

粤西云开岩群区域动力热流变质作用及其P-T条件

孙万财 熊志彬
广东省佛山地质局

摘要: 粤西云开岩群经历域动力热流变质作用, 并形成一系列递增变质带。变质矿物包含白云、石榴石、矽线石、十字石、蓝晶石等, 变质相达高角闪岩相。采用石榴石-黑云母地质温压计, 其主期递进变质阶段的温度范围为585℃~705℃, 压力范围为0.4~0.68GPa, 属中-高温型中压型。表明其地质动力学过程属于陆内造山模式。

关键词: 粤西; 云开岩群; 变质作用; 地质温度计; 碰撞造山

一、地质背景

云开岩群是1:5万高州、那霍、大井幅区调项目(1998)在云开地区(图1)新建立的构造地层单位^[1]。现指出露于云开-广博地层分区的一套类复理石变质岩类夹变质火山岩、变质铁、磷矿层的地层。

云开岩群根据岩性组合和变质程度可划分为云开岩群第一岩组和云开岩群第二岩组。云开岩群第一岩组岩性主要为变质细粒长石石英砂岩、变质粉砂岩和云母石英片岩, 岩石总体变质程度较低, 仅达绿片岩相。云开岩群第二岩组岩性主要为片麻岩、(含)石榴石二长变粒岩、矽线石二云母片岩、(含)蓝晶石黑云母片岩、(含)十字石黑云母片岩等。岩石变质程度较高, 达角闪岩相, 岩石部分发生混合岩化作用。

二、变质相带划分

通过对云开岩群变质岩剖面(图2), 中特征变质矿物和共生矿物组合研究, 根据泥质变质岩和变质基性岩中变质矿物的出现、消失、转变等反应关系可将其划分为黑云母带、石榴石带、十字石带、矽线石+白云母(蓝晶石)带、矽线石+钾长石带。

(一) 黑云母带

该变质带主要分布于递增变质带最外围黎少镇松木社一带, 岩性主要为黑云母石英片岩、二云母石英片岩、二云母片岩、变质长石石英砂岩等。以泥质变质岩中普遍出现绢云母、白云母、黑云母等变质矿物为特征。

其中代表性的变质矿物共生组合为: ①Q+Bi+Ms;

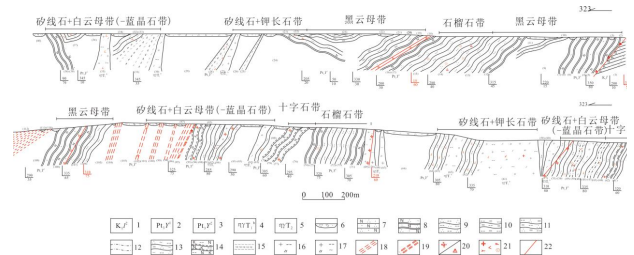


图2 粤西云开岩群黎少镇松木坑剖面简图(引用1:5万筋竹圩等四幅资料)

1-罗定组二段; 2-云开岩群第一岩组; 3-云开岩群第二岩组; 4-混合花岗岩; 5-黑云母二长花岗岩; 6-风化土; 7-细粒长石石英砂岩; 8-变质细粒长石石英砂岩; 9-变质粉砂岩; 10-二云母片岩; 11-二云母石英片岩; 12-

②Q+Pl+Bi+Ms; ③Q+Chl+Bi+Ms; ④Q+Chl+Bi+Ms+Pl; ⑤Q+Ms+Pl; ⑥Q+Bi+Ms+Pl。以上六个共生矿物组合代表云开岩群低绿片岩相(黑云母带)的主要标志。

(二) 石榴石带

该变质带宽度约500m, 以泥质变质岩中普遍出现石榴石等变质矿物为特征。岩性主要为(含石榴石)石英片岩、(含石榴石)黑云母石英片岩、石榴石黑云母斜长变粒岩等。石榴石多为铁铝榴石, 多呈粒状, 粒径0.08~0.32mm, 含量2%~10%不等, 和黑云母、白云母稳定共生。黑云母带与石榴石带之间可能存在的临界反应为: Chl+Ms+Q=Gt+Bi+H₂O。

主要变质矿物共生组合为: ①Bi+Ms+Q+Pl±Gt; ②Bi+Q+Pl±Gt; ③Bi+Ms+Pl+Q±Chl; ④Gt+Bi+Mu+Q。以上四个共生矿物组合, 代表了云开岩群高绿片岩相(石榴石带)的主要特征。

(三) 十字石带

该变质带宽度约300m, 以泥质变质岩中出现十字石为标志。岩性主要为含十字石二长二云石英片麻岩、含十字石更长石白云母石英片岩, 含十字石二云母石英片岩, 含十字石黑云母石英片岩等。十字石多呈柱状, 粒径0.11~0.30mm, 含量占2%~5%。石榴石带和十字石带可能存在的临界反应为: Chl+Ms+Gt=St+Bi+Q+H₂O, Chl+Ms=St+Bi+Q+H₂O。

主要变质矿物共生组合为: ①St+Q+Ms±Bi; ②St+Gt+Ms+Bi+Q; ③St+Q+Ms+Bi+Pl; ④St+Gt+Ms+Bi+Q+Pl。以上三个共生矿物组合, 代表了云开岩群低角闪岩相十字石带的主要特征。

(四) 矽线石-白云母(蓝晶石)带

该变质带宽度约1km, 以泥质变质岩中普遍出现矽线石+白云母、局部出现蓝晶石等变质矿物为特征。典型岩石类型有含矽线石榴蓝晶二云石英片岩、蓝晶二云片岩、(含)矽线二云(石英)片岩、(矽线)长石二云(石英)片岩、斜长角闪(片)岩、少量黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、钙镁硅酸盐岩等。

泥质变质岩中其代表性的变质矿物共生组合为: ①Ky+Sil+Gt+Bi+Ms+Pl+Q; ②Ky+Bi+Ms±Pl+Q; ③Ky+St+Bi+Ms+Pl+Q; ④Sil+Bi+Ms+Q±Pl; