



## 物化探综合找矿方法在吉林省汪清县复兴地区勘查中的应用

张 龙<sup>1</sup>, 任传涛<sup>1</sup>, 陈桂虎<sup>1</sup>, 孙剑爽<sup>1</sup>, 娄雨雷<sup>1</sup>, 王珑凯<sup>1</sup>, 邹常伟<sup>1</sup>, 王海英<sup>2</sup>

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021;

2. 辽宁省北票市自然资源局, 辽宁 北票 122100

**摘 要:** 吉林省延边东部地区是中国东部滨太平洋地区重要的金、铜矿化集中区。九三沟金矿位于集中区内, 复兴地区属九三沟金矿外围, 成矿地质背景优越。在充分研究地质背景前提下, 利用水系沉积物测量进行扫面, 圈定 Au 异常 6 处, 而后开展土壤地球化学测量、大功率激电测深和激电中梯测量工作, 圈定了若干有利的成矿远景区, 择优开展槽探和钻探工程验证, 发现金矿化体 2 条, 取得了较好的找矿效果。说明综合运用物化探方法找矿是可行、有效的, 对于区域上寻找同类型矿床具有借鉴意义。

**关键词:** 金矿床; 水系沉积物; 地球化学; 地球物理; 元素异常; 吉林省

## APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL PROSPECTING METHODS IN FUXING AREA, JILIN PROVINCE

ZHANG Long<sup>1</sup>, REN Chuan-tao<sup>1</sup>, CHEN Gui-hu<sup>1</sup>, SUN Jian-shuang<sup>1</sup>, LOU Yu-lei<sup>1</sup>, WANG Long-kai<sup>1</sup>, ZOU Chang-wei<sup>1</sup>, WANG Hai-ying<sup>2</sup>

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China;

2. Beipiao Bureau of Natural Resources, Chaoyang 122100, Liaoning Province, China

**Abstract:** The eastern Yanbian area of Jilin Province is an important gold and copper mineralization concentration area in the marginal-Pacific region of eastern China. Fuxing area is in the periphery of the Jiusangou gold deposit, which is located within the mineralization concentration area, with superior metallogenic geological background. Based on a full study of the geological background, the stream sediment survey is conducted for surface exploration and 6 Au anomalies are delineated. Then, through soil geochemical survey, high-power IP sounding and IP intermediate gradient measurement, a number of favorable metallogenic prospects are delineated, among which the superior ones are selected for trenching and drilling verification and 2 gold mineralized bodies are found. Such prospecting results indicate that the application of integrated geophysical and geochemical prospecting methods is feasible and effective, and has reference significance for prospecting similar deposits in the region.

**Key words:** gold deposit; stream sediment; geochemistry; geophysics; element anomaly; Jilin Province

### 0 前言

九三沟金矿床位于吉林省汪清县内, 吉林省地质

局、吉林省冶金局、原武警黄金部队等单位先后在九三沟矿区开展了地质找矿工作。该矿床处于北北东向复

收稿日期: 2021-03-24; 修回日期: 2021-06-09. 编辑: 李兰英.

基金项目: 原武警黄金部队黄金专项项目“吉林省汪清县杜荒岭矿区外围岩金矿普查”(编号 2015006、2016006、2017006).

作者简介: 张龙(1987—), 男, 硕士, 从事成因矿物学与找矿矿物学研究, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail//270418334@qq.com

兴断裂与北西向金仓断裂的交汇处,是闹枝-百草沟-金苍(复兴)东西向火山岩浆带的一部分,共圈定 10 余条矿脉. 区内成矿地质背景优越,找矿潜力较大<sup>[1-6]</sup>.

复兴地区属九三沟金矿外围,运用水系沉积物测量圈定找矿靶区,同时在重点区开展 1:1 万土壤测量、大功率激电测深和 1:1 万激电中梯测量工作,圈定了若干有利的成矿远景区,择优选区利用槽探和钻探工作进行了初步验证,发现 2 条金矿化体,为部署下一步找矿工作及研究区域、矿区成矿规律提供了重要基础依据,在区域上优选、浓缩找矿靶区具有很好的借鉴意义.

### 1 地质背景

研究区大地构造位置位于吉黑造山带,即华北板块北缘东段、古亚洲洋消亡型活动陆缘带控制的的东西向构造带与西太平洋活动陆缘控制的北东向构造带的

交汇处<sup>[7]</sup>,夹于华北板块、兴凯地块、佳木斯地块之间(图 1a),处于延边-兴凯中生代构造岩浆成矿带之上,是一个经历了古亚洲洋演化、中生代古太平洋板块向古亚洲板块俯冲的大陆边缘复合成矿构造区. 研究区位于九三沟金矿西部(图 1b),出露地层为中生界白垩系,新生界古近系、新近系及第四系,位于敦化-百草沟-复兴-杜荒子近东西向深断裂带东端,发育近东西向晚侏罗-早白垩世复兴村复式火山构造岩浆岩带,与后期近南北向断裂相互作用,形成了其次级北东、北西、北东东、东西及南北向构造.

