

粤西深层次推覆构造带的成岩成矿规律^①

张伯友

俞鸿年 郭令智 董平

(中国科学院地球化学研究所广州分部, 510640)

(南京大学地球科学系, 210008)

提 要 确定了具有从上部糜棱岩带—上混合岩带—花岗岩带—下混合岩带—下部糜棱岩带的垂向分带性的滑动系统是粤西深层次推覆活动断裂变质和部分熔融的产物, 糜棱岩化、混合岩化、花岗岩化导致了滑动系统中金元素的活化、转移, 在低能带—顶、底两条糜棱岩带中成矿。并认为未遭剥蚀的底部糜棱岩带很可能隐伏了一个超大型中、低品位的糜棱岩型金矿床。

关键词 深层次推覆构造 剪切热 部分熔融 双重对糜棱岩带 超大型金矿

吴川-四会断裂带北段西侧广宁-肇庆一带复杂的“花岗质杂岩”中, 成群或零星地分布有震旦—寒武纪($Z^c—\epsilon b$)浅变质岩块。笔者的研究表明^[1], 这些岩块为粤西深层次推覆构造的外来系统, 即飞来峰。初步厘定了古水飞来峰、大湖山飞来峰、百册山飞来峰, 高村飞来峰、厚溪飞来峰、石涧飞来峰、兰源飞来峰和桃村飞来峰等(图 1)^[1]。并认为由糜棱岩、混合岩、花岗岩组成的这套“花岗质杂岩”为推覆构造的滑动系统, 原地系统由古生界沉积建造及一些加里东期的花岗岩(五和-石涧岩体、石牛头岩体、诗洞岩体)组成^[1,2]。粤西深层次推覆构造滑动系统岩石的垂向分带特征对带中的成岩作用及金矿床的成因, 具有重要的意义。

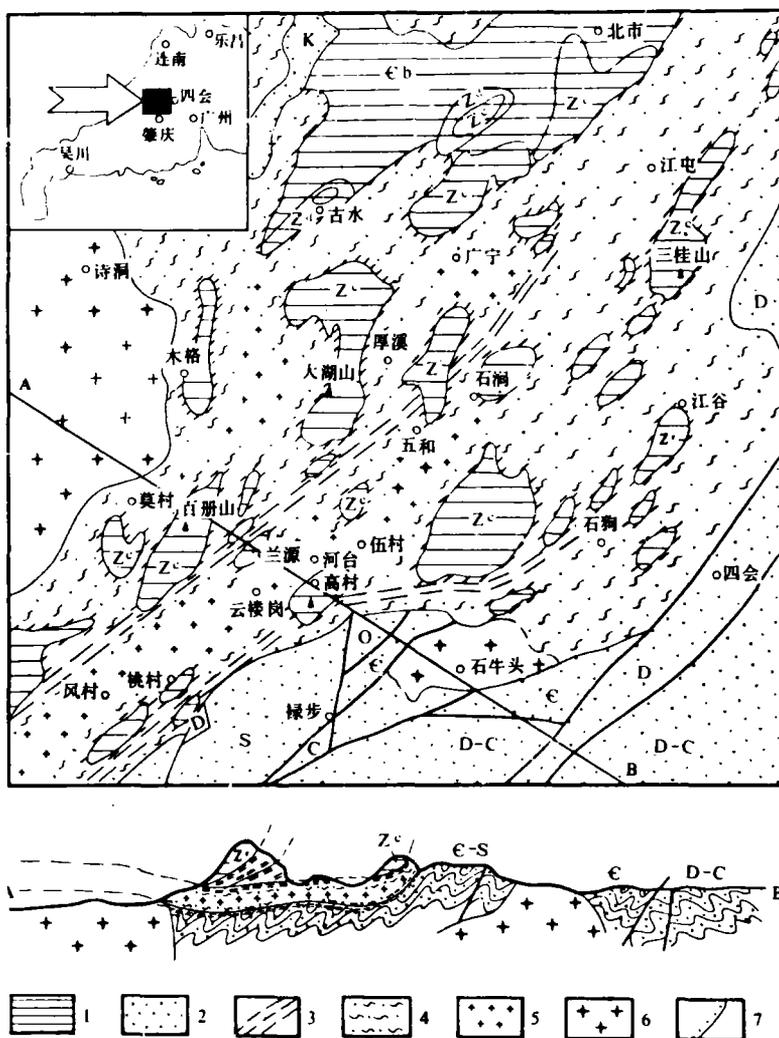
1 粤西深层次推覆构造的滑动系统

粤西深层次推覆构造滑动系统以高村-江谷、兰源-江屯这两条犁式韧性推覆剪切带为特征(图 1), 沿垂向由上部糜棱岩带—上混合岩带—花岗岩带—下混合岩带—下部糜棱岩带组成。

1.1 上部糜棱岩带

作为飞来峰岩块与混合岩带的过渡带, 伴随犁式剪切带而出现。韧性剪切带由上到下由初糜棱岩—糜棱岩—混合岩化糜棱岩组成。糜棱岩带中有多个应变亚带, 亚带中心部位变形构造最为特征, 为多边形亚颗粒组成的石英质糜棱岩(照片 A)和细小的动态重结晶颗粒组成的石英质超糜棱岩(照片 B)。

^① 国家自然科学基金资助项目(项目编号: 49272133)



