

奥林匹克山气象试验：对雷达卫星(GPM)的地空观测验证与应用

■ 许小峰

做这样的试验,既可以标定卫星资料的精度,也可以对奥林匹克山伴随特殊中纬度地形产生的复杂天气系统进行研究,还可以改进卫星雷达在这一区域反演降水的算法。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.01.001

初次听说奥林匹克山(图1)气象试验时,习惯上会联想到希腊,以为是在欧洲发生的事。细查一下,奥林匹克山是在美国,位于华盛顿州西北角毗邻太平洋的一个半岛上,这个半岛也被称之为奥林匹克半岛。这样命名,多少与希腊有关,英国人18世纪深入到这个半岛后,被这里壮美的山脉所吸引,感觉很像希腊诸神居住的奥林匹斯山脉,便开始以奥林匹克山相称。直到1938年,以奥林匹克山脉为中心的美国国家公园正式成立,半岛、公园、山脉也随之都被冠以奥林匹克。

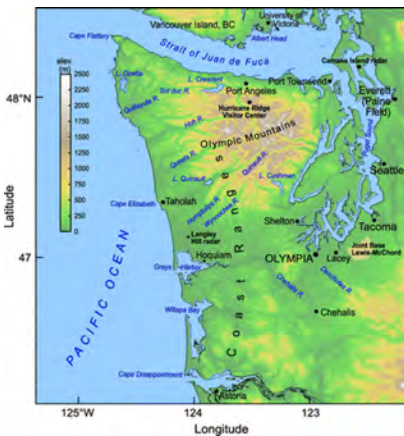


图1 奥林匹克山区域地形图

2014年2月,美国国家航空航天局(NASA)成功发射了测雨卫星GPM,这是一颗带有双频雷达和13个通道(10~183 GHz)微波成像仪(GMI)等其他载荷的主动和被动遥感相结合的气象卫星,通过Ku

(13.6 GHz)、Ka(35.5 GHz)两个频段测雨雷达从外空对地球上的云雨进行主动扫描观测,从而提高全球降水的观测能力,特别是对于观测空白的大量无人区域,卫星降水观测是很好的弥补手段。这颗卫星也称作GPM-CORE,是GPM星座的核心星,整个星座包括了NASA和JAXA(日本航天局)已有一些气象遥感卫星及与两者有双边协议合作单位的卫星,还包含CNES(法国国家太空研究中心)、ISRO(印度空间研究组织)、EUMETSAT(欧洲气象卫星应用组织)、美国NOAA(国家海洋和大气管理局)及DOD(国防部)的卫星,构成了一个协同观测的体系,可以及时共享每颗星观测到的信息,提高了整体观测功能和效率。

从遥远的太空对地开展主动遥感观测,要对其观测精度进行检验和标定,也需要对其产生的各类应用产品准确性进行校正,如雷达探测估测的降雨,需要通过地面实测的数据进行对比。尽管通过对热带测雨卫星TRMM多年应用和检验,已积累了丰富的外空对地雷达测雨反演的经验和算法,但GPM将探测范围从热带拓展到了全球,则需要对中高纬度降雨类型的反演算法进行调整并重新验证。

由于受到中高纬度太平洋西风带斜压天气系统和地形作用共同影

响,奥林匹克山谷一个季节降水量可达2000~4000 mm,且由于是位于山地环境,云系的微物理相态在垂直方向变化很大,无论是从天气学角度还是从区域气候学角度,这里都是一个理想的外场试验区。通过布设各种观测设备,在多变的天气下,将不同类型的探测资料进行综合分析和模拟试验,并与GPM星的观测信息进行对比。做这样的试验,既可以标定卫星资料的精度,也可以对奥林匹克山伴随特殊中纬度地形产生的复杂天气系统进行研究,还可以改进卫星雷达在这一区域反演降水的算法,显然是一举多得的选择。

奥林匹克山气象试验从2014年秋季开始,持续到2016年春季,重点观测活动集中在2015—2016年秋冬季(图2)。来自NASA、NOAA、国家基金会(NSF)、各大学的相关领域专家参加了这一试验。在地面上布设了四种频段的双偏振多普勒雷达,包括S波段、X波段、Ku波段和Ka波段。S和X波段雷达用于对大范围的天气系统进行监测,Ku和Ka波段雷达除有助于监测天气系统的细微结构外,更重要的是可直接与GPM卫星上的Ku/Ka波段雷达信息进行对比校正。

