

北祁连西段鹰咀山蚀变碎裂岩型 金矿床控矿因素和成因

叶得金^{1,2)} 张作衡³⁾ 赵彦庆^{1,2)}

(1)中国地质大学地球科学与资源学院,北京,100083;2)甘肃省地质调查院,甘肃 兰州,730000;
3)中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037)

摘要 本文论述了北祁连西段鹰咀山金矿床区域地质背景、矿床成矿地质条件、矿体特征、围岩蚀变、矿化和矿床地球化学特点,认为金矿床主要受多级断裂系统和火山碎屑岩控制,金矿化与蚀变碎裂岩带关系密切,是一种蚀变碎裂岩型金矿床。流体包裹体测温结果为中高温,成分以低盐度以及富 CO₂ 和 H₂O 为特征;稳定同位素组成表明,成矿流体早期以岩浆水为主,晚期混有大量大气降水。

关键词 蚀变碎裂岩型金矿床 控矿因素 成因 鹰咀山

Ore-control Factors and Genesis of the Yingzuishan Altered Cataclastic Rock Type Gold Deposit, the West Sector of the Northern Qilian Mountains

YE Dejin^{1,2)} ZHANG Zuoheng³⁾ ZHAO Yanqing^{1,2)}

(1) School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083; 2) Gansu Institute of Geological Survey, Lanzhou, Gansu, 730000; 3) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037)

Abstract This paper gives a detailed description of the regional geological setting, metallogenic conditions, characteristics of ore bodies, alteration of wall rock, gold mineralization, and geochemistry of the Yingzuishan gold deposit. The deposit is mainly controlled by multi-grade fault system and pyroclastic rock. The gold mineralization is closely related to the cataclastic rock belt and the gold deposit is an alteration cataclastic rock type of gold deposit. The results of study on the homogenization temperature of fluid inclusions reveal that the ore-forming fluids characterized by middle-high temperature, low salinity and rich in CO₂ and H₂O. The data of stable isotope suggest that the ore-forming fluids is mainly from magmatic water in the early stage of mineralization and much meteoric water were mixed into the ore-forming system during the late stage.

Key words altered cataclastic rock type gold deposit ore-control factors genesis Yingzuishan

鹰咀山金矿床位于甘肃省肃北蒙古族自治县,东经 96°18',北纬 39°42'。1995 年,甘肃地质矿产勘查开发局酒泉地质调查队在二轮区划工作的基础上,依据对构造环境和成矿背景的分析,确定了成矿有利地段,并以自然重砂中金高点为线索,发现了鹰咀山金矿。1996~2000 年,酒泉地质调查队和甘肃省地质调查院先后对该矿床进行了初步普查、详查和区域金矿评价,初步查明了矿区地质特征及矿体的形态、规模及产状^{①②③}。毛景文等于 1995~1997

年对该金矿床地质和成矿地球化学等进行了研究,认为该矿床为剪切带型金矿床(毛景文等,1998,2000,2003)。夏林圻等于 1996~1999 年对该金矿床地质背景和找矿标志等进行了研究(夏林圻等,2001),认为该矿床为超镁铁岩型金矿床。随着矿床勘查程度的提高,该矿床已经成为一个大型金矿床(333+334₁ 金资源量 24 t),平均品位 7×10⁻⁶。本文在系统地总结鹰咀山金矿床的区域地质条件和矿化特征的基础上,探讨了成矿过程和背景,并确定鹰

本文由地质调查项目(19991020168003)、国家重点基础研究发展规划项目(G1999043211)和原国家计委科技找矿项目(JG9471902)联合资助。

收稿日期:2003-2-16;责任编辑:宫月莹。

第一作者:叶得金,男,1961 年生,教授级高级工程师,中国地质大学(北京)博士研究生,矿床学专业。

① 甘肃省地质矿产勘查开发局酒泉地质矿产调查队。1997. 甘肃省肃北县鹰咀山金矿区普查总结。

② 甘肃省地质矿产勘查开发局酒泉地质矿产调查队。1998. 甘肃省肃北蒙古族自治县鹰咀山金矿区详查地质报告。

③ 甘肃省地质调查院。2000. 祁连山肃北-昌马一带金多金属资源评价报告。

咀山金矿为蚀变碎裂岩型金矿床。

1 区域地质背景

鹰咀山金矿区位于北祁连造山带西段,北西以阿尔金断裂、北东以祁连山北麓山前断裂为界与河西走廊相接,南部为昌马盆地。构造上处于华北板块、塔里木板块和祁连山造山带的交汇部位(图 1)。

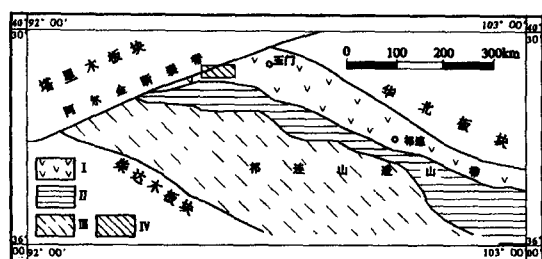


图 1 北祁连西段大地构造位置图

Fig. 1 Geotectonic map of the western section of North Qilian Mountains

I-北祁连造山带;II-中祁连隆起;III-南祁连造山带;IV-研究区范围
I-North Qilian orogenic belt;II-Middle Qilian uplift;
III-South Qilian orogenic belt;IV-research area

