

西秦岭大桥金矿硅质岩硅氧同位素 特征及成因探讨

滕飞^{1,2}, 刘云华^{1,2}, 李中会^{2,3}, 张忠平⁴, 罗根根^{2,3}, 魏居珍^{1,2}

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054;
3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 4. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:西秦岭大桥金矿床位于岷县-宕昌和舟曲-成县大断裂之间, 金矿体赋存于三叠系下部灰岩、泥质板岩岩性不整合界面处的硅质角砾岩中。硅质角砾岩呈似层状、板状和透镜状产出, 倾向于断裂带分布两侧, 矿石构造以角砾状、被膜状、皮壳状、细脉-网脉状、孔隙状构造为主。矿石矿物主要为黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿, 蚀变以硅化、绢云母、方解石为主, 矿化元素组合为 Au、Sb、Ag、As、Hg、W。利用氧同位素地质温度计估算的硅质岩形成温度为 142~218℃, 硅质岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.7\text{‰} \sim 0.4\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 为 $12.8\text{‰} \sim 17.9\text{‰}$, 与热水-热泉华型金矿床地质特征及同位素特征一致。综合研究认为, 大桥金矿硅质岩为热水-热泉形成, 硅质角砾岩是在断裂带的周期性破裂-自封闭条件下, 由流体超压引发的岩石破裂形成。

关键词:大桥金矿; 硅质岩; 硅氧同位素成因

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)01-0255-10

Si - O Isotopic Characteristics and Genesis of the Siliceous Rocks from the Daqiao Gold Deposit in West Qinling

TENG Fei^{1,2}, LIU Yunhua^{1,2}, LI Zhonghui^{2,3}, ZHANG Zhongping⁴, LUO Gengen^{2,3}, WEI Juzhen^{1,2}

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. Gansu Geological Survey, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The Daqiao gold deposit is situated between the Minxian-Dangchang and Zhouqu-Chengxian regional faults in west Qinling. The ore-body is hosted within the siliceous breccia at the lithological unconformity interface between limestone and argillaceous slate in the lower part of Triassic strata. The breccia shows layered, tabular and lenticular shapes, occurring in the both side of the fault. The ore structures include primarily breccia, quilt-membrane, crusty, vein-stockwork and pore. The ore minerals are mainly pyrite, binarite, pyrrhotite, arsenopyrite, sphalerite, galena and chalcopyrite. The alterations of country rocks are composed of silicification, sericitization and calcilization. The element associations related to the mineralization are Au, Sb, Ag, As, Hg and W. By the oxygen isotope thermometer, the estimated formation tempera-

收稿日期: 2017-04-26; 修回日期: 2017-12-01

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目“秦岭成矿带矿产资源潜力调查”([2014]01-006-010)

作者简介: 滕飞(1988-), 男, 硕士研究生, 矿物学岩石学矿床学专业。E-mail: xatwenchuan@163.com

tures of these siliceous rocks are around 142—218℃, their $\delta^{30}\text{Si}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values are -0.7‰ — 0.4‰ and 12.8‰ — 17.9‰ , respectively, which are similar to the ones of the hot spring gold deposits. Combined with other geological characteristics, it's believed that the siliceous rocks are formed by rock fracturing due to fluid overpressure under the hot-spring environment nearby the periodic fault zone.

Keywords: Daqiao gold deposit; siliceous rock; genesis of silicon and oxygen isotopes

西秦岭地区地质构造演化复杂(张国伟等, 2004),是中国重要的金-多金属成矿带之一(刘家军等, 1997;毛锦文等, 2001)。现已发现众多大型-超大型金矿床(袁士松等, 2006;刘新会等, 2008),已成为中国重要的金矿集中区(陈衍景等, 2004;张旗等, 2009;徐东, 2014)。大桥金矿即是近年来在西秦岭地区发现的地质特征较为独特的特大型金矿床,矿石类型为硅质角砾岩型。尽管已有多位学者对该矿床进行了研究,但对硅质岩的成因、成矿物质来源、金矿床的成因类型、金矿与岩浆作用的关系研究还存在较大争议(尤关进等, 2009;张东明等, 2016;刘月高等, 2011;孙则朋等, 2016;张新虎等, 2015;陕亮等, 2016)。尤关进等(2009)、张东明(2016)研究认为,硅质角砾岩为原地热水沉积岩破碎胶结形成;刘月高等(2011)、孙则朋(2016)认为硅化岩为沉积作用形成,但非热水沉积型成因;张东明(2016)认为硅化角砾岩为断层引起的破碎角砾,后经富 SiO_2 热液胶结形成;张新虎等(2015)、刘月高等(2015)、孙则朋(2016)认为矿区成矿过程主要与中-低温热液活动引起的改造作用有关,矿床成因可能属于初始沉积-热液改造类型;陕亮等(2016)认为矿化、硅化与岩浆侵入活动有关。大桥金矿成矿作用与硅质岩的形成密切相关,笔者旨在对该矿床地质特征、硅质岩的硅、氧同位素等特征进行研究,以探讨硅质的来源、淀积过程及形成机制。

1 区域地质背景

大桥金矿地处西秦岭造山带东段,南秦岭褶皱带北缘鹿儿坝-广金坝金汞锑成矿带东段,位于岷县-宕昌-两当和舟曲-成县逆冲推覆构造带的交汇部位(图1)。近东西向展布,三叠纪为裂陷槽(孙则朋, 2016)。岷县-宕昌-临江深大断裂北侧出露泥盆系西汉水群(D_2xh),岩性主要为灰岩、千枚岩及硅质岩等,为一倾向 NNE 的单斜构造;在两大断裂之

