

遥感地学分析的时空维^{*}

陈 述 彭

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 由于地球系统的复杂性和开放性, 遥感信息的地学分析具有模糊和多解的特点。遥感信息源的获取能力有了飞跃的进步, 而成象机理研究和地学处理过程相对滞后。该文尝试探讨遥感地学分析中所涉及的时间与空间分辨率的临界值与时/空转换问题。并侧重对快速反应、痕迹分析、历史再现与加入信息网络的讨论, 从而提出了有关深度开发和充分利用卫星信息资源, 集成规模生产流水线的建议。

关键词 地球系统, 地学处理, 地学时/空分析, 历史重建, 信息资源设施

1 地学分析的多解

从地球系统科学的角度而言, 对地观测, 无论航空或卫星遥感信息, 研究对象主要涉及两方面的内容: 一是反映区域分异, 包括区域内部的结构和区域外部的对比; 二是揭示区域发展过程, 包括自然历史过程和社会、经济、人文景观的形成、演化、仿真或预测。由于遥感信息瞬时局限性与同步性的特点, 对于它客观反映区域分异的功能较易为用户所理解, 而对于它揭示区域发展过程的功能难以充分发挥。其实两方面的研究与应用是相辅相成的。遥感信息地学分析的研究动向之一, 将着眼于研究时空的转换, 即利用时间差来求空间分布的变化; 或利用空间痕迹追溯时间变化的过程。例如将多次或逐月、逐年的卫星影象叠加, 来反映城市的扩张、海岸的侵蚀、湖泊的消长……; 或通过古城遗址的分布、古岸线的痕迹、地壳断裂的交接顺序, 再现河口三角洲的地层建造与地貌发育……都是地球科学家传统分析方法在遥感应用方面的延续。而遥感信息使这些传统研究成果更具有客观性和说服力。但是, 由于地球这一巨系统的复杂性和开放性, 因而遥感信息的地学空间分析和过程反演往往具有模糊性和多解的特点^[1]。从而很长一段时间, 不少地学专家对遥感信息的应用持保留态度, 或另眼相看, 影响到遥感信息更充分地发挥作用, 也影响某些学科的现代化水平。这是值得深思的一个问题。如何遵循地球系统科学原理指导遥感

信息机理研究, 开拓遥感应用新领域, 克服工程技术上的盲目性; 如何更充分地综合利用当代极大丰富的遥感信息资源, 加速对地球科学研究的国际合作与信息共享, 已成为有识之士的共识。全球研究的国际项目已达 50 多项, 绝大部分依托卫星对地球观测与全球数据库网络, 着眼于时空 (Geospatial/temporal) 分析模型的探讨。

2 地学处理模型

高光谱分辨率已达到纳米级, 试验样机已将可见光和近红外细分到 228—240 级, 中国已达到 71 级, 并正在研制 36 级的实用型扫描仪。从技术角度而言, 光谱分辨率的信息获取能力, 已远远超前发展, 可以为遥感用户提供极大丰富的图象数据资源。中国在这方面已跃居国际最先进的行列^[2], 并对大气、气溶胶、水汽的折射订正^[3, 4], 双向反射问题^[5]进行了深入的研究和建模工作。

微波辐射计和合成孔径雷达多波段和多极化实验样机的研制, 已成功地应用于金属找矿、海况探测、土地利用调查等诸多方面, 形成主动遥感的实验技术系统, 为实现全天候遥感, 克服云层、植被、冰雪覆盖与风沙掩体对信息传输的阻障, 取得突破性的进展^[6]。利用超长波对岩石深部的试验探测, 正在探索之中。

迄今为止, 在遥感信息获取的过程中, 有关遥感探测仪器、信息传输与压缩、大气订正、辐射与

*该文系在国家自然科学基金八五重大项目支持下进行的专题研究。课题组同仁提供了大量资料和见解, 谨此一并致谢

收稿日期: 1997年3月31日。

散射校正等诸多方面的遥感信息机理研究和应用实验,已经达到了相当深入的程度,中国也已跃居于国际先进行列。但应该承认,对观测对象本身——岩石圈、土圈、生物圈、人类文明与社会经济现象等地学、生态学信息反馈机理和环境背景,还缺乏足够深入的定量分析和系统研究。因此对遥感信息的物理机制研究目前还处于数理统计相关分析的水平,还没有深入到发生学、动力学机制的高级阶段。从而对混合象元还没有能力从它的光谱组分去加以剖析,对于同物异谱或同谱异物的出现仍然束手无策,在图象处理时只能作一些技术上的几何分割或虚拟的插补。

在地物光谱研究,特别是高光谱的谱型分析方面,我们开始看到了一线曙光。基于岩石的蚀变程度与花岗岩化的程度,对黄金和其他金属矿床类地球化学特征的探测取得了可喜的进展;微量气体的微渗痕迹,也应用于天然气、油田的勘查;对岩石断裂所产生的压力形变和红外效应的地震机理实验,以及小波结构应用于海浪分析等方面,可以说是在地学机理研究上前进了一大步。

但这些只能说是向万里长征迈出的第一步。遥感信息的地学传输机理全过程还远远没有阐明,原因是由于从物理实验过程(数据)放大到自然界中,还需要通过许多信息衰减或增益的过程。或者说,自然界岩石圈、水圈和生物圈中的信息传输过程。比我们研究较多的大气圈层中的传输过程更为复杂,我们还不敢说已经深入了解了这一过程。目前可以说我们还没有掌握全过程的规律,因而也不能够逆向反演它们,获得较为逼真的仿真模型,从而建立遥感图象数据的地学处理模型。如现在已经广泛应用的数理统计模型那样成熟。正因为此,我们预见这将是很有广阔前景的又一新的技术,需要我们加倍努力去探索研究。

地学处理(Geo-processing)的概念,早在80年代已开始引起遥感先驱们的注意。腾冲航空试验(1978年)时,我们曾经提出景观分异的树状模式。美国国家宇航局(NASA)约汉·斯梯尔实验中心,设计一种通过海拔高程、坡向和坡度识别植物的模式。经过地面实况调查验证,与一般非监督分类图象处理方法作比较,可以由原来的9种增加到34种类型,其原理与腾冲的景观分异规律基本相同。因为迎风坡和背风坡明显地影响光照温度与降水分布,而坡度和海拔影响到土壤和风化壳厚度,它们对植被类型的垂直分布模式作出更细致的修订。对

