山西堡子湾金矿的矿床成因与成矿时代探讨*

Study on Genesis and Ore-Forming Epoch of Puziwan Gold Deposit, Shanxi Province

韩金良[1,2] 张宝林[3] 魏广庆[4] 丁汝福[3] 高浩中[3] 王 杰[3]

（1 中国地质科学院地质力学所，北京 100081；2 中国地质大学，北京 100083；3 中科院地质与地球物理研究所，北京 100029；4 冶金局第三地质勘察局地质勘察研究院，山西 太原 030002）

Han Jinliang[1,2], Zhang Baolin[3], Wei Guangqing[4], Ding Rufu[3], Gao Haozhong[3],Wang Jie[3]

(1 Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences Beijing, 100081, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083 China; 3 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 4 Geology Exploration Institute, The Third Geology Exploration Bureau, MMB, Taiyuan 030002, Shanxi, China)

摘 要 堡子湾金矿经过了多期矿化叠加，矿化类型包括隐爆角砾岩型、流化角砾岩型、石英脉型和斑岩型。成矿作用与岩浆期后热液活动及以后发生的隐爆作用和流化作用关系密切。被角砾岩体切割的石英斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 233 Ma，含金矿物石英 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄为 142.5 Ma，含金矿物黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 64 Ma，最后确定堡子湾金矿的成矿时代为燕山中期至燕山末期-喜山初期。

关键词 金矿 矿床成因 成矿时代

自 20 世纪 50 年代末至 90 年代中期，先后有 7 家不同单位的地质人员在堡子湾金矿工作过，并取得了一些认识，即该金矿属隐爆角砾岩型，成矿时代为海西-印支期。然而，通过野外观察和室内研究，作者得出了与前人不同的结论。

1 地质概况

堡子湾金矿位于山西省阳高县长城乡堡子湾村，东距阳高县城约 11 km。大地构造位置位于华北地台北缘，内蒙地轴、天镇断拱的阳高凸起。按照地质力学的观点，该区位于祁吕贺兰山字型东侧反射弧与天山－阴山纬向构造带的结合部位。矿区成矿条件优越，为一中型金矿,以金为主并伴生银。

矿区出露的地层主要是太古界的麻粒岩和花岗片麻岩，片麻理走向近南北。另外，从吕梁期至喜山期的岩浆活动较频繁，大都以岩脉的形式出现。控矿构造为天镇－阳高山前破碎带的次级断裂胡窑－堡子湾 NEE 向断裂岩浆岩带，从东到西依次出露胡窑石英二长斑岩岩体、羊爪沟石英二长斑岩小岩株、堡子湾石英二长质角砾岩体，根据浅层地震勘探和钻孔资料，三者在深部连为一体，其为同一个岩浆演化序列的 3 个不同单元，如图 1 所示。

堡子湾金矿产于堡子湾石英二长质角砾岩体中，该角砾岩体从上到下由震碎角砾岩、隐爆角砾岩、流化角砾岩和压裂角砾岩组成，向下与石英二长斑岩相连，二者为渐变过度关系。角砾岩体长 3 km，宽 40～260 m 不等，平面上呈带状产出。角砾岩体总体向南倾，倾角 70～85^{o} 左右。

矿体局限于角砾岩体内及其与围岩的接触带附近，由北向南依次出露 3 号、1 号、2 号矿体。矿体平面上呈复杂脉状、透镜状；剖面上呈透镜状，具有尖灭侧现的规律。矿体倾向南、倾角较陡，最大垂向埋深达 600 m。

矿区内的围岩蚀变较发育,主要有硅化、绢云母化、碳酸盐化、高岭土化、绿泥石化，其中，与金矿化关系最为密切的是绢云母化、硅化、高岭土化。

2 矿物生成顺序和成矿阶段的划分

---

* 第一作者简介 韩金良，男，1966 年生，博士，工程师，从事矿床评价、隐伏矿床预测和构造地质等工作。

（1）热液期：热液期共分为 6 个阶段：① 石英-黄铁矿阶段;② 石英-绢云母-黄铁矿(黄铁绢云岩)阶段,黄铁矿中含金较高(147 g/t);③ 石英-绢云母-黄铁矿等金银多金属硫化物阶段（以硫化物大量出现为特征）;④ 碳酸盐-石英-多金属硫化物阶段;⑤ 含金硫化物-英脉阶段;⑥ 碳酸盐-铁矿阶段。

