

山东招远北截金矿床地质特征 及深部成矿预测^{*}

颜丹平 万天丰

栾久春

(中国地质大学, 北京)

(山东省招远市北截金矿, 招远市)

提 要: 对北截金矿的矿床与矿体地质构造及成矿模式和构造应力场的综合研究表明, 北截金矿主要是受 NE 向的灵山沟-北截断裂控制, 其储矿构造部位为与断裂带小角度 (约 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$) 斜交的 NNE 向张剪性断裂, 矿体主要分布于其中的 2 号矿带之中, 矿体之间呈右行斜列向 SW 深部发展; 而区内的 NWW 向断裂为成矿后断裂, 对矿体有较小的破坏作用; 对矿区内 Au、Ag、As、Mo、Sb、Bi 进行的微量元素原生晕及 Ag/Au、As/Mo 与 Sb/Bi 比值分析均显示, 已采区为晕头, 而晕根部在 SW 侧的深部。进而在此基础上, 定量化地提出了深部找矿的靶区应在 NWW 向断层下盘与 142 线之间的 $-200\sim -350$ m 深部。

主题词: 北截金矿 深部找矿靶区 山东招远

北截金矿床位于山东省招远市城区西北 15 km 附近, 处于东经 $120^{\circ}16'$, 北纬 $37^{\circ}27'$ 。周围地区经济发达, 交通方便。

北截金矿为一座经多年开采的中型矿山。其中仅从北竖井开发中已提炼出黄金约 7.1 t。采出的黄金金属量已大于地勘部门 (山东地质六队, 1979) 所探明的储量。近年来, 该矿山的资源已进入枯竭状态, 原探明的矿体及其附近, 即深度 200 m 以上的浅部矿体已基本采空。因而, 认真查明北截金矿深部的成矿远景, 一直是矿山与有关部门所关心的重要课题。

1 矿区地质概述

1.1 地质特征

北截金矿是一以热液蚀变型为主的复成因矿床, 与岩浆期后的热液活动关系密切, 矿体产于 NNE 向的灵山沟-北截断裂带中, 其产出状态及矿体的空间排列均受该断裂控制, 矿区围岩为穿插于玲珑花岗岩中的郭家岭型花岗岩。矿区外围地层岩性较为简单, 主要出露地层为胶东群蓬乔组 (Arjd) 及较厚的第四纪 (Q) 覆盖层 (图 1 左上区域图)。

矿区外玲珑岩体岩石主要为燕山期 ($140\times 10^6\sim 170\times 10^6$ a) 的中粒黑云母花岗岩 (γ_5^{2-1})。该岩体广泛分布, 为铝过饱和岩石, 与围岩呈侵入接触关系。矿区围岩主要为相当于郭家岭花岗闪长岩 ($148.4\times 10^6\sim 102\times 10^6$ a) 的似斑状花岗闪长岩 ($\gamma\delta_5^{2-2}$) 及脉岩, 如伟晶岩及细晶岩、闪长玢岩等穿插其中。构成了多期复合岩体 (图 1)。

^{*} 本文受冶金部黄金局科研项目资助, 编号 93-95-08

颜丹平, 男, 1964 年生, 硕士, 讲师, 主要从事显微构造与区域构造及其与成矿关系等方面研究。邮政编码: 100083
1996-06-24 收稿, 1996-11-26 二次修改回

