

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.058>



福建东洋地区地球物理场特征

张振宇^{1,3}, 胡祥云^{2*}, 王大勇^{1,3}, 陈亮^{1,3}, 王刚^{1,3}, 李永博^{1,3}

1. 国家现代地质勘查工程技术研究中心, 河北廊坊 065000

2. 中国地质大学地球物理与空间信息学院 湖北武汉 430074

3. 自然资源部地球物理电磁法探测技术重点实验室, 河北廊坊 065000

摘要: 为了研究东洋地区深部地质结构, 在福建东洋地区开展了综合地球物理勘查, 对福建东洋地区地球物理场进行了分析, 结合已有的地质资料, 分析研究了区域地球物理场特征及区域深部地质结构特征. 研究认为: 福建东洋地区位于巨型环形构造外环带西南部, 研究区处在东部沿海磁场剧烈变化带和西部内陆磁场相对平缓带的过渡区域, 区域航磁 ΔT 异常以北东向条带状异常带为主, 区内分布有 2 处剩余重力异常高; 地球物理综合剖面范围被两条北西向深大断裂分割为 3 部分, 结合区域地质特征, 推断区域南部的浅层是一套推覆无根的变质岩系高阻体, 深部为一套以中生代沉积岩石为主的低阻体, 区域北部浅部主要为中生代沉积岩夹薄层火山岩组成的低阻体, 深部为下古生代和元古界基底岩系共同反应的高阻体, 区域中部是火山岩主要发育区.

关键词: 东洋地区; 地球物理场; 深部结构; 金矿; 地球物理.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2021)10-3717-13

收稿日期: 2021-03-10

Geophysical Field Characteristics of Dongyang Region, Fujian Province

Zhang Zhenyu^{1,3}, Hu Xiangyun^{2*}, Wang Dayong^{1,3}, Chen Liang^{1,3}, Wang Gang^{1,3}, Li Yongbo^{1,3}

1. *Nation Center for Geological Exploration Technology, Langfang 065000, China*

2. *Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*

3. *Key Laboratory of Geophysical Electromagnetic Detection Technology of Ministry of Land and Resources, Langfang 065000, China*

Abstract: In order to study the deep geological structure of Dongyang region, it carried out the integrated geophysical exploration in Dongyang region, analyzed the geophysical field. Combined with the existing geological data, it analyses and studies the characteristics of regional geophysical field and regional deep geological structure. The conclusion is that the Dongyang region is located in the southwest of the outer ring of the giant ring structure. The study area is located in the transition area between the eastern coastal magnetic field violent change zone and the western inland magnetic field relatively gentle zone, and the regional aeromagnetic ΔT anomaly is mainly NE trending banded anomaly zone. There are two high residual gravity anomalies in the study area. The comprehensive geophysical section is divided into three parts by two NW trending deep faults. Combined with regional geological characteristics, it infers that the southern part of the area is a set of nappe rootless metamorphic rock series with high resistivity, the deep part is a set of Mesozoic sedimentary rocks with low resistivity, the shallow part of the northern part of the area is mainly composed of Mesozoic sedimentary rocks with thin volcanic rocks, the deep part is the high resistivity

基金项目: 国家重点研发计划(No. 2016YFC0600210).

作者简介: 张振宇(1983—), 博士, 高级工程师, 地球物理学专业, 主要从事地球物理方法技术及应用研究. ORCID: 0000-0001-9750-566X.
E-mail: zhangzhenyu0214@163.com

***通讯作者:** 胡祥云, E-mail: xyhu@cug.edu.cn

引用格式: 张振宇, 胡祥云, 王大勇, 等, 2021. 福建东洋地区地球物理场特征. 地球科学, 46(10):3717-3729.

body of the Lower Paleozoic and Proterozoic basement rock series, and the central part of the area is the main development area of volcanic rocks.

Key words: Dongyang region; geophysical field; deep structure; gold mine; geophysics.

0 引言

福建省位于中国东南部,该区域经历了多期造山运动,区域大地构造、板块演化及成矿作用受燕山期运动影响最为强烈(韦德光等,1997).福建省被区域内南平—宁化(NE)断裂带与政和—大浦(NNE)构造岩浆带分割为闽西北、闽西南及闽东3个地体(李根坤,1982).东洋地区位于闽东中部、周宁—华安断隆带中段南部,及杨梅—东华(NE)断裂与安村—古迹口(NW)断裂交汇处南缘,火山岩分布广,中元古界基底变质岩出露于其中(刘钦生,2018).该地区的金矿床主要产于“天窗”及较薄火山盖层之中(西北侧除外),分布有大量酸性侵入岩,从加里东期至燕山晚期期次不等,火山机构发育完善(周维瑀,1996).

东洋金矿隶属环太平洋成矿带,是燕山中期火山运动及大洋板块向欧亚板块俯冲的产物.研究区成矿地质背景优越(徐楠,2017),目前已经发现双旗山金矿、邱村金矿、尤溪肖板金矿、安村金矿等二十多处矿点.开展东洋地区深部找矿是目前深部找矿的热点之一.

福建东洋地区断裂构造发育,主要以北东和北北东向断裂为主.由于区域地形切割严重,区域以往地球物理调查主要以研究区及周围矿点勘查工作为主,研究区区域性深部地球物理勘查工作几乎是空白,区域地球物理场、深部断裂构造位置及展布形态不详(袁慧香和陈辉,2015;毛光武等,2017).本文从区域地球物理场特征入手,在东洋地区开展了综合地球物理勘查,对东洋地区地球物理场特征进行了分析,结合区域地质资料,对研究区断裂构造、地层及深部结构进行了分析研究.

1 区域地质背景

东洋地区位于寿宁—华安断隆带和福鼎—平和断陷带2个五级构造单元中,其中大部分位于寿宁—华安断隆带的中段,区域构造处在周宁—华安断隆带与屏南—梅林断陷带、福鼎—云霄断陷带交界地段(高延光,2007).夹于政和—大浦断裂带与福安—南靖北东向断裂带之间,浦城—尤溪NNE断裂

带纵贯研究区西部(图1).

1.1 地层

东洋地区地层出露较齐全,主要有新元古代黑云角闪片岩、云母石英片岩—黑云二长变粒岩建造;震旦纪浅变质类复理石建造;早石炭世—早三叠世碎屑岩、碳酸盐岩—含煤碎屑岩建造;晚三叠世—中侏罗世粗复含煤碎屑岩—复陆屑建造;晚侏罗世—白垩纪陆相沉积—火山岩系、陆相红色碎屑岩系及第四纪松散堆积层.其中在晚侏罗世和早白垩世的火山活动过程中形成的矿种有铜、金、银等.区内矿床主要受戴云山巨型火山环状构造次一级北西向构造控制,矿体受北西向、北东向断裂控制,呈脉状、透镜状产出(黄刚毅,2009).

1.2 岩浆岩

东洋地区构造岩浆活动强烈,有加里东期、华力西期、印支期、燕山早期、燕山中期、燕山晚期和喜山期,其中燕山早、晚期活动规模最大,具有多阶段、多期次活动特点.区域内形成的侵入岩大部分呈岩基、岩株产出,少数呈岩瘤、岩(墙)脉产出.区域内岩性主要有花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩,总体呈北东向带状展布,不同期或同期不同阶段、不同次侵入岩常沿构造带多次侵入,构成复式岩体.区内岩浆物质来源具多样性特点,既有来源于上地幔基性岩、花岗岩类,有幔壳混合源,也有地壳重熔岩浆(王建芳,2016).

