doi: 10.11720/wtyht.2019.0134
宋豪,张义蜜,王万银.河南内黄—浚县一带重磁异常与深部磁铁矿靶区预测研究[J].物探与化探,2019,43(6):1191-1204.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0134
Song H,Zhang Y M,Wang W Y.The research on the prediction of gravity and magnetic anomalies and deep magnetite target areas in the Neihuang-Xunxian area of Henan Province[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(6):1191-1204.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0134

河南内黄—浚县一带重磁异常与深部磁铁矿靶区预测研究

宋豪[1,2,3],张义蜜[2,3],王万银[2,3]
(1.河南省航空物探遥感中心,河南 郑州 450053; 2.长安大学 重磁方法技术研究所,陕西 西安 710054; 3.长安大学 地质工程与测绘学院,陕西 西安 710054)

摘 要: 河南内黄—浚县一带位于太古宙基底隆起区,且分布有较好的重、磁异常,具备寻找沉积变质型磁铁矿床的有利条件。然而 20 世纪 70 年代以来,受制于浅部找矿认识的局限性,一直未能取得找矿突破。笔者以深部磁铁矿找矿靶区为目标,通过中心识别技术(解析信号振幅 ASM)、边缘识别技术(NVDR-THDR)获得了研究区隐伏磁性体的平面位置(中心及边界),利用欧拉反褶积获得了研究区隐伏磁性体的埋深信息,利用相关系数分析了该区重磁异常的同源性特征;结合已知钻孔对研究区重点磁异常进行了 2.5D 拟合反演,确定了隐伏磁性体的规模及空间展布特征,研究结果表明主要磁异常对应的隐伏磁性体埋深在 500~1 200 m,且深部含矿性均好于浅部,深部找矿潜力较大。综合地质矿产条件,预测了瓦岗—榆涧、南张保等 2 个磁铁矿深部找矿靶区,建议作为后续开展深部找矿的重点方向,以尽快实现该区的深部找矿突破。

关键词: 河南内黄—浚县;重磁异常;磁铁矿;深部找矿靶区
中图分类号: P631　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1000-8918(2019)06-1191-14

0 引言

重、磁勘探方法是两个常规的物探方法,方法理论比较成熟,相比其他方法,具有数据采集速度快、费用低、稳定性好等特点。随着仪器精度及自动化程度的不断提高可以通过航空、地面、海洋、井中等不同方式快速获取大量观测数据。当前,针对重磁数据的处理方法、反演解释技术也迅猛发展,其应用领域越来越广泛,不论是解决基础地质问题,还是作为直接、间接的找矿手段,重、磁方法都发挥了不可替代的作用,国内外应用例子很多[1-11]。近年来,重、磁勘探在深部隐伏磁铁矿勘查中发挥了关键作用,如山东齐河—禹城隐伏磁铁矿、安徽泥河铁矿以及河北滦平、冀东铁矿等,这些隐伏铁矿的勘查经验表明通过对重、磁异常的系统研究可快速、经济地确定深部磁铁矿找矿靶区[12-18]。

河南内黄—浚县一带位于太古宙基底隆起区,区内重磁异常多,规模大,集中连片的磁异常就有 5 个,具备寻找沉积变质型磁铁矿的有利条件。自 20 世纪 70 年代以来,区内根据化极磁异常进行了多次找矿,但都未取得好的找矿效果[19-20]。目前区内有 24 个钻孔,对重点磁异常进行了验证,受制于浅部找矿的认识,区内 20 个钻孔的深度在 300~700 m,在浅部见到含磁性的太古宙片麻岩就进行了终孔。前人大量的勘查工作表明,浅部的磁性体规模小,磁性弱,与地面磁异常强度不吻合。对深部是否有较大规模的磁铁矿缺乏深入的研究,成为制约本区取得找矿突破的一个重要因素。同时,本区面积超过 1 700 km^2,新生界覆盖层厚度最大约 600 m,平均

收稿日期: 2019-03-13; **修回日期:** 2019-07-10
基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目"典型覆盖区航空地球物理技术示范与处理解释软件平台开发"之课题"航空地球物理数据综合处理解释方法研究及软件开发"(2017YFC0602202);河南省 2008 年度地质勘查基金项目(豫财[2009]56 号-13)
作者简介: 宋豪(1[illegible]),男,长安大学硕士研究生,工程师,从事重、磁勘探及电法勘探工作。Email:545752853@qq.com
万方数据

300 m,直接进行钻探成本高、风险大,如何快速确定深部找矿靶区,成为下一步工作首先要解决的问题。笔者以深部铁矿找矿靶区为出发点,利用重、磁资料重点研究了区内隐伏磁性体的中心、边界位置、埋深等与找矿关系密切的问题,之后结合地质矿产、钻探等资料预测了深部磁铁矿找矿靶区,为该区后续开展深部找矿工作提供了依据。

1　研究区地质、地球物理概况

1.1　地质背景

河南内黄—浚县一带位于华北地台(一级)华北坳陷(二级)内黄隆起(三级),焦作—商丘大断裂以北,汤东大断裂以东,长垣大断裂以西(图 1)。主体位于内黄隆起上,基底为太古宙变质岩系,总体为单斜构造,地层走向 NE,倾向 SE,倾角一般为 3°~14°。研究区大部分被第四系覆盖,新生界(新近系、第四系)厚度 0~600 m。仅屯子镇西、白寺乡、浚县大伾山一带地表有寒武系张夏组出露。新生界盖层下伏地层主要为太古宙(Ar)、寒武系(∈)、奥陶系(O)、石炭系(C)、二叠系(P)等。区内地质构造相对比较发育,隐伏断裂有 7 条,编号 F_1~F_7,断裂走向大体以 NE 向和 NW 向为主(图 2)[21-24]。

1.2　物性特征

1.2.1　地层磁性特征

研究区地层磁性资料,见表 1。从表 1 可以看出,区内新生界、古生界基本无磁性或弱磁性;太古宙地层均有一定磁性,其中不含磁铁矿化的二长片麻岩、斜长片麻岩等磁性相对较弱;含磁铁矿化的斜长片麻岩、麻粒岩等具有较强磁性。

1.2.2　密度特征

研究区地层密度见表 2。从表 2 可知,研究区第四系密度最小,太古宙密度最高;从新生界至太古宙有渐变增大的特征,不同时代的地层均有一定密度差别。其中寒武系与不含磁铁矿化的太古宙地层差异相对较小,仅为 0.09×10^3 kg/m^3。含磁铁矿化的片麻岩密度值最高,与其他地层密度差异最为明显。

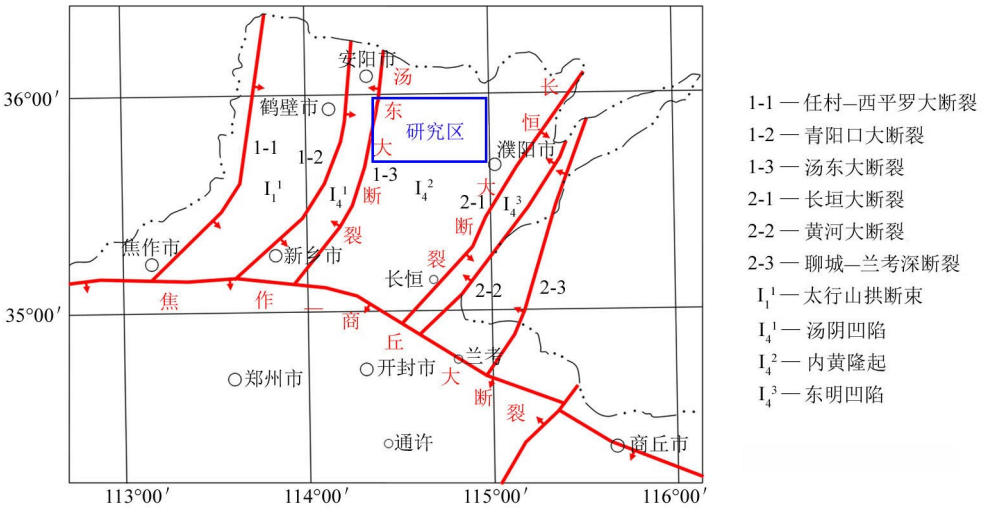


图 1　研究区大地构造位置(据河南省区域地质志)

Fig.1　Geotectonic location map of the study area (according to regional geological records of Henan Province)

