

大数据背景下的国家地质信息服务系统建设

郑 啸^{1,2}, 李景朝^{1,2}, 王 翔^{1,2}, 梁婉娟^{1,2}

ZHENG Xiao^{1,2}, LI Jingchao^{1,2}, WANG Xiang^{1,2}, LIANG Wanjuan^{1,2}

1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

2. 全国地质资料馆, 北京 100037

1. *Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

2. *National Geological Archive of China, Beijing 100037, China*

摘要:探讨大数据背景下建设国家地质信息服务系统的相关问题。结合典型的云计算构架给出国家地质信息服务系统的概念模型。从地质信息特点角度讨论了地质数据资源整合的相关问题。结合中国地质调查局系统、地质相关行业、地质相关单位部门现状,讨论系统节点建设与节点对接问题。对比发达国家地质调查局提供信息服务的新特点,提出基于大数据的国家地质信息服务系统如何助推地质信息共享,资料数据服务与信息知识服务并重,服务于国家建设与社会经济的问题。

关键词:大数据;地质信息;共享;服务

中图分类号:P628 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2015)07-1316-07

Zheng X, Li J C, Wang X, Liang W J. Construction of the national geological information service system in the age of big data. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(7):1316-1322

Abstract: In this paper, the authors discussed some issues related to construction of the national geological information service system in the age of big data, gave the concept model of the national geological information service system based on the typical cloud computing architecture, dealt with some problems related to integration of geological data resources from the perspective of geological information characteristics, probed into the node construction and interfaces of the system according to the status quo of China Geological Survey system, geology-related industries as well as geology-involved units and departments, and made the propose as to how the national information service system based on big data can boost the geological information sharing and attach equal importance to data and information knowledge services to serve the national construction and social economic development on the basis of a comparative study of the new features of geological survey information services in developed countries.

Key words: big data; geological information; sharing; service

随着虚拟化、物联网、云计算等技术在众多领域的广泛应用,全球数据产生量的飞速增长,大数据时代已悄然来临。2008年和2011年 Nature 和 Science 杂志先后出版了“大数据”和“数据处理”专刊^[1-2],从互联网技术、网络经济学、超级计算、环境科学、生物医药等多个方面介绍了海量数据带来的挑战,以及数据洪流所带来的机遇。大数据逐步从

概念发展为一个新兴的研究方向,并对全人类的发展产生深远影响。这其中包括不断面临数据挑战的“数字地球”^[3]研究,也在向注重知识发现的“智慧地球”阶段发展^[4-5]。

2012年3月美国政府公布的“大数据研究和发
展倡议”^[6-7],使“大数据研发计划”上升为国家意志。该计划承诺投资2亿多美元推动美国国家科

收稿日期:2014-09-09;修订日期:2015-02-15

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212011120417)

作者简介:郑啸(1986-),男,博士,工程师,从事地质信息化与地质资料管理服务研究。E-mail:superzhx@126.com

通讯作者:王翔(1983-),男,博士,工程师,从事地质资料管理服务与遥感地质学研究。E-mail:wxcugb@qq.com

学基金(NSF)、美国地质调查局(USGS)等6个联邦政府部门的大数据相关工具及技术的研发,以增强海量数据收集、分析萃取信息的能力,加快其在科学与工程领域发展的步伐,引领全球科学范式向数据密集型科研方向转变。2010年,美国地质调查局为适应社会需求,将以往以学科为主线的组织架构调整为以重大问题为主线,新增了核心科学体系的科学使命,并于2012年制定和发布了《美国地质调查局核心科学体系科学战略(2013—2023)》^[9],作为其今后10年核心科学研究的纲领。英国地质调查局(BGS)^[9]也构建了基于业务流程的包含知识的发现、交换与开发的地学知识框架,框架涵盖项目管理、数据采集、集成管理、数据处理、成果综合等方面。

