

doi: 10.11720/wtyht.2020.0065

冯斌,梁萌,吴文鹏,等.“地质云”模式下大地电磁数据共享研究[J].物探与化探,2020,44(4):796-802.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0065

Feng B, Liang M, Wu W L, et al. Research on the sharing service system of magnetotelluric data in geological cloud[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 796-802. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0065

# “地质云”模式下大地电磁数据共享研究

冯斌<sup>1</sup>, 梁萌<sup>1</sup>, 吴文鹏<sup>1</sup>, 张学利<sup>2</sup>, 杜炳锐<sup>1</sup>, 马娜<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000; 2. 江苏省有色金属华东地质勘查局, 江苏南京 210007)

**摘要:** 采用“地质云”模式, 开展了大地电磁数据共享研究, 用以解决大地电磁数据的管理与共享问题。从架构设计、分类与管理、功能规划、在线处理等方面进行了探讨, 重点介绍了大地电磁在线处理流程设计。最后以尼玛盆地工区电磁数据为应用实例搭建了原型系统。与传统数据共享系统相比, 系统在遵循“地质云”标准的同时提出了一种新型电磁数据在线处理流程, 为大地电磁专题服务在“地质云”共享提供了探索实践。

**关键词:** 大地电磁; 共享服务; “地质云”; 尼玛盆地

**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2020)04-0796-07

## 0 引言

大地电磁测深法是利用天然交变电磁场研究地球电性结构的一种地球物理勘探方法, 是深部地球物理探测的一种重要方法和必不可少的手段, 对于揭示中国大陆岩石圈结构、活动过程与动力学机制, 实现能源与重要矿产资源重大突破、提升地质灾害监测预警能力等具有重要意义, 如何有效管理与共享服务大地电磁数据是地质信息化一项重要研究内容。中国地质调查局自 2017 年开展地质“云平台”建设以来, 不断强化利用云平台、大数据、互联网等信息技术开展国家级地质调查数据的共享服务<sup>[1-4]</sup>, 截至 2019 年底, “地质云”平台已经共享了基础地质、城市地质、地下水、能源与重要矿产、资源环境承载力等专题应用服务, 为国民经济发展与城市建设、城市管理提供了有效的地质数据支撑。

传统的信息化系统建设中, 一般按照各专业领域自身需求设计了数据存储与应用系统, 解决其数据的共享服务, 客观上造成了服务标准不一与信息孤岛, 同时, 为了支撑应用服务还需要建设各种服务

器, 运维成本严重。与传统信息化模式相比, “地质云”模式对硬件资源进行全虚拟化, 可按需提供服务器资源, 提供了极大的便捷性, 同时, 可以统一数据服务标准, 避免标准不统一, 解决了信息孤岛<sup>[5-10]</sup>。

大地电磁数据作为地球物理勘探获取的重要数据, 如何在“地质云”模式下管理与共享服务是“地质云”地球物理地球化学勘查研究所节点的一项重要内容, 本文通过调研“地质云”相关专题数据集成与共享经验, 提出了一种针对大地电磁数据共享服务体系, 用以解决大地电磁数据的管理与共享问题。文中从架构设计、分类与存储、功能设计等方面进行了探讨, 从技术实现的角度阐述了系统的开发环境、集群节点部署等关键技术, 重点介绍了一种新型的电磁处理方法共享模式, 最后以尼玛盆地工区电磁数据管理与共享为应用示例, 搭建了原型系统, 初步解决了大地电磁数据管理与共享问题。

## 1 框架研究

大地电磁数据共享建设中遵循“地质云”建设

收稿日期: 2020-02-17; 修回日期: 2020-05-26

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“国家地质大数据汇聚与管理”(DD20190389)

作者简介: 冯斌(1983-), 男, 工程师, 研究方向为 GIS 研发、地球化学数据处理解释技术。Email: fengbin@igge.cn

通讯作者: 张学利(1984-), 男, 测绘高级工程师, 研究方向: “地质云”计算应用和 WebGIS 研发。Email: 273907398@qq.com

要求、考虑了系统复用性、易用性与便捷性,并从总体架构、分类与存储、功能设计、在线处理流程设计几方面进行了相关探讨。

### 1.1 总体架构

参照“地质云”建设模式,大地电磁数据共享系统按照四层结构进行了设计,与“地质云”保持了一致性<sup>[11-12]</sup>。自下而上主要包括虚拟化服务、数据资

