

文章编号: 1000-8349(2009)04-0373-10



地基雷达技术及其在太阳系 天体探测中的应用

郑 磊, 苏 彦, 郑永春, 李春来, 赵 攀

(中国科学院 国家天文台, 北京 100012)

摘要: 人类利用雷达波进行天文研究距今已有 40 多年历史了。它是一种发射雷达波到目标天体, 通过分析其回波特性来进行天文探测的技术。该文从地基雷达在太阳系天体探测中的应用出发, 分析了地基雷达相比其他探测手段的优点; 介绍了地基雷达的基本工作原理; 给出了近年来地基雷达的发展情况和探测成果; 最后从现有条件出发, 探讨了我国开展地基雷达探测的设想。

关键词: 地基雷达; 深空探测; 反射

中图分类号: P165 ; P225.1 **文献标识码:** A

1 引 言

地基雷达是指依托地面大口径天线作为发射和接收天线的雷达探测系统。它利用雷达与目标的相对运动, 通过检测回波信号的时间延迟和多普勒频移参数, 来实现对目标的成像。

人类利用地基雷达开展对太阳系内天体的探测始于二战后。1946 年 1 月, 美军的一个地面站发送雷达波到月球, 在不到 3s 之后收到了来自月球的回波。这是人类利用雷达探测太阳系天体首次收到的回波。此后地基雷达由于其灵活、主动、经济的特点, 成为人类进行天体探测的重要手段之一。

地基雷达对太阳系内天体的观测可以满足多种需求。它可以完成天体表面的地形测绘、探测天体表层特性(厚度、介电常数、地质结构等)以及实现对永久阴影区的探测等, 在天体探测中具有其独特和重要的作用。

地基雷达有着其他探测手段难以比拟的优点: (1) 高分辨率, 目前对月观测的分辨率最

收稿日期: 2009-02-24 ; 修回日期: 2009-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(2008AA12A212)

高可达 20 m^[1]。这远高于地基光学望远镜的分辨率,甚至比嫦娥一号 CCD 相机的分辨率(120 m)要高。(2)对探测目标是空间解析的,即可以获得目标的距离、速度、大小形状等方面的信息。(3)主动的多波段极化探测,与被动的探测手段不同,它通过发射特定的极化调制信号,接收时利用信号的相关,可以去除接收信号中的噪声成分。从而可以精确地将目标天体的几何特性、物理特性和观测量联系起来,使得探测结果更加可信。(4)具有一定穿透性,可以对天体表层下的结构进行探测。(5)灵活性与经济性。一套地基雷达观测系统建成后,就可以对多个天体进行探测。整套系统的建设、运行费用相对于昂贵的航天项目来说是很经济的。此外,地基雷达可以进行全天候和全天时观测。历史上有证据证明小行星撞击地球曾经给地球上的生命带来灭顶之灾。如果将来一旦需要监视对地球可能带来危害的近地小行星,地基雷达完全可以胜任。但地基雷达也存在一定的缺点:(1)信号衰减快,信号强度与距离的 4 次方成反比,这就需要具有高信号发射功率和灵敏的接收系统。(2)数据处理算法复杂,还需要对被观测天体的相对运动规律有精确的先验知识。

由此可见,地基雷达系统是进行天体探测的一种灵活有效的手段,可应用于天文研究和军事领域等方面。与发射探测卫星的耗资巨大相比,利用地基雷达不仅能在节约经费的情况下得到与前者同量级分辨率的观测结果,而且通过优化数据处理方法,能使分辨率得到提高。该技术适用范围广,不局限于探测单一类型的天体,适宜运用于各种天体的研究工作。虽然在我国利用地基雷达进行天体探测工作尚属空白,但综合这些优点可以预见,地基雷达也必将广泛地应用在我国的天体探测中,并且将会大大推动我国未来深空探测工作的发展。

2 地基雷达成像原理

地基雷达向空中预定方向发射脉冲电磁波,电磁波以近似直线的路径传播,当遇到目标物时就会发生散射,返回的散射电磁波被雷达接收,被称为回波信号,该过程也被称为后向散射。

地基雷达成像原理的核心就在于“定位”。即在回波信号中将来自不同“区域”的目标散射信号区分开来,这个“区域”的大小即为地基雷达的分辨率。

地基雷达工作时,可以采用同一天线发射和接收雷达波,称为收发同置;也可采用不同的天线分别作为发射和接收天线,称为收发分置。为了便于理解其基本原理,下面以收发同置的情况进行说明。

