



辽宁孙家沟铅矿地质特征、成因及找矿标志

刘礼广^{1,2,3,4}, 吕 彧^{1,2,3,4}, 熊志强^{1,2,3,4}, 曹 元^{1,2,3,4}, 全文杰^{1,2,3,4}

1. 辽宁省第六地质大队有限责任公司, 辽宁 大连 116200;
2. 许洪斌职工创新工作室, 辽宁 大连 116200;
3. 辽宁地质海上工程勘察院有限责任公司, 辽宁 大连 116200;
4. 辽宁省第六地质大队有限责任公司大连实验中心, 辽宁 大连 116200

摘 要: 孙家沟铅矿主要赋存于层山单元中细粒黑云母花岗岩闪长岩中, 为断裂构造控制的低温热液型矿床, 铅矿体主要受 F2、F3 断裂控制。矿石主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿及少量黄铁矿、黄铜矿等。矿石结构主要为自形粒状结构、碎裂-角砾结构、脉状充填结构。矿石构造以角砾状、浸染状、团斑状为主, 少数为块状构造、脉状构造等。①号矿体铅品位主要介于 0.314%~1.309%, 平均品位 0.601%; ②号矿体铅品位主要介于 0.468%~1.460%, 平均品位 0.776%。根据工业指标圈定为低品位铅矿石。

关键词: 铅矿床; 找矿标志; 矿床成因; 低温热液型; 辽宁省

GEOLOGY, GENESIS AND PROSPECTING INDICATORS OF SUNJIAGOU LEAD DEPOSIT IN LIAONING PROVINCE

LIU Li-guang^{1,2,3,4}, LYU Yu^{1,2,3,4}, XIONG Zhi-qiang^{1,2,3,4}, CAO Yuan^{1,2,3,4}, QUAN Wen-jie^{1,2,3,4}

1. Liaoning No.6 Geological Brigade Co., Ltd., Dalian 116200, Liaoning Province, China;

2. Xuhongbin Staff Innovation Studio, Dalian 116200, Liaoning Province, China;

3. Liaoning Geological and Offshore Engineering Survey Institute Co., Ltd., Dalian 116200, Liaoning Province, China;

4. Dalian Experimental Center of Liaoning No.6 Geological Brigade Co., Ltd., Dalian 116200, Liaoning Province, China

Abstract: The Sunjiagou lead deposit is mainly hosted in the fine-medium-grained biotite granodiorites of Cengshan Unit, belonging to epithermal type, with the orebodies mainly controlled by F2 and F3 faults. The main metallic minerals of lead ore are galena and sphalerite, with minus of pyrite, chalcopyrite, etc. The ores are in idiomorphic granular, cataclastic-brecciated and vein-filled textures, with brecciated, disseminated and massive spotted structures dominated and a few massive and vein structures. The lead grade of No. 1 orebody ranges mainly from 0.314% to 1.309%, averagely 0.601%, while that of No. 2 orebody is 0.468%~1.460%, averagely 0.776%, which are delineated as low-grade lead ore according to industrial index.

Key words: lead deposit; prospecting indicator; genesis of deposit; epithermal type; Liaoning Province

0 引言

孙家沟铅矿位于辽宁金厂金矿带南部, 隶属于普

兰店区泡子乡管辖。距离普兰店区 SE 向 20 km, 西距

沈大铁路普兰店站 12 km, 北侧距海皮路 7 km, 南侧

收稿日期: 2021-08-31; 修回日期: 2021-11-11。编辑: 张哲。

基金项目: 辽宁省自然资源地质勘查项目“瓦房店金刚石整装勘查区增储专项”(LNZC2019-0078-20)。

作者简介: 刘礼广(1987—), 男, 工程师, 主要从事区域地质调查及矿产普查工作, 通信地址 辽宁省大连市普兰店区国台街 388 号, E-mail//865692522@qq.com

通信作者: 吕彧(1980—), 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查研究工作, 通信地址 辽宁省大连市普兰店区国台街 388 号, E-mail//lvbo8065@163.com

距普洼公路 1.5 km,与村级公路相连,交通便利. 普兰店区域上分布多种金属等战略性矿产资源,金、银、铜、铅、锌矿床(点)多成群成带分布. 区内有孙家沟小型金银矿床、金矿点 7 处,铅矿点 5 处,多金属矿点 3 处,铜矿点 1 处,说明区内成矿地质条件好,是寻找金、银、及多金属矿床的有利地区.

1 区域地质概况

研究区大地构造位置隶属塔里木-华北板块(I)华北陆块(II₂)辽吉地块(III₄)登沙河-城子坦太古宙断块(IV₁₁),板块类型为原始板块构造^[1]. 区内出露地层主要为古元古界辽河群盖县组(Pt₁gx),新元古界青白口系钓鱼台组(Qnd)、南芬组(Qnm)、桥头组(Qnq),中生界白垩系普兰店组(K_p)及新生界第四系(Qh)^[2](图 1).

区域构造较发育,有东西向、北北东向和北西向构造. 东西向构造主要为得胜片麻杂岩中东西向和近东西向片麻理组成,局部展示东西向紧密褶皱,为本区最古老构造^[3]. 北北东向构造较为发育,由一系列北北东向密集平行的断裂组成,走向 5~25°,局部为北东向,倾向西,倾角大于 75°,其延长一般大于 2 km,破碎带宽 1~5 m,沿走向呈舒缓波状,断面上常见高角度斜冲擦痕. 断裂带内常见有断层泥、糜棱岩、角砾岩,断裂显压扭性. 区内孙家沟、毕家沟、核桃房、上隋屯金矿区和矿点的含金石英脉均受该组断裂控制,是本区金银矿化的主要控矿构造. 北西向构造较发育,但规模较小,行迹不甚明显,多形成北西向冲沟,多为第四系覆盖,断层沿走向具明显的舒缓波状或锯齿状、分枝复合. 断裂带内有张性角砾岩和挤压片理,有的断层面光滑而不平直,两侧地层发生明显的顺时针扭动,错距一般 5~10 m,既显张扭性又显压扭性特征,其错断了北东向断裂或矿脉,是一期较晚的构造.

