



引文格式: 索晓晶, 项磊, 高琪, 等. 鲁西归来庄金矿断裂构造控矿规律研究[J]. 西北地质, 2024, 57(2): 146–158.

DOI: 10.12401/j.nwg.2023126

Citation: SUO Xiaojing, XIANG Lei, GAO Qi, et al. Fault-controlling Distribution of the Guilaizhuang Gold Deposit in Luxi[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(2): 146–158. DOI: 10.12401/j.nwg.2023126

鲁西归来庄金矿断裂构造控矿规律研究

索晓晶^{1,2,3}, 项磊^{1,*}, 高琪¹, 李胜荣², 徐楠², 李林²

(1. 中国地质调查局呼和浩特自然资源综合调查中心, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

摘要: 鲁西地区位于华北克拉通中部, 晚中生代受到强烈的克拉通破坏-金成矿作用影响, 归来庄金矿是该区内产出最大的低温热液构造-隐爆角砾岩型金矿床。笔者对归来庄金矿主控矿断裂 F_1 的空间变化, 从不同标高、不同勘探线统计其走向和倾向上控矿的规律、 F_1 断面产状变化规律、断裂-隐爆角砾岩体中角砾大小和形态的变化规律, 对成矿期的构造应力场及其控矿作用展开剖析, 查明了成矿期该断裂受左行张剪性应力作用, 南部上盘向东下方滑落, 北部下盘向西上方移动, 具有陡倾面受张开启, 缓倾面受压闭合的特点; 沿 F_1 断裂的 NE 上方-SW 下方, 矿体和蚀变带由浅入深、由陡而缓, 角砾粒径逐渐变大, 金含量逐渐下降。

关键词: 归来庄金矿; 断裂构造; 隐爆角砾岩; 控矿规律; 鲁西

中图分类号: P618.51; P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)02-0146-13

Fault-controlling Distribution of the Guilaizhuang Gold Deposit in Luxi

SUO Xiaojing^{1,2,3}, XIANG Lei^{1,*}, GAO Qi¹, LI Shengrong², XU Nan², LI Lin²

(1. Hohhot General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Hohhot 010011, Inner Mongolia, China;

2. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

3. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The Guilaizhuang gold deposit, located in the central of the North China Craton, is the largest gold deposit with low temperature hydrothermal structural-crypto explosive breccia type in this area, which was influenced strongly by Craton destruction and gold mineralization in Late Mesozoic. Based on the study of spatial of F_1 which is the main control in Guilaizhuang gold deposit, we discussed the variation law of fault strike and tendency in different elevations and exploration lines, the regularity of F_1 section of ore-controlling structure, the change rule of breccia size and morphology in cryptoexplosion breccia body. The tectonic stress field and its ore-controlling effect were analyzed, and it was concluded that the fault was subjected to left-lateral tensio-shear stress in metalorganic period. The southern hanging wall of the fault slides down to the east, while the northern footwall moves upward to the west. It has the characteristics that the steep dip plane opened by tension and the

收稿日期: 2022-11-20; 修回日期: 2023-02-21; 责任编辑: 姜寒冰

作者简介: 索晓晶(1990–), 男, 博士研究生, 工程师, 从事自然资源调查与矿产勘查。E-mail: suoxiaojingboy@163.com。

* 通讯作者: 项磊(1983–), 男, 高级工程师, 从事自然资源调查、地质矿产研究。E-mail: xiang6280@163.com。

gentle inclined plane closed by compression. We found that along the fault F_1 from NE to SW, the orebody and alteration zone became shallow to deep, the fault from steep to gentle, the grain size of breccia increased gradually, and the gold content gradually decreased.

Keywords: Guilaizhuang gold deposit; fault; cryptonite breccia; ore control law; Lu'xi

鲁西地区位于华北克拉通中东部的郯庐断裂西侧(李胜荣等, 2021; 李世勇等, 2021), 受中生代强克拉通破坏影响而形成若干大型矽卡岩型、隐爆角砾岩型与低温热液型金矿床(Liu et al., 2014; Li et al., 2014, 2017; Li et al., 2022)。归来庄金矿就是该区内产出的大型断裂-隐爆角砾岩型矿床, 是鲁西找矿工作取得重大突破的典型代表(于学峰, 2001, 2009; Li et al., 2018; 郭闯等, 2023)。但一直以来对于归来庄金矿控矿断裂 F_1 系统性研究较少, 笔者在详细野外工作的基础上, 对归来庄断裂 F_1 空间变化规律进行分析, 试图查明其控矿机制, 以期找矿提供新思路。

1 区域地质背景

鲁西地块是华北克拉通内部独立的构造单元, 位

于兰考-聊城断裂以东, 郯庐断裂带以西, 新生代渤海湾盆地以南, 中新生代合肥盆地以北的区域(马明等, 2022)。地层主要以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地层、中生代侏罗系—白垩系碎屑岩及火山岩为主, 其中与矿化关系密切的地层是寒武系灰岩、白云岩、白云质灰岩、页岩和奥陶系白云岩、灰岩。结晶基底主要是二长花岗岩与花岗闪长岩(王志才等, 2001; 时秀朋等, 2010)(图1)。区内主体断裂格局为 NW-NWW 向的盆-山格局, 由北向南依次分布着莱芜凹陷、肥城凹陷、汶蒙凹陷和泗平凹陷。印支期鲁西地块受近 SN 向挤压力向 WS 方向上升隆起形成近 EW 向的宽缓褶皱, 燕山期这些断裂反转为 NW 或 EW 向的张性正断层, 新生代以来受太平洋板块、印度洋板块和欧亚板块的共同作用, 华北克拉通东部整体进入伸展垮塌阶段,

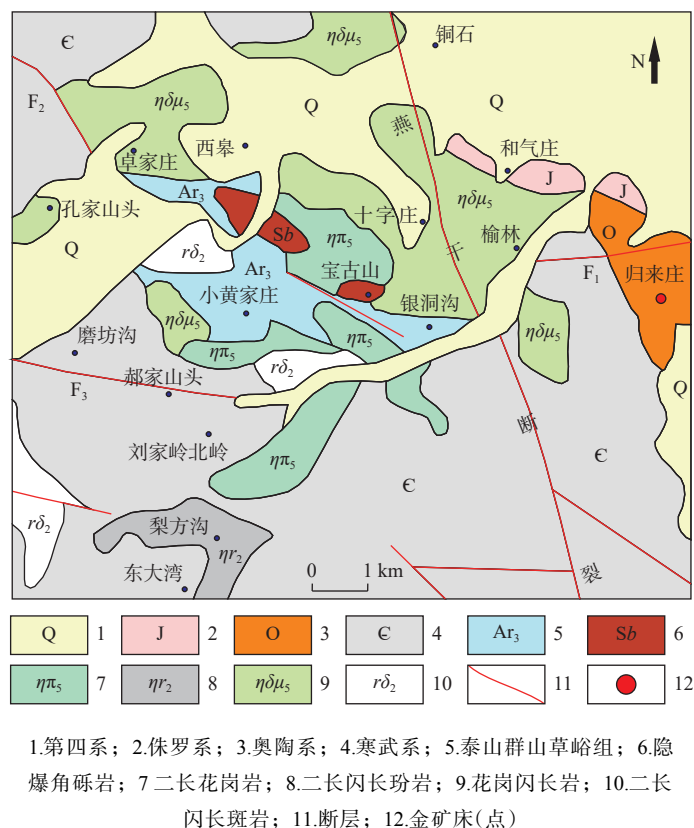


图1 铜石地区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Tongshi

鲁西地块发生了强烈的伸展正断活动,形成现今由两组呈“X”型组合的陡倾斜断裂构成,即NW-NWW走向和NEE走向的断层(李三忠等, 2005; 张剑等, 2017; 李少俊等, 2018; 李理, 2018; 徐聪, 2021)。归来庄金矿位于鲁西地块的东南部,平邑凹陷与尼山凸起的交汇地带(张广辉等, 2013; Guo et al., 2014; Xu et al., 2015; 于学峰等, 2022), NNW 向的燕甘断裂及其派生的次级构造对该矿有较强的控制,近EW向、NW向的次级断裂构成了导矿和容矿构造。