（2）表生期：石英-碳酸盐-高岭土阶段。

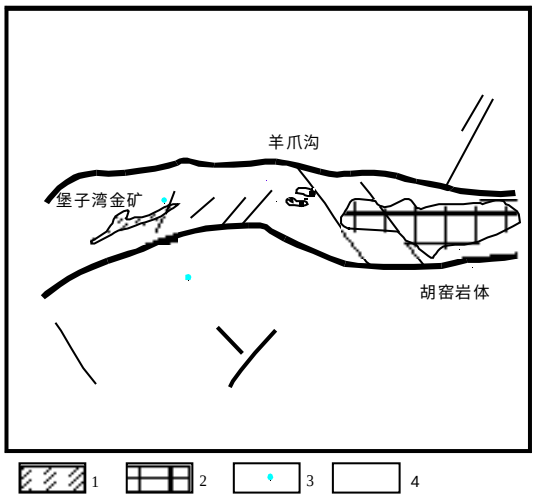


图 1　堡子湾金矿地质图

1—石英二长质角砾岩；　2—石英二长斑岩；3—石英斑岩同位素测年取样位置；4—太古界麻粒岩、花岗片麻岩

（3）各阶段的特征如下:

A 热液期：① 含金石英-黄铁矿阶段,该阶段形成于成矿作用的早期,分布于石英二长岩与二长花岗岩的接触带附近,黄铁矿呈星点状或浸染状分布于岩石中,有的分布于石英细脉中.本期矿化较微弱。② 石英-黄铁矿-绢云母阶段，该阶段形成的蚀变岩以角砾形式出现于后期矿化角砾岩中。其中的黄铁矿呈不规则粒状形式出现，含金量较高，由于整个岩石中黄铁矿的含量较低致使矿化程度低。③ 石英-绢云母-黄铁矿等金银多金属硫化物阶段，此阶段为主要成矿期，以硫化物的大量出现为特征，石英与硫化物紧密伴生在一起，以角砾岩胶结物的形式出现或呈团块状、细脉状分布于岩石中。此期硅化特别强烈，绢云母化较前期微弱，黄铁矿颗粒较细，黄铜矿呈树枝状充填于其中的裂隙中。④ 碳酸盐-石英-银金多金属硫化物阶段，此阶段为第二主成矿期。该阶段形成的矿石以发浅绿色为特点，金属矿物为银金矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、砷黝铜矿。碳酸盐化发育，呈浸染状、团块状分布于岩石中，与其它矿物共生。⑤ 含金硫化物-石英脉阶段，石英脉走向以东西向和北东向为主，硫化物主要是黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿。该阶段矿化较好，一般 3～4 g/t,最高达 11 g/t,只是规模一般较小。⑥ 碳酸盐-黄铁矿阶段,该期矿化主要分布于晚期花岗斑岩中，碳酸盐化较普遍，均匀分布于岩石之中。黄铁矿呈浸染状、细脉状产出。该期矿化较微弱。

B表生期：石英-褐铁矿-高岭土阶段，该阶段为次生富集阶段，受大气降水的影响发生淋滤作用，黄铁矿氧化淋滤，形成多孔状构造，同时金发生富集，以不规则粒状、树枝状存在于褐铁矿晶隙裂隙中，形成多孔状矿石。

3　矿化类型的划分、矿床成因

（1）矿化类型的划分：堡子湾金矿矿化类型多样,分为隐爆角砾岩型、流化角砾岩型、斑岩型、石英脉型。隐爆角砾岩型矿化分布在 11～19 线，4～5 线附近角砾岩体的上部；流化角砾岩型矿化分布角砾岩体的中上部，呈东西向脉状产出；斑岩型矿化在晚期花岗斑岩中较发育，在堡子湾岩体的中上部可能也存在早期的斑岩型矿化；石英脉型矿化以石英、黄铁矿、黄铜矿及其它硫化物组成的脉状体形式出现，贯穿于整个角砾岩体，而且在深部以这种矿体为主。由此可见，堡子湾金矿是一个多期矿化叠加的复杂矿床。