地面观测的另一重要特点是沿着奥林匹克山体走向的自动观测站布设,形成对沿山脉爬升和下沉气流和天气系统变化的立体观测,可以更细

资助信息:国家自然科学基金重点项目(91637211)

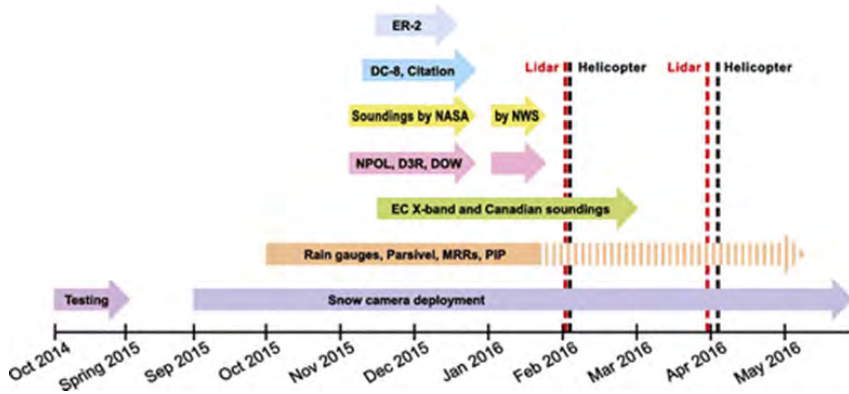


图2 奥林匹克山气象试验期间地面和空中设备运行计划表

致地了解山脉对天气系统的影响及天气变化的连续过程(图3)。此外,还安装了自动拍摄的摄像机,可以监测并记录降雪和积雪状况。

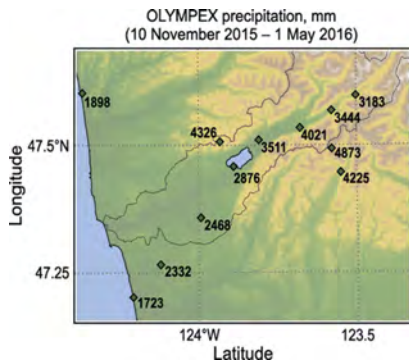


图3 2015年11月10日—2016年5月1日奥林匹克山气象试验期间地面测站获取的降雨量分布(单位: mm)

除地基的综合观测外,来自空中的观测也展示了很强的能力,美国宇航局提供了四架研究飞机参与空中观测(图4),除飞机本身携带的观测

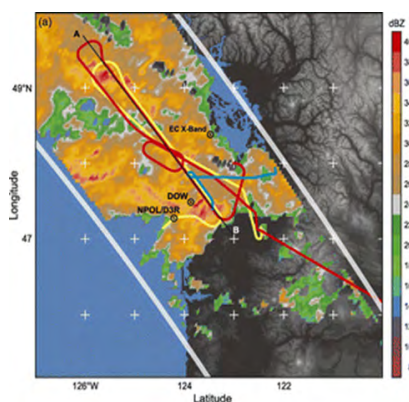


图4 2015年12月3日三架飞机DC-8(黄色)、Citation(蓝色)和ER-2(红色)在GPM卫星Ku频段雷达扫描带中协调飞行探测

仪器外,在有雨、雪等天气系统时,通过下投探空仪(dropsondes)和探空雷达(rawinsondes)对天气系统的垂直结构进行探测。

NASA的DC-8飞机的飞行高度可达11.8 km,装载了新型三频雷达探测仪APR-3,可以通过Ku、Ka、W三个频段进行主动探测(图5、图6),还装有多波段微波被动遥感装置COSMIR,两个装置协同观测,可以较完整地获取大气状况信息。NASA的另一架飞机ER-2功能更强一些,

