

730

TP751

L34

国家高技术研究发展计划
信息获取与处理技术主题 资助

高效三维遥感集成技术系统

李树楷 薛永祺 主编



A0930326

科学出版社

2000

内 容 简 介

本书是国家高技术研究发展计划(863 计划)信息获取与处理技术主题(308 主题)的重点项目“三维信息获取与实时(准实时)处理技术系统原理样机”及“机载三维成像仪”研究成果总结。全书共分四章 17 节。从实现“数字地球”、“全球变化研究”、“国家战略目标”对遥感对地观测技术体系需求的角度,分别按绪论、信息获取、信息处理、系统检测与飞行试验结果分析的顺序,全面地阐述了这项新型遥感集成技术系统的定位、理论、方法、技术集成、系统能力与特色,并对其今后发展进行了分析。

本书可供从事遥感对地观测、空间信息技术研究与应用等新兴交叉学科领域的学者与科技管理人员参考,并可作为有关院校师生,特别是研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高效三维遥感集成技术系统/李树楷,薛永祺主编. — 北京:科学出版社, 2000.1

ISBN 7-03-008082-3

I. 高… II. ①李…②薛… III. 三维-遥感图像-群集技术 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 68101 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

源海印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2000 年 1 月第一次印刷 印张:14 插页:4

印数:1—1 500 字数:331 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

前 言

“数字地球”是依数字信息为基础,通过构建地球尺度、地区尺度、国家尺度等专业与综合模型,适时地、准确地描述地球系统及其动态变化规律的巨型系统。目前还只是个概念,有多种多样的理解和解释。中、美两国领导人在这一问题上的呼应不是偶然现象,尽管两国国家目标相差径庭,但都认为“数字地球”能为实现各自的国家目标所用。在“国家”这种群体形式存在的今天,掌握了“数字地球”就可对本国及世界其他国家的经济状况、军事状况及其他相关状况了如指掌,成为制定和实现国家经济战略、安全战略、政治战略目标的重要工具。

“数字地球”其首要功能是为国家战略目标服务,是一种政府行为。科学技术是实现国家战略目标的工具。国家战略目标是有适合国家需要的具体指标要求的实在问题,科学技术则必须按这种“指标要求”作适应、改造、创新。因此,科学技术达到上述要求的过程必然是一个创新的过程。在达到国家战略目标要求的前提下,科学技术也得到了迅速发展,甚至生长出新的学科与技术领域。这也是科学技术在构建“数字地球”中的定位。“数字地球”的第二种功能是:可为人类赖以生存的地球系统环境的可持续发展作出贡献,达到全球变化研究中理清楚“地球系统”中各专业因子变化规律、综合变化模型、人类活动及自然规律在变化模型中的权重,进而制订治理“病态地球”的各种共同行动准则的目的。“数字地球”的第三种功能是:各国国内发展所需的资源环境动态监测,为各国政府在本国建设事业可持续发展方面的宏观决策服务。“数字地球”的这后两种功能同样有指标要求,也不是纯学术的学院式的学科研究。“数字地球”最终将成为信息社会的重要组成部分,服务于多种人类活动及人们的日常生活之中。

“数字地球”构成中涉及到很多理论和技术问题。概括而论,主要是数字信息的获取、处理、应用、存贮、管理、通信、表达以及各种专题模型、综合模型等。鉴于“数字地球”所涉及到的面积概念、数据量概念较之现有概念均以数量级的单位增大,带来了上述流程每个技术环节的适应性问题。高效数据获取技术、宽带通信、海量数据存贮、海量数据处理、地球尺度海量数据的专业模型和综合模型化问题、海量数据的标准化问题等一系列科学技术问题均需适应这种要求。构建“数字地球”的数字信息种类很多,获取的方式和技术手段也多种多样,如统计、直接测量、模拟信息的数字化、遥感对地观测等等。其中以地球尺度、地区尺度、国家尺度并在一定时限内有可能获得这么大范围数字信息的技术,首推遥感对地观测技术。遥感对地观测技术是“数字地球”主要的数字信息源这种认识已为世人共识。事实上,遥感对观测技术 30 多年来取得的辉煌应用成果及相关技术的发展是形成当今“数字地球”概念的重要基础;可以认为,没有遥感对地观测技术提供人们认识自然的强有力工具和实际效果,当今“数字地球”的概念也不会产生。主要数字信息源问题得不到很好的解决,其后的各个技术环节均面临“无米之炊”。同样地,技术流程环节中任一项解决得不好,均会使信息流程产生“梗阻”,而不能达到最终目的。

当今的遥感对地观测技术,尽管已有 30 多年的发展史,仍处在不断发展、完善的阶

段;尤其担负起构建“数字地球”的主要信息源任务,又主要是服务于政府行为的实在的国家目标。实现任何一种国家目标中,下述几个问题均为重要的指标要求:

(1) 实现国家目标要求必须的适用信息源。包括空间分辨率、波谱段、波谱分辨率、时间分辨率、四维构造能力等(称适用信息源)。

(2) 大面积的获取能力。全球范围、地区范围、国家范围等依国家目标要求范围内的数据获取能力(称面积覆盖能力)。

(3) 国家目标所要求的精度指标。包括目标识别精度、定位精度、模型精度等系列精度要求(称适用精度)。

(4) 时间要求。按要求期限将要求范围内适用精度的成果提交使用。信息更新周期要适合国家目标的要求(称时效性)。

(5) 连续提供信息成果的能力要适应国家目标要求(称连续性)。

这五项基本要求是实现国家目标时不能回避的问题。“动态监测”逐渐成为共识的情况下,为国家目标服务又需在“动态监测”方面加上了更为具体的、必须达到的指标要求。能得到什么数据就用什么数据,能做出什么结果算什么结果,什么时候做完没限制,能做到什么精度算什么精度,遥感界以往存在的这类“观念”已不适应国家目标的要求。遥感对地观测技术是一项由多个连续流程环节构成的系统工程,最终产品的价值是检验这一系统工程能力的唯一标准。因此发挥遥感对地观测技术最大能力的应是信息获取、处理、应用、存贮、通信、产品等高效一体化的整体系统。

高技术本身是没有国界的,其应用目标却随国家而异。每个国家发展遥感对地观测技术都是依明确的国家目标作为驱动力。充分利用国内外已有可用技术的基础上为实现国家目标补充专用技术是重要技术发展途径。尤其上述“动态监测”的五项要求,建立具备这种能力的自主遥感对地观测系统已是当务之急。在“国家”这种形式存在的情况下,完全依赖国际环境是不实际的幻想。加之,当前国际上的遥感对地观测系统尚不具备上述五项要求的能力。这是前述的遥感尚处发展、完善阶段中不可避免的现象,也不可能侈望别国为中国的需求设计适用系统。

根据中国国情,具备上述五项功能的自主遥感对地观测系统是一种星-机-地一体化的高效技术系统。以适应国家目标不同尺度的需求,发挥星、机、地各平台之长,避其所短,互相补充,成为一个整体。增强“动态监测”能力的重要技术途径是按“快速”目标重新设计传感器及其后续应用系统。并依系统工程的概念,依信息获取、信息处理、信息应用、信息表达、信息通信、信息存贮与管理的一体化;技术与应用的一体化;“定性”、“定位”、“定量”一体化;应用基础、技术方法、高技术、国家目标一体化作为基础,充分利用可利用的技术发展环境,按国家目标要求建立新型自主的遥感对地观测技术体系。这是构建“数字地球”达到国家目标所需适用“主要信息源”的重要途径。

国家高技术研究发展计划信息获取与处理技术主题专家组(略称:国家 863 计划 308 主题专家组),在“数字地球”概念未出现之前的 1991 年,开始支持新型的以高效率为主要目标的“三维信息获取与实时处理技术”项目,经过 9 年时间的不懈努力,已先后完成了线扫描和圆扫描两种方式的机载“原理样机”。其中的圆扫描方式的机载“原理样机”已达到 1:10 000 比例尺专用全数字地图的定位精度。通过传感器硬件设计实现直接获得遥感图像的三维地理坐标,通过高精度姿态与动态 GPS 定位实现无地面控制点的空→地直接

定位方式等技术途径,达到了得到同样的地形正射影像较之常规技术提高 10~100 倍的高效率,实现了实时或准实时的高效机载遥感系统的目标。这项拥有自主产权、申请了国家发明专利的高效三维遥感集成技术系统,先后经过在约 400 平方公里范围内多次飞行试验和用户指定区飞行检验,验证了性能指标。适应了前述构成“数字地球”实现国家目标的高“动态监测”能力需求,代表了一种发展方向,并具备发展为高空机载、星载遥感系统的潜力。

本书作为项目组的研究成果,将研究报告与成果整理成册。为便于交流,将各章节英文摘要列于书后。参加本书编著的有:李树楷(第一章 第一节~第六节),薛永祺(第一章 第五、第六节;第二章 第一节),胡以华(第二章 第二节之一、二、三、四、五、六、七,第三节;第四章 第一节),刘少创(第一章 第四节;第三章 第一节之一、二、三,第二节之二),江月松(第二章 第二节之八;第三章 第一节之五、六,第二节之三),邵辉(第二章 第四节;第三章 第一节之二),尤红健(第二章 第五节;第三章 第一节之一、二、四、五、六,第二节之一、二;第四章 第三节),沈再勋(第二章 第六节;第三章 第一节之三;第四章 第二节),刘彤(第三章 第一节之一、四;第三章 第二节之二),向茂生(第三章 第一节之二;第四章 第三节),陈继平(第三章 第一节之三;第四章 第二节),马景芝(第三章 第一节之四),金东华(第三章 第二节之三),徐逢亮(第三章 第二节之四),方抗美(第四章 第一节),刘建明(第四章 第三节)。由李树楷、尤红健对全书进行统稿、定稿。曹秀梅完成计算机录入及输出。

值本书出版之际,对国家科学技术部领导及中国国家 863 计划 308 主题专家组的长期关心与支持,对著名科学家王大珩院士、陈述彭院士、徐冠华院士、陈芳允院士、王之卓院士、匡定波院士、孙鸿烈院士、胡启恒院士、李德仁院士、童庆禧院士、陈俊勇院士、刘先林院士等的支持和鼓励,在此一并致以诚挚的谢意。同时对依托单位中国科学院遥感应用研究所、中国科学院上海技术物理研究所、上海市仙通信息技术研究所为项目创造了良好的支撑和管理环境及项目组全体成员的敬业精神、创造性劳动表示感谢!

鉴于时间仓促,书中不当之处在所难免,诚望读者指正。

第一章 绪 论

第一节 遥感技术应用现状分析

一、引 言

遥感与计算机、医学、光学、电子学等学科一样,从事研究工作的最终目的仍是解决实际问题。由于科学发展的规律,从知之甚少到知之日多,从初期的理论设想到逐步验证理论,研究实现理论设想的方法,研究成为具有一定移植性的方法的技术实现途径,直到成为能够最终解决实际问题的技术。用这种技术在解决实际问题时又会发现新问题,反过来进一步完善理论、方法和技术。如此循环发展,学科日渐成熟,方法日渐成熟,技术逐渐趋于完善,解决实际问题能力逐渐增强。这种过程为区别其性质,人为地将其分为理论研究、应用基础研究、技术发展与应用等不同的部分,其实质是一个学科完整概念的不同阶段,其中每个阶段都在学科发展中起到独自的无可替代的作用。

遥感与计算机、医学、光学、电子学等学科又有不同,主要有三点:一是遥感这门学科太新,仅有 30 多年的发展过程;二是遥感这门学科综合性很强,涉及到的学科太多;三是最终成果是公益性的政府行为,不可能像半导体收音机一样,成为个人拥有的产品。“太新”使得遥感这门学科显得不够完善;“综合性太强”使得利用相关技术的步骤显得超前,整个学科的初期发展过程较之常规在步骤上有些逆转。因此产生了一些认识上的模糊——遥感是一门技术还是一门学科的问题。正如光学仪器已在社会的很多方面作为工具得到广泛地应用,而光学作为一门学科是不应怀疑的一样。遥感同样如此。

由于上述三点,也造成遥感的应用基础研究紧跟遥感器的发展而疲于奔命,基础研究滞后,存在着整个遥感科学储备不足的隐患。对于我国来说,遥感发展经历了引进、消化、应用的若干过程,已经取得了很辉煌的应用成就,但毕竟是跟踪和应用国外技术。当今的遥感发展现状是否完全适应我国的国情,对于我国急需解决的问题其能力能否完全胜任等,应是问题的另一方面,也是值得遥感科技工作者反思的问题。一个学科解决实际问题的能力愈强,社会给予这一学科发展的环境愈优越,学科发展愈快;反之,有可能成为促进社会发展的“生产力”而未意识到,或只追求学科的发展而不太注意研究到一定程度及时地将其转化为“生产力”,那么这个学科很难说能有较好的发展环境。同样地,没有足够的科学储备和能力,实现“生产力”的转化也是不符合科技发展规律的。

这里仅就遥感作为一种监测技术时,对遥感的发展作些分析。

二、遥感技术及其应用的性质、作用

遥感作为一项宏观观测技术时是人类认识自然的工具。从地面到航空、到航天、到宇

宙飞行不断发展的各种传感器提供的遥感信息,使人类对自然界的认识不断深化。在环境、资源、人口已成为世界各国关注的“热点”问题之际,对遥感的要求更显得迫切,对遥感的能力要求愈来愈高,尤其是要求遥感能适时地、连续地提供要求范围的适用信息及其成果。从对地观测的遥感范围而言,突出的是全球变化研究及区域资源、环境动态监测这两大应用领域。其应用性质决定了对遥感的“高时效”、“适用精度”、“适用的面积范围”等能力方面的需求。为保护人类生存的“地球系统”环境,首先需要了解和认识影响“地球系统”环境的自然规律作用、人类活动影响的程度及其作用机理,继而采取相应的措施。全球变化研究的总体尺度是“地球系统”,其要素很多,各要素变化周期千差万别,达到这类要求有很大难度。

区域资源、环境动态监测是与各国当前的利益更为密切的应用领域。尤其是像中国这样的经济迅速发展中的第三世界国家,资源的供需平衡,经济发展带来的环境问题的评估、预测与对策;城市化带来的与农业争地问题;涉及 12 亿人口吃饭问题的农业布局与估产;建设规划区的本底环境条件调查与评估;突发型重大自然灾害的预警与防灾、减灾等等,涉及到经济可持续发展的问题突出。遥感作为一种工具,从监测直至成果的提出,其周期至少应与经济发展的速度同步,甚至适当提前,才可能对指导当前的建设有意义。

遥感在这两大应用领域中作为监测手段,是以往任何技术所无可替代的高技术型工具。其作用在于以遥感信息的方式反映观测对象的波谱特性与分布特性,加之以背景信息等非遥感信息复合分析后达到认识自然的目的。

上述两大应用领域,尤其是后者,遥感对我国这样经济迅速发展中的国家,解决认识自然问题时必须具备的上述“高时效”、“适用精度”、“适用的面积范围”的能力。所谓“高时效”是指在所要求的周期内取得成果,也即完成监测(信息获取)、数据处理(信息处理)、得到专题成果(信息应用)的全过程所需时间不超过所要求的周期。“适用精度”是指随应用目标和专题范围,取得所要求精度的专题成果。实际上涉及到合适的波谱范围、光谱分辨率、几何分辨率、波段宽度、波段数、监测周期与频率、平台高度、几何精度、判据的充分程度、识别模型的适用性等多种问题。归根结底是按应用需求的不同分别达到要求的定位精度与定性精度。“适用的面积范围”是指达到应用目标所必需的信息量。例如,一个县的土地利用详查为应用目标时,其“适用的面积范围”就是一个县的面积;当应用目标是一个省、跨省形成的经济发展带、全国范围或全球变化研究的范围时,其“适用的面积范围”要相应地变化才能达到应用目的。与此相应的是相应面积范围的“高时效”、“适用精度”的遥感监测,带来信息获取、信息处理、信息应用整个作业流程的不同难度。

当前中国建设事业的迅速发展遥感能够发挥作用的范围应该说县、地、省、跨省经济带、全国各种类型都有。尤以全国这一块对中央的宏观决策,指导全国建设事业的发展更具特殊意义。其技术难度更大,实现更困难,也是遥感界需精诚团结、共同努力的方向。

三、适用“信息源”不足是影响遥感动态监测能力的“瓶颈”之一

将全国的遥感资料收集齐全,至少有几套卫星资料。航空遥感资料也相当可观。问题是要指导当前迅速发展的建设事业,并非作回顾分析,也即“动态监测”成为遥感发挥作用的重要方式。“动态监测”的周期不允许太长,10 年是两个五年计划的时间,显然不行;

5 年一个周期,只能用于一个五年计划的回顾总结,看来也不行。监测周期最长只能是 3 年,最好不超过 2 年。那么需要信息源的更新周期要在 2 年以内,这样信息源问题就成为突出的问题。

1. 星载信息源

遥感在中国的发展已有 20 多年的历史。中国使用的绝大多数卫星遥感信息数据是花费巨资从国外、特别是美国和法国的卫星获得,也仅能依这样的卫星遥感数据去做各种专业应用。随着遥感应用的深化,特别在中国关于农业土地资源的详查,农作物布局的监测,洪涝、地震等灾害的监测与损失评估,城市环境变化的监测,森林、植被资源的清查,中、大比例尺图件的编制、修测与更新,地质矿产与油气资源的开发等,均对高空间分辨率、高光谱分辨率、不同波谱段、合适时相、多种精度的遥感信息提出了迫切的要求。

目前国际上通常使用的遥感信息主要来自 3 个卫星系列:美国陆地卫星系列、法国 SPOT 卫星系列以及美国 NOAA 卫星系列,其中最主要的首推陆地卫星系列。美国发射第 7 颗替代星,在此之后陆地卫星系列将停止运营。法国 SPOT 卫星分辨率较高,多光谱 20 米,全色达 10 米,然而其覆盖范围小(一景仅 3 600 平方公里),且价格昂贵,大大限制了它的应用。NOAA 卫星属气象卫星系列,虽在陆地和海洋上找到了广泛的非气象领域的运用,但受其分辨率低的限制,其用途主要在宏观分析方面。

从国际遥感发展趋势来看,20 世纪末及 21 世纪初的几年,数十颗各种类型的卫星将要发射升空,空间分辨率将可能达到 1~3 米。然而,在诸多类型的卫星中尚未发现原陆地卫星那样的业务运行性的系列卫星,它们大多属于环境研究卫星。如美国规模最大的“地球观测系统(EOS)”计划中的数十种遥感系统均是为研究全球环境变化而设立的,它们将不承诺向用户提供业务运行性甚至商业性遥感信息的服务。另一方面,美国和其他国家的一些公司计划研制和发射的高分辨率卫星或小卫星则带有明显的商业性质,如美国 Eyeglass 公司计划发射的 1 米地面分辨率遥感卫星,以色列的高空间分辨率(1 米)卫星等。以牺牲空间覆盖来换取高空间分辨率的方法将导致它在轨道上难以在短时间获得较大面积的覆盖,从而其宣传作用可能远大于实际效果。

中国的民用星设计寿命 2 年,回归周期 26 天,遥感器为可见光、近红外 CCD 相机和红外多光谱扫描仪。回归周期及云层影响在 2 年“寿命”期间尚难以覆盖全国。这颗星推迟约 10 年时间,刚刚上天,难以满足上述“目标”的需求。

利用国外高分辨率卫星,如以色列的 1 米空间分辨率卫星,租星费要价是 1 景 1 万美元,10 公里×10 公里 1 景,卖价要 1.3 万~1.5 万美元。我国经济发达区以 600 万平方公里计, $60\,000 \times 1.3 \text{ 万} = 7.8 \text{ 亿美元}$ 。据知,只提供产品,不允许接收,30~50 美元/平方公里,经济发达区全覆盖也需 2 亿美元。看来中国是无法购买的。况且要取得覆盖中国 600 万平方公里的经济发达区没有几年的时间也是不可能的。但若用 TM 研究耕地定位精度不够。

法国 SPOT 卫星光谱段方面弱于 LANDSAT TM。侧视异轨构成立体,形成立体像对的概率很低。其价格每景 3 000~4 000 美元,中国的用户难以接受,今后估计也不会有大的好转。

2. 机载遥感信息源

中国机载遥感技术的发展水平是不低的。在实现上述“目标”中,较大比例尺的专题应用主要是靠机载系统。“八五”期间的洪水灾害监测、城市环境遥感、大面积的遥感专题应用与测绘地形图相结合的项目等等主要还是采用机载遥感技术完成。尤其以测绘国家基本地形图为目的的信息源、林业调查的信息源、城市规划的信息源几乎完全依赖机载系统提供。

中国的机载系统也存在不少问题。一是分散,没有计划。民航二中队转轨后兴起不少小公司。除军方航测团外,飞机、设备等满足国家需要尚有不小差距。二是飞机能力(飞行高度、续航能力等性能指标)只能满足近距离作业。尤其多为轻型飞机,电力供应、机舱容积、载重量等的限制,成为一种综合多功能的机载平台尚有很大差距。三是没有全国运行的能力。这些飞机均为部门所有,中国空域管制制度尚没有给这些轻型飞机飞遍全国处处开绿灯的待遇。

由上述可知,今后 10 年的信息源状况是:适用的星载信息源没有可靠的来源,即使花巨资也需几年才能覆盖所要求的范围。气象卫星仅可作为宏观监视的信息源。中国卫星系统在近期难以保证上述的信息源供应。中国机载系统有相当实力,但没有构成总体实力。集成技术在中国已形成共识并有相当的积累和技术水平。归结上述,解决信息源可供选择的途径是:尽可能利用“可用的”卫星信息源为本底,发展增强型的快速高空遥感集成技术系统为中心,中低空实时(准实时)机载系统为补充的技术发展战略,以满足或缓解中国对遥感信息源的迫切需求。这是实现前述目标的重要保证。

四、发展“高时效”的遥感技术

遥感对地观测技术从信息获取到信息应用直到得出向国家提供的成果数据,整个作业流程周期必须满足目标需求。农业估产中作物长势监测是个很重要的因素,监测周期一般 10~20 天;耕地面积是个变量,可以说每年均有变化;沙漠化大体也是年变化周期;突发型重大灾害更是要实时监测并得出初估结果时对防灾、救灾才有意义等等。

国家必须掌握每年的资源环境变化量、国土基础信息变化量等等第一手真实的数据,比如每年的耕地面积变化量及其分布。涉及到每年的粮食估产、粮食进出口政策的决策、12 亿人口的吃饭问题、建设占地比例的调整等等问题,以致整个经济发展的决策。

遥感作为一项宏观观测技术必须为国家宏观决策服务,这是毋庸置疑的。国家需要的时候不能提供决策依据,那么日后提供的即使是精度很高、很准确的数据也只能用于回顾分析,而不能直接用于当前的发展决策。

当今的遥感对地观测技术在“高时效”方面的实际能力列于表 1-1-1。

由表 1-1-1 可知,常规的遥感技术在为实现前述应用目标时的“时效性”存在较大的问题。表 1-1-1 中所列土地利用现状调查等均是中国经历过的事情。

表 1-1-1 遥感综合效率表

项 目	基本地形图	土地利用现状详查	资源、环境调查
利用技术	航测	遥感等综合技术	星载遥感应用
范围	全国(1:5万)	全国(1:1万)	全国(1:10万)
投资强度	> 10 亿元	10 亿元	约 2 亿元
所需时间	> 20 年	10 年	估计约 5 年

正如前述,中国的遥感应用是在别国设计、发射的卫星图像数据的技术框架下进行的。按照其卫星设计原理,必须经过数据预处理→辐射校正→几何校正→图像处理→试验区验证→专题制图等复杂的作业流程。这中间包含了如搜集地形图、寻找控制点、读取图像坐标和地形图上的坐标等等人工劳务大量介入的技术过程。

遥感卫星从设计、制造到上天,那么相应的应用作业流程就已经确定了,直到得到应用结果就需要那么长的时间。即使信息源可以保证,同样地因繁琐的作业流程,想快也快不起来。这是由遥感卫星的设计原理所决定的。遥感卫星系统的设计原理是确定其“时效性”的关键所在。机载遥感具有相同的设计原理。一幅设有其他辅助参数的光机扫描多光谱遥感图像,用它作出专题图,比卫星遥感图像更困难,所需的地面控制点之多,简直毫无实用意义,要达到“时效性”要求几乎不太可能。

由上述可归结为如下认识:当今常规的航天、航空遥感技术在“高时效”方面存在较大的问题,原因有三个:一是适用的遥感信息源没有保证;二是常规遥感对地观测技术的设计原理不可能达到这种“高时效”要求;三是数据处理问题急待解决。为此,以快速型为目标,设计新型对地观测技术系统,建立稳定的信息源保证与高速处理体系,显得十分迫切和重要。

五、“适用精度”和“全国范围”是遥感应用的期望

土地利用现状调查、城市规划、地质填图是有规范的;作物估产没有规范,但应有精度要求(一般为百分比,如 95%…);环境问题是具有指标的等等。也即各专业应用领域均有要求达到的精度问题,这些精度标准又是千差万别。当今的技术发展很快,但也不可能有一种“万能技术”可以解决多种专业领域的适用精度问题。所谓适用精度就是一种实际需要的精度。一律以最高精度标准作为多种专业领域的共同标准,显然不经济、很困难且根本没有必要。因此应依专业应用范围不同选用相应的信息源、相应的处理技术。

适用精度包括空间定位精度、目标识别精度和变化率,也即遥感最终要回答:“在何时?”、“在什么地方?”、“是什么?”、“有多少?”。影响空间定位精度的主要是空间分辨率、几何保真度以及对地定位方法的严密性;影响目标识别精度的是光谱分辨率、波段范围、波段数、响应灵敏度、大气传输以及各种遥感与非遥感信息判据的充分程度,也取决于目标识别模型的正确与否等等因素。简言之,应用的技术方法和判据是否足够反映自然界目标与相邻目标的区别。

常规的遥感作业流程中,正因如前述这种流程的繁杂及获取足够判据的难度,即使有通用的模型(如地形校正等),但不能成为实用技术。通常的应用技术中依然靠二维数学模型处理多维、多元的遥感信息,辅之以目视经验得出一种不踏实的结果。

常规的遥感作业流程中,往往依一种信息源去作各种不同精度要求的专业应用。例如 LANDSAT TM 数据,小比例尺专题应用用它,中、大比例尺专题应用时也用它。的确也因种种原因没有其他的信息源可用。用 TM 来做 1:1 万比例尺的土地利用现状图是不行的。那么全国的 1:1 万土地利用现状图又用什么信息源来做呢?

以自然界为观测对象的对地观测技术领域里,需要多种高度遥感组合平台取得遥感信息,与其他非遥感信息一起作多元、多维复合分析是提高目标识别精度、保证空间定位精度的正确途径。波谱信息是目标识别的重要信息,但不是惟一信息。最终由遥感平台、大气传输路径、地面背景信息等有机地构成一种闭环的多高度平台组合的综合计量型技术体系是达到多专业要求的“适用精度”途径。

“全国范围”的遥感专题应用是努力的方向,就中国而论,用遥感技术做出任何一种全国范围的专题图件都是需要付出相当艰苦的代价。其一,要收集覆盖全国范围的遥感信息。一个卫星地面站的接收范围不能覆盖全国,一个卫星地面站接收范围内的卫星遥感数据收集全也决非一二年能完成的。其二,将覆盖全国的遥感信息从中提取出专题内容并制成产品形式,按当今的技术系统的原理而形成的作业流程同样需要 2 年以上的时间。其中遥感技术的设计原理决定了其后的作业流程就需要那么长时间是重要原因之一。其三,用于专题应用的遥感适用信息源没有保证。遥感卫星几乎均是外国的星,各国发射的星总是根据其本国国情确定应用范围。中国因种种原因还不能全部利用。即使可利用,但是否适用也存在问题。

六、发展遥感集成信息系统工程

遥感为国家宏观决策服务这一任务,在中国碰到了前述的困难。为此发射系列高分辨率卫星似乎不具备这样的条件。从商业渠道购买高空间分辨率卫星数据,其价格之昂贵,只能望而却步,且“时效性”也远满足不了要求。从国际遥感发展动向及中国国情出发,发展以高空快速大型机载平台为中坚系统,由卫星遥感、中低空准实时遥感集成系统、地面信息获取系统等构成多高度信息获取技术系统;以高速大容量信息处理技术、背景库技术、GIS 技术、专业应用技术及网络构成的信息处理与专业应用系统,由这两者有机地组成遥感集成信息系统工程,这应是能够实现上述目标的具有中国特色的技术途径。基本特征的比较见表 1-1-2。

表 1-1-2 性能、价格比较表

项目 \ 卫星	SPOT	LANDSAT 七号	高空间分辨率卫星 (如以色列的卫星)	本建议
每景面积(公里×公里)	60×60	185×185	10×10	宽 20 公里
每景价格(万美元)	0.3~0.4	0.1 以上	1.3~1.5	
空间分辨率(米)	10	30	1(或 3)	1~1.5
土地利用现状适用性	宏观应用	宏观应用	适用详查	适用详查
全国范围 (400 万平方公里)价格(万美元)	500	12	15 000	(折合)200
覆盖全国估计周期(年)	4~5	2~3	5~8	1~3

遥感集成信息系统工程将具备下述能力:

(1) 利用可利用的合适卫星信息源覆盖中国经济欠发达区(50%以上国土面积)的能力,5年提供1次1:10万专题信息,力争覆盖全国90%以上国土面积;

(2) 高空快速大型机载平台每年覆盖国家经济发达区(约50%国土面积)的能力,动态变化剧烈区用中低空准实时机载集成系统完成;

(3) 应满足“适用精度”标准,1:1万~1:10万比例尺专题制图能力;

(4) 应满足“高时效”要求,每年(或2年)提供一次全国单项专题成果的能力;

(5) 实时重大突发型灾害的监测与评估能力。

遥感集成信息系统工程具备上述能力的技术措施:

(1) 将全国范围按经济发达程度分区、按山区与平原分区、按城市范围与一般地区分区,总体而言,经济发达区在国家经济建设中的权重较大;平原区较山区开发程度高;城市范围比一般地区经济活动、资源消耗、环境变化更为强烈。如此分区,全国将有约50%以上的面积范围为相对经济欠发达区。一般这样的地区以1:5万~1:10万比例尺专题制图精度,以5年的监测周期所得出的结果用于全国每年一次的资源环境动态变化信息的汇总,不会对国家宏观决策产生明显的影响。以适用的卫星信息源为主完成。

(2) 经济发达区,如沿海经济带、长江流域经济带、欧亚大陆桥等等经济发达区。这些区域动态变化周期也较短,在国家建设事业中占的权重也大,这样的区域约占全国面积的约50%左右,宜采用1:1万~1:5万比例尺专题制图精度,以1年(或2年)为监测周期是适宜的。这样的地区尽可能用星载信息源作本底,以高空快速机载集成平台为主完成。

(3) 城市及其周边地区(包括大型工程波及区、经济开发区等)。这类地区是资源环境动态变化最为剧烈的地区,相对于全国而言,这只是“点”。这些点分布在全国,每个点仅仅是百平方公里量级的面积。这些点却又是经济、建设活动最为活跃、资源供需交换频繁、环境变化周期短且程度高、经济影响力突出,具有牵一发动全局的“战略”地位。

这类点的特殊地位,迫使资源环境动态变化信息的更新周期更短,数据信息精度要求更高。点的数量又相当大。仅城市而言,县以上有670个,百万人口以上城市有42个。更新周期1年甚至更短,专题数据精度1:1万,1:5 000甚至1:2 000。以全国考虑以1:5 000比例尺精度为宜。用中低空准实时集成型遥感技术系统完成这类监测。

(4) 气象分区。全国气象分区对机载系统而言,是发挥系统能力达到目标的关键技术措施。

(5) 高空快速机载集成平台从信息获取直至取得专题成果,整个作业流程的效率较之常规机载遥感系统提高2~3倍设计是低限指标。每架飞机上安装3套遥感系统,每年力争200个飞行日。达到1万米高度时,每航线地面覆盖20公里的宽度,空间分辨率达1~1.5米。DEM与遥感信息同步快速获取作为设计依据。其中的微波传感器保证天气不好时也可取得遥感数据。

(6) 信息处理与应用技术以高速大容量数据处理能力为设计依据,具备兼容卫星数据、机载遥感数据、地面获取信息的复合处理及输出、输入能力。

综上所述,吸取国外先进技术的目的在于解决中国的实际问题,推动中国的遥感发展。根据中国国情,继承祖先为世界科技进步作出过伟大贡献的敬业与创新精神,发展遥

感集成信息系统工程及多种实用而有创新的技术,使遥感真正成为促进建设事业发展的“生产力”的同时,发展具有中国特色的遥感体系,在遥感事业上多一点民族精神,应是遥感科技工作者的共同愿望。

第二节 数字地球与遥感技术发展

一、概 述

遥感作为一项宏观观测技术,从军事应用的初衷扩展应用于全球变化研究,资源、环境动态监测以及星际探测等广阔领域,显示其无可替代的作用和强大、旺盛的生命力。短短 30 多年的发展过程,相对于其他具有几十年甚至百年发展史的学科而言,遥感还仅是个年轻的、发展速度很快的新学科,也说明遥感对于社会进步的巨大作用和灿烂的发展前景。遥感包罗的内容之多,涉及到的相关学科和高技术之广泛,是一门远超过其他学科的集成性最强的综合学科。它来源于相关学科和技术,是将相关学科和技术的有关部分围绕宏观观测目的有机地形成信息获取、信息处理、信息应用、信息存贮与管理、信息通讯直至信息表达一体化的集成型科学技术体系。这是其他相关学科和技术根本不具备这种宏观观测能力的新型集成型科学技术体系。若用已有学科和技术的范围去定义它,到底是地学范畴还是技术范畴,这正如对具备海、陆、空及各兵种功能一体化作战能力的航空母舰下定义一样,航空母舰是空军?是海军还是陆军?简单地用已有兵种去定义它是不科学的。遥感就是遥感。它是人类认识自己赖以生存的地球环境的无可替代的工具。相关学科和技术均可从遥感中找到自己的“影子”,但无法从遥感技术集成理论和特有的创新科学技术体系中找到自己的“位置”。因为遥感 $\neq$ 空间技术+光电遥感器技术+信息传输、存贮管理技术+计算机信息处理+地学分析+……,不是相关技术与学科的相加,而是围绕实现宏观观测目的的有机集成。

遥感的应用效果好坏涉及到信息获取、信息处理……的各个环节,涉及到各种技术环节的已有科技成就的积累和能力。遥感是依宏观观测技术体系这一“整体”的应用效果来权衡其能力和优劣。计算机学科之所以得到社会普遍重视的首要原因是为社会提供了大量的优良计算工具——计算机。社会的回报及需求的深入又促使计算学科的发展形成一种良性循环。一般说来,遥感的状况是围绕实现应用目标而决定的总体设计思想及按总体设计思想完成技术系统之时,这套技术体系的能力及应用作业流程就已经确定,再想“后天”补救已是非常有限。其中一个重要原因是这种技术体系涉及到的高技术之多、之难,加之大量财力、物力投入的限制,当技术体系已完成时再想改变是非常困难的。应用作业技术流程只能按总体设计思想决定的作业步骤一步一步做下去。应用基础研究也只能在这种框架下围绕如何用好这类数据,使应用作业流程周期缩短,使应用成果的质量更好一些被动地去做些研究工作。即使如此,应用基础研究也需要对整个技术体系了解,才能扬长避短地在充分发挥“技术体系”优势方面有所增色。对“技术体系”不了解甚至没有意识到应该去了解的应用基础研究和专业应用研究只有两种结局:一种是“看图识字”,尔后类推;一种是大量采用辅助技术和信息。这两种情况均没有达到促进“技术体系”发挥优势的程度,做的是事倍功半的事情。换言之,用的高技术系统的现势性很强的数据,而

数据的应用方法却是常规技术水平,甚至是手工作业,这是非常不协调的现象,也是应用流程周期过长的原因之一。要做到对“技术体系”的了解,对于大多是地学出身的应用工作者而言,是个知识更新、拓宽知识面的严峻考验,也是遥感界不敢贸然称为遥感专家的难度所在。

遥感与地学的有些学科不同。有些地学学科可用简单的仪器设备,甚至个人的行为,可对地学现象得出研究成果,经过长期积累甚至形成一种理论。遥感则不同,没有复杂的、高技术的、昂贵代价的“技术体系”提供的遥感数据,就不可能进行遥感应用研究。换言之,遥感“技术体系”的发展推动了遥感应用基础研究和专业应用研究。“技术体系”的发展依据明确的应用目标,从事“技术体系”研制的大多是技术科学专业者居多,对于为什么制定这样的目标并不十分清楚,“技术体系”获取的数据如何应用才能达到应用目标也不很明白。一句话,也缺乏完整的“技术体系”概念。遥感是一个完整的“技术体系”,从事这一“技术体系”各个环节研究的科技工作者能从不同方向努力达到对“技术体系”均有明确的概念,那么最终发挥“技术体系”优势的几率将极大地提高,才能成为真正的遥感专家,才能使遥感成为达到应用目的的“生产力”系统。

遥感尽管是很年轻的综合学科,也有个发展过程。始终围绕着高精度、高效率的“技术体系”目标在一步步地发展着。随着技术发展环境的改善,总体趋势是向“定性”、“定位”、“定量”一体化的高效方向发展,以逐步适应应用需求。理论上,每种应用目的均应有相适应的技术体系保证才可能取得最佳应用效果。鉴于遥感技术的高新技术难度及财力、物力的限制,这是很难做到的;同样地用一种遥感技术体系达到各种应用目的也是不可能的。实际上是“万能”遥感体系,这种“万能技术”历来没有发现过。正如拖拉机是农耕的先进技术工具,但在山区的小片耕地又需要另外的技术工具才能解放农村劳动力,在只有1~2分的自留地中看来还难于丢掉锄头、铁镐。充分说明实际应用问题多种多样,必须有适合不同应用目的的“系列”技术才能达到最佳应用效果。

时至今日的遥感技术,尽管称之为进行全球变化研究、资源环境动态监测的无可替代的宏观观测技术,由于全球变化研究涉及专业因子的变化周期、尺度、精度、连续性等方面的多种多样,当今的遥感技术尚不能达到全部专业因子宏观监测的要求。假若全球变化研究还仅是个研究计划,可以不必苛求上述的周期、尺度……,区域资源环境动态监测却是为各国国家目标服务的目标明确的应用领域,尤其是“数字地球”概念所包含的明显的为国家战略目标服务性质。时效、尺度、精度、连续能力等必须达到的硬指标是遥感“技术体系”无法回避的关键问题,否则国家战略目标将成泡影,这是任何一个国家的当政者不能容忍的现象。可以这样说迄今为止尚没有一个为国家战略目标服务适用的遥感“技术体系”。美国人在科索沃空袭中动用几十颗卫星和各类侦察机,也充分说明尚没有一套适合于局部战争的遥感“技术体系”。最终也脱离不了星-机-地一体化的技术体系才能解决单方面主动的局部战争问题。假若对阵双方信息技术手段大体相当的情况下,美国人在科索沃的这一场信息战中还不知是什么后果。当对手信息技术能力很强时,信息获取直至成为击发火器命令之间几分钟内要解决问题,否则将被对方火力摧毁。从科索沃的实战尚未反映出达到几分钟时效的信息技术体系。

由上可见,以往遥感所发现的环境问题、生态变化等等重大问题促进了全球变化研究的进程;在区域资源环境方面的应用成就以及军事上的应用成就成为推出“数字地球”概

念的基础。尽管尚没有一个完全适合某种应用目的的遥感“技术体系”,但相关技术环境的改善具备了构建这类“技术体系”的技术基础;国家战略目标成为构建这类“技术体系”的动力源泉;遥感 30 多年的发展历程中技术积累和科学储备成为这类“技术体系”成功的条件。可以预料,以国家战略目标为背景的“数字地球”的推进,必将激发依适应国家战略目标需求为指标的遥感新型“技术体系”的突破性进展。

二、数字地球及对遥感的需求

随着遥感技术应用成就日益显著及由此促进了全球变化研究、区域资源环境动态监测日益为世人关注,相关技术环境,如信息高速公路、网络通讯技术等发展迅速,在国家这种群体形式存在的当今社会里,国家战略目标必然成为各国政府职责的首位。当今处于以强凌弱的“文明世界”里,“强大”是硬道理。世界发展史中也没有“讲理”的先例。实现国家战略目标是政府行为,科技是保证,是工具,包括“数字地球”是实现国家战略目标的工具、技术手段。因此构建“数字地球”时应实实在在地将国家战略目标要求作为前提,仅是在科学和技术发展上作文章是不实际的,是“一厢情愿”。

国家战略目标(简称“国家目标”,下同)的具体化为国内发展的宏观决策;国际经济、安全、政治战略目标决策;同时为人类赖以生存的地球环境的保护与治理作出贡献。尽管每项国家目标均包含了很多内容,这些内容要根据国情作优先级排队,但每项国家目标都必然是具有明确要求的硬任务。一般而论所谓明确要求通常包括:“内容”、“时效”、“精度”、“范围”、“连续性”等,也即这几方面的要求是为国家目标服务时无法回避的关键问题,也是遥感发展的方向。

数字地球作为一项主要为实现国家战略目标的工具,尤其是美国提出以 1 米空间分辨率构造“数字地球”,依这种空间分辨率建成的数字地球一旦掌握在少数超级大国手中,那将是一幅可怕的局面。1 米空间分辨率的数字地球可以说对世界各国的经济、政治、军事等情况了如指掌。也有人说美国人搞 1 米空间分辨率,中国不一定搞 1 米,搞几十米甚至百米空间分辨率也可以。这就带来了一个明显的问题;别国对中国了解甚详,而中国对别国了解很粗略,在“国家”这种群体形式存在,超级大国独霸世界野心不死的今天,这是一种极为可怕的局面。

数字地球是一种通过数字信息及依数字信息为基础的各种“地球尺度”、“区域尺度”、“国家尺度”等等尺度的专业与综合模型,描述“地球系统”的现状及其动态变化规律的巨型系统工程的总称,或称其为概念。这种概念又依鲜明的战略目标为背景,因而是一个实在的巨型系统工程。各国发展数字地球的战略目标千差万别,取决于所处的发展阶段(国力、工业基础、科技积累等)以及急需解决问题的优先排序等因素。相应地数字地球所包含的内容及目标要求也各有侧重。但数字地球的大体技术框架是相近的。美国人提出了 6~7 项关键技术,实质上仍是信息技术必然包括的信息获取、处理、应用、存贮与管理、通讯、信息表达等等。有一个首先必须明确的问题是数字信息。数字地球归根结蒂首先要由数字信息,否则数字地球不成立。这类数字信息获取手段是多种多样的,如:统计技术、直接测量技术、已有模拟信息的数字化技术、遥感技术等等。能够以“地球尺度”、“国家尺度”、“区域尺度”在限定时间范围内取得描述“地球系统”现状及其动态变化规律所需主要