面积较小的区域,即进行较大比例尺的判读与制图时,这种地理图象处理方法就能发挥更大的作用。

在中国南方亚热带丘陵常绿阔叶林地带,提取成片的橡胶林和柑桔林信息,单凭TM图象的光谱差异是比较困难的,但增加海拔、土壤、坡度、坡向等自然环境立地条件作为边界条件时,识别的可靠性就有明显的提高。在洞庭湖区进行的作物估产实验中,提取水稻的种植面积,单纯通过光谱谱型分析来区分水稻、芦苇、甘蔗和毛竹也遇到过麻烦。但是,在地理信息系统支持下,通过它们不同的地理分布部位作为边界条件,就比较容易剔除大部分的误判,得到比较逼近实况的结果。

90年代以来,国内在遥感图象处理分析方面成功运用地学分异规律的事例相当多,这里只列举几项比较突出的成果:例如对红树林进行分类时,采用陆上植被与红树林分别分开处理的办法,对陆上植被分类按常规处理,而红树林海滩经过波段拉伸细分,按不同红树林群落的光谱特征进行图象处理与彩色编码,在海南岛琼东可以识别9种类型,然后再与陆上植被叠加合成为总体的植被类型图。这样,红树林的类型就得到了突出的反映。又如对河湖沉积相的识别,通过波段拉伸细分,获得成功的结果^[7],对江汉平原的土地利用分类,对长江和汉水阶地和冲积扇等微地貌的反映,影象与实况非常逼近。湖北沙市附近决口冲积扇的表现,河北沧州附近黄河古冲积扇的发现,也都淋漓尽致,叹为观止。内蒙古河套平原的水系变迁与决口扇的发育和湖泊的消长,即使用简单的光学增强与叠加,也能在图象上得到成功的描述。

以上事例说明,即使在MSS或TM卫星遥感图象数据有限的波段组合条件下,通过人机对话的方式,增加地学规律知识参与,充分利用波段拉伸技术与地理边界条件的约束,是可能获得比常规的图象处理更多一些信息的。地学处理方法在今后仍有一定的实用价值和潜力,因为类似于MSS或TM波段划分不多的资源遥感卫星,2000年前还在继续发射(中国、美国)。即使在高光谱扫描仪可以提供细分波段数据资料的未来,有效光谱段的选取和优化处理,仍然需要运用地学分布的时空差异,最大限度地节约计算机资源,事半功倍地提取需要的有效信息。其区别仅在于目前由谱段划分不多、需要在后处理过程中加以拉伸;而将来谱段细分,已在遥感信息获取过程中解决,预期在光谱和多极化雷达图象数据处理高度发展的未来,地学图象处理

方法, 仍将成为重要的技术途径之一。

3 地面分辨率的临界值

遥感信息获取技术的进步, 为地球系统科学研究创造了前所未有的有利条件。20 世纪的成就是巨大的, 由上半世纪的航空摄影、到下半世纪的卫星遥感; 由局域观测跃进到全球准同步观测; 由可见光逐步延伸到红外、远红外乃至微波、超长波。而且 2000 年前, 全球观测中的商用卫星的空间分辨率可能达到米级, 全球定位系统精度达到厘米级, 光谱分辨率达到纳米级。可以预见, 21 世纪初, 遥感卫星对地观测的数据将达到极大丰富的程度, 为信息时代的来临与信息社会的建设, 创造了巨大的资源和财富。

在高光谱扫描试验型波段细分已达到 228 级, 实用型已达 36 级, 合成孔径雷达已实现多极化的当代遥感技术基础上, 遥感信息资源的充分利用与地学分析的深化、已成为当前的技术上的瓶颈问题。而解决这一问题的途径, 在认识上尚未能达成共识, 甚至缺乏遥感信息机理的论证, 出现工程技术决策的误导。以下列举卫星遥感应用方面尚有争议的几个实例供参考。

气象卫星作为一种遥感卫星来看, AVHRR 数据的地面分辨率是比较低的, 星下点约 1.1km。但是它对于遥感应用方面的作用已远远超出预期的设计目标, 至今它是实现全球覆盖的最完整的遥感信息源; 而且它所获取的数据量是与当代计算机信息处理能力发展水平彼此合拍, 即在技术经济最合理的条件下, 基本满足供需平衡的临界点, 从而 80 年代率先实现了对全球变化动态监测的突破, 产生出全球准同步的海陆温度分布图、叶绿素和初级生产力分布图, 乃至测量海平面高度、海洋通量与推断海底地形, 推动地球系统科学研究高潮叠起, 50 多项全球变化研究计划应运而生。它从根本上推翻了地学研究的传统方式, 不再由点、线到面的演绎, 而是从宏观全局到微观细部的拓展。符合人类对自然界认识的阶段性和学科发展的不平衡性, 是人类对地球观测质的飞跃。

区域分异的客观规律本来就是多层次的, 以地质构造研究为例, 前苏联的调查规范中, 对线性形迹 (Linearment) 进行遥感分析时明确指出: 体现洲际大地构造的深大断裂, 它们延伸长达上千 km, 应该在 NOAA 级卫星遥感图象上即可发现; 而控

制区域地质构造的大型断裂则应在陆地卫星级的图象上即可查明; 只有局部性的断裂构造或节理才需要利用大比例尺的低空航空象片来分析。前苏联利用联盟号卫星数据和图象, 在独联体(前苏联)境内发现了 2400 多个环形影象形迹。经过多年地面普查验证, 其中近 2000 个客观存在并符合地质学规律。以此与其他星球相对照, 从而提出了地球上线性构造发育何以掩盖环形构造的科学命题。

地球科学各个分支学科的发展阶段和研究程度是参差不齐的, 对遥感信息的地面分辨率的需求是很不一致的。岩石圈研究程度较高, 地形测绘与地质勘测的程度较高, 陆地全覆盖比例尺已达到 1:100 万, 陆地面积 70% 已有更大比例尺的地图, 大气和海洋研究已具备全球覆盖动态观测能力, 全球 1km 网数据库正在推进之中, 生物圈中土壤分类、土地利用 / 土地覆盖、森林、草场资源的研究, 往往只有少数国家或地区比较深入细致, 而精度要求参差不齐, 对遥感信息地面分辨率的要求, 受地面实况研究程度的限制, 需求是很不相同的。

