

# 从空间对地观测到预测地球未来的变化(二)

## ——NASA 地球科学事业(ESE)技术战略分析

冯 筠, 高 峰, 黄新宇

(中国科学院资源环境科学信息中心, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** NASA 地球科学事业(ESE)技术战略是 ESE 整体战略计划的核心部分, 是 ESE 科学任务和目标实现的保障。技术战略包含了构成 ESE 战略框架 5 个基本部分中的观测与信息系统、先进技术两部分, 提出 ESE 技术投资的战略目标是: 规划、开发和引入先进技术, 以便能进行科学观测并服务于优先应用领域。技术战略的内容包括: ① ESE 技术战略的目标与实现途径; ② 技术计划的实施步骤; ③ ESE 技术计划投资的核心技术领域。围绕着 NASA ESE 战略计划的科学目标与任务, 这一强化的技术计划提出以科学、应用为先导, 推动技术投资, 以需求确定技术发展的优先领域; 将 ESE 的技术能力需求与广泛的科学、技术、应用团体结合, 寻求 NASA 内外的技术发展合作; 通过合理地调配资源, 减少重复, 不断及时引入和培育先进技术, 拓展未来的技术方法空间等科学管理理念, 使技术投资回报达到最大。技术战略还根据 ESE 的科学主题和关键观测与信息技术挑战逐项规划了相应的技术投资与研发重点。

**关键词:** NASA; 地球科学事业; 技术计划; 对地观测技术; 信息技术

**中图分类号:** TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0323(2004)02-0124-09

### 1 引言

观测、描述地球系统的变化, 认识并确定引起地球系统变化的主要原因及其对地球上生命的影响后果, 进而实现对地球系统未来变化的预测, 是美国国家航空航天局(NASA)于 21 世纪初公布的地球科学事业(ESE)战略计划(2000~2010 年)提出的科学任务与目标。作为 ESE 战略计划的核心部分, NASA 于 2002 年公布的 ESE 技术战略, 提出了以科学/应用需求为先导, 推动技术投资, 作到对关键观测技术与信息技术的重点投资和研发, 进而提升、扩展 NASA 的卫星遥感观测能力、信息综合处理能力; 并以先进技术和观测结果促进 NASA 的地球系统科学研究应用(即 ESE 战略计划中提倡的应用地球科学解决实际问题)。在总的 ESE 战略框架下, 包括 5 个基本组成部分: 即①研究、②观测与信息系统、③先进技术、④应用、⑤教育。NASA 的 ESE 技术战略是涉及上述②、③部分的技术目标、实施步骤、投资重点的具体计划。技术战略直接从解答

ESE 的主要科学主题及其相关的 23 个科学问题<sup>[1]</sup>入手, 归纳出欲解决这些科学问题所涉及的相关技术需求, 从而确定了 NASA 所面对的关键观测技术挑战和技术投资重点。投资重点集中分布在观测技术和信息技术两个领域。

处理来自空间传感器的海量观测数据并完成地球空间信息的获取、处理、存储与传送是 NASA ESE 技术计划中提出的投资重点领域之一, 投资的重点包括从观测开始, 到数据处理、计算、传输至地面、存储、数据挖掘直至最后的产品发布。对关键观测技术和信息技术的重点投资, 是 ESE 技术计划的核心, 为 ESE 科学目标的最终实现提供了技术保障。分析 ESE 技术战略, 可以了解 21 世纪初 10 年 NASA 空间对地观测、卫星遥感技术的研发重点, 也可以从中认识到先进技术在解决人类社会面临的重大地球科学问题中所起的重要作用。

从完成空间对地观测到实现预测地球系统未来的变化, 是人类认识地球、模拟反演地球系统的变化, 并深入研究所有这些变化的机理及原因的最终

目标,是人类自身在地球系统中从“自在”状态到“自为”状态的本质性的转变。逐步实现对地球系统未来变化的预测,则有可能从根本上达到人类与地球环境的和谐共处,趋利避害,最终实现人类社会可持续发展的目标。

## 2 技术战略的目标和实现途径

NASA 在地球科学事业(ESE)战略计划中提出的任务是:提高人类对地球系统的科学认识,包括提高关于地球系统对自然与人为变化响应的科学知识,改进现在和将来对天气、气候和自然灾害的预报和预测。为完成上述任务,ESE 战略计划将其科学目标定位于“观测、理解并模拟地球系统,以了解地球是如何变化的以及对地球上生命的影响”。在这一整体性目标之下又提出 5 个科学主题和 23 个科学问题,构成具体研究内容<sup>[1]</sup>。ESE 战略计划的技术目标是:开发和采用先进技术,保障卫星成功运行并为国家繁荣服务。其任务包括:①开发先进技术,降低地球科学观测的成本并提高观测能力;②与其它机构合作,在利用遥感对地球系统进行观测与预测的过程中发现和使用更好的技术方法<sup>[1]</sup>。在 ESE 技术战略中进一步明确提出 NASA 的 ESE 技术投资的战略目标是:规划、开发和引入先进技术,以便能进行科学观测并服务于优先应用领域。为了实现其技术战略的目标,ESE 在科学/应用需求→技术选择→观测能力→科学研究/应用的模式下(图 1),以战略计划需求为主导确定技术开发的优先领域,从 ESE 战略计划的层次上优化技术投资。

