

大水式金矿床地质特征及成因探讨*

闫升好 王安建 高兰 赵彦庆 胡传玖 陈国忠

(中国地质科学院区划室, 北京)

(甘肃地质三队, 甘南合作)

提 要: 大水式金矿床是新近发现的一个新类型金矿, 其矿化特征独特、埋藏浅、品位高、化学成分简单、易采选、具有很高的经济价值。矿体呈脉状、不规则囊状或漏斗状产于西秦岭造山带三叠纪碳酸盐岩中。矿石主要为一套热液成因的红色、褐色硅化岩和硅质岩, 极端贫硫化物。矿石组构和矿物组成等反映出的成矿作用方式主要为热液渗滤交代、构造裂隙和角砾岩孔隙等有限空间的充填沉淀作用以及古构造岩溶内相对开放空间中的沉积或堆积作用, 构成比较完整的热液交代-充填-沉积成矿体系。成矿环境为近地表, 成矿时代为燕山中晚期, 成矿物质来源与燕山陆内造山阶段中酸性岩浆活动密切相关, 金矿化和岩浆岩可能是统一的受深部构造制约的燕山期构造-岩浆-热液活动体系的系列演化产物。

关键词: 大水式金矿 赤铁硅质岩 西秦岭南亚带 甘肃省

中图法分类号: P618.5

大水式金矿床是指近几年在甘肃省南部西倾山地区所发现的一类矿化特征极为独特的金矿。矿床产于造山带古生界-新生界碳酸盐岩地层, 时空上与印支-燕山期浅成超浅成中酸性岩浆岩关系密切。金矿化主要赋存在热液作用形成的硅化岩和硅质岩内, 矿化强度与硅化、赤铁矿化紧密相关。矿石呈特征的红色、褐色, 极贫硫化物。矿床埋藏浅、品位高、成分简单、易采易选, 经济价值极高。迄今为止, 该地区已发现大水(大型)、大水西、贡北(中型)、忠曲、格尔托、辛曲和恰若等金矿床, 初步控制地质储量超过50 t, 远景资源量可达百吨以上。大水式金矿床的发现为沉积岩地区金矿勘查开辟了一个崭新的找矿方向, 同时开展该类型金矿形成条件、矿床成因的研究具有重要的成矿理论意义。

1 成矿地质背景

西倾山地区大地构造上属于西秦岭造山带的南亚带, 南以玛曲-略阳深大断裂与松潘甘孜造山带的若尔盖地块相临。该区地壳演化在早震旦世末晋宁运动形成的古中国大陆基础上, 经历了多次拉张裂隙-闭合造山过程^[1]: ① 早古生代形成东西向白龙江裂隙槽, 接受了寒武-志留系海相复理石碎屑沉积。加里东运动使裂隙槽闭合并转入相对稳定的浅海台地相环境, 形成泥盆-下三叠统浅海碎屑岩和碳酸盐岩建造; ② 中三叠世晚期再度裂陷形成区域广泛分布的中上三叠统巨厚深海-半深海浊流复理石建造; ③ 印支运动使该区全面褶皱造山并形成多地体拼贴的大地构造格架; ④ 燕山-喜山期, 受古亚洲、特提斯和滨西太平洋三大构造域的共同作

* 地质矿产部定向科研项目资助(编号: 直科定96-20)

第一作者简介: 闫升好, 男, 1966年生, 博士, 矿床学专业。邮政编码: 100037
1999-01-13收稿, 1999-11-30修改回

用, 区内构造运动表现为大规模陆内推覆、走滑剪切和地体不均衡隆拗^[2]。岩浆活动强烈, 形成众多规模不一的中酸性小岩株或岩脉, 如大水、忠曲和忠格扎拉等。在断陷盆地内则形成侏罗-白垩纪玄武-安山-流纹质火山岩, 如郎木寺一带; ⑤ 晚近地质时期全面抬升并遭受剥蚀。

矿区地层(图1)主要是泥盆纪—中三叠世浅海台地相碳酸盐岩, 岩性为含生物碎屑泥砂质灰岩、泥晶灰岩、生物碎屑灰岩等, 其中, 中三叠统在区内分布最为广泛, 约占39%。侏罗系为一套河湖相杂色砾岩、砂砾岩, 夹煤钙质砂岩、粉砂岩夹泥岩, 分布于矿区南部。白垩系为紫红、砖红色灰质砾岩夹砂泥岩, 属断陷盆地红色磨拉石建造, 不整合覆于其它地层和岩浆岩体之上。金矿化主体产于三叠系灰岩或白云质灰岩中, 部分产于二叠系灰岩和侏罗系砾岩。

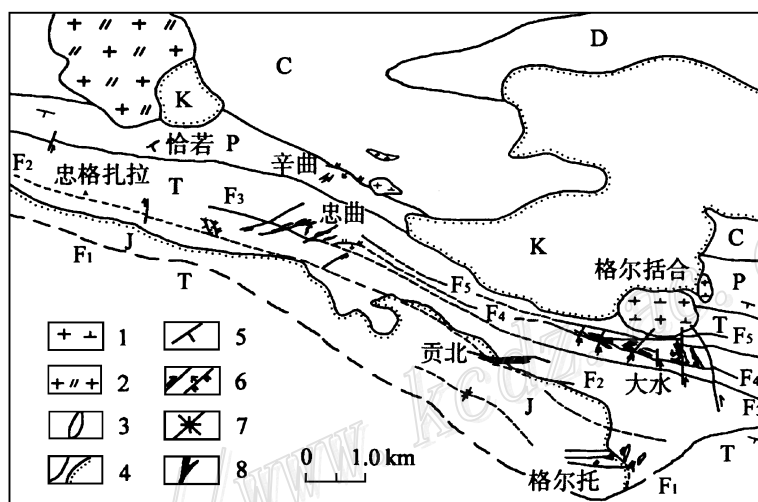


图1 大水金矿区地质略图
(据甘肃地质三队有关资料修编)

K—白垩系; J—侏罗系; T—三叠系; P—二叠系; C—石炭系; D—泥盆系; 1—花岗闪长斑岩; 2—二长斑岩;
3—花岗闪长岩脉; 4—地质界线及不整合线; 5—地层产状; 6—断层; 7—向斜; 8—金矿床

Fig. 1. Geological sketch map of the Dashui gold ore district.

