

# 利用遥感研究全球环境变化

赵英时

(中国科学院研究生院)

## 摘 要

全球变化是地球各圈层相互作用与反馈的结果。它包括了数千至数百万年的地球长期演变,也包括大气、海洋的瞬息变化。但是,作为全球研究的焦点,还是与人类生存息息相关的数十至数百年的全球环境变化。它主要指的是动力气候系统和生物地球化学循环。前者控制着地表温度和降水的大气、海洋过程;后者为生命基础的化学元素(C、N、P、S)在地球系统中的运动。这两个子系统是密切关联的,并受到人类活动的影响。先进的遥感技术为全球研究提供了必要的手段。它确保了能从中和地面进行全球尺度的观测,提供了对这些观察现象的分析解译能力以及发展综合信息系统的可能。这样就可以建立地球系统的概念模型,以预测全球环境变化的趋势。文中还简要介绍了有关遥感的全球变化研究国际计划以及我国的全球变化研究。

**关键词** 地球系统科学 全球环境变化 动力气候系统 生物地球化学循环 概念数字模型

## 一、全球变化涉及的主要问题

全球变化是地球组成中的地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈、生物圈相互作用和反馈的结果。为了从本质上认识这些相互作用和反馈,需要把地球作为一个完整的动力系统来对待,进行全球性研究(Global Study)。比如,全球气候可以认为主要是由大气圈与水圈之间的热量、水分和动量交换造成的;大陆与海洋的生物可以作为一种对全球气候和生命化学循环起主要影响作用的因素来考虑;土壤层是大气圈—陆圈—生物圈间物理、化学、生物作用的结果……。可见,全球环境变化是十分复杂的跨学科问题,是任何一门单学科领域都无法解决的。为了记录、认识、预测全球变化,需要把传统学科知识和大量不同来源的信息综合起来,于是诞生出“地球系统科学”(Earth System Science)这一新的领域。地球系统科学利用全球观测技术,结合概念数字模型去探测地球的演化与全球变化。即描述地球系统的组成、行为和相互作用,它的变化趋势,以便最终发展成对自然和人类引起的全球环境变化的预测能力。

根据地球系统的内外能量及内外过程,可以把全球变化的主要时间尺度划分为五个不同时段<sup>[1]</sup>:

### (1) 数百万—数十亿年

包括地球的形成,地核与地幔的发展过程,地壳的形成与破坏,板块构造运动,以及与生命演化有关的大气圈、水圈、生物圈的产生等。

### (2) 数千年

包括冰期与间冰期的波动(古气候变化),沉积作用生成的能源和矿产资源,风化和侵

蚀作用引起的地表地形变化,土壤的形成与发育,海陆生物属种的分布和变化等太阳能所引起的外力作用过程。

### (3) 数十—数百年

主要指地球上一些危及生命的变化,如气候变化,大气化学成分的变化,地表干燥度或酸度形式的变化,陆地与海洋生态系统的变化等。

### (4) 数天—数月

包括天气现象,洋流中的旋涡,极地海冰的季节消长,地表降水和风化,植物季相节律的变化等年内循环。

### (5) 数秒—数时

包括大陆、海洋、冰、大气、生物之间能量、动量及块体的流动等一日以内的变化。如大气湍流、地震灾害等。

其中(1)、(2)指的是地球长期演变,主要受固态地球变化的控制以及地球轨道参数变化所引起的日照条件变化的影响。它多是通过岩石、化石、孢粉等记录下来,主要涉及地球物理、地质、地球化学方面的内容。其中古气候—海面变化,古环境的恢复和环境变迁的研究是联系长—短时间尺度全球环境变化的纽带。

(4)、(5)指的是短时间尺度的全球变化,主要强调大气、生物和海洋科学的内容。

(3)指的是与人类生存息息相关的全球环境变化。自然环境中,空气、水、土壤和生活着的生物群之间的联系往往是全球性的,其中任一部分的变化会引起一系列全球性的连锁反应,直接关系到人类的生存和人类社会的组织和规划。因而,这个时间尺度对我们尤为重要,是全球研究的焦点。当然要正确认识数十至数百年的地球系统过程,必须考虑它与其它时间尺度过程的相互作用和相互影响,综合研究各时间尺度内多种地球作用过程。如火山、地震是地球系统内部长时间能量积累过程的瞬时(突发)表现。它的破坏作用可以在很短(数秒—数天)内影响陆地上的生态系统,并由此引起大气层中气体污染和尘埃的沉积,其影响可以延续数月或数年。