1.3 构造

闽东火山断拗带位于东洋地区的东部,断拗带内火山构造和断裂都比较发育.东洋地区区域构造受闽东火山断拗带、闽西南拗陷带两大构造单元及政和—大浦北北东向断裂带、福安—南靖北北东向断裂带、浦城—尤溪北北东向断裂带的影响明显.区域内深大断裂郑和—大浦断裂位于研究区的西部,是闽东火山岩构造的东西部分界线,该断裂长度大约四十多千米,呈压扭性,整体呈南宽北窄,北侧呈束状分布,向南侧逐渐变为呈雁列状.福安—南靖北北东向断裂带位于东洋地区的东部,浦城—尤溪北北东向断裂带贯穿于研究区西部(李霞,2013).东洋地区区内断裂具有多期次、规模不等的特点,多为张扭性和压扭性(图2).

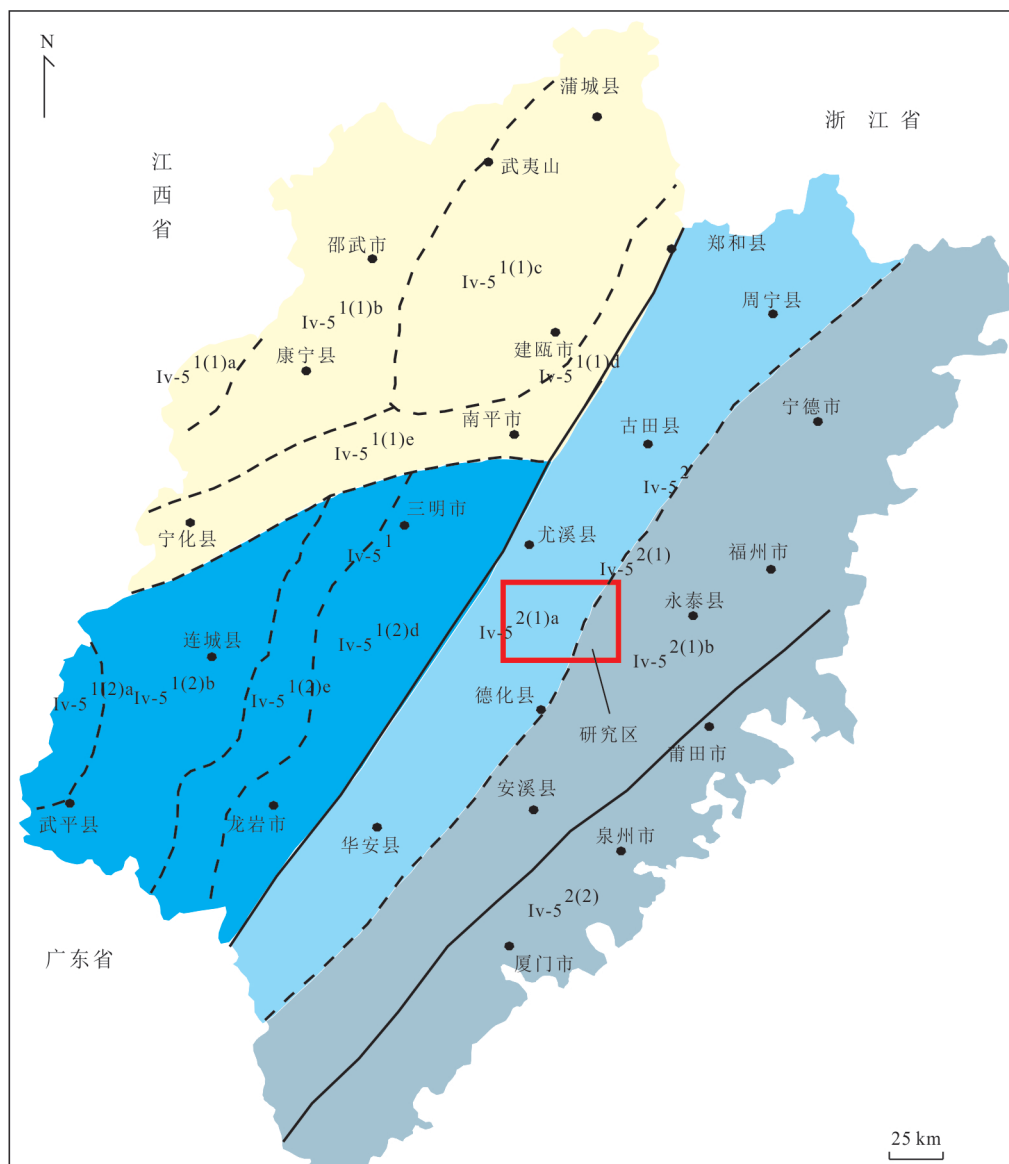


图1 福建省构造单元综合分区略图

Fig.1 Outline of comprehensive division of structural units in Fujian Province

IV. 一级构造; IV-5. 二级构造; IV-5². 三级构造; IV-5²⁽¹⁾. 四级构造; IV-5^{2(1)a}. 五级构造; 据《中国区域地质志·福建志》2016 版修改

2 区域地球物理特征

2.1 密度特征

依据福建省地质调查研究院完成和搜集的福建省 1:20 万和 1:50 万区域重力调查物性标本,对福建省地层密度进行了统计分析,统计结果显示:第四纪密度平均值为 1.81 g/cm^3 ,为全省密度最低的地层;新近纪地层(佛昙组)密度平均值为 2.82 g/cm^3 ,是省内高密度地层,在重力场上局部重力高;中生代地层密度值平均值为 2.61 g/cm^3 ,是省内中等密度值地层,当其外围为大面积低密度的酸性侵入岩时,有可能引起局部重力高,当其外围为前寒

武纪变质岩地层,或外围为高密度的中酸性—基性侵入岩时,也可能引起局部重力低;古生代地层密度平均值为 2.63 g/cm^3 ,是省内中高密度值地层,在其出露区域往往出现局部重力高;前寒武纪(晚元古代、中—晚元古代、早元古代、晚太古代)变质岩地层密度值大部分在 $2.64 \sim 2.72 \text{ g/cm}^3$ 之间,是省内高密度地层,基本上代表了省内变质岩基底地层的密度,所以,在前寒武纪变质岩地层出露地区亦往往引起局部重力异常高。