满足不同观测和研究对象, 不同学科发展阶段, 对地面分辨率的不同需求是不能强求一律的。大鸟卫星的地面分辨率超过 1m, 它是以军事侦察为目的的, 不可能要求它长寿命, 高轨和全球覆盖; 资源与环境对地观测卫星, 既要求它高轨, 长寿命, 全覆盖, 就没有必要和可能同时追求地面高分辨率。即使技术上能做到, 在技术经济上也是不合算的。现实告诫我们, 盲目引进或仿制难免在工程技术上陷入困境: 例如亚洲某个国家, 获得无偿援助的气象卫星的同时, 获得法国 SPOT 卫星的地面接收站, 援助 2000 多万美元的设备, 但由于生产水平和科学技术上的差距, 实际需求不大, 至今 5 年, 所开发利用的只是气象卫星信息。近年来, 亚洲许多国家和地区, 纷纷建立美国陆地卫星和法国资源卫星地面接收站。除日本鸠山站、泰国曼谷站和中国密云站外, 韩国、马来西亚、菲律宾、印度尼西亚、新加坡以及中国台湾纷纷建站。结果, 地面覆盖范围重叠率达 200% 以上, 遥感卫星图象数据供过于求, 市场萎缩, 资金和信息浪费都很大。而美国陆地卫星超期服役 8 年, 并无可靠的后续计划。卫星数据租金和成本昂贵, 居高不下。那些对气象卫星图象数据应用尚不充分的国家或地区, 这种盲目建站的计划尚在继续, 在国际市场开放, 区域重新组合的今天, 这种现象实在令人费解! 也值得我们深思!

怎样寻求地面分辨率的最佳临界值呢？归根结底是一个用户需求、市场导向的问题；或者是一个因地制宜的对策问题；由易到难，远近有序的系统工程概念问题，从中国国情和遥感科学技术发展基础来看，解决遥感信息高分辨率的供需矛盾，应着眼于以下原则，逐步建立具有中国特色的遥感技术体系：

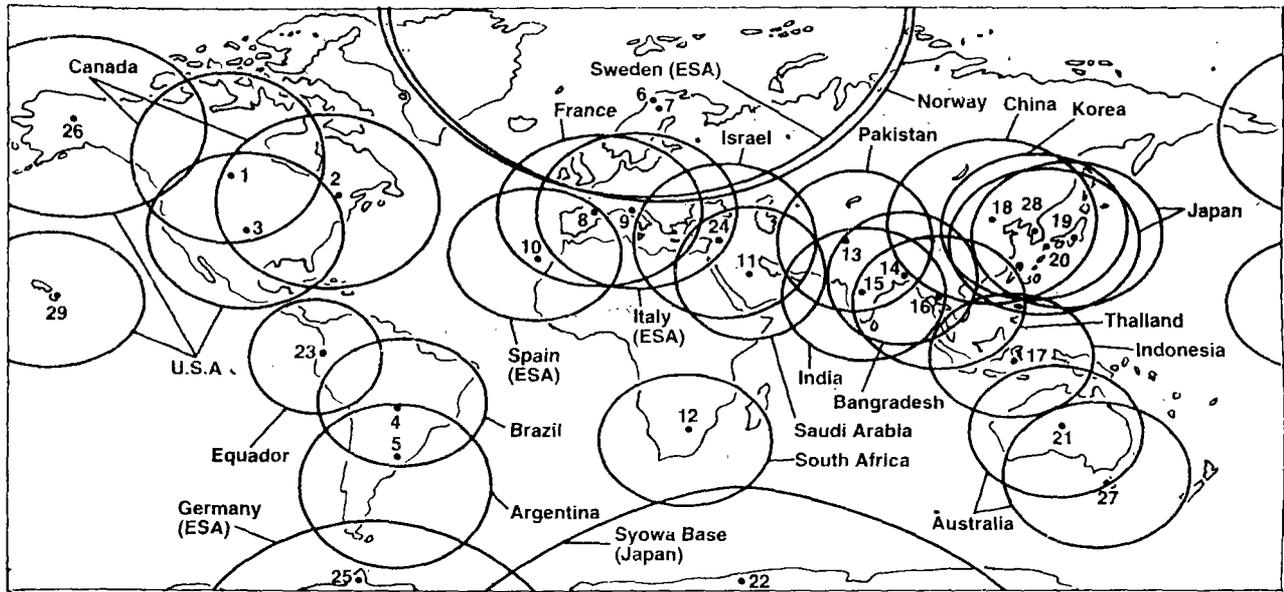
(1) 中国已部分建立，或计划建立对地观测的平台系列：包括静止气象卫星、风云气象—海洋卫星、地球资源卫星系列，还有载人飞船和高空气球遥感飞机、探空火箭，并部署了地面遥感试验台站网，初步形成立体对地观测系统，活跃于地球外层空间的不同高度，应该努力做到独立自主、按期到位、统筹规划、相辅相成。保障不同地面分辨率的遥感信息资源，不要苛求或幻想某一类卫星，囊括各种地面分辨率的需要，甚致鼓吹一颗“巨星”可以满足各种自然灾害的监测。造成舆论误导。

(2) 在载人飞船上运载合成孔径侧视雷达，其地面分辨率可以不受轨道的限制；远红外扫描仪及大功率激光测距仪，目前尚受机械制冷设备重量的约束，需要大型卫星载荷之外，其余可见、近红外波段的扫描仪等小型遥感仪器，可以与全球定位系统、数字通讯传输系统混合搭载，或采用系列小卫星发

射，以提高空间分辨率的几何精密定位与快速传输的需求，陈芳允和李树楷提出了切实可行的技术系统方案建议或原理试验样机^[8, 9]，他们的设计思想代表着遥感信息获取技术前沿的新一代，是实现空间对地观测技术改造和两个根本转变的必由之路。

(3) 中国至今还没有形成卫星遥感信息处理规模生产的能力、未能实现全国范围或大河流域的全覆盖和自动化专题制图的产业化流程。象加拿大、日本和印度那样，大约 25min 内可以利用前一天接收的 MSS 或 TM 卫星遥感数据，按统一的指标体系和图例，输出整幅的 1:20 万或 1:50 万土地利用 / 土地覆盖图。这样，在那些国家，就有能力每年更新全国的土地利用和土地覆盖图，而且是春秋两个季相对比。这样才有可能全面回答土地资源的年际变化，提供政府需要掌握的农情变化与城市扩张的遥感数据。目前，利用参差不齐的多年卫星遥感数据，通过漫长的手工作业制图，不可能充分发挥卫星遥感快速、大面积覆盖的优点。

