维普资讯 http://www.cqvip.com

热液型，金矿床，地质特征，事型

智利热液型金矿床地质特征

吴伟成　编译

编者按　本刊 1991 年第 7 期已简要介绍过"智利低温热液金矿床的成矿特征及类型"。"智利热液金矿床地质特征"虽同上文均据《Journal of Geochemical Exploration》1990 年第 36 卷编译，内容稍有重复，但该文偏重介绍其地质特征和矿床分类，且编译较为详细。故发表以飨读者。

近十年来，热液型金矿床越来越令人注目，对其成矿地质背景及成矿模式也有诸多见解。最近 F. Camus 对智利 20 个最著名的热液金矿床进行了详细研究、归纳，将这些矿床分为两大类，并对各类的特征进行概括总结，同时阐述了常见矿床的成矿模型及脉型矿床的经验模型。这对我国的热液金矿床的勘查及研究都有借鉴意义。

一、智利热液金矿床地质特征

（一）　智利地壳演化及成矿背景

智利是位于南美洲西岸呈长条状的陆缘。*Frutos* 和 *Pincheira* 等作者认为该陆缘是古生代（海西）和中新生代（安提斯）两个构造旋回发展演化的产物。伴随着构造运动发生许多成矿事件，海西旋回主要形成铁矿及一些无多大经济价值的 Cr、Ni 矿，而安提斯旋回却形成斑岩铜矿和低温热液金矿床。这些矿床是同一大地构造背景中在侵入、喷发岩浆作用下形成的。随着安提斯旋回的演化，该陆缘在东西方向上形成若干个成矿带，最西面是层控铜矿床及铁—磷灰石的矽卡岩矿床成矿带；其次是 Fe-Cr-Ni 带（海西旋回形成）；东部的 Cu-Mo 斑岩型矿床及多金属 Ag-Pb-Zn 矿床成矿带；最东面是近秘鲁和玻利维亚的 Sn-Bi-W 成矿带。这些成矿带是安提斯造山运动期间构造环境变化和岩浆活动演化的产物，总体走向 SN。沿陆缘分布有开阔褶皱和许多火山活动中心。岩浆由早期的钙碱性成分向中性及晚期富钾钙碱性演化。而金矿化贯穿了整个安提斯旋回。矿床分布及类型见表 1。

（二）　矿床地质特征

1. 主岩岩性　为安山岩、火山角砾岩、熔结凝灰岩、凝灰岩、流纹岩和英安岩，还有闪长岩和花岗闪长岩。J_3—E 期间矿床形成主岩为安山岩；K_2—Q 期间为流纹岩和英安岩。在智利所有金矿床的围岩（包括本文研究的 20 个在内）据统计分布如下：安山岩—英安岩占 44%；花岗岩侵入体 47%；沉积岩 9%。

2. 控矿构造　一是破火山口或火山中心（如 El Indio、El Bronce 矿床）、破火山口边缘或成层火山。破火山口是形成热液对流圈的最佳构造体系，而火山中心又常是构造薄弱带，因而它们是热液循环通道和成矿场所。二是复合断层（如 Los Mantos de Punitaqui，El Tigre，El Capote 等矿床）。再有些矿床（如 Andacollo）却与斑岩铜矿体系边缘有关。

维普资讯 http://www.cqvip.com

3. 矿体形态特征　如前所述，控制矿化是与火山中心有关的复合构造，这些构造常是不同世代的断层或裂隙，脉矿床或网脉矿床。常见构造有弧形断裂、张性裂隙、马尾状裂隙、构造交切脉、断裂分支及网状裂隙。矿化常在这些构造的膨大部位出现，因此矿体形态大多是不连续、方位不定的透镜状。这些被充填的构造都是成矿前期构造。如成矿期或后期构造继续活动，矿体会出现角砾结构或在周围形成网状脉。

