

# 琼西戈枕断裂带 构造演化与金矿化系列

丁式江

(海南地质大队)

**提 要** 戈枕断裂带经历了漫长的多期次动力变形变质作用过程,总体表现为早期韧性,晚期为韧—脆性至脆性,而且与金矿化关系密切。加里东—海西早期,伴随着区域变质作用、混合岩化作用和固态流变,戈枕断裂带雏形开始形成,产生不具工业意义的肠状脉形金矿化。印支期,戈枕断裂带整体处于伸展拆离状态,形成糜棱岩型金矿。印支晚—燕山早期,戈枕断裂带处于逆冲推覆构造的前锋地带,形成破碎带蚀变岩型金矿。燕山晚—喜山期,戈枕断裂带处于NE向左行平移剪切叠加块断运动状态,形成石英脉型金矿。四种金矿化的硫同位素组成惊人地一致,Pb、H、O同位素具有明显的演变规律,组成完整的金矿成矿系列。

**关键词** 戈枕断裂带 构造演化 金矿化系列

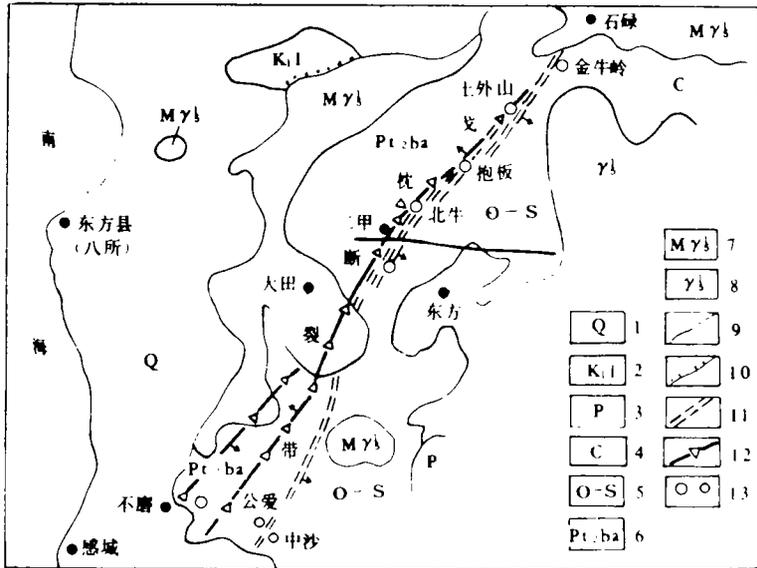
戈枕断裂带是海南岛一条重要的断裂构造,对岛西的地层发育、岩浆活动、变质作用以及矿产的形成都起着十分重要的控制作用。八十年代以来,众多单位和个人对其进行过研究,大多着重于断裂带的宏观地质特征与韧、脆性变形<sup>[4,5]</sup>。近年来,随着海南金矿勘查项目的展开,陆续在该断裂带及其两侧发现了各种类型的金矿床,因而转入了对各类金矿床、地质特征及其成因的研究<sup>[3]</sup>。从戈枕断裂带丰富的研究资料可以看出:①对该断裂带变形机制、构造背景、构造力学性质演化缺乏有机的综述,至多仅用“早期韧性、晚期脆性”概括之;②断裂带及其两侧广泛分布的缓倾斜及近水平构造要素缺乏必要的重视,诸多研究者认为“该断裂带自古以来都是高角度的”;③对不同类型金矿床的形成机理与构造控制缺乏系统的对比分析。作者在本文根据变形变质作用的层次观点,将戈枕断裂带划分出四个发展时期和四种金矿化类型,在此基础上,探讨戈枕断裂带的构造演化与金成矿系列的关系,以期能促进海南的金矿勘查事业。

