

甘肃寒山剪切带型金矿床地质、 地球化学和成因^{*}

毛景文¹ 杨建民¹ 张招崇² 吴茂炳³
王志良¹ 张作衡¹ 叶得金⁴ 左国朝³

(1 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 2 中国地质科学院地质研究所, 北京
3 甘肃省地质勘查局地质科学研究所, 兰州 4 甘肃省酒泉地质调查队, 酒泉)

提 要: 寒山金矿床是北祁连山地区新发现的一个大型韧性剪切带型金矿床。成矿主岩为奥陶纪玄武质安山岩类, 矿化蚀变以强石英绢云母化为特征。成矿作用分为内生成矿期和表生成矿期。内生成矿期又分为微晶石英绢云母阶段、石英白云母硫化物阶段和石英碳酸盐阶段; 第二阶段成矿含有大量黄铁矿等硫化物, 为主要金成矿阶段。表生成矿期由硫化物氧化为硫酸盐类, 自然金沿风化空洞或裂隙存在。在内生矿化蚀变过程中, 大量硅质、碱质、CO₂、REE, 尤其是 LREE 带入成矿体系。

关键词: 剪切带型金矿床 地质地球化学 北祁连山 寒山

寒山金矿床位于甘肃省安西县, 有便道从安西县城到矿区, 交通尚方便。该矿床由甘肃省地质勘查局酒泉地质调查队于 1995 年检查 1: 20 万重砂异常时发现。同年末, 该队开始边探边采。到目前为止, 控制金储量 23 t, 远景储量大于 50 t。Mao Jingwen et al (1997)^[17]对寒山金矿床的成矿地质特征作了初步报道。本文将系统介绍矿床地质地球化学, 探讨其成矿作用。

1 区域地质背景

寒山金矿床位于北祁连山加里东褶皱带的北西边缘。发育于长 10 km, 宽约 200~600 m 的 NWW 向韧性剪切带中 (图 1)。该剪切带属于阿尔金区域走滑大断裂的次级断裂。阿尔金断裂走向 NEE, 长达 2000 km, 从阿尔金山取道北祁连山、北山入蒙古境内 (黄汲清等, 1980)^[1]。它是华北地台与北祁连山加里东褶皱带的分界 (图 1)。断裂北侧的敦煌地轴由片麻岩、角闪岩、麻粒岩及花岗岩组成。南侧的加里东优地槽褶皱带则由寒武纪碎屑岩夹火山岩和碳酸盐, 奥陶纪海相玄武质安山火山岩和碳酸盐岩及少量志留纪海相碎屑岩组成。石炭纪陆相碳酸盐岩和二叠纪陆相碎屑岩沿阿尔金断裂分布 (图 1)。

^{*} 本文系国家计委科技找矿项目“北祁连山西段铁铜金矿床成矿规律和成矿预测研究项目”阶段性成果的一部分
毛景文, 男, 生于 1956 年 12 月, 研究员, 长期从事矿床地质和地球化学研究工作。邮政编码: 100037
1997-08-12 收稿, 1997-11-03 修改回

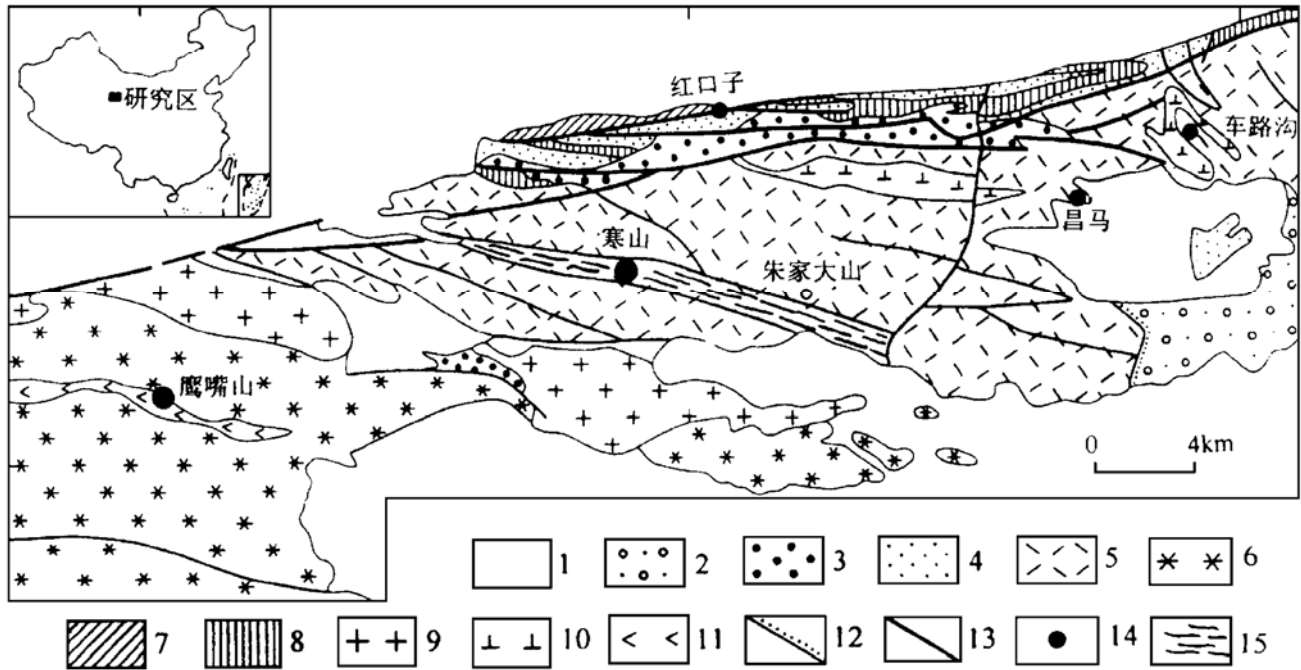


图 1 寒山地区地质与金矿床分布图

1—第四系；2—白垩纪砾岩和砂岩；3—石炭纪—二叠纪砂页岩；4—志留纪砂岩、粉砂岩和凝灰岩；5—奥陶纪玄武安山质火山岩；6—寒武纪碎屑岩、板岩和酸性凝灰岩；7—前寒武纪云母石英片岩；8—海西期花岗闪长岩；9—加里东期花岗岩；10—加里东期英安斑岩；11—加里东期超基性岩；12—不整合界线；13—断层；14—金矿床；15—剪切带

Fig. 1. Diagrammatic regional geological map of the Hanshan gold deposit.