- 1. 外来系统(Z^c - E^b)地层
- 2. 原地系统(E - C)地层
- 3. 糜棱岩带
- 4. 混合岩带
- 5. 花岗岩带
- 6. 原地系统花岗岩
- 7. 不整合界线

图 1 粤西深层次推覆构造带地层平面图、剖面图

Fig. 1 Geological map and section of deep-level nappe structural zone in western Guangdong

糜棱岩带平面上成环状围绕飞来峰岩块,各点糜棱岩面理走向($N40^{\circ}\sim 60^{\circ}E$)、倾向(NW)一致,倾角沿倾斜方向变小,过去认为该地区大小不等的糜棱岩带有百余条之多,其实是同一

条韧性剪切带的露头效应,所以成“多条”或“环状”分布。

糜棱岩的形成时代尚有争议。笔者认为本区云西糜棱岩 224Ma 及南缘的大王山混合糜棱岩 206Ma 基本代表了糜棱岩形成的时代,而高村糜棱岩中黄铁矿 174Ma 左右仅反映了高村带后期的右旋走滑再次矿化的年龄(表 1)。

表 1 区中岩石同位素年龄测定结果表

Table 1 Isotopic ages of the rocks in studies

地点	岩石	年龄值(Ma)	测试对象方法	测试单位	采集人
五和岩体	花岗岩	490±62	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
诗洞岩体	细粒花岗岩	446±10	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
石牛头岩体	花岗岩	444±20	全岩 Rb-Sr	成都地质学院	崔遥
诗洞岩体	粗粒花岗岩	443±11	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
石牛头岩体	花岗岩	415	钾长石 Rb-Sr	宜昌地质研究所	岳石
风村岩体	混合岩	281	钾长石 Rb-Sr	宜昌地质研究所	岳石
高村	混合岩	278±48	全岩 Rb-Sr	宜昌地质研究所	叶伯丹
广宁岩体	花岗岩	277±46	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
五和岩体	混合岩	263±19	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
石牛头岩体	混合花岗岩	249±8.5	锆石 U-Pb	成都地质学院	崔遥
伍村岩体	巨斑花岗岩	244.7±1.4	全岩 Rb-Sr	宜昌地质研究所	叶伯丹
云楼岩岩体	混合花岗岩	241.9±3.3	锆石 U-Pb	成都地质学院	陈础庭
云西	糜棱岩	224±18	全岩 Rb-Sr	宜昌地质研究所	叶伯丹
伍村岩体	混合岩	224	钾长石 Pb-Pb	北京铀矿地质研究所	陈础庭
云楼岩体	混合岩	210.8±2.7	钾长石 Pb-Pb	成都地质学院	陈泰平等
伍村岩体	花岗岩	210±69	全岩 Rb-Sr	西德地学与原料研究所	伍广宇等
大王山	混合糜棱岩	206±11	白云母 Rb-Sr	宜昌地质研究所	陈挺光
古水	硅质岩	612±3	全岩 Pb-Pb	成都地质学院	陈泰平等
高村	千糜岩	174	黄铁矿 Pb-Pb	宜昌地质矿产研究所	陈础庭

1.2 上部混合岩带

位于飞来峰岩块之下,可视为糜棱岩带与花岗岩带的接触部位,区中分布很广。高村及百册山一带的混合岩带从上往下可分为眼球状混合岩—条带状混合岩—角砾状混合岩—阴影状混合岩。乐城附近的均质混合岩中长石巨斑晶定向排列,组成的线性构造向 NW—NNW 倾伏,倾伏角为 35°左右,或更缓。木格飞来峰南部斗执山沟中的混合岩基体由辉石角闪岩、斜长角

闪岩等基性岩组成。野外露头清晰,可见多种混合岩,其中最为特征的是角砾状混合岩(照片C、D)和弥雾状混合岩(照片E),本区混合岩形成时代为280~210Ma(表1)。

1.3 花岗岩带

以渐变关系分布于混合岩带之下,平面上为混合岩所包围。习惯划分为云楼岗岩体、风村岩体、广宁岩体、莫村岩体和伍村岩体等。据常量元素、微量元素、稀土元素、锶同位素、硫同位素、氧同位素和铅同位素组分分析,除伍村岩体部分指标有所偏离外,其它岩体的各项指标指示这些岩体是由上地壳改造而来^[3,4,5]。同位素年龄指示形成于280~210Ma(表1)。

1.4 下部混合岩带和糜棱岩带

是从高村一带新近的深钻中发现的,钻过糜棱岩带、混合带和花岗岩带后,之下又见到了混合岩往糜棱岩变化序列,钻孔中上、下两条糜棱岩带垂向距为800m左右。虽然地表尚不能见到花岗岩与下部混合岩带、糜棱岩带的接触关系,但据钻孔资料及温压理论分析,花岗岩带之下以底部混合岩带和糜棱岩带与原系统相过渡是合理的。

2 滑动系统中岩石垂向分带的成因

2.1 滑动系统推覆-剪切增温

许多学者的研究考虑涉及了较深层次构造变动剪切增温热效应及岩石部分熔融的可能性,推覆构造(逆冲断层)的生热作用也受到了高度重视,并进行了颇有成效的研究(Bird, P., 1975^[5]; Brewer, J., 1981^[6]; Paquet, J., et al., 1981^[7]; Van der Molen, 1979^[8]),主要成果在两个方面:

(1)研究的最终结论是逆冲推覆构造过程中产生的剪切热(变形热)可使岩石增温很高。

(2)研究者认为埋深30km的逆冲构造活动持续5~20Ma后,可产生较大量的物质熔融,同时推测了一些花岗岩的成因。

笔者等(1992)通过对粤西广宁地区的综合研究后,认为埋深15km左右的长期活动的韧性逆冲带将由糜棱岩、混合岩、花岗岩组成,并具垂向分带现象^[1]。

据Bird(1975)、Brewer(1981)对逆冲构造带热效应研究,剪切过程在单位时间、单位面积产生的热流量(即热流密度)可用下式表示:

$$q = \int \dot{\epsilon} \tau dz = \tau v$$

$$\tau = f \cdot g \cdot \rho \cdot H$$

其中, q —热流强度(w/m^2)

$\dot{\epsilon}$ —应变速率(s^{-1})

τ —剪应力

f —摩擦系数

ρ —岩石密度(kg/m^3)

g —重力加速度(m/s^2)

H —逆冲断层埋深(m)

v —逆冲速度(m/s)

岩石增温吸热可由公式 $Q = C \cdot m \cdot \Delta T$ (Q —热量, m —质量, ΔT —增温) 给出, 假设剪切生热使厚度为 D 的滑动系统均匀增温, 则可得:

$$\Delta T = s \cdot f \cdot g \cdot H / C \cdot D \quad (s = v \cdot t \text{ 代表推覆距离})$$

考虑正常地温梯度(ϵ), 滑动系统岩石温度表达式为:

$$T = s \cdot f \cdot g \cdot H / C \cdot D + \epsilon \cdot H$$

上式中, $f \cdot s \cdot c \cdot g \cdot \epsilon$ 为已知量, 上地壳正常地温梯度 ϵ 取 $25 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/m}$, 岩石比热取 $0.84 \times 10^{-3} \text{ J/kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

关于岩石摩擦系数的取值尚存一些不太一致的看法, 根据 Turcotte 等(1980)在圣安德烈斯断层滑动摩擦的稳态模型计算, 并经对比, 认为取 0.15 较为合适^[9], 王其允(1980)的岩石力学试验成果认为当出现断层泥时, 滑动摩擦系数为 0.15 较合适, 这些是针对脆性断层带的。Brewer(1981)在研究逆冲断层的热效应时, 对不同深度(5~15km)的岩石摩擦系数大都取为 0.4 和 0.6, 有些学者取值更高些(朱元清, 1990)^[10]。在此, 笔者无意卷入取值的争论, 在计算增温效应过程中暂取摩擦系数为 0.15(尽管笔者也认为此取值比较保守)。通过参数的代入, 温度函数就成了推覆距离 s 、推覆面埋深 H 和滑动系统厚度 D 这三个参量的关系式了。

一般认为糜棱岩形成深度为 15km 左右^[11,12], 因此在研究韧性剪切带的文献中, 15km 这个量的概念时刻提醒, 糜棱岩形成于 15km 深处。正因如此, 笔者首先取值 H 为 15km, 代入时, 可以得到 T - s - D 三者关系图(图 2、3)。从图 2 可知推覆带中各处岩石温度(T)与推覆距离(s)具正相关关系, 图 3 则反映了岩石温度尚与滑动系统厚度(D)具反相关关系。但两图一致地映证了推覆距离很长的情况下, 产生的剪切热可使岩石增温很高, 足以使滑动系统岩石部分熔融而导致混合岩化和花岗岩化。此估算过程假定了剪切生热集中滑动系统相对封闭的体系中, 由于滑动系统取值较厚, 且在具体运算中仅考虑了 50% 的热量利用率。

L. W. Teufel(1976)^[13]对砂岩和石灰岩样品进行了摩擦热的测量试验。试验在室温条件下进行, 恒定运动速度为 10^{-3} cm/s , 位移为 0.4cm, 压力为 2~20MPa。在砂岩中, 接触部位的最高温度在正常应力为 10MPa 和 110MPa 条件下, 相应增至 274~302 $^\circ\text{C}$ 和 1145~1177 $^\circ\text{C}$, 在石灰岩中, 接触部位最高温度在正常应力为 15MPa 和 40MPa 条件下, 相应增至 142~170 $^\circ\text{C}$ 和 302~330 $^\circ\text{C}$ 。这两种情况下, 温度都达到了使相应岩石熔化的程度。D. A. Lockner 和 P. G. Ocubo(1983)对花岗岩样品进行了类似的试验^[14], 当应力为 2.5MPa, 总位移量为 0.3cm, 距“断层”0.25cm 时, 温度增量达 10 $^\circ\text{C}$; 当应力为 6.41MPa, 距“断层”0.2~1.0cm 时, 温度增量也为 10 $^\circ\text{C}$ 。

由此说明, 来自实验室的资料也支持摩擦剪切增温及至部分熔融的看法。

此外, 笔者等对滑动系统剪切生热增温后, 滑动系统中温度场的分布作了模型研究^[15], 认为粤西广宁深层次推覆构造位移达 100km(约数百万年后)时, 中心带(主滑动带)增温达 750 $^\circ\text{C}$, 往滑动系统顶底方向, 温度渐低, 至顶底带温度仅为 375 $^\circ\text{C}$ 士, 故认为温度场的分布规律支持了滑动系统岩石垂向分带现象: 中心带形成花岗岩, 顶底带有利于形成糜棱岩。