2 矿床地质特征

受区域构造应力转换及断裂发育的影响,该区中

生代岩浆活动频繁,大量幔源岩浆底侵上升,经地壳同化混染作用形成一套与归来庄金矿关系密切的铜石杂岩体;位于燕甘断裂西侧的归来庄断裂 F_1 是南盘下降的正断层(艾霞, 2002; 朱光等, 2016),对归来庄金矿的形态、规模、产状控制作用明显,其转折、复合、交汇部位是矿体产出的有利部位,泰山岩群山草峪组为成矿提供了部分元素。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碳酸盐岩中,以角砾岩型矿石和灰岩型矿石为主的1号矿体规模最大,总侧伏SW向,方位 $210^{\circ}\sim 230^{\circ}$,倾角由陡变缓,矿体近似透镜状,沿走向和倾向稳定变化,中间向两侧逐渐减薄,品位沿走向稳定变化,沿倾向随深度增加逐渐贫化,渐变为矿化体(图2)。

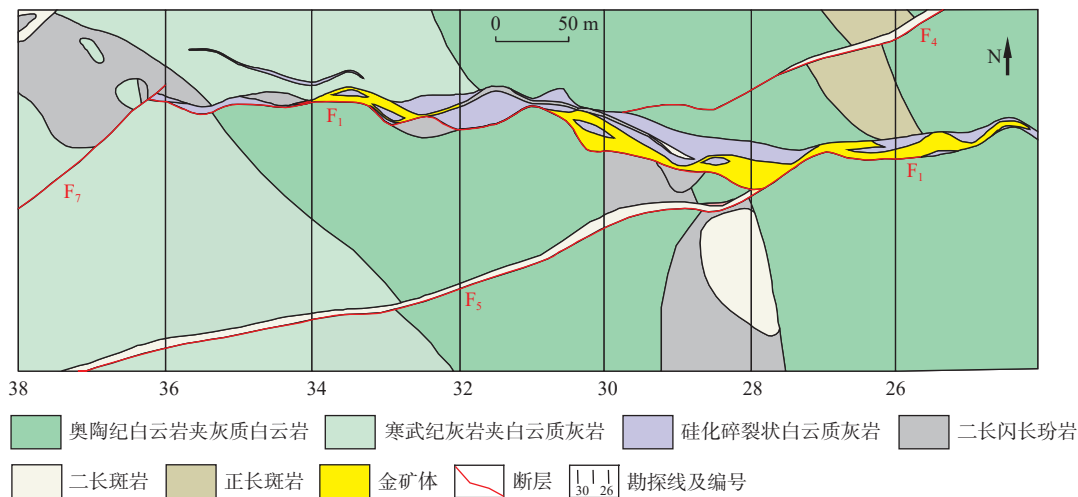


图2 归来庄断裂(F_1)走向与矿体分布平面图

Fig. 2 Strike and orebody distribution plan of Guilaizhuang fault (F_1)

矿石主要以晶粒结构、填隙结构、固溶体分离结构、交代环边结构、碎裂结构为主;可见角砾状构造、浸染状构造、纹层状构造、脉状构造、晶洞构造等。蚀变类型以萤石化、高岭土化、硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、褐铁矿化为主,可划分为绢云岩化带、泥化带、青磐岩化带。硅化、萤石化、绢云母化、水白云母化与金的富集密切相关,多种蚀变叠加往往形成富矿。

3 构造控矿规律

笔者对归来庄金矿 27、28、30、32、34、36、38、40 等 8 条勘探线 44 个钻孔岩心进行系统观察,孔深 350~1 134 m,采集样品 937 件;在 +48 m、+25 m、-30 m、-47 m、-64 m、-68 m、-76 m、-100 m、-110 m、

-118 m、-158 m、-182 m、-198 m、-230 m、-238 m、-267 m、-300 m 等中段采集热液蚀变岩和矿石样品 42 件(图3)。钻孔岩心采集间距为 50 m 左右,矿化蚀变带加密,采样间隔约为 5 m。

3.1 F_1 断裂水平方向控矿样式

归来庄断裂 F_1 主要位于归来庄村西至小平安庄村东,地表出露长度达 2.2 km,走向 85° ,倾向 S,倾角随着倾向深部逐渐变缓。工程控制显示:标高-300 m 以上,倾角为 $45^{\circ}\sim 68^{\circ}$;标高在-540~-600 m,倾角为 $29^{\circ}\sim 42^{\circ}$;标高在-600~-735 m,倾角为 $8^{\circ}\sim 11^{\circ}$ 。东西向水平断距变化比较明显,东段为 50 m,向西逐渐变为 180 m;垂直断距变化不显著,东段为 85~120 m,向西逐渐变为 90~120 m;破碎带宽 0.6~29.3 m,沿走向、倾向呈舒缓波状延展,具分支复合、膨胀压缩等特征。

