

doi: 10.11720/wtyht.2017.4.02

陈伟,周新鹏,贺根文,等.物化探综合方法在天井窝钨多金属找矿中的应用[J].物探与化探,2017,41(4):594-604.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.02

Chen W,Zhou X P,He G W, et al.The application of integrated geophysical and geochemical methods to the prospecting in the Tianjingwo tungsten poly-metallic ore deposit [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2017,41(4):594-604.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.02

物化探综合方法在天井窝钨多金属找矿中的应用

陈伟¹,周新鹏²,贺根文¹,李伟¹

(1.江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队,江西赣州 341000; 2.山西省地球物理化学勘查院,山西运城 044004)

摘要:为了配合九龙脑矿田深部找矿突破,在天井窝钨多金属矿示范区开展面积与剖面测量相结合的物化探综合勘查技术方法,圈定“一带(古亭灰岩与九龙脑复式岩体东西向接触带)三区(I、II、III异常)”为成矿最有利区段。通过钻探工程验证揭露多层厚度1.62~19.37 m似层状、接触带矽卡岩型钨多金属矿体,初步建立起该区矽卡岩型钨多金属矿体物化探综合找矿模式——“二低三高”,即低重力、低视电阻率,高强度的 ΔT 异常、高视极化率 η_s 异常,并有地球化学W、Sn、Bi、As、Sb、壤中汞气等高异常。区内钨多金属成矿与燕山期岩浆活动关系密切,成矿受地层、岩浆、构造复合控制,因此选区应在反映岩体或隐伏岩体的重力低异常区及断裂构造的壤中汞气异常区。基于以上认识,指出区内南边深部具备地层(古亭灰岩)—构造(F_1 、 F_2 断裂)—岩浆岩(深部隐伏岩突)成矿有利条件的最佳耦合,深部找矿潜力较大。

关键词:矽卡岩型矿床;钨多金属矿;物化探综合方法;找矿模式;九龙脑矿田

中图分类号: P6312 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)04-0594-11

0 引言

赣南以石英脉型黑钨矿而享誉国内外,素有“世界钨都”之称^[1-2],然而作为我国有色、稀土、稀有及铀矿的传统重要资源基地,赣南地区不仅矿种种类、组合丰富,矿床类型也复杂多样,并且以热液接触交代矽卡岩型最具找矿突破潜力。近半个多世纪,赣南作为我国大陆花岗岩成矿理论研究和找矿勘查工作的热点地区之一,在成矿规律、找矿理论研究及找矿勘查方面取得许多丰硕成果,著名且具原创性的“五层楼+地下室”找矿模型即产于此^[3-4]。然而,随着区内找矿勘查持续深入,地质勘查工作程度的提高,地表露头矿、浅表矿已基本找完,矿产资源勘查已进入寻找隐伏、半隐伏和难以识别矿床的“攻深找盲”或“第二富集带”找矿阶段,中深部“第二空间”找矿已

势在必行,因此选择一套适合区内的深部资源勘查技术方法显得尤为重要,其合理应用将直接影响和决定勘查活动的质量和效果。笔者在天井窝示范区矽卡岩型钨多金属矿成矿地质条件分析基础上,运用物化探综合方法圈定物化探综合异常,确定成矿最有利区段,初步建立起该区物化探综合找矿模式,为区内深部找矿勘查指明方向。

1 地质概况

1.1 区域成矿背景

九龙脑矿田位于南岭成矿带东段诸广山成矿带南部赣南崇(义)—(大)余—(上)犹矿集区,大地构造上属于钦杭结合带东南侧的华夏板块,横跨罗霄、武夷两块体交接带部位。该区经历了华夏古陆壳于新元古代裂解,加里东运动闭合,印支期完成由海到

收稿日期:2016-05-18;修回日期:2016-12-05

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项“南岭东段九龙脑矿田成矿规律与深部找矿示范”(201411050)下属课题“南岭东段九龙脑矿田地质与地球化学测量”(201411050-2)

作者简介:陈伟(1984-),男,江西泰和县人,2011年毕业于成都理工大学矿产普查与勘探专业,主要从事地质矿产勘查与相关科研工作。

1.2 矿区地质特征

天井窝示范区位于九龙脑复式岩体南西边接触带处,区内第四系浮土覆盖较广,出露地层简单,主要为震旦系和奥陶系变质岩系,二者呈断层接触。震旦系老虎塘组分布于示范区南部,主要岩性为粉砂质板岩、变余石英细砂岩,局部夹凝灰岩,上部为硅质岩。奥陶系古亭灰岩主要分布于石下一南山—惊冲一带,与九龙脑复式岩体呈侵入接触,其上部为粉砂质板岩、变余长石石英砂岩、板岩、含炭质硅质板岩等,下部为古亭组灰岩或不纯灰岩。地层多以单斜岩层产出,走向多为北西西或北北西向,倾向南西,倾角 30°~50°。受岩浆侵入接触热变质作用,部分变质砂板岩角岩化(角岩),灰岩大理岩化(大理

岩),局部地段灰岩或钙质砂岩与花岗岩接触部位,已交代形成以石榴子石为主的矽卡岩类岩石。区内断裂发育,形式复杂,活动时间较长,既有控矿储矿断裂又有成矿后破坏性断裂,规模较大者有北北东、北北西和北东东 3 组,其中北东东组断裂内见矽卡岩矿化,推测可能为沟通深部成矿母岩与古亭灰岩重要桥梁,与矽卡岩型钨多金属成矿关系密切。岩体出露面积较大,分布于示范区北部,属九龙脑复式岩体的多期次侵入体,出露九龙脑复式岩体主体马子塘岩体粗中粒斑状黑云母花岗岩、补体细粒斑状黑云母花岗岩。区内碳酸盐地层、断裂构造发育、岩浆活动强烈,为热液接触交代型矽卡岩型钨多金属矿的形成提供有利成矿地质条件(图 2)。