源层、数据服务层、应用服务层。在数据资源层,提供“地质云”标准的统一资源访问服务接口,在数据服务层,和“地质云”共享体系一致,提供 WMS 服务、WFS 服务、WMTS 服务基础上,还提供统计分析、服务监控等功能。系统虚拟化运行环境和相关安全保障,全部委托“地质云”环境统一管控。四层结构如图 1 所示。

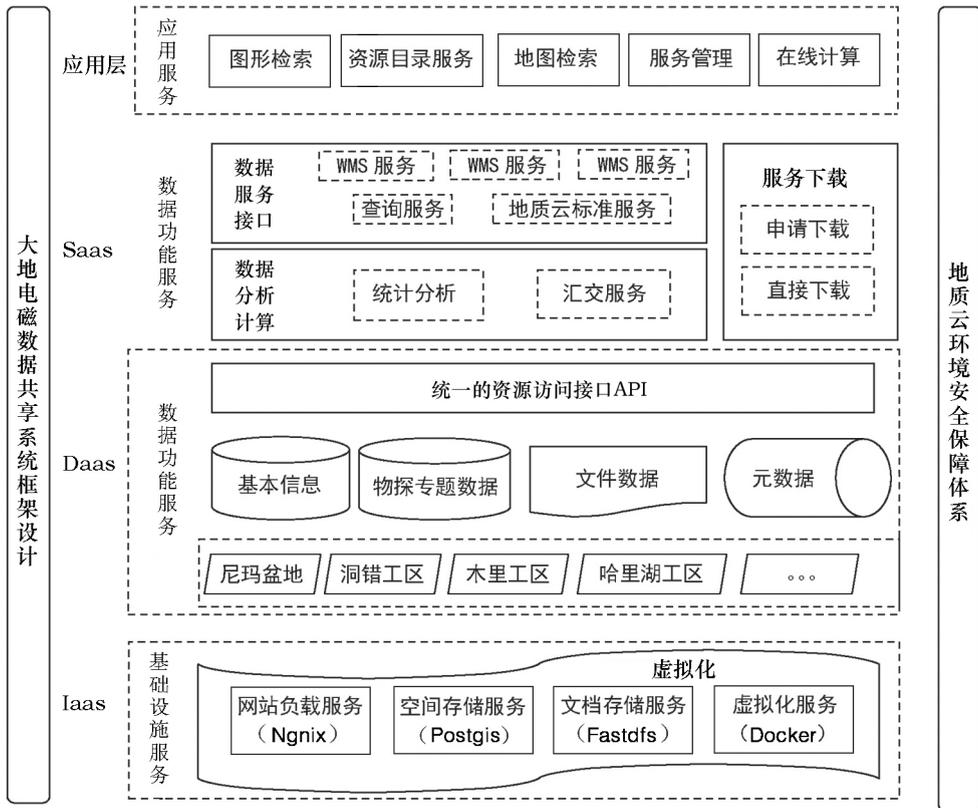


图 1 大地电磁数据共享服务架构

Fig.1 Flow chart of geological data visualization system

1) 虚拟化。虚拟化服务参照“地质云”基础设施建设经验,提供虚拟化部署网站运行需要的相关软件,包括数据存储服务器、网站及负载均衡服务器、网站服务器等相关软件。

2) 数据资源存储。大地电磁数据主要包括基础业务数据、地质图件数据、文档等非结构化数据与元数据四类,对应数据资源层,主要是按照数据类型进行数据存储设计,包括元数据库、文件管理、基本信息库、专题数据库等,实现数据的分类管理,最终建立符合地质标准规范的地质业务数据中心。

3) 数据服务层。数据服务是将各专业地质数据通过封装服务接口的方式,形成 WFS 服务、WMS 服务、查询服务、WMTS 服务,以及提供统计分析、服务检索、服务监控等功能,这些功能接口建设完全依据“地质云”标准实现。

