

高精度重力在花岗岩型锂矿快速选区中的应用研究

王子鹏^{1,2}, 罗润林^{1*}, 余越星², 尧玉燕²

¹桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

²江西省地质局第五地质大队地球物理勘察院, 江西 新余

收稿日期: 2025年2月26日; 录用日期: 2025年4月2日; 发布日期: 2025年4月14日

摘要

江西省花岗岩型锂矿资源量大, 易于开采, 综合利用潜力大。但其家底尚未摸清, 因此, 有必要对花岗岩型锂矿快速选区展开研究, 以指导勘探部署。重力勘探是一种以密度差异为基础的地球物理勘探方法, 由于其具有高效、经济等优点, 在矿床、油气等靶区选区中得到了广泛地应用。为此, 文章在江西省宜春市超大型锂矿田的宜丰圳口里-奉新枧下窝矿区开展重力快速选区研究。在大比例尺重力规范的基础上完成研究区域1:2万重力数据采集与处理, 获得了布格重力异常, 并且进行延拓、求导和局部异常分离等处理。结合密度测量结果, 重力异常与实际勘探结果对比表明, 重力异常与研究区的含矿母岩(白水洞岩体)高度吻合, 岩体边界可以大致通过垂向二阶导数的0值范围确定。因此, 高精度重力勘探在花岗岩型锂矿快速选区中具有很好的效果, 具有良好的应用前景。

关键词

重力勘探, 锂矿, 江西宜丰, 花岗岩

Research on the Application of High-Precision Gravity in Rapid Selection of Granite-Type Lithium Deposits

Zipeng Wang^{1,2}, Runlin Luo^{1*}, Yuxing Yu², Yuyan Yao²

¹College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²The Fifth Geological Brigade of Jiangxi Provincial Bureau of Geology, Xinyu Jiangxi

Received: Feb. 26th, 2025; accepted: Apr. 2nd, 2025; published: Apr. 14th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王子鹏, 罗润林, 余越星, 尧玉燕. 高精度重力在花岗岩型锂矿快速选区中的应用研究[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(4): 360-369. DOI: 10.12677/ag.2025.154037

Abstract

Jiangxi Province has abundant resources of granite-type lithium deposits, which are easy to mine and have significant potential for comprehensive utilization. However, the full extent of these resources has not yet been fully assessed. Therefore, it is necessary to conduct rapid prospecting studies for granite-type lithium deposits to guide exploration efforts. Gravity exploration is a geophysical prospecting method based on density contrasts. Due to its advantages of efficiency and cost-effectiveness, it has been widely applied in target area selection for mineral deposits, oil, gas, and other resources. To this end, this study conducts rapid gravity prospecting in the Zhenkouli of Yifeng-Jianxiawo of Fengxin mining area within the large-scale lithium deposit field in Yichun, Jiangxi Province. Based on large-scale gravity survey standards, gravity data acquisition and processing at a scale of 1:20,000 were completed for the study area. The Bouguer gravity anomalies were obtained and processed through extension, derivation, and local anomaly separation techniques. By combining density measurement results, a comparison between gravity anomalies and actual exploration outcomes indicates that the gravity anomalies closely align with the ore-bearing bedrock ($\eta\gamma mK_1^{3-zx}$) in the study area. The boundaries of the intrusion can be roughly determined through the zero-value range of the vertical second derivative. Therefore, high-precision gravity exploration proves to be highly effective for rapid prospecting of granite-type lithium deposits and holds great promise for future applications.

Keywords

Gravity Exploration, Lithium Ore, Yifeng, Jiangxi, Granite

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着新能源技术的快速发展，锂资源作为锂电池的原材料、同时也被应用到药物领域和军事航天领域，被誉为“21 世纪的能源金属”和战略性关键矿产[1]，其需求日益增长。我国锂矿资源主要集中在青海、西藏、四川、江西和新疆等省(区)。花岗岩型锂矿主要分布在江西，以宜春 414 钽铌锂矿闻名世界，具有资源量巨大，易于开采，伴生有益组分多，综合利用潜力大。然而，目前为止，江西省花岗岩型锂矿资源家底仍然尚未摸清，因此，有必要对花岗岩型锂矿快速选区技术展开研究，以指导勘查部署，开展资源潜力预测评价，尽快摸清锂矿资源家底，为江西省锂矿产业发展提供资源保障和对策建议。