2.2 电阻率特征

为了了解东洋地区岩、矿石极化率和电阻率特性,在东洋地区邱村和肖板两个区块进行了岩石标

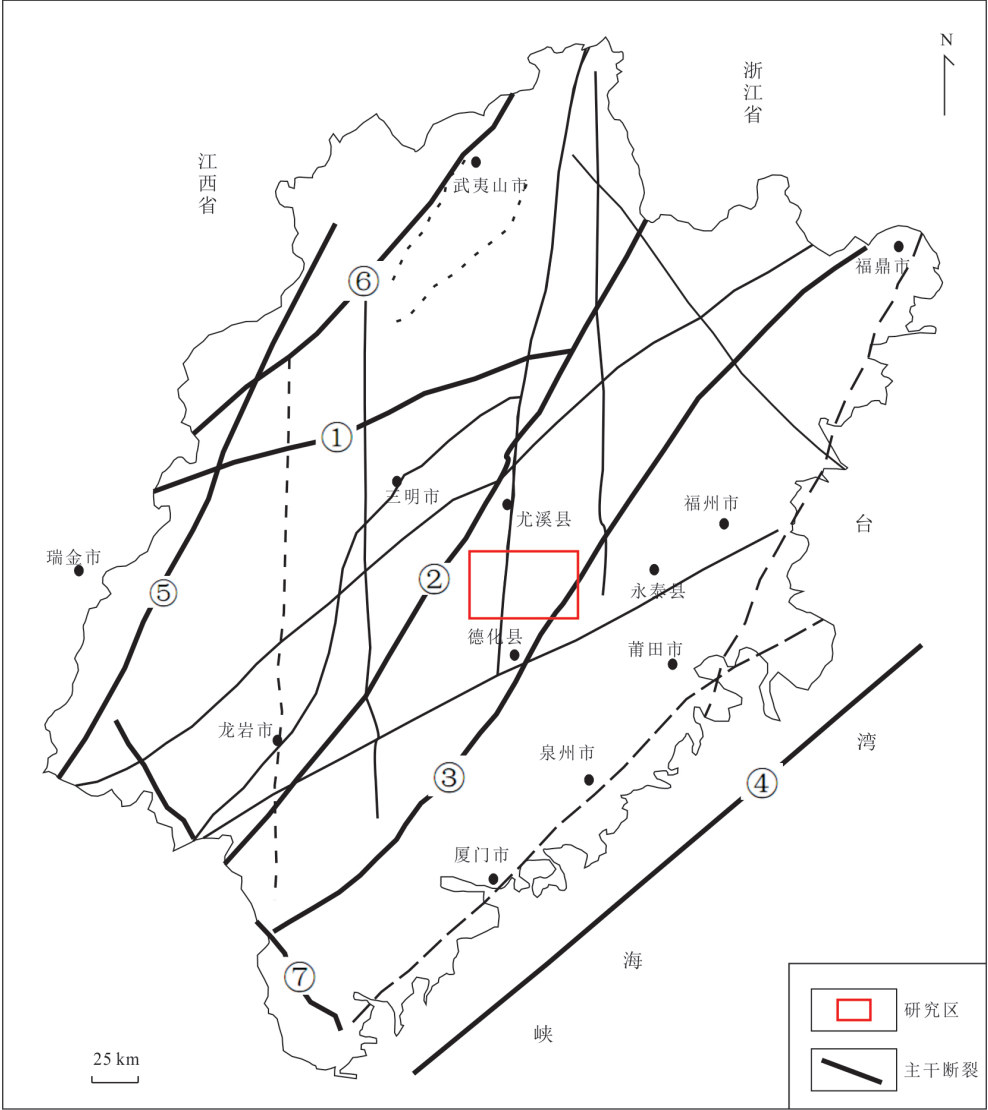


图2 福建省构造(断裂)带分布

Fig.2 The distribution of structural (fault) zones of Fujian Province

①为南平—宁化构造岩浆带；②为郑和—大浦断裂带；③为福安—南靖NNE向断裂带；④为滨海断裂带；⑤为光泽—武平NNE向断裂带；⑥为崇安—安远NE向断裂带；⑦为上杭—云霄NW向断裂带

本采集,室内采用对称四极法对岩、矿石标本进行了测定.两区块内岩、矿石电性参数见表1.

由表1可见,邱村区块内长林组含砾石英砂岩、长林组石英砂岩和南园组第2段晶屑熔结凝灰岩极化率较低,一般3.0%,电阻率也较低,一般1 000 Ω·m左右,而含金多金属矿化石英砂岩呈相对高极化率、高电阻率特征,极化率一般4.0%,电阻率一般2 000 Ω·m左右.推断本区高电阻高极化激电异常可指导寻找金矿;肖板区块内梨山组长石石英砂岩极化率较低,常见值为1.86%,电阻率也较低,常见值为983 Ω·m;大岭组黑云斜长变粒岩极化率较低,常见值为2.61%;电阻率较高,

常见值2 455 Ω·m;黄铁矿化斜长变粒岩呈相对高极化率、低电阻率特征,极化率常见值5.21%,电阻率常见值1 324 Ω·m.因本区黄铁矿化与金矿、铜矿化呈正相关,推断本区高极化激电异常可指导寻找金矿.

2.3 区域航磁特征

依据福建省航磁调查成果,分析认为福建东洋地区处在东部沿海磁场剧烈变化带和西部内陆磁场相对平缓带的过渡区域,处在屏南—尤溪磁场区域内,为寿宁—古田磁场亚区环卫漳平—华安磁场亚区的过渡带,区域航磁ΔT异常以北东向条带状异常带为主,局部有陈权—汤头、坂面—街面等磁

表 1 邱村区块岩、矿石电性参数统计					
Table 1 The statistical of electrical parameters of rocks and ores in Qiucun block					
岩矿石名称	测定块数	极化率 η (%)		电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	
		变化范围	常见值	变化范围	常见值
邱村区块					
长林组含砾石英砂岩	31	1.66~4.26	3.05	529~2 641	1 306
长林组石英砂岩	31	2.25~4.08	3.18	311~2 333	969
南园组第二段晶屑熔结凝灰岩	32	0.54~3.80	2.68	633~2 389	1 496
含金多金属矿化石英砂岩	29	3.80~4.49	4.15	1 954~2 364	2 149
肖板区块					
梨山组长石石英砂岩	31	1.19~3.76	1.86	408~3 954	983
大岭组黑云斜长变粒岩	31	1.42~3.87	2.61	810~3 810	2 455
黄铁矿化斜长变粒岩	9	3.96~6.75	5.21	302~3 204	1 324

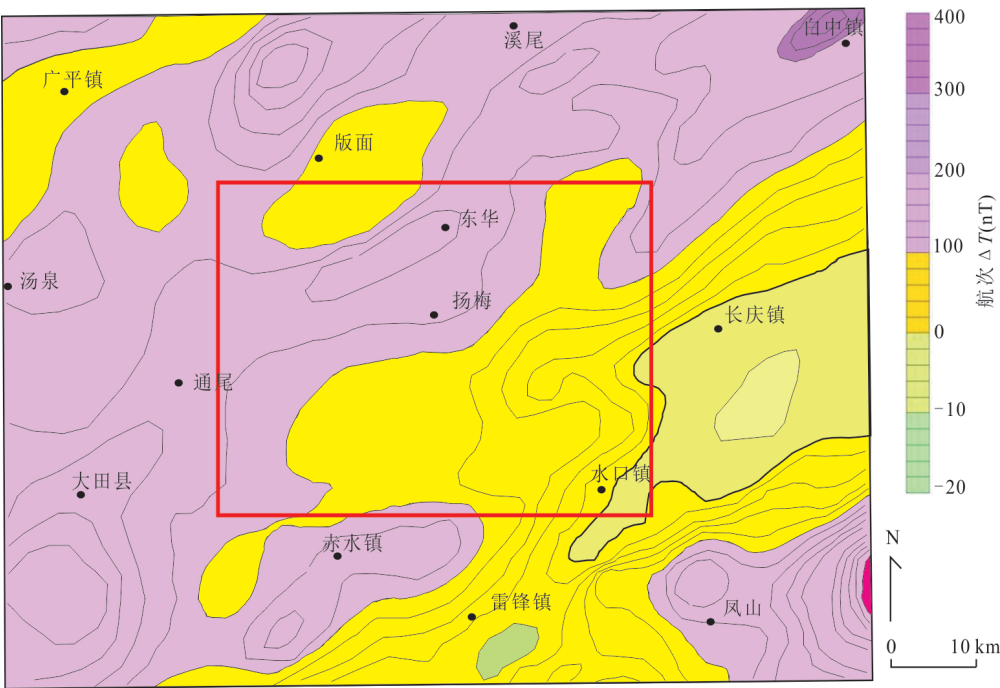


图 3 区域及外围航磁 ΔT 异常等值线平面图

Fig.3 The regional aeromagnetic ΔT anomaly contour map

红框表示研究区;据福建德化双旗山—东洋金矿整装勘查区矿产调查与找矿预测(2019)成果报告修改

场低以及陈权—戴云山、东华—永坑及等局部磁场高(图 3)。

3 区域重力场特征分析

3.1 区域重力数据处理

为了了解区域重力异常特征,对福建东洋地区及外围 1:20 万重力数据利用插值切割法计算了区域布格重力异常和剩余重力异常(韩彤,2019;赵文举等,2020),图 4 是福建东洋地区德化—永泰巨型环形火山构造剩余重力异常,图中红色的方框是研