间的地区,主要为三叠系一套碳酸盐岩-细碎屑岩建造,其内分布大桥、枣子沟等大型、特大型金矿床。舟曲-成县断裂南侧有少量上古生界分布,为台地相碳酸盐岩建造。总体上,区域志留系至三叠系以浅海陆棚相-半深海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积为主,古近系、新近系为陆相湖泊沉积。区域构造较为发育,NE 向断裂构造控制着矿带的展布。区域岩浆活动较弱,仅有零星出露印支期花岗岩岩株及岩脉。矿区位于鹿儿坝-广金坝金汞锑成矿带的东段,带内还分布有枣子沟、大水大型-特大型金矿及崖湾大型锑矿等,包括大桥金矿在内的金、锑、汞床主要赋存于三叠系中。

2 矿床地质特征

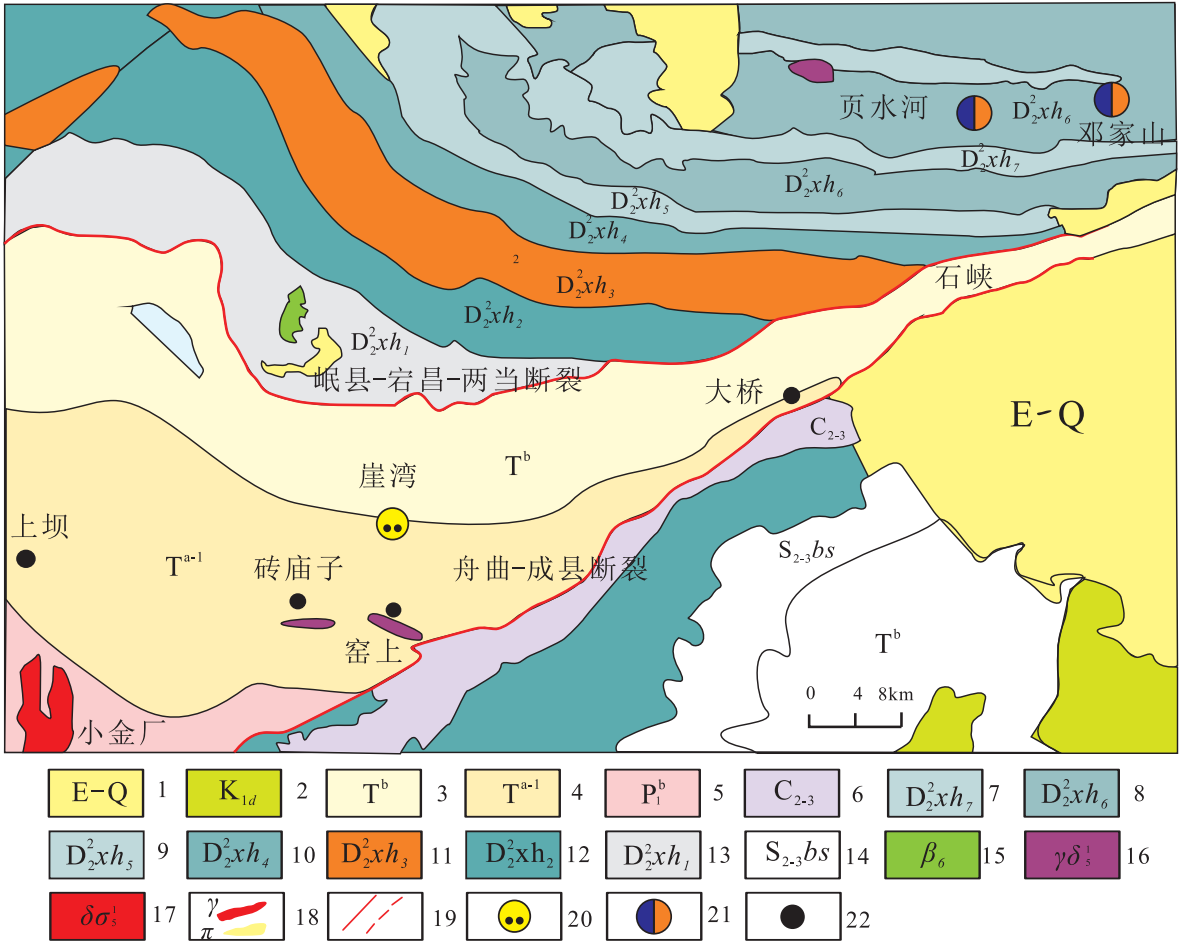
2.1 矿区地质

矿区主要出露有中上石炭统(C_{2+3})和中三叠纪统下部建造层下岩组(T^{a-1}),两者呈不整合接触。中上石炭统(C_{2+3})岩性主要为灰白色-深灰色厚层状灰岩,中三叠统下部建造层下岩组(T^{a-1})岩性主要为薄-中厚层灰岩、钙质板岩、粉砂质板岩夹硅质角砾岩等。矿体赋存与两者不整合界面附近的硅质岩角砾中(图2)。

矿区总体为一复式背斜的北翼,地层缓倾,中-上石炭统厚层灰岩构成该复式背斜的核部。NNE 向的舟曲-成县区域大断裂穿过矿区,其西北侧为三叠系,东南侧为中-上石炭统。矿区内见有十多条花岗闪长岩脉,岩脉走向以 NE 向为主,长一般为 20~100m,宽为 4~10m,多呈透镜状顺层产出。部分岩脉发生较强的绢云母化蚀变和变形破坏,常具有定向构造和糜棱岩化特征。

