

doi: 10.12097/gbc.2022.11.008

胶西北地区谢家沟金矿床构造控矿规律及找矿方向

鲍兴隆¹, 钱建平^{1*}, 孙俊磊², 黄东哲¹

BAO Xinglong¹, QIAN Jianping^{1*}, SUN Junlei², HUANG Dongzhe¹

1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 金亭岭矿业有限公司, 山东 招远 265400

1. College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2. Jintingling Mining Company Limited, Zhaoyuan 265400, Shandong, China

摘要: 谢家沟金矿床位于胶西北招平断裂带的分支断裂上, 已进入危机矿山行列, 研究谢家沟金矿床的构造控矿规律对于其深部及外围找矿有重要意义。在矿区现场开展构造地质调查, 对矿脉及脉岩进行产状测量和统计, 结合岩矿分析和同位素测试成果, 重新厘定了矿区成矿构造系统。经研究可将成矿构造演化序列分为成矿前、成矿期和成矿后 3 期。矿区构造控矿规律表现为: 矿体在走向上具有明显的 NNE 向优选方位; 矿体总体由 SW 向 NE 侧伏; 脉组呈左行雁列产出并具有明显的矿化中心; 矿化分带与构造蚀变分带具有一致性。本文提出了 2 个找矿预测靶区, 为下一步找矿增储提供参考。

关键词: 谢家沟金矿床; 构造控矿规律; 成矿构造; 构造样式; 找矿预测

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)05-0680-12

Bao X L, Qian J P, Sun J L, Huang D Z. Ore-controlling structure and exploration target of Xiejiaogou gold deposit in northwest Jiaodong area. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(5): 680-691

Abstract: Xiejiaogou gold deposit is located on the branch rupture of the Zhaoping fault in northwest Jiaodong and has been a member of crisis mines. The study on the structural ore-controlling rules of the Xiejiaogou gold deposit is of great significance to its deep and peripheral ore exploration. The metallogenic tectonic system of the mining area is reconstructed, based on structural geological survey, measurement and statistics of the attitudes of the ore veins and vein rocks, and analysis results of rocks and ores and isotopic geochemistry data. The evolutionary sequence of metallogenic structure can be divided into three phases: pre-mineralization, mineralization, and post-mineralization. The structural ore-controlling rules of the deposit can be described as follows: the strike of the ore body is obviously controlled by NNE orientation fault; the pitch of the ore bodies are from SW to NE; the vein group is distributed in echelon and formed by sinistral shear and has obvious mineralized centers; and the mineralized zones are consistent with the tectonic alteration zones. This paper proposes two target areas and provides reference for future ore exploration.

Key words: Xiejiaogou gold deposit; ore-controlling rule of structural; mineralized structure; tectonic style; prospecting prediction

胶东地区是中国重要的金矿集区之一, 因其特殊的成因机制被称为胶东型金矿床(翟明国等, 2004)。胶东型金矿床主要受三山岛断裂、焦家断裂和招平(招远-平度)断裂一系列 NE 向断裂控制。招平断裂带是其东部一条重要的控矿断裂。姜琪等

(2010)认为, 招平断裂带由挤压型剪切带向伸展型或走滑型剪切带转换时, 金的成矿作用规模提高; Deng et al.(2011)认为, 金矿床内的蚀变带、矿体的分布严格受断裂构造的控制; 徐述平等(2010)对招平断裂带构造系统-蚀变-矿化特征做了系统研究,

收稿日期: 2022-11-03; 修订日期: 2023-10-09

资助项目: 国家自然科学基金项目《桂林地区碳酸盐岩层滑断裂构造地球化学系统的特征和动力分异机制》(批准号: 41263003)

作者简介: 鲍兴隆(1988-), 男, 在读硕士生, 从事成矿构造和构造地球化学研究。E-mail: 705341305@qq.com

* 通信作者: 钱建平(1953-), 男, 教授, 从事成矿构造和构造地球化学研究。E-mail: jpqian@163.com

认为矿体主要赋存在断裂构造的下盘; Yang et al. (2009) 提出, 自招平断裂面向下盘随破碎程度的减弱, 蚀变带、矿体规模也随之减小; 袁月蕾(2023)认为, 成矿过程中构造应力场与岩石组分迁移具有耦合关系。上述研究表明, 招平断裂成矿受控于特定的构造转换阶段、有利的构造部位, 并且矿化规模与构造变形强度呈正相关关系。

谢家沟金矿区位于山东省招远市西南约 7 km 处, 产于招平断裂西侧下盘次级谢家沟断裂带上。矿区断裂构造复杂, 岩浆活动频繁, 不同类型和产状岩脉十分发育, 金矿体均呈脉状产出, 构造控岩控矿作用非常显著。前人对该矿床开展了较多研究工作。杜泽忠等(2020)认为, 谢家沟金矿床与胶东地区金矿床是在同一成矿-热事件下形成的; 丁东胜(2020)认为, 谢家沟金矿的中酸性脉岩是在伸展构造背景下形成的; 韦延光等(2005)对矿床流体包裹体地球化学进行了详细研究, 总结了成矿过程中金沉淀的主要原因; 姚晓峰等(2020)对蚀变过程中元素的迁移规律、蚀变岩中钾长石年龄及石英闪长玢岩和花岗闪长玢岩 U-Pb 年龄进行了研究; 王建国等(2006)通过对谢家沟脆韧性剪切带控矿构造的系统研究, 将该矿床归为同韧性剪切带蚀变岩型金矿床; 张群喜等(2003)认为, 焦家断裂带与招平断裂带的构造运动为成矿提供了构造动力, 矿区矿脉受 NE 向、NNE 向断裂控制, 脉岩与金矿不仅具有较密切的时空关系, 而且有一定的成因关系。总的来看, 上述研究主要集中在矿床成矿条件和矿床成因方面, 而对本区成矿构造演化及其控矿规律未进行系统的研究。

谢家沟金矿于 2002 年开始矿山建设, 经过多年开采, 矿区资源储量面临枯竭, 找矿增储工作迫在眉睫。考虑到矿区构造控岩控矿作用显著, 本次系统地对本区现场构造地质进行调查研究, 对矿脉及脉岩进行测量和产状统计, 对以往的勘查资料整理和编图, 厘定矿区成矿构造系统, 总结矿区构造控矿规律, 进行成矿预测, 为下一步找矿增储提供依据。

1 矿区和矿床地质特征

1.1 矿区地质特征

1.1.1 矿区地层

区内地层简单, 主要有第四系粘土质粉砂岩、含

砾中粗砂岩(图 1)。

1.1.2 矿区断裂

研究区断裂主要为 NE 向和 NW 向。

(1) NE 向断裂

NE 向的谢家沟断裂带, 是招平断裂带的次级断裂带, 亦是区内主要的断裂, 其次级断裂发育, 由西向东规模较大的主要有 F_2 、 F_3 、 F_4 。其中, F_2 断裂走向 27° , 长约 320 m, 倾向 SE, 倾角 $75^\circ\sim 80^\circ$ 。 F_3 断裂是研究区主要的控矿断裂, 位于矿区中部, 走向 $25^\circ\sim 30^\circ$, 长约 1200 m, 倾向 SE, 倾角 $75^\circ\sim 85^\circ$ 。断面规整, 呈舒缓波状延伸。 F_4 断裂走向 22° , 长约 720 m, 倾向 SE, 倾角 $75^\circ\sim 80^\circ$ 。

谢家沟断裂具有多期活动特性, 早期主要表现为韧性剪切变形, 发育 S-C 组构、波状消光、亚颗粒、残斑眼球和旋转眼球、压力影、云母鱼等现象(王建国等, 2006; 张群喜等, 2008), 晚期主要表现为脆性变形, 带内可见断层泥、碎裂岩、碎裂状花岗岩、构造角砾岩、构造透镜体。

(2) NW 向断裂

该组断裂规模较小, 走向 $320^\circ\sim 350^\circ$, 倾向 SW, 倾角 $50^\circ\sim 80^\circ$ 。带内可见断层泥和角砾岩, 其中, 角砾岩磨圆度差, 呈棱角状。

