

# 鲁西归来庄金矿田成矿系列及成矿作用研究

于学峰<sup>1,2)</sup>, 方宝明<sup>2)</sup>, 韩作振<sup>1)</sup>

1) 山东科技大学, 山东青岛, 266510; 2) 山东省国土资源厅, 济南, 250014

**内容提要:**归来庄金矿田内金矿化类型较多, 主要由隐爆角砾岩型、镁质碳酸盐岩微细浸染型、含铁矽卡岩上叠加型、斑岩型和破碎带蚀变岩型等多种类型的矿床(点)组成。在成因上均与铜石富钾碱性潜火山杂岩关系密切, 岩浆活动为成矿提供了热液和热源。杂岩体构成的潜火山穹窿及伴生的环状放射状构造, 控制着矿体的分布。新太古代泰山岩群为主要矿源层; 寒武纪朱砂洞组上灰岩段之碳酸盐岩是磨坊沟金矿的有利含矿层位; 寒武系上部—奥陶系下部的白云质灰岩、白云岩等是归来庄金矿的有利围岩。矿田内与中生代燕山早期中偏碱性潜火山杂岩有关的金(铜、铁)成矿亚系列多种类型金矿化相伴产出, 受潜火山穹窿的控制, 它们生成于不同深度不同地质构造部位, 赋存于不同的地质体中, 是在铜石潜火山中低温热液成矿系统中生成的金矿类型组合。每一矿床都是统一的成矿模式中的一个个体, 它们构成了一个较完整的成矿亚系列。

**关键词:** 隐爆角砾岩; 镁质碳酸盐岩; 成矿系列; 成矿作用; 归来庄金矿田; 鲁西

归来庄金矿田位于山东省平邑县城东南约 25km, 面积约 120km<sup>2</sup>。矿田内继归来庄大型新类型金矿床发现之后, 又相继发现了卓家庄、磨坊沟、梨方沟、贺山庄等多处中、小型金矿床及宝古山、银洞沟、郝家山头等一大批金矿点和金矿化点, 显示出巨大的找矿潜力。矿床的形成与中生代燕山早期中偏碱性潜火山杂岩有关, 是在同一成矿系统——铜石潜火山中低温热液成矿系统中生成的金矿类型组合。笔者注意到前人有关本区金矿的有关论著中, 大多是从研究某一单独类型金矿入手, 其认识往往带有孤立性和片面性。本文旨在从统一的成矿系统(翟裕生, 1999)入手, 研究了归来庄金矿田不同类型金矿特征及其成生联系, 探讨潜火山热液成矿作用, 总结控矿因素与成矿规律。

## 1 成矿地质背景

鲁西归来庄金矿田位于滨西太平洋成矿域中部, 地处华北板块东南缘, 郯庐断裂带以西, 鲁西地块南部, 尼山凸起与平邑凹陷的接壤地带。区内地层主要为新太古代泰山岩群山草峪组变质岩系, 古生代寒武系、奥陶系碳酸盐岩及碎屑岩, 中生代侏罗系—白垩系碎屑岩及火山岩等。断裂构造发育,

NNW 向的主干断裂及次级 NW 向断裂控制了地层及岩浆岩的展布; 近 EW 向及 NW 向的次级断裂是本区的主要控矿构造。新太古代花岗闪长岩及古元古代二长花岗岩构成了本区的结晶基底。中生代燕山早期构造-岩浆活动强烈, 形成了主要由二长闪长质岩石、二长正长质岩石构成的铜石潜火山杂岩体。同时形成了与中生代燕山早期潜火山岩浆热液有关的隐爆角砾岩型、镁质碳酸盐岩微细浸染型等多种类型金矿(图 1)。

## 2 成矿系列及典型矿床特征

### 2.1 成矿系列及矿床类型划分

归来庄矿田内中生代燕山早期中偏碱性潜火山杂岩有关的热液型金矿化强烈, 并伴生银、碲、铜及铁矿化, 矿床类型多样。根据陈毓川等(1999, 2006)关于成矿系列研究与划分的方法, 归来庄金矿田应属于鲁西中生代侵入岩有关的金(铜、铁)成矿系列, 可进一步划定为归来庄中生代燕山早期与中偏碱性潜火山杂岩有关的金(铜、铁)成矿亚系列。根据各类矿床(点)的控矿地质条件、成矿方式及矿化特点, 可对矿床式、矿床类型做进一步的划分(见表 1)。

注: 本文为山东省矿产资源补偿费项目“鲁西地区金矿 GIS 预测评价”、“山东平邑铜石地区金矿成矿预测”等资助的成果。

收稿日期: 2008-07-12; 改回日期: 2008-09-03; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 于学峰, 男, 1962 年生。研究员, 山东科技大学在读博士研究生。主要从事矿产勘查及矿床学研究、资源评价与技术管理。通

讯地址: 250013, 山东省济南市历下区历山路 52 号; 电话: 0531-86403377; Email: xfengy@sohu.com。

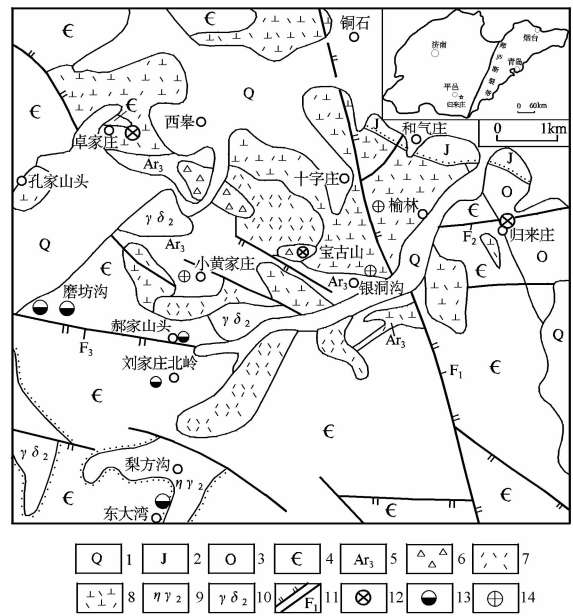


图 1 鲁西归来庄矿田地质矿产略图

Fig. 1 Sketch showing geological mineral resources of Guilaizhuang gold field

1—第四系;2—侏罗系;3—奥陶系;4—寒武系;5—泰山岩群山草峪组;6—中生代燕山早期隐爆角砾岩;7—燕山早期二长斑岩;8—燕山早期二长闪长玢岩;9—古元古代二长花岗岩;10—古元古代花岗闪长岩;11—断层(F<sub>1</sub>—燕甘断裂;F<sub>2</sub>—归来庄断层;F<sub>3</sub>—营子洼断层);12—隐爆角砾岩型(归来庄式)金矿床;13—镁质碳酸盐岩微细浸染型(磨坊沟式)金矿床;14—其他热液型金矿床(点)