### 2 复兴地区化探特征

#### 2.1 水系沉积物测量成果

水系沉积物调查能有效地圈定找矿远景区,是地质找矿中卓有成效的地球化学勘查手段<sup>[9-13]</sup>. 原武警黄金五支队在老黑山-罗子沟一带,通过开展 1:10 万

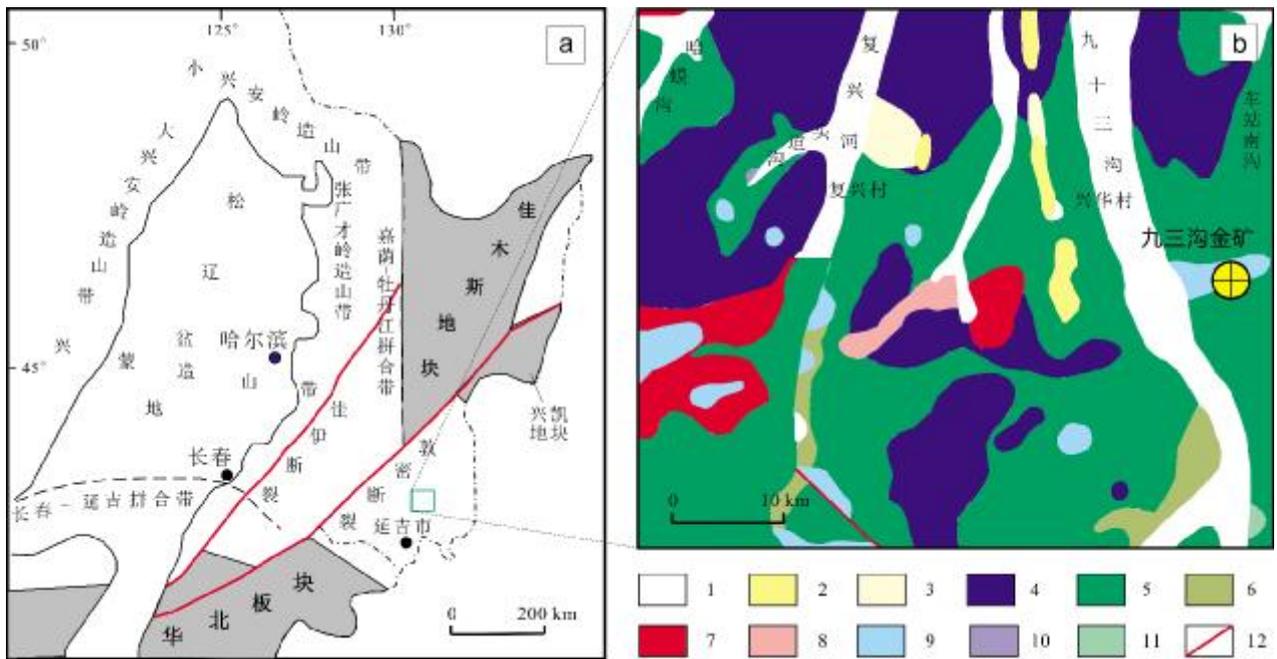


图 1 复兴地区地质图

(据文献[8])

Fig. 1 Geological sketch map of Fuxing area

(From Reference [8])

- 1—第四系全新统 (Quaternary Holocene); 2—新近系上新统船底山组 (Neogene Pliocene Chuandishan fm.); 3—古近系珲春组 (Paleogene Hunchun fm.); 4—白垩系金沟岭组上段 (Upper mem. of Jingouling fm., Cretaceous); 5—金沟岭组下段 (Lower mem. of Jingouling fm.); 6—白垩系地荫沟组 (Cretaceous Diyingou fm.); 7—早白垩世橄榄辉长玢岩 (Early Cretaceous olivine gabbro porphyrite); 8—早白垩世闪长岩 (Early Cretaceous diorite); 9—早白垩世花岗闪长斑岩 (Early Cretaceous granodiorite porphyry); 10—中二叠世花岗闪长岩 (Middle Permian granodiorite); 11—次安山岩脉 (subandesite dike); 12—断层 (fault)

水系沉积物测量,圈定了一处金异常,该异常规模大,金最高值  $100 \times 10^{-9}$ ,标准离差  $0.67 \times 10^{-9}$ ,变异系数为 0.80. 该异常分 3 个浓集中心,中部和东部浓集中心分别发现新沟-砂金沟、杜荒岭金矿体,西部浓集中心位于研究区内.

针对研究区 1:10 万水系异常,在其浓集中心开展了 1:2.5 万水系沉积物测量. 结果显示,异常重现性好,共圈定单元异常 20 处,其中 Au 异常 6 处,异常 Au01 和 Au06 号分带明显,组合异常 2 处(图 2). 通过对 9 种元素数据的相关性分析(表 1)和 R 型聚类分析(图 3)表明, Au 与 As、Ag、Cu、Sb、Zn 元素相关性较好, Pb、Zn、As、Sb、Ag、Cu 为中低温成矿元素组

合, Bi 与 Hg 为低温元素组合, Au 为中高温元素. 元素组合代表了区内 3 期与成矿有关的元素富集作用.

### 2.2 1:1 万土壤地球化学测量

土壤地球化学测量是一种经典的地球化学找矿手段,能够快速缩小找矿范围,圈定找矿靶区,找矿效果显著<sup>[14-18]</sup>.