（2）矿床成因：堡子湾金矿成矿作用与石英二长（斑）岩、二长花岗岩、隐爆角砾岩等在时空上紧密伴生，金矿体稀土含量和陨石标准化模式与石英二长岩、石英二长斑岩和隐爆角砾岩接近，矿体氢氧同位素组成和硫同位素特征均显示岩浆成因。另外，还受到晚期斑岩型矿化叠加。综上所述，堡子湾金矿的成矿物质来源于岩浆，成矿作用与岩浆期后热液活动及以后发生的隐爆作用和流化作用关系密切。

4　堡子湾金矿成矿年代学研究

成矿时代是开展成矿预测的一个重要的前提条件。矿区内和金矿成矿作用关系最为密切的是中生代的岩浆活动，但是对其形成时代存在很大争议。前人给出的岩浆岩成岩年龄大都在中生代早期，西施沟岩体成岩年龄为 257 Ma，胡窑岩体成岩年龄为 247.3 Ma，九对沟花岗岩成岩年龄为 257 Ma、中酸性隐爆角砾岩体成岩年龄为 241.3 Ma，以上均为 K-Ar 法年龄，据此前人推断堡子湾金矿成矿年龄为印支期，同时也有人认为堡子湾金矿的成矿年龄以燕山期为主。最近张玉生发表的朱沿

沟超单元（包括西施沟岩体）年龄为：连石窑单元 153 Ma，西施沟单元 171 Ma,以上均为钾-氩年龄（张玉生，1995）。但是据野外各单元的接触关系，连石窑单元应早于西施沟单元，再看一看其采样位置，连石窑单元采样位置在岩体的边部，西施沟岩体采样位置在岩体的中心，由此可见，岩体的同位素年龄除受方法本身的局限外，还与样品的采集是否满足方法的要求以及采样位置有关。很显然，连石窑岩体年龄偏低是由于样品位置靠近岩体的边部造成的，可能与围岩的同化混染有关。因此朱沿沟超单元最新的成岩年龄应为 171 Ma。同时，也令我们对以前的同位素数据产生了怀疑。

以往矿床的成矿时代大多根据蚀变矿物和蚀变岩的同位素年龄确定的，属于间接法。本次主要采取直接测年技术。为了确定堡子湾金矿的成矿年龄，根据野外各地质体的接触关系，我们对比含矿角砾岩体早的岩脉和不同成矿阶段的含金矿物进行了 Rb-Sr 法和 Ar-Ar 法测年，对堡子湾金矿的成矿年龄重新进行了厘定。

（1）石英斑岩 Rb-Sb 等时年龄：矿区内出露的石英斑岩总体走向近南北向，并被近东西向堡子湾含矿角砾岩体切断。石英斑岩破碎后以角砾的形式出现在角砾岩体中。样品 S-1、S-2、S-4、S-6、S-7 和 17-3 采自主矿带以南的石窑沟，两者为同一岩脉的不同部位；P-8 采自西露天采场以北,如图 1 所示。野外岩石的宏观特征相似，并且保持新鲜，每个标本先磨片在显微镜下观察，镜下未见后期蚀变现象，然后送实验室进行测试。拟合所用误差为：$^{87}Rb/^{86}Sr$ 为 5%；$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.02%（相对误差）。

图 2 给出了一条拟合很好的 Rb-Sr 等时线，MSWD 值(2.2)小于统计值（2.4±0.7）Ma,表明实际分析误差与拟合等时线所输入误差相似，等时线年龄结果可靠。所以，可以得出这样的结论，即石英斑岩的成岩年龄为 233 Ma，为印支期；堡子湾金矿的成矿年龄应晚于 233 Ma。

（2）石英（含金）^{40}Ar-^{39}Ar 同位素年龄：本文作者之一的魏广庆选取了第三成矿阶段(石英-绢云母-黄铁矿多金属硫化物)中的石英，先作了试金分析，确定了石英中含金。然后在中国科学用地质与地球物理研究所同位素实验室进行了氩-氩年龄测试。