下面着重讨论数十至数百年的全球环境变化。它包括动力气候系统和生物地球化学循环。这两者是密切关联的,并受到人类活动的干扰。

## 1. 动力气候系统

主要指由于地球上赤道和极地间太阳热能的差异以及冰雪覆盖变化而引起的运动。它包括了控制地表温度、降水分布的大气和海洋过程。如大气环流引起的天气、气候变化,海洋循环、海冰动力及大尺度海气相互作用控制的气候过程<sup>[2]</sup>,平流层大气循环对大气化学成分和气候的影响以及陆地表面的水分/能量平衡。

## 2. 生物地球化学循环

主要指对全球环境里生命体起影响和控制作用的基本化学元素 C、N、P、S 等在地球系统中的运动。它包括海洋生物地球化学循环、海洋生态系统、海洋营养流,陆地生态系统——生物在基本元素循环和改变大气微量气体含量中的作用以及人类活动的干扰,对流层、平流层化学——对流层微量气体(CO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CFMs)与气溶胶的变化

和在地面辐射与光传播中的作用以及平流层臭氧对大气化学成分的控制和影响作用。

### 3. 人类活动的影响

人类依赖于环境生存,却又自觉不自觉地引起全球环境的逐渐恶化。化石燃料的燃烧使世界范围内大气中  $\text{CO}_2$  的含量迅速持续增加,  $\text{CO}_2$  可使太阳的短波辐射到达地表,却阻止地表向外的长波热辐射。这种温室效应使地表增温、干旱化,其结果改变着气候,并可能引起陆地生物的迁移、海洋生物种属分布的变化、海面上升等,从而改变着我们和后人的生存方式。工业活动(废物的分解、焚烧、挥发)引起的氟里昂(CFM<sub>s</sub>)的增加,足以影响到平流层臭氧的化学过程,大气中甲烷( $\text{CH}_4$ )的增加使空气污染,而  $\text{CH}_4$ 、CFM<sub>s</sub> 和其它氯、氟、碳是典型的“温室气体”,其集合体可以产生与  $\text{CO}_2$  相类似的温室效果,同样直接危及人类的生存。土地利用形式的变化(如森林变农田)减少了陆地生物的碳,改变着土壤中的碳。氮肥的广泛利用及污水污物的排放也增加了氮的含量。人类活动产生的酸雨酸雾造成陆地生态系统大规模地遭到破坏,其中  $\text{N}_2\text{S}$  化合物也使土壤中营养物质饱和,威胁着生物。植物的类型、数量和生长状况直接控制着地表土壤水分的蒸发和蒸腾总量,也影响到地表水分循环。

可见,人类已成为地球系统的一部分和地球变化的动力之一。自然变化过程本身是很复杂的,加上人类活动的影响就变得更加复杂而难以准确描述,它的变化结果也因人类活动影响难以从自然变化结果中区分和判断出来而更难以预测。尽管如此,人们还是努力去认识人类在地球上的作用及对全球变化的影响,寻找改善生命环境的途径,以确保全球环境得到保护。

## 二、遥感研究全球变化的可行性

地球系统科学的形成、各学科理论的逐步深入,为全球研究提供理论基础和建立全球范围概念数字模型的可能。先进的遥感、计算机、通信等现代技术为全球研究提供了必要的手段。它确保了从空中和地面进行全球尺度的观测,提供了分析、解译这些现象所必要的计算能力以及发展综合信息系统的可能。这样,我们便可以对错综复杂的地球系统建立多种概念数字模型,并预测全球变化的趋势。

目前,地球系统科学与全球变化的研究途径着眼于以下 4 个环节,而每个环节均与遥感密切相关。

### 1. 空中与地面观测

为了记录地球系统的重要信息和说明全球变化的影响,必须持续地、长期地进行全球观察和全球变量的测量。观察和测量的内容主要包括<sup>[1]</sup>:

- (1) 地球系统的外部能量: 太阳能、紫外通量等。
- (2) 重要微量元素:  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 、CFM<sub>s</sub>、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}$ 、气溶胶等。
- (3) 大气变量: 温度、表面压力、降水、风、水汽、云等。
- (4) 地表性质: 植被指数、土壤湿度、生物范围、生物量、营养物循环、土地利用变化、地

表特征、雪被、水、地表辐射温度等。

(5) 海洋变量: 海面温度、海面风压、水下循环、海洋叶绿素、 $\text{CO}_2$ 、海冰、海平面等。

(6) 地球物理变量: 重力、大地水准面、地震、地磁、板块运动和变形等。

空间技术(主要指遥感技术)是实现这一目标的最重要技术手段。遥感卫星(气象卫星、陆地卫星和海洋卫星等)能以不同轨道平台、不同频率波段、不同时间周期以及定量的方式记录地球系统的变化,使我们对全球条件的了解、全球变化的认识有个质的飞跃。以臭氧( $\text{O}_3$ )研究为例。平流层 $\text{O}_3$ 是一个自然过滤器,它能吸收来自太阳的有害紫外辐射,因而对地表生命体起着保护作用。NOAA 气象卫星上所装置的平流层探测装置(SSU),除了可探测地表直至 50 公里平流层高度的大气温度垂直分布、大气中水汽含量外,还可以测得大气的臭氧含量。Nimbus-7 卫星上相应的大气探测器(SAMS、SAMII)也提供了 $\text{O}_3$ 的全球连续记录。根据它们提供的 $\text{O}_3$ 探测数据,可以了解大气中 $\text{O}_3$ 含量的变化以及监测南极上空臭氧空洞的变化<sup>[9]</sup>。然而目前尚难建立大气 $\text{O}_3$ 剖面模型,更进一步地研究还有待于地球探测器 TOMS(总臭氧测图光谱仪)的发射以及其它 $\text{O}_3$ 探测计划的实施。

地面测量(陆地、海洋和冰面的观测)是对空间观测的支持和补充。它提供了比空中更为详细的研究,并观测空间所不能得到的现象和过程,从而使空间观测更为有效。同时,它也是空间观测的地面校准参照物。因此,一般把地面观测技术也包含在全球遥感内。

无论是空中还是地面观测都需要在不同平台上安置一定的仪器,方可得到可靠的基本信息。因而在全球研究计划中,首要任务是有针对性地发射重量与能力更大的遥感卫星以及发展各种更灵敏的遥感探测器。如多通道高分辨率传感器探测表面特征,多通道热传感器测表面温度,改进型被动微波装置测降水及地表水,合成孔径侧视雷达测冰、植被结构和变化、地表性质,多通道高分辨率大气探测器进行大气、大气化学测量,激光系统进行大地水准面、植被高度测量,长波侧视声纳探测海底等。同时,随着遥感技术水平的不断提高,更注意到综合不同的仪器在同一平台上,以进行不同角度的有效同步观测,改善单一变量的测量,促进不同通道数据组成同一数据流以及多种不同变量的结合,为多变量综合分析提供方便。

## 2. 观察数据的分析与解译

有了全球观测的各种变量数据,首先需对这些不同来源数据进行校准和预处理,其次还必须与地球系统的变化过程研究结合起来。如对少数选定区域或专门过程进行详细研究,并结合地面观察研究不同变量间的关系,从而以不同形式组合这些信息而产生一些新的认识。

此外,注意从现有的遥感和地面数据中提取一些有特定意义的其它信息。如:火山爆发指数,降水范围指数,植被覆盖指数、土地利用变化指数,云的数量、类型、高度,云运动引起的风和大气探测的表面辐射温度等等。同时,发展新的解译技术,以便分析产生新的全球数据。如由地表温度和能量平衡推导出土壤湿度与蒸发,研究生物范围、生产力、营养物的平衡,从雷达图像研究海冰运动的自动方法、降水的定量测定等。