K—Cretaceous; J—Jurassic; T—Triassic; P—Permian; C—Carboniferous; D—Devonian;
1—Granodiorite porphyry; 2—Monzonitic porphyry; 3—Granodiorite dike; 4—Geological boundary;
5—Attitude of strata; 6—Fault; 7—Syncline; 8—Gold orebody.

矿区岩浆岩发育, 出露格尔括合、忠曲和忠格扎拉3个岩体, 沿北西向区域性断裂构造带近等间距侵位于石炭系—三叠系灰岩。其中格尔括合岩体位于大水金矿北缘, 面积约1.76 km², 其边缘相为黑云母闪长玢岩, 中心相为花岗闪长斑岩。岩石呈灰绿色、淡粉红色, 斑状结构、块状构造。斑晶主要为斜长石、黑云母、角闪石和石英等。长石呈自形—半自形, 聚片(卡氏)双晶, 环带构造发育, 且普遍具钠长石化。黑云母和角闪石呈自形片状和长柱状, 多绿泥石化和碳酸盐化。基质由针状或纤状钠长石和锥晶-微晶石英组成, 含较多铁质和钙质尘粒。全岩 K-Ar 同位素年龄为 $174.3 \times 10^6 \sim 190.69 \times 10^6$ a (甘肃地质三队, 1995)。忠曲、辛曲金矿北侧的忠曲岩体, 面积约0.3 km², 其岩性及结构构造与大水格尔括合岩体边缘相带基本

相同。

忠格扎拉岩体为矿区规模最大的岩体,近椭圆形分布于忠格扎拉以北1.5 km处,面积约4.5 km²。岩体中心相为石英闪长岩和二长斑岩,边缘相为辉石闪长岩。二长斑岩呈灰色、浅红色,似斑状结构、二长结构,块状构造,长板状(3~4 cm)的长石斑晶定向排列与区域构造线一致,岩石主要由斜长石(40%~45%)、钾长石(30%)、石英(<5%)、黑云母和角闪石(15%)等组成。石英闪长岩呈灰绿—灰黑色,似斑状结构,块状构造,主要矿物为斜长石(60%~70%)、钾长石(10%)、角闪石和黑云母(10%~15%)、石英(10%)。辉石闪长岩呈灰绿—黑色,细粒结构,块状构造,主要矿物为斜长石、辉石和角闪石等。二长斑岩全岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄为204.08×10⁶ a(甘肃地质三队,1995)。

此外,围绕上述3个岩体周围分布大量中酸性岩脉,其产出受 NWW、近 SN 和 NE 向断裂构造及其交叉复合部位控制。岩石类型有闪长玢岩、花岗闪长斑岩和细晶闪长岩等。

岩石 SiO₂ 含量在50%~65%之间(表1),属中性—中偏基性岩类。格尔括合、忠曲岩体为钙碱性,忠格扎拉偏碱性(里特曼指数δ为7~10)。岩石 Al₂O₃>Na₂O+K₂O+CaO,为铝过饱和系列。在 Q-A-P 三角图中,格尔括合和忠曲岩体12件样品几乎全落在花岗闪长岩区,说明与成矿有关的岩体主体属于中酸性岩类。忠格扎拉岩体相对贫硅富碱,K₂O 含量5.83%~7.68%。岩石化学成分在里特曼-戈蒂尼图解投点均落于 B 和 C 区,显示形成造山带构造环境。与全球闪长岩和花岗岩微量元素含量相比,矿区岩浆岩 B、Cr、Ni、Ag、Co、Nb、As、Sb、Au 等含量明显偏高,其中 Au、As、Sb、Ag 高出3~60倍。

表 1 矿区各侵入岩体岩石平均化学成分(%)

Table 1. Average chemical composition of various intrusives in the ore district

岩体名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	总和
格尔括合(5)	62.43	0.49	15.51	1.71	2.21	0.08	2.87	4.15	2.50	4.38	0.19	3.01	0.97	100.49
忠曲(2)	63.15	0.54	15.38	2.08	1.45	0.06	2.10	4.49	1.51	4.22	0.21	3.49	1.66	100.34
忠格扎拉(5)	54.63	0.71	17.11	3.21	3.67	0.15	2.73	5.88	3.04	6.60	0.61	0.94	0.19	99.64
脉岩(7)	53.52	0.63	15.94	3.41	1.40	0.06	2.43	7.14	1.59	3.56	0.39	5.41	2.34	99.82

注:括号内为样品数

矿区位于白龙江逆冲推覆构造带西段之大水弧形构造,格尔括合—忠曲背斜的南翼。区内断裂构造主要有两组:① NWW 至近 EW 向弧形断裂,为一系列高角度逆冲断层(F₁—F₅),规模大、产状陡,具多期次活动特点,是主干构造并控制了区内岩浆岩和矿床的空间产出;②与弧形断裂相垂直的近 SN 向和 NE—NEE 向断裂,规模小,具张性—张扭性特征。该组断裂控制了矿区中酸性岩脉和金矿体的产出与分布。

值得指出的是,矿区第三纪和现代岩溶较为发育,溶洞内的岩溶沉积物呈弱固结、纹层发育。这些岩溶多沿两组断裂或断裂与地层层面交汇部位分布,而成矿时的古构造岩溶可能为矿液沉积提供了有利空间。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