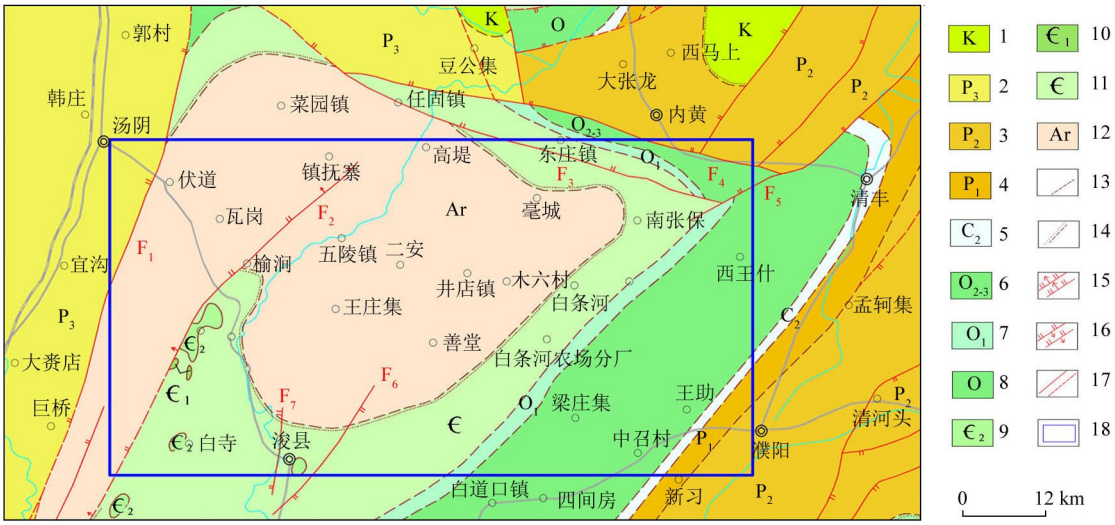
表 1　研究区地层磁性统计

Table 1　Survey area stratigraphic magnetic statistics table

地层	岩性	磁化率 κ/(10^{-5}SI)
第四系(Q)	黄土	0
新近系(N)	砂岩、泥岩、砾岩、砂质页岩	6~19
奥陶系(O)	页岩、白云质灰岩	0
寒武系(∈)	灰岩、泥灰岩、页岩	0~14
太古宇(Ar)	二长片麻岩、斜长片麻岩	873~1338
太古宇(Ar)	含磁铁斜长片麻岩、含磁铁麻粒岩	4358~12157

注:资料来源《河南省内黄—浚县地区航磁异常查证报告》。

万方数据



1—白垩系;2—平顶山组;3—上石盒子组、下石盒子组;4—山西组、太原组;5—本溪组;6—马家沟组;7—三山子组、铁仙沟组及白龙庙组;8—奥陶系未分;9—张夏组、朱砂洞组、辛集组;10—馒头组;11—寒武系未分;12—太古宇;13—实测及推测地质界线;14—实测及推测不整合接触地质界线;15—实测及推测正断层;16—实测及推测逆断层;17—实测及推测性质不明断层;18—研究区范围

1-Cretaceous;2-Pingdingshan formation;3-upper Shihezi formation and lower Shihezi formation;4-Shanxi formation and Taiyuan formation;5-Benxi formation;6-Majiagou formation;7-Sanshanzi formation, Tiexiangou formation and Bailongmiao formation;8- Ordovician system is not divided;9-Zhangxia formation, Zhushadong formation and Xinji formation;10-Mantou formation;11-the Cambrian system is not divided;12-Archaean;13-survey and estimation of geological boundary;14-measurement and speculation of unconformity contact geological boundary;15-measurements and predictions of normal faults;16-measurements and predictions of reverse faults;17-faults of unknown nature measured and speculated;18-scope of study area

图 2　研究区基岩地质

Fig.2　Geological map of bedrock in study area

表 2　研究区地层密度统计

Table 2　Survey area stratigraphic density statistics table

时代地层	岩性	平均密度/(10^3 kg · m^{-3})	密度差/(10^3 kg · m^{-3})
第四系(Q)	黄土、粉土、砂土	1.91	
新近系(N)	黏土岩、砂岩	2.30	0.39
二叠系(P)	砂岩、页岩、黏土岩	2.45	0.15
石炭系(C)	黏土岩、灰岩	2.48	0.03
奥陶系(O)	灰岩	2.61	0.13
寒武系(∈)	白云岩、灰岩、页岩	2.63	0.02
太古宇(A_r)	片麻岩、片岩、变粒岩	2.72	0.09
太古宇(Ar)	磁铁矿化片麻岩	2.95	0.23

注:资料来源《河南省内黄—浚县地区航磁异常查证报告》

1.3　重磁场特征

1.3.1　化极和剩余磁异常特征

从可知,研究区正磁异常分布比较集中且呈现较为明显的 NWW 向及 NEE 向。根据异常特点共圈定 7 处正磁异常区,编号 C-1~C-7(图 3a),研究区主要正磁异常特征见表 3。

从图 3b 来看,研究区剩余磁异常与原化极磁异常整体形态基本吻合,剩余异常强度有所增加,且原来叠加在一起的磁异常得到较好分离。对比化极磁异常范围来看,屯庄—镇抚寨高磁异常范围基本一致,但明显分离为 2 个局部异常;伏道—瓦岗—榆涧剩余磁异常的范围变小,从原来的一个异常分离为 3 个不同规模的局部异常;善堂黄辛庄异常则分离为 4 个局部异常。井店—白条河异常则分离为 4 个局部异常;南张保异常则基本没有变化。三角村异常、高王尉异常等得到突出显示。

1.3.2　布格重力和剩余重力异常特征

研究区布格重力异常呈块状、条带状分布,西北部汤阴—伏道之间呈 NNE 向重力梯度带、东北部为高堤—亳城 NWW 向重力梯级带,重力异常梯级带与研究区断裂分布有关。东南部浚县—后河—西王什相对稀疏的重力梯度带,主要反映了古生界地层及相应地质界线。重力异常高值区(≥-7 mgal)相对集中分布在研究区西北部和中部,可分为镇抚

万方数据

表 3　研究区主要磁异常特征

Table 3　List of major magnetic anomaly features in the study area

异常编号	地理位置	异常走向	异常强度/nT	异常形态、规模
C-1	研究区北部屯庄、镇抚寨一带	异常走向 NWW	极大值 350	形态不规则,包含两个异常中心,异常区面积约 8.4 km^2
C-2	研究区西北部伏道、瓦岗、榆涧一带	走向 NW-SE	极大值 350	形态相对规则,为区内最大规模正磁异常,异常区面积约 102 km^2
C-3	研究区西部边界,位于三角村附近	长轴走向近 EW	极大值 100	规则磁异常,形状近圆形,异常区面积约 2.1 km^2
C-4	研究区南部迎阳铺、黄辛庄、善堂一带	主体走向为 NW 向,局部地区有变化	极大值 250	形状极不规则,异常区面积约 58.9 km^2
C-5	中部井店、木六村、白条河一带	总体走向 NNW	极大值 350	形态不甚规则,异常区面积约 33.8 km^2
C-6	研究区中部,位于高王尉西南	异常呈 NWW 向	极大值 50	形状呈椭圆,强度相对小,异常区面积约 3.4 km^2
C-7	研究区东北角南张保一带	总体走向近 SN	极大值 350	异常呈扇形,北宽南窄,异常区面积约 18.3 km^2

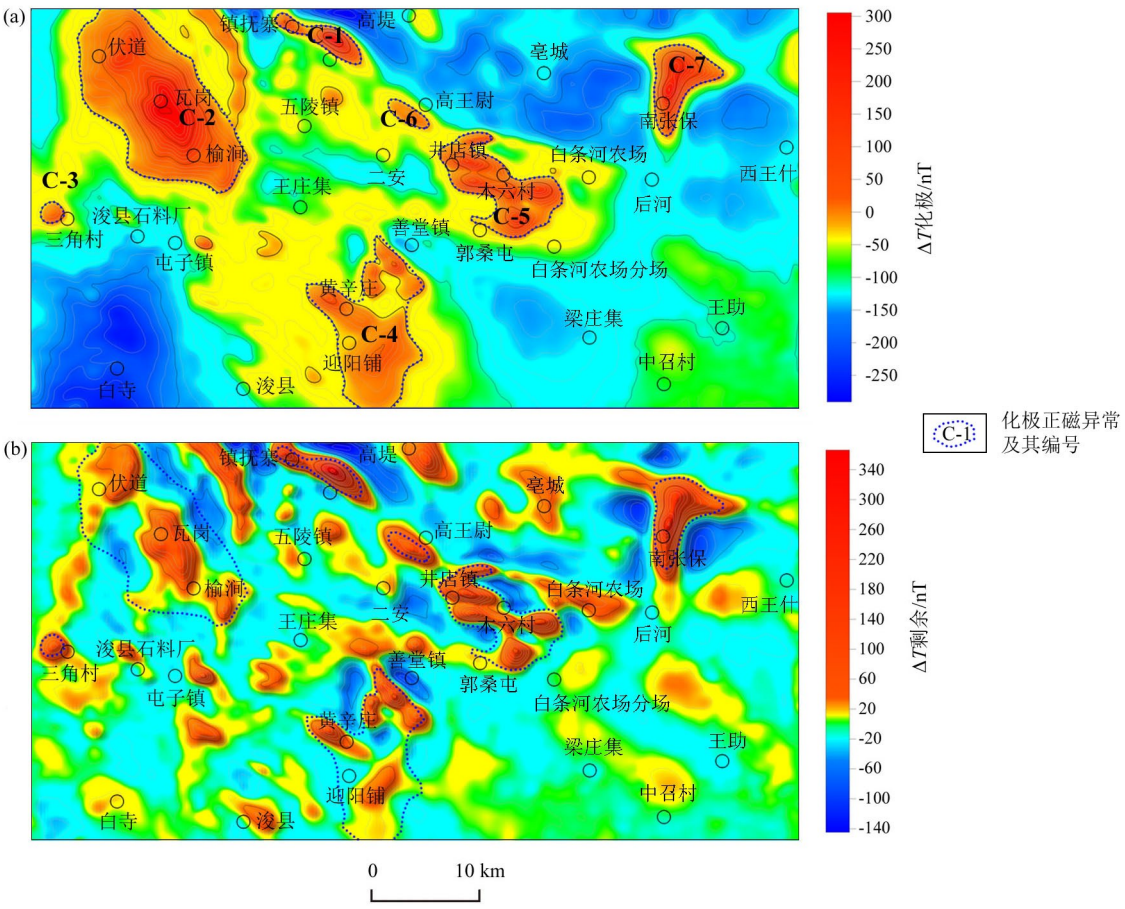


图 3　研究区化极磁异常(a)和剩余磁异常平面(b)

