阴影线的区域）。大的空隙部分在随后几天被部分填补上，通常这一周期时间为3天。虚线表示Kiruna地面接收站的接收范围

因为我们已知几何关系，如距离和入射角，所以利用模型函数（方程1）就应该有可能提取出所需要的两种信息——风向和风速，提取过程中，要使用适当的联立方程。但是在实践中这样做是行不通的，因为 σ° 的三个值存在一定的测量误差，函数本身是高度非线性的。实际上，这一模型开始是根据飞机数据

得出的,可能并不适用于所有环境。

风向和风速必须采用数值反演的方法获得,通常是把 σ° 的测量值同模型函数计算出的 σ° 值进行比较,从一个风向风速的初始估值开始,然后修正估值,使得 σ° 的差值减至最小。从不同的初估风向出发,数值解可能收敛于4个不同的,或者说是模糊不定的风矢量,不过通常只有两个解是明显不同的——往往相差 180° 。这些解中有一个是正确的,它最接近于真实风向,并满足 2 ms^{-1} 和 20° 均方根准确度的要求。

在不知真实风矢量的情况下,要从一组模糊不定的解中选择出正确的解(业务系统中的情况就是如此),这一过程叫做消除模糊。它只不过是对每个解给出其正确性的概率,并选出概率最高的一个解。听起来这似乎很容易,但要想始终以很高的技巧水平做到这一点(人们希望在理想情况下对所有个例选择的准确性能达到100%)却是一件相当困难的任务。第一步是要看看反演出的矢量哪一个对模型函数拟合得最好,按照概率的顺序对它们进行排列,并选出一级序列(即概率最高的解的序列)。模拟结果表明,这种方法可望达到不大于70%的技巧水平(试把它同SASS加以比较,后者仅有2个波束,只能达到25%的随机技巧水平)。

进一步的处理可以这样进行:客观地寻找一级序列表明风向具有某种一致性的覆盖区,并对最初同这种趋势表现出不一致的邻近单元选用一个不同的序列。这种做法在多数情况下可以达到90%左右的技巧得分,但在那些一开始进行概率排队时就发生错误的地区,这样做会使错误更加严重,从而导致在选择正确解时使技巧水平急剧下降。

在理想情况下,我们总希望得到某些“真实”风向的提示,如来自船舶和浮标的风资料,或者因为散射计的空间覆盖较大,更好的提示可来自数值模式的风场分析。遗憾的是,尽管几小时后有可能得到这种资料,但在需要卫星风的时刻,这些独立资料还未准备

好。我们所能有的最好资料是供验证卫星资料用的提前6或12小时的预报场,可以将预报网格上的风资料内插到散射计的每一个数据点上,选出最接近其方向的解。尽管这种做法能够得到高的技巧评分(95%以上),但它存在一个重要的缺陷:如果预报在环流特征的定位上出现100—200 km的差误(这是经常发生的),那么在预报中心和真实中心之间就会出现风向误差为 180° 的地区。这时我们将恰好选择出散射计的错误解。更糟的是,如果这些风资料被反馈给下一次分析中使用,它们将使那些也作为同化背景使用的不正确的预报错上加错。虽然在北大西洋区域可能有足够的常规地面资料防止这种情况发生,但在资料稀少的南大洋和太平洋,可能存在这种问题。

5. ERS-1 数据当前的情况和未来的应用

在业务系统限定的时间内反演出准确的风资料问题以及消除模糊问题继续是英国气象局卫星气象处为ESA进行的研究课题。作为ERS-1计划的一部分,英国正在建立一个专用的ERS-1脱机数据中心,该中心建在位于Farnborough的皇家飞机研究所,它将作为ESA和英国的一个档案和产品制作的机构,满足其各种直接需要。在这里,英国气象局也参与了算法的研制工作,用这些算法有可能制作出供不需要实时风资料的用户使用的最好的卫星风资料。

为了充分利用ERS-1的资料,ESA已发布了一个“机遇公报”(AO),要求科学家们在气象学、海洋学的业务工作中,以及基础研究中使用这一资料。英国气象局已积极响应了这一公报,并期望成为一个领先机构,在卫星发射后的开始阶段帮助ESA校准风和波浪数据,然后对资料进行验证和同化,使之在大气和波浪预报模式中应用。

校准阶段预计为发射后最初的三个月,这期间将对硬件和风的反演算法的运行情况

进行检查和校正。这一阶段过后,模型函数(方程(1)中的系数)可能需要更新。再以后,将继续进行验证过程,即对卫星导出资料的质量做出客观评判的过程,其方法是对常规的船舶、浮标资料,模式分析资料(可在资料稀少地区使用)和 ERS-1 的风与波浪资料三者进行比较。现正在英国气象局动力气候处使用 SEASAT 风资料进行的模拟同化结果表明,这种卫星资料在作为全球数据集加以充分利用时,可能具有极好的效果。

6. 结 语

ERS-1 的风和波浪资料将不是唯一的。预计到九十年代中期,还会出现美国、加拿大和日本控制的另外两三颗卫星,它们载有类

似的仪器。实际上,有关欧洲内部能否为下一代卫星 ERS-2 提供资金的问题很快将作出决定。在下一个十年,极轨平台(美国空间站计划的一部分)很可能载有相似的微波设备,作为其完全业务性有效负载的一部分。虽然严格说来 ERS-1 是非业务性的,但 ESA 希望它能在其 2—3 年的寿命期间证明有可能做业务应用。英国气象局和其他机构一道已接受了这一复杂任务,准备对这种新资料来源的利用(或其他方面)进行研究,使其在数值模式以及风暴警报和船舶航线服务工作中得到充分的开发利用。

孙 阳 译自《Meteorological Magazine》,116,1987 力 旺 校