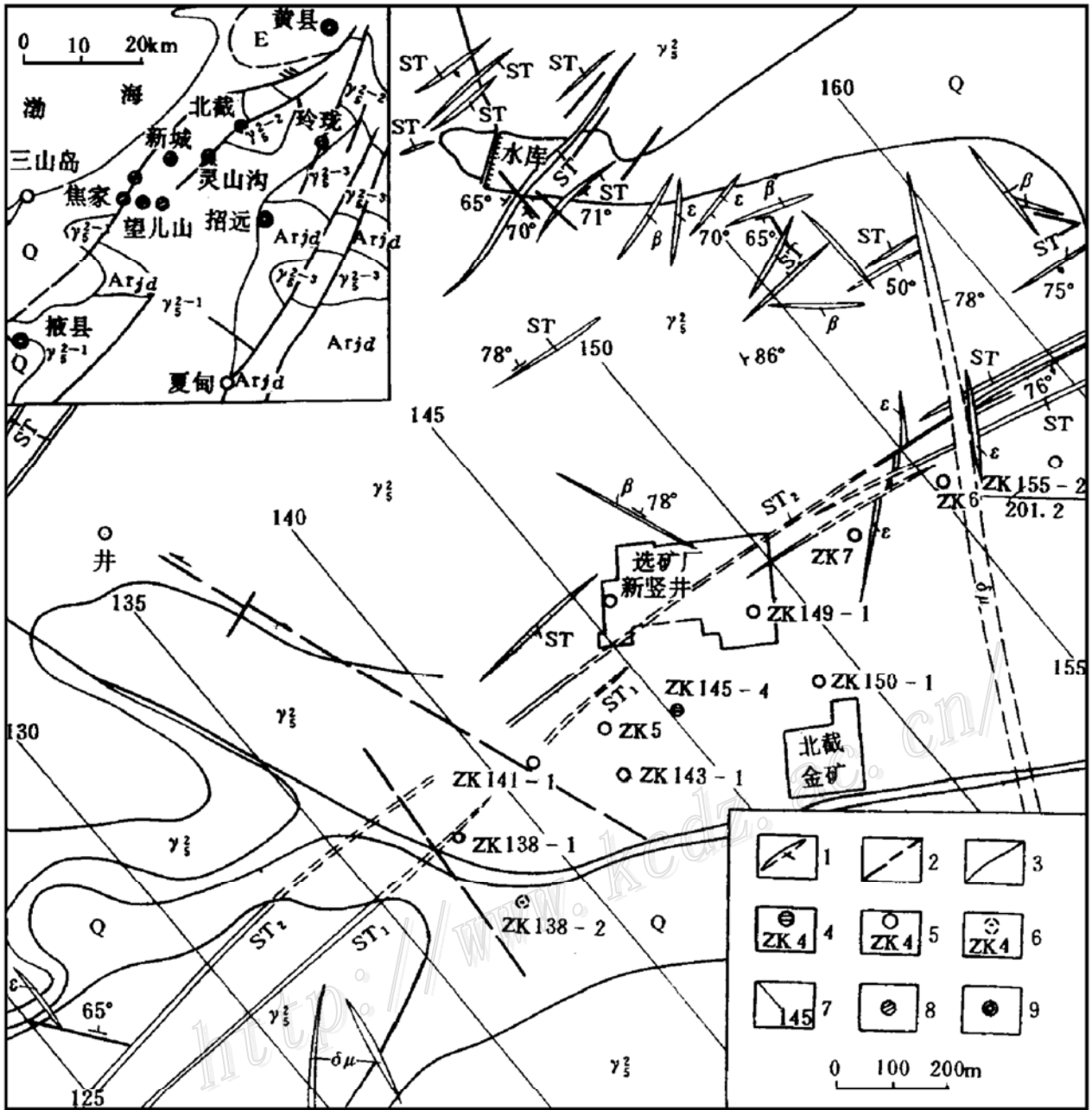


图 1 北截金矿区及外围地质图

(据杜乐天等修编, 1993)

Q—第四系残积层; E—第三系; Arjd—太古界胶东群; γ_5^3 —燕山晚期花岗闪长岩; γ_5^{2-3} —滦家河型花岗岩; γ_5^{2-2} —郭家岭型花岗岩; γ_5^{2-1} —玲珑花岗岩; γ_5^2 —似斑状花岗闪长岩; $\delta\mu$ —闪长玢岩脉; ϵ —正长细晶岩脉; β —基性岩脉; 1—碎裂蚀变岩带及编号; 2—断层; 3—地质界线; 4—见矿钻孔; 5—未见矿钻孔及编号; 6—设计钻孔及编号; 7—勘探剖面线; 8—金矿床; 9—县城 (图中钻孔下数据为孔深)

Fig. 1. Geological map of the Beijie gold ore district.

Q—Quaternary eluvial bed; E—Tertiary; Arjd—Archean jiaodong Group; γ_5^3 —Late Yanshanian granodiorite; γ_5^{2-3} —Iuanjiahe type granite; γ_5^{2-2} —Guojialing type granite; γ_5^{2-1} —Linglong granite; γ_5^2 —Porphyritoid granodiorite; $\delta\mu$ —Dirorite porphyrite dike; ϵ —Syenite aplite dike; β —Basic dike; 1—Cataclastic altered rock zone and serial number; 2—Fault; 3—Geological boundary; 4—Ore-intersecting drill hole; 5—Barren drill hole and serial number; 6—Designed drill hole and serial number; 7—Exploration line; 8—Gold deposit; 9—County seat.

区域上的控矿构造为灵山沟-北截断裂(简称灵-北断裂),其走向为 $NE50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,倾向SE,倾角 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$,由本区向NE延伸,倾向转向NW,倾角 85° 。脉岩的走向为NNW和NNE向,均为陡倾角。

上述构造在区域上的多期活动性及其空间配置与金矿成矿关系密切。据作者研究矿体主要展布于NE向的灵-北构造带中。主要矿带——1号与2号矿脉带的平均走向为 $NE50^{\circ}$,倾向 $NW320^{\circ}$,倾角 85° ;还有少量矿化带与闪长玢岩脉有关,其走向为 $NE2^{\circ}$,倾向 $SE92^{\circ}$,倾角 70° 。两组矿脉带可以联通,表明它们是贯入共轭剪切断裂而形成的。

1.2 围岩蚀变与成矿阶段

矿区内主要的围岩蚀变有绢云母化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化。其中绢云母化、硅化与成矿关系较为密切,因而统称为绢英岩化。

本矿区的成矿作用与黄铁矿化关系极为密切,黄铁矿作为金矿物的载体,其生成顺序及在矿体中的穿插关系总体上反映了成矿作用的阶段。根据在北截矿区已采空并可进入工作的四个中段对矿体共生组合的观察,本区矿物的生成顺序,与矿化作用大致可分为四个阶段,即:①金-石英-黄铁矿阶段,是金矿化的先导期;②金-石英-多金属硫化物(块状黄铁矿)阶段;③细粒黄铁矿-石英阶段;④金-碳酸盐阶段。

综合本区围岩蚀变及成矿阶段,具有以下特征。

(1) 就成矿各阶段发育程度而言,多金属硫化物组分及浓度逐渐增加,因而代表了岩浆作用期后的热液成因。

(2) 石英随各阶段的演化而有较大的变化,从乳白色的块状石英至破碎的灰色石英代表其中金属硫化物的递增和金属成分的复杂化,后者与金成矿关系密切。

(3) 金矿物形成以第②及③阶段为主。

1.3 矿体形态

北截金矿区内矿化蚀变带主要有两条(图1),即 ST_1 和 ST_2 。 ST_1 :呈NE走向分布于区内南西侧,长2610 m,宽4~15 m不等,产状为 $NW310^{\circ}\sim 330^{\circ}\angle 85^{\circ}$ 。金的平均含量 $<0.5\text{ g/t}$,局部达 3.5 g/t 。地表200 m以下深处金含量降低。 ST_2 :呈NE向展布于区内北东侧,长3470 m,宽5~12 m,产状为 $SE120^{\circ}\sim 160^{\circ}\angle 70^{\circ}$,是主要的含矿带,地表平均含金量一般 $<0.5\text{ g/t}$,在139~150线-100 m以上有明显的黄铁矿化,其中145线附近在宽4~5 m的带中,含金达 $10\sim 15\text{ g/t}$,向深部矿化变弱。

