第 21 卷 第 1 期 天 文 学 进 展 Vol.21, No.1
2003 年 3 月 PROGRESS IN ASTRONOMY Mar., 2003

InSAR 技术现状与应用

乔书波 [1] 李金岭 [2] 孙付平 [1] 边少锋 [3]

(1. 信息工程大学测绘学院 郑州 450052)
(2. 中国科学院上海天文台 上海 200030)
(3. 海军工程大学 武汉 430033)

摘 要

合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 是近期发展起来的一种新型空间对地观测技术。经相干处理，它把合成孔径雷达 (SAR) 产生的单视复数图像中的相位信息提取出来，给出目标点的三维信息。由于 SAR 具有全天候、全天时和对某些地物有一定穿透性等特点，使 InSAR 技术的潜在应用领域相当广泛，目前已经成为地学界相关研究的热点之一。介绍了 SAR 和 InSAR 的基本原理与发展概况，分析了 InSAR 测量模式的测高精度，着重讨论了 InSAR 技术的应用及其与天文地球动力学研究的相互促进关系。

关 键 词 天体测量学 — 合成孔径雷达干涉 (InSAR) — 综述 — 差分干涉 — 天文地球动力学

分 类 号 P129

1 引 言

合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 是一种主动式微波成像传感器。它与光学传感器相比有很多优点，如全天候、全天时地获取资料，并对一些地物有穿透性等特点，这使得 SAR 技术在国土测量、军事侦察、地形测绘、水文观测、环境监测、资源勘探等多种领域中获得了越来越广泛的应用。

SAR 传感器所得到的原始资料主要包含两种信息，一是地面目标区域的二维图像，二是地面目标反射回来的相位。但在普通 SAR 成像中存在一个很大的缺点，即未能利用回波相位这一非常有价值的信息。经过 SAR 成像处理后，对于地表三维目标，只能得到普通的二维 SAR 图像，即相当于目标到 SAR 的斜距和相对于航迹的位置 (或多普勒频率) 被投影到二维的 SAR 图像上，丢失了目标的高度信息。要得到目标的三维坐标，早期的做法是对 SAR 图像采用立体定位的方法，即应用空间后方交会原理。

国家自然科学基金项目 (40274001) 资助课题 国家杰出青年基金项目 (40125013) 资助课题
2002-02-27 收到 2002-07-08 收到修定稿

随着空间科学技术的发展, 一种新的空间技术 —— 合成孔径雷达干涉测量 (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) 出现了。由于该技术充分利用 SAR 传感器得到的相位信息, 很好地解决了 SAR 图像三维成像问题, 因此在近几年得到了很大发展。

InSAR 利用甚短基线 (一般为几十 ~1000 m), 由相邻航线上观测所得的同一地区两幅 SAR 影像的相位进行干涉处理来获取高程资料, 建立目标区域的数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM), 得到目标点的三维坐标 [1]。利用 InSAR 技术可以获得高精度的地形图 [2,3]、建立高精度的 DEM [4,5]。特别是以 InSAR 为基础发展起来的差分雷达干涉测量 (Differential Interferometric SAR, D-InSAR) 对于高度的变化非常敏感, 可用于精确测定许多地球物理现象, 如地面沉降 [6,7]、地表形变 [8~10]、冰川漂移 [11~13]、断层运动 [14,15]、地震形变 [16~19]、火山爆发前的隆起 [20~22]、滑坡前的形变 [23,24] 等。作为一种全新的空间对地观测技术, InSAR 与天文地球动力学研究应具有密切的内在联系。但就目前的文献来看, 这方面的工作开展得不多。为此本文探讨了 InSAR 技术在天文地球动力学研究中的应用以及它们之间的相互促进作用, 认为 InSAR 将成为天文地球动力学研究的一种新手段。

2 SAR 及 InSAR 发展概况

1972 年 4 月, 美国宇航局 (NASA) 喷气推进实验室 (JPL) 成功进行了机载 L 波段的 SAR 试验, 并于 1978 年 6 月 28 日发射了第一颗合成孔径雷达卫星 SEASAT (L 波段, HH 极化)。虽然该卫星寿命只有 105 d, 但它获得了大量高质量的资料 [25]。之后, 1981 年和 1984 年 JPL 利用航天飞机成功地发射了 SIR-A (L 波段, HH 极化) 和 SIR-B (L 波段, HH 极化, 可变视角) 卫星, 1994 年又成功发射了 SIRC/X-SAR (L、C、X 波段, 多极化, 多视角) 卫星, 主要用于环境监测和资源勘探等方面, 并为多极化、多波段 SAR 的研究提供了宝贵的资源。

20 世纪 90 年代, SAR 技术得到迅猛发展。许多国家都发射了自己的 SAR 成像卫星, 比较具有代表性的是欧洲空间局 (ESA)1991 年 7 月 17 日发射的 ERS-1 (C 波段, VV 极化) 和 1995 年 4 月 21 日发射的 ERS-2 (C 波段, VV 极化) 卫星; 日本空间局 (Japan Spatial Agency) 于 1992 年 2 月发射的 JERS-1 (L 波段, HH 极化) 卫星等。加拿大空间局 (Canadian Spatial Agency) 于 1995 年 11 月 4 日发射的 RADARSAT (C 波段, HH 极化) 卫星, 兼顾商用及科学试验, 具有标准、宽、高分辨率、扫描、延宽等 5 种波束工作模式, 11.6、17.3 和 30.0 等 3 种可选雷达带宽, 并有较强的数据处理能力。它每天可覆盖 73° N 至北极全部地区, 3 d 可覆盖加拿大全国及北欧地区, 24 d 可覆盖全球 [26]。

作为 SAR 技术的新发展, InSAR 技术于 1974 年最先用于地形制图。1974 年 Graham [27] 首次提出用干涉方法处理 SAR 图像的设想, 以证实采用干涉模式的 SAR 系统可以实现地形 (高程) 测绘。Graham 等人成功地利用机载 X 波段双天线 SAR, 通过 InSAR 技术得到了等高线图。1985 年 JPL 开始了 InSAR 技术的研究, Zebker 和 Goldstein [28] 于 1986 年在飞机上安装了相距 11.1 m 的两个 SAR 天线, 利用机载侧视雷达进行地表观测的应用研究, 并在海洋海拔测量方面获得了均方根误差为 2~10 m 的研究结果。1988 年 Goldstein 等人从机载雷达影像的观测应用转向了 SEASAT SAR 的应用, 他们利用相隔 3 d 的 SAR 资料进行干涉处理, 绘

制了地形图，这些地形图与公开发表的美国地理测绘图 (US Geological Survey maps) 符合得很好。自从 1991 年欧洲空间局成功发射 ERS-1 卫星以来，许多学者都利用 ERS-1 SAR 重复轨道资料对 SAR 干涉测量的局限性和应用进行了试验研究 [29]。特别是 1995 年 4 月 ERS-2 卫星发射后，由于 ERS-1 和 ERS-2 卫星轨道距离很近，它们的 SAR 资料具有相隔仅 1 d 的优点，使星载干涉测量得到了更广泛的应用 [30,31]。

