黄金地质研究所
信息室 提供

上　　册

黄金部队发现的金矿床

黄金地质研究所
信息室 提供

黄金地质研究所
信息室 提供

甘肃阳山金矿床

阳山金矿位于川陕甘交界地带，大地构造位置处于扬子板块以北、中朝板块以南、松藩—甘孜褶皱系以东的三角区内，属西秦岭南亚带。该区原以开采砂金为主，20 世纪 80 年代以后，陆续发现了大水、坪定、拉尔玛、东北寨、联合村等一系列岩金矿床。1997 年，武警黄金第十二支队在进行水系沉积物测量时发现了阳山金矿。目前，该矿床控制的金资源量已达 308×10^3 kg，为特大型金矿床。

1 成矿地质背景

区内出露的地层主要有元古宇碧口群白云岩、灰岩、硅质岩、千枚岩、板岩及绿片岩等；泥盆纪砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、含铁石英岩等；石炭纪和二叠纪灰岩、白云岩、砂岩、板岩等。此外，还零星出露三叠系、侏罗系地层，以碎屑岩为主（图 1）。其中，泥盆系三河口组为阳山金矿床的主

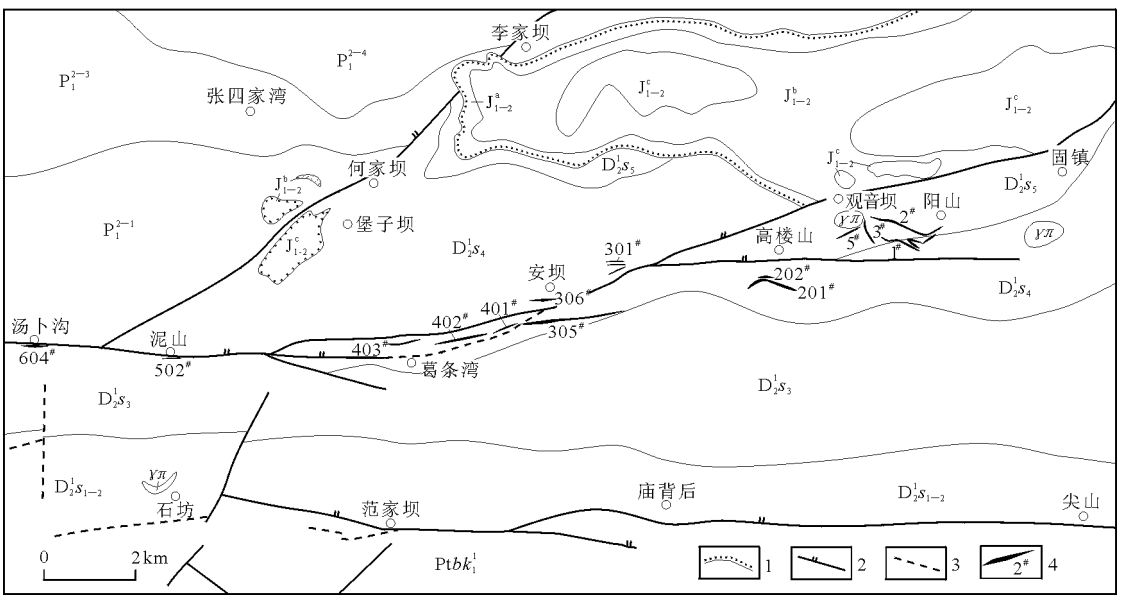

图 1 甘肃阳山金矿带地质简图

J^{c}_{1-2}，J^{b}_{1-2}，J^{a}_{1-2}—中、下侏罗统；P^{2-4}_{1}，P^{2-3}_{1}，P^{2-1}_{1}—下二叠统；$D^{1}_{2}s_5$，$D^{1}_{2}s_4$，$D^{1}_{2}s_3$，$D^{1}_{2}s_{1-2}$—中泥盆统三河口组第四、第三、第二、第一岩性段；$Ptbk^{1}_{1}$—元古宇碧口群；$\gamma\pi$—斜长花岗斑岩；1—不整合面；2—断层；3—推测断层；4—金矿体及编号

要围岩，其特征与杜乐天描述的 C，Si，泥质沉积较为一致，推测为一套热水沉积。

矿床位于玛曲—略阳深大断裂南侧，矿区以文县弧形构造为主，由一系列近于平行的断裂构成（图 2），包括松柏—黎坪、安昌河—观音坝、马家磨—魏家坝、白马—临江断裂。阳山金矿即位于安昌河—观音坝断裂带中，该断裂呈 NEE 走向，N 倾，倾角 50～70°，长 30 km，宽数百至数千米。断裂带内褶皱较为发育，而且，在褶皱翼部有一系列次级层间剪切带或断裂伴生，其产状与地层产状近于一致，金矿体主要赋存于上述次级层间剪切带或断裂中。区内小岩株和岩脉沿构造破碎带产出，其岩性主要为浅成的花岗岩类，包括中细粒斜长花岗斑岩、细粒黑云二长花岗斑岩、花岗细晶岩以及

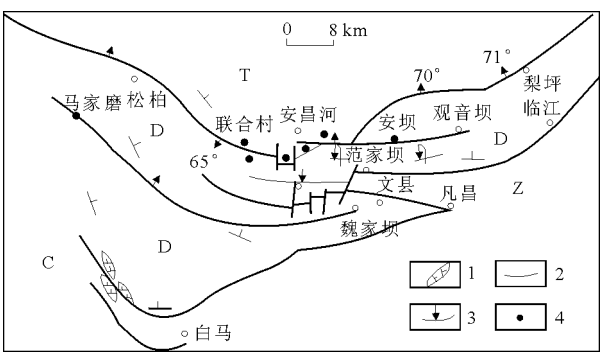

图 2 文县弧形构造略图

T—三叠系；C—石炭系；D—泥盆系；Z—震旦系；1—石英闪长岩脉；2—断裂；3—倒转倾伏向斜；4—金矿床

霏细斑岩等。岩石 SiO_2 含量 69.85%～80.77%，平均 73.88%，里特曼指数（δ）一般为 0.3～0.4，

黄金地质研究所
信息室 提供

属钙性系列。在Q—A—P三角图上，岩石化学成分有连续变化的特征。其中，斜长花岗斑岩脉在矿区出露最为普遍，与金矿体关系也最为密切。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

阳山金矿带东起固镇，西至堡子坝，全长12 km，分为4个矿段，即阳山、高楼山、安坝和葛条湾矿段，共发现49条金矿脉，其中规模最大的305#、314#矿脉均位于安坝矿段（图1）。305#脉位于安坝背斜南翼的破碎带中，由碎裂岩化、黄铁矿化千枚岩及斜长花岗斑岩组成，矿脉在平面上为舒缓波状，在剖面上为脉状，总体走向NEE，倾向N，倾角45～70°，仅圈定了1条矿体，长1 800 m，控制斜深440 m，平均厚度5.58 m，平均品位7.06×10^{-6}，计算金资源量为56 133 kg。314#脉平行于305#脉并位于其上盘，也圈定1条矿体，长2 100 m，控制斜深330 m，平均厚度5.61 m，平均品位5.52×10^{-6}，计算金资源量27 570 kg。

2.2 矿石特征

2.2.1 *矿石类型* 矿区矿石按氧化程度可分为原生和氧化矿石，以前者为主。按矿石原岩类型又可将矿石分为蚀变砂岩型、蚀变千枚岩型、蚀变灰岩型和蚀变脉岩型4种，其中以黄铁矿化蚀变千枚岩和黄铁矿化蚀变斜长花岗斑岩型矿石为主。

2.2.2 *矿石矿物成分特征* 矿石中金属矿物种类较多，有自然金、银金矿、毒砂、黄铁矿、辉锑矿，其次有钛铁矿、钒钛磁铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、白铁矿、硫锑铅矿、软锰矿、硬锰矿、褐铁矿等。其中主要为细粒（粒径小于2 mm）黄铁矿和毒砂，并且毒砂含量略高于黄铁矿。

镜下统计结果表明，矿石中金矿物以自然金为主，其次为银金矿。金矿物主要赋存于毒砂、褐铁矿、辉锑矿和粘土矿物中，有3种赋存状态：1）以包裹体形式赋存于毒砂、褐铁矿和粘土矿物中，占镜下统计数的75.46%；2）以裂隙金赋存于黄铁矿和褐铁矿的微裂隙中，占统计数的11.82%；3）以粒间金赋存于粘土矿物中（12.72%），金矿物嵌布粒度细微，镜下见到的最大金矿物颗粒仅5～6 μm，大部分在2～3 μm或更小。

矿石中主要非金属矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、长石，次有高岭土、绿泥石、叶蜡石、绿帘石、重晶石、雄黄、石榴子石；微量矿物有锆石、电气石、透辉石、臭葱石、萤石等。

2.2.3 *矿石化学成分特征* 多元素化学分析结果表明，矿石中除Au外，还含一定量的Sb（10.4×10^{-6}～299.0×10^{-6}），Ag（0.1×10^{-6}～0.8×10^{-6}），Cu（17.5×10^{-6}～35.2×10^{-6}），Pb（30.5×10^{-6}～59.3×10^{-6}），Zn（41.7×10^{-6}～94.0×10^{-6}）等，但不具备综合利用价值；矿石中As（0.19%～1.07%），$C_{有机}$（0.07×10^{-6}～2.22×10^{-6}）含量偏高，对选矿不利；原生矿石比氧化矿石Au品位要高，显示矿石向深部变富，但As，$C_{有机}$含量也随之升高。此外，对矿区113件样品进行的相关分析结果显示，Au与Ag，As，Sb，Hg为正相关，表明成矿元素为一套与低温热液活动有关的组合。

2.3 围岩蚀变及成矿期次

矿床围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、粘土化、碳酸盐化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化等，总体表现为浅成低温热液蚀变特征，其中绢云母化、粘土化、碳酸盐化在区内广泛发育。从矿体到围岩有一定的蚀变分带现象，表现为近矿部位硅化、黄铁矿化较强，而远矿部位粘土化、碳酸盐化较发育。但由于受构造破碎以及围岩成分的影响，蚀变分带并不十分明显。

阳山金矿成矿期次可分为热液期和表生期，热液期可分为4个成矿阶段：Ⅰ 无矿石英；Ⅱ 黄铁矿-石英；Ⅲ 黄铁矿-毒砂-石英；Ⅳ 石英-碳酸岩阶段，其中Ⅱ，Ⅲ为主要矿化阶段。

3 地球化学特征

3.1 流体包裹体地球化学

对19件样品62个流体包裹体进行了显微测温分析，结果表明流体包裹体均一温度范围为105～310 ℃，主要集中于150～250 ℃。流体包裹体盐度范围为1.6%～10.4%，主要集中在1.6%～6.5%之间。

流体包裹体成分分析结果表明，流体气相成分以H_2O和CO_2为主，存在一定量的CH_4和H_2。液相组分中阳离子含量从高到低依次为Na^+，K^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，Li^+，而阴离子以富Cl^-，贫F^-为特点，SO_4^{2-}，HCO_3^-含量变化较大。

3.2 同位素组成

3.2.1 *S同位素* 黄铁矿、辉锑矿的S同位素组成测试结果表明，矿石S以相对富集^{34}S，并且离散性较大为特征（$\delta^{34}S$值为—3.47‰～13.23‰），

黄金地质研究所
信息室 提供

一般认为这种S同位素组成较分散，成矿过程可能存在多个S源。本区黄铁矿-石英细脉 $\delta^{34}S$ 值接近矿化千枚岩，而辉锑矿 $\delta^{34}S$ 值接近于再平衡岩浆水热液矿床（−2‰～3‰），显示地层S与岩浆S均参与了成矿作用。

3.2.2 氢氧同位素 矿石中细小黄铁矿石英脉中石英氢氧同位素分析结果表明，$\delta^{18}O_{石英}$ 值为−3.23‰～0.41‰，δD 值为−92.4‰～−62.9‰，按Clayton等的公式 $1\,000\ln = \delta^{18}O_{含水矿物} - \delta^{18}O_{H_2O} = 3.38\times10^6 T^{-2} - 3.4$，计算获得的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为−12.13‰～−8.48‰。

在 δD-$\delta^{18}O_{H_2O}$ 图上，矿区矿石氢氧同位素组成投影点位于大气降水线附近，而 δD 值接近世界不同地区岩浆水（−85‰～−50‰），显示成矿热液主要为大气降水，而岩浆水在一定程度上也参与了成矿作用。

3.2.3 全岩碳氧同位素 全岩碳同位素分析结果表明，矿化石英脉的 $\delta^{13}C_{-PDB}$ 值为−8.36‰～−2.19‰，较为离散，据于津生等资料，岩浆来源C的 $\delta^{13}C_{-PDB}$ 值上限为−4‰，大于−4‰者暗示有沉积C成分，据此认为本区C是多来源的，比较接近于岩浆成因C的分布范围。另外，矿化石英脉的 $\delta^{18}O_{全岩,-PDB}$ 值为−13.54‰～−9.06‰，更接近斜长花岗斑岩脉 $\delta^{18}O_{全岩,-PDB}$ 值（−9.77‰～−9.75‰），显示成矿作用与岩浆活动有关。

3.2.4 K-Ar同位素 从阳山斜长花岗斑岩全岩K-Ar同位素年龄的测试结果来看，矿区斜长花岗斑岩脉的全岩K-Ar年龄为171～209 Ma，平均年龄为189.4 Ma，显示斜长花岗斑岩脉的形成时代应在三叠纪末至侏罗纪初。

杜子图等（1998）对西秦岭地区岩浆岩同位素年龄进行的统计结果表明，岩浆同位素峰值主要为2个，即180～220 Ma和100～160 Ma，也反映了在三叠纪末期—侏罗纪初期该区有较强烈的岩浆-构造活动。

3.2.5 氩同位素 杨贵才等（2007）对矿区微细浸染型矿石中细脉状石英进行了氩同位素年龄测定，结果表明，石英黄铁矿细脉中的石英年龄为（195.31±0.86）Ma，显示其成矿时代为侏罗纪。

丁振举等（1999）对碧口群铜矿床中矿化脉石英作过氩同位素年龄测定，结果表明其年龄为（211.3±1.1）Ma，显示铜的形成时代（或被热液叠加改造的时代）为三叠纪末期。

姚书振等（2002）研究表明秦岭控制金矿成矿的断裂、岩浆活动年代主要为230～131.7 Ma，秦岭大型金矿成矿主要集中于210～120 Ma。

据此，可以认为，阳山金矿主矿体形成于侏罗纪早期（195 Ma），而且其形成与三叠纪末期—侏罗纪早期该区较为强烈的岩浆-构造活动关系密切。

3.3 锆石SHRIMP U-Pb年龄测定结果

3.3.1 石英细脉YM分析结果 对微细浸染状金矿石中的石英细脉样品YM共分析了16粒锆石（表1），在U-Pb谐和图上，分析数据主要有3组。第1组由3个分析数据组成，其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为195.4～200.9 Ma，分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状，环带结构清晰，应为捕获早侏罗世岩浆岩的锆石。第2组由6个分析数据组成，其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为121.8～137 Ma，平均

表1 阳山金矿石英细脉YM锆石SHRIMP分析数据

测点	$^{206}Pb_c$ %	U 10^{-6}	Th 10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ 10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄/Ma	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	2σ	$^{207}Pb^*/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb^*/^{238}U$	2σ
YM−1	2.29	277	260	0.97	4.75	124.6±3.2	0.036 7	11	0.099	11	0.019 52	2.6
YM−2	5.77	355	277	0.81	2.43	48.1±1.5	0.023	62	0.024	62	0.007 49	3.2
YM−3	2.12	277	274	1.02	4.94	129.6±3.3	0.040 3	15	0.113	16	0.020 30	2.6
YM−4	1.10	542	521	0.99	10.1	137.0±3.5	0.045 8	9.7	0.135	10	0.021 47	2.6
YM−5	0.28	644	377	0.61	10.6	121.8±2.8	0.048 4	4.4	0.127 2	5.0	0.019 07	2.4
YM−6	0.29	1 173	689	0.61	31.3	196.4±4.3	0.049 0	2.2	0.2089	3.1	0.030 94	2.2
YM−7	3.13	89	127	1.47	1.56	126.1±4.1	0.042	27	0.115	27	0.019 75	3.2
YM−8	5.28	240	160	0.69	1.76	51.7±1.8	0.027	63	0.030	63	0.008 06	3.6
YM−9	2.82	274	197	0.74	1.94	51.6±1.7	0.041	34	0.046	34	0.008 03	3.3
YM−10	2.58	250	221	0.92	4.49	130.1±3.5	0.035 5	26	0.100	27	0.020 39	2.7
YM−11	1.82	621	523	0.87	16.7	195.4±5.3	0.047 1	8.0	0.200	8.4	0.030 78	2.8
YM−12	0.38	176	111	0.65	9.09	375±12	0.052 9	4.3	0.437	5.5	0.059 9	3.3
YM−13	0.27	885	45	0.05	138	1 069±22	0.073 20	0.92	1.820	2.4	0.180 4	2.2
YM−14	1.95	283	120	0.44	7.84	200.9±5.0	0.039 1	14	0.171	14	0.031 65	2.5
YM−15	0.04	474	68	0.15	54.4	809±17	0.066 62	1.1	1.228	2.5	0.133 7	2.2
YM−16	5.51	1 273	1 465	1.19	8.77	48.7±1.2	0.041 2	19	0.043 1	19	0.007 58	2.6

注：Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅；应用实测的 ^{204}Pb 进行普通铅校正（下同）。

黄金地质研究所
信息室 提供

(128.2±5.5)Ma，分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状，韵律性环带结构发育，应为捕获的白垩纪岩浆岩锆石。第3组由4个分析数据组成，并与一致曲线相交切，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为48.1～51.7 Ma，平均（50.0±3.0）Ma。该组锆石为自形柱状，具简单环带结构，应为捕获第三纪岩浆岩锆石。其余分析数据较为分散，样品YM－13，15为短柱状、具环带结构，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄分别为（1 069±22）Ma，（809±17）Ma，可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。YM－12中的锆石为短柱状，环带结构不发育，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为（375±11）Ma，可能为捕获地层中的锆石。

3.3.2 *石英细脉AB分析结果* 对微细浸染状金矿石中的石英细脉AB共分析了14粒锆石（表2），由于锆石颗粒细小，普通铅含量略高，其中有一个分析（测点AB－1）因普通铅含量较高而剔除。在U-Pb谐和图上，分析数据有2组。第1组由5个分析数据组成，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为121.4～130.2 Ma，平均（125.3±4.9）Ma，分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状，韵律性环带结构发育，应为捕获的白垩纪岩浆岩锆石。第2组由8个分析数据组成，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为49.8～55.3 Ma，平均（51.7±1.6）Ma，分析数据与一致曲线相交切。该组锆石为自形柱状，部分具简单环带结构，应为捕获的第三纪岩浆岩锆石。

表2 阳山金矿石英细脉AB锆石SHRIMP分析数据

测点	$^{206}Pb_c$ %	U 10^{-6}	Th 10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ 10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄/Ma	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	2σ	$^{207}Pb^*/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb^*/^{238}U$	2σ
AB－3	4.99	818	825	1.04	6.16	53.5±1.4	0.063	19	0.072	19	0.008 33	2.7
AB－2	5.28	129	175	1.40	2.23	121.4±4.3	0.032	59	0.083	59	0.019 01	3.6
AB－4	4.51	670	735	1.13	4.71	50.1±1.5	0.081	35	0.087	36	0.007 81	3.0
AB－5	1.89	401	380	0.98	2.78	50.9±1.5	0.037 8	26	0.041	26	0.007 92	2.9
AB－6	4.03	137	162	1.22	2.33	121.4±3.4	0.034 3	21	0.090	22	0.019 01	2.9
AB－7	3.43	270	284	1.08	4.91	130.2±3.5	0.032 8	27	0.092	27	0.020 40	2.8
AB－8	—	245	180	0.76	1.79	55.3±1.6	0.084 9	8.6	0.100 9	9.1	0.008 62	3.0
AB－9	3.96	427	391	0.95	2.96	49.8±1.6	0.018	63	0.020	63	0.007 75	3.3
AB－10	—	85	136	1.66	1.45	128.2±3.8	0.071 9	6.0	0.199	6.7	0.020 08	3.0
AB－11	0.78	2 472	343	0.14	17.2	51.7±1.2	0.045 5	5.8	0.050 5	6.2	0.008 06	2.3
AB－12	2.55	171	201	1.21	2.96	125.4±3.4	0.036 3	17	0.098	17	0.019 64	2.7
AB－13	0.72	1 973	2 629	1.38	13.3	50.0±1.1	0.043 8	5.1	0.047 1	5.6	0.007 79	2.3
AB－14	1.07	1 557	2 108	1.40	11.1	52.5±1.4	0.062 3	7.7	0.070 2	8.1	0.008 18	2.7

3.3.3 *含明金石英脉SG分析结果* 对含明金石英脉SG共分析22粒锆石（表3），所测得的年龄均较老（早于泥盆系围岩的形成时代）。在U-Pb谐和图上，分析数据主要有4组。第1组由3个分析数据组成，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为2 392～2 522 Ma，其中SG－11位于一致曲线下方，放射成因铅有丢失，其余2个分析数据与一致曲线相交。该组锆石为浑圆状—次棱角状，环带结构不发育，应为捕获的新太古代—古元古代结晶基底的锆石。第2组由6个分析数据组成，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为917～1 040 Ma，平均（981±53）Ma，分析数据与一致曲线相交切，该组锆石多为次棱角状，环带结构不发育，应为捕获的新元古代结晶基底的锆石。第3组也由6个分析数据组成，并与一致曲线相交切，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为765～824 Ma，平均（803±24）Ma，该组锆石一般为自形柱状，韵律环带结构发育，可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。第4组由4个分析数据组成，并与一致曲线相交切，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄为553～669 Ma，数值较为分散，该组锆石为自形柱状，具环带结构，可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。其余3个分析结果较为分散，其$^{206}Pb/^{238}U$年龄分别为（1 524±38）Ma，（1 353±29）Ma，（1 118±24）Ma，很可能为捕获地层中的锆石。

4 大地构造成矿特征

4.1 成矿演化背景

在阳山金矿床，晚三叠世热液石英黄铁矿早期金成矿之前，区域基底与盖层中已出现有金的成矿和预富集矿化。

1）基底岩系（前震旦纪）的金成矿：已知如甘肃碧口何家岭，中基性火山岩、绢云母石英岩中的贫硫化物含金石英脉矿点；陕西李家沟产于硅化白云岩、蚀变辉绿岩、碳质板岩中的细脉浸染状为

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 阳山金矿含明金石英脉 SG 锆石 SHRIMP 分析数据

测 点	$^{206}Pb_c$ %	U 10^{-6}	Th 10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ 10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄/Ma	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	2σ	$^{207}Pb^*/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb^*/^{238}U$	2σ
SG－1	0.22	118	86	0.75	12.8	765±17	0.065 2	2.9	1.133	3.8	0.126 0	2.4
SG－2	0.50	94	217	2.38	7.29	554±14	0.058 1	7.8	0.719	8.2	0.089 7	2.6
SG－3	0.15	299	330	1.14	34.8	817±17	0.065 0	1.5	1.210	2.7	0.135 1	2.3
SG－4	0.68	108	92	0.88	12.5	812±18	0.060 5	5.5	1.119	6.0	0.134 2	2.4
SG－5	0.22	455	325	0.74	53.4	824±17	0.066 58	1.4	1.251	2.6	0.136 3	2.2
SG－6	0.10	109	189	1.79	43.3	2450±48	0.165 1	0.80	10.53	2.5	0.46 2	2.3
SG－7	0.24	226	513	2.34	36.9	1 118±24	0.074 4	1.8	1.942	2.9	0.189 4	2.3
SG－8	0.13	573	116	0.21	75.4	917±19	0.069 05	1.1	1.456	2.5	0.152 9	2.2
SG－9	0.13	209	341	1.69	47.8	1 524±38	0.092 6	1.1	3.40	3.0	0.266 7	2.8
SG－10	0.14	148	55	0.38	61.0	2 522±48	0.163 9	0.75	10.82	2.4	0.479	2.3
SG－11	0.39	394	180	0.47	153	2 392±45	0.196 5	0.65	12.17	2.3	0.449	2.2
SG－12	0.15	365	195	0.55	52.4	995±21	0.070 03	1.3	1.612	2.6	0.166 9	2.3
SG－13	1.57	74	87	1.21	6.43	610±16	0.058 1	7.4	0.796	7.9	0.099 2	2.8
SG－14	0.09	296	63	0.22	44.5	1 040±22	0.073 9	2.1	1.783	3.1	0.175 0	2.3
SG－15	0.75	153	95	0.64	21.0	950±21	0.064 6	3.6	1.414	4.3	0.158 8	2.4
SG－16	0.49	159	54	0.35	21.7	949±21	0.072 2	3.6	1.580	4.3	0.158 6	2.4
SG－17	2.01	155	231	1.54	17.6	783±18	0.072 9	5.1	1.298	5.7	0.129 2	2.4
SG－18	0.42	174	93	0.55	20.3	817±18	0.062 7	3.1	1.168	3.9	0.135 2	2.4
SG－19	0.20	317	267	0.87	47.5	1 036±22	0.072 5	1.4	1.742	2.7	0.174 3	2.3
SG－20	0.13	208	60	0.30	41.9	1 353±29	0.111 5	1.1	3.590	2.6	0.233 5	2.3
SG－21	1.63	132	164	1.29	12.6	669±17	0.056 1	5.7	0.846	6.4	0.109 4	2.7
SG－22	0.49	203	281	1.43	15.7	553±13	0.054 7	4.6	0.676	5.2	0.089 6	2.4

主的黄铁矿-黄铜矿金矿床，以含金黄铁矿石英脉或石英-方解石脉产出，为基底变质热液淋滤型金成矿；陕西西庄房里，产于含铁硅质岩、中基性火山岩、千枚岩中，以自然金与黄铁矿共生的火山-沉积变质金矿化；甘肃阳坝酸—基性火山岩中的含铜硅质岩和含铜黄铁矿的条带状伴生金-铜成矿等。

2）盖层岩系（震旦纪及古生代）的金成矿：如产于奥陶系阴沟群的肃北寒山大型金矿床，产于震旦纪白云岩、砂板岩的略阳煎茶岭大型金矿床；以及玛泌—略阳地区产于志留纪泥质岩-石灰岩及泥质岩-硅质岩中的层控金（砷）矿；沿迭山—徽县断裂带产于下二叠统和下、中石炭统中的同生沉积-热（卤水）层控汞-金-锑矿等。

4.2 成矿物质条件

1）元古宙基底岩系是一套巨厚的含变镁铁质岩绿片岩的变火山-沉积岩系，并广泛受到晋宁期构造-岩浆事件热动力构造的变质、变形及流体作用。其中，变火山岩 Rb-Sr 等时线年龄为 933～970 Ma。并具有较高的 Au 背景值。对矿区东南部基底岩系的取样测试 Au 的平均含量为 9×10^{-9}。基底岩系中除有较高 Au 含量的区域背景和存在变质热液为主、属火山热液的成矿或预富集矿化外，同时还富含碳质、硫质（黄铁矿）等，有利于金的活化迁移和聚集成矿。如在文县南部产出有黄铁矿沉积条带。

2）盖层岩系（Z—T_2）。震旦纪陆缘裂谷型含碱性火山岩、火山碎屑岩和硅质岩、碳酸盐岩等，夹有碳硅岩、碳质板岩及含铜、铀、钒较高背景的黑色岩系；寒武纪含黑色硅质岩、黑色砂质板岩夹层状重晶石和石煤；志留纪中含铁菱镁矿斑点绢云母千枚岩夹星点状黄铁矿砂质千枚岩；泥盆系在区域上则为大多与早古生代盖层岩系存在沉积间断，并局部产出有酸—基性（双峰式）火山岩的陆缘断拉谷（裂陷槽）和同生沉积热水作用的硅-泥岩建造。它们已在秦岭造山带形成一系列金、汞、锑、砷及多金属热水沉积矿床。

阳山矿区的赋矿围岩——中泥盆统三河口组其含金性：硅化砂岩与千枚岩均为 2.6×10^{-9}，灰岩为 1.8×10^{-9}。而且在葛条湾千枚岩中见有同沉积草莓状黄铁矿；安坝矿段矿石中也见有草莓状黄铁矿并被星点状自然金环绕。在阳山金矿草莓状黄铁矿常与自然金共生。此外，在千枚岩中产出呈层状、纹层状的黄铁矿，并随地层褶皱变形，其形态一般为自形细粒或半自形立方体，虽不构成矿体，但金有明显富集（纹层状黄铁矿千枚岩金含量为 0.1×10^{-6}～0.6×10^{-6}），并发生不同程度重结晶，形成增生环带或保持草莓状形态形成变余细粒黄铁矿。表明中泥盆世存在沉积成岩的金富集作用。

上述不同构造体制阶段，在基底与盖层岩系中分别存在的金预富集和工业矿化，为早中生代晚三叠世活化造山构造-岩浆作用时期的金成矿，造就了优厚的金大规模富集成矿的先天物质条件。

4.3 成矿动力环境及条件

1）早中生代（印支期）造山早期阶段成矿晚三叠世在陆-陆汇聚陆内A型俯冲动力作用下，盖层岩系发生基底滑脱、推覆断褶构造变形和热构造动力区域浅变质作用。产生主要由同生含水矿物脱水形成的盖层变质流体，为CO_2含量少和H_2O含量高的盐度较高（>10%）并含有溶解盖层岩系中黄铁矿形成还原硫的低温成矿流体，使先前沉积成岩金矿化预富集Au矿源，呈Au_2S配合物活化迁移，并在浅部盖层沿层间剪切构造带与大气水混合，形成贫硫化物的含金石英脉，构成造山早期分布较广但强度弱的金成矿。如毗邻地区沿玛曲—略阳230 Ma前后活动的基底断裂带附近，一系列低温热液微细粒浸染型Au成矿。

造山早期阶段尚处于地热梯度趋于增高的热动力构造环境，基底流体的产生和对其各类Au矿质源的活化迁移较弱。因此，其对于早期金成矿的贡献不及盖层流体。

2）中、晚中生代（燕山期）主造山阶段成矿处于高地热梯度和构造-岩浆作用活跃的热动力构造环境，进入对深部基底与浅部盖层，大规模热动力改造与叠加作用的高峰时期。

此期，占居主导地位的是巨厚基底岩系中绿片岩相、富硫、富金（包括工业矿化Au）变火山-沉积岩系，普遍发生向角闪岩相的转变作用，大规模形成由矿物脱水产生的低盐度（0～≤10%）的H_2O-CO_2基底变质流体。由于还含有由基底中大量黄铁矿溶解形成的还原硫，使之对基底岩系中先前各种Au的预富集或工业矿化产生广泛活化迁移。遂成为富含Au（HS）或HAu［HS］$_2$配合物的变质成矿流体，参与热液Au成矿作用过程。

浅层盖层岩层进入构造变形剧烈的主造山—造盆阶段后，推覆叠置岩片发育和广泛形成逆冲断褶构造，大量盖层岩系被卷入脆性剪切构造带，形成多种岩石类型的碎裂构造岩（包括脆性糜棱岩类），并且呈频繁多期次的叠加、改造。

再者，此时期在地幔热流贯入加剧和浅层叠置岩片壳厚增大效应的双重因素作用下，形成壳源重熔花岗质岩浆于浅部定位，成为浅成斑岩脉发育的高峰阶段。从而形成了岩浆热液成矿流体和岩浆热变质成矿流体的叠加。它们与基底变质成矿流体、盖层浅变质成矿流体和沉积同生水流体，组成为多元混合的成矿流体。其含矿质包括有不同构造体制演化阶段，赋存在基底、盖层中，类型复杂的幔壳源岩浆源，沉积岩源和变质岩源等多源Au成矿物质，在进入浅层构造变形与破碎强烈的构造地带后，由于大气循环水加入稀释、成矿流体卸载，大量产生Au的成矿。形成复杂的含Au成矿物质组合和以蚀变碎裂岩为主体的多种矿石类型，成为阳山金矿成矿演化的主成矿阶段和金成矿高峰期。

3）新生代（喜马拉雅期）造山后阶段成矿，该阶段已处于造山期后的调整时期，构造-岩浆作用趋于减弱。

采自安坝、草坪梁局部地段，同为斜长花岗斑岩脉与千枚岩外接触带的黄铁矿-石英细脉中的锆石测年，均见有$^{206}Pb/^{238}U$年龄值为48.1～51.7 Ma的岩浆型锆石，表明早第三纪曾出现过花岗岩浆作用，它们均与白垩纪的岩浆锆石伴生，说明属于主造山阶段（燕山期）花岗岩浆作用的尾声。新生代至今，主要是先成矿体被构造抬升、剥蚀和近地表浅部地下水循环氧化对原生矿体的改造、破坏作用，并形成次生褐铁矿化氧化型矿石。

4.4 成矿构造体系

阳山金矿床形成、产出在盖层基底滑脱形成的盖层逆冲推覆断褶构造变形带中。区域盖层与基底滑脱面出露于南部范家坝—尖山地带。它成为连接基底成矿构造与盖层成矿构造的枢纽。尤其是主成矿阶段，储存在基底粒间，裂隙和主、次要断裂构造内的大量基底变质成矿流体，在与主滑脱构造带沟通并与盖层中的逆冲断褶脆性剪切带贯通时，才会发生大规模水道运移的非限制流体，传输进入浅部，与同生水、变质流体及岩浆热液流体、岩浆热变质流体混合作用，形成混合型成矿流体，并最终在浅部与大气降水作用，导致金溶解度发生剧变，引发大量金的沉淀聚集成矿。

显然，形成与产出于地壳高位脆性剪切构造破碎带中的阳山超大型金矿床，其成矿构造系统的基本格架，是由一系列级次不一的基底构造、盖层/基底滑脱构造带、盖层构造，互相联通、贯通深部基底与浅部盖层，形成导矿与储矿构造的立体式控矿构造格架。这是大规模深部成矿流体涌入浅部，并呈现高强度超大规模聚集成矿的主导构造因素。

就现有的研究程度，控制形成阳山金矿沿安昌河—观音坝逆冲推覆构造带及其不同矿段富集的成矿构造，多属于与逆冲推覆构造有生因联系，级次、规模不一的断褶构造。控制阳山超大型金矿带

黄金地质研究所
信息室 提供

展布的安昌河—观音坝逆冲推覆构造带，可能是该矿区与基底滑脱构造带联通的一条主成矿构造带。该矿带部分矿石样品中出现 Pt，Pd 成分，以及众多斜长花岗斑岩脉、岩脉群的产出，并对应有可能为隐状岩体遥感环形影像等可予佐证。因此初步判断，盖层/基底滑脱构造带（DF_1）是一级成矿构造；安昌河—观音坝逆冲推覆构造带（DF_2）为二级成矿构造；由其派生的断褶变形构造则是三级成矿、控矿构造；其层间脆性剪切破裂带及断展褶皱背斜构造则是控制矿体定位的四级成矿构造。

4.5 多成因类型成矿作用参与成矿

阳山金矿是具有典型中低温热液地质地球化学特征的超大型金矿床。因此，成矿流体的特性及其地质成因，以及在形成矿床中作用的主、次，是判断矿床成因类型的基本依据。

阳山金矿床的流体研究资料表明，富 CO_2 多相和富盐水二相类型包裹体，普遍见于主要矿段及主矿体矿石，并与基底岩系砂质千枚岩中石英脉的流体包裹体类型相一致，都是低盐度（≤10%）H_2O-CO_2 流体。普遍认为，低盐度 H_2O-CO_2 流体是火成岩或沉积岩遭受热扰动（如区域变质）释放出的变质流体。如前述，阳山金矿床广泛参与成矿过程的低盐度 H_2O-CO_2 成矿流体，是该地区中生代活化造山阶段构造-热动力作用形成的变质和非变质含金流体的混合体。其中，既有造山早期构造-热动力作用产生的基底变质成矿流体和盖层变质成矿流体，又有活化造山中期壳源重熔酸性岩浆热作用，以及叠加于基底和盖层中的区域热变质和（或）侵入热变质产生的，区域性或局部性的热变质成矿流体；此外，还有岩浆热液和沉积岩中的同生水、大气降水等非变质成因成矿流体。

依据矿石流体包裹体及其氢氧同位素测试资料，并结合各类流体含金潜力的分析，产生在活化造山作用基底与盖层褶皱变形阶段的区域变质流体应占主导地位，是参与金成矿的主体；其次为花岗岩浆阶段区域性热变质形成的流体和岩浆热液流体。盖层岩系遗存的同生水与大气降水，对于金成矿的贡献可能有限。它们的作用，更多的是引发含金成矿流体在浅部成矿。

5 矿床成因探讨

1）阳山金矿 90% 以上的矿体赋存于泥盆纪粉砂质千枚岩中，王学明等的分析结果也表明，泥盆纪地层中砂质（粉砂质）岩石 Au 含量最高（7.78×10^{-9}），而碳质岩类、泥质岩类、碳酸盐岩含 Au 较低，分别为 4.52×10^{-9}，3.31×10^{-9}，2.61×10^{-9}，Au 含量较高的砂质、粉砂质岩石为金矿的形成提供了有利的物质基础。

2）矿石中黄铁矿有 2 种，即沉积成因和热液成因，前者呈层状或纹层状，随地层褶皱变形，其形态一般为自形细粒或半自形的立方体，常构成草莓状集合体，该类黄铁矿不构成矿体，但 Au 有明显富集（纹层状黄铁矿化千枚岩中 Au 含量为 0.1×10^{-6}～0.3×10^{-6}），在受到后期热液改造后，该类黄铁矿发生不同程度的重结晶，形成增生环带或承袭草莓状黄铁矿形态形成变余细粒黄铁矿；热液成因的黄铁矿常呈脉状、网脉状，与毒砂、自然金等矿物共生，是主要的载金矿物。

3）矿带总体展布受安昌河—观音坝断裂带控制，1∶5 万水系沉积物测量表明，金异常沿断裂带呈串珠状大致等间距分布。另外，矿带内矿脉与断裂走向也较为一致，而矿体则产于断裂带中的次级破碎带或顺层剪切带内。

4）阳山金矿床与侏罗纪早期岩浆活动有着密切的联系，从时间上来看，斜长花岗斑岩脉的 K-Ar 年龄为 171～209 Ma（5 件样品），含 Au 石英脉的 ^{39}Ar-^{40}Ar 坪年龄为（195.40±1.05）Ma，二者形成时间基本吻合，即成岩成矿作用均发生于侏罗纪早期。在空间上，矿体一般产于千枚岩与斜长花岗斑岩脉内外接触带附近。

5）矿床地球化学研究表明，成矿流体为浅成低温热液，以大气降水为主，并有岩浆水参与；S 同位素分析表明，地层 S 与岩浆 S 均参与了成矿作用；C，O 同位素分析结果也表明，成矿作用与沉积岩及岩浆岩均有一定成因联系。

综上所述，阳山金矿是受构造控制、与沉积作用和岩浆活动有成因联系的金矿床，即在泥盆纪本区沉积了一套金含量较高的 C，Si，泥质地层，在沉积成岩及其后的区域浅变质过程中 Au 被初步富集，与燕山早期岩浆活动有关的成矿热液叠加于其上，并使其中 Au 进一步富集从而形成了阳山金矿，它既非单一变质成矿流体成因的矿床，也不是单一非变质成矿流体成因的矿床，而是由多种成矿作用成因类型共同参与形成的多因复成金矿床。

黄金地质研究所
信息室 提供

山东大磨曲家金矿床

大磨曲家矿区位于龙口市黄城区南 16 km 处，行政区划隶属龙口市七甲镇。大地构造位置属于沂沭断裂带东侧，胶北隆起的西北部，“栖霞复背斜”北翼。

1 区域地质特征

区内出露地层以新太古宇胶东群变质岩为主，主要分布于南部大秦家一带；岩性为厚层状、斑点状斜长角闪岩、黑云变粒岩夹黑云斜长片麻岩，呈盖层分布于玲珑片麻状花岗岩之上，二者界线较为模糊，呈渐变过渡。与东部的郭家岭花岗闪长岩呈渐变过渡或断裂接触。白垩系在黄城、龙口一带有出露。新太古代胶东岩群变质岩与金矿关系密切，是金矿主要“矿源层”。

区内断裂按走向分为 NE 及 NNE 向 2 组。NE 向是在中生代近 EW 向挤压应力作用下形成的压扭性断裂，同时依附迁就了早期 EW 向断裂而最终呈弧形展布。其代表性断裂为缓倾斜招平断裂，在平面上呈 S 形展布，是主要控矿赋矿断裂。NNE 向陡倾斜断裂带是燕山晚期压扭性断裂，与 NE 向压扭性断裂属同一区不同期次的产物，从望儿山至滦家河均有分布，最为典型的是灵山、玲珑和滦家河断裂。该组断裂虽然本身赋存矿体较少，但对成矿有重要控制作用（图 1）。按规模和对矿床、矿体的控制作用，可分为Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ级断裂。

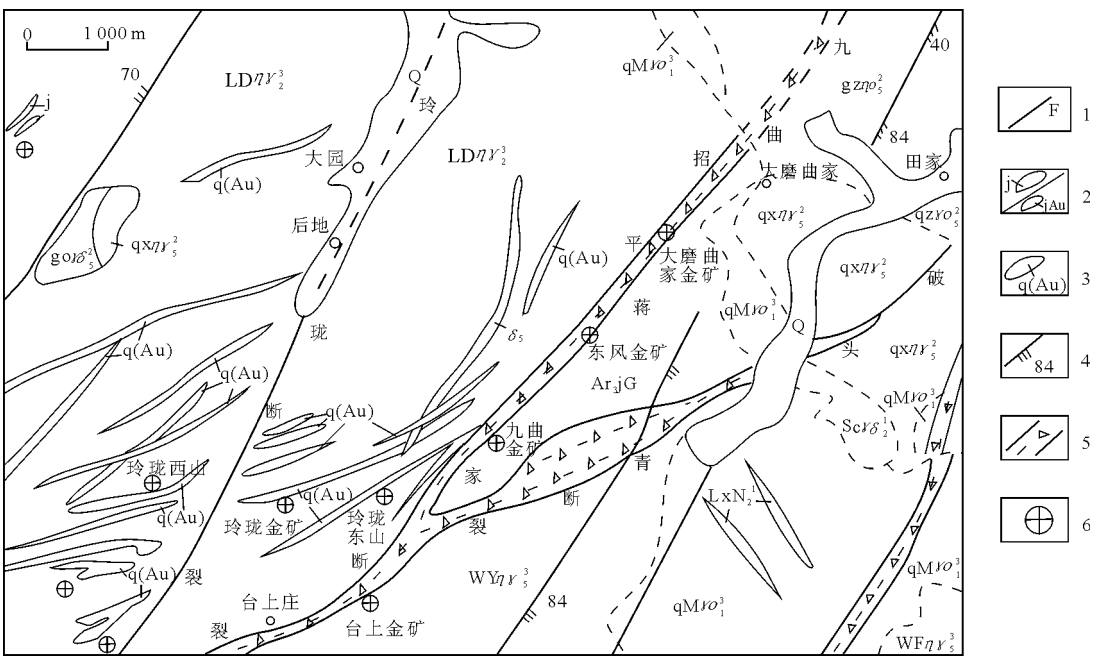

图 1 大磨曲家金矿区区域地质图

Q—第四系；Ar_3jG—郭格庄岩组；$gx\eta\gamma_5^2$—斑状中粒二长花岗岩；$WY\eta\gamma_5^3$—含斑状中粒二长花岗岩；$WF\eta\gamma_5^3$—含斑粒中粒二长花岗岩；$SC\gamma\delta_2^1$—磁山片麻状细粒花岗闪长岩；$qMYo_1^3$—片麻状含黑云二长花岗岩；LXN_2^1—斜长角闪岩；1—断裂；2—蚀变岩/含金蚀变岩；3—含金石英脉；4—韧性剪切糜棱面理；5—破碎带；6—金矿床

Ⅰ级为招平断裂，玲珑断裂，它们控制着矿田内主要矿体的分布。招平断裂在台上、九曲一带与破头青断裂交会，呈 30～40°延伸到东风、大磨曲家，倾向 SE，倾角 35～50°，在东风、大磨曲家一带称为 208，207，302 号脉群，是东风特大型金矿赋存部位；另一段呈 60°方向延伸，称为破头青断裂，倾向 SE，倾角 35～45°，由台上向黑山延伸，在台上一带称为 171 号脉群，是台上特大型金矿床的赋存位置。玲珑断裂位于矿田中部，走向 20～30°，倾向 NW，倾角较陡，是东山矿床与西山矿床的分界线。

Ⅱ级断裂是招平断裂上下盘和玲珑断裂两侧的次级断裂，主要有 10，47，291 号等 20 余条脉体。Ⅱ级断裂控制的矿体多，按一定方向成群斜列产

黄金地质研究所
信息室 提供

出，矿体规模较小，但品位较高。

Ⅲ级断裂多见于Ⅱ级断裂旁一系列支脉，规模小，产状变化大，断裂中有分支，品位高。一般长几十米到几百米，宽几十厘米到几米。矿田内各断裂都具有多期性、继承性活动特点，使不同阶段矿化叠加富集。

区内岩浆岩发育。主要为新元古代玲珑片麻状花岗岩、燕山晚期郭家岭似斑状花岗闪长岩。玲珑片麻状黑云母花岗岩分布于招平断裂带下盘，是成矿母岩，与金矿关系密切，众多金矿床分布于岩体边部，与变质岩呈渐变过渡接触。该类型花岗岩是胶东群变质岩，经重熔交代作用形成的。郭家岭花岗闪长岩呈岩株状产出，主要分布招平断裂带上盘，与金矿有密切的成因关系，该期岩浆的期后热液即为胶东金矿的主成矿期。脉岩分布广泛，类型较多，以中基性为主。

2 矿床特征

2.1 矿脉分布规律

矿区构造蚀变带密集，已发现大小矿脉 30 余条，按产出特征和构造的控制作用可以大体划分出 301－10 号脉带，208－302 号脉带，291 号脉带。

301－10 号脉带位于矿区西北部，主要由 301，305，303，307，309，10 号脉组成，长数百至上千米，走向 30～45°，倾向 SE 或 NW，倾角 60～85°。矿脉由绢英岩化花岗岩、绢英岩化碎裂岩和黄铁矿化石英脉组成。目前已知含矿的为 301，305 号脉和脉落夼 1，3 号脉。

208－302 号脉带位于矿区中北部，主要有 208，302，304，308，298，299，296 号脉，长 2 600 m，宽 20～138 m，总体走向 30～40°，倾向 SE，倾角 35～45°，矿脉膨缩明显。以 302 号脉为主，其余矿脉均为其上盘支脉。矿脉由绢英岩、绢英岩化花岗质碎裂岩和绢英岩化花岗岩组成。目前已知含矿的为 208，302 号脉。

291 号脉带位于矿区东南部，以 291 号脉为中心，以北有 292，294，294 支号脉，以南有 290，289，289 支，287，286 等矿脉，长 1 600 m，宽 1～4 m，总体走向 34～40°，倾向 SE 或 NW，倾角 56～80°。矿脉由绢英岩、绢英岩化碎裂岩组成。目前已知为 293，294 号脉含矿。

2.2 金矿（化）体特征

根据矿化体多元素组合分析结果，以衬值大于 1 确定该矿化体为 Au-Ag-As-Bi-Hg-Cu-Pb-Zn 元素组合（表 1）。

表 1 大磨曲家矿体元素含量、衬度值、浓集克拉克值 w（B）/10^{-6}

特　征	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo
矿体元素含量	1.45	0.2	18	0.33	0.25	0.011	21	50	40	0.8
异常下限	0.02	0.08	6.37	0.4	0.126	0.008	19	44	32	0.5
衬度值	72.5	2.5	2.8	0.825	2	1.375	1.1	1.25	1.25	1.6
浓集克拉克值	363	2.5	8.2	0.55	58	0.12	0.33	4.17	0.43	—
克拉克值(黎彤,1976)	0.004	0.08	2.2	0.6	0.004 3	0.089	63	12	94	—

矿床地球化学组合特征与东风矿床 Au-Ag-Cu-Pb-Zn-As-Sb-Bi 元素组合相类似，所以矿床原生晕组合模型可以借鉴东风矿床的地球化学晕组合模型。

2.3 矿石特征

矿石由含金黄铁绢英岩、含金黄铁绢英岩化碎裂岩、含金黄铁绢英岩化花岗岩、含金石英脉及针铁矿化绢英岩组成。矿石结构主要有自形、半自形、半自形—他形、他形粒状，交代残余，骸晶，蚕蚀，乳滴状，包含，压碎，碎裂，碎粉等。矿石构造主要为脉状、网脉状、浸染状、蜂窝状构造，其中网脉状矿石含金较好。

金属矿物以黄铁矿为主，含少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、针铁矿；非金属矿物主要有石英、斜长石、绢云母、钾长石，次为方解石、绿泥石、绿帘石等。

2.4 蚀变分带及成矿阶段

主矿脉 302 号脉的蚀变分带比较明显，从上盘到下盘依次为玲珑超单元片麻状花岗岩、碎裂状花岗岩、硅化碎裂状花岗岩、（弱钾化）硅化花岗质碎裂岩、绢英岩化碎裂岩、黄铁绢英岩、糜棱岩、硅化（弱钾化）花岗质碎裂岩、碎裂状花岗岩、片麻状花岗岩。

据 301，302，305，294，289 支号脉矿体的矿物组合和结构、构造特征，该区经历了黄铁矿-石英（Ⅰ）、含金石英-黄铁矿（Ⅱ）、金-银-多金属硫化物（Ⅲ）、碳酸盐（Ⅳ）4 个成矿阶段。其中Ⅱ，Ⅲ为主要成矿阶段。

黄金地质研究所
信息室 提供

3 金矿物特征

3.1 粒度及形态特征

张志臣等（2006）对大磨曲家金矿区的 301，302，305，307，294 号等矿脉的金矿石进行了系统取样，共磨制了光片 52 件，薄片 30 件，通过观察查得 15 个光片中有金矿物，共见有 262 粒，金矿物为自然金及银金矿，分布不均匀。自然金呈金黄色反射色，高反射率，均质性，低硬度，表面具擦痕。银金矿反射色较自然金稍白，反射率稍高。微粒金占总数的 29.1%，细粒金占总数的 47%，中粒占 22%，粗粒占 1.9%。中细粒金占 69%，为主要粒级。

按金在载体矿物中的百分比与载体矿物本身在矿石中的百分比相比较，可以得出金在不同矿物中的相对浓集系数（表 2）。金在多金属硫化物中的浓集系数高出黄铁矿 5.6 倍，说明随着成矿阶段的演化溶液中的金浓度不断增大，金在溶液中活动具有长期性、阶段性和数量上的稳定性等特点。

表 2 金在不同矿物中的相对浓集系数

矿 物	矿石中矿物含量百分比/%	金在各种矿物中的分配比/%	金的相对浓集系数
黄铁矿	25	49.6	1.98
黄铜矿	3	11.8	3.91
方铅矿	2	6.9	3.45
方铅矿	1	3.8	3.80
石 英	52	28.2	0.54

大磨曲家金矿床中金矿物形态复杂多样，其中角粒状及不规则粒状金占 55.8%，说明金矿物形成经历了较复杂的过程，载金矿物的类型对金矿物的赋存与形态也有一定的影响。分布于黄铁矿中的金多为角粒状及一些不规则形态，主要分布于黄铁矿裂隙及晶隙中，其中浑圆粒状占 11.8%，角粒状占 26.7%，麦粒状占 8.4%，板片状占 1.9%，叶片状占 3.4%，枝杈状占 7.3%，尖角粒状占 9.5%，不规则状占 29.1%，针状占 1.1%。

3.2 金矿物赋存状态

区内金矿物的赋存状态主要有包裹体金、晶隙金、裂隙金，在个矿物中的百分比见表 3。

表 3 金矿物赋存状态统计表

载金矿物	裂隙金	晶隙金	包裹体金
黄铁矿	67	37	26
黄铜矿		24	7
方铅矿	7	3	
闪锌矿		17	1
石 英	16	37	20
合计/%	32	47	21

4 地质构造模型

通过对该区的钻探资料及部分坑探资料研究表明，区域性变质使胶东群地层经交代作用、混合岩化作用形成玲珑花岗岩岩体，期后伴随郭家岭花岗闪长岩岩体侵入。同时主断裂 F_{302} 逆推在上下盘形成了部分牵引构造，这部分构造虽然延伸不深，规模不大，但易形成圈闭，形成矿体品位较高。在主断裂 F_{302} 及其上下盘的次级断裂中形成了一套动力变质岩，主要为花岗质碎裂岩、碎裂岩和糜棱岩，同时形成大量含金流体，流体在通过断裂部位时与围岩发生交代作用，使 Au 沉淀、富集。由于 F_{302} 断层和上下盘的构造位置不同及矿液运移方式的差异，故在上下盘及 302 号脉中形成了不同的矿石结构、构造特征及不同类型的矿脉特点。上盘矿脉在垂向上呈“八”字形，即上窄下宽，延深较深，可以延伸到与 302 号脉相交，但没有穿越 302 号脉，与 302 号脉构成“Y”字形构造系统；同时由于矿液的运移以浸入式为主，矿液不如下盘的灌入式充分，但圈闭较好，故形成的矿石金品位相对较高。下盘矿脉在垂向上呈“V”字形，即上宽下窄，延深较浅，与 302 号脉构成“入”字形构造系统；同时由于矿液的运移以灌入式为主，矿液充分，圈闭较好，故形成的矿石金品位相对高，有时见明金。302 号脉本身为导矿构造系统，圈闭较差，故形成的矿石金品位相对低，但延伸深，规模大（图 2）。

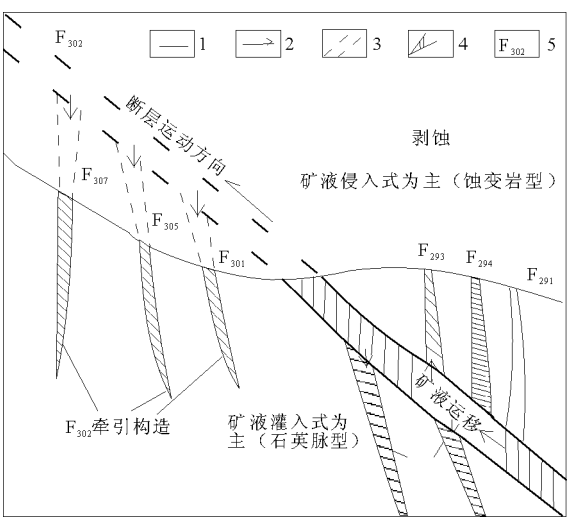

图 2 大磨曲家地质构造模型

1—断层运移方向；2—矿液运移方向；3—剥蚀；4—含金矿脉；5—断层及编号

黄金地质研究所
信息室 提供

5 深部盲矿定位预测的构造叠加晕模型

大磨曲家金矿床的形成具有脉动多期多阶段叠加成矿成晕特点，在4个成矿阶段中，Ⅰ，Ⅳ阶段热液带来的Au及伴生元素含量都很低，实际上矿床是Ⅱ，Ⅲ阶段脉动叠加成矿成晕的结果。研究单阶段形成的矿体及其原生晕的轴（垂）向分带及不同阶段形成的矿体（晕）在空间上的叠加特点，是建立金矿床构造叠加晕模式和确定盲矿预测标志的关键。

5.1 构造叠加晕总体特征

1）在矿体及其周围能形成异常的元素有Au，Ag，As，Sb，Hg，Cu，Pb，Zn，Bi，Mo。

2）Au原生晕是以矿体为中心，随远离矿体而逐渐降低，Ag的原生晕与Au呈正相关。

3）As，Sb，Hg等元素的强异常有分布于矿体的前缘和头部的趋势；Bi，Mo强异常有分布于矿体尾剖及矿体下部的趋势。

4）若有Cu，Pb，Zn异常的出现，反映了有多金属硫化物阶段的叠加，此时矿体较富。

5）矿体原生晕轴（垂）向分带序列从上到下：Hg，As，Sb→Au，Ag，Pb，Zn→Bi，Mo。

6）矿床（体）及其原生晕是Ⅱ，Ⅲ两个主成矿阶段形成矿体（晕）在空间上叠加的结果。

5.2 盲矿定位预测的构造叠加晕理想模型

在对矿区成矿地质地球化学特征进行系统研究的基础上，建立了大磨曲家矿区盲矿预测的构造叠加晕理想模型。

1）主构造中主矿体在轴向上有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕。即挥发性、活泼性强的Hg，As，Sb等元素强异常分布于矿体前缘，Bi，Mo的强异常分布于矿体尾部。前缘晕特征指示元素为As，Sb（Hg），尾晕指示元素为Bi，Mo，近矿指示元素为Au，Ag，Cu，Pb，Zn，其中Cu，Pb，Zn是多金属硫化物阶段成矿的特征指示元素。

2）主构造上盘次级牵引构造与深部主构造连通，由于其产状比主构造陡，又处于上盘，因此，其在成矿过程中是挥发性及活泼性元素Hg，As，Sb的有利通道。在这些次级构造中，前缘晕指示元素会形成较强异常，但是如果次级构造深部与主构造连通时所处矿体部位（前缘、矿中部、尾部）不同，As，Sb，Hg异常强度会有一定差异，其中，与深部矿体前缘或头部连通的次级构造裂隙比与矿体尾部连通的次级构造裂隙中形成的As，Sb，Hg异常强度大，且向上延伸距离大。据此可以得出次级构造中的叠加晕可直接指示深部主构造中矿体部位。

5.3 盲矿定位预测的构造叠加晕标志

5.3.1 *主构造叠加晕标志* 1）在有Au外带异常的条件下，如果前缘晕特征指示元素As，Sb，Hg出现强异常，而尾晕指示元素Bi，Mo异常弱，则指示深部有盲矿存在；若再有Cu，Pb，Zn异常出现，则指示有多金属硫化物叠加，矿体可能较富。

2）如果在主构造内矿体尾部出现“前、尾晕共存”，即既有尾晕指示元素的强异常，又出现前缘晕指示元素As，Sb，Hg的强异常出现，则指示深部还有盲矿或第二富集带存在；若在已知矿体下部出现前、尾晕共存，则指示矿体向深部延伸还很大。

5.3.2 *次级牵引构造叠加晕标志* 主构造叠加晕指示深部有盲矿，但对盲矿的深度和延伸至今没有研究出有效的定量标志，只能根据控矿构造内矿体和赋存规律定性预测。由于本矿床赋矿主断裂与次级牵引构造相通，若主构造叠加晕指示深部有盲矿，那么，据“Y”字构造控矿体系的次级牵引构造中的叠加晕，可对深部主构造中矿体头、中、尾定位。

1）当近主构造的次级牵引构造中前缘晕指示元素As，Sb，Hg强度高，指示其与主构造会合部位为矿体前缘或头部，根据主构造倾角和次级构造倾角可定出深部会合部位。

2）当次级构造叠加晕中尾晕元素Bi，Mo相对高，而前缘晕元素As，Sb，Hg低，则其深部与主构造会合部为矿体尾部；若前缘晕、尾晕元素异常强度较大，即前、尾晕共存，指示其与主构造会合部位为上部矿体的尾晕，而其深部还有盲矿存在。

黄金地质研究所
信息室 提供

河北东坪金矿床

东坪金矿位于河北省崇礼县城东南 20 km 处，隶属崇礼县马丈子乡管辖。由武警黄金原第八支队于 20 世纪 80 年代发现。

1 地质背景

东坪金矿位于华北地台二级构造单元燕山沉降带与内蒙地轴结合处南侧，北距尚义—崇礼—赤城 EW 向深大断裂约 10 km，断裂以北为内蒙地轴，以南为燕山台褶带。其间还包括小营盘、水晶屯、后沟、中山沟、张全庄、金家庄、韩家沟、响水沟等金矿床以及许多金矿点（图 1）。区内地层在尚义—崇礼—赤城深大断裂之南为太古宇桑干群，是一套遭受强烈混合岩化的角闪岩相→麻粒岩相变质岩。南缘分布有中元古界长城系。桑干群划分成 5 组，依次为西葛峪组（一套暗色麻粒岩，斜长片麻岩及混合岩）；水地庄组（片麻岩）；花家营组（浅色麻粒岩）；涧沟河组和艾家沟组。原岩恢复表明这是一套由中基性火山岩、基性侵入岩、次火山岩、中酸性火山岩、火山碎屑岩，陆源碎屑岩和化学沉积岩。花家营组中的基性麻粒岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为（2 790±155）Ma。桑干群的 4 个岩性组中，下 2 个组含 Au 平均值为 1×10^{-9} 左右，低于地壳平均 Au 含量，而上 2 个组 Au 的含量平均也只有 7×10^{-9}，略高于 Au 的地壳丰度。桑干群不仅经过高度的变质作用，而且遭受了强烈的混合岩化。许多混合岩中 Au 的含量高于其地壳平均值数倍。在这个地区有数百条含 Au 的和不含 Au 的石英脉，约有 95% 分布在桑干群中，尤其是在花家营和涧沟河组交界部位的上下层位中。

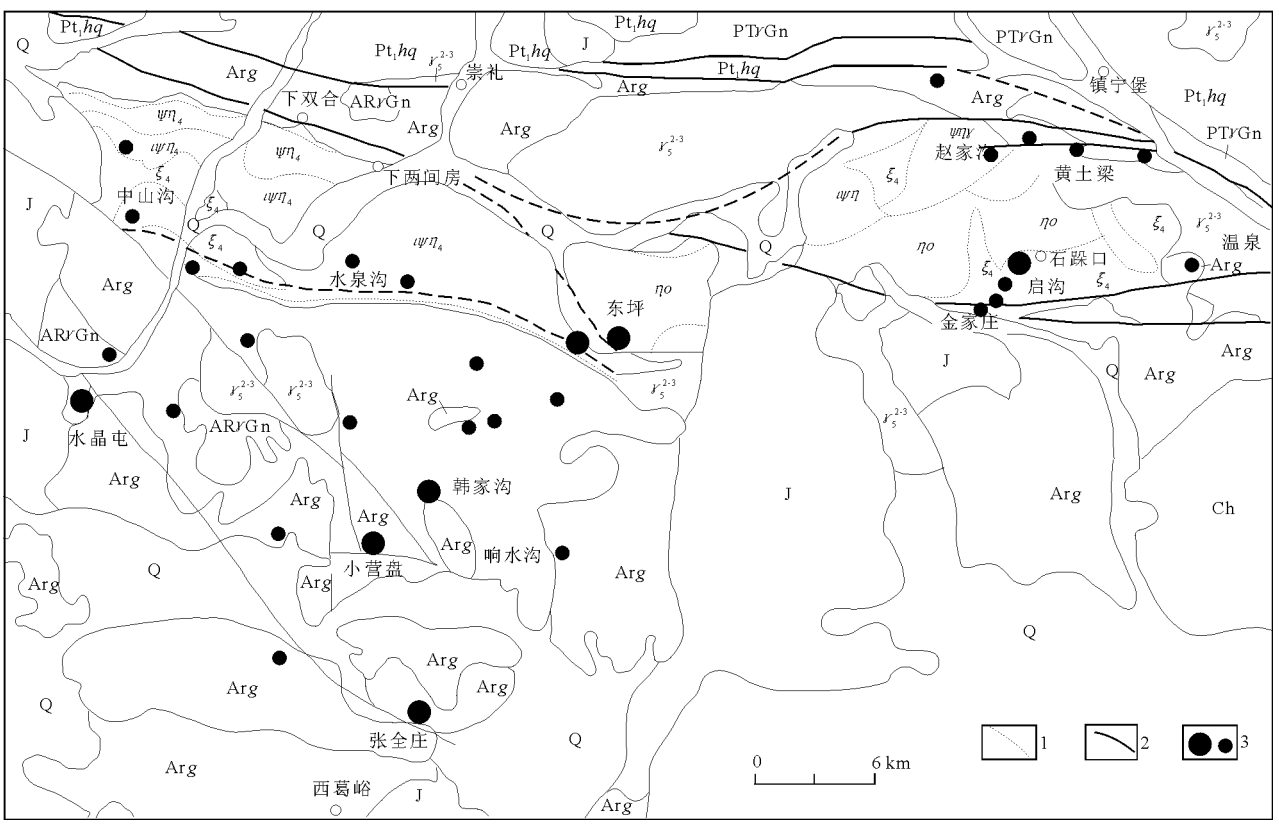

图 1 东坪地区金矿地质略图（据河北地质三队修改）

Q—第四系；J—侏罗系；Ch—长城系；Pt₁*hq*—古元古界红旗营子群；Arg—太古宇桑干群；γ_5^{2-3}—燕山期花岗岩；$\varphi\eta_5$，$\psi\eta_5$，ηo_5，$\varphi\eta\gamma_4$，ξ_4—华力西期角闪二长岩，辉石角闪二长岩，石英二长岩，角闪二长花岗岩，正长岩；PT$\varphi\varepsilon$，PTγGn—元古宙辉石岩，花岗片麻岩；ARγGn—太古宙花岗片麻岩；1—二长岩体边缘混合岩化带；2—剪切带；3—金矿床（点）

该区的 EW 向断裂带以尚义—崇礼—赤城深大断裂带为代表，长 200 km，宽 1～5 km。由密集排列的剪切带、破碎带和糜棱岩带所组成。断裂面大致呈 N 倾，两侧分布有一系列时代不同大小

黄金地质研究所
信息室 提供

不一的基性、超基性岩体。地球物理重力场推算该断裂已深切在莫霍面之下，自太古宙以来长期频繁活动，构成了一个大规模的韧性并叠加有脆性变形的剪切带。在其两侧派生出不同期次、不同变形特点的剪切带构造体系。它们控制了大规模多期次的岩浆活动、混合岩化及金的成矿作用。东坪地区的金矿床基本上都沿着这条深大断裂的次一级剪切带，尤其是南侧派生的剪切带分布。

该区与金矿有关的次级较大规模剪切带主要有2组：近EW和NW向剪切带，这些剪切带有一个共同的特点就是产状很陡，表现出逆向剪切的某些特点。近EW或NEE向的剪切带主要有二堡子—赵家沟，三间房—枯杨树—沃麻坑，金家庄—后沟和水泉沟—东坪剪切带，它们控制了东坪、后沟、金家庄、赵家沟、黄土梁、中山沟等金矿床的分布。NW向剪切带有2条，位于北边的韩家沟—小营盘—谷咀子剪切带，南部的是张全庄—常峪口—水晶屯剪切带。他们控制了小营盘、韩家沟、张家庄等金矿床。上述剪切带长10～50 km不等，均分布在离尚义—赤城—平泉—北票深大断裂南部约40 km的范围内（图1）。

区内岩浆活动比较强烈，有元古—太古宙、华力西和燕山期3个时代的侵入体，这些侵入体受到上述剪切带和断裂控制，主要岩体分布于尚义—崇礼—赤城深大断裂的南侧。在这3个时代的侵入岩中，最重要的是水泉沟—大南山碱性杂岩体，东坪、后沟、中山沟等金矿均产于其中。水泉沟—大南山二长岩碱性杂岩体EW向延长约55 km，SN宽5～8 km，面积280 km^2，该岩体赋存于桑干群涧沟河组的透辉石角闪斜长变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩、二辉麻粒岩和混合岩中，岩体与围岩一般无截然界线，常呈过渡接触。该岩体由角闪二长岩、辉石角闪二长岩、石英二长岩、正长岩、角闪二长花岗岩、辉石闪长岩和霓辉正长岩所组成。北京大学用K-Ar法同位素年龄测定岩体的时代为266 Ma，认为是华力西期的产物。但有人认为是由桑干群经混合岩化而形成。

本区金矿主要产在水泉沟杂岩体和桑干群花家营和涧河沟组中，均受区域性的剪切带和由它派生的次一级剪切和断裂所控制。包括由脆-韧性剪切带控制的，呈雁行状排列的石英脉，由共轭剪切形成的共轭脉，由高角度的逆向剪切派生出来的张裂面。该区已发现大约50处金矿床和金矿化点。

2 矿床地质

2.1 矿体特征

东坪金矿位于水泉沟二长岩体中（图2），受EW向的东坪剪切带及其派生的次一级剪切、断裂构造所控制。这些构造主要有3组：走向NNE，倾向NW，倾角35～55°；走向NW，以及走向NE，倾向NW，倾角40～75°。这些构造中充填了黄铁矿石英脉和蚀变岩型金矿床。

在东坪矿区可以见到典型的脆-韧性剪切带。

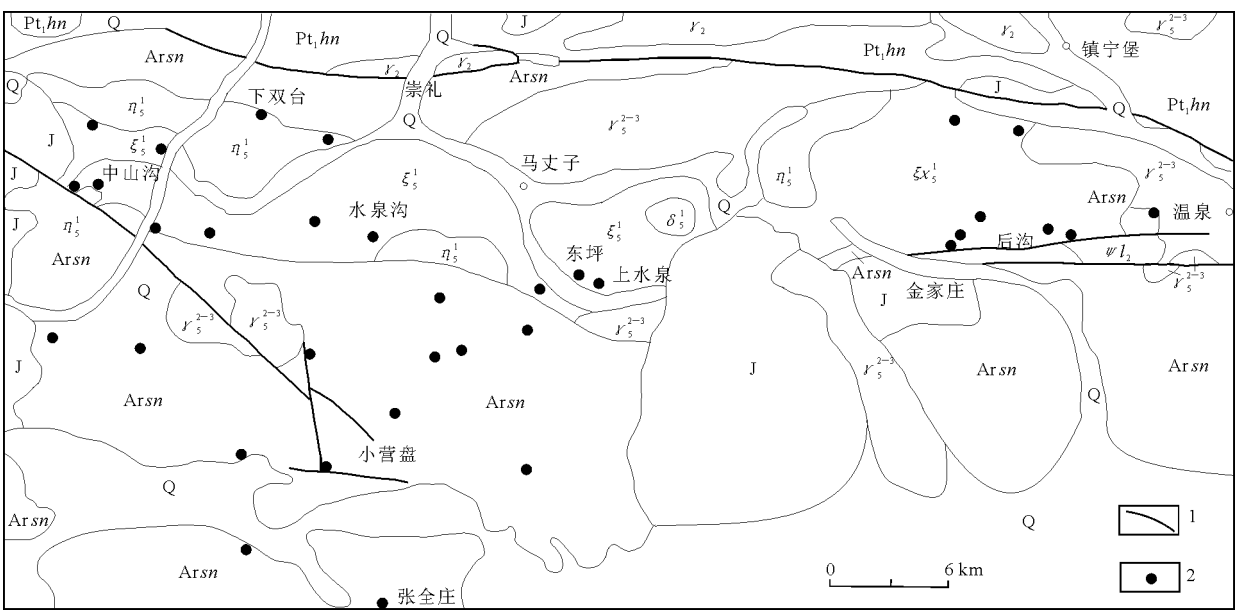

图2 水泉沟杂岩体及其金矿床地质简图

Q—第四系；J—侏罗系；Pt_1hn—古元古界红旗营子群；Arsn—太古宇桑干群；γ_5^{2-3}—燕山期花岗岩；δ_5^1，η_5^1，ξ_5^1，$\xi\chi_5^1$—印支期辉石闪长岩组合，角闪二长岩组合，正长岩组合，碱长正长岩组合；ψl_2，γ_2—元古宙辉石岩，花岗片麻岩；1—断裂带；2—金矿床（点）

黄金地质研究所
信息室 提供

剪切带可以是韧性的，可见糜棱岩，也可以是脆性的，呈透镜状，也可以是脆-韧性的。石英脉可沿剪切带及其次一级的张裂隙充填，或者形成蚀变带型金矿床。在显微镜下，也可以见到黄铁矿石英脉沿剪切裂隙充填的情况。亦即从宏观（几 km 至几十 m）到微观（1 mm）均可见到剪切带控制金矿的形成。

在剪切带的控制下，东坪矿区形成 2 种矿体类型：黄铁矿石英脉型和蚀变岩型，其中 1 和 70 号矿体属于蚀变岩型。2 和 22 号为石英脉型，这种石英脉有时不只是一条大石英脉，而是一群脉，沿走向延伸数百米，厚几十厘米，向下延伸数十米到 200 m 左右。剪切带一般位于石英脉上盘，或者石英脉充填于 2 个剪切带之间的次一级构造中。

2.2 矿物特征

非金属矿物以石英和钾长石为主，其次有钠长石、绢云母、绿帘石、方解石、重晶石和高岭石等。金属矿物含量一般小于 5%，最常见的为黄铁矿，其次为镜铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿；微量的有自然金、黝铜矿、自然碲及碲化物（碲金矿、碲铅矿、碲铋矿）等。自然金颗粒较大，最大达 5 mm，常见明金，成色为 937～990，平均 968（12 粒）。主要载金矿物为石英、黄铁矿、镜铁矿、黄铜矿和碲金矿等。

与其他类型的金矿床相比，本区金矿床的一个普遍特点是金矿物成色较高（表1）。这可能与成矿溶液中 Au/Ag 值较高，且有足够的氯有关。

表 1 金银矿物电子探针分析结果 w（B）/%

样品号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	Te	总 量	Au/Ag	成色	产 地
89－125	自然银	0	98.38	0	0.52	0.19	0	99.09			中山沟
89－138	自然金	89.15	8.78	0.17	0.29	0.07	0.53	98.99	10.15	910	下双台
89－225	自然金	91.29	7.4	0.21	0.04	0.05	0.78	99.77	12.34	925	大青山
89－156		93.51	4.45	0.27	0.39	0.17	0.47	99.26	21.01	954	
89－149		96.16	2.25	0.05	0.14	0.27	0.54	99.41	42.74	977	
89－139	自然金	96.59	0.97	0.11	0.71	0.54	0.37	99.29	99.57	990	东 坪
89－152		94.28	3.02	0.57	0.23	0.60	0.39	99.09	31.22	969	
89－204		92.28	4.81	0.11	0.05	0	0.06	97.31	19.19	950	
89－197	碲金矿	42.51	0.63	0	0.02		55.34	98.50	67.48		
89－289	银金矿	67.32	29.77	0.53	0.71	0.54	0.36	99.23	2.13	693	金家庄
90－66－2	自然金	96.48	1.70	0.35	0.04	0.12	0.44	99.44	56.75	983	后 沟
90－66－1		95.74	1.9	0.27	0.50	0.32	0.44	99.17	50.07	981	

金矿物常见形态有不规则粒状、叶片状、棱角状、麦粒状、树枝状、水滴状、细脉状、蠕虫状等。金矿物的赋存状态有 3 种：裂隙金、晶隙金和包裹体金。

据 K-Ar 同位素测试年龄为 216.50～173.91 Ma，说明该岩体为印支—燕山期。

2.3 围岩蚀变

2.3.1 蚀变类型 围岩蚀变主要为钾长石化和硅化，此外，还有钠长石化、绢云母化、伟晶岩化、碳酸盐化、绿帘石化等。其中，强烈的钾长石化是主要特征，钾长石化可分为 3 期。第 1 期为面型蚀变，形成的钾长石颗粒粗大，蚀变波及整个矿区。第 2 和第 3 期钾长石化均呈线性蚀变，第 2 期呈砖红色致密状分布于乳白色石英脉外侧，第 3 期呈肉红色中细粒，主要分布在灰—灰白色石英脉发育处，尤其是石英脉呈网脉状、复脉状地段。后 2 期的钾长石化蚀变岩往往构成金矿石。而第 1 期面型钾长石化与其后的钠长石化（交代早期的钾长石）、伟晶岩化可能与岩浆期后的自交代作用有关。

黄铁矿化亦是本区重要的蚀变类型之一，主要呈浸染状或不规则条带状分布于石英脉中，也呈细脉浸染状分布于钾长石化蚀变岩中。黄铁矿含量较高（可达 2 750.2×10^{-6}），与金矿化关系密切。黄铁矿既产于脉中又分布于围岩之中，表明了黄铁矿化与金的沉淀具有密切的时间关系。

钠化往往与钾长石化伴随发生，其强度和规模远不及钾长石化。钠长石呈细粒集合体产出或交代其他长石呈净边分布，钠化在近矿脉处最强，远离矿脉则变弱。

根据蚀变岩组构的研究确定蚀变矿物的顺序：绢云母→正长石→微斜长石（Ⅰ）→钠长石→微斜长石（Ⅱ）→硫化物→石英→方解石。

2.3.2 空间分布特征 蚀变岩受构造控制明显，蚀变带往往平行脉体或裂隙分布，但裂隙构造交会处蚀变带为不规则状。

不同期次石英脉穿插现象明显，反映了热液活动的多阶段性。不同期次热液活动产生了大致相同

黄金地质研究所
信息室 提供

的蚀变产物，说明成矿热液活动的相对稳定性。蚀变规律研究表明，由矿脉向外 SiO_2 依次降低，而烧失量（Los）增大，SiO_2/Los 值由矿脉向外依次为 1 698→259→97→84；Na/Al 值依次为 0.65→0.61→0.57→0.45；K/Al 值为 0→0.69→0.65→1.06→0.74；S/Fe 值为 0.31→0.28→0.078→0.04；CO_2/（MgO+CaO+FeO）在矿脉处为 0，远离矿体的蚀变岩中较高。蚀变参数的变化规律反映了在矿脉处（石英硫化物脉）硫化和钠化最强，在外蚀变晕中主要分布有碳酸盐化，而在矿体的外围近矿脉处钾化较强。

蚀变岩石的微量元素特征表现为矿脉处 Au，Ag，Sb，Tl，As，Cr，Co，Ni，Pb 较高，远离矿脉则 Zn，V，Sc 较高，Au/As 值由矿脉向外依次降低。

区内元素的相关分析表明，Au 的富集与 S/Fe，Na/Al，SiO_2/Los 和 Cu，Pb，As，Sb，Co，Te 呈正相关，与 K/Al 值呈负相关。Au 与 S/Fe 值和 Na/Al 值的相关系数为 0.591 8 和 0.791 6，与 K/Al 值的相关系数为 −0.919 7。蚀变参数与金矿化的密切相关和空间分布特征表明钾化可作为本区的找矿标志。可应用 K/Al 值的最高点与 Na/Al 值的最低点的对应关系圈定矿体。

2.3.3 *蚀变作用地球化学* 一般认为 Ti，Zr，Al，Nb，Y 在蚀变过程中是惰性的，蚀变过程中质量的变化与原岩中某惰性组分的浓度成正比（Maclean，1987）。据此计算出蚀变过程中组分的变化，由表 2 看出，在硫化物石英脉中，K，Na 为带出元素，Fe，Ca，Mg，Si 为带入元素；在近矿蚀变岩中，Si，Mg，Na 为带入元素，K，Fe，Ca 为带出元素；在远矿蚀变岩中，Ca，Mg，K 为带入元素；Si，Na 具有局部带出的特点而 Fe 为带出元素。

表 2 东坪金矿区蚀变过程中组分的净得失 w(B)/%

成 分	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O	K_2O	Na_2O	FeO
石英脉	27.28	12.9	16.5	9.61	−4.86	−2.0	7.01
近矿蚀变围岩	15.48 3.27	−7.5 −0.13	0.17 0.42	−0.83 −1.14	−0.89 0	0.56 1.2	−0.15 −0.7
远矿蚀变围岩	−1.67 0.73	0.24 0.99	0.83 0.092	−1.85 −0.53	0.74 0.64	1.72 −0.78	−0.96 −0.11

蚀变过程中 Ca 的丢失是由于富钙的斜长石被交代的结果，而 Mg 和 Ca 的局部带入是绢云母化和碳酸盐化的结果。蚀变过程中铁在硅化带中的丢失和在硫化物脉以及细脉中的净获得，反映了铁的惰性，是局部再分配的结果。黄铁矿与含铁硅酸盐交生或交代铁的氧化物，说明了热液中的硫与围岩反应产生了蚀变岩中的黄铁矿。这种原生含铁矿物的硫化作用，是中温热液金矿床的特征。SiO_2 在蚀变带中净获得可能是硅化细脉存在的原因，而在蚀变中净丢失是钠化过程中去硅的结果。Bohlke（1989）指出，火成岩中石英在与矿化有关的钠化期间从花岗质围岩中被淋滤。

伴随常量元素的变化，微量元素也发生了不同程度的变化。与未蚀变的原岩相比，蚀变岩石的 Sr，Ba 较低而 Pb，Cu，Au，Ag 较高，近矿蚀变岩的 Te，Ag，Cr，Co 较高而远矿蚀变岩则 Zn，Rb，Sr 较高。

2.3.4 *蚀变温度* 热力学资料表明，即使在较高的 a_{Na^+}/a_{K^+} 值下，微斜长石也较钠长石更有利于在低温条件下形成，但随着温度增高和 a_{Na^+}/a_{K^+} 值增高，钠长石则更趋向于稳定（Senderow，1973）。本区蚀变矿物主要为微斜长石，而非奥长石，说明了蚀变温度低于 400 ℃。在大于 400 ℃时，斑铜矿的钾质蚀变以奥长石为主（Rose，1970），低于 400 ℃时则微斜长石和钠长石是稳定的（Senderow，1973）。

钾化蚀变带中测温结果为 320～360 ℃，与蚀变组合的温度标志一致。成矿与围岩蚀变关系密切，早期富 K^+，Na^+，Si，CO_2 和 S 的成矿流体交代同熔成因的角闪二长岩［w（Au）=12.4×10^{-9}］，使其中的 Au 活化而溶合进入溶液，同时形成早期的面型钾交代作用，使角闪二长岩体具有不同程度的钾长石化，形成了斑杂状的角闪正长石，石英二长岩和正长岩［w（Au）=5.4×10^{-9}］。Au 在溶液中主要以 M［$AuCl_2$］$^-$ 和 Au［HS］$_2^-$ 形式存在迁移，K^+，Na^+ 等作为补偿离子存在于溶液之中。当含有 K^+，Na^+，Si，CO_2，S，Cl 和 Au 的成矿流体进入裂隙扩容带时，使成矿系统从封闭、半封闭状态变成开放和半开放状态。由于压力的突然降低，CO_2，H_2S 等挥发分的逸出，致使溶液中 Au［HS］$_2^-$ 溶解度降低；或使流体的 f_{O_2}，pH 增大，从而导致 Au［HS］$_2^-$ 和 $AuCl_2^-$ 的溶解度迅速降低。另一方面，H_2S 的分馏使方解石的饱和线向更高的 pH 和 f_{O_2} 的方向迁移，因此形成含 Au 石英脉。与此同时成矿流体交代围岩，形成钾长石英脉和钾化蚀变岩。

根据切割交生关系及镜下观察，热液活动可以划分为 5 个阶段。Ⅰ 乳白色石英-钾长石-黄铁矿阶段，石英以乳白色、粗粒、油脂光泽为特征，与其

黄金地质研究所
信息室 提供

共生的黄铁矿呈粗粒，立方体晶形。该阶段金矿化较弱，均一温度为270～340 ℃。Ⅱ 镜铁矿-自然金-石英阶段，为金的主要成矿阶段，自然金分布于镜铁矿和石英的裂隙中，镜铁矿集合体呈束状或放射状。Ⅲ 多金属硫化物-自然金-石英阶段，为金矿化的最主要成矿阶段，石英呈灰白色、中细粒、半透明。黄铁矿呈细脉状、团块状。碲化物亦在此阶段产出，但较硫化物略晚，均一温度为240～285 ℃。Ⅳ 灰色玉髓状石英-黄铁矿阶段，石英以灰色、黄灰色致密玉髓状为特征，结晶极差，常分布在成矿期石英脉的两侧，宽度一般为5～20 cm，中间往往有黄色条带，在矿体尖灭处及70号脉较为发育，此阶段金矿化较弱，均一温度为185～210 ℃。Ⅴ 碳酸盐-重晶石阶段，以碳酸盐-重晶石脉的形式沿裂隙贯入，切穿所有早期形成的石英脉。碳酸盐矿物主要有方解石和白云石等，重晶石充填在方解石及白云石的裂隙中，此阶段没有矿化，均一温度为150～185 ℃。

3 矿田构造

区内太古宇地层总体走向近EW，按地层的新老层序和分布关系，确定一级EW向背斜和向斜的位置，东坪金矿位于中部EW向向斜的南缘。

本区发生过3次大的构造运动，各期的构造方向、构造样式不同，现按先后序次叙述如下。

3.1 EW向构造

在SN挤压应力下岩层发生变形，产生宽缓的褶皱。这期变形在矿区外围保存较好，在矿区内部多被后期构造改造肢解，局部可见残留的中小型宽缓褶皱。与这期变形相伴出现有早期岩石的钾化和绿帘石化，钾化分布规律不明晰。

3.2 NNW向构造

以褶皱和劈理化带的形式出现，褶皱呈紧密挤压状，轴面走向NNW，轴面劈理发育。在应力作用下，岩石中的组分分异，沿劈理形成石英分异条带岩，简称复脉，即区内NNW向劈理密集带。由于同期褶皱在空间的重复再现，因而受褶皱轴部控制的劈理化带在空间也产生等距再现的分布。

3.3 平缓构造

它是在向上的地壳抬升力与向下的岩石重力作用下形成的，主要以尖棱、紧密挤压褶皱和剪切带的形式叠加在先期构造之上。褶皱轴面走向近EW，倾角10～30°。当尖棱褶皱叠加在先期劈理化复脉带上时，尖棱褶皱群沿走向和倾向构成膝折带的样式。膝折带的走向NE，倾向NWW。

与尖棱褶皱或膝折带相伴的有NE向剪切带，在剪切应力集中的部位产生含Au剪切石英脉。剪切带早期为韧性，后期转化成脆性断裂。由于脆性断裂的叠加，使韧性剪切脉被掩盖，因而显示出脆性断裂控矿的假象。

该剪切脉带是由尖棱褶皱和剪切脉体联合构成的剪切构造群体，一般长者可达千余米，宽数十米，延深约数百米。当早期NNW向劈理化带被NE向剪切改造，这两者联合势必加大了脉（矿）带的宽度，有利于金的进一步富集。

由于硅质的迁移能力大于钾质，因而在应力作用下硅质迁移到褶皱转折端处，聚集成马鞍状或尖棱状石英脉体。钾质则聚集在转折端处石英脉体的内侧，形成钾化蚀变岩带，一些相对惰性的钠质等硅酸盐组分则保留在褶皱体内部。在褶皱翼部由于剪切作用，出现剪切分异的石英单脉。石英单脉两侧岩石剪切构造形迹很清楚，并出现含Au钾化蚀变岩带。

剪切带内岩石具动力变质岩的特有结构，表现为1）矿物发生粒内滑动，引起塑性变形，如波状消光、变形纹、变形带、亚颗粒构造等。2）产生塑性变晶结构，如矿物压扁、拉长。3）应力应变导致矿物碎裂至糜棱岩化，同时出现有动态重结晶。这在石英单脉和钾化蚀变岩中普遍存在。

3.4 脆性构造

区内脆性断裂和裂隙比较发育，在基底褶皱的不同部位产生的断裂性质和形式不同。在背斜轴部出现交叉共轭断层；在褶皱翼部多出现雁列式裂隙。这些裂隙的存在，为后期热液活动提供了空间。如早期韧性石英脉内常见有后期叠加的梳状石英脉和石英晶洞，就是剪切带内裂隙系统中的热液充填产物。

4 地球化学

4.1 稀土元素

未蚀变的二长岩的稀土元素配分模式具有中等的负倾斜，Eu负异常不明显。与其相比，早期钾化的样品具有较小Eu负异常，轻稀土含量增大，重稀土降低，轻重稀土比值2.7～9.0，近矿脉处的钠化、钾化较强的样品，Eu负异常十分明显，轻、重稀土含量都降低，但轻、重稀土比值略有上升。在空间上由矿脉向外ΣREE增高，轻稀土含量增高，重稀土含量下降，Eu负异常变小，而

黄金地质研究所
信息室 提供

Ce，Tb，Tm 异常增大。蚀变样品中较低的 Eu 负异常，可能与原岩中的斜长石被微斜长石和钠长石等矿物交代有关。而脉体和强蚀变的样品中低 Eu 含量和稀土总量也与成矿流体本身低的稀土含量和强烈亏 Eu 有关。早期钾化蚀变样品中轻稀土含量的增高和重稀土含量的降低，是由于二长岩中的高中稀土和重稀土的锆石、榍石、磁铁矿、黑云母等副矿物经蚀变后消失，并代之出现了富轻稀土的帘石的结果。流体包裹体研究表明，成矿流体具有较高的 CO_2 含量，它们可作为重稀土的迁移媒介。

4.2 氢、氧同位素特征

该区含 Au 石英脉的氧同位素 $\delta^{18}O$ 为 11.88‰～16.88‰，据包裹体测温资料和贝克尔经验公式计算的与脉石英平衡的矿化流体的 δD 为 6.18‰～10.26‰。与矿区不同岩体的氧同位素对比表明，脉石英的氧同位素更高，说明了成矿流体的氧没有被赋矿围岩所缓冲。

含矿石英脉包裹体水的 δD 为 －86.3‰～－79.8‰，极差 6.5‰，这种较小的变化区间说明了成矿流体具有较一致的来源。将其投在 $\delta^{18}O$-δD 图上均落入岩浆水的范围，说明流体的岩浆成因。

蚀变钾长石包体水的 δD 为 －102.5‰～－125.1‰，与第三纪的大气水一致，反映成矿过程中远离矿体有天水的混和。

4.3 流体包裹体特征

4.3.1 *一般特征* 东坪金矿的流体包裹体比较发育，在室温下划分出下面几种类型：气体包裹体，液体包裹体和含液相 CO_2 的三相包裹体。矿区内常见沸腾包裹体群。

包裹体的形态为椭圆形，负晶形和不规则形。包裹体以 5～10 μm 为主，个别 15～30 μm；流体包裹体的充填度为 0.85～0.90，常呈不规则形分布或成群分布。

4.3.2 *成分特征* 石英包裹体的成分测定表明，气相成分以 H_2O 和 CO_2 高为特征，含有一定量的 CH_4 和 H_2。其中 H_2O 的摩尔数为 12.67～37.3，CO_2 为 1.27～4.68，H_2O/CO_2 为 20.26～66.59；CH_4 的摩尔数为 0.032～0.053；在液相成分中，阳离子主要为 K^+ 和 Na^+，K^+ 为 0.09～0.66 摩尔，Na^+ 为 0.16～1.726 摩尔，分别占阳离子总数的 50.15% 和 45.99%。阴离子以 Cl^- 和 CO_3^{2-} 为主，SO_4^{2-} 次之，Cl^- 为 0.07～2.165 摩尔，SO_4^{2-} 为 0.347～0.013 摩尔，流体成分的 Na^+/K^+ 值为 0.27～6.93，平均 1.73，$Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ 值为 0.18～2.47，平均 0.98，F^-/Cl^- 为 0.06～0.69。不同成矿阶段的流体成分（表 3）表现为成矿主期的 H_2O，CO_2+CH_4+CO 和 K/Na 较高，反映了成矿与 K^+，Na^+ 和碳质成分活动有关。

表 3 东坪矿区不同矿化阶段的包裹体成分

成矿阶段	$w(B)/g\cdot L^{-1}$			$w(B)/\mu g\cdot g^{-1}$	
	K^+	Na^+	Cl^-	H_2O	$CO_2+CO+CH_4$
早 期	6.7	21.85	46.8	248	0.337
主 期	12.5	5.0	9.52	358	0.77
晚 期	4.0	8.5	15.57	228	0.29

4.3.3 *成矿物理化学条件* 东坪金矿金的成矿温度范围较大，具多阶段的特点，但主要成矿温度为 240～380 ℃。用 CO_2 温度法和邵洁涟经验公式计算的成矿压力为 4.9×10^8～7.5×10^8 Pa。成矿流体的 $\lg f_{O_2}$ 为 －30.75～－31.36；Eh 为 －0.46～－0.235；pH 值为 4.92～8.64。

4.3.4 *成矿流体的不混溶性* 由于 CO_2 和 H_2O 的分子物理性质差别很大，CO_2 在 H_2O 中的溶解度很低，两者为有限混溶体系，因此在自然界中 CO_2 和 H_2O 常以不混溶的分离状态出现，两者的混溶程度随体系所处的温度、组分浓度和压力不同而变化（李荫清等，1988；1994）。CO_2 和 NaCl-H_2O 不混溶包裹体组合特征（张文淮等，1993）：1）具有不同的 CO_2 和 NaCl-H_2O 体积分数的包裹体有相同的成因类型，CO_2 和 NaCl-H_2O 的体积分数构成了一个连续变化系列，甚至出现 2 种端员组分包裹体（纯 CO_2 包裹体和纯 NaCl-H_2O 包裹体）；2）富 CO_2 包裹体和富 H_2O 包裹体升温时均一方式不同（前者均一于 CO_2 相，后者均一于 H_2O 相），但两者的均一温度基本一致；3）富 CO_2 包裹体和富 H_2O 包裹体完全均一时压力相当。

东坪矿区出现的大量 CO_2-H_2O 包裹体中 CO_2 的体积分数为 10%～95%，既有 CO_2 体积分数仅 10% 的富 H_2O 三相包裹体，也有 CO_2 体积分数高达 70% 以上的富 CO_2 三相包裹体，甚至还有一相或两相纯 CO_2 包裹体，而且它们均为同一成矿阶段的原生包裹体。富 CO_2 包裹体均一于 CO_2 相，均一温度为 255～372 ℃；富 NaCl-H_2O 包裹体均一于 NaCl-H_2O 相，均一温度为 250～365 ℃；另外 NaCl-H_2O 包裹体的均一温度为 250～380 ℃，三者非常接近。富 CO_2 包裹体的均一压力为 60～100 MPa，富 NaCl-H_2O 包裹体的均一压力为 40～100 MPa；两者基本一致。因此认为本区 CO_2-H_2O 型包裹体和 NaCl-H_2O 型包裹体可能为不混溶包裹体组合。表明成矿过程中，当温度为 250～

黄金地质研究所
信息室 提供

380 ℃时，CO_2 和 NaCl-H_2O 产生不混溶作用，CO_2 从盐水溶液中分离出来成独立的流体相，并与盐水溶液相共存，使成矿流体由均匀相成为非均匀相。盐度测定表明，成矿流体盐度 5% ～7%，应属 CO_2-H_2O 低盐度体系，完全落于图 3 中的 CO_2 和 NaCl-H_2O 不混溶区域范围（图 3 中阴影部分）。

