

遥感技术发展新动态及在土壤侵蚀 监测中应用的探讨

李壁成 焦 锋

(中国科学院 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
(水 利 部)

摘 要 随着遥感技术系统的不断发展,微波遥感和 GPS 应用,已成为两大热点,不仅取得了很大社会经济效益,而且使不少领域传统技术方法发生了根本变革。该文简要介绍了微波遥感和 GPS 技术,并对其在土壤侵蚀监测中的应用进行了初步探讨。

关键词 遥感 新动态 土壤侵蚀监测

New Trend of Development of Remote Sensing Technology and Its Application in the Soil Erosion Monitoring

Li Bicheng Jiao Feng

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Ynagling, Shaanxi, 712100)*

Abstract With the development of remote sensing technology system, The application of the microwave remote sensing and GPS(Globe Positioning system) have become two hot spots, Not only giant society and economy benefits have been obtained but also traditional technology methods in many fields have been changed thoroughly. This paper briefly introduces the microwave remote sensing and GPS and discusses initially Its applicating in the soil erosion monitoring.

Key words remote sensing new development soil erosion monitoring

近 20 多年来,作为空间对地观测的高新技术——遥感,在国内外有了突飞猛进的发展,并取得巨大的社会效益。我国的遥感事业,从“六五”开始,经过三个五年计划的科技攻关和开发应用,目前不仅形成了覆盖国民经济许多部门和国防的遥感应用实力,而且还锻炼出一批专业配备比较齐全的遥感技术科研队伍,他们不断开发出新产品、新方法,为用户提供优质服务。通过对重大遥感应用工程,如黄土高原遥感调查、“三北”防护林遥感调查、长江三峡水利枢纽工程和黄河小浪底水库的遥感分析等实践,使我国具备了进入产业化竞争与国际市场的能力。充分显示了遥感技术应用的巨大效益和广阔前景。

1 遥感技术发展的新动态

应用遥感技术开展对土壤侵蚀的研究,国际上70年代已经开始,我国80年代起步,并且发展较快,如黄委会完成的“黄河流域水土流失遥感调查分析”、南京土壤所开展的“遥感监测红壤年流失量研究”和我所进行的“黄土高原小流域水土流失与综合治理遥感监测”等,取得重要科研成果,推动了我国土壤侵蚀遥感应用的向前发展。

90年代以来,遥感技术又发展到一个新的阶段。我们认为,有两大动态需要我们跟踪与研究,现分述如下:

1.1 新一代遥感技术系统的建立与发展,为土壤侵蚀研究开辟了新的应用方向

根据国内外遥感技术的发展趋势分析,目前遥感技术正经历着从可见光、红外遥感向微波遥感的拓展,逐步发展成为新一代遥感系统的主流和应用方向。《中国科学报》在1993年11月22日以“遥感技术的后起之秀”为题,指出:“本世纪90年代是空间对地观察和实验技术的重大突破时期。合成孔径雷达技术作为获取地球表层信息的重要手段之一,已成为遥感技术发展中的一个热点”。合成孔径雷达技术是微波遥感实用化的关键技术和主要遥感系统。因而开展微波遥感技术的研究和应用具有重要意义。

1.1.1 微波遥感的物理机理与特点 微波遥感是利用波长较长的电磁波来探测周围环境。微波波长大于可见光和红外线,其波段频率从300MHz~300千MHz,对应波长从1mm~1m,占据电磁波段的三个数量级,比红外波长长100~100万倍。因而它是非常重要的遥感信息载体,特别是它的较低的频段1~10千MHz之间,对地球资源的探测和海洋监测起着决定性意义。微波遥感具有的全天候、全天时数据获取能力及对地物的穿透性能,在对地观测领域可以发挥其它遥感手段难以起到的作用。

从物理学上讲,可见光的产生是来源于物质外层电子的激励;红外线的产生则是由物质的分子振动和晶格振动引起;而微波则是由于物质分子旋转和反转,电子自转与磁场之间相互作用所致。以合成孔径雷达(SAR)为代表的微波主动遥感,发射电磁波,对地表粗糙度及介电性质的敏感特性,多波段极化散射特征,侧视成像及干涉成像方式等,使得微波遥感成为对地观测中的前沿领域和重要的高技术手段。

