

陕西双王金矿床角砾岩动力学成因探讨

王国富¹ 孙振家¹ 彭恩生¹ 汪劲草¹ 汤静如¹ 史静海²

(1. 中南大学地质研究所, 湖南 长沙 410083 2. 陕西太白金矿 陕西 太白 721607)

摘要:双王金矿可拼性含金角砾岩是流体致裂角砾岩,而不是构造角砾岩或隐爆角砾岩。该区的深源异常高压流体是角砾岩产生的必要条件。角砾岩的动力学成因主要是区域变质作用、地壳隆升剥蚀作用和地下岩浆活动等形成异常高压流体,在重力、浮力和地热梯度的驱动下,在能干性强的岩石中产生裂隙,并向浅部增殖,被碳酸盐矿物等充填胶结。周而复始的流体压裂—沉淀愈合作用,使金多次富集,形成矿体。

关键词:角砾岩 动力学成因 流体致裂 双王金矿

中图分类号 P618.51 文献标识码 A 文章编号 1001-1552(2002)01-081-05

1 问题的提出

位于秦岭造山带上的双王角砾岩型金矿床,以其矿床品位低、储量大、易采选、成因独特而倍受世人瞩目。前人虽对含钠质岩石和角砾岩成因有过较多研究(见下文),但仍存在较大的分歧。对钠质岩石的成因,主要有热液交代成因[1989,陕西省地质矿产局第三地质队,等]和热水沉积成因[2000,梁华英,等;2000,方维萱,等]两种认识;另外,还有一些学者提出东秦岭造山带存在侵入钠长岩的观点[2000,李勇,等]。对角砾岩的形成,陕西省地质矿产局第三地质队等(1989)和古貌新、戴安周(1983)提出的角砾岩是构造角砾岩的看法颇有影响;徐贵中(1999)认为角砾岩与隐爆作用有关^①;王亚力(1985)将角砾岩成因归结为地下热卤水产生盐溶或岩溶作用的结果;祁思敬等(1999)则持同生沉积的观点。

对于钠质岩石的成因,笔者倾向于接受热液交代的观点。本文仅对钠长角砾岩的成因做一初步探讨。通过实地观察及资料分析,认为无论从角砾岩带

的出露层位、长度、宽度和带内保存完好的小型褶皱上,还是角砾岩本身特征上,都缺乏构造角砾岩的明显特征。区内也未发现次火山岩和岩溶构造。笔者认为这是一种流体致裂角砾岩。本文拟从角砾岩的基本特征、流体特征以及流体致裂作用机制方面,探讨其动力学成因。

2 矿床地质特征概述

双王金矿的矿体直接赋存于含铁白云石胶结的钠长角砾岩中(图1)。构造上,矿床位于“两台”(华北、伊陕台地区)三洼(南北、四川、华中地洼区)处的交接地带[1996,陈国达],凤县—山阳深断裂南侧。矿区出露地层由老到新为泥盆系王家楞组、古道岭组、星红铺组和九里坪组。角砾岩带全长11.5 km,呈北西—南东向(290°~310°)展布于西坝—松平复式背斜北东翼的星红铺组富钠碎屑岩浅变质岩中。平面上,角砾岩带由大小不等的八个长扁透镜状角砾岩体组成,单个透镜体长度介于300~700 m,最大厚度介于30~120 m,角砾岩体之间的间距介于500~800 m;角砾岩总体产状上缓下陡,倾向20°~

收稿日期 2001-05-21 改回日期 2001-09-30

基金项目 国家自然科学基金项目资助(49772152)

作者简介 王国富(1967-),吉林长春人,博士生,成矿预测与成矿构造方向。

^① 1999,徐贵中,陕西太白金矿矿区深部矿体预测及外围靶区优选,中国科学院地质研究所科研报告。

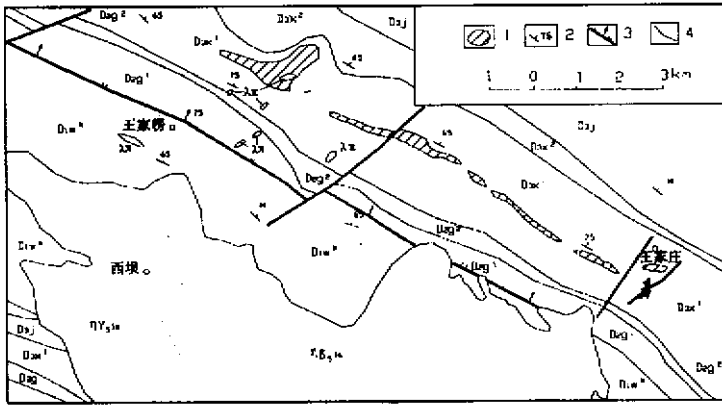


图 1 双王金矿区地质图

(根据陕西地质局地质三队,1988,本文略有修改)