区内岩浆岩较为发育,出露面积较大,主要分为 3 期:太古宙、古元古代及早侏罗世. 太古宙变质深成岩,主要为得胜片麻杂岩(Ar₃Dgnc)^[4]及亮甲店片麻岩(Ar₃Lgn)^[5],分布于区内的东部及南部,出露面积约 110 km². 古元古代侵入岩分布于区内的中部及下部,出露面积较大,约为 68 km²,主要为小黑山单元中细粒英云闪长岩(Pt₁γoβ),南天门超单元早期的层山单

元中细粒黑云母花岗闪长岩(Pt₁γδ)及晚期的殷楼单元中细粒似斑状黑云母花岗闪长岩(Pt₁γδ). 小黑山单元侵入得胜片麻杂岩,岩体内侵位组构发育,还含有变质表壳岩、得胜片麻杂岩的捕虏体. 南天门超单元侵入太古宙得胜片麻杂岩,与青白口纪地层呈断层接触,两单元之间为脉动式侵入接触关系. 早侏罗世侵入岩出露于区内的东部,出露面积约 24 km²,主要为前孙屯单元中细粒含斑黑云母二长花岗岩(J₁ηγ). 该单元侵入太古宙得胜片麻杂岩. 另外,区内广泛分布数十条花岗斑岩脉(γπ)及二长花岗斑岩脉(ηγ),花岗斑岩脉主要侵入殷楼及层山单元,二长花岗斑岩脉主要侵入前孙屯单元. 各类脉岩均沿北北东向、北东向断层侵入.

1:20 万化探资料显示^①,区内有强度高、浓集中心明显、套合好的金、银、铜、铋、汞、锌异常,有金异常 3 处、银异常 3 处、铜异常 2 处、铋异常 3 处、汞异常 3 处、锌异常 3 处、砂金异常 2 处.

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区第四系地层主要分布于北部,为全新统冲洪积物(Qh^{im}),分布于河流阶地、山前坡麓地带,出露面积较小,约 0.054 km². 其岩性主要为含砾亚砂土、含砾亚黏土,淤泥质亚砂土、砂砾石层. 另在主要沟口及部分阶地见有残留的上更新统沉积物,其堆积物岩性主要为含砾亚砂土、含砾亚黏土层.

2.2 构造

区内共有断裂 3 条,总体沿北东向 30~60°展布,编号分别为 F1、F2、F3. 断层 F1 位于矿区北部,总体呈 30°方向展布,倾向 285°,倾角为 45~65°,长约 52 m,宽约 3.2 m,构造带内见有断层泥、糜棱岩、角砾岩,呈压扭性,为 I 号含铅矿化蚀变带的控矿构造;断层 F2 位于矿区北部,总体呈 30°方向展布,倾向 300°,倾角为 45~50°,长约 186 m,宽约 2 m,构造带内见有断层泥、糜棱岩、角砾岩,呈压扭性,为 II 号含铅矿化蚀变带的控矿构造;断层 F3 位于矿区北部,总体呈 60°方向展布,倾向 330°,倾角为 65~75°,长约 66 m,宽约 4.2 m,构造带内见有断层泥、糜棱岩、角砾岩,呈压扭性,为 III 号含铅矿化蚀变带的控矿构造.

①辽宁省第六地质大队. 登沙河-庄河幅(1:20 万)地质物化探综合解释. 1987.