1—Quaternary; 2—Cretaceous conglomerate and sandstone; 3—Carboniferous—Permian sandstone; 4—Silurian sandstone, siltstone and tuff; 5—Ordovician basaltic-andesitic rocks; 6—Cambrian clastic rock, slate and acid tuff; 7—Precambrian mica quartz schist; 8—Hercynian granodiorite; 9—Caledonian granite; 10—Caledonian dacite porphyry; 11—Caledonian ultramafic rock; 12—Discordant boundary; 13—Fault; 14—Gold deposit; 15—Shear zone.

2 赋矿围岩岩石学

寒山金矿床赋矿围岩大多数为下奥陶统阴沟群海相玄武安山质火山岩系，在矿区的东南角下部为紫红色和绿色板岩，上部为中奥陶统妖魔山组灰岩以角度不整合形式覆盖于其上，但大部分地段显示为断层接触。

按岩性特征，火山岩可分为凝灰岩、熔岩、角砾熔接岩和火山沉积碎屑岩等。熔岩呈暗红色，块状构造、流动构造、气孔构造和杏仁构造。部分熔岩中可见宽板状中酸性斜长石斑晶。

在显微镜下观察，大多数岩石已经不同程度地遭受蚀变，斜黝帘石、绿泥石、方解石、磁铁矿组合最为普遍。原生矿物单斜辉石、闪石和长石呈残晶存在，斑晶部分保存的相对比较完整。斜长石表面上仍有明显的斜黝帘石和绿帘石化，角闪石已变成绿泥石和方解石集合体。部分熔岩的流动构造在显微镜下十分清楚。流动团块部分基本上变成细小绿泥石及少量斜黝帘石集合体，在他们之间的充填物大多变成方解石和铁白云石。

在剪切带内，大部分火山岩强烈劈理化，由于有大量碱质流体的交代作用，岩石不同程度地遭受绢云母化和石英绢云母化。在矿化带内无论是斑晶，还是基质都变成了石英绢云母

为主的岩石。尽管部分地段岩石相对比较新鲜，显微镜下呈微晶角闪石与斜长石镶嵌交生，但仍有微弱绢云母化。

3 控矿构造

寒山金矿床明显地受控于一条 NWW 向的韧性剪切带（图 2）。如前所述，该剪切带长逾 10 km，宽 200~600 m。剪切带倾向 NNE，倾角 50°~58°。根据剪切带的变形机制、变形作用发生的环境及各种构造要素间的穿切关系，可分为三期，即第一期韧性变形、第二期脆性变形和第三期成矿后的重力韧性变形。

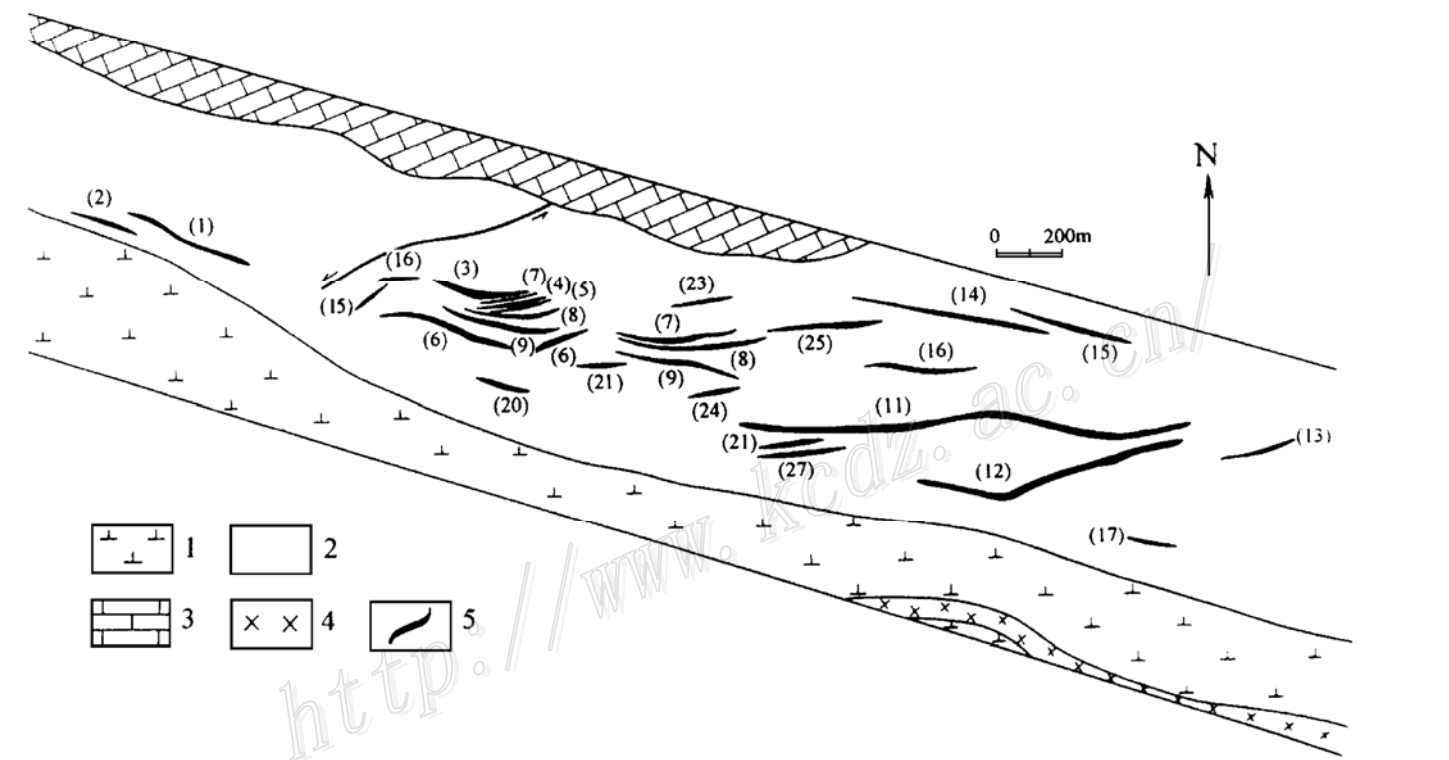


图 2 寒山金矿床矿区地质图

（据甘肃省地质勘查局酒泉地质调查队原图修编）

1—中奥陶统玄武安山质火山岩；2—剪切带（玄武安山质片岩）；3—中奥陶统碳酸盐岩；4—辉绿岩脉；5—金矿脉及其编号

Fig. 2. Geological map of the Hanshan gold deposit.