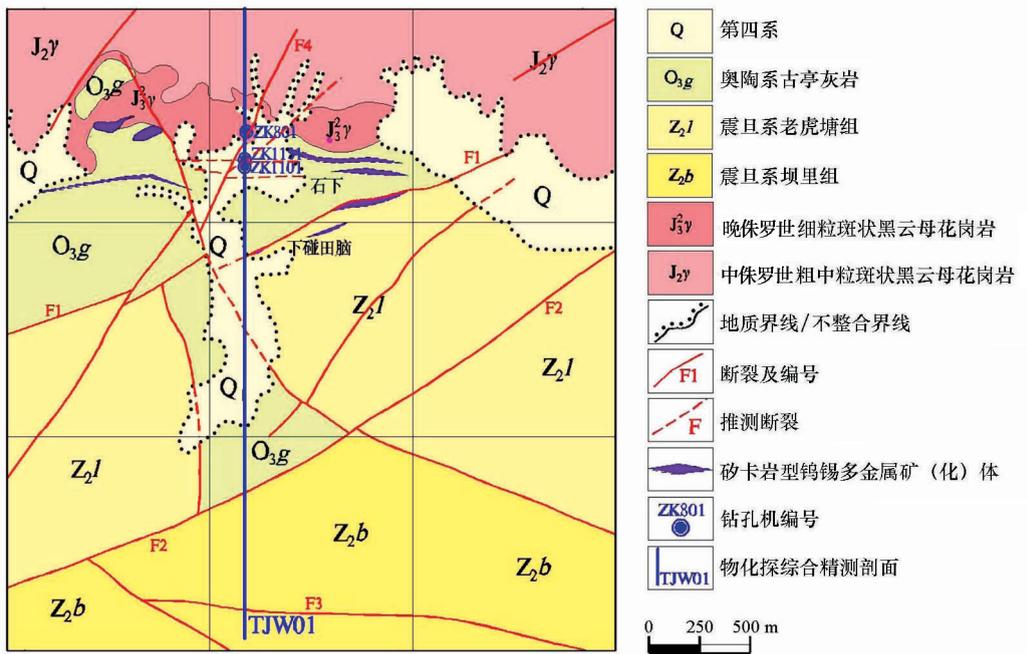


图 2 天井窝钨多金属矿示范区地质简图

区内南部及东部地表浅部勘查发现多个矽卡岩矿(化)体,风化呈黑土状,偶尔残留半风化的矽卡岩,一类呈似层状产于古亭灰岩内,近东西向延伸,另一类产于古亭组灰岩与九龙脑复式体的接触带处,延伸方向随接触带产状变化而变化。矽卡岩主要非金属矿物为石榴子石、符山石、透闪石、绿帘石、矽线石等,少量金属矿物有白钨矿、锡石、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿。荧光灯照射见细小星点状或浸染状白钨矿化。矽卡岩型钨锡矿石中 WO₃ 含量为 0.016%~1.65%,平均 0.465%; Sn 为 0.012%~0.680%,平均 0.229%。矿床成因类型属岩浆期后高—中温热液接触交代矽卡岩型矿床。

万方数据

2 物化探工作条件

2.1 岩(矿)石物理特征

2.1.1 岩(矿)石磁性特征

磁参数测定结果表明(表 1):地表岩矿石标本中矽卡岩磁性最强,花岗岩、灰岩、板岩基本无磁性或弱磁性;钻孔深部岩矿石标本矽卡岩、含矿矽卡岩具有一定磁性,因地层(板岩、角岩)含有黄铁矿,部分受岩浆热作用影响变为磁黄铁矿也具有一定磁性,导致区内磁异常解释具有多解性,但含矿矽卡岩的磁异常反应可作为寻找隐伏矽卡岩型钨锡多金属矿体的充分条件。

表 1 天井窝示范区地表岩(矿)石磁参数统计

岩石类型	样品数	磁化率/($4\pi \times 10^{-6}$ SI)		
		最大值	最小值	几何平均值
中粗粒黑云母花岗岩	30	69	10	34
灰岩、粉砂质板岩、含炭质板岩	32	136	14	42
变余长石石英砂岩、粉砂质板岩	61	132	37	57
砂卡岩	33	403	72	204

2.1.2 岩(矿)石密度特征

区内岩矿石中密度最小的为花岗岩,大理岩相对中等,板岩、角岩相对较大;密度最大的为含矿砂卡岩,次之砂卡岩。因此花岗岩是引起重力低的主要地质因素。利用重力低异常可圈定与成矿有关的隐伏花岗岩体,局部重力高异常可能是砂卡岩型钨锡多金属矿体密度大的响应特征(表 2)。

2.1.3 岩(矿)石电性特征

受区内地层含黄铁矿化影响,除花岗岩外,各类岩矿石均具有一定的极化率,含矿砂卡岩相比较含黄铁矿化大理岩、板岩、角岩极化率更高;电阻率特征方面以花岗岩电阻率最高,大理岩次之,板岩、角岩中等,(含矿)砂卡岩电阻率最低(表 2)。区内砂卡岩矿(化)体与围岩虽具有一定的电性特征差异,但差异不是十分显著,获取的电性异常也具有多解性。

表 2 天井窝示范区钻孔岩心岩(矿)石物性参数统计

岩石名称	样品数	$\sigma/(10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$		$\kappa/(4\pi \times 10^{-6} \text{ SI})$		$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$		$\eta/\%$	
		变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值
板岩	43	2.864~3.046	2.955	187~350	218	1460~2400	1723	2.84~4.35	3.35
角岩	42	2.859~3.104	2.982	123~321	172	1111~2224	1782	3.04~5.8	3.59
大理岩	83	2.702~2.837	2.769	35~105	42	2451~3941	3431	3.27~4.55	3.55
花岗岩	70	2.559~2.615	2.576	6~17	10	3104~5426	4091	1.54~2.34	2.02
含矿砂卡岩	31	3.032~3.315	3.158	124~238	180	858~1586	1234	2.11~4.94	3.73
砂卡岩	33	3.009~3.234	3.076	70~146	92	759~1647	1245	1.61~3.15	2.37

天井窝示范区内各类岩矿石综合物性特征对比研究表明:区内各类岩矿石之间具备一定的物性差异,运用重、磁、电地球物理方法在寻找隐伏、半隐伏的接触交代砂卡岩钨锡矿体,圈定与成矿有关的隐伏花岗岩体是可行的。但值得注意的是,因受区内地层含黄铁矿化及岩浆活动影响,导致地球物理异常解释具有多解性,因此在解释过程中需考虑多方法地球物理异常的重复性,同时结合成矿地质条件与地球化学异常进行综合解释。

2.2 地球化学特征

2.2.1 岩石地球化学特征

与 1987 於崇文等《南岭地区区域地球化学》^[12] 不同时代地层元素背景值相比较:九龙脑矿田地层 W、Sn、Ag、Pb、Mo、Bi、Li、Be 相对较富集(富集系数 >1),Ni、Co 表现为亏损(富集系数 <1),表明区内地层为硅铝质为主的陆壳,其中 W、Sn、Ag、Pb 含量高,高出南岭地区 1~10 倍,为一个 W、Sn、Ag、Pb 高背景值区。九龙脑复式岩体不同时期岩体中 W、Sn、Bi、Pb、Ag、Mo、Li、Be 含量普遍高于维氏值数倍,特别是 W、Sn 无论是在中性岩还是酸性岩中,其含量均高于维氏值多倍且呈不稳定状态分析,为区域的特征元素。区内地层、岩浆岩都显示出显著含矿性,为

