

刘健,王锡津. 主要卫星云气候数据集评述. 应用气象学报, 2017, 28(6): 654-665.

DOI: 10.11898/1001-7313.20170602

主要卫星云气候数据集评述

刘 健^{1)*} 王锡津²⁾

¹⁾(国家卫星气象中心, 北京 100081) ²⁾(南京信息工程大学, 南京 210044)

摘 要

自 20 世纪 70 年代气象卫星进入业务化观测以来,气象卫星已提供了 40 余年的观测数据。长时间序列的卫星数据为云气候研究提供了可能。基于长时间序列的卫星数据,构建云气候数据集会涉及诸如定标、反演算法、反演数据精度验证等方面。目前国际上也已生成了一系列的云气候数据集,如 ISCCP, Patmos-x, CLARA 和 MODIS-ST 等,这些数据集所选用的探测数据、反演算法不尽一致,数据集产品的时空属性各异。如何发挥极轨和静止气象卫星各自优势,融合两类卫星数据,形成高时间分辨率、质量稳定的长时间序列云气候数据集是未来需要解决的问题。

关键词: 卫星; 云; 气候数据

引 言

云不仅是影响地气系统辐射收支平衡的一个重要参数,同时也是研究大气环流及气候变化的一个重要指标。有关云的数据可以通过地面常规观测得到,但地面观测点的空间分布及观测时间均会受到各种条件限制。气象卫星具有观测时次多、覆盖范围广的优点,通过气象卫星的观测,可获取大范围乃至全球多时次、连续的云数据。美国在 1960 年发射了第 1 颗气象卫星,获取了第 1 幅气象卫星遥感图像。尽管只搭载了 1 个类似摄像机的观测设备,但仍得到了很好的结果。自 20 世纪 70 年代开始,气象卫星提供业务化观测,无论是仅在特定的时间观测提供日全球观测的极地轨道气象卫星,还是高时间分辨率的静止轨道气象卫星,业务化的气象卫星已提供了 40 余年的观测数据,长时间序列的卫星数据为云气候研究提供了可能。

由于每颗卫星的生命周期有限,长时间序列的卫星云气候数据集会涉及多颗卫星。不同卫星搭载

的探测仪器种类、性能有可能不同;云参数的反演算法也不尽相同。同一颗卫星在生命周期内,由于仪器的衰减,观测结果也会发生变化。作为长时间序列卫星云气候数据,需要保证不同卫星、不同传感器得到的数据,以及相同卫星相同传感器在不同时间获取的数据具有良好的一致性,再通过稳定可靠的反演算法,获得质量稳定的数据,从而在气候监测和气候变化研究中发挥作用。

长时间序列云气候数据集的研制涉及数据的再定位、重定标、反演算法等多领域问题。本文仅限于对目前在科研业务领域应用较为广泛的几个云气候数据集做一简述,不涉及再定位和重定标处理的具体算法。

1 云参数反演使用的主要传感器

通过遥感手段探测云,一般是利用某些对云敏感的光谱范围,测量地球表面或地球上大气系统发射或反射的辐射,再将测量辐射转换为云参数。云参数的反演一般需要两个步骤:首先是云检测,将探

2017-07-10 收到, 2017-10-10 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41175022, 61531019)

* email: liujian@cma.gov.cn

测像元分为云像元和晴空像元。其次在云检测基础上,采用数学和物理方法进行云参数的反演。可反演的云参数分为宏观参数,如云量、云顶高度、云顶温度、气压等;微观参数,如云红外发射率、云光学厚度、粒子有效半径、云水路径等。

已有静止和极轨气象卫星上均具有的载荷是可见光红外多光谱成像仪。通过有限的相互分离的波段(通常从可见光到热红外波段)上的辐射测量,可获取云的观测信息。静止气象卫星数据来源可包括我国的风云二号(FY-2)、日本的静止气象卫星(GMS,MTSAT,Himawari)、美国的GOES和欧盟的MTETOSAT等系列卫星。极轨卫星数据源可来自风云一号(FY-1)、风云三号(FY-3)、美国NOAA,NPP,Terra,Aqua及欧盟的Metop等。目前的全球气候数据集中还未使用FY-1,FY-3和NPP的数据。

可见光红外成像仪提供的可见光通道反射率和红外通道亮温数据,是进行云检测、云量、云光学厚度、云顶粒子有效半径、云相态、云类等参数反演的主要探测仪器。云检测是云参数反演的基础。云一般表现比地表亮或冷,而且云在时间和空间上的分布比晴空下垫面具有更强的变化性。这些特征使大部分的云可以较为容易地被检测出来。然而在一些情况下,如云和地表的辐射差异很小(冰雪上的云,海洋或云边界处湿边界层附近低云和地表的差异很小时),或地表比云顶更暖(大气逆温层)时云检测会遇到困难。

利用云检测数据,可计算云量,云量定义为总像元中云像元所占比例。基于正演辐射传输模式,利用辅助数据,计算出云在卫星接收辐射中的贡献量而实现对云参数如云光学厚度、云顶粒子有效半径等的反演。对同一场景的多角度观测用来获取立体云顶高度,如Terra上的MISR(multiangle imaging spectro radiometer)具有4个可见光通道、9个观测角度^[1]。由于冰云的极化散射不同于水云,因此,可利用如PARASOL(polarization and anisotropy of reflectances from atmospheric sciences coupled with observations from a lidar)上的具有8个可见光通道(包括3个极化通道),最多有16个观测视场的POLDER(polarization and directionality of earth's reflectances)数据判别云相态^[2]。

红外垂直探测仪最早的设计是利用红外波段CO₂、水汽和O₃吸收通道反演大气温湿廓线^[3-6]。

可选用的数据包括NOAA和Metop搭载的HIRS(high resolution infrared radiation sounder)、Aqua搭载的AIRS(atmospheric infrared sounder)、Metop搭载的IASI(infrared atmospheric sounding interferometer)以及FY-3搭载的IRAS(infraRed atmospheric sounder)。这些数据的星下点空间分辨率约为15 km。MODIS上一些通道的设置类似于HIRS,具有相似的反演能力,且具有更高的空间分辨率。这些红外探测仪可提供白天和夜间更为准确的卷云(半透明冰云)探测数据。

云顶位置参数包括云顶温度、云顶气压和云顶高度。反演这些参数所需的大气温度廓线信息可从垂直探测或模式再分析数据中获取。不同数据集中云顶位置参数的差异可源于所采用的不同大气温度廓线数据,或不同仪器对云的探测能力。

除了红外探测仪,探测系统中还包括微波探测仪,如MSU(microwave sounding unit)、AMSU(advanced microwave sounding unit)。FY-3的微波温度计(microwave temperature sounding,MWTS)和微波湿度计(microwave humidity sounding,MWHS)也可用于大气廓线的反演,同时还可改进云检测精度^[7]。

DMSP(US air force defense meteorological satellite program)搭载的SSM/I(special sensor microwave imager)或Aqua搭载的AMSR-E(advanced microwave sounding radiometer for EOS)及FY-3微波成像仪,可用于反演洋面上云中液态水路径^[8]。