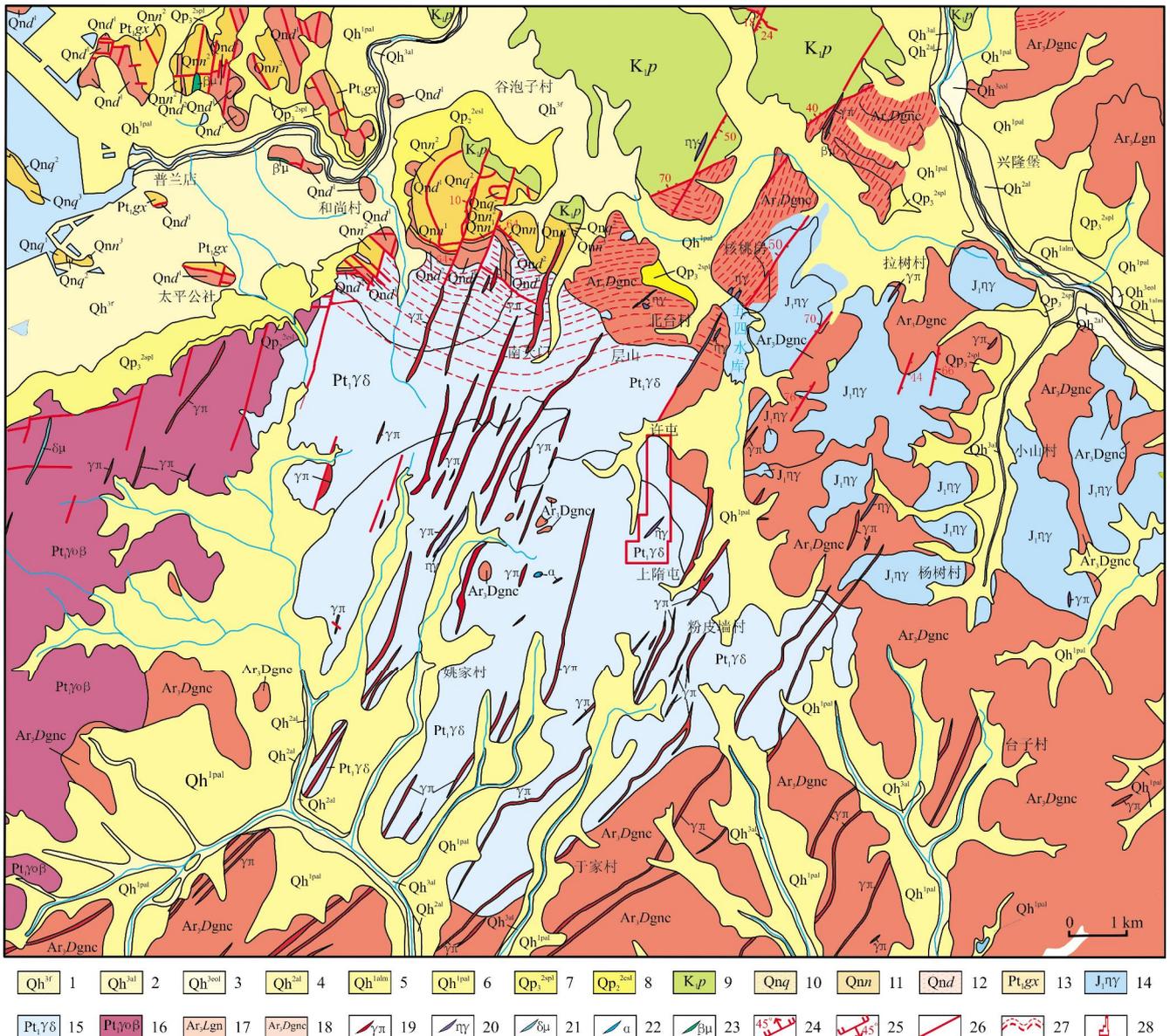


图1 研究区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the study area

1—沼泽堆积(swamp deposit); 2—黄褐色砂砾石夹淤泥冲积(yellowish-brown sand gravel with silt alluvium); 3—黄色含云母中细砂、粉砂风积(yellow mica-bearing fine-medium-grained sand, silt eolian deposit); 4—砂、砾石冲积(sand and gravel alluvium); 5—冲海积(alluvial-marine deposit); 6—冲洪积(alluvium-diluvium); 7—坡洪积(slope diluvium); 8—残坡积(residual slope accumulation); 9—普兰店组(Pulandian fm.); 10—桥头组(Qiaotou fm.); 11—南芬组(Nanfen fm.); 12—钓鱼台组(Diaoyutai fm.); 13—盖县组(Gaixian fm.); 14—前孙屯单元中细粒含斑黑云母二长花岗岩(fine-medium-grained phenocryst-bearing biotite monzogranite in Qiansuntun Unit); 15—般楼单元中细粒似斑状黑云母花岗闪长岩/层山单元中细粒黑云母花岗闪长岩(fine-medium-grained porphyritic biotite granodiorite in Yinlou Unit, fine-medium-grained biotite granodiorite in Cengshan Unit); 16—小黑山单元中细粒英云闪长岩(fine-medium-grained tonalite in Xiaoheishan Unit); 17—亮甲店片麻岩(Liangjiadian gneiss); 18—得胜片麻杂岩(Desheng gneiss complex); 19—花岗岩脉(granite porphyry vein); 20—二长花岗岩脉(monzogranite vein); 21—闪长玢岩脉(diorite porphyrite vein); 22—安山岩脉(andesite vein); 23—辉绿岩脉(diabase vein); 24—正断层及产状(normal fault and occurrence); 25—逆断层及产状(reverse fault and occurrence); 26—性质不明断层(unidentified fault); 27—糜棱岩带(mylonite zone); 28—研究区范围(study area)

2.3 岩浆岩

区内岩浆岩较为发育,出露面积较大,主要分为两

期,即太古宙及古元古代,与铅矿关系密切的为古元古代酸性侵入体.

2.3.1 太古宙变质深成岩

区内变质深成岩主要为得胜片麻杂岩,分布于矿区东北部,出露面积约为 0.065 km²,为矿区内最古老的变质深成岩岩石单位,构成本区古老基底,岩石类型有黑云斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩、黑云斜长质糜棱岩,岩石组合以富含黑云母为特征,呈片麻状或条带状构造,原岩为 TTG 岩系。

2.3.2 古元古代侵入岩

分布于区内的中部及下部,出露面积较大,约为 0.962 km²。由老到新简述如下。

(1) 层山单元中细粒黑云母花岗闪长岩

灰白色,粒状结构,块状构造。主要造岩矿物为斜长石、钾长石、石英及黑云母。钾长石:肉红色,主要为他形,粒径为 0.3~1.0 mm,含量 15%~17%;更长石:灰白色,多数为不规则粒状,少数半自形,普遍遭到强烈的绢云母化作用,粒径为 0.2~5.0 mm,含量 44%~47%;石英:白色,为不规则粒状,粒径为 0.3~3.0 mm,含量 20%~30%;黑云母:黑色,片状分布,有的遭到脱铁和绿泥石化作用,并有铁质析出,粒径为 0.3~1.5 mm,含量约 5%。该组岩性与铅矿体成矿有密切关系。

(2) 殷楼单元中细粒似斑状黑云母花岗闪长岩

灰白色,似斑状花岗结构,块状构造。主要造岩矿物为斜长石、钾长石、石英角闪石及黑云母。斑晶含量 5%左右,为较自形的长石,粒径为 5.0~15.0 mm;钾长石:肉红色,主要为他形,粒径为 0.3~1.0 mm,含量 10%~15%;更长石:灰白色,多数为不规则粒状,少数半自形,普遍遭到强烈的绢云母化作用,粒径为 0.2~5.0 mm,含量 44%~47%;石英:白色,为不规则粒状,粒径为 0.3~3.0 mm,含量 20%~30%;黑云母:黑色,片状分布,有的遭到脱铁和绿泥石化作用,并有铁质析出,粒径为 0.3~1.5 mm,含量约 5%;角闪石:黑色,为柱状,粒径在 0.5~2.0 mm,含量约 12%,与黑云母沿长轴有断续分布的趋势。该组岩性与铅矿化蚀变带形成有密切关系。

2.4 变质岩

太古宙得胜片麻杂岩为矿区内最古老的变质深成岩岩石单位,为本区太古宙变质岩的主体^[6],侵入变质表壳岩,岩石类型有黑云斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩、黑云斜长质糜棱岩、含白云绿帘黑云斜长质糜棱岩等,岩石组合以富含黑云母为特征,呈片麻状

或条带状构造,原岩为 TTG 岩系,同位素年龄值为 2521±12 Ma^[4]。

3 矿区物化探特征

3.1 化探异常特征

本研究中样品分析数据均来源于辽宁省第六地质大队“辽宁省普兰店市孙家沟金矿区外围金矿普查”项目,样品的化学分析在辽宁省地质勘查院实验室进行。根据 DZ/T0130—2006《地质矿产实验室测试质量管理规范》1:2 000 地球化学样品加工的要求,对样品进行加工,粒度-200 目,样品重量 80 g 以上。Pb 含量采用原子吸收法(AAS)分析,检出限为 20×10⁻⁶。采用国标 GSS-1—GSS-4 系列 4 个国家一级标样对测试质量进行监控,即对各个标样的单个元素分别计算 ΔI_{gc} ,对每个标样的每个元素统计计算精密度。监控:准确度标准为检出限 3 倍以内的, $-0.15 \leq \Delta I_{gc} \leq +0.15$; 检出限 3 倍以上, $-0.10 \leq \Delta I_{gc} \leq +0.10$ 。精密度标准为检出限 3 倍以内的, $RSD \leq 40\%$; 检出限 3 倍以上的, $RSD \leq 25\%$ 。

自 20 世纪 70 年代格里戈良等^[7]提出热液矿床原生晕分带序列以来,利用原生晕进行热液矿床的深部找矿预测得到了矿床学家和矿产勘查者的广泛关注,国内学者也相继总结提出了原生晕找矿理论和方法^[8-10],并通过大量实践证明原生晕地球化学方法在判断矿体发育程度和预测深部矿体等方面有着非常显著的效果^[11-23]。