本矿床的矿体主要分布于2号矿化蚀变带(ST_2)内,并严格受断裂带控制。然而,金矿体仅只赋存于断裂带内局部的容矿构造部位中。根据构造-岩石变形组合的特点,这种部位一般有规律地重复出现。从这一特点出发,综合前人资料及野外工作研究,并参考附近玲珑矿田及灵山沟矿床的矿体空间展布规律,我们发现北截金矿矿体分布有以下特点。

(1) 矿体分布于北东向的灵-北断裂带的中间部位,断续分布,形态复杂,大小不等,厚薄不一。我们以矿体采空区分布进行大体估算,矿体走向长度一般30~45 m,这是从比较小的观察尺度上(即对北截金矿已采区进行剖析)得到的,已揭示的矿体富集标高在-100 m以上最好。

(2) 各小矿体在平面上呈NE向雁列,与灵-北断裂走向有一约 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 逆时针方向交角(图2),矿体在断裂带中近于直立或略向NW倾斜(根据+2 m, -38 m, -68 m中段平面

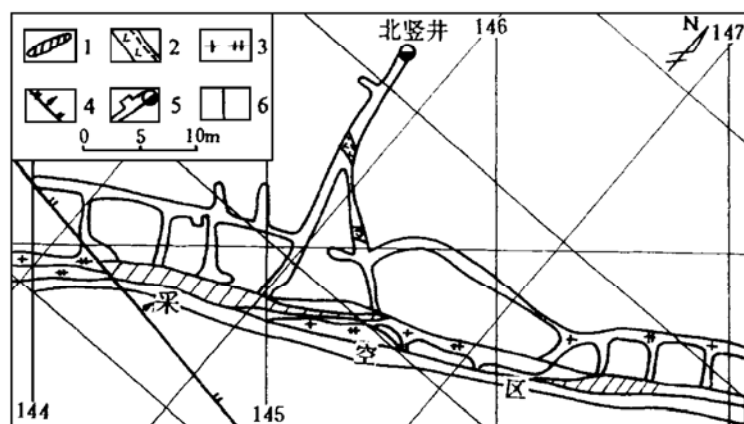


图 2 北截金矿新竖井—38 m 中段平面矿体分布图
1—已采区矿体；2—近矿围岩蚀变带；3—花岗闪长岩围岩；
4—NWW 向正断层；5—采矿坑道及竖井；6—勘探线及编号

Fig. 2. Plan of -38 m level of the new shaft in the Beijie gold mine, showing distribution of orebodies.

1—Orebody in the exploited district; 2—Altered zone of the near-ore wall rock; 3—Wall rock of granodiorite; 4—NWW-trending normal fault; 5—Mining gallery and shaft; 6—Exploration line and serial number.

图采空区及新竖井矿体垂直纵投影图推断)。

(3) 各矿体之间呈明显的雁行斜列, 从图 2 可看出为右列状。根据已揭示的矿体大体产状推断, 剖面上矿体朝 SW 向侧伏。

(4) 关于无矿间隔的问题, 宫润潭^①认为玲珑金矿为 1/4~1/5 矿体走向长度, 但本区所研究矿体较少, 且由采空区所划分的矿体边界不很明确, 但由—38 m 所示的两个矿体(图 2)推测, 本区无矿间隔约为矿体走向长度, 即 40 m 左右。

1.4 断裂构造特征

由前所述, 本区的断裂构造与成矿关系极为密切, 其中主要的为 NE 向灵-北断裂带和 NWW 向断裂, 下面分别述之。

1.4.1 NE 向断裂带 灵-北断裂带

总体上基本控制了北截金矿的分布范围, 但如前所述, 矿体仅赋存于断裂带内小角度右列的次级 NNE 向张剪性断裂构造内, 它是原 NE 向断裂在四川期应力场作用下再活动而产生左行走滑作用的结果(图 1)。因此, 这一成矿作用主要为构造作用所控制。本区及区域上主成矿期 ($135 \times 10^6 \sim 152 \times 10^6$ a^[1~4]) 的最大主压应力 (σ_1) 产状为 NE30°∠18°, 中间主应力 (σ_2) 产状为 SE122°∠10°, 最小主压应力 (σ_3) 产状为 SW240°∠70°。区域构造应力表现为 SW-NE 挤压^[1,2], 从而使控矿断裂呈左行走滑。所以, 矿体的形成和配置是与区域构造控制相一致的。

1.4.2 NWW 断裂 长期以来, 区内西部的 NWW 向断裂是制约本区成矿预测工作及采矿的关键问题之一。因此, 本课题组对其进行了研究。

NWW 向断裂由数条断裂组成, 地表于 140~141 线一带切过矿化蚀变带。断裂带极其破碎, 局部见矿化蚀变带, 有零星矿化, 如—98 m 中段沿 NWW 向断裂揭露, 60 m 范围内见两处金矿化, 高者达 2.6 g/t。杜乐天等^②据此认为, NE 向断裂与 NWW 向断裂交切处为成矿有利地段。

但根据我们的研究, 认为 NWW 向断裂为成矿后断裂, 对矿体起破坏作用, 理由如下:

(1) 从地质图上(图 1)及坑道内均可发现, NWW 向断裂切断了 NE 向断裂。在—98 m 中段 y_{4-11} 采样点处, 见一系列 NWW 向小型正断层, 断层产状为 NE55°∠40°, 它们切断脉岩

① 宫润潭等, 1993, 玲珑金矿田成矿规律研究与成矿预测, 研究报告

② 杜乐天等, 1993, 招远县北截金矿区深部及边部盲矿体预测, 研究报告

及叶理化断层泥。我们的观察表明, NWW 向断层的主要活动方式为正断层性质, 这与上述矿体形成时所反映的区域应力场不一致。

(2) NWW 向断层带中的断层岩主要为断层泥和角砾, 胶结很差, 断层泥基本不胶结, 这表明其主要活动时期为相当晚期, 可能是新生代。此时断裂活动发生在近地表处。

