地质调查智能空间框架构建与实践

李丰丹，刘畅，刘园园，吕霞
中国地质调查局发展研究中心，北京，100037

关键词：人工智能；大数据；云计算；智能空间；智能感知服务；数据挖掘

通过构建以信息空间和物理空间相融合的地质调查智能空间，为构建以“需求+数据+知识+智能驱动”为一体的数据管理、数据处理、数据服务等地质调查工作环境，提供空间数据自适应感知、非结构化数据挖掘服务、地质知识的流程化和智能化应用等，探索地质调查智能空间工作模式，取得有效应用效果。

1 研究背景

目前，各地质大国的地质调查工作进入数据密集时代，数据密集特点正影响和改造地质调查研究和工作模式(Yang Zongxi,2013)，中国的情况也是如此，地质人员对收集到的数量巨大、来源分散、格式多样的数据进行采集、存储和关联分析，希望从中挖掘新知识、创造新价值、提升新能力。为满足地质人员对深入研究需要，可基于人工智能、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，以地质数据发现与挖掘服务为基础，构建支撑数据密集型工作的“地质调查业务全流程+信息化”环境，提升在具体数据规模和密集特点情况下应用数据、处理数据和智能服务的能力。

2 地质调查智能空间环境构建

以存量地质调查数据（已有数据库+新增的非结构化数据）、各类遥感数据和动态地质数据（即正在生产的数据）为地质信息空间信息源；以地质调查业务网、北斗、互联网、天通一号、通讯卫星及地质调查信息基础设施为物理空间；在地质调查智能空间平台统一架构下，实现地质调查信息空间和物理空间融合，形成地质调查智能空间（Li Chaoling, 2015a）。其长远目标是通过地质调查业务流程与智能环境的深度融合，构建覆盖地质调查全领域、全空间、全资源、全流程的智能空间，为地质人员提供全方位的智能感知、认知能力和协助工具，以及辅助解决地质科学问题的超级智能化环境。

3 地质调查智能空间特点

搭建基数据管理、数据处理、数据服务为一体的“知识感知”的工作空间平台，基本形成了智能空间内调查过程数据的动态汇集与管理，虚拟化计算资源的便捷共享和应用，以及计算资源、数据资源、存储资源互联互通的用户定制化应用流程。

采用子空间模板化创建技术，形成面向不同需求、不同粒度的地质调查智能空间应用环境快速搭建能力，形成了基于权限规则的权限管理框架和授权、鉴权机制，形成了基于用户驱动的各类数据资源在智能空间环境中的自动化发布与服务机制。

构建了基于空间位置和地质调查对象（要素和特征）关联的地质知识在线服务模式。为项目组重构了野外到室内的以“大数据+大计算”为特点的完整服务链，各类分析处理、评价、三维建模方法辅助地质调查过程。融合业务管理，提供野外互动和远程指导的新的业务场景。

野外从传统“单兵”提升为地质云“端”：数据采集可以智能支持野外地质调查全领域，智能设备融合提升便捷化采集、数据服务自动感知推送、智能识别方法的融合应用，形成了开放式通用地质数据采集与集成技术方法。野外云端可自适应获取智能空间提供的基于高斯-克里格投影的高精度卫星影像与地理底图在线数据，改变了传统地理底图

注：本文为中国地质调查项目（编号：DD20160355、DD20190416）的成果。
收稿日期：2019-01-10；改回日期：2019-03-20；责任编辑：黄敏。 Doi：10.16509/j.georeview.2019.s1.148
作者简介：李丰丹，男，1980 年生，博士，教授级高工，GIS 专业，Email：lfengdan@mail.cgs.gov.cn。

服务模式。地质云端可通过访问智能空间平台的数据服务，获取全国范围的不同比例尺的地质图在线数据，特别是中国地质调查局发布的 1:5 万地质图数据。地质云端可通过访问智能空间平台的大数据挖掘等智能服务，获取基于当前位置和关键词的地质位置、地质特征等知识内容，初步实现野外地质调查中野外人员背后强大知识库的实时支撑(Li Chaoling, 2015b)。

4 地质调查智能空间软件体系

地质调查智能空间软件体系由云+端软件组成，强化地质调查数字化、智能化流程特性，涵盖基础地质调查（地质填图）、矿产地质调查、综合环境地质调查等。覆盖从数据采集、传输、集成、综合处理、建模与模拟、评价预测到成果服务等全流程（图 1）。