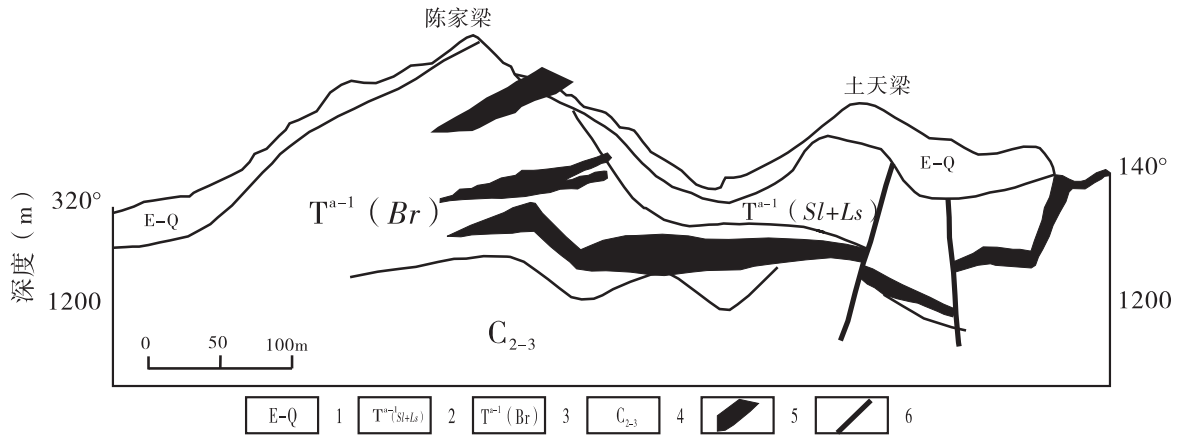
2.2 矿体特征

矿区目前共圈出金工业矿体近百条,其中 I-1 矿体规模最大。矿体均赋存于硅质岩中,严格受硅质角砾岩控制,主要分布于 NE 向舟曲-成县大断裂



1. 新生代地层;2. 下白垩统东河群;3. 三叠系中部建造层;4. 三叠系下部建造层下部岩性段;5. 下二叠统;6. 中—上石炭统;
7~13. 泥盆系西汉水群;14. 中—上志留统白水江群;15. 新生代次火山岩苦橄辉绿岩、玄武岩类岩石;16. 黑云花岗闪长岩;
17. 角闪石英闪长岩体;18. 花岗岩脉和石英斑岩脉;19. 断层及推测断层;20. 大型铜矿;21. 大型铅锌矿;22. 金矿或金矿点

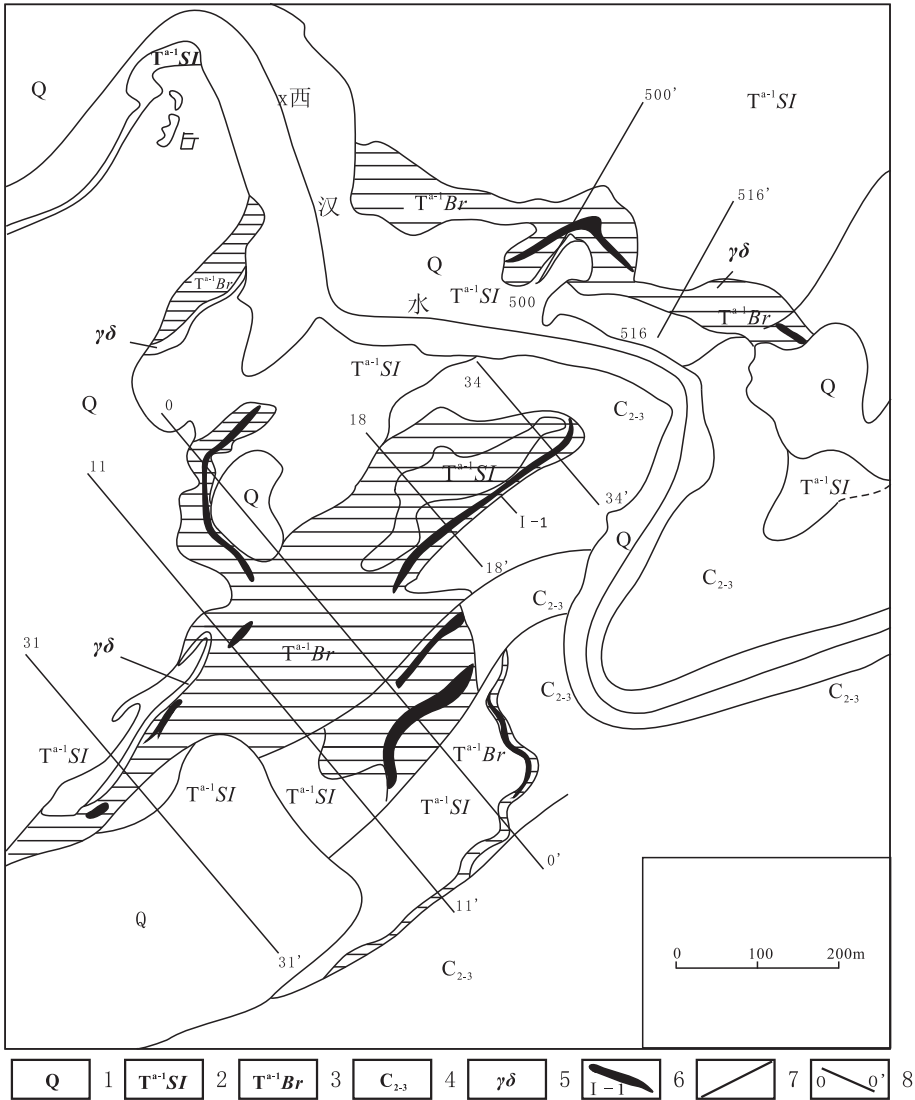
图 1 区域地质与矿产分布图(据甘肃地调院,2010,略修改)
Fig. 1 Sketch map of the regional geology and ore deposits



1. 残坡积层;2. 板岩夹薄层灰岩;3. 硅化角砾岩;4. 中厚层灰岩;5. 矿体;6. 断裂
图 2 大桥矿区某勘探线剖面图(据尤关进,2009,略修改)
Fig. 2 Cross - section of orebody in Daqiao gold deposit