3　SAR 卫星的成像与处理

SAR 技术是在真实孔径雷达的基础上发展而来的。后者也称为真实孔径侧视机载雷达 (SLAR)，它是通过雷达天线向一侧发射电磁波脉冲，回波按地物至天线的距离被先后散射到天线，并被依次记录到光敏胶片上，经光学处理最终形成一幅条带状雷达图像。由于 SLAR 受到天线孔径大小的限制，所以其分辨率很难提高。而 SAR 是通过安装在运动平台上的雷达不断发射脉冲信号，并接收地物回波信号，利用雷达和地物之间的相对运动所产生的多普勒效应，通过资料的存储和移相相加，再将信号相干处理。这种技术即所谓的合成孔径雷达技术，它的效果与一个很大孔径的天线一样。它依靠不太长的天线，利用多普勒效应，使 SAR 每个发射脉冲位置上的相位历程都不受雷达的孔径大小限制，从而大大提高了雷达在飞行方向上的分辨率。分辨率是 SAR 的重要参数，含距离向和方位向两个指标。距离向分辨率是指在雷达脉冲发射方向上所能分辨的最小距离。它与脉冲宽度有关，主要通过脉冲压缩技术来提高；方位向分辨率是指相邻两束脉冲之间所能分辨的地物最小距离。它与波长 λ、斜距 R 及天线孔径 d 有关，主要靠回波信号的多普勒频移和合成孔径技术来提高。

由于星载 SAR 相对于地面运动，因此自地面反射的回波有多普勒频移。频移量的大小取决于雷达相对于成像区矢径方向上的相对速度的大小。在 SAR 成像时，像素点的空间定位是根据雷达在目标上的回波延迟以及回波的多普勒特性来确定的，像点的位置必定在等距离曲面与一个等多普勒曲面之交线上 (5.1 节中有介绍)。若预先知道像点所在的约束平面，如地面，则像点的空间位置就能确定下来 [1]。SAR 成像处理是一个将雷达天线接收到的地面后向

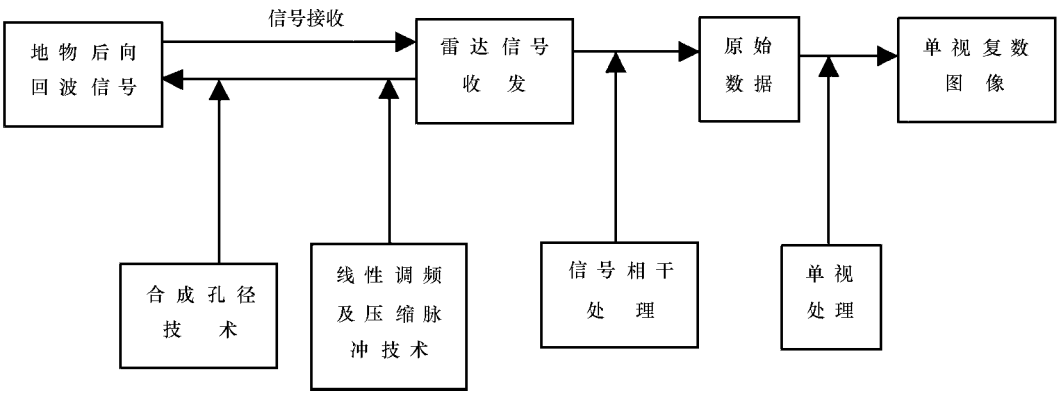

图 1　SAR 卫星成像及处理流程图

散射信号转变成可见图像的过程。实际上， SAR 得到的原始资料并不是真实的地物影像，而是一组包含有强度、相位、极化、时间延迟和频移等信息的资料，称为原始信号数据。从原始信号数据到图像产品，还要经过复杂的处理。 SAR 成像处理最初是利用光学方法实现的，随着计算机和数字处理技术的发展，成像处理逐渐由数字处理器来代替光学处理器，使处理结果更加精确，并在输出图像的坐标转换方面也有明显优势。常用的 SAR 成像处理方法有距离 - 多普勒 (RD) 算法 [32] 、波数域算法及 Chirp Scaling (CS) 算法 [33] 等。 经过 SAR 成像处理后，得到的是包含有振幅和相位信息的单视复数图像 (Single Look Complex Image , SLC-image) ，其各分辨元的影像信息记录了地表后向反射的能量 (称为灰度) ，据此经后处理即可得到观测区域地物的二维影像图。图 1 展示了 SAR 卫星成像与处理的流程。

4 InSAR 技术

InSAR 即 SAR 的干涉测量模式，它将同一观测区域具有一定视角差和相关性的两幅 SAR 单视复数图像，经干涉处理后检测出它们的相位差，再按照一定几何关系进行变换，进而获得观测区域的地形高度。InSAR 测量模式主要有两种，一种是在同一飞行平台 (一般为航天飞机) 上装有高低略差的两部 SAR 天线，一个既发射又接收，而另一个只接收，这种模式称为双天线单航过 (Single Pass) 模式，即所谓机载 InSAR 模式；另一种是在飞行平台 (SAR 卫星) 上只安装一个既发射又接收的 SAR 天线，对同一目标进行两次略有差别的路线飞行，取得对该目标的相位差，这种模式称为双航过 (Two Pass) 模式，即星载 InSAR 模式。下面以星载 InSAR 模式为例，简要介绍 InSAR 技术的基本原理、精度分析及数据处理。

4.1 基本原理

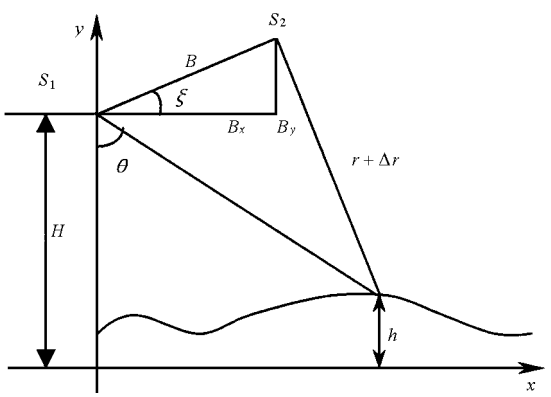

图 2 InSAR 测高原理

如图 2 所示，假设卫星以一定的时间间隔和轨道偏离 (通常为几十 ~1000 m) 重复对某一区域成像，并在两次飞行过程中处于不同的空间位置 S_1 和 S_2 ，则其间存在空间干涉基线向量 $\boldsymbol{B}$ ，其长度为 B ，称为基线长度；基线向量 $\boldsymbol{B}$ 与水平方向的夹角 ξ ，称为基线倾角； S_1 和 S_2 至地面点 P 的斜距分别为 r 和 $r+\Delta r$ ； H 为 S_1 到参考面的高度； B_x 、 B_y 分别为基线的水平分量和垂直分量。

