

地球系统科学数据共享软件研究与发展

诸云强¹ 宋佳¹ 冯敏¹ 王卷乐¹ 杜佳¹ 张金区² 刘润达³

(1. 资源与环境信息系统国家重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 华南师范大学, 广东广州 510631; 3. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 地球系统科学数据具有分散、多源、异构、海量等特点, 是全球变化创新研究和区域可持续发展决策等的重要基础。为了能够有效集成、共享这些数据资源, 自2003年起在科学数据共享工程、国家科技基础条件平台等的支持下, 开展了地球系统科学数据共享软件系统的研究。在回顾地球系统科学数据共享软件发展历程的基础上, 重点介绍分布式地球系统科学数据共享软件的业务模式、总体架构、功能体系和部署应用情况。进一步剖析分布式地球系统科学数据共享软件存在的问题及面向长期运行服务的需求, 结合云服务、Web2.0、移动通讯等新技术发展, 指出地球系统科学数据共享软件下一步的重点发展方向。

关键词: 地球系统; 数据共享系统; 云服务; 共享社会化; 移动服务; 数据引用

中图分类号: P/G2, TP3

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2012.06.003

Research and Development of Software of Earth System Science Data Sharing

Zhu Yunqiang¹, Song Jia¹, Feng Min¹, Wang Juanle¹, Du Jia¹, Zhang Jinqu², Liu Runda³

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101; 2. South China Normal University, Guangzhou 510631; 3. China Science and Technology Information Institute, Beijing 100038)

Abstract: Earth system science Data is dispersed, multi-sourced, heterogeneous, and massive in volume, which lays an important foundation for innovative research of global changes and regional continuous development. In order to integrate and share such data resources, with the support of Science Data Sharing Project and National Sci-Tech Infrastructure since 2003, China has conducted research on the Earth System Science Data Sharing Software. This paper focuses on the introduction of the business mode, general architecture, function system, and deployment and application situations of the distributed Earth System Science Data Sharing software. In addition, it analyzes the problem of this software and the requirement for long-term operation services. Together with the development of new technology, such as Cloud services, Web 2.0, mobile communication, this paper points out the orientation for the software system of earth system science data sharing in the next phase.

Keywords: Earth System, data sharing system, cloud services, socialized sharing, mobile services, data references

1 引言

地球系统科学研究涉及对地球系统各圈层多

时空尺度的变化规律及其相互作用的综合理解, 需要跨学科、跨区域、多过程、长时间序列的科学数据的支持^[1]。由于上述数据资源分散在不同行业部

第一作者简介: 诸云强(1977-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 地学数据共享关键技术, 资源环境信息系统。

基金项目: 资源与环境信息系统国家重点实验室自主部署创新研究计划资助项目“陆地表层系统数据-模型共享研究与应用示范”(088RA900PA); 中国科学院地理科学与资源研究所“一三五”战略科技计划项目“基于云服务的地学科研信息化环境研究、构建与应用示范”(2012ZD010); 国家科技基础条件平台“地球系统科学数据共享平台”(2005DKA32300)。

收稿日期: 2012年10月9日。

门和科研院所中,因此,开展地球系统科学数据共享,构建数据共享软件服务系统,提供地球系统科学研究所需要的数据资源服务至关重要。建设全球变化与地球系统研究的数据、信息系统,推动区域和全球数据共享已经引起国内外众多研究机构和国际科学组织的广泛关注^[1]。如1991年成立的全球观测系统计划数据信息系统(EOSDIS)^[2]、国际科联世界数据系统(ICSU-WDS)^[3]、兴都库什-喜马拉雅地区山地信息共享系统(ICIMOD-GeoPortal)^[4]等。

为了推动中国地球系统科学数据的共享,2003年,科技部科学数据共享工程启动了“地球系统科学数据共享网”项目(ESSDSN);2005年“地球系统科学数据共享网”纳入国家科技基础条件平台。ESSDSN分3个阶段进行实施:一是试点探索阶段(2003-2005年),重点开展地球系统科学数据资源共享政策、机制、标准规范以及软件系统的研究;二是全面建设阶段(2006-2008年),重点开展数据资源的收集与产品生产、共享服务平台构建,按照“边建设、边服务”的思路对外提供数据共享服务;三是运行服务阶段(2009年起),重点工作是数据共享服务,按照“边服务、边提升”的思路不断整合集成数据资源、优化网络共享平台等,提升数据共享服务水平^[5]。2011年,ESSDSN通过财政部、科技部的联合认定,成为首批23个国家科技条件平台之一。