## 1 戈枕断裂带地质特征

戈枕断裂带分布在昌江县的金牛岭至东方县的公爱一带,走向NE,总长>55km。据作者最新观察研究,该带向SW端有延伸趋势,有可能到达乐东县的抱伦一带。断裂带NW侧为中元古界抱板群变质核杂岩,SE侧为古生界浅变质岩系。断裂带动力变质作用十分强烈,既有塑

性变形又有脆性变形,具有多次继承性活动特点,且与金成矿关系密切,该断裂带自北东向南西十分明显地控制着土外山、抱板、北牛、红甫门岭、不磨五个金矿床及金牛岭、公爱、中沙等三个金矿点,是具有找矿前景的区域性金矿成矿带(图1)。

该断裂带又可分为韧性剪切带与脆性断裂带构造。韧性剪切带分布于抱板群与古生界接



- 1. 第四系粘土砂、砂砾
- 2. 下白垩统鹿母湾群页岩、砂砾岩
- 3. 二叠系结晶灰岩、变质砂岩
- 4. 石炭系变质砂砾岩、结晶灰岩
- 5. 奥陶—志留系变质粉砂岩、千枚岩、片岩
- 6. 中元古界抱板群混合岩
- 7. 印支期混合花岗岩
- 8. 印支期花岗岩
- 9. 地质界线
- 10. 不整合界线
- 11. 糜棱岩带
- 12. 碎裂岩带
- 13. 金矿床(点)

图1 戈枕断裂带构造略图

Fig. 1 Schematic map of Gezhen fault zone

触带附近并局限于抱板群中,长约55km,宽0.5~3km,总体走向33°,倾向SE,倾角25°~70°。发育一套糜棱岩系列岩石,分为初糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩及千糜岩。剪切带内指向性小构造极为发育,如韧性剪切褶皱、鞘褶皱、矿物拉伸线理等,指示该剪切带既有上盘相对下盘的向下滑动,又有逆时针平移的性质,为一种典型的拆离型韧性剪切带构造<sup>[2]</sup>。糜棱岩型金矿即赋存于该韧性剪切带中。

脆性断裂带主要发育于韧性剪切带西侧的混合岩及初糜棱岩中。长约51km,宽50~100m,总体走向NE37°,倾向NW,地表倾角较陡,一般60°~85°,往深部延伸倾角变缓,土外山地区地下500m左右倾角变缓为30°~40°。带内岩石多次破碎,强烈硅化,形成一套以脆性变形为主的碎裂岩带。断裂带上盘的次级裂隙较为发育,石英脉及破碎带蚀变岩型金矿即赋存于上盘的次级裂隙中。

戈枕断裂带是多旋回的岩浆活动带,加里东—海西早期的混合花岗岩、伟晶岩脉产于断裂

带中及其西侧;印支期北东向展布的同熔型大田二长花岗岩、广坎二长花岗岩产于断裂带两侧;燕山期 NE 向花岗岩脉在整个断裂带中广泛分布。这些岩浆岩体的金含量普遍较低,一般为 0.3~26ppb。

戈枕断裂带的金矿化大多数发生在主干断裂带及其西侧的中元古界抱板群中。这些赋矿的中元古界岩系的变质程度一般为绿片岩相至角闪岩相。石英云母片岩平均金含量 7.03ppb,混合片麻岩平均金含量 10.30ppb,混合岩平均金含量 17.88ppb。

现在地表出露的戈枕断裂带,代表超深构造层次的混合岩和片麻状糜棱岩、代表深层次韧性剪切的糜棱岩、代表中浅层次韧-脆剪切作用的角砾岩和石英脉出露在同一水平面上,且叠加在一起,表明该断裂带经历了漫长的多期次动力变形变质作用过程。

## 2 构造演化与金矿化系列

根据变形变质作用的构造层次观点,戈枕断裂带可划分出肠状脉型、糜棱岩型、破碎带蚀变岩型及石英脉型四种金矿化类型。它们的形成与戈枕断裂带在加里东—海西早期、印支期、印支晚—燕山早期、燕山晚—喜山期的构造动力变形变质作用密切相关。