根据1995年普查成果大水金矿区共圈出金矿体82个, 大多为表露矿体。其中大水24个、大水西22个、贡北7个、格尔托15个、忠曲14个。矿体形态复杂, 呈透镜状、细脉和大脉状、长条状、枝叉状、不规则囊状等产于三叠系灰岩、白云质灰岩、侏罗系灰质砾岩以及花岗闪长岩脉和灰岩接触带附近(图2)。断裂控矿明显, 矿体走向主要有NW-NE、近SN和NE-NE向三组。产于碳酸盐岩中矿体与围岩界线清楚, 脉岩中矿体与围岩为渐变关系。规模较大的矿体有大水Au-20、大水西Au-7和贡北Au-1(表2), 一般长100m至几百米, 宽几米至几十米, 延深十几米至上百米。其中又以大水Au-20矿体规模最大, 金储量约占矿区总储量的50%。

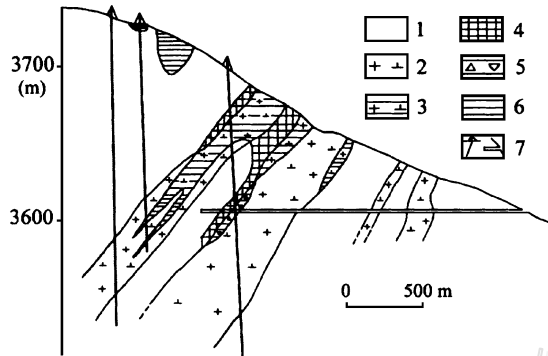


图2 大水金矿床100线地质剖面图

1—灰岩; 2—花岗闪长岩脉; 3—硅化花岗闪长岩型矿石;
4—硅化灰岩型矿石; 5—角砾状硅质岩型矿石; 6—层纹状、
块状硅质岩型矿石; 7—钻孔和平硐

Fig. 2. Geological section along No. 100 exploration line of the Dashui gold deposit.

1—Limestone; 2—Granodioritic dike; 3—Silicified granodiorite type ore; 4—Silicified limestone type ore; 5—Brecciated silicalite-type ore; 6—Laminated and massive silicalite type ore; 7—Drill and adit.

表2 大水金矿区主要矿体产出特征

Table 2. Modes of occurrence of main orebodies in the Dashui gold ore district

矿床	编号	长度/m	厚度/m	延深/m	形态	产状	品位/ 10^{-6}	赋矿围岩	控矿构造
大水	Au-20	470	0.4~55	24~340	脉状	近SN向	1.07~20.7	Cal+ $\gamma\delta$	岩脉与灰岩接触带, SN向断裂
	Au-23	100	0.4~20	12~40	囊状	SN向	4.5~16.91	Cal	SN向断裂
	Au-26	300	0.7~47	26~60	大脉状	NNW-NNE	1.5~57.10	Cal+ $\gamma\delta$	岩脉与地层接触带, SN向断裂
	Au-35	300	0.7~17	60~120	透镜状	NNW-SN	1.5~8.47	Cal+ $\gamma\delta$	岩脉与灰岩接触带, SN向断裂
大水西	Au-2	240	1.0~21	30~85	脉状	NW向	1.5~32.74	Cal	NW向断裂构造
	Au-7	300	1.7~38	38~80	脉状	NW-NEE	1.65~74.0	Cal+ $\gamma\delta$	岩脉与灰岩接触带
	Au-12	200	1.7~8.4	30~55	脉状	近EW向	2.4~24.5	Cal	NW-EW向断裂
贡北	Au-1	680	1.28~17	7.0~70	脉状	近EW向	1.0~20.39	Cal+ Cong	NW与NEE断裂交叉部位
格尔托	Au-1	15	9.0		囊状		9.40	Cong	NW与NEE断裂交会部位
	Au-7	180	0.8~10	23~82	脉状	NNE向	1.28~8.95	Cal+ $\gamma\delta$	岩脉与灰岩接触带, NNE向断裂
忠曲	Au-1	200	4.8~5.6	40~56	脉状	NEE向	5.41~8.81	Cal	NEE向断裂
	Au-9	130	0.7~11.0	65	脉状	NEE	10.6~55.8	Cal	NEE向断裂

注: Cal—三叠系灰岩或白云质灰岩; Cong—侏罗系砾岩; $\gamma\delta$ —花岗闪长岩

2.2 矿石成分

(1) 矿物成分: 大水式金矿矿石矿物组合简单。金属矿物以赤铁矿、自然金及褐铁矿为主, 含极微量的黄铁矿、辰砂、雄黄、雌黄、辉锑矿、磁铁矿、白钨矿、菱锰矿等。金属矿物总含量不超过5%。非金属矿物主要有玉髓质石英、微晶—细晶石英、方解石, 次为白云石、绿泥石、绢云母、重晶石等。

石英是各类矿石主要组成矿物, 有3种产出方式: ① 硅质岩矿石中隐晶—微晶玉髓状石英, 粒径一般0.01~0.05 mm, 含大量尘状或质点状铁质、泥质和钙质, 常与赤铁矿密切共生, 为金主要成矿阶段的矿物; ② 细粒石英, 粒径0.05~0.1 mm, 是硅化碳酸盐岩、硅化花岗闪长岩、似碧玉岩主要组成矿物; ③ 含金石英碳酸盐细脉或网脉, 粒度较粗, 可含微量辰砂、雄黄、雌黄、辉锑矿等硫化物。