Fig. 1 Geological map of Shuangwang gold ore field, Shaanxi, China

D_1w^a - 王家楞组下段; D_1w^b - 王家楞组上段: 结晶灰岩, 碳质钙质板岩; D_2g^1 - 古道岭组下段: 粉砂质绢云母板岩夹泥砂质灰岩; D_2g^2 - 古道岭组上段: 厚层结晶灰岩, 白云质灰岩; D_3x^1 - 星红铺组下亚组粉砂质绢云母板岩; D_3x^2 - 星红铺组上亚组结晶灰岩; D_3j - 九里坪组砂岩; $\eta\delta s^{1a}$ - 印支早期二长闪长岩; $\eta\gamma s^{1b}$ - 印支晚期二长花岗岩; $\lambda\pi$ - 花岗斑岩脉; 1 - 含金角砾岩带 2 - 地层产状 3 - 走向断层及产状 4 - 横断层

40°, 局部倾向 200°~220°, 倾角 50°~87°, 剖面上, 浅部为不规则透镜状或囊状体, 深部为似厚板状。角砾岩与上下盘围岩界线比较清楚, 从边部到中心, 依次为围岩、半破碎围岩、角砾岩, 半破碎围岩的过渡带最宽不超过十几米, 角砾岩两壁未见擦痕和阶步。角砾岩带内常有厚薄不一的不连续夹层, 有的甚至保留完好的产状和小型褶皱, 角砾岩边缘常见热液胶结物呈脉状切穿围岩。角砾岩体南侧 1~3 km 处发育由石英二长闪长岩和石英二长花岗岩组成的印支期西坝复式岩体, 形成时代分别为 213.5 Ma 和 198~202 Ma, 燕山期花岗斑岩脉和煌斑岩脉侵位于角砾岩体中 [1989, 陕西省地质矿产局第三地质队, 等]。Au 矿体依靠品位圈定, 正在开采的 KT_8 、 KT_7 、 KT_5 矿体中, 以 KT_8 规模最大。根据矿物组合、穿插及与金矿化关系, 将矿床分六个成矿阶段: I 黄铁矿—含铁白云石—石英—钠长石阶段; II 石英—钠长石—黄铁矿—含铁白云石阶段; III 黄铁矿—方解石阶段; IV 黄铁矿阶段; V 萤石—地开石—方解石阶段; VI 石膏—硬石膏阶段。其中与成矿关系密切的是 II、IV 阶段。围岩蚀变主要有钠长石化、黄铁矿化、铁白云石化和硅化等。

3 角砾岩特征

3.1 角砾特征

角砾成分主要为浅灰—浅棕黄色钠长石化板岩
万方数据

或粉砂岩, 部分为绿灰色粉砂质绢云母板岩、变质砂岩及少量大理岩和灰岩。浅部角砾多为棱角分明的板条状、多角状及不规则状, 粒度从数十厘米到数米不等; 深部角砾呈次棱角—次圆乃至卵圆状, 粒度多小于 10 cm。板条状角砾约占角砾总量的 80% 以上。在平面上, 板条状角砾长轴与角砾岩透镜体长轴方向(290°±) 近于一致。角砾中可见第 I 阶段石英脉垂直于角砾 ab 面分布, 钠化不强的角砾上, 可以看到原岩板理。据地质三队统计, KT_8 角砾岩体中, 角砾粒度在 0.1~1 m 之间的约占 45%~60%。从上部到下部、边部到中部, 角砾粒度明显变小, 基本没有旋转和位移, 相邻角砾具有可拼性, 显示出原地破裂的特征(图 2)。角砾大小混杂, 和胶结物之间界线分明, 角砾岩结构具基质支撑结构, 角砾的变形

