

李艳军, 魏俊浩, 李欢, 等. 义敦岛弧带夏塞银铅锌矿床地质、物化探特征及综合找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1636–1649.
Li Yanjun, Wei Junhao, Li Huan, et al. Geological, geophysical and geochemical characteristics and comprehensive prospecting model of the Xiasai Ag–Pb–Zn deposit in the Yindun Island Arc[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1636–1649(in Chinese with English abstract).

义敦岛弧带夏塞银铅锌矿床地质、物化探特征 及综合找矿模型

李艳军¹ 魏俊浩¹ 李欢¹ 陈冲² 陕亮³ 侯本俊⁴

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205;
3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 4. 四川夏塞银业有限责任公司, 四川 甘孜 626000)

摘要:夏塞银铅锌矿床位于义敦岛弧带中段, 为典型的与早白垩世A型花岗岩有关的热液脉型矿床。矿体呈脉状、透镜状产于NNW向断裂构造中, 具有向北侧伏、尖灭再现特点。从花岗岩体接触带往北发育Sn–Cu→Cu–Zn→Ag–Pb矿化分带。硅化、绢云母化、绿泥石化等蚀变与成矿关系密切。成矿过程划分为锡石、毒砂、闪锌矿–黄铜矿、含银矿物–方铅矿、黄铁矿–碳酸盐5个成矿阶段。高精度磁法测量 ΔT 正异常能有效识别矿化带或控矿断裂带。土壤地球化学测量Ag、Pb、Zn、Cu元素变化曲线峰值能指示矿化体的存在。据此建立了夏塞银铅锌矿床地质、磁法和土壤地球化学测量综合找矿模型, 经验证找矿效果良好。有望为夏塞–连龙银锡多金属矿集区热液脉型矿床找矿勘查和评价工作提供重要参考。

关键词:热液脉型矿床; 综合找矿模型; 夏塞银铅锌矿床; 义敦岛弧带

中图分类号:P62; P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000–3657(2014)05–1636–14

夏塞–连龙银锡多金属矿集区是义敦地区重要的银锡多金属矿集区, 也是川西地区重要的多金属成矿带之一。该矿集区内分布有多金属矿产地98处, 典型矿床有砂西银铅锌矿床^[1]、脚根玛锡锌矿床^[2]、连龙锡银多金属矿床^[3]、夏隆银铅锌矿床^[4]及本文的夏塞银铅锌矿床。矿种以Sn、Ag、Pb、Zn为主, 次为Cu、Au、W、Mo等。矿床类型有热液脉型、接触交代型、斑岩型和云英岩型^[1,2]。热液脉型为区内主要矿床类型, 砂西、脚根玛和夏塞等矿床均为该类型, 接触交代型矿床仅连龙矿床规模最大达中型, 而斑岩型和云英岩型目前仅发现矿化线索。热

液脉型银多金属矿床找矿勘查仍是该矿集区找矿突破的关键, 但最近几年进展不大, 缺乏系统有效的地质–物探–化探综合找矿模型的指导。

夏塞银铅锌矿床为该矿集区代表性矿床之一, 位于绒依措岩体北侧5 km处(图1–a)。该矿床于20世纪90年代初被发现, 而后先后进行了普查和详查工作, 详查工作查明Ag资源量535.5 t、铅锌资源量1.24 Mt^①。经过十几年的开采, 目前保有资源量已不能满足矿山开采需要, 急需开展地质找矿工作, 增加储量。前人对该矿床地质特征、成矿时代及成因已开展了较多的研究, 普遍认为其为受构造

收稿日期: 2014–01–25; 改回日期: 2014–04–08

基金项目: 国家自然科学基金(41202054)和中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项基金(CUG110832, CUG120702)联合资助。

作者简介: 李艳军, 男, 1982年生, 博士, 讲师, 矿产普查与勘探专业, 主要从事矿床地球化学、成矿规律与成矿预测教学和科研工作;

E-mail: liyanjun21023@163.com。

①四川省地质矿产勘查开发局403地质队. 四川省巴塘县夏塞银铅锌矿床详查地质报告[R]. 2008.

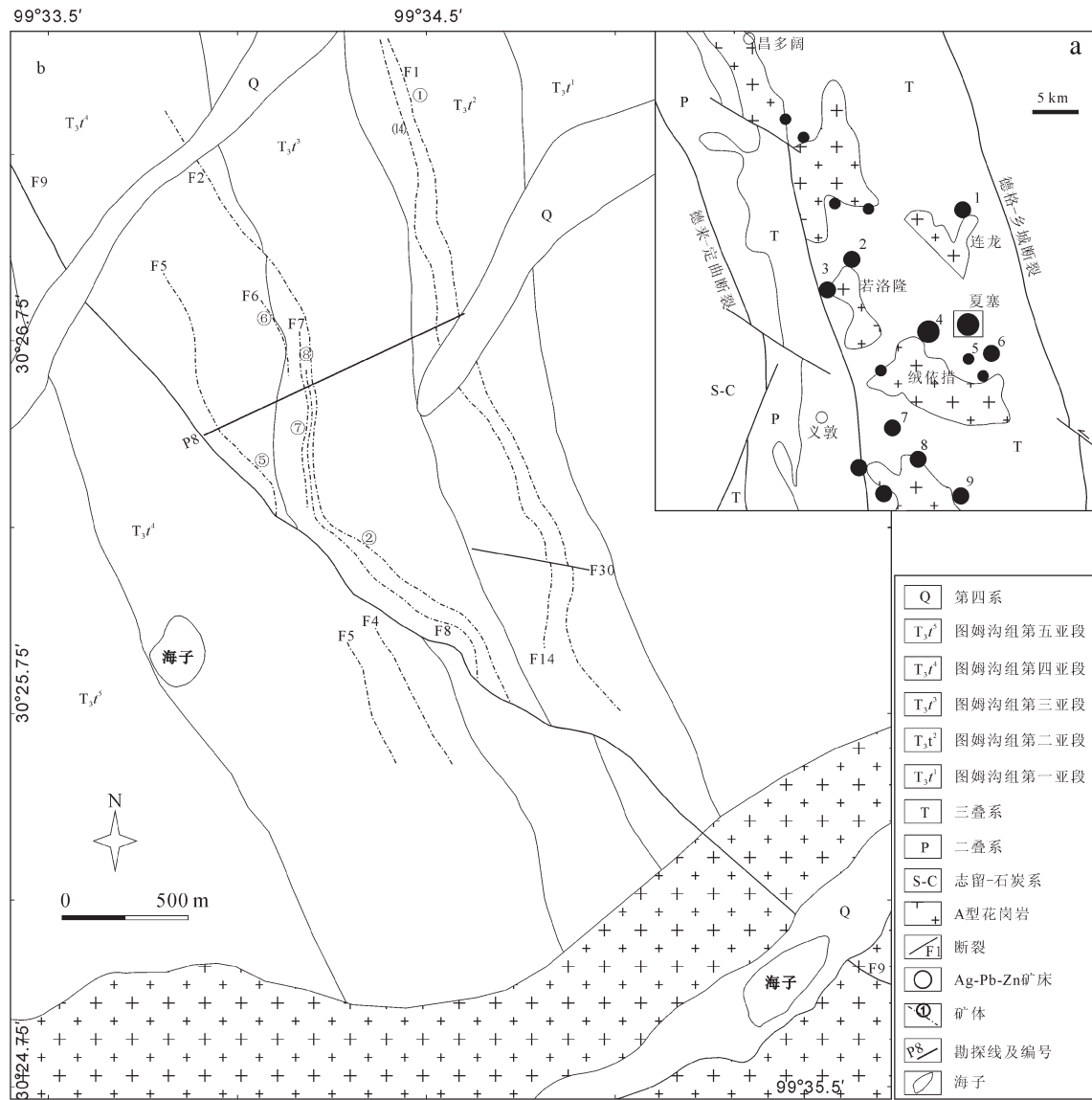


图1 义敦地区地质矿产略图(a) (据文献[1,4])及夏塞银铅锌矿床地质图(b)

矿床(点)名称:1—连龙;2—措莫隆;3—亥隆;4—砂西;5—夏隆;6—脚根玛;7—热朗泽;8—贡觉隆;9—查青隆

Fig.1 Simplified geological map showing the distribution of ore deposits in the Yidun Island Arc belt (a) (after references [1,4]) and geological map of the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit (b)

Name of deposit or ore spot: 1-Lianlong; 2-Cuomolong; 3-Hailong; 4-Shaxi; 5-Xialong; 6-Jiaogenma; 7-Relangze; 8-Gongjuelong; 9-Chaqinglong

控制的岩浆期后热液脉型银铅锌矿床,成矿与绒依措岩体关系密切^[5-9]。但是矿床成矿期和成矿阶段划分仍然未达统一认识且与矿化蚀变分带特征不匹配,尤其是银矿物和含银矿物到底属于哪个阶段至今存在争论。胡大林和陈才金^[10]及罗鹏等^[11]对矿区内断裂控矿作用及规律进行了探讨,但是究竟是NNW向还是NW向断裂起导矿作用并不明确。李