从 S_1 发射波长为 λ 的信号经目标点 P 反射再被 S_1 接收，得到测量相位 φ_1 。地物后向反射会引起相位偏移，设为 φ_0 ，则有

$$\varphi_1 = \frac{4\pi r}{\lambda} + \varphi_0 . \tag{1}$$

同理，对另一轨道上的 S_2 卫星，可得测量相位 φ_2 为

$$\varphi_2 = \frac{4\pi}{\lambda}(r + \Delta r) + \varphi_0 . \tag{2}$$

两次飞行过程中，由于 $r \gg \Delta r$ ， $r \gg B$ ，利用余弦定理， Δr 可近似为

$$\Delta r = B_x \sin\theta - B_y \cos\theta. \tag{3}$$

于是可得 S_1 、S_2 关于目标 P 点的相位差为

$$\phi_{12} = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \Delta r = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot (B_x \sin\theta - B_y \cos\theta), \tag{4}$$

通常称 ϕ_{12} 为干涉相位 (Interferometric Phase) 或绝对相位差，可通过 SAR 图像的干涉得到。

对 S_1 和 S_2 接收到的回波信号进行 SAR 图像处理，就可以得到两个单视复数图像信号 C_1 和 C_2 。把两者进行配准并作干涉处理，可形成干涉相位图 (Interferogram) ϕ_{G} 。干涉处理是把 C_1 和 C_2 进行复数共轭相乘运算，形成亮暗条纹相间的干涉图像，从而解出 ϕ_{12} 。

由图 2 几何关系可得

$$\sin(\theta - \xi) = \frac{[(r + \Delta r)^2 - r^2 - B^2]}{4rB}, \tag{5}$$

$$h = H - r\cos\theta. \tag{6}$$

此即为 InSAR 技术确定地物高程的原理性公式， θ 由 (5) 式求得， λ 、B 、ξ 和 r 视为已知。

4.2　影响 InSAR 测高精度的因素

由上文可知，图 2 中目标点的高程 h 是 r 、 B 、 ξ 、 H 、 ϕ_{12} 的函数，设各参量独立，则通过 (6) 式可得高程测量精度与各参数精度的关系如下：

$$\sigma_h^2 = \left(\frac{\partial h}{\partial r}\right)^2 \sigma_r^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial B}\right)^2 \sigma_B^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \xi}\right)^2 \sigma_\xi^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial H}\right)^2 \sigma_H^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \phi_{12}}\right)^2 \sigma_{\phi_{12}}^2, \tag{7}$$

式中 σ_h^2 、 σ_r^2 、 σ_B^2 、 σ_ξ^2 、 σ_H^2 和 $\sigma_{\phi_{12}}^2$ 分别为 h 、 r 、 B 、 ξ 、 H 和 ϕ_{12} 的估计精度，即

$$\sigma_h^r = \frac{\partial h}{\partial r}\sigma_r = \cos\theta \cdot \sigma_r, \tag{8}$$

$$\sigma_h^B = \frac{\partial h}{\partial B}\sigma_B = r\sin\theta \cdot \frac{\partial \theta}{\partial B} \approx \frac{r}{B}\sin\theta\tan(\theta - \xi) \cdot \sigma_B, \tag{9}$$

$$\sigma_h^\xi = \frac{\partial h}{\partial \xi}\sigma_\xi = r\sin\theta \cdot \sigma_\xi, \tag{10}$$

$$\sigma_h^H = \frac{\partial h}{\partial H}\sigma_H = \sigma_H, \tag{11}$$

$$\sigma_h^{\phi_{12}} = \frac{\partial h}{\partial \phi_{12}}\sigma_{\phi_{12}} = \frac{\lambda r}{4\pi B} \cdot \frac{\sin\theta}{\cos(\theta - \xi)}\sigma_{\phi_{12}}. \tag{12}$$

(8) 式给出了斜距测量误差对目标高度的影响， σ_r 是由 SAR 系统时钟的不确定度、资料采样时钟的抖动、大气对流层和电离层延迟等引起的误差； (9) 式和 (10) 式给出了干涉基线的长度

和位置误差对目标高程的影响，主要表现为系统误差，可以通过设定地面标志点的方法来提高基线的估计精度。标志点是一些已知位置和高度的强反射点。用标志点的位置和高度，通过 (6) 式可反解出基线； (11) 式给出了 SAR 天线距地球表面距离的误差 (即轨道高度误差) 对目标高程的影响，属于系统误差。 SAR 卫星的轨道高度误差将造成同样大小的测高误差。通过改进轨道参数、应用差分干涉技术及设置地面标志点等方法可减小轨道误差对目标测高精度的影响； (12) 式为相位误差对目标高程精度的影响，主要来源于系统噪声、斑点噪声、图像失配、时间相关损失和空间相关损失等因素。可通过提高相位解算精度 (相位解缠精度) 及去除噪声等方法来减弱其影响。

4.3 数据处理

InSAR 数据处理主要是对 SAR 成像进行干涉处理，包括相位估计、基线确定和地面高度确定等，具体为：

(1) 图像配准：由于星载 InSAR 中的两幅图像不是同步得到的，它们之间的像素点不对应，因此需要进行图元配准，以使两幅图像具备干涉的条件。一般通过曲线插值和拟合的方法来实现；

(2) 干涉图像形成：把两幅图像进行共轭相乘产生干涉复数图像，即干涉相位图，其中包含目标点的高度信息。为了降低斑点噪声，单视复数图像还要经过“多视平均”处理来得到多视复数图像，但这会降低空间分辨率；

(3) 平地相位去除： InSAR 干涉图中的相位由两部分组成，一是地形的相对高度变化，二是平地随距离向位置的不同所引起的变化，即平地在干涉条纹图中所表现出来的距离向和方位向的周期变化。为了简化相位展开处理，在相位解缠前先要把平地效应去掉，这个过程称为平地相位去除；

(4) 相位解缠： 由于干涉相位图的条纹是由相位差形成的，它与地面位置直接相关的相位以 2π 为模，即只能测量出不足一个周期内的相位差，包含了 $2n\pi$ 的模糊度。因此为了计算目标点的高程，必须解出相位模糊度，给相位测量值加上 $2n\pi$ 的相位周期。这种求解 2π 模糊性

