

doi: 10.12029/gc20180411

王耀升, 刘申芬, 王俊鹤, 秦学业, 刘国庆, 崔小玲. 2018. 东秦岭南泥湖钼铅锌银多金属矿田地球物理场特征与深部找矿预测[J]. 中国地质, 45(4): 803–818.

Wang Yaosheng, Liu Shenfen, Wang Junhe, Qin Xueye, Liu Guoqing, Cui Xiaoling. 2018. Geophysical field characteristics and deep ore prospecting prediction of the Nannihu molybdenum lead–zinc–silver polymetallic ore field in East Qinling Mountain[J]. *Geology in China*, 45(4): 803–818(in Chinese with English abstract).

东秦岭南泥湖钼铅锌银多金属矿田地球物理场特征 与深部找矿预测

王耀升^{1,2} 刘申芬^{1,2} 王俊鹤² 秦学业² 刘国庆² 崔小玲²

(1. 河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心, 河南 郑州 450016;

2. 河南省有色金属地质矿产局第五地质大队, 河南 郑州 450016)

摘要:南泥湖钼多金属矿田是中国重要的钼(钨)铅锌银多金属矿产地,已探明超大型钼(钨)矿床3处,大型钼(钨)矿床3处,中、大型铅锌银(金)矿床10余处。矿田具有优越的地质成矿条件,深部找矿潜力巨大。现有矿产勘查深度主要是500 m以浅范围,深部(500~2000 m)找矿工作基本为空白,需要使用综合地球物理方法研究深部成矿规律,预测新的矿产资源。文章通过研究该区地质、地球物理场特征和典型矿床物探异常特征,取得了有意义的研究成果。(1)确定了与成矿关系密切的隐伏岩体侵入模型:将全区隐伏岩体从南至北分为3个区,Ⅰ区隐伏岩体顶面深度0~800 m,分布面积约125 km²;Ⅱ区隐伏岩体顶面深度0.8~1.5 km,分布面积约158 km²;Ⅲ区隐伏岩体顶面深度1.5~3 km,分布面积约233 km²。(2)建立了立体成矿模型(根据成矿空间位置的不同从地表向下分为4个空间成矿区)和综合地球物理找矿模型(包括隐伏岩体、隐伏岩体顶上带、岩钟和斑岩体、矿体和矿化体的地球物理场标志)。(3)指出隐伏岩体顶上带及其上方的岩钟、岩脉、岩枝和小斑岩体等是成矿有利部位。(4)预测了找矿潜力;总结了寻找钼钨铅锌银金矿产的勘查方法技术组合。研究成果对在该区和类似矿区进行深部找矿工作具有重要意义。

关键词:钼铅锌银矿田;地质地球物理场特征;立体成矿模型;成矿预测模型;找矿潜力;栾川南泥湖

中图分类号:P618.2;P631

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2018)04-0803-16

Geophysical field characteristics and deep ore prospecting prediction of the Nannihu molybdenum lead–zinc–silver polymetallic ore field in East Qinling Mountain

WANG Yaosheng^{1,2}, LIU Shenfen^{1,2}, WANG Junhe², QIN Xueye², LIU Guoqing², CUI Xiaoling²

(1. *Nonferrous metal mineral exploration engineering technology research center of Henan Province Zhengzhou, 450016, Henan, China*; 2. *Fifth Geological Brigade of Henan Bureau of nonferrous metals geology and mineral resources, Zhengzhou, 450016, Henan, China*)

收稿日期:2016-07-26; 改回日期:2017-03-24

基金项目:河南省国土资源科技项目(2011-072)资助。

作者简介:王耀升,男,1966年生,高级工程师,应用地球物理专业,长期从事金属矿地球物理勘查、工程物探、重磁电勘探数据处理与综合研究工作;E-mail:451241577@qq.com。

Abstract: The Nannihu molybdenum polymetallic orefield is an important production area of Mo (W) Pb, Zn, Ag polymetallic ore resources in China, which includes 3 proven super large molybdenum (tungsten) deposit, 3 large molybdenum (tungsten) deposits, and more than 10 medium and large Pb Zn Ag (A_{u}) deposits. The orefield has superior geological metallogenic conditions and deep prospecting potential. The depth of the existing mineral exploration is mainly 500m to a shallow range, and the deep (500–2000 m) prospecting work is basically blank. It is necessary to use the integrated geophysical method to study the metallogenic regularity and predict the new mineral resources. By studying the geological and geophysical characteristics of the area and the geophysical anomalies of the typical deposits, significant research results have been obtained: (1) The intrusion model of the concealed rock mass is established, which is closely related to the mineralization. The whole concealed rocks are divided into three zones from south to north; the depth of the top of the buried rock is 0–800 m, and the distribution area is about 125 km²; the depth of the top of the buried rock is 0.8–1.5 km, and its distribution area is about 158 km²; the depth of the top surface of the buried rock is 1.5–3 km, and its distribution area is about 233 km². (2) The three-dimensional metallogenic model, which is divided into four spatial metallogenic regions from the surface according to the different spatial locations of mineralization, and integrated geophysical prospecting model (the geophysical field marks of the concealed rock mass, the upper zone of the concealed rock mass, the kupola and the porphyry, the ore bodies and the mineralized bodies) are established. (3) It is pointed out that the concealed rock top belt and the kupola above it, dikes, apophyse and porphyry are favorable sites of mineralization. (4) Ore prospecting potential is predicted; the methods for prospecting of tungsten and molybdenum lead–zinc–silver gold mineral deposits are summarized. The research results have important significance for deep prospecting in this area and similar mining areas.

Key words: molybdenum lead zinc silver orefield; geophysical field characteristics of metallogenic geology; three-dimensional metallogenic model; metallogenic prediction model; prospecting potential; Luanchuan Nannihu

About the first author: WANG Yaosheng, male, born in 1966, senior engineer, engages in metal ore geophysical exploration, engineering geophysical prospecting, gravity and magnetic electrical data processing and comprehensive research; E-mail: 451241577@qq.com.

Fund support: Supported by Henan Land And Resources Science And Technology Projects (No. 2011–072).

1 引 言

南泥湖钼多金属矿田位于河南省栾川县西北部,是中国重要的钼(钨)铅锌银多金属矿产地,已探明超大型钼(钨)矿床3处,大型钼(钨)矿床3处,中、大型铅锌银(金)矿床10余处,小型的矿床(点)更是星罗棋布。早期的矿产勘查(20世纪50—80年代)以钼(钨)矿为主,找到了南泥湖、三道庄、上房沟、马圈等超大型钼(钨)矿床,近年经过地质大调查工作,又找到了鱼库、竹园沟、石窑沟、罗村等中大型钼(钨)矿床和冷水北沟、杨树凹、银洞沟、银和沟、百炉沟、核桃岔、红庄等中大型铅锌银金矿床(图1)。丰硕的找矿成果引起地质工作者极大关注并进行了卓有成效的科学研究工作,从不同角度对矿田矿床分布规律(燕长海等,2002;叶会寿等,2006;毛景文等,2009;张云政等,2009;黄凡等,2011)、成矿流体特征(段士刚等,2010;杨艳等,2009;杨永飞等,2009;段士刚等,2011;向君峰等,2012)、矿床成因类型、成矿物质来源和成矿动力学

背景(李永峰等,2005;陈衍景,2006;杨晓勇等,2010;卢欣祥等,2011)等进行深入的研究与探讨,取得了有意义的科研成果。研究成果总结和厘定了成矿时代、成矿类型和成矿阶段,指出钼(钨)和铅锌银为统一成矿系统不同位置成矿并与岩浆热液活动有关的多金属矿床,且与燕山期小斑岩体关系密切,即小岩体成大矿。这些研究成果大多以地质为主,且偏于对成矿规律和特征的研究,深部成矿预测研究特别是利用地球物理资料进行深部成矿预测研究工作做的较少;目前找到的钼多金属矿床主要是500 m以浅深度,深部(500–2000 m)找矿勘查工作基本为空白。随着全国深部找矿战略的实施,在该区进行深部找矿工作研究,扩大矿产储量规模,显得尤为重要。笔者在实施河南省科技项目“斑岩型钼矿床综合地球物理找矿模型研究”中,通过研究矿田地质、地球物理场特征和典型矿床物探异常特征,推定区内深部主要由隐伏岩体构成,根据重磁反演地质模型和典型剖面地质参数,确定了隐伏岩体侵入模型,建立了成矿预测模型和综合

地球物理找矿模型,预测了找矿潜力和勘查方法技术组合。研究成果对在该区和类似矿区进行深部找矿工作具有重要意义。

2 矿田地质特征

矿田大地构造位置处于华北陆块南缘洛南—栾川台缘褶皱带东段,南、北两侧分别与栾川断裂和马超营断裂相依。区内出露地层由北至南依次为中元古界熊耳群、官道口群、新元古界栾川群和下古生界陶湾群等,基底太华群地层出露于矿田东

部(图1)。熊耳群为一套中酸性—中基性火山熔岩建造,主要岩性以安山岩、英安岩、流纹岩为主;官道口群为一套浅海相含燧石条带碳酸盐岩建造,主要岩性由含燧石条带白云质大理岩和千枚岩组成;栾川群为一套陆缘碎屑—碳酸盐岩夹碱性火山岩沉积建造,主要岩性由石英砂岩、千枚岩、二云片岩、大理岩及其互层组成;陶湾群为一套陆缘碎屑—碳酸盐岩沉积建造,岩性以含砾灰岩、大理岩、千枚岩、变砂岩和石英岩为主。