出露地层有太古-古元古界、下古生界、上古生界、中生界和新生界。太古-古元古界敦煌岩群分布于阿尔金断裂以北,由大理岩、黑云斜长片麻岩、二云石英片岩和石榴角闪岩组成。下古生界寒武系分布于青山岩体南西,由黑茨沟组和香毛山组组成。奥陶系分布于青山岩体北东,由下奥陶统阴沟群和中奥陶统妖魔山组组成。志留系分布于研究区的北侧,为一套海相碎屑岩建造。上古生界石炭系羊虎沟组、二叠系大黄山组沿阿尔金断裂零星分布,为一套陆相碎屑岩建造。中生界白垩系新民堡群分布于研究区的东部,为一套陆相碎屑岩建造。新生界为一套陆相碎屑沉积,分布于研究区的南北两侧(图 2)。

该研究区主要位于北祁连造山带西端,区内断裂构造发育,阿尔金 NEE 向大型走滑断裂的多期活动控制了古生代以来的沉积建造和岩浆活动,NWW 向断裂控制了该区金矿床的分布,NNE 向断裂规模较小,对矿床有破坏作用。褶皱构造主要有

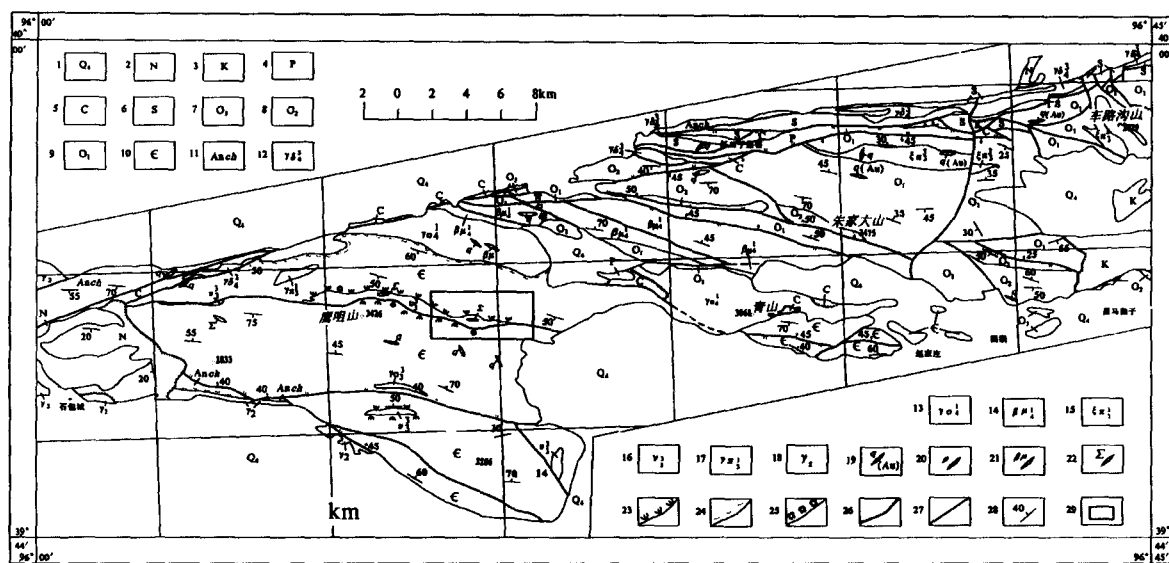


图 2 鹰咀山-车路沟山地质图

Fig. 2 Regional geological map of Yingzuishan and Chelugou mountains

1-第四系粘土、砂土、碎石、砾石;2-第三系砾岩夹砂质泥岩;3-白垩系泥岩、砂岩、砾岩夹泥灰岩、石膏层;4-二叠系泥岩、砂岩、砾岩;5-石炭系灰岩、页岩夹煤层;6-志留系砂岩、粉砂岩、泥岩、板岩夹灰岩;7-奥陶系上统凝灰质砂岩、板岩夹凝灰岩;8-奥陶系中统凝灰岩、板岩、凝灰质砂岩夹灰岩;10-寒武系砂岩、凝灰岩、板岩夹砾岩;11-元古界大理岩、片岩、片麻岩、斜长角闪岩;12-晚古生代晚期花岗岩、闪长岩;13-晚古生代早期斜长花岗岩;14-晚古生代早期辉绿岩;15-早古生代晚期英安斑岩;16-早古生代晚期辉长岩;17-早古生代早期斜长花岗岩;18-元古代片麻状花岗岩;19-石英脉(含金);20-伟晶岩脉;21-辉绿岩脉;22-超基性岩脉;23-蛇纹石化;24-混合岩化;25-硅化;26-不整合界线;27-断层;28-产状;29-矿区位置(图 3 位置)

1-Quaternary clay, sand, detritus, conglomerate; 2-Tertiary sandstone intercalated with sandy mudstone; 3-Cretaceous mudstone, sandstone, conglomerate intercalated with marl and gypsum bed; 4-Permian mudstone, sandstone, and conglomerate; 5-Carboniferous limestone, shale intercalated with coal bed; 6-Silurian sandstone, siltstone, mudstone, slate intercalated with limestone; 7-Upper Ordovician tuffaceous sandstone, slate intercalated with tuff; 8-Middle Ordovician limestone; 9-Lower Ordovician ignimbrite, slate, tuffaceous sandstone intercalated with limestone; 10-Cambrian sandstone, tuff, salt intercalated with conglomerate; 11-Proterozoic marble, schist, gneiss and plagioclase amphibolite; 12-Early upper Paleozoic granodiorite, amphibolite; 13-Early upper Paleozoic plagiogranite; 14-Early upper Paleozoic diabase; 15-Later Lower Paleozoic dacite porphyry; 16-Later Lower Paleozoic gabbro; 17-Early Lower Paleozoic palgio granite-porphry; 18-Proterozoic gneissic granite; 19-Gold-bearing quartz vein; 20-Pegmatite vein; 21-Diabase vein; 22-ultrabasic rock dike; 23-Serpentinization; 24-Migmatization; 25-Silication; 26-Discordant boundary; 27-Fault; 28-Occurrence; 29-ore district (Fig. 3)