(3) 至于 NWW 向断层带内的矿化现象经过多个坑道沿脉追索, 仅见少量蚀变和矿化, 而这种矿化的局部地段多是构造破碎强烈处, 所见矿化为其中的大块角砾, 向四周追索无对应的蚀变现象, 所以这也正好反映了 NWW 向的主要断裂活动发生在成矿期之后。

(4) 目前所有中段沿脉开采到 NWW 向断裂集中区 (图 1, 140~141 线一带), 矿体不见富集反而消失 (只有个别地方采到大的断层角砾含金较富)。如果 NWW 向与 NE 向都是成矿期断裂, 则在 NE 与 NWW 向断裂交叉处应该是富矿柱的产出处。

因此, 我们认为, NWW 向断裂为成矿期后活动的断裂, 对矿体起到破坏作用。

(5) 根据我们在坑道内对两条 NWW 向断裂的研究, 对其中断层泥叶理产状测量数据后, 利用赤平投影网投图, 再用公式

$$r = 2/\tan 2\theta \quad \delta s = r\delta x$$

其中 r 为应变, θ 为叶理与断层的角距, δs 为总位移, δx 为断层的宽度。

求得二平行的 NWW 向断层的正向总滑移量为约 82.8 cm 和 10 cm。

由上述结果说明, NWW 向断裂的滑移量很小。如考虑数条断层平行发育 (勘探结果在 SW 段已予证实), 角砾化和碎裂岩化以及测量本身的误差的影响等, 整个 NWW 向断裂带的总滑移量估计可能在数十米以内, 而不会达到如前人估计的 2 km。

最近, -98 m 中段向 SW 的的探矿坑道打穿了 NWW 向断裂, 已完全证实了上述认识。

1.5 矿床成因及成矿物质来源概述

利用同位素的地质研究, 有助于解决成矿物质、成矿热液来源、矿床成因及成矿时代等, 与本矿区成因相似的胶东西北部同位素研究自 70 年代以来, 已积累了不少数据。从区域成矿地质背景分析, 胶东西北部一系列的金矿具有相似的成因和成矿地质特征, 因此, 我们可以借用区域资料来对本区的一些特征进行讨论。

将招掖地区铅同位素值^[8]按公式:

$$\Delta\beta = (\beta - \beta_m)/\beta_m \times 1000 = (\beta - 15.33)/15.33 \times 1000$$

$$\Delta\gamma = (\gamma - \gamma_m)/\gamma_m \times 1000 = (\gamma - 37.47)/37.47 \times 1000^{[8]}$$

(其中 β 为 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值, β_m 是地幔中 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的值, 为 15.33; γ 为 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值, γ_m 是地幔中 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的值, 为 37.47) 计算后投在 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ ^[8] 图中, 其值绝大多数投入幔源区中, 只有玲珑金矿投在属碰撞造山带型的区中 (其实也是壳幔混合型), 玲南金矿投入壳幔混合型区中。

部分矿区的硫同位素资料表明, 其值介于 $-10\text{‰} \sim +10\text{‰}$ ^[5], 成矿热液符合于深源酸性岩浆热液的特点。

对胶东金矿氧同位素的研究^①表明, 主要成矿期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $+6.3\text{‰} \sim +9.2\text{‰}$, 表明成矿

① 王义文, 1980, 胶东西部金矿床硫同位素组成与金矿化有关的花岗岩类同位素年龄研究, 吉林冶金地质勘探公司研究所编, 金矿参考资料汇编, 第 5 集

期热液来源于岩浆-雨水的混合。成矿晚期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-1.9\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$, 热液数据点移向雨水线, 热液来源主要为雨水。

综上所述, 北截金矿和胶东大部分金矿一样是岩浆热液-雨水混合成因, 其成矿物质为深源(上地幔)。岩浆热液在向浅部的运移过程中与雨水混合, 晚期深度变浅, 加入的雨水因素逐渐增多。

2 原生晕特征研究

前已述及, 北截金矿是一个以岩浆热液蚀变型为主体成因的矿床, 根据前人的研究成果, 以及邻区灵山沟矿床^①, 玲珑金矿田及区域成矿研究的一些有效方法, 本课题组对矿床的几个微量元素的原生晕进行了重点研究。

2.1 元素选择及取样方法

根据区域元素分布特征以及测试条件, 研究工作中我们选用了下面六种元素: Au、Ag、As、Mo、Sb、Bi 进行化学分析^②研究。

目前, 北截金矿区在 $+2\text{ m}$ 、 -38 m 、 -68 m 、 -98 m 、和 -148 m 共有 5 个采空的中段, 但由于回填和涌水, 只有前 4 个中段能进入工作; 加之 1992 年在矿区 143 线、149 线和 150 线各施工了一个找矿孔, 其岩心大部完整保存。因此, 我们在能进入工作的坑道中以 10 m 左右间距, 钻孔中以 $3\sim 5\text{ m}$ 左右的间距系统取样 207 件, 又根据野外观察确定矿体原生晕影响宽度约为 50 m 。因此, 从中筛选了具代表性的 91 件进行化学分析并将结果投在勘探线纵投影图上。

根据化学分析结果, 及所分析 6 个元素的组合特性以及其所反映的矿体地球化学分布趋势, 分别作 Au、Ag、As、Mo、Sb、Bi 的微量元素原生晕图及 Ag/Au、As/Mo、Sb/Bi 比值图, 其结果相互印证, 具有较好的一致性。