岩石中包裹体测温表明, 云楼岗岩体、莫村岩体、石涧岩体等石英的爆裂温度在 360~449 $^\circ\text{C}$, 云楼岗混合岩中石英的均一温度可达 560 $^\circ\text{C}$, 但研究中找不到硅酸盐熔融包体这一事实

又表明岩浆并非来自深部的高温熔体,而是原岩经过局部熔融改造而成^[18],同时也说明了剪切增温的估算结果与本区实际相符。

2.2 混合岩化作用是在糜棱岩的基础上发展而来

本区糜棱岩与混合岩总是表现为渐变关系,渐变岩石为一种混合岩化的糜棱岩,一般由少量的脉体和大量基体组成。从许多地方可以看到,从糜棱岩到混合岩,眼球状长石晶体由少到多,由小变大,由稀变密,长石以奥长石为主,明显地反映出了混合岩化作用中长石化发展过程^[17]。镜下鉴定发现,混合岩中基体大多为糜棱岩,而脉体不是。有些角砾状混合岩,其角砾状基体仍保留了韧性变形构造,此现象在高村、木格及本区南缘的大王山等地的混合岩中常见到。说明了混合岩是由糜棱岩变化而来。莫柱孙教授从矿物组合角度考虑,也认为粤西地区某些混合岩是由糜棱岩变化而来^[18]。糜棱岩—混合岩—花岗岩是一个连续的过程,而花岗岩化则是混合岩化的继续。

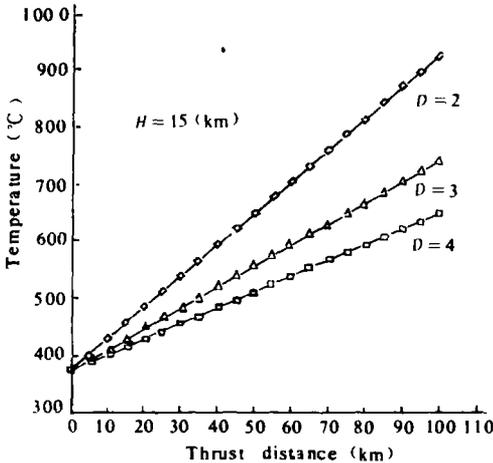


图2 温度(T)-推覆位移(S)关系图

Fig. 2 Variation diagram of temperature — thrust distance

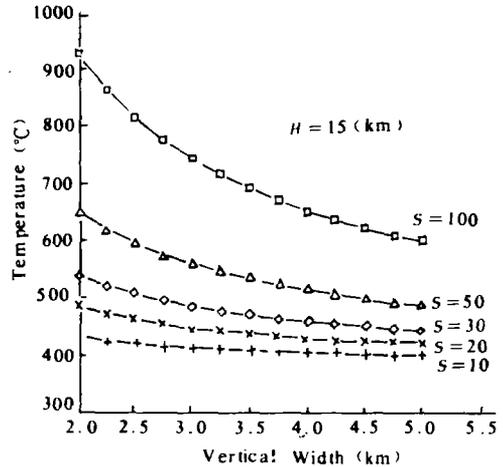


图3 温度(T)-滑动系统厚度(D)关系图

Fig. 3 Variation diagram of temperature — vertical width

值得一提的是,在混合岩中的糜棱岩基体和混合岩与糜棱岩的渐变部位,部分长石也发生了韧性变形,高村、桃村一带混合岩中基体糜棱岩,其长石已细粒化,多边化现象很明显(照片F);木格混合岩的基体中,长石甚至角闪石已具一些韧性变形构造。这说明了近混合岩带的边部糜棱岩经历了高温的变形过程,这一方面与剪切热估算中中心带温度高相符,另一方面从韧性变形机理上又与熔体强化变形有关。一般来说,随着系统中熔体的比例系数(Melt Fraction)增大,变形机制从位错蠕变转变为熔体强化扩散蠕变,或熔体强化颗粒边界滑移^[19]。在高村、百册山一带的糜棱岩中可以明显地观察到(野外和镜下),越接近混合岩带,糜棱岩的变形构造越强烈,石英表现为细粒化加强,长石从变形不明显到明显,甚至有动态重结晶发育。由此可知,深层次韧性剪切过程中,一方面由于长时间的剪切增温,带中逐渐发生了糜棱岩化、混合岩

化、花岗岩化作用,同时由于熔体的增加,又促进了变形作用的发展。

2.3 糜棱岩、混合岩、花岗岩成生、发展、演化

深层次推覆构造滑动系统内剪切热是逐渐积累的。运动的初始阶段,带中温度不高,滑动系统岩石以长英质矿物晶内位错运动的韧性变形为主,形成了初始糜棱岩带。

推覆运动的持续,带中温度不断增高,使长英矿物部分熔融,此时先成的糜棱岩就有可能被改造成了由脉体和基体组成的混合岩。虽然经过了混合岩化作用,普遍发生了重结晶作用和交代作用,但其基体仍保留有韧性变形构造。在混合岩的上部和下部温压条件有利于形成糜棱岩,同时由于部分熔融也促进了岩石的变形作用^[18]。这样初步构成了从上糜棱岩带—混合岩带—下糜棱岩带的分带性。