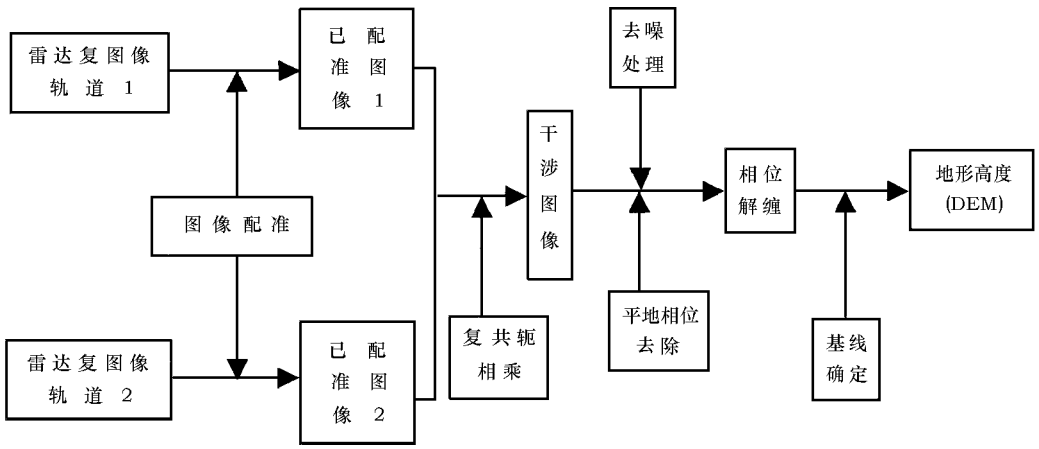

图 3 InSAR 数据处理流程图

问题的技术称为相位解缠，它类似于 GPS 相位测量中的整周模糊度问题，是一项重要而有难度的工作。InSAR 相位解缠方法主要有分支切片法、条纹检测法、Kalman 滤波法和最小二乘法等 [34~37]；

(5) 基线确定：传统的基线确定方法是利用两幅 SAR 图像之间的成像处理来补偿由卫星轨道参数计算得到的基线。这种方法简单，但精度差。现在采用地面标志点方法可以得到精确的基线估计；

(6) 数字高程模型 (DEM) 的建立：得到相位和基线参数之后就可利用 (6) 式计算出地形高度，从而建立 DEM 。

InSAR 数据处理流程如图 3 所示。

4.4　差分式 InSAR (Differential-InSAR, D-InSAR)

D-InSAR 是对两幅以上干涉图或对一幅干涉图加一幅地面数字高程模型 (DEM) 图进行再处理的一种技术，它可以有效地去掉地形、轨道基线距离等因素对相位的影响，使所要探测的信号更加清晰，精度更高。D-InSAR 技术主要用于监测地表形变，它为快速、高精度监测大范围的地面形变 (与地震、火山活动等有关) 提供了新的途径，将成为对地观测技术中最具竞争力的手段之一。

5　InSAR 与天文地球动力学研究

如前所述，目前 InSAR 测量主要有两种模式，即机载双天线单航过模式和星载单天线双航过模式。由于系统设计上的差别，导致了这两种模式的定位方法及各参数的约束关系都不尽相同。对于机载模式，两天线的位置构成观测基线，两天线同时观测目标，属于同步观测；对于星载模式，由于其用于干涉处理的多幅复数图像是 SAR 卫星在不同时刻不同轨道对地观测得到的，因而为异步观测。相对而言，星载 InSAR 测量模式较为复杂。两种测量模式的测量结果精度都直接与构成干涉基线的姿态 (基线长度 B 和基线倾角 ξ) 有关。此外，对于星载 InSAR 模式，由于属于非同步测量，它的测量精度还与地球自转速率变化和极移有关。本节主要就星载模式 InSAR 讨论其与天文地球动力学研究的关系。

5.1　SAR 卫星动力学定位方程及其误差分析

地心参考系的定义如图 4 所示。原点为地球中心；Z 轴是地球瞬时自转轴方向，正方向指向北极；X 轴指向春分点方向；Y 轴与 Z 轴、X 轴满足右手法则。则 XOY 平面就是地球的赤道平面。假设星载 SAR 以速度 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{s}}$ 运行，那么在地球参考系中可得到如下方程：

(1) 斜距关系方程

星载 SAR 至地面目标的斜距 $\boldsymbol{R}$ 为

$$\boldsymbol{R} = |\boldsymbol{R}_{\mathrm{t}} - \boldsymbol{R}_{\mathrm{S}}| = \frac{c\tau}{2}, \tag{13}$$

其中 c 为光速，τ 为 SAR 从发射脉冲至接收到回波信号的时间廷迟，$\boldsymbol{R}_{\mathrm{s}}$ 和 $\boldsymbol{R}_{\mathrm{t}}$ 分别是卫星和目标的位置矢量。

(2) 多普勒频率方程

由于星载 SAR 相对于地面运动，因此自地面的回波有多普勒频移。频移量 $f_{\rm d}$ 的大小取决于卫星相对于成像区域在矢径方向上的相对速度的大小。可表示为

$$f_{\rm d}=\frac{2(\boldsymbol{v}_{\rm s}-\boldsymbol{v}_{\rm t})}{\lambda}\cdot\sin\theta. \tag{14}$$

相应的多普勒频率中心 $f_{\rm D}$ 可表示为

$$f_{\rm D}=\frac{2}{\lambda R}(\boldsymbol{v}_{\rm s}-\boldsymbol{v}_{\rm t})(\boldsymbol{R}_{\rm s}-\boldsymbol{R}_{\rm t}), \tag{15}$$

式中，$\boldsymbol{v}_{\rm t}$ 是目标的速度矢量，且有 $\boldsymbol{v}_{\rm t}=\omega_{\rm e}\cdot\boldsymbol{R}_{\rm t}$，$\omega_{\rm e}$ 是地球自转的角速率；λ 是雷达信号波长；$f_{\rm D}$ 用于多普勒频移的参考，由成像处理中所使用的参考函数来决定；$f_{\rm d}$ 是多普勒频移量的大小；θ 角是目标偏离波束中心的角度，即相当于其与多普勒中心频率位置之间的角距，在图中没有标出。方程 (15) 在地球参考架中可表示为等多普勒曲线，它实际上是多普勒中心频率方程与地球模型方程的交线。

(3) 地球模型方程

采用 IUGG1975 推荐的椭球模型

$$\frac{X_{\rm t}^2+Y_{\rm t}^2}{a^2}+\frac{Z_{\rm t}^2}{[a\cdot(1-\alpha)]^2}=1, \tag{16}$$

式中，a 和 α 分别为椭球的长半径和扁率，这里取 $a=6378140.0\,{\rm m}$，$\alpha=1:298.257$ (IUGG1975 推荐的椭球参数)；$X_{\rm t}$、$Y_{\rm t}$、$Z_{\rm t}$ 为目标点的坐标。综合 (13) 至 (16) 式可得目标点在地球参考架中的点位坐标，即图 4 中等多普勒线与目标斜距方程式 (14) 的交点。