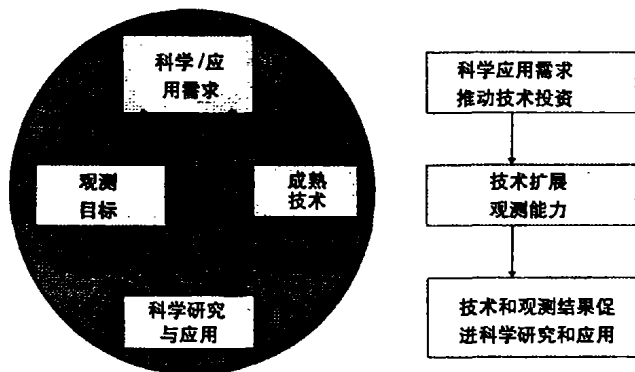


图 1 由科学/应用推动的技术提供启动性工具

为做到技术投资回报最大化,NASA 在强化的 ESE 技术计划中将其技术能力的建设和提升建立在更广泛的科学/技术/应用团体共同合作的基础上(例如 NASA 与美国大气与海洋管理局(NOAA)、美国地质调查局(USGS)、美国国防部(DOD)等机构的长期合作),并寻求在 NASA 机构

内外开展技术开发与合作;在卫星任务和业务系统中不断引进先进技术,扩大技术应用范围,合理调配现有人力、物力资源以减少重复,从而使技术投资的回报达到最大化<sup>[2]</sup>。

## 3 技术计划的实施步骤

### 3.1 根据 ESE 战略计划的需求规划技术投资

将技术开发与 ESE 优先技术领域结合并保证在技术计划中所确认的地球系统科学研究/应用过程中引进先进的技术产品是 ESE 技术计划的目标。适应研究/应用需求的技术能力要通过包括立项可行性、商业性、系统和结构等方面的分析论证来确定。因为当前仍存在着投资与 ESE 计划需求之间的差距,有必要通过公开征集项目来选择、决定技术投资对象,对技术能力的评估则要涉及到从观测到信息系统和计算技术的全部领域。

### 3.2 培育所开发的先进技术达到成熟水平

促使具有广阔应用前景的技术构想发展成为成熟技术是 ESE 技术开发管理的目标。其中包括在业务应用中引进新技术并通过实验室、野外、机载和必要时的太空飞行,完成项目示范和验证,促进技术成熟度提高,从而降低先进技术在早期业务中的相关风险。

对于有前景的技术构想,NASA 的 ESE 技术计划是通过逐级推进、激励创新的机制促使其向更高级的成熟度发展。通过对重点 ESE 技术项目(包括仪器设计、生产项目、先进的信息系统技术项目、计算技术项目和新千年计划)的资助,满足了中长期的技术需求。

### 3.3 引入先进技术以提高未来的观测能力

在未来的科学卫星和业务系统中引入新技术是一个公认的挑战。ESE 技术计划采用了端对端(end to end)方式以便于技术引入。对规划中的技术引入分别采用了不同的形式:如对于长期规划,ESE 技术专家支持在 ESE 战略规划框架内遵循规划的路线图(road map)进行技术开发;对于较近时期的规划,技术专家通过采用支持各种科学工作小组的方式,帮助其形成能预测未来技术发展的科学思路;对最近期的规划,则侧重支持能揭示出潜在风险和可能产生突破性的技术成果的研究。在技术开发过程中,通过将技术开发任务的管理权限分配到技术对口的 NASA 下属的各中心来鼓励技术的投入。对于成熟技术的推广应用,将重点放在培训潜在用户的技术能力上,培训方式形式不一,如通过各种公众论

坛(地球技术科学年会、国际会议如 IGARSS 等), 公开报道(杂志、会议文集、ESTO 年度报告等)。所有上述的技术管理战略都被以协同方式加以整合, 以整体 ESE 框架为引导, 按低、中、高不同的技术成熟阶段逐级推进而在终端引入。

#### 4 技术计划投资的核心技术领域

上述 ESE 技术战略, 直接从 ESE 有关地球系统科学的 5 个科学主题以及相关 的 23 个科学问题

所涉及的需求范围内得出具体的技术重点投资领域(表 1), 根据解答每一个科学主题或问题所需的关键观测参数和研究内容确定相应的启动技术, 而所有的技术均集中分布在两个核心领域: 即①观测与信息系统的研发, ②采用并开发创新性的先进技术。