随运动时间的延长和距离的加大,滑动中心带温度不断上升,长英质熔融现象更为普遍,熔体体积增加,使先存于中心带的混合岩改造成了花岗岩^[2]并定位于中心带。而先存于中心带混合岩上、下的两条糜棱岩带则被熔体的注入、交代等作用改造成了相应的上、下混合岩带,在新成的上部混合岩带的上部和下部混合岩带的下部各形成了上、下糜棱岩带。于是形成了粤西深层推覆构造滑动系统中的上部糜棱岩带—上部混合岩带—花岗岩带—下部混合岩带—下部糜棱岩带的岩石垂向分带性。

整个过程中,滑动系统由薄变厚,由于岩层的不断加厚,岩石垂向分带现象也越显明了。这里最为特征的机制是“蚕食”,推覆初始阶段形成的糜棱岩被此后较高温形成的混合岩所“蚕食”,中心带最终为花岗岩“蚕食”和占据,而随着滑动系统的增厚,上、下两条主糜棱岩带总体上表现出对围岩的“蚕食”。

3 滑动系统金的成矿作用

粤西深层次推覆构造前缘的高村-江谷、兰源-江屯两条犁式逆冲剪切带分布有众多的金矿床和金矿点,其中河台金矿储量属大型。这些金矿床与滑动系统的糜棱岩带相伴而生,甚至糜棱岩本身就是金矿石。

3.1 成矿物质来源

从四会-古水、荷包田-留洞剖面的138个微金测试中知,随着地层时代由新到老,金的丰度值变高。例如志留系(S)平均为2.5ppb,奥陶系(O)为4.9ppb,寒武系(Єb)为19.7ppb,震旦系(Z^c)为20.5ppb(图4);随着地层变质程度和混合岩化程度的加深,金是有规律地由高变低,例如浅变质的砂页岩含金达30~15ppb,微片岩为7.8ppb,片岩为5.8ppb,混合片岩为4ppb,混合岩为4.7ppb,混合花岗岩为4.5ppb,侵入花岗岩为3ppb(图5);河台矿区的四条勘探剖面的77个微金测试的综合整理可知,金的含量变化总趋势是,从远离矿体的混合岩类向矿体(糜棱岩带)方向逐步增高(图6)^①。此外,不论矿体还是围岩,只要硅化作用明显,则金的含量也明显增高。

① 广宁-罗定金矿带成矿予测及找矿方法研究简报(719地质大队,1985)

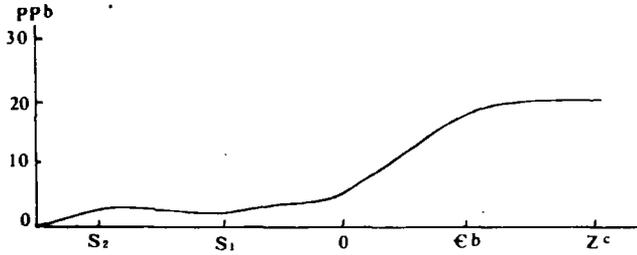
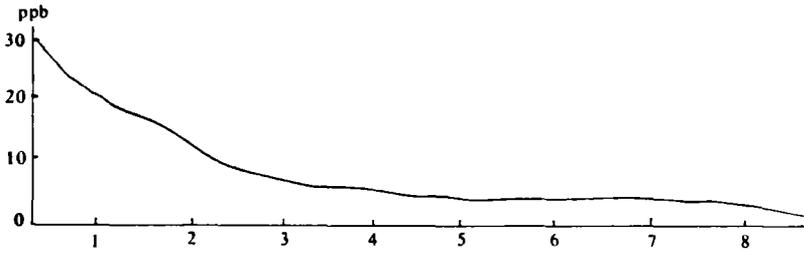


图4 金丰度随时代变化规律

Fig. 4 Variation diagram of Au of rocks



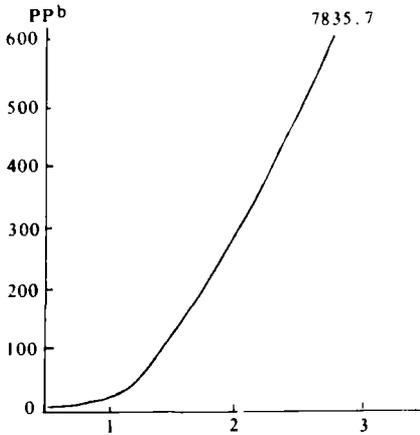
1. 未变质的砂页岩 2. 轻变质的砂页岩 3. 微片岩类 4. 片岩类 5. 混合岩化片岩类 6. 混合岩类 7. 混合花岗岩类
8. 花岗岩类

