

张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集

李国庆¹, 张 浩¹, 解吉波^{1*}, 苑方艳¹, 李海巍^{1,4}, 钱建梅², 万 伟³, 马广斌¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 国家卫星气象中心, 北京 100081;
3. 中国资源卫星应用中心, 北京 100094; 4. 中南大学, 长沙 410083

摘 要: 随着在轨卫星的数量逐步增加, 在卫星精确成像规划和控制技术支持下, 开展多星同步协同组网观测和地面同步试验, 对卫星多源辐射归一化、卫星产品反演真实性检验和数据尺度转换的研究等具有重要意义。2013年6月, 作者在张掖地区开展了多星协同观测和地面同步试验, 此区域地表类型多样, 满足该次同步试验的要求, 观测类型包括城区、山地、沙漠、森林及农作物, 采用多颗卫星和地面观测仪器之间的准同步观测, 获得同期组网遥感观测实验数据, 数据涉及到10颗卫星22个传感器和3种地面观测仪器。本文对张掖地区多星同步协同观测数据集进行了详细的阐述, 包括测量目的、测量方法、数据处理流程和结果, 并对数据的可用范围给予了重点讨论。本数据集由30个文件组成, 压缩后数据量约7.05 GB。

关键词: 卫星同步协同组网观测; 多星辐射归一化; 星地联合观测; 张掖实验区

DOI: 10.3974/geodp.2017.02.13

1 前言

对地观测卫星获得的卫星遥感数据已经广泛应用于军、民领域。随着对地观测卫星的数量和类型越来越多, 遥感数据应用的需求更加多样化和复杂化, 卫星获取数据空间覆盖广阔性, 时间覆盖持续性和波段覆盖上的完善性^[1]也趋于精细化。近年来, 随着科技和经济的不断进步, 我国在轨卫星的数量逐步增加, 卫星的性能不断提高, 遥感数据应用需求也更加多样化、复杂化。单颗及单类卫星难以完成对移动目标和周期目标的持续观测, 但利用规划算法调度多颗、多类位于不同轨道的卫星相互协同观测, 可以达到此需求。借助不同卫星不同的过境时间及所携带的不同种类传感器, 可以获得感兴趣地面目标的遥感数据, 并将这些成像数据返回地面接收控制中心, 经过分析、判别和处理后满足不同的应用需求。S. Burrow Bridge^[2]对多颗卫星对地面观测的测控问题进行了研究, 对地面测控资源的优化及合理分配进行了详细的论证。Al.Globus^[3]考虑了地面观测目标优先级的问题及传感器观测的约束条件, 建立了多颗卫星对地观测的调度模型。贺仁杰^[4, 5]将卫星任务规划看作多机器加工调度问题, 把时间窗口约束加入到卫星任务的规划调度中。白保存^[6-8]考虑到多星观测的多任务合成因素, 建立了任务合成约束的任务规划模型。

收稿日期: 2014-11-25 修订日期: 2014-12-22; 出版日期: 2017-06-25

通讯作者: 解吉波 L-6473-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, jbxie@ceode.ac.cn

论文引用格式: 李国庆, 张浩, 解吉波等. 张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集[J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(2): 216-224. DOI:10.3974/geodp.2017.02.13.

数据集引用格式: 李国庆, 张浩, 解吉波等. 张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集[DB]. 全球变化科学研究数据出版系统, DOI:10.3974/geodb.2014.02.15.V1.

采用多个卫星对同一地面区域进行观测的同时，用地面观测仪器进行严格同步观测，获得大量的组网遥感观测实验数据，是多星同步协同观测产出的重要成果。利用同步协同观测数据，可以根据实验当天测得的大气数据对观测影像做高精度的大气纠正；根据同步测得的地面光谱可以检测传感器的定标系数和性能变化；对于多星辐射归一化，可以根据同步的数据检测辐射归一化的精度，由此生产归一化辐射标准的数据产品，为后期数据的定量化应用提供可靠保障。本文给出同步协同观测数据的详细信息和数据开发基本原理和数据可靠性论证。

本文是在国家 863 重大研究项目 2013AA12A300 资助下，由多个卫星中心和科研单位联合在张掖地区开展的一次多卫星组网同步观测和地面联合试验生成的数据集。

2 数据集元数据简介

张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集^[9] (ZYCOLDDATA) 的名称、短名名称、通讯作者、作者、地理区域、空间分辨率、数据出版时间、数据共享网络服务平台、数据集组成、出版及责任编辑等信息一并列于表 1。