Fig.3　Plane maps of polarized magnetic anomalies (a) and residual magnetic anomalies (b) in the study area

寨—屯子重力高、浚县石料厂重力高、善堂南重力高、井店重力高、后河—白条河重力高、南张保重力高(图 4a)。

研究区剩余重力高异常得到较好地分离,出现比较明显的剩余重力异常。研究区西北部,沿王庄集—五陵镇—镇抚寨—伏道—屯子镇等组成了近似环状剩余重力高,中间为显著的瓦岗—榆涧剩余重力低异常;研究区西北部,沿亳城—南张保—白条河农场—井店—高王尉等组成了近似的环状剩余重力高,中间为显著的剩余重力低异常。此外,从西南边的浚县到东北角的南张保分布着高低相间排列的剩余重力异常带,从南向北依次为“浚县高”—“迎阳

万方数据

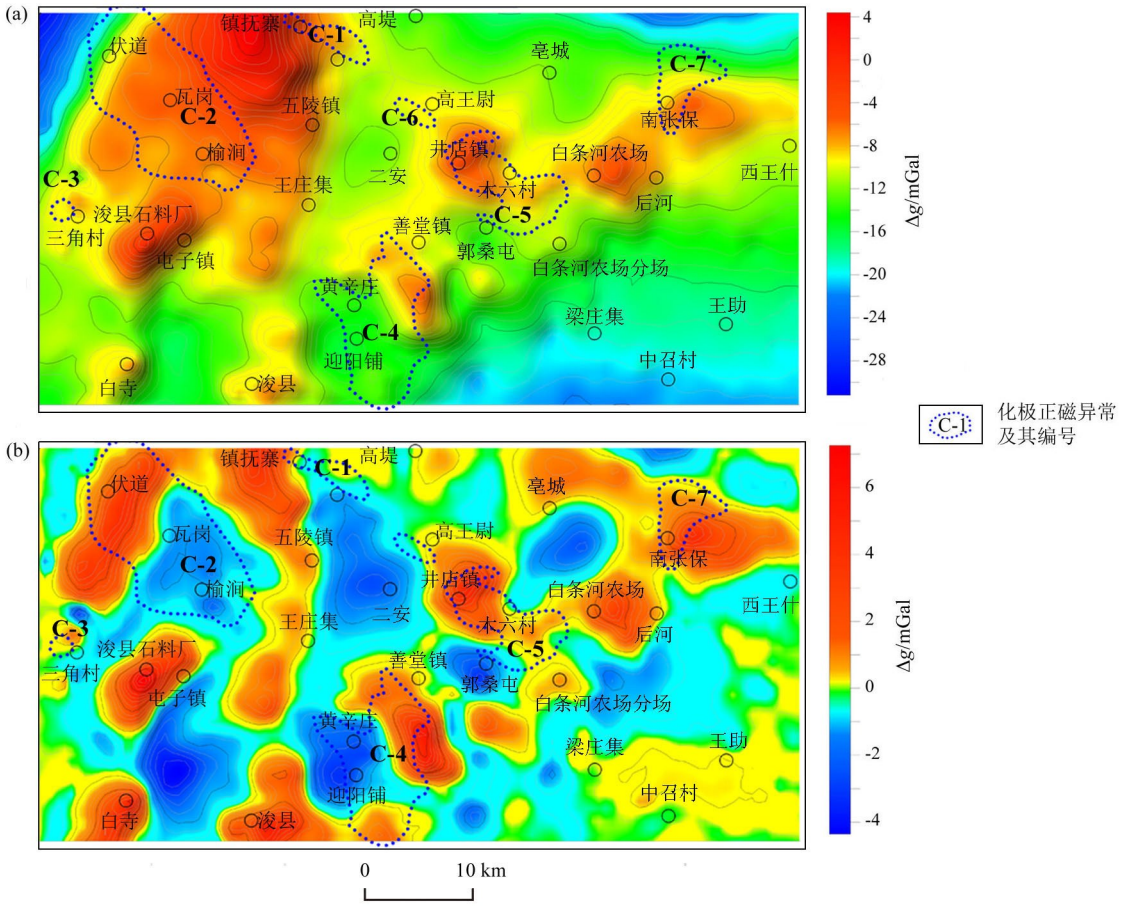


图 4　研究区布格重力异常(a)和剩余重力异常平面(b)

Fig.4　Plane maps of Bouguer gravity anomaly (a) and residual gravity anomaly (b) in the study area

铺低”—“善堂南高”—“郭桑屯低”—“后河高”。这一特点显示了本区复杂的成矿条件(图 4b)。

2　隐伏磁性体分布研究

笔者主要利用化极磁异常解析信号振幅(ASM)识别磁性体中心位置,化极磁异常归一化总水平导数垂向导数(NVDR-THDR)识别磁性体边界,采用欧拉反褶积法反演磁源深度,利用相关系数进行了重磁对应分析,从而获得研究区磁性目标体的中心、边界位置、埋深、重磁相关性等信息,为预测隐伏磁铁矿靶区提供依据。

2.1　隐伏磁性体中心位置

据王万银研究“对于埋深较大的多边界地质体,位场解析信号振幅不适合识别地质体的边缘位置,但适合于识别地质体的中心位置[25]”。本文利用化极磁异常解析信号振幅(ASM)的极大值位置,来确定隐伏磁性体的中心位置。

研究区化极磁异常解析信号振幅异常圈闭总体呈 NWW 与 NEE 向集中分布,走向大体和化极磁异常一致,异常中心和化极磁力异常中心对应性较好。根据解析信号振幅极大值,提取了 22 处异常中心,其中“镇抚寨—高王尉—井店”异常带与“黄辛庄—木六—南张保”异常带最为集中,且二者在“郭桑屯—白条河”一带呈倒“T”型相交,该部位异常中心密集,显示了良好的成矿条件(图 5)。瓦岗—榆涧一带有 3 个异常中心,大体呈 NW 向;电子镇东有 1 处孤立的极值中心;三角村附近有 1 处孤立的极值中心。

研究区异常极值中心的分布特征表明,本区隐伏磁性体的中心位置沿 NWW 向及 NEE 带状集中分布,这与区域上断裂走向及太古宙不整合的地层接触界线方向基本一致。

2.2　隐伏磁性体边界研究

笔者主要利用化极磁异常归一化总水平导数垂向导数(NVDR-THDR)极大值连线确定隐伏磁性体的边界位置。化极磁力异常归一化总水平导数垂向导数清晰地反映了隐伏磁性体边界,磁性体边界走向大致呈 NW 向、NE 向、近 SN 向,结合隐伏磁性体中心位置分布情况,共圈定 13 处隐伏磁性体。

万方数据

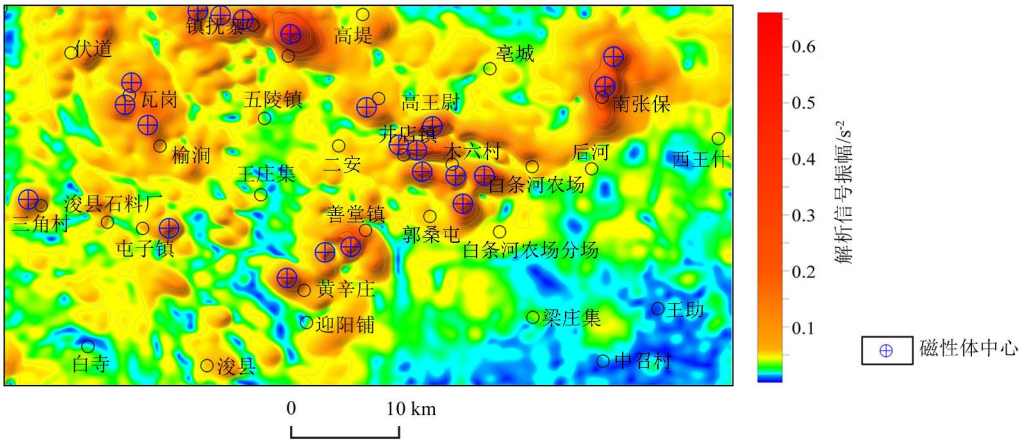


图 5　研究区化极磁异常解析信号振幅(ASM)异常

Fig.5　Anomaly map of analytical signal amplitude (ASM) of polarized magnetic anomaly in study area