微波遥感与可见光和红外遥感相比,有以下特点:

(1)不受天气和时间限制,可以全天候全天时工作。只要波长不是特别短(8mm以上),都能透过雷雨和云层而成像。侧视雷达是有源微波遥感,与太阳照射无关,所以白天黑夜都能工作。这一特性对暴雨、洪水等灾害监测有重要意义。

(2)对植被、土壤、沙丘、冰雪有一定的穿透深度、能显现隐伏的地质构造和土壤结构等。

(3)像片信息量大,可用于主动方法增加信息量。

(4)像片特性较稳定,不受光照、大气、云雨等影响,同时几何失真小,图像各处分辨率相同,不受距离影响。

(5)能快速成像,单个条带长可达几百公里,宽几十公里,成像连续扫描,不需要镶嵌处理。同时图像在倾斜照射时立体感强,易于解译。

1.1.2 微波遥感技术系统介绍 自1960年4月国际上第一部SAR系统问世以来,许多国家十分重视发展应用这一先进技术。60年代末到70年代初,雷达在南美洲地区遥感试验中所取得的成功,充分显示了微波遥感的作用和巨大潜力。70年代到80年代中期,海洋卫星及航天飞

机 SAR 系统进行了卓有成效的微波遥感试验与应用后,微波遥感在国际上出现了空前的高潮。据有关空间计划表明,6 个星载 SAR 系统已经或即将在 2000 年前进入太空,与此同时,实用性与试验性机载雷达计划亦在蓬勃发展,这些技术系统与系列计划,有力地推动了微波遥感在全球范围内的广泛应用与发展。

下面简要介绍几个国际先进的 SAR 系统:

(1)日本地球资源卫星 1 号(JERS—1)SAR 系统。

日本对星载雷达的研制十分重视。近年来积极参与了大型的国际微波遥感计划,并进行了大量的基础性研究工作、利用微波散射计系统测量了众多目标的微波散射特性。通过数年努力,1992 年将 JERS—1 SAR 送入太空,设计寿命 2 年,为一部 L 波段 HH 极化雷达,距离及方位分辨率为 $18\text{m} \times 18\text{m}$,成像宽度 75km ,卫星一天绕地球运行 15 圈,44 天可覆盖全球一次。中国科学院遥感卫星地面站已与日方达成协议,可以接收到该卫星的图像数据,效果良好。

(2)欧洲遥感卫星 1 号(ERS—1)SAR 系统。

已于 1991 年 7 月 16 日发射升空,运行在与太阳同步的近极地轨道,高度 785km 。轨道倾角 98.5° ,绕轨道一周时间约 100min ,每天绕地球运行 14 圈又 $1/3$ 。主要应用目的为研究海洋环境等,同时也进行包括地质、农业、森林、冰川在内的陆地应用研究。中国科学院遥感地面站可以接收处理该系统遥感信息。

(3)航天飞机成像雷达(SIR—C/X—SAR)

拟定于 1994 年发射的 SIR—C 是 NASA 航天飞机成像计划的最后一步。这是一个复杂的系统,共有 3 个工作波段,由美国研制 L、C 波段雷达均有 4 种极化方式,德国研制的 X 波段雷达有 HH、HY 两种极化方式。俯角在 $15 \sim 55^\circ$ 范围内可变,利用机上高密度数字磁带记录器对 SAR 数据进行数学编码、记录,然后在地面用 JRL 的 SAR 处理器成像。这一代表国际遥感技术最高水平的系统创造了三个世界第一:

