

国 际 电 信 联 盟

ITU-R
国际电联无线电通信部门

ITU-R RS.1859-1建议书
(12/2018)

**使用遥感系统收集在自然灾害和
类似紧急事件中使用的数据**

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/zh>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/zh>）

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

注：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
2019年，日内瓦

©国际电联2019

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.1859-1建议书

使用遥感系统收集在自然灾害和
类似紧急事件中使用的数据

(2010-2018年)

范围

本建议书提供了关于在灾害管理不同阶段提供卫星遥感数据的导则：

- 1) 灾前（减灾或者为减少损害、破坏和伤亡而采取的措施；能够快速应对灾害的准备工作或措施；以及防止或避免灾难和相关灾害的不利影响），
- 2) 灾害期间（发现灾害并以紧急服务和援助的形式立即做出反应），以及
- 3) 灾后（从灾害的直接影响中恢复、长期恢复和恢复到灾前状况）。

本建议书未提供关于数据分发的信息。

关键词

EESS（有源）、EESS（无源）、卫星地球探测服务、遥感、灾害、灾害管理

相关ITU-R建议书和报告

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

ITU-R RS.2178报告 – 用于地球观测和相关应用的无线电频谱的重要作用与全球重要性

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 无线电通信领域中的灾难管理包括以下同等重要的几个方面：
 - 1) 通过以下手段提供早期预警和预防：
 - 灾害预测，包括获取和处理有关未来灾害发生概率、地点和持续时间的数据；
 - 灾害探测，包括对灾害事件典型可能性和严重程度的详细分析；
 - 2) 减灾，包括向赈灾机构迅速发布即将来临的灾害信息和相应的预警；
 - 3) 灾后救援无线电通信，包括提供现场的地面和卫星通信系统，为保证灾区人民生命和财产安全以及社会稳定提供帮助；
- b) 自然灾害发生位置固有的不可预测性，意味着只能依靠星载遥感仪器来满足迅速、全球的地球观测能力的需求；

- c) 此类星载遥感器现工作于分配给卫星地球探测业务（EESS）的频段上；
- d) 有许多这样的机构，其任务是促进从卫星运营商 – 提供商到赈灾机构用户的、灾害相关数据的处理和传送，

认识到

- a) ITU-R 第 55 号决议 – ITU-R 有关灾害预测、探测、减灾和赈灾的研究工作，以及 ITU-R 第 646 号决议（**WRC-15，修订版**） – 公共保护和赈灾；均承认无线电通信/信息通信技术各方面的重要性，它们与灾害预防、预测、探测、预警、减灾和赈灾行动密切相关，并意识到了无线电通信第 7 研究组以及遥感在灾害管理中的重要作用；
- b) 第 673 号决议（**WRC-12，修订版**）做出决议：“继续认识到地球观测应用所使用频谱有着可观的社会和经济价值；敦促主管部门考虑地球观测的无线电频谱需求，特别是相关频段内地球观测系统的保护；鼓励主管部门在做出可能对这些应用的运行产生负面影响的任何决定之前，考虑地球观测应用所用频谱的重要性及其可用性”，

注意到

ITU-D 第 22/2 号课题报告 – 当信息通信技术用于灾害和紧急事件救援时，其在灾害管理、资源以及有源和无源天基遥感系统中的使用，是一个指导文档，旨在推动公共告警协议（CAP）标准的实施，以便在灾害和紧急情况下发布公共告警和灾害通告，

建议

- 1 主管部门应熟悉附件 1 中所述的、与管理自然灾害和类似紧急情况应对措施相关的星载遥感器的应用；
- 2 主管部门和运营商应继续提供附件 2 中所述的、与灾害有关的环境数据。

注 1 – 本建议书应当用一份有关如何使用已收集数据的建议书来补充。

附件1

使用遥感系统收集在自然灾害和类似紧急事件中使用的数据

1 引言

气象辅助工具、气象卫星以及地球探测卫星业务，在以下诸多活动中起着重要作用：

- 识别危险区域；
- 天气预报和预测气候变化；
- 探测和跟踪地震、海啸、飓风、森林火灾、石油泄漏等；
- 提供此类灾害的警告/预警信息；
- 评估此类灾害带来的损害；
- 提供用于规划赈灾行动的信息；以及
- 监控灾害的恢复状况。

这些业务为保持和改进天气预报准确性、监控和预测气候变化提供了尽管并非不可或缺但有用的数据，并提供了有关自然资源的信息。这些服务及其相关应用所用的频率如表1中所述。

表1

用于灾害预测和探测的遥感中使用的频段

频段 (GHz)	灾害分配	沿海灾害 和海啸	干旱	地震	极端天气	洪水	滑坡	污染 (海洋)	海洋和 湖泊冰	火山	野火
0.43	A	X	X	X		X	X			X	X
1.25	A	X	X	X		X	X	X	X	X	
1.42	P		X			X	X				X
1.67	P										
2.65	p		X			X	X				X
3.20	a										
4.30	p										
4.90	p		X								
5.30	A	X	X	X		X	X	X	X	X	X
6.70	p		X								
7.15	p		X						X		
8.60	A		X	X	X	X	X		X		X
9.60	A		X	X	X	X	X		X		X
10.65	P	X	X		X	X	X		X		
13.50	A		X		X	X	X		X		X
15.30	p										
15.40	P	X			X	X	X				
17.25	A		X		X						X
18.70	P	X	X		X	X	X				
21.30	P	X	X		X	X	X		X		
22.30	P	X	X		X	X	X				
23.80	P	X	X		X	X	X				

表1 (结束)

频段 (GHz)	灾害分配	沿海灾害 和海啸	干旱	地震	极端天气	洪水	滑坡	污染 (海洋)	海洋和 湖泊冰	火山	野火
24.10	A		X		X	X	X				
31.50	P	X	X		X	X	X		X		
35.55	A		X		X	X	X				
36.50	P	X	X		X	X	X		X		
50.30	P	X	X		X	X	X				
55.00	P	X	X		X	X	X				
64.50	P										
78.50	A				X						
89.00	P					X	X		X		
94.00	A				X						
101.0	P		X		X						
110.0	P										
118.0	P	X	X		X	X	X				
150.5	P	X	X		X	X	X				
157.0	P										
166.0	P	X	X		X	X	X				
175.5	P	X	X		X	X	X				
183.0	P	X	X		X	X	X				
201.0	P	X	X		X	X	X				

注 – A和P指的是在这三个频段上的有源和无源遥感分配。大写表示主要分配，小写表示次要分配。

地面的、现场的（现场）、及时的测量或观测，通常比从空中进行的类似观测更加精确和准确。这些类型的观测称为“地面实况”，用于校准星载仪器。然而，当现场仪器或使用此类仪器所需的支持性基础设施未就绪或者因灾害而失效或者地面的测量不够准确时，卫星观测可以提供有助于减轻灾难影响的有益信息。在那些受灾面积广、人口密度低、技术基础设施薄弱或未得到很好发展的地区，卫星观测尤其有用。

在减轻自然灾害和人为灾难的影响方面，描述清楚数据从卫星产生的过程，是有益之举。这些应用包括那些如今正在使用的应用以及那些未来可能实施的应用。表 1 并非详尽得无一遗漏。

2 海岸灾害/海啸

通过使用合成孔径雷达（SAR）产生的数字高程模型（DEM）来定位遭受洪灾的低洼地带，或者通过使用 SAR 产生的水深测量结果来判断可能使即将发生的海啸或风暴大潮变得更加严重的海底结构，星载传感器将为危险区域的判定提供帮助。

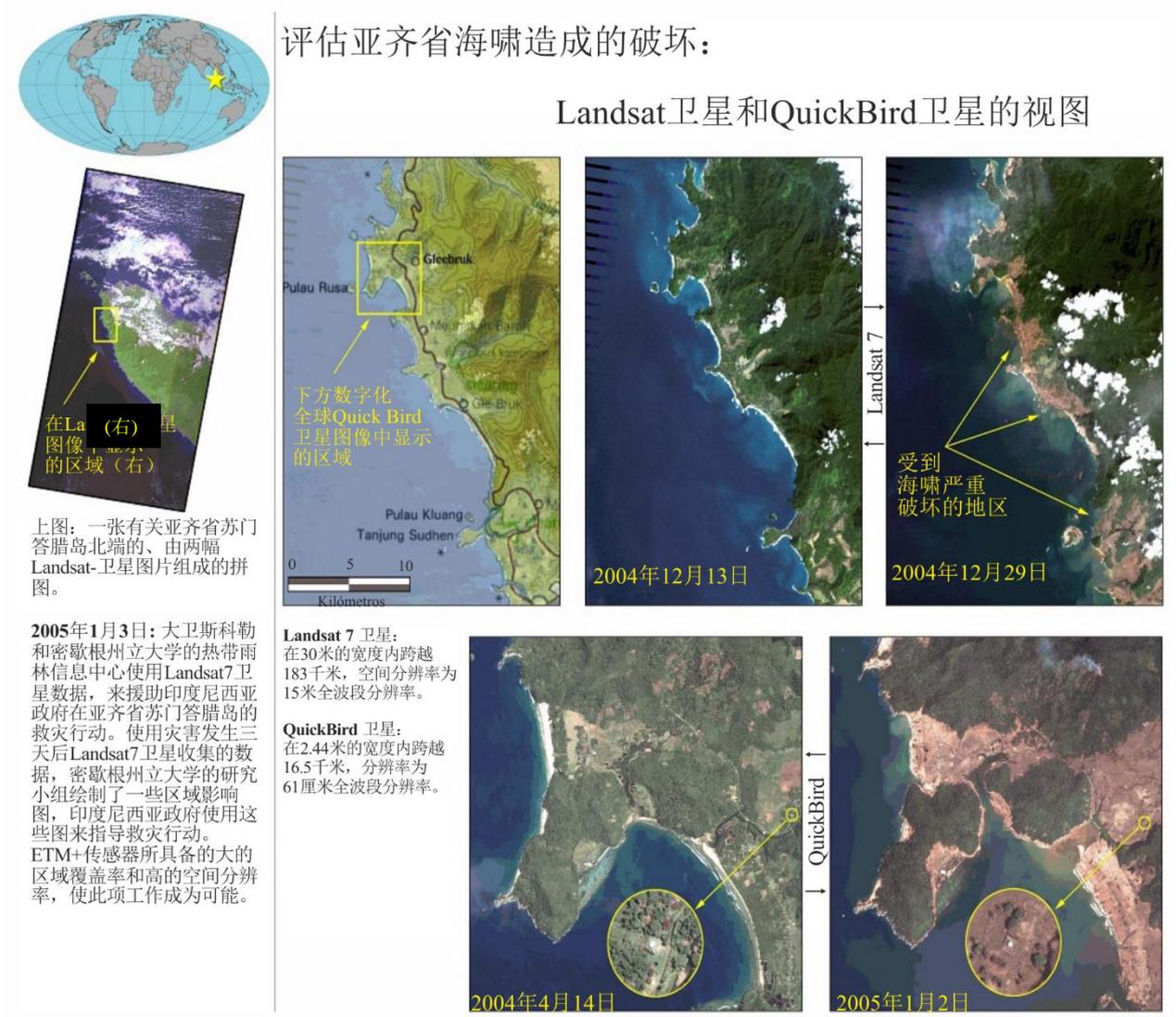
严重的天气事件，如产生风暴大潮的热带气旋和台风，可以利用气象卫星来跟踪。此类跟踪结果可用于潜在危险的易受灾地区的告警。

使用来自星载仪器的中分辨率或高分辨率的可视/红外图像，可以确定灾害的程度。不受雨、云层覆盖和黄昏影响的较低分辨率的 SAR 图像，也可用于显示受灾地区。SAR 穿透云层及其在各种气候条件下都可提供图像的能力，对多云地区（如中部非洲、亚马逊流域等）以及岛屿地区（如印度尼西亚等）而言，尤其有用。

例如，2004 年 12 月 26 日，在苏门答腊海岸发生 9.0 级地震后，一场巨大的海啸和震动袭击了印度尼西亚和泰国南部，致使印度尼西亚 104 000 多人丧生、泰国 5 000 多人丧生。图 1 所示是 2004 年 12 月 26 日海啸之前和之后、由低地球轨道卫星拍摄到的、印度尼西亚亚齐省的中分辨率和高分辨率光学图像。类似这样的图像，为主管部门提供了灾害的综合评估。

图1

印度尼西亚亚齐省的海啸破坏情况



RS.1859-01

这两组图像表明了拥有两种不同仪器的价值。Landsat 卫星图像覆盖的区域范围更大，有助于辨别受灾地区；QuickBird 卫星图像则更加详尽地显示了灾害情况，但区域面积要小得多。

由于从地表水到侧扫合成孔径雷达的反向反射实际上为零，因此合成孔径雷达图像非常准确地指示出了洪水地区。图2给出了一个例子，显示了2011年3月11日海啸后的洪水，这次海啸在海底地震后袭击了日本。

图2

2011年3月11日海啸后日本仙台市周边的洪灾区

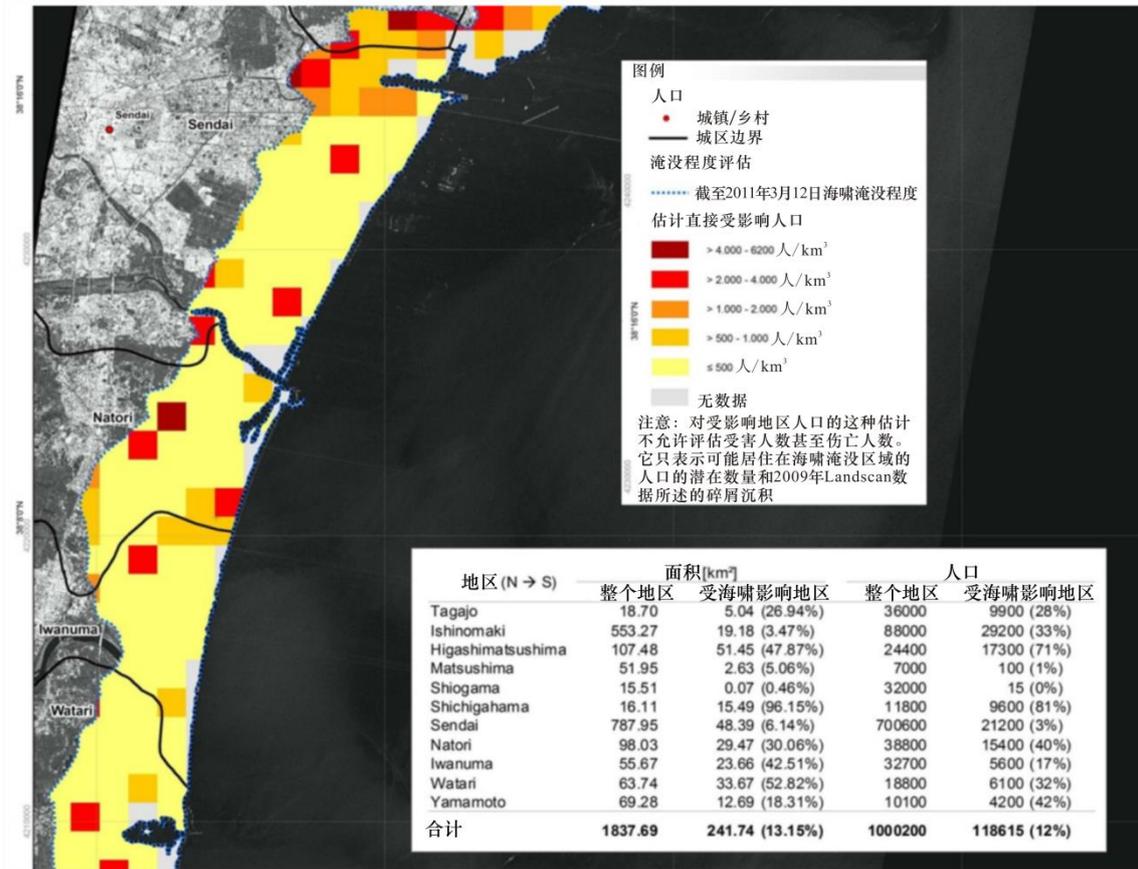


RS.1859-02

被淹没的地区用蓝色清楚地予以标明。通过这些信息与人口数据相结合，可以找到受灾影响最严重的人口居住区，如图3所示。

图3

通过对洪水和人口数据的分析，确定处于危险中的人口的严重性



RS.1859-03

此类分析可以指导救援工作，并最大限度地提高救援效果。

3 干旱

干旱的形成和发展可以通过记录受灾地区的土壤水分、降雨量以及植被的枯萎程度，从空中进行观测。对区域性干旱条件的长期预测，可以通过跟踪太平洋的温度和海平面来进行，它们是形成厄尔尼诺现象或者与之完全相反的拉尼娜现象的一个信号。