#### 4.1 投资关键观测技术, 扩展并提升地球观测能力, 降低观测费用

由技术创新生产出的先进仪器, 为地球陆地、海洋和大气监测提供了前所未有的更为综合的遥感与

表 1 ESE 科学主题的技术需求

主题	问题	技术
水	降水量、蒸发量和水循环的变化?	降水雷达, 辐射计, 大天线、甚低频雷达, 机载处理
天气	天气预报的改进?	实时数据同化, 互操作数据模型
固体地球	地球运动及其内部过程? 地球表面变形?	重力压差密度计, 磁力计, 高光谱成像, 机载处理/数据压缩/存储/融合
碳	全球生态系统的变化?	成像光谱仪, 双频雷达, 数据的挖掘、融合
	土地覆盖与土地利用的变化?	成像光谱仪, 高光谱低频雷达, 数据的挖掘、融合
	生态系统对全球碳循环的响应和影响?	主动光学, 数据的分发、挖掘、融合
	土地覆盖和土地利用的后果? 未来的 CO <sub>2</sub> 和甲烷的浓度?	高光谱, 拓扑, 数据的挖掘、融合 碳循环模拟, 数据可视化
气候	全球大洋环流的变化?	精确的高度测量, 矢量风, 主动与被动微波遥感
	冰盖物质的变化?	双频雷达, 激光雷达高度计, 数据挖掘
	气候系统内的云和近地表水文过程?	辐射计, SAR, 干涉测量 SAR, 机载处理/数据压缩/存储 SAR, 机载处理, 数据的压缩、存储、挖掘、可视化
	全球洋流的变化? 气候变化对海平面的影响?	SAR 干涉仪, GPS, 数据可视化
	与气候变化相关的天气变化?	降雨雷达, 数据的挖掘、融合
	海岸带区域变化?	多光谱辐射计, 数据挖掘
	短期的气候变化? 长期的气候趋势?	气候模拟, 数据可视化 长期气候模型, 数据的挖掘、融合
大气成分	平流层臭氧变化?	紫外-红外光谱测量和成像, 激光雷达
	大气成分和太阳辐射对气候的影响?	主动光学仪器, 干涉仪, 互操作数据模型
	平流层痕量气体组分的响应?	紫外-红外光谱测量和成像, 光谱仪, 机载处理/数据压缩/存储
	污染影响? 未来大气化学影响?	激光雷达, 被动辐射计, 数据可视化 大气成分模拟

实地测量。这些性能经过改进的仪器的体积、质量、功率、开发成本与周期大大降低, 而其空间、光谱和时间分辨率却更高。ESE 技术投资的重点领域(表 2)覆盖了整个电磁波谱, 包括主动和被动两种

传感器。对关键观测技术的重点投资将大大改善当前的观测能力, 拓宽了仪器在太空中的观测视角, 提供连续的全球覆盖, 如卫星运行在同步轨道或天平动点(libration point), 同时, 为降低全部观测

表 2 关键观测技术的主要挑战和技术投资重点

观测技术领域	主要挑战
被动式成像系统	从 2 μm 到 15 μm 的大格式探测器
成像光谱仪	感光快的光学元件和光栅系统的应用, 可大大降低仪器的重量、成本和复杂性; 通过机上校准和数据处理, 减少数据传输线路要求
主动光学成像系统	轻便的、高功率、具有冷却功能的、可靠的、用于激光雷达的激光系统 具有分布式 T/R 模块的、大型轻便的、可伸展的天线系统; 组建式精密的高效 rf 和具有提供能力的数字子系统, 低数据传输线路要求的机上处理器
被动微波, 从 1 GHz 到 2.3 THz	大的伸展式天线(直径 30 m), 包括全孔径和合成孔径; 多频率多极化反馈系统; 多达几百个低成本接收器(1~350 GHz)阵列式成像系统; 外差法的接收器(300 GHz~2.3 THz); 大型综合阵列的信号分交系统
超大型稀疏基线飞行	SAR 系统的大天线(100 m 级)开发; 精度范围, 动力和运动性控制, 以便 INSAR 能够进行分布式平台上的观测, 包括聚焦电子; 阵列的自动调控
量子装置传感器	为先进的量子干涉传感能力提供原子控制和激光冷却能力; 开发精细的亚表面重力特征提取的反演模型

成本将研制体积更小、费用更低的飞行器运行于较低的地球轨道。

#### 4.2 信息技术投资撬动商业投资并应用于未来的地球科学卫星任务

太空中分布和运行着数以千计的大小卫星、星座,每年还有许多新的卫星陆续发射升空,这些大小不一、任务各异的空间平台上搭载的各种传感器每日每时都向地面发送着海量的观测数据。获取、处理、存储与传送数据产品的困难激励了对先进信息技术的投资。当前信息技术的投资重点是开发研制

端对端的信息系统,涉及从观测开始,到数据获取处理、计算、传输到地面、存储、数据挖掘一直到最后产品发布的全过程。

世界范围内的商业活动资助和驱动着当前正在进行的信息技术革命,微电子技术、材料科学与技术领域的新突破带动着信息技术产业的整体提升。NASA 认识到要充分利用这个广泛的产业基础,并将其信息技术投资重点(表 3)放在开发或调整最新发展的技术领域,为空间应用和地球系统科学知识和信息产品的产生与应用提供支持。

表 3 关键信息技术的主要挑战和技术投资的重点

信息技术领域	主要挑战
机载数据处理	应用和调整商业性技术,发展达到误差容许和高效的机上处理器
空基交流	为了实现空间动态联接和动态空间连接能力,通过签定协议而使网络式传感器的概念合法化;可移动的终端和空间商业网关的整合;安全的重点管理协议的形成
高端计算	通过开发下一代原理模型,地球系统科学框架和耦合模型,数据同化以及通过为新近开发出的计算平台进行模型性能优化,而形成高仿真(时间与空间两方面)的地球过程模型
信息综合(数据压缩融合,管理,可视化)	从大量多卫星数据集中提取信息,提供快速便捷的数据存取和分发
卫星自动化	开发实时的事件探测和图像识别技术;自动维护的卫星和仪器;传感器再瞄准目标的高级指令语言
数据存取和分发	提供随意存取极端大型数据集的技术;提供从多任务数据集中提取小地块数据子集和地理位置定位的技术