一是运行在地球轨道高度的第一部多波段同时成像雷达;二是运行在地球轨道高度的第一部高分辨率的 4 种极化同时成像雷达;三是第一部在两个季节成像的多参数航天雷达。

我国是这项计划的 13 个成员国之一,1994 年在航天飞机过境时,成功地进行了地面有关试验观测。

(4)加拿大国家遥感中心 SAR—580 机载成像雷达。

该系统具有 C、X 两个波段,4 个极化成像能力,数字记录。有两种工作模式:一是辐射宽度 18km ,二是幅照宽度 63km ,分辨率分别为 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 和 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 。1993 年加拿大安排了一项新的“GLobesm93”计划,利用 SAR—580 系统在北美、南美、欧洲、亚洲等数十个国家作飞行试验,为雷达卫星上天的图像处理及应用作技术准备、同时直接进行资源环境调查与监测。该系统 1993 年底在我国的台湾和广东进行了遥感飞行试验,这也是国外遥感飞机经我国政府同意,首次进行的遥感飞行试验。

(2)探地雷达 SIR—8 型(美国地球物理探测设备公司制造)。

这是一种用汽车装载的地面野外微波遥感系统。据河北省农林科学院土肥所对土壤探测的研究表明:干燥土壤可探测至 5m 以下,土壤越潮湿,因电磁波被土壤水分吸收,探测深度越浅,但一般土壤探测 $2 \sim 3\text{m}$ 可以保证。据试验探测雷达可以探测褐土中的粘化层和潮土中不同质地的冲积层次,可以测出一条连续的土壤垂直断面图,显示出粘土层和沙土层的变化,还可监测地下水位变化等。

目前和今后一个时期,从航天航空、地面已经或正在形成多层新一代遥感——微波遥感技术系统,有效地利用这些遥感方法和信息,对于深入开展土壤侵蚀试验研究,有着重要的作用。

1.2 高精度全球定位系统(GPS)的建立和应用,为土壤侵蚀研究提供了新的技术手段

全球定位系统(Global positioning System)是美国国防部主要为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位的要求而建立的。从本世纪70年代初开始设计、研究,历经约20年,到1993年6月24颗卫星全部发射成功,进入第二代卫星的全面应用阶段,被视为本世纪美国继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的又一重大科技成就,是对传统导航、定位和测绘技术的突破和变革。国内外导航、测绘、地学和航天、航空、航海界专家普遍认为:GPS定位技术将彻底改变传统的导航、定位和大地测量的作业方法,并在精密工程测量、测图控制、地壳形变监测、导航、精密时间传递等领域得到极其广泛的应用。

1.2.1 GPS工作原理 GPS主要由三大部分组成:空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分。其工作原理是,在空间运行24颗卫星,其中3颗备用卫星,均匀分布在6个轨道面上,每个轨道分布有4颗卫星。卫星轨道相对地球赤道面的倾角为 55° ,各轨道平面升交点的赤经相差 60° ,在相邻轨道上,卫星的升交距角相差 30° ,轨道平均高度为20 200km,卫星运行周期为11h58min。因而同一观测站上每天出现的卫星分布图形相同,只是每天提前约4min。这样地球上任何地方、任何时刻都能收到至少4颗卫星发射的信号。每颗GPS卫星装有4台高精度原子钟(2台铷钟和2台铯钟),这是卫星的核心设备。卫星可以连续地发送2个L频带的无线电载波,载波上调制了许多种信号,用于计算卫星位置,辨别卫星和计时用。因而用户只要有接收机,就可以迅速知道精确位置和时空。

目前GPS技术已广泛渗透到了经济建设和科学技术的许多领域,尤其对经典大地测量学的各个方面产生了极其深刻的影响。近年来GPS精密定位技术在我国得到蓬勃发展,在大地测量、精密工程测量、地壳运动监测、资源勘察和城市控制网的改善等方面的应用及取得的成功经验,进一步展示出GPS的显著优越性和巨大潜力。在这些工作的基础上,国家测绘局于1992年3月8日颁布了《全球定位系统(GPS)测量规范》,并正在北京建立高精度GPS接收机检定场,从而推动GPS这一世界上最先进的导航定位技术在中国的应用。

1.2.2 GPS突出特点 (1)多功能,高精度。GPS可为各类用户连续地提供动态目标的三维位置、三维速度和时间信息。目前其单点实时定位精度可达 $5\sim 10\text{m}$,静态相对定位精度可达 $1\sim 0.1\text{PPm}$,用于定向测角,在20m基线情况下,达 0.18 角秒,GPS测速精度可达 0.1m/s ,授时精度达 10ns 。随着GPS测量技术和数据处理的发展,各种测量精度还将进一步提高。

