

豫西故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面及深部找矿启示

梁 涛 卢 仁 白凤军 王明国

(1.河南省有色金属地质勘查总院,河南 郑州 450052;

2.河南省有色金属深部找矿勘查技术研究重点实验室,河南 郑州 450052)

摘要: 故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面位于豫西沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内,在剖面中 6.0~10.0 km 范围内新发现了 Au、Ag、Cr、Co、Cu 和 Pb 异常,其中 Cr、Co 异常为在沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内寻找新矿化类型提供了重要信息。在透岩浆流体成矿理论框架下,岩石地球化学剖面测量结果不仅成为矿集区存在隐伏的与 Ag 多金属成矿作用相关的岩浆—流体活动(透岩浆流体作用)这一地质模型的又一新证据,而且也为了在矿集区内寻找隐伏岩(矿)体(如剖面中 6.0~10.0 km 的深部)和新矿床类型(伟晶岩型 Au 矿床、斑岩型矿床)提供了重要的线索。

关键词: 故县水库; Ag 多金属矿集区; 岩石地球化学测量; 透岩浆流体; 深部找矿; 熊耳山

中图分类号: P632+.4; P612

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2012)05-1406-16

位于熊耳山西端的沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区是秦岭造山带内重要 Ag 金属资源地之一,主要出露沙沟、月亮沟、蒿坪沟、铁炉坪、龙门店等大—中型 Ag 多金属矿床^[1-4]。近年来,沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内的 Ag、Pb 矿产资源获得了充分的开发利用,使得矿集区内 Ag、Pb 等金属资源量持续下降,发现新的金属资源量已经变得十分重要。尽管最近在矿集区内开展的一系列地质勘查工作取得了一定的成果^[5-8],但其实质上未获得重大突破,尤其是在隐伏岩(矿)体、新矿床类型及新矿种等方面。

透岩浆流体成矿理论是新近提出的内生金属成矿理论^[9-13],不仅为安妥岭钼矿、大庙铁矿^[14-15]、东沟钼矿^[16-17]、石湖金矿^[18-19]和尚古寺钼矿^[20]构筑或更新成矿模式及找矿模型提供了重要依据,而且为长江中下游地区铁、铜多金属成矿带的成矿动力学背景分

析及深部找矿靶区筛选提供了切实有效的支持^[21-23],其中基于透岩浆流体成矿理论所建立的安妥岭斑岩钼矿成矿模式及找矿模型在实际地质勘查工作中得以验证^[23-30]。

在透岩浆流体成矿理论框架下,沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内具有大环(弧)套小环(弧)的故县水库遥感影像被赋予重要的宏观找矿指示意义,故县水库—全包山 EH4 测深断面揭示了深部流体注入未完全固结的花岗质岩浆体系并为之封存的过程,并且矿集区内应出现斑岩型、爆破角砾岩型、接触带型及破碎带蚀变岩型等多种矿床类型^[31-32]。本文介绍了故县水库—全包山岩石地球化学剖面测量成果,发现了新的潜在矿化种类,验证了沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内存在隐伏岩浆—流体活动,为矿集区内发现隐伏岩(矿)体、新矿床类型及新矿种

收稿日期:2012-03-22; 改回日期:2012-05-23

基金项目:河南省国土资源厅科技攻关项目(2011-622-25, 2010-61-5 和 2011-622-36)和河南省有色金属地质矿产局科研项目(YSDK2012-03 和 YSDK2011-10)共同资助。

作者简介:梁涛,男,1979 年生,博士,从事地质矿产勘查及相关研究工作;E-mail:liang20010212@126.com。

①梁涛,罗照华,樊秉鸿,等.安妥岭钼矿岩浆活动与成矿作用.天津华北地质勘查总院,2010:1-184.

②梁涛,白凤军,张晓永,等.河南省洛宁地区银铅锌矿成矿规律与成矿预测研究.河南省有色金属地质勘查总院,2012:1-138.

提供了重要的线索。

1 地质特征

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿矿集区位于华北克拉通南缘的崤山与熊耳山相接部位(图 1-a),矿集区内主要出露太古宙太华群和中元古代熊耳群(图

1-b)。太华群位于矿集区的中部,其南侧被熊耳群不整合覆盖,北侧分别被熊耳群及新生界角度不整合覆盖,西端与熊耳群呈断层式接触,其岩性以片麻岩、变粒岩和斜长角闪岩为主;熊耳群位于太华群的南、北两侧,其岩性种类包括安山玢岩、玄武安山岩、英安岩、流纹(斑)岩、火山角砾岩和火山碎屑岩^[33]。

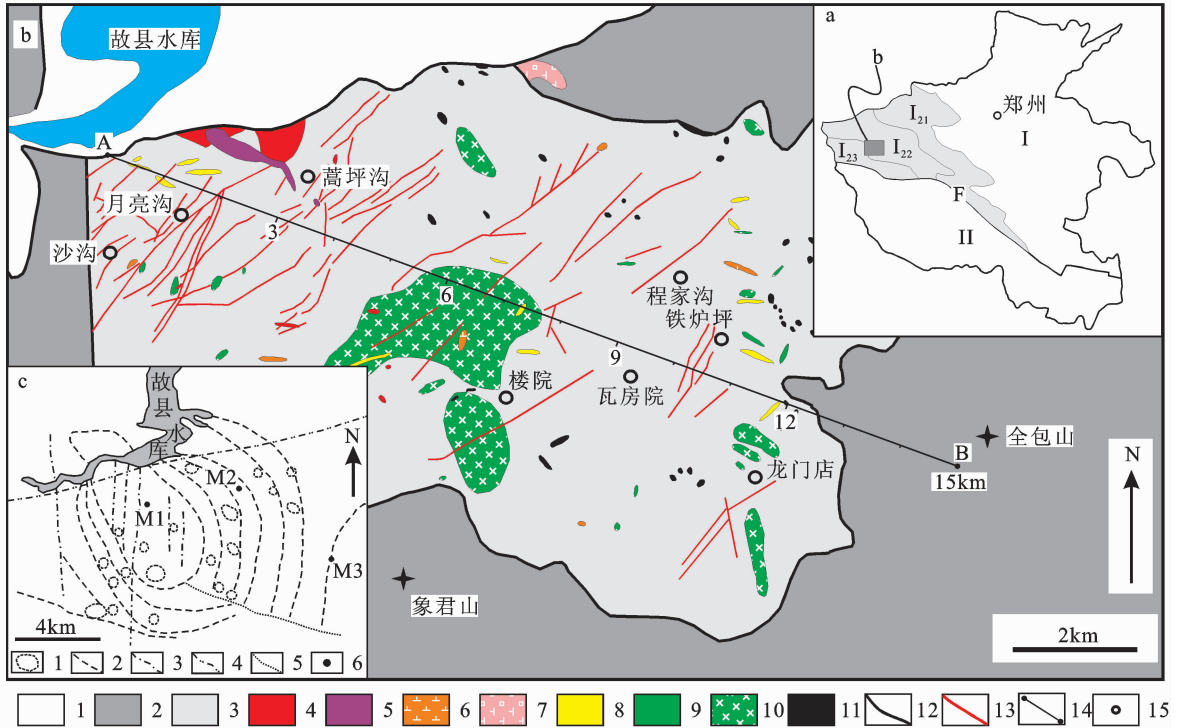


图 1 豫西洛宁沙沟—龙门店 Ag 多金属矿矿集区区域地质简图

a—河南省构造分区简图(据河南省地质矿产局,1989 简化)^[33],I—华北克拉通,II—秦岭造山带,I₂₁—华熊台缘拗陷(I₂₁—渑池—确山断陷东;I₂₂—崤山—鲁山拱折断东;I₂₃—卢氏—栾川陷折断东),F—栾川—确山—固始深大断裂;b—豫西沙沟—龙门店 Ag 多金属矿矿集区区域地质图(据河南省地质局,1982^①和徐孟罗等,1995^②资料综合简化),1—新生界,2—中元古界熊耳群,3—太古宙太华群,4—燕山期花岗岩及花岗斑岩,5—燕山期爆破角砾岩,6—元古宙闪长岩,7—元古宙石英闪长岩,8—元古宙闪长玢岩,9—元古宙辉绿岩,10—太古宙变辉长岩,11—太古宙超基性岩,12—拆离断层,13—矿脉,14—故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面及 EH4 断面(数字为距离点 A 的长度),15—主要矿床(化)点;c—故县水库环—弧形构造遥感影像构造解译图(据梁涛等,2011 简化)^[31],1—环形构造,2—弧形构造,3—近南北向线形构造,4—近北东向线形构造,5—近北西向线形构造,6—矿床点及编号 M1—沙沟银铅锌多金属矿,M2—蒿坪沟银铅锌多金属矿,M3—楼院银铅多金属矿

Fig.1 Regional geological map of the Shagou-Longmudian Ag polymetallic ore concentration area in southwest Luning County. a—Simplified tectonic map of Henan Province (after reference [33]), I—North China Craton, II—Qinling orogen belt, I₂₁—Mianchi-Queshan collapse fault-fold zone, I₂₂—Xiaoshan-Lushan uplift fault-fold zone, I₂₃—Lushi-Luanchuan collapse fault-fold zone, F—Luanchuan-Queshan-Gushi huge fault; b—Simplified geological map of Shagou-Longmudian Ag polymetallic ore concentration area (after reference ① and ②), 1—Cenozoic, 2—Xiong'er Group (Pt), 3—Taihua Group (Ar), 4—Yanshanian granite and granite porphyry, 5—Yanshanian explosive breccia, 6—Diorite (Pt), 7—Quartz diorite (Pt), 8—Diorite porphyrite (Pt), 9—Diabase (Pt), 10—Altered gabbro (Ar), 11—Ultrabasic rock (Ar), 12—Detachment fault, 13—Vein, 14—EH4 section and geochemical rock survey section (numeral indicating the distance from point A), 15—Deposit; c—EH4 magnetotelluric section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain (after reference [31]), 1—Circle-shaped structure, 2—Arc-shaped structure, 3—NS-trending linear structure, 4—NNE-trending linear structure, 5—NWW-trending linear structure, 6—Deposit and its serial number, M1—Shagou Ag-Pb-Zn deposit, M2—Haopinggou Ag-Pb-Zn deposit, M3—Louyuan Ag-Pb deposit

① 河南省地质局.河南省洛宁县南部区域地质调查报告(地质部分). 1982. 1-167.