鹰咀山复向斜和朱家大山复向斜。

该区岩浆活动频繁,从深成岩到浅成岩、基性岩到酸性岩均有出露,其中以古生代侵入岩最为发育。早古生代主要形成2条侵入岩带,即沿鹰咀山北坡分布的深成基性岩带和沿红口子-车路沟山分布的浅成酸性岩带。晚古生代侵入岩主要形成3条侵入岩带,即沿青石峡-阳凹大泉分布的浅成基性岩带、沿牛毛泉-青山分布的深成酸性岩带和沿阿尔金断裂带形成的深成中酸性侵入岩带。元古代花岗岩分布次之,主要分布在石包城一带。

该区火山岩较发育,形成于寒武纪和奥陶纪,但其形成的构造环境不同(夏林圪等,1998)。寒武纪火山岩产于大陆裂谷环境,形成安山质含角砾晶屑岩屑凝灰岩-流纹质岩屑凝灰岩-杏仁状安山岩、安山质角砾晶屑凝灰岩-安山质凝灰熔岩2个韵律旋回;奥陶纪火山岩产于沟弧盆系的岛弧环境,形成了由安山玢岩、橄榄玄武岩、安山岩、英安岩和中性火山碎屑岩组成的2个喷发旋回和二十多个喷发韵律。

研究区变质作用主要有3种:①区域动力热流变质,变质地层为敦煌岩群,变质变形作用强烈,达角闪岩相;②区域低温动力变质,变质地层为下古生界,变质程度浅,为低绿片岩相;③动力变质,主要为机械破碎形成的碎裂岩和韧性剪切形成的糜棱岩。

2 矿床地质

2.1 成矿地质条件

鹰咀山矿区位于北祁连加里东褶皱带西端之鹰

咀山向斜的北翼,出露的地层主要为寒武系黑茨沟组火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩(图3)。该岩群从下至上分3个岩性段:一段分布于北缘,为粉砂质板岩、硅质岩、结晶灰岩、安山岩夹英安质角砾凝灰熔岩,厚度大于342 m;二段分布于中部,为凝灰岩、凝灰熔岩、火山角砾岩夹安山岩和英安岩,与一段整合接触,岩石破碎蚀变强烈,为赋矿地层,厚度大于135.1 m;三段分布于南缘,为砂岩、板岩夹灰岩、硅质岩、凝灰岩、英安质火山角砾岩,粉砂质板岩为矿体顶板主要围岩,厚度大于1197.3 m。

该矿区地层呈单斜产出,倾向 $195^{\circ}\sim 205^{\circ}$,倾角 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。断裂构造发育,NWW向断裂走向 $270^{\circ}\sim 290^{\circ}$,倾向南西,倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$,为主断裂,控制金矿(化)体的分布。NE向断裂规模小,属平移断裂,断距10~130 m,使矿体出现错位。NWW向断裂为韧性剪切断裂。表现为,①石英具细粒化和韧性变形:由于受应力作用的影响,石英具破碎和重结晶等现象,部分石英形成同心圆放射状,石英颗粒大小一般直径为0.02~0.14 mm。由部分薄片的分析结果可知,除少数可见微粒状石英外,大部分只有光性反应,而分不出石英个体,石英碎屑具重结晶和强波状消光,边缘具不完整的次生加大现象;②矿物具拉丝构造:石英在小脉中呈长条状垂直脉壁向内生长,石英和长石形变成扭曲长条或长丝状交生在一起。③断裂带构造面理产状 $250^{\circ}\sim 260^{\circ}/55^{\circ}\sim 80^{\circ}$,拉伸线理,鞘褶皱产状 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}/60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,反映该剪切带为逆冲式剪切带。

矿区内岩浆岩比较发育,主要为基性、超基性岩

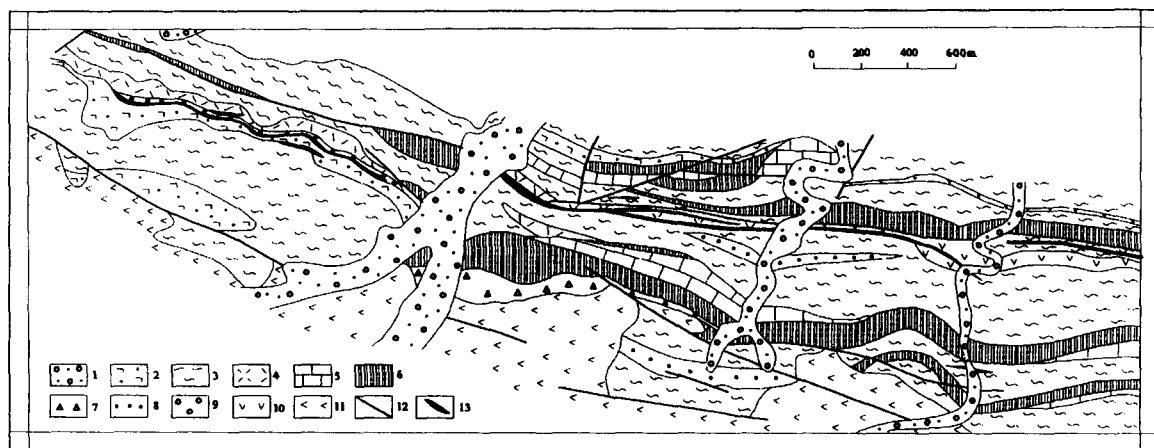


图3 鹰咀山金矿地质图(据甘肃地质勘查局酒泉地质调查队,1997)