成矿过程中随温度降低，流体不混溶程度加大，直至分离出更多的 CO_2 造成可能捕获到纯 CO_2 和纯 NaCl-H_2O 包裹体，即前面提到的一相和两相 CO_2 包裹体，以及 NaCl-H_2O 包裹体。

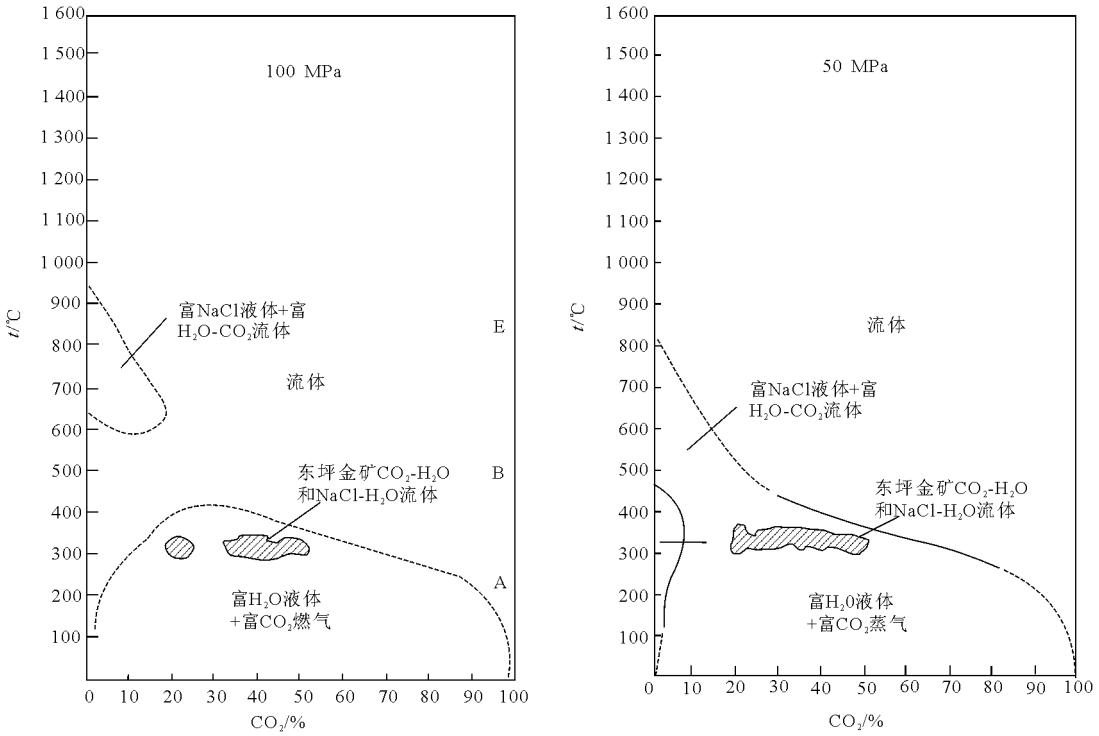

图 3　盐度为 6% 的 NaCl-CO_2-H_2O 体系中压力对富 CO_2 和富 H_2O 两相不混溶区域范围的影响

本区 NaCl-H_2O 包裹体中，两相气液、富气体和多相包裹体共存，均一温度接近，可能表明这些包裹体也是在特殊的不混溶（同一组分，物理相态不同），即沸腾环境中捕获的气、液相。其均一温度大大低于子晶溶化温度的原因是成矿流体长时间处于不混溶（沸腾）状态，气相不断从溶液中分离出去，造成剩余溶液的盐度增高，直至流体达到过饱和而晶出盐类矿物。

4.4　金的化学成分

东坪金矿自然金的化学成分较单一，有关自然金纯度高的情况，Shcherbina（1956）认为由强碱性热液形成的矿床富含金，而由弱碱性溶液形成的矿床富含银，这可以解释为什么金和银在碱性硫化物溶液中有不同的赋存方式，银主要是呈 AgHS 迁移，而金则呈 $[Au(HS)_6]^{3-}$ 和 $[AuS_2]^-$ 迁移。东坪金矿自然金的电子探针分析结果与 Shcherbina 这种观点是一致的。

黄金地质研究所
信息室 提供

黑龙江砂宝斯金矿床

砂宝斯蚀变砂岩型金矿是武警黄金第三支队1990至1991年进行1∶5万水系沉积物测量时发现的，矿床规模已达大型。该矿床位于黑龙江省漠河县西北部，属大兴安岭北段，是原始森林覆盖区。该区以盛产砂金著称，在与之毗邻的俄罗斯近国境线地带，已发现多处与中生代火山岩有关的大型、超大型金矿床。本区具有与其相似的地质背景，而砂宝斯金矿的发现也显示出该区金矿成矿潜力巨大。

1 地质背景

砂宝斯金矿大地构造位置属额尔古纳地块。区域出露的地层有中元古界兴华渡口群片岩、片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩及混合岩类；古生界寒武系额尔古纳组大理岩及片岩；泥盆纪结晶灰岩、泥灰岩等；中生界是本区最发育的地层，不整合覆盖于古生界之上，早期（早、中侏罗世）为河湖相碎屑沉积，形成侏罗系绣峰组、二十二站组及额木尔河组砂砾岩、砂岩、页岩夹煤线；晚期（晚侏罗世—白垩纪）形成中基性—中酸性火山熔岩及凝灰岩，构成大兴安岭火山岩带的一部分。区域上岩金矿床主要赋存于中侏罗世砂岩中，也有部分金矿化点赋存于兴华渡口群中。

由内蒙古延入的NE向得尔布干岩石圈断裂是黑龙江西北部的一级断裂。次一级壳断裂有NE—NEE，NW—NWW向2组。其中NE—NEE向断裂由一系列近于平行的长100～200 km断裂构成，在断裂带的NE段有成串排列的火山口。NW—NWW向断裂也是区域上的一组重要构造带，由多条大体等距平行的断裂组成，沿该组线性构造也分布一系列的火山口。NW—NWW向与NE—NEE向线性构造相互交切，构成本区基本的构造格局。另外，在北极村河及达赖岭一带还发育有一系列SN向断裂，其连续性较差，常被其他方向的构造切割。这些SN向构造与区域上SN向重力梯度带相吻合，推测与基底构造有关，并常构成与金矿化有关的构造破碎蚀变带。

区域出露的岩浆岩较为复杂，主要有张广才岭期花岗岩，以规模较大的二长花岗岩和正长花岗岩为主，其Sm-Nd年龄为614～638 Ma；华力西期花岗岩，多为NE向展布的岩基，岩性为二长花岗岩、花岗闪长岩及碱性花岗岩，其K-Ar年龄为268～312 Ma；燕山期花岗岩，主要分布于北极村河和龙沟河一带，岩性主要为花岗闪长岩和花岗斑岩，多以岩枝或岩株产出，其K-Ar年龄为92～126 Ma。此外还有一系列的脉岩，包括伟晶岩脉、细晶岩脉、花岗闪长岩脉、花岗斑岩脉、闪长岩脉及霏细岩脉等，与之有关的矿种有Au，Ag，Hg，Pb，Mo等。

2 矿区地质

2.1 地 层

矿区主要出露地层有古生界下泥盆统泥鳅河组，岩性为板岩、结晶灰岩、泥质岩，与下伏的大理岩为不整合或断层接触。板岩、灰岩中可见硅质条带和黄铁矿细脉，局部黄铁矿极强，但w（Au）仅为10×10^{-9}。中生界侏罗系二十二站组，矿区分布广泛，金矿体、矿化体均产于其中（图1）。其岩性主要为一套陆源沉积及火山凝灰质沉积，包括各种粒度的砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩及煤线夹层。砂岩的含矿性与砂岩的粒度大小有关，矿体多产于中细粒砂岩中。另外，含碳质较高的岩性段，金含量明显增高。

2.2 构 造

矿区发育的断裂主要有NE，NW和近SN向（图1）。其中，NE向断裂主要见于泥盆纪灰岩及寒武纪大理岩中，形成宽达数米的片理化带。断层走向为25～30°，倾向E，倾角30°左右。根据破碎带中片理与断层面的交角判断为逆断层。并且，该断层在侏罗纪砂岩中并不发育，表明主要在成矿前活动。NW向断裂走向280～310°，倾角11～42°，它对侏罗纪砂岩层及Ⅱ号矿体有明显的错动，显示为成矿后活动断层，且主要表现为右行平移滑动，但活动规模较小，对矿体破坏不大。

近SN向构造在矿区比较发育，表现为一系列走向近于平行的断层及构造破碎蚀变带。矿区已发现的3条矿脉均赋存于这些构造破碎蚀变带中。SN向断层按产状可分为2组，即陡倾角和缓倾角断层。前者位于矿区西部，Ⅲ号矿体即产于断层的上盘。其走向一般为15～345°，倾向W，倾角60～

黄金地质研究所
信息室 提供

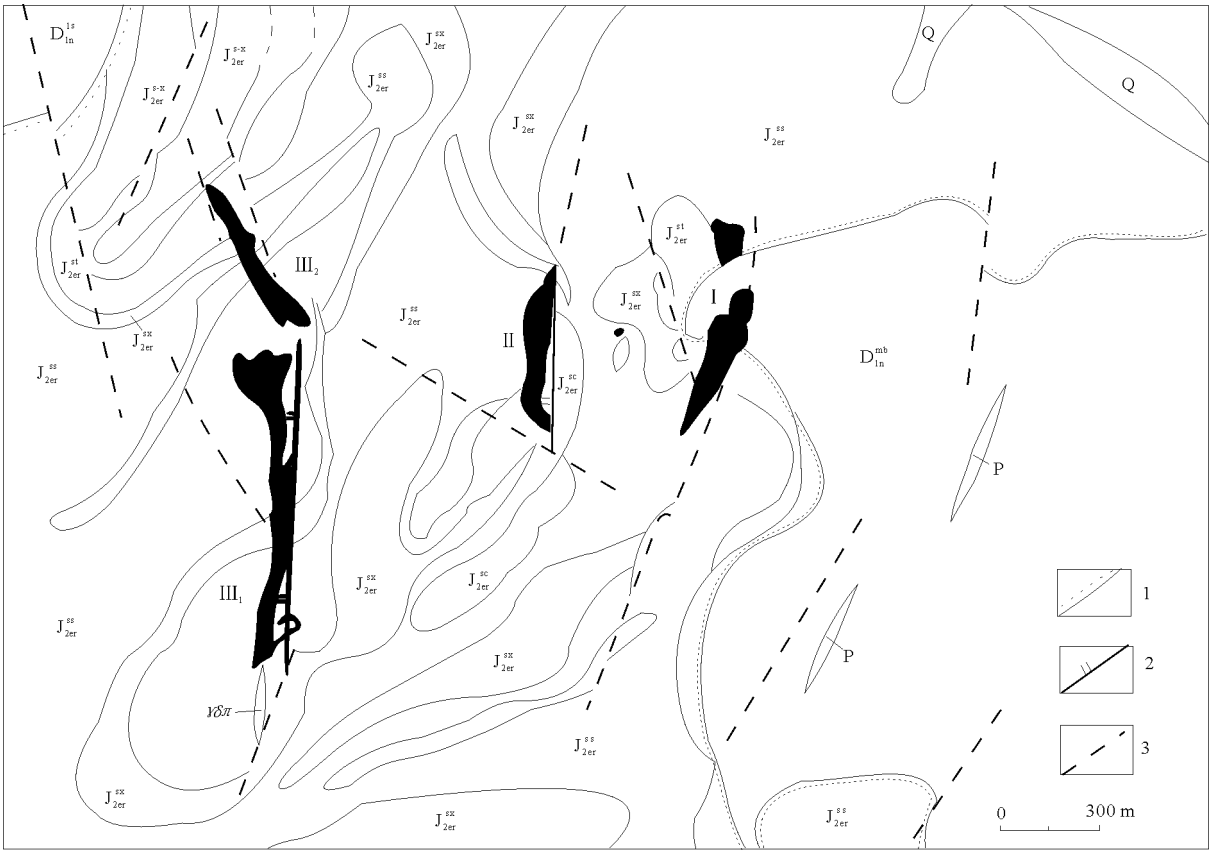

图 1 黑龙江砂宝斯金矿区地质略图（据武警黄金第三支队，1994）

Q—第四系松散堆积物；J_{2er}^{ss}—中粒砂岩夹薄层细砂岩及煤线；J_{2er}^{st}—粉砂岩；J_{2er}^{sx}—细粒砂岩；J_{2er}^{ss}—中粒砂岩；J_{2er}^{sc}—粗粒砂岩（含火山凝灰岩夹层）；D_{ln}^{ls}—结晶灰岩、泥灰岩；D_{ln}^{mb}—大理岩及石英大理岩；P/γδπ—破碎带/花岗闪长斑岩脉；Ⅰ—Ⅲ—金矿体及编号；1—不整合地质界线；2—实测断层；3—性质不明及推测断层

70°。断裂长大于 1 km，断裂破碎带宽 3～5 m，可见 15～30 cm 厚的断层泥。断层面上可见 2 组擦痕，根据断面上阶步等确定该断层在成矿前为左行逆断层。在成矿期表现为正断层性质，在破碎带中可见棱角状断层角砾被硅质胶结，并见有矿化石英脉充填。缓倾断层位于矿区中部，其走向也是近 SN，倾向 W，倾角 5～15°。该断层主要沿侏罗纪砂岩与泥盆纪灰岩的不整合面发育，它控制着缓倾的Ⅱ号矿体的展布，并在Ⅱ号矿体附近形成宽达十余米的构造破碎蚀变带。断层活动性质与陡倾断层相似。根据趋势面分析结果，侏罗纪砂岩与泥盆纪灰岩的不整合面存在 2 个 SN 向的凹槽，而这 2 个凹部恰与Ⅰ，Ⅱ号矿体产出部位相吻合。除断裂外，侏罗纪砂岩中还发育一系列宽缓褶皱，轴面近于直立，枢纽走向近 SN。褶皱对矿体的控制作用不明显。

2.3 岩浆活动

在砂宝斯矿区没发现岩基、岩株出露。在矿区北 10 km 附近有一燕山期花岗岩株，面积 3～4 km^2。根据遥感解译结果，该岩株正好出露于砂宝斯环形构造的中心部位，显示了砂宝斯环形构造为一由岩浆活动引起的热环。值得注意的是已发现的砂宝斯金矿、老沟岩金矿点、三十二站岩金矿点均处在该热环的边缘。显示了该热环对金矿的形成有明显的控制作用。

砂宝斯矿区出露较多的岩脉，其中规模较大的是花岗闪长斑岩脉，长大于 150 m，宽 0.5～1 m，走向 SN。Ⅲ号矿体即位于该岩脉的接触带附近。岩脉边部侏罗纪砂岩有明显被烘烤变质而产生角岩化的迹象。镜下观察矿物成分分为 2 个世代，早世代矿物颗粒粗大，晚世代矿物颗粒细小。前者矿物有碎裂并被后者充填包裹现象。

砂宝斯金矿区除花岗闪长斑岩外，在侏罗纪砂岩中还见有石英斑岩、闪长玢岩及霏细岩等岩脉以及火山凝灰质角砾岩、流纹岩及大量的火山沉积岩。按其形成时间可大致分为 3 期。

1）中侏罗世前火山活动，见于侏罗纪砂岩与泥盆纪灰岩的不整合面附近的一套火山凝灰质角砾岩。在剖面上该岩层呈一大的透镜状，最厚可达 60 m 以上，总体走向近 SN。金含量达 23×10^{-9}。

黄金地质研究所
信息室 提供

2）中侏罗世同沉积火山活动，在矿区中侏罗世粗粒砂岩层中可见厚达 3 m 的火山凝灰质角砾岩及凝灰质砂岩，岩层连续性一般较差，成分变化大。局部出现含角砾凝灰质砂岩，其角砾最大可达 20 多 cm，并且棱角分明、大小混杂、部分呈碎裂状，成分亦混杂不一，明显为火山喷发时崩碎的围岩产物。凝灰质砂岩中的凝灰质及玻璃质分布亦不均匀，有些部位火山玻屑较多，而在另一些部位火山玻屑含量较少甚至不出现。

3）中侏罗世沉积后的岩浆活动，表现为侵入于中侏罗世砂岩中的一系列脉岩，其中包括石英斑岩脉、霏细斑岩脉（其中可见有霉球状黄铁矿化）、闪长玢岩脉等，一般宽小于 0.5 m。此外，中侏罗世砂岩层之上还发现有流纹岩类喷出岩。

3 矿床地质

3.1 矿体特征

砂宝斯矿区共圈出 3 条金矿化带，各矿化带总体走向 SN，大致平行产出，地表出露以Ⅲ号矿带最长，达 1 050 m，矿带之间相距 200～400 m，各矿带及其中主要矿体的地质特征分述如下。

Ⅰ号矿带，位于矿区东部，矿化体主要由致密块状的硅化砂岩组成，内部可见硅化条带。该矿带中共圈出 3 个矿体。矿体以透镜状或板状为主，均为 SN 方向展布，与矿带总体走向一致，倾向 E，倾角 5°。单个矿体长 100～350 m，宽 6.8～34.2 m，垂深 5～6 m（其下为无矿大理岩），品位最高 13.06×10^{-6}，最低 1.03×10^{-6}，平均 3.88×10^{-6}。

Ⅱ号矿带，位于矿区中部，为矿区规模最大的矿带，共圈出 4 个矿体，以Ⅱ—1 号为主（占已探明储量的 70% ），该矿体长 260 m，延深 150 m，在平面上呈向南分支、变窄直至尖灭；剖面上呈向西分支直至尖灭。中部厚达 28.38 m，平均厚 14.02 m，品位最高 9.88×10^{-6}，最低 1.22×10^{-6} 平均 4.00×10^{-6}。矿体主要由硅化砂岩组成，总体走向 SN，倾向 W，倾角 5～20°。呈似层状，顺层产出。受缓倾角的 SN 向断裂控制。

Ⅲ号矿带，位于矿区西部，矿化体主要为强烈硅化的构造破碎蚀变砂岩、粉砂岩和碳质砂岩、泥质岩等。已圈定矿体 16 个，形态均呈脉状，倾向 240～280°，倾角一般为 60～70°，最大可达 81°。其中最大的Ⅲ—1 号矿体长 400 m，垂深大于 200 m，在南段较薄（平均厚 3.29 m），品位 3.31×10^{-6}；北段（厚达 9.89 m，品位 4.81×10^{-6}），矿体有向南侧伏趋势。该矿带实际是一条近 SN 向的构造破碎蚀变带，矿体受断裂控制极为明显。

3.2 矿石类型

砂宝斯金矿床的矿石主要有 2 种矿化类型，即蚀变砂岩型和构造破碎蚀变岩型。前者为该矿的主要工业类型。这 2 种矿石视其氧化程度不同可分为氧化型和原生型矿石。Ⅰ，Ⅱ号矿带的矿体矿石以蚀变砂岩型为主，较少见构造破碎蚀变砂岩型；Ⅲ号矿体矿石主体为构造破碎蚀变岩型，矿体主要位于断层的上盘，离断层面愈远，逐渐过渡到蚀变砂岩型，品位也随之降低。2 种矿化类型矿石物质成分基本一致。

1）蚀变砂岩型矿石，根据砂粒粒度可分为中粗粒砂岩型、细粒砂岩型和粉砂岩型。品位最低为 0.25×10^{-6}，最高为 13.06×10^{-6}，平均 3.99×10^{-6}。原生的蚀变砂岩型矿石呈灰至灰黑色，致密块状构造，普遍具有浸染状或细脉浸染状黄铁矿化及强烈的硅化和粘土化现象，砂屑主要为石英和长石，石英多呈棱角、次棱角或不规则状，含量 30%～35%；长石主要是斜长石，亦含有一定量的钾长石，以棱角或次棱角状为主，含量占 25%～40%。此外还有少量云母类矿物如白云母、黑云母等的碎屑。胶结物主要由与碎屑同成分的物质组成，主要为石英、长石及少量的云母类和粘土矿物，其次为碳质、硅质或泥质。一些薄片中可见有凝灰质和火山玻璃质的胶结物，部分火山玻璃已脱玻化。近地表的蚀变砂岩型矿石受氧化作用强烈，氧化厚度 3～5 m。

2）构造破碎蚀变砂岩型矿石，矿石以断层角砾岩为主，角砾成分主要是砂岩，呈棱角或次棱角状，无定向性，大小悬殊，局部角砾具有可拼性。胶结物主要为石英（硅质）、黄铁矿和泥质等，硅化强烈并呈致密块状。矿石品位最低 0.25×10^{-6}，最高 15.28×10^{-6}，平均 4.15×10^{-6}。

3.3 矿石成分

1）矿物成分，金属矿物含量占矿石总量的 1.44%～1.95%（表 1）。主要金属矿物：黄铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿、磁黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿、石墨、白铁矿、铜锌镍合金等。主要贵金属矿物有自然金、银金矿、铜金矿、自然银等。非金属矿物主要为石英、长石，其次有方解石、绿泥石、重晶石、黑云母、白云母、绿帘石等和较多的粘土矿物（高岭石、伊利石和蒙脱石等）。

黄金地质研究所
信息室 提供

表1 砂宝斯金矿矿石矿物成分测量结果 w（B）/%

矿石类型	黄铁矿	毒砂	褐铁矿	方铅矿	闪锌矿	黄铜矿	磁铁矿	辉钼矿
氧化矿	0.13		1.17	0.02	0.02	0.05		0.05
原生矿	1.21	0.20	0.40	0.08	0.01	0.01	0.10	

矿石类型	石英	长石	绿泥石	粘土矿物	石墨	碳酸盐	其他	合计
氧化矿	67.0	28.0	0.15	1.30	2.11	100		
原生矿	52.5	23.21	1.30	7.50	0.30	1.20	2.05	100

注：据武警黄金第三支队，1994。

2）化学成分，矿石的多元素分析结果（表2）可见，矿石氧化物成分以 SiO_2 为主，其次为 Al_2O_3，而 MgO，CaO 的含量很低，且氧化矿石一般低于原生矿石；矿石中除 Au 外，尚富集有一定量的 Ag，且其含量由深到浅逐渐升高，该特点与国外多数金矿相似。但氧化矿石中 Ag 含量最高，却与一般金矿氧化带中 Ag 含量低的特点相反。

表2 砂宝斯金矿Ⅱ号矿体蚀变砂岩型矿石多元素分析结果 w（B）/%

矿石类型	采样位置	Au	Ag	Sb	Bi	SiO_2	MgO	CaO	Cu
氧化矿石	地表	4.60	61.30	52.50	0.75	70.90	0.5	0.70	4
氧化矿石	地表	4.40	2.61	13.00	13.00	70.28	1.26	1.75	3
原生矿石[1)]	近地表	19.4	2.54			68.44	0.31	0.29	24
原生矿石[1)]	近地表	1.66	1.24			67.24	0.14	0.13	12
原生矿石	钻孔	7.09	1.00	12.30	0.11	67.50	0.76	1.08	4
原生矿石	钻孔	5.42	1.00	11.90	0.32	68.36	1.16	1.42	5

矿石类型	采样位置	Pb	Zn	Fe	S	As	C	Al_2O_3
氧化矿石	地表	13	12	2.35	0.08	0.42	0.15	12.57
氧化矿石	地表	10	7	1.65	0.64	0.100	0.30	13.16
原生矿石[1)]	近地表	91	50					15.19
原生矿石[1)]	近地表	66	53					14.77
原生矿石	钻孔	10	1	2.08	1.21	0.052	0.72	14.22
原生矿石	钻孔	10	10	2.04	1.36	0.157	0.56	12.41

1）据武警黄金地质研究所1995年测试，其他据武警黄金第三支队，1994；w（Au，Ag，Cu，Pb，Zn，Sb，Bi）/10^{-6}

3.4 矿石结构、构造

1）矿石构造，根据光薄片观察，结合宏观特征，按矿石中金属矿物特征、矿物集合体在矿石中的存在形式及其和非金属矿物的相互关系，原生矿石可划分为以下构造类型：浸染状或细脉浸染状、角砾状、团斑状、（网）脉状、束状或发状、霉球状构造。氧化矿石中还可见有峰窝状及晶洞构造，风化严重者可见土状构造等。

2）矿石结构，结合光片观察，根据矿石中金属矿物的结晶程度、晶形、颗粒大小及他们之间的关系，可划分出如下主要结构类型：自形—半自形晶、他形、包含、共结、填隙、交代、碎裂结构等。

3.5 金矿物的嵌布特征及赋存状态

金矿物主要为自然金，其次为少量的银金矿、铜金矿等。所有金矿物均以微细粒为主（小于0.03 mm），占92.02%，中、粗粒金罕见。在原生矿石中，金矿物的形态一般不规则，麦粒状、长角粒状为主，浑圆状次之，而氧化矿石则以角粒和尖角粒状等为主。

金在氧化矿石中嵌布形态以粒间金为主，多嵌布在非金属矿物的粒间；而在原生矿石中，则以包裹金为主，包裹矿物主要有石英、黄铁矿、毒砂等，粒间金次之，一般包裹金粒度相对较细，而粒间金较粗大。

3.6 围岩蚀变

矿区围岩蚀变极其发育且各矿带蚀变特征相似，最主要的有硅化、黄铁矿化、粘土矿化。其中硅化在区内广泛发育，形成带状分布的致密坚硬的硅化砂岩，或沿砂岩节理裂隙形成石英细（网）脉；黄铁矿化是最重要的矿化蚀变，以细粒微细粒浸染状黄铁矿化为主，局部呈脉状或团块状，与脉状石英共生并显示多期次性；粘土矿化在本矿区也特别发育，在断层破碎带附近常形成较宽（可达20 m）的粘土矿化带，在局部形成细粘土矿脉，沿节理裂隙分布。粘土矿物一般为长石蚀变形成，也有部分为火山灰等蚀变形成。主要矿物组分为高岭石、伊利石、蒙脱石等。

黄金地质研究所
信息室 提供

除以上蚀变外，碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、石墨化、褐铁矿化等围岩蚀变也较为发育。其中石墨化在本矿较为独特，常呈脉状或团块状产于矿化带中，并与细粒黄铁矿共生，局部有拉长定向现象。

砂宝斯矿区围岩蚀变的分带特征较为明显，一般按距断裂面由近及远可分为泥化-粘土矿化带、硅化-黄铁矿化带、绿泥石-绢云母化带。各带之间为渐变过渡，矿体主要赋存于硅化黄铁矿化带中。

3.7 成矿阶段及矿物共生组合

砂宝斯金矿矿石中存在一些细小石英脉（一般＜5 mm），根据野外观察及室内鉴定所掌握的细脉穿插关系及矿物标型特征，将砂宝斯金矿床热液期划分为以下 5 个成矿阶段。

1）黄铁矿-石英阶段，表现为相对较粗（2 mm 左右）的石英、黄铁矿呈脉状穿插于砂岩之中，该阶段黄铁矿自形程度高，以｛100｝晶形为主，含矿性差。

2）多金属硫化物-石英阶段，主要金属矿物组合为黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿等，是本矿床的主要成矿阶段。该阶段多金属矿物一般呈细粒浸染状分布，与之相共生的石英呈团粒状或细脉状分布。

3）黄铁矿-石英-粘土矿物阶段，表现为石英、黄铁矿及粘土矿物呈浸染状、脉状分布于矿石之中，其中粘土矿物分布于脉体的边部，而细粒黄铁矿分布于脉体的中心部位。

4）细粒黄铁矿-石英阶段，表现为黄铁矿、石英呈细脉状穿切早阶段的细脉，该阶段黄铁矿含量很少，矿化也差。

5）石英-方解石阶段，矿物组合为石英和方解石，金属矿物少见，为热液活动晚期产物，不含矿。

4 矿床地球化学

4.1 流体包裹体

砂宝斯金矿区早中期细脉状石英中流体包裹体较多，直径一般 2～5 μm，主要有气液包裹体，室温下可见 $L_{H_2O}+V_{H_2O}$ 二个相态，气液比一般为 5%～10%；三相包裹体室温下呈 $L_{H_2O}+L_{CO_2}+V_{CO_2}$ 三个相态，其中 $(L_{H_2O}+V_{CO_2})/L_{H_2O}$ 一般为 10% 左右，个别可达 30%；纯液相包裹体，常温下仅见单一 L_{H_2O} 相。晚期细粒石英中包裹体较少，个体也较小，一般直径小于 3 μm，且以单一液相包裹体为主，气液包裹体极难见到。矿区石英脉（细脉）26 个均一温度值范围 124.5～284.5 ℃。所测流体包裹体全部均一为液相，均一温度直方图显示为多峰型。250 ℃左右的峰与早阶段黄铁矿-石英脉的形成温度相吻合；200～230 ℃间的峰与主成矿阶段的多金属硫化物-石英的形成温度相对应；而 130～190 ℃间的峰与黄铁矿-石英-粘土矿物的形成温度相对应；此外还有部分细小石英脉、石英-方解石矿脉中未发现有气液 2 相包裹体存在，推测其形成温度应低于 150 ℃。

根据前述测温结果求得均一温度的均值为 206.9 ℃，用冷冻法测得平均盐度 5%，计算出流体的平均密度为 0.910 g/cm^3。含 CO_2 三相包裹体中 CO_2 的体积百分数为 15.8%，CO_2 平均密度为 0.635 g/cm^3，从而计算出成矿压力为 40.9 MPa，对应的成矿深度为 1.5 km。成矿流体的 pH 值为 8.05～8.26，明显偏碱性；Eh 值为 －0.71～－0.68，属相对还原环境；$\lg f_{O_2}$ 为 －39.4～－39.2，显示氧逸度偏低。

流体气相成分以 H_2O 为主，其次为 CO_2（占 7.1%），而 N_2，H_2，CO 等含量甚微。液相成分中阳离子以 Ca^{2+}，K^+，Na^+ 为主，且 $Ca^{2+}>K^+>Na^+$，阴离子以 SO_4^{2-}，F^-，Cl^- 为主，且 $SO_4^{2-}>F^->Cl^-$。

4.2 同位素

砂宝斯金矿区 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 变化范围为 18.111 3～18.291 4，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.458 9～151.503 6，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 37.938 4～38.133 9。矿石铅同位素 $25<V_1<50$，$25<V_2<55$。砂宝斯金矿 $\delta^{34}S$ 为－8.3‰～5.6‰，样品极差达 13.9‰。均值为－1.4‰。

矿石中细小黄铁矿石英脉中石英氢氧同位素 $\delta^{18}O_{石英}$ 为 1.6‰～1.8‰，δD 为 －115‰～－118‰，计算获得的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 －9.6‰～－9.4‰。侏罗纪碳质页岩中沉积碳 $\delta^{13}C$ 为 －21.1‰。

黄金地质研究所
信息室 提供

黑龙江金厂金矿床

金厂金矿床位于黑龙江省绥纷河市东宁—吉林省延吉市汪清地区，地理坐标：东径 130°45′00″～130°52′32″，北纬 44°13′17″～44°16′32″。是武警黄金部队 1994 年预查发现的较为典型的火山角砾岩型金矿床，规模已达特大型。

1 地质背景

矿床大地构造位置属吉黑东部太平岭隆起带与老黑山断陷交会部位。太平岭隆起带位于华北地台北缘，吉黑地槽褶皱带南缘，是太平洋板块与亚洲板块作用的产物。金厂金矿床矿区内出露地层主要为新元古界黄松群变质岩系，主要由云母（石英）片岩、变粒岩、斜长角闪岩组成，矿区外围出露地层为上侏罗统屯田营组（J_3t）火山岩系（图 1），该岩系由安山岩、安山玄武岩、安山玢岩及凝灰岩组成，呈同源同期关系。区域地质构造发展史表明，三叠纪之前，本区处于中亚蒙古大洋-碰撞造山-固结成陆的构造演化过程；三叠纪之后，本区并入滨太平洋大陆边缘活动带。NE—NNE 向的褶皱和断裂极为发育，而影响本区岩浆活动和矿床形成的构造为太平岭复背斜和绥阳深断裂。

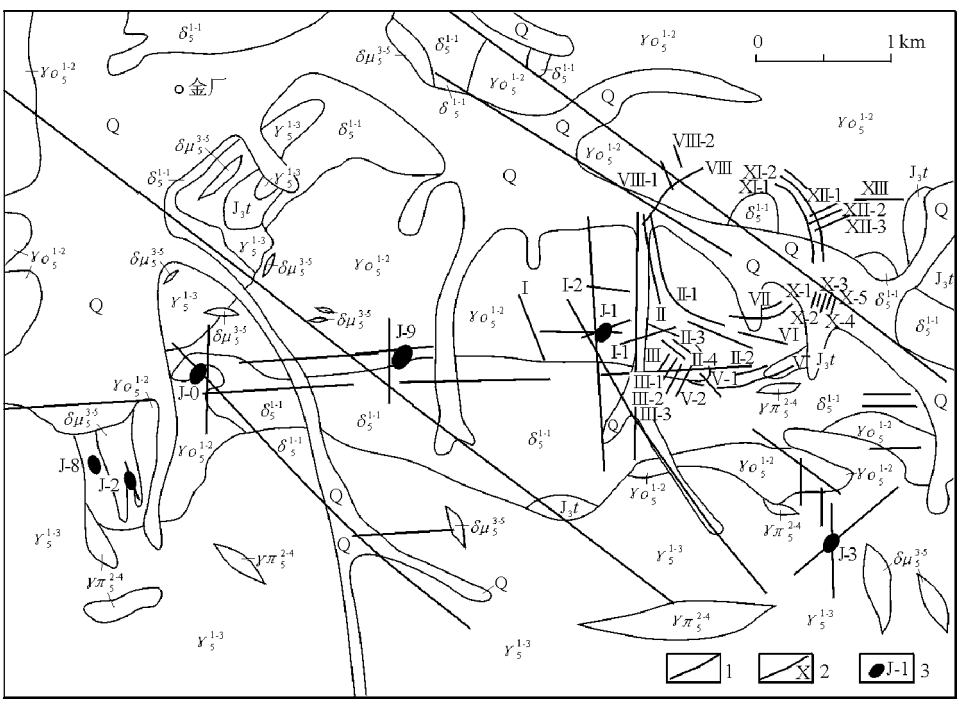

图 1 金厂矿区地质图

Q—第四系；J_3t—上侏罗统屯田营组；$\delta\mu_5^{3-5}$—印支期闪长岩；$\gamma\delta_5^{1-2}$—印支期文象花岗岩；$\gamma\delta_5^{1-3}$—印支期花岗岩；$\gamma\pi_5^{2-4}$—燕山早期花岗斑岩脉；$\delta\mu_5^{3-5}$—燕山晚期闪长玢岩脉；1—断层；2—矿脉及编号；3—角砾岩型矿体及编号

矿区岩浆活动可分为 5 期：1）燕山早期第一阶段灰黑色黑云闪长岩；2）燕山早期第二阶段灰黑色黑云母花岗岩、斜长花岗岩、粗粒文象花岗岩、钾长花岗岩及花岗闪长岩等；3）燕山早期第三阶段细粒斑状花岗岩和中粗粒黑云母花岗岩，二者呈相变关系；4）燕山晚期第一阶段花岗斑岩，与矿区外围出露的中—下侏罗统天桥岭组流纹斑岩、凝灰熔岩、凝灰岩及角砾岩呈同源同期对应关系；5）燕山晚期第二阶段火山—潜火山侵入岩：潜火山岩为闪长纷岩，火山颈相，呈小岩株或小岩枝状产出，与矿区内零星出露的上侏罗统屯田营组安山岩、安山玄武岩、安山玢岩及凝灰岩呈同源同期对应关系。

褶皱控制断裂和侵入岩的空间分布，断裂、岩浆穹隆及派生的环状—放射状断裂、隐爆角砾岩控制矿床和矿体。

1）矿区处于 NE 向绥阳深大断裂及 SN 向绥西—金厂断裂交会部位。NE 向绥阳深大断裂长期

黄金地质研究所
信息室 提供

活动，是太平岭隆起带与老黑山断陷的分界线，控制区域地层和印支—燕山期侵入岩体的展布。矿区内发育的 EW 向断裂集中于八号洞—高丽沟—黑瞎子沟一带。SN 向绥西—金厂断裂带由平行的压性断裂组构成。矿区由西至东等间距分布 4 条 SN 向断裂：高丽沟断裂、黑瞎子沟断裂、邢家沟断裂、穷棒子沟断裂。其力学性质为压性断层。

2）NW 向断裂，2 条规模较大的 NW 向断裂平行发育，贯穿矿区。矿区产出一系列 NW 向断裂，近等间距分布，为压—压扭性，控制矿区内部燕山期花岗斑岩和岩浆穹隆及派生的环—放射状断裂的分布。

3）EW 向断裂，主要发育于矿区中部，呈组产出，黑瞎子沟Ⅰ号矿体东西两侧分布的黄铁绢英岩脉带受此控制，断裂充填物为黄铁绢英岩细脉。

4）NE，NW，SN 和 EW 向断裂控制了金厂矿区岩浆穹隆及隐爆角砾岩体在空间上的分布。断裂表明该区受 EW 或近 EW 向挤压应力的作用，产生了 SN 向压性、EW 向张性和 NE，NW 向压扭性 4 组断裂，它们共同作用控制印支和燕山期岩浆岩的侵入、岩浆穹隆的发育、隐爆角砾岩体的产出。其发展及衍生控制含矿热液的运移、矿床形成、矿体定位（图 1）。

2 矿床地质

2.1 控矿—容矿角砾岩筒特征

角砾岩筒是矿区内最重要的控矿和容矿构造，也是金厂金矿床的一大特色。这些角砾岩筒呈链状或串珠状分布，空间产出受 2 组或 2 组以上断裂交会部位控制。平面上呈椭圆形，长轴 30～50 m，短轴长 10～30 m；剖面上呈筒状，近直立产出，形态规则，变化不大，控制最大延深近 300 m 尚未尖灭。角砾岩体产于印支期花岗岩、花岗闪长岩中，与围岩接触关系可分为突变式“侵入状”接触、渐变过渡和断层控制接触。角砾岩体中的角砾直径一般 0.10～0.25 m，最大直径可达 4 m 以上，角砾呈次棱角—浑圆状，磨圆不均一。角砾成分多以花岗岩为主，另有少量闪长岩、花岗斑岩和花岗闪长岩。角砾间胶结物比较松散，胶结不强，局部胶结较强时形成不规则团块状，胶结物成分为粉末状黄铁矿化蚀变花岗岩，蚀变以高岭土化、硅化、绢云母化为主，含少量粘土矿物，花岗岩角砾强烈蚀变围绕角砾中心呈环带状分布，角砾岩体多为全筒式矿化。角砾岩筒既是导矿构造，同时又是储矿构造。此外，在角砾岩体的周围还产出有与之有成因联系的环状、放射状断裂。这些环状和放射状断裂也是区内重要的控矿和容矿构造，控制着裂隙充填型和部分蚀变岩型矿（化）体的产出和分布。

2.2 矿体特征

矿体赋矿围岩主要为花岗闪长岩、花岗斑岩、花岗岩和闪长岩类，受角砾岩筒和环状、放射状断裂控制。矿体矿化类型可分为隐爆角砾岩型、裂隙充填型和破碎蚀变岩型，它们各有不同的产状和富集特征。规模较大的矿体为隐爆角砾岩型，其形态多为柱状、囊状，长 30～80 m，厚 2～35 m，平均品位 6×10^{-6}～10×10^{-6}，主要矿体为 J—0，J—1 和 J—8 号。J—1 矿体约占全矿区金总储量的 35%，矿体产于角砾岩筒内，为全筒式矿化，中心部位矿体厚度大，品位高，向边缘逐渐降低。

2.3 矿石特征

矿石结构以全晶质粒状为主，其次还有碎裂、交代、环带、胶状、骨架状、细脉穿插及固溶体分离结构等；矿石构造主要有角砾状、浸染状、脉状、团块状、蜂窝状、晶簇状、土状和粉末状等。

矿石工业类型按照其产状、矿物组合及结构构造可以分 1）角砾岩型；2）蚀变岩型；3）石英-黄铁矿脉型；4）多金属硫化物石英脉型矿石。在单个矿体中，矿石类型发育齐全，则金矿化稳定，金品位高。

金属矿物主要有黄铁矿，其次有少量的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钼矿、辉锑矿、磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、镜铁矿、自然金、银金矿、金银矿和自然银。不同矿化类型的矿石中硫化物含量有一定差别。非金属矿物主要为石英、长石、绢云母、高岭石，其次为方解石、角闪石、黑云母、绿泥石、绿帘石、冰长石等。

金矿物主要以自然金或银金矿的形式赋存于矿石中的黄铁矿内；仅少数赋存于石英或石英与黄铁矿之间的晶隙中，这少部分金主要以裂隙金为主，其次为粒间金。金颗粒多为浑圆状、纺缍状及不规则状，粒度多为 0.01～0.1 mm，属细—中粒金，个别呈细脉状产出的自然金，其长度可达 2～3 mm。

矿区主要矿石类型角砾岩筒矿体（半截沟 J—1，八号洞 J—8），裂隙充填型矿体（松树砬子）化学成分见表 1。总体上角砾岩型矿石与裂隙充填型矿体中的蚀变岩型矿石具有可比性，角砾岩筒矿体中的基质（蚀变胶结物）与裂隙充填型矿体中的石英-黄铁矿脉矿石具有可比性。角砾岩筒矿体中

黄金地质研究所
信息室 提供

表1 金厂金矿床矿石化学成分 w(B)/%

成分	半截沟J—1		八号洞J—8		松树砬子	
	角砾(2)	蚀变岩(基质,2)	角砾(1)	蚀变岩(基质,2)	石英-黄铁矿脉(3)	蚀变岩(2)
SiO_2	44.72	38.52	68.09	34.31	69.44	70.75
TiO_2	1.09	0.72	0.46	0.35	0.15	0.25
Al_2O_3	19.01	11.23	11.25	10.90	9.85	16.24
Fe_2O_3	1.98	12.35	7.18	25.92	13.80	2.15
FeO	9.97	10.55	0.82	0.99	0.86	0.66
MnO	0.22	0.21	0.02	0.07	0.04	0.04
MgO	4.35	3.55	0.12	0.46	0.11	0.04
CaO	0.75	0.60	0.10	0.99	0.34	0.32
Na_2O	0.46	0.52	4.25	1.80	0.73	4.52
K_2O	4.00	1.90	1.22	4.92	1.84	2.68
P_2O_5	0.34	0.28	0.09	0.06	0.12	0.08
烧失量	12.38	15.23	2.04	2.69	—	—
S	0	3.40	4.44	17.13	—	—
总量	99.27	99.06	100.08	100.59	97.28	97.73
K_2O+Na_2O	4.46	2.42	5.47	6.72	2.57	7.20
$w(K_2O)/w(Na_2O)$	8.70	3.65	0.29	2.73	2.52	0.59

注:括号内阿拉伯数字为样品数;“—”为未测试;测试单位:武警黄金指挥部测试中心;分析方法:直读光谱。

的角砾岩型矿石和裂隙充填型矿体中的蚀变岩型矿石,其SiO_2和Al_2O_3的含量都较相应的蚀变胶结物和石英-黄铁矿脉高,且随着其蚀变矿化的增强,SiO_2的含量呈降低的趋势;而Fe_2O_3和FeO及S等含量的变化则正好相反,它们随蚀变矿化增强而增高。

2.4 围岩蚀变

蚀变类型主要有硅化、绢云母化和高岭土化,其次有钾长石化、碳酸盐化和绿泥石化等。硅化是矿区内发育广泛且强烈的一种蚀变类型,无论何种矿化类型的赋矿围岩,均遭受了不同程度的硅化,且蚀变岩型矿体及裂隙充填型矿体近矿围岩硅化作用更强烈。绢云母化在空间上呈带状产出。高岭土化常与绢云母化、碳酸盐化等蚀变叠加在一起。花岗闪长岩体内钾长石化分布广泛,次生钾长石多呈脉状、片状分布,尤其是在断裂带附近常形成一条比较宽的钾长石化带。阳起石化、电气石化及绿帘石化在花岗斑岩的内外接触带附近比较发育,局部见块状粗晶的阳起石团块。碳酸盐化在蚀变岩型矿化中较发育,它们往往叠加在已硅化、绢云母化的岩石上。根据蚀变类型和矿物组合,可粗略地划分出主要蚀变带,如钾长石化带、硅化带、绢云母化带、绿泥石化带和碳酸盐化带等。矿区围岩蚀变相带明显表现出相互叠加的现象,形成蚀变组合分带。围岩热液蚀变可划分出如下组合:钾化-硅化-黄铁矿化组合、硅化-绢云母化-黄铁矿化组合、绢云母化-高岭土化组合及绿泥石化-碳酸盐化-绢云母化-黄铁矿化组合等。几种蚀变组合在矿体中有的单独产出,有的则复合产出,一个矿体出现的蚀变组合越多,金矿化的强度和规模越大。

2.5 成矿阶段

热液期成矿过程大体分为4个成矿阶段。

1)钾长石-石英-黄铁矿阶段,主要矿物组合为阳起石、电气石、钾长石、石英和绿帘石等。该阶段黄铁矿为粗粒自形—半自形晶,呈胶结物状赋存于角砾之间,在蚀变围岩中呈浸染状或网脉状,局部富集可构成黄铁矿矿体。

2)石英-黄铁矿阶段,是主要成矿阶段,热液中成矿物质大量富集。主要矿物组合为石英、绢云母、绿泥石、黄铁矿和毒砂。该阶段形成的石英为灰黑色细粒状集合体,黄铁矿为细粒状、粉末或胶状。在岩筒中,石英、黄铁矿主要以角砾胶结物形式出现,在裂隙中充填形成石英-黄铁矿细脉;在蚀变岩带中形成浸染状矿化。

3)石英-多金属硫化物阶段,也是区内重要的成矿阶段,以形成黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、辉锑矿等石英-多金属硫化物矿物为特征,该阶段矿物一般粒度较细,结晶程度较差。

4)石英-方解石阶段,以石英、碳酸盐及少量黄铁矿沿裂隙充填成细脉为特征,同时有镜铁矿等高价氧化物出现,围岩中出现广泛的碳酸盐化、绢云母化和高岭土化作用。

黄金地质研究所
信息室 提供

3 地球化学

3.1 流体包裹体

矿石石英中的流体包裹体可分为4种类型。

1）气液包裹体，约占70%。由液相水和气相水蒸气组成，一般气液体积比为20%～50%。根据成因又可分为原生气液包裹体和假次生气液包裹体。原生包裹体一般10～25 μm，最大可达40 μm，气液体积比40%～50%，不规则状或负晶形，呈孤立或簇状分布。

2）气相包裹体，约18%。主要由水蒸气组成，气液体积比80%～100%，不规则状。原生气相包裹体孤立分布，一般10 μm左右。

3）含子矿物包裹体，约8%。由液相水（L_{H_2O}）、水蒸气（V_{H_2O}）及一个或者多个子矿物组成。子矿物有的呈正方形，为NaCl子晶；有的呈浑圆形，可能为KCl子晶；也有的呈片状，可能为云母类矿物。该类包裹体的气液比一般在20%～30%之间，大小一般10～25 μm，常与一定量的气液包裹体共存。

4）三相包裹体，约4%。由液相CO_2（L_{CO_2}），液相水（L_{H_2O}）及气相CO_2（V_{CO_2}）组成，在本矿区含量较少。

流体包裹体镜下主要以出现大量含子矿物流体包裹体为特点，含子矿物、气相和气液相包裹体常出现在一个视域内，具有共生环，这一特点显示金厂金矿床成矿流体具有高盐度及沸腾特征。

矿化第一阶段温度为287～303 ℃，均值为296 ℃，均方差为5 ℃；第二阶段为201～216 ℃，均值为210 ℃，均方差为5 ℃；第三阶段为283～307 ℃，均值为294 ℃，均方差为7 ℃；第四阶段为84～97 ℃，均值为90 ℃，均方差为4 ℃。

金矿成矿的物理化学条件见表2。石英流体包裹体成分见表3。成矿流体中主要气体组分逸度见表4。由表3可知，金厂金矿床包裹体流体以H_2O为主，次为CO_2，少量的CH_4，N_2和H_2。阳离子以K^+，Na^+为主，少量的Ca^{2+}，Mg^{2+}，阴离子以Cl^-，SO_4^{2-}为主，少量的F^-。成矿流体总体上

表2 金厂矿区第二成矿阶段流体物理化学条件

矿体	成矿阶段	盐度/% 计算	盐度/% 实测[1]	矿化度/g·L^{-1}	pH	中性点[2]	pH与中性点之差	Eh
半截沟J—1号	1	4.95	5.41～5.90	56.75	5.46	5.2	0.26	−0.34
	2	7.32	8.14～9.60	100.29	6.40	5.5	0.90	−0.40
	3	5.00		164.85	6.40	5.4	1.00	−0.39
	4	8.46		1 750.42	7.87	6.1	1.77	−0.48
高丽沟J—0号	1	14.86	36.10～39.40	149.05	7.08	5.4	1.68	−0.65
	4	3.56		313.67	6.92	6.3	0.60	−0.42

1)冷冻法测冰点，利用冰点与盐度关系得出；2)为对应温度的中性点。

表3 金厂金矿床包裹体成分特征

阶段	样号	采样位置	w(B)/% H_2	O_2	N_2	CH_4	C_2H_6	CO	CO_2	H_2O
1	IXT—30	半截沟J—1	0.23	0.00	1.71	4.16	0.00	0.00	3.54	392.16
	XT—2	高丽沟J—0	0.04	0.00	1.96	5.28	0.00	0.00	4.05	448.43
2	B—90	半截沟J—1	0.23	0.00	2.67	4.55	0.00	0.00	4.81	575.35
3	B—91	半截沟J—1	0.05	0.00	1.89	4.08	0.00	0.00	4.84	449.63
4	B—97	半截沟J—1	0.23	0.00	1.71	4.16	0.00	0.00	3.54	392.16
	B—44	高丽沟J—0	0.50	0.00	3.06	4.02	0.00	0.00	8.18	503.60

阶段	样号	采样位置	w(B)/10^{-6} F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	IXT—0	半截沟J—1	5.19	9.73	0.00	6.16	28.22	3.89	3.24	0.32
	XT—2	高丽沟J—0	12.03	41.44	0.00	50.13	26.74	10.70	6.68	1.33
2	B—90	半截沟J—1	18.18	27.57	0.00	14.66	13.49	19.35	5.87	1.17
3	B—91	半截沟J—1	18.60	38.49	0.00	55.81	6.41	4.49	38.49	2.56
4	B—97	半截沟J—1	150.42	31.51	0.00	13.03	36.55	23.11	1 470.6	25.21
	B—44	高丽沟J—0	2.44	10.02	0.00	6.77	7.31	3.52	281.72	1.89

测试单位：中国地质大学（北京）找矿勘探教研室；分析方法为液相色谱法和气相色谱法。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 4 成矿流体中主要气体组分的逸度

阶段	样 号	采样位置	$\lg f_{H_2}$	$\lg f_{CH_4}$	$\lg f_{CO}$	$\lg f_{CO_2}$	$\lg f_{O_2}$
1	IXT－30	半截沟 J－1	0.70	1.05	－2.81	0.46	－41.45
	XT－2	高丽沟 J－0	－0.06	1.14	－2.81	0.49	－41.47
2	B－90	半截沟 J－1	0.36	0.75	－3.15	0.25	－41.40
3	B－91	半截沟 J－1	－0.19	0.81	－3.04	0.36	－41.37
4	B－97	半截沟 J－1	0.53	0.88	－2.98	0.28	－41.42
	B－44	高丽沟 J－0	0.75	0.75	－3.09	0.54	－41.26

属于 K^+-Na^+-Ca^{2+}-Cl^--SO_4^{2-} 型流体。从成矿早期到晚期阶段，流体中的阳离子 K^+，Na^+ 和阴离子 SO_4^{2-}，Cl^- 含量变化不大，而 Ca^{2+} 和 F^- 含量则明显增加，气相成分以贫 CO，富含 CO_2 为特征。

3.2 稳定同位素

金厂金矿床黄铁矿中的硫同位素测试结果表明，$\delta^{34}S$ 值变化范围较小（表 5），为 1.1‰～3.8‰，其均值为 2.42‰，均方差为 0.74‰，具有深源或岩浆硫同位素组成特征。黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值在成矿第一阶段为 2.2‰～3.2‰，第二阶段为 1.8‰～3.8‰，第三阶段为 1.1‰，第四阶段为 2.1‰。主成矿期金矿石氢氧同位素特征见表 6。

表 5 金厂金矿床黄铁矿硫同位素组成

阶段	样 号	采 样 位 置	$\delta^{34}S_{VCDT}$ /‰
1	IXT—30	半截沟 J—1 矿体 230 中段	2.2
	XT—1	高丽沟 J—0 矿体 345 中段	3.2
	XT—2	高丽沟 J—0 矿体 345 中段	2.7
2	M—2	半截沟 J—1 矿体 330 中段	3.8
	M—3	半截沟 J—1 矿体 330 中段	3.2
	M—6	半截沟 J—1 矿体 280 中段	2.2
	M—7	半截沟 J—1 矿体 280 中段	2.6
	M—11	半截沟 J—1 矿体 230 中段	1.8
	M—13	半截沟 J—1 矿体 230 中段	1.8
	B—90	半截沟 J—1 矿体 230 中段	2.3
3	B—91	半截沟 J—1 矿体 230 中段	1.1
4	B—97	半截沟 J—1 矿体 230 中段	2.1

测试单位：中国地质科学院矿产资源研究所；仪器型号：MAT-251EM 质谱仪；分析精度 0.2‰。

表 6 金厂金矿床石英流体包裹体氢氧（SMOW 标准）同位素组成

样 号	岩 性	成矿阶段	采样位置	温度/℃	$\delta^{18}O_{石英}$ /‰	$\delta^{18}O_{水}$ /‰	$\delta D_{水}$ /‰
97Q1	蚀变胶结物	1	半截沟 J－1	295.73	11.9	4.8	－70
XT－2	蚀变胶结物	1	高丽沟 J－0	427.45	10.3	6.6	－86
9701	石英黄铁矿脉	2	半截沟Ⅱ－1	209.55	10.3	－0.7	－70
B－72	硫化物石英脉	3	半截沟 J－1	294.31	9.5	2.4	－72

测试单位：中国地质科学院矿产资源研究所；石英氧同位素分析采用 BrF5 法处理样品，分析精度 0.2‰；流体包裹体氢同位素采用加热爆裂法处理样品，分析精度 2‰；测试仪器均为 MAT－251EM 质谱仪。

陕西金龙山金矿床

陕西金龙山金矿床是 20 世纪 80 年代末期武警黄金部队在南秦岭镇旬盆地丁—马 Hg-Sb 矿带上发现的微细浸染型 Sb-Au 矿床。矿床为陕西省秦岭南坡的镇安县米粮乡所辖，大地构造位置处于秦岭褶皱系的南秦岭印支褶皱带，区域构造属镇安—板岩镇断裂南侧，金鸡岭复向斜北翼的次级复背斜构造中。

1 地质背景

区内古生界出露齐全（图 1），有寒武—奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系。中生界仅有三叠系，新生界仅有第四系零星分布。古生界主要沿镇安—旬阳海盆周边分布。随着沉积盆地的不断演化，古生界地层的沉积范围也不断扩大，沉积中心向北迁移，赋矿地层上泥盆统南羊山组和下石炭统袁家沟组在沉积盆地的中心地带发育。寒武奥陶系分布于西部的青铜关西南一带。因奥陶系与下伏寒武系在本区难于划分，故笼统地称之为寒武—奥陶系。志留系在西部及南部区出露，由于可分性差，仅划分为下统和中上统。志留系与下伏寒武—奥陶系地层呈断层接触，与上覆下泥盆统呈平行不

黄金地质研究所
信息室 提供

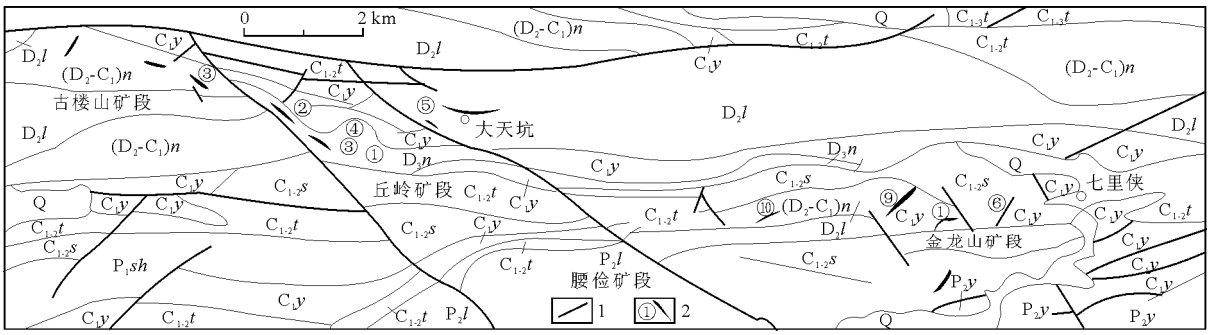

图 1　金龙山金矿田地质图（据中国人民武装警察部队黄金指挥部，1997）

Q—第四系；P_2l—上二叠统龙洞川组；P_2y—上二叠统熨斗滩组；P_1sh—下二叠统水峡口组；$C_{1-2}t$—石炭系铁厂铺组；$C_{1-2}s$—中—下石炭统四峡口组；C_1y—下石炭统袁家沟组；D_3ny—上泥盆统南羊山组；D_3l—上泥盆统冷水河组；1—断裂；2—矿脉及编号

整合接触。泥盆系分为北、中、南 3 个带，矿区位于南带，该带泥盆系由老到新：西岔河组，公馆组，石家沟组，大枫沟组，杨岭沟组，冷水河组，南羊山组。石炭系分为下石炭统袁家沟组，中—下石炭统四峡口组和中—上石炭统羊山组。二叠系分布于研究区南部金鸡岭复式向斜核部附近的两翼。可分为 5 组：南沟河组，水峡口组，西口组，熨斗组，龙洞组。

区内褶皱和主干断裂的延伸方向以 EW 或近 EW 向为主，褶皱构造多以复背斜、复向斜形式出现。褶皱主要有金鸡岭复向斜，锡铜沟—吴家山复背斜，丁家山—金龙山—丘岭背斜。断裂主要有商南—丹凤断裂，简称商—丹断裂；镇安—板岩镇断裂，简称镇—板断裂；凤镇—山阳断裂；石泉—安康—竹山大断裂。

区内尚未发现任何岩浆成因的侵入体，但在区域上岩浆活动较强，侵入岩以印支期花岗岩为主，多分布于研究区西部的凤县—宁陕地区。在研究区两侧则有与铜、铅、锌矿化有关的华力西期、加里东期的花岗岩类以及与铬铁矿有关的超基性岩类和与稀土矿床有关的二长花岗岩类。晋宁期岩浆活动分布广泛，在秦岭东部，该期火山岩包括酸性熔岩和中基性岩，玄武岩、安山岩等分别产在郧西群和耀岭河群中。加里东期的岩浆活动以侵入岩为主，主要分布于山阳、柞水及南部的石泉、汉阴等地，主要岩性有石英闪长岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、辉长岩及辉绿岩等，呈岩株、岩墙状产出。华力西期岩浆活动形成的中酸性岩主要分布于研究区的西部，有石英闪长岩和花岗闪长岩；基性超基性岩呈小岩体沿断裂带分布；还有为数不多的碱性正长岩。印支期岩浆活动以中酸性—酸性侵入岩为主，规模大、分布广，多呈巨大岩基产出，在山阳—柞水的园子街、小河口等地有分布。

2　矿床地质

2.1　主要矿床

金龙山矿田自西向东分布有古楼山矿段、丘岭矿段、腰俭矿段及金龙山矿段（图 1）。

2.1.1　*金龙山锑-金矿床*　矿区出露较老地层为上泥盆统南羊山组，组成金龙山、金牛山、玉皇顶等穹隆背斜之核部。袁家沟组和四峡口组是矿区出露较广泛的地层，其中袁家沟组多组成矿区诸多穹隆背斜两翼地层，或单独组成分布于四峡口组中的次级穿刺背斜。四峡口组分布于矿区南北两侧，成为较宽缓次级向斜槽组成层位。控矿构造具有区域性的褶皱式脆-韧性、韧-脆性剪切变形构造的特点。矿区南（F_1）北（F_2）大断裂成为区内最大一级断裂构造。F_1 和 F_2 在走向上呈波形弯曲，断裂面倾向 N，倾角为 70～80°，属高角度逆冲断层，金龙山矿床即受限于 2 断裂之间。NE，NW 向断裂为共轭的同期断裂，NW 向断裂发育且规模较大，时序较长。NE 向断裂走向 40～60°，断面向 NW 陡倾。SN 向断裂与成矿关系的密切关系无论在区域还是中小尺度都十分明显。EW，NE，NW，SN 向构造复合是金矿形成的一个重要构造条件，它们形成的米字型构造地段及其所处的有利含矿岩性部位，由于应力集中形成包括节理、裂隙、劈理等一系列透入性破裂构造，与金矿化蚀变关系十分密切。当这些透入性破裂构造发育在有利含矿岩层的剪切带上时，破碎岩石可直接构成工业矿体。金龙山矿区规模较大的工业矿体主要为 1，3，6，16 号矿体，其他均规模较小或仅为矿化体。

1 号矿体及其外缘蚀变带总长 380 m，宽 4 m

黄金地质研究所
信息室 提供

左右。矿体南西部分呈脉状，走向40～60°；矿体北东部分呈扁豆体状，走向60～100°。总体倾向NW—N，局部反倾，倾角72～86°。矿体在走向和倾向上均呈舒缓波状，整体呈反之字复杂形态。实际控制矿体长度230 m，水平厚度1.03～20.80 m，平均6.71 m。矿体出露最高标高906 m，工程控制最低标高746 m。金品位1.04×10^{-6}～64.26×10^{-6}，平均6.13×10^{-6}。矿体主要由浸染状黄铁矿-毒砂金矿石和浸染状黄铁矿金矿石组成，在局部NE向脆性断裂叠加之强烈破碎蚀变带处，出现角砾状锑-金矿石。

6号矿体分布于矿段偏东一侧，金矿构造蚀变带长大于1 000 m，宽3.00～12.70 m，走向40～55°，倾向NW，倾角75～88°。其中矿体控制长度为280 m，水平厚度0.73～14.92 m。矿体出露最高标高849.6 m，工程控制最低标高750.11 m，控制斜深257.60 m。金品位1.00×10^{-6}～16.47×10^{-6}，平均3.19×10^{-6}。由于厚度上的明显变化，矿体沿走向、倾向呈舒缓波状延伸，并向深部矿石品位有明显变富的趋势。矿体总体具分叉边缘之透镜体状形态，内部常见有围岩块体。矿体主要由浸染状黄铁矿-毒砂金矿石和浸染状黄铁矿金矿石组成，偶见角砾状锑-金矿石。

16号矿体分布于矿段东南部，位于金龙山背斜南翼。矿体受近EW向层间断裂控制。断裂长度大于300 m，走向90～105°，倾向180～195°，倾角75～80°。工程控制矿体长98 m，矿体水平厚度2.06～9.32 m，平均5.00 m。矿体出露最高标高855 m，工程控制最低标高733 m。金品位1.13×10^{-6}～52.58×10^{-6}，平均8.15×10^{-6}。矿体主要由浸染状黄铁矿-毒砂金矿石及浸染状黄铁矿金矿石组成。

3号矿体位于金龙山背斜轴部，赋存于南羊山组中—上岩性段，近EW向展布，主要受褶皱轴面劈理扩张带控制。地表控制矿体长度60 m，水平厚度5～15 m，金品位1.03×10^{-6}～33.53×10^{-6}，平均4.13×10^{-6}。矿体主要由浸染状黄铁矿-毒砂金矿石及浸染状黄铁矿金矿石组成，形态呈透镜体状。

2.1.2 *丘岭锑-金矿床* 丘岭锑-金矿床位于本区锑-金矿田西侧，是继金龙山矿床发现之后的又一重要勘查成果。

丘岭矿区位于本矿区断陷盆地岩相带近中部，其中高频交替之含矿岩系——细碎屑岩-碳酸盐岩较发育。矿区范围出露的地层为上泥盆统南羊山组、下石炭统袁家沟组，紧邻矿区外围中—下石炭统四峡口组发育。

南羊山组按岩性组合可划分为3个岩性段。下部主要由深灰色中薄层泥晶灰岩、泥灰岩和泥质砂岩层组成，夹有少量含碳质、粉砂钙质页岩层；中部主要由含粉砂—细砂质粒屑灰岩、钙质粉砂—细砂岩、粉砂质页岩、钙质页岩中—薄互层组成，夹生物碎屑粒屑灰岩及泥晶粒屑灰岩，该岩段含金性较佳，为丘岭金矿床最重要的含矿和容矿层位。1，4号矿体主体部分赋存其中；上部，也是丘岭金矿床主要的含矿和赋矿层位。地层岩性与中段大体相同，仅主要成分的含量有明显变化。袁家沟组在本区出露较广泛，或划分为上中下3个岩性段，总体以中—厚层、厚层碳酸盐岩组成，偶夹铁质页岩及含铁泥质薄层，并以碳酸盐层中出现燧石条带及团块作为与南羊山组分界。是汞-锑矿化的主要赋矿层位。

南羊山组是本区锑-金矿床形成的重要矿源层，有以上几种岩性。含凝灰黄铁矿钙质粉砂页岩，含凝灰黄铁矿钙质细砂—粉砂岩，粉砂细砂质粒屑灰岩，含砂质砾屑灰岩。具代表性的岩石类型：含凝灰黄铁矿钙质粉砂页岩，含凝灰黄铁矿钙质细砂—粉砂岩，粉砂—细砂质粒屑灰岩，含砂质砾屑灰岩。丘岭矿区总体为一宽缓卵圆形短轴背斜褶皱构造。背斜核部由南羊山组下中岩段组成，西翼由南羊山组上岩段和袁家沟组层位组成，背斜南翼发生部分倒转。锑-金矿带中含矿层位大多位于宏观褶皱形态较完整的中—厚层灰岩褶皱层之下的一定距离之内。发育于钙泥质细砂岩中的不同类型的膝折带极为发育，矿体就位既与袁家沟组地层下部接触应变带有关，又与2组膝折的递进发育有关。破裂构造的发育直接与金矿化程度具正相关性。在小剪切带中，或者在强硬层岩石的周边韧性变形带中，往往伴随发育破裂构造并在岩性有利部位形成工业矿体。丘岭和金龙山矿区的主矿体都位于区域主韧性剪切带上近等间距的应变中心部位。表现为SN，NE，NW向断裂的交会集中，在地貌上形成特征的米字形。这些等间距应变中心处的破裂构造，还表现在主体褶皱山的等间距处被SN向断裂所断开，形成放大的藕节状缩颈处，除了断裂交会、小型破裂构造发育外，一般都比较发育同构造析出脉，构成了膨大的矿体富集部位。

丘岭矿区主要矿脉有5条。

301号矿体分布于矿段中部，位于丘岭短轴背斜核部北侧，受近EW向剪切劈理化带控制。构

黄金地质研究所
信息室 提供

造蚀变带长度大于 1 000 m，走向近 EW，总体 N 倾，倾角 56°。工程控制矿体长 340 m，由于矿体中部被断层切割，矿体分为 EW 两段，东段长 240 m，西段长 100 m。矿体厚 2.55～45.63 m，平均 13.10 m。金品位 0.45×10^{-6}～8.92×10^{-6}，平均 3.63×10^{-6}。矿体出露最高标高 1 179 m，工程控制最低标高 1 110 m。矿体在走向和倾向上均呈舒缓波状，具分支复合现象。矿化强度及宽度均受岩性、构造控制，在粉砂岩夹页岩中及断裂交会部位厚度增大，矿化增强。后期矿化对矿体有破坏作用，使矿体形态复杂多变。

矿体主要由浸染状黄铁矿-毒砂金矿石及浸染状黄铁矿金矿石组成，次为细脉浸染状黄铁矿-毒砂金矿石，在较晚期伴随弱辉锑矿化之脆性断裂叠加处，偶尔出现角砾状锑-金矿石。

304 号矿体位于 301 号矿体北部，赋存于丘岭背斜核部北侧，蚀变带长 700 m，分为 EW 两段，中间有约 200 m 的空白区。东段矿化带长 300 m，宽 4.00～53.00 m，平均 22.28 m，走向 300°，倾向 30°，倾角 67°。工程控制矿体长 230 m，矿体厚 4.00～43.00 m，平均 22.28 m，金品位 1.05×10^{-6}～14.36×10^{-6}，平均 4.20×10^{-6}。矿体出露最高标高 1 218 m，工程控制最低标高 1 103 m。西段矿化蚀变带位于三条沟一带，其中矿体长 170 m，厚 9.87～43.13 m，平均 21.60 m。矿体走向 60°，倾向 NW，倾角 54～70°，平均 67°。金品位 1.00×10^{-6}～10.14×10^{-6}，平均 4.57×10^{-6}。矿体在走向和倾向上均呈舒缓波状，具分支复合现象。矿体膨大增厚部位，往往夹有较大的透镜体状岩块，系剪切透入所致。矿体中伴随含金黄铁矿和毒砂矿化之蚀变部分，主要为网脉状方解石-石英蚀变体，脉状方解石蚀变体。主要矿石类型为浸染状黄铁矿-毒砂金矿石、条带状黄铁矿-毒砂金矿石。网脉—细脉浸染状黄铁矿-毒砂金矿石类型仅在强烈破碎带中发育，分布不普遍，往往形成矿体中更富集部分。

303 号矿体位于矿段南部，矿体长 450 m，总体走向 NWW，其中东段为近 EW 向，西段为 NW 向，倾向 NNE，倾角 42～80°，平均 54°。矿体厚 1.61～13.70 m，平均 5.03 m。金品位 1.01×10^{-6}～6.68×10^{-6}，平均 3.13×10^{-6}。矿体赋存在粉砂岩夹粉砂质页岩中，蚀变以硅化和方解石化及少量的褐铁矿化为主。矿体东段有分支复合现象。

302 号矿体分布于红岩沟、扇子凹一带，蚀变带长约 1 000 m。矿体分东西 2 部分。矿体产状变化较大，走向 330～340°，倾向 NE，局部反倾，倾角 75～85°。工程控制矿体长 590 m，厚度 0.94～11.64 m，平均 3.52 m。矿体出露最高标高 1 290 m，工程控制最低标高 1 247 m。金品位 1.00×10^{-6}～10.16×10^{-6}，平均 3.43×10^{-6}。其中西段长 180 m，厚 1.91～15.38 m。矿体主要受剪切带控制，在走向和倾向上均呈舒缓波状，与两侧围岩无明显界限。当这些剪切带有后期断裂叠加时，即构成矿体。如有 SN 向断裂交会，矿体厚度一般较大，品位增高。矿体分支复合现象比较明显。蚀变以硅化、方解石化和褐铁矿化为主。

308 号矿体位于矿区北部丘岭顶上，蚀变带长 500 m，走向 50～70°，倾向 NW，倾角 42～60°，平均 45°。地表控制矿体长 260 m，厚 0.83～22.37 m。金品位 1.00×10^{-6}～5.34×10^{-6}，平均 2.68×10^{-6}。矿体赋存于杨岭沟组地层中。

2.1.3 *腰俭锑-金矿床* 腰俭矿区位于金龙山矿田中部，在金龙山、腰俭、丘岭所处褶皱式脆-韧性剪切构造控制带主要地段，剪切带呈向 S 突出一弧形构造带，腰俭恰好位于该带弧顶部位，金龙山、丘岭 2 矿床分别位于弧形构造带 NE 和 NW 两侧。南羊山组地层也为腰俭金矿含矿和容矿层位。由于区域性褶皱和剪切构造的联合作用，形成短轴式背斜，成为控制腰俭金矿区矿体及矿化蚀变体直接控矿构造。由于腰俭短背斜较紧闭，褶皱内部剪切变形更类似于金龙山矿床，即产于背斜核部矿体更多受轴面劈理化带的控制，两翼部位矿体多受层间滑劈理及糜棱叶理的控制。多阶段变形地段，特别是发育有二次破碎面地带，往往是工业矿体产出部位。

腰俭锑-金矿床主要矿脉有 6 条。

201 号矿体分布于青凉寺—双庄一带，含矿蚀变带长度大于 800 m，走向 60～80°，倾向 SE，倾角 70～75°，局部反倾。该控矿构造以层间滑劈理、寄生褶皱强烈的面理置换组成的片理化带为特征。地表控制矿体长 370 m，厚 0.80～8.94 m，平均 2.86 m。工程控制矿体最高标高 1 150 m，最低标高 1 016 m。金品位 1.00×10^{-6}～11.28×10^{-6}，平均 4.16×10^{-6}。赋矿岩石为粉砂质页岩、粉砂岩及薄层灰岩。蚀变以硅化、方解石化为主。矿体产状与剪切构造带一致，沿走向及倾向呈舒缓波状，具有扁豆体状矿体形态特征。

207 号矿体位于腰俭矿段中部成家沟以东，含矿蚀变带长约 600 m，走向 270～300°，倾向 S，

黄金地质研究所
信息室 提供

倾角60～80°，平均70°，局部反倾。地表工程控制矿体长460 m，厚1.00～23.25 m，平均2.32 m。矿体分东西2段，东段品位1.00×10^{-6}～11.63×10^{-6}，平均4.65×10^{-6}，西段2.02×10^{-6}。工程控制矿体最高标高1 052 m，最低标高915 m。赋矿岩层为粉砂岩、粉砂质页岩、钙质页岩。

210号矿体位于矿区北部樊家山一带。工程控制矿体长250 m。总体走向NE，南段倾向320°，北段反倾，倾角50～80°。矿体厚0.93～10.57 m，平均3.91 m。金品位1.00×10^{-6}～5.78×10^{-6}，平均3.15×10^{-6}。矿体出露最高标高1 235 m，最低标高1 175 m。

211号矿体位于矿区中部聂家槽一带。矿体长200 m，总体走向330°，倾向50～80°，总体倾向50°，倾角70～80°，平均75°。矿体厚1.3～4.02 m，平均厚度2.47 m。金品位1.00×10^{-6}～8.63×10^{-6}，平均3.68×10^{-6}。赋矿岩性为粉砂岩、钙质页岩。蚀变以方解石化和硅化为主。

213号矿体位于袁家沟西坡，蚀变带长300 m，总体走向170～195°，倾向W，倾角46～80°，平均45°。地表工程控制矿体长200 m，厚1.00～6.00 m，平均2.80 m。金品位1.06×10^{-6}～9.02×10^{-6}，平均3.3×10^{-6}。工程控制矿体最高标高1 100 m，最低标高940 m。矿体赋存于南羊山组粉砂质页岩及粉砂岩中。蚀变以方解石化和硅化为主。

307号矿体（原天坑1号）位于丘岭矿区北。矿体严格受近EW向断层控制，破碎带长2 500 m，宽0.40～3.00 m，走向245～260°，总体走向近EW，倾向N，倾角42～79°，平均60°。地表工程控制矿体长1 280 m，厚0.81～2.04 m，平均1.18 m。金品位1.06×10^{-6}～53.60×10^{-6}，平均11.61×10^{-6}。工程控制矿体最高标高1 530 m，最低标高1 440 m。矿体产状同断层破碎带产状一致。矿体矿化类型为构造角砾岩型，围岩蚀变主要有黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、碳酸盐化及少量毒砂化，其他有高岭土化、绢云母化等。矿体地表均为氧化矿石，金属矿物主要有金、黄铁矿、褐铁矿，其次有毒砂，非金属矿物主要有方解石、石英及粘土矿物。

2.1.4 *古楼山锑-金矿床* 古楼山矿段主要包括403和416号2个矿体。

403号矿体位于东长沟大凹，破碎带长约1 000 m，走向315°，倾角50°，平均65°。矿体产状变化较大。地表工程控制矿体长200 m，单工程见矿厚度0.85～7.20 m，平均4.81 m。金品位1.05×10^{-6}～9.18×10^{-6}，平均2.76×10^{-6}。工程控制矿体最高标高1 505 m，最低标高1 422 m。矿体在走向上呈波状延伸，分支复合与尖灭再现等变化显著。矿体东段矿化相对较好，西段连续性差，矿化强度严格受NW向断裂和有利地层控制。其蚀变主要为褐铁矿化、硅化和方解石化。

416号矿体位于矿区北部。破碎带长300 m，走向280～300 m，平均走向290°，倾向S，倾角45～59°，平均50°。地表控制矿体长200 m，单工程见矿厚度2.76～3.45 m，平均3.45 m。金品位1.34×10^{-6}～14.50×10^{-6}，平均5.72×10^{-6}。工程控制矿体最高标高1 440 m，最低标高1 400 m。矿体产状较为稳定，两边品位较低，中间较高。蚀变主要为褐铁矿化、方解石化、其次为硅化。

2.2 矿石及矿物特征

2.2.1 *矿石特征* 区内原生矿石分为三大类和6个亚类：金矿石可分为黄铁矿型，黄铁矿-毒砂型；锑-金矿石分为辉锑矿-黄铁矿型锑-金矿石，辉锑矿-黄铁矿-毒砂型；锑矿石分为锑矿石，汞-锑矿石。氧化矿石分为氧化金矿石和氧化锑矿石2类。

矿石组构以含金硫化物的微细浸染状、微细条带状、细脉—浸染状、浸染—角砾和草莓状、双联细球菌构造常见并具代表性。少量为晶洞状、团块状构造，氧化矿石为土状、多孔状构造。矿石结构有自形—半自形微细粒状、增生环带状、包含结构等。

与锑-金矿化较为密切的蚀变主要为硅化和碳酸盐化（方解石化和铁白云石化）。其次为重晶石化、伊利石化、黄铁矿化、毒砂矿化、褐铁矿化、高岭土化等。早期矿化蚀变以黄铁矿、含砷黄铁矿化、毒砂化及微弱硅化为特征。中期矿化蚀变仍以黄铁矿化、含砷黄铁矿化、毒砂化为特征。晚期以粗晶黄铁矿化、辉锑矿化、辰砂化为特征，同时伴随强烈的似碧玉岩化、方解石化、重晶石化和少量伊利石化。似碧玉岩化多呈脉状产出。其中早、中期矿化蚀变作用与金矿化关系密切，含砷黄铁矿和毒砂是最主要的载金矿物。

矿床成矿作用划分3个成矿期：同生沉积成矿预富集期，构造叠加—热液改造成矿期和表生氧化次生富集期。构造叠加—热液改造成矿期可进一步划分为4个成矿阶段：褶皱变形成矿阶段，次级褶皱-应变滑劈理变形成矿阶段，膝折变形成矿阶段，脆性变形成矿阶段。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.2.2 *矿物特征* 金矿化阶段的黄铁矿为细粒自形晶，与毒砂矿共生或单独出现，局部金矿化阶段仅有毒砂集合体。黄铁矿粒径 10～100 μm，多为 20 μm 左右；毒砂 10～300 μm，呈针状、菱柱状。粘土矿物主要为伊利石，其次有少量蒙脱石、高岭石，粘土质无金的明显富集。石英几乎出现于各个矿化阶段，不是载金矿物。含 Fe 方解石（多为褐黄色）是金矿化的直接标志。野外多见褐黄色方解石具硫化物流失孔。辉锑矿含 Au 较高（45×10^{-9}～130×10^{-9}），对寻找金矿具一定的指示意义。

3 地球化学特征

金龙山金矿带的流体包裹体特征，液相成分，气相成分，碳（PDB 标准）和氢、氧（SMOW 标准）同位素组成见表 1，2，3，4（张复新，1997；赵利青，1997；张静等，2002）。

表 1 金龙山金矿带的流体包裹体特征及均一温度

矿床	矿化阶段	样品号	寄主矿物	包裹体形状	大小 μm	φ气相 %	t_h/℃
金龙山	金矿化	J153-2	石英	卡脖子状，似球、不规则状	1～5	6～30	158，199，207
	锑矿化	J-PD7-Ca	方解石	不规则、椭圆状	1～3	10～20	151，218，246
	碳酸盐化	J131，J138，J-mg-1，-2，-5	石英，方解石	三角、不规则、似球、菱形等	1～8	5～15	81，136，139，142，157，160，178
丘岭	金矿化	Q-PD0-Ⅳ，Q-PD7-1(1)	石英	不规则状，椭圆、蠕虫状，负晶形	1～2	5～25	182，198，215，217，253，268
	锑矿化	Q-Tc0-Ca，Q304-7	石英，方解石	不规则、椭圆、细管状	3～6	5～25	181，184，187，205，277
	碳酸盐化	Q304-5，Q304-6	方解石	似球状，椭圆状，长条状，菱形，卡脖子状	5～8	10～40	149，153，161，184，212
腰俭	锑矿化	Y30-1	石英	细管、长条状	0.5～3	2～25	120，167
	碳酸盐化	Y40-9	石英	三角、眼球、不规则状，圆形，长条状	0.5～4	4～40	120，192
古楼山	锑矿化	D3-5	石英	长方形，不规则状，纤状	1～3	5～30	142，144

表 2 金龙山金矿带的流体包裹体液相成分

矿床	样号	期次	矿物	$w(B)/10^{-6}$										Cl^-/F^-	Na^+/K^+
				F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	ΣM[1]	ΣM[2]		
金龙山	J-PD52-1	金矿化	石英	2.23	3.38	12.99	10.37	1.23	18.44	—	—	18.60	19.67	1.52	0.07
	J153-1	金矿化	石英	0.44	49.40	1.85	—	30.88	4.71	0.95	0.00	51.69	36.54	112.27	6.56
	J-PD7-Ca	锑矿化	方解石	0.89	4.78	53.60	—	2.54	0.38	—	—	59.27	2.92	5.37	6.68
	J-mg-3	碳酸盐化	方解石	0.35	1.41	1.44	—	0.63	0.33	2.08	—	3.20	3.04	4.03	1.91
	J-mg-4	碳酸盐化	方解石	0.05	0.24	0.29	—	0.28	0.29	1.26	—	0.58	1.83	4.90	0.97
	J-mg-5	碳酸盐化	方解石	0.64	1.35	1.20	—	0.66	0.38	2.42		3.19	3.46	2.11	1.74
丘岭	Q-PD0-Ⅳ-2	金矿化	石英	0.04	1.29	2.00	18.31	1.06	1.36	—	—	3.33	2.42	32.25	0.78
	Q-PD7-Ca	锑矿化	方解石	1.40	7.45	量大	—	3.14	0.49	—		量大	3.63	5.32	6.41
	Q304-7	锑矿化	方解石	0.31	3.56	0.96	—	1.26	0.40	1.57	—	4.83	3.23	11.48	3.15
	Q304-7	锑矿化	石英	0.05	21.00	1.20	—	9.67	1.34	0.07	0.62	22.25	11.08	428.57	7.22
	Q304-6-2	碳酸盐化	方解石	0.15	1.30	1.20	—	0.39	0.30	0.72	—	2.65	1.41	8.67	1.30
	Q304-6-5	碳酸盐化	方解石	0.30	1.35	0.72	—	0.74	0.29	1.56	—	2.37	2.59	4.50	2.55
腰俭	Y30-1	金矿化	石英	0.52	25.9	0.62	—	11.47	10.88	0.02	0.00	27.04	22.37	49.81	1.05
	Y36-3-1	锑矿化	方解石	1.55	4.90	0.44	—	2.19	0.42	1.87	0.00	6.89	4.48	3.16	5.21
古楼山	D3-4	金矿化	石英	0.71	24.9	1.85	—	15.44	3.41	0.04	0.00	27.46	18.89	35.07	4.53

注：1）未计 HCO_3^-；2）未计 Ca^{2+}；“—”为低于检测限。

黄金地质研究所
信息室 提供

表3 金龙山金矿带流体包裹体气相成分

矿床	样号	期次	矿物	x(B)/%									H_2O/CO_2	CO_2/CH_4	CH_4/CO	CO_2/CO	R
				CH_4	H_2O	CO	N_2	C_2H_6	CO_2	O_2H_2	S	Ar					
金龙山	J-PD52-1	金矿化	石英	0.22	96.89	0.09	0.21	—	2.58	—	—	—	37.52	11.67	2.40	27.99	0.12
	J153-1	金矿化	石英	0.34	98.63	0.01	0.13	—	0.89	—	—	—	110.35	2.63	38.18	100.37	0.39
	J-PD7-Ca	锑矿化	方解石	0.06	95.47	0.06	0.42	—	3.99	—	—	—	23.94	66.95	0.94	63.25	0.03
	J-mg-3	碳酸盐化	方解石	0.36	92.97	0	0.22	0.62	5.56	0.07	0.07	0.11	16.68	∞	0.77	0.77	0.06
	J-mg-4	碳酸盐化	方解石	0.29	94.93	0.38	0.22	0.73	3.21	0.08	0.10	0.06	29.61	10.90	∞	8.44	0.21
	J-mg-5	碳酸盐化	方解石	0.23	94.78	0.10	0.56	0.76	3.23	0.13	0.12	0.09	29.37	13.85	2.43	33.61	0.10
丘岭	Q-PD-Ⅳ-2	金矿化	石英	0.22	95.81	0.08	0.44	—	3.46	—	—	—	27.72	15.91	2.67	42.49	0.09
	Q- PD7-Ca	锑矿化	方解石	0.27	94.08	0.11	0.19	—	5.34	—	—	—	17.62	19.47	2.44	47.47	0.07
	Q304-7	锑矿化	石英	0.40	93.48	0.55	1.24	0.47	3.48	0.08	0.12	0.18	26.85	8.64	0.73	6.34	0.27
	Q304-7	锑矿化	方解石	0.46	92.58	0	0.06	0.96	5.41	0.05	0.07	0.42	17.11	11.79	∞	∞	0.08
	Q-CS-7	锑矿化	方解石	0.38	86.21	0	0	1.10	10.25	0	0.21	0.95	8.41	26.69	∞	∞	0.04
	Q304-6-2	碳酸盐化	方解石	0.69	74.56	0	0.56	4.50	17.70	0.17	0.21	1.63	4.21	25.68	∞	∞	0.04
	Q304-6-5	碳酸盐化	方解石	0.52	84.83	0	0	0	14.48	0	0.09	0.08	5.86	27.68	∞	∞	0.04
腰俭	Y30-1	金矿化	石英	0.21	95.50	0.01	0.69	—	3.60	—	—	—	26.56	16.89	31.25	527.73	0.06
	Y36-3-1	锑矿化	方解石	0.02	96.06	0.09	0.05	—	3.77	—	—	—	25.47	164.46	0.25	41.12	0.03
古楼山	D3-4	金矿化	石英	0.08	98.71	0.02	0.15	—	1.05	—	—	—	94.39	13.64	4.85	66.08	0.09

注：还原参数 $R=(H_2+CO+CH_4)/CO_2$；“—”为低于检测限。

表4 金龙山金矿带矿物及矿物流体包裹体碳（PDB标准）和氢、氧（SMOW标准）同位素组成

矿床	样品号	期次	矿物	δD_{H_2O}/‰	$\delta^{18}O_{矿物}$/‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$/‰	$\delta^{13}C_{包裹体}$/‰	$\delta^{13}C_{矿物}$/‰
金龙山	J-PD52-1	金矿化	石英	−79	25.1	13.7	—	—
	J153-1	金矿化	方解石	—	24.3	—	—	1.5
	J153-2	金矿化	石英	−86	25.9	11.8	—	—
	J-PD7-Ca	锑矿化	含铁方解石	−97	22.7	13.2	—	−4.0
	J-mg-3	碳酸盐化	方解石	−66	17.9	5.5	−1.8	0.2
	J-mg-4	碳酸盐化	方解石	−63	16.5	4.1	−3.1	0.8
	J-mg-5	碳酸盐化	方解石	−66	16.5	4.1	−2.8	1.0
	J112	围岩地层	生物灰岩	—	23.4	—	—	1.5
丘岭	qPD0-3-2	金矿化	石英	−80	25.3	13.9	—	—
	Q64-5	金矿化	含铁方解石	—	20.4	—	—	−5.1
	Q-PD7-Ca	锑矿化	方解石	−105	21.8	12.3	—	0.3
	Q304-7	锑矿化	方解石	−76	22.3	11.6	−1.2	−0.7
	Q304-7	锑矿化	石英	−71	25.5	13.1	−0.1	
	Q304-6-2	碳酸盐化	方解石	−69	22.0	10.7	−1.5	−1.6
	Q304-6-5	碳酸盐化	方解石	−69	22.1	10.8	−1.3	−3.6
腰俭	Y30-1	金矿化	石英	−77	23.0	8.9	—	—
	Y36-3-1	锑矿化	含铁方解石	−100	6.7	−1.9	—	−2.9
	Y36-3-2		方解石	—	21.8	—	—	−2.6
古楼山	D3-4	金矿化	石英	−78	24.6	10.5	—	—
	D1-2	锑矿化	含铁方解石	—	20.8	—	—	−3.9

注：$\delta^{18}O_{H_2O}$为计算值，石英和方解石与水的分馏方程分别采用：$1\,000\ln\alpha_{石英-水}=3.42\times10^6T^{-2}-2.86$（张理刚，1985，200～500 ℃）；$1\,000\ln\alpha_{方解石-水}=2.78\times10^6T^{-2}-2.89$（O'Neil，1969，0～800 ℃）。其余栏目均为实测值。“—”为未测者。

黄金地质研究所
信息室 提供

新疆双泉金矿床

2003年，武警黄金第八支队在新疆奇台县发现双泉金矿，目前已达到大型。矿区位于新疆准噶尔盆地东部的奇台、清河两县交界处，距奇台县城约180 km。地理坐标：东经90°00′～91°00′，北纬44°40′～45°20′。矿区中心坐标：东经90°17′31″，北纬45°02′50″。双泉金矿位于东准噶尔地区，大地构造位置属于卡拉麦里晚古生代板块结合带北侧边界断裂——清水—苏吉泉断裂带主构造中。

1 地质背景

1.1 地 层

矿区内泥盆系广泛出露，主要分布于矿区北部。中泥盆统平顶山组岩层（D_2p），由一套正常浅海碎屑岩组成，以凝灰岩、砂岩、粉砂岩和砂砾岩为主。岩性主要为中基性火山凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂岩；其底层为一层紫红色深海相沉积的硅质岩、碧玉岩。以清水—苏吉泉大断裂与上覆下石炭统南明水组地层不整合接触。

石炭系分布于矿区南侧，是重要的赋矿地层。出露岩层为下石炭统南明水组。下石炭统南明水组（C_1n）呈NW—SE向带状分布，出露面积较大，组成一高角度的复向斜，向斜的两侧均被断层切割，其南以卡拉麦里断裂与过渡带卡拉麦里组分开；北以清水—苏吉泉断裂与地槽型平顶山组分开，下界不明。该组主要由浅海相碎屑岩及火山碎屑岩组成，并见有少量的火山熔岩夹层或透镜体。下亚组（C_1n^a），主要由灰绿色及灰色片理化粉砂岩、千枚岩化粉砂岩、钙质粉砂岩组成，夹有砾岩、长石砂岩、凝灰砂岩、凝灰岩和灰岩透镜体。上亚组（C_1n^b），整合产于下亚组之上，以一层断续出露的压扁圆砾岩、砂砾岩和砂岩分开，以碎屑岩为主。

第四系广泛分布于工作区内洼地、沟谷、山前地带和河谷两侧及盆地边缘。主要为风积、洪积、冲积、堆积的铁质、钙质、泥质胶结等形成的砂质粘土、石英细砂、岩块及砾石沙土等松散堆积物。

1.2 构 造

双泉金矿受控于清水—苏吉泉韧-脆性剪切构造系统，其中2号和1号矿脉位于主构造带中，3，4号矿脉受次级裂隙控制。构造带中岩石多已蚀变破碎，为强片理化蚀变破碎带，沿该带有大量超基性岩脉、岩株分布，同时也为含金热液的贯入和赋存创造了有利空间，形成矿体和矿化体（图1）。

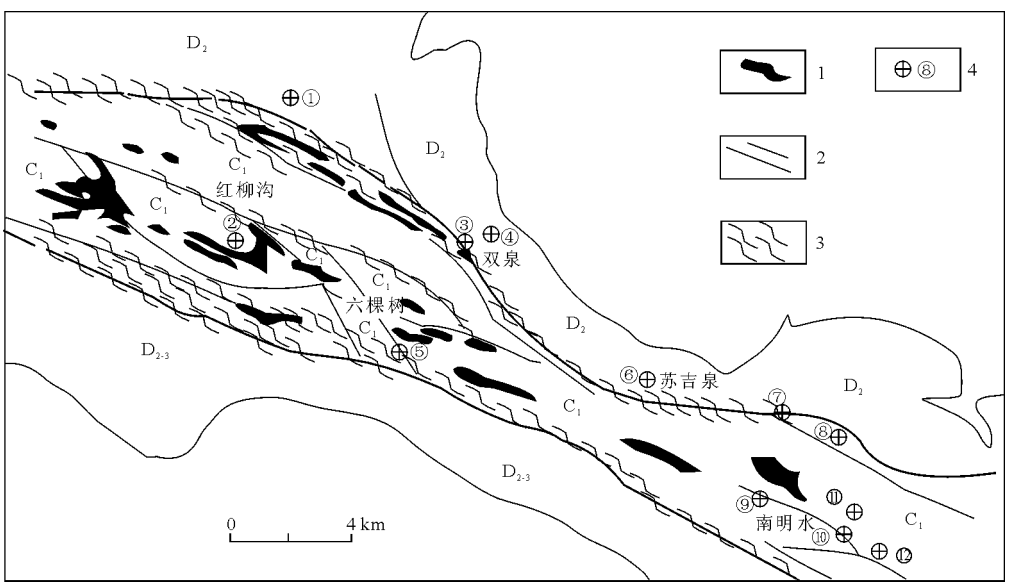

图1 区域金矿分布与构造关系图

D_2—中泥盆统粉砂岩、凝灰岩；D_{2-3}—中上泥盆统凝灰质粉砂岩；C_1—下石炭统凝灰岩、凝灰质火山碎屑岩；1—蛇绿岩；2—深大断裂带及一般断裂；3—韧-脆性剪切构造带；4—矿床（点）及编号；①—红柳沟6号矿点，②—红柳沟南矿点，③—双泉金矿，④—黄南矿点，⑤—六棵树矿点，⑥—苏吉泉矿点，⑦—苏吉泉东2号矿点，⑧—169矿点，⑨—南明水3号矿点，⑩—南明水2号矿点，⑪—南明水1号矿点，⑫—南明水4号矿点

