

编者按:继20世纪80年代中期美国提出并实施地球观测系统(EOS)计划后,为解决一系列当前和未来地球系统科学研究面临的重大科学问题,美国国家航空航天局(NASA)于2000年11月公布了以观测、描述、了解进而预测地球系统变化为宗旨的“地球科学事业(Earth Science Enterprise, ESE)战略计划”,提出了许多需要回答的地球科学研究的重大科学问题及相应的科学目标与应用目标,并着手制定了保障其战略计划实现的3个从属计划,即:“2000~2010年研究战略”、“2002~2012年应用战略”和“ESE技术战略”。本刊从2003年第6期起,将陆续发表ESE计划上述几个战略计划的介绍和评述,可作为读者了解美国21世纪初期地球系统科学、地球空间信息学、卫星遥感技术研究与应用的情况的重要参考资料。

## 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

冯筠,高峰,黄新宇

(中国科学院资源环境科学信息中心,兰州 730000)

**摘要:**分析介绍了NASA的ESE战略计划,该计划以提高人类对地球系统的科学认识、改进对天气、气候和自然灾害的预测和预报为目的,通过观测、模拟等手段认识控制地球系统变化的过程,回答一系列地球系统科学问题;计划制定了未来十年NASA的科学、应用和技术目标,针对不同的科学问题确定了相应的卫星任务并且展望了预期成果。最后对ESE战略计划的若干特点进行了概括和分析。

**关键词:**NASA;地球科学计划;地球系统科学;空间对地观测

**中图分类号:**TP      **文献标识码:**A      **文章编号:**1004-0323(2003)06-0407-15

2000年11月,美国国家航空航天管理局(NASA)公布了其地球科学事业(ESE)战略计划,提出了2000~2010年NASA地球系统科学研究的科学目标与任务,进一步明确了战略计划整体框架和分阶段实施任务、研究领域;重申并强调了应用地球科学研究成果解决关于人类社会、经济可持续发展的各种实际问题(重大自然灾害、烈性传染病等)最终达到能够预知预测地球系统未来的变化,包括突发性自然灾害、气候变化及其趋势、地球系统变化对人类社会的影响后果等。

ESE战略计划对认识并预测自然及人类行为对全球环境变化的影响具有重大意义,其研究成果将为发展良好的地球环境、支持政府经济投资决策作出富有成效的实际贡献。

### 1 认识并研究地球系统,应用地球科学解决实际问题

20世纪60年代以来,NASA的气象卫星、地球

观测卫星及其它有关研究使科学家们完成了将地球视为一个包括陆地、大气层、海洋、冰盖、生物和地球内部相互作用的动态系统的认识过程,这种完整的认识导致了一门新的交叉学科——地球系统科学的诞生,该学科研究方法的关键是了解全球气候是如何响应作用在地球上的“力”,而又把这种力反馈作用于地球的过程。作用在地球系统上的力包括来自自然和人为影响两个方面:自然力譬如太阳辐射能量的变化,火山爆发时喷出的尘埃和气体扩散进入大气层对太阳辐射起到遮蔽作用;人为影响力包括毁林、燃烧化石燃料引起的碳释放,农业发展带来的甲烷与土壤粉尘化;由各种工业化学造成的臭氧耗减等等。诸如大气水汽和云这样的内在气候因子产生的反馈也影响着气候驱动力强度的消长。

#### 1.1 空间对地观测实现了对地球系统的研究

美国乃至国际全球变化研究的历史是与NASA的历史平行发展的。NASA从其机构建立之初就开始从太空中研究地球,20世纪60年代初,

收稿日期:2003-09-05;修订日期:2003-11-06

作者简介:冯筠(1951-),女,副研究员,从事科技信息分析研究与科技期刊编辑工作。

NASA 发射了第一颗气象卫星,现在气象卫星已实现了进行 3~5 d 的天气预报。

70 年代初,NASA 开始应用遥感技术获取陆地表面植被信息的实验,陆地卫星(Landsat)成为全球第一颗民用陆地成像卫星,现在则已成为研究区域与全球土地覆盖变化的基本工具,被应用于解决诸如亚马逊流域和东南亚地区森林破坏以及通过在作物生长期观测其绿度指数来预测作物产量等问题。

80 年代,NASA 在星载地球辐射技术实验和其它能够进行太阳辐射与地球吸收和反射的研究基础上,构建了第一个地球能量收支模型。20 世纪 70~80 年代之间,NASA 的臭氧总量制图光谱仪开始监测地球年度臭氧浓度与分布的变化,包括南极上空臭氧层空洞的增大,这些观测研究导致几乎全部地球上的国家承认并接受了《关于耗减臭氧层物质的蒙特利尔议定书》的签订。进入 90 年代,NASA 的高层大气研究卫星(UARS)证实了臭氧耗减的根源是地球上化学产品的工业化生产。

90 年代初,NASA 与法国合作研制的 TOPEX/Poseidon 雷达高度计作为遥感技术新的里程碑,向人类提供了第一张全球大洋环流图;使很多国家能够监测厄尔尼诺/拉尼娜现象形成与消散的过程,使地球气候的预测周期提前到 12~18 个月。90 年代后期,NASA 与美国私立机构协作,利用海洋宽视场传感器(SeaWiFS)监测海“色”(浮游植物群落浓度)并了解海洋向大气层输送 CO<sub>2</sub> 的作用。利用 SeaWiFS 仪器数据,NASA 完成了全球生物圈的首次记录。观测全球生物圈跨季节和年度的变化,有助于研究者了解地球系统如何进行碳循环,这也是解开全球气候变化之谜的关键之处。NASA 与日本共同发展发射的热带降雨测量卫星(TRMM,1997),完成了首次全球热带降雨量测量,为调查全球淡水分布状况作出了贡献。

NASA 所有对地观测的努力集中在地球观测系统(EOS)的活动方面,EOS 卫星主要用于对构成地球系统的陆地、海洋、大气层、冰和生物之间的相互作用进行观测。

上述技术成果研发的历史与卫星观测结果产生了这样的结论:①认识气候变化必须将其置于陆地表面、大气层、海洋和冰盖以及地球内部相互作用的背景之下。②真正科学意义上的全球变化研究和对地球系统内外相互作用的整体认识是建立在空间对地观测、地球空间信息学基础之上的。

地球系统科学学科的建立和发展与空间对地观

测密不可分,NASA 宣称全球变化研究的历史与 NASA 的历史是平行的,从空间对地观测的技术发展进程来看,此言不虚。

## 1.2 应用地球科学解决人类社会所面临的实际问题

多种来源的地球科学信息和知识一直以来都是人类认识自身所处的物质世界的依据,当代地球科学知识,已在多方面得到了实际应用,其中之一是改进对自然灾害的预警。根据统计,上世纪 90 年代重大自然灾害发生的频率是 60 年代的 9 倍之多。随着人口密度和财产经济价值的增长,区域自然环境日趋脆弱,灾害风险性及其所造成的损失程度在不断增加。仅以美国为例,90 年代发生的密苏里河洪水,92 年的飓风,1994 年的 Northridge 地震均为历史上经济损失最严重的灾害。因此,自然灾害与气候及地球系统的其它变化间的联系是一个活跃的研究领域。

为了协助美国联邦政府和各州的有关机构改进规划,完善灾害响应机制;更加有效地布置灾后恢复重建工作,尽可能减少灾害所造成的损失;NASA 正在利用其空间观测结果和灾害过程模拟,研究了解导致地震、飓风、火山喷发、洪水和其它灾害的过程。空间观测技术在减少多种不可避免的自然灾害方面具有明显的效果和巨大的潜力。

ESE 研究重点之一是模拟与灾害有关的地球系统过程以获得可靠的预测能力。目前,ESE 已经和美国国家大气与海洋管理局(NOAA)合作展开了减灾方面的研究,因为 NOAA 一直是负责天气和气候预测业务的联邦机构,可将上述灾害模型的因子纳入其预测系统。NASA 还与美国地质调查局(USGS)开展合作,在洛杉矶盆地开展土地表面变化预测,描绘全球陆地表面的特征。此外,NASA 还与联邦紧急事务管理局(FEMA)合作,改进洪泛区制图与灾害预警工作,与国立卫生研究院(NIH)共同利用遥感数据进行预测,防止与灾害相关的烈性传染病出现或蔓延。

## 2 ESE 的任务、目标及其战略规划框架

NASA 制定 ESE 战略计划的目的是为了提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的响应的科学认识,改进现在和将来对气候、天气和自然灾害的预测和预报。

ESE 提出的科学目标是: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。

这一科学目标本身就代表了一个最上端的科学问题,地球是怎么变化的,它的变化对地球上的生命有什么影响?其下又分解出 5 个科学主题及相关连的 23 个问题:

(1) 全球地球系统是如何变化的?