科学的发展带动了技术进步,为实现 ESE 计划提出的地球系统预测能力铺平了关键性道路。ESE 技术战略寻求并致力于以更低的成本满足现在的观测需求并做出以前根本无法做到的观测。NASA 驱动和调控着正在进行的下列三方面的对未来地球观测的技术革命。

##### 4.1.1 地球空间信息革命

实现新的观测和数据获取要依靠新型传感器技术。以往的被动遥感系统(如陆地卫星)可获得地表和大气的二维影像,主动遥感系统(如雷达、激光雷达)可完成地表和大气的三维观测,主动传感器之后,出现了可以测量重力场和磁场的“少光子”(Photon-Less)传感器,这将使我们能看到地球的内部结构。借助这一工具,能够研究世界淡水蓄水层的变化、对火山喷发做出可靠的预报,甚至有可能做出周边地带 1~5 年的地震活动预测。新型传感器技术有可能产生新的观测和数据。近地轨道飞行的传感器能够迁移到地球同步卫星轨道,甚至可以到达 100 万英里以外 L1 和 L2 的轨道。与那些从近地轨道获得的窄片和间断的重访时段相比较,这些传感器可以提供瞬时和全天的连续地球或陆地景观。最终,地理空间或地球空间信息革命将包括以串联方

式工作的传感器网络,形成智能化、可更换部件的星座,这些星座能对地球上的紧急事件做出快速响应,并在轨恢复工作。NASA 将通过数颗 EOS 卫星的“编队飞行”(formation flying)以及将这种“编队”视为一个单一的“超级仪器”来处理数据,以验证 EOS 时代的“传感器网络”(sensorweb)的概念。

##### 4.1.2 计算能力的革命

满足地球观测体系的计算量是非常庞大的,需要从现在每天  $10^{12}$  字节的数据扩展到将来的每天  $10^{15}$  字节的数据量。计算机产业将提供具有更高级性能的计算机,NASA 的工作就是将自身的空间能力转化为能够进行在线数据处理和数据压缩的能力。NASA 也需要进行新的软件设计工作,这些软件将保证高性能计算机运行能实现预报的地球系统耦合模型。例如,欲使天气预报达到理论极值(大约 14 d),就不能仅仅局限于处理这些大量数据和所需的大量复杂模型计算的计算机容量。

##### 4.1.3 通讯技术的革命

为了广泛地接触和获得有关知识需要进一步加强通讯交流,NASA 的目标是使地球科学预测更加广泛全面地服务于社会。在基于空间的观测背景下,它意味着在飞船上的数据融合允许特制的信息产品

直接传送到用户终端,其费用不超过一次国际长途电话。随着计算技术的发展,IT 产业将会提供许多新的通讯工具。NASA 的重点是集中在那些对地球科学具有特殊功效的方面,例如如同身临其境的新的可视化技术的知识展示,经过数据挖掘产生知识等。

## 5 保障 ESE 科学与应用目标实现的观测能力与信息系统

### 5.1 开发先进的仪器设备以降低成本并提升地球观测的科学能力

NASA 的仪器开发策略将主要集中在更有能力解决科学任务的观测手段上。支持仪器的空间平台开发主要集中在减小体积、重量和操作的复杂性。而且,如果这些技术在实施一项卫星任务之前研发出来,则成本和计划的不确定性以及风险将会显著地减小。仪器开发重点主要包括以下几点<sup>[3]</sup>:

(1) 更小的、智能探测器阵列和被动遥感系统。它可以减少传感器子系统的质量和功率,简化校准、集成和操作的程序,以便充分利用整个电磁波谱的全部信息内容;

(2) 空间激光雷达的主动式遥感器的设备结构。先进的传感器使这些设备在寿命、效率和任务执行方面得到了改进,同时也减少了质量、体积和成本;

(3) 能够显著减少寿命循环周期的平台结构的出现。它主要是通过减少质量、体积、能量和操作的复杂性和增加桌面操作的自动化程度来实现;

(4) 能使小型的科学考察飞船飞行的技术和运算法则;

(5) 先进的小型化技术将实现更小、更有用的亚轨道平台;

(6) 发展机载、亚轨道和空基平台上的技术示范与试验台的校正。

例如,“仪器孵化器计划”的目的是降低用于未来的科学仪器子系统和系统的创新与高回报技术的风险。“新千年计划”为新技术提供了一个在轨试验台,这些技术必须适应独特的太空条件并在融入科学任务之前评价其可行性。

### 5.2 开发获取、处理、存储、可视化和地球科学数据交流的先进信息系统

ESE 计划中所设想的全球性观测网络包含着允许太( $10^{12}$ )字节的数据传输和管理的先进计算技术与通讯网络概念,这也是实现 ESE 可视化所必需

的。对全美国用户提供的地球空间信息将会使有关地球系统动力学的知识产生重大的飞跃,例如先进的信息网络不但使数据获取和自然模拟活动成为可能,而且能提高其效率和功能,这种模拟甚至能区别地球系统中自然和人为引起的变化。