通过 1:2 000 次生晕土壤样测量在矿区共圈出 Pb 元素异常 11 处(图 2),铅异常下限值(T)为 348.72×10⁻⁶。铅异常浓度可划分为 2 个等级,一级浓度为 1 T ~2 T ,二级浓度为 2 T ~4 T (图 2)位于矿区中部的 Pb-5 异常面积 0.008 km²,异常平均值 828×10⁻⁶,最大值 5 071×10⁻⁶;Pb-6 异常面积 0.0007 km²,异常平均值 1 167×10⁻⁶,最大值 1 864×10⁻⁶(表 1)。经槽探及钻探验证,与 I、II、III 含铅矿化蚀变带吻合较好。

3.2 物探异常特征

物探工作对圈定矿化蚀变带有一定的指导作用^[24-25]。激电中梯剖面测量共发现 2 处视极化率异常:JD2015-01 和 JD2015-02(图 3)。

JD2015-01 异常位于测区北部,异常两侧未封闭。视极化率 η_s 与视电阻率 ρ_s 异常走向基本与矿带吻合。

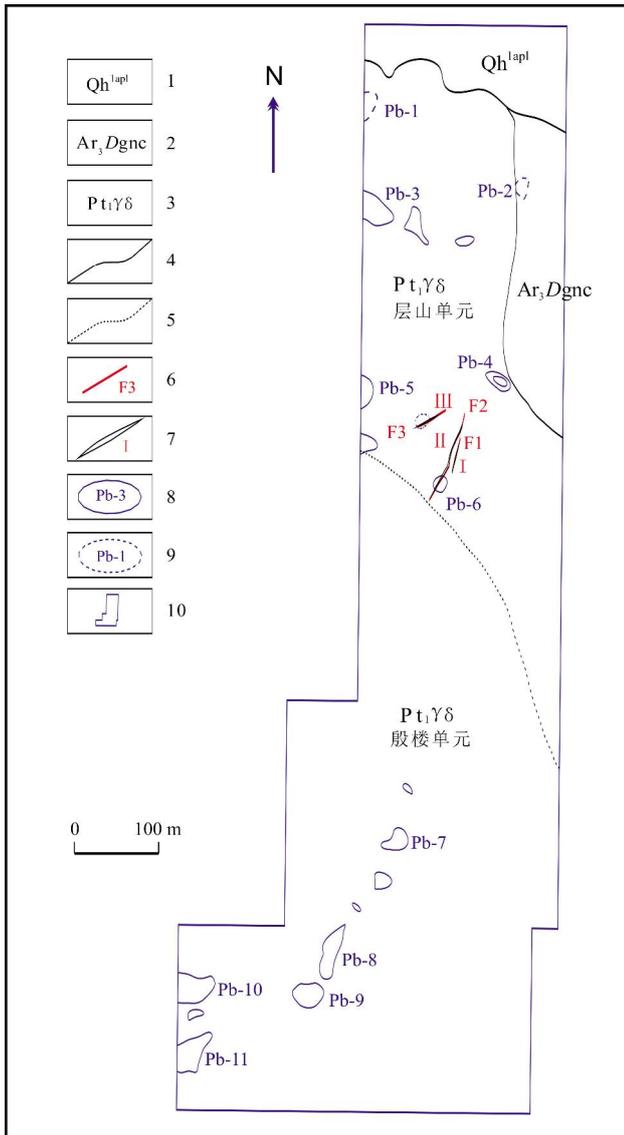


图 2 土壤地球化学测量 Pb 元素异常剖面图

Fig. 2 Analysis of Pb anomaly through soil geochemical survey
 1—第四系(Quaternary); 2—得胜片麻杂岩(Desheng gneiss complex);
 3—层山单元与殷楼单元(Cengshan and Yinlou units); 4—地质界线
 (geological boundary); 5—推测地质界线(inferred geological boundary);
 6—断层位置及编号(fault and number); 7—矿化蚀变带及编号
 (mineralized alteration zone and number); 8—Pb 元素异常(一级浓度)
 范围及编号(Pb anomaly range and number, Grade I); 9—Pb 元素异常
 (二级浓度)范围及编号(Pb anomaly range and number, Grade II); 10—
 勘查区范围(exploration area)

视极化率最大值为 4.23%, 背景场 $\eta_s=2.3\%$; 视电阻率
 最小值为 1 181 Ωm , 背景场 $\rho_s=2\ 000\ \Omega m$, 具有明显高
 视极化率、低视电阻率异常. JD2015-02 异常位于测区
 北部, JD2015-01 的南侧, 异常未封闭. 视极化率异常
 沿矿带北侧分布, 视极化率最大值为 2.63%, 背景场

$\eta_s=2.3\%$; 视电阻率最小值为 1 532 Ωm , 背景场 $\rho_s=2\ 000\ \Omega m$, 具有较明显的视极化率、低电阻率异常.

4 矿床地质特征

根据构造及矿化特征, 可划分为 3 条(I、II、III)
 含铅矿化蚀变带, 其分别为 F1、F2、F3 构造所控制(图
 4). 铅矿体主要产于北东向含铅矿化蚀变带中, ①号
 矿体产于 II 号含铅矿化蚀变带中, ②号矿体产于 III 号
 含铅矿化蚀变带中.

4.1 矿化蚀变带特征

I 号含铅矿化蚀变带位于矿区中部, 沿 F1 断层
 呈脉状产出, 北东向展布, 总体走向 30°, 倾向 285°, 倾
 角为 45~65°, 蚀变带长 39.60 m, 宽 3.0 m. 蚀变带由中