昌智^[12]通过分析地质特征,尝试建立夏塞矿床的成因模式用以指导找矿工作。至于找矿方法方面,代力等^[13]通过①号矿体原生晕测量,指出深部可能存在盲矿体,为深部成矿预测提供了理论指导。上述找矿工作仅局限于采矿权范围内,外围找矿工作未突破,急需有效的找矿模型指导。然而,夏塞银铅锌矿床乃至整个矿集区内同类型矿床至今都缺乏

找矿模型方面的研究。

在西部矿业股份有限公司的支持下,笔者所在项目组2011—2013年先后对夏塞银铅锌矿床开展了“小构造控矿规律”、“深部定位预测”及“外围综合找矿研究”3个专题研究,对矿床地质特征进行了系统的调查和研究,认为其为与早白垩世晚期(103 Ma) A型花岗岩有关的热液脉型矿床,形成于弧-陆碰撞造山后伸展构造背景^[14]。并对采矿权外围开展了大比例尺的高精度测法和土壤地球化学测量工作,大大丰富了找矿信息,找矿效果良好,估计资源量有望在详查基础上翻番。本文在综合分析夏塞银铅锌矿床地质、地球物理和地球化学特征基础上,构建了综合找矿模型,以期对矿区外围乃至矿集区内同类型矿床找矿工作提供理论指导及参考。

1 成矿地质背景

义敦岛弧带是三江特提斯构造中的一个复合造山带^[15],东以甘孜—理塘缝合带为界,西以金沙江缝合带为限,NNW向展布,南北长逾500 km,东西宽90~150 km。晚三叠世(~224 Ma)甘孜—松潘地体开始向西俯冲^[16],义敦岛弧带进入强烈的弧-陆碰撞造山阶段^[17]。该岛弧带先后经历了俯冲造山、碰撞造山、造山后伸展、汇聚走滑-剪切等复杂演化过程^[18]。该岛弧带自东而西依次发育甘孜—理塘蛇绿构造混杂岩带(结合带)、雀儿山—稻城外火山岩浆弧带、昌台—乡城弧间裂谷盆地火山岩带、德格昌达沟内火山岩浆弧带、白玉孔马寺—勉龙弧后扩张盆地火山岩带和高贡—措莫隆弧后板内火山岩浆岩带^[6]。

义敦岛弧带基底为恰斯群,与扬子地块上的河口群相当^[19]。周家云等^[20]和王冬兵等^[21]分别获得扬子地块西缘河口群(1680±13) Ma的锆石SHRIMP U-Pb年龄和(1722±25) Ma的锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄,确定其为古元古代岩系。夏塞—连龙矿集区位于义敦岛弧带中段,区内出露地层主要为三叠系曲嘎寺组(T_3q)、图姆沟组(T_3t)(>230 Ma^[22])和喇叭垭组(T_3lm),西部分布有少量的志留系—石炭系和二叠系(图1-a)。其中图姆沟组岩性为灰色板岩、砂岩夹少量火山岩,为岛弧带中VMS型和斑岩型铜矿床的主要围岩^[6, 23-24]。构造形迹发育,主要有NNW向、NW向、NEE向3组(图1-a)。NNW向构造形成时间

最早、活动期次多、规模最大,由一系列近于平行的断裂组成,构造性质复杂,早期为左行性质,后期则显示右行特征,典型的有德莱一定曲断裂和德格—乡城断裂,控制着区内沉积作用、岩浆岩和矿化的分布。NW向构造切割NNW向构造,主要由一系列近平行排列并略具等间距性的左行平移逆冲断裂构成。NEE向构造发育较弱、规模小,常切割NNW向构造,与NW向构造切割关系不明。区内岩浆活动强烈,以白垩纪酸性侵入岩为主,沿德莱一定曲断裂和德格—乡城断裂呈NNW向带状分布(图1-a),与银锡多金属成矿关系密切^[5-9, 14, 25]。这些岩体岩性主要为二长花岗岩,Rb-Sr及Ar-Ar方法厘定成岩时代为60~104 Ma^[5, 8],但最新的锆石U-Pb年龄为(103±1) Ma~(104.5±2.4) Ma^[14, 26],为早白垩世晚期岩浆活动的产物。

2 矿床地质特征

2.1 地层

矿区出露的地层主要是上三叠统图姆沟组(T_3t),为一套浅海-滨浅海相碎屑沉积岩,其岩性为变砂岩、板岩,偶见灰岩透镜体、硅质岩、条带状硅质板岩等。该组地层分5个岩性段:第一段(T_3t^1)主要由中-厚层状中粒长石石英变砂岩夹薄-中厚层状绢云板岩、钙质板岩组成。地表出露较宽,走向上呈向西凸起的弧形展布,以区域变质为主。第二段(T_3t^2)由薄-中厚层状中粒石英变砂岩、绢云板岩、炭质板岩组成,多数地段呈互层产出。发育绿泥石化、硅化、碳酸盐化、绢云母化等蚀变。第三段(T_3t^3)主要岩性为中厚层状凝灰质长石石英变砂岩夹凝灰质板岩、绢云板岩及硅质岩、硅质板岩透镜体,大致显示由下至上板岩增多,砂岩减少的变化规律。岩层褶皱较强烈,板岩多形成不对称小褶皱,刚性砂岩常形成层间裂隙和虚脱空间,断裂带附近往往是良好的赋矿空间。岩石蚀变以硅化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化为主。第四段(T_3t^4)由长石石英变砂岩夹绿泥绢云板岩组成,岩石透镜体化、劈理化强烈,形成规模不等的砂岩透镜体。第五段(T_3t^5)为长石石英变砂岩夹少量绢云板岩。

2.2 构造

矿区构造活动强烈,以NNW向、NW向和NE向3组断裂构造为基本构造格架,具多期次活动特

表1 夏塞岩体主量元素(%)、微量及稀土元素(10^{-6})分析结果
 Table 1 Major (%) and trace elements (10^{-6}) compositions of the Xiasai granite

样品	夏塞岩体						义敦岛弧带白垩纪A型花岗岩			
	XSG-2	XSG-4	XSG-5	XSG-6	XSG-7	XSG-7-2	绒依措	连龙	渣陇	若诺隆
SiO ₂	73.74	72.94	73.00	74.98	73.38	73.50	75.7	75.0	75.8	75.1
TiO ₂	0.24	0.31	0.38	0.25	0.33	0.32	0.10	0.15	0.13	0.17
Al ₂ O ₃	13.15	13.89	13.33	12.98	13.49	13.50	12.5	12.8	12.3	12.6
Fe ₂ O ₃ ¹	1.94	2.05	2.80	1.87	2.37	2.38	1.31	1.33	1.55	1.91
MnO	0.03	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.05	0.08	0.08	0.07
MgO	0.41	0.51	0.62	0.42	0.50	0.49	0.20	0.31	0.24	0.32
CaO	1.10	1.60	1.49	1.16	1.07	1.07	0.60	0.96	0.89	0.94
K ₂ O	5.13	4.54	4.74	4.78	5.01	5.02	4.57	4.69	4.83	4.87
Na ₂ O	2.95	3.16	2.82	2.99	2.98	2.96	3.40	3.51	3.38	3.04
P ₂ O ₅	0.06	0.09	0.11	0.06	0.08	0.08	0.03	0.04	0.03	0.06
LOI	0.42	0.57	0.66	0.37	0.41	0.39	—	—	—	—
Total	99.18	99.73	100.05	99.90	99.70	99.79	99.26	99.32	99.83	99.48
Na ₂ O+K ₂ O	8.08	7.70	7.56	7.77	7.99	7.98	7.97	8.20	8.21	7.91
K ₂ O/Na ₂ O	1.74	1.44	1.68	1.60	1.68	1.70	1.34	1.36	1.43	1.61
A/CNK	1.06	1.07	1.07	1.06	1.10	1.10	1.08	1.01	0.99	1.05
Ga	22.4	23.8	22.1	21.6	20.4	21.3	20.45	11.77	17.10	19.00
Rb	422	386	404	400	402	400	694.25	440.00	464.00	305.30
Sr	77.2	126	107	71.7	95.9	96.6	27.38	26.00	42.98	53.85
Y	71.6	48.1	50.7	77.6	48	49.3	115.64	56.18	52.33	51.94
Zr	184	183	224	186	198	215	128.00	78.67	124.00	150.40
Nb	37	32.4	36.2	33.5	29.1	30	47.08	46.00	30.63	32.70
Ba	180.5	254	285	164.5	294	297	123.25	214.33	77.58	81.90
La	41.4	67.6	56.8	54.3	47.3	46.7	38.54	33.74	33.05	41.58
Ce	84.1	127.5	108.5	108	93.6	92.7	83.27	59.49	70.78	83.83
Pr	9.99	14.1	12.35	12.55	10.8	10.75	10.54	5.59	8.19	9.75
Nd	35.7	48.5	43.2	45.2	38.2	37.4	36.50	24.07	27.78	34.37
Sm	8.81	9.72	9	10.05	8.28	7.93	9.20	6.50	6.54	8.01
Eu	0.41	0.73	0.63	0.4	0.55	0.58	0.18	0.40	0.24	0.30
Gd	8.21	7.74	7.4	8.88	6.57	6.48	9.23	7.59	6.56	7.80
Tb	1.63	1.34	1.31	1.75	1.17	1.21	1.90	1.42	1.24	1.43
Dy	11.1	8.16	8.02	11.95	7.88	7.75	12.78	9.52	8.11	8.96
Ho	2.29	1.59	1.58	2.45	1.57	1.57	2.73	2.05	1.67	1.82
Er	6.96	4.59	4.53	7.35	4.65	4.72	9.18	4.88	5.29	5.51
Tm	1.11	0.72	0.72	1.23	0.74	0.76	1.52	0.88	0.88	0.91
Yb	7.22	4.52	4.53	8.02	4.69	4.78	11.22	5.79	6.00	6.12
Lu	1.11	0.71	0.72	1.26	0.74	0.75	1.68	0.87	0.90	0.88
Hf	6.1	5.8	6.8	6.5	6.2	6.5	5.98	3.33	5.38	5.55
Ta	6.1	5.3	6.8	7.4	4.1	4.2	11.75	5.43	4.18	4.85
Th	41	46.4	39	40.5	27.6	29.8	—	—	—	—
U	13.4	11.65	11.45	14.05	7.46	7.71	—	—	—	—
Ga×10 ⁴ /Al	3.22	3.24	3.13	3.14	2.86	2.98	3.09	1.74	2.64	2.86
Zr+Nb+Ce+Y	376.70	391.00	419.40	405.10	368.70	387.00	373.98	240.34	277.73	318.86
Nb/Ta	6.07	6.11	5.32	4.53	7.10	7.14	4.01	8.47	7.34	6.74
ΣREE	220.04	297.52	259.29	273.39	226.74	224.08	228.45	162.79	177.21	211.25
LREE	180.41	268.15	230.48	230.50	198.73	196.06	178.22	129.80	146.57	177.83
HREE	39.63	29.37	28.81	42.89	28.01	28.02	50.23	32.99	30.64	33.42
LREE/HREE	4.55	9.13	8.00	5.37	7.09	7.00	3.78	5.16	4.78	5.58
Eu/Eu*	0.14	0.25	0.23	0.13	0.22	0.24	0.06	0.21	0.11	0.12
(La/Yb) _N	4.11	10.73	8.99	4.86	7.23	7.01	2.66	6.87	3.98	5.11
(Gd/Yb) _N	0.94	1.42	1.35	0.92	1.16	1.12	0.70	1.21	0.90	1.06