(4) 推进亚太地区应用卫星与卫星应用的区域联合，呼吁国际合作。目前中国、日本和印度的空间科学技术卫星具备强大的基础，如果能够搁置争议，共同开发，是可以大有作为的。例如日本的 ADEOS 卫星应用吸收了 20 多个国家或地区的科学



1 L·S·M·E Canada(Prince Albert) 2 L·S·M·E·J Canada(Gateneau) 3 L·S·M·E·J U.S.A.(Norman) 4 L·S·E Brazil 5 L·S·E Argentina 6 E Norway(ESA) 7 L·S·J Sweden(ESA) 8 E France 9 L·J Italy(ESA) 10 L·S·J Spain(ESA) 11 L·S·(E)·(J) Saudi Arabia 12 L·S South Africa 13 L·S Pakistan 14 S Bangladesh 15 L·S·(E) India 16 L·S·M·J Thailand 17 L·E·J Indonesia 18 L·E·J China 19 L·S·M·E·J Japan(NASDA) 20 M·E Japan(Tokai Univ) 21 L·S·M·J Australia 22 M·E·J Japan(Syowa-Base) 23 L·S·(E) Equador 24 S·(E) Israel 25 E·J Germany(O'Higgins ESA) 26 E·J U.S.A (Alaska) 27 E Australia(Tasmania) 28 M·J Korea 29 M·J U.S.A.(Hawaii) 30 L·S·CHINA (Chung-Li)
(L LANDSAT, S. SPOT, M. MOS 1b, E. ERS, J. JERS 1, () Planned)

图 1 对地观测卫星地面接收站分布

注：原图采自 NASADA: Earth observation from Space, 1996 年，并稍有补充

Fig.1 The distribution of EOS ground receiving stations after NASA DA: Earth observation from space

家的合作, 印度资源卫星可以作为美国陆地卫星空缺时期的替补, 显示了亚太地区优势互补的良好开端, 进一步减少或避免低层次的重复建设, 是很有必要的。英伦三岛 24 万 km², 仅在苏格兰东海岸 Dundee 大学设有一个气象卫星接收站, 由 2 名教授和 2 名技术人员操作, 每天向全英 17 个部门提供 NOAA 气象卫星图象和数据。而北京沿白石桥到中关村之间, 不足 3km 的街道两侧, 就设置了 6 个以上的气象卫星接收站。对比之下, 中国资源的浪费是多么惊人。如果把这些接收站转移到中西部地区, 雪里送炭, 必将发挥更为巨大的作用。

图 1 为世界各国遥感卫星地面站接收站的分布 (1996 年)。

4 痕迹分析与历史重建

全球变化与区域可持续发展的研究, 可以说是世纪之交地球系统科学的热点。卫星遥感信息在全球变化研究中, 曾经有过多方面出色的贡献; 而在区域可持续发展方面, 遥感还将扮演同样重要的角色。由于对地观测系统提供的地表景观信息, 不仅是自然过程的结果, 同时也包括人类文明进程的痕迹, 遥感图象数据反映的虽然只是瞬时间的现状, 如果加深对自然历史过程和社会发展规律的理解, 就有可能举一反三, 以古喻今, 对过去历史过程进行近似的再现与模拟; 温故知新, 对未来的进程进行逼真模拟预测。不言而喻, 这种历史再现与科学预测, 具有不可避免的主观臆断和不确定性; 但对于解释或决策仍不失其参考价值。

以遥感考古为例: 北京市境内长城遗址 1983 年以前统计长度约 267km, 经彩红外摄影查明历代长城遗址总长增加到 675km。由于明代以前的长城大都遭受战争破坏, 湮没于荒坡丛林之中, 但经过夯实的城基与自然土壤的水分与植被生态具有明显不同的红外效应, 从而发现了不同年代的多种烽火台的型式以及长城走向的变迁与结点, 后来在宁夏境内进行 SIR C / X-SAR 的地面验证时, 发现隋代与明代长城被风沙湮没的迹象, 引起了国际上的重视。不久, 又在塔里木盆地沙丘深部发现古河道的遗迹; 与当年发现古尼罗河水系交相印证。这些事例说明遥感信息再现历史过程的可能性和潜力。近年在长江下游对战国古墓葬群的遥感考古, 长江中游巴楚文化古城遗址的考证, 也取得了惊人的成果。对于重建新、旧石器时代华夏五千年文明史,

遥感可以继续提出更多有力的佐证, 因而能为区域发展的历史论断提供依据。

超长波的穿透能力试验尚在进行, 微波穿透植被覆盖和干燥沙层的能力早已得到证实, 即使缺乏穿透能力的可见光与红外, 也并不排除它们在特定条件下, 具有捕捉某些深部信息的潜力。这种潜力不是来自于穿透, 而是自然历史过程遗留的痕迹, 或者是深部信息的间接传递。这种传递是一个相当微妙而复杂的过程。由于在传递过程中的衰减或增益, 使深部信息在地表产生异常的反映, 从而在可见光和红外图象上与周围环境背景形成显著的反差。人们早已发现这种表征。以河北任丘油气田为例, 古潜山储油构造埋深 300m 或 600m 不等, 但在 MSS 假彩色合成图象上尚能明显地看到它们异常的形迹。这一现象, 当时有位教授试图用简单的穿透能力来解释, 但不为人们所接受。当时较多的专家倾向于用信息传递来解释, 认为是由于古潜山喀斯特地貌的凸凹不平, 基底古地貌的起伏, 影响到上部沉积层厚度和致密程度, 从而影响到地下水的流通和储存条件; 而浅层地下水影响到表层土壤湿度, 地表植被或作物长势又反映土壤湿度的差异。这样就成为一条间接的、无形的信息链, 一层一层地把在深部的古潜山储油构造, 在地表隐隐约约地反映出来了。这种信息传递现象, 在华北平原的古河道遥感勘测工程中, 是累见不勘的。在天津城郊的一些古河道, 浅埋于冲积层下 5—50m 不等, 由于古河道的沙层蕴藏着较为丰富的淡水资源, 天津郊区菜农打井用于菜地和饮用, 因而从毗连的菜地和村庄的分布, 明显地显示出古河道蜿蜒曲折的“影象”。在平畴沃野的田园里, 尽管耕垄纵横, 久经耕耘, 但被填平的沟壑依稀可辨, 因为原生的土壤和填充的新土, 其结构和致密程度有所不同, 土壤含水有明显的差别, 甚至麦苗的返青数量、长势较为茂密黄熟期也有差别, 从而在遥感影象上, 不同季节中仍能透露出浅埋沟壑的痕迹。