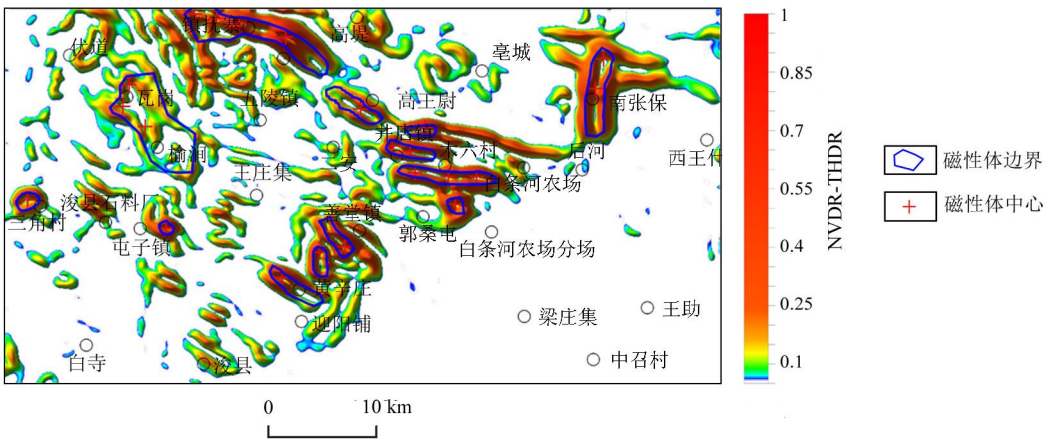


图 6　研究区化极磁异常归一化总水平导数垂向导数(NVDR-THDR)

Fig.6　Normalized Total Horizontal Derivative Vertical Derivative (NVDR-THDR) Diagram of Polar Magnetic Anomalies in the Study Area

这 13 处隐伏磁性体较为集中地分布在 NWW 向断裂带以及 NEE 向地层接触带附近,与区域上成矿规律吻合。根据分布特点,分为镇抚寨—屯庄隐伏磁性体、高王尉—白条河—井店—木六隐伏磁性体、善堂—迎阳铺—黄辛庄隐伏磁性体、瓦岗—榆涧隐伏磁性体,南张保隐伏磁性体、屯子隐伏磁性体,三角村隐伏磁性体等(图 6)。

2.3　隐伏磁性体埋深研究

研究区异常规模大,成矿条件较好,但区内至今尚未取得磁铁矿找矿突破,最主要的制约因素之一即是隐伏磁性体埋深不明确。笔者使用定位欧拉反褶积方法估算磁源深度,该方法理论成熟,应用效果较好。国内外的理论研究及应用表明:在有钻孔约束的情况下,其结果相对可靠,可以快速获取大面积范围内的磁源深度信息[28-34]。研究区磁源深度反演结果见图 7。

从图 7 可知,研究区隐伏磁性体埋深变化范围较大,从 491~1 432 m,普遍在 500~1 200 m。为本次研究找矿靶区的深度范围提供了比较可靠的依据,重点磁异常反演的磁源深度统计见表 4。

从磁源反演深度结果来看,目前瓦岗—榆涧异常、南张保异常在深部有较大找矿潜力。将磁源反演深度与已知钻孔进行了对比,具体见表 5。从表 5 可知,欧拉反褶积反演磁源深度与钻孔含磁性地层的深度基本吻合,说明反演结果是可靠的。

2.4　重磁同源性研究

通过重磁对应分析可了解重磁同源性特点,相关系数反映了重磁资料在给定窗口内重磁异常的线性相关程度。相关系数值的范围为±1,当相关系数≈1 时,重磁异常是正相关;当相关系数≈-1 时,重磁异常是负相关。它在宏观上反映了重磁异常的同源性程度,当|相关系数|≈1 时,表示窗口内重磁异常的同源性较好,当|相关系数|≪1 时,表示窗口内重磁异常相关性较差,可能不同源[35-37]。

万方数据

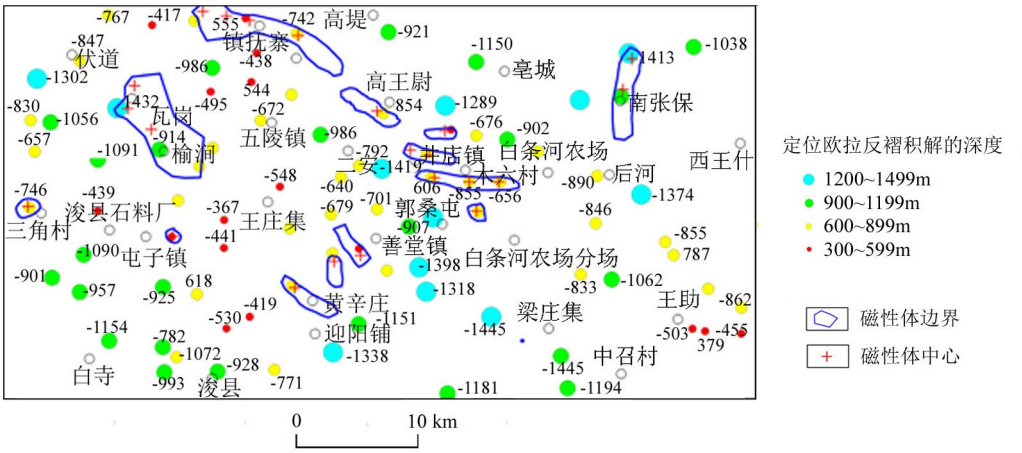


图 7　欧拉反褶积计算磁源深度

Fig.7　Euler deconvolution for source depth map

表 4　重点磁异常磁源反演深度统计

Table 4　Statistical table of inversion depth of magnetic source for key magnetic anomalies

磁异常名称	反演磁源最小深度/m	以往验证情况	备注
屯庄—镇抚寨	555~899	最深验证孔 1 298.24 m	异常性质已基本查明
井店	606~630	最深验证孔 661.55 m	异常性质已基本查明
瓦岗—榆涧	879~1 432	最深验证孔 670.01 m	孔深偏浅,异常性质不明
南张保异常	1 091~1 413	最深验证孔 762.15 m	孔深偏浅,异常性质不明
木六	656~855	无	无控制
善堂—黄辛庄	507~632	无	无控制
高王尉	854	无	无控制
三角村	746	无	无控制

表 5　验证钻孔深度与反演磁源深度对比

Table 5　List of Contrasts between Verification of Borehole Depth and Inversion of Magnetic Source Depth

钻孔编号	Q+N 厚度/m	孔深/m	反演磁源深度/m	见矿情况
东尧会 ZK1	78.75	650.63	892	未见矿,角闪斜长片麻岩
旱漯河 ZK1-1	207.9	442.36	555	267~318 m 含钛铁矿化
镇抚寨 ZKS3	207.63	501.61	555	见含磁铁矿化片麻岩
钻孔 sjzk1	406.18	1298.24	742	414.35~834 m 不连续含磁铁矿,矿化层厚度 156.98 m
ZK101	482	629	742	见含磁铁矿化片麻岩
旱塔河 CK1	488.92	745.08	742	见含磁铁矿化片麻岩
ZK2-1	481.51	581.66	742	深度 509~559 m 见含磁铁辉石斜长片麻岩,磁铁含量 3%~5%
水塔河 ZK1	482.04	632.8	742	见含磁铁矿化片麻岩
ZK2-2	470.83	744.9	742	深度 486~626 m 见含钛铁矿岩石,含量 3%~5%
瓦岗 ZK3	286.06	336.77	1432	见太古宇变质岩,未见强磁性体
瓦岗 ZK1	279.14	478.74	1432	见太古宇变质岩,未见强磁性体
汤 2	317	353	1432	见太古宙变质岩
瓦岗 ZK2	303.47	670.1	1432	见太古宙变质岩,未见强磁性体
下庄 ZK1	288.92	603.45	无定位解	见厚度 1.08 m,含铁 19.5%斜长片麻岩
新庄 ZK1	289	512	无定位解	见太古宙变质岩
连池 ZK1	83.94	498.02	439	见太古宙变质岩
连池 ZK2	88.19	494.47	439	见太古宙变质岩
后圈里 CK1	311.61	504.4	482	见太古宙变质岩
ZKS1	325.53	448.32	482	见太古宙变质岩
井店 ZK1	173.9	661.55	630	辉绿岩及少量磁铁矿化
井店 ZK2	91.09	500	630	辉绿岩及少量磁铁矿化
南张保 ZKS2	567.01	762.15	1091	钻孔发现有混合花岗岩,片麻岩中见少量磁铁矿及黄铁矿
汤 3	284	355	679	见太古宙变质岩
汤 4	755	1127	1445	终孔于奥陶系