主动传感器扩展了被动传感器对云垂直廓线的探测。2006年发射的CALIPSO(cloud-aerosol lidar and infrared pathfinder satellite observations)激光雷达和云雷达可探测所有云层的底部和顶部高度^[9]。激光雷达较为敏感,可较好地实现对卷云的探测,但其光束只能到达光学厚度小于3的层次。当云光学厚度较大时,激光雷达只能探测到云顶部某些层次的信息。但同时运行的云雷达(CloudSat)则可以提供云底观测信息。尽管两种观测的空间覆盖度较低,但与其他卫星观测数据(如MODIS,AIRS,POLDER)联合使用,可很好地获取不同云类的垂直结构信息。

2 云气候数据集

基于长时间序列的卫星数据,国际上生成了一

系列的云气候数据集^[10]。如早期的国际卫星云气候计划(International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP)由世界气候研究计划(World Climate Research Project, WCRP)发起,成立于 1982 年,目标是收集和分析卫星数据以获取全球、长时间序列的云特征,从而加深云对辐射收支影响的理解及其云在水循环中所起的作用^[11]。美国构建的 Patmos-x(pathfinder atmospheres extended)云参数数据,以 AVHRR 数据为基础,通过反演技术获取包含云量、云发射率、云顶温度、云顶高度、云顶气压、云光学厚度、云顶粒子有效半径、云相态、云水路径等参数^[12]。SCOPE-CM(Sustained and COordinated Processing of Environmental satellite data for Climate Monitoring)是在世界气象组织(WMO)主导下,与 GCOS,CGMS,CEOS 和 GEO 联合开展的卫星基本气候变量处理行动计划。在 2008—

2012 年 SCOPE-CM 的第 1 阶段设置了 5 个先导主题,云是其中之一。该阶段的工作目标就是基于通过系统性地比对不同卫星及不同反演算法,获取 30 年时间序列的全球云参数。在 SCOPE-CM 框架下,EUMETSAT 通过 SAF(Satellite Application Facility)计划,构建了 1982—2009 年的 NOAA/AVHRR 长序列的云量、云顶高度、云光学厚度、云类、云水含量等云参数数据 CLARA-A1 数据集^[13-14],随后更新了云参数的反演算法,并将数据集的时间从 2009 年延长至 2015 年,形成 CLARA-A2 数据。随着 EOS/Terra 和 EOS/Aqua 的相继发射,EOS/MODIS 因具有 36 个探测通道,最高空间分辨率为 250 m 的数据优势,且至今已积累了近 20 年数据而成为云气候数据的重要组成部分。表 1 是上述几类云数据集的主要信息。

表 1 主要云数据集信息

Table 1 Some kinds of cloud climate dataset information

数据集名称	空间分辨率	时间分辨率	时间范围	主要数据源
ISCCP	2.5°×2.5°(C 和 D 系列) 30 km×30 km(DX 数据)	3 h,日,月	1983—2009 年	NOAA,GMS,GOES, METEOSAT
Patmos-x	0.1°×0.1°	每日 2 次,月	1979 年至今	NOAA, Metop
CLARA-A1	0.25°×0.25°	日,月	1982—2009 年	NOAA
CLARA-A2	0.25°×0.25°	日,月	1982—2015 年	NOAA, Metop
MODIS-ST	1 km×1 km,5 km×5 km	每日 2 次,月	2000 年至今 2003 年至今	EOS/Terra EOS/Aqua
HIRS		月	1980—2015 年	NOAA, Metop

2.1 ISCCP 云数据

ISCCP 数据来自全球所有的业务气象卫星观测系统^[15]。为了保证气候研究所需的数据质量,ISCCP 数据将不同仪器的定标通过归一化方法订正到同一标准并进行数据质量检查^[16]。根据统一的数据反演算法,处理生成全球云参数数据。第 1 版本的辐射数据于 1984 年发布,云参数数据(C 系列)于 1998 年发布^[17]。在云参数反演算法更新、云参数种类扩充后,发布了第 2 版数据(D 系列)^[18]。其中,D1 是日气候数据集,包含 206 个参数;D2 数据是月气候数据集,包含 130 个与云有关的参数。参数反演中云顶温度利用红外通道进行反演,云光学厚度在假设了水云和冰云的有效粒子半径后利用可见光通道数据反演;利用白天可见光-红外通道与仅用红外通道两种方法计算中的云量差订正夜间仅有红外通道计算的云量,从而保证云量日夜的计算精度相当。

ISCCP DX 数据空间分辨率为 30 km×30 km,时间分辨率为 3 h。DX 数据包含有定标后的可见光和红外通道辐射值、观测角度信息、分析得到的晴空辐射值、云检测信息及 3 种辐射云模式的输出结果^[18]。由于覆盖全球的各静止气象卫星的观测频次不同,3 h 时间分辨率的 DX 数据中出现了较多的没有观测的空白区域。ISCCP 已发布数据在 2009 年后停止更新。

Rossow 等^[19]用其他数据与 ISCCP 数据进行对比,得到 ISCCP 数据的云量与其他云数据吻合较好,全球偏差为 4% 左右。魏丽等^[20]对中国大陆 ISCCP-C2 和地面数据中 1983 年 7 月、1984 年 1 月云量进行对比,得到二者月平均总云量的分布形势相当一致,但 ISCCP-C2 的数据云量普遍偏低。翁笃鸣等^[21]对比了 1984—1988 年 207 个地面站和 ISCCP 两种数据总云量关系,也得到了类似的结论,并指出地面数据的优势是较真实地反映了局地

云的性质,而 ISCCP 数据更适合于揭示大范围地区的云气候特征。刘洪利等^[22]对比了 1983 年 7 月—1993 年 12 月中国大陆地区 600 个地面站的月平均云量数据与 ISCCP-D2 数据,发现二者总云量的整体分布和气候变化都比较一致,但定量上略有差异,尤其是中国北方地区差异较大。丁守国等^[23]利用 ISCCP 月平均云气候数据集的总云量数据,采用趋势分析的方法,得到 1983 年 7 月—2001 年 9 月全球平均总云量的变化趋势,并分析云量变化的可能原因。王旻燕等^[24]分析了 1984—2006 年 ISCCP-D2 产品和我国地面观测总云量的空间和时间差异,分析表明:ISCCP-D2 总云量产品比地面观测偏高 8.45%,华南地区差异最小,东北地区差异最大。刘瑞霞等^[25]研究表明:ISCCP 的云量与常规观测相比,7 月两者的空间分布具有很好的一致性,白天 ISCCP 的云量比常规观测偏多,夜间 ISCCP 云量比常规观测偏少,7 月 ISCCP 云量的精度高于 1 月。王可丽等^[26]利用青藏高原地面观测站的总云量数据、ISCCP-C2 总云量数据和 NCEP 再分析总云量数据,对比了三者青藏高原地区的时空分布关系,发现 ISCCP-C2 总云量与地面观测总云量有较好的相关关系,它们在青藏高原地区的空间分布形势相似,年变化和年际变化趋势大致相同,并指出量值上的差异主要源于探测手段不同。陈勇航等^[27-28]利用 1983—2001 年 ISCCP-D2 月平均云数据,对西北地区 15 种不同类型云的分布特征进行了分析,结果表明:高原气候区是各种云出现最多的地区,但云水路径值低;西北地区云量的高值区出现在天山山区、北疆地区、陕西东南部和青藏高原的部分地区,此外高云和部分中云云量空间分布特征与降水有较好的一致性。