3 数据采集及研发方法

张掖地区多星同步协同观测数据集是在严格的星地组网观测控制下，经过卫星数据获取和处理、地面仪器测量和后期处理得到的同步数据。数据组成主要包括：地面光谱数据、实测大气数据、漫总比测量数据、卫星观测数据。

表 1 张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集元数据简表

条 目	描 述
数据库（集）名称	张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测数据集
数据库（集）短名	ZYCOLDDATA-2013
通讯作者	解吉波 L-6473-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, jbxie@ceode.ac.cn 李国庆 L-5718-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, ligq@radi.ac.cn 张 浩 L-5733-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, haozhang@ceode.ac.cn
作者信息	解吉波 L-6473-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, jbxie@ceode.ac.cn 苑方艳 L-7263-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, fyyuan@ceode.ac.cn 李海巍 L-5922-2016, 中南大学, haiwei6583@163.com 钱建梅 D-6692-2017, 国家卫星气象中心, qianjm@cma.gov.cn 万 伟 D-4616-2017, 中国资源卫星应用中心, wanwei829@163.com 马广斌 L-6180-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, gbma@ceode.ac.cn
地理区域	甘肃省张掖市周边地区 (38°22'34"N - 39°02'34"N, 99°59'57"E - 100°51'42"E)
数据年代	2013 年
空间分辨率	1 km-15 m
数据文件个数	30
数据格式	.hdf, .xls
数据量	18.5GB, 压缩后数据量约 7.05 GB

续表 1

条 目	描 述
数据集组成	数据集由地面观测数据文件组和同步卫星遥感数据文件组两部分组成, 其中: 地面观测数据文件组命名为: 1_GroundData.rar. 它包括三个地面观测数据文件: 1. 201306-microtopsII.xls 是观测的大气数据, 数据量 248K; 2. 20130612Reflection.rar 是地面同步光谱数据, 数据量 7.43M; 3. 201306-MZB processing results.xls 是观测的漫总比数据, 数据量 403KB; 卫星观测数据包括 10 颗卫星同步观测数据, 分别以每个卫星的名字命名。原始数据量约 18.5GB, 压缩后数据量约 7.05GB
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2013AA12A300); 北京空间飞行器总体设计部 (501-01-2012-800004-15); 中国科学院国际合作局对外合作重点项目 (131C11KYSB20160061)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据 (中英文)、实体数据 (中英文) 和通过《全球变化数据学报》(中英文) 发表的数据论文。其共享政策如下: (1) “数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器) “数据”的用户需要与《全球变化数据学报》(中英文) 编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[10] 。

3.1 同步组网观测的规划

多颗卫星同步观测是卫星组网的模式之一, 常用的卫星同步有三种模式: (1) 多颗卫星在同一点地点同时成像 (2) 多颗卫星在不同地点同时成像 (3) 多颗卫星在同一地点不同时间成像。在本项目中我们使用的是多星同步的第一种模式。参与本次组网观测试验的卫星包含 7 颗巡航式观测卫星和 3 颗任务式观测卫星, 试验要求对于任务式观测卫星要进行同步观测规划, 以确定可以进行同步观测的准确时间。

根据 2013 年 6 月 1 号对于三星任务式观测卫星的同步轨道模拟, 6 月 13 号多颗卫星在甘肃省张掖市有同步的可能, 并且区域符合要求, 所以设计了本次同步观测试验 (图 1)。根据卫星同步轨道模拟结果及地面试验的要求, 本区域都具备较理想的条件。

3.2 卫星组网观测数据

通过组网观测规划和卫星观测任务下达等过程, 最终在 2013 年 6 月 13 日的上午 11:00 到 12:00 之间, 实现了下列 10 个卫星 22 个传感器对于该区域的观测和数据获取 (见表 2)。



