

大数据时代空间科学领域的 科研信息化实践与成果

邹自明, 佟继周, 熊森林, 胡晓彦, 纪珍

中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190

摘要

随着人类对空间探索的拓展以及对空间认知的加深, 空间科学探测大工程任务相继推进、实施, 催生了空间科学领域大数据时代的到来。描述了国外空间科学科研信息环境建设的情况, 重点介绍了中国空间科学数据中心在科研信息化项目中建设的大数据应用环境——空间科学虚拟观测台(VSSO)和云环境中的空间科学综合应用平台——日地空间系统研究网络(STAR-Network)所具备的服务功能以及其取得的服务成效。

关键词

空间科学; 大数据; 科研信息化; 空间科学虚拟观测台; 日地空间系统研究网络

中图分类号: TP319

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2016069

e-Science practice and results in space science under an era of big data

ZOU Ziming, TONG Jizhou, XIONG Senlin, HU Xiaoyan, JI Zhen

National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract

With the development of space exploration technology and the deepening of space cognition, more and more space science exploration projects have been advanced and implemented, which promoted the era of big data in space science. The foreign e-Science construction status in space science and two supporting and service information systems of China Space Science Data Center(CSSDC) were described. More specifically, it presented the application environment of big data in the e-Science project of CSSDC: Space Science Virtual Observatory(VSSO), as well as illustrated the comprehensive application platform of space science in cloud environment: Solar-Terrestrial and Astronomy Research Network (STAR-Network).

Key words

space science, big data, e-Science, VSSO, STAR-Network

1 引言

空间科学以航天器为主要平台,探索人类未知的世界,进行从宏观天体到极端条件下原子与分子基本规律的探索,揭示客观世界的物质规律,是当今世界自然科学发展的前沿,是国际空间大国孜孜追求的重要战略领域。1957年前苏联首次发射人造地球卫星,从此人类进入了空间时代。随后,人类对近地空间环境进行了大量普查,发现了地球辐射带、环电流,证实了太阳风、磁层的存在,发现了行星际磁场的扇形结构和冕洞等^[1]。随着空间探测技术的进步,人类认知太空的广度和深度不断扩展,大规模多尺度链网式地面观测台站和星座卫星任务推动着空间科学研究从自然现象特性的解释阶段逐步发展至深层次物理规律研究与验证、时序因果链关系探索与揭示阶段。

美国国家航空航天局(NASA)卫星编目资料显示^①,截至2016年9月,全世界发射过的在册编目的卫星探测器为7 501个,卫星涉及对地遥感观测、地球空间环境探测、太阳观测、月球探测、行星探测以及宇宙天文探测。中国在空间探测和空间研究方面也有着长足的发展,探测双星、风云气象卫星系列、子午工程、嫦娥系列探月卫星、LAMOST计划等有效地扩充了空间科学数据资源,并推动着空间科学的进步。随着“十二五”空间科学先导专项的实施,暗物质粒子探测卫星、实践十号返回式科学实验卫星、量子科学实验卫星的相继发射升空,进一步丰富了空间科学数据资源,目前3颗科学卫星在不到一年的在轨运行时间内已经积累的科学数据产品近40 TB,每天新产生的数据量超过150 GB。地面探测方面,经过近4年的正式运行,子午工程积累的科学数据量超过8 TB,

每天新产生的科学数据量超过1 GB,数据文件超过5 000个。

展望未来,中国科学院制定的我国空间科学至2030年的总体发展路线^[2]如图1所示,中国的空间科学研究将围绕“物质是如何起源、发展和运动的”“太阳系与人类的关系是怎样的”两大主题展开。“十三五”期间将继续实施夸父(KUAFU)计划,和国际与日共存计划框架内的一系列太阳观测计划及近地空间环境观测计划形成了完整配套的观测系统。未来10年,将有近百颗科学卫星陆续发射升空,卫星任务获取的海量科学数据迎来了空间科学大数据时代。

在科学大数据环境下,空间科学研究呈现多学科交叉、空间科学探测任务呈现国际合作多元化的局势,科技工作者需要利用数据、模型、工具、软件和知识等资源进行全方位的广泛科研协作活动。以卫星工程任务为例,卫星任务的全生命周期为:概念孵育→规划论证→技术攻关、工程研制→在轨运行→数据处理、数据反演→建模计算、可视分析、成果产出。每个任务阶段都需要科学家团队协作,完成跨单位、跨地域的知识交流、信息交互、文档交换、软件共享、数据流转、成果发布等。这种集科学数据访问、交互、计算、表达、分析等多种信息化要素为一体的信息化环境,即科研信息化支撑环境(e-Science)^[3]。

2 国外空间科学领域信息化数据应用环境建设

近年来,欧美国家均已开展了空间科学信息化环境的研究和建设,侧重在科学研究过程中涉及的数据资源、模式资源、数据分析与可视化软件工具资源以及计算资源等公共基础设施方面的共享与应