在出现厄尔尼诺现象期间，赤道以东的太平洋较暖和，由于热膨胀，洋面抬高。在这些条件作用下，常常会在澳大利亚和印度尼西亚出现干旱，季风较弱。相反地，在出现拉尼娜现象期间，赤道以东的太平洋较凉爽，由于热收缩，洋面降低。用于预报厄尔尼诺/拉尼娜现象的指标包括纬向风、海面温度和温度异常、海平面异常和外向长波辐射，所有这些都由卫星进行监测。利用遥感卫星监测太平洋的情况，可提前了解厄尔尼诺/拉尼娜现象的形成情况（参见图4）。

图4
太平洋上的厄尔尼诺现象和拉尼娜现象

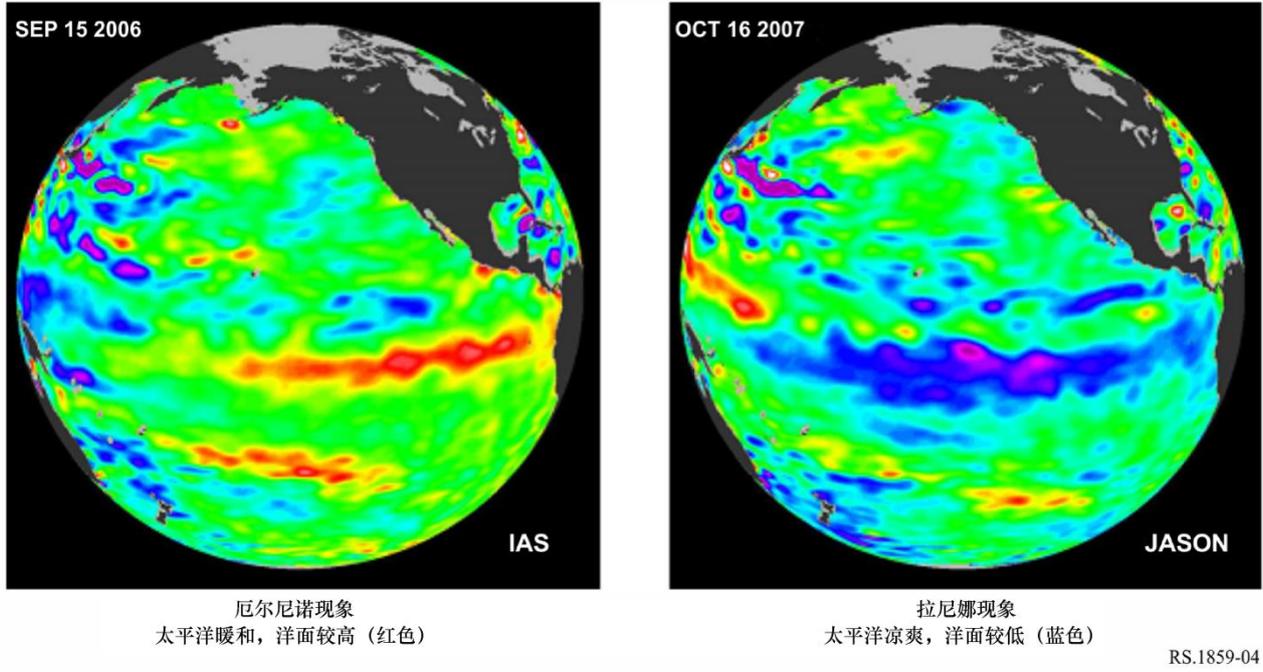
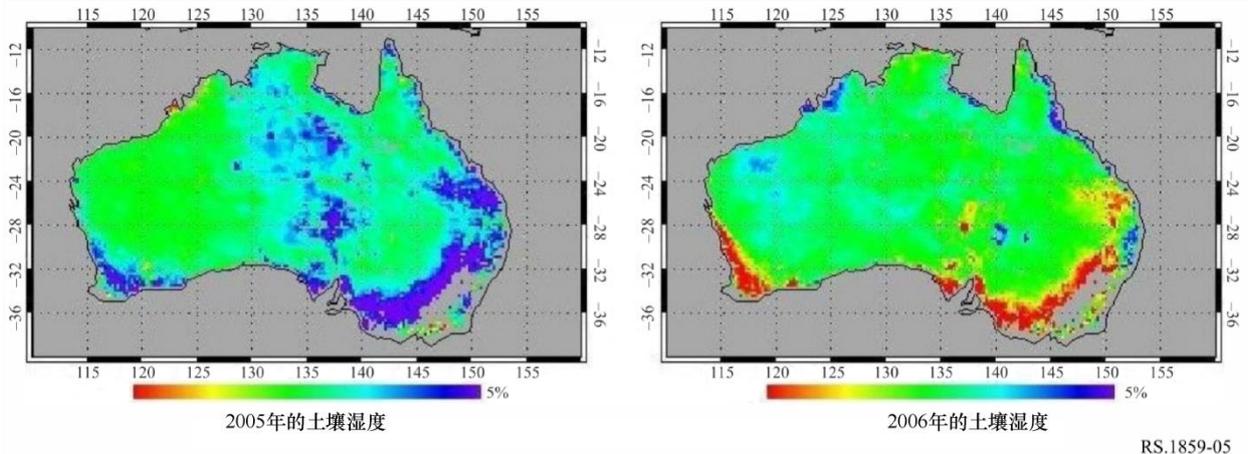


图 5 显示了 2005 年 10 月与 2006 年 10 月期间，一年来澳大利亚土壤水分分布的变化情况。这一数据通过安装在 Aqua 上的 AMSR-E 频段获得。红色表示土壤水分低，而蓝色表示土壤水分较高。显示的百分比（土壤水分的单位）意味着两年（2005-2006 年）中平均土壤水分的差异。2006 年，澳大利亚东南部地区（粮食主产区）出现了干旱。这一条件与图 4 中所示的、有关厄尔尼诺现象的观测结果是一致的。

图5
2005年10月和2006年10月AMSR-E探测到的澳大利亚干旱状况



来源：AQUA 上的 AMSR-E。

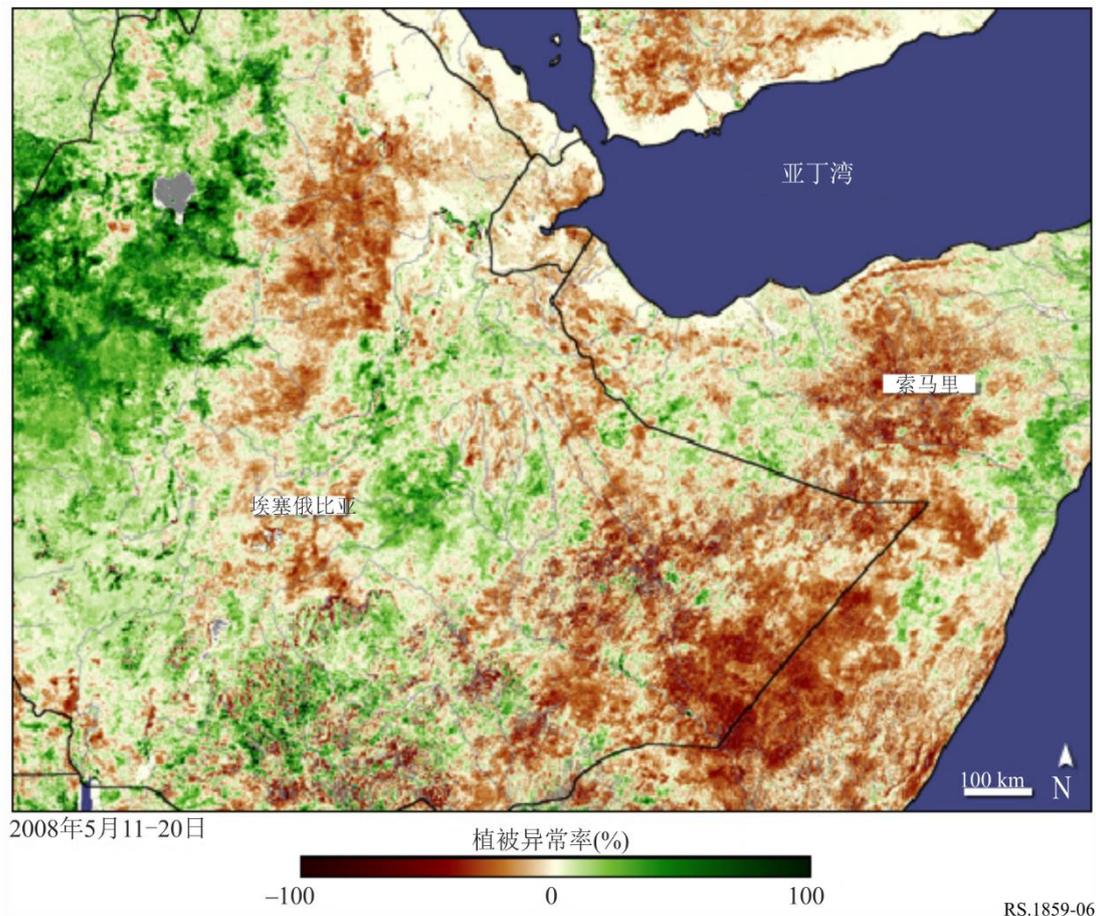
联合国儿童基金会（UNICEF）称，到 2008 年 5 月底，埃塞俄比亚东部地区的数百万民众面临饥饿，因为这一地区的农作物欠收、食品价格飞涨。连续两个季节少雨，使得埃塞俄比亚东部地区出现干旱，其对植被的影响如图 6 所示。植被异常的图像是利用 2008 年 5 月 11-20 日由 SPOT 植被卫星收集到的数据制作而成的，它与平均气候条件下相对健康的植被形成对比。在该图中，对植被较小、稀疏或者生长相比平均条件下较慢的区域，用棕色来表示，而优于平均条件下的植被，则用绿色来表示。

基于卫星的遥感器已被证明有助于提供关于干旱条件的总体评估，有时还能在附近识别出以前未被识别出的、比一般作物好得多的区域。由于运输时间和成本被最小化（即使用附近的卡车而不是远处的飞机），这种信息有助于实现快速而廉价的救援。埃塞俄比亚的情况展示了一张对比鲜明的图。尽管该国东部地区遭受严重的干旱，但西部地区的农作物却获得了充沛的降雨，因而生长繁茂。饥荒预警系统网络¹称，干旱限制了粮食和咖啡等经济作物的产量。UNICEF 估计，随着农作物继续欠收，6、7、8 三个月，340 万民众将需要食品援助。

图6

2008年埃塞俄比亚干旱期间的植被状况

棕色表示遭受旱灾的植被；绿色表示健康的植被。



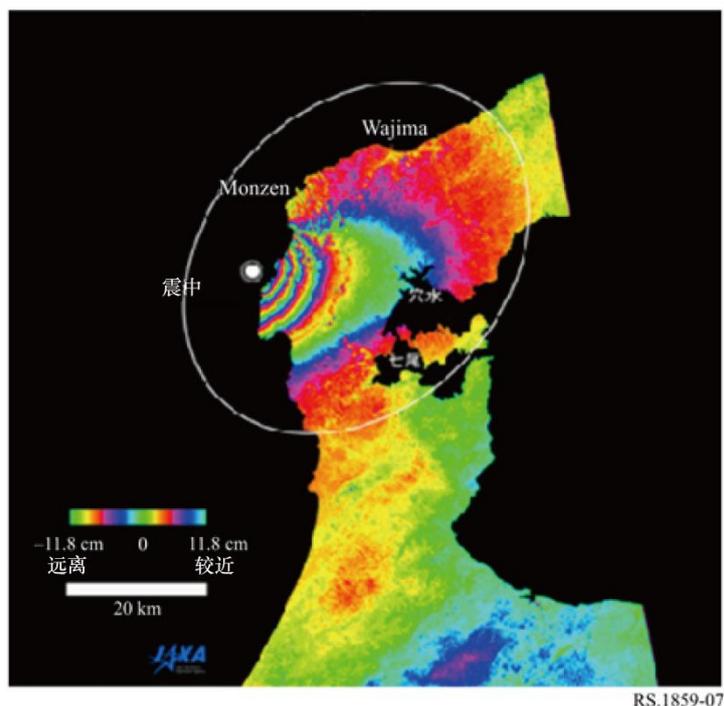
¹ <http://www.fews.net/>

4 地震

大的地震发生后，如果能够以最快的速度提供准确的灾害评估，那么也就能够更为迅速地调动适当的资源展开救援。主管部门和非政府组织（NGO）采用的灾害评估决策支持系统利用人口密度、建筑物结构类型、当地地形（地势和土壤类型）以及地震的位置和震级来估算损害。测震仪、干涉式 SAR 测量（InSAR）以及使用全球导航卫星系统（GNSS）的现场测量，提供了一种用于确定地震位置和开裂程度的方法，可用于地震灾害的评估。InSAR 观测能远比远程测震仪更精确地确定地震震中的位置，从而能够进行更精确的损害评估，进而确定救援工作。最近发射的、装有 SAR 的卫星群（COSMO-SkyMed (ASI)、TDX 和 TSX、Sentinel-1 系列和即将到来的 RADARSAT (CSA)）使这些评估比过去更容易实现。

图7

2007年3月25日日本能登半岛地震之前和之后
陆地表面变化情况的PALSAR测量结果



通常情况下，与地震相关的大地移动十分微妙，在卫星可见光或红外图像中无法显示出来。不过，在直接评估地震导致的损害和指导救援方面，可见光图像极为有用。

5 极端天气

如今，在用的气象卫星或气候侦测卫星 GOES、Meteosat、MetOp、POES 等，几乎覆盖整个地球，它们在地球同步轨道或低地球极地轨道上运行。地球同步卫星以与地球相同的速率绕轨道运行，看起来像是太空中距地球约 35 800 千米高度上的一个静止点。此类卫星提供优质的时间分辨率，其图像每隔 15-30 分钟刷新一次（见图 9），并支持对云层结构、范围和极端天气整体运动情况的监测。使用这些地球同步气象卫星的数据，人们可以发现哪些地区已经发生灾害，并预测风暴将移向何处。大风暴穿越海洋时可以被追踪，危险的登陆区域可以被识别，使得居民可以提前几天得到警告。图 8A 至 8C 显示了“卡特里娜”飓风的每日