青色是 SPOT5 成像范围, 蓝色是 THEOS 成像范围, 桃红色是 SJ9 成像范围, 绿色是三星重叠区范围

图 1 多星组网规划图

表 2 张掖地区 2013 年多星同步协同组网观测 10 颗卫星数据目录表

编号	卫星 (地面)	传感器	产品级别	数据文件名	条目	数据量
1	TERRA (美国)	MODIS	02/03	TERRA_*.hdf	4	1.77 GB
2	AQUA (美国)	MODIS	02/03	AQUA_*.hdf	4	2.08 GB
3	FY2D (中国)	VISSR		FY2D_*.hdf	4	834 MB
4	FY2E (中国)	VISSR		FY2E_*.hdf	4	834 MB
5	FY2F (中国)	VISSR		FY2F_*.hdf	4	834 MB
6	FY3A (中国)	MERSI	L1	FY3A_MERSI*.hdf	15	4.58 GB
		MWHSX	L1	FY3A_MWHSX*.hdf	8	114 MB
		TOUXX	L1	FY3A_TOUXX*.hdf	9	16.7 MB
		VIRRX	L1	FY3A_VIRRX*.hdf	10	711 MB
		ERBMX	L2	FY3B_ERBMX*.hdf	14	199 MB
		ERMXX	L1	FY3B_ERBMXX*.hdf	8	67.3 MB
7	FY3B (中国)	IRASX	L1	FY3B_IRASX*.hdf	8	103 MB
		MERSI	L1	FY3B_MERSI*.hdf	12	4.21 GB
		MWHSX	L1	FY3B_MWHSX*.hdf	9	128 MB
		MWRIA	L1	FY3B_MWRIA*.hdf	1	26.7 MB
		MWRI	L1	FY3B_MWRID*.hdf	4	107 MB
		MWTSX	L1	FY3B_MWTSX*.hdf	13	5.77 MB
8	HJ1B (中国)	TOUXX	L1	FY3B_TOUXX*.hdf	9	17.4 MB
		VIRRX	L1	FY3B_VIRRX*.hdf	6	426 MB
9	SPOT5 (法国)	HRG2	1A	SPOT5.rar	2	694 MB
10	THEOS (泰国)	MS&PAN	1A	*-TH201300074*.rar	3	1.11 GB

3.3 地面光谱数据

在遥感领域中, 为了研究各种不同地物或环境在野外自然条件下的可见和近红外波段反射光谱, 需要适用于野外测量的光谱仪器。此次野外用的是 ASD Fieldspec Pro FR (简称 ASD FR) 全光谱便携式光谱分析仪, 由美国 ASD (Analytical Spectral Devices) 公司制造。该光谱仪的光谱范围为 350-2500 nm, 包括 VNIR (350-1020nm)、SWIR1 (1020-1800nm) 和 SWIR2 (1800-2500 nm) 三个光谱段 (见表 3)。

ASD FR 连续光谱仪有两种测量模式: 原始数据测量模式和反射率/参考板测量模式。在原始测量模式下, 测量、显示和存储的光谱主要包含原始数字信号; 在反射率/参考板测量模式下, 测量、显示和存储的光谱被自动归一化到最新测量的参考板信号上, 其值即为相对反射率因子^[11]。本实验采用第一种测量模式, 即“参考板—地表—参考板”的方式。

地表反射率 ρ_g 可以根据 (1) 计算得到。

表 3 ASD FR 光谱仪技术参数表

技术参数	指标
线性度	$\pm 1\%$
波长精度	$\pm 1\text{nm}@700\text{nm}$
波长重复性	在校准温度的 $\pm 10^\circ\text{C}$ 范围内优于 $\pm 0.3\text{nm}$
光谱分辨率	$3\text{nm}@700\text{nm}$, $10\text{nm}@1400\text{nm}$ 和 2100nm
采样间隔	在 $350\sim 1000\text{nm}$ 范围内为 1.4nm , 在 $1000\sim 2500\text{nm}$ 范围内为 2nm
扫描时间	固定的扫描时间为 0.1 秒, 光谱平均最多可达 31800 次
等效辐射噪声	UV/VNIR (紫外到近红外) $1.4 \times 10^{-9} \text{W} / (\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}) @700 \text{ nm}$
	NIR (近红外) $2.4 \times 10^{-9} \text{W} / (\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}) @1400 \text{ nm}$
	NIR (近红外) $8.8 \times 10^{-9} \text{W} / (\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}) @2100 \text{ nm}$

注: @700 nm 表示在 700nm 处, 其余同上。

$$\rho_g = \frac{V_g(\lambda)}{V_p(\lambda)} \rho_p \quad (1)$$

式中, $V_g(\lambda)$ 为采样点的地标测量 DN 值光谱曲线; $V_p(\lambda)$ 为参考版测量 DN 值光谱曲线; ρ_p 为相对参考版垂直观测的绝对反射率。对场地的有效光谱取平均, 便可得到场地的平均反射光谱。

