

国 际 电 信 联 盟

ITU-R
国际电联无线电通信部门

ITU-R RS.1883 建议书
(02/2011)

**遥感系统在气候变化及其
影响研究中的使用**

RS系列
遥感系统



前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2011年，日内瓦

© ITU 2011

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R RS.1883建议书

遥感系统在气候变化及其影响研究中的使用

(2011年)

范围

本建议书规定了由卫星提供用于研究气候变化的遥感数据的导则。

国际电联无线电通信全会

考虑到

- a) 气候变化是一种影响全人类的全球性现象；
- b) 预期地球环境的严重变化是气候变化的佐证，而后者则导致或加重了各种自然灾害；
- c) 气候变化研究所内在要求的真正和谐、全球性的地球观测能力只能由星基遥感仪器或传感器实现；
- d) 现今，存在此类在划分给卫星地球探测业务（EESS）的频段内操作的星基传感器，

认识到

- a) 第673号决议（WRC-07）– “用于地球观测应用的无线电通信使用”认为：“地球观测数据在监测和预测气候变化、……增加人们对气候变化各个方面的了解、建模和验证，以及制定相关政策等方面亦有关键作用”并进一步注意到：“尽管目前只有少数国家在使用气象和地球观测卫星，但相关数据和/或分析已在全球范围内分发并使用，……气候变化相关的组织的使用”；
- b) 第672号决议（WRC-07）– “在7 750-7 850 MHz频段为卫星气象业务扩展划分”认识到：“这些气象卫星采集的数据对全球天气预报、气候变化和灾害预测至关重要”，

注意到

- a) ITU-T第73号决议 – “信息通信技术与气候变化”认识到：如附件1所示，信息通信技术（ICT）可为缓解和应对气候变化效应做出实质性贡献且ICT通过支持基础科学研究在监测和解决气候变化问题中发挥至关重要的作用，将全球变暖问题引入公众视野并提高人们对未来挑战的认识；

b) 国际电联的《国际电联与气候变化》报告谈到要加强与各联合国机构、世界银行、欧洲委员会、各国际和国内机构（如气象部门、地球观测组织、EUMETSAT、欧空局、空间频率协调小组、日本航空宇宙开发机构（JAXA）、美国国家海洋和大气局（NOAA）、美国国家航空和航天局（NASA）和Roscosmos等）、非政府组织以及从事应对气候变化的私营部门的战略合作并研究了EESS在监控气候变化方面所发挥的作用；

c) ITU-R RS.2178报告提供了用于地球观测、空间研究和射电天文的各种无线电通信应用的大量综述并描述了其对全社会的社会影响和经济利益，特别是在气候变化监控和气候变化预测以及人为和自然灾害的早期预警、监控和减灾等方面的重要作用，

做出建议

- 1 如附件所述，各主管部门应认识到星基传感器对气候变化研究的重要性；
- 2 各操作者应继续提供与气候相关的环境数据；
- 3 应强调对关键气候观测系统的保护。

附件 1

遥感系统在气候变化及其影响研究中的使用

1 引言

卫星地球探测业务中的航天器采用相同或功能相似的设备定期提供全球的覆盖。由此，它们提供整个全球范围内真正协调一致的数据集。这些数据集往往在时间上相重叠，从而构成跨越数十年的相邻数据集。尽管这些数据集并不能跨越数百年或上千年，它们还是可以为研究气候变化的人们提供重要的数据。

卫星是从一个单一、统一的角度提供我们星球现状概要的最佳方式。没有一种单一的航天器可提供完整的图片，但当前同步运作并共享数据的卫星群则可以为我们提供可知的全球状况的最佳评估。

这些数据有两方面的作用：

- 提供观测并测量气候变化及其对星球影响的基础；
- 为气候模型提供合乎科学且可靠的输入。

通过卫星观测，气候学已经取得了巨大的进展。1959至1961年期间在Explorer 7卫星上搭载的辐射计使得直接测量进入和离开地球的能量成为可能。与以往的间接测量相比，此次飞行及后续的飞行使得科学家可以更有信心地测量地球的能量平衡，从而改进了气候模型。随着辐射计的改进，这些测量获得了直接观测与重大火山爆发或厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）等短期事件相关的地球全球能量收支的摄动所需的精确度、空间分辨率和全球覆盖。这些辐射计直接测量经气候系统传输的赤道-地极热量、大气微量气体的温室效应以及云对地球能量收支的影响。这些观测加深了我们对气候系统的理解并改进了气候模型。

从事大气研究的卫星（如AURA）和支持业务气象的卫星（如欧洲的MetOp系列和美国海洋和大气局（NOAA）的极轨卫星）每天提供全球大气温度、湿度的三维剖面图以及与臭氧等少量大气成分有关的数据。尽管这些数据被输入到天气预报模型中，它们也用来定义大气的现状并提供气候模型的短期测试。

其他地表要素由不是从事大气相关工作的航天器进行监测。例如，我们注意到：

- Landsat和SPOT系列卫星几十年来一直在监测地表；
- QuikSCAT和ADEOS-1及-2卫星监测了海面风；
- TOPEX/Poseidon和Jason系列卫星一直在监测海面高度和温度；
- SMOS卫星以及Aquarius和SMAP等其他卫星在监测或将要监测土壤湿度和海洋盐度。

合成孔径雷达（SAR）和无源微波观测等其他航天器和方法补充了描述我们的星球，特别是观测极地地区（在冬季的黑暗中无法拍摄光学图像）的能力。

2 冰或低温层

气候变化和低温层（冰区）研究的一个核心问题就是变暖的气候将如何影响冰原。这个问题很重要，因为进入海洋的大陆冰和融水量是海平面变化的主要原因。在卫星出现以前，极地数据仅限于在人员可进入季节在当地收集的数据。因为极地地区冬季的极夜期很长，无法进行可见光谱的观测，因此星基无线电仪器的使用被证明特别有用。卫星，特别是配有无线电传感器的天气图成倍地增加了极地数据的覆盖，且获取不再受到季节的限制。