图5 金丰度随变质程度的变化规律

Fig. 5 Variation diagram of Au of altered metamorphic rocks

综上,金是在混合岩化、花岗岩化过程中,从原岩中活化转移,从高能带向低能带(糜棱岩带)迁移成矿,壳源是河台金矿的主要物质来源。

石英包裹体成份分析表明(表2),河台金矿成矿溶液的氧逸度不大, $\lg f_{O_2}$ 为 $-37 \sim -39.7$ [20], 结合矿物组合简单的特征,认为黄铁矿平均 $\delta^{34}S$ 值 ($-3.1\% \sim -1.7\%$) 可以近似地作为成矿热液的总硫同位素组成,含矿围岩及糜棱岩中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 介于 $-2.3\% \sim -1.6\%$ 之间,平均为 -1.9% ,与矿液中硫同位素相近,这表明矿石硫很可能来自围岩。此外,矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值变化较小且塔式效应明显 [20],说明矿床硫源稳定。黄铜矿 $\delta^{34}S$ 值为 $-2.23 \sim -2.39\%$,闪锌矿 $\delta^{34}S$ 为 $-4.54\% \sim -4.52\%$,方铅矿 $\delta^{34}S$ 值为 $-7.30\% \sim -8.19\%$ 。矿石中各矿物 $\delta^{34}S$ 值依黄铁矿 $>$ 黄铜矿 $>$ 闪锌矿 $>$ 方铅矿的顺序变化,说明各矿物间同位素基本达到了平衡 [21]。



1. 混合岩化片岩类 2. 糜棱岩类 3. 金矿体

图6 勘探线金丰度值变化曲线

Fig. 4 Variation diagram of Au of prospecting line

河台金矿区主要矿化围岩——糜棱岩、条带状混合岩、石英云母片岩等,其 $^{206}\text{Pb}/^{201}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值分别为19.017(3)、15.730(3)、39.438(3);18.940(4)、15.756(4)、39.051(4);19.427(5)、15.84(5)、38.930(5),接近于上地壳的铅同位素组成,表明岩石铅主要来自上地壳^[21],据陆建军等(1990)研究,在Zartman的铅构造模式图解上,本带矿石、花岗岩和围岩的铅同位素值几乎所有点均落在上地壳线以上的区域^[20]。校正后的震旦系地层铅同位素比值与矿石铅的值十分接近^[20],这表明矿床中的铅主要来自含金建造——震旦系地层(Z^c),由此可以推断包括金在内的成矿物质主要来自地层。这个结论与硫同位素和矿床地球化学研究所得结论一致^[20,21]。

3.2 成矿时代

粤西深层次推覆构造滑动系统中糜棱岩、混合岩、花岗岩的成生年龄为210~280Ma(表1),是金的主要成矿时期。本区的晚三叠纪(T_3)类磨拉石沉积为推覆造山结束后剥蚀沉积的产物,其中已发现了大量的含金糜棱岩砾石,可与推覆带含金韧性剪切带金矿石对比,这表明金的成矿作用早于 T_3 。至于高村带中部分黄铁矿年龄为174Ma左右(表1)仅反映了前缘带后期的右旋走滑作用的结果,当然此过程起了再次富集的作用。

3.3 金成矿的双重对糜棱岩带模式及找矿方向

海西—印支期粤西地区发生了大规模由NNW向SSE的深层次推覆构造^[1],由于推覆剪切过程中的动热作用及至部分熔融,在推覆带中形成了从上到下由上糜棱岩带—上混合岩带—花岗岩带—下混合岩带—下糜棱岩带组成的垂向分带系统。滑动系统顶、底各为一条糜棱岩带,称为滑动系统的对糜棱岩带。顶、底糜棱岩带各由前缘陡带和后缘缓带成对组成,故称作双重对糜棱岩带(Double-paired mylonite zones)。

在双重对糜棱岩带形成的过程中,动热变质和部分熔融作用,导致厚达1km以上(钻孔控制)的滑动系统内岩石金元素活化转移进入变质流体。滑动系统的中心带形成了花岗岩和混合岩,是高能带,顶、底边缘带为糜棱岩带,相对是低能带。滑动系统中的含金流体总是向低能带迁移,亦即向低温低变质相的顶底糜棱岩带迁移。而基本未变形的上覆外来系统和下伏原地系统成了地球化学障,阻碍了流体的迁移和渗透。因为,未变形的岩石在中等—高级变质热流作用时渗透率很低(Rutter, 1985; Cameron, 1990)。例如,变质热液在百万年内仅渗透数m。混合岩化作用的富碱变质混合热液中金的溶解度是很高的^[22],故在富碱的含硫化物溶液中金的络合物有较大的稳定性,可以从滑动系统中心带迁移到顶底的糜棱岩带。糜棱岩带的低温条件(相对中心带)、带中的绢云母化、绿泥石化、硅化作用、热液中的金属离子交换反应及络合物分解、

