文章编号:1007-3701(2004)01-0029-06

# 琼大村韧性变形带地质地球化学特征

### 李孙雄,谢盛周,莫位明,周进波

(海南省地质调查院,海南海口 570206)

摘要:大村韧性变形带主要由糜棱岩系列岩石组成,其强应变带和弱变形域分带明显。发育线 理、面理、褶皱构造。变形差应力为 34.1~62.2 MPa。微量元素地球化学特征表明 Au,Ag,Pb, Zn 和 As 等亲硫元素组合于构造带中贫化,Cu 含量变化不明显,Sb,Sn 和 Bi 等"中高温"元素 则富集,反映了构造带大致形成于中高温环境,与矿物变形相分析一致。

关键 词:变形带;地质特征;微量元素;琼大村

中图分类号:P542<sup>+</sup>.3;P595 文献标识码:A

大村韧性变形带首次为马大铨等<sup>1100</sup>提出,推 断可能属戈枕断裂带的南延部分,但对变形带未做 具体的研究。由于戈枕断裂带是海南岛一条重要的 金矿成矿构造带,大村韧性变形带从而也引起许多 地学工作者的广泛关注。大村韧性变形带是否属于 戈枕断裂带的南延部分,其岩石学、几何学、运动学 究竟如何,是一个急需弄清的问题。

经笔者于该地区进一步的工作<sup>®</sup>,在查明大村 韧性变形带的形态、规模、岩石学、几何学、运动学 等特征的基础上,结合构造带中主要成矿元素地球 化学特征的研究,初步认为大村韧性变形带不是戈 枕断裂带的南延部分。主要表现是:大村变形带具 有右旋斜冲的活动性质,与戈枕断裂带的左旋伸展 滑脱的运动特征明显不同;其变形作用也相对较 弱,变形差异应力小,为 34.1~62.2 MPa,戈枕断 裂带则高达 149.1~245.6 MPa;主要成矿元素的 地球化学特征显示,大村变形带元素的组合以及聚 集能力差,尤其是 Au,被强烈带出,使得在构造带 中的含量非常低,且不同构造岩石中的含量变化幅 度小,分异能力低,而戈枕断裂带中 Au 除了得到 大规模的富集外,于不同构造岩中的含量变化幅度 大,分异能力强,并在强应变岩石(糜棱岩、超糜棱 岩)中富集成矿。

大村变形带分布于乐东县冲坡镇后溪村一大 村一带,长约 6.2 km,宽 0.75~1.0 km,产状 115° ~140° \_ 55° ~ 75°。变形带在平面上呈舒缓波状。 发育于长城系抱板群戈枕村组条(纹)带状混合岩、 眼球状混合岩与下志留统陀烈组千枚岩、板岩、变 质砂岩的接触处,并局限于长城系抱板群戈枕村组 内,东面以韧一脆性断裂与下志留统陀烈组接触。 沿走向北东和南西端分别终止于印支期和燕山晚 期花岗岩(图 1)。

### 1 地质特征

### 1.1 构造岩分带

该变形带主要发育糜棱岩和糜棱岩化岩石,于 野猫隆-抱告小学一带,岩石变形作用相对较强, 属主应变带变形,宽约 365 m,以多次交替出现糜 棱岩为特征,其宽度一般为 10~15 m,两侧为糜棱 岩化岩石。沿主要应变带水平横、纵向,则过渡为糜 棱岩化岩石,进入低应变域的变形,东、西两侧边部 出现脆-韧性断裂。反映了变形带的岩石分带性较 明显,且自中心至边部,构造应力减弱,温度、压力 逐渐降低,变形由韧性向韧脆性,由高应变向低应 变演化。

糜棱岩化混合岩:糜棱结构,眼球状构造。碎斑

收稿日期:2003-10-08

作者简介:李孙雄(1968—),男(汉族),地质工程师,主要从 事区域地质调查工作.

①马大铨等,海南省东方县二甲一不磨金矿带抱板群时代、 层序及含金性研究报告,1993.

②海南<del>地质综合期</del>察院,1:5万黄流市幅、千家幅区域地质调 查报告,1998.

