

李超岭, 李丰丹, 李健强, 等. 智能地质调查体系与架构[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 828–838.

Li Chaoling, Li Fengdan, Li Jianqiang, et al. Smart geological survey architecture[J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 828–838(in Chinese with English abstract).

## 智能地质调查体系与架构

李超岭<sup>1,2</sup> 李丰丹<sup>1,2</sup> 李健强<sup>1</sup> 刘园园<sup>1</sup> 刘畅<sup>1,2</sup> 吕霞<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2. 国土资源部地质信息技术重点实验室, 北京 100037)

**摘要:** 中国地质调查局用了近 10 年时间, 在基础地质调查和矿产调查领域基本完成了地质调查全流程数字化过程。在“云”计算与大数据技术等新一代信息技术的兴起大环境下, 未来 5 至 10 年, 地质调查主流程信息化的方向和目标是什么呢? 本文基于新一代信息智能技术和智能设备在地质调查数据采集、数据分析处理、数据交换传输、三维建模、信息泛在服务、业务管理全面深度融合的基础上, 结合智能空间与普适计算概念给出了智能地质调查定义, 提出了基于云计算和 Hadoop 生态体系为基础的天地空一体化的智能地质调查体系、架构和应用模式, 并对其关键技术进行了讨论。

**关键词:** 智能地质调查; 地质调查智能空间; 天地空一体化; 野外数据采集情境(上下文)感知  
中图分类号: P628<sup>·</sup>5 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)04–0828–11

## Smart geological survey architecture

LI Chao–ling<sup>1,2</sup>, LI Feng–dan<sup>1,2</sup>, LI Jian–qiang<sup>1</sup>,  
LIU Yuan–yuan<sup>1</sup>, LIU Chang<sup>1,2</sup>, LV Xia<sup>1,2</sup>

(1. *Development & Research Center of China Geological Survey, Beijing, 100037, China*; 2. *Key Laboratory of Geological Information Technology, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** China Geological Survey has spent nearly 10 years to realize the whole digitized process in the field of fundamental geological and mineral survey. With the generation of new information technologies such as "cloud" computing and big data, what is the orientation and objectives for the main flow informatization of geological survey in the next 5–10 years? On the basis of the new intelligent information technology and smart devices applied to geological survey data acquisition, analysis, exchange transmission, 3D modeling, ubiquitous information services and business management, the definition of smart geological survey has been formulated according to the smart space theory and ubiquitous computing concept. The smart geological survey architecture and application model with the technological integration of Space–Air–Ground has been proposed based on cloud computing and

收稿日期: 2015–03–31; 改回日期: 2015–05–04

基金项目: 智能地质调查体系建设, 隶属中国地质调查局地质数据更新与应用服务计划中的“地质大数据与信息服务”工程。相关子项目有: 智能地质调查支撑平台建设与应用(12120115073201)、数字地质调查系统开发(1212011120436)、地质调查信息网格试点建设(综合)(1212011120449)。

作者简介: 李超岭, 男, 1957 生, 博士, 研究员, 现主要从事智能地质调查技术和地质调查信息云计算与大数据技术相关理论、标准、方法与技术研究; E-mail: lichaoqing@126.com, lcholing@mail.cgs.gov.cn。

Hadoope ecological system. In addition, the key technology of smart geological survey architecture has been discussed.

**Key words:** smart geological survey; geological survey smart space; integration of Space– Air– Ground; the situation awareness (context) of field data acquisition

**About the first author:** LI Chao–ling, male, born in 1957, doctor, senior researcher, mainly engages in the study of theory, standard, method and technology of smart geological survey and geological survey technology based on cloud computing and big data technology; E–mail: lichaoqing@126.com, lcholing@mail.cgs.gov.cn.

信息技术正以前所未有的速度改变人们的生产方式、生活方式和思维方式,也在支撑和加速推进地球系统科学的发展和地质工作的现代化。中国地质调查局从成立伊始就将地质调查信息化建设作为重要的工作之一。根据国家地质工作主流程信息化要求,国土资源部、中国地质调查局自1999年开始,组织实施了一系列地质调查主流程信息化技术理论、方法及其应用的研究、攻关和试验工作。经过十多年的努力,基本实现了数据采集、建库、处理、成果表达等全过程的数字化,形成了数字地质调查理论与技术方法体系。实践证明,数字地质调查技术的应用在提高地物化遥等领域信息综合分析解释能力,提高地质调查和研究程度及水平和精度、拓宽服务领域、改变成果的表现和服务方式等方面体现了巨大优越性和潜在价值。该成果极大地推动了中国其他领域地质调查信息化进程。

中国地质调查局用了近10年时间,在基础地质调查和矿产调查领域基本完成了地质调查全流程数字化过程。那么,在“云”计算与大数据技术等新一代信息技术的兴起大环境下,未来5年,地质调查信息化的方向和目标是什么呢?作者通过总结十几年在地质调查全流程数字化过程的科学技术方法问题和推广应用中的需求,提出了从数字地质调查向智能地质调查发展的方向目标和体系架构。

## 1 智能地质调查的基本定义和基本内容

### 1.1 智能与智能空间的概念

智能,一直是古今中外许多哲学家、科学家努力探索和研究的课题。《牛津大辞典》中对智能的定义是:观察、学习、理解和认识的能力。《韦氏大辞典》认为智能是理解和各种适应性的能力。从综合的角度出发,本文认可智能即是个体或系统对客观事物和状态进行学习、分析、判断,采取有目的的行