伴随着ESSDSN的发展,地球系统科学数据共享软件系统已从单点集中服务系统发展到了分布式的服务系统。分布式服务系统采用“数据资源分散存储管理、元数据集中”的模式,由多个物理上分布、逻辑上统一的网络服务系统提供数据共享服务。用户只需要登录任何一个系统,就可以一站式访问该体系下所有系统发布的数据资源。分布式服务系统需要构建多个异地的系统,而且要确保系统间的互连互通,相对于单点集中服务系统而言,管理复杂、构建成本高,但却符合共享参建单位的利益,极大方便了数据用户,可大大推进数据资源的共享。然而,面向国家科技基础条件平台长期运行服务的需求以及数据引用、云服务、语义网等新理念、新技术的发展,分布式地球系统科学数据共享软件还需要不断完善和发展,从而为用户提供更便捷、高效的数据共享服务。本文就是在这一背景下,总结目前运行的分布式地球系统科学数据共享

软件系统的技术架构、功能体系和存在的问题,分析国内外数据共享软件的发展趋势和国家科技基础条件平台运行服务阶段新的需求,最终提出地球系统科学数据共享软件未来的重点发展方向。

2 分布式地球系统科学数据共享软件与应用

2.1 数据共享软件架构和业务流程

地球系统科学数据分布在不同的地理位置,往往由不同的单位拥有和管理,因此,分布式地球系统科学数据共享的核心是如何在充分保护和体现数据拥有单位利益的前提下,为用户提供“一站式”的优质数据共享服务。

为了能够保护数据拥有单位的利益,数据资源仍由数据拥有单位进行管理、发布和优先服务;为了能够为用户提供“一站式”的优质服务,需要提供全局的数据搜索、无缝的数据访问和统一规范的服务质量控制。基于上述分析,以元数据和数据服务为核心^[6],采用“数据资源分散存储、发布,元数据集中管理、审核”的策略,按照“总中心—认证中心—分中心”的体系架构进行分布式地球系统科学数据共享软件的设计。其总体架构如图1所示。

总中心接收、审核、发布各分中心推送上来的元数据,形成分布式元数据全集,提供全局数据目录导航和数据资源检索,为用户提供“一站式”的数据服务。总中心同时拥有分中心的功能。认证中心为总中心和分中心提供统一的用户注册、单点登录和权限认证的功能。分中心设置在学科或区域数据资源权威拥有单位中,负责学科或区域数据资源的存储、管理与分发服务。分中心的元数据实时推送到总中心。

总中心、认证中心和分中心之间的互操作利用网络服务实现,通过一系列固化到软件系统中的规范,保障优质的数据共享服务。分布式数据共享的具体流程如图2所示。

(1)分中心用户管理数据资源,编制数据文档,汇交元数据和数据服务,分中心管理员审核元数据。审核通过的元数据实时推送到总中心。没有通过审核的元数据经修改后再汇交。

(2)总中心管理员对所有分中心的元数据进行统一的审核发布。审核通过的元数据,对外公开,形成分布式元数据全集;审核没有通过的元数据,返回分中心进行修改。

(3) 用户在总中心搜索数据，查到元数据后，浏览元数据，决定是否访问数据资源。用户也可在分中心搜索数据，缺省情况下搜索本分中心的数据，也可调用总中心全局搜索的功能，实现所有数据的搜索。

(4) 用户访问数据前，先要通过认证中心的单点登录和权限认证。数据访问时，根据元数据绑定的数据服务，无缝访问具体数据资源。用户也可以下载数据文档，通过数据文档辅助指导数据的使用。