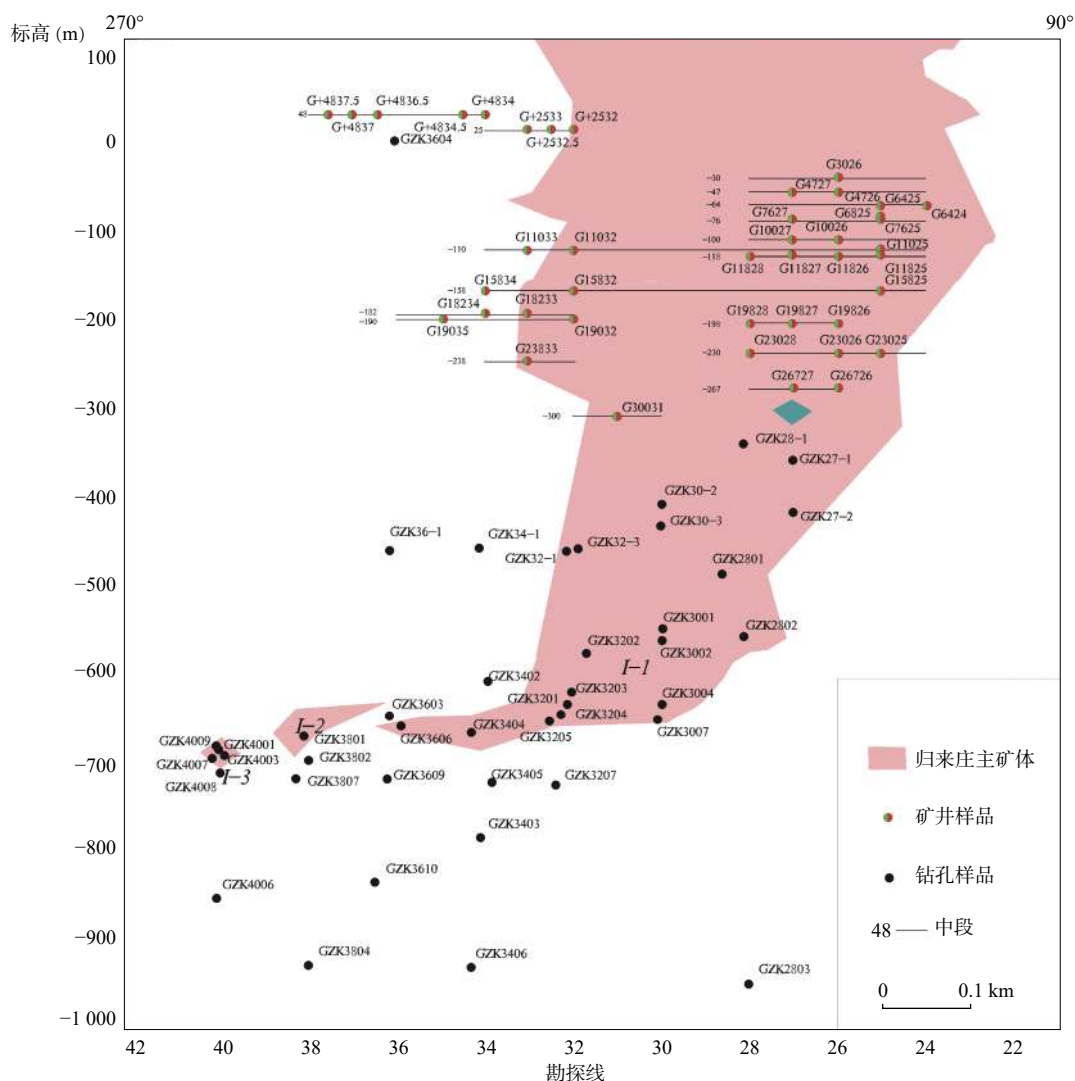


图3 采样位置垂直纵投影图

Fig. 3 Vertical longitudinal projection of sampling location

从不同标高矿体分布来看: -30 m 矿体主要集中在 23~27 号勘探线之间, 厚部集中在 26 号勘探线, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向, 且在 NWW 向矿体未发生间断, 24 号勘探线可见大肚型下凸矿体; -70 m 矿体分布在 23~32 号勘探线之间, 呈现在 NWW 向延伸的特点; -110 m 矿体分布在 23~36 号勘探线之间, 均匀变化, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向; -150 m 矿体分布在 24~38 号勘探线之间, 呈现在 NWW 向延伸的特点, 但矿体厚度小; -190 m 矿体分布于 25~35 号勘探线之间, 厚度较小, 在 32~33 号线之间可见大肚型下凸矿体, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向的特点, 且在 NWW 向延伸, 但矿体厚度小; -230 m 矿体分布于 24~36 号勘探线之间, 在 26 号线附近出现菱形厚矿体, NE 向厚度大于 NWW 向, 但在 NWW 向延伸

较好未间断;-270 m 矿体分布于 24~28 号勘探线之间,角砾岩厚度从 26~34 号勘探线逐渐变薄,在 31~34 号勘探线之间出现夹石层(图 4)。

从上到下,东部(28号勘探线以东)矿体的厚度明显大于西部。燕山运动早期,归来庄断裂 F_1 受左行剪切作用,形成的断距东部小于西部,断裂向NE转折段形成张裂面,矿体厚度大,NWW向主裂面方向受剪切作用,矿体薄而延续性好。

3.2 F₁ 断裂垂向控矿样式

从不同标高矿体分布来看: -30 m 矿体主要集中在 23~27 号勘探线之间, 厚部集中在 26 号勘探线, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向, 且在 NWW 向矿体未发生间断, 24 号勘探线可见大肚型下凸矿体; -70 m 矿体分布在 23~32 号勘探线之间, 呈现在 NWW 向延

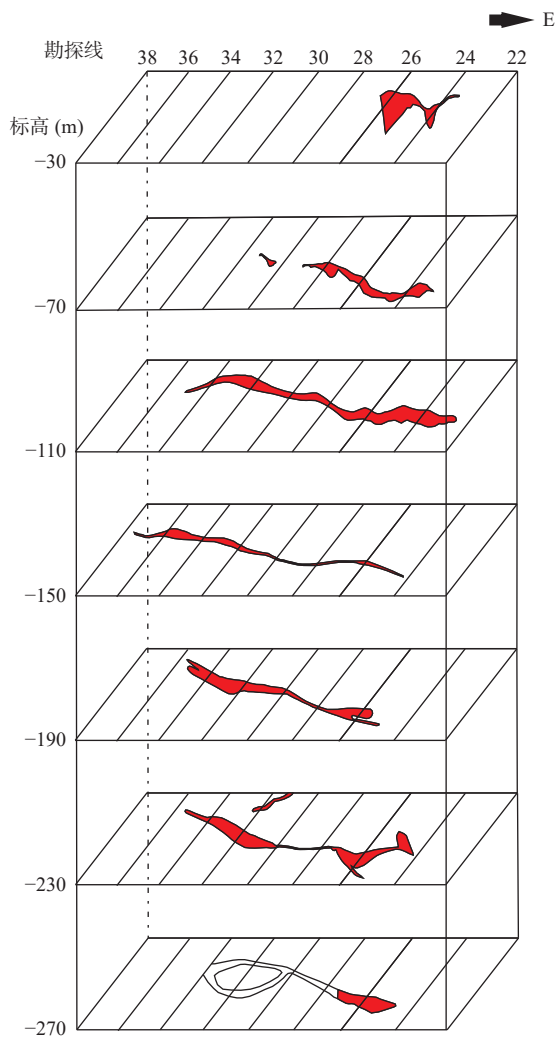


图4 矿体联合平面简图

Fig. 4 Joint plan of orebody

伸的特点; -110 m 矿体分布在 23~36 号勘探线之间, 均匀变化, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向; -150 m 矿体分布在 24~38 号勘探线之间, 呈现在 NWW 向延伸的特点, 但矿体厚度小; -190 m 矿体分布于 25~35 号勘探线之间, 厚度较小, 在 32~33 号线之间可见大肚型下凸矿体, 呈现出 NE 向厚度大于 NWW 向的特点, 且在 NWW 向延伸, 但矿体厚度小; -230 m 矿体分布于 24~36 号勘探线之间, 在 26 号线附近出现菱形厚矿体, NE 向厚度大于 NWW 向, 但在 NWW 向延伸较好未间断; -270 m 矿体分布于 24~28 号勘探线之间, 角砾岩厚度从 26~34 号勘探线逐渐变薄, 在 31~34 号勘探线之间出现夹石层(图 4)。

矿体在 28~40 勘探线上呈现出一定的规律性(图 5): 28~34 号勘探线之间, 矿体在标高 +100~-500 m 均可见, 而 34~40 号勘探线在标高 -500 m 以

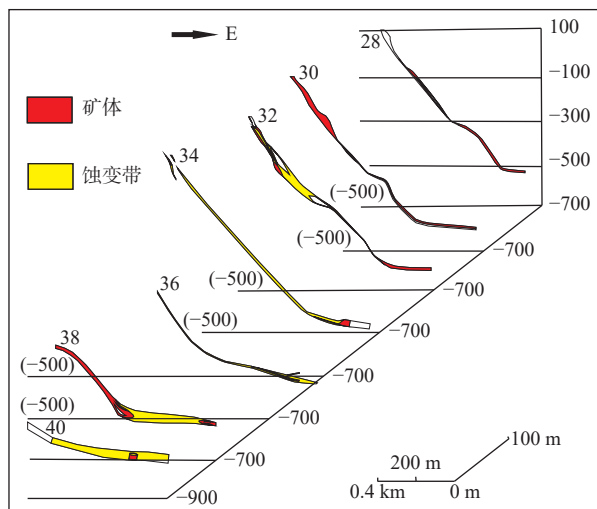


图5 勘探线联合剖面简图

Fig. 5 Joint profile diagram of exploration line

下才发现矿体; 矿体呈现出产状倾角大、坡度陡、厚度较大的特点。蚀变带在 32 号线以西发育明显, 与矿体的特征相反, 呈现出产状倾角小、坡度缓、厚度大的特点。在 40 号线以西, 蚀变带较大, 但矿化效果不佳, 可能此处的物理化学条件不利于金的沉淀, 以致未能形成良好的矿体。

从东到西, 陡倾面的角砾岩型矿体厚度明显大于缓倾面, 而缓倾面的蚀变带明显大于陡倾面; 成矿期断裂在剖面上受左行张裂作用的影响, 矿体由 NE 向浅部逐渐向 SW 向深部延伸可能暗示成矿流体来源矿区的 SW 向。断裂倾角大产状陡时, 成矿流体在断裂面内流动, 主要形成角砾岩型矿石, 品位高; 断裂面倾角小, 产状缓时, 成矿流体向围岩渗透, 蚀变带变宽但矿化较弱, 故在断裂的缓倾面形成蚀变带而陡倾面形成矿体。