部分地质工作者等对江西省锂矿资源分布特征进行了总结，陈祺等[2]总结了寻找锂矿床四大找矿标志，刘爽等[3]根据典型矿床特征构建四位一体的成矿模式指导找矿，高强[4]认为已查明的锂矿的矿床类型与花岗岩型锂矿有关；刘丛[5]，李仁泽[6]等对宜春县锂矿床从地质的角度对矿床成因作了具体的分析；楼法生等[7]对低品位超大型花岗岩锂矿地质特征展开了分析；曾晓建[8]从地球化学的角度分析宜春地区瓷石矿(含锂)的成因；代晶晶等[9]通过高分遥感对江西宜春 414 矿山进行对比分析研究。上述研究者多是从地质、地球化学、遥感等方向展开对锂矿的研究，缺少地球物理方向的研究。

重力勘探是传统的地球物理勘探方法之一，对矿产勘查效果明显[10][11]。梁红波等[12]通过高精度重力对石平川钨矿展开测量，揭示了石平川岩体的深部隐伏形态特征，为找矿指明了方向；庞满莹等[13]通过重力方法对钨多金属矿进行研究，并取得了较好的实践效果；Han 等[14]通过高精度重力对隐伏倾斜

高密度的矿体进行研究，解决了矿体的埋深问题；郭金运[15]通过重力迭代延拓方法，反演出南海海底地形。上述结果都表明重力方法可以适用于金属矿产勘探。而江西花岗岩型超大型锂矿与围岩相比，其密度往往比围岩高，这是使用重力勘探的前提条件。

为此，本文将在江西省宜春市已探明超大型锂矿资源的基础上，使用高精度重力技术对快速选区展开研究。

2. 矿区地质概况

矿区位于宜丰圳口里 - 奉新枧下窝一带，地处扬子陆块 - 下扬子地块内的三级构造单元江南隆起带九岭逆冲隆起的南缘[16]。区内发育有北东、北北东及北西向的三组大型断裂，这些断裂为燕山期岩浆侵入提供通道，特别是第二、第三阶段的侵入花岗岩，为成岩成矿提供充足的物源、热源和场所[17]。矿区所在地层发育不齐全，主要发育新元古代双桥山群安乐林组 and 少量第四系联圩组。新元古代下部主要是灰色 - 浅绿色白云母片岩，石英二云母片岩、二云石英片岩；上部主要为绿泥石绢云母化石榴二云片岩、皱纹状石榴石二云片岩和绿泥二云石英片岩、二云母片岩互层，夹千枚状变石榴二云沉凝灰岩。受构造影响均已形成片岩，与宜丰岩组呈断层接触关系，厚度大于 1120 m。第四纪主要是浅黄色砂砾石层、砾石层，上部浅黄色、灰黄色亚粘土、亚砂土层，厚度大于 2 m。矿区岩浆活动强烈，出露有白垩纪早世古阳寨岩体和白垩纪早世白水洞岩体[18]，如图 1 所示。