矿脉长度 100～150m 到 8km 不等，富矿体长度由 0.50～60m 到 600m，宽度 0.20～23m，垂向延伸可达 400m（如 El Bronce）。断层或剪切带交切部位形成管状的角砾岩或网脉型富矿体。角砾岩型矿体产状陡倾，平面上呈圆形或椭圆型，直径约 100m，矿化分布无规律，到一定深度角砾岩转化为重晶石—明矾石脉。

表 1　　安提斯旋回形成矿床分布及类型

时代区间	晚侏罗～早白垩世	晚白垩世～早第三纪	中新世～更新世
矿床名称	Inca de Oro El Capote Las Vacas Los Mantos de Punitaqui El Chivato Cachiyuyo de Oro Andacollo	Faride San Cristobal El Guanaco El Bronce Alhué Chancon El Tigre	Choquelimpie El Indio Minas del Prado La Coipa Marte El Hueso
成矿背景	晚侏罗-早白垩世形成的岩浆弧	晚白垩世-早第三纪期间形成的次火山系统	中新世-更新世形成的次火山系统
主矿体形态	脉型 （Andacollo 是网脉型）	脉型	热液角砾岩型和网脉、浸染型
矿床类型	晚侏罗-早第三纪形成的矿床 冰长石绢云母型 （Andacollo 是斑岩型）	晚渐新世-更新世形成的矿床 酸性硫酸盐型	

此外，智利存在层控网脉—浸染型矿体（如 La Coipa、Marte、Andacollo、San Cristobal 和 El Hueso 矿床），矿体严格受层面控制外，还受裂隙密度、岩性控制。

4. 矿物组合与分带　目前认识的共生矿物有：(1)石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿，次要矿物有碳酸盐、重晶石、赤铁矿、硫酸盐；(2)石英、重晶石、黄铁矿、硫砷铜矿，次要矿物为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、硫酸盐及银硫化物。金常以自然金出现，并与银金矿、铜金矿或黄铁矿、毒砂等硫化物有关。有些金矿床中 Au 产于闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿的裂隙或裂缝中。银常与方铅矿、硫酸盐有关，有时也以自然银或银硫化物产出。

脉金矿床矿物组合具明显垂向和横向分带性。表 2 表示垂向分带：顶部带——贵金属含矿带；中间带——贱金属含矿带；低部——矿根带。由表 2 可见，两种矿物组合类型都与 Au 矿化共生。相比之下，网脉、浸染型金矿床矿物组合垂向分带性就差多了。

至于横向分带由于资料有限，要建立一个一般性的模型有困难。但现有资料表明，金在矿体中心部位集中，矿物为 Au-Cu 矿物，向外变为 Pb—Zn 矿物。

维普资讯 http://www.cqvip.com

许多矿床表现为多阶段矿化。每个阶段都代表伴随有独立矿化脉冲的构造活动。金银矿床总是通过若干个矿化脉冲形成。因而紧接着银矿化阶段很可能是金矿化或贱金属矿化脉冲。La Coipa 和 Faride 矿床是该类矿化的典型例子。

表 2　脉型矿床原生矿化垂向分带性

分带	矿物组合	Au(g/t)
Ⅰ.顶部贵金属带	(1)石英+黄铁矿+自然金+重晶石±碳酸盐;方铅矿或硫酸盐+银 (2)石英+硫砷铜矿+明矾石+黄铁矿+重晶石	2 4 6 8 10 15 20
Ⅱ.中间贱金属带	(1)石英+黄铁矿+黄铜矿+闪锌矿+方铅矿+自然金;碳酸盐+赤铁矿 (2)石英+硫砷铜矿+明矾石+硫酸盐和铜硫化物,局部有方铅矿、闪锌矿	
Ⅲ.低部矿根带	石英+黄铁矿+毒砂	

5.伴生金属元素　多数脉型金矿床都含有其他金属,如 Ag、Cu、Pb、Zn、As 和 Hg。除 Ag 外其余伴生金属元素含量常很低。Ag 含量为 5～10g/t,在 Choquelimps、Faride、La Coipa 和 El Indio 矿床中具经济价值;Cu 含量低,很少超过 0.5%,但在 San Cristobal,Faride、El Guanaco 和 El Indio 矿床中平均含量>2%,Cu 含量随深度增加而增加,Pb－Zn 含量为 1.0～2.0%,其含量也随深度增加而增加,与 Cu 呈正相关;As、Hg 含量都较低。