由于地基雷达在成像时利用回波信号的时间延迟和多普勒频移参数来进行“定位”,通常在延迟多普勒坐标系 (x, y, z) 下进行讨论。它可以由天体的直角坐标系 (x'', y'', z'') 经过两次旋转得到,如图 1 所示。首先以 O 点为圆心旋转坐标轴,使得 x'' 轴指向观测者的方向,得到坐标系 (x', y', z') 。然后再以 x' 为轴,旋转 $y'z'$ 平面,使得 z' 轴与天体的视旋转轴重合,即得到此时的延迟多普勒坐标系 (x, y, z) 。整个过程可表示为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \lambda_{srp} \cos \theta_{srp} & \sin \lambda_{srp} \cos \theta_{srp} & \sin \theta_{srp} \\ -\sin \lambda_{srp} & \cos \lambda_{srp} & 0 \\ -\cos \lambda_{srp} \sin \theta_{srp} & -\sin \lambda_{srp} \sin \theta_{srp} & \cos \theta_{srp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix},$$

其中 λ_{srp} , θ_{srp} 分别表示 x' 轴在 $x''y''$ 平面上的投影与 x'' 轴和 x' 轴的夹角, γ 则表示 z' 轴与 z 轴的夹角^[2]。

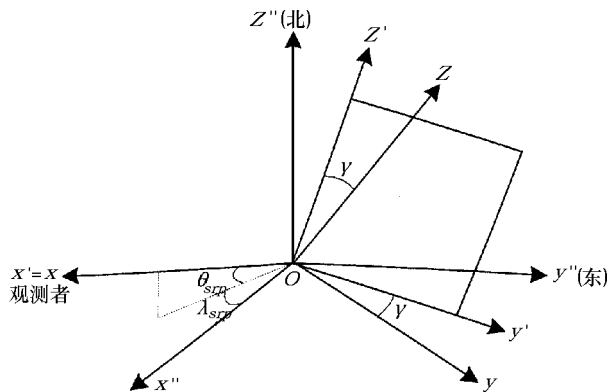


图 1 延迟多普勒坐标系与天体直角坐标系的转换关系

图 2 为天体延迟多普勒坐标系的示意图。在图中取 x 轴与天体表面的交点为 SRP 点, 这是天体 (设为月球) 表面距雷达距离最近的点, 取其到雷达的距离为 R 。则对于月球上任意一点 $P(x_p, y_p, z_p)$, 则 P 点回波信号时间延迟 Δt 可由 $\Delta t \approx \frac{2}{c} [R + r - x_p]$ 得到。 P 点回波信号多普勒频移 Δf 则为: $\Delta f = \frac{2\pi\omega}{\lambda} y_p$ 。其中, r 为天体半径, ω 为天体自转频率。由上述两式可知, 在天体延迟多普勒坐标系中, 在与 $y-z$ 平面平行的平面上以其与 x 轴的交点为圆