刘健^[29]利用 1983—2007 年 ISCCP-D2 数据对覆盖我国及周边区域不同云类云顶温度的年、日变化特征进行分析,得到云顶温度的分布特征;对晴空下垫面与最暖云云顶温度差随纬度分布特征、不同区域晴空下垫面及云顶温度与晴空地表温度差日变化特征进行分析,将分析得到的云分布特征及每 3 h 的晴空下垫面 24 年平均亮温作为云检测算法的背景场,用以判识实时动态提取云检测阈值的合理性。

上述研究表明:尽管观测手段和数据再处理方法不同,ISCCP 云参数与其他云数据间有较好的吻合性,能够反映云的真实分布情况,是目前得到全球

公认的云气候数据集。但 ISCCP 数据的空间分辨率较低,不能完全满足科研和业务需求,且目前数据未更新。

2.2 Patmos-x 云数据

2013 年开始,Patmos-x 数据实现了每日更新,实现了 1979 年至今历史与实时数据的对接。Patmos-x 数据取自极轨卫星的 AVHRR 数据,主要是 NOAA 卫星,后期包含 Metop 卫星。Patmos-x 使用 AVHRR/GAC 数据,经过重采样后,形成全球 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 经纬度空间分辨率的产品。重采样主要处理包括一条轨道上的轨道星下点和轨道边缘不同空间分辨率像元及多个轨道重叠时数据的处理^[12]。可见光通道和中波红外通道的再定标方法来自文献^[30-31],再定标数据来自文献^[32-33]。Patmos-x 红外通道的再定标方法取自 Pathfinder 方法^[34]。与 ISCCP 主要通过静止卫星数据构建长时间序列云参数数据相比,Patmos-x 算法与 ISCCP 有所不同^[12]。Patmos-x 在云检测算法中采用 Navie Bayesian 方法,选择深海、浅水、陆地、积雪、南极、北极和沙漠 7 种下垫面类型,使用 6 个 Bayesian 分类器进行云检测,分类器所选用的数据来自 CALIPSO^[35]。采用最优估计迭代方法^[36],利用两个红外通道反演云顶气压和发射率。云光学厚度和云顶粒子有效半径使用可见光通道反演。云水路径由云光学厚度和云顶粒子有效半径推导得到^[37]。目前 Patmos-x 提供卫星的瞬时观测产品,没有日、月合成产品。

Heidinger 等^[38]利用 Aqua/MODIS 云检测产品(MYD35)和 CALIPSO 数据对 Patmos-x 云量数据进行了比对,结果表明:在数据没有做任何空间滤除处理的条件下,Patmos-x 与 CALIPSO 相关系数为 0.9,运用空间滤除处理后相关系数达到 0.95。Patmos-x 与 MYD35 相比也有相似结果。直接比较 2003—2014 年的 Patmos-x 和 MYD35,两种数据在云量的平均值、季节变化和线性趋势等方面,除冰雪覆盖的大部分地区外具有高度一致性。Foster 等^[39]利用 Patmos-x 数据分析了北美云量的变化,发现 1982—2012 年的 30 年间北美云量减少了约 4.2%。

涂钢等^[40]利用 1986—2006 年 Patmos-x 及 ISCCP 总云量和低云云量产品与中国区域地面台站观测的总云量、低云云量数据进行对比分析,分析不同来源、不同观测方法造成的云量数据在时间、空间上

的差异。比对结果表明:与站点观测数据相比,无论 Patmos-x 还是 ISCCP,其总云量数据的空间分布与站点观测数据的格点相关性均好于低云云量数据; Patmos-x 总云量、低云云量多年平均的空间分布较 ISCCP 更接近地面观测;中国区域平均低云云量的线性趋势 Patmos-x 与地面观测一致,表现为显著上升趋势,而 ISCCP 低云云量则呈微弱下降趋势。

2.3 CLARA 云数据

EUMETSAT 研制的云气候数据取自极轨卫星的 AVHRR 数据。CLARA-A1 数据^[13-14]的水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间跨度为 1982—2009 年。CLARA-A1 利用数值预报温湿廓线数据,在 RTTOVS 基础上,反演云顶气压,再根据不同的云类(密实云、部分水云和半透明卷云)反演得到云顶温度和云顶高度。CLARA-A2 在 A1 版数据的基础上,对 NOAA/AVHRR 可见光通道的定标进行均一化处理,改进了 NOAA/AVHRR 红外通道定标精度,对 AVHRR $3.7 \mu\text{m}$ 通道进行中值滤波处理,将数据时间由 2009 年延长至 2015 年,保持了 A1 数据的水平分辨率。A1 和 A2 数据的时间尺度以日产品为主,并提供月平均产品,包括每颗卫星和不分卫星的数据。A2 数据在云检测、云相态产品上提供卫星的瞬时观测产品。在云参数处理方法上,与 A1 相比,A2 数据主要的改进体现在利用 CALIPSO/CALIOP 数据对云的光学厚度进行归类,将云检测阈值细化为区分厚云和半透明云两类

云;引入最暖像元的海表温度检验,改进了针对洋面上薄云和部分覆盖云情况下的云检测方法;新增基于亮温差的动态阈值云检测方法。云检测算法改进后,A2 云检测偏差从 A1 的 14.4% 下降到 13.2%,命中率从 A1 的 75.8% 提高到 79.7%^[41]。与 Patmos-x 保持轨道观测信息的数据不同,CLARA 数据将云参数处理成日平均、白天和夜间数据。

Sun 等^[42]利用 ISCCP, Patmos-x, CLARA-A1 与地面观测数据进行对比,并分析了美国大陆上云量的变化。结果显示,总体上 Patmos-x 与地面观测数据间具有最高的相关性。CLARA-A1 在白天与地面观测相关性最低。Patmos-x 13:30(地方时)的数据与地面观测数据的变化趋势最为接近,其次是 Patmos-x 日数据和 ISCCP 数据,CLARA-A1 与地面观测数据相比有较大不同。

青藏高原由于海拔高,下垫面复杂,是卫星遥感云参数反演的难点区域,同时又是与地面观测相比具有较大观测优势的区域。从各卫星的升降交点地方时的时序变化(图 1)可以看到,不同卫星、或卫星不同生命周期内,NOAA 卫星的漂移比较明显。选择下午星系列卫星(NOAA-07, NOAA-09, NOAA-11, NOAA-14, NOAA-16 和 NOAA-18),比较 1982—2015 年 $20^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$, $73^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E}$ 区域内 CLARA-A1, CLARA-A2 和 Patmos-x 白天(图 2)和夜间(图 3)月平均云量分布。3 种数据分布趋势相同,白天 CLARA-A1 云量最大,Patmos-x 云量最