6.热液蚀变　在 20 个矿床中主要的蚀变类型有:(1)石英绢云母蚀变;(2)硅化或硅质蚀变;(3)中、高级泥质蚀变;(4)绿泥石或绿盘岩蚀变;(5)钾长石(冰长石)蚀变。其中最常见是石英绢云母和泥质蚀变。脉矿床主要蚀变为高级泥质蚀变,网脉型或浸染型矿床主要为硅质和泥质蚀变,冰长石蚀变只在 Faride 出现。脉矿床周围常有石英绢云母蚀变晕或由高岭石及少量蒙脱石组成的泥化边,外围是绿泥石或绿盘岩蚀变晕。蚀变范围大小取决于岩性。次火山岩中蚀变晕可达 2m,而侵入体中只有 0.2～0.3m。高级泥质蚀变发育的矿床(如 El Indio、El Guanaco)其蚀变晕很宽,其矿物为高岭石、埃洛石、迪开石、叶蜡石和很多明矾石,局部可见氯黄晶,外围为绿盘岩化。网脉或浸染型矿床蚀变类型也相近,但蚀变组合和分布范围与脉型的不同。这里有以石英细脉等形式出现的硅化,有时还伴有绢云母;泥化出现的矿物组合为高岭石及少量的蒙脱石、埃洛石,而且泥化常破坏了钾长石蚀变;高级泥质蚀变出现的矿物为明矾石、叶蜡石、自然硫及少量氯黄晶,其外围也是绿盘岩化。

各种蚀变的分布范围反映了热液活动的限度和强度。在有泥质蚀变和石英绢云母蚀变的矿床中蚀变范围圈很窄,而高级泥化的矿床,蚀变圈可达数 km^2。在 El Indio 矿床与矿化直接相关的蚀变带宽 3km、长达 10km。网脉或浸染型矿床蚀变、矿化范围都很大,这就给人们提供了颜色找矿依据。

7.氧化带　在大多数矿床氧化带中金品位比原生矿带高 2～10 倍(见表 3)。氧化带发育深度随纬度而变化。智利南方为 1～数 10m,而在干燥的北方可达 200～250m。氧化带中矿物有复杂氧化物、碳酸盐、硫酸盐、氯化物,还有次生粘土矿物。氧化程度和表生富集程度受原生矿物及

维普资讯 http://www.cqvip.com

主岩渗透性控制。多数金矿床都含有携带贵金属的铜、铁硫化物，经过氧化和淋滤，金被释放出来，在氧化带中搬运、富集，结果在顶部就形成金的高品位浓集带。贱金属和 Ag、Cu 同样也可得到富集。Cu、Ag 富集在次生富集带中而贱金属 Pb、Zn 则以硫酸盐、碳酸盐形式固定在氧化带中形成矿床。

氧化带和次生富集带深度及富集特征受地貌和气候演化的影响。最明显的是南纬 29°～26°，在此范围内有两个次生富集阶段：始新世和中新世晚期。由于 Atacama 沙漠气候干旱，始新世以来一直降雨少(<1～5cm/年)，故 26°～21°范围内晚中新世期间沉积少，剥蚀有限，因此该地的矿床氧化带深、富集作用也只有一次。南纬 29°以南，地貌、气候演化不一，结果也只发生一次富集作用，而且随纬度增加富集减弱，到南纬 36°消失。