1—Quaternary; 2—Jurassic; 3—Ordovician; 4—Cambrian; 5—Shancaoyu formation of Taishan group; 6—crypto-explosive breccia rock in early period of Mesozoic Yanshan group; 7—monzonitic porphyry; 8—monzonitic dioritic porphyry in early period of Yanshan group; 9—Paleoproterozoic admellite; 10—Paleoproterozoic granodiorite; 11—fault (F<sub>1</sub>—Yangan fault; F<sub>2</sub>—Guilaizhuang fault; F<sub>3</sub>—Yingziwa fault); 12—crypto-explosive breccia rock type gold deposit (Guilaizhuang type gold deposit); 13—magnesium carbonate rock micro-disseminated type gold deposit (Mofanggou type); 14—other hydrothermal type gold deposits

2.2 典型矿床特征

2.2.1 归来庄金矿床

归来庄金矿床位于平邑县城东南约 25km、铜石镇东南 4km 处,是鲁西迄今所发现的唯一大型金矿床,其储量达 35t。矿床处在沂沭断裂带的次级 NNW 向断裂——燕甘断裂东侧、铜石潜火山杂岩体东部边缘。矿体呈脉状赋存于沿断裂带侵入的构造隐爆角砾岩带内及其两侧的寒武—奥陶系碳酸盐岩中(图 2、图 3)。

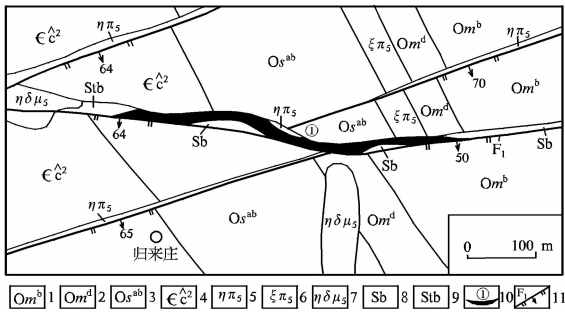


图 2 平邑归来庄金矿地质略图

Fig. 2 Geological sketch of Guilaizhuang gold deposit in Pingyi County

1—奥陶纪马家沟组北庵庄段;2—奥陶纪马家沟组东黄山段;3—奥陶纪三山子组 a+b 段;4—寒武纪炒米店组+三山子组 c 段(原长山组+凤山组);5—中生代燕山早期二长斑岩;6—燕山早期正长斑岩;7—燕山早期二长闪长玢岩;8—隐爆角砾岩;9—碎裂状硅化白云质灰岩;10—矿体及编号;11—断层及编号

1—Bei'anzhuang section of Ordovician Majiagou group; 2—Donghuangshan section of Ordovician Majiagou group; 3—a+b section of Ordovician Sanshanzi group; 4—c section of Ordovician Chaomidian group + Sanshanzi group (former Changshan group + Fengshan group); 5—monzonitic porphyry in early period of Mesozoic Yanshan period; 6—syenite porphyry in early period of Yanshan group; 7—monzonitic dioritic porphyry in early period of Yanshan group; 8—crypto-explosive breccia rock; 9—fractured silicate dolomitic limestone; 10—orebody and its number; 11—fault and its number

矿区内有大小矿体 12 个,以①号矿体规模最大,其资源储量占矿区已查明总资源储量的 99% 以上,其余均为零星小矿体。①号矿体长度 550m,延深>650m,呈脉状产出,矿化连续,沿走向及倾向呈舒缓波状延展,具膨胀狭缩、分支复合特点。西段分为近于平行的上下 2 个支矿体,分别靠近蚀变带顶底板展布。产状与控矿断裂 F1 基本一致,走向近 EW,倾向 S,倾角 45°~68°,自上而下倾角有变缓的趋势。矿体厚度一般在 2~15m 之间,最厚达 36.5 m,平均厚度 6.21m;矿体中部厚度大,向两端及深部渐薄,厚度变化系数 72%,为厚度较稳定矿体。

矿石类型主要有隐爆角砾岩含金矿石(占 70%)、石灰岩白云岩含金矿石(占 27%)及斑(玢)岩含金矿石(占 3%)。矿石结构主要有晶粒结构、填隙结构、假象结构、侵蚀结构、交代残余结构、交代环边结构、星状结构等。矿石构造主要有角砾状构造、浸染状构造、脉状构造、网脉状构造、土状构造及蜂窝状构造等。

表 1 归来庄矿田金矿成矿系列划分表

Table 1 Division of gold ore-forming series of Guilaizhuang gold field

成矿系列	成矿亚系列	矿床式	成因类型	成因亚类型	代表矿床(点)	主要矿种	产出环境及矿化特征
鲁西中生代侵入岩 Au、Cu、Fe 成矿系列	归来庄燕山早期中偏碱性潜火山杂岩 Au、Cu、Fe 成矿亚系列	归来庄式	隐爆角砾岩型	脉状型	归来庄	Au,Ag,	产于杂岩体东边缘脉状隐爆角砾岩带中,围岩为碳酸盐岩;矿体呈脉状,长度 550m、斜深 650m 以上,厚度平均 6.12m;金品位平均 8.10 g/t。大型金矿
				筒状型	卓家庄	Te	产于杂岩体边部筒状隐爆角砾岩中;金品位一般 10~100 g/t,最高可达 1000 g/t。中型金矿
		磨坊沟式	镁质碳酸盐岩微细浸染型		磨坊沟	Au,Ag	产于杂岩体西南边缘,寒武系底部碳酸盐岩中;矿体呈似层状,长度 300m 以上,厚度 2.05~2.82m,金品位一般 4.5~11.6 g/t。中型金矿
			斑岩型	脉状型	银洞沟	Au,Ag,	产于杂岩体中部的二长斑岩岩墙中;矿化体呈脉状,长度 350m 以上,厚度 1.5~3m,金品位一般 2~5 g/t,蚀变为硅化、黄铁矿化。小型金矿
				似层状型	黄家庄		产于杂岩体中部的二长斑岩岩床中,金矿化不均匀、规模较小
			含铁砂卡岩上叠加型		十字庄	Fe,Cu,Au	在二长闪长玢岩与石灰岩的接触带生成的含铁夕卡岩带上,有后期金矿化叠加,金矿化不均匀。小型铁矿,伴生铜、金
			破碎带蚀变岩型		董李	Au	位于杂岩体南边部,在断裂破碎带内的蚀变角砾岩、碎裂岩中形成金矿化体,金矿化不均匀、规模较小;金矿点