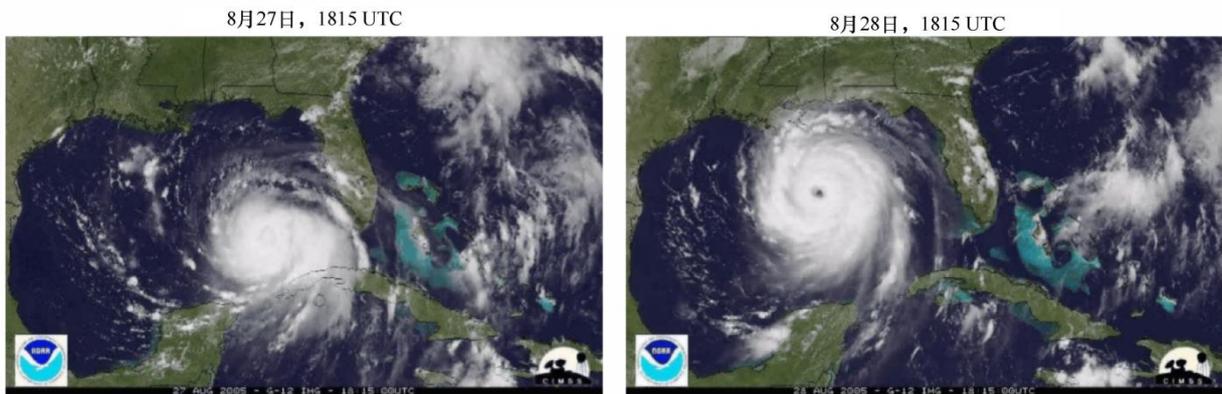
位置，包括 2005 年 8 月 29 日袭击新奥尔良市的那一天。8 月 24 日在巴哈马群岛上空观察到一场热带风暴，8 月 25 日至 26 日穿越佛罗里达半岛，8 月 26 日和 27 日在墨西哥湾温暖水域增强了强度。

图8

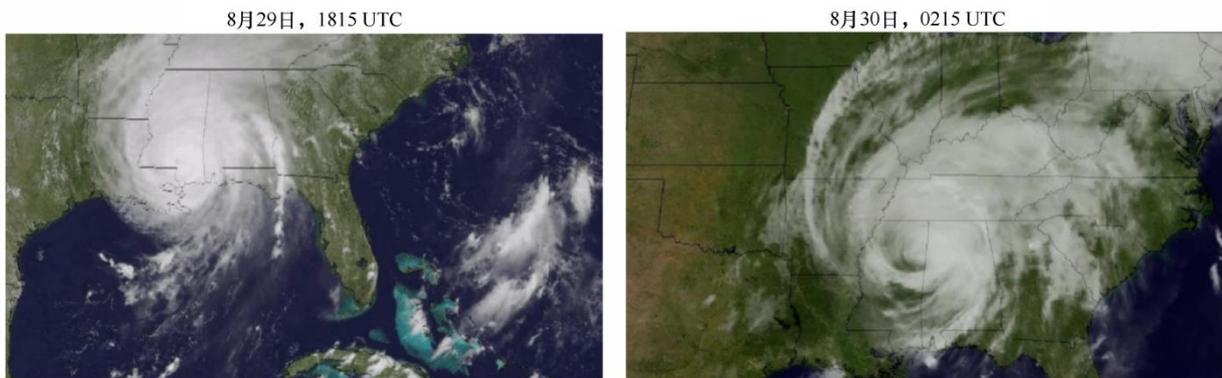
A - “卡特里娜” 飓风离开巴哈马群岛，穿过佛罗里达



A - “卡特里娜” 飓风离开巴哈马群岛，穿过佛罗里达



B - “卡特里娜” 飓风穿过墨西哥湾



C - “卡特里娜” 飓风向内陆移动并消散

RS.1859-08

飓风的风眼在8月28日完全展开。

“卡特里娜”飓风于2005年8月29日袭击了新奥尔良，造成了相当大的破坏。

“卡特里娜”飓风在穿过陆地后消散，降级为热带风暴，然后于8月30日降级为热带低气压。

极地轨道卫星在比地球同步卫星低得多的高度上运行，通常一天两次飞越同一个地区，一次在白天，一次在晚上。极地轨道卫星提供更加详细但不太及时的观测结果。许多相关数据在收集和处理后的几天内就可以通过互联网获得。当需要当地天气信息时，可以购买、安装并使用相对便宜的地面站来收集实时数据，从在头顶经过的极地轨道卫星上不断地广播这些数据。

图9显示了地球同步轨道卫星（GOES）从地球同步高度观测到的“迪安”飓风图像。

使用测量海面风速和风向的雷达散射仪技术，可以更为详尽地观测天气条件。图10显示了 QuikScat 卫星对“迪安”飓风的观测结果（2007年），揭示了海平面的风速与方向。QuikScat 卫星是极地轨道上的一个低地球轨道空间飞行器，无法提供地球同步高度上 GOES 观测所能提供的连续覆盖。遗憾的是，散射仪不能在地球同步轨道上运行。尽管如此，像 QuikScat 及其替代物、国际空间站上的 RapidScat 这样的雷达散射仪，可以为气象预报员提供非常有用的额外信息。

把来自这些卫星以及其它卫星的数据结合起来，将有助于更好地理解每种飓风的特性，并帮助预测即将来临的飓风将出现在哪里、将在何时出现以及强度如何等。

图9

GOES从地球同步高度观测到的“迪安”飓风

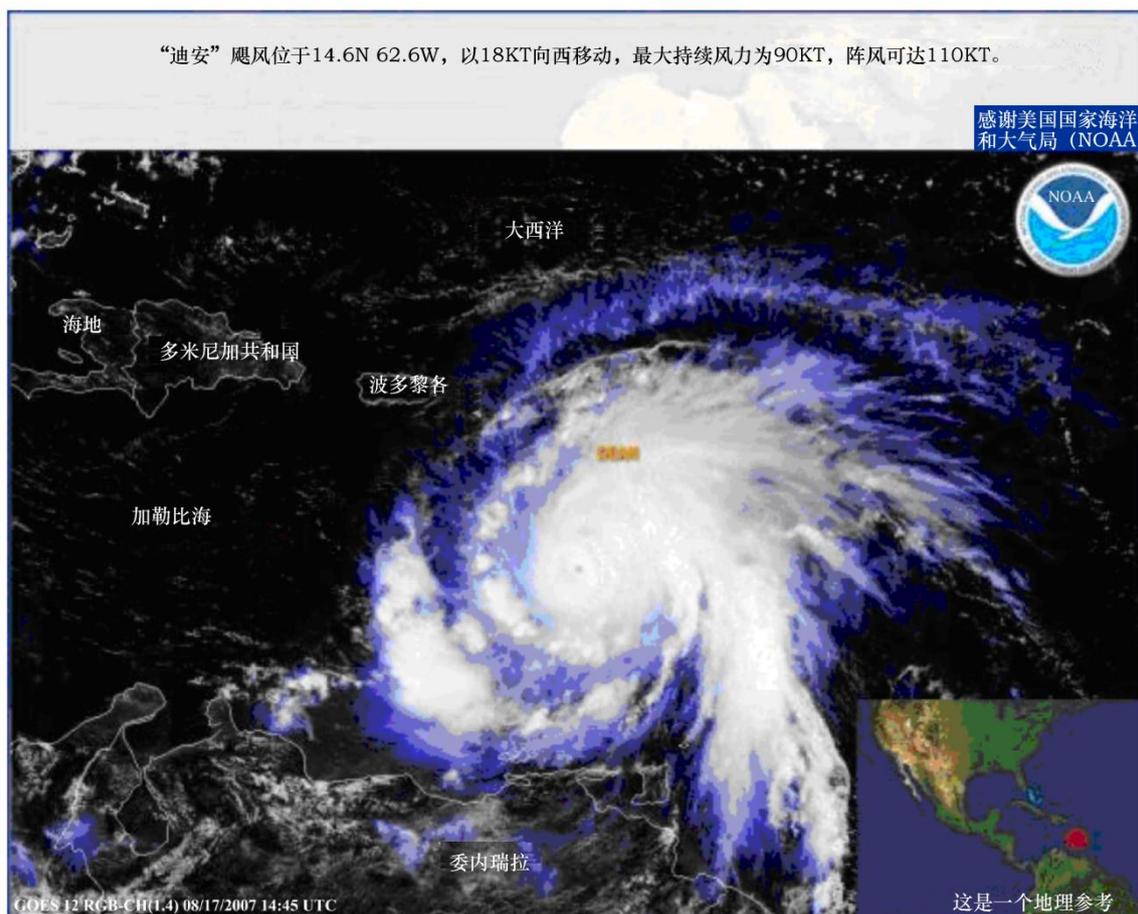
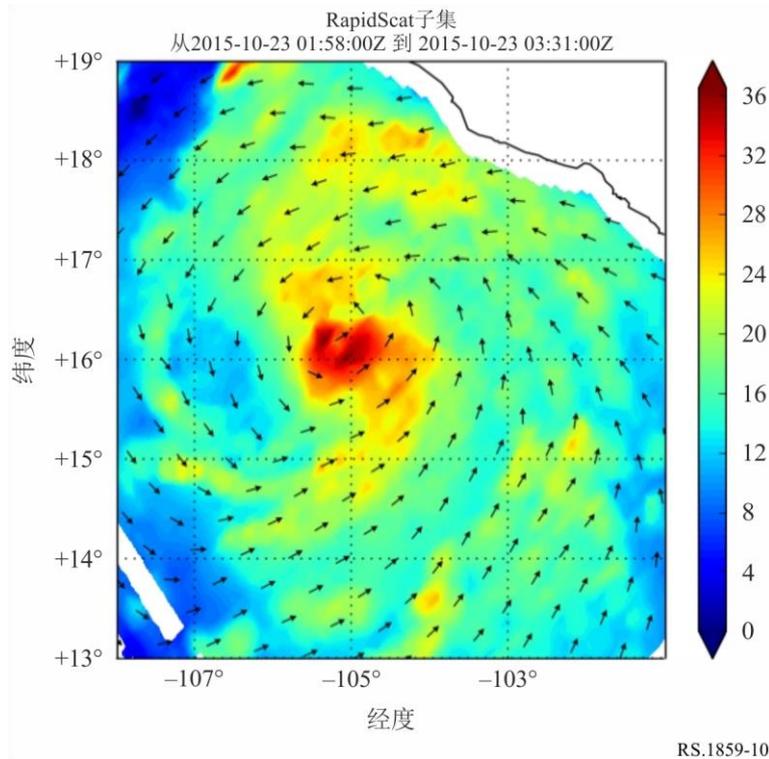


图10

RapidScat对“帕特里夏”飓风的观测结果，2015年10月23日

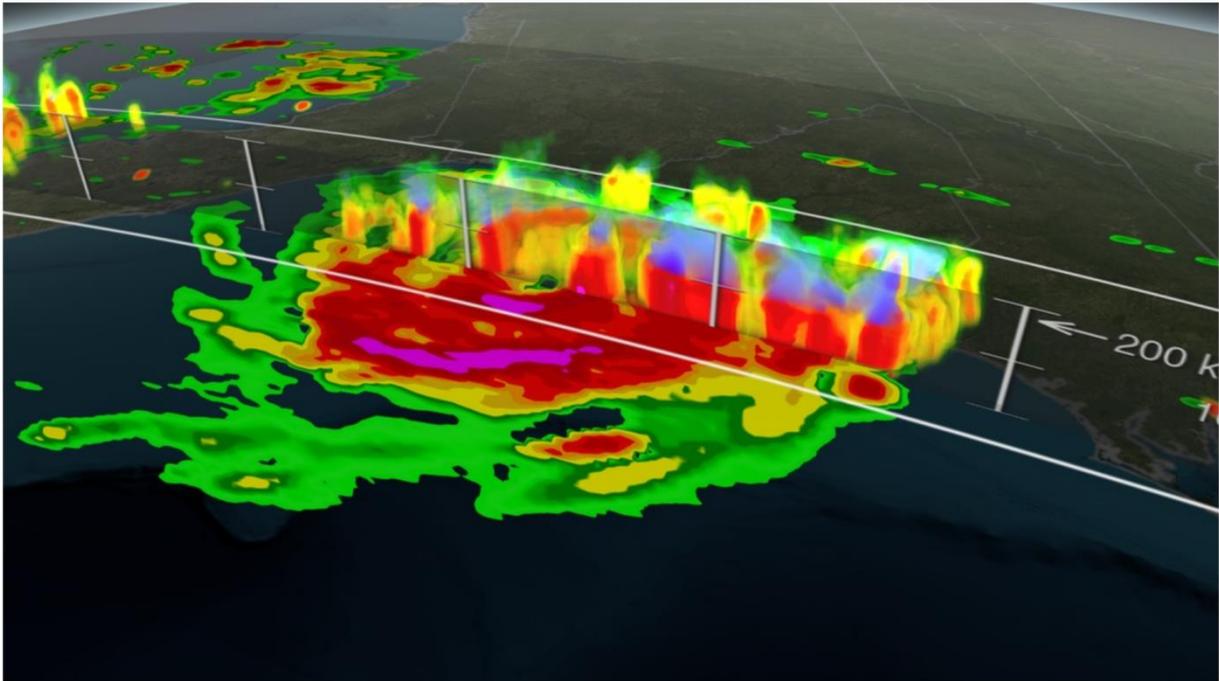


全球降水监测系统（GPM）中的降水雷达提供来自强风暴的降雨的三维图像。该系统包括无源仪器，这些仪器提供雷达扫描范围以外的风暴补充信息。

图11显示了由全球降水监测系统（GPM）中的GPM微波成像仪（条带680千米）和双降水雷达（Ka波段条带宽度120千米，Ku波段条带宽度245千米）传感器观察到的“阿瑟”飓风。这是2014年7月3日发生在南卡罗来纳州海岸的“阿瑟”飓风。从浅绿色到红色的颜色表示液态降水从低到高的区域。高层大气中的紫色区域显示的是冰冻态降水的区域。

图11

2014年7月3日GPM对“阿瑟”飓风的观测结果



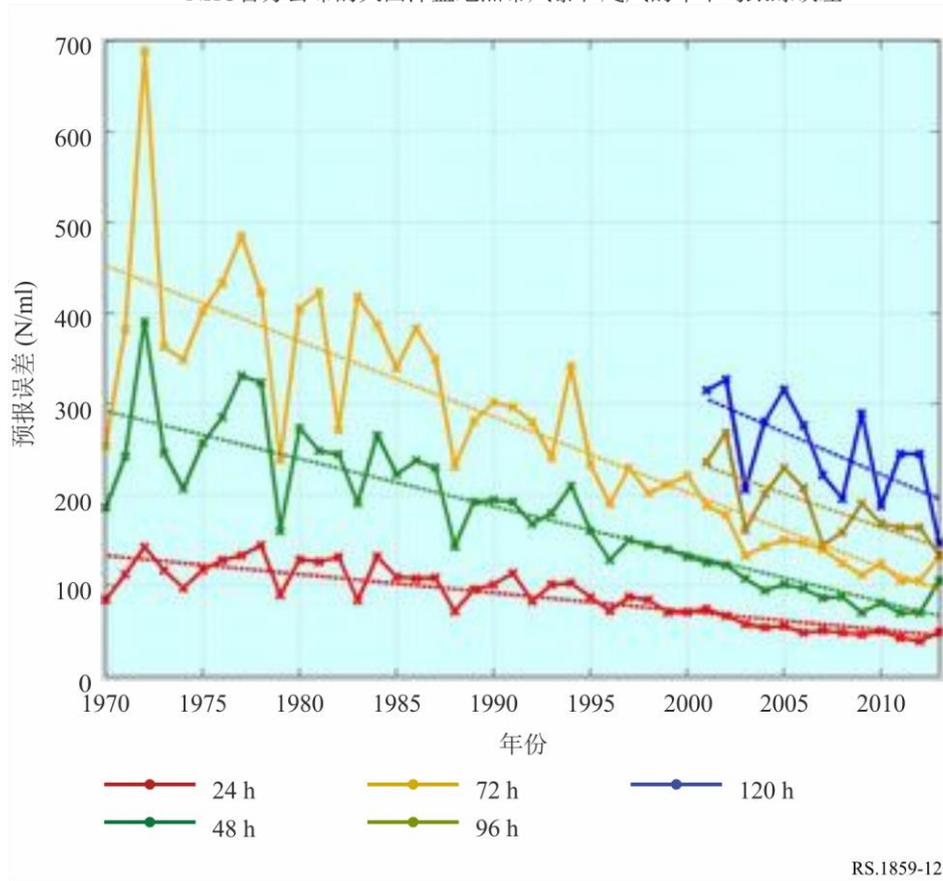
RS.1859-11

把来自这些卫星以及其它卫星的数据结合起来，将有助于更好地理解每种飓风的特性，并帮助预测即将来临的飓风将出现在哪里、将在何时出现以及强度如何等。预测大西洋飓风路径的误差在过去的 35 年中有了显著改善（见图 12），结果是拯救了生命、防止了财产损失。