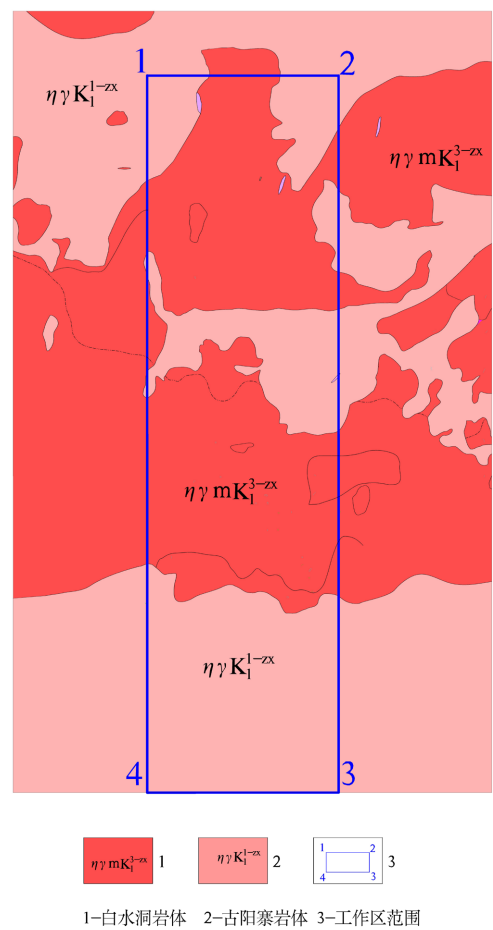


Figure 1. Lithology distribution map of the mining area
图 1. 矿区岩性分布图

古阳寨岩体主要以中细粒二云母二长花岗岩为主，占矿区岩浆岩面积的 67.24%，是主要的围岩。白水洞岩体主要为中细粒似斑状白云母二长花岗岩和中细粒白云母花岗岩，该岩体为矿区内含锂矿的赋矿母岩。

3. 地球物理特征及二维重力模拟

3.1. 物性特征

在圳口里和枫下窝等地方收集到的四组岩石样本，总计 130 块，测量结果如表 1 所示。从表中可以看出，矿区内围岩(二云母二长花岗岩)密度为 2.630 g/cm³，含矿母岩(围岩外的岩体)密度在 2.642~2.648 g/cm³，平均 2.645 g/cm³，含矿母岩与围岩密度相差 0.015 g/cm³。

Table 1. Physical property measurement results table
表 1. 物性测量结果表

岩性	数量	密度(g/cm ³)
		均值
白云母花岗岩	34	2.648
白云母二长花岗岩	33	2.642
似斑状白云母二长花岗岩	32	2.646
二云母二长花岗岩	31	2.630

3.2. 理论模型的异常特征

计算重力异常通常先根据万有引力公式计算由异常体剩余密度在观测点处产生的引力位，然后计算该引力位在 z 方向上的一阶导数，即为异常体在观测点处的重力异常[19][20]。通过对重力异常特征进行分析和研究便可以推断出目标体的空间位置和分布。

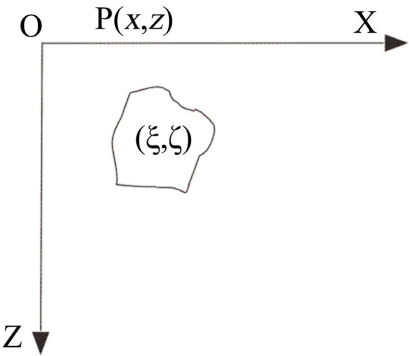


Figure 2. Schematic diagram of abnormal body model
图 2. 异常体模型示意图

如图 2 是在平面直角坐标系下的异常体模型图，O 是直角坐标原点，Z 轴向下正，假设某异常体的密度和围岩的密度之间的差值为 σ ，即剩余密度为 σ ，剩余密度单位为 g/cm³，异常体的面积为 s ， (ξ, ζ) 为异常体中任意一点的坐标，则该异常体在观测点产生的引力位可以表示为：

$$V(x, z) = G \iint_s \frac{\sigma}{r} d\xi d\zeta \tag{1}$$

其中 $V(x, z)$ 代表引力位, G 为万有引力常量, 大小为 $5.57 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, r 表示异常体中的任意一点 (ξ, ζ) 到观测点 $P(x, z)$ 之间的距离, 具体表式为:

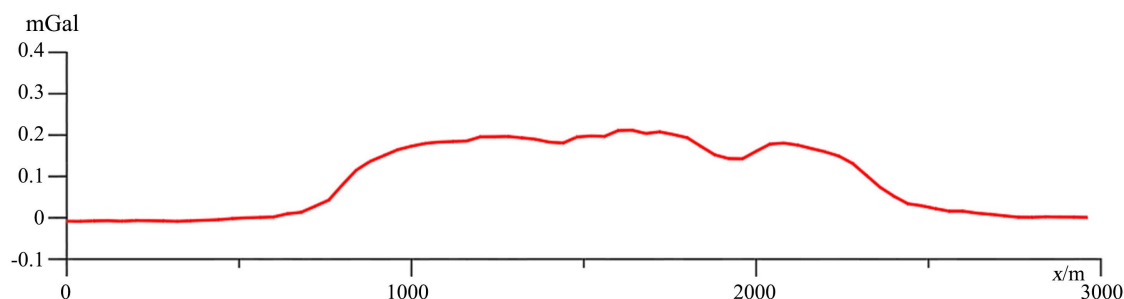
$$r = \sqrt{(x - \xi)^2 + (z - \zeta)^2} \quad (2)$$