### 3. 建立概念数字模型

对于地球系统过程的专题研究,需要分析系统内及系统间的定量联系。在现有知识和理论的基础上,结合物理、化学、生物规律所控制的现象,寻找能解译这些过程的数学表达式,把复杂的自然过程描述成计算机易于识别易于处理的一些数字模型。这种概念数字模型的建立至少是要重现地球系统的现状和过去。一个好的模型还可以预测地球变化的将来。模型研究需要进行反复、严格的试验与验证,需要与有关定点观测值作反复比较分析,来确定模型的可信度。目前最成功的地球系统模型是大气物理和动力学模型。它可以较准确地描述大气运动和当前的气候。海洋动力学模型、大气化学模型也具有一定的可信度,而陆地生态系统模型、海洋生物地球化学模型却是最薄弱的环节,有待于各国科学家的共同努力。

### 4. 全球信息系统的建立

随着空中与地面观测数据采集速率的不断提高,大量全球数据被存储。面对这样大量的全球数据,需要进行科学管理,使之迅速、充分、有效地发挥作用。因而要求人们及时地发展和设计地球系统科学的信息系统。这样,大量全球数据不仅可以储存和科学管理,而且可以灵活地进行处理、运算,以突出某种特殊的特征或变量,并可以采用多种形式显示出来。更重要的是信息系统的建立可以综合或叠置多种不同来源的数据,建立多种数字模型,进行地球系统的综合分析评价。

全球信息系统除了具有地理信息系统的一般功能外,尤需突出数据简化、标准化、规范化、数据更新功能,以及发展多功能综合分析评价模型,智能化专家系统等。

全球信息系统将建立在已有实验和典型数据系统之上,如国际数据中心、NASA 数据系统、一些大学或部门的数据系统(如冰雪数据中心、大气研究中心)、以及国际间地球科学数据交换的多种信息网络。

## 三、有关遥感的全球变化研究国际计划

### 1. 美国的全球变化研究计划——地球观测系统 EOS (The Earth Observing System)<sup>[4]</sup>

(1) 预研究: 分为研究计划与实施计划两部分

i) 研究计划: 即将发射的卫星为全球变化研究提供遥感数据

UARS——高层大气研究卫星 (NASA)、1991 年发射,寿命 2—5 年,着重高层大气化学方面的研究。

TOPEX/Poseidon——海洋表面起伏测量卫星 (NASA 与 CNES 合作),1992 年发射,着重海洋循环方面的研究。

LAGEOS<sub>1,2</sub>——激光地球动力卫星 (NASA), 分别于 1991、1993 年发射,提供重力和大地测量数据。

SIR、SSBUV、ATLAS——航天飞机传感器 (NASA), 精确探测高层大气臭氧和大

气化学中太阳的影响。

GEOSAT、SALT 美国国防部 (DOD) 的卫星,于 1991—1992 年发射,观察海洋环流。

其它国家的卫星有: ERS-1 (欧洲空间局海洋观察卫星); JERS (日本地球资源卫星); RADASAT (加拿大雷达卫星); ADEOS (日本改进型地球观察卫星)。

ii) 实施计划: 已在空中运行的卫星提供陆地表面和世界天气变化的实时信息。

Polar、GOES——NOAA 的极轨和静止气象卫星

DMSP——DOD 的气象卫星计划

Landsat——商业卫星

其它国家的卫星有: GMS、INSAT (日本), Meteosat (欧洲空间局), SPOT (法国)。

### (2) 地球探测器 (Earth Probes)

它作为 EOS 的一种补充,将提供与 EOS 不同轨道或更小平台对专门的地球过程的近期观察,计划 1991 年发射,每 2—3 年发射一颗。包括:

TOMS——总臭氧测图光谱仪,测大气中的臭氧含量。

SEAWIFS——海洋宽视域传感器,用于与海洋浮游生物叶绿素有关的海洋水色的大视域观察。

NSCAT——NASA 的雷达散射计,测量海洋表面风场。

TRMM——热带降雨测量计划(美日合作),测量南北纬 35° 间的降雨量和分布范围。

### (3) EOS——地球观察系统

EOS 由空间观察系统、数据和信息系统 (EOSDIS)、科学研究计划三部分组成。它是一个具有高空间分辨率、高光谱分辨率以及高时间分辨率全球覆盖的综合性地球观察系统。