地质资料信息服务是进入21世纪后发达国家地质工作的一个显著变化,成为各国地质工作的战略重点。长期以来,中国在国家层面上始终没有建成一个相对集中、全面、权威的地质信息服务平台,用于全面展示中国地质信息服务产品。国家在各类地质工作中累计投入8000多亿元人民币,开展了长期的地质与矿产资源调查、评价、研究与规划工作,从中产生了海量科学数据资料,是社会的财富,也是研究“大资源”、“大环境”、“大生态”等问题的重要基础数据。经济社会发展对地质信息服务提出了全方位需求,及时、完整、全面地为政府、专业人员和社会公众提供服务,显得尤为迫切。如何借鉴大数据浪潮带来的思维与技术,采取切实有效的措施,加快实现各类地质信息的社会化共享,挖掘地质数据的潜在应用价值,满足社会各界对地质信息日益增长的需求,是地质信息化建设值得思考的问题。本文以建设国家地质信息服务系统为背景,探讨地质信息的大数据化,以及大数据如何助推地质信息的共享与社会化服务问题。

1 国家地质信息服务系统的基础框架

在“大数据”时代,相关信息技术在互联网、市场营销、金融、物流、医疗、图书、通信等行业逐步开始探索研究,在一些领域取得了令人瞩目的应用效果,形成了多类具有行业特色的大数据框架。

发达国家都高度重视地学信息领域的信息共享与服务,许多都部署战略计划并开展了国家级系统建设工作。将高性能计算、SOA、虚拟化等技术

融入到地学信息建设中,建立起基于大数据的地学数据共享平台,有效地为国家、政府、企业、学术团体与社会公众提供地理空间信息查询、访问和获取途径,通过大数据平台提供信息共享解决方案,通过大数据挖掘技术开发基础数据资源以支持智能分析决策。美国建立的地理空间一站式门户(Geospatial One-Stop,简称GDS)^[10],以满足政府和社会各界对空间信息的需求为目标,提供更为高效、便捷和廉价的方式,使公众能够利用几乎所有官方提供的空间信息,改善政府效率与服务,促进空间信息的高度共享。加拿大开展了GeoConnections计划^[11],使公众能够通过互联网访问加拿大空间信息,系统覆盖了各级政府、企业和学术团体,实现互联互通与合作交流。澳大利亚地理信息门户FIND(find.ga.gov.au)在结合空间数据目录(ASDD)和政府公共数据集的基础上,通过开放的数据网络,面向各级政府、企业、非盈利性组织、学术团体、社会公众提供整个澳大利亚空间数据的查找、浏览、下载和使用平台,实现信息高速共享。欧空局的欧洲空间信息基础设施(INSPIRE)计划^[12],以欧盟法律条文形式确立了空间信息基础设施的建设部署和长期应用,之后欧洲多国均制订了与其类似的发展建设规划,并与各国的电子政务系统进行对接。中国的国家空间信息基础设施建设与应用工作在“十一五”、“十二五”规划中均有体现,是中国空间信息基础设施建设和地理空间信息应用的指导性文件。国土资源部于2009年提出国土资源“一张图”的概念,目标是实现土地、地质、矿产等已有信息资料的集成与共享,旨在集成整合多元异构的各类国土资源数据,提高数据利用率、减少资源浪费,挖掘数据潜力,发挥其应有的作用。中国地质调查局也启动了云计算的相关跟踪研究,探索云计算在地质调查领域中的应用。

典型的云计算模型包括3个层次的服务(图1):基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)。三层服务是相对独立的,各层面向不同用户提供不同的服务,但由于技术上SaaS构建于PaaS之上,PaaS构建于IaaS之上,每层的服务和产品直接依赖于其下一层所提供的资源和技术支持,因此三者又具有依赖关系,在系统实现过程中三者界限相对模糊。