图12

大西洋盆地预报的跟踪误差趋势

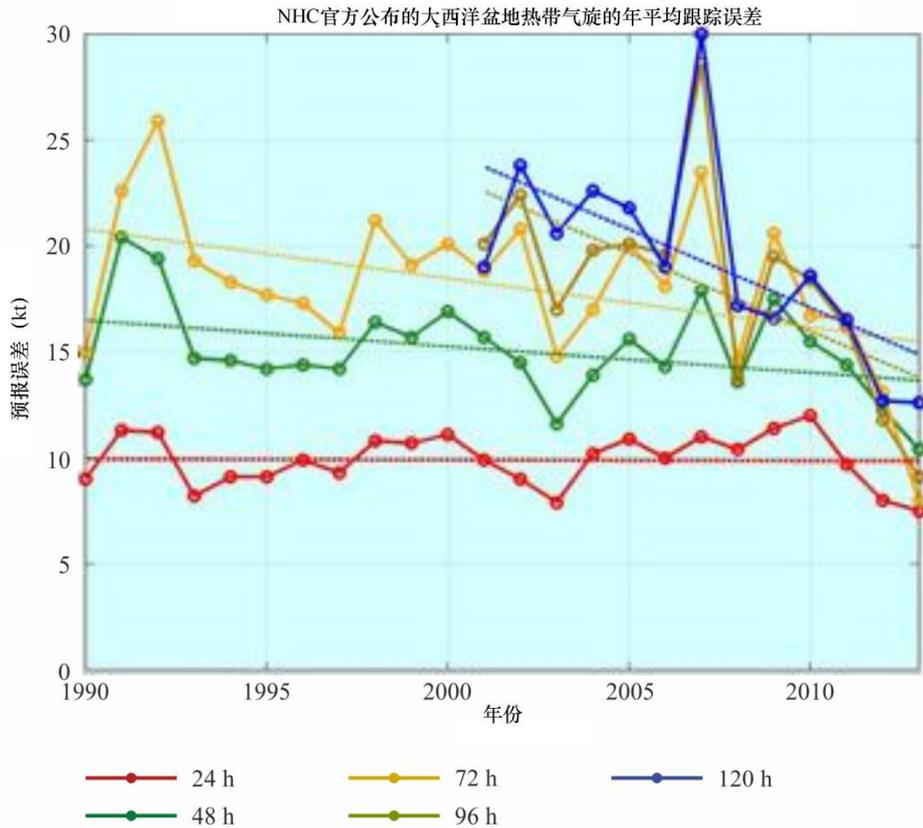
NHC官方公布的大西洋盆地热带风暴和飓风的年平均跟踪误差



遗憾的是，预测这种风暴强度的能力（由风速决定）并没有提高多少（见图13）。

图13

大西洋盆地预报的强度误差趋势



RS.1859-13

现代化的天气预报中心提供了比过去的预报质量更高的预报，并成为了另一个用处极大的数据的来源。主要天气预报中心的部分清单包括：

- 1) 欧洲中期天气预报中心 (<http://www.ecmwf.int/>)
- 2) 意大利气象服务中心 (<http://www.meteoam.it/>)
- 3) 国家环境预报中心 (<http://www.ncep.noaa.gov/>)

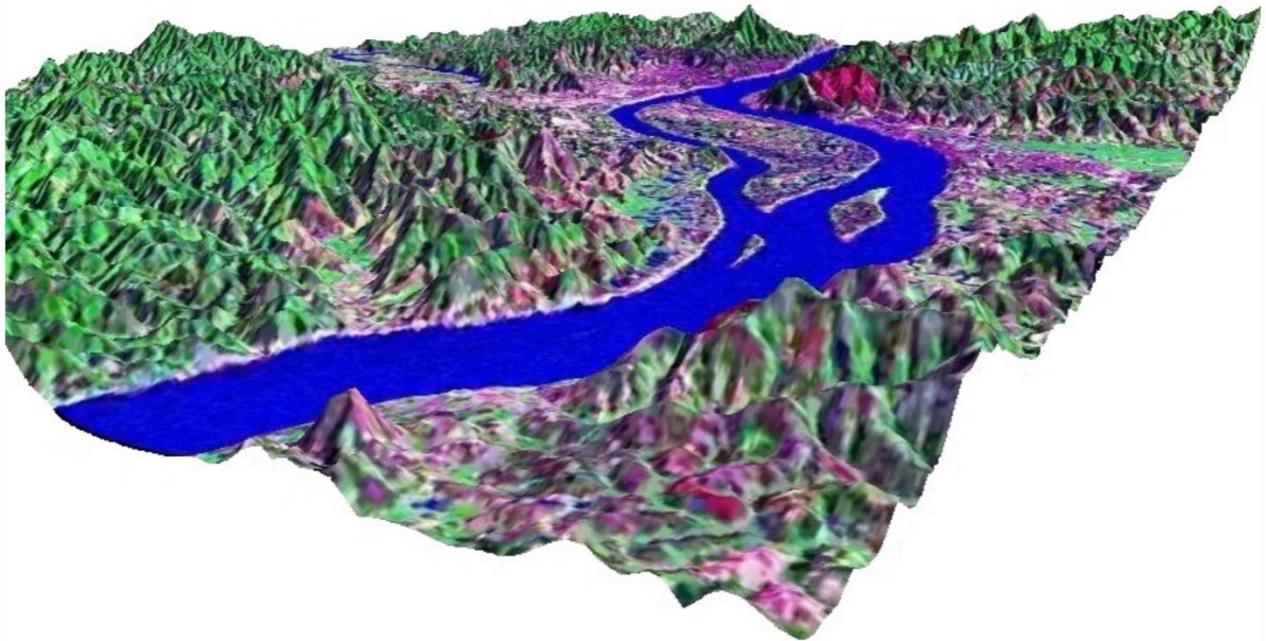
世界气象组织（WMO，网址为：<http://www.wmo.int/>）在全球范围内协调此类气象数据的分发、编排和组织。

6 洪水

早在洪水出现之前，就可以在源自卫星的 DEM 的帮助下辨别易受灾地区（危险地区）。这些 DEM 能够勾勒出偏远、低洼地区的拓扑结构，以便绘制地图。通过辨别人口密集地区，有关土地使用情况的地图将有助于量化风险。这样，就可以将精力集中于辨别洪水出现时需要帮助的基础设施（道路、桥梁、通信等）（见图 14），并规划出适当的疏散策略。

图14

一张关于2000年前后中国广西省梧州市的Landsat卫星图像，覆盖在SRTM² DEM之上
(人口稠密地区显示为淡红色—紫色)



RS.1859-14

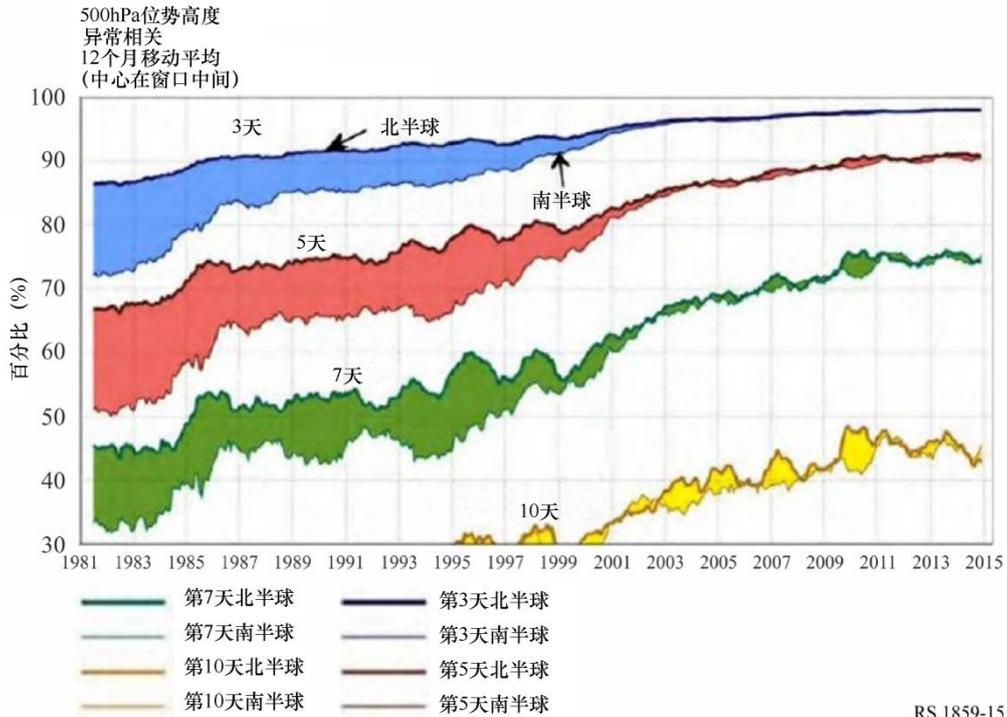
天气监测和天气预报可以对可能发生的或即将来临的洪水提供预警。能够提供支持的数据产品包括地区降雨量、与降雪相当的水分、土壤水分等，把所有这些结合起来，将指明大地究竟是能够吸收更多雨水，还是已经处于饱和状态。早期可信警报的发布可以改善人们离开洪泛平原的情况。幸运的是，近几十年来，中期天气预报（3至10天）已有了显著改善。

这种天气预报的大部分改进来自更好的天气预报模型、更快的运行模型所需的计算机，以及可被软件吸收利用的更好的和更完整的数据。星载遥感器提供了大气温度和湿度分布图，这是一项重大进步。尽管过去已经从世界范围内每天两次乘气球飞行的无线电探空仪数据中已经收集到了这种剖面图，但南半球和海洋的覆盖面与北半球人口更稠密地区的覆盖面不匹配。下面的图 15 显示了通过增加星载遥感器后实现的预测方面的这种改进。

² 航天飞机雷达地形测绘任务（SRTM），<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>。

图15

欧洲中期天气预报中心的年平均预报技术

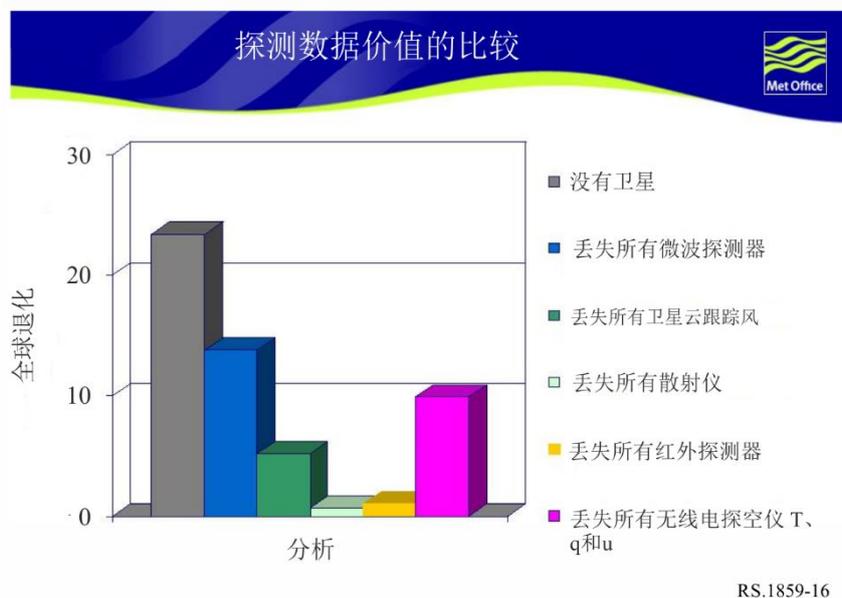


预报技能和效用的提高，主要归功于在《无线电规则》第5.340款所保护的频段内工作的无源微波仪器提供的大气温度和湿度分布数据。

当比较各种数据输入对天气预报准确性的相对影响时，这些剖面图是从卫星和气球来源处收集的最重要的数据（见图16）。

图16

探测数据价值的比较



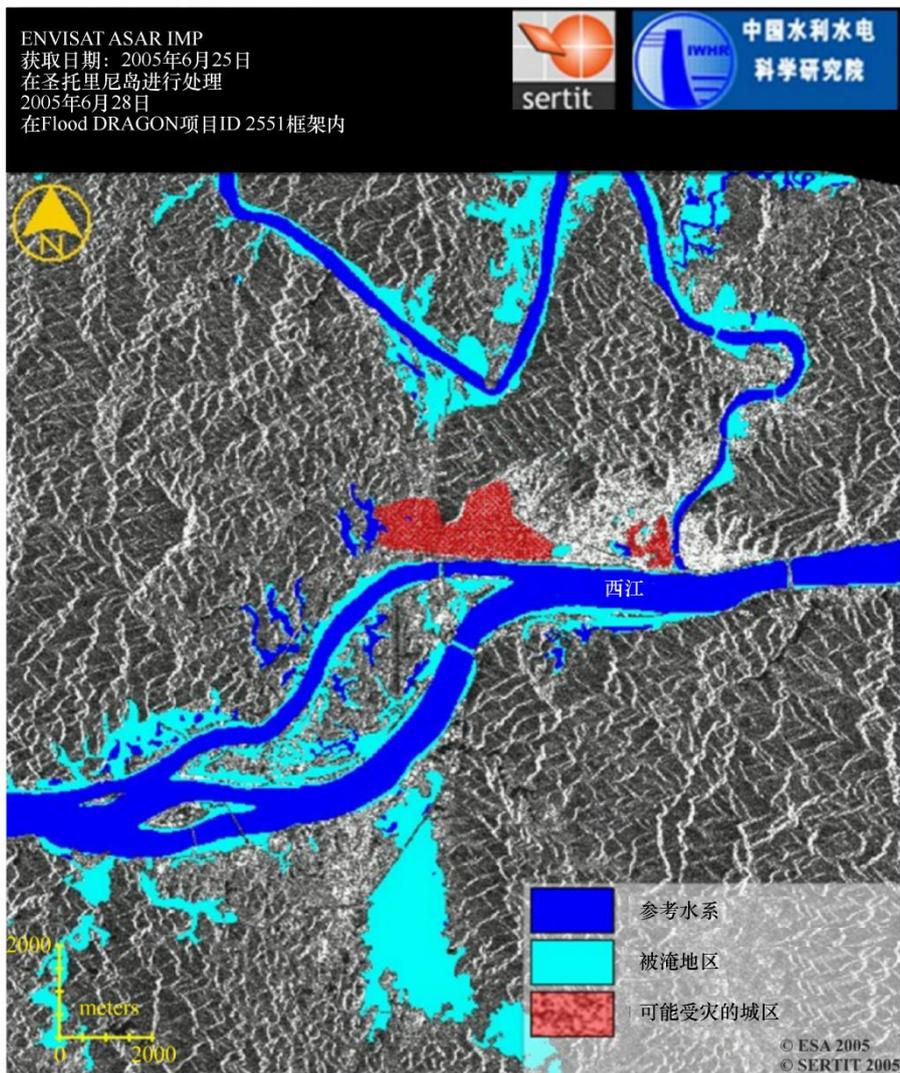
虽然红外测探仪和无线电探空仪提供更精确的测量结果，但卫星微波测探仪能够不受云层覆盖（云层覆盖通常遮蔽60%的地球，妨碍红外观测）的影响而运行，并能每天两次实现全球覆盖（不同于无线电探空仪提供的不均匀覆盖），这给预报界带来了更大的价值。