注:A/CNK = Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO)分子比;夏塞岩体数据引自文献[14],义敦岛弧带白垩纪A型花岗岩数据引自文献[5,18]。

点,不同程度地制约着矿化的分布。NNW向断裂规模较大形成最早,是伴随义敦岛弧带的消减而形成的,对成矿起着配矿和容矿作用。矿区内主要断裂为 F_1 和 F_2 ,其次 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_8 和 F_{14} 等。 F_1 位于矿区中东部,呈NNW向展布,发育于 T_3l^2 地层中,延长 >3 km。断裂宽几厘米到几米,最宽12 m。走向稳定,产状为 $240^\circ\sim 270^\circ\angle 55^\circ\sim 65^\circ$ 。围岩蚀变发育,以硅化、绢云母化为主,为①号矿体赋矿断裂。 F_2 位于矿区中西部,发育于矿区中部 T_3l^2 地层中,走向延长 >3 km,宽几厘米到几米,最宽7 m。断裂沿走向呈舒缓波状,倾角变化大,产状为 $222^\circ\sim 263^\circ\angle 50^\circ\sim 68^\circ$ 。发育断层角砾岩、挤压透镜体及断层泥。围岩蚀变以硅化、碳酸盐化、绢云母化为主,次为绿泥石化、透闪石化,②号主矿脉赋存在该断裂中。NW向断裂属于成矿后断裂,为左行平移断裂,多表现为切断NNW向断裂。如 F_{30} 长210 m宽度 <1 m,产状 $205^\circ\angle 53^\circ$,切断①号矿脉,水平断距为26 m。NE向断裂较常见,规模较小,多表现为右行平移特征。破碎带一般 <1 m,主要由断层泥组成,切割NNW向断裂及矿脉,也属成矿后断裂。

2.3 岩浆岩

夏塞黑云母二长花岗岩体位于矿区南部的夏塞隆沟(图1-b),矿区范围内出露面积约 1.5 km²。岩体呈岩枝形式侵入图姆沟地层中。岩石呈似斑状结构,块状构造。斑晶为钾长石、斜长石、石英。钾长石浅肉红色,半自形、板状,可见卡氏双晶,为正长石,大小 $3\sim 10$ mm,含量约15%;斜长石灰白色,半自形、粒状,粒径为 $3\sim 13$ mm,含量约10%;石英灰色,他形粒状结构,粒径 $3\sim 12$ mm,含量约10%;基质为中细粒花岗结构,主要矿物组成为正长石(20%±)、斜长石(20%±)、石英(10%±)、黑云母(5%±)。正长石肉红色,板柱状,粒径为 $1\sim 4$ mm;斜长石灰白色,粒径为 $1\sim 4$ mm;石英灰色,主要为他形,少量为半自形-自形,粒径 $1\sim 3$ mm;黑云母呈不规则片状,棕褐色,多充填在长石和石英的空隙间,大小 $1\sim 3$ mm,含量约5%。副矿物组合为磷灰石-锆石-电气石-磁铁矿-锡石。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法厘定夏塞岩体为 (103 ± 1) Ma,具高硅、富碱和铁、贫钙和镁特征, SiO_2 含量为72.94%~74.98%, $K_2O+Na_2O=7.56\%\sim 8.08\%$,铝饱和指数 $A/CNK=1.06\sim 1.10$ (表1),属弱过铝质岩

石。岩石富集 Zr、Hf 等高场强元素和 U、Th 等大离子亲石元素,明显亏损 Ba 和 Sr。REE 具有明显的 Eu 负异常($Eu/Eu^*=0.13\sim 0.25$),总体呈较陡右倾的 LREE 富集和 HREE 相对亏损特征,为早白垩世晚期弧陆碰撞造山后伸展构造背景下软流圈地幔与壳源长英质岩浆混合成因的铝质 A 型花岗岩^[14]。夏塞岩体与前人报道的泗岭铝质 A 型花岗岩^[27]和兴寨东段 A 型花岗岩^[28]具有相似的地球化学特征。

2.4 矿化及蚀变特征

采矿权范围内已圈定有9条银铅锌矿脉,在空间上可构成2组相互平行展布的含矿带,自NE至SW依次为I号和II号矿化带。I号由①和⑭号矿脉组成,II号主要由②、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑱号矿脉组成。矿化带间距为 700 m±,各矿化带均由多条矿脉组成,间距 $50\sim 100$ m,从而在平面上构成矿脉条数多、规模不等、成群成带集中展布的格局(图1-b)。

所有银铅锌矿脉形态、规模、产状均受NNW向断裂构造控制(图2)。矿脉总体走向NNW,局部走向近SN,多数矿脉倾向SWW,倾角一般为 $50^\circ\sim 70^\circ$,有时局部变陡,出现直立甚至反倾。矿脉沿走向和倾向方向均呈舒缓波状产出,仅在局部地段被后期破矿构造切断。矿脉连续性差,呈脉状、透镜状沿断裂带断续分布。矿脉规模大小悬殊,长度大多为 $200\sim 2500$ m,仅①号和②号矿脉长度为 2800 m±,厚度多在 $0.7\sim 1.2$ m,控制深度为 $30\sim 340$ m,品位较高,且每条矿脉由多个矿体串接而成。脉体具有向北侧伏、尖灭再现、膨胀狭缩、尖灭侧现、分支复合的特点,侧伏角为 $20^\circ\pm$ 。

围岩蚀变类型主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、阳起石化、碳酸盐化、萤石化。前三者与矿化关系最为密切且发育广泛。蚀变主要沿赋矿断裂分布,形成线状分布的蚀变带,与矿化或矿体在空间上伴生或大致重合。蚀变强度具有近矿脉强远离变弱、矿体上盘强下盘弱的特点。蚀变在空间上具有较为明显的分带现象。平面方向上从南到北蚀变逐渐变弱,呈现南段绿帘石化、阳起石化、硅化带→中部硅化、绢云母化、绿泥石化带→北段弱硅化、绢云母化变化规律。剖面上由浅部至深部出现萤石化、硅化、绢云母化组合→绿泥石化、硅化、碳酸盐化、绿帘石化组合→阳起石化、绿帘石化组合的变化规律。