2.2 Au、Ag、Sb、Bi 的原生晕特征及 Ag/Au、As/Mo 与 Sb/Bi 比值特征

据 Au 本身的地球化学特性, 富集于热液作用的中低温 ($200\text{℃} \pm$) 阶段, 当与石英硫化物伴生时以及 Te、Sb、Bi 形成化合物并与碳酸盐、重晶石共生时, 则为中低温热液作用的具体表现^[6]。

图 3 为北截金矿 Au 的原生晕图, 它具有以下几个基本特点: ① 总体 Au 的含量在 0.2 g/t 以上, 这一值远高于地壳丰度值 0.0035 g/t 及花岗岩的本底值 0.0045 g/t ^[7]; ② 在矿体采空区及围岩范围内有明显的金矿化, 局部形成矿体, 并可显示已采矿体的总体形貌, 即 NE 侧以 -38 m 中段 (NE 段) Au 元素较富集, SW 侧靠近 NWW 向断层、矿体变深下沉至 -68 m 中段 (SW 端) 为主, 且矿体明显变大变富; ③ 总体看由两个矿体组成, 呈右列形式, 向 SW 侧伏, 这与矿体采空区所表示的矿体形态 (图 2) 完全吻合; ④ ZK150-1、ZK149-1 和 ZK143-1 均未见明显的矿化现象。

Ag 是低温元素, 在热液中主要富集于中低温热液 ($100\sim 200\text{℃}$) 阶段。与 Au 具很密切

① 宋玉国, 1992, 灵山沟金矿床深部成矿预测, 中国地质大学, 硕士论文

② 六种元素分析方法分别是, Au: 硫脲富集——原子吸收; Ag: 原子吸收; As: 萃取分离——钼蓝比色; Mo: 硫氰酸盐乙酸乙酯萃取比色; Sb: 孔雀绿比色; Bi: 流动注射——在线分析。中国地质大学化学分析室测试

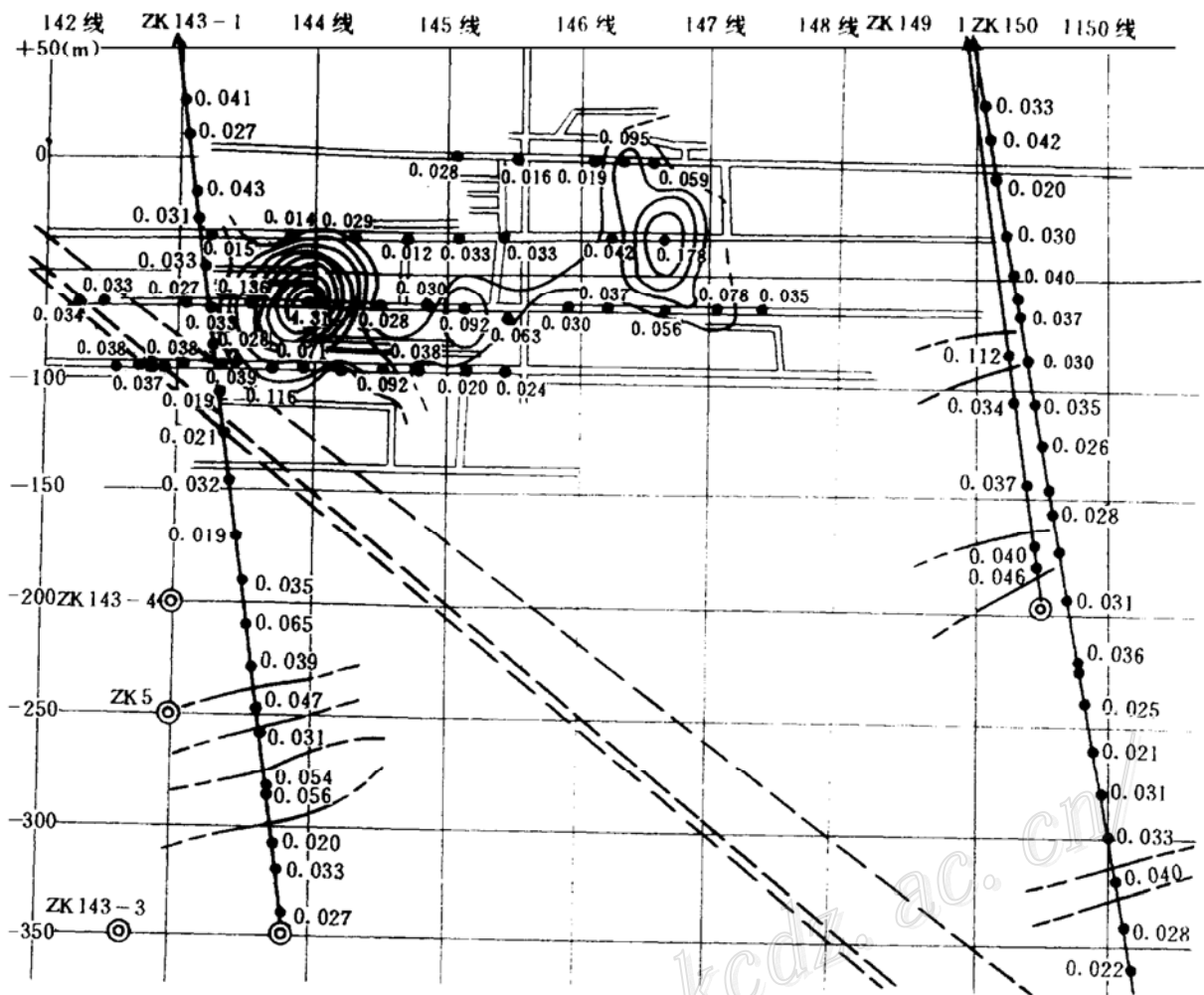


图 3 北截金矿 Au 原生晕纵投影图

Au 含量 <0.20 g/t 时，等值线为 0.04、0.08、0.12、0.16、0.20 g/t；Au 含量 >0.20 g/t 时，等值线为 1、2、3、4 g/t；
图中 Au 的含量数据之单位为 g/t

Fig. 3. Longitudinal projection of primary halos in the Beijie gold mine.