程度也不比围岩的变形程度高, 其内部除蚀变叠加外, 未见与围岩异样的显微构造现象。鞠党辰(1991) 统计, 角砾粒度过大或过小, 都不利于成矿, 一般粒度在 10~50 cm 之间的含矿性最好。

3.2 胶结物特征

角砾岩的胶结物主要为多阶段热液活动形成的钠长石、含铁白云石、方解石、石英及黄铁矿等矿物集合体。其中钠长石和石英为早期产物, 主要呈浸染状、脉状分布于岩石的裂隙中, 或呈团块状分布于角砾之间; 含铁白云石和方解石构成胶结物的主要成分, 多为粗晶团块状或脉状胶结角砾岩, 其中沿裂隙充填的胶结物, 常以长直线状脉、不规则“之”字形脉、雁列脉、网脉形式出现, 并交代围岩(图 3, 图 4,

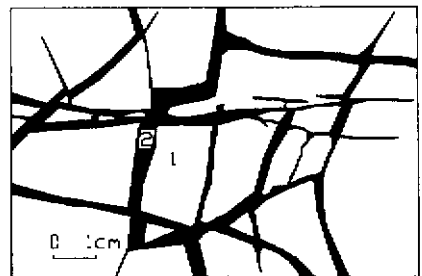


图 2 双王金含水压角砾岩标本素描(1250m, CM40)

Fig. 2 Specimen sketch of hydraulic fracturing breccia in Shuangwang gold deposits

1 - 角砾 2 - 胶结物

图 5 图 7) 脉体宽大处, 常包含破裂的可拼角砾(图 6) 黄铁矿为浸染状分布于脉石矿物中, 或呈细脉状分布在角砾和胶结物的边部或角砾的裂隙中。金就赋存于黄铁矿和铁白云石胶结物中, 一般说, 第 II、第 IV 阶段的胶结物含量和金品位正相关, 尤其是细脉状黄铁矿含量越高, 金的含量也高。

4 双王金矿床异常高压流体特征

岩石是否发生流体致裂, 取决于该区是否存在异常高压流体。流体异常高压的形成过程复杂且形式多样, 成岩压实作用、区域变质作用、地壳隆升剥蚀作用和构造应力作用以及地下岩浆及可能的地震活动等都可形成流体异常高压 [1997, 李建威, 等; 1985, Nelson, 等]。Phillips (1972) 认为流体致裂作用发生的条件可用 $P_f \geq \sigma_3 + R_i$ 表示, 其中 P_f 是流体压力, σ_3 是最小主应力, R_i 是岩石的抗张强度, 即流体压力 P_f 超过最小主应力 σ_3 和岩石内聚力最薄弱处岩石抗张强度 R_i 之和时, 岩石产生流体致裂。可见, 异常高压流体的存在是岩石发生流体破裂的必要条件。但流体压力如果过大, 岩石容易形成爆破角砾岩而非流体致裂角砾岩。因此, 静岩压力和流体压力之

间可能存在着非线性动态平衡关系。

研究表明 [1989, 陕西省地质矿产局第三地质队, 等 2000, 谢玉玲, 等] 双王金矿床存在着这样的深源异常高压流体。矿床流体活动可分为六个阶段 (见前文), 不同阶段成矿流体以富含 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_2 及一定量的 Cl^- 、 S^{2-} 为主要组分, 以含 Au、Te、Se、Bi、Ag、As、Ni、Cr、Pt 及 Pd 等伴生元素为特征组分。矿石中的稀土元素和微量元素铅、碳、氧同位素均具深源性, 硫则具幔源和壳源混合的混合硫性质。流体具高一中温 (210 ~ 350°C)、高压 (约 $(1.4 \sim 1.75) \times 10^8$ Pa) 性质。成矿流体具有还原、弱酸—弱碱性环境, 并具较高的二氧化碳逸度 (f_{CO_2}) 和较低的氧逸度 (f_{O_2})。水主要来源于岩浆热液和变质热液。流体来源可能与矿区南部的西坝复式岩体及幔源碳酸盐岩浆有关, 早期混合了地层中的变质水, 主成矿期以深源流体加入为主。包裹体特征也说明流体的来源十分丰富, 粗晶铁白云石中的包裹体每平方米达 500 ~ 2 500 个左右, 大者大于 35 μm , 多在 2 ~ 15 μm 间。含气液两相、液相和纯 CO_2 包裹体, 形态复杂, 以原生包裹体为主, 含石盐子晶矿物。热液的盐度变化较大, 表现出流体具有高温高盐度深源特征。铁白云石包裹体和石英包裹体分别在