赤铁矿主要呈尘状或质点状弥散于微晶—细晶石英颗粒或方解石内, 见于各种硅质岩和交代成因矿石, 赤铁矿化是伴随石英颗粒沉淀而成的。其次呈不规则团块状、短脉状、环带状或皮壳状沿构造裂隙及其交叉部位或孔洞分布, 系富铁质成矿热液在开放氧化环境沿构造裂隙充填沉淀而成。

热液方解石有3种类型: ① 早期细粒方解石。系成矿早期伴随面型热液硅化交代作用的产物。大量细粒石英的沉淀使含矿热液由硅过饱和状态向富碳酸盐转化, 并交代碳酸盐岩、花岗闪长斑岩等形成第一期方解石化。表现为碳酸盐岩泥晶方解石重结晶、花岗闪长斑岩长石和暗色矿物等斑晶方解石化以及沿裂隙充填的石英—方解石细脉; ② 成矿期纹层状、条带状细粒方解石。见于纹层状硅质岩型矿石, 系含矿热液于开放空间内分异沉淀而成; ③ 晚期粗晶方解石。该期方解石脉体最为发育, 方解石结晶粗大, 呈深褐色、锈红色、不纯白色等。有4种产出形式: 呈不规则团块状与似碧玉岩型矿石紧密共生, 作为角砾岩的胶结物, 呈厚大条带状、对称梳状、皮壳状方解石脉体产于矿体的顶底部, 呈细脉或网脉状充填于块状和碎裂状矿石构造裂隙内。

金矿物以微细粒自然金为主(约占69.84%), 平均粒度为0.02 mm, 含较多粗粒金和明金(约13%~20%)。自然金形态以粒状、麦粒状、树枝状、长角粒状为主, 次为叶片状、针状、被膜状。金赋存状态以裂隙金和粒间金为主(约占96.4%), 包体金仅占3%~4%。主要载金矿物为石英、赤铁矿、褐铁矿和方解石等。自然金成色很高, Au含量98.77%~99.63%, 含微量Ag、Cu、Fe等杂质元素。

(2) 矿石化学成分: 硅质岩、似碧玉岩型矿石SiO₂含量一般大于80%; 硅化灰岩型矿石化学成分主要为SiO₂、CaO、CO₂等, 含量变化较大, 金与SiO₂含量成正相关; 脉岩型矿石主要化学成分为SiO₂、Al₂O₃等(表3)。与灰岩相比矿石SiO₂、TFeO含量显著增高, 从围岩灰岩→硅化灰岩→硅质岩, 其SiO₂含量由1.68%→24.74%→88.52%, 全铁含量则由0.32%增高到3.86%。从新鲜脉岩→脉岩矿, SiO₂含量由53.52%增至75.71%。充分显示出金矿化与硅化、赤铁矿化密切相关。其他主元素含量变化趋势为: CaO、MgO明显降低, 硅化灰岩矿、硅质岩矿相对灰岩Al₂O₃、Na₂O、K₂O含量增高, 脉岩矿相对新鲜脉岩Al₂O₃、Na₂O、K₂O含量降低, 暗示成矿物质具深源岩浆特征, 且部分矿质可能源自脉岩本身。脉岩及矿石Fe₂O₃含量均高于FeO, 说明成岩成矿作用是在氧逸度较高的浅成环境下进行的。

表3 大水金矿区矿石及其围岩化学成分 (%)

Table 3. Chemical compositions of ores and wall rocks in the Dashui gold ore district

样品名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Au/(μg/g)
灰岩 (12)	1.68	0.03	0.39	0.27	0.05	0.01	0.96	53.26	0.06	0.03	0.02	0.0025~0.132
弱硅化灰岩	24.74	0.12	5.30	1.45	0.13	0.06	2.92	33.66	0.86	0.33	0.13	10.6
中等硅化灰岩	46.34	0.08	2.39	1.63	0.18	0.06	0.25	26.77	0.12	0.03	0.03	26.45
强硅化灰岩	76.30	0.04	2.20	1.09	1.02	0.03	0.13	10.49	0.16	0.32	0.03	47.72
似碧玉岩 (2)	92.32	0.08	1.64	0.68	0.45	0.08	0.29	1.78	0.08	0.16	0.02	4.66~7.97
块状硅质岩 (4)	88.51	0.14	2.58	3.05	0.81	0.04	0.18	1.86	0.20	0.20	0.04	3.17~53.6
纹层状硅质岩	90.28	0.08	0.93	1.18	0.47	0.08	0.20	3.03	0.22	0.10	0.05	5.54
新鲜脉岩 (7)	53.52	0.63	15.94	3.41	1.40	0.06	2.43	7.14	1.59	3.56	0.39	0.0018~0.036
脉岩矿石 (4)	75.71	0.52	13.54	1.59	0.18	0.01	0.09	1.91	0.11	0.82	0.10	1.06~7.54

注: 括号内为样品数

2.3 矿石组构与矿石类型

矿石结构构造主要有交代残余结构、微晶—细晶结构、变余斑状结构、胶状结构和鲕(豆)状结构, 致密块状构造、纹层状和条带状构造、浸染状和细脉浸染状构造、细脉和网脉状构造、碎裂-角砾状构造、气孔(孔洞)构造、蜂巢状构造等。