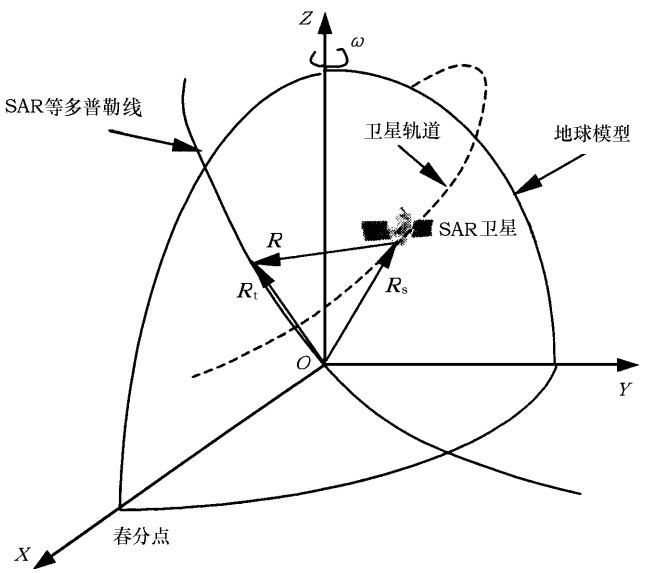

图 4　星载 SAR 在地球参考架中的定位原理图

由 (13) 至 (16) 式可知，目标位置坐标 ($X_{\rm t}$ ， $Y_{\rm t}$ ， $Z_{\rm t}$) 的定位精度取决于卫星位置和速度向量的误差、回波延迟误差等。具体包括 [38] ①卫星星历误差；②回波时延误差；③目标高度误差；④多普勒中心频率误差；⑤时钟误差。

5.2　星载 InSAR 与基线姿态的关系

基线长度及基线倾角是决定目标定位精度的关键因素。(9) 式给出了基线长度误差对测高精度的影响，(10) 式给出了基线倾角误差对测高精度的影响。一方面基线越长，由相位误差和基线误差所引起的测高误差就越小；另一方面基线越长，两次观测得到的信号之间的相关性就越弱。因此存在最优基线选择问题。

引入空间基线失相关效应 $\rho_{\rm sb}$ 的表达式 [39]

$$\rho_{\rm sb} = 1 - (2\cos\theta \cdot |\Delta\theta| \cdot \delta_y)/\lambda. \tag{17}$$

该式表明了基线两端天线的相关性，其中 $\theta = \dfrac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ 为两天线的平均视角； $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ 为两天线视角差； δ_y 为 SAR 卫星的距离向分辨率。

令 $\rho_{\rm sb} = 0$ ，由 (17) 式经推导可得临界基线值 $B_{\text{临界}}$ 为

$$B_{\text{临界}} = \frac{H \cdot R \cdot \tan(\theta - \xi)}{f_0 \cos\theta}. \tag{18}$$

即当基线长度大于临界值时，两幅 SAR 图像不再相关，不能进行干涉处理。式中 H 为卫星轨道高度， R 为微波频带宽度， f_0 为 SAR 工作中心频率， ξ 为基线倾角。上式表明了用于干涉的 SAR 卫星所构成的基线长度与基线倾角之间的约束关系。因此，为了提高测量精度，在干涉测量中，尽量选取基线姿态 (基线长度 B 和基线倾角 ξ) 能较好地符合它们的约束关系的 SAR 图像进行干涉处理。由 (9) 式可知， InSAR 测高误差与基线长度 B 成反比，为此应尽量选择间距大的基线。但由 (18) 式可以看出，当基线间距达到临界值时， SAR 的两天线相关性为 0 ，即两信号不再相关。因此，在实际选择中通常要求高信噪比 ($\geq$10 dB) ，一般取临界基线值为 0.2 至 0.8 [40] ，这就是最优基线选择的约束条件。同时， (18) 式还表明了轨道高度与基线姿态间的关系，轨道越高则基线临界值越大，测量精度也越高，但是目标的距离向分辨率就越低。

5.3　地球自转等因素对测量的影响

星载 InSAR 对某一区域进行干涉测量时，由于两幅图像并不是同时获得的，一方面卫星在运行中会受其自身的姿态变化以及轨道偏差等影响；另一方面，地面上的目标点会受地球自转、极移等影响，其中地球自转和极移的影响最大。这些影响造成了星载 SAR 获得的两幅同一区域的图像位于地心参考系的不同位置，即卫星轨道和目标点均有相对位置的变化，从而使 SAR 卫星与目标之间相对距离的变化规律表达式 $R(t)$ 也变得非常复杂。这种相对距离的变化与多普勒中心频率 $f_{\rm D}$ 及多普勒调频斜率 $f_{\rm R}$ 有一定的关系。在星载 SAR 中，通常采用二次距离逼近模型来近似表达式 $R(t)$ 的变化规律，即

$$R(t) = R + \frac{\lambda}{2}\left(f_{\rm D} \cdot t + \frac{1}{2} f_{\rm R} \cdot t^2\right), \tag{19}$$

其中 R 为 $t=0$ 时卫星至目标点的斜距； f_{D} 为多普勒中心频率； f_{R} 为多普勒调频斜率。上述斜距模型中一次项引起多普勒频移，二次项体现了回波信号的线性调频特性，三次项较小可忽略。为了减弱卫星和目标之间距离的相对变化，一般根据斜距模型 ((19) 式) 计算出斜距改正数，用于 SAR 图像干涉处理。

(19) 式中的多普勒中心频率可按 (15) 式计算，也可写成如下形式：

$$f_{\mathrm{D}}=-\frac{2\boldsymbol{v}}{\lambda}\cdot\cos\varphi. \tag{20}$$

多普勒调频斜率的表达式为

$$f_{\mathrm{R}}=\frac{2\boldsymbol{v}^2}{\lambda R}\cdot\sin^2\varphi. \tag{21}$$

上两式中， φ 为等效斜视角，即卫星至目标斜距的倾角； $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_{\mathrm{s}}-\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$ ，即卫星相对于目标的相对速度； $\boldsymbol{v}_{\mathrm{s}}$ 是卫星速度矢量，可由卫星定轨确定； $\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$ 是目标随地球旋转的速度矢量，有 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}=\omega_{\mathrm{e}}\cdot\boldsymbol{R}_{\mathrm{t}}$ ， ω_{e} 是地球自转的角速率。由此可见，地球自转参数的精度会直接影响 InSAR 成像处理的多普勒中心频率和多普勒调频斜率，进而影响干涉结果的精度。因些，高精度的地球自转参数有助于提高 InSAR 测量精度。

5.4 D-InSAR 在地表形变监测中的应用

许多试验结果表明：利用雷达波的相位对反射物体的敏感性，采用差分雷达干涉技术可以探测到地面物体小于 1 cm 量级的位移变化。这项技术主要应用于地面大面积的微弱变形测量等领域。下面介绍 D-InSAR 技术在地表形变监测中的应用。