区内构造以断裂、褶皱为主。栾川断裂与马超

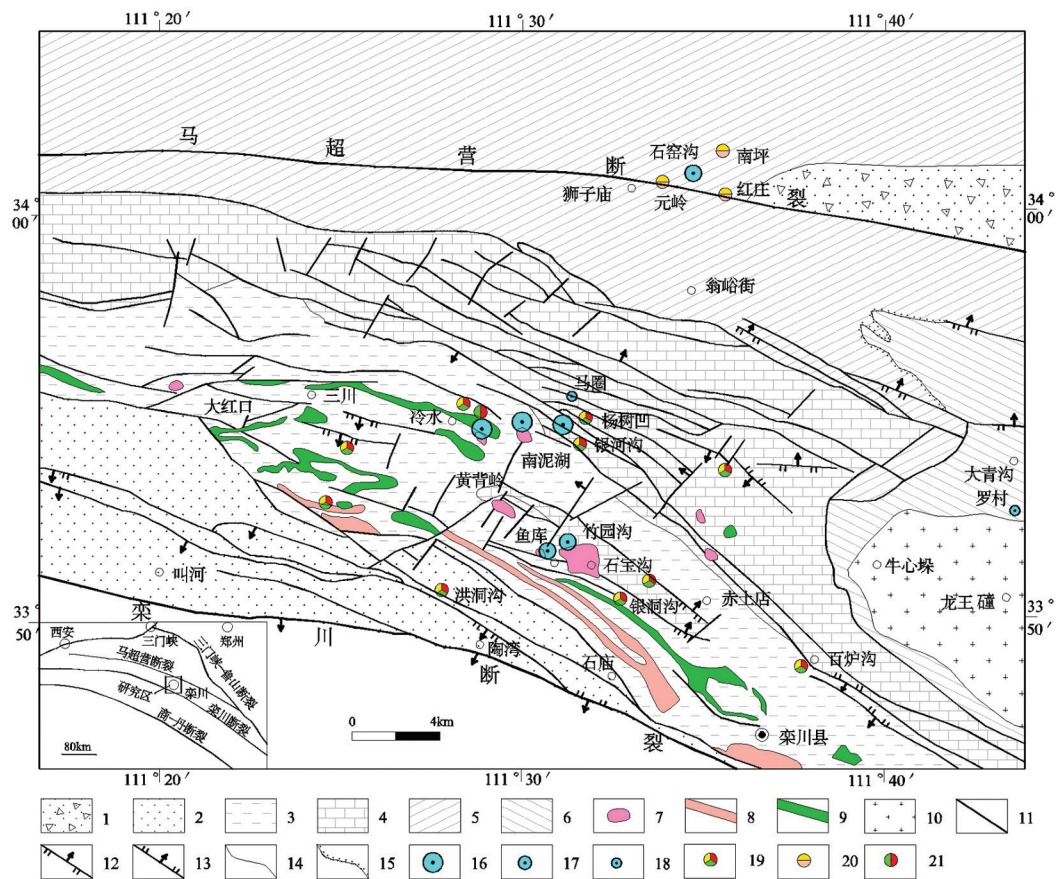


图1 南泥湖矿集区矿产地地质略图(据段士刚等,2011修改)

1—新生界古近-新近系;2—下古生界陶湾群;3—新元古界栾川群;4—中元古界官道口群;5—中元古界熊耳群;6—太古宇太华群;7—燕山期小斑岩侵入体;8—新元古界正长斑岩;9—新元古界辉长岩;10—中元古界碱性花岗岩;11—断层;12—逆冲断层;13—正断层;14—地质界线;15—不整合接触;16—超大型钼(钨)矿床;17—大型钼(钨)矿床;18—中型钼矿床;19—铅锌银矿床;20—金(银铅)矿床;21—多金属硫铁矿床

Fig.1 Geological sketch map of the Nannihu ore concentration area (modified after Duan Shigang et al., 2011)

1— Cenozoic Paleogene-Neogene; 2— Lower Paleozoic Taowan Group; 3— Neoproterozoic Luanchuan Group; 4— middle Proterozoic Guandaokou Group; 5— middle Proterozoic Xiong'er Group; 6— Archean Taihua Group; 7— Yanshanian small porphyry intrusive body; 8— Neoproterozoic syenite porphyry; 9— Neoproterozoic gabbro; 10— Mesoproterozoic alkaline granite; 11— Fault; 12— Thrust fault; 13— Normal fault; 14— Geological boundary; 15— Unconformity contact; 16— Superlarge molybdenum (tungsten) ore deposit; 17— Large molybdenum (tungsten) ore deposit; 18— Medium sized molybdenum deposit; 19—Lead-zinc silver deposit; 20—Gold (silver lead) deposit; 21— Polymetallic sulfur iron ore deposit

营断裂之间的NW—NWW向逆冲断层密集展布,断层之间为一系列NW—NWW向倒转褶皱,局部可见平卧褶曲,形成由北向南交替出现的向斜、背斜构造。区内主要有杨树凹—白沙洞向斜、银河沟背斜、增河口向斜、黄背岭—石宝沟背斜、核桃岔向斜等紧密褶皱。NW—NWW向逆冲断层与其间的大型牵引褶皱共同构成了由北向南的推覆构造体系;NE—NNE向断裂亦较发育,并叠加于NW—NWW向构造之上,形成区域格子状构造系统。NW—NWW向断裂或背斜核部与NE—NNE向断裂的交汇部位,是岩浆热液渗透侵入的构造薄弱带,也是含矿斑岩及其驱动的热液成矿系统的定位空间(叶会寿等,2006)。

区内岩浆岩非常发育,主要有新元古代变辉长(绿)岩、正长斑岩和晚侏罗世花岗斑岩等。变辉长(绿)岩和正长斑岩均沿NW向断裂呈不规则岩墙、岩席状侵入于栾川群地层中。晚侏罗世花岗斑岩属浅—超浅成相复式岩体,普遍具高硅高碱富钾特征。斑岩体总体呈环状分布,单个岩体出露面积较小,与成矿关系密切。区内分布有南泥湖、上房沟、鱼库、石宝沟、黄背岭、火神庙、马圈、大坪、郭店等九个酸性花岗斑岩体(图1),其中南泥湖、上房沟斑岩体出露面积仅为0.12 km²和0.05 km²,但却控制着南泥湖、三道庄和上房沟3个超大型钼(钨)矿床。南泥湖斑岩—矽卡岩型钼(钨)矿床赋存于南泥湖斑岩体与栾川群南泥湖组地层的内外接触带,以外接触带为主;三道庄矽卡岩型钼(钨)矿床赋存于远离南泥湖斑岩体1000多米的栾川群三川组大理岩中,成矿母岩为南泥湖斑岩体;上房沟斑岩—矽卡岩型钼(铁)矿床在上房沟斑岩体顶部全部矿化,向下在斑岩体中部出现无矿核,铁矿体赋存于矽卡岩中。鱼库、石宝沟和马圈斑岩体控制着鱼库、竹园沟两个大型钼(钨)矿床和马圈中型钼矿床。

矿田矿床分布总体以出露斑岩体为中心,中部集中分布鱼库、竹园沟、南泥湖、三道庄、上房沟、马圈、石宝沟等大、中型钼(钨)矿床(图1),两侧从北西至南东长达近30 km分布有冷水北沟、杨树凹、银河沟、赤土店、百炉沟等10余处中、大型铅锌银多金属矿床(王长明等,2006)。矿床分布总体呈现中部为钼钨等高温矿床,外围分布中低温铅锌银金矿床的水平分带特征。单个钼矿床外围仍有中低温矿

床分布,为大型矿集区中的次级矿集区。如石宝沟大型钼矿床,地质勘查是先在矿床外围找到了红庄、元岭、南坪等金矿床,伴生银铅,在对未见金矿的钻孔进行二次开发研究发现了厚大斑岩型钼矿床,斑岩体为隐伏(张江明,2010)。

3 矿田地球物理场特征

3.1 物性特征

区内密度大体可分为三类:(1)基底太华群($2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)、中元古界熊耳群($2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)、官道口群($2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)、新元古界栾川群($2.66 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)地层密度虽有差异,但总体来说为高密度体,密度变化范围 $2.66 \times 10^3 \sim 2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;(2)侵入岩从基性—中性—酸性密度值由高到低,但前者分布规模较小,一般不引起明显重力异常,分布规模较大的中生代酸性花岗岩一般为隐伏状态,密度明显较低,变化范围 $2.50 \times 10^3 \sim 2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,平均 $2.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;(3)古近—新近系、第四系密度最低,为 2.25×10^3 、 $1.93 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,古近—新近系分布于矿区边部,第四系分布于山间沟谷中,二者规模有限,不引起重力异常。中生代酸性花岗岩相对地层密度差异非常明显,为隐伏岩体的推测与圈定提供了便利的物性条件。

区内磁性变化比较复杂,基底太华群和中元古界熊耳群具中等磁性,其磁化率(κ)值一般为几百至 $4000 \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$;中元古界官道口群、新元古界栾川群和下古生界陶湾群地层具弱(微)磁或无磁性;侵入岩从基性—中性—酸性磁性由强到弱,基性辉长岩 κ 值一般($1000 \sim 2000$) $\times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$,但其分布规模较小,磁异常规模有限;分布规模较大的中生代酸性花岗岩一般显示弱(微)磁或无磁性, κ 值一般 $< 200 \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$;但当岩浆侵入近地表在构造有利部位形成矽卡岩型磁铁矿化,可形成强度较高的磁异常;新生代古近—新近系、第四系无磁性。

电性:区内熊耳群、官道口群和栾川群地层电阻率较高($1000 \sim 3000 \Omega \cdot \text{m}$),极化率一般小于2%,属于高阻低极化特征。花岗斑岩具有较高的电阻率(一般大于 $1000 \Omega \cdot \text{m}$)。斑岩型钼矿石具有中等电阻率(几百 $\Omega \cdot \text{m}$)和较高的极化率(3%~8%),最高可达25%;铅锌矿石具有明显的低阻高极化特征,矿石品位和结构构造的不同,电性会有较大差异,

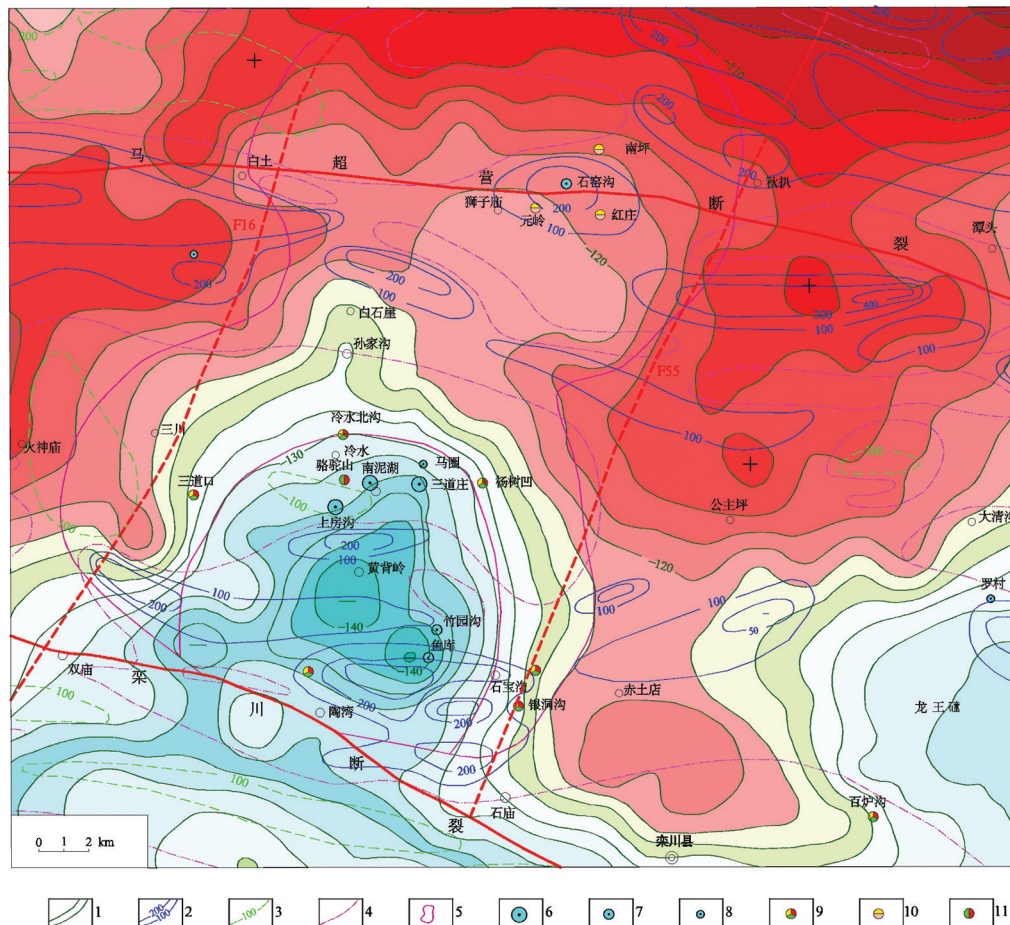


图2 南泥湖矿集区重磁异常图

1—重力等值线;2—航磁 ΔT 正等值线;3—航磁 ΔT 负等值线;4—航磁 ΔT 零等值线;5—推断隐伏岩体范围;6—超大型钼(钨)矿床;
7—大型钼(钨)矿床;8—中型钼矿床;9—铅锌银矿床;10—金(银铅)矿床;11—多金属硫铁矿床