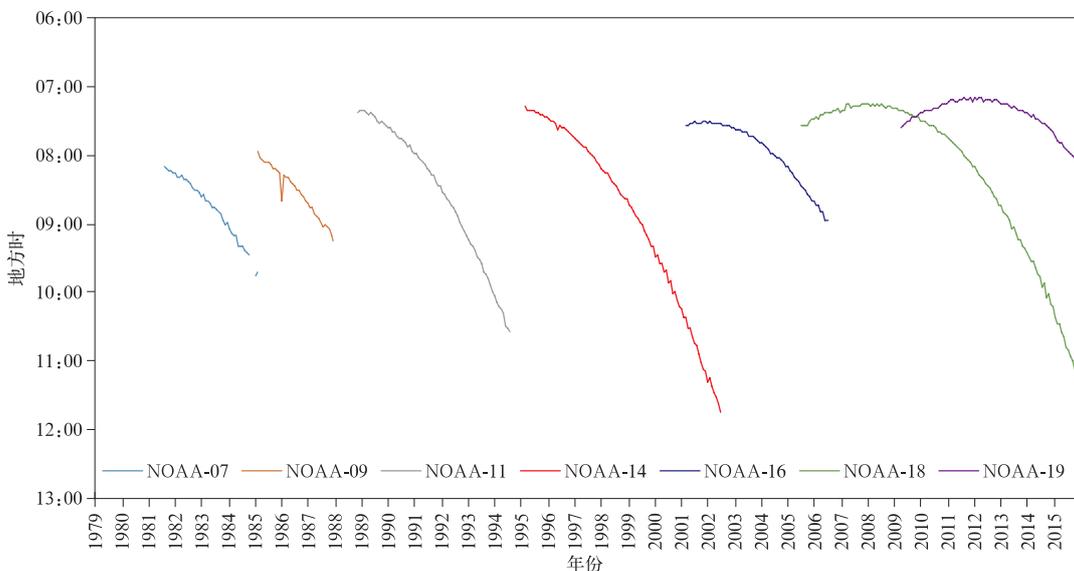


图 1 不同卫星白天观测地方时的时序变化

Fig. 1 Day-time equator observation times for satellites

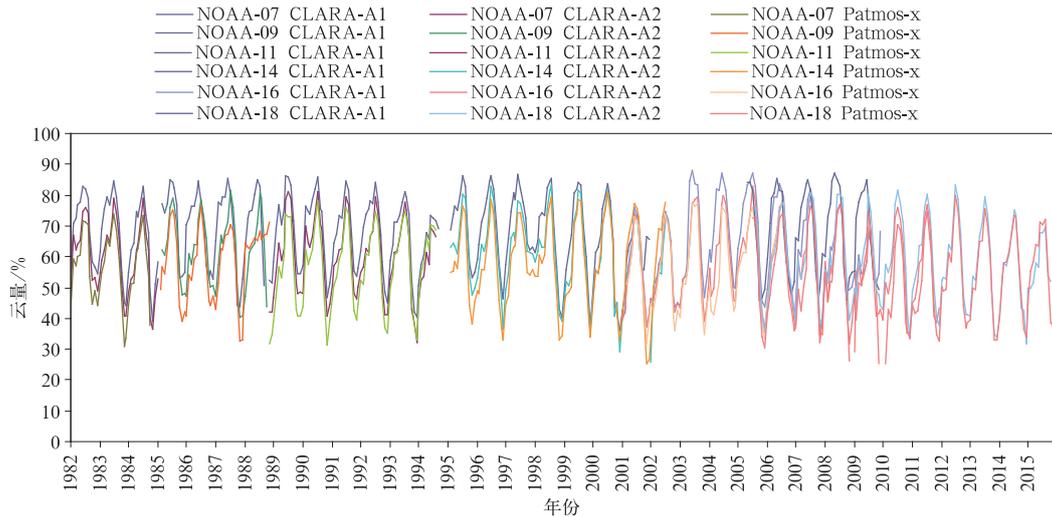


图 2 1982—2015 年 20°~40°N,73°~105°E 区域内 NOAA-07,NOAA-09,NOAA-11, NOAA-14,NOAA-16 和 NOAA-18 卫星的 CLARA-A1,CLARA-A2 及 Patmos-x 月平均白天云量时序图

Fig. 2 Monthly mean cloud fraction at day-time from CLARA-A1, CLARA-A2 and Patmos-x by NOAA-07, NOAA-09, NOAA-11, NOAA-14, NOAA-16 and NOAA-18 over 20°-40°N, 73°-105°E during 1982-2015

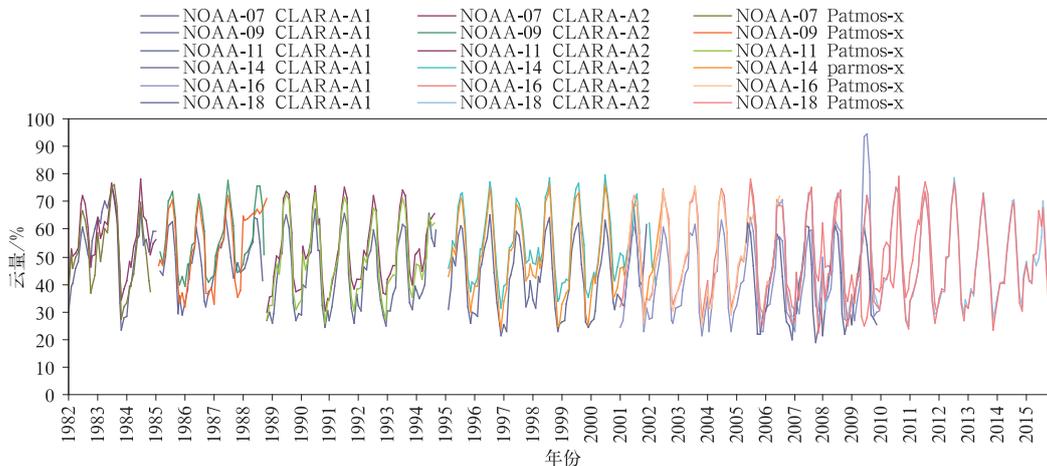


图 3 1982—2015 年 20°~40°N,73°~105°E 区域内 NOAA-07,NOAA-09,NOAA-11, NOAA-14,NOAA-16 和 NOAA-18 卫星的 CLARA-A1,CLARA-A2 及 Patmos-x 月平均夜间云量时序图

Fig. 3 Monthly mean cloud fraction at night-time from CLARA-A1, CLARA-A2 and Patmos-x by NOAA-07, NOAA-09, NOAA-11, NOAA-14, NOAA-16 and NOAA-18 over 20°-40°N, 73°-105°E during 1982-2015

小。夜间 Patmos-x 云量最大,CLARA-A1 云量最小。在采用了相似云检测算法后,CLARA-A2 与 Patmos-x 的差异小于 CLARA-A1 与 Patmos-x 的差异,且整体云量的差异夜间小于白天。从卫星的发展看,后期卫星(如 NOAA-16,NOAA-18),Patmos-x 与 CLARA-A2 云量差异小于前期卫星(如