北侧的次级断裂带的两侧,总体呈 NE 向展布。硅质岩岩层产状与地层基本一致,当两侧地层产状较缓时,硅质岩及矿体在地层中延伸较小,并呈波浪起伏状(图 3);当地层产状较陡时,硅质岩及矿体延伸较远,总体产状与断裂带一致(图 3、图 4)。矿体形态主要呈似层状、板状和透镜状,沿走向和倾向具膨大收缩和分枝复合现象,矿体长 50~300m,最长达 1 000m,延伸 50~350m,厚度为 2~35m,变化较大,最厚达 50m。矿体金品位为 $1.0\times 10^{-6}\sim 4.5\times 10^{-6}$,最高可达 21.5×10^{-6} ,有伴生银产出,一般为

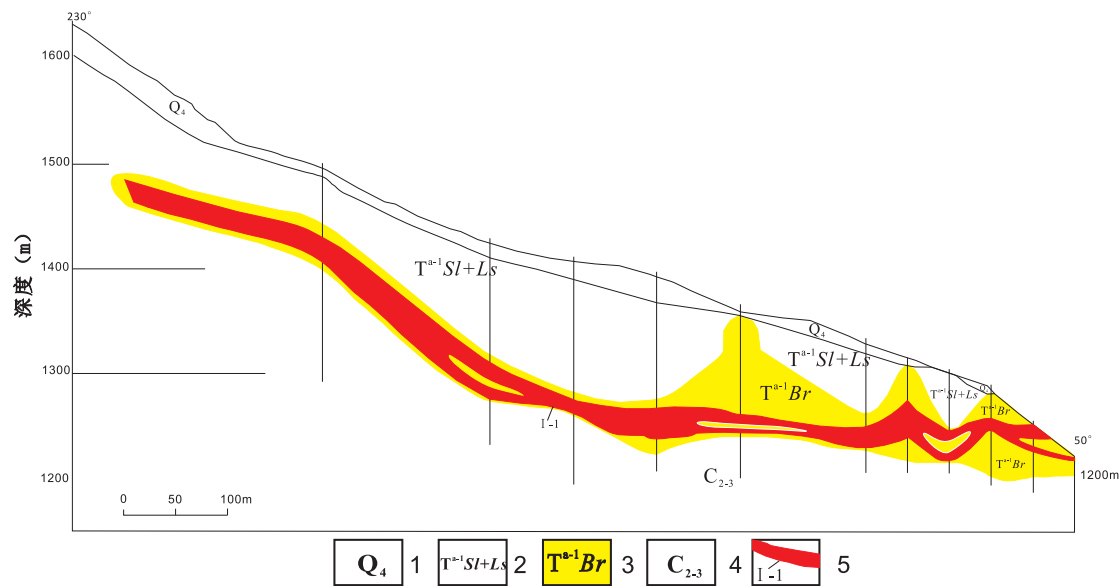
数十克吨,金和银呈正相关关系。矿体底板一般为硅质角砾岩或灰岩,顶板为硅质角砾岩或板岩,即硅质角砾岩层一般发育在灰岩和泥质板岩的“硅钙界面”上(叶天竺等,2015)。硅质岩中均发育有不同程度的矿化,当矿体顶、底为板岩和灰岩时,矿体与围岩界线清楚,而当其顶、底板都为硅质角砾岩时,矿体需要品位分析进行圈定。矿体主要为金矿化,伴生弱的银矿化。蚀变主要发育为隐晶质-微晶硅化、绢云母化及碳酸盐化,在灰岩、砂岩、板岩、花岗闪长岩脉中均可见到不同类型和强度的蚀变。



1. 第四系;2. 板岩夹灰岩;3. 硅质角砾岩;4. 中厚层灰岩;5. 花岗闪长岩;6. 矿体及编号;
7. 断层;8. 勘探线及编号

图 3 大桥金矿地质略图

Fig. 3 Geological sketch map of Daqiao gold deposit



1. 第四系;2. 板岩夹灰岩;3. 硅质角砾岩带;4. 中厚层灰岩;5. 矿体

图 4 大桥金矿床 I-1 矿体剖面图

Fig. 4 Cross-section of orebody I-1 in Daqiao gold deposit

2.3 矿石特征

矿石构造主要有角砾状(图 5a)、被膜状(图 5b)、皮壳状(图 5c)、细脉-网脉状(图 5d)、孔隙状(图 5e)、块状(图 5f)和纹层状构造,其次为条带状、浸染状、斑点状构造等。块状、纹层状构造矿石分布远离断裂带,品位较低,角砾状、细脉-网脉状、被膜状构造矿石主要分布于断裂带中(图 5g 为断裂带的西部边界),品位较高。此外,角砾状构造大部分还具有复成分角砾的特征(图 5b、图 5c)。矿石矿物主要为黄铁矿,占 95% 以上,含少量白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等,氧化带中有褐铁矿分布。脉石矿物主要为石英,其次为长石、绿泥石、绢云母、方解石、白云石、高岭土、石膏等。成矿作用之后,断裂持续活动,使部分矿石发生碎裂,未完全胶结(图 5h、图 5i)。