When Au content <0.20 g/t, contour lines represent 0.04, 0.08, 0.12, 0.16 and 0.20 g/t; when Au content >0.20 g/t, contour lines stand for 1, 2, 3 and 4 g/t. Unit of Au content: g/t.

的伴生关系。

Ag 的原生晕纵投影图显示出如下特点：① 采空区和钻孔中均显示出较高的本底值，因此看不出明显的富集区；② 与图 3 比较，在 Au 矿化富集处，如 -68 m 中段 SW 侧，Ag 的含量也较高；③ 总体比较，SW 侧 Ag 含量明显高于 NE 侧，且有向 SW 深部变高的趋势，并且这种规律未受到 NWW 向断层的明显影响。

图 4 所示的 Ag/Au 比值图反映的高比值 (>50) 在 -38 m 中段 SW 侧偏中，比图 3 所示的 Au 矿体位置偏高，说明中低温过渡范围中的低温场比 Au 矿体至少偏高一个中段的距离 ($30\text{ m}\pm$)；中比值 ($30\sim50$) 以 -38 m 中段 SW 段及 ZK143-1 的深部，NWW 向断层的下盘为主，范围明显扩大；较低比值 ($10\sim30$) 则反映了很大的范围，而且分布不均一，但在 ZK143-1 与 -68 m 中段投影叠合部位，穿过了 NWW 向断层向深部发展；在中段 NE 侧及 ZK150-1 和 ZK149-1 都呈局部圈闭，大多 <10 ，这表明低温范围 ($100\sim200^\circ\text{C}$) 的成矿作用主要集中在

在-38 m 中段 SW 侧，而成矿的有利温度范围更向 SW 发展，向 NE 侧局部温度场增高，可能表示成矿热液迁移的复杂性。

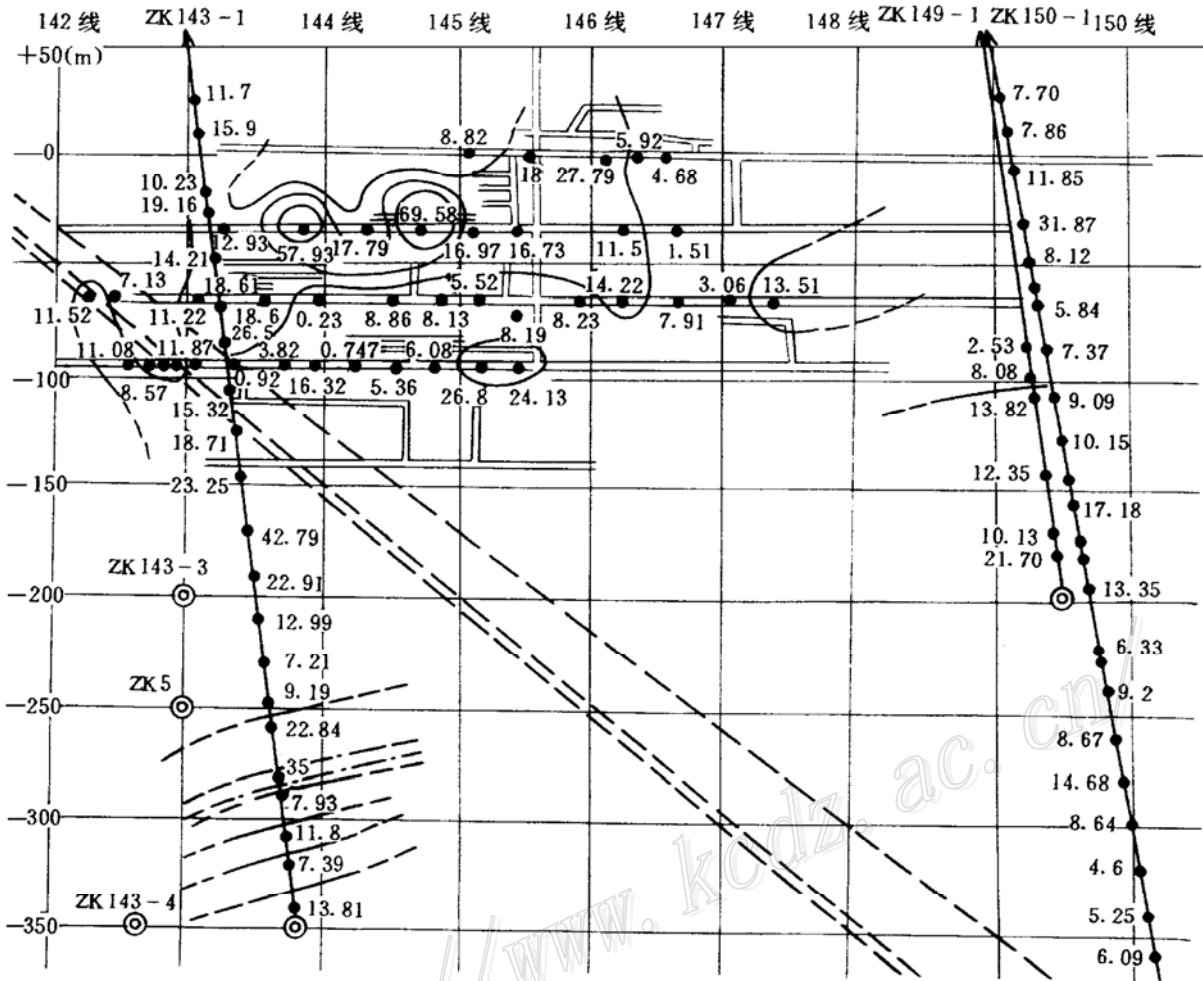


图 4 Ag/Au 比值纵投影图

等值线为 10、30、50

Fig. 4. Longitudinal projection of Ag/Au ratios.