### 2.1 加里东—海西早期

在此时期,抱板群及下古生界岩石普遍发生区域动力变质作用。抱板群岩石的变质矿物组合为:Ga+Bi+Pl+Q±Mi, Ga+Mu+Bi+Pl+Q, Chl+Ser+Pl+Q+Mi, Ser+Chl+Q;下古生界岩石的变质矿物组合为:Ser+Q±Mu, Ser+Chl+Q。该期变质作用的温度大约在 250~400℃。在角闪岩相、绿片岩相变质作用的基础上发生了面型的花岗岩化和混合岩化作用,形成混合岩化片岩、混合岩和混合花岗岩。其同位素年龄为 342~470Ma,相当于加里东—海西早期。

抱板群及下古生界发生区域变质作用的同时,叠加了强烈的固态流变—构造置换作用,广泛发育褶皱层构造、小型韧性剪切带,形成了与 $S_0$ 近于平行的新生面理。新生面理整体近水平展布,B轴线理总体呈 EW 或 NEE 向展布,且呈线型密集排列,表明本期构造运动可能是挤压构造背景下的近水平运动。根据抱板群混合岩中石英位错密度估算,差异应力为 311.65MPa,应变速率  $7.74 \times 10^{-10} \text{S}^{-1}$ ,石英的组构分析表明其滑移面以柱面及棱面为主,反映出高温高压应变速率的变形环境。

在区域变质及混合岩化初级阶段,岩石中的易挥发份及亲硫元素首先活化、迁移,使金等成矿元素在抱板群岩石中重新分配。在混合岩化中晚期,温度进一步升高,碱质及硅铝质组分也大量熔化和溶解,这样 K、Na、Si、Al 向浅色条带富集组成“脉体”,Mg、Fe 等则被弥留或加入暗色矿物中组成“基体”,在此期间,金等成矿元素向长英质脉体迁移,形成富含金的长英脉,即肠状脉型金矿化。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.115~20.086,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.466~15.821,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 37.154~40.072,放射成因铅较高,主要落在上地壳演化曲线之上和上地壳与造山带演化曲线之间(图 2)<sup>[6]</sup>。说明该类型金矿化的铅既有来自深源岩浆的部分,也有地层铅加入。 $\delta^{34}\text{S}\%$  为 3.68~8.18,平均 5.35。 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}\%$  为 -87~-81,平均 -84%,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\%$  为 4.7~6.8,平均 5.9%,样点落在岩浆水范围内(图 3)。

该期形成的肠状脉型金矿化代表海南金矿的第一次成矿作用, 尽管其品位低(0.1~0.3ppm), 规模不大, 但其意义不容忽视, 这些含金长英脉相对抱板群原岩来说, 金得到初步富集, 为以后构造活化再富集打下了良好基础。