表 3 氧化带深度和金品位与原生带金品位对比

矿床或矿区	氧化带深度(m)	金品位(g/t)	原生带金品位(g/t)
Choquelimpie	80-200	1-2	0.5-1
Faride	200	2-3	1-2
San Cristobal			
脉型	100	50	4
浸染型	100	2	<1.0
El Guanaco	50-70	50-60	4-5
La Coipa	100-150	1.80	<1.0
El Hueso	100-150	1-2	<1.0
Inca de Oro	40-80	20-40	5-10
Cachiyuyo de Oro	200	12-30	5-10
El Capote	100-150	10-15	5-6
El Indio	20	30	10-15
Andacollo	10-20	2	0.5-1.0
Los Mantos de Punitaqui	45-60	8-10	3-4
Las Vacas	20-30	13-30	8-10
El Bronce	20-30	20	5-6
Alhué	15-20	10-20	5
Chancón	50	30	3-4
El Tigre	30-40	10-15	2-3
El Chivato	20-70	10-15	3-4
Minas del Prado	-	-	2-3

8. 储量估算 据现有资料大致估算，20 个矿床中矿石储量为 20～50 万吨的矿床占 45%；150～750 万吨占 25%；1000～4000 万吨的占 30%。小储量主要为脉矿床，而大储量多数网脉或浸染型矿床。中小规模矿床金品位为 2.8～14g/t，大规模为 1.6～2.1g/t。

二、地球化学特征

(一)地表地球化学特征

维普资讯 http://www.cqvip.com

对原生分散的定量研究，在20个矿床中，只有对El Indio矿床作过详细分析。从崩积层下面和风化的隐伏露头选取2000个岩样分析了Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn，结果除Cu、Zn外其他元素均有高异常。As与Au、Ag呈正相关，可作为指示元素。Au、Ag异常晕大致与矿体一致。

(二)液态包体特征

液态包体分析表明，Faride、El Bronce、El Indio、El Guanaco矿床贵金属沉淀温度为190～330℃，其中El Bronce达358℃，而Faride、El Guanaco、El Indio矿床较低，盐度也较低。这些矿床在贵金属沉淀时有过沸腾。Skewes(1986)等作者认为沸腾是主要的矿质沉淀机理。Faride、El Indio、El Guanaco矿床盐度低；约为0.1～3.5%W_{NaCl}，这数值说明热液体系中有雨水甚至有少量岩浆成分混入，而El Bronce温度、盐度相对较高，沸腾在贫矿的晚期出现。贵金属沉淀是较高温的含贵金属热液与低温雨水混合时进行的。据压力—盐度—温度之间的关系估计，Faride、El Guanaco、El Indio矿床形成于古深度较浅的环境中(150～250m)，而El Bronce相对较深(400～1200m)。

另外对El Bronce矿床进行同位素分析表明，$\delta^{34}S$变化范围为0.5～2.3‰，这表明该矿床硫化物中的S是岩浆来源。

三、热液金矿床类型及成矿模型

(一)热液金矿床类型

智利热液金矿床根据形态、构造特征及矿物组合可分为两大类：火山低温热液矿床和斑岩型热液矿床。火山低温热液矿床根据其矿物特征、地化特征及构造岩性背景又可分两个类型：酸性硫酸盐型和冰长石绢云母型。斑岩型矿床较少，本文研究的20个矿床中只有两个(Andacollo和El Hueso)属此类。智利绝大多数金矿床都属这两大类。

再从矿体形态来看，这两大类矿床又可分为以下五型：(1)脉矿床；(2)和剪切带有关的富矿体；(3)角砾岩矿床；(4)斑岩体系边缘的裂隙矿床；(5)低品位大储量的网脉或浸染型矿床。各类矿床特征如下：