——全球降雨量、蒸发量及水循环怎样变化?

——大洋环流在年际、十年以及更长时间尺度上怎样变化?

——全球生态系统怎样变化?

——随着大量臭氧破坏的化学物质的减少和大量新的替代物质的增加,平流层臭氧怎样变化?

——地球上大多数冰盖会发生怎样的变化?

——地球及其内部是怎样运动的,对于地球的内部作用过程我们能得到什么信息?

(2) 地球系统的主要驱动力是什么?

——大气成分和太阳辐射以怎样的变化趋势驱动全球气候?

——全球土地覆盖和土地利用会发生什么变化?原因是什么?

——变形了的地球表面是什么样的?怎样才能把这样的信息用于预测未来的变化?

(3) 地球系统如何响应自然和人为引起的变化?

——云和表面水文过程对地球气候产生怎样的影响?

——生态系统如何响应并影响全球环境变化和碳循环?

——气候变化怎样导致全球大洋环流的变化?

——平流层的痕量元素会对气候和大气组份作出怎样的响应?

——气候变化对全球海平面产生什么影响?

——区域性空气污染对全球大气会产生什么影响以及全球化学和气候变化又对区域大气质量产生什么影响?

(4) 地球系统的变化对人类的后果是什么?

——与全球气候变化有关的局地天气、降水量以及水资源怎样变化?

——土地覆盖和土地利用的变化对生态系统和经济生产力的可持续能力会产生怎样的结果?

——气候和海平面变化以及日益增加的人类活动对沿海地区的后果是什么?

(5) 我们如何预测地球系统未来的变化?

——怎样通过空间观测数据的同化和模拟提高天气预报的持久性和可靠性?

——怎样能更好地了解和预测瞬时气候变化?

——怎样能更好地评估并预测长期的气候变化趋势?

——怎样预测未来大气化学成分的变化对臭氧和气候的影响?

——怎样通过地球系统建立碳循环模型,对未来大气中  $\text{CO}_2$  和甲烷浓度的预测的可靠性如何?

围绕着 ESE 战略计划提出的这些科学主题和相关科学问题,有侧重、有针对性地开发相应的观测技术手段和信息处理技术是 ESE 计划的核心部分。

在应用方面,ESE 战略计划提出的目标是扩大并提高地球科学、信息与技术的经济和社会效益。任务包括:①证明科学技术能够开发出公共与私有机构决策所需要的工具。②激发公众对地球系统科学的兴趣和理解,鼓励青年学者以科学技术为终身职业。

ESE 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。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预测能力。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方法。

在确立上述目标任务的同时,战略计划制定了分三阶段实施的框架(图 1)。

第一阶段:2002 年前,利用现有地球观测卫星 EOS 系列对地球系统内的相互作用进行首次系统地调查,完成对地球系统的特性的描述。

第二阶段:2003~2010 年通过对关键地球系统参数进行系统测量和对未知地球系统过程的探索研究以及对地球系统内各部分相互作用的模拟和分析来回答有关地球系统作用力及其响应的关键科学问题。

第三阶段是 2010 年以后,这一阶段的战略重点是大力发展对地球系统的预测能力,利用智能化小卫星网络和多种信息结构的平台解决未来的科学问题,实现对气候和自然灾害的预报。总之,NASA 的地球科学探索战略计划(ESE)的实施是一个从科学问题的研究到预测能力实现的过程,时间跨度是 10~12 年。这一战略计划由科学研究、应用、技术三部分组成,三个部分的工作或有序或同步进行,对科学问题的认识占了其中很大部分,从时间跨度上也最长。

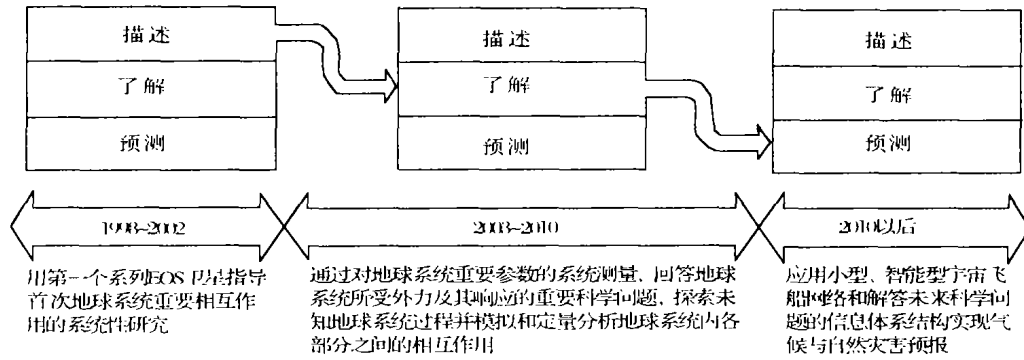


图 1 ESE 分阶段实施框架

ESE 路线图(图 2)从科学研究、应用与教育、技术三方面分三阶段揭示了 NASA 今后的工作任务。

### 3 ESE 当前的任务——描述地球系统的特征

最近几年, NASA 的地球科学任务是描述地球系统的特征, 包括地球系统内的主要相互作用。已发射的正在运行中的卫星及其所搭载的遥感仪器承担

的观测任务如表 1 所示。

#### 3.1 已完成的科学与应用成果

- (1) 对来自太阳和地球行星的能量收支的辐射通量进行量化。
- (2) 建立了 26 年的全球土地覆盖的数据记录, 对亚马逊流域以及东南亚热带雨林的毁林状况进行定量化分析。
- (3) 揭示了臭氧耗减和形成的原因, 并证实了



图 2 NASA ESE 路线

表 1 NASA 当前的地球科学任务:描述地球系统内的主要相互作用

<1998	1999	2000~2001	2002~2003
TRMM(1997年7月) · 降水量(陆地海洋)	Landsat(1999年6月) · 陆地表面	Shuttle Radar Topograp Mission(2002年2月) · 陆面地形和变形	Aqua · 云、降水、辐射 · 陆地表面 · 海色/海表温度
Sea WIFS (1997年7月) · 海色	Sea Winds on QuikScat (1999年6月) · 海面风	SAGE II on Meteor · 大气气溶胶 · 大气化学成分	Jason · 大洋环流 · 海平面
	Terra(1999年12月) · 云, 溶胶, 辐射 · 陆地表面 · 海洋颜色	EO-1(2000年11月) · 陆地成像技术试验	GRACE · 地球重力场的时间变化
	ACRIM Sat (1999年12月) · 辐照度	QuikTOMS · 大气臭氧和气溶胶	SeaWinds on ADEOS I · 海面风
			ICE Sat · 冰盖 · 地形
			VCL · 植被冠层高度
			SORCE · 太阳辐照度
			Triana · 地球能量平衡及日变化 · 太阳风/太空天气
			Aura · 大气化学成分 · 太阳风/太空天气 · 首次测量全球对流层化学