针对以金为主的 1:2.5 万水系沉积物异常,为进一步缩小找矿靶区,在研究区开展 1:1 万土壤地球化学测量,共圈定单元异常 82 处,其中 Au 异常 18 处,组合异常 7 处(图 4). 数据分析结果显示 Au 与 Ag 相关性略好(表 2),与 1:2.5 万水系沉积物测量结果较为一致,反映区内地球化学数据分形性特征较为明显.

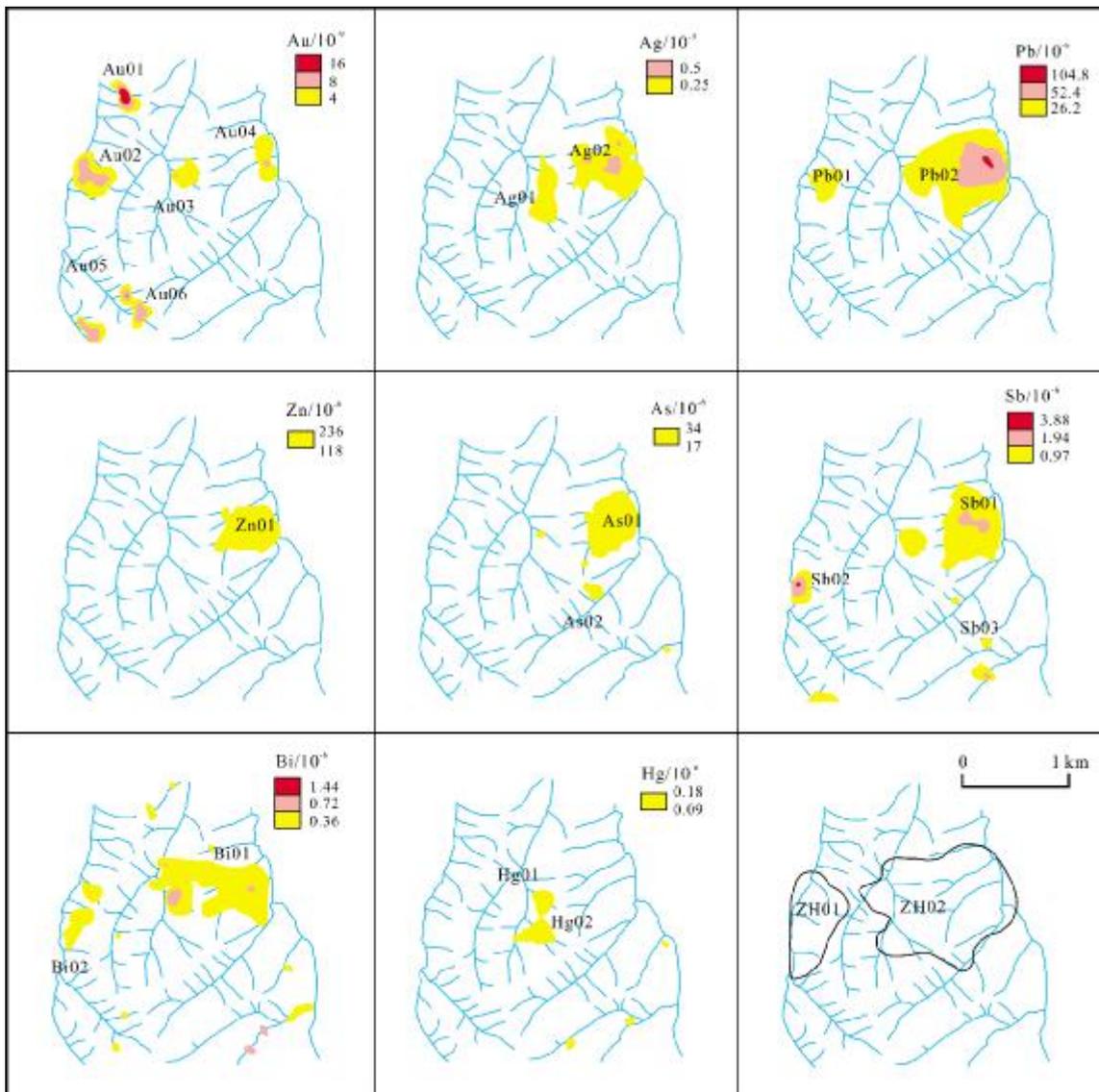


图 2 复兴地区 1:2.5 万水系各元素及组合异常剖析图

Fig. 2 Anomaly map of elements and association by the 1: 25 000 stream sediment survey in Fuxing area

表 1 复兴地区 1:2.5 万水系各元素相关性分析一览表  
**Table 1 Correlation analysis of 1: 25 000 stream sediment survey in Fuxing area**

	Au	Ag	As	Bi	Cu	Hg	Pb	Sb	Zn
Au	1.000								
Ag	0.109	1.000							
As	0.205	0.486	1.000						
Bi	0.056	0.288	0.201	1.000					
Cu	0.119	0.333	0.393	0.216	1.000				
Hg	0.029	0.371	-0.008	-0.072	0.230	1.000			
Pb	0.077	0.529	0.546	0.495	0.177	-0.163	1.000		
Sb	0.102	0.537	0.675	0.253	0.427	0.136	0.642	1.000	
Zn	0.105	0.618	0.562	0.204	0.427	0.190	0.695	0.567	1.000