区内钨锡多金属矿的成矿、成晕提供了丰富的物质来源。

2.2.2 土壤地球化学特征

对天井窝示范区土壤样品元素测试分析结果进行统计分析,得到区内元素分布特征(表 3):全区大部分元素的平均含量较高,是中国东部平原土壤化学元素含量的 1~10 倍,其中 W、Sn、Bi、As、Sb 等处于高背景分布区,特别是 W 相对浓集系数高达 40 倍。各元素的变异系数在 0.52~1.98,且大部分元素大于 1,变异系数最大的是 W,其次是 Bi、Sn、As,表明 W、Sn、Bi 等分散、富集的程度较高,更易成矿。将土壤元素原始数据集的变异系数(C_{v1})和经过平均值 ± 3 倍方差剔除极高值后的数据变异系数(C_{v2})进行对比^[13](表 4),W、Sn、Bi 相对离散程度相当平稳,高含量数据较多,富集成矿性较好,表明 W、Sn 在局部富集成矿的可能性极大。

综上所述,区内各元素丰度较高、变异系数较大、离散程度较小的元素主要为 W、Sn、Bi、As,其中 W、Sn、Bi 富集成矿的可能性较大^[15]。根据区内成矿地质条件、矿床类型、元素变化特征等,确定 W、Sn 为区内的主要成矿元素。

表 3 天井窝示范区土壤地球化学测量元素含量统计

元素	最大值	最小值	平均值	标准偏差	变异系数	浓集系数	中国东部土壤丰度 ^[14]
Au	41.6	0.9	4.6	4.82	1	2.88	1.6
Ag	1.34	0.06	0.12	0.1	0.88	1.67	0.072
Cu	476.5	2.59	60.93	43.36	0.71	2.54	24
Pb	301.7	14.36	44.48	30.5	0.68	1.93	23
Zn	512.3	21.52	143.44	75.63	0.52	2.24	64
W	820	2.08	69.6	137.9	1.98	40.94	1.7
Sn	>100	2.37	22.08	24.92	1.13	7.12	3.1
Mo	15.1	1	1.95	1.42	0.73	3.42	0.57
Bi	41.3	0.2	2.8	3.92	1.39	9.03	0.31
As	274	2.66	55.28	56.95	1.03	5.53	10
Sb	12.7	0.2	3.47	2.53	0.73	4.39	0.79

注: Au 含量单位为 10^{-9} , 其余元素为 10^{-6}

表 4 天井窝示范区土壤元素剔除离散值前、后的数据变异系数对比

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Mo	Bi	As	Sb
C_{v1}	1.00	0.88	0.71	0.68	0.52	1.98	1.13	0.73	1.39	1.03	0.73
C_{v2}	0.83	0.74	0.62	0.58	0.48	1.66	1.11	0.65	1.28	0.95	0.63
C_{v1}/C_{v2}	1.20	1.19	1.15	1.17	1.08	1.19	1.02	1.12	1.09	1.08	1.16

2.2.3 壤中汞气地球化学特征

目前, 尽管人们对土壤中汞气异常的形成机制问题尚不清楚, 汞气来源存在不同观点及争论, 但深部来源的汞气沿断裂构造带这个通道向上运移并在土壤中形成汞异常是不争的事实^[16]。国内外大量的研究和找矿实践证明, 凡是在有隐伏断裂构造带或矿(化)体发育的部位, 其上方土壤中均存在明显的汞气地球化学异常^[17-19]。因此, 土壤汞气地球化学测量作为一种深穿透地球化学勘查技术, 为覆盖区寻找隐伏构造带及矿(化)体起到重要作用。区内壤中汞气测量检验了其在九龙脑矿田的有效性, 实测剖面中汞气异常与断裂构造吻合较好(图 3), 对区内具有一定规模的隐伏断裂构造或含矿异性结构面具有间接探测作用。

3 综合物化探测量方法

为了在天井窝钨多金属矿内寻找隐伏似层状、接触带式矽卡岩型钨锡多金属矿体, 在示范区开展地质、物探、化探多方法多手段综合探测。综合探测以浅表似层状、接触带式东西向展布矽卡岩钨锡矿(化)体为直接探测对象, 采用面积与剖面测量相结合, 综合物性研究先行的原则, 在开展区内重、磁扫描圈定成矿有利异常基础上, 选择 I 号综合异常区布设南北向 TJW01 地—物—化综合精测剖面(图 2), 精测剖面长 3 km。选用的工作方法有: ① 综合物性测定: 采集地表和部分钻孔中新鲜的岩矿石标本测定密度、磁化率、电阻率、极化率物性参数, 开展

岩矿石物性综合对比研究; ② 面积性测量: 重力、高精度磁测扫面; ③ 剖面测量: 实测地质剖面、土壤地球化学测量、壤中汞气测量, 重力、高精度磁测量, 激电中梯、激电测深、音频大地电磁测深(AMT)。综合物化探工作: 综合物性、磁法、重力、激电、音频大地电磁测深(AMT)均严格按照相应规范(程)要求^[20-23]开展野外数据采集和测试分析, 数据真实、质量可靠。

4 物化探综合异常特征

4.1 地质—地球化学剖面异常特征

从天井窝示范区 TJW01 地质—地球化学联合剖面(图 3)可以看出: 1 800~1 980 点浅表对应含(矿)矽卡岩破碎带, 土壤 W、Sn、Mo、As、Sb 在矿体上均有明显的反映, 壤中汞气异常表现相对低且宽缓; 2 280~2 300 点存在弱 W、Mo、Bi 异常, 与浅表似层状矽卡岩矿(化)体相对应; 2 380~2 440 点存在宽广的 W、Sn、Bi、Cu、Zn、Be、As、Sb、Hg 多元素组合异常, 汞气异常与各元素异常之间重叠性较好, 峰值较大, 特别是 W、Sn、Bi、As、Sb 异常更为显著, W 最高峰值达 698×10^{-6} , Sn 含量大于 100×10^{-6} , 经地表槽探查证, 异常处发现厚大的似层状矽卡岩钨锡矿(化)体; 2 500~2 580 点地质剖面上, 位于古亭灰岩与九龙脑复式岩体的接触带内见有风化呈黑土状或半风化矽卡岩分布, 其上方土壤元素 W、Sn、Bi、Pb、Be、As、Sb 异常显著, 且以 W、Sn、Bi、As 异常为主, 汞气异常强烈, 呈尖峰状, 其中 W 最高峰值达 $820 \times$