氩-氩年龄谱图形呈马鞍形或 U 字形（图 3），说明样品中含过剩氩。关于过剩氩的成因目前已形成比较一致的看法：

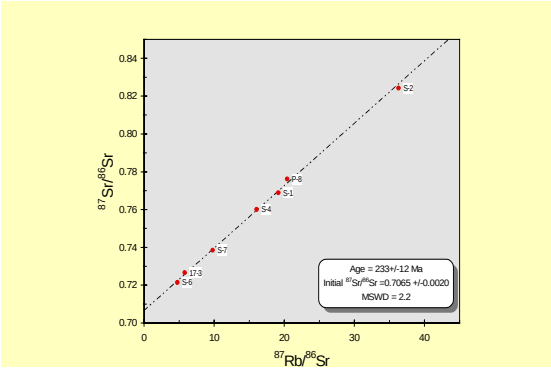


图 2 石英斑岩 Rb-Sb 等时线

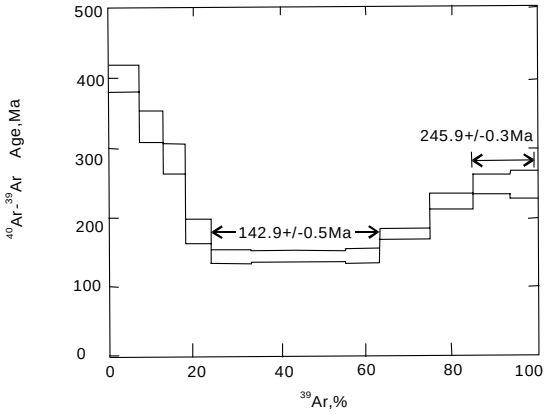


图 3 石英 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄谱

石英是一种含微量钾的矿物，这些低钾矿物常含有较高的过剩氩，这种氩很可能是在石英结晶冷却过程中被吸附于矿物的液态包裹体之中造成的（吴尚全，1991）。热液成因含微量钾的矿物的过剩氩主要存在于矿物的晶格中和流体包裹体中（邱华宁，2000）。可将谱形分成 A、B、C 三部分来讨论。A 段可视为流体包裹体中带入过剩氩导致表观年龄异常大，无地质意义。C 段与 A 段为非对称，其表观年龄偏大，是因为在高温阶段，石英晶格中的过剩氩释放造成的，所以，右侧的坪年龄（245 Ma）不具有定年意义。同时根据野外接触关系，石英斑岩比角砾岩体的成岩年龄要早，其成岩年龄为 233 Ma，很显然 245 Ma 肯定不是成矿年龄。B 段是 ^{39}Ar 析出最多的一段，且为一很平坦的坪。Lanphere 和 Dalrymple 曾指出“马鞍形年龄谱显然可用于判断岩浆岩、岩石和矿物中的过剩氩，这种年龄谱的最小值接近样品的结晶年龄，在一些样品中甚至可以得到正确的年龄值”（吴尚全，1991）。因此，该样品年龄谱的最低坪年龄（142.9 Ma），可以作为含金石英的结晶年龄。同时，前人得到的晚期花岗斑岩年龄为（105±6 ）Ma，而根据野外观察，花岗斑岩比这一期矿体的形成时间要晚。经综合分析后我们认为 B 段的坪年龄（142.9 Ma）可能接近于堡子湾金矿早期成矿年龄。

（3）黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄：黄铁矿 Rb-Sr 等时线测年技术是近几年新开发的测年技术，中国科学院地质与地球物理研究所杨进辉博士在这方面做了尝试，并取得了成功。其基本原理是：受晶体化学的制约，黄铁矿中 Rb-Sr 等微量杂质元素主要以类质同像或机械混入形式赋存在矿物的晶格间或吸附于矿物的表面（陈光远，1989），有的则存在于黄铁矿的包裹

体中（Lueders V. 1999）。成矿过程中，黄铁矿结晶能力强，在中低温热液条件下迅速结晶并形成完好晶形，从而保持良好的封闭状态，不再受成矿热液的影响（杨进辉 2000）。

笔者参考杨进辉的实验方法，采用了黄铁矿亚样品测年技术。亚样品测年是一种新的尝试，它不同于从同一地质体不同采样位置采样进行测年的传统方法：手标本上不同部位的亚样品与在地质体不同位置所采的样品相比，更可能在成矿过程中达到同位素初始比值的均一；成矿作用本身是一个复杂的过程，成矿过程中，热液流体本身处于开放非平衡体系，与围岩不停地进行着物质交换，手标本范围（10 mm 内）远比几米甚至几百米范围的样品更有利于达到同位素平衡（杨进辉 2000）。