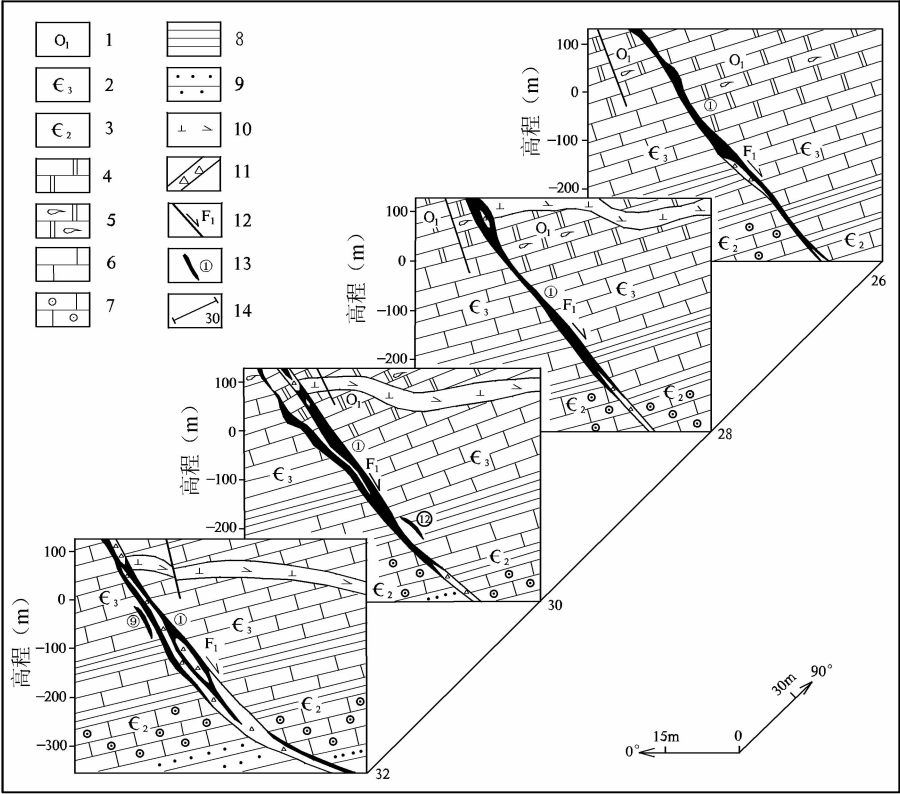


图 3 平邑归来庄金矿矿体联合剖面图(据于学峰,1996 年)

Fig. 3 Joint profile of gold ore body in Guilaizhuang gold deposit (According to Yu Xuefeng, 1996)

1—奥陶系下统;2—寒武系上统;3—寒武系中统;4—白云岩;5—竹叶状白云岩;6—石灰岩;7—鲕状灰岩;8—页岩;9—砂岩;10—二长闪长玢岩;11—隐爆角砾岩;12—断层及编号;13—矿体及编号;14—勘探线及编号

1—Lower part of Ordovician; 2—Upper part of Cambrian; 3—Lower part of Cambrian; 4—Dolomite; 5—Edgewise dolomite; 6—Limestone; 7—Oolitic limestone; 8—Shale; 9—Sandstone; 10—Monzonitic dioritic porphyrite; 11—Crypto-explosive breccias; 12—Faults and numbers; 13—Orebodies and numbers; 14—Exploration lines and numbers

金矿物主要有自然金、碲铜金矿、银金矿;银矿物主要有自然银、辉银矿。其他矿石矿物以褐铁矿为主,次为黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、锌铋黝铜矿等;少量碲镍矿、碲铅矿、碲汞矿、孔雀石

等。硫化物较少,仅占 0.5%。脉石矿物主要有石英、白云石、方解石、正长石、斜长石;次为绢云母、萤石、伊利石、高岭土、冰长石、重晶石等。载金矿物以石英、方解石、白云石等脉石矿物为主(占 90%以上),少量为黄铁矿、褐铁矿等。

矿石中 Au 品位:一般为 3.50~12.0g/t,平均 8.10g/t;伴生有益组分为 Ag,平均品位 14.21g/t;Au,Ag 含量呈正相关,Au:Ag 值为 1:1~1:2。Cu,Pb,Zn,Te,S 含量均较低,S 含量仅为 0.06%;K<sub>2</sub>O 含量较高,角砾岩含金矿石中平均达 6.53%。

矿石的金矿物中,自然金占 55%、碲铜金矿占 29%、银金矿占 16%。金矿物成色为自然金 979,银金矿为 714。金矿物形态主要有角粒状(占 65.14%)、浑圆状(占 11.41%)、长角粒状(占 9.31%)、麦粒状(占 11.79%),少量呈枝杈状、针状等。粒度以细粒—微细粒金为主,部分次显微金,少量粗粒金,<0.009mm 者占 85%以上。金矿物的赋存形式主要有粒间金(占 69.85%),次为包体金(占 25.18%),少量裂隙金(占 4.89%),粒间金主要为脉石粒间金,金矿物呈星散粒状或集合体分布于脉石矿物粒间;包体金以脉石包体金为主,金矿物呈孤立粒状或集合体状被包裹于石英、方解石等内部,少量为褐铁矿及黄铁矿包体金。裂隙金主要表现为金矿物沿矿石裂隙或碳酸盐矿物节理充填分布。

与成矿有关的蚀变主要有硅化、萤石化、绢云母化、水白云母化、冰长石化及碳酸盐化。成矿主要经历了石英—黄铁矿、多金属硫化物、金—碲化物三个主成矿阶段。

2.2.2 磨坊沟金矿

磨坊沟金矿床位于平邑县城东南约 18km、铜石镇西南约 6.5km 处,东距归来庄金矿区约 7.5 km。居于沂沭断裂带的次级 NNW 向断裂——燕甘断裂西侧,铜石中偏碱性潜火山杂岩体的西南部边缘。矿床与归来庄隐爆角砾岩型金矿床产于同一地质构造环境,主要控矿地质条件和矿质来源基本一致。矿床发育在中生代燕山早期二长闪长质—二长正长质岩石构成的铜石中偏碱性潜火山杂岩体与寒武系底部的朱砂洞组接触部位。矿体赋存在朱砂洞组上灰岩段下部的一套镁质碳酸盐岩中(图 4),岩性主要为中厚层—厚层灰质白云岩、含燧石结核白云质灰岩、泥质白云岩、白云质灰岩;这类岩石具有的脆性大、化学活动性强、角砾状构造和岩溶孔隙发育等特点,有利于含矿热液的运移和渗滤扩散,易与矿液发生交代作用而形成矿体;上部的泥云岩、含