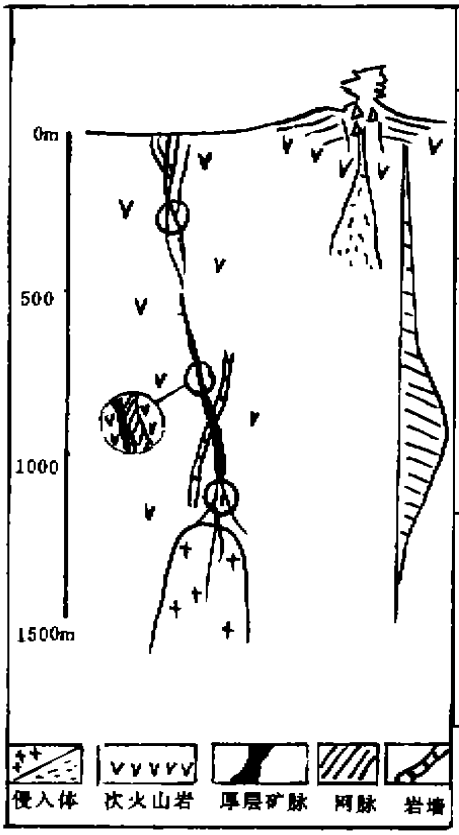
1.冰长石绢云母型火山低温热液矿床　该型矿床是智利低温热液金矿床中最常见的矿床类型，形成时代为J_3-E，其中以脉矿床为主。

1)脉矿床　矿化受构造控制，矿体呈透镜状，横向延伸稳定而垂向易变，有时也有网脉发育。根据脉体发育的主岩类型、矿物共生及蚀变特征，脉矿床又可分三亚型：①侵入体中的脉矿，该型矿脉常为脉矿床的根部，矿脉产于闪长岩—花岗闪长岩体中，脉体窄(<1m)，随深度加深而尖灭，原生矿带金品位普遍较低(<4g/t)，如Las Vacas、Cachiyuyo de Oro等矿床。②中性火山岩中的矿脉。该型矿脉形态和①型相似，但脉体宽(>1m)、矿物组合复杂(见图1)；矿物具横向、垂向分带性：上部和中心为黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、黝铜矿/砷黝铜矿，向深部和两侧逐渐变为黄铁矿；金品位和黄铁矿有关，原生带中品位可>10g/t，此外还有大量的Ag、Cu元素，如El Bronce、El Tigre、Chancón和Alhué矿床。③种是①、② 的组合型，上部为中性火山岩中的矿脉，下部是侵入体中的矿脉，是①、②的过渡型，如Inca de Oro矿床。F. Camus对此研究后建立了一个经验模型。上述三个亚型分别为模型中三个矿带：顶部贫矿带，中间贵、贱金属带和底部矿根带。各带的矿物组合、岩性及蚀变特征见图1。

2)与剪切带有关的富矿体　该类矿体是两条或两条以上的主剪切带相交切部位形成的矿

维普资讯 http://www.cqvip.com

体。矿体发育于闪长岩—花岗闪长岩侵入体中，其形态不规则，常为网脉状。共生矿物为石英＋黄铁矿＋方解石，局部有闪锌矿和方铅矿等矿物充填。金与黄铁矿有关，品位 4g/t。蚀变与剪切带有关，范围广，中心为石英绢云母带，外围为绿盘岩化晕圈，如 El、Chivato 矿体。



分带（包括矿床例子）	岩性	矿物组合	构造	蚀变
顶部贫矿带 火山活动和/或地热活动 (El Bronce)	中酸性次火山岩	石英±重晶石±碳酸盐	网脉及断裂	弱绿泥石蚀　变
中间贵、贱金属含矿带 (El Bronce、El Tigre、Inca de Oro)	中性次火山岩	石曲＋重晶石＋碳酸盐，次外有黄铜矿黄铁矿、方铅矿、闪锌矿及后期砷黝铜矿、Au－Ag	矿脉明显可见网脉张开充填	硅质、绢云母蚀变，泥质绿盘岩蚀变晕
底部矿根带 (Pichideqna)	闪长岩到花岗闪长岩，局部有安山岩墙	黄铁矿、毒砂、石英	矿脉和/或网脉、叶脉	狭窄硅质蚀变晕、弱绿泥石蚀变

