地质·矿床

吉林省海沟金矿断裂地球化学预测研究

孙 岳,雷时斌,卿 敏,李强之,李文良
(武警黄金地质研究所,廊坊 065000)

[摘 要]在总结海沟矿区控矿断裂构造几何形态学、动力学、运动学和地球化学特征基础上,应用数学模拟和GIS图层分析技术,综合分析研究断裂构造控矿规律和金矿成矿地球化学行为,初步建立了断裂构造地球化学定位预测模型,并对矿区主要赋矿构造——28号矿体深部及外围进行找矿预测。

[关键词]吉林海沟 金矿床 断裂 地球化学 数学模拟 成矿预测
[中图分类号]P618.51 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)03-0023-05

1 矿区地质概况

海沟金矿位于吉林省安图县。其大地构造位置在华北板块北缘东段,太古宙夹皮沟—金城洞花岗绿岩带边缘,矿床定位于中生代北东向两江断裂与古亚洲域东西向海沟—金银别断裂交汇处。

矿区出露的岩石主要为燕山期二长岩、二长花岗岩、闪长岩、闪长玢岩、加里东期花岗岩、晚太古宙英云闪长岩及色洛河杂岩,赋矿围岩为二长岩、二长花岗岩。

矿床包括小海沟及大海沟两个矿段,由数十条含金石英脉组成,含金石英脉呈"平行斜列"或"首尾相接"的形式断续分布于北东向断裂带。空间上可划分为28、38、43号3个含金石英脉群,其中已探明了28号和38号两条脉带,而以28号含金脉带为主体,其它为"卫星矿"。矿石矿物主要有自然金、黄铁矿、方铅矿、少量的黄铜矿、闪锌矿等,脉石矿物主要为石英、方解石。矿床围岩蚀变发育,带状分布于矿脉两侧,主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化,蚀变带宽度一般小于2 m,局部金矿化较强,亦作为工业矿体组成部分。

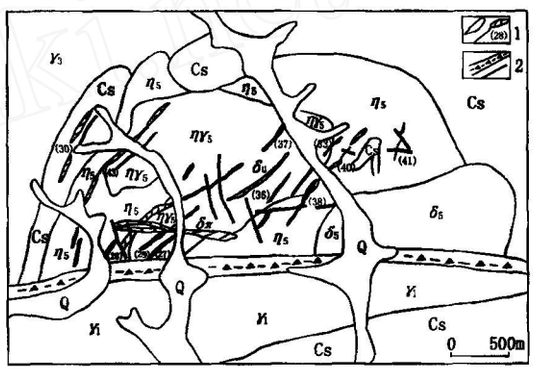

图1 吉林省海沟金矿床地质图

Q—第四系;Cs—色洛河杂岩;δ_5—燕山期闪长岩;$\eta\gamma_5$—燕山期二长花岗岩;η_5—燕山期二长岩;γ_3—加里东期花岗岩;γ_1—晚太古代英云闪长岩;δ_π—正长闪长斑岩;δ_u—闪长玢岩;1—矿脉、石英脉及编号;2—破碎带及断层

2 断裂构造与控矿作用分析

2.1 容矿断裂空间展布

矿区容矿断裂主要是NNE—NE向,倾向NW或SE,其主要斜列展布于东西向基础断层上盘,可划分为3个脉群构造,如图1所示[1]。

28号脉群构造是矿区最主要的容矿断裂构造带,长约3000 m,宽约350 m,总体走向NE45°,带内平行断裂发育,控制了28号、29号、37号等多条平行矿脉的产出。矿山主体开采的28号矿脉,位于此带内,目前已控制长1900余米。各断层总体倾向NW,倾角40°~80°,多在60°~75°之间。38、43号脉群,位于28号脉群两侧,间距约500 m(以主脉间距来确定),分别控制了34号、36号、33号、40号、41号和43号、30号等石英脉,各脉群产状与28号脉群基本一致,主体呈NNE走向,但脉群规模相对较小,长度分别为1700 m、1000 m,宽度为300 m和500 m。矿脉主要产于燕山期海沟岩体中,仅有43号脉群的部分矿脉产于色洛河杂岩中。