Fig.3 Geological map of Yingzuishan gold deposit(after Jiuquan Geological Survey

Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources,1997)

1-第四系;2-角砾凝灰熔岩;3-板岩;4-凝灰岩;5-灰岩;6-硅质岩;7-英安角砾岩;8-砂岩;9-砾岩;10-安山岩;
11-辉长岩;12-断层;13-含矿蚀变破碎带

1-Quaternary;2-brecciated tuffaceous lava;3-slate;4-tuff;5-limestone;6-siliceous rock;7-dacitic breccia;
8-sandstone;9-conglomerate;10-andesite;11-gabbro;12-fault;13-ore-bearing fractured zone

呈岩墙或岩脉侵入于矿区和南部地层。其次有闪长玢岩脉、安山玢岩脉和石英脉。

2.2 矿体特征

矿体赋存于寒武系黑茨沟组凝灰岩、角砾凝灰岩等火山岩内。顶板为粉砂质板岩,底板有硅质岩、石英岩、凝灰熔岩和凝灰岩等。矿化蚀变带总长为 5 km,宽约 30 m,NWW 走向,展布方向与地层和

断裂构造方向一致,倾向南,倾角约 60°。

共圈出 7 个金矿体。矿体长 40~730 m,厚 0.38~5.42 m。矿体形态以透镜状、似层状为主,矿体产状 $174^{\circ}\sim 208^{\circ}/35^{\circ}\sim 87^{\circ}$,平均品位 $1.50\times 10^{-6}\sim 12.22\times 10^{-6}$ 。矿体沿走向、倾向具波状弯曲、膨胀收缩等特点(图 4)。局部被后期近 SN 向或 NE 向平移断层破坏,位移一般小于 10 m。

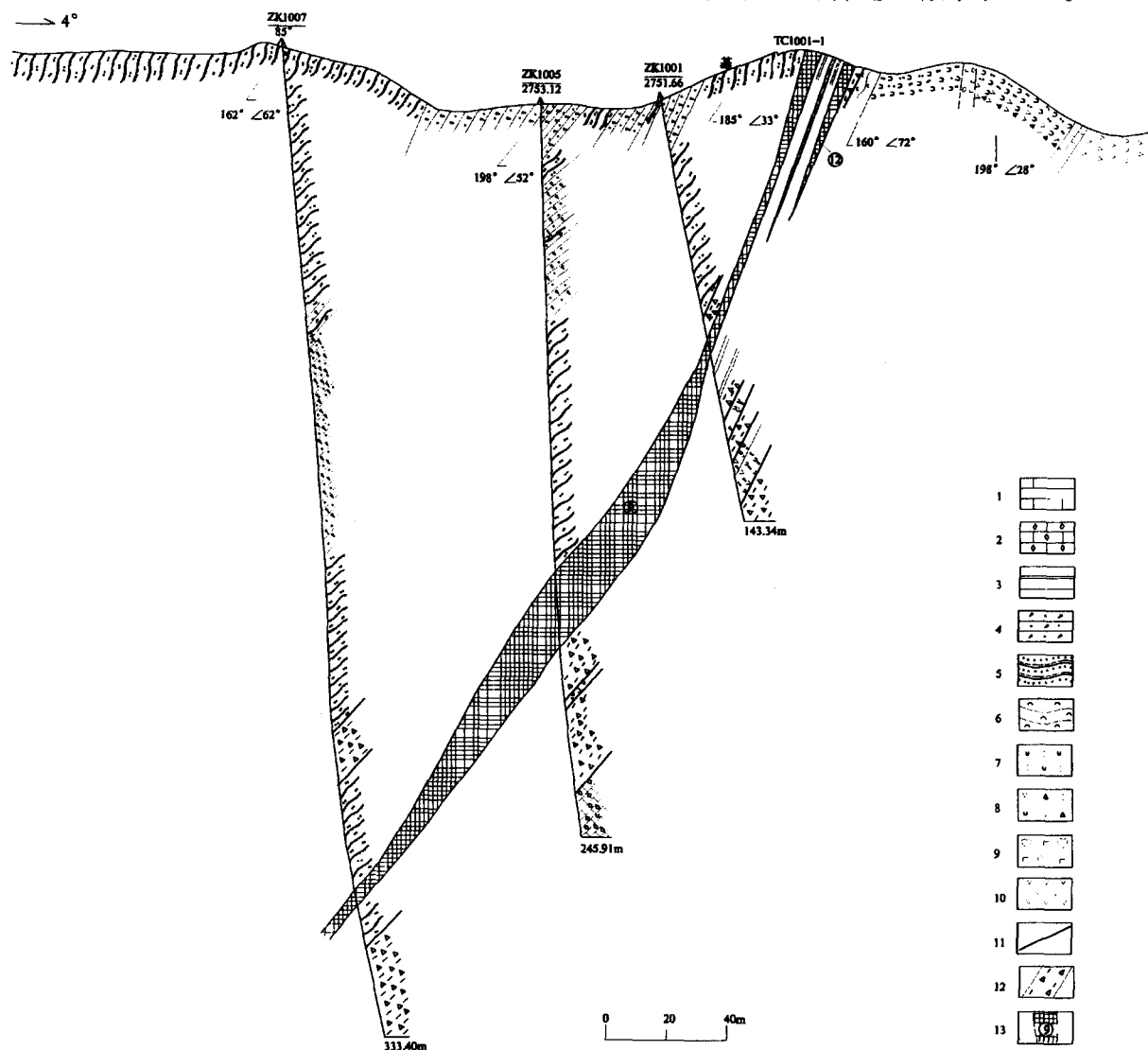


图 4 鹰咀山金矿区 100 线剖面图

Fig. 4 The section profile of No. 100 exploration line in Yingzuishan gold ore district