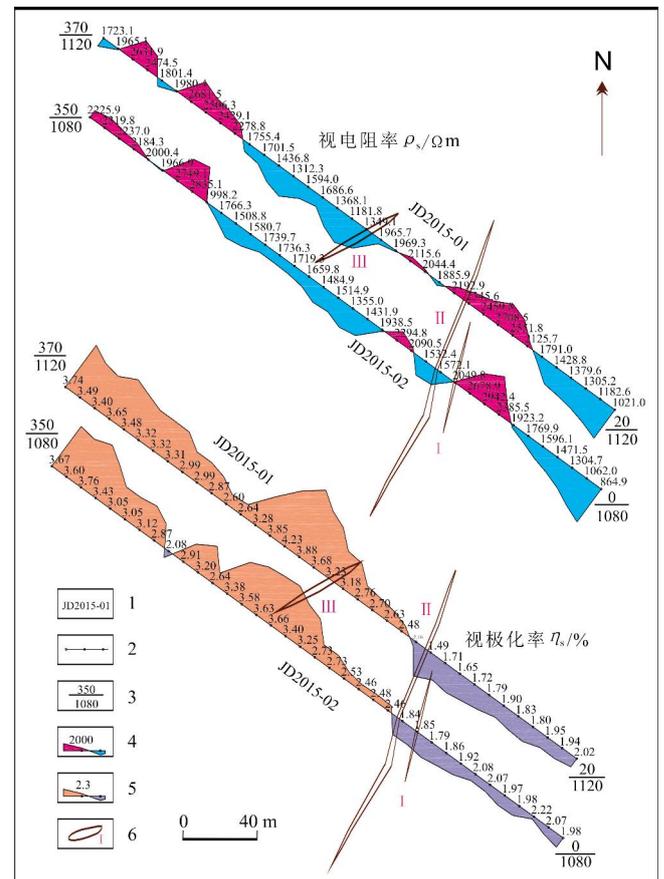


图 3 激电中梯剖面测量视电阻率及视极化率异常平面剖面图

Fig. 3 Anomaly plane profiles of ρ_s and η_s measured by induced
 polarization intermediate gradient survey
 1—视极化率编号(apparent polarizability number); 2—测量剖面线
 (survey section line); 3—测线编号(survey line number); 4—视电阻率
 异常剖面(apparent resistivity anomaly section); 5—视极化率异常剖面
 (apparent polarizability anomaly section); 6—矿化蚀变带位置及编号
 (mineralized alteration zone and number)

表1 土壤地球化学测量Pb元素异常特征表

Table 1 Pb anomaly characteristics by soil geochemical survey

异常编号	异常分布	异常形态	样点	面积/km ²	异常强度/10 ⁻⁶	
					平均值	最大值
Pb-1	测区西北部	四边形未闭合	32	0.0069	618.219	1 292
Pb-2	测区东北部	不规则	153	0.035	549.869	1 689
Pb-3	测区西北部	不规则未闭合	12	0.0029	741.75	2 189
Pb-4	测区中东部	近椭圆形	5	0.0013	1016.8	2 049
Pb-5	测区中部	不规则	22	0.008	828.091	5 071
Pb-6	测区中部	近圆形	2	0.0007	1167.5	1 864
Pb-7	测区西南部	不规则	5	0.0016	756.2	928
Pb-8	测区西南部	长条状	11	0.0029	669.545	1 389
Pb-9	测区西南部	近圆形	10	0.0025	587.7	1 011
Pb-10	测区西南部	不规则	15	0.0037	550.467	967
Pb-11	测区西南部	不规则	15	0.0036	534.667	1 012

细粒黑云母花岗闪长岩构造破碎形成的角砾、碎块、碎斑、碎粉、黏土及大小不一的透镜体等组成,矿化蚀变较强大部分原岩已识别不清,具绿泥石化、硅化、褐铁矿化及黄铁矿化。

Ⅱ号含铅矿化蚀变带位于矿区中部,沿F2构造呈脉状产出,北东向展布,总体走向30°,倾向300°,倾角为50°,蚀变带长165.76 m,宽1.6 m。蚀变带由中细粒黑云母花岗闪长岩构造破碎形成的角砾、碎块、碎斑、碎粉、黏土及大小不一的透镜体等组成,矿化蚀变较强大部分原岩已识别不清,具绿泥石化、硅化、方铅矿化、黄铁矿化、闪锌矿化、高岭土化、褐铁矿化及钾化。①号矿体赋存于该矿化蚀变带中,为矿区重要含矿部位。

Ⅲ号含铅矿化蚀变带位于矿区中部,沿F3构造呈脉状产出,呈北东向展布,总体走向60°,倾向330°,倾角为65~75°,蚀变带长52.60 m,宽3.9 m。蚀变带由中细粒黑云母花岗闪长岩构造破碎形成的角砾、碎块、碎斑、碎粉、黏土及大小不一的透镜体等组成,矿化蚀变较强,具绿泥石化、硅化、高岭土、方铅矿化及黄铁矿化。②号矿体赋存于该矿化蚀变带中。

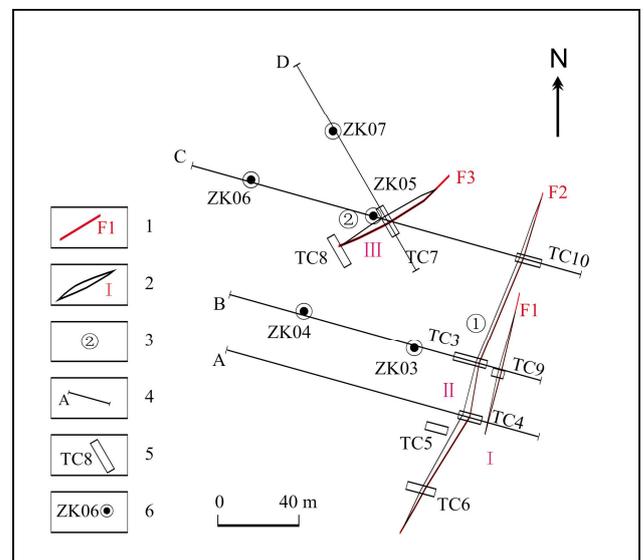


图4 铅矿体地表形态图

Fig. 4 Surface morphology map of lead orebodies
1—断层及编号 (fault and number); 2—矿化蚀变带及编号 (mineralized alteration zone and number); 3—矿体编号 (orebody and number); 4—剖面位置及编号 (section and number); 5—探槽及编号 (trench and number); 6—钻孔及编号 (borehole and number)

4.2 矿体特征

①号矿体呈脉状北东方向展布,走向15~30°,倾

向北西,倾角 45~60°。矿体长度 124 m,延深 204 m,工程控制矿体平均厚度 1.58 m,变化系数 43.7%。Pb 品位 0.314%~1.309%,矿体平均品位 0.601%,品位变化系数 99.7%,属低品位矿。地表有 TC3、TC4、TC6、TC10 等 4 个槽探工程控制,深部有 ZK03、ZK04、ZK05、ZK06 等 4 个钻探工程控制。矿体赋存于 F2 断层矿化蚀变带中。

②号矿体呈脉状北东方向展布,走向 60°,倾向北西,倾角 60~75°。矿体长度 34.4 m,延深 88 m,工程控制矿体平均厚度 2.62 m,变化系数 43.9%。Pb 品位 0.468%~1.460%,矿体平均品位 0.776%,品位变化系数 46.4%,属低品位矿。地表有 TC7、TC8 等 2 个槽探工程控制,深部有 ZK07 钻探工程控制。矿体赋存于 F3 断层矿化蚀变带中。