ESE 技术战略所考虑的信息系统侧重以“端对端结构”(end to end)促进技术发展,即以信息开始传送的太空一端到达知识提高的用户一端。在信息系统中主要开发的软、硬件技术包括<sup>[3]</sup>:

(1) 飞船上的硬件和软件结构,它可以引进诸如智能平台和传感器控制这类新任务的业务运行能力。这一计划的内容与 NASA 的空间运行管理组织(SOMO)相协调;

(2) 把多数据集和精确的、可视化的地球系统数据和信息连接起来的有效途径;

(3) 商业用户与当地用户通过采用适应各自用途的方式使其扩大了接触地球科学信息的范围;

(4) 把高性能的计算和交流(HPCC)概念转换成未来太空/地面交流的基础设施成分。

### 5.3 NASA 在对地观测和预测中的合作关系

作为一个研究型和技术型的机构,NASA 提供了一种新的工具和知识来提高地球系统变化和影响的评价和预报。NASA 首先利用气象卫星,现在继续利用可以从太空监测全球大气、海洋、陆地和冰面状态的卫星。其他机构(比较突出的是 NOAA 和 USGS)利用卫星空间观测来提高他们天气预报的业务能力和陆面变化的监测能力。NASA 的任务就是在高新技术方面帮他们做得更加有效。

美国国家海洋与大气管理局(NOAA)和美国国防部(DOD)致力于将其各自的气象卫星计划集中起来,以便集成为国家极地轨道业务环境卫星(NPOESS),NASA 现在正与他们合作开发新的仪器。这些仪器将首次搭载于 NPOESS Bridge 卫星飞行,该任务将被用于扩大 NASA 的科学观测并且降低 NPOESS 的技术风险。这种合作有助于增加短期天气预报的准确性和预报周期,为长期气候研究与监测建立重要的观测手段。

NASA 与美国地质调查局(USGS)在陆地卫星和陆地表面遥感技术方面携手并进。例如与 USGS 和国家科学基金会(NSF)达成协议,在监测导致地震和火山的大陆和地层位置的 GPS 排列方面建立合作关系。

随着基于太空的地球观测在私立部门中的发展,技术计划将强调探测器的开发,太空建筑和用来

加强能满足某些企业需求的商业性飞行体系的信息体系。在一些有特殊利益的地方,所追求的是与国内和国际组织间的合作,主要是激励对全球地球观测网络的传感器网络(Sensorweb)分布有兴趣的微型卫星技术方面的投资。

## 6 未来 10 年研究地球科学问题的观测卫星及其所达到的预测能力

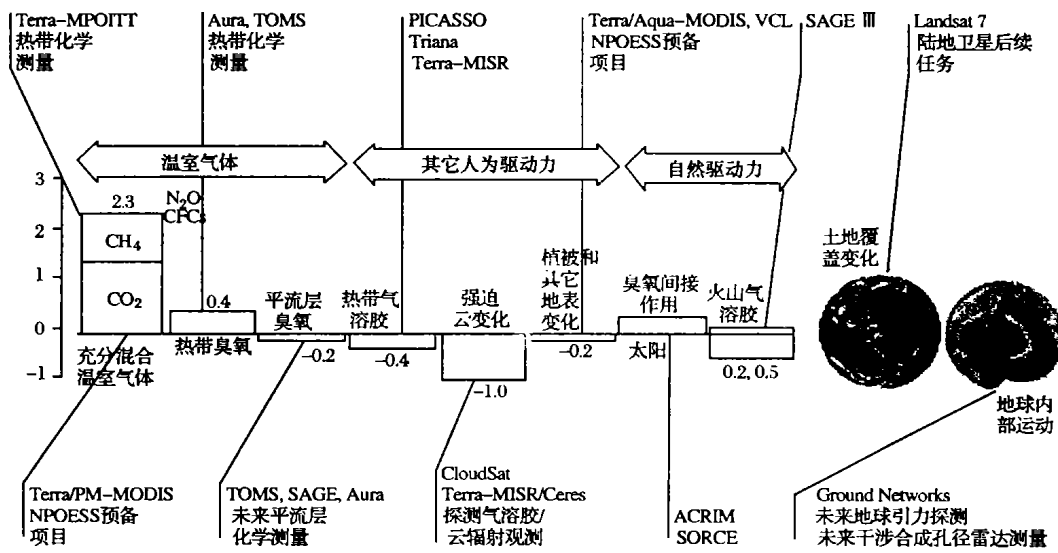
根据对本世纪初国际地球科学、资源环境科学发展战略的综合分析,技术体系的发展在未来地球科学研究中将发挥比以往更重要的作用<sup>(7,8)</sup>,NASA 在这方面的作用尤为突出。未来对地观测卫星的发展将采用从可见光、近红外、中红外、热红外到微波

的多种遥感手段,以互相补充和验证的方式对地球进行多学科观测。此外,NASA 的 ESE 计划利用了多个中小型卫星平台分别搭载不同的遥感仪器实施专项目标任务,其中合成孔径雷达和高分辨率遥感器充当了重要角色。