1—Middle Ordovician basaltic andesitic volcanic rock；2—Shear zone (basaltic—andesitic schist)；3—Middle Ordovician limestone；4—Diabase dike；5—Gold ore vein and its serial number.

3.1 韧性变形作用

韧性变形形成千枚状糜棱岩和一些糜棱岩化岩石以及一些面状、线状构造。糜棱岩和糜棱岩化岩石是在低绿片岩相条件下发生的韧性变形。原中基性火山岩均强烈片理化，由原岩蚀变而成的绿泥石和新生成的绢云母呈条带状，紧密定向排列。剪切带中的石英具拉丝构造。

面状构造主要表示为由绢云母和绿泥石等片状矿物定向排列构成的剪切片理，也发育有折劈理和破劈理。破劈理一般平行于剪切片理，密集而平直；折劈理局部发育，改造同期的

剪切劈理。一些几厘米厚,几米至十多米长的长英质脉、闪长岩脉和石英脉沿片理和劈理贯入,并遭受强烈的变形改造。

线状构造主要表现为矿物的拉伸线理、石香肠、石英杆和窗棱构造等。在糜棱岩化长英质岩石中,拉伸线理由石英或长石构成;在糜棱岩化中基性火山岩中,拉伸线理在剪切片理面上发育,主要由绢云母、石英、长石和黄铁矿组成,在剪切片理产状为 $350^{\circ}/\angle 65^{\circ}$ 和 $5^{\circ}/\angle 70^{\circ}$ 的面上,测得拉伸线理走向 $235^{\circ}\sim 250^{\circ}$,侧伏角 $18^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。表明该剪切带的变形以斜向滑移为主,剪切带内石香肠由石英脉和方解石脉组成,石英杆发育于“b”型小褶曲的转折端。

3.2 脆性变形作用

在韧脆性剪切带形成之后,又叠加发育了两组脆性破裂系统。剪切裂隙以平行第一期剪切片理的一组为主,其规模较大,中酸性浅成岩脉沿其贯入。张性裂隙横切剪切片理,规模也比较大,沿其有石英脉贯入。在剪切带中心部位石英脉中石英粒度细,含大量硫化物,相应金品位比较高。

3.3 重力韧性变形作用

剪切带内岩石千枚理发育,而且产状陡,多在 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 之间。因此,在近地表矿脉带不同程度地发生了重力韧性变形作用。由于剪切带向 NNE 方向倾斜,上部岩石基本上表现为向 NNE 向弯曲,弯曲后的北翼产状为倾向 10° ,倾角 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。

4 矿带(矿脉)及矿化时代

4.1 矿带(矿脉)

甘肃地质勘查局酒泉地质调查队通过 1:10000 地质调查和填图业已查明,在寒山矿区地表存在 29 条构造-蚀变带。以 0.5 g/t 作为边界品位,圈定这些矿带规模为长 $50\sim 1500\text{ m}$,宽 $1\sim 20\text{ m}$ 。在这些矿带中,以 11 号和 8 号矿带规模最大,分别长 1500 m 和 560 m ,宽 17 m 和 25 m 。矿石品位变化也比较大,从 0.5 g/t 到 25 g/t 。总体来讲,在地表下 $5\sim 120\text{ m}$,金品位比较高,向下逐渐贫化。

矿带产状与剪切带产状基本一致,走向 NWW,倾向 NNE,倾角 $55^{\circ}\sim 85^{\circ}$,钻探证明在 $100\sim 150\text{ m}$ 处,产状近于直立。由于重力所引起的褶曲作用,一些矿脉带,例如 11 号脉带上部向南倾,中部近乎直立,下部则向北倾。

寒山金矿区的金矿可分为两个类型,即氧化矿石和原生矿石。氧化矿石呈黄色,分布于地表和近地表,主要由黄钾铁矾、石膏、残余石英和绢云母组成。原生矿石则主要由石英、绢云母和黄铁矿组成。黄铁矿含量占矿石的 $5\%\sim 25\%$ 。由于黄铁矿是重要的持金矿物,金含量与黄铁矿含量成正比。氧化矿石与原生矿石之间的界线比较清楚,氧化矿石厚度在几米到 50 m 之间,其深度与矿带所处的地形及岩石碎裂程度有关。

各矿带中,与矿化有关的蚀变基本相同。以微晶石英绢云母化最为强烈,其次有石英脉和石英碳酸盐脉。围岩蚀变分带现象明显,在矿带中心石英绢云母化成块状,原岩已经基本消失;向外可见石英绢云母交代火山岩,保留原岩的构造或原岩成团块残留于石英绢云母岩中;再向外,可见石英绢云母成条带状叠加于火山岩中。在石英绢云母条带中,绿泥石和碳酸盐含量增加。

4.2 矿化时代

寒山金矿各矿带中有大量的石英绢云母岩，而且比较纯净，可以直接用于测年。在 11 号矿带和 8 号矿带采了两块样品进行 K-Ar 法年龄测定（K-Ar 法测年是在中国地质科学院地质研究所放射性同位素实验室经化学分离后使用 MM1200B 惰性气体同位素质谱计完成），分别为 $(213.95 \pm 3.10) \times 10^6 \text{ a}$ 和 $(224.22 \pm 3.26) \times 10^6 \text{ a}$ ，说明寒山金矿床原生矿化成矿作用发生于印支期。

5 矿物和矿物共生组合

寒山金矿床的矿石有浸染状、细网脉状、块状、粉沫状和蜂窝状。按照构造和矿物共生组合，可分为两个成矿期，即内生成矿期和表生成矿期（图 3）。

矿物	内生成矿期			表生成矿期
	第一阶段	第二阶段	第三阶段	
石英				
绢云母				
白云母				
金红石				
斜黝绿帘石				
绿泥石				
方解石				
铁白云石				
磷灰石				
黄铁矿				
黄铜矿				
毒砂				
方铅矿				
闪锌矿				
黝铜矿				
自然金				
磁铁矿				
钛铁矿				
黄钾铁矾				
蒙脱石				
石膏				
孔雀石				
白铅矿				
臭葱石				
褐铁矿				
赤铁矿				
钼铅矿				

图 3 寒山金矿物共生序列

Fig. 3. Mineral sequence in the Hanshan gold deposit.