大水式金矿矿石类型较为繁多, 有赤铁矿化硅化碳酸盐岩、似碧玉岩、硅质岩、角砾岩、赤铁矿化硅化花岗闪长岩、赤铁矿化硅化砾岩、鲕状或豆状沉积砾岩等, 以赤铁矿化硅化碳酸盐岩、硅质岩、赤铁矿化硅化花岗闪长岩、角砾岩4种类型为主, 分布广泛。赤铁矿化硅化碳酸盐岩是含矿热液交代灰岩、白云质灰岩而成, 交代残留结构明显, 原岩泥晶-微晶方解石或白云石被细粒石英替代, 赤铁矿呈质点状弥散于石英颗粒内或呈细短脉状沿微裂隙分布。似碧玉岩是热液交代较强时形成的, 其SiO₂含量很高(一般>70%)^[7], 矿石致密坚硬, 块状构造, 微晶—细晶结构, 残留结构不明显。赤铁矿化硅化花岗闪长岩产于岩脉与灰岩接触带, 系含矿热液交代脉岩或沿构造裂隙充填形成, 致密块状、细脉或网脉状构造, 岩浆结构清晰。纹层状硅质岩矿石由细层的铁硅质和铁质方解石韵律条带构成, 层纹近水平。角砾岩矿石的角砾和胶结物成分都较复杂, 角砾成分有碳酸盐岩、赤铁矿化硅化碳酸盐岩、似碧玉岩和硅质岩, 胶结物为热液铁硅质和方解石。赤铁矿化硅化砂砾岩主要分布于贡北和格尔托。鲕状或豆状沉积砾岩矿石呈鲕状或豆状结构, 块状构造。鲕粒或豆粒成分有赤铁矿、硅质岩和含长石石英晶屑之凝灰岩, 胶结物为凝灰质。鲕粒或豆粒具塑性变形特征, 粒径为1~10 mm不等。鲕粒和胶结物的电子探针分析表明, 除Au外, Cr、Co、Ni、Ag等含量也很高。

从上述各类矿石的结构构造和产状等不难看出, 它们是含矿热液在不尽相同的地质构造环境通过交代、充填或沉积等方式形成的具内在联系的矿化系列^[3], 其形成方式和相互关系可用图3加以表述。

2.4 围岩蚀变

围岩蚀变主要有硅化、赤铁矿化、碳酸盐化, 次为高岭土化、绿泥石化、绢云母化、次生褐铁矿化和少量汞砷硫化物矿化。其中, 硅化和赤铁矿化与金矿化关系密切。

硅化可分早晚两期。早期硅化沿花岗闪长岩脉与灰岩接触带向两侧发育, 主要表现为灰岩等被交代成SiO₂含量不等的硅化灰岩、似碧玉岩, 花岗闪长斑岩基质微晶石英化、长石斑晶玉髓化。灰岩一侧蚀变较强, 蚀变带一般较宽, 自接触带向外依次形成强硅化岩带(似碧玉

岩) → 硅化灰岩带; 脉岩一侧硅化较弱, 硅化花岗闪长岩带一般不超过10 m, 向外过渡为绿泥石化、绢云母化带。晚期硅化主要呈细脉或网脉充填早期蚀变矿化体的构造裂隙。赤铁矿化是大水式金矿特有的一种蚀变矿化, 主要呈尘状弥散分布于微晶—细晶石英颗粒内, 与早期硅化伴生, 或呈不规则团块、短脉沿裂隙分布。

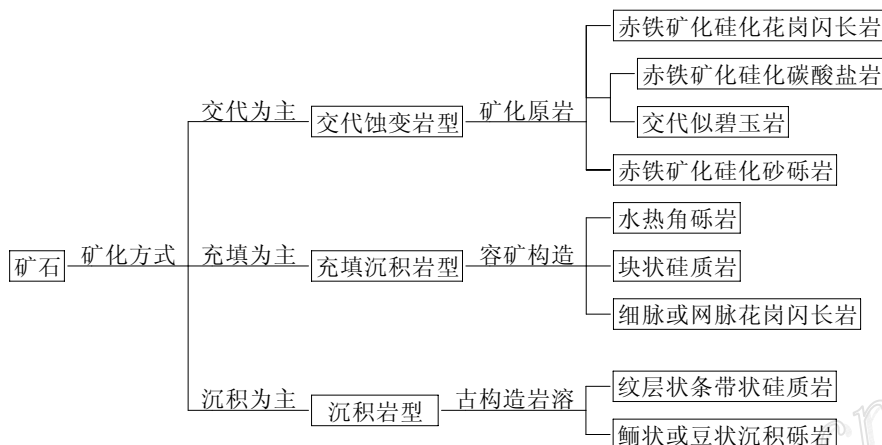


图3 大水式金矿不同类型矿石谱系

Fig. 3. Dendritic pattern of different types of ores in the Dashui gold deposit.

3 成矿作用时空结构

3.1 成矿期与成矿阶段

根据热液脉体宏观与微观穿切关系及其共生矿物组合, 将成矿作用过程划分为热液期和次生风化期。热液期分5个成矿阶段: ① 微晶石英-赤铁矿阶段。为含矿热液早期面型蚀变矿化, 是金重要成矿阶段; ② 微晶石英-赤铁矿-方解石阶段。为含矿热液充填沉积阶段, 是主要成矿阶段; ③ 石英-方解石阶段。形成石英-方解石细脉或网脉, 伴随少量的辰砂、雄黄、雌黄、辉锑矿等硫化物, 是次要成矿阶段; ④ 粗晶方解石阶段。形成白色、杂色粗晶-巨晶方解石和少量菱铁矿; ⑤ 条带状梳状方解石阶段。

次生风化期主要表现为原生灰岩矿在风化环境下形成岩溶红土型矿石, 此外脉岩矿可见少量褐铁矿化。

3.2 成矿作用时空演化

如前所述, 大水式金矿床矿石类型复杂, 但矿石结构构造和矿物组成等反映出的成矿作用方式主要有热液渗滤交代作用、有限空间(构造裂隙和角砾岩孔隙等)充填沉淀作用及相对开放空间(古构造岩溶和热泉盆地)沉积或堆积作用。详细的野外观察和研究表明, 各种矿石及热液活动产物(热液角砾岩及碳酸盐脉)的空间产出和分布、矿化方式及热液成分具明显的时空演化规律和分带性, 并形成较完整的热液交代-充填-沉积成矿作用体系。空间上自热液活动中心向外, 矿化方式由充填→交代; 自下而上, 由交代充填→充填沉积。热液角砾岩墙为热液活动中心(图4), 其上为充填沉积硅质岩和沉积砾岩, 热液活动通道处为脉状或网脉