② 徐孟罗, 吕夏, 郭时然, 等. 河南熊耳山地区金、银矿化集中区成矿背景、控矿条件和成矿预测报告.河南省有色金属地质勘查总院, 1995:1-267.

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区构造活动复杂,褶皱和断裂构造发育^[33]。褶皱构造集中出露于太华群基底内,早期褶皱以轴向近东西向小型倒转平卧褶皱为主,晚期以轴向近南北向的大型倾伏向形、背形及弧形褶皱束为主。断裂构造可分成拆离断层和断裂破碎带两类,北拆离断层带(熊耳山山前大断裂)走向近北北东向,近南北向的西拆离断层为太华群和熊耳群的西边界,近东西向、北东向、北北东向断裂破碎带在矿集区内极为发育,特别是北东向、北北东向断裂常成群、成带出现^[1]。

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区另外一个典型的构造特征就是发育环—弧形构造(图 1-c)。故县水库遥感影像中心区域为一个较完整的椭圆状环形构造,其北东和南西两侧发育一系列数量不等、规模不对称、近平行、近等间隔的弧形构造,19 个呈椭圆状或近圆状小规模(长轴长度多小于 1 km)的环状构造位于环—弧形构造区内,它们构成了具有大环(弧)套小环(弧)特征的故县水库环—弧形构造组合^[1]。

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区岩浆活动强烈且频繁,形成了太古宙、元古宙和中生代(燕山期)

3 个构造岩浆旋回^[33]。太古宙超铁镁质岩体规模较小,零散分布于太华群中,以橄榄岩、辉石岩和辉闪岩为主;变辉长岩岩体规模较大,位于矿集区的中部及东部(图 1-b)。元古宙岩浆活动强烈,除熊耳群火山岩系外,还形成相当数量规模较小的基性—中性侵入体,如闪长岩岩体、石英闪长岩岩体与闪长玢岩、辉绿岩岩脉(墙)(图 1-b)。矿集区内中生代(燕山期)岩浆活动产物仅为少量的花岗斑岩、爆破角砾岩和花岗细晶岩岩脉以及辉绿岩脉^[1,4,34]。

矿集区集中发育大量热液脉状矿床,以构造蚀变岩型银多金属矿床为主,典型代表如沙沟银铅矿床、月亮沟银铅矿床、蒿坪沟银铅矿床、铁炉坪银铅矿、龙门店银矿等。此外,沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内还出露构造蚀变岩型和石英脉—构造蚀变岩型金矿,前者如小南沟金矿,后者如龙王庙金矿。

2 区域地球物理和地球化学特征

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区分布有明显的负磁异常和布格重力低异常(图 2-a)。负磁异常总体上呈近东西向带状展布,东西长约 14 km,南北宽

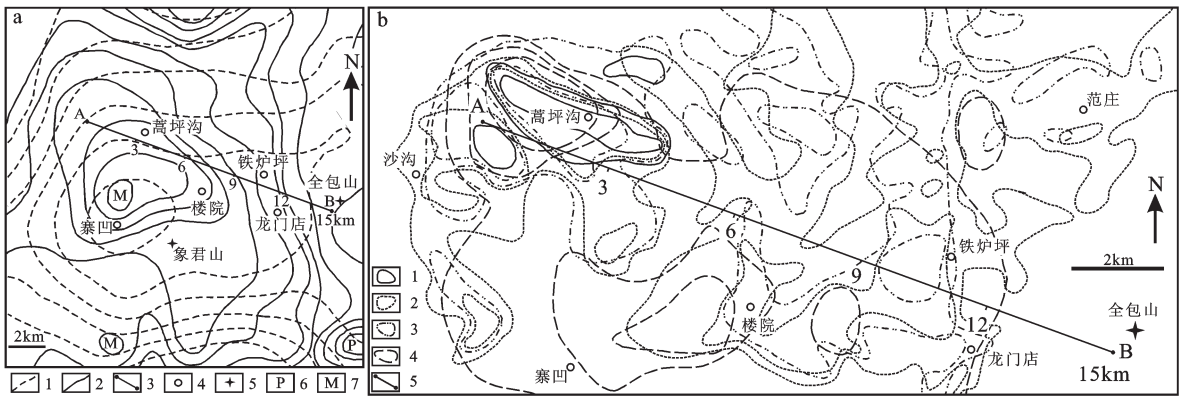


图 2 沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区区域地球物理和地球化学特征

a—沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区布格重力和航磁 ΔT (化极上延 10 km)异常图(据王志光等,1997 综合简化^[1]),1—航磁异常等值线,2—布格重力异常等值线,3—EH4 剖面(数字为距离点 A 的长度),4—矿床点,5—山峰,6—布格重力异常高值区,7—布格重力异常低值区;b—沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区化探异常分布图(据杨群周等,2003^[35],2006^[1];郭保健等,2009^[2]综合简化),1—Au 异常等值线,2—Ag 异常等值线,3—Pb 异常等值线,4—Cu 异常等值线,5—岩石地球化学测量剖面

Fig.2 Geophysical and geochemical characteristics of Shagou—Longmendien Ag polymetallic ore concentration area in southwest Louning County

a—Bouguer gravity and aeromagnetic anomaly (after reduction to the pole and upward continuation to 10 km) of Shagou—Longmendien Ag polymetallic ore concentration area (after reference [1]), 1—Aeromagnetic ΔT anomaly contour (nT), 2—Bouguer gravity anomaly contour ($\times 10^{-5}m/s^2$), 3—EH4 magnetotelluric section (numeral indicating the distance from point A), 4—Deposit, 5—Peak, 6—High value anomaly of Bouguer gravity, 7—Low value anomaly of Bouguer gravity; b—Anomaly map of geochemical survey of Shagou—Longmendien Ag polymetallic ore concentration area (after Yang et al., 2003^[35], 2006^[1]; Guo et., 2009^[2]), 1—Au anomaly contour line, 2—Ag anomaly contour line, 3—Pb anomaly contour line, 4—Cu anomaly contour line, 5—Geochemical rock survey section

①杨群周,彭省临,李忠宝,等.河南省卢氏县寨凹地区铅锌银矿评价报告.河南省有色金属地质勘查局,2006.1-100.
②郭保健,戴塔根,黄德志,等.熊耳山西段银多金属矿床规律及深部成矿预测研究报告.河南省有色金属地质矿产局第六地质大队,2009.1-109.

约 6 km,近等轴状的负磁异常中心区域位于负磁异常带的西端。布格重力低异常中心区位于寨凹附近,分别向 NW 和 SE 延伸,NW 部分向呈舌状展布,长度约 10 km,宽度约 6 km,SE 部分呈突刺状展布,其布格重力梯度明显小于 NW 部分的。

沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区位于熊耳山金银成矿地球化学区内,隶属于下峪银(金)成矿地球化学亚区^[4]。熊耳山金银成矿地球化学区东段的地球化学异常以 Au 为主,Ag、Pb 次之,其西段以 Ag、Pb 为主,Au 次之,后者以寨凹为中心出现元素分带特性,W、Sn、Mo、Bi、Cu 等高温元素组合位于中心部位,外围则以 Ag、Pb、Zn、Au 等中温元素组合为主^[5]。

蒿坪沟异常、崇阳沟异常和范庄异常是下峪银(金)成矿地球化学亚区的三个重要组成部分(图 2-b)。蒿坪沟异常整体呈近北西向展布于蒿坪沟一带,元素组合以 Ag、Au、Pb 为主,Ag 和 Au 最高含量分别可达 16.7 $\mu\text{g/g}$ 和 85 ng/g ,伴生 W、Bi、Cu、Zn、Sb、Cd、Sn、Mn、Mo、As、Ni 等^[5]。崇阳沟异常位于崇阳沟、固始沟、铁炉坪一带,元素组合以 Ag、Pb 为主,最高含量分别可达 11.68 $\mu\text{g/g}$ 和 508 $\mu\text{g/g}$,可见 Cu、Sb、Zn、Mn、Cr、Ni、W、Hg、Ti、Mo 等。范庄异常的元素组合为 Ag、Pb、Ti、Sn、Zn、Mn、Cr、N、W、Cd、Ag 和 Pb 的最高含量分别为 15.8 $\mu\text{g/g}$ 和 1768 $\mu\text{g/g}$ 。Cu、W 异常主要分布在寨凹、杨沟和李家沟一带,自西向东依次出现沙沟—蒿坪沟、碾盘沟—楼院、庄科和庄沟 4 个 Cu 异常浓集中心(图 2-b),向东其异常强度具有升高趋势,整体上 Ag、Pb 异常分布于 Cu、W、Mo 异常的外围,在杨沟—三道沟一带 Ag、Pb 异常区和 Cu、W、Mo 异常区出现重叠^[5]。

3 故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面

3.1 样品采集与分析测试

故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面与 EH4 测深断面重合,均呈近北西—南东向通过沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区(图 1-b),西起故县水库南岸,向东依次经沙沟、月亮沟、蒿坪沟、铁炉坪、龙门店银等大型 Ag 多金属矿床,东端终止于全包山下,总长度 15 km。采样点间隔为 100 m,实际采样点与设计采样点的直线距离控制在 30 m 以内,在实际采样点约 30 m^2 范围内的原生露头处采集数块新鲜岩石样品,每个采样点的样品质量控制

在 1.0~1.5 kg,累计采集 154 件样品。

样品分析测试由河南省有色金属地质勘查总院检测中心完成。样品经无污染玛瑙球磨机碎至 200 目后进行溶样,Au 和 Ag 分析采用王水溶样,Cu、Pb、Zn、Mo、Co、Cr、W、Sn 和 Bi 分析采用盐酸—硝酸—氢氟酸—高氯酸溶样。Au 和 Ag 使用石墨炉原子吸收光谱法测定,仪器型号为 SOLAAR-S4 原子吸收分光光度计,Cu 等 9 元素使用等离子体质谱法(ICP-MS)测定,仪器型号为 Thermo Fisher X Series 2。分析过程中采用国家一级标样控制准确度及精密度,用重复性密码分析及异常点抽检来验证其可靠性,其质量控制参数均合格。