黄金地质研究所
信息室 提供

清水—苏吉泉大断裂为一向NE倾斜的逆断层，倾角一般大于80°。是多条断层组成的构造片理化带，局部断层由于后期构造、热液活动形成矿床（点）。该断裂可细分为以下几个断层（破碎带）。

F_1 破碎带，位于矿区东南，长1 600 m，走向320°，为一强片理化凝灰岩带，局部充填的石英脉呈串珠状透镜体产出，断续长度约3 000 m。

F_2 破碎带，位于矿区中部，长2 000 m，走向320°，为一紫红色片理化泥质岩带，NE侧为灰绿色基性凝灰岩，SW侧零星出露有碧玉岩、硅质岩。在南端的40线有与主构造 F_3 复合的趋势。

F_3 破碎带，位于矿区中部，是1，2号脉所赋存的构造，长大于5 440 m，宽100 m左右，走向320°，全部被第四系覆盖，由于矿区采矿大部分已剥开，为一强片理化蚀变千枚岩带，大部分地段充填有石英脉、金属硫化物而构成矿体（矿脉），推测 F_3 为清水—苏吉泉大断裂主构造通过处。

F_4 断层，位于矿区NE部，是山前断层，断层NE侧为深灰色层状凝灰质砂岩（泥盆系平顶山组），SW侧为灰—灰绿色片理化凝灰岩（石炭系南明水组）。该断层为清水—苏吉泉大断裂带的边界。

1.3 岩浆岩

区内岩浆活动较为发育。

辉长岩类，岩体以小岩株状零星分布，受后期超基性岩的侵入破坏，一般呈残留体分布于超基性岩体中部或边缘。单个岩体或残体长10～100 m，宽10～50 m。沿270～300°方位延伸。主要为辉长岩，偶尔可见辉长玢岩。

超基性岩类（Σ_4^{2b}），主要沿卡拉麦里深断裂及清水—苏吉泉大断层间次一级的构造裂隙侵入，多为不规则岩墙、岩株，单个岩体长30～200 m，宽10～50 m。主要岩石有含辉纯橄岩及纯橄岩、斜辉辉橄岩等。

含辉纯橄岩及纯橄岩，暗灰绿、暗绿色，具环状结构，块状构造。

斜辉辉橄岩，多形成灰白—灰绿色粉末。具环状结构，块状构造。

钠铁闪石花岗岩（γ_4^{2e}），主要分布在矿区以北，南侧与偏碱性的花岗岩体（γ_4^{2f}）呈侵入不整合接触，呈大岩基状产出，是构成黄羊山杂岩体的主要部分，主要岩性是灰—红灰色中细粒钠铁闪石花岗岩。

偏碱性花岗岩体（γ_4^{2f} 及 $\gamma\varepsilon_4^{2f}$），主要分布于研究区以北，呈岩基状产出，部分为岩株状，平面形状不规则。为构成黄羊山杂岩体的重要岩体之一，浅红—桔黄色，中—中细粒钾质花岗岩。

浅成岩均为华力西中期。多呈脉和岩株产出，脉岩见黑云闪长玢岩、闪长玢岩、石英闪长岩和安山玢岩、辉石安山玢岩等。闪长玢岩、黑云母闪长玢岩为灰绿或暗绿色，斑状结构，块状构造。安山玢岩、辉石安山玢岩为灰绿，黄绿或灰紫色，具斑状结构，块状构造。

研究区主要地层、侵入岩中与金有关的微量元素含量见表1（廖启林，1999）。

表1 主要地层、侵入岩中与金有关的微量元素含量 w（Au）/10^{-9}，w（B）/10^{-6}

地层	岩性	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
P_1	陆相火山岩	3.8	0.05	8.75	0.37	0.013	8.9	8.45	75.3	32.4	18.9
C_2	凝灰质砂岩、灰岩	11	0.05	4.20	0.34	135.0	14.5	90.0	25.0	30.0	
C_1n	凝灰砂岩、灰岩、安山岩	21	0.04	20	0.18	0.02	8.6		26.8	6.1	3.0
C_1h	凝灰岩、安山岩	17	0.02	5.6			33.3		46.1	116.1	23.1
C_1b	凝灰岩、流纹岩(陆相)	4.9	0.091	7.14	0.47	0.019	49.4	16.3	85.4	20.5	13.1
D_3	浅变质碎屑岩夹火山岩	7.8	0.08	6.85	1.22	0.016	52.2	15.5	101.4	53.8	24.7
D_2b	凝灰砂岩、玄武岩	20	0.054	7.95	0.58	0.018	69.8	34.8	89.9	19.9	23.9
D_2t	正常碎屑岩	12	0.045	8.4	0.80	0.032	30.0	12.5	76.7	14.9	11.5
D_2s	安山岩、凝灰岩	36	0.049	9.2	0.42	0.028	36.5	12.3	80.4	15.7	16.4
D_2	火山碎屑岩中基性火山岩	2.5	0.05	4.30	0.28	0.022	38.5	17.2	85.0	28.8	27.5
S	变砂岩、粉砂岩、板岩	3.6	0.07	3.32	0.31		11.8	15.7	28.5	8.70	4.44
	超基性杂岩	7.4	0.055	10.87	0.39		38.21	14.05	76.34	100.5	33.8
	普通花岗岩	3.7	0.063	1.94	0.29		4.70	14.18	15.35	14.3	7.3
	花岗闪长岩	3.6	0.054	5.46	0.44	0.016	15.3	15.9	40.0	9.3	8.7
	钾长花岗斑岩脉	22	0.76	10.8	18.07		42.4	16.6	161	5.1	4.5
	黑云母花岗岩	41	0.057	5.71	0.65		24.4	18.3	18.4	7.1	3.6
	花岗闪长岩	5.1	0.051	10.86	0.69		24.15	16.35	84.09	8	6.3
	新疆北部区域丰度值(据杜佩轩)	5.4	0.06	3.74	0.29	0.01	22.8	11.5	65.0	12.1	9.64

黄金地质研究所
信息室 提供

2 矿脉（体）特征

双泉金矿区目前共发现1，2，3，4，5号含金矿脉，均平行分布，产于下石炭统南明水组地层中。矿脉主要受NW向的清水—苏吉泉断裂控制，并赋存在其内，属破碎蚀变岩夹石英脉型。

2.1 1号脉

1号脉为断裂带内的破碎蚀变岩夹石英脉，以破碎蚀变岩为主。地表出露长约1.5 km，宽1～15 m，呈NW向舒缓波状展布，走向320°，南东段倾向NE，倾角75～87°，北西段倾向SW，倾角78～86°，中段为近直立。破碎蚀变岩主要为硅化绢云千枚岩，具片理化、糜棱岩化。与围岩界限不明显，主要为灰白、灰绿、灰黑色，风化呈黄褐至浅肉红色，局部含碳呈黑色，污手。鳞片变晶结构，千枚状、条带状、糜棱状构造。石英脉为细脉或石英透镜体呈条带状分布。

破碎蚀变岩因受动力挤压具浅变质现象，片理、劈理发育，局部发育小褶曲，断裂带内发育糜棱岩、千糜岩、构造片岩及石英透镜体，沿断裂带上盘（南西）岩石蚀变强烈。主要蚀变为绢云母化、硅化、碳酸盐化，沿片理面可见较强的丝绢光泽，其次为绿泥石化、高岭土化。矿化为黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化等。

矿脉向南东具有分支，控制矿脉长920 m。单工程最高品位3.06×10^{-6}，最低品位1.13×10^{-6}，平均品位2.52×10^{-6}，最大厚度11.43 m，最小1.18 m，平均4.13 m。

2.2 2号脉

2号脉矿石类型与1号脉相似，位于1号脉北侧并与其平行，地表出露长约3 km，宽5～30 m。沿NW向呈舒缓波状展布，矿脉主体走向320°，倾角近直立，南东段倾向NE，倾角75～88°，北西段倾向SW，倾角74～86°，中段为近直立。矿脉主要由硅化绢云千枚岩及少量石英（细）脉、石英透镜体组成。

破碎蚀变岩主要为硅化绢云千枚岩，具片理化、糜棱岩化。颜色与围岩界限不明显，主要为灰白、灰绿、灰黑色，风化呈黄褐至浅肉红色，局部含碳呈黑色，污手。鳞片变晶结构，千枚、条带、糜棱状构造。石英脉为细脉或石英透镜状，呈条带状分布。破碎蚀变岩因受动力挤压具浅变质，片理、劈理发育，局部发育小褶曲，断裂带内发育糜棱岩、千糜岩、构造片岩及石英透镜体，沿断裂带上盘（南西）岩石蚀变强烈。主要蚀变为绢云母化、硅化、碳酸盐化，沿片理面可见较强的丝绢光泽，其次为绿泥石化、高岭土化。矿化为褐铁矿化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、黄铜矿化、孔雀石化等。

2号脉单工程最高品位4.79×10^{-6}，最低1.07×10^{-6}，平均2.70×10^{-6}。最大厚度12.31 m，最小0.83 m，平均4.99 m。该脉含金性地表与坑道相比，深部较地表富，而地表则可能由于风化淋滤作用，金品位普遍低于深部。

2.3 其他矿脉

3号脉位于1号脉NW约500 m处，与1号脉同处于同一构造带中，矿脉地表呈NW向舒缓波状产出，产状38～62°∠63°～87°，平均53∠78°。以蚀变岩夹石英脉为主。矿脉主要由硅化绢云千枚岩及石英脉、石英透镜体组成。控制矿脉长120 m，宽2.4～3.0 m，一个工程见矿厚度0.95 m，金品位8.97×10^{-6}。

4号脉位于3号脉北西150 m处，与3号脉同处于一个构造带中，矿脉地表呈舒缓波状，产状55∠76°。以蚀变岩夹石英脉为主。矿脉主要由硅化绢云千枚岩及石英脉、石英透镜体组成。1个槽探工程控制矿脉宽4.95 m，有金矿化显示的一个样品厚0.95 m，金含量1.33×10^{-6}。

5号脉为一条厚度较大的石英脉，位于1，2号脉NW延长部位，地表出露石英脉长约250 m，宽10～20 m，产状45∠86°。1个槽探工程控制石英脉宽18.2 m，金含量为0.1×10^{-6}～0.2×10^{-6}。

3 地球化学特征

双泉金矿主成矿阶段成矿温度属中低温：160～240 ℃；成矿流体盐度：3.55% ～4.5%。

双泉及外围金矿床的硫化物S同位素组成见表2；氢氧同位素测定结果见表3。本区蚀变岩型金矿床矿石、蚀变围岩、正常围岩及其他类型金矿床的稀土元素测试结果见表4。

表2 双泉及外围金矿床的硫化物S同位素组成

样号	标本描述	采样地点	$\delta^{34}S/‰$	$\sigma/‰$
SQD31	黄铁矿	D37点2号脉掌子面	8.38	0.002
SQD60	黄铁矿	ZK2302内170.6m	10.68	0.007
SQD64	黄铁矿	ZK2302内185.5m	3.76	0.002
SQD84	黄铁矿	南明水3号井	3.54	0.008
SQD95	毒砂	柳树泉金矿	1.63	0.003
SQD100	黄铁矿	金山沟	1.99	0.001

黄金地质研究所
信息室 提供

表3 双泉及外围金矿床氢氧同位素组成

样 号	标 本 描 述	$w(Au)/10^{-9}$	$\delta D/‰$	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}/‰$	$\delta^{18}O_{H_2OSMOW}/‰$
SQD-62	石英细脉无金属矿化,脉两侧有矿化,ZK2302内177.6 m	6 340	−97	17.5	8.1
矿点6-2	乳白色,红柳沟6号矿点	47 600	−90	15.8	6.4
SQD-95	硅化,黄铁矿化,柳树泉金矿	980	−87	14.6	5.2
SQD-31	硅化,多金属矿化,2号脉马道	212	−98	15.5	6.1
黄南3	发育石英网脉状,黄南	640	−96	13.7	4.4
大沙沟1	弱星点状黄铁矿化,大沙沟金矿点	540	−86	14.6	5.2
SQD−84	硅化,黄铁矿化,南明水3号井	11 300	−99	13.3	3.9

表4 双泉地区岩石和石英脉的稀土元素含量 $w(B)/10^{-6}$

样品类别	样 号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
未蚀变地层	黄南1	17.6	39	5.83	23.83	5.62	1.22	5.02	0.91	5.29	1.05	3.08	0.49	3.04	0.5
	SQD−15	6.1	13	2.25	10.62	3.03	0.97	3.15	0.63	3.99	0.83	2.46	0.37	2.31	0.36
	SQD−16	14.9	26	4.87	20.52	5	1.19	4.94	0.96	5.64	1.17	3.33	0.51	2.99	0.46
	SQD−17	18.3	35	4.95	20.49	4.79	1.24	4.59	0.86	5.08	1	2.91	0.44	2.58	0.38
	SQD−22	14.4	28	4.24	16.86	3.65	0.77	3.2	0.58	3.28	0.66	2	0.32	1.99	0.33
弱蚀变地层	SQD−64	17.1	34	5.02	20.41	4.45	1.22	3.96	0.71	3.96	0.79	2.32	0.37	2.3	0.39
	SQD−8	40.4	93	13.12	58.45	14.99	4.83	14.84	2.73	14.95	2.77	7.16	0.97	5.25	0.74
	SQD−59	4.1	8	1.26	5.37	1.51	0.6	1.53	0.31	1.81	0.36	1.02	0.16	0.98	0.16
强蚀变地层(蚀变岩型矿石)	SQD−57	12.9	26	4.15	17	4.04	1.06	3.75	0.73	4.27	0.86	2.52	0.39	2.39	0.38
	SQD−60	14.2	28	4.48	18.6	4.28	1.16	4.19	0.8	4.74	0.97	2.87	0.46	2.83	0.46
	黄南3	7.3	14	2.03	8.17	1.74	0.75	1.61	0.28	1.6	0.32	0.98	0.16	1	0.17
	SQD−61	14.7	30	4.9	20.56	5.05	1.35	4.76	0.9	5.24	1.07	3.99	0.5	3.16	0.51
	SQD−62	3.6	7	1.06	4.38	1.03	0.27	0.95	0.18	0.98	0.21	0.61	0.1	0.62	0.1
	SQD−63	15.6	29	4.49	18.04	4.21	0.96	4.13	0.77	4.48	0.93	2.75	0.44	2.78	0.45
	SQD−84	8.3	19	3.28	15.35	4.22	1.37	4.27	0.85	4.94	0.98	2.81	0.41	2.39	0.38
含金石英脉	SQD−29	5.6	10	1.41	5.56	1.32	0.45	1.26	0.24	1.25	0.24	0.68	0.1	0.6	0.1
	SQD−30	7.5	14	2.06	8.3	1.93	0.5	1.85	0.34	1.96	0.39	1.21	0.19	1.19	0.19
	SQD−87	1	2	0.31	1.35	36	0.12	0.39	0.07	0.42	0.08	0.24	0.04	0.21	0.03
	SQD−89	3.7	8	1.24	5.39	1.33	0.38	1.28	0.25	1.43	0.29	0.83	0.12	0.7	0.11
	大沙沟1	12.1	24	3.96	16.5	4.15	1.05	3.84	0.72	4.1	0.81	2.24	0.33	1.96	0.3
	矿点6−2	4.3	9	1.5	6.8	2.09	0.66	2.23	0.46	2.55	0.47	1.26	0.18	1.08	0.17
不含金石英脉	库布苏2	2.46	1.17	6.01	4.39	0.13	8.28	2.93	23.96	5.75	19.47	3.5	22.27	3.56	
	矿点6−4	17.2	68	7.51	34.65	17.47	0.17	24	8.17	65.76	15.48	51.09	8.72	53.5	8.2
	矿点6−5	10.6	40	6.72	32.56	19.3	0.17	27.73	8.36	61.14	13.66	43.47	7.24	43.88	6.81
	矿点6−6	3.1	23	2.39	14.62	13.79	0.12	23.31	8.07	60.83	13.81	44.24	7.51	46.76	7.24
蚀变碱性斑岩	SQD−36	0.4	1	0.15	0.86	0.36	0.45	0.5	0.11	0.71	0.15	0.46	0.08	0.39	0.07
	SQD−45	0.9	2	0.26	1.2	0.39	0.36	0.49	0.1	0.71	0.15	0.45	0.07	0.42	0.07
	SQD−33	0.8	1	0.21	0.88	0.24	0.24	0.26	0.05	0.26	0.05	0.14	0.02	0.12	0.02
黄羊山花岗岩	SQD−91	45.1	95	13.17	52	11.25	0.11	10.5	1.97	11.48	2.34	7.03	1.14	7	1.2

测试单位:中国地质科学院地球物理地球化学勘查所,2006。

黄金地质研究所
信息室 提供

湖南大新金矿

1 区域地质背景

该区位于扬子地台与华南褶皱系接壤地带北缘，白马山—龙山 EW 向构造带中部，大乘山穹隆 NE 倾伏端。

区域地层除缺失侏罗系和第三系外，从震旦系—第四系均有出露，地层的分布明显受白马山、大乘山、龙山等 EW 向排列的串珠状穹隆控制。震旦系—志留系地层构成穹隆的核部，泥盆系地层绕穹隆呈环带状分布，石炭系—三叠系顺穹隆之间的 NE 向向斜展布，总体为一套在坳拉槽环境中的裂谷式沉积建造，具明显的三元结构：震旦—寒武系冰水及火山碎屑建造、黑色碳硅建造构成第一结构层，奥陶系类复理石建造构成第二结构层，泥盆—三叠系陆源碎屑及碳酸盐建造构成第三结构层（图 1）。

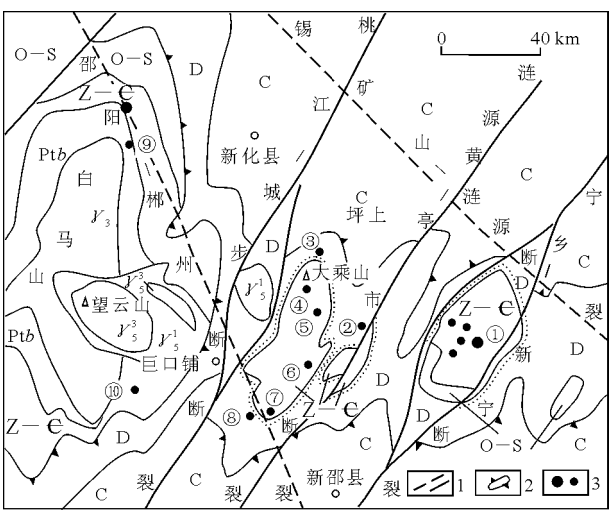

图 1 湖南白马山—龙山金矿带地质略图［据康如华（2001）修改］

C—石炭系；D—泥盆系；O—S—奥陶—志留系；Z—∈—震旦—寒武系；Pt*b*—板溪群；γ_5^3—燕山晚期花岗岩；γ_5^1—印支期花岗岩；γ_3—加里东期花岗岩；1—基底断裂；2—穹隆；3—金（锑）矿床（点）：①—龙山，②—坪上，③—禾青，④—大新，⑤—长扶，⑥—新田铺林场，⑦—高家坳，⑧—白云铺，⑨—青京寨，⑩—白竹坪

桃江—城步、宁乡—新宁、邵阳—郴州等不同方向的基底断裂与白马山—龙山 EW 向串珠状隆起构成区域内基本构造格架。

区域内加里东、印支、燕山等多期次岩浆活动构成复式岩体，出露或隐伏于穹隆构造之下，总体呈 EW 向展布。

区内 Au，Sb，As 三种元素丰度十分显著地高于相邻地区，异常主要分布在白马山、大乘山、龙山等穹隆核部，与区域内 Au，Sb 矿床的分布特征相吻合。

2 矿区地质

2.1 地质特征

矿区位于白马山—龙山隆起带中部，大乘山复式背斜 NE 倾伏端西翼。出露地层主要为震旦系，次为寒武系、泥盆系。下震旦统江口组（Za*j*）组成大乘山复式背斜的核部地层，为矿区赋矿地层。岩性主要为浅灰绿色含砾砂质板岩、绢云母砂质板岩、含砾凝灰质砂质板岩、条带状砂质板岩、泥质板岩，矿区矿脉均产于该组地层内（图 2）。

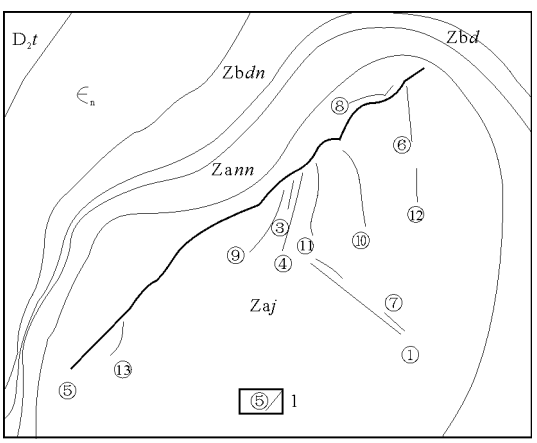

图 2 矿区地质略图

Za*j*—震旦系江口组；Z*ann*—震旦系南沱组；Zb*d*—震旦系陡山沱组；Zb*dn*—震旦系灯影组；$\in_n$—寒武系牛蹄塘组；D_2t—泥盆系跳马涧组；1—矿脉及编号

区内构造发育，构造形迹以 NE 向为主。矿区主要发育 NE，NW，SN 向 3 组断裂。

NE 向断裂以控制 5 号脉的断裂为典型代表，规模较大，长度在 5 000 m 以上，断裂破碎带厚度 5～50 m，断裂面倾向 NW，倾角 21～76°，为左行逆断层，沿断裂下盘发育有 0.60～28.37 m 厚的灰白—灰黑色断层泥。断裂破碎带内普遍存在硅化、黄铁矿化、绿泥石化等蚀变，是区内主要的导

黄金地质研究所
信息室 提供

矿及容矿构造。

NW向断裂以控制1，7号脉的断裂为典型代表，长150～940 m，厚0.5～4.5 m，倾向NE，倾角55～83°，为张扭性断裂，沿断裂见硅化、黄铁矿化、绿泥石化等蚀变，是区内主要容矿构造之一。

SN向断裂以控制6，9，10，11，12，13号脉的断裂为代表，长200～700 m不等，厚0.5～10 m，倾向W，倾角52～85°，为NE向断裂的次级断裂，属压扭性。沿断裂带有石英脉充填，具黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、硅化、绢云母化等蚀变，局部有工业矿体存在，为区内主要容矿构造之一。

区内未见岩体出露，但在矿区西约6 km处出露有天龙山印支期岩体，岩性为黑云母二长花岗岩和闪长岩。据地磁异常推测，该区深部可能有隐伏岩体存在。

2.2 矿体特征

大新矿区已发现矿脉14条，均产于下震旦统江口组中，分别由NE，NW，SN向3组断裂控制。其中规模最大的为5号脉，地表控制走向长5 350 m，控制最大斜深600 m，最低标高110 m。矿脉倾向295～354°，倾角55～76°。金品位一般在1.5×10^{-6}～3.0×10^{-6}之间，最高品位为9.63×10^{-6}，局部见有锑矿化，锑品位0.64%～7.33%。5号脉目前圈定金矿体（5－Ⅰ）1个，其资源量占矿区总资源量的81%。

5－Ⅰ号金矿体受F_5断层控制，矿体呈似层状，平均倾向322°，平均倾角60°。出露最高标高683 m，控制最低标高110 m，矿体走向长2 986 m，控制最大斜深600 m，矿体厚0.45～19.80 m，平均厚4.98 m，厚度变化系数126%，属厚度较稳定型矿体；Au品位1.00×10^{-6}～4.53×10^{-6}，品位变化系数33%，属有用组分分布均匀型矿体。

2.3 矿石特征

金属矿物主要有自然金、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、辉锑矿、磁铁矿、斑铜矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿等。非金属矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、长石、绿泥石、粘土矿物等。矿石中主要矿物含量见表1。

矿石结构主要有自形—半自形粒状、他形粒状、包含、共结边、乳浊状、浸蚀—骸晶、海绵陨铁状、碎裂结构。矿石构造为块状、浸染状、斑点状—斑杂状、条带状、脉状—网脉状、角砾状、胶状、蜂窝状构造。

表1 矿石中主要矿物含量

矿物名称	相对含量/%	矿物名称	相对含量/%
黄铁矿	1.2	方解石	10.2
毒　砂	0.9	长　石	0.5
赤铁矿、褐铁矿	2	绢云母	19.7
磁铁矿、菱铁矿	0.5	粘土类	8
石　英	51.8	碳质物	0.2
绿泥石	4	其　他	1

矿石类型以破碎蚀变岩夹石英脉型矿石为主，其次为石英脉型。

2.4 金的赋存状态

黄铁矿、毒砂是主要载金矿物。金的赋存状态大约可分为3类。

第一类主要是金的独立矿物，自然金，呈微细粒不规则粒状，主要被硫化物如毒砂、黄铁矿等包裹，或产于它们隙间及边部。少量产于石英、方解石、绢云母集合体、长石等非金属矿物中。这部分金在一定磨矿细度下（100～200目）有可能解离或暴露出来，占总金量的12.5%。

第二类金主要是以原子态进入毒砂、黄铁矿等硫化矿物晶格中，或呈极细的粒状及亚显微态颗粒被硫化矿物包裹封闭，约占71.26%；另一部份被非金属矿物包裹封闭，约占6.10%。这些是进入矿物晶格的原子态金。

第三类金主要被有机碳、褐铁矿等吸附，称之为吸附金，约占总金量10.14%。

2.5 围岩蚀变

矿区所有矿体均赋存在由断层形成的蚀变破碎带中，破碎带上下盘岩性均为震旦系江口组含砾砂质板岩。

近矿围岩为蚀变破碎含砾砂质板岩，近矿围岩蚀变主要为黄铁矿化、毒砂矿化、辉锑矿化、硅化、褪色化，并见闪锌矿化、斑铜矿化。近矿围岩与矿体接触界线不清楚。

2.6 成矿期次划分

矿床成矿作用可分为2个成矿期，即热液成矿期和表生期。根据矿脉及矿物的穿插关系，热液成矿期可划分为3个成矿阶段。

早期石英-黄铁矿阶段，是金富集的主要阶段，含石英黄铁矿热液沿断裂及围岩裂隙侵入，形成脉状—网脉状、斑点—斑杂状、块状、浸染状矿石。矿物组合：石英＋黄铁矿＋毒砂＋黄铜矿＋闪锌矿＋辉锑矿＋斑铜矿。该阶段的黄铁矿自形—半自形，晶形较好，脉体多受构造应力作用，有揉皱、错断和压碎构造。

黄金地质研究所
信息室 提供

晚期石英-黄铁矿阶段，是主成矿阶段，含石英黄铁矿热液沿断裂及围岩和脉体的裂隙再次侵入，主要形成角砾状、斑点—斑杂状矿石。其矿物组合：石英＋黄铁矿＋毒砂＋黄铜矿＋闪锌矿＋辉锑矿＋斑铜矿＋磁铁矿。该阶段的黄铁矿化比第一阶段稍强，黄铁矿半自形—他形，颗粒较细小，晶形较第一阶段差。黄铁矿化愈强，颗粒愈微细，金矿化愈好。

石英-碳酸盐阶段，主要由石英、方解石及少量金属矿物组成，沿晚期裂隙呈细脉状不连续产出，矿化较弱。

表生矿化期以风化氧化作用为主，局部因次生氧化导致金有不同程度的富集。矿石主要有蜂窝状、多孔状、土状构造。

3 控矿因素及矿床成因

3.1 地层因素

地层是矿化的载体，地层岩性是大新矿区重要的控矿因素。

1）大新矿区及周边出露的地层主要为震旦系、寒武系和泥盆系。大乘山地区震旦系富含 Au，Sb 等成矿元素，其中 Au 平均含量约为全区平均值的 2 倍（表 2），具备提供大量成矿元素 Au，Sb 的能力。震旦系作为该区前震旦系之上的第一个盖层，含丰富的 Au，Sb 等成矿元素，显示该区震旦系地层中 Au 的初始富集。

表 2 大乘山地区各地层主要成矿元素丰度统计 w（B）/10^{-6}

采样地层	样品数	Au	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo
震旦系江口组	17	4.6	20.6	10.9	22.3	4.9	16.2	4.5
震旦系留茶坡组	100	4.61	61.6	17.7	61.7	18	41.6	1.73
寒武系	135	3.13	59.7	22	50.6	26.2	72.7	2.66
泥盆系半山组下段	76	3.16	63	14.1	34.8	11.7	18.6	1.63
泥盆系半山组中段	61	2.52	57.2	14	34.4	7.26	31.5	1.25
泥盆系半山组上段	268	1.63	30.9	22.2	22.7	8.4	111.7	0.25
全区平均		2.5	41	16.7	33	1.32	56	1.2

2）大新矿区震旦系江口组（Zaj）地层组成大乘山复式背斜的核部，岩性主要为浅灰绿色含砾砂质板岩及泥质板岩，为矿区赋矿地层。矿脉的产出对岩性具有一定的选择性，含砾砂质板岩渗透性较好，在构造应力作用下岩石易破碎，形成储矿有利的构造空间，有利于矿液的运移、富集和沉淀，而泥质板岩渗透性差，岩石塑性强，不易破碎。因而矿脉大多产于震旦系江口组含砾砂质板岩中且规模较大，而泥质板岩中矿脉少见，规模小；震旦系南沱组（Zann）硅质岩，岩石致密，渗透性差，对矿液具遮挡作用。矿区岩性组合为含砾砂质板岩-泥质板岩-硅质岩，具较好的运-储-盖“成矿圈闭”条件。

3.2 构造因素

1）特殊的构造环境。金的富集与该区所处的构造环境密不可分。首先，矿区大地构造位置属于扬子地台、华南褶皱带两大构造单元之间的过渡区。这种过渡区的壳-幔作用强烈、频繁，不同物质成分的圈层发生物质、能量交换，使成矿物质在横向、纵向上发生分异，从而有利于发生成矿作用。其次，在构造应力上，大新矿区处于挤压隆起区与拉张陷落区的交换带，是应力发生转换的部位。这种应力转换部位有利于流体的大规模会聚。第三，大新矿区位于 NE 向的桃江—城步深大断裂带的旁侧，桃江—城步深大断裂为岩石圈断裂，切穿地壳达软流圈，因此这种大型线性构造可能是成矿能量和物质的通道，它有利于深部流体向上迁移，能沟通地幔、基底和盖层之间的物质和能量交换，这种特殊的构造环境，使得大新金矿金的聚积富集成为可能。

2）有利的构造空间。构造是大新矿区最重要、最直接的控矿因素。首先，作为长期构造应力集中的部位，具有叠加性的褶皱变形和破碎变形的大乘山穹隆，既是印支晚期至燕山早期大型隐伏花岗岩侵入就位的场所，也是与岩浆热液活动密切相关的大新金矿就位场所。其次，虽然大乘山穹隆隆起部位岩石塑性程度较高，但因长期构造应力集中，刚性程度提高，多期次活动的断裂发育，这些断裂是大新矿区金矿化就位的直接场所。第三，大新矿区 NE，NW，SN 向 3 组断裂发育，特别是区域性深大断裂的派生平行构造 NE 向含矿断裂破碎带规模较大，延伸稳定，为矿液的运移和贮存提供了较好的空间，是矿区主要的导矿、容矿构造，而 NE 与

黄金地质研究所
信息室 提供

SN 向构造相交会的部位是矿区成矿的有利地段。

3.3 岩浆因素

1）深部岩浆为大新金矿床的形成提供了大量的物质来源。大新矿区矿石硫同位素测定结果：$\delta^{34}S$ 值变化范围为 0.2‰～3.4‰，平均 1.85‰，反映矿床的硫可能主要来源于深部岩浆。

2）深部岩浆为大新金矿成矿提供了足够的热动力。白马山—大乘山—龙山一带存在规模巨大的 Bi 地球化学异常，反映了隐伏—半隐伏花岗岩与重力推断的隐伏花岗岩范围完全吻合，矿区西部见花岗斑岩脉出露，说明矿区深部可能有隐伏燕山期岩浆活动，为成矿提供了稳定的热能量和动力。

3）深部岩浆是大新金矿成矿流体的主要来源。印支晚期至燕山早期大乘山隐伏花岗岩结晶分异晚期形成的岩浆期后热液携带成矿物质与变质地层的裂隙水、吸附水和部分矿物结晶水在岩浆热动力作用下，萃取少量其流经部位地层内的 Au，Sb，As 等成矿元素，沿断裂破碎带向低温低压方向迁移，成矿流体中的成矿物质在减压扩容空间内沉淀，经多期成矿叠加形成矿区金及金-锑矿脉。

3.4 矿床成因探讨

前述分析表明，大新矿区成矿物质主要来源于深部岩浆，其次来源于基底地层。在 5，10，6 号脉共采集测温样品 54 个，包裹体均一法测得温度为 148～265 ℃，平均 210 ℃，成矿温度属中低温。

综上所述，矿床成因为岩浆流体将深部成矿物质与控矿地层成矿物质萃取迁移至构造破碎带中充填形成的中低温热液矿床。

云南大坪金矿床

大坪金矿床地处云南省南部元阳县大坪乡境内，是著名的滇西哀牢山金矿带上继墨江金厂、镇源老王寨之后发现的又一重要的金-银-铅-锌多金属矿床，地理坐标：东经 103°04′00″～103°06′00″，北纬 22°50′00″～22°58′00″，矿区面积约 60 km^2。目前已达超大型规模。

1 矿床地质

大坪矿区大地构造位置属于扬子地块西缘的金平断块，或称为金平滑移体。区域构造线以 NW 向为主，其次为近 SN 和 NE 向。区域深大断裂主要包括红河断裂带、哀牢山断裂带和藤条江断裂带。矿区内断裂主要有三家河断裂、金子河断裂和小寨—金平断裂（图 1）。矿区断裂主要有冉家寨—新安寨断裂、小新街断裂和大坪—马店街—大寨断裂等。

1.1 矿区地质

矿区地层，三家河断裂以西主要为奥陶纪砂板岩系，志留纪、泥盆纪陆源碎屑岩见于东南角及大坪—马店街断裂和小寨—金平断裂之间，其间有辉绿岩脉侵入。矿区及其外围岩浆活动发育，具多期次、多类型的特点。其中华力西期桃家寨闪长岩体出露于矿区中部（图 2），是矿区的主要赋矿围岩。大面积的燕山期二长花岗岩、花岗岩体则分布于矿区东部外围。南部和西部一带有较多的喜马拉雅早

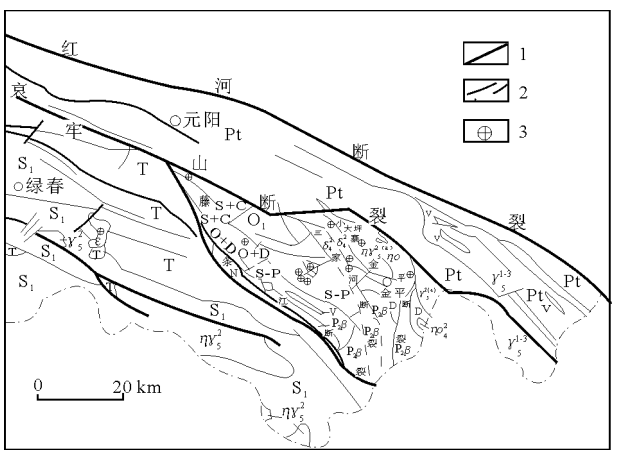

图 1 大坪矿区区域地质构造简图（据王臣兴，2000）

N—第三系；T—三叠系；S—P—志留—二叠系（未分）；S + C—志留—石炭系；S_1—下志留统；O_1—下奥陶统；PT—元古宇；$P_2\beta$—晚二叠世玄武岩；ε—斑状正长岩；$\gamma_5^{3(a)}$—燕山早期黑云花岗岩；γ_5^{1-3}—燕山晚期黑云二长花岗岩；$\eta\gamma_2^5$—黑云石英二长岩；$\eta\gamma_5^{3(a)}$—二长花岗岩；$\eta\rho_4^2$—黑云石英二长岩；δ_4^3—花岗岩；υ—闪长岩；1—深大断裂；2—一般（推测）断裂；3—矿床（点）

—中期富碱岩浆岩活动，形成规模较小但数量较多的富碱斑岩岩株或岩脉。在不同时代地层和岩浆岩体中见有大量不同期次辉长岩脉、煌斑岩脉、石英二长岩脉或花岗斑岩脉侵入。

1.2 矿脉地质

根据矿脉的产出环境和空间分布特征可将大坪矿区划分为 2 个矿段：北部的金子河和南端的老金山矿段（图 2）。前者是矿区的主体，共有矿脉 35

黄金地质研究所
信息室 提供

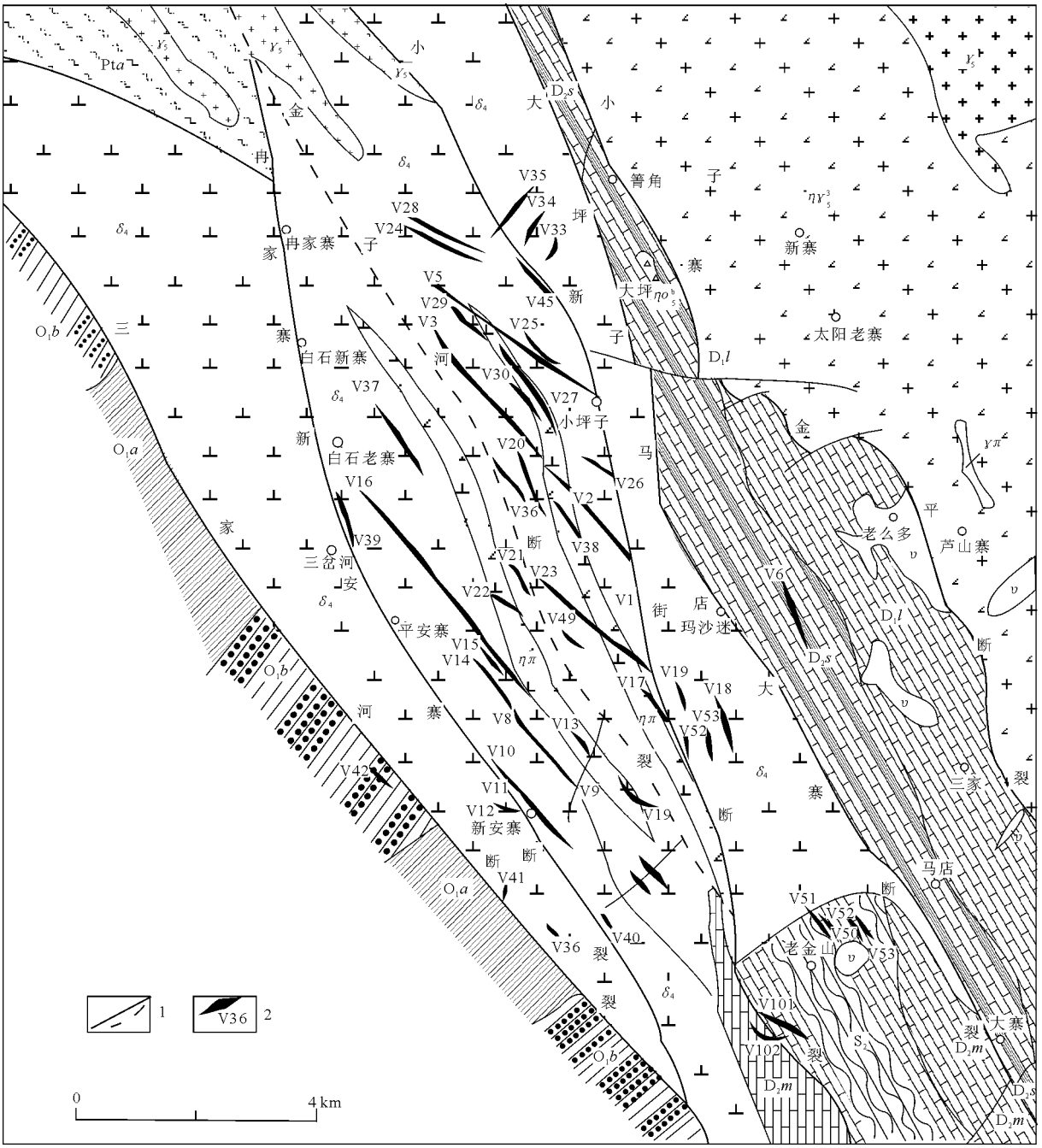

图 2　大坪金矿区矿脉分布图

D_1l—下泥盆统老井寨组灰岩；D_2s—中泥盆统宋家寨组碳泥质页岩夹硅质页岩及灰岩；D_2m—中泥盆统马鹿洞组微晶灰岩、白云质灰岩、白云岩夹角砾状灰岩、板岩；S_2—中志留世薄层状、条带状白云质灰岩夹泥质板岩；O_1b—早奥陶世长石石英砂夹黑色板岩；O_1a—早奥陶世粉砂质板岩与灰色板岩互层；Pta—哀牢山群阿龙组黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩；$\eta\gamma_5^3$—燕山期二长花岗岩；γ_5—燕山期花岗岩；$\gamma\pi$—花岗斑岩脉；$\eta\pi$—二长斑岩脉；$\eta\rho_5^b$—石英二长岩脉；δ_4—华力西期闪长岩；υ—辉绿岩体或岩脉；1—断裂或推测断裂；2—矿脉及编号

条，皆赋存于小寨—金平和冉家寨—新安寨断裂之间（金子河构造破碎带两侧）的桃家寨闪长岩体中，主要包括 V1～3，V5，V8～9，V23，V14 等。矿脉长度一般为 500～1 000 m，最长 3 800 m，矿脉主要呈 NW 或 NNW 向，倾向 SW。各脉体呈薄脉状，相距不远并呈大致近平行展布，从 NE 向 SW，具有斜列的趋势。位于金子河构造破碎带以东的矿脉走向 320～305°，倾向 SW，倾角 65～85°，局部直立甚至反倾；位于其西的矿脉走向 320～330°，倾向、倾角与东区相似。造成金子河构造破碎带东西部矿脉走向上的差异可能与金子河断裂活动的左行牵引作用有关。老金山矿段位于小新街断裂东部，有不同规模矿化脉体 10 余条，其中矿化较好的 4 条矿脉产于志留纪浅变质板岩和碳酸盐岩中。矿脉走向 310°左右，倾向 SW，一般长度在 50～200 m 之间，相互平行产出，受层间构

黄金地质研究所
信息室 提供

造破碎带控制。对部分矿脉的实地调查表明，矿区内矿脉具有分支复合、膨大、尖灭再现或侧现以及反倾现象。多数矿脉是多期成矿作用的产物，具破碎再胶结特征。不同期次形成的矿脉具有矿物组合、在同一赋矿构造中的产出部位、结构构造等方面的差异，但由于多期热液活动均表现为金属硫化物-石英脉，并充填在同一容矿构造内，因而难以辨别，以前均视为一期矿脉。

1.3 矿石类型及矿物组合

矿区矿石划分为金属硫化物- 石英脉型（占95%以上）、蚀变岩（构造破碎带）型及角砾岩型3种类型。

金属硫化物-石英脉型划分为2个亚型：金属矿物以黄铁矿为主的称为黄铁矿型，以方铅矿为主的称为方铅矿型。垂向上前者多分布在矿脉的浅部，后者则见于相对深部。在同一条矿脉的同一标高水平上，2种矿石同时出现时，一般并行产出，并具有明显的分界面。也能见到方铅矿型穿插黄铁矿型石英脉，反映二者并非同期矿化的产物。2个亚型矿石的共生矿物组合亦有差异：与黄铁矿共生的主要为黄铜矿、银黝铜矿、砷黝铜矿、磁铁矿、白钨矿、锡石、自然金等，显著特征是极少见方铅矿；而与方铅矿共生的则以黄铁矿、闪锌矿、褐铁矿、黄铜矿、砷铅矿及铅钒等为主。二者非金属矿物均以石英为主，占70% ～80%甚至更高，其他是少量的方解石、铁白云石、重晶石、透辉石、云母类和粘土类、绿泥石、绿帘石等，但方铅矿型矿石中铁白云石的含量要高于黄铁矿型矿石，而重晶石则相对少见。

蚀变岩型矿石包括蚀变闪长岩型、蚀变灰岩型和构造破碎蚀变岩型。蚀变闪长岩型和蚀变灰岩型多见于石英脉两侧，一般发育宽度不大（小于1 m），其中金属矿物以黄铁矿为主，呈浸染状或细脉状分布，含量5% ～15% 。构造破碎蚀变岩型分布相对广泛，见于矿脉尖灭端的构造延长线上以及尖灭侧（再）现间隔区间内，部分金含量较高，是追踪构造延伸，发现再（侧）现石英脉的主要标志。金属矿物也以黄铁矿为主，呈细粒浸染状或细脉状分布，但含量较低。构造破碎蚀变岩蚀变强烈，除硅化外还广泛发育绿泥石化、绿帘石化、铁白云石化、方解石化。

角砾岩型矿石由于胶结物的致密胶结以及其矿物成分与硫化物-石英脉型相似，造成两者难以区别，过去将其归属为硫化物-石英脉型。矿石中的角砾一般为早期形成的石英脉，以棱角状出现，其中可见早期形成的金属矿物；而胶结物多为金属硫化物，以致密的团块状黄铁矿或方铅矿为主，形成金属硫化物包裹石英的格局。在典型的硫化物-石英脉型矿石中，金属矿物则呈半自形或他形的个体以各种形式分布于石英脉中。

1.4 成矿期次

该区至少存在石英-黄铁矿和石英-方铅矿2个成矿期，前者可以划分为绢云母-黄铁矿-石英（Ⅰ），磁铁矿-黄铁矿-石英（Ⅱ），石英-多金属硫化物（黄铁矿）- 自然金（Ⅲ）和石英-碳酸盐4个矿化阶段；后者可划分为石英-多金属硫化物（方铅矿）-自然金（Ⅳ），石英-少硫化物（黄铁矿、方铅矿为主）-铁白云石（Ⅴ）和方解石-石英-黄铁矿（Ⅵ）3个矿化阶段。其中Ⅲ为金矿化的主要阶段，Ⅳ为银-铅-锌矿化的主要阶段，同时伴有金矿化。

2 地球化学特征

2.1 包裹体

石英-黄铁矿期Ⅲ阶段的石英包裹体均为原生包裹体，多成群分布，包裹体一般3～5 μm，少数5～10 μm，为CO_2包裹体和二相气液包裹体，形态多呈长条状、纺锤状、负晶状等，在V5 —1中见部分呈线状排列的包裹体，个体更小。CO_2包裹体中CO_2一般占包裹体体积的50% ～80%或更大；二相气液包裹体的气液比为10% ～15% 。V23 —1和V1—1样品分别采自V23和V1号脉，均为石英-方铅矿期第Ⅳ或Ⅴ阶段的产物。其中包裹体较发育，呈群、片分布，亦主要为CO_2包裹体和二相气液包裹体，多呈球状、长条状、不完全负晶状和不规则状等，偶见呈线状排列的个体极小的假次生包裹体。CO_2包裹体中CO_2一般占包裹体体积的30% ～60%或更大（可达80% ）；二相气液包裹体的气液比为10% ～25% ，包裹体大小为5～15 μm。矿区北部的十八塘矿点角砾状矿石，含早期石英角砾，主要是晚期石英。包裹体数量明显少于上述样品，但个体相对较大，不均匀分布或呈线状排列，主要为CO_2包裹体和少量二相气液包裹体，包裹体多呈负晶状和不规则状等。CO_2包体中V_{CO_2}在常温下跳动，其中CO_2所占体积一般为30% ～60% ，少数达98% ；二相气液包裹体的气液比为10% ～25% ，包裹体大小为10～20 μm，少数可达30 μm以上。

2期石英包裹体温、压和盐度等测定结果表

黄金地质研究所
信息室 提供

明，石英-黄铁矿期的包裹体均一温度变化区间为177～356 ℃，平均258 ℃；石英-方铅矿期为165～364 ℃，平均284 ℃。均一温度总体上有2个峰值区，一个位于220～240 ℃区间，另一个位于320～360 ℃区间。包裹体的盐度2期分别平均为14.7%和13.21%，流体密度则分别平均为0.88×10^3 kg/m^3和0.90×10^3 kg/m^3，各方面指标变化均不明显，没有显示出同一成矿热液体系随时间从早到晚所表现出的趋势性变化特征。利用CO_2包裹体的相关数据，根据有关 *P*—*T* 相图对压力进行估算，得出石英-黄铁矿期的成矿压力为58 MPa，石英-方铅矿期为70 MPa，相应的成矿深度（按27 MPa/km增压计算）分别为2.14 km和2.59 km。可以看出，从石英-黄铁矿期到石英-方铅矿期成矿深度不断加深，与不同期次石英脉在空间上的填充规律相符。

流体包裹体成分见表1。不同成矿期的流体成分共同特点：液相成分中阳离子以Na^+，K^+为主，钠钾比值均远大于1，其次为Ca^{2+}，个别样品还含一定量的Mg^{2+}；阴离子以SO_4^{2-}，Cl^-为主，各样品的F^-含量均低于氯和硫酸根离子。气相成分中水和CO_2占有绝对优势，其次为O_2和N_2。值得注意的是各样品中均含有一定量的CH_4，C_2H_2，C_2H_6等，其中以前两者为主。不同期次热液之间差异也是很明显的，石英-黄铁矿期热液（表中2、3阶段）早期相对富集Na^+，Cl^-，NO_3^-等离子组分，各组分值明显偏低，而主期Ca^{2+}，Mg^{2+}，SO_4^{2-}含量相对增高；石英-方铅矿期成矿热液特别富集Na^+，Ca^{2+}，SO_4^{2-}等液相组分和CH_4等气相组分，相对富集CO_2和N_2等气相组分。从早到晚

表1　大坪金矿床矿石石英流体包裹体成分

样号	矿石名称（阶段）	取样温度/℃	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
V1—1	石英硫化物脉（Ⅳ）	100～500	4.060	0.853	0.920	0.283	8.351	0.026	2.000	0.123
V1—6	石英硫化物脉（Ⅱ）	100～500	18.291	5.109	0.432	0	39.064	0.036	1.343	0.420
V5 —1	石英硫化物脉（Ⅲ）	100～500	20.125	3.189	2.805	0	32.088	0.030	6.791	0.359
V23—5	石英黄铁矿脉（Ⅳ-Ⅴ）	100～500	29.454	5.629	2.034	0.301	42.528	0.023	18.574	0.203
LJS—3	石英方解石脉（Ⅵ）	100～500	18.335	2.694	15.610	5.963	25.759	0.037	24.696	7.692
V23—1	石英硫化物脉（Ⅵ-Ⅴ）	100～500	7.829	2.753	1.073	0	5.383	0.018	21.780	0.194
SBT—1	石英黄铁矿脉	100～500	12.138	2.002	1.487	0	16.540	0.018	8.349	0.380
SBT—2	石英黄铁矿脉	100～500	12.623	2.663	0.654	0	23.229	0.030	2.320	0.440
V9—4	石英硫化物脉（Ⅲ）	100～500	19.177	3.140	0.708	0	43.492	0.022	15.240	0.434
V9—5	石英硫化物脉（Ⅴ）	100～500	13.589	4.065	0.467	0	28.026	0.026	10.182	0.805

样号	矿石名称（阶段）	取样温度/℃	H_2O	CH_4	CO_2	CO	O_2	N_2	C_2H_2	C_2H_6
V1—1	石英硫化物脉（Ⅵ）	100～500	95.380	228.244	2.086	0	0.212	2.286	114.795	13.577
V1—6	石英硫化物脉（Ⅱ）	100～500	93.845	130.639	2.040	0	0.243	3.465	39.311	7.035
V5 —1	石英硫化物脉（Ⅲ）	100～500	95.697	118.020	1.767	0	0.157	2.053	53.055	4.629
V23—5	石英黄铁矿脉（Ⅳ-Ⅴ）	100～500	95.982	73.281	1.894	0	0.175	1.433	44.958	4.193
LJS—3	石英方解石脉（Ⅵ）	100～500	92.978	102.901	2.016	微量	0.240	4.529	33.566	3.076
V23—1	石英硫化物脉（Ⅳ-Ⅴ）	100～500	96.495	47.965	1.257	0	0.190	1.842	54.423	4.075
SBT—1	石英黄铁矿脉	100～500	94.272	86.884	3.218	0	0.227	1.943	60.845	7.781
SBT—2	石英黄铁矿脉	100～500	96.689	36.638	1.441	0	0.175	1.689	21.981	微量
V9—4	石英硫化物脉（Ⅲ）	100～500	94.612	182.258	3.331	微量	0.224	1.800	134.199	13.002
V9—5	石英硫化物脉（Ⅴ）	100～500	95.042	105.305	2.846	0	0.164	1.929	74.105	10.077

注：1）样品由中国地质科学院矿产资源研究所杨丹测试，测试仪器为日本岛津公司 Shimadzu HIC-SP Super 离子色谱仪及GC2010型气相色谱仪；时间2004年11月9日；）双线以上为液相成分（质量分数单位为10^{-6}），双线以下为气相成分（摩尔分数单位：H_2O，CO_2，CO，O_2，N_2为%，CH_4，C_2H_2，C_2H_6为10^{-6}）。

各组分含量基本相似。晚期（老金山样品LJS—3）Ca^{2+}，Mg^{2+}，SO_4^{2-}，NO_3^-等离子含量明显增加，气相成分中N_2含量较高，可能同矿液流经的围岩不同有关。取于V23号脉旁侧含少量黄铁矿的石英大脉样品（V23—5，不含金）中各种组分均有一定含量，以特别富集Na^+，K^+，Cl^-等为特点。

2.2　PGE元素

大坪主要金矿脉和围岩的PGE，Cu，Ni和部分样品的Au，Ag含量及PGE的主要参数见表2：1）各类金矿脉的PGE总量（ΣPGE）为3.91×10^{-9}～61.64×10^{-9}，平均25.93×10^{-9}，与煌斑岩（22.19×10^{-9}）相当，高于闪长岩围岩（2.79×10^{-9}～4.75×10^{-9}），黄铁矿（10.85×10^{-9}和白钨

黄金地质研究所
信息室 提供

表2 大坪金矿主要矿石类型和围岩铂族元素（PGE），Ni，Cu，Au和Ag含量及相关参数

w（PGE，Au，Ag）/10^{-9}；w（Ni，Cu）/10^{-6}

样品编号	样品名称[2)]	采样位置	Os	Ru	Ir	Rh	Pt	Pd	Ni	Cu	Au	Ag
04105	闪长岩	六号金矿脉	0.096	2.482	0.128	0.002	0.119	0.259	4.71	116	200	230
04106	闪长岩	六号金矿脉	0.106	2.346	0.111	0.003	0.109	0.112	6.90	52	5.6	120
04123	煌斑岩岩脉	八号金矿脉	0.345	2.788	0.259	0.374	3.956	14.470	84.07	303	110	400
04125	闪长岩	八号金矿脉	0.096	4.158	0.208	0.005	0.151	0.135	21.25	314	4.8	350
04102	Py＋Q 金矿脉	三号金矿脉	0.16	5.09	0.47	0.19	2.05	3.37	33.18	7 630	—	—
04103	Cp＋Q 金矿脉	五号金矿脉	0.19	3.52	0.14	3.93	0.91	2.22	65.21	30140	—	—
04113	Sc＋Cp＋Ga＋Q 金矿脉	六号金矿脉	0.59	20.19	0.43	32.74	3.46	4.23	2.54	1.36	—	—
04114	Sc＋Cp＋Py＋Q	金矿脉	0.30	8.71	0.08	35.17	0.90	1.80	—	—	—	—
0411521	Cp＋Q	金矿脉	0.30	14.64	0.60	11.24	0.63	1.33	8.84	23 900	—	—
0411522	Cp＋Q	金矿脉	0.09	12.85	0.06	22.92	0.16	0.57	8.84	23 900	—	—
04116	Cp＋Py＋Q	金矿脉	0.05	0.02	0.06	3.28	0.39	0.11	49.77	33 270	—	—
04124	Ga＋Cp＋Q 金矿脉	八号金矿脉	0.36	1.63	0.93	0.83	2.75	0.78	187.49	13 380	—	—
04102	Py	三号金矿脉	0.001	3.32	0.824	1.079	1.584	4.045	33.18	7 630	—	—
04107	Sc	六号金矿脉	0.001	1.286	0.532	0.068	1.286	0.707	2.42	0.58	—	—
04114	Sc	六号金矿脉	0.001	0.921	0.161	0.033	0.739	1.117	2.81	7.36	—	—
原始地幔			3.4	5.0	3.2	0.9	7.1	3.9				
C1球粒陨石			490	710	455	130	1 010	550				

样品编号	Pt/Ir	Pd/Ir	Pt/Pd	Cu/Pd	PPGE/IPGE	ΣPGE	Pt/Pt*	数据来源
04105	0.93	2.02	0.46	447.88	0.14	3.09	1.38	
04106	0.98	1.01	0.97	464.29	0.09	2.79	1.57	
04123	15.27	55.87	0.27	20.94	5.54	22.19	0.45	
04125	0.73	0.65	1.12	2 325.93	0.07	4.75	1.53	
04102	4.36	7.17	0.61	2 264.09	0.98	11.33	0.68	
04103	6.50	15.86	0.41	13 576.58	1.83	10.91	0.08	
04113	8.05	9.84	0.82	0.32	1.91	61.64	0.08	
04114	11.25	22.50	0.50	—	4.17	46.96	0.03	孙晓明等,2007
04115—1	1.05	2.22	0.47	17 969.92	0.85	28.74	0.04	
04115—2	2.67	9.50	0.28	41 929.82	1.82	36.65	0.01	
04116	6.50	1.83	3.55	302 454.55	29.08	3.91	0.17	
04124	2.96	0.84	3.53	17 153.85	1.49	7.28	0.90	
04102Py	1.92	4.91	0.39	1 886.28	1.62	10.85	0.20	
04107Sc	2.42	1.33	1.82	0.82	1.13	3.88	1.55	
04114Sc	4.59	6.94	0.66	6.59	1.74	2.97	1.02	
原始地幔	2.22	1.22	1.82		1.03	23.50	1.00	Mc Donough et al.,1995
C1球粒陨石	2.22	1.21	1.84		1.02	3 345.00	1.00	

矿物代号：Py—黄铁矿；Cp—黄铜矿；Ga—方铅矿；Sc—白钨矿；Q—石英。

矿（2.97×10^{-9}～3.88×10^{-9}）；2）绝大多数金矿石样品IPGE（Os＋Ir＋Ru）富集而PPGE（Rh＋Pt＋Pd）亏损，PPGE/IPGE多数为0.03～1.18，平均0.595，相似于金矿脉中黄铁矿的0.62和白钨矿的0.57～0.88，此值略高于煌斑岩的0.18，而远低于闪长岩围岩的相应值（7.12～15.33）；3）金矿脉的其他主要PGE参数如Pt/Ir，Pd/Ir和Pt/Pd均相对近似于煌斑岩，而与闪长岩围岩区别较大。

3 同位素地球化学

3.1 氢-氧和碳同位素

表3列出了大坪金矿不同脉体不同期次矿石石英的氢-氧同位素组成以及铁白云石的碳同位素组成。

矿区不同成矿期矿石氧同位素组成（2.63‰～5.54‰）略低于正常岩浆水值（5‰～7‰，郑永飞等，2000），在$\delta^{18}O_{水}$-δD图解上呈一垂直直线型排列。氧同位素向大气降水线飘移；氢同位素组成为－113‰～－41‰，变化范围大于正常岩浆水值（－80‰～－50‰，郑永飞等，2000）。

石英-方铅矿期一个铁白云石的$\delta^{13}C$值为－4.81‰，毕献武（1996）测得的方解石（主要是石英-黄铁矿期晚阶段的产物）的碳同位素组成为－2.79‰～－4.34‰，平均－3.57‰，与上述氢-氧同位素组成特点相似，且与深源（地幔）碳（－4‰）基本一致。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 大坪矿区矿石氢-氧和碳同位素组成

样 号	样品对象(成矿阶段)	$\delta^{18}O_{石英}$/‰	t /℃	$\delta^{18}O_{水}$/‰	δD /‰	资料来源
Iy —1 V9	石英(Ⅵ)	12.48	267.3	3.80		李定谋等,2000
Iy—6 V9	石英(Ⅱ)	12.91	270	4.35		李定谋等,2000
Iy —34 V1	富矿地段石英(Ⅲ)	13.32	225.8	2.63		李定谋等,2000
Y — 2 (1) V5	少硫化物石英(Ⅵ)	12.30	260	3.30	—41	李定谋等,2000
Y —24 (2) V24	少硫化物石英(Ⅵ)	12.1	264	3.28	—49	李定谋等,2000
Y3 —DK880 (13)	磁黄铁矿-黄铁矿-石英(Ⅱ)	11.21	300	3.82	—89.7	韩润生等,1997
YV14	金-方铅矿-石英(Ⅳ)	11.6	270	3.04		韩润生等,1997
V1—1 (14) V1	石英(Ⅳ)	12.1	260	3.10	—113	葛良胜等,2007
V1—6 (15) V1	石英(Ⅱ)	13.3	260	4.30	—70	葛良胜等,2007
V8DK134A (6) V8	石英(Ⅵ)	12.7	270	4.14	—108	葛良胜等,2007
V9PD740— 4 (7) V9	石英(Ⅲ)	14.1	270	5.54	—72	葛良胜等,2007
V9PD740—5 (8) V9	石英(Ⅴ)	13.5	270	4.94	—75	葛良胜等,2007
V23—1 (3) V23	石英(Ⅵ— Ⅴ)	13.1	258.57	4.04	—64	葛良胜等,2007
V23—3 (9) V23	石英(Ⅳ)	14.3	258.57	5.24	—89	葛良胜等,2007
V23—5 (10) V23	石英(Ⅳ—Ⅴ)	13.5	258.57	4.44	—101	葛良胜等,2007
V5 —1 (11) V5	石英(Ⅲ)	13.3	284.4	5.32	—75	葛良胜等,2007
SBT—1 (5)	外围十八塘矿点石英	13.0	284.4	5.02	—90	葛良胜等,2007
SBT —2 (12)	外围十八塘矿点石英	12.8	284.4	4.82	—76	葛良胜等,2007
D29V5	附近的矿化闪长岩			12.2		应汉龙,1998
D23	绿泥石化带蚀变岩			6.0		应汉龙,1998
D10	碳酸盐化带岩石			5.9		应汉龙,1998
D30	自变质闪长岩			4.3		应汉龙,1998

样 号	样品对象(成矿阶段)	$\delta^{18}O_{石英}$/‰	$\delta^{13}C$/‰	资料来源
V9 —5	矿脉中铁白云石(Ⅴ)	13.78	—4.81	应汉龙,1998
HBD —5	方解石(Ⅲ)		—4.34	毕献武等,1996
HBD —12	方解石(Ⅲ)		—4.49	毕献武等,1996
HBD —33	方解石(Ⅲ)		—2.65	毕献武等,1996
HBD—42	方解石(Ⅲ)		—2.79	毕献武等,1996

注：$\delta^{18}O_{水}$ 同位素值按分馏方程 $1\,000\ln\alpha_{石英-水}=3.38\times10^{6}T^{-2}-2.91$（$T$=200～500 ℃，Clayton et al.，1972；引自郑永飞等，2000）

3.2 硫和氦、氩及铅同位素

由表 4 可以看出，该区不同矿脉黄铁矿、方铅矿的硫同位素组成变化范围为 —1.57‰～6.6‰，平均为 2.75‰。组成较为稳定，显示一定的塔式效应，不同成矿阶段硫同位素组成差别较小。从不同成矿期看，石英-黄铁矿期变化为 2.7‰～4.9‰，石英-方铅矿期为 0.3‰～4.4‰。

大坪金矿黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和石英（以黄铁矿为主）矿物流体包裹体 $^{3}He/^{4}He$ 值的变化范围为 0.71 Ra～1.32 Ra，均明显高于其地壳特征值（0.01 Ra），而与地幔特征值（6 Ra～9 Ra）趋近。与正常地幔值相比，$^{3}He/^{4}He$ 值已有一定程度的降低。

金世昌等（1994）测得金矿化铅同位素年龄为 113～170 Ma；毕献武等（1996）测得的 ESR 法成矿年龄为 41.3～58 Ma。铅同位素组成见表 5（韩润生，1997）。

3.3 Re-Os 同位素

矿区主要矿石矿物黄铁矿和白钨矿中的 Re 和 Os 含量以及 $^{187}Re/^{188}Os$ 和 $^{187}Os/^{188}Os$ 值见表 6。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 4 大坪矿区矿石硫同位素组成

样 号	矿物(阶段)	$\delta^{34}S$/‰	资料来源	样 号	测试矿物	$\delta^{34}S$/‰	资料来源
V1—1	V1 黄铁矿(Ⅳ)	4.3	葛良胜等，2007	含金石英脉	黄铁矿	6.6	应汉龙,1998
V8DK134A	V8 方铅矿(Ⅵ)	1.1		老金山		4.8	
V9PD740 —4	V9 黄铁矿(Ⅲ)	4.4		HBD —11	方铅矿	0.08	胡瑞忠等，1999
V9PD740 —5	V9 方铅矿(Ⅴ)	4.0		HBD—18	方铅矿	0.68	
V23 —3	V23 方铅矿(Ⅳ —Ⅴ)	0.3		HBD —19	方铅矿	6.55	
V23 —5	V5 黄铁矿(Ⅳ —Ⅴ)	0.6		HBD —24	黄铁矿	3.49	
V5 —1	V 黄铁矿(Ⅲ)	2.7		HBD —27	黄铁矿	2.24	
V5XK25	V5 黄铁矿(Ⅴ)	4.9		HBD —29	方铅矿	4.71	
V5XK25	方铅矿(Ⅳ —Ⅴ)	4.3		HBD—29	黄铁矿	—1.57	
SBT—1	十八塘中期黄铁矿	0.7		HBM —42	黄铁矿	2.16	
SBT—2	十八塘晚期黄铁矿	2.9		DNP（老金山）	方铅矿	0.5	应汉龙,1998

表 5 成矿热液系统中铅同位素组成

样 号	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$ (a)	$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$ (b)	$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$ (c)	$\frac{^{206}Pb}{^{207}Pb}$	$\frac{^{238}U}{^{204}Pb}$ (u)	$\frac{^{232}Th}{^{204}Pb}$ (w)	$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$ (k)	模式年龄/Ma R. F. C (a)	R. S. F (a)	R. F. C (c)	矿物岩石
XK234—X1	18.578	15.561	38.724	1.194	9.343	37.2	3.98	130	45	183.5	方铅矿
XK254—1	18.542	15.523	38.623	1.194	9.338	37.0	3.96	150.6	103	232.7	
L5050X3—1	18.582	15.568	38.750	1.194	9.343	36.7	3.93	127.4	29.5	171	
L5050X3—2	18.572	15.567	38.757	1.193	9.342	36.8	3.94	133	25	167.5	
L5057	18.606	15.604	38.862	1.192	9.346	37.1	3.97	113.5	—36.6	117	
L5051—X1	18.608	15.590	38.796	1.194	9.345	36.8	3.94	112.4	1.2	147	
L5051 — X2	18.561	15.552	38.676	1.191	9.341	36.5	3.91	140	870	206.7	
L5051—X3	18.561	15.552	38.659	1.193	9.341	36.4	3.91	140	84	167	
40	18.545	15.549	38.716	1.193	9.342	36.8	3.94	148	50	187	
L5041—X2	18.584	15.565	38.725	1.194	9.337	37.3	3.99	126	44	183	
XK104—K3	18.508	15.521	38.580	1.193	9.332	36.4	3.90	170	128.5	254	
XK254—X4	18.542	15.524	38.619	1.193	9.338	37.0	3.96	150.5	104	232	
XK226	18.515	15.521	38.614	1.193	9.333	36.5	3.91	166	109	237	
方铅矿均值	18.562	15.560	38.620	1.193	9.340	36.8	3.94	139	58.4	195	
V6—1	18.716	15.644	38.923	1.196				—	89	—	斜长石
V8—2	18.856	15.753	38.231	1.197				—	30.6(Doe)	—	斜长石
V6—1	18.465	15.654	38.707	1.181							闪长岩

表 6 大坪金矿黄铁矿和白钨矿 Re-Os 同位素组成

矿物 样号	样重/g	$Re/10^{-9}$ 测定值	不确定度	普 $Os/10^{-9}$ 测定值	不确定度	$^{187}Os/10^{-9}$ 测定值	不确定度	$^{187}Re/^{188}Os$ 测定值	不确定度	$^{187}Os/^{188}Os$ 测定值	不确定度	$\gamma Os/t$
黄铁矿 04102	1.205	0.040 6	0.002 9	0.006 4	0.000 3	0.000 5	0.000 1	30.41	2.63	0.62	0.11	377.62
黄铁矿 04103	1.200	0.073 6	0.003 8	0.005 2	0.000 6	0.000 5	0.000 2	67.73	8.95	0.68	0.27	409.45
黄铁矿 04113	1.199	0.065 5	0.001 6	0.002 8	0.000 2	0.000 3	0.000 1	113.02	8.67	0.89	0.20	552.53
黄铁矿 04114	1.202	0.027 7	0.002 6	0.001 7	0.000 2	0.000 2	0.000 1	79.71	14.04	1.01	0.34	658.86
黄铁矿 04115	1.201	0.141 4	0.003 5	0.002 2	0.000 3	0.000 2	0.000 1	310.50	46.12	0.79	0.33	384.83
黄铁矿 04120	1.205	0.211 8	0.031 4	0.002 9	0.000 6	0.000 3	0.000 2	354.23	86.28	0.91	0.44	459.64
黄铁矿 04120-1	0.404	0.171 9	0.007 1	0.004 8	0.001 5	0.000 8	0.000 4	171.80	52.90	1.25	0.72	810.24
白钨矿 4107	0.399	0.087 6	0.004 6	0.000 7	0.000 2	0.000 1	0.002 5	528.88	153.10	0.792	6.06	290.21

注：$\gamma Os/t = \left[\frac{(^{187}Os/^{188}Os)_{样品(t)}}{(^{187}Os/^{188}Os)_{球粒陨石(t)}} - 1\right] \times 100$；其中 $\left(\frac{^{187}Os}{^{188}Os}\right)_{球粒陨石(t)} = \left(\frac{^{187}Os}{^{188}Os}\right)_{初始值} + \left(\frac{^{187}Re}{^{188}Os}\right)(e^{\lambda T} - e^{\lambda t})$，式中，$(^{187}Os/^{188}Os)_{初始值} = 0.095\ 31$，$^{187}Re/^{188}Os = 0.401\ 86$，地球形成年龄 $t = 4.558\times10^{9}$a，^{187}Re 的衰变常数 λ 取 $1.666\times10^{-11}a^{-1}$。

黄金地质研究所
信息室 提供

河南狮子庙金矿床

狮子庙金矿田隶属于河南省栾川县狮子庙乡，是武警黄金部队于20世纪80年代发现的碎裂蚀变岩型金矿。该矿田位于熊耳山—外方山金成矿带西端，熊耳山南麓，以红庄矿区96234号和元岭矿区980号碎裂蚀变带为代表。

1 地质背景

研究区位于华北地台南缘与秦岭褶皱带的衔接部位，马超营大断裂横贯全区，为本区主要控矿构造。构造线方向早期为EW向，晚期则为近SN向构造叠加改造。盖层褶皱较为简单，主要形成NWW向开阔对称褶皱。断裂发育，主要为NWW及NE向2组，其余方向断裂不发育（图1）。区域出露地层主要为熊耳群、太华群，第三系零星分布。太华群主要岩性为混合质黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、角闪石岩、条带状混合岩及均质混合岩。熊耳群在研究区出露自上而下分4个组：张合庙组（Chz）以紫色安山岩为主，次为杏仁状安山岩、玄武安山岩、安山玢岩及大斑安山岩，主要分布于马超营断裂的北侧；焦园组（Chj）主要为紫灰—紫红色英安斑岩、石泡英安斑岩、流纹斑岩、球粒流纹斑岩，次为英安岩、流纹岩，主要分布于马沟门—王练沟、狮子庙—翁峪沟门一带；坡前街组（Chp）以灰绿—灰紫色安山岩、玄武安山岩为主，次为杏仁状安山岩、玄武粗面岩、粗安斑岩等；眼窑寨组（Chy）主要为灰色流纹斑岩，次为紫灰色英安斑岩，主要分布于马超营断裂两侧。

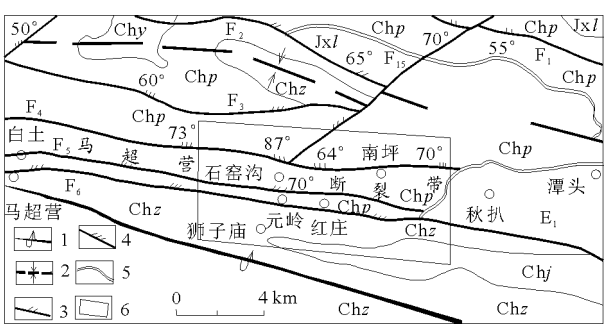

图1 狮子庙金矿田构造地质图（据武警黄金第六支队，2001）

E_1—第三系；Jxl—下栾川群龙家圆组；Chz，Chj，Chp，Chy—熊耳群张合庙组，焦园组，坡前街组，眼窑寨组；1—倒转背斜轴线；2—向斜轴线；3—扭性断裂；4—压扭性断裂；5—角度不整合界线；6—矿田范围

区域构造包括马超营大断裂，重渡—三门倒转背斜及韩沟—李子坪向斜。马超营断裂（F_4，F_5，F_6）横贯全区，长达48 km。东起潭头以东，向西经马超营延出研究区外。断裂带总体走向270～300°，大多向N倾斜，倾角50～80°，走向上呈舒缓波状延伸，切割区内太华群及熊耳群，为该区的导矿构造。该断裂由3条逆冲断层组成：康山—南坪断裂（F_4），铁岭—石窑沟断裂（F_5），马超营—红庄断裂（F_6）。断裂带经历了压性→张性→压（扭）性→压性的演化过程，具糜棱岩、角砾岩、碎裂岩，片理十分发育，后期热液蚀变有硅化、绢云母化、绿帘石—黝帘石化、绿泥石化、阳起石化、碳酸盐化、钠长石化等，局部有银、金、铜、铅矿化。重渡—三门倒转背斜为一较紧闭的线性褶皱，位于马超营断裂带的南侧，延伸约38 km，波及宽度5 km以上，轴面倾向15°，倾角50～60°。韩沟—李子坪向斜为熊耳山南麓主要褶皱，位于马超营断裂带北侧。EW长约22 km，波及宽度6 km以上，轴面倾向185°，倾角82°，为一对称开阔的向斜构造。金成矿带分布于马超营断裂带两侧，主要为蚀变碎裂岩型金矿，多富集于马超营断裂与NE向构造的交会部位，大致呈等间距排列。从西到东有康山、元岭、红庄、潭头、前河等金矿。

红庄矿区位于马超营断裂带中，出露地层为熊耳群坡前街组，矿脉受马超营—红庄断裂控制。元岭矿区位于马超营断裂北部，出露地层为熊耳群张合庙组，矿脉受康山—南坪断裂及铁岭—石窑沟断裂之间的次级NE向压扭性断裂控制。南坪矿区位于马超营断裂北部，出露地层为熊耳群坡前街组及焦园组，矿脉受康山—南坪断裂及铁岭—石窑沟断裂之间的次级NE向断裂控制。

2 矿床地质

狮子庙金矿田已发现矿脉10多条，但具工业意义的仅有2条，即红庄矿区96234号含Au碎裂蚀变带，达大型规模，受近EW向构造控制；元岭矿区980号碎裂蚀变带，为小型矿床，受NE向构造控制。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.1 矿体特征

96234号碎裂蚀变带产于坡前街组地层中，980号脉产于张合庙组，矿体特征见表1。

狮子庙金矿田2个金矿床围岩蚀变特征基本相同，主要有硅化、黄铁绢英岩化，次为绢云母化、钾长石化、碳酸盐化及粘土化。金属矿化为黄铁矿化、方铅矿化等。近矿围岩蚀变带宽度不等，与矿体规模、矿化程度密切相关，矿体厚度大，矿化强烈，蚀变带宽度大，反之则窄小。围岩蚀变主要分布于矿体两侧，且近矿体部位蚀变增强，远离矿体蚀变减弱。从矿脉向两侧，其蚀变为细脉-网脉状硅化和碳酸盐化叠加→绢云母化及绢英岩化→绿泥石化，从上到下为粘土化、碳酸盐化及玉髓化→绢云母化→绢英岩化、碳酸盐化→钾化、钾长石化。

表1 狮子庙金矿田矿体特征

矿脉号	矿体号	赋矿标高/m	规模/m			$w(Au)/10^{-6}$	产状/°		与围岩界线
			长	厚	斜深		倾向	倾角	
96234	Ⅰ	390～825，以500～750为主	最大1 240，一般1 180	0.56～7.08，平均1.85，变化系数110%	最大439，一般360	0～356.20，平均8.23，变化系数298%	10	63～58	不清楚
	Ⅱ	355～805，以500～750为主	985，一般934	0.25～3.44，平均1.19，变化系数81%	最大420，一般300	0～98.8，平均7.84，变化系数184%	0～10	63～58	
980	Ⅱ	625～1 085，以840以上为主	543	0.18～2.05，平均0.91，变化系数41%	456	0～118.80，平均8.24，变化系数155%	310～350	35～62	清楚

96234号碎裂蚀变带以原生矿石为主，氧化矿石仅分布于地表或近地表，主要金属矿物为黄铁矿，次为方铅矿。非金属矿物以长石、石英为主，次为绢云母等。980号脉金属矿物以次生金属氧化物为主，原生金属硫化物含量较少（表2）。

表2 矿石矿物组成

金属矿物			非金属矿物	
名称	占金属矿物相对含量/%	占矿石平均含量/%	名称	占矿石平均含量/%
褐铁矿、赤铁矿	82.15	6.68	石英	67.00
白铅矿	10.06	0.84	绿泥石	9.80
方铅矿	4.91	0.41	长石	6.50
黄铁矿	2.28	0.19	方解石	4.36
铜蓝、孔雀石	0.36	0.03	其他	3.99
黄铜矿	0.12	0.01		
闪锌矿	0.12	0.01		
合计	100	8.35		91.65

注：据武警黄金第六支队，1993。

2.2 成矿物理化学条件

该矿带的成矿物理化学条件以元岭金矿为例。

1）包裹体特征，石英包裹体中原生包裹体多呈孤岛状分布，形态为不规则形、多边形、椭圆形、圆形和负晶形，类型有液相（气相比5%～20%）、气相（75%～80%）和沸腾包裹体，大小多为几微米，气泡为无色、黑色，液相为无色、黄色和黄褐色。

2）包裹体成分，石英包裹体气相成分测定结果见表3。显示成分以H_2O和CO_2为主。主矿化阶段CO含量较高，CO＞CO_2。从早到晚，CO_2/H_2O值呈逐渐升高趋势，但至主矿化阶段（Ⅲ阶段）达最高值后突然降低。

矿床中石英包裹体液相成分测定结果见表4。主矿化阶段K^+，Na^+，F^-，SO_4^{2-}以及K^+/Na^+，F^-/Cl^-，ΣM^+，ΣM^-值均最大，Cl^-含量也高于早（Ⅰ）、晚（Ⅳ）矿化阶段；晚阶段K^+，Na^+，Ca^{2+}，HCO_3^-，Cl^-，SO_4^{2-}以及ΣM^+，ΣM^-值均最低。$(K^+ + Na^+)/(Mg^{2+} + Ca^{2+})$值从早向晚逐步升高。总体上，成矿溶液中$K^+$，$Na^+$少于$Ca^{2+}$，$Mg^{2+}$少于$Ca^{2+}$。主矿化阶段以$K^+$，$Ca^{2+}$，$F^-$，$SO_4^{2-}$为主。主矿化阶段的总盐度及盐度分别为35.28和9.34；晚矿化阶段总盐度和盐度最低，分别为1.90和0.71。

3）成矿温度，方铅矿为260～300 ℃，黄铁矿为90～210 ℃，石英为200 ℃。矿化阶段形成温度：Ⅰ 300 ℃以上；Ⅱ 300～260 ℃；Ⅲ 300～200 ℃；Ⅳ 200～90 ℃。

4）各成矿阶段压力：Ⅰ 11.25 MPa，Ⅱ 18.04 MPa，Ⅲ 75.69 MPa，Ⅳ 2.53 MPa。

5）pH值，各成矿阶段的成矿溶液原始pH：Ⅰ 9.67，Ⅱ 9.04，Ⅲ 7.44，Ⅳ 8.01，属碱—强碱性溶液，此种条件下，结合成矿温度及成矿溶液成分，金的存在及迁移形式可能为$[Au_2(HS)S]^{2-}$，$[Au(HS)_2]^-$，$[AuS_2(HS)_2]^-$等，含金配合物中金属阳离子为Na^+，K^+等。

6）氧逸度（f_{O_2}），各成矿阶段的$\lg f_{O_2}$：Ⅰ −50.34，Ⅱ −48.22～−46.75，Ⅲ −45.54，Ⅳ −49.53。成矿体系处于较强的还原环境。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 元岭金矿含矿石英脉中石英包裹体气相成分及参数值

样号	石英脉(矿化阶段)	CO	CH_4	CO_2	H_2O	气相总量	$(CO+CH_4)/CO_2$	CO_2/H_2O	lgf_{O_2}
b-87	破碎(Ⅰ)	4.85	1.99	6.55	93.06	106.45	1.044	0.07	−50.34
b-31	裂纹状(Ⅱ)	1.68	2.63	12.28	76.66	93.25	0.35	1 0.16	− 48.22
b-123	破碎(Ⅱ)	2.39	1.59	8.58	133.54	146.10	0.464	0.06	−47.79
b-71	破碎(Ⅱ)	0.77	1.56	4.27	133.08	139.68	0.546	0.03	−47.65
b-54	破碎(Ⅱ)	0.81	1.79	5.28	168.75	176.63	0.492	0.03	− 47.39
b-1	含氧化孔洞(Ⅱ)	0.91	—	7.32	40.11	48.34	0.124	0.183	− 46.75
b-106	含硫化物(Ⅲ)	9.22	1.59	4.44	20.88	36.13	2.435	0.21	− 45.54
a-14	纯白(Ⅳ)	1.15	1.62	4.44	144.26	151.47	0.624	0.03	− 49.53

分析者:南京大学地球科学系中心实验室;气相成分含量单位为 mL/100 g。

表 4 元岭金矿中石英包裹体液相成分及参数值

样号	矿化阶段	液相成分 K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	取样量 g	pH 实测	pH 校正	参数值 K^+/Na^+	F^-/Cl^-	KN/MC	总盐度/%
b-87	Ⅰ	0.18 0.28	0.27 0.42	6.03 9.26	0.78 1.20	2.07 3.18	0.16 0.25	0.44 0.68	1.75 2.69	3.5	8.34	9.67	0.67	0.37	0.07	32.0
b-31	Ⅱ	0.16 0.52	0.21 0.69	1.32 4.31	0.08 0.06	4.67 15.23	0.12 0.39	0.41 1.34	0.20 0.65	2.0	7.45	9.04	0.75	0.29	0.27	14.9
	Ⅲ	0.82 3.93	0.15 0.72	1.68 8.05	0.19 0.91	0.58 2.87	2.15 10.30	0.22 1.05	2.86 13.70	5.0	6.35	7.44	5.46	9.81	0.52	35.3
a-14	Ⅳ	0.34 0.24	0.14 0.10	0.43 0.30	0.13 0.09	1.23 0.85	0.43 0.30	0.08 0.06	0.11 0.08	5.0	7.08	8.01	2.40	5.00	0.87	1.9

注:样品由南京大学地球科学系中心实验室测定($\frac{\text{测定值}/10^{-6}}{\text{校正值}/\%}$)。

7)Eh 值,各成矿阶段成矿溶液的 Eh 值:Ⅰ −1.683,Ⅱ −1.618,Ⅲ −1.593,Ⅳ −1.530,说明成矿体系处于较强的还原环境,且从早至晚,有还原程度下降的趋势。

3 地球化学

3.1 氢氧同位素

主矿化阶段的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 达 6.28 ‰,与金-铜系列岩浆水的 $\delta^{18}O$ 6‰~9‰ 较为一致,也与变质分泌水 $\delta^{18}O$ 4‰ ~ 25‰ 相当,此阶段 δD 为 −92.996‰,也同样兼有岩浆水和变质水 δD 的组成特征。早矿化阶段(Ⅰ,Ⅱ)$\delta^{18}O$ 3.52‰~4.03‰及 δD −84.110‰~−85.418‰ 与变质水一致。晚矿化阶段 $\delta^{18}O$ 3.10‰,δD −99.535‰均较小。

3.2 硫同位素

硫同位素组成为 $\delta^{34}S$ −1.31‰~4.55‰。黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值与熊耳群火山岩和基底太华群变质岩中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值(3.6‰,1.92‰)较为一致。

黄金地质研究所
信息室 提供

甘肃寨上金矿床

武警黄金第五支队自 1999 年以来在陕—甘—川西北三角范围内的甘肃省岷县寨上地区进行金矿勘查，取得重大突破，寨上金矿已达大型规模。

1 地质背景

寨上金矿大地构造位置处于古生代以来秦岭陆（华北）-陆（扬子）俯冲—碰撞造山带扬子被动陆缘沉积构造活动带，特别在晚古生代勉—略—康裂谷作用下，加剧了相对独立的南秦岭向华北大陆的俯冲对接。由于扬子大陆西秦岭段向北俯冲为中—低角度，自拼合对接带扬子大陆一侧自北而南依次出现拉分-残留盆地（山—柞），EW 向线性隆起带（吴家山—佛坪—小磨岭），拉张裂陷盆地（西成—凤太—镇旬），陆棚斜坡（安康—紫阳），裂谷式局限洋盆（勉—略—康）

区域出露地层主要由中—上泥盆统、石炭系、下二叠统组成的扬子大陆北缘分裂出的南秦岭地块陆缘浅—次深水相碎屑岩夹碳酸盐岩岩系，岩石组合为含泥质石英砂岩、Ca 质粉砂岩、C-Ca-粉砂质板岩、Ca 质板岩、含砾石英砂岩、灰黑色含 C 白云质灰岩、生物碎屑灰岩等，形成高频叠置的砂-泥-Ca 质沉积岩韵律层组合。中—上泥盆统碎屑岩系为主要的赋矿岩层。矿床被夹持在高桥—礼县—罗坝（北）与高桥—礼县—洮坪（南）分支大断裂之间。本区断裂规模大，期次多，活动时间长，控制了沉积相的分布，后期断裂与褶皱形迹基本一致，呈 NWW 向展布，对金矿的形成具有重要控制作用（图 1），矿区含矿韧-脆性剪切带呈 290～310°向延伸。研究区东部分布有中酸性侵入岩浆岩，属于陆-陆俯冲—碰撞型花岗岩；矿区内及其附近仅见少量酸性花岗岩脉，侵入于晚期脆性断裂中。

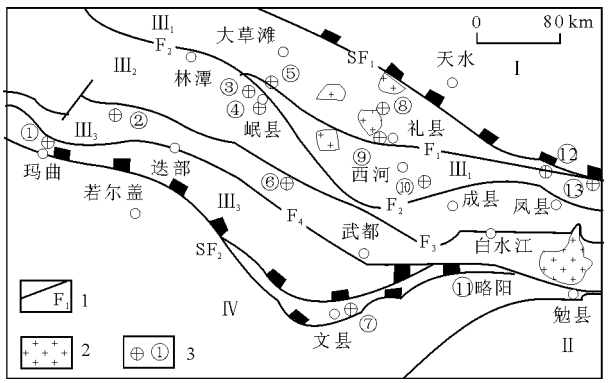

图 1 研究区区域地质构造略图（据杜远生，1997）

Ⅰ—北秦岭—祁连褶皱带；Ⅱ—扬子板块；Ⅲ$_1$—南秦岭地块北带；Ⅲ$_2$—南秦岭地块中带；Ⅲ$_3$—南秦岭地块南带；Ⅳ—松潘—甘孜褶皱带；SF$_1$—商丹缝合带；SF$_2$—勉略缝合带；1—断裂；F$_1$—洮坪—太阳寺，F$_2$—临潭—凤县，F$_3$—光盖山—白水江，F$_4$—玛曲武山；2—花岗岩；3—金矿床：①—大水，②—拉尔玛，③—甘寨，④—鹿儿坝，⑤—寨上，⑥—邛莫—马脑壳，⑦—阳山，⑧—李坝，⑨—金山—马泉，⑩—安家岔—小沟里，⑪—尚家沟，⑫—庞家河，⑬—八卦庙

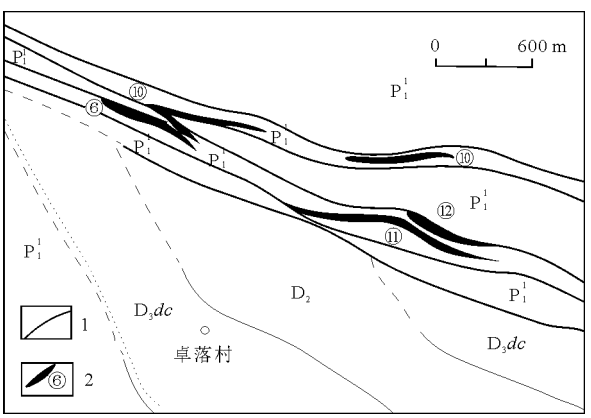

图 2 寨上金矿床地质略图（据武警黄金第五支队简化，2001）

P_1^1—下二叠统；D_3dc—上泥盆统大草滩群；D_2—中泥盆统；1—断层；2—金矿体及编号

2 矿区地质

2.1 地 层

矿区出露地层由老至新分述如下（图 2）。

中泥盆统下段（D_2^1），分布于矿区中部寨上村南，出露较少。主要为灰—浅灰色板岩、薄—中厚层石英砂岩与粉砂质板岩互层、紫红—土黄色泥质—粉砂质板岩。中泥盆统上段（D_2^2），分布于矿区中南部卓落村以东，主要为灰色 Ca 质板岩，土灰色薄层泥灰岩夹灰色薄层灰岩，夹少量紫红色石英砂岩。

上泥盆统大草滩群（D_3dc），分上下 2 段，下段为浅灰色薄层细粒 Ca 质石英砂岩、紫红色粉砂岩、粉砂质板岩互层；上段为紫红、灰绿色粉砂质板岩、粉砂岩，夹灰绿色石英砂岩、粗砂岩，局部产有灰色薄层微晶灰岩。

黄金地质研究所
信息室 提供

下二叠统（P_1^1），分布于矿区中—北部，底部为厚约 20 m 的灰色巨厚块状砾岩；下部为砾岩、含砾石英砂岩、含 C 质板岩、石英砂岩；中部为灰黑色含 C 质板岩，泥质板岩，粉砂质板岩夹棕灰、深灰色含石英岩细粒—岩屑含 Fe 质石英粗砂岩，深灰色角砾状生物碎屑微晶灰岩；上部为含 C 质板岩、泥质板岩夹棕色中厚层含石英岩砾—岩屑粗砂岩。该区代表性岩石的 Au 丰度见表 1。

表 1　不同岩性 Au 丰度

岩　性	样品数	$w(Au)_{平均}/10^{-9}$
千枚状泥质板岩	16	17.10
灰绿色泥质板岩	15	12.10
斑点状板岩	10	16.7
砂岩、粉砂岩	12	3.3
泥-Ca 质板岩	20	4.5
粉砂质板岩	9	16.9
Ca 质砂板岩	7	4.5
C 质板岩	4	1.47
地壳平均(Taylor,1985)		1.8

2.2　构　造

矿区北 F_1 为高桥—礼县大断裂的北分支断裂，即高桥—礼县—罗坝—锁龙口断裂之西段（图 2），南为高桥—礼县—洮坪断裂与临潭—两当深断裂复合的西沿。矿区内与区域断裂平行的次级韧-脆性断裂发育，大致确认有 10 条。共同特征为由刚性砂岩层和砂质灰岩构造透镜体和塑性粉砂质板岩、粉砂岩基质组成的剪切带；刚性体岩石变形差或几乎未变形；塑性基质泥岩变形明显且类型多样，片理化主要由碎屑矿物和泥质经重结晶的绢云母和微拉长的碎屑变形颗粒半定向排列所致；一定强度的剪切变形构造作用造成层状岩石的成分分异，形成岩石的变形条带状构造；S-C 条带变形组构和膝折及共轭膝折，进一步说明剪切变形的韧-脆性质和由韧性向脆性递进的变形关系；少量显微压力影构造亦显示破碎细晶顺剪切方向旋转，在细碎斑之间发育重结晶压力影带；近平行的韧-脆性剪切断裂带走向 280～290°，S 倾，倾角 30～50°。含 Au 矿化蚀变矿物多沿片理化带、剪切带、膝折带交代充填。矿区内次级 NE，NW 向断裂叠加在剪切带中，多构成几组断裂的交会，使韧-脆性断裂进而破碎或角砾化，同时发育矿化热液蚀变产物，含 Au 黄铁矿-毒砂-石英-白云石浸染交代容矿围岩或沿显微裂隙充填含 Au 黄铁矿-毒砂-（辉锑矿）-石英-碳酸岩细脉，形成工业矿体或矿化体。