①

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/SpacecraftQuery.jsp>

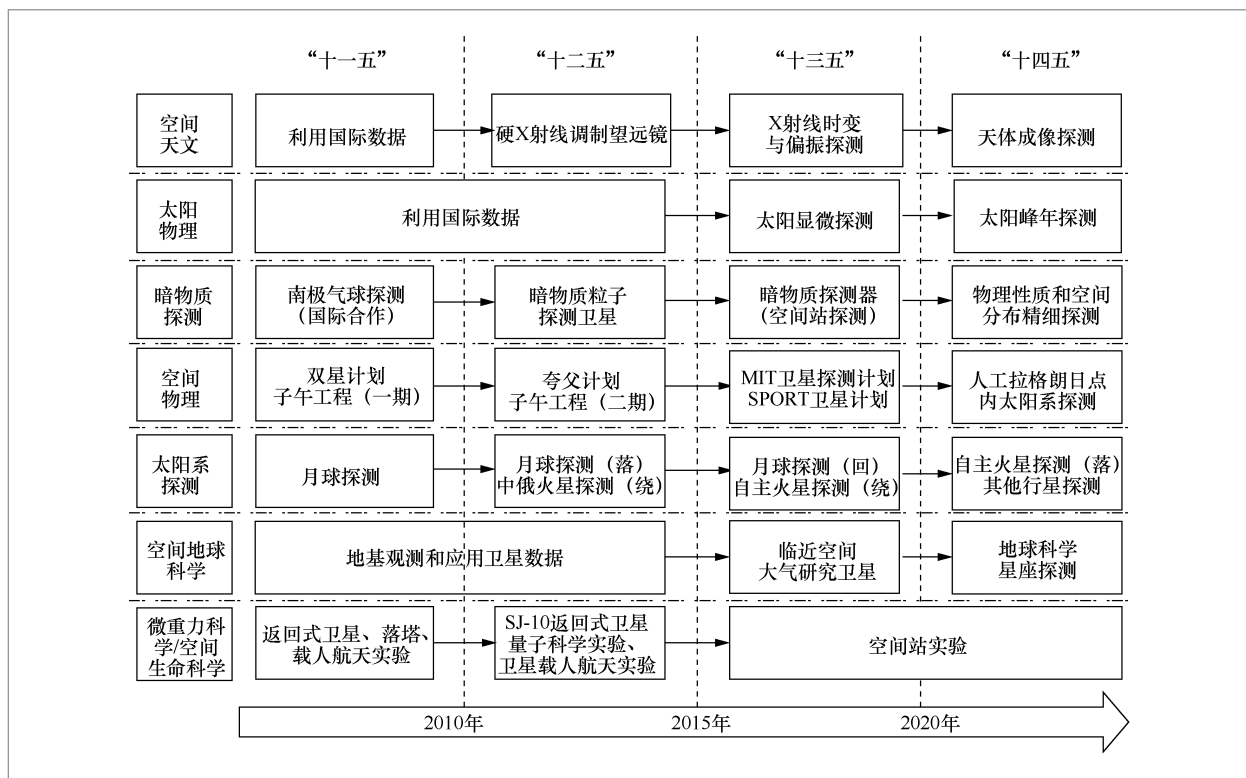


图1 中国至2030年空间科学发展路线

用；在卫星工程领域，特别是空间科学任务论证研究方面公开的资源相对较少^[4]。

NASA是国际知名的空间科学研究机构。早在1996年，NASA就资助美国密西根大学的空间环境模拟中心(CSEM)开始进行空间天气建模框架SWMF^②的开发，它引入了软件工程中的组件和软件框架思想，将跨越太阳表面到地球上层大气这一领域的一系列物理域模式转换为各种模式组件，使之以灵活、高效的方式在框架中运行及耦合，从而使科学家方便地进行从太阳表面到地球上层大气圈各区域空间物理过程建模，并在超级计算机上进行模拟。NASA与美国空军、美国国家科学基金会(NSF)、美国国家海洋与大气管理局(NOAA)等8个机构合作开发的社区协调建模中心(community coordinated modeling center, CCMC)^③模式集成应用系统在空间科学领域同样得到了广泛使

用，CCMC提供空间天气模式在线计算与可视化服务、模式测试服务等，用户可选择在线模式或将自主研发的模式计算请求提交到CCMC模式计算服务中心，计算完成后，计算及可视化结果通过文件传输协议(file transfer protocol, FTP)方式反馈给用户，有效促进了资源的共享，辅助提高了科研效率，CCMC请求运行机制如图2所示。基于三维可视化的卫星轨道设计技术(satellite situation center web, SSCWeb)系统和卫星数据交互式分析技术(visual system for browsing, analysis and retrieval of data, ViSBARD)系统等被应用到各类空间科学任务的科学数据管理与应用支持服务过程中，得到了科学科研人员的普遍使用。

在欧洲空间局(ESA)的资助下，比利时联邦科学研究所(BIRA-IASB)完成开发了空间环境信息系统(SPENVIS)^④。该

②

<http://csem.engin.umich.edu>

③

<http://ccmc.gsfc.nasa.gov/>

④

<https://www.spenvis.oma.be/>

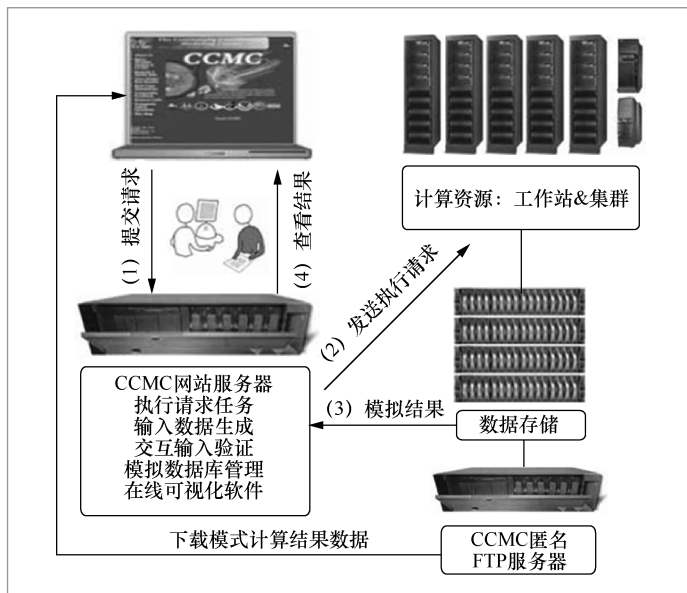


图2 CCMC 请求运行机制

系统通过友好的Web界面为用户提供复杂的空间环境模式的接口,实现辐射带、太阳高能粒子、宇宙射线、等离子体层、大气层、地磁场等空间天气问题的快速分析以及空间天气影响的预测。SPENVIS的一个重要特点是它的大部分空间天气模式都可以面向某一指定的轨道进行计算和应用。大多数模式需要输入航天器轨道的坐标或用户定义的地理网格坐标。这些集合点由两个工具产生:轨道坐标生成器和网格坐标生成器。SPENVIS能够检测飞船轨道坐标或网格坐标是否已经生成,如果没有生成,系统会发出错误信息,并提示用户设置轨道或设置网格坐标,设置正确后模式才可以运行。一旦轨迹坐标或网格已经产生,可以在不同的模式中使用。

⑤ <http://cssdp.ca/ssdp/app/login>

加拿大空间科学数据门户(CSSDP)^⑤是为实现和简化科学家团队获取科学数据和分析的工具,是为了构建统一的空间科学研究社区、优化空间环境效应、保障产业生产力而建设的门户网站,门户集成了广泛的空间数据、观测数据和数据分析、研究工具,提供数据发现、获取和可视化