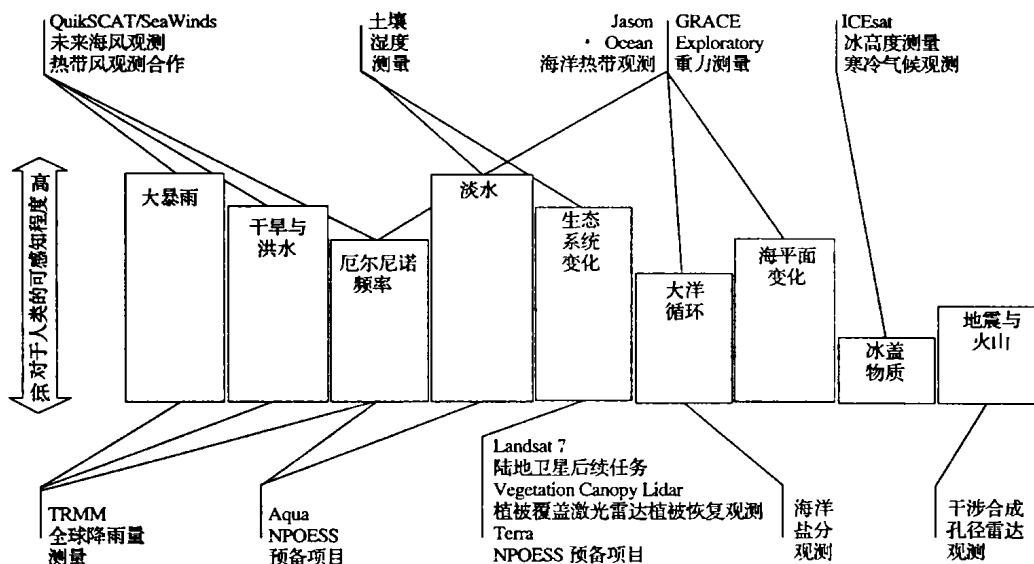
### 6.1 未来 10 年的对地观测卫星及其任务

NASA 的 ESE 战略计划中将地球视为一个处于陆地表面、大气、海洋、冰盖以及地球内部相互作用中的动态系统,从观测整个地球系统的驱动力(Forcing)到地球系统对驱动力的响应的地球系统科学的视角规划了未来 10 年的卫星任务(图 2)。如前文所述,这些卫星可归纳为三种类型<sup>(1)</sup>:

(1) 系统性卫星(如陆地卫星、EOS 及其后续卫星),其主要任务是:①优先识别并获取与重要科



(a) 观测地球系统的力



(b) 观测地球系统的响应

图 2 研究地球科学问题的观测卫星/未来 10 年的卫星任务

学问题有关的关键变量的精确数据,尤其是那些不能从其它参数推出的独立参数;②高度关注连续数据集与校准的关系,并在卫星运行期间进行校正。

(2) 探测卫星(如 Pathfinder)

为解决某一类科学问题而专门设计的一次性卫星,为完成专项试验而频繁地测量有关参数;首先采用先进技术并尝试以新的方式解决问题。

(3) 业务先导和技术示范卫星(例如:对流层风和新千年计划)

包括:①投资于传感器技术的改进和更经济、更有效的先进观测仪器的研制;②确定在科学研究和业务运行系统之间转换的桥式(bridging)卫星;③满足长期科学观测的需求。

6.2 未来 NASA 地球系统观测和模拟所能达到的预测能力

ESE 战略计划中提出了未来 10~25 年关于地球系统未来变化预测的初步构想<sup>[1]</sup>,在 ESE 应用战略中提出了如表 4 所列的规划<sup>[5]</sup>。

表 4 ESE 关于预测能力的规划

	当前	2010 年目标
天气	准确率为 93% * 的 3 d 预报; 准确率为 62% * 的 7 天预报; 小于 3 天的降水预报; 登陆飓风速度为 2~3 d ± 400 km; 逐日空气质量预报。	准确率大于 90% 的 5 d 预报; 准确率为 75% 的 7~10 d 预报; 3 d 降水的常规预报; 登陆飓风速度为 2~3 d ± 100 km; 2 d 空气质量预报。
气候	6~12 个月的预测试验; El Nino 的机理已清楚; 粗模型的 10 天气候预测,强迫和响应因子具有明显的不确定性。	6~12 个月的季预测; 12~24 月的常规试验; 10 年气候预测试验;强迫和响应因子的可信度达到中等至高等。
自然灾害	地面变形的厘米级测量; 长期构造运动的准确描述,但欠缺短期地震预报能力; 火山活动的准确描述,但长期预测的准确性欠缺。	脆弱地区地表变形的连续观测,精度至毫米级; 改进地震和火山喷发预测的时间维; 改进对火山喷发后的灾害评估。