1.1.3 矿区岩浆岩

矿区内岩浆岩十分发育, 约占总面积的 75%。玲珑花岗岩呈 NE 向岩基状产出, 内有黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩等变质岩残留体。花岗岩主要呈灰白色或深灰色, 片麻状构造, 矿物组成主要为石英、黑云母、长石等, 为片麻状黑云母花岗岩(刘文, 2015)。根据前人研究成果, 玲珑花岗岩的成岩年龄主要集中在 160~153 Ma(苗来成等, 1998)。

矿区脉岩极为发育, 密集成带产出, 在 1 km^2 的范围内发育了 40 多条脉岩。其中, 走向主要为 $NW330^\circ\sim 350^\circ$ 、 $NE10^\circ\sim 20^\circ$, 脉岩多倾向西, 少数倾向东, 倾角 $60^\circ\sim 63^\circ$, 主要由闪长岩和闪长玢岩组成岩脉群, 该岩脉群与金成矿有密切的时空关系(刘金鹏等, 2008; 孙杰等, 2012)。前人对成矿前和成矿后的闪长玢岩进行了 U-Pb 测年, 得出年龄为 $121.5\pm 1.5\text{ Ma}$ 和 $117.6\pm 1.2\text{ Ma}$ (Ma et al., 2018)。

1.2 矿床特征

1.2.1 矿体特征

目前矿区内已发现矿体 28 个, 沿 $NE30^\circ$ 方向展

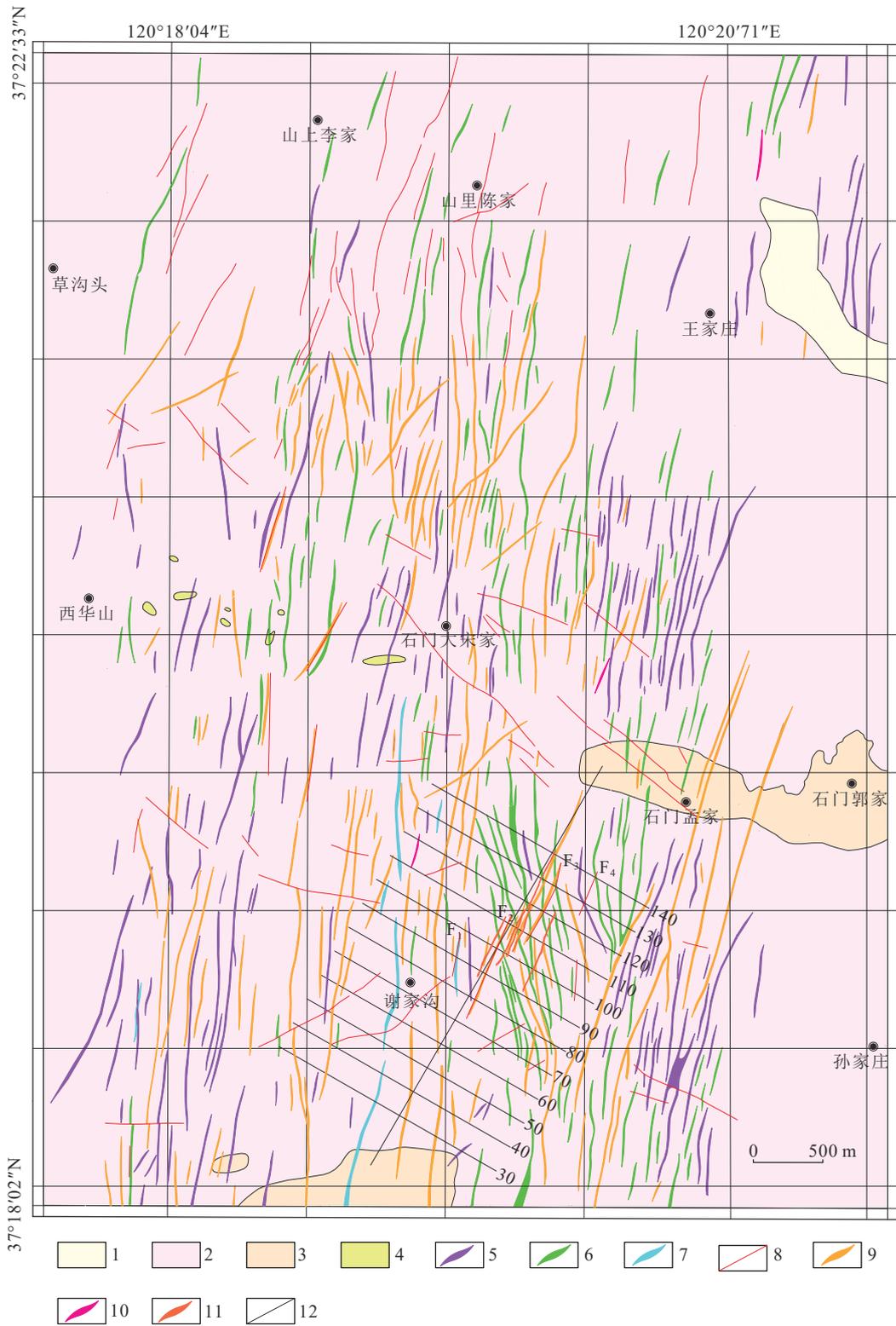


图1 谢家沟矿区地质图 (据山东招金地质勘查有限公司, 2016 修改)

Fig. 1 Geological map of Xiejiagou mining area

1—第四系; 2—侏罗纪玲珑花岗岩; 3—中生代中细粒含石榴二长花岗岩; 4—新太古代片麻状细粒英云闪长岩; 5—花岗斑岩; 6—闪长玢岩; 7—辉绿岩; 8—断层; 9—蚀变带; 10—石英脉; 11—金矿化; 12—勘探线

布, 矿体宽 80~100 m, 其中主矿体位于矿区 F₃ 断层下盘, 由 4 条金矿脉组成, 分别为 3-1、3-2、3-3、3-5。矿体主要埋深在 0~500 m, 走向 15°~30°, 倾向 280°, 倾角 76°。走向控制长度约 1 km, 呈尖灭再现的特征, 矿体厚度变化较大, 一般 3~15 m, 呈豆荚状、囊状分布。

1.2.2 矿石类型

区内矿石主要为黄铁绢英岩型, 其次为黄铁矿-石英脉型。黄铁绢英岩型: 该类矿石中金属矿物以黄铁矿为主, 其次为黄铜矿, 黄铁矿、黄铜矿呈浸染状分布于矿石中, 非金属矿物以绢云母和石英为主, 较破碎。黄铁矿-石英脉型: 该类矿石中金属矿物以黄铁矿为主, 呈团块状、脉状充填于石英脉裂隙中, 非金属矿物以石英为主。

1.2.3 矿石特征

矿石构造类型有细脉状构造、网脉状构造、浸染状构造、团块状构造, 以浸染状构造、网脉状构造为主。矿石结构较简单, 主要为碎裂结构、晶粒结构, 次有填隙结构、熔蚀结构、乳滴状结构及包含结构。依据矿石中金属矿物的结晶程度, 可分为自形粒状结构、半自形粒状结构和他形粒状结构。黄铁矿呈自形、半自形或他形粒状, 黄铜矿、方铅矿、闪锌矿呈他形粒状。矿石矿物组合中金属矿物以黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、金银矿等为主, 脉石矿物以石英、方解石、绿泥石、绢云母等为主。

1.2.4 围岩蚀变

矿床主要围岩蚀变类型有绢英岩化、黄铁绢英岩化、黄铁矿化、钾化等。

绢英岩化是区内最广泛的一类蚀变, 绢英岩化带一般宽几米至数十米不等。花岗质岩石经绢英岩化之后, 原岩结构模糊, 长石边界不清, 出现大量绢云母和游离石英, 形成类似蠕虫状结构。