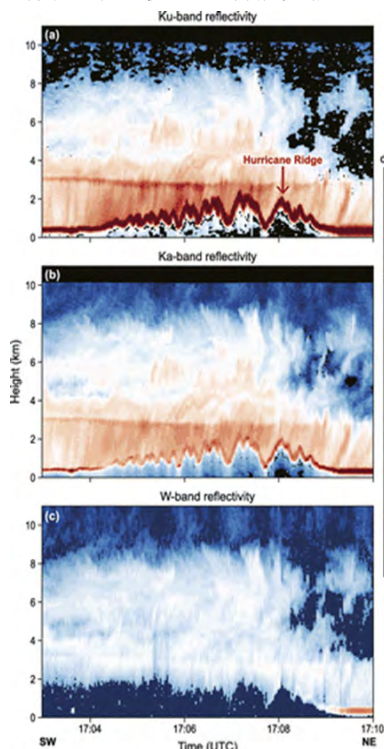


图5 2015年12月8日安装在DC-8飞机上三频测雨雷达APR-3从奥林匹克山脉的西南(左侧)到东北(右侧)穿越时向下探测得到的信息

飞行高度可达18 km,安装有Ku和Ka双频雷达HIWRAP, 9.4和9.6 GHz双X波段雷达EXRAD, 94 GHz的W波段云雷达CRS-Radar, 8波段微波辐射计AirMSPI, 激光雷达CPL等。与这两架飞机协调探测的另一架飞机是美国北达科他大学(UND)提供的Citation飞机,可在0.6~7.5 km高度飞行,配备了最先进的云微物理探测仪,主要在云层内飞行,可对云中的云滴、水滴、冰晶的图像、大小、浓度、速度等进行直接观测,用于与雷达、卫星获取的遥感信息转换的云水信息量进行比较验证,从而对算法进行改进。NASA的喷气动力实验室(JPL)还提供了一架装有测雪激光雷达的飞机(ASO),用于对奥林匹克山地区积雪范围、深度和密度进行观测。

这些飞机通过反复穿越中纬度斜压风暴系统,获取了大量宝贵的实测资料,一方面通过Ku和Ka双频雷达获取的信息与GPM卫星的双频雷达信息进行比较验证,其他各类信息也对研究降雨过程的演变非常有价值,如W波段雷达信息可以观测到云中更为精细的水滴和冰晶粒子信息的变化,再同地面较长波段雷达探测信息结合,信息就更完整了。飞在云顶上的ER-2飞机可以通过激光雷达直接获取云顶高度变化(图7),这也是云系发展的重要指标特征。

通过各类先进设备进行野外观测试验,最终的目标还是要对获取的信息进行合理的分析和在天气气候研究中得到有效应用,已有不少科学家做了分析研究,取得了很有价值的成果,在不少刊物上都可查阅到相关文献。

小结

1) 对于空间对地探测获取的卫星信息,无论是主动遥感还是被动遥感,都应与地面或低空实测信息进行系统性对比检验,根据对比结果标定探测精度,改进产品算法。

2) 随着探测技术的提升,多频

(下转6页)

授权法案中的第4条——“地球预报创新中心(EPIC)”与2017年的法律相呼应,明确了将提升天气模拟技巧达到世界领先水平,需借助于5个方面的努力:(A)平衡气象行业,移除壁垒;(B)科学家和工程师之间有效合作;(C)强化NOAA研究项目;(D)利用和平衡整个NOAA已有资源;以及(E)建立全球天气研究模拟系统公共体系。其中,最后一条中体系的建设,更要求公开、着眼于最终用户需求和利用NOAA以外

的计算和网络资源,以及采用创新的战略和方法构建。而这里所谓的新战略和方法,法规的进一步解释是指,包括体系的部分或整体具有云计算能力。最后, Jacobs还借助WMO的视角,认为商业气象是国家气象部门整体不可分割的部分。尽管NOAA领导人并没有给出联邦和学界在面对市场时该如何与企业同处的良方,但是借助国家法律的约束脑洞大开的进一步开放,或许是在更高层次上审视和找到共同发

展之路的可行方案。

本文完成撰写时,正值美国气象界在完成AMS百年庆典后,又开始隆重庆祝NOAA成立50周年和美国国家气象局(NWS)走过150年。这篇2019年的3条阅读记忆,恰巧都与美国有关,权作是对美国同行表达的敬意。2020年是年代的跨越,历史走完了21世纪前20年,留下的历史厚度,应该能催生更多发人深思的作品。

(作者单位:中国气象局气象干部培训学院)

(上接3页)