#### i) 空间观察系统

包括 2 个极轨平台系列 EOS-A、EOS-B, 分别于 1998、2000 年发射。每个系列有 3 个相同的卫星,每个卫星设计寿命 5 年。同时将运用 ESA 的 M-1、N-1, 日本的 JPOP 以及继续运用环境卫星,并于 1999 年独立发射 EOSSAR 卫星。

EOS 的时间周期为 15 年,跨越了绝大多数环境变化的时间尺度。

EOS 将提供一个可适应 3500 公斤以上的负载和 3.2 千瓦能量的大平台,可载有一套包括光、微波、雷达、激光的传感器系列。现已从美国、加拿大、日本、欧洲空间局选择了 41 种传感器作为候选者。计划中的 EOS-A 侧重于大气探测和地表图像; EOS-B 侧重于大气化学和海洋循环。

EOS 将首次提供对同一现象,一个长期、大尺度(地区、区域、全球)的同步观测,并提供综合性、连贯的地球观测和环境变化的重要信息。

#### ii) 数据和信息系统 (EOSDIS)

EOSDIS 处理、分析和研究现有的(包括环境卫星数据和地面基础数据)和将要有的(近期 EOS 预研究数据和远期 EOS 数据)大量数据,最大程度地扩大数据的利用率。同

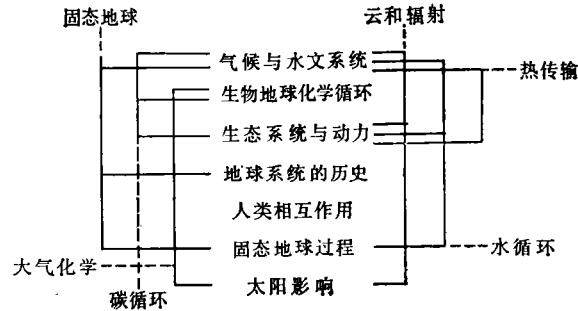


图 1 EOS 的科学研究计划

Fig. 1 EOS Science Program

时,它还具有指挥和控制空间飞行器的能力。

### iii) 科学研究计划

EOS 科学研究计划的学科组成和研究次序见图 1。

图版 I 中图 2 是根据地球辐射收支实验装置(ERBE)1986 年 1 月获得的数据绘制的云与辐射图。大图反映云在地球热平衡中的重要作用。高层云由于吸收和反射地表辐射起增温作用,增强温室效应(黄—红—洋红);低层云反射太阳辐射起降温作用(蓝—绿)。小图反映晴朗天气条件下的净辐射。蓝代表热损失,相当于北半球冬季;洋红代表热吸收,相当于南半球夏季。

图版 II 在图 3 海洋环流与大气化学中,大图是根据 GEOSAT 卫星 2 年的海面形态数据绘制的海面形态变化及海流分布状况图(红—黄)。小图是 Nimbus-7 平流层红外探测器(LIMS)1979 年冬测得的大气成分。左边是二氧化氮的含量;右边是硝酸的含量(蓝—红)。

图版 II 中图 4 生物圈与碳循环中,右图是根据 NOAA 卫星 AVHRR 数据获得的非洲大陆植被指数图(黄褐—紫)。其上为 1989 年 3 月;下为 1989 年 10 月。左图是根据 Nimbus-7 海岸带水色扫描仪(CZCS)数据获得的海洋浮游生物叶绿素含量图(紫—黄—红)。其上为 1979 年春;下为 1979 年冬。

## 2. 国际地圈——生物圈计划(IGBP)

主要描述和了解对整个地球系统起调节作用的物理、化学、生物过程的相互作用,环境的变化及人类的影响。

## 3. 全球洋流研究(GOFS)

主要观察和认识海洋的生物化学循环,以更充分地预测海洋、大气、沉积循环间碳与有关元素如氮、氧、硫间的相互作用,特别是在全球 CO<sub>2</sub> 循环过程中海洋所起的作用。