1-灰岩;2-结晶灰岩;3-硅质岩;4-岩屑砂岩;5-粉砂质板岩;6-滑石片岩;7-凝灰熔岩;
8-安山质角砾凝灰岩;9-杏仁状玄武岩;10-安山岩;11-断层;12-断层破碎带;13-金矿体及编号

1-limestone;2-crystalline limestone;3-siliceous rock;4-lithic sandstone;5-silty slate;6-talc schist;7-tuffaceous lava;
8-andesite brecciated tuffaceous lava;9-amygdaloidal basalt;10-andesite;11-fault;12-fault fractured zone;13-gold orebody and its number

2.3 矿化与蚀变

2.3.1 原生成矿期 该成矿期为主要成矿期,可划分为 3 个成矿阶段。

(1)石英-黄铁矿阶段:该阶段热液活动主要表现为交代和充填 2 种作用方式。热液活动之前,岩

石在构造应力作用下产生裂隙,为含矿热流体提供了运移通道及沉淀空间。沿大断裂上升的深部成矿流体运移至剪切带内的构造裂隙中富集沉淀,形成含金硅质岩及含金石英脉。黄铁矿等硫化物主要呈浸染状分布于矿石中。

(2)石英-黄铁矿-黄铜矿-方铅矿阶段:该阶段石英脉发育,第一阶段形成的含金硅质岩受构造变动影响,破碎裂隙被此阶段硅质及金质成分充填,相互叠加,形成品位较高的富矿段。金属硫化物沿构造裂隙充填呈脉状,或形成块状矿石。脉状金属矿物明显切穿前期石英脉。由大量的金属硫化物构成的块状矿石呈透镜状产出,品位较高,并可形成自然金,颗粒较大,粒径为0.975~0.028 mm,但规模较小,分布有限,构成了矿床富矿段。

(3)石英-方解石-滑石阶段:该阶段宏观上表现为含铜碳酸盐矿物沿构造裂隙充填呈透镜状、脉状,沿矿带零星分布,Au矿化较强,矿石品位为 $0.1 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-6}$ 。滑石化局限于超基性岩地段,表现为滑石片岩及滑石脉体沿构造裂隙分布。

2.3.2 表生矿期 该成矿期表现为岩石具褐铁矿化,褐铁矿为针状、球粒状,多具黄铁矿假象,局部地段地表矿石氧化淋滤成蜂窝状,硫化物大量流失,残留下硅质格架,含金较高。碳酸盐化发育地段具孔雀石化。由于矿石致密,硫化物较少,在风化条件下不能形成大量的铁盐、氢离子和硫代硫酸盐等,加之气候较干燥,所以地表次生氧化作用不很发育,Au在氧化淋滤过程中呈惰性,次生富集作用较微弱。宏观来看,围岩具褐铁矿化、黄钾铁矾化等,形成了褐黄色蚀变条带,可作为直接找矿标志。

矿(化)带岩石遭受不同程度的蚀变。有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、蛇纹石化、粘土化和滑石化等。硅化最为强烈,分布广泛,且与金矿化呈正相关。碳酸盐化、蛇纹石化沿破碎带呈带状或透镜状展布,与金矿化有一定的关系。

3 矿床地球化学

3.1 稀土元素揭示的物源信息

蚀变破碎岩型金矿床中,含矿交代岩(蚀变岩)是含矿热液与围岩进行组分交换作用的产物,交代过程中,稀土元素往往作“整体”迁移,且随着外界条件的显著变化而发生分馏。含矿热液与不同围岩作用形成的各种交代岩具有不同的稀土元素配分型式;某一特定围岩与含矿热液作用所形成的一系列交代岩稀土元素配分型式总体保持不变,只是含量上发生变化(张德全等,1992)。因此,不同蚀变和矿化强度的各种近矿交代岩具有大致相同的稀土元素配分型式是其源于同一母岩的有效标志。鹰咀山金矿床各种近矿交代岩和矿石的 ΣREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 比值及 δEu 值有显著变化(表1),但稀土元素配分型式基本保持不变,且与容矿凝灰岩的稀土配分型式极为相似(图5、图6),表明容矿的中酸性火山岩即为矿源岩。

3.2 稳定同位素的物源信息

矿石中载金硫化物(黄铁矿2件,方铅矿1件)的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化于2.25‰~8.93‰之间,平均6.15‰,该范围与超基性和基性岩 $\delta^{34}\text{S}$ 的组成范围有较大程度的重叠,部分位于地幔 $\delta^{34}\text{S}$ 组成范围内,表明鹰咀山金矿床成矿热液中硫主要为深源特征。

鹰咀山金矿石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为10.7‰~18.0‰,平均13.9‰,O同位素值变化不大(毛景文等,2000;夏林圻等,2001)。利用流体包裹体测温数据和 $1000 \ln \alpha_{\text{水-石英}} = 3.38 \times 10^6/T^2 - 3.4$ (Clayton, 1972)分馏公式计算,求得成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值域

表1 鹰咀山金矿床岩(矿)石稀土元素分析结果(10^{-6})