国家地质信息服务系统采用虚拟化、并行计算

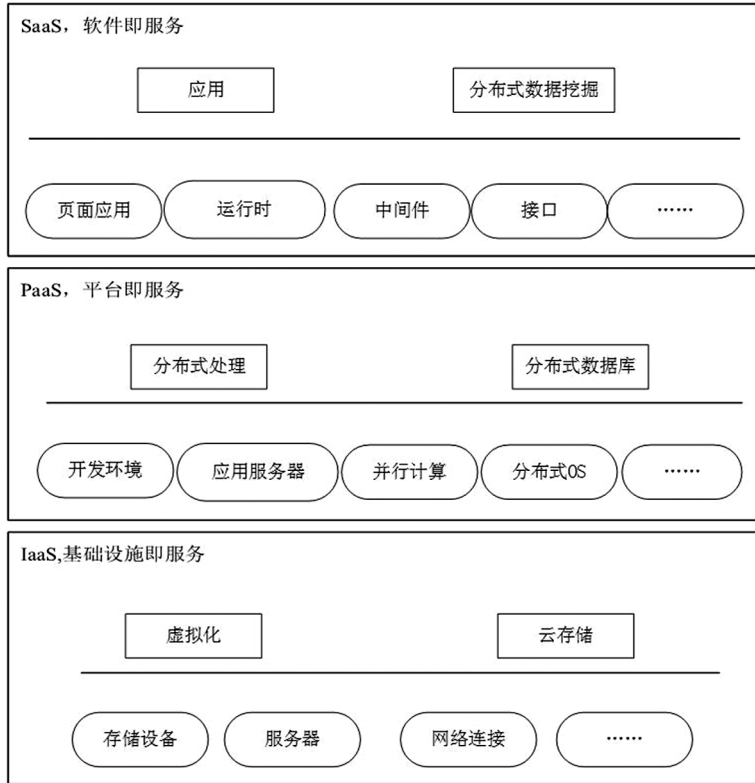


图1 典型云计算的架构

Fig. 1 Typical cloud computing architecture

等核心技术搭建的地质信息云计算平台,连接各服务节点,实现多元异构地质信息的分布式云存储、管理、计算,进而为社会公众提供不同粒度的数据与计算等云服务。充分发挥新媒体技术的巨大潜力,提供兼具交互性、即时性、个性化的新媒体服

务,用户可以通过浏览器、客户端、手机、平板等终端设备使用云端服务和资源。国家地质信息服务系统的概念模型如图2所示。它表达了数据从采集加工、传输到数据中心,由云平台进行管理、处理、发布,通过各类应用接口向用户提供各类服务的过程。

2 系统服务资源的组织

无论是大数据技术研究还是实际应用,数据始终处于核心地位。数据即是资源,一切管理、分析、服务都是围绕数据展开。目前,影响社会经济发展的许多复杂问题如生态环境、气候变化等,不是单一部门、单一学科所能解决的,需要多方数据的融合,需要通过学科交叉和综合研究来解决。通过跨学科的数据整合,促进交叉学科知识体系和研究方法,来面对现代化发展进程中的复杂问题。美国地质调查局公布的2013—2023年发展规划中,特别强调各大学科领域的交叉及相互支持,从原有学科组织结构(地理学、地质学、生物学和水文学),转变为以问题为依据的组织结构。

要建立整合跨学科、跨平台的地球科学知识体系,面临着大量的数据资源与各类硬件资源整合的问题。地质资料形成于不同专业机构,资料汇聚于不同部门,各部门建立了独立的服务系统,各部