4) 应用服务层。主要提供符合需要的各类应用功能,包括图形检索、资源目录、地图查询服务和测试功能。

5) “地质云”环境下相关保障体系。主要对数据在各层流通中提供必要的技术保障,主要保障系统和数据的安全问题。

### 1.2 数据的分类与管理

大地电磁数据主要包括基础业务数据、地质图件数据、文档等非结构化数据与元数据四类。

基础数据涉及到测点坐标、周期 ( $T$ )、视电阻率、相位、阻抗和倾角等信息(表 1 为大地电磁法数据存储结构),一般通过关系数据库管理。地质图件数据,包括电磁解释剖面、采样点、工区范围等空间数据,其管理涉及到地图服务发布与服务管理两部分,地图发布通过 ArcGIS Server 等地图服务

表 1 大地电磁法数据存储结构  
Table 1 Platform development tool

序号	参数名称	字段名称	数据类型	是否可为空值
1	工区编号	area	字符	否
2	施工编号	ei	字符	否
3	测线编号	line	字符	否
4	测点编号	station	字符	否
5	测点坐标 $x$ (经度)	coorx	实数(双精度)	否
6	测点坐标 $y$ (纬度)	coory	实数(双精度)	否
7	测点坐标 $x$ (投影)	x	实数(双精度)	是
8	测点坐标 $y$ (投影)	y	实数(双精度)	是
9	高程	z	实数(双精度)	是
10	周期	period	实数(双精度)	否
11	视电阻率( $xy$ )	rx $y$	实数(双精度)	是
12	视电阻率( $yx$ )	rx $y$	实数(双精度)	是
13	相位( $xy$ )	px $y$	实数(双精度)	是
14	相位( $yx$ )	py $x$	实数(双精度)	是
15	阻抗 $Z_{xy}$ 实部	zxyr	实数(双精度)	是
16	阻抗 $Z_{xy}$ 虚部	zxyi	实数(双精度)	是
17	阻抗 $Z_{yx}$ 实部	zyxr	实数(双精度)	是
18	阻抗 $Z_{yx}$ 虚部	zyxi	实数(双精度)	是
19	阻抗 $Z_{xx}$ 实部	zxxr	实数(双精度)	是
20	阻抗 $Z_{xx}$ 虚部	zxxi	实数(双精度)	是
21	阻抗 $Z_{yy}$ 实部	zyyr	实数(双精度)	是
22	阻抗 $Z_{yy}$ 虚部	zyyi	实数(双精度)	是
23	倾子 $T_{zx}$ 实部	tzxr	实数(双精度)	是
24	倾子 $T_{zx}$ 虚部	tzxi	实数(双精度)	是
25	倾子 $T_{zy}$ 实部	tzyr	实数(双精度)	是
26	倾子 $T_{zy}$ 虚部	tzyi	实数(双精度)	是

器发布 WMS 服务,其 WMS 服务地址通过空间数据库管理。非结构化数据为项目产生的 word 文档、报表数据、图片、图像、音频及视频信息等数据,通过 FastDFS 存储管理。元数据主要为上述三类数据相的描述信息,通过关系数据库管理。

### 1.3 大地电磁数据共享功能设计或规划

按照大地电磁数据的共享要求,功能规划如下几个方面:

1) 目录导航。按照地、物、化、遥等工作手段,提供资源目录结构,数据基于目录结构进行导航应用。提供地图界面展示电磁数据,实现地图放大、缩小、平移、复原等基础地图操作工具栏。

2) 空间检索。提供基于空间检索大地数据,可按照拉框查询、多边形查询、地质要素等空间地质要求进行查询与检索,通过丰富的空间查询方式,查询大地电磁相关属性信息,并提供统计曲线图展示。