3.2 样品测试结果

故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中,154 件样品的 Au、Ag、Cr、Co、Cu、Zn、Mo、W、Pb、Sn 和 Bi 的分析测试结果见表 1,元素含量统计直方图见图 3。

148 件样品的 Au 含量为 0~20 ng/g ,4 件样品的 Au 含量为 40~80 ng/g ,样品 HT357 和 HT329B 的 Au 含量分别为 228.66 ng/g 和 500.54 ng/g ,相应的岩性分别为伟晶岩和硅化片麻岩(表 1)。150 件样品的 Ag 含量主要集中于 0~5 $\mu\text{g/g}$,其余 4 件(硅化)片麻岩样品的 Ag 含量分别为 7.95 $\mu\text{g/g}$ 、8.49 $\mu\text{g/g}$ 、93.75 $\mu\text{g/g}$ 和 306.50 $\mu\text{g/g}$,Ag 矿床的边界品位为 40 $\mu\text{g/g}$ ^[36]。Sn 含量主要为 0~4 $\mu\text{g/g}$,13 件样品的 Sn 含量为 4~20 $\mu\text{g/g}$,最高值为 32.3 $\mu\text{g/g}$ 。

142 件样品的 Cu 含量为 0~48 $\mu\text{g/g}$,8 件样品的 Cu 含量位于 80~240 $\mu\text{g/g}$ 含量区间内,4 件样品的 Cu 含量分别为 304.20 $\mu\text{g/g}$ (片麻岩)、342.10 $\mu\text{g/g}$ (硅化片麻岩)、343.40 $\mu\text{g/g}$ (硅化斜长角闪岩)和 1783.00 $\mu\text{g/g}$ (HT329B,硅化片麻岩)(表 1 和图 3)。130 件样品的 Zn 含量低于 150 $\mu\text{g/g}$,16 件样品的 Zn 含量为 150~350 $\mu\text{g/g}$,其余样品分布在 450~2400 $\mu\text{g/g}$ 。Pb 含量介于 0~150 $\mu\text{g/g}$ 和 150~300 $\mu\text{g/g}$ 含量区间的样品数分别为 135 和 10,4 件样品的 Pb 含量超过其边界品位^[36]。

W 含量呈现明显的两极分化特征,W 含量最高达 530.60 $\mu\text{g/g}$ (片麻岩),其余 153 件样品中的 W 含量均低于 34 $\mu\text{g/g}$ 。样品 HT329A 和 HT329B 的 Mo 含量分别为 60.21 $\mu\text{g/g}$ 和 53.52 $\mu\text{g/g}$ 之外,其余 152 件样品的 Mo 含量均小于 12 $\mu\text{g/g}$ 。147 件样品的 Bi 含量低于 2 $\mu\text{g/g}$,5 件样品的 Bi 含量为 2~

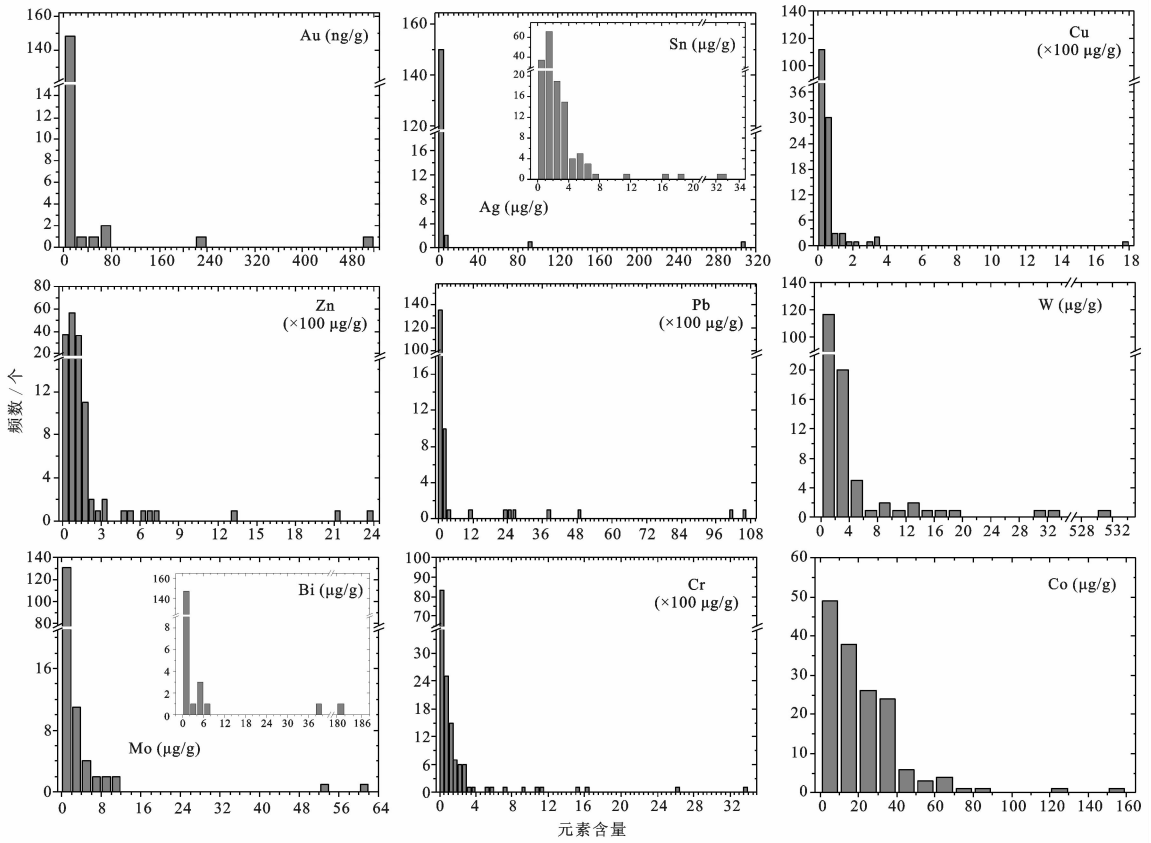


图3 故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面样品的元素含量统计直方图

Au、Ag、Cu、Zn、Pb、W、Mo、Cr 和 Co 矿床的边界品位依次为 1.0 g/t、40 g/t、0.2%、0.5%、0.3%、0.064% (WO₃ 含量)、0.03%、5% (Cr₂O₃ 含量) 和 0.02%，Sn 和 Bi 的边界品位分别为 0.1% 和 0.2% (据《矿产资源工业要求手册》编委会, 2011^[36])

Fig.3 Content histograms for samples in the geochemical rock survey section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain

Cut-off grade of Au, Ag, Cu, Zn, Pb, W, Mo, Cr, Co, Sn and Bi are 1.0g/t, 40g/t, 0.2%, 0.5%, 0.3%, 0.064% (WO₃), 0.03%, 5% (Cr₂O₃), 0.02%, 0.1% and 0.2%, respectively (after reference[36])

8 μg/g, 其余 2 件相距约 400 m 的硅化片麻岩样品 Bi 含量为 39.16 μg/g (HT329B) 和 180.20 μg/g (HT333) (表 1 和图 3)。

大多数样品 Cr 含量低于 200 μg/g, 14 件样品的 Cr 含量为 200~400 μg/g, 5 件 (硅化) 片麻岩和 5 件 (硅化) 斜长角闪岩样品的 Cr 含量介于 400~3 500 μg/g。Co 含量变化呈明显的阶梯状 (图 3), 分布在 0~10 μg/g 和 10~20 μg/g 含量区间内的样品数分别为 49 和 38, 26 件和 24 件样品的 Co 含量分别介于 20~30 μg/g 和 30~40 μg/g 范围内, 在 40~70 μg/g 范围内的样品数为 13, 其余 4 件硅化片麻岩样品的 Co 含量分别为 79.34 μg/g (HT331)、82.25 μg/g (HT340)、123.10 μg/g (HT356) 和 156.00 μg/g (HT329B), 相应的 Co 矿床边界品位为

200 μg/g^[36]。

3.3 故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面

故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面见图 4-a~f。

在剖面中, Au 存在 4 个明显高含量异常段, 自西向东依次为约 1.0 km 处、2.0~3.5 km 之间、约 6.0 km 处和 8.5~9.0 km 之间, 其中在 2.0~3.5 km 之间和 8.5~9.0 km 之间也分别出现两段强度不同的 Ag 异常, 在剖面约 10 km 处也出现 Ag 含量高异常 (图 4-a)。

5 个强度不等的 Cu 异常分别位于剖面的约 5.3 km 处、约 6.0 km 处、6.5~7.2 km 之间、8.5~9.0 km 之间以及 9.5~10.0 km 之间, Zn 异常仅仅在 8.5~9.0 km 之间与 Cu 异常相重叠, 其余 Zn 异常位于剖面

表1 故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面样品分析结果
Table 1 Assay results of samples in geochemical rock survey section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain

样品编号	岩性	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Cr	W	Co	Mo	Sn	Bi
HT001	Gns	4.08	3.69	29.58	97.83	28.34	19.65	0.82	19.75	1.07	1.00	0.46
HT002	Gns	0.16	0.03	12.95	139.90	7.44	1530.0	0.66	51.52	0.31	1.83	0.17
HT003	Gns	0.44	0.10	17.50	126.50	18.42	74.79	7.42	15.74	0.39	1.78	0.09
HT004	Gns	0.32	0.12	14.46	22.39	13.22	12.97	0.36	6.57	0.29	0.63	0.06
HT005	Amp	0.28	0.15	44.99	128.70	10.81	145.60	0.53	61.01	0.37	2.00	0.22
HT006	Gns	0.74	0.08	37.55	165.30	20.99	136.00	0.58	63.19	0.49	1.55	0.27
HT007	Gns	0.12	0.05	24.44	78.00	9.39	113.10	0.26	30.05	0.21	0.68	0.10
HT008	Gns	0.49	0.20	30.00	119.10	10.86	279.50	0.45	39.10	0.23	2.33	0.22
HT009	Gns	0.16	0.02	32.77	103.50	13.92	125.90	0.32	26.95	0.32	1.50	0.11
HT010	Gns	0.28	0.11	32.05	134.40	16.19	359.40	0.35	30.16	0.47	2.65	0.20
HT011	Gns	0.14	0.05	16.43	93.15	21.67	254.20	0.32	23.93	2.55	2.37	0.08
HT012	Gns	0.00	0.04	24.25	57.89	12.12	56.34	0.43	11.95	0.43	2.14	0.07
HT013	And	0.86	0.24	28.56	230.60	43.79	234.60	0.47	35.50	2.35	1.88	0.23
HT014	B-And	0.64	0.19	26.50	153.00	64.47	278.00	0.45	33.22	1.74	1.22	0.21
HT015	And	0.26	0.06	14.92	87.90	13.96	2.57	0.66	7.82	1.48	1.76	0.13
HT016	And	0.53	0.22	17.24	88.61	30.09	4.40	0.85	6.54	5.70	3.82	0.28
HT017	And	0.71	0.53	24.18	129.20	107.60	12.49	1.09	6.59	5.88	3.86	0.52
HT018	And	0.12	0.06	15.27	76.00	10.64	1.87	0.82	5.60	1.95	3.61	0.09
HT019	And	0.05	0.04	18.79	126.80	14.37	4.97	0.62	12.94	1.74	3.22	0.09
HT020	And	1.49	0.65	61.71	163.50	138.30	9.95	1.31	11.93	7.46	3.86	0.86
HT021	And	0.08	0.04	15.33	89.36	8.94	3.39	0.61	5.71	0.52	3.47	0.13
HT022	B-And	0.26	0.09	20.25	112.70	32.33	8.67	0.89	10.87	1.84	2.90	0.11
HT023	B-And	0.62	0.23	45.64	253.00	56.36	284.10	0.30	37.98	1.47	1.78	0.21
HT024	B-And	1.37	0.09	33.12	98.22	36.26	99.75	0.17	26.42	1.04	1.15	0.12
HT025	B-And	0.12	0.06	24.78	116.30	38.16	186.20	0.22	37.79	0.64	0.99	0.07
HT026	B-And	0.01	0.04	22.26	109.30	11.80	248.10	0.22	33.88	0.36	1.09	0.05
HT027	B-And	0.17	0.05	26.52	126.20	21.56	81.32	0.15	37.34	0.64	0.83	0.04
HT028	B-And	0.00	0.03	17.38	94.25	11.82	236.20	0.25	36.20	0.31	0.82	0.05
HT029	B-And	0.07	0.05	18.85	165.60	11.44	112.90	0.26	43.68	0.46	1.16	0.08
HT030	B-And	0.60	0.14	25.28	146.10	79.54	67.49	0.29	33.77	0.51	1.47	0.08
HT031	Gns	0.89	0.09	85.27	85.65	76.07	184.50	4.11	37.32	11.85	3.16	0.62
HT032	Gns	0.48	0.11	42.88	122.10	70.17	240.90	0.59	37.72	0.43	1.95	0.15
HT033	Gns	1.97	0.19	35.08	122.50	391.20	36.97	1.40	20.52	0.78	6.53	0.40
HT035	Gns	5.74	0.15	39.65	151.90	287.90	38.41	8.72	27.27	0.95	2.39	0.28
HT036	Gns	13.92	0.81	40.35	730.20	10550.0	50.17	15.06	17.01	4.86	0.94	0.31
HT037	Gns	1.08	0.08	46.08	108.70	42.63	149.30	1.48	27.31	0.77	1.21	0.22
HT038	Gns	0.60	0.07	17.23	7.37	11.39	10.22	1.40	2.78	1.04	0.30	0.08
HT039	Gns	0.59	0.09	16.76	14.05	32.43	13.42	0.37	3.36	0.53	0.26	0.08
HT040	Gns	70.37	1.23	21.01	518.80	3863.00	4.48	2.08	12.74	1.26	0.40	0.12

续表 1

样品编号	岩性	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Cr	W	Co	Mo	Sn	Bi
HT041	Gns	0.44	0.13	15.19	78.21	22.10	10.54	0.35	12.65	0.60	1.11	0.10
HT042	Gns	1.06	0.15	22.99	93.27	89.03	18.59	0.55	3.13	0.70	0.74	0.10
HT043	Gns	41.40	7.95	41.10	2353.0	10100.0	240.10	1.26	22.45	0.85	0.28	0.13
HT044	Gns	0.48	0.36	21.61	159.60	74.24	16.42	2.92	14.69	0.83	2.18	0.45
HT045	Gns	0.65	0.18	65.33	160.90	34.83	1608.0	0.60	45.24	0.81	1.51	0.37
HT046	Gns	16.42	0.45	12.52	323.70	206.80	7.22	2.97	8.82	1.75	1.69	0.62
HT047	Gns	0.67	0.09	20.85	65.52	27.25	16.54	0.81	12.31	0.26	1.75	0.12
HT048	Gns	0.37	0.14	45.93	103.90	34.69	53.31	2.08	25.08	0.97	2.50	0.24
HT049	Gns	0.74	0.05	13.40	48.71	17.98	15.19	0.91	8.99	0.17	1.40	0.11
HT050	Gns	0.58	0.37	21.54	176.90	71.21	16.51	2.60	9.24	0.57	0.62	0.14
HT051	Gns	0.12	0.04	14.85	44.86	11.27	54.38	0.45	10.14	0.21	4.80	0.55
HT052	Gns	0.08	0.02	21.86	48.12	18.34	39.56	0.56	12.19	0.22	1.37	0.23
HT053	Gns	0.28	0.06	29.90	46.67	20.66	71.98	1.33	18.91	0.28	5.62	0.83
HT054	Gns	0.51	0.06	25.32	33.89	23.23	14.16	2.22	6.31	0.27	1.13	0.15
HT055	Gns	0.13	0.06	24.10	55.09	30.75	95.08	0.42	13.36	0.25	1.22	0.17
HT056	Gns	0.05	0.03	14.66	108.70	16.32	272.30	0.66	14.00	0.26	6.86	0.24
HT057	Gns	0.07	0.03	37.42	108.10	18.60	337.60	0.65	39.72	0.69	1.68	0.18
HT058	Gns	0.20	0.05	19.55	107.70	17.58	69.19	0.86	30.49	0.45	1.61	0.16
HT059	Gns	0.45	0.02	16.83	44.61	17.57	9.91	0.45	17.30	0.18	1.09	0.26
HT060	Gns	0.07	0.03	21.36	47.33	13.51	11.70	0.36	14.59	0.24	1.00	0.15
HT061	Gns	0.08	0.03	19.36	46.31	11.37	51.58	0.37	12.46	0.25	1.24	0.15
HT062	Gns	0.04	0.03	35.98	91.07	14.51	175.90	0.29	19.21	0.24	2.19	0.74
HT063	Gns	0.34	0.05	304.20	61.15	13.88	149.80	3.27	40.61	0.19	11.59	5.76
HT064	Gns	0.02	0.02	27.40	29.82	6.81	34.22	0.65	13.10	0.08	0.85	0.40
HT065	Gns	0.17	0.15	16.59	46.29	14.50	27.35	1.95	8.54	0.20	0.56	0.24
HT066	Gns	0.08	0.02	13.01	28.16	8.69	25.67	0.33	6.32	0.19	0.63	0.14
HT067	Gns	0.11	0.05	17.04	97.56	15.71	31.03	0.60	25.90	0.42	2.02	0.13
HT068	Gns	64.25	3.74	73.40	1342.0	2336.00	12.98	530.60	21.01	2.15	1.26	0.34
HT069	Gns	0.44	0.04	20.18	78.65	15.60	71.78	4.35	25.83	0.25	1.65	0.25
HT070	Gns	0.17	0.03	21.55	74.80	15.31	50.17	1.58	20.27	0.20	1.30	0.22
HT071	Gns	6.28	8.49	17.71	654.00	214.30	34.17	2.97	18.19	4.57	0.83	0.27
HT072	Gns	0.37	0.15	20.93	40.04	26.58	6.54	1.07	6.18	0.61	1.67	0.15
HT073	Gns	0.66	0.11	49.11	103.50	26.31	143.70	0.74	32.00	0.89	1.13	0.31
HT074	Gns	0.31	0.07	14.93	60.14	29.20	38.17	1.82	5.78	0.55	1.19	0.19
HT075	Gns	0.45	0.04	9.21	16.89	14.14	9.59	1.27	3.61	0.33	0.43	0.12
HT076	Gns	0.28	0.11	20.38	75.64	18.10	118.30	4.54	13.26	1.07	2.43	0.42
HT077	Gns	1.56	0.31	10.06	64.57	31.74	9.01	2.81	2.97	0.43	0.75	0.35
HT078	Gns	0.92	0.26	7.22	35.94	86.95	8.01	0.30	1.24	0.20	0.21	0.07
HT079	Gns	0.72	0.53	23.29	186.70	154.00	121.90	1.66	17.81	3.52	0.95	0.25
HT080	Gns	2.85	0.08	9.65	24.44	18.95	13.06	0.85	2.29	0.31	0.83	0.17