3.4 实测大气数据

大气数据采用美国 Solar Light 公司生产的 Microtops 型太阳光度计, 它是全世界众多研究者使用的手持式光度计之一。Microtops 是一款 5 通道手持式太阳光度计, 用户可以根据不同的观测目的, 在购买时选择通道的中心波长(如针对臭氧观测和水汽观测, 选择 300、305.5、312.5、940、1020 nm), 每一个通道均备有窄波段滤光片, 都具有 2.5° 的视场角。通过选择不同中心波长, 可以用来获得 AOD、直接太阳辐照度、臭氧及水汽总量。

假定气溶胶粒子谱分布满足龙格 (Junge) 分布, 依据式 (2), 利用任意两个通道的气溶胶光学厚度 ($\tau_{a\lambda}$) 计算得到 Angstrom 系数 α 和大气浑浊系数 β , 由此可导出 550 nm 波长处的气溶胶光学厚度。

$$\tau_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2)$$

3.5 漫总比测量数据

张掖实验区测量漫总比所用的光谱仪是美国 SVC 公司生产的 HR-1024 便携式光谱仪, 该仪器也是国内主要采用的光谱测量仪器。SVC 光谱仪常用的型号有三种, GER1500, GER3700 和 HR-1024。此次使用的光谱仪的具体参数见表 4。

漫总比测量使用的仪器见图 2。位于三脚架上的小球遮挡黑体上方的进光孔时测量的是漫射辐射, 不



图 2 漫总比测量仪器

表 4 HR-1024 光谱仪技术参数表

基本规格参数	指标
光谱测量范围	350~2500 nm
通道数	1024 通道
仪器重量	3.1 kg
	≤3.2 nm (350~1050 nm)
光谱分辨率	≤8.5 nm (1000~1900 nm)
	≤6.5 nm (1900~2500 nm)
扫描时间	最小可达 1 ms
视场角	4° 标准; 和 14° 可选前置光学; 25° 光纤视场镜头
仪器尺寸	220 mm × 290 mm × 80 mm
数据格式	16 位
波长重复性	± 1 nm
暗电流	自动或手动
电源	12V VDC 电池
操作方式	手提、后背或三脚架固定
工作环境	温度 -10~40℃, 湿度 10%~90% RH

遮挡进光孔的时候测量的是总辐射。漫总比计算直接采用遮挡前后的太阳总辐射与太阳漫辐射的比值表示, 如式 (3):

$$a = 2L_2 / (L_1 + L_3) \quad (3)$$

式中, L_2 是遮挡后的漫射测量值, L_1 和 L_3 是最邻近本次遮挡测量的前后两次无遮挡条件下的总辐射测量值。

4 数据结果与验证

张掖地区多星同步协同观测数据集由两部分组成: (1) 地面实测数据文件。包括: 地面光谱数据集、漫总比测量数据集和大气观测数据; (2) 卫星观测数据集 (以卫星名字命名的数据文件)。由于卫星观测数据量比较大, 为了便于用户下载, 原始数据被压缩。压缩后的单个文件数据量不超过 350MB。压缩后数据列表见表 5。

表 5 张掖地区多星同步协同观测数据文件组成汇总表

序号	数据名	数据大小	备注
1	98661-109866-TH2013000741.rar	292823.06 kb	THEOS (泰国)
2	98661-109867-TH2013000742.rar	146441.68 kb	THEOS (泰国)
3	98661-109868-TH2013000743.rar	143938.45 kb	THEOS (泰国)
4	AQUA_1.rar	310287.13 kb	AQUA (美国)
5	AQUA_2.rar	328383.96 kb	AQUA (美国)
6	AQUA_3.rar	295233.57 kb	AQUA (美国)
7	FY2D.rar	176989.22 kb	FY2D (中国)
8	FY2E.rar	185823.16 kb	FY2E (中国)
9	FY2F.rar	200962.38 kb	FY2F (中国)
10	FY3A_1.rar	251085.92 kb	FY3A (中国)
11	FY3A_2.rar	241966.34 kb	FY3A (中国)
12	FY3A_3.rar	326469.04 kb	FY3A (中国)
13	FY3A_4.rar	207427.92 kb	FY3A (中国)
14	FY3A_5.rar	343300.04 kb	FY3A (中国)
15	FY3A_6.rar	305950.61 kb	FY3A (中国)
16	FY3A_7.rar	317398.48 kb	FY3A (中国)