3) 地质图服务浏览。对各种大地电磁相关资源成果图件提供 OGC WMS 或 WFS 服务,可通过地质图的查看、浏览、展示与属性信息查询。

4) 在线处理。基于管理的大地电磁数据,可以进行数据处理与运算,生产需要的相关专题数据图件,如相位张量图。

5) 后台管理。包括对系统账号的统一管理、包括对大地电磁项目信息的管理、资源目录分类管理、地质图服务综合管理。

### 1.4 大地电磁数据在线处理流程设计

常用在线处理方法,一般解决方案是通过 OGC WPS 标准开发相关系统提供数据的共享<sup>[7]</sup>,但是 WPS 处理共享涉及到算法改造较多,对处理方法复用性较差,而地质算法比较复杂,改造难度较大。从地质算法复用性角度,本文提出了一种基于消息调度的处理方法,来最大化复用已有大地电磁处理方法,该处理方法能够屏蔽不能开发语言的差异,极大提高开发效率。

基于消息队列的大地电磁数据在线流程<sup>[13]</sup>如图 2 所示,主要由 4 个主体部分构成:专题应用工具栏、队列消息传递、消息处理服务和专题服务处理模块。参数界面方面用户填写运算相关参数并对结果

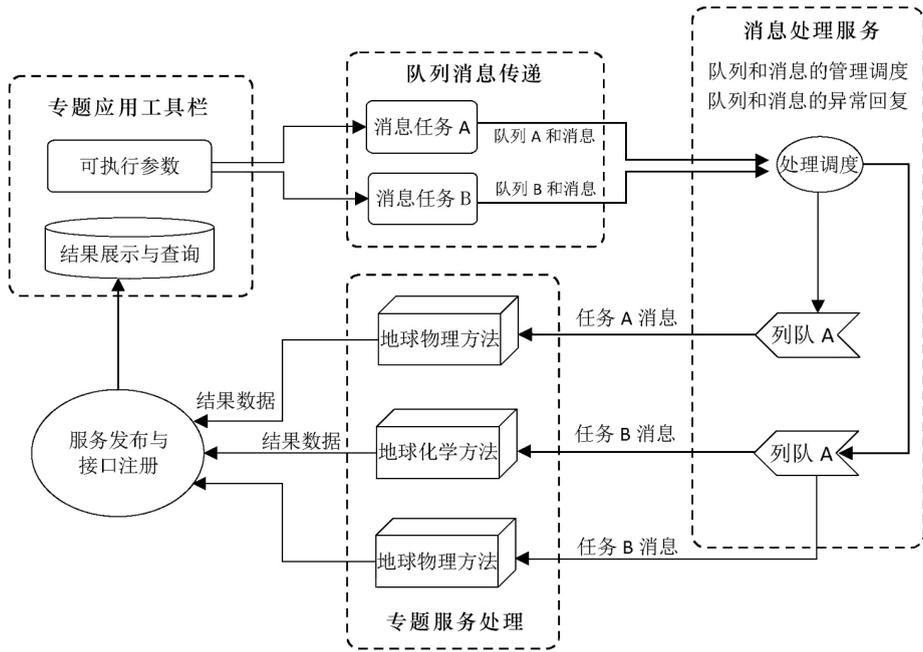


图 2 基于消息队列大地电磁处理流程示意

Fig.2 Flow chart of magnetotelluric processing based on message queue

进行可视化;消息队列传递模块主要是传递运算中需要的数据和参数信息,参数包括处理算法队列的名称、用户填写参数项、数据的存储地址等;消息调度处理服务器主要承载消息体的周转以及消息体的异常处理和消息的负载均衡,会根据消息队列执行的频度做分布式调度;大地电磁算法处理模块是数据处理和专题应用模块,接收消息调度服务器传递来的消息,执行运算并成果数据,同时将结果数据以 OGC WMS (Web 地图服务) 或 WMTS (切片地图 Web 服务) 的方式发布,对外提供数据访问接口,供前台调用。