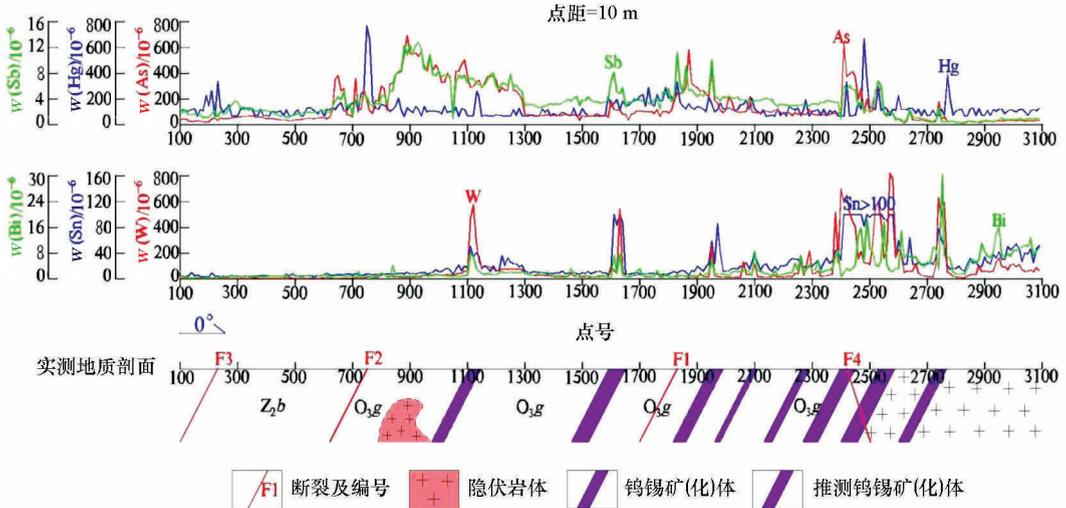


图3 天井窝钨多金属矿示范区 TJW01 地质—地球化学联合剖面

10^{-6} , Sn 含量大于 100×10^{-6} , Hg 含量达 330×10^{-6} 。除此之外,剖面上 200~220 点、740~760 点汞气异常强烈,与剖面断裂构造相对应;1 080~1 180 点土壤元素 W、Sn、Bi、Cu、As、Sb 组合异常及 W、As 异常强烈,推测可能存在似层状矽卡岩矿(化)体;1 580~1 660 点存在土壤 W、Sn、Bi、Cu、Pb、Zn、Ag、Be、As、Sb、Hg 多元素组合异常,且 W、Sn、Cu、Pb、Ag 峰值较大、重叠性好,W 最高峰值达 540×10^{-6} , Sn 含量大于 100×10^{-6} , Cu 含量达 476.5×10^{-6} , Pb 含量达 301.7×10^{-6} ,推测与浅部似层状矽卡岩钨锡多金属矿(化)体相对应;2 720~2 760 点土壤元素 W、Sn、Mo、Bi 异常组合可能与九龙脑复式岩体内古亭灰岩残留体形成的矽卡岩型钨锡多金属矿(化)体有关。上述地质—地球化学元素异常对应关系表明:区内与浅部矽卡岩钨锡矿(化)体对应较好的异常元素有 W、Sn、Bi、As、Sb 且各元素之间重叠性较好,特别是 W、Sn 异常,峰值大,形态好,与区内主成矿元素富集成矿相吻合。因此,土壤 W、Sn 异常可以直接用于区内寻找矽卡岩型钨锡矿(化)体。

示范区主要成矿元素为 W、Sn、Bi,伴生元素为 Cu、Pb、Zn、Be,次要元素为 Au、Ag、As、Sb。地质—地球化学剖面上元素水平分带和垂向分带表现明显,由北(近花岗岩体)向南(远花岗岩体),水平元素分带依次为 W、Sn、Mo、Bi、Be→Cu、Pb、Zn→Au、As、Sb;自上而下为 As、Sb、Hg→Au、Ag→Cu、Pb、Zn→Mo、Bi、Be→W、Sn。因此,TJW01 地质—地球化学联合剖面北部异常强度大的 W、Sn、Bi 组合异常指示出露地表或浅部矽卡岩型钨锡矿(化)体,南部低温 As、Sb 元素组合异常可能指示隐伏或相对较深矽卡岩钨锡矿(化)体,740~1 040 点深部可能存在

与成矿有关的隐伏花岗岩体。

4.2 地质—地球物理剖面异常特征

从天井窝示范区精测 TJW01 地质—物探联合剖面(图 4)可以看出:布格重力异常曲线总体趋势表现为北低南高,反映了地层与花岗岩起伏变化的特征。2 740~3 100 点与已知出露的花岗岩体分布区相对应;740~1 940 点、260~740 点重力低异常推断为深部隐伏花岗岩体,其中 740~1 940 点低重力异常与地球化学异常相吻合,指示深部隐伏花岗岩体的存在;2 500~2 580 点重力异常梯级带对应剖面上的接触带矽卡岩型钨锡矿(化)体。因此,根据重力异常梯级带可大致推断接触带(含矿)矽卡岩可能赋存的部位,局部重力低异常可推断深部隐伏花岗岩体。

高精度磁测剖面 100~580 点、2 300~3 100 点分别为花岗岩和变质岩地层,磁性相对较平缓,表现为弱磁—无磁;580~740 点、1 580~1 660 点、1 800~1 980 点、2 500~2 580 点局部高磁异常或高磁异常梯级带分别与剖面上规模较大的硅化破碎带、土壤多元素组合异常相对应,其中 740~2 100 点之间存在磁性不均匀,推测可能由地层含黄铁矿化和隐伏似层状矽卡岩钨锡矿(化)体综合引起。

激电中梯剖面极化率相对较高,以 3% 划分极化率异常,2 500~3 100 点高阻、低极化异常对应花岗岩出露区;2 100~2 260 点相对低阻、高极化异常为接触带矽卡岩型钨锡矿体响应特征;580~740 点高阻、高极化异常,1 800~1 980 点低阻、高极化异常分别为硅化破碎带、含(矿)矽卡岩破碎带响应特征;100~1 700 点为低阻、高极化异常,极化率异常幅值高,最大超过 10%,结合区内成矿地质条件分