本研究中光片、薄片鉴定工作由辽宁省地质勘查院实验室承担。主要有用矿物为方铅矿及黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿,其中黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿普遍见于原生矿石中,铅灰色,金属光泽,条痕色为黑褐色,立方体自形及半自形晶,呈致密块状及细脉浸染状或星点状,粒径约 1~5 mm。伴生矿物有黄铁矿、闪锌矿及黄铜矿呈稀疏浸染状分布于矿物之间。黄铁矿为矿区主要的常见矿物,呈自形一半自形粒状,粒径 0.1~0.5 mm。浸染状分布为主,局部以薄膜状附着在裂隙节理面上。黄铁矿不具工业利用价值。闪锌矿为矿区主要的常见矿物,为粒状集合体,呈半自形—他形粒状、碎裂粒状,粒径 0.05~0.2 mm,呈不均匀脉状、浸染状分布,与黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等矿物共生或被包裹。黄铜矿为矿区主要的常见矿物,主要呈星散状分布,部分呈细脉状。滴状分布,呈他形粒状,粒度一般为 0.5~3 mm。黄铜矿不具工业利用价值。矿物生成顺序:黄铁矿—闪锌矿—黄铜矿—方铅矿。

脉石矿物主要为石英、重晶石、绿泥石、绢云母、高岭石等。石英与矿化关系密切,为主要脉石矿物,其粒度大者逾 1 mm,小者仅 0.02 mm,一般为 0.2~0.5 mm,与闪锌矿、方铅矿共生密切,在石英裂隙和界面上有氧化矿物浸染分布。重晶石为次要脉石矿物,与闪锌矿、方铅矿共生密切,呈半自形—自形板状晶体,其粒度大小悬殊,小者为 0.01 mm,大者达 0.5 mm 以上,一般 0.1~0.3 mm。黏土矿物(包括绿泥石、绢云母、高岭石)主要以胶结物的形式产出,部分为原泥质岩屑和长石

的蚀变产物,粒度一般小于 0.02 mm,极少的绢云母粒度为 0.05 mm。

矿石结构主要为自形粒状结构、碎裂—角砾结构、脉状充填结构。自形粒状结构:方铅矿、闪锌矿常呈自形—半自形粒状、粒状单晶产出。碎裂—角砾结构:常形成于构造角砾岩中,铅锌矿常沿构造裂隙或角砾间呈细脉状充填。脉状充填结构:方铅矿、闪锌矿常沿构造裂隙或角砾间隙呈细脉状充填。

矿石构造以角砾状、浸染状、团斑状为主,少数为块状构造、脉状构造等。角砾状构造是矿石受构造应力压碎为角砾的一种构造类型。金属矿物具他形粒状结构、包含结构,岩石中的金属矿物主要有方铅矿及少量黄铜矿、闪锌矿,均呈他形粒状、星散浸染状分布。浸染—团斑状构造是金属矿物闪锌矿、方铅矿呈浸染—团斑状胶结,其数量的分布均匀程度不一,按其含量分为星点状(<5%)、斑点状(5%~25%,斑点大小数毫米)、稠密浸染状(>25%)。块状构造是半自形—他形粒状的硫化物矿物致密分布的一种构造类型。碎裂状构造是组成岩石的矿物在成矿过程中被压碎的一种构造,早期黄铁矿受力破碎,裂隙中充填方铅矿、闪锌矿,见于矿区大多矿石之中。网脉状构造是矿石矿物沿裂隙呈半自形晶网脉状充填^[26-27],充填的主要矿物有闪锌矿、方铅矿。

4.3 围岩蚀变

区内围岩蚀变主要沿破碎带两侧或矿化体上下盘发育,蚀变类型主要为硅化,也见有黄铁矿化、绢云母化及绿泥石化。

硅化在围岩中分布普遍,主要为石英单矿物脉,脉的产状与裂隙一致。石英脉结构简单,硅化形成的石英脉十分发育,原岩中的矿物大部分消失,代之以石英生成,含量可达 80% 以上;黄铁矿化在围岩中分布广泛,主要为粒状及星点状;绢云母化在围岩中分布广泛,主要为白色鳞片状;绿泥石化多为细脉状,分布普遍。这些围岩蚀变与热液成矿关系极为密切,是热液成矿作用下所表现出的标志性蚀变现象^[28]。

5 矿床成因及找矿标志

5.1 矿床成因

研究区金、多金属矿受北东向断裂控制,与热液蚀变密切相关^[29]。矿化带常伴有矿化蚀变的花岗岩闪长

斑岩,花岗岩闪长斑岩本身也见有细脉侵染状铅锌多金属矿化,推测具有成因联系。笔者认为古中元古代辽东裂谷段发展中期,以碳酸盐岩沉积为主,伴有碎屑岩及火山碎屑岩,一起形成了初始矿源层和部分贫矿层,为后期成矿奠定了充分的物质基础;辽河群沉积以后,矿源层、贫矿层和沉积物一起发生变形褶皱、断裂,区域变质作用促使成矿物质进行重新分配、组合,并使部分矿质活化、迁移、富集或形成贫矿体,局部形成矿体;印支—燕山期岩浆活动提供了金属成矿物质活化、迁移所需的热量,同时岩浆上侵带来的岩浆水与地下水混合,这种流体不断从地层中淋滤、溶解金属矿物,成为含矿热水溶液,在适当的容矿空间形成矿体^[30]。该铅矿类型应为低温热液充填交代脉型矿床^[30-32]。此类型铅矿主要成因是在古元古代或中元古代原始沉积的地层中,铅含量很高而形成矿源层,印支期—燕山期中酸性侵入岩沿着断裂构造和岩石裂隙运移,在运移过程中一部分热水溶液与围岩发生交代作用,一部分热液萃取了矿源层的成矿物质在断裂中或岩石裂隙中沉淀而成矿,最终形成了热液填充交代型铅矿^[33-34]。

5.2 找矿标志

(1)构造标志:本矿区①②号矿体严格受F2、F3构造破碎带控制,构造破碎带为矿体赋存空间,是矿区直接的找矿标志。

(2)蚀变标志:寻找构造内硅化为主,方铅矿、闪锌矿及少量黄铁矿等金属硫化物和绢云母化等组成的构造角砾岩及碎裂岩。

(3)化探异常标志:化探成果圈出的铅元素异常,反映了矿带的分布特征,而异常浓集中心多数与已知的各矿段较吻合,根据化探成果所圈定的异常以及异常覆盖的地质背景,可作为寻找矿(化)体的依据。

6 结论

孙家沟铅矿主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿及少量黄铁矿、黄铜矿等。矿石结构主要为自形粒状结构、碎裂—角砾结构、脉状充填结构。矿石构造以角砾状、浸染状、团斑状为主,少数为块状构造、脉状构造等。

孙家沟铅矿主要赋存于层山单元中细粒黑云母花岗岩闪长岩中,为断裂构造控制的低温热液型矿床。铅矿体主要受F2、F3断裂控制,该断裂既是控矿构造又是储矿构造,矿体产于断裂矿化蚀变带内。矿体围岩