2.2 容矿断裂活动与控矿

区内容矿断裂普遍具有多期继承性活动特点,

[收稿日期]2002-01-17;[修订日期]2002-03-04;[责任编辑]余大良。
[第一作者简介]孙 岳(1963年-),女,1985年毕业于中国地质大学,获学士学位,现主要从事计算机、地质工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不同时期、不同阶段断裂活动方式与性质有较大的差异。据其与成矿的关系,可划分为三期(11 次)活动[2],三期活动为:①成矿前期活动;②成矿期内活动;③成矿后期活动。

本文重点探讨成矿期内石英脉就位时断裂的运动学特征。依据野外地质测量:①含金石英脉内发育有绢云石英片岩和闪长玢岩等围岩角砾发育,角砾棱角鲜明,大小不一,且局部可见硅化胶结的张性角砾岩;②含金石英脉内晶洞构造发育,并发育有对壁斜列生长的石英晶体;③石英脉在陡处增厚,在缓处变薄,说明断裂上盘是向下滑动的。对古构造应力解析,统计大小石英脉产状 353 个,极密中心为 124°∠63°、317°∠58°。通过解析换算可知:在石英脉就位时,最大主压应力轴近直立,产状为 234°∠79°;中间应力轴 NE 向近水平,产状为 40°∠11°;最小主应力轴即张应力为 NW 向近水平,产状为 131°∠1°。根据上述可以认为 28 号断裂构造(脉)在成矿期内以张剪性左行正断活动为主,而且成矿期内第一阶段即石英脉就位时断裂活动强度最大,活动历史较长。而第二、三、四阶段活动强度相对较弱,活动时间也相对较短,是第一阶段主张应力作用的余波,显示了应力集中释放,释放再集中的脉动特点,在成矿作用上表现为矿化阶段性。

综上所述,在石英脉就位时,北北东、北东向容矿断裂构造在 NW 向水平张应力和重力作用下发生正断下滑和较弱的左行平移活动,在断裂构造带内产生扩容空间,特别是在断裂产状变陡处更易形成规模较大的扩容空间(虚脱空间),发育更厚的石英脉;而在断裂带产状很缓处,不易产生自由空间,从而造成石英脉尖灭或变薄形成一系列细脉。其次,在成矿期内的第一次活动后(石英脉就位后)矿区构造应力场没有多大变化,各构造部位基本延续了原来的受力特点,因此在石英脉发育较强地段,易产生多阶段矿化叠加作用,形成具有工业价值金矿体和富矿体,如 28 号石英脉。

2.3 断裂面形态、储矿空间与矿体定位分析

28 号容矿断裂(脉)是矿区内规模最大的一条容矿断裂,其控制的金储量占矿床储量的 80%。为了研究断裂控矿特征,笔者利用钻孔、坑道等资料,首先作了 10 线—49 线间的 28 号断裂面形态趋势分析(断裂面以石英脉中轴面为准)。其次,考虑到 28 号容矿断裂的绝大多数地段被矿化石英脉充填,石英脉与金矿体具有良好的对应关系,石英脉发育程度、规模又取决于扩容空间(储矿空间)的大小,而容矿断裂带内扩容空间又受断裂面形态和断裂活动方式联合控制等。基于此认识,建立了断裂在不同活动方式下可能形成扩容空间函数表达式(1),即 28 号容矿断裂在石英脉就位时,所受的最大主压应力近直立 234°∠79°,最小主应力方向为 NW 向水平 131°∠1°,在此构造应力状态下,断裂不仅产生正断下滑和弱的左型滑移,而且产生一定规模的横向位移,扩容空间为断裂上下盘相对滑动形成的虚脱空间和横向位移产生的自由空间之和(相对大小,图 2)。其三,将 28 号石英脉的 248 组控制的厚度、金品位、线金属量、反映断裂形态的数据(一次趋势剩余值)及模拟的扩容空间(断裂正断下滑、左行正断下滑、右行正断下滑)等变量,建立 GIS 地理信息数据库,形成统一的纵投影图,并利用 GIS 图层分析技术,研究各因素(变量)空间展布特征及相互间的关系,从而查明断裂面形态变化和断裂活动控矿的规律。