痕迹分析的最简单的方法是多时相的影象重叠。黄河新三角洲的淤积速度是惊人的, 黄河河床在科氏力作用下的迁徙, 留下了多次右偏的弧段。决口后复合三角洲的建造, 河口的延伸与海岸的蚀退, 在 1975 年到 1985 的 34 期陆地卫星影象上, 历历在目, 从而可以推算河口延伸的速度和淤积的面积, 并利用中国回收型科学实验卫星影象, 进行了几何精校正的实验, 为及时更新 1:5 万地形图件、营建海港和填海造陆工程, 支援浅海油气田开发与

自然保护区建设,作出重大的贡献。在微地形数字模型的支持下,针对防汛灌溉、引水工程问题的模拟设计,编制了区域可持续发展图集,为 21 世纪议程的实施,提供了科学依据。

痕迹分析的又一重要方法是航测旧地形图与遥感图象的对比。江汉平原的湖泊变迁、由此发现 30 年来由 609 个萎缩到 309 个,湖沼面积减少约 1/3。而青藏高原上面积大于 2km²的湖泊,从陆地卫星影象上发现,由于旧地形图的遗漏,竟由 600 多个增加到 800 多个。华北平原的海河水系,在 1963 年以前集中到天津入海,为了防洪、灌溉,太行山区修建了大王庄等 2000 多个水库,华北平原修建了许多东西走向独立入海的减河和引水排污河系,根本改变了水系的面貌。但在 1996 年 7 月 100 年一遇特大暴雨事件中,由于防洪标准偏低,而又必须确保京津城郊经济发展建设万无一失,不得不牺牲南岸 16 个县市的农田,酿成严重水灾。

痕迹分析在海岸与水系、湖泊变迁的分析方面,在中国具有独特的有利条件。通过遥感图象定位与对照历史文献确定时序的方法,取得引人瞩目的成果:例如杭州湾沉积海岸的历史变迁,可以追溯到 2000 年以来的历史变化,甚至 7000 年来的古海岸遗迹。如果参照贝壳堤的分布、新旧石器文化与古墓群等考证,则可以更清晰地重建全新世以来的海岸变迁。

黄河被称为母亲河,孕育古代华夏文明的摇篮。千余年来,历代重视防洪排涝,奉行夹水攻沙的水利政策,高筑大堤,形成地上河床;而近 5 年来,由于中上游引水分流,冬季半年济南口以下完全断流,断流持续时间逐渐延长乃至一年超过 126 天,世界第 7 大河竟成季节断流的间歇河。内陆盆地中的塔里木河,分段截流,灌溉绿洲,导致孔雀河以下胡杨林枯死,罗布泊萎缩,沿古丝绸之路的城堡毁灭。对这些干旱区半干旱区的水系变迁进行长期的遥感监测,对于全球变迁和生态与环境保护、区域社会经济可持续发展的重要意义是不言而喻的。

线性形迹分析方法在引进大量数理统计方法和分形分维方法之后,明显地提高了图形分析的深度和水平。例如对中国邢台地震区线性形迹的数理统计分析,阐述了地应力与断裂分布的关系。太湖平原水网密度,东南沿海河系与构造的关系等专题研究,都是成功的力作。林绍颜教授的专著,深受国内读者欢迎。线性形迹分析应用于铁路隧道工程地质、铀矿控矿构造分析取得了巨大的技术经济效

益。但是,如果能把这些线性形迹分析与地质、地貌发育阶段连系起来,即在分形分维图解中进一步区分它们的相对历史时序,细微地识别断裂的先后交错关系,则更加富有地学意义,中国地震活动断裂遥感图象分析图集相对地跨前了一步。

5 互联网络的机遇与挑战

时空转换在哲学上和物理学上都是一个经典性的命题。众所周知,最大的时空单位——光年就是以光速与时间来衡量空间距离的。而时空观念的转变,对于现实生活具有崭新的时代含义,对于遥感信息传输、信息处理与应用更具有特殊的启示。例如,在高速公路和铁路修建之后,城市之间的空间距离明显地被缩短,而城市的经贸辐射范围和居民度假日的活动半径也明显地扩大了。今天上海人在双休日可以畅游黄山,香港人在双休日可以涉足井冈山或庐山。这在 10 年前还不可能想象的事,今天已经成为现实。自从本世纪 40 年代计算机出现,80 年代微型芯片的个人计算机(PC)进入市场,其性能的改善和用户界面的友好程度不断提高,数据库和多媒体等信息处理技术渐趋成熟,光纤数字通讯网络等通讯基础设施快速发展,形成了互联网络。虽然互联网络只不过是“信息高速公路”的雏形,网络技术还需进一步完善,但是我们从看到了信息化社会的曙光,就象当年列宁指出:“共产主义是苏维埃加电气化”,跨国的大规模电力联网推进了 20 世纪的电气化;同样,21 世纪现代化标志就是信息化。信息互联网络使信息资源的共享成为现实,十多年前,邓小平同志指出“开发信息资源,服务四化建设”,江泽民总书记也着重指出“四个现代化哪一个也离不开信息化”。信息资源将会象水资源、能源一样,成为人类任何活动不可缺少的组成部分。信息技术改变人们对时间、空间与知识的理解。信息网络初见端倪,人们可以超越空间和时间的限制获取丰富的信息资源,及时交流和共享,并可以开拓人类智慧潜力,促进知识的理解和增值。

信息化产业包括两个方面,一是信息基础设施(Infra-structure),指数字通信骨干网、相应的数据处理标准以及基础软件,属于信息技术装备和通信业务范畴;二是信息资源设施(Info-structure),包括数据存储设备、数据管理与信息处理软件,各行业的应用软件以及相应的服务系统,属于信息服

务产业。两者相辅相成, 对于开发利用信息资源, 实现信息资源共享和产业化, 缺一不可^[10]。

中国信息网络的建设, 基本条件已经具备, 表现为以下主要进展: (1) 全国性公众数字电话网络以光纤、卫星数字微波电信系统为骨干, 容量达 7000 多万用户线路, 居世界上国家级电话网络第二位。(2) CHINAPAC, CHINADDN, CHINANET 等