矿石结构主要有半自形-他形粒状结构、碎裂结构、胶状结构、环带结构、交代结构、交代残余结构等等。

3 含矿硅质岩特征

硅质角砾岩自下而上分为 I、II、III 三层,上、下底板分别是泥质板岩和灰岩,层间距离数米至数十米不等,硅质岩间为碳质板岩、钙质板岩、粉砂质板

岩和薄层灰岩等。以第 I 层硅质角砾岩规模最大, I-1 号矿体即赋存于其中。硅质角砾岩层位较稳定,倾角总体较缓,与上、下岩性界线清楚,厚度一般为 1~30m。靠近断裂破碎带附近硅质角砾岩一般为较厚,最厚达 70m,为复成分角砾岩。岩石呈黑色或深灰色,角砾成分为暗色硅质岩屑,角砾呈棱角状-次棱角状,断裂带中心位置角砾较小,一般为 0.1~15.0mm。裂隙或孔洞发育,黄铁矿呈被膜或皮壳状分布于裂隙或孔洞中,其中 Au 品位最高可达 20×10^{-6} 。远离断裂带,硅质岩主要发生碎裂岩化,角砾间可拼接,黄铁矿呈细脉-网脉状分布, Au 品位较低。角砾岩的特征显示成矿期断裂并未有长距离的位移,而与流体超压条件下岩石破裂形成的角砾岩特征一致(杨果岳等,2006;刘亮明等,2011)。从第一层到第三层,硅质岩中的泥质岩石角砾含量增加,显示硅化残留的特征。硅质岩中石英粒度较小,为微晶-显微隐晶质结构(图 5J)。

4 硅-氧同位素

大桥金矿硅质角砾岩即为矿石,二氧化硅与金同步沉淀。因此,硅的地球化学行为研究对大桥金矿成矿作用研究具有重要意义。前人研究结果表明(CLAYTON,1986;DOUTHITT,1982;丁悌平等,

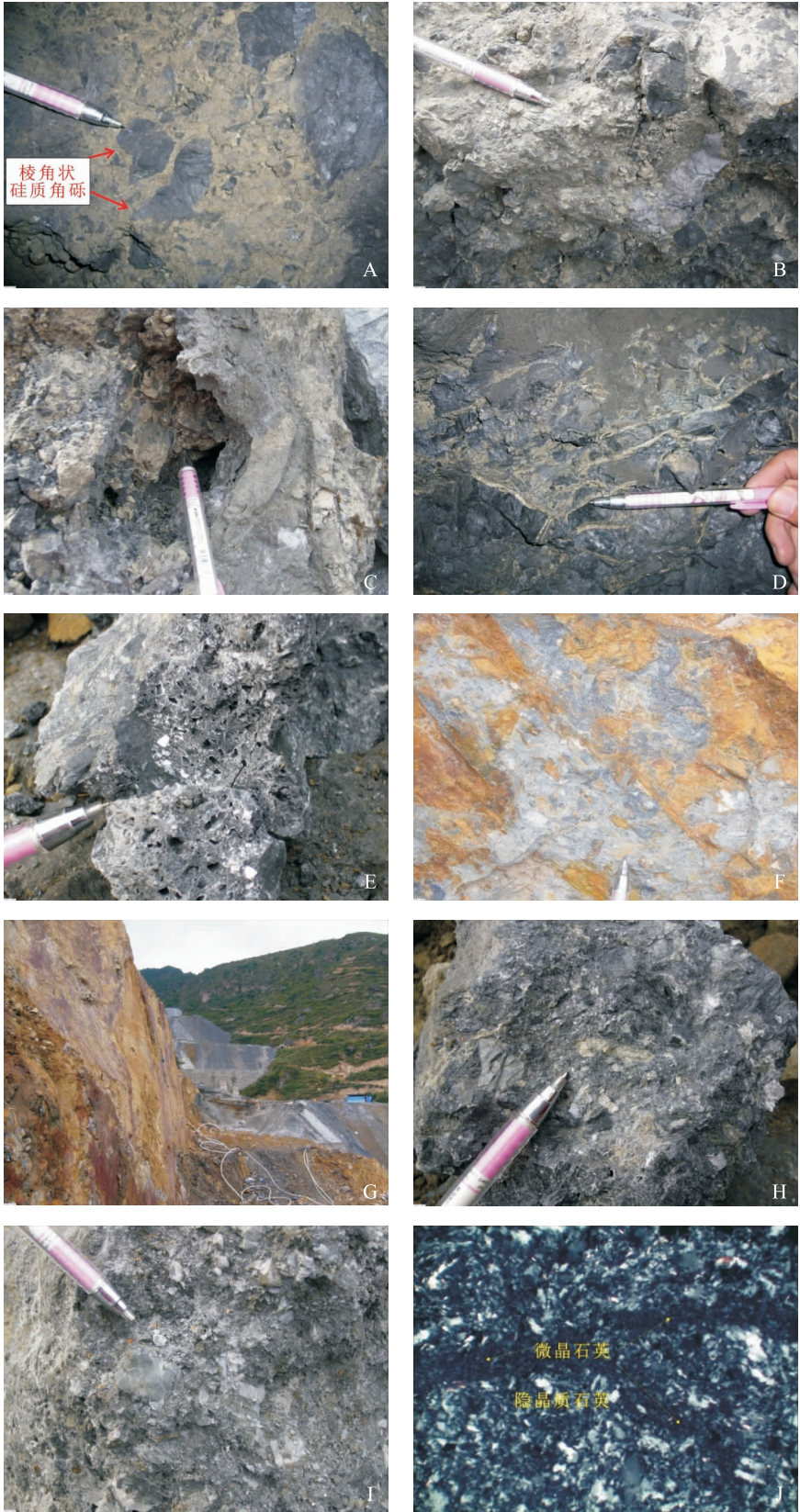


图 5 矿石构造构造特征

Fig. 5 Structure of ores

1988;李延河等,1994),不同来源 SiO_2 形成石英的硅、氧同位素值不同,因而石英的硅($\delta^{30}\text{Si}$)、氧($\delta^{18}\text{O}$)同位素是判断石英或硅质岩成因的有效标志。宋天锐等(1989)提出了代表深海环境的洋壳型和代表半深海、浅海和滨浅海环境的陆壳型两类硅同位素分布类型,并对陆壳型进行了进一步分类。通常情况下,在沉积成因的硅质岩和从低温流体自生沉淀的石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 同位素值为 $1.1\text{‰}\sim 1.4\text{‰}$,热泉华硅质岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-1.6\text{‰}\sim 0.9\text{‰}$,成岩过程中次生加大石英的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.2\text{‰}\sim 0.3\text{‰}$,交代成因硅质岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $2.4\text{‰}\sim 3.4\text{‰}$;岩浆成因的石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $8.3\text{‰}\sim 11.2\text{‰}$,变质成因的石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $11.2\text{‰}\sim 16.4\text{‰}$ 。热泉化石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为