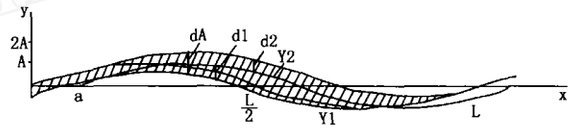

图 2 断裂两盘相对滑移、楔状破裂与扩容空间关系示意图

在岩石完全不可压缩理想状态下断裂相对滑动产生虚脱空间厚度为:

$$d_1x = y_2 - y_1 = A\sin\frac{2\pi}{L}(x-\alpha) - A\sin\frac{2\pi}{L}x + A\sin\frac{2\pi}{L}\alpha$$

由于近直立方向上隆和水平横向拉张,岩石多产生楔状破裂(图 2),破裂角非常小,因而其横向位移量:$d_2(x) = (L_1 - x)\beta$

合成的扩容空间函数:

$$d_A(x) = d_1(x) + d_2(x) = \frac{2\pi}{L}(x-\alpha) - A\sin\frac{2\pi}{L}x + A\sin\frac{2\pi}{L}\alpha + (L_1 - x)\sin\beta \quad (1)$$

x— 为上盘下滑的方向;

y— 断面总体产状的垂向;

A— 波形的振幅;

L— 波长;

a— 上盘下滑的位移量;

L_1— 断裂的倾向最大延伸;

β— 楔状破裂角的度数。

从研究结果可知:①28 号断裂的一次趋势面的拟合度为 83%,说明断裂面基本上是一斜面,但是

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

波状起伏特征显著,凸峰、凹谷交替出现(图3)。断裂面主要由两组方向波形迭加而成,其中一级波形的凸峰、凹谷向北东方向侧伏,侧伏角约35°,与28号矿脉(石英脉)总体侧伏方向一致,二级波形的凸峰、凹谷向南西方向侧伏,侧伏角55°,与矿脉内小矿体特别是北东段矿体侧伏方向一致。②28号石英脉主体为一规模较大的单脉,35线以西向北东侧伏,侧伏角35°左右;35线以东,侧伏方向转为南西侧伏,侧伏角50°左右(图4)。③矿体的金品位和线金属总量的分布规律与石英脉基本一致,三者间有较好的对应关系,即石英脉厚度越大,形成的工业矿体的规模也就越大,金品位也相对较高。④28号容矿断裂在左行正断下滑时模拟的扩容空间(图5),与石英脉厚度、线金属总量分布特征对应较好,石英脉和矿体侧伏特征及厚度中心和矿体富集中心,在模拟图相同位置上均有很好的再现,形态基本一致。⑤正断下滑作用下的模拟图吻合程度次之,而右行正断下滑作用下和其它方向运动(逆冲、右行逆冲、左行逆冲)的模拟结果与石英脉实际分布差别较大,也不符合成矿期断裂活动实际情况。