黄铁绢英岩化部位即为该矿床的主矿体所在部位, 矿体品位的高低与绢英岩中黄铁矿含量呈正相关关系。黄铁矿呈细粒状、浸染状或细脉状叠加于绢英岩化之上, 构成黄铁绢英岩, 其宽度较绢英岩窄, 黄铁矿的含量随远离矿脉而减弱, 黄铁矿化的出现与矿脉内硫化物成矿阶段的发育程度及绢英岩的碎裂程度有关。

钾长石化是研究区较早出现的围岩蚀变, 是在

高温碱性条件下形成的。钾长石呈深肉红色, 自形、半自形, 粒径为 1~1.5 cm, 无双晶, 团块状, 分布不均匀。钾化蚀变多分布于蚀变带外侧。

1.2.5 找矿标志

(1) 构造标志: 受招平断裂带控制, 区内多见 NE 向构造, 是重要的容矿和导矿构造, 因此 NE 向构造及主干断裂和分支断裂的交会部位都是重要的找矿标志。

(2) 围岩蚀变标志: 绢云母化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化与金矿化具有良好的一致性, 这些蚀变现象是重要的找矿标志(马伟东, 2014)。

2 构造控矿规律

矿体作为三维空间的几何体, 矿区构造对金成矿具有重要的控制作用(钱建平等, 2018, 2020)。基于矿区矿体现场地质观测和矿体在三维空间上的产出特征分析, 可得出矿区构造控矿具有明显的规律性。

2.1 控矿构造样式

矿区主干构造为 NE 向的招平断裂带, 由招平断裂带衍生出一些 NNE 向次级分支构造, 二者交会构成“入”字形构造。“入”字形分支构造控制了金矿田和矿床的产出, 其中九曲蒋家断裂控制了大庄子金矿、阜山金矿(刘国栋等, 2019; 钮涛等, 2022); 玲珑断裂控制了玲珑金矿(姜琪, 2010; 刘成等, 2010); 谢家沟断裂控制了谢家沟金矿(图 2)。

2.2 矿体发育与脉岩的联系

矿区的中基性脉岩两侧常形成富矿体, 指示控矿构造与控矿构造具有一定的相似性, 中基性脉岩上侵的同时或稍后伴随含金热液的叠加成矿作用。此外, 在脉岩产状和形态变化部位容易形成富矿体, 品位相对较高。前人对谢家沟金矿成矿时代进行了详细研究, 将成矿年龄限定在 130~105 Ma(辛洪波等, 2006; 张群喜等, 2007), 这与区域上闪长玢岩类脉岩年龄(121.5±1.5 Ma、117.6±1.2 Ma)(Ma et al., 2018) 相近。

2.3 控矿构造方向的优选性

对矿区地表和井下脉岩(149 条)及井下已编录厚度大于 0.40 m 的矿体(142 条)产状进行了系统测量和统计分析, 分别编制了产状极点图和玫瑰花图(图 3、图 4)。

由图 3 可知, 脉岩的主极密产状为 285°∠80°, 在

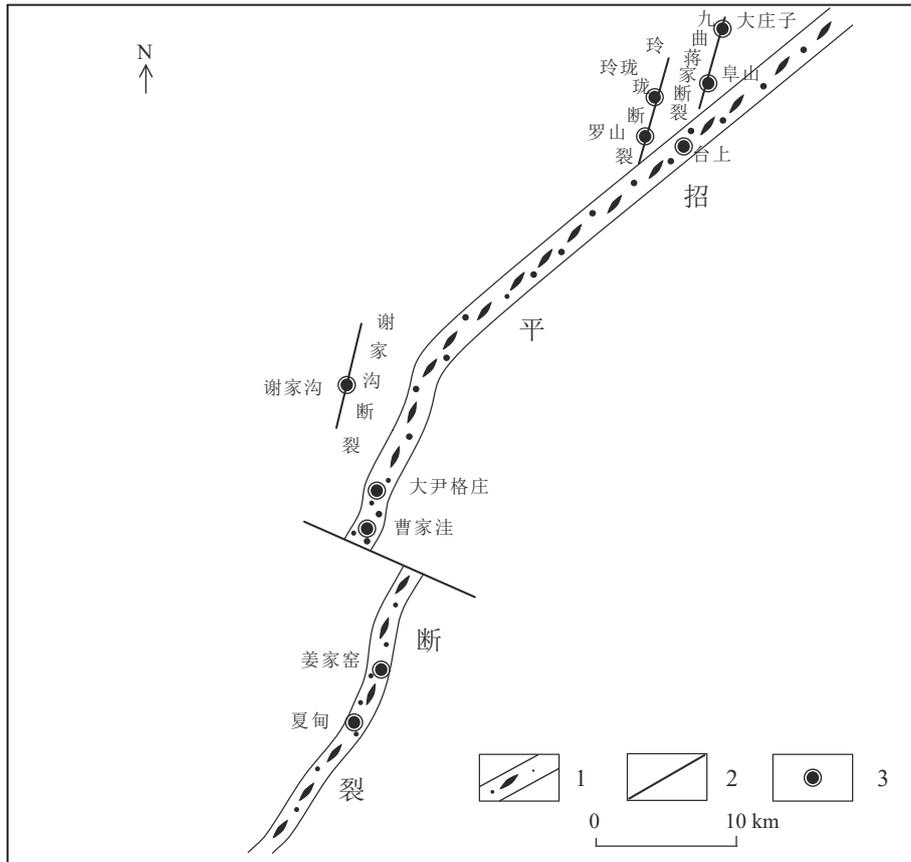


图2 区域“入”字形构造示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the regional λ-type structure

1—招平断裂带; 2—次级断裂; 3—金矿床

走向为 15° ; 次极密产状为 $245^\circ \angle 76^\circ$, 走向为 335° , 对应为 NNE 向和 NNW 向脉岩产状, 结合这些脉岩产状陡立、形态不规则等特征分析, 推断这些中基性脉岩主要为 NWW 向拉伸构造应力场作用下沿 NNE 张性断裂充填的产物。

进一步编制花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩脉走向玫瑰花图(图 5)。由图 5 可以看出, 各类岩脉走向以 NNE 向为主, 其他方向发育很少。

由图 4 可知, 矿脉的主极密产状为 $112^\circ \angle 80^\circ$, 次极密产状为 $280^\circ \angle 76^\circ$, 走向为 NNE 20° 。结合这些矿脉受 NE 向招平断裂带和 NNE 向“入”字形分支断裂控制, 矿脉产状陡, 形态不规则等特征分析, 认为矿脉受成矿期左旋剪切构造应力场控制。

2.4 矿体具 SW 向 NE 侧伏规律

为了更好地认识主矿体的控矿构造特征, 分别编制联合勘探线剖面图(图 6)和矿体垂直纵投影图(图 7)。由图 6 可知, 矿区矿体走向为 NE $15^\circ \sim 20^\circ$, 倾角近于直立, 形态不规则。矿体由 SW 向 NE, 产

出标高由浅变深。由图 7 可知, 已控制矿脉带总体位于 80~150 线, 总长度为 1400 m, 产出标高+300~-430 m, 矿体延深达 730 m。矿体形态呈中间大、两端小, 由 SW 到 NE, 产出标高由浅到深。进一步观察显示, 矿体呈多个矿块产出, 2 个较大的矿块位于 80~115 线、125~150 线, 在 115~125 线之间存在无矿间隔带, 矿体上下边界不规则。

结合图 6、图 7 分析可知, 矿体有整体向 NE 向侧伏的趋势, 侧伏角在 30° 左右。

2.5 矿体呈左行雁列状产出

对矿区 170 中段到-470 中段以 15 个中段平面图编制联合中段平面图(图 8)。由图 8 可以看出, 矿体总体走向为 NE 30° , 倾向 NW, 倾角较陡。单个脉体呈透镜状, 大小不均, 脉体沿走向方向明显呈左行雁列展布(图 9), 走向为 NE 15° , 雁列角 15° , 反映成矿期的构造应力场为左旋剪切作用。