在卫星出现之前，假定认为南极和格陵兰的冰原质量平衡主要由冰融化和堆积速率之间的差异控制且冰流入海洋的速率假定为固定不变。RADARSAT的卫星雷达图像发现：

1. 冰原流动速度的变化极大；
2. 存在着复杂的冰流网络；
3. 由于气候变化，测量发现冰流进入海洋的速度增加了。

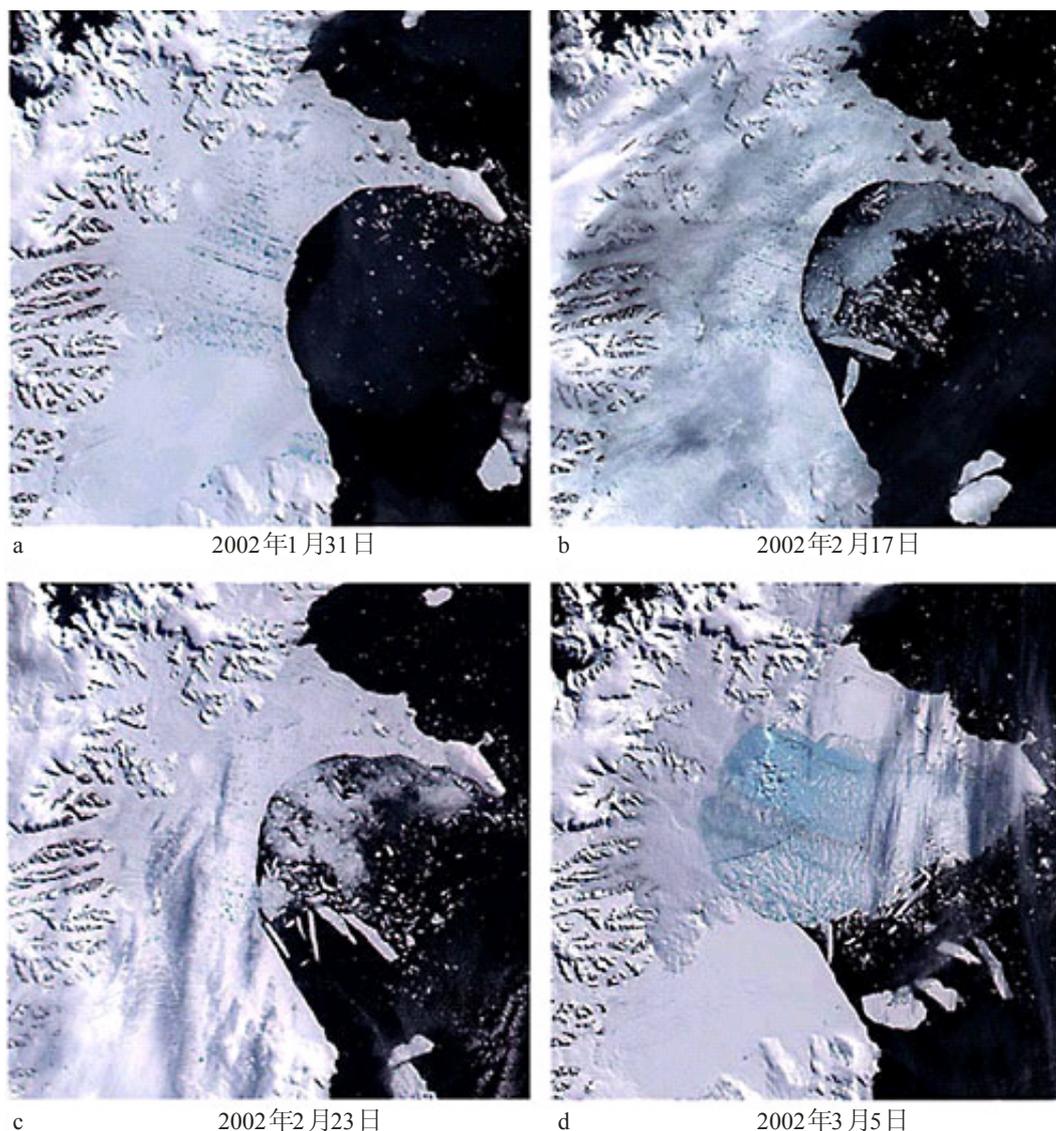
气候变化/全球变暖的一个标志是冰原运动（冰川和海冰）的退缩，而不是前进。全球冰川动态的研究表明，自上个世纪70年代以来，冰川大量消融，特别是在80年代末期明显加速。采用了遥感来记录冰川范围（冰川大小）的变化和平衡曲线的位置（冰川上冬季堆积和夏季融化达到平衡的高程）。自1972年以来，卫星提供了冰川范围的光学图像。现在，采用SAR来研究冰川积雪和冰融的区域来判定气候效应且也采用激光测高来测量冰川高度的变化。

因为冰川对过去和当前的气候变化都做出反应，正在开发完整的全球冰川资料库来跟踪当前的范围以及世界冰川的变化率。全球空间陆地冰测量项目正采用ASTER的数据和Landsat增强型专题绘图仪（Landsat Enhanced Thematic Mapper）来为全球约160 000个冰川登记造册。这些测量结果和由此得出的发展趋势分析是气候变化的重要指标并证明了长期数据集对了解复杂气候系统的价值和重要性。

有源和无源空基仪器均可轻易地监测冰原。从空间观测到了南极大型冰原（如拉尔森B冰架）的断裂。这些断裂即使不是因为全球变暖造成的，也是后者加速使然。由于卫星图像的定期覆盖才发现的2002年南极洲拉尔森B冰架的崩裂生动地说明了在令人惊讶的短期内冰原的变迁（图1）。这些发现有着重大的意义：冰从大陆冰原向海洋的迅速转移可导致海平面大大上升。

图 1

西南极洲拉尔森B冰架的崩塌。
2天内就有2 000平方公里的冰架崩裂



RS.1883-01

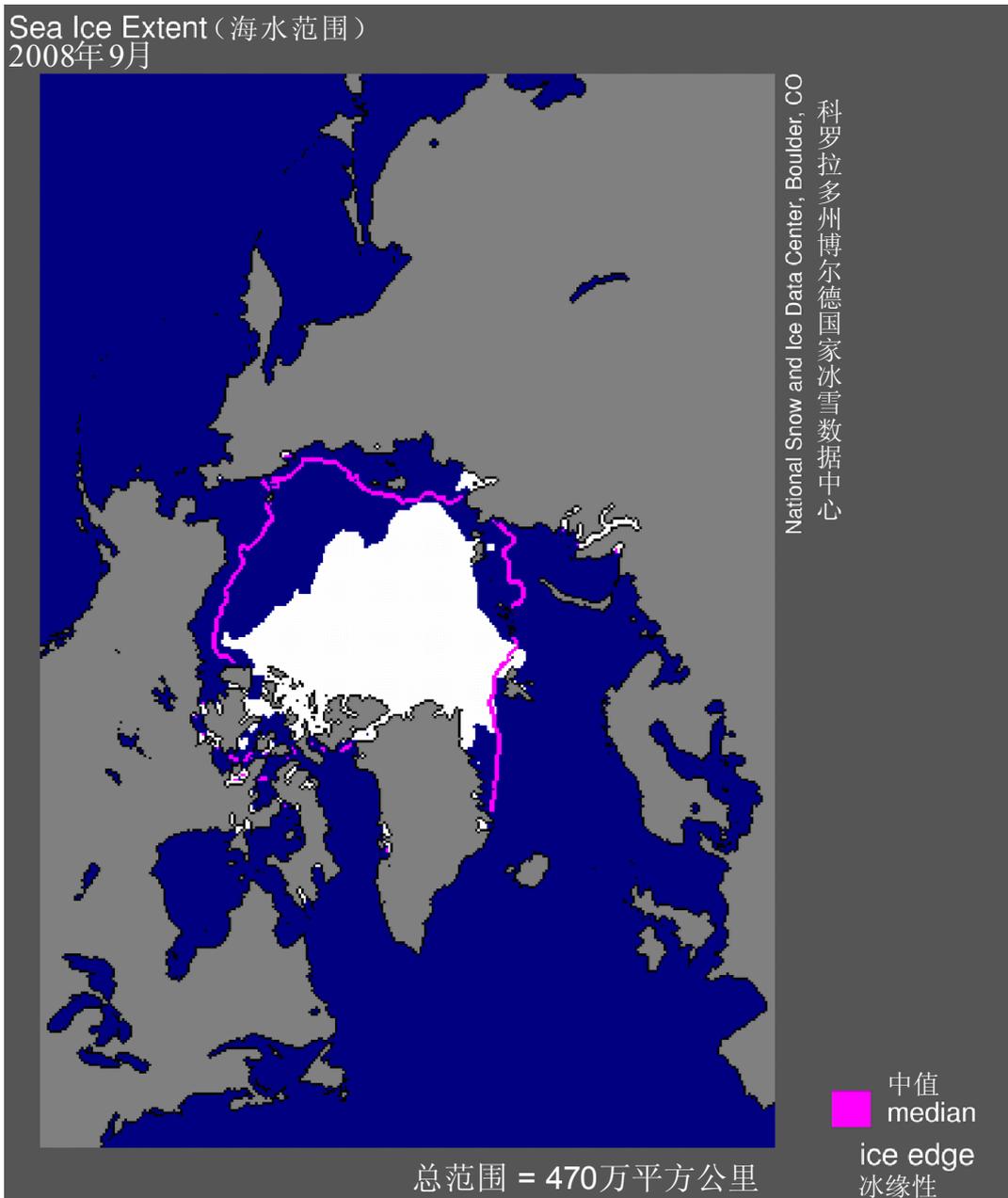
来源：《空间对地观测：前50年的科学成果》（*Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*），第3页，2008年，可从以下URL：
<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>下载。