Contour lines represent 10, 30 and 50.

由于 As 与 Mo 地球化学行为的差异，特别是在内生热液成矿作用过程中的行为的差异，因而利用 As/Mo 比值的大小可以较好地反映出热晕晕圈的部位，其较大值 (>1) 为晕上部。而晕根部 As 含量很少，因而 As/Mo 比值远 <1 。

本区 As/Mo 的比值反映出：① 高比值 (>4) 主要在 -38 m 中段中部和 -68 m 中段 NE 以及 ZK150-1 和 ZK143-1 中部，最高可达 6。在采空区 SW 及各孔的下部比值变小至 1~2。因此晕头在 NE 侧上部，而向 SW 深部应为晕根部位；② 与 Au 的原生晕圈图相比 (图 3)，晕头约浅一个中段距离 (30 m)，这与 As 的原生晕头及 Ag/Au 比值所反映的晕圈范围基本一致；③ NWW 向断层对其无明显影响；④ 在 SW 端深部 (ZK143-1 深部) 比值仍可达 2~5.5，由此推断往 SW 端深部仍在晕头影响范围内，Au 的有利成矿环境 (中温为主) 仍较大。

Sb 在内生热液成矿中，表现为中—低温富集。

本区 Sb 的原生晕具以下特点：① 较高值 ($>1.5 \times 10^{-6}$) 集中在 -68 m 中段和 -98 m 中

段的SW段及ZK143-1下部,与金矿体的富集部位(图3)基本一致,说明二者可能在相近的温度条件下同时沉淀;②向深部SW端较NE端Sb值高约 0.5×10^{-6} ;③NWW向断层对中低值范围无明显的影响,但采空区的高值($>1.5 \times 10^{-6}$)正好以NWW向断层为界,向SW跨过断层的同一高度中段上,即变为低值,约相当于花岗岩中Sb的本底值 $0.26^{[7]}$ 。

Bi在内生成矿作用中,趋于富集在残余岩浆溶液中,主要形成于伟晶岩阶段及高温热液阶段。Bi原生晕图反映本矿区有以下特点:①在Au含量的高值区,即-38 m中段NE侧和-68 m中段SW侧NWW向断层上盘形成两个很明显的富集区($>1 \times 10^{-6}$),ZK143-1中高值点(R143-17甲, 1.03×10^{-6})和Au高值(0.054×10^{-6})对应,这表明二者间有一定的正相关关系;②除高值以外的其它区均 $<0.45 \times 10^{-6}$;③SW段比NE段Bi较富集,含量高,尤其是SW段向深部富集趋势更明显;④由于高值范围小,NWW向断层的影响不清楚。

与As/Mo比值图相似,利用Sb/Bi比值所指示的成矿热晕部位,可以判断出成矿的方向。且由于Sb、Bi与As的正相关性好,这一比值应更有效和具有实用性。

Sb/Bi比值特点如下:①除少数几个样品外,Sb/Bi比值均 >1 ,最高达65.88,从而说明我们所揭示的为晕上部,这与As/Mo比值是一致的;②高值范围以+2 m和-38 m中段的SW方向为主,向深部可影响到-68 m中段,而在各中段NE方向比值较低;③ZK143-1在NWW向断层上盘部分比值也很高(>30),在断层的下盘比值较低(<30)。ZK150-1及ZK149-1由于未穿过NWW向断层,其比值也很大,这说明晕的根部方向应在NWW向断层的下盘,从比值向SW变小判断热液的来源在SW侧的深部。

2.3 原生晕及同位素对成矿的指示

综合上述地球化学原生晕及同位素地球化学特征,我们可以得出以下结论。

(1)包括北截金矿在内的胶东西北部金矿田主成矿时期为四川期,主要的成矿原因是岩浆与雨水混合热液作用,其成矿物质来源于地幔。

(2)北截金矿总体受北东向灵-北断裂控制,在其中构成一个完整的成矿体系。具体地说,成矿源(矿源,水源和热源)沿NE向断裂带从深部向浅部,从SW向NE运移;而成矿媒体,即成矿地球化学媒介和成矿环境受到了NE向断裂带中构造应力场的控制,因此,严格说来,北截金矿床是一受构造-岩浆-热液等多种因素控制形成的矿床。

(3)就原生晕而言,还反映出和已采矿体很吻合的微量元素原生晕和比值特征,因而应为晕头,晕根部向SW深部发展,因此显示在矿体SW深部有广阔的找矿远景;相反,在矿区NE侧,无明显的高异常显示。这与前述矿化蚀变特征及构造控矿分析是一致的。

(4)矿区SW部的NWW向断裂,对中高温地球化学场及偏高的低温地球化学场均无明显的影响,但对低温气相的原生晕(As)有较小的影响,这说明NWW向断裂对Au的主成矿作用无影响,但可起到一定的破坏作用,其主活动时期应为成矿末期,即四川末期。

3 深部成矿预测

3.1 问题讨论

前人在本区已作了很多的工作,对成矿预测曾持不同意见,目前已被认同的是成矿主要集中在灵-北断裂带中,外围可能性不大,因而焦点集中在灵-北断裂带中的NE还是SW的深

部成矿问题。现根据有关资料就 NE 端深部成矿和 SW 端的浅部成矿作一简单讨论。

(1) NE 端的深部成矿：这一意见主要源自与灵山沟、玲珑矿体右形侧列方式的对比，认为在同一构造成矿区域中，二者的侧列方式应是相同或相似的。

我们对构造应力场的研究发现，区域最大主压应力迹线的产状为向 SW 倾伏，倾向 SW202°，倾角约 30°，与 NE 向的灵-北断裂斜交，交角为 15°±，这意味着，区域上由构造作用造就的成矿场所，成矿空间的排列方式为左行右列。但受局部构造产状的影响，以及成矿热液贯入方向的不同，其侧伏方式可能产生差异。北截金矿位于 NE 向灵-北断裂的弧形拐弯处，而灵山沟和玲珑均位于断裂走向基本无变化处，因而可能产生了矿体侧伏方式的差异。灵-北断裂向 NW 或 SE 的倾向变化也可能是产生这一差异的另一重要原因。