$12.2\text{‰}\sim 23.6\text{‰}$,而沉积成岩石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $13\text{‰}\sim 36\text{‰}$,现代海滩石英砂的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $10.3\text{‰}\sim 12.5\text{‰}$,成岩过程中重结晶石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $19.3\text{‰}\sim 21.8\text{‰}$ 。

笔者对矿区内 10 个硅质岩矿石样品进行硅-氧同位素分析(样品取自 0 号和 11 号勘探线,I-1 号矿体),试图以此探讨大桥金矿床的成因问题,分析结果见表 1。大桥金矿区硅质岩具有相对较低的值, $\delta^{30}\text{Si}$ 值较为集中,为 $-0.7\text{‰}\sim 0.4\text{‰}$,平均为 -0.16‰ ,变化范围较小,样品全部位于热泉硅质岩范围(图 6)。石英的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $12.8\text{‰}\sim 17.9\text{‰}$,均位于热泉华石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围内(图 7)。

根据硅质岩氧同位素地质温度计方程:

表 1 硅质岩、石英硅氧同位素分析结果表
Tab. 1 Results from Silicon-Oxygen isotope of the Siliceous rock and quartz

期次	送样号	样品名称	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$	$\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}(\text{‰})$
热液前期	DQ002	硅质角砾	13.3	0.4
	DQ003	硅质角砾	13.4	0.1
	DQ007	硅质角砾	14.1	0.1
	DQ009	硅质角砾	12.9	-0.2
	DQ012	硅质角砾	14.4	0.1
热液后期	DQ016	硅质角砾	13.2	-0.7
	DQ021	硅质角砾	12.8	-0.3
	DQ029	硅质角砾	17.9	-0.1
	DQ031	硅质角砾	13	-0.7
	DQ037	硅质角砾	14.1	-0.3

注:测试单位:北京核工业研究院。

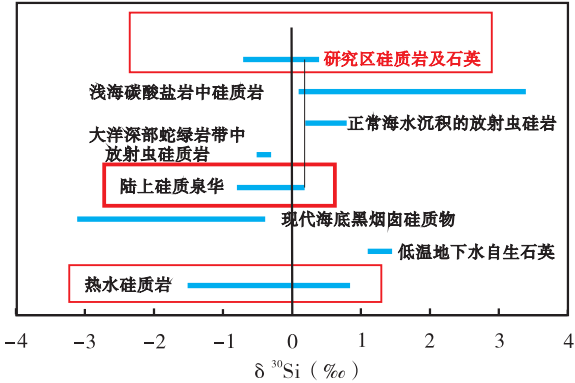


图 6 不同成因石英、硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值

Fig. 6 The ratio of $\delta^{30}\text{Si}$ for siliceous rock and quartz with different gnesis

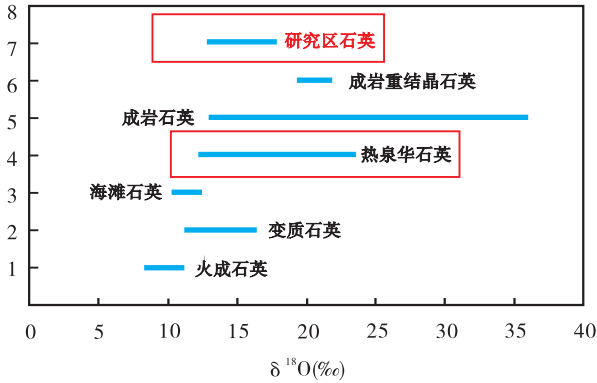


图 7 不同成因石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值

Fig. 7 The ratio of $\delta^{18}\text{O}$ for quartz with different gnesis

$1000\ln\alpha_{\text{硅质岩}-\text{水}} = 3.09 \times 10^6 T^{-2} - 3.29$ (KNAUTH, 1976), 估算本区硅质岩形成的温度为 $142 \sim 218^\circ\text{C}$, 明显高于同期海水温度, 表明硅质岩时具有明显的热异常。

5 硅质岩成因讨论

矿区分布有三层硅质岩, 大桥金矿矿体主要赋存于第 I 层硅化角砾岩中, 其他硅质岩中也有不同程度的金矿化(尤关进等, 2009), 表明成矿作用与硅化密切相关。因此, 详细研究区内硅质岩、角砾岩的空间产出、分布规律、与金矿化的关系及其成因机理等, 是揭开大桥金矿成因之迷的关键所在。

(1) 物化条件。该区与成矿有关的花岗闪长岩脉的成岩年龄为 228Ma , 为中晚三叠世(陕亮等, 2016)。中三叠世拉丁晚期到晚三叠世卡尼期, 西秦岭地区还存在残余海盆(王志鹏等, 2009), 地层岩相古地理分析结果显示为半深海环境, 徐亮(2015)对矿床成矿流体研究后认为, 成矿静水压力深度较浅在 1km 以上, 显示成矿可能形成于半深海环境。