对引力位(1)在 z 方向上求一阶导即可获得重力异常 Δg 的表达式:

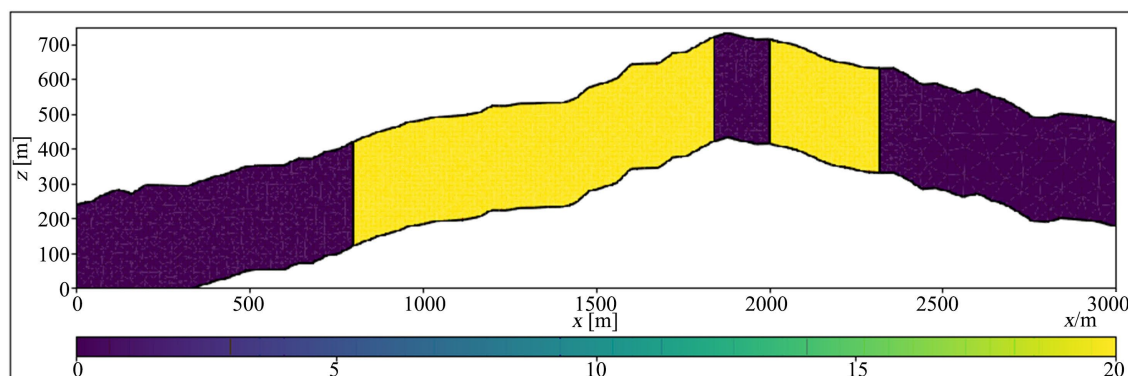
$$\Delta g = \frac{\partial V}{\partial z} = G \iint_s \frac{\sigma(z - \zeta) d\xi d\zeta}{[(x - \xi)^2 + (z - \zeta)^2]^{3/2}} \quad (3)$$

根据现有的地质资料即测区内主要岩矿石的密度差异, 对 16 线(见图 4)建立密度模型(图 3(b)), 模型中含矿母岩的剩余密度为 20 kg/m^3 , 围岩的剩余密度为 0, 模型深度为 300 m。利用有限元法对该模型的重力响应进行计算, 计算结果如图 3(a)所示。

从图 3 中可以看出, 剩余密度在地面上能产生较弱的重力高异常, 异常极值约为 0.2 mGal 。虽然目标岩体密度与围岩相差较小, 但由于目标岩体分布较为广泛, 体量大, 依然可以产生可以识别的重力异常。