工业化生产及含氯化合物为观测到的臭氧耗减增加的原因。

(4) 从卫星数据生成了第一张全球大洋环流图,使人们能够看到“厄尔尼诺”和“拉尼娜”现象的形成和消失的过程。

(5) 确定了格陵兰冰盖的消长速度,并制成了第一张精确的南极雷达图。

(6) 用干涉测量雷达和全球定位系统阵列在火山喷发前绘制了地震断层和地面的运动。

(7) 揭示了高浓度的大气污染物能减少在污染源下风向区域的降雨。

(8) 揭示了在北半球的高纬度地区过去几十年海冰厚度大大降低。

### 3.2 预期成果

(1) 收集几乎每天的全球陆地和海洋生物圈测量数据,从中估算出大气中 CO<sub>2</sub> 的吸收。

(2) 建立全球和区域降水的测量标准,从中确定淡水资源的可用量。

(3) 用卫星资料提供全球大气温度和湿度的精确测量,用以提高天气预报的准确性和延长预报周期,并且连续进行海洋风和地形的测量以增加天气预报的准确性和周期并驱动海洋气候影响的模型。

(4) 从全球云的特性(范围、高度、反射率、粒子物理学等)的测量来确定它们对地球入射太阳辐射响应和地球气候的影响。

(5) 把臭氧和气溶胶测量值作为对流层空气质量的指标。

(6) 制作 60°N~50°S 之间整个地球表面的数字地形图,该图可以广泛应用于自然灾害、水文学、地形学等方面;并提供来自 Terra 卫星的数字高程

模型。

(7) 了解对火山和地震发生和形成起作用的过程。

### 3.3 ESE 近期优先实施的任务

(1) 继续发展第一个 EOS 系列并选择地球探测任务。

(2) 提供一个功能强大的数据和信息系统来支持地球探测任务的数据处理、存档和发送。

(3) 落实预定的航空遥感和野外监测活动,即开展太平洋对流层化学、亚马逊流域生态、南部非洲生物量焚烧的航空遥感研究。

(4) 继续收集和分析现有的 NASA 卫星数据,例如全球热带地区降雨率和海洋浮游生物浓度的数据。

(5) 与联邦、州和当地其它机构建立联合应用示范项目(例如:FEMA 洪积平原制图项目,USDA 精准农业项目)。

(6) 与其它机构合作开展地球科学主要问题的研究,例如与 USGS 合作进行地应力场的测量,与 NSF 合作开展“EarthScope”项目。

(7) 支持美国全球变化研究计划(USGCRP)目标的发展和完成。

## 4 ESE 战略计划 2002~2010 年的目标与任务(科学、应用与技术)

### 4.1 战略重点

2002~2010 年是 ESE 战略计划实施第二阶段,NASA 在这一期间的科学任务和技术开发主要围绕着认识了解地球系统而展开,其战略重点是:

(1) 通过实施一个引人瞩目且有活力的研究项

目来回答地球系统驱动力和响应的基本问题。

(2) 完成对科学界的承诺, 通过以下方式提供长期的(15 年或更长)重要地球观测的气候记录: ①通过购买商业数据提供除 EOS 第一系列以外的所需要的重要的系统测量数据, 这些购买的数据既可以满足科学需要又经济实惠; ②把完成的主要的系统测量数据转换到国家和国际业务卫星系统。

(3) 指导探测卫星任务去探测我们还不熟悉的地球系统过程, 如了解云层垂直结构和特性分布以及气溶胶的起源等在地球气候及其变化和地球表面变形中的作用。

(4) 完成开放的分布式信息系统体系结构, 包括科学数据处理的提供者与主要的投资人的交往过程, 用较高水平的信息产品把不同的创造者和使用者联系在一起。

(5) 开发地球科学普及网络以便在州和当地层面上实现信息产品交换。与州和当地机构联合发起应用研究以扩大地球科学知识传播所产生的社会效益。

(6) 与业务机构和商业企业合作, 对遥感技术进行示范并引入到决策支持系统。

(7) 开发技术, 改善仪器校准方法以降低数据解译的错误, 改善天气及其他地球系统模型。

(8) 购买能进行新的观测并具有分析能力的先进技术, 并通过以下途径缩小卫星体积、降低研制成本、缩短系统卫星和探测卫星的开发时间: ①开发先进组件; ②开发先进的信息技术; ③先进组件和亚系统技术的开发和示范(例如仪器孵化器传感器概念的发展); ④太空技术试验和校正(例如, 新千年计划)。

(9) 发展和验证模型和数据的同化过程, 带来不同的观测数据并研究地球科学的基础问题。

(10) 支持对气候变化结果及其对全球和区域以下几个方面影响的科学评估: ①食品和纤维生产; ②淡水及其它自然资源; ③人类健康和传染病蔓延; ④道路, 城市及其它基础设施的规划和发展。

#### 4.2 ESE 科学目标与相应科学任务

NASA 的 ESE 研究计划的基本思路是: 根据不同的科学问题及解决这些问题所需要的相关知识, 研制开发不同的卫星和仪器, 执行完成相应的任务。根据 ESE 战略计划所提出的科学主题和相关科学

问题, 计划中拟定了各个科学主题之下的过去与今后 10 年的主要研究计划内容。

##### 4.2.1 认识并描述地球系统的变化

日地系统是一个极端复杂的动态系统, 这个系统在所有的时间尺度发生变化, 从几分钟到数天的龙卷风和其它极端天气扰动, 乃至上百万年形成地球景观的构造现象和侵蚀, 还有制约大气和海洋的生物地球化学过程。而人类对地球系统变化的了解程度是非常有限的, 如地球气候系统展示了复杂的变化性, 像我们所知道的短时间的天气系统的变化、中等时间尺度的厄尔尼诺/拉尼娜波动以及较长时间尺度的冰期。由 NASA 和 NOAA 管理的气象卫星已经将短期天气预报拓展到了 3~5 d。海洋雷达高度计的测量使研究人员能够追踪厄尔尼诺和拉尼娜现象的形成, 而且模型的发展可以提前数月和几个季节就这一事件对地球气候的影响作出预测。

表 2 列出的是有关全球地球系统变化的科学问题及相关知识, 相应的卫星任务。

引起地震和火山喷发的物理解释是由于地球内部运动所引起的地壳和地球表面变化, NASA 的卫星地基传感器可以测量出地球的精确形状, 如已测量出洛杉矶盆地等地区的陆地表面变化情况。厄/拉现象影响着全球和中纬度地区的天气, NASA 和 NOAA 的仪器可追踪观测这些现象的强势期和弱势期, 这也是未来预测任务的一部分。

这方面研究的预期成果有:

(1) 通过业务运行机构的海洋观测支持对厄/拉现象的实际预测能力。

(2) 局地降雨量的季节、年度变化观测, 全球降水强度的十年趋势预测。

(3) 有关陆地和海洋生态系统的组成及健康状况、生产力变化和趋势的定量化知识(包括系统的碳吸收与输出)。

(4) 评估冰川和冰盖的增厚与消融及其质量平衡。

了解地球系统如何变化对国家发展能起的实际效益体现在:

(1) 提高了农业生产效率, 降低了季节降雨预报成本。

(2) 评估农作物和渔业生产的健康状况与分布情况。

表 2 未来十年 NASA 的研究计划的要点(一)