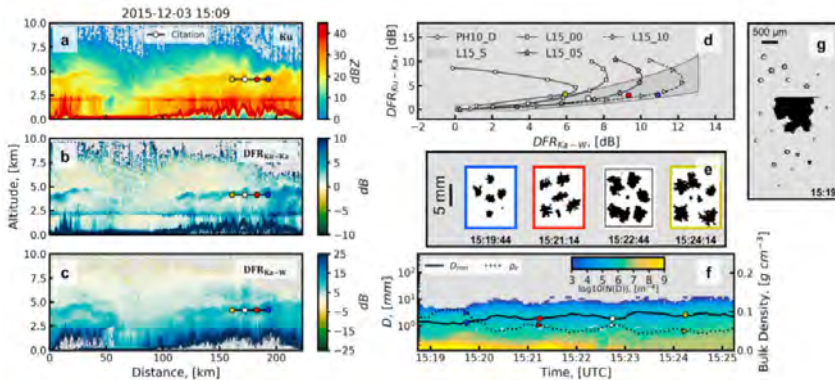


图6 2015年12月3日通过DC-8飞机三频测雨雷达APR-3获取到的奥林匹克山南侧一次暴雨过程的垂直剖面信息

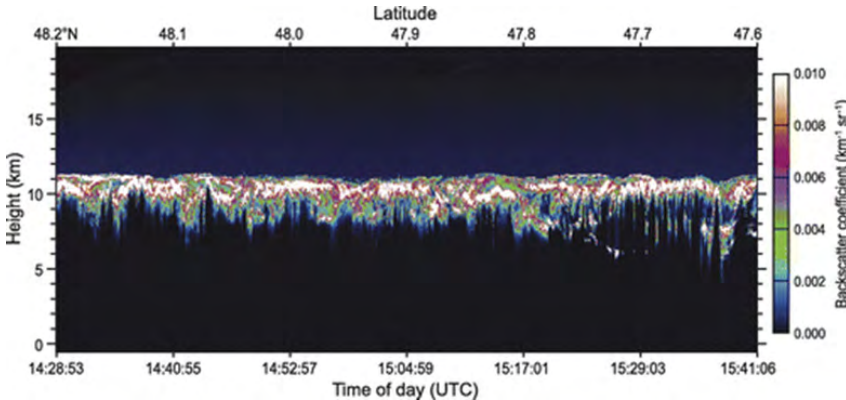


图7 2015年12月3日ER-2飞机上的激光雷达(CPL)获取的云顶高度信息

主动遥感雷达已可在地面、空中和太空探测中得到应用,与单频雷达相比,获取的信息更为丰富,包括对雨滴、云滴、冰晶等的形状、尺度、密度及运动变化和分布特征都可监测得更为细致,并能进一步开发出更多应用产品,通过对这些信息加深认识好理解,将在未来大气探测和预报分析业务中会发挥更广

泛的价值。

3) 在合适的地点进行业务、科研试验,既可以对探测设备信息进行评估检验,同时也能加深对天气、气候系统的认识,包括山地、海陆差异等对天气系统的影响。这类对探测设备进行对比检验评估的大型试验,既是探测业务建设的必要环节,也是很有价值的对天气气

候系统针对性研究,需要对试验计划进行整体设计,及参与试验的各部门人员密切协作,包括提供各类设备、技术和方法,并根据试验目标开展业务布局,采用科学方法对通过不同手段获取的信息进行综合分析,只有将每个环节都考虑周到并细致做好,才能达到预期目标。

4) 奥林匹克山气象试验所动用的探测设备从种类的完整性和技术的先进性角度看都是少见的,参与的科学家和业务人员也是高水准的,取得了丰硕的成果,从试验的整体设计到科学的分析方法,以及最终取得的研究进展都值得关注、学习和借鉴。

深入阅读

Houze Jr R A, McMurdie L A, Petersen W A, et al. The Olympic Mountains Experiment (OLYMPEX). Bulletin of the American Meteorological Society, 2017, 98(10): 2167-2188.

Chase R J, Finlon J A, Borque P, et al. Evaluation of triple-frequency radar retrieval of snowfall properties using coincident airborne in situ observations during OLYMPEX. Geophysical Research Letters, 2018, 45(11): 5752-5760.

Currier W R, Thorson T, Lundquist J D. Independent evaluation of frozen precipitation from WRF and PRISM in the Olympic Mountains. Journal of Hydrometeorology, 2017, 18(10): 2681-2703.

(作者单位:中国气象局)