自1979年以来，持续采用无源微波传感器（电子扫描微波辐射计（ESMR）、多通道扫描微波辐射计（SMMR）、特殊微波仪/成像仪（SSM/I）和地球观测系统先进微波扫描辐射计（AMSR-E））对海冰进行监测。由于不受天气条件或亮度级的限制，因为开阔海洋和冰层覆盖海洋之间存在着微波发射的强烈对比，它们非常适于监测海冰。无源微波传感器35年的长期数据集使得超越海冰强烈年际变化率的发展趋势分析成为可能。自2000年以来，在北极，在过去6年的中，有4年观测到了夏冰的最小值记录（图2和图3）。此外，最近的迹象表明，冬冰的范围也开始迅速退缩，可能是与更薄、范围更小的冰覆盖有关的海洋变暖所致。这些北极海冰缩减的观测与改进的高纬度变暖气候模型的预测相一致，后者则在很大程度上

受冰反射率回馈效应（ice-albedo feedback）所驱动。与北极不同，南极海冰覆盖范围未发现明显的变化。

图 2

2008年9月北极海冰范围为467万平方公里（180万平方英里），系有卫星记录以来倒数第二低。红线显示了1979年到2000年期间海冰的中值范围

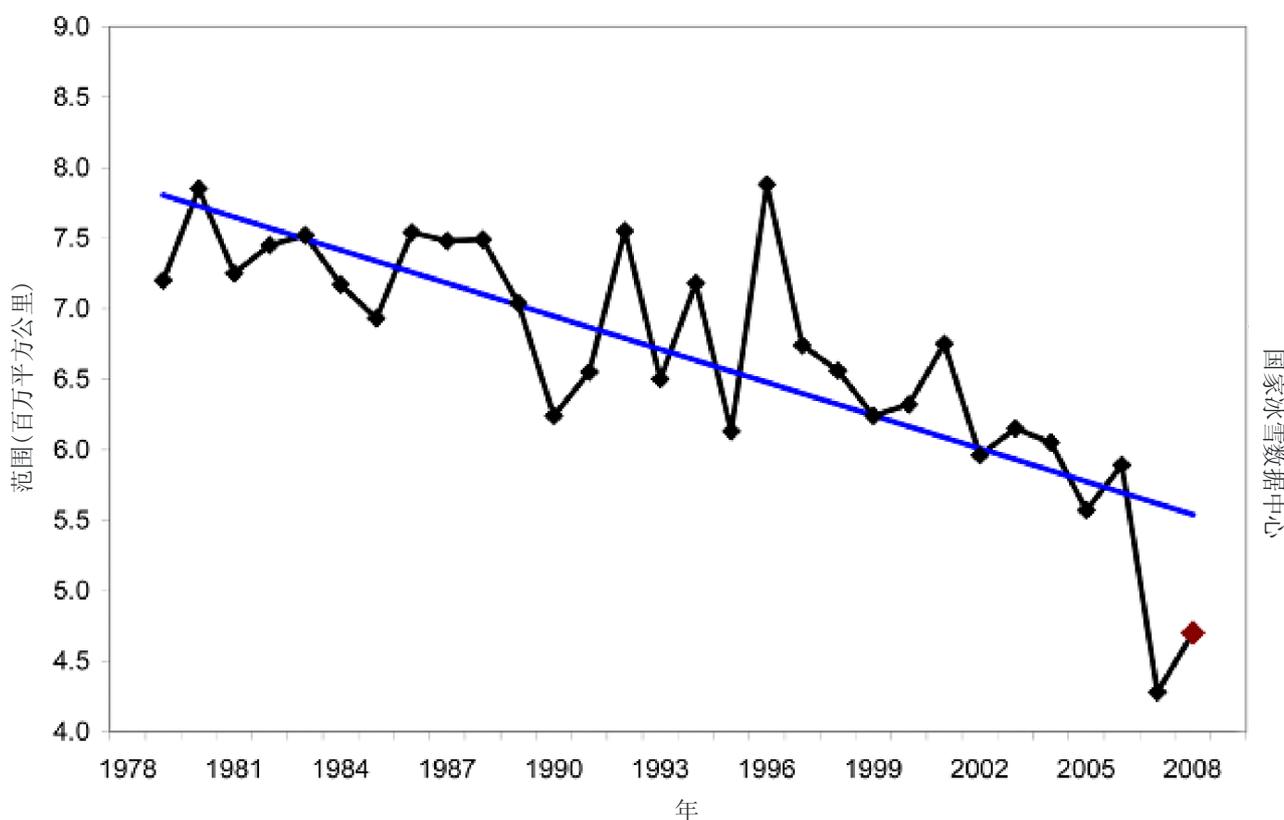


RS.1883-02

来源: URL: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html。

图 3

1979至2008年期间的9月冰层范围显示其30年来在逐渐减少。
1979年以来，海冰减少的9月速率目前已上升至每10年-11.7%的水平



RS.1883-03

来源：URL: http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html。

在过去的几年中，越来越多的报告对海冰状况进行了预测，这些报告完全或部分基于从卫星获得的数据。例如，《北极气候影响评估》（ACIA 2005）得出结论，北极冰的持续消退可能将很快导致北极出现季节性的无冰期并增加海上交通量，因为通过北冰洋的航线远远短于通过巴拿马或苏伊士运河的航线。但是，也有证据表明，至少在部分地区，冰覆盖的减退将伴随着更大的年际变率。