2.3　矿带及矿体特征

寨上金矿区含 Au 地质体主要分布在泥盆纪及二叠纪泥板岩—粉砂岩—泥质砂岩和 Ca 质砂岩—泥灰岩—粉砂质泥板岩韵律层中；区内矿体与矿脉严格受地层和断裂双重控制；可确定近 EW 向（280～290°）断裂破碎带与矿带同步，且控制着矿体与矿脉的总体展布；韧-脆性剪切断裂的有序递进变形为成矿物质沉淀就位准备了容矿空间。主要矿体与含矿脉体就位于 F_5，F_7 韧-脆性剪切断裂带中，断裂走向、倾向与地层低角度相交。由于矿体受剪切带次级构造制约，矿体与矿带产状存在一定交角；矿体（脉）成分主要由破碎蚀变或交代蚀变碳质板岩、泥质板岩、Ca 泥质砂岩、泥灰岩等含矿岩系组成，具体为砂岩等刚性构造透镜体和泥板岩等塑性片理化基质组成的构造蚀变矿（化）体；有利的矿化蚀变为硅化、黄铁矿化、毒砂化、铁白云石化、方解石化等，同时可见较弱的辉锑矿化、黄铜矿-黝铜矿化、闪锌矿-方铅矿化。依据含矿地层组合、蚀变破碎带的展布、矿体矿化特征与空间分布、工程控制程度，矿区圈出Ⅰ，Ⅱ号 2 条矿带。Ⅰ号控制长 4 450 m，宽 120～300 m，由⑪，⑫，⑥，㉑，④，⑤号矿体组成，总体走向 280～290°。Ⅱ号位于Ⅰ号北侧，相距 50～400 m，由⑨，⑩，⑲号矿体组成，带长 2 200 m，宽 80～150 m，总体走向 280～290°。矿区主要工业矿体为⑪—1，⑫—1，⑥，⑲—1，⑩—1 号，主要地质特征见表 2。按赋矿岩系岩性组合，将产于韧-脆性剪切带中的矿体分为 3 种类型。1）砂岩-粉砂质板岩型：分布在近地表或地表上部层位，组成较低品位的金矿体。2）含 C 质板岩-泥灰岩型：产于中深部，赋矿层中往往夹有Ca-泥砂岩，组成品位较高的工业矿

表 2　寨上金矿床工业矿体地质特征

矿体编号	矿体类型	产　状/°		规　模/m			$w(Au)/10^{-6}$	
		倾　向	倾　角	地表长度	钻孔控制斜深	斜　厚	一　般	最高
⑪—1	C 质板岩-砂岩-泥灰岩	20～25	50～70	595	150	10～74	8.37	46.6
⑫—1	砂岩-粉砂质板岩	21～25	50～60	370	110	3～60	3.41	9.42
⑥	砂岩-粉砂质板岩	20～25	45～70	740	287	7～20	0.32～1.79	3.93
⑲—1	C 质板岩-泥灰岩	10～20	10～32	360		10～25	4.97	17.30
⑩—1	砂岩-粉砂质板岩	15～20	45～55	240		4～16	0.54～2.12	5.48

黄金地质研究所
信息室 提供

体。3）碳质板岩-砂岩-泥灰岩型：亦产于中深部，为品位较高的工业矿体。

2.4 矿石特征

金属矿物，黄铁矿、含 As 黄铁矿、毒砂、次显微金，多为早期矿化产物；中—晚期局部发育黄铜矿、黝铜矿，少量辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、闪锌矿、方铅矿及显微自然金，另外辉锑矿仅集中分布于晚期构造发育地段。非金属矿物多见硅化石英、铁白云石、方解石、重晶石，次为钠长石、绢云母、地开石。次生氧化矿物为褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿与锑华。

寨上金矿床矿石中自然金的赋存状态有 2 种形式：占优势的为次显微不可见金，主要分布于含 As 黄铁矿及毒砂之中，特别存在于含 As 黄铁矿及毒砂增生环带中，是典型卡林型金矿床的特征标志；少部分呈独立矿物（自然金）存在于晚期石英张裂脉中，一般叠加于早期含次显微金矿石中。

寨上金矿床矿石有以下类型。

1）黄铁矿型，与金矿化有关的矿物主要为黄铁矿、含 As 黄铁矿、石英、铁白云石、方解石，呈浸染、微细脉—浸染、团块状分布，黄铁矿具有典型的增生环带结构，自然金呈次显微状，多见于板岩-砂岩型矿体中。

2）黄铁矿-毒砂型，与金矿化有关的矿物主要为含 As 黄铁矿、毒砂、石英、铁白云石、方解石等，呈浸染、微细脉浸染状分布，毒砂具有典型的增生环带结构，自然金呈次显微状，多组成含碳质板岩-泥灰岩型和碳质板岩-砂岩-泥灰岩型矿体。

3）铜-金型，与金矿化有关的矿物主要为黄铁矿、含 As 黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿，少量辉铜矿、斑铜矿、铜蓝产于次生富集带中，石英、铁白云石、方解石等多呈团块—细脉浸染状分布，自然金呈次显微状和少量可见自然金，组成板岩-砂岩型矿体。

4）锑-金型，与金矿化有关的矿物主要为黄铁矿、毒砂、辉锑矿、石英、铁白云石、重晶石、方解石等，多呈角砾状、团块—细脉状分布，赋存于含碳质板岩-泥灰岩型和碳质板岩-砂岩-泥灰岩型矿体内。

矿石结构可见黄铁矿、毒砂呈自形—半自形粒状，黄铜矿、黝铜矿呈他形粒状，辉铜矿替代黝铜矿之替代结构，辉锑矿对黄铁矿-毒砂的包含-交代结构，草莓状黄铁矿呈生物假象结构等。矿石构造为浸染、细脉—浸染状，团块、角砾、网脉状等。

2.5 围岩蚀变

含矿围岩蚀变较弱，主要表现为浸染、细脉—浸染状的含 As 黄铁矿化和毒砂化，细脉与网脉状硅化、铁白云石化均与金矿化密切相关。成矿期次特征：早期黄铁矿化-含 As 黄铁矿化-毒砂化-硅化构成微细脉—浸染状矿化，分布于近 EW 向脆-韧性剪切构造变形带中；中期 NE 与 NW 向叠加构造中发育细脉—团块状黄铁矿化-铁白云石化-毒砂化-硅化，局部出现沿进而破裂的韧性剪切带分布的黄铜矿化-黝铜矿化-辉铜矿化-铜蓝化-闪锌矿化-方铅矿化；晚期细脉、网脉或角砾状辉锑矿化-重晶石化-铁方解石化-地开石化-硅化分布于持续活动的杂乱张裂空间；3 者构成热液期主要的金矿化阶段。黄铁矿多为微细粒，经热液改造或热液沉淀的黄铁矿粒度稍大，有的甚至呈细脉及细条带状分布。本区共有 3 种不同的存在方式，一种为极细—微细粒草莓、串珠、结核体状成岩黄铁矿，与沉积层理及其 C-泥质平行展布，为沉积成岩—重结晶成因，大量成岩黄铁矿的存在致使赋矿地层 Au 丰度较高，成岩黄铁矿含 As 可达 1.6％，是造成本区含 C-Ca-泥质细碎屑岩系中 As 异常高的主要原因；第 2 种为自形—半自形浸染—聚合浸染状黄铁矿，存在于较为破碎的岩层中，微细浸染分布于岩石微裂隙中，具增生环带晶粒内部结构，显然为后生热液改造而成，成为主要的热液矿化期；第 3 种为细粒他形—半自形细脉及团块状黄铁矿，存在于脆性断裂破碎带中，其含量与金矿化呈正相关。碳酸盐化多为白云石、方解石细脉或不均匀浸染体，常与石英细脉共生，形成石英-白云石-方解石细脉或方解石-石英细脉。辉锑矿化多呈角砾—团块状分布，与重晶石-方解石共生形成锑-金矿石。绢云母化为矿带范围或区域浅变质的蚀变产物，多由泥质重结晶形成，起净化含矿岩石作用，使含矿物质迁出转移。局部石墨化与绢云母化为剪切带较高温-高压构造变形产物。

3 地球化学特征

寨上金矿床含矿岩石及矿石稀土元素特征参数见表 3，矿体、黄铁矿、赋矿岩石中的微量元素质量分数及特征值见表 4，含矿岩石及矿石稀土元素组成见表 5，矿区微量元素特征见表 6。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 寨上金矿床含矿岩石及矿石稀土元素特征参数 w(B)/10^{-6}

参数	矿石			含碳泥质板岩[2]	方解石脉	二长花岗岩(中川岩体)[1]			
	黄铁矿型	铜-金型	均值			似斑状黑云母二长花岗岩	含斑黑云母二长花岗岩	中细粒黑云母二长花岗岩	均值
ΣREE	99.95	61.42	80.68	79.01	319.40	166.29	121.67	155.05	147.67
ΣHREE	31.17	20.78	25.98	24.96	149.50				
ΣLREE	68.78	40.65	54.72	50.05	169.90				
ΣL/ΣH	2.21	1.96	2.09	2.01	1.14	5.72	5.32	7.05	6.03
$(La/Yb)_N$	6.23	3.81	5.02	4.56	0.99	16.35	16.11	23.54	18.67
$(Sm/Nd)_N$	0.62	0.78	0.70	0.58	1.43				
Gd/Yb	1.24	1.30	1.27	0.84	3.06				
La/Sm	3.30	2.83	3.07	3.83	0.26	3.85	3.28	3.29	
δ(Eu)	0.65	2.58	1.62	0.81	1.16	0.63	0.43	0.58	
δ(Ce)	0.31	1.04	0.68	0.77	1.04				

注：1）据高兆坤等，2001；2）据于岚，2004。

表 4 寨上金矿矿体、黄铁矿和赋矿岩石中的微量元素质量分数及特征值 w(B)/10^{-6}

元素	金矿体		上地壳	富集系数	黄铁矿			赋矿层位	赋矿岩石		
	⑲—1	⑪—1,2			微细黄铁矿内核	黄铁矿聚晶外环	不规则黄铁矿	P_1—D_2	粉砂质板岩	泥质板岩	碳质板岩
Cu	20	25	25	0.90				16.24	19.15	14.28	15.28
Cr	40	50	35	1.29				32.05	31.20	32.43	32.51
Ni	30	50	20		5 500	700	400	17.57	16.79	18.16	17.76
Co	10	20	10	1.50	1 500	600	600	8.17	8.71	7.97	7.82
V	12	150	60	1.35							
As	200	170			5 100			48.05	80.89	32.62	30.64
Sb	150	70			1 900			10.45	16.48	7.68	7.19
Ag	2	3			1 100			0.22	0.34	0.16	0.15
B	200	100									
Pb	200	300	20	12.50				28.96	38.06	24.73	24.08
Zn	700	120	71	71				64.33	74.81	56.43	61.74
W	300	350	2	162.50				2.70	2.75	2.67	2.69
Mo	10	15	1.5	8.33				0.87	0.97	0.82	0.81
Sn	5	2	5.5	0.64				2.79	2.82	2.75	2.79
La	80	50	30	2.17							
Ce	200	<200	64	3.13							
Y	40	40	22	1.82							
Yb	34	2.2	1.59								
Sc	12	17	11	1.32							
Zr	250	150									
Li	30	70	20	2.50							
Be	83										
Nb	12	10									
Ga	20	15	17	1.03							
Ba	900	2 500	550	3.09							
Sr	150	200	350	0.50							
Mn	800	1 500	600	1.92				457.11	430.25	482.11	458.98
Ti	3 000	4 000	3 000	117							
P	1 000	<1 000									
Zr/Nb	20.83	15									
Sr/Ba	0.17	0.08									
Co/Ni	0.33	0.4	0.27	0.86	1.50	0.46	0.52	0.44	0.44		

黄金地质研究所
信息室 提供

表5 寨上金矿床含矿岩石及矿石稀土元素组成 w（B）/10^{-6}

岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
黄铁矿型金矿石	24.16	6.08	15.49	11.77	7.33	3.95	4.83	4.01	3.76	3.62	3.76	3.7	3.88	3.61
铜-金矿石	10.03	8.18	5.65	6 4.53	3 3.54	8.71	3.2	2.53	2.73	2.37	2.43	2.47	2.63	2.41
板岩	17.45	10.8	10.41	7.86	74.56	2.99	2.86	2.53	2.64	2.65	3.14	3.4	3.83	3.92
方解石脉	10.9	18.2	24.18	29.88	42.7 4	4.1 3	3.3	27.2	22.4	18.4	15.9	12.7	10.9	8.73

表6 寨上金矿区微量元素特征

名称	w(Au)/10^{-6}	w(B)/10^{-9}							备注
		Hg	As	Sb	Ag	Pb	Zn	Cu	
⑪—1,2号脉	2.3	600	170	70	3	300	120	25	武警黄金第五支队，2004
⑲—1号脉	1.24	500	200	150	2	200	700	20	
区域岩石	4.4×10^{-9}	50	10.2	3.4	90	32.3	75.9	39.9	姜海平，2003
上地壳	1.8×10^{-9}	0.08	1.5	0.2	0.05	20	71	25	Taylor，1985

黄金地质研究所
信息室 提供

中　　册

国内其他金矿床

黄金地质研究所
信息室 提供

黄金地质研究所
信息室 提供

西藏雄村铜-金矿床

雄村铜-金矿位于西藏自治区谢通门县南东约40 km处，属谢通门县荣玛乡所辖，地理坐标为东经88°23′17″～88°23′45″，北纬29°22′07″～29°23′03″。矿区地处雅鲁藏布江北岸，距日喀则市约70 km。日喀则市至谢通门县公路从矿区东南侧边缘通过，其间有2 km的矿山简易公路相连，交通方便。

矿床形成于始新世晚碰撞造山阶段（徐文艺，2006；侯增谦等，2006），沿NWW向断裂在十几千米范围内呈串珠状分布着雄村、洞嘎、则莫多拉等多个铜-金矿床，显示了巨大的成矿潜力。雄村铜-金矿床截至2006年底已获得铜的勘探储量为84万t，金的勘探储量为125 t，预计该矿床铜的远景储量可达300万t，金的远景储量达250 t。

1 区域地质背景

本区大地构造位置属西藏特提斯—喜马拉雅构造域，冈底斯—念青唐古拉陆块南缘的冈底斯陆缘火山-岩浆弧带的东段南缘。

青藏高原造山带由依次增生于亚洲大陆南缘的若干地体拼贴而成，是印度与亚洲大陆强烈碰撞的印度板块分离，新特提斯洋打开（Gaetani et al.，1991）。中白垩世期间，印度板块北部大洋岩石圈向北开始俯冲，导致了日喀则弧前盆地（Durr，1996）和冈底斯地区安第斯型弧岩浆岩带的形成（Allegre etal.，1984；Harrison et al，1992；Yin et al.，2000；侯增谦等，2003）。晚白垩世晚期（约70 Ma，Yin et al.，2000）或古新世（65 Ma前后；侯增谦等，2006），印度板块与亚洲板块沿印度河—雅鲁藏布江发生碰撞；此后，造山带经历了主碰撞阶段（65～41 Ma）、晚碰撞阶段（40～25 Ma）和后碰撞阶段（25～0 Ma），现在仍处于后碰撞伸展过程中（侯增谦等，2006）。

2 矿区地质

雄村矿区出露的主要地层为K_2—E_1旦狮庭组火山碎屑岩和第四系更新统砾岩（图1）。区域上，旦狮庭组Rb-Sr年龄为(73.24±18.54)Ma，K-Ar

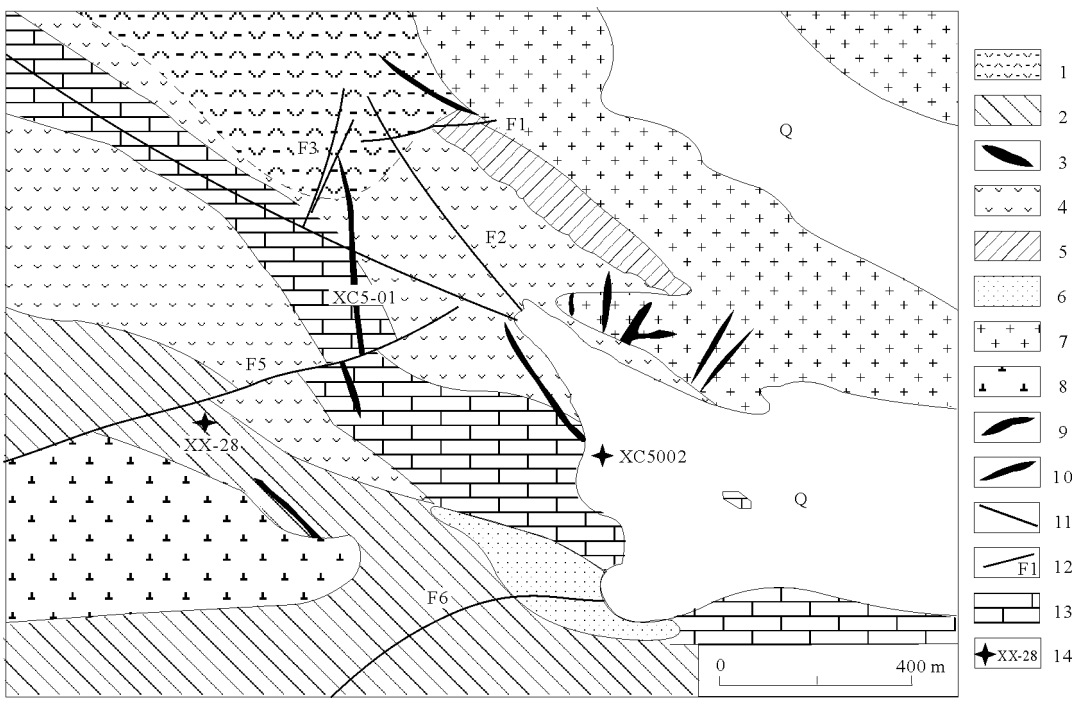

图1 雄村铜-金矿床地质图（据西藏地质六队，2003修改）

Q—第四系；1—旦狮庭组英安斑岩；2—弱硅化旦狮庭组英安斑岩；3—碳质板岩夹层；4—绢英岩化叠加硅化蚀变带；5—绿泥石化凝灰岩；6—泥质蚀变带；7—黑云母二长花岗岩；8—青磐岩化闪长斑岩；9—基性岩脉；10—酸性岩脉；11—硅化破碎带；12—断层及编号；13—矿体；14—取样位置及编号

黄金地质研究所
信息室 提供

年龄为（65.1±2.6）Ma和（52.8±1.4）Ma（西藏地矿厅，1996）。在雄村矿区，旦狮庭组是铜-金矿床的容矿围岩，其岩性为一套强烈蚀变的英安质凝灰岩、凝灰质砂岩夹碳质板岩，其中英安质凝灰岩含大量晶屑（斜长石、石英等，多已蚀变）、玻屑和岩屑。

矿区内发育有多期岩浆岩，主要岩浆岩有黑云母二长花岗岩、石英闪长斑岩以及多种脉岩。黑云母二长花岗岩出露于矿区东北部，为矿区出露面积最大的岩体，属于矿区东北部的石英二长岩岩基的边缘相，其侵入时代为古新世（西藏地矿厅，1996）。黑云母二长花岗（斑）岩呈中粒似斑状结构，斑晶主要为钾长石，基质为钾长石、斜长石、石英、黑云母和角闪石，副矿物主要有磁铁矿和锆石。黑云母二长花岗岩与围岩呈侵入接触关系，侵入接触带见有夕卡岩化，但岩体中目前未见矿化。

石英闪长斑岩（年龄目前未知）出露于矿区西南部，呈变余斑状结构，基质为变余微晶结构，岩石绿泥石化和绿帘石化强烈，偶见斜长石残斑，副矿物主要为榍石，岩石局部见有星点状黄铜矿。岩体边缘接触带发育有角岩化。

矿区脉岩有酸性脉岩和基性脉岩2类，前者有花岗细晶岩、花岗斑岩及似伟晶岩，后者有辉绿岩和煌斑岩。脉岩规模小，产状陡立，相互穿插，其中见有花岗斑岩脉贯入到铜-金矿体中，并有矿化和蚀变。似伟晶岩脉由粗粒钾长石、白云母、电气石及自形黄铁矿组成，其钾长石K-Ar年龄为（47.62±0.7）Ma。

矿区断裂破碎带发育，并强烈硅化；其中F_2呈320°方向从蚀变矿化带北侧穿过，破碎带宽50～100 m；F_4断裂呈290°方向从蚀变矿化带中部穿过，破碎带宽40～60 m。断裂总体倾向均为NE，倾角陡立且变化大。沿断裂普遍分布有断层角砾岩和蚀变岩，并多已片理化，断裂性质均表现为先张后压。F_2和F_4断裂及其派生的NE向次级构造裂隙是矿区的主要控矿和容矿构造，矿区南部的硅化破碎带F_6基本无矿化。此外，矿区还发育NE向断层F_1和F_5，截穿矿体，时代较晚。

主要围岩蚀变类型有黑云母化、钾长石化、白云母化、绢英岩化、硅化、绿泥石化、粘土化（高岭石化）、脉状碳酸盐（方解石和菱铁矿）化、重晶石化等；此外，还见有钠长石化、黝帘石化、石榴石（锰铝榴石）化、透辉石化、阳起石化、红柱石化和堇青石化。雄村矿区蚀变类型复杂且多期叠加，其中蚀变最为强烈且与铜-金矿化关系最为密切的蚀变类型为绢英岩化、硅化、绿泥石化和粘土化（高岭石化）。

3 矿体特征

矿（化）体位于区内出露规模较大的花岗岩体的外接触带，沿F_4及F_2断层破碎带分布。圈定矿体长2 300多米，两侧直接延伸到测区外，矿体平均宽度200 m左右，最宽达400多米。矿体走向330°，倾向NE，倾角70～75°。主要呈似层状，脉状，囊状产在白垩系地层中。矿（化）体及含矿围岩为具有黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化的硅化凝灰岩及凝灰质砂岩，局部可以看见角岩化凝灰岩。该矿（化）体Au品位平均为0.37×10^{-6}，最高7.04×10^{-6}，Cu品位平均为0.46×10^{-6}，最高6.87×10^{-6}。

矿石构造有块状、脉状、浸染状、角砾状构造等。矿石结构包括结晶结构（自形、半自形和他形结构，包含、共边结构）、交代（残余）和固溶体分离（乳浊状、叶片状、结状）、压碎结构等。

主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、银金矿、闪锌矿、方铅矿，次要为辉铜矿、磁黄铁矿、褐铁矿，微量的为新铁尖晶石、铜蓝、毒砂、孔雀石、蓝铜矿、金红石、钛铁矿、蓝辉铜矿、磁铁矿。主要非金属矿物为石英、长石、绿帘石、绢云母，次要为白云石、方解石、绿泥石、黝帘石，微量透闪石、阳起石。

矿石中自然金成色高。粗粒金（>0.074 mm）含量高达40.00%，中粒金含量达34.74%。最大自然金粒度为0.3 mm×0.4 mm（重砂中）。矿石中金矿物的平均粒度为0.066 mm。

金矿物赋存状态主要有包裹体金、裂隙金、粒间金3种。金矿物形态多样，但主要以规则粒状为主，占59.10%，如浑圆粒状、麦粒状、板片状、棒状等。其次为不规则粒状，占30.49%，如角粒状、尖角粒状。

雄村铜-金矿区经历了岩浆期、热液成矿期、表生氧化期3个成矿期。形成了一系列的金属矿物和非金属矿物。其中岩浆期主要形成一些高温的矿物，未达到工业品位，不具有工业价值。热液成矿期是成矿作用的主要时期，生成闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、银金矿、方铅矿、毒砂等二十余种矿物。热液成矿期矿石可以划分出硫化物-石英、石英-黄铁矿和银金矿3个成矿阶段。其中石英-黄铁矿阶段由磁黄铁矿、石英及银金矿组成；硫化物-

黄金地质研究所
信息室 提供

石英阶段的矿物组合以石英、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、银金矿等为主；银金矿阶段以银金矿为主。而表生成矿期主要形成表生氧化物，并发生金的次生富集。

4 地球化学特征

4.1 氢氧同位素

对雄村矿床西段（洞嘎）的矿石和围岩中的石英包裹体的氧及氢同位素进行测试，其组成见表1。

表 1 矿区石英氢氧同位素组成 δ/‰

样品编号	岩 石	δD_{H_2O}	$\delta^{18}O_{石英}$	$\delta^{18}O_{H_2O}$
TG－2	矿化石英脉	－86	10.8	－2.49
TG－3	围 岩	－77	12.3	－0.99

石英中包裹体水的氢氧同位素数值投点于 $\delta^{18}O_{H_2O}$-δD_{H_2O} 关系图（图 2）上，落点位于岩浆水、变质水区域之外。

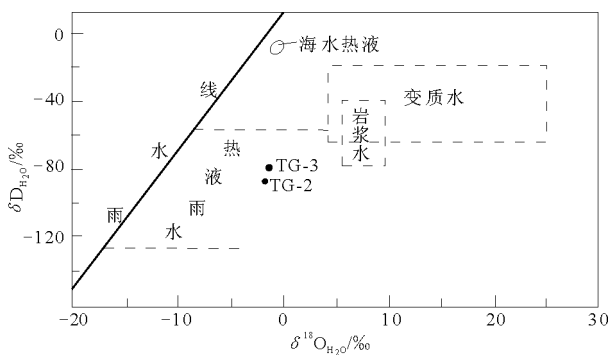

图 2 $\delta^{18}O_{H_2O}$-δD_{H_2O} 关系图

4.2 硫同位素

研究区西段（洞嘎）的硫同位素测试结果见表 2。由表 2 可知，矿区的硫同位素组成非常均一，除 1 件为低负值，其余均为低正值；$\delta^{34}S$ 的变化范围在－1.25‰～3.0‰之间，平均 1.41‰，具陨石硫特征，属地幔硫；围岩和矿体的 $\delta^{34}S$ 相差不大，说明二者的 S 源基本相同，主要来源于上地幔。

矿区的 $\delta^{34}S$ 值在直方图上显示了单峰塔式效应，通过与不同岩石来源的 $\delta^{34}S$ 组成对比，发现其和岩浆岩的 $\delta^{34}S$ 分布范围更加接近。均显示矿化流体来自岩浆热液，以深源火山硫为主。

4.3 铅同位素特征

研究区西段（洞嘎）铅同位素测试结果见表 3。

表 2 矿区的硫同位素组成

样 号	矿 物	$\delta^{34}S$/‰	资料来源
QJ15	黄铁矿	2.49	曹志敏等（1996）
JS－2		1.08	
JS－3		2.25	
ZDK22		0.75	
ZDK23		1.20	
ZDK25		1.06	
ZDK31		－1.25	
ZDK37		1.57	
ZDK38		1.43	
ZDK39		1.15	
TG－2	黄铁矿	2.7	邢俊兵等（2003）
TG－3		3.0	
TG－15	花岗斑岩（全岩）	1.0	曲晓明等（2003）
TG－21		1.3	

由表 3 可知，矿区的铅同位素组成 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 的值为 18.139～18.372，而 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 的值为 15.476～15.528，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 的值为 37.979～38.307。变化范围不大，均有正常铅演化的特点；同时无论是花岗斑岩还是黄铁矿、石英的铅同位素组成都比较相似，说明它们的有着共同的铅的来源。而丁枫（2004）又根据 Holmes-Houtermans 模式（1946）（简称 H-H 模式）计算出其中值和单阶段模式年龄（表 3），其模式年龄变化为 95.11～231.72 Ma，大致可以分为 2 组，一组在 100 Ma 左右，平均 102.88 Ma；另一组为 200 Ma 左右，平均 220.75 Ma。说明了侵入岩体、黄铁矿和石英中的铅同位素来源的复杂和同源的可能性。

4.4 流体包裹体

徐文艺（2005）主要针对与铜矿化有关的石英-绢云母-黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿脉和稍晚的与金矿化有关的石英-绿泥石-黄铁矿-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿（少量）脉，开展石英中流体包裹体测试工作。

雄村矿区脉石英中的流体包裹体可划分为 3 类（表 4）：气相体积百分数≥50% 的 G 型包裹体、气相体积百分数＜50% 的 L 型包裹体和含子晶的多相包裹体（S 型包裹体）。

与铜矿化密切伴生的脉石英中的流体包裹体，L 型数量最多，目估气相体积百分数多为 5%～25%，少数可达到 45%，包裹体大小 4～26 μm；其次为 S 型包裹体，包裹体大小 5～35 μm，根据子晶形态推测，子晶主要为石盐（NaCl，立方体），其次为钾盐（KCl，浑圆状），个别出现石膏（针状）、方解石（长板状）。G 型富气体包裹体在数量上比前 2 种包裹体少得多，颜色较深，气相体

黄金地质研究所
信息室 提供

表 3 雄村矿区硫化物铅同位素组成

测试样品	样号	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	φ值	模式年龄/Ma	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
花岗斑岩	DG－15	18.372±0.020	15.528±0.017	38.307±0.042	0.577	95.11	12.916	15.024
	DG－21	18.315±0.008	15.501±0.017	38.175±0.042	0.578	106.77	11.155	11.526
黄铁矿	DG－04	18.166±0.008	15.483±0.007	38.025±0.017	0.586	98.62	9.98	7.552
	DG－05	18.167±0.007	15.495±0.006	38.065±0.015	0.587	209.69	10.763	8.612
	DG－17	18.153±0.018	15.476±0.016	37.993±0.039	0.586	98.62	9.524	6.704
	DG－19	18.139±0.013	15.496±0.011	38.039±0.029	0.589	231.72	10.828	7.923
石 英	TG－1	18.176±0.019	15.490±0.014	37.979±0.033	0.586	98.62	10.437	6.333
	DG－05	18.334±0.013	15.542±0.010	38.293±0.025	0.578	106.77	13.829	14.653

表 4 雄村矿区脉石英中流体包裹体组成分类

样品类型	包裹体类型	流体类型
铜矿化伴生的脉石英中的流体包裹体	G 型低盐度 H_2O 溶液包裹体 L 型 H_2O 溶液包裹体 S 型 H_2O 溶液包裹体	H_2O-盐溶液
	G 型富 CO_2 包裹体 L 型富 CO_2 包裹体	富 CO_2 流体
	G 型 N_2-CH_4 包裹体 L 型富 N_2-CH_4 包裹体 S 型富 CH_4 包裹体 S 型富 CO_2-CH_4 包裹体	富 CH_4-N_2流体
金矿化伴生的脉石英中的流体包裹体	L 型 H_2O 溶液包裹体 S 型 H_2O 溶液包裹体	H_2O-盐溶液
	G 型富 CO_2包裹体	富 CO_2流体
	G 型 N_2-CH_4 包裹体 L 型富 CH_4 包裹体 L 型富 N_2-CH_4包裹体	富 CH_4-N_2流体

积百分数＞50%，大多数＞80%，部分接近于纯气相包裹体，大小 2～20 μm。根据镜下特征和拉曼探针检测，G 型包裹体主要是富 CO_2，CH_4，N_2包裹体，其中部分较大的富 CO_2包裹体可清晰分辨出液态 CO_2相。另外，在流体包裹体中还偶尔发现有黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿捕获晶。

晚期与金矿化伴生的脉石英中的流体包裹体非常小，大多数＜10 μm，个别达到 17 μm，主要为 L 型包裹体，气相体积百分数＜25%。G 型包裹体较少，大小＜5 μm，接近于纯气体包裹体。含子晶多相包裹体（S 型）偶尔能见到，子晶很小。

均一测温显示，与铜矿化伴生的脉石英中的流体包裹体均一温度范围为 136～382 ℃，集中分布区间为 150～250 ℃，峰值 170 ℃。与金矿化伴生的脉石英中的流体包裹体均一温度范围为 121～229 ℃，峰值 150 ℃（图 3），盐度分布范围为 1.23%～10.86%。雄村矿区部分流体包裹体冰点很低，可能含有较高的 2 价离子（如 Ca^{2+}，因为有的包裹体含石膏和方解石子晶）。与金矿化伴生的脉石英的 L 型流体包裹体均一压力范围为 1.94×10^5～19.09×10^5 Pa。

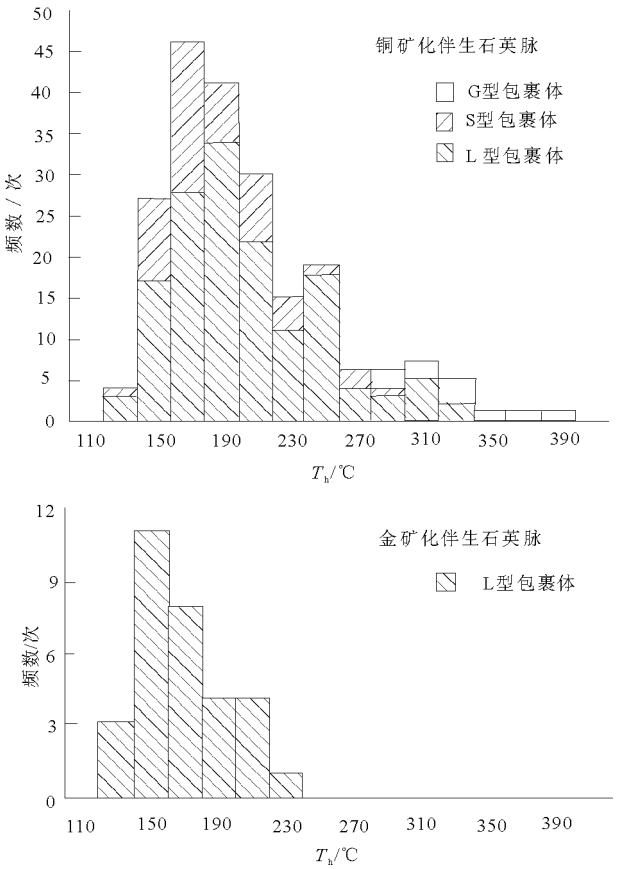

图 3 雄村矿床流体包裹体均一温度分布直方图

对脉石英中的单个包裹体进行系统的拉曼光谱原位分析，发现雄村矿区流体包裹体普遍含有 CO_2，CH_4，N_2。根据包裹体组成，雄村矿区脉石英中流体包裹体可进一步分为 H_2O-盐溶液包裹体、富 CO_2包裹体和富 CH_4-N_2包裹体三大类（表 4）。铜矿化阶段与金矿化阶段流体组成基本相似，但铜矿化阶段以 CO_2为主，而金矿化阶段则烃类气体显著增多。铜矿化阶段富 CO_2包裹体出现频次显著高于富 CH_4-N_2包裹体，CO_2拉曼特征峰强度也显著高于其他气体；金矿化阶段则含 CH_4包裹体出现频次较高，CH_4拉曼特征峰强度也显著高于其他气体。

黄金地质研究所
信息室 提供

5 矿床成因

Qin 等（2005）提出雄村矿床为被晚期脉切割的中生代 VHMS 型矿床，但雄村矿床的成矿年龄为（38.11±0.9）Ma。雄村矿区或许存在中生代矿坯层，但雄村矿床主体应形成于始新世末期陆内环境，而且成矿流体的 Na^+/K^+ 和 Cl^-/SO_4^{2-} 摩尔比值及氢氧同位素组成显著不同于海水和海底热水。有人提出雄村矿床为与矿区北部 10 km 的谢通门—仁钦则剪切带有关的金矿（西藏地矿厅，1996），但谢通门—仁钦则剪切带截穿了中新世二长花岗岩，时代晚于雄村矿床，而且雄村矿床细脉浸染状矿化和高的贱金属含量以及高的成矿流体盐度也区别于典型剪切带型金矿（Kerrich et al.，2000）。

Continental Minerals Corporation（2004）把雄村矿床描述为似斑岩（porphyry-like）Cu-Au 矿床，芮宗瑶等（2004）认为雄村为一浅成热液矿床。雄村矿床兼具斑岩和浅成热液矿床的特征，如早期的钾硅酸盐蚀变、弱酸性的红柱石化蚀变、与强烈而广泛的绢英岩化密切伴生的细脉浸染状硫化物矿化（低品位 Cu，伴有 Au）、外围广泛的绿泥石化（青磐岩化?）、岩浆水的参与、高盐度、深源 S 等等，这些特征类似于斑岩型矿化；如晚期与强烈硅化、绿泥石化、高岭石化伴生脉型金（银）-多金属硫化物矿化受断裂破碎带控制，成矿流体以大气水占主导、低均一温度和均一压力，等等，这些特征类似于浅成热液矿床。如前述，雄村矿床蚀变类型极其复杂，且表现出显著的多期蚀变矿化叠加特征，雄村矿床很可能为一晚期脉型金（银）-多金属矿化与早期似斑岩型 Cu-Au 矿化叠加的套生矿床（telescoping system）。

雄村矿区目前尚未识别出与矿化有关的斑岩体，其似斑岩型矿化与典型斑岩 Cu（Au）矿床（Kerrich et al.，2000）也存在差别，如：1）矿体受断裂破碎带控制，2）Cu（Au）矿化与绢英岩化伴生而非与钾硅酸盐蚀变伴生，3）成矿流体以大气水为主，4）均一温度偏低（382～136 ℃）。这些差别反映出，雄村矿区似斑岩型矿化可能属于一未发育成熟的斑岩 Cu（Au）成矿体系，该体系受到构造作用的影响，地下水大量进入，成矿系统温度快速下降，未等钾硅酸盐蚀变发育成熟，就代之以广泛的绢英岩化蚀变，导致 Cu（Au）矿化与绢英岩化伴生，类似于新西兰的 Ohio Creek 矿床（Brathwaite et al.，2001）。

对于雄村矿区晚期脉型金（银）-多金属矿化，不出现强酸性蚀变矿物（如明矾石、氯黄晶、水铝石）或矿物结构（如晶洞状石英），而大量出现富铁闪锌矿-黄铁矿-磁黄铁矿-绿泥石组合，表明其 f_{O_2}，a_{S_2} 和 pH 值接近于低硫化系统或冰长石-绢云母体系（Heald et al.，1987），而且矿化受断层控制，矿体与围岩有较大的年龄差，也类似于冰长石-绢云母体系（Hayba et al.，1985）。但在雄村矿区不出现冰长石，也不出现玉髓，而大量出现结晶质细粒块状石英，不出现皮壳状、胶状、片状方解石等低温结构，As，Sb，Se 和 Mn 矿物少见，贱金属含量高（Cu-Pb-Zn），成矿流体盐度高（10.86%～1.23%），这些特征又不同于典型低硫化系统或冰长石-绢云母体系（Hayba et al.，1985；Heald et al.，1987；White et al.，1995；White，1997；Hedenquist，2000）。这些特征有点类似于西南太平洋某些浅成热液矿床（Sillitoe et al.，1990），高的贱金属含量、高盐度以及 S 的深来源，表明雄村晚期脉型矿化与岩体有着紧密联系，雄村晚期脉型矿化可能属于介于高硫化与低硫化之间的过渡类型——“富硫化物的低硫化体系”（Sillitoe，1993，1995；Lehmann et al.，1999）。

总之，雄村矿床的矿化样式可以明显地区分为 2 种，早期为细脉浸染状似斑岩型 Cu-Au 矿化，其蚀变组合为钾硅酸盐蚀变（局部）-红柱石化-广泛的绢英岩化-绿泥石化（青磐岩化?），可能还包括深部的钠长石化；晚期为脉型金（银）-多金属矿化，其蚀变组合为强烈硅化、绿泥石化和高岭石化。雄村矿床可能为一套生矿床，是未发育成熟的斑岩型矿化与“富硫化物的低硫型”浅成热液矿化二者套生的结果；成矿流体组成上的一致性，表明套生的 2 期矿化具有连续性和继承性，二者可能属于同一热液体系的 2 个连续的矿化阶段，只是在 2 个矿化阶段成矿环境发生了较大改变。2 个连续矿化阶段的套生也不鲜见，如新西兰的 Ohio Creek 矿床（Brathwaite etal.，2001）和西藏玉龙斑岩铜矿（侯增谦等，2006）。

黄金地质研究所
信息室 提供

青海大场金矿床

大场金矿床位于青海省玉树州曲麻莱县境内，其地理坐标为东经 96°14′45″～96°18′00″，北纬 35°15′45″～35°19′00″。该金矿自 1997 年由原青海省第四地质队发现以来至今，矿产普查勘探工作取得了重大突破，证实其储量已达大型规模，金资源量约 140 余 t。

1 成矿地质背景

区内地层主要为三叠系巴颜喀拉山群和少量下二叠统布青山群。巴颜喀拉山群为一套浅海—半深海相泥砂质复理石建造，自下而上由砂岩-泥岩（已变质成板岩）-砂岩构成，反映了由海进到海退的沉积旋回。下二叠统布青山群，呈 NW 向展布，明显受断裂控制，岩性以中基性火山岩、碎屑岩和碳酸盐为主。

区域构造以印支期变形为主体，断裂褶皱发育，褶皱总体上为大型的扎陵湖复式背斜，核部由二叠系地垒状断块组成，在其两翼三叠纪地层中发育有复杂的塑性揉皱构造。矿区北部为甘德—玛多深大断裂，在大场地区有一系列与之平行的 NWW 向次级断裂分布，同时还存在一组 NE 向平移断裂。NWW 向断裂为区内主要控矿构造；NE 向断裂多横切地层及 NWW 向构造。

岩浆活动相对较弱。侵入岩以印支期侵入为主，燕山期次之。岩性主要有石英闪长岩、黑云母石英二长闪长岩体及似斑状黑云母二长花岗岩，呈岩珠状产出，矿区内无岩体侵入。喷出岩在早二叠世地层中表现为海相的火山沉积，火山活动多呈间歇性裂隙式喷发，岩性为安山岩、玄武岩、火山碎屑岩。

2 矿床地质特征

大场金矿床位于松潘—甘孜印支褶皱系北巴颜喀拉造山带。矿区出露地层主要为三叠系巴颜喀拉山群中亚群（$T b y^2$）砂岩、板岩互层，是矿区内的赋矿地层。砂岩与板岩构成韵律互层，显示了典型的浊流沉积特征，其中的碳质板岩含金较高。少量二叠系布青山群马尔争组（$P_1 m$）地层分布在矿区北东角的甘德—玛多断裂带之间。甘德—玛多深大断裂为矿区内最大的断裂，受其影响，两侧地层中次级羽毛状断裂及褶皱较为发育。该断裂走向 NW，倾向 NE，倾角 60°左右，为脆-韧性逆断层，破碎带宽 20～200 m。破碎带中硅化、黄铁矿化发育，为含矿热液提供了有利的通道。受甘德—玛多深大断裂的影响，该断裂南侧，即断裂带下盘的中三叠统巴颜喀拉山群的砂岩、板岩互层地层中次级断裂、层间破碎带非常发育，呈羽毛状平行展布，走向 110～130°，倾向 SW，倾角 40～60°，为区内含矿构造。这些含矿破碎蚀变带宽一般 1～20 m，长多在 1 km 以上，断层面在走向和倾向上表现为舒缓波状，形成的各种构造岩（如碎斑岩、糜棱岩等）内常发育有网脉状、细脉状和透镜状石英脉。矿区内未见岩体出露，但区内矿化作用与岩浆侵入活动关系密切，地球物理资料显示大场金矿区深部存在中酸性隐伏岩体。

2.1 矿体特征

到目前为止，在大场金矿床共圈定出 35 个金矿体，主要分布在大场河以北宽 3 km、长约 5 km 的范围内（图 1）。矿体赋存于甘德—玛多主断裂南西侧（下盘）。金矿体严格受构造破碎蚀变带控制，其规模与破碎带有关，破碎带规模大、蚀变强烈，则金矿体规模大、品位高；反之则规模小、品位低。控矿破碎蚀变带与主断裂带平行展布，系主

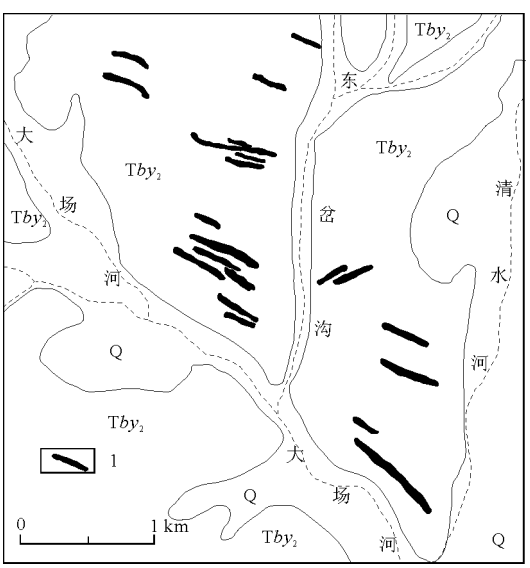

图 1 大场金矿床地质简图

Q—第四系；$T b y^2$—三叠系巴颜喀拉山群中亚群灰绿色砂岩夹板岩；1—金矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

断裂派生的次级断裂。金矿体分布由北向南似具等距性，相间 400～600 m。矿体形态多呈条带状、似层状、豆荚状和透镜状，沿走向具波状弯曲、膨大缩小、分支复合及分叉现象。沿倾向变化规律目前还不太清楚。矿体长 80～3 240 m，长度大于 1 000 m的矿体占总矿体数一半以上，矿体在走向上连续性好，多呈似层状、豆荚状、透镜状，沿走向具波状弯曲、膨大缩小及分支现象。地表厚度一般为 1.4～4.57 m，最大为 15.64 m。金品位为 0.53×10^{-6}～24.9×10^{-6}，平均品位为 7.5×10^{-6}。

2.2 矿石特征

根据矿石的矿物共生组合，产出条件和成矿特征将本区的矿石类型划分为碎裂硫化物蚀变岩型和含金黄铁矿石英脉型。

2.2.1 *碎裂硫化物蚀变岩型* 是本区主要的矿石类型，分布广。矿石均遭受不同程度的硅化、硫化物化、绢云母化、泥化等蚀变，金属矿物主要为黄铁矿、毒砂、自然金，黄铁矿呈不规则的他形粒状，粒径 0.1～1 mm，含量 3%～5%，毒砂呈针尖状，大小 1～3 mm，含量 5%～10%。非金属矿物有长石、石英、绿泥石、绢云母及板岩碎屑。

2.2.2 *含金黄铁矿石英脉型* 矿区分布较少，是次要矿石类型。呈细脉状、网脉状或团块状产出。矿石中石英 90%～95%，黄铁矿含量一般为 5%～10%，多呈他形晶粒状，部分呈立方体，粒度 0.5～2 mm。在氧化带中黄铁矿已氧化为褐铁矿，这类矿石偶见明金。

2.3 金赋存状态

矿石中金属矿物主要有自然金、黄铁矿、毒砂、辉锑矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等。毒砂含量 5%～15%，黄铁矿 2%～20%，辉锑矿 1%～4%（仅限于地表），黄铜矿、方铅矿、闪锌矿微量。氧化矿物见有褐铁矿、孔雀石、锑华等。非金属矿物有石英、长石、方解石、砂板岩碎屑、粘土、绢云母等。

多元素化学分析 Au 0.1×10^{-6}～110×10^{-6}，平均 6.3×10^{-6}，Sb 0.01%～0.68%，平均 0.06%，As 0.1%～1.44%，平均 0.52%，表明该矿区成矿元素以 Au，S，As，Sb 高，Ag，Cu，Pb，Zn 低为特征。

矿石中金的赋存状态较复杂。含金黄铁矿石英脉型金矿石中，自然金（粒度 0.74～2 mm）约占 21%，小于 0.74 mm 和不可见金约占 79%。辉锑矿石英脉中光片鉴定见大量自然金。碎裂硫化物蚀变岩型金矿石中人工重砂鉴定也见到少量自然金，粒径 0.01～0.2 mm 之间，呈树枝状、片状、粒状、薄膜状等。单矿物的含金性分析，黄铁矿含金 40×10^{-6}～80×10^{-6}，毒砂含金 177×10^{-6}，辉锑矿含金 2×10^{-6}～50×10^{-6}。人工重砂原样分析金品位为 11×10^{-6}。自然金含量为 2.65×10^{-6}，占总金含量的 21%，说明金矿石中大量的金是以显微、超显微＜0.02 mm 形式存在于矿石、矿物裂隙及晶格中，金与黄铁矿、毒砂关系甚密。

据此分析，金除自然金单体外（可见金），还有显微包裹体形式（如包裹体金、晶隙金、裂隙金等）赋存。因金的含量与黄铁矿、毒砂、辉锑矿关系密切，故不排除晶格金存在的可能性。由于矿石中泥质、粘土较多，推断有少量的胶粒吸附金。

2.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变发育，其规模和强度决定于构造规模、性质及岩石的碎裂程度。主要蚀变有硅化、绢云母化、硫化物化，局部还有高岭土化、碳酸盐化。其中黄铁矿化、绢云母化、硅化与金、锑矿化关系最为密切。蚀变在空间上表现为从矿体中心向外依次是硅化、硫化物化-绢云母化、碳酸盐化、高岭土化。

3 矿床地球化学特征

矿石化学多元素分析见表 1。

表 1 矿石化学多元素分析结果 *w*（B）/%

SiO_2	Al_2O_3	TFe	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	Au	As
56.53	12.49	4.30	0.69	2.36	2.13	0.19	5.70	0.97
$C_{总}$	$C_{有机}$	Cu	Pb	Zn	Sb	S	Ag	烧失
1.80	0.42	0.01	0.18	0.04	0.039	1.58	5.65	7.66

注：青海省岩矿测试应用研究所，2004。

由表 1 可知，矿区成矿元素以 Au，S，As，Sb 高，Ag，Cu，Pb，Zn 低为特征，*w*（Au）/*w*（Ag）≈1，含有少量有机碳，可能参与了成矿。

通过对黄铁矿、毒砂扫描电镜成分分析（表 2），脉状黄铁矿、浸染状黄铁矿含 Au 分别为 4.20%，4.30%，含 Pt 分别为 1.98%，2.24%，毒砂含 Au，Pt 分别为 2.43%，1.35%，Au，Pt 两者关系密切，呈正相关，黄铁矿中 Au，Pt 含量高于毒砂中的 Au，Pt 含量，*w*（Au）∶*w*（Pt）≈2∶1，Pt 的存在说明可能有深源（幔源）成矿物质参与。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 2 黄铁矿、毒砂扫描电镜成分分析 w（B）/%

矿 物	S	Fe	As	Au	Pt
脉状黄铁矿	55.05	36.99	1.78	4.20	1.98
浸染状黄铁矿	55.38	36.21	1.87	4.30	2.24
浸染状毒砂	27.68	33.68	34.86	2.43	1.35

注：青海省岩矿测试应用研究所，2004。

4 流体包裹体特征

通过对 5 件测温薄片的镜下观察发现，石英和方解石中均含有丰富的流体包裹体，且均为与成矿作用有关的原生包裹体。这些包裹体成群出现，具有相似的气液比和均一温度，内部组成也较一致，主要组分为 CO_2 和 H_2O。

4.1 流体包裹体类型和特征

依据室温下包裹体的物理相态和化学组成，样品中的原生包裹体可分为 3 种类型：Ⅰ型（气液 2 相包裹体），Ⅱ型（含 CO_2 三相包裹体）和Ⅲ型（富 CO_2 包裹体）。Ⅰ型为气液 2 相包裹体，即 NaCl-H_2O 型，约占包裹体总数的 77%。主要为气液 2 相，即由（H_2O+NaCl）（液相）和 H_2O（气相）组成，以液相为主。气相一般为 5%～30%，多数为 10%～15%。包裹体长轴一般为 6～40 μm，多数在 10～15 μm 之间。包裹体形态为椭圆形、长方形和不规则状，少数为规则负晶形和不完全负晶形。尽管激光拉曼光谱分析结果显示该类包裹体的气相中含 CO_2，但由于气相体积非常小，以至于在常温和低温下均未观察到 CO_2 相，极其微量的 CO_2 不足以改变包裹体中 NaCl-H_2O 的基本特性。此类包裹体发育最广，是大场金矿床的主要包裹体类型。

Ⅱ型为含 CO_2 三相包裹体，即 CO_2-H_2O-NaCl 型，约占包裹体总数的 13%。室温下呈 3 相，由 CO_2（气相）+ CO_2（液相）+（H_2O+ NaCl）（液相）组成，气相 CO_2 常有晃动现象。少数包裹体室温下虽表现为 CO_2 及盐水溶液 2 相，但在冷却至 −10 ℃左右出现 CO_2 气相。CO_2 相的 φ（CO_2）（体积分数）为 10%～50%，多数为 30%～40%。包裹体形态为椭圆形、不规则形、长条形等，包裹体长轴一般为 8～40 μm，多数在 12～15 μm 之间。该类包裹体较发育，但分布不均匀。

Ⅲ型为富 CO_2 包裹体，约占包裹体总数的 10%。几乎全部由 CO_2 充填，包裹体形态为负晶形、椭圆形和不规则形，长轴 7～15 μm，多数小于 10 μm。富 CO_2 包裹体气液体积比一般为 75%～95%。其分布特征与含 CO_2 三相包裹体极为相似，并常与其共生。富 CO_2 包裹体在常温下有时呈 2 相，但降温后表现为 3 相。包裹体总体颜色较暗，中心透明。另有少量纯 CO_2 包裹体发育，常温下多为气液 2 相，少量为单一的气相或液相，全部均一至气相。

4.2 显微测温结果

4.2.1 气液 2 相流体包裹体（Ⅰ型） 对 5 件样品的 55 个包裹体进行了温度测量，气液 2 相包裹体的 t_m 为 −6.2～−1.2 ℃，平均 −3.6 ℃，集中于 −2～−6 ℃。气液 2 相包裹体的 t_h 为 152.2～314.7 ℃，平均211 ℃，集中于170～270 ℃（图2）。

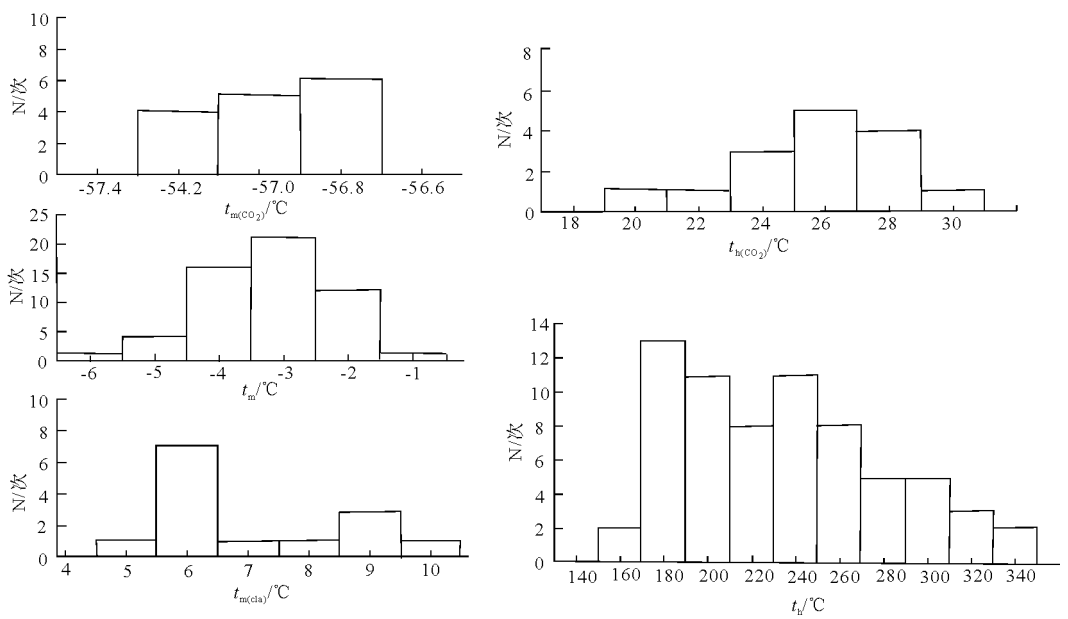

图 2 大场金矿床测温数据直方图

黄金地质研究所
信息室 提供

利用 Hall 等（1988）的盐度计算公式：$w=0.00+1.78\ t_m+0.044\ 2\ t_m^2+0.000\ 557\ t_m^3$，可得到相应气液 2 相包裹体的盐度值。结果表明，大场金矿区气液 2 相包裹体的盐度 w（$NaCl_{eq}$）为 2.1%～9.5%，平均值为 5.83%，主要为 5%～8%（图 3）。

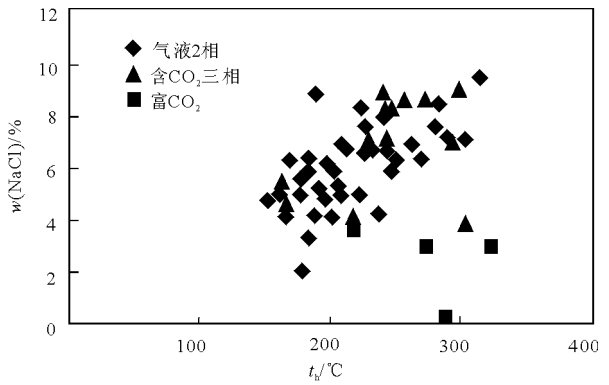

图 3 流体包裹体均一温度-盐度图解

以所获得的该类包裹体的均一温度和盐度，应用刘斌等（1987）的经验公式：$\rho=a+bt_h+ct_h^2$（a，b，c 均为无量纲参数）计算流体密度。计算结果表明，大场金矿区流体密度范围为 0.78～0.95 g/cm³，平均 0.89 g/cm³。

根据流体包裹体的均一温度和流体盐度，利用邵洁连（1988）计算流体压力的经验公式：$p=p^0 t_h/t_0$（式中 $p^0=219+2\ 620\ w$，$t_0=374+920\ w$），求得相应包裹体的流体压力。结果表明，大场矿区气液 2 相包裹体的流体压力为 41×10^6～87×10^6 Pa，平均 57×10^6 Pa，主要集中在 45×10^6～75×10^6 Pa 之间。

4.2.2 含 CO_2 三相包裹体（Ⅱ型） 对 2 件样品中的 9 个包裹体进行温度测量，t_m（CO_2）为 −57.2～−56.9 ℃。该类包裹体的 t_h（CO_2）为 23.6～29.6 ℃，平均 26.3 ℃；$t_{h(cla)}$ 为 5.0～8.1 ℃，平均 6.0 ℃；t_h 为 218.2～304.5 ℃，平均 254.3 ℃（图 2）。部分该类型包裹体尚未均一即爆裂，未能获得完全均一温度。

Collins（1979）认为 CO_2 笼形化合物的熔化温度与水溶液盐度之间存在一定的函数关系，通过测定笼形化合物的熔化温度可间接获得包裹体水溶液的盐度。根据 Bozzo 等（1973）的盐度计算公式：$w=15.520\ 02-1.023\ 42\ t_{m(cla)}-0.052\ 86\ t_{m(cla)}^2$，计算得出该类型包裹体水溶液的盐度 w（$NaCl_{eq}$）为 3.8%～9.0%，集中于 8.3%～9.0%（图 3）。

据含 CO_2 三相包裹体的完全均一温度和水溶液的盐度，应用刘斌等（1987）的经验公式可计算出流体密度，大场金矿区流体密度主要分布于 0.74～0.89 g/cm³ 之间，平均为 0.85 g/cm³。利用 Brown 等（1989）的 H_2O-CO_2-NaCl 体系 p-t 相图，投图可得流体压力为 57×10^6～82×10^6 Pa，平均为 72×10^6 Pa。

4.2.3 富 CO_2 包裹体（Ⅲ型） 赵财胜等（2005）对 2 件样品中的 8 个包裹体进行温度测量，得出该类包裹体的初熔温度 $t_{m(CO_2)}$ 为 −57.3～−56.8 ℃，略低于 CO_2 的三相点 −56.6 ℃，表明包裹体中 CO_2 较纯净；部分均一温度 $t_{h(CO_2)}$ 为 19.2～24.6 ℃，平均 21.7 ℃；笼形化合物消失温度 $t_{h(cla)}$ 变化范围为 5.5～9.9 ℃，平均为 6.01 ℃。此类包裹体均一于气相，t_h 为 273.0～323.5 ℃，平均 295.4 ℃。纯 CO_2 包裹体不能获得完全均一温度（图 2）。

据 Bozzo 等（1973）的公式计算富 CO_2 包裹体盐度 w（$NaCl_{eq}$）为 0.2%～8.3%，平均 4.5%（图 3）。应用刘斌等（1987）的经验公式计算出大场金矿区富（或）纯 CO_2 包裹体流体密度介于 0.69～0.78 g/cm³ 之间，平均 0.73 g/cm³，将此数值投入 Roedder 等（1980）的 H_2O-CO_2 体系 p-x 相图，得流体压力为 40×10^6～83×10^6 Pa，平均 65×10^6 Pa。

4.3 流体包裹体成分

Ⅰ型包裹体气相成分以 H_2O 为主，其相对含量 x（H_2O）一般为 92.12%～97.57%；次为 CO_2，x（CO_2）一般为 0.61%～6.87%；另含少量 CH_4，C_2H_2，H_2S，CO，N_2 及 H_2。液相成分以 H_2O 为主，x（H_2O）为 95.31%～99.36%；x（CO_2）一般为 0.1%～1.29%；另含少量 CH_4 和 CO，个别包裹体中检出 H_2S，N_2，C_2H_2，C_2H_6，C_3H_8 及 C_6H_6；阴离子成分主要为 HCO_3^-，SO_4^{2-} 及 Cl^-。

Ⅱ，Ⅲ型包裹体气相以 CO_2 为主，x（CO_2）为 39.47%～84.3%。其次为 H_2O，x（H_2O）8.29%～29.04%。N_2 和 CO 的含量相对较高，x（B）分别为 2.7%～11.1% 和 2.08%～9.94%。个别包裹体中含有少量 CH_4，C_2H_4，C_2H_6，C_3H_8 及 C_6H_6，其 x（B）均不超过 3%。Ⅱ型包裹体液相成分以 H_2O 为主，其次为 CO_2，N_2 及 CO，CH_4，C_2H_2 及 C_2H_6 含量较低。

总体看来，成矿流体富含 CO_2，为 NaCl-H_2O-CO_2 体系类型。此外，还含有少量 CO，H_2S，CH_4，N_2，H_2 及微量的 C_2H_2，C_2H_4，

黄金地质研究所
信息室 提供

C_2H_6，C_3H_8和C_6H_6等有机组分，表明为一种含有机质的盐水溶液。有机组分的存在与大场金矿床赋矿围岩碳含量相对较高的特点相吻合。热液中有机质的存在增强了热液活化迁移岩石中金属成矿元素的能力（卢焕章等，2000），对大场金矿的成矿起了重要作用。

5 成因类型

5.1 地层控矿因素

大场地区已发现的金矿床、金矿点均产于三叠系巴颜喀拉山群的砂板岩中，该套地层中经岩石统计结果显示，糜棱岩含金最高为33.63×10^{-9}，变化系数210%；粉砂岩12.07×10^{-9}，变化系数400%，板岩9.46×10^{-9}，变化系数450%；砂岩3.5×10^{-9}，变化系数180%。板岩、粉砂岩的变化系数最大。由此初步认为区内成矿物质主要来源于广泛分布的三叠系砂板岩地层。

综上分析，晚三叠世—早侏罗世时期，该洋/海盆向北俯冲并自东向西逐步闭合，形成巴颜喀拉造山带。这一俯冲-碰撞作用使地热增温，为其后热流体的形成提供了热源；不但导致三叠系复理石沉积岩的低绿片岩相变质作用和褶皱，而且被逆冲作用强烈变形，与此同时还形成了大规模的逆冲、走滑断层、韧-脆性剪切带及与其配套的低级构造系统，且地层中泥质、粉砂质板岩与砂岩互层产出，形成了有利的容矿构造和隔挡层，这就为在造山过程中不断增高的热流之驱动下，流体的运移和淀积成矿，提供了路径和场所，也为大规模富集成矿提供了有利条件。

5.2 构造控矿因素

位于矿区北部的甘德—玛多深大断裂，是印支造山过程中形成的NWW向区域性大断裂之一，它早期显示为韧性剪切，继而强烈地逆冲和走滑，分别与巴颜喀拉海盆向北俯冲（韧性剪切）并继而与东昆仑块体斜向碰撞（形成转换挤压带）有关。上述过程是在区域褶皱抬升过程中实现的，即构造从深层次韧性剪切向浅层次脆性破裂演变过程，与区域造山隆起是一致的。大场矿区中发育一系列轴向NW的倾伏褶皱，这些褶皱由强片理化板岩和强碎裂的砂岩（下三叠统巴颜喀拉群）构成，层理被面理强烈置换。厚大的透镜状Au（Sb）矿体，产在近倾没端褶皱轴部的断裂-裂隙系统中。矿床的这一套容矿构造即是甘德—玛多断裂在印支期斜向（右行）逆冲的配套构造。据此可以认为，大场金矿床是巴颜喀拉构造单元与东昆仑块体拼合过程的产物。矿床控矿构造形成于这一过程的晚期（斜相碰撞期）。张德全对大场矿床内蚀变碎裂岩型金锑矿石进行了绢云母^{40}Ar-^{39}Ar法年龄测定，结果为（218.6±3.2）Ma，证明了这一推理的合理性。

大场金矿床则受控于三叠系巴颜喀拉山群类复理石浊流沉积岩系（低绿片岩相变质）中的EW—NEE向大型剪切带，与具体矿化体有关的是大型剪切带中的脆性破裂。造成剪切带控矿的原因可能是产于剪切带中的金矿通常有其逐步富集的过程，在糜棱岩化过程中，剪切作用可以使原岩中的含量很低的金发生迁移，在糜棱岩中形成浸染状、细脉浸染状金矿石。而在糜棱岩阶段之后叠加于其上的脆性变形阶段发生时，由于辟理、片理和裂隙的发育，导致岩石孔隙度的增大，有利于后期热液的活动和矿质的析出，因此在此阶段可形成脉状的以及蚀变岩型的丰富金矿，该富金矿空间产出位置受剪切带控制。矿石的自然类型为破碎蚀变岩型金矿石，其矿物成分有黄铁矿、毒砂、辉锑砂、自然金等。非金属矿物为石英、长石、粘土矿物等。矿石中的变形组构异常发育，均具碎裂或糜棱结构，显示强烈的韧-脆性变形特征，石英矿物中均含有丰富的流体包裹体，主要以富液相和气液多相包裹体为主，少数有富气相包裹体。

以上特点反映大场金矿是在强烈的构造驱动下形成巨大的流体环流，导致大范围的构造变形及热液充填成矿蚀变，此种类型具有集中成带分布的特点，它们与造山作用过程中中酸性岩浆活动有直接关系，一般对地层不具选择性，多赋存于高背景、地层破碎蚀变带或蚀变岩体中，受近NW向断裂及旁侧一系列平行排列的NW，NWW向韧性剪切带的严格控制，矿体具平行排列之特点。

此外，矿体还受后期褶皱的改造，随褶皱变形而变形。矿区中西部主矿体沿走向常形成一些与区域褶皱相配套的呈NW倾伏的“鼻状”小褶皱。可以推定矿体形成时间在区域变质之后，褶皱变形之前。

综上所述，大场金矿矿体定位于印支（晚三叠世）造山过程中，从区域、矿田到矿床（体），主要受北巴颜喀拉深断裂或碰撞带、大型剪切带、脆性断裂3级构造控制。

5.3 成矿机制

大场矿床是在区域印支造山过程的晚期，发生在会聚板块北部边缘的Au-Sb成矿作用的产物。碰撞作用以及由此产生的地热增温，驱动变质水

黄金地质研究所
信息室 提供

(地层变质脱水)沿大断裂迁移，途中不断萃取成矿物质，包括碳、硫、金、锑、砷等。在区域隆升过程中不断有大气降水的渗入，从而形成富含成矿物质的 CO_2-NaCl-H_2O 流体。在造山过程的晚期，甘德—玛多断裂发生右行逆冲，其南盘的地层被牵引褶皱，在褶皱轴部及两翼形成一套断裂-裂隙系统，当富含成矿物质的 CO_2-NaCl-H_2O 流体进入这些断裂-裂隙系统后，首先与围岩响应，形成黄铁绢英岩，随着流体被冷却，在 236～275 ℃ 时，流体不混溶作用分离出成矿流体，并在这些断裂-裂隙系统中淀积出金和金-锑矿体。成矿流体属于中温、低盐度的 H_2O-NaCl-CO_2±CH_4±N_2 体系。

大场金成矿与上述造山过程有密切的时空联系，具典型的造山型特点，矿床（体）又均产于大型剪切带的断裂破碎带内，反映了晚印支运动长期的构造活动和多源成矿热液改造的特征。

山东寺庄金矿床

山东地质六队在焦家黄金成矿带深部发现的特大型金矿——莱州寺庄金矿，位于莱州市寺庄镇境内，矿体隐伏在海拔 −321～−926 m。平均金品位 4.45×10^{-6}，矿体平均厚度 4.87 m。

1 地质背景

寺庄矿区位于焦家成矿带南段，区内出露地层为第四系全新统松散沉积物。分布的基岩以主裂面为界，东侧为新元古代震旦期玲珑二长花岗岩，西侧（寺庄以北）为马连庄变辉长岩和（寺庄以南）玲珑二长花岗岩。

矿区内金矿矿化展布和强度受到构造裂隙控制，焦家主断裂及次级的寺庄①，②，③号分支断裂蚀变带控制了矿体的产出（图 1）。焦家主断裂在寺庄矿区内展布长约 4 km，宽 80～500 m，延深 1 140 m，平面或剖面上呈舒缓波状延伸，走向 325°～15°，倾向 NW 或 SW，倾角 30～45°。主断裂（寺庄以北）沿马连庄变辉长岩与玲珑二长花岗岩接触带展布，(寺庄以南）发育于玲珑二长花岗岩中；次级的分支断裂及其节理密集带发育于玲珑二长花岗岩中。

2 矿体特征

2.1 矿体群

金矿化主要分布在主裂面之下，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ号矿体群产状与主裂面一致或大致平行，主矿体具向 SW 侧伏的特点。

Ⅰ号矿体群由 14 个矿体组成，其资源量占总量的 40.75%（其中Ⅰ−1 号主矿体资源量占总量的 39.39%）。矿体受主断裂蚀变带控制，分布于矿区 254～362 线的−240～−926 m 标高间；走向

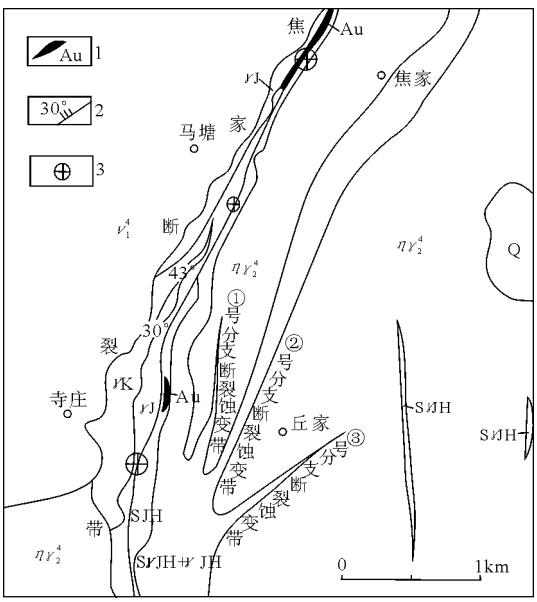

图 1 莱州寺庄金矿区地质略图

Q—第四纪砂质粘土；γ—新太古代五台—阜平期变辉长岩；$\eta\gamma_2^4$—新元古代玲珑期二长花岗岩；γJH—黄铁绢英岩化花岗岩；SγJH—黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩；SJH—黄铁绢英岩质碎裂岩；γJ—绢英岩化花岗岩；γK—钾化花岗岩；1—金矿体；2—主断裂面及产状；3—金矿床位置

2～30°，倾向 SW 或 NW，倾角 21～41°；控制走向长 60～480 m，控制斜深 50～369 m，矿体真厚度 0.87～23.82 m；金品位 1.16×10^{-6}～5.46×10^{-6}。矿体呈脉状、短脉状、透镜体状赋存于黄铁绢英岩化碎裂岩带内，以浸染状矿化为主，脉状矿化次之。

Ⅱ号矿体群，由 28 个矿体组成，其资源量占总量的 1.36%。矿体受主断裂蚀变带控制，分布于矿区 254～362 线的−159～−920 m 标高间，走向 0～8°，倾向 W 或 NW，倾角 21～34°，控制走向长 60～210 m，控制斜深 50～330 m，矿体真厚度 1.07～5.20 m，金品位 1.03×10^{-6}～8.00×10^{-6}。矿体呈短脉状、透镜体状赋存于黄铁绢英岩

黄金地质研究所
信息室 提供

化花岗质碎裂岩带内，以星点状、细脉状矿化为主，团块状矿化次之。

Ⅲ号矿体群，由146个矿体组成，其资源量占总量的57.89%（其中Ⅲ-1，2号主矿体资源量占总量的28.64%）。矿体受主断裂带及次级寺庄①，②，③号分支断裂蚀变带控制，分布于矿区252～378线的-235～-1 003 m标高间，走向342～28°，倾向SW或NW，倾角23～47°，控制走向长60～905 m，控制斜深50～672 m，矿体真厚度0.82～16.15 m，金品位1.00×10^{-6}～25.48×10^{-6}。矿体呈脉状、短脉状、透镜体状赋存于黄铁绢英岩化花岗岩带内的黄铁绢英岩化花岗岩及黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩中，以脉状矿化为主，星点状、团块状矿化次之。

2.2 主要矿体

Ⅰ-1号矿体，该矿体资源储量占总量的39.39%，分布于248～280线的-321～-926 m标高；矿体赋存于主裂面之下0～36 m的黄铁绢英岩化碎裂岩（局部为黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩）中，呈似层状展布。沿走向及倾向具明显的舒缓波状，具分支复合、膨胀狭缩现象。矿体与主裂面产状一致，走向17～24°，平均20°，倾向NW，倾角27～35°，平均倾角31°。工程控制走向长480 m，控制斜深202～1 192 m，平均斜深772 m。单工程矿体厚度为1.53～23.82 m，平均10.40 m，以10.39～23.82 m者居多，占56%，另外2.82～8.64 m者占25%，小于2.50 m者占19%。矿体沿倾向显示矿体两头厚大，中间薄，厚度变化系数63%。单工程金品位为1.21×10^{-6}～5.46×10^{-6}，平均3.03×10^{-6}。其中2.62×10^{-6}～5.46×10^{-6}者居多，占69%，1.00×10^{-6}～2.5×10^{-6}者占31%；品位沿倾向不均匀变化，高值分布于264线中下部，品位变化系数83%，属有用组分分布均匀型矿体。

矿体受成矿前和成矿期构造控制，矿化强度与裂隙发育程度有关。裂隙发育的岩性段金含量相对较高，厚度与品位略具反向相关关系，矿体边界形态较规则。

Ⅲ-2号矿体，矿体资源储量占总量的17.46%，分布于264～328线间的-235～-760 m标高内。矿体赋存于主裂面之下185～315 m处的黄铁绢英岩化花岗岩带内的黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩中。严格受主蚀变带底板产状的控制，沿走向及倾向呈舒缓波状展布，具分支复合、膨胀狭缩、尖灭再现的特征。矿体走向345～36°，平均14°，倾向SW或NW，倾角26～45°，平均35°。工程控制走向长905 m，斜深85～672 m，平均342 m。单工程矿体厚度为1.18～8.58 m，平均3.46 m，以2.41～4.88 m者居多，占46%；1.18～1.46 m者占38%。自304线沿走向向两侧逐渐变薄，厚度变化系数71%，属厚度变化稳定型矿体。单工程金品位1.52×10^{-6}～17.20×10^{-6}，平均7.10×10^{-6}，2.50×10^{-6}～4.32×10^{-6}占30.77%，大于5.00×10^{-6}者占46.15%，品位沿走向不均变化，高值分布于288，312线，品位变化系数133%。属有用组分分布较均匀型矿体。

矿体受成矿前和成矿期构造控制，矿化强度与裂隙发育程度有关，裂隙发育的岩性段金品位相对较高，矿化具有微间断特征，且厚度与品位具正消长关系，矿体边界形态较规则。

3 矿石特征

3.1 一般特征

金属矿物主要有银金矿、金银矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等；非金属矿物主要有石英、绢云母、长石、方解石等。矿石中有益组分以Au为主；其次伴生有益组分Ag，S。矿床Ag平均品位5.06×10^{-6}，S平均含量2.26%，可作为伴生有益组分综合回收利用。

矿石结构以晶粒状为主，其次有碎裂、填隙、包含、交代残余、交代假象、文象和乳滴状结构等。矿石构造以浸染状、脉状、细脉浸染状以及斑点状为主，次为角砾状及交错脉状。

热液成矿期划分为4个阶段：黄铁矿-石英阶段、金-石英-黄铁矿阶段、金-石英-多金属硫化物阶段、石英-碳酸盐阶段。

3.2 矿石类型

矿石氧化带深度为35～40 m，混合带深度至-15 m，中深部矿体的埋深在-300～-1 000 m，矿石自然类型为原生矿石。原生矿石划分为3种类型：1）浸染状黄铁绢英岩化碎裂岩型矿石，为Ⅰ号矿体群矿体的主要类型；2）细脉浸染状黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩型矿石，为Ⅱ号矿体群矿体的主要类型，也是Ⅲ号矿体群多数矿体的主要类型；3）细脉网脉状黄铁绢英岩化花岗岩型矿石，为Ⅲ号矿体群矿体的次要类型。

矿石中As（0.002 1%）等有害元素含量低，硫含量为2.26%，矿石工业类型属低硫型金矿石。

黄金地质研究所
信息室 提供

3.3 金、银矿物特征

金矿物以晶隙金（49.87%）、裂隙金（42.81%）为主，少量包裹体金；金矿物以微细粒金为主（66.67%），细粒次之（32.79%），中粒少量；形态以角粒状为主（26.29%），麦粒状（16.80%）、枝叉状（15.99%）、长角粒状（13.01%）、浑圆粒状（13.01%）次之，尖角粒状、针状、片状少量。

矿石中的金矿物属金银系列矿物，以银金矿为主，次为金银矿。金矿物的最高成色为776，最低295。寺庄金矿床金成色以中低（平均532.25）为主，较相邻的焦家金矿床金成色（平均670.07）偏低。

银矿物主要为金银矿，以微粒级为主，占80.85%；其次是细粒级，占12.77%；中粗粒级少量。金银矿形态以粒状为主，占76.6%，其次为角砾状及枝杈状金银矿，少量脉状和柱状金银矿。金银矿以赋存分布在石英晶隙中为主，占55.32%；其次为分布在石英晶隙中的金银矿（占19.15%）及产于方铅矿晶隙中（占8.51%）；少量呈其他银矿物形态产出的有碲银矿、六方碲银矿等。碲银矿常与方铅矿连晶包裹在黄铁矿中，有时与银金矿、方铅矿、方解石连晶嵌布在黄铁矿晶隙中，占4.26%。

海南抱伦金矿床

抱伦金矿位于海南省乐东县境内，为“九五”期间发现的大型金矿，且随着勘查工作的深入，有望成为超大型金矿。

1 成矿地质背景

矿区处于EW向尖峰—吊罗深大断裂与九所—陵水深大断裂之间，乐东盆地边缘地带。区内主要分布着中元古界长城系抱板群深变质岩系、志留系浅变质岩、白垩系陆相沉积岩及印支、燕山期的花岗岩（图1）。

抱板群组成本区的结晶基底，分布于矿区西侧，其岩性为混合岩、斜长片麻岩及石英云母片岩。与上覆志留系陀烈组呈断层接触。

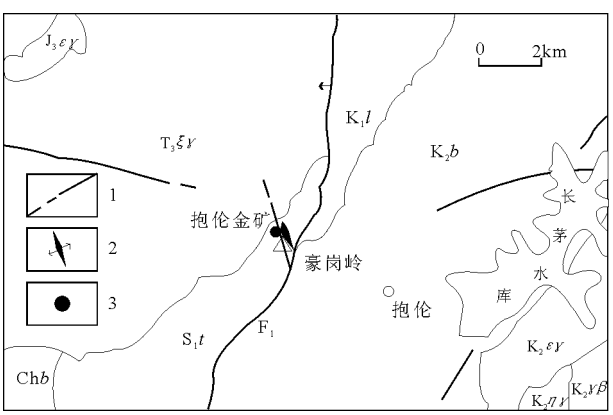

图1 抱伦金矿区域地质图

K_2b—上白垩统报万组；K_1l—下白垩统鹿母湾组；S_1t—下志留统陀烈组；Chb—长城系抱板群；$K_2\xi\gamma$—晚白垩世黑云母正长花岗岩；$K_2\eta\gamma$—晚白垩世角闪石黑云母二长花岗岩；$K_2\gamma\beta$—晚白垩世角闪石黑云母花岗闪长岩；$J_3\xi\gamma$—晚侏罗世黑云母正长花岗岩；$T_3\xi\gamma$—晚三叠世黑云母正长花岗岩；1—断层；2—背斜；3—金矿床；

陀烈组主要分布于矿区中部，为金矿的赋矿层位，呈NE向展布，北西侧与尖峰岩体呈侵入接触，南东侧超覆于白垩系鹿母湾组之上，二者呈断层接触。陀烈组下段主要为绢云母石英千枚岩，厚度大于560 m；陀烈组中段主要为含碳千枚岩，厚度849 m。白垩纪地层分布于矿区东部，由鹿母湾组及报万组组成。下白垩统鹿母湾组主要为砂砾岩、含砾砂岩夹紫灰色厚层状含砾富晶屑凝灰岩及紫红色凝灰岩，与陀烈组呈断层接触，上部整合于上白垩统报万组之下。报万组主要为砂砾岩，含砾砂岩。

矿区断裂与褶皱较发育，断裂主要有NE向的坝毫山—铁弯岭逆冲断层（F_1）及NNW向控矿断裂带。褶皱主要为豪岗岭背斜。

坝毫山—铁弯岭断裂（F_1），分布于矿区东部，呈NE走向，两端延伸出图，区内长16 km。宽1～5 m。断层总体走向27°，倾向NW，倾角34～85°。上盘为陀烈组，下盘为鹿母湾组，为一逆冲断层。见石英脉与硅化脉透镜体分布，局部可见上盘发育许多次级的叠瓦状逆掩小裂隙。断裂带内绢云母化、硅化、绿泥石化较普遍。据野外露头及应变测量显示，该断裂曾遭受过强烈的挤压变形。

NNW向断裂破碎带主要分布于陀烈组地层中并穿过北部的晚三叠纪花岗岩。矿区内现已发现8条破碎带，其中5条含矿破碎带。基本呈近等距、平行产出。破碎带间距一般为50～80 m，总体走向330～355°，倾向240～265°，局部倾向60～

黄金地质研究所
信息室 提供

75°，倾角55～82°，破碎带长400～1 300 m，宽一般10～30 m，最宽80 m，金矿脉均赋存于该组破碎带中。断裂带具有良好的分带性，一般中心为含金石英脉充填，两侧依次为硅化千糜岩、碎裂岩化硅化千枚岩。

豪岗岭背斜，分布于豪岗岭一带陀烈组中，长约1.5 km，区内宽0.8 km，轴迹NNW向，其核部为陀烈组下段的千枚岩，两翼为陀烈组中段的含碳千枚岩，东翼因NE向逆冲断层切割而未出露陀烈组中段。东翼地层产状：61～88°∠58～88°；西翼：230～245°∠60～80°，向S侧伏，侧伏角48～60°。NNW向的含矿破碎带位于豪岗岭背斜的转折端至核部，该背斜可能形成于加里东期，后又经过印支期和燕山期岩浆侵入及燕山期逆冲构造的改造。

区内岩浆活动强烈，主要有晚三叠世尖峰超单元黑云母正长花岗岩，分布于矿区西北部，而燕山期花岗岩主要分布于矿区东南方。

2 矿床地质特征

2.1 矿体基本特征

抱伦金矿区矿体主要分布于豪岗岭一带，目前已圈定了19个矿体，由含金石英脉和含金蚀变岩组成。含金石英脉界线清楚，含金蚀变岩与围岩千枚岩界线不清，呈渐变过渡，靠品位圈定。

矿体均分布于含矿破碎带中，赋存于Tr1含矿破碎带中的矿体有14个，Tr2含矿破碎带1个，Tr3含矿破碎带1个，Tr4含矿破碎带2个，Tr5含矿破碎带1个。矿体多呈脉状、似透镜状、透镜状。矿体产状与含矿破碎带基本一致，走向一般为325～355°，倾向SWW，局部NEE，倾角65～85°。矿体出露标高270～510 m，坑道控制矿体标高一般为320～130 m，个别（V_{1-3}）控制到125 m标高。矿体长度一般160～1 100 m，平均厚度为0.45～4.86 m，厚度变化系数14%～95%。矿体平均品位1.61×10^{-6}～29.48×10^{-6}，个别为98.05×10^{-6}，品位变化系数41%～164%。V_{1-3}号矿体为抱伦矿区主矿体，分布于Tr1含矿破碎带中，地表未见出露，属于隐伏矿体，矿体走向325～345°，倾向SWW，局部NEE，倾角75～85°，矿体由含金石英脉和含金蚀变岩组成。含金石英脉呈脉状和透镜状，走向延长708 m，倾向延伸720 m，具分段富集特征，金的浓集中心分布于104线300～350 m标高和111线北侧25～120 m标高范围。含金蚀变岩呈脉状，分布于含金石英脉两侧，与围岩千糜岩呈渐变过渡关系，靠品位圈定。含金蚀变岩型矿石品位一般为2.70×10^{-6}～4.18×10^{-6}，远比含金石英脉型矿石品位低。矿体走向控制长度310 m，控制最大斜深415 m，平均厚度2.62 m，单工程最大平均厚度7.49 m，厚度变化系数72%，属较稳定类型。矿体平均品位29.48×10^{-6}（单工程平均品位加权平均求得），单样最高品位282.70×10^{-6}，品位变化系数164%，属很不均匀类型。矿体向S侧伏，侧伏角45°。

2.2 矿物学特征

抱伦金矿以含金石英脉型为主，次为含金蚀变岩型。矿石矿物中主要金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、自然金。次要矿物为毒砂、含镍黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然铋、黑铋金矿、硫金铋矿、辉铋矿、硫铋铅矿、斜方硫铋铅矿、柱硫铋铅矿、卡辉铋铅矿、柱辉铋铅矿、辉锑镍矿、赫碲铋矿和微量铁砷混合物、硫铁混合物、金铋混合物、硫铁砷混合物及氧化铁等。主要非金属矿物为石英，次为白云母、绢云母、绿泥石、方解石、金红石及粘土矿物等；矿石结构有自形、半自形、他形粒状，交代残留、固溶体分离、镶嵌、筛状、骸晶、鳞片变晶、碎裂结构等；矿石构造有浸染状、网脉状、角砾状、斑点状、似条带状、片状，揉皱状等；金矿物成色921～968；抱伦金矿自然金中巨粒金—中粒金占34.4%，镜下可见1.4 mm的金颗粒，细粒金占17.5%，显微金占48.1%；金的赋存状态为金的独立矿物——自然金，次为金的铋化物黑铋金矿和金的硫化物硫金铋矿。还有微量金以类质同象或以混合物的形式存在于其他载金矿物中，这些微量金均为超分散金；金的嵌布形式有1）裂隙金：金矿物（及金矿物集合体）呈细脉状嵌布在脉石英或其他早形成的矿物如黄铁矿等晶粒之间或晶洞中；2）包裹体金：粒度较细的金矿物，呈包裹体状分布载金矿物诸如黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿及石英等中；3）超分散金：在通常显微镜下难以察之，借助电子探针和电镜扫描证实有微量金或称不可见金分布在有关载金矿物内。矿化阶段分为金-辉铋矿阶段、金-黄铁矿阶段、多金属-硫盐矿物阶段及碳酸盐阶段。

2.3 围岩蚀变

主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化及白云母化等，偶见钠长石化。此类蚀变分布上比较严格地受到含矿构造带的制约，呈狭窄带状产出，其中硅化与矿化关系最为密切。

黄金地质研究所
信息室 提供

3 成矿作用分析

3.1 成矿控制因素分析

3.1.1 *地层岩性的控矿性* 地层岩性是成矿作用的基础，起到矿源和促进成矿的作用。根据对陀烈组中85件样品的微金分析显示，高于地壳克拉克值，金平均含量 5.58×10^{-9}，且离散度较大。陀烈组微量元素组合为 Au-Sb，As，Pb，Mo，Bi，Ag，反映出与矿体类似的矿化元素组合（Au-Sb，Ag，Pb）。并且这种元素组合特征明显受到邻近的尖峰超单元岩体的改造，即 Au 与 Mo，Bi 等高温元素在同一组中。以上特征表明陀烈组在变形变质、花岗岩侵入改造等过程中，金活化、迁移和重新分配，具有为成矿提供大量物质的潜力和动力，起到矿源的重要作用。陀烈组中段的含碳千枚岩，既可以起到矿化屏蔽的作用，又可起还原作用，破坏金/硫（氯）配合物的稳定性和元素间的动态平衡，导致金的沉淀，形成矿体。因此，围岩的化学性质影响成矿流体的演化，控制金的成矿强度和富集定位空间。

3.1.2 *花岗岩体的控矿性* 抱伦金矿产于印支期尖峰超单元黑云母正长花岗岩的外接触带 0～2 km，从矿石矿物组合可以看出，抱伦金矿大量产出含铋矿物，显然与岩浆作用有密切的关系。对尖峰超单元23件样品的微金分析显示，平均含量达 15.49×10^{-9}，且含量区间较离散，可能为金的矿源岩；燕山期花岗岩22件样品微金分析，平均含量仅 1.32×10^{-9}，金含量分布较均匀。聚类分析表明，印支期花岗岩，Au-Ag，As，Hg，Cl，Sb，Bi 在一组，与矿体元素组合特征较一致，且 Au 与 Cl 在一组，可能预示着岩浆期后热液中 Au 呈氯配合物形式运移；燕山期花岗岩中 Au 与 Hg，Sb，F 等较密切，显示出燕山期花岗岩除提供热动力作用外，部分地参与了成矿作用。

3.1.3 *NNW 向构造的控矿性* 加里东期的变形变质作用，形成了 NNW 向豪岗岭背斜，在背斜的转折端部位产生了 NNW 向的裂隙构造，这些裂隙即为本区金矿的控矿构造，矿体的侧伏与背斜的倾伏方向一致。对横过矿化破碎带所作的应变测量显示，构造岩主要为平面应变型，反映岩石总体处于简单剪切状态，而矿体部分则付林参数较大（$K=3\sim4$），矿体赋存于断裂的扩容带中，也即在简单剪切的局部扩容空间中，有大量的矿液进入。对矿区岩矿石也做了部分磁组构测量，将各样品的最小磁化率轴产状投影成图，可以发现千枚岩类岩石的最小磁化率轴投影点大多为 EW 向；而石英脉矿石类的最小磁化率走向以 SN 向为主。最大主应力方位大体为3组，而且对应着3期主要的构造作用，1）近 EW 向组，倾角较平缓，占大多数，反映的是加里东期近 EW 向应力作用形成近 SN 向的豪岗岭背斜；2）近 SN 向组，倾角中等，反映的是印支晚期尖峰岩体侵位，该区主压应力近 SN 向，对豪岗岭背斜进一步改造，为主成矿期的应力特征；3）为 NW—SE 向组，反映的是燕山期逆冲作用的主压应力特征，该期应力对成矿起叠加改造作用，局部使矿体变富，局部切割矿体，但错距不大。

3.2 成矿物理化学条件

抱伦金矿床氧同位素测定结果见表1，$\delta^{18}O_{石英}=12.9‰\sim14.8‰$，相应包裹体水的氢同位素。$\delta D=-61‰\sim-62‰$。根据 Clayton 等（1972）给出的石英-水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系式：$\delta^{18}O_{石英}-\delta^{18}O_{水}=A\ (10^6T^{-2})+B$（当 $T=200\sim500$ ℃时，$A=3.38$，$B=-3.40$），并选择包裹体的捕获温度230和290 ℃，可求得的成矿流体中水的 $\delta^{18}O_{水}$ 为 2.94‰～7.54‰。

投影点位于岩浆水区左侧边部、变质水区的左下角，表明成矿流体是以岩浆水为主，有变质水参与的混合流体，大气降水影响比较小。抱伦金矿床的氢氧同位素组成与福建肖板金矿和阿尔金大平沟金矿相似，但是大气降水影响更小一些；比明显具有大气降水来源的火山热液型浙江治岭头金矿床雨

表1 抱伦金矿石英氧、氢同位素组成及与其他金矿床对比

序号	样品编号	采样位置	岩性	$\delta^{18}O_{SMOW}$/‰	$\delta^{18}O_{SMOW水}$/‰	δD/‰	备注
1	B37－1	Ⅰ号矿体	石英脉型金矿石	12.9	2.94～5.64	－61	中国地质科学院矿床地质研究所测试(数据均为相当于国际标准 SMOW 之值)
2	B41－2	Ⅳ号矿体	石英脉型金矿石	14.8	4.84～7.54	－62	
3	BD21	CN21	石英脉型金矿石	13.7	3.74～6.44	－61	
4	阿尔金太平沟金矿床		石英脉金矿石	12.02	3.06	－58	据地质力学所内部报告
5	福建肖板金矿床		蚀变岩-石英脉型	11.4	2.95	－51	据陈柏林(1998)5个样平均
6	江西大背坞金矿床		石英脉金矿石	16.6	10.48	－60	据王平安(1998)3个样平均
7	浙江治岭头金矿床		石英脉金矿石	—	0.78	－60	据郑明华(1986)3个样平均
8	北京崎峰茶金矿床		石英脉金矿石	12.1	5.6	－88	据李中坚等(1997)

黄金地质研究所
信息室 提供

水影响要小得多；与北京崎峰茶金矿相比，后者岩浆水比例要大得多，几乎没有变质水的参与；与典型岩浆热液成因的江西大背坞金矿床相比，尚有少量大气降水影响，后者几乎没有受到大气降水的影响。