NOAA-07,NOAA-09): NOAA-16 和 NOAA-18 Patmos-x 与 CLARA-A2 白天云量决定系数均大于 0.93,Patmos-x 与 CLARA-A2 夜间云量决定系数均大于 0.96。NOAA-09 Patmos-x 与 CLARA-A2 白天云量决定系数为 0.78,Patmos-x 与 CLARA-A2 夜间云量决定系数为 0.72。

2.4 EOS/MODIS 云数据

EOS/MODIS 云产品有两类:一类是 ST (science team) 数据,使用光谱通道检测方法计算云量^[43-44],利用 CO₂ 薄片法计算云顶气压和发射率^[45],利用可见光通道的查找表方法反演白天的云光学厚度和云顶粒子有效半径^[46],目前更新至第 6 版(C6);另一类是 MODIS Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Science Team (MODIS-CE) 数据^[47-48],利用红外通道的辐射值反演云顶温度和发射率,基于反射率查找表反演白天的云光学厚度和云顶粒子有效半径。

Kotarba^[49]对波兰地区 2004 年 1 月和 7 月 EOS/MODIS 云量数据进行精度评估,发现与地面观测相比,EOS/MODIS 云量在 1 月高估 7.28%,夏季高估 4.38%。

曹芸等^[50]研究表明:在月平均尺度上,中国区域 MODIS 云量产品与地面云量观测数据的相关性超过 80%,两者间的偏差随纬度和季节变化,冬季最大,中纬度地区偏差大于 40%;夏季最小,一般在 10%左右。

刘瑞霞等^[51]选用 2004 年 1 月和 7 月的 ISCCP-D1、常规观测以及 Terra/MODIS 总云量进行对比,结果表明:1 月 MODIS 总云量比其他两种数据偏大,而 7 月最小。相对常规观测,1 月 ISCCP 总云量精度优于 MODIS,而 7 月 MODIS 总云量略优于 ISCCP。

陈勇航等^[52]采用 2002 年 7 月—2004 年 6 月 CERES SSF Aqua MODIS Edition 1B 云数据,选取我国西北地区不同气候环境条件下的 4 个典型地域,研究了总云量、低云云量和高云云量的空间分布特征以及季节和年变化特征。结果表明:低云云量的高值区不仅分布在山脉地区,而且也分布在非山脉地区。但高云云量高值区只分布在山脉地区;总体上云量大小随地域的不同相差相当大,高云云量年平均值的最大差异发生在祁连山区和塔克拉玛干沙漠之间,两者相差 16.14%。而总云量和低云云量年平均值在季风区和塔克拉玛干沙漠地区相差最大,分别可达 27.16%和 19.15%。季风区和祁连山区云量最大值一般都出现在夏季,天山和塔克拉玛干沙漠地区云量最大值一般都出现在春季,最小值则均出现在秋冬季。3 个云量参数值在 3—9 月

较高,最低值出现在 10—12 月。段皎等^[53]利用 ISCCP-D2 和 MODIS 云数据,分析了中国地区云的光学厚度和云滴有效半径的分布特征,结果表明,夏季云的光学厚度和有效半径的变化趋势最显著。吴晓等^[54]利用 MODIS 云光学厚度、云粒子有效半径、云顶高度、云相态等产品,以及表征 6 种云类的云光学厚度、云粒子有效半径、云顶高度、云相态的特征值,采用最小距离分类法和多阈值判识法相结合,对卫星观测像元的云进行分类,包括层云、层积云、积云、积雨云、雨层云、高积云/高层云、卷云以及卷云伴随高积云或高层云的多层云、卷云伴随层云或层积云的多层云、高积云或高层云伴随层积云或层云的多层云 10 类。2008 年、2013 年卫星分类结果与地面云类观测对比,达到 60%的一致性。刘健^[55]分析比较了青藏高原上空 2000—2007 年 MODIS-ST 云参数与 ISCCP 云参数,两种数据的云光学厚度和云水路径的多年变化趋势相当,数值的大小有所不同,出现差别的主要原因是采用了不同的反演算法。高空间分辨率数据比低空间分辨率数据具有更多的波动性,反映出高空间分辨率数据可以更好地反映云性质的局地性特征。利用 2000—2010 年 MODIS-ST 云参数分析青藏高原云微物理特性的时空变化可知:2000—2010 年青藏高原上云的光学厚度有减小的趋势;云水路径年季变化有少许波动,但没有明显的多年变化趋势。青藏高原的云光学厚度和云水路径近 10 年变化间的同步性大体相当,2002 年春季出现了较为明显的反相,云光学厚度减小的同时云水路径增大。青藏高原夏季的云光学厚度和云水路径是全年中的极大值,近 10 年出现较明显的减小趋势,反映出近年来青藏高原夏季云的厚度逐渐变薄,云中含水量逐渐减小。在空间分布上,青藏高原的云光学厚度和云水路径从东南向西北减少。图 4 和图 5 分别为 2005—2015 年 20°~40°N, 73°~105°E 区域内 Patmos-x 和 CLARA-A2 中 NOAA-18 和 Aqua/MODIS 月平均白天(图 4)和夜间(图 5)云量时序分布图。对比图 4 和图 5 可知,月平均白天云量 Patmos-x, CLARA-A2 和 Aqua/MODIS 3 种数据间的差异较小,尤其是夏季云量较多时。在夜间,同样采用 NOAA-18 数据源的 Patmos-x 和 CLARA-A2 云量基本相同, Aqua 与 NOAA-18 差异主要体现在冬春的云量低值时段。主要原因可能来自两颗卫星的探测能力和反演算法不同及两颗卫星的观测时间存在差异。

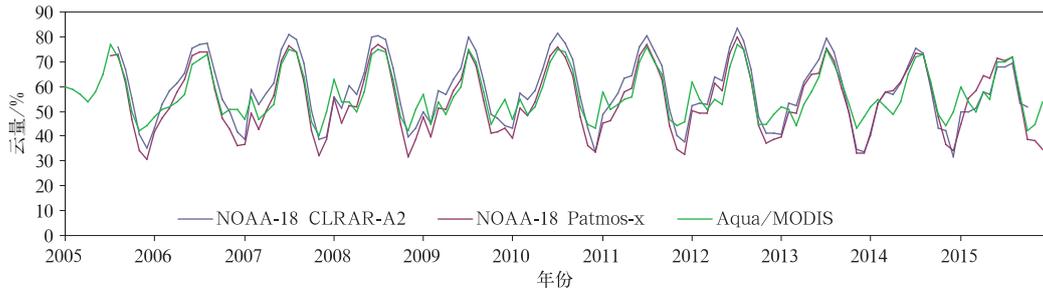


图 4 2005—2015 年 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 区域内 CLARA-A2, Patmos-x 的 NOAA-18 和 Aqua/MODIS 月平均白天云量时序图

Fig. 4 Monthly mean cloud fraction at day-time from CLARA-A2, Patmos-x by NOAA-18 and Aqua/MODIS over $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ during 1982—2015