科学问题	需要的知识	EOS 时代(卫星名称)	2010 年(卫星名称)
全球降雨量、蒸发量以及水循环怎样变化?	大气温度	Aqua	NPOESS Bridge 卫星
	大气水汽	Aqua	NPOESS Bridge 卫星
	全球降雨量	TRMM(热带降雨测量卫星)	未来全球降雨量卫星
	土壤湿度		土壤湿度探测卫星
全球大洋环流在年际,十年以及更长时间尺度上怎样变化?	海平面温度	Aqua	NPOESS Bridge 卫星
	海冰范围	Aqua Sea Winds	研究或者业务卫星
	海洋地形	TOPEX/Jason	未来海洋地形任务
	地球重力场	GRACE	未来重力研究卫星
全球生态系统怎样变化?	地球的质量	地面网络	地面网络
	海色	Sea WiFS, Terra, Aqua	NPOESS Bridge 卫星
随着大量臭氧破坏的化学物质的减少和大量新的替代物质的增加,平流层臭氧怎样变化?	植被指数	Terra, Aqua	NPOESS Bridge 卫星
	臭氧总量	TOMS, Triana, Aura	未来臭氧/气溶胶总量卫星
地球上的冰盖会发生什么变化?	臭氧廓线	SAGE II	未来臭氧/气溶胶廓线卫星
	冰表面地貌	ICESat	未来冰高度测量卫星
地球及其内部是怎样运动的,对于地球的内部作用过程我们能得出什么信息?	海冰范围	DMSP, QuickSCAT	业务系统
	地球坐标系统	VLBI/SLR 网络	VLBI/SLR 地面网络
地球及其内部是怎样运动的,对于地球的内部作用过程我们能得出什么信息?	地球磁场	磁力计/GPS 星座	磁力计/GPS 星座
	地球重力场	GRACE	重力研究卫星
	应力场	ERS-1/-2	研究型干涉 SAR 卫星

表 3 未来年 NASA 的主要研究计划(二)

科学问题	需要的知识	EOS 时代	至 2010 年
大气组成和太阳辐射的什么趋势驱动全球气候变化?	太阳辐射总量	ACRIMSAT, SORCE	未来太阳辐射卫星
	太阳紫外辐射	UARS, SORCE	未来太阳辐射卫星
	气溶胶总量	Terra	NPOESS Bridge 卫星
	气溶胶廓线	SAGE II	PICASSO, SAGE III (ISS)
	气溶胶特性	陆地网络	陆地网络, 对流层化学探测卫星
	近地面痕量气体浓度	陆地网络	陆地网络
全球土地覆盖和土地利用变化的表现及其原因是什么?	痕量气体源/CO <sub>2</sub> 总体积量	陆地网络	陆地网络, 空基探测系统
	地表覆盖编目	Landsat 7, Terra	国内和/或国际合作
地表是如何变形的,如何利用这些信息来预测未来的变化?	火灾事件	Terra	NPOESS Bridge 卫星
	表面地形	SRTM	干涉测量激光卫星或 SAR 卫星
	变形和应力积累	ERS-1/-2	干涉测量激光卫星或 SAR 卫星
	重力场, 地磁场	空间 GPS 接收机	空间 GPS 接收机
	地球参考坐标	地面网络	地面网络

(3) 对全球淡水资源的可利用性进行评估。

(4) 估算未来海平面的上升程度。

#### 4.2.2 认识并确定地球系统变化的主要原因(驱动力)

表 3 中所列的研究内容均围绕着“地球系统变化的主要原因是什么”这一科学主题而展开,目标就是识别并确定地球系统变化的主要因素。

战略计划指出,当今人类面临的最大的挑战就是准确量化来自自然和人为的对地球系统的驱动力,由此来研究、发现气候和生态系统的变化趋势,并识别其变化模式。根据目前的观测结果与研究,已经确定了气候的主要驱动力,其中最重要的人为驱动力是大气组分的改变引起反射和辐射吸收气体浓度上升,它们导致了平流层臭氧层破坏和温室效应增强。

根据测量结果记录,大气 CO<sub>2</sub> 浓度近年来每年增加 1%,导致全球大气中 CO<sub>2</sub> 总计增加了 30%。在气候研究中,发现火山喷发的微粒及其释放的气体对大气影响也很大,地壳运动引起的显著的地壳变动和地形变化也会对陆地表面产生重要影响。

#### 4.2.3 确定地球系统如何响应自然和人为变化

由于地球系统较大的自然可变性,将地球系统的响应与作用系统的多种驱动因素联系起来是个难题。系统内外的反馈使这一问题更加复杂。反馈是对地球系统变化的响应,它能影响和反映系统的响应,就像大气中的水汽作用于温度一样。改进对此问题的认识的关键是发展结合海洋/大气、陆地/大气的模型去探索地球系统组分边界处相互作用的原因和影响。

已确认的主要地球系统响应参数发生的时间尺度及对人类影响显著性的一般特征见图 3。

围绕该科学主题, ESE 计划开展的研究内容和卫星任务见表 4。

表 4 未来十年 NASA 研究计划的主要内容(三)

科学问题	所需知识	EOS 时代	至 2010 年
云和地表水文过程对地球气候的影响是什么?	云系统结构 云粒子特性和分布 地球辐射收支 土壤湿度 雪盖与积累 地面冻融转化	Terra, Aqua  Terra, Aqua, ACRIM  Terra, Aqua Seawinds	NPOESS Bridge 卫星 Cloudsat, PICASSO, 未来气溶胶/云辐射卫星  土壤湿度探测卫星 寒冷气候探测卫星 寒冷气候探测卫星
生态系统如何响应和影响全球环境变化和碳循环?	生态系统垂直结构 沿海地区海洋生产力 碳源, 碳汇	Terra, Aqua	植被恢复探测卫星 NPOESS Bridge 卫星 CO <sub>2</sub> 体积探测卫星 (Exploratory column mission)
气候变化如何引起全球海洋环流变化?	海表盐度 次表面温度, 洋流, 盐度	In situ ocean buoys	海洋盐度探测卫星 实地测量海洋浮标 (In situ ocean buoys)
平流层痕量成分如何响应气候和大气成分变化?	近对流顶层大气特性 选择性化学种类 选择性源气体	Aura Aura, SAGE III Surface Network	Aura, 未来同温层化学卫星 未来平流层化学卫星, SAGE III 地表网络 (Surface Network)
气候变化如何影响全球海平面?	极地冰盖速度场	Radarsat	干涉测量雷达或 SAR 卫星
区域性污染对全球大气的影响是什么?	对流层臭氧和先质	Aura	对流层化学探测卫星

该科学主题的预测成果包括:

(图 3)。

(1) 在未来 10 年, 定量研究每个确认的气候响应, 并用“高”、“中”置信度确定其对气候变化的影响

(2) 了解 CEF 替代物的化学影响和蒙特利尔议定书对于减少臭氧层破坏的功效。

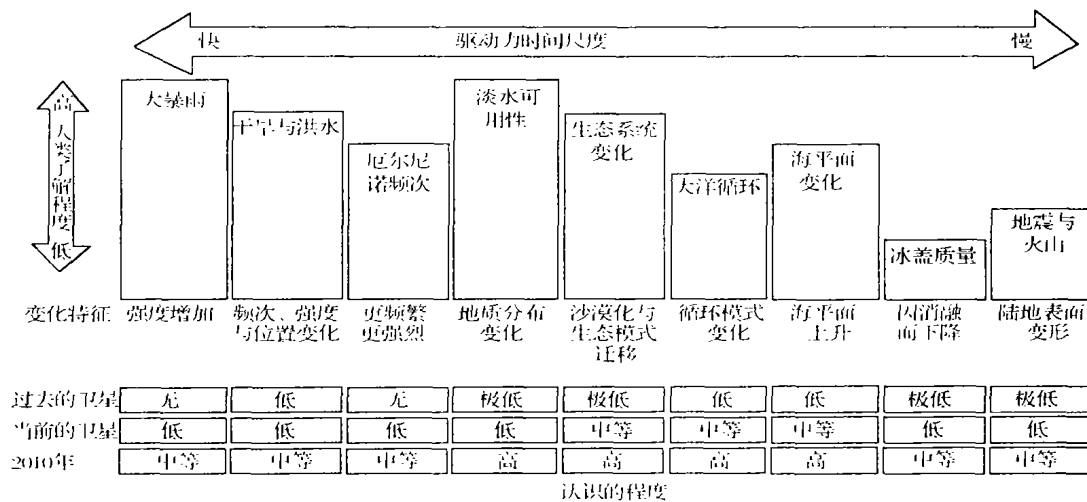


图 3 地球系统主要的响应参数

(3) 提供标明区域空气质量的全球地图。

(4) 完成对全球森林、海洋碳储量的首次估算。

实际受益包括:

(1) 农业规划和洪水灾害评估中季节和年度土壤水分变化监测。

(2) 根据燃料负载和气候条件为森林牧场管理提供生成火灾图的地球空间数据和决策支持系统。

(3) 空气质量管理决策的科学基础数据。

### 4.3 确定地球系统变化对人类文明的后果

地球系统特性全球分布的很小变化, 例如平均地表温度或海平面压力, 会导致区域性天气、生产力模式、水资源利用和其他环境属性的显著变化。例如, 我们已知厄尔尼诺暖洋流会阻断区域海洋生产和广阔的气候模式。厄尔尼诺出现多与太平洋的台风有关, 而不是大西洋的飓风。拉尼娜气候现象, 表现为热带东太平洋表面海水温度降低几个摄氏度,



通常多与大西洋海域活动性的飓风季节有关,以较平常年份频繁的、强烈的热带气旋为特征。

地球系统变化的结果表现为:近年来,很多地方的极端降雨事件(降雨量一天 $>2$ 英寸)的频率增

加,原因尚未确定。在未来的 30 年,北半球中纬度地区的雨季会增加 10 到 14 d。

围绕“地球系统变化对人类文明的后果是什么”这一科学主题,NASA ESE 准备以表 5 所示卫星任

表 5 未来十年 NASA 研究计划的主要内容(四)

科学问题	所需知识	EOS 时代	至 2010 年
局地天气、降水和水资源的变化量如何与全球气候变化相关的?	全球降水	TRMM	未来全球降水卫星
	海面风	Seawinds	未来国家/国际合作卫星
	风暴周围的气候特征	GOES	GOESw/改进
	闪电速率	LIS	UNESS,过渡到业务卫星
	河流水位高度与泄洪速率	Jason	未来国家/国际合作卫星
土地覆盖,土地利用变化的结果	初级生产力	Terra	NPOESS Bridge 卫星
	土地覆盖编目	Landsat 7, Teraa	国内和/或国际合作
气候和海面变化以及海岸地区人类活动增加的影响	沿海区域特征及生产力	Landsat 7, Teraa	数据的商业来源和/或探测卫星

务推动相关问题的研究。

通过实施该主题的卫星任务与相关研究,预期可完成的成果如下:

(1) 通过业务运行卫星得到高分辨率的全球海洋表面风场结构,以增强短期天气预报的准确性。

(2) 建立完全交互式的生态系统/气候模型,评估各种气候变化对生态系统响应的影响以及对其所提供的商品和服务的影响。

(3) 了解区域生态系统净初级生产力,地区农业和森林生产力的年度变化。

(4) 定量评估全球土地覆盖变化及土地利用变化的结果。

(5) 了解全球陆地和沿海营养物和沉积物的交换。

国家实际受益包括:

(1) 国家、地方规划部门可根据地球空间信息,将必要的工具应用于海岸带管理、交通、城市规划以及居住适宜地的辅助决策。

(2) 人类健康组织可通过地球空间信息、健康信息、数据分析、可视化工具评估气候变化对传染病扩散的影响。

#### 4.4 预测地球系统未来的变化

研究地球系统科学的最终目的是发展基础知识,预测并结合地球物理、化学、地质、生物状态的未来变化,评估这些变化带来的风险。当前我们尤为感兴趣的是一代人时间尺度上的气候变化,例如:大气的化学性质和成分变化,生物地球化学循环和初级生产力的变化。预测未来地球系统变化的第一步是能够实际模拟当前状态和短期的全球变化环境。这就是说,未来变化的可预测性取决于是否真实地反

演、再现当前或过去地球环境变化的真实状况。地学研究者已经模拟并描述了地球系统的主要循环,包括水循环和碳循环,并尝试对各种气候模式中的每种循环的各个成分进行定量研究。当前的研究集中于将模型和主要的地球系统各组成部分结合起来,例如海洋/大气、陆地/大气相互作用。未来十年的研究主要是填补人类认识的空白,减少目前认识的不确定性。

实现对未来地球系统变化的预测主要围绕解答下列科学问题所开展的卫星任务和科学研究而展开(表 6)。

在地球系统变化预测方面预期的研究成果包括:

(1) 在区域气候变化模型中,加入云的影响。

(2) 在气候和天气预报模型中,同化海风、海表温度、降水的雷达观测数据。

(3) 在天气预报系统中,加入对流层风的观测。

(4) 试验 3~5 d 天气预报的强化的精度。

(5) 显著提高对碳源和碳汇在陆地、大气、海洋循环中的认识。

(6) 获取并分析地球物理数据,明显改进对地震、火山灾害的风险评估。

在上述研究成果基础上,可获得下列社会效益:

(1) 将天气预报范围扩展到 7~10 d。

(2) 扩充了对生态系统健康的评估能力,这将有益于对疾病传播媒介的预测。

(3) 评估人类活动对地球气候和生态系统影响的科学基础。

#### 4.5 应用目标及任务

在注重科学任务实施的同时,NASA 的 ESE 战

表6 未来十年有关地球系统预测的NASA研究计划的主要内容(五)

科学问题	所需知识	EOS时代	至2010年
如何通过新的空间观测、数据同化和模拟技术改进天气预报周期和可靠性?	对流层风 海面风 土壤湿度 海表温度	Seawinds  业务卫星(Operational satellite)	国内和/或国际合作 未来国家/国际合作卫星 土壤湿度探测卫星 业务卫星(Operational satellites)
如何理解预测瞬时的气候变化?	海洋表面风 土壤湿度 海表温度 海面高度 深海环流	Seawinds  Aqua Jason 现场测定(In situ measurement)	探测或业务卫星 土壤湿度探测卫星 NPOESS 预备项目 未来国家/国际在现场测量中的合作
如何评估预测长期气候趋势?	模型中同化更多本次卫星所获得的数据	改进并应用耦合气候系统模型	与前面相同,但分辨率更高,全球降水分区化
如何准确的预报大气化学物质对臭氧和气候的影响?	模型中同化大气数据	改进并应用包括化学成分传输和反应的大气模型	与前面相同,但是分辨率更高,模拟区域气溶胶及其对云和反照率的间接影响
如何通过模拟地球系统中的碳循环来实现对未来大气中CO <sub>2</sub> 和甲烷浓度的可靠预测?	从DOE估算化石燃料消费和甲烷的产生	在气候系统中耦合碳循环模型并用于预测未来的CO <sub>2</sub> 与气候变化,对甲烷采用类似方式	提高模拟能力,以预测未来的CO <sub>2</sub> 、甲烷及其导致的气候变化