Fig.2 Gravity and magnetic anomaly map of the Nannihu ore concentration area

1—Gravity contour; 2— ΔT positive aeromagnetic isoline; 3— ΔT negative aeromagnetic isoline; 4— ΔT aeromagnetic zero isoline;
5—Inferred concealed rock; 6—Superlarge molybdenum (tungsten) ore deposit; 7—Large molybdenum (tungsten) ore deposit;
8—Medium molybdenum deposit; 9—Lead-zinc-silver deposit; 10—gold (silver-lead) deposit; 11—Polymetallic sulfur iron ore deposit

电阻率一般为几十~几百 $\Omega \cdot m$,极化率一般为10%~30%,最高可达80%以上。相对地层围岩,矿石的低阻高极化特征为应用电阻率法和激电法找矿提供了良好的物性前提。

物性数据主要取自“河南省熊耳山1:20万区域重力调查报告”和“河南省1:20万航磁图说明书”,电性数据为河南省有色金属地质矿产局第五地质大队实测。

3.2 重力场特征

河南省地矿厅物探队于20世纪90年代初完成的熊耳山地区1:20万区域重力测量(使用CG—2型和MS400型重力仪,工作总精度 $0.710 \times 10^{-5} m/s^2$)包括本次研究范围,区内布格重力异常总体显示为

非常明显的重力低(图2),布格重力异常最低值位于黄背岭—鱼库一带,相对周边重力值变化幅值达 $-26 \times 10^{-5} m/s^2$ 。不同幅值的重力低异常分布特征明显不同,较高幅值重力低异常分布于冷水—陶湾一带,呈近南北向椭圆状展布,等值线分布密集,南依栾川断裂,北靠马超营断裂;较低幅值重力低异常位于南泥湖—狮子庙一带,呈北东向展布,重力值由南向北逐步升高,等值线分布稀疏,向北东经过马超营断裂仍有一定范围的扩展。根据上延不同高度重力异常图及其垂向二阶导数零值线图,随着上延高度的增加,冷水—陶湾重力低异常和垂向二阶导数零值线位置逐步向南偏移,与老君山岩体引起的重力低异常合为一起。在剩余重力异常图上,总体重

力低异常被分为南、北两个低值中心,南部剩余异常幅值较高,位于冷水—鱼库一带,呈北西西向展布,与较高幅值布格重力低异常范围基本重合;北部剩余异常幅值较低,位于狮子庙南、北两侧,呈北东向展布,与较低幅值布格重力低异常范围大体对应,只是其剩余重力低异常的零值线向北东有较大范围的扩展,直至花山岩体附近。

根据区域物性特征,在具有较高密度的中、新元古界地层分布区产生如此明显的重力低异常,只能解释为由隐伏酸性岩体所引起(王纪中等,2010;梁学堂等,2016)。不同幅值的两个重力低异常(冷水—陶湾、南泥湖—狮子庙)反映的是两个隐伏侵入岩体,且其侵入中心、深度和走向各不相同。冷水—陶湾隐伏岩体侵入中心位于黄背岭—鱼库一带,北西走向,主要受近东西向—北西向深大断裂和栾川断裂的控制,南侧与老君山岩体相连;南泥湖—狮子庙隐伏岩体侵入中心位于狮子庙一带,北东走向,南侧与冷水—陶湾隐伏岩体衔接,向北有较大范围的扩展,深部与花山岩体相连,主要受重力推断的北东向董家沟—双庙(F_{16})和头官庙—黑子坪(F_{55})深断裂的控制(图2)。根据位于陶湾—李岗寨

的重力反演剖面,隐伏岩体南厚北薄,南部鱼库一带厚度达到15 km,北部岩体厚度3~5 km;隐伏岩体深度在鱼库—南泥湖一带0~800 m,向北逐步加深,在狮子庙一带达到2~3 km,在狮子庙以北区段深度达到3~5 km(图3)。

3.3 磁场特征

在1:20万航磁(由河南省地质局物探队于1986年根据1:5万航磁资料编制)成果图中,研究区航磁异常总体处于弱背景磁场中,大部分地段反映为100~-100 nT的弱磁场,以负磁异常为主。在矿田南、北部分布两个正磁异常(带),北部磁异常带基本沿马超营断裂呈带状断续分布,强度100~400 nT;南部磁异常位于冷水—陶湾一带,共有5个独立磁异常组成,面积均较小,近东西或北西走向,幅值100~600 nT,磁异常分布范围基本与较高幅值重力低异常范围对应(图2)。

以负值为主的弱磁异常主要反映了矿田内一套无磁—弱磁的中—新元古界沉积地层和中生代酸性岩体(主要为隐伏岩体)的磁场特征;北部正磁异常带为马超营断裂带内磁性蚀变带和熊耳群地层综合所引起,具中等磁性的熊耳群火山岩主要分布

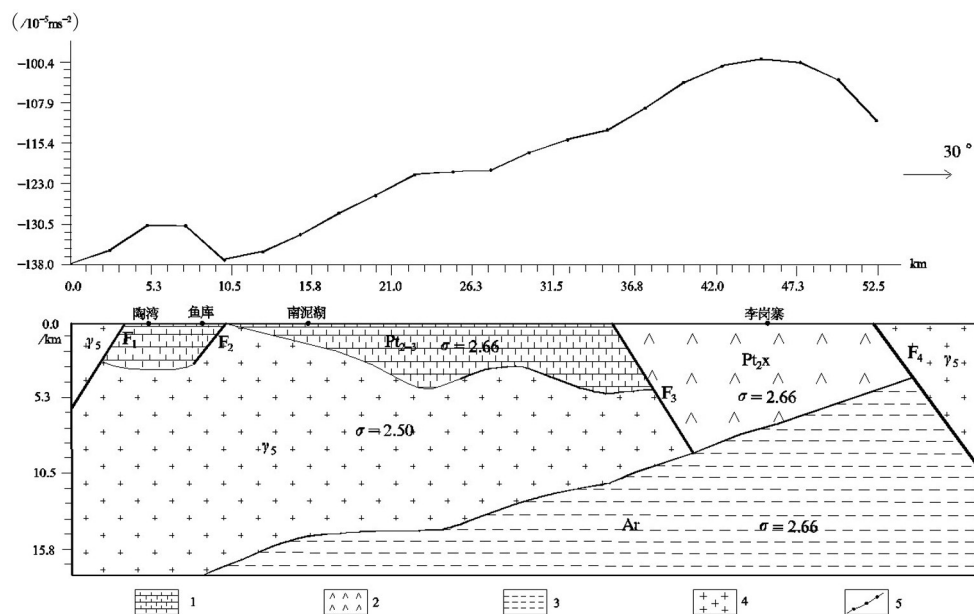


图3南泥湖矿集区重力异常反演拟合剖面图(据王纪中等,2010修改)

1—中、新元古界官道口群、栾川群;2—中元古界熊耳群;3—太古宇太华群;4—燕山期酸性岩体;5—重力原始、拟合异常

Fig. 3 Fitting section of gravity anomaly inversion in the Nannihu ore concentration area

(modified from Wang Jizhong et al., 2010)

1—Middle Proterozoic and Neoproterozoic Guandaokou Group, Luanchuan Group; 2—Mesoproterozoic Xiong'er Group; 3—Archean Taihua Group; 4—Acidic rock mass in the Yanshanian period; 5—Gravity primitive and fitting anomaly

于马超营断裂带及其两侧,断裂带内及其附近由于侵入作用形成磁性蚀变带;南部正磁异常是出露基性岩体和浅部酸性岩体与其围岩的接触带及其附近形成的矽卡岩型磁铁矿化的综合反映。

研究区内弱磁性特征非常明显。地面高精度磁测(张毅星等,2006)计算了冷水地区正常地磁总场为51790 nT,在上房沟及南泥湖岩体测得地磁总场为45186 nT和48639 nT,岩体磁场值比正常场低3151 nT和6604 nT。如此低值的地磁总场由多种因素造成,一是由于规模巨大隐伏岩体的弱磁性特征,二是由于矿田处于近东西向幔凹的核部,莫氏面深度最大,区域磁性等温居里面最浅,区域磁性减弱。

3.4 重磁场综合特征

矿田重力场是非常典型的重力低异常,磁场特征除在矿田南部一些地段和马超营断裂附近为正磁异常外,其余地段均为以负值为主的弱磁异常,总体属磁力低异常反映,则该区属于重力低、磁力低异常特征,区域重磁场解释中称为“双低”重磁异常。“双低”重磁异常是区内隐伏酸性岩体的重磁场特征,通过地质、地球物理特征和变化规律的综合研究,确定其地质-地球物理模型。

3.5 矿床物探异常特征

罗村斑岩-角砾岩型钼矿床。该矿床是河南省有色金属地质矿产局第五地质大队近年找到的中型钼矿,斑岩体由外向内由花岗闪长岩、侵入角砾岩和钾长花岗斑岩组成,呈环带状分布,钼矿体产于中环带侵入角砾岩中。地面高精度磁测(使用加拿大生产的GSM-19T磁力仪)总体表现为环状磁异常,在斑岩体中心地带(钾长花岗斑岩)基本无磁性,中环带(侵入角砾岩)表现为100~200 nT的弱磁异常,表明矿化蚀变作用较强,外环带(花岗闪长岩)则反映为400~600 nT的磁异常。位于04勘探线的激电测深(使用DJF-10大功率激电测量系统)剖面(图4),钼矿体部位视极化率(η_s)表现为3%~5%,视电阻率表现为200~300 $\Omega \cdot m$,角砾岩体部位视电阻率较高,为400~800 $\Omega \cdot m$ 。矿体部位能产生中等强度极化率异常和中等强度视电阻率异常,根据这一特征,推断在04勘探线南角砾岩带深部有隐伏矿体赋存,经钻探验证找到了新的斑岩型钼矿床。