燧石结核灰质白云岩等岩石,结构致密,化学活动性差,对含矿热液起着隔挡或屏蔽作用。矿体呈似层状赋存于寒武纪朱砂洞组下部层位中,顶板为薄层泥云岩及中层含燧石结核(条带)灰岩或白云质灰岩,底板为中—中厚层青灰色灰岩。共圈定 2 个金矿体,其中 I 号矿体长 340m,厚度在 0.6~4.80m 之间,平均 2.82m;矿体呈似层状,产状与岩层产状基本一致,倾向 325°~350°,倾角 8°~20°;Au 品位:在 1.09~25.21g/t 之间,平均品位为 11.57g/t。II 号矿体长 200m,厚度在 1.20~3.20m 之间,平均 2.05m;矿体呈似层状,产状与岩层产状一致,倾向 10°~20°,倾角 8°~10°;Au 品位:在 1.64~12.88g/t 之间,平均为 4.54g/t。

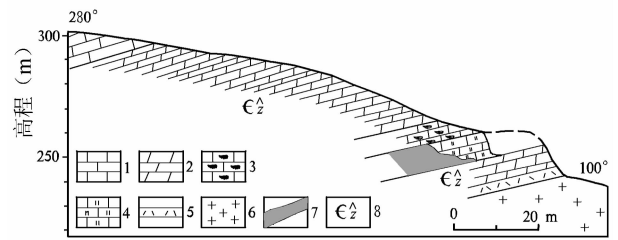


图 4 平邑磨坊沟金矿地质剖面图  
(据于学峰等,2002)

Fig. 4 Geological profile of Mofanggou gold deposit in Pingyi county (According to Yu Xuefeng, et al., 2002)

- 1—石灰岩;2—白云质灰岩;3—含燧石结核灰岩;4—萤石化白云质灰岩;5—中生代燕山早期二长斑岩;6—古元古代二长花岗岩;7—金矿体;8—早寒武世朱砂洞组
- 1—limestone; 2—dolomitic limestone; 3—flint-bearing nodule limestone; 4—fluoritized dolomitic limestone; 5—monzonitic porphyry in early period of Mesozoic Yanshan group; 6—Paleoproterozoic admellite; 7—gold ore body; 8—Zhushadong formation in early period of Cambrian

矿石中的金矿物主要有自然金、碲金银矿、银金矿;其它金属矿物较少,主要为黄铁矿、方铅矿、褐铁矿等。主要非金属矿物为方解石、白云石、石英、萤石、绢云母等。金矿物粒度以微粒金为主,小于 10μm 的金矿物占全部金矿物的 98%,其中粒径 1μm 左右的金矿物占 51%。载金矿物主要为石英、萤石,少量白云石;部分为黄铁矿等硫化物。

围岩蚀变主要有硅化、萤石化、黄铁矿化、绢云母化及碳酸盐化,偶见冰长石化。其中硅化、萤石化与金矿化关系最为密切。

2.2.3 卓家庄金矿

卓家庄金矿床位于铜石潜火山杂岩体的西北边缘,控矿断裂呈 NW 向,其内充填有细斑二长斑岩

脉及隐爆角砾岩。矿体产于呈筒状的隐爆角砾岩内。隐爆角砾岩筒主要发育在 NW 向与近 EW 向断裂构造交会部位上。角砾岩体规模较小,平面上呈长圆形,长轴一般十几米,短轴仅几米,延深可达 170 余米。矿区内共发现 4 处隐爆角砾岩体,大致呈等距分布(图 5)。其中 I 号角砾岩筒是具矿化且已被开采的岩筒,卓家庄金矿主矿体即产于其中;角砾岩体就是矿体,为全筒式金矿化。围岩主要为二长斑岩及二长闪长玢岩。

矿体呈筒状,圈定的 1 个矿体平面形态呈透镜状,长轴长 10~15m,走向 300°,倾向 SW,倾角 75°~80°;短轴长 5~10m;延深>170m。在 90m 中段,矿体长轴达 50m 左右。矿体总体向 SE 侧伏,侧伏方向 135°左右,侧伏角 45°~50°。

金矿物主要有自然金、银金矿、碲金矿、碲金银矿等;粒度一般为 0.001~0.010mm。金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿、黄铜矿;富含自然碲、碲化物及少量硒铅矿,局部碲化物含量可达 3%~5%。碲化物主要为碲铁矿、碲铅矿、斜方碲金矿和碲金银矿等(杨德平等,2001)。脉石矿物主要有石英、长石;少量有绢云母、萤石、伊利石等。金矿物主要分布于矿物的晶体粒间,其次被包裹于石英及黄铁矿中,或充填于矿物裂隙中。

卓家庄金矿为富矿体,Au 品位一般在 5~500g/t 之间,平均为 156.77g/t,最高达 1000g/t 以上。伴生组分 Ag 平均品位为 695.33g/t;Te 平均品位为 1.18%,均达到综合利用要求。

矿石结构主要有晶粒结构、填隙结构、侵蚀结构、交代残余结构等。矿石构造主要有角砾状构造、浸染状构造、脉状网脉状构造等。

矿石类型主要为隐爆角砾岩含金矿石,少量震碎角砾岩含金矿石,极少量斑岩含金矿石。根据隐爆角砾岩中胶结物成分及含量,将隐爆角砾岩型矿石大致分为 4 种主要矿石类型:矿浆胶结隐爆角砾岩型、热液胶结隐爆角砾岩型、熔浆胶结隐爆角砾岩型和凝灰质胶结隐爆角砾岩型,其金品位依次由高到低,以第 1 种矿石金品位最高,多在 1000g/t 以上。