5.1 内生成矿期

内生成矿期又可分为三个成矿阶段。第一阶段矿化以大规模微晶石英绢云母化为特征,含有少量的硫化物。第二阶段为中细粒富硫化物石英白云母,硫化物含量高,种类较多。第三阶段为粗晶石英脉和石英碳酸盐脉。

(1) 第一阶段:本阶段石英绢云母化沿剪切带强烈发育。在 200~600 m 宽的剪切带中或多或少都可以见到其沿劈理方向出现。在矿脉带的几米至几十米范围内,石英绢云母在强烈破碎处呈白色块状,局部以石英为主成为石英透镜体。在地表可见石英绢云母岩和石英岩分布在黄钾铁矾-石英-石膏矿带两侧。后者为第二阶段矿化叠加后,氧化时形成的铁帽。在块状石英绢云母矿化岩石之外为条带状绢云母叠加在蚀变玄武安山质火山岩之上。距矿化中心越远,石英绢云母条带的数量越少。本阶段矿化特征为范围广,石英和绢云母十分细小(<0.01 mm),在一些石英绢云母岩两侧有条带状方解石和绿泥石与之共生,产于石英绢云母岩中。硫化物基本上为黄铁矿,还有少量黄铜矿和毒砂。正是由于硫化物含量少,金品位低,除部分地段具经济意义外,大部分小于 0.5 g/t。

(2) 第二阶段:第二阶段矿化呈条带状沿同一方向叠加在前期的石英绢云母岩之上。该阶段矿化特点是矿物粒度较粗,绢云母变成了白云母,硫化物占总矿石的 5%~25%。随着硫化物增高,白云母递减,石英递增。硫化物以立方体黄铁矿占绝对优势,也见少量呈五角十二面体的黄铁矿。其它硫化物包括黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿,往往呈他形填隙于黄铁矿之间。自然金抑或呈片状与黄铜矿、方铅矿一起填隙,抑或被包裹于黄铁矿之中。

在矿石中,除硫化物石英白云母矿石外,局部还见有绿泥石,铁白云石、方解石、钛铁矿和磁铁矿。

本阶段为寒山主要成矿阶段,金品位一般大于 5 g/t。

(3) 第三阶段矿化:第三阶段矿化表现为 1~3 cm 宽的石英脉和石英方解石脉,叠加在前两阶段矿化之上。脉内还有少量半自形黄铁矿和方铅矿,偶见有绿泥石。尚未见到独立金矿物,其含金品位达 1~2 g/t。

5.2 表生成矿期

在表生成矿期,地表和近地表的硫化物氧化成硫酸盐矿物和氧化物,其中包括黄钾铁矾、石膏、褐铁矿、赤铁矿、臭葱石、白铅矿、铅钼矿、黑锌矿和孔雀石等。常见黄钾铁矾脉和石膏脉叠加在原生矿体及围岩中。在显微镜下,也见赤铁矿沿两组解理交代黄铁矿,并呈黄铁矿假象,黄钾铁矾沿四周交代黄铁矿,也见黄铁矿假象的黄钾铁矾集合体。

氧化矿石呈黄色粉末状或疏松多孔状,主要组成矿物为黄钾铁矾、石膏、残留石英等。氧化带一般深 5~50 m,金品位 1~3 g/t,向下逐渐变富,达 4~50 g/t,平均 7 g/t。

6 地球化学

本次工作对寒山金矿床中的矿石、矿化蚀变岩石及比较新鲜的成矿主岩全岩和稀土元素进行了较系统测试分析,代表性结果列于表 1 和表 2。

6.1 成矿主岩地球化学

成矿主岩为一套奥陶纪玄武安山质火山岩,而且由于蚀变作用,大部分岩石已经或多或

表 1 寒山金矿床各类岩石（矿石）化学分析数据（%）

Table 1. Chemical composition of various rocks (ores) from the Hanshan gold deposit

岩石矿石类型	熔岩		石英绢云母化熔岩 (远矿带)			第一阶段细晶矿化石英绢云母岩	第一阶段石英绢云母化岩石（近矿带）	
样品编号	HSP-20	HSP-22	HSP-10	HSP-6	HSP-9	HS-1	H2-4-1	H2-3
SiO ₂	49.80	49.72	55.38	59.68	61.91	59.40	71.05	55.40
TiO ₂	1.62	1.59	0.55	0.65	1.04	0.43	0.46	
Al ₂ O ₃	14.83	15.86	14.90	17.51	17.88	25.09	9.10	14.32
Fe ₂ O ₃	2.63	2.45	2.99	4.29	3.19	1.13	6.82	0.92
FeO	7.85	7.87	3.29	3.75	3.00	0.13	1.13	3.72
MnO	0.20	0.19	0.16	0.14	0.11	0.04	0.10	0.21
MgO	7.26	6.12	2.03	0.97	0.93	0.59	0.59	2.66
CaO	9.79	9.23	7.14	3.28	2.56	0.21	1.19	5.72
Na ₂ O	2.88	3.36	1.70	3.09	3.07	0.37	0.23	0.27
K ₂ O	1.22	0.94	3.95	3.38	3.85	7.07	2.33	4.04
P ₂ O ₅	0.26	0.23	0.19	0.24	0.26	0.10	0.14	0.19
H ₂ O ⁺	1.80	1.92	2.96	0.19	1.80	3.90	1.78	2.48
CO ₂	0.47	0.42	5.38	1.32	0.85	0.14	0.47	9.25
烧失量	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.44	5.60	0.18
合计	100.63	99.93	100.63	98.51	100.07	99.65	100.96	99.82
K ₂ O/Na ₂ O	0.42	0.28	2.32	1.09	1.25	19.11	10.13	14.96
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.34	0.31	1.10	1.14	1.06	8.69	6.03	0.25

岩石矿石类型	第一阶段石英绢云母化岩石（近矿带）		第二阶段矿石			第三阶段石英脉矿石		
样品编号	H2-4	H2-5	H2-1-2	H-1-5-1	HS-6	H2-1-1	H8-3	H2-2
SiO ₂	53.21	59.37	74.10	59.96	39.98	84.91	87.50	82.88
TiO ₂	0.54	0.47	0.35	0.56	0.48	0.35	0.16	0.30
Al ₂ O ₃	15.89	14.43	10.90	14.51	12.88	7.22	4.52	8.18
Fe ₂ O ₃	2.24	1.84	5.55	5.28	9.02	1.16	2.79	1.90
FeO	3.68	4.08	0.16	1.74	0.16	0.09	0.13	0.13
MnO	0.14	0.12	0.04	0.16	0.03	0.03	0.04	0.04
MgO	2.98	3.16	0.32	1.19	0.30	0.21	0.10	0.17
CaO	5.60	4.27	0.24	2.26	7.99	0.68	0.11	0.30
Na ₂ O	0.36	1.97	0.18	0.26	0.59	0.09	0.07	0.20
K ₂ O	4.27	2.89	2.96	3.89	4.06	2.09	1.23	2.55
P ₂ O ₅	0.20	0.19	0.10	0.20	0.41	0.10	0.20	0.12
H ₂ O ⁺	2.54	2.30	1.64	2.60	6.06	1.62	1.54	1.72
CO ₂	8.49	4.86	0.09	3.11	0.19	0.19	0.14	0.14
烧失量	0.08	0.04	4.25	4.05	6.88	0.64	0.45	0.65
合计	100.22	99.99	100.88	99.77	89.03	99.38	98.98	99.28
K ₂ O/Na ₂ O	11.86	1.47	16.44	14.96	6.88	23.22	17.57	12.75
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.60	0.46	34.69	3.03	56.38	12.89	21.46	14.62