的一站式数据服务,其搭建的数据协作环境可支持科学家在线自主数据分析,从事实时科学研究。

从国际发展趋势来看,发展开放式的、基于云模式的空间科学卫星任务的地面支持系统已经成为国际空间科学界的共识。

3 中国空间科学领域信息化系统建设

近几年,在国家“973”计划、国家“863”计划、中国科学院知识创新工程、中国科学院院信息化等项目的支持下,国内相关科研院所根据其自身的业务发展和需要,建立了面向项目研究和应用的软件工具、数字化设备和信息化设施。

在“十一五”中国科学院信息化专项的支持下,中国科学院国家空间科学中心建成了空间天气网格系统,是我国空间科学领域在科研信息化应用方面的首次尝试。空间天气网格系统有效地整合了空间中心空间天气学国家重点实验室的“空间天气数值预报模式研发与演示系统”与“子午工程”专用高性能计算平台12万亿次的超级计算资源,初步建立了集探测数据、计算资源、三维全球磁层MHD数值模式以及可视化显示为一体的空间天气科研信息化平台,使得与空间天气相关学科领域的研究和科研活动能够借助本项目的研究成果开展有针对性的进一步研究。

在“十二五”中国科学院信息化专项的支持下,中国科学院国家空间科学中心联合中国科学技术大学和中国科学院地质与地球物理研究所开展了空间科学数据资源整合与集成,并在此基础上发展空间科学领域信息化数据应用环境——空间科学虚拟观测台(virtual space science observatory, VSSO)^[5]。同时,充分利用院、所提供的云存储和云计算

资源,集成了空间科学数据应用环境、空间科学数据、空间物理模式、数据分析与通用工具等学科知识资源,搭建了服务于空间科学研究和重大科学工程项目的信息化综合服务平台——日地空间系统研究网络(solar-terrestrial astronomical research network, STAR-Network)^[6]。

3.1 空间科学虚拟观测台

空间科学虚拟观测台是在中国科学院“十二五”信息化专项“科技数据资源整合与共享工程”重点数据库的支持下建设的空间科学大数据应用数据环境,是根据学科发展和卫星工程任务的进展,在“十一五”信息化专项建设的空间科学主题数据库(空间科学数据网络)基础上的升级和改造。目标是形成一个空间科学数据资源广泛、数据规范、质量良好、功能完善的服务于国防和科学研究的开放共享数据应用环境,成为支撑我国科技创新的重要信息化基础设施之一。VSSO的服务目标包括:满足日益增长的日地空间物理(空间物理和太阳物理的融合学科)、行星科学、空间天文和空间生命科学等多学科科学数据的共享和应用需求,提供数据在线检索发现、浏览下载功能;集成空间科学数据分析工具、数据可视化、空间天气事件关联检索、空间天文锥形检索等能够促进空间科学应用创新活动的特色应用服务;完成与日地空间系统研究网络的对接,实现空间物理计算分析与数值模拟、空间科学数据处理与可视分析等学科知识资源和工具资源的应用对接。

3.1.1 空间科学虚拟观测台数据集成与共享

空间科学虚拟观测台作为中国空间科学数据中心的资源共享和发布窗口,面向的数据资源立足于空间科学先导专项、子

午工程、探测双星等重点科学工程项目,以中国科学院国家空间科学中心、中国科学技术大学等科研单位和高校承担项目产生的科学数据资源为依托,国外空间科学数据资源为重点补充。建设集成了双星探测数据库、子午工程数据库、卫星典型轨道空间环境数据库、国际综合空间环境数据库(WDS国际交换数据)、空间天气事件编目数据库、太阳观测数据库、月球微波遥感数据库、暗物质粒子探测数据库、空间生命科学数据库(实践10号卫星),数据资源总量约100 TB。涉及日地空间物理、行星科学、空间天文、空间生命科学四大学科方向。数据资源涵盖了地表空间、中高层大气(含极区)、电离层、磁层、月球表面、行星际空间以及太阳日球层,甚至整个宇宙空间。数据资源为通过地面观测设备和卫星平台载荷分组探测的原始数据、实验数据,或者是通过标定模型、反演算法由原始资源处理成的(物理量)高级数据产品。高级数据产品反映着特定区域的物理特性和化学特性,如电磁场强度、电磁辐射强度、高能粒子通量、能谱,等离子体密度、速度,中性大气温度、密度、风场等。数据资源可广泛应用于支持空间科学现象和规律的研究、空间探测技术的研制和发展以及空间环境的预报和应用。

空间科学虚拟观测台以在线、近线和离线3种方式共享和发布空间科学数据档案,在具有合适的权限时,在线数据可直接进行下载,近线数据需回迁后才能下载,离线数据需经数据申请、数据准备等阶段才能下载。数据档案是按空间科学数据组织模型(如图3所示)组织的数据产品集合,以高级产品为核心,配合了辅助数据、软件数据、处理算法等资源数据和元数据信息。空间科学数据组织模型充分吸收了NASA等单位联合制定的空间物理档案检索和抽取数据模型(space physics