8 件样品 89 个均一温度测定值介于 105～324 ℃之间，在直方图上均一温度频数呈现出明显的 2 个峰值，主峰值区范围为 240～300 ℃、峰值 268 ℃左右，次峰值区范围为 160～200 ℃、峰值 185 ℃（图 2），表明成矿过程主要经历 2 个阶段，但以 240～300 ℃为主要成矿阶段，表明成矿温度较高，为中温矿床温度的上限。测温结果与金矿石的矿物组合所反映的成矿温度较高的特点是吻合的。

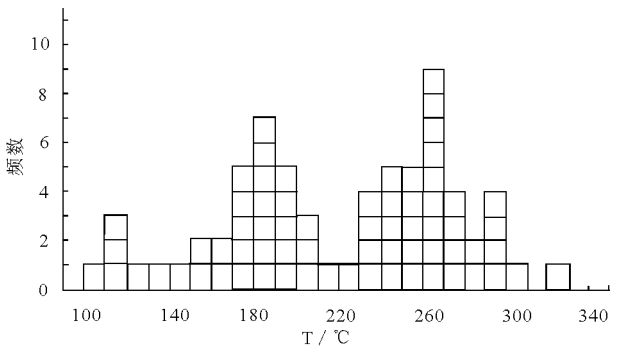

图 2 抱伦金矿床石英包裹体均一温度频数直方图（10 ℃区间统计）

3.3 成矿流体

成矿热液为低盐度、低密度的中温热液，成矿条件为弱还原环境，与尖峰岭花岗岩体属于磁铁矿系列所代表的成岩环境一致。含矿热液类型为 Na（K）-Cl 型，气相成分以 H_2O 为主，CO_2 含量较高，CH_4，C_2H_6，CO，H_2S，N_2，O_2 和 Ar 等也有一定含量。

液相中阴离子以 Cl^- 为主，含少量 F^-，SO_4^{2-} 等；阳离子以 Na^+ 为主，其次为 K^+，少量 Ca^{2+}，Mg^{2+} 等。H_2S 和 SO_4^{2-} 在流体中同时存在，Au 在热液中的主要存在形式为氯配合物 $AuCl_2^-$，其次呈硫氢配合物 $Au(HS)_2^-$ 形式；Au 的沉淀成矿受多种因素控制，如流体上升伴随的减压降温、裂隙减压造成流体沸腾、大气降水加入引起氧逸度增高、围岩蚀变时水/岩反应导致流 pH 值升高等。流体主要来源于印支期花岗质岩浆水和大气降水，少量来自围岩晶间水；CO_2 的 C 同位素显示流体中的 C 主要为岩浆来源，少量来源于围岩中的海相沉积（变质）碳酸盐矿物；矿石中黄铁矿 S 同位素显示成矿热液中的 S 主体来源于花岗岩浆，只有在交代沉淀过程中才明显有围岩中的 S 加入。

3.4 金矿成矿时代讨论

对抱伦金矿矿石样进行了 K-Ar 法成矿时代的测定。矿石中伊利石的 K-Ar 法同位素年龄为 216.04 和 205.26 Ma，相当于晚印支期，2 个数据极其接近，表明分析结果有一定的可验证性，这一年龄数据可能代表金矿的成矿年龄。矿区北边尖峰超单元花岗岩的锆石 U-Pb 法年龄为 208 和 232 Ma（1∶5 万千家幅区调报告，1999），由此看出，成矿作用晚于花岗岩侵入作用 3～27 Ma，推测岩浆期后热液对本区金成矿起着至关重要的作用。

3.5 成矿模式

抱伦金矿区地处琼西二甲—抱伦成矿远景区带上，地质体含金性较高，琼西 SN 向构造带通过本区，使该区遭受多次强烈的构造运动、岩浆活动和变质作用，具备良好的成矿地质条件，找矿潜力巨大。该金矿的形成经历了多期构造运动，其形成大致经历以下过程（图 3）。

1）加里东期的构造运动及区域变质作用，形成了豪岗岭背斜。伴随着背斜的形成，在背斜转折端形成构造裂隙，变质分异热液沿裂隙贯入，形成贫金石英脉。

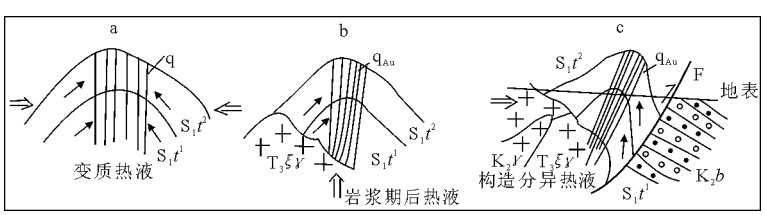

图 3 抱伦金矿成矿模式（10 ℃区间统计）

a—加里东期；b—印支期；c—燕山晚期；K_2b—上白垩统报万组；S_1t^2—下志留统陀烈组中段；S_1t^1—下志留统陀烈组下段；$K_2\gamma$—晚白垩世花岗岩；$T_2\xi\gamma$—晚三叠世正长花岗岩；q—贫金石英脉；q_{Au}—含金石英脉

2）印支期尖峰岩体的侵入，进一步改造了豪岗岭背斜，使背斜更加紧闭，其岩浆期后含矿热液充填在构造破碎带内，为本区的主成矿期。一方面

黄金地质研究所
信息室 提供

岩浆期后含 Au，S，Cl，H_2O，CO_2 等热液沿构造破碎带上升运移，另一方面岩浆热能又活化萃取了围岩中的 Au，S，Fe 等组分，与岩浆期后热液一起沿构造带向上运移，在断裂带的扩容空间地带，由于氧化-还原势的急剧变化，形成连续的大规模的矿化作用。陀烈组中段为含碳千枚岩，起着隔档层的作用，因而金矿体主要就位于陀烈组一段 NNW 向构造中。

3）燕山晚期伴随着逆冲作用，早期形成的含金石英脉再次破碎，构造分异热液及岩浆热能改造形成的含矿热液再次充填到破碎的石英脉中，为本区金矿的进一步富集起着重要的作用。

甘肃格尔柯金矿床

1 地质背景

格尔珂金矿床位于甘肃省南部甘南藏族自治州玛曲县境内的大水军牧场一带，行政区划上隶属于玛曲县管辖。属陕甘川“金三角”西缘地区，是我国西部发现探明的特大型中低温热液热水泉型金矿床。大地构造位置处于西秦岭南亚带西倾山隆起带南缘。是西秦岭构造带主要的成矿带，它南与甘孜—松潘褶皱带相接，以略阳—玛曲断裂为界，其北为西倾山隆起带，其南为巴西复向斜。矿区内分布地层主要为中三叠统马热松多组，属海相、海陆交互相碳酸盐岩和碎屑岩建造(图1)。在南西方向

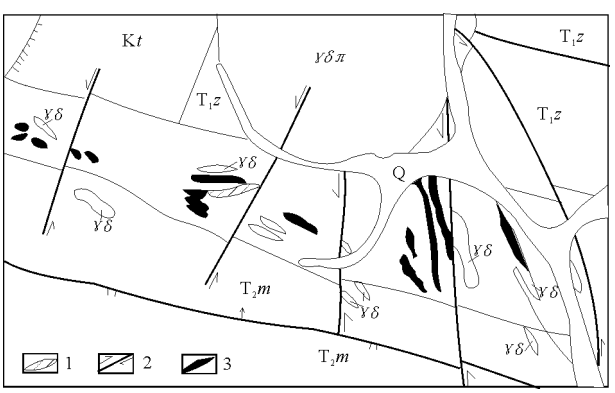

图1 格尔柯金矿床矿产地质图

Q—冲洪积；K*t*—白垩系田家坝组；T_2m—中三叠统马热松多组；T_1z—下三叠统扎里山组；γδπ—格尔括合花岗闪长斑岩侵入体；γδ—花岗闪长岩脉；1—隐爆角砾岩；2—逆断层/平推断层；3—金矿体

同一成矿带贡北地区侏罗系龙家沟组也发现了金矿体。但根据地壳丰度的对比，金不是来源于围岩。矿体主要受近 EW，SN 向断裂控制，矿床北侧的格尔括合花岗闪长斑岩侵入体的侵入，不仅产生热液，叠加活化新的成矿物质，更重要的是它侵位时形成的放射状、环状侵入穹隆。构造为热液提供成矿场所，派生了大量的脉岩。成矿物质主要来源是在加里东期接受了来自若尔盖古陆剥蚀分解的陆缘物质供给，早寒武世和早泥盆世沉积时海底火山喷发物和热水喷流进入沉积物中形成原始矿源层，后期地质发展中的构造叠加、岩浆入侵使金再次浓集衍生，复合叠加。围岩蚀变主要为硅化、赤铁矿化、褐铁矿化、方解石碳酸盐化等；矿石主要有黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、石英、方解石等组成，且石英、褐铁矿、赤铁矿为主要载金矿物。

2 矿区地质

2.1 地 层

格尔柯金矿床绝大部分储量都集中在大水矿区。矿体赋存于中三叠统马热松多组的一套灰岩、白云质灰岩中，主要产在地层与岩体的接触部位。矿区内中三叠统马热松多组岩性为一套脆性的白云岩，白云质灰岩及粉晶灰岩、泥晶灰岩，一般为中厚层。下部常有紫红色碎屑岩夹层，中部岩石层面多有波痕构造，产有双壳动物群化石，岩性较脆，在后期应力作用下产生断裂和层间破碎虚脱空间，为成矿流体的运移和矿质的富集提供了有利的构造部位。

2.2 构 造

大水矿区断裂发育，成矿作用受断裂控制明显。控矿构造主要有 3 组：1）主断裂带：177～220°∠65～75°，为压扭性；2）断裂：285～310°∠50～70°，张扭性；3）断裂：220～240°∠50～60°，张扭性。大水矿区经历了多期构造活动叠加和改造。矿区 NWW 向主断裂带不仅控制了岩浆岩的分布状态，也是本地区的导矿、控矿构造。容矿构造主要是 NW 次级断裂，其次是 NNE 和 NNW 向断裂，另外岩溶构造带也是一个重要的容矿构造。但这也不是绝对的。如 Au20 号矿体，从矿体形态来看，NWW 向的断裂不仅具有导矿作用，还具有容矿作用。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.3 侵入岩

矿区内岩浆活动较弱，仅在大水金矿区北侧见到规模较大的格尔括合花岗闪长斑岩体出露，在该岩体的南部见花岗闪长岩岩脉以放射状沿SN向构造侵入矿区。

2.3.1 *格尔括合岩体* 格尔括合岩体面积仅有1.76 km^2。近圆状，侵位于三叠纪灰岩、白云质灰岩地层中，根据岩石的成分及结构构造可划分2个岩性构造带：早期为黑云母闪长玢岩，后期为花岗闪长斑岩。黑云母闪长玢岩形状不规则，零星分布于侵入体的北、东和西部。与围岩（灰岩）为侵入接触关系。浅绿色，斑状结构，块状构造。斑晶约占25%，主要为斜长石（12%～15%），角闪石（3%～5%）和黑云母（约8%）。斜长石为自形—半自形，聚片双晶和环带结构发育。黑云母边缘多碳酸盐化。

花岗闪长斑岩位于侵入体的中、南部。约占岩体总面积的2/3。斑晶灰绿或淡粉红色，斑状结构，块状构造。斑晶主要有斜长石、黑云母、角闪石和石英。长石具有聚片双晶和卡式双晶，环带构造发育。黑云母和角闪石多呈片状和短柱状，有绿泥石化和碳酸盐化蚀变。

2.3.2 *花岗闪长岩岩脉* 在格尔括合岩体外侧，花岗闪长岩沿近SN向的断裂破碎带贯入，主要呈岩脉形式分布于矿体之间。脉体的形态复杂，具有膨大、缩小、分支、复合的特征。它大致沿0～10°，290～310°方向展布，与SN向构造和金矿体展布方向大体吻合。在岩脉内部还发现了大量的载金矿物（黄铁矿），反映了岩脉与成矿作用有着内在的紧密联系。

3 矿床特征

3.1 矿体特征

大水金矿区金矿体具有分段集中的特点。矿体走向为近EW，NW及近SN向，矿体倾角45～80°。矿体形态严格受到断裂和古岩溶控制。矿体长20～220 m，最大长度达280 m；厚0.84～41.19 m；延深20～70 m；金品位1.0×10^{-6}～29.36×10^{-6}，个别地段高达100×10^{-6}，平均8.52×10^{-6}。

大水矿区虽然矿体众多，但主要储量集中在Au7和Au20—1A等几个大矿体上。Au7矿体在地表出露长200 m，宽2.10～17.95 m，平均品位20.24×10^{-6}。矿体产状30°∠70～75°，最大延深165 m，且具有西北端下伏，东南端抬升的特点。金矿体产于白云质灰岩和花岗闪长岩接触的构造破碎带上。矿体强烈硅化、赤铁矿化和碳酸盐化。矿体的形态复杂。主要矿石类型有似碧玉硅质岩型、构造角砾岩型、碎裂白云质灰岩型和碎裂花岗闪长岩型。

Au20—1A矿体长162 m，厚0.61～9.34 m，控制延深96 m。展布方向近SN，向W倾斜，倾角53°，在走向上向南抬升，向N倾伏。平均品位8.93×10^{-6}，个别地段达78.25×10^{-6}。矿体由上到下，规模逐渐变小，品位变低。该矿体主要由似碧玉岩化硅质岩、角砾岩、赤（褐）铁矿化硅化灰岩组成。

3.2 矿石特征

矿石中金属矿物成分主要为赤铁矿、黄铜矿、黄铁矿、砷黝铜矿，另外有少量褐铁矿、孔雀石、磁黄铁矿、辰砂、辉锑矿、雄黄、雌黄和自然金等。非金属矿物主要为石英、方解石、长石和玉髓。其次是白云母、绢云母、高岭土、黑云母、角闪石等。

矿石最主要的化学成分是SiO_2和Ca等。灰岩矿石SiO_2含量一般近40%，硅质岩矿石达88%以上。从不含矿灰岩→灰岩矿石→似碧玉岩→硅质岩矿石，SiO_2，Fe_2O_3，FeO含量显示出有明显增高的变化趋势。而随着矿化程度的加深Na_2O，K_2O，CaO组分含量逐渐降低。

矿石以自形—半自形—他形粒状结构为主。还有微晶—细晶、变余斑状、胶状、交代角砾状结构等。矿石构造主要是致密块状、浸染状、细脉和网脉状。还有纹层状和条纹状、碎裂和角砾状、气孔和蜂窝状构造等。

3.3 围岩蚀变

该区的围岩蚀变严格受到断裂及破碎带的控制，分布于岩体与地层的接触部位，多呈线状，带状，蚀变分带明显。蚀变以中低温热液蚀变为特征，主要的蚀变有硅化、碳酸盐化、赤铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁钒化，其次为高岭土化、绿泥石化、绢云母化、黄铁绢英岩化、孔雀石化等。其中以硅化、赤铁矿化、褐铁矿化和碳酸盐化与成矿关系最为密切。已发现的矿体均发育强烈的硅化和赤铁矿化（褐铁矿化）。广泛发育的微细网脉状碳酸岩化和粗晶—伟晶方解石脉指示着大规模的成矿流体活动的存在，是寻找深部隐伏矿体的重要标志。

黄金地质研究所
信息室 提供

甘肃头滩子矿床

甘肃省徽县头滩子金矿是近年在西秦岭东部南缘发现的新类型金矿床。矿床由通天坪、头滩子、金滩子3个矿区组成，金矿远景资源量大于50 t。在20世纪80年代，该区主要以寻找汞、锑矿为主，先后发现了马家山中型汞矿床及诸多汞-锑矿点；90年代在汞-锑矿的近旁陆续发现了金矿。

1997年，甘肃省地质矿产局地质一队首先在金滩子一带发现了具一定规模的金矿；1998年，甘肃省核工业地勘局213地质队在通天坪发现了金矿。由于该区金矿品位高、规模大、易选冶，极具经济价值，因此，一经发现就开始了大规模的群采开发活动。

1 地质背景

该区位于西秦岭南带武都弧形构造东翼的南带（甘肃省地质矿产局，1997）。区内出露地层有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系等。志留系分布于南部广金坝—大坪一带（图1），为一套浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩建造，其中富含Cu，Fe，Mn，U，Co，Ni等成矿元素，是寻找沉积型铁-锰等多金属矿的有利区段。泥盆系至石炭系为一套浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩建造，其中的含碳岩石普遍含金较高，为形成金矿提供了丰富的矿源层（殷先明等，2000）。

区内岩浆活动以印支期为主，燕山期次之。主要有石英闪长岩、花岗斑岩、正长斑岩等，以岩脉及小岩株形式产出为主。这些岩脉或岩株均与金矿（化）体紧密伴生。

断裂极为发育，以EW向为主，活动时间长，具多期次性，常形成规模较大的断裂带，为内生矿产的形成提供了有利的构造条件。NE，NW向断裂与EW向主断裂交会部位显示环形构造特征，往往形成聚矿场（霍福臣等，1995）。

该区成矿区划属西秦岭成矿带坪定—包家山以铁、锰、金、锑、汞、磷为主的多金属成矿亚带的东部（胡晓隆等，2003）。矿床（点）的分布和产出较明显受地层、中酸性小岩株和环形断裂的联合控制。金矿位于环形构造的边部，向外依次为金-锑矿—锑矿—汞矿（图1），矿体的空间产出和分布主要受断裂蚀变带控制。已发现有通天坪、头滩子、赵家湾、金滩子、香炉沟、何家坪金矿等。

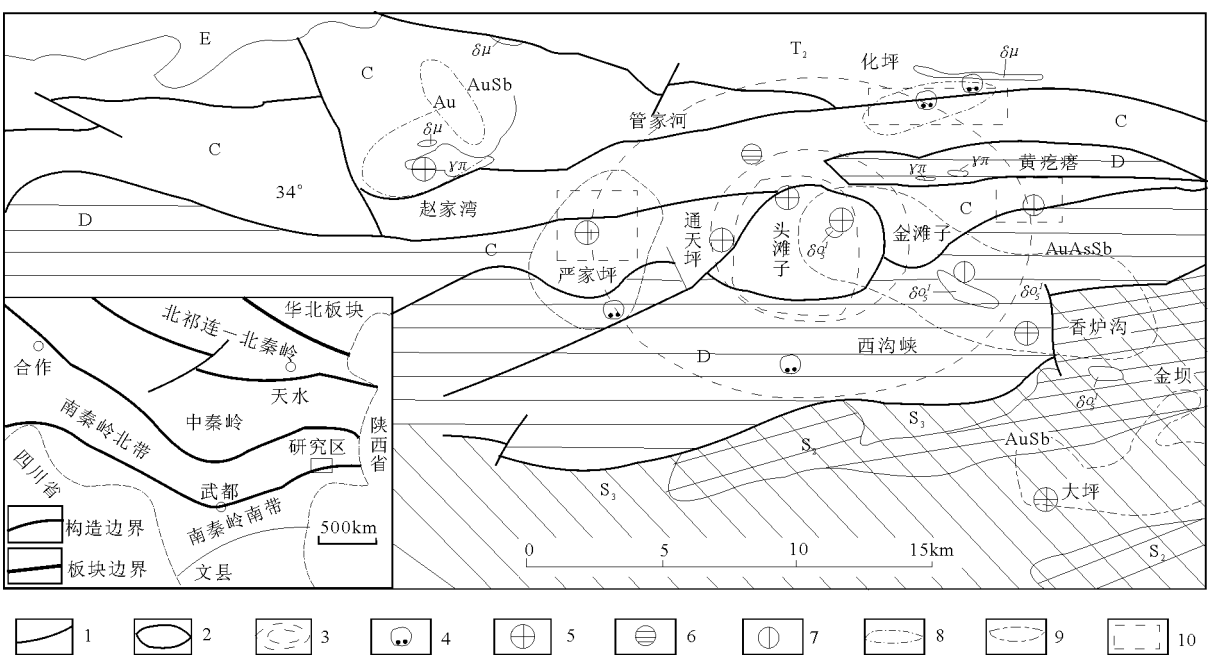

图1 甘肃省徽县赵家湾—两当广金坝一带金矿地质略图

E—第三系；T_2—中三叠统滑石关组；C—石炭系尕海、岷河、高家崖组；D—泥盆系铁山、下吾那、蒲莱组；S_3—上志留统白水江群；S_2—中志留统舟曲群；δo—印支期石英闪长岩体；γπ—花岗斑岩脉；δ_μ—闪长玢岩脉；1—断裂；2—环形断裂；3—遥感解译环形构造；4—汞矿点；5—金矿床；6—锑矿点；7—金-锑矿点；8—自然金辰砂自然重砂异常；9—水系沉积物化探异常；10—金矿找矿靶区

黄金地质研究所
信息室 提供

2 矿区特征

研究区包括通天坪、头滩子和金滩子矿区，呈EW向展布，长10 km，宽3 km。出露地层主要为下石炭统岷河组，主要岩性为浅灰色厚层灰岩、鲕状灰岩、泥质灰岩夹少量薄层灰岩、薄层砂砾岩、凝灰岩、碳质页岩。赋矿岩性为第三岩段的鲕状灰岩、泥质灰岩夹薄层砂砾岩、凝灰岩、碳质页岩等。矿化主要赋存于该岩性段内的构造角砾岩、碎裂岩中。

该区总体构造形态表现为一近EW向的倒转复式单斜构造。断裂极为发育，矿区边部被一环形断裂包围，遥感解译也发现了该区有一环形构造(图1)。已发现大小断层20余条，按走向大致可分为近EW，NW，NE向3组。其中，EW向断裂为主要的控矿断裂，长一般达1 km以上，宽数米至数十米，与NW或NE向断裂的交会处常形成厚大的富矿体。

区内岩浆活动较发育。在金滩子一带出露有面积为1.5 km^2的石英闪长岩株，在通天坪—头滩子一带出露10余条长大于150 m，宽1～10 m的印支期闪长玢岩脉及煌斑岩脉。岩体或岩脉内金的平均含量一般为100×10^{-9}～500×10^{-9}，部分脉岩构成金矿体。大部分金矿体附近数米范围内都能找到岩脉，可见区内岩浆活动与金矿化的关系非常密切。

围岩蚀变常见方解石化、赤铁矿化、硅化、褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、黄钾铁矾化等，多沿断裂呈带状分布。其中，硅化、赤铁矿化、褐铁矿化、方解石化与金矿化呈正相关；高岭土化、绢云母化与金矿化关系不明显。

3 矿床地质

3.1 矿体特征

通天坪—金滩子一带目前已圈定矿体数十条。矿体一般长50～638 m，厚3～9.48 m，金平均品位3×10^{-6}～10×10^{-6}。矿体以近EW向为主，NE，NW向次之。矿体顶底板围岩为碳质板岩、灰岩、闪长玢岩等。主要矿体特征见表1。

表1 通天坪—头滩子金矿主要矿体特征

矿体编号	形态	产状/°		规模/m			$w(Au)/10^{-6}$	变异系数/%	
		倾向	倾角	长度	平均厚	推深		厚度	$w(Au)$
AuⅠ-1	似层状	350～15	52～55	236	11.39	90	10.88	33.54	29.23
AuⅠ-2	似层状	165～180	55～65	638	9.14	96	10.22	36.43	20.06
AuⅡ-1	脉状	175～200	40～69	336	3.76	84	3.10	58.2	23.4
AuⅡ-2	脉状	155～165	50～60	596	9.25	149	2.55	89.7	63.3

3.2 矿石特征

矿石的自然类型有褐铁矿化构造角砾岩型、褐铁矿化碎裂状灰岩型、硅化灰岩型、碳酸盐化角砾状褐铁矿型、褐铁矿化碎裂状方解石脉型、块状褐铁矿型、深灰色硅化凝灰质灰岩型等，以前2种为主。褐铁矿化构造角砾岩型矿石呈灰褐—红褐色，角砾成分有石灰岩、褐铁矿块、燧石等。角砾呈棱角状，粒度为2 mm×2 mm～5 mm×10 mm。胶结物为钙质、泥质、铁质等。该类矿石严格分布于矿化断裂带内，与围岩多呈断层接触，界线清晰。矿石中金分布较为均匀，金品位一般为3×10^{-6}～7×10^{-6}。褐铁矿化碎裂状灰岩型矿石呈灰白—粉红色，裂隙发育，褐铁矿多呈细脉状沿裂隙分布，金含量与褐铁矿化程度正相关。金品位一般为10×10^{-6}～20×10^{-6}。硅化灰岩型矿石，肉眼看不到金属矿化，自然金多呈显微粒状分布于石英、方解石粒间。金含量一般大于10×10^{-6}，最高可达286×10^{-6}。矿石仅出现于多组构造交会的增容减压等有利于热液成矿的特殊部位。矿石的工艺类型可分为褐铁矿化角砾岩型微细粒金矿石、褐铁矿化石灰岩型微细粒金矿石2种类型，以前者为主，后者次之。

矿石的金属矿物以褐铁矿为主，其次是黄铁矿，含少量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然金；非金属矿物以石英为主，其次是方解石，还有少量长石和泥质等。矿石中主要有用组分为Au，含量一般为5×10^{-6}～45.17×10^{-6}，单样最高达286×10^{-6}。不同类型矿石金含量变化从碎裂状灰岩型矿石→构造角砾岩型矿石→硅化凝灰质灰岩型矿石→硅化灰岩型矿石，金含量逐渐升高。在同一类型矿石中，金的分布较为均匀，品位变化系数一般小于50%。伴生组分含量低，无综合利用价值（表2）。As，S等有害元素的含量很低，对矿石选冶无影响。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 2 通天坪—头滩子金矿矿石的多元素分析结果

$w(B)/\%$						
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe	全碳	烧失量
45.53	5.05	21.84	0.69	2.21	5.56	20.04

$w(B)/\%$					$w(B)/10^{-6}$	
S	As	Cu	Pb	Zn	Au	Ag
0.16	0.028	0.016	0.024	0.027	10.30	1.50

矿石结构主要有自形—半自形粒状、包含、胶状结构。构造主要有角砾状、星点状、网脉状、脉状。

3.3 金的赋存状态

褐铁矿，主要分布于矿化蚀变带近地表部位的(岩)矿石中，通常是黄铁矿的氧化产物。粒度为 0.01 mm×0.01 mm～0.30 mm×0.40 mm，呈半自形—他形粒状。在褐铁矿角砾岩中，褐铁矿主要呈角砾状集合体产出，角砾粒度达 4～7 mm；在其他岩石中呈稀疏浸染状、星散状、脉状产出，主要存在于胶结物中。褐铁矿与金的关系密切，在褐铁矿与非金属矿物粒间及褐铁矿颗粒中均有自然金出现，在所见金粒中有 48.08% 与褐铁矿有关。褐铁矿是主要载金矿物之一。

石英，遍布于各类（岩）矿石中，粒度为 0.10 mm×0.10 mm～0.80 mm×0.90 mm，呈他形粒状。在石英与褐铁矿粒间及石英颗粒中均有自然金分布。在所见金粒中有 44.23% 与石英有关，仅次于褐铁矿，为第二载金矿物。

方解石，粒度为 0.30 mm×0.30 mm～0.90 mm×0.90 mm，呈自形—半自形粒状。在所见金粒中有 7.69% 与方解石有关。方解石也是载金矿物之一。

矿石有用矿物为自然金。其形态以浑圆状为主，其次为棱角状、线状、板状、长棱角状。粒径为 0.02 ～ 0.005 mm 的占 89.93%，0.005 ～ 0.001 25 mm 的占 9.06%，小于 0.001 25 mm 的仅占 1.01%。金的嵌布类型可分为粒间金和包裹金 2 类，前者约占 90.94%，主要分布于褐铁矿、石英、方解石的粒间。包裹金仅占 9.06%，主要包裹在褐铁矿中，有少量包裹于石英中。

黑龙江东安金矿床

矿床位于逊克县南东 45 km 处，属黑龙江省北部金成矿带中段，于 1998 年被黑龙江省有色地质勘查局 707 队发现，经过 2 年多的普查和勘探，目前控制储量已达××t。矿床找矿潜力巨大，前景十分看好，预测储量可达大型。

1 区域地质概况

该区位于燕山期环太平洋成矿带西带大陆边缘，加里东—华力西褶皱带北部。大地构造位置处于松嫩地块和佳木斯地块之间的伊春—延寿地槽褶皱系北段。三级构造单元隶属于逊克中新生代火山盆地的中间隆起带北缘。

逊克火山盆地的基础为下白垩统光华组(K_1gh)，上覆第三系中新—上新统孙吴组（$N_{1-2}s$）和第四系下更新统大熊山组（Q_1d）。其中间隆起称为宝山隆起带，是盆地中重要的金-多金属成矿带。隆起带内构造、岩浆活动强烈。地层发育不全，比较零散，基底为新元古界张广才岭群正沟组(Pt_3z)，盖层为下寒武统西林群铅山组（$\in_1q$），二者为该区金矿床的初始矿源层。此外，尚有小块晚古生界和早中生界的二叠系、三叠系出露。

2 矿区地质特征

矿区位于隆起与盆地交接地带，构造、岩浆和陆相火山-侵入活动强烈。库尔滨河在矿区北部通过，其支流乌宋岗河由东向西将矿区一分为二。矿化蚀变面积达 20 km^2（图 1）。

2.1 地 层

矿区出露地层主要为下白垩统光华组(K_1gh)，分布在北东部，为一套陆相中酸性火山-侵入杂岩建造。规模不大，较为零散。岩性为流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质角砾凝灰岩、英安岩夹薄层砂岩以及次火山岩相的流纹斑岩、英安玢岩、流纹质隐爆角砾岩等。该套岩石为东安金矿的主要赋矿围岩之一，在时空、物源和热源等方面均与成矿关系密切。矿区北部，还覆盖有第三系孙吴组($N_{1-2}s$)，呈零星孤岛状，厚 3～20 m，岩性为灰黄色半胶结的砂岩、砂砾岩。

2.2 侵入岩

印支晚期（γ_5^3）侵入岩分布于矿区西部，面积较大，呈小侵入体或岩株状产出，岩性为中粗粒碱长花岗岩，属造山晚期钙碱性系列花岗岩类，为东安金矿的主要赋矿围岩。

黄金地质研究所
信息室 提供

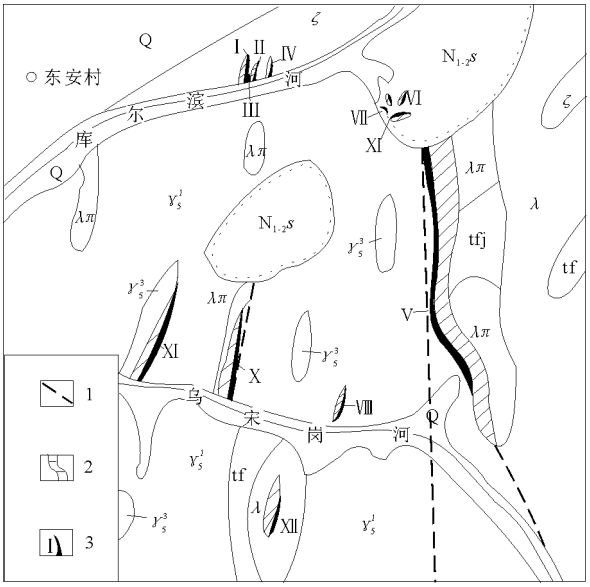

图 1 东安金矿区地质略图

Q—第四系；$N_{1-2}s$—砂砾岩；K—流纹岩；tf—流纹质凝灰岩；tfj—流纹质角砾凝灰岩；ζ—英安岩；λπ—流纹斑岩；γ_5^3—印支晚期碱长花岗岩；γ_5^3—燕山中晚期碱长花岗岩；1—断裂；2—蚀变带；3—金矿体及编号

燕山中晚期（γ_5^3）侵入岩形成于晚侏罗世，在区内广泛分布，呈小岩株、岩脉或岩墙状产出，规模小，明显侵入于印支晚期花岗岩，岩性为细粒碱长花岗岩、花岗斑岩、闪长玢岩、英安玢岩等。属造山期后钙碱性系列花岗岩类，与火山作用有成因联系，常与同时代的中酸性火山岩相伴出现。与成矿关系密切，区内金矿体多与其同空间相伴产出。

2.3 构 造

区内构造以断裂为主。延伸百余千米的燕山期库尔滨壳断裂呈 SN，NNE 向沿库尔滨河展布，为压扭性质，切割深度大，是区内主要的控岩、控矿构造，明显控制着区内中酸性岩体和矿带的分布。其次级断裂以 SN，NNE，NNW，NE，NW 向为主，为压扭性或张扭性质，长几十米至 2 000 m，多发育于岩体与火山-侵入杂岩的接触部位，为区内主要的控矿、容矿断裂。

区内金矿（化）体、蚀变带均发育于此类次级断裂中，断裂的转折变化部位往往是金矿化较富集的部位。其中，SN 向断裂是矿区主要的控矿和容矿断裂，主矿体（V 号）即发育于 SN 向断裂中。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

矿区目前已揭露金矿体 12 条，其中工业矿体 7 条，均呈脉状或小透镜状产于碱长花岗岩与次火山岩接触断裂带或英安质凝灰岩断裂破碎带中。金矿体编号为Ⅰ—Ⅻ，矿体的规模、产状、品位见表 1。其中，Ⅴ号矿体规模最大，为矿区的主矿体，赋存于碱长花岗岩与流纹岩及次火山岩（次流纹斑岩）断裂接触带附近的近 SN 向强硅化蚀变带中。已控制长 950 m，宽 1.0～11.3 m。物探中梯视电阻率（ρ）异常推断矿体深部长度可达1 050 m以上。钻探初步勘探结果显示：各钻孔均见到金矿体，厚度较稳定，且深部金品位比地表显著提高，表明Ⅴ号矿体延伸较大。

表 1 东安金矿床矿体特征

矿体编号	矿体规模/m		矿体产状/°			$w(B)_{平均}/10^{-6}$	
	控制长度	平均宽度	走向	倾向	倾角	Au	Ag
Ⅰ	90	1.12	23	293	75～80	8.69	98.2
Ⅱ	50	1.40	23	293	80～85	6.99	92.5
Ⅲ	50	1.10	23	293	85	1.52	29.5
Ⅳ	50	1.00	23	293	45	1.11	12.0
Ⅴ	950	3.96	0	90	72～82	8.60	10.8
Ⅵ	40	1.53	35	305	75～85	10.8	66.4
Ⅶ	50	1.00	10	100	45	4.01	9.0
Ⅷ	50	0.8	330	240	65	1.34	3.5
Ⅸ	50	1.50	330	240	65	1.60	2.0
Ⅹ	75～625	2.23	25	295	67	4.47	55.8
Ⅺ	50	1.90	30	300	73	2.45	14.7
Ⅻ	＞50	0.80	15	285	70	8.65	126.0

3.2 矿石特征

矿石的显著特点是贫硫低砷。矿石中金属矿物含量低，总量不到 1%，主要有黄铁矿、褐铁矿、自然金以及极少量的银金矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂等。黄铁矿呈他形粒状、团块状、半自形粒状，星散浸染状、细脉状分布，粒径 0.01～2.0 mm，含量 1%～5%，其中，他形粒状细粒黄铁矿与自然金关系密切。褐铁矿呈土状、蜂窝状、

黄金地质研究所
信息室 提供

不规则粒状，有时具有孔洞，具黄铁矿假象，含量1%～5%，与金矿化关系密切。金主要以自然金的形式存在，银金矿较少，多以粒间金状态嵌布于石英颗粒间，少部分赋存于石英裂隙间和石英晶簇、晶洞中，极少部分呈包裹体赋存于黄铁矿中。自然金外形不规则，呈枝杈状、角砾状、麦粒状，以细粒为主，粒径通常为0.02～0.03 mm，少量粒径为0.04～0.1 mm。

矿石结构以他形粒状为主。矿石构造以块状、角砾状、浸染状、网脉状为主，梳状、条带状、齿状、晶簇、晶洞构造也较发育。

矿石类型按有益组分可分为金矿石、金-银矿石和含银金矿石；按组构特征可分为浸染状、角砾状、网脉状、团块状金矿石等。

3.3 围岩蚀变

矿区围岩蚀变作用普遍而强烈，主要沿断裂、隐爆角砾岩带和燕山中晚期小侵入体（脉）、次火山岩体（脉）附近分布。矿化蚀变分带性明显，如Ⅴ号矿体由矿脉向外：1）内带，为强硅化带，主要为云英岩化、玉髓化、冰长石化、黄铁矿化、褐铁矿化、萤石化等；2）中带，为硅化带，主要为硅化、绿泥石化、绢云母化；3）外带，为泥化带，主要为高岭土化、水白云母化、绿泥石化。矿体主要赋存于内带。围岩蚀变是该区主要的找矿标志之一，云英岩化、硅化、玉髓化、冰长石化、黄铁矿化与金矿化关系密切。

4 地球化学特征

矿床矿化围岩为晚印支期碱长花岗岩、中燕山晚期细粒碱长花岗岩和早白垩世中酸性火山-侵入岩，矿石为其强硅化蚀变岩。

4.1 岩石化学

碱长花岗岩：SiO_2 = 74.70% ～ 75.90%，Na_2O+K_2O = 7.80% ～ 8.42%，CaO = 0.33% ～ 0.31%，σ = 1.9～2.2；细粒碱长花岗岩：SiO_2 = 76.52% ～ 77.32%，Na_2O+K_2O = 8.12% ～ 8.33%，CaO = 0.10%，σ = 2.0。二者具富硅、富碱、贫钙的特点，岩石属钙碱性岩系。在 R_1-R_2 多阳离子参数图解（Batcheler R. A.，1985）中二者分别落入造山晚期花岗岩区和造山期后花岗岩区。

火山-侵入岩，1）安山岩：SiO_2 = 56.40% ～ 58.24%，Na_2O+K_2O = 6.27% ～ 6.48%，K_2O/Na_2O = 0.55～0.66，σ = 2.6～3.1；2）英安岩：SiO_2 = 68.50% ～ 69.76%，Na_2O+K_2O = 5.80% ～ 5.84%，K_2O/Na_2O = 1.04～1.10，σ = 1.3；3）流纹岩和流纹斑岩：SiO_2 = 72.13% ～ 75.11%，Na_2O+K_2O = 9.05% ～ 9.58%，K_2O/Na_2O = 1.14～1.34，σ = 2.6～3.1。岩石自安山岩-英安岩-流纹岩（流纹斑岩）硅质和碱质明显增高。岩石属钙碱性系列。在 $\lg\tau$-$\lg\sigma$ 图解中落入消减带火山岩区，表明其形成于活动大陆边缘。

4.2 稀土元素

碱长花岗岩：$\Sigma REE = 49\times10^{-6}$ ～ 653×10^{-6}，LREE/HREE = 2～4，为轻稀土富集型，铕异常极为明显，呈近于对称的“V”字型，具重熔（部分幔源分异）特点。细粒碱长花岗岩：$\Sigma REE = 83.01\times10^{-6}$ ～ 213.4×10^{-6}，LREE/HREE = 1.72～3.93，为轻稀土富集型，铕有一定亏损，呈中等“V”字型，具重熔特点。火山-侵入岩：$\Sigma REE = 100\times10^{-6}$ ～ 200×10^{-6}，LREE/HREE = 3～6，为轻稀土富集型，铕亏损很明显，为大“V”字型。该组岩石与其下部的玄武安山岩富集程度相近，曲线形态相似，只是铕亏损明显，表明二者岩浆来源一致，且前者由后者演化而来，为幔源成因。

4.3 微量元素

碱长花岗岩、细粒碱长花岗岩和中酸性火山-侵入岩原岩有较高金丰度，3者分别为 20.5×10^{-9}，22.6×10^{-9}，9.5×10^{-9}，富集系数分别为4.8，5.3，2.2，蚀变后3者富集系数分别为18.8，56.7，62.6。由此结果，与成矿时间和空间关系密切的火山-侵入岩原岩金丰度低于碱长花岗岩和细粒碱长花岗岩，但蚀变后其富集程度明显高于后二者，表明火山-侵入岩中矿质易于活化富集，是成矿物质的主要来源，其次为碱长花岗岩及细粒碱长花岗岩。

4.4 流体包裹体

依高温下包裹体的物理相态和化学组成，该矿包裹体属 NaCl-H_2O 型，绝大多数为2相气液（V-L）包裹体，包裹体气液比为5% ～20%，多为10%，主要为不规则状，其次为椭圆状，包裹体大小为4～25 μm，以8～10 μm者居多。

均一温度分布范围为144～348 ℃，成矿的最佳温度区间在200～300 ℃，属浅成热液矿床的成矿温度范围。

盐度分布范围为2.06% ～8.36%，主要集中于4% ～8%，且有随温度降低而降低的规律。

成矿压力为 48.75×10^5 ～ 382.88×10^5 Pa，以

黄金地质研究所
信息室 提供

$100\times10^5\sim250\times10^5$ Pa 居多。由公式 $H=\frac{P\ (10^5\ \text{Pa})}{300/\text{km}}$（$P$为成矿压力），结合流体包裹体测温结果，东安金矿的成矿初始深度为 0.2～1.0 km，属浅成—超浅成环境。

4.5 矿石同位素特征

由矿石 Rb-Sr 全岩测年结果，东安金矿的矿石等时线年龄为 108 Ma，与容矿火山-侵入岩 112 Ma 的等时线年龄十分相近，仅晚 4 Ma，表明二者具有极为密切的时间关系。

5 矿床成因

5.1 成矿物质来源

主要矿化围岩中粗粒碱长花岗岩、细粒碱长花岗岩和潜流纹岩，原岩有较高金丰度，3 者分别为 15.6×10^{-9}，15.8×10^{-9}，8.7×10^{-9}，金富集系数分别为 3.6，3.7，2.0。蚀变后，3 者的金富集系数分别为 47.4，83.1，62.6，并在矿体周围形成明显的成矿元素正异常。表明前二者虽可作为矿源岩（层），但没有通过水-岩交换淋滤作用，另外该区基底新元古界一面坡群额头山组变质酸中性火山-细碎屑岩，金丰度较高，片岩、千枚岩 36.2×10^{-9}，变质英安岩 25.0×10^{-9}。岩石片理化十分发育，有利于流体沿其流动或渗流，从而萃取成矿矿质和介质。由此可知成矿物质应主要来源于潜流纹岩，并萃取了基底岩石和围岩中的成矿矿质。

5.2 成矿流体性质及来源

流体包裹体气、液相成分分析结果表明，成矿流体液相成分主要为 K^+，Cl^-，气相成分主要为 H_2O 和 CO_2。流体中金主要呈金氯配合物形式迁移，表明成矿流体主要为中低温、弱酸性。与中低温、弱酸性条件有利于金氯配合物（$[AuCl]^-$，$[AuCl_4]^-$）形成（Seward，1984）的结论及该区成矿温度和蚀变矿物组合相一致。流体包裹体测定结果表明，成矿流体盐度分布范围为 2.06%～8.36%，主要集中于 4%～8%，且基本具有随温度降低而降低的规律。成矿早期温度较高（>300 ℃），盐度较高（一般>7%），成矿中期温度降低（200～300 ℃），盐度下降（一般 5%～7%），成矿晚期成矿温度低（<200 ℃），盐度低（一般<5%）。表明成矿流体源于岩浆水，随成矿作用的进行，大气降水的加入不断增加。使流体混合沸腾作用的不断增强，导致金的沉淀。

矿石矿物主要在热液期生成。金属矿物以自然金、银金矿、辉银矿、自然银、黄铁矿、黄铜矿为特征，非金属矿物以主要蚀变矿物石英、冰长石、绢云母、玉髓为特征。矿物生成顺序及成矿阶段详见图 2。

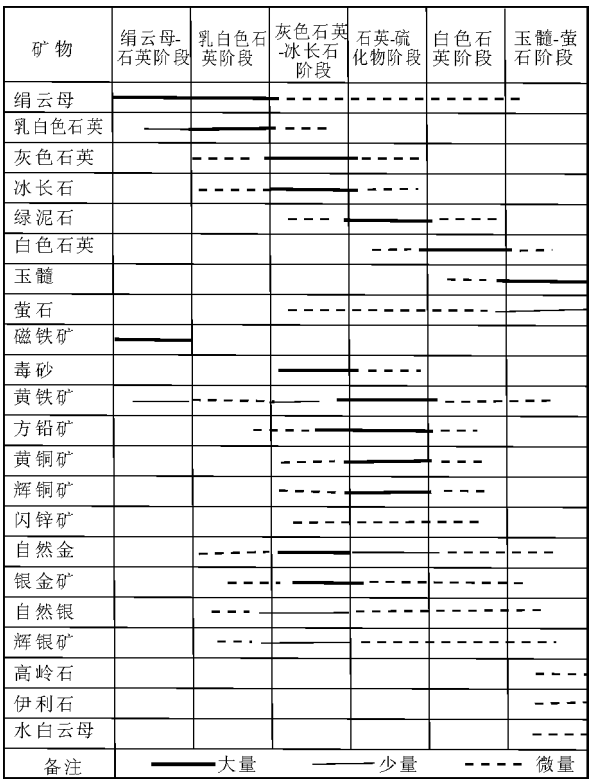

图 2 矿物生成顺序及成矿阶段

由矿石 Rb-Sr 全岩测年结果，东安金矿的矿石等时线年龄为 108 Ma，与容矿火山-侵入岩 112 Ma 的等时线年龄十分相近，仅晚 4 Ma，表明二者具有极为密切的时间关系。

5.3 成矿机理

该区前寒武纪结晶基底火山-碎屑岩及古生代基底碳酸岩类具较高的金丰度值。印支晚期，来自上地幔重熔的弱碱性岩浆在上升过程中，同化混染了含金基底物质，形成金含量较高的花岗岩体。燕山中晚期，大陆边缘构造活动强烈，区内产生了 NNE 向的库尔滨壳断裂及其次级断裂，并伴有岩浆侵入，上侵的岩浆进一步同化重熔了含金基底和印支期花岗岩体，为热液提供了部分金的来源。早白垩世火山作用强烈，形成火山通道，火山后期的火山-侵入杂岩为成矿提供了热源和部分物源，岩浆分异的脉岩沿断裂方向就位形成地球化学障，岩浆后期热液将 Au，As，S，C，H_2O 等组分带入断裂破碎带，含矿热液沿断裂破碎带上升渗透、扩散或充填交代过程中，物理化学条件发生变化，使

黄金地质研究所
信息室 提供

Au-S-As 配合物发生分解，Au 随胶体共同沉淀，形成了浅成中低温热液金矿床。

6 结 论

1）东安金矿形成于滨太平洋大陆边缘活动带——拉张地球动力学环境。与早白垩世火山-侵入岩关系密切。成矿物质主要来源于变质基底。成矿时代为中燕山晚期。

2）矿体主要受 SN，NNW 向线性构造控制，方向性明显，与围岩界线清楚。

3）成矿深度浅。初始深度为 0.2～1.0 km。矿体延长远大于延深。矿石中发育角砾状、梳状、条带状、齿状、晶簇、晶洞构造。w（Au）/w（Ag）值由地表至深部明显降低。

4）成矿温度较低。均一温度分布范围为 144～348 ℃，成矿最佳温度区间在 260～300 ℃。盐度分布范围为 2.06%～8.36%。冰长石化、玉髓状硅化、萤石化等低温蚀变发育。

5）成矿流体为大气降水与岩浆水的混合物，且以大气降水为主。金主要呈金-氯配合物形式迁移，流体的混合和沸腾作用使金沉淀。

综上所述，矿床成因为浅成热液低硫型（又称冰长石-绢云母型）。

甘肃赵沟金矿床

赵沟金矿是继李坝金矿之后近年发现的大型金矿床。

1 地质背景

赵沟金矿床位于礼—岷金矿带东部。大地构造位置处于西秦岭造山带中秦岭华力西褶皱带之北亚带。北侧以武山—太白—丹凤深大断裂为界，与北秦岭加里东褶皱带毗邻；南侧以礼县—白云—山阳深大断裂为界，与中秦岭褶皱带南亚带相邻。

1.1 地 层

区域内地层主要以晚古生界与新生界为主，有中泥盆统李坝群（D_2lb）（表 1）、西汉水组（D_2x）和中石炭统下加岭组（C_2j），其次有中下侏罗统（J_{1-2}）和第三系（E，N）零星分布，第四系（Q）分布广泛。区域内金矿主要分布在中泥盆和中石炭统的浅变质细碎屑岩中。

1.2 构 造

区域地质构造线总体方位为 100～130°。主要褶皱为向西扬起的石家河坝复式向斜；断裂主要为近 EW 向的礼县—山阳深大断裂在礼县以西的北部分支，即礼县—罗坝—锁龙口断裂带。赵沟金矿床就产于该断裂带北部的次级断裂中（图 1）。矿

表 1 西秦岭中带李坝群 Au 及相关元素含量

地 层	样数	w（B）/10^{-6}		
		Au	Ag	As
三叠系	205	0.006 0	0.107	3.94
二叠系	72	0.004 3		6.90
石炭系	65	0.004 8	0.100	6.50
泥盆系	191	0.005 5	0.130	10.74
志留系	140	0.004 0	0.110	11.40
李坝群	165	0.006 0	0.210	19.10
地壳沉积岩（黎彤，1981）		0.005 1	0.065	8.6

注：据吕国安，1995。

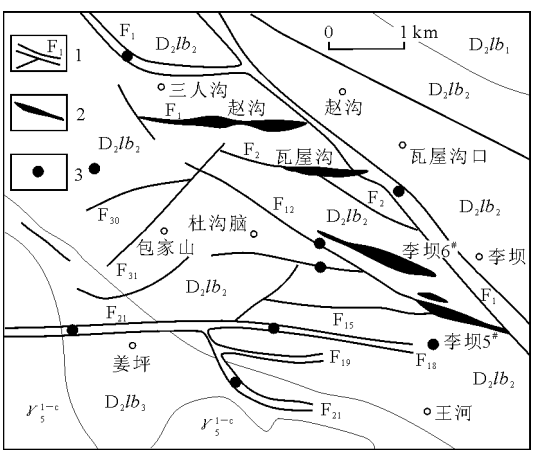

图 1 甘肃李坝地区地质简图（据甘肃有色地质勘查局天水总队，2002）

D_2lb_3—变质石英砂岩夹粉砂岩；D_2lb_2—绢云母绿泥石板岩夹变质石英砂岩；D_2lb_1—粉砂质绢云母绿泥石板岩、粉砂质千枚岩夹斑点状板岩；γ_5^{1-c}—中粗粒似斑状二长花岗岩；1—断裂破碎带及其编号；2—金矿床；3—金矿点

区内一定地段岩石呈带状破碎，宽 1～50 m。根据岩石破碎程度、破碎角砾磨圆程度及破碎带内碎块间位移状况和破碎带两侧岩石位移幅度，破碎带由强到弱可分为构造角砾岩带、碎裂岩带、碎裂岩化带。此 3 种破碎带类型在地表及深部大量分布，其中成带分布且规模较大的 F_1 破碎带在矿区内断续出露长度大于 600 m，宽 10～50 m，走向 310～330°。在 F_1 破碎带内断层是不连续的，典型的断

黄金地质研究所
信息室 提供

层面仅在局部出现，其中多数断层走向与破碎带展布方向基本一致，该破碎带是矿区乃至李坝金矿田的主要控扩构造，带内局部有褪色化现象。从破碎带特征可以看出 F_1 破碎带在成矿前、成矿期、成矿后均有活动，具多期次活动特征。

矿区发育大量的断层及节理，尤其是节理广泛分布，断层规模较小，长几米至 15 m 左右，根据断层走向分为 SN，NW，NE 向 3 组。断层与节理的发育程度是决定金矿化强弱及范围的重要因素之一。金矿化发育在断层或节理的一盘或两盘一定范围的岩层中，断层或节理大多数为矿化期形成，矿化作用受断裂控制，成矿后断裂少见。F_{29} 为 F_1 西侧发育的低序断裂，总长度大于 2 450 m，宽度大于 30 m，走向近 EW，向 S 倾，倾角一般 70～85°，横穿矿区中部，主要沿炭窑沟背斜转折端展布。

1.3 岩浆岩

区域内岩浆活动频繁且强烈，具有多旋回、多期次性特征，从华力西—喜马拉雅期均有活动，以印支期最为剧烈，主要有中川、碌碡坝、柏家庄、教场坝等岩体。其中以中川（表 2）、教场坝岩体与金矿化关系最为密切。

表 2 中川花岗岩微量元素含量 $w(B)/10^{-6}$

岩石	样数	Au	Ag	Sb	Hg	As	Cu	Pb	Zn	Ba	Sr	Ti
中细粒黑云二长花岗岩	22	0.002	0.09	0.80	0.19	2.2	7.6	100.0	342	563	117	1 700
含斑黑云二长花岗岩	9	0.002	0.04	0.80	0.04	3.80	9.9	54.0	97	446	145	1 712
似斑状黑云二长花岗岩	27	0.002	0.05	0.80	0.04	5.10	9.8	61.0	157	725	342	1 947
花岗岩(维氏,1962)		0.004 8	0.05	0.26	0.08	1.5	20	20	60	830	300	2 300

区域上以绿片岩相的低级变质为主，在岩体周围发育热接触变质作用。区域内矿床（点）密布，主要为金、铀、铜、铅、锌，均分布在中川岩体东北、东和南部，距岩体 115～410 km。区域内地球化学异常分布广泛，其中金异常规模大，浓度分带性好，浓集中心明显，异常浓集中心基本反映了矿化的范围。在赵沟金矿床内分布的次生晕金异常，其形态呈不规则的近椭圆状，面积约 0.1 km^2，异常值 100×10^{-9}～150×10^{-9}，属中高异常，具低、中、高 3 级分带及浓集中心，其位置与矿体基本吻合。

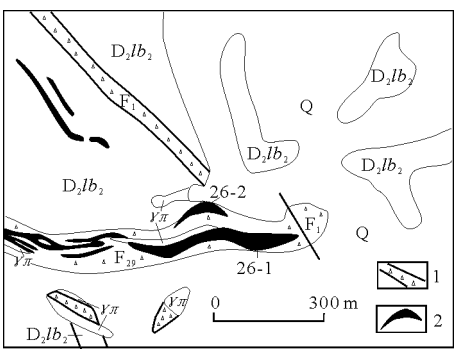

图 2 甘肃赵沟金矿床地质简图（据甘肃有色地质勘查局天水总队，2002）

Q—第四纪残坡积物及黄土；D_2 lb_2—粉砂质绢云母绿泥石板岩；$\gamma\pi$—花岗斑岩脉；1—破碎带；2—金矿体

2 矿床地质

2.1 矿体特征

赵沟金矿床共圈出 9 条金矿体（图 2）。其中规模大、品位较高、具工业价值的矿体为 26—1，26—2 号，这 2 条矿体平行产出，中间以花岗斑岩脉相隔，产于 F_{29} 断裂破碎带中，走向近 EW，倾角较陡，已控制 SN 宽约 100 m，EW 长约 700 m，延深 350 m。

26—1 号矿体出露长度 800 m，厚度 8.62 m，倾斜延伸大于 220 m，Au 平均品位 4.06×10^{-6}。矿体呈层状、似板状，EW 走向，向 S 或向 N 倾斜，倾角一般大于 65°，具膨大、收缩及分支复合现象。26—2 号矿体长 320 m，厚度 9.62 m，倾斜延伸大于310m，Au平均品位4.45×10^{-6}。矿体呈层状、似板状，近 EW 走向，向 S 或向 N 倾斜，倾角一般大于 70°，局部近于直立。

2.2 矿石特征

赵沟金矿床矿石中可被工业利用的有用元素仅为 Au，因此，矿石的自然类型仅划分为金矿石。工业类型属破碎带蚀变岩型金矿。根据矿石中铁的氧化程度分为氧化矿石（氧化率大于等于 70%）和原生矿石（氧化率小于 70%）。主要金属矿物有黄铁矿、白铁矿、褐铁矿，次为毒砂、闪锌矿、黄铜矿等。主要非金属矿物有绢云母、石英、方解石、绿泥石等。主要载金矿物为黄铁矿，次有毒砂及其他硫化物矿物、石英、绢云母、碳酸盐矿物等。矿石以他形、自形、半自形粒状为主，次有熔蚀、镶边、交代残余、共结边、压碎等结构。构造

黄金地质研究所
信息室 提供

以浸染状为主，其次有块状、松散状、脉—网脉状、角砾状。

矿石的化学成分见表3，除Au（4.60×10^{-6}）以外，其余微量元素含量均较低，其中有害元素As 0.14%，C 0.71%。矿石中SiO_2达63.34%，Al_2O_3 13.05%。金矿物主要为自然金，其形态主要为不规则状，其次为短柱、长条、浑圆状，金平均粒径0.003 5 mm，平均成色876。赋存状态为包裹体金（87.50%）、粒间金（8.33%）和裂隙金（4.17%）。

表3 赵沟金矿床矿石化学成分组成

$w(B)/10^{-6}$							$w(B)/\%$					
Au	Ag	Cu	Pb	Zn	S	As	C	Fe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
4.60	2.20	90	45	130	3.84	0.14	4.36	63.34	1.49	1.50	13.05	0.71

注：Au，Ag，Cu，Pb，Zn，S，As含量由甘肃有色地质测试中心分析，1998；其他由西北有色地质研究所分析，1998。

2.3 围岩蚀变

围岩蚀变主要表现为中低温热液蚀变，强度与矿化呈正比，主要有黄铁矿化、绢云母化、硅化，其次有绿泥石化、白云母化、黑云母化、碳酸盐化、毒砂化。

1）黄铁矿化，黄铁矿化普遍发育，是矿床主要蚀变类型之一，与金矿化关系极为密切。黄铁矿是重要的载金矿物，金矿化强弱与黄铁矿粒度、自形度有关。微细粒黄铁矿、他形粒状结构与金矿化关系十分密切，粗粒黄铁矿（0.5～3 mm）、自形粒状结构与金矿化关系次之，细脉状黄铁矿与金矿化关系不密切。

2）绢云母化，在矿石和围岩中均发育，亦是主要的蚀变类型之一。绢云母呈显微鳞片状、叶片状散布，多呈定向排列，在板岩的泥质条带中最为发育，与金矿化关系密切。绢云母亦是载金矿物之一，越向破碎带蚀变中心绢云母化越强，矿石品位越高。

3）硅化，常与黄铁矿化、绢云母化共生于矿化地段，形成褪色化的蚀变，与金矿化的关系密切。

4）毒砂化，与金矿化关系密切，毒砂多呈浸染状、细粒状、针状、细脉状或羽毛状，是载金矿物之一。

2.4 金的赋存状态及嵌布类型

矿岩石为粉砂质斑点状板岩及千枚状板岩、变质石英砂岩。金矿物以独立矿物为主，有金银矿、银金矿。自然金占87.57%，只有12.43%存在于硫化物和碳酸盐矿物中。自然金的粒度极细，其中0.005 mm粒级占32.94%，0.01 mm粒级占4.17%，即矿石中自然金的粒度有85.88%是小于0.01 mm。粒间金占8.33%，包裹金占87.50%，裂隙金占4.17%。主要载金矿物是黄铁矿、褐铁矿、碳酸盐、石英、绢云母等，绝大部分自然金是黄铁矿中的包体，赋存于黄铁矿等硫化物中的金占93.12%，脉石及其他矿物中的金占6.88%。金的颗粒不规则状占39.5%，三角状占14.5%，浑圆状占18.8%，长条状占15.70%，粒状占11.50%。

贵州水银洞金矿床

贵州贞丰水银洞金矿床位于贞丰县城北西直距20 km处。地理坐标：东经105°30′00″～105°33′38″，北纬25°31′00″～25°33′28″。隶属贞丰县小屯乡，矿区西端小部分属兴仁县回龙镇。矿区面积28 km^2。

20世纪80年代初对灰家堡背斜汞矿调查时，于水银洞矿区雄黄岩发现了含金矿化，开启了灰家堡背斜的找金历史。1982—1993年间，断续开展了水银洞地区找矿，仅发现由断裂控制的地表氧化矿体，一度认为区内无进一步找金价值。1983年于灰家堡背斜西段的紫木凼地区发现了紫木凼和太平洞大型金矿床，1993年完成了紫木凼金矿床的勘探，建立了“两层楼”找矿模式，1994年开展了灰家堡背斜的大比例尺成矿预测工作，选定水银洞地区为A类找矿靶区，产于龙潭组地层中的“楼下矿”为探寻对象，预测资源量50 t。1995年施钻验证发现了水银洞层控盲金矿床。仅2004年6月完成的中矿段勘探即获得平均10.95×10^{-6}的金资源/储量54.62 t，使水银洞金矿成为滇黔桂“金三角”又一个特大型金矿床，同时填补了中国无第Ⅰ勘查类型卡林型金矿的空白。近年勘查新增数十吨资源，水银洞金矿有望成超大型矿床。

黄金地质研究所
信息室 提供

1 区域地质背景

水银洞金矿产于黔西南卡林型金矿矿集区北部，区域上与烂泥沟、紫木凼、太平洞、戈塘、板其、丫他等一大批金矿床共同组成了黔西南金矿集中区，成为滇黔桂“金三角”的主体。

滇黔桂“金三角”大地构造位置位于欧亚板块、印度板块和太平洋板块的复合部位，即处于扬子古陆、江南地块与华北地块夹持的构造三角区，由于 3 个古陆区的分裂与聚合作用，导致了三角区裂陷盆地内的构造形迹基本平行古陆边缘展布，从而形成 NE，NW 与 EW 向相交互的三角形网络构造格架。古地块在印支晚期至燕山期发生明显的聚合作用，从而导致了裂陷盆地内的构造挤压，形成复杂的断裂、褶皱变形体系。根据盆地内构造与古地块的相互关系，可将盆地内构造划分为南盘江、北盘江和普安—安龙 3 个构造域。本区地壳结构具有双层结构，基底因晋宁运动的强烈影响而固结，盖层经历了加里东、华力西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动和局部岩浆作用，表现出中国南方大陆型地壳的欠稳定性。构造演化经历了早期拉张—裂陷—沉降和沉积及晚期的挤压褶皱造山作用和伸展隆升过程。

矿床位于黔西南金矿矿集区中部灰家堡矿田东段（图 1）。区域出露地层以三叠系地层分布最广，其次是二叠系；主要岩浆岩为峨眉山玄武岩，黔西

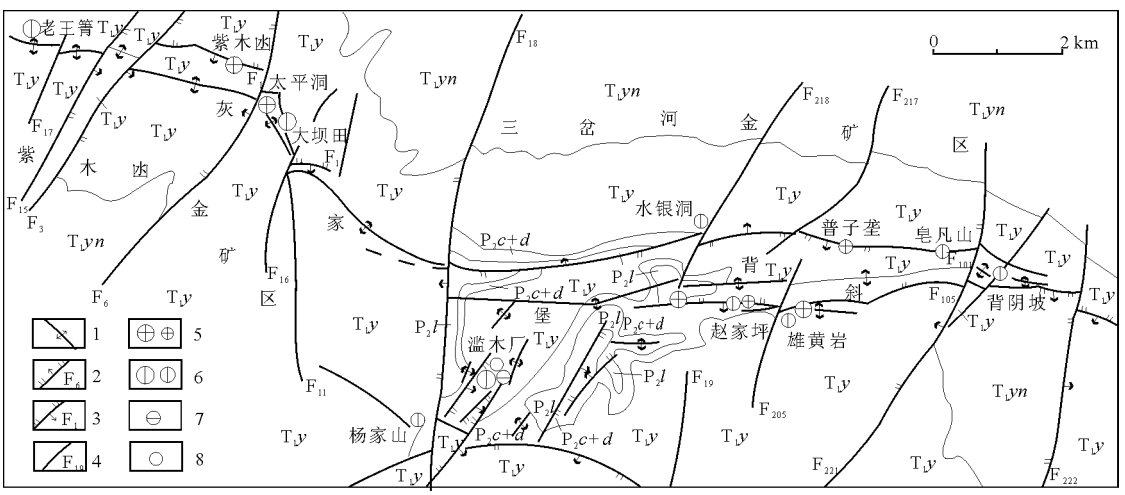

图 1 水银洞金矿区域地质简图

T_1yn—永宁镇组；T_1y—夜郎组；P_3c+d—长兴组、大隆组；P_3l—龙潭组；1—背斜；2—正断层；3—逆断层；4—性质不明断层；5—金矿床（点）；6—汞矿床（点）；7—铊矿床；8—砷矿点

南大、中、小型金矿床或金矿化点集中分布于峨眉山玄武岩的东侧；区内发育较多的短轴背斜和穹隆，已经发现的数十个 Au，Hg，Sb，Tl 矿床（点）几乎毫无例外地受这些背斜和穹隆的控制，如灰家堡 Au-Hg-Tl 矿带受灰家堡背斜控制等；断裂发育，岩石层间破碎强烈，中二叠统茅口组与上二叠统龙潭组之间存在区域性岩溶不整合面。

2 矿床特征

2.1 地 层

矿区地层从中二叠统茅口组到下三叠统夜郎组均有不同程度的出露，岩石类型主要为粘土岩、砂岩、粉砂岩、灰岩和白云岩等，矿区未见岩浆岩。

含矿岩系岩石为一套陆源碎屑岩与不纯碳酸盐岩多层交替出现的组合，单个碳酸盐岩层厚度薄（小于 5 m），岩石中普遍含有百分之几到百分之几十的玄武质火山碎屑，生物碎屑含量亦较高，矿体主要赋存于凝灰质生物碎屑灰岩中。水银洞金矿含矿岩系柱状剖面简图及含矿性特征见图 2。矿体产出于灰家堡背斜轴部附近 300 m 范围内，受层间破碎带（层间断裂）控制。矿体呈层状、似层状和透镜状产出，产状与岩层产状一致；矿体厚度薄、品位富，走向上与背斜轴部的舒缓波状一致，矿体在波状起伏的高点相对密集产出，向 E 倾没，在空间上具有多个矿体上下排布的特点。

2.2 构 造

水银洞金矿区内构造较发育，主要由近 EW 向灰家堡背斜及大致沿该背斜轴部展布的纵向逆断层组成，次为 NE，近 SN 向断层及不整合面构造。

水银洞金矿位于 EW 向灰家堡背斜东段中部，矿体主要分布在距背斜轴300 m的范围内。灰家

黄金地质研究所
信息室 提供

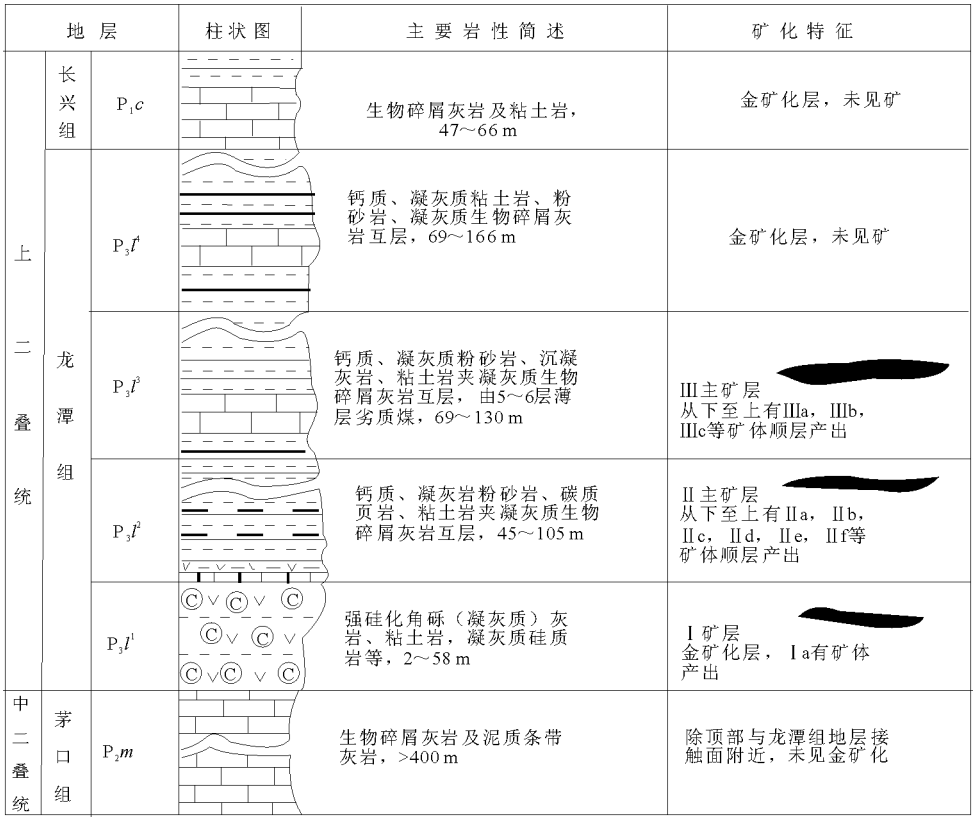

图 2　水银洞金矿含矿岩系柱状剖面简图

堡背斜是区域性构造，为一近 EW 向之宽缓短轴背斜，局部因后期改造而转为 NW 或 NNW 向。区内背斜长约 5.3 km，核部地层近于水平，两翼岩层倾角 10～20°，轴面近于直立。背斜核部长兴组形成的虚脱空间控制了水银洞金矿床“楼上矿”之产出。

EW 向断层发育于近背斜轴部，与背斜轴部基本平行，多为低角度逆断层，浅部稍陡而深部平缓。为含矿断层，并与背斜被同期断裂错断。其中 F_{105} 断层发育于灰家堡背斜南翼近轴部，区内长 2.7 km，东部延伸出图，倾角 45～55°。由东向西，断层强度逐渐变弱，破碎带逐渐变窄。该断层为水银洞金矿床“楼上矿”之控矿层，向东控制了雄黄岩金矿点的产出。断层具多期活动之特点，局部地段（赵家坪—高筒）因后期活动而表现为正断层。

NE 向断层主要出露在矿区西南部，为一系列大致平行展布的倾向 NW 的高度张扭性断层，在灰家堡背斜轴部附近还发育了一系列倾向 SE，倾角 28～45°的隐逆断层，并控制了水银洞金矿断裂型矿体的产出。

水银洞矿区中二叠统茅口组与上二叠统之间存在平行不整合面，不整合面之下为厚层至块状生物碎屑灰岩，属能干性渗透障，之上为龙潭组含煤细碎屑岩系，属非能干性不渗透还原障，在后期构造应力作用下，沿不整合面及其附近形成层间断裂，从而构成了热液迁移-容矿-遮挡的成矿及控矿组合。控制着矿区深部构造蚀变体中似层状、透镜状平缓型金矿体的产出。由于沿上述不整合面及其附近所形成的层间断裂为区域性构造活动的产物，具有区域性层间滑动构造性质，在较大范围内成为成矿热液运移的通道。

2.3　矿体特征

矿床赋存于海陆交互相二叠系龙潭组（P_3l）1～2 段及构造蚀变体（Sbt）中，其中 P_3l^2 夹的 3 层生物碎屑灰岩为最主要的含矿部位，在 50 m 距离内产出的矿体占矿床控制储量的 60%。

矿体以层控型为主、断裂型为辅的复合型隐伏矿床。层控型矿体产出于灰家堡背斜轴两侧近 300 m 范围内，呈层状、似层状产出，产状与岩层产状一致，具厚度薄、品位富，走向具波状起伏，向 E 倾没、空间上多个矿体上下重叠的特点。断裂型矿体产出于背斜近轴部的断距很小的缓倾斜逆断层中，严格受断层破碎带控制。

2.3.1　*层控型矿体*　水银洞金矿目前控制的共计 23 个矿体，以Ⅲc，Ⅲb，Ⅲa，Ⅱf，Ⅰa 层控型矿

黄金地质研究所
信息室 提供

体为最主要矿体，55个矿体资源/储量高达45 571.18 kg，占查明资源/储量的83.95%。

Ⅲc矿体呈层状—似层状产于灰家堡背斜近轴部南翼，赋存于龙潭组第二段中部的层状生物碎屑灰岩中，生物化石丰富，个体大、种类多、完整性好，主要产出腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类、海百合、棘皮动物等。顶底板为含碳质粘土岩。矿体倾向S或N，倾角5～10°，分布于16线至F_{11}之间。EW走向长约700 m，SN宽80～280 m，平均宽约220 m，于8线附近形成向北延伸280 m、宽约70 m的条带状矿体。平均品位16.19×10^{-6}，平均厚度1.91 m。金属量12 123.06 kg。

Ⅲb矿体呈层状—似层状产于灰家堡背斜近轴部，赋存于龙潭组第二段中下部的层状生物碎屑灰岩中，生物化石较丰富，与Ⅲc比较，化石较少，个体小、种类多、完整性差，顶板为粉砂质粘土岩，底板为碳质粘土岩及煤线。矿体倾向S或N，倾角5～10°。走向长约1 100 m，倾向延伸50～350 m。平面上呈两端向南延伸大而中间则呈条带状的“n”形态。距Ⅲc矿体底板25～35 m。西部受F_{162}逆断层影响，造成矿体产生重复（重叠宽度仅10 m）。矿段止于31线，以东矿体尚未封闭。平均品位13.95×10^{-6}，平均厚度1.68 m。金属量8 431.63 kg。

Ⅲa矿体呈层状—似层状产于灰家堡背斜轴部，赋存于龙潭组第二段底部的层状含泥质砂质生物碎屑灰岩中，生物化石较丰富，个体小、种类多、完整性差，主要产出腕足类、鲢等。顶板为粉砂质粘土岩，底板为碳质粘土岩。矿体倾向S或N，倾角5～10°，距Ⅲb矿体底板8～15 m。矿体EW走向长约800 m，倾向延伸50～330 m，平均宽约220 m。西部由于F_{162}逆断层影响造成矿体重复（重叠宽度仅10 m）。平均品位17.56×10^{-6}，平均厚度1.78 m。金属量12 328.37 kg。

Ⅱf矿体呈层状—似层状产于灰家堡背斜轴部，赋存于龙潭组第一段顶部的含泥质生物屑砂屑灰岩中，生物化石丰富，以盛产鲢科化石为特征，次有小个体的腕足类、头足类、腹足类、瓣腮类等。顶底板为粉砂质粘土岩。矿体平面上呈透镜状、条带状产出。距Ⅲa矿体底板5～11 m，倾向S或N，倾角5～10°。因矿化不均一而分散成3个矿体，其中最大的一个矿体走向长600 m，倾向延伸宽50～220 m，平面上呈条带状展布。另2个矿体则形态复杂。平均品位14.65×10^{-6}，平均厚度1.76 m。金属量5 629.16 kg。

Ⅰa矿体呈似层状产于灰家堡背斜轴部，赋存于P_2m与P_3l不整合界面的构造蚀变体中。构造蚀变体顶板为粘土质粉砂岩和粉砂质粘土岩，底板为灰色中厚层至块状生物灰岩。矿体EW走向长500 m，SN倾向延伸630 m。矿体形态与构造蚀变体形态一致，倾向S或N。平均品位6.87×10^{-6}，平均厚度3.11 m。金属量7 058.96 kg。

2.3.2 *断裂型矿体* 由F_{105}控制的“楼上矿”和龙潭组地层中由F_{162}，F_{163}，F_{164}，F_{165}等隐伏的盲断层控制的矿体2部分组成。“楼上矿”产出于F_{105}破碎带及其上盘牵引背斜核部虚脱空间，倾向S，矿体呈透镜状、似层状，因断层遭受强烈剥蚀，矿体分散零星，仅获得部分资源量。F_{162}，F_{163}，F_{164}，F_{165}控制的矿体呈透镜状产出于断层破碎带中，倾向E，倾角20～45°，矿体具膨大收缩现象，断层切错碳酸盐岩地段，其破碎带变宽，矿体厚大，而切错粘土岩地段，则破碎带变窄，矿体薄甚至局部不可采。

断裂型矿体获得资源储量2 834.26 kg，仅占5.18%。

2.4 矿石特征

根据容矿岩石特征而划分为3种工业类型。1）碳酸盐岩型：为矿床最主要的矿石类型，容矿岩石为硅化白云石化生物（碎屑）灰岩或硅化白云石化生物屑砂屑灰岩。该类型矿石占85%左右；2）硅质岩型：容矿岩石为硅质岩或者强硅化角砾状粘土岩，占14%左右；3）钙质（粉）砂岩型：容矿岩石为钙质砂岩和钙质粉砂岩，占1%左右。

金属矿物有黄铁矿、毒砂、赤铁矿、辉锑矿（偶见）、辰砂（偶见）、雄黄（偶见）、自然金（偶见）。非金属矿物有石英、白云石、方解石、水云母、绢云母、高岭石、有机碳。

金主要以包裹金形式存在，占95.22%，游离金占4.78%；其中硫化物含金占84.5%，硅酸盐矿物含金占9.88%，碳酸盐矿物含金占0.5%，其他成分含金占0.34%，黄铁矿是金的最主要载体。

矿石的结构主要有莓状、球状、胶状、自形晶、交代、假象等，构造主要有星散浸染状、缝合线、脉（网脉）状、晶洞状、生物遗迹、角砾状、条纹状、薄膜状等。

3 地球化学

3.1 硫同位素

刘建中等（2006）在钻孔中采集了Ⅱf，Ⅲc两

黄金地质研究所
信息室 提供

个矿层的矿石样品和矿石的顶板样品，进行了单矿物黄铁矿的硫同位素组成分析（表1）。

表1 水银洞金矿硫同位素分析结果

位置	岩性	矿体	$\delta^{34}S/‰$
ZK1618	碳酸盐岩	Ⅲc	7.00
ZK1404	碳酸盐岩	Ⅱf	3.18
ZK1130	碳酸盐岩	Ⅲc	6.72
ZK1618	粉砂质粘土岩	Ⅲc顶板	6.91
ZK1404	粉砂质粘土岩	Ⅱf顶板	6.01
ZK1130	粉砂质粘土岩	Ⅲc顶板	8.67

3.2 铅同位素

刘建中等（2006）采集了Ⅱe，Ⅱf，Ⅲa，Ⅲb四个矿层的矿石样品和Ⅲb矿层的近矿底板样品，分选出单矿物黄铁矿，开展铅同位素组成分析。

水银洞金矿矿石热液黄铁矿铅同位素组成有较大的变化，黄铁矿Pb同位素组成$^{206}Pb/^{204}Pb$为17.942～18.452，$^{207}Pb/^{204}Pb$为15.532～15.642，$^{208}Pb/^{204}Pb$为38.158～38.729（表2）。其组成的变化反映成矿物质可能具有多来源或混合成因。

Pb同位素组成具低μ值的特点，部分样品靠近低μ值上限（9.58），水银洞金矿黄铁矿铅主要来源于上地幔，并有上部地壳来源铅的混合或混染，成矿流体是与岩浆作用有关的深源成因。

表2 水银洞金矿矿石中热液黄铁矿铅同位素组成及有关参数

样品编号	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	模式年龄/Ma	ψ	μ	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
Ⅱe	18.361	15.56	38.452	153	0.582	9.39	15.003	26.208
Ⅱf	18.383	15.642	38.729	239	0.589	9.55	20.352	33.600
Ⅲa	18.304	15.54	38.501	169	0.583	9.36	13.699	27.515
Ⅲb－1	18.452	15.532	38.332	49.1	0.573	9.33	13.177	23.005
Ⅲb－2	17.942	15.56	38.158	457	0.61	9.44	15.003	18.361
Ⅲb－3	18.145	15.551	38.382	300	0.595	9.4	14.416	24.339

燕山期构造岩浆活动形成的成矿流体（幔源铅）上升溶解地壳铅和混入地壳淋滤铅，同时也包含地层铅在内的混合。

3.3 稀土元素

矿体稀土元素含量低（表3），ΣREE介于10.8×10^{-6}～37.0×10^{-6}之间，平均21.8×10^{-6}，δEu值在0.88～1.20之间，平均1.03，除个别样品具弱负异常外，均无Eu异常或正异常。围岩ΣREE高，平均241.9×10^{-6}，δEu值平均1.00，无异常。与矿体同层位的无矿段岩石，ΣREE比矿体高，平均48.1×10^{-6}，δEu值平均0.81，具弱负异常。灰岩的ΣREE平均9.59×10^{-6}，δEu平均0.65，具负异常。

表3 水银洞金矿矿石稀土元素分析结果及特征参数

样号	$w(B)/10^{-6}$															δEu
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	
Ⅲc－1	5.67	10.9	1.32	5.52	1.16	0.42	1.47	0.23	1.11	0.22	0.49	0.07	0.40	0.06	29.0	0.98
Ⅲc－2	2.37	3.85	0.68	3.66	1.76	0.96	3.39	0.45	1.70	0.25	0.46	0.05	0.33	0.04	20.0	1.20
Ⅲc－3	2.01	2.90	0.43	2.01	0.55	0.23	0.93	0.14	0.74	0.16	0.35	0.05	0.24	0.03	10.8	0.96
Ⅲc－4	2.73	4.92	0.61	2.84	0.97	0.37	1.33	0.20	0.77	0.14	0.25	0.04	0.18	0.02	15.4	1.00
Ⅲc－5	5.30	10.4	1.40	5.64	1.41	0.54	1.78	0.25	1.17	0.20	0.42	0.05	0.31	0.04	28.9	1.03
ZK1001－2	7.86	12.6	1.88	8.19	1.79	0.50	1.72	0.22	1.03	0.20	0.52	0.07	0.40	0.06	37.0	0.88
ZK1002－3	2.28	3.86	0.55	2.07	0.44	0.19	0.66	0.10	0.53	0.12	0.30	0.05	0.23	0.04	11.4	1.10
矿石	4.03	7.05	0.98	4.28	1.15	0.46	1.61	0.23	1.01	0.18	0.40	0.05	0.30	0.04	21.8	1.03
围岩	48.1	91.6	12.5	49.5	10.1	3.29	10.1	1.45	6.72	1.38	3.38	0.50	2.82	0.45	241.9	1.00
无矿段	10.2	17.5	2.37	9.63	2.07	0.56	2.17	0.31	1.42	0.32	0.75	0.12	0.61	0.09	48.1	0.81
灰岩	3.00	2.75	0.46	1.78	0.32	0.07	0.37	0.06	0.31	0.08	0.20	0.03	0.14	0.03	9.59	0.65

注：Ⅲc－4，Ⅲc－5为硅质岩型矿石，其余均为凝灰质生物碎屑灰岩型矿石；围岩以6件平均，岩性以粘土岩、粉砂岩为主，少量灰岩；无矿段2件平均，岩性均为含凝灰物质较多的灰岩；灰岩3件平均，岩性为茅口灰岩，位于含矿岩系底部。

从矿体稀土元素分布模式图可以看出，稀土总量低，曲线缓右倾，中稀土元素（Sm-Ho）间曲线明显上凸，有富集的特征，Eu无异常或具正异常。在与围岩、无矿段岩石以及茅口组灰岩的模式对比图（图3）上可以更明显地看出，矿体除了在总量上与围岩、无矿段岩石和茅口组灰岩有显著差别外，矿体具有显著的MREE富集的特征，而导致Sm-Ho元素高度富集的因素可能也是导致矿床

黄金地质研究所
信息室 提供

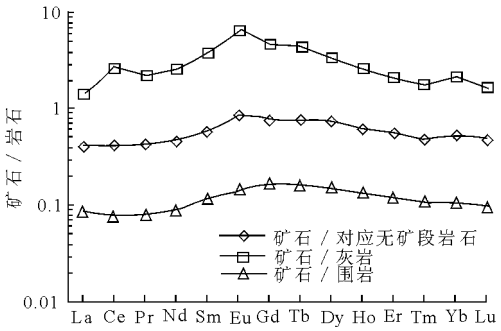

图 3　矿石与岩石稀土元素分布模式对比

形成规模较大、品位较高的关键因素。

4　矿床模式

浅部由断裂破碎带控制的与断层产状基本一致的金矿体及由断层上盘牵引背斜核部虚脱空间控制的金矿体称为“楼上矿”；深部产于龙潭组地层中受岩性控制的与地层产状一致的层控型矿体及盲断层控制的断裂型矿体称为“楼下矿”（图 4）。

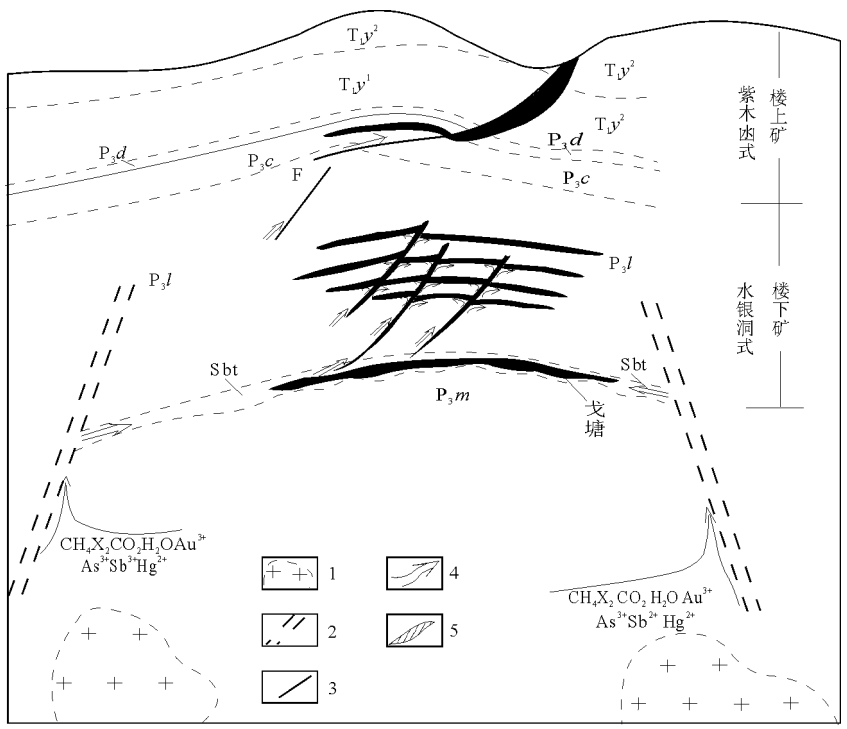

图 4　水银洞金矿床“两层楼”成矿模式示意图

P_2m—茅口组；Sbt—构造蚀变体；P_3l—龙潭组；P_3c—长兴组；P_3d—大隆组；T_1y^1—夜郎组一段；T_1y^2—夜郎组二段；1—隐伏花岗岩体；2—深大断裂；3—断层；4—矿液运移方向；5—金矿体

与深部隐伏花岗岩有关的富含 CH_4-N_2-CO_2 和 Au^{2+}，Sb^{2+}，Hg^{2+}，As^{2+}，H_2O 的热液，在燕山期区域构造作用下沿深大断裂上涌，沿 P_2m 与 P_3l 间的不整合界面（区域构造滑脱面）侧向运移（与岩石产生交代形成构造蚀变体，局部形成金矿体或矿床。如：水银洞Ⅰa 矿体、戈塘金矿床），于有利部位（背斜及断裂）富集成矿。

黑龙江争光金矿床

争光金矿位于黑龙江省嫩江县境内，地理坐标：东经 125°51′30″～125°54′30″，北纬 50°11′30″～50°13′ 00″。距多宝山大型斑岩铜矿约 10 km，位于三矿沟—多宝山—铜山—争光 NW 向铜-金-多金属成矿带南东部。2000 年黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查总院对卧都河幅 1∶20 万化探 HS－24，25，29 三个异常进行了 3 级查证时，在争光地区圈出了最具找矿远景的为 Ht－4 土壤异常，当年经工程槽探验证发现了 6 条金矿体。

2003 年 5～6 月，黑龙江地勘局在争光矿区 225 号勘探线施工验证了中科院课题组预测的第一个找矿靶位。深孔（ZK2253）进尺 501.8 m，结果全孔均为强烈的青磐岩化蚀变，其中累计厚度 100 余米为含金矿化带，最大矿化深度 487 m，最

黄金地质研究所
信息室 提供

大见矿深度 380 m。经化验分析，共圈出 7 层矿体，单个矿体厚度 1～7 m，最高品位 30×10^{-6}，推测该处靠近矿区的成矿富集部位。这一成果表明，争光金矿深部成矿热液活动规模和富集强度较大，有望找到大型岩金矿床。在此基础上，地勘部门又在 275 线边部施工了 1 个 500.4 m 深孔(ZK2751)，结果仍为全孔青磐岩化蚀变，最大矿化深度 300 余 m，最大见矿深度 45 m，含金矿化带明显变薄，最高品位为 3.36×10^{-6}，推测该孔可能位于矿带的边缘部位。以上 2 个钻孔验证结果及课题组提交的科研预测成果，为下一步布置钻探工程提供了关键性的科学依据。

2004 年 5～9 月，黑龙江地勘局与世界著名的澳大利亚瑞祥公司（Leyshon Resources Limited）合作成立的黑龙江宝山矿业有限责任公司在中科院课题组用伽玛能谱法圈定的蚀变带集中发育部位(第一个验证钻孔北侧)以 100 m×50 m～25 m 的网度施工完成了 30 个钻孔，总进尺 4 502 m，平均深度 150 m，分析岩心样品 2 500 多个，结果有 28 个钻孔见矿，见矿率达到 93%。

其中，在矿化中心部位完成的 29 号钻孔岩芯 Au 最高品位达到 580×10^{-6}，单矿体最大厚度达 44 m，矿体延深超过 100 m，矿带总体走向 SN—NNE，倾向 W，预计远景储量超过 20 t。

1 区域地质

区域出露地层主要有中奥陶统铜山组，多宝山组及二叠系星火组。铜山组由一套中性、中酸性火山岩、火山沉积岩夹火山熔岩构成，多宝山组为一套中性火山岩为主夹少量中酸性火山岩、火山沉积岩的海相火山岩系。多宝山大型斑岩铜矿、铜山铜矿等矿床赋存于中奥陶统多宝山组地层中。侵入岩分布有华力西中晚期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、斜长花岗岩、更长花岗岩；燕山早期花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩、闪长玢岩、斜长花岗斑岩。其中多宝山、铜山铜矿床与华力西中期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩关系极为密切。三矿沟铜-铁矿床与燕山早期花岗岩、闪长岩、争光岩金矿床与燕山早期闪长岩、闪长玢岩关系极为密切。构造分布主要为三矿沟—多宝山—裸河深大断裂，断裂带长约 35 km，宽约 20 km，断裂带由数条呈 NW 向断层、褶皱、韧性剪切带、片理化带组成。该构造带控制了华力西花岗闪长岩、花岗闪长斑岩及铜、钼、金矿产的分布。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

争光金矿目前发现控制金矿体 68 条，分为 3 个金矿带。Ⅰ号矿带（6 条矿体），Ⅲ号矿带（1 条矿体），Ⅱ号矿带，由 61 条矿体组成，争光金矿大部分主矿体分布在该带。矿区最具规模的矿体有Ⅱ—27，Ⅱ—15，Ⅱ—13 和Ⅰ—3。大部分矿体呈 NNE，NEE 及 NE 向分布。少量呈 NNW，NWW，NW 向。

Ⅱ—27 号矿体长度 206 m。呈 NNE 向脉状分布。最高品位为 59.58×10^{-6}，平均品位 4.78×10^{-6}。最大水平宽度为 12 m，平均宽度 4.5 m，最大延深（斜深）130 m，一般延深在 100 m 左右，沿走向、倾斜方向有分支复合，膨胀收缩现象。矿体厚度、品位变化较大。矿体产状：倾向 278°，倾角 55°。赋矿围岩大部分为蚀变闪长岩，少量为安山岩、绿泥绢云板岩。围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化（地表褐铁矿化），绢云母化。矿石类型为破碎带蚀变岩型。该矿体严格受 NNE 向构造破碎带控制。矿体经 6 条勘探线深部工程控制，其中有 5 条矿体向倾斜方向继续沿伸。远景规模还会扩大。

Ⅱ—15 号矿体长度 265 m，呈 NE，NEE 向分布。最大水平宽度为 12 m。平均宽度 3.50 m，最高品位 67.3×10^{-6}。平均品位 4.72×10^{-6}，最大延深（斜深）118 m。形态为不规则脉状，沿走向、倾向上有膨胀收缩现象，矿体产状较缓，倾向为 330～30°，倾角 35°，赋矿围岩大部分为绿泥绢云板岩，少量为凝灰岩，蚀变主要为硅化、黄铁矿(地表褐铁矿）化、绢云母化。矿石类型为含金石英-黄铁矿细网脉型。

Ⅱ—13 号矿体长度 195 m。总体呈 NNE 向分布，形态为不规则脉状，最大水平宽度为 5 m，平均宽度 2.4 m，最高品位 14.8×10^{-6}，平均 6.36×10^{-6}。矿体沿走向、倾向均有尖灭再现、膨胀收缩现象。连续性较差，该矿体往下还有延伸趋势，矿体大部分赋存在闪长岩内，少量赋存于绿泥绢云板岩，蚀变主要为硅化、黄铁矿（浅部褐铁矿）化、绢云母化，矿体严格受 NNE 向构造破碎带控制。

Ⅰ—3 号矿体长度 446 m，呈 NE，NNE 向分布，最大水平宽度 2 m。平均宽度 1.2 m。南西部矿体赋存在闪长岩、安山岩内，北东部矿体主要赋存在凝灰岩中，蚀变主要为硅化、褐铁矿化，其次

黄金地质研究所
信息室 提供

为绢云母化，矿体受NE，NNE向构造破碎带控制。

2.2 矿石特征

矿石类型主要为破碎带蚀变岩型，其次为含金石英细网脉型。金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、自然金、闪锌矿、褐铁矿、黝铜矿，其次为赤铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、铜蓝。非金属矿物主要有石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石。

矿石结构主要为半自形—他形粒状，构造有稠密浸染—团块状，浸染—条带状，脉状—浸染状。

2.3 围岩蚀变

与矿化有关的围岩蚀变主要有硅化（石英化）、绢云母化和黄铁矿（褐铁矿）化，上述3种蚀变矿物在空间上往往相伴产出，构成黄铁绢英岩化及绢英岩化，也是本区与金成矿最密切的一种蚀变组合类型。硅化呈细脉状与黄铁矿（褐铁矿）相伴产出，绢云母化呈鳞片状分布于矿体及构造破碎带、裂隙带中，与金的成矿最为密切的黄铁矿（褐铁矿）呈团块状、细脉、星点状，往往与团块、细脉状石英相互共存。此外，还有绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、钾化等。