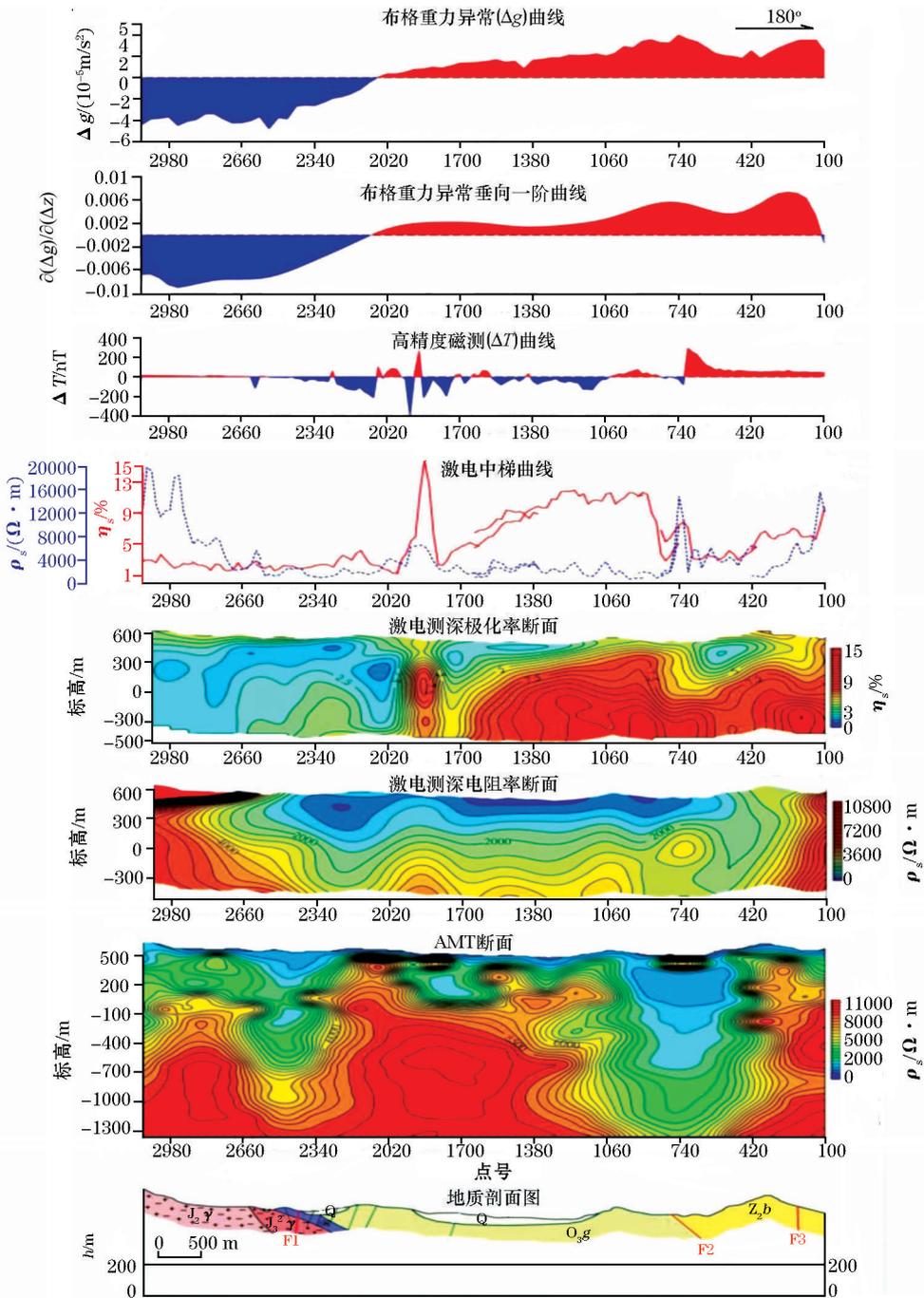


图4 天井窝钨多金属矿示范区 TJW01 地质-物探联合剖面

析, 高极化率异常可能是由南边深部隐伏矽卡岩型钨锡矿体、隐伏岩体及地层含黄铁矿化综合引起。剖面激电测深断面异常与中梯异常吻合性较好, 进一步检验了综合异常的有效性。

音频大地电磁测深 (AMT) 剖面反映深部存在大面积高电阻异常体, 推断为深部隐伏花岗岩体响应特征; 540~1 000 点、1 620~1 940 点、2 300~2 600 点 3 个相对低阻带分别对应剖面硅化破碎带及 (含矿) 矽卡岩。

综上所述, 区内 (含矿) 矽卡岩和花岗岩综合物

性特征明显, 地球物理异常分别为低阻、高极化、高磁、相对高密度异常和高阻、低极化、低磁、低密度异常特征, 重力异常能够较好地反映深部隐伏岩体, 音频大地电磁测深 (AMT)、激电测深提供深部地质结构信息, 重力异常梯级带、高精度磁异常、激电中梯异常 (高极化低电阻) 与 (含矿) 矽卡岩关系密切。然而由于区内地层富集一定规模的硫化物, 导致单一地球物理提供的信息往往具有多解性, 因此区内应开展重、磁、电多地球物理方法与深穿透地球化学法的综合探测^[24]。

5 深部找矿预测

5.1 成矿有利区段

天井窝示范区各类综合异常信息均指示区内南边深部具备地层(古亭灰岩)—构造(F_1 、 F_2 断裂)—岩浆岩(深部隐伏岩突)成矿有利条件的最佳组合,深部成矿潜力较大,据此圈定出“一带三区(I、II、III异常)”成矿最有利区段(图5)。