(a) 16线模拟重力异常剖面图



(b) 16线密度结构简化模型

Figure 3. Simulated gravity anomaly on Line 16, Zhenkouli-Jianxiawo Line

图 3. 圳口里 - 枳下窝 16 线模拟重力异常

4. 重力资料分析

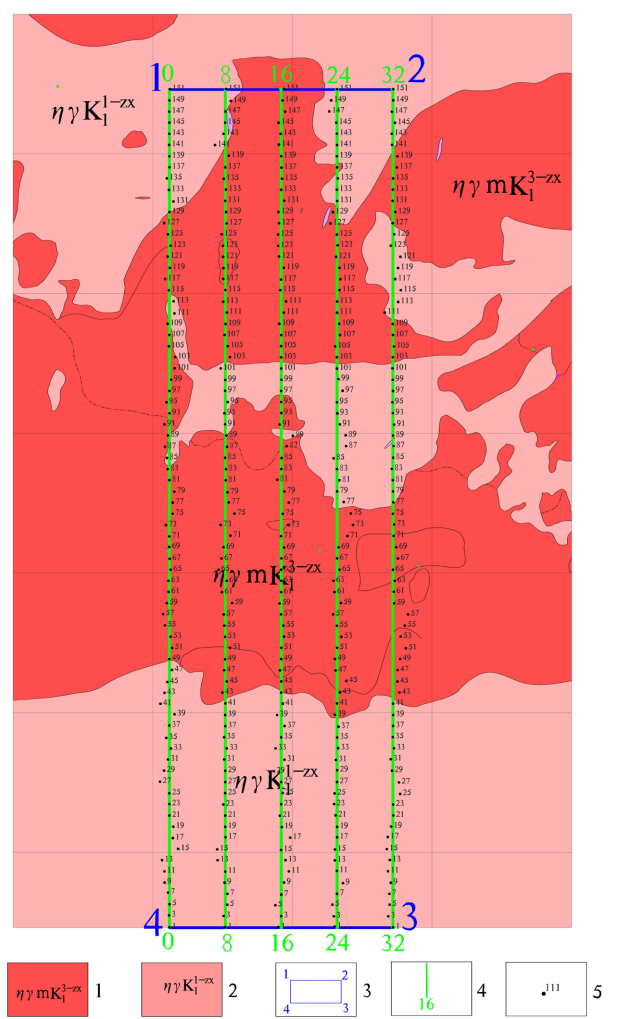
4.1. 数据采集与质量评价

本次野外使用美国生产的 CG-5 型重力仪进行数据采集工作, 完成了 5 条(分别为 0、8、16、24 和 32

线)重力剖面测量工作,如图 4 所示,每条剖面长度为 3 km,线距 200 m,点距 40 m,剖面总长度为 15 km,随后对野外重力观测数据进行布格校正、地形校正和正常场校正,最终本次重力测量总精度为 0.06 mGal,满足 III 精度(表 2)。

Table 2. Gravity accuracy statistics table (mGal)
表 2. 重力精度统计表(mGal)

观测数据	布格校正	地形校正	正常场校正	总精度
0.0257	0.004	0.0541	0	0.060



1-白水洞岩体 2-古阳寨岩体 3-工作区范围 4-物探测线 5-物探测点

Figure 4. Distribution map of object detection points
图 4. 物探测点分布图

4.2. 异常分析

图 5(a)是布格重力异常平面图,对重力异常向上延拓 100 m 处理,结果如图 5(b)所示,随后求延拓 100 m 后的垂向二阶导,结果如图 5(c)所示,图 5(d)是分离出的局部异常图。