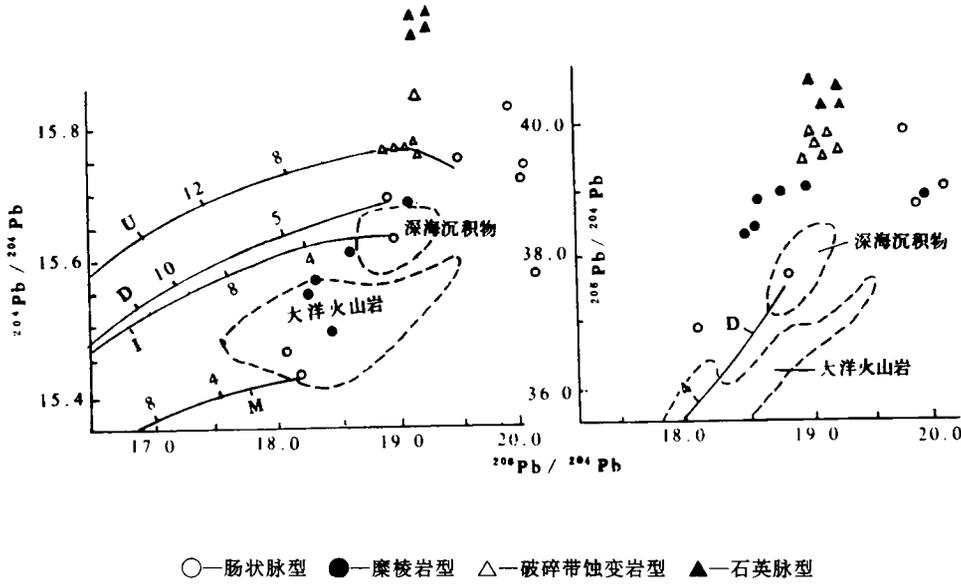


图 2 戈枕金矿带不同类型金矿化铅同位素图解

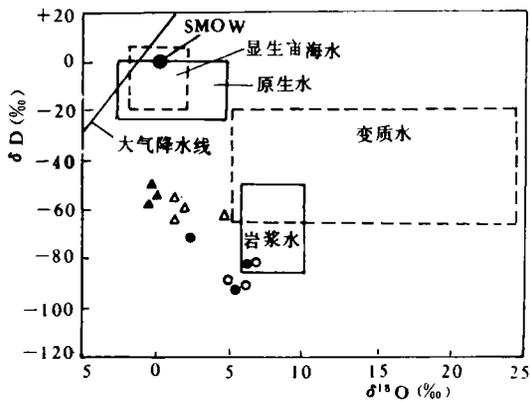
Fig. 2 Plot showing pb-isotope of different types of gold mineralization in Gezhen gold ore zone

根据区域资料, 戈枕断裂带两侧的沉积相从志留纪开始出现明显差异, 表明其雏形在加里东期已经形成。但是, 横过戈枕断裂带, 加里东—海西早期区域面型变质变形作用及所形成的构造和构造要素是连续而均匀的, 说明在加里东—海西早期, 该断裂带的断裂变形变质作用非常微弱。

### 2.2 印支期

大量的地质事实表明海南岛晚古生代发生了裂谷作用<sup>[1]</sup>, 在伸展体制下, 地壳变薄, 地幔上隆, 沿抱板-公爱一线发生了深层次的韧性拆离滑脱作用<sup>[2]</sup>, 深部形成了该断裂带的早期糜棱岩化带, 这期韧性变形主要发育在抱板群与古生界接触带附近。前述早期韧性剪切带的产物——糜棱岩系列岩石及其组合, 反映了本阶段为强韧性变形, 糜棱岩化程度高。二甲地区根据石英位错密度推算的差异应力为 227~245MPa, 平均应变速率  $3.34 \times 10^{-13} S^{-1}$ , 糜棱岩中石英包体均一温度 200~350℃。由于强烈的伸展作用, 伴随着大田、广坎岩体的侵入。该深层次韧性拆离作用, 一方面形成了戈枕糜棱岩带, 另一方面使广泛分布于抱板群混合岩中的含金长英脉发生强烈的金的溶出作用, 并与深源流体混合在一起, 迁移至拆离构造带中, 形成戈枕断层带中广泛分布的含金糜棱岩(图 4)。

糜棱岩型金矿以红甫门岭金矿最具代表性, 金矿体呈脉状。透镜状产于糜棱岩带中。矿物组合为自然金、黄铁矿、毒砂、石英和绢云母等。该类型金矿化的同位素年龄为 225Ma, 相当于