续表 1

样品编号	岩性	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Cr	W	Co	Mo	Sn	Bi
HT081	Gns	0.15	0.15	9.62	19.70	16.56	8.75	1.17	3.27	1.93	0.42	0.04
HT082	Gns	1.26	0.35	29.34	194.70	73.68	7.72	3.75	29.87	1.13	1.69	0.15
HT083	Gns	16.81	0.40	13.31	57.26	24.88	14.77	0.85	3.05	0.27	0.64	0.24
HT084	Gns	0.95	0.12	28.01	124.00	43.42	56.70	1.61	12.99	0.35	1.32	0.12
HT301	Si-Gns	0.13	0.07	16.24	28.14	8.54	6.29	1.28	9.11	0.54	1.58	0.26
HT302	Si-Gns	0.53	93.75	137.90	107.80	2581.0	49.78	1.20	22.94	1.14	3.08	5.61
HT303	Si-Gns	0.06	0.13	46.22	42.06	14.79	46.17	0.91	16.26	0.75	1.12	0.58
HT304	Si-Gns	0.27	0.05	31.50	51.02	16.94	26.83	2.50	22.55	0.49	2.96	1.39
HT305	Si-Gns	0.08	0.06	24.39	92.94	15.90	42.81	0.70	20.81	0.79	1.81	0.38
HT306	Gns	0.32	0.08	21.57	56.58	21.33	24.18	0.77	10.47	0.44	1.68	1.10
HT307	Si-Gns	0.29	1.46	28.92	107.20	205.70	29.83	5.08	9.26	2.79	5.44	0.50
HT308	Amp	0.52	0.54	41.53	136.00	57.03	508.70	1.48	36.93	11.95	1.69	0.63
HT309	Gns	0.19	0.06	71.32	61.05	21.81	15.98	2.97	14.17	0.40	3.26	0.29
HT310	Si-Gns	0.09	0.10	49.15	78.00	15.74	38.66	1.26	21.37	0.41	5.86	0.83
HT311	Si-Gns	0.30	2.02	71.91	100.30	23.57	28.62	1.18	43.68	0.84	16.39	0.99
HT312	Si-Gns	0.15	0.08	38.45	76.94	109.30	36.04	0.56	17.79	0.57	1.54	0.20
HT313	Si-Gns	0.25	3.72	33.38	454.70	277.90	54.22	18.58	27.66	2.56	32.30	0.98
HT314	Si-Gns	0.23	0.34	38.13	131.60	98.38	231.10	0.69	31.89	1.36	1.75	0.13
HT315	Si-Gns	0.38	0.10	68.96	89.24	42.40	63.18	1.09	35.14	0.96	4.62	0.63
HT316	Gns	0.12	0.35	20.20	214.70	43.74	11.57	12.59	7.61	3.34	3.51	0.16
HT317	Si-Gns	0.31	0.19	14.28	76.42	44.03	34.68	1.84	11.96	1.79	2.77	0.27
HT318	Si-Amp	0.76	0.17	61.65	75.48	31.32	195.50	0.42	35.93	2.33	0.55	0.24
HT319	Si-Amp	0.17	0.09	25.91	75.75	17.48	111.60	0.81	20.58	1.27	7.39	0.53
HT320	Si-Gns	0.10	0.07	53.90	56.02	21.01	120.70	0.32	23.26	0.49	1.00	0.17
HT321	Si-Gns	0.22	0.19	62.87	108.90	20.17	170.60	0.85	30.10	0.93	1.25	0.21
HT322	Si-Gns	1.37	0.17	33.45	123.30	21.34	143.70	0.35	29.87	1.02	1.53	0.25
HT323	Si-Gns	0.06	2.74	102.00	2132.0	1161.0	80.21	31.66	16.08	1.82	1.22	0.06
HT324	Si-Amp	0.10	0.21	26.16	136.10	98.04	46.93	1.24	8.71	0.22	2.50	0.46
HT325	Si-Gns	0.22	0.08	24.32	90.23	17.63	119.30	0.22	28.46	0.25	1.43	0.10
HT326A	Si-Amp	0.40	0.41	17.17	68.74	34.50	9.79	9.28	5.53	3.14	3.09	0.25
HT326B	Gns	0.12	0.21	13.58	82.09	15.80	260.60	0.23	23.18	0.25	1.18	0.06
HT327	Gns	0.37	0.23	34.76	20.15	23.52	17.40	1.06	6.71	0.26	1.01	0.52
HT328	Gns	0.16	0.05	34.54	62.86	8.83	56.32	4.57	67.07	2.89	3.60	0.43
HT329A	Si-Gns	39.17	0.98	40.85	323.30	2469.0	77.92	13.40	12.36	60.21	1.97	6.66
HT329B	Si-Gns	500.54	306.50	1783.0	634.00	4810.0	82.92	11.92	156.00	53.52	4.50	39.16
HT330	Si-Gns	1.50	0.60	19.09	60.50	33.25	35.69	0.98	11.93	0.91	2.72	1.69
HT331	Si-Gns	3.01	0.23	342.10	61.65	36.79	2608.0	1.24	79.34	3.88	6.98	5.09
HT332	Si-Gns	0.23	0.06	14.24	14.03	14.82	9.38	0.41	2.24	0.52	0.66	0.75
HT333	Si-Gns	2.78	0.55	119.40	137.00	170.70	54.41	16.61	17.26	7.62	1.52	180.20

续表 1

样品编号	岩性	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Cr	W	Co	Mo	Sn	Bi
HT334	Gns	0.24	0.06	12.38	24.05	37.44	19.01	0.33	6.09	0.52	0.92	2.67
HT335	Apl	0.06	0.72	26.01	136.90	234.30	8.17	2.41	4.57	1.73	3.13	0.50
HT336	Gns	0.14	0.04	23.16	49.66	15.75	16.42	0.27	8.21	0.67	1.04	0.26
HT337	Amp	0.40	0.05	30.67	55.40	25.02	129.60	0.80	16.27	0.58	3.10	0.70
HT338	Si-Gns	0.18	0.05	18.55	77.60	15.07	172.80	0.61	29.07	0.28	2.63	0.36
HT339	Si-Gns	0.05	0.04	12.78	31.11	15.58	16.30	1.38	7.67	0.42	1.45	0.23
HT340	Si-Gns	0.36	0.08	42.66	66.00	12.58	3379.0	0.19	82.25	1.17	0.48	0.31
HT341	Si-Gns	0.30	0.12	58.58	80.53	46.16	95.81	0.87	15.59	0.77	1.45	0.23
HT342	Si-Gns	0.18	0.15	20.48	60.66	35.11	30.25	0.59	7.55	0.87	1.34	0.28
HT343	Si-Gns	0.41	0.10	17.87	29.91	36.95	24.05	0.31	6.46	0.95	0.89	0.21
HT344	Amp	2.46	3.16	56.34	154.50	178.20	152.20	2.09	32.96	9.30	3.98	1.38
HT345	Si-Amp	0.17	0.11	48.29	80.14	25.85	33.57	1.05	37.79	1.19	1.86	0.27
HT346	Si-Amp	3.05	0.25	76.05	104.50	33.09	1062.0	0.56	62.65	1.71	2.63	0.30
HT347	Gbr	2.20	0.48	210.10	95.21	80.93	55.67	33.22	37.60	9.10	18.54	1.35
HT348	Amp	0.35	0.14	175.00	97.63	15.04	726.90	1.17	54.92	0.37	5.92	0.30
HT349	Si-Amp	0.06	0.04	48.53	70.38	10.63	597.90	0.90	40.86	0.24	5.54	0.38
HT350	Si-Amp	0.11	0.03	34.90	118.60	13.65	917.20	0.41	50.28	0.21	4.15	0.19
HT351	Si-Amp	0.18	0.15	343.40	59.12	18.78	37.50	0.70	12.79	0.51	2.64	1.05
HT352	Gns	0.22	0.11	58.60	29.21	22.30	7.97	0.85	4.24	0.21	1.98	0.16
HT353	Gns	0.10	0.02	10.50	31.14	26.12	8.56	0.27	1.28	0.17	0.93	0.07
HT354	Gns	0.17	0.02	23.72	49.37	12.81	39.68	0.36	8.46	0.19	1.53	0.10
HT355	Gns	0.32	0.02	7.32	27.55	7.86	7.35	0.39	3.93	0.13	0.63	0.05
HT356	Si-Gns	1.09	0.03	12.34	91.40	3.28	1144.0	0.16	123.10	0.36	1.40	0.11
HT357	Peg	228.66	0.15	135.30	14.76	151.10	14.83	2.33	1.66	0.98	0.62	0.77
HT358	Qtz	1.13	0.03	14.25	50.05	12.62	22.37	0.19	8.93	0.20	1.24	0.08
HT359	Gbr	0.29	0.03	47.22	120.00	16.15	9.67	0.47	23.32	0.54	0.94	0.11
HT360	Gns	0.38	0.11	9.89	36.16	25.38	29.57	3.17	3.48	1.01	0.86	0.13
HT361	Gns	0.96	0.30	9.61	23.49	26.99	7.01	0.71	2.82	0.29	0.44	0.22
HT362	Si-Gns	0.49	1.23	64.68	84.47	110.90	33.77	2.14	19.42	1.26	1.77	1.25
HT363	Gns	0.38	0.07	18.63	60.61	14.48	38.02	1.57	8.25	0.46	1.15	0.12
HT364	Amp	0.59	0.20	152.50	138.50	8.64	67.25	2.19	47.61	0.57	1.45	0.11
HT365	Si-Gns	1.34	0.06	14.55	48.48	24.36	12.80	2.79	5.62	0.36	1.20	0.10
HT366	Si-Gns	0.22	0.05	12.33	37.04	29.69	9.40	1.52	4.01	0.20	1.03	0.04
HT367	Si-Gns	2.24	0.30	15.70	52.02	24.66	30.13	1.84	3.74	1.68	0.52	0.38
HT368	Si-Gns	5.03	0.15	20.85	20.52	14.17	14.71	0.63	2.78	0.37	0.35	0.07
HT369	Si-Gns	0.06	0.04	12.80	88.77	15.56	19.29	2.33	22.05	0.26	0.92	0.03

注:岩性代号:Gns-片麻岩;Si-Gns-硅化片麻岩;Amp-斜长角闪岩;Si-Amp-硅化斜长角闪岩;And-安山岩;B-And-玄武安山岩;
Gbr-辉长岩;Peg-伟晶岩;Apl-细晶岩;Qtz-石英脉;测试单位:河南省有色金属地质勘查总院分析测试中心;Au 的单位为 ng/g,
其余的为 $\mu\text{g/g}$ 。