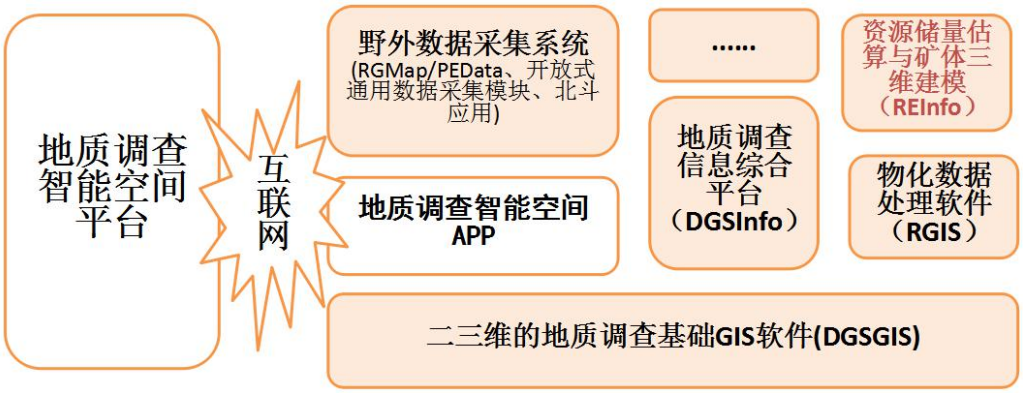

图 1　地质调查智能空间软件体系

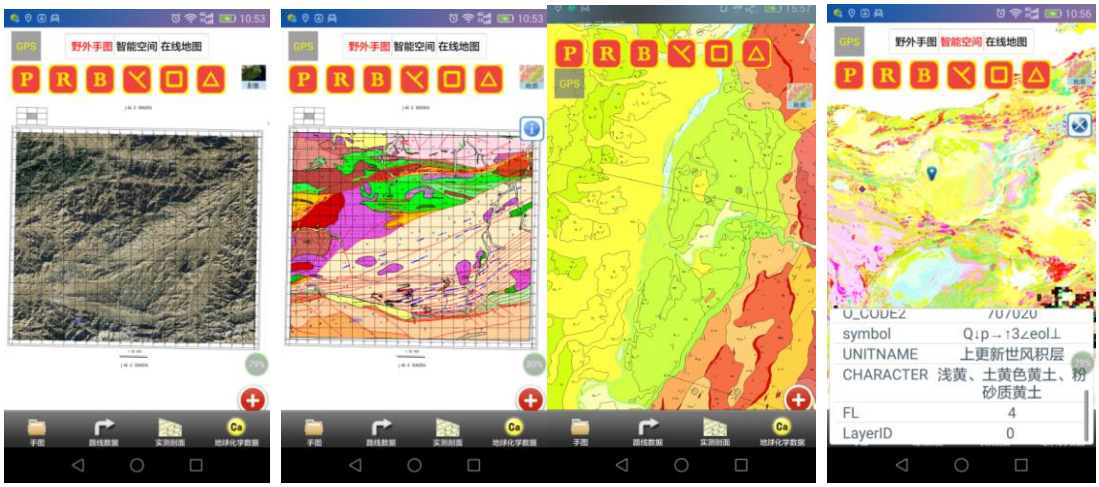

图 2 云端服务示例

（1）地质调查智能空间平台。通过综合集成云数据中心、云计算、云 GIS、非结构化数据库(Hadoop)、数据挖掘、动态地质内容库(知识库)构建等技术，提供云平台、云桌面、云存储等应用体系。云存储在不同资源共享池中按个人、工作组、子项目组、项目组、工程等分级存放不同对象的私有和共享的数据，项目组可以在野外上传、下载和管理存放在云盘上的地质资料，参阅云存储上所有的共享地质成果资料。云桌面的计算、软件、网络等资源为数据处理、地质三维建模和综合研究提供便捷手段，项目组可使用云桌面的大型 GIS 软件、数字地质调查系统、物化探数据处理软件、地质图编图软件及高性能计算环境。云平台则提供时空一致性数据综合服务(感知、自适应)，野外数据采集与实时传输，数据挖掘以及成果发布等服务。