略计划同样重视扩大科学成果的应用,争取在科学、信息、技术几方面取得好的经济和社会效益,对于公众的科学教育也制定了切实可行的规划和措施。

#### 4.5.1 扩大地球科学、信息、技术方面的经济和社会效益

ESE 战略计划提出的应用目标是扩大地球科学、信息、技术方面的经济和社会效益。NASA 的地球科学成果在资源管理(农、林牧、渔业)、社区发展(交通、基础设施、生产质量)、灾害管理(自然灾害、环境与健康)和环境质量(空气和水的质量、土地利用/土地覆盖变化)几个领域直接对美国的经济和社会发展作出实质性贡献。

计划的应用与教育部分致力于评估和优化基于ESE能力的推广应用和教育需求,推动将科学技术成果转化为改进公共政策增加产业与商业机会。这方面的活动通过下列三条途径进行:

(1) 应用组将致力于了解公共和私立机构决策者的优化问题,并决定如何用ESE的科学技术能力解决这些问题。

(2) 教育组主要通过激励机制,使受教育者对地球系统科学、相关研究技术和应用产生广泛的兴趣和理解,积极鼓励青年学者从事科学技术职业。

(3) 外联(Outreach)组集中为那些关心ESE成果、项目状况和来自应用领域的决策者、投资人提供信息,同时起到对ESE所关心的公共和商业需求、期望的反馈通道的作用。

ESE 努力在应用研究领域和示范项目方面与其它代理机构、国家与当地政府、产业和学术界建立

伙伴关系,向他们提供尖端科技。NASA 的合作伙伴正在将这些尖端科技应用于他们的产品和服务中。成功的项目自身具有可持续性,NASA 在转移现有技术同时,将转向开发下一个系列的应用技术。

#### 4.5.2 将ESE的科技能力转化为解决现实世界问题的实用工具

经过10多年发展,NASA 在促进强大的美国商业遥感方面大获成功,现在每年收入已达数亿美元。NASA 作为国际学术界、其它国家及当地政府的合作伙伴,以自己的业务来示范针对各种实际问题的遥感数据应用技术。

在区域性应用方面,针对地理空间数据变化比较大的国家和用户,NASA 正在筹建一个可以培育地理空间数据开发和示范应用的项目。该项目是国家范围的,择优录用,在实施中通过用户组织开展大量合作。

自然灾害方面的应用包括在与联邦紧急事务管理局(FEMA)合作的过程中,率先利用卫星观测和模拟自然现象的方法开展灾害脆弱性评估。用高分辨率地形制图系统为国家洪灾保险计划绘制更精确的洪灾保险率地图(flood insurance rate maps)。

未来5年在应用方面可达到的预期成果包括:

(1) ESE 成果将显示它在环境质量评价、资源管理、社区发展和灾害管理等领域决策中的作用。

(2) 协调并使ESE项目效益最大化的区域性基础设施已在全国实施。

(3) ESE 科技成果被用于支持地区和全国的气候评估。

未来 10 年内、区域性的地球科学应用成果将在全美国推广并应用于社区的环境规划、减灾工作中。

#### 4.5.3 致力于对公众的科学教育,激发公众对地球系统科学的兴趣和理解

ESE 提出的教育计划目的是:①提高公众作为一个系统的地球的功能以及 NASA 在人类认识地球系统中的作用意识和理解。②使地球科学的信息和成果能进入各级教育的教学活动中。③加强应用地球科学成果技术和信息解决实际问题的能力建设。将通过非正式学习或正式课堂教学形式交流 ESE 成果,开展地球科学的教育活动,并进行将 ESE 成果应用于日常生活的新技能培训。预期在未来 5 年内,在全美 20 个一流大学取得地球系统科学领域的科学教育工作者资格认证,在 1/5 的州立中学或高中把地球科学成绩作为学生毕业必备条件,5%的教师取得地球科学教育资格认证,使 20%的美国成年人至少了解一种地球系统科学现象或一个具体应用,并且知道是 NASA 使之成为可能;在本科课程或假期安排一个教授地学遥感原理和技术的全国范围的典型认证计划,制定对个体从业者的专业证书培训计划。

在未来 10 年内,至少有 30 个一流大学被授与地球系统科学领域内高中科学教育工作认证,2/5 的州立中学或高中把地球科学作为毕业必备条件,

在这一领域有 30%教师取得资格认证,30%的美国成年人了解地球系统科学现象或一个具体应用,在一些地方建立有关地球遥感方面的全国性资格认证和授权计划。

## 5 ESE 战略计划的实施

### 5.1 协调不同需求,纳入整体计划

NASA 的 ESE 战略计划充分考虑了国内外各方面不同的地理空间信息需求和不同来源的数据提供成本及能力,包括:①美国全球变化研究计划(USGCRP)的科学需求;②美国科学院的研究建议;③业务运行和卫星机构的要求;④技术进步和 NASA 的能力;⑤国际性的研究和观测活动;⑥日益增加的对应用的强调。为促进地球科学数据的广泛获取和应用,NASA 制定了“ESE 数据管理声明”。当数据能满足科学需求并经济实惠时,ESE 就从商业来源获取数据,在实施 ESE 卫星任务和争取研究资助方面鼓励竞争。ESE 追求发展 NASA 同商界、机构之间、国际间的合作关系来完成任务,确保连续的长期观测并指导研究工作。

ESE 战略计划的实施如图 4 所示。

### 5.2 观测与信息系统能力是实施 ESE 战略目标的支撑和保障

为保证 ESE 科学与应用目标的实现,战略计划

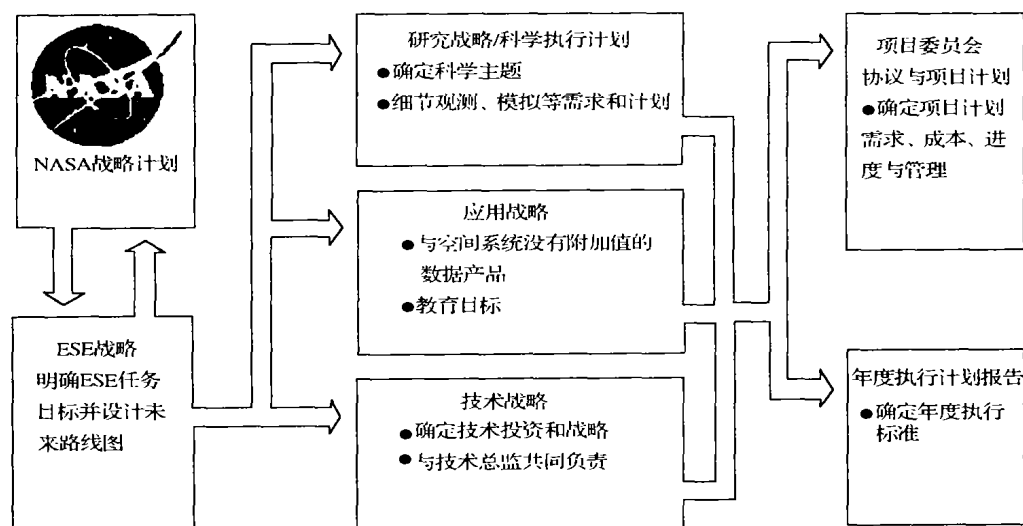


图 4 ESE 战略实施方法

将建设和提升 ESE 空间观测和信息系统能力作为其核心部分。

为了回答 ESE 提出的科学问题需要研制下列三种类型的卫星以便提供地学研究所需要的各类观测:①系列性卫星(例如陆地卫星、EOS 及其后续卫

星);②研究探测卫星(例如 Pathfinder);③业务先导与技术示范卫星(例如对流层风、新千年计划)。管理来自上述卫星的数据并从中产生信息产品是 NASA 当前面临的挑战。