蚀变较为普遍,主要沿构造矿化破碎带分布,围岩蚀变以硅化为主,也见少量黄铁矿等金属硫化物化和绢云母化等。①号矿体铅品位主要为0.314%~1.309%,平均品位0.601%;②号矿体铅品位主要为0.468%~1.460%,平均品位0.776%。根据工业指标圈定为低品位铅矿石。

致谢:本文受到辽宁省第六地质大队有限责任公司许洪斌教授的支持;成文过程中辽宁省有色地质局107队有限责任公司林少全教授提出了诸多建议;岩石化学分析、光薄片鉴定与分析是在辽宁地质勘察院有限责任公司实验室的帮助下完成;同时,《地质与资源》匿名评审专家为本文的修改和进一步提高提供了专业性修改意见,在此表示由衷的感谢。

参考文献(References):

- [1]赵光慧,关玉波,赵建军. 辽宁板块构造特征及大地构造单元划分[J]. 地质与资源, 2011, 20(2): 101-106.
Zhao G H, Guan Y B, Zhao J J. Characteristics of plate tectonics and division of geotectonic units in Liaoning region [J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(2): 101-106.
- [2]辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989: 7-270.
Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 7-270. (in Chinese)
- [3]万方来,蒋金晶,王焯,等. 辽宁省瓦房店金伯利岩矿区构造特征及其控矿作用[J]. 地质通报, 2019, 38(1): 62-67.
Wan F L, Jiang J J, Wang X, et al. Geological characteristics and structural ore-control role in Wafangdian kimberlite orefield of Liaoning Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(1): 62-67.
- [4]王伟,杨红,冀磊. 辽南地块新太古代2.52~2.46 Ga构造-热事件的识别及地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(9): 2775-2784.
Wang W, Yang H, Ji L. The identification of the Neoproterozoic 2.52~2.46 Ga tectono-thermal events from the Liaonan terrain and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(9): 2775-2784.
- [5]李佳蓓. 嵩山地区新太古界登封群构造环境研究[D]. 焦作:河南理工大学, 2014: 1-87.
Li J B. Research in tectonic evolution of Neoproterozoic Dengfeng Group in Songshan area [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2014: 1-87.
- [6]田毅,余超,王广伟,等. 鞍山—本溪—抚顺地区新太古代地质演化探讨[J]. 地质与资源, 2015, 24(4): 301-308.

- Tian Y, Yu C, Wang G W, et al. Discussion on the Neoproterozoic geological evolution in Anshan-Benxi-Fushun region[J]. *Geology and Resources*, 2015, 24(4): 301-308.
- [7] Beus A A, Grigorian S V. *Geochemical exploration methods for mineral deposits*[M]. Wilmette: Applied Publishing, 1977: 1-287.
- [8] 邵跃. 矿床元素原生分带的研究及其在地球化学找矿中的应用[J]. *地质与勘探*, 1984, 20(2): 47-55.
- Shao Y. Study on primary zonation of ore deposit elements and its application in geochemical prospecting[J]. *Geology and Prospecting*, 1984, 20(2): 47-55.
- [9] 李惠. 热液金矿床原生叠加晕的理想模式[J]. *地质与勘探*, 1993, 29(4): 46-51.
- Li H. An ideal pattern of primary superimposed halo of hydrothermal gold deposits[J]. *Geology and Exploration*, 1993, 29(4): 46-51.
- [10] Li H, Wang Z N, Li F G. Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, 55(1/3): 329-336.
- [11] 李惠, 张国义, 禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-146.
- Li H, Zhang G Y, Yu B. Structural superposition halo model and prospecting effect of deep blind ore prediction in gold deposit area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-146. (in Chinese)
- [12] 成杭新, 赵传冬, 庄广民, 等. 四川大岩石铂-钯矿床的原生地球化学异常特征及盲矿预测[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(4): 56-60.
- Cheng H X, Zhao C D, Zhuang G M, et al. Primary geochemical anomaly and blind ore prospecting in the Dayanzi Pt-Pd deposit, Sichuan province[J]. *Geology and Prospecting*, 2007, 43(4): 56-60.
- [13] 章永梅, 顾雪祥, 程文斌, 等. 内蒙古柳坝沟金矿床原生晕地球化学特征及深部成矿远景评价[J]. *地学前缘*, 2010, 17(2): 209-221.
- Zhang Y M, Gu X X, Cheng W B, et al. The geochemical features of primary halo and the evaluation of deep mineralization prospect of Liubagou gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(2): 209-221.
- [14] 钱建平, 谢彪武, 陈宏毅, 等. 广西金山金银矿区成矿构造分析和构造地球化学找矿[J]. *现代地质*, 2011, 25(3): 531-544.
- Qian J P, Xie B W, Chen H Y, et al. Analysis of ore-controlling structure and prospecting of tectono-geochemistry in Jinshan Au-Ag mining area, Guangxi[J]. *Geoscience*, 2011, 25(3): 531-544.
- [15] 李硕, 冷昌恩, 贺战朋. 内蒙古哈达门沟金矿 13 号矿体地质地球化学特征[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 1095-1103.
- Li S, Leng C E, He Z P. Geological and geochemical characteristics of Orebody 13 of Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia [J]. *Geoscience*, 2012, 26(5): 1095-1103.
- [16] 申硕果, 叶荣, 王勇. 广西贵港六梅金矿原生晕及深部找矿[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 1086-1094.
- Shen S G, Ye R, Wang Y. The primary halo and deep prospecting of Liumei gold deposit in Guigang, Guangxi[J]. *Geoscience*, 2012, 26(5): 1086-1094.
- [17] 刘冲昊, 刘家军, 贾磊, 等. 陕西省略阳县铍厂沟金矿床主矿带地球化学原生晕特征及其地质意义[J]. *现代地质*, 2013, 27(1): 1-12.
- Liu C H, Liu J J, Jia L, et al. Primary halo research of the main ore zone in the Huachanggou gold deposit in Lüeyang, Shaanxi Province [J]. *Geoscience*, 2013, 27(1): 1-12.
- [18] Wang C M, Carranza E J M, Zhang S T, et al. Characterization of primary geochemical haloes for gold exploration at the Huanxiangwa gold deposit, China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2011, 124: 40-58.
- [19] 玉苏普艾力·喀迪尔, 陈川, 刘雷. 新疆博格达东段多金属矿带化探原生晕与激电测量相结合的找矿效果[J]. *现代地质*, 2015, 29(3): 713-720.
- Yusupu Aili K, Chen C, Liu L. Prospecting effect on geochemical primary halos of polymetallic ore belt in eastern Bogda, Xinjiang combined with induced polarization survey[J]. *Geoscience*, 2015, 29(3): 713-720.
- [20] 刘怀金, 杨永强, 孙引强, 等. 内蒙古边家大院铅锌银多金属矿床原生晕地球化学特征及深部找矿预测[J]. *地质找矿论丛*, 2016, 31(2): 245-252.
- Liu H J, Yang Y Q, Sun Y Q, et al. The primary halo characteristics of Bianjiadayuan Pb-Zn-Ag polymetallic deposit in Inner Mongolia, China and ore prediction to depth[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2016, 31(2): 245-252.
- [21] 叶红刚, 张德会, 余君鹏, 等. 北祁连鹰嘴山金矿床原生晕地球化学特征及深部矿体预测[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2018, 37(6): 1163-1172.
- Ye H G, Zhang D H, Yu J P, et al. Geochemical characteristics of primary halo and deep orebody prediction in the Yingzuishan gold deposit, North Qilian [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2018, 37(6): 1163-1172.
- [22] 吴松洋, 侯林, 丁俊, 等. 贵州泥堡金矿床原生晕特征及深部找矿预测——以Ⅲ-1号矿体为例[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2018, 37(4): 674-686.
- Wu S Y, Hou L, Ding J, et al. Primary halo characteristics and deep ore body prospecting of the Nibao gold deposit, Guizhou Province: Illustrated with the example of III-1 orebody [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2018, 37(4): 674-686.
- [23] 张英帅, 顾雪祥, 章永梅, 等. 山东蓬莱石家金矿原生晕地球化学特征及深部找矿预测[J]. *现代地质*, 2021, 35(1): 258-269.
- Zhang Y S, Gu X X, Zhang Y M, et al. Geochemical characteristics of primary halos and deep prospecting prediction of the Shijia gold deposit in Penglai, Shandong Province [J]. *Geoscience*, 2021, 35(1): 258-269.
- [24] 刘洋, 梁靓, 李荣亮, 等. 综合物探方法在甘肃某金矿勘查中的应用[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(6): 1460-1469.
- Liu Y, Liang L, Li R L, et al. Application of integrated geophysical