含量大于 50%,成分为长英质,其被压扁拉长成眼 球状、透镜体状;碎基含量小于 50%,由石英、云母



### 图 1 大村韧性变形带地质简图

Fig. 1 Simplifed geological map of the Dacun ductile deformable zone

1. 第四系;2. 下志留统陀烈组;3. 长城系峨文岭组;4. 长城系戈枕 村组;5. 晚白垩世花岗岩;6. 三叠纪花岗岩;7. 糜棱岩带;8. 压性 断裂;9. 压扭性断裂;10. 实推测性质不明断裂;11. 实推测地质界 线;12. 角度不整合界线;13. 片麻理产状;14. 片理产状 组成,石英具有强烈的波状消光,云母呈弯曲和膝 折状。

糜棱岩:相对糜棱岩化混合岩,岩石变形更强 烈,碎斑含量少且小,含量 30%~40%;碎基含量 60%~70%,石英具强烈波状消光、带状消光,发 育变形纹,且被压扁拉长呈扁豆状、荚片状,云母呈 膝折状和"云母鱼"。

1.2 变形特征

韧性变形带内,矿物定向组构发育,矿物拉长 线理、面理、褶皱以及小型指向性构造较发育(图 2),呈现出中浅构造层次的变形特征。

(1)矿物拉长线理

发育于强应变的糜棱岩中,石英矿物集合体呈 拉长条带状,磁铁矿呈拉长状、"S"型扭曲状等,它 们均沿片理方向分布,与剪切面理近平行。

(2)面理

包括糜棱面理(Ss)和剪切面理(Sc)。Ss 为矿 物或集合体的长轴优选方位所显示的不连续面状 构造,由粗粒的片状矿物和拉长的粒状长英质矿物 组成;Sc 是一种低级别小尺度的剪切带,平行剪切 面,是剪切过程中的产物,主要由细小重结晶的绢 云母组成。在弱变形域,Ss 与 Sc 交角较大,一般≥ 30°,而在强应变带,Ss 与 Sc 基本上近平行。此外, 尚见有"云母鱼"类 Ss-Sc 组构。

(3)褶皱

发育于强应变的糜棱岩中。一为石英矿物集合



#### 图 2 韧性变形带中的变形组构

万方数据 Fig. 2 Deformational fabrics in ductile deformable zone a. 磁铁矿拉长线理;b. 石英集合体剪切褶皱;c. 石英矿物扭曲;d. 长石矿物剪切阶步;e. 云母矿物沿解理面滑动;f. "云母鱼" 体发生剪切变形,形成各种不协调的褶皱构造,其 褶皱形态极紧闭,两翼长短不一,翼部呈拉薄、拉长 状,核部呈增厚状,物质显示由翼部向转折端运移 的运动特点,轴面与剪切面理平行。另一为云母矿 物在剪切变形中发生的膝折变形。

(4)指向性构造

主要有:石英、长石矿物的"δ"型右行旋转碎斑 系,云母矿物沿解理面的右行剪切,石英矿物的"S" 型拖尾,长石矿物的剪切阶步和细颈化,云母矿物 的"S"型扭曲和"云母鱼"等,且多发育于强应变的 糜棱岩中。

1.3 蚀变特征

微观尺度上,糜棱岩矿物组合为石英(45%~ 65%)+绢云母+绿泥石+长石+白云母,其中绢 云母+绿泥石的含量为 20%~45%。糜棱岩化岩 石矿物组合为石英+钾长石+斜长石+绢云母+ 白云母+黑云母,而正常混合岩矿物组合为石英 (10%~15%)+斜长石+钾长石+黑云母(20%) +白云母。上述不同岩石的矿物组合特征,明显地 反映了随应变作用的加强,长石、黑云母等矿物逐 渐消失,而绢云母、绿泥石、石英等矿物则逐渐增 加,蚀变作用加强,表明变形作用与变质作用为正 相关关系。

1.4 韧性变形构造差应力估算

流体学认为,引起岩石流动(变形)的压力因素 为差异应力,而与岩石所处环境的围压大小无直接 关系,故差应力大小是决定岩石变形的主导因素。 依据动态重结晶石英的粒度与差应力的函数关系  $\sigma_1 - \sigma_3 = 6.1 \text{ D}^{-0.68}$ (D 单位为 mm, $\sigma_1 - \sigma_3$  单位 为 MPa),推算琼大村韧性变形带在变形时的差应 力为 34.1~62.2 MPa(表 1)。且自边部往中心,差 应力逐渐增大。