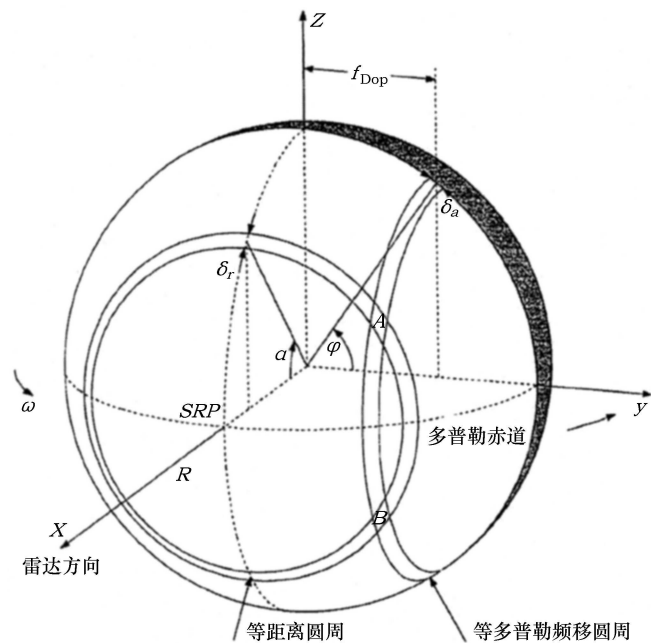


图 2 延迟多普勒坐标系示意图

心在天体表面上画圆, 可得在天体表面上的一组圆, 每个圆上的各点到雷达的距离相等, 即对应的回波信号的时间延迟相同; 类似地, 在与 $x-z$ 平面平行的平面上以其与 y 轴的交点为圆心, 也能得到一组圆, 每个圆上各点的多普勒频移量相同。这两组圆就像经纬线, 区分出天体表面上各区域的反射信号, 从而实现对天体表面的“定位”。

值得注意的是, 天体上相对于 $x-y$ 平面南北对称的两点 (A, B) , 其回波信号具有相同的时间延迟和多普勒频移, 则在接收端无法区分, 这种现象称为“南北模糊”。对波束宽度较窄的发射天线, 可以对南北半球分别进行探测, 从而避免南北模糊。否则只能采用双天线接收, 利用干涉处理的方法来消除南北模糊^[3,4]。

从上面的讨论可知, 准确地提取回波信号中的时间延迟和多普勒频移参数是地基雷达成图的关键。

设载频信号为 $\exp(j2\pi f_c t)$, 脉冲信号以重复周期 T 依次发射, 即发射时刻为 $t_m = mT$ (m 为脉冲个数), 称为慢时间。在每个脉冲内, 以发射时刻为起点的时间用 t_k 表示, 称为快时间。快时间用来计量单个脉冲传播的时间, 而慢时间则反映发射了多少个脉冲, 这两个时间与时间 t 的关系为 $t_k = t - t_m$, 因而发射信号可以表示为:

$$s_i(t_k, t_m) = a_r(t_k) \exp \left[j2\pi \left(f_c t + \frac{1}{2} \gamma t_k^2 \right) \right] .$$

其中, $a_r(t_k) = \begin{cases} 1, & \left| \frac{t_k}{T_p} \right| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & \left| \frac{t_k}{T_p} \right| > \frac{1}{2} \end{cases}$, f_c 为载频, T_p 为脉宽, γ 为调频率。这是雷达波常用的线性调频信号, 可以起到脉冲压缩的作用。观测区域中任意一点 P 的回波信号的基频信号(去载频)可表示为:

$$s(t_k, t_m) = a_r(t_k - \alpha) \exp \left[j\pi \gamma (t_k - \alpha)^2 \right] \exp \left[-j2\pi f_c \alpha \right] .$$

其中 $\alpha = \frac{2R(t_m)}{c}$ 表示回波信号的时间延迟, c 表示光速, $R(t_m)$ 是 P 点距雷达的瞬时距离(一般来说, 脉冲周期非常短, 因此瞬时距离可近似认为与 t_k 无关)。

首先进行距离匹配滤波, 提取出 P 点距离信息, 也就是时间延迟参数。其匹配函数为:

$$s_r(t_k) = a_r(t_k) \exp(-j\pi \gamma t_k^2) .$$

得到信号: $s(t_k, t_m) = A \operatorname{sinc}[\Delta f_r(t_k - \alpha)] \exp[-j2\pi f_c \alpha]$ 。其中, A 为距离压缩后点目标信号的幅度, Δf_r 为线性调频信号的频带。sinc 函数的表达式为 $\operatorname{sinc}(a) = \frac{\sin(\pi a)}{\pi a}$, 它在 $\pi a = 0$ 时取最大值, 因此通过检测距离匹配滤波输出信号的峰值时刻, 则可提取出时间延迟量^[5]。

根据雷达与观测目标的相对运动规律, 进行距离补偿, 就可以将不同脉冲中, 来自同一区域的信号序列组合在一起, 进行傅里叶变换。通过对其频域的分析, 则可提取出多普勒频移参数^[4]。即实现了对目标天体表面的定位。最后根据延迟多普勒坐标系和直角坐标系的转换关系, 完成对天体表面的成图。

3 研究进展

二次大战以后, 地基雷达逐渐发展成为天文观测的一种重要手段。到目前为止, 地基雷达已经被应用在月球、火星、金星、水星以及小行星探测中, 得到了许多探测成果。特别是美国的金石太阳系雷达 (GSSR, Goldstone Solar System Radar) 和设在波多黎各的 Arecibo 天文台地基雷达, 取得了令人瞩目的成果。表 1 列出其部分参数。