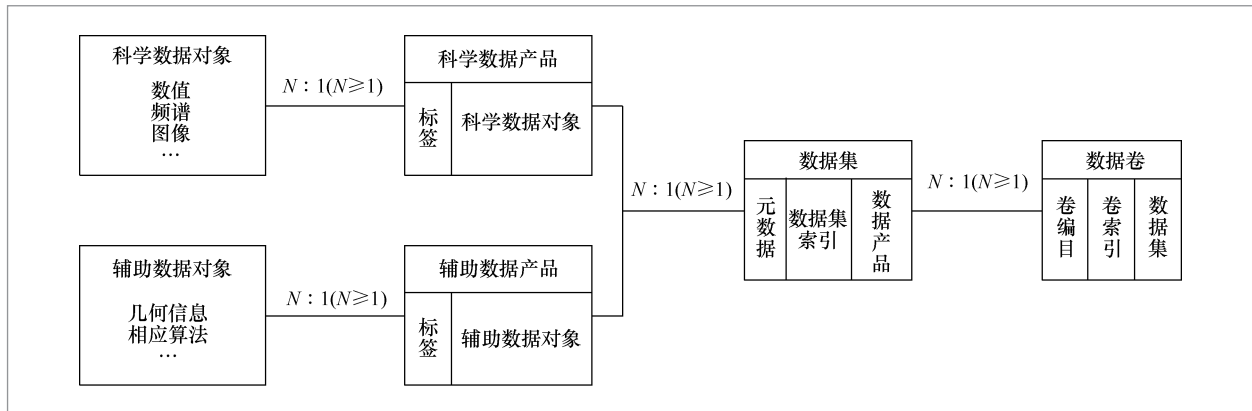


图3 空间科学数据组织模型

archive search and extract, SPASE)以及JPL等实验室联合制定的行星科学数据系统(planetary data system, PDS)^[7]模型,将数据资源按数据对象、数据产品、数据集合、数据卷4种不同粒度进行组织管理。数据对象为记录观测数据的表格、频谱、图像、数据序列像等。数据产品即数据文件,记录了多个数据对象,一般还包含对数据对象进行释义的数据标签。数据集通常为来自同一套设备、利用相同处理算法处理的长时间序列的多个数据产品的集合,数据集也是众多数据中心最常采用的数据管理粒度,为了支持数据集管理和共享的需要,定义了用于数据解释的学科标准元数据和用以数据集索引的编目元数据。数据卷为存储于物理存储介质(如CD、DVD、磁带等)数据集的集合,包含用于数据卷释义的卷编目和支持检索的卷索引,单个数据卷内部丰富的元数据信息可支持用户快速阅读和使用该数据卷。

所有本地资源和异地资源均遵循中国空间科学数据中心指定的空间科学组织模型,采用空间科学标准元数据、编目元数据规范以及空间科学数据存储规范,日地空间物理资源以数据集形态的档案进行发布和共享,空间天文、行星科学和空间实验资源以数据卷形态进行组织共享。目

前,通过空间科学虚拟观测平台发布共享的数据集档案超过320种,主要集中在空间物理、太阳物理和行星科学。以暗物质卫星数据档案、实践十号返回式实验卫星数据档案和未来将产生的硬X射线调制望远镜卫星数据档案为主的空间天文和空间实验档案共享正在建设中。

3.1.2 空间科学虚拟观测台大数据应用环境

VSSO^⑥采用基于虚拟观测(VO)^[8]技术的开放式架构与协议,采用“单点认证”与“元数据同步”机制,构建形成了“物理上分散,逻辑上统一”的分布式数据服务系统(如图4所示)。该系统符合空间科学数据资源分散、存储方式异构、物理要素交叉等特性,有效地实现了数据资源异地整合、全局同步。系统主要实现了空间科学数据发布共享、空间科学数据在线分析和空间天气事件关联数据发现三大服务功能。

- 空间科学数据发布共享服务:提供满足多学科数据档案发布和发布管理功能,支持基于元数据全文模糊检索,采用观测平台、观测设备、观测对象、观测区域和观测要素的组合条件检索以及按数据学科目录分类3种数据检索途径;检索结果以次级页面展现,支持元数据文件和科学产品文件的在线浏览和批量文件打包下载功能。

⑥
http://vssso.
cssdc.ac.cn/

● 空间科学数据在线分析服务: 提供基于单个科学产品文件的在线数据绘制服务、在线坐标系转换和数据平滑滤波分析和处理。绘制服务支持时间序列和空间序列数据对象, 绘制二维曲线图, 伪彩图结果可导出为图片文件进行保存; 坐标系转换主要用于空间坐标及物理矢量在不同坐标系的转换, 可实现大地坐标系(GDZ)、地理坐标系(GEO)、地心赤道惯性坐标系(GEI)、地心太阳黄道坐标系(GSE)、地磁太阳磁层坐标系、地心太阳磁坐标系(SM)和地磁坐标系(MAG)之间的相互转换; 数据平滑和滤波分析服务适用于时间序列数据, 采用了移动平均和低通滤波算法, 经平滑和滤波处理后, 可去除数据白噪声和瞬时现象。

● 空间天气事件关联数据发现服务: 空间天气事件关联发现以太阳质子事件、太阳耀斑和日冕物质抛射的典型事件为出发点, 根据已有的知识经验确立的太阳爆发活动事件与其诱导的地球空间环境响应现象和规律, 建立起表征空间环境的数据和太阳爆发活动的因果关系和时间关联关系。科学家用户根据空间天气事件编目, 可以快速检索出可能对该天气事件研究有价值的科学数据。

3.2 日地空间系统研究网络

日地空间系统研究网络是中国科学院“十二五”信息化专项——“空间科学科技领域云”项目建设的大数据综合性服务平台。项目以空间科学先导专项及空间科学科研创新活动对信息化环境需求为出发点, 致力于长远服务于空间科学任务全生命周期及空间科学研究, 在科学大数据时代背景下改变传统科研模式, 支撑以空间科学战略性先导专项为代表的科学卫星全生命周期各阶段任务, 促进科研创新活动



图4 空间科学虚拟观测台首页

成果产出。

利用中国科学院科技云和空间科学先导专项提供的云计算、云存储资源, 搭建了项目自有的云存储、云计算基础设施环境; 设计了云环境下数据、模式和工具资源的集成框架和接口规范, 通过对模式和工具资源的网格化、规范化等适应性改造, 集成了国内外空间科学数据、空间天气模式和数据分析与通用工具等学科知识资源, 在此基础上, 建设了日地空间系统研究网络综合型科研社区服务门户, 门户网站如图5所示。门户可提供空间科学任务协同论证服务、空间科学任务运行支持服务、空间天气计算分析服务、空间科学大数据应用服务、科技云资源服务和科技网资源服务, 主要系统功能如图6所示。系统实现了异构虚拟环境下跨单位、跨地域的模式和工具的交互式使用, 数据资源整合、任务论证设计、任务运行支持和公共服务。此外, 门户系统还提供统一安全、统一管