了解冰原、海冰和冰川的变化对于了解全球气候变化并预测其影响非常重要。根据《科学》杂志的评选，“消退的冰原”及其对海平面上升的影响被确定为2006年第三个最重大的“年度突破”。鉴于预期的气候变化及与之相关的海平面上升，在未来拥有全球新的卫星极地覆盖将满足无法用其他观测系统满足的重大社会需求。

3 海洋

海洋覆盖了71%的地球表面，在数个方面在气候系统中发挥着重要的作用。它们也是气候变化的极佳指标。例如，测量海平面可揭示全球变暖的重要线索。

天气、气候和环境的变化对人类提出了严峻的挑战。应对这些挑战需要进一步改进天气预报，特别是中长期的预报。如果能明确预知未来10天、未来几个月或甚至下一个季节将要发生的变化，人们和各行业可更好地应对反复无常的天气模式。应对这些挑战也意味着更好地了解导致太平洋厄尔尼诺和拉尼娜现象、危险的飓风和台风以及特别是海平面不断上升等全球各种气候因素。

只有测定世界海洋表面的各种变化并采用收集的数据制定并运行强有力的海洋行为模型，才能发现改变天气模式背后的推动力量。将海洋和大气模型组合，我们可以提供所需精确度的短期和长期预报。需要结合海洋和大气模型，才能将海洋中尺度（中距离）的变化考虑在内。对于两周以上的预报，这种海洋和大气模型的结合变得很重要。海洋也是气候变化进程中的一个重要环节，人们广泛认为，海平面的上升可能是全球变暖的灾难性后果之一。

3.1 海面水温和平均海平面上升

电视红外观测卫星系列（TIROS-N）和NOAA卫星系列上搭载的先进甚高分辨率辐射计（AVHRR）获得的长期海面水温（SST）记录取得了气候科学的一个重大发现。现在，也通过无源微波仪器测量SST。SST是全球气候变化最为重要的指标之一，是气候建模的重要参数。作为从遥感获得的最长海洋数据，它有着广泛的影响。

SST记录揭示了海洋在区域和全球性气候变化中的作用并显示了洋流的重要细节。地球系统80%以上加热总量存储在海洋中，且洋流在全球重新分配这些热量。SST记录的发展趋势分析协助加深了对重要的热带气候-大气效应的了解，后者也是太平洋厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）的成因。经由海面风、海面高度和海面水温的卫星观测，在了解ENSO方面取得的进展对区域气候和天气预报产生了深远影响。此外，密集的飓风与海面水温存在联系。因而，海面水温和飓风自身均可以从研究卫星所获得数据方面获益。

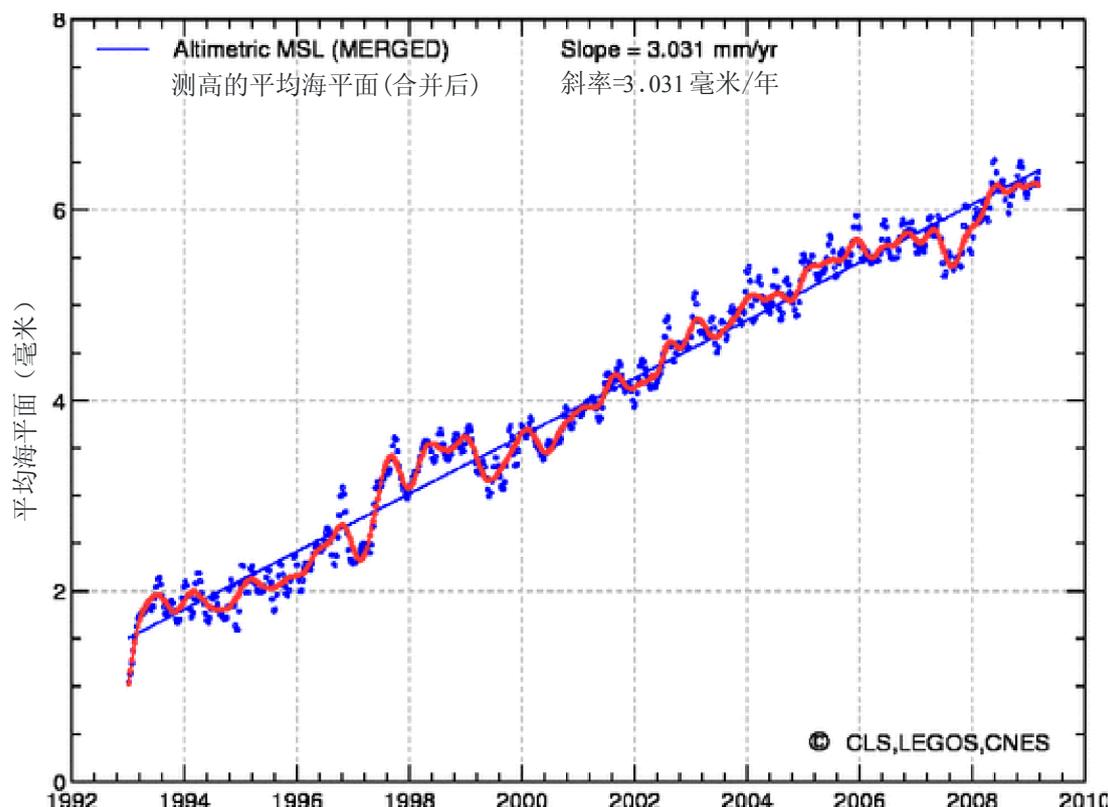
另外，SST在结合海洋与大气方面至关重要，是两者之间进行热量和水汽交换的控制性因素。SST发展趋势分析为全球变暖和重要的气候-大气效应提供了证据，而后者也是ENSO事件的成因。这些SST观测与3000米以内海洋的原位垂直温度测量一起提供了发现海洋人为全球变暖的证据。

了解SST的增长和表明海洋的人为热量输入对于量化并预测海平面上升也有着重大意义。平均海平面上升可作为全球变暖的一个标志。监测该平面是测高学的一种应用，是21世界环境科学的重大问题之一。

很难将气候的自然变化与全球变暖的影响区分开来。从卫星观测中获得了15年的平均海平面测量数据。这些观测前后一致并获得了卫星观测的准确时间序列。但是，这一期间还是短暂的。而且，有必要说明自然气候变化中间杂着人为扰动。因此，只有气候变化信号强于自然背景变化时，才能加以探测。探测全球气候变化远比监测区域影响费时费力。

部分观测到的海平面上升是水温上升造成的。其余的情况可能是源于冰川融化和大陆水量的波动。图4显示了每年约3.3毫米，即15年内大概5厘米的增长。

图4
平均海平面上升



RS.1883-04

但是，平均海平面上升仅仅是整个问题的一部分。海洋水平面的上升绝不是统一不变的。在部分海区，海平面上升（某些地方一年可达20毫米），而其他地区则会下降相同的数量。由TOPEX/JASON 自1993年起观测到的这些区域差别通常反映了几年时间内海平面的波动。

上升的海平面可能会淹没全球沿海地区并可能彻底淹没地势低矮的岛屿。尽管这种影响预期要在相当长的时间内（数十年或数百年）才会明显，从卫星观测获得的地形图（航天飞机雷达拓扑飞行任务等合成孔径雷达（Shuttle Radar Topology Mission）观测以及通过ASTER的光学观测）可协助确定容易受到影响的地区。