当一个人买一条面包时，他很少看到生产面包所需的麦田或一根麦秆。同样，当一个人阅读或听到天气预报时，他看不到进入预报的数据。没有大气温度和湿度的卫星资料，就不会有现代天气预报。虽然对普通公众来说并不明显，但用于产生天气预报数据的无源频段是至关重要的，必须加以保护。

在发生洪灾期间，来自多光谱与/或全色谱图像器以及合成孔径雷达的图像，将有助于指导救援人员抵达特定的受灾地区，并有助于评估总的受灾情况。在洪水到来之前，可以组合 SAR 图像生成高程图，这使得能够更容易地辨别易受洪水影响的区域。在产生洪水的风暴或雨季期间，SAR 能够穿透云层并全天候和昼夜工作的能力特别有用。由于 SAR 是侧视雷达，水的轴外反向散射很小，因此，相比光学图像，SAR 图像上的淹水区域更容易识别。图 17 提供了一个有关 SAR 能够确定洪灾受灾区域的例子。

图17

影响到广西梧州市的西江洪水
来自LANDSAT卫星的参考数据；来自ENVISAT卫星上的ASAR的洪水数据



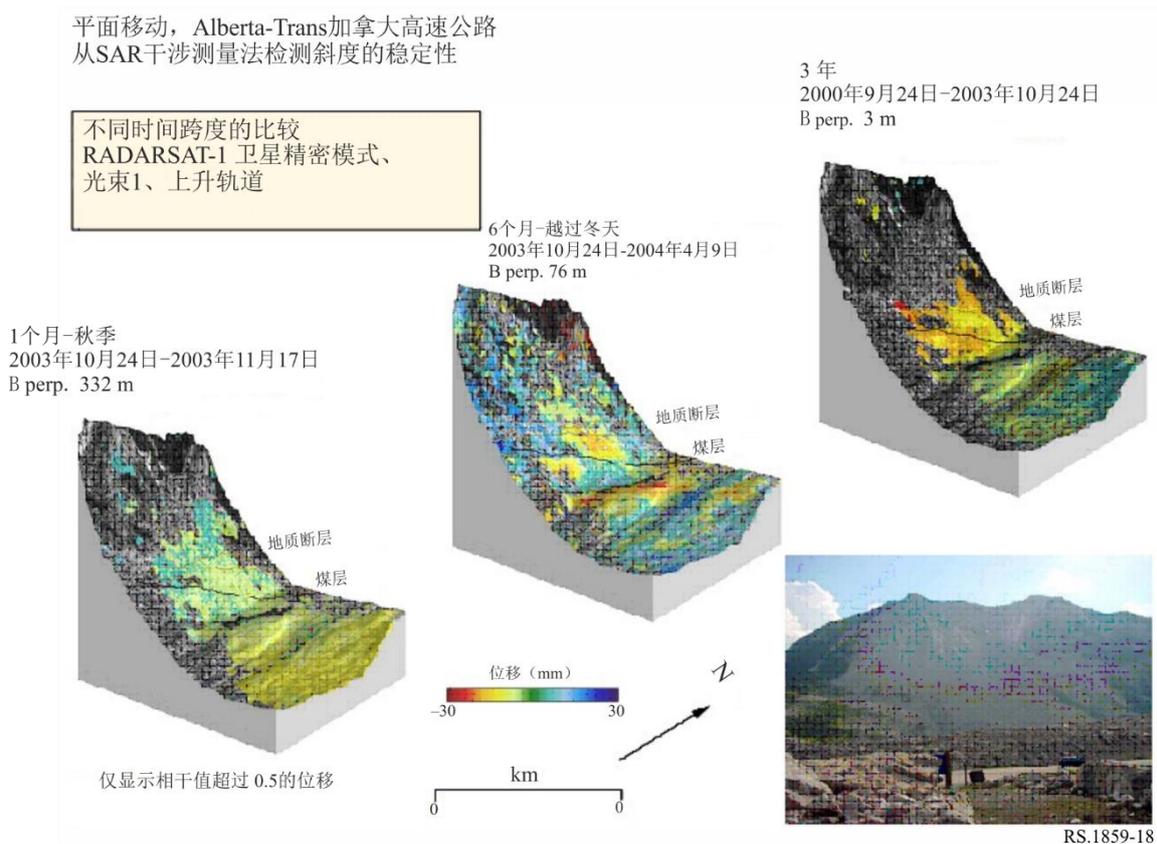
7 山体滑坡/地面沉陷/雪崩

易受山体滑坡影响的地区，可以通过使用来自 SAR 测量结果的数字高程地图（DEM）来辨别。在这种情况下，使用斜视图而不是正视图。当怀疑存在细微的地面运动时，InSAR 和现场的 GNSS 设备可以提供准确的测量结果，指明相对于先前测量，哪里出现了移动以及移动了多少。

经历了北美洲历史上最大的山体滑坡之后，加拿大的 Turtle 山依然存在危险。其地面移动如图 18 所示，加拿大的 RADARSAT-1 卫星正使用 InSAR 技术对其进行监测。

图18

2000-2004年间RADARSAT InSAR跟踪到的地面位移



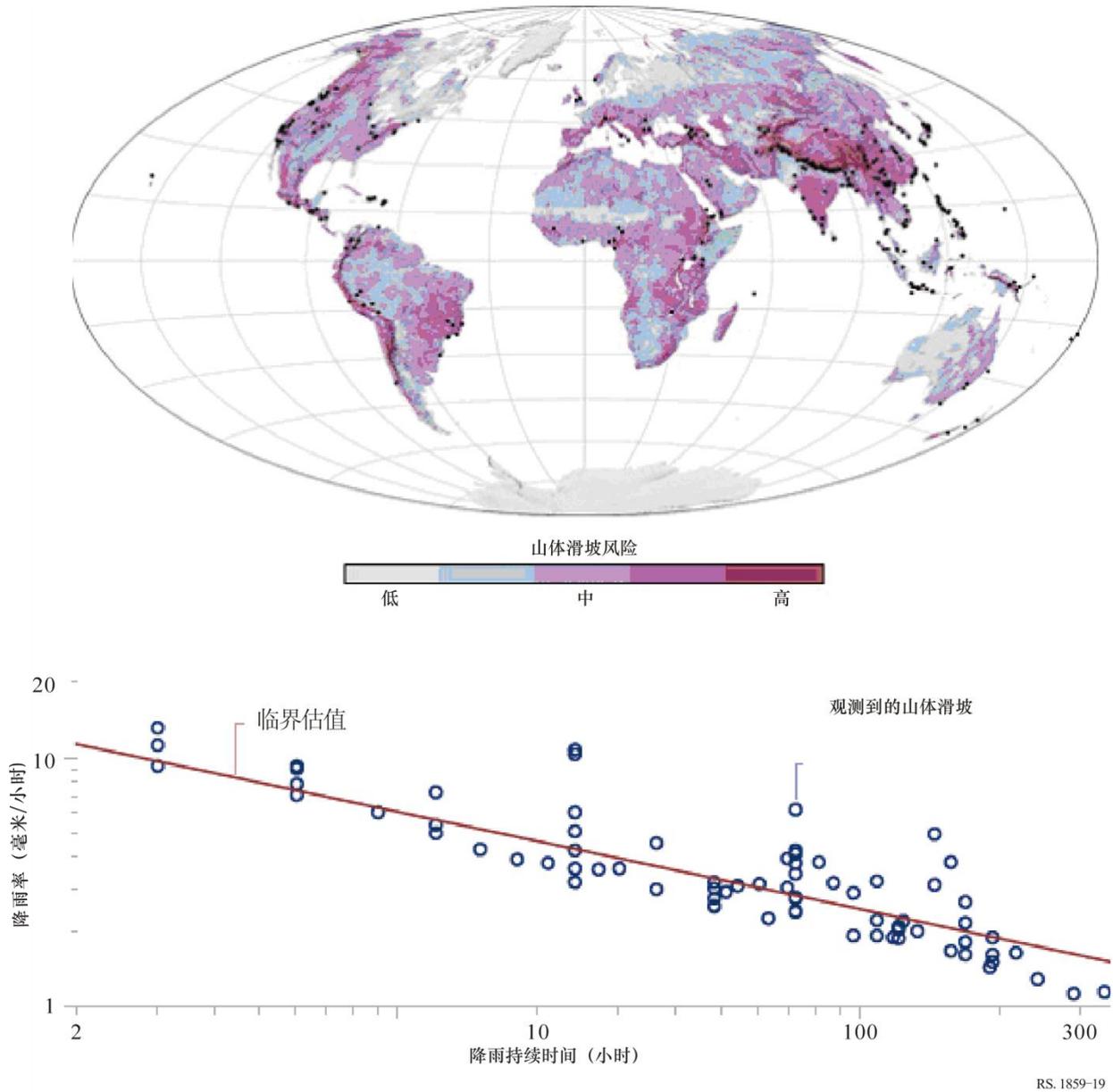
土地覆盖状况或者土地使用情况的改变，可增大山体滑坡的风险。例如，滥砍滥伐的地区，就比那些拥有良好的、能够保持水土稳定的生态系统的地区，更易遭受山体滑坡灾害。通过辨别易受灾害的人口稠密地区，土地使用情况地图将有助于量化风险。对土地覆盖状况/土地使用情况，可以从空中进行监测，探测到的变化情况将有助于监控其风险。

在特大暴雨期间，当陡峭山坡的土壤变得水分饱和之时，就很有可能产生山体滑坡。因此，在预测特大暴雨的同时，了解暴雨来临之前的土壤水分，可以对可能发生的山体滑坡发出预警。此类信息可从互联网上的全球洪水监测系统获得（网址为：<http://flood.umd.edu>）。

卫星数据可用来提供指明山体滑坡风险的地图。图 19 上显示的数据源自 SRTM 的拓扑结构、MODIS 的土地覆盖状况/土地使用情况以及 TRMM 的降雨量。

图19

来自卫星的山体滑坡风险地图。黑点表示2003-2006年间报告的发生山体滑坡的地区



山体滑坡发生后，通过比较山体滑坡发生之前和之后的裸地 SAR 图像，InSAR 图像可准确绘制出有关地面移动（下沉）情况的地图。其它图像可以显示出受到山体滑坡影响之地区的植被状况及其它地表特征。

作为山体滑坡可能造成的破坏的一个例子是，2005年10月8日，巴基斯坦遭受7.6级地震，导致穆扎法拉巴德市周边地区遭受到了最严重的破坏，该市位于震中西南约10千米处。地震夷平了当地的建筑物，并在整个克什米尔地区引发了山体滑坡。Ikonos 卫星捕捉到了2005年10月9日发生在穆扎法拉巴德北部郊区 Makhri 村庄的山体滑坡可见光谱图像（图20右侧）。山体西侧面的崩塌使白灰色的岩石瀑布般地涌入尼隆河中。

图20

显示2005年10月8日巴基斯坦遭受地震后Neelum河
山体滑坡灾害状况的卫星图像



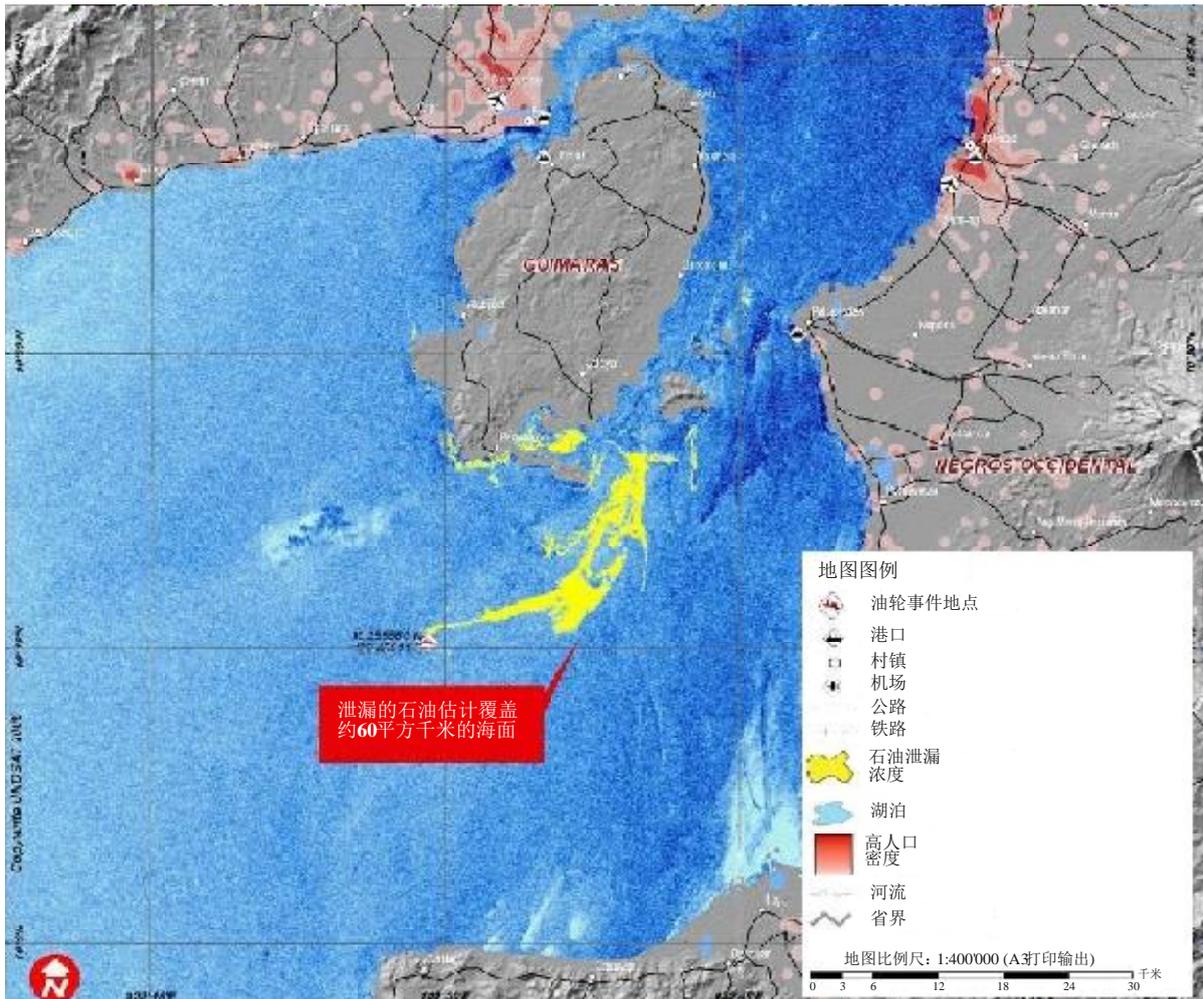
8 海洋污染

对海洋石油泄漏，可以利用 SAR 图像来探测。在实际操作中，对海洋石油泄漏的探测可看作是初步观测，而且要立即通过海上的现场测量手段加以确认。这种技术能够以较低的成本实现对大面积海域的监测。对石油泄漏进行现场确认后，对受灾地区就可以通过卫星来监测和跟踪。