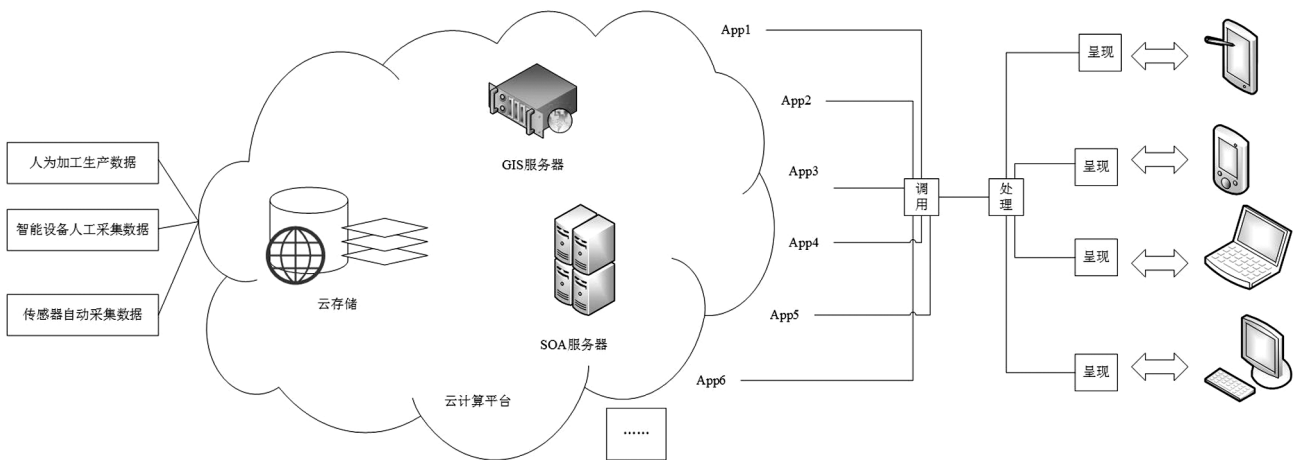


图2 国家地质信息服务系统的概念模型

Fig. 2 Conceptual model of national geological information service system

门各行业间缺乏有效的地质资料共享机制,处于“服务孤岛”状态。所推出的各类网上服务系统间相对封闭,缺乏统一的规范数据标准和系统化的转换协议,极大地限制了各类地质信息资源的交流与共享,处于“数据孤岛”状态。

长久以来形成的信息资源孤岛是由于业务条块分割、思想保守、法规政策的影响而导致的信息割裂,这与大数据时代的思维方式和研究方法相背。建设国家级的地质信息服务系统需要建立较完善的共享机制,保障信息充分共享,数据持续更新,服务稳定运行。系统建设的重点在于数据的整合、节点的建设与对接。

2.1 地质信息的特点与数据资源整合

与其他商业领域数据不同,地质数据有着自身的特点。地质数据的获取有相当高的成本,并且基础数据的更新周期很长。行业(专业)的区分造成数据组织形式有很大差异,重组交叉困难,因此系统设计要充分考虑到数据的兼容性,同时保证数据的精度和准确性。国内学者在地质调查信息化的工作中,提出了地质调查全过程的信息化概念^[13],提出地质调查、矿产勘查^[14]、城市地质^[15]等的信息化工作模式,讨论相关理论框架、关键技术方法,也开展了地质调查数据整合的研究与实践,如研发数字地质调查系统^[16],并参与“OneGeology”计划^[17]。

中国地质调查局在多年的信息化建设过程中,积累了地质图、矿产地、自然重砂、同位素等11大类100多个国家的地质空间数据库。目前在建的矿产资源潜力评价、储量利用调查等数据库,数据量超过200TB。通过地质资料业务管理系统的部署,全国地质资料馆、大区中心资料馆、各省地质资料馆实现地质资料汇交、入库、管理、借阅全流程的数字化管理,联合石油、海洋、核工业等地质相关委托保管单位,汇集的原始、实物、成果地质资料达到百TB量级。局属各专业中心,如中国地质科学院、航空物探遥感中心、实物地质资料中心、海洋研究所、环境监测院等,掌握的各专业领域相关地质资料也都在百TB级。因此各类地质调查工作所形成的地质信息数据总量在PB级以上,并且从世界数据量增长速度和全球典型数据仓库数据增长率看,将会以超越摩尔定律的速度快速增长。要充分利用现有数据资源建设国家地质资料服务系统,并加强社会公开数据资源的利用。

国家地质信息服务系统目标是成为一个全方位的地质资料、数据、服务、产品与用户的共享系统,最大限度地整合社会地质相关领域的优势资源,实现地质信息的资源共享、合作共赢。针对各独立系统受区域性、时效性限制的问题,需增强和提高全国地质行业信息化、网络化水平,提供快捷、全面、高水平的地质信息服务,构建地质资源信息高度共享、网络高速传输、功能高效管理的资源交流机制。针对地质数据的多源、异构、海量的特点,开展分布式多元数据的组织机制和汇聚模型,保证数据高效获取、管理和使用。开展地质信息高性能、大规模并行处理的算法模型与平台,来提高大数据处理性能。对地学领域本体研究,需通过语义信息来获取海量文本数据中包含的有效地质知识;针对空间数据的时空属性特点,需研究空间数据模型的检索、匹配、表达、应用技术,从而在海量空间数据中发现规律,获取本质信息。开展基于大数据的知识挖掘,由地学知识、海量空间数据来共同驱动,提供对复杂地学问题的推理和决策支持,从而满足政府、专业人员和社会公众的需求。