为有效地适应环境的综合能力的定义。

与智能密切相关的另一个概念就是普适计算。1991年时任Xerox Alto Research Center首席科学家马克·韦瑟博士就在《科学美国人》上发表题为“21世纪的计算机”一文中指出“最深刻和强大的技术应该是看不见的技术,是那些融入日常生活并消失在日常生活中的技术”,并提出普适计算不是虚拟现实,也不是新的PDA或PC技术,普适计算环境是智能环境,计算机不可见、感知服务型的人机关系。综合参考文献[1]和[2],本文采用以下定义:普适计算是信息空间与物理空间的融合,这个融合空间以人的需求为中心,用户能以各种灵活的方式享受计算能力和系统资源,人们可以随时随地、透明地获得感知、建模与问题求解(即决策)等数字化服务。

智能空间是智能地质调查技术体系的核心。美国国家标准和技术研究院对智能空间的定义是:智能空间是一个嵌入了计算、信息设备和多模态的传感装置的工作和生活空间。具有自然便捷的交互接口,以支持人们方便地获得计算机系统的服务。参考文献[2]给出如下定义:智能空间是物理空间和信息空间经过叠加,具有感知、分析、推理、通信、自适应和普适计算能力,为用户提供智能服务的复合空间。之所以智能,不仅仅是因为人们在这样的环境可以获得便捷的服务,更重要的是信息空间能够察觉到物理空间的变化,整个环境系统都在努力适应用户,始终以人为交互中心,在合适的地点、合适的时间,用合适的方法提供合适的服务。这是智能空间真正的目标。

智能空间主要关键问题:(1)情境感知:主动对环境中的人、设备等进行感知(上下文信息的采集、理解、推理和语义等内容),再根据对情境状态的分析、判断、预测等提供服务。(2)自适应性:在人为干预最少的情况下,根据预设策略,利用情景感知自动调整自身行为或状态,以适应资源、需求或环境

的变化,为用户提供灵活、稳定、连续、可靠高效的服务。(3)软件基础架构平台:计算资源融合到环境中。计算不可见。普适计算特征是平台的典型特征,即提供一个以人为中心,计算无所不在的社会环境和平台。环境系统能理解用户的行为和意图,主动进行交流和服,用户的注意力主要集中于达成目标本身,对底层的操作、管理只需最少的关注。(4)可伸缩性:系统根据上下文动态重构,提供可伸缩服务。人机之间是透明的“一对多”关系系统,资源丰富时,通过对资源的动态重组形成较复杂的应用系统,为用户提供更精细的高品质服务,而当资源较少时提供基本的标准服务。(5)异构通信,无缝移动:不同协议或不同规范的设备进行互联和交互,随时随地提供服务。

### 1.2 地质调查工作过程的4个范式与智能化密不可分

地质工作是研究大气圈、水圈、生物圈、岩石圈临界带的复杂过程和相互作用的过程<sup>[9]</sup>,并对相关数据进行收集、管理、集成、分析,以促进对复杂性地球系统的综合性描述和认识,及时提供有用的可靠信息,反过来又可以加深对临界带的认识和理解。地质调查过程就是科学探索研究的过程,即以采集、加工、处理、综合研究集成各类地质信息的过程,该过程就是科学发现和研究中的数据采集与实验、模型推演、仿真模拟和数据密集型计算的4个范式。这个过程是一个永远在智能化“路上”的过程。从这个角度出发,智能地质调查体系建设本身就是地质调查工作核心内容,是地质调查工作本身不可缺少的组成部分之一。

### 1.3 智能地质调查基本定义和特点

智能地质调查基本定义:建立以野外地质调查情境(上下文)感知、数据采集效率、基于普适计算的综合分析建模、知识发现(数据挖掘)等信息空间,以互联网、物联网、通讯网、云计算、大数据等新一代技术组合的物理空间,根据地质调查任务和需求,自适应复合构成的地质调查智能子空间,使野外调查、数据传输、数据集成、三维建模、综合处理、评价预测、数据挖掘、数据知识服务以及业务管理全过程进入具有情境(上下文)感知、分析、推理、通信、自适应和普适计算能力的智能空间过程。特别是在野外地质调查数据采集和分析过程中,通过野外地质调查工作流程的再造,能够从比较单一视

角到多维视角的感知、认知地质对象关系的数据、信息和知识支持。使地质调查和野外管理进入天地空一体化感知服务和普适计算时代。图1是地质调查智能空间的基本框架图。

智能地质调查关键问题:

(1)野外地质调查智能感知。主动对野外环境中的人、设备等进行感知。如采用上下文信息的采集、理解、推理和语义等内容使野外数据采集更高效、精度更高,操作更简便,或有更多的知识模型提供支持,在特殊工作区域还可提供所在位置的情景状态分析、判断、预测等提供服务。逆转人与计算机设备的传统交互为自然交互,提供符合人类习惯的方式进行交流。应用情景示例:在基础地质调查中,涉及大量地理地图。由于保密,给野外应用带来许多限制。由于地质调查精度需要,地质人员事先需要购置相应的地形图,由于年代问题,通常现势性较差,影响野外应用。在野外应用还要手工配准等准备工作才能在野外实际应用。有了智能感知,野外数据采集器可自动根据野外人员的工作区域,自动感知匹配精度最高的地理数据(采用公开数据且能满足1:50000以小比列尺地质调查工作),自动下载、配准成为工作手图。即使在无网络环境,也可通过事先智能下载与野外数据采集系统自适应,通过智能手机缓存机制在无网络地区使用。同理可自动感知发现该区域其他的地质专题数据。该模式使野外地质调查能成为泛在地理空