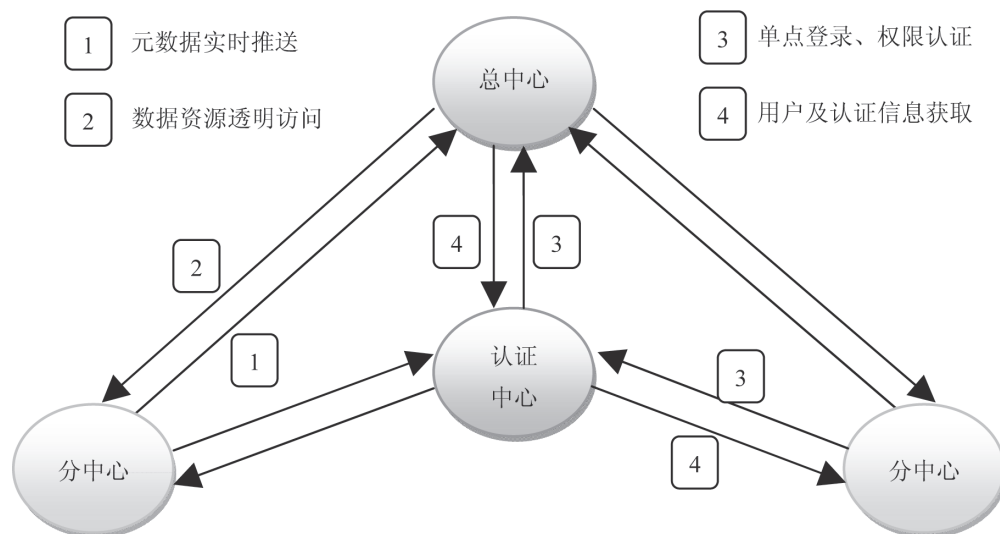


图1 分布式地球系统科学数据共享软件总体架构

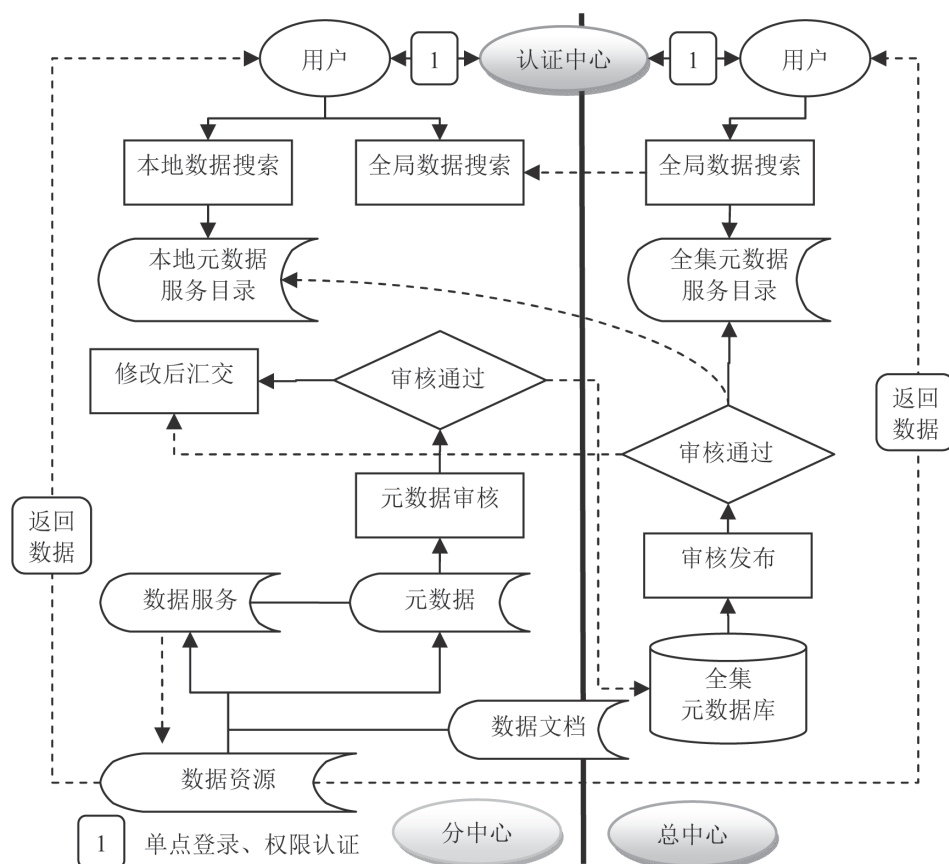


图2 分布式地球系统科学数据共享流程

2.3 数据共享软件功能

分布式地球系统科学数据共享软件从功能上分为四大部分：后台数据管理审查系统、前台数据共享服务系统、认证系统以及网络服务。前两个系统又分为总中心版和分中心版，两个版本的功能略有区别。