图 1　冰长石绢云母型低温热液脉矿床的经验模型

3）热液角砾岩矿床　该矿床为黄铁矿、游离金与石英叶脉聚集成不规则状或筒状矿体。产出部位为热液角砾岩体内或边缘。热液蚀变除大量黄铁矿化外还有硅化和绿泥石化及少量绢云母化。原生金品位为 1～2g/t，局部可高达 10～20g/t，如 Minas del Prado。成因上与第三纪火山活动有关。

2. 酸性硫酸盐型火山低温热液矿床　本文研究的 20 个矿床中有五个属此类，其形成时代为 E_1—Q。根据矿体形态可分为：脉矿床和低品位大储量的网脉/浸染型矿床。它们都与中酸性火山中心有关。

1）脉矿床　产于英安岩到流纹岩穹隆或岩株中，矿体呈透镜状赋存于早期的断裂中，局部形成网脉、热液角砾岩带，共生矿物为石英、明矾石、重晶石、菱锰矿、硫砷铜矿、黄铁矿、黄铜矿、金（自然金及硫化物中的伴生金）。原生硫化物带中金品位高（>10g/t），许多富矿囊中达 50～100g/t。铜、银含量也高，具经济价值。该类矿床蚀变很广，覆盖面达 200×500～1000m²，常见分带性，中心带为绢云母石英蚀变及粘土矿物蚀变，向边缘渐转化为绿盘岩化。矿床顶部广泛发育高级泥