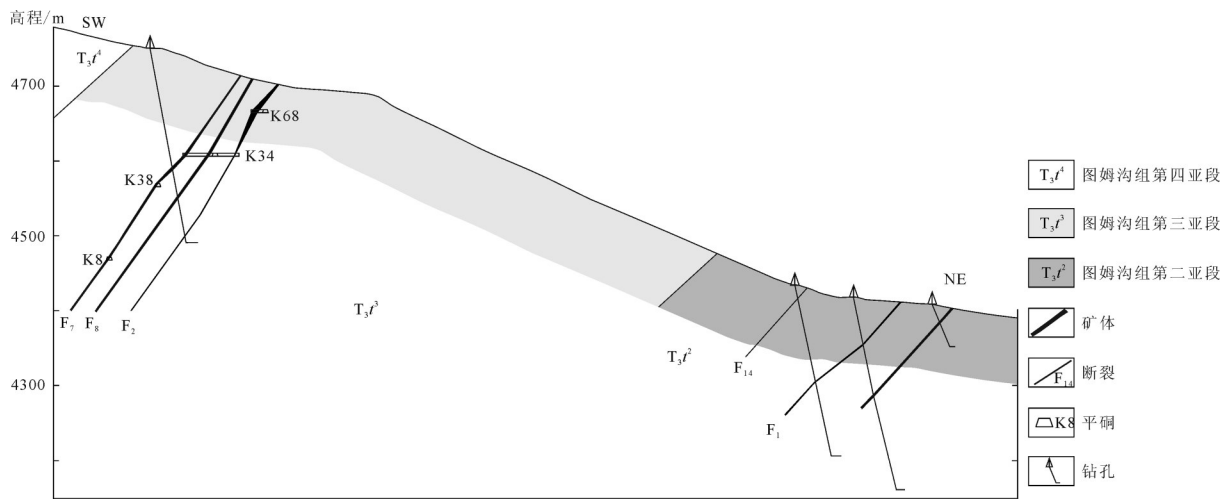


图2 夏塞Ag-Pb-Zn矿床勘探线剖面图
Fig.2 Geological cross section of the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

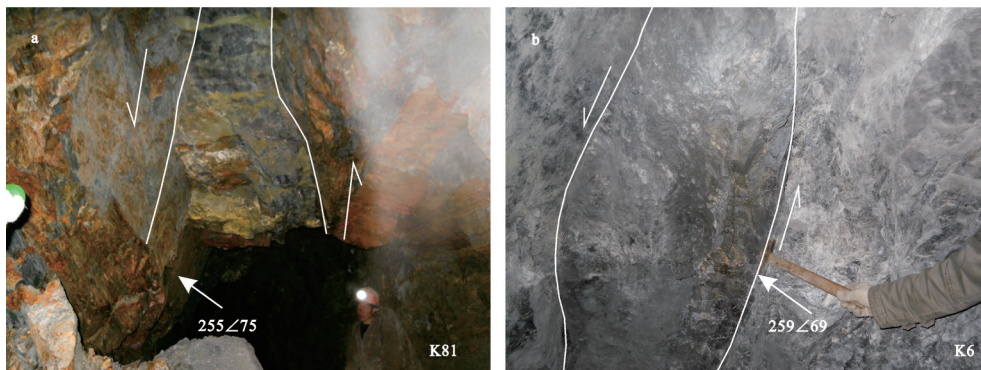


图3 夏塞Ag-Pb-Zn矿床断裂控矿照片
Fig.3 Photographs of the ore veins from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

与蚀变组合对应的是,矿化在空间上也具有一定的分带性,表现为从矿区南部到北部、从深部到浅部,矿物组合具有从高温到低温的矿化分带特征。平面方向上,南部矿物成分较为复杂,以锡石-黄铜矿-磁黄铁矿-毒砂组合为主,含方铅矿、闪锌矿,表现中高温矿物组合特点;中部含银矿物逐渐增多,出现富银矿物-多金属硫化物组合;北部矿物成分简单,主要出现银矿物-硫酸盐矿物-方铅矿等低温矿物组合;垂向上,上部以银铅矿化为主,中部铜锌矿化发育,下部磁黄铁矿发育。

2.5 矿石类型及结构构造

根据主要矿石矿物的共生组合,可划分为富银铅矿石、银铅锌矿石、银多金属矿石、银锌矿石4种

矿石类型。前3种为矿区发育的主要矿石类型。富银铅矿石主分布于①和②号矿脉北部和浅部,矿石矿物主要为方铅矿,次为黄铜矿、闪锌矿和黝锡矿。脉石矿物为石英、方解石等。矿石含银 $n \times 10^2 \sim n \times 10^3$ g/t,含铅 20%~70%。银铅锌矿石分布于①和②号矿脉中北部浅部。矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿。脉石矿物主要有石英、绿泥石、绢云母、方解石及磁黄铁矿等。矿石含 Ag 109.08~148.67 g/t、Pb 3.30%~4.98%、Zn 1.35%~2.11%。银多金属矿石主要分布于矿区中部,矿物种类较多,主要矿石矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿及少量的锡石、黝锡矿。脉石矿物有石英、绿泥石、绢云母、碳酸盐等。矿石含 Ag 54~808

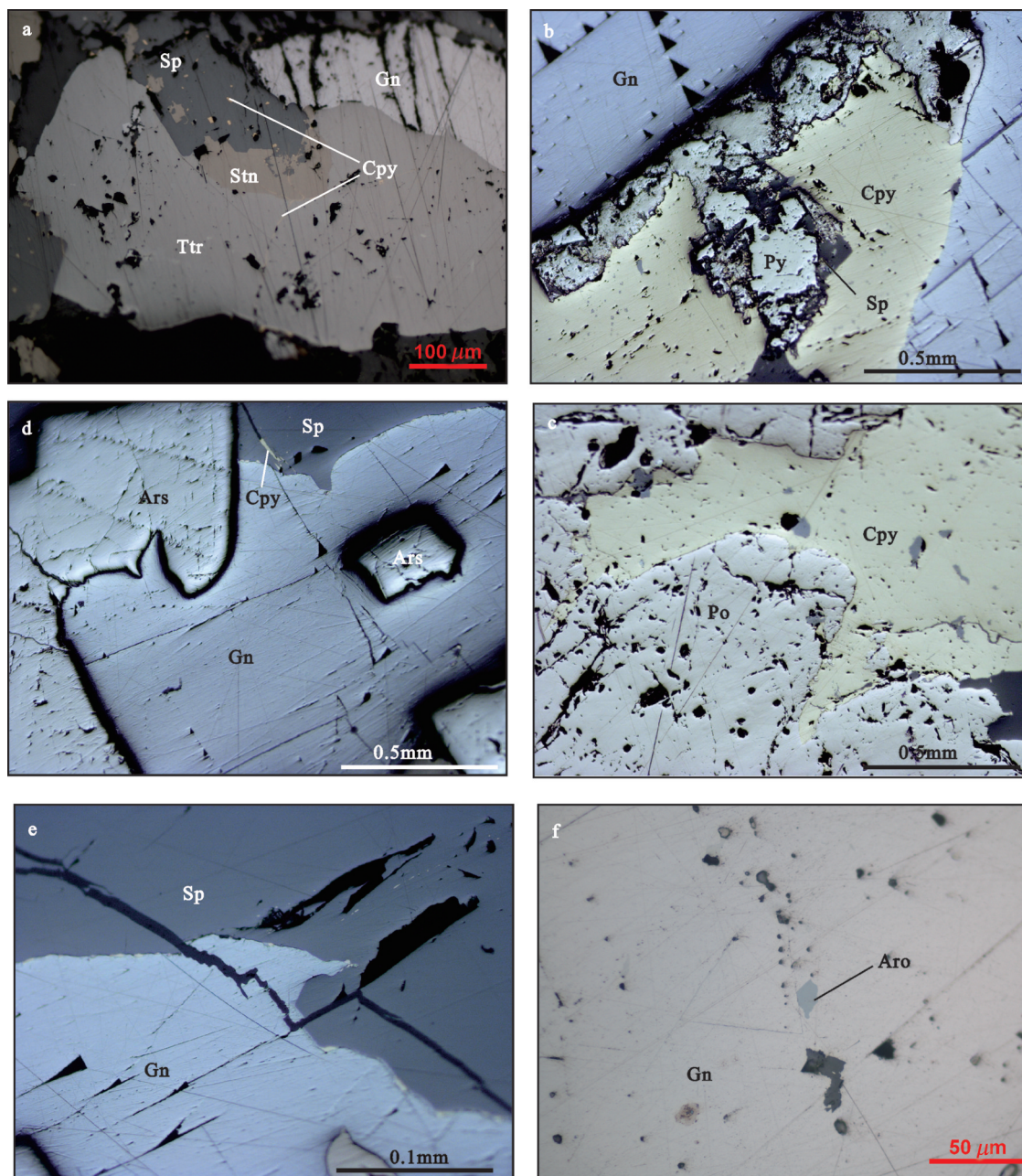


图4 夏塞 Ag-Pb-Zn 矿床典型矿石结构

a—黝锡矿(Stn)和黝铜矿(Ttr)港湾状交代闪锌矿(Sp),黄铜矿(Cpy)呈固熔体和细脉状形式分别存在于闪锌矿(Sp)和黝铜矿(Ttr)中;
b—闪锌矿(Sp)、黄铜矿(Cpy)和方铅矿(Gn)共生,并交代自形黄铁矿(Py);c—黄铜矿(Cpy)交代磁黄铁矿(Po);d—方铅矿(Gn)和闪锌矿(Sp)交代
毒砂(Ars)成港湾状;e—方铅矿(Gn)交代闪锌矿(Sp);f—深红银矿(Aro)呈微细包裹体状分布于方铅矿(Gn)中