万方数据

笔者主要运用相关系数对区内重、磁异常进行了重磁对应分析,分析结果见图 8 所示。

根据图 8 统计了隐伏磁性体的相关系数,结果见表 6。从表 6 可知:研究区重力异常与磁异常之间有较强相关的隐伏磁性体为井店—郭桑屯、南张保、三角村等;瓦岗—榆涧、镇抚寨—屯庄、善堂—黄辛庄、高王尉等隐伏磁性体均为较弱相关。这表明研究区重磁异常的起因相对比较复杂,在没有钻孔约束情况下,重磁异常同源性在靶区圈定时仅能作为一般参考指标。由于磁异常直接反映了铁磁性物质的存在,在确定靶区方面应以高磁异常为主。

3　深部成矿靶区预测

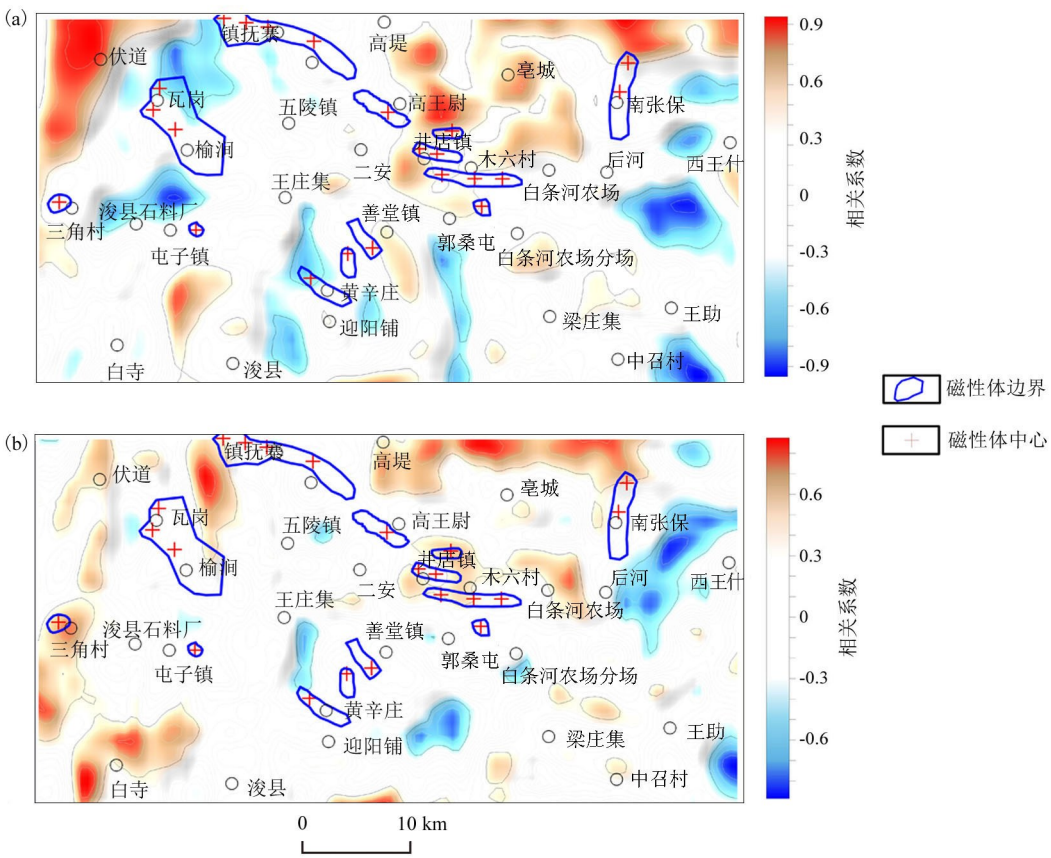
3.1　屯庄磁异常验证情况

为进一步确定隐伏磁性体的埋深及空间展布形

表 6　隐伏磁性体相关系数分析

Table 6　List of coefficient analysis of concealed magnets

隐伏磁性体名称	总场(布格重力异常垂向一阶导数与磁化极异常)相关系数	剩余场(布格重力异常垂向一阶导数与剩余磁异常)相关系数	相关性特征
瓦岗—榆涧磁性体	−0.5~+0.4	−0.4~+0.1	较弱相关性
镇抚寨—屯庄磁性体	−0.5~+0.2	−0.2~+0.5	较弱相关性
井店—郭桑屯磁性体	+0.4~+0.7	+0.4~+0.7	较强相关性
南张保磁性体	南部:−0.3~+0.4	−0.2~+0.3	较弱相关性
	北部:+0.5~+0.8	+0.3~+0.7	较强相关性
善堂—黄辛庄磁性体	北部:+0.2~+0.6	0~+0.4	较弱相关性
	中间:−0.3~+0.1	−0.1~+0.2	基本不相关
	南部:−0.6~+0.1	−0.5~0	较弱相关性
三角村磁性体	+0.3~+0.4	+0.6~0.7	较强相关性
高王尉磁性体	−0.1~+0.5	0.1~0.4	较弱相关性



a—布格重力异常垂向一阶导数与化极磁异常相关系数;b—布格重力异常垂向一阶导数与剩余磁异常相关系数

a—vertical first derivative of Bouguer gravity anomaly and correlation coefficient diagram of polarized magnetic anomaly;b—correlation coefficient diagram between vertical first derivative of Bouguer gravity anomaly and residual magnetic anomaly

图 8　研究区重力异常与磁异常相关系数

Fig. 8　Gravity anomaly and magnetic anomaly correlation coefficient map in the study area

万方数据

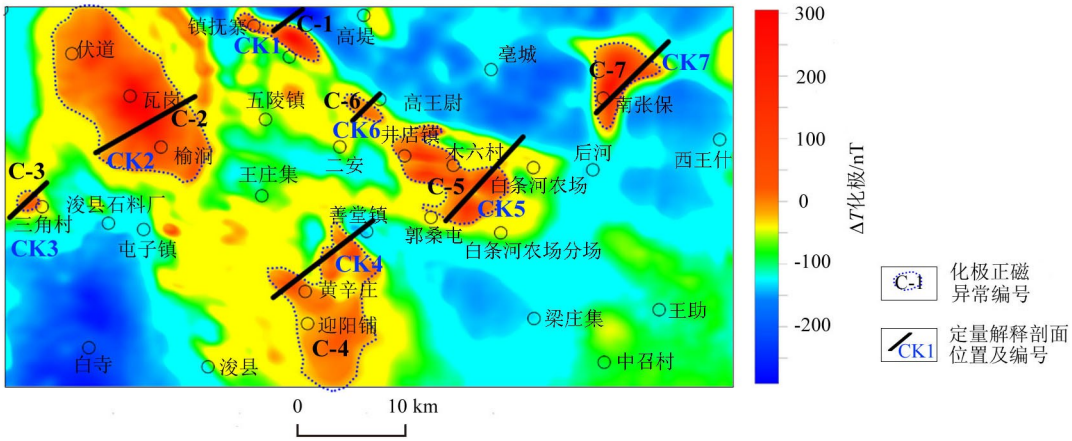


图 9　研究区化极磁异常平面及定量解释剖面分布

Fig.9　Quantitative interpretation of profile distribution map in research area

态,开展靶区预测,依据从已知到未知的原则,首先对经钻孔 sjzk1(孔深 1 298.24 m)验证的屯庄磁异常(CK1 剖面)作了定量拟合,磁异常编号及对应定量解释剖面位置见图 9。拟合反演采用了金维 GEOIPAS4.0 软件,磁化强度 $J = 5\ 773 \times 10^{-3}$ A/m。拟合结果见图 10。

从图 10 可知,引起该磁异常的磁性体埋深从 400~1 000 m,其中浅部磁性体小而薄,深部磁性体为厚且大,磁性体倾向北,倾角约 12°。与钻孔见矿基本一致,钻孔见矿情况详见表 7。

从表 7 可知,孔内累计见含铁(TFe 品位≥10%,MFe 品位<6%)矿化层 14 层,总厚度 156.98 m,其中浅部(414.35~523.13 m)见矿化 8 层,累计厚度仅 41.68 m,单层厚度最小 1.85 m,最大 13 m;深部(693~834.5 m)见矿化 6 层,累计见矿达 115.3 m。该钻孔资料表明,深部不仅矿化体厚度大且 TFe、