鱼库斑岩型钼(钨)矿床。地表出露栾川群三川组及煤窑沟组钙(碳)质片岩、黑云母大理岩、白

云母大理岩、花岗斑岩、辉长岩等。可控源电磁测深剖面,在浅部视电阻率高、低相错,不均匀性明显, ρ_s 值从几十 $\Omega \cdot m$ ~几百 $\Omega \cdot m$ ~千余 $\Omega \cdot m$ 相间出现,总体显示高阻特征,反映了近地表地层岩性和构造的电性特征;向下为钼矿体赋存位置,视电阻率反映为由低值向高值的渐变带, ρ_s 为100~500 $\Omega \cdot m$ 的中低视电阻率,反映了矿化蚀变带的电性特征;下部为斑岩体,视电阻率反映为600~1100 $\Omega \cdot m$ 的中高阻异常(马振波等,2011)。同剖面主矿体部位的频谱激电(SIP)测量,测量区域内大部分地段极限充电率 m_1 值较高、时间常数 τ_1 为1~18、频率相关系数 $C_1 > 0.4$,可解释为极化介质均匀的浸染状含硫化物矿化体。斑岩型钼矿床的频谱激电特性可描述为高充电率、低时间常数。频谱激电和电磁测深二者结合可以确定钼多金属矿化位置。

石窑沟斑岩型钼矿床。地表出露熊耳群安山岩、英安岩、流纹斑岩等,矿区西侧羊道沟附近有花岗斑岩脉出露。矿区成矿受隐伏斑岩体控制,钻孔控制岩体面积大于0.12 km²,ZK519孔深800.90 m,在418.48~647.30 m见10条花岗斑岩脉(枝),厚度0.40~9.82 m,671.35~800.90 m为稳定的花岗斑岩脉。在纵Ⅶ线施作的EH4连续电导率测量,对应矿化部位视电阻率反映为50~500 $\Omega \cdot m$ 的低阻,低阻区与斑岩及矿化范围一致,为一个近柱状的低阻异常区(张江明,2010;张江明等,2011)。

冷水北沟铅锌银矿床。地表出露官道口群及栾川群白云石大理岩、炭质板岩、石英砂岩和碳酸盐岩等。在含矿构造蚀变带上物探异常表现为低电阻、负磁场,两侧的围岩地段为高电阻、正磁场。位于S027矿脉的激电测量,矿脉位置反映的视极化率异常普遍较高,呈带状分布,极大值14.7%;两侧的围岩地段 η_s 值一般为4%~6%,显示极化背景场较高,说明区域矿化作用较强(王长明等,2006)。

百炉沟铅锌银矿床。地表出露官道口群及栾川群白云石大理岩,夹含碳绢云千枚岩及钙质千枚岩、石英岩、云母片岩,钾长石石英岩等。通过已知勘探剖面的可控源电磁测深,在铅锌矿体部位反映为低阻特征,视电阻率 $< 200 \Omega \cdot m$,围岩为高阻,视电阻率一般为几百~1000 $\Omega \cdot m$ 。为了解主矿脉延深情况,选择分辨率较高的SIP测量,在主矿脉位置视电阻率较低,充电率 m_1 值较高,时间常数 τ_1 在0.3~3.5之间、频率相

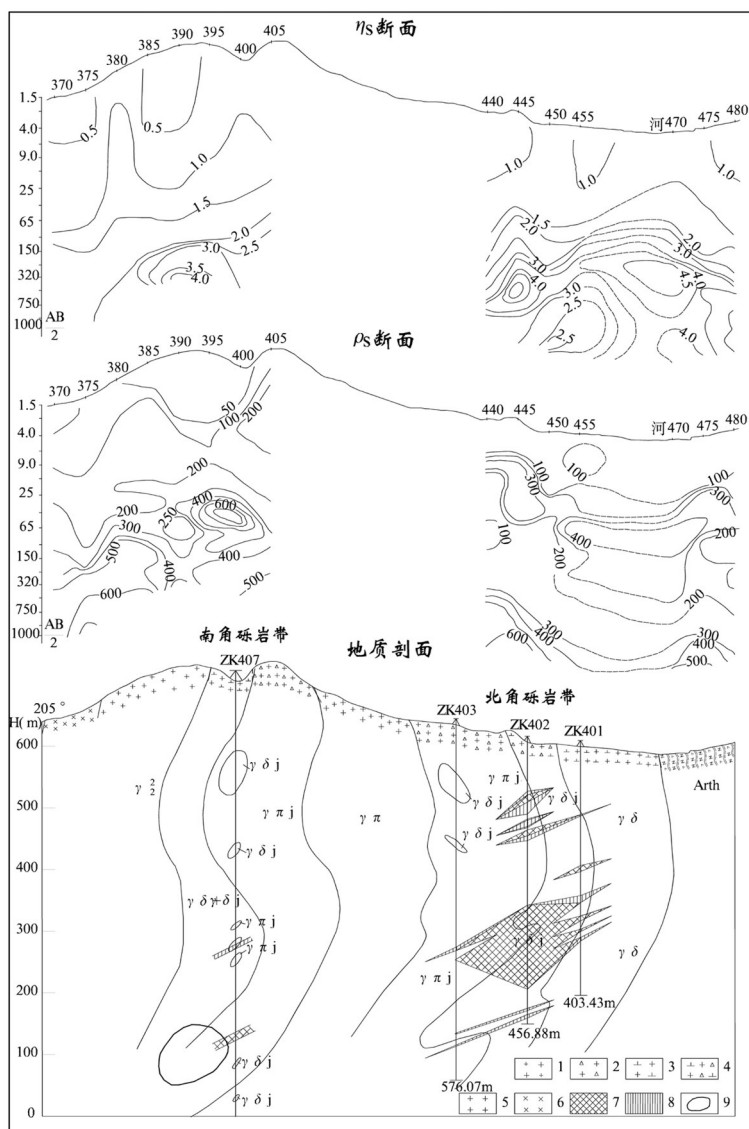


图4 罗村钼矿区04勘探线地质物探综合剖面图

1—花岗斑岩; 2—花岗角砾岩; 3—花岗闪长岩; 4—花岗闪长角砾岩; 5—中粗粒花岗岩; 6—辉绿岩; 7—工业品位矿体; 8—边界品位矿体; 9—推断钼矿体

Fig.4 Comprehensive section of geological and geophysical of the 04 exploration line in the Luocun molybdenum mine area

1—Granite porphyry; 2—Granite breccia; 3—Granodiorite; 4—Granodiorite breccia; 5—Medium coarse grained granite; 6—diabase;

7—Industrial grade ore body; 8—Boundary grade ore body; 9—Inferred molybdenum ore body

关系数 C_1 大多 <0.4 ,矿体具有低视电阻率、高充电率、低时间常数、低频率相关系数。根据已知矿脉的频谱激电特征,推断在主矿脉延深方向有新矿体赋存,经坑道验证找到了新的铅锌矿体(马振波等,2011)。

上述5个典型矿床有2个(罗村、百炉沟)位于重磁推断的隐伏岩体区外围,这些矿床仍属于南泥湖钼多金属矿田的一部分,同样受到隐伏岩体的控制。百炉沟铅锌银矿床可能是受隐伏岩体区高温元素成矿区控制的中低温元素矿床,罗村斑岩—角砾岩型钼矿

床可能是深部隐伏岩体沿构造侵入的分支。

4 立体成矿模型与综合地球物理找矿模型

4.1 隐伏岩体侵入模型

通过对矿田重磁场特征的分析与研究,综合推断深部为规模巨大的隐伏花岗岩基;根据重磁资料的解析延拓、垂向导变化特征和典型剖面定量计算等并参照现有勘探资料,综合推定隐伏岩体顶面

形态(王功文等,2011)如图5。隐伏岩体由浅、深两部分组成。浅部岩体呈平顶的“斗笠”状分布于栾川断裂和马超营断裂之间,由Ⅰ区和Ⅱ区组成,Ⅰ区隐伏岩体位于冷水—陶湾一带,分布面积约125 km²,顶面深度0~800 m,地表有花岗斑岩(脉)出露;Ⅱ区隐伏岩体分布于Ⅰ区的外围,面积约158 km²,由内向外顶面深度逐步加大(0.8~1.5 km),北部至马超营断裂附近深度达到2 km。深部岩体分布于南泥湖—狮子庙—李岗寨一线,由Ⅲ区组成,分布面积约233 km²,呈向北缓倾斜的斜坡状,顶面深度1.5~3 km,北部最深达到5 km。

浅、深两部分隐伏岩体为不同期次的岩浆侵入活动形成。位于浅部隐伏岩体区的南泥湖、三道庄、上房沟3个超大型钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素测年成果(李永峰等,2003),获得模式年龄分别为(141.8±2.1)Ma、(145.0±2.2)Ma、(144.8±2.1)Ma,与南泥湖、上房沟斑岩体成岩年龄(145.2±1.5)Ma~(146.7±1.2)Ma(向君峰等,2012;杨阳等,2012)吻合较好;位于深部隐伏岩体区的石窑沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年成果(高亚龙等,2010),获得模式年龄为(133.4±1.0)Ma(暂无岩体测年数据),成矿与成岩一般同时或成矿略晚于成岩,该数据可近似代表成岩年龄。可知浅部隐伏岩体的形成时代与金堆城含矿斑岩(140.95±0.45)Ma(朱赖民等,2008)、洛宁地区沙沟矿区(位于寨凹隐伏岩体区)近矿蚀变岩绢云母和铬云母(145.0±1.1)Ma和(147.0±1.5)Ma(毛景文等,2006)形成时代相近,形成于晚侏罗世;深部隐伏岩体的形成时代与花山岩体附近的雷门沟斑岩体(136.2±1.5)Ma(李永峰等,2006)和合峪岩体边部的鱼池岭钼矿成岩、成矿(131.8±0.7)Ma、(131.2±1.4)Ma(周珂等,2009)形成时代相近,形成于早白垩世。浅、深隐伏岩体的成岩成矿作用应为不同期次的构造-岩浆-流体活动。

4.2 立体成矿模型

据张德会等(2007)和金旭东等(2010)研究,侵入体上方是岩浆流体聚焦流动的位置,存在液气两相区即流体产生沸腾的主要部位。在深部压力的驱使下,流体在侵入体顶部高强度聚集、沸腾并与地下水混合,岩浆流体释放渗透率逐渐增大,侵入体附近的压力逐渐增大,当岩浆压力和热液流体压力大于静岩压力时形成构造裂隙和水力破裂,形成