(1) 地震监测方面的应用

1991 年欧洲空间局发射的 ERS-1 卫星在运行过程中，意外地获取了 1992 年 6 月 28 日美国加州兰德斯 7.3 级地震，以及在该震后 3 h 离兰德斯 (Landers) 约 50 km 的大贝尔 (Big Bear) 发生的 6.2 级地震 (余震) 的全过程的雷达图像，这引起了国际地学界的极大关注。利用 ERS-1 在 1992 年 4 月、7 月和 8 月对该地区进行的 3 次成像数据， Zebker 等人 [41] 对 Landers 地震做了差分干涉测量研究。他们用 4 月和 8 月的数据以及 7 月和 8 月的数据分别获得了两幅干涉图。第一幅干涉图跨越 6 月底的地震，因此包含着地震位移信息，把它减去第二幅干涉图可以消除地形的影响，由此得到的第三幅干涉图就反映了地震前后的形变情况。经相位解缠，Zebker 等人在 113 km×90 km 的区域内每 30 m 的分辨元里以 cm 级的精度得到了地震引起的雷达视线方向上的运动。 Zebker 等人把干涉测量结果与从 GPS 数据和测地网数据得到的结果进行比较，其相关性达 0.96 。法国 Massonnet 等人 [42,43] 将由 ERS-1 所得的地震前后的 SAR 影像与美国地调局所建立的数字高程模型相结合，得出了这次地震前后的 SAR 干涉图像。该图像与用测量方法得到的位移以及用弹性位错模型得到的结果相一致。 Hernandez 等人 [44,45] 利用 InSAR 的结果，得出了 Landers 地震区的长期相对位移，并通过强地面运动反演估算了同震滑动分布与静态位移场，分析结果表明静态位移场与 InSAR 结果有很好的一致性。由残余位移干涉图得出一年期间震前和震后滑动的总体有限值，并认为其数量级为几个分米。

Murakami 等人 [46] 于 1994 年利用日本 JERS-1 卫星在 1993 年 4 月 30 日和 1994 年 6 月 14 日获取的合成孔径雷达干涉图像，绘制了 1994 年 1 月 17 日加利福尼亚州北岭 6.7 级地震

的同震地壳形变图。该图覆盖了北岭地震区，其干涉条纹描绘了发生在该区的同震位移。此次 InSAR 结果与 GPS 测量结果相差不到 3.5 cm 。

(2) 地面沉降监测方面的应用

造成地面沉降的原因很多，有地质构造、板块运动和人为因素如地下水抽取、固体矿物、石油及天然气的开采等。由于地面年沉降率可达到 cm 级，所以较适合用 D-InSAR 来处理，以取代精密水准测量，节省费用，提高效率。 Gabriel 等人[47] 是最早开始研究利用 D-InSAR 方法确定地面沉降监测的学者。他们利用 D-InSAR 技术，使用 SEASAR 的 SAR 数据，对加利福尼亚州南部最大的峡谷地区进行了大区域的微小高程变化研究。他们在 50 km 长的峡谷，以 10 m 的分辨率得到了地面沉降的精度为 1 cm 。 Marco 等人利用 SAR 干涉资料对美国 Belridge 油田 1992~1996 年的地面沉降进行了详细研究。目前利用 D-InSAR 技术进行地面沉降监测的精度已经达到 mm 级。

(3) 火山运动监测方面的应用

火山爆发由地表以下不同层次的岩浆压力及其剧烈运动所造成，是最严重的自然灾害之一。使用常规方法监测其运动、变化和发展是相当困难的，而若应用 D-InSAR 技术则会变得简单些。机载 TOPSAR 系统 (使用 C 波段， NASA DC-8 飞机) 最先用于几个火山，如意大利维苏威火山 (Vesuvius) 的成像，然后主要将这些 SAR 图像用于 DEM 的建立，以此分析火山坡度分布、岩溶厚度和宽度，并提出灾害预防措施。 Massonnet 等人[48] 使用 ERS-1 SAR 数据揭示了意大利 Sicily 的 Etna 火山运动所引起的地表形变信号。 1997 年， Briole 等人[49] 也选取 Etna 火山作为研究对象，使用 ERS-1 从 1992 年 5 月到 1993 年 10 月获取的 SAR 图像序列考查了 1986~1987 年、 1989 年 Etna 火山多次爆发后所造成的地表变形 (主要是下沉) 。

类似地，D-InSAR 技术还可以用于冰川漂移监测、滑坡监测等方面的研究。目前，D-InSAR 已表现出良好的技术优势。随着干涉雷达系统和相应数据处理技术的发展和完善， D-InSAR 技术的应用领域将会继续扩展。

5.5　地球参考架的建立

国际协议地球参考架 (ITRF) 是由国际地球自转服务 (IERS) 综合多种空间技术建立的。这些空间技术包括甚长基线干涉测量 (VLBI) 、卫星激光测距 (SLR) 、激光测月 (LLR) 、全球定位系统 (GPS) 和多普勒定轨与无线电定位系统 (DORIS) 等。由于测量精度的不断提高，这些技术为地球参考架的建立和维护做出了巨大的贡献。现今，最新的地球参考架是由 IERS 发布的 ITRF2000[50] ，它不管从台站数量还是在精度方面都比以往的参考架 (如 ITRF94 、ITRF96 和 ITRF97 等) 优秀得多。 D-InSAR 技术在地表形变监测中的精度已达 cm 甚至 mm 级[51] ，使 InSAR 技术具有极大发展空间和应用潜力。相对于其它空间技术， InSAR 在测量方面有它自身的优势，比如能够进行全球测绘、能够精确测定大面积面状的区域性地表形变等。

要建立和维护高精度的地球参考架，就必须考虑地壳形变等因素对参考架的影响。地壳形变可用高精度的空间大地测量技术 (VLBI 、 SLR 、 LLR 、 GPS 和 DORIS 等) 来测定，但对台站位置的选择有很严格的约束。要求台站分布尽可能均匀，且位于板块稳定区域内。但要真正做到这点却是相当困难的，原因在于地球表面有很多区域根本无法设立测量台站。测站的不均匀，造成各板块之间的相对运动测量精度不统一，这对于建立全球性的参考架来说是一个很不利的因素。 GPS 、 VLBI 和 SLR 等空间大地测量技术虽然能够以每年几个毫米的精度确

定地壳形变，但是它们只能精确给出离散台站位置变化情况的点状形变监测结果。要得到区域性地壳形变，则是根据板块构造理论，利用某种板块运动模型近似用点的变化来拟合块体的形变。对于地壳形变复杂的地区，限于布站的不均匀很难给出地壳形变的精细描述。与此不同，InSAR 测量是对地面目标呈带状区域进行监测，特别是 InSAR 技术能够以 mm 级精度确定地表位移量，进而给出面状形变监测结果。 InSAR 提供的面状地表形变监测结果与 GPS 等技术提供的点状地表形变监测结果相结合，可以大大提高地壳形变的分辨率，从而为 ITRF 的维护和地震预报服务。对于这方面的研究，国外已有不少的成功经验 [52,53] 。另外，星载 InSAR 具有全球测绘能力，可以对其它空间技术无法观测或尚缺少观测的区域进行测量，由此综合各种技术的测量结果并进行统一处理，可望建立更高精度的 ITRF 。有关这方面的工作还在进一步研究之中。