状蚀变脉岩、块状硅质岩, 周围为交代似碧玉岩和蚀变矿化碳酸盐岩。时间上成矿热液由早期富铁硅质向晚期富碳酸盐质演化, 成矿作用早期以交代蚀变为主、晚期以充填沉积为主。

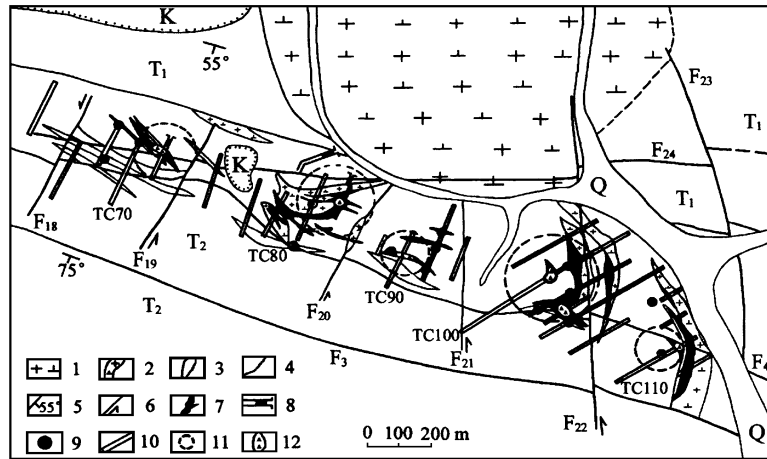


图4 大水金矿床热液隐爆机构与矿体分布关系图

Q—第四系; K—白垩系砾岩; T₂—中三叠统灰岩; T₁—下三叠统灰岩; 1—花岗闪长斑岩;
2—花岗闪长岩脉; 3—方解石脉; 4—地质界线; 5—地层产状; 6—断层; 7—金矿体;
8—平硐; 9—钻孔; 10—探槽; 11—热液隐爆机构; 12—热液隐爆角砾岩墙

Fig. 4. Map showing relationship between hydrothermal cryptoplosive apparatuses and distribution of orebodies.

Q—Quaternary; K—Cretaceous conglomerate; T₂—Middle Triassic limestone; T₁—Lower Triassic limestone; 1—Granodiorite porphyry; 2—Granodiorite dike; 3—Calcite vein; 4—Geological boundaries; 5—Attitude of strata; 6—Fault; 7—Gold orebody; 8—Adit; 9—Drill hole; 10—Trench; 11—Hydrothermal cryptoplosive apparatus; 12—Hydrothermal cryptoplosive breccia dike.

(1) 硅质岩: 按形成方式和结构构造等可分为热液交代、充填和沉积3种成因类型。交代硅质岩主要产于脉岩与灰岩接触带。充填硅质岩有3种产出方式: ① 呈脉状体沿断裂构造带直接充填而成; ② 呈包壳状产于灰岩砾石间隙, 砾石粒径10~200 cm, 其下常有呈漏斗状由紫红色硅质胶结灰岩和红色硅化灰岩角砾的热液角砾岩墙; ③ 呈细脉条带状产于脉岩与灰岩接触带压扭性糜棱岩中, 铁硅质条带具定向性。上述3种硅质岩矿石均呈褐红色或猪肝色, 块状、多孔状构造, 矿质与围岩界线截然且易脱落, 基本无交代蚀变作用, 明显属含矿热液沿张性有限空间直接充填沉淀而成。沉积或堆积硅质岩由微晶铁硅质纹层或细粒方解石薄层与微晶铁硅质互层组成, 具纹层状、条带状、韵律条带状构造, 矿体形态极不规则。鉴于矿区内第三纪和现代岩溶比较发育, 溶洞内多充填弱固结的纹层状岩溶沉积物, 因此, 该类硅质岩很可能是含矿热液进入古构造岩溶的开放空间快速堆积形成的^[4]。

(2) 热液角砾岩: 大水金矿床可鉴别出5个热液隐爆机构, 分布于68~70线、80~84线、90~94线、100线和110线附近, 构成5个矿脉群(图4)。从图4可以看出, 热液隐爆机构明显受NW向与近SN向两组断裂的交汇部位控制, 其中心大致以热液角砾岩墙为代表。角砾岩墙产状不规则, 长20~30 m至近百米, 宽数米至十几米。角砾岩具典型热液隐爆特征^[8], 角砾成分

为硅化灰岩和似碧玉岩等,角砾呈棱角状—次棱角状,大小从几毫米至几厘米,角砾的微裂隙内充填有铁硅质细脉。胶结物成分有铁硅质和(或)碳酸盐两种,说明存在两次水热爆炸事件,而且早期为含少量碳酸盐矿物的铁硅质胶结硅化灰岩和似碧玉岩角砾,晚期含铁硅质的碳酸盐矿物胶结各种硅质岩角砾。角砾岩墙的周围发育有热液交代蚀变岩,岩墙顶部为层状或纹层状热液沉积岩。

(3) 热液方解石脉:矿区方解石脉体非常发育,且与矿体紧密伴生。方解石大脉体常作为矿体顶底板、方解石大团块常出现在矿体内或其周围几米附近、细粒方解石薄层与铁硅质细层构成条带状或纹层状硅质岩。此外,矿区还发育一种呈帽盖或顶壳状近水平覆盖于矿体之上的厚大方解石脉体,厚十几米至几十米,水平延伸百余米,方解石晶体粗大,梳状条带状构造,显示开放环境充填沉积成因。