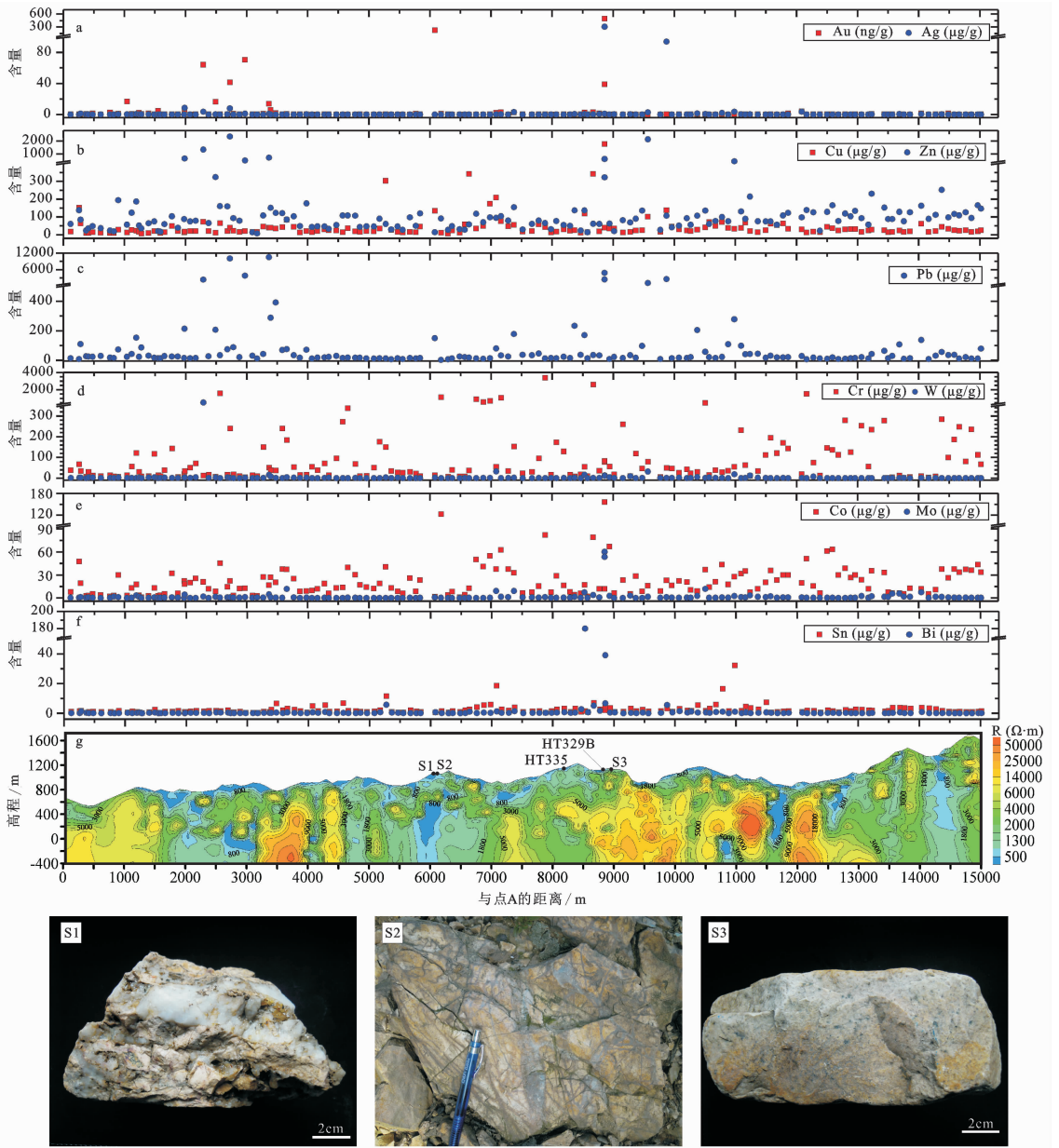


图 4 豫西故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面 and EH4 断面

a-f—依次为故县水库—全包山 Au 和 Ag、Cu 和 Zn、Pb、Cr 和 W、Co 和 Mo、及 Sn 和 Bi 等 11 元素的岩石地球化学测量剖面;g—故县水库—全包山 EH4 测深断面(据梁涛等,2012a 简化^[32]),图中点 S1、S2 和 S3 分别对应于岩石 S1、S2 和 S3 的发现地点,其中 S1 为伟晶岩,S2 位于伟晶岩边缘,网状石英脉发育,S3 为花岗细晶岩;点 HT335 和 HT329B 分别为样品 HT335 和 HT329B 的采样位置

Fig.4 Geochemical rock survey section and EH4 magnetotelluric section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain a-f Geochemical rock survey sections from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain for Au and Ag, Cu and Zn, Pb, Cr and W, Co and Mo, Sn and Bi, respectively; g- EH4 magnetotelluric section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain (after reference [32]), points of S1 (pegmatite), S2 (rim of pegmatite) and S3 (aplite) representing their observation locations; sampling locations of HT335 and HT329B shown in EH4 section

中 2.0~3.5 km 之间、9.0 km 处和 11.0~11.5 km 之间(图 4-b)。Pb 异常主要集中在剖面中 2.0~4.0 km 和 8.0~11.0 km 两段,在约 6.0 km 处也可见 Pb 含量较高的样品点(图 4-c)。

W 和 Mo 异常的分布最为简单,分别在约 2.2 km 处和约 8.8 km 处仅出现高异常,而 Cr 和 Co 异常分布具有异常明显和显示范围大的特点,Cr 异常主要出现在剖面中 2.5~5.5 km、6.0~9.5 km、10.5~

13.5 km 和 14.0~15.0 km 等 4 段,Co 异常主要集中在 6.0~9.0 km 和 12.0~13.5 km 两段内,其余 Co 异常段(Co 含量高于 $30 \mu\text{g/g}$)则是断续分布于剖面的 0~5.5 km 和 14.0~15.0 km 范围内(图 4-d,e)。Sn 异常主要集中于剖面中 3.2~4.5 km、6.5~7.5 km 和 10.5~11.5 km 3 段内,Bi 异常主要出露于剖面中 8.5~9.0 km 之间(图 4-f)。

4 讨论与结论

4.1 岩石地球化学剖面测量与矿集区化探异常

在沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内,地球化学异常以 Ag、Pb 为主^[1,35],在蒿坪沟一带出露呈近西北向展布近重合的 Au、Ag、Pb 异常带,铁炉坪西侧出露有 Ag、Pb 异常,故县水库—全包山化探剖面北西端穿过蒿坪沟 Au、Ag、Pb 异常带西南隅,向东切穿铁炉坪 Ag、Pb 异常区(图 2-b)。化探剖面中 1.5~3.5 km 范围内,显示出明显的 Au、Cu、Pb 异常,4 件样品的 Ag 含量分别为 $1.23 \mu\text{g/g}$ 、 $3.74 \mu\text{g/g}$ 、 $7.95 \mu\text{g/g}$ 和 $8.49 \mu\text{g/g}$,Pb 异常主要集中于剖面的 9.5~11.0 km 长度范围内,大致与化探异常范围出露位置相当。

故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中部 6.0~10.0 km 范围内,出露有明显的 Au、Ag、Cu 及 Pb 异常(图 4-a~c),而平面中相应部位主要为化探异常边缘地带,且 Au 异常空白。这表明岩石地球化学测量剖面在 6.0~10.0 km 范围内切穿了至少一个新发现的 Au、Ag、Cu 及 Pb 化探异常区,为寻找新的 Au、Ag、Cu 及 Pb 矿化提供了重要线索。

此外,伟晶岩样品 HT357 的 Au 含量为 228.66 ng/g,并且伟晶岩边缘发育网状石英脉(表 1 和图 4),不仅说明样品 HT357 附近具有较大的 Au 成矿潜力,而且表明伟晶岩型 Au 矿床可能继构造蚀变岩型和石英脉—构造蚀变岩型金矿床之后成为沙沟—龙门店矿集区内一种新的 Au 矿化类型。

4.2 岩石地球化学测量剖面中的 Cr、Co 异常

故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中显示了明显的 Cr、Co 元素原生晕异常(图 3)。Cr 是铁炉坪银多金属矿床的水系沉积物化探异常元素组合表达式中的重要元素之一,在上官 Au 矿床原生晕异常和祈雨沟隐爆角砾岩型 Au 矿床水系沉积物化探异常中,也显示了明显 Co 异常^[3]。这表明 Cr、Co 元素是熊耳山地区银多金属矿和 Au 矿的异常元素

之一,故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中 Cr、Co 异常具有较强的找矿指示意义,为在沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区内寻找新矿化类型提供了重要信息。

另外一方面,原生 Cr 矿床主要分为层状和豆荚状铬铁矿矿床两大类,均是与基性—超基性岩具有密切的关系^[37-39],伴生 Co 矿床主要与沉积型砂岩铜矿床、岩浆岩型铜镍硫化物矿床、风化型红土镍矿床和热液型矿床(如热液型夕卡岩铁铜矿床)存在紧密关系^[40-42]。故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中 Cr 含量高于 $400 \mu\text{g/g}$ 的样品岩性为(硅化)片麻岩和(硅化)斜长角闪岩,4 件采样点连续的样品(HT346、HT348、HT349 和 HT350)位于变辉长岩岩体两侧,其 Cr 含量介于 $726.90 \mu\text{g/g}$ ~ $1062.0 \mu\text{g/g}$ 之间,远高于它们之间变辉长岩样品(HT347)的 Cr 含量(表 1),Co 含量高于 $60 \mu\text{g/g}$ 的样品岩性为(硅化)片麻岩和(硅化)斜长角闪岩。所以,故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中的 Cr、Co 异常还表明其深部存在隐伏岩浆—流体活动。

4.3 岩石地球化学测量剖面与 EH4 断面

故县水库—全包山 EH4 断面中 7 个规模较大、形态复杂的高阻异常体隐伏于地表之下(图 4-g),还识别出一系列椭圆状—近圆状孤立分布的小规模(长轴长度多小 1 km)高阻异常体,低阻异常体具有接触式、环绕式、刺入式、孤立式和延伸式等 5 种形态类型,其中 EH4 断面中高阻异常体是隐伏岩体体系的显示,EH4 测深断面深部(约地表 200 m 以下)的低异常体则是深部流体活动的产物,记录了未完全固结岩浆体系和深部流体间的相互作用^[32]。

综合对比故县水库—全包山 EH4 断面和岩石地球化学测量剖面(图 4),发现 Au 等 11 个元素异常主要分布于 EH4 断面内高阻异常体之上。如,在 EH4 断面中 2.0~4.0 km 之间,出露有明显的 Au、Zn、Pb、Cr 元素异常,其下部出露有高阻异常体及其北西侧的小规模高阻异常体;在 EH4 断面 8.0~11.5 km 范围内出露两个规模较大的高阻异常体,其顶部出露明显的 Au、Ag、Cu、Zn、Pb、Cr、Co、Sn、Bi 元素异常;位于 EH4 剖面东端 12.0~13.5 km 范围内的高阻异常体顶部出露明显的 Cr、Co 异常。此外,在剖面约 6.0 km 和约 7.0 km 处,分别出露异常强度高但范围窄的 Au、Cr、Co 和 Cu、Cr、Co、Sn 元素异常。