维普资讯 http://www.cqvip.com

化带。

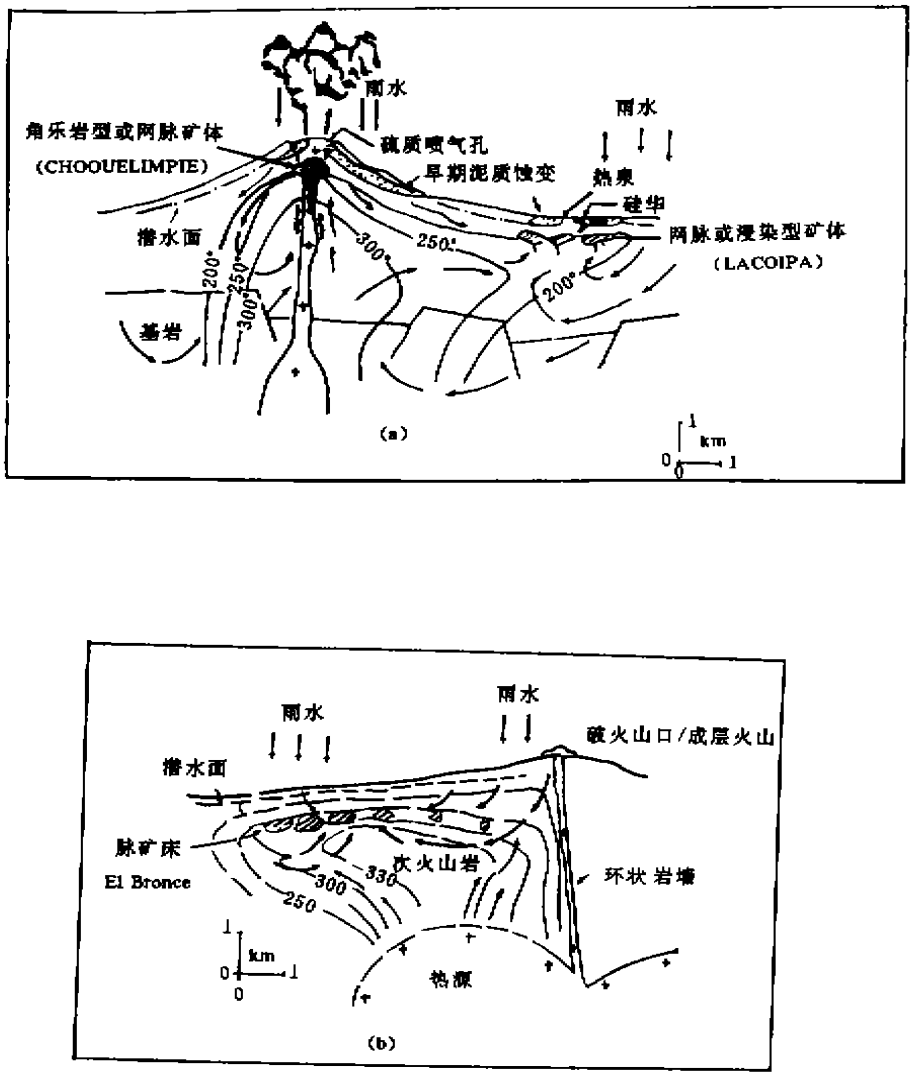


图 2　智利火山热液矿床两种类型的成矿模型

(a)为酸性硫酸盐型　(b)为冰长石绢云母型(图上标有矿床实例)

2)低品位大储量矿床　由低品位的层控矿化构成,矿化赋存于弱或强硅化的火山层位中,这样的层位常覆盖在酸性淋滤泥化带之上,矿化以细颗粒浸染状及石英网脉出现。矿体大多产于渐新世—中新世的次火山岩中,时空上与剥蚀很深的成层火山有关。从地质背景来看,矿化形成于很浅的热液系统中,这样的热液系统与安提斯高原的热泉环境有关。这类矿床常是品位低规模

维普资讯 http://www.cqvip.com

大，可大量开采的矿床。

3、斑岩型金矿床 该类矿床出现于斑岩体系边缘或末端，最典型是 Andacollo 矿床。其层控金矿化占据了 Andacollo 斑岩体系的一系列放射状断裂构造，这些构造切断了一连串斑岩铜矿绿盘岩蚀变圈中的流纹岩到英安岩的熔岩流。金与浸染型黄铁矿有关，其原生带中品位为0.5～1.0g/t，由于氧化和表生富集作用，金在网脉裂隙中局部富集，品位高达 10～15g/t。矿体形态极不规则，矿化时间可能为 K_2—E。

（二）矿床成矿模型

Heald 等人对冰长石绢云母和酸性硫酸盐型的低温热液矿床作过详细研究，并在 Henley 和 Ellis（1983）提出的地热系统模式基础上，建立了这两型矿床的成矿模型（图 2）。该模型符合智利的大地构造背景，同时又强调了热液矿床形成与火山中心的密切关系，对金矿床的勘查具有指导意义，因此得到普遍承认和应用。

据 《Journal of Geochemical Exploration》，1990，36（1～3）

（上接 20 页）

但是这种类型的矿化主要从属于白云岩中之含铁石英岩的过渡带内，同时含金的电气石岩也呈透镜状发育在它们的硅质岩变种中，个别的含金电气石脉状体也产于重结晶的碳石中（参看图1）。

在戈尔金-达依克矿床中，含金的电气石岩主要呈整合型的夹层和透镜体产于含硫化物的炭质页岩中，在原位上就形成了它们富硼和金的含硅质变种。特征的是，金在两个矿床中基本富集在电气石岩中，很少在硫化物、次生石英和碳酸盐中，这些矿物都是在区域变质作用两种相条件的改造作用下，由原始含金属的沉积物生成的（例如帕萨壬金-马里亚纳矿床）。就戈尔金-达依克矿床来说，电气石岩的透镜体和夹层都是由于富硼的炭质沉积物，在该变质相的深度内使之区域背景升高的结果。这些岩石对 Au、Ag、Sb、As、Cu 等金属元素的地球化学专属性是十分明显的，它们都呈硫化物形式出现在矿层之中。推测所研究的这类金矿是经受了后期多阶段变质作用的火山-沉积产物。

毫无疑问，上面述及的层状金矿床类型并没有包括金的多种成矿表现和它在岩石中的各种原始富集，作者认为它们只是形成工业富集的主要部分。也并不是说它们现在都具有同样的工业意义。但是，如果考虑到现代技术发展水平，它们大范围的弱含金性的变种，则是将来这类矿产资源的潜力所在。

译自《Советская геология》，1990，（1），29～36

杨戈 校