岩钟、岩脉、岩枝等形态各异的岩浆侵入体。伴随温度的下降,金属元素浓度达到饱和,在侵入体上部沉淀富集,形成多金属矿化。紧随侵入体围岩破裂和流体释放,侵入体内压远小于围岩的抗张强度,系统对挥发分逃逸变得封闭,内部超压再次增强,二次沸腾再次集结。内压的周期性聚集和构造裂隙的更新可以多期发生,重复的二次沸腾、破裂和减压过程常见于烟囱状的裂隙系统中,这种体系集中于直立的岩珠内,并作为岩浆水溶相上升的通道,形成低于岩浆温度的热液蚀变,正常情况下形成斑岩型多金属矿床。

隐伏岩体顶上带和岩钟(是指直径200~1000 m的陡边筒状岩珠或岩颈顶端的穹状部分)在与花岗岩有关矿床的形成过程中起着重要的控矿作用(张德会等,2007)。岩浆的热量和挥发分自岩浆岩顶上带、凸起的岩钟或穹隆处向周围介质传递和流动,矿床的形成和分布受熔体和热液温度、压力的控制,自侵入体向外呈现有序的分带,在侵入体上部及附近形成斑岩型或矽卡岩型高温元素(Mo、W等)矿床,外围在围岩的构造裂隙中形成远程中、低温元素(Pb、Zn、Ag、Au等)矿床。实际工作中寻找与岩浆作用有关的热液矿床,在某种程度上就是寻找隐伏岩体顶上带和其上方的岩钟、岩脉、岩枝及小斑岩体等,这些地带是岩浆期后热液矿化的位置,是地质、地球物理和地球化学异常综合反映的地带。

南泥湖钼多金属矿田深部主要由隐伏岩体构成,成矿模型从地表向下可分为:(1)由地表出露斑岩体控制的钼铅锌银多金属矿床,可视为第一空间成矿区;(2)由隐伏斑岩体控制的钼铅锌银多金属矿床,可视为第二空间成矿区;(3)由深部岩钟、岩脉、岩枝控制的钼铅锌银多金属矿床,可视为第三空间成矿区;(4)由隐伏岩体顶上带控制的钼铅锌银多金属矿床,可视为第四空间成矿区(图6)。目前已经找到的钼多金属矿床主要是第一空间成矿区和部分第二空间成矿区的矿产,深部更多的多金属矿床还有待于勘查。深部找矿勘查需选择勘探深度大、分辨率较高的物探方法,通过综合研究确定隐伏岩体顶上带和岩钟、岩脉、岩枝以及小斑岩体的位置与分布情况,这是深部找矿工作的有效途径。

4.3 成矿模式

南泥湖钼多金属矿田矿床的形成与燕山期隐

伏大花岗岩基密切相关,并受其上方岩钟、岩脉、岩枝和小斑岩体的控制,成矿系统是大岩基岩浆热液高度分异演化的产物,成矿背景处于中生代中国东部构造体制发生大转换,即由SN向主应力场向近东西向主应力场转变的构造环境中。

自加里东运动开始,直至三叠纪早期,秦岭造山带一直处于稳定发展阶段。印支期末,秦岭造山带与扬子、华北板块实现碰撞对接,开始陆-陆碰撞造山(李永峰等,2005;陈衍景,2006、2010)。中生代随着扬子克拉通北缘向华北克拉通南缘之下A型深俯冲的加剧,秦岭造山带和华北陆块南缘产生

了强烈地陆内变形,发生了大规模的拆离滑脱、逆冲推覆构造运动,在华北陆块南缘形成自北而南逆冲推覆的洛南—栾川逆冲推覆构造系(张国伟等,2001)。造山期后从中侏罗纪开始可能受到印度板块和大洋板块的俯冲和地幔动力学机制的影响(程顺有等,2003;袁学诚,2007;袁学诚等,2009),中国东部构造体制发生由SN向主应力场向近EW向主应力场的转变,即由挤压增厚向伸展减薄的构造体制转换,大量北东向断裂形成。强烈地构造运动使地幔对流平衡和岩石圈状态平衡遭到破坏,软流圈上涌,岩石圈底部物质被软化,并逐层剥蚀上覆岩

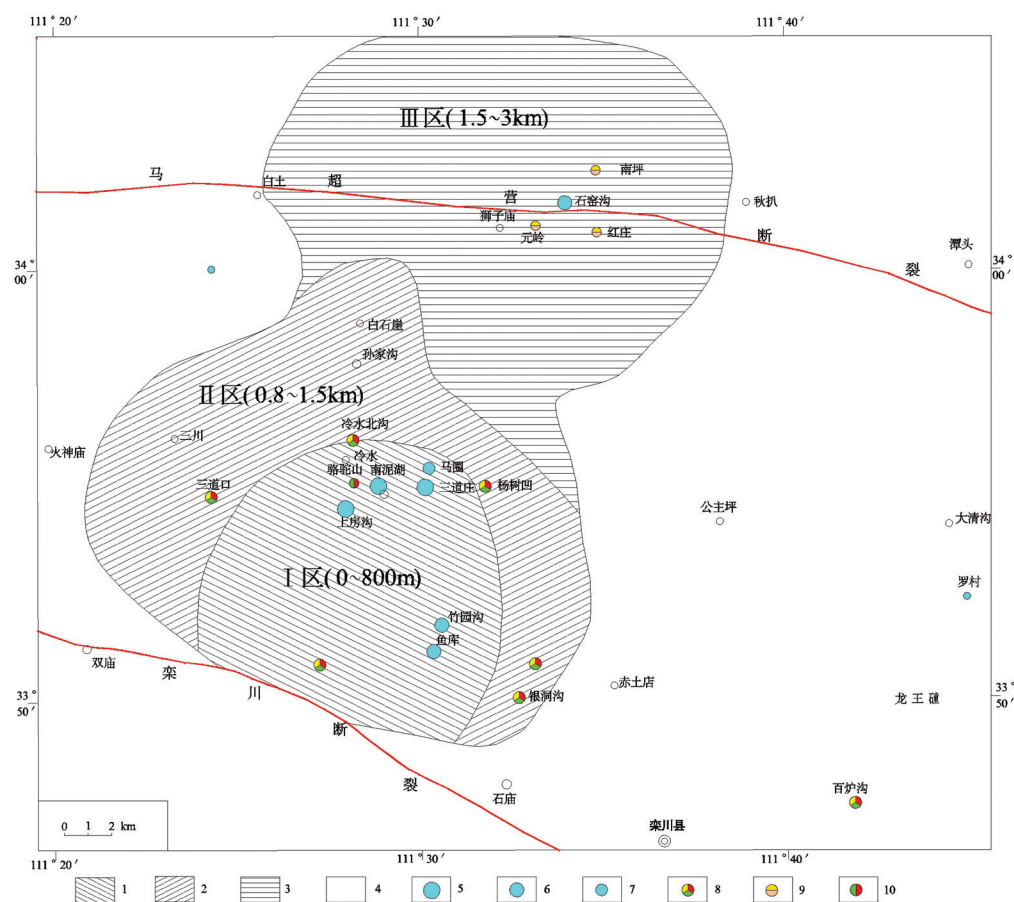


图5 南泥湖矿集区重磁推断隐伏岩体图

1—深度0~800 m隐伏岩体范围;2—深度0.8~1.5 km隐伏岩体范围;3—深度1.5~3 km隐伏岩体范围;4—围岩地层(从北至南为中元古界熊耳群、官道口群、新元古界栾川群、下古生界陶湾群);5—超大型钼(钨)矿床;6—大型钼(钨)矿床;7—中型钼矿床;8—铅锌银矿床;9—金(银铅)矿床;10—多金属硫铁矿床

Fig.5 Gravity and magnetic inferred hidden rock mass map of the Nannihu ore concentration area

1—Depth 0~800 m buried rock mass range; 2—Depth 0.8~1.5 km buried rock mass range; 3—Depth 1.5~3 km buried rock mass range; 4—Surrounding rock stratum (from the north to the south of the Mesoproterozoic Xiong'er Group and Guandaokou Group, Neoproterozoic Luanchuan Group, lower Paleozoic Taowan Group); 5—Superlarge molybdenum (tungsten) ore deposit; 6—Large molybdenum (tungsten) ore deposit; 7—Medium molybdenum deposit; 8—Lead zinc silver deposit; 9—Gold (silver-lead) deposit; 10—Polymetallic sulfur iron deposit

石圈。幔源岩浆的底侵作用使下地壳部分熔融,形成新的富含成矿物质的花岗质岩浆(图6)。在深部压力的驱使下,新的岩浆沿深大断裂和构造薄弱部位向上侵入,大规模的岩浆侵入活动位于华北陆块南缘,特别是洛南—栾川—方城一带,南至栾川断裂,北至马超营断裂,区域位置与近东西向幔凹基本对应,软流圈上涌活动和底侵作用强烈。南泥湖钼多金属矿田位于该幔凹的中部,深部岩浆流体初始阶段主要沿栾川断裂和北西向主干断裂上侵,形

成规模巨大的岩浆房。在岩浆房上部经高度分异演化其挥发组分达到过饱和并产生沸腾,具有高度活性的挥发组分汲取了岩浆房中大量的成矿元素,和高度分异演化的岩浆组分聚合沿构造薄弱部位和NW、NE向断裂及其复合部位侵位,形成岩钟、岩脉、岩枝和小斑岩体等(图6)。矿床的形成和分布受热液温度、压力和构造的控制,自侵入体向外呈现有序的分带,在侵入体上部、顶部及其附近的围岩中形成斑岩型或斑岩-矽卡岩型高温元素(Mo、