（2）云端野外数据采集系统。地质云端以智能移动终端和野外数据采集系统为载体（图 2），主要承担野外地质调查人员的各种数据资源获取、建

模计算、智能服务等任务。

探矿工程数据采集系统 PEData（Android 版）主要用于野外探矿工程编录数据采集，包括探槽、坑道、浅井、钻孔等编录数据的采集等。

地质调查综合数据采集系统 RGMap（Android 版）主要用于野外区域地质调查、矿产地质调查、综合环境调查等地质调查数据采集，功能包括涵盖 GPS 导航定位、地质填图野外路线、地球化学、实测剖面、基于用户自定义和可扩展的综合调查等数据采集功能；提供地质图空间数据、非结构化数据挖掘文本等信息的离\在线服务功能，丰富和提升数据采集过程中的信息服务内容和服务能力。

（3）数字地质调查信息综合平台（DGSInfo）。主要用于区域地质调查，矿产地质调查以及物化遥等综合地质调查的数据采集、处理、分析和成图等工作。作为一个地质调查信息综合平台，功能覆盖了地质调查工作去流程，包括综合地质调查模板设计、野外路线设计、地质路线数据处理，地质剖面数据处理，探矿工程数据处理与成图，数字地质图生成，空间数据库建立、三维地质数据建模等，并提供相关地质数据处理、分析、预测及评价等功能。

（4）地质调查 GIS 基础软件（DGSGIS）。提供从数据采集到综合分析与建模的业务过程的数字化智能化调查技术的基础支撑。针对数字地质调查应用需求，做了针对性的设计，强化地质调查业务流程数字无缝性，为野外数据采集、处理、建模等提供了不同维度数据存储、组织、管理、可视化和编辑的一体化；底层框架的独立性构建，使数字地质调查软件系统可以跨平台保持无缝连接。在保持 GIS 软件特点基础上，增加了地质调查数据智能处理的特点。

5 应用实践

在阿尔金成矿带、二连-东乌旗成矿带（浅覆盖区）、江南陆块及周缘地质矿产调查工程等项目中开展区调、矿调项目示范，形成了按照工作区域、或地区、或地质对象、或用户群快速构建不同种类的智能地质调查工作环境，为基于云和大数据技术的数据采集、管理、处理、建模和知识服务全过程的智能地质调查工作模式应用奠定基础，展现了面向人工智能、大数据、云计算的现代地质调查工作模式，应用效果显著。

以“阿尔金成矿带地质云”为例，基于地质调查智能空间平台，构建我国第一朵地质云示范模型，数据主要由包括横跨青海、新疆两省（区）、绵延长达 600 km 的历年历次野外地质资料收集的已有地质资料、正在开展野外工作的数据和高精度公开卫星影像+数字高程模型等数据组成。总文件数达 7 万多个，约 130 GB，涉及空间数据与非结构化数据（空间点线面数据，遥感影像数据，照片，地质报告 word 文档，地质描述 txt、xml 等）。通过资源汇聚形成了系统、完整的阿尔金地质信息数据包，为区域数据共享提供了可能。提供的历史资源包，实现地质资料在野外工作中的快速利用：对野外采集的第一手原始资料可上传地质云中，与专家就遇到疑难问题进行交流，实现在线会商。编图工作中，在云上同时浏览不同地质内容，快速、高效的进行编图工作，通过多窗口联动功能将整个阿尔金成矿带上的地物化遥数据结合起来，为下一步找矿及综合研究奠定基础。

6 结论

地质调查智能空间以需求+数据+知识+智能驱动为一体，体现地质综合研究平台从分割走向互联互通的云平台、云桌面、云存储、地质云端的新环境。通过云计算、大数据和人工智能技术的应用，让地质学家在地质调查预研究阶段更加精确的梳理的存在问题，更加精准提出解决问题方案和明确下一步的工作重点，在地质调查阶段，在精准和精确的前提下，获取大数据的智能感知和认知服务。最后从传统的“信息技术”服务提升到“数据技术”服务。可以说地质调查智能空间融合地质大数据挖掘技术于地质调查过程，为更加精确的梳理存在问题，更加精准提出解决问题方案奠定基础。