有关 ESE 技术计划的较详细内容,我们将在本

文第二部分“ESE 技术战略述评”中阐述。

### 5.3 NASA 的国内机构间合作

NASA 并非单独从事地球科学研究, ESE 是在广泛合作的基础上完成其任务的。这些合作伙伴以各自不同的观测能力和新的科学认识为国家提供了更好的服务。

(1) NASA 为美国国家海洋与大气管理局 (NOAA) 研制了业务气象卫星。NOAA 与 NASA 协作开发气象卫星的气象预报模型, 以提高天气预报的准确性和预报周期。NASA、NOAA 与美国国防部在桥式卫星领域的合作将会改进 Terra 和 Aqua 卫星气象观测与研究的连续性, 这项合作同时也是 NOAA/DOD 气象卫星计划中的一个业务示范。NASA、NOAA 与美国海军合作共同研制和应用一种搭载于下一代静止轨道气象卫星的先进静止轨道傅里叶变换成像光谱仪。

(2) 美国地质调查局 (USGS) 与 NASA 在陆地卫星计划和南加州集成全球定位系统网络 (SCIGN) 方面开展了合作。USGS 通过其地球资源观测卫星 (EROS) 数据中心获取和分发 EOS 与其它陆地遥感图像。

(3) 国家图像与制图局 (NIMA) 与 NASA 的合

作是在航天飞机雷达地形学领域, 合作加快了数据的处理与分发。

(4) 美国农业部 (USDA) 与 NASA 在农业、林业、牧区遥感应用方面展开合作, 以提高食物与纤维的产量。

(5) 国立卫生研究院 (NIH) 与 NASA 合作利用遥感技术识别由于气候条件和生态系统条件导致的烈性传染病, 如疟疾、登革热等这类随着环境变化蔓延或减退的疾病。

(6) 国家科学基金会 (NSF) 与 NASA 共同开展了南极、北极的极区研究以及海洋学研究。NSF 与 USGS 共同参与了 EarthScope 计划, 通过 SCIGN 研究地震动力学。NSF 与 NASA 分担飞行研究的航空费用。

(7) NASA 与美国交通部 (DOT) 共同探索遥感技术在交通管理方面的应用。

(8) NASA 还与其它 10 个机构通过美国全球变化研究计划合作开展地球科学研究活动。

在机构内部, NASA 的地球科学办公室协调其下属的飞行中心和研究中心共同参与了 ESE 计划 (表 7)。

表 7 NASA 内部与 ESE 计划有关的机构

COE/机构任务 领导中心分派任务 科学作用 卫星的作用	Goddard 空间飞行中心 (ESFC—Greenbelt, MD) 地球科学 EOS/Earth Explorers/ES 技术计划/气象卫星/教育 理解地球科学与跨学科的地球系统科学 技术开发 (仪器、宇宙飞船、地面系统)/机械科学业务运行 (Wallops)
机构任务 领导中心分派任务 科学贡献 卫星的作用	喷气动力实验室 (JPL—Pasadena, CA) 仪器技术 仪器技术 海洋物理学和固体地球科学/新千年计划 海洋学、固体地球科学, 大气化学 仪器开发
机构任务 领导中心分派任务 1 科学作用	Stennis 空间飞行中心 (SSC—Stennis, MS) 遥感应用 遥感应用 海岸带研究
机构任务 领导中心分派任务 科学作用 卫星的作用	Langley 研究中心 (LaRC—Hampton, VA) 大气科学 大气科学卫星 大气气溶胶与大气化学, 地球辐射收支 大气科学相关技术, 工程与仪器开发
COE 卫星的作用	Dryden 飞行研究中心 (DFRC—CA) 大气层飞行业务 机载科学业务运行
COE/机构任务 领导中心分派任务 科学作用 卫星的作用	Ames 研究中心 (ARC—Moffet Field, CA) 信息技术/天体生物学/HPCC 信息技术/天体生物学/HPCC 陆地生态与大气评估 信息系统与技术/机载仪器开发
科学作用 卫星的作用	Marsgall 空间飞行中心 (MSFC—Huntsville, AL) 水文气象学/水文气候学, 包括被动微波数据分析与大气电子学/陆地过程/区域应用仪器开发

#### 5.4 NASA 的国际合作

地球科学所固有的国际性、全球性的科学问题需要全世界科学家共同合作来寻求解决。没有任何一个国家或地区能够单独面对地球系统科学这样的复杂系统。世界各地的决策者都需要依据真实的科学知识来规划其行动,而科学知识的可信度取决于科学研究过程中的国际合作程度。此外,空基观测的校准/校正需要来自世界各地的当地专门化知识和实地观测数据,ESE 已与全球 45 个国家开展了合作。EOS 卫星任务中来自国际捐赠的金额达到 50 亿美元。与 NASA 开展国际合作的国家如下:

日本是 ESE 目前最大的合作伙伴,主持热带降雨测量卫星(TRMM)工作,为 EOS 卫星提供仪器并在自己的卫星上搭载 EOS 仪器。

法国与 NASA 在 TOPEX/Posidon 卫星上的合作取得了极大的成功,该卫星的后续星还有 Jason-1 和 PICASSO-CENA 卫星。

德国与 NASA 在飞船雷达实验室,CHAMP 和 GRACE 卫星方面开展了合作。

英国、荷兰以及芬兰为 EOS Aura 卫星赠送了仪器。

加拿大为 Terra 卫星提供了加拿大雷达卫星(Radarsat-1)。

巴西为 EOS Aqua 卫星提供了湿度探测器(HSB)。

NASA 将要为阿根廷发射 SAC-C 卫星,该卫星同 EOS 的 Terra 卫星及陆地卫星 7 号一起形成陆地观测卫星星座。

俄罗斯为测量大气臭氧浓度的 SAGE III 仪器提供了平台和发射运载平台。

地球观测卫星委员会推进了在构建综合性全球观测战略方面的国际合作。许多国际研究组织和大型计划是 ESE 科学计划的发起者并且为 ESE 的研究与观测作出了积极贡献,这些组织包括:世界气候研究计划(WCRP),国际地圈/生物圈计划(IGBP),政府间气候变化委员会(IPCC),联合国粮农组织(FAO),中尺度天气预报欧洲中心,国际海洋委员会(IOC)。

## 6 预测地球系统的变化——2025 年的地球科学

在 ESE 战略计划的最后,对未来 25 年地球科学研究预期成果作了如下展望:①实现 10 年周期的

气候预测;②15~20 个月的厄尔尼诺预报;③12 个月的区域降水率预测;④60 d 的火山预警;⑤10~14 d 的天气预报;⑥提前 7 d 发出空气质量通报;⑦提前 5 d 作出飓风轨迹预测(误差为±30 km);⑧提前 30 min 进行龙卷风预警;⑨1~5 a 的地震实验预报。

计划同时对未来的空间对地观测系统,对 2010~2020 年的技术进步作了展望。这一科学构想的实现标志着人类将实现不再被动地参与地球系统演化的愿望,人类社会在自然灾害面前将不再那么脆弱,“科学的目的是开发潜在的社会效益并增强经济安全”将不再是一个口号,而成为生动的现实。

发展本世纪下一个 10 a 对地球变化的观测能力,是人类社会可持续发展的需要,是科学界面临的挑战。NASA 凭借自己独特的空间优势、先进的遥感仪器、不断创新的科学认识为地球系统科学研究作出了贡献。

## 7 ESE 战略计划的特点及其启示

纵观 ESE 计划的相关文件,我们认为 NASA 制定的这一长期地球科学研究战略计划有以下几方面特点:

### 7.1 倡导开展多层面的广泛而卓有成效的国内外合作,推进计划实施

ESE 计划充分体现了当代地球科学研究跨学科、多领域合作的特点。NASA 作为计划的制定者和主要实施机构,在 ESE 战略计划中倡导开展机构内部、国内和国际三个层面的广泛合作以保障有关观测和研究任务的顺利实施。其中机构内部合作主要是 NASA 总部、地球科学办公室、地球系统科学与应用顾问委员会(ESSAAC)之间的管理协调,NASA 下属的研究中心、飞行中心之间的技术合作。NASA 的国内合作主要包括本文中提及的与 NOAA、USGS、USDA 和 DOD 等机构间的合作。这些合作的内容和方式均以计划或协议的形式正式提出,并有具体安排。NASA 的 ESE 计划已经并正在继续寻求国内外合作伙伴,尤其积极地与业务运行机构合作,确保其重要的环境观测的长期连续性。NASA 倡导国内外合作的目的是发挥参与各方的技术与研究能力的优势,避免或减少重复投资,降低 R&D 成本,实现技术优势互补和投资回报最大化。从 EOS 计划实施情况看,这类合作总体上是成功的。

## 7.2 与美国其它国家计划和国际大型计划的相互衔接配合与兼容性

ESE 计划衔接和包含了 EOS 计划,是对 EOS 计划的延伸和发展,EOS 所发射的一系列地球观测卫星,在 ESE 计划中继续发挥着核心作用。为弥补观测研究之不足,ESE 计划进一步设计和研制了一系列性能更先进、量化程度更高的传感器,为实现预测地球未来变化提供了更完善的观测平台和手段。

ESE 计划是更庞大的美国国家计划的一部分,是目前正在进行中的多机构参与的美国全球变化研究计划(USGCRP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)等国际科学活动的综合。ESE 计划与 USGCRP 有着密不可分的联系。ESE 计划充分考虑了 USGCRP 的科学需求,ESE 计划中的科学问题有相当部分覆盖了全球变化研究的范围,这两个计划在研究内容、方法采用和观测手段上共同之处很多,但又各有侧重,互为补充。

## 7.3 NASA 的科学研究与技术活动的高度协同性

NASA 的地球系统科学研究与相关的技术研发活动达到了高度的协同,表现在 ESE 计划中所有的技术需求的提出都是由高优先权的科学问题驱动,同时 NASA 又不断将新的技术成果成熟化,注入到研究计划中。对地球系统的科学认识源自完备的观测手段与观测过程以及多领域科学家的合作研究,这种科学认识也必然导致技术的新的突破,极大地丰富人类认识和改造自然的手段。在 ESE 计划中,以科学研究为基础而带动的技术进步为最终实现主动的地球系统预测能力铺平了关键性道路。科学研究与技术活动的高度协同、互相促进使先进技术更快地转化为商业化产品。NASA 既是先进技术的提供者也是用户,在卫星任务中采用这些先进技术,提升了解决科学问题的观测手段,降低了计划投资成本和技术风险,保证了服务于国家优先领域的科学研究任务的完成。

## 7.4 重视成果应用推广,扩大地球科学、信息、技术的经济和社会效益

NASA 重视其科学技术成果在各领域的应用,ESE 计划中提出要让 NASA 的地球科学成果在资源管理(农、林、牧、渔业)、社区发展(交通业、基础设施、生活质量)、灾害管理和环境质量(空气和水质量、土地利用/土地覆盖变化)等领域得到推广应用,直接为美国的经济和社会发展作出实质性贡献。

NASA 积极倡导将 ESE 的科技能力转化为解

决现实世界问题的实用工具,在进行自然灾害评估和区域性地理空间数据发展和应用等方面 NASA 已完成了一些全国性的示范项目,由于不断推出新的地球空间信息数据产品,NASA 在美国遥感商业化方面取得了极大成功,现在这方面的每年收入已达到数亿美元。

## 7.5 将教育列入 ESE 计划是远见之举

NASA 在 ESE 战略计划中,专门论述地球科学教育问题,并建议在全国中学和大学课程中加强地球科学教育,作为教师资格认证和学生毕业的必备条件。ESE 提出的教育计划目标旨在提高公众对地球系统功能和 NASA 在认识地球系统中的作用的认识和理解,加强地球科学信息和成果的教育培训,加强应用地球科学成果、技术和信息解决日常实际问题的能力建设。这些都表明作为政府机构的 NASA,对科学与教育的关系理解得非常到位。激发公众对地球科学的兴趣,鼓励青年学者从事科技事业,提高全体公民的科学素养,ESE 计划中所倡导的这些方向,也是我国当前科学教育中应切实考虑和充分重视的问题。

## 8 结 语

NASA 的地球科学事业(ESE)计划的使命是发展人类对地球系统及其对自然和人为变化的响应的科学认识,以提高人类对天气、气候、灾害的预测能力。ESE 计划在 EOS 计划基础上将完成从认识地球系统到预测地球系统未来变化的跨越,从而揭开 21 世纪空间对地观测和地球系统科学研究的新的

一页。

科学研究、应用商业化和科学教育三项活动共同推动着 ESE 计划的进展,通过研究活动解答了一系列地球系统科学问题,提高了对地球系统的认识;通过应用活动以及与政府管理者、决策者、产业部门和公众的联系使科研成果取得了最大的社会效益。

ESI(Essential Science indicator)是美国科学信息研究所 ISI 基于 SCI 和 SSCI 的数据进行文献计量分析而推出的对国家(地区)、机构、科学机构科研产出能力进行评价的数据库。根据其 2003 年 9 月公布的 1993~2003 年 6 月 Geoscience 领域论文被引频次居前 1% 的研究机构(共有 320 个机构进入其中),NASA 在这些机构中高居榜首,其论文数量、高被引论文数、总被引频次三项指标均排名第一。位居第二的是 NOAA。上述文献计量结果佐证了 NASA 在国际地球科学研究中的地位和作用。了解

NASA 的 ESE 计划,对于发展中国的空间对地观测系统,推进我国地球科学研究与应用,对于制定本世纪我国中长期科技规划中的相关部分不无借鉴意义。

致谢:肖仙桃同志为本文提供了文献计量学数据,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] Exploring Our Home Planet — Earth Science Enterprise Strategic Plan[R]. NASA, Jan. ,2001.
- [2] Earth Science Enterprise Technology Strategy[R]. NASA, 2002.
- [3] Earth Science Enterprise Application Strategy for 2002~2012 [R]. Jan. 2002.
- [4] Understanding Our Changing Planet; 1999 Fact Book [Z]. NASA, 1999.
- [5] Eos Science Plan[R]. NASA. 1999.
- [6] ESE Education Strategy Plan[R]. NASA, Mar. 1996.
- [7] 国际地球科学与中国地球科学十年发展态势(1991~2001) [Z]. 中国科学院资源环境科学信息中心, 2002.

## From Observing the Earth from Space to Predicting the Future Change of the Earth——Review on NASA's Earth Science Enterprise

FENG Yun, GAO Feng, HUANG Xin-yu

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

**Abstract:** The NASA's Earth Science Enterprise(ESE) is introduced and analyzed in this paper. ESE aims at scientific understanding of the Earth system and increasing the duration and accuracy of the forecasts in weather, climate and natural hazards, and answers a series of science questions by observing (especially satellite observation), modeling the processes controlling the Earth system. The ESE defines the aims of science, application and technology in the next ten years separately, and arranges different satellite missions according to different science questions. The characteristics of the ESE are summarized at the end of the paper.

**Key words:** NASA, Satellite observation, Earth system science, Earth Science, enterprise