(2)无需通视,观测时间短。GPS测量因为是接收卫星的电信号,因此不要求观测站之间通视,不需建立觇标,选点灵活,节省时间和经费。目前完成一条基线相对定位所需观测时间一般为 $1\sim 3\text{h}$ 。近年来发展的短基线(不超过20km)快速相对定位法,仅需数分钟。

(3)仪器重量轻、操作简单,可全天候作业。GPS用户接收机体积小重量轻,例如AshtechM—Ⅶ型GPS接收机,包括电池在内仅重 3.9kg ,体积为 $10\text{cm}\times 20\text{cm}\times 22\text{cm}$,携带很方便。同时GPS测量自动化程度很高,观测员的主要任务是安装并开关仪器,量取仪器高和监视仪器的正常工作状态,而其它工作如卫星的捕获跟踪观测等均由仪器自动完成。GPS观测一般不受天气状况影响,在任何地点和时间可连续进行。

(4)统一的坐标系与统一时间系统。GPS给出的三维坐标和三维速度属于WGS—84地心坐标系,这将克服区域导航定位的局限性,而成为全球统一的应用系统,独立的GPS时间系统将成

为除世界协调时(LLTC)之外的又一世界性时间,凡拥有接收机的用户均可与之对比和应用,这对科学研究和生产活动具有极大价值。

1.2.3 GPS接收机及分类 对于广大用户来说, GPS接收机是导航和定位的关键设备,它主要包括天线、接收机、微处理器及终端设备、电源等。由于GPS发展迅速,应用领域十分广泛,因而世界上已有数十家厂家从事GPS接收机生产,其型号有数百种,并不断改进,以满足不同用途的需要。我国也有一些单位根据国情改装及汉化GPS接收机,青岛还生产出供渔民出海捕鱼导航用的GPS接收机。

GPS接收机有多种分类,我们仅介绍两种GPS接收机分类产品。

(1)用途分类。可分为大地型、导航型和授时型三大类。一类是大地型接收机,主要用于精密大地测量,它一般采用载波相位观测和测量,进行相对定位,精度很高,观察数据需测后处理,因而需配有功能完善的后处理软件。其结构复杂,价格较贵;另一类是导航型接收机,主要用于确定船舶、车辆、飞机和导弹等运载体的实时位置和速度,以保障和监测这些载体按预定路线运动。一般采用单点实时定位,精度较低,因而接收机结构较为简单,价格便宜,应用极其广泛;还有一类是授时型。主要用于天文台或地面监控站进行同时频同步测定。

(2)接收卫星信号频率分类。可分为单频接收机(L_1)和双频接收机(L_1+L_2)。单频接收机主要用于基线较短($<10\text{km}$)的精密定位和导航;双频接收机可以同时接收 L_1 和 L_2 信号,因而可以消除或减弱电离层折射对观测量的影响、导航定位精度高,但价格较贵。

总之第二代GPS24颗卫星已全部升空,用户接收机功能强,且价格逐步降低,这为开展土壤侵蚀监测提供了理想的技术条件。

2 微波遥感、GPS新技术在土壤侵蚀监测中应用的探讨

根据微波遥感和GPS的特性,结合土壤侵蚀研究的工作实际,我们初步认为可以在以下几个方面开展试验研究:

2.1 利用微波遥感的全天候、全天时特性,开展对暴雨及其对土壤溅击、冲刷的动态监测研究。

2.2 利用微波遥感的穿透能力较强特性;对土壤结构、物理性质、土壤水分、养分含量和土壤可蚀性等进行探测与研究。

2.3 利用微波像片稳定性好和快速成像等特征,开展对侵蚀区的地质、地貌、植被、土地利用、地形测量等调查研究。

2.4 利用GPS高精度定位技术,对侵蚀区的不同土壤侵蚀类型、不同地形部位、不同利用方式进行监测,为分析土壤侵蚀强度和确定产沙来源及数量等研究提供可靠论据。

2.5 利用GPS自动化程度高,机动灵活和全天时观测的特点,对典型流域内的沟蚀、对比沟等进行长期定位变形监测,为沟谷发育及土壤侵蚀机理研究,提供精确的信息。

2.6 利用GPS快速定位和测量的特点,对滑坡、泥石流以及人为造成的矿区及修路的松散堆积物、陡坡开荒等进行实地测量与监测,为对评估或预防水土流失灾害提供准确数据。