究区范围, $L1$ 和 $L2$ 两条测线是在研究区布设的两条综合地球物理勘查剖面.依据区域布格重力异常发现,区域重力场从东往西分为 3 个区域,异常值东高西低.东部分区异常走向为北东—北北东向;中部区域异常走向为北东向,异常成带状展布,中部分区西边界具有显著的陡变带特征;西部分区无明显的走向特征,异常总体成块状分布.同时,布格重力异常图清晰地反映了巨型环形火山构造中环及外环构造特征,外环由若干弱重力异常高组成,中环表现为一规模较大的重力异常低为外环所包围,

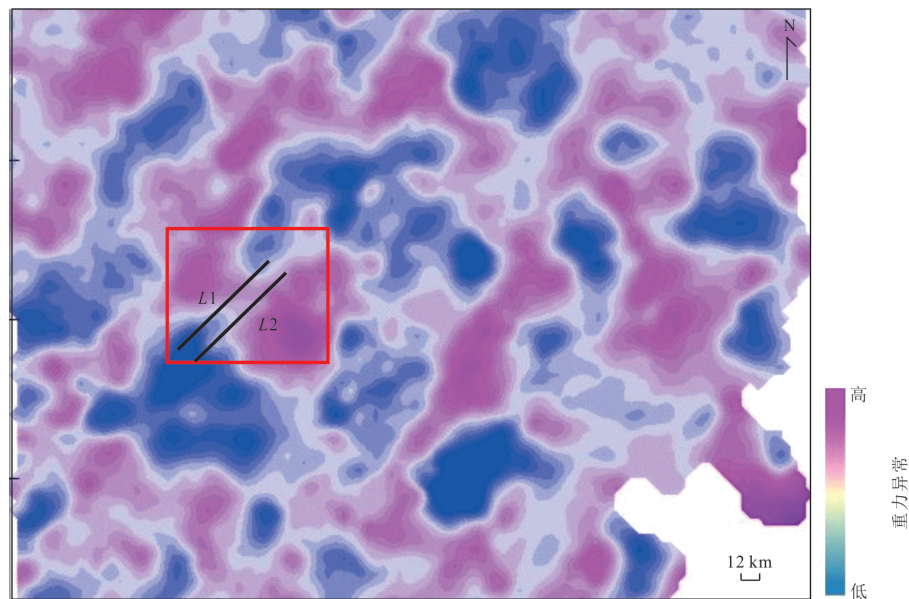


图 4 德化—永泰巨型环形火山构造剩余重力异常

Fig.4 The volcanic tectonic residual gravity anomaly of Dehua-Yongtai giant ring

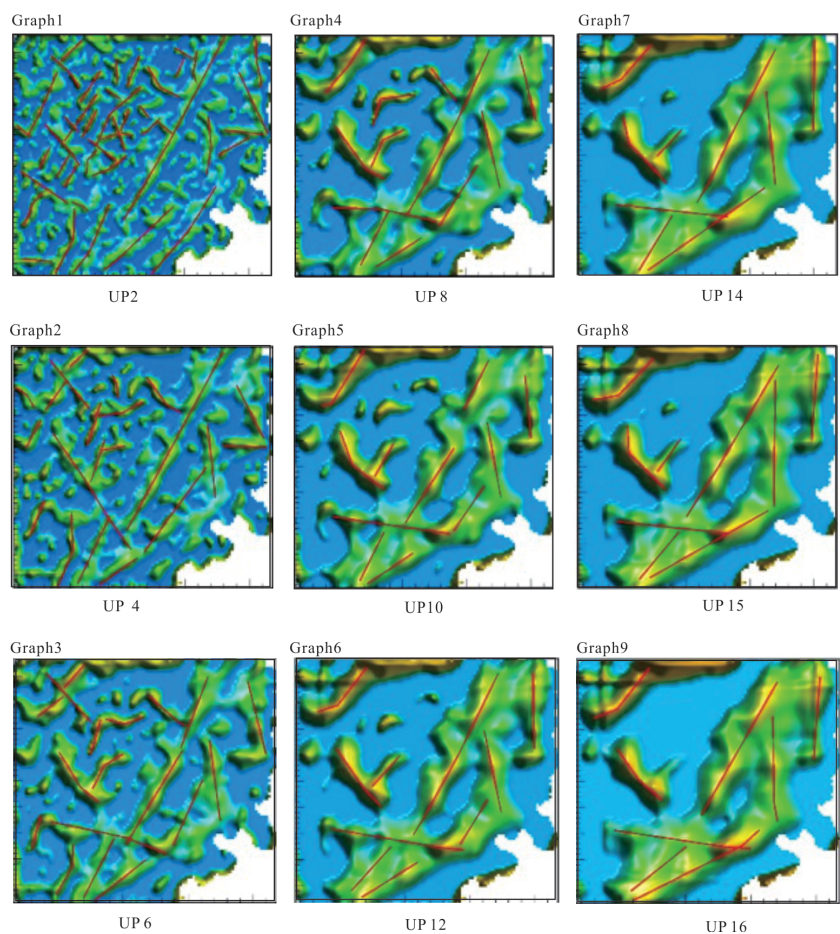


图 5 多尺度边界识别及推断线性构造图

Fig.5 The Multiscale boundary identification and deduce linear structure diagram

上延不同高度 Theta图垂向导数

中环与内环界限在布格重力异常图上较为模糊,推测可能与对应地质体物性差异较小有关.研究区主体位于巨型环形构造外环带西南部.

依据区域剩余重力异常图分析,研究区内分布 2 个剩余重力异常高值区,分别分布在肖板—双旗山区域和东洋—岭头坪区域.依据区域岩性分析可知,前燕山期构造层中的灰岩、变质岩具有相对高的密度值,可引起剩余重力异常高,推断肖板—双旗山剩余重力异常高由此引起.超基性岩、基性/中性—中酸性火山岩/侵入岩,一般也具有较高密度,可引起剩余重力异常高,但规模比变质岩小,推断东洋—岭头坪剩余重力异常高由此及前燕山期构造层中的灰岩、变质岩共同引起(张振宇等,2019).

3.2 位场边界识别

位场的边界信息识别方法可以分为数理统计、数值计算以及其他方法 3 大类.数理统计方法有小子域滤波、归一化标准差等;数值计算包括垂向导数(增强)、总水平导数、解析信号振幅、倾斜角(增强)、 θ 图(增强)、垂向二阶导数、倾斜角总水平导数等;其他方法有方向滤波法、图像增强技术、磁异常分量转换方法、特殊的边缘识别问题等.其中常用的数值计算类方法又分为边界识别和边界增强,垂向导数、倾斜角、 θ 图等比值类方法具有边界信息增强的能力(王万银等,2010;张壹等,2015).