○—肠状脉型 ●—糜棱岩型 △—破碎带蚀变岩型  
▲—石英脉型

图3 戈枕金矿带不同类型金矿化的氢、氧同位素图解

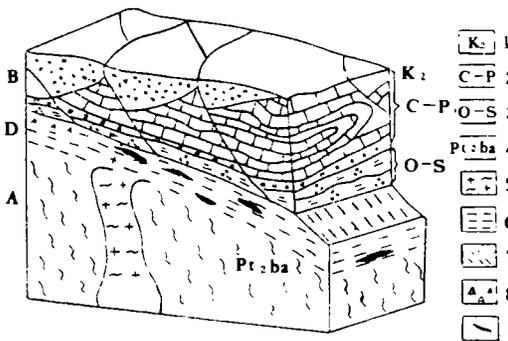
Fig. 3 Plot showing H, D-isotope of different types of gold mineralization in Gezhen gold ore zone

印支期。矿石的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.386 ~ 18.842, 平均 18.541,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.489 ~ 15.691, 平均 15.582,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.547 ~ 39.087, 平均 38.670。铅同位素组成比较稳定, 放射成因铅较低。投影点落在上地幔与下地壳演化曲线之间(图 2)<sup>[6]</sup>, 铅同位素明显来源于下地壳或上地幔。 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$  为 4.87 ~ 9.76, 平均 6.91, 为地层硫。 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$  为 -87 ~ -70, 平均 -79.7‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$  为 2.7 ~ 6.3, 平均 4.8‰, 靠近岩浆水。表明糜棱岩型金矿床的成矿热液为深源岩浆水或混合岩浆水(图 3)。

2.3 印支晚—燕山早期

在印支晚—燕山早期, 琼西的军营-红岭一带至戈枕断裂带广大区域内发生了中浅层次的逆冲推覆构造<sup>[7]</sup>, 推覆方向由 NW 向 SE, 推覆距离 > 6km。戈枕断裂带为该推覆构造的前锋带(图 5), 从而拉开了该断裂带脆性变形的序幕。主推覆断层带倾向 NW, 倾角较缓, 叠加在戈枕含金糜棱岩带之上, 形成碎裂岩, 碎裂岩的角砾里有糜棱岩的成分, 局部地段充填石英脉、花岗斑岩脉等。推覆断层带的上盘为抱板群混合岩, 下盘部分为混合岩、糜棱岩, 部分为古生界地层。在逆冲推覆时期内, 抱板群混合岩的含金构造动力分异热液及部分地表循环水向上盘的次级逆冲推覆碎裂岩带运移, 并发生同构造蚀变交代, 形成抱板、土外山、北牛破碎带蚀变岩型金矿脉。成矿深度 2~3km, 成矿压力 167~182MPa, 平均应变速率  $5.83 \times 10^{-15}\text{S}^{-1}$ 。与此同时, 常有大量岩浆岩脉穿插侵入, 为金的再活化, 迁移提供了必要的热能及热液流体, 实际上它对早期糜棱岩型金矿起到了再富集的作用。

破碎带蚀变岩型金矿化在戈枕断裂带中也是广泛分布的, 但主要集中于戈枕断裂带的北东段。金矿体为遭受含金热液蚀变的碎裂岩脉。碎裂岩的母岩大部分为糜棱岩。矿



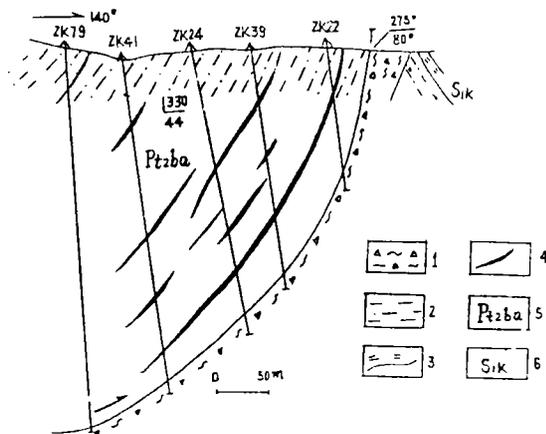
图例说明: A. 下盘变质核杂岩 D. 拆离断层带 B. 上盘系统

- 1. 白垩系沉积盖层; 2. 石炭—二叠系结晶灰岩、变质砂砾岩
- 3. 奥陶—志留系片岩 4. 中元古界抱板群变质长英质杂岩
- 5. 同构造期混合花岗岩 6. 糜棱面理 7. 糜棱线理
- 8. 绿泥石化超碎裂岩; 9. 矿体。