与成矿有关的蚀变主要有硅化、萤石化、黄铁矿化、碲化物矿化,其次为绢云母化、滑石化、碳酸盐化。

3 控矿因素

3.1 控矿地层

(1) 矿源层:鲁西新太古代绿岩带由泰山岩群组成,矿田内主要出露山草峪组,主要岩石的金含量

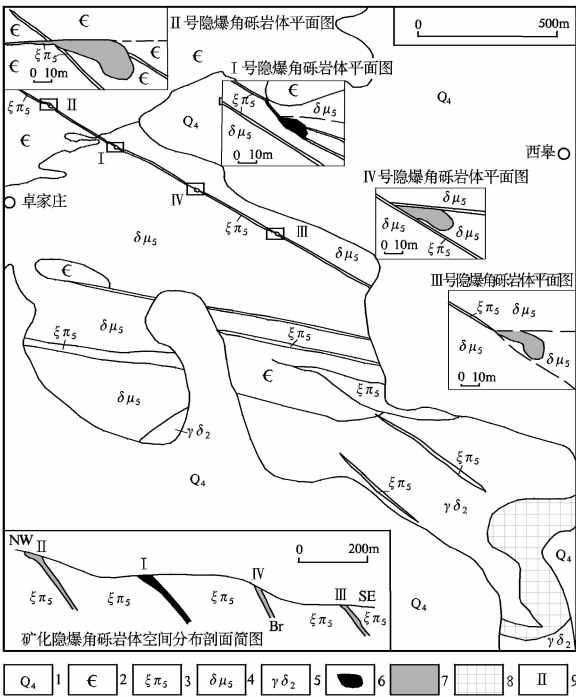


图 5 平邑卓家庄金矿区矿化筒状隐爆角砾岩体空间分布地质简图(据沈远超等,1998 修编)

Fig. 5 Geological sketch showing space distribution of pipe crypto-explosive breccia rock of mineralization in Zhuojiazhuang gold area in Pingyi county (according to Shen Yuanchao, et al., edited in 1998)

1—第四系;2—寒武系;3—中生代燕山早期正长斑岩;4—燕山早期二长闪长玢岩;5—古元古代花岗岩闪长岩;6—隐爆角砾岩型矿体;7—矿化隐爆角砾岩;8—无矿化隐爆角砾岩;9—矿化隐爆角砾岩体编号

1—Quaternary; 2—Cambrian; 3—syenite porphyry in early Mesozoic Yanshan period; 4—monzonitic dioritic porphyry in early period of Yanshan group; 5—Paleoproterozoic granodiorite; 6—crypto-explosive breccia rock type ore body; 7—mineralized crypto-explosive breccia rock; 8—non-mineralized crypto-explosive breccia rock; 9—mineralized crypto-explosive breccia rock and its number

为(孔庆友等,2006):黑云斜长片麻岩  $5.9 \times 10^{-9}$  ( $n=45$ )、长英质片岩  $7.04 \times 10^{-9}$  ( $n=17$ )、斜长角闪岩  $8.2 \times 10^{-9}$  ( $n=5$ )。据赵鹏大、陈永清等(1999 年)研究成果,泰山岩群金元素含量  $10.7 \times 10^{-9}$  ( $n=139$ )。沈宝丰、陆松年等(2000)对泰山岩群 40 件变质基性火山岩样品研究结果:金元素平均含量  $7.78 \times 10^{-9}$  ( $n=40$ )、浓集系数 3.55。可见,鲁西新太古代泰山岩群金元素含量是地壳丰度值的 3~5 倍( $2.19 \times 10^{-9}$ ,黎彤,1992)。这暗示成矿组分可能主要来源于具有丰富金元素储备的泰山岩群。

(2) 赋矿地层:寒武纪朱砂洞组不整合于前寒武纪花岗质变质基底之上,其下部的灰质白云岩,脆性大,化学活动性强;角砾状构造和岩溶孔隙发育,有利于含矿热液的运移和渗滤扩散,易与矿液发生交代作用而形成矿体;顶板围岩主要为泥云岩等,其结构致密,化学活动性差,对金元素的聚集成矿起着隔挡或屏蔽作用。该层位是良好的矿石堆积地,是形成磨坊沟式金矿的主要层位。寒武系上部及奥陶系下部的白云质灰岩、白云岩等,是归来庄式金矿的有利围岩。

3.2 岩浆岩控矿

矿田内中生代岩浆活动强烈,形成了铜石潜火山杂岩体。该岩体为一多阶段分异演化而形成的高钾碱性潜火山穹隆,面积约 32km<sup>2</sup>(图 1)。岩浆活动可分为三个主要阶段:① 二长闪长质岩石阶段,主要分布于杂岩体的外环;② 二长-正长质岩石阶段,分布于铜石杂岩体的中部;③ 粗面斑岩及隐爆角砾岩阶段,隐爆角砾岩主要呈筒状或脉状分布于杂岩体的中心部位或边缘构造带中;金矿化主要发生在该阶段。<sup>40</sup>Ar—<sup>39</sup>Ar 法测年结果,二长闪长玢岩为 189.8±0.2Ma;二长斑岩为 188.4±1.6Ma(林景仟等,1997)二者同属燕山早期产物。

已知金矿床(点)均位于岩体范围内,且多分布于杂岩体的边缘接触带附近。岩浆岩对金矿化的控制作用主要表现在:一是多期次多阶段的高钾碱性潜火山岩浆活动,为金元素活化迁移和聚集成矿提供了充足的热源和热液;二是在岩浆活动末期形成的隐爆角砾岩,为矿液的迁移和金元素的沉淀聚集提供了有利的空间。

3.3 构造控矿作用

(1) 断裂控矿特征:郯庐断裂长期的左行扭动,派生了区域性 NW 向、NNW 向断裂。主干断裂的交汇诱导了本区大规模的岩浆活动及热液作用,形成铜石潜火山穹隆。受区域应力与潜火山穹隆的共同作用,区内断裂构造发育,与成矿关系密切的有 NNW 向、近 EW 向、NW 向断裂。NNW 的燕甘断裂是区内的主干断裂,是主要的导岩导矿构造,控制着本区地层、岩浆岩和金矿化带的展布。近 EW 向、NW 向断裂为燕甘断裂的次级构造,是矿田内的主要导矿和容矿构造;区内矿床(点)多分布于此二组断裂内或其旁侧附近。

(2) 潜火山穹隆构造:铜石潜火山杂岩体是在老基底与寒武系的不整合面附近形成的一个穹隆体,呈轴向 NW 的椭圆状。基本由中心、内、外环带

组成。外环带由二长闪长质岩石构成;内环带主要有二长-正长质岩石构成;中心主要由隐爆角砾岩及脉岩组成。岩浆的侵位及侵位之后的隆升,在穹隆的顶部及外环和围岩中,形成一系列的环状、放射状及轴向线状断裂。这些环状、放射状及轴向线状构造与区域性构造的叠加、复合和交汇部位,是矿液聚集成矿的良好场所。已知归来庄、卓家庄金矿床即受此类构造控制。