综上所述,微波遥感和GPS新技术在土壤侵蚀监测的应用具有广阔前景,有待我们去开拓。目前国外已有同行提出与我们开展这方面的国际合作研究计划,国内一些测绘、地矿等单位已开展了应用,为我们提供经验和科学依据,我们应尽快开展土壤侵蚀的微波遥感和GPS的应用研究,为全面推广遥感新技术的应用做出新的贡献。

(下转第52页)

因为 $S = B \cdot l, H = l \cdot \sin a, b$ ——坡面宽度(m); a ——坡度; l ——坡长(m)。

考虑水土流失系统的性质、动态过程,再变换上式:

$$E = 0.5(I - V_{\infty}) \cdot t \cdot b \cdot l \cdot \sin a + P \cdot S \cdot e_m$$

此式中包含了影响水土流失的全部因子且量纲和谐。因为在 V_{∞} 或者 V_{∞} 中表示了水土流失系统的性质,它的大小与水土流失的程度呈正比例关系。它不仅与植被覆盖程度—覆被率或者盖度有关;也与土壤理化性质、地形地貌有关。在具体分析时可将其划分为几个部分考虑,从而也就与影响水土流失的自然因子联系起来,有待于深入研究。

在降雨动能中,既有降雨强度,降雨历时,也有与雨滴性质有关的参数 e_m ,此项计算中包含了降雨过程中雨滴径级、雨滴的终点速度等。

3.2.3 影响水土流失因子间量纲和谐分析 如果展开上式所有各项的实际含意后,不难看出:在系统过剩的能量这一项中,包含了影响水土流失的所有因子,且各因子之间的量纲是和谐的。那么依据水土流失系统物质过剩量和能量过剩量建立水土流失的预测预报方程,再经必要的技术改进后和水土流失的量连接一起,则所建立的方程必然量纲和谐,而且不受各因子变化的影响,在宏观范围易于推广。

总之将系统物质和能量的过剩量同水土流失的产流产沙量联系起来,必然会使水土流失的预测预报方程中所含有的因子间量纲和谐。目前,有待解决的问题是:(1)水土流失系统容量的动态函数式;(2)水土流失系统过剩物质与能量和水土流失量的关系式;(3)过剩物质是否一定在开放性系统中交换出来或者交换多少;(4)过剩能量以何种形式消耗掉,对水土流失的影响程度又是如何?诚然在解决了上述问题之后,则建立量纲和谐的水土流失方程就具备了充分的条件,才能建立起具有应用范围广泛,且规范化的水土流失的预测预报方程。

参 考 文 献

- [1] 美国土壤保持协会.土壤侵蚀预报与控制.北京:农业出版社,1981年
- [2] 刘志等.雨滴击溅作用对黄土结皮影响的研究.《水土保持学报》,1988年,第1期
- [3] 江忠善.黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究.《中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊》,第7集
- [4] 陈一兵.欧洲土壤通用流失方程式简介.《中国水土保持》,1993年,第2期
- [5] 赵鸿雁等.水土流失系统物质能量交换规律的研讨.《水土保持学报》,1993年,第1期

(上接第 48 页)

参 考 文 献

- [1] 《第七届全国遥感技术学术交流会论文集》.1991年
- [2] 《第八届全国遥感技术学术交流会论文集》.1993年
- [3] 陈述彭.以开放促进遥感事业的发展.《中国科学报》,1994年7月18日
- [4] 周忠谟,易杰军.《GPS卫星测量原理与应用》.北京:测绘出版社,1992年12月
- [5] 中国科学院士陈芳允、杨嘉墀、闵桂荣.“空间技术的研究与利用”.《中国科学报》,1994年3月7日
- [6] 李壁成.水土保持遥感研究与应用方兴未艾.《水土保持科技信息》,1992年,第2期