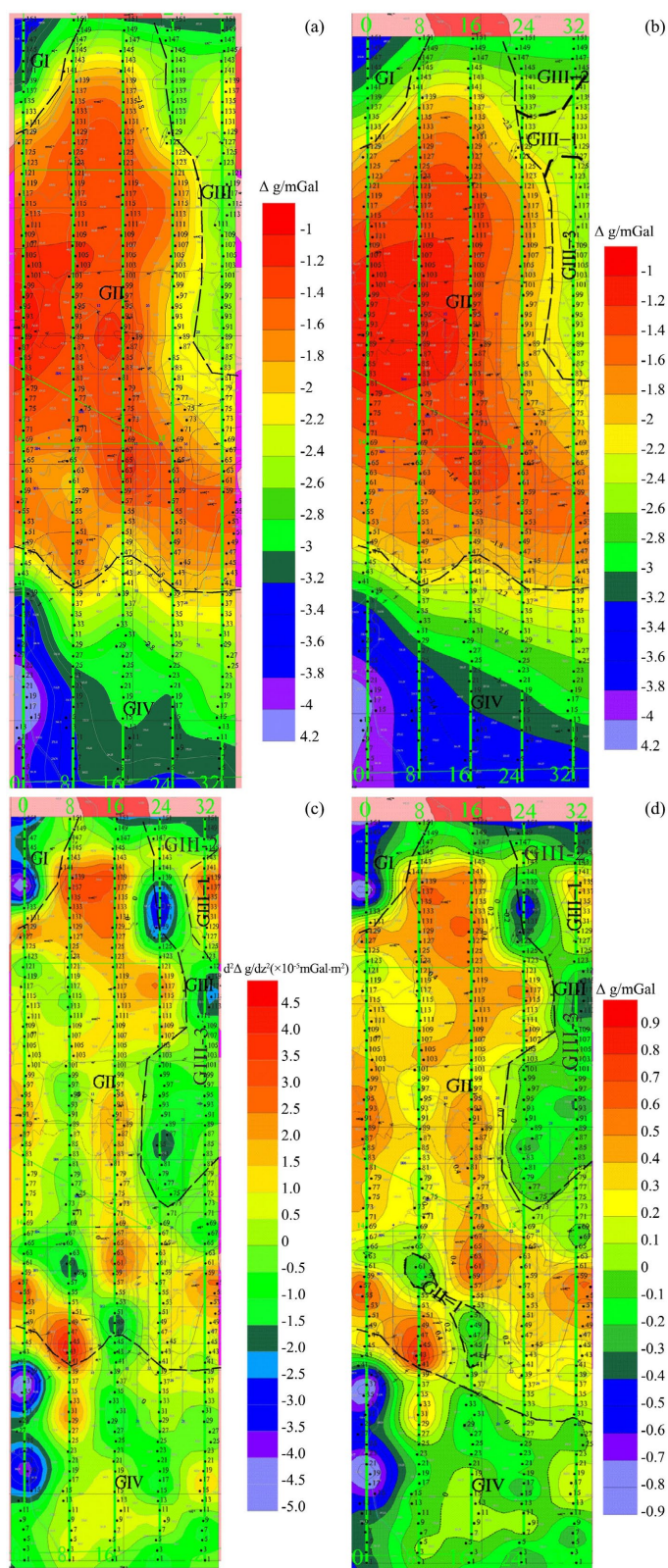


Figure 5. Gravity anomaly analysis chart. (a) Bouguer gravity; (b) Upward continuation of 100 m; (c) Vertical second derivative of upward continuation of 100 m; (d) Local anomaly

图 5. 重力异常分析图。(a) 布格重力; (b) 上延 100 m; (c) 上延 100 m 垂直二阶导数; (d) 局部异常

1) 平面异常分析

从图 5(a)和图 5(b)从这两幅图可以看出,重力异常总体上可以分为四个区,由西往东、由上往下分别编号为 GI、GII、GIII、GIV 和 GV。依据图 5(c)和图 5(d),GIII 异常可以划分成 GIII-1、GIII-2 和 GIII-3 异常和 GII-1 异常。

GI 异常位于研究区域的西北角,异常范围较小,以重力低异常为主,重力异常在 $-4.1\sim-2.8$ mGal 之间,剩余重力异常在 $-0.7\sim-0.3$ mGal 之间。从地质资料看,该异常区域的岩性以古阳寨岩体二云母二长花岗岩为主,该岩体相对白水洞岩体而言,呈负密度特征,该负异常符合古阳寨岩体引起的重力低的异常特征。由此可以推断,该负异常为古阳寨岩体引起的。

GII 异常为研究区的最大异常区域,异常区的南侧在各线的 43 号点左右、东侧 16~24 线之间、北侧在 8~16 线端点之间、西侧在测区的边缘。该异常区域以重力高异常为主,重力异常在 $-1.7\sim-0.4$ mGal 之间。在 8 线 61 号点到 16 线 49 号点之间存在一处相对低的异常区域,编号为 GII-1 异常,该异常值 $-1.78\sim-1.5$ mGal 之间,剩余重力异常为 $-0.12\sim 0$ mGal 在向上延拓 100 m 后,该异常消失,说明该异常为干扰或局部密度不均匀引起的。结合地质资料来看,该异常区域岩性以白水洞岩体为主,局部存在古阳寨岩体,古阳寨岩体在 0 线~16 线之间的 89~101 号点之间,分布范围相对较小。结合样本测量结果来看,研究区域内白水洞岩体密度相对较高,并且在异常区大范围分布,由此可以推断 GII 异常为白水洞岩体引起的,并且该岩体向下延伸较大。

GIII 异常在研究区的东侧、24 线和 32 线的 63 号点以北,以重力低异常为主,重力异常在 $-3.3\sim-2.0$ mGal 之间,剩余重力异常在 $-0.4\sim 0.4$ mGal 之间,正的剩余重力异常区域在 32 线的 125~143 号点之间(GIII-1 异常),向上延拓 100 m 后,GIII-1 与 GII 连通,将 GIII 进一步划分为 GIII-2 和 GIII-3,同时说明 GIII-1 与 GII 异常一样,均为白水洞花岗岩体引起的,原始布格重力异常以及剩余布格重力异常呈低异常的主要原因为,GIII-1 和 GII 的连接范围较小,异常主要受到南北两侧古阳寨岩体的影响。依据地质资料及物性参数推断 GIII-2 和 GIII-3 为古阳寨岩体引起的。