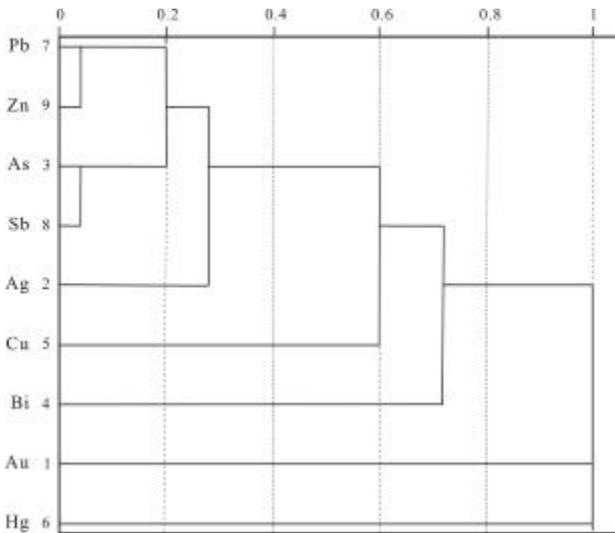


图 3 复兴地区 1:2.5 万水系各元素 R 型聚类分析谱系图  
 Fig. 3 R-mode cluster analysis of elements by the 1:25 000 stream sediment survey in Fuxing area

表 2 复兴地区 1:1 万土壤各元素相关性分析一览表  
**Table 2 Correlation analysis of elements in 1: 10 000 soil survey in Fuxing area**

	Au	Ag	As	Bi	Cu	Pb	Sb	Zn
Au	1.000							
Ag	0.146	1.000						
As	0.069	0.381	1.000					
Bi	0.025	0.132	0.342	1.000				
Cu	0.059	0.278	0.241	0.123	1.000			
Pb	0.060	0.369	0.654	0.316	0.164	1.000		
Sb	0.096	0.516	0.656	0.202	0.163	0.612	1.000	
Zn	0.053	0.336	0.503	0.226	0.456	0.674	0.427	1.000

### 3 复兴地区物探特征

电法测量是金属矿勘查中最常见的地球物理方法之一,特别是对寻找隐伏矿体有重要应用<sup>[19-24]</sup>.本次工作针对水系圈定的金元素异常发育地段布设 1:1 万激电中梯剖面测量和大功率激电测深测量.

#### 3.1 岩(矿)石物性特征

采集复兴地区有代表性的岩(矿)石标本,进行物性测定(表 3).从表中可以看出:电阻率、极化率数值与金属矿物含量关系密切.金属矿物含量高,电阻率通常较低,相对极化率较高;金属矿物含量少,电阻率通常较高,相对极化率较低;围岩与矿石物性差异较为明显,因此,电法在复兴地区内找矿方法有效.

#### 3.2 1:1 万激电中梯剖面测量

对 1:2.5 万水系沉积物测量 Au02 号异常布设测线 5 条,圈定视幅频率异常 4 处.在 740~860 m 区间内,2、3、4 线异常值普遍偏高,有呈近东西向展布的趋势,视幅频率最大可达 8.0(图 5),推断异常由含金属矿化地质体引起.

#### 3.3 大功率激电测深

对 1:2.5 万水系沉积物测量 Au02 号异常布设 2 条线 64 点,圈定 1 条宽约 170 m、呈近东西走向直立的高极化率的地质体(图 6).该区出露岩体为早白垩世花岗闪长斑岩体,推断该异常由含金属矿化的岩体引起,与 1:1 万激电中梯剖面测量结果吻合性较好.

对 1:2.5 万水系沉积物测量 Au03 号异常完成 4 条线 104 点.通过工作,深部圈定一条宽约 100 m、呈北东东走向(60°方位)、近直立(略微倾向南东)的高极化率地质体(图 7).

### 4 查证结果

结合复兴地区物化探成果,布设槽探和钻探进行工程验证.槽探对 1:2.5 万水系 Au02 号异常和 1:1 万土壤 Au06 号异常结合部位进行揭露验证,发现金矿化体 1 条,产状 20°∠52°,控制厚度 1.00 m,金品位 0.36×10<sup>-6</sup>,单工程控制.钻探工程对 1:2.5 水系 Au03 号异常与大功率激电测深圈定的视幅频率异常结合部位进行深部查证,发现金矿化体 1 条,品位 0.56×10<sup>-6</sup>,单工程控制.