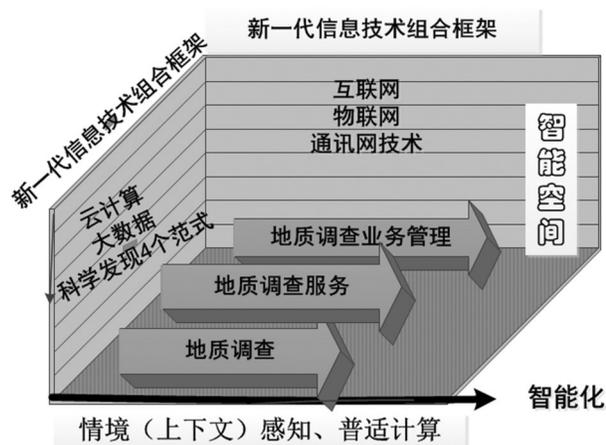


图1 智能地质调查的基本框架

Fig.1 Basic framework of smart geological survey

间信息环境下开展工作,也避免了保密问题引起的麻烦。

(2)自适应和普适计算能力大大提高。所有的软硬件资源都虚拟化,计算资源融合到环境中,以服务为导向,平台本身对用户是透明的。系统根据上下文动态重构,提供可伸缩服务。资源丰富时,通过对资源的动态重组形成较复杂的应用系统如并行多样,为用户提供更精细的高品质服务,而当资源较少时提供基本的标准服务。智能地质调查更强调从领域或专业分割、相对封闭的信息化架构迈向更为开放、整合、协同的智能化架构提升,发挥地调局信息化资源的整体效能,为地质调查提供泛在服务。普适计算是平台的典型特征,即提供一个以人为中心,计算无所不在的社会环境和平台。应用情景示例:地质填图其实是地质人员通过野外工作,对研究区内地质体三维建模的过程,研究地质体相互关系复杂过程和相互作用的过程。通过自适应和普适计算能力的提高,智能软件系统可以在野外现场,根据路线地质数据进行三维地质体建模,实时指导野外工作。特别在艰苦地区地质调查中,地质调查智能空间系统能理解用户的行为和意图。当地质人员遇到地质难题或重大学术问题,系统可以在大数据技术支持下,从位置坐标到地理位置再到地质位置,对节点的非结构化数据进行发现挖掘,如地层对比、矿产特征、构造特征等,通过北斗或天通一号实时提供地质人员所在区域内的地质综合知识“片段”主动交流服务达到智能会诊的目的。

(3)更注重通过泛在网络、移动技术、无缝移动等实现无所不在的互联和随时随地随身的智能融合服务。

(4)提供更多的数据处理和评价技术,使综合分析在新一代技术支持下更加智能,同时方便获取服务。

## 2 地质调查智能空间体系主要内容

### 2.1 智能地质调查体系架构

智能地质调查体系架构由地质调查智能空间层、基础平台层、应用层和感知交互层等4层组成,具体见图2。

(1)地质调查智能空间层:由地质调查信息空间和地质调查物理空间叠加组成。地质调查信息空间是地质调查智能空间的应用主体内容,涉及野

外调查、数据集成、三维建模、综合处理、评价预测、数据挖掘、成果信息发布以及野外地质调查业务管理全过程。该过程对相关数据进行收集、管理、集成、分析,以促进对复杂性地球系统的综合性描述和认识,形成地质科学知识库,及时提供有用的可靠信息,反过来又可以提高野外地质调查的精度和深度。地质调查物理空间是以地质调查信息智能空间节点为主构成的天地空一体化的信息传输的运行环境。在智能空间体系建设中,在原中国地质调查网格<sup>[4-5]</sup>节点建设的基础上,在网格节点向智能空间节点提升的同时,继续稳步发展特色节点,同时在通信网、互联网、物联网支持下,基于云计算和大数据技术,形成具有地质调查特色的地质调查智能空间节点运行环境。未来5年,发挥各节点一手数据资源优势,重点是发布具有非结构化碎片化大数据特点的地质数据,通过地质调查智能空间的建设,集成发展数据发现和挖掘技术方法,提供知识智能服务。把各节点建成既是特色数据发布的节点,又是智能空间中心数据处理的组成部分的节点。

(2)在基础平台层,提供支持地质调查科学研究4个范式的3基础平台:地质调查智能空间基础台、智能地质调查二三维一体化GIS平台和智能评价平台。地质调查智能空间基础平台基于云GIS、Hadoop生态体系<sup>[6]</sup>和智能数据挖掘计算等技术构成天地空一体化云运行环境,为形成智能地质调查数据采集、分析、建模和数据挖掘的数据知识链提供技术支持。智能地质调查二三维一体化GIS平台主要为开发具有普适计算特点的地质调查野外数据采集、三维地质体建模和数据处理软件系统,提供免费自主的基础平台。智能评价平台以继承传统成熟的方法为主、创新方法为辅,目标是建设具有普适计算特点的方法库,形成“云”计算库。

(3)应用层是智能地质调查服务的具体对象和应用模式。在大数据和云计算时代,智能地质调查涵盖了地质调查本身和野外地质调查管理和成果智能服务。即在基础平台的支持下,形成天地空一体化形成智能地质调查从数据采集、分析、建模和数据挖掘和泛在服务新模式。

(4)在感知交互层,服务终端从PC端扩展到移动端、PAD和智能手机端。同时支持北斗、天通一号应用,为提高地理信息的应用便利性,支持无线



图2 地质调查智能空间体系架构

Fig.2 Smart space architecture of geological survey

号地区,预先下载自适应配准在线的地理信息数据如谷歌、天地图。在促进地质调查向智能空间过程的现代工作方式的转变中,在主要地质调查领域实现进入具有情境(上下文)感知、分析、推理、通信、自适应和普适计算能力的智能空间的过程。

## 2.2 地质调查智能空间主要研究内容

本文根据地质调查智能空间体系架构,把体系架构分解成二条主线和三个基本点(理论与技术方法体系、自主基础平台、软件产品)把智能地质调查内容关系紧密地连接在一起。

二条主线,一条如图3中三个基本点上半部构成。以野外调查数据采集、数据集成、三维建模、综合处理、评价预测、数据挖掘、成果信息发布业务工

作为核心的主线,另一条是如图3中三个基本点的下半部构成,以野外地质调查业务管理全过程和云服务为核心的天地空一体化地质调查智能位置泛在服务,重点包括智能地质调查物理空间和运行环境的打造、云计算与大数据技术的集成。