(2) 物质来源。大桥金矿床矿石主要呈角砾状构造、被膜状构造、皮壳状构造、纹层状构造、孔隙充填状构造, 围岩蚀变以隐晶质-微晶硅化和绢云母化为主, 矿石矿物主要为黄铁矿, 少量白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等; 脉石矿物主要为石英, 其次为绿泥石、绢云母、方解石、白云石、高岭土、石膏等。矿化元素组合为 Au 、 Sb 、 Ag 、 As 、 Hg 、 W (孙则朋等, 2015)。根据硅质岩氧同位素地质温度计估算的硅质岩形成温度为 $142 \sim 218^\circ\text{C}$, 流体包裹体均一温度为 $100 \sim 300^\circ\text{C}$ (张东明等, 2016; 徐亮等, 2015)。所有这些特征, 与前人总结的典型热泉型金矿地质特征一致(COOKE, 2000; NELSON, 1985; 郭光裕等, 1993; 卓维荣, 1990; 潘传楚, 1988)。 $\delta^{30}\text{Si}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值同样显示热泉华硅质岩同位素特征。因此, 综合认为硅质岩为海底热泉形成的硅质岩。区域上已发现类似的大水特大型金矿(闫升好, 2000), 至于该区成矿热液是否也来源于同期岩浆活动, 还需要深入研究。

(3) 形成机理。大桥金矿区分布于石炭系和三叠系灰岩和泥质板岩的岩性不整合界面的硅质角砾岩中, 硅质角砾岩呈似层状、板状、透镜状产出, 倾角

较缓。成分为复成分角砾及复式角砾, 形态以棱角状-次棱角状为主, 硅质角砾岩总体呈缓倾状朝角砾化作用中心方向倾斜, 含金矿化热液多次贯入, 在断裂带中心发生多次角砾化作用使岩脉带膨胀加厚并富集, 而离角砾化中心越远, 硅质岩脉厚度越小, 这一特征与郭光裕等(1990)总结的在围岩低角度软弱面中热液角砾化作用形成的硅质角砾岩特征一致。

郭光裕等(1990)将热泉型贵金属矿床自地表向地下深处的垂直分带依次为泉华带、硅化带、酸淋滤作用蚀变带、硅质角砾岩带, 矿区目前空间位置已为最下部的硅质角砾岩带, 表明上部矿体已被剥蚀, 钻孔验证矿体未向深部延伸, 预示深部成矿潜力较弱。硅化带发生的持续硅化作用将封闭热液系统, 加大断裂带内的压力, 使热液沿断裂带走向或渗漏性较好的岩性不整合界面侧向流动, 热液沿该区缓倾地层的岩性不整合界面侧向流动交代形成了似层状、板状、透镜状的硅质岩。随着压力的进一步加大而发生爆裂, 使早期形成的硅质岩破碎形成角砾, 矿区硅质角砾岩中的角砾和碎屑成分基本一致, 表明硅质角砾岩中的角砾及碎屑都是早期角砾化作用和自封闭作用的产物。该区复式角砾及断层的擦痕表明热液通道中发生了多次活动, 角砾化带是热液的主要通道, 断裂带的周期性破裂-自封闭使断裂带中的硅质角砾岩厚度及矿体厚度增大, 最终形成了大桥特大型金矿。

6 结论

(1) 通过对大桥金矿床矿石结构构造特征、矿化元素组合、硅质岩的形成温度和 $\delta^{30}\text{Si}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素综合研究认为, 硅质岩为热泉型成因。

(2) 硅化角砾岩为断裂带的周期性破裂-自封闭条件下, 流体超压引发的岩石破裂形成硅质角砾岩, 成矿后有继承性断裂活动。

(3) 矿床上部的泉华带、硅化带和酸淋滤作用蚀变带已遭受剥蚀, 目前矿体显示出来的为矿体下部的硅质岩带, 深部找矿潜力有限。

参考文献(References):

张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大

- 陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(03): 23-32.
- ZHANG Guowei, GUO Anlin, YAO Anping, et al. Western-Qinling—Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(03): 23-32.
- 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布[J]. 大地构造与成矿学, 1997, 21(4): 307-314.
- LIU Jiajun, ZHENG Minghua, LIU Jianming, et al. Geotectonicevolutionandmineralization of gold deposits in western qinling[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1997, 21(4): 307-314.
- 毛景文. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿床[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(1): 11-13.
- Mao Jinwen. Geology, Distribution and Classification of Gold Deposits in the Western Qinling Belt, Central China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(1): 11-13.
- 袁士松, 齐金忠, 葛良胜, 等. 甘肃文县阳山特大型金矿田微量元素特征及其找矿意义[J]. 西北地质, 2006, 39(03): 20-27.
- YUAN Shisong, QI Jinzhong, GE Liangsheng, et al. Elemental Geochemistry and Significance of Prospecting for Yangshan Super-Large Gold Deposit, Gansu Province [J]. Northwestern Geology, 2006, 39(03): 20-27.
- 刘新会. 西秦岭寨上特大型微细浸染型金矿床中首次发现细-中-粗粒自然金[J]. 西北地质, 2008, 41(03): 98.
- LIU Xinhui. Geochronological Analysis of Oil Accumulation in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2008, 41(03): 98.
- 陈衍景, 张静, 张复新, 等. 西秦岭地区卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 134-152.
- CHEN Yanjing, ZHANG Jing, ZHANG Fuxin, et al. Carlin and Carlin-like Gold Deposits in Western Qinling Mountains and Their Metallogenic Time, Tectonic Setting and Model[J]. Geological Review, 2004, 50(2): 134-152.
- 张旗, 殷先明, 殷勇, 等. 西秦岭与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金铜成矿及找矿问题[J]. 岩石学报, 2009, 24(12): 3103-3122.
- ZHANG Qi, YIN Xianming, YIN Yong, et al. Issues on metallogenesis and prospecting of gold and copper deposits related to adakite and Himalayan type granite in west Qinling [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 24(12): 3103-3122.
- 徐东, 刘建宏, 赵彦庆. 甘肃西秦岭地区金矿控矿因素及找矿方向[J]. 西北地质, 2014, 47(03): 83-90.
- XU Dong, LIU Jianhong, ZHAO Yanqing. The ore control factors of gold deposits and prospecting direction in West Qinling of Gansu province[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(03): 83-90.
- 尤关进, 张忠平. 甘肃大桥金矿地质特征及其发现的意义[J]. 甘肃地质, 2009, 18(4): 1-8.
- YOU Guanjin, ZHANG Zhongping. Geological characteristics of shidonggou Pb-Zn-Ag deposit in subei county of Gansu province and exploration direction[J]. Gansu Geology, 2009, 18(4): 1-8.
- 张东明. 甘肃大桥金矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- ZHANG Dongming. Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of the Daqiao Gold Deposit in Gansu Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2016.
- 刘月高, 吕新彪, 张振杰, 等. 甘肃西和县大桥金矿床的成因研究[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 1085-1099.
- LIU Yuegao, Lü Xinbiao, ZHANG Zhenjie, et al. Genesis of Daqiao gold deposit in Xihe County, Gansu Province [J]. Mineral Deposits, 2011, 30(6): 1085-1099.
- 孙则朋, 王自翔, 徐亮, 等. 甘肃大桥金矿硅质岩地球化学特征及其地质意义探讨[J]. 地球化学, 2016, 45(5): 499-509.
- SUN Zepeng, WANG Zixiang, XU Liang, et al. Geochemical characteristics and geological significance of cherts from the Daqiao gold deposit, Gansu Province[J]. Geochimica, 2016, 45(5): 499-509.
- 张新虎, 任丰寿, 余超, 等. 甘肃成矿系列研究及矿产勘查新突破[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1130-1142.
- ZHANG Xihu, REN Fengshou, YU Chao, et al. Breakthrough in geological prospecting based on study of metallogenic regularity[J]. Mineral Deposits, 2015, 34(6): 1130-1142.
- 陕亮, 张东明, 庞迎春, 等. 西秦岭大桥金矿区晚三叠世岩浆活动——锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素证据[J]. 地质通报, 2016, 35(12): 2045-2057.
- SHAN Liang, ZHANG Dongming, PANG Yingchun, et al.