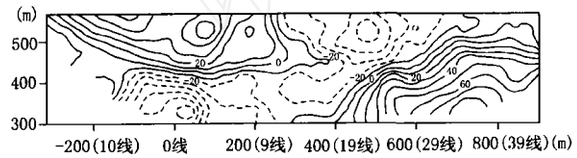

图3　28号断裂面一次趋势剩余图

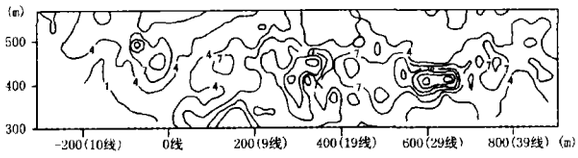

图4　28号石英脉水平厚度纵投影等值线图

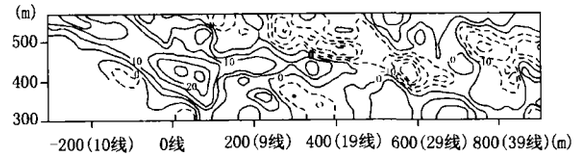

图5　28号容矿断裂在左行正断下滑时可能产生的扩容空间纵投影等值线图

3　元素地球化学异常模式

3.1　元素组合

对海沟金矿28号含金石英脉不同中段进行了系统采样(107件),以各元素的浓度克拉克衬度大于2为标准,矿脉的主要微量元素组合为:Au、Pb、Mo、Ag、Bi、Hg、Sb、As;以形成异常各元素浓度克拉克值大于4为标准,主要矿脉标型元素组合是:28号脉:Au、Pb、Mo、Ag、Bi、Hg、Sb。依据28号脉原生晕异常元素R型聚类分析谱系图,将15个异常元素分为6组,其中Au与Hg、Ag、Bi相关性最好,其次是As、Co、Ni、V、Sb、Cu、Mo。

3.2　元素分带规律

依据28号脉各中段各元素轴向分带指数而做出的各元素轴向变化规律图,及利用C B格里戈良方法计算的微量元素分带系列从上至下依次为:Hg－Co－V－Ba－Zn－Sb－Ni－W－Ag－Pb－Cu－Bi－Au－As－Mo,利用叶米克维亚特科夫斯基的方法计算结果,各元素从上至下轴向分带序列为Hg、Co、V－Zn、Sb－Ni、W－Ba、Ag－Pb、Cu、Bi、Au、As－Mo。

根据各中段异常元素R型聚类分析谱系图及各中段元素相关性组合确定的元素相关性组合垂向变化特征是:从上至下依次为Au、Hg、Ag、Bi——Au、As、Ni、Co、V－Au、Ag、Bi、Sb、Pb、Cu－Au、Ag、As、Bi、Pb、(Sb)——Au、V、Mo、(Hg)。

海沟金矿原生晕异常浓度分带亦极为显著,分为外、中、内3个次级异常带,分带标准是以该矿床指示元素背景值加上2倍均方差作为异常下限或外带异常下限,以异常下限的2、4倍作为异常中带和内带下限。利用GIS编制了各元素(15个)异常浓度垂直纵投影图,从图层叠加分析可知:Hg、Sb出现在矿体前缘和头部,As、Ag、Ba、Zn异常出现在矿体上部;Pb、Bi多在矿体部位富集;Co、Ni、V在矿体上、下部(外围)出现高值,而在矿体部位出现负异常,Mo的强异常多位于矿体下(尾)部。

3.3　金矿床地球化学异常模式

海沟金矿床地球化学异常模式综合总结为:①形成原生晕异常元素有Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Co、Ni、V、Cu、pb、Zn、Ba;其中Ag、Bi、Hg、As为最佳指示元素;②指示元素理想垂直分带序列从上往下是Hg－Zn、Ba、Sb、As－Ag、Pb－Au、Bi、Cu—Mo、(Co、Ni、V?);③异常中特征元素组合分带:矿体顶部及前缘异常Hg、Sb、(Ba、Zn),上部异常:Ag、Pb、As,中部异常Au、Bi及Co、Ni、V(低值),下部异常Mo。

4　预测与评价

成矿预测方法核心是空间和物质二者有机的结合,有空间没有物质成不了矿,有物质没有其容纳的

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

空间也不行。二者的综合研究，能够经济、有效地对矿体深部及其外围含矿性进行预测。

4.1　找矿预测评价指标

1）扩容空间：通过对容矿断裂在石英脉就位时扩容空间的研究，即建立断裂面的波形变化的数学方程，模拟深部和未知矿段可能产生的扩容空间，确定未知石英脉和矿体可能产出部位。