三个基本点是智能空间的主要研究内容的标杆。一是地质调查智能空间理论与技术方法体系研究,该体系包括了地质调查智能空间体系顶层设计,智能地质调查理论与计算方法框架、地质调查智能全流程以及地质调查全过程数字化数据内容标准组成等内容。二是自主基础平台,打造能够覆盖地质调查智能空间的基础平台软件,为具体应用开发提供基础支持。包括个人独立运行环境

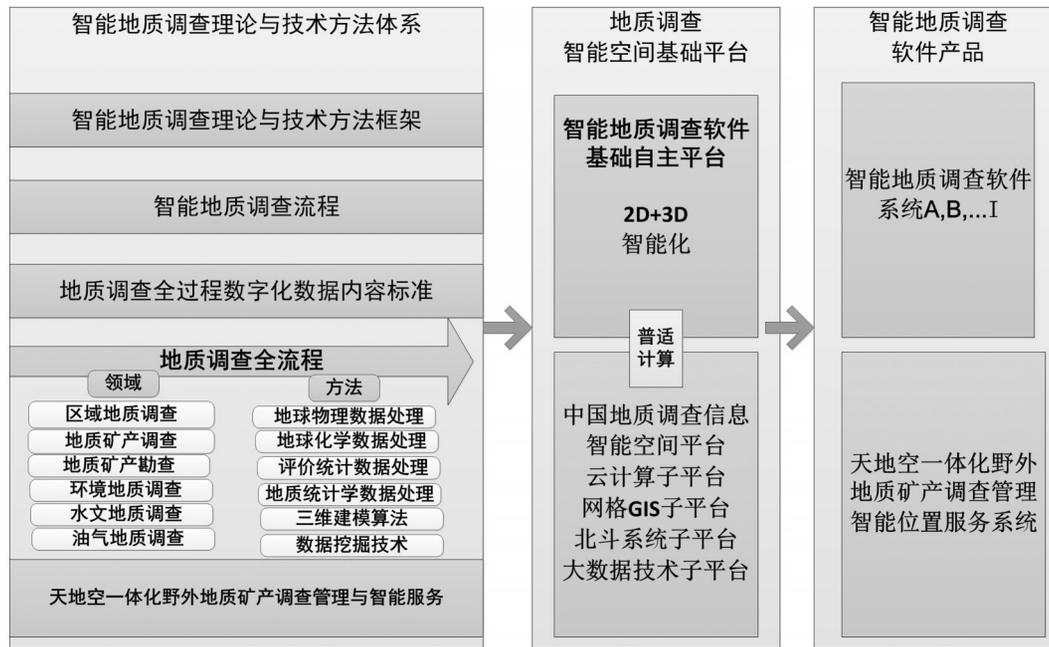


图3 地质调查智能空间体系内容组成

Fig.3 Primary contents of smart geological survey architecture

和云环境下的运行平台。三是地质调查智能空间应用软件产品。针对地质调查需求,在智能框架下,开发野外调查、数据传输、数据集成、三维建模、综合处理、评价预测、数据挖掘、成果信息发布相关内容的具体软件产品和服务。

根据三个基本点,在未来5年,在以下几个方面开展研究与应用工作。

1)地质调查智能空间基础平台开发。(1)基于大数据和云计算技术的地质调查智能空间基础平台。升级中国地质调查网格平台为地质调查智能空间平台,集成融合云GIS和Hadoop生态体系,加强非结构化碎片化大数据知识库研究,提供多种层次的智能位置服务:一是为野外一线地质人员提供位置地学信息、管理和安全保障服务信息。二是可及时把正在工作的项目成果、基础数据零时差的发回指挥中心,为指挥部署和专家会诊提供平台。三是及时为社会公众提供局批准的正在工作的调查信息和成果,使地质调查成果具有无延时快速服务的能力。同时为智能地质调查网格节点提供基础支撑。(2)地质调查智能空间结点建设与示范。集成网上高分辨地理信息数据,建设非结构化碎片化大数据知识库,为地质调查智能空间提供多源、异

构、海量、分级的地理、地质信息资源、软硬件资源综合应用与共享服务,全面提升地质调查普适计算能力和智能成果集成与共享能力;同时为中国地质调查数据网、生产指挥调度平台及其他业务系统提供基础设施及基础数据支撑。并及时开展平台协同、资源共享、虚拟组织、知识集成相关标准内容的研究。

2)地质调查GIS支撑平台建设。(1)智能地质调查二三维一体化GIS平台。建设开发、扩展和完善满足智能地质调查业务应用需求的自主二三维地质调查底层GIS平台和二次开发包,为智能地质调查技术体系等提供底层二三维GIS平台支撑。更多地把普适计算融入建模算法和成果综合处理过程,使地质建模过程智能化;(2)三维建模算法研究与开发。主要内容是地质填图快速建模。

3)地质成矿量化评价与智能分析基础模块开发。(1)开展基于云GIS架构的量化理论、多元统计数据分析、地质统计学数据分析等方法的软构件库服务开发;(2)非结构化地质数据组织模型与挖掘算法;(3)以云GIS平台构件仓库模式为矿产资源潜力动态评价等提供全新的云服务,并融合3D智能地质调查系统的空间信息评价与分析流程,形成云服务仓库。

4)智能地质调查软件体系开发与应用。针对地质调查需求,开发在智能框架下的野外调查、数据传输、数据集成、三维建模、综合处理、评价预测、数据挖掘、成果信息发布相关内容的具体软件产品和服务。软件体系见图4。