表 1 国外主要地基雷达探测系统参数

名称	发射天线口径 /m	频段 / MHz	发射功率	接收天线
Arecibo	305	430	1 MW	Arecibo 305 m
		2 380		Green Bank 100 m
Golden stone	70	8 560	500 kW	DSS-13 34 m
				Green Bank 100 m
				VLA 天线阵

3.1 月球探测

月球是地基雷达探测应用最早也是最多的天体。早在 20 世纪六七十年代就进行了地基雷达月球地形测绘。Schubert 等人开展了月面撞击坑形貌学研究, 如坑环高度与坑深的比值、坑深度与直径的比值^[6]; Schaber 等人根据雨海盆地异常低的雷达反射率, 研究了盆地内的岩浆流^[7]。后来, 随着月球探测中激光高度计和立体相机的成功应用, 地基雷达在对月球正面中低纬度地区的地形测绘中的应用价值逐渐丧失, 目前已经很少开展。但是由于月球两极存在永久阴影区, 这些阴影区是可见光波段探测手段无法观测的, 而微波探测手段不受光照影响。因此, 这些区域是当前地基雷达月面探测的重点。

地基雷达可以用来绘制月球两极的地形图, 特别是在未来最有希望建立月球基地的南极, 这项工作尤为重要。2008 年 2 月 27 日, NASA 公布了由金石太阳系雷达获得的迄今为止最高分辨率 (20 m/ 像素) 的月球南极地形图 (见图 3)^[8]。该图像比 Clementin 月球探测器获得

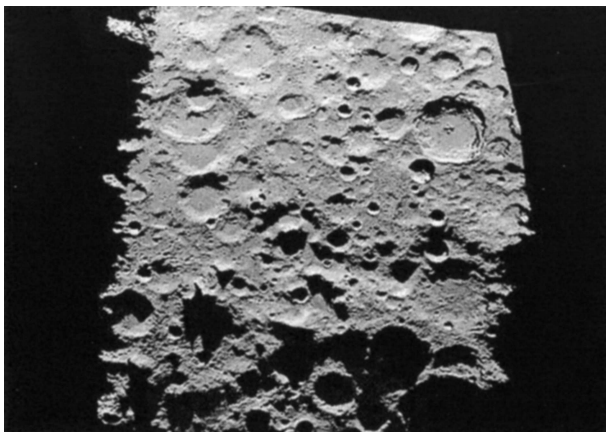


图 3 金石太阳系雷达获取的月球南极地形图^[8]

的分辨率高 50 倍。它揭示了月球南极端的地形比以前认知的更加高低不平, 为学者选取着陆点提供了非常有价值的参考信息。

地基雷达也可用于两极的月壤特性研究以及寻找水冰的工作。图 4 是利用 Arecibo 地基雷达发射、Green Bank 100 m 射电望远镜 (GBT, 美国西弗吉尼亚州) 接收的月球南极雷达圆极化率图。探测波长 70 cm, 图中将雷达阴影区的圆极化率设为 0, 整个区域圆极化率从 0.5(黑色) 到 1.1(白色) 不等。由于圆极化率与天体表面的岩石丰度相关, 根据图 4 就能推演出极区的月壤岩石丰度特性^[9]。如图中 Zucchius, Hausen, Moretus, Schomberger 等 4 个环形山附近出现低圆极化率的圆晕, 说明这些地区的喷发物中石块含量较低。

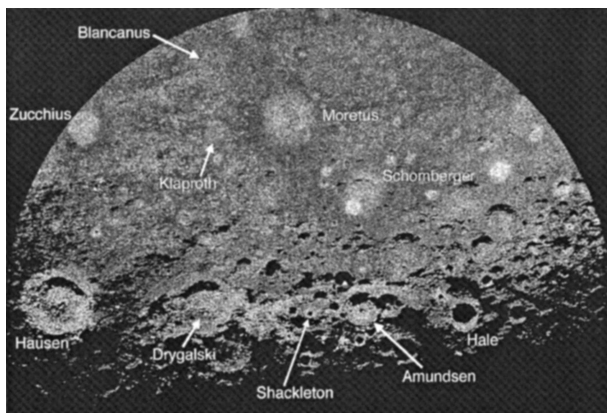


图 4 月球南极地区的雷达极化率图^[9]