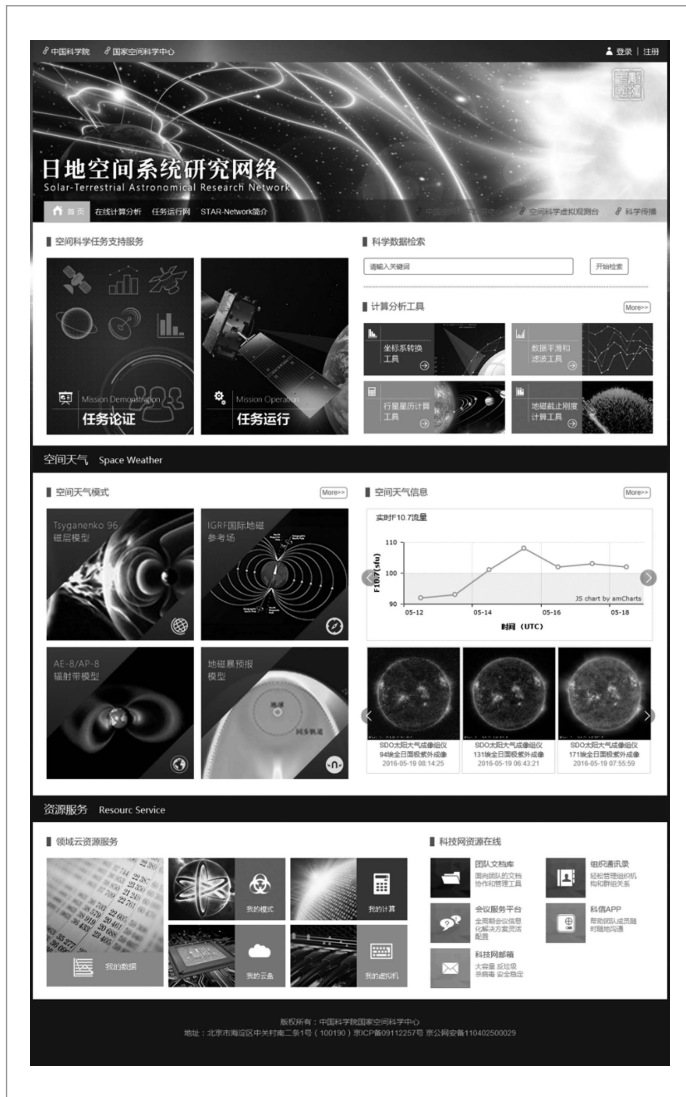


图5 日地空间系统研究网络网站首页

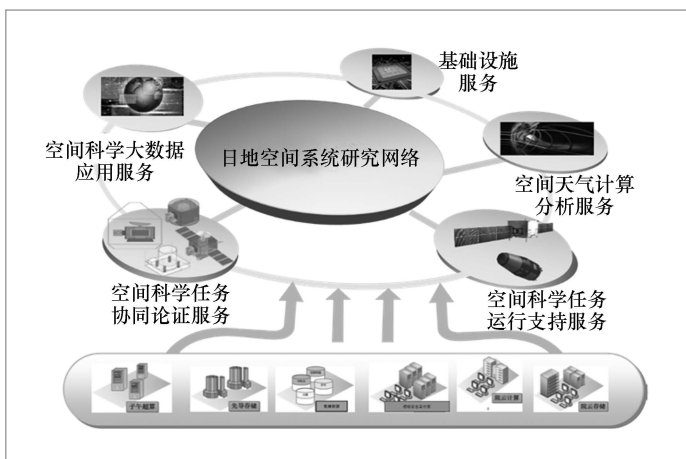


图6 日地空间系统研究网络功能组成

理和统一用户认证服务。下面对STAR-Network主要功能逐一阐述。

3.2.1 空间科学任务协同论证系统

在当代，航天任务设计论证方式已经从串行设计、集中设计发展到了协同设计阶段。空间科学任务协同论证是从科学家团队提出科学目标后，在卫星轨道、姿态、卫星构型、有效载荷布局、空间环境等方面开展任务设计和系统分析，最后得到能够满足科学目标及任务要求的设计方案。空间科学任务协同论证系统完成了协同分析工具在云服务模式框架下的适应性改造，集成了由中国科学院国家空间科学中心研究人员研发的4个分析工具，具体如下。

- 卫星轨道交互式设计工具：可围绕卫星设定的科学目标，通过图形化、交互式手段快速构建卫星目标轨道，支持快速设计和修改目标轨道，并进行轨道特性分析。

- 卫星结构及有效载荷布局设计工具：如图7所示，支持开展卫星结构与有效载荷布局设计研究，可快速地形成卫星及有效载荷的安装布局，能较好地展现卫星平台的主要架构、有效载荷的几何外形和安装位置等内容。

- 有效载荷观测区分析工具：可根据卫星轨道、有效载荷视场、观测区定义，针对探测目标进行载荷覆盖范围的仿真分析，在此基础上分析各项设计是否能满足设定的科学目标，并给出有效的观测弧段。

- 卫星数据传输分析工具：可开展卫星数据传输分析研究，支持数据下行满足度分析，为科学数据下行满足度分析提供决策依据。

3.2.2 空间科学任务运行支持平台

空间科学任务运行支持平台是为卫星在轨运行的安全、高效、持久运行而提供的支持性服务，主要在卫星在轨运行状

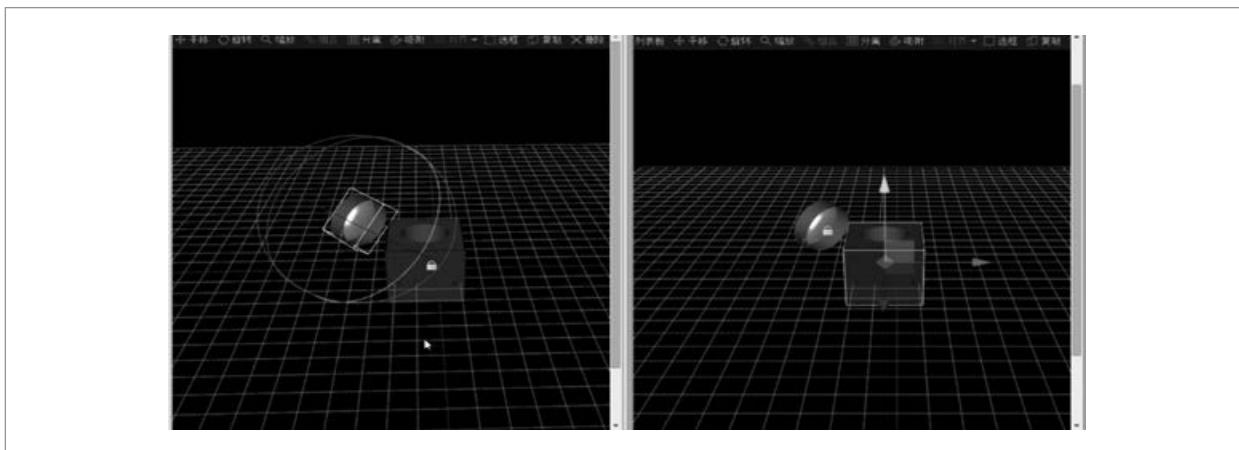


图7 卫星结构及有效载荷布局设计工具示意

态和卫星数据 workflow 两方面提供支持,可服务于卫星在轨运行的整个周期。在空间科学任务密集型的时代,空间科学任务运行支持服务平台尤为重要。如图8所示,STAR-Network集成的“空间科学任务运行网”可提供卫星任务态势和载荷状态的监视与显示,卫星观测计划的查看、编制与修订以及可用于卫星在轨安全评估的个性化空间环境信息展示;数据 workflow 方面,提供从地面支撑系统到科学应用系统的数据