从图4中可以看出,把过去离散式项目设置改变到业务链设置,并完善技术培训与运维机制与大服务的体系,使智能地质调查业务架构为有机一体。主要软件系统有:(1)开发、扩展和完善自主知识产权的基于普适计算的智能地质调查(基础地质、地质矿产调查、资源量估算)系统;升级完善数字地质调查相关技术标准指南,加强智能地质调查技术的推广应用深度和广度。(2)数字环境地质调查系统开发及示范。(3)数字地下水资源调查系统开发及示范。(4)地球物理数据处理系统。(5)地球化学数据处理系统。(6)地质科学计算库。(7)智能地质调查技术推广应用:以推动智能地质调查技术为目标,采用多种技术培训方式,在深度和广度方面加强数字地质调查技术、方法、标准与系统在地质调查全领域的推广应用,并促进相关技术流程与软件系统的完善。

### 3 智能地质调查体系主要关键技术

#### 3.1 智能地质调查业务基础平台

智能地质调查数据采集、综合分析建模框架

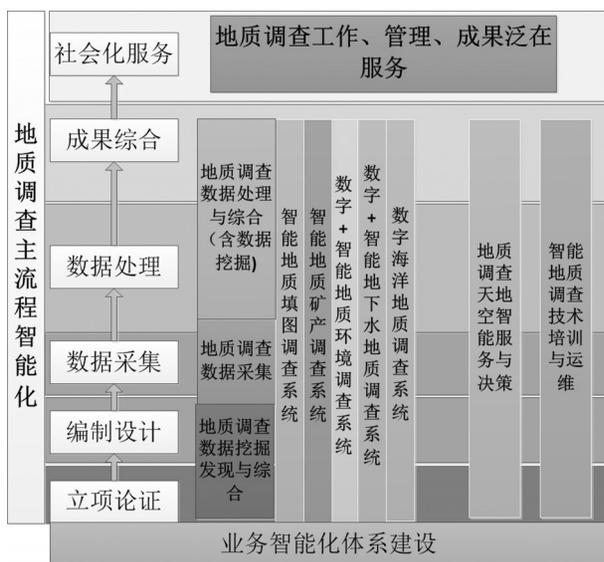


图4 智能地质调查软件体系

Fig.4 Software system of smart geological survey

主要针对GIS与地质调查工作流程框架进行整合和创新。在利于非专业人士操作的基础上,快速与功能强大而且物廉价美的智能设备匹配,进行相应的应用技术开发应用。其新特点是在野外智能提供公开多源地图服务(去保密瓶颈)和智能位置知识服务,适合地质调查现场动态数据采集、快速智能建模等特点的自主智能地质调查二维三维基础平台及地质调查数据综合处理无缝流程工具。智能地质调查体系(数据采集-综合分析处理与建模)总体框架图见图5。

#### 3.2 地质调查智能空间基础平台

面向智能化地质调查需求,开展云计算、大数据技术、通讯(卫星、互联网)信息技术等新一代信息技术在智能地质调查理论和技术方法的研究,开展基于大数据技术的数据发现与挖掘服务研究,构建地质调查智能空间基础平台,形成天地一体地质调查、管理和智能服务体系,为智能地质调查体系建设和泛在服务提供技术支撑。

在服务体系框架中,针对智能地质调查的特点,对原中国地质调查信息网络进行了扩展和整合,基本内容有:集成与整合 MapGISK10 云平台<sup>[7]</sup>、基于 Hadoop 大数据基础云平台、HiGIS 等基础平台,开发智能地质调查数据智能服务、数据评价与计算服务,在北斗、IP 卫星、3G 与网络的立体网络支撑下,构成开放、整合、协同的智能地质调查信息化架构,发挥地调局信息化资源的整体效能,为地质调查提供泛在服务。实现天地一体智能地质调查、管理智能服务。地质调查智能空间基础平台总体框架图见图6。

在平台资源平台层,从原来的网格平台 MapGISK9 提升到 MapGISK10,并与 ArcGIS、Oracle spatial 资源共享,保证空间数据资源互联互通。增加 Hadoop 大数据平台基本组件,对非结构化数据进行组织和数据挖掘,通过 MapGISK10 基础云服务实现地质空间和非结构化数据的一体化管理和服务。在资源聚合层,强化对等式资源管理器的扩展,其资源种类需考虑非结构化数据资源的管理。在智能地质调查架构中的不同粒度服务层集成智能评价方法,提供云计算模式。