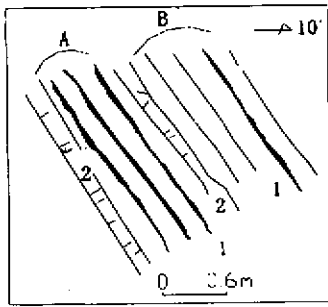


图 3 直线型侵入脉特征(1250 CM36 沿脉)
Fig. 3 Morphological feature of linear type intrusive veins

1 - 铁白云石脉; 2 - 含石英细脉的粉砂质绢云板岩; A - 强钠化带; B - 弱钠化带

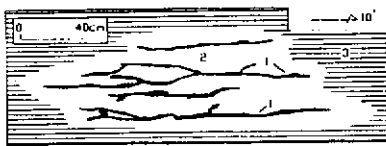


图 4 不规则状脉体几何特征(1250 沿脉顶板)
Fig. 4 Geometric feature of irregular veins
1 - 铁白云石脉; 2 - 钠化板岩; 3 - 未钠化板岩

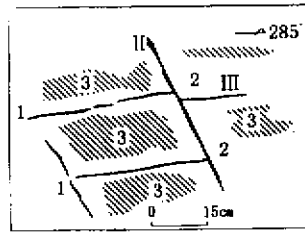


图 5 网状脉特征(1250 CM40 北)
Fig. 5 Morphological feature of network veins

1 - 铁白云石脉; 2 - 钠化板岩(黄白色); 3 - 未钠化板岩(黑色); II、III 为三组裂隙

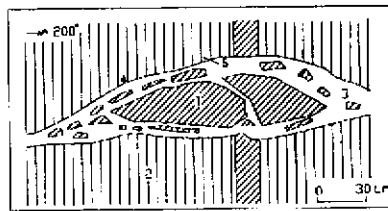


图 6 切层脉体中角砾岩特征(1250 CM40)
Fig. 6 Morphological feature of breccia of bedding veins

1 - 钠化角砾; 2 - 未钠化板岩; 3 - 铁白云石胶结物; 4 - 钠化板岩; 5 - 蚀变界线

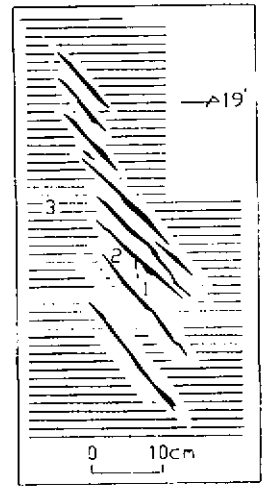


图 7 雁列状含铁白云石脉素描(1250 中段 CM40 顶板)
Fig. 7 Sketch of ankerite veins in an echelon arrangement

1 - 铁白云石脉; 2 - 钠化板岩(黄白色); 3 - 未钠化板岩(黑色)

200 ~ 379℃ 和 357 ~ 390℃ 达到气液相均一,这是典型流体致裂包裹体的特征。

5 动力学成因——流体致裂作用

自 1957 年 Hubbert 提出水压破裂机制以来,国内外学者应用该理论已成功地解决了许多问题, Cox 等(1990)指出超静岩压力的流体可能通过产生宏观水压裂隙提供渗透性, Michel Jébrak 等(1997)研究了水压角砾岩的分形特征和其他几何特征, Ruggieri 等(1998)和 Branquet 等(1999)分别指出德国大陆深钻的角砾岩和哥伦比亚的一个翡翠矿床均为水压致裂成因, 秦松贤等(1999)提出, 湘黔交界中一下寒武统角砾岩化白云岩成因是高孔隙岩层内异常流体高压所导致的水压致裂作用这一新认识, 汪劲草等(2000)对水压角砾岩做了较为详细的分类。