3.3 F_1 断面产状控矿样式

矿体在 28~40 勘探线上呈现出一定的规律性(图 6): 28~34 号勘探线之间, 矿体在标高 +100~-500 m 均可见, 而 34~40 号勘探线在标高 -500 m 以下才发现矿体; 矿体呈现出产状倾角大、坡度陡、厚度较大的特点。蚀变带在 32 号线以西发育明显, 与矿体的特征相反, 呈现出产状倾角小、坡度缓、厚度大的特点。在 40 号线以西, 蚀变带较大, 但矿化效果不佳, 可能此处的物理化学条件不利于金的沉淀, 以致未能形成良好的矿体。

3.4 角砾大小与形态控矿

从现有的探采资料及本次研究采集样品来看, 角砾岩型矿石的特征差异(大小、形态、角砾成分、胶结

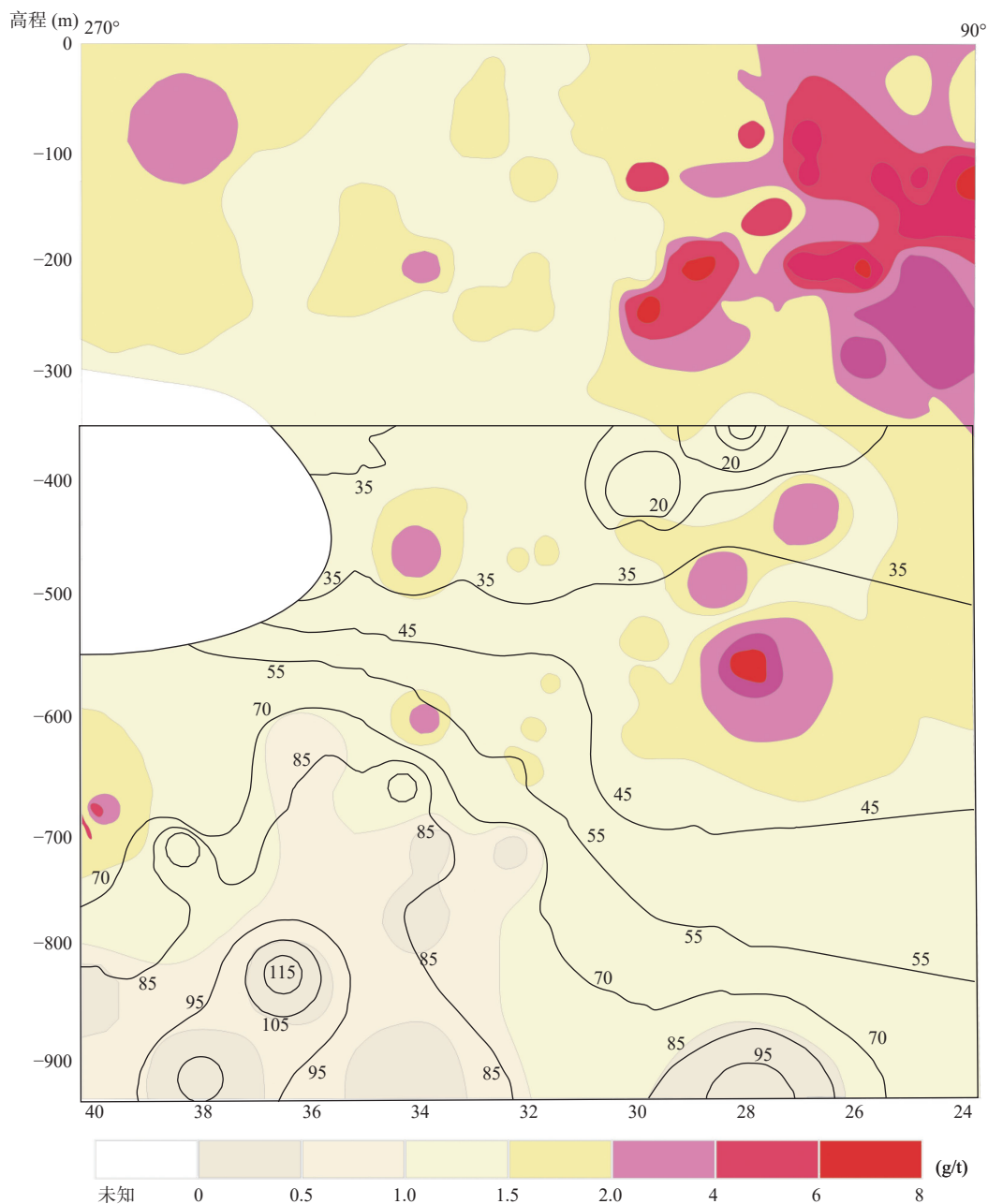


图6 断面产状与金含量等值线垂直投影图

Fig. 6 Section occurrence and gold content contour of vertical projection

物)与金含量关系密切,故对角砾岩的特征进行统计分析。矿井角砾岩型样品,从标高+48~-300 m,30号勘探线以东蚀变强烈,角砾成分从灰岩渐变为二长闪长玢岩、二长斑岩,偶见白云岩、灰岩,角砾从0.1~1 cm渐变为2~6 cm,岩粉胶结,与围岩的界限明显,接触不太规则,认为是岩体上部在近地表附近发生气爆的缘故;30号勘探线以西,从上到下角砾成分为灰岩和二长闪长玢岩、二长斑岩,胶结物呈紫(深)红色,可见少量金属氧化物,以热液胶结为主,也可见岩粉

胶结和长英质胶结,认为是岩体中部。钻孔角砾岩样品中,角砾成分以二长闪长玢岩、二长斑岩和灰岩为主,30号勘探线以东为多金属硫化物等热液胶结,可见岩粉胶结或岩浆胶结,认为此处为岩体中部;30号勘探线以西为岩浆胶结,认为是岩体下部(章增凤,1991;范洪海等,2002)(表1)。

角砾岩的成分和胶结物比较复杂,大多与围岩的关系密切。野外调研结合采集样品观察发现,角砾大小在平面上沿着NE-SW向逐渐变大(图7),垂

表 1 部分角砾岩特征表

Tab. 1 Partial breccia characteristics table

编号	采样位置(m)	大小	形态	角砾成分	胶结物成分	
ZK27-2	12	523	0.5~1 cm	条状、块状	灰岩	二长质胶结
	13	531	0.5~1.5 cm, 7 cm	条状、块状	灰岩、正长斑岩	二长质胶结
ZK2802	14	705	0.3~2 cm, 最大5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、二长斑岩	二长质胶结
	15	709	0.3~2 cm, 最大5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、二长斑岩	二长质胶结
	16	714	0.3~2 cm, 最大5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、二长斑岩	二长质胶结
ZK30-2	9	489	0.8~2 cm	浑圆状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、泥岩	二长质胶结
	11	488	0.8~3 cm, 个别达4.5 cm	浑圆状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、泥岩	二长质胶结
	12	489	0.8~3 cm, 个别达4.5 cm	浑圆状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、泥岩	二长质胶结
	14	493	0.8~3 cm, 个别达4.5 cm	浑圆状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩、泥岩	二长质胶结
ZK3609	12	617	0.3~3.5 cm	浑圆状, 个别棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	20	842	0.3~3 cm, 个别达10 cm	浑圆状, 次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	21	847	0.3~3 cm, 个别达10 cm	浑圆状, 次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	22	857	0.3~3 cm, 个别达10 cm	浑圆状, 次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
ZK3807	17	852	0.5~4 cm, 可达17 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩	岩浆胶结, 可见星点状黄铁矿
	18	856	0.5~4 cm, 可达17 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩	岩浆胶结, 可见星点状黄铁矿
	19	865	0.5~4 cm, 可达17 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩	岩浆胶结, 可见星点状黄铁矿
	20	867	0.5~4 cm, 可达17 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、灰岩	岩浆胶结, 可见星点状黄铁矿
ZK4007	8	830	1~5 cm, 20 cm	棱角状, 次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	10	815	0.5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	11	806	0.5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	13	796	0.5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	15	790	0.2~0.3 cm, 4.5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	17	780	0.5 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、二长斑岩、灰岩	岩浆胶结
	18	773	0.2~0.8 cm, 0.2~3 cm	棱角状、次棱角状	二长闪长玢岩、方解石晶洞	岩浆胶结