产品分发和统计服务,从科学应用系统到地面支撑系统的高级产品汇集服务;此外,还为各用户提供公共存储与公共数据库的基础设施服务。2015年12月17日,暗物质粒子探测卫星发射成功,2016年4月6日,“实践十号”返回式科学实验卫星发射成功,2016年8月16日量子试验科学卫星发射升空,空间科学任务运行支持平台有力支持了卫星运控、卫星下行数据处理分发、科学数据永久归档与安全保障工作的开展。



图8 空间科学任务运行网

3.2.3 空间天气模式计算分析平台

空间天气模式通常分为空间天气数值模拟模式和空间天气数值预报模式两大类型,前者主要用于模拟发生在日地空间的空间天气爆发过程、演变规律,各区域能量耦合、电磁、波粒相互作用等复杂物理过程和规律,偏向自然科学研究。后者主要用于空间天气或空间环境重要参数的提前预测和预报,偏向空间环境的实际应用。模式一般需将空间环境探测资料或者空间环境指数作为输入,通过模式的计算和转化,预报感兴趣的空間环境参数或者对空间天气过程和规律进行模拟。随着科学研究的进展,空间天气模式计算机理越加复杂,计算量和计算资源需求也明显增大,云计算环境下在线模式计算能有效地提高计算效率、缩短科学家的计算时间。STAR-Network的空间天气模式计算服务平台通过对模式的规范化改造,解决了云环境下计算模式同科学数据资源的数据互操作和大规模计算问题,为模式计算提供了交互式界面。空间天气计算模式分析平台集

成了8个国内自主研发的模式和5个国际通用参考模式,其中国内自主研发模式计算结果提供基于服务端的三维可视化展示服务,所有模式计算结果均可保存到个人云盘。13个模式涉及太阳与行星际研究和预报、磁层与辐射带研究和预报、中高层大气与电离层研究和预报以及地磁场研究和预报,它们是L1—磁层—电离层因果链物理模式(如图9所示)、太阳高能粒子传播模式、地球弓激波、磁层顶位形预报模式、地磁暴预报模式、临近空间大气预报模式、多站点中高层大气气候模式、电离层预报模式、中国低纬度地区电离层闪烁模型、地磁IGRF计算模型、地磁T96计算模型、地磁截止刚度计算模式、行星星历计算模型、AP-8/AE-8辐射带计算模式。

3.2.4 空间科学大数据应用环境

空间科学大数据应用环境是日地空间系统研究网络提供的云环境下的数据服务系统,主要集成了空间科学虚拟观测台提供的数据在线检索访问、数据可视化绘制、空间天气事件关联发现和在线数据

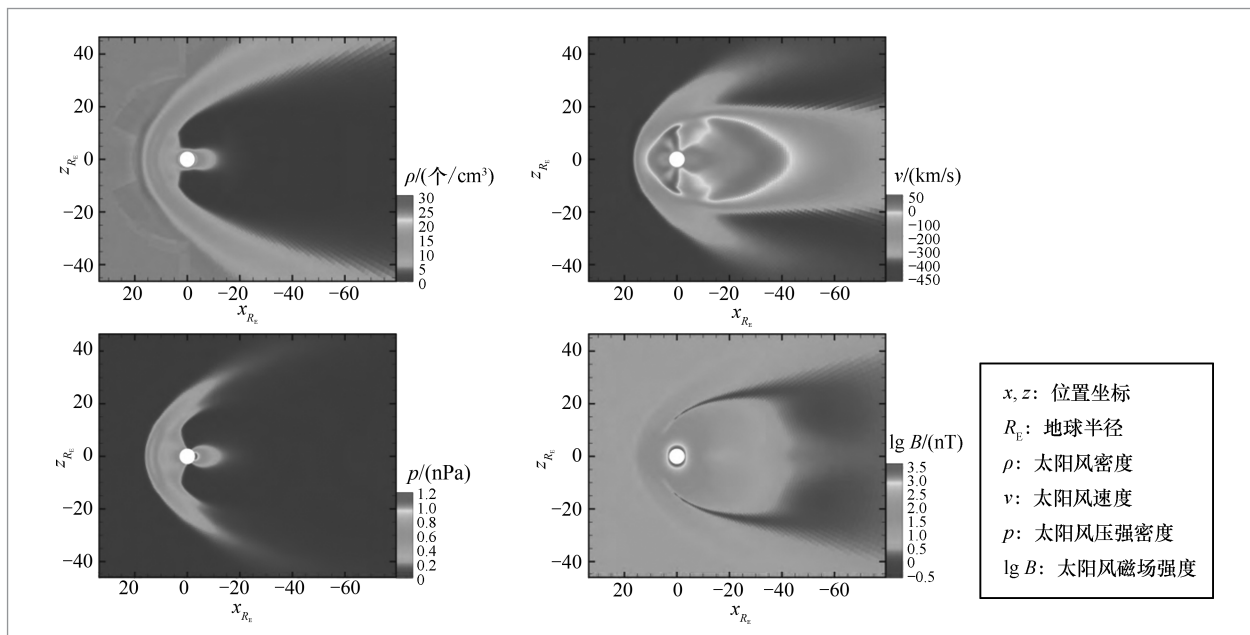


图9 L1—磁层—电离层因果链物理模式三维可视化展示

分析等全部数据应用服务, 通过为工具提供REST风格的Web Service调用接口, 并对数据平滑和滤波工具、坐标系转换工具进行了改造和集成, 实现了工具和云端资源的融合, 工具可在云计算环境运行和服务, 支持上传个人云盘中数据资源作为工具的输入, 空间科学大数据应用环境框架如图10所示。

3.2.5 基础设施服务系统

基础设施服务系统是日地空间系统研究网络提供的支持数据应用、模式计算和工具使用的信息化基础设施平台。通过对中国科学院科技云存储和空间科学先导专项云存储环境的融合, 搭建了融合院所两级的云存储环境; 基于院、所两级的计算资源, 通过部署中国科学院科技云云