2) 剖面异常分析

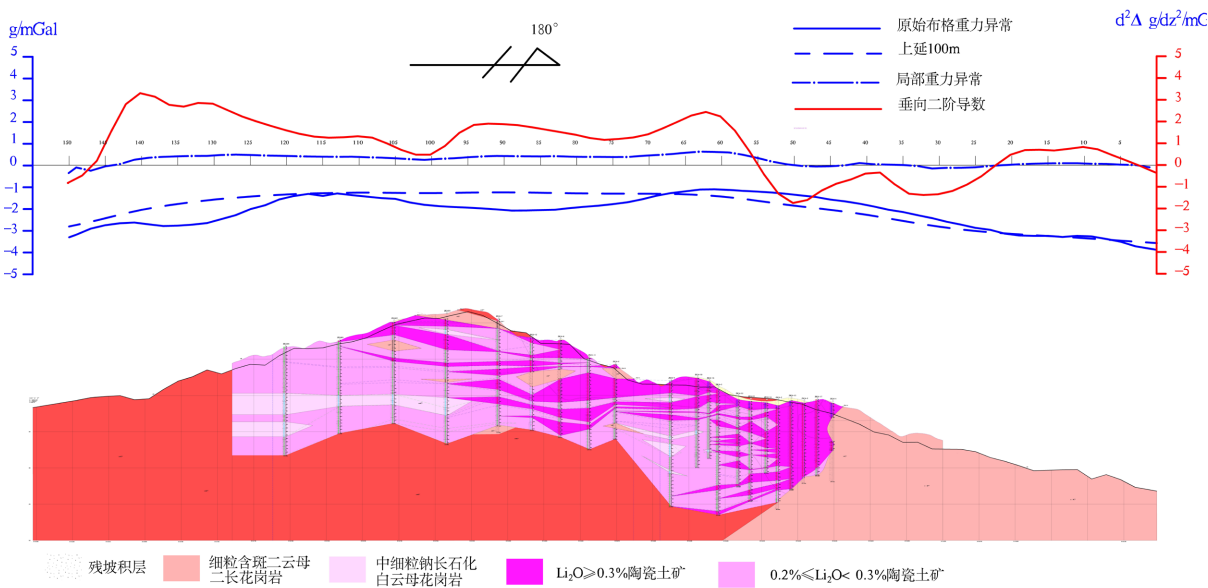


Figure 6. Line 16 gravity anomaly and inferred geological section
图 6. 16 线重力异常及推断地质剖面图

以 16 线为例, 该线重力异常总体上表现为两侧低, 中间高, 如图 6 所示。具体表现为, 在 31 号点以南为重力低异常, 异常在 $-3.6\sim-3.0$ mGal 之间; 61~127 号点则表现为重力高异常, 形态较为平缓, 异常值在 $-1.1\sim-0.75$ mGal 之间, 其中 75~101 号点之间重力异常值出现局部低异常; 31~61 号点之间以及 127 号点以北为重力异常的高-低过渡带。

现有的地质资料表明, 该测线 45 号点以南以及 73~111 号点中间的浅部为古阳寨岩体, 其它区域为白水洞岩体。该线的重力异常正好反映了测线上岩体的分布特征。45 号点以南低异常为岩体接触带以及古阳寨岩体的反映, 135 号点以北重力递减则是受到白水洞岩体东、西和北三侧古阳寨岩体的影响, 75~101 号点局部低重力异常则是白水洞岩体叠加浅部局部古阳寨岩体的反映。向上延拓 100 米以后, 75~101 号点局部异常消失, 重力异常表现为两边低, 中间高的异常。表明 75~101 号点局部异常的场源深度较浅, 与实际的地质情况相符。重力异常求垂向二阶导数发现, 55~147 号点之间的导数值大于 0, 在 63 号点以及 141 号点附近导数出现极大值。从地质剖面上看, 二阶导数的异常特征正好反映了白水洞岩体的边界。