2006年8月11日，菲律宾吉马拉斯岛海岸线附近，一艘名为“太阳号”的油轮沉没。到2006年8月24日止，约有5万加仑的石油泄漏到海中，污染了超过300千米的海岸线，并威胁到菲律宾的渔业生产及其它岛屿。利用 ENVISAT 卫星上的 SAR 产生了如图 21 所示的图像。它显示了2006年8月24日石油泄漏的准确地点和范围。

图21

菲律宾吉马拉斯岛附近的石油泄漏：合成孔径雷达图像

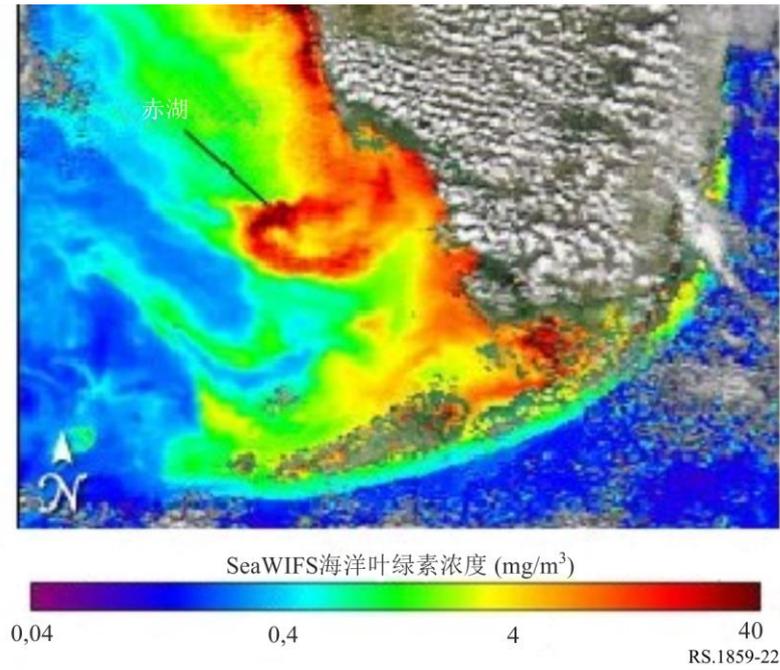


RS.1859-21

对“赤潮”形式的自然海洋污染（“赤潮”是一种藻花的通用名称，它与自然毒素产生量、溶解氧消耗量或其它有害条件有关），可以通过观察海洋的颜色来探测和监测。辨别和隔离受赤潮影响的区域，可保护人类健康。其它的污染形式（如水污染物、海岸沉积物等），可以通过可见光与/或红外光谱的卫星图像来探测（图 22）。

图22

2004年11月21日，用SeaWiFS仪器观测到的、在美国东南角佛罗里达州的赤潮



9 海冰与湖冰

数十年来，星载无源微波传感器（图23）绘制了海冰范围地图，实践中用 SAR（见图24）来指导北极和高纬度的湖面航运，并用于延长高纬度的航运季节。

图23

2007年1月冰雪覆盖下的北美洲（哈得逊湾被阻塞）

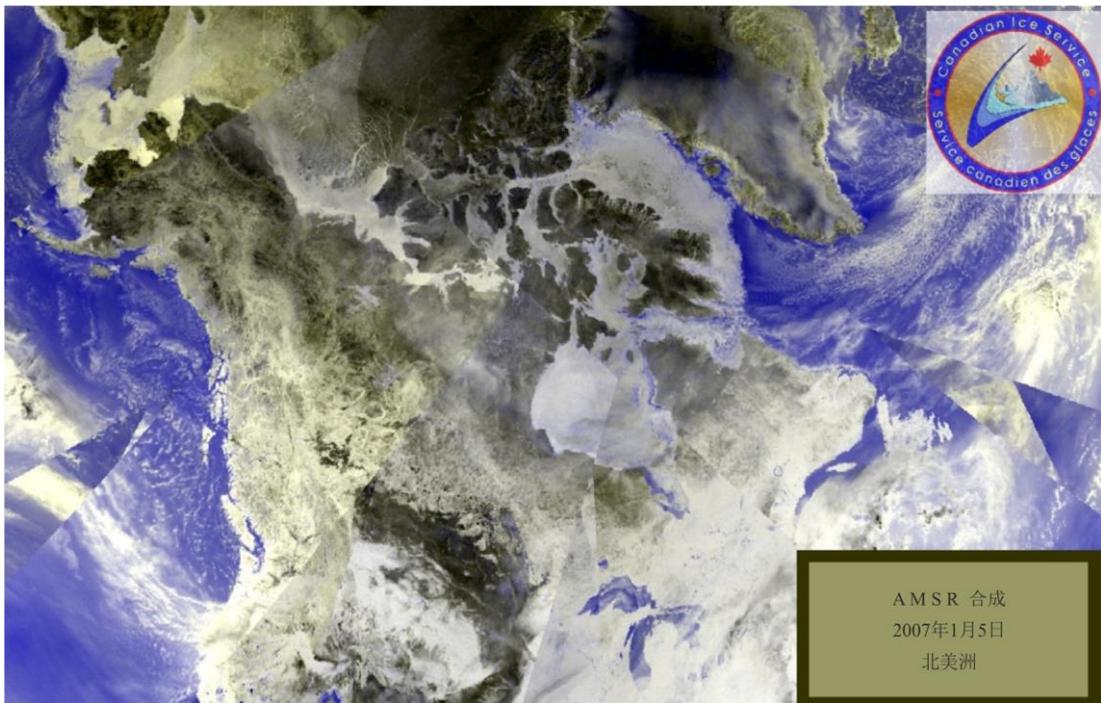
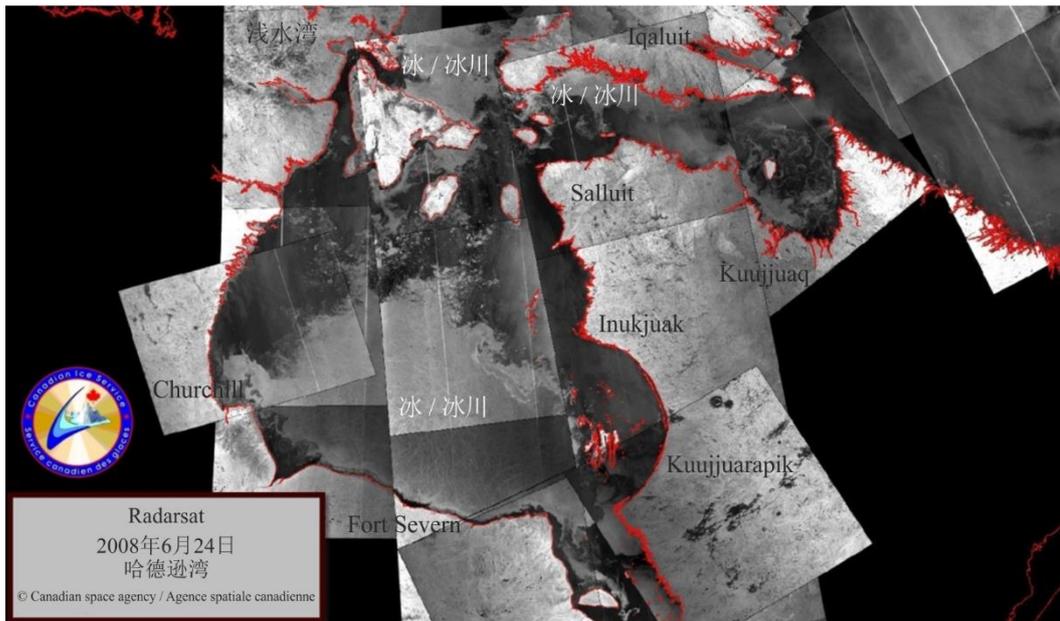


图24

2008年6月加拿大哈得逊湾的海冰（沿着东海岸的开放水域）



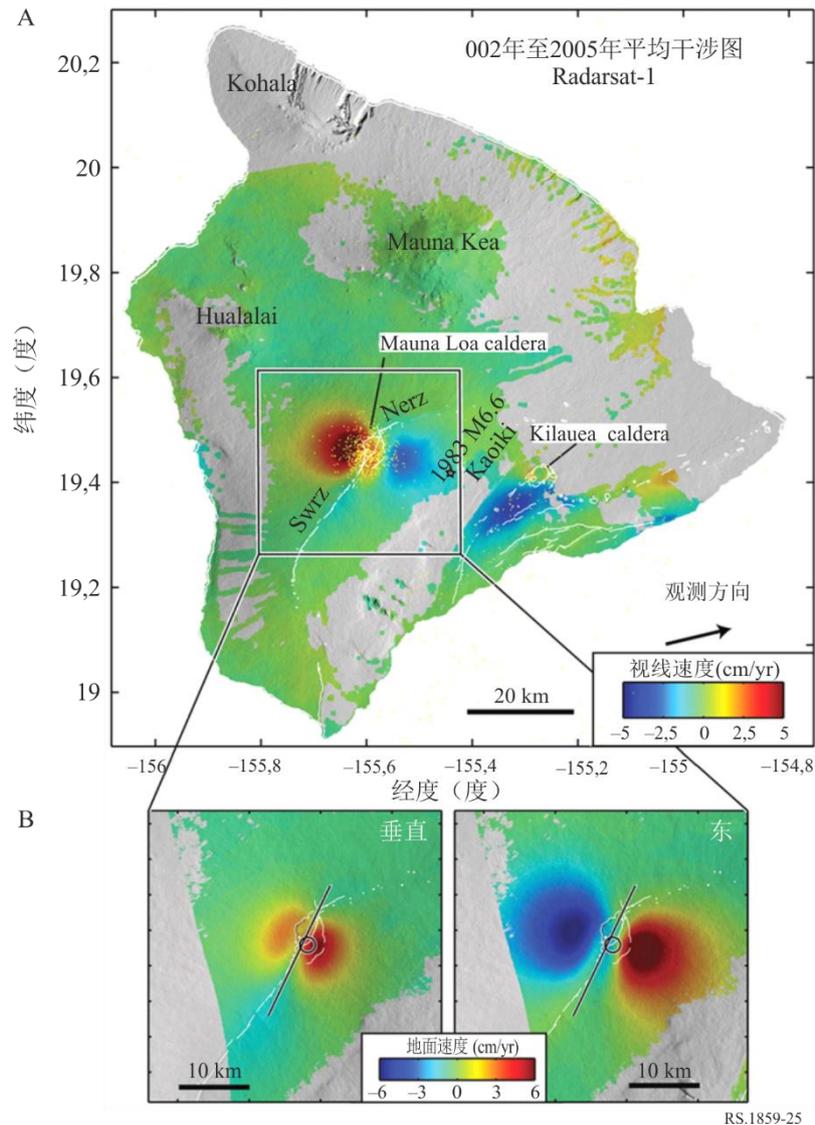
RS.1859-24

10 火山

由于火山活动出现之前，总是伴有邻近地区地面的膨胀/升高，因此，通过绘制此类地面运动的地图，在某种程度上就可以监测可能的火山活动。现场的 GNSS 设备可提供本地监测，同时极地轨道 InSAR 观测可提供有关偏远地区的、不太及时的测量结果，在这些地区放置现场 GNSS 设备不太现实。一幅有关夏威夷毛那罗阿火山的 InSAR 图像（图 25）显示了地表的长期变化，指明山体在膨胀，这正是地下火山活动的标志。毛那罗阿火山和基拉韦厄火山都是众所周知的活火山。一座天文台位于莫纳克亚火山顶上，该火山在最近的历史中一直很平静。通过基于卫星的 InSAR 操作探测细微的地面运动可用于辨别世界上任何地区可能出现的火山灾害。

图25

夏威夷毛那罗阿卡尔德拉的合成孔径雷达干涉图像
地面移动表明危险的地下火山活动

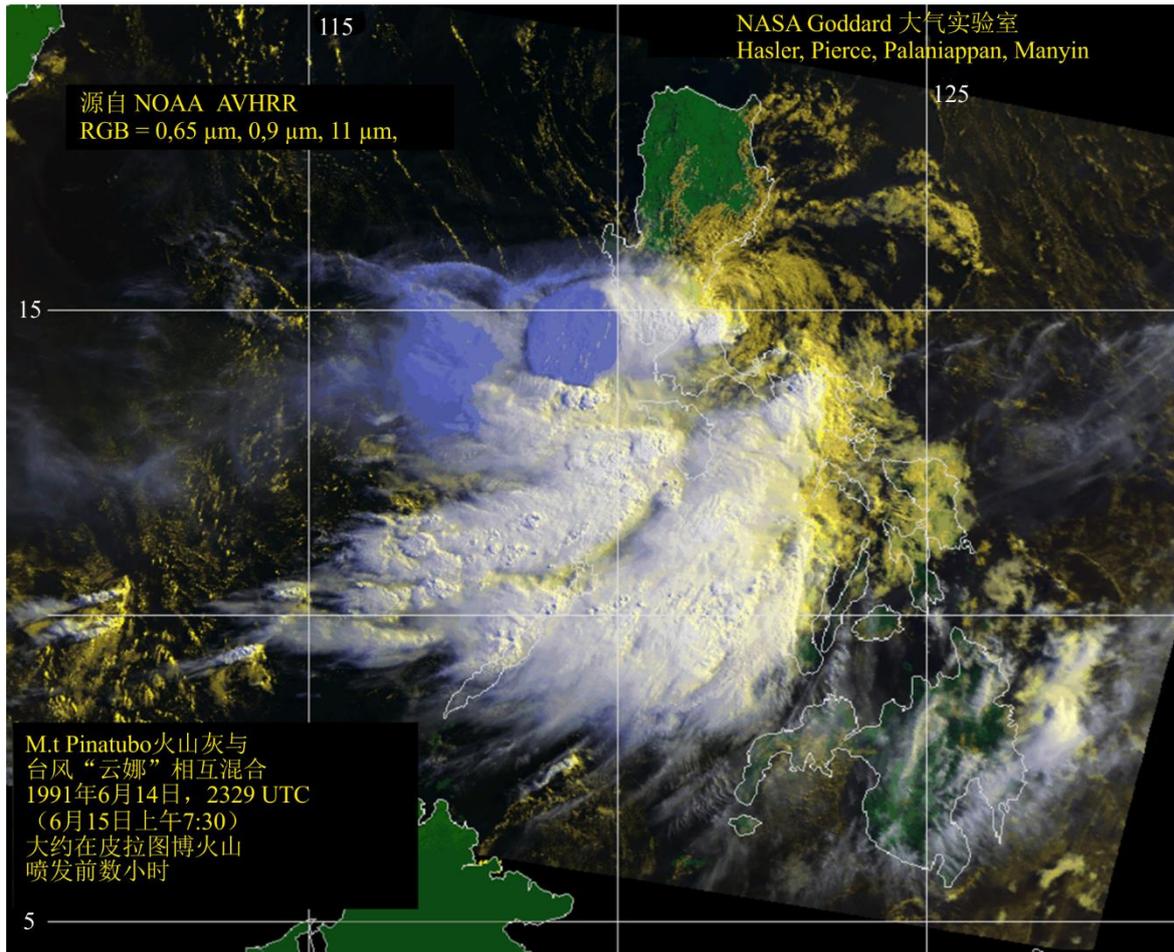


RS.1859-25

在火山喷发期间和之后，火山熔岩、火山灰以及热气等的热特征可利用空中的红外和可见光观测手段进行定期监测。特别地，大气中的火山灰会对飞行中的飞机构成严重的安全威胁。冰岛艾雅法拉火山 2010 年爆发时喷出的火山灰导致了自二战以来最大规模的空中交通中断。已经建立了九个火山灰咨询中心，以监测其指定空域内的火山灰羽流 (<http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/vaac.html>)。