2.2 服务系统节点建设

国家地质信息服务系统依托新一代信息技术,基于地质大数据支撑环境和统一规范接口,创新信息化应用服务。系统通过国家级节点,建立地质调查局属专业机构节点连接,集成整合中国地质调查局所属专业单位的地质信息;建立全国地质资料馆节点连接,集成整合各省馆及委托保管机构的地质信息;建立大区中心节点连接,并依托省级数据中心建设,整合地勘单位的地质信息;建立行业单位节点连接,汇集整理铁道、环保、水利、冶金、有色、核工业、建材等行业部门相关单位的地质信息;建立国家部委节点连接,汇集国土部门、科技部、自然科学基金委、高校、中科院等单位关于地质方面的项目及成果情况。图3为节点建设示意图。它以国家节点为核心,连接地质调查局属专业单位、行业单位、数据中心、资料馆等汇聚节点,再往下可继续分为省、市、具体单位的各级节点,直至最底层的数据采集点。节点网络包含了最顶层节点的计算中心与数据中心,一般节点的一台或若干台计算机与服务器,到最底层节点可能仅是一台野外便携智能设备或传感器。各层节点间通过各种通信网络实现物理层面的对接,如无线传感网络、3G/4G移动网、卫

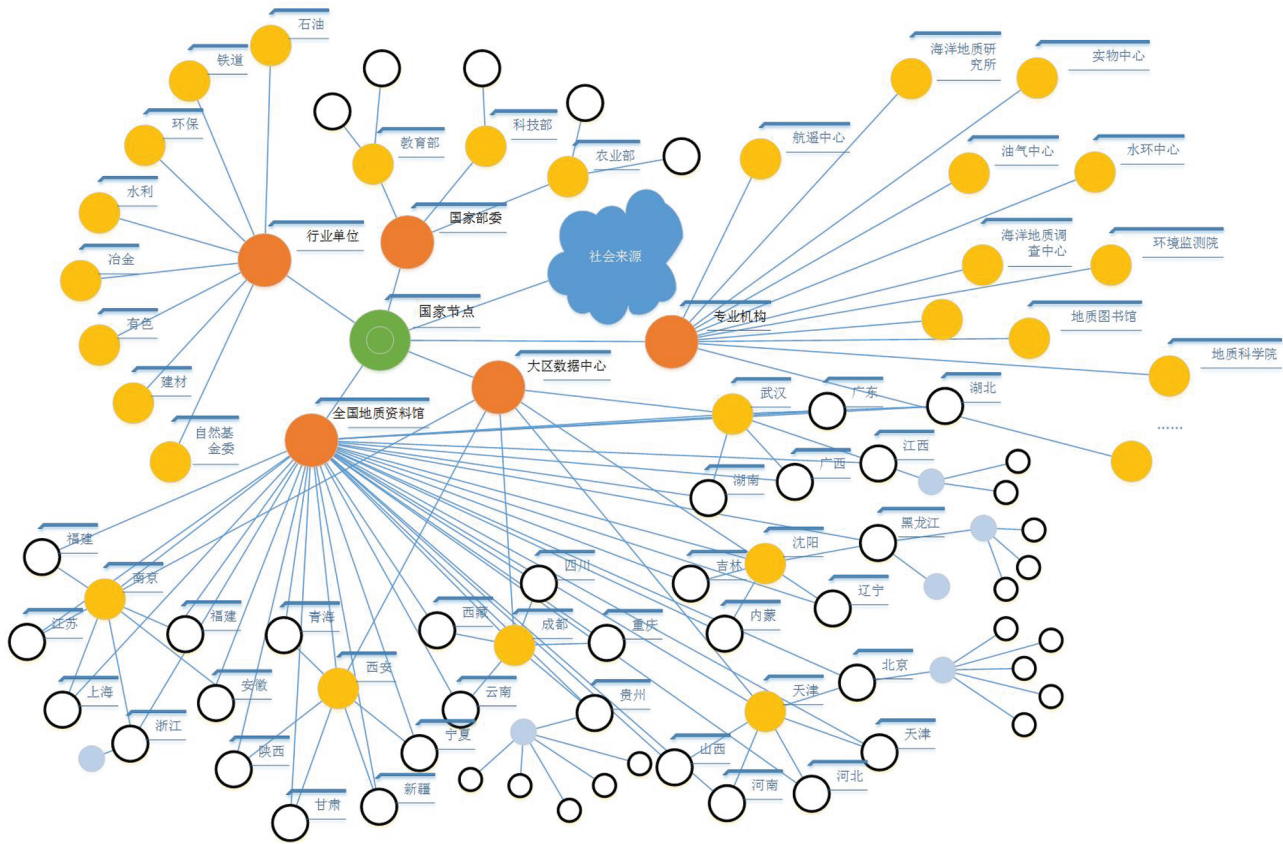


图3 国家地质信息服务系统节点建设示意图
 Fig. 3 Schematic diagram showing national geological information service system nodes

星网络、互联网、地调专网、政务网,共同构成了系统的服务节点网络。

一些节点自身已建立了系统,积累了大量数据,并提供一定的对外服务。在节点系统与数据对接形式上可能通过几种方式实现:①无需子节点主动提供,主节点自动收集。这种模式类似于大多数搜索引擎的工作原理,使用技术手段获取网络上的信息,将互联网上的内容下载到本地形成一个镜像备份;②协商建立应用层面接口,通过APP,提供专业化服务,各节点维护自身数据。地质信息的展现不仅是通过web,更多的是各类地质应用与各类专题地质服务系统。这类应用与服务系统产生巨量的高价值信息,但这些信息并不一定能通过传统的途径搜索和获取,每一个这类系统,甚至正在形成一个“信息孤岛”。因此,需要通过规范的接口实现对此类系统的访问对接。可以按照接口功能对其归类,建立统一的标准,例如目