## 2 系统实施

按照“地质云”部署经验,大地电磁数据共享服务实施中需要考虑基础环境实施工具、集群节点部署、空间数据服务发布等环节。

### 2.1 基础环境实施工具

整个系统全部采用虚拟化服务管理<sup>[14-15]</sup>,虚拟化采用 Docker 容器统一管理,提供服务器的快速启动与关闭;负载均衡采用 Nginx Web 服务器,不同的服务器业务之间通信采用消息队列 RabbitMQ 服务器,数据库服务采用 PostGIS,内存服务器采用 Redis;系统开发环境分为两部分:基于 Linux 操作平台设计与开发的门户网站、基于 Windows 系统开发 WebGIS 支撑的地质图服务发布。不同服务器之间通信利用消息调度管理机制,其中,门户网站部分采用 Play 框架开发,使用 Java 开发语言,WebGIS 服务器采用 ArcGIS Server 平台开发工具,如表 2 所示。

### 2.2 集群节点的部署

大地电磁基本节点为集群或云计算服务,按照系统应用目的设立成几个不同节点;结构化存储服务节点,主要是数据库集群节点;非结构化存储服务

表 2 平台开发工具

Table 2 Platform development tool

实施开发工具	功能描述
Play	基于 Java 的网站开发框架,用于开发网站
PostGIS	空间数据库,支撑大地电磁空间数据的存储
Redis	内存数据库,存储相关时效性数据
RabbitMq	调度服务器,异构环节中间组建,屏蔽系统开发语言差距
Nginx	解决负载均衡与反向代理,同时提供网站运行服务的 web 服务器
ArcGIS js	地图前台框架
ArcGIS Server	GIS 服务器,服务发布空间数据,以 WMS 提供服务
Docker	云虚拟化服务器

节点,主要是非结构化数据(如文档、影像、图片等)存储节点;地质图服务节点,主要是 Arcgis 服务器集群发布地质空间数据 WMS 等服务;网站运行及节点负载均衡,主要是部署网站系统和负责网站的负载均衡;调度节点,主要部署消息队列服务,负责各节点之间通讯与数据传输。每个节点全部通过 Docker 容器统一管理,实现节点的快速启动与关闭,保持应用的正常运行。

### 2.3 空间数据服务的发布

大地电磁空间数据服务发布,核心是 WebGIS 服务开发<sup>[4-6]</sup>,主要是应用 ArcGIS Server 作为 WebGIS 服务器提供地质空间数据的可视化服务。首先,将大地电磁空间数据库与 ArcGIS Server 建立映射关系,使 ArcGIS Server 能够调用数据库中的数据,进行服务的发布与管理;其次网站 JavaScript 前台,通过标准的 WMS 服务协议读取 ArcGIS Server 服务,提供图层分层管理、渲染、透明、查询、统计等功能分析。

## 3 应用实践

尼玛盆地位于青藏高原班公湖——江盆地带中段,东部与伦坡拉盆地为邻,面积为 11 162 km<sup>2</sup>,是新生代含油气盆地。在本地区进行大地电磁法(MT)测量和数据处理解释,可查明尼玛盆地和洞错盆地的边界构造性质、盆地的基底埋深和基本构

造格架,为盆地含油气性评价和区域对比、有利区带优选提供深部依据。本次工作共收集到该地区的两条 MT 剖面数据,用于大地电磁数据共享应用实验。

### 3.1 大地电磁法数据共享服务界面

大地电磁法数据共享服务中,提供 WebGIS 模式的界面应用(图 3)。图中左侧主要包括相关数据目录,包括基础地理、基础影像和基础地形服务、工区基本信息、采样点数据,支持勾选与取消;右侧提供地图形式的数据展示功能,地图支持 WMS、WMTS 等数据服务,还提供了工具栏,支持进行相关地图的操作。同时,根据地图上数据的点击操作,还提供了查询图表展示功能,统计曲线图会随着查询点的不同,不断变化数据范围。曲线数据都是依据查询点,实时从数据库采集数据绘制而成,便于用户快速查看数据特征。

### 3.2 MT 测深解释成果图在线查询

尼玛盆地东侧剖面整体表现出“两凹一隆”特征,其中北部凹陷规模较大,基底由北向南逐渐加深,最大深度近 4 km;南部凹陷规模较小。局部隆起出现在剖面中南部,基地埋深小于 2 km,尼玛盆地西侧剖面显示出盆地向西规模变小,盆地基底形态表现为北深南浅的“勺”状特征。两条剖面都显示出盆地内存在一些局部高阻异常体,推测可能为中生代地层的残片侵位于新生代地层的结果,在系统中,通过点击工区范围,弹出成果图件(图 4)。