后台数据管理审查系统面向管理员，主要提供站点信息管理（总中心版提供总中心站点信息的管理和所有分布式站点信息的设置，分中心版提供本中心站点信息管理和总中心站点信息的设置）、站点管理员及权限管理、数据分类体系管理、元数据审核（总中心版提供元数据审核和元数据发布功能，分中心版提供元数据远程推送功能，但没有元数据发布功能）、数据服务管理、数据服务统计分析等功能。

前台数据共享服务系统面向数据提供者，提供数据汇交（元数据、数据服务及数据文档的汇交）、个人汇交数据管理等功能；面向数据用户提供数据目录导航、元数据查询（总中心版提供全局查询的功能，分中心版缺省时提供本地查询功能，但也可以调用总中心的全局查询功能）、元数据浏览、数据访问及在线浏览等功能。数据汇交和数据访问前都需要通过认证中心进行单点登录和权限认证。

认证系统为总中心、分中心提供用户注册、单点登录、权限验证、用户及权限信息获取、用户统计分析等功能。

网络服务分别部署在总中心、分中心和认证中心，用于相互之间的互操作，包括站点信息同步服务、元数据推送服务、用户信息获取服务等^[6]。

2.4 数据共享软件部署应用

分布式地球系统科学数据共享软件基于J2EE环境进行开发，后台数据库采用Oracle 10g。软件系统自2007年起分别部署在总中心、10个区域分中心（其中的2个分中心不再运行）和6个学科分中心中，形成了“一站式”的地球系统科学数据共享网络服务体系（表1）。

截止到2012年9月，通过该体系，已经整合了30.12TB的数据资源。整合的数据资源以陆地表层数据为核心，涉及固体地球、海洋和空间天文等方面的数据资源，具体包括全国和典型区域的地表过程与人地关系数据（地理、资源、生态、环境、社会经济数据等）、遥感影像及反演产品、全球变化模拟数据、日地系统及空间环境数据以及国际数据资源等。此外，提供的数据服务量达41.77TB。

分布式地球系统科学数据共享软件实名注册用户近6.5万名，用户主要来自从事地球科学研

表1 分布式地球系统科学数据共享软件部署情况

中心名称	网址	依托单位	备注
总中心	http://www.geodata.cn	中国科学院地理科学与资源研究所	
区域分中心			
极地区域分中心	http://www.chinare.org.cn	中国极地研究中心	
青藏高原区域分中心	http://159.226.110.223:8070	中国科学院青藏高原研究所	
新疆与中亚区域分中心	http://159.226.110.221:8070/Portal	中国科学院新疆生态与地理研究所	
黄土高原区域分中心	http://loess.geodata.cn	中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心	
西南山地区域分中心	http://imde.geodata.cn	中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所	不再运行
黑土区域分中心	http://northeast.geodata.cn	中国科学院东北地理与农业生态研究所	
黄河下游区域分中心	http://henu.geodata.cn	河南大学	
长江三角洲区域分中心	http://nnu.geodata.cn	南京师范大学	
东南沿海区域分中心	http://fjnu.geodata.cn	福建师范大学	不再运行
南海及邻近海区域分中心	http://159.226.110.220:8070/Portal	中国科学院南海海洋研究所	
学科分中心			
冰雪冻土学科/寒区旱区分中心	http://westdc.geodata.cn	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所	
湖泊-流域学科分中心	http://159.226.110.222:8070/Portal	中国科学院南京地理与湖泊研究所	
全球变化模拟分中心	http://geodata.nju.edu.cn	南京大学	
地球物理学学科分中心	http://geophys.geodata.cn	中国科学院地质与地球物理研究所	
空间科学学科分中心	http://159.226.22.201:9010/Portal	中国科学院空间科学与应用研究中心	
天文科学学科分中心	http://lamost.geodata.cn	中国科学院国家天文台	

究和教育的高等院校（占58.37%）、科研机构（占21.59%）以及相关领域的公司企业（占4.05%）、政府机关（占2.28%）、民间组织（占1.02%）等（未填写用户行业类别的占12.69%）。网站总访问人次约1204万，提供了52.67TB的服务量。为1155项重大科研项目/课题、24项重大建设工程、26项民生工程提供了数据定制服务。