海面温度测量不仅揭示海洋环流（如墨西哥暖流）的重要信息，还提供与输入海洋的热量有关的详细信息，推动气候研究的发展。海色与SST观测导致了与海洋物理-生物结合有关的新发现，对海洋在碳循环中所发挥作用有着重要影响。

卫星观测提供了预测和监测海洋生物数量在作为碳容纳器方面所发挥作用的唯一手段。特别是，生物碳摄取是否根据气候变化进行变化的根本问题只能通过卫星测量进行研究。它不仅需要海色测量（浮游生物生物数量和生产效率），还需要海洋物理环境（循环和混合）的一致性空基观测、陆地-海洋交换（通过河流和潮汐湿地）以及其他风、潮汐和输入上层海洋的太阳能等因素。观测物理海洋环境、化学环境与生物学之间的联系是空间观测的一个重大成果。

3.2 土壤湿度和海洋盐度

地表水的蒸发、渗透和补给通常通过位于从地表顶部至地下水位的非饱和渗流区发生。植被吸收水分的根区位于渗流区且是植被和水文系统的接口。植被中可用水量控制着植物的蒸腾作用和光合作用并由此控制二氧化碳封存。植被中可用水量也直接与土壤在降水之后进行排水的能力相关。气象和水文学中采用的土壤-植被-大气传输 (SVAT) 方法旨在描述表面的基本蒸发和植被蒸腾作用、排水、地表径流和土壤湿度含量之间的划分。必须向SVAT模型提供渗流区水量实际的初始数值。

当研究裸露土壤或稀疏的植被时, 可根据表面土壤湿度时间序列计算蒸发速率和流失。当研究植被覆盖表面时, 需要考虑植被中的水含量(植被光学深度)。植被光学深度自身可以是一种监测植被状态的非常有用产品。

有关全球海洋中盐的分布(盐度)及其年际变率的知识对于了解海洋在气候系统中所发挥作用至关重要。盐度在判断海洋密度并因此判断热盐环流方面非常重要。海洋盐度也与海洋碳循环有关, 因其在实现化学平衡方面发挥着影响, 后者则控制着二氧化碳的摄取和释放。因此, 将海面盐度的测量纳入到全球海洋生物地球化学模型中可改进对海洋所吸收二氧化碳的预测。

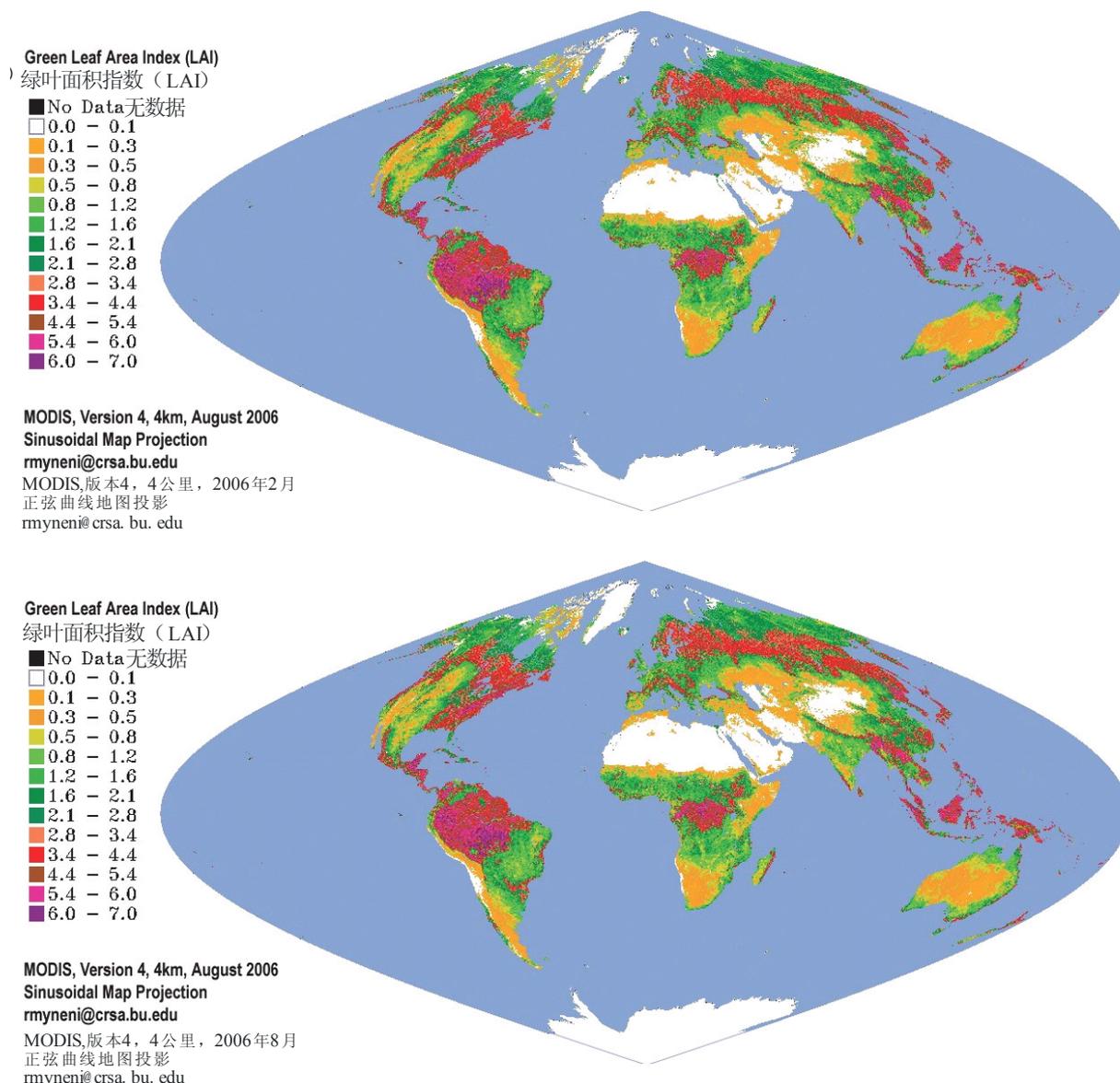
SMOS卫星的任务是与SMAP飞行任务一起监测土壤湿度并与Aquarius飞行任务一起监测海洋盐度。

4 生物圈

对地球植被进行卫星监测对于了解全球生态系统如何发挥作用并对气候变动和气候变化做出反应至关重要。有了TERRA和AQUA卫星上的MODIS仪器之后, 随着测量扩展至生物物理领域, 观测(图5)变得更加精确了。

图 5

MODIS获得的、显示植被季节变化的绿叶指数



RS.1883-05

来源: 《空间对地观测: 前50年的科学成果》 (*Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*), 第75页, 2008年, 可从以下URL下载:

<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

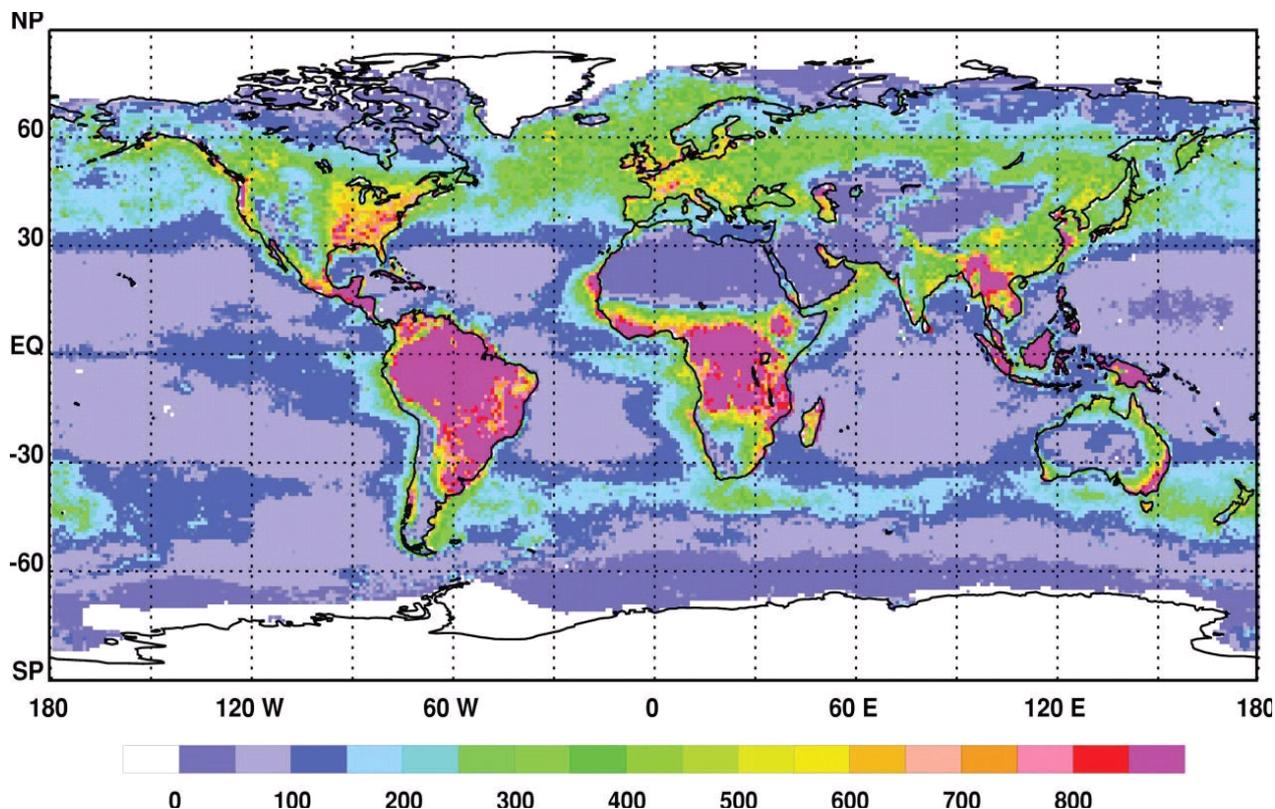
气候变化研究也获得了经由卫星开展的地球碳循环和能量波动研究的帮助。

净初级生产力 (NPP) 定义为单位时间从大气进入绿色植物的净碳释放量。NPP的卫星观测对从根本上了解气候变化对生物圈的影响做出了宝贵的贡献。NPP受到相互作用的气候和生物控制的影响。陆地和海洋对NPP的影响几乎是相等的 (图6), 但在局部层面, NPP的变动是显著的。因为浮游生物的生命周期要比陆生植物短数个数量级 (数天与数年或数十年), 与陆地生态系统中的植物相比, 浮游生物可更快地对气候对洋流、混合和营养物和阳光供应等的影响做出反应。因此, 预计碳循环中的海洋部分 (大约一半) 将更快地对气候变化做出反应。

图 6

生物圈的全球年度NPP（单位为克碳/平米/年），根据综合的CASA-VGPM（垂向归纳模型）模型计算得出。
从CZCS获得的海色输入数据为1978-1983年期间的平均值

从AVHRR获得的陆地植被指数为1982-1990年期间的平均值



RS.1883-06

来源：《空间对地观测：前50年的科学成果》（*Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*），第77页，2008年，可从以下URL下载：
<http://www.nap.edu/catalog/11991.html>。

于1978年启动的海岸带水色扫描仪显示，可采用可视和近红外频段观测海洋生产力；但是，CZCS测量在陆地是饱和的，因此无法使用。

自1978年以来，美国国家海洋和大气局（NOAA）极轨气象卫星上的AVHRR获得了每日全球观测的连续记录，采集红色和近红外频段。现在，每日的AVHRR数据集已跨越了25年，是监测气候变化和变动的生物圈反应的陆地生产力、生物气候学（研究植物和动物生命周期性周期活动及其如何受气候季节性和年际变化影响的学科）和生态系统变化最长的持续性全球可用记录。

尽管AVHRR并不是用来监测气候变化的，但校准的持续改进和再分析获得了监测并评估由于气候变化和变动以及人为活动而引起的以往和未来生物圈反应的一致性记录。

引发关注的主要方面之一是气候变化对农业的影响问题。随着气候变暖，种植季节延长且北方地区变得越来越多产，而南方地区却面临酷热，变得越来越低产。几十年来，一直通过卫星从空间对农业生产率进行监测。归一化植被指数（NDVI）的特性从-1到+1变化不等，且当观测到绿色植被时，数值约为+1。从技术上而言，NDVI是近红外数据减去红色数据（可见光）并除以两者的和。

在过去的十年中，从AVHRR获得的NDVI数据已成为监测气候变化、评估种植季节的转换长度和时机并监测生物圈和其他生态系统现行状态的一个重要部分。长期的NDVI记录显示，在二十世纪80年代和90年代早期，其随着气候变暖而增长，但近期该趋势趋于平稳。行星NDVI（绿度）的变化与每天陆地截获的光合有效辐射和大气的二氧化碳浓度变动情况有着强烈的关系。而当二氧化碳浓度较低时，NDVI与大气的二氧化碳有着强烈的负相关，反之亦然。生态系统光合作用中的这种时程分配型式说明了大气和生物圈之间的动态耦合。

5 结论

星载传感器为我们了解地球和气候变化的影响提供了基本的数据。鉴于这些仪器将继续提供重要的数据，应在未来予以保护。

附件 2

主要气候变量和促成因素的观测现状

以下空基（及个别情况下支持性的地基）关键气候变量的观测现状摘要来源于美国全国研究理事会的报告-《空间地球科学及应用》，全国学术出版社，华盛顿特区，2007年（第298-303页的表9.A.1）。

该文件可查阅：<http://www.nap.edu/catalog/11820.html>。

该报告注意到：

“尽管表格提供了宝贵的意见，也应认识到其不足之处：

1. 在某些情况下，它列举了可通过几种方法获得的变量，但并未列出所有的方法；
2. 尽管可通过获取对地静止和其他轨道平台的多频谱影像和探测器数据实现所列的目标，但其仅限于低轨的卫星观测；
3. 几乎没有可独立进行物理测量的空基观测且随着在物理变量的空基观测推断和其他测量之间进行更多的比较，其分析整理经常要修订。”