研究人员也能通过比较目标区域回波特性与水冰回波特性的异同, 来寻找大面积的水冰。1992 年, 美国康纳尔大学的 Stacy 等人利用 Arecibo 天文台 S 频段雷达波, 以 125 m 空间分辨率、双极化方式对月球极地进行观测, 搜寻月球极地永久阴影区的水冰。探测中没有发现任何一块面积大于 1 km² 的区域存在高雷达后向散射截面和高圆极化率, 即没有发现月球极地存在大面积分布的水冰^[10]。

地基雷达还能用于月壤厚度的探测。Shkuratov 等人根据 1981—1984 年 Arecibo 天文台获得的 70 cm 波长雷达后向散射全极化回波马赛克影像, 结合 Clementin 月球探测器对月面铁和钛分布的光谱数据, 获得了月球正面月壤厚度分布^[11]。

3.2 探测火星

随机长编码延迟-多普勒技术以及干涉延迟-多普勒技术为地基雷达的火星探测提供了可能^[12]。美国深空网下属的金石站 70 m 天线 1986 年完成升级改造以后, 除 1997 年因火星大冲而中断观测外, 从未间断过火星观测。利用火星雷达观测数据可以提取火星表面高程、反射率、粗糙度等信息^[12], 其经度方向的空间分辨率达 20 km, 纬度方向达 150 km。这些观测数据提供了火星地形和地质物理等有关的直接信息。通过地基雷达对火星表面的探测, 可以了解在火星上建立无人着陆场的危险性和火星车的通行条件, 可以估算火星表面物质的介电常数等^[13]。目前这些数据已经成功应用于 Viking, Pathfinder, 2003 Mars Exploration Rovers 等火星探测活动的着陆点选择、评估和验证^[14,15]。

3.3 探测金星

由于金星表面被浓密的大气层遮蔽, 光学观测对其无能为力, 因此一直不能准确测量金星的自转周期和半径。1961 年, 地基雷达首次获得了金星的雷达回波, 并揭示了金星的自转周期为 243 d。1981 年, Arecibo 天文台的地基雷达获得的图像显示, 金星上存在明亮的环状结构, 其分布密度很小, 这些环状结构被认为是火山喷发或小天体撞击形成的, 但其分布密度明显小于月球和木卫一 Io^[16]。1999 年, Arecibo 天文台地基雷达再次对金星进行探测, 其分辨率为 2 km。发现了在 1997 年麦哲伦探测器观测到且已被命名的金星上口径超过 5 km 的撞击坑外的两个新撞击坑, 口径分别为 41 km 和 19 km^[17]。这两个撞击坑刚好处在麦哲伦探测器覆盖区域的缝隙中, 可见地基雷达可以为其他的探测手段进行验证, 两者互为补充。

表 2 中列出了不同探测手段获得的金星表面雷达图像的空间分辨率。随着雷达器件以及数据处理算法的改进, 金星地基雷达探测的分辨率上还存在很大的提高空间。

表 2 不同探测手段获得的金星表面雷达图像的空间分辨率

探测平台	探测手段	空间分辨率
Pioneer Venus Orbiter	雷达高度计	>10 km
Arecibo 天文台	地基雷达	2 km
麦哲伦号探测器	雷达	110 m

3.4 探测水星

1965 年 4 月, 当水星接近地球在内合 (Inferior conjunction) 的位置时, Arecibo 天文台利用地基雷达的观测结果, 发现水星的自转周期是 59 d。这项惊人的发现, 使得大家对于水星的自转运动有了崭新的认识。

3.5 地基雷达探测新技术

近年来, 新发展的地基雷达天文探测技术——雷达散斑变换干涉测量技术 (RSDI, Radar Speckle Displacement Interferometry), 可以测量月球的物理天平动, 估算月球的瞬时自旋轴的倾角及其随时间的变化^[18]。特别是, RSDI 是探索水星天平动和倾斜度问题的最有希望的地基天文技术之一^[19]。