表 1 韧性变形带差异应力

Table 1 Differential stress values estimated by grain-size of dynamic recrystallizing quartz

采样 方向	样号	采样位置	岩  性	重结晶石英粒度 /mm	差应力(σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> ) /MPa
NW ↓ SE	$D_{20-1}$	边部(抱告村)	糜棱岩化混合岩	0.055	43.9
	X IX <sub>12-1</sub>			0.045	50.8
	X IX $_{16-1}$	中心(抱告小学)	糜棱岩	0.033	62.2
	X IX $_{18-1}$			0.057	42.7
	X IX 21-2	边部(大村)	糜棱岩化混合岩	0.08	34.1

1.5 韧性变形的温压条件分析

韧性变形带一般认为是在大于 10~15 km 地 壳深处的温压条件下发生,然而不同的韧性变形带 发生变形时的温压条件是有区别的,这些区别在韧 性变形岩石的矿物组合,矿物韧性变形表现等方面 都有反映<sup>[2]</sup>。

从矿物变形来看,石英矿物表现为韧性变形, 具波状消光,发育变形纹、动态重结晶等,颗粒多呈 压扁状、拉长状、透镜状、豆荚状,晶粒边界多为不 规则状、锯齿状。长石矿物以脆性破碎为主,多发生 绢云母化,糜棱岩内仅局部发育"δ"型旋转碎斑、剪 切阶步及细颈化等。云母类矿物以韧性脆性变形为 特征,既有破碎呈细小鳞片状等脆性变形,又有"云 母鱼"、"S"型扭曲、消光带、膝折等韧性变形。由此 表明了变形环境已达到了石英矿物发生韧性变形 的温压条件(即温度>350°C,深度>10~24 km), 但未达到长石韧性变形的温度(>600°C)和压力 (>25 km 和 0.5 GPa)。

此外,根据变形带中的糜棱岩矿物组合为石 英、绢云母、绿泥石和少量白云母,大致也反映属中 温(400~550℃)、中等围压(0.35~0.5GPa)条件 下韧性变形。

1.6 三维应变分析结果

岩石弗林参数 K < 1,拉伸主轴(X 轴)方位 NE,压缩主轴(Z 轴)方位 SE,其 X 轴与构造面理 展布方向近平行,表明构造变形属压缩体制下的产 物,挤压应力方向为 NW-SE。

1.7 运动学特征

野外露头中,构造岩石普遍发育"δ"型眼球旋转碎斑系,指示变形带具有逆冲活动,同时兼有平面上右行走滑的运动特征,局部右行切错细晶岩脉,错距约3m,脉体与糜棱面理呈70°锐角相交

(图3)。

1.8 生成时代

该变形带生成时代虽未作相应的年龄测试,但 根据它切割志留系地层而止于三叠纪花岗岩这一 事实,可判其生成时代应在志留系之后、三叠纪之前。结合该地区的地质资料<sup>000</sup>分析,海西一印支期 花岗岩面理和地层褶皱的走向都是 NE 向,故而把 它的生成时代暂归入海西期一印支期。



图 3 韧性变形带中的右行走滑组构 Fig. 3 Right-lateral structure in ductile deformable zone a. 眼球状残斑右行旋转变形;b. 糜棱面理右行切错细晶岩脉

# 2 微量元素地球化学特征

韧性变形带是一个在开放体系中形成,伴随构 造热液活动,元素活化、分异、迁移,导致物质成分 重组,由非平衡态到平衡态的持续过程<sup>[3]</sup>。通过研 究变形带微量元素含量(表 2)的分布特征,可以探 讨微量元素在构造带中的地球化学行为。

根据叠加强度系数(构造岩丰度/原岩丰度)大 小判别元素迁入、带出的方法<sup>[4]</sup>(K > 1,迁入; $K \approx 1$ ,变化不明显;K < 1,带出)进行判别,该构造 带带出的元素有 Au,Ag,Pb,Zn,As 及 Mo,为亲 硫元素组合;迁入的元素为 Sb,Sn 及 Bi,具有典型 "中高温"元素组合特征;Cu 变化不明显。变形带微 量元素带出迁入特点大致反映了其形成于中高温 环境,主要是"中高温"元素迁入,"中低温"元素带 出。