## 4. 全球大气化学计划(IGAC)

主要了解生物地球化学循环中对流层的物理化学过程及对流层与地表的物质交换。

## 5. 全球地学研究计划

是由美国国家科学基金会(NSF)支持的一个多学科综合计划。它跨越地学—生物学—行为和社会科学以及计算机、信息科学与技术。包括全球大气圈、海洋循环研究,全球生态系统动力、固态地球动力及洋盆地壳过程,冰原古气候、热带海洋,大气层各区位的动力联系等等。

## 四、我国的全球变化研究

我国国土辽阔,人口众多为世界之最,煤炭产量居世界第二,石油资源丰富……。但由于化石燃料的燃烧,工厂排烟、排污等法制不健全,使环境污染严重,加上森林砍伐、沙漠化、水土流失严重,使生态环境不断恶化。环境变化的问题显得十分突出。环境变化的研究无论对我国,还是对世界都有着重大意义。

目前我国对环境变化及监测已得到高度重视。我国参加了国际间的地圈—生物圈计划,并成立了相应的中国全球变化委员会(挂靠中国科学院),在全球变化研究中积极作出自己的贡献。

我国全球监测方面考虑的主要内容有:大气环境监测( $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 的观测),土地覆盖的变化及对全球变化的影响(包括森林覆盖的变化、湖泊面积的变化、沙漠化的发展、高山冰雪的进退等),海洋环境的监测(海面温度、洋流、海平面变化等),生态网络系统(自然保护区的监测),人对环境的影响,危机带(脆弱、不稳定的过渡带)监测系统,青藏高原对全球变化的影响等等。

遥感是监测全球环境变化的最重要的技术手段。在获取空间数据方面,可以充分利用北京、广州和乌鲁木齐3个气象卫星地面站接收的气象卫星(NOAA、我国风云一号Fy-1等)数据,北京陆地卫星地面站接收的陆地卫星数据以及中空高空航空遥感飞机所得到的数据。同时,现有的50个生态环境观测站、自然保护区的观测数据以及其它专门的地面观测台站等地面观察手段,也可以作为空间遥感数据的重要补充和验证,以完成监测任务。此外,还建立了全国自然环境信息系统、全国国土基本信息系统、全国自然资源数据库、以及全国湖泊、沼泽、沙漠化、冰川等数据库,为全球、全国环境变化研究,提供基本数据和数据分析、评价的依据。

面对全球变化的新挑战,遥感和地球科学工作者需要有一种紧迫感,不断调整自己的学科关系,迎接新理论、新学科的到来。这将是地球科学的一场大变革。遥感技术也为我们提供了解决有关问题的手段。应当看到,这一新的研究领域,需要各国科学家共同努力才能实现,因此国际合作将具有十分重要的作用。

## 参 考 文 献

- [1] Report of ESSC. NASA, Earth System Science, A Closer View, 1988.
- [2] 国际环境与发展研究所、世界资源研究所,世界资源1987,能源出版社,1989。
- [3] 国际环境与发展研究所、世界资源研究所,世界资源1988—1989,北京大学出版社,1990。
- [4] NASA, EOS. A Mission to Planet Earth, 1990.

## Remote Sensing for Global Environmental Change

Zhao Yingshi

(Graduate School, Academia Sinica)

### Abstract

Global Change is a result of interactions and feedbacks among the Earth's components: core and mantle, lithosphere, hydrosphere, atmosphere and biosphere. It includes long-term evolution of the Earth on timescales of thousands to millions of years, and short-term changes of atmosphere and ocean. As the focus of global study, the global environmental change on timescales of decades to centuries is particularly relevant to human activity. It involves processes of the physical climate system and the biogeochemical cycles. The former concerns the atmospheric and oceanic processes that govern the distributions of temperature and rainfall over the surface of Earth. The later is related to the movements of key elements essential to life (C,N,P,S) in the Earth system. These two subsystems are most relevant, and be affected by human activity. Advanced remote sensing techniques provide necessary means for global study. They can ensure the global observations from space and from earth's surface, and provide the analysis and interpretation capability to these observations, and the developmental ability to integrated information system. Based on that, we are able to establish earth system conceptual model, predict global environmental change trends. In this paper, the international global change programs and China's global study on remote sensing are briefly introduced.