2001—2002 年, 雷达散斑变换干涉测量技术在美国和欧洲已经成功得到应用。通过地基雷达的散斑变换干涉测量, 确定了水星的极轴^[20]。

另外, 地基雷达也是水星永久阴影区的重要探测手段。1999 年 Harmon 等人利用 Arecibo S 波段雷达波获得了水星北极地区的雷达图像 (见图 5)^[21]。观测波长: 12.6 cm; 空间分辨率: 1.5 km; 图幅大小为 450 km。图中明亮的地区被认为是永久阴影区的水冰沉积。

3.6 小行星探测

小行星表面的雷达反射率与近表层物质的密度相关, 而极化率与与波长同尺度的近表层结构相关。因此, 利用地基雷达可以观测小行星的表面性质^[22]; 同时还能精确测定近地小行星的形状, 进而提高近地小行星轨道的预测精度。目前观测的小行星主要有 340 个, 其中 222 是近地小行星, 118 个位于小行星带。地基雷达探测可以获得近地小行星的高分辨率成像和三维地形特征。Arecibo 和 Goldstone 雷达系统获得的小行星的影像足以与航天器搭载的最高空间分辨率相媲美^[23]。在过去几年里, 美国金石太阳系雷达每年都能新发现近地小行星。



图 5 Arecibo S 频段雷达波获得的水星北极地区的雷达图像^[21]

从上述国外的探测成果来看,地基雷达在天体探测中应用的面非常广,而且适用于各种天体,是非常实用的一种探测手段。

4 国内地基雷达天体探测

地基雷达的天体探测在我国尚属空白,而现在正是开展地基雷达天体探测的一个良好契机。我国成功实现了月球探测,又正在与俄罗斯合作进行火星探测,深空探测活动处于蓬勃开展的时期。但仅依靠周期相对较长的通过运载火箭发射卫星进行探测,是无法满足深空探测的迫切需要的。地基雷达技术作为深空探测的一个灵活有效的手段,必将广泛应用在深空探测中,并大大推动我国深空探测的发展。

现在我国已基本具备了进行地基雷达天体探测的条件。首先我国的机载与星载雷达探测技术均已比较成熟,拥有利用雷达数据成像的经验,为地基雷达的数据处理打下了一定的基础。其次在发射和接收设备方面,我国现有部分地基雷达设备,以前主要运用在导航、预警或电离层探测等方面,稍加改造后就可运用在天体探测中。云南曲靖 29 m 天线和发射机正在进行改造,预计建成后工作频率为 500 MHz,发射功率约 2MW,脉冲宽度 20 μ s,可以获得较强的雷达回波,能基本满足地基雷达观测的需要;另外,随着我国近年来在大口径射电望远镜研制方面的突破,现在已建成北京密云的 50 m 射电望远镜以及云南昆明的 40 m 射电望远镜,均可作为接收天线,或者将其改造成为发射天线。特别是目前正在贵州兴建的 500 m 射电望远镜,更是以后地基雷达探测的理想设备。因此,在当前环境因素下,我国地基雷达天体探测的开展在技术上可以逐步开展。可以先寻求国际合作,申请其他国家现有的地基雷达系统进行月球探测,利用我国自主研发数据处理系统,对其探测数据进行处理;作为验证手段,

将得到的探测结果与我国嫦娥工程得到的探测结果进行比对。在数据处理技术日益成熟的基础上,再着手改造发射和接收设备,独立进行地基雷达的天体探测;在探测目标上,也采取由易趋难的原则,先从月球探测入手,重点在月球极地(特别是永久阴影区)的高分辨率地形测绘和月壤特性(包括月壤厚度、介电常数、次表层结构等)的反演。既可为我国现有的月球探测数据提供验证,也可以为建立月球基地的选址提供重要参考。通过对月球的探测达到技术成熟后,就可以逐步对其他天体进行探测。例如对火星表面地形测绘,可以获得较高的精度,为火星车的探测路线规划提供借鉴;对近地小行星(包括空间碎片)的观测和监视是近年来地基雷达观测的热点,可以获得小行星形状、表面性质、运行轨道等参数;近地小行星阿芬塞斯(Apophis)将在2029年和2036年与地球相遇,并有可能撞击地球,引起世界各国的广泛关注。通过地基雷达探测阿芬塞斯的形状、大小、旋转状态、估算其运行轨道,评估撞击地球的可能性,将为地基雷达探测其他小天体提供经验借鉴;将来水星、金星、土星环、流星、彗星和小行星等太阳系各类天体,以及地球电离层等都可以成为地基雷达的探测目标。