注：测试单位：国家岩矿测试中心

少地经受了石英绢云母化。取样位置远离矿带，力图保证样品的新鲜和具有代表性。另外，为追索原始岩浆的地球化学特点，所分析的样品均为熔岩类。化学分析结果表明（表 1）熔岩的 SiO₂ 含量 49.8% 左右，TiO₂ 1.60% 左右，FeO 远远大于 Fe₂O₃，MgO 含量比较高，K₂O/Na₂O

比值为 0.28~0.42, 这些特点显示成矿主岩属于安山质玄武岩类 (这是区内火山岩套中最基性单元, 其余为安山质火山岩类)。石英绢云母化熔岩的化学成分明显不同, 如表 1 所示, 其 SiO_2 含量比新鲜熔岩增高 5%~12%, TiO_2 和 MgO 大大贫化, FeO 与 Fe_2O_3 比较接近, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1$ 。也就是酸性和碱质组分增加, 基性组分减少, 氧逸度增高。

熔岩的稀土元素总量 (表 2) 为 $(72\sim79) \times 10^{-6}$, La/Yb 比值 5.26~5.73, Eu 相对富集, δEu 为 1.08~1.12。球粒陨石标准化图形 (图 4) 表现为平缓右倾斜, 为比较典型的岛弧型玄武岩类。蚀变后的熔岩较之原岩 REE 总量增加, 轻稀土增加比较明显, 中重稀土降低。 La/Yb 比值为 18.81~19.90, δEu 0.86~0.95。球粒陨石标准化型式图显示为右倾斜, Eu 略有亏损 (图 4)。

表 2 寒山金矿床各类岩石 (矿石) REE 分析数据 (10^{-6})

Table 2. REE analyses of various rocks (ores) from the Hanshan gold deposit

岩(矿) 石类型	熔岩		石英绢云母化熔岩 (远矿带)			细晶石英 绢云母	矿石	石英脉	石英绢云母 化岩石(近矿围岩)		
样品编号	HSP-20	HSP-22	HSP-6	HSP-9	HSP-10	HS-1	H2-1-2	H2-2	H2-3	H2-4	H2-5
La	11.79	13.30	32.38	31.24	26.34	32.54	23.37	16.38	39.56	33.45	38.19
Ce	22.70	25.24	54.09	52.90	44.12	56.96	35.07	28.09	68.74	59.97	64.83
Pr	3.12	3.36	6.43	6.33	5.21	6.52	3.97	3.07	7.71	6.73	7.21
Nd	13.71	14.55	22.72	22.67	19.10	21.95	12.53	10.61	25.80	2306	24.38
Sm	3.81	4.10	4.21	4.59	3.70	3.90	2.21	2.02	5.38	4.71	4.79
Eu	1.41	1.40	1.15	1.14	1.02	0.74	0.43	0.67	1.25	1.14	1.07
Gd	4.75	4.69	3.74	3.86	4.32	3.75	2.30	2.16	4.82	4.01	4.38
Tb	0.69	0.70	0.52	0.57	0.55	0.62	0.30	0.30	0.56	0.65	0.61
Dy	4.41	4.57	3.02	3.43	2.87	3.69	1.53	1.72	3.38	3.29	2.87
Ho	0.96	1.10	0.62	0.69	0.59	0.85	0.29	0.38	0.73	0.72	0.64
Er	2.62	2.84	1.87	2.07	1.68	2.46	1.02	1.05	2.11	2.10	1.88
Tm	0.35	0.39	0.27	0.24	0.24	0.37	0.14	0.12	0.27	0.28	0.25
Yb	2.24	2.32	1.67	1.57	1.40	2.45	0.95	0.92	1.75	1.81	1.61
Lu	0.30	0.35	0.21	0.20	0.20	0.37	0.10	0.10	0.24	0.25	0.19
合计	72.86	78.91	132.90	131.50	111.34	137.17	84.21	67.59	162.59	142.17	152.90
La/Yb	5.26	5.73	19.39	19.90	18.81	13.28	24.60	17.80	22.61	18.48	23.27
La/Sm	3.09	3.24	7.69	6.81	7.12	8.34	10.57	8.11	7.35	7.10	7.97
δEu	1.12	1.08	0.95	0.88	0.86	0.64	0.64	1.08	0.81	0.86	0.77

注: 测试单位: 国家岩矿测试中心

6.2 矿石和矿化岩石地球化学

第一阶段大规模石英绢云母化在矿化中心形成的块状微晶石英绢云母岩以高度富 Al_2O_3 和 K_2O 为特征, 其含量分别为 25.09% 和 7.07% (表 1), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 19.11, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值为 8.69, 在矿化带两侧围岩的 K_2O 也比较高, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 1.47~14.96。由于原岩部分保留, 所以所测的个别样品的 Na_2O 也达 1.97%。 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值除一件样品大于 1 外, 其余都小于 1, 这可能由于岩石中含有一些黄铁矿所致。矿石相对于蚀变岩, 绢云母含量减少, 石英含量增多, 因而其成分表现为 SiO_2 含量增高, Al_2O_3 降低, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 6.88~16.44。矿石氧化程度不等, 其 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值变化显著。HS-6 样品富有黄钾铁矾, 其分析总量仅有 89.03%, 兹因 V 等元素未被分析和计算。含矿石英脉被认为是第三阶段成矿, 显然高 Si 低 Al。由于绢云母含量大大少于石英, 因此, K_2O 和 Na_2O 含量偏低。尽管如此, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值仍高至 12.75~23.22。