2.5 问题与需求分析

尽管分布式地球系统科学数据共享软件已经运行5年多时间，并取得了较好的效果，但面向长期运行管理及用户对优质数据服务的需求，还存在以下主要问题。

一是软件架构问题。软件模块和业务逻辑强耦合，不便于软件系统的重组、扩展和业务流程的变更。不能直接与国际上主流的元数据互操作协议（如Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting, OAI-PMH）^[7]和开源数据共享软件（如Geonetwork^[8]）进行元数据的交换。

二是资源整合模式问题。目前分布式共享软件通过较为严格的登录认证机制，支持“参建单位汇交、管理员审核”的数据资源整合模式，没能充分发挥数据网民的积极性，未能构建人人都是数据使用者同时也是数据提供者的氛围。具体表现在：缺乏自动搜索、发现、整合网络上大量第三方数据资源的能力，缺乏鼓励数据网民汇交个人数据、审核数据质量的机制和技术保障（如数据汇交者无法查看数据被使用的情况，数据需求只由数据中心管理员响应等）等。

三是软件功能问题。缺乏基于语义推理的数据搜索功能，影响了数据资源搜索的查全率与查准率；缺乏动态的在线数据资源转换、剪切和处理能力，难以适应用户个性化的数据需求等。

四是运行管理问题。如前所述地球系统科学数据共享网自2011年起已正式转入运行服务阶段，因此，分布式共享软件应进一步加强运行管理的能力（如在线数据资源服务的连通率和有效性监控，数据服务统计分析等）。

3 地球系统科学数据共享软件未来发展

3.1 国内外数据共享软件发展

根据对全球综合地球观测系统（GEOSS）^[9]、地球科学网（GEON）^[10]、全球变化主目录（GCMD）（<http://gcmd.nasa.gov>）、美国联邦政府数据共享门户

（Data.gov）（<http://www.data.gov>）、世界数据中心极地中心（PANGAEA）（<http://www.pangaea.de>）以及国内的西部环境与生态科学数据中心（WEST-DC）^[11-12]、数据堂（DataTang）（<http://www.datatang.com>）等的调研分析，国内外数据共享软件发展趋势具体表现在以下几个方面。

（1）注重对网络上已有的大量相关数据资源的自动搜索、分类、导航。通过接口或协议对已有的共享系统的元数据等进行收割。通过网络搜索引擎对分布在网络上大量的分散数据资源进行搜索和挖掘整理。泛在网络信息资源的挖掘已经成为信息挖掘的一个新发展方向。

（2）注重发挥和调动网络用户的力量，实现数据共享的社会化。一是提供易于操作的数据发布、需求发布等功能，进行数据资源的积累，使得数据发布变得更加容易和更有积极性。通过积分的形式鼓励用户发布数据、响应他人的数据需求。二是对元数据及数据质量进行评审和评论，即提供强大的用户参与功能。如DataTang通过开放的平台架起了数据提供者和使用者的桥梁。

（3）注重数据目录导航，使得数据更容易找到。除学科、主题、参数分类外，提供数据格式、数据服务方式、时间轴、空间轴导航等。新的数据目录改进甚至成为下一代美国联邦数据共享门户（Data.gov）的一个重要特性。

（4）丰富的数据在线浏览、交互和分析能力。对查询结果进行多种类型的再排序，分类提供强大的数据在线浏览、操作和统计分析功能，使得数据更容易理解。如Data.gov可以对表格数据进行在线的浏览、二次检索、制作统计图表等。

（5）关注数据与数据之间的关联，数据与参考文献之间的关联。不仅仅是简单依靠元数据匹配的关联，而是提供本数据生产或加工过程中用到的数据关联，数据使用的参考文献的关联。

（6）开放的系统接口。为系统开发者提供统一的API或网络服务接口。在Data.gov中提供了第三方软件系统引用数据集的可嵌入脚本语言，供开发者在应用系统中进行调用。

（7）注重数据知识产权的保护，开始关注科学数据引用、标识。数字对象唯一标识（DOI）引起了人们的广泛关注，被引入科学数据的全球解析和长期引用中。如中国科学技术信息研究所^[13]、WESTDC、PANGAEA等已经开始尝试DOI在科学