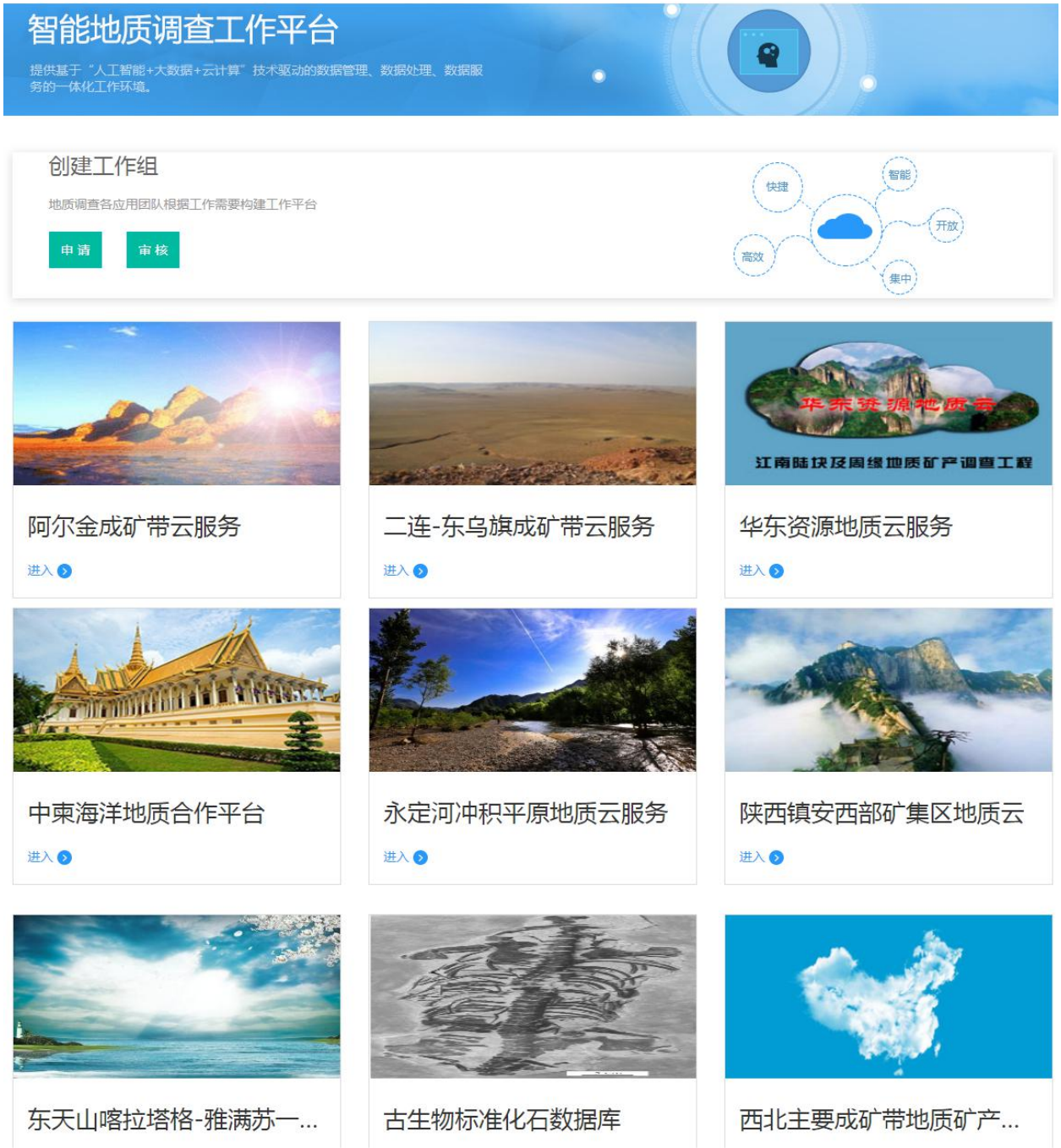

图 3 面向各试点的地质调查智能空间平台

参 考 文 献 / References

Yang Zongxi, Tang Jinrong, Zhou Ping, et al. 2013. Earth science research in U.S. Geological Survey under the Big Data Revolution. Geological Bulletin of China, 32(9): 1337~1343.

Li Chaoling, Li Fengdan, Li Jianqiang et al. 2015a. Smart geological survey architecture. Geology in China, , 42(4): 828~838.

Li Chaoling, Li Jianqiang, Zhang Hongchun et al. 2015b. Big data application architecture and key technologies of intelligent geological survey. Geological Bulletin of China, 34(7)：1288~1299.

LI Fengdan, LIU Chang, LIU Yuanyuan, LÜ Xia: Construction and application of the geological survey intelligent space

Keywords: AI; big data; cloud computing; intelligent space; intelligent perception service; data mining