微量元素在不同构造岩中以及在同一构造岩 的不同部位,也具有一定的分异能力。Cu,Pb,Zn, As,Sb 和 Bi 等相对比较活跃,含量离差大,最高含 量与最低含量比值一般为  $4 \sim 6$ ;Au,Ag 和 Sn 的 分异能力相对较弱,含量离差小,其最高含量与最 低含量比值介于  $1 \sim 2$ 之间。Cu,Pb,As 和 Sn 在糜 棱岩化混合岩中达最高,而 Ag,Au,Zn 和 Mo 则 在各构造<u>岩</u><u>P资据</u>不明显,Sb 和 Bi 主要富集于糜 棱岩中,Zn 在石英脉中含量最高。 糜棱岩化混合岩富集 Cu,Sb,Bi 和 Sn,贫 Ag, Zn,As,Mo 及 Au。Cu,Pb 变化不明显。碎粒岩富 集 Sb,Sn 及 Mo,贫 Ag,Cu,Pb,Zn,As,Bi 及 Au。 糜棱岩除 Sb,Bi 及 Sn 富集外,其余元素贫化。反映 变形作用处于中高温环境,这一环境不利于中低温 元素的聚集。碎粒岩、糜棱岩中 Zn 的析出可能在 糜棱岩化混合岩和石英脉中得到富集。

元素聚类分析表明(图 4),在相关系数 0.29 的水平上,可分为四组元素:①Au,Ag;②Mo;③ Pb,As,Sn;④Cu,Zn,Sb 和 Bi。但各组元素间的相 关性小,基本上各属于一个独立的组份。若在相关 系数 0.5 的水平上,则除了 As 与 Sn 以及 Sb 与 Bi 显得密切外,其他元素基本上分离发散。表明在断 裂作用过程中,元素间的亲和能力较低,基本上以 独立组分形式发生活化迁移。

# 3 结论

(1)变形带具典型的糜棱岩系列岩石组合,其强应变带和弱变形域分带明显。岩石发育指向性构造,表明变形带具右旋压扭活动特征。生成于海西 一印支期。

①海南地质综合勘察院,1:5万黄流市幅、千家幅区域地质调 查报告,1998.

②海南地质队,1:5万志仲同步区域地质调查报告,1985.

33

表 2 韧性变形带岩石微量元素含量及叠加强度系数

Table 2 Contents and overlapping intensities of trace elements of tectonites of ductile deformable zone

岩性	样品号	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo	Sn	Au
石 英 脉	X X 6-1	0.033	3.2	1.0	33.5	3.25	0.69	0.66	0.67	11.0	0.9
	X X 8-1	0.04	28.9	2.8	80.4	2.93	2.06	0.13	0.25	0.8	0.7
	平均值	0.037	16.05	1.9	56.95	3.09	1.38	0.4	0.46	5.9	0.8
碎粒岩	X X 14-1	0.035	5.1	7.4	22.4	12.7	1.81	0.22	4.35	6.6	1.2
糜棱岩化混合岩	X X 9-1	0.04	6.7	73.1	19.1	7.75	2.06	0.60	1.56	3.6	0.9
	X X 11-1	0.045	8.0	33.7	49.0	3.57	0.44	0.78	0.97	4.0	1.2
	X X 13-1	0.058	10.7	21.9	39.0	19.00	1.03	0.53	1.66	5.1	2.7
	X X 19-1	0.026	7.9	29.8	14.4	16.90	1.87	0.31	1.66	4.7	0.9
	X X 21-1	0.036	2.7	13.9	25.8	7.11	1.50	0.22	0.76	10.4	0.7
	X X 16-1	0.038	6.2	80.1	25.1	37.40	1.69	0.53	0.57	27.3	1.2
	X X 18-1	0.04	46.1	35.8	29.7	6.30	0.85	1.69	0.82	5.8	0.7
	X X 20-1	0.028	48.7	38.6	30.5	4.53	4.18	0.60	1.03	7.5	1.1
	平均值	0.039	17.13	40.86	29.08	12.82	1.70	0.66	1.13	8.55	1.18
糜棱岩	X X 10-1	0.056	2.8	23.3	17.9	6.62	1.22	0.99	3.13	9.8	0.7
	$X \ X \ 12 - 1$	0.034	13.6	26.6	18.0	3.41	2.03	0.43	0.82	5.9	1.0
	X X 16-1	0.031	33.0	5.3	39.7	11.80	0.66	0.51	1.15	4.9	0.9
	X X 18-1	0.04	2.3	23.6	48.5	6.46	3.81	0.17	1.19	6.4	0.8
	X X 19-1	0.037	22.9	7.3	59.4	3.41	6.10	6.40	0.67	8.6	1.4
	X X $21 - 1$	0.036	1.6	21.0	35.2	12.60	2.44	0.34	1.45	15.6	1.2
	平均值	0.039	12.7	17.85	36.45	7.38	2.71	4.47	1.40	8.53	1.0
	总平均值	0.038	14.73	26.19	34.56	9.75	2.03	0.89	1.34	8.12	1.07
	混合岩背景值	0.065	16.46	41.49	49.61	19.08	0.20	0.41	3.23	3.88	10.09
	K	0.59	0.89	0.70	0.69	0.48	10.12	2.22	0.41	2.09	0.11
	$K_{-1}$	0.54	0.31	0.18	0.45	0.67	9.05	0.54	1.35	1.7	0.12
	$K_{2}$	0.6	1.04	0.98	0.59	0.67	8.05	1.61	0.35	2.20	0.12
	$K_{3}$	0.60	0.77	0.43	0.62	0.39	13.55	2.15	0.43	2.19	0.10