录服务接口、地图服务接口、全文服务接口、专题数据服务接口、源文件服务接口、订单服务接口、登录认证服务接口等;③提供数据权限,子节点向上级汇聚节点更新数据。适合于较好的网络连接环境(如专网、内网环境),最好通过独立的数据交换网络实现对接。子节点和上级汇聚节点共同管理数据,子节点可以从数据生成角度制定数据格式,更新数据内容,而上级汇聚节点从数据共享与数据服务角度优化数据管理;④将所有数据提交到上一级节点,子节点无系统或无联网。这种方式适合数据产生较少、更新慢的节点,可避免复杂的系统和网络建设,或涉密和非涉密网络间的信息传递,通过线下方式将非涉密信息发布出来,数据定期手动进行线下更新。

国家地质信息服务系统的节点连接,向下可以延伸到数据生产环节,使数据成果及时转化服务;向上可以提供标准服务接口,与国土云及更广泛的

大数据平台对接,成为更上层的云平台中的一个专业云,一个子集。

3 国家地质信息服务系统的应用与信息服务模式的转变

大数据改变人们生活的同时,也影响着人们的工作方法、研究方式。大数据的“数据”不仅仅是把数据存储管理起来,更重要的在于数据获取与数据应用。“大数据”概念中的“基于全面数据进行决策”、“从全面数据中寻找规律”、“从全面数据中发现知识”等观念将对科学研究产生深远的影响。美国地质调查局在其公布的2013—2023年发展规划中力图构建一个全新的模块式地球科学框架,整合局内外相关的数据、知识和资源,提高美国地质调查局解决复杂问题的能力,也代表了在新的科学研究范式下地球系统科学未来发展的一个新方向。与之对应,大数据也带来了信息服务模式的变革,美国的GDS、加拿大的Geoconnection、澳大利亚的FIND均强调利用各种信息技术手段,为用户提供及时、便捷、高效、连续的信息服务,并将地质数据的深度挖掘与应用作为未来规划的重点工作。