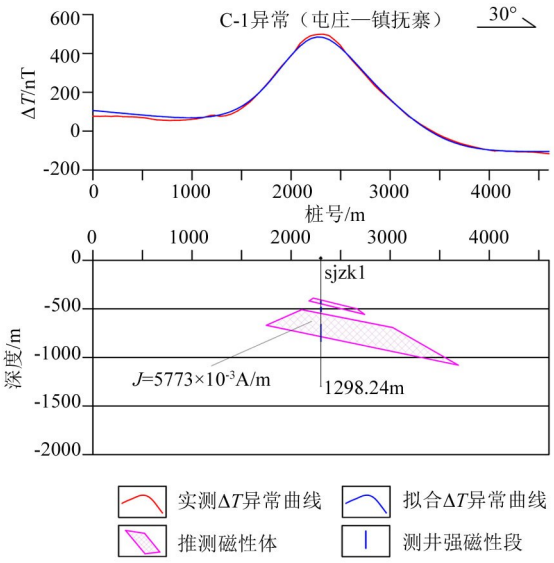


图 10　CK1 剖面定量反演解释

Fig.10　Quantitative inversion interpretation map of CK1 profile

表 7　sjzk1 孔见矿情况

Table 7　A list of the occurrence of sjzk1 borehole

起深/m	止深/m	TFe>10%矿化层厚度/m	平均品位/%		主要岩性
			TFe	MFe	
414.35	422.58	8.23	11.23	1.91	含石榴石角闪石辉石斜长片麻岩
423.58	425.58	2.00	10.38	2.63	含石榴石角闪石辉石斜长片麻岩
427.58	433.38	5.80	11.27	2.72	含石榴石角闪石辉石斜长片麻岩
482.58	495.58	13.00	10.91	2.12	含石榴石角闪石辉石斜长片麻岩
497.58	502.98	5.40	10.75	2.34	含石榴石辉石角闪斜长片麻岩
505.38	508.63	3.25	10.19	2.07	含石榴石辉石角闪斜长片麻岩
514.58	516.43	1.85	10.33	1.67	含石榴石辉石角闪斜长片麻岩
520.98	523.13	2.15	10.62	0.83	含石榴石辉石角闪斜长片麻岩
693.00	694.40	1.40	10.00	2.44	含石榴石闪辉斜长片麻岩
701.50	725.50	24.00	10.90	2.98	含石榴石闪辉斜长片麻岩
728.40	745.10	16.70	10.99	2.68	斜长石榴角闪紫苏麻粒岩
746.50	764.40	17.90	10.85	3.07	斜长石榴角闪紫苏麻粒岩
770.40	787.40	17.00	11.30	3.43	斜长石榴角闪紫苏麻粒岩
796.20	834.50	38.30	12.10	4.54	斜长石榴角闪紫苏麻粒岩
矿化层总厚度		156.98 m			

万方数据

MFe 品位相对较高,含矿性好于浅部,是寻找深部磁铁矿的重要依据。

3.2　研究区重点磁异常的定量拟合结果

此外,对研究区其他重点磁异常进行了定量拟合解释,各剖面定量解释结果见图 11 所示。

从图 11a 可知,C-2 磁异常(瓦岗)对应的隐伏磁性体埋深大,规模大,该磁性体顶面最小埋深约 930 m,对应欧拉反褶积磁源深度为 914 m,两种反演方法隐伏磁性体深度基本一致。

从图 11b 可知,C-3 磁异常(三角村)对应的隐伏磁性体顶面最小埋深约 680 m,对应欧拉反褶积磁源深度为 746 m,两种反演方法隐伏磁性体深度有一定差别。

从图 11c 可知,C-4 磁异常(黄辛庄)对应的隐伏磁性体顶面最小埋深约 750 m,对应欧拉反褶积磁源深度为 632 m;C-4 磁异常(善堂)为双峰,对应的 2 个隐伏磁性体顶面最小埋深 570~620 m,对应欧拉反褶积磁源深度分别为 601、507 m。两种反演方法隐伏磁性体深度基本吻合。

从图 11d 可知,C-5 磁异常(郭桑屯)对应的隐

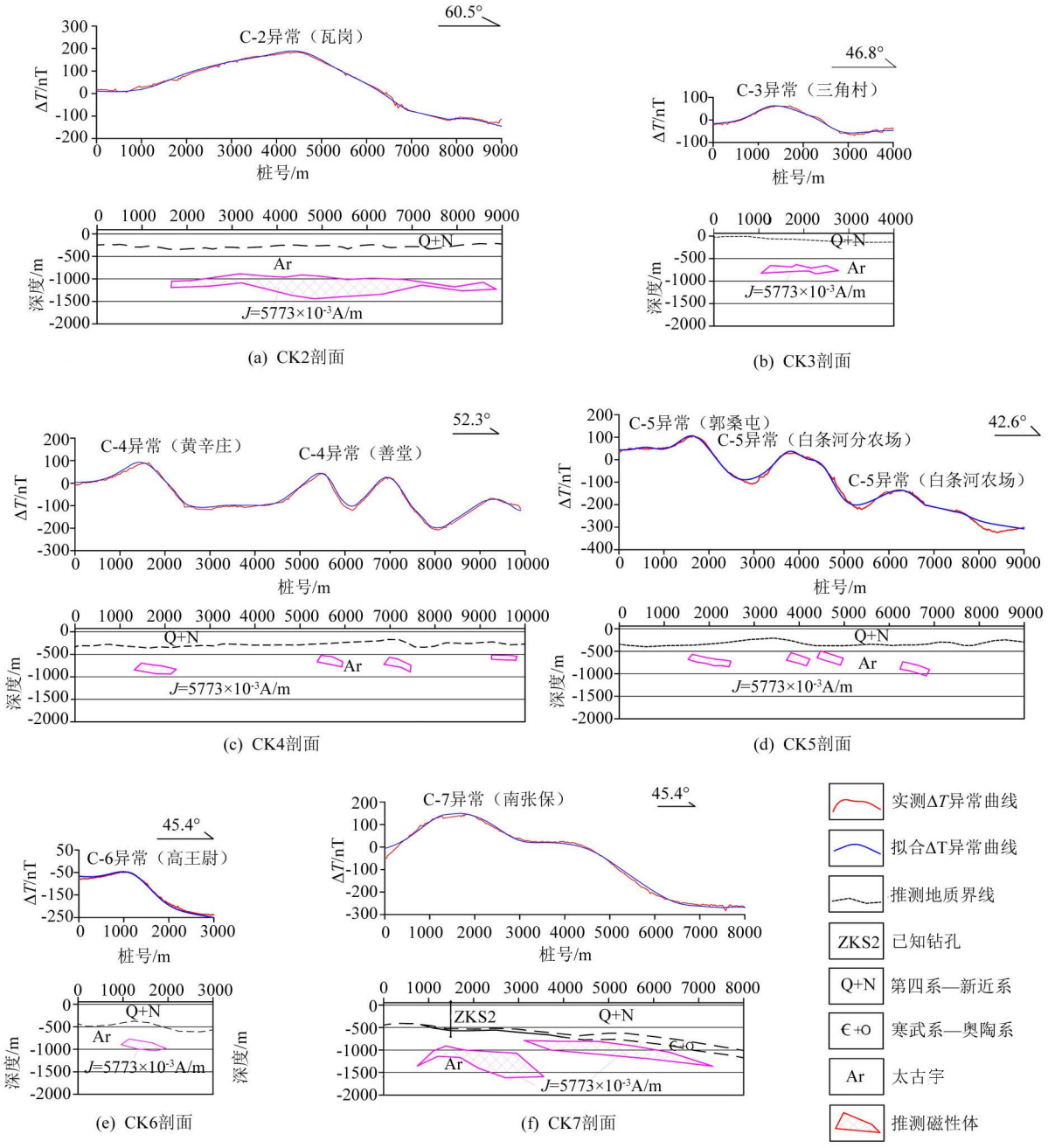


图 11　定量解释剖面

Fig.11　Quantitative interpretation of profiles

万方数据

伏磁性体顶面最小埋深约 620 m,对应欧拉反褶积磁源深度 900 m;C-5 磁异常(白条河分农场)为叠加异常,对应的 2 个隐伏磁性体顶面最小埋深 540~580 m,对应欧拉反褶积磁源深度 656 m;C-5 磁异常(白条河农场)对应的隐伏磁性体顶面最小埋深约 780 m,对应欧拉反褶积磁源深度 623 m。两种反演方法隐伏磁性体深度差别较大。

从图 11e 可知,C-6 磁异常(高王尉)对应的隐伏磁性体顶面最小埋深约 820 m,对应欧拉反褶积磁源深度854m。两种反演方法隐伏磁性体深度基本一致。

从图 11f 可知,C-7 磁异常(南张保)为叠加异常,对应 2 处规模较大的隐伏磁性体,南部磁性体顶面最小埋深约 960 m,对应欧拉反褶积磁源深度 1 091 m;北部磁性体顶面最小埋深约 840 m,对应欧拉反褶积磁源深度 1 038 m。两种反演方法隐伏磁性体深度有较大差别,但都较深。

3.3　深部找矿靶区预测

综合以上可知,研究区隐伏磁性体的埋深集中在 500~1 200 m,其中埋深较浅的磁性体规模一般较小。埋深超过 800 m 的隐伏磁性体主要位于瓦岗—榆涧、南张保 2 个区域。这两处异常规模大,强度高,对应磁性体规模大,以往验证工作“浅尝辄止”。在上述工作基础上,综合地质矿产资料圈定深部磁铁矿找矿靶区 2 处,靶区编号 B-1、B-2,见图 12 所示。2 个找矿靶区均位于太古宙变质岩或古生界隆起区,且构造相对发育,成矿条件较好,对找矿靶区特征进行了总结,结果见表 8。