Table 1 The REE analysis results of rocks (ores) in Yingzuishan gold deposit

$\times 10^{-6}$

样号	采样位置	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	合计	La/Yb	La/Sm	δEu
YZ11-3	矿石	3.85	6.09	0.76	1.89	0.22	0.10	0.13	0.02	0.15	0.02	0.06	0.01	0.11	0.02	13.43	35.00	17.50	1.80
YZ11-5	矿石	6.30	8.57	0.80	2.50	0.52	0.14	0.39	0.07	0.50	0.09	0.24	0.03	0.23	0.04	20.42	27.39	12.12	0.99
YZ13-3	矿石	2.05	3.15	0.35	1.17	0.29	0.06	0.13	0.02	0.14	0.03	0.07	0.01	0.08	0.01	7.56	26.62	7.07	0.95
YZ13-4	矿石	2.80	3.48	0.36	1.71	0.33	0.05	0.28	0.05	0.34	0.07	0.21	0.03	0.23	0.04	9.98	12.17	8.48	0.48
YZ7-1	矿石	8.37	13.01	1.53	5.14	1.12	0.28	0.58	0.30	0.91	0.17	0.56	0.10	0.42	0.10	32.59	19.93	7.47	1.03
YZ11-1	板岩	40.07	68.72	6.87	27.67	5.56	1.16	5.52	0.91	4.47	0.98	2.90	0.38	2.35	0.28	167.74	17.05	7.21	0.70
YZ11-2	近矿板岩	39.06	73.37	7.82	35.32	8.86	2.27	11.72	1.81	9.93	1.96	5.40	0.72	3.84	0.42	202.50	10.17	4.41	0.76
YZ13-2	近矿板岩	35.53	60.47	6.39	24.33	5.09	1.01	3.32	0.53	3.66	0.78	2.54	0.32	2.07	0.30	146.32	17.16	6.98	0.77
* VREE17	凝灰岩	14.60	36.30	4.61	19.50	4.39	1.48	5.08	0.77	5.08	0.88	2.53	0.39	2.46	0.37	91.81	5.93	3.33	0.96

注: * 由宜昌地质矿产研究所测试,其余均在国家地质实验测试中心完成。

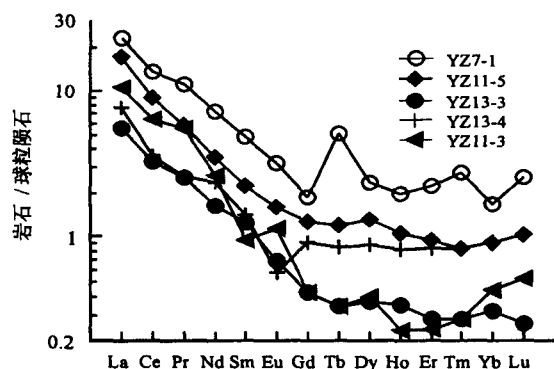


图5 鹰咀山金矿床矿石稀土元素配分型式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of the ores from the Yingzuishan gold deposit

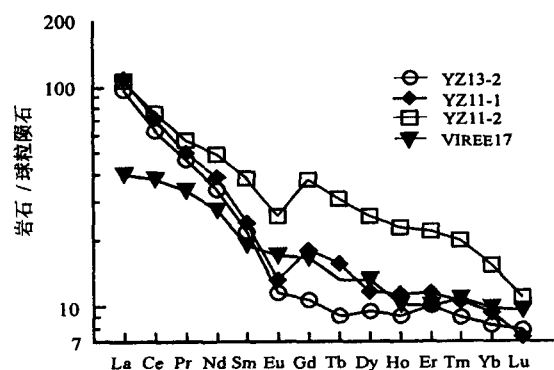


图6 鹰咀山金矿床围岩稀土元素配分型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of the wall rocks from the Yingzuishan gold deposit

为 1.83‰ ~ 7.35‰, 平均 4.86‰。按照 Sheppard (1986) 界定的范围 (岩浆水的同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 5.5‰ ~ 9.5‰), 鹰咀山金矿的成矿流体应以岩浆水为主, 并在一定程度和范围混合了大气降水。

3.3 成矿流体化学成分

鹰咀山金矿床石英中气液包裹体的均一温度、盐度及密度列于表 2, 均一温度和盐度直方图见图 7。从图中可以看出, 成矿均一温度范围为 170 ~ 358 °C, 主要为 200 ~ 320 °C。该矿床主要成矿流体属 NaCl-H₂O 低盐度体系, 其盐度范围为 3.8% ~ 17.6%, 绝大多数为 4.8% ~ 7.2% 之间。从盐度与均一温度的对应关系来看, 并没有出现盐度随均一温度的变化而发生显著变化的现象, 盐度在整个成矿过程中相对比较稳定。根据成矿流体的温度、盐度与密度之间的关系, 求得该矿床成矿流体的密度为 0.65 ~ 1.00 g/cm³, 属中等密度流体。随着成矿作用的进行, 流体的密度呈现增大的趋势。由 NaCl-H₂O 体系压力-密度-温度关系图可以查得石英包裹体的捕获压力为 12 ~ 60 MPa, 代表了金矿床形成

表 2 鹰咀山金矿床石英中包裹体均一温度、盐度及密度
Table 2 The homogenization temperature, salinity and density of fluid inclusions in quartz from Yingzuishan gold deposit

样号	$t_{\text{均}}/^\circ\text{C}$	$w(\text{NaCl})/\%$	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
YZS2-1(1)	278	6.6	0.81
YZS2-2(15)	170~305	4.8~9.3	0.76~0.93
YZ11-3(10)	200~350	3.8~7.2	0.69~0.90
YZ13-3(2)	328~335	6.7~7.2	0.72~0.73
YZ13-4(2)	285~305	5.7~6.3	0.76~0.78
YZ13-4(16)	240~315	4.5~6.7	0.75~0.83
YZ11-5(8)	219~358	4.5~6.0	0.65~0.90
97Y-256(3)	181~207	5.9~17.6	0.92~1.00
97Y-252(1)	175	—	—