因此,国家地质信息服务系统建设以满足用户需求为目标,为用户提供一站式,兼具交互性、即时性、个性化的新媒体服务。

3.1 一站式服务

一站式服务源于商业概念,即商家尽最大努力来丰富产品范围和种类,满足消费者所有需求,使消费者无需东奔西走。美国、英国、澳大利亚等国家在地质信息服务领域早已建立起“一站式服务”的应用系统。

建设国家地质信息服务系统最基本的也是最重要的目标之一,就是对于地质方面的信息,要让用户“找得到,看得到,拿得到”。让用户“找得到”所需信息是第一位的,因此国家地质信息服务系统首先是一个国家级地质信息搜索引擎。建立以服务为核心的一站式搜索门户,以关键字检索结合空间信息搜索形式,成为用户服务的统一入口,地质信息的统一出口,本着“搜索即服务”的理念,向信息拥有者和信息需求者提供一种彼此发现对方的服务。

GIS是空间信息的主要应用平台,提供了一定的空间检索、空间分析和数据可视化能力,让用户“找得到”的同时又“看得到”。云计算推动了RIA

(Rich Internet Application,富互联网应用)的发展,GIS应用中使用RIA技术,可以实现动态可视化、模拟分析、虚拟现实等,能有效提升地质信息的可视化效果和用户体验。

对于“拿得到”,一方面对在线服务信息为用户提供方便的下载服务;对于无法在线公开服务的信息(如涉密资料、保护期内资料),则在线提供目录、元数据等信息,让用户能够找到,之后通过国家地质信息服务系统建立的服务联盟,在服务机制的规范下,通过分布在全国各地的服务节点对权限范围内的用户提供离线服务,其服务模式可以参考全国地质资料馆的到馆服务模式。

3.2 及时高效服务

传统地质信息的特点是获取成本高、更新速度慢。传统的用于服务的地质数据是通过地质调查项目开展地质工作,待到项目完成后通过项目成果的验收、汇交、整理,进而提供服务,但成果转化为服务滞后严重。通过国家地质信息服务系统,节点可以直接拓展到数据管理、生产甚至采集环节,使得野外数据和阶段性成果可以及时转化为服务,提高了服务效率。

通过大数据平台,使得大量如卫星遥感及航空遥感信息、物联网平台实施获取的传感器信息、GPS卫星定位信息等,融入到传统地质信息中,提高了信息的覆盖面。高空间分辨率和高光谱分辨率的卫星影像极大地降低了地表信息的获取成本,加快了数据更新速度;智慧城市、地灾监测、水体监测、环境监测等项目中的大量传感器设备的不间断运行产生巨大的实时数据流。这些都极大地提高了数据的时效性,为用户带来实时的信息服务。

在新媒体时代,以手机、平板电脑等终端和互联网为代表的新媒体已深入大众生活,用户在感到方便的同时,也对服务提出了更加个性化、丰富化、及时化的要求,这些服务的提供正是建立在大数据基础上的。随着移动互联网的飞速发展,用户在任何地方都可以获得想要的信息。可以说,通过新媒体技术大大增强了地质信息共享服务的即时性,提高用户的粘度,增强了用户体验。

3.3 交互式服务

新媒体另一大特点是它的交互性,为数据供求双方的彼此发现提供了途径,同时也为用户提供了充分表达个性化需求的机会。将用户信息纳入到

国家地质信息服务系统中来,使地质信息“主动”匹配用户,形成地质信息供需的“交际圈”;另一方面,系统通过分析用户的搜索行为、使用习惯,充分地利用这些信息来提高用户的知识发现效率。

大数据平台上丰富及时的信息使用户的需求不再局限于静态的、定期更新的信息,而更加关注实时的和公众参与更新的信息。用户可以参与到知识发现、模型建立、数据分析中,通过系统提供的数据平台,构建自己的分析模型,结合自己手中的数据与平台的云端数据,甚至不需要拿到具体数据就能够得到自己想要的结果,还可以将结果与模型作为信息再次发布。在新的信息服务模式下,每一位用户既是信息的创造者又是信息的享有者。