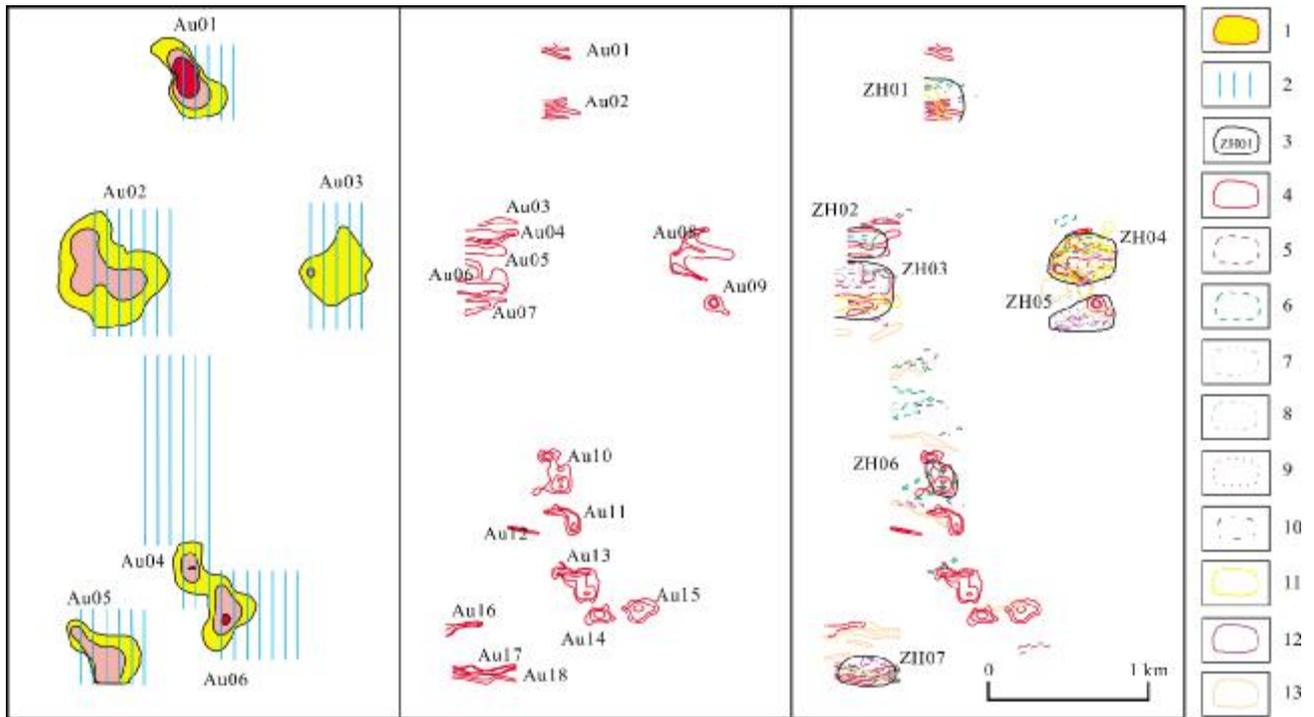


图4 复兴地区 1:1 万土壤测量工程布设及各元素异常剖析图

Fig. 4 Engineering layout and element anomaly map of 1:10 000 soil survey in Fuxing area

1—水系金异常及编号 (stream Au anomaly and number); 2—土壤地球化学测线 (survey line of soil geochemistry); 3—土壤组合异常及编号 (soil association anomaly and number); 4—土壤金异常 (soil Au anomaly); 5—土壤银异常 (soil Ag anomaly); 6—土壤铜异常 (soil Cu anomaly); 7—土壤铅异常 (soil Pb anomaly); 8—土壤锌异常 (soil Zn anomaly); 9—土壤砷异常 (soil As anomaly); 10—土壤锑异常 (soil Sb anomaly); 11—土壤铋异常 (soil Bi anomaly); 12—土壤钼异常 (soil Mo anomaly); 13—土壤汞异常 (soil Hg anomaly)

表3 岩矿石物性参数统计表

Table 3 Physical parameters of rocks and ores

名称	块(点)数	电阻率( $\rho$ )/ $\Omega$ m		极化率(F)/%	
		变化范围	几何均值	变化范围	几何均值
石英闪长岩	30	541.7~1354	745.8	1.80~2.80	2.50
安山岩	45	595.0~1454.5	789.5	1.10~2.70	2.10
金矿石	25	215.2~760.3	345.8	2.10~6.20	3.5
角砾岩	30	582.4~1085.3	625.995	1.10~2.70	2.2
石英砂岩	35	589.3~671.5	627.315	2.00~2.30	2.18
花岗斑岩	30	911.6~1086.3	1045.00	2.30~2.80	2.50
花岗闪长岩	40	802.9~870.4	840.00	2.40~2.90	2.60
黄铁矿化石英闪长岩	20	308.8~368.4	339.84	4.30~4.90	4.70