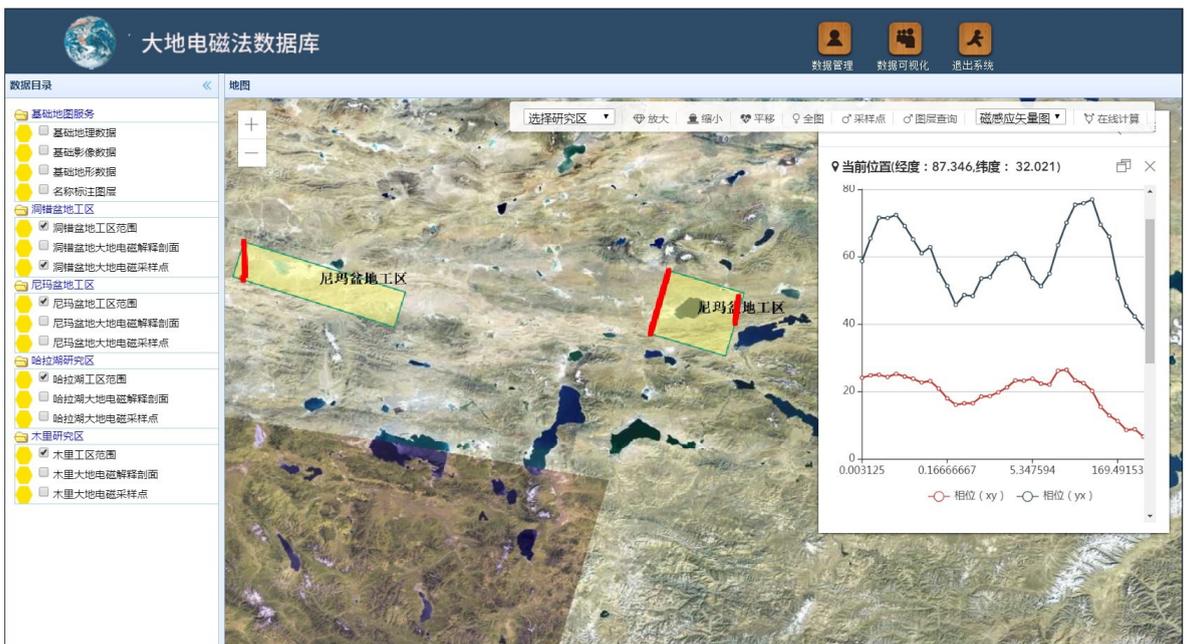


图 3 大地电磁数据共享服务主界面效果

Fig.3 Main interface of magnetotelluric data sharing service

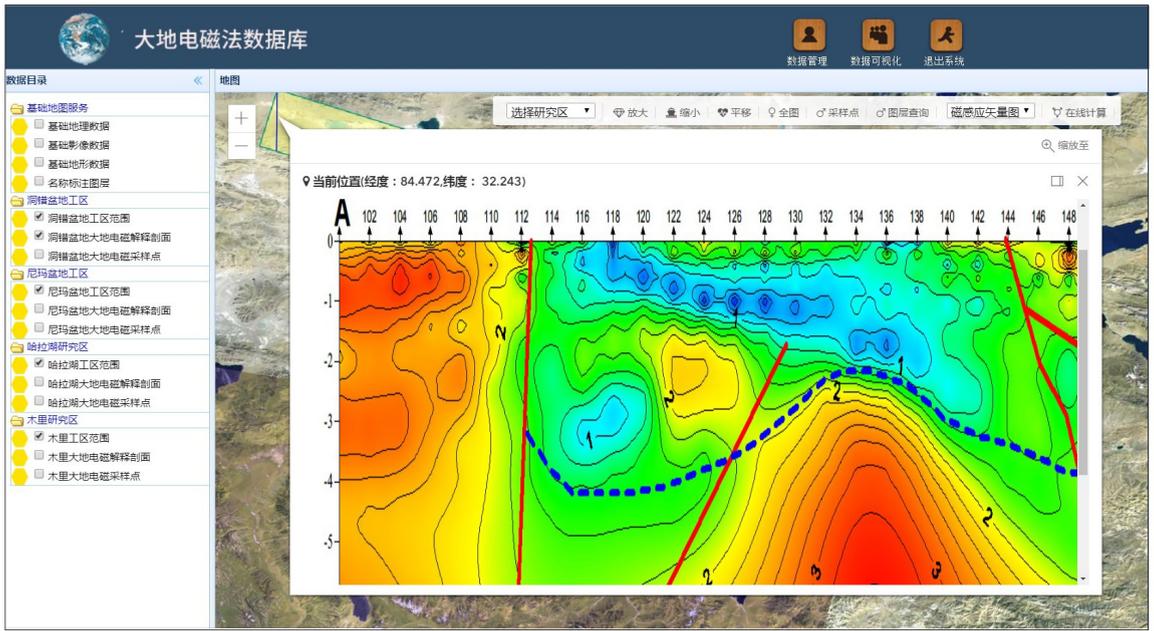


图 4 MT 结果展示界面

Fig.4 MT query view in application

### 3.3 相位张量图在线计算应用

相位张量在线成图是大地电磁数据共享服务中的一项重要应用,是大地电磁法定性解释的重要手段,用于反映地下构造的走向。它依据视电阻率、相位等数据,通过计算成图。大地电磁数据共享服务体系中,提供框选功能,圈定数据范围,点击相位张量成图按钮,将框选的地理坐标发送到后台相位张量成图算法接口服务器,后台依据数据库中存储的相位数据和框选的坐标范围,进行数据的接收和算法的执行,最终,生成相位张量图 png 图片,动态在系统前台以弹出界面的形式展示。同时,提供数据下载功能,将框选的数据范围、抽取的数据和结果数据打包下载。

## 4 结束语

大地电磁共享研究中,参照“地质云”模式,提供了统一资源访问服务接口,同时,数据服务和“地质云”共享体系一致,提供 WMS 服务、WFS 服务、WMTS 服务。以尼玛盆地工区电磁数据为应用实例搭建了原型系统,介绍了大地电磁数据共享界面和数据查询功能。

鉴于大地电磁数据反演迭代次数较多,本文提出了基于消息调度模式的大地电磁数据在线流程,最大化复用已有大地电磁处理方法,该方法能够屏蔽开发语言的差异,极大提高开发效率。下一步,系统将开展与“地质云”专题应用进行对接,在

用户体系、安全认证等方面进行对接,保证系统满足“地质云”的应用要求,同时,继续深化基于消息调度模式的在线处理流程,丰富地质在线处理应用。

### 参考文献 (References):

- [1] 谭永杰.地质大数据与信息服务工程技术框架[J].地理信息世界,2016,23(1):1-9.  
Tan Y J. Architecture and key issues of geological big data and information service project [J]. Geomatics World,2016,23(1):1-9.