图26

1991年6月15日，在皮纳图博火山喷发前3小时，
火山灰与台风“云娜”相互混合

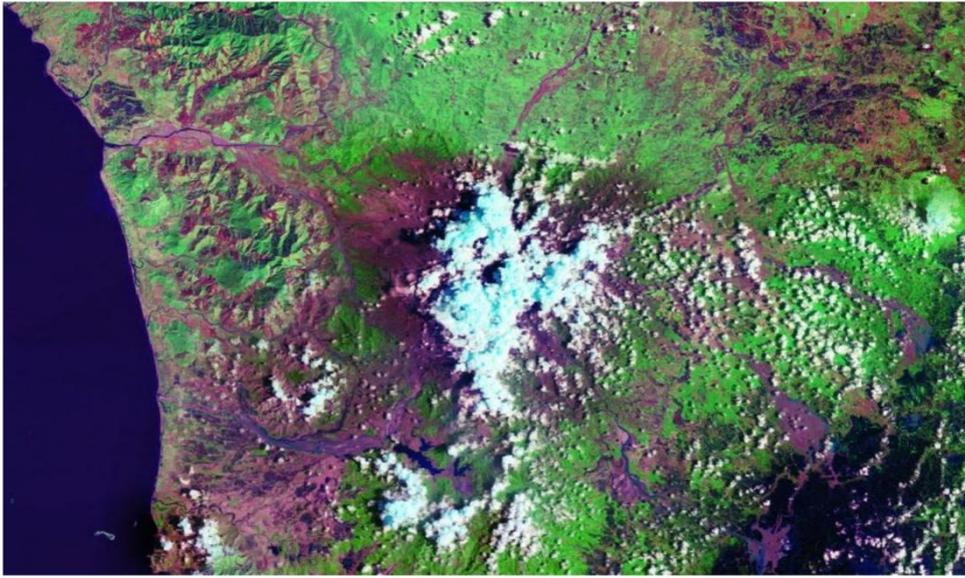


RS.1859-26

来自卫星的图像为辨别受影响地区以及监测恢复状况提供支持。来自可见光和红外波长的图像为监测植被恢复状况提供支持（见图 27、图 29 和图 30）。对云层覆盖可能影响监测的地区，SAR 图像提供了另一种信息源（见图 28）。下面这组图像跟踪了 1991 年 6 月 15 日菲律宾皮纳图博火山喷发之后的情形。图 30 中的暗对角楔形是由于 Landsat-7 卫星出现了故障，当时将之字形扫描转换成线性光栅扫描的星上设备出现了故障。

图27

1991年9月9日，Landsat-5卫星的图像。被破坏的植被显示为红棕色。



RS.1859-27

图28

1994年10月，Landsat-5卫星图像与SIR-C卫星图像的重叠。
不存在云层的问题，地形清晰可见，且火山泥流（泥石流）明显，易于辨别。



RS.1859-28

图29

2001年5月18日的Landsat-7卫星图像，恢复的植被

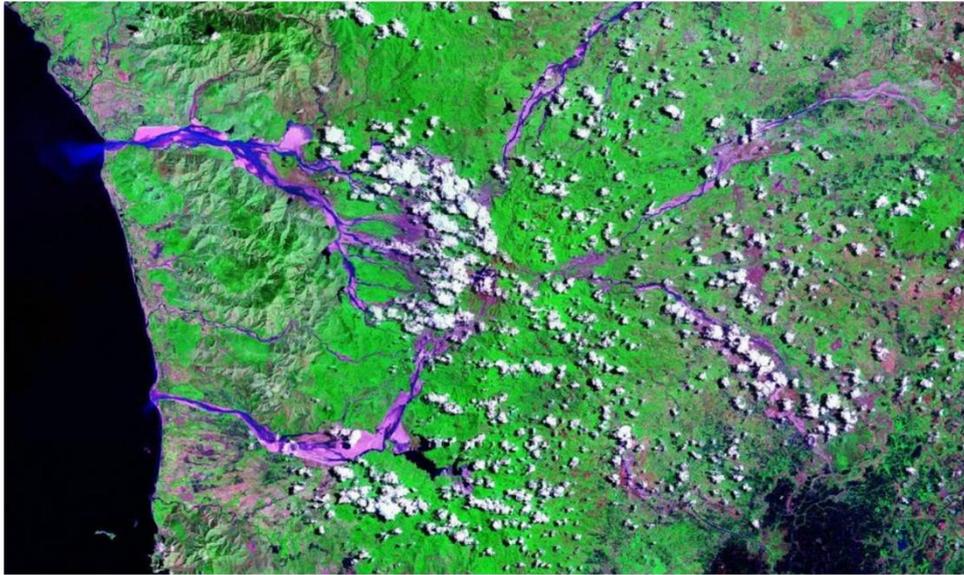
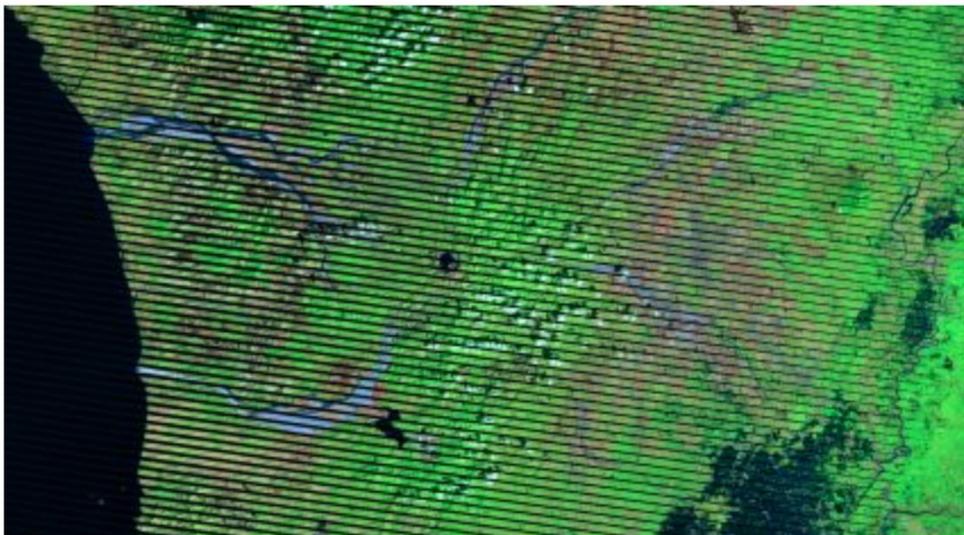


图30

2010年2月4日的Landsat-7卫星图像，进一步恢复并形成湖泊



SAR 图像也有助于辨别危险地区。皮纳图博火山喷发产生了若干“火山泥流”或泥流。这些火山泥流在 SAR 图像上可轻易地辨别出来（图 20），并可能因暴雨而再度恶化。1994 年就出现过一次类似的情况，被航天飞机的成像雷达观测到了。附近有人居住的地区处于危险之中。在图 30 中可以看到在火山口处形成的一个非常酸性的湖，但在图 29 中它被云遮住了。

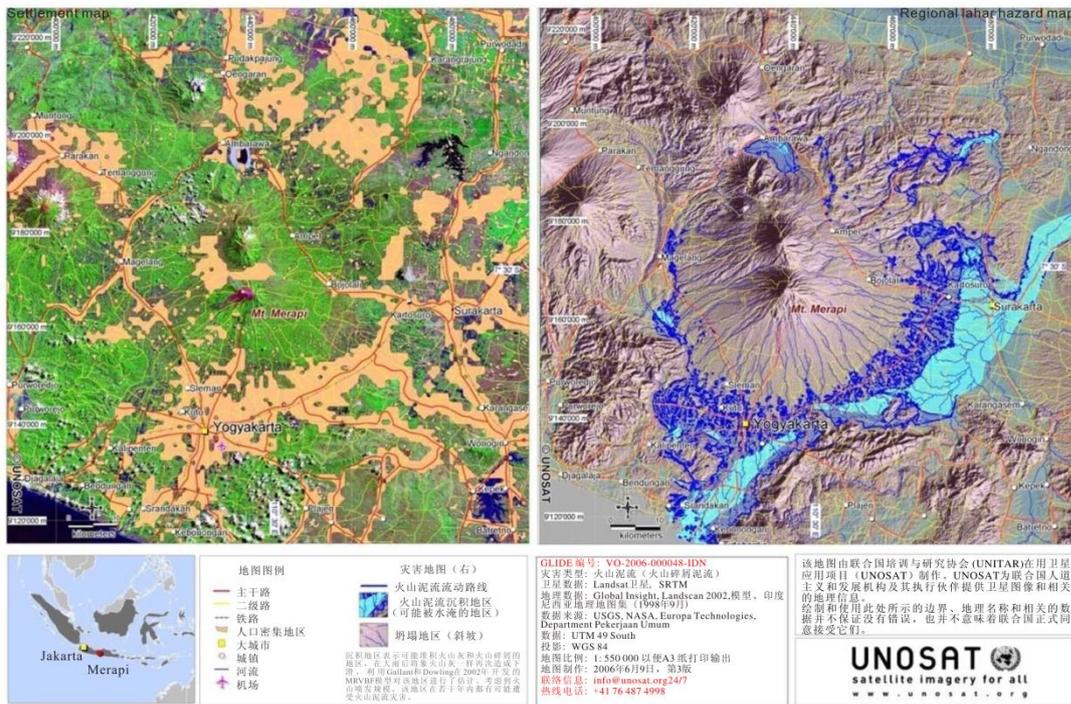
数字高程模型（DEM）非常有利于预测此类火山泥流可能出现的地带。火山泥流沿着沟壑流入低洼地区。

这种 DEM 可以与土地使用情况/土地覆盖状况地图结合起来，如源自 Landsat 或 MODIS 的地图，以辨别和绘制出危险区域的地图。此类危险区域地图的一个例子如图 22 所示。

图31

Landsat卫星和SRTM结合，以辨别易受灾地区和人口

印度尼西亚默拉皮火山 - 未来火山泥石流可能危及的区域



RS.1859-31

在左侧的图像中, Landsat 卫星数据用于辨别与农村地区相对的城市地区。在右侧的图像中, 来自 NASA 航天飞机雷达地形测绘任务 (SRTM) 的地形数据用于辨别可能被泥土或灰烬掩埋的地区。将来一旦默拉皮火山喷发, 这两种地图相结合, 将为当地政府提供一种用于规划灾难应对措施的工具。

11 荒原火灾

偏远、人烟稀少地区发生荒原火灾的风险可以通过从空中对土壤水分和植被状况 (即植被的健康程度或者枯萎/焦干程度) 进行测量来评估。荒原火灾可以利用某些红外频段来探测, 它们工作于星载仪器上。这些频段可以有效穿透有碍可见光波长观测的烟雾和阴霾。此类数据可在 NASA 资源管理系统火灾信息网站 (FIRMS) (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>) 和 Worldview 网站 (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) 上找到, 特别是“火灾和热异常”产品。为了缩短卫星观测与产生所需数据产品之间的时间间隔, 世界范围内的一些机构、政府部门和非政府组织安装了地面站, 以便在适当的极轨卫星每次飞过头顶时接收实时数据。

这些图像有利于应对荒原火灾。美国南加利福尼亚州在其干旱季节容易发生荒原火灾 (见图 32)。当地的桑塔阿那风将增强这些火灾的火势, 增加人们灭火的难度。卫星图像有助于指导消防人员, 这对偏远和人烟稀少地区尤其有用。

图32

2003年10月26日，南加利福尼亚州的火灾



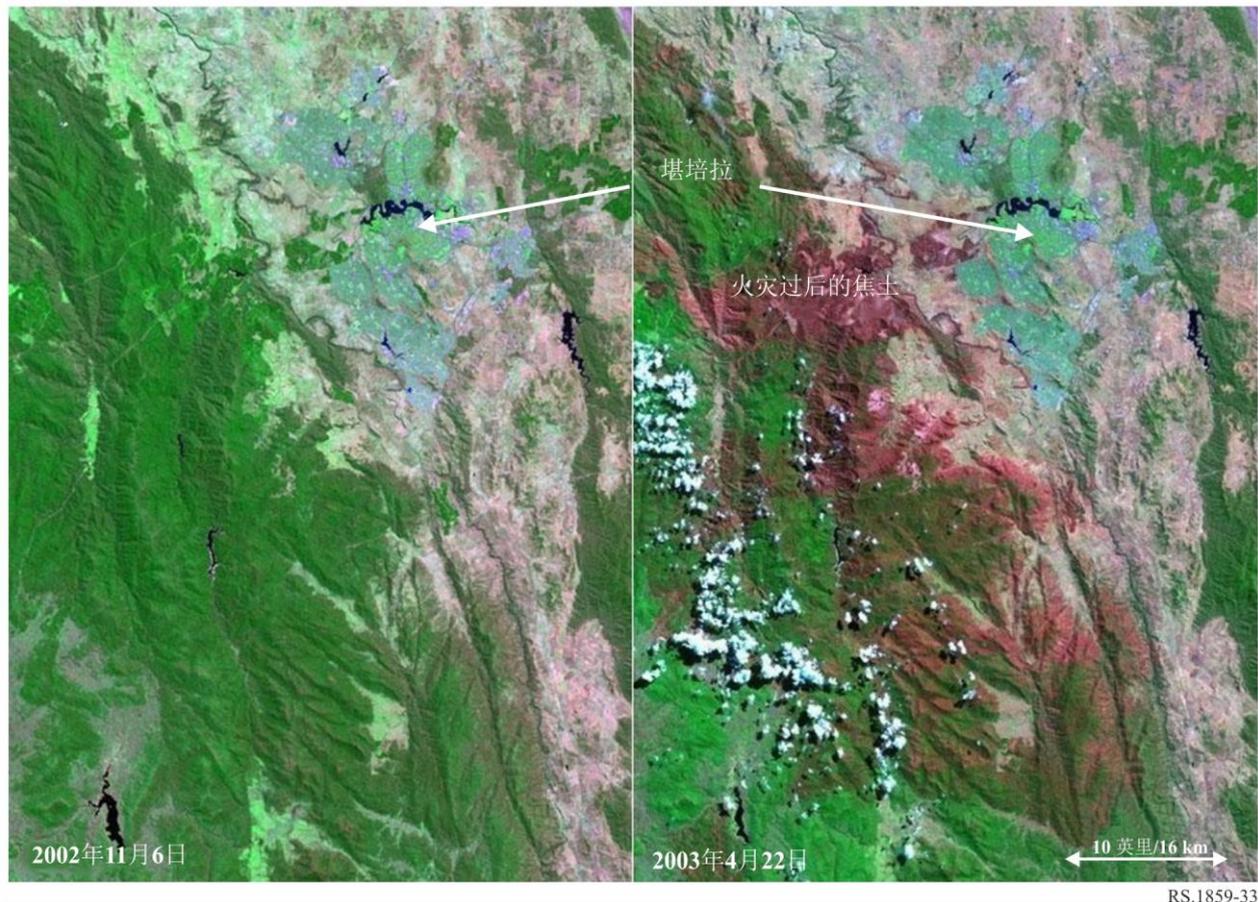
RS.1859-32

在火灾被扑灭后，卫星可见光和红外图像以及 SAR 图像可用于确定受灾范围并监测植被恢复情况。

2002-2003 年的夏天，澳大利亚的荒原火灾肆虐，该国东南部地区出现了 50 多次不同的火灾。首都堪培拉市一度受到丛林火灾的威胁，火灾最初是 1 月 18 日在纳玛吉国家公园引起的。几天之内，火势蔓延到该市的郊区，迫使数千民众逃离城市，也促使数千民众成为义务灭火员，以保护堪培拉市不被烈火吞没。到火势得到控制之时，4 人在火灾中遇难，419 间房屋被毁。在下面所示的 Landsat-7 卫星图像（图 33）中，健康的植被呈现为绿色，而被大火烧焦的地区，呈现为深浅不同的红色。