3 地球化学特征

3.1 微量元素地球化学特征

区域地球化学原岩光谱分析显示（表1），主要岩性金的平均含量除安山岩外，其他4种均具较高的含金性，远远大于同类岩石丰度的几倍—几十倍。初步推测上述岩石可作为金的矿源层（岩），为金矿的形成提供了丰富的物源。其中含金最好的为绿泥绢云板岩，平均含金达157.3×10^{-6}。8种微量元素R型相关分析表明，Au与Ag，As，Pb，Zn关系密切。相关系数为0.81，0.76，0.69和0.58。表明成矿过程中，成矿元素Au与这些元素有相似的地球化学行为，反映出本区具备金成矿有利的地球化学条件。

表1 争光金矿岩石微量元素分析统计结果

岩石名称	$w(Au)/10^{-9}$	$w(B)/10^{-6}$						
		Ag	As	Sb	Cu	Mo	Pb	Zn
凝灰岩(133)	41.21	0.43	45.7	1.31	116.9	1.79	73.4	313.3
闪长岩(69)	37.7	0.52	78.01	1.53	151.3	1.52	36.17	347.4
安山岩(88)	14.2	0.3	22.96	0.86	102.1		24.1	214.5
绢云板岩(8)	157.3	1.01	51.55	5.04	147.11		137.44	314.61
次安山岩(41)	145.1	0.149	10.47	0.47	147.0		32.5	80.65

注：括号内数字为样品数。

3.2 稳定同位素

3.2.1 氢氧同位素 争光金矿含金石英脉氢氧同位素测试结果（表2）显示：$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$为1.1‰～15.6‰，平均10.1‰。$\delta D$为－63‰～－85‰，按Clayton的公式计算获得的$\delta^{18}O_{水}$为－0.2‰～－7.0‰。在δD-$\delta^{18}O_{水}$图上，本区6个样品投影点落在岩浆水、变质水与大气降水之间，靠近大气水一侧，表明有较多的大气降水参与，成矿流体呈现混合流体特征。成矿过程中，断裂破碎叠加，构造蚀变流体进一步活动，形成（第Ⅱ成矿阶段）富矿体。

表2 争光金矿稳定同位素分析结果

样号	矿石原岩	T_h/℃	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$/‰	$\delta^{18}O_{水}$/‰	$\delta D_{V\text{-}SMOW}$/‰	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
P－1	贫矿(闪长岩)*	170	7.3	－6.1	－67	17.85	15.15	36.62
P－2	蚀变岩(凝灰岩)		13.9		17.63	15.84	37.36	
P－3	富矿(绢云板岩)**	141	15.6	－0.2	－73	17.66	15.49	37.38
P－4	富矿(绢云板岩)**	159	10.1	－7.0	－85	17.95	15.36	37.02
P－5	贫矿(绢云板岩)*	176	12.1	－1.2	－63	17.71	15.49	37.39
P－6	蚀变岩(凝灰岩)	10.8			18.05	15.44	37.35	
P－7	蚀变岩(凝灰岩)		9.4			18.39	15.59	37.70
P－8	富矿(绢云板岩)**	133	14.2	－4.2	－79	17.63	15.52	37.38
P－9	富矿(凝灰熔岩)**	150	6.6	－0.56	－73	17.57	15.43	37.17
P－10	蚀变岩(凝灰岩)		1.1			17.68	15.44	37.26

1）氢氧同位素分析精度为±0.1‰，D，O为SMOW标准；2）表中T_h为实测平均值（空白为未测）；3）*第Ⅰ成矿阶段样品，**第Ⅱ成矿阶段（主成矿阶段）样品。

3.2.2 铅同位素 本区矿石铅同位素组成（表2）在$^{206}Pb/^{204}Pb$-$^{207}Pb/^{204}Pb$，$^{206}Pb/^{204}Pb$-$^{208}Pb/^{204}Pb$中数据投影点一组介于造山带与下地壳铅演化线之间，沿造山带和地幔铅演化线分布，说明其兼具地幔铅与造山带铅的双重特征。另一组投绘点表明成矿物质主要来源于地幔并有不同程度的地壳物质加入，反映地壳和地幔的混合趋势，表明岩浆上升过程中对地壳围岩的同化，以及岩浆流体和地下水对基底和盖层岩石中金属物质的萃取，为混合作用提

黄金地质研究所
信息室 提供

供了种种可能。

3.3 稀土元素

矿区岩、矿石 REE 分析结果表明（表 3）：1）富矿石∑REE 变化在 28.5×10^{-6}～66.75×10^{-6}；贫矿石∑REE 变化在 84.21×10^{-6}～116.75×10^{-6}；蚀变岩 ΣREE 变化在 111.3×10^{-6}～122.67×10^{-6}；近矿源岩∑REE 平均为 104.89×10^{-6}，远矿源岩∑REE 平均为 178.98×10^{-6}。2）除 P—10 样品外，均为铕负异常，富矿石为强负异常。除远矿源岩样品外，均为铈负异常。3）除远矿源岩样品的 ΣLREE/ΣHREE 值（10.5）较大外，其余样品 ΣLREE/ΣHREE 值变化为 1.9～6.2，反映

表 3 争光金矿岩矿石稀土元素分析数据 w（B）/10^{-6}

岩性描述		样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
富矿	绢云板岩	P—8	5.3	9.6	I.5	6.5	1.43	0.23	1.43	0.2	1.02	0.21
	绢云板岩	P—4	7.7	15.6	2.7	13.1	3.9	1.41	6.0	0.95	5.93	1.33
	绢云板岩	P—3	10.6	20.2	3.2	13.6	3.46	0.64	3.39	0.53	3.27	0.73
	凝灰熔岩	P—9	11.9	22.9	3.3	13.5	2.75	0.53	2.76	0.42	2.7	0.62
贫矿	闪长岩	P—1	12.9	42.9	6.1	25.4	6.24	1.33	5.7	0.91	5.24	1.16
	绢云板岩	P—5	15.3	23.7	4.2	17.4	4.1	1.03	4.42	0.76	4.79	1.08
蚀变岩	凝灰岩	P—7	18.6	41.1	5.9	25.0	6.0	1.38	6.1	0.97	6.18	1.35
	凝灰岩	P—2	19.0	41.4	6.3	25.8	5.62	1.33	5.58	0.83	4.49	0.97
	凝灰岩	P—10	16.9	39.3	5.3	22.3	5.07	1.77	5.87	0.92	5.47	1.14
近矿源岩凝灰岩		P—6	22.1	34.2	5.4	22.7	4.4	1.06	4.54	0.63	3.54	0.77
远矿源岩凝灰熔岩		P—11	34.5	75.9	8.2	37.0	6.3	1.22	5.4	0.77	3.8	0.8

岩性描述		样号	Er	Tm	Yb	Lu	∑REE	∑LREE/∑HREE	δEu	δCe
富矿	绢云板岩	P—8	0.52	0.07	0.43	0.06	28.5	6.2	0.48	0.76
	绢云板岩	P—4	3.9	0.51	3.24	0.48	66.75	1.9	0.88	0.76
	绢云板岩	P—3	2.24	0.31	1.96	0.27	64.4	4.02	0.55	0.77
	凝灰熔岩	P—9	1.87	0.28	1.87	0.28	65.68	5.0	0.59	0.8
贫矿	闪长岩	P—1	3.59	0.59	4.06	0.58	116.7	4.28	0.67	1.05
	绢云板岩	P—5	3.36	0.5	3.1	0.47	84.21	3.5	0.76	0.65
蚀变岩	凝灰岩	P—7	4.25	0.65	4.5	0.69	122.67	3.9	0.70	0.84
	凝灰岩	P—2	2.94	0.45	2.94	0.46	118.11	5.26	0.72	0.83
	凝灰岩	P—10	3.22	0.43	3.22	0.4	111.3	6.1	1.0	0.9
近矿源岩凝灰岩		P—6	2.38	0.36	2.44	0.37	104.89	5.9	0.79	0.68
远矿源岩凝灰熔岩		P—11	2.23	0.33	2.23	0.3	178.98	10.5	0.68	2.3

了贫富矿石和蚀变岩就地改造的特点。4）稀土分布曲线均为右倾，与富集型拉斑玄武岩特征相似。轻重稀土分馏性较强，轻稀土强烈富集。多宝山组作为矿源层，其稀土元素与含矿的闪长岩相比，稀土模式相似，反映二者的形成构造环境相似。

4 矿床成因

1）成矿物质来源，根据本区岩石地球化学特征分析，金的成矿物质主要来源于多宝山组凝灰岩、安山岩、绢云绿泥板岩，燕山早期闪长岩、闪长玢岩。2）热液来源，燕山早期侵入岩浆应为成矿热动力源，如同“加热场”，除自身岩浆水，大部来自大气降水或围岩水，经不断的热液对流循环，使围岩中的金发生大规模活化、迁移，在有利的构造部位富集成矿。3）成矿温度，矿区包裹体测温资料表明，主成矿阶段为 98～178 ℃。

内蒙古陈家杖子金矿床

陈家杖子金矿床位于内蒙古自治区赤峰市宁选县南部，大兴安岭中生代岩浆火山岩带的南端。该区为一重要金-银矿床产区，20 世纪六七十年代发现一批大中型金矿床，这些金矿床类型主要是与太古宙绿岩有关的石英脉型或石英脉与蚀变岩混合型金矿床。1998 年，内蒙古自治区赤峰地质勘查开发院通过检查 1∶5 万化探异常，首次在该地区发现了陈家杖子隐爆角砾岩型金矿，这一重要新发现

黄金地质研究所
信息室 提供

对该地区矿产勘查起到了重要的推动作用，引起了勘查界的广泛关注，其资源潜力得到了勘查专家的充分肯定。

1 地质背景

陈家杖子金矿床位于华北地台内蒙地轴马鞍山断隆南端，隆化—黑里河—叶柏寿 EW 向断裂与红山—八里罕 NE 向大断裂的交会部。中生代时期，由于太平洋板块的 NNW 向斜向俯冲，大兴安岭地区形成 NNE 向巨型隆起，地壳和岩石圈增厚，在挤压隆起顶部由局部拉伸作用形成断陷盆地，强烈构造挤压引起中—下地壳的韧性剪切，进而引起部分熔融。故而伴随断陷盆地的形成，发生强烈的酸性、中酸性火山岩浆喷发和侵入，形成大兴安岭火山岩带，并伴随广泛的铜-多金属成矿作用。在本区形成的岩浆岩主要岩石类型为中细粒黑云二长花岗岩、细中粒黑云母花岗岩、细粒石英闪长岩及隐爆角砾岩，并发育有流纹斑岩、英安玢岩等脉岩。陈家杖子金矿床即与该期构造-岩浆活动有关。

本区前寒武纪基底岩系为太古宇乌拉山岩群（建平岩群）角闪斜长片麻岩、变粒岩夹磁铁石英岩及元古宇长城系石英粉砂质板岩、变质长石石英砂岩。乌拉山岩群岩石蚀变、混合岩化较强，具有金的高背景，平均含金 7.25×10^{6}，为区内金矿的矿源层之一。由于后期岩体的侵入，该群多呈残留体分布，其总体构造线为 EW 向，反映了基底的总体构造格架。中生代中酸性火山岩带呈 NE 向不整合叠加于基底岩系之上，构成“立交桥式构造系统”。

2 矿区地质

陈家杖子金矿区零星出露有乌拉山岩群片麻岩及长城系碎屑岩系，主要发育燕山晚期（γ_5^2）花岗岩及隐爆角砾岩（图 1）。矿体严格受隐爆角砾岩筒控制，均赋存于角砾岩体内，隐爆角砾岩筒平面形态为椭圆形，长轴方向近 NW，长约 1 350 m，宽约 800 m，呈上大下小的漏斗状，面积约 1 km^2。

角砾岩体与围岩界线清楚，岩筒四周通常发育不完整的震碎角砾岩带。岩筒内部全部为角砾岩，角砾成分主要为花岗岩，局部有少量片麻岩类岩石，形状、大小不一，呈棱角、次棱角、透镜、卵石、滚圆状。岩筒中心角砾磨圆度较好，其表面具

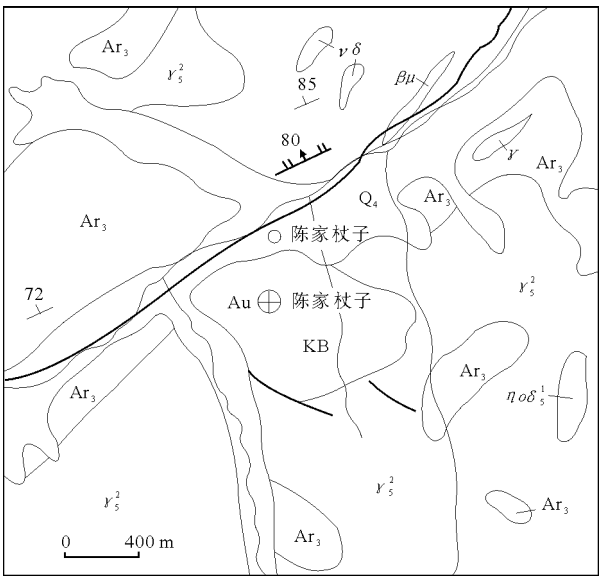

图 1 陈家杖子区域地质示意图

Q—第四系；Ar3—新太古界斜长角闪片麻岩；KB—隐爆角砾岩；γ_5^2—中细粒花岗岩；$\eta o\delta_5^1$—二长闪长玢岩；γ—花岗岩脉；$\nu\delta$—中细粒辉长岩脉；$\beta\mu$—辉绿岩脉

磨光、撞击擦痕、火烧皮等现象，直径一般 0.5～10 cm，大者 1 m 以上，胶结物为岩屑、岩粉、熔浆及气液物质、金属矿物等。

由角砾岩筒中心向外，碎屑粒度具有由细变粗的分带现象，岩体中心为隐爆角砾凝灰岩，向外逐渐变为隐爆角砾岩、集块角砾岩、震碎角砾岩（图 2），反映角砾岩体中心破碎强烈。角砾岩体围岩以花岗岩为主，岩石化学分析表明，角砾岩体岩石化学成分与围岩花岗岩基本一致（表 1），属铝过饱和型，里特曼指数为 1.8～3.0，钙碱指数为 58，分异指数为 84～95，属正常钙碱性系列。

隐爆角砾岩体被后期流纹斑岩、英安斑岩等岩脉、岩墙侵入。次火山岩脉与隐爆角砾岩之间化学成分亦相似，反映了隐爆角砾岩与胶结物及后期脉岩均属同源岩浆分异产物。

矿区围岩蚀变呈面型，具明显的分带性，自角砾岩筒中心向外依次：硅化-冰长石化，泥化-绢云母化；青磐岩化。矿区岩石普遍发育褐铁矿化。硅化-冰长石化的蚀变强弱与金矿化的强度一般呈正相关。

3 矿床地质

3.1 矿体特征

矿区已发现 2 个 NE 向金矿化带，近 20 个工业金矿体。矿化带分布于隐爆角砾岩体中西部，石英斑岩脉两侧，矿化带与地表圈定的 NE 向石英斑

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 岩石化学成分

岩石类型	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	K_2O	Na_2O
中粒黑云母钾长花岗岩	GS1	76.6	0.12	11.88	1.31	0.72	0.07	0.13	0.28	4.58	3.56
石英斑岩	CS2	75.52	0.1	12.37	1.66	0.5	0.07	0.08	0.2	7.17	0.22
流纹斑岩	GS3	72.49	0.18	13.32	1.35	0.61	0.36	0.04	0.28	7.94	0.2
隐爆含角砾凝灰岩	GS4	72.06	0.24	14.07	2.54	0.29	0.23	0.05	0.48	6.46	0.2
隐爆角砾凝灰岩	C4	70.76	0.29	14.54	1.67	0.71	0.34	0.01	0.11	7.73	0.31

岩石类型	样号	P_2O_5	TFe	H_2O	挥发分	总量	δ	DI	I	ALK
中粒黑云母钾长花岗岩	GS1	0.02	2.11	0.28	0.32	99.95	1.972	94.78	69.33	8.14
石英斑岩	CS2	0.03	2.22	1.52	1.54	101.04	1.679	90.58	121.5	7.39
流纹斑岩	GS3	0.04	2.53	1.71	1.76	101.35	2.247	88.53	75.67	8.14
隐爆含角砾凝灰岩	GS4	0.07	2.86	2.65	2.75	102.15	1.526	54.57	57.97	6.66
隐爆角砾凝灰岩	C4	0.2		3.11	0.01	99.79	2.329	87.5	49.07	8.04

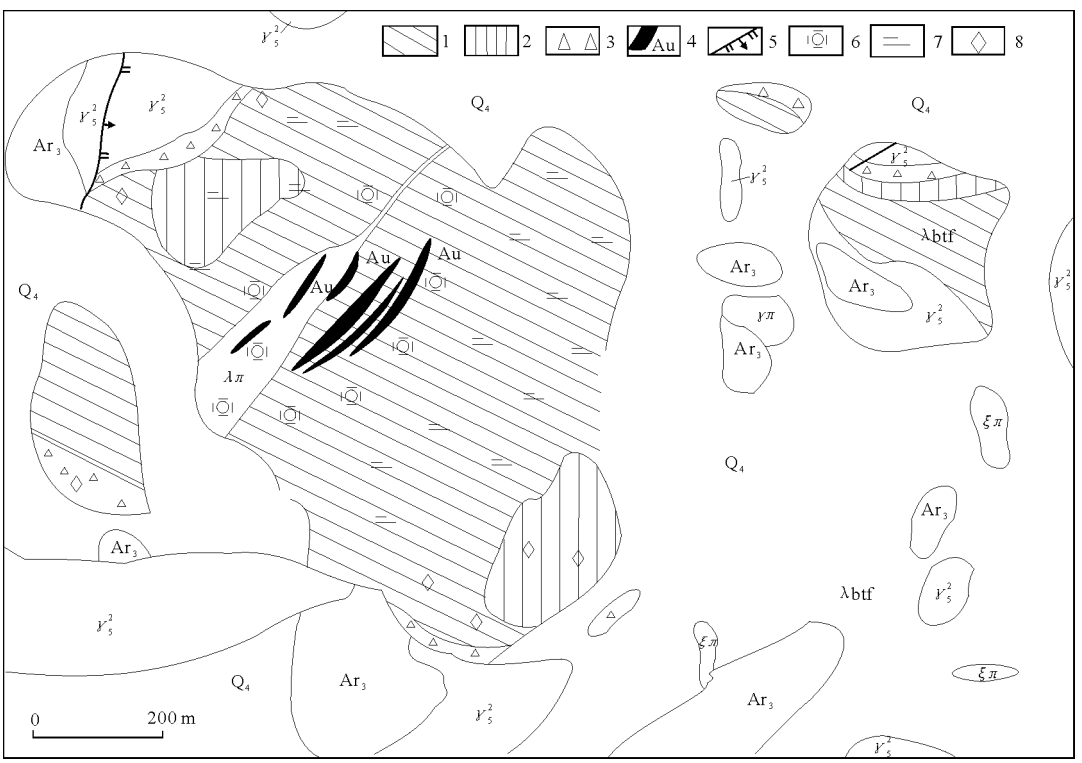

图 2 陈家杖子隐爆角砾岩体分带

Q4—第四系；Ar3—角闪斜长片麻岩、花岗片麻岩；γ_5^2—中细粒黑云母钾长花岗岩；γπ—花岗斑岩脉；λπ—石英斑岩脉；ξπ—英安斑岩脉；1—隐爆角砾凝灰岩；2—隐爆角砾岩；3—震碎角砾岩；4—金矿体；5—断层；6—硅化、冰长石化带；7—硅化、绢云母化带；8—青磐岩化带

岩脉走向一致，其中Ⅰ号矿化带位于岩筒中心东南侧，现控制矿化带长 360 m，宽约 140 m，见有 1，1—2，2，3，3—1 号矿（化）体；Ⅱ号矿化带位于岩筒中心北西侧，现控制矿化带长 320 m，宽约 160 m，见有 4，4—1，4—2，4—3，4—4 号矿（化）体，5，5—1，6，7，7—1，7—2，8，9 号矿体为隐伏矿体，矿化带与矿体产状一致，走向 40°左右，倾向 SE，倾角 50～60°，单一矿体厚 0.41～15.86 m，延长几十至百米不等，延深几十米至 160 m，呈脉状、透镜状，部分变厚加富部位呈囊状，部分矿体沿走向具分支复合收缩膨胀的现象，金品位一般为 1.5×10^{-6}～22.5×10^{-6}，最高可达 55.4×10^{-6}。金矿体除受硅化-冰长石化带、泥化-绢云母化带控制外，还严格受裂隙密集程度控制，往往裂隙密集区与超浅成斑岩脉接触地段，矿体品位高。

3.2 矿石特征

矿石主要为自形、半自形、他形粒状结构，乳滴状、交代残余、压碎结构；浸染状、裂隙充填、块状、胶结角砾状及团块状、细脉—网脉状构造。

黄金地质研究所
信息室 提供

矿石类型比较简单，1）热液充填交代型：该类矿石主要见于石英斑岩脉两侧，沿裂隙充填，具褐铁矿化、硅化，可见浸染状黄铁矿及毒砂，自地表至940 m标高范围内，矿石为烟褐色，在构造线及构造密集区内发育，明显沿裂隙面表现重结晶现象；2）热液网脉型：矿石由较发育的金属细脉及网脉组成，毒砂、闪锌矿、黄铁矿细脉均在1～5 mm之间，主要分布在隐爆角砾岩与石英斑岩(英安玢岩）中，贯入角砾凝灰岩接触带，自940～300 m标高，为主要矿石类型。

3.3 矿石物质成分

由于不同成矿期所形成的金属矿物，非金属矿物的叠加，导致矿体中矿物成分复杂。目前已初步查明金属、非金属矿物有近30种之多。金属矿物为自然金、银金矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、辉铜矿、黄铁矿、毒砂、白铁矿、砷黝铜矿、褐铁矿等；非金属矿物为石英、钾长石、斜长石、冰长石、绿帘石、黝帘石、绢云母、绿泥石、高岭石、蒙脱石、地开石、水白云母、重晶石、黄钾铁矾、方解石、铁白云石、菱锰矿。矿石中主要矿石矿物为黄铁矿，含量在0.5%～40%，一般小于2%；毒砂0.2%～20%，一般0.3%～5%；闪锌矿0.1%～20%，一般0.2%～1%；黄铜矿微量至20%，一般微量者居多；胶状黄铁矿1%～20%，一般为1%左右。可以看出矿体中金属矿物分布是不均匀的。

3.4 金属矿物生成顺序及成矿期次

1）金属矿物生成顺序，依据矿物的共生组合特征及其相互间的穿插、交代关系等，矿石中主要金属矿物生成顺序：毒砂$_1$-黄铁矿-闪锌矿、自然金、银金矿、黄铜矿$_1$-黄铜矿$_2$、方铅矿-毒砂$_2$-胶状黄铁矿-白铁矿-褐铁矿、铜蓝。毒砂呈半自形粒状结构，以半自形粒状集合体或单晶呈不均匀脉状或浸染状分布于矿石中，形状有楔形、菱形、长条形、三角形及不规则梯形等，粒径0.01～0.30 mm，与黄铁矿同时或略早于黄铁矿生成，被闪锌矿、黄铜矿熔蚀交代成不完整状。金矿物绝大多数嵌存在其中。闪锌矿呈他形中粗粒状结构，以他形粒状集合体呈稠密浸染状或脉状分布于矿石中。在毒砂与闪锌矿粒间有金矿物嵌存。方铅矿在矿体中含量较少，但是在毒砂与方铅矿粒间常有金粒产出。黄铁矿呈半自形、自形粒状结构，以正方形、长方形板状单晶或集合体分布于矿石中，粒径0.06～0.26 mm，部分小于0.05 mm，被闪锌矿、黄铜矿熔蚀交代，局部黄铁矿被白铁矿交代。第一世代黄铜矿呈乳滴状分布在闪锌矿与脉石中，与闪锌矿同时生成，第二世代黄铜矿呈他形片状、粒状浸染分布在非金属矿物和闪锌矿、黄铁矿及毒砂矿物粒间及裂隙处，熔蚀交代上述矿物，尤其是与闪锌矿接触部位熔蚀闪锌矿更明显，粒经0.08～0.40 mm，小者为0.05 mm。金矿物赋存状态以粒间金、裂隙金为主，含量分别为41.92%，43.95%，包裹金仅占14.13%。

2）成矿期次，早期成矿与石英斑岩关系密切，随着超浅成斑岩的形成，深部流体向隐爆角砾岩渗透、扩散、交代成矿，金属硫化物呈星点状、稠密浸染状、稀疏浸染状、斑点状分布，有用元素为金，品位较低；晚期成矿与贯入角砾凝灰岩关系密切，第二次隐爆破坏了早期形成的矿体及超浅成斑岩脉，矿石呈团块、角砾状分布，稍后贯入角砾凝灰岩携带含矿热液的侵入使矿石变富，且产生不同规模、不同方向的细脉或网细脉群，这些裂隙对金矿体起着控制作用。

3.5 矿体围岩与蚀变特征

矿体主要赋存于隐爆含角砾岩屑晶屑凝灰岩、贯入角砾凝灰岩、超浅成斑岩中，但矿体与围岩为渐变关系。本区围岩蚀变强烈，近矿围岩蚀变主要为硅化、冰长石化、碳酸盐化、黄铁矿化、绢云母化、泥化等；远矿围岩蚀变有绿泥石化、绿帘石化、方解石化，局部重晶石化等，地表普遍褐铁矿化，次为黄钾铁矾化。

4 地球物理

对矿床物性特征的研究表明：1）隐爆角砾岩具有弱磁性特征（表2），由于隐爆作用，原岩结构被破坏，磁化方向发生变化，导致部分磁性相互抵消；2)隐爆角砾岩类具有较高的激电效应，相

表2 岩石磁性参数统计

类 别	岩石名称	样品数	磁化率/10^{-6}CGSM
花岗岩类	黑云二长花岗岩	30	578
	黑云钾长花岗岩	2	70
	石英闪长岩	8	546
片麻岩类	角闪斜长片麻岩	3	170
隐爆岩类	混合片麻岩	12	1 530
	隐爆角砾岩	18	9
	长石斑岩	6	5
	石英斑岩	6	5
	二长斑岩	2	60
其他类	石英岩	2	130
	铁矿石	1	5 640
	矿化蚀变斑岩	1	4

黄金地质研究所
信息室 提供

对较低的电阻率（表 3），显示低阻高极化特征，极化率离散程度较大，可能受其矿化程度、硫化物含量的影响。

表 3 电性参数特征

岩石名称	样品数	极化率/%		电 阻 率/Ω	
		变化范围	平均	变化范围	平均
隐爆角砾岩类	26	1.7～5.6	2.92	78～189	125.8
花岗岩类	4	1.1～1.8	1.43	164～251	219.0
片麻岩类	4	1.9～2.4	2.05	127～161	142.0

物性参数结果表明高极化、低阻、低磁，基本反映了区内矿化蚀变的特征规律。因此，本区存在运用高精磁法、激电方法圈定隐爆角砾岩筒形态范围的物性条件和据极化率的反映推测存在矿化体的地球物理前提。

矿床在平面上发育一近 EW 向似椭圆状激电异常，视极化率最高值 14.2%。异常长轴约 1 350 m，短轴约 800 m，平面等值线密度分布较均匀，极化体产状无明显反映。激电测深显示近地表有一层极化体存在，地表下 40 m 后出现第二层极化体，从曲线分析，40 m 以下异常应为 2 层极化体叠加的共同反映，说明向深部异常明显升高。

根据中国地质科学院物化探研究所采用大探测深度阵列 MT 方法在矿区的测量研究，利用观测资料分析及遥测阵列电磁法派生场相位异常处理，在地表下 400～700 m，出现相对低阻率及派生场相位异常，与激电测量结果一致。DPEM 派生场相位异常断面形态反映为一不规则长方形，长约 320 m，宽约 240 m。据此可以推测近地表异常为金矿化引起，而深部异常为金-铜-多金属矿化所致，揭示矿区中深部具有找矿远景。

5 地球化学

陈家杖子地区共圈出 9 处 1∶5 万水系沉积物 Au 异常。其中陈家杖子矿床与 As 异常吻合，异常形态近椭圆形，面积 2 km^2，Au，Ag，Cu，Pb，Zn，As，Sb，Sn，Bi 等元素异常套合好，浓集中心明显，浓度分带清楚。其中金峰值为 12×10^{-9}，均值 7.52×10^{-9}。通过钻孔取样，对隐爆角砾岩岩筒的元素垂向分带序列进行分析研究，认为该矿床元素具有如下垂向分带序列：上部（900 m 标高以上）Hg，As1，Sb；中部（800～900 m）Zn1，Au，Ag，Pb1，Cu1，W；下部（800 m 以下）Mo，Sn，Bi，Cu2，Pb2，As2，Zn2。总体特征：Hg，As，Sb 在矿体的前缘异常强度相对较高，矿体下部（800～700 m 标高）出现了 Cu，Pb，Zn，As 元素的强异常，预示着金矿体下部可能存在铜-多金属矿体。钻孔已证实 ZK8 号孔 247.3～248.3 m 处见到工业铜矿体，Cu 品位为 4.08%；ZK10 号孔 211.35～227.45 m 之间 3 条铅-锌矿体，Pb＋Zn 品位为 1.86%～2.75%，显示该矿床具备上金下铜（铅、锌）的地球化学特点。

6 成矿机制

研究表明，斑岩型矿床有多种形式的成矿系列，可以为二位一体、三位一体甚至五位一体。通过对陈家杖子矿床地质特征、地球物理、地球化学特征、成矿条件和物质来源的分析研究，可见该矿床应是斑岩成矿系统的一部分。矿床本身与隐爆角砾岩体关系密切，应为隐爆角砾岩型金矿床，成矿在空间上、时间上受隐爆角砾岩、石英斑岩的制约。矿床总体应构成一斑岩型金（铜）矿床系列。初步预测总结矿床成因模型如图 3 所示。陈家杖子隐爆角砾岩型金矿位于该成矿系统顶部，矿床深部斑岩体的内外接触带附近应是主要的金（铜）矿化部位。

成矿机制：在岩浆活动晚期，气液组分在岩体顶部聚集形成强大的内压，经地质作用诱导，气液流体沿上覆岩石的构造裂隙或脆弱带急剧释放能

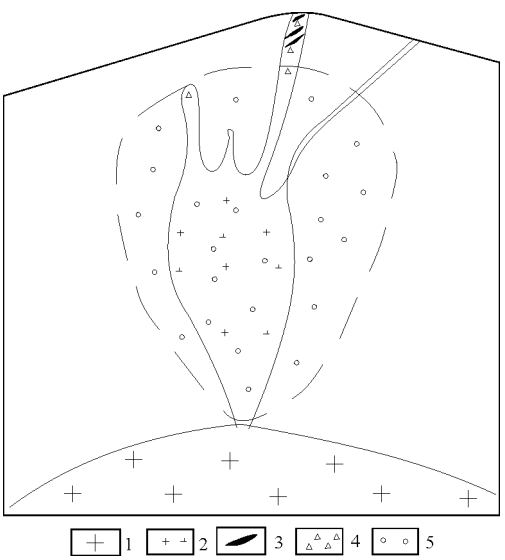

图 3 陈家杖子金矿预测模型

1—花岗岩基；2—中酸性斑岩体；3—金矿体；4—隐爆角砾岩体；5—铜-多金属矿化

黄金地质研究所
信息室 提供

量，将通道上的岩石爆裂形成角砾，尔后晚期的热液携带含矿物质并溶解围岩矿质上升，在隐爆形成的裂隙中充填成矿，并将角砾胶结形成角砾岩。

从区域地质环境和矿床地质特征分析，成矿物质的来源具有多元的特点，一部分来源于火山、次火山热液，一部分来源于基底变质岩。燕山晚期火山岩浆活动的期后残余熔融体，富含挥发分与矿质并熔融萃取围岩的成矿物质，形成富含 Au，Cu 的热水溶液，从下往上推移，在隐爆角砾岩体裂隙中沉淀堆积，形成矿体。

7 资源潜力及找矿方向

陈家杖子金矿目前控制的资源量已达中型规模。倾向上，随着矿体延深增加，具有厚度增大、品位变富的趋势。钻探工程显示，在标高 800 m 以上见到金矿体，800 m 以下铜含量逐渐增高，并发育铅、锌-多金属矿化，见到了 Cu 品位为 4.08% 的矿体及 3 条铅-锌矿体，显示出上金下铜的特点。对矿床的 DPEM 视电阻率—阻抗测量及激电测量显示，在矿床深部存在有低阻体，推测为斑岩体的主要矿化部位。

目前查明的陈家杖子金矿床为斑岩成矿系统的顶部，推测其深部赋存有金、铜-多金属矿体，应具有大型以上矿床的资源潜力。因此，建议加强该矿床深部的勘查工作，对该矿床进行解剖、评价，以期扩大资源远景，并建立矿床模型，指导区域矿产勘查工作。

赤峰南部地区位于华北地台北缘 EW 向构造与 NE 向大兴安岭火山岩带的交会部位，前寒武纪结晶基底被中生代岩浆火山岩带侵入和覆盖，形成了一套广泛分布的火山、次火山岩系，成矿地质条件优越，该区属于多伦—赤峰斑岩铜-钼成矿带，是寻找斑岩型矿床的有利地区。陈家杖子金矿外围已发现有多处类似的热液隐爆角砾岩筒，这些隐爆角砾岩筒一般均伴有地球化学异常，有成群、成带分布的特点，显示良好的找矿信息。因此，在区域上应以物化遥手段为先导，寻找以隐爆角砾岩筒为标志的斑岩（潜火山岩）型金-铜-多金属矿床。

山东发云夼金矿床

发云夼金矿床是近年在胶莱盆地东北缘发现的一个大型金矿床。位于山东省烟台市牟平区宋家沟村—发云夼村之间，故又有学者称之为宋家沟金矿。

1 区域地质概况

与胶东其他类型金矿不同，发云夼（宋家沟）金矿既不产于花岗岩中，也不产在老变质岩中，而是位于胶莱盆地东北缘 NE 向崖子断裂与 NW 向谭家—松椒滑脱拆离断层交会处、白垩系莱阳组砾岩中。从平面上看，胶莱盆地总体上呈一长轴为 NE 向的菱形展布，自下而上分别沉积有下白垩统莱阳组（K_1l）、下白垩统青山组（K_1q）、上白垩统王氏组（K_2w）和第三系黄县组（E_1h），为一套陆相碎屑岩和中酸性火山喷发沉积。基底岩系主要是太古宇胶东群和下元古界荆山群变质杂岩—混合岩—花岗岩，是胶东地块上的原始矿源层。区内岩浆岩分布广泛，西部为大面积分布的鹊山花岗岩，东部以昆嵛山花岗岩为主。脉岩发育，主要有闪长岩、闪长玢岩、煌斑岩、花岗斑岩等；矿区内以煌斑岩、闪长（玢）岩为主。

区内线性构造发育，其中沿莱阳组砾岩与元古宇荆山群不整合面，发育沿盆地边缘产出的拆离断层带，是区内金矿床的主要控矿、导矿构造。发云夼（宋家沟）金矿的主要的金矿体均赋存在其次级滑脱断层中（图 1）。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

在盆地内林寺山组砾岩中已发现近于平行的 3 条矿化蚀变带，长 2 300～3 300 m，宽度 120～240 m。带内岩石较破碎，黄铁矿化绢云母化碎裂状蚀变强烈的砾岩构成金矿体。已初步控制了 5 个金矿体，分别为Ⅰ-1，Ⅰ-2，Ⅱ-1，Ⅱ-2，Ⅲ-1 号，其中Ⅰ-1，Ⅰ-2，Ⅱ-2 号规模较大。矿体长 330～1 250 m，厚度 0.74～11.64 m，总体呈似层状、不规则条带状、扁豆状，走向 45～55°，倾向 SE，倾角 65～75°（图 2），主要工业矿体位于深部 80～120 m 之间，地表品位较低或仅具矿化直至无矿，但普遍具有绢云母化、褐铁矿

黄金地质研究所
信息室 提供

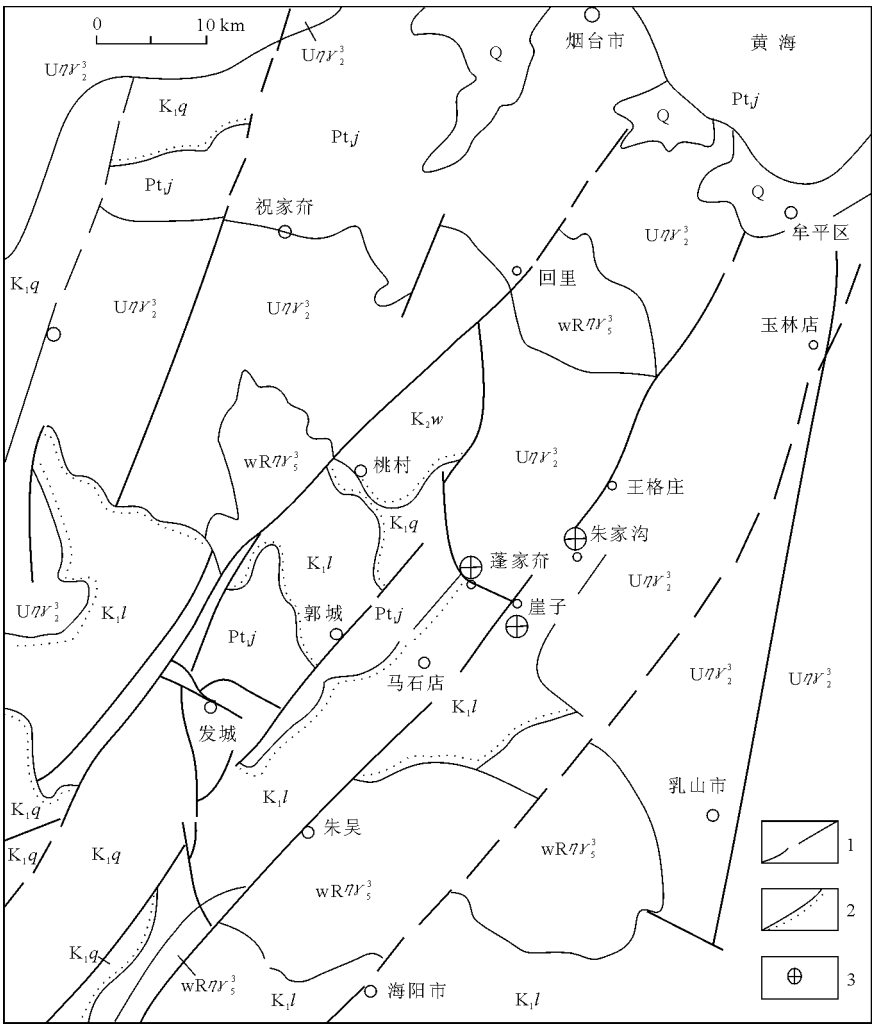

图 1　发云夼金矿区地质简图

Q—第四系；K$_2w$—王氏群；K$_1q$—青山群；K$_1l$—莱阳组砾岩；Pt$_1j$—荆山群变质岩系；wR$\eta\gamma_5^3$—伟德山超单元任家沟单元；U$\eta\gamma_2^3$—玲珑超单元九曲单元；1—实测及推测断裂；2—不整合地质界线；3—金矿点

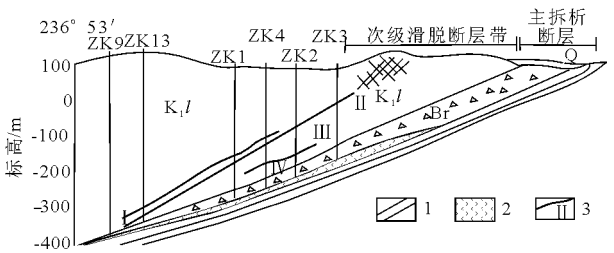

图 1　发云夼金矿床地质剖面图

Q—第四系；K$_1l$—莱阳组砾岩；Br—角砾岩；1—糜棱岩；2—煌斑岩；3—矿体及编号

化。矿体总体受矿化带控制，深部矿化较好，显示出隐伏矿体的特征。

Ⅰ—1 号矿体，赋存于Ⅰ号矿化带中，长 400～1 250 m，平均厚度 4.90 m，控制斜深 270 m。矿体呈透镜体状，总体走向 55°，倾向 SE，倾角 73°，平均品位 6.39×10^{-6}。矿体位于构造角砾岩带下盘 10～30 m 处，其厚度变化系数为 80.71%，品位变化系数为 142.94%。矿石主要为黄铁矿化绢云母化碎裂状砾岩，次为黄铁矿化绢云母化构造角砾岩，属于蚀变砾岩型矿石。

Ⅰ—2 号矿体，矿体赋存于Ⅰ号矿化带中，与Ⅰ—1 号矿体斜列产出。长 265～530 m，平均真厚度 7.78 m。矿体总体走向 45～55°，倾向 SE，倾角 65～75°，平均品位 5.16×10^{-6}，最高品位 355.08×10^{-6}。厚度变化系数为 103.71%，品位变化系数为 159.02%。矿石岩性为黄铁矿化绢云母化碎裂状砾岩。

Ⅱ—1 号矿体，赋存于Ⅱ号矿化带内，地表出露长度约 330 m，宽 0.80 m。呈透镜体状，走向 54°，倾向 SE，倾角 68°。平均品位 3.92×10^{-6}，平均真厚度 0.74 m。

2.2　矿体的物质成分

2.2.1　*矿石矿物成分*　矿石中金矿物为银金矿、

黄金地质研究所
信息室 提供

自然金。其他金属矿物主要有黄铁矿，少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿等；非金属矿物与原岩成分相同，主要为斜长石、石英，少量钾长石、白云母、粘土质和碳酸盐类矿物，多数重结晶成绢云母和方解石等。

2.2.2 *矿石化学成分* 矿石的化学成分见表1。光谱分析结果见表2。从表1中可以看出，矿石中Fe_2O_3，K_2O，Na_2O，Al_2O_3含量较高，显示与黄铁矿的高含量和交代过程中钾、钠的带入有关。与蓬家亦金矿相比SiO_2，Fe_2O_3，K_2O+Na_2O的含量明显偏高；而FeO，CaO，MgO，烧失量较低，说明了蓬家亦金矿中还原作用较强，大理岩（钙、镁）质成分较多（含较多荆山群地层），碳质成分较高，与其原岩的成分和条件有关。

表1 矿石化学全分析结果 w（B）/%

样品编号	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	烧失量	合计
006YQ9	68.97	11.40	7.01	0.89	0.24	0.53	0.50	3.46	2.57	0.009	0.08	3.76	99.42
006YQ10	69.31	9.06	10.12	0.30	0.15	0.84	0.54	2.85	2.50	0.026	0.08	4.12	99.90
996YQ06	40.32	12.24	1.21	5.66	0.75	8.78	7.11	4.06	0.30	0.133	0.25	18.25	99.06

表2 矿石光谱定量分析平均含量结果 w（B）/10^{-6}

样品位置	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	B	Mo
黄铁矿脉(1)	252.0	25.0	729.9	12.5	8.50	4 710	16.5	0.184	10.30	10.25
Ⅰ—1号矿体(6)	9.24	0.82	18.05	43.25	7.30	194.4	0.86	0.054	41.75	8.44
Ⅰ—2号矿体(6)	10.74	0.90	75.76	25.41	66.2	223.4	1.54	0.056	39.69	8.66
构造角砾岩(6)	0.59	0.30	18.35	50.43	8.74	103.4	0.83	0.048	33.37	10.26
围岩(12)	0.13	0.15	14.19	25.99	8.20	40.82	0.60	0.054	33.17	7.00

样品位置	Mn	W	Bi	Ni	Co	Ti	V	Sn	Cr
黄铁矿脉(1)	304.7	2.60	0.30	10.00	20.20	1 705.20	30.10	1.0	10.1
Ⅰ—1号矿体(6)	734.1	3.39	0.64	7.36	8.44	1 751.54	97.94	2.9	20.8
Ⅰ—2号矿体(6)	588.3	2.44	0.70	7.91	10.26	1 578.85	71.22	3.3	49.1
构造角砾岩(6)	794.7	2.75	0.62	7.73	7.46	1 357.4	43.07	2.8	20.3
围岩(12)	762.9	4.12	0.39	6.06	5.31	1 643.93	49.75	2.5	17.5

注：括号内为样品数。

从表2中可以看出，Au在围岩中含量极低，构造角砾岩中已达矿化，在矿体尤其是黄铁矿脉中金含量较高。Ag，Cu的含量在黄铁矿脉中较高，在矿体中含量较低。Ⅰ—2号矿体铜含量比Ⅰ—1高。与围岩相比，As，Sb含量在矿体中明显高于围岩，尤以黄铁矿脉为最高。而V，Co的含量稍高于围岩，其他元素含量在矿体与围岩中差别不大。

表3反映了矿石中主要伴生元素Ag，Cu，Pb，Zn含量均较低，S除部分可达综合回收指标外，大多品位较低，无综合利用价值；有害组分As的含量甚微，不会对矿石的选冶产生影响，因此矿石属单一矿种。

表3 矿石组合分析结果

编号	w(B)/%				w(B)/10^{-6}		
	Cu	Pb	Zn	S	Ag	Au	As
ZK19	0.09	0.01	0.004	1.11	3.5		39.98
SJ1	0.02	0.01	0.01	9.52	5.0	12.98	
SJ1	2.94	0.03	0.01	28.26	24.5	44.38	
SJ1	0.08	0.02	0.01	5.44	12.5	27.28	
SJ1	0.02	0.01	0.07	2.40	8.5	21.72	
SJ1	0.02	0.01	0.01	1.22	9.5	2.55	
TC624—1	0.02	0.01	0.01	0.03	4.5	3.92	
TC560—2	0.00	0.01	0.02	1.42	2.5	1.14	
ZK52	0.02	0.01	0.02	3.91	2.5	1.12	
ZK52	0.04	0.01	0.01	0.74	21.8	37.32	
TC592—2	0.00	0.02	0.01	0.03	3.5	1.19	
TC624—2	0.01	0.01	0.01	0.03	1.5	1.44	
TC592—2	0.02	0.00	0.02	0.16	2.5	1.18	
ZK90	0.01	0.00	0.01	4.01	0.5	1.02	
ZK90	0.01	0.01	0.01	6.55	2.8	1.28	
ZK90	0.01	0.00	0.02	6.15	4.0	5.90	
ZK90	0.01	0.00	0.01	2.52	6.0	14.75	
TC592—2	0.00	0.02	0.00	0.08	1.0	3.46	

2.2.3 *金矿物特征及赋存状态* 宋家沟矿区的金矿物主要为自然金，次为银金矿。根据24粒金矿物的镜下观察与统计，将金矿物形态归为角砾状、枝叉状、细脉状、长角砾状、圆粒状及片状，另见有聚集分布2 μm左右的微粒，其中以角砾状、枝叉状为主。金矿物粒度以中细粒为主，仅见一粒金（100 μm×260 μm）。金颗粒一般在（5～40）μm×（24～100）μm之间，另外有2 μm左右的微粒金。金矿物赋存状态分为包裹体金、晶隙金、裂隙金。其中晶隙金占38%，主要赋存在黄铁矿晶隙

黄金地质研究所
信息室 提供

中及黄铁矿与非金属矿物之间；包裹体金占 33%，主要包含在黄铁矿中；裂隙金占 29%，主要赋存在黄铁矿裂隙中。三者所占比例相差不是很大，均为金的重要赋存状态。

从金矿物成分（表 4）中可以看出，金最高为 76.80%，最低 72.25%，平均 74.52%。表中显示 Au，Ag 呈明显的“互补关系”，Fe，Cu，Zn 随 Au 变化的规律性不强。

表 4 发云亦金矿 ZK19 金矿物成分电子探针分析结果

w（B）/%

取样深度/m	Au	Ag	Cu	Zn	Fe	总 和
233.00	76.80	20.90	0.00	0.00	2.29	100.00
235.00～238.00	72.25	26.59	0.32	0.26	0.38	99.81
235.00～238.00	73.97	25.84	0.00	0.27	0.29	100.76

2.3 矿石组构及矿石类型

矿石以粒状、碎裂、填隙结构为主，次为交代、包含结构。常见构造有致密块状、团块状、脉状、浸染状、角砾状、蜂窝状。

该金矿的矿石按自然类型可分为氧化和原生矿石 2 种。氧化矿石主要为褐铁矿化绢云母化碎裂状砾岩，褐黄色，碎裂状结构，蜂窝状—块状构造，由砾岩经破碎、氧化而成。氧化带深度一般在 3～10 m，残留许多具黄铁矿假象的孔洞。原生矿石主要为黄铁矿化绢云母化碎裂状砾岩，灰白—灰绿色，碎裂状结构，块状构造。黄铁矿呈细脉状、团块状、浸染状，主要分布在胶结物及其裂隙之中，砾石边缘和裂隙是黄铁矿易聚集的场所，黄铁矿化细脉含矿性较好（最高品位达 355.08×10^{-6}）。

2.4 成矿阶段

根据蚀变矿物特征及其穿插关系，发云亦（宋家沟）金矿的成矿作用从早期到晚期大致可划分为 4 个成矿阶段。

1）石英-黄铁矿阶段：主要生成矿物为石英、黄铁矿等，是早期的矿化，但矿化极弱。

2）石英-绢云母-黄铁矿阶段：主要生成矿物为石英、绢云母、黄铁矿等，该阶段使砾岩普遍发生黄铁矿化、绢云母化蚀变，形成黄铁矿化、绢英岩化蚀变，但金矿化微弱。

3）金-石英-多金属硫化物阶段：该阶段生成的矿物以黄铁矿、石英为主，次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银金矿、自然金等，其中石英呈圆粒状、不规则状，大部分具塑性流动构造；黄铁矿多呈自形—半自形粒状、浸染状分布，部分聚集成脉状；金矿物与多金属硫化物大多沿黄铁矿的裂隙或晶隙分布。

4）粗粒黄铁矿-碳酸盐阶段：是晚期矿化阶段，碳酸盐矿物多呈细脉状产出，黄铁矿多为自形晶，呈团块状、脉状产出。

3 矿床成因

3.1 胶莱盆地演化与成矿的关系

胶莱盆地是在晚侏罗世晚期至白垩纪形成和发展起来的，至古近纪初期消亡的断陷盆地。盆地内主要沉积了下白垩统莱阳群、青山群和上白垩统王氏群 3 套大的岩石地层单位，发云亦（宋家沟）金矿产于莱阳群林寺山组蚀变砾岩中，而蚀变带受控于牟—即断裂带。资料表明牟—即断裂带对莱阳群具有明显的切割作用，对其控制不明显，但对青山群的分布和对王氏群的沉积起明显的控制作用。而矿体产于切割莱阳群的断裂破碎带中，说明莱阳群形成之后的断裂控制金矿的形成。

沿胶莱盆地的边缘，尤其是北缘、东北缘、南缘和西南缘，以断裂、火山-岩浆岩带为基本特征。而由火山-岩浆作用形成的火山岩和侵入岩，具有不同位置、相同的展布方向和孪生排列的特征。如诸城—莱阳—牟平火山岩带和与之平行的青岛—海阳岩浆岩带就是佐证。切割莱阳群、控制青山群分布的牟—即断裂带为深部火山-岩浆热液的运移提供了通道，并在其有利的构造部位沉淀成矿。发云亦（宋家沟）金矿的形成可能是这种机制的结果。在胶莱盆地的南缘，形成的五莲七宝山火山岩型金铜矿，与发云亦（宋家沟）金矿应属于同一火山-岩浆成矿系列。

盆缘内的中生代沉积与基底岩系在空间相傍，基底岩系的金质活化会优先往低能空间运移，即在莱阳群林寺山砾岩中沉淀富集，形成金矿。

3.2 火山-岩浆活动与成矿的关系

胶莱盆地东部是我国中生代火山-岩浆岩带的组成部分，也是火山-岩浆热液型金银多金属矿的重要成矿带。区内已发现的与火山-岩浆作用有关的矿床：五莲七宝山金-铜矿、胶南七宝山银-铅矿、福山王家庄铜矿、邢家山钼矿、栖霞香亦多金属矿及与伟德山超单元有关的铜、银、钼、铅矿等。它们属于同一成矿系列，在成矿时间上，则表现为金、铜-银-铅、锌、钼等的分带。

3.2.1 *岩浆岩条件* 与成矿有关的岩浆岩均为浅成—超浅成潜火山杂岩体，呈岩枝、岩株、岩舌或

黄金地质研究所
信息室 提供

大岩脉状产出，在时间和成因上与白垩纪以来的火山喷发-侵入活动形成的火山-岩浆建造有关。潜火山杂岩体具有多期、多相、多岩性的特点，与成矿关系最密切的是火山活动晚期形成的小侵入体，岩性为花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩及闪长岩等，化学成分属钙碱系列的铝过饱和岩类，为金、多金属矿的成矿围岩。发云夼（宋家沟）金矿外围尽管没有见到与成矿有关的岩体，但推测应与早白垩世晚期的火山喷发-岩浆侵入活动有关。

3.2.2 构造条件 区内白垩纪以来的火山活动主要发育于控盆断裂及其周围，受几组不同方向的断裂控制形成盆地边缘型火山喷发，经历了早期以喷溢为主，晚期以潜火山岩侵入为主的不同演化阶段，而晚期多相、多岩性的潜火山杂岩体常形成隐爆角砾岩带或充填于火山通道、火山角砾岩筒及火山口周围的环状、放射状断裂是矿床的容矿场所。控矿构造有断裂、火山机构、潜火山岩接触带、层间破碎带等，尤其是前3种构造复合叠加的构造类型对成矿最为有利。因此该类型金-多金属矿实际上是受火山机构、断裂及潜火山岩接触带3种构造的复合控制。

如五莲七宝山金-铜矿产于隐爆角砾岩筒中，其侧为主火山口，与金-铜矿有关的岩性是石英闪长玢岩及辉石闪长玢岩等。

3.2.3 地层条件 火山-岩浆热液型金、多金属矿与地层没有一定的亲缘关系，但不同岩性的接触带对不同类型的矿床有某些制约作用。发云夼（宋家沟）金矿产于莱阳群林寺山组砾岩内的破碎蚀变带中，主要取决于它本身有较大的容矿空间。

3.3 成矿时代

发云夼（宋家沟）金矿的形成时代应在莱阳群沉积之后、王氏群沉积之前，即与早白垩世晚期的火山-岩浆活动期相一致。据孙丰月（1995年）采用K-Ar法所测的矿石中的绢云母年龄值为（100.59±1.96）Ma，其时代应为早白垩世晚期，与基础地质资料相一致。

3.4 成矿物质来源

3.4.1 稀土元素特征 区内砾石ΣREE为232.87×10^{-6}～250.88×10^{-6}，矿石ΣREE为352.00×10^{-6}，矿石中黄铁矿ΣREE为64.51×10^{-6}，磁铁矿ΣREE为277.11×10^{-6}。与基底岩系中的玲珑花岗岩（32.83×10^{-6}～117.89×10^{-6}）相比，盆地盖层砾岩中稀土有明显的富集趋势。

围岩、矿石、黄铁矿、磁铁矿的稀土分配模式均为明显的轻稀土富集。LREE/HREE＝1.88～12.71，δCe＝0.8～0.91，为弱亏损型；δEu＝0.41～0.54，为中等以上亏损，表明与原岩风化作用有关。围岩、矿石及矿石中单矿物稀土元素分配模式都具有相似性及同步性，表明矿石与围岩具有继承性，即部分物质来源于围岩。

3.4.2 硫、氧同位素特征 矿石的氧同位素组成为7.7‰～8.8‰，平均8.52‰，极差1.1‰，略高于陨石值（5.6%～7.6%），显示其来自地壳深部或上地幔，并在上侵过程中受到围岩的混染。

矿石中黄铁矿的$\delta^{34}S$值为8.6‰，8.9‰，9.4‰，平均9.0‰，皆为正值，以富集重硫、极差小（1.8‰）为特点，表明硫源来自深部或在较封闭的条件下形成。

综上所述，发云夼（宋家沟）金矿的物质来源以深源为主（幔源及下地壳中的金），是早白垩世晚期的火山-岩浆活动作用的结果，并在沿构造带上侵过程中萃取、交代围岩中的金元素，共同组成金矿的物质来源。

黄金地质研究所
信息室 提供

下　　册

国　外　金　矿　床

黄金地质研究所
信息室 提供

黄金地质研究所
信息室 提供

金矿地质

在金矿地质方面，近来研究不少。最近两三年，一些重要期刊出了关于变质带金矿床、金与热液系统等的专辑。关于浅成（低温）热液金（银）矿床和斑岩金（铜）矿床的文章也不少。2004 年 G. Corbett 发表了有关它们的地质模式和勘查意义的讲演和文章。他把浅成热液金矿划分为低硫化浅成热液金矿和高硫化浅成热液金-银-铜矿床两大类。前者硫化物较少。这与侵入源岩有关。属于低硫化矿床的，在较浅部形成的有冰长石-绢云母型浅成热液金-银-石英脉矿床，或一般的浅成热液石英脉金-银矿床，往深一些有碳酸盐-贱金属金矿床（包括安第斯地区多金属金-银矿脉），R. H. 西利托和 J. W. 赫登奎斯特 2003 年提出的“中硫化”浅成热液矿床部分相当此组合。再深一些为石英-硫化物金（±铜）矿床（图 1）。此外，近年国外矿床地质学界和勘查界已有越来越多的人接受了十几年前提出的铁氧化物-铜-金（铀-稀土）型热液矿床（IOCG 型）的意见。在金矿化类型方面，2002 年还提出了一种新的类型——红层型金矿床。这是在波兰西南部卢宾—谢罗谢维采地区的波尔科维采—谢罗谢维采矿山二叠系铜页岩铜-银矿体下发现的。它产在蔡希斯坦统底部沉积岩的次生红色剖面中，以及在“白底板”砂岩的最上部，接近次生氧化还原界面的部位。金（铂族金属）矿化产在平均厚 0.22 m 的岩石中，平均含金 2.25×10^{-6}、铂 0.138×10^{-6}，钯 0.082×10^{-6}，直接位于铜矿石层之下。含金（铂族金属）层与铜矿层间有一过渡带（铜<0.2%，金>0.5×10^{-6}）。关于世界最大含金盆地南非维特瓦特斯兰德盆地金矿的成因，仍有争议。目前古砂矿说占优势，但仍有人持热液说观点。热液作用现象确有存在，但持古砂矿说观点者认为热液是岩石变质引起的，金仍来自砂矿，无外来金来源证据。有人对兰德的金进行了 Re-Os 法年龄测定，得出其约为 30 亿年，认为该矿床的金来自地幔，沉积在比它年轻的约为 27.5 亿年的变质石英砾岩中。关于古砂矿形成时的古大气圈成分，是有氧还是缺氧，也各有论据。

关于美国内华达州卡林型金矿的含金热液的金

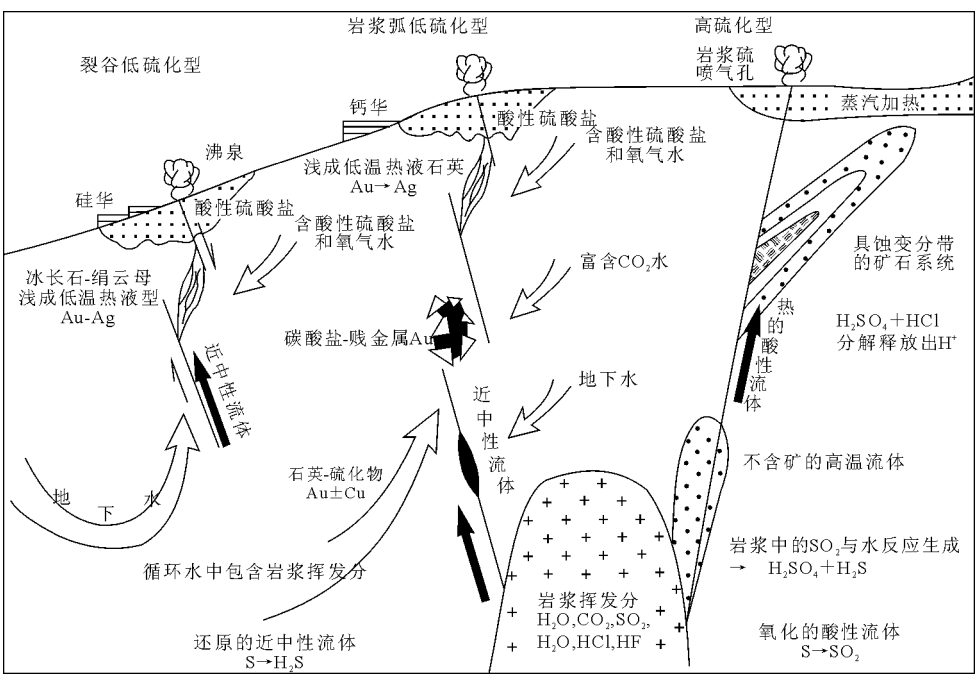

图 1　高硫化和低硫化低温热液金矿床流体产生的概念模型（据 G. Corbett，2004）

来源一直存在争议。2005 年经济地质学家学会讨论会上，一派仍认为地下水渗滤而淋溶出地壳上部岩石中的金，受始新世岩浆作用加热，地下水对流上升，在浅部沉淀出金，这一派可称为“冲洗论者”。许多卡林型矿床早期的氧、氢同位素数据与矿石中的石英和粘土是由地下水形成的看法相符合

黄金地质研究所
信息室 提供

的。另一派是“岩浆论者”，他们认为金主要是来源于岩浆，认为许多金及水和硫在地壳上部由始新世岩浆作用的岩浆中出溶，这些热液与在当地对流的地下水混合，在距侵入体数千米范围内在碳酸盐质围岩中沉淀出金。最近他们提出用离子探针分析大大提高了对此类极细粒矿石的认识。在这种分析中，石英、粘土和黄铁矿样品表明，氧、氢和硫同位素特征是与来源于岩浆的水和硫相符的。在讨论会上，反岩浆论者则指出，世界上最大的一些与侵入岩有关的铜-金矿床相伴的地表热液蚀变区的面积，比内华达与卡林型矿床有关的地表蚀变区的面积小得不可同日而语，而且他们认为卡林型矿床没有侵入体周围存在的那种与温度变化有关的矿物的特征性分带现象。这种争论与找矿有关。岩浆论者会通过寻找进入碳酸盐质岩石的与侵入体有关的含金热液，在内华达州以外去找卡林型矿床，而“冲洗论者”则认为卡林型矿床是内华达州复杂的地质历史的独特产物，要寻找具备这种复杂的地质条件组合的地区谈何容易，因而实际上会导致基本只能继续在该州勘查此类矿床。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

非洲金矿

据2004年初报道，过去7年非洲金矿山总的增加金储量与资源量（>300万盎司储量或500万盎司资源的矿山）计约6 700万盎司，澳大利亚为3 730万盎司，北美2 000万盎司，南美1 040万盎司，独联体530万盎司。新开发的大金矿山，非洲有6个（马里萨焦拉山、莫里拉，坦桑尼亚北马拉、盖塔和布利亚胡鲁，南非的Target），澳大利亚4个（朝阳坝Sunrise Dam，里奇韦，卡迪亚山，沃勒比），北美3个（红湖，Rodeo，La Herruda），南美2个（皮埃里纳，Vanguardia），独联体1个（库姆托尔）。非洲新发现的金矿主要在西非克拉通（主要在比里姆地盾）和东非坦桑尼亚克拉通。在过去15年，西非克拉通查明的金超过8 500万盎司，坦桑尼亚克拉通有4 500万盎司。南非卡普瓦尔克拉通勘查已逾百年，迄今已查明资源超过15亿盎司（其中85%以上已采出）。

南非兰德盆地到2003年总共已生产44 000多t金。在近年的勘查中，1999年发现的Burnstone含金区值得一提。它位于约翰内斯堡东南约80 km，靠近Balfour。矿地在一18 km长NW向古河道带中，有4个富金地区，该带中部因盆地中断层作用而升起，故矿床埋藏较浅（250～750 m），而兰德盆地目前其他矿床则超过1 000 m深。矿地中1号地区面积4 km×18 km，自2003年1月至2004年中完成钻探37 629 m，含确定和推定资源2 920万t，金品位为5.72×10^{-6}（含金约167 t）。2号地区打了34 164 m钻，2004年中推测资源为1 350万t，金品位为6.5×10^{-6}（含金约88 t）。还要在2，3，4号地区继续钻探。1，2两区合计已有金超过255 t。后进行预可行性研究，据2005年1月报道，该矿地已有确定资源3 830万t，金品位为5.08×10^{-6}（含金194.6 t）；推定资源690万t，金品位为4.5×10^{-6}（含金31 t）；推测资源1 400万t，金品位为10.37×10^{-6}（含金144.7 t），合计有金资源370 t。兰德盆地“南深”项目的一对新竖井已在2005年初启用。主井深2 991.5 m（世界最深），风井深2 759 m。从1994年始建，历时10年7个月完成，开采世界查明资源最大的金矿床之一的“南深”矿床。2004年6月底矿床有证实储量1 300万t，金品位为9.5×10^{-6}（含金123.5 t），概略储量2.09亿t，金品位为7.7×10^{-6}（含金1 609.3 t），合计有金储量1 732.8 t。这些储量含在1 680万t，金品位为10.8×10^{-6}的确定资源（181.4 t金）和2.19亿t金品位为9.8×10^{-6}的推定资源（2 146.2 t金）中，即金的确定和推定资源合计有2 327.6 t（均以金5×10^{-6}为边界品位）。

刚果（金）原来产金不少，近年受战乱影响，勘查开发不多。Banro公司在该国东中部210 km长的纳莫亚—Twangiza地区几个矿地勘查，至2005年中已有确定和推定资源245万盎司，另有推测资源556万盎司，合计有801万盎司金（约合250 t金）。其中纳莫亚矿床有推定资源456万t，含金2.97×10^{-6}；推测资源782万t，含金2.6×10^{-6}（以金1×10^{-6}为边界品位）。矿化呈一系列石英网脉带沿前寒武系中长2.5 km的剪切带产出。在该国东北部基洛—莫托产金区，近2年有莫托公司在勘查。最近提出莫托项目地区（包括12个矿床）的资源计算数字，有推定资源3 433万t，金品位2.5×10^{-6}（含金85.8 t）；推测资源9 287

黄金地质研究所
信息室 提供

万 t，金品位 2.7×10^{-6}（含金 250.7 t），均以金 1×10^{-6} 为边界品位；合计有金 336.5 t。钻孔见到的矿化段从十米至百余米，平均十几米至 40 多米。

中非共和国中南部邦巴里矿地一部分的 Passendro 项目最近金资源有增加：推定资源 1 320 万 t，金品位 2.5×10^{-6}；推测资源 1 921 万 t，金品位 1.8×10^{-6}。

坦桑尼亚现有金证实储量约 1 000 t，2003 年产金 48 t。主要分布在北部维多利亚湖附近的太古宙绿岩带中。主要矿床：Golden Pride 矿床，1998 年始产，2005 年 8 月报道尚有资源 76.82 t 金；盖塔（Geita）矿床，2000 年始产，有 527.02 t 金；布利亚胡鲁矿床，2001 年始产，有 411.07 t 金；北马拉矿床，1993 年发现，2002 年始产，有 116.23 t 金。盖塔系太古宙中温热液金矿床，主要产在条带状含铁层中，沿一大逆冲错断面产出，2002 年底有储量 7 000 万 t，金品位 4.16×10^{-6}；资源 1.29 亿 t，金品位 3.91×10^{-6}；2003 年产金 20.4 t。布利亚胡鲁矿山西约 100 km 的 Tulawaka 矿床（在姆万扎西南 160 km），矿化产于 3 条含金石英脉带中，2004 年初有资源 230 万 t，金品位 11.1×10^{-6}，2005 年投产。此外最近还在勘查的 Buckreef 项目已有金资源 60 t。

肯尼亚西南部距坦桑尼亚边界约 10 km，靠近维多利亚湖的米戈里金矿地，有金资源约 40 t。

加纳是西非重要产金国。2003 年产金 70 t，占世界第 10 位。金矿产在古元古代（比里姆期）绿岩带中，主要分布在西南部。加纳金矿带可分东西 2 部分。东部为阿散蒂绿岩带，其中著名的阿散蒂矿区（奥布瓦西、顿夸等）有金资源 4 500 万盎司（1 400 t 金）。该带在已知矿床间仍有新矿床发现。阿散蒂矿区金矿化主要控矿因素是构造。矿化产在石英脉中，与含毒砂矿化蚀变带有关，产在脆性—韧性交界带常有石墨的剪切带（逆冲带引起）。矿化产在区域剪切带受走滑断层活化时期，主要矿体常位于沿剪切带凹凸处或膝折处。属于东部的还有最近两三年纽蒙特公司在勘查开发的阿哈福（Ahafo）项目（在布朗阿哈福地区）。这是公司 2002 年购得的矿地的一部分，在阿克拉西北约 290 km。项目区面积 700 km^2，目前确定沿走向长 75 km 地带有 12 个矿体，与 2 个剪切构造相伴。经勘查储量不断增长，至 2004 年底有 1.423 亿 t，金品位 2.33×10^{-6}（含 333.6 t 金），矿山建设在进展，计划 2006 年下半年投产，生产能力为 50 万盎司/年。纽蒙特公司在该带还有阿基姆（Akyem）项目，在阿克拉西北 130 km，2004 年底储量已增至 1.167 亿 t，金品位 1.68×10^{-6}（含金约 200 t）。该矿床最初是 1993 年发现的，计划 2008 年投产，年产 40 万盎司。博戈索—普雷斯特阿矿地在阿克拉西约 200 km，加上 20 世纪 90 年代后期在附近发现的 Wassa 矿床，合计约有金 350 t。加纳金矿带东部的南段有塔库瓦（Tarkwa）矿区，是产在稍年轻的碎屑沉积中的金矿，其总资源量可达 3 700万盎司。据 2004 年 3 月报道，该地从 1998 年露采起，已产 200 多万盎司金。矿山 2004 年 6 月底有证实和概略储量 3.516 亿 t，金品位 1.3×10^{-6}，即含金 457 t。该区还有达芒（Damang）矿床。加纳金矿带的西部为 Yanfo-Selwi（比比亚尼）带，产在比比亚尼绿岩带中。该带金矿床主要在 1994 年发现。Yanfo 已有金资源 600 万盎司，比比亚尼 500 万盎司。最近 2 年在比比亚尼的 Chirano 项目，已查明金资源约 65 t。

科特迪瓦 Tongon 矿地经勘查资源增至3 400 万 t，金 2.65×10^{-6}，被认为是附近马里 Syama 金带的延伸。还有其他一些探区在工作。

布基纳法索埃萨坎 Essacan 矿地过去 BHPB 公司曾勘查，计算资源 2 000 万 t，金品位 2×10^{-6}。经最近 2 年勘查，到 2004 年 8 月主带推定资源 4 900万 t，金品位 1.5×10^{-6}；推测资源 570 万 t，金品位 1.7×10^{-6}，合计有金 83 t。在距瓦加杜古 180 km 的 Youga 矿地（距加纳边界 4 km）有 5 个矿床，有概略储量 714 万 t，金品位 2.9×10^{-6}，另有确定和推定资源 730 万 t，金品位 3.17×10^{-6}；推测资源 770 万 t，金品位 2.05×10^{-6}。合计有金约 60 t。进行了可行性研究，可露采。矿化与加纳比里姆金矿带相似，含在塔库瓦期硅化长石砂岩质变沉积岩中。

马里南部 20 世纪 90 年代发现的莫里拉大型金矿床 2000 年 11 月起开采，它产在前寒武纪绿岩带中，矿化受浅剪切带控制，沿背斜轴部富集，矿体平伏状。目前勘查工作较多的是该国西部沿塞内加尔—马里剪切带的卢洛—耶莱阿（Loulo-Yalea）矿地。卢洛矿床是 1981 年钻探发现的。其发现与主要与法国地质矿产调查总局于 70 年代后期进行的踏勘性的土壤地球化学测量有关。该矿地面积 372 km^2，在塞内加尔和马里的界河法莱梅河旁侧，现已知有 8 个矿床，主要是卢洛矿床及其东南 7 km 的耶莱阿矿床。矿化为蚀变剪切沉积岩中的浸染状矿化和角砾带矿化，在含电气石石英岩中呈网脉状、浸染状矿化。底板为泥质石英岩，顶板为

黄金地质研究所
信息室 提供

硬砂岩。剪切带近SN向，矿化主要赋存在褶皱鼻中。1998年起进行第二次可行性研究，曾进行持久钻探，求得较大储量和资源量。2005年4月报道2矿床合计有证实和概略储量1 518万t，金品位3.78×10^{-6}。另有确定和推定资源2 324万t，金品位3.95×10^{-6}；推测资源2 631万t，金品位4.13×10^{-6}，合计含金256 t。2005年10月投产，年产能力为20万～24万盎司。

产在塞内加尔—马里剪切带中的塞内加尔东部的Sabodala金矿床在进行4万m的钻探计划，已完成101个孔的近1万m钻探。在矿床中带和北带取得很好的结果，从所列钻探结果看，钻到矿化段为10～50多米，含金4.76×10^{-6}～9.98×10^{-6}。围岩为比里姆期绿岩和沉积岩。矿化带宽120 m，为含金矿化的钠长石化、黄铁矿化和硅化角砾岩及复杂的席状脉。

几内亚金矿的勘查开发主要在东北部，锡吉里区是中心。Koron矿山1998年起开采由网脉和矿化角砾岩所衍生的风化岩石和红土矿床。锡吉里有资源1.076亿t，包括6 040万t证实和概略储量（含金1.21×10^{-6}）。现在几个地点钻探，扩大了储量，还发现一新矿床。丁吉腊耶地区的莱罗（Lero）矿山已产金65万盎司，用堆浸法生产。矿床产在比里姆期变沉积岩区的变形带，矿化构造一般NEE向。红土化广泛发育（深可达100 m）。矿化为石英-碳酸盐-硫化物脉和网脉及钠长石-碳酸盐-硫化物网脉。总资源5 410万t，含金1.69×10^{-6}。莱罗—法亚拉拉带一些矿床经勘查储量增长，总资源已增至370万盎司（其中确定和推定资源280万盎司）。

毛里塔尼亚努瓦克肖特北约300 km的Tasiast金矿床经2.8万m钻探，已有确定和推定资源1 210万t，含金3.1×10^{-6}；推测资源1240万t，含金2.25×10^{-6}。

埃及东部沙漠的Sukari金矿山，古代已发现和开采。近年进一步探采，2002年完成可行性研究，有资源2 220万t，含金2.18×10^{-6}（以1×10^{-6}为边界品位，大部为确定和推定级），矿化属脉型，赋存在新元古代花岗岩中。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

澳大利亚金矿

澳大利亚金矿勘查自20世纪80年代初以来取得了突出成果。20年里发现8 000 t金，90年代新发现了一些重要金矿床。最近几年金矿勘查仍在积极进行，项目多，也有不少发现。工作最多的是在西澳太古宙耶尔冈地块，卡尔古利、沃拉顿、里奥诺腊、杨达尔、散德斯通、南克罗斯、维卢纳附近仍不断有绿岩带金矿发现。卡尔古利金矿田自1897年发现以来已采出5 000万盎司以上的黄金，早期生产在1903年达到高峰。20世纪50年代在高品位井采矿资源枯竭后生产几乎停息。随着金价上涨，80年代矿区复活，这时主要是合理化的大规模露采和先进的选矿技术的生产应用。在卡尔古利沿着“金英里”以前井采的一些矿床建成了“超大金坑”露采矿山。1989年开始开采，采坑最终长要达3.8 km，宽1.35 km，深逾500 m。2004年该矿山产金27.6 t，还有剩余储量约1 040万盎司（金品位2.2×10^{-6}），至少可采13年。此外还有大量金资源。卡尔古利区金已采至深达1 220 m处，采的是“金英里”粗玄岩中的高品位矿体和旁侧的浸染状矿化。卡尔古利东南卡姆巴尔达附近St Ives矿山通过最近两三年勘查，导致发现200万盎司金。2004年还进行了可行性研究，拟开发大的低品位资源。卡尔古利附近Kunanalling矿地的Picante探区钻探发现了新的金矿带，4孔结果见矿2～24 m，含金4.1×10^{-6}～13.6×10^{-6}。在散德斯通绿岩带东南角默奇逊矿田新发现了Lord Henry和Lord Nelson矿床，已有金资源约32万盎司。在一些老采坑底下、深部、旁侧也在钻探。如在里奥诺腊附近的Gwalia Deep项目，目前已有推测资源720万t，含金7.4×10^{-6}。其北约35 km的Tarmoola现露采坑西侧，要进行4万m钻探更好圈定花岗岩中金矿化（目前资源为5 590万t，含金1.2×10^{-6}）。维卢纳金矿项目2004年初还幸运地偶然发现了Calais富矿体。维卢纳矿山已开采100多年，采出440万盎司金。矿山有些大而分散的矿体，包括2个3.5 km长的大矿体，各有100万盎司金。多年来有一种假设，认为东部断层带不可能有金矿体，所以一直未真正钻探。2003年才收购此矿山的公司，在钻探时偶然发现该带一富矿体（18 m，含金26.9×10^{-6}），现已打到一2 km长矿体，资源可达50万盎司。公司计划该项目金资源要从现有100万盎司增至400万盎司。南

黄金地质研究所
信息室 提供

克罗斯绿岩带的 Nevoria 金矿属夕卡岩型，实际包含 20 多个金矿山（金资源分别有 2～41 t），1887—2001 年累计产金超过 260 t。矿床特征是有高温脉石（富辉石、角闪石和磁黄铁矿），与该克拉通其他地方的含黄铁矿碳酸盐-黑云母、绢云母矿体明显不同，为变质后与花岗岩-伟晶岩侵入体有空间关系的夕卡岩金矿。西澳大利亚黑德兰港东南 400 多 km 的特尔弗（Telfer）大金矿床项目建设在进行。金（铜）矿化产在元古宙变质粉砂岩、砂岩及白云质大理岩中，呈层状、网状和脉状（含石英硫化物脉），铜矿物主要为辉铜矿和黄铜矿。主穹隆构造中的矿化已查明 1.3 km 深，西穹隆深至 600 m。至 2003 年 6 月底露采区有确定资源量 1.7 亿 t，含金 1.3×10^{-6}，铜 0.17%；包括井采资源和卫星矿床在内的推定资源有 2.5 亿 t。含金 1.9×10^{-6}，铜 0.2%；还有推测资源 1.1 亿 t，含金 1.2×10^{-6}，铜 0.15%。总共有 2 660 万盎司（827 t）金、96 万 t 铜，矿山寿命 20 年。该矿床原已知存在，主要矿量是在 1998 年发现的（近 1 800万盎司金）。

澳大利亚维多利亚州墨尔本西北历史悠久的本迪戈矿区，奥陶—泥盆纪浊积岩型金矿开采几十年后于 20 世纪 50 年代关闭。80 年代起重新评价。据 2004 年报道，新本迪戈项目已有资源 3 360 万 t，可年采 160 万 t 矿石，2005 年底投产，入选品位 12×10^{-6}，可采收金 1 270 万盎司以上。墨尔本西面的东巴拉腊特项目现也有 310 万 t 推测资源，含金 11×10^{-6}。该州中部 Perseverance 租地的 Fosterville 金矿山现有储量 700 万 t，含金 4.5×10^{-6}；资源量 2 070 万 t，含金 3.7×10^{-6}。

澳大利亚新南威尔士州奥兰治附近的卡迪亚（Cadia）地区，在 1851 年前已有铜、铁、金矿开采，包括大、小卡迪亚夕卡岩铁-铜-金矿床，以及在斑岩体周边的高品位脉中采少量金，断续进入到 20 世纪。该区的斑岩金-铜矿远景是 90 年代初以来才充分认识的。二战以后一些公司就在此区勘查，但收效不大。90 年代初 Newcrest 公司的勘查最初也集中在大卡迪亚矿床，在发现于一微弱钾长石化二长岩侵入体中的石英脉伴生的金-铜矿化后，很快转至卡迪亚山。于 1991—1992 年发现了大型的卡迪亚山斑岩型金-铜矿化。矿化产在石英二长斑岩中，主要为席状脉，有矿石 3.52 亿 t，金平均 0.63×10^{-6}，含铜 0.16%。1992—1993 年发现了卡迪亚坑斑岩型矿床。1994 年在卡迪亚山矿山旁断层东侧较深处发现了卡迪亚东大型矿床。沿 NW 向矿化带继续勘查导致在 1996 年又发现了大型的卡迪亚远东矿床和里奇韦矿床，围岩均为古生代（晚奥陶—早志留世）石英二长斑岩及相邻的火山岩。矿化为脉系、网脉和浸染状矿化。在高品位带，自然金、黄铜矿和斑铜矿是主要矿石矿物。卡迪亚东和卡迪亚远东矿床经最近几年继续勘查，资源翻番，合计有推定的井采资源量 2 亿 t，含金 1.1×10^{-6}，铜 0.37%；推测资源量 9 000 万 t，含金 0.85×10^{-6}，铜 0.33%；另有可露采的推测资源 3 亿 t，含金 0.46×10^{-6}，铜 0.37%。此 2 矿床总资源有金 435 t，铜 210 万 t。此外，巴里克公司在新南威尔士州的 Cowal 湖项目（主要是 E42 矿床），2002 年有储量 5 640 万 t，含金 1.52×10^{-6}（86 t）。在该州北部的 Tooloom 矿地的 Phoenix 项目，进一步钻探证实发现一新区中的露头矿。金矿化产在角砾岩筒内，激发极化测量表明岩筒为一大系统的一部分。所列 4 孔结果钻到 42～63 m 矿化段，含金 1.28×10^{-6}～1.58×10^{-6}，并且认为“在澳大利亚所有露头矿床都已发现”的观点是不可接受的。

摘自《21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

加拿大金矿

加拿大金矿主要产在老地层中，安大略和魁北克省仍是目前勘查开采的重要地区。此外在西北地区和努纳武特地区勘查项目也较多。据 1997 年资料，加拿大太古宇地区累计已产金 8 000 t，其中包括有 14 个世界级（>100 t 金）的大矿山。在东南部沿海的纽芬兰、新不伦瑞克等省的古生代褶皱区也有些金矿。西部太平洋沿岸的不列颠哥伦比亚省和育空地区则主要为与年轻岩浆活动有关的矿床。

安大略省西北部太古宙红湖金矿床是一大而富的世界级矿床，实际上包括 Placer Dome 公司的坎贝尔矿山和 Gold Corp 公司的红湖矿山，含金超过 650 t，其中 1995 年发现的红湖矿床部分超过 300 t。红湖矿山 2001—2004 年已采金超过 46 t，高品位带尚有储量 177.5 万 t，金品位 80.6×10^{-6}（即含金 143 t），矿化主要是含金石英脉，产在基性火山熔岩中。安大略东部的图迪尔湖金矿区最近 Pelangio 矿山公司也留出了可露采和井采金资源约

黄金地质研究所
信息室 提供

60 t。一些公司除在已知地质条件的矿带继续勘查外，还注意到地质条件有所不同的相邻地带找矿。阿波罗黄金公司最近在安大略省东部马西森附近的黑狐项目，除在阿比提比绿岩带德斯托尔—波丘潘断层带上，继续勘查主要含在中度倾斜至陡倾的超镁铁质（科马提岩质）与镁铁质岩被断层交切处宽20～100 m的铁白云石蚀变带（有许多长英质岩墙和岩床切割）中的金矿化（含金石英脉及网脉），并查明约30t金资源外，还在该大断层北新的金-贱金属（银、铅、锌）区进行钻探。在安大略省西北部散德贝西120 km，Freewest资源公司新的Larose金矿地正对一项金矿草根发现进行勘查。最初是几年前当地找矿人在该地一条新开的丛林道路切割而显露的剪切带中发现了金矿化。Freewest公司2003年8月购得此矿地，观察到该地点显示出绢云母蚀变和碳酸盐蚀变的沉积岩中有些石英脉，拣块样分析得金4×10^{-6}。8月进行地表找矿和槽探，拣块样金含量高，且沿走向追索含金带至少1 500 m。剪切带切过中至强蚀变的硬砂岩和泥质岩（有长英质岩床侵入）。矿化由黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂和少量黄铜矿组成，局部见金。远景区激发极化测量发现强充电异常。12月钻孔打到一段130 m矿化。后打7个斜孔也见矿，还要进一步钻探。该矿地面积35 km^2，在一所谓的“Quetico型”变沉积岩区，它以一大的构造接触带或边界与相邻的Shebandowan绿岩带变沉积岩和变火山岩相邻。与Shebandowan带变火山岩区相比，过去对Quetico型变沉积岩区勘查很有限。

魁北克省西北部拉龙德金（银-铜-锌）矿床资源在深部及向西仍在扩大。2002—2003年储量增100万盎司，达500万盎司，全部资源含820万盎司金。在瓦勒多的Cadillac Break矿地，Alexis矿产公司在夕卡岩带钻到金-铜矿石，证实该区夕卡岩模式是正确和吸引人的，并认为这一新勘查途径可用于南阿比提比区域。在魁北克省詹姆斯湾地区，在马塔加米东北320 km埃尔湖区，Virginia金矿山公司在2003—2004年有一很有远景的草根发现——Eleonore金矿发现。到2005年中期，经过一年钻探共113个孔打到一陡倾含金矿化系，已追索走向长1 200 m，部分地段深至550 m。最好的见矿段之一是113号孔真厚10.7 m，含金20.7×10^{-6}的Roberto带。该孔还钻到与其大致平行的Roberto东带（2带相距约50 m）。还有一个也大致平行的中Roberto带。这些矿化带含在一强蚀变（硅质-钾质-电气石）的沉积岩系中，由含磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿和少量黄铜矿的石英脉及网脉组成。认为是一交代型的雁列状透镜体系，产在砂岩、硬砂岩组合中，矿化稳定。目前已圈出资源超过100万盎司，认为总资源可有300万盎司，现以170万盎司为基础来评估，扩大远景很好。该地处在两大构造地层组合（南面的火山岩组合与北面的沉积岩组合）接触处，有闪长岩和英云闪长岩侵入。公司2001年在该区开始踏勘，目的是评价诺兰达公司1964年发现的埃尔铜矿点。这导致在侵入体中发现一些新的与斑岩型矿化系统有关的铜-金-银矿点。2002年夏又进行找矿与填图，追索到的矿化系统范围扩大，且发现了一种不同的矿化类型——一块直径2 m的石英长石质变沉积岩的、含浸染状毒砂和磁黄铁矿的棱角状大转石。对其取样分析得出含金22.9×10^{-6}和13.9×10^{-6}的结果。2003年专注于寻找其来源，并进行地面磁测、激发极化测量和土壤地球化学测量（用活动金属离子法），在一4 km×2 km面积上发现许多矿化变沉积岩转石，有的含金高达18.6×10^{-6}。经剥土和槽探，在闪长岩北缘的蚀变沉积岩中发现了这种矿化。2004年钻探证实了此重要发现。

在努纳武特地区贝克累克北70 km与绿岩带有关的梅多班克金矿地，金矿化产在太古宙含铁层和受剪切的变火山岩中。经继续勘查，此项目的6个矿床总的确定和推定资源已有2 330万t，含金4.4×10^{-6}；推测资源340万t，含金4.3×10^{-6}，即合计含金117 t。矿床均可露采。贝克累克东北300 km的Committe Bay矿地是梅多班克含矿岩石往东北的延伸，20世纪90年代中曾进行过勘查。这2年又在钻探，打到高品位连续的近地表矿化。霍普湾太古宙绿岩带金矿地，金资源已增至311.5 t。有推定资源1 790万t，含金6.3×10^{-6}；推测资源3 680万t，含金5.4×10^{-6}。

加拿大西北地区某些金项目在进行重新评价。耶洛奈夫东北约230 km的Courageous湖矿地，处在马修斯绿岩带内，前已经大量钻探，经2003年重新研究，有确定和推定资源4 900万t，含金2.1×10^{-6}；推测资源6 500万t，含金2.1×10^{-6}，合计有金近240 t，在继续钻探。更接近耶洛奈夫的Discovery金矿山，1949—1969年间产金30多t。后经勘查，现有确定和推定资源5 460万t，含金1.1×10^{-6}（以0.5×10^{-6}金为边界品位）；推测资源4 280万t，含金1×10^{-6}，合计含金102.8 t。Tyhee公司耶洛奈夫金项目（Ormsby带和West

黄金地质研究所
信息室 提供

带）金产在角闪片岩中，与黑云母蚀变有关。已钻250多孔。矿化延深至55～66 m，已有金资源66.5 t（平均品位3.37×10^{-6}～3.69×10^{-6}，以1×10^{-6}为边界品位），将继续钻探。

不列颠哥伦比亚省北部的斑岩金-铜矿床中，Kemess北矿床早已勘查，有确定和推定资源3.69亿t，含金0.34×10^{-6}，铜0.18%，即含金125 t，铜66万t。

另外，格陵兰Nalunaq金矿山资源增加，总推测资源有金23.7 t。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

美国金矿

美国近几年的金矿勘查主要仍集中在西部，尤其是内华达州。2002年底在该州知名的科特兹矿床东南4 km处，于矿场勘查时发现科特兹山较富的深部大型卡林型金矿，金资源近280 t，是美国近10年来最重要的金矿发现之一。在该州杰里特坎扬矿地，2003年底计算时尚保有储量233万t，含金10.35×10^{-6}，另有堆存矿石约45.3万t，含金3.18×10^{-6}；确定和推定资源861万t，含金8.30×10^{-6}；推测资源49万t，含金6.55×10^{-6}。拟在原露采坑下建一井采矿山开采新储量，寿命至少还有5年。该矿地Starvation Canyon探区2004年证实为一高品位的重要矿化带，已知长逾600 m（两头未到边），矿化产在NW与NE向构造交切处，矿体呈豆荚状。该地有基性岩墙，蚀变主要为碳酸盐再活动和局部的泥化。所列7孔结果，打到3～33.6 m矿化，含金5.3×10^{-6}～13.9×10^{-6}。纽蒙特公司卡林带矿山自1965年开采以来，到2004年时累计已产金980 t。卡林带总储量和资源（包括已采的）共3 330 t金。纽蒙特公司在该带的矿山地质人员通过对矿床模型的调整和多学科多职能团队的团结协作，使矿山在2003年就增加了金储量141 t（双溪矿床增62.2 t，孤树矿床增25.8 t，金坑等矿床也有增加），延长了矿山寿命。金坑深钻确定了Dos Equeis和Chukar矿床，后者钻到35 m含金15×10^{-6}。别的公司在卡林带的矿山储量近年也有增长。Goldstrike矿床就还保有150 t金储量。内华达州西北部的Converse金矿地资源增长，2004年10月报道，据155孔资料，已有确定和推定资源2.385亿t，含金0.51×10^{-6}（以金0.27×10^{-6}为边界品位），推测资源3 170万t，含金0.49×10^{-6}，合计有金137 t。内华达州北中部巴特尔山镇西南20 km的凤凰金-铜-银矿床，矿体产在与岩株相伴的夕卡岩化沉积岩中。矿床所在的Copper Canyon矿区采矿历史悠久，1870年以来在断续开采。凤凰矿床附近的福提秋德矿床就是一个大的离开接触带的夕卡岩型金矿。纽蒙特公司2000年购得凤凰矿地，经工作至2002年底有金矿储量1.58亿t，金品位1.17×10^{-6}；铜矿1.418亿t，铜品位0.16%。另有金资源6 690万t，金品位0.89×10^{-6}。合计有金205 t，铜22.6万t，还有银约1 420 t。矿石较易选冶，可露采。2003年起在建设，计划2006年投产，年产金40万～45万盎司，1 800万～2 000万磅铜，190万盎司银。寿命15年，今后继续勘查尚可延长。该项目是纽蒙特公司在美国的一大新矿山项目。

美国阿拉斯加州Pebble大型斑岩金-铜矿床经近年工作资源大增。20世纪90年代中发现的另2个大金矿床波戈和多林溪仍在工作，资源扩大。它们属于阿拉斯加到育空的廷蒂纳金成矿带，过去已做过报道。波戈矿床在阿拉斯加州东部大德尔塔附近，矿化与侵入体有关，在剪切带中与石英脉系伴生，目前有储量700万t，金品位16.1×10^{-6}（含金112.7 t），另有推定资源77万t，金品位8.9×10^{-6}（含金6.9 t），推测资源120万t，金品位16.9×10^{-6}（含金20.3 t）。共计有金140 t。多林溪在该州西南部弗拉特附近，在安科累季西950 km。据2003年资料，有确定和推定资源1.175亿t，金品位3×10^{-6}（含金352.5 t）；推测资源1.422亿t，金品位3.1×10^{-6}（含金440.8 t），均以1.5×10^{-6}金为边界品位。合计有金资源790 t。2004年在进行预可行性钻探。2006年初金资源增至884 t。该矿床属晚白垩世，在浅带形成，认为是与造山带有关或与侵入体有关的金矿床，与典型浅成热液型和卡林型矿床有不同。沿矿床所在地下游地带，百余年来断续手工小规模采过砂金。20世纪80年代后期Westgold探采公司在此矿地进行过广泛槽探，并对一含块状辉锑矿石英-方解石脉进行普查。对富辉锑矿带的踏勘调查还表明，这些脉的氧同位素比值高，与典型浅成热液矿床不符，且在这些脉中测得金高达7×10^{-6}。这进一步说明

黄金地质研究所
信息室 提供

富辉锑矿脉可能是一重要的富金矿体的浅部出露部分。1995年Placer Dome等公司开始钻探，发现此矿床，并持续进行了地质研究与钻探，得出了上述资源量。该矿床产在一活动大陆边缘弧后的复理石盆地中，含矿化的是浅成的流纹质至流纹英安质的通常是斑状的规模达8 km×3 km的岩墙杂岩体，它是区域性岩浆弧一部分。矿化大部为密集的石英±碳酸盐细脉和网脉，充填在NE向火成岩体中NNE向的张裂隙中。硫化物主要是含金的毒砂、黄铁矿，还有较年轻的辉锑矿。主要蚀变为绢云母化、碳酸盐化和硫化物化。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