**Key words** earth system science global environmental change physical climate system biogeochemical cycle conceptual & numerical model

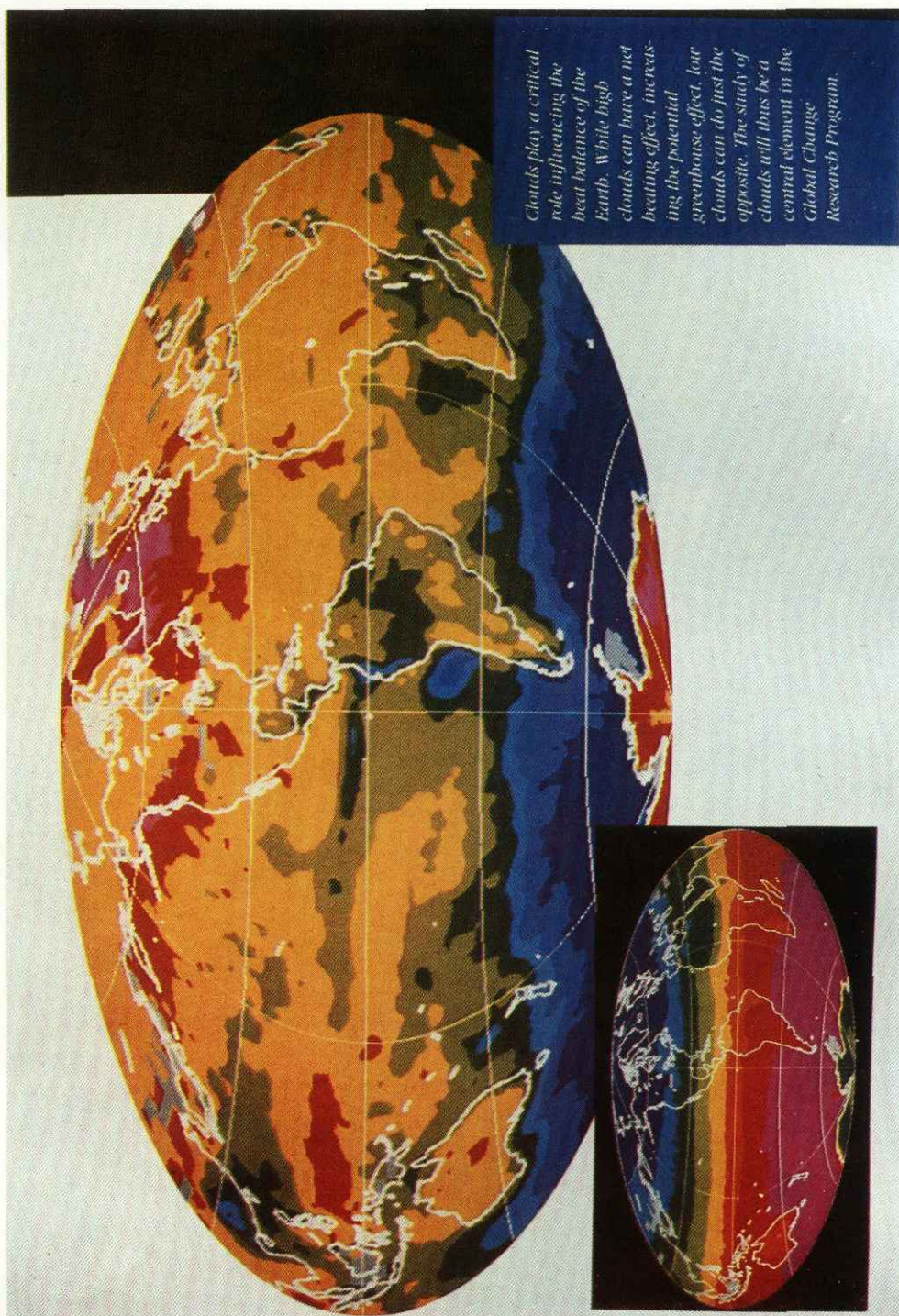


图2 云与辐射(根据地球辐射收支实验装置ERBE1986年1月获得的数据)

(摘自美国 NASA 样图)