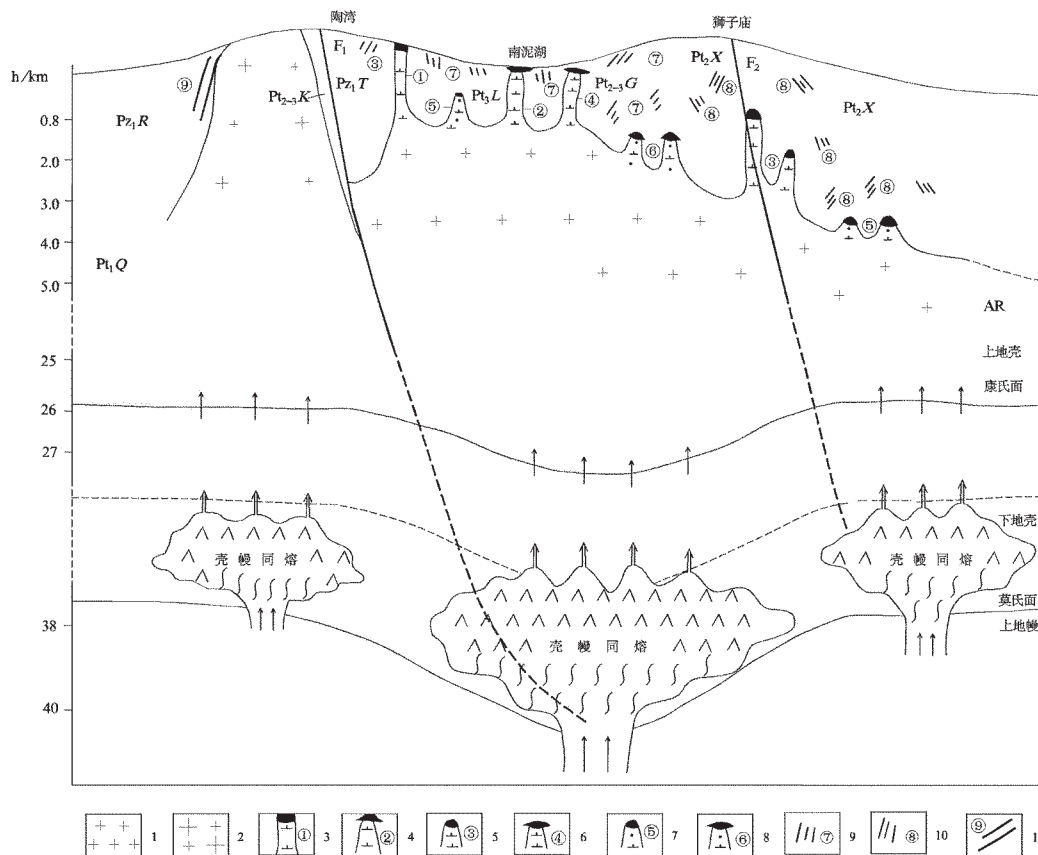


图6 南泥湖矿集区成矿模式图

F₁—栾川断裂;F₂—马超营断裂;Pz₁R—下古生界二郎坪群;Pz₁T—下古生界陶湾群;Pt₁L—新元古界栾川群;Pt₂G—中元古界官道口群;Pt₂₋₃K—中新元古界宽坪群;Pt₂X—中元古界熊耳群;Pt₁Q—古元古界秦岭岩群;AR—太古宇太华群;1—深源浅成花岗岩;2—浅源深成花岗岩;3—斑岩型钼(钨)矿;4—斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿;5—隐伏斑岩型钼(钨)矿;6—隐伏斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿;7—(岩钟)斑岩型钼(钨)矿;8—(岩钟)斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿;9—脉型铅锌银矿;10—脉型金(银铅)矿;11—斑岩-脉型钼矿

Fig.6 Metallogenic model of the Nannihu ore concentration area

F₁— Luanchuan fault; F₂— Machaoying fault; Pz₁R— Paleozoic Erlangping Group; Pz₁T— Lower Paleozoic Taowan Group; Pt₁L— Neoproterozoic Luanchuan Group; Pt₂G— Middle Proterozoic Guandaokou Group; Pt₂₋₃K— Middle Proterozoic and Neoproterozoic Kuanping Group; Pt₂X— Mesoproterozoic Xiong'er Group; Pt₁Q— Paleoproterozoic Qinling rock Group; AR— The Archean Taihua Group; 1— Deep source shallow granite; 2— Shallow source deep granite; 3— Porphyry molybdenum (tungsten) ore; 4— porphyry-skarn type molybdenum (tungsten) ore; 5— Concealed porphyry molybdenum (tungsten) ore; 6— Buried porphyry-skarn type molybdenum (tungsten) ore; 7— (Kupola) porphyry molybdenum (tungsten) ore; 8— (Kupola) porphyry-skarn type molybdenum (tungsten) ore; 9— Vein type lead-zinc-silver ore; 10— Vein type gold-(silver-lead) ore; 11— Porphyry-vein type molybdenum ore

表1 综合地球物理找矿模型
Table 1 integrated geophysical prospecting model

评价项目	评价方法	模 型 特 征
地 质		地表及附近岩浆岩发育,一般有无古代的辉绿岩、辉长岩、正长斑岩脉和中生代的花岗斑岩(脉)出露;高中低温元素成矿显示有序的分带
隐 伏 岩 体	重 力	重力低(幅值 $-10\times 10^{-5}\sim -30\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$)异常分布区;重力低异常的局部扭曲和舌状突出部位;受深大断裂控制的北西—北西西(或北东—北北东)向重力异常梯级带及附近;北西—北西西向梯级带与北东—北北东向梯级带复合部位;高、低重力异常的过渡部位
	航 磁	磁力低($100\sim -100\text{ nT}$)异常分布区;区域环形磁异常分布区;低背景磁场中的局部磁力高或磁力低异常;正负磁异常的过渡部位(偏负值一侧)
隐伏岩 体顶上带	重 力 反 演	根据重力定性解释成果,选择若干典型剖面(或全平面),设置各地质单位密度值,反演隐伏岩体侵入形态大致确定隐伏岩体顶面深度和顶上带
	电 磁 测 深	隐伏岩体显示高阻,视电阻率 $600\sim 1200\ \Omega\cdot\text{m}$;顶上带显示相对低阻,视电阻率显示由高阻向低阻的变化带,变化范围 $500\sim 100\ \Omega\cdot\text{m}$
岩钟和斑 岩体	电 磁 测 深	对应位置反映为近柱状的低阻, ρ_s 值 $50\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$ 。根据预测深度选择合适的物探方法和装置参数,一般需要经过试验确定
	电 磁 测 深	斑岩型钼(钨)矿床反映为由高阻向低阻的变化带($500\sim 100\ \Omega\cdot\text{m}$)或近柱状的低阻区,矿体相对斑岩体为相对低阻
矿 体 (矿化体)	频 谱 激 电	当矿体(矿化体)近地表时采用常规的激电测深,反映为低阻高极化, η_s 值 $3\%\sim 5\%$, ρ_s 值 $200\sim 300\ \Omega\cdot\text{m}$;当矿体受隐伏岩体顶上带、岩钟、小斑岩体控制时,采用频谱激电测深,钼(钨)矿体反映为高充电率、低视电阻率、低时间常数;铅锌银金矿脉(体)反映为高充电率、低视电阻率、低时间常数、低频率相关系数

W等)矿床,外围在围岩的构造裂隙中形成远程中、低温元素(Pb、Zn、Ag、Au等)矿床,总体构成钼(钨)铅锌银(金)多金属矿集区。

4.4 综合地球物理找矿模型

根据立体成矿模型和典型矿床物探异常特征,经综合归纳、类比,可以建立相应的综合地球物理找矿模型(表1):模型分为隐伏岩体、隐伏岩体顶上带、岩钟和小斑岩体、矿体(矿化体)等四部分内容。

5 找矿潜力与勘查方法技术组合

5.1 找矿潜力

5.1.1 成矿分带的叠加模型

据1:50000分散流成果,南泥湖钼多金属矿田总体表现为一个规模较大的、呈环状分布的地球化学元素异常组合区,内带为 32 km^2 的Mo、W元素异常组合区,中带为 250 km^2 的Pb、Zn、Ag、Au元素异常组合区,外带为断续相间分布的As、Sb元素异常组合区。成矿元素分带特征与矿田矿产的分带一致。值得注意的是Pb、Zn、Ag元素异常除分布于区域中带外,在Mo、W元素异常组合区内依然发育,这些元素异常可认为是受控于隐伏岩体顶上带、岩钟和小斑岩体的远程中低温元素成矿成晕的具体

体现,与深部隐伏岩体顶上带、岩钟和小斑岩体控制的高温元素Mo、W矿床为统一的成矿系统,和区域平面矿化分带一起构成不同矿化区段的立体叠加;前述四个空间成矿区也不是相互独立的,高中低温元素成矿在空间上相互交叉重叠,这些可称为成矿分带的叠加模型。叠加模型增加了成矿预测的复杂程度,同时也为在Mo、W等高温元素成矿区寻找中低温元素矿产(或在铅锌银金等中低温元素成矿区深部寻找高温元素矿产)提供了理论支撑。

在高温元素成矿区(相当于隐伏岩体的I区),成矿分带以垂向为主,即钼钨矿体赋存于隐伏斑岩体及附近,铅锌银矿体赋存于上部围岩的构造裂隙中,距离斑岩体较远。如位于隐伏岩体I区的中鱼库矿区,勘查成果是钼矿体赋存于隐伏岩体的内外接触带,钨矿体赋存于外接触带的矽卡岩中,铅锌银矿体分布在最上部,距离岩体最远(姚清馨,2014;张红亮,2014)。在隐伏斑岩体外部(相当于隐伏岩体的II区)及周边附近,成矿分带以水平向为主,成矿物质的分离、运移受温度和构造的制约,高温元素Mo、W矿床形成于斑岩体的内外接触带,铅锌银矿床形成于远离斑岩体的构造裂隙中。如冷水北沟、杨树凹和百炉沟等铅锌银矿床就分布于

I、II 隐伏岩体区的边部及周边附近。另外在 I 区隐伏岩体南部陶湾群地层中,找到了品位较富的铅锌银矿床^①,可以预测深部有隐伏斑岩体控制的钼钨矿床形成。

5.1.2 找矿潜力

根据隐伏岩体侵入模型、立体成矿模型和成矿分带的叠加模型,在浅、深隐伏岩体分布区及其周边附近,具有寻找钼钨铅锌银等多金属矿产的巨大潜力。区内规模巨大的隐伏花岗岩基为钼钨铅锌银等多金属矿产的形成提供了充足的物质条件,而非仅限于小斑岩体提供。区内已有勘查成果控制的资源储量金属量钼大于 $300 \times 10^4 \text{ t}$, 钨大于 $100 \times 10^4 \text{ t}$, 铅锌 $781 \times 10^4 \text{ t}$, 银 9693 t ^②。对于深度 1500 m 以浅的隐伏岩体(I 区和 II 区),分布面积达 283 km^2 ,侵入中心位于黄背岭—鱼库一带,侵入深度较浅,两组构造(北西向和北东向)非常发育,黄背岭—石宝沟复式背斜位于其中,相对南泥湖、三道庄和上房沟等超大型钼钨矿成矿区具有更优越的成矿条件,具有寻找超大型钼钨矿床的潜力。最近在鱼库地区的找矿勘查已经取得了重大突破,找矿潜力较大。对于 I、II 区隐伏岩体,给定相关地质参数的约束条件,以此推算钼钨铅锌银等多金属矿产远景储量在已有勘查成果的基础上至少可以增加 1 倍以上(孙卫志等,2012;韩江伟等,2015)。对于 III 区隐伏岩体因深度较大应首先注意寻找第二、第三空间成矿区的多金属矿产,在狮子庙金钼多金属矿区及外围和马超营断裂两侧,深部具有寻找金钼银铅等多金属矿产的较大潜力。