- [2] 高振记,谢华锋,李志伟,等.油气资源地质调查大数据架构与应用研究[J].地理信息世界,2016,23(1):18-23.  
Gao Z J,Xie H F,Li Z W,et al. Research on the architecture and application of the big data in oil and gas geological survey [J]. Geomatics World,2016,23(1):18-23.
- [3] 姜作勤,马智民,杨东来,等.地质信息服务体系框架研究[J].中国地质,2007,34(1):173-178.  
Jiang Z Q, Ma Z M, Yang D L,et al. Framework of the geological information service system [J]. Geology in China, 2007,34(1): 173-178.
- [4] 缪谨励,屈红刚,许哲,等.地学大数据技术研究实验平台 GeoBDA[J].地理信息世界,2014,21(6):48-52.  
Miao J Q,Qu H G, Xu Z,et al.The experimental platform of technical study of the big data of geoscience:GeoBDA [J]. Geomatics World,2014,21(6):48-52.
- [5] 刘荣梅,严光生,夏庆霖.从第34届国际地质大会看地学信息技术发展趋势[J].地质通报,2013,32(4):685-692.  
Liu R M, Yan G S, Xia Q L. The progress and development trend of the geoscience information technology viewed from the abstracts submitted to the 34th IGC held in Brisbane, Australia [J]. Geological Bulletin of China, 2013,32(4): 685-692.
- [6] 苏国辉,申延平,孙记红,等.全球油气地质信息共享系统[J].