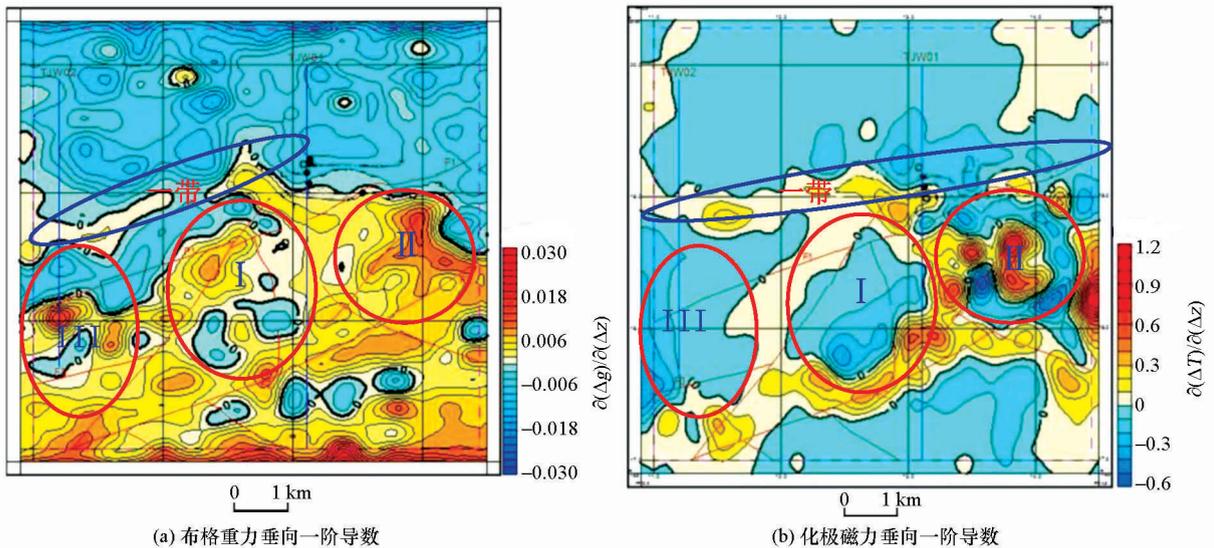


图5 天井窝钨多金属矿示范区布格重力异常和化极磁力异常垂向一阶导数对比

“三区”: I号异常位于示范区中部,精测TJW01综合剖上该位置存在多处土壤、汞气多元素组合异常,面上有高重力、弱磁异常,局部重力低异常。根据综合物性对比研究,推断重力高可能是变质岩地层与(含矿)矽卡岩综合引起,重力低指示深部隐伏花岗岩体,重力低异常的中心位置为隐伏花岗岩岩突所处位置,与地球化学推断位置相一致,弱磁可能因成矿深度较深、(含矿)矽卡岩规模较小或深部隐伏花岗岩综合导致,局部串珠状高磁异常带为 F_2 深大断裂响应特征。因此, I号异常 F_2 深大断裂以北,深部存在与成矿有关的隐伏岩体,以及有利灰岩地层和断裂构造,为成矿最有利区。II号异常位于I号异常北东部,异常特征为高重力、高磁异常,局部为低重力、弱磁异常,重力高推断可能是变质岩地层与(含矿)矽卡岩综合引起,重力低异常指示深部隐伏岩体存在,局部高重力、高磁异常叠合部位可能存在(含矿)矽卡岩。地表填图在下碰田脑和上碰田脑一带已发现(含矿)矽卡岩,因此该异常在下一步地质找矿工作中应引起重视。III号异常位于I号异常西南部,异常特征为高重力、弱磁异常,

“一带”:指古亭组灰岩与北部九龙脑复式岩体接触带,精测TJW01综合剖面上该接触带上方存在土壤W、Sn、Bi、Pb、Be、As、Sb、Hg多元素组合异常,以W、Sn、Bi、As、Hg异常最为显著,布格重力垂向一阶导数图上(图5a)位于相对重力高或重力异常梯阶带位置,化极磁力垂向一阶导数图上(图5b)该接触带表现为串珠状相对高磁异常,推断接触带可能形成高重高磁的热液接触交代矽卡岩型钨锡多金属矿(化)体。

局部重力低,指示深部存在隐伏花岗岩体,异常北部古亭灰岩区为成矿有利区。

5.2 勘查效果

以精测TJW01地质—地球物理—地球化学综合剖面为载体,剖面重力数据为反演数据,岩体平面推断成果、音频大地电磁测深(AMT)、实测地质剖面为约束条件,进行TJW01综合剖面2.5D重磁剖面反演,反演解释推断剖面古亭灰岩与九龙脑复式岩体接触带及其附近存在一定规模(含矿)矽卡岩(图6)。

根据物化探异常信息综合反映,结合区内成矿地质条件,择优选择TJW01线接触带南侧依次布置ZK801、ZK1131、ZK1101进行深部钻探工程验证(图7)。经钻探验证:ZK801钻孔中3.30~73.42m为矽卡岩,见似层状钨锡矿体2层,厚度分别为13.57m、11.84m,钨(WO_3)平均含量分别为0.115%、0.108%,锡平均含量分别为0.139%、0.071%,钨锡矿体总厚度达20多米。ZK1131钻孔中见似层状及接触式黄铁矿化、黄铜矿化、钨矿化矽卡岩4层,总厚度达44.94m,其中似层状钨矿体2层,接触带钨