水解作用,皆可引起平衡的破坏,使大部分金属硫化物沉淀,从而导致了金在绢云母化、硅化的糜棱岩带中成矿,即在双重对糜棱岩带中成矿。

表2 河台矿区硫同位素组成

Table 2 Sulfur isotope compositions of sulfides from the Hetai gold deposit

序号	样号	岩性	测定对象	$\delta^{34}\text{S}\%$	序号	样号	岩性	测定对象	$\delta^{34}\text{S}\%$
1	ZK002-4	千糜岩	黄铁矿	-2.3	13	BT5	矿石	黄铁矿	-2.07
2	ZK002-8	千糜岩	黄铁矿	-1.6	14	ZG68	矿石	黄铁矿	-2.82
3	570	千糜岩	黄铁矿	-1.8	15	G32-3a	矿石	黄铁矿	-2.37
4	YL010-2	矿石	黄铁矿	-2.10	16	G38-7a	矿石	闪锌矿	-4.52
5	YU28-1	矿石	黄铁矿	-2.02	17	G38-7b	矿石	方铅矿	-8.13
6	CM1501	矿石	黄铁矿	-3.1	18	G42-16a	矿石	方铅矿	-8.19
7	CM1701	矿石	黄铁矿	-1.7	19	G42-16b	矿石	闪锌矿	-4.54
8	C11	矿石	黄铁矿	-2.1	20	G42-38	矿石	方铅矿	-7.30
9	黑山尾-1	矿石	黄铁矿	-2.1	21	G42-34	矿石	黄铜矿	-2.30
10	G42-34a	矿石	黄铁矿	-2.69	22	G32-3	矿石	黄铜矿	-2.28
11	G40-4a	矿石	黄铁矿	-1.98	23	G40-4	矿石	黄铜矿	-2.23
12	G74-30	矿石	黄铁矿	-2.53	24	YL010-1	矿石	黄铜矿	-2.39

硫同位素由南京大学地球科学系实验室测定;部分数据(9—23号)引自符力奋(1988)。

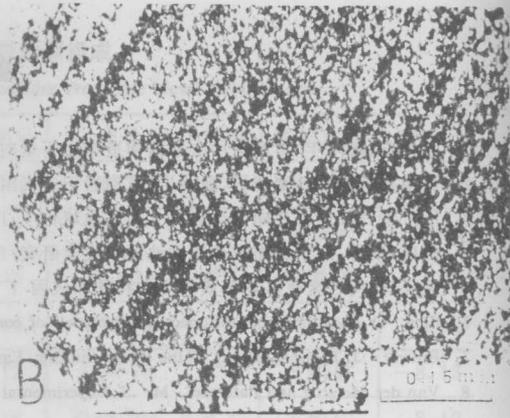
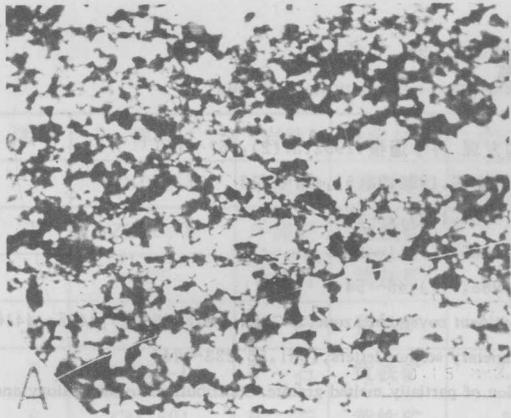
河台大型金矿产在顶部糜棱岩带前缘陡带中,在其后缘平缓的糜棱岩带已发现了众多的金矿点,顶部糜棱岩带为一条金矿带。新近钻孔钻取了地表以下近1km处的底部糜棱岩带,经测试,具有较高的金异常,有些样品已具工业价值,虽品位不很高。由于底部糜棱岩带保存完好,不象顶部糜棱岩带已剥蚀很多。所以笔者认为粤西大片海西一印支期花岗岩、混合岩岩田之下的底部糜棱岩带应是以后勘探研究的重点,很可能隐伏了一个超大型低—中品位的糜棱岩型金矿床。