括号中的数字指2003年版《全球气候观测系统》（GCOS）附录1中所列的重要气候变量。该文件为第二份有关全球气候观测系统足以支持《联合国气候变化框架公约》GCOS-82号报告的报告（世界气象组织第1143号技术报告）。

飞行任务1、2、3和4指预期的飞行任务，而不是目前计划的任务。删除原表的第五栏，因其涉及内部数据来源。

气候变化专门委员会有关主要气候变量和
促成因素现状的摘要

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
总太阳辐照度 (1.2)	直接测量	2003年发射了SORCE; 2008年的Glory (仅TIM)	NPOESS TSIS-GFE
地球辐射收支	多谱成像仪与宽带辐射计相结合: 景物确认和大气顶部通量	Terra上的MODIS/CERES (2000年), Aqua (2002年)	NPOESS上的 VIIRS/CERES, C1 (2013年), 飞行任务2
地表辐射收支	多谱成像仪与宽带辐射计相结合: 景物确认和大气顶部通量, 辐射传热建模	Terra上的MODIS/CERES (2000年), Aqua (2002年)	NPOESS上的 VIIRS/CERES, C1 (2013年), 飞行任务2
	地表辐射计: 稀疏布置的ARM、BSRN、CMDL、SURFRAD站点		
对流层悬浮颗粒 (1.3): 悬浮颗粒的地理和垂向分布、光深、大小、形状、单散射反射率	多谱成像仪: 提供光深、海洋和黑色表面的一些大小推论	自1981年起AVHRR (NOAA 7), 目前在NOAA 17、18、19上TRMM (1997年)上的VIRSTerra (2000年)上的MODIS、MISRAqua (2002年)上的MODIS	NPP、NPOESS上的 VIIRS
	紫外辐射计成像仪: 提供光深、气溶胶层状结构吸收的一些推论	AURA上的OMI (2004年) NPP上的OMPS (2010年)	NPOESS上的 OMPS、C3 飞行任务1
	偏光计: 提供光深、大小、形状和单散射反射率	PARASOL上的POLDER (2005年) Glory上的APS (2008年), 限于星下点轨迹	NPOESS上的 APS, C3 飞行任务1
	激光雷达: 提供气溶胶浓度的垂直剖面图, 一些大小和形状的推论	CALIPSO (2006年)	飞行任务1
	表面多谱辐射计	AERONET、ARM	NPOESS上的 VIIRS, 飞行任务1
	地表和地球宽带通量测量	Terra上的CERES (2000年), Aqua (2004年)与BSRN、ARM、SURFRAD站点相结合	NPOESS上的 CERES, 飞行任务2
	平流层气溶胶特性、光深、大小、形状、单散射反射率 (1.3)	临边和掩日法测量: 气溶胶消光剖面图	Aura上的HIRDLS, 红外辐射计; ERBS上的SAGE II (1984-2006年); Meteor上的SAGE III (2002-2006年) SciSat (加拿大-美国)
	临边散射光: 气溶胶光深的剖面图		NPP上的OMPS (2010) 和NPOESS
	激光雷达: 提供气溶胶浓度的垂直剖面图, 一些大小和形状的推论	CALIPSO (2006年)	飞行任务1

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
云系属性 (1.2) : 地理和垂直分布、水滴有效半径、冰云晶位置和大小、混合阶段云系水/冰比率以及水汽凝结大小和可视光深、云液和冰水数量	多谱成像仪: 单一有效云层的特性	自1981年起AVHRR (NOAA 7), 目前在NOAA 17、18、19上推断水汽凝结大小, 但TRMM上的VIRS阶段没有; Aqua和Terra上的MODIS提供水汽凝结阶段的推论	NPP上的VIIRS NPOESS 提供水汽凝结阶段的推论
	多角度辐射计 偏光计	Terra上的MISR, PARASOL上的立体成像POLDER获得的云高, Glory (2008年) 上APS偏光测定法获得的水汽凝结大小和阶段, 偏光测定法获得的阶段	NPOESS上的 APS, C3 偏光测定法获得的水汽凝结阶段
	15 μm 探测器、成像仪: 有效单层云系统, 甚至是光学薄卷云的的云层压力	NOAA 17、18、19上的HIRS, Terra、Aqua上的MODIS Aqua (2002年) 上的AIRS	NPOESS上的CrIS
	微波成像仪: 海洋上云液水的推论	DMSP上的SSM/I TRMM上的TMI, Aqua上的AMSR-E, NPOESS上的CMIS	
	激光雷达: 光学偏振薄云的上边界、消光, 颗粒相	CALIPSO (2006年)	飞行任务 1
	云雷达: 云边界、液水的垂向分布, 少量降雨时微雨速率	CloudSat (2006年)	飞行任务 1
臭氧: 平流层、对流层 (1.3)	紫外辐射及成像仪: 提供对流层臭氧柱、粗的平流层臭氧垂直清晰度剖面图	Aura (2004年) 上的OMI	NPP (2010) 上的OMPS Nadir, NPOESS, C3
控制臭氧的微量气体 (HCl、N ₂ O、CH ₄ 、H ₂ O、HNO ₃)	红外探测器: 提供对流层、平流层臭氧的垂向剖面图	Aura上的HIRDLS; Aura上的TES也提供了临边观测 (2005年后才使用); Aqua (2002年) 上的AIRS	无
	微波临边探测: 提供平流层臭氧的垂向剖面图	Aura上的MLS	无
CO ₂ (1.3)	近红外光谱分析仪: 高清晰度的二氧化碳柱状浓度	OCO (2008年); 目标是获得可判断来源和汇集的足够精确度; 地面网络 (WMO GAW、NOAA、AGAGE)	无
	红外探测器:	Aqua (2002年) 上的AIRS	无