这足以证明 EH4 断面中的隐伏于地表之下的

高阻异常体(隐伏岩体体系—流体相互作用的产物)具有较大的成矿潜力,为沙沟—龙门店 Ag 多金属矿集区深部新矿床类型(如斑岩型)的找矿勘探提供了重要信息。

4.4 深部找矿启示

内生金属矿床的形成与岩浆作用存在着密不可分的关系,在其找矿勘探中,岩体的存在与否已经成为判断成矿潜力的重要宏观识别条件之一,前人认为沙沟—龙门店矿集区内的 Ag 多金属矿成矿作用均与寨凹隐伏岩体密切相关^[1]。在透岩浆流体成矿理论基础之上,梁涛等(2011)^[2]对故县水库环—弧形构造区内大环(弧)套小环(弧)的深部动力学成因进行了分析,认为大环(弧)影像是隐伏岩体—流体体系总体上升撞击顶板的产物,相当于岩浆侵位的应力发散区,而小环(弧)则是含矿熔浆—流体流分枝(透岩浆流体)溢出的通道或波及的范围。这一深部过程地质模型不仅获得了 EH4 测深断面的验证^[3],而且也与故县水库—全包山化探剖面中的 Cr、Co 异常显现的深部过程相吻合。所以,故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面进一步验证了沙沟—龙门店矿集区内存在隐伏的、与 Ag 多金属成矿作用相关的岩浆—流体活动(透岩浆流体作用)这一地质模型,这就是对该区深部找矿的最大启示。

除此以外,故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面对沙沟—龙门店矿集区的深部找矿启示还在于以下 4 方面:首先,化探剖面异常直接指示了找矿靶区,如化探剖面中出露有明显的 Au、Ag、Cu 及 Pb 异常的 6.0~10.0 km 范围内;其次,发现了具有找矿潜力的 Cr、Co 异常,为在沙沟—龙门店矿集区内地质找矿提供了新思路;第三,依据透岩浆流体成矿理论,在 EH4 断面中圈定了数个有利找矿部位^[3],化探剖面异常特征提升了部分深部找矿有利部位赋矿的可能性,如 EH4 断面中 8.0~9.5 km 范围内的高阻异常体,后者顶部发现细晶岩(图 4-g);最后,化探剖面中约 6.0 km 处出露强烈的 Au、Co 异常,相应的地表出露富流体作用的岩石类型(图 4-g),其深部电阻率结构所显现的“封闭—逃逸”形态被认为是深部流体运移、封闭、击打或注入其上覆地质单元以及少量逃逸过程的印记^[3],所以剖面约 6.0 km 处深部应当具有大的成矿潜力。

综上所述,获得以下结论:

1)故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中

6.0~10.0 km 范围内,至少新发现一个 Au、Ag、Cr、Co、Cu 和 Pb 化探异常区。

2)故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面中的 Cr、Co 异常不仅为在沙沟—龙门店矿集区寻找新的矿化类型提供重要信息,而且表明矿集区内存在隐伏的、与 Ag 多金属成矿作用相关的岩浆—流体活动(透岩浆流体作用)。

3)故县水库—全包山岩石地球化学测量剖面的元素异常主要分布于 EH4 断面内高阻异常体之上,表明它们具有较大的成矿潜力,如剖面中 8.0~9.5 km 范围内的高阻异常体。

参考文献(References):

- [1] 王志光, 崔嵩, 徐孟罗, 等. 华北地台南缘地质构造与演化[M]. 北京:冶金工业出版社, 1997:1-311.
Wang Zhiguang, Cui Bo, Xu Mengluo, et al. The Tectonic Evolution and Mineralization in the South Margin of North China Block [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1997:1-311 (in Chinese with English abstract).
- [2] 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京:地质出版社, 2000:1-125.
Luo Mingjiu, Li Shimei, Lu Xinxiang, et al. Metallogenesis and Deposit Series of Main Mineral Resources of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:1-125(in Chinese).
- [3] 卢欣祥, 尉向东, 董有, 等. 小秦岭—熊耳山地区金矿特征与地幔流体[M]. 北京:地质出版社, 2004:1-128.
Lu Xinxiang, Yu Xiangdong, Dong You, et al. The characteristics of gold deposits and mantle fluids of Xiaolinling—Xiong'ershan region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-128 (in Chinese with English abstract).
- [4] 郭保健, 李永峰, 王志光, 等. 熊耳山 Au—Ag—Pb—Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2005, 41(5):43-47.
Guo Baojian, Li Yongfeng, Wang Zhiguang, et al. Type, metallogenetic regularities, mineralization model and prospecting proposal in the Xiong'ershan district [J]. Geology and Prospecting, 2005, 41(5):43-47 (in Chinese with English abstract).
- [5] 索勇, 程宝顺, 李军旗. 河南省洛宁县沙沟银铅锌多金属矿床成因及找矿方向探讨[J]. 矿产与地质, 2009, 23(6):529-532.
Suo Yong, Cheng Baoshun, Li Junqi. Metallogenetic model and prospecting direction of silver—lead—zinc polymetallic deposits in Shagou Area, Luoning County, Henan Province [J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23 (6):529-532 (in Chinese with English abstract).
- [6] 支凤岐, 刘灵恩, 索勇. 河南省熊耳山西段沙沟西银铅矿区地质特征及找矿前景分析[J]. 矿产与地质, 2004, 18(1):35-38.
Zhi Fengqi, Liu Ling-en, Suo Yong. Geologic characteristics and ore potential of Shagouxi Ag—Pb deposit in west section of Xiong'