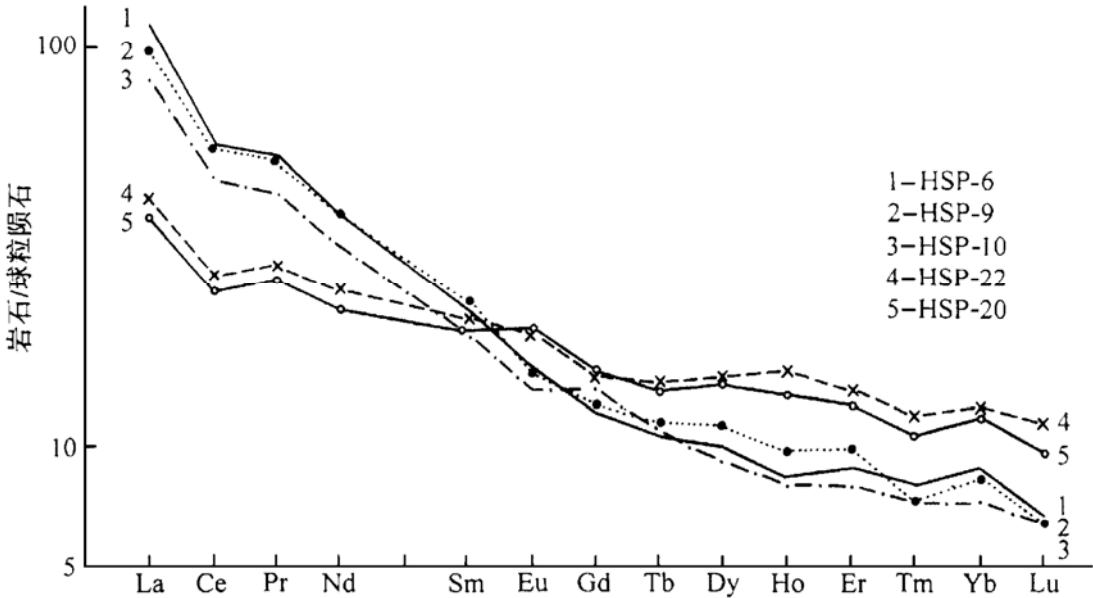


图 4 寒山金矿床玄武安山质火山岩 REE 球粒陨石标准化型式图
(图例中样号同表 2)

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of basaltic-andesitic rocks in the Hanshan gold deposit.
Sample number as for Table 2.

对 3 件石英绢云母化岩石和 3 件矿石进行了 REE 分析。在 3 件矿石中，1 件为微晶石英绢云母岩，1 件为富黄铁矿矿石，另 1 件为含矿石英脉。在 3 件矿石中，La/Sm 比值 >8 ，2 件有清楚的 Eu 亏损 (δEu 均为 0.64)，1 件表现为 Eu 富集， δEu 为 1.08 (表 2)，后者可能含有富 Eu 的副矿物。微晶石英绢云母矿化岩石的 REE 总量比较高，另外两件矿石则比较低。3 件石英绢云母化岩石的稀土元素含量类似，总体含量在 $(142.17\sim162.59)\times10^{-6}$ 之间，La/Sm 比值 <8 ， δEu 为 0.77~0.86，表现出微亏损。蚀变岩的 REE 球粒陨石标准化型式图 (图 5)

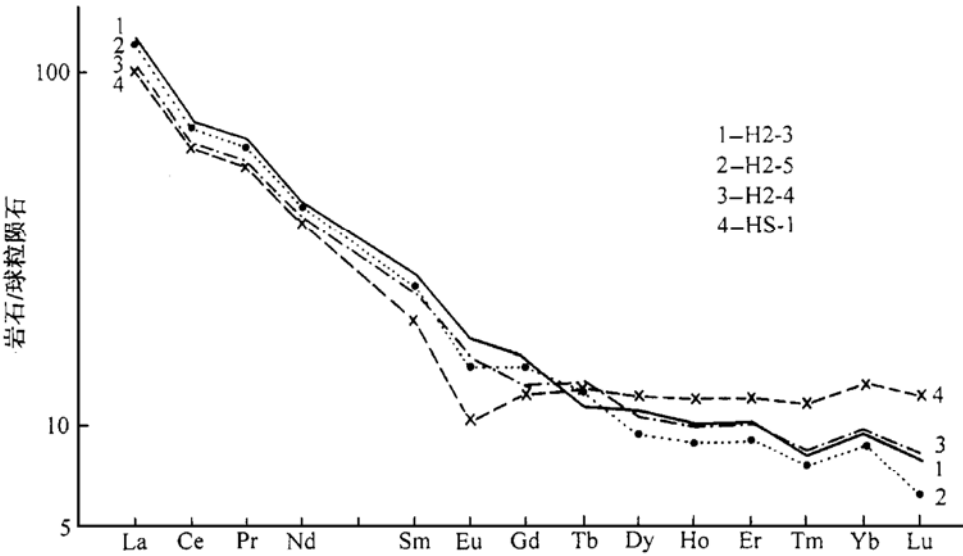


图 5 寒山金矿床蚀变岩 REE 球粒陨石标准化型式图
(图例中样号同表 2)

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of altered volcanic rocks in the Hanshan gold deposit.

十分相似,为右倾斜形。微晶石英绢云母矿化岩石与之相近,但 Eu 亏损明显(图 5)。两件含石英比较高矿石的 REE 型式图(图 6)也是右倾斜,但总体含量比较低。

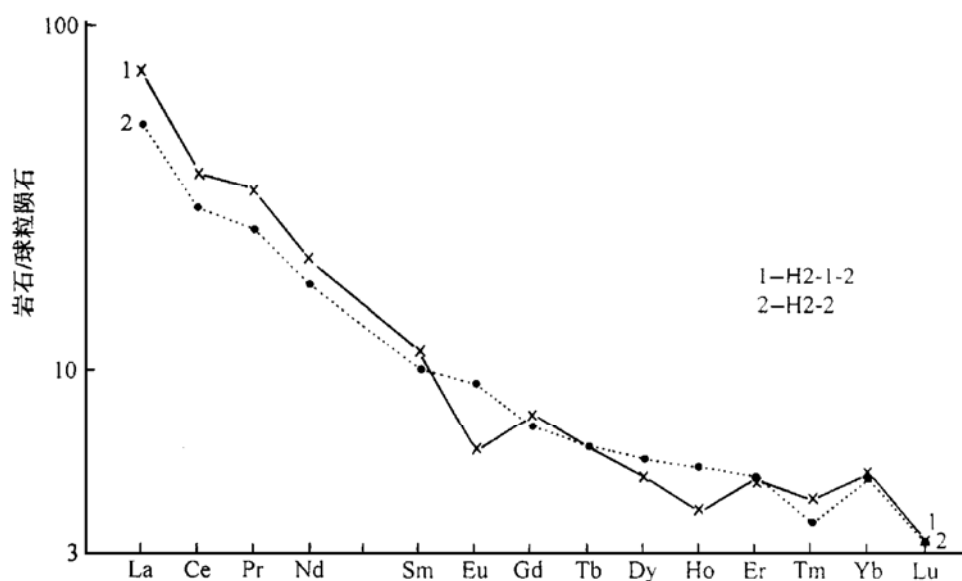


图 6 寒山金矿床金矿石 REE 球粒陨石标准化型式图

Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns of gold ores in the Hanshan gold deposit.