- Late Triassic magmatic activity in the Daqiaogold deposit of West Qinling belt: Zircon U-Pb chronology and Lu-Hf isotope evidence[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(12): 2045-2057.
- 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- 杨果岳, 张家生. 流体参与下的岩石破裂机制及其分形特征[J]. 地质与勘探, 2006, 49(03): 107-110.
- YANG Guoyue, ZHANG Jiasheng. The mechanisms of fluid-assisting rock fracture and the fractal characteristic[J]. Geology and Prospecting, 2006, 49(03): 107-110.
- 刘亮明. 浅成岩体引发的流体超压与岩石破裂及其对成矿的制约[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 78-89.
- LIU Liangming. Fluid overpressure and rock fracturing caused by shallow intrusion and their constraints on hydrothermal mineralization[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 78-89.
- 丁悌平, 万德芳, 李金城, 等. 硅同位素测量方法及其地质应用[J]. 矿床地质, 1988, 6(04): 90-96.
- DING Tiping, WAN Defang, LI Jincheng, et al. The analytic method of silicon isotopes and its geological application[J]. Mineral Deposits, 1988, 6(04): 90-96.
- 李延河, 丁悌平, 万德芳. 硅同位素动力学分馏的实验研究及地质应用[J]. 矿床地质, 1994, 12(03): 282-288.
- LI Yanhe, DING Tiping, WAN Defang. Experimental study of silicon isotope dynamic fractionation and its geological application [J]. Mineral Deposits, 1994, 12(03): 282-288.
- 宋天锐, 丁悌平. 硅质岩中的硅同位素($\delta^{30}\text{Si}$)应用于沉积相分析的新尝试[J]. 科学通报, 1989, 39(18): 1408-1411.
- 王志鹏. 松潘-阿坝和西秦岭三叠系砂岩组分特征及其构造意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2009, (05): 465-474.
- WANG Zhipeng. Triassic sandstone compositions in the northern Songpan-Ganzifoldbelt and West Qinling, China: Implication for tectonic setting[J]. Journal of Chengdu university of technology (Science & Technology Edition) 2009, (05): 465-474.
- 徐亮. 甘肃大桥金矿的流体包裹体特征及其地质意义[A]. 中国矿物岩石地球化学学会. 中国矿物岩石地球化学学会第15届学术年会论文摘要集(3)[C]. 中国矿物岩石地球化学学会, 2015.
- 郭光裕, 侯宗林. 热泉型金矿床成矿模式及成矿远景评价[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993.
- 卓维荣. 热泉型金矿床地质特征和成矿模式[J]. 国外铀矿地质, 1990, (02): 16-21.
- 潘传楚. 新的金矿类型-热泉型金矿床[J]. 黄金, 1988, (03): 31-32+19.
- 闫升好, 王安建, 高兰, 等. 大水式金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2000, 19(02): 126-137.
- YAN Shenghao, WANG Anjian, GAO Lan, et al. Geological characteristics and genesis of the dashui type gold deposits[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(02): 126-137.
- CLAYTON R N. High temperature isotope effects in the early solar system[J]. Valley, et al. Reviews in Mineralogy. 1986, 16: 129-139.
- DOUTHITT B. The geochemistry of the stable isotopes of silicon[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1982, 46(8): 1449-1458.
- KNAUTH P L, EPSTEIN S. Hydrogen and oxygen isotope ratios in nodular and bedded cherts [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1976, 40(9): 1095-1108.
- COOKE D R, SIMMONS S F. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits[J]. Reviews in Economic Geology. 2000, 13(2): 221-244.
- NELSON C E, GILES D L. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits[J]. Economic Geology, 1985, 80(8): 1633-1639.