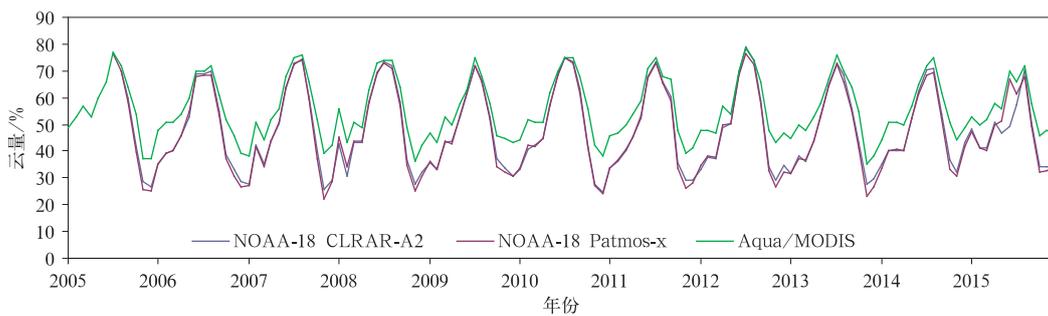


图 5 2005—2015 年 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 区域内 CLARA-A2, Patmos-x 的 NOAA-18 和 Aqua/MODIS 月平均夜间云量时序图

Fig. 5 Monthly mean cloud fraction at night-time from CLARA-A2, Patmos-x by NOAA-18 and Aqua/MODIS over $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ during 1982—2015

2.5 HIRS 云数据

从 1978 年至今的 NOAA, Metop 极轨卫星上均搭载有红外辐射探测仪 (high resolution infrared radiation sounder, HIRS)。其 $4.3\ \mu\text{m}$ 和 $15\ \mu\text{m}$ CO_2 及 $6.7\ \mu\text{m}$ 通道可获取云顶部参数信息, 如云顶高度、云顶温度、云顶有效发射率等^[56-57]。通过定标再处理^[58-59], 星-星间 HIRS 数据的差异得到降低。将 Patmos-x 的 AVHRR 云检测结果和云类判别结果引入 HIRS 云检测算法中^[60-61]。云顶参数 (高度、气压、温度) 采用与 EOS/MODIS 第 6 版数据相同的反演算法^[62-63]。Menzel 等^[64] 对 1980—2015 年 HIRS 再处理数据评估后认为, 引入 AVHRR 数据可以较好地提高 HIRS 亚像元的云检测精度。采用 CO_2 薄片法可以较好地解决半透明卷云云顶气压和有效发射率的反演, 但对于与地面没有明显红外辐射差值的低云反演误差较大。对 HIRS 进行再定标和云检测算法改进后, 从 1980—2015 年 HIRS 数据分析得到云出现频次为 76.5%, 其中高云出现频次为 36.1%。

2.6 NOAA/AVHRR 总云量

中国气象局国家卫星气象中心基于存档的中国及周边区域 NOAA/AVHRR 轨道数据, 在人工定位导航进行再定位的基础上, 选用 NOAA 公布的再定标系数, 改进的云检测算法和云量计算方法, 生成 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $64^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 区域, 水平分辨率为 $0.01^{\circ}\times 0.01^{\circ}$, 1989—2008 年共 20 年的逐日云量数据。经分析, NOAA/AVHRR 计算的总云量能较好地反映中国总云量的变化特征, 总体上在统计意义上要比站点观测总云量略偏低。当以地面观测云为真值, 与 MODIS 云检测产品相比, 利用 NOAA/AVHRR 检测的云像元准确性较高, 误判率较低。利用 EOF 和 SVD 分解分析 NOAA/AVHRR 计算总云量与地面观测和 MODIS 产品的相似度, 得到 NOAA/AVHRR 计算总云量在空间分布上更接近站点观测值。AVHRR 计算值和地面观测值的前 5 个模态相关系数分别为 0.95, 0.95, 0.94, 0.92 和 0.88, 均大于 MODIS 和地面观测值前 5 个模态相关系数 0.89, 0.91, 0.90, 0.88 和 0.74, 说明与 MO-

DIS 总云量产品相比, AVHRR 计算总云量与地面观测总云量间的吻合度更高, AVHRR 计算值更加接近于地面观测值, 特别在冬季, NOAA/AVHRR 计算总云量明显好于 MODIS 总云量产品^[65-66]。与 CLARA 和 Patmos-x 数据相比, 目前中国气象局国家卫星气象中心处理的 NOAA/AVHRR 云量数据的区域空间分辨率较高, 但不是全球数据且时间序列较短。

3 小结

随着气象卫星观测能力的提升, 数据累积时间的延长, 数据处理算法的改进, 卫星云气候数据必将成为云气候研究中的重要数据源。由于每颗卫星都有其业务运行的生命周期, 不同卫星也具有观测时间和性能的差异, 因此, 将长时间序列卫星数据处理成为气候数据需要解决的科学问题还很多, 不仅涉及到稳定高效的反演算法, 而且还有为保证卫星数据均一性的基础互定标准准确性问题:

1) 已有的卫星气候数据除 ISCCP 外, 均以极轨气象卫星数据为主。分别以极轨卫星和静止卫星观测数据为基础的全球长时间序列云气候数据集各有优缺点。对卫星的瞬时观测而言, 极轨卫星尽管观测时间频次较低, 不利于研究云的日变化, 但一颗极轨卫星平均 14 条轨道即可获取到全球观测数据, 已有的极轨卫星的观测能力相近, 形成长时间序列数据需要解决的问题集中在同一卫星观测周期内及不同卫星在不同观测周期期间的相对定标精度。静止气象卫星具有较高的观测频次, 可满足云日变化研究的需求。但任何一颗静止气象卫星都无法获取到全球观测, 需要几颗静止气象卫星的组网观测。多颗卫星数据的联合使用, 就需要卫星间的观测性能(空间、时间、光谱)相近, 定标精度相同。这对长时间序列的静止气象卫星气候数据处理要求较高。

2) 对日平均、月平均数据处理而言, 极轨气象卫星由于在生命周期内会出现轨道漂移, 数据均一化订正技术是处理的重点。同轨道一条扫描线上像元具有不同的空间分辨率, 在高纬度和极地出现多条轨道的重叠, 使极轨卫星数据的重采样方法成为极轨卫星数据处理中的一个重要技术环节。静止气象卫星自身的定位精度是日、月尺度合成数据处理中不可忽视的问题, 但同颗卫星重采样处理的技术难度较小。

3) 构建长时间序列的卫星云气候数据集, 定标精度、定位精度、数据重处理算法等是除了云参数反演算法外, 非常重要的数据处理环节, 对最终的数据质量有重要影响。如何发挥极轨气象卫星和静止气象卫星的各自优势, 融合两类卫星数据, 形成高时间分辨率、质量稳定的长时间序列云气候数据集, 以满足业务、科研需求, 是未来要解决的问题。

4) 卫星观测可以提供大范围、客观、量化的云观测, 与地基云观测相比, 各有其特点和局限性, 两类数据存在差异, 如当云同时存在于同一大气柱的不同层次时, 地面观测能准确地记录低云的信息, 却观测不到受低云遮挡的高云。同样, 卫星观测对高云的观测准确性高于对低云的观测, 但无法准确探测到高云下的低云信息。在综合使用长时间序列不同观测源数据时, 需要了解各种数据的特点。