计算平台, 并与虚拟机服务对接, 完成了融合院所两级的云计算环境搭建; 并在此基础上对科研协同环境进行了集成, 实现了与科技云团队文档库、会议服务平台、科技网邮箱、科信应用、组织通讯录5类科研协同服务对接; 与东莞、昆明灾备分中心对接, 形成空间科学数据灾备系统, 保障数据永久安全与长期可用; 结合了科技网通信网络资源, 为先导专项提供数据传输专用网络环境; 为云平台用户配置了云盘、虚拟机创建、自助模式计算等资源服务。

3.3 空间科学领域信息化实践成果

空间科学虚拟观测台和日地空间系统研究网络建设中秉承“边建设边服务, 边服务边完善”的原则, 在突破关键技术进

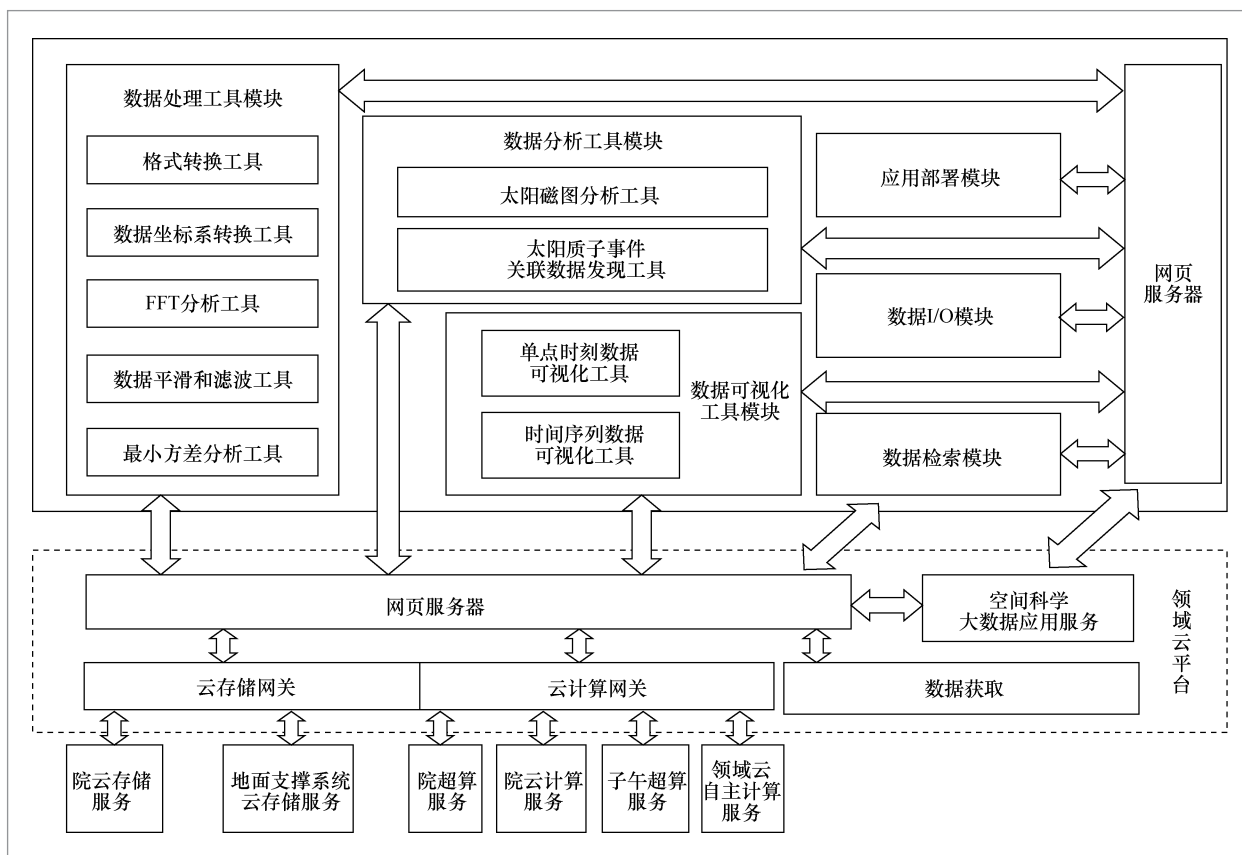


图10 空间科学大数据应用环境框架

行平台建设的同时,主动跟踪重大项目,满足学科领域科研人员、工程人员的基础需求、典型需求和潜在需求,面向领域开展服务。在空间科学先导专项背景型号项目、中欧联合卫星计划和空间应急响应系统等项目中,日地空间系统研究网络为“爱因斯坦探针(EP)”“系外类行星探测计划(STEP)”“全球水循环关键测量卫星(WCOM)”“空间甚长基线干涉阵列(Space-VLBI)”“十米波天文干涉阵列(DSL)”“太阳风—磁层相互作用全景成像卫星计划(SMILE)”等项目的用户和设计师提供了一个高效、虚拟、协作的平台,利用任务论证分析工具获取的分析结果为下一阶段开展任务深化论证奠定了良好基础。在空间科学先导专项首批立项的暗物质粒子探测卫星、实践十号返回式科学实验卫星、量子科学实验卫星、硬X射线调制望远镜卫星4个科学卫星任务中,为工程研制及测试演练提供了数据传输专用网络、云存储服务、计算服务等基础设施服务,有效地保障了地面支撑系统与测控系统、科学应用系统、地面接收分系统间的信息交换。在暗物质粒子探测卫星——“悟空”“实践十号”返回式科学实验卫星、量子科学实验卫星——墨子的在轨测试和在轨运行中,日地系统研究网络有力地支持了卫星运控、卫星下行数据处理分发、卫星数据永久归档与安全保障任务的开展,其载荷状态监视、数据产品分发、科学数据快视、综合信息服务等多项功能为卫星安全运行及完成在轨测试任务提供了坚实的后盾。

在数据支持方面,空间科学虚拟观测台为国家“973”重大项目、国家“863”计划,国家自然科学基金、公益性行业科研专项、中国科学院重点部署项目等多个项目以及国家天气预警中心、地震局、北京大学、中国科学技术大学、北京航空航天大