4 成矿物理化学条件

4.1 成矿温度与压力

玉髓质石英中流体包裹体个体非常小,一般在 $1\ \mu\text{m}$ 以下。方解石中包裹体为单一气-液两相型,气液比多在 $5\% \sim 30\%$,仅个别超过 40% ,均一状态为液相。流体盐度不超过 $10\% \text{NaCl}$,密度在 $0.817 \sim 0.972\ \text{g}/\text{cm}^3$ 之间。

包裹体均一温度测量结果表明大水成矿温度变化于 $105 \sim 386^\circ\text{C}$,峰值为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$;贡北温度范围及峰值分别为 $138 \sim 289^\circ\text{C}$, $140 \sim 160^\circ\text{C}$;格尔托温度范围及峰值为 $133 \sim 294^\circ\text{C}$, $200 \sim 260^\circ\text{C}$;忠曲温度范围及峰值分别为 $115 \sim 338^\circ\text{C}$, $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 。硅质岩形成阶段温度大致为 $280 \sim 200^\circ\text{C}$,方解石为 $200 \sim 130^\circ\text{C}$ 。根据包裹体均一温度和盐度等资料,利用 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系中溶液密度与温度、压力的关系求得成矿压力为 $500 \sim 7000\ \text{Pa}$,近地表环境。

4.2 成矿流体化学成分

包裹体液相成分(表4)主要有 Na^+ 、 K^+ 和 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等。 K^+ 含量普遍高于 Na^+ , Na/K 摩尔比为 $0.16 \sim 0.91$,平均 0.45 。 SO_4^{2-} 含量大于 $\text{F}^- + \text{Cl}^-$, F^-/Cl^- 摩尔比为 $0.024 \sim 0.76$ 。说明成矿流体是富含碱质的碱性溶液,这与矿石 Na_2O 、 K_2O 高含量的岩石化学特征吻合。此外成矿流体高钾特征反映了其来源可能与深部偏碱性岩浆活动有关。

表4 大水金矿区流体包裹体气液相成分

Table 4. Gaseous-liquid components of fluid inclusions in the Dashui gold ore district

地点	矿物	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2O	CO_2	CH_4	CO	H_2	O_2	N_2	Na/K	F/Cl	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	R
大水	方解石	0.43	2.10	—	—	0.16	0.86	1.76	40.783	0.859	—	0.022	—	—	0.014	0.35	0.35	0.022	0.025
忠曲	方解石	0.32	0.96	—	—	0.13	0.32	1.08	27.440	0.576	—	0.017	—	—	0.011	0.56	0.76	0.021	0.030
忠曲	方解石	0.27	1.62	—	—	0.09	0.66	1.49	20.951	0.319	—	0.008	—	—	—	0.29	0.25	0.015	0.025
格尔托	硅质岩 矿石	1.80	3.36	微量	0.24	0.03	0.47	9.44	30.307	2.288	0.011	0.051	—	—	0.018	0.91	0.12	0.075	0.027
格尔托	方解石	0.18	1.98	—	—	0.11	0.86	1.08	19.476	0.997	0.128	0.407	—	—	0.010	0.16	0.024	0.051	0.537

注:液相成分单位为 $\mu\text{g}/\text{g}$,气相成分单位为 mol/g , Na/K 、 F/Cl 为摩尔数比值, R 为气体还原参数 $(\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4) / \text{CO}_2$

气相组分主要为 H_2O 和 CO_2 ,含少量 CH_4 、 CO 和 N_2 等。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值为 $0.015 \sim 0.075$,

平均0.037。气体还原参数 R 值变化于0.025~0.537,平均0.129,反映成矿体系处于较强的氧化环境。这与矿石普遍发育赤铁矿而极贫原生硫化物的宏观地质特征相吻合,也佐证了紫褐色富铁硅质岩型矿石不是次生氧化形成的而是原生成因的。

5 矿床成因探讨

5.1 成矿环境

从前面介绍的大水式金矿成矿地质背景、矿体产出特征、矿石成分与组构以及成矿作用方式等可以看出,该类金矿是含矿热液在浅成-超浅成开放氧化环境下形成的。这种特殊的成矿地质环境是造就大水式金矿独具特色的成矿地质地球化学特征的根本原因。

(1) 矿区浅成-超浅成脉岩、热液角砾岩十分发育,而且中酸性脉岩本身遭受矿化,说明成矿深度非常浅。

(2) 从矿石结构构造和矿石类型看,胶状结构、鲕(豆)状结构,纹层状条带状构造、梳状构造、角砾状构造和孔洞构造等,角砾岩矿石之角砾为风化土状灰岩或白云岩、硅质岩矿石的沉积纹层和韵律层及近水平覆盖于矿体之上的厚大方解石顶壳,鲕(豆)状沉积砾岩矿石都说明含矿热液上升到达了近地表环境,成矿作用方式以开放空间(古构造岩溶)快速充填堆积为主。

(3) 矿石矿物组合为自然金+赤铁矿+隐晶-微晶玉髓质石英,极端贫原生硫化物, Fe_2O_3/FeO 比值很高(1.2~20),碳同位素为较高正值($\delta^{13}C$ 集中于2.0‰~6.0‰)等均反映出成矿体系是近地表开放氧化性质的。

5.2 成矿时代

如前所述,大水式金矿容矿围岩主要为中三叠统灰岩,赋矿地层时代最老为二叠纪(如辛曲金矿),最新为早侏罗世(如贡北和格尔托金矿),赋矿断裂为泥盆纪-早侏罗世地层发生褶皱形成的弧形构造体系,据此推断成矿作用始于印支造山之后的变形隆升阶段,并且在下侏罗统沉积之后。另外,侵位于三叠纪地层的燕山期中酸性脉岩(K-Ar同位素年龄为 $174.3 \times 10^6 \sim 190.6 \times 10^6$ a)也普遍矿化^[5],并构成重要的矿石类型之一,成矿作用应发生于脉岩侵位之后的燕山中晚期。