5. 结论

本文研究表明, 虽然含矿母岩(白水洞岩体)与围岩(古阳寨岩体)之间存在约 0.015 g/cm^3 的密度差异, 虽然密度差异较小, 但是由于含矿母岩规模较大, 并且分布较广, 理论模型和实例均表明, 利用高精度重力勘探依然能够准确地预测出含矿母岩的空间分布。结合工作效率高、成本低等优点, 高精度重力方法在花岗岩型锂矿快速选区中具有良好的应用前景。

基金项目

江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目“江西超大型锂矿找矿快速突破关键技术研究”资助(项目编号: 20223BBG71015)。

参考文献

- [1] 王登红, 代鸿章, 刘善宝, 等. 中国战略性关键矿产勘查开发进展与新一轮找矿的建议[J]. 科技导报, 2024, 42(5): 7-25.
- [2] 陈祺, 舒立旻, 贺玲, 等. 江西省锂矿资源分布特征及其研究工作展望[J]. 矿产与地质, 2022, 36(2): 234-241.
- [3] 刘爽, 王水龙, 邢新龙, 等. 江西省锂矿资源分布、矿床类型及找矿前景[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(2): 195-198, 207.
- [4] 高强. 江西省锂资源分布特征[J]. 科技资讯, 2015, 13(15): 230.
- [5] 刘丛, 赵立民, 潘春蓉, 等. 江西省宜春市化山锂矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2024, 47(2): 164-174.
- [6] 李仁泽, 周正兵, 彭波, 等. 江西宜春大港超大型含锂瓷石矿床地质特征及成因机制探讨[J]. 矿床地质, 2020, 39(6): 1015-1029.
- [7] 楼法生, 徐喆, 黄贺, 等. 江西低品位超大型花岗岩云母型锂矿地质特征及找矿意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2023, 46(5): 425-436.
- [8] 曾晓建, 刘建伟, 曾庆友, 等. 江西宜春地区瓷石矿(含锂)地球化学特征及成因[J]. 有色金属(矿山部分), 2022, 74(4): 128-136.
- [9] 代晶晶, 王登红, 吴亚楠. 基于高分遥感数据的稀有矿山监测——以江西宜春 414 稀有矿山为例[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(3): 104-110.
- [10] Zhang, R. and Li, T. (2019) Joint Inversion of 2D Gravity Gradiometry and Magnetotelluric Data in Mineral Exploration. *Minerals*, 9, Article 541. <https://doi.org/10.3390/min9090541>
- [11] Zhang, J., Zeng, Z., Zhao, X., Li, J., Zhou, Y. and Gong, M. (2020) Deep Mineral Exploration of the Jinchuan Cu-Ni Sulfide Deposit Based on Aeromagnetic, Gravity, and CSAMT Methods. *Minerals*, 10, Article 168. <https://doi.org/10.3390/min10020168>

-
- [12] 梁红波, 杨海翔, 胡德军. 高精度重力测量在石平川钼矿的应用[J]. 矿产与地质, 2014, 28(1): 72-78.
- [13] 庞满莹, 赵承宝, 蔡英文. 重力勘探在钨(铜)多金属矿勘查中的研究[J]. 世界有色金属, 2022(22): 95-98.
- [14] Han, R., Li, W., Cheng, R., Wang, F. and Zhang, Y. (2020) 3D High-Precision Tunnel Gravity Exploration Theory and Its Application for Concealed Inclined High-Density Ore Deposits. *Journal of Applied Geophysics*, **180**, Article ID: 104119. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104119>
- [15] 郭金运, 魏志杰, 祝程程, 等. 基于重力异常迭代延拓的南海海底地形反演[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2021, 40(4): 1-10.
- [16] 谢黎明, 姚涛. 江西省圳口里-枳下窝含锂陶瓷土矿床特征及找矿远景[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(11): 106-109.
- [17] 刘莹. 江西九岭地区稀有金属花岗岩矿物学特征与成矿机制差异性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2019.
- [18] 聂晓亮, 王水龙, 刘爽, 等. 江西茜坑锂矿床地质地球化学特征与锂云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. 矿物学报, 2022, 42(3): 285-294.
- [19] 刘长扬, 罗润林, 李亚南, 等. 基于随机介质模型的二维重力正演[J]. 矿产与地质, 2018, 32(3): 528-533.
- [20] Zhdanov, M.S. (2015) *Inverse Theory and Applications in Geophysics*. Elsevier.