注:微量元素 Ag~Sn 单位为  $10^{-6}$ , Au 为  $10^{-9}$ ; K 一构造带总的叠加强度系数;  $K_1$  一碎粒岩叠加强度系数;  $K_2$  一糜棱岩化混合岩叠加强度系数;  $K_3$  一糜棱岩叠加强度系数。



### 图 4 韧性变形带微量元素 R 类聚类分析谱系

万方数据 Trace element lineage of cluster analysis by R-technique for ductile deformable zone

(2)变形带变形差应力为 34.1~62.2 MPa, 且自边部往中心,差应力逐渐增高。

(3)变形矿物特征与微量元素地球化学特征一 致表明变形带形成于中高温环境。岩石以 Sb,Sn 和 Bi 等"中高温"元素组合迁入,而 Ag,Pb,Zn,As 及 Au 等"中低温"元素带出为特征。元素间聚集能 力差,亲和能力较低,基本上以独立组分形式发生 活化迁移。

成文过程中,得到海南省地矿局黄香定教授级 高级工程师、丁式江优秀级高级工程师的热心指导 和审阅,对本文提出了有益的修改意见,在此致谢!

参考文献:

- [1]马大铨,黄香定,肖志发,等.海南岛结晶基底——抱板群 层序与时代[M].武汉:中国地质大学出版社,1998.
- [2]陈柏林,蔡本俊,林仟同,等.崇安-石城构造带中段韧性 变形特征[J].地质力学学报,1996,2(1):49-54.
- [3]杨国清. 构造地球化学[M]. 桂林:广西师范大学出版社, 1990.
- [4]刘耀荣. 湘中雪家坡脆韧性剪切构造岩地球化学特征 [M]. 中国区域地质,1997,16(1):3-8.

# Geological and geochemical characteristics of Dacun ductile deformable zone in Hainan Island

LI Sun-xiong, XIE Sheng-zhou, MO Wei-ming, ZHOU Jin-bo (Hainan Institute of Geological Survey, Haikou 570226, China)

Abstract: The Dacun ductile deformable zone consists mainly of mylonites with obvious zoning of strong and weak strain bands and widespread lineation, foliation, fold structure. The differential stress for deformation is  $34.1 \sim 62.2$  MPa. Trace-element geochemical characteristics indicate that sulphophile elements (Au, Ag, Pb, Zn, As) are depleted and mesothermal and hyperthermal elements (Sb, Sn, Bi) enriched in the structure zone, inflecting that the structure zone was formed in a mesothermal and hyperthermal environment, which is consistent with the deformation temperature of minerals.

Key words: deformable zone; geological characteristics; trace element; Dacun, Hainan Island