\* 是指冬季北半球海平面气压的预报准确率

NASA 在 2003 年版的 ESE 战略计划中对以上规划进行了补充,有关内容见表 5,这样的预测能力

是以更先进的传感器、空间平台、信息系统和计算机系统为依托和保障的,这也是 NASA ESE 计划在今

表 5 未来地球科学观测和模拟所能达到的预测能力

事件	预测能力	事件	预测能力
天气预报	90% 的预报达到 7~10 d	厄尔尼诺	15~20 个月
降雨	7 d 的降雨预报	气候预测	10 年
暴风雪	>3 d 预报,多数情况达到 10 d	海平面变化	半年,局地 and 现场专题评估
局地暴雨	提前 7 d 预报	碳管理	10 年,准确的局域海平面变化
雷暴	>2~3 h	海岸带	季节性局地生产力
龙卷风持续时间	提前 30 min 预报	大洋海岸带渔业	混合层深度对生产力和渔业的影响/
骤发洪水	>2~3 h	海岸带渔业	季节养护效果
飓风登陆	3 d 内 75 海里	生态系统预报	短期公共卫生风险防范
飓风强度	9 节	入侵物种	地区性预警
空气质量	提前 7~10 d 预报	火灾预警	区域尺度的火灾及其强度的逐日预报风险
全球降水量/蒸发量	提前 12 个月预报	生产力	农产品产量和碳储量
长期天气	提前 1 周~1 月预报,90% 的准确率	火山喷发	的季节性与年际预测
		地震	提前 30~60 d 做出火山喷发及其对大气层的影响的预警
			对较大的地震灾害进行月评估

后几年科学研究与技术开发的优先领域<sup>[4]</sup>。

7 结 语

NASA 的地球科学事业(ESE)技术战略围绕 ESE 总体战略的科学目标和任务,以科学与应用需求来进行技术选择,以核心技术投资驱动优先领域

发展;在这种运行模式下,通过将新研发的先进技术分阶段及时引入到卫星任务和业务系统中,进一步提升 NASA 现有的空间对地观测能力,提升地球空间信息的处理、传输能力、提高未来的观测能力。分析 ESE 技术战略,有下列特点:

### 7.1 技术开发管理目标明确,管理程序科学合理

ESE 技术战略推出技术开发管理的目标是培育具有广泛前景的技术逐步成熟,达到业务应用可以接受的技术准备就绪水平,然后通过实验验证(实验室、野外、机载和空载)促进其技术成熟度升级提高,减少先进技术在最初的业务应用中的相关风险。在具体技术开发管理中,技术战略倡导通过分析阶段管理,培育所开发的先进技术达到更加成熟的水平。如通过先进技术创新项目,资助成熟程度的技术构想,并将其与其它 NASA 合作机构的包含先进构想的计划加以整合,通过这些计划的进一步发展,培育有前景的技术构想,再从中选择和资助更有前景的技术构想和相关技术,使所开发技术向着中等和高成熟阶段发展,最终高成熟程度技术管理焦点集中于将先进技术引入到卫星和业务系统中。

在前文<sup>[1]</sup>中曾指出 NASA 的科学研究与技术活动有高度协同性,通过对 ESE 技术战略的分析,可看到在具体的技术开发管理中,其目标的制定和具体措施贯穿了科学的管理理念,表现在充分考虑了技术开发的一般规律和相关风险,而采取根据低、中、高技术成熟水平分阶段管理,从低级阶段开始,整合相关的先进的技术构想,结合项目实施,不断推进技术成熟度提高等有效措施。对于达到高技术成熟水平的先进技术(产品),强调及时在各种卫星任务和业务系统中的应用并进一步完善。

### 7.2 投资于核心技术领域,全面提高对地观测能力与信息系统技术水平

21 世纪初,全球对地观测能力进入了以高精度、全天候信息获取和自动化快速处理为特征的新时期,人类对地球进行多尺度、全方位实时动态监测的能力进一步增强。ESE 技术战略在重视对先进技术的研发和培育的同时也强调了引入先进技术提高未来的观测能力。

为了在 NASA 现有的观测能力基础上实现对地球系统变化的预测,完成 ESE 战略计划的科学目标和任务,技术战略明确提出了技术投资的原则:即根据 ESE 需求规划投资、通过公开征集项目选择技术投资,对核心技术领域和关键技术重点投资等。

如本文表(1)~表(3)所示,技术战略中所有的重点投资的具体技术都来自 ESE 的科学主题和 23 个科学问题的需求,并形成了观测技术和信息技术两个核心领域。针对不同的科学主题和问题锁定了各自采用的遥感仪器与相关技术,如表 1。从表 1 可以看出各种雷达与辐射计,数据挖掘、融合、数据可

视化技术占据了其中的主要部分。ESE 技术战略在明确锁定具体技术需求后又特别列出了关键观测技术与关键信息技术的主要挑战和技术投资重点,并明确指出在这两大核心领域投资的目的:①投资观测技术以扩展和提升观测能力,降低地球观测费用;②投资于信息技术以撬动和吸引商业投资,使信息产品应用于未来的地球科学卫星任务。从中不难看出 ESE 技术计划中科学研究、技术开发与产业化是环环相扣、紧密衔接运行的。