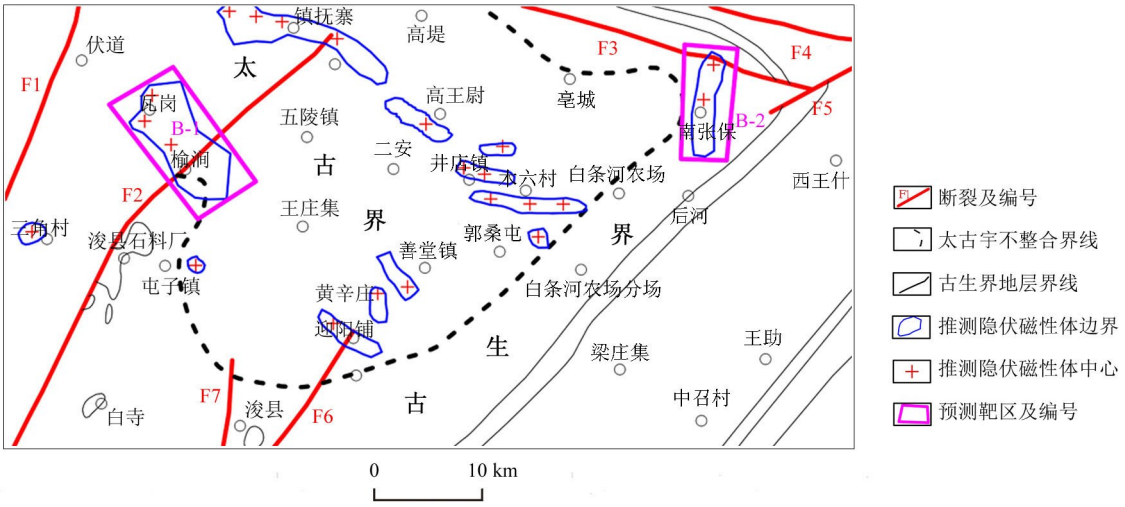


图 12　研究区磁铁矿深部找矿靶区预测

Fig.12　Prediction map of deep prospecting target area of magnetite in study area

表 8　预测磁铁矿深部找矿靶区特征

Table 8　Characteristic List of Prospecting Targets for Deep Magnetite

靶区编号	地理位置	可能成矿类型	重磁特征组合	重磁对应分析	磁性体顶面最小埋深	断裂	前人验证情况
B-1	瓦岗—榆涧	沉积变质型	化极磁高、剩余磁高、布格重力高、剩余重力低	较弱相关性	欧拉反褶积深度:914 m,拟合深度:930 m	断裂 F2 通过	4 个孔,孔深 336.77~670.1 m
B-2	南张保	沉积变质型叠加矽卡岩型	化极磁高、剩余磁高、布格重力高、剩余重力低	南部弱相关北部强相关	南部欧拉反褶积深度:1 091 m,拟合深度:960 m;北部欧拉反褶积深度:1 038 m,拟合深度:840 m	断裂发育,处于断裂 F3、F5 的交汇部位	1 个孔,孔深 762.15 m

4　结论

笔者利用化极磁异常解析信号振幅结合归一化总水平导数垂向导数(NVDR-THDR)极大值连线确定了隐伏磁性体的中心位置及边界,利用定位欧拉反褶积反演了磁源深度,研究了隐伏磁性体的埋深,利用相关系数对研究区重磁异常进行了同源性分

万方数据

析,表明本区重磁起因比较复杂,重磁异常呈弱相关。利用已知钻孔对屯庄—镇抚寨异常进行了约束拟合反演,确定了反演参数,在此基础上对研究区主要磁异常进行了定量拟合,计算表明磁性体顶面埋深一般大于 500 m,个别超过 900 m,磁性体主体埋深在 500~1 200 m。其中瓦岗—榆涧、南张保一带磁性体规模大,埋深大,深部找矿潜力大。

根据综合研究结果,圈定了瓦岗—榆涧、南张保等 2 个深部磁铁矿找矿靶区。结合国内覆盖区找矿经验,认为研究区在深部具备寻找较大规模磁铁矿的有利条件,建议后续重点开展深部找矿,早日实现找矿突破。

参考文献(References):

[1] 赵海娇, 龚建军, 徐正玉,等. 重磁反演在马口铁矿的应用[J]. 西部探矿工程, 2017,29(5): 138-142.
Zhao H J, Gong J J, Xu Z Y, et al. Application of gravity and magnetic inversion in Makou Iron Mine [J]. West-China Exploration Engineering, 2017,29 (5): 138-142.

[2] 李弘, 俞建宝, 吕慧,等. 雄县地热田重磁响应及控热构造特征研究[J]. 物探与化探, 2017,41(2): 242-248.
Li H, Yu J B, Lyu H, et al. Gravity and aeromagnetic responses and heat-controlling structures of Xiongxian geothermal area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(2): 242-248.

[3] 邢琮琮. 重磁数据处理在青海恰卜恰地区的应用研究[D]. 长春:吉林大学, 2017.
Xing C C. The application research of gravity and magnetic data processing in Qiabuqia area of Qinghai province [D]. Changchun: Jilin University, 2017.

[4] 张春灌, 袁炳强, 李玉宏,等. 基于重磁资料的渭河盆地氦气资源分布规律[J]. 地球物理学进展, 2017,32(1): 344-349.
Zhang C G, Yuan B Q, LI Y H, et al. Distribution of Helium resources in Weihe basin based on gravity and magnetic data[J]. Progress in Geophysics, 2017,32(1): 344-349.

[5] 韩波, 张训华, 田振兴. 利用重磁异常场研究东海深部构造[J]. 高技术通讯, 2015,25(5): 493-499.
Han B, Zhang X H, Tian Z X. Study of the deep structures features in the East China Sea using the gravity and magnetic anomaly field [J]. Chinese High Technology Letters, 2015, 25(5): 493-499.

[6] 王万银, 王云鹏, 李建国,等. 利用重、磁资料研究于都—赣县矿集区盘古山地区断裂构造及花岗岩体分布[J]. 物探与化探, 2014, 38(4): 825-834.
Wang W Y, Wang Y P, Li J G, et al. Study on the faults structure and granite body distribution in Pangushan area of Yudu-Gan xian ore district using gravity and magnetic data[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2014,38 (4):825-834.

[7] Mohammed J, Najib E G, Azzouz K, et al. Gravity and magnetic investigations in the Haouz basin, Morocco. Interpretation and mining implications[J]. Journal of African Earth Sciences, 2010, 58 (2):331-340.

[8] Martelet G, Perrin J, Truffert C, Deparis J. Fast mapping of magnetic basement depth, structure and nature using aeromagnetic and gravity data: combined methods and their application in the Paris Basin[J]. Geophysical Prospecting, 2013, 61(4):857-873.

[9] Aboud E, EI-Masry N, Qaddah A, et al. Magnetic and gravity data analysis of Rahat volcanic field, EI-Madinah city, Saudi Arabia [J]. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2015, 4(1): 154-162.

[10] EI Sayed I S. The integration of gravity, magnetic and seismic data in delineating the sedimentary basins of northern Sinai and deducing their structural controls[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 115:345-367.

[11] Sunaryo. Response of gravity, magnetic, and geoelectrical resistivity methods on Ngeni Southern Blitar mineralization zone[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2018, 979(1):1-9.

[12] 张增奇,李英平,王怀洪,等.山东省齐河禹城地区发现大型富铁矿[J].山东国土资源,2016,32(5):94.
Zhang Z Q, Li Y P, Wang H H, et al. Large iron-rich ores were found in Qihe-Yucheng area of Shandong Province [J]. Land and Resources in Shangdong Province, 2016, 32 (5): 94.

[13] 朱裕振,周明磊,高志军,等. 山东齐河—禹城地区矽卡岩型富铁矿的发现及其意义[J]. 地质通报, 2018, 37(5):938-944.
Zhu Y Z, Zhou M L, Gao Z J, et al. The discovery of the Qihe-Yucheng skarn type rich iron deposit in Shandong and its exploration significance[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(5): 938-944.

[14] 郝兴中,杨毅恒,李英平,等.山东成武—曹县地区磁异常特征及铁矿预测[J].地球物理学进展, 2018, 33(2):613-619.
Hao X Z, Yang Y H, Li Y P, et al. Magnetic anomaly characteristics and iron ore prediction of Chengwu-Caoxian county area in Shandong province, China [J]. Progress in Geophysics, 2018, 33 (2): 613-619.

[15] 汪青松,吴明安,袁平, 等.安徽省庐江县泥河铁矿重磁异常特征[J]. 地质与勘探, 2012,48(1): 148-154.
Wang Q S, Wu M A, Yuan P, et al. Characteristics of gravity and magnetic anomalies in the Nihe iron deposit of Lujiang County, Anhui Province [J]. Geology and Exploration, 2012,48 (1):148-154.