此外， InSAR 技术进行大面积带状测绘时，可能会造成不同观测带之间缺乏约束，然而现有多种空间对地技术观测得到的单点高精度测量结果正好可以作为控制点把 InSAR 不同测量带之间连接起来。

综上所述， InSAR 技术与其它空间技术有一定的相互促进作用。把 VLBI 、 SLR 、 GPS 等空间技术测得的离散台站点的单点坐标及速度与 InSAR 技术监测所得的连续的面状区域地壳形变结果结合起来，对 ITRF 的维护及精度的提高是非常有意义的。

6 相关研究现状与展望

目前国际上有许多著名机构都在积极推进 InSAR 技术的发展，如美国 NASA 的 JPL ，以 Zebker 等人为代表，主要研究机载和星载 InSAR ；加拿大的 CCRS (Canada Center for Remote Sensing) ，几年前致力于机载雷达系统方面的研究，近几年继成功发射 REDARSAT 卫星之后，开始星载 SAR 系统的研究。此外加拿大的 ASI (Atlantis Scientific Inc.) 最近研制的 InSAR Workstation 软件，引起了同行的广泛重视；德国的 Hartl 小组和意大利的 Prati 研究组等也在积极推进 InSAR 技术的研究 [54] 。

近来许多国家又先后研发了新一代的 SAR 卫星，使星载 SAR 技术又迈上了一个新台阶。比较具有代表性的有 (1) LightSAR (Light Synthetic Aperture Radar) 卫星，由美国 NASA 研制，于 2002 年 7 月 1 日发射升空。反复论证 ERS-1/2 SAR 、 JERS-1 SAR 、 SIR-C/X-SAR 及 RADARSAT 卫星在各应用领域中的具体情况后，该系统把 L 波段用于重复轨道干涉测量和获取目标表面特征 (可能另外加上 X- 或 C- 波段 SAR) 。采用 HH 、 HV 、 VH 和 VV 等 4 种极化方式，有多种工作模式，分辨率从 3~100 m ，入射角为 20°~53° ； (2) ENVISAT-ASAR 卫星，由欧洲空间局研制，于 2001 年 6 月发射。它工作在 C 波段，继承了 ERS-1/2 AMI 中的成像模式和波模式的优点，并在覆盖率、入射角范围、极化和工作模式选择上增加了新功能。在交替极化模式 (Alternating polarization mode) 情况下，发射和接收的极化方式可以任意选择，使两种极化能够同时成像。入射角在 15°~45° ，有不同的空间分辨率，将主要用于海洋监测、地球环境监测及气候变化对地球环境的影响等研究； (3) RADARSAT-2 卫星，由加拿大空间局研制，计划于 2003 年 4 月发射。它继承了 RADARSAT-1 的优点，具有 12 种波束模式，尤

其具有全极化功能；(4) PALSAR 卫星，由日本宇宙开发事业团 (NASDA) 和资源观测系统组织 (JAROS) 联合研制，计划于 2002 年发射。它工作在 L 波段，频率是 1.27 GHz，为 JERS-1 SAR 的后续成像雷达传感器。使用相控阵天线，具有波束可调功能，可获得 8°~60° 入射角的资料。极化模式下，采用 HH、HV、VH 和 VV 等 4 种极化方式，并具有重复轨道干涉测量功能。

纵观国外空间 SAR 技术的发展过程，可以看出，SAR 从开始的单波段、单极化、固定入射角、单模式已逐步转向多波段、多极化、多视角、多模式方向。其干涉技术的优势也越来越明显，应用范围也在不断扩大。多波段、多极化、多视角、多模式以及干涉测量技术将是雷达卫星及其应用在未来的发展趋势。

随着 InSAR 技术的快速发展，很多国家开发了优秀的 InSAR 处理软件，比较有代表性的有瑞典 GAMMA 软件公司 GAMMA 软件包中的干涉雷达处理模块 ISP 和差分干涉雷达处理模块 DIFF；美国 ERDAS 公司 Imagine 软件包中的干涉雷达数字高程模型模块 IFSARDEM；加拿大 EarthView 公司的干涉雷达处理工作站模块 InSAR Workstation；欧洲空间局提供的雷达数据处理工具包 RADAR Toolbox；美国 Alaska 大学的 STEP 软件包中的干涉雷达处理模块 InSAR module 等。

随着国际 SAR 技术的快速发展，我国在这方面的研究也有了长足进展。中国科学院电子研究所、遥感中心等多家单位都在从事机载 SAR 及星载 SAR 的研究，并在信号处理、成像处理、数据传输等方面取得了许多重大研究成果，同时无人机载 SAR 系统、高分辨率 SAR 实时成像、小卫星 SAR 系统以及多波段、多极化 SAR 等众多新领域的研究也正在积极从事中。

1994 年 8 月 28 日，中国科学院电子研究所研制成功的机载合成孔径雷达系统通过鉴定，标志着我国机载合成孔径雷达技术迈上了数字化的新台阶。20 世纪 90 年代初该系统被列为国家“863”计划重点攻关项目，于 1994 年 4 月研制成功，并实现了 3 个实时，即机上实时数字成像处理、实时座舱显示和实时记录。该系统获得了我国第一批机载 SAR 实时产生的数字图像，其实时成像速度达 2.5×10^4 km^2/h，测绘带宽度达到 40 km，在当时机载 SAR 系统中处于世界领先水平，表明我国在该技术领域内已挤身国际先进行列。

在机载 SAR 研制成功的同时，我国已开始积极从事星载 SAR 的研究。目前该技术已经基本成熟。我国第一颗装有合成孔径雷达的卫星已于 2002 年 5 月 15 日发射升空，型号为 HY-1 或称“海洋”-1。该卫星装有平面合成孔径雷达，基于 1999 年 5 月发射的 SJ-5 实验卫星上的 CAST986 总线，其在 700 km 高的空间轨道上的分辨率为 5 m。中国第二代雷达卫星也已在研制中。另外，20 世纪 90 年代中期我国曾对 JZ-8 合成孔径雷达进行过飞行试验，该卫星工作在 L 波段上，分辨率为 3 m，用于监视自然灾害和帮助城市规划。

总之，作为 SAR 技术的新发展，InSAR 充分利用了雷达回波的相位信息，不仅可以建立高精度、大面积的 DEM，而且还可以利用其差分干涉技术监测地面 mm 量级的微小位移，其应用范围相当广泛，是一种非常具有挑战性的空间对地观测技术。就 InSAR 技术本身来讲，算法、处理软件、硬设备等各方面都已基本成熟，但精度仍需要进一步改进，比如 SAR 分辨率的提高、卫星轨道参数精度的提高、轨道的优化、数据模型精度的提高等。对于我国，应该充分注意到 InSAR 技术的优势，积极发展本国的星载 InSAR 系统和处理软件，以更好地为国民经济建设和国防建设服务。