向上从 NE 向上部向 SW 向下部逐渐变大(图 8); 不同形态的角砾堆积在一起, 呈现出与围岩接触部位多为(次)棱角状、中心为次圆状(棱角)状、偶见磨圆度较好的角砾等特征。赋存于归来庄断裂 F₁ 中的

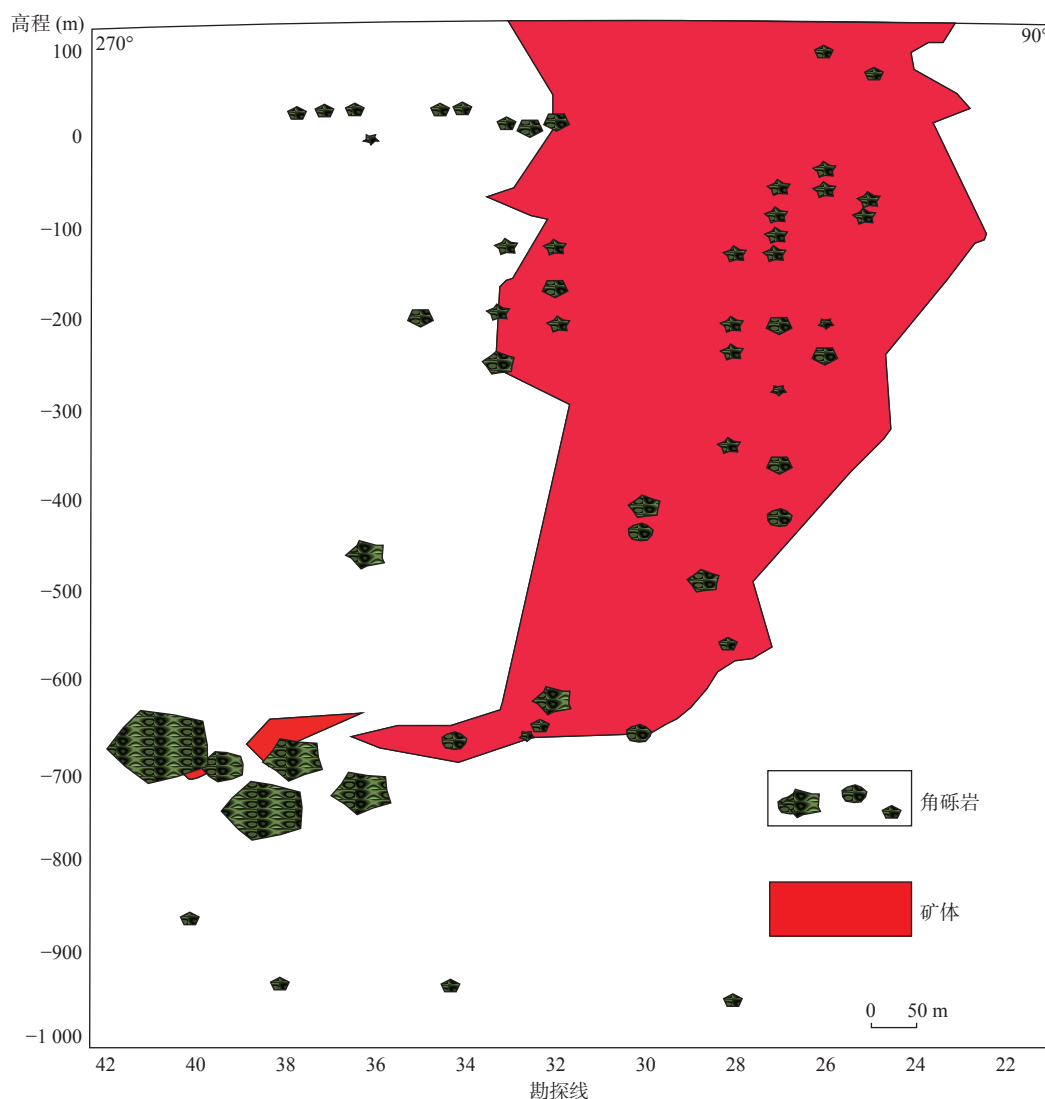


图7 角砾大小垂直纵投影示意图

Fig. 7 Breccia size of vertical longitudinal projection diagram

金矿,矿化不均匀,通过编录手标本、借助显微镜的观察及测试结果,发现角砾粒度较小时含矿性较好,随着粒度的增大,金品位不断下降,在出现大角砾的标高段,基本可以发现较强的蚀变带,但矿化情况不乐观。

角砾岩沿走向的膨缩,受张性断裂控制,岩体中偶见霏细状粗面斑岩灌入(徐书奎等, 2011; 肖淳, 2012),显示遭受了多次碎裂和蚀变,碎裂后被以黑云母为主的蚀变矿物胶结,第二次碎裂后被以石英-冰长石为主的蚀变矿物所胶结,多次的碎裂、蚀变胶结作用,导致角砾岩的角砾成分较为复杂。后续上涌的熔融体由于压力已经释放,在角砾岩筒下部形成以二长闪长玢岩、二长斑岩,少量白云岩、灰岩,偶见变质角砾岩为主要成分的角砾。胶结物有绢云母、高岭石、

碳酸盐、绿帘石、黄铁矿等。边缘处可见少量蚀变角砾岩,其形成与岩体局部冷凝释放出的热液有关,部分角砾岩还显示经历了多次隐爆过程,出现了“砾中砾”的情形(孙文燕, 2014; 高荣臻等, 2014; 于学峰, 2022)。

4 成矿模型

燕山运动早期,随着太平洋板块沿 NNW 向欧亚板块俯冲,郯庐断裂发生左行扭动,派生出一系列 NW 向、NNW 的主干断裂及次级断裂,其中 NNW 向燕甘断裂及其控制的次级断裂形成了研究区的导矿、容矿构造。中生代的火山活动对归来庄金矿的控制作用明显,来源于壳幔边界岩浆房的高压、高硅质熔

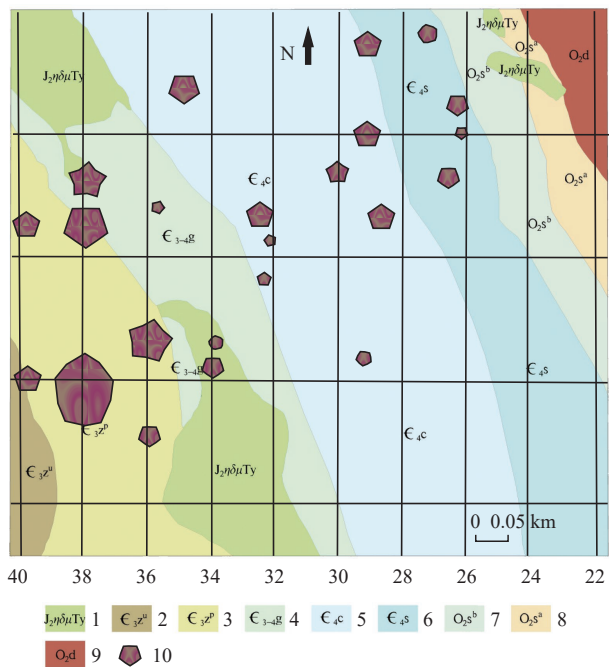
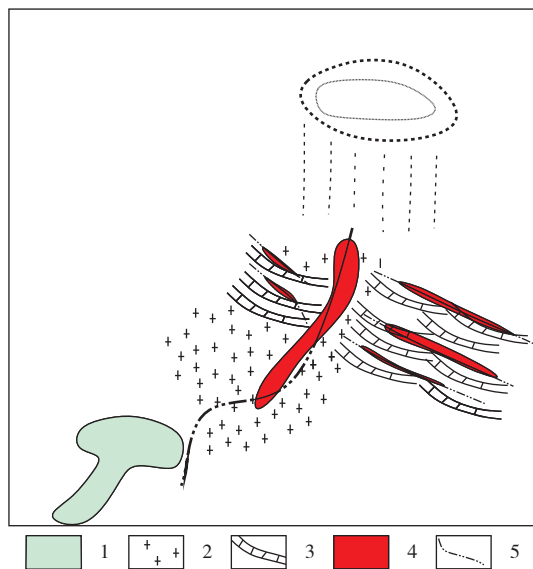