[16] 罗凡,严加永,付光明.基于已知信息约束的重磁三维反演在深部磁铁矿勘查中的应用——以安徽泥河铁矿为例[J]. 物探与化探, 2018,42(1):50-60.
Luo F, Yan J Y, Fu G M. The application of gravity and magnetic three-dimensional inversion based on known information constraint in deep magnetite exploration: A case study of the Nihe iron deposit in Anhui Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018,42(1):50-60.

[17] 卢焱,李健,白雪山,等.地面磁法在隐伏铁矿勘查中的应用——以河北滦平Ⅱ号铁矿为例[J].吉林大学学报:地球科学版, 2008,38(4):698-702.
Lu J, Li J, Bai X S, et al. Application of magnetic survey on hidden iron deposit prospecting: a case study on luanpingⅡ iron deposit in hebei province, china [J]. Journal of Jilin University:

万方数据

Earth Science Edition, 2008,38(4): 698 - 702.

[18] 张国利,赵更新,滕菲,等.高精度重力测量在冀东铁矿整装勘查区查找隐伏铁矿中的应用[J].地质调查与研究, 2014,37(1):46 - 51.
Zhang G L, Zhao G X, Teng F, et al. Application of the high precision gravity survey in prospeting concealed deposit in jidong iron ore peripheral coverage area[J].Geological Survey And Research, 2014, 37(1): 46 - 51.

[19] 张兴辽, 张平和, 豆效广. 河南省找矿突破战略行动三年成果汇总报告[R]. 河南省国土资源厅, 2014.
Zhang X L, Zhang P H, Dou X G. Summary report on the three-year achievements of henan province's strategic action for prospecting breakthroughs [R]. Department of Land and Resources of Henan Province, 2014.

[20] 陈天振, 张满波, 孙治新. 河南省内黄—浚县地区航磁异常查证报告[R]. 河南省地质矿产勘查开发局地球物理勘查队, 2011.
Chen T Z, Zhang M B, Sun Z X. Aeromagnetic anomaly verification report of Neihuang-Xunxian area in Henan province [R]. Geophysical Exploration Team of Henan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 2011.

[21] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1992.
Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geological records of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

[22] 李刚, 张琳, 周永波,等. 隐伏隆起区内部预测煤田的技术方法研究[J]. 中国矿业, 2014,23(9): 70 - 75.
Li G, Zhang L, Zhou Y B, et al. Study of technical method on looking for coal field inside the concealed uplift area [J]. China Mining Magazine, 2014, 23 (9): 70 - 75.

[23] 张琳, 张慧利, 杜婉怡,等. 浚县新镇一带煤系地层地质构造及其勘查方法研究[J].中国煤炭, 2016,42(11): 30 - 33.
Zhang L, Zhang H L, Du W Y, et al. Study on geological structure of coal measures strata in Xinzhen of Xunxian and its exploration methods [J]. China Coal, 2016, 42 (11): 30 - 33.

[24] 刘文忠. 河南内黄凸起北段煤田地质特征[J]. 内蒙古煤炭经济, 2017(10):157 - 158.
Liu W Z.Geological characteristics of coalfields in the northern section of Neihuang uplift in Henan [J].Inner Mongolia Coal Economy, 2017 (10): 157 - 158.

[25] 王万银.位场解析信号振幅极值位置空间变化规律研究[J].地球物理学报,2012,55(4):1288 - 1299.
Wang W Y. Spatial variation law of the extremum value position of analytical signal amplitude for potential field data [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012,55(4): 1288 - 1299.

[26] 王万银,邱之云,杨永,等. 位场边缘识别方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2010,25(1):196 - 210.
Wang W Y,Qiu Z Y, Yang Y, et al. Some advances in the edge recognition of the potential field [J]. Progress in geophysics, 2010, 25 (1): 196 - 210.

[27] Wang Wanyin, Pan Yu, Qiu Zhiyun. A new edge recognition technology based on the normalized vertical derivative of the total horizontal derivative for potential field data [J].Applied Geophysics, 2009,6(3):226 - 233+299.

[28] Dewangan P,Ramprasad T,Ramana M V,et al. Automatic interpretation of magnetic data using Euler deconvolution with nonlinear background[J]. Pure and Applied Geophysics, 2007,164(11): 2359-2372.

[29] Majid Beiki. TSVD analysis of Euler deconvolution to improve estimating magnetic source parameters: An example from the Aseie area, Sweden[J]. Journal of Applied Geophysics,2013: 90.

[30] 金家龙. 水下多磁性目标的欧拉反褶积定位算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2014.
Jin J L. Research on multiple underwater magnetic targets localization algorithm of Euler deconvolution [D]. Harbin:Harbin University of Engineering, 2014.

[31] Mashael M. AI-Saud. The role of aeromagnetic data analysis (using 3D Euler deconvolution) in delineating active subsurface structures in the west central Arabian shield and the central Red Sea, Saudi Arabia[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2014 (10):4361 - 4376.

[32] 林万里,方根显,戴清峰,等.基于重磁欧拉 3D 反褶积的相山基底起伏研究[J].物探化探计算技术,2015,37(2):158 - 163.
Lin W L, Fang G X, Dai Q F, et al. research of Xiangshan volcano basin based on 3D gravity and magnetic Euler deconvolution [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 37 (2): 158 - 163.

[33] 贾朔. 磁异常欧拉反褶积方法的改进及在福建永定大排矿区的应用[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
Jia S. The improvement of Euler deconvolution method of magnetic anomaly and its application in mining area of dapai in Yongding county in Fujian province [D]. Beijing:China University of Geosciences (Beijing), 2017.

[34] 史佳楠. 优化欧拉反褶积法及在目标体定位中的应用[D].长春:吉林大学,2018.
Shi J N. Optimization Euler's deconvolution and its application in target positioning [D]. Changchun:Jilin University, 2018.

[35] 赵汝敏, 朱光辉, 柏冠军. 重磁对应分析技术在缅甸 X 区块的应用研究[J]. 地球物理学进展,2013,28(2): 914 - 919.
Zhao R M, Zhu G H, Bai G J. The application of correspondence analysis technique of gravitational and magnetic anomalies in the process of factual data, in myanmar region [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28 (2): 914 - 919.

[36] 窦喜英,吴燕冈,王恩利,等. 重磁对应分析方法在东北地区实际资料处理中的应用[J].吉林地质,2010,58(2):331-340.
Dou X Y, Wu Y G, Wang E L, et al. The application of correspondence analysis method of gravity and magnetic anomalies in the process of factual data, in northeast China [J]. Jilin Geology, 2010,58 (2): 331-340.

[37] 刘前坤,李皎皎,徐璐平, 等. 卫星重、磁对应分析磁密比在判定地壳深部断裂上的应用——以西藏东北部地区为例[J].物探与化探,2015,39(S1):119 - 125.
Liu Q K,Li J J,Xu L P,et al. The application of the satellite corresponding analysis of the magnetism-density ratio to the determination of the deep crust fractures: A case study of northeast region of Tibet[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39 (S1):119 - 125.

万方数据

The research on the prediction of gravity and magnetic anomalies and deep magnetite target areas in the Neihuang-Xunxian area of Henan Province

SONG Hao[1,2,3], ZHANG Yi-Mi[2,3], WANG Wan-Yin[2,3]

(1. *Aerogeophysical and Remote Sensing Center of Henan Province, Zhengzhou* 450053, *China*; 2. *Institute of Gravity and Magnetic Technology, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*; 3. *College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: The Neihuang-Xunxian area in Henan Province is located in the Archaean basement uplift area, and has good gravity and magnetic anomalies. It has favorable conditions in the search for sedimentary metamorphic magnetite deposits. However, since the 1970s, due to the limitations of shallow prospecting knowledge, no breakthrough has been made in prospecting. Aimed at the target area of deep magnetite prospecting, the authors detected the plane position (center and boundary) of the concealed magnets in the study area by central recognition technology (analytical signal amplitude ASM) and edge recognition technology (NVDR-THDR), obtained the burial information of the concealed magnets in the study area by Euler deconvolution, and analyzed the homologous characteristics of gravity and magnetic anomalies in the study area by correlation coefficient. Combined with known boreholes, 2.5D fitting inversion of key magnetic anomalies in the study area was carried out, and the scale and spatial distribution characteristics of the concealed magnets were determined. The results show that the buried depth of the concealed magnets corresponding to the main magnetic anomalies is 500 ~ 1 200 m, and the ore-bearing property in the deep part is better than that in the shallow part, so the prospecting potential in the deep part is great. On the basis of comprehensive geological and mineral conditions, two deep prospecting target areas of Wagang-Yujian and Nanzhangbao magnetite ores were delineated. It is suggested that they should be the key directions in further deep prospecting with the purpose of achieving a breakthrough in deep prospecting in this area as soon as possible.

Key words: Neihuang-Xunxian area of Henan Province; gravity and magnetic anomalies; magnetite; deep prospecting target area

(本文编辑:王萌)

万方数据