Py—黄铁矿;Ars—毒砂;Po—磁黄铁矿;Sp—闪锌矿;Ttr—黝铜矿;Stn—黝锡矿;Cpy—黄铜矿;Gn—方铅矿;Aro—深红银矿

Fig. 4 Reflected-light photomicrographs illustrating mineralogy and textures of the sulfide ores from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit
a-Chalcocite occurring as irregular crystals and intergrown with sphalerite, which was replaced by stannite and tetrahedrite in cusp-style;
b-Galena associated with chalcocite and sphalerite, both of which occurred later than euhedral pyrite; c-Pyrrhotite replaced by chalcocite in
cusp-style; d-Arsenopyrite replaced by galena and sphalerite in cusp-style; e-Sphalerite replaced by galena in cusp-style; f-Aerosite as micro-
inclusions of minerals included in galena

g/t、Pb 1.1%~16.7%、Zn 1.8%~20%。

矿石常呈包含结构、交代结构以及固熔体分离结构等结构类型(图4)。交代结构为夏塞银铅锌矿床主要的结构类型,主要表现为黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等矿物之间及对先形成的磁黄铁矿、毒砂及锡石等的交代关系,总体显示晚期形成的矿物交代先于形成矿物,包括溶蚀结构、脉状交代结构和交代残余结构等。固熔体分离结构主要表现为黄铜矿呈乳滴状形式赋存于闪锌矿中(图4-a)。辉银矿、深红银矿、辉锑银矿、银金矿等银矿物被方铅矿包裹形成包含结构(图4-f)。矿石构造以细脉状构造、浸染状构造、块状构造最为普遍,条带状构造、角砾状构造次之。细脉状构造主要表现为方铅矿、铁闪锌矿、黄铁矿等呈细脉状分布于蚀变岩石及碎裂岩中。浸染状构造表现为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等呈分散状分布于蚀变岩石中形成稠密浸染状矿石。块状构造为方铅矿、闪锌矿等呈不规则紧密堆积,构成致密块状铅锌矿石。

2.6 成矿阶段

不同矿化类型及不同矿物组合相互穿插、交代、叠加,反映出夏塞银铅锌多金属成矿的多阶段性。通过系统的野外观察及显微镜鉴定,该矿床形成过程划分为5个阶段:锡石阶段、毒砂阶段、闪锌矿-黄铜矿阶段、含银矿物-方铅矿阶段、黄铁矿-碳酸盐阶段。第Ⅲ和Ⅳ2个阶段为主要的成矿阶段。

锡石阶段:是最早的一个阶段,局部形成石榴石、阳起石、绿帘石、黝帘石和斧石等矿物蚀变,并伴随早期硅化,金属矿物主要以氧化物锡石为特征。锡石被后期阶段形成的矿物穿插交代,以具交代残余结构为特征。

毒砂阶段:主要形成矿物有毒砂、磁黄铁矿、少量的自形黄铁矿和白铁矿。矿物结晶程度较好,被后期形成的闪锌矿、黄铜矿和方铅矿等交代形成交代结构(图4-b~d)。

闪锌矿-黄铜矿阶段:铜锌形成阶段。该阶段与成矿有关的蚀变为绿泥石化、硅化和绢云母化,金属矿物以闪锌矿-黄铜矿-黝铜矿-细粒黄铁矿组合为特征。闪锌矿形成较黄铜矿早,以脉状、尖角状交代早期的毒砂、磁黄铁矿和白铁矿(图4-b~d)。黄铜矿发育乳滴状和他形粒状两种产状,前者赋存于闪锌矿中构成固熔体分离结构,后者交代闪锌矿

表2 夏塞银铅锌矿区主要岩(矿)石磁化率参数统计
Table 2 Magnetic susceptibility of main rocks and ores in the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

岩(矿)石名称	块数	磁化率变化范围	
		/10 ⁻³ SI	/10 ⁻³ SI
银铅锌矿石	21	3.5~5.5	3.7
含磁黄铁矿矿石	27	10.1~35.1	20.4
板岩	9	0.2~2.6	1.3
砂岩	9	0.2~3.2	1.8
石英脉	8	0.5~1.6	1.1
花岗岩	7	0.01~0.05	0.03

呈脉状交代结构(图4-a~b)。

含银矿物-方铅矿阶段:是含银硫化物、含银硫酸盐矿物和方铅矿生成阶段。方铅矿呈粗晶自形形状,明显交代闪锌矿和黄铜矿(图4-b、d~e)。银金矿、辉银矿、深红银矿、辉锑银矿、银黝铜矿等矿物,主要沿磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等矿物微裂隙、解理缝和矿物晶粒间呈微细脉状充填,甚至是呈微细矿物包裹体形式存在于方铅矿中(图4-f),形成块状、脉状或浸染状矿石。根据矿物组分含银矿物分为2个共生系列,辉银矿-深红银矿-辉锑银矿 Ag-Sb-S 系列组合和银金矿-金银矿 Ag-Au 系列组合。主要蚀变为硅化和绢云母化,形成于中低温条件。

黄铁矿-碳酸盐阶段:形成黄铁矿和方解石,黄铁矿以细粒集合体穿插于闪锌矿、方铅矿等矿物裂隙中,方解石多以细脉状产出。

3 地球物理特征

矿区内出露的主要岩(矿)石划分为6类,每类岩(矿)石进行系统的物性参数取样。所采集标本均来自新鲜露头及坑道,大小约10 cm×10 cm×10 cm。使用SM-30型便携式磁化率仪进行磁参数测定工作,测定结果见表2。围岩图姆沟组中的板岩和砂岩磁化率极低,分别为0.2×10⁻³SI~2.6×10⁻³SI和0.2×10⁻³SI~3.2×10⁻³SI,二长花岗岩体磁化率为0.01×10⁻³SI~0.05×10⁻³SI。含磁黄铁矿多金属矿石的磁化率最大,变化范围为10.1×10⁻³SI~35.1×10⁻³SI(均值20.4×10⁻³SI)。银铅锌矿石磁化率居中,变化范围为3.5×10⁻³SI~5.5×10⁻³SI(均值为3.7×10⁻³SI)。矿石磁化率与围岩磁化率差异明显,从而为高精度磁法勘探工作提供了有利条件。

高精度磁法测量因其轻便、易于发现浅部断裂

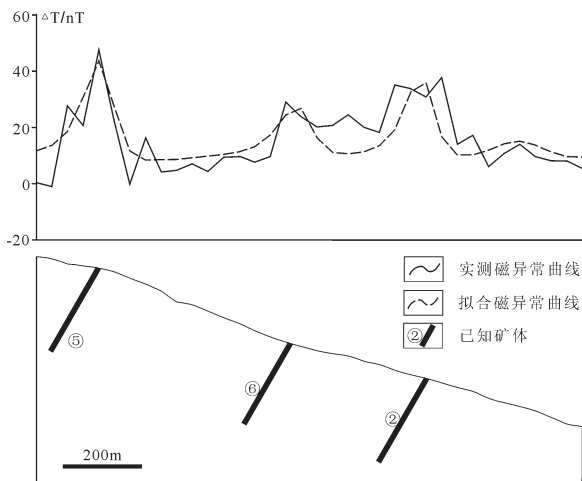


图5 夏塞Ag-Pb-Zn矿床W36线地质、地球物理综合找矿信息剖面图

a—高精度磁测 ΔT 剖面图；b—勘探线剖面图

Fig. 5 Composite profiles of geological and geophysical information for line W36 from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit a- ΔT cross section of high-precision magnetic survey; b-Cross section

构造,越来越多地应用于受构造控制的脉状铅锌多金属矿床的找矿工作,一些成功的案例相继报道,如云南腾冲某脉状铅锌矿床^[29]和浙西南小梅铅锌矿床^[30]。结合矿床地质特征,项目组对夏塞银铅锌矿床采矿权外围进行了61条高精度磁法测量剖面。本次高精度磁测工作点距20 m,相邻剖面间距离为100 m \pm ,测线方向与勘探线方向一致(NE 65°)。两条剖面通过整个采矿权范围,便于检验磁测的可靠性。本次磁测野外使用的是加拿大GEM公司生产的GSM-19T质子磁力仪,其磁场测量精度为 ± 0.2 nT,分辨率高达0.01 nT,数值和曲线同时显示,并能自动存储。为了消除太阳活动对仪器的干扰,以及预防磁暴引起的仪器读数异常,在野外观测过程中,用一台磁力仪进行日变观测,采样间隔为20 s,用另5台进行流动测量,采用手动存储。