### 7.3 从 ESE 计划技术投资重点看未来遥感技术发展趋势

#### 7.3.1 遥感卫星向专业化和综合集成化两极发展

参与 ESE 计划的多种卫星任务按其不同使命基本可分为专业小卫星和综合集成卫星两类。能够产生新的科学突破的研究型卫星任务是 ESE 计划的重要组成部分,其中有一类研究型卫星只关注某个单一参数测量,以开启研究地球系统行为的新窗口;这类一般由大学牵头研制的体积很小的卫星既有获取科学信息的任务,也有负责培养新一代科学家的使命,这类卫星不承担长期的观测。小卫星的发展适宜完成一次性探测,具有快、省、专的特点,符合 NASA 提出的以更低成本来完成地球科学研究任务的总原则,在 ESE 计划中已出现了地球环境监测的小卫星星座技术。

然而由于地球是一个巨大的相互作用系统,地球系统科学和全球变化研究都需要长期、连续的地球观测,关键环境变量和多种数据的获取对研究地球系统主要组成部分的行为至关重要,因此研究开发新一代高性能、全天候并且有实时定位、定量处理能力的大型综合性遥感卫星就十分重要。ESE 计划中还特别强调了在所有需要观测的关键参数中,并非每个主要参数的数据集都源于 NASA 项目。可以充分利用包括空间、地面、海洋、气球平台和一些源自其它机构的研究网络<sup>[6]</sup>。

#### 7.3.2 对地观测传感器技术研发强调创新

ESE 战略计划中提出:投资于传感器技术的改进和更经济、更有效地完成观测的先进观测仪器的研制。在技术战略中提出以创新思维来拓展未来的技术方法空间,并通过 NASA 的“先进技术创新项目”(Advanced Technology Initiative Project)资助那些尚不够成熟的先进技术构想的发展。在关键观测技术方面的投资重点集中于先进传感器。先进传感器包括具有更高的时空分辨率的主动式、大口径遥感仪器。ESE 投资的技术领域覆盖了整个电磁波



谱,包括主、被动传感器,以提供连续的全球覆盖,并明确提出未来遥感体系将拥有大量的网络式传感器,它们具有高灵敏性,能够从不同的空间有利点进行多场景观测,并能自动调整任务,从而形成未来的综合观测系统。

### 7.3.3 遥感数据计算机处理趋于更加自动化、智能化

NASA 为应对来自各种对地观测卫星的海量数据的管理以及从中产生信息产品的挑战,在 EOS 计划中规划开发了地球观测系统数据与信息系统(EOSDIS)。随着信息和通讯技术的发展,ESE 计划必须改进该信息系统的服务方式。有关下一个 10 年数据与信息系统服务概念的研究工作已经启动,这项工作建立在 NASA 的现有基础上,并推动未来地球观测与预测科学与技术的发展。ESE 在关键信息技术领域的投资重点包括机载数据处理、空基交流、高端计算(高保真地球过程模型)、信息综合(数据压缩、融合、管理、可视化)、卫星自动化等。NASA 将

充分利用 IT 产业广泛的产业基础,为空间应用和地球系统科学的发展及相关信息产品的产生和应用提供支持。

#### 参考文献:

- [1] 冯筠,高峰,黄新宇. 从空间对地观测到预测地球未来的变化(一)——NASA 地球科学事业(ESE)战略计划述评[J]. 遥感技术与应用,2003,18(6):407~421.
- [2] NASA. Earth Science Enterprise Technology Strategy[R]. 2002.
- [3] NASA. Exploring Our Home Planet-Earth Science Enterprise Strategic Plan[R]. Jan, 2001.
- [4] NASA. Earth Science Enterprise Strategy[R]. Oct, 2003.
- [5] NASA. Earth Science Enterprise Application Strategy For 2002~2012 [R]. Jan, 2002.
- [6] NASA. NASA'S Earth Science Enterprise Research Strategy For 2000~2010[R]. Dec, 2000.
- [7] 冯筠,高峰,孙成权. 遥感技术在全球变化研究中的应用[J]. 遥感技术与应用,2001,16(4):237~241.
- [8] 张志强. 国际地球科学与资源环境科学发展战略分析[J]. 地球科学进展,2003,18(6):960~973.

## From Observing the Earth from Space to Predicting the Future Change of the Earth( I ): A Review on Earth Science Enterprise Technology Strategy

FENG Yun, GAO Feng, HUANG Xin-yu

*(The Scientific Information Center for Resources and Environment, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)*

**Abstract:** This paper is a continuation of a review on NASA's Earth Science Enterprise (ESE). ESE Technology Strategy is the focal part of ESE. The ESE Technology Strategy includes: (1) the goal of ESE Technology Strategy and the approaches, (2) implementing options of ESE Technology Strategy and (3) the key technologies of investment by ESE Technology Strategy. Under the model of "Science/Applications Needs→Technology Options→Measurement Capability→Enabling Science/Applications", the priorities of technology development and in-space validation are determined based on Enterprise needs and the technology investment is optimized at the Enterprise level. The ESE Technology Strategy articulates its technology capability needs to a wide science/technology/applications community, and partners and collaborates with other technology development and validation programs within and outside of NASA to maximize the return on technology investment by minimizing duplication, expanding the future technology solution space, leveraging existing efforts and resources, and enabling technology infusion into flight missions and operational systems.

**Key words:** NASA, Earth science enterprise, Technology strategy, Earth observing technology, Advanced sensors, Advanced information system, Advanced computing technology