5 结论

1)复兴地区位于东西向成矿带的东部,燕山期岩浆活动频繁,筒状次火山岩发育,具有多期次活动的特

点,易形成筒状角砾岩体,是寻找火山-次火山岩型及角砾岩筒型金及多金属的找矿远景区。

2)化探特征显示,区内地球化学数据分形性特征

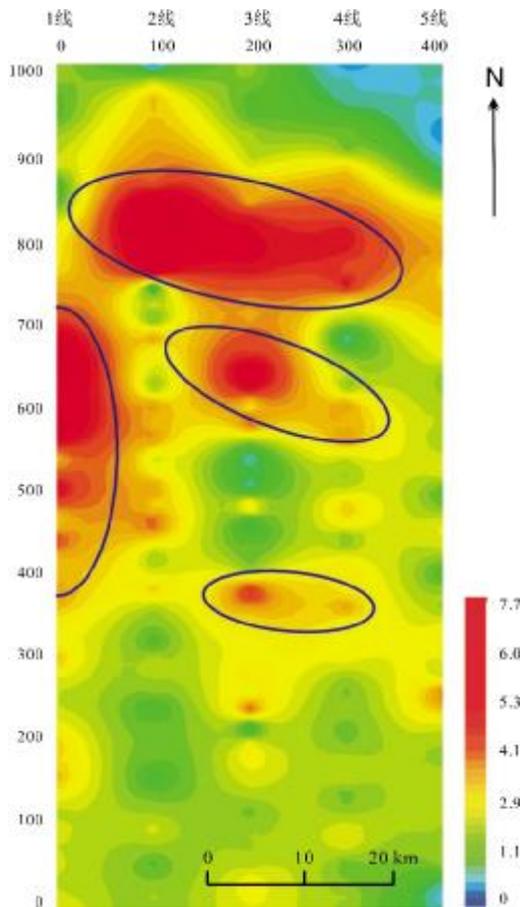


图 5 1:2.5 万水系 Au02 号异常激电中梯测量图

Fig. 5 IP intermediate gradient measurement of Au02 anomaly by 1: 25 000 stream sediment survey

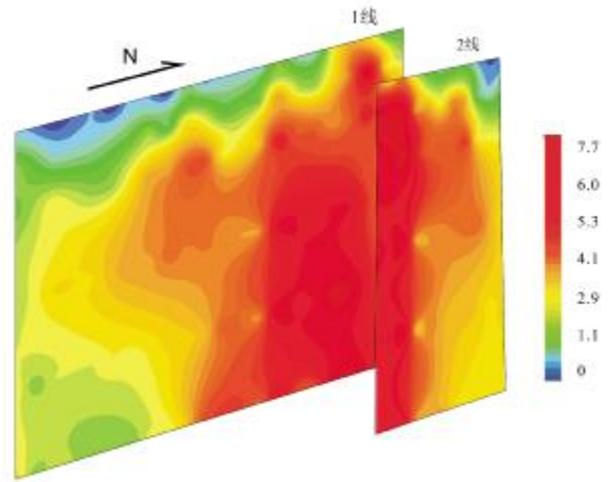


图 6 1:2.5 万水系 Au02 号异常激电测深联合剖面图

Fig. 6 IP sounding composite profiles of Au02 anomaly by 1: 25 000 stream sediment survey

较为明显, Au 与 As、Ag、Cu、Sb、Zn 元素相关性较好, 元素组合表明区内存在 3 期与成矿有关的元素富集作用.

3) 1:1 万土壤圈定的 ZH03 号组合异常及 Au04、Au06、Au07 号异常, 异常值较高且连续, 异常形状与邻区砂金沟-杜荒岭已知矿体相似, 推断与金矿体关系密切, 成矿潜力较大, 应重点对其进行查证.

4) 区内发现的金矿化体单工程控制, 具体特征尚

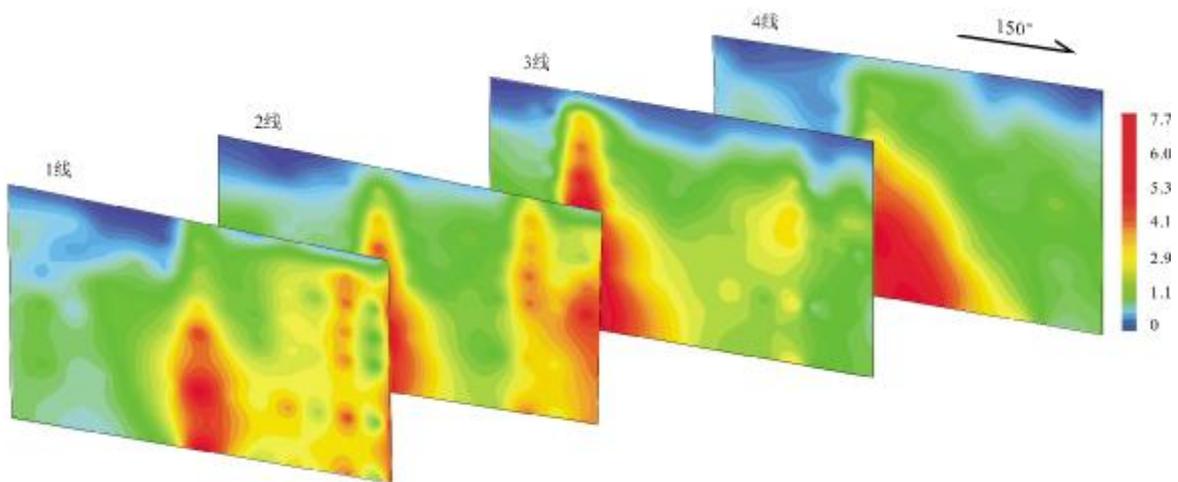


图 7 1: 2.5 万水系 Au03 号异常激电测深联合剖面图

Fig. 7 IP sounding composite profiles of Au03 anomaly by 1: 25 000 stream sediment survey

未查清. 浅表利用槽探工程对两侧追索控制, 参照邻区九三沟和杜荒岭金矿体地表贫、深部富的特点, 深部利用少量钻探工程查证其特征.