注: 括号内为测试数。

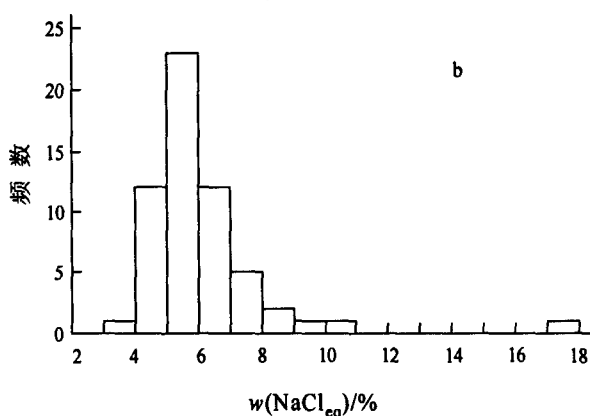
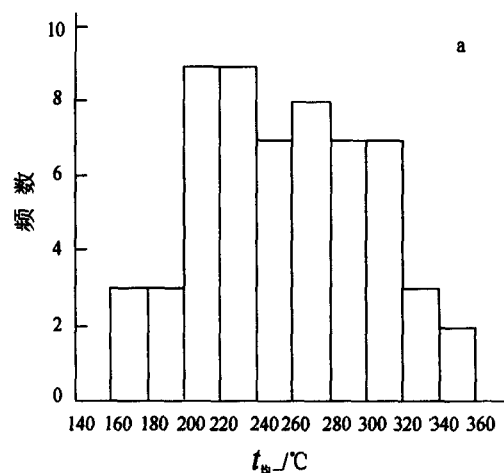


图 7 鹰咀山金矿床石英中流体包裹体
均一温度(a)和盐度(b)直方图

Fig. 7 Histogram of homogenization temperatures(a) and salinities(b) from quartz in Yingzuishan gold deposit

时成矿流体的压力下限。随着矿化由早阶段向晚阶段演化, 成矿压力逐渐降低。成矿压力的变化, 说明金矿床成矿受构造控制比较明显。

3 件石英中流体包裹体的激光拉曼探针分析结

果(表3)显示,气、液相组分中,以 CO_2 含量为最高,其次为 H_2O ,说明 CO_2 和 H_2O 是成矿流体的主要成分,对成矿起着关键的作用。同时不同程度地含有 H_2S 、 CH_4 、 H_2 和 N_2 ,包裹体还原参数为0.21~0.40,反映矿化流体是一种较氧化和富 CO_2 的 H_2O - NaCl 体系,与深源流体包裹体,尤其是与中深成侵入岩有关的金银矿床包裹体成分组成相似(张立东,1992);包裹体盐水溶液中,阳离子均低于检出限,阴

离子团有 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和 HS^- 离子。其中, SO_4^{2-} 和 HS^- 含量最高,表明金主要以硫络合物或硫代硫酸盐形式迁移。溶液中硫的价态可能对矿化起主导作用。如深部弱矿化石英脉中流体包裹体阴离子为 HS^- 和 HCO_3^- ,而地表次生石英岩矿石中流体包裹体阴离子为 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} ,显示了含金次生石英岩形成时热液系统氧逸度较高或低温浅源组分增多,指示成矿溶液中加入较多循环大气降水。

表3 鹰咀山金矿床石英流体包裹体激光拉曼光谱分析结果

Table 3 Laser Raman Spectrometer analyses on fluid inclusions in quartz from Yinzuishan gold deposit

样号	$x(\text{B})$ 气相/%						$x(\text{B})$ 液相/%				$c(\text{B})$ 盐水溶液/ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$					资料来源
	CO_2	N_2	H_2S	CH_4	H_2O	H_2	H_2O	CO_2	H_2S	CH_4	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	HS^-		
YZS2-1	71.2	8.8	7.0	10.8	—	2.2	29.6	45.4	15.1	9.9	0.35	—	0.25	—	毛景文等 (2003)	
YZS2-2	63.7	—	—	—	22.9	13.4	50.1	42.9	—	7.0	0.25	0.16	…	—		
97-256	—	—	34.7	11.6	40.3	13.4	24.2	61.1	10.4	4.3	—	0.07	—	0.16	夏林圻等 (2001)	

4 讨论和结论

4.1 金矿床受多级断裂系统控制

鹰咀山金矿床金矿化的空间分布明显受断裂构造的控制,并表现出多级有序的特点。NEE向古阿尔金断裂带、NWW向的区域断裂及NWW向矿区蚀变碎裂岩带组成的三级“断裂系统”,是鹰咀山金矿床乃至北祁连山西端的主要构造格局。NEE向古阿尔金断裂带是本区该矿形成的I级控矿断裂,该断裂带规模大,切割深,经历过多期构造活动,是地壳深部乃至上地幔物质向上运移的良好通道。NWW向区域断裂为II级控矿断裂,它的发育对矿区岩石变形、含金蚀变带及与金矿化有成生联系的岩浆活动起着明显的制约作用。NWW向蚀变碎裂岩带是III级构造裂隙带,碎裂岩带是该矿床的主要容矿构造,沿碎裂岩带形成的硅化、黄铁矿化、绢云母化等蚀变带以及充填于碎裂岩带中的硫化物,即石英脉构成了矿化带或矿体。鹰咀山金矿床是一个典型的蚀变碎裂岩型金矿床,金矿化与蚀变碎裂岩带关系密切。