虽然许多国家都已经提出了在航天器上安装短基线双天线 InSAR 系统的设想，并且正在积极开展这方面的研究。但这种星载双天线 InSAR 系统必须工作在高达 35 GHz 的 Ka 频段上，而且典型的星载 SAR 都要求使用相当大的天线 (达 10 m 量级)，如果要在一个航天器上使用两台这样大的天线并且具有可观的基线长度，这在空间能力和成本上都是比较困难的。所以目前星载 SAR 系统采用的仍然是同一颗 SAR 卫星在相邻轨道上的二次成像方式。由于两幅图像成像不同步，所获的图像就会受到卫星漂移、飞行姿态的变化及一定周期内地表物性变化等影响，引入较大的误差。相信随着科学技术的不断发展，星载双天线系统雷达不久将研制成功，大大提高 InSAR 的测量精度，为空间测量技术开辟一个崭新的领域。

参 考 文 献

1 魏钟铨，王贞松，陈元藻等. 合成孔径雷达卫星，北京：科学出版社， 2001: 17
2 Zebker H A, Werner C L, Rosen P A *et al.* IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1995, 33(2): 383
3 Madsen S, Zebker H A, Martin J. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1993, 31: 246
4 Hanssen R F, Weckerth H A, Zebker H A *et al.* Science, 1999, 283: 1297
5 Fornaro G, Franceschetti G, Lanari R. In: Boerner T, Mittermayer J eds. Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR'96), Berlin: VDE Verlag, 1996: 195
6 Rosen P A, Hensley S, Zebker H A *et al.* JGR, 1996, 101: 23109
7 Fialko Y, Simons M. GRL, 2001, 28(18): 3549
8 Williams C A, Wadge G. JGR, 2000, 105(B4): 8103
9 Zhong L, Charies W J, Power J A *et al.* JGR, 2000, 105(B9): 21483
10 Massonnet D, Feigl K L. Rev. Geophys., 1998, 36: 441
11 Kwok R, Fahnestock M A. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1996, 34(1): 189
12 Rignot E, Jezek K C, Sohn H G. GRL, 1995, 22: 575
13 Rignot E, Padman L, Macayeal D R. JGR, 2000, 105(C8): 19615
14 Stevens N F, Wadge G, Williams C A *et al.* JGR, 2001, 106(B6): 11293
15 Meyer B, Armijo R, Massonnet D *et al.* GRL, 1996, 23(19): 2677
16 Sandwell D T, Sichoix L, Agnew D. GRL, 2000, 27(19): 3101
17 Klinger Y, Michel R, Avouac J P. GRL, 2000, 27(22): 3651
18 Massonnet D, Feigl K L. GRL, 1995, 22(12): 1541
19 Baer G, Sandwell D, Williams S *et al.* JGR, 1999, 104(B11): 25221
20 Lanari R, Lundgren P, Sansosti E. GRL, 1998, 25(10): 1541
21 Zhong L, Mann D, Freymueller J T *et al.* JGR, 2000, 105(B5): 10791
22 Gayol V, Cornet F H. GRL, 1998, 25: 1979
23 Achache J, Fruneau B, Delacourt C. Proc. of the Second ERS Applications Workshop, London: ESA, 1995: 165
24 Fialko Y, Simons M. JGR, 2000, 105(B9): 21781
25 Campbell B A, Garvin J B. GRL, 1993, 20: 831
26 Wiley C A, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Sys., 1985, AES(21): 440
27 Granham L C. Proc. IEEE, 1974, 62: 763
28 Zebker H A, Goldstein R M. JGR, 1986, 91(B5): 4993
29 Sandwell D T, Smith W H F. JGR, 1997, 102: 10039
30 Sandwell D T, Sichoix L. JGR, 2000, 105(B12): 28211
31 Klinger Y, Michel R, Avouac J P. GRL, 2000, 27(22): 3651
32 Bamler R. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1992, 30(4): 706
33 Raney R K, Runge H, Bamler R. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1994, 32: 786
34 Pritt M. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1996, 34(3): 728

35 Kramer R, Loffled O. In: Boerner T, Mittermayer J eds. Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR'96), Berlin: VDE Verlag, 1996: 199
36 Goldstein R M, Zebker H A, Werner C L. Radio Sci., 1998, 23: 713
37 Pritt M D, Shipman J S. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1994, 32: 706
38 陈元藻. 上海航天, 1998, 3: 16
39 Zebker H A, Villasenor J. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1992, 30(5): 950
40 袁孝康. 上海航天, 1999, 5: 7
41 Zebker H A, Rosen P A, Goldstein R M *et al.* JGR, 1994, 99(B10): 19617
42 Massonnet D, Rossi M, Carmona C *et al.* Nature, 1993, 364: 138
43 Massonnet D, Rossi M, Carmona C *et al.* Nature, 1994, 369: 227
44 Hernandez B, Cotton F, Campillo M *et al.* GRL, 1997, 24(13): 1579
45 Hernandez B, Cotton F, Campillo M *et al.* JGR, 1999, 104(B8): 13083
46 Murakami M, Tobita M, Fujiwara S *et al.* JGR, 1996, 101(B4): 8605
47 Gabriel A K, Goldstein R M, Zebker H A. JGR, 1989, 94(B7): 9183
48 Massonnet D, Briole P, Arnaud A. Nature, 1995, 375: 567
49 Briole P, Massonnet D. GRL, 1997, 24: 37
50 Wolfgang R D, Bernd R eds. IERS Annual Report 2000, Germany: IERS Central Bureau, 2001: 53
51 丁晓利，陈永奇，李志林等. 紫金山天文台台刊, 2000, 19(2): 158
52 Fujiwara S, Rosen P A, Tobita M. JGR, 1998, 103(B2): 2411
53 Feigl K L, Gasperi J, Sigmundsson F. JGR, 2000, 105(B11): 25655
54 张景发，邵芸. 地震地质, 1998, 20(3): 277

Present Status and Applications of Interferometric Synthetic Aperture Radar

Qiao Shubo[1]　Li Jinling[2]　Sun Fuping[1]　Bian Shaofeng[3]

(*1. Surveying and Mapping College of Information Engineering University, Zhengzhou 450052*)

(*2. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030*)

(*3. Navy Information Engineering University, Wuhan 430033*)

Abstract

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) is a newly developed space geodetic technique, which provides the three dimensional information of targets on the Earth by interferometric processing of the Single Look Complex Images (SLC-Image) of Synthetic Aperture Radar (SAR). Because of the outstanding characteristics in all-weather and 24-hour continuous surveying, as well as the ability to penetrate into some substances on the Earth, the latent application fields of InSAR are rather broad, which becomes one of the foci in Earth science study. Hereby the principles and general status of SAR and InSAR are briefly introduced. The limitations in the precision of the height determination of targets on the Earth by InSAR are analyzed. The applications of InSAR and the mutual relation for promotion between InSAR and astro-geodymanics study are highlighted discussed.

Key words astrometry—Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)—review—differential interferometry—astrogeodynamics