4 成矿作用研究

归来庄金矿田内多种类型金矿化相伴产出,其在成因上都与铜石潜火山杂岩体有关,它们生成于潜火山穹隆的不同深度不同地质部位,是在同一潜火山热液成矿系统中生成的不同定位形式的金矿类型组合(图 6)。各类型金矿除了定位形式、产出部位不同外,在成矿时代、成矿物质来源、成矿流体特征等方面是相似的。而具有工业意义的矿床主要为隐爆角砾岩型和镁质碳酸盐岩微细浸染型,其他金矿类型仅形成矿(化)点;多年来,本区金矿勘查、研究的重点也仅限于这 2 种类型,因此,对矿田内金矿成矿作用研究讨论依据的资料主要来源于这 2 种类型。

4.1 成矿溶液的性质及来源

(1)成矿溶液的成分:归来庄矿区内据脉石英的流体包裹体激光拉曼分析(表 2)及根据冰点(T<sub>mCO<sub>2</sub></sub>)和初熔温度(T<sub>mi</sub>)R 的测定结果和包裹体岩相学观察确定,成矿溶液的主要成分是 H<sub>2</sub>O,其中含数量不等的 Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>,Ca<sup>2+</sup>(Mg<sup>2+</sup>)和 Fe<sup>2+</sup>等离子及 CO<sub>2</sub>,F,Cl,CH<sub>4</sub>,H<sub>2</sub>S,N<sub>2</sub>等组分,因此,可用 H<sub>2</sub>O+NaCl+KCl+CaCl<sub>2</sub>+F±CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub>±H<sub>2</sub>S 表示,偶尔含少量 Fe<sup>2+</sup>和 N<sub>2</sub>。

磨坊沟式金矿矿石中萤石包裹体成分测定结果(表 2)显示,成矿流体富含 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub>及少量的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,可能说明流体处在酸性或弱酸性环境,CO<sub>2</sub>含量的增加可能是金成矿的有利因素。H<sub>2</sub>S 的普遍出现及少量的 SO<sub>2</sub>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,可能暗示金主要呈硫络合物的形式迁移。流体中含较多的 CH<sub>4</sub>,表明金的迁移与富集可能与有机质有关。

(2)成矿溶液的盐度、密度等物理化学参数:从早期高温阶段到晚期低温阶段,溶液的盐度(NaCl)和密度略呈规律性变化。石英、萤石中 I a 型(富液相 H<sub>2</sub>O)包裹体,当均一温度为 330~310℃时,盐度为 1.65%~5.17%,密度为 0.66~0.75g/cm<sup>3</sup>;当均一温度为 270~200℃时,盐度为 5.0%~10.0%,

表 2 激光拉曼光谱分析结果表

Table 2 Analysis Results given by laser Raman microprobe

矿床 类型	样品号	气相(%*)								液相(%*)						
		CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
归 来 庄 金 矿	G1	95.6	—	4.4	—	—	—	—	—	58	—	10	32	—	—	—
	G2	92.6	—	—	—	—	—	—	7.4	72	—	—	28	—	—	—
	G3	96.3	3.7	—	—	—	—	—	—	60	—	—	40	—	—	—
	G4	80.8	8.3	—	—	—	—	—	—	69	12	—	19	—	—	—
	G5	46.3	—	—	9.8	—	—	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—
	G6	68.7	13.2	—	18.1	—	—	—	—	79	11	10	—	—	—	—
磨 坊 沟 金 矿	1	82.1	10.5	7.4	—	—	—	—	—	63.4	20.3	6	—	10.3	—	—
	2	30	—	3.9	13.5	—	52.6	—	—	24.9	4.5	—	70.6	—	0.21	—
	3	75.9	9	—	—	—	—	15.1	—	47.1	10.2	—	42.7	—	0.19	0.13
	4	52	19.8	19.2	—	—	—	—	9	43.7	19.5	36.8	—	—	—	—
	5	57.2	10.5	6.9	—	25.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—	—	—	—	56.1	4.6	8.2	31.1	—	—	0.16

注:\* 摩尔数的相对百分含量;西安地质矿产研究所王志海、李月琴分析。

密度为 0.82~0.94g/cm<sup>3</sup>;当均一温度为 150~130℃时,盐度为 5.0%~20.0%,密度为 0.95~1.08g/cm<sup>3</sup>。晚期低温阶段,盐度变化大,为 0.1%~20.0%,这与流体同围岩相互作用,围岩组分进入流体及大气降水的参与导致盐度稀释有关。

据方解石和黄铁矿内流体包裹体气相成分计算,成矿溶液的 pH 值为 5.04~6.03,属弱酸性。黄铁矿内流体包裹体的 Eh 值为-0.24~-0.28,还原参数为 0.28~0.37,属还原环境;而方解石中流体包裹体 Eh 值为-0.46,还原参数为 1.26,近于氧化环境。

(3)成矿溶液来源:矿石中脉石英的氢氧同位素测定结果表明,矿床成矿溶液的 δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>值显示出原生岩浆水及变质水、雨水的特征;δD 值主要为-68.9‰~-109.6‰,与原生岩浆水及变质水相当,更接近于中国东部北方中生代大气降水的 δD 值(-70‰~+110‰)(张理刚,1989)。因此,成矿热液具有多来源性,以岩浆水和大气降水为主,并有少量变质水的参与。

4.2 成矿物质来源

矿田内含矿岩石中黄铁矿的 δ<sup>34</sup>S 值(‰)为-0.71~+2.99,与地幔硫偏离不大,表明硫的来源与岩浆同源,来自上地幔或地壳深部。

区内各类代表性岩石的微量元素分析结果(林景仟等,1997)表明,铜石杂岩体主体岩石二长闪长玢岩、二长-正长质岩石中金元素的初始背景值分别为 0.7×10<sup>-9</sup>、1.06×10<sup>-9</sup>(n=29);寒武系岩层中金元素平均含量为 1.30×10<sup>-9</sup>(n=646);明显低于地壳丰度值。而泰山岩群金元素含量是地壳丰度

值的 3~5 倍。可见,成矿金元素可能主要来源于泰山岩群,部分来自地壳深部或上地幔。

4.3 成矿时代

根据地质关系和前述同位素年龄测定结果分析,本区金矿化发生在二长斑岩质岩浆活动之后,中侏罗世三台组沉积之前。金矿成矿年龄应在 188~178Ma 之间,为早侏罗世,属燕山运动早期。

4.4 成矿温度及成矿压力

矿石中萤石、石英内流体包裹体的均一温度测定表明,石英-黄铁矿阶段包裹体的最高温度为 300~>350℃;多金属硫化物阶段包裹体均一温度为 210~270℃;金碲化物阶段包裹体的均一温度为 130~170℃。成矿主要发生于 130~270℃间,为中-低温热液成矿。