网络已投入使用。(3) “金桥”等 10 金应用系统系列工程已陆续投入使用, 如“中国教育与研究网络 (CERNET) 和“中国科学院网络”已分别与 100 家终端用户联网。(4) CATV 用户已达 4000 万。上网计算机约 300 万台, 数据库近 1000 个。(5) 曙光计算机、计算机制造一体化系统 (CIMS)、2.5Gb/s SDH 系统、ATM 技术、智能网络以及机器人等, 取得

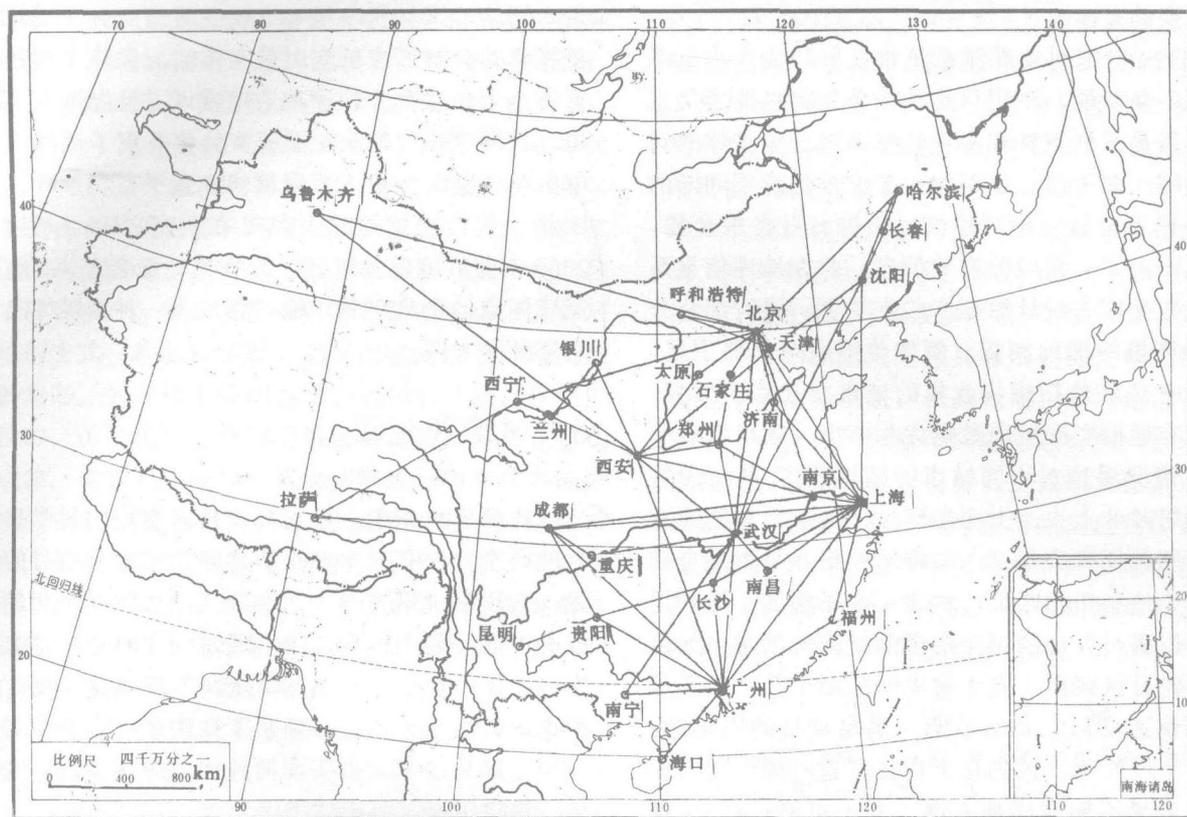


图 2 中国光缆数字通信分组交换网 (CHINAPAC) 拓扑图

Fig.2 The topological graph of the Chinese fiberoptic digital communication package switch network

了一批优秀成果, 涌现出大批信息科技人材。中国国家级信息基础设施 (CNII - China National Information Infrastructure) 已初具规模 (图 2)^[11]。

信息网络广泛地影响到人们生产、生活和交往方式, 对遥感信息现有的传输、存储、数据处理与分析、应用, 无疑也将带来多方面的挑战。

(1) 发展中国家可以利用其“后发效应”, 更加有效地利用遥感信息推动相对落后地区的资源开发与社会经济发展。印度资源卫星发射成功, 并有可能地应用于防洪、抗旱, 远程教育和培训, 而且有可能接替 Landsat-5 成为主要的国际卫星遥感信息资源。特别是小型专用卫星的发射和国际遥感卫星信息源的综合利用, 区域分工, 有可能进一步打破

霸权国家的技术垄断与榨取, 减少对发达国家的依赖性和安全威胁, 把遥感作为一种可以共享的信息资源纳入信息网络, 当作公用事业来对待, 与城市供水、供电、供气一样, 力争人人能用得上, 而且人人能得到。

(2) 克服遥感信息产业经营的地域空间的局限性。减少接收台和管理系统的分散和重复浪费, 促进遥感信息产业实现集约化生产, 采用技术革新发展模式, 形成规模生产, 有助于缓解地区差异和贫富悬殊的影响。例如中国西部乌鲁木齐, 接收到卫星遥感数据之后, 可以传输到北京进行精加工和分析, 立即返回当地用户终端处理, 是完全可行的; 对于提高处理质量, 培训人员, 是事半功倍的。越

南战争时期,美国的空军摄影资料,传送美国军事测绘局再反馈到前线制成地图,约需 8 小时;而海湾战争期间侦察卫星图象处理过程,已缩短为 4.5 小时。中国自己研制的机—星—地快速反应航空遥感系统,已达到准实时传输的水平。显然,争分夺秒,对遥感信息进行处理和分析,势在必行;对于军事应用的意义不言而喻;就是应用于再生资源监测估产,突发、群发性灾情评估与救灾措施,也是至关重要的。