数据标识和引用中的实践。

(8)在数据共享的基础上,更加关注数据的在线处理。在提供数据资源共享的同时,还为用户提供在线数据处理、分析、可视化的实用性工具和模型以及超级计算环境,用于数据密集型的分析及计算。

3.2 地球系统科学数据共享软件重点发展方向

基于前述分析的现有分布式数据共享软件存在的问题以及运行服务阶段新的需求,结合国内外数据共享软件最新发展趋势,地球系统科学数据共享软件未来发展应朝着“更加高效、更加开放、更加智能、更加社会化、更加简便”的方向发展,具体包括以下几个方面。

(1)采用“云服务”模式,重新架构软件系统,构建可自我管理、不断扩展的虚拟存储、计算资源,支撑分布式数据共享对海量、高性能存储和计算能力的需求;同时按照“软件即服务”的要求,最小粒度抽象、离散数据共享功能模块,对外提供统一的网络服务接口,以便适应共享软件系统的灵活定制、扩展以及与第三方软件的互操作。

(2)采用“Web2.0”模式,扩展以参建单位为核心的数据汇交方式,加强面向网络数据用户的数据汇交、数据质量评价、数据需求交互响应等功能;开展基于时空信息的互联网地球系统科学数据挖掘与自动分类,推进地球系统科学数据共享社会化。

(3)参考SWEET^[14]、WordNet^[15]、GCMD分类术语等,逐步构建地球系统科学本体库,开展数据语义标注,利用本体推理机等,提供基于语义的地球系统科学数据目录导航和语义搜索,提高数据搜索的全面率和准确率,提供关联数据服务。

(4)引入DOI进行数据资源的唯一标识和规范化引用,加强数据使用情况跟踪、统计。利用移动通讯等新兴技术,开展移动数据主动推介服务,定期向数据提供者反馈数据使用情况,形成良好信用的数据共享品牌。

(5)加强在线数据服务规范性(如关键字个数、时空范围描述等)、有效性(如元数据链接、数据访问链接等)自动监控,建立数据在线专家评审和用户使用评价体系,深入开展多源数据融合,建设专题数据库,加强和完善监测数据、统计数据、空间数据等在线可视化浏览、变化分析与统计制图等功能。

(6)在强化数据共享功能的基础上,加强在线数据转换(格式转换、投影方式转换等)、剪切、融合处理等工具软件服务以及典型陆面过程模拟计算服务,促进地球系统科学“数据-模型-计算”的一体化共享,并最终朝着地学科研信息化环境^[16]发展。

4 结语

数据共享软件是科学数据共享支撑体系重要的载体,是实现数据资源有效整合、快速服务的有效工具。在数据共享法规政策不健全、共享理念还不够普及的现阶段,良好的数据共享软件对于鼓励、吸引用户,推进数据共享具有重要的作用。本文在回顾地球系统科学数据共享软件发展历程的基础上,介绍了当前运行的分布式地球系统科学数据共享软件的总体架构、功能体系及其部署应用情况。在分析面向国家平台长期运行服务需求的基础上,结合国内外数据共享软件发展趋势,笔者认为,地球系统科学数据共享软件应该朝着“更加高效、更加开放、更加智能、更加社会化、更加简便”的方向发展,应重点加强或实现软件系统的开放性与可扩展性,基于语义的数据导航与搜索,更多用户参与数据的汇交与评价,数据的引用与推介,数据在线处理与计算等。

参考文献

- [1] 孙九林,林海.地球系统研究与科学数据[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] Bai Yuqi, Di Liping, Wei Yaxing. A Taxonomy of Geospatial Services for Global Service Discovery and Interoperability[J]. Computer & Geosciences, 2009(35): 783-790.
- [3] 王卷乐,孙九林.世界数据中心(WDC)回顾、变革与展望[J].地球科学进展,2009,24(6):612-620.
- [4] Zhu Yunqiang, Rajan Bajracharya. Towards a Regional Geographic Data-sharing Network in the Himalayas[J]. Sustainable Mountain Development, 2011,60:38-39.
- [5] 诸云强.地球系统科学数据共享平台建设与服务[J].中国科技投资,2011(12):27-29.
- [6] 诸云强,刘润达,冯敏,等.分布式地球系统科学数据共享平台研究[J].计算机工程与应用,2009,45(1):245-248.
- [7] Devarakonda R, Palanisamy G, Green J M, et al. Data