### 参考文献(References):

- [1] 柴鹏, 孙景贵, 门兰静, 等. 延边地区九三沟金矿床赋矿围岩的锆石 U-Pb 年龄与成岩成矿时代[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(5): 633-640.  
Chai P, Sun J G, Men L J, et al. U-Pb dating of zircons from host rocks of the Jiusangou gold deposit in Yanbian area and determination of rock-forming and ore-forming epochs [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2012, 31(5): 633-640.
- [2] 周志宇, 李翱鹏, 张晓锦. 吉林汪清九三沟金矿地质特征[J]. 吉林地质, 2013, 32(4): 51-53.  
Zhou Z Y, Li A P, Zhang X J. Geological features of Jiusangou gold deposit in Wangqing, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2013, 32(4): 51-53.
- [3] 张晓秋, 李碧乐. 吉林汪清九三沟金矿床成因研究[J]. 世界地质, 2014, 33(2): 407-417.  
Zhang X Q, Li B L. Genesis of Jiusangou gold deposit of Wangqing, Jilin[J]. Global Geology, 2014, 33(2): 407-417.
- [4] 尉海江, 于得水, 高忠维, 等. 延边地区九三沟金矿矿石学特征与矿床成因[J]. 地质论评, 2015, 61(S1): 953-954.  
Wei H J, Yu D S, Gao Z W, et al. Mineralogical characteristics and genesis of the deposit of Jiusangou gold deposit of Yanbian[J]. Geological Review, 2015, 61(S1): 953-954.
- [5] 张晓秋, 李碧乐. 吉林东部汪清县九三沟矿区石英闪长玢岩 U-Pb 年代学和地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(3): 603-613.  
Zhang X Q, Li B L. Zircon U-Pb age and geochemistry of Quartz Diorite Porphyrite in the Jiusangou gold deposit, Wangqing, eastern Jilin Province[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40(3): 603-613.
- [6] 门兰静, 孙景贵, 王好均, 等. 延边浅成高硫化热液金矿床的成矿流体起源与演化: 以杜荒岭和九三沟矿床为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(5): 1365-1382.  
Men L J, Sun J G, Wang H J, et al. Origin and evolution of ore-forming fluids of Duhuangling and Jiusangou high-sulfidation gold deposit in Yanbian[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2017, 47(5): 1365-1382.
- [7] 孟庆丽, 周永昶, 柴社立. 中国延边东部斑岩-热液脉型铜金矿床[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001: 1-161.  
Meng Q L, Zhou Y C, Chai S L. The porphyry and hydrothermal lode gold and copper deposit in eastern Yanbian region of China [M]. Changchun: Science and Technology Press of Jilin, 2001: 1-161.
- [8] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴安-吉黑地区岩石圈结构基本特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 816-823.  
Zhang X Z, Yang B J, Wu F Y, et al. The lithosphere structure in the Hingmang-Jihei (Hinggan-Mongolia-Jilin-Heilongjiang) region, northeastern China[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 816-823.
- [9] 奚小环, 李敏. 中国区域化探若干基本问题研究: 1999-2009[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 267-282.  
Xi X H, Li M. Regional geochemical exploration in China: from 1999 to 2009[J]. Geology in China, 2012, 39(2): 267-282.
- [10] 王学求. 勘查地球化学近十年进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(2): 190-197.  
Wang X Q. A decade of exploration geochemistry [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(2): 190-197.
- [11] 周斌, 王峰, 王明志, 等. 水系沉积物测量在新疆霍什布拉克地区找矿应用[J]. 物探与化探, 2014, 38(5): 872-878.  
Zhou B, Wang F, Wang M Z, et al. The application of stream sediment survey to ore-prospecting work in Huoshibulake area of Xinjiang[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2014, 38(5): 872-878.
- [12] 王奎, 何立新, 黄庆, 等. 新疆碱泉子一带水系沉积物测量地球化学特征及找矿远景[J]. 新疆地质, 2019, 37(2): 213-218.  
Wang K, He L X, Huang Q, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting in Jianquanzi, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2019, 37(2): 213-218.
- [13] 李瑞红, 王学求, 迟清华, 等. 胶东水系沉积物金地球化学异常分布规律及其意义[J]. 地学前缘, 2019, 26(4): 221-230.  
Li R H, Wang X Q, Chi Q H, et al. Distribution of geochemical anomaly of gold in drainage sediment in the Jiaodong Peninsula, China and its significance [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(4): 221-230.
- [14] 杨晓疆, 韩静波. 地球化学勘查在富蕴县金水泉金矿找矿中的应用[J]. 新疆地质, 2010, 28(3): 267-273.  
Yang X J, Han J B. Application of geochemical exploration in geological prospecting of Jinshuiquan gold deposit in Fuyun of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(3): 267-273.
- [15] 俞胜, 蒙珍, 尤关进, 等. 物化探综合找矿方法在西口沟钨矿勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2016, 52(5): 838-845.  
Yu S, Meng Z, You G J, et al. Application of integrated geophysical and geochemical methods to prospecting of the Xikougou molybdenum Deposit[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(5): 838-845.
- [16] 刘珊, 陈亮, 段先哲, 等. 土壤地球化学测量在黔东南瓢达冲金矿勘查中的应用与找矿效果[J]. 物探与化探, 2016, 40(1): 27-32.  
Li S, Chen L, Duan X Z, et al. The application of soil geochemistry survey to prospecting in the Bapiao Dachong gold ore district of eastern Guizhou Province and its effect[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2016, 40(1): 27-32.
- [17] 曲晖, 王佰义, 王建民, 等. 土壤地球化学测量在永新金矿勘查中的应用及找矿效果研究[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(2): 143-152.