样品采自 1310 中段 13^{+}线南川与主巷道以南东西向沿脉巷道的交叉口的南北向石英黄铁矿脉中,样品大小（mm）10X9X4。先对样品进行了试金分析,分析结果含金量 3.6 g/t（矿石），然后磨制薄片，在显微镜下观察，结果发现黄铁矿均为同期的产物。然后在双目镜下挑选出 6 件黄铁矿单矿物。

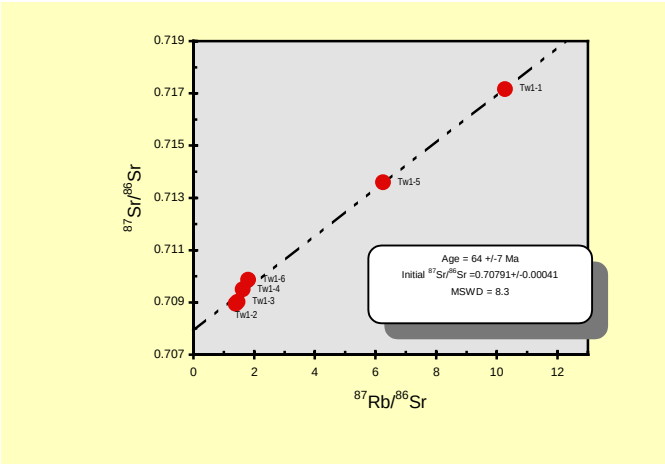


图 4　黄铁矿亚样品 Rb-Sr 等时线

在玛瑙中将黄铁矿粉碎到 200 目，用去离子水将样品冲洗 3～5 次，干燥后称取 0.5～0.8 g 样品，将亚样品用 $HCl+HNO_3$ 混合酸(1:3)全部溶解后蒸干，用 $HClO_4$ 和浓 HCl 将其重新溶解两次，再蒸干，用相应浓度的 HCl 萃取样品，分别在装用标准阳离子交换树脂的石英交换柱上分离高纯的 Rb、Sr，测试工作在动态多接收固体质谱（VG354）上进行(图 4)。拟合所用误差为：$^{87}Rb/^{86}Sr$ 为 5%；$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.02%（相对误差）。

该样品采自热液期最后一个阶段（碳酸岩-黄铁矿阶段）形成的矿体，该阶段发生在花岗斑岩侵位之后。虽然等时线的 MSWD 稍大，但结合花岗斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄（105Ma），黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄（64 Ma）仍可示为晚期的成矿年龄。

石英和黄铁矿的同位素年龄与堡子湾金矿多期矿化叠加的现象相吻合。

5　结　论

⑴ 堡子湾金矿矿化类型除隐爆角砾岩型以外，还包括流化角砾岩型、石英脉型和斑岩型。

⑵ 堡子湾金矿的成矿物质来源于岩浆，成矿作用与岩浆期后热液活动及以后发生的隐爆作用和流化作用关系密切。

⑶ 堡子湾金矿的成矿时代应为燕山中期至燕山末---喜山初期。经过多期矿化叠加，主成矿期在燕山中期，可能有喜山初期矿化的叠加。

参　考　文　献

曹国雄，高太忠，吴有民. 2000. 堡子湾金矿同位素及稀土元素地球化学研究[J]. 地质地球化学，28（1）：10-14.

丰成友，张德全，李大新等.2002. 青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代[J]. 矿床地质，21（1）：45-52.

刘国平，艾永富，2002. 辽宁小佟家堡子金矿成矿时代探讨[J]. 矿床地质，21（1）：53-57.

邱华宁，朱炳泉. 2000. 东川铜矿硅质角砾 ^{40}Ar-^{39}Ar 定年探讨[J]. 地球化学，29（1）：21-27.

吴尚全. 1991. 吉林夹皮沟金矿床含金石英的 ^{40}Ar-^{39}Ar 快中子活化年龄测定[J]. 矿床地质，10（4）：349-358.

杨进辉，周新华. 2000. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J]. 科学通报，45（14）：1547-1553.

张宝林，韩金良，高浩中等.2001. 山西堡子湾金矿区成矿流体场特征与隐伏矿床定位预测[J]. 地质地球化学，29（3）：179-184。

Yan F Z. 2000. Puziwan gold deposit in Shanxi, China: a specical linear cryptoexplosive breccia type gold deposit [J]. Acta geologica sinica,74(2):554-558.