5.2 勘查方法技术组合

根据立体成矿模型和综合地球物理找矿模型,综合研究隐伏岩体分布区的成矿特点,综合确定深部找矿的工作步骤和方法技术组合。

(1)在 1:50000 以上中大比例尺成矿预测中,通过对区域地、物、化、遥资料的研究,在成矿条件有利地区,选择双低(重力低、磁力低)或一低一高(重力低、磁力高)重磁异常区作为找矿靶区。(2)根据重磁场转换、数据处理(包括区域场分离、延拓、垂向导和综合推断资料等)和定量计算资料,综合确定隐伏岩体区,建立隐伏岩体二度半反演模型。(3)寻找隐伏岩体顶上带和其上方的岩钟及小斑岩体等。采用可控源电磁测深或 EH4 连续电导率测

量,确定隐伏岩体顶上带和其上方的岩钟(包括小斑岩体)分布区域。(4)采用分辨率较高的频谱激电(SIP)测深或偶极剖面测深等工作方法,确定矿体(矿化体)赋存位置。典型的地球物理异常反映为相对低视电阻率、高充电率(或高极化率)、低时间常数和低频率相关系数;根据这些变化规律,综合确定钼钨矿体和铅锌银矿脉的赋存位置。

6 结 论

(1)利用区域重、磁资料(包括数据处理和相关定量计算等),可以确定隐伏岩体分布位置、侵入形态和深部构造特征,结合区域成矿规律和典型矿床物探异常特征,研究建立隐伏岩体、隐伏岩体顶上带、岩钟和斑岩体、矿体和矿化体的地质—地球物理模型,进而达到成矿预测的目的。

(2)根据隐伏岩体侵入模型和矿田矿床分布规律,结合相关研究成果,建立了立体成矿模型和成矿分带的叠加模型,对矿田和类似矿区的成矿预测、找矿规划具有指导意义。高温元素成矿区在深、浅部位都有发生,导致与中低温元素成矿区在空间上相互重叠,若在高温元素成矿区发现了中低温元素矿床就可以推知深部仍有高温元素矿床形成;在中低温元素成矿区如果有高温元素异常反映,说明深部有高温元素矿床赋存。

(3)根据典型矿床物探异常特征建立的综合地球物理找矿模型是初步模型,在找矿勘查工作中还需进一步完善。特别是对于深部铅锌银矿脉的物探异常特征,现在还知之较少,需使用勘探深度大、分辨率较高的物探方法在实际矿区试验研究后,才能逐步完善找矿模型。

(4)南泥湖钼多金属矿田找矿潜力巨大。根据找矿潜力预测,在黄背岭—鱼库隐伏岩体侵入中心及附近,寻找超大型钼钨矿床的可能完全存在;在 I、II 隐伏岩体分布区及周边附近,具有寻找中大型钼钨铅锌银矿床的潜力;在 III 隐伏岩体分布区及马超营断裂两侧,具有寻找中大型金钼银铅矿产的潜力。

注释

① 燕长海,张寿庭,韩江伟. 2012. 豫西南地区多金属矿集区深部找矿示范研究[R]. 河南省地质调查院内部资料。

② 刘国印,燕长海,薛春纪. 2008. 豫西南铅锌银钼多金属矿集区成矿规律及找矿方向研究[R]. 河南省地质调查院内部资料。

References

- Cheng Shunyou, Zhang Guowei, Li Li. 2003. The electrical structure of lithosphere in Qinling Mountains orogenic belt and Its Geodynamic Significance[J]. Chinese Journal of Geophysics, 46 (3): 390–397 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 2006. Orogenic deposit, metallogenic model and prospecting potential [J]. Geology in China, 33 (6): 1181–1196 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 2010. Qinling Mountains Indosinian magmatic activity and tectonic background, Mineralization [J]. Geology in China, 37 (4): 854–865 (in Chinese with English abstract).
- Duan Shigang, Xue Chunji, Liu Guoyin, Yan Changhai, Feng Qiwei, Song Yaowu, Gao Bingyu. 2010. Geology, fluid inclusion and stable isotope geochemistry of the lead–zinc deposit in Bailugou, Henan, Luanchuan [J]. Mineral Deposits, 29(5): 810–826 (in Chinese with English abstract).
- Duan Shigang, Xue Chunji, Feng Qiwei, Gao Bingyu, Liu Guoyin, Yan Changhai, Song Yaowu. 2011. Geology, fluid inclusions and S, Pb isotopic geochemistry of the Chitudian Pb–Zn deposit in luanchuan, Henan province [J]. Geology in China, 38 (2): 427–441 (in Chinese with English abstract).
- Gao Yalong, Zhang Jiangming, Ye Huishou, Meng Fang, Zhou Ke, Gao Yang. 2010. East Qinling Mountains shiyaogou porphyry molybdenum deposit geological characteristics and Re–Os ages of Molybdenite[J]. Acta Petrologica Sinica, 26 (3): 729–739 (in Chinese with English abstract).
- Han Jiangwei, Guo Bo, Wanghongwei, Ma Youhua, Feng Zhankui, Yun Hui, Yan Changhai, Li Dong. 2015. Geochemistry and significance of the buried porphyry Mo and W deposits in Luanchuan Xiyuku [J]. Acta Petrologica Sinica, 31 (6): 1789–1796 (in Chinese with English abstract).
- Huang Fan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Yuan Zhongxin, Chen Zhenghui. 2011. Molybdenum ore concentrating area and the resource potential in China [J]. Geology in China, 38 (5): 1111–1134 (in Chinese with English abstract).
- Jin Xudong, Zhang Dehui, Wan Tianfeng. 2010. Top belt of concealed rock mass and metallogenic prognosis in deep[J]. Geological Bulletin of China, 29(2/3): 392–400 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongfeng, Mao Jingwen, Bai Fengjun, Li Junping, He Zhijun. 2003. East Qinling Mountains Nannihu molybdenum (tungsten) ore field Re–Os isotope age and its geological significance [J]. Geological Review, 49 (6): 652–659 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongfeng, Mao Jingwen, Hu Huabin, Guo Baojian, Bai Fengjun. 2005. The East Qinling Mountains molybdenum ore types, characteristics, metallogenic epoch and its geodynamic background [J]. Mineral Deposits, 24 (3): 292–304 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongfeng, Mao Jingwen, Liu Dunyi, Wang Yanbin, Wang Zhiliang, Wang Yitian, Li Xiaofeng, Zhang Zuoheng, Guo Baojian. 2006. Yuxi Leimengou porphyry molybdenum in Western Henan, SHRIMP zircon U–Pb and molybdenite Re–Os dating and geological significance [J]. Geological Review, 52 (1): 122–131 (in Chinese with English abstract).
- Liang Xuetang, Mao Xinwu, Zeng Chunfang, Hu Zhengxiang, Yang Tingan, Yu Wenjie. 2016. Characteristics of gravity field and structure of orogenic belt in Qinling Mountains–Dabie orogenic belt (Hubei section) [J]. Geology in China, 43 (2): 446–457 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xinxiang, Luo Zhaohua, Huang Fan, Gu Demin, Li Mingli, Yang Zongfeng, Huang Danfeng, Liang Tao, Liu Chuanquan, Zhang Zhen, Gao Yuan. 2011. molybdenum ore types and mineralization assemblages of Qinling Mountains – Dabie Mountain Area [J]. Geology in China, 38 (6): 1518–1535 (in Chinese with English abstract).
- Ma Zhenbo, Yan Changhai, song Yaowu, Wang Jizhong, Si Fazhen, Yang Ruixi. 2011. Application of CSAMT and SIP geophysical prospecting method in the exploration of concealed metal deposits in Luanchuan mountain area, Henan [J]. Geology and Exploration, 47 (4): 654–662 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zheng Rongfen, Ye Huishou, Gao Jianjing, Chen Wen. 2006. ^{40}Ar – ^{39}Ar age and its geological significance of Shagou silver lead zinc ore deposit in Xiong'er mountain area, Western Henan[J]. Mineral Deposits, 25 (4): 360–368 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Ye Huishou, Wang Ruiting, Dai Junzhi, Jian Wei, Xiang Junfeng, Zhou Ke, Meng Fang. 2009. Model and prospecting evaluation of Mo Pb Zn Ag polymetallic deposit in East Qinling Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 28 (1): 72–79 (in Chinese with English abstract).
- Sun Weizhi, Zhangdengtang, Meng Xianfeng, Feng Jianzhi, Li Lei, Liu Zongyan. 2012. Au, Mo analysis of geochemical block distribution characteristics and resource potential in mine in Ore concentration area in western Henan [J]. Geology in China, 39 (2): 349–358 (in Chinese with English abstract).
- Wang Changming, Deng Jun, Zhang Shouting, Sun Yanxia, Yan Changhai, Lu Wende. 2006. Comprehensive prospecting model of lead–zinc deposit in Lengshuibegou, Henan[J]. Metal Mine, (6): 44–71 (in Chinese with English abstract).
- Wang Gongwen, Zhang Shouting, Yan Changhai, Song Yaowu, Chen Tianzhen, Li Dong, Ma Zhenbo. 2011. 3D geological modeling of Luanchuan molybdenum polymetallic ore deposit based on geological and gravity magnetic data integration [J]. Journal of China University of Geosciences, 36(2): 360–366 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jizhong, Ma Zhenbo, Song Yaowu. 2010. Application effect of large scale gravity survey in prospecting polymetallic ore in Southwest Henan [J]. Geological Survey and Research, 2010, 33 (4): 315–320 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Junfeng, Mao Jingwen, Pei Rongfu, Ye Huishou, Wang Chunyi, Tian Zhilin, Wang Haolin. 2012. New data on the age and geological significance of diagenetic and metallogenic ages in