中南美洲金矿

巴西巴依亚州产在元古宙变质石英砾岩系中的雅科比纳是一老矿山，最近2年又发现新的资源，在进行扩产可行性研究。现尚有确定和推定资源2 480万t，含金2.5×10^{-6}；推测资源2 200万t，含金2.61×10^{-6}。合计含金近120 t。最近该矿床勘查人员提出了矿床新模式，正在附近一探区验证。阿马帕州的阿马帕里太古宙含铁层交代矿床，经勘查有资源2 800万t，含金270万盎司。上部为氧化矿，下部为硫化矿。矿床最近投产，系露采坑，2006年产18万盎司金。在铁四边形地区，萨巴腊矿地金矿产在含铁层中，现有250万盎司金资源。该区的莫罗韦洛金矿已开采深至3 000 m，累计产金1 060万盎司（近330 t）。该国Cuiaba金矿山竖井加深，尚有矿石2 540万t，含金7.6×10^{-6}。巴拉州秃山金矿与该区众多IOCG矿床关系值得注意。

委内瑞拉产在东南部（博利瓦尔州）元古宙绿岩带中风化深广的金矿床拉斯克里斯蒂纳斯矿区和拉斯布里萨斯矿区都已勘查逾10年，储量和资源都在增长，前者有金储量400 t（3.333亿t，金品位1.2×10^{-6}），还有大量金资源；后者有金储量354 t（金品位0.7×10^{-6}），铜59万t，也还有不小的资源量。

哥伦比亚东北部布卡拉曼加东北约60 km的安戈斯图拉金矿床，为高硫化浅成热液矿床，矿化产在脉、角砾岩及断层带中（长逾1.6 km）。经几年勘查（共打395孔，12.4万m），打到了更宽的矿化带和新的矿脉，资源大增。最新计算有推定资源1.481 4亿t，金品位1.22×10^{-6}，银品位5.17×10^{-6}，即含金181 t，银765 t；推测资源1.233 2亿t，金品位1.13×10^{-6}，银品位5.42×10^{-6}，即含金139 t，银670 t。合计有金320 t，银1 435 t。

墨西哥穆拉托斯、多洛雷斯和奥坎波是马德雷山脉金-银矿带在开发的几个重要矿床。索诺拉州的穆拉托斯矿床已投产，为产在火山岩中的高硫化浅成热液矿床，有确定和推定资源1.4亿t，金品位0.88×10^{-6}（即有金123 t），总资源有1.948亿t，金品位0.77×10^{-6}，即有金150 t。与其相距约7 km的La India金项目正在勘查，亦为高硫化矿床。据认为该区矿床与秘鲁亚纳科查大金矿相类似。该州的马吉斯特雷尔金矿，为低硫化浅成热液矿床，现有确定和推定资源1 180万t，金品位1.62×10^{-6}，即含金近20 t。奇瓦瓦州奥坎波金-银矿床也是早已知道的矿床，经13万m钻探，2004年9月报道，新计算结果为确定和推定资源3 920万t，金品位1.46×10^{-6}，银品位61×10^{-6}，即含金57.2 t，银2 390 t；推测资源2 120万t，金品位3.75×10^{-6}，银品位188×10^{-6}，即金79.5 t，银3 985 t。合计有金136 t，银6 375 t。奇瓦瓦州的多洛雷斯也是老矿区，后停采，20世纪90年代起勘查。矿化与一系列角砾化和产网脉的酸性岩墙有关，最近还查明一些高品位补给通道，据2004年4月报道，该项目有确定和推定资源8 480万t，含230万盎司金、1.162亿盎司银；推测资源3 950万t，含110万盎司金、3 950万盎司银（据510个孔11.3万m钻探资料），合计有金105 t，银4 840 t。据2005年7月报道，可露采储量为7 870万t，金品位0.77×10^{-6}，银品位41.1×10^{-6}，即有金60.5 t，银3 230 t，平均可年产金近5 t，银180 t。此外在该国中部瓜那华托州的圣安东矿地Cerm del Gallo斑岩金-银-铜矿床，石英二长岩侵入体含8 800万t，品位分别为金0.4×10^{-6}，银12×10^{-6}，铜0.06%的矿石，周围角砾岩矿石8 700万t，含金0.6×10^{-6}，银23×10^{-6}，铜0.12%。合计有金87.5 t，银2 975 t，铜17.5万t。现有总资源4.54亿t，含金0.33×10^{-6}，银12×10^{-6}，铜0.1%，即有金150 t，银5 448 t，铜45.4万t。在该国南部格雷罗州Bermejal矿床（Mezcala项目）有推定资源9 360万t，

黄金地质研究所
信息室 提供

含金 0.79×10^{-6}（74 t），与 Los Filos 金矿床相距 2 km。后者有确定资源 2 070 万 t，含金 0.81×10^{-6}；推定资源 6 750 万 t，含金 0.91×10^{-6}。该州莫雷洛斯（北）矿地有 4 矿床，属夕卡岩矿化，产在花岗闪长岩与灰岩或火山岩接触带及其附近，含金与磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿及少量黄铁矿伴生。有推测资源 3 060 万 t，含金 3.27×10^{-6}，可露采。该国南部恰帕斯州一探区最近有一金-银矿草根发现（对土壤地球化学异常钻探的结果）。

阿根廷 1997 年发现的主要属浅成热液型的贝拉德罗金-银矿床（靠近智利）已于 2005 年下半年投产，今后要年产 70 万盎司金，寿命 13.5 年。有储量 2.877 亿 t，含金 1.09×10^{-6}，银 16.5×10^{-6}；另有资源 6 140 万 t，含金 0.72×10^{-6}，银 11.2×10^{-6}；合计有金 357 t，银 5 455 t。据 2005 年 9 月报道，金储量升至 398 t，资源量 14 t，合计有金 412 t。圣胡安省的瓜尔卡马约为夕卡岩型金-贱金属矿化与浅成热液复合矿床，2004 年 11 月报道有确定和推定资源 3 710 万 t，含金 1.04×10^{-6}；推测资源 1 130 万 t，含金 1.2×10^{-6}，即合计有金 52 t。在里奥内格罗省与丘布特省接壤处的 Calcatreu 金-银项目，为低硫化浅成热液石英冰长石金矿化系统。1997 年法国 LaSource 开发公司首次在该区一路旁的漂砾中发现金矿化。2003—2004 年进行钻探，其中 49 号脉和 Nelson 矿床在 2004 年下半年已有推定资源 620 万 t，含金 3.04×10^{-6}，银 28.1×10^{-6}；推测资源 187 万 t，含金 2.1×10^{-6}，银 19.4×10^{-6}，可露采。丘布特省的 Esquel 金项目 2004 年在推进开发工作，矿床为一低硫化浅成热液脉矿，有储量 750 万 t，含金 9.7×10^{-6}，银 16×10^{-6}。另有确定和推定资源 300 万 t，含金 3.5×10^{-6}，银 7×10^{-6}；推测资源 290 万 t，含金 4.7×10^{-6}，银 11×10^{-6}。合计有金 96.6 t，银 173 t。

智利北部（较近中部）马里昆加区塞罗卡塞尔主要属斑岩型的金-铜矿床，位于科皮亚波东南 250 km，在富希奥矿山南约 30 km。矿床于 1994—1995 年发现，2000 年完成可行性研究，认为可大规模露采。有证实和概略储量 10.35 亿 t，含金 0.69×10^{-6}，铜 0.26%（以金 0.4×10^{-6} 为边界品位），即含金 714 t，铜 270 万 t。资源量为 12.5 亿 t，含金 850 t，铜 350 万 t。可年产金 30 t，铜 13 万 t，矿山寿命 18 年。2004 年在重新进行可行性研究。智利北部安托法加斯塔东南 160 km 的佩尼翁低硫化浅成热液金-银矿床含在火山岩中，是 1993—1994 年在一过去未知有金矿的区域草根发现。2000 年初投产，上部露采，深部以后井采，当时有储量 480 万 t，含金 8×10^{-6}，银 125.6×10^{-6}，另有资源 480 万 t，含金 11.2×10^{-6}，银 190×10^{-6}，合计有金 92 t，银 1 525 t。2003 年产金 9.98 t。勘查工作在持续进行，每年求得的储量和资源可以补上采出的储量。2004 年仍有 87 t 金，1 700 t 银。智利南部的 El Toqui 锌-金矿床，2004 年的证实和概略储量有 280 万 t，含锌 7.4%，金 1.7×10^{-6}。确定和推定资源（包含储量）350 万 t，含锌 8.1%，金 1.6×10^{-6}；推测资源 299 万 t，含锌 8.4%，金 0.4×10^{-6}，即合计有金资源 6.8 t，锌 54 万 t。

秘鲁北部拉利贝塔德省 2002 年初发现的阿尔托奇卡马的北拉古纳斯大型高硫化浅成热液金矿床是由草根勘查发现的，有金资源 290 多 t，可露采，矿山已于 2005 年 6 月投产。该矿床是国外最近几年最重要的金矿发现之一。秘鲁已成产金大国，其最重要产地亚纳科查矿区在阿尔托奇卡马之北。最近秘鲁北部卡哈马卡省 Shahuindo 金-银矿地在继续勘查，矿化系统面积 8 km×4 km，垂直延深 400 m。资源增长，2005 年 5 月报道有推定资源 3 800 万 t，含金 0.95×10^{-6}，银 22.99×10^{-6}；推测资源 1 720 万 t，含金 0.62×10^{-6}，银 12.83×10^{-6}；合计已有金 46.8 t，银 1 095 t。该省已知多年的塞罗科罗纳斑岩金-铜矿床，在亚纳科查矿区北面，现已进行可行性研究，储量已增至 6 520 万 t，含金 1.14×10^{-6}，铜 0.61%，即含金 74.3 t，铜 39.8 万 t。资源有 1.704 亿 t，金品位 0.8×10^{-6}，即有金 136 t（一说矿床总的有资源 4.26 亿 t，含金 0.48×10^{-6}，铜 0.38%）。

厄瓜多尔基姆萨科查金矿地蚀变范围超过 40 km^2，系浅成热液金-银-铜矿化。区内有火山岩及侵入岩。在宽的低品位带中有高品位矿脉。最近在该国东南角 Condor 项目的 La Zarza 租地有一重要新草根发现，系强硅化火山岩中的低至中硫化浅成热液金-银矿化。金资源远景可超过 300 万盎司，甚至达世界级（500 万盎司）。该发现是 2005 年对 2 年来区域分散流采样数据进行跟踪检查，并于 2006 年进行填图、物探和初步钻探的结果。

危地马拉马林浅成热液金矿床经勘查已有储量 1 330 万 t，含金 5.4×10^{-6}，银 73.7×10^{-6}，即有金 72 t，银 1 040 t。2005 年 11 月投产。

尼加拉瓜中部近年发现的 El Pavon 矿床是一典型的低硫化石英冰长石浅成热液金矿脉系，是用

黄金地质研究所
信息室 提供

老式地表找矿方法的草根发现。该区露头较差，是一未勘查过的地区，以检查老调查报告提到的石英脉转石，寻找并追踪这些转石，结合河溪淘沙追溯其原生来源，然后槽探揭露，不断扩大范围，发现至少1 km长的“中矿脉”（见到厚9 m多，含金9.1×10^{-6}），还有“北矿脉”（脉石以玉髓为主，长1.2～1.3 km）及其他一些脉系。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

独联体及欧洲金矿

20世纪90年代中期以来，西方矿业界在前苏联和东欧地区一直在勘查（评价）开发一些重要的矿床，其中不少是金矿床，这些矿床多数在20世纪90年代前已经广泛勘查，有的勘探程度已很高。

俄罗斯现有金储量16 277 t，其中75%为岩金，11.4%为砂金，另有1 359 t金作为副产品含在多金属矿石中（占7.7%）。另有资料称储量为8 100 t，岩金占53%，砂金占17.7%，综合性含金矿石29.3%。目前西方公司在工作的有楚科奇的Kupol高品位浅成热液金-银矿床，矿脉宽达30 m，长逾4 km，可行性研究已有肯定结果。现有推定资源640万t，含金20.3×10^{-6}，银257×10^{-6}；推测资源410万t，含金12.4×10^{-6}，银171.4×10^{-6}；合计有金180 t，银2 350 t。其中储量710万t，含金16.9×10^{-6}，银214×10^{-6}，要年产60万～70万盎司金当量，预计2007年投产。楚科奇地区还有金资源为280 t的“五月”（马依）矿床。阿穆尔州的Malomir金矿床是20世纪60年代发现的，距斯托依巴35 km，为细脉、网脉浸染矿化，曾经勘探，得C2级储量145万盎司金（金品位平均2.4×10^{-6}，以1×10^{-6}金为边界品位），P1级金资源390万盎司（含金2.2×10^{-6}），合计有金166 t。属黑色页岩金-铂矿化型。阿穆尔州结雅西面滕达附近（距我国黑龙江省北端江北不远）的Prokrov矿床有9 240万t矿石，含金1.9×10^{-6}，中有高品位带，平伏浸染矿体旁边有断层控矿陡倾矿脉。其东北35km的Pioneer矿床已查明6个重要矿体，有金370万盎司（115 t金）。此2矿床2004年要产金24万盎司。伯力边疆区的Khakandzhe矿山金-银矿床已在生产，有金储量60 t，银2 668 t。远东雅库茨克东453 km的Nezhdanin（“意外”）矿床金资源约有430 t（7 790万t矿石，含金5.5×10^{-6}，还有银），其中确定和推定资源3 770万t，含金5.3×10^{-6}，银27.1×10^{-6}，即有金190 t，银810 t。另有资料称该矿床有矿石1.61亿t，含金5.2×10^{-6}，银18.1×10^{-6}，即有金837 t，银2 910 t。西伯利亚叶尼塞地区的Veduga金矿项目有资源1 700万t，含金5.11×10^{-6}（以金2×10^{-6}为边界品位）。该区还有金储量650 t的奥林匹亚达金矿床（含锑、钨，是前苏联对过去评价锑矿点的钻孔岩心重新取样发现的）。西伯利亚东部Natalking矿床有金245 t。克拉斯诺亚尔斯克的Blagodatnoye矿床有金250 t。

乌兹别克斯坦穆龙套矿床的证实储量有金1 500 t。目前纽蒙特公司在处理该矿山堆存的低品位矿石（2.2亿t，金平均1.4×10^{-6}），2003年从中生产了13.6 t金，从1995年起累计已回收100多t金。该国Amantaytau金矿有确定和推定资源2 920万t，含金3.58×10^{-6}；推测资源3 420万t，含金2.61×10^{-6}，还有银。合计有金195 t。其附近Asaukak矿地也钻到重要金矿化带。

哈萨克斯坦北部库斯塔奈西南130 km的Varvarin金矿床在钻探。矿化产在夕卡岩及火山岩的网脉中。2003年计算储量有5 400万t，含金1.35×10^{-6}，铜0.28%；还有确定和推定资源3 900万t，含金0.97×10^{-6}，铜0.17%。合计有金110 t，铜21.7万t。

吉尔吉斯斯坦库姆托尔金矿储量3 100万t，含金3.3×10^{-6}（102.3 t），另有确定资源940万t，含金3.3×10^{-6}（31 t）；推定资源820万t，含金3.5×10^{-6}（28.7 t）；推测资源1 000万t，含金4.5×10^{-6}（45 t金），合计有金207 t。

罗马尼亚西部的罗希亚蒙塔纳和切尔泰伊，以及保加利亚的Ada Tape等浅成热液金-银矿床，均仍在勘查。前者金资源逾400 t，后2矿床都近百t。

西班牙北部阿斯图里亚斯省海岸附近的萨拉韦金矿，以前曾钻176孔（约35 000 m），认为有资源1 000万～2 000万t，含金3×10^{-6}～5×10^{-6}。最近几年又在勘查，有确定加推定资源1 515万t，含金3×10^{-6}；推测资源280万t，含金2.47×10^{-6}，即合计有金52 t。为与侵入体有关的浸染状金矿床，产在花岗闪长岩中，金与毒砂、辉锑矿及少量贱金属硫化物有关。矿化为缓倾不规则透镜

黄金地质研究所
信息室 提供

体，350 m×300 m，延深至 350 m。

芬兰北部 Suurikuusikko 金矿 2004 年在用 6 台钻机打 2 万 m 钻，成功查明了矿化在深部的连续性，并圈出更多矿化。据 2005 年 6 月报道，以 2×10^{-6} 金为边界品位，有推定资源 1 043 万 t，含金 5.83×10^{-6}；推测资源 726 万 t，含金 4.52×10^{-6}，合计含金 93.5 t。

摘自《21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

亚洲金矿

土耳其西部 1997 年发现的 Kisladag 金矿床，2004 年有确定和推定资源 2.148 亿 t，含金 1.04×10^{-6}；推测资源 4 550 万 t，含金 0.75×10^{-6}，总资源有金 250 t。储量 1.35 亿 t，含金 1.16×10^{-6}。该国东中部乔普勒（Copler）金矿项目区面积 9.5 km^2，在安卡拉南东东约 500 km，属迪夫里吉—通杰利斑岩带，是一典型的斑岩-夕卡岩矿化系统，含构造控制的和网脉状铜-金矿化。该区有悠久采矿史，有数百老窿和炼渣堆。Anatolia 公司于 1998 年到该区调查，根据初步采样结果，在 1.5 年时间内从原当地采锰矿公司取得勘查许可。2000 年 9 月与里奥廷托公司组成联合野外队对出露的主斑岩中进行相隔 400 m 的 2 条平行线采样，分别取得平均含金 1.17×10^{-6}，铜 0.17% 及金 1.44×10^{-6}，铜 0.08% 的结果，还采了大量地表拣块样。2000 年 11 月第一孔自地表起钻到 80 m 含金 1.61×10^{-6} 的矿石。经继续勘查，至 2003 年晚期已完成 109 孔（16 243 m），圈出 3 带推测资源，其中主斑岩带 3 300 万 t，含金 2.1×10^{-6}（69.3 t），大理岩区含较高品位矿石 400 万 t，含金 7.7×10^{-6}（30.8 t），锰矿山带 700 万 t，含金 4.18×10^{-6}（29.3 t）。合计已有金约 130 t，仍在继续勘查。据 2005 年 9 月报道，完成了一个29 907 m的钻探计划，证明高品位平伏矿体范围至少 200 m×500 m，平均厚 30 m，含金 4×10^{-6}。总资源将增加。

有资料提到伊朗西北部 2003 年发现的萨里戈纳里（达什卡桑）金矿有金资源约 290 t，未见进一步报道。

印度拉贾斯坦邦 Bhukia 探区在钻广泛的近地表金-铜矿化。所列 5 孔结果，钻到 32～120 m 矿化（多为 30～50 多 m），含金 1.45×10^{-6}～2.52×10^{-6}（多为 2×10^{-6}～2.5×10^{-6}），含铜 0.12%～0.25%。以前印度地质调查局与印度斯坦锌公司查明资源 2 550 万 t，含金 2.8×10^{-6}。泰国中部碧差汶府的 Chatree 露采金矿于 2001 年投产，2003 年 6 月底保有储量1 460万 t，含金 2.1×10^{-6}，银 14.0×10^{-6}，为系列浅成热液含金石英碳酸盐脉，产在火山岩系的一特定岩石单位内，有确定资源 890 万 t，推定资源 1 180 万 t，推测资源 3 120 万 t，含金 1.9×10^{-6}，银 19×10^{-6}，即有金资源 100 t，银 1 000 t。在黎府—披集金矿带其他地方也在找浅成热液金-银脉系。

老挝沙湾拿吉省与斑岩铜-金系统有关的 Sepon 金矿已于 2002 年 12 月投产。2004 年产金 4.16 t，还有 2.73 t 银。2005 年产金将超过 7 t。2004 年时有储量 1 530 万 t，含金 2.51×10^{-6}，银 7.07×10^{-6}，即有金 38.3 t，银 108 t。此外有资源 9 100 万 t，含金 1.63×10^{-6}，银 7.74×10^{-6}，即有金 148.3 t，银 704 t。合计有金 186 t，银 812 t。附近的 Khanong 是一重要铜矿床。

越南中部岘港西南约 90 km 的福山金-贱金属矿区与老挝 Sepon 金-铜矿区同属印支半岛长山山脉古生代褶皱带。福山矿区处在福山—三岐早中生代碰撞缝合带（北面的长山褶皱带与南面的前寒武纪昆嵩结晶地块之间），在花岗闪长岩侵入体边缘的夕卡岩带中，福山的 Bat Dat 和 Bat Go 两矿床在 2003 年已圈出高品位金资源约 7 t，金平均品位 13.5×10^{-6}，还有银等，在继续勘查。

菲律宾吕宋岛南部八打雁金-铜带有几个项目在工作。马尼拉南约 150 km 的 Achangel 和 Lobo 的浅成热液金-银和斑岩金-铜矿地有远景。

印尼马鲁古省哈马黑拉的 Kencana 矿床在资源已枯竭的 Gosoweng 浅成热液金（银）矿山南 1 km，为低硫化浅成热液矿床，有资源 170 万 t，含金 41×10^{-6}，即有金近 70 t，还有近似数量的银。原 Gosoweng 矿山的采金工作已转至附近的 Toguraci 矿床，后者有金资源约 160 t。印尼 Martabe 金矿床有矿石 7 350 万 t，含金 1.6×10^{-6}，即有金 117.6 t，产在经淋溶的致密的角砾化二氧化硅体中。

大洋洲巴布亚新几内亚辛贝里岛 Sorowar 金矿床（在利希尔矿山西北约 60 km）经过 3 年勘查，资源已有 4 175 万 t，金平均 1.16×10^{-6}（即含金 48 t）。该国 Hidden Valley 进行了可行性研究，有 5 033 万 t 矿石，金品位 2.7×10^{-6}，即含金 135 t，

黄金地质研究所
信息室 提供

局部有银。Wapi金矿探区在广泛钻进，以0.5×10^{-6}金为边界品位计算有175 t，以1×10^{-6}金为边界品位计算有金145 t，拟在2006年开发，2年后投产。利希尔矿床金资源扩大，有矿石4.041亿t，金品位3.16×10^{-6}，即有金1 277 t。

蒙古金产量已由1999年的10 t，增至2004年的18.6 t。乌兰巴托北110 km的博鲁金矿山建设已于2003年完成，年底投产，露采。储量1 070万t，含金3.52×10^{-6}，另有推测资源340万t，含金2.09×10^{-6}，将平均年产5.4 t金，寿命8年。蒙古近年最大的金矿资源发现与查明当属南部绿松石山（奥尤陶勒盖）特大型斑岩铜-金矿床组，迄今查明的金资源有800 t。此外，蒙古西部扎布汗省正在勘查的“金山”铜-金-银块状硫化矿中已有金资源34 t。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

美国麦克唐纳金矿床

1 地质背景

麦克唐纳（McDonald）金矿床位于美国西部蒙大拿州中西部，赫勒纳西北约65 km，林肯城东偏北约13 km处。矿床处在布莱克特河上游河谷北侧地形升高处，是一个吨位大的低硫化浅成热液型矿床。矿区地层由元古宙沉积岩组成，上面不整合地覆盖着矿化安山岩和长英质凝灰岩，其时代为始新世—渐新世。随着热液系统的减弱，在凝灰岩顶部沉积了火山碎屑岩和至少20 m厚的硅化。成矿前和成矿后的NEE和NNW向的高角度断层破坏了该矿床。

浸染状金-银矿化主要产于熔结差到中等的富岩屑的凝灰岩中，矿化延伸到下伏的安山岩和上覆的致密熔结凝灰岩中。矿化伴随有弥漫状的石英-冰长石-黄铁矿-镁铁矿蚀变，由矿带往外，该蚀变渐变为泥岩化。矿化受凝灰岩中富含浮石和岩屑的岩层和陡倾、横切的石英-冰长石脉所控制，后者向上变为玉髓质，并延伸到了上覆的硅华中。矿体长2 100 m，厚140 m，呈层控型，往北缓倾。贵金属以螺硫银矿、自然银、银金矿和自然金等形式产出，与其伴生的有黄铁矿、白铁矿和镁铁矿，然而大部分矿体发生了异常强烈的表生氧化，氧化深度达300～350 m。

据报道，麦克唐纳矿床的地质储量总计达3.75亿t，平均含Au 0.67×10^{-6}，Au的边界品位为0.27×10^{-6}，即含有251 t金储量。其中可采储量为1.86亿t，Au的平均品位为0.86×10^{-6}。

2 勘查与发现

1865年，在蒙大拿州这个地区就开始开采砂金。19世纪80年代后期，在麦克唐纳矿床南面6.4 km处发现了塞文—阿普彼德（Seven-Up Pete）金矿床。该矿床为安山岩中的浅成热液石英脉型，断断续续地开采，到1937年便停采了。

20世纪70年代后期，安纳康达公司的地质人员，根据识别出来的硅华露头勘探了麦克唐纳矿床西南约3 km处的基普库尔探区，提出做详细勘探地质填图、土壤采样、激发极化测量和检查钻探，但并未完成已部署的工作。1985年，西部能源公司（Western Energy Company）购买了安纳康达公司的租地。

1985—1988年，西部能源公司在塞文—阿普彼德开始了一项重要的勘查计划，在基普库尔打了14个孔。在麦克唐纳东比尤特山顶发现了泉华，公司便在麦克唐纳地区打了2个孔。随后在基普库尔探区进行了地质填图、地球化学取样和激发极化/电阻率及放射性测量。在麦克唐纳地区打的第2个孔错误地过早终孔，而未能打到本来只需再打3 m就可遇到的325 m厚，平均品位为2.5×10^{-6}的矿带。

1988年晚期，费尔普斯道奇（Phelps Dodge）矿业公司对塞文—阿普彼德和麦克唐纳找矿租地发生了兴趣，随后由阿德韦斯特（Addwest）金矿公司收购了西部能源公司的矿权。阿德韦斯特公司证实塞文—阿普彼德有少量资源，并在麦克唐纳租地打了8个钻孔（1 720 m），在东比尤特山顶泉华下发现有不连续的金矿化。1989年年中，阿德韦斯特与费尔普斯道奇矿业公司等联合实施了SPJV（Seven-Up Pete Joint Venture）计划。

SPJV计划把它们的工作集中在塞文—阿普彼德，而且认识到麦克唐纳是一个工作不够的有远景的热泉型金矿化系统。1989年在这里进行了土壤地球化学、激发极化/电阻率、地面磁法、甚低频电—磁法测量。在这2个最有利的地球化学靶区打了24个钻孔，穿过了浅部低品位的脉型金矿化，

黄金地质研究所
信息室 提供

但矿体的连续性和品位都令人失望。但在要结束前，用最后一个钻孔（025 号孔）试探了排序第 4 的目标（这是东比尤特山东北侧的一个微弱的地球化学异常，Au＞10×10^{-9}，直至 150×10^{-9}），结果打到了 120 m 近地表矿化的凝灰岩层，Au 平均品位为 0.6×10^{-6}。该凝灰岩有几米厚的覆盖层。这个钻孔发现了在麦克唐纳的大吨位金矿化，为此又打了 11 个追加钻孔，这些钻孔都没有取得最后结果。在这个阶段只圈出了 650 万 t 矿石，平均含 Au 1.6×10^{-6}。

1990 年在麦克唐纳租地又打了 29 个追加钻孔（4 973 m），以补充调查 025 号钻孔穿过的低品位矿化，并调查研究 7 个追加的靶区。结果有好有坏，仍搞不清楚矿化控制因素是地层还是构造。到 1990 年年中，决定在 025 号钻孔以东再打 5 个钻孔，其中 4 个穿过地表附近的明显矿化。特别是在 062 和 063 号钻孔，遇到了 111 m 厚的矿带，平均含 Au 3.1×10^{-6}，其中包括 24 m 的富矿段，平均含 Au 11.6×10^{-6}。1990 年的计划证实了东比尤特矿化带的连续性，圈出了 1 600 万 t 潜在的矿石，Au 平均品位为 1.0×10^{-6}。

1991 年完成了地质、地球化学和地球物理调查，以及钻探工作、冶金测试和环境研究。总共 196 个钻孔 45 732 m 进尺的一项重要的反循环钻探计划证实，地层对矿化有重要的控制作用，矿化向北延伸到相当大的深度。122 号和 149 号钻孔分别穿过 192 m（114～306 m）和 175 m（134～309 m 两个矿带，前者平均含 Au 1.2×10^{-6}，后者含 Au 0.67×10^{-6}。矿带之上和矿带本身的硅化作用产生了一个电阻率异常（图 1），它帮助指导钻探，但未能指明矿体的北半部分，因为那里与金有关的硅化比较深。可是，激发极化、甚低频电磁法、可控源音频大地电磁法和磁法测量的结果仍然不明确。

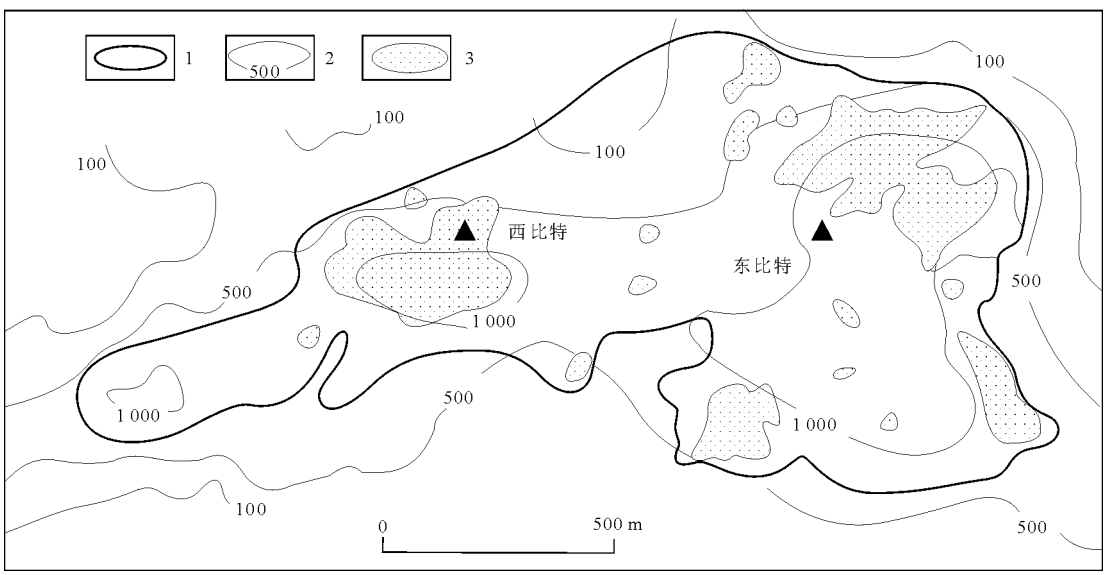

图 1　美国蒙大拿州麦克唐纳低硫化浅成热液金矿床金矿化和电阻率之间关系图（引自 M. S. Enders 等，1995）

1—金矿化区；2—视电阻率/Ω·m；3—高品位 Au 矿化带

1991 年下半年以 244 m 为中心开展了深部网格钻探，估算有 1.68 亿 t 矿石，Au 的品位为 1.0×10^{-6}。1992—1994 年完成了可行性研究的详细准备工作。这些工作包括追加 232 个钻孔，进尺达 52 680 m，它把钻探网度提高到 122 m×122 m，从而导致资源量扩大。这项计划钻探的钻孔数总计达 494 个（113 000 m），其中 92% 是反循环钻探，其余是岩心钻探。矿石可进行露天开采和堆浸，麦克唐纳计划每天生产 30 000 t。

3　小　结

麦克唐纳矿地是一个已有百年采矿历史的地区，在其他一些公司曾经调查研究过该矿地，并有 2 家公司曾先后将该矿地作为项目次要对象实施过钻探计划的地方，最后由 SPJV 计划发现区内真正的一个大型金矿床。这一成功是因为有一支具有想象力、坚持不懈和坚持现场考察的跨学科的、人人尽力的勘查队。该项勘查计划应用矿产勘查的地质和经济模式的一个很好例子。浅成热液的热泉成因

黄金地质研究所
信息室 提供

模式和郎德山矿床模式概念的应用，在确定矿床勘查靶区方面起到了重要的作用。SPJV 计划也曾两度下马，但是通过锲而不舍地不断探索，终于在这一几上几下原本不被当作主要对象的探区发现了大矿。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

南澳大利亚显山（Prominent Hill）铜-金-银-铀-稀土矿床

2001年晚期在澳大利亚南澳大利亚州著名的奥林匹克坝特大型铜-铀-金-银-稀土矿床西北约200 km处，发现了也是隐伏的显山（Prominent Hill）铜-金-银-铀-稀土矿床（图1）。这两矿床均位于高勒克拉通东北部。显山矿床在矿化型式和矿床成因上与奥林匹克坝矿床很相似，经勘查已算得其铜资源量超过150万t（一说180万t），金超过80 t。目前在继续勘查，资源还会增长。此矿床的发现，不仅有实际意义，且具有理论（概念）意义。

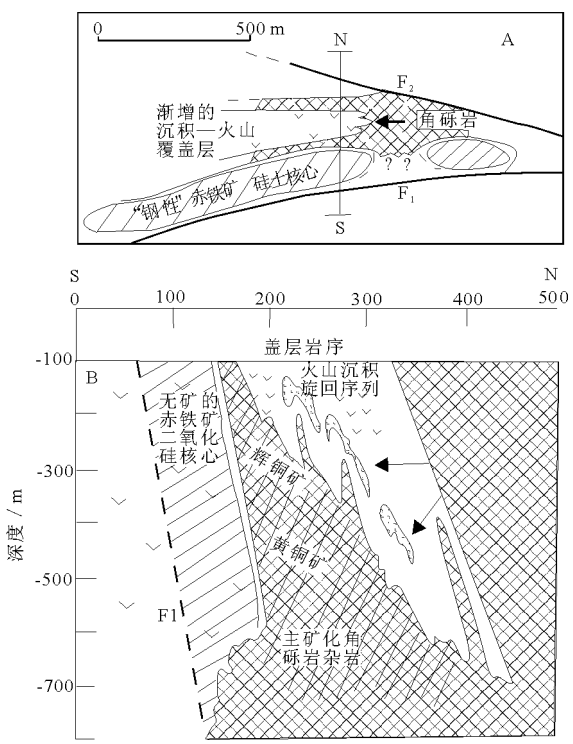

图1 显山地质模型示意图（据A. Belperio，2004）

A—平面图；B—剖面图

1975年发现的奥林匹克坝矿床原计算矿石资源有20亿t，铜平均品位1.6%，金为0.6×10^{-6}，银为3.5×10^{-6}，U_3O_8为0.6×10^{-3}，即含铜3 200万t，金1 200 t，银7 000 t，U_3O_8 120万t，还有1 000万t稀土氧化物。矿床1988年投产后，经不断勘查，2004年拥有的总资源升至38.10亿t，铜平均品位1.1%，金为0.5×10^{-6}，U_3O_8为0.4×10^{-3}，即尚有铜4 290万t，金1 900 t，U_3O_8 152万t。还有大量银、稀土和平均品位26%的铁矿石。

这一巨大而独特的矿床发现后，引起了勘查界、矿业界及有关学术机构的强烈兴趣，并提出了要找“奥林匹克坝型”矿床。后经研究，还由此新提出了一类重要的热液铁氧化物铜-金-铀（稀土）矿床。以铁氧化物来划分，IOCG型矿床中包含有富磁铁矿的矿床（其中磁铁矿极发育的端员矿床为瑞典基律纳铁矿床）和富赤铁矿的矿床（其中赤铁矿极发育的端员矿床为奥林匹克坝矿床）。已知大部分此类矿床均以含磁铁矿为主，以赤铁矿为主的颇少。20世纪80年代晚期以来，IOCG型矿床已逐渐成为国际上勘查和研究的重要目标之一，且也有重要发现。但在显山矿床发现之前，一直没有找到与奥林匹克坝矿床类似的赋存在赤铁矿角砾岩中的此类重要矿床。

高勒克拉通系一在南澳大利亚州占面积60万km^2的太古宙—中元古代地体，露头有限，其地质构造解释相当程度上要靠钻孔资料和地球物理数据。在20世纪80和90年代大部分时间，高勒克拉通的奥林匹克坝型矿床的找矿工作，是在此类矿床已发表资料有限、地质和地球物理信息不全以及没有很好确定矿床模式的基础上进行的，所以收效不大。在此过程中发现少数几个金矿床，没有找到真正类似奥林匹克坝矿床的IOCG型矿床。与此同时，在勘查界和学术界存在一种看法，认为奥林匹克坝矿床是一个在特殊条件下形成的独一无二的矿床，几乎无法再找到一个特征与其相似的矿床。

不过有些矿业公司和勘查公司仍在高勒克拉通寻找此类矿床。南澳大利亚州政府20世纪80年代以来也颇重视矿产勘查和开发，实施了一些鼓励勘查、加速勘查的计划，拨款在州内进行了区域地质、区域物探（主要是系统航磁测量）、区域地球

黄金地质研究所
信息室 提供

化学调查，以及少量构造钻探工作，使有关勘查公司可免费得到这些数据。到90年代晚期终于又吸引了一些公司到该州勘查。澳大利亚大公司BHPB和小公司Minotaur资源公司合伙，在高勒克拉通北部的芒特伍兹内围层地区寻找类似奥林匹克坝矿床的矿床，具体找矿工作主要由后者进行。通过地质和物探（重力和磁法测量）等工作，2001年在该内围层南缘显山地区试探重磁异常的URN 1号孔在108 m沉积盖层下打到赤铁矿角砾岩，基质和碎屑均以赤铁矿为主，原岩未见及。在200～307 m孔段打到平均品位铜1.94%，金0.65×10^{-6}和银1.6×10^{-6}，包括底部272～307 m含铜3.85%，金0.82×10^{-6}和银4.5×10^{-6}。辉铜矿矿化以浸染体和细脉见于赤铁矿基质中，富集在300 m附近。往下穿过一粗玄岩墙后还有矿化角砾岩，有152 m含1.1%铜（包括17 m含2.39%铜和0.14%铀），还有金。从450 m起打到57 m含铜1.28%，金0.66×10^{-6}，银2.0×10^{-6}，稀土0.51%和铀495×10^{-6}，包括17 m含铜2.35%，金1.07×10^{-6}，银3.3×10^{-6}，稀土0.66%和铀$1\,398\times10^{-6}$（相当于1.65×10^{-3} U_3O_8）。此段特征是赤铁矿角砾岩和铜矿化（斑铜矿和黄铜矿）在基质和碎屑中均有分布。该孔所见角砾岩岩性和元素伴生组合、矿化组合和铜矿物分带，以及重晶石和萤石含量高、稀土（镧和铈）和铀含量高等特征，均可与奥林匹克坝矿床相比拟。2002—2003年继续钻探，大部分钻孔见矿情况均好，有的打到更富的矿段，但在距发现孔1.7 km附近处打的4个孔品位低。一般从孔深100余米至300余米处开始见矿，打到矿石的孔段长度有数十至百余米，铜品位从1%至5%，金从0.2×10^{-6}至1×10^{-6}，铀为50×10^{-6}～160×10^{-6}，还有银和稀土等。在此期间，BHPB要继续进行广泛的区域踏勘检查性的勘查，而Minotaur公司想努力在此已发现矿床进行勘查开发以便及早取得现金。最后BHPB公司离开此项目，而另一家澳大利亚的公司Oxiana进入显山勘查项目，成为一大参与者。2004年Oxiana公司还兼并了Minotaur公司，使其成为一家子公司（名为Minotaur勘查公司），仍由其进行显山矿床勘查。

2003年晚期至2004年中，进行了圈定矿石资源的金刚石钻探计划（此前以反循环钻探为主）。结果表明矿化角砾岩较稳定。2004年8月Oxiana公司据44孔（17 800 m，其中64%为岩心钻，余为反循环钻，网度100 m×100 m）结果，完成瞻望性研究，算得推测资源（以铜0.5%为边界品位）有9 700万t，铜平均品位1.5%，含金0.5×10^{-6}，含铀103×10^{-6}，此外有银2×10^{-6}～8×10^{-6}。即有铜145.5万t，金48.5 t，铀约1万t。如以1.0%铜为边界品位，则资源为6 000万t，铜平均品位1.9%，含金0.5×10^{-6}，含铀112×10^{-6}。还设想可有一年产750万t矿石（含铜1.5%，金0.6×10^{-6}）的露采矿，年产铜9万t，金3.4 t，资本投资约需3亿～3.5亿澳元。后继续进行加密钻探（至50 m钻孔）和拓展钻探。并进入预可行性研究。据2005年7月报道，又进行了资源计算。这是在完成作为预可行性研究一部分的一项钻探计划之后，根据总计达4.9万m金刚石钻探和2.9万m反循环钻探结果进行的。总资源的90%已可列为推定资源级。主铜-金角砾岩矿化部分（以铜0.5%为边界品位）有推定资源9 040万t，含铜1.46%，金0.54×10^{-6}；推测资源1 050万t，含铜1.59%，金0.62×10^{-6}。东部单独的金矿化部分（在铜少于0.5%的矿石中，以金0.5×10^{-6}为边界品位）有推定资源490万t，含金1.32×10^{-6}，铜0.11%；推测资源1 620万t，含金1.17×10^{-6}，铜0.07%。以上合计有铜150万t，金80 t。西部也有单独的金矿化部分，在继续钻探圈定。主铜-金矿体也仍未探到边，往深部、往东南及往西沿显山剪切带仍可延伸。预可行性研究2005年8月底完成，可行性研究将加速进行，可能在2006年中期完成，目标是2008年矿山投产。最近有报道称，总资源可增至300万t铜，200 t金，1 365 t银，还有铀和稀土。

显山矿床是一隐伏矿床，在地球物理上表现为一独立的重力异常。矿床最后得以发现，从技术方法上讲，重力测量起了重要作用。该矿床的铜-金-银-铀-稀土矿化直接与以赤铁矿为基质的角砾岩相伴生。矿床产在约100 m厚的沉积盖层下的一个宽阔的角砾岩杂岩体中，杂岩体侵入于低级变质的基性—酸性火山岩（年龄约15.9亿年）和相伴的火山碎屑沉积岩中。这些火山岩产在一弧形地堑中。赤铁矿角砾岩的角砾主要由硬砂岩、蚀变安山岩-玄武岩、一些赤铁矿化岩石等组成。角砾岩杂岩体的核部为基本无矿的赤铁矿-二氧化硅带。围绕无矿核有一高品位金矿化带。在接近角砾岩杂岩体的围岩（白云岩、泥质岩和硬砂岩等）中，有沿裂隙形成的含金赤铁矿脉。铜矿化有分带现象，大体说来，上部为辉铜矿，深部为斑铜矿和黄铜矿（伴有黄铁矿）。铀的分布不大连续，一般产出部位

黄金地质研究所
信息室 提供

较深，且多与萤石和黄铜矿在一起。稀土与磷灰石和独居石等有关。此矿床的矿化型式和形成历史可与奥林匹克坝矿床直接比拟，具有许多重要的共同点：近喷孔火山作用及有关热液蚀变作用与角砾化；蚀变组合与矿化组合十分相似，近程和远程晕也很相似，以及共同的分带型式；成矿年代相同，构造环境相似。两矿床均属IOCG型矿床中赤铁矿极发育的矿床。它们明显不同处是容矿岩石的性质不同，奥林匹克坝矿床的赤铁矿角砾岩矿化主要位于花岗岩内，而显山矿床主要是在火山岩系岩石内；矿化系统中铜、金和铀的相对比例也不同，奥林匹克坝矿床铀含量较高，而显山矿床则金含量较高。

据Minotaur公司称，显山矿床的发现，说明其在该项勘查中所运用的勘查战略和矿床模式是正确的，并证实了显山矿床与奥林匹克坝矿床在矿化型式和成矿历史上可直接比拟，从而将会消除关于奥林匹克坝矿床是一个独一无二的矿床的看法。

2005年6月RMG Services有限公司在奥林匹克坝矿床东南约100 km的Carrapateena探区发现重要的IOCG型矿化，进一步说明了奥林匹克坝矿床并非绝无仅有。该探区在南澳大利亚州奥古斯塔港北约200 km，位于托仑斯湖西畔，地处高勒克拉通东缘。该公司于2005年在该探区对较微弱的区域重力异常和较明显的航磁异常进行了钻探，由州政府资助50%打了2个深孔。CAR—02孔在476 m平伏的新元古代盖层下打到178.2 m矿化（至孔底仍在矿化体中），平均品位为铜1.83%，金0.64×10^{-6}，还有铈0.2%。矿化产在赤铁矿角砾岩中，见丰富的细粒赤铁矿蚀变、斑铜矿和黄铜矿。2005年10月TeckCominco公司购得此矿地，组成合营项目。计划至2008年底要花费1 600万美元进行勘查（包括7.5万m钻探），还要探7个区域目标。2006年4月完成地面物探（激发极化、重力和磁大地电流测量）并开钻。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

赞比亚坎桑席铜-金矿床

赞比亚西北省省会索卢韦济东北约15 km的坎桑席（Kansanshi）铜-金项目，已使一老矿山转变为大的铜产地。该地在公元4世纪时已采自然铜。19世纪末欧洲找矿人在该区发现了老窿和一些老的井采铜矿山，并在1903—1957年断续进行开采。在赞比亚独立和铜矿业国有化后，在此有一小露采矿，直采至20世纪70年代，最后于1998年完全关闭。随着政府推行私有化计划，Cyprus Amex矿产公司于1997年取得了坎桑席矿地，意欲大规模生产。后该公司被Phelps Dodge公司兼并。Phelps Dodge公司在此矿地完成了8万多米钻探工作，并于2000年完成一初步的可行性研究报告。此后，Phelps Dodge公司因铜价低等原因决定离开坎桑席。

加拿大First Qantum公司后来发展成中非一家重要的铜业公司，它于2001年购得此矿地，在坎桑席拥有80%的权益。这几年该公司在此项目积极工作，并已在2005年上半年正式投产。

像许多中非铜矿山那样，坎桑席是一个大的但品位不算很高的近地表矿，不过按铜价2 100美元/t和金价325美元/盎司计，其每吨矿石平均值26.28美元，比巴西的萨洛博和索塞戈矿床富。

该矿床产在卢菲拉弧中。该弧为一大的构造区，是一宽广的近SN向褶皱逆冲构造，中非铜矿带就赋存在此弧中。该矿床与铜矿带已知正常似层状铜-钴矿床有较明显不同，是在5亿年前矿化变质时期形成的。本项目区地质上主要为NW向坎桑席背形构造，在一大的褶皱核部，出露有新元古代坎桑席矿山组地层。铜矿化既产于横过双向倾伏背斜的陡倾的一般为SN向的石英-碳酸盐脉中，也产在基本平伏的层控矿化中。已确定有主矿带和西北矿带2个矿床。原来硫化矿经次生富集和后来氧化，产生氧化矿和混合矿，亦尚有深生矿。矿化集中于平缓背斜状构造的脊部，连结成厚的矿体，其翼部大致顺层分布，似层状。含矿地层由大理岩、千枚岩、钙质和碳质千枚岩及斑结状片岩（受变质碎屑岩）构成（图1）。

坎桑席矿化显示出某些不平常的与铁氧化物-铜-金矿床类矿床（IOCG）的亲缘关系，只是缺少铁氧化物。一部分矿化产在背斜核部品位很高的矿脉和硫化物角砾岩体中。有些几乎纯为黄铜矿，含容矿岩石捕虏体。另一原生铜矿物是斑铜矿。痕量矿物是铀钛酸盐和钛铀矿。容矿岩石中有交代矿带，交代矿紧紧围绕中部角砾—脉矿化组合。在千枚岩中，层控交代矿体沿走向延伸可达800 m，它们与含矿角砾岩紧密相伴，表明其是后生的。围绕

黄金地质研究所
信息室 提供

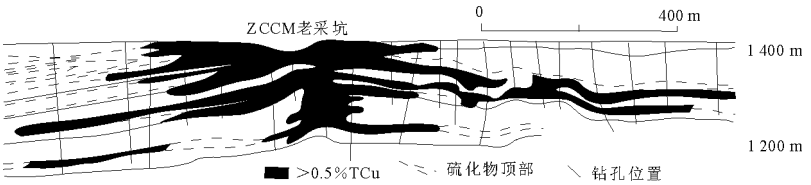

图1 坎桑席矿区剖面图（据 Mining Journal，2004 年 2 月 13 日号）

脉及往外延伸至渗透性高的沉积岩中的是钠长石和碳酸盐蚀变，其中亦含浸染状铜的硫化物。原生硫化矿近地表发生氧化和表生富集。氧化矿化可深达 200 m。

通过钻探，坎桑席主带和西北带矿床总资源量，已由 2002 年初的 2.67 亿 t，含铜 1.28%，金 0.16×10^{-6}，增至 2004 年初有确定和推定资源 3.02 亿 t，平均铜品位 1.17%，金为 0.17×10^{-6}（以铜 0.5% 为边界品位）；推测资源 1.11 亿 t，含铜 1.11%，金 0.12×10^{-6}（亦以铜 0.5% 为边界品位），即总共含铜约 476 万 t，金 64 t，已进行了可行性研究。一期可开采可浸出的 4 690 万 t 证实和概略储量，铜品位 2.25%，金为 0.29×10^{-6}（氧化矿与混合矿），以及在硫化矿带已圈出的 9 500万 t 证实和概略储量，铜品位 1.03%，金为 0.19×10^{-6}，拟用 2 采坑开采，寿命 16 年，年产 10.2 万 t 铜，共可生产 72.3 万 t 电解铜和含铜 91.3 万 t 的精矿。估计资本成本为 1.63 亿美元，其中选厂 1.19 亿美元，矿山建设 3 600 万美元。二期尚可开采 1.88 亿 t，含铜 0.88%，金 0.12×10^{-6} 的矿石，主要为原生矿，扩大的采坑可另有 12 年寿命，即总寿命为 28 年。预计 2006—2009 年每年平均产铜 14.5 万 t。

摘自《21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

加拿大安大略省 Nickel Rim South 镍-铜-钴-金-铂族金属矿床

在加拿大安大略省著名的萨德伯里硫化镍-铜（钴，铂族金属）矿区，鹰桥（Falconbridge）公司于 2001 年 11 月在萨德伯里盆地东部萨德伯里机场北 2.7 km，钻探发现了 Nickel Rim South 大型高品位镍-铜-钴-金-铂族金属矿床。据 2004 年 9 月报道，该矿床已有推测资源 1 370 万 t，镍品位 1.7%，含铜 3.6%，钴 0.04%，金 0.8×10^{-6}，铂 2×10^{-6}，钯 2.2×10^{-6}，银 16×10^{-6}，即含镍 23.3 万 t，铜 49.3 万 t，钴 5 480 t，金 11 t，铂 27.4 t，钯 30 t，银 219 t。矿床仍未探到边。2004 年 3 月宣布一项 3.68 亿美元的 5 年开发计划（地下开采），2004 年费用为 7 500 万美元，2008 年投产。因品位高，是萨德伯里低成本矿床之一，当时预计镍现金成本为 60～70 美分/磅。

加拿大自 1886 年在萨德伯里第一次生产出镍以来，全国已累计产镍约 1 200 万 t。2003 年产镍 19.3 万 t，其中 2/3 来自萨德伯里。该矿区镍矿石储量、资源和过去的产量合计约 16 亿 t（镍金属资源和过去产量合计约 1 648 万 t）。2002 年国际镍有限公司（Inco）在该区有证实和概略储量 1.93 亿 t，镍品位 1.28%，铜为 1.38%，另有确定和推定资源 5 200 万 t，含镍 1.32%，铜 1.73%。2003 年鹰桥公司在该区有证实和概略储量 1 400 万 t，含镍 1.39%，铜 1.28%（尚可开采 7 年），确定和推定资源 2 100 万 t，含镍 2.24%，铜 0.98%。2 公司还各有推测资源近 3 000 万 t。

鹰桥公司于 1928 年起就在萨德伯里经营。当时购买了鹰桥矿地（有 510 万 t 矿石的镍-铜矿床），1 年后投产。1929 年至 2002 年底，公司在萨德伯里的总共 10 个矿山，已采出约 1.3 亿 t 矿石，平均含镍 1.46%，铜 1.05%。现经营 4 个地下开采矿山、一个选厂、一个冶炼厂，职工 1 500 多人。2003 年公司在萨德伯里从平均品位镍 1.35%，铜 1.48% 的 230 万 t 矿石中产镍 24 143 t（精矿含镍量），铜 29 161 t，钴 611 t。目前由于地压问题，一些深部高品位资源尚未能开采。

鹰桥公司在萨德伯里矿区的勘查很成功，不断有新发现，特别是发现了不算很深的新的高品位 Nickel Rim South 矿床，能保证公司在该矿区至少可继续开采 20 年。

公司在传统上是勘查萨德伯里杂岩体接触带，找大矿量（1 000 万～3 000 万 t 矿石）矿床。在 1996—2001 年，勘查贡献了 8 600 万 t 含镍 1.45% 的矿石，发现成本是 3.32 亿美元，或每磅 10 美

黄金地质研究所
信息室 提供

分。1994—2000年公司集中勘查杂岩体深部，导致发现一些矿床，包括Onaping Depth，Frazer Morgan，Creighton West，共2 750万t，镍品位2.18%，铜为1.65%。其中Onaping Depth就有推定资源1 460万t，含镍2.52%，铜1.15%，系高品位矿，但在2 000 m深以下，岩石应力很高，尚未开采。

2000—2001年公司提出了一个新的战略计划。2001年公司在萨德伯里开始实行勘查新战略，目标是高品位的延深不超过1 500 m中段的中小型矿床。根据分析，如此深度的一个300万t矿石典型的“接触带”矿床或一个75万t典型的“底板”矿床，在存在现有基础设施的条件下是可采的。战略转变导致在过去2年发现1 800多万t新增高品位资源，其成功继续证明萨德伯里矿区有勘查远景。

萨德伯里矿区有2种类型镍矿床，它们沿萨德伯里盆地边缘形成于杂岩体的底部，代表了由一个大的陨石冲击坑引起的一个熔浆席。“接触带”环境的矿床，其块状硫化物矿体趋于富集在沿陨击坑底面的弯入处或低洼处，而“底板”矿床则是含铜硫化物流体进入下伏角砾化的杂岩体底板岩石，形成细脉、脉，局部为块状矿石带。底板矿床的铜和铂族金属品位较高。

公司通过三维建模使勘查最优化。公司勘查队证明，沿萨德伯里盆地底部接触带500 m范围内57 km^3的底板仍可勘查，而过去的勘查实际上并未重视底板，通过这次数据汇编和三维可视化，得出一些优先目标。其中翻开勘查新一页的地区是东部山岭。在萨德伯里机场北约3 km，公司炼厂北约5 km，这一矿化情况好的地区显示有远景。它处在接触带环境，还有有意义的底板，加之有一些矿化显示，以及一个过去生产的矿山。

1992年公司曾沿Inco公司在该区的维克多矿床的倾伏方向打钻，于2 000 m深处打到镍矿，即所谓Rim矿床。到1994年，钻探求得该矿床资源160万t，品位为镍1.6%，铜10.1%，金2.5×10^{-6}，铂4.2×10^{-6}，钯3.5×10^{-6}。1996年公司以一系列500 m距的拓展孔向东南扩展，继续此区研究。在Mac99孔的接触带打到有意义矿化，特别是Mac100孔有37 m的块状黄铜矿脉见于接触带下（该孔在Rim矿床东南约2 km）。

然后公司在该孔进行了“多伦多大学电磁法”（UTEM）低频物探，结果圈出2个明显异常，一个在接触带，一个更往下在底板中。在该孔中加楔造斜后，在接触带打到5.3 m的镍2.86%，铜1.19%的矿石和某些有意义的变化。更重要的是在2001年11月初钻的Nickel Rim South发现孔，于底板带打到近90 m的镍品位为1.76%，铜6.45%，金8.7×10^{-6}，铂5.2×10^{-6}，钯6.5×10^{-6}的矿化段。到2002年春已清楚Nickel Rim South是一重要矿床发现。该矿床距维克多矿地仅2 km。

到2004年3月，当决定对Nickel Rim South矿床进行井采时，公司在该项目已花费1 100万美元，完成72 000多米地表钻探。该矿床矿体赋存在1 200～1 750 m深处，符合典型的萨德伯里盆地矿床模式。在最近资源计算前，底板带有推测资源650万t，镍品位1.5%，铜5.8%，钴0.02%，金1.4×10^{-6}，银25×10^{-6}，铂3.3×10^{-6}，钯3.9×10^{-6}。上覆接触带有资源640万t，含镍2%，铜1.3%，钴0.05%，金0.2×10^{-6}，银6.2×10^{-6}，铂0.6×10^{-6}，钯0.6×10^{-6}。沿接触带倾斜方向往浅部扩展，又增加30万t资源，含镍2.4%，铜0.3%，钴0.06%，银2.1×10^{-6}，铂0.1×10^{-6}，钯0.1×10^{-6}。沿此再往浅部仍有延展。一项在进行的24 000 m地表钻探计划，已于2004年6月底增加了50万t资源。此项钻探计划还在检查其他有希望地区。

公司拟以3期地下钻探计划（10.4万米），使资源升级并予以圈定，以支持年采100万t矿石的可行性研究。还要打一主竖井至1 785 m深，一通风井至1 675 m深。此矿床达到全部生产能力后，将年产12 000～15 000 t镍，35 000～45 000 t铜，45 000～60 000盎司铂，60 000～70 000盎司钯，18 000～25 000盎司金，还有钴和银。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

美国内华达州科特兹山金矿床

美国内华达州科特兹山（Cortez Hills）大型较富的金矿床，是在一已知金矿带内进行矿场勘查时发现的。它是该州近年最重要的金矿发现，也是近10年美国最重要的金矿发现之一，在2005年加拿大找矿人和开发者协会年会上获得该协会颁发的“国际发现奖”。

黄金地质研究所
信息室 提供

科特兹—巴特尔山带是内华达州北中部的一个主要为卡林型金矿的重要金矿带。已开采 30 多年的科特兹矿山在埃尔科西南约 130 km。40 多年来，科特兹地质队在该矿地不断勘查，已圈出 3 700万盎司（1 150 t）金的确定和推定资源，包括 2 800 万盎司（870 t）证实储量和概略储量。约 89% 的储量是过去 11 年探明的。科特兹金矿山于 1968 年投产，据 2004 年中报道，整个科特兹合营项目（Placer Dome 公司占 60%，其余现属 Rio Tinto 公司）已生产 1 200 多万盎司金，其中 1 000 万盎司（311 t）是最近 10 年生产的。2003 年矿山已连续 6 年每年产金超过 100 万盎司。2004 年产量可能超 100 万盎司，成本约每盎司 160 美元。科特兹矿地原有 7 个金矿床：Pipeline，南 Pipeline 延伸带，Gap，Gold Acres，Cortez，Horse Canyon 和 Pediment。目前主要产自 1991 年发现的 Pipeline—南 Pipeline 矿床组的露采坑，用综合选矿、堆浸和焙烧法从氧化矿石采收金。Pipeline 矿床由 2 个矿化带组成，一个由地下 10 m 起延至 180 m 深，另一个从地下 300 m 起往下延伸。两者均向 E 缓倾，厚 15～110 m。据 2004 年 8 月报道，科特兹矿山（包括上述几个矿床及新发现的 Cortez Hills 矿床）合计有证实加概略储量 1 510 万盎司金（2.41 亿 t 矿石，金平均品位 1.95×10^{-6}），其中 Cortez Hills 和 Pediment 矿床合计占 58%。另有确定加推定资源 810 多万盎司（2.70 亿 t 矿石，含金 0.93×10^{-6}），推测资源 81 万盎司（3 170 万 t 矿石，含金 0.80×10^{-6}）。

科特兹山矿床在 Pipeline—南 Pipeline 矿床组东南约 15 km，最初的科特兹矿床东南 4 km，Pediment 矿床北 0.8 km 处，是在 2002 年晚期进行矿场勘查时，经反循环钻探于近年底时发现的。Placer Dome 公司在 2003 年 4 月正式宣布此发现，其时已认为约有 300 万盎司金资源，品位为 2.98×10^{-6}。据 2004 年 8 月报道，该矿床资源已近 900 万盎司（280 t 金），其中证实加概略储量为 4 290万 t 矿石，金品位 5.4×10^{-6}，相当于 750 万盎司（约 233 t 金），另有确定和推定资源 200 万 t，金品位 3.7×10^{-6}；推测资源 830 万 t，金品位 1.4×10^{-6}，并已开始进行可行性研究。矿床内高品位段颇厚，品位>10×10^{-6}。矿床可露采至 550 m 深，往下可井采。采坑范围内矿石约 85% 为氧化矿，15% 为难选冶矿。

科特兹合营项目占地 2 587 km^2，在矿区的邻接区有丰富的开采历史，多老窿。项目区内有多个矿床产在古生代碳酸盐岩、硅质沉积岩和长英质斑岩侵入体中。卡林型沉积岩容矿的浸染状金矿化是矿山地区主要勘查对象。典型矿床属构造控制，有微米级游离金浸染于强烈蚀变沉积岩中，常伴有次生二氧化硅、铁氧化物或黄铁矿，金与异常的砷、锑、汞伴生。矿化接近大的 NNW 和 NE 向断层（多次活化的基底断裂）和中生代侵入岩株。出露在构造窗中的志留系罗伯茨山组和泥盆系 Wenban 灰岩是主要容矿岩石。NNW 和 NE 向断层交切是控矿因素，也是指导找矿的准则。

为对地区的构造格架和地层情况有更多了解，公司进行了区域地质填图和地球化学取样。所汇集的资料，加上区域物探结果，用来进行二维和三维建模，以查明在山麓堆积下主要的基底构造。同时也继续更详细地查明地区的地层情况，以及不同地层的地球物理特性。在地层剖面上的主要地层组之间，查明存在固有的弱化带，且与区域构造发育相适应。还发现该区几乎所有矿床均位于这些大的反差带或接触带上，大多数矿床位于泥盆纪 Wenban 灰岩底部与志留纪罗伯茨山组的过渡带上。

Pipeline 矿床是该合营项目在 Gold Acres 矿床东面山麓堆积上钻探时于 1991 年 3 月发现的，不久又发现南 Pipeline 矿床。

公司沿 Pipeline NW 向构造带继续钻进，于 1998 年发现 Crossroad 矿床（在南 Pipeline 矿床东南 170 m 厚的冲积层下），有 300 万盎司金，但埋藏较深，且有一高透水层，开采不易，目前未考虑该项资源。在 Pipeline 矿床之西发现 Gap 矿床。在 Pipeline—南 Pipeline 矿床组西北 26 km 的“山顶”矿床，为产在奥陶纪硅化沉积岩及第三纪长英质斑岩中构造控制的金矿化。

Pipeline，南 Pipeline 和 Crossroad 是同一矿化系统的分隔开的矿床。矿化产在蚀变的、受剪切的罗伯茨山组白云质粉砂岩中，矿床由西北向东南沿一高角度断层成串产出，完全隐伏在厚达 100 m 的第四纪山麓堆积砂砾层下。广泛的蚀变带和矿化系统长逾 3 km，宽约 1.5 km。

1996 年开始钻探科特兹矿山南隐伏矿化。由构造地质调研和物化探指导，用深反循环钻孔着重找断层下盘碳酸盐岩中卡林型金矿。根据踏勘填图和采样所得的认识，以及物化探所得数据，建立二维和三维模型。重力测量和地震勘探是较有用的 2 项物探手段，帮助揭示了厚的盖层下的基底的组构。公司地质队根据出露在科特兹老采坑的断层，推测这些组构在覆盖层下延伸情况，认为这是由 2

黄金地质研究所
信息室 提供

个NNW向大致平行相距约1.6 km高角度断层限定的一个构造走廊。在该地区进行了重力测量，为这一推测提供补充证据。

Pediment矿床是1998年在科特兹选矿厂南5 km处找到的，是一独特的经滑坡运移的当地的一个沉积岩容矿金矿床，矿床含在可能属第三纪的砾岩中。金矿化与泥盆纪岩石碎屑有关。矿床上覆未蚀变的塌积物。矿床的主矿化体南端位于地下45 m，北部深170 m，缓倾板状，平均厚76 m。NE向长915 m，NW向宽180 m，由氧化矿组成，硫化矿极少，可堆浸。有3 890万t矿石，金品位0.97×10^{-6}，即含金约37.5 t。但该矿床当时钻探大部分钻孔在砾岩层中终孔，更从未钻至罗伯茨山组接触带。

2002年10月，在Pediment矿床北进行的一项初始的7个反循环钻孔的钻探计划中，第6个钻孔打到36.6 m，含金9.5×10^{-6}的矿段，这是科特兹山（Cortez Hills）矿床的发现孔。这最初7孔间距大，要试探的面积有2.6 km^2。在此范围内沿一重力低区有一明显重力高区，且其间重力等值线颇密，第6号孔正布在此界面上。认为这一重力反差代表了蚀变。后围绕该孔又打3个钻孔，证实了矿化连续性。到2003年6月钻探已求得各级资源约550万盎司（172 t金）。2003年用6台钻机完成5万多米岩心钻和反循环钻。科特兹山矿床处在科特兹断层系的上盘，产在泥盆纪碳酸盐岩系上部燧石和纹层状粉砂岩段。矿床倾斜大致与主科特兹断层平行，倾角约50°，这是一限定的高角度构造控矿。矿床顶部从地下105 m深处开始，其上为塌积层和滑坡碎石带所覆盖。矿床形态稳定。矿化往下延伸超过600 m，沿一在Wenban灰岩段大理岩带形成的构造鼻延伸。矿化在整个Wenban灰岩段均有分布，深部延至罗伯茨山组上部，90%以上为氧化矿。矿床核心部打到152 m平均含金26.3×10^{-6}的矿段。2004年计划要打100～200个钻孔，到6月底已打94孔，在深部和西面发现高品位带，新增资源200万盎司。矿床内高品位带已圈定范围有550 m×300 m，平均厚120 m，延伸至地表下610 m。目前已可认为此矿床实际上比Pipeline矿床还要好。公司将继续进行加密钻探和拓展钻探，以圈定与扩大资源。沿倾伏方向往深处及沿走向向南朝Pediment矿床方向仍有金资源存在，目标是将科特兹山与Pediment矿床连起来。目前还不知Pediment矿床下是否有一不整合，从而可以探到与含科特兹山矿床同样的岩石组合。

科特兹山矿床深部高品位矿化的发现，引起公司要对其沿科特兹—巴特尔山带拥有的825 km^2地区进行再研究。已根据科特兹山矿床所得知识，认定一些有意义目标。要回到某些过去上部中段已采尽而下部可能还有相伴矿化系统的地区去勘查。公司认为整个科特兹地区是一富含金矿的地区，而且也是勘查还很不够的地区。

摘自《21世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

秘鲁北部北安第斯火山带北拉古纳斯金矿床

加拿大巴里克黄金公司是西方国家一家大的金矿公司。它原来主要依靠收购一些小公司已发现的矿床和矿权地，或出资与小公司合作找矿勘探，来取得其金矿资源基地。1997年以后，由于西方世界固体矿产勘查投资逐年递减，小公司找矿工作锐减，可供收购目标渐少，故开始强调其本公司的草根勘查工作。该公司在秘鲁发现的阿尔托·奇卡马（Alto Chicama）山区的北拉古纳斯（Lagunas Norte）大型金矿床就是在草根调查时发现的，是其持续重视草根勘查的回报，也是最近几年国外最重要的金矿发现之一。

北拉古纳斯矿床位于秘鲁北部的拉利贝塔德省，在该公司的面积为185 km^2的阿尔托奇卡马矿权地的东南部。该地在海岸城市特鲁希略东140 km，瓦马楚科西42 km，处在北部的80年代发现的正在开采的大金矿山亚纳科查和南部1996年发现并已由巴里克公司开采的皮埃里纳金矿山之间。亚纳科查在秘鲁卡哈马卡省的卡哈马卡北30 km。皮埃里纳矿床在北拉古纳斯矿床南175 km，其矿化与北拉古纳斯很相似。北拉古纳斯矿床东南15 km为地下开采的基鲁维尔卡锌-银矿床。该金矿床位于安第斯山脉西侧，海拔4 000～4 260 m。这3个金矿区均位于北安第斯火山带，金矿主要属高硫化浅成热液矿床。

巴里克黄金公司于1998年开始在拉利贝塔德省进行草根勘查，与分散流采样结合进行了区域BLEG（bulk cyanide leach extractable gold，大样氰化物浸析可提取金，也有译“大样堆浸金法”的）采样计划。BLEG采样技术（样品用氰化物浸析来回收金）在该区域大部分地区是有效的，且能

黄金地质研究所
信息室 提供

有效覆盖大面积地区。根据采样计划和调查结果，公司认定阿尔托奇卡马为一探矿目标区。公司在该区租得了 185 km^2 的矿权地。该地虽具金矿远景，但在 2000 年下半年前，它是以无烟煤远景地（估计储量 2 亿 t）招租的。

2001 年 3 月公司开始在阿尔托奇卡马矿权地进行野外工作。通过地质填图、刻槽取样和地面物探，最初确定了 3 个钻探目标。工作队发现了蚀变凝灰岩和含金异常的角砾岩。角砾岩含有次生石英岩和多孔隙的二氧化硅碎屑。2001 年 6 月开始钻探。初期钻探计划包括 27 个钻孔，总进尺 4 700 m。首批 15 个孔试探的一个地区，位于后来发现的北拉古纳斯矿床以南 3.5 km，在南拉古纳斯打到一些含金较高的孔段之后才移至发现北拉古纳斯矿床的地区。

2002 年 4 月公司正式宣布发现该矿床。当时推测资源有 5 530 万 t，金平均品位为 1.95×10^{-6}，即含金约 108 t（350 万盎司）。这一重要发现使公司对该地的 2002 年勘查预算由 500 万加元增至 2 000万加元，要以多达 12 台的钻机大力钻探。到 2002 年 7 月已完成 172 孔，成功地圈出了 730 万盎司（227 t）的金资源，即有 1.225 亿 t，金品位为 1.85×10^{-6}，且大部分为氧化矿，易冶炼。2002 年还加密钻孔求储量，并扩大已发现矿体的范围。2002 年的勘查预算最后增至 3 500 万美元。至 2002 年底，钻探圈出的证实和概略储量有 1.1 亿 t，金品位 1.85×10^{-6}，即含金 650 万盎司（203 t），全为氧化矿。此外尚有推定资源 5 110 万 t，品位为 1.2×10^{-6}，即含金 200 万盎司（62 t）；推测资源 2 250 万 t，品位 1.44×10^{-6}，含金 100 万盎司（31 t）；共计含金 950 万盎司(296 t)。据 2004 年初报道，金储量已有 720 万盎司（品位 1.54%，合 224 t），还有银（品位 3.7×10^{-6}）。

该高硫化浅成热液型金矿床，赋存于火山角砾岩和沉积角砾岩及凝灰岩中，矿化主要呈浸染状，出露地表。地表品位颇高。矿体平伏状，延展面积超过1 600 m×750 m，深可达 300 m。矿化在水平方向和深部尚未到边，资源仍可扩大。

公司计划于 2003 年完成可行性研究。据 2003 年 9 月中报道，公司已批准对此矿床进行开发，项目要花 3.4 亿美元。矿山已于 2005 年 6 月投产，每盎司金现金成本估计为 130 美元。前 10 年每年产金约 54 万盎司（约 16.8 t）。氧化矿可用堆浸法开采。

北拉古纳斯矿床并不是孤立存在的，据调查在阿尔托奇卡马区的 1 200 km^2 范围内，至少还有 8 个与其相似的可钻探目标，它们距该矿床一般不超过 20 km。

摘自《21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

越南北部 Nui Phao 钨-萤石-铜-金-铋矿床

越南北部 Nui Phao 大型钨-萤石-多金属（铜-金-铋）矿床位于河内北北西约 80 km，在太原省的大慈附近（图 1）。该区多年来手工采锡和少量的金。从分布颇广的脉中采锡石，脉中还含硫化物。采矿废石堆和尾砂堆散布亦广。越南地质调查局在 20 世纪 80 年代发现此矿床，并在块状硫化矿体上打了 16 个钻孔，勘查至 1992 年因预算匾乏而中止。矿地含工业品位的钨（白钨矿）、萤石、铜、金、铋。1996 年加拿大一家小矿业公司 Tiberon 矿产有限公司进入越南，重点关注太原省矿产远景，特别是对锡和伴生多金属矿点的关注。Nui Phao 地区的手工采矿活动以及路旁可见的大铁帽带，吸引了该公司地质人员。该公司与越南的公司合伙，在 1997 年晚期取得 46 km^2 勘查许可地，对已有的锡矿床进行钻探，发现锡矿化夕卡岩明显含钨，于是 1998，1999 年在该区进一步系统勘查。勘查工作包括地质填图、航空磁测（1999 年）、地面物探（磁测、激发极化测量）、土壤地球化学采样、槽探取样和钻探。目标是找到富含钨、铜、金的夕卡岩型锡矿。

1999 年初查明 600 m×300 m 与块状硫化矿有关的铁帽。2000 年秋完成其附近地面物探，圈定一个 NWW 向长 2 km，宽 400～500 m 的磁异常，认为是一大的多金属矿化带，围绕白垩纪花岗岩体边缘延伸。2000 年开始钻探，大间距的 20 个钻孔钻探结果，打到退变夕卡岩及平均厚 20～50 m 的矿化带。2001，2002 年均有 5 台钻机在工作。至 2002 年 10 月金刚石钻探进尺已逾 16 500 m。钻探证实的多金属矿化体走向长约 1.5 km，两头均还未探到边。2001 年 11 月曾据 70 个钻孔资料进行资源初步估算。2003 年初完成预可行性研究。算得确定资源2 710万t，平均品位为0.68% WO_3

黄金地质研究所
信息室 提供

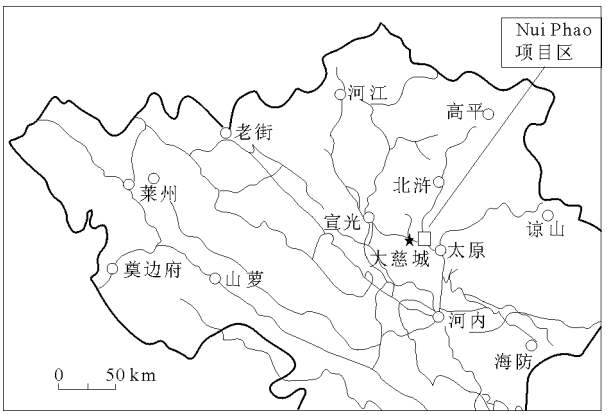

图 1 Nui Phao 钨-萤石-铜-金-铋矿床位置示意图（据 J. P. Richards，2003）

当量（WO_3 0.25%，金 0.25×10^{-6}，铜 0.23%，铋 0.11%，CaF_2 8.2%）；推定资源 2 250 万 t，品位为 0.6% WO_3 当量（WO_3 0.19%，金 0.22×10^{-6}，铜 0.21%，铋 0.104%，CaF_2 7.9%）；推测资源 2 400 万 t，品位为 0.55% WO_3 当量（WO_3 0.18%，金 0.16×10^{-6}，铜 0.16%，铋 0.081%，CaF_2 8.1%），均以 0.2% WO_3 当量为边界品位。

后继续勘查，资源也有所扩大。2003 年中进入可行性研究阶段。至 2003 年 10 月，总资源已有 8 790 万 t，钨品位为 WO_3 0.19%，萤石（CaF_2）7.95%，铜 0.18%，金 0.19×10^{-6}，铋 0.09%，即含 WO_3 16.7万t，萤石近700万t，铜15.8 万 t，金 16.7 t，铋 7.9 万 t。其中确定资源 2 510 万 t，品位为 WO_3 0.25%，萤石 8.4%，铜 0.23%，金 0.26×10^{-6}，铋 0.108%。

据 2005 年 5 月报道，矿体已由 174 个钻孔圈定，长逾 1.7 km，宽 400 m，厚达 160 m。其上有 3～100 m（一般 20～40 m）粘土及风化岩石覆盖层。据 2005 年 7 月报道，可行性研究报告已完成，矿床可露采，其证实和概略储量有 5 570 万 t，品位为 WO_3 0.21%，萤石 8.13%，铜 0.18%，金 0.21×10^{-6}，铋 0.09%。年采矿石 350 万 t，寿命 16.3 年，总共可生产 WO_3 76 000 t，350 万 t 酸级萤石，3.2 万 t 铋，9 万 t 铜，还有金。此项目已获采矿许可 30 年，Tiberon 公司占项目 70% 股份，另有 2 家越南公司各占 15%。估计需资本投资近 2.3 亿美元，现在筹资。预计 2008 年投产，届时将成为世界最大的钨矿山和萤石矿山之一，对国际钨市场和中国钨矿业、钨矿和萤石出口等会产生影响。

Nui Phao 是一高温交代矿床，兼具夕卡岩和云英岩型特征，形成于据推测为晚白垩世的二云母花岗岩和奥陶—志留纪沉积岩系之间的接触带附近（图 2）。钻探表明该岩系在该区受 2 期花岗岩侵入。第一期是推测为晚三叠世的富黑云母的花岗岩，主要分布在矿区南部。第二期是上述晚白垩世花岗岩侵入，主要分布在北部。该沉积岩系由含云母页岩、砂岩、粉砂岩、大理岩和硅质岩组成，矿

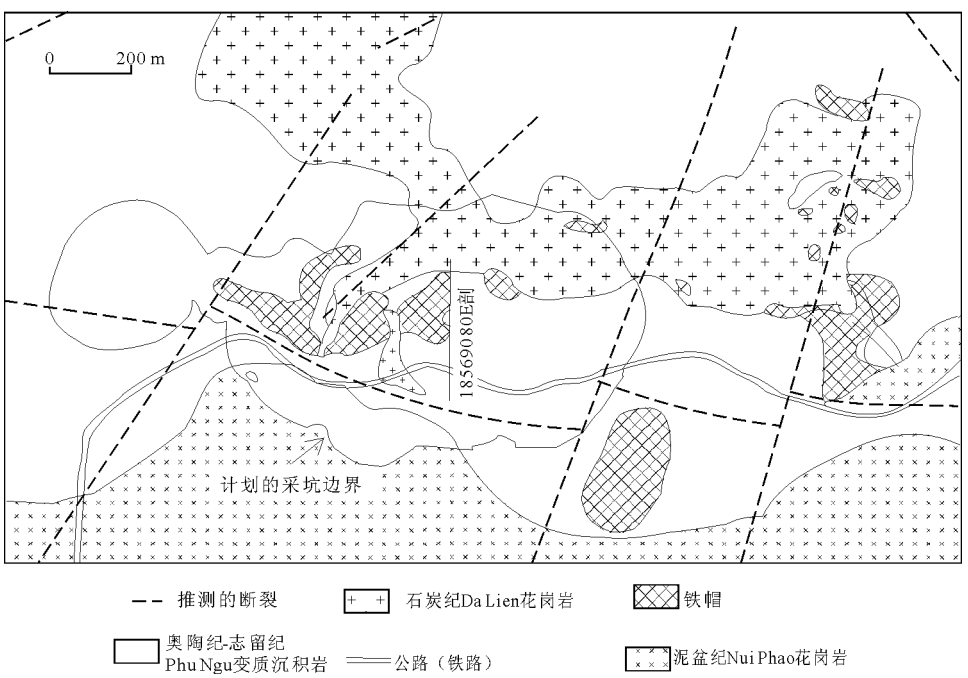

图 2 Nui Phao 钨-萤石-铜-金-铋矿床简要地质图（据 J. P. Richards 等，2003）

图中“石炭纪 Da Lien 花岗岩”后被改定为“晚白垩世花岗岩”；“泥盆纪 Nui Phao 花岗岩”被改定为“晚三叠世花岗岩”

黄金地质研究所
信息室 提供

化大部赋存在其中。矿化分布，特别是钨-萤石矿化，明显与晚白垩世花岗岩接触带有关，但也不能排除有晚三叠世花岗岩在此前的介入。据认为晚三叠世侵入体略偏花岗闪长岩性质，可能造成铜、金、铋的早期进入，后为晚白垩世浅色花岗岩带来的富钨、氟的流体改造与叠置。矿体以夕卡岩体和云英岩体赋存在陡倾的晚白垩世花岗岩接触带内外。早期交代岩为辉石-（石榴子石）夕卡岩，退化变质的角闪石-黑云母-（铍榴石）夕卡岩，钙硅酸盐角岩，大理岩和磁铁矿-（铍榴石）夕卡岩。钠长石-萤石云英岩（有黑云母和磁黄铁矿）叠加在接触带周围的晕圈中的夕卡岩化上，也见有石英网脉。多金属矿化在云英岩化岩石中最发育，由萤石、白钨矿（很稀少的黑钨矿）、自然金、黄铜矿、自然铋和辉铋矿组成。其他少量矿物有褐帘石和锡石。还有很稀少的辉钼矿及铅-锌硫化物。在大部分矿石中，所有这些矿石矿物赋存在一起。但在有些带中白钨矿-萤石与铜-金-铋矿化是分别独立产出的。

物化探和地质填图与采样还在该矿地内查明另外 3 个矿化的靶区。

摘自《21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现》

印度尼西亚勒罗基斯和卡利库宁金-银-重晶石矿床

勒罗基斯门（Lerokis）和卡利库宁（Kali Kuning）金-银-重晶石矿床位于马鲁古省韦塔岛北部海岸附近，两者相距 3.5 km。勒罗基斯和卡利库宁矿床的勘查和开采是由 Billiton 印度尼西亚公司（Billiton Indonisia B. V.）和大马鲁吉矿业有限公司（P. T. Prima Maluku Indah）的合资公司进行的。继矿床于 1986 年被发现之后，进行了超过 25 000 m 的金刚石钻探和反循环钻探，钻孔间距 25～50 m。借助钻孔资料以及来自路堑、探坑、探槽和探井的信息，到 1992 年底确定了资源量。勒罗基斯矿床的原地地质资源量为 290×10^4 t，金、银品位分别为 3.5×10^{-6} 和 114×10^{-6}，重晶石品位为 40%；卡利库宁的原地地质资源量为 220×10^4 t，金、银品位分别为 5.5×10^{-6} 和 146×10^{-6}，重晶石品位为 60%（表 1）。勒罗基斯矿床于 1990 年末开始开采。

表 1 勒罗基斯和卡利库宁矿床的矿石主要组分平均含量

矿床	$w(B)/10^{-6}$		$w(B)/\%$					
	Au	Ag	$BaSO_4$	Cu	Pb	Zn	Sb	As
勒罗基斯	3.5	114	40	0.09	0.50	0.02		
卡利库宁	5.5	146	60	0.02	1.40	0.01	0.20	0.10

1 地质背景

韦塔岛在构造上处于班达火山弧南部，由海底火山岩构成。该火山弧最初是亚洲板块东南边界处的一个克拉通内构造带，受到向北运动的印度—澳大利亚板块和向西运动的太平洋板块的复杂交互作用。大约自 3 Ma 以来，区内发生了初始板块碰撞。近代隆升期间的快速侵蚀作用将韦塔岛的火山地层剥露于地表。目前该岛呈现为一个 NEE 向的背斜，主要断裂是 NNW 向正断层。

韦塔岛出露的最老岩石为次火山闪长岩或英安斑岩侵入体以及玄武安山岩质枕状熔岩，夹火山碎屑沉积岩，年龄约 12 Ma。其后为英安岩、安山岩等成分的熔岩、凝灰岩和角砾岩，年龄约 5 Ma。覆盖在这些火山岩上面的是局部固结的砂、粘土和粉砂，再上面主要为石灰岩层。后者的时代为中新世最上部至上新世下部，年龄应介于 5.2 Ma 与 3.9 Ma 之间。石灰岩向上过渡为表生碎屑沉积岩，年龄约 3 Ma。整套层序的顶部为表生碎屑泥石流沉积。

金-银矿化产在 5 Ma 火山岩顶部的层状含重晶石砂岩、粘土或粉砂岩内，位于块状黄铁矿层上方。其底板为英安岩质火山角砾岩和熔岩，顶板为石灰岩层。顶板石灰岩中的化石指示了大约 4 Ma 的年龄。

2 蚀变和矿化特征

矿化底板英安岩质火山角砾岩和熔岩层序的厚度至少为 200 m，其底部为玄武安山岩质枕状熔岩，向上渐变为更富长英质的熔岩和碎屑火山岩。在矿体周围的蚀变带内，许多长英质底板岩石强烈褪色，通常已角砾化，在靠近矿体部位形成 30～40 m 厚的小穹丘。重晶石砂岩层产在长英质穹丘旁侧的小盆地状洼陷内，含重晶石，粘土层内多见滑塌的证据，这意味着沿沉积同期边缘断层陡崖发生了盆地塌陷作用。

在构成小穹丘的蚀变褪色的岩石中，原来的化

黄金地质研究所
信息室 提供

学成分和矿物组成已荡然无存。穹丘顶部和周边常见角砾岩，其组构表明其为喷气口或岩屑坡沉积。角砾岩由中等至强烈硅化的碎屑组成，被高岭石质填隙物质胶结。沿穹丘侧翼普遍发育有石英-黄铁矿网脉和角砾化现象。

在卡利库宁矿床，重晶石砂岩的上覆岩石一般为石灰岩和褪色的钙质凝灰岩，而勒罗基斯矿床的上覆岩石为粘土或砂，极少数情况下为燧石。

重晶石层及下伏块状硫化物（黄铁矿）共同构成了2个矿床内的矿化，这种组成关系类似于日本的黑矿型矿床。在勒罗基斯矿床，重晶石层产在5个单独小盆地内的近地表部位，总体上沿一个2.5 km长的NNW—SSE趋势带展布。这些小盆地被称为“矿段”，其中最大者1C矿段长350 m，宽175 m。在1C矿段的“龙骨”部位，重晶石层厚达37 m。卡利库宁矿床的情况与之明显不同，重晶石砂岩层产在直径约400 m的单一盆地的边缘部位。在盆地中心，重晶石层厚达27 m，上覆以65 m厚的石灰岩和/或含砾泥石流（图1）。

重晶石砂岩层由弱胶结的重晶石颗粒组成，填

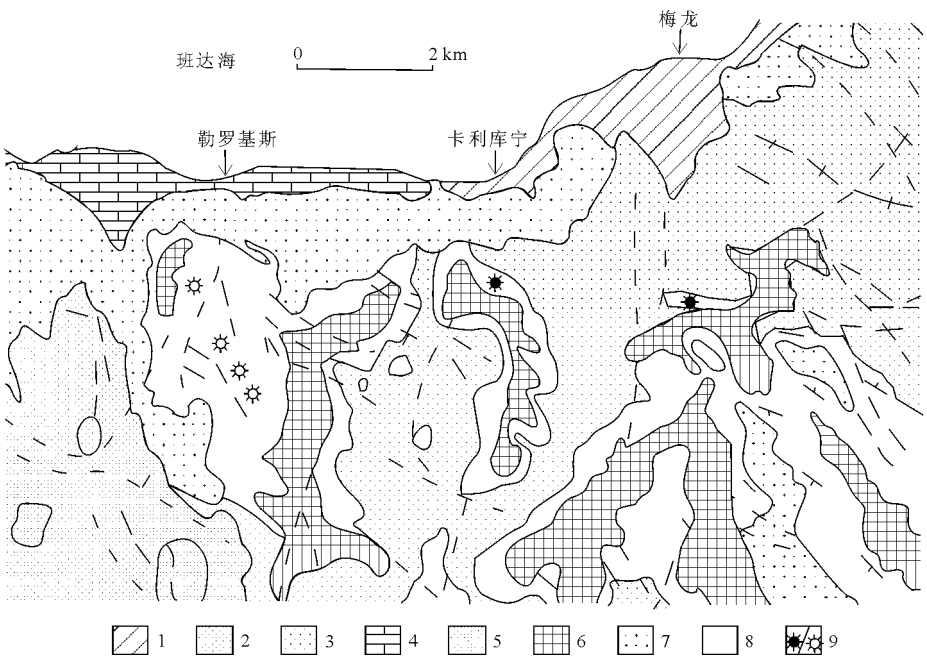

图1 卡利库宁矿床地表地质平面图（据D. M. Sewell等，1994）

1—河流砾石、砂和泥砂；2—英安火山岩喷发中心；3—安山质熔岩和凝灰岩；4—隆升的礁灰岩地体；5—安山质熔岩和火山碎屑沉积岩；6—玄武质安山熔岩和火山碎屑沉积岩；7—安山质外来碎屑岩/火山泥石流；8—英安熔岩、火山碎屑沉积岩重晶石块状硫化物矿床角砾；9—矿床/露天开采

隙物质为铁氧化物、氧化硅和粘土矿物。重晶石单晶的粒度一般为0.15～0.6 mm，最粗可达1.5 mm。层理显示为填隙物质中的颜色差异以及重晶石粒度的变化。不同矿石类型的透镜体呈不规则交指状，一般向内朝盆地中轴部位倾斜，说明其并非从浊流或线流中沉积，而是随着沿盆地边缘的位移而发生的滑塌作用的产物。此外，重晶石还沿着硅化的褪色底板火山岩中的裂隙和脉体产出，并且呈浸染状或裂隙充填物产在块状黄铁矿之中。

通过钻孔岩心和岩屑编录划分出10种矿石类型，不同类型与矿物分带相关，表现为颜色变化以及重晶石、粘土、褐铁矿、黄钾铁钒和氧化硅含量的变化，岩石密度亦有相应变化。类型1（褐铁矿-黄钾铁矾）和类型7（凝灰岩）分别产在重晶石层的顶部和底部；类型3（重晶石砂岩层）包括了大部分品位较高的矿化物质；类型1，4（重晶石-含铅岩石），9（再沉积重晶石砂岩层），10（含黄铁矿重晶石砂岩层）通常具中等品位（Au＜2.5×10^{-6}）；类型5（重晶石铁帽），6（含重晶石土壤或皂石），7，8（含重晶石石灰岩）的品位低（Au＜1.5×10^{-6}）。

在重晶石砂岩层内部，金含量大致分带；最高品位出现于重晶石层下部，这里的填隙物质含铁氢氧化物最富。银含量分带与金大致相同，但最高银值通常出现在金峰值的1～2 m以下。

重晶石层的下面是块状黄铁矿层，呈土丘状产出，在平面上呈卵圆形，剖面上呈漏斗状或蘑菇状。勒罗基斯矿床的黄铁矿层产在矿床南部，卡利

黄金地质研究所
信息室 提供

库宁矿床的黄铁矿层则产在矿床东半部。两地的块状黄铁矿丘状体都偏离了重晶石矿体的“龙骨”部位（图1），后者可能是滑塌到丘状体边缘沟槽中的。黄铁矿通常发生了角砾化，重晶石和氧化硅呈包体产在黄铁矿-白铁矿碎屑内和碎屑之间的填隙物质之中。黄铁矿通常显示胶状组构。在黄铁矿丘状体边缘，见有细粒层状黄铁矿透镜体与重晶石砂岩层呈指状交错。

铜矿物浸染于角砾化黄铁矿-白铁矿的填隙物质之中，其核部为黄铜矿，外部环绕以铜蓝-蓝辉铜矿、斑铜矿、硫砷铜矿和砷黝铜矿，伴有少量方铅矿和暗色富铁闪锌矿。晚期铜蓝和臭葱石交代了铜和砷的硫化物，晚期重晶石切割了所有的硫化物。金和银的含量分别为 0.7×10^{-6} 和 30×10^{-6}，重晶石含量约15%。在深部，黄铁矿单元渐变为硅质黄铁矿质网脉，这些网脉发育在褪色的安山岩质熔岩和角砾岩之中。

勒罗基斯和卡利库宁矿床周围约25 km^2 范围内的岩石发生了蚀变。由风化作用造成的地表氧化带的深度约30 m，但岩石蚀变的下延深度＞200 m，到达重晶石层的底部以下。蚀变作用强烈，主要蚀变类型为粘土-黄铁矿化，指示了高于230℃的温度。在深部和在粘土-黄铁矿化蚀变带的边缘，火山岩发生绿泥石化蚀变。

3 矿床成因

勒罗基斯和卡利库宁金-银-重晶石矿床为海底喷气型层状矿床，成矿作用发生在上升火山弧环境水深相对较浅的海底破火山口内，矿床上覆沉积物的年龄约4 Ma。矿床具有黑矿型矿床所显现的岩相，此类矿床的现代类似产物正在现今海底的多种环境中形成。然而，与典型的黑矿型矿床相比，勒罗基斯和卡利库宁矿床形成于较浅深度（＜600 m）和较低的压力及较低的温度下，这有助于解释其富含金、银而贫铅、锌的特征。因此，浅水海底火山条件可能更有利于贵金属矿化作用。

摘自《世界矿情·亚洲卷》

加拿大赫姆洛金矿床

加拿大赫姆洛（Hemlo）金矿床位于安大略省苏必利尔湖东北岸。矿床发现于1981年，到目前为止至少已探明矿石储量8 000万t，金的平均品位 9.6×10^{-6}，约含黄金600 t左右，是20世纪震惊全球的重大发现，矿床不仅储量巨大，而且类型特殊，是过去未被人们认识和注意的太古宙绿岩带中的层控浸染型新型矿床。

1 区域成矿背景和矿床地质特征

赫姆洛矿床的大地构造位置属于加拿大地盾苏必利尔湖构造省瓦瓦亚省新太古代EW向赫姆洛—赫伦湾绿岩带的东部，该绿岩带为一太古宙岛弧，由强烈变形、变质的火山岩和火山沉积碎屑岩组成。

该区区域地层呈EW向展布，基底为古老片麻岩，上覆太古宙变火山岩和变沉积岩相。太古宙地层分上下2个群，下部群主要由拉斑玄武质熔岩组成，上部群由中、酸性火山碎屑岩组成。赫姆洛金矿赋存于上部群中的火山碎屑岩与沉积岩的接触带中。