参考文献

- [1] Di G, Menzies A, Zhao G, et al. MISR Level 3 Cloud Fraction by Altitude Algorithm Theoretical Basis. Jet Propulsion Laboratory Rep. JPL D-62358, 2010.
- [2] Goloub P, Herman M, Chepfer H, et al. Cloud thermodynamical phase classification from the POLDER spaceborne instrument. *J Geophys Res*, 2000, 105: 14747-14759.
- [3] Fritz S, Wark D Q, Fleming H E, et al. Temperature Sounding from Satellites. NOAA Technical Report, 1972, NESS 59. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Service, Washington D C. 1972.
- [4] Rodgers C D. Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. *Rev Geophys Space Phys*, 1976, 14: 609-624.
- [5] Houghton J T, Taylor F W, Rodgers C D. Remote Sounding of Atmospheres. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [6] Twomey S. An Introduction to the Mathematics of Inversion in Remote Sensing and Indirect Measurements. New York: Elsevier, 1977.
- [7] Scot N A, Chedin A, Armante R, et al. Characteristics of the TOVS Pathfinder Path-B dataset. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80: 2679-2701.
- [8] O'Dell C W, Wentz F J, Bennartz R. Cloud liquid water path from satellite-based passive microwave observations: A new climatology over the global oceans. *J Climate*, 2008, 21: 1721-1739.
- [9] Stephens G L, and Coauthors. The CloudSat mission and the A-Train. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83: 1771-1790.
- [10] Stubenrauch C J, Rossow W B, Kinne S, et al. Assessment of global cloud datasets from satellites. *Bull Amer Meteor Soc*,

- 2013, 6:1031-1049.
- [11] Schiffer R A, Rossow W B. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research Programme. *Bull Amer Meteor Soc*, 1983, 64:779-784.
- [12] Heidinger A K, Foster M, Walther A, et al. The pathfinder atmospheres- extended AVHRR climate dataset. *Bull Amer Meteor Soc*, 2014, 7:909-922.
- [13] Karlsson K G, Riihela A, Müller R, et al. CLARA-A1: A cloud, albedo, and radiation dataset from 28 yr of global AVHRR data. *Atmos Chem Phys*, 2013, 13:5351-5367.
- [14] Karlsson K G, Anttila K, Trentmann J, et al. CLARA-A2: The second edition of the CM SAF cloud and radiation data record from 34 years of global AVHRR data. *Atmos Chem Phys*, 2017, 17:5809-5828.
- [15] Schiffer R A, Rossow W B. ISCCP global radiance data set: A new resource for climate research. *Bull Amer Meteor Soc*, 1985, 66:1498-1505.
- [16] Rossow W B, Kinsella E, Wolf A, et al. International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) Description of Reduced Resolution Radiance Data. WMO/TD 58 (Revised), World Climate Research Program (ICSU and WMO), 1987.
- [17] Rossow W B, Schiffer R A. ISCCP cloud data products. *Bull Amer Meteor Soc*, 1991, 72:2-20.
- [18] Rossow W B, Schiffer R A. Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80(11): 2261-2287.
- [19] Rossow W B, Walker A W, Gander L C. Comparison of ISCCP and other cloud amounts. *J Climate*, 1993, 6:2394-2418.
- [20] 魏丽, 钟强, 侯萍. 中国大陆卫星反演云参数的评估. *高原气象*, 1996, 15(2): 147-156.
- [21] 翁笃鸣, 韩爱梅. 我国卫星总云量与地面总云量分布的对比分析. *应用气象学报*, 1998, 9(1): 32-37.
- [22] 刘洪利, 朱文琴, 直树华, 等. 中国地区云的气候特征分析. *气象学报*, 2003, 61(4): 466-473.
- [23] 丁守国, 赵春生, 石广玉, 等. 近 20 年全球总云量变化趋势分析. *应用气象学报*, 2005, 16(5): 670-676.
- [24] 王旻燕, 王伯民. ISCCP 产品和我国地面观测总云量差异. *应用气象学报*, 2009, 20(4): 411-418.
- [25] 刘瑞霞, 刘玉洁, 杜秉玉, 等. 利用 ISCCP 资料分析青藏高原云气候特征. *南京气象学院学报*, 2002, 25(2): 226-234.
- [26] 王可丽, 江灏, 陈世强, 等. 青藏高原地区的总云量-地面观测、卫星反演和同化资料的对比分析. *高原气象*, 2001, 20(3): 252-257.
- [27] 陈勇航, 黄建平, 王天河, 等. 西北地区不同类型云的时空分布及其与降水的关系. *应用气象学报*, 2005, 16(6): 717-727.
- [28] 陈勇航, 陈艳, 黄建平, 等. 中国西北地区云的分布及其变化趋势. *高原气象*, 2007, 26(4): 741-748.
- [29] 刘健. 中国区域云特性分析及其在 FY-2 云检测中的应用. *应用气象学报*, 2009, 20(6): 673-681.
- [30] Heidinger A, Straka W C, Molling C C, et al. Deriving an inter sensor consistent calibration for the AVHRR solar reflectance data record. *Int J Remote Sensing*, 2010, 31: 6493-6517.
- [31] Heidinger A, Cao C, Sullivan J T. Using Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) to calibrate Advanced Very High Resolution Radiometer reflectance channels. *J Geophys Res*, 2002, 107: 4702.
- [32] Zhao Y T, Heidinger A K, Knapp K R. Long-term trends of zonally averaged aerosol optical thickness observed from operational satellite AVHRR instrument. *Meteor Appl*, 2011, 18: 440-445.
- [33] Cermak J, Wild M, Knutti R, et al. Consistency of global satellite-derived aerosol and cloud data sets with recent brightening observations. *Geophys Res Lett*, 2010, 37: L21704.
- [34] Rao C R N, Sullivan J T, Walton C C, et al. Nonlinearity Corrections for the Thermal Infrared Channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer: Assessment and Corrections. NOAA Tech Rep, NESDIS 69, 1993.
- [35] Heidinger A K, Evan A T, Foster M J, et al. A naive Bayesian cloud detection scheme derived from CALIPSO and applied within PATMOS-x. *J Appl Meteor Climatol*, 2012, 51: 1129-1144.
- [36] Heidinger A K, Pavolonis M J. Gazing at cirrus clouds for 25 years through a split window. Part I: Methodology. *J Appl Meteor Climatol*, 2009, 48: 1100-1116.
- [37] Walther A, Heidinger A. Implementation of the daytime cloud optical and microphysical properties algorithm (DCOMP) in PATMOS-x. *J Appl Meteor Climatol*, 2012, 51: 1371-1390.
- [38] Heidinger A, Foster M, Botambekov D, et al. Using the NASA EOS A-train to probe the performance of the NOAA PATMOS-x cloud fraction CDR. *Remote Sensing*, 2016, 8: 511-528.
- [39] Foster M J, Heidinger A. Entering the Era of 30-year satellite cloud climatologies: A north American case study. *J Climate*, 2014, 27: 6687-6697.
- [40] 涂钢, 刘波, 于清波. PATMOS-X、ISCCP 云量产品及地面观测在中国区域的对比分析. *地理科学*, 2014, 34(2): 198-204.
- [41] Karl-Göran K, Kati A, Jörg T, et al. CLARA-A2: The second edition of the CM SAF cloud and radiation data record from 34 years of global AVHRR data. *Atmos Chem Phys*, 2017, 17: 5809-5828.
- [42] Sun B M, Free M, Yoo H Y, et al. Variability and trends in US cloud cover: ISCCP, Patmos-x and CLARA-A1 compared to homogeneity-adjusted weather observations. *J Climate*, 2015, 28: 4373-4389.
- [43] Ackerman S A, Strabala K I, Menzel W P, et al. Discriminating clear-sky from clouds with MODIS. *J Geophys Res*, 1998, 103(D24): 32141-32157.
- [44] Frey R A, Ackerman S A. Cloud detection with MODIS. Part I: Recent improvements in the MODIS cloud mask. *J Atmos Oceanic Technol*, 2008, 25: 1057-1072.
- [45] Menzel W P, and Coauthors. MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: Algorithm description and re-