本文对东洋地区及外围 1:20 万重力数据进行数值计算,通过对比分析认为利用 Theta 图垂向导数进行地质体边界信息的提取有较好的弱信息

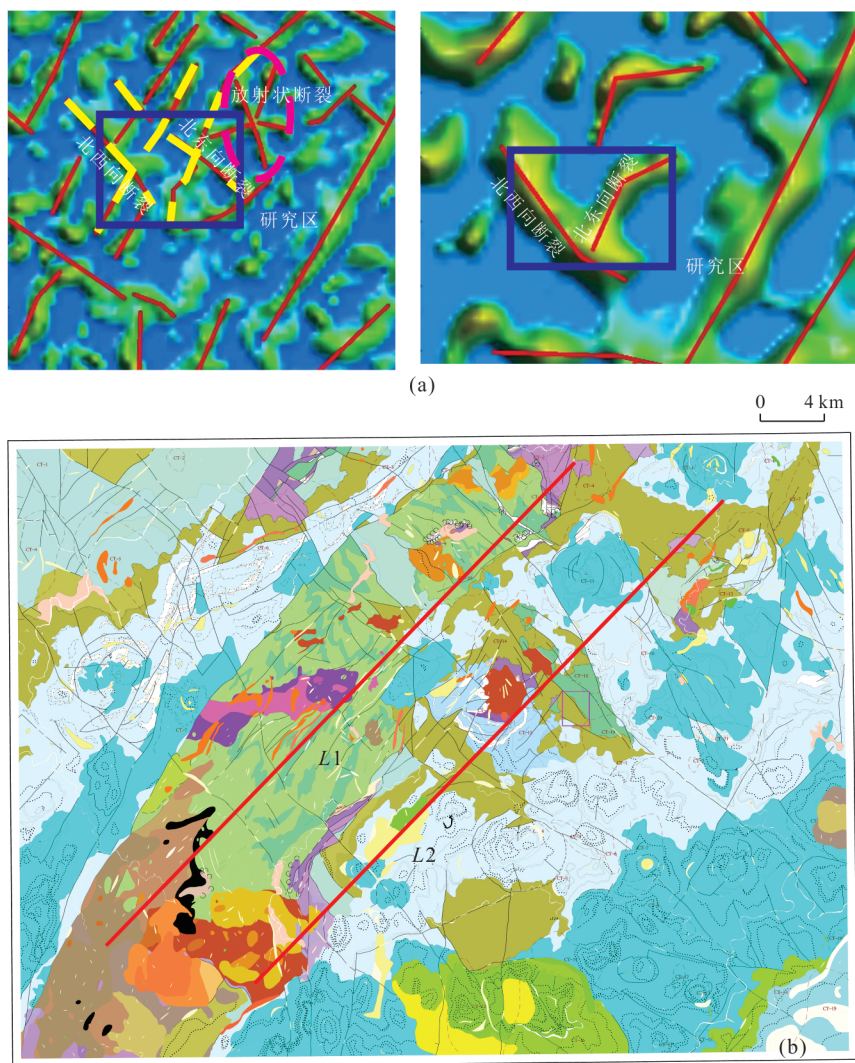


图 6 上延 2 km 后和上延 8 km 后的 Theta 图垂向导数与推断断裂和区域地球物理剖面位置

Fig.6 The Theta figure vertical derivative and inferred fracture of 2 km and 8 km and the location of geophysical profile in Dongyang area

增强的效果,通过对重力异常进行不同高度的延拓,并利用不同高度延拓后的数据进行不同高度的 Theta 图垂向导数计算,进行多尺度的边界检测,能有效地提取不同深度地质体的边界信息,从而进行岩体边界的圈定,断裂空间的展布刻画(图 5)。

通过多尺度的边界识别技术,在研究区分别识别出两组北东向和两组北西向断裂,在研究区东北角及外围识别出一组放射状断裂系(见图 6a 中黄色虚线),推断该区域可能发育一大型隐伏火山机构。随着延拓高度的增加,Theta 图垂向导数识别出的线性构造逐渐减弱,表现为深大断裂的信息增强显示,浅部断裂信息消失。

Theta 图垂向导数识别出的断裂和放射状断裂系在上延 2 km 后的 Theta 垂向导数图(图 6a)有清晰的显示。随着延拓高度的增加,两组北东向和两组北西向断裂(图 6a 中黄色虚线)仅保留北东向和北西向各一条断裂信息,且北西向断裂平面断裂投影向北东平移,北东向断裂向东南移动,显示了断裂倾向,而放射状断裂系逐渐消失(图 6a),显示了放射状断裂延伸空间有限,具有火山机构放射状断裂特征。研究区重力场多尺度边缘检测有效地揭示了研究区主要断裂的空间延伸特征。

4 区域综合地球物理场研究

4.1 区域综合地球物理场研究

为了研究东洋地区深部地质结构,在东洋地区完成了 2 条大地电磁测深和重力剖面(图 6b)。

大地电磁测深法(MT)野外观测采用张量测量方法(Groom and Bailey, 1989),观测天然电磁场的 4 个水平分量(E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y)和 1 个垂直分量(H_z)。野外观测坐标系取磁南北方向为 x 轴,垂直磁南北方向为 y 轴;MT 测站的布极方式为“十”型,电极距一般为 50 m,用皮尺量取距离,误差不超过 50 cm,在地形不平坦的地方,测站的布极方法采用“T”型或者“L”型(Bahr, 1988)。

重力剖面测量中测点采取 RTK(移动网络),无移动信号时采用快速静态观测模式,每点观测时间大于 10 min,在信号不好的点均延长了观测时间。重力仪观测采取单程循环观测,闭合时间均小于 12 h。重力测点观测的每个闭合段的零点位移值,均小于重力测点观测精度的 2.5 倍。

相位张量分解法是大地电磁测深法定性计算方法之一(Caldwell *et al.*, 2004)。图 7 是大地电磁测深剖

面相位张量二维偏离角和最小相位角的分布图,从图中可以,在周期小于 10 s 的频段内,两条剖面数据的二维偏离角均较小,表明两条剖面整体二维性较好。

剖面重力数据的网格化采用 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 网格距,运用克里金法完成网格化,采用窗口滑动平均法求取区域背景场。通过对剖面数据进行高度改正、近中区地形改正、中间层改正,获取了布格重力异常。同时利用剖面布格重力异常减去区域重力数据求取的区域场,获取了剖面剩余重力异常。图 8 是两条实测重力剖面数据与区域 1:20 剩余异常曲线图,从图上可以看出,实测重力剖面数据与 1:20 万区域重力剩余异常曲线形态一致,几乎可以完全重合,且重力剖面数据局部细节信息反映更好。

4.2 区域深部地质结构推断

依据对大地电磁测深数据定性分析可知,大地电磁测深剖面在周期小于 10 s 的频段内主要表现为二维特征,文中采用非线性共轭梯度法对大地电磁测深曲线进行了二维反演。

非线性共轭梯度法(NLCG)(张昆, 2012)是目前常用的一种大地电磁测深二维反演方法,该方法计算速度快,占用内存少,允许多种模式反演且计算稳定,适合于大规模的地球物理反演问题,本文大地电磁测深剖面二维反演采用的该方法。

为了得到较可靠的反演结果,笔者尝试了 $1\ 000\ \Omega \cdot \text{m}$ 、 $100\ \Omega \cdot \text{m}$ 和 $10\ \Omega \cdot \text{m}$ 的均匀半空间模型,TE 模式、TM 模式和 TE 与 TM 联合模式,并且尝试了不同的反演参数(包括正则化因子和反演误差限的设置),对区域大地电磁测深剖面数据进行了多次二维反演解释。通过与区域地球物理、地质资料对比分析,最终选择了以 $100\ \Omega \cdot \text{m}$ 的均匀半空间为初始模型,初始网格选择在横向上两测点之间保证至少有一个空白网格,正则化因子为 3,视电阻率反演误差限为 10%,阻抗相位反演误差限为 5%,采用 TE+TM 联合模式进行反演计算。

为了进一步研究地下岩体的分布,对区域重力数据进行了三维重力梯度相关成像。三维重力梯度数据相关成像可以显示出异常地质体的空间赋存状态、等效剩余质量分布,具有良好的纵向和横向分辨率,可实现大数据量位场数据三维快速成像,能够对重磁场源的水平分布、边界轮廓等形态特征进行某种程度的刻画,成像结果表征地下异常地质体的空间赋存状态和等效密度分布。