- Qu H, Wang B Y, Wang J M, et al. Application of soil geochemical survey in the exploration of Yongxin gold deposit and its prospecting effect[J]. Gold Science and Technology, 2018, 26(2): 143-152.
- [18] 兰双双, 吕杜, 曾攀, 等. 西藏浪卡子县穷子地区土壤地球化学特征及找矿预测[J]. 地质找矿论丛, 2019, 34(2): 286-293.
- Lan S S, Lyu D, Zeng P, et al. Geochemical characteristics of soil and prospecting prediction of the Qiongzhi region, Tibet[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2019, 34(2): 286-293.
- [19] 刘方, 张晓帆, 陈川, 等. 综合物探方法在新疆某铜矿区中的应用探讨[J]. 新疆地质, 2013, 31(1): 113-116.
- Liu F, Zhang X, Chen C, et al. Application of integrated geophysical prospecting method to the evaluation of a Xinjiang copper deposit[J]. Xinjiang Geology, 2013, 31(1): 113-116.
- [20] 李星, 王峰, 罗大锋, 等. 综合物探方法在云南江城隐伏铅锌矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2015, 39(6): 1119-1123.
- Li X, Wang F, Luo D F, et al. The effects of applying integrated geophysical method to the prospecting for the Jiangcheng concealed lead and zinc deposit in Yunnan Province[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1119-1123.
- [21] 周立国. 物探方法在青海哈得尔甘南地区寻找砂卡岩型铁多金属矿中的应用效果[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(5): 2176-2181.
- Zhou L G. Effect of application of geophysical prospecting method for Skarn iron Polymetallic Deposit in the Hadeergannan area in Qinghai [J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(5): 2176-2181.
- [22] 何鹏, 张跃龙, 苏航, 等. 综合找矿方法在内蒙古昌图锡力锰银铅锌矿勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2018, 54(3): 501-511.
- He P, Zhang Y L, Su H, et al. Application of the integrated ore-prospecting method in the Changtuxili Mn-Ag-Pb-Zn deposit, Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 2018, 54(3): 501-511.
- [23] 张绍栋, 吕志斌, 雷延祥, 等. 高频大地电磁测深与激电中梯在金矿勘查中的应用研究[J]. 矿产勘查, 2020, 11(4): 746-750.
- Zhang S D, Lü Z B, Lei Y X, et al. Application of high frequency magnetotelluric sounding and IP intermediate gradient method in Gold Deposit exploration[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(4): 746-750.
- [24] 王文财. 激电中梯测量在辽宁矿洞沟铅锌矿床勘查中的应用[J]. 中国钼业, 2020, 44(4): 35-37.
- Wang W C. Application of polarization intermediate gradient survey in Kuangdonggou lead-zinc deposit in Liaoning Province [J]. China Molybdenum Industry, 2020, 44(4): 35-37.

(上接第 80 页/Continued from Page 80)

- [15] 吴春发. 盆地地热场模拟在地热资源勘探中的应用[J]. 地质与资源, 2004, 13(1): 56-58.
- Wu C F. The technology of basin geothermal field modelling used in geothermal resources exploitation[J]. Geology and Resources, 2004, 13(1): 56-58.
- [16] 王晓光, 王恩德, 都基众, 等. 东北地区水文地质环境地质调查未来工作方向探讨[J]. 地质与资源, 2004, 13(1): 17-21.
- Wang X G, Wang E D, Du J Z, et al. Discussion on the strategy of hydrological and environmental geologic survey in northeast China[J]. Geology and Resources, 2004, 13(1): 17-21.
- [17] 张薇, 王贵玲, 刘峰, 等. 中国沉积盆地型地热资源特征[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 255-268.
- Zhang W, Wang G L, Liu F, et al. Characteristics of geothermal resources in sedimentary basins[J]. Geology in China, 2019, 46(2): 255-268.
- [18] 洪增林, 张银龙, 周阳. 关中盆地南部山前中深层地热资源赋存特征及应用[J]. 中国地质, 2019, 46(5): 1224-1235.
- Hong Z L, Zhang Y L, Zhou Y. Research on the modes of occurrence and application of geothermal resources in the middle and deep layers of the piedmont area in southern Guanzhong Basin [J]. Geology in China, 2019, 46(5): 1224-1235.
- [19] 张连增. 辽宁省综合地球物理解释断裂构造的方法和依据[J]. 地质与资源, 2015, 24(5): 483-488.
- Zhang L Z. Methods and basis of integrated geophysical interpretation of fault structures in Liaoning province[J]. Geology and Resources, 2015, 24(5): 483-488.
- [20] 刘铁, 王成龙, 杨仲杰. 重力资料圈定地质构造边界方法的初步探讨[J]. 地质与资源, 2015, 24(6): 577-582.
- Liu T, Wang C L, Yang Z J. Preliminary discussion on the delineation method of geological structure boundary with gravity data [J]. Geology and Resources, 2015, 24(6): 577-582.
- [21] 关键, 方石. 地热系统的概念与传热机制综述[J]. 地质与资源, 2021, 30(2): 207-213, 206.
- Guan J, Fang S. Concept and heat transfer mechanism of geothermal system: A review [J]. Geology and Resources, 2021, 30(2): 207-213, 206.