(下转第22页)

足量投入的系统工程。尤其对于那些反映客观世界发展规律的数据,长期收集整理具有更大的分析、研究和利用价值。二是随着科学数据的快速积累和信息服务技术的不断成熟,用户对数据服务的要求不断提高,数据浏览、查询和下载等常见功能模式很难满足其特定需求,数据服务向多元化、集成化和主动式的专业服务方向发展。顺应这种趋势的数据库开发了很多针对用户需求的应用软件工具,例如,人地系统主题库形成了一套数据在线可视化与分析工具集、化学数据库开发了特殊化学数据(结构和谱图)的可视化展示方法、武汉植物园数据库集成了地图搜索等功能,这些服务模式让用户的体验更方便、更快速,继而提高了这些数据库的利用率和被引率。三是这些被引用较多的数据库都有领域专家和信息技术人员联合服务的良好基础和传统,他们都有固定的学科领域专家和技术人员组成的稳定服务团队,利用多种方式采取在线、离线相结合的手段,开展面向特定领域、特定项目的专家咨询以及面向一般用户的技术服务咨询。

论文引用情况表明,经过30年的建设,中国

科学院科学数据库不仅为科学研究提供基础数据支持,还引导研究者们探索新发展的领域和科学问题;不仅为国家高层次人才培养提供支持,还为国家重大战略决策提供重要参考。

鉴于科技数据的基础性和战略性地位,不断加强中国科学院科学数据的整合与共享是今后的重要任务。

参考文献

- [1] 孙九林.科学数据库发展战略思考[C]//科学数据库与信息技术论文集.北京:兵器工业出版社,2010:3-7.
 - [2] 董建军.参考文献引用分类标注与科技期刊和论文的评价[J].编辑学报,2006,18(6):406-409.
 - [3] 廖顺宝.从数据库的引用标注看科技资源的应用服务成效[C]//科学数据库与信息技术论文集.北京:科学出版社,2012:391-196.
 - [4] 中国科学院信息办.2010年中国科学院信息化资源报告[R].北京,2010.
 - [5] 陈明奇.中国科学院科技数据资源现状及其发展思考[C]//科学数据库与信息技术论文集.北京:科学出版社,2012:3-9.
-
- (上接第16页)
- Sharing and Retrieval Using OAI-PMH[J]. Earth Sci Inform, 2011(4):1-5.
 - [8] Stanislav Grill, Michal Schneider. Geonetwork Open-source as an Application for SDI and Education[EB/OL]. [2012-12-09]. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/Sbornik/Lists/Papers/039.pdf.
 - [9] Kristin Stock, Gobe Hobona, Carlos Granell, et al. Ontology-Based Geospatial Approaches for Semantic Awareness in Earth Observation Systems. Geospatial Semantics and the Semantic Web[J]. Semantic Web and Beyond, 2011(12):97-118. DOI:10.1007/978-1-4419-9446-2_5.
 - [10] Chaitan Baru, Sandeep Chandra, Kai Lin, et al. The GEON Service-oriented Architecture for Earth Science Applications[J]. International Journal of Digital Earth, 2009, 2(21):62-78.
 - [11] Xin Li, Zhuotong Nan, Guodong Cheng, et al. Toward an Improved Data Stewardship and Service for Environmental and Ecological Science Data in West China[J]. International Journal of Digital Earth, 2011,4(4):347-359.
 - [12] 吴立宗,涂勇,王亮绪,等.浅谈科学数据出版中的数字对象唯一标识符[J].中国科技资源导刊,2010,42(5):22-29.
 - [13] 涂勇,彭洁.基于DOI技术的科学数据与科技文献融合的研究[J].数字图书馆论坛,2007(10):28-31.
 - [14] Robert G Raskin, Michael J Pan. Knowledge Representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET)[J].Computers & Geosciences, 2005(31):1119-1125.
 - [15] 贺德方,张旭.服务于科技信息资源共享的数字对象唯一标识应用研究[J].现代图书情报技术,2007(8):26-29.
 - [16] 诸云强,孙九林,宋佳,等.地学e-Science研究与实践——以东北亚联合科学考察与合作研究平台构建为例[J].地球科学进展,2011,26(1):66-74.