矿石中方解石、黄铁矿的爆裂法测压结果分别为 0.0284GPa 和 0.0227~0.0234GPa。CO<sub>2</sub>包裹体测压结果表明,CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 包裹体形成压力为 0.033~0.036GPa。据此推测,成矿压力≤0.036GPa,相当深度不超过 1500m。另外,与成矿有关的岩体多呈斑状结构,且伴有隐爆角砾岩形成,因此,成矿环境应为浅成-超浅成环境。

4.5 成矿机制

中生代燕山运动早期,郯庐断裂的左行扭动派生出本区 NW 向、NNW 向的主干断裂及次级断裂,为岩浆活动及热液的运移提供了通道。二长-正长质岩浆分异晚期的残余岩浆,同化了上地壳中的酸性岩石(泰山岩群),并吸取其中的金元素,使金的丰度值明显提高。强烈的同化作用使残余岩浆极富以水为主的挥发分。因前锋岩浆的凝固,内部岩浆被

屏蔽于冷凝壳内,形成局部高压封闭环境,内部压力、温度逐渐升高,当内压超过外压时,便发生剧烈的潜火山隐爆作用;强大的内能使部分隐爆产物沿构造带运移,贯入断裂构造形成隐爆侵入角砾岩。隐爆作用产生的热能加热了下渗的大气降水。被加热的大气降水与部分岩浆热液混合,与围岩发生水岩交换作用,使矿源层中的 Au,Ag 等元素活化、迁移,形成富含矿质及挥发分的潜火山岩浆期后热液。当矿液充填渗滤到构造隐爆侵入角砾岩带而聚集成矿时,则形成潜火山热液隐爆角砾岩型(归来庄式)金矿床;当矿液充填渗滤到岩体上下盘的下寒武纪白云质灰岩和白云岩中沉淀聚集成矿,即形成镁质碳酸盐岩微细浸染型(磨坊沟式)金矿;当矿液运移到先期形成的含铁矽卡岩接触带上沉淀聚集成矿,则形成含铁矽卡岩上叠加型金矿。

4.6 归来庄金矿田成矿模式

矿田内金矿与中生代燕山早期中偏碱性潜火山杂岩有关,属潜火山岩浆期后中低温热液矿床,可归为陆相(次)火山热液型金矿的范畴,属其中的石英-萤石-冰长石型(又称冰长石-绢云母型)金矿(涂光炽,1993)。

归来庄金矿田中生代燕山早期与中偏碱性潜火山杂岩有关的金(铜、铁)成矿亚系列多种类型金矿化相伴产出,受潜火山穹隆的控制,它们生成于不同深度不同地质部位,赋存于不同的地质体中,是在铜石潜火山中低温热液成矿系统中生成的不同定位形式的金矿类型组合。每一矿床都是统一的成矿模式中的一个个体,它们构成了一个较完整的金矿成矿亚系列。铜石金矿田成矿模式为一矿床组合模式,可以用图 6 来表达。

5 结论

(1) 归来庄金矿田属于鲁西中生代侵入岩有关的金、铜、铁成矿系列,可进一步划定为归来庄中生代燕山早期与中偏碱性潜火山杂岩有关的金(铜、铁)成矿亚系列。根据各类矿床(点)的控矿地质条件、成矿方式及矿化特点,可分为对 5 种矿床类型,即:①隐爆角砾岩型;②镁质碳酸盐岩微细浸染型;③斑岩型;④含铁矽卡岩上叠加型;⑤破碎带蚀变岩型。第①类矿床中,归来庄金矿是鲁西迄今唯一大型金矿床,卓家庄金矿是国内外罕见的富金矿,也是国内外少有的富含碲硒矿物的金矿;第②类金矿矿点多、矿化范围广,找矿潜力较大,这 2 类金矿的理论研究和找矿勘查值得高度重视。

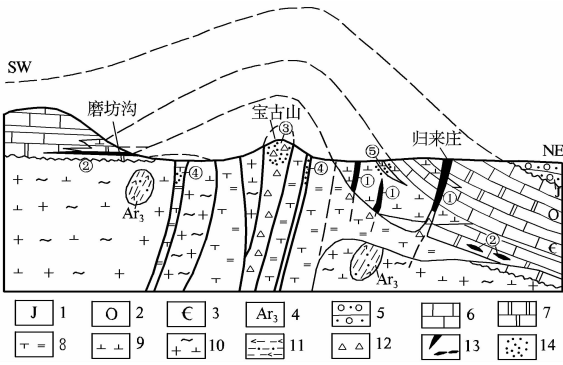


图 6 归来庄金矿田矿床组合模式图  
Fig. 6 Sketch showing combination model of Guilaizhuang gold field

1—侏罗系;2—奥陶系;3—寒武系;4—泰山岩群山草峪组;5—砾岩;6—石灰岩;7—白云岩;8—二长斑岩;9—二长闪长玢岩;10—片麻状花岗闪长岩;11—黑云角闪变粒岩;12—隐爆角砾岩;13—金矿体;14—金矿化体;①—隐爆侵入角砾岩型金矿床;②—镁质碳酸盐岩微细浸染型金矿床;③—隐爆崩塌角砾岩型金矿化;④—斑岩型金矿化;⑤—含铁矽卡岩上叠加型金矿化  
1—Jurassic; 2—Ordovician; 3—Cambrian; 4—Shancao formation in Taishan group; 5—conglomerate; 6—limestone; 7—dolomite; 8—monzonitic porphyry; 9—monzonitic dioritic porphyry; 10—gneissoid granodiorite; 11—biotite hornblende granulites; 12—crypto-explosive breccia rock; 13—gold ore body; 14—gold ore mineralization; ①—crypto-explosive intrusive breccia rock type gold deposit; ②—magnesium carbonate micro-disseminated gold deposit; ③—crypto-explosive breccia rock type gold mineralization; ④—porphyry type gold mineralization; ⑤—skarn-stacking type gold mineralization

(2) 磨坊沟式金矿呈层状产于早寒武世朱砂洞组镁质碳酸盐岩中,成矿作用以潜火山岩浆期后中低温热液作用为主。金矿物呈超显微粒状产出,矿化以浸染状为主,围岩蚀变以硅化和萤石化为主;矿体与围岩的界限肉眼难以鉴别。这些特征类似卡林型金矿,但与典型的卡林型金矿也有差异,表现在围岩蚀变中的强萤石化等。

(3) 矿田内各类型矿床在成因上均与铜石富钾碱性潜火山杂岩关系密切,岩浆活动为成矿提供了热液和热源;杂岩体构成的潜火山穹隆及伴生的环状放射状构造,控制着矿体的分布;新太古代泰山岩群为主要矿源层;寒武纪朱砂洞组上灰岩段之碳酸盐岩是磨坊沟金矿的有利含矿层位;寒武系上部—奥陶系下部的白云质灰岩、白云岩等是归来庄金矿的有利围岩。

(4) 矿田内与生代燕山早期中偏碱性潜火山杂岩有关的多种类型金矿相伴产出,它们生成于不同



深度不同地质构造部位,赋存于不同的地质体中,是在同一潜火山热液成矿系统中生成的金矿类型组合。每一矿床都是统一的成矿模式中的一个个体,它们构成了一个较完整的金矿成矿亚系列。

参 考 文 献

陈毓川. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价. 北京:地质出版社, 289~292.