续表 5

序号	数据名	数据大小	备注
17	FY3A_8.rar	192876.60 kb	FY3A (中国)
18	FY3B_1.rar	194242.66 kb	FY3B (中国)
19	FY3B_2.rar	275644.35 kb	FY3B (中国)
20	FY3B_3.rar	206500.99 kb	FY3B (中国)
21	FY3B_4.rar	339641.88 kb	FY3B (中国)
22	FY3B_5.rar	229947.92 kb	FY3B (中国)
23	1_GroundData.rar	7817.77 kb	地面实测数据
24	HJ1B-CCD2-18-68-20130613-L20001008302.tar.gz	351567.04 kb	HJ1B (中国)
25	HJ1B-CCD2-18-68-20130613-L20001008307.tar.gz	351637.99 kb	HJ1B (中国)
26	SPOT5.rar	351237.16 kb	SPOT5 (法国)
27	TERRA_2013_06_13_03_54_XJ.MOD021KM.rar	268027.47 kb	TERRA (美国)
28	TERRA_2013_06_13_03_54_XJ.MOD02HKM.rar	248605.24 kb	TERRA (美国)
29	TERRA_2013_06_13_03_54_XJ.MOD02QKM.rar	273955.58 kb	TERRA (美国)
30	TERRA_2013_06_13_03_54_XJ.MOD03.rar	24612.78 kb	TERRA (美国)

地面实测数据中 (1_GroundData.rar), 解压后, 地面光谱数据集、漫总比测量数据集和大气观测数据集均包括一个.xls 数据文件, 分别为:

1. 20130612Reflection.rar: 地面同步光谱数据, 随波长变化的地表实测反射率曲线如图 3 所示。

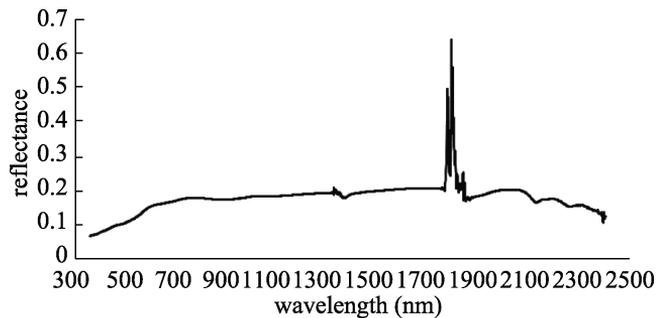


图 3 地表实测光谱图

2. 201306-microtopsII.xls: 观测的大气数据, 数据量 248 K, 随时间变化的 550 nm 波长处 AOT 如图 4 所示, 图中的竖线代表过境时刻。

3. 201306-MZB processing results.xls: 观测的漫总比数据, 数据量 403K, 随波长变化的漫总比曲线如图 5 所示。

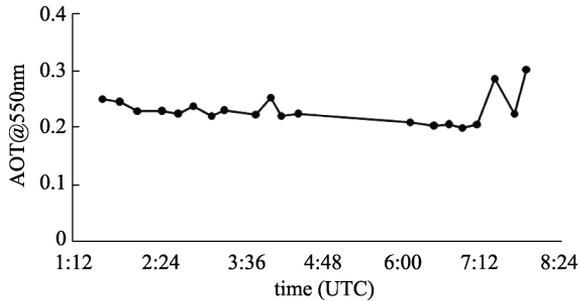


图 4 550 nm 波长处 AOT 曲线图

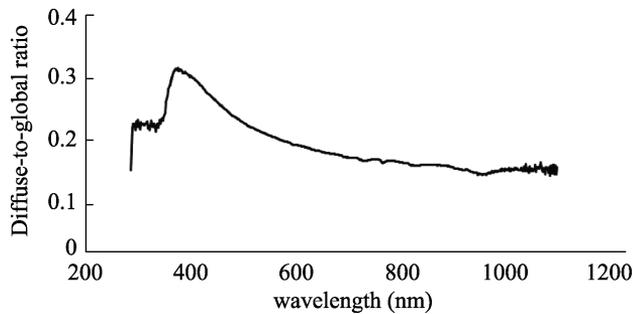


图 5 场地实测漫总比波长图

5 讨论和总结

5.1 多星组网协同观测数据

多星组网协同观测数据采用多卫星多传感器协同对同一实验区进行观测，在实验之前进行了科学的卫星数据组网观测方案，观测数据可用于不同卫星之间的交叉定标、交叉验证，并可以研究多卫星协同进行遥感反演产品的生产和验证，本文工作所组织的 10 颗星组网实验在实施上难度很大，相关的观测数据覆盖了地球观测卫星主要的观测尺度（1km-15m）和观测频谱（高光谱、多光谱、全色），对于多星组网技术和多星数据融合等研究具有很大的科学价值。