2.6 矿体具有明显的矿化中心

利用 3Dmine 矿业软件构建了-230~-470 中段

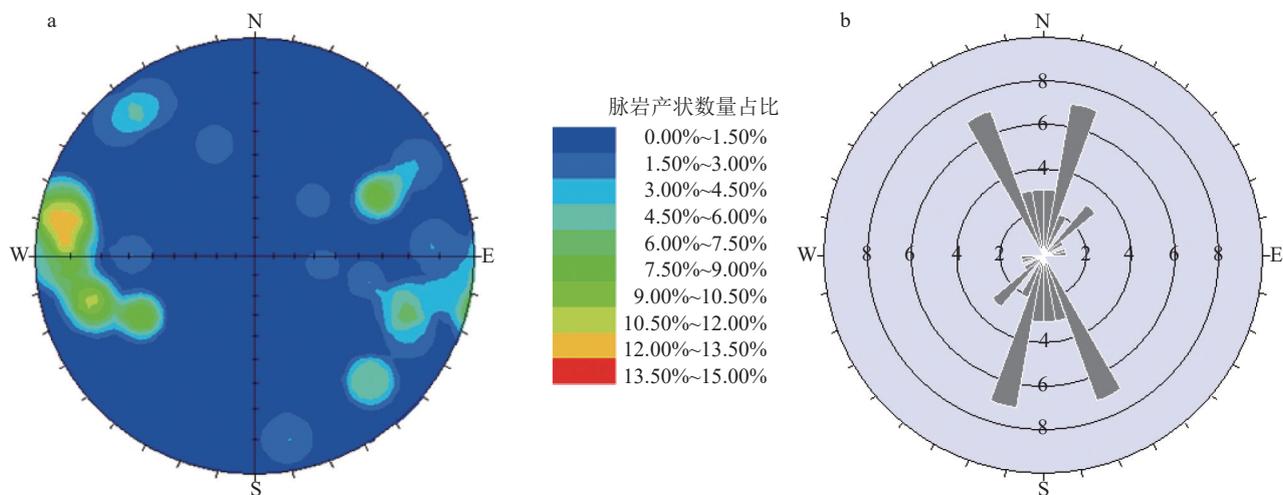


图 3 矿区脉岩产状统计图

Fig. 3 Statistical map of vein rock attitudes in the mining area

a—脉岩产状极密图; b—脉岩产状玫瑰花图

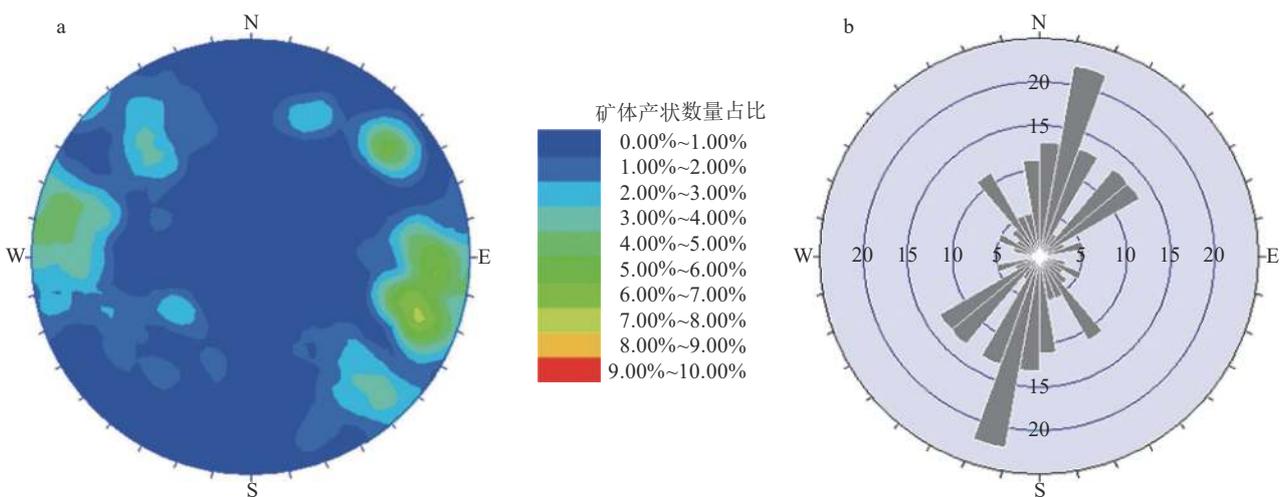


图 4 矿区矿体产状统计图

Fig. 4 Statistical map of ore body attitudes in the mining area

a—矿脉产状极密图; b—矿脉产状玫瑰花图

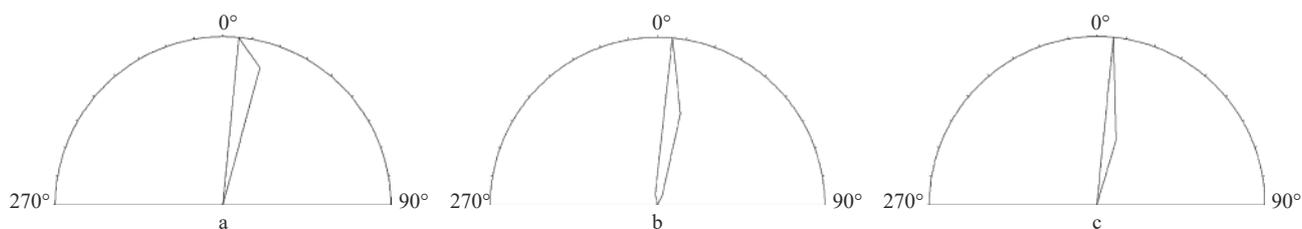


图 5 脉岩走向玫瑰花图

Fig. 5 Strike rose diagram of vein rock

a—花岗岩; b—闪长玢岩; c—辉绿岩

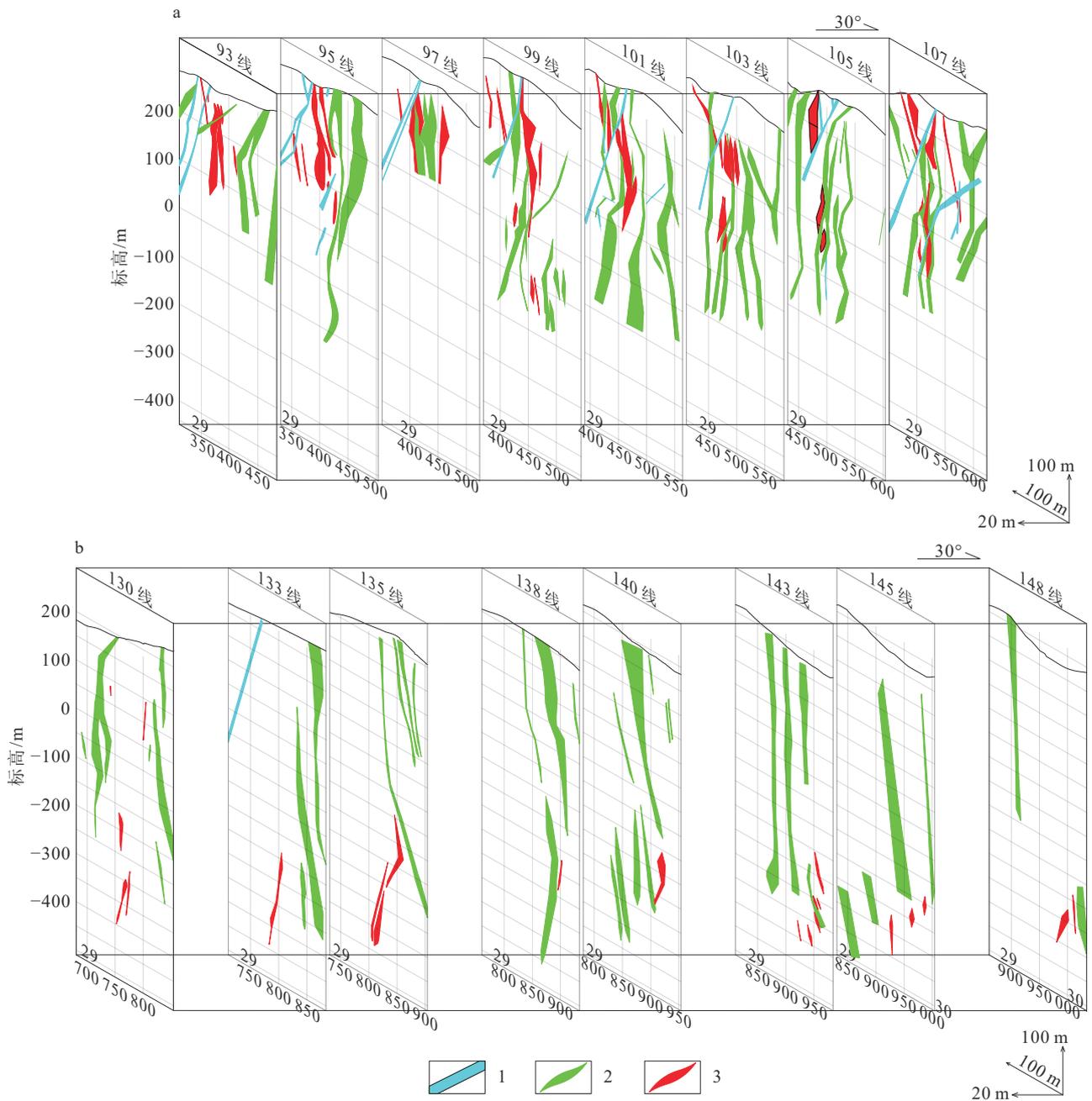


图 6 矿区联合勘探线剖面图

Fig. 6 Integrated exploration line profile in mining area

a—93 线-1 线联合勘探线剖面图; b—130 线-1 线联合勘探线剖面图; 1—断层; 2—脉岩; 3—矿体

的三维矿体模型。由图 10、图 11 可以看出, 矿体整体走向呈 NE 向, 倾向 NW。矿体富集带位于 X: 29700~31000, Y: 32150~32650 之间。并且由图 10 能明显看出, 该矿体可进一步分为 2 个矿块: 一个矿块的范围是 X: 29700~29850, Y: 32150~32350, 其厚度最大为 11 m, 平均品位为 2.10 g/t, 其中心坐标为 X: 29750,

Y: 32250, 标高在 -335 m; 另一个矿块的范围是 X: 29900~3000, Y: 32350~32550, 其厚度为 15 m, 平均品位为 1.96 g/t, 中心坐标为 X: 29950, Y: 32450, 标高为 -351 m。