图8 角砾大小平面示意图

Fig. 8 Breccia size plan diagram

融体,沿燕甘断裂及其次生构造向上运移时,在归来庄 F_1 断裂深部,由于前缘岩浆冷凝固结,形成封闭环境,下部岩浆气液继续上侵聚集,封闭体系内温压急剧升高,在强大能量的驱动下,岩浆冲破坚硬外壳发生隐爆,气液沿着铜石杂岩体周围的火山机构NW向、NNW向、EW向、NE向等断裂向上运移,形成一定的岩质胶结构造-隐爆角砾岩(谢家东等,2000;田宏伟等,2009;刘国华等,2012;田京祥,2015;方维莹,2016;索晓晶,2018;于学峰,2022)。在成矿作用后期,富含矿质及挥发分的次火山岩浆期后热液,在地下水的参与下沿低压扩容带继续运移,并从围岩中进一步汲取矿质,沿断裂较薄弱地带,侵入厚度大、微裂隙发育、化学性质活泼的张夏组、朱砂洞组碳酸盐岩地层中,使得含矿热液进一步的渗入与交代,而其顶部泥质成分较高、细腻致密、韧性大的泥页岩、泥云岩等层起到了矿液屏蔽的作用,形成了中偏碱性岩浆期中低温热液似层状碳酸盐岩型金矿(闫臻等,2005;张原庆等,2010)。从金矿化与岩浆演化的关系看,矿化主要

发生在剧烈分异的二长-正长质岩浆活动阶段末期,当含矿热液运移到角砾岩带及其顶底板裂隙发育的围岩中时,随着物理化学条件的变化,Au、Ag、碲及其他金属、非金属元素逐渐沉淀,同时围岩发生了相应的蚀变(图9)。



1.岩体; 2.斑(玢)岩; 3.石灰岩; 4.金矿体; 5.断裂

图9 归来庄金矿床成矿模式图

Fig. 9 Metallogenic model of the Guilaizhuang gold deposit

5 讨论

鲁西地块断裂构造为同心环形-放射状断裂构造体系,是鲁西地块呈穹隆拱生形成的,而且在拱升过程中受郯庐断裂活动的影响,还发生了逆时针和顺时针旋转。古生代鲁西地块处于构造稳定阶段,印支早期该区表现为差异升降和宽缓褶皱,晚期为断块构造,在近SN向挤压力的作用下,古生代鲁西地块产生近EW向的宽缓褶曲。太平洋板块向欧亚板块俯冲时,沂沭带左行、聊城-兰考断裂右行,鲁西地块在NW-SE向挤压作用下向SW向逃逸并上升隆起。早侏罗世,郯庐断裂带左行走滑使鲁西南部地区NW向断裂发生强烈拉张,为幔源岩浆提供了上升通道,生成了高钾钙碱性-高钾碱性的岩石组合;中侏罗世晚期,西太平洋板块运动加强,NW向的挤压应力及上地幔的塑流运动,使鲁西地块的断陷发生近SN与EW向的正断层活动;晚侏罗世至早白垩初期,古太平洋板块向NNW向俯冲削减,可能深部NE向的板片不均一拆沉作用,导致浅部鲁西受SN向的拉升作用,开展

大规模的伸展运动,沿早期 NW-NEE 向断裂面下滑、掀斜,形成近 EW 向的地堑和盆地;早白垩世晚期,受板块挤压作用,沂沭断裂带左行压扭运动,聊城-兰考断裂右行,整个鲁西地块发生了挤出运动。随着拉伸作用增强,断裂切割加剧,引起大规模的火山喷发,形成早白垩世火山碎屑岩堆积;白垩世晚期,随着太平洋板块向 NNW 方向挤压作用增强,郯庐断裂再次出现左行走滑作用,鲁西受挤压隆起,最终形成鲁西构造格局的基本定型(刘林等, 2001; 陈华国等, 2009; 张国权, 2017; 孙文军等, 2017; 于学峰等, 2022; 冯玺平等, 2022; 杜显彪等, 2022)。

受构造作用的影响,燕山早期郯庐断裂带左行走滑使鲁西地区 NW 向断裂发生拉张,为幔源岩浆上侵提供了通道,多期次的岩浆活动于浅部寒武系及燕甘断裂的次级断裂处就位形成了铜石潜火山杂岩体。可分为 3 个阶段,外环以二长-闪长质岩石为主,中环常见二长-正长质岩石,中心部位是与成矿关系密切的粗面斑岩和隐爆角砾岩,呈筒状或脉状分布于杂岩体中。岩浆上侵过程中不断活化、迁移泰山岩群中的金属物质,提高了 Au 的丰度,并形成以水为主的挥发分,沿着断裂运移,上涌到近地表,受到上覆围岩及早期结晶的坚硬外壳阻挡,随着流体的不断聚集,内部膨胀力逐渐增大,当内部膨胀力超过上覆围岩的静岩压力与岩层的抗张力之和后,流体冲破坚硬外壳,发生隐爆作用,强大的内能使部分隐爆产物沿着构造带运移,形成隐爆侵入角砾岩;隐爆作用加热了大气降水,发生水岩交换作用,使矿源层的 Ag、Au 等活化、迁移,形成来源于矿区 SW 深部富含矿质及挥发分的岩浆期后热液。当成矿流体渗透至隐爆角砾岩带聚集成矿时,形成典型的隐爆角砾岩型矿体;当成矿流体渗透至构造裂隙中时,形成灰岩型矿体。

6 结论

(1)归来庄金矿床的形成与铜石杂岩体密切相关,受断裂控制比较明显。归来庄金矿受断裂和隐爆角砾岩双重控制,隐爆角砾岩沿断裂分布,断裂是主控矿因素。矿体的侧伏受构造两盘相对运动过程中启张空间的侧伏制约,而断裂性质及运动方式控制着启张空间的形成,其一般规律为正断层上盘相对左行滑落或逆断层上盘相对右行逆冲时,矿体向左侧伏。

(2)成矿期断裂受左行张剪性应力作用,南部上

盘向东方滑落,北部下盘向西上方移动,陡倾面受张开启,缓倾面受压闭合;断裂向 NE 转折段形成张裂面,矿体厚度大,NNW 主裂面方向受剪切作用,矿体薄而延续性好。陡倾面的角砾岩型矿体厚度明显大于缓倾面,而缓倾面的蚀变带明显大于陡倾面。

(3)归来庄断层 F_1 属于南盘下降的正断层,在成矿过程中上盘相对发生左行滑落,矿体向左侧伏。陡倾面形成的富矿体厚度大于缓倾面富矿体的厚度,断裂向 NE 转折段形成张裂面,矿体厚度大,NNW 主裂面方向受剪切作用,矿体薄而延续性好。沿归来庄断裂 F_1 的 NE 上方-SW 下方,矿体和蚀变带由浅入深、由陡而缓,矿体产状属性值等值线密集区与稀疏区相间出现,呈现棋盘格子状排列,等值线密集区有利于金的富集;角砾粒径沿该向逐渐变大,金品位下降。