学、长沙理工大学等高校以及电子科技集团15所、中国科学院电子学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院空间应用工程与技术中心等多家单位提供数据资源与应用咨询等服务。此外,为国家自然科学基金重点项目“太阳风暴的日冕/行星际过程的数值预报建模研究”提供数据可视化服务,配合研究人员将数值预报模式的结果数据进行可视化处理和动画制作,展现太阳风暴从初发到1AU处的传播过程中相对数密度和磁场磁力线的演化。课题支撑方面,为多项科研课题提供高性能计算和模式支持服务,其中包括:“973”项目2项(“太阳风——磁层耦合物理过程与建模研究”“电离层与中高层大气空间天气过程及建模研究”);国家杰出青年科学基金1项(“空间高能粒子的传播过程研究”);创新研究群体科学基金1项(“空间天气基本物理过程和集成预报模式研究”);自然科学基金重点项目2项(“太阳风—磁层—电离层系统时变过程的全球数值模拟研究”“中间层和低热层大气短周期震荡研究”);自然科学基金面上项目6项;青年科学基金5项以及其他课题。

4 总结和展望

在中国科学院信息化项目的支持下,中国科学院国家空间科学中心联合中国科学技术大学和中国科学院地质与地球物理所,建立了空间科学虚拟观测台和日地空间系统研究网络两个信息化平台,以支撑空间科学研究创新以及空间科学大数据项目全生命周期活动。空间科学虚拟观测台是基于虚拟观测技术搭建的空间科学数据共享和应用数据环境,有效地对国内外重点空间科学数据资源进行了共享,在支撑

空间科学创新研究上取得重要成果;日地系统研究网络在搭建自有的云存储和云计算的基础上,提供了科研协同环境、个人云盘、虚拟机创建等基础设施服务,初步集成了可在云环境下运行和服务的空间科学任务协同论证服务工具包、空间科学任务运行支持软件服务包、空间天气计算模式群,为“空间科学战略性先导科技专项”已发射的暗物质粒子探测卫星、实践十号返回式实验卫星和量子科学试验卫星在轨测试、在轨运行提供了任务运行支持服务,为先导专项背景型号卫星SMILE、EP等科学卫星任务的论证团队提供了高效的协作论证平台服务。

在未来,平台将进一步整合空间科学数据资源,拓展学科知识工具,深度集成信息化基础设施资源,并持续服务于中国空间科学卫星任务、国际子午圈等重大项目和科研创新活动。另一方面,日地空间系统研究网络将重点关注学科研究热点与前沿问题,与科学大数据发展趋势接轨,构建满足新时期空间科学任务与科学发现需求的新型综合应用平台。如通过建立可计算的统一时空框架,改变传统的数据组织与获取方式,并在该框架上发展基于虚拟现实技术的空间科学信息可视化表达应用与基于数据挖掘等算法的研究应用,从而提供数字宇宙新视图,促进空间科学研究模式转变,助力空间科学发展。

参考文献:

- [1] 孙广楷. 谈谈空间科学技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
SUN G K, Talking about space science and technology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1979.
- [2] 中国科学院空间科学项目中长期发展规划研究课题组. 中国空间科学项目中长期发展规划研究报告(2010~2030) [R]. 北京: [出版者不详]. 2008.
CAS. Calling taikong—a study report on the future space science program in China[R]. [S.l.:s.n.]. 2008.
- [3] 佟继周, 邹自明, 傅衍杰, 等. 空间科学e-Science应用——空间科学虚拟观测台(VSSO) [J]. 科研信息化技术与应用, 2011, 2(1): 61-68.
TONG J Z, ZOU Z M, FU Y J, et al. Virtual space science observatory: an e-Science implementation in space science[J]. e-Science Technology and Application, 2011, 2(1): 61-68.
- [4] 邹自明, 马文臻. 空间科学数据应用环境研究[J]. 中国计算机学会通讯, 2013, 9(9): 12-15.
ZOU Z M, MA W Z. Research on space science data application environment[J]. Communications of the CCF, 2013, 9(9): 12-15.
- [5] 邹自明. “空间科学科技领域云”建设与应用项目实施总结报告[R]. [出版地不详:出版者不详]. 2016.
TONG J Z, et al. A summary report on the implementation of the project “cloud for space science and technology” [R]. [S.l.:s.n.]. 2016.
- [6] 佟继周. “空间科学学科领域基础科学数据整合与集成应用”项目实施总结报告[R]. [出版地不详:出版者不详]. 2016.
ZOU Z M, et al. Project summary report on “data integration and integration application of basic science in the field of space science” [R]. [S.l.:s.n.]. 2016.
- [7] 傅衍杰, 邹自明, 佟继周. 空间科学虚拟观测台体系结构研究[J]. 天文研究与技术, 2011, 8(4): 395-402.
FU Y J, ZOU Z M, TONG J Z. Research of architecture of the chinese space science virtual observatory[J]. Astronomical Research & Technology, 2011, 8(4): 395-402.
- [8] 郑岩, 邹自明, 佟继周, 等. 行星科学数据系统(PDS)标准规范的研究[J]. 科研信息化技术与应用, 2009(1): 1-8.

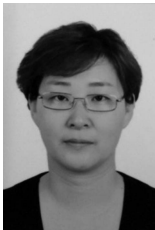
ZHENG Y, ZOU Z M, TONG J Z, et al.
Research on the planetary data system

(PDS)[J]. E-science Technology and
Application, 2009 (1): 1-8.

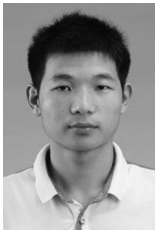
作者简介



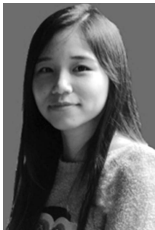
邹自明 (1971-), 男, 中国科学院国家空间科学中心研究员、副主任, 主要研究方向为日地空间大数据处理与应用技术。



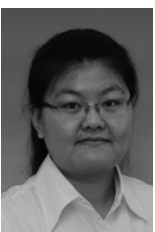
佟继周 (1976-), 女, 中国科学院国家空间科学中心研究室副研究员、副主任, 主要研究方向为空间科学信息系统、计算机应用技术、数据处理和管理。



熊森林 (1988-), 男, 中国科学院国家空间科学中心助理研究员, 主要研究方向为数据标准、数据处理和管理、空间物理。



胡晓彦 (1987-), 女, 中国科学院国家空间科学中心助理研究员, 主要研究方向为空间科学信息系统、数据组织模型和空间物理。



纪珍 (1982-), 女, 中国科学院国家空间科学中心副研究员, 主要研究方向为空间科学信息系统和数据处理、管理。

收稿日期: 2016-10-08