3.4 知识挖掘

大数据带来信息服务模式的转变还表现在从单一“提供数据资料服务”转向“提供资料数据服务”与“提供信息知识服务”并重。

海量地质数据是一座待开发的巨型宝藏,是已有、已知的数据,蕴藏着更多有意义、有价值的知识、规律,需对其进行深层次的挖掘。大数据具有交互性、开放性,利用多学科综合,海量数据的知识提取、规律发现、计算分析,引入数据密集型的工作方法,构建基于数据的、开放协同的研究与创新模式,地质数据便不再只是地质科学的研究成果,而变成进一步科学研究的基础,形成了闭环的知识挖掘链。

依靠知识挖掘实现科学技术的新发现,形成新知识,以应对国家社会发展所遇到的复杂性问题的解决之道。

4 展望

地质数据具有典型的大数据特征,地质大数据是地质科学发现与知识创新的引擎。在大数据时代,信息作为一种新型资源,有效合理利用可以带来科学的发展与技术的升级。以需求为驱动,建设基于大数据的国家地质信息服务系统,以问题为导向,推进地质信息服务模式的转变。地质信息服务在大数据时代迎来了发展机遇,需加强地质数据的共享与交换,提升知识服务水平,服务国家建设与社会经济发展。

参考文献

- [1]Special issue: Big data[J]. Nature, 2008, 455: 1-136.
- [2]Special issue: Dealing with data[J]. Science, 2011, 334: 692-729.
- [3]Grossner K E, Goodchild M F, Clarke K C. Defining a Digital Earth system[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(1): 145-160.
- [4]郭华东,王力哲,陈方,等. 科学大数据与数字地球[J]. 科学通报, 2014, 59: 1047-1054.
- [5]赵鹏大. 大数据时代需重视数字地质研究[EB/OL](2013-03-2014-09-09)[http://gtszb.gtzyb.com/gtszb/resfile/2013-03-14/06/06.pdf. 2013.
- [6]Office of Science and Technology Policy. Obama Administration Unveils “Big Data” Initiative: Announces \$200 Million in New R&D Investments, Executive Office of the President[EB/OL](2012-03-29) [2014-09-09][https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_press_release.pdf. 2012.
- [7]Office of Science and Technology Policy. Fact Sheet: Big Data Across the Federal Government[EB/OL](2012-03-29)[2014-09-09][http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_fact_sheet_final.pdf. 2012.
- [8]Bristol R S, Euliss N H, Booth Jr N L, et al. ScienceStrategy for Core Science Systems in the U.S Geological Survey,2013-2023[EB/OL] (2013-02-17) [2014-09-09][http://pubs.usgs.gov/of/2012/1093/of2012-1093.pdf. 2013.
- [9]Howard A S, Hatton B, Reitsma F, et al. Developing a geoscienceknowledge framework for a national geological survey organization[J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(4):820-835.
- [10]Federal Geographic Data Committee. National Spatial Data Infrastructure Strategic Plan, 2014-2016[EB/OL](2013-12)[2014-09-09][http://www.fgdc.gov/nsdi-plan/nsdi-strategic-plan-2014-2016-FINAL.pdf. 2013.
- [11]Folger P. Geospatial Information and Geographic Information Systems (GIS): Current Issues and Future Challenges[EB/OL](2009-06-08) [2014-09-09][http://ggim.un.org/3rd Prep Meeting/Geospatial Information and GIS-Report-for-Congress.pdf. 2009.
- [12]李芳芳. 发达国家空间信息共享与服务及启示[J]. 国土资源信息化,2006, 4:45-48
- [13]姜作勤. 地质工作信息化若干问题的思考[J]. 地质通报,2004, 23(9/10):839-845.
- [14]吴冲龙,刘刚,田宜平,等. 地矿勘查工作信息化的理论与方法问题[J]. 地球科学,2005,30(3):359-365.
- [15]刘映,尚建嘎,杨丽,等. 上海城市地质信息化工作新模式初探[J]. 上海地质,2009,30(1):54-58.
- [16]李超岭,杨东来,李丰丹,等. 中国数字地质调查系统的基本构架及其核心技术的实现[J]. 地质通报,2008,27(7):923-944.
- [17]逯永光,丁孝忠,李廷栋,等. “OneGeology 计划”及其在中国研究新进展[J]. 中国地质,2011,38(3):799-808.