致谢: 本文是在山东省归来庄金矿成矿规律与找矿方向项目实施过程中完成的,感谢山东黄金归来庄矿业有限公司王书春总经理、刘顺好副总经理、步关宾主任工程师、杨忠臣工程师及山东省第二地质矿产勘查院张英梅、张国权高级工程师等人在野外及研究工作中给予的热情支持和帮助;感谢论文评审专家给予了很好的建议和具体修改意见。

参考文献(References):

- 艾霞. 隐爆角砾岩型金矿成矿地质条件构造类型及找矿标志 [C]. 全国矿床会议, 2002, 569-572.
- AI Xia. Geological conditions of cryptoexplosive breccia gold deposits and prospecting signs [C]. National Conference of Mineral Deposits, 2002, 569-572.
- 陈华国, 甘延景, 全中文, 等. 铜石杂岩体隐爆作用与金矿成矿的关系及其研究意义 [J]. 山东国土资源, 2009, 25(11): 23-27.
- CHEN Huaguo, GAN Yanjing, QUAN Zhongwen, et al. Relation between crypto-explosive function of tongshi complex and gold mineralization and its significance on research [J]. Shandong Land and Resources, 2009, 25(11): 23-27.
- 杜显彪, 张瑞, 朱宁, 等. 山东平邑地区铜石金矿田控矿构造分析 [J]. 西北地质, 2022, 55(1): 179-189.
- DU Xianbiao, ZHANG Rui, ZHU Ning, et al. An analysis on ore-controlling structure of tongshi gold field in Pingyi area, Shandong Province [J]. Northwestern Geology, 2022, 55(1): 179-189.
- 范洪海, 倪培, 王德滋, 等. 邹家山铀矿床深部隐爆角砾岩成因机制及其与铀矿化关系 [J]. 矿床地质, 2002, (S1): 857-860.

- FAN Honghai, NI Pei, WANG Dezi, et al. Chromatic mechanism of deep cryptogenic breccia in Zoujiashan uranium deposit and its relationship with uranium mineralization[J]. Mineral Resources, 2002, (S1): 857–860.
- 方维萱. 论热液角砾岩构造系统及研究内容、研究方法和岩相学填图应用[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(2): 237–265.
- FANG Weixuan. Discussion on hydrothermal breccia tectonics system and its research contents, research methods and petrographic mapping[J]. Journal of Geostructured and Mineralogy, 2016, 40(2): 237–265.
- 冯玺平, 张英梅, 安茂国, 等. 鲁西归来庄金矿床三维地质建模及深部成矿预测[J]. 金属矿山, 2022, (10): 137–145.
- FENG Xiping, ZHANG Yingmei, AN Maoguo, et al. 3D geological modeling technology and deep metallogenic prediction of Guilaizhuang gold deposit in western Shandong Province[J]. Metal Mine, 2022, (10): 137–145.
- 高荣臻, 吕新彪, 杨永胜, 等. 黑龙江争光金矿床隐爆角砾岩特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2014, 50(5): 874–883.
- GAO Rongzhen, LÜ Xinbiao, YANG Yongsheng, et al. Characteristics and geological significance of explosive excavated breccia in Rongguang gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(5): 874–883.
- 郭闯, 卢玉杰, 欧阳志强, 等. 湖南水口山老鸦巢金矿床地质特征及成因分析[J]. 西北地质, 2023, 56(5): 294–307.
- GUO Chuang, LU Yujie, OUYANG Zhiqiang, et al. Geological Characteristics and Genetic Analysis of Laoyachao Gold Deposit in Shuikoushan, Hunan Province[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(5): 294–307.
- 李理, 钟大赉, 陈霞飞, 等. 鲁西地块 NW 走向断层的活动特征及裂变径迹证据[J]. 地质学报, 2018, 92(3): 413–436.
- LI Li, ZHONG Dalai, CHEN Xiafei, et al. Characteristics of NW-trending faults and evidence of fission track in the Luxi block[J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 92(3): 413–436.
- 李三忠, 王金铎, 刘建忠, 等. 鲁西地块中生代构造格局及其形成背景[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 487–497.
- LI Sanzhong, WANG Jinduo, LIU Jianzhong, et al. Mesozoic structure and its tectonic setting in the western Shandong block[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4): 487–497.
- 李少俊, 李三忠, 李玺瑶, 等. 鲁西地块新生代断裂体系活动性与深部动力机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(4): 123–134.
- LI Shaojun, LI Sanzhong, LI Xiyao, et al. Activity of cenozoic fault system in the Luxi block and deep dynamics[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018, 38(4): 123–134.
- 李胜荣, 郭谱, 曾勇杰, 等. 山东郯庐断裂两侧金巨量富集的背景、过程与评价[M]. 北京: 地质出版社, 2021.
- LI Shengrong, GUO Pu, ZENG Yongjie, et al. Huge enrichment of gold along Tan-Lu fracture zone, Shandong Province, China: geodynamic background, mineralogical processes and resource evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2021.
- 李世勇, 李杰, 蒋雷, 等. 鲁西归来庄金矿床矿化闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2021, 48(1): 334–336.
- LI Shiyong, LI Jie, JIANG Lei, et al. Zircon U-Pb dating of diorite porphyrite in the Guilaizhuang gold deposit, western Shandong[J]. Geology in China, 2021, 48(1): 334–336.
- 刘国华, 许令兵, 田磊, 等. 河南祁雨沟隐爆角砾岩筒的侧向隐爆模式探讨[J]. 矿产勘查, 2012, 03(1): 16–22.
- LIU Guohua, XU Lingbing, TIAN Lei, et al. Discussion on lateral blasting mode of blasting breccia in Qiyugou, Henan[J]. Mineral Exploration, 2012, 03(1): 16–22.
- 刘林, 陈为友, 尹士增, 等. 平邑归来庄金矿床探采对比初步研究[J]. 黄金, 2001, (05): 11–14.
- LIU Lin, CHEN Weiyou, YIN Shizeng, et al. Preliminary study on contrast between geological expioration and ore-mining in Guilaizhuang Gold Deposit of Pingyi Courty[J]. Gold, 2001, (05): 11–14.
- 马明, 高明波, 祝德成, 等. 鲁西莱芜三岔河矽卡岩型铁金矿床岩体成因: 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学证据[J]. 中国地质, 2022, 49(6): 1893–1907.
- MA Ming, GAO Mingbo, ZHU Decheng, et al. Petrogenesis of the Sanchahe skarn type iron-gold deposit in Laiwu area, western Shandong: Evidences from zircon U-Pb geochronology and geochemistry[J]. Geology in China, 2022, 49(6): 1893–1907.
- 时秀朋, 李理, 胡秋媛, 等. 鲁西隆起晚中生代以来西北向正断层特征及物理模拟[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2010, 49(2): 130–137.
- SHI Xiupeng, LI Li, HU Qiuyuan, et al. Characteristist Of NW-trending normal faults and physical modeling since late Mesozoic in west Shandong uplift. China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49(2): 130–137.
- 孙文军, 李三忠, 王鹏程, 等. 鲁西地区中生代穹盆构造与东亚构造体制转换[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(4): 110–125.
- SUN Wenjun, LI Sanzhong, WANG Pengcheng, et al. Mesozoic dome-basin structures in western Shandong province and its bearing on transition of tectonic regimes in east Asia[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2017, 37(4): 110–125.
- 孙文燕. 太行山中段银钼成矿系统结构及其深部找矿远景[D]. 北京: 中国地质大学(北京). 2014.
- SUN Wenyan. Optimal Structure and deep prospecting of silver molybdenum metallurgy system in the middle part of Taihang mountain [D]. Beijing: China University of Geosciences