当然,在发展地基雷达天体探测技术的道路上还将会面临很多困难。目前存在的主要难点是还没有地基雷达探测太阳系天体的数据处理经验,技术储备也十分有限;尤其是在数据处理设备的研制上,要求精度高,需要精确解析探测目标的相对规律;另外还有,人员储备有限,需要逐步培养和建立地基雷达探测的科研团队;地基雷达需要进口大功率发射机等;但是大势所趋,只要坚持由易趋难,渐进发展的原则,通过实践掌握关键技术,相信地基雷达技术终将会在我国天文探测工作中大放异彩,为深空探测服务。

参考文献:

- [1] Hensley S. Radar Conference, RADAR'08, IEEE, 2008: 1
- [2] Bruce A. Campbell, Donald B. Campbell, et al. Transactions on Geosciences and Remote Sensing. IEEE, 2007, 45(12): 4032
- [3] Campbell B A. Radar Remote Sensing of Planetary Surfaces. UK: Cambridge University Press, 2002: 97
- [4] Stacy N J S. PhD Dissertation. Ithaca: NY Cornell Univ, 1993
- [5] 保 铮, 邢孟道, 王 彤. 雷达成像技术. 北京: 电子工业出版社, 2004: 124
- [6] Schubert G, Lingenfelter R E, Terrile R J. Icarus, 1977, 32(2): 131
- [7] Schaber G C, Thompson T W, Zisk S H. Earth, Moon and Planets. 1975, 13: 395
- [8] <http://www.nasa.gov/exploration/home/022708.html>, 2008
- [9] Campbell B A, Campbell D B. Icarus, 2006, 180(1): 1
- [10] Stacy N J S, Campbell D B, Ford P G. Science. 1997, 276(6): 148
- [11] Shkuratov Y G, Bondarenko N V. Icarus, 2001, 149(2): 329
- [12] Haldemann A F C, et al. Workshop on Concepts and Approaches for Mars Exploration, TX: Houston, 2000
- [13] Moore H J, Jakosky B M. Icarus, 1989, 81(1): 164
- [14] Haldemann A F, Larsen K W, Jurgens R F, et al. AGU Fall Meeting Abstracts. 2001, 42: 0568
- [15] Jurgens R F, Haldemann A F C, Larsen K W, et al. Bulletin of the American Astronomical Society, 2001, 33: 1103
- [16] Cutt J A, Thompson T W, Lewis B H. Icarus, 1981, 48(3): 428
- [17] Burba G A, Schaber G G, et al. Lunar and Planetary Science, 1999, 283: 2062
- [18] Holin I V. The Moon Beyond 2002: Next Steps in Lunar Science and Exploration, 2002: 25
- [19] Holin I V. Solar System Remote Sensing, 2002: 33

- [20] Holin I V. *Meteoritics & Planetary Science*, 2002, 37: A65
[21] Harmon J K, Perillat P J, Slade M A. *Icarus*, 2001, 149(1): 374
[22] Binzel R P, A'Hearn M, Asphaug E, et al. *Planetary and Space Science*, 2003, 51(7-8): 443
[23] Margot J L, Nolan M C. *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting*, 1999: 31

Ground-based Radar and its Applications in Remote Sensing of the Solar System Planets

ZHENG Lei , SU Yan, ZHENG Yong-chun, LI Chun-lai, ZHAO Pan

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10012, China)

Abstract: Radar astronomy is a technique to observe nearby astronomical objects by reflecting microwaves off target objects and analyzing the echoes. Ground-based radar, as a certain observation method in radar astronomy, its properties and advantages are introduced in this paper. The detailed theoretical analysis of the planetary radar observation and data processing are presented here. Since ground-based radar have been used for a wide range of solar system studies, part of its achievements are listed here, including mapping the surface roughness of the solar system planets especially in the poles and the permanent shadow regions; detecting the regolith properties and depth of the Moon; testing the rotation period of Venus and Mercury; predictions of asteroid orbits and etc. Because it is a very important and useful observation method in astronomy, China is planning to develop this technique for its solar system planets exploration. The circumstances right now in China, the assumption of how to develop ground-based radar and the problems will be met are presented here.

Key words: ground-based radar; deep space exploration; reflection