#### 3.3 基于地质调查智能空间基础平台的大数据应用体系架构

基于大数据技术智能地质调查数据发现与服

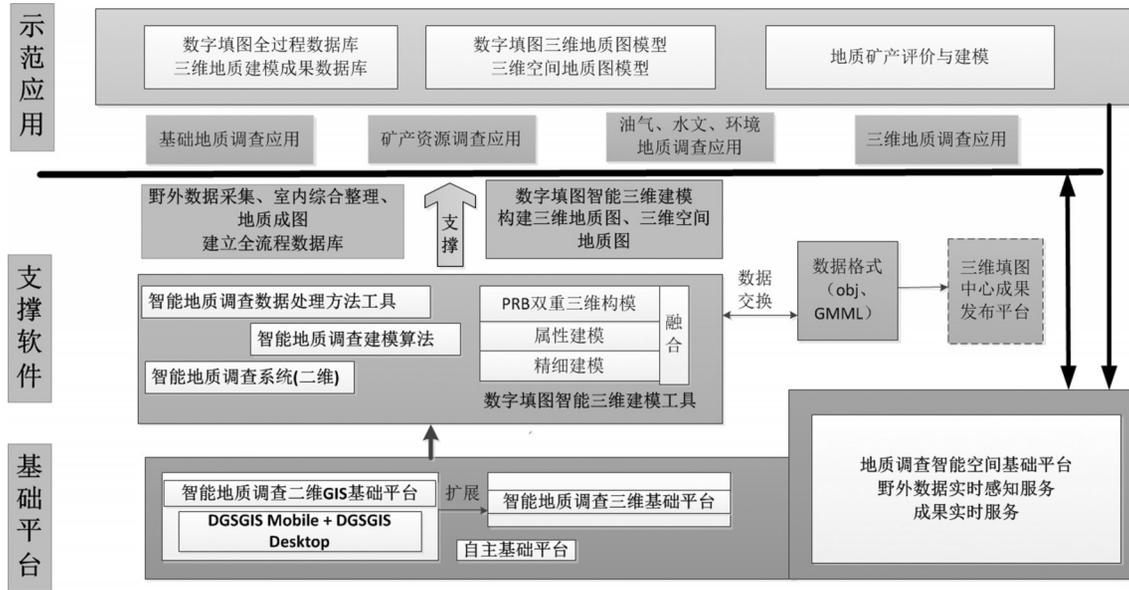


图5 智能地质调查(数据采集-综合分析处理与建模)总体框架

Fig.5 Smart geological survey (data acquisition – comprehensive analytical processing and modeling) overall framework

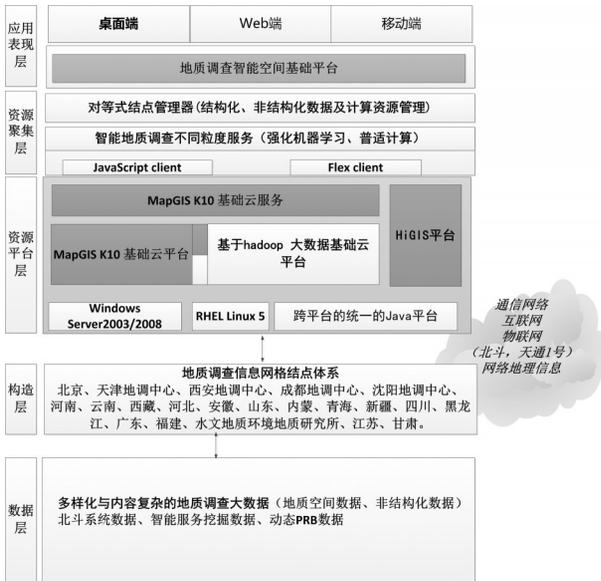


图6 地质调查智能空间基础平台架构

Fig.6 Smart space platform architecture of geological survey

务框架(图7)从底层到顶层依次可分为大数据资源层、汇聚层、数据挖掘与分析层及大数据应用层。在大数据资源层,为了能够快速地将成果文件存放到大数据存储介质中,采用Sqoop、Avro和Flume等主流的大数据存取工具来提高存储效率。在汇聚层,将原始地质成果资料文档存放到分布式文件系统HDFS/HDFS2中。为了对文件数据进行快速获

取,将原始文档重新组织后存放在分布式实时访问数据库HBase<sup>[8]</sup>中。其中,附图、附表、附件等文件均单独存放,主文件则按章节分开存储。同时对存储在HBase中的内容建立索引,存放到分布式缓存Memcached或Redis中。这样只需从内存中获取索引进行查找,可以极大地减少磁盘的I/O工作,便于下一步进行数据挖掘时快速检索定位文件。

在数据挖掘与分析层中,对地质成果资料文档中所蕴含的大数据进行分析处理前,首先采用地质领域本体库和文本搜索框架Lucene<sup>[9]</sup>对地质文档进行分词处理。地质领域本体库是专门为地学领域的科研、教学以及语言比较研究而收集的文本集合。然后在Mahout框架中进行数据挖掘。利用Mahout可以将机器学习中的多种算法有效地扩展到Hadoop集群平台上,通过与第二代Hadoop系统中的资源管理与计算调度框架结合,可实现海量数据的快速挖掘与并行处理,从中获取用户所需的地质信息知识并进行分析结果的可视化展示,为上层基于大数据环境支撑的地质信息综合应用提供决策支持。在大数据应用层,依托大数据处理技术可对用户提出的地质问题进行智能化分析处理,将其转化为地质问题求解任务,进而在大数据平台中将地质问题求解任务转化为并行任务执行,最后将执行结果返回给客户。

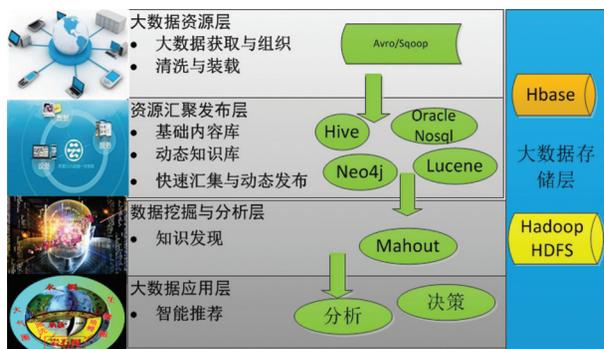


图7 基于大数据技术智能地质调查数据发现与服务总体框架  
Fig.7 Overall framework of smart geological survey for data discovery and services based on big data tech

目前,该框架已在中国地质调查信息网格平台集成,并在天地空地质调查工作管理和安全保障服务开展示范应用,为智能地质调查体系提供大数据技术支撑。

基于智能地质调查云平台的大数据应用体系主要关键技术有:

(1)多样化碎片化复杂地质调查非结构化数据存储模型,如何充分利用HBase数据模型的特点,在不影响效率的情况下,在对多样化碎片化复杂地质调查非结构化数据化“散”为“整”,化“异构”为“同构”的基础上,面向数据挖掘或形成“知识片段(知识库)”是非结构化数据集组织与分析方法的难点和重点。通过对原始资料的访问处理,在不丢失原始资料信息量的原则上组织和描述数据的真实内容,使得计算分析能更容易地贴近数据描述的本质,更容易发现数据之中蕴藏的知识。基于HBase的分多样化碎片化复杂地质调查非结构化数据存储模型——基础内容库存储模型和扩展动态内容库演化模型是数据挖掘的重要基础。