2.7 矿化分带具有与构造蚀变分带的一致性

由井下观察可以看出, 围岩蚀变具有一定的分

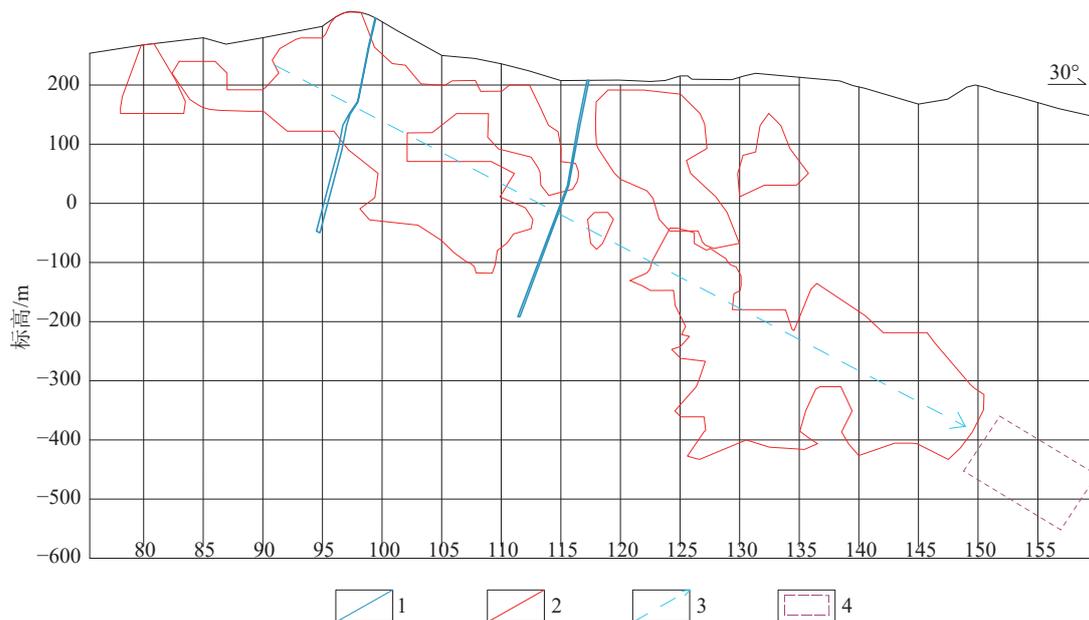


图 7 矿区矿体垂直纵投影图

Fig. 7 Vertical longitudinal plan of the ore body in the mining area

1—断层; 2—矿体边界; 3—矿体侧伏方向; 4—预测深部找矿靶区

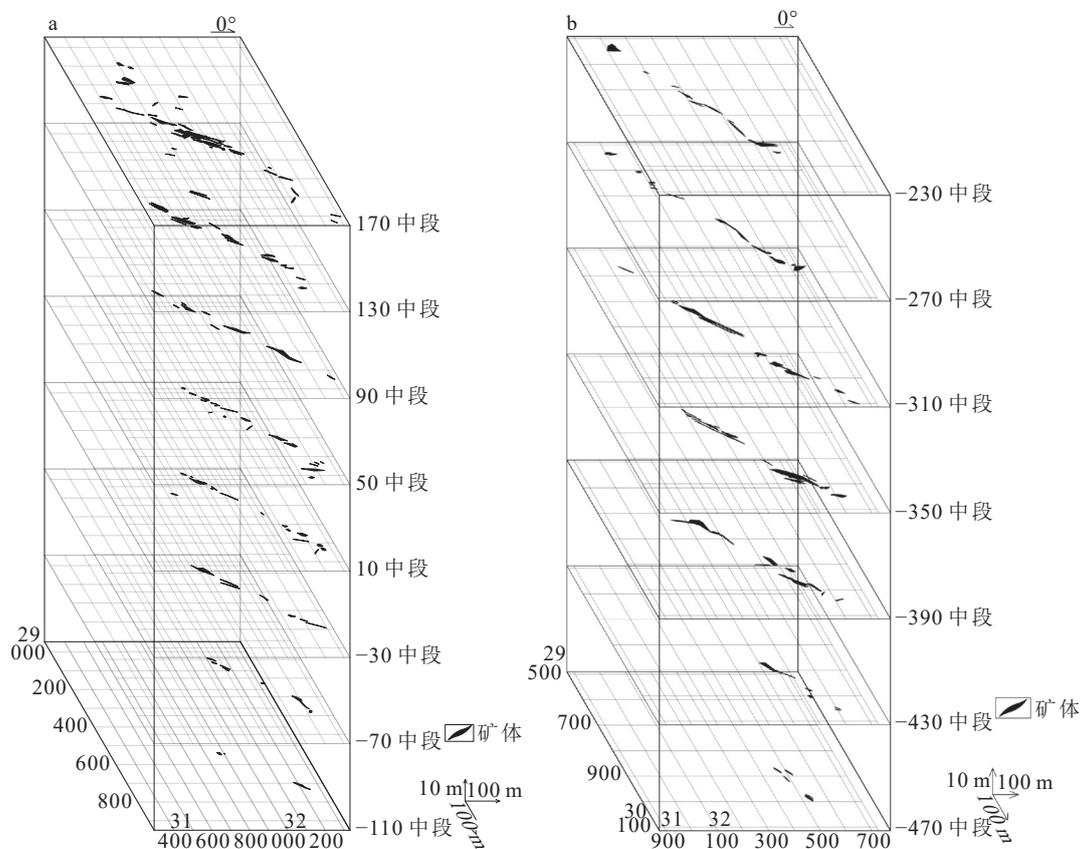


图 8 矿区联合中段平面图

Fig. 8 Combined geological level plan in the mine area

a—170~-110 中段; b—-230~-470 中段

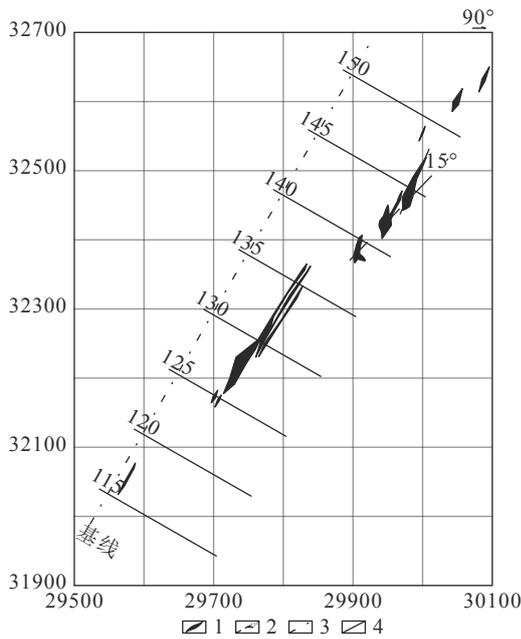


图9 -310中段雁列脉

Fig. 9 Echelon vein at the level -1
1—矿体; 2—雁列角; 3—基线; 4—勘探线

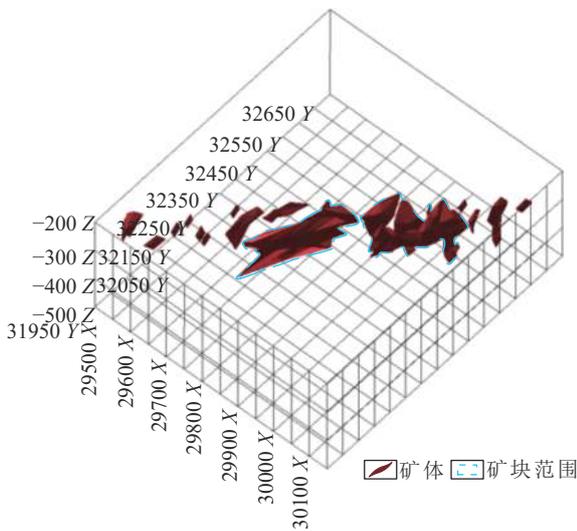


图10 矿体模型图

Fig. 10 Model diagram of the ore bodies

带性(图 12), 且主要分布于构造变形作用较强的地段, 表现为构造蚀变带中部为强硅化和绢英岩化, 远离构造蚀变带的中心硅化和绢英岩化减弱, 渐变过渡到构造蚀变带两侧的钾化花岗岩。其中硅化、强绢英岩化带宽主要为 1~10 m, 最大不超过 15 m。弱绢英岩化、钾化带厚度变化较大, 一般几米至几十米, 最厚处可超过 100 m。