室内数据处理软件选用中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院的MAGS3.0磁法勘探软件系统。将磁测原始数据进行了日变校正、正常梯度校正和高度校正,最终得出 ΔT 磁异常值。矿区内磁异常主要显示以低缓异常为主,一般 ΔT 异常值在-40~50 nT,最高可达190 nT,最低为-110 nT,异常范围较大。正异常连接线方向与矿区构造线一致,可能是不同构造和矿体延伸所致异常。为了检验

磁异常可靠性及深部延伸情况,在化极基础上对多条剖面进行了2.5D反演,各剖面正异常均与已知或查证的构造或矿化对应。W36线横跨②号主矿脉、⑤号及⑥号矿脉,地表槽探和钻孔已控制了矿脉的位置,为此笔者以W36线为例进行解剖(图5)。选取该测线的26~61号测点间共36个测点作为反演剖面,长度为700 m。磁异常最大幅值50 nT,位于28~29号测点间,最小幅值为-5 nT。整条曲线有3个主要正异常,异常曲线形态左边较右边缓,表明异常体倾向SW,与实际矿脉或构造产状一致。2.5D反演此剖面共反演出3个异常体(表3),各反演异常体均位于实测异常曲线的正异常处。其位置及反演参数等基本与已知的3条矿脉相一致,显示高精度磁测基本能有效识别矿化带或控矿断裂带,可以为外围进一步找矿工作提供准确信息。

4 地球化学特征

在夏塞银铅锌矿床采矿权外围开展了30条土壤地球化学剖面测量工作,采用点距为20 m,相邻剖面间距为200 m \pm ,剖面与磁测路线对应,测线方向为NE 65°。2条与磁法重叠的剖面通过整个采矿权范围,便于化探信息对比研究。矿区位于高原区,残坡积物覆盖的土壤分布广泛,因此本次测量对象采取距地表20~40 cm深处的土壤B层(淀积层),主要为黄褐色、棕褐色黏土。粒径参考1:5万水系沉积物测量选择的20~60目。样品干燥、过筛、称重,所有样品重量为150~200 g。结合成矿元素及矿床地质特征,参考1:5万水系沉积物测量元素,本次工作选择Ag、Pb、Zn、Cu、Sn、W、Mo、Bi、As、Hg等10元素作为测试元素。制备好的样品送往河北省区域地质矿产调查研究所实验室测试。Ag、Sn和Pb采用发射光谱法测试,Cu和Zn采用火焰原子吸收分光光度计法测试,W和Mo为催化极谱法,Bi、

表3 夏塞银铅锌矿区W36线各反演矿体参数
Table 3 Parameters of inversed orebodies for W36 high-precision magnetic survey line in the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

矿体编号	中心埋深 /m	中心在地面的位置 /m	倾角 /°	厚度 /m
W36-01	92	65	60	0~4
W36-02	103	310	60	0~4
W36-03	102	502	60	0~4

As、Hg为原子荧光分光光度计法。所有样品检出限均达到规范研究,报出率为99.90%。142件密码样重份分析相对偏差合格率均大于95%,分析重现性较好。

测区采集了2768件土壤地球化学样品。对测试数据进行KMO和Bartlett球形检验。元素含量数据KMO检验系数和Bartlett球形显著性系数分别为0.773和0,数据服从多元正态分布,适合因子分析。采用最大似然法,在特征值大于1的条件下提取了3个因子(表4)。第一主因子F1由Sn、W、Bi、As 4种元素组成,代表高温岩浆热液活动产物,对应锡石和毒砂2个成矿阶段;第二主因子F2由Ag、Pb、Hg、As 4种元素组成,代表中低温岩浆热液活动产物,对应含银矿物-方铅矿阶段;第三因子F3主要由Cu、Zn、Mo 3种元素组成,代表中高温岩浆热液活动产物,对应闪锌矿-黄铜矿阶段。Sn元素具有2个高载荷,F1与锡石阶段高温热液活动有关,F2与闪锌矿-黄铜矿阶段黝锡矿的生成有关。As元素具有2个相似的载荷,F1中As载荷与毒砂形成有关,F2则与Ag-Sb-S系列矿物组合有关。

土壤样品中Ag、Pb、Zn、Cu、Sn、As和Hg元素丰度值变化较大,如Ag为 $0.05 \times 10^{-6} \sim 124 \times 10^{-6}$ 、Cu为 $18.3 \times 10^{-6} \sim 484.4 \times 10^{-6}$ 、Pb为 $23.9 \times 10^{-6} \sim 14100 \times 10^{-6}$ 、Zn为 $41.5 \times 10^{-6} \sim 8250 \times 10^{-6}$ (表5)。相对于夏塞地区1:5万水系沉积物背景值^①,Ag、Sn、Cu、Pb、Zn富集系数依次为2.28、2.29、1.06、1.81、1.12。Ag、Sn元素表现强富集,Pb元素表现相对富集。整体显示以Ag、Pb、Sn、Zn、Cu多元素组合异常为主。异常浓集中心明显、强度高,呈带状或串珠状分布,长轴呈NNW向,位置与含矿构造对应较好。剖面上元素

表4 土壤样品主因子载荷矩阵

Table 4 Rotated component matrix of PFA for soil geochemical samples from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

元素	F1	F2	F3
Ag	0.167	0.710	0.298
Sn	0.597	0.441	0.170
Cu	0.188	-0.086	0.978
Pb	0.353	0.773	0.261
Zn	0.216	0.327	0.470
Mo	-0.081	0.107	0.392
W	0.813	0.163	-0.021
Bi	0.900	0.191	0.034
As	0.497	0.489	0.237
Hg	0.061	0.287	-0.050

呈跳跃式变化,Ag、Pb、Zn、Cu含量在矿体上方为高值,显示与已知矿体位置呈明显的对应关系,异常未发生明显距离的位移。W12线位于采矿权西边缘处,化探曲线上呈现2个明显的Ag、Pb、Zn正异常,峰值分别为Ag 13×10^{-6} 和 9.31×10^{-6} 、Pb 778.5×10^{-6} 和 1912.9×10^{-6} 、Zn 220.0×10^{-6} 和 1617.0×10^{-6} 。峰值与已知的⑤号和⑥号矿脉对应良好(图6),显示土壤地球化学测量能有效识别矿化带的位置。

5 综合找矿模型构建

在系统分析矿床地质特征、有效的高精度磁法测量和土壤地球化学测量信息基础上,本文建立了夏塞银铅锌矿床综合找矿模型(图7)。该模型主要基于地质找矿标志、地球物理找矿标志和地球化学找矿标志3个方面:

表5 测区元素地球化学参数

Table 5 Geochemical parameters of analyzed elements from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

地球化学参数	Ag	Sn	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Bi	As	Hg
最大值*	124	10900	484.4	14100	8250	23.2	38.13	48.37	4900	2060
最小值*	0.05	1.2	13.8	23.9	41.5	0.39	1.09	0.25	4	6
平均值*	0.67	21.87	40.36	101.18	157.93	2.89	3.21	0.99	47.10	32.94
中值*	0.52	11.4	38.5	83	141.2	2.63	3.03	0.79	42	30
标准差	0.498	22.434	9.754	58.992	61.125	1.320	0.823	0.475	20.947	14.492
变异系数	0.741	1.029	0.242	0.583	0.387	0.457	0.256	0.481	0.445	0.440
1:5万水系沉积物背景值*	0.295	9.57	38	56	141					

注:*元素含量单位为 10^{-6} 。

①四川省地勘局区调队. 1:5万夏塞、措普寺幅区调地质图及说明书[R]. 2000.