- ershan region, Henan Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2004, 18(1):35-38(in Chinese with English abstract).
- [7] 贡东辰. 河南省洛宁县蒿坪沟银金多金属矿区地质特征及找矿方向分析[J]. *地质与勘探*, 2008, 44(1):21-25.
Gong Erchen. *Geology and prospecting orientation in Haopinggou Ag-Au polymetallic mining area of Luoning County, Henan Province* [J]. *Geology and Prospecting*, 2008, 44 (1):21-25 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘灵恩, 翟东兴, 李红超, 等. 豫西沙沟-月亮沟矿区薄脉型铅锌银矿床地质特征及勘查实践[J]. *矿产勘查*, 2(5):518-524.
Liu Ling'en, Zhao Dongxing, Li Hongchao, et al. *Summarizations of geologic characteristics of thin-vein type Shagou-Yuelianggou Ag-Pb-Zn deposit, Western Henan and its exploration experience* [J]. *Mineral Exploration*, 2 (5):518-524 (in Chinese with English abstract).
- [9] 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 等. 透岩浆流体成矿作用-理论分析与野外证据[J]. *地学前缘*, 2007, 4(3):165-183.
Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, Lu Xinxiang, et al. *Metallogeny by trans-magmatic fluids-theoretical analysis and field evidence* [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14 (3):165-183 (in Chinese with English abstract).
- [10] 罗照华, 卢欣祥, 郭少丰, 等. 透岩浆流体成矿体系[J]. *岩石学报*, 2008, 24(12):2669-2678.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Guo Shaofeng, et al. *Metallogenic systems on the transmagmatic fluid theory* [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(12):2669-2678(in Chinese with English abstract).
- [11] 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 等. 透岩浆流体成矿作用导论 [M]. 北京:地质出版社, 2009:1-177.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Chen Bihe, et al. *Introduction to the Metallogenic Theory on the Transmagmatic Fluids* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:1-177(in Chinese with English abstract).
- [12] 罗照华, 卢欣祥, 许俊玉, 等. 成矿侵入体的岩石学标志[J]. *岩石学报*, 2010, 26(8):2247-2254.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Xu Junyu, et al. *Petrographic indicators of the ore-bearing intrusions* [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(8):2247-2254(in Chinese with English abstract).
- [13] 罗照华, 卢欣祥, 刘翠, 等. 岩浆热液成矿理论的失败:原因和出路[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2011, 41(1):1-11.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Liu Cui, et al. *On failing of the magmatic hydrothermal metallogenic theory: The cause and the new departure* [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2011, 41(1):1-11(in Chinese with English abstract).
- [14] 孙静, 罗照华, 张长厚, 等. 大庙铁矿田——危机矿山还是潜在超大型铁矿基地[J]. *中国地质*, 2009, 36(2):255-267.
Sun Jing, Luo Zhaohua, Zhang Changhou, et al. *Is the Damiao ore field a crisis mine or a potential giant iron base?* [J]. *Geology in China*, 2009, 36(2):255-267(in Chinese with English abstract).
- [15] 周久龙, 罗照华, 贺怀宇, 等. 河北大庙铁矿床黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2012, 19(4):110-117.
Zhou Jiulong, Luo Zhaohua, He Huaiyu, et al. *New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic constraint on the age of Damiao Fe-Ti-P deposits, North China Craton and its geological significance* [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19 (4):110-117 (in Chinese with English abstract).
- [16] 黄凡, 罗照华, 卢欣祥, 等. 东沟含铜斑岩由泰山庙岩基派生? [J]. *矿床地质*, 2009, 28(5):569-584.
Huang Fan, Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, et al. *Was Donggou porphyry Mo deposit derived from Taishanmiao batholith?* [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28 (5):569-584 (in Chinese with English abstract).
- [17] 卢欣祥, 罗照华, 黄凡, 等. 秦岭-大别山地区钼矿类型与矿化组合特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(6):1518-1535.
Lu Xinxiang, Luo Zhaohua, Huang Fan, et al. *The types of Mo deposits and its characteristics of mineralization assemblage in Qinling-Dabie Mountains* [J]. *Geology in China*, 2011, 38(6):1518-1535(in Chinese with English abstract).
- [18] 曹焯, 李胜荣, 李真真, 等. 太行山北段石湖金矿区中生代岩浆岩中单颗粒锆石的稀土元素特征及启示 [J]. *中国稀土学报*, 2009, 27(4):564-573.
Cao Ye, Li Shengrong, Li Zhenzhen, et al. *Characteristics of rare earth elements of zircon from Mesozoic magmatic rocks in Shihu gold district, north Taihang Mountain, north China* [J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2009, 27(4):564-573(in Chinese with English abstract).
- [19] 李德东, 罗照华, 周久龙, 等. 岩墙厚度对成矿作用的约束:以石湖金矿为例[J]. *地学前缘*, 2011, 18(1):166-178.
Li Dedong, Luo Zhaohua, Zhou Jiulong, et al. *Constraints of dike thicknesses on the metallogenesis and its application to the Shihu gold deposit* [J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18 (1):166-178(in Chinese with English abstract).
- [20] 杨宗锋, 罗照华, 卢欣祥, 等. 东秦岭尚古寺斑岩钼矿地质特征及成矿潜力分析[J]. *地质与勘探*, 2011, 47(6):1077-1090.
Yang Zongfeng, Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, et al. *Geological characteristics and prospecting potential of the Shanggusi porphyry molybdenum deposit in the east Qinling* [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47 (6):1077-1090 (in Chinese with English abstract).
- [21] 真允庆, 束乾安, 戴宝章, 等. 长江中下游成矿带的幔根构造与深部找矿[J]. *地质调查与研究*, 2009, 32(2):105-116.
Zhen Yunqing, Shu Qian'an, Dai Baozhang, et al. *Mantle rooted structure and deep ore prospecting in the middle and lower reaches of the Yangtze River*[J]. *Geological Survey and Research*, 2009, 32 (2):105-116(in Chinese with English abstract).
- [22] 花林宝, 丁梅花, 真允庆, 等. 长江中下游地区的矽卡岩交代柱特征与深部找矿[J]. *地质调查与研究*, 2010, 33(1):115-129.
Hua Linbao, Ding Meihua, Zhen Yunqing, et al. *Characters of the skarn metasomatic column in the middle and lower reaches of the Yangtze River region and deep prospecting* [J]. *Geological Survey and Research*, 2010, 33 (1):115-129 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- [23] 罗照华, 樊秉鸿, 陆树文, 等. 安妥岭钼矿床的发现与成因及其意义[J]. 西北地质, 2009, 42(增刊): 214-217.
Luo Zhaohua, Fan Binghong, Lu Shuwen, et al. Discovery and metallogenesis of the Antuoling Mo deposit and its implications[J]. Northwestern Geology, 2009, 42(Supp.): 214-217(in English).
- [24] 梁涛, 樊秉鸿, 罗照华, 等. EH4 测量在安妥岭钼矿勘查中的应用[J]. 西北地质, 2009, 42(增刊): 222-225.
Liang Tao, Fan Binghong, Luo Zhaohua, et al. Application of stratagem EH4 system at Antuoling Molybdenum deposit [J]. Northwestern Geology, 2009, 42(Supp.): 222-225(in English).
- [25] 梁涛, 陆树文, 罗照华, 等. 安妥岭钼矿体线框模型和矿块模型的初步建立[J]. 地质与勘探, 2010a, 46(3): 553-560.
Liang Tao, Lu Shuwen, Luo Zhaohua, et al. Preliminary establishment of linear-frame and ore-block models for the Antuoling molybdenum deposit[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(3): 553-560(in Chinese with English abstract).
- [26] 李会恺, 乔增宝, 韩亮, 等. 冀西安妥岭斑岩型钼矿成矿地质条件浅析[J]. 山东国土资源, 2009, 25(9): 20-25.
Li Huikai, Qiao Zengbao, Han Liang, et al. Primary study on mineralization geological condition of porphyry-type molybdenum deposit in Antuoling of western Hebei Province[J]. Shandong Land and Resources, 2009, 25 (9): 20-25 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张强, 张晓, 朱凤丽, 等. 河北省涞水县安妥岭钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质调查与研究, 2009, 32(1): 34-40.
Zhang Qiang, Zhang Xiao, Zhu Fengli, et al. Geological characters and genesis of the Antuoling molybdenum deposit in Laishui, Hebei Province[J]. Geological Survey and Research, 32 (1): 34-40 (in Chinese with English abstract).
- [28] 梁涛. 安妥岭斑岩钼矿的成因及其深部约束[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 2010: 1-183.
Liang Tao. Genesis and Constraints from Deep Processes for Antuoling Porphyry-type Molybdenum Deposit [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 2010: 1-183(in Chinese with English abstract).
- [29] 柳凤娟, 张喜周, 沈柳生. 妥岭斑岩型铜(钼)矿成矿条件与远景分析[J]. 矿产与地质, 2010, 24(2): 132-135.
Liu Fengjuan, Zhang Xizhou, Shen Liusheng. The metallogenic condition and prospect analysis of porphyry copper-molybdenum deposit in Antuoling [J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24 (2): 132-135(in Chinese with English abstract).
- [30] 张道忠. 河北省安妥岭钼(铜)矿成矿条件与找矿远景研究[J]. 地质与勘探, 2012, 48(1): 85-92.
Zhang Daozhong. Metallogenic conditions of the Antuoling molybdenum (copper) deposit in Hebei Province and its prospecting potential[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(1): 85-92(in Chinese with English abstract).
- [31] 梁涛, 卢仁, 王明国. 豫西故县水库环—弧形构造组合的找矿指示作用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(6): 1162-1170.
Liang Tao, Lu Ren, Wang Minguo. Exploration indication of Guxian reservoir ring-arc shaped structure, western Hennan Province [J]. Geology and Exploration, 2011, 47(6): 1162-1170 (in Chinese with English abstract).
- [32] 梁涛, 袁稳, 卢仁, 等. 豫西洛宁故县水库—全包山 EH4 测深断面及深部找矿启示[J]. 地球物理学进展, 27(5): 印刷中.
Liang Tao, Yuan Wen, Lu Ren, et al. EH4 Magnetotelluric section from Guxian Reservoir to Quanbaoshan Mountain, southwest Luoning County, western Henan Province, and its implications for deep ore prospecting [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(5): In press(in Chinese with English abstract).
- [33] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-772.
Beureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. Regional geology of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 1-772(in Chinese with English abstract).
- [34] 叶会寿. 华北陆块南缘中生代构造演化与铅锌银成矿作用[D]. 北京: 中国地质科学院, 2006: 1-225.
Ye Huishou. The Mesozoic tectonic evolution and Pb-Zn-Ag metallogeny in the south margin of North China Craton [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2006: 1-225(in Chinese with English abstract).
- [35] 杨群周, 张录星, 彭省临, 等. 豫西襄凹地区地球化学特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 2003, 17(增刊): 458-460.
Yang Qunzhou, Zhang Luxing, Peng Shenglin, et al. Geochemical characteristics and prospecting direction of Zhaiwa region, western hennan[J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17(Supp.): 458-460 (in Chinese).
- [36] 矿产资源工业要求手册编委会. 矿产资源工业要求手册[M]. 北京: 地质出版社, 2010, 81-194.
Editorial Board of Industry Standard Handbook of Mineral Resources. Industry Standard Handbook of Mineral Resources[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010, 81-194 (in Chinese).
- [37] 白文吉, 崔翼万. 铬铁矿床类型及其成因的探讨 [J]. 地质学报, 1977, 53(1): 29-44.
Bai Wenji, Cui Yiwan. Discussion on the types and origin of chromite deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 1977, 53(1): 29-44 (in Chinese with English abstract).
- [38] 张建, 王登红, 付平. 中国铬矿资源形势及其找矿方向 [J]. 西北地质, 2009, 42(3): 69-76.
Zhang Jian, Wang Denghong, Fu Ping. The present situation of chromium resources and prospecting direction in China [J]. Northwestern Geology, 2009, 42 (3): 69-76 (in Chinese with English abstract).
- [39] 杨经绥, 巴登珠, 徐向珍, 等. 中国铬铁矿床的再研究及找矿前景[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1141-1150.
Yang Jingsui, Ba Dengzhu, Xu Xiangzhen, et al. A restudy of podiform chromite deposits and their ore-prospecting vista in China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1141-1150 (in Chinese with English abstract).

[40] 张莓, 茹湘兰. 我国钴资源特点及开发利用中存在的问题及对策[J]. 矿产保护与利用, 1993, 12(3):17-21.

Zhang Mei, Ru Xiangan. Features of cobalt mineral resources, problems and solutions in cobalt resources exploration and utilization [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 1993, 12(3):17-21(in Chinese).

[41] 丰成友, 张德全. 世界钴矿资源及其研究进展述评[J]. 地质论评,

2002, 48(6):627-633.

Feng Chengyou, Zhang Dequan. Cobalt mineral resources in the world and advance of the research on cobalt deposits[J]. Geological Review, 2002, 48(6):627-633(in Chinese with English abstract).

[42] Feng Chengyou, Zhang Dequan. Cobalt deposits of China: Classification, distribution and major Advances [J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 2004, 78(2):352-357.

Geochemical rock survey section from Guxian Reservoir to Quanbao Mountain in western Henan Province and its implications for deep ore prospecting

LIANG Tao, LU Ren, BAI Feng-jun, WANG Ming-guo

(1. General Institute of Non-ferrous Metals Geological Exploration, Zhengzhou, 450052, Henan, China; 2. Key Laboratory of Deep Ore-prospecting Technology Research for Non-ferrous Metals of Henan Province, Zhengzhou 45005, Henan, China)

Abstract: Geochemical rock survey section from Guxian Reservoir to Quanbao Mountain is located in the Shagou-Longmendian Ag polymetallic ore concentration area of western Henan Province. The obvious anomalies of Au, Ag, Cr, Co, Cu and Pb were found about 6.0km to 10.0km in length along the section. The anomalies of Cr and Co along the geochemical rock survey section are important clue to finding new type deposits. On the basis of the metallogenic theory on the transmagmatic fluids, the result of geochemical rock survey section from Guxian Reservoir to Quanbao Mountain becomes new significant evidence to prove the geological model of concealed magma-fluids interactivities (transmagmatic fluids) related to Ag polymetallic mineralization. The results obtained by the authors are important in search for concealed igneous bodies and ore bodies in the depth under 6.0~10.0km in geochemical rock survey section, and also of great significance in finding new type deposits, such as pegmatite-type Au deposits and porphyry-type deposits in the Shagou-Longmendian Ag polymetallic ore concentration area.

Key words: Guxian Reservoir; Ag polymetallic ore concentration area; geochemical rock survey; transmagmatic fluids; deep ore prospecting; Xiong'er Mountain

About the first author: LIANG Tao, male, born in 1979, doctor, engages in geological exploration and metallogenesis research; E-mail: liang20010212@126.com.