秦岭造山带的区域变质、地壳隆升剥蚀作用,使孔隙度小、渗透性较差的绢云板岩,形成阻水障,先存的流体富集在孔隙度大、渗透性好的粉砂质绢云板岩中,并使岩石发生钠长石化。随着流体不断汇聚,在封闭条件下会产生强大的压力,据希塔罗夫的资料,在深 1 100 m 处,温度为 400℃ 时,水的压力可达 300×10^5 Pa; 当温度为 700℃ 时,压力可达 $1 300 \times 10^5$ Pa。当其压力大于最小主应力和岩石拉张强度之和时,能干性强的粉砂质板岩产生张性破裂,这些破裂的继续发展、相互交割和穿插,使热液中的 SiO_2 充填在裂隙中,形成石英细脉,钠长石穿插板岩和板岩角砾、围岩,并使角砾进一步硅化,构成角砾岩体的雏形,此阶段因为流体中含金低,因而胶结物中金含量也低;后来富含碳酸盐和成矿物质的流体,在地热梯度、重力和浮力驱动下继续活动,如果流体含量达到 35% 以上时,岩层便失去机械强度,其粘度近乎等于液体的粘度 [1989, 尼古拉],流体的运动使岩石不断产生破裂,并向浅部方向增殖,这些破裂成为金沉淀的场所。由于裂隙的扩张和延伸是骤然发生的,裂隙的瞬时扩容,使富含 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_2 、 S^{2-} 、Au 等组分的深部含矿热液前锋的压力陡然下降,促使热液快速吸入裂隙中,进一步交代围岩,随着含矿热液的能量、压力的释放,流体温度降低,粘度变小,物化条件改变,使黄铁矿、含铁白云石、石英和钠长石等矿物结晶析出,并以胶结物的形式充填在角砾的裂隙中,金也伴随着沉淀下来。

裂隙中矿物的晶出充填,岩石的抗张强度有所增加,能量得以积累,流体压力再次增大,当 $P_1 \geq$ 万方数据

$\sigma_3 + R_1$ 时,又快速发生第二次流体压裂,裂隙相当于毛细管力抽吸深部含矿热液,直到矿物结晶和金的沉淀。如此周而复始运移、聚积、沉淀,形成裂隙状、网脉状、棱角状张性可拼角砾岩,角砾的多次角砾化以及镜下见的沸腾包裹体群就是流体多次活动的佐证。金也随着裂隙的多次发生,沉淀富集,形成工业矿体。由于各个阶段热液压力的不同,后期的压力已经不足以造成上部岩石发生更大规模的流体致裂,铁白云石胶结物只沿裂隙充填,以至于上部岩石的角砾粒度比下部大。胶结物的充填扩容,使角砾岩体呈现透镜状,并造成顶部岩石发生轴面近水平的膝状褶皱,围岩和角砾岩也发生剪切破裂,形成一系列的剪切脉。

6 结 论

(1) 双王金矿角砾岩带的出露层位、长度、宽度和带内保存完好的小型褶皱以及角砾岩特征上,说明该区角砾岩为流体致裂角砾岩,而不是构造角砾岩或隐爆角砾岩,即使有构造角砾岩存在,也仅限于后期断层附近。

(2) 区内钠长石化角砾岩的动力学成因,主要是区域变质作用、地壳隆升剥蚀作用和地下岩浆活动等形成异常高压流体在重力、浮力和地热梯度的驱动下,在粉砂质绢云板岩中产生裂隙,并不断向浅部方向增殖,被碳酸盐矿物等充填胶结,如此周而复始,从而形成可拼性的角砾岩。

(3) 流体压裂—沉淀愈合多次作用的结果,使金进一步富集,并达到工业品位,形成矿体。

(4) 角砾岩体下部比上部遭受了更强烈的流体致裂,其含矿流体也更加活跃,因而深部仍有找到富矿的可能。

参考文献:

- 1957 Hubbert M K, Willis D G. Mechanics of hydraulic fracturing [J]. Trans Am Inst Mech Engrs, 210 : 153 - 168.
- 1972 Phillips W J. Hydraulic fracturing and mineralization [J]. J Geol Soc, 128 : 337 - 359.
- 1985 Nelson C E, Giles D L. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits [J]. Econ Geol, 80 : 1633 - 1639.
- 1989 陕西省地质矿产局第三地质队, 武汉地质学院北京研究生院, 陕西省地质矿产局西安测试中心. 陕西双王