- method in exploration of a gold deposit in Gansu [J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(6): 1460–1469.
- [25] 张家嘉, 张顺林, 汪青松, 等. 综合物探方法在覆盖区找矿中的应用——以皖东五河金矿整装勘查为例[J]. *中国地质调查*, 2020, 7(6): 109–115.
- Zhang J J, Zhang S L, Wang Q S, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in ore prospecting in coverage area: a case study of integrated survey area of Wuhe Gold Mine in Eastern Anhui[J]. *Geological Survey of China*, 2020, 7(6): 109–115.
- [26] 涂首业. 四川会理天宝山铅锌矿矿相学特征及意义[D]. 成都: 成都理工大学, 2014: 1–62.
- Tu S Y. The mineralogical characteristics and its genetic significance of the Tianbaoshan Pb–Zn deposit in Huili, Sichuan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014: 1–62.
- [27] 吴小艳, 毛晓冬, 廖娟, 等. 四川会理天宝山铅锌矿床矿石显微特征及成矿期次研究[J]. *地质与资源*, 2016, 25(2): 154–158.
- Wu X Y, Mao X D, Liao J, et al. Microscopic characteristics of ore and metallogenic periods of the Tianbaoshan Pb–Zn deposit in Sichuan Province[J]. *Geology and Resources*, 2016, 25(2): 154–158.
- [28] 李善财, 李根军, 薛长军, 等. 青海加给陇汪东金矿地质特征及找矿预测[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(8): 1784–1791.
- Li S C, Li G J, Xue C J, et al. Geological features and prediction of Jiageilongwa gold deposit in Qumalai County, Qinghai province[J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(8): 1784–1791.
- [29] 覃忠. 辽宁普兰店沙包镇金矿床地质特征及找矿标志[J]. *中国科技信息*, 2011(14): 24, 27.
- Tan Z. Geological characteristics and prospecting mark of Shapaozhen gold deposit in Pulandian, Liaoning Province[J]. *China Science and Technology Information*, 2011(14): 24, 27. (in Chinese)
- [30] 李巍. 辽宁省铅锌矿典型矿床特征[J]. *地质与资源*, 2016, 25(3): 261–264.
- Li W. Characteristics of typical lead–zinc deposits in Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2016, 25(3): 261–264.
- [31] 杨占兴, 田立臣. 辽宁省铅锌矿床成矿作用研究[J]. *辽宁地质*, 1998(1): 1–19.
- Yang Z X, Tian L C. Studies on the metallogenesis of lead zinc deposits in Liaoning[J]. *Liaoning Geology*, 1998(1): 1–19.
- [32] 杨占兴, 张国仁, 赵英, 等. 辽宁省成矿系列研究[J]. *地质与资源*, 2006, 15(1): 25–32.
- Yang Z X, Zhang G R, Zhao Y, et al. Study on the minerogenic series in Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2006, 15(1): 25–32.
- [33] 杨占兴. 辽西八家子多金属矿床的成因研究[J]. *辽宁地质*, 1994(3): 193–225.
- Yang Z X. Studies on Bajiazi polymetallic ore deposit in west Liaoning [J]. *Liaoning Geology*, 1994(3): 193–225.
- [34] 潘厚满. 八家子银多金属矿田成矿规律与成矿预测[J]. *矿产与地质*, 2001, 15(85): 320–323.
- Pan H M. The ore-forming law of Bajiazi silver polymetallic ore field and its forecasting for ores-forming [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2001, 15(85): 320–323.

(上接第 237 页/Continued from Page 237)

- [17] 牛雪, 何锦, 庞雅婕, 等. 三江平原西部土壤硒分布特征及其影响因素[J]. *物探与化探*, 2021, 45(1): 223–229. doi: 10.11720/wtyht.2021.2596.
- Niu X, He J, Pang Y J, et al. Distribution feature of soil selenium in west Sanjiang Plain and its influencing factors[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(1): 223–229, doi: 10.11720/wtyht.2021.2596.
- [18] 王月平, 张立, 崔玉军, 等. 宝清县东部土壤硒含量特征及其与土壤性质的关系[J]. *物探与化探*, 2019, 43(4): 904–911, doi: 10.11720/wtyht.2019.0020.
- Wang Y P, Zhang L, Cui Y J, et al. Characteristics of selenium content in soil of eastern Baoqing County and its relationship with soil properties[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(4): 904–911, doi: 10.11720/wtyht.2019.0020.
- [19] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1356–1364.
- Dai H M, Gong C D, Dong B, et al. Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(6): 1356–1364.
- [20] 谭见安. 环境生命元素与克山病——生态化学地理研究[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996: 1–13.
- Tan J A. Environmental life elements and Keshan disease: A study on ecological chemiogeography [M]. Beijing: China Medical Science Press, 1996: 1–13.