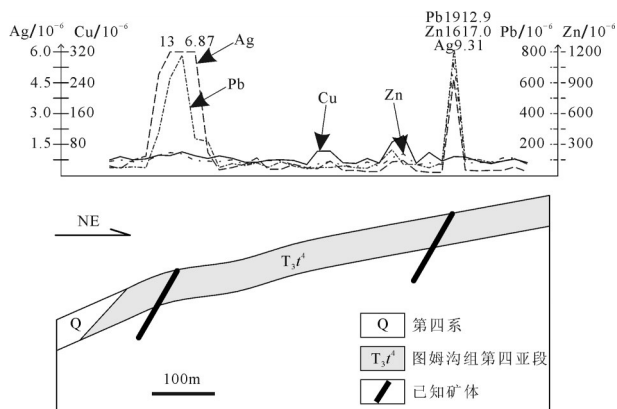


图6 夏塞Ag-Pb-Zn矿床W12线地质、地球化学综合找矿信息剖面图

a—土壤Ag、Cu、Pb和Zn元素趋势变化曲线图；b—勘探线剖面图

Fig. 6 Composite profiles of geological and geochemical information for line W12 from the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

a—Variation trend of Ag, Cu, Pb and Zn elements from soil geochemical survey; b—Cross section

地质找矿标志: ①NNW向断裂构造发育,局部发育构造角砾岩或含硫化物角砾。地表往往伴有强烈的褐铁矿块或角砾,甚至褐铁矿脉。②与银铅锌矿化有关的围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、阳起石化、碳酸盐化、萤石化等,蚀变与矿化或矿体大致重合。蚀变强弱及组合往往反映出矿化强弱及类型。绿帘石化、阳起石化和硅化组合反映花岗岩接触带附近的Cu、Sn矿化;硅化、绢云母化、绿泥石化组合反映距岩体较远的Cu、Zn矿化;弱硅化、绢云母化和碳酸盐化组合反映Ag、Pb矿化。③矿化带位于黑云母二长花岗岩体接触带外围约3 km范围内,距离>3 km的NNW向断裂无矿化或矿化弱。

地球物理找矿标志: 矿石与围岩磁化率差异明显,磁测 ΔT 正异常连接线方向与构造线一致,能有效识别矿化带或控矿断裂带,且正异常与矿化体对应良好,是有利的地球物理找矿标志。

地球化学找矿标志: 土壤地球化学以Ag、Pb、Zn、Cu多元素组合异常为主,异常浓集中心明显,强度高,呈带状或串珠状分布,长轴呈NNW向。Ag、Pb、Zn、Cu元素含量峰值与矿体位置对应良好。

经调查,W20线巷道揭露的隐伏矿体地表处具有良好的 ΔT 正异常和成矿元素峰值(图7)。东侧地表 ΔT 和地球化学正异常部位经查证也发现了2条

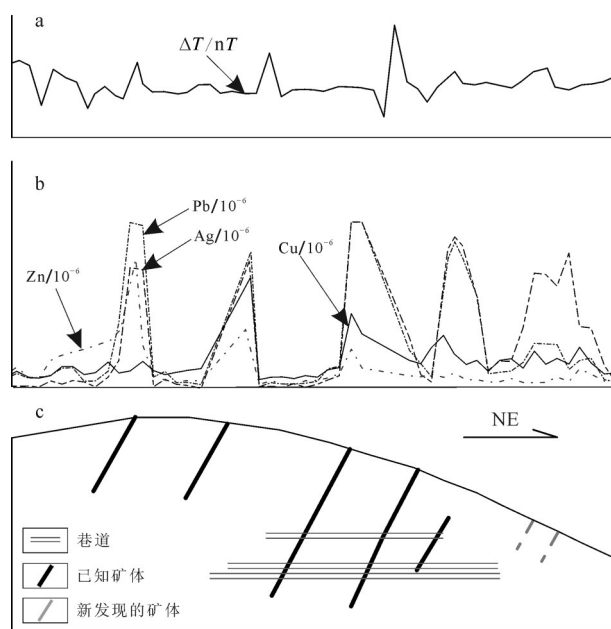


图7 夏塞Ag-Pb-Zn矿床综合找矿模型

a—高精度磁测 ΔT 剖面图；b—土壤Ag、Cu、Pb和Zn元素趋势变化曲线图；c—地质剖面图

Fig. 7 Composite prospecting model of geological, geophysical and geochemical information for the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit

a— ΔT cross section of high-precision magnetic survey; b—Variation trend of Ag, Cu, Pb and Zn elements from soil geochemical survey; c—Cross section

含矿构造,一条宽20~40 cm,光谱分析Cu 0.11%、As 0.63%,另一条为宽15 cm含毒砂石英脉,Ag含量80.5 g/t、Sn 0.14%、Cu 0.78% (图7)。这些矿化信息也验证了该综合找矿模型能有效指导浅部隐伏矿体和外围的找矿工作。依据该模型,笔者所在项目组在夏塞银铅锌矿床采矿权外围圈定了3条矿化带和4个重点找矿靶区。上述找矿模型的建立,有望为夏塞—连龙银锡多金属矿集区热液脉型银多金属矿床进一步找矿勘查和评价工作提供重要参考。

6 结 论

(1)夏塞银铅锌矿床为与早白垩世晚期A型花岗岩有关的热液脉型矿床。矿脉和矿体受NNW向断裂控制,具有明显的蚀变和矿化空间分带特征,可划分5个成矿阶段。

(2)高精度磁法测量 ΔT 正异常能有效识别矿化带或控矿断裂带,是有利的地球物理找矿标志。

(3)土壤地球化学异常以Ag、Pb、Zn、Cu多元素

组合为主,Ag、Pb、Zn、Cu元素变化曲线峰值能指示矿化体的存在。

(4)地质-物探-化探综合找矿模型的构建及应用能有效指导夏塞银铅锌矿床找矿工作,有望为夏塞-连龙银锡多金属矿集区热液脉型银多金属矿床进一步找矿勘查和评价工作提供重要参考。

致谢:高精度磁法测量数据处理得到了中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院张胜业教授及梁杏硕士的指导与帮助,野外工作过程中得到了四川夏塞银业有限公司全体领导与员工的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 何显刚,李淑慧,谢恩顺.四川巴塘砂西银铅锌矿床特征与找矿远景[J].四川地质学报,2004,24(2):77-81.
He Xiangang, Li Shuhui, Xie Enshun. Geological features and prospecting potential for the Shaxi Ag-Pb-Zn deposit, Batang, Sichuan[J]. Acta Geologica Sichuan, 2004, 24(2): 77-81(in Chinese with English abstract).
- [2] 林青.四川理塘脚根玛锡矿床地质特征及找矿标志[J].四川地质学报,2011,31(01):37-39+46.
Lin Qin. Geological features and prospecting criteria for the Jiaogenma Sn-Zn deposit in Litang, Sichuan[J]. Acta Geologica Sichuan, 2011, 31(01): 37-39+46 (in Chinese with English abstract).
- [3] 曲晓明,侯增谦,周书贵.川西连龙夕卡岩型锡、银多金属矿床成矿地质特征[J].地球学报,2001,22(1):29-34.
Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Zhou Shugui. Metallogenic geological characteristics of the Lianlong skarn type Sn-Ag polymetallic deposit in western Sichuan[J]. Acta Geoscientific Sinica, 2001, 22(1): 29-34 (in Chinese with English abstract).
- [4] 林青.四川巴塘县夏塞银铅锌矿床特征与找矿前景[J].四川地质学报,2010,30(4):44-449+461.
Lin Qin. Geological features and prospecting potential for the Xialong Ag-Pb-Zn deposit in Batang, Sichuan[J]. Acta Geologica Sichuan, 2010, 30(4): 44-449+461 (in Chinese with English abstract).
- [5] Qu X M, Hou Z Q, Zhou S G. Geochemical and Nd, Sr isotopic study of the post-orogenic granites in the Yidun arc belt of northern Sanjiang region, southwestern China[J]. Resource Geology, 2002, 52(2): 163-172.
- [6] Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, et al. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S.W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31(1-4): 48-87.
- [7] 刘权.四川夏塞银多金属矿床地质特征及成因[J].矿床地质,2003,22(2):121-128.
Liu Quan. Geological characteristics and genesis of Xiasai silver-polymetallic deposit in western Sichuan Province[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(2): 121-128 (in Chinese with English abstract).
- [8] 应汉龙,王登红,付小方.四川巴塘夏塞花岗岩和银多金属矿床年龄及硫、铅同位素组成[J].矿床地质,2006,25(2):135-146.
Ying Hanlong, Wang Denghong, Fu Xiaofang. Timing and lead and sulfur isotope composition of Xiasai granite and silver polymetallic deposit in Batang, Sichuan Province[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(2): 135-146 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邹光富,郑荣才,胡世华,等.四川巴塘县夏塞银多金属矿床特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2008,35(1):93-102.
Zhou Guangfu, Zheng Rongcai, Hu Shihua, et al. Geological features of the Xiasai silver-polymetallic deposit in West Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35(1): 93-102 (in Chinese with English abstract).
- [10] 胡大林,陈才金.夏塞银铅锌矿床控矿因素及富矿体产出规律浅析[J].四川地质学报,2002,22(4):201-204.
Hu Dalin, Chen Caijin. Ore-control factors and location of ore shoots for the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit[J]. Acta Geologica Sichuan, 2002, 22(4): 201-204 (in Chinese with English abstract).
- [11] 罗鹏,曹新志,张旺生,等.夏塞银铅锌矿床断裂构造特征及其控矿作用[J].现代矿业,2012,(8):51-54+143.
Luo Peng, Cao Xinzhi, Zhang Wangsheng, et al. Features of fault Structures and its constrains on mineralization for the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit[J]. Morden Mining, 2012. (8): 51-54+143 (in Chinese).
- [12] 李昌智.川西义敦银锡多金属矿床地质特征及成矿模式——以义敦夏塞银多金属矿为例[J].四川地质学报,2012,32(2):161-165.
Li Changzhi. Geological features and ore-forming model for the Ag-Sn polymetallic deposits in Yidun, West Sichuan—by the example of the Xiasai Ag-polymetallic deposit[J]. Acta Geologica Sichuan, 2012, 32(2): 161-165 (in Chinese with English abstract).
- [13] 代力,张德会,李泳泉,等.四川夏塞银铅锌多金属矿床1号矿体原生晕地球化学特征[J].地质与勘探,2013,49(2):236-249.
Dai Li, Zhang Dehui, Li Yongquan, et al. Geochemical characteristics of primary halos in the No.1 orebody of the Xiasai Ag-Pb-Zn polymetallic deposit, Sichuan[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(2): 236-249 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李艳军,魏俊浩,陈华勇,等.义敦岛弧带夏塞早白垩世A型花岗岩成因:U-Pb年代学、地球化学及Hf同位素制约[J].大地构造与成矿学,2014,38(4):941-955.
Li Yanjun, Wei Junhao, Chen Huayong, et al. Petrogenesis of the Xiasai early Cretaceous A-type Granite from the Yidun Island arc belt, SW China: Constraints from Zircon U-Pb age,