基于熵滤波的三维成像是把三维成像和熵滤波

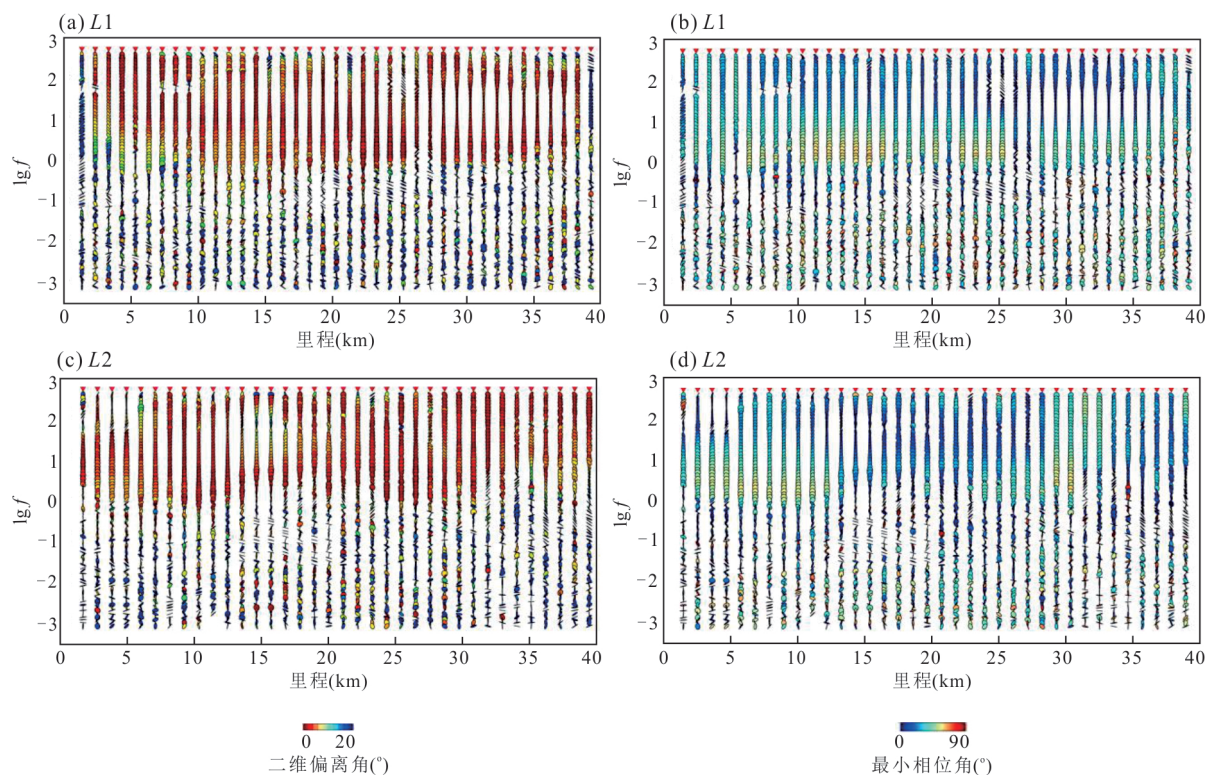


图7 剖面相位张量二维偏离角及短轴最小相位

Fig.7 Two dimensional deviation angle of profile phase tensor and minimum phase of minor axis

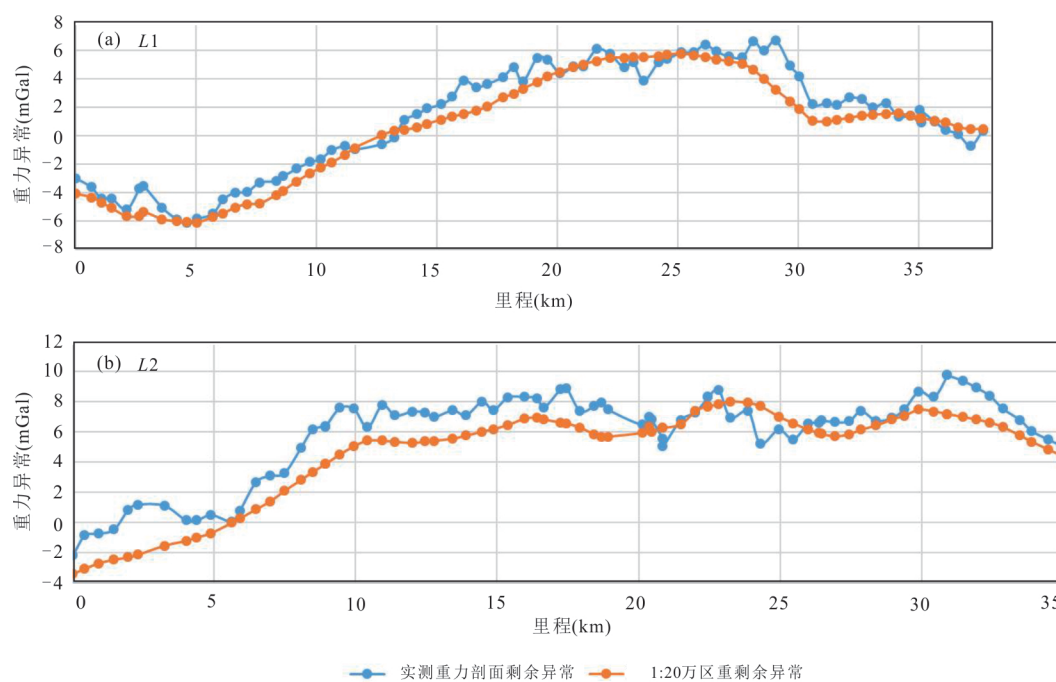


图8 L1和L2线实测重力剖面与1:20万区重剩余异常曲线对比

Fig.8 Comparison of measured gravity profile with gravity residual anomaly curve of 1:200 000 area of L1 and L2 lines

异常分离结合在一起,其原理主要是随着研究深度由浅部到深部,滑动窗口也逐渐变大,对异常完成不

同窗口的熵滤波,最终针对不同深度分离出的剩余异常进行三维相关成像.目前,相比其他异常分离三

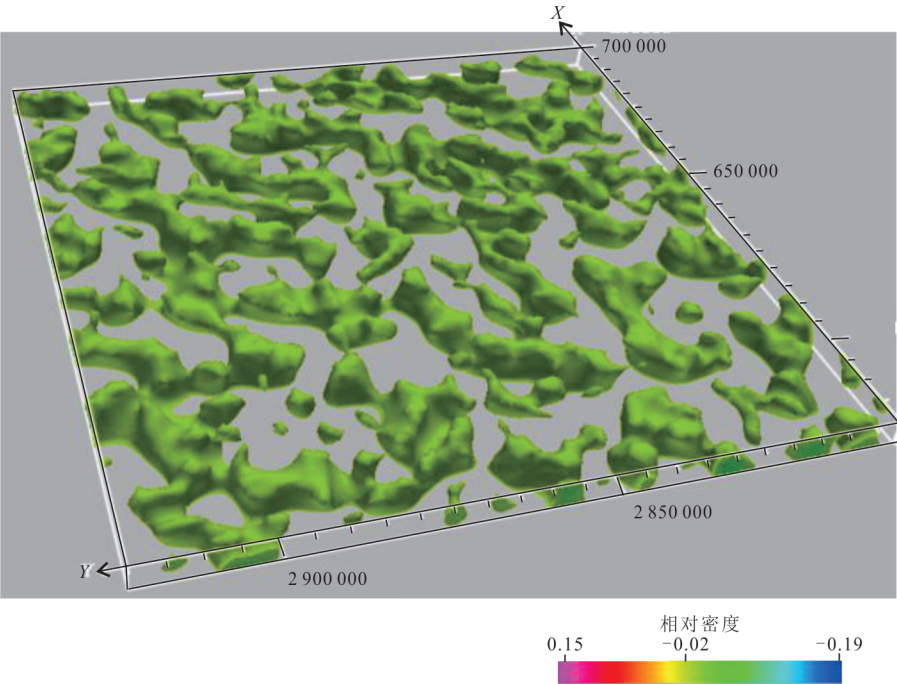


图9 研究区地下等效低密度体三维空间分布

Fig.9 The three dimensional spatial distribution of equivalent low density body of the study area

维成像方法,熵滤波法具有较高的成像精度,成像效果较好.本文对研究区区域重力数据进行了熵滤波法三维重力梯度相关成像,通过重力梯度相关成像计算了研究区地下等效低密度体分布(图9).