7 讨论和结论

北祁连山是一个典型的加里东造山带,矿化作用以白银式 VMS Cu-Zn 矿床和镜铁山式 Sedex 型铁矿床为特征(宋叔和, 1955; 孙海田等, 1997)^[4,5]。虽然在该带群采砂金具有比较悠久的历史,但寒山是目前发现的第一个重要岩金矿床。无疑,这一发现指示出一个新的找矿远景区。事实上,正是由于寒山金矿的发现和研究所启示,甘肃地质勘查局酒泉地质调查队于 1996 年又发现了鹰嘴山金矿床,本科研集体 1997 年 6 月发现了具有超大型远景的珠龙金矿床^①。

寒山金矿床是一个典型的韧脆性剪切带型金矿床,金矿化作用与韧脆性剪切带具有密切的关系。韧脆性剪切带型金矿床也称之为脉金矿床(Lode-gold deposits)。由于澳大利亚 Kalgoolie 和加拿大 Timmins 两个超大型金矿床的探明(Gebre-Mariem, 1993^[11], Nisbitt, 1988^[18]; Kerrich, 1989^[15]; Robert et al., 1997^[20]),此类矿床倍受重视。美澳等国地质学家通常在这类矿床前冠以“太古宙”,兹因北美和西澳地盾中几乎所有金矿床都是以太古宙岩石为容岩,而且这些地区矿床研究程度比较高。事实上,在其它地区,韧脆性剪切带型或脉金矿床并非总是产于太古宙地层。并不像其本身物质组分那样简单,剪切带型金矿床成因争议较大,迄今为止主要有同变质模式(Barnicocat et al., 1991; Groves et al., 1987; Phillips et al., 1988)^[7,12,19],天水模式(Nisbitt, 1988)^[18],天水—岩浆水混合模式(Hagemann, 1994)^[14],花岗岩浆模式(Burrows et al., 1987; Cameron et al., 1987; Knight et al.,

① 毛景文、张招崇、左国朝等, 1997, 青海省海北州珠龙金矿床初步评价报告, 内部资料

1993)^[8,9,16]。

寒山金矿床形成于印支期,这与祁连山地区地质发展历史比较吻合。印支期正是青藏高原隆升的早期,位于东北边缘的祁连山地区不仅隆升,而且有一系列逆冲走滑大断裂发育于陶莱南山与敦煌地盾之间。这些大断裂切割比较深,是深部物质上升的重要通道。

在绝大多数韧性剪切带型金矿床中都有石英、白云母、绢云母,甚至黑云母的发育,但由于其矿化围岩为浅变质岩系,因而硅质和碱质被推测来自围岩,至少有一大部分。寒山金矿床的主岩为奥陶纪安山质玄武岩类,各成矿阶段都伴随有硅质和碱质的带入,尤其是第一阶段如此大面积微晶石英绢云母化的出现,说明这些组分并非来自围岩,而可能是深部。鉴于区域上尚未见印支-燕山期的酸性岩浆活动,推测深部存在隐伏岩体显然过于勉强。因此,对硅质和碱质来源只能有两种假设:①加里东海槽闭合时,地壳物质随板块俯冲到地幔深部。这些组分在青藏高原隆升期间,被地幔流体携带沿逆冲走滑大断裂上升,于剪切带内交代成岩。②如果深部存在早元古宙北大河群片岩-角闪岩岩套,无论是通过变质作用还是深部流体交代都可能形成富硅质和碱质热水溶液。

剪切带型金矿床的另一个特点是碳酸盐矿物比较发育。不少学者究其来源,认为可能来自地幔脱气 (Colvine et al., 1989; Groves, 1988)^[10,13]。在寒山金矿区,虽然有以方解石和铁白云石为代表的碳酸盐类,但与石英绢云母化相比已大为逊色。目前在未测试碳氧同位素的情况下,仍很难断然说明其 CO₂ 之来源。但总的来讲,不是来自深部流体,就是来自周围的中奥陶统妖魔山组灰岩。

作为剪切带型金矿床,矿化作用严格受剪切带的控制,原生成矿作用的三个阶段与剪切带的形成和演化密切相关:第一阶段沿韧性剪切带形成大面积弥散式石英绢云母化,于强烈部位构成低品位矿石;第二阶段沿两组共轭脆裂隙成矿,石英和硫化物骤然增加,为主要成矿阶段;第三阶段的石英碳酸盐脉数量少、规模小,为一组脆性张裂隙所制约。总的来讲,区内矿化作用从强碱质交代开始,酸性物质(硅质)到中晚期增多,成矿晚期比较偏中性。

由于原生矿石含有较多的硫化物,在出露地表时发生氧化淋滤作用和次生富集作用。祁连山地区自白垩纪以来处于半干旱—干旱气候(甘肃地质矿产局, 1989)^[2],与南方的红色铁帽型金矿(虞人育^[6], 1994; 李瑛等^[3], 1990)不同寒山金矿床在地表形成了少见的黄色铁帽型矿石,次生矿物以黄钾铁矾和石膏等硫酸盐矿物广泛发育为特征。原包含在硫化物中的自然金被淋滤出,堆积于铁帽中,尤其是氧化带的中下部。