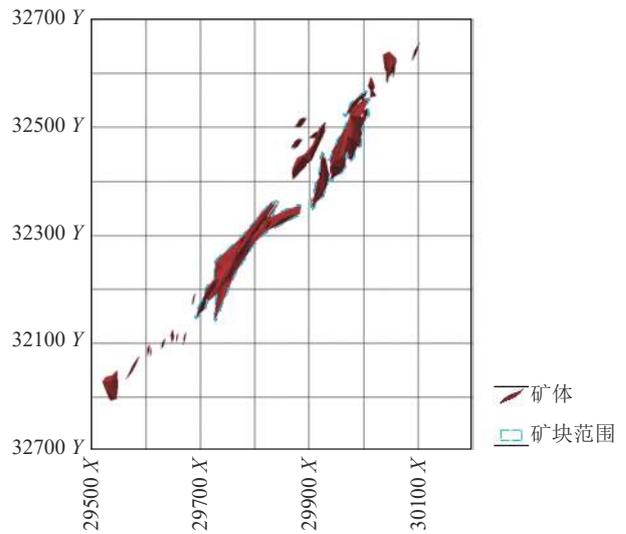


图11 矿体模型俯视图

Fig. 11 Top view of the ore body model

相应的金矿化类型亦有明显的分带性: 石英硫化物脉型金矿化一般位于压剪性断裂带的中心部位, 向两侧过渡为蚀变岩型浸染状金矿化。

3 讨论

3.1 成矿构造演化序列

前人对招平断裂带的构造演化进行了一系列研究。林文蔚等(2000)对本区较大的褶皱进行了野外调查, 得出招平断裂带演化的相对运动规律是左旋→右旋→左旋, 力学性质呈现扭性→扭张性→扭性→压扭性变化。霍庆龙等(2013)通过对招平断裂带内的构造分析, 认为招平断裂带经历了早期的左旋韧-脆性剪切变形, 中期经历了右旋脆性变形, 晚期再次发生脆性剪切变形。谢徽等(2016)对断裂带主要矿物进行显微构造研究, 发现其长石、石英、方解石的显微构造具有脆-韧性共存的特点。宋明春等(2018; 2022)通过矿体产状与断裂产状关系研究, 认为招平断裂在成矿期属于右行正滑或右行张扭性。

综合前人研究和本次研究成果, 总结出成矿构造演化序列(图 13)。

(1)成矿前: 早期, 区域上受 SN 向挤压应力作用, 形成 EW 向古老基底褶皱和压性断裂, 并伴有角闪岩相的区域变质作用和混合岩化作用。晚期, 区域上受 SN 向顺时针力偶作用, 形成 NE 向张性断

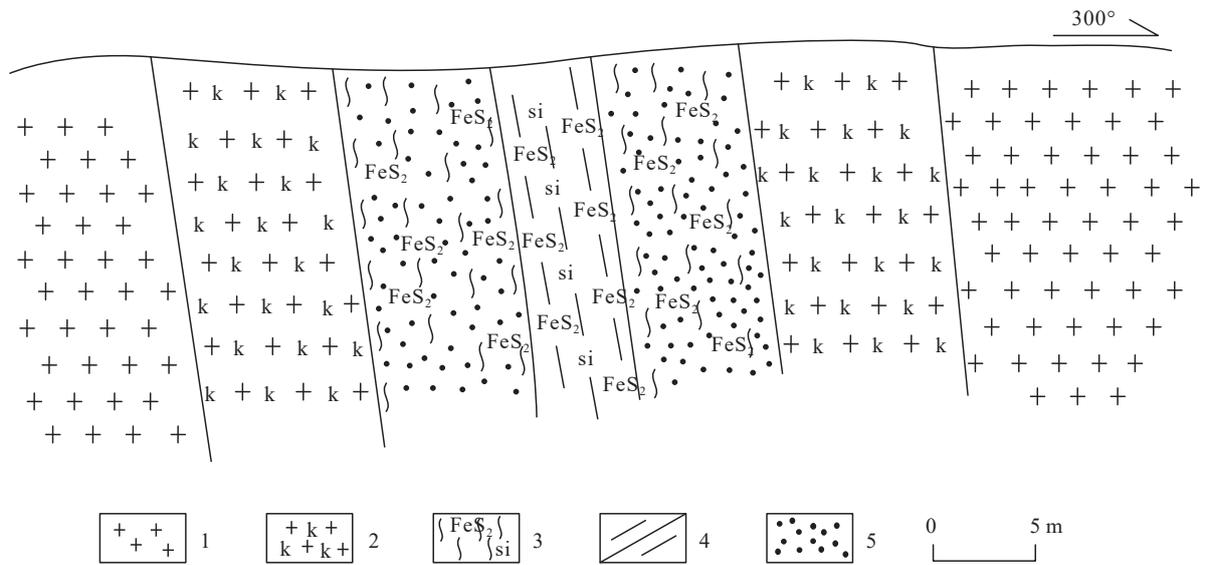


图 12 谢家沟矿区矿化蚀变分带(据杜泽忠等, 2020 修改)