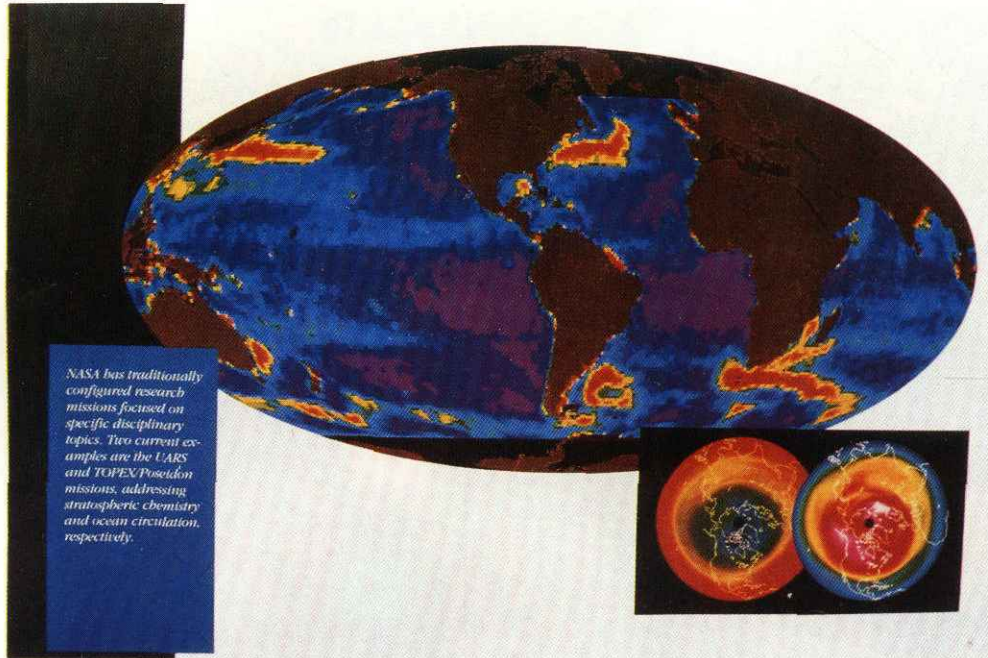


图3 海洋环流与大气化学

(摘自美国NASA样图)

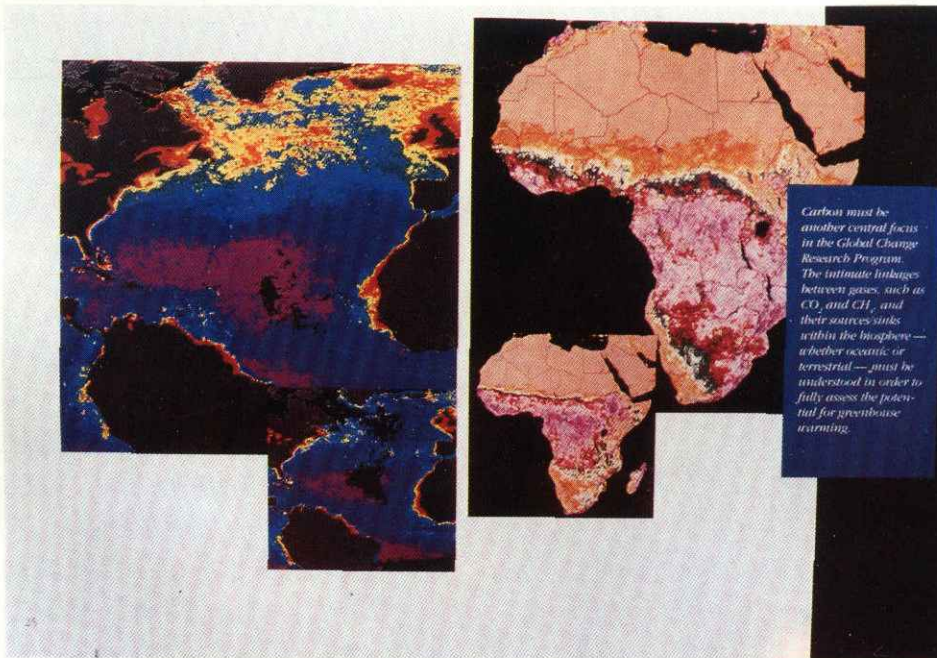


图4 生物圈与碳循环

(摘自美国NASA样图)