陈毓川,裴荣富,王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. 地质学报, 80(10):1502~1508.

孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 2006. 山东矿床. 济南:山东科学技术出版社, 212~224.

黎 彤. 1992. 地壳元素丰度的若干统计特征. 地质与勘探, 28(10):1~7.

林景仟, 谭东娟, 于学峰, 等. 1997. 鲁西归来庄金矿成因. 济南:山东科学技术出版社, 12~13.

沈宝丰, 陆松年, 杨春亮, 等. 2000. 矿床密集区预测的理论和方法. 北京:地质出版社, 48~63.

涂光炽. 1993. 关于火山岩型矿床若干问题的探讨. 见:李兆鼎等主编. 第二届全国火山岩会议论文集. 北京:地质出版社, 6~11.

于学峰, 李洪奎, 唐好生. 2002. 鲁西下寒武统层状金矿地质特征及找矿方向. 前寒武纪研究进展, 25(3/4):136~140.

杨德平, 刘鹏瑞. 2001. 山东平邑卓家庄金矿中的硒碲矿物特征. 山东地质, 17(3-4):102~106.

赵鹏大, 陈永清, 刘吉平, 等. 1999. 地质异常成矿预测理论与实践. 武汉:中国地质大学出版社, 76~95.

翟裕生, 邓军, 李晓波, 等. 1999. 区域成矿学. 北京:地质出版社, 21~25.

张理刚. 1989. 成岩成矿理论与找矿. 北京:北京工业大学出版社, 113~139.

Chen Yuchuan. 1999. Mineral Resources Assessment of Major Metallogenic Provinces in China. Beijing:Geological Publisheng House, 289~292(in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. 2006. On Minerogenetic (Metallogenetic) Series: Third Discussion. Acta

Geologica Sinica, 80(10):1502~1508.

Kong Qingyou, Zhang Tianzhen, Yu Xuefeng, et al. 2006. Deposit in Shandong Province. Jinan: Sandong Science and Technology Press, 222~224(in Chinese).

Li Tong. 1992. The Statistcal Characteristics of the Abundance of Chemical Elements in the Earth' s Crust. Geology and Prospecting, 28(10):1~7.

Lin Jingqian, Tan Dongjunan, Yu Xuefeng, et al. 1997. Genesis of Guilianzhuang Gold Deposit Western Shdong. Jinan: Sandong Science and Technology Press, 12~13.

Shen Baofeng, Lu Songnian, Yang Chunliang, et al. 2000. The Forecasting Theory and Method of the Metallogenic Focus-area : Example by the Gold Deposits of North China Platform, Beijing:Geological Publisheng house, 48~63 (in Chinese with English abstract).

Tu Guangzhi. 1993. Some Problems Pertaining to Ore Deposits in Volcanic Rock. Frome: Collection of Paper of 2nd All-China Conference for Volcanic Rocks, Editors in Chief: Li Zhaonai, Wang Bixiang. Beijing:Geological Publisheng house, 6~11 (in Chinese with English abstract).

Yu Xuefeng, Li Hongkui, Tang Haosheng, etc. The Layered Gold Deposit of Cambrian in the West Part of Shandong Province. Progress in Precambrian Research, 25(3-4):136~140.

Yang Deping, Liu Pengrui. 2001. Characteristics of Tellur-seleno minerals in Zhuojiazhuang Gold Deposit Of Pingyi. Geology of Shandong, 17(3-4):102~106.

Zhao pengda, Chen Yongqing, Liu Jiping, et al. 1999. Therory and Practice of Geoanomly in Mineral Exploration. Wuhan: China University of Geosience Press, 76~95 (in Chinese with English abstract).

Zhai YuSheng, Deng Jun, Li Xiao Bo. 1999. Essentials of Metallogeny. Beijing:Geological Publisheng house, 21~25 (in Chinese).

Zhang ligang. 1989. Petrogenetic and Minerogenetic Theories and Prospecting. Beijing:Press of Beijing University of Technology, 113~ 139 (in Chinese with English abstract).

**Study on Ore-forming Series and Mineralization of the Guilaizhuang Gold Field in Western Shandong**

YU Xuefeng<sup>1,2)</sup>, FANG Baoming<sup>2)</sup>, HAN Zuozhen<sup>1)</sup>

1) *Shandong University of Science and Technology, Qingdao, 266510;*

2) *Shandong Department of Land and Resources, Jinan, 250014*

**Abstract**

Gold mineralization type in the Guilaizhuang gold field are mainly composed of crypto-explosive breccia rock type, magnesium carbonate micro-disseminated type, skarn-stacking type, porphyry and altered rock type and other types gold deposits (prospect). Its genesis is closely relted to copper and potassium alkaline submarine volcano complex, and magmatic activities provided hydrotherm and heat for gold mineralization. Subvolcanic dome consisting of complex and associated circular radial structures controls the distribution of gold ore bodis. Neo-Archean Taishan Group is the main ore source bed; carbonate rock in the upper part of limestone member in the Cambrian Zhushadong Formation is favorable ore-bearing strata; dolomitic limestone and dolomite in upper Cambrian or lower Ordovician are favorable country rocks of the Guilaizhuang gold deposit. Gold (copper, iron) mineralization sub-series related to meta-alkalescence subvolcanic complex in the early Mesozoic Yanshanian also occurred in this area. Controlled by the subvolcanic dome, the orebodies occur in different geological bodies at various geological sections with various depths. It is a typical of gold deposit association resulted from the Tongshi subvolcanic medium-low temperature hydthermal metallogenic system. With each deposit as an independent unit in the united metallogenic model, they constitute a relatively complete metallogenic sub-series.

**Key words:** crypto-explosive breccia rock; magnesium carbonate rock; ore-forming series; mineralization; Guilaizhuang gold field; western Shandong