- sults. *J Appl Meteor Climatol*, 2008, 47: 1175-1198.
- [46] Platnick S, King M D, Ackerman S A, et al. The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2003, 41: 459-473.
- [47] Minnis P, Szedung S M, Yan C. CERES edition-2 cloud property retrievals using TRMM VIRS and Terra and Aqua MODIS data. Part I: Algorithms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, 49(11): 4374-4400.
- [48] Minnis P, Szedung S M, Yan C, et al. CERES Edition-2 cloud property retrievals using TRMM VIRS and Terra and Aqua MODIS data. Part II: Examples of average results and comparisons with other data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, 49(11): 4401-4430.
- [49] Kotarba A Z. A comparison of MODIS-derived cloud amount with visual surface observations. *Atmospheric Research*, 2009, 92: 522-530.
- [50] 曹芸, 何永健, 邱新法, 等. 基于地面观测资料的 MODIS 云量产品订正. *遥感学报*, 2012, 16(2): 325-342.
- [51] 刘瑞霞, 陈洪滨, 郑照军, 等. 总云量产品在中国区域的分析检验. *应用气象学报*, 2009, 20(5): 571-578.
- [52] 陈勇航, 毛晓琴, 黄建平, 等. 西北典型地域条件下云量的对比分析. *气候与环境研究*, 2009, 14(1): 77-84.
- [53] 段皎, 刘煜. 中国地区云光学厚度和云滴有效半径变化趋势. *气象科技*, 2011, 39(4): 408-416.
- [54] 吴晓, 游然, 王旻燕, 等. 基于 MODIS 云宏观特性的卫星云分类方法. *应用气象学报*, 2016, 27(2): 201-208.
- [55] 刘健. 利用卫星数据分析青藏高原云微物理特性. *高原气象*, 2015, 32(1): 38-45.
- [56] Wylie D P, Menzel W P. Eight years of high cloud statistics using HIRS. *J Climate*, 1999, 12: 170-184.
- [57] Wylie D P, Jackson D L, Menzel W P, et al. Trends in global cloud cover in two decades of HIRS observations. *J Climate*, 2005, 18: 3021-3031.
- [58] Cao C, Goldberg M, Wang L. Spectral bias estimation of historical HIRS using IASI observations for improved fundamental climate data records. *J Atmos Oceanic Technol*, 2009, 26: 1378-1387.
- [59] Chen R, Cao C. Physical analysis and recalibration of MetOp HIRS using IASI for cloud studies. *J Geophys Res*, 2012, 117: D03103.
- [60] Chen R, Cao C, Menzel W P. Intersatellite calibration of NOAA HIRS CO₂ channels for climate studies. *J Geophys Res*, 2013, 118: 5190-5203.
- [61] Nagle F W, Holz R E. Computationally efficient methods of collocating satellite, aircraft, and ground observations. *J Atmos Oceanic Technol*, 2009, 26: 1585-1595.
- [62] Menzel W P, and Coauthors. MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: Algorithm description and results. *J Appl Meteor Climatol*, 2008, 47: 1175-1198.
- [63] Baum B A, Menzel W P, Frey R A, et al. MODIS cloudtop property refinements for collection 6. *J Appl Meteor Climatol*, 2012, 51: 1145-1163.
- [64] Menzel W P, Frey R A, Borbas E E, et al. Reprocessing of HIRS satellite measurements from 1980 to 2015: Development toward a consistent decadal cloud record. *J Appl Meteor Climatol*, 2016, 55: 2397-2410.
- [65] 刘健, 张里阳. 气象卫星高空间分辨率数据的云量计算与检验. *应用气象学报*, 2011, 22(1): 35-45.
- [66] 刘健, 杨晓峰, 崔鹏. NOAA 卫星 2007 年总云量数据精度评估. *高原气象*, 2016, 35(4): 1027-1038.

Assessment on Main Kinds of Satellite Cloud Climate Datasets

Liu Jian¹⁾ Wang Xijin²⁾

¹⁾ (National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

²⁾ (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract

Cloud is not only a key parameter that affects the radiation balance between earth and atmosphere system, but also is an important index to research atmosphere cycle and climate change. Cloud information can be achieved by surface observation, but it is limited by the spatial and temporal distribution of stations. Only satellite observations can provide a continuous synoptic survey of the state of the atmosphere over the entire globe, and satellite remote sensing also has advantages in observation area and time frequency. The operational weather satellite sensors can supply data records as long as more than 40 years, provide major support for cloud climate research. Whereas polar-orbiting cross-track scanning sensors generally only provide daily global coverage at particular local times, geostationary satellites are placed at particular longitudes along the equator and permit higher-frequency temporal sampling.

Building the cloud climate dataset is related with some factors, such as recalibration, stable retrieval algorithm and validation. Based on long term satellite data, several cloud climate datasets, such as ISCCP, Patmos-x, CLARA, MODIS-ST, HIRS and so on are built selecting different instruments and different retrieval algorithm. Spatial and temporal resolutions of these cloud climate datasets are also different. Focusing on different properties of these cloud climate datasets including instruments and retrieval algorithm, references are cited to show the accuracy of these cloud climate datasets. Applications of these cloud climate data in weather and climate analysis are also introduced. As an example, the Tibetan Plateau is selected to analyze the difference between Patmos-x and CLARA-A2 that has the same satellite data source and high similar cloud detection algorithm. In long term, the changing trend is similar. The difference between these two cloud datasets is the spatial resolution: For Patmos-x, it's 0.1° , while for CLARA-A2, it's 0.25° . Compared with CLARA-A2, the Patmos-x has smaller cloud amount at day-time and has larger cloud amount at night-time. Based on NOAA-18 and Aqua data, Patmos-x, CLARA-A2 and Aqua/MODIS cloud amount during 2005 and 2015 are compared. Results show that the difference between three kinds of cloud amount is smaller in day-time, especially in summer. The difference increases in night-time, especially in winter and spring. The main cause may come from different observation ability, retrieval algorithm and observation time of different satellites.

Key words: satellite; cloud; climate data