矿区所在的这一部分绿岩带长40 km，宽30 km，构成一个宽阔的EW向向斜。沿向斜轴有太古宙花岗岩体侵入，向斜两翼为镁铁质火山岩。苏必利尔湖剪切带穿切该向斜轴部，在该段也称赫姆洛剪切带，在剪切带两侧发育一系列次级构造，成为热液活动的通道，赫姆洛金矿的主矿带即沿该主断裂面分布。

赫姆洛主矿体由东矿带、西矿带、A矿带和B矿带组成，向西还有零星不连续的其他矿带。矿带沿走向长2 900 m，向下延伸1 300 m，厚3～45 m。矿体呈层状，与岩层基本整合（图1），容矿岩石为绢云母石英片岩，恢复其原岩为石英-长石-斑状流纹岩/凝灰岩。矿石普遍具条带状构造，为细条带状含金的粉砂质酸性凝灰岩，主要矿石类型为黄铁矿绢云母石英片岩，矿石中硫化物呈浸染状分布，主要有黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、黄铜矿和磁黄铁矿等。金主要呈自然金出现，有少量方锑金矿。金矿物在岩石中分布均匀，粒度很细小（1～20 μm），主要分布在石英-长石颗粒之间和黄铁矿-脉石矿物的边界上，也有在黄铁矿的裂隙之中。矿床富As，Ba，Hg，Mo，S，Sb，Te，Tl和V等，其中Mo平均品位可达0.1%。矿床中矿物种类极多，总共已发现的矿物在100种以上，其中辉

黄金地质研究所
信息室 提供

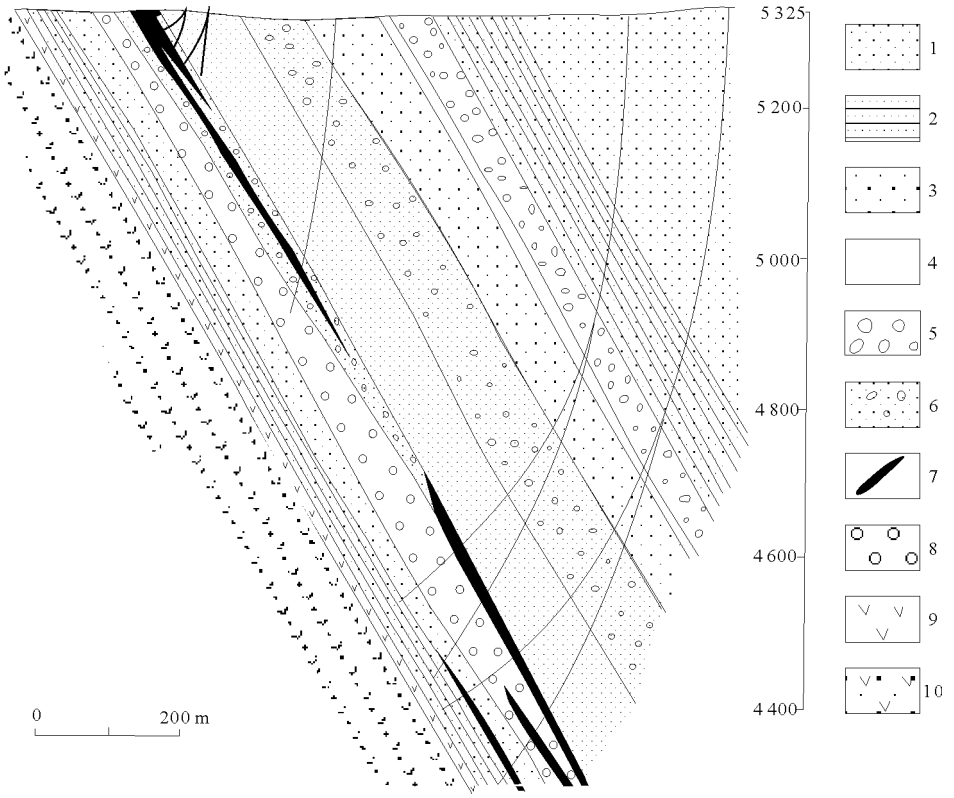

图 1　加拿大赫姆洛金矿区泰克—科罗纳矿段剖面图（地矿部《加拿大金矿地质考察报告》，1985）

1—硬砂岩；2—钙质粉砂岩；3—泥质岩；4—长石砂岩；5—砾岩；6—角砾凝灰岩；7—矿体；8—长英质凝灰岩；9—玄武岩；10—中基性凝灰岩和硬砂岩

钼矿和呈绿色的含 V，Cr，Ba 的白云母与金矿化关系密切，成为金矿化的重要指示性矿物。矿床的主要热液蚀变有钾化、黄铁矿化、硅化和绢云母化等。

赫姆洛金矿床与传统的产在太古宙绿岩带下部基性岩石中的石英脉型金矿和产在绿岩带上部条带状含铁建造中的金矿不同，它是产在绿岩带中部中、酸性火山沉积岩中，矿体沿层产出，形态规则，矿石品位均匀，具有同生层状矿床的特征。但它的元素组合和围岩蚀变又显示出热液矿床的某些特点，矿化带又主要赋存于脆-韧性剪切带中，等等，因此对它的成因就众说纷纭。

2　矿床勘查发现史

赫姆洛地区金矿勘查史可追溯到 19 世纪 60 年代。据记载印第安人摩西皮坎格 1869 年在赫伦湾附近发现了 2 条含金石英脉，当时挖了矿坑并以水路运出一些金矿石。20 世纪 20 年代，当时任赫姆洛火车站站长的莱柯尔在赫姆洛站正北的矿化剪切带上挖了一些探槽，同时有一些人在沿铁路线进行了一些探矿活动。1931 年安大略省矿业局的汤普森首次在该区进行比例尺为 1∶31 680 的填图，并建议勘查马尼图瓦奇（Manitouwadge）地区和赫姆洛的东北地区。1944 年，赫伦湾的探矿人员莫赛斯在穆斯湖北侧发现了金矿化，他和莱柯尔一起完成大量探矿工作，将产业转让给奥尔曼，奥尔曼与威廉斯圈占了 11 块租地（即现在的拉克公司的地盘），1945 年他们进行地表剥土、槽探，并打了 15 个钻孔，其中 1 条探槽仅差数英尺而遗漏了主矿带。钻孔探及的假厚 30 m 的剪切带黄铁矿化强烈部分化验结果金含量低，最高仅 3.7×10^{-6}。

之后，苏必利尔湖黄金矿业公司在邻近威廉斯采场圈占了一些地段。曾在莱克黑德大学执教的佩奇根据该区岩石、构造有利于成矿和局部有金矿化，相信并指出该区有发现层状类型金矿床的潜力。1947 年苏必利尔湖公司在 NW—SE 向穿过采场的剪切带中施钻16孔，曾探及含金11.5 g/4.2 m 和 5.3 g/11.3 m 部分，但大多数钻孔金矿化宽度较窄、价值较小，由于资金用尽，钻探工作被迫停止。该公司的汤姆斯和盖格尔对该区进行了放射性探测也证实了采场南部的金矿带，但仍于年底放弃了钻探。那年总估算获矿石储量 31 543 t，品位 7.775×10^{-6}，即含黄金 0.245 t。据此，泰克—休

黄金地质研究所
信息室 提供

斯公司（即现在的泰克公司）曾于1951年初打算选定采场继续钻探，后因品位太低而放弃。

直至1973年，少数探矿者先后在该区西段工作，共求得矿石15万t，金品位6.53×10^{-6}，即含黄金0.98 t。由于矿体规模较小，未能引起投资者的兴趣。但威廉斯始终占有该区的西段，而该区的东段占有者几经易手后，在1978年1月均放弃了，使之重新对公众开放。

在这期间，安大略省地调所于1967—1968年和1977—1978年进行了2次填图，后者的填图比例尺为1∶15 840，面积725 km^2，填图工作报告于1980年1月公开发表，除详细描述赫姆洛地区和赫伦湾地区地质情况外，还标出了已有的矿点，特别是标明了在后来发现的矿床以西约4 km处有9.95×10^{-6}金的分析结果。这引起了2位找矿者麦金农和拉奇的极大兴趣。于是麦金农圈占了赫姆洛地区东段12块租地，拉奇圈占了东段7块租地。1980年初，他俩在一家汽车旅馆偶然相遇，由于志同道合而决定联合组建一家公司，于同年3月另又圈占了7块租地，但他们没有足够的资金在该地区进行找矿勘探，为此，他们到多伦多等地到处游说，甚至试图转让这些租地，但均未引起大、小公司的兴趣。后来他们通过咨询地质师贝尔（D. Bell）等人的帮助，将其中17块租地卖给了一家小公司—科罗纳（Corona）资源有限公司，该公司经理为德拉戈温（N. Dragovan）女士，她雇用贝尔于1980年在公司的租地内进行找矿。

贝尔首先收集资料，当时能获得的大部分是30年前的资料，最新的是安大略省地调所几年前完成的该区填图报告和大比例尺航磁图。在这幅航磁图上，显示出的一条异常带，其对应位置是矿层下盘的镁铁质岩石（玄武岩）。贝尔认为它可能代表了这个植被覆盖地区区域地层的产状。公司同时进行电磁法和磁法测量以及地球化学测量。根据磁异常，贝尔选择勘查靶区，据其找矿经验，他认为该矿床属层控型，于是一开始就按层布置钻孔，1981年1月15日打了第一个钻孔，接着又打了无数个钻孔，在西矿带获矿石量75万t，金品位仅3.1×10^{-6}，即含黄金2.3 t。然后贝尔提出把勘探线东移，追索向东延伸的矿体。于是向东布钻，在打了第75个钻孔后于1981年5月6日终于在第76个钻孔的102.59 m处见到了3 m厚的含金6.9×10^{-6}的矿体，再继续往东追索，在第78孔再次见矿，厚约5 m，金品位11×10^{-6}，这就是东矿带的发现。贝尔在获得第76，78孔岩心分析结果时，对矿带的产状与延伸有了较确切的认识，于是又在东矿带的西延部分施工，从此赫姆洛金矿得以沿正确的途径逐步扩大。1981年底，该区获得金品位7.15×10^{-6}的矿石储量25万t，即含黄金1.79 t。这一消息一经公布，招来许多“淘金者”，30年前曾在此工作过的泰克公司重返该区，1981年底与科罗纳公司联合组成泰克—科罗纳采矿公司，于1982年底求得矿石储量130万t，品位9.33×10^{-6}，即含黄金12.13 t；1983年勘探工作向矿带深部扩展，储量大幅度增加，至年底共探明967万t矿石，品位11.1×10^{-6}，即含黄金108.2 t。

拉克矿产公司的地质学家从科罗纳公司的发展预见到该金矿带有向其西北延伸的可能性，于是在紧挨泰克—科罗纳公司租地的西边买下威廉斯采场（现金赫姆洛矿区西段），于1982年初进入该区工作。通过观察他们发现其租地的地质条件与他们在魁北克省卡迪拉克（Cadiliac）地区的2个小金矿—博斯魁特（Bousquet）和多扬（Doyon）很相似。这2个矿床是产在太古宙地层中的层控黄铁矿型金矿床，矿体赋存在中性火山碎屑岩（凝灰岩）中，层位与诺兰达含贱金属的酸性火山岩系大体相当，含金岩石为层状的、浸染有黄铁矿的绢云母片岩。博斯魁特矿床有金储量28.8 t，金品位4.8×10^{-6}；多扬矿床含金40.8 t，品位5.1×10^{-6}。拉克公司根据这2个金矿的经验模式制定了勘查方案。首先在租地内进行踏勘性的地质填图，确定区内的岩石类型和地质环境，然后进行航空电磁测量和磁法测量，并作地面检查，包括甚低频电磁测量、激发极化测量和磁力仪测量，根据检查结果选择勘查靶区，以金刚石钻进验证激发极化优异常，结果一钻见矿。不久，拉克公司在泰克—科罗纳公司租地的两边圈定出A矿带。以后又进行了详细的地质填图、补充激发极化法测量、腐殖质和B土壤层地球化学取样以及某些底碛物采样等工作，相继发现了沿A矿带倾伏方向向下延伸的B矿带和西边的C矿带。这样，在一年多时间内，拉克公司就探得矿石储量4 200万t，金平均品位6.2×10^{-6}，即有黄金储量260.4 t，成为几乎拥有赫姆洛矿区一半黄金储量的公司。

除拉克公司外，1982年诺兰达公司也进驻该区，他们收购了戈利厄斯和戈尔登赛普特2个公司的租地，这些租地是在科罗纳公司租地的外围。经过采样、槽探、地球物理测量（电磁法、磁法以及激发极化法）、地球化学测量和钻探，于1982年7月发现矿带，获矿石储量2 500万t，金平均品位

黄金地质研究所
信息室 提供

8.71×10^{-6}，即有黄金储量 217.75 t。

至此，在赫姆洛地区已形成泰克—科罗纳、拉克和诺兰达 3 个公司“三足鼎立”的局面，并随着勘查工作的进展，逐渐揭示出 3 个公司分别勘探的矿带实际上属于同一个矿床的不同部分（图 2），泰克—科罗纳公司主要占有矿床的东矿带和西矿带，黄金储量合计 106 t；拉克公司占有矿床的 A 矿带和 C 矿带，金储量 261 t；诺兰达公司占有以上 2 个公司之间的矿床下延部分，称为上部矿和下部矿，有金储量 220 t 左右。1984 年 3 个公司已在 2 km 长的地段内分别建立起 3 个矿山（泰克—科罗纳公司的戴维尔贝尔矿山；拉克公司的威廉斯矿山；诺兰达公司的戈尔登贾恩特矿山）和选厂，这样，赫姆洛地区就成了加拿大最大的黄金产地。

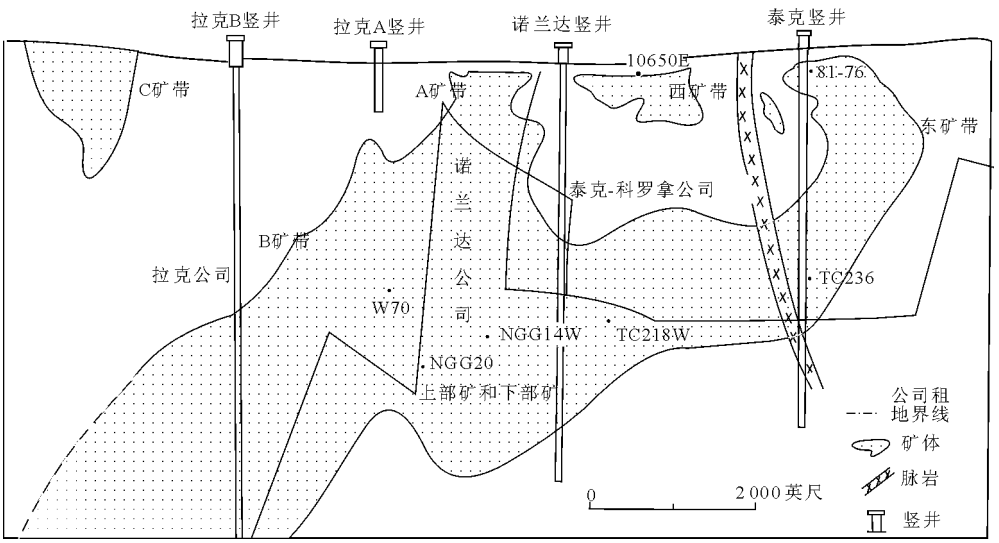

图 2 加拿大赫姆洛金矿纵投影图（贾忠蓬，1986）

3 矿床发现的经验和启示

早就认为有找矿前景的赫姆洛地区，为什么直至 20 世纪 80 年代初才发现这个规模巨大的金矿呢？它的发现对我们有什么启示呢？一直在该区指导找矿的贝尔在讲述其找矿经验时强调了 3 点：一是找矿不要受某种成矿模式的限制；二是要有财力支持其勘探；三是要重视采样化验，不偏信一次结果。

太古宙绿岩带地区寻找下部层位基性岩内的石英脉型金矿，或寻找上部层位的含铁建造中的金矿是世界各地得出的成矿模式，但在赫姆洛地区却不然，其独特的成矿环境形成火山岩与沉积岩之间的层控矿床。拉克公司根据博斯魁特和多扬 2 个层控小矿床模式，认为顺岩层走向能找到品位较高的金矿，贝尔据其经验也认为矿床属层控型，在对成矿背景做出比较切合实际的判断后，他们不受已有模式的局限，大胆提出沿层找矿的战略，正确地指导了该区的找矿，使之获得重大突破。而赫姆洛地区的重大突破也拓宽了太古宙绿岩带找金的领域，即不仅要寻找绿岩带下部基性火山岩中的石英脉型金矿（如阿比提比绿岩带中金矿），也要寻找绿岩带上部含铁建造型金矿（如加拿大西北地区柳屏金矿），还要寻找绿岩带中部火山碎屑-沉积岩中层控浸染型金矿（如赫姆洛、博斯魁特、多扬金矿）。

赫姆洛金矿不易被人们发现的另一个原因是矿床中明金极少，金呈非常微细的颗粒，浸染于绢云母石英片岩中，金的这种赋存形式给采样和化验分析工作带来了困难，因而贝尔指出不能偏信一个试样的一次分析结果。20 世纪 50 年代修公路时实际上已切出了该矿床的剖面，但一直未能辨认出来。100 多年来，众多公司和找矿人员均嫌该区金品位低而放弃。贝尔参与该区域找矿后，最初钻进采样分析品位也仅 3.1×10^{-6}，但并没有因此而放弃，而根据该区金矿化特点进行全孔岩心采样分析，在第 76 孔和第 78 孔见到金品位分别为 6.9×10^{-6} 和 11×10^{-6} 后，从而确信矿带的经济价值。

当然，赫姆洛金矿发现与科罗纳公司的财力支持是分不开的。贝尔在该区工作早期，曾向公司说明对这一类型金矿的评价需用较多的工作量，他得到了公司经理的充分信任和支持，尽管早期一个又一个钻孔落空、但公司经理仍不断筹资予以支持，所以贝尔深有感触地说：“我的成功是幸运的，因为我得到公司方面的大力支持。”科罗纳公司是个

黄金地质研究所
信息室 提供

财力有限的小公司，但公司在打了 75 个钻孔约 1 220 m 钻探工作量后未见良好矿体的情况下仍不放弃，终于在第 76 孔见到了矿，这是需要有极大的耐心和坚定的信心，才能不断筹资去进行一次又一次的冒险。

在找矿方法上，贝尔是根据地面磁测资料布孔的（矿层底盘基性火山岩的磁性特征明显）。拉克公司认为矿层含有 2%～20% 黄铁矿，地表的冰川覆盖层较薄（0～30 m），可采用较小电极距（50 m）的相位激发极化测量圈定异常，这种方法是基于该区激电异常是由各类黄铁矿岩石引起的，虽然激发极化法不能直接探测到金，但它在探测和圈定矿化带的效果是较好的。后来 3 个公司都采用这一方法来探测和圈定矿化带。由于矿层规则、稳定，泰克—科罗纳公司认为 100 m 间距的钻探工程即可控制矿体。诺兰达公司则采用方格等距进行钻探。拉克公司的高效评价与他们对已有矿床博斯魁特和多扬层控黄铁矿型金矿模式的熟悉和运用以及因地制宜运用物、化探等方法有关。

特别需要强调的是，在赫姆洛矿床的发现中，政府的地质填图工作做出了非常重要的贡献。安大略省矿业局和地调所多次、反复、详细的地质填图为该区找矿提供了良好的基础地质资料。从 1931 年安大略省矿业局首次在该区进行的 1∶31 680 比例尺的填图，并建议勘查马尼图瓦奇和赫姆洛东北地区，到 1967—1968 年和 1977—1978 年 1∶15 840比例尺的再次填图和公开填图工作报告，并标明含有 9.95×10^{-6} 金分析结果的矿点，推动了该区找矿的进程。

总之，赫姆洛金矿经过 100 多年的断续勘查，终获重大突破，其间给我们的经验和启示是很多的。加拿大政府多次、反复的地质填图；矿业公司地质学家一方面不拘泥于已有认识和模式，另一方面又运用新的成矿模式，探索新的成矿类型，坚持不懈的努力勘查，因地制宜选择正确勘查方法；公司经理信任地质学家，大力筹资进行风险钻探，等等，这些都是赫姆洛矿床得以成功勘查的基础。

摘自《矿产勘查百年》

菲律宾维多利亚金矿床

1 地质背景

维多利亚（Victoria）低硫化金矿床是菲律宾吕宋岛北部曼卡延矿区的一部分。该矿区位于碧瑶市 NNW 约 90 km 处，至少有 4 个斑岩型铜-金成矿系统，既包括高硫化也包括低硫化低温热液型铜-金矿床和金矿床。该矿区最重要的部分以彼此紧密相关的远东南斑岩型铜-金矿床、勒班陀高硫化交代型硫砷铜矿金-银矿床和维多利亚低硫化脉型金-银矿床为中心（图 1）。

维多利亚脉系位于勒班陀硫砷铜矿金-银矿床之南仅 1 km，主要产在上新世英安质火山碎屑岩和英安斑岩岩颈中（图 1），后者占据着火山口。脉系分成 15 个单独的矿带，相距 50～100 m，各有一个或几个主脉及相关的支脉和一系列细脉。矿脉走向为 NEE 向，倾角 75～80°，沿走向长 600 m，垂向延伸 450 m，宽 2～8 m。从平面上看，支脉为复杂的串珠状结构，是“盲矿”，为至少 350 m 厚的无矿英安岩类岩石覆盖（图 1）。

维多利亚矿脉含石英、碳酸盐（主要是菱锰矿）和石膏-硬石膏等非金属矿物，它们与共生的硫化物一起显示出壳层条带和角砾结构。主要的硫化物（多与早期灰色石英在一起）是黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黝铜矿。贱金属与金似乎为共生关系。金或者与硫化物在一起，或者较常在石英中呈游离金粒出现。矿脉周围的蚀变晕很窄，包括硅化及向外过渡为绢云母和泥岩矿物组成的蚀变晕。

维多利亚矿床已公布的资源量为 1 728 万 t，品位为 Au 7.71×10^{-6}，Cu 0.35%，即含有金 133 t，铜 6 万 t，其中包括证实储量和概略储量 616 万 t，品位为 Au 7.22×10^{-6}，Cu 0.33%。

2 勘查与发现

早在中国的明朝（14～17 世纪）时期，曼卡延矿区的铜和金就由中国人、当地的伊哥洛人和西班牙人开采过。1865 年，坎塔布罗—菲利皮诺公司开始正式开采勒班陀硫砷铜矿金-银矿床，但只坚持了 10 年。1936 年，勒班陀联合矿业公司接办了该公司，除二战期间由日本三井公司控制一段时间外，一直经营到 1997 年早期矿产关闭。远东南斑岩型铜矿床是 1980 年在勒班陀矿床附近发现的（图 1），但当时还处于可行性研究阶段。

黄金地质研究所
信息室 提供

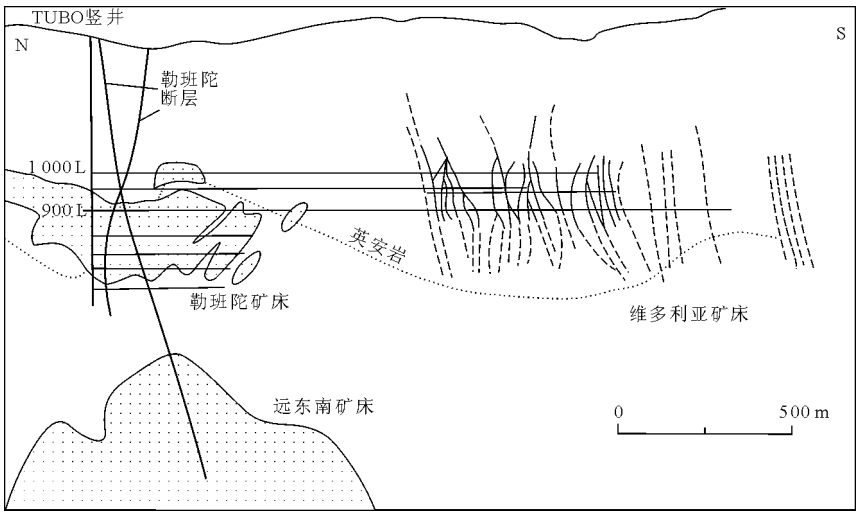

图1 菲律宾远东南斑岩型铜-金矿床、勒班陀高硫化硫砷铜矿金-银矿床和维多利亚低硫化型金矿床空间关系的示意图（引自 A. L. G. Cuison 等，1998）

图中示出了维多利亚矿床的15个主要矿带，证实矿脉用实线表示，推测矿脉用虚线表示，剖面是向东看的，未按比例尺

1968年为了扩大含有富金贫铜矿脉的高硫化硫砷铜矿矿床，进行常规地下勘查，并在现在的维多利亚矿床附近首次遇到低硫化低温热液型金矿脉。1972年，为检查该区硫砷铜矿情况而从地面打的一个钻孔，也打到了富金低硫化矿脉。但是，由于勒班陀矿床原本是个铜矿山，加之当时世界金价低，后来对富金矿脉未给予重视。

1992—1994年，世界金价上涨，人们开始注意勒班陀矿床以南1.5 km的纳亚克区。在这个地区，人们以前曾非正规地从地表和地表附近的低硫化矿脉和细脉中开采过高品位的金。在纳亚克区打的12个浅岩心钻孔共圈出平均品位为Au 3.0×10^{-6}的30万t非经济资源。1995年早期为了追查1968年和1972年得到的证据，决定打地面岩心钻孔检查勒班陀以南的富金矿脉。该钻孔在标高大致为1 000 m的深处打到了一个石英-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿细脉带，这就是后来的维多利亚矿床。细脉带的金品位为 1.1×10^{-6}～25.0×10^{-6}，平均 3.7×10^{-6}，连续厚度21.6 m。3个月后，又在1 012 m深处（标高1 000 m）打了一个跟踪岩心钻孔（图1），并在以前见矿处以东约110 m处打到了8个矿化带，这个钻孔打到的石英-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿矿脉含Cu 1.3×10^{-6}～193×10^{-6}，其中有3.8 m含Au 112.7×10^{-6}。这个钻孔就是维多利亚矿床的发现孔。

为了检查矿化带的垂直连续性，在地下钻探截段以下50 m处挖掘了一个穿脉巷道，由于脉带的金品位更高，所以又挖掘了好几个穿脉巷道，间距为50 m。后来又决定恢复以前的巷道，并挖掘新的沿脉平巷和穿脉巷道，以便用平巷充填法开采维多利亚矿床。到1996年中，已圈出的资源量足以保证初期1 500 t/d的地下作业，也足以保证将300 t/d金矿石运往勒班陀选矿厂和勒班陀的硫砷铜矿混合起来进行铜浮选流程处理。但是，1997年早期，建成了一座2 500 t/d的CIP厂处理维多利亚矿石，勒班陀矿山随之关闭。还修筑了2条长1 km的斜井和一个内部竖井以便于进入矿山和通风，并已于2000年启用。目前正在进行浮选试验，以确定从维多利亚脉系含铜较高的部分回收铜的可行性。

3 小 结

总体上为隐伏的维多利亚金矿床是由于在与其紧邻但截然不同的2个矿体（勒班陀高硫化和远东南斑岩型铜-金矿体，前者已正规开采60多年）进行钻探发现的。钻探的目的是追索以前25年就有记载的2个品位高的金脉带。世界金价上涨和勒班陀硫砷铜矿金-银矿山矿石储量下降，推动了本区的勘查。在发现过程中未使用化探和物探方法。

维多利亚矿床是在对勒班陀矿体以南地区进行了27年周期性的勘查后，又开始重新勘查几个月发现的。它从发现到投产只用了18个月，是历时最短的地下采金工程之一。公司现有基础设施，特别是邻近的地下矿山巷道，有利于加速矿山开发进程。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

黄金地质研究所
信息室 提供

智利埃尔佩尼翁金-银矿床

1 地质背景

埃尔佩尼翁（El Penon）低硫化低温热液型金-银矿床位于智利北部海港城市安托法加斯塔东南165 km处。该矿床的时代为古新世，产在智利北部古新世斑岩型铜矿带内。该斑岩型铜矿带中除埃尔佩尼翁矿床外，还有其他几个贵金属矿床。

埃尔佩尼翁矿床是在以双峰式镁铁质-长英质火山岩为特征的弧状拉伸期形成的。埃尔佩尼翁脉系产在长9 km的陡倾正断层中。该断层切割了一穹丘流纹岩杂岩和容矿的火成碎屑岩、火山碎屑岩和英安岩（上部火山岩系，图1）。该断层产生了地垒—地堑构造。主要矿脉包括克夫拉达奥里托构造，都局限在SN向断层中，尽管在NE向断层中也有一些低角度的不大稳定的矿脉（图1）。成矿后的断裂活动使SN向构造中的脉体严重破碎。

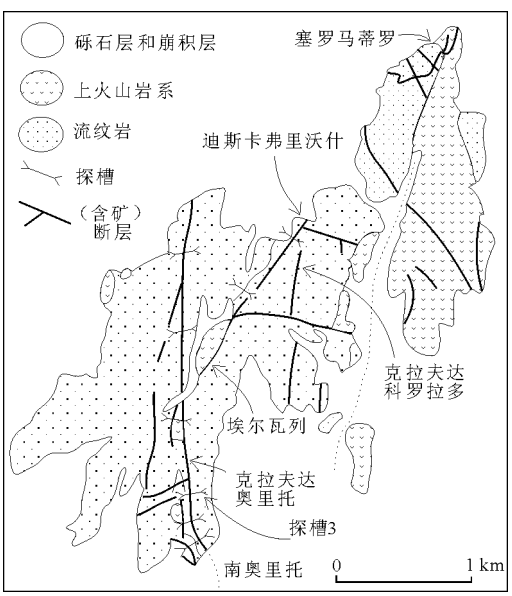

图1 智利北部埃尔佩尼翁低硫化低温热液型金-银矿床及周围地区的地质示意图（引自C. H. Robbins，1998）
图中标出主要矿脉（给名称的）和探槽位置

埃尔佩尼翁矿脉中的富矿体的位置和矿体形状受构造折射控制，而构造折射又是由岩性，特别是流纹岩内部的平伏火山碎屑岩和英安岩流层引起的。富矿体宽13 m，沿走向长大于沿垂向长，沿垂向长约200 m。克夫拉达科罗拉多矿脉及其中的富矿体是“盲矿”，上面覆盖着厚达100 m的明显未矿化岩石。

矿脉主要由各种带状石英组成，显示出各种低温热液结构，周围为蚀变晕，后者从石英-冰长石开始，向外变为石英-绢云母/伊利石±冰长石。矿脉的表生氧化作用延至250～280 m深，结果形成了自然金和自然银、角银矿、氯溴银矿和银金矿。在未发生氧化的地方，矿脉一般贫硫化物，只含少量闪锌矿、方铅矿和黄铜矿。

埃尔佩尼翁矿床的证实储量和概略储量为480万t（平均品位为Au 8.0×10^{-6}，Ag 126×10^{-6}），外加包括克夫拉达科罗拉多囊状矿脉在内的480万t资源（平均品位为Au 11.2×10^{-6}，Ag 190×10^{-6}）。至1999年底，总储量和资源量为Au 290万盎司（90.2 t），Ag 4 800万盎司（1 493 t）。

2 勘查与发现

尽管埃尔佩尼翁区交通方便，且距离几个已知矿区较近，但从未为找金属矿而进行坑探和槽探。不过，20世纪初曾大规模开采过硝石，采矿点离奥菲齐纳多米纳多（Oficina Dominodor）仅4 km。

1991年后期，FMC金矿公司决定对智利金矿进行勘查。在对整个智利北部进行走马观花式的野外考察后，建议成立一个金矿勘查办事处，着重勘查3个金矿带，其中包括古新世斑岩铜矿带。对埃尔佩尼翁区的第一次考察是在1992年中期，目的是对SERNA—GEOMIN（国家地质局）编的该区1∶25万地质图上已标出的很明显的阿尼诺蚀变进行检查和取样。这个蚀变带，智利的国家铜业公司以前曾为找金对它做过坑探、取样和钻探，是一个初期的泥岩“岩帽”，找贵金属的最初取样结果令人失望。

当年（1992年）晚期又对该区进行了考察，目的是对阿尼诺蚀变带进行比较彻底的评价，并对附近的蚀变带（也是“岩帽”）进行踏勘。在埃尔佩尼翁东北5 km处的一个蚀变带中发现塞罗马蒂罗矿脉上有星星点点的氧化铁铁锈（图1）。对这一颜色异常检查后发现了出露不好的硅质流纹岩，里面有石英细脉。继之做了较详细的剖面，在一条小河口附近发现了一个含大量赤铁矿的安山岩小露头，这就是后来发现的迪斯卡弗里沃什矿脉（图

黄金地质研究所
信息室 提供

1)。在迪斯卡弗里沃什矿脉处，发现流纹岩被一条宽达1 m的角砾化石英脉穿切，说明该矿脉与附近的被硫酸盐胶结的岩堆的赤铁矿铁锈有关系。从流纹岩的转石和基岩中共采集了16个岩屑样品，石英脉中的贵金属最高品位为Au 1.0×10^{-6}，Ag 28.7×10^{-6}。从整个地区也采集了13个－150目干河床沉积物样品，在迪斯卡弗里沃什矿脉最好的岩屑采样点下游得到的Au的最大值为 12×10^{-9}。后来在1996年进行的试点取样表明，这些异常是根据较粗粒的样品分析结果得出的，虽然肯定能找到明显的脉源。这些工作也说明，BLEG的详细取样并未证实埃尔佩尼翁矿床的存在。

虽然所得到的结果不尽如人意，但由于该区的脆性流纹岩广泛角砾化和有细脉存在，而且与美国内华达州的产在流纹岩中的重要低硫化金矿（布尔弗罗格、斯利珀和拉怀德金矿）相似，所以人们对它仍不失兴趣。因此，1993年早期又考察了一次，并采取了45个岩屑样品和12个硫盐岩堆样品。岩屑样品的Au品位为 3.5×10^{-6}，而岩堆细粒样品经化验证明不含金。根据金的异常值，再加上对嵌入到地表硫酸盐岩壳中的石英脉碎片的仔细观测，肯定了迪斯卡弗里沃什—埃尔瓦列脉带沿走向延伸1.5 km以上。

当时，埃尔佩尼翁矿床的采矿权归美国曼托斯布兰科斯矿业公司（Empresa Minera de Mantos Blancos S. A.）所有，它正在这个矿带勘查斑岩铜矿。FMC金矿公司圈定了采矿权面积，后来决定1993年中期与曼托斯布兰科斯公司开一次会。但是，在召开会议前夕做完最后一次检查后得知采矿权被停止，从而导致在最后一分钟取消了约会。后来又考察了一次埃尔佩尼翁地区，在考察期间又对克夫拉达奥里托构造（图1）的脉系补做了2 km的踏勘填图和取样，证明矿脉和角砾岩转石中的金品位很高，最高可达到 24.4×10^{-6}。此外，在克夫拉达奥里托构造的热液角砾岩小露头上还看到了“明金”。

1993年晚期，开始在埃尔佩尼翁区进行详细地质填图和槽探。一共挖了10个探槽，主要是在迪斯卡弗里沃什和克夫拉达奥里托地区（图2），但在多数探槽中推土机并未完全穿透脉带之上较厚的硫酸盐岩壳。因此，未能测出矿脉的宽度和倾斜，在多数情况下只在矿脉的旁边测出很弱的金异常（图2）。但是最好的一段宽达5 m，Au品位 5×10^{-6}。

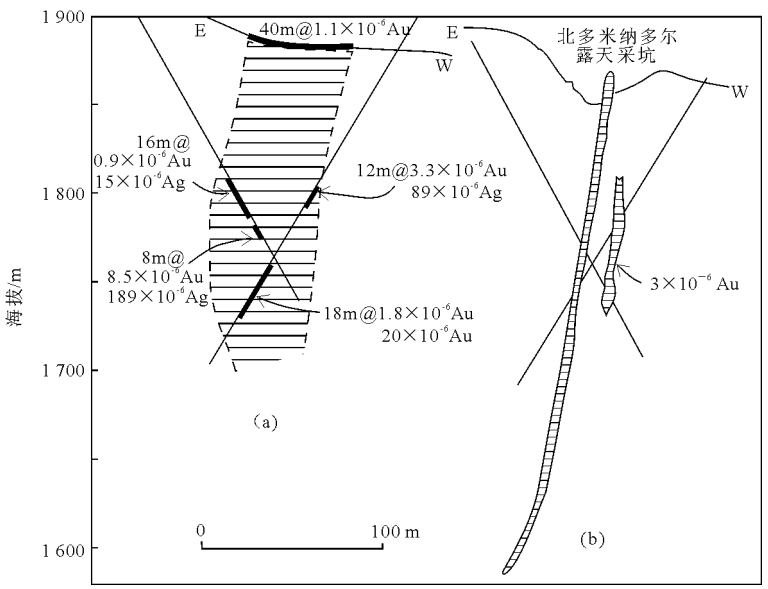

图2 智利北部埃尔佩尼翁低硫化低温热液型金-银矿床向北看的剖面图（引自 Sillitoe，1995）

对3号探槽下面克夫拉达奥里托构造（图1）的早期（1993年）和现在（1999年）的解释进行比较。（a）50 m宽的已填图的构造是根据2 m反循环样品和主要是围岩而不是脉体（因为表面的硫酸盐壳太硬）探槽取样结果将夸大了的矿段宽度结合起来得出的。（b）重新解释是根据加密钻探和地下钻探结果得出的。如果不是地面下的信息表明有高品位金存在，本不打算进行北多米纳多尔露天坑探的。注：标高（海拔高度）是大致的；在（a）时打的是未经测量的钻孔；2个剖面相距10 m

不久以后开始钻探，共打了9个倾斜和4个垂直反循环钻孔。脉带是从两侧钻探的，原因是它们的倾斜不稳定。第一个钻孔打到的脉Au 1.2×10^{-6}，Ag 52.3×10^{-6}，厚超过52 m，在探槽以下约70 m处。这个探槽挖到金品位为 0.20×10^{-6} 的30 m矿段，外加金品位为 0.50×10^{-6} 的55 m矿

黄金地质研究所
信息室 提供

段。最好的一个钻孔打到了 Au 8.5×10^{-6} 和 Ag 189×10^{-6} 的矿段，长 8 m，位于揭露出含 Au 1.1×10^{-6}，宽 40 m 矿段，这正好在探槽以下 8 m（图 2）。一共有 6 个钻孔打到了 Au＞3 $\times10^{-6}$ 的矿段。在这个阶段，堪与美国内华达州布尔弗罗格或斯利珀矿相比的可大规模露采的金矿化，而不是单个矿脉，成为领导层优先考虑的目标［图 2（a）］。第二次反循环钻探开始于 1994 年早期。在这期间，PP14 号孔（被认为是发现孔）打到了 100 m 厚的 Au 10.9×10^{-6} 和 Ag 123.4×10^{-6} 的矿层，其中包括克夫拉达奥里托矿脉中的主要富矿体。后来证实，这个富矿体长 270 m，宽可达 22 m，沿倾向延伸 120 m。

埃尔佩尼翁矿床的多次反循环钻探工作已经完成，但 1994 年中期和 1995 年早期，对克夫拉达奥里托脉带进行的头几次岩心钻探均告失败：8 个钻孔的岩心采取率为 0～20%。但是，在 1996 年下半年，终于使用能对付内华达州卡林矿带不良岩石条件的钻机，成功地打了 13 个倾斜岩心钻孔，总进尺 2 112 m，岩心采取率超过 90%。1997 年进行的补充岩心钻探也得到类似的结果。到 1998 年末，从地表共打了 1 137 个反循环钻孔和 91 个岩心钻孔，穿过方圆分别为 30 m 和 20～40 m 的富矿体。到进行第三次钻探时，已经明显地看出，埃尔佩尼翁矿床是严格意义上的脉型矿床，没有可大规模露采的可能（图 2）。

1995 年中期计划打斜井，以便最终确定地下的主要克夫拉达奥里托富矿体，并采取大样。但是，当时 FMC 金矿公司，包括其在埃尔佩尼翁区的主要矿地中 868 000 盎司（27.0 t）金当量的资源，正在出售过程中，因此取消了打斜井计划。据说从有关当事方接受的售价偏低，1996 年中期，因公司还掌握的 FMC 金矿公司的股份，有 80% 出卖，创建了默里迪恩金矿公司。1996 年晚期开始挖平硐，1997 年接着执行地下坑探计划，包括打了 748 m 斜井，矿脉中的 336 m 石门和 57 m 深井。接着又执行地下开发计划，包括约 10 km 坑道，300 个间距加密到 15 m×15 m 的反循环和岩心钻孔。地下钻探和坑探结果表明，资源计算所依据的从地表打的反循环钻，其金品位被低估了 10%～20%。而且，地下探槽取样结果接近地下金刚石钻探结果，但许多金刚石钻探结果在资源计算时被排除在外，因为采取率太低（＜70%）。

钻孔和地面物探［磁法、激发极化、可控源声频大地电磁法（CSAMT）、甚低频法（VLF）］及多元素化探，也是探索掩覆在成矿前和成矿后盖层下的矿脉的一部分。CSAMT 法经证明是极有效的物探方法，石英脉的电阻率有的高（图 1 的南奥里托矿脉），有的低或中等（图 1 的塞罗马蒂罗，克拉夫达科罗拉多矿脉）。为了测定矿脉上面和矿脉周围的渗滤晕，测定了 4 m 长的钻孔岩心和岩屑中的 32 种元素。经证明，砷是最有效的元素，虽然脉带附近的锑、汞和铅局部也有所富集。在砾石层覆盖区还进行了土偏壤萃取化探。用酶浸出法和活动金属离子法未测出盖层下的已知矿脉，而用土壤浸出法测出了一些隐伏的矿脉，虽然也产生了许多假异常。反循环钻探表明，南奥里托矿脉在砾石层盖层下继续延伸，从其最南部隐伏露头处（见图 1）向南至少延伸 1.2 km，而且还未尖灭。

1997 年早期，决定对克拉夫达奥里托资源进行可行性研究。然而，区域勘查仍在继续，1998 年早期发现了一个目标，它是局限于沿克拉夫达科罗拉多矿脉分布的，有红色铁锈、被硫酸盐胶结的岩屑锥带（图 1）。详细填图表明，小河两岸流纹岩的结构不同，说明它可能是一条断层。根据这一想法，再根据有一个非常局限的块状玉髓漂砾堆积（不含贵金属）和有指示元素存在，而且它们的来源不明，决定再打一对反循环钻孔穿过克拉夫达科罗拉多。第一个钻孔发现了“盲”克拉夫达科罗拉多矿脉，有一个矿段厚 12 m，含 Au 34×10^{-6}；而第二个钻孔，打到了含 Au 5×10^{-6}，厚 6 m 的矿段，后来从这个矿段中又发现了一个次要的下盘矿脉。事后很快认识到，在第一次钻探“战役”10 号钻孔中遇到的含 Au 24×10^{-6}，厚 6 m 的矿段，实际上是从克拉夫达科罗拉多矿脉延伸出来的，接近它与迪斯卡弗里沃什构造的结合部。在克拉夫达科罗拉多继续进行的反循环和岩心钻探，确定了一个很富的矿体，总储量 110 万 t，平均品位：Au 26.6×10^{-6}，Ag 410×10^{-6}。

1998 年决定投产，1999 年下半年完成矿山和用氰化物处理矿石的选矿厂建设。如果在选矿过程中再加上重选，估计贵金属回收率可达 20%～30%。沿克拉夫达奥里托矿脉的 3 个浅部露采坑［图 2（b）］已开始投产，2000 年中期将开始全面地下开采，并将采自克拉夫达奥里托和克拉夫达科罗拉多 2 处的矿石混合起来（进行选矿）。

3 小 结

埃尔佩尼翁矿床是在开发程度很高的矿区发现

黄金地质研究所
信息室 提供

的“草根”金-银矿床。背景区是根据公开发表的地质测量图确定的。但远景区本身则首先是根据在附近的山丘上看到的不明显的颜色异常识别出来的。矿床的发现是仔细的地质观测和填图，再加上对地表岩屑、河床沉积物、岩堆和转石取样化验的结果。勘探队在早期结果并不令人鼓舞的情况下仍积极的进取，也十分重要。CSAMT等测量对该区矿床发现后的勘查，已是锦上添花。

埃尔佩尼翁矿床是历经18个月的区域勘查后发现的，发现后大约6年投产，但按发现后勘查日程表计算大约延期了1年，这是因为想出售公司造成的。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

智利帕斯卡金-银矿床

1 地质背景

帕斯卡（Pascua）金-银矿床（以前称内华达矿床）地处智利和阿根廷边界智利境内，位于埃尔印第奥矿床以北50 km，是属埃尔印第奥金矿带的一个重要的高硫化低温热液型金-银矿床。在阿根廷境内发现的拉马（Lama）矿床，与之同属一个矿床，合称为帕斯卡—拉马矿床，合计有矿石储量2.2亿t，含金2.03×10^{-6}，银66.3×10^{-6}，即含有金532 t，银17 371 t。该矿化系统出露在一陡倾的、垂直落差为100 m的斜坡上。矿化带的海拔标高在4 800～5 000 m之间。

金主要产在高级泥化蚀变带上部的硅化凝灰岩中。其下部为冰长石化蚀变，并有大量的硫砷铜矿。矿石以多种热液角砾产出。矿体被贫矿的酸淋滤岩石所覆盖，矿体还遭受了强烈的表生氧化作用。

2 勘查与发现

帕斯卡矿床所在地——黄山，虽然是一个大型的热液蚀变带，但直至20世纪70年代末，人们才对它进行勘查。1975年晚期，一家私人矿业公司在埃尔印第奥矿带及其周围开展勘查活动后，宣布发现蚀变带。在1978年，由圣乔矿业公司控股的圣乔子公司选中了帕斯卡租地，而后进行了基本的地质和地球化学工作。

根据地球化学测量结果，进行了槽探，钻探进尺达3 347 m，4个中段的坑道长达3 347 m。在细粒的土壤地球化学测量中，用$Au>1\times10^{-6}$和$Ag>20\times10^{-6}$在800 m×400 m的范围内圈出了化探异常。该异常比埃尔印第奥的异常更具有吸引力。几乎所有工作都是由英美矿业公司来完成，主要集中在4 700 m高程以下的古生代侵入体和石英斑岩上，因为其注意力只放在寻找与埃尔印第奥相似的矿脉和富明矾石的热液角砾岩上。由于金矿化范围十分有限，尽管个别地方品位很高，但英美矿业公司还是于1984年撤回了项目。

1989年圣乔矿业公司回到该区，研究海拔更高区的东部地球化学异常。这些异常在过去的合资公司看来很不起眼，且从未能解释清楚。1989年—1991年间，反循环钻探完成4 255 m进尺后，发现硅质熔结凝灰岩中可能含200万盎司（62.2 t）的金。1991—1992年间进行了推土机挖掘，在一个截面上碰上了厚112 m的矿体，Au品位为4×10^{-6}。这进一步证实了本区的矿产潜力。

此时圣乔矿业公司的母公司（当时为拉克矿业公司）决定不再在该地区独立勘查，并将该项目提供给合资公司。几个公司都重新考察了相关资料，但只有智利的壳牌公司对此表现出兴趣。然而，智利的壳牌母公司还是不选择这个项目。最终，圣乔矿业公司的职员说服了其母公司，认为这个项目具有很大的优点，其预算主要用于钻探和槽探。从1992年至1995年，共完成了66 000 m进尺的反循环钻，5 000 m进尺的岩心钻，以及冶金试验和预可行性研究，最终发现了该矿床。圣乔矿业公司的新股东巴里克金矿公司决定开采和冶炼。

3 小 结

对于智利北部金矿床勘查来说，细粒土壤和岩屑的地球化学测量是一种有效的工具。然而，原先基于埃尔印第奥矿床模型的认识，限制了早期的勘查工作，低估了在火山熔岩层以下的成矿潜力。由于帕斯卡地势偏高，使得圣乔矿业公司未能在1992年发现该矿。该矿的勘查成功应归功于地质人员与管理者建立了有效关系。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

黄金地质研究所
信息室 提供

美国波戈金矿床

1 地质背景

波戈（Pogo）金矿床是一个非同一般的脉状金矿床，属古德帕斯特矿区，在阿拉斯加州费尔班克斯城东南 145 km 处。它是延蒂纳金矿带最新的成员，由不同样式的金矿组成，被认为与阿拉斯加州费尔班克斯区及其东南的（加拿大）育空地区晚白垩世长英岩侵入活动有关。这类矿床属于新鉴定的一个类别，其特征是金与铋、碲和砷共生，含有（或没有）锑、钨和银，缺乏贱金属，并且与相对不发育的花岗闪长岩到花岗岩侵入体有成因联系。波戈矿床是这类矿床埋深最大（约 7 km 古深度）矿床的代表。

波戈矿区的列斯带至少有 3 个缓倾的板状石英脉体，最大面积 1 300 m×600 m，厚度 1～20 m，平均 7 m。石英脉体的围岩主要为新元古宙（?）至中古生代的片麻岩，位于晚白垩世古德帕斯特岩基以南 1.5 km 处，波戈矿床可能与这个岩基有成因关系。据称，与早期黑云母和晚期石英-绢云母及绢云母-白云石蚀变有关的块状石英，既有岩脉成因的，也有交代成因的。石英仅含少量硫化物矿物，按体积算占 3%，局部可达 25%。硫化物矿物包括黄铜矿、辉铋矿、辉碲铋矿（Bi_2Te_2S），伴有黑铋金矿（Au_2Bi）、自然铋和自然金。金与铋和碲关系密切，而与砷和银的关系较差。

迄今为止，在波戈区列斯带经钻探证实共求出矿石储量 970 万 t，平均含 Au 18×10^{-6}，即有金 174.6 t。列斯带的石英脉体没有露头，上部（L1）矿带的埋深至少在地面以下 120 m。

2 勘查与发现

从 1915 年起一直到 20 世纪 90 年代，曾在古德帕斯特区断断续续地采过金。据记载，这里开采过少量岩金，产量约 58 kg，但地下石英脉的金产量仅为 8.5 kg，从波戈矿床及其周围未采过金。

20 世纪 70 年代晚期，美国政府机构曾对包括古德帕斯特区在内的“大三角洲”区块进行过矿产资源评价。在执行“阿拉斯加矿产资源评价计划”（AMRAP）期间，分析了水系地球化学样品，但没有分析金。而在执行“全国铀矿资源评价（NURE）计划”期间，把金的检出限定得太高，为 100×10^{-9}。因此，波戈区的金潜力并不特别明显，虽然据报道采自列斯河的 −80 目样品含 Au 100×10^{-9}，含 As＞500×10^{-6}。

1981 年，菲利普斯石油公司金属矿产处将“大三角洲”区块定为寻找战略金属矿特别是寻找钨矿的广大地区的一部分。WGM 公司在实施河流沉积物和水系重砂地球化学测量项目期间，在波戈河和列斯波内发现了异常的 Au（可达 400×10^{-9}），As（可达 $1\ 000\times10^{-6}$）和钨值（图 1）。因菲利普斯石油公司决定撤出金属矿产工作，对异常样品的跟踪调查因项目终止而受阻。

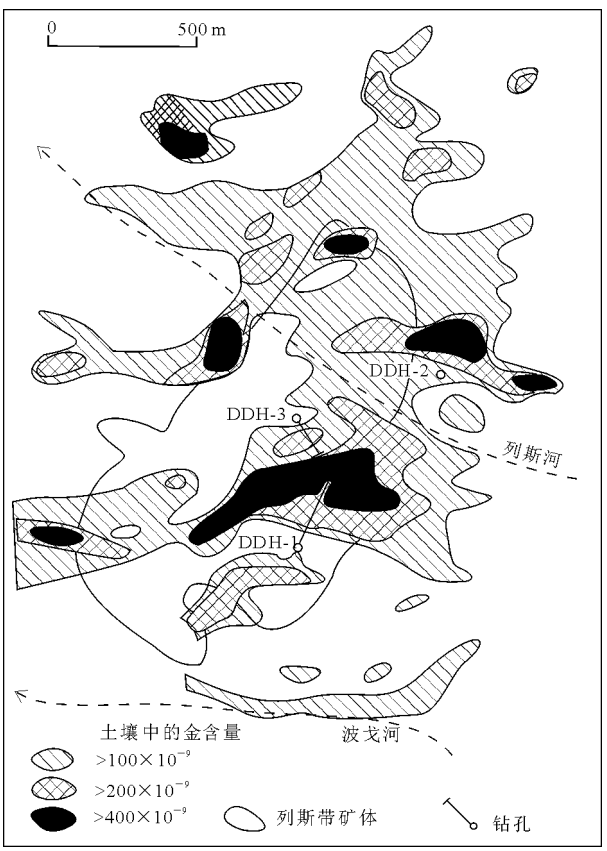

图 1 美国阿拉斯加州波戈金矿土壤金异常与矿带分布的关系（引自 WGIC，1994 和 M. Sith 等，1999）

WGM 公司虽然按合同规定代表菲利普斯石油公司保留了当时所有的技术资料，但在最终证实波戈水系异常和在伴生的石英转石中测出金以前，有 10 年的时间未对古德帕斯特区做进一步的工作。1991 年，WGM 公司圈出了波戈区和其他几个异

黄金地质研究所
信息室 提供

常，并作为斯通湾项目由日本住友（Sumitomo）金属矿业（亚利桑那州）公司、康诺伊石油公司、诺兰达公司和WGM公司联合勘查。意图是勘查金和贱金属。回想起来，当时已经开始掌握了有关费尔班克斯区诺克斯堡（Fort Knox）金矿（一个以花岗岩为围岩的含钨席状石英脉系统）的信息。

联合勘查始于1991年的航磁测量，一直延续到1992年。1992—1993年进行的120 m×60 m网度的土壤取样，在以列斯河下游为中心的面积为1 600 m×800 m的出露不良地区测出了金和砷吻合异常（图1）。异常带是按 w（Au）＞100×10^{-9}，w（As）＞100×10^{-6}（Au的最高值为1 480×10^{-9}，As的最高值为3 130×10^{-6}）设定的化验分析值圈定，取自坡麓堆积的石英碎块的Au含量高达39.5×10^{-6}。就在这时，康诺伊石油公司决定退出联合勘查，住友公司承继其全部股份，WGM公司继续勘查。

1994年，住友公司完成了2 400 m（测线）的激发极化法测量，打了3个倾斜岩心钻孔（图1），总进尺1 024 m。打这些钻孔的目的是为了验证土壤中金异常的品位最高的部分以及验证高品位石英转石的推测来源地。3个钻孔打到的主要是产有含金石英脉的片麻岩。DDH—1号钻孔，即发现孔，从土壤异常主要为EW向高品位之下245 m起打到了一段7.6 m厚的平均含Au 16.7×10^{-6}（含As 2 494×10^{-6}）的矿层，其中包括1.2 m厚的含Au 75×10^{-6}的矿层（图1）。这一高金值显然是“盲”石英脉产生的，后来证明它是列斯带的L1号矿体（图1）。有理由认为，金赋存在陡倾的中温热液石英脉中，并未大量进入到诺克斯堡型矿床中。1994年下半年和1995年上半年，住友公司和WGM公司打算出卖或联营斯通湾矿产。但找不到感兴趣的一方，这显然是因为提出的条件太苛刻。

结果，住友公司决定在波戈区继续勘查，并请WGM公司具体运作。1995年共打了13个岩心钻孔，总进尺＞3 950 m，接着1996年又打了23个钻孔。值得一提的是，头16个钻孔，只有1（发现钻孔），7，9和16号钻孔打到列斯带，而3，4，5和6号钻孔只打到了它的边缘。列斯带继续被解释为一个由一些陡倾的平行石英脉组成的矿带，但是，1996年开始有人说钻孔打到的矿段很可能是较缓倾的石英脉体之一。为了检验这种说法，1997年又打了41个岩心钻孔（总进尺14 390 m），1997年下半年打到了2个缓倾的石英脉体位（L1和L2号），并在深部打到了第三个（L3号）石英脉体。钻孔打到了高品位矿段的消息促使几家公司在1996年底和住友公司接洽，但并未成交。最后，在1997年12月，泰克资源公司与住友公司和SC矿产公司签订协议，决定收买斯通湾矿地40%的股份，因而泰克资源公司取得了经营权。此后不久，泰克公司获得了WGM公司矿地的开采权。1997年下半年公布的初步估算的矿石资源量为990万t，含Au 14×10^{-6}。

1998年，泰克—住友公司又打了97个钻孔，采收岩心27 816 m，并宣布经修正后的地质储量为905万t，含Au 17.8×10^{-6}。冬季道路给后勤供应造成很大困难，因此建筑了一个常年营地。在1999年期间，又打了64个岩心钻孔，总进尺＞15 000 m，在列斯带将钻孔间距缩短为60 m。1999年3月，建设了一个无轨的斜井（斜坡道），2000年4月到达L1号矿带。这个斜井有助于在地下确定孔位和取样，支持预计2001年底完成的可行性研究。计划用房柱法开采，开采量为2 500～3 500 t/d。

3 小 结

波戈高品位金矿是在没有采金老窿地区发现的“盲”矿。在基础地质知识支持下，水系和土壤地球化学测量结果对矿床发现做出了贡献，而地球物理测量结果则没有贡献。相关土壤地球化学异常与矿体没有直接关系（图1），因为它在地表以下＞120 m的深处，而与石英-绢云母和绢云母-白云石蚀变以及上盘的分支石英脉有关。它们似乎在列斯矿带之上构成了一个热液渗透带。

波戈矿床的勘查曾几乎夭折，因为传统上把钻孔打到的矿段解释为对大公司而言经济意义有限的陡倾中温热液矿脉。只是由于住友公司的坚持不懈才获得了足够的资料，转而将钻孔打到的矿段解释成具有巨大潜在价值的缓倾石英脉体。波戈矿床的发现史告诉我们，在勘探的早期阶段，即使应用很成熟的矿床模式也应谨慎从事。

波戈矿床是在对古德帕斯特矿区断断续续地勘查了13年才发现的。矿体的最后确定花了3年的时间，从开始发现到第一批黄金出炉大概需要9年。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

黄金地质研究所
信息室 提供

有关文献

[1] 郭俊华，齐金忠，孙彬，等．甘肃阳山特大型金矿床地质特征及成因 [J]．黄金地质，2002，8 (2)：15-19．
[2] 李志宏，杨印，彭省临，等．甘肃阳山超大型热液金矿床的成矿特征 [J]．大地构造与成矿学，2007，31 (1)：63-76．
[3] 刘伟，马瑛，范永香．甘肃文县阳山金矿床成矿流体特征 [J]．资源环境与工程，2007，21 (2)：87-94．
[4] 罗锡明，齐金忠，袁士松，等．甘肃阳山金矿床微量元素及稳定同位素的地球化学研究 [J]．现代地质，2004，18 (2)：203-209．
[5] 齐金忠，袁士松，李莉，等．甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析 [J]．地质论评，2003，49 (1)：85-92．
[6] 齐金忠，李莉，袁士松，等．甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]．矿床地质，2005，24 (2)：141-150．
[7] 杨贵才，齐金忠，董华芳，等．甘肃省文县阳山金矿床地质及同位素特征 [J]．地质与勘探，2007，43 (3)：37-41．
[8] 袁士松．甘肃省文县阳山特大型金矿床成矿作用研究 [J]．矿产与地质，2007，21 (4)：404-409．
[9] 赵百胜，刘伟．甘肃省阳山金矿床流体包裹体特征及其地质意义 [J]．地质找矿论丛，2004，19 (4)：105-109．
[10] 刘新会，于岚，张复新，等．甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探 [J]．西北地质，2005，38 (4)：45-53．
[11] 陈勇敢，赵玉锁，张国立，等．甘肃寨上金矿床构造地球化学特征 [J]．黄金地质，2004，10 (4)：61-65．
[12] 姜海平，陆志平，赵志龙，等．甘肃寨上金矿区地球物理和地球化学特征 [J]．黄金地质，2003，9 (2)：50-54．
[13] 杨秀华，郑振云．甘肃寨上金矿区金异常评价 [J]．黄金地质，2003，9 (3)：65-68．
[14] 郭红乐，陆志平，刘爽．甘肃寨上卡林型金矿床地质特征与控矿因素 [J]．黄金地质，2003，9 (3)：21-26．
[15] 吕喜旺，刘新会，于岚，等．西秦岭寨上金矿床稀土元素和微量元素特征 [J]．地质找矿论丛，2007，22 (3)：201-205，223．
[16] 彭素霞，赵文川．寨上金矿区成矿机制及成矿预测 [J]．地质与勘探，2007，43 (2)：40-44．
[17] 耿书杰，张文钊，吕兵团．胶东大磨曲家金矿 302 号脉下盘次级断裂构造资源潜力分析 [J]．黄金科学技术，2006，14 (6)：29-35．
[18] 张志臣，曲少翠．胶东大磨曲家金矿床矿石及金矿物特征 [J]．黄金，2006，27 (2)：17-20．
[19] 宋贺民，张文钊，徐述平．胶东大磨曲家金矿地球化学异常模式及找矿意义 [J]．黄金科学技术，2006，14 (6)：13-22．
[20] 徐述平，朱洪岭，张华全．胶东大磨曲家金矿控矿断裂及成矿规律 [J]．黄金科学技术，2006，14 (2)：11-22．
[21] 刘晓煌，耿书杰，马树江，等．山东龙口市大磨曲家金矿地质特征及找矿方向探讨 [J]．山东地质，2001，17 (3-4)：69-75．
[22] 张文钊，徐述平，宋贺民．山东大磨曲家金矿深部盲矿定位预测的构造叠加晕理想模型 [J]．矿产与地质，2005，19 (6)：700-703．
[23] 刘晓煌，张长明，吕国良，等．山东龙口大磨曲家金矿区矿体地球化学模型及深部找矿方向 [J]．黄金，2002，23 (12)：6-9．
[24] 张文钊．山东龙口大磨曲家金矿深部盲矿预测的构造叠加晕模型 [J]．地质找矿论丛，2005，20 (增刊)：177-181．
[25] 刘晓煌，孙兴丽，徐志清．山东龙口市大磨曲家金矿地质、地球化学模型浅析 [J]．地质与勘探，2003，39 (2)：30-33．
[26] 张佩华，赵振华，包志伟，等．$H_2Pb_2Fe_4[(Te,S)O_4]_9\cdot 9H_2O$：东坪金矿的未定名碲酸盐矿物 [J]．矿物岩石地球化学通报，2000，19 (4)：356-359．
[27] 易善桢．TM 数据预处理及东坪地区蚀变信息提取方法研究 [J]．遥感技术与应用，1994，9 (4)：15-21．
[28] 常志民，李永才．东坪—后沟式金矿物化探综合找矿模型 [J]．地质与勘探，1995，31 (4)：40-46．
[29] 卢焕章，Guy Archambault，李院生．东坪地区金矿剪切带与金的成矿作用 [J]．桂林工学院学报，1997，17 (4)：316-323．
[30] 侯根群，孙丽娜，王建国．东坪金矿 1 号脉

黄金地质研究所
信息室 提供

地质特征统计研究及深部预测 [J]. 沈阳黄金学院学报，1994，13 (2)：132-137.
[31] 李九玲，E. Makovicky，J. Rose-Hansen，等. 东坪金矿“芥末金”及其类型 [J]. 现代地质，2001，15 (2)：189-196.
[32] 梁厚锋. 东坪金矿“三段两列”找矿模型的初步研究 [J]. 黄金地质，1995，1 (1)：42-45.
[33] 刘雪梅，刘本立. 东坪金矿Ⅰ号脉深部“尖灭”与“再现”处的红外光谱特征 [J]. 地质与勘探，1996，32 (1)：13-16.
[34] 许云程. 东坪金矿成矿研究 [J]. 唐山工程技术学院学报，1994，16 (2)：57-62.
[35] 包志伟，赵振华. 东坪金矿床成矿过程中稀土元素活动性 [J]. 地球化学，1998，27 (1)：81-90.
[36] 吕作刚，穆生莉. 东坪金矿床充水因素探讨 [J]. 地质找矿论丛，1997，12 (4)：73-78.
[37] 张招崇. 东坪金矿床的氢、氧同位素特征与成矿流体演化 [J]. 黄金地质，1996，2 (3)：36-41.
[38] 孙丽娜，王建国. 东坪金矿床的围岩蚀变和流体特征 [J]. 贵金属地质，1995，4 (4)：255-262.
[39] 李少众. 东坪金矿床地质-地球化学找矿模式及找矿预测 [J]. 地质与勘探，2002，38 (1)：27-30.
[40] 王郁，孟海军. 东坪金矿床金矿物研究 [J]. 地质找矿论丛，2000，15 (1)：51-55，63.
[41] 莫测辉，王秀璋，梁华英，等. 东坪金矿床上水泉花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 矿物学报，1998，18 (3)：298-302.
[42] 蔡长金. 东坪金矿床中几种含氧金矿物的发现 [J]. 黄金地质，1996，2 (3)：57-65.
[43] 赵志龙，耿中秋. 东坪金矿地球物理和地球化学找矿模式 [J]. 黄金地质，1997，3 (2)：62-70.
[44] 赵庆国，蒋心明. 东坪金矿地质地球化学特征成矿规律及成因 [J]. 地质找矿论丛，1998，13 (2)：28-38.
[45] 李怀勇，张占洋，李鹏，等. 东坪金矿构造解析及矿床成因探讨 [J]. 地质与勘探，2000，36 (5)：36-38，46.
[46] 李长民. 东坪金矿金质来源与张宣地区花岗岩-绿岩地体的关系探讨 [J]. 前寒武纪研究进展，1999，22 (1)：40-46.
[47] 张佩华，赵振华，包志伟，等. 东坪金矿矿石碲、金分布及其相关性 [J]. 地质与勘探，2001，37 (3)：24-28.
[48] 杨再红. 东坪金矿区成矿构造分析与成矿预测 [J]. 地质与勘探，1997，33 (6)：12-16.
[49] 杨再红. 东坪金矿区构造条块分析与成矿预测 [J]. 沈阳黄金学院学报，1997，16 (3)：175-182.
[50] 李少众. 东坪金矿雁列脉控矿特征及其找矿意义 [J]. 地质与勘探，1999，35 (6)：15-18.
[51] 李怀勇. 东坪金矿主要地质特征及控矿条件 [J]. 贵金属地质，1998，7 (3)：221-227.
[52] 冯克武. 东坪式金矿床地球化学特征 [J]. 贵金属地质，1992，1 (2-3)：144-147.
[53] 包志伟，赵振华，张佩华，等. 东坪式金矿床铅同位素组成特征及其化探评价 [J]. 地球化学，2000，29 (3)：223-230.
[54] 张佩华，赵振华，朱金初，等. 东坪式金矿的金银碲化物及其载金性 [J]. 矿物学报，2002，22 (4)：321-328.
[55] 刘燕君，金丽芳，冯钟葵，等. 东坪式金矿盲矿体的多元信息预测研究 [J]. 国土资源遥感，1994，(1)：15-22.
[56] 杨再红. 河北东坪金矿床黄铁矿标型特征研究及其地质意义 [J]. 黄金，2001，22 (12)：9-11.
[57] 杨再红. 河北东坪金矿床围岩蚀变与成矿预测 [J]. 地质与勘探，2003，39 (2)：34-39.
[58] 魏菊英，苏琪. 河北东坪金矿区水泉沟岩体的地球化学特征 [J]. 地质科学，1994，29 (3)：256-266.
[59] 毛景文，李荫清. 河北省东坪碲化物金矿床流体包裹体研究：地幔流体与成矿关系 [J]. 矿床地质，2001，20 (1)：256-266.
[60] 罗泰义，高振敏. 河北省东坪碱性岩金矿中金与铵的相关性 [J]. 地质地球化学，1996，(1)：82-85.
[61] 田澍章，李秀梅. 河北省东坪金矿几种新金矿物的初步研究 [J]. 黄金地质，1995，1 (1)：61-67.
[62] 蒋心明，樊秉鸿，李少众. 河北省东坪金矿矿田构造特征 [J]. 地质找矿论丛，2000，15 (4)：351-356.
[63] 江思宏，聂凤军. 河北小营盘与东坪金矿地质地球化学特征对比及矿床成因探讨 [J]. 黄金地质，1998，4 (4)：12-24.

黄金地质研究所
信息室 提供

[65] 葛良全，赵友清，梁锦华，等．核技术在东坪金矿勘查中的应用与研究 [J]．铀矿地质，1995，11 (6)：357-361．
[66] 赵声．冀北东坪金矿床地质特征 [J]．黄金地质，1996，2 (2)：22-26．
[67] 张永峰，耿洪，吕作刚．冀北东坪金矿自然金标型特征 [J]．辽宁地质，1998， (4)：261-265．
[68] 郭友钊，李习安，董刚，等．冀北东坪式金矿找矿远景区的岩石磁学研究 [J]．黄金地质，2001，7 (2)：29-34．
[69] 范宏瑞，谢奕汉，翟明国．冀西北东坪金矿成矿流体研究 [J]．中国科学 (D 辑)，2001，31 (7)：537-544．
[70] 莫测辉，王秀璋，程景平，等．冀西北东坪金矿床成矿流体的来源研究 [J]．矿物岩石地球化学通报，1997，16 (2)：98-100．
[71] 莫测辉，王秀璋，程景平，等．冀西北东坪金矿床的成矿期次及成矿阶段研究 [J]．矿物岩石地球化学通报，1997，16 (3)：169-172．
[72] 莫测辉，王秀璋，程景平，等．冀西北东坪金矿床含金石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线及其地质意义 [J]．地球化学，1997，26 (3)：20-27．
[73] 杨再红．利用几何学方法判定东坪金矿区的断层性质及位移量 [J]．地质与勘探，1999，35 (2)：45-48．
[74] 李煌平，崔海林．目标找矿法是实现东坪金矿床大型规模的有效途径 [J]．地质找矿论丛，1996，11 (2)：51-58．
[75] 魏俊浩，刘丛强，丁振举．热液型金矿床围岩蚀变过程中元素迁移规律——以张家口地区东坪、后沟、水晶屯金矿为例 [J]．矿物学报，2000，20 (2)：200-206．
[76] 赵天心，宫元吉．物化探方法在东坪金矿的应用效果 [J]．地质找矿论丛，1997，12 (1)：50-58．
[77] 宋丙剑，江秉忠，周殿宇，等．大兴安岭北部砂宝斯金矿成矿条件及找矿方向探讨 [J]．地质找矿论丛，2007，22 (2)：107-112．
[78] 王献忠，舒本耀，梁海军，等．大兴安岭北部砂宝斯金矿床控矿因素及成因 [J]．黄金地质，2003，9 (3)：45-48．
[79] 齐金忠，李莉，郭晓东．大兴安岭北部砂宝斯蚀变砂岩型金矿地质特征 [J]．矿床地质，2000，19 (2)：116-125．
[80] 王晓勇，贾伟光，张春辉，等．黑龙江砂宝斯金矿床成矿物理化学环境研究 [J]．黄金，2005，26 (2)：8-11．
[81] 赵春荣，赵淑华，梁海军．黑龙江砂宝斯金矿地质特征及找矿方向 [J]．黄金地质，2000，6 (4)：28-32．
[82] 邱殿明，张兴洲，俞保祥，等．黑龙江砂宝斯金矿构造控矿特征及找矿方向 [J]．黄金，2004，25 (11)：13-17．
[83] 赵炳新，宋丙剑，周殿宇，等．黑龙江省漠河县砂宝斯金矿地质特征及成矿规律浅析 [J]．黄金科学技术，2007，15 (2)：20-25．
[84] 胡琴霞，赵春荣，宋丙剑，等．黑龙江省砂宝斯金矿床成矿流体地球化学 [J]．黄金科学技术，2007，15 (3)：5-10．
[85] 贾伟光，王晓勇，张春辉，等．黑龙江省砂宝斯金矿床成矿流体性质研究 [J]．地质与资源，2004，13 (3)：148-151．
[86] 陈岩，李汉光．浅谈厚层覆盖森林区化探找金工作程序——以黑龙江省砂宝斯金矿为例 [J]．黄金地质，2000，6 (1)：65-69．
[87] 彭晓蕾，刘立，计桂霞．砂宝斯金矿区多矿物脉特征及其对砂岩的改造 [J]．世界地质，2003，22 (4)：326-330．
[88] 刘少明，母丽娟．用化探方法在黑龙江砂宝斯金矿区找矿的效果 [J]．黄金地质，2002，8 (2)：44-47．
[89] 陈锦荣，李汉光，金宝义，等．黑龙江金厂 J—1 号金矿体地质特征及深部预测 [J]．黄金地质，2002，8 (4)：8-12．
[90] 朱成伟，陈锦荣，李体刚，等．黑龙江金厂金矿床地质特征及成因探讨 [J]．矿床地质，2003，22 (1)：56-64．
[91] 李高生，陈锦荣，王艳忠，等．黑龙江金厂金矿床矿化类型及包裹体特征研究 [J]．黄金地质，2003，9 (1)：32-37．
[92] 慕涛，刘桂阁，项魁辰．黑龙江金厂金矿地质地球化学特征及矿床成因 [J]．黄金地质，2000，6 (3)：57-64．
[93] 王永，席斌斌，张德会，等．黑龙江金厂金矿流体地球化学特征 [J]．矿床地质，2007，26 (2)：184-194．
[95] 金宝义，陈锦荣，褚金海，等．黑龙江金厂金矿区火山构造及其控矿特征 [J]．黄金地质，2002，8 (1)：26-32．
[96] 白东照．黑龙江省东宁县金厂岩金矿区矿床充水特征初探 [J]．内蒙古水利，2007，(3)：110-111．
[97] 贾国志，陈锦荣，杨兆光，等．金厂特大型

黄金地质研究所
信息室 提供

金矿床的地质特征与成因研究 [J]. 地质学报，2005，79 (5)：661-670.
[98] 刘新会，刘爽，李渊，等. 金龙山—丘岭金矿床成矿流体的储运规律及区域找金方向 [J]. 地质找矿论丛，2005，20 (增刊)：10-14.
[99] 张复新，魏宽义，吴应升，等. 金龙山—丘岭卡林型金矿床研究新进展 [J]. 西北大学学报 (自然科学版)，1997，27 (4)：326-330.
[100] 赵文智，胡建民，王淑梅. 金龙山金矿床矿源层特征 [J]. 黄金地质，1996，2 (2)：32-35.
[101] 赵利青，陈祥，周红，等. 南秦岭赋存于沉积岩中的金龙山金矿带主要载金矿物黄铁矿、毒砂研究 [J]. 贵金属地质，2000，9 (4)：193-199.
[102] 张静，陈衍景，张复新，等. 陕西金龙山卡林型金矿带成矿流体地球化学研究 [J]. 矿床地质，2002，21 (3)：283-291.
[103] 魏宽义，张复新. 陕西镇安金龙山矿区构造演化及剪切带对金矿的控制作用 [J]. 西北地质科学，1997，18 (1)：32-39.
[104] 李永项，张纯芳，张复新. 镇安金龙山—丘岭金矿田地质特征、成矿预测与找矿前景 [J]. 西北地质科学，2000，21 (1)：62-68.
[105] 杨登美. 镇安金龙山金矿区控矿构造简析 [J]. 西北地质，2000，33 (1)：26-30.
[106] 史光德，刘新会，张永文，等. 镇旬盆地金矿地质特征及找矿方向 [J]. 地球科学与环境学报，2005，27 (3)：10-14.
[107] 路彦明，赵军，陈祥，等. 东准噶尔双泉地区韧-脆性剪切带与金矿成矿 [J]. 新疆地质，2007，25 (2)：164-168.
[108] 薄科武，李文辉，赵军，等. 新疆卡拉麦里山变质碎屑岩型金矿地质特征及成矿条件分析 [J]. 新疆地质，2005，23 (3)：220-224.
[109] 郦今敖，莫江平，彭晓明，等. 新疆双峰山浅成低温热液金矿床特征与成矿机制 [J]. 新疆地质，2004，22 (2)：164-169.
[110] 郦今敖，莫江平，彭晓明. 东天山北部金矿成矿地质环境 [J]. 新疆地质，2001，19 (4)：268-271.
[111] 梁栋，戴建斌. 湖南大新金矿床地质特征及控矿因素分析 [J]. 黄金科学技术，2007，15 (1)：1-7.
[112] 李已华，吴继承，周遗军. 湘中白马山—龙山金矿带穹隆控矿规律分析 [J]. 黄金地质，2004，10 (4)：32-36.
[113] 李已华，戴建斌，李永光，等. 湖南省新邵县大新金矿地质特征 [J]. 黄金科学技术，2007，15 (5)：8-12.
[114] 谭克仁. 部分电提取法和吸附提取法在隐伏金矿床普查找矿勘查中的应用 [J]. 黄金科学技术，2000，8 (2)：26-29.
[115] 周跃飞，刘星，亓春英. 大坪金矿石英标型特征及其找矿意义 [J]. 云南地质，2003，22 (3)：288-294.
[116] 孙晓明，石贵勇，熊德信，等. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素 (PGE) 和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义 [J]. 地质学报，2007，81 (3)：394-404.
[117] 毕献武，胡瑞忠，何明友. 云南大坪哀牢山金矿带的成矿时代及其成矿机制探讨 [J]. 地质地球化学，1996，(1)：94-97.
[118] 葛良胜，邓军，杨立强，等. 云南大坪超大型金多金属矿床地质地球化学特征 [J]. 地质与勘探，2007，43 (3)：17-24.
[119] 应汉龙. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征. [J]. 黄金科学技术，1998，6 (4)：14-23.
[120] 熊德信，孙晓明，翟伟，等. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 CO_2 流体包裹体及其成矿意义 [J]. 地质学报，2007，81 (5)：640-653.
[121] 韩润生，金世昌，雷丽. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学 [J]. 矿物学报，1997，17 (3)：337-344.
[122] 席书锋，王成学，李群亮. 河南狮子庙金矿田矿床地质特征 [J]. 黄金地质，2004，10 (1)：29-32.
[123] 刘红樱，胡受奚，郭坤一，等. 河南元岭金矿成矿物理化学条件及成矿物质来源 [J]. 矿物岩石地球化学通报，2000，19 (4)：253-255.
[124] 雍永源. 藏东主要岩金矿床类型基本特点及其找矿前景 [J]. 沉积与特提斯地质，2002，22 (4)：1-9.
[125] 丁枫，唐菊兴，崔小亮. 硫、铅同位素及微量元素对西藏雄村铜金矿成矿物质来源的指示 [J]. 矿床地质，2006，25 (增刊)：399-402.
[126] 曲晓明，辛洪波，徐文艺. 三个锆石 U-Pb SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿

黄金地质研究所
信息室 提供

火成岩时代的重新厘定 [J]. 矿床地质，2007，26 (5)：512-518.
[127] 曲晓明，辛洪波，徐文艺. 西藏雄村特大型铜金矿床容矿火山岩的成因及其对成矿的贡献 [J]. 地质学报，2007，81 (7)：964-971.
[128] 王子正，唐菊兴，郎新海. 土壤地球化学测量在隐伏矿体勘探中的应用 [J]. 西部探矿工程，2007，(3)：92-95.
[129] 徐文艺，曲晓明，侯增谦，等. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨 [J]. 矿床地质，2006，25 (3)：243-251.
[130] 徐文艺，曲晓明，侯增谦，等. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床流体包裹体研究 [J]. 岩石矿物学杂志，2005，24 (4)：301-310.
[131] 张丽，唐菊兴，邓起，等. 西藏谢通门县雄村铜（金）矿矿石物质成分研究及其意义 [J]. 成都理工大学学报（自然科学版），2007，34 (3)：318-326.
[132] 徐文艺，曲晓明，侯增谦，等. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景 [J]. 地质学报，2006，80 (9)：1 392-1 406.
[133] 丁枫. 西藏自治区谢通门县雄村铜金矿床成矿条件及成矿预测 [D]. 成都理工大学，2004.
[134] 党兴彦，范桂忠，李智明，等. 东昆仑成矿带典型矿床分析 [J]. 西北地质，2006，39 (2)：143-155.
[135] 韩英善，李俊德，王文，等. 对大场金矿成因的新认识 [J]. 高原地震，2006，18 (3)：54-57.
[136] 赵俊伟，孙丰月，李世金，等. 青海北巴颜喀拉山地区浊积岩中金（锑）矿成矿地质特征——以大场—加给陇洼一带为例 [J]. 黄金，2007，28 (9)：8-13.
[137] 包存义，许国武，李玉春，等. 大场地区金矿成因类型及成矿潜力分析 [J]. 青海国土经略，2003，(3)：17-22.
[138] 赵财胜，孙丰月，毛景文，等. 青海大场金矿床流体包裹体特征及其地质意义 [J]. 矿床地质，2005，24 (3)：305-316.
[139] 王渭清，王增寿，李波. 青海省曲麻莱县大场金矿控矿因素分析及区域找矿意义 [J]. 青海国土经略，2005，(3)：32-36.
[140] 崔书学. 焦家断裂带南延问题及南延段找矿前景分析 [J]. 山东国土资源，2007，23 (10)：7-10.
[141] 杨之利，张旭，姜洪利. 山东省莱州市寺庄金矿床地质特征 [J]. 山东国土资源，2007，23 (5)：6-10.
[142] 陈柏林，丁式江，李中坚，等. 海南抱伦金矿床成矿时代研究 [J]. 地球化学，2001，30 (6)：525-532.
[143] 陈柏林，李中坚，董诚，等. 海南抱伦金矿床控矿构造特征及其对金矿化的控制作用 [J]. 中国地质，2004，31 (2)：139-146.
[144] 舒斌，王平安，李中坚，等. 海南抱伦金矿的成矿时代研究及其意义 [J]. 现代地质，2004，18 (3)：316-320.
[145] 丁式江，黄香定，李中坚，等. 海南抱伦金矿地质特征及其成矿作用 [J]. 中国地质，2004，28 (5)：28-34.
[146] 谢才富，朱金初，丁式江，等. 海南尖峰岭花岗岩体的形成时代、成因及其与抱伦金矿的关系 [J]. 岩石学报，2006，22 (10)：2 493-2 508.
[147] 舒斌，王平安，董法先，等. 海南乐东地区抱伦金矿矿石特征及其成因矿物学意义 [J]. 地质通报，2006，25 (6)：745-755.
[148] 舒斌，王平安，董法先，等. 海南西南部抱伦金矿床流体包裹体及稳定同位素特征 [J]. 地质通报，2006，25 (7)：880-893.
[149] 刘玉琳，丁式江，张小文，等. 海南乐东抱伦金矿床成矿时代研究 [J]. 地质论评，2002，48 (增刊)：84-87.
[150] 孙保平，潘振兴，田战武，等. 格尔珂金矿大水矿区地质特征及找矿标志 [J]. 内蒙古石油化工，2007，(1)：128-130.
[151] 赵长发，李真善，魏振伟，等. 玛曲县格尔珂金矿床地质特征及深部成矿远景评价 [J]. 甘肃科技，2005，21 (9)：80-81.
[152] 李真善，魏振伟，石强. 隐爆角砾岩在格尔珂金矿床的发现及成矿意义 [J]. 甘肃科技，2005，21 (9)：84-85.
[153] 张银斗. 甘肃徽县桃园金矿床断裂构造控矿规律及成矿预测 [J]. 黄金，2005，26 (2)：16-18.
[154] 胡晓隆，杨礼敬，陈彦文，等. 甘肃省徽县头滩子金矿地质特征及远景预测 [J]. 矿床地质，2005，24 (4)：416-421.
[155] 陈海明，刘智明. 东安金矿床控矿地质条件的研究 [J]. 黄金科学技术，2005，13 (3)：17-20.
[156] 于建波，苏仁奎，刘智明. 东安金矿床控矿因素及成矿物质来源浅析 [J]. 黄金科学技

黄金地质研究所
信息室 提供

术，2005，13（6）：8-11．
[157] 曲晖，史瑞民．黑龙江东安金矿成矿的构造条件分析［J］．黄金科学技术，2007，15（1）：23-25．
[158] 敖贵武，薛明轩，周辑，等．黑龙江东安金矿床成因探讨［J］．矿产与地质，2004，18（2）：118-121．
[159] 薛明轩，叶松青，刘智明，等．黑龙江东安金矿床地质地球化学特征初探［J］．黄金，2002，23（7）：1-3．
[160] 郭继海，金凤鸣，汪长生．黑龙江东安金矿潜火山岩的控矿作用［J］．矿产与地质，2004，18（3）：232-235．
[161] 刘伟，郑子东，蔡继宏，等．黑龙江省逊克县东安金矿床地质特征及成因探讨［J］．黄金，2002，23（6）：332-336．
[162] 王志平．甘肃省礼县赵沟金矿床地质特征及找矿远景浅析［J］．甘肃地质学报，2003，12（1）：70-77．
[163] 杨建喜，夏磊．甘肃赵沟金矿床地质特征及控矿地质条件［J］．甘肃冶金，2004，26（2）：29-31．
[164] 徐岩．甘肃赵沟金矿床地质特征及控矿因素分析［J］．黄金地质，2004，10（2）：17-20．
[165] 黄永泉，衣宪国．赵家沟金矿载金炭解吸电解设备技术改造［J］．黄金，1997，20（7）：37-39．
[166] 刘建中，邓一明，刘川勤，等．贵州省贞丰县水银洞层控特大型金矿成矿条件与成矿模式［J］．中国地质，2006，33（1）：169-177．
[167] 刘建中，刘川勤．贵州省贞丰县水银洞金矿床稀土元素地球化学特征［J］．矿物岩石地球化学通报，2002，21（2）：135-139．
[168] 刘建中，夏勇，邓一明，等．贵州水银洞超大型金矿床金的赋存状态再研究［J］．贵州地质，2007，24（3）：165-169．
[169] 王学娟，刘全军．贵州水银洞低品位卡林型金矿矿石选矿试验［J］．有色金属（选矿部分），2007，（5）：28-31．
[170] 刘建中，刘川勤．贵州水银洞金矿床成因探讨及成矿模式［J］．贵州地质，2005，22（1）：9-13．
[171] 刘建中．贵州水银洞金矿床矿石特征及金的赋存状态［J］．贵州地质，2003，20（1）：30-34．
[172] 苏文超，张弘弢，夏斌，等．贵州水银洞卡林型金矿床首次发现大量次显微—显微可见自然金颗粒［J］．矿物学报，2006，26（3）：257-260．
[173] 夏勇，陶琰，苏文超，等．贵州贞丰水银洞金矿床地球化学特征及成因探讨［J］．矿物岩石地球化学通报，2004，23（增刊）：79．
[174] 沈文杰，周永章．贵州贞丰水银洞金矿地质地球化学特征及成矿作用探讨［J］．矿物岩石地球化学通报，2004，23（增刊）：57
[175] 沈文杰，张竹如，周永章，等．贵州贞丰水银洞金矿含矿岩系元素地球化学特征［J］．地球化学，2005，34（1）：88-95．
[176] 夏勇．贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究［D］．中国科学院研究生院，2005．
[177] 冯琳，张竹如．泥堡金矿与水银洞金矿地质特征初步对比［J］．贵州地质，2005，22（1）：22-25．
[178] 黄建国．黔西南二叠系龙潭组含金建造的初步研究［D］．贵州大学，2007．
[179] 夏勇，苏文超，张兴春，等．黔西南水银洞层控卡林型金矿床成矿机理初探［J］．矿物岩石地球化学通报，2007，26（增刊）：320-323．
[180] 聂爱国，张竹如．黔西南水银洞金矿床成矿地质条件研究［J］．黄金，2006，27（6）：5-9．
[181] 付绍洪，顾雪祥，王乾，等．黔西南水银洞金矿床地质特征及载金矿物初步研究［J］．矿物岩石地球化学通报，2004，23（增刊）：50．
[182] 付绍洪，顾雪祥，王乾，等．黔西南水银洞金矿床载金黄铁矿标型特征［J］．矿物学报，2004，21（1）：75-80．
[183] 刘建中，邓一明，刘川勤，等．水银洞金矿床包裹体和同位素地球化学研究［J］．贵州地质，2006，23（1）：51-56．
[184] 张敏，黄建国，张竹如．岩、矿石的显微组构研究对水银洞金矿成因的指示作用［J］．黄金，2007，28（7）：12-16．
[185] 刘建中，邓一明，邱林．中国第一个Ⅰ类型卡林型金矿床——水银洞金矿地质［J］．矿床地质，2006，25（增刊）：175-178．
[186] 张宝林．争光金矿——黑龙江北部新发现的浅成低温热液型高品位金矿［J］．黄金科学技术，2004，12（6）：12．
[187] 武子玉，孙有才，王保全．黑龙江争光金矿地质地球化学研究［J］．地质与勘探，

黄金地质研究所
信息室 提供

2006，42（1）：38-42.
[188] 赵广江，侯玉树，王宝权．黑龙江省争光金矿地质特征及成因初探［J］．有色矿冶，2006，22（3）：3-6.
[189] 崔威．黑龙江省争光金矿床矿体特征［J］．科技资讯，2006，(22)：20.
[190] 赵广江，侯玉树，程富强．黑龙江黑河市争光岩金矿床地质特征及成因浅析［J］．有色金属，2007，59（3）：91-94.
[191] 贾庆军，马秀春，江宁成，等．RC 钻探技术在黑龙江争光岩金矿区的应用［J］．探矿工程（岩土钻掘工程），2007，(8)：9-12.
[192] 霍亮，李碧乐，黄勇，等．内蒙古赤峰陈家杖子金矿床矿物学特征及成因［J］．黄金，2007，28（10）：4-10.
[193] 王存贤，杨文华，黄占起．内蒙古陈家杖子金矿地质特征及资源潜力探讨［J］．地质与资源，2003，12（1）：25-31.
[194] 王喜宽，王忠，李世宝，等．内蒙古陈家杖子金矿的地质地球化学找矿模式［J］．地质与资源，2006，16（3）：161-167.
[195] 佘宏全，张桂兰，张德全，等．赤峰陈家杖子隐爆角砾岩型金矿床地质地球化学特征与成因［J］．地质与资源，2005，24（4）：373-387.
[196] 刘玉强．鲁东金矿成矿规律及新的找矿方向［J］．山东地质，1999，15（2）：24-31.
[197] 刘玉强，史辉，李军，等．胶莱盆地周边金矿床地质-地球物理-地球化学特征及找矿意义［J］．地球学报，2004，25（6）：593-600.
[198] 张竹如，陈世桢．胶莱盆地砾岩型金矿的发现及经济地质意义［J］．矿物岩石地球化学通报，1999，18（3）：171-173.
[199] 刘玉强，刘殿浩，于志臣，等．胶莱盆地东北缘金矿床主要类型与找矿远景评价［J］．山东地质，2000，16（1）：29-38.
[200] 刘金友，段留安．胶莱盆地北缘金矿特征及找矿前景分析［J］．黄金科学技术，2006，14（2）：30-35.
[201] 沈远超，杨金中，刘铁兵，等．胶东新型金矿——层间滑动角砾岩型金矿床［J］．地质与勘探，2002，38（2）：11-14.
[202] 杨金中，赵玉灵，沈远超，等．胶东宋家沟金矿床的地质特征及矿床类型——胶东层控矿床的新发现［J］．地质与勘探，2001，37（4）：1-4.
[203] 曾庆栋，沈远超，刘铁兵，等．胶东牟平发云夼金矿区地球物理综合找矿研究［J］．湘潭矿业学院学报，2001，16（4）：17-19.
[204] 郝百武，薛传东，韩润生．胶东金矿区硫、铅同位素地球化学及矿床成因［A］．第二届全国应用地球化学学术讨论会论文专辑（摘要、全文）［C］．417-418.
[205] 邹为雷，曾庆栋，李光明．胶东发云夼金矿床地质特征及其金矿类型辨析［J］．矿床地质，2003，22（1）：88-84.
[206] 张连昌，沈远超，李厚民，等．胶东地区金矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及成矿流体来源示踪［J］．岩石学报，2002，18（4）：559-565.
[207] 于志臣，李勇，万全政，等．烟台市牟平区宋家沟金矿床成因及找矿方向［J］．山东地质，2002，18（1）：36-40.
[208] 张竹如，唐波，聂爱国，等．山东省牟平宋家沟金矿床地质特征［J］．黄金，2001，22（4）：1-5.
[209] 李洪奎，杨永波，于志臣，等．山东省胶莱盆地东北缘宋家沟金矿地质特征及其成因初探［J］．前寒武纪研究进展，2002，25（3-4）：142-150.
[210] 杨金中，曾庆栋，赵玉灵，等．山东牟平宋家沟金矿床地质特征及矿床成因初探［J］．大地构造与成矿学，2000，9（3）：250-257.
[211] 刘玉强，杨东来，黄太岭，等．山东胶莱盆地金矿床地质特征及找矿方向［J］．矿床地质，1999，18（3）：195-207.
[212] 邹为雷，沈远超，曾庆栋，等．蓬家夼金矿与发云夼金矿地质地球化学特征对比研究——兼议层间滑动角砾岩型金矿成矿模式［J］．黄金，2001，22（3）：1-7.
[213] 杨金中，沈远超，刘铁兵．胶东地区滑脱构造与金矿成矿浅析［J］．黄金地质，2000，6（2）：31-35.
[214] 毛景文，李厚民，王义天，等．地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据［J］．地质学报，2005，79（6）：839-857.
[215] 王绍伟，刘树臣．21 世纪初期国外矿产勘查形式与发现［M］．北京：地质出版社，2006.
[216] 施俊法，李友枝，金庆花，等．世界矿情·亚洲卷［M］．北京：地质出版社，2006.
[217] 施俊法，姚华军，李友枝，等．信息找矿战略与勘查百例［M］．北京：地质出版社，2005.

黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——黄金地质专题信息编辑

国内外矿业政策·法规

国内外矿业动态

造山型金矿

卡林-类卡林型金矿

浅成低温热液型金矿

斑岩型金矿

铁氧化物型铜-金矿

富金 VMS 和 SEDEX 矿床

1∶5 万区域地质矿产调查工作标准及技术方法

铜矿床

铅锌矿床

钨矿床

锰矿床

国内外近年发现的大型金矿床