2）地球化学分带：通过矿体内元素地球化学的研究，确定的分布规律及其与金矿化关系，确定未知矿体可能形成的部位。

3）通过矿体分布特征、矿化、蚀变、断裂分带等规律研究分析未知矿段成矿的可能性。

4.2　构造成矿预测

金矿体产出部位和矿化强度与容矿断裂石英脉就位时形成扩容空间关系密切，确定了容矿断裂的扩容空间分布与规模，也就基本上明确了金矿体可能形成的部位、规模和矿化强度。

断裂构造内的扩容空间模拟：首先进行断裂面形态模拟——利用 28 号脉勘探工程数据，求出断裂面（石英脉中轴面）一次趋势异常数据，然后以该数据为基础，用设计的计算机程序[3]，进行波形分解，建立波形函数方程；再计算出模拟地段（50 ~ 570 m 段高、14 ~ 73 线）的函数值（每个波形曲线点到趋势基准斜面的距离——高程值），并制成纵投影图，即为 28 号脉断裂面的波形图（图 6）。将已知区段与图 3 对比可知，合成的波形图（模拟的断裂形态图）与实际的断裂面形态图吻合良好。有了断裂形态模拟图，就可以模拟 28 号容矿断裂在各种活动方式下可能产生的扩容空间。与已知矿段的矿体和石英脉分布图（图 4）进行对比分析，左行正断下滑模拟图（图 7）吻合程度较好，也符合断裂构造实际活动情况，正断下滑模拟图次之，右行正断下滑模拟图，偏差较大。

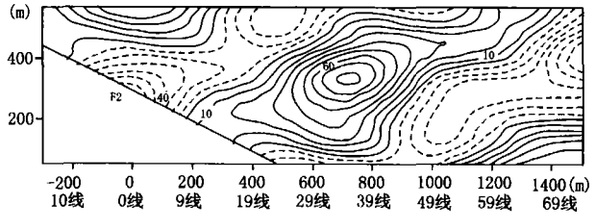

图 6　模拟的 28 容矿断裂面波形图

据模拟扩容空间可知：29 ~ 49 线（600 ~ 1000 m）之间，标高在 150 ~ 400 m 处有一略向北东侧伏扩容区（1 号靶位）；在 150 m 中段以下 23 ~ 43 线（500 ~ 900 m）有一向北东侧伏扩容区（2 号靶位）；

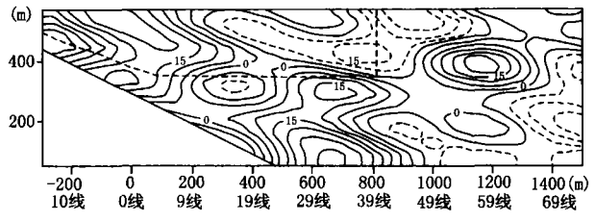

图 7　利用波形函数模拟的 28 号容矿断裂在左行正断下滑时产生的扩容空间纵投影等值线图

在 49 ~ 73 线（1000 ~ 1500 m）区段，低部标高为 200 m，有一向南西侧伏扩容带（3 号靶位）。需要指出的是：3 号靶位在 69 线附近石英脉应该在地表出露，此处恰是 37 号脉位置，说明 37 号脉是 28 号脉带在北东方向的延伸。

4.3　地球化学找矿预测

海沟金矿区地球化学找矿标志综合总结为：①金矿地球化学异常分带模式中前缘晕、矿体不同标高的晕及尾晕的特征元素组合，尤其是叠加晕的存在；②元素轴向分带序列中上、中、下元素综合特征③不同标高与金相关元素组合特征。