图4 戈枕拆离断层构造模式

Fig. 4 Structure model of Ge-Zhen detachment fault zone

石矿物组合为自然金、银金矿、黄铁矿、毒砂、石英、长石、绢云母。金矿脉走向 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，平面上呈侧列式出现，此外尚发现有少数SN、EW向金矿脉。该类型金矿化的同位素年龄为 $170\sim 130\text{Ma}$ ，为印支晚—燕山早期。矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.790\sim 19.270$ ，平均 $19.011$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.720\sim 15.851$ ，平均 $15.766$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $39.376\sim 40.464$ ，平均 $39.745$ ，铅同位素组成变化不大，放射成因铅中等。投影点集中分布在上地壳演化曲线之上并紧邻上地壳演化曲线，说明铅来自地层(图2)<sup>[6]</sup>。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 $5.45\sim 8.16$ ，平均 $6.41$ 。 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}_{\text{‰}}$ 为 $-61.9\sim -54.4$ ，平均 $-59.7$ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}_{\text{‰}}$ 为 $2.2\sim 4.4$ ，平均 $2.95$ ，样点向大气降水漂移，表明除了推覆运动产生的构造动力



1. 碎裂角砾岩 2. 糜棱岩 3. 片岩 4. 破碎带蚀变岩型金矿脉  
5. 中元古界抱板群 6. 志留系空列村群

图5 戈枕断裂带中土外山矿区101线剖面图

Fig. 5 No. 101 Section of Tuwaishan mine in Gezhhen fault zone

分异热液外，还有地表循环水的加入(图3)。

2.4 燕山晚—喜山期

此时期，戈枕断裂带的构造变形比较复杂，运动主要集中在几个大的主干断层上。运动面(XY)近直立的NE向左旋平移剪切叠加在早期微倾斜的韧性拆离构造带上和脆性推覆断层带之上，形成目前北东向展布的近等厚褶皱群，抱板等地一些具水平擦痕的断层面。与此同时发生升降性块断运动，使土外山-抱板-不磨一线微向NW倾斜的推覆构造及破碎带蚀变岩型金矿脉逐渐变陡，也使南东侧微向SE倾的拆离型糜棱岩带变陡。从而将早期形成的深层次中层次混合岩、糜棱岩、碎裂岩及各类金矿床上升与浅层次构造出露于同一水平面上。

该时期，戈枕断裂带的挤压作用高潮已经过去，局部地段带有张性，在主断裂带旁的次级脆性断裂被含金硅质热液所充填，形成石英脉型金矿床，如那都、不磨金矿等。矿脉展布符合简单剪切系统裂隙的发育。成矿深度 $0.5\sim 1.0\text{km}$ ，差异应力 $116\sim 167\text{MPa}$ ，平均应变速率 $4.63\times 10^{-16}\text{S}^{-1}$ 。石英脉型金矿化的同位素年龄为 $80\sim 110\text{Ma}$ ，为燕山晚—喜山期。

石英脉型金矿以不磨金矿为代表，矿脉产于片岩与混合岩接触带附近的构造裂隙中。矿物组合为自然金、银金矿、毒砂、黄铁矿、石英等。矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.876\sim 19.167$ ，平均 $19.007$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.936\sim 16.013$ ，平均 $15.974$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $39.530\sim 40.336$ ，平均 $39.887$ 。铅同位素组成稳定，放射成因铅高，样点分布在上地壳演化曲线之上(图2)<sup>[6]</sup>，并位于破碎带蚀变岩型分布区的上方，说明铅来自地层，且铅源比破碎带蚀变岩型更浅。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 $4.78\sim 6.84$ ，平均 $5.60$ 。 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}_{\text{‰}}$ 为 $-50\sim -57$ ，平均 $-53.3$ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}_{\text{‰}}$ 为 $-1.3\sim -0.3$ ，平均 $-0.7$ ，表明晚期有越来越多的地表循环水的加入(图3)。