- 地球信息科学学报, 2012, 14(2): 217-222.
- Su G H, Shen Y P, Sun J H, et al. The global oil and gas geology database information sharing system based on arcgis server [J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14(2): 217-222.
- [7] 张学利, 宋震, 刘晓, 等. 地勘基金成果管理系统的设计与开发 [J]. 国土资源信息化, 2017(4): 41-45.
- Zhang X L, Song Z, Liu X, et al. The design and development of the results management system regarding to the geological processing fund [J]. Land and Resources Information, 2017(4): 41-45.
- [8] 徐效波, 吴华玲, 王建强, 等. 煤矿安全生产信息系统的设计与实施 [J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 454-459.
- Xu X B, Wu H L, Wang J Q, et al. Development and application of the coal mine safety production system based on GIS [J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14(4): 454-459.
- [9] 王卷乐, 游松财, 谢传节, 等. 面向 Web 的地质数据共享服务平台架构设计 [J]. 地球信息科学, 2004, 6(4): 62-65.
- Wang J L, You S C, Xie C J, et al. Study on Web-oriented geo-data sharing platform system structure [J]. Journal of Geo-Information Science, 2004, 6(4): 62-65.
- [10] 胡磊, 乐鹏, 龚健雅, 等. 异步地理信息网络处理服务方法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2016, 41(5): 679-685.
- Hu L, Yue P, Gong J Y, et al. An Approach to asynchronous geo-processing service [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(5): 679-685.
- [11] Fitch P, Bai Q F. A standards based web service interface for hydrological models [C]//18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia, 2009-07-13.
- [12] Feng M, Liu S G, Euliss Jr, et al. Prototyping an online wetland ecosystem services model using open model sharing standards [J]. Environmental Modelling & Software, 2011(26): 458-468.
- [13] 张学利, 马娜, 杨燕, 等. 基于消息调度机制的地质服务体系构建与应用实践 [J]. 国土资源遥感, 2019, 31(1): 271-276.
- Zhang X L, Ma N, Yang Y, et al. Development and application of the geological processing service system based on message scheduling [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(1): 271-276.
- [14] 张学利, 马娜, 朱瑜馨, 等. 基于云平台的农业综合信息应用系统的设计与开发 [J]. 地理空间信息, 2019, 17(2): 27-30.
- Zhang X L, Ma N, Zhu Y X, et al. Development and design of the agriculture comprehensive information application system based on cloud platform [J]. Geospatial Information, 2019, 17(2): 27-30.
- [15] Yang J. Convergence and uncertainty analyses in Monte-Carlo based sensitivity analysis [J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 4(26): 444-457.

## Research on the sharing service system of magnetotelluric data in geological cloud

FENG Bin<sup>1</sup>, LIANG Meng<sup>1</sup>, WU Wen-Li<sup>1</sup>, ZHANG Xue-Li<sup>2</sup>, DU Bing-Rui<sup>1</sup>, MA Na<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration of Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. Geological Information Center, East China Mineral Exploration and Development Bureau, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** A service system for magnetotelluric data sharing is proposed to solve the management and sharing of magnetotelluric data. This paper discusses the cloud architecture design, function design and other aspects, focusing on the integration of electromagnetic operations such as phase diagram in the system. Finally, a prototype system is built based on the electromagnetic data of Nima basin. Compared with the traditional sharing system, the interface of this system completely follows the "geological cloud" standard, which provides the premise of exploration practice for the magnetotelluric thematic service in the "geological cloud" sharing.

**Key words:** magnetotelluric; shared services; geological cloud; Nima basin

(本文编辑: 沈效群)