- (Beijing). 2014.
- 索晓晶, 刘顺好, 李胜荣, 等. 山东归来庄金矿床地质特征及成矿模型[J]. 世界地质, 2020, 39(3): 544–556.
- SUO Xiaojing, LIU Shunhao, LI Shengrong, et al. Geologic feature and metallogenic model of Guilaizhuang gold deposit, Shandong[J]. Global Geology, 2020, 39(3): 544–556.
- 田宏伟, 吴少魁, 祁雨沟 J₅ 隐爆角砾岩型金矿床隐爆机制研究[J]. 采矿技术, 2009, 09(5): 141–143.
- TIAN Hongwei, WU Shaokui. Study on cryptological mechanism of Qiyougou J₅ blasting breccia gold deposit[J]. Mining Technology, 2009, 09(5): 141–143.
- 田京祥, 李秀章, 宋志勇, 等. 鲁西中生代金矿形成时代、物质来源及问题讨论[J]. 地质学报, 2015, 89(8): 1530–1537.
- TIAN Jingxiang, LI Xiuzhang, SONG Zhiyong, et al. Environment, Formation Age and Material Sources of Mesozoic Gold Deposits in Western Shandong: A Synthesis[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(8): 1530–1537.
- 王志才, 石荣会, 晁洪太, 等. 鲁中南隆起区第四纪晚期断裂活动特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 95–102.
- WANG Zhicai, SHI Ronghui, CHAO Hongtai, et al. Characteristics of the Quaternary fault activities in the middle and south region of Shandong Province[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(4): 95–102.
- 肖淳. 山东省平邑县归来庄地区金矿综合信息成矿预测[D]. 焦作: 河南理工大学, 2012.
- XIAO Chun. Comprehensive information metallogenetic prediction of gold deposit in Guilaizhuang area, Pingyi County, Shandong Province [D]. Jiaozuo: Henan University of Science and Technology, 2012.
- 谢家东, 钱汉东, 李永徽. 山东省平邑归来庄碲型金矿床碲元素地球化学特征及成矿机制探讨[J]. 地质找矿论丛, 2000, (2): 133–141.
- XIE Jiadong, QIAN Handong, LI Yonghui. Geochemical characteristics of tellurium and minerogenic mechanism of the Guilaizhuang tellurium-type gold deposit, Shandong province[J]. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 2000, (2): 133–141.
- 徐聪, 李理, 符武才. 鲁西地块中、新生界裂缝发育特征及构造应力场分析[J]. 地质科学, 2021, 56(3): 829–844.
- XU Cong, LI Li, FU Wucui, et al. Development characteristics of fractures in the Mesozoic and cenozoic and structure stress field analysis of the Luxi block[J]. Chinese Journal of Geology, 2021, 56(3): 829–844.
- 徐书奎, 付山岭. 归来庄金矿近外围找矿方向初探[J]. 南方金属, 2011, (2): 23–26.
- XU Shukui, FU Shanling. Preliminary study on the direction of prospecting in the near-periphery of Guilaizhuang gold mine[J]. South China Metal, 2011, (2): 23–26.
- 闫臻, 杨长春, 李继亮, 等. 鲁西地区馒头组下部滑塌堆积的地质特征及其意义[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 29–33.
- YAN Zhen, YANG Changchun, LI Jiliang, et al. Geological features and significance of Olistostromes from lower part of the mantou formation in the Luxi Areas, Shandong Province[J]. Acta Sedimentological Sinica, 2005, 23(1): 29–33.
- 于学峰, 方宝明, 韩作振. 鲁西归来庄金矿田成矿系列及成矿作用研究[J]. 地质学报, 2009, 83(1): 55–64.
- YU Xuefeng, FANG Baoming, HAN Zuozhen. Study on ore-forming series and mineralization of the Guilaizhuang gold field in western Shandong[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(1): 55–64.
- 于学峰. 山东平邑铜石金矿田成矿系列及成矿模式[J]. 山东地质, 2001, 17(3-4): 59–64.
- YU Xuefeng. Ore-forming series and model of tongshi gold field in Pingyi, Shandong Province[J]. Geology of Shandong, 2001, 17(3-4): 59–64.
- 于学峰, 李大鹏, 单伟, 等. 鲁西归来庄金矿田燕山期金成矿系统及成矿模式[J]. 地质力学学报, 2022, 28(5): 821–841.
- YU Xuefeng, LI Dapeng, SHAN Wei, et al. Yanshanian gold metallogenic system and metallogenic model of the Guilaizhuang gold ore field, western Shandong[J]. Journal of Geomechanics, 2022, 28(5): 821–841.
- 张广辉, 司荣军, 韦龙明, 等. 归来庄金矿控矿构造新见解[J]. 有色金属(矿山部分), 2013, 65(2): 27–30.
- ZHANG Guanghui, SI Rongjun, WEI Longming, et al. New insights into ore-controlling structure of Guilaizhuang gold deposit[J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2013, 65(2): 27–30.
- 张国权. 山东省平邑归来庄金矿深部矿床特征及成矿规律研究[J]. 山东国土资源, 2017, 33(9): 7–13.
- ZHANG Guoquan. Study on Characteristics and Metallogenic Mechanism of Deep Deposits in Guilaizhuang Gold Deposit in Pingyi County of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(9): 7–13.
- 张剑, 李三忠, 李玺瑶, 等. 鲁西地区燕山期构造变形: 古太平洋板块俯冲的构造响应[J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 226–238.
- ZHANG Jian, LI Sanzhong, LI Xiyao, et al. Yanshanian deformation of the Luxi area: tectonic response to the Paleo-Pacific Plate subduction[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(4): 226–238.
- 张原庆, 宋炳忠, 王玉福, 等. 鲁西铜石岩体金成矿规律和成矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(6): 1287–1294.
- ZHANG Yuanqing, SONG Bingzhong, WANG Yufu, et al. Metallogenic Rules and Prediction of Gold Deposits Around Tongshi

- Complex, Western Shandong Province[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2010, 40(6): 1287–1294.
- 章增凤. 隐爆角砾岩的特征及其形成机制[J]. 地质科技情报, 1991, (4): 1–5.
- ZHANG Zengfeng. Characteristics and formation mechanism of cryptoexplosive breccia[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1991, (4): 1–5.
- 朱光, 王薇, 顾承串, 等. 郯庐断裂带晚中生代演化历史及其对华北克拉通破坏过程的指示[J]. 岩石学报, 2016, 32(4): 935–949.
- ZHU Guang, WANG Wei, GU Chengchuan, et al. Late Mesozoic evolution history of the Tan-Lu fault zone and its indication to destruction processes of the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(4): 935–949.
- Guo Pu, Santosh M, Li Shengrong, et al. Crustal evolution in the central part of Eastern NCC: Zircon U–Pb ages from multiple magmatic pulses in the Luxi area and implications for gold mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 2014, 60(3): 126–145.
- Li Lin, Li Chao, Li Qing. Indicators of decratonic gold mineralization in the North China Craton[J]. *Earth-Science Reviews*, 2022, 95: 103.
- Li Lin, Li Shengrong, Santosh M, et al. Early Jurassic decratonic gold metallogenesis in the Eastern North China Craton: Constraints from S–Pb–C–D–O isotopic systematics and pyrite Rb–Sr geochronology of the Guilaizhuang Te–Au deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 92: 558–568.
- Li Shengrong, Santosh M. Geodynamics of heterogeneous gold mineralization in the North China Craton and its relationship to lithospheric destruction[J]. *Gondwana Research*, 2017, 50: 267–292.
- Li Shengrong, Santosh, M. Metallogeny and craton destruction: records from the North China Craton[J]. *Ore Geology Reviews*, 2014, 56: 376–414.
- Liu Yang, Santosh M, Li Shengrong, et al. Stable isotope geochemistry and Re–Os ages of the Yinan gold deposit, Shandong Province, northeastern China[J]. *International Geology Review*, 2014, 56: 695–710.
- Xu Wengang, Fan Hongrui, Hu Fangfang, et al. Geochronology of the Guilaizhuang gold deposit, Luxi Block, eastern North China Craton: Constraints from zircon U–Pb and fluorite-calcite Sm–Nd dating[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 65: 390–399.