Fig. 12 Mineralization and alteration zoning in the Xiejiagou deposit

1—玲珑花岗岩; 2—钾化花岗岩; 3—黄铁绢英岩; 4—石英硫化物脉型金矿体; 5—蚀变岩型金矿体

裂,同时受岩浆的热动力驱动,为玲珑花岗岩体上侵和定位。

(2)成矿期:早期,在中生代晚侏罗世—早白垩世,区域上受 SN 向逆时针力偶作用,构成 NWW—SEE 向挤压构造应力场,形成一组 NE 向压剪性断裂(三山岛断裂、焦家断裂、招平断裂)和 NNE 向分支次级剪性断裂,构成“入”字形构造,并产生韧性剪切现象;受 SN 向力偶持续作用,NNE 向分支次级剪性断裂微张开,为含金溶液充填或交代,形成蚀变岩型金矿体。晚期,区域上受 SN 向顺时针力偶作用,NNE 向断裂张开,为中基性脉岩充填,并伴随含金热液活动,表现在脉岩两侧和蚀变岩型金矿带中心形成石英脉型金矿体。

(3)成矿期后:区域上受 SN 向逆时针力偶作用,形成 NE 向压性断裂带,早期矿体被压碎形成构造透视镜体并伴随劈理化现象。

3.2 找矿预测

科学的成矿预测是在正确的成矿分析基础上进行合理推断(钱建平, 2011)。基于谢家沟金矿成矿构造特征和矿体产出规律,结合矿化蚀变和物化探资料分析,本文提出以下 2 个找矿靶区。

(1)根据矿区矿体的侧伏规律,在 3-1 矿体的 NE 侧提出 I 号靶区(图 7),其位于勘探线 150~155 线,垂向标高在-300~-500 m。据前人对谢家沟金矿原生叠加晕轴向分带序列研究,该轴向分带从

上到下具有一定的“反分带”现象,轴向地球化学参数也出现了几次转折,指示矿体向深部有很大延伸(田锋, 2005)。此外,矿山在-350 中段的 150 线以北进行探矿工程施工过程中亦发现了绢英岩化等蚀变现象。

(2)根据矿区矿体走向的优选性和雁列性,在矿区主矿体附近应注意寻找平行的次级矿体。矿区 3-1 号矿体东侧 100 m 发育一条次级 NNE 向断裂,前人对横切该断裂的 135 线剖面做物探叠加剖面图(张文明, 2006),发现在基线东侧 280 m,高程-300~-500 m 范围内存在一个低电阻异常区,与已揭露金矿体电阻值接近,同时在低电阻异常区 140KN5 号钻孔岩心样品观察发现矿化蚀变等现象,据此提出矿区 II 号找矿靶区(图 14)。

4 结论

(1)谢家沟金矿床受构造控制明显,矿体呈 NE 向分布,并向 NE 侧伏。单个矿脉沿走向方向呈左行雁列状产出。矿体具有尖灭再现的特点并有明显的矿化中心。

(2)矿区构造演化可分为 3 期:成矿前,受 SN 向挤压作用,形成 EW 向基底褶皱;受 SN 向顺时针力偶作用,形成 NE 向张性空间,为玲珑花岗岩充填。成矿期,受 SN 向逆时针力偶作用,形成 NE 向“入”字形构造,形成韧性剪切带及蚀变岩型金矿化;

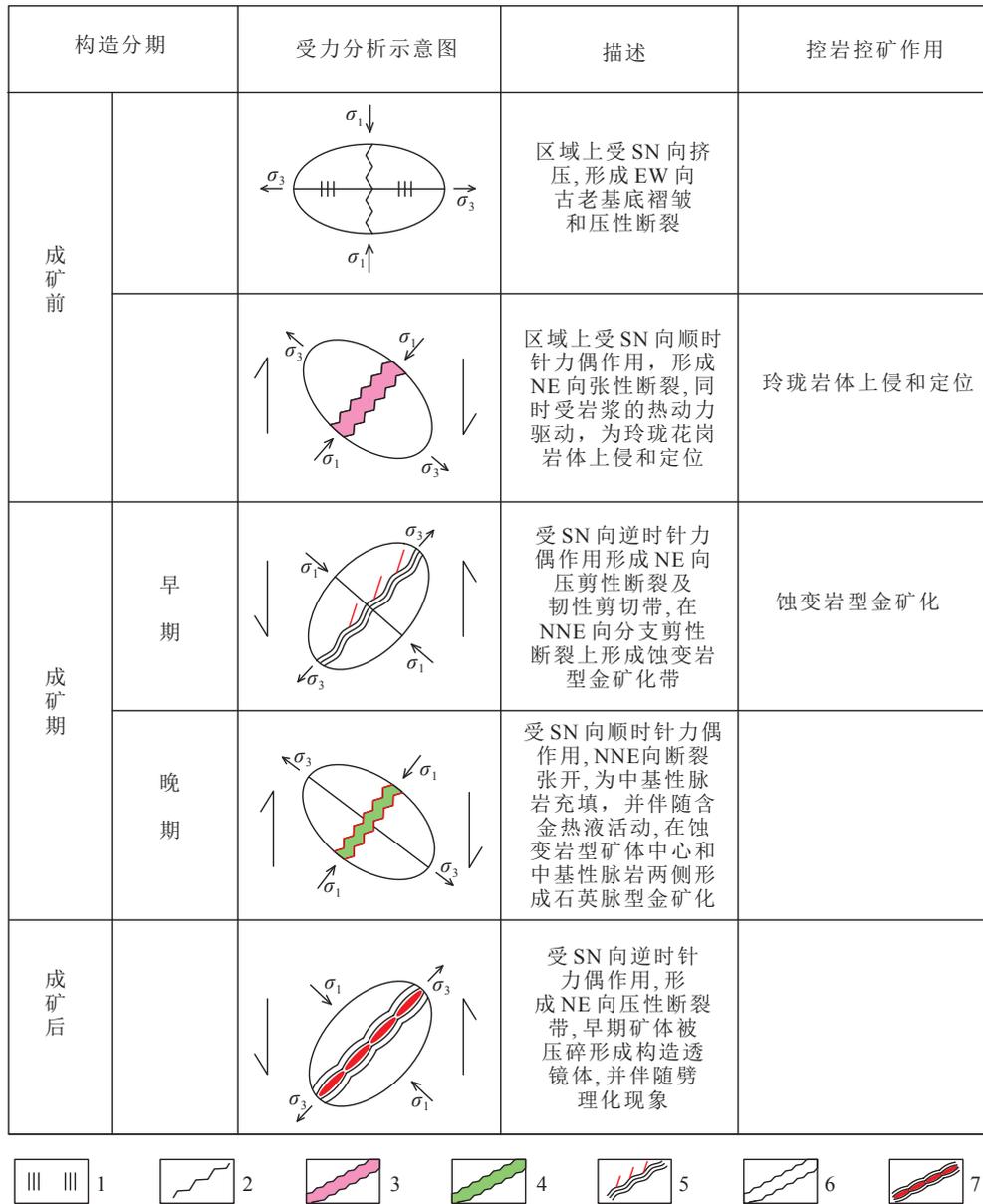


图13 矿区成矿构造演化序列

Fig. 13 The evolutionary sequence of metallogenic structure in the mine area

1—挤压带;2—张性断裂带;3—玲珑花岗岩;4—中基性脉岩;5—蚀变岩型金矿化带;6—石英脉型金矿化带;7—压性断裂及透视镜体

受SN向顺时针力偶作用,为中基性脉岩充填及形成石英脉型金矿化。成矿后,受SN向逆时针力偶作用,形成NE向压性断裂,对矿体有一定破坏作用。

(3)基于对谢家沟金矿控矿规律的研究并结合成矿地质条件,提出2个找矿方向:3-1矿体侧伏延伸部位和3-1矿体东侧NNE向断裂附近。

致谢:野外工作期间得到金亭岭矿业有限公司的大力帮助,审稿专家提出了宝贵的修改建议,在

此致以诚挚的感谢。

参考文献

- Deng J, Wang Q F, Xiao C H, et al. 2011. Tectonic-magmatic-metallogenic system, Tongling ore cluster region, Anhui Province, China[J]. *International Geology Review*, 53(5/6): 449-1.
- Ma W D, Fan H R, Liu X, et al. 2018. Hydrothermal fluid evolution of the Jintingling gold deposit in the Jiaodong peninsula, China: constraints from U-Pb age, CL imaging, fluid inclusion and stable isotope[J]. *Journal of Asian Earth Science*, 160: 287-303.