图10是两条地球物理查剖面综合解释图,依据重力异常曲线可知:L1线重力剖面上110~190号点的重力异常值从-60 mGal升高到-50 mGal,为重力异常梯级带,L2线重力剖面上70~100号点的重力异常值从-60 mGal升高到-50 mGal,为重力异常梯级带.两剖面大地电磁测深剖面均表现南低北高,且北部局部发育较厚低阻层.在L1线14号点与L2线的6号点处均发育断裂,断裂的两侧具有相同的地球物理场特征,倾向均为西南向,推断为同一条北西向断裂;在L1线的32号点与L2线的26号点处发育断裂,断裂的两侧具有相同的地球物理场特征,倾向均为北东向,推断为同一条北西向断裂,两条断裂在地表上均有显示.对比发现,推断的两条断裂与区域重力数据边缘检测识别出的断裂位置和展布形态相一致.在L1线的24号点和27号点处发育的断裂两侧均为高阻,L2线的15号点处发育的断裂两侧南低北高,3条断裂空间展布有待进一步查证.

重力异常三维密度相关成像获取的等效密度体体积效应明显,可以对不同密度体(不同岩性侵入体、地层)大致反映其分布,但很难识别层状地层的

密度特征;MT反演的二维电阻率断面对侵入体有很清晰的识别效果,对近地表地层底界也有较好的识别能力,但对深部地层识别效果相对较差,基于以上原因,利用上述2种方法技术,研究分析了东洋地区综合地球物理勘查剖面中侵入岩体的分布,划分了岩性,并对出露地表的地层底界进行了分析.

对比两测线综合剖面图,L1线三维等效密度体切片显示密度体为低—高—低排列,L2线三维等效密度体切片显示密度体为低—高—低—高—低—高相间排列,大地电磁测深剖面均整体表现为南低北高,且北部局部发育较厚低阻层.大地电磁测深剖面特征与剖面重力场和三维等效密度体切片特征对应很好,剖面剩余低重力异常段均对应了低阻异常,结合地表出露的地质体,推断研究区重力异常低为中生代沉积地层和各时期酸性岩浆岩的反映,剖面中部重力异常高对应电阻率高,地表出露了中生代地层,局部有闪长岩类侵入体出露,推断重力异常高与大规模高密度高阻的闪长岩类侵入体发育有关.结合区域地表出露情况,推断两剖面南段浅部高阻为一套推覆无根的变质岩系,深部低阻为一套中生代沉积岩;两剖面北段浅部低阻主要为中生代沉积岩夹薄层火山岩组成,深部高阻为下古生代和元古界基底岩系共同反映,剖面中部主要发育火山岩.

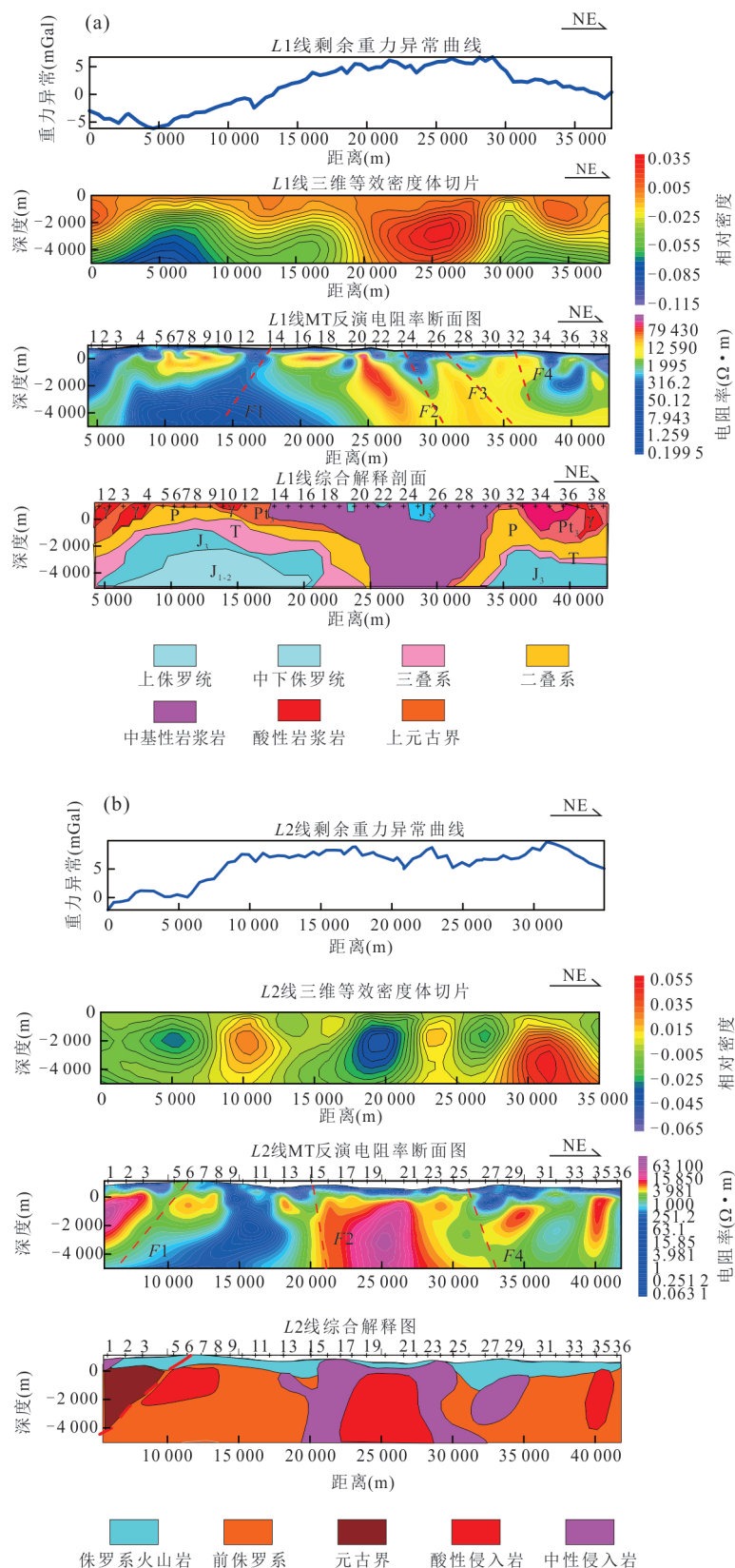


图 10 L1(a)和L2(b)线综合剖面图

Fig.10 The comprehensive section of line L1 (a) and L2 (b)

5 结论

东洋地区地处福建省金矿成矿带,区域成矿地质条件优越,成矿远景区丰富.本文通过在东洋地区开展综合地球物理勘查,结合区域及外围重力资料,对东洋地区地球物理场特征进行了分析.在区域尺度上,东洋地区整体位于西部布格重力异常低背景区内,航磁 ΔT 异常以北东向条带状异常带为主,研究区内分布有2个明显的重力异常高,推断为肖板—双旗山重力异常高和东洋—岭头坪重力异常高.区域断裂构造发育,利用Theta图垂向导数对区域重力数据进行不同高度的延拓,识别出的区域断裂和反射性断裂系(推断为隐伏火山机构)主要以北东、北北东、北西、北北西为主,随着上延高度的增加,断裂构造特征逐渐减弱,断裂倾向表现为北东向和东南向.依据区域综合地球物理剖面研究,结合区域地质情况,推断综合剖面中部是火山岩主要发育的区域,两端浅部主要发育侏罗系火山岩和沉积地层,深部主要发育梨山组地层.本文的研究填补了东洋地区地球物理深部勘查的空白,同时研究区地球物理场特征为区域分区、断裂构造推断、侵入岩圈定提供依据,结合区域内成矿地质条件及现有矿床(点)成矿类型,可圈定区域成矿远景区,为东洋地区深部找矿取得突破提供理论依据.