现势数字信息能力者,首推遥感技术。因此遥感信息源是构建数字地球的主要信息源。也可是说是构建数字地球的数字信息源头。美国人之所以提出数字地球构建中的6~7种关键技术并非这些技术尚需重新创立。主要是数字地球的全球面积、海量数字信息、整体性等特点给已有的信息处理、应用、通讯、存贮管理、表达等技术环节带来了巨大的难以承受的压力。必须在已有技术基础上作适应性开发、调整,甚至研制新型技术以适应数字地球信息流的畅通。任何一个技术环节的能力出现问题都会使数字地球的构建产生“梗阻”,其中遥感技术是首当其冲的技术环节。换言之,利用现有技术的拼凑试图去构建数字地球是不切实际的。

构建数字地球对遥感的要求,笔者在1992年出版的《全球环境资源遥感分析》一书中阐述过全球变化研究对遥感的需求,其中大多对构建数字地球也是适用的。为简化叙述,不妨依服务于中国国内建设国家目标需求列出几项必须达到的指标。

国家战略目标中除国际经济、军事、政治战略外,国内建设发展战略也是经济持续发展的保证。一般包括全国范围普遍性的国情基础信息问题,涉及重大国家行为的问题等。随不同发展阶段及国际情况的变化相应地国内建设发展战略目标会有所变化,但国家战略目标总是实的而绝非虚的。为此存在区域、尺度、时效、精度、连续性等一系列实现国家目标无法回避的指标要求问题。

1. 时效问题

中国的国家建设以5年为一个阶段,每年均根据当年的发展情况对下年的计划作适当调整。制定五年计划和调整每年计划的决策依据之一是准确的国情基础信息。已经证实,遥感提供的科学数据远比逐层统计的数据要客观、真实。统计数据年年有,可见国家需要每年的数据,相应地遥感也应具备这种每年提供数据的能力。至少不能5年提供一次,更不能10年、20年才提供一次。5年提供一次则对每年计划的调整缺乏准确依据,10年提供一次只能是作为国家长远规划的回顾调整之用,10年中因情况不明产生的损失已无法再弥补。再长的周期已对国家宏观决策毫无意义,只能用于历史回顾性研究。

2. 精度问题

反映在两个方面:一是目标识别精度,一是定位精度。美国人提出1米空间分辨率,这是对一个国家监测的精细程度。对于“地球尺度”、“国家尺度”而言,1米空间分辨率相当于用“显微镜”监测地球、监测一个国家。空间分辨率的提高甚至可根据目标的形状直接识别目标的属性,即目标识别精度得到很大提高;1米空间分辨率可使耕地面积精确到亩。在空间分辨率方面,从国家安全、经济、政治战略考虑,应与此相当,否则相当于别国对中国了解甚详,而中国对别国只有粗略地了解,是很危险的局面。

另方面,国家目标的精度要求会是多种精度标准的。依比例尺而言,从1:5 000~1:100 000,个别情况下为1:25万比例尺。总是依国家目标要求为准绳。

3. 区域能力

仅中国而言应是全国范围。没有全国范围的准确信息,对全国建设宏观决策时极易产生偏差。全国土地面积是多少?年变化率是多少?全国农业产量是多少?这些国家宏

观决策极需的各种依据数据能够及时地提供时,将可使国家宏观决策的正确率极大提高。否则仅是个试验区的范围时仅对技术发展有意义,对国家目标的实现无意义。同样地对全球变化研究和数字地球而言,全球的监测对于探索人与自然相互关系是非常重要的,只有区域范围的监测数据将难予构建全球专业因子模型和综合模型,达不到全球变化研究的目的。

4. 连续性

一次数据仅能说明当时的现状,况且专业因子的变化周期不一,达到专业因子模型化需有若干周期的足够数量的样本数据才有可能,反映出连续提供数据的必要性。实现变化趋势预测时更需要长期的连续监测数据建立可靠的预测模型是外推预测的基础。当今遥感卫星的设计寿命愈来愈长,甚至采用置换任务舱的技术延长遥感卫星采集数据的连续性等等。一方面说明空间技术的进步,另一方面主要的是应用领域对长期连续提供数据的迫切需求。对于国内建设的国家目标而言,这种连续性反映在能否真正成为政府宏观决策的稳定技术支撑。能同统计技术一样,具备年年可提供数据能力时,自然成为政府宏观决策不可缺少的技术工具。

以上仅从主要的几个方面简述了构建数字地球对遥感技术的要求。从 30 年来遥感发展过程中,尤其是在实际的遥感应用中可知,这些要求是很高的。若达不到这些基本要求,遥感这项宏观观测技术在实现国家战略目标时只能是一种可用而不好用,不能成为稳定的技术工具。这些要求是社会需求向遥感技术提出的新的挑战,也是严峻的考验,将迫使遥感“技术体系”的改造、发展以增强能力,向适应这种需求的方向快速发展。

三、构建高效遥感“技术体系”

当今的遥感技术体系中能够连续提供遥感数据的主要有美国陆地卫星系列、NOAA 卫星系列、法国 SPOT 卫星系列。近几年中虽有几十颗各种类型的卫星要升空,空间分辨率将可能达到 1 米和 3 米,但大多是研究性质、特殊目的性质的卫星。有些卫星虽是商业性质驱动,例如小卫星,尚未形成覆盖全球的运行体系,尚难预料在构建数字地球中发挥多大作用。处理不连续的、数据漏洞很多的数据时,其难度之大,很难有实用价值,这并不妨碍其在局部区域的有价值的应用。

LANDSAT, NOAA 均为美国的运行型卫星,但在构建数字地球时却推出用 1 米空间分辨率卫星数据的设想。这有几种可能:其一,NOAA 卫星的区域覆盖能力很强,时间分辨率很高,应用于地球尺度的全球变化研究是适合的,全球变化研究是世界各国共同要做的事情,并非美国一个国家的事。NOAA 卫星数据用于具体的国家战略目标时,显然空间分辨率太低,其作用有限。其二,LANDSAT 卫星的空间分辨率为 10 米量级,即 15 米或 30 米,是以波段数不多的光学遥感器为有效载荷的卫星。轨道重复周期为 26 天,时间分辨率较 NOAA 低得多。更主要的 15~30 米是一种尴尬的空间分辨率。用于更精细地具体战略目标尚有差距。加之,NOAA, LANDSAT 的地面接收站已布满全球,也不可能明目张胆地全部关闭,况且还有商业利益驱动,不少国家已具备发射这类卫星的能力。其三,1 米空间分辨率的卫星是民用星载的更先进的卫星数据源,虽然还需解决不少技术问题才