参 考 文 献

- 1 黄汲清,任纪舜,姜春发,张德奎,秦德余. 中国大地构造和演化. 北京: 科学出版社, 1980
- 2 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1989, 269~320
- 3 李瑛,贺菊瑜等. 长江中下游铁帽型金矿地质特征及其成因. 金矿地质论文选集, 第1辑, 北京: 地质出版社, 1990, 182~192
- 4 宋叔和. 祁连山一带黄铁矿型铜矿床的特征和成矿规律. 地质学报, 1955, 35 (1): 34~46
- 5 孙海田, 郭介人, 李绵平. 北祁连山金属成矿省时空格局、演化及成矿作用. 地质学报, 1997, 71 (2): 170~179
- 6 虞人育. 湖北蛇屋山金矿区风化型金矿床地质及成因浅析. 矿床地质, 1994, 13 (1): 28~37
- 7 Barnicoat A C, Fare R J, Groves D L, McNaughton N J. Synmetamorphic lode—gold deposits in high—grade Archaean setting. Geology, 1991, 19: 921~924

- 8 Burrows D R, Spooner E T C. Generation of a magmatic H_2O-CO_2 fluid enriched in Mo, Au and W within Archaean sodic granodiorite stock, Mink Lake, Northwestern Ontario. *Econ. Geol.*, 1987, 26: 1931~1957
- 9 Cameron E M, Hattori K. Archaean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 1177~1191
- 10 Colvine A C, Fyon J A, Heather K B. Archaean lode gold deposits in Ontario. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper, 139. 1988. 1~136
- 11 Gebre—Mariam M, Croves D L, McNaughton N J, Mikucki E J, Vearncombe J R. Archaean Au—Ag mineralisation at Racetrack, near Kalgoorlie, Western Australia: a high crustal—level expression of the Archaean composite lode—gold system. *Mineral. Deposita*, 1993, 28: 375~387
- 12 Groves D L, Philips G N. The genesis and tectonic controls on Archaean gold deposits of the Western Australia shield: a metamorphic replacement model. *Ore Geol. Rev.*, 1987, 2: 287~322
- 13 Groves D L, Golding S D, Rock N M S, Barley M E, McNaughton N J. Archaean Carbon reservoirs and their significance to the fluid source for gold deposits. *Nature*, 1988, 331: 254~257
- 14 Hageman S G, Gebre—Mariam M, Groves D L. Surface—water influx in shallow—level Archaean lode—gold deposits in Western Australia. *Geology*, 1994, 22: 1067~1070
- 15 Kerrich R. Source processes for Archaean Au—Ag vein deposits: evidence from lithophile element systematic for the Hollinger—Meintrye and Buffalo Ankerite deposits, Timmins. *Can. J. Earth Sci.*, 1989, 26: 755~781
- 16 Knight J T, Groves G L, Ridley J R. The Coolgardie goldfield, Western Australia: district—scale controls on an Archaean gold camp in an amphibolite facies terrane. *Mineral. Deposita*, 1993, 28: 436~456
- 17 Mao Jingwen, Yang Jianmin, Zhang Zhaochong, Wu Maobing. Hanshan, the first hard rock gold deposit in the North Qilianshan Caledonian orogenic belt, Northwest China. In: Heikki Papunen ed. *Research and Exploration—Where Do They Meet?* A. A. Balkema/Rotterdam/Rookfield, 1997, 205~208
- 18 Nisbitt B E. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. *Geology*, 1988, 16: 1044~1048
- 19 Phillips C N, De Nooy D. High grade metamorphic processes which influence Archaean gold deposits, with particular reference to Big Bell, Australia. *J. Metamorphic Geol.* 1988, 6: 95~114
- 20 Robert F, Poulsen K H. World-class Archaean gold deposits in Canada: an overview. *Australia Journal of Earth Sciences*, 1997, 44: 329~352

GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THE HANSHAN DUCTILE-BRITTLE SHEAR ZONE GOLD DEPOSIT IN GANSU PROVINCE

Mao Jingwen¹, Yang Jianmin¹, Zhang Zhaochong², Wu Maobing³,
Wang Zhiling¹, Zhang Zuoheng¹, Ye Dejin⁴ and Zuo Guochao³

(1 *Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

(2 *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

(3 *Gansu Institute of Geology, Bureau of Geology and Exploration of Gansu Province, Lanzhou 730000*)

(4 *Jinquan Geological Survey, Bureau of Geology and Exploration of Gansu Province, Jiuquan 735009*)

Key words: Hanshan shear zone gold deposit, geology, geochemistry, North Qilianshan, Gansu Province

Abstract

The Hanshan deposit is a recently discovered large size gold deposit in the western part of the North Qilianshan Caledonian orogenic belt. It is controlled by a NWW-trending ductile-brittle shear zone more than 10 km long and 200~600 m wide. The shear zone experienced three stages of deformation, viz., ductile deformation, brittle deformation during the gold mineralization, and ductile deformation caused by gravity after the gold mineralization.

The host rock of the gold mineralization is mainly Ordovician basaltic andesite, which has been altered into mylonite and mylonitic rocks of low greenschist facies. A total of 69 tecto-alteration zones have so far been found in the shear zone by geological survey and mapped at 1:100,000 scale. These tecto-alteration zones are exclusively gold mineralized zones with grades in excess of 0.5 g/t. The mineralized zones are from 50 meters to 1,000 meters long and one to ten meters wide, trending N10°W or N10°E and dipping 50° to 70°. The average grades of various ore zones vary from 0.5 g/t to 49 g/t. Quartz sericitization is strongly developed in the whole shear zone, but is much stronger in and surrounding the mineralized zones. Carbonatization is less strongly developed, but can be frequently found.

Mineralization in the Hanshan gold deposit displays two episodes, i. e., endogenetic and exogenetic episodes. The endogenetic episode comprises three stages of mineralization. Stage I mineralization comprises auriferous sericite (quartz) sulfide stockworks developed in the greenschist within the shear zones. Stage II mineralization, consisting of auriferous muscovite quartz (carbonate) veins and stockworks, is frequently superimposed upon Stage I mineralization and responsible for gold mineralization in the deposit. Stage III mineralization composed of auriferous sericite quartz veins and quartz-calcite veins is superimposed on the previous mineralization-alteration zones. Geochemical study on the ores and altered rocks reveals that large quantities of silicon, alkaline components, CO₂, LREE were brought into the metallogenic system during mineralization and alteration. The primary mineralization is dated to be $(312.95 \pm 3.10) \times 10^6$ a through measurement of sericite-quartz veins by K-Ar method, which is coincident with the regional geological evolutionary history of the North Qilianshan orogenic belt.

The Hanshan deposit is also the first yellow gossan type (or yellow weathering type) gold deposit found in China. The oxidized ore zone occurs in the upper part from the surface to 20~90 m downward. Qilian mountain, the northeastern margin of the Tibet plateau, has been a region of arid climate since Tertiary. Gold originally contained in sulfides was leached out and accumulated in the gossan, especially in the secondary enrichment zone.