References

- Bahr, K., 1988. Interpretation of the Magnetotelluric Impedance Tensor Regional Induction and Local Telluric Distortion. *Geophysical Research*, 62: 119—127.
- Caldwell, T. G., Bibby, H. M., Brown, C., 2004. The Magnetotelluric Phase Tensor. *Geophysical Journal International*, 158(2): 457—469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02281.x>
- Gao, Y.G., 2007. Metallogenic Regularity and Resource Potential Evaluation of Pb-Zn-Cu Polymetallic Deposits in Central Fujian(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing(in Chinese with English abstract).
- Groom, R. W., Bailey, R. C., 1989. Decomposition of Magnetotelluric Impedance Tensors in the Presence of Local Three-Dimensional Galvanic Distortion. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 94(B2): 1913—1925. <https://doi.org/10.1029/jb094ib02p01913>
- Han, T., 2019. Comparative Study of Potential Field Separation Methods in Spatial Domain (Dissertation). Chang'an University, Xi'an(in Chinese with English abstract).
- Huang, G. Y., 2009. Explore and Analyse the Cause of the Volcanic Struction of Fujian Dehua-Yongtai Huge Ring Volcanic Structure. *Geology of Fujian*, 28(4): 281—288 (in Chinese with English abstract).
- Li, G.K., 1982. The Relationship between the Basic Framework of Fujian Geotectonics and the Distribution of Metal Mineral Resources. *Regional Geology of China*, 1(1): 55—65(in Chinese with English abstract).
- Li, X., 2013. Subdivision and Characteristic of Tectonic Units in Fujian Province. *Global Geology*, 32(3): 549—557(in Chinese with English abstract).
- Liu, Q. S., 2018. Geological Characteristics and Genesis of Gold Silver Deposits in the Middle Part of the Daiyun Mountain Range in Central Fujian Province. *World Nonferrous Metals*, (13): 126—127(in Chinese with English abstract).
- Mao, G.W., Tan, Y.S., He, D.H., et al., 2017. Discussion on Mineralization Type and Prospecting Direction of Jinban Ore Section in Taihuashan Gold Deposit Area, Central Fujian. *Deposit Geology*, 36(3): 736—748(in Chinese with English abstract).
- Wang, J.F., 2016. Preliminary Opinions on the Characteristics of Geological Structure and Metallogenic Relationship of Magmatic Activity in Fujian Province. *Jiangxi Building Materials*, (12):236(in Chinese).
- Wang, W.Y., Qiu, Z.Y., Yang, Y., et al., 2010. Some Advances in the Edge Recognition of the Potential Field. *Progress in Geophysics*, 25(1): 196—210(in Chinese with English abstract).
- Wei, D.G., Jie, Y.J., Huang, T.G., 1997. Regional Geological Structure of Fujian. *Regional Geology of China*, 16(2): 51—59(in Chinese with English abstract).
- Xu, N., 2017. Metallogenic System and Genesis of Dongyang Gold Deposit in Fujian Province(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing(in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. X., Chen, H., 2015. Prospecting Progress and Metallogenic Characteristics of Gold Deposits in Dehua Area, Fujian Province. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1):1055(in Chinese with English abstract).
- Zhang, K., 2009. Two Dimensional Inversion of Nonlinear Conjugate Gradient of Seafloor Magnetotelluric Field (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Zhang, S.X., Liang, Q., et al., 2015. Application of Gravity and Magnetic Boundary Recognition Method in 3D Geological Mapping of West Junggar Ar-

- ea. *Earth Science*, 40(3):431—440(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z.Y., Wang, S.M., Zhu, W., et al., 2019. Geophysical Field Characteristics of Langshan Metallogenic Belt in Inner Mongolia. *Earth Science*, 44(9):3147—3156(in Chinese with English abstract).
- Zhao, W.J., Zhao, L., Yang, Z.J., et al., 2020. The Improvement of the Interpolation Cutting Potential Field Separation Method and Its Application to Data Processing. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 44(4): 886—893(in Chinese with English abstract).
- Zhou, W.Y., 1996. Geological Characteristics, Ore-Forming Conditions and Regular Pattern of Gold Ores in Youxi, Dehua and Yongtai Areas of Middle Fujian. *Geology of Fujian*, 15(4): 199—208(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 高延光, 2007. 闽中地区铅锌铜多金属矿成矿规律及资源潜力评价(博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 韩彤, 2019. 空间域位场分离方法对比研究(硕士学位论文). 西安: 长安大学.
- 黄刚毅, 2009. 福建德化—永泰巨型环状火山构造成因探析. *福建地质*, 28(4): 281—288.
- 李根坤, 1982. 福建大地构造的基本格架与金属矿产分布的关系. *中国区域地质*, 1(1): 55—65.
- 李霞, 2013. 福建省大地构造单元划分及基本特征. *世界地质*, 32(3): 549—557.
- 刘钦生, 2018. 闽中戴云山脉中段金银矿床地质特征及矿床成因. *世界有色金属*, (13): 126—127.
- 毛光武, 谭元松, 何东辉, 等, 2017. 闽中太华山金矿区金坂矿段矿化类型及找矿方向探讨. *矿床地质*, 36(3): 736—748.
- 王建芳, 2016. 对福建地质构造特征以及岩浆活动的成矿关系的初步意见. *江西建材*, (12): 236.
- 王万银, 邱之云, 杨永, 等, 2010. 位场边缘识别方法研究进展. *地球物理学进展*, 25(1): 196—210.
- 韦德光, 揭育金, 黄廷淦, 1997. 福建省区域地质构造特征. *中国区域地质*, 16(2): 51—59.
- 徐楠, 2017. 福建东洋金矿成矿系统及其成因研究(博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 袁慧香, 陈辉, 2015. 福建德化地区找矿进展及金矿成矿特征. *矿物学报*, 35(增刊1): 1055.
- 张昆, 2012. 海底大地电磁场非线性共轭梯度二维反演(硕士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 张壹, 张双喜, 梁青, 等, 2015. 重磁边界识别方法在西准噶尔地区三维地质填图中的应用. *地球科学*, 40(3): 431—440.
- 张振宇, 王书民, 朱威, 等, 2019. 内蒙狼山成矿带地球物理场特征. *地球科学*, 44(9): 3147—3156.
- 赵文举, 赵荔, 杨战军, 等, 2020. 插值切割位场分离方法改进及其在资料处理中的应用. *物探与化探*, 44(4): 886893.
- 周维瑀, 1996. 闽中尤溪—德化—永泰地区金矿地质特征、成矿条件及成矿规律. *福建地质*, 15(4): 199—208.