- Geochemistry and Hf isotope[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2014, 38(4): 941–955(in Chinese with English abstract).
- [15] Hou Z Q, Mo X X. Geology, geochemistry and genetic aspects of Kuroko-type volcanogenic massive sulfide deposits in Sanjiang region, southwestern China[J]. *Exploration and Mining Geology*, 1993, 2:17–29.
- [16] Wang B Q, Zhou M F, Chen W T, et al. Petrogenesis and tectonic implications of the Triassic volcanic rocks in the northern Yidun Terrane, Eastern Tibet[J]. *Lithos*, 2013, 175–176: 285–301.
- [17] 戴宗明, 孙传敏. 松潘-甘孜造山带义敦岛弧中段三叠纪火山-沉积盆地的演化[J]. *地质通报*, 2008, 27(6): 799–813.
- Dai Zongming, Sun Chuanmin. Evolution of Triassic volcanic-sedimentary basins in the central segment of the Yidun island arc of the Songpan-Garze orogenic belt, western Sichuan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(6): 799–813 (in Chinese with English abstract).
- [18] 侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 等. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. *地质学报*, 2001, 75(4): 484–497.
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Zhou Jirong, et al. Collision-orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang region: record of granites[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(4): 484–497 (in Chinese with English abstract).
- [19] 廖远安, 郑裕民. 川西高原前震旦系恰斯群简介[J]. *中国区域地质*, 1986, (3): 271–275.
- Liao Yuan'an, Zheng Yuming. Introduction of the pre-Sinian Qiasi Group in western Sichuan Province[J]. *Regional Geology of China*, 1986, (3): 271–275 (in Chinese).
- [20] 周家云, 毛景文, 刘飞燕, 等. 扬子地台西缘河口群钠长岩锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征[J]. *矿物岩石*, 2011, 31(3): 66–73.
- Zhou Jiayun, Mao Jingwen, Liu Feiyan, et al. SHRIMP U-Pb zircon chronology and geochemistry of albitite from the Hekou Group in the western Yangtze Block[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2011, 31(3): 66–73(in Chinese with English abstract).
- [21] 王冬兵, 孙志明, 尹福光, 等. 扬子地块西缘河口群的时代: 来自火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄的证据[J]. *地层学杂志*, 2012, 36(3): 630–635.
- Wang Dongbing, Sun Zhiming, Yin Fuguang, et al. Geochronology of the Hekou Group on the western margin of the Yangtze Block: evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of volcanic rocks[J]. *Journal of Stratigraphy* 2012, 36(3): 630–635 (in Chinese with English abstract).
- [22] Wang B Q, Wang W, Chen W T, et al. Constraints of detrital zircon U-Pb ages and Hf isotopes on the provenance of the Triassic Yidun Group and tectonic evolution of the Yidun Terrane, Eastern Tibet[J]. *Sedimentary Geology*, 2013, 289: 74–98.
- [23] Hou Z Q, Zaw K, Qu X M, et al. Origin of the Gacun volcanic-hosted massive sulfide deposit in Sichuan, China: fluid inclusion and oxygen isotope evidence[J]. *Economic Geology*, 2001, 96: 1491–1512.
- [24] Li W C, Zeng P S, Hou Z Q, et al. The Pulang porphyry copper deposit and associated felsic intrusions in Yunnan Province, Southwest China[J]. *Economic Geology*, 2011, 106: 79–92.
- [25] 曲晓明, 侯增谦, 周书贵, 等. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J]. *地球学报*, 2002, 23(3): 223–228.
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Zhou Shugui, et al. The age and tectonic setting of Lianlong Sn-bearing granite in western Sichuan Province[J]. *Acta Geoscientific Sinica*, 2002, 23(3): 223–228 (in Chinese with English abstract).
- [26] 王全伟, 王康明, 阚泽忠, 等. 川西地区花岗岩及其成矿系列[M]. 北京: 地质出版社, 2008, 1–305.
- Wang Quanwei, Wang Kangming, Kan Zezhong, et al. *Granites and Associated Minerogenetic Series of Ore Deposits in Western Sichuan Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008, 1–305(in Chinese).
- [27] 卢成忠, 顾明光, 罗以达, 等. 杭州泗岭铝质 A 型花岗岩的发现及其构造意义[J]. *中国地质*, 2008, 35(3): 392–398.
- Lu Chengzhong, Gu Mingguang, Luo Yida, et al. Discovery of the Siling aluminous A-type granite in Hangzhou and its tectonic significance[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 392–398 (in Chinese with English abstract).
- [28] 张磊, 吕新彪, 刘阁, 等. 兴蒙造山带东段大陆弧后 A 型花岗岩特征与成因[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 869–884.
- Zhang Lei, Lv Xinbiao, Liu Ge, et al. Characteristics and genesis of continental back-arc A-type granites in the eastern segment of the Inner Mongolia-Da Hinggan Mountains orogenic belt[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 869–884 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李祖义, 窦信. 综合物探方法在云南腾冲某铅锌多金属矿勘查中的应用[J]. *矿物学报*, 2013, 33(4): 555–560.
- Li Zuyi, Dou Xin. Application of comprehensive geophysical prospecting methods in a lead-zinc polymetallic deposit, Tengchong County, Yunnan Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2013, 33(4): 555–560 (in Chinese with English abstract).
- [30] 江桂, 朱国强, 汪利民. 综合地球物理方法在浙江小梅多金属矿产勘查中的应用[J]. *工程地球物理学报*, 2008, 5(4): 464–459.
- Jiang Gui, Zhu Guoqing, Wang Liming. Application of integrated geophysical methods in the Xiaomei polymetallic deposit of Zhejiang[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2008, 5 (4): 464–459 (in Chinese with English abstract).

Geological, geophysical and geochemical characteristics and comprehensive prospecting model of the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit in the Yindun Island Arc

LI Yan-jun¹, WEI Jun-hao¹, LI Huan¹, CHEN Chong², SHAN Liang³, HOU Ben-jun⁴

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 3. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China; 4. Sichuan Xiasai Mining Co., Ltd., Garze 626000, Sichuan, China)

Abstract: Located in central of the Yindun Island Arc, the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit is a typical hydrothermal vein deposit associated with early Cretaceous A-type granite. Orebodies commonly occur as lodes, lenses and strings of beads controlled by the NNW-trending faults. They pinch northward and are characterized by pinch out-reproduction and branching-complexing. From south to north, metallogenic element zoning is in order of Sn-Cu→Cu-Zn→Ag-Pb, constituting a complete metallogenic element zoning and ore mineral zoning related to magmatism. Ore-related hydrothermal alteration is well developed and dominated by silicification, sericitization and chloritization with a banded alteration zonation. The ore-forming process can be divided into five stages, i.e., cassiterite stage, arsenopyrite stage, sphalerite-chalcopryrite stage, silver-rich mineral-galena stage and pyrite-carbonate stage. The ΔT positive anomalies of high-precision magnetic survey with extension of 20 m can be used as a geophysical prospecting indicator because they can accurately identify mineralized veins or ore-bearing faults. In addition, anomalies of soil geochemical survey with extension of 20 m consist of Ag, Pb, Zn and Cu elements, and their variation trend can also accurately identify mineralized veins or ore-bearing faults. Combined with geological, high-precision magnetic and soil geochemical characteristics of the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit, the authors propose a comprehensive prospecting model in the search for new orebodies. The subsequent geological verification shows a good prospecting effect. It is thus held that the comprehensive prospecting model has important reference significance for the prospecting work of the Xiasai Ag-Pb-Zn deposit and hydrothermal veined Ag polymetallic deposits in the Xiasai-Lianlong Ag-Sn ore district within the central Yidun Island Arc of Southwest China.

Key words: hydrothermal vein deposit; comprehensive prospecting model; Xiasai Ag-Pb-Zn deposit; Yindun Island Arc

About the first author: LI Yan-jun, male, born in 1982, doctor, lecturer, mainly engages in the study of geochemistry and exploration of ore deposit; E-mail: liyanjun21023@163.com.