- 金矿床地质特征及其成因 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 1989 汪昭祥. 试论双王金矿的矿化特征和成矿模式 [J]. 陕西地质, 7(2):15-26.
- 1989 [法]尼古拉 A. 嵇少丞译. 构造地质学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 24-30.
- 1990 Cox S F, Etheride M A, Wall V J. Fluid processes and fluid dynamics during deformation of low-grade metamorphic terranes implications for genesis of mesothermal gold deposits [C]. Nuna conference on greenstone gold and crustal evolution, VAL D 'Or, May, 46-53.
- 1996 陈国达. 地洼学说—活化构造及成矿理论体系概述 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 340-372.
- 1997 Michel Jébrak. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution [J]. Ore Geology reviews, 12:111-134.
- 1997 李建威, 李先福. 液压致裂作用及其研究意义[J]. 地质科技情报, 16(4):29-33.
- 1998 Ruggieri, Giovanni, Gianelli, *et al.* Multi-stage fluid circulation in a hydraulic fracture breccia of the Larderello geothermal field (Italy) [J]. J Volcanol Geothermal Res, 90(3-4) 241-261.
- 1999 Branquet, Yannick, Cheilletz, Alain, Giuliani, *et al.* Fluidized hydrothermal breccia in dilatant faults during thrusting: the Colombian emerald deposits[M]. Geol Soc Spec Publ, 155 (Fractures, Fluid Flow and Mineralization), 183-195.
- 1999 李勇, 苏春乾, 刘继庆. 东秦岭造山带钠长岩的特征、成因及时代[J]. 岩石矿物学杂志, 18(2):121-127.
- 1999 祁思敬, 李英. 南秦岭晚古生代海底喷气—热液成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1):171-179.
- 1999 秦松贤, 杨家禄, 孟德保, 等. 湘黔交界中—下寒武统角砾岩化白云岩的动力学成因[J]. 地质科技情报, 18(3):16-20.
- 2000 方维萱. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩—硅质岩特征及成岩成矿方式 [J]. 岩石学报, 16(4):700-710.
- 2000 梁华英, 王秀璋, 程景平. 陕西双王钠长岩特征及金矿床形成期次分析[J]. 大地构造与成矿学, 24(4)350-356.
- 2000 谢玉玲, 徐九华, 何知礼, 等. 太白金矿流体包裹体中黄铁矿和铁白云石等子矿物的发现及成因意义 [J]. 矿床地质, 19(1)54-60.
- 2000 谢玉玲, 钱大益, 徐九华. 南秦岭泥盆系典型金矿床高盐度流体及其深源特征 [J]. 岩石学报, 16(4):655-660.
- 2000 汪劲草, 彭恩生, 孙振家. 流体动力角砾岩分类及其地质意义[J]. 长春科技大学学报, 30(1):18-23.

A DISSCUSSION ON DYNAMIC GENESIS OF THE BRECCIA DEVELOPED IN THE SHUANGWANG GOLD DEPOSIT IN SHAANXI PROVINCE, CHINA

WANG Guo-fu¹, SUN Zhen-jia¹, PENG En-sheng¹,
WANG Jin-cao¹, TANG Jing-ru¹, SHI Jing-hai²

(1. Institute of Geology, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. Taibai Gold Mine, Taibai Shaanxi 721607, China)

Abstract: The gold-bearing breccias of the Shuangwang deposit in Shaanxi Province are a kind of fluid fracturing breccias, which are neither pressure breccias nor cryptoexplosion-breccias as they were regarded before. The superhigh pressure fluids come from depth in the area were the necessary condition which breccias could be formed. The dynamic genesis of breccia was the superhigh pressure fluids, driven by gravity, buoyancy, and thermal degree, which come from regional metamorphization, crustal recoil and disintegration, and magmatic activity induced splitting in competent rocks and accretion upward, and the chops were filled by carbonate and other minerals sealant. The gold was concentrated and at last the gold bodies were formed during fluids fracturing and chops healing in the rocks times.

Key words: Breccias; dynamic genesis; fluid fracture; Shuangwang gold deposit