5.3 成矿物质来源

研究表明,大水式金矿成矿物质来源与燕山陆内造山阶段中酸性岩浆活动密切相关。

(1) 大水地区业已发现的金矿床、矿点和金地球化学异常明显地呈两大矿脉群紧密围绕大水格尔括合花岗闪长玢岩岩株和忠曲忠格扎拉二长闪长斑岩体产出,矿脉与岩体的距离一般不超过2 km,形成两个金矿化相对集中的矿化富集区。

(2) 岩浆作用晚期衍生的大量中酸性脉岩直接控制了金矿体的空间定位,矿化赋存于岩脉与地层接触带或其附近灰岩地层中。

(3) 从甘南川西北地区微细浸染型金矿的区域成矿规律来看,金矿床产出对地层并无选择性。从震旦纪-白垩纪各时代地层中不同岩性岩石(砂板岩、碳硅泥岩、灰岩、白云岩甚至

岩浆岩等)均有金矿产出。相反,绝大多数金矿床空间产出均与中酸性脉岩存在密切伴生关系。

(4) 微金分析资料表明:西秦岭地区各时代地层金丰度值除寒武纪太阳顶群较高(30.7×10^{-9})外,多数接近地壳克拉克值(3×10^{-9})^[6],而岩浆岩和岩脉金平均丰度值分别为 7.69×10^{-9} 和 11.6×10^{-9} ,大大高于地壳克拉克值。因此,如果没有深部含矿流体的加入,要形成大水这样特大型高品位的金矿床单靠含金量低微的地层提供矿质来源几乎是不可能的。

由此说明,大水地区金成矿作用与岩浆活动密切相关,金矿化和岩浆岩很可能是统一的受深部构造制约的燕山期构造-岩浆-热液活动体系的系列演化产物。它们在时空上密切相伴,在成因上可能同源,并表现出由早到晚活动规模和强度逐渐减弱,活动范围逐渐缩小的演化趋势。

参 考 文 献

- 1 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1989.
- 2 李亚东. 白龙江地区逆冲推覆构造及其与金矿的关系. 贵金属地质, 1994, 3 (4): 262~268.
- 3 陈毓川. 矿床的成矿系列研究现状与趋势. 地质与勘探, 1997, 33 (1): 21~25.
- 4 王安建, 高兰, 闫升好等. 大水式金矿床成因及分布规律探讨. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 267~270.
- 5 闫升好, 王安建, 高兰等. 大水式金矿床稳定同位素. 稀土元素地球化学研究. 矿床地质, 2000, 19 (1): 37~45.
- 6 李亚东, 李应涛. 甘肃拉尔玛微细浸染型金矿床地质特征及成因模式. 见: 刘东升主编, 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994, 226~253.
- 7 Hedenquist J W et al. Hydrothermal eruption in the Waiotapu geothermal system, New Zealand. Econ. Geol., 1985, 80: 1640~1668.
- 8 Holland P T, Beatty D W, Snow G G. Comparative element and oxygen isotope geochemistry of jasperoid in the Northern Great Basin: Evidence for distinctive fluid evolution in gold-producing hydrothermal systems. Econ. Geol., 1988, 83: 1401~1423.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE DASHUI TYPE GOLD DEPOSITS

Yan Shenghao, Wang Anjian, Gao Lan

(Metallogenic Prospect Division, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Zhao Yanqing, Hu Chuanjiu and Chen Guozhong

(No. 3 Geological Party, Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, Hezuo 747000)

Key words: Dashui type gold deposit, iron-rich siliceous rocks, West Qinling orogenic belt, Gansu province

Abstract

The Dashui ore deposits, being a new type of gold deposits recently discovered in West Qinling orogenic belt, have very unique ore-forming characteristics and extremely high eco-

nom ic values. M ineralization mainly occurred in a set of silicified rocks and silicalites formed by hydrothermal activities. Orebodies are hosted in Triassic limestones and are apparently controlled by faults. Ore minerals include gold, hematite and chalcedony and minor sulfide minerals. Silicified limestone, silicalite, siliceous breccia and silicified granodiorite are four major types of ores, which are serial products of the hydrothermal system at different geological environments through different ways of hydrothermal-metasomatism, infilling and sedimentation. In space, from the center toward peripheral parts of the hydrothermal active system, the hydrothermal sediments are produced in order of hydrothermal explosive breccia+ hydrothermal silicalite+ calcite veins→ hydrothermal metasomatic jasperoids+ silicified granodiorite→ silicified limestone. From the lower to upper part, the products are successively hydrothermal filling veinlet-stockwork silicalite+ calcite veins→ hydrothermal sedimentary laminated silicalite+ oolitic-pisolitic conglomerates+ horizontal calcite crust. In time, hydrothermal metasomatic mineralization took place a bit earlier than hydrothermal infilling and sedimentary mineralization, and the composition of the hydrothermal system evolved from iron-silica-rich one in the earlier stages towards carbonate rich one in the late period.

The temperature and pressure measured for fluid inclusions show that the whole mineralization might have undergone a short process characterized by a wide range of temperatures, and the metallogenic depth was very shallow, probably near the surface. The mineral assemblage fabrics and chemical composition of the ores and the very low gaseous reduction parameter R of fluid inclusions suggest a high oxidizing metallogenic environment. Geological and geochemical characteristics of the deposit and gold abundance of regional strata indicate that ore-forming materials mainly came from deep sources closely related to Yanshanian tectono-magmatism. The metallogenic epoch probably belongs to the middle-late Yanshanian period.