- Nannihu-Sandaozhuang Mo (W) ore [J]. *Geology in China*, 39 (2): 458–473 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Junfeng, Pei Rongfu, Ye Huishou, Wang Chunyi, Tian Zhiheng. 2012. Nannihu – Sandaozhuang molybdenum (tungsten) ore deposit C, H, O isotopic research and Enlightenment of metallogenic fluid [J]. *Geology in China*, 39 (6): 1778–1789 (in Chinese with English abstract).
- Yan Changhai, Liu Guoyin, Song Feng, Zhang Zhengwei. 2002. Geological conditions and prospecting potential of Ag Pb Zn mineralization in Machaoying–dushu area, Henan [J]. *Geology in China*, 29 (3): 305–310 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xiaoyong, Lu Xinxiang, Du Xiaowei, Li Wenming, Zhang Zhengwei, Qu Wenjun. 2010. Henan nangou molybdenum deposit geochemical characteristics, East Qinling Mountains molybdenum deposit diagenetic and metallogenic dynamics [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84 (7): 1049–1079 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yan, Zhang Jing, Yang Yongfei, Shi Yingxia. 2009. The characteristics of Luanchuan Shangfanggou molybdenum deposit, fluid inclusion and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (10): 2563–2574 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yang, Wang Xiaoxia, Ke Changhui, Li Jinbao. 2012. Zircon U – Pb ages, rock geochemistry and Hf isotopic compositions of the granite body in the Nannihu ore concentration area, Western Henan [J]. *Geology in China*, 39 (6): 1525–1542 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yongfei, Li Nuo, Yang Yan. 2009. Fluid inclusions of porphyry type molybdenum (tungsten) deposits in the Nannihu, Henan, Luanchuan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (10): 2550–2562 (in Chinese with English abstract).
- Yao Qingxin. 2014. Metallogenic geological characteristics and prospecting prediction of molybdenum polymetallic ore deposits in Luanchuan Zhongyuku [D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Ye Huishou, Mao Jingwen, Li Yongfeng, Yan Changhai, Guo Baojian, Zhao Caisheng, He Chunfen, Zheng Rongfen, Chen Li. 2006. Western Henan Nannihu ore field of molybdenum (tungsten) and lead zinc silver deposit geological characteristics and metallogenic mechanism of [J]. *Geoscience*, 20 (1): 166–174 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Xuecheng. 2007. The lithospheric mantle mushroom structure and its deep causes [J]. *Geology in China*, 34 (5): 737–758 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Xuecheng, Li Tingdong. 2009. Three dimensional structure of lithosphere in China [J]. *Geology in China*, 36(1): 29–52 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dehui, Zhou Shenghua, Wan Tianfeng, Xi Binbin, Li Jianping. 2007. Ore forming depth and deep metallogenic prognosis [J]. *Geological Bulletin of China*, 26 (12): 1509–1518 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001. Qinling Mountains Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 1–87 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongliang. 2014. Metallogenic Geological Characteristics and Metallogenic Model of the Molybdenum Tungsten Polymetallic Deposit in the Dongyuku Luanchuan Ore Deposit Area [D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiangming. 2010. The analysis of metallogenic geological conditions of Luanchuan Shiyagou molybdenum of Henan Province [J]. *Geological Survey and Research*, 33 (1): 19–27 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiangming, Zhuang Guangjun, Jiang Rong. 2011. Shiyagou large porphyry type molybdenum deposit prospecting effect [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 35 (4): 483–487 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yixing, Liu Chuanquan, Yang Ruixi, Peng Songmin. 2006. The tungsten molybdenum lead–zinc orefield metallogenic series and ore prospecting direction in Lengshui area, Henan Luanchuan [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2006(4): 26–32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunzheng, Weng Jichang, Yun Hui. 2009. Geological characteristics and prospecting prospect of molybdenum tungsten deposits in Zhuyuangou [J]. *Geology in China*, 36 (1): 166–173 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Ke, Ye Huishou, Mao Jingwen, Qu Wenjun, Zhou Shufeng, Meng Fang, Gao Yalong. 2009. Yuchiling porphyry Mo deposit geological characteristics and molybdenite Re Os isotope age in western Henan [J]. *Mineral Deposits*, 28 (2): 170–184 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Laimin, Zhang Guowei, Guo Bo, Li Ben. 2008. East Qinling Mountains Jinduicheng large porphyry Mo deposit LA–ICP–MS zircon U–Pb dating and Metallogenic Geodynamic background [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82 (2): 204–220 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 程顺有, 张国伟, 李立. 2003. 秦岭造山带岩石圈电性结构及其地球动力学意义 [J]. *地球物理学报*, 46(3): 390–397.
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力 [J]. *中国地质*, 33 (6): 1181–1196.
- 陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用 [J]. *中国地质*, 37(4): 854–865.
- 段士刚, 薛春纪, 刘国印, 燕长海, 冯启伟, 宋要武, 高炳宇. 2010. 河南栾川百炉沟铅锌矿床地质、流体包裹体和稳定同位素地球化学 [J]. *矿床地质*, 29(5): 810–826.
- 段士刚, 薛春纪, 冯启伟, 高炳宇, 刘国印, 燕长海, 宋要武. 2011. 豫西南赤土店铅锌矿床地质、流体包裹体和 S、Pb 同位素地球化学 [J]. *中国地质*, 38(2): 427–441.
- 高亚龙, 张江明, 叶会寿, 孟芳, 周珂, 高阳. 2010. 东秦岭石窑沟斑岩型钼矿床地质特征及辉钼矿 Re–Os 年龄 [J]. *岩石学报*, 26(3): 729–739.

- 韩江伟, 郭波, 王宏卫, 马有华, 冯战奎, 云辉, 燕长海, 李冬. 2015. 栾川西鱼库隐伏斑岩型Mo、W矿床地球化学及其意义[J]. 岩石学报, 31(6): 1789–1796.
- 黄凡, 陈毓川, 王登红, 袁忠信, 陈郑辉. 2011. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 38(5): 1111–1134.
- 金旭东, 张德会, 万天丰. 2010. 隐伏岩体顶上带与深部成矿预测[J]. 地质通报, 29(2–3): 392–400.
- 李永峰, 毛景文, 白凤军, 李俊平, 何志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿田Re–Os同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 49(6): 652–659.
- 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 郭保健, 白凤军. 2005. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 24(3): 292–304.
- 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 王彦斌, 王志良, 王义天, 李晓峰, 张作衡, 郭保健. 2006. 豫西雷门沟斑岩型钼矿 SHRIMP 锆石 U–Pb 和辉钼矿 Re–Os 测年及其地质意义[J]. 地质评论, 52(1): 122–131.
- 梁学堂, 毛新武, 曾春芳, 胡正祥, 杨廷安, 余文杰. 2016. 秦岭—大别造山带(湖北段)重力场特征与造山带构造[J]. 中国地质, 43(2): 446–457.
- 卢欣祥, 罗照华, 黄凡, 谷德敏, 李明立, 杨宗峰, 黄丹峰, 梁涛, 刘传权, 张震, 高源. 2011. 秦岭—大别山地区钼矿类型与矿化组合特征[J]. 中国地质, 38(6): 1518–1535.
- 马振波, 燕长海, 宋要武, 王纪中, 司法祯, 杨瑞西. 2011. CSAMT 和 SIP 物探综合法在河南省栾川山区隐伏金属矿勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 47(4): 654–662.
- 毛景文, 郑榕芬, 叶会寿, 高建京, 陈文. 2006. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床的⁴⁰Ar–³⁹Ar年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 25(4): 360–368.
- 毛景文, 叶会寿, 王瑞廷, 代军治, 简伟, 向君锋, 周珂, 孟芳. 2009. 东秦岭钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 28(1): 72–79.
- 孙卫志, 张灯堂, 孟宪锋, 冯建之, 李磊, 刘宗彦. 2012. 豫西矿集区Au、Mo地球化学块体分布特征及资源潜力分析[J]. 中国地质, 39(2): 349–358.
- 王长明, 邓军, 张寿庭, 孙艳霞, 燕长海, 吕文德. 2006. 河南冷水北沟铅锌矿综合找矿模型[J]. 金属矿山, (6): 44–71.
- 王功文, 张寿庭, 燕长海, 宋要武, 陈天振, 李冬, 马振波. 2011. 基于地质与重磁数据集成的栾川钼多金属矿区三维地质建模[J]. 中国地质大学学报, 36(2): 360–366.
- 王纪中, 马振波, 宋耀武. 2010. 大比例尺重力测量在豫西南地区寻找多金属矿的应用效果[J]. 地质调查与研究, 33(4): 315–320.
- 向君峰, 毛景文, 裴荣富, 叶会寿, 王春毅, 田志林, 王浩林. 2012. 南泥湖—三道庄钼(钨)矿的成岩成矿年龄新数据及其地质意义[J]. 中国地质, 39(2): 458–473.
- 向君峰, 裴荣富, 叶会寿, 王春毅, 田志恒. 2012. 南泥湖—三道庄钼(钨)矿床成矿流体的碳氢氧同位素研究及其启示[J]. 中国地质, 39(6): 1778–1789.
- 燕长海, 刘国印, 宋锋, 张正伟. 2002. 河南马超营—独树一带银铅锌成矿地质条件及找矿前景[J]. 中国地质, 29(3): 305–310.
- 杨晓勇, 卢欣祥, 杜小伟, 李文明, 张正伟, 屈文俊. 2010. 河南南沟钼矿矿床地球化学特征研究兼论东秦岭钼矿床成岩成矿动力学[J]. 地质学报, 84(7): 1049–1079.
- 杨艳, 张静, 杨永飞, 石英霞. 2009. 栾川上房沟钼矿床流体包裹体特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(10): 2563–2574.
- 杨阳, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝. 2012. 豫西南泥湖矿集区石宝沟花岗岩体的锆石 U–Pb 年龄、岩石地球化学及 Hf 同位素组成[J]. 中国地质, 39(6): 1525–1542.
- 杨永飞, 李诺, 杨艳. 2009. 河南省栾川南泥湖斑岩型钼(钨)矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 25(10): 2550–2562.
- 姚清馨. 2014. 栾川中鱼库钼多金属矿成矿地质特征及找矿预测[D]. 硕士学位论文. 北京, 中国地质大学.
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 燕长海, 郭保健, 赵财胜, 何春芬, 郑榕芬, 陈莉. 2006. 豫西南泥湖矿田钼(钨)及铅锌银矿床地质特征及其成矿机理探讨[J]. 现代地质, 20(1): 16–6174.
- 袁学诚. 2007. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因[J]. 中国地质, 34(5): 737–758.
- 袁学诚, 李廷栋. 2009. 中国岩石圈三维结构雏形[J]. 中国地质, 36(1): 29–52.
- 张德会, 周圣华, 万天丰, 席斌斌, 李建平. 2007. 矿床形成深度与深部成矿预测[J]. 地质通报, 26(12): 1509–1518.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1–87.
- 张红亮. 2014. 栾川矿集区东鱼库钼钨多金属矿床成矿地质特征与成矿模式[D]. 硕士学位论文. 北京, 中国地质大学.
- 张江明. 2010. 河南省栾川县石窑沟钼矿成矿地质条件分析[J]. 地质调查与研究, 33(1): 19–27.
- 张江明, 庄光军, 姜荣. 2011. 石窑沟大型斑岩型钼矿床的物化探找矿效果[J]. 物探与化探, 35(4): 483–487.
- 张毅星, 刘传全, 杨瑞西, 彭松民. 2006. 河南栾川冷水地区钼钨铅锌矿田成矿系列及找矿方向[J]. 华南地质与矿产, 2006(4): 26–32.
- 张云政, 瓮纪昌, 云辉. 2009. 竹园沟钼钨矿床地质特征及找矿远景分析[J]. 中国地质, 36(1): 166–173.
- 周珂, 叶会寿, 毛景文, 屈文俊, 周树峰, 孟芳, 高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿地质特征及辉钼矿铼–钼同位素年龄[J]. 矿床地质, 28(2): 170–184.
- 朱赖民, 张国伟, 郭波, 李森. 2008. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 82(2): 204–220.