4.2 火山碎屑岩是矿床产出的有利赋矿围岩

许多学者认为金矿床不论围岩岩性如何,只要具备一定的成矿地质构造条件,其中都会形成工业矿体。然而,在北祁连西段围岩岩性对金矿床的控矿特征十分明显。在鹰咀山矿区,赋矿岩系岩性有凝灰岩、英安岩、角砾熔岩、火山角砾岩、砂板岩及超

基性岩等,但工业矿体均产于碎裂凝灰岩、火山角砾岩等火山碎屑岩中,而蚀变的砂板岩、超基性岩仅形成一些小矿化体。金矿化强度(矿床的数量及储量)与围岩中金的初始克拉克值之间为正相关关系,而成矿难易程度则与围岩的可溶性、裂隙发育程度及孔隙连通性呈消长关系(袁见齐等,1979)。鹰咀山金矿床容矿岩石主要为中酸性火山碎屑岩,岩石孔隙度高,而且有效孔隙度大,有利于热液运移并形成大矿床。尽管矿(化)带岩石遭受不同程度的硅化、绢云母化和碳酸盐化等蚀变,不排除成矿物质多来源的可能,但矿石与围岩稀土元素特征显示容矿中酸性火山岩即为矿源岩。

4.3 矿床成因

鹰咀山金矿床矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 在2.25‰~8.93‰之间,变化范围小。金矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为10.7‰~18.0‰。说明金等成矿物质主要来自地层,成矿流体应以岩浆水为主,并在一定程度和范围混合了大气降水。

矿床主要成矿温度范围为200~320℃,属中温热液。成矿流体的盐度大多数为4.8%~7.2%。石英流体包裹体气、液相组分中,以 CO_2 、 H_2O 为主,包裹体还原参数为0.21~0.40,反映了矿化流体是一种较氧化和富 CO_2 的 H_2O - NaCl 体系,与深源流体包裹体的组成相似。

尽管前寒武纪和古生代在北祁连地区先后出现过开裂、俯冲和碰撞过程(夏林圻等,1996;左国朝

等,1997),但印支期以来的陆内造山作用规模更加宏大(左国朝等,1997),使得位于华北板块与柴达木板块之间的北祁连地区在受挤压隆升的同时,发生了大规模的 NWW 及 NW 向的推覆走滑,形成了一系列走滑断裂带和韧性及脆性剪切带。这些大断裂是深部成矿物质向上运移的重要通道,与之配套的韧性剪切带,尤其是韧性与脆性剪切带的过渡部位是良好的储矿部位。

综上所述,鹰咀山金矿床是在原始含金火山碎屑岩建造的基础上,经多期热液活动,金成矿物质几经活化、迁移,最终在适宜的构造部位聚集成矿,其中断裂构造是至关重要的。

参 考 文 献

- 毛景文,张作衡,杨建民等. 1998. 甘肃鹰咀山金矿床地质和成矿地球化学. 矿床地质, 17(4): 297~306.
- 毛景文,张作衡,杨建民等. 2000. 北祁连山西段剪切带型金矿床成矿流体特征. 矿床地质, 19(1): 12~21.
- 毛景文,张招崇,杨建民等. 2003. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价. 北京:地质出版社.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 1996. 北祁连山元古宙末—寒武纪主动大陆裂谷火山作用. 地球学报, 17(3): 282~291.
- 夏林圻,夏祖春,任有祥等. 2001. 北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学. 北京:中国大地出版社.
- 袁见齐,朱上庆,翟裕生. 1979. 矿床学. 北京:地质出版社.
- 张德全,李大新,赵一鸣等. 1992. 紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带. 北京:地质出版社.
- 张立东. 1992. 金银矿床中流体包裹体研究现状. 贵金属地质, 1(1): 70~76.
- 左国朝,吴汉泉. 1997. 北祁连山中段早古生代双向俯冲-碰撞造山模式剖析. 地球科学进展, 12(4): 315~232.

Reference

- Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope ex-

change between quartz and water. Journal of Geophysics Research, 77: 3057~3067.

- Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Yang Jianmin et al. 1998. Geology and metallogenic geochemistry of the Yingzuishan gold deposit, Gansu province. Mineral Deposits, 17(4): 297~306 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Yang Jianmin et al. 2003. The metallogenic series and prospecting assessment of copper, gold, iron and tungsten polymetallic ore deposits in the west sector of the Northern Qilian Mountains. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yang Jianmin et al. 2000. Fluid inclusions of shear zone type gold deposits in the western part of Northern Qilian Mountains. Mineral Deposits, 19(1): 12~21 (in Chinese with English abstract).
- Sheppard S M F. 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters. Reviews in Mineralogy, 16: 165~183.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. 1996. The Late Proterozoic-Cambrian active continental rift volcanism in northern Qilian Mountains. Acta Geoscientia Sinica, 17(3): 282~291 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang et al. 2001. Tectonic-volcanic magama-metallogenic dynamics of North Qilian Mountains. Beijing: China Land Publishing House, 1~296 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Jianqi, Zhu Shangqing, Zhai Yusheng. 1979. Mineral deposit. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Dequan, Li Daxin, Zhao Yiming et al. 1992. The alteration and mineralization zone of Zijinshan copper gold deposit. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Lidong. 1992. The research advance of fluid inclusion in gold silver deposit. Journal of Precious Metallic Geology, 1(1): 70~76 (in Chinese).
- Zuo Guochao, Wu Hanquan. 1997. A bisubduction-collision orogenic model of Early-Plaeozoic in the middle part of Northern Qilian area. Advance in Earth Sciences, 12(4): 315~323 (in Chinese with English abstract).