### 3 总 结

(1)戈枕断裂带经历了漫长的多期动力变形变质作用过程,总体表现早期为韧性、晚期韧-脆性至脆性,而且与金矿化关系密切。

(2)加里东—海西早期,伴随着区域性的角闪岩相、绿片岩相变质作用、混合岩化作用和近水平的面型固态流变,戈枕断裂带锥形开始形成,并形成不具工业意义的肠状脉型金矿化。

(3)印支期,戈枕断裂带整体处于伸展拆离状态,形成戈枕糜棱岩带及糜棱岩型金矿床。成矿流体为深源岩浆水。

(4)印支晚—燕山早期,戈枕断裂带发生逆冲推覆运动,形成戈枕碎裂岩带及破碎带蚀变岩型金矿床。成矿流体为构造动力分异热液和地表循环水的混合。

(5)燕山晚—喜山早期,戈枕断裂带发生左行平移剪切及升降性块断运动,形成石英脉型金矿。成矿流体为地表循环水及构造动力分异热液的混合。

(6)伴随着戈枕断裂带的演化,相应地产出四种类型的金矿化,其硫同位素组成惊人地一致,Pb、H、O同位素具有明显的演变规律,组成完整的金矿成矿系列。

(7)石英脉型金矿及破碎带蚀变岩型金矿是在晚期直接叠加在已经抬升到近地表的糜棱岩型金矿及肠状脉型金矿化之上的。因此,前人关于“不磨一带石英脉型金矿体的下部有望找到糜棱岩型金矿体”的认识很可能是错误的。

### 参考文献

- 1 夏邦栋,等.海南岛晚古生代裂谷作用.地质学报,1991,(1)
- 2 丁式江.海南西部戈枕拆离断层构造及金矿成矿作用.地质找矿论丛,1991,(1)
- 3 丁式江.二甲金矿韧性剪切带及金矿化.矿产与地质,1991,(5)
- 4 梁新权,等.海南岛戈枕脆、韧性剪切带基本特征及其成矿意义.大地构造与成矿学,1990,(3)
- 5 丁式江,等.琼西戈枕断裂带初步探讨.广东地质,1992,(2)
- 6 彭少梅,等.海南戈枕金矿带同位素地质特征及其意义.黄金,1992,(5)
- 7 彭少梅,等.琼西军营一带逆冲推覆构造初步探讨.华东地质学院学报,1993,增刊
- 8 Sibson R. H. Fault Rocks and Fault Mechanism. J. Geo. Soc. London. 1977

## THE TECTONIC EVOLUTION OF THE GEZHEN FAULT ZONE AND ITS GOLD MINERALIZATION SERIES

*Ding Shijiang*

*(Hanan Geological Brigade)*

### Abstract

The Gezhen fault zone has undergone several times of dynamic deformation which wholly show ductile in early period and ductile—brittle in late period, and have a close relation with gold mineralizations. During Caledonian to early Variscan Period, the embryonic form of the Gezhen fault zone began to form accompanied by metamorphism, migmatization and solid flow, this process formed the intestinal—shape type gold mineralizations. During Indosinian Period, the fault was wholly under extensional detachment state, formed the mylonite type gold deposits. During late Indosinian to early Yanshanian Period, the fault zone is located in frontal zone of thrust—nappe, which formed Jiaojia type gold deposits. During late Yanshan to Himalayan period, the Gezhen fault zone was undergone NE—direction sinistral translational shearing, block faulting, which formed quartz—vein type gold deposits. The sulphur isotopic compositions of the four types of Au mineralization reach unanimity, but their lead, hydrogen and oxygen isotopes show very strong evolution regularities characterized by Au mineralization series with tectonic evolution of the fault.