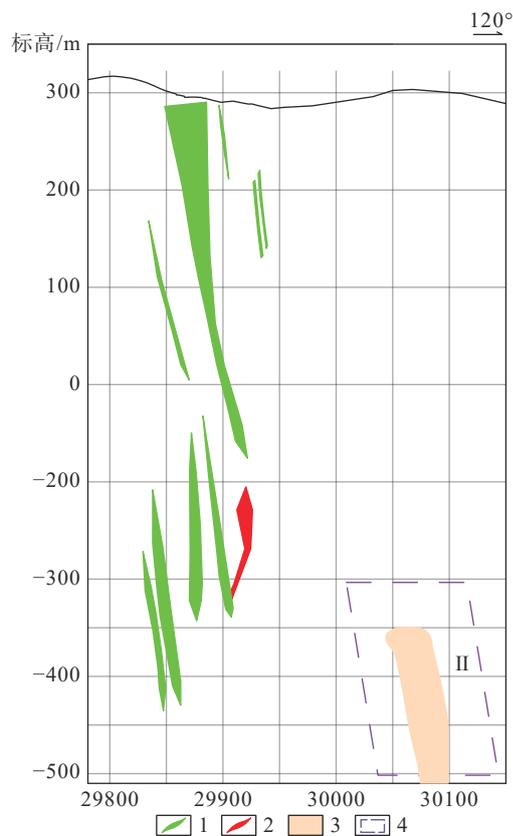


图 14 谢家沟矿区 140 勘探线剖面图

Fig. 14 Geological profile of exploration line 140 in the Xiejiagou deposit

1—脉岩; 2—矿体; 3—低电阻异常区($p:794 \sim 1000 \Omega \cdot m$);
4—预测深部找矿靶区

Yang L Q, Deng J, Guo C Y, et al. 2009. Ore-forming fluid characteristics of the Dayingezhuang gold deposit, Jiaodong Gold Province, China[J]. *Resource Geology*, 59: 181-193.

丁东胜. 2020. 胶东谢家沟金矿成岩-成矿机理研究[D]. 东北大学博士学位论文.

杜泽忠, 程志中, 姚晓峰, 等. 2020. 胶东谢家沟金矿热液蚀变作用过程的元素迁移规律[J]. *地质通报*, 39(8): 1137-1152.

霍庆龙, 吕古贤, 朱随州, 等. 2013. 招平断裂带地质特征及其成矿规律研究[J]. *矿物学报*, 33(S2): 915-916.

姜琪, 王荣超. 2010. 招平断裂剪切带金成矿作用特征及找矿方向[J]. *中国矿山工程*, 39(3): 36-39.

姜琪. 2010. 山东玲珑断裂地质特征及其找矿意义[J]. *黄金科学技术*, 18(2): 35-39.

林文蔚, 赵一鸣, 徐珏. 2000. 胶东招远-平度断裂活动性质及活动时代[J]. *中国区域地质*, 19(1): 44-51.

刘成, 张迎春, 张福祥, 等. 2010. 玲珑金矿田的断裂构造及其控矿特征[C]//中国地质学会地质力学专业委员会, 中国地质学会构造地质学与地球动力学专业委员会. 第三届全国矿田构造与地质找矿理论方法研讨会论文集, 64-1.

刘国栋, 宋国政, 鲍中义, 等. 2019. 胶东招平断裂北段深部找矿新突破及对断裂空间展布的新认识[J]. *大地构造与成矿学*, 43(2):

226-234.

刘金鹏, 钱进, 王宝亮, 等. 2008. 谢家沟矿区矿体规律研究与应用[J]. *采矿技术*, 8(5): 88-90.

刘文. 2015. 胶西北招平断裂带地质特征及控矿规律研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.

马伟东. 2014. 胶西北招平断裂带金矿化作用对比研究[D]. 中南大学硕士学位论文.

苗来成, 罗镇宽, 关康, 等. 1998. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义[J]. *岩石学报*, 14(2): 71-79.

钮涛, 康恺, 张志远. 2022. 招平断裂带北段北延构造及找矿方向浅析[J]. *山东国土资源*, 38(3): 19-26.

钱建平, 陈宏毅, 吴小雷, 等. 2011. 胶东望儿山金矿成矿构造分析和成矿预测[J]. *大地构造与成矿学*, 35(2): 221-231.

钱建平, 符有江, 周永宁, 等. 2018. 内蒙古额济纳旗老响沟金多金属矿区成矿构造系统解析和构造控矿规律[J]. *大地构造与成矿学*, 42(6): 1046-1063.

钱建平, 张果, 漆炜博, 等. 2020. 甘肃早子沟金矿复合成矿构造系统的构成、样式、演化和控矿规律[J]. *大地构造与成矿学*, 44(5): 913-936.

山东招金地质勘查有限公司. 2016. 山东省招远市谢家沟矿区金硫铁矿资源储量核实报告[R].

宋明春, 宋英昕, 丁正江, 等. 2018. 胶东金矿床: 基本特征和主要争议[J]. *黄金科学技术*, 26(4): 406-422.

宋明春, 丁正江, 刘向东, 等. 2022. 胶东型金矿床断裂控矿及成矿模式[J]. *地质学报*, 96(5): 1774-1802.

孙杰, 李瑞军, 邵周伟, 等. 2012. 山东谢家沟矿区金矿体地质特征及其深部资源详查评价[J]. *黄金科学技术*, 20(4): 39-42.

田锋. 2005. 谢家沟金矿元素地球化学特征及原生叠加晕模型[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.

王建国, 张志启, 邓军, 等. 2006. 谢家沟金矿的地质特征和成因类型-胶东金矿床地质研究与找矿的新突破[J]. *黄金*, 27(11): 9-13.

韦延光, 王建国, 邓军, 等. 2005. 山东谢家沟金矿流体包裹体研究及其地质意义[J]. *现代地质*, 19(2): 224-230.

谢徽, 高帮飞, 杨立强. 2016. 胶东招平断裂带变形变质温度的显微构造分析[J]. *黄金*, 37(8): 19-24.

辛洪波, 邓军, 曲晓明, 等. 2006. 胶东谢家沟金矿床地质特征与成矿时代研究[J]. *黄金科学技术*, 14(3): 1-6.

徐述平, 杨立强. 2010. 山东招平断裂系统构造-蚀变-矿化水平-分带特征[J]. *矿床地质*, 29(S1): 1009-1010.

姚晓峰, 程志中, 杜泽忠, 等. 2020. 胶西北地区谢家沟金矿岩脉 U-Pb 年龄及其对成矿时限的制约[J]. *地质通报*, 39(8): 1153-1162.

袁月蕾, 刘晨辰, 柳旭光, 等. 2023. 胶东大尹格庄金矿床构造蚀变分带特征与成矿关系[J]. *地质通报*, 42(4): 576-588.

张群喜, 孙忠实, 王建国, 等. 2003. 山东招远谢家沟金矿构造特征及其演化模式[J]. *吉林地质*, 22(1): 32-36.

张群喜, 王建国, 孙忠实. 2007. 山东招远谢家沟金矿围岩蚀变特征及与金矿化关系[J]. *桂林工学院学报*, 27(1): 13-17.

张群喜, 王建国, 孙忠实. 2008. 谢家沟金矿主剪切带特征与金矿化的关系[J]. *矿业研究与开发*, 28(5): 30-32.

张文明. 2006. 谢家沟金矿地质-地球物理模型可视化与金品位地质统计学研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.

翟明国, 范宏瑞, 杨进辉, 等. 2004. 非造山带型金矿-胶东型金矿的陆内成矿作用[J]. *地学前缘*, 11(1): 85-98.