(2)复杂地质调查非结构化数据存储模型扩展:GIS数据具有空间、时间和专题属性,地质调查成果资料中往往包含所属地区的地质图等空间数据。多样化碎片化复杂地质调查非结构化数据存储模型扩展,就是把GIS数据也成为内容库的一部分。

(3)多样化碎片化复杂地质调查非结构化数据发现与挖掘模式。快速搜索技术一直是内容搜索和知识发现领域研究的热点。在智能地质调查体系中,如何根据野外地质人员实时提出的问题,从

基础内容库海量文档中快速返回相关“知识片段”,并按照用户兴趣相关度进行高效排序,同时根据聚类分析,还可找出相关推荐文档,及时指导野外工作,是未来智能地质调查重要应用模式之一。

(4)多样化碎片化复杂的地质调查非结构化数据集组织与分析方法流程。对地质调查非结构化文档大数据进行预处理工作,首先是将已有成果资料文档按照一定的数据结构进行序列化,存储到分布式文件系统中。然后对数据进行格式转换,将数据并行发布到分布式数据库中进行重新组织,并根据资料成果的逻辑结构利用大数据缓存技术,构建可高速访问的数据索引层。同时对存放在分布式文件系统中的数据,利用文本提取工具提取出来,建立全文索引,存放在分布式数据库中,供文本数据进行分析 and 挖掘。用户可以通过浏览器,提交领域问题,通过智能化分析处理,得出相应的解决方案。流程如图8所示。

#### 4 智能地质调查云服务应用模式

图9是智能地质调查云服务双应用模式图。

模式一服务对象为地质调查本身。该模式在智能地质调查业务基础平台的支持下,实时的支持野外地质调查数据采集能够从比较单一视角到多维视角的感知。在天地空一体化地质调查智能空间基础平台支持下,通过智能云结点构建的知识体系资源,智能地为地质调查提供泛在位置知识服务。

模式二服务对象为公众。该模式在智能地质调查业务基础平台的支持下,使地质调查从数据采集、分析、建模和数据挖掘形成一个完整的数据知识生产链。不断地为云结点提供实时的数据知识源。在天地空一体化地质调查智能空间基础平台支持下,通过云结点构建的知识体系资源,智能地为公众提供泛在位置知识服务。

#### 5 结束语

(1)从数字地质调查到智能地质调查转变是地质调查现代化模式发展的必然。智能地质调查完整体系技术链需要在智能地质调查实践中不断完善,在这个完善转变过程中,智能地质调查体系顶层设计是构成智能地质调查体系完整技术链和可持续发展的基础。

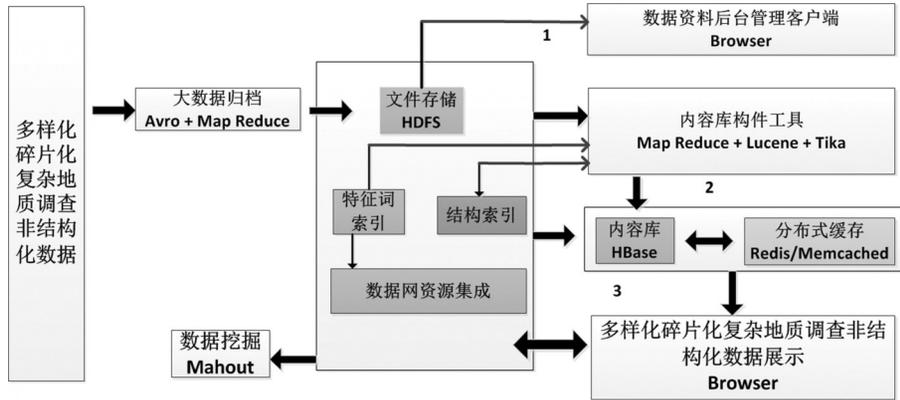


图8 内容复杂的地质调查非结构化数据集组织与分析方法流程图

Fig.8 Flow chart about complex content of unstructured geological survey data organization and analysis method