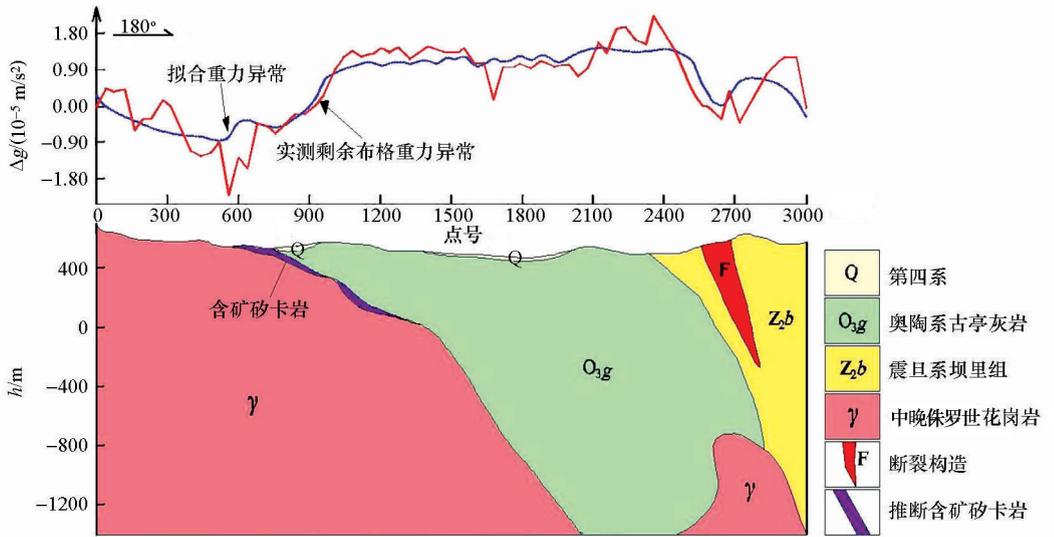


图6 天井窝钨多金属矿示范区精测 TJW01 反演推断剖面

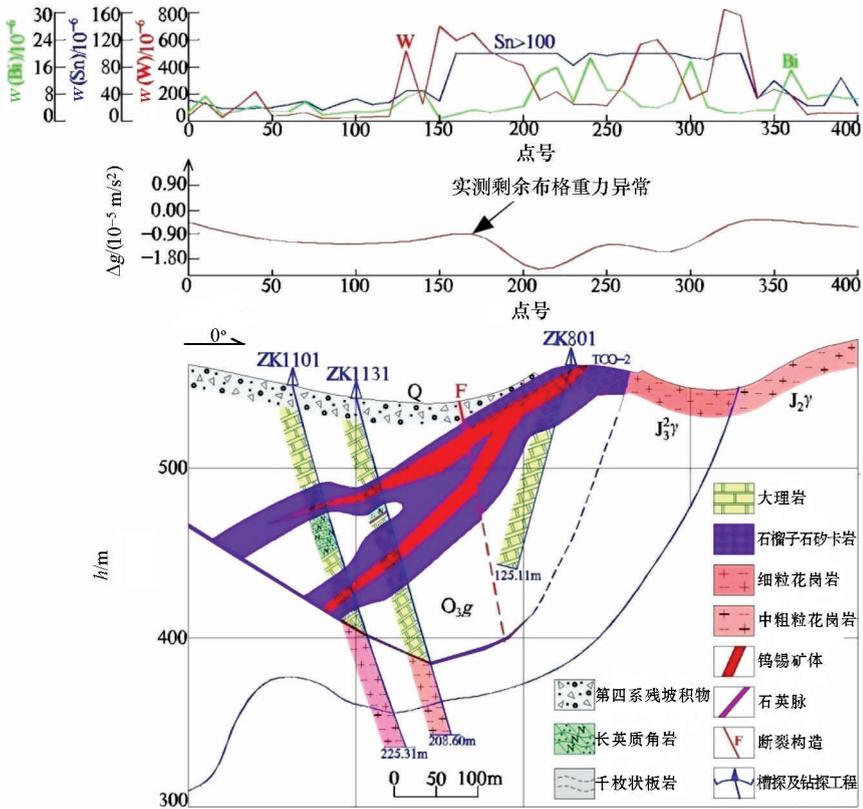


图7 天井窝钨多金属矿示范区 TJW01 线综合剖面

矿体1层,由浅到深似层状钨矿体厚度分别为 5.87 m、11.99 m,钨(WO_3)平均含量分别为0.127%、0.287%,接触带钨矿体厚度为 1.62 m,钨(WO_3)平均含量 0.410%。ZK1101 钻孔中见多层矽卡岩化大理岩、长英质角岩、钨锡矿化矽卡岩,总厚度达 57.09 m,其中似层状钨锡矿体 1 层,钨矿体 1 层,接触带钨矿体 1 层,由浅到深似层状钨锡矿体厚度分

别为 1.43m、6.95m,钨(WO_3)平均含量分别为 0.152%、0.187%,锡平均含量分别为0.239%,接触带钨矿体厚度为2.09 m,钨(WO_3)平均含量为0.235%。钻探验证结果与地球物理、地球化学异常信息相吻合,说明物化探综合法找矿效果较好,同时指示九龙头复式岩体向南侧伏,矽卡岩型钨锡矿(化)体往南边深部有变大、变富的趋势,深部找矿潜力较大。

万方数据

6 物化探综合找矿模式

从本次工作成果和区内地质成矿规律看出,在区内开展以综合物性对比研究先行,剖面与面积性

测量相结合的地球物理、地球化学综合方法寻找矽卡岩型钨锡多金属矿床具备一定前提条件,是可行、有效的,归纳总结区内地球物理化学综合找矿模式为“二低三高”(图8)。

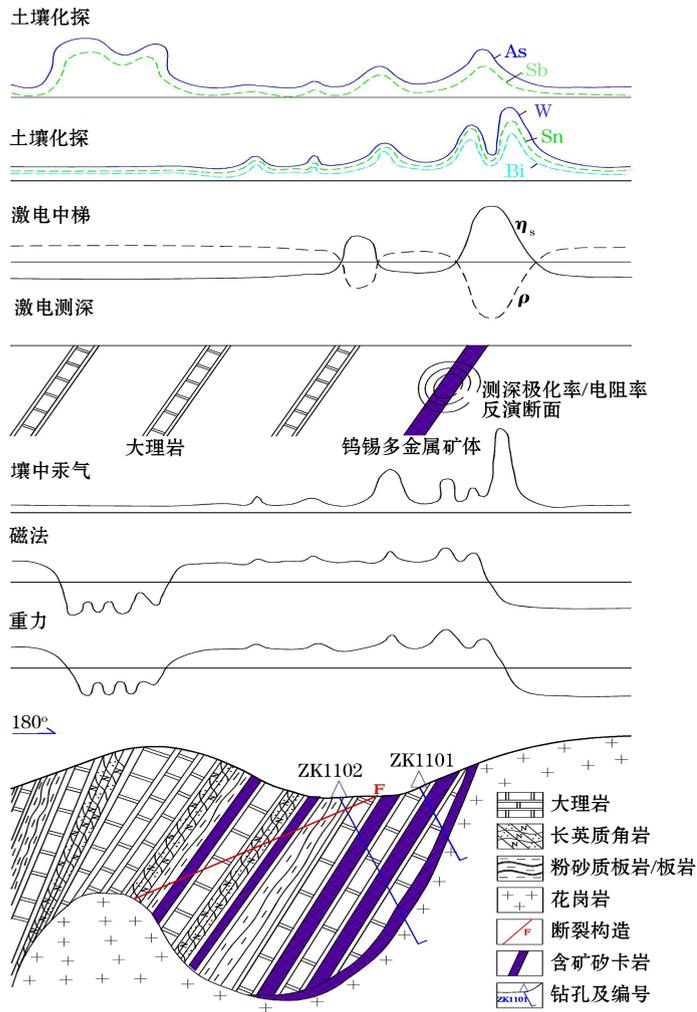


图8 天井窝矽卡岩型钨多金属矿找矿模式综合剖面

“二低”是重力、视电阻率相对低。天井窝矽卡岩型钨锡多金属矿成矿与岩浆作用密切相关,因此在选区上,必须选择在反映岩体或隐伏岩体的重力低异常区;视电阻率低异常地段则往往是构造破碎带或矽卡岩带发育地段。

“三高”是指有较高强度的 ΔT 磁异常、视极化率 η_s 异常及 W、Sn、Bi、As、Sb、壤中汞气等异常带。岩浆侵入时,与碳酸盐岩相互间进行物质交换形成矽卡岩,携带 W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn 等多种成矿元素在有利的构造部位聚积形成矿体或蚀变矿化带。因此在构造蚀变带上可以形成和观测到 ΔT 磁异常、 η_s 激电异常和地球化学 W、Sn、Bi、As、Sb 及壤中汞气等异常,且各类异常套合较好。构造越有利,