本项研究得到了广东省地矿局莫柱孙教授、伍广宇总工程师的鼓励和支持,得到719地质大队凌井生、陈泰平、陈尊秦、肖鸿群、季明钧等同志的帮助,在此谨表谢意。

参考文献

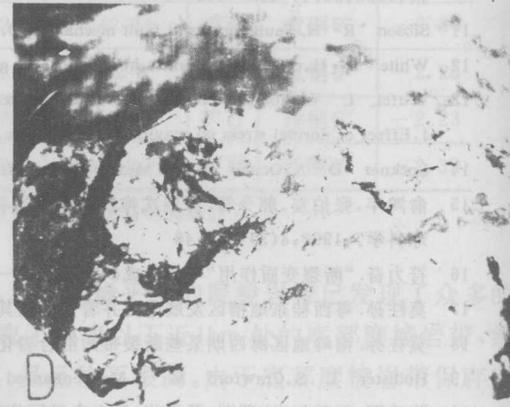
- 1 张伯友,俞鸿年.粤西深层次推覆构造带岩石垂向分带性的发现.科学通报,1992,37(2):157~160
- 2 张伯友,俞鸿年.糜棱岩、混合岩、花岗岩三者成因联系.地质论评,1992,38(5):407~413
- 3 伍广宇,等.广宁花岗质杂岩稀土元素地球化学.广东地质,1986,1(2):1~28
- 4 伍广宇,等.广宁花岗质杂岩的地质年代学研究.广东地质,1986,1(1):1~22
- 5 黄灵辉.河台金矿区花岗质岩石的特征和成因.广东地质,1988,3(1):45~54
- 6 Bird D, et al. Thermal and mechanical models of continent-continent convergence zone. J. G. R., 1975, 80(32): 4405~4416
- 7 Brewer J. Thermal effects of the thrust faulting. Earth and planetary science letters, 1981, 56: 233~244
- 8 Van der Molen I and Paterson M S. Experimental deformation of partially melted granite. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1979, 70: 299~318
- 9 Turcotte D L and Oxburgh E R. Stress accumulation in the lithosphere. Tectonophysics, 1976, 36: 183~199
- 10 朱元清,石耀霖.剪切生热与花岗岩部分熔融——关于喜马拉雅地区逆冲断层与地壳热结构的分析.地球物理学报,1990,33(4):408~416
- 11 Sibson R H. Fault rocks and fault mechanism. J. Geol. Soc. 1977, 133, part3: 191~213
- 12 White S H, et al. On mylonites in ductile shear zone. J. Struct. Geol., 1980, 2: 175~187
- 13 Teufel L W. Comparison of contact areas and temperatures measured frictional sliding of a sandstone and limestone. part 1, Effect of normal stress on maximum temperature, Geol. Soc. Amer., Abstr. progr, 1976, (6): 1135~1136
- 14 Lockner D A, O'Connell P G. Measurement of frictional heating in granite. J. Geophys. Res. 1983, 88(B-5): 4313~4320
- 15 俞鸿年,张伯友,郭令智.深层次推覆构造带岩石垂向分带的推覆-剪切增温模型及其研究意义.南京大学学报(地球科学),1992,4(3):38~48
- 16 符力奋.“断裂变质作用”与金的成矿作用初探—以高要河台金矿为例.广东地质,1988,3(1):31~44
- 17 莫柱孙.粤西桂东地槽区发展简史并着重讨论其中花岗质岩石的演化.广东地质,1987,12(1):1~8
- 18 莫柱孙.南岭地区海西期某些断裂带的混合岩化作用及其有关 Nb, Ta 伟晶岩矿床.广东地质,1987,2(1):61~68
- 19 Hollister L S, Crawford M L. Melt-enhanced deformation; a major tectonic process. Geology, 1986, 14: 558~561
- 20 陆建军,王鹤年,沈渭洲,戴爱华.河台金矿同位素地质研究.地质找矿论丛,1991,(1):84~92
- 21 张志兰,张树发,袁海华.广东河台金矿的硫铅同位素地质.广东地质,1989,4(1):29~40
- 22 朱奉三.混合岩化热液金矿床成矿作用初步研究——以山东招掖金矿为例.地质与勘探,1980,(7):1~16

水淋作用, 皆可引起矿物的破坏, 使大部分金属硫化物沉淀, 从而导致了金在白云母化、绿帘角闪岩带中成矿, 即在双室对糜岩带中成矿。

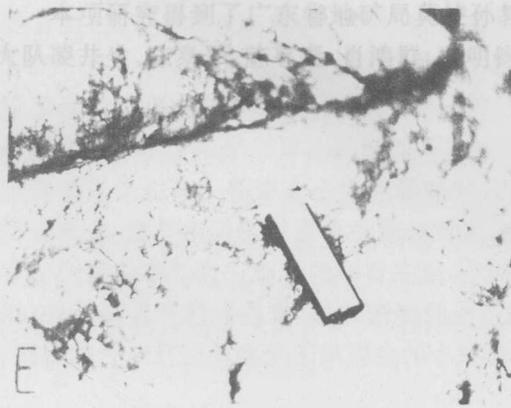


A. 多边化亚颗粒组成的石英质糜棱岩, 显微正交, 高村

B. 细小动态重结晶颗粒组成的石英质超糜棱岩, 显微正交, 高村



C. D. 角砾状混合岩, 野外照片, 斗执



E. 弥雾状混合岩, 野外照片, 斗执

F. 长石细粒化变形构造, 显微正交, 云西

PETROGENESIS AND METALLOGENESIS IN THE DEEP-LEVEL NAPPE STRUCTURAL ZONE IN WESTERN GUANGDONG

Zhang Boyou

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

Yu Hongnian Guo Lingzhi Dong Ping

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, 210008)

Abstract

There are many Sinian-Cambrian ($Z^c - \epsilon b$) epimetamorphic blocks either in groups or scatteredly covering the granitoids in the area of Guangning-Zhaoqing, the northwestern part of Wuchuan-Sihui faults in western Guangdong. Through the field work and lab studies on the deep-level nappe structural zone, it has been shown that the blocks are allochthonous, i. e. klippe of thrust, and the granitoids are of a part of the slip system which consists vertically of upper mylonite and migmatite-granite-lower migmatite and mylonite from top to bottom in the deep-lower migmatite and mylonite in the deep-level nappe structural zone. The authors believe that the slip system zoned vertically was generated by dynamometamorphism and partial melting within the zone. The genetic relationships of mylonite, migmatite and granite are also discussed by the studies of deformation structure, frictional heating (shear strain heating) and melt-enhanced deformation, etc. The authors emphasize that, during the evolution of the thrust from earlier to later geological periods, mylonites were generated in the first time. Migmatites were reformed from mylonites. Granites were the last production of the migmatization. This process (mylonitization, migmatization and granitization) leads to mobilization and migration of gold. The gold-bearing metamorphic fluid migrates from migmatite zone and granite zone to upper mylonite zone and lower mylonite zone in the slip system. The allochthonous upperly and the autochthonous lowerly rule as geochemistry obstructs in the process of migration of the fluid. Au and FeS_2 were assembled and deposited in the double-paired mylonite zones when geochemistry equilibrium of the fluid was broken. There may be a super large gold deposit lain concealed in the lower mylonite zone undened.