5.2 地面实测光谱数据

地面实测光谱数据测量区域主要位于定标区，该区域地势平坦，地物均一，且四周视野开阔。利用实测的光谱数据，可以结合大气数据对传感器进行定标，监测传感器的性能变化；对与多星之间的交叉定标，地面测量的光谱数据是计算光谱匹配因子的必备数据，利用张掖多星同步测量的地面光谱数据，可以实现多星之间的交叉定标；对大气纠正后的图像，也可用地表实测的光谱数据进行验证，以便改进和完善纠正的结果。

5.3 大气数据

大气数据的测量地点主要位于定标场附近。测量所得的数据主要有：AOT、水汽含量和气压等。大气数据作为辐射传输模型不可或缺的输入项，它的精确测量在一定程度上确保了计算结果的真实性。大气数据可以作为传感器定标的输入项，亦可作为大气校正的输入项。对于利用影像数据进行气溶胶和水汽的反演，实测的大气数据也可以对反演的结果进行验证。

5.4 漫总比数据

漫总比数据测量地点位于定标场附近的开阔地带,其测量目的主要是减小辐射传输模型中气溶胶假设带来的误差。相比气溶胶类型的假设,使用实地测量的漫总比数据更加接近实地的辐射传输状况。利用实地测量的漫总比数据结合辐射传输模型,可以用辐照度方法对传感器进行更高精度的定标。另外,根据实地测量的漫总比随时间变化曲线,在排除操作不当的基础上,可以得知大气的变化情况,当漫总比曲线波动剧烈时,则说明大气状况变化程度大,此时需要针对研究的目的进行具体的分析,确保研究结果真实可靠。

作者分工:中科院遥感地球所团队进行了星地组网实验设计、卫星组网规划、星地同步实验工作,国家卫星气象中心提供了FY系列卫星的卫星影像,中国资源卫星应用中心提供了HJ星卫星数据。

致谢:本文由国家863重大研究项目(2013AA12A300)、北京空间飞行器总体设计部委托项目(501-01-2012-800004-15)和中国科学院国际合作局对外合作重点项目(131C11KYSB20160061)资助;观测得到中国科学院寒区与旱区研究所大力支持,谨此感谢。

参考文献

- [1] 庞中华. 高低轨对地观测卫星协同任务规划方法研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [2] Bridge, S. B. Optimal allocation of satellite networks resource [D]. Virginia: Virginia Tech University, 1999.
- [3] Harrison, S. A., Price, M. E. Task scheduling for satellite based imagery[C]. Proceedings of the Eighteenth Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group. University of Salford, UK, 1999, 64-78.
- [4] 贺仁杰. 成像侦察卫星调度问题研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2004.
- [5] 贺仁杰, 高鹏, 白保存等. 成像卫星任务规划模型、算法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 3(31): 411-422.
- [6] 白保存. 考虑任务合成的成像卫星调度模型与优化算法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2008.
- [7] 白保存, 陈英武, 贺仁杰等. 基于分解优化的多星合成观测调度算法[J]. 自动化学报, 2009, 35(5): 596-604.
- [8] 白保存, 徐一帆, 贺仁杰等. 卫星合成观测调度的最大覆盖模型及算法研究[J]. 系统工程学报, 2010, 25(005): 651-658.
- [9] 李国庆, 张浩, 解吉波等. 张掖地区2013年多星同步协同组网观测数据集[DB], 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.02.15.V1.
- [10] 全球变化科学研究数据出版系统编辑部. 全球变化科学研究数据出版系统数据共享政策[OL]. 2014. DOI:10.3974/dp.policy.2014.05.
- [11] 傅俏燕, 王志民, 闵祥军等. CBERS-1 林被信息挖掘的 GIS 多元分析[J]. 地球信息科学, 2005, 7(1): 53-58.