矿化蚀变活动越强,各异常的强度也就越高。在验证异常时,一定要选择异常明显且套合较好的地段布置工程。

7 结语

赣南地区土壤比较发育,基岩出露较少,过去多采用化探水系沉积物测量方法缩小找矿靶区,地质填图、土壤测量和矿点检查确定成矿有利地段,槽探、坑探和钻探验证的找矿方法,这种方法在该区寻找浅部矿产工作中取得了较好的应用效果,但对寻找深部隐伏矿所获取的深部找矿信息偏少。基于区内地质条件以及天井窝钨多金属矿示范区综合物化

探深部找矿实践,认为高精度磁法、激电中梯、激电测深、土壤测量(直接对矿(化)体或矿化带的探寻)+重力、音频大地电磁测深(对与成矿有关的隐伏成矿花岗岩体的探寻)+壤中汞气(对断裂构造或含矿构造的探寻)的面积与剖面测量相结合的地质、地球物理、地球化学综合勘查方法,对区内深部找矿勘查是行之有效的,适合的。特别强调,深部找矿实践应在充分研究工作区成矿地质条件的前提下,综合运用各类物化探方法,真正做到地质、地球物理、地球化学之间互为借鉴、互为补充、联合解译。

参考文献:

- [1] 许建祥,曾载淋,王登红,等.赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J].地质学报,2008,82(7):880-887.
- [2] 曾载淋,田幽军.赣南地区钨矿找矿史回顾及新一轮钨矿找矿思考[J].资源调查与环境,2006,27(2):94-102.
- [3] 王登红,唐菊兴,应立娟,等.“五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):734-738.
- [4] 王登红,陈毓川,陈郑辉,等.南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究[J].地质学报,2007,81(7):882-890.
- [5] 杨明桂,黄永泉,王维甫,等.江西省燕山期陆内活化造山与岩浆成矿作用[J].江西地质,2015,16(1):9-20.
- [6] 陈毓川,陈郑辉,曾载淋,等.南岭科学钻探第一孔选址研究[J].中国地质,2013,40(3):659-670.
- [7] 朱炎龄,李兴佑,林运淮.赣南钨矿地质[M].南昌:江西人民出版社,1981.
- [8] 郭春丽,陈毓川,黎传标,等.赣南晚侏罗世九龙岗钨锡铅锌矿集区不同成矿类型花岗岩年龄、地球化学特征对比及其地质意义[J].地质学报,2011,85(7):1188-1240.

- [9] 丰成友,黄凡,曾载淋,等.赣南九龙岗岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J].吉林大学学报:地球科学版,2011,41(1):111-119.
- [10] 丰成友,黄凡,屈文俊,等.赣南九龙岗矿田东南部不同类型钨矿的辉钨矿 Re-Os 年龄及地质意义[J].中国钨业,2011,26(4):7-11.
- [11] 陈郑辉,王登红,屈文俊,等.赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J].地质通报,2006,25(4):496-501.
- [12] 於崇文,骆庭川,鲍征宇.南岭地区区域地球化学[M].北京:地质出版社,1987.
- [13] 崔晓亮,刘婷婷,王文恒,等.东昆仑布青山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J].物探与化探,2011,35(5):573-578.
- [14] 卢仁,梁涛,王福贵,等.梁家沟矿区土壤地球化学特征及找矿意义[J].物探与化探,2014,38(2):234-238.
- [15] 孙宁,罗卫,韦龙明,等.广东贝岭矿区物化探异常特征及找矿标志[J].物探与化探,2015,39(4):699-703.
- [16] 谢学锦.战术性与战略性的深穿透地球化学方法[J].地学前缘,1998,5(1/2):171-182.
- [17] 卫敬生.地球化学测汞方法应用讨论[J].物探与化探,1988,22(6):21-27.
- [18] 侯治华,戚文忠,钟南才,等.地球化学测汞方法在断裂构造研究中的应用[J].地壳构造与地壳应力文集,2000,13:85-90.
- [19] 王基华,卫敬生,李荣春,等.勘查地球化学测汞方法在工程地质中的应用[J].工程地质学报,2000,8(增刊):546-551.
- [20] 张胜业,潘玉玲.应用地球物理学原理[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [21] 秦葆瑚.高精度磁测方法指南[J].湖南地质,1991(增刊5).
- [22] 李金铭.激发极化法方法技术指南[M].北京:地质出版社.
- [23] 苑守成,陈达,罗先中.激电测深勘查效果的对比分析[J].物探与化探,2006,30(6):529-532.
- [24] 孙文珂.有关地质—地球物理—地区化学模型的几个技术问题[J].物探与化探,1988,12(5):321.

The application of integrated geophysical and geochemical methods to the prospecting in the Tianjingwo tungsten polymetallic ore deposit

CHEN Wei¹, ZHOU Xing-Peng², HE Gen-Wen¹, LI Wei¹

(1. South Jiangxi Geological Surveying Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Ganzhou 341000, China; 2. Geophysical-Geochemical Exploration Institute of Shanxi, Yuncheng 044004, China)

Abstract: In order to cooperate with deep prospecting in the Jiulongnao orefield, the authors carried out combined profile and area measurement of geophysical-geochemical integrated exploration technique and delineated "one belt (east-west contact zone of Guting limestone and Jiulongnao complex massif) and three areas (I, II, III anomaly)" as the most favorable metallogenic zone. Drilling verification disclosed multi-layered stratiform and granite contact zone skarn type tungsten polymetallic orebodies 1.62~19.37 m in thickness. Consequently, a geophysical-geochemical comprehensive prospecting model for this area was built up, characterized by "two-lows and three-highs". The two-lows are low gravity and low apparent resistivity, whereas the three-highs refer to high ΔT , high apparent polarization and high amounts of chemical substances (W, Sn, Bi, As, Sb, Hg etc.) in the earth. The tungsten polymetallic mineralization in the area was closely related to magmatic activities in Yanshanian period, and mineralization was controlled jointly by strata, magmatic activity and structure. Therefore, the selection of survey areas must be chosen around granite body or hidden granite with strong responses to low gravity and fault structure with strong Hg anomaly in soil. Based on the above understanding, it is pointed out that the depth of the southern part of the area has metallogenic potential in that it is equipped with optimum coupling of formation (Guting limestone)-structure (F_1 , F_2 fault)-magmatic rock (deep concealed granite), thus having favorable metallogenetic conditions.

Key words: skarn deposit; tungsten polymetallic ore; comprehensive geophysical-geochemical methods; ore-prospecting model; Jiulongnao orefield