图33

2002-2003年澳大利亚堪培拉火灾之前和之后的Landsat卫星图像



12 遥感器数据库

以下数据来源可供普通公众使用，但不特定事件做出响应。概要中列出了响应援助呼叫的各组织。

作为ITU-D汇编的一项研究成果，我们准备了“遥感灾害数据库”，以提供对灾害援助中地面和天基有源与无源传感器数据来源的调查结果。这一摘要数据库以通过互联网可访问的电子表格形式存在，网址为：<https://www.sfcgonline.org/home.aspx>。该数据库的用户无需登录系统。

NASA支持互联网网站提供关于空气质量、火山灰羽流、干旱、沙尘暴、火灾、洪水、严重风暴、航运（主要与极地冰有关）、烟羽流和植被的近实时遥感数据，网址为：<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters>

其他洪水管理数据可在以下网址找到：<http://floodobservatory.colorado.edu/>，以及互联网上的全球洪水监测系统（网址为：<http://flood.umd.edu>）。

13 小结

上述例子证明了遥感数据在管理自然灾害影响方面的有用性。为了从遥感数据中获得最大利益，需要一个地方应急管理机构来将适当的信息提供给现场需要信息的人。联合国灾害管理和应急天基信息平台（UN-SPIDER）是一个侧重于帮助各国发展灾害管理能力的组织。

虽然 UN-SPIDER 帮助组织救灾组织并培训其人员，但其他组织更注重数据。然而，UN-SPIDER 网站包括地理信息系统（GIS）软件（免费的和商用的）和数据源清单。UN-SPIDER 的网站是：<http://www.un-spider.org/>。

为了使用由遥感系统和其它来源收集到的数据，1999 年 7 月，在奥地利维也纳举行的 UNISPACE III 大会后，为召集使用空间资源的国际灾害援助行动，建立了一个单一的联系人。如今，获得授权的用户可以呼叫一个单独的、24 小时提供支持的号码，以请求调动成员机构的空间资源和相关的地面资源（RADARSAT、COSMO-SkyMed、Sentinel、SPOT、IRS、SAC-C、NOAA 系列、LANDSAT、ALOS-2、DMC 卫星及其他），以获取有关灾害发生情况的数据与信息。成员机构包括欧洲、法国、加拿大、印度、阿根廷、日本、英国、DMC 国际成像公司（阿尔及利亚、尼日利亚和土耳其）、中国、德国、韩国、巴西、俄罗斯和委内瑞拉的空间机构，以及国家海洋和大气管理局（美国）、美国地质调查局（美国）和 EUMETSAT（欧洲）。提供的数据示例可在以下网址找到：<http://www.disasterscharter.org>。有关授权成员的任何问题或评论，或者关于网站的任何问题或评论，应导入以下网址：webmaster@disasterscharter.org。

遥感数据的另一个来源是 UNOSAT，这是一个联合国创建的项目，旨在促进国际社会和发展中国家对卫星图像和地理信息系统服务的使用。这些工具主要用于人道主义援助、灾害预防以及灾后重建。提供的服务包括卫星图像的选择和获取支持、图像处理、地图制作、方法指导、技术支持和培训。其国际互联网网址为：<http://www.unitar.org/unosat/>。

遥感支持的第三个来源是 SERVIR，这是一个区域性可视化和监测系统，可在以下网址找到：<https://www.servirglobal.net/>（西班牙语的网址为：<http://www.servir.net>）。

SERVIR 是美国国家航空航天局（NASA）和美国国际开发署（USAID）的一项联合发展倡议。SERVIR 与全球领先的区域组织开展合作，帮助发展中国家利用地球观测卫星和地理空间技术提供的信息来管理气候风险和土地使用。SERVIR 为决策者提供工具、产品和服务，以便在气候敏感问题上采取本地行动，如灾害、农业、水、生态系统和土地利用。

SERVIR 在非洲（肯尼亚的内罗毕市）、兴都库什-喜马拉雅（尼泊尔的加德满都市）、湄公河下游（泰国的曼谷市）和中美洲（巴拿马的巴拿马城）建立了中心，以应对粮食安全、水资源、土地使用变化和自然灾害领域的挑战。

注1 – 对任何可能需要寻求任何上述机构帮助的团体而言，在任何灾害出现之前联系它们，并建立一套一旦灾难发生之时能够获得帮助的程序（例如，指定联络人员，包括其姓名、电子邮件地址、电话号码等），将是明智之举。这种事先的安排将在需要帮助之时大大缩短获得帮助所需的时间。

附件2

在发生自然灾害和其他紧急情况时有用的观测状况

下表概述了对管理自然灾害和其他紧急情况的影响有用的天基观测状况。根据所用技术，表A2-1对灾难类型做了映射，详见表A2-2。表A2-2列出了2015年前后（本附件编写时）和未来可用于提供这些观测结果的技术、观测和任务状况。

表A2-1

有助于管理自然灾害的技术

目标	技术	SAR成像	InSAR成像	有源MW成像	雷达高度测量	雷达散射测量	测雨雷达	GPS无线电掩星	无源MW成像	无源MW测深仪	地球同步可见光和红外成像	光学成像	多光谱光学成像	红外成像
沿海灾害		X										X		
干旱		X		X	X	X			X		X	X	X	
地震		X	X					X				X		
极端天气						X	X	X	X	X	X	X		
洪水		X		X	X	X	X	X	X	X		X		
山体滑坡		X	X									X	X	
海洋污染		X											X	
污染												X	X	
海/湖冰		X							X			X		
火山		X	X						X			X	X	X
荒原火灾									X			X	X	X

表A2-2
灾害支持状况

技术	灾难类型	测量	状况 (约2018年)	后续 (2018-2025年)
SAR成像	沿海灾害, 洪水, 山体滑坡, 火山	数字高程模型 (DEM)	RADARSAT上的SAR (1995, +), TSX上的SAR (2007), TDX上的SAR (2010), COSMO-SkyMeds上的SAR (2007, +), Sentinel-1 (2014) 上的SAR; HJ-1C (2012); KOMPSAT-5上的COSI (2013); ALOS-2上的PALSAR-2 (2014); RISAT-1上的RISAT-SAR (2012); RISAT-2上的X-SAR (2009); METEOR-M2上的S-M OBRC (2014); Kondor-E1上的SAR-10 (2013); TECSAR上的X-SAR (2008)	METEOR-MP上的BRLK (2021); CSG上的CSG-SAR (2019); PAZ上的PAZ-SAR (2018); RISAT-SAR RISAT-1A上的 (2019); RADARSAT星座上的SAR (2018. +); NovaSAR-S上的S-SAR (2018); TSX-NG上的SAR (2018); SAOCOM-1, -2上的SAR-L (2018); BIOMASS上的SAR-P (2020); METEOR-MP上的SAR-X (2021); HJ-C上的SAR
	沿海灾害, 地震, 洪水, 山体滑坡, 污染, 冰, 火山	受灾地区		
	海洋污染	溢油检测		
	海和湖冰灾	海和湖冰范围	RADARSAT上的SAR (1995, +), TSX上的SAR (2007), TDX (2010) 上的SAR, COSMO-SkyMed (2007, +) 上的SAR, Sentinel-1a (2014) 上的SAR; CRYOSAT-2上的SIRAL (2010)	
	洪水, 干旱	雪深		SCLP上的SAR-X/Ku (2030)
InSAR 成像	地震, 火山, 山体滑坡	地面运动	RADARSAT (1995, +), TSX (2007), TDX (2010), COSMO-SkyMed (2007, +); Sentinel-1a (2014)	NISAR上的InSAR (2021) 和上述SAR任务
雷达高度测量	干旱	洋面高度	JASON系列上的SSALT (2001, +); SARAL上的Altika-AMU (2013); HY-2A上的RA (2011); Sentinel-3上的SRAL (2016)	SWOT上的KaRIN (2020); JASON-3 (2015); JASON-CS/SENTINEL-6上的SRAL (2020, +); COMPIRA上的SHIOSAI (2019);

表A2-2 (续)

技术	灾难类型	测量	状况 (约2018年)	后续 (2018-2025年)
测雨雷达	极端天气, 洪水	雨	GPM上的DPR (2014)	
雷达散射仪	干旱, 极端天气	海表面风向量、海洋状况	MetOp上的ASCAT (2006, +); HY-2A上的SCAT (2011); OceanSat-2上的OSCAT (2009); SAC-D上的ALScat; CYGNSS上的DDMI (2017); ScatSAT-1上的OSCAT (2015)	OceanSat-3上的OSCAT (2018); MetOp-SG-B上的SCA (2022); CFOSAT上的SCAT (2018); METEOR-MP上的SCAT (2021); CFOSAT上的SWIM (2018); FY-3上的WindRAD (2018)
	干旱, 洪水	雪属性 (覆盖, 水当量)		METOP-SG-B上的SCA (2022)
	干旱, 洪水, 山体滑坡	土地土壤水分		
	海和湖冰灾	海和湖冰范围		
	干旱, 火山 (恢复), 荒原火灾 (恢复)	植被健康 (叶面积指数)	MetOp上的ASCAT (2006, +)	
GPS 无线电掩星	极端天气, 洪水	大气温度剖面	COSMIC/FORMOSAT-2; CYGNSS上的DDMI (2017); (2006); KOMPSAT-5 (2013); FY-3-C (2013); MetOp (2006, 2012); TDX (2010); TSX (2007); Megha-Tropiques (2011); OceanSat-2 (2009)	COSMIC-2/FORMOSAT-7 (2018); FY-3D, -3F (2016-2020); JASON-CS/SENTINEL-6 (2020+); GRACE-FO (2018); METEOR-M-N3, METEOR-MP-N1, -N3 (2018); METOP-SG-A, -B (2022)
		大气湿度剖面		

表A2-2 (续)

技术	灾难类型	测量	状况 (约2018年)	后续 (2018-2025年)
无源微波 成像	干旱, 洪水	土壤湿度	SMOS上的MIRAS (2009); SMAP上的辐射仪 (2015); DMSP系列上的SSM/I (1987, +), DMSP系列上的SSMIS (2003, +); FY-3系列上的MWRI (2008, +); SNPP上的VIIRS (2011)	DMSP上的SSM/IS (2020); METOP-SG-A上的MWI (2022); MetOp-SG-A上的MWI (2022)
	极端天气, 洪水	降雨率和面积	GPM上的GMI (2014); DMSP系列上的SSM/I (1987, +), DMSP系列上的SSMIS (2003, +); Megha-Tropiques上的MADRAS (2011); FY-3系列上的MWRI (2008, +)	
	海和湖冰灾	海和湖冰范围	DMSP系列上的SSM/I (1987, +), DMSP系列上的SSMIS (2003, +); GCOM-W1上的AMSR-2 (2012);	
	火山, 荒原火灾	地面温度	AQUA上的AMSU (2002), MetOp系列上的AMSU (2006+), NOAA系列上的AMSU (1998, +); SNPP (2011)上的ATMS和NOAA-20 (2018)上的ATMS; DMSP系列上的SSM/T (1999, +)	
	洪水, 干旱	雪水当量	DMSP上的SSM/I (1995, +); GCOM-W1上的AMSR-2 (2012)	
	干旱, 极端天气	海风	DMSP系列上的SSM/I (1987, +), DMSP系列上的SSMIS (2003, +); Coriolus上的Windsat (2003), GCOM-W1上的AMSR-2 (2012); Meteor-M系列上的MTVZA-GY (2009, +); SAC-D上的MWR (2011); HY-2A上的MWRI (2011)	

表A2-2 (续)

技术	灾难类型	测量	状况 (约2018年)	后续 (2018-2025年)
无源微波 探测器	干旱	海洋温度	GCOM-W1上的AMSR-2 (2012); HY-2A上的MWRI (2011); SMOS上的MIRAS (2009); Coriolus上的WindSat (2003); SNPP上的CrIS, ATMS (2011) 和 NOAA-20上的CrIS, ATMS (2017)	
	极端天气, 洪水	大气温度剖面	自1979年以来, 目前NOAA系列上的MSU (2002, +); DMSP上的SSM/I (1995, +); Aqua上的AMSU (2002), MetOp (2006, +) 上的AMSU; FAST-T上的DFMRM; Meteor-M系列上的MTVZA-GY (2009, +); FY-3系列上的MWTS (2003, +); SNPP上的CrIS, ATMS (2011) 和 NOAA-20上的CrIS, ATMS (2018)	MetOp-SG上的MWS和MWI (2018, +); METEOR-MP上的MTVZA-GY-MP (2021)
		大气湿度剖面和总的水含量	AQUA上的AMSU (2002) 和POES's上的AMSU (1998, +); SNPP上的ATMS (2011) 和NOAA-20上的ATMS (2018); POES's上的MHS (1998, +) 和MetOp上的MHS (2006, +); DMSP系列上的SSM/T (1999, +); Meteor-M系列上的MTVZA-GY (2009, +); FY-3系列上的MWHS (2003, +); Megha-Tropiques上的SAPHIR (2011); JASON-3上的AMR-2 (2016); Sentinel-3上的MWR (2016)	SWOT上的AMR (2020); JASON-CS/SENTINEL-6上的AMR-C (2020); METEOR-MP上的MTVZA-GP-MP (2021); METOP-SG-A上的MWI和MWS (2022)
地球同步 可见光和 红外观测	极端天气	云运动	自1975年以来的GOES系列, 自1977年以来的METEOSAT系列	GOES系列 (2016, +), METEOSAT系列 (2018)

表A2-2 (结束)

技术	灾难类型	测量	状况 (约2018年)	后续 (2018-2025年)
光学成像	沿海灾害, 洪水, 山体滑坡, 火山	数字高程模型 (DEM)	TERRA上的ASTER (1999)	
	沿海灾害, 干旱, 地震, 极端天气, 洪水, 山体滑坡, 污染, 冰, 火山, 火灾	受灾地区	中分辨率: 自1981年以来, NOAA系列上的AVHRR (2002, +); Resourcesats上的AwiFS (2011); 自1973年以来的Landsat-7, -8 (1999, 2013); SPOT系列 (1994, +); TERRA上的MODIS (1999), AQUA上的MODIS (2002); Metops上的AVHRR (2006, +); HJ-1上的相机和IRMSS (2008); Sentinel-2上的MSI (2015); Sentinel-3上的OLCI (2015); SNPP上的VIIRS (2011) 和 NOAA-20上的VIIRS (2018)	MSI Sentinel-2 (2015) PRISM-2 ALOS-3上的 (2019); SGLI GCOM-C1上的 (2018); NOAA-20
			高分辨率: (商用) IKONOS-2 (1999); QuickBird (2001); WorldView-1 (2007), WV-2 (2009), WV-3 (2014); GeoEye-1 (2008)	
多光谱光学成像	干旱, 火山 (恢复), 荒原火灾 (恢复)	植被健康 (叶面积指数)	自1981年以来, NOAA系列上的AVHRR (2002, +); Terra上的MODIS (2000), Aqua上的MODIS (2002); Terra上的MISR (2000); 自1973年以来的Landsat-7, -8 (1999, 2013); SPOT系列 (1994, +); SeaStar上的SeaWiFS (1997); SNPP上的VIIRS (2011) 和NOAA-20上的VIIRS (2018)	
	山体滑坡, 火山 (恢复)	土地覆盖/土地使用		
	海洋污染	天然海洋污染 (红潮)		
红外成像	火山, 荒原火灾	地面温度	自1973年以来的Landsat-7, -8 (1999, 2013); SPOT系列 (1994, +); TERRA上的MODIS (1999), AQUA (2002) 上的MODIS	