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
CH ₄ (1.3)	红外光谱分析仪： 高清晰度的CH ₄ 柱状浓度	Aura上的TES； 地面网络 (WMO GAW、NOAA、 AGAGE)	无
	红外探测器：	Aqua (2002年)上的AIRS	无
地面覆盖和表面反射率 (3) (积雪、冰川以及随后的冰冠)	多谱成像仪： 植被指数、推断表面反射率	NOAA 17、18、19上的 AVHRR： 推断大气校正的分光反射率； Terra上的MODIS (2000年)， Aqua (2002年)；Landsat系列	NPP上的VIIRS (2010年)和 NPOESS
	超光谱成像： 植被类型、土地覆盖	Hyperion (EO-1)	飞行任务 1
温度 (1.2)： 垂向剖面图	红外微波探测器：层温的 垂向剖面图	自1979年起 HIRS/MSU，目前 位于NOAA 17、18、19上； DMSP上的SSM/I (1995、 1997、1999年)； Aqua (2002年)上的 AIRS/AMSU	NPP (2010年)上 的CrIS、ATMS， NPOESS
	GPS无线电掩星： 近地面清晰度约为0.5-1公 里的垂向剖面图	CHAMP (2000年)上的GPS， COSMIC (2006年)	飞行任务 2
	地面网络：无线电探空仪 温度剖面图，WMO探空 网络 (1959年)		
水蒸气 (1.2)：柱总 量、垂向剖面图	微波成像：海洋上柱水蒸 气总量	DMSP极地卫星 (1995、1997、 1999年)上的SSM/I	NPP (2010年)上 的ATMS， NPOESS上的MIS
	多谱成像仪：近红外水蒸 气通道获取的柱总量	Terra上的MODIS (2000年)， Aqua (2002年)	无
	红外探测器： 对流层中相对较粗的垂直 解析度的水蒸气层总量	1979年起的HIRS数据 (TIROS- N)，目前在NOAA 17、18、 19上	NPP上的CrIS (2010)， NPOESS
	高谱分辨率红外辐射计： 对流层中更高垂直解析度 的水蒸气层总量	Aqua (2002年)上的AIRS； Aura上的TES (2004年)	NPP上的CrIS (2010年)， NPOESS
	红外微波临边扫描辐射 计： 对流层上部、平流层中水 蒸气层的总量	TES，Aura上的MLS (2004年)	无
	GPS无线电掩星： 近地面清晰度至0.5公里的 垂向剖面图	CHAMP (2000年)， COSMIC (2007年)	飞行任务 2
	地面网络：无线电探空仪 水蒸气剖面图，WMO探 空网络 (1959年)		

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
火灾 (3)	近红外热成像: 高空间分辨率发现火点	1981年起的AVHRR数据 (NOAA 7), 目前位于NOAA 17、18、19上; Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年)	NPP上的VIIRS (2010年) 和 NPOESS
陆地生物数量, 光合有效辐射的一部分	多谱成像仪: 植被指数, 推断FAPAR	1979年起的AVHRR数据 (NOAA 6), 目前位于NOAA 17、18、19上; Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年); SeaWiFS	NPP上的VIIRS (2010年) 和 NPOESS 飞行任务 1
(FAPAR) (3)	雷达: C频段雷达反向散射器获得的土地覆盖	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	无
冰川、海冰、冰冠 (3)	多谱成像仪: 区域覆盖	1979年起的AVHRR数据 (TIROS-N), 目前位于NOAA 17、18、19上; Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年)	NPP上的VIIRS (2010年) 和 NPOESS
	微波成像仪: 区域覆盖	DMSP上的SSM/I (1995、1997、1999年); Aqua上的AMSR-E; TRMM上的TMI (1997年) NPOESS上的MIS	
	雷达: 冰区和冰流、从地形获得的海冰厚度	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	飞行任务 3
	激光雷达: 冰高	ICESat (2003年) 上的GLAS	飞行任务 1
	Gravity卫星: 与地形测量相结合的冰体	GRACE (2002年)	GRACE 后续
永冻土、季节性冻土 (3) 积雪 (和雪水当量) (3)	雷达与微波辐射计相结合: 综合区域、粗糙度和地形, 以提供雪水当量	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	没有规划后续
地表水 (3)	微波成像仪: 冰雪覆盖地区和森林茂密地区以外的土壤湿度	DMSP上的SSM/I (1995、1997、1999年); Aqua上的AMSR-E (2002年) NPOESS上的MIS	
	Gravity卫星: 大规模地表水 (需要现场辅助观测)	GRACE (2003年)	GRACE 后续
湖面 (3)	高清晰度多谱成像仪: 湖区	Landsat 7 (1999年)	LDCM
	雷达: 湖面	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	没有规划后续
	激光雷达: 水面高度	ICESat (2003年) 上的GLAS	飞行任务 1

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
河水流量 (3)	高清晰度成像: 湖区、河区	Landsat 7 (1999年)	LDCM
	激光雷达高度计: 河流水位	ICESat (2002年)	飞行任务 1
	雷达: 湖区、河区	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	没有规划后续
叶面积指数 (LAI) (3)	多谱成像仪: 植被指数	1981的AVHRR数据 (NOAA 6), 目前位于 NOAA 17、18、19上; Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年); Terra (2000年)上的MISR; SeaWiFS (1997年); NPP (2010年)上的VIIRS	NPOESS上的 VIIRS
	高空间分辨率多谱成像 仪: 更高分辨率的植被指 数	Landsat 7 (1999年); Terra (2000年)上的ASTER; EO-1	LDCM; 飞行任务 1
海平面	高度计: 海面高度	Jason 1 (2001年) GFO	NPOESS上的 ALT, 飞行任务 4; GRACE后续
	SAR: 沿海地区	RADARSAT 1 (1995年), RADARSAT 2 (2007年), 数据可以购买	无
海洋状况 (2.1)、地面 风 (1.1)	微波成像仪: 表明风速	DMSP上的SSM/I (1995、 1997、1999年); Aqua上的 AMSR-E (2002年) NPOESS上 的MIS	
	散射计: 地面风矢量	QuikSCAT (1999年); MetOp上的ASCAT	MetOp上的 ASCAT, 飞行任务 4
海色 (2.1)	具备紫外光-蓝光功能的 多谱成像仪: 从表面向外的辐射	SeaWiFS (1997年); Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年)	NPP上的VIIRS (2010年)和 NPOESS
海面 (2.1)、 次表层温度 (2.2)	多谱成像仪: 海面温度	1981的AVHRR数据 (NOAA 7), 目前位于 NOAA 16、17、18上; TRMM (1997年)上的VIRS; Terra上的MODIS (2000年), Aqua (2002年)	NPP上的VIIRS (2010年)和 NPOESS
	红外微波探测器: 海面温 度	NOAA 16、17、18 AIRS上的 AVHRR; Aqua上的AMSR-E (2002年); Aqua (2002年) 上的MODIS、Terra (1999年)	NPP (2010年)上 的CrIS/ATMS; NPOESS上的MIS
	可抛弃式剖面浮标: 温度剖面、零浮力深度和 表面的温度	ARGO浮标	

测量	策略	现状	后续 (2010-2020年)
海面 (2.1)、 次表层盐度 (2.2)	微波辐射计和散射计：表 面盐度、海洋粗糙度		AQUARIUS (2010年)
	可抛弃式剖面浮标： 盐度剖面、零浮力深度的 盐度	ARGO浮标	
海面 (2.1)、 次表层流 (2.2)	高度计： 洋流生成的海面高度	Jason 1 (2001年)	NPOESS上的 ALT, 飞行任务 4
	Gravity微星： 次表层或正压体漂移（与 表面高度计的测量结果一 起计算）	GRACE (2002年)	GRACE后续
	可抛弃式剖面浮标： 在零浮力深度（以及表面 并附有警告）放置浮标	ARGO浮标	
表面浮游生物 (2.2)			
降雨 (1.1)	微波成像仪： 海洋的降雨率	DMSP上的SSM/I (1995、 1997、1999年)； TRMM上的TMI (1997年)； Aqua上的AMSR-E (2002年) NPOESS上的MIS, GPM (2012年)	
	降雨雷达：降雨率的垂直 结构	TRMM (1997年)	GPM (2012年)
	云雷达： 毛毛微雨速率	CloudSat (2006年)	飞行任务 1