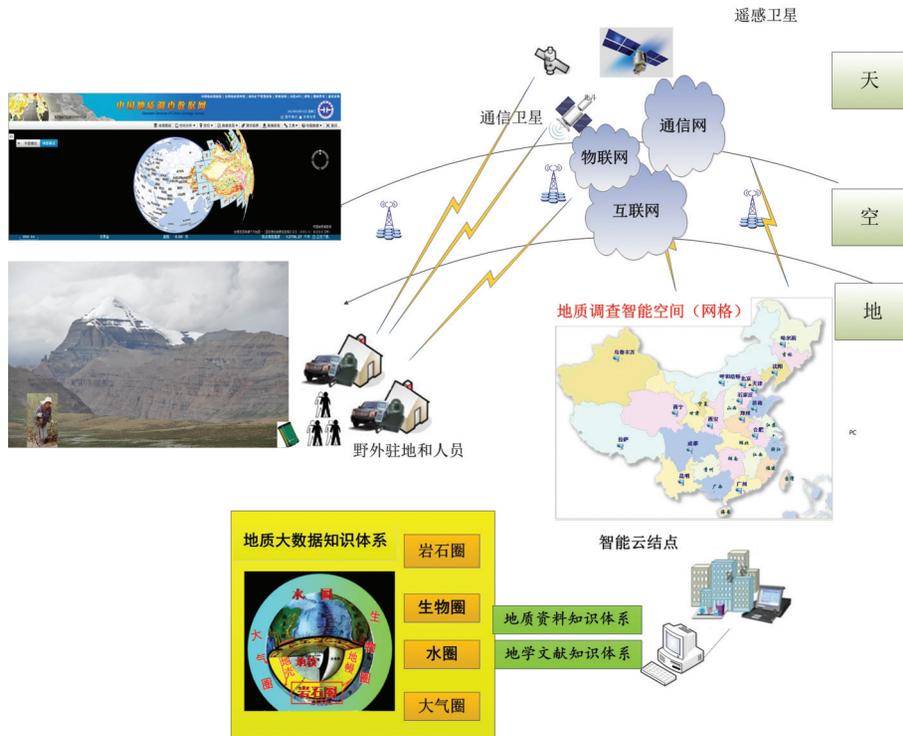


图9 智能地质调查云服务双应用模式图。

Fig.9 Dual application mode of cloud services in smart geological survey

(2)地质调查过程就是科学探索研究的过程,即以采集、加工、处理、综合研究集成各类地质信息的过程,该过程就是科学发现和研究中的数据采集与实验、模型推演、仿真模拟和数据密集型计算的4个范式。这个过程是一个永远在智能化“路上”的过程。从这个角度出发,智能地质调查体系建设本身就是地质调查工作的核心内容。是地质调查工作本身不可缺少的组成部分之一。

(3)具有情境(上下文)感知、分析、推理、通信、自适应和普适计算能力的天地一体智能空间的过程是未来现代化地质调查工作模式。随着新一代信息技术的发展与应用,在通讯网(北斗卫星、天通一号和无线通信技术)、互联网、物联网构建智能地质调查云,实现各级节点的有效联通、数据共享和野外工作的服务与管理,消除因通信手段缺乏而造成的野外地质工作管理盲区,及时地为野外地质调

查提供智能位置服务(数据挖掘、知识发现、泛在服务),即在新一代信息技术支持下,每一个野外地质人员背后都有一个强大的知识系统在动态地支撑地质调查,这是未来地质调查现代化模式。目前,中国地质调查信息网格经过10年持续的发展,支撑智能地质调查的工作模式的雏形也基本显现并已在青藏地区开展示范。因此,在未来十年从数字地质调查向智能地质调查的转变中,可持续性的开展地质调查智能空间平台建设是实现智能地质调查的技术保障。该模式其实就是地质调查云+端应用的典型模式。

(4)智能地质调查大数据应用体系架构把地质调查空间智能平台和Hadoop生态体系有效的融合为一体,将激活大量有价值却难以被用的多样化碎片化复杂的地质调查非结构化数据,使信息更加多元化、丰富和完整表达。基于地质领域本体的多分类的内容扩展组织模型,是未来地质调查知识库或内容库建设的新模式,同时在推进我国地质领域本体建设的基础上,又能使我国多样化碎片化复杂的地质调查非结构化数据形成新的易于使用的数据源。

#### 参考文献(References):

- [1] 马翠霞,任磊,腾东兴,等.云制造环境下的普通人机交互技术[J].计算机集成制造系统,2011,17(3):504-510.  
Ma Cuixia, Ren Lei, Teng Dongxing, et al. Ubiquitous human computer interaction in cloud manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17 (3): 504- 510(in Chinese with English abstract).
- [2] 余涛,余彬.智能空间——人类与自然和谐共处的新范式[M].杭州:浙江工商大学出版社,2011:84-91.  
Yu Tao, Yu Bin. Smart Space- A New Paradigm for the Harmonious Coexisting between Human and Nature[J]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University Press, 2011: 84-91(in Chinese).
- [3] 杨宗喜,唐金荣,周平,等.大数据时代下美国地质调查局的科学新观[J].地质通报,2013,32(9):1337-1343.  
Yang Zongxi, Tang Jinrong, Zhou Ping, et al. Earth science research in U.S. Geological Survey under the Big Data Revolution[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(9): 1337-1343(in Chinese with English abstract).
- [4] 李超岭,吕霞,李建强,等.中国地质调查信息网格——技术与方法[M].北京:地质出版社,2013:99-124.  
Li Chaoling, Lv Xia, Li Jiangqiang, et al. The China Geological Survey Information Grid - Technology and Method[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 99-124(in Chinese).
- [5] 李丰丹,李健强,吕霞,等.基于中国地质调查信息网格的“立体一张图”服务构建与应用[J].中国地质,2014,41(3):1028-1036.  
Li Fengdan, Li Jianqiang, Lv Xia, et al. The construction and application of '3D-one-map' based on China Geological Survey Information Grid[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 1028-1036(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈吉乐,乐嘉锦.基于hadoop生态系统的大数据解决方案[J].计算机工程与科学,2013,35(10):25-35.  
Chen Jirong, Le Jiajin, Reviewing the big data solution base on Hadoop Ecosystem[J]. Computer Engineering & Science, 2013,35 (10): 25-35(in Chinese with English abstract).
- [7] 吴信才,徐世武,万波,等.新一代的软件结构T-C-V结构[J].地球科学——中国地质大学学报,2014,39(2):221-226.  
Wu Xincan, Xu Shiwu, Wan Bo, et al. Next generation software architecture T-C-V[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(2): 221-226(in Chinese with English abstract).
- [8] 张智,龚宇.分布式存储系统HBase关键技术研究[J].现代计算机,2014,11:33-37.  
Zhang Zhi, Gong Yu. Research on the key technologies of HBase of the Distributed Storage System[J]. Modern Computer, 2014, 11: 33-37(in Chinese with English abstract).
- [9] 任树怀.LUCENE搜索算法剖析及优化研究[J].图书馆杂志,2014,33(12):17-23.  
Ren Shuhuai. Analysis and improvement of searching algorithm on Lucene[J]. Library Journal, 2014, 33(12): 17-23(in Chinese with English abstract).