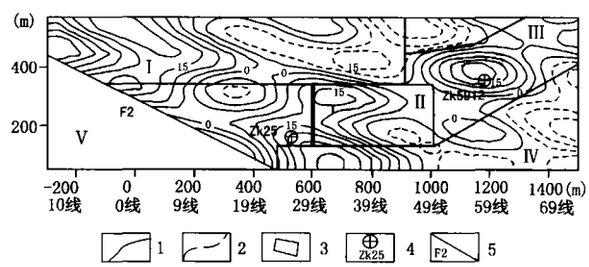

图 8　28 号脉深部及北东段综合预测图

1—扩容区等值线；2—压缩区等值线；3—地球化学预测区；4—验证钻孔；5—断层；Ⅰ—已知区；Ⅱ—1 号靶位置；Ⅲ—2 号靶位置；Ⅳ—3 号靶位置；Ⅴ—无效区

利用 GIS 技术编制 28 号脉不同部位水平切面的指示元素异常图，并对照已建立的地球化学找矿模式和标志，进行异常对比分析，认为 28 号脉深部和北东延伸方向还有巨大的找矿潜力。预测靶位 3 处。1 号靶位：29 ~ 45 线（600 ~ 960 m），370 ~ 150 m 标高之间，依据是 410 中段样品 Au、Ag、Bi、Hg、Pb 已出现外带成中带异常，为矿体上部晕元素组合，说明该矿体已露头，向下北东向还应有一定的稳定延深。2 号靶位：49 线以东（1000 m 以东），标高从地表开始，深部标高不详，依据是出现 Au、Ag、Pb、Bi 外带异常，Hg 中带异常。3 号靶位：23 ~ 41 线（500 ~ 800 m），200 ~ 50 m 标高之间，依据是 370、330、290 m 标高 3 线—23 线的微量元素 Au、Ag、Hg、Ba、Mo 含量较高，头晕和尾晕元素均出现，是叠加晕特

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

征等,矿体向北东侧伏。

综合28号脉的构造地球化学应用方面的研究成果,编制了综合预测图(图8)。目前,在预测的2号靶位中心部位施工的钻孔,已见6 m厚的含金石英脉。

[参考文献]

[1] 曾庆栋. 吉林省海沟金矿隐伏矿体预测[J]. 黄金科学技术,1998(6):5~6.

STUDY ON GEOCHEMICAL PREDICTION IN FAULTS IN HAIGOU GOLD DEPOSIT OF JILIN PROVINCE

SUN Yue, LEI Shi - bin QING Min, LI Qiang - zhi, LI Wen - liang

(*Gold Geological Institute of Armed Police of Chinese People, Langfang* 065000)

Abstract: Based on summary of characters of geometries, dynamics, movement and geochemistry of ore - controlling faults in Haigou gold deposit, the paper analyzes the ore - control regularity of faults and gold geochemistry using mathematical simulation and GIS map - layer analysis technology. A position predicting model has been built by fault geochemistry and potential mineral resources in the deep and periphery of No. 28 ore body are predicted.

Key words: fault, geochemistry, mathematical simulation, ore prospecting, Haigou gold deposit, Jilin Province

上海功成勘察设备有限公司

本公司由长期从事工程地质勘探、原位测试、土工试验、岩土检测、地基处理、机械制造等诸方面的行家加盟,以提高工程质量、提高工效为宗旨,致力于研发结构合理、材质优良、质优价廉的产品,为用户特殊要求设计制造专用仪器、设备、机具。总经理俞灿明热诚欢迎国内外客户光临、垂询。

- 与国际接轨的外径三英寸(76.2mm)和外径四英寸(101.6mm)不锈钢薄壁管和与之配套的TB型上提活塞式敞口薄壁取土器,TV型固定活塞式取土器,TV型自由活塞取土器,TS-1型双管单动取土器,TS-2型双管单动内镶环刀取砂器,TS-3型三重管单动取土器。(上述各类取土器以防腐材料制造)
- TK型外径89、外径108单管全断面取土器(结构独特、材质优良、取样率高)
- 内环刀取砂器(缩束式管靴、防腐耐用)
- 高强度地锚,小功率大扭力电动拧锚机,动力触探、标准贯入、自动落锤
- 三腔水压式自钻、预钻型旁压仪,静载荷试验设备(30吨级~1000吨级)
- 静力触探机、高强度高精度静力触探杆、优质屏蔽线,单桥、双桥、十字板探头
- 高、中、低压杠杆式固结仪,滚动隔膜气压固结仪,仿英式杠杆KO仪、固结仪
- 三轴(台式、立式)剪力仪,直剪仪、电动直剪,无侧限仪
- 击实仪、电动击实仪、土样粉碎、震筛机,土工实验室常用仪器、配件、工具
- 荷重、位移伤感器,数显、自动记录仪,土压力盒、钢筋应力机、孔隙水压力测量仪
- 公路勘察设备、分析仪器,钻探工具、配件

特约经销:同济汇乐科技公司、深阳市仪器厂、上虞市勘测土工仪器厂产品

地　　址:上海市沪太路1040号　　**邮　　编**:200065

电　　话:021-56051992、56056861、13040682825　　**传　　真**:021-56056861

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net