事实上，在 NE 方向进行的多次勘探结果已证明区内这个方向找矿前景不大。新近施工的 ZK150-1 和 ZK149-1 均打穿了与灵山沟类似的 NE 侧深部成矿部位，都未获得工业矿体。

(2) SW 端的浅部成矿：在 SW 端也曾作了一系列的勘探工作，主要集中在浅部。139~144 勘探线间已施工了 10 余个钻孔，发现了一些零星的 Au 矿化显示，但未发现工业矿体。究其原因，我们认为其中绝大多数钻孔布置在 139 线，偏离了成矿区，加之钻孔深度过小，仅及预测矿体顶部以上 (ZK28, ZK143-3)，ZK143-1 从纵投影图看，应穿过预测矿体，但其钻孔方位角为 349°45′，倾角 78°15′，加之 1、2 蚀变带 (ST₁、ST₂) 倾向 NW，因此，在 NWW 向断层附近就漂过了成矿预测区，其在 320.88~331.01 m 和 341.55~346.73 m 见到的金矿围岩蚀变有可能为矿体边部，其它一些钻孔有可能存在同样的问题。

3.2 深部成矿远景区

综合上述研究，从构造控制和矿体的空间展布看，与已采矿体毗邻的下一个矿体应在矿区 SW 端，灵-北断裂带中的 ST₂ 成矿带的深部。已采矿体向 SW 深部已延至 NWW 向断层上盘，-100~-150 m 深度，因此，预测区应位于 NWW 向断层下盘，-150 m (深 200 m) 以下。

根据上述已知矿体 (采空区) 分布特点和规律，以及我们以纵投影图为基准进一步的成矿期构造应力场模拟结果，矿区已采矿体范围内的剪应力值为 60~80 MPa，而且这一范围值在矿区 SW 侧深部-200 m 以下，NWW 向断层下盘及 142 勘探线 NE 圈定的区域内大面积分布，但向 NE 浅部尖灭；在其它区域内，则为高于 80 MPa 或小于 60 MPa 的区域。因此，我们认为上述区域为本矿区的深部成矿远景区，在此区内进行进一步的勘探最为有利。

根据北截金矿采矿统计资料，1976~1993 年间，由北截金矿北竖井主矿体共计采出黄金 7107 kg；目前该矿区已基本采空，仅余下部分矿柱，每年仅有少数矿工继续开采，年采金仅数公斤；加之其它民采部分，北截矿体已采部分产黄金 10 t 左右。

根据胶东 (如灵山沟) 及国内外其它类似金矿的成矿规律，深部矿体一般较浅部大，加之各种信息元对本区深部的良好显示，因此，我们粗略估计本区 SW 深部 (-200~-350 m 间) 矿体储量应不小于已采矿储量，可能在 10 t 左右。

本课题研究和完成是在冶金部黄金管理局、山东省黄金局、招远黄金集团公司的领导和关心下完成的，招远市北截金矿和中国地质大学的有关单位和人员积极支持，北截金矿孙尚法协助进行井下工作。北京理化分析测试中心，中国地质大学林建平老师、曹秀华老师及化学分析室全体人员帮助进行有关分析测试工作。在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 万天丰. 山东省构造演化与应力场研究. 山东地质, 1992, 8 (2): 70~101
- 2 谢义行. 山东招远地区金矿控矿应力场初探. 山东地质, 1984, 2 (1): 74~93
- 3 卢作祥, 范永香, 刘石年等. 山东玲珑矿田断裂构造控矿作用探讨. 地球科学, 构造地质专辑, 1983, 8 (3): 127~128
- 4 陈光远, 孙岱生等. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993, 230
- 5 栾世伟. 金矿床地质及找矿方法. 成都: 四川科学技术出版社, 1987, 229~231
- 6 刘英俊等. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984, 120~180
- 7 黎彤. 化学元素的地球丰度. 地球化学, 1976, (1): 61~70
- 8 Wan Tianfeng. Intraplate deformation, tectonic stress field and their application for eastern China in Meso-Cenozoic. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1994. 110~122

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND DEEP METALLOGENIC PROGNOSIS OF THE BEIJIE GOLD DEPOSIT IN ZHAOYUAN AREA, SHANDONG PROVINCE

Yan Danping, Wan Tianfeng

Lang Jiuqun

(China University of Geosciences, Beijing 100083) (Beijie Gold Mine, Zhaoyuan 265400)

Key words: Beijie gold deposit, deep ore-prospecting target area, Zhaoyuan of Shandong

Abstract

An integrated study of the geological structure of orebodies, the metallogenic model and the tectonic stress field shows that the Beijie gold deposit is mainly controlled by the NE-trending Lingshangou-Beijie fault zone, that the impounding structure seems to be NNE-trending tension-shear fault which intersects the above fault zone at small angles (some $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$), that orebodies are mainly distributed in No. 2 ore belt and, assuming right-lateral oblique slip arrangement, extend southwestward toward the depth, and that the NWW-trending post-metallogenic fault zone somewhat destroyed orebodies. Primary halo analyses of Au, Ag, As, Mo, Sb and Bi as well as Ag/Au, As/Mo and Sb/Bi ratios demonstrate that the mined district is the front of the halo, whereas the depth of the southwest side is the rear of the halo. On such a basis, it is suggested quantitatively that the deep ore-prospecting target should be at the depth of $-200\text{ m}\sim -350\text{ m}$ between the footwall of the NWW-trending fault and No. 142 exploration line.