(3) 21 世纪对地观测系统将发展到成为信息系统工程的新阶段,不再只是依赖单星提供遥感信息资源,而是系列卫星和多种传感器组合为主体的对地观测网。多平台、全天候、多波段形成不间断的信息流覆盖全球;不同层次或不同行业各取所需,选择其中对某一领域的有效信息,并在地理信息系统空间数据库与统计数据库的支持下,进行综合分析 with 计算机的辅助制图。例如美国通过气象卫星,虽然只有热红外扫描仪收集的城市发光点的数据,但与原有地面实况城市数据库相匹配,就可以查明飓风在佛罗里达对不同城市的破坏程度。甚至发现导弹发射井的点火。上面提到过,加拿大利用原有的地形图数据库为基础,与精密校正并与影象自动分类的土地利用相匹配,快速生成正规的土地利用图,用以满足大范围再生资源的监测的需求。如果不能摆脱目视解释、光学镶嵌的陈旧工艺,是不可能达到快速反应,及时监测,满足评估的需求的。服务四个现代化,首先在于科技自身的现代化,遥感信息如果不能有序地入网,就不可能适应 21 世纪的信息化社会。

(4) 中国经济信息网(CEINET)以及在中国科学院运行的 CASNET 和在高等院校运行的 CERNET 将继续追踪和发展网络技术的前沿,通过 CHINANET 或直接与国际互联网联接并按照(TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol)协议标准,可以支持不同操作系统的计算机网络节点的互联,例如 DOS, WINDOWS, UNIX, XENIX 等微型计算机。也可支持多种网络拓扑结构,包括 ARC-NET, ETHERNET, FDDI, TOKEN RING 等局域网,并为 X.25 公用数据网,PC 机的 NOVELL NETWARE 网以及 ORACLE, SYBASE 等网络数据库提供接口,提供比较成熟的开发系统平台。特别是利用可视图文编辑终端,可以实现汉字或西方文字的编辑,对全部 94 × 2 镶嵌图形进行全屏幕编辑,可以用键盘来生成和编辑动

态定义图形,或经摄像机输入和图象处理自动生成镶嵌图形,基本上能满足遥感图象传输和遥感制图等技术的要求^[12]。

(5) 近年来中国航空遥感技术的实验研究在全数字化方面取得了突破性的进展,例如 CCD 扫描仪与 GPS 的一体化装置已获得专利,所生成的三维遥感图象,对超大比例尺环境工程和资源勘探具有明显的技术经济效益,而且可以有序地成为数据流进入网络;又如机—星—地航空遥感实验,实现了侧视雷达扫描图象的实时数字传输,保障了对洪涝灾害全天候监测并快速地通过通讯卫星向远距离发送。这两项先进的航空遥感实验都实现了遥感图象的数字传输,为进入互联网络创造了有利条件。中国新一代传输式遥感卫星已在研制之中,大约在 2000 年前后可以发射升空。届时,无论航空或航天遥感图象的全数字化传输,将成为一种多媒体的信息资源而入网。

6 讨论和建议

作者多次阐明:没有高新技术支持的科学是落后的科学;没有科学理论指导的技术则是盲目的技术。应用基础研究与技术系统开发之间这种相辅相成的关联,是不可偏废的。通过该文对遥感信息时空转换规律探讨,从地球系统科学的理论角度,认为中国遥感技术系统必须从下列两个方面去推进进一步的深化改革,去实现两种根本的转变,一孔之见,提供国家统筹规划决策参考:

(1) 独立自主,团结协作,加速开发卫星遥感信息源

中国遥感应用通过 3 个五年计划,取得了多方面的进展和成就。但至今尚未能摆脱依赖国际卫星信息源的被动局面。而近年来这种形势更加严峻。日本成功地发射了 JERS-1 和 ADEOS 卫星;印度推出了 IRS-1, 2 遥感卫星系列。面对这一竞争局面,我们需要:

——积极推进小型卫星群的研制和发射,小型卫星群具有合理调控遥感时空分辨率的优势,成为当今通信与遥感应用卫星产业的主流,也是降低生产成本和投资风险,走向专业化的必然趋势,促使应用卫星实现两个转变的捷径。早在 1992 年中国科学家已多次提出用于解决卫星通讯、全球定位、灾害监测等技术系统方案,但长期未能落实;而日本的热带降雨卫星、俄罗斯的生态卫星、美国的通讯

卫星网络计划, 甚至英国萨里大学的实验卫星, 均已捷足先登, 并企图抢占中国市场。如果能够对周边国家提出的合作需求, 及时作出反应, 亡羊补牢, 犹未为晚。

——中国目前实现星载合成孔径侧视雷达和解决远红外机械制冷等在技术上尚有难度, 暂时还不能满足在遥感卫星上运载的条件。以色列和韩国均积极筹措巨额资金, 策划发射小型遥感专用卫星。结合中国国力、国情, 建议采取务实和有效的措施和步骤, 以解决国民经济建设和国防建设的急需, 争取在亚太地区和国际上占一席之地。

——充分发挥气象卫星时间分辨率较高的优点, 开展逐个象元的多时相分析、匹配 1km^2 网络数据库和其他资源与环境空间数据库; 进行全国范围的再生资源动态监测与数据库更新; 推广大面积农作物估产、森林、渔业资源与防治灾害、改善环境的方式、经验和成就, 满足国家宏观管理与决策的急需。为迎接中国即将发射的风云 2 号, 作好广泛的、多目标的地面应用系统的准备。多极化雷达成像、高光谱成像和三维遥感等高分辨率仪器的需求, 也必须早为之计, 未雨绸缪, 组织好协作攻关, 避免低层次的重复练习, 择优支持, 集腋成裘。制订长期的系列遥感卫星计划, 面对亚洲群雄并起, 卫星地面站重复建设, 竞争剧烈的局面, 研究和制订独立自主的对策。

(2) 适应信息化社会需求, 面向数字网络建设, 集成规模生产流水线。

除至今缺乏同步遥感卫星信息源外, 遥感技术系统本身尚未形成国家规模的信息流程, 也是目前制约中国遥感应用技术进度, 难以及时满足国家建设需要的又一重要原因。十余年来中国遥感技术开发和应用实验取得许多重大成果, 获得国家的多次奖励和领导部门的表彰, 玲珑满目, 美不胜收, 但是, 这些成果就象是满盘珍珠, 还没有串成项链, 尚未成形价值连城的商品, 必须明确遥感技术和应用的社会定位, 加速观念的转变:

——遥感既是独立自主的科学技术, 同时也是多学科 (Multi-disciplinary) 与跨学科 (Inter-disciplinary) 的产物。中国遥感技术与应用的进步和发展, 是与技术科学、信息科学、地学、生物学的许多专家的直接参与大量专业知识的投入分不开的。在未来信息社会中, 遥感作为获取资源、环境和社会经济信息和分析评估的重要现代化手段之一, 必须纳入社会信息网络的渠道, 及时提供不可

缺少的、不断更新的数据源, 才能发挥对人流、物流与能流的调控作用, 对全球变化战略研究或地区社会经济可持续发展能力建设, 发挥应用的作用。应该共同开展地球信息科学的理论基础研究, 努力促进资源与环境信息的共享。

——遥感技术集成服务系统的关键在于全数字化和定量化。需要借助于全球定位系统与地理信息系统的支持。但全球信息系统与地理信息系统各有其丰富的内容和科学范畴, 与天文学大地测量学、地球系统科学有本质的联系, 遥感技术系统必须吸取其中有助于提高精度和加速生物学地学分析能力的专家系统, 构成自动识别与计算机辅助制图的工艺流程, 克服目前目视解释和手工制图等作业瓶颈, 生产深加工的数字产品或可视化图象, 纳入国家数字网络的信息渠道, 及时满足社会需求。亟需组织人力物力, 建设规模生产的遥感技术集成服务系统^[13]。

——中国航空遥感具有明显的优势。作为航天遥感预研实验系统, 在高光谱、多极化雷达、三维遥感诸多方面已跃居于国际先进行列; 机一星一地快速反应系统和无人驾驶低空或超大比例尺动态监测系统, 在城市化、海岸带等生产应用中具有可喜的开发前景。形成有中国特色的航空遥感信息服务系统, 受到国内外的赞扬。作为对地观测立体系统的组成部分, 应该继续给予支持。

参 考 文 献

- [1] 李小文, 高峰, 王绵地, 朱启疆. 遥感反演中参数的不确定性与敏感性分析. 遥感学报, 1997, 1(1): 5—14.
- [2] 郑兰芳, 童庆禧, 王晋年. 高光谱分辨率遥感研究进展. 遥感科学新进展. 北京: 科学出版社, 1995, 42—50.
- [3] 吕达仁. 地基微波遥感大气水汽总量的普适性回归反演. 大气科学, 1993, (6): 721—731.
- [4] 邱金桓. 大气气溶胶光学厚度的宽带消光遥感方法及其应用. 遥感学报, 1997, 1(1): 15—23.
- [5] 李小文, 王锦地, 朱重光. 遥感模型的定量反演研究. 遥感科学新进展. 北京: 科学出版社, 1995, 135—143.
- [6] 郭华东, 徐冠华主编. 星载雷达应用研究. 中国科学技术出版社, 1996.
- [7] 曾志远. 陆地卫星数据信息提取的一种新方法. 环境遥感, 1990, 5(2): 128—139.
- [8] 陈芳允, M. N. Sweeting. 用于自然灾害监测和减灾的低卷用小卫星网. 地球信息科学·技术·产业, 1997, (1).
- [9] 李树楷, 徐旭. GPS 在遥感信息对地定位应用中的试验研究. 环境遥感, 1992, 7(2): 153—160.
- [10] 高新民. 信息化和我国的现代化. 信息系统工程, 1997(2): 10—11.
- [11] 叶培大. 中国国家级信息基础设施简介. 世界电脑与通信, 1996(11): 14—16.

- [12] 窦永平. CEINET 的结构和组成. 信息系统工程, 1997, (2): 18.
 [13] 徐冠华. 遥感信息科学的进展与展望. 中国科学院院刊, 1997, 12 (1): 4-14.

学. 中国科学院院士, 国际欧亚科学院院士, 第三世界科学院院士. 《国际地理信息系统》杂志编委, 主编《遥感信息》、《地球信息科学·技术·产业》杂志. 从事地球信息科学研究, 发表论文 400 余篇, 出版专著, 地图集 20 余部.

作者简介

陈述彭, 男, 1920 年 2 月生, 1942 年毕业于浙江大

Geo-spatial/temporal Analysis in Geo-processing

Chen Shupeng

(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences*)

Abstract One of the Focuses of the remote sensing geo-processing, is pointing at the mutual transformations of spatial/temporal information. Namely, to use time series to detect spatial differentiation while to apply spatial trace to identify the temporal changes of phenomenon. Since the earth system is characterized by opening and complexity, these geo-processing always have fuzzy and multi-solutions.

The study on the mechanism of remote sensing information mainly utilizes the statistical methods not as robot as the advanced genealogical and dynamic methods. The study on the ground spectrum, especially on the patterns of high spectrum, sees some bright prospect, and much success has been reached when vegional differentiation is employed. The transfer of the remote sensing information between the lithosphere, hydrosphere and biosphere is indeed more profound than the same procedure in the atmosphere to which much research effort has been directed, because the information is somehow attenuated or amplified when it is applied from physical procedure in lab to natural environment. This is the very knowledge that we should obtain more.

Current remote sensing application and technology have been bottlenecked by how to fully utilize the information sources of all sorts and to further the knowledge of geo-process into such applications. For instance, analyses on the remote sensing data from NOAA AVHRR and Japanese ADEOS-1 have not been developed in a pixel-by-pixel manner, while heavily overlapped ground stations in Southeast Asia cause tremendous waste on such information.

Global change and regional sustainable development is and will receive increasing concern from the side of the earth system science, especially at the turn of this century. Satellite remote sensing has outstanding contribution to global change studies in the past. Through a full line of analyses such as remote sensing archaeology, deep underground information transfer, image overlapping, cartographic comparison and fractal analysis, remote sensing is capable of reconstructing the historical procedure of both nature and Chinese civilization of 5,000 years. On the basis of more and more such historical evidence being proven, remote sensing shows convincing capability of serving regional sustainable development.

As the Internet spread worldwide and China's information industry rapidly develops, current manipulation on remote sensing information, such as transferring, storing, processing, analyzing and application, is challenged. Around the year 2,000, both airborne and satellite remote sensing image or data will be quali-

fied as a multimedia source, completely digitized, flowing on the "information super-highway", to serve the society with rapidly captured and updated information.

After analyzing the general rule of spatial/temporal transformation of remote sensing information, this paper gives two pieces of advice on the basic steps to develop China's remote sensing technology: ① to independently speed the experiment on small satellites group, and develop more satellite and airborne remote sensing information sources. ② to meet the requirement of information society. China should keep pace with the development of digital telecommunication network at home and broad, integrate assembly lines of remote sensing information, increase the efficiency and effect such information. and lead the nation to a modernized era.

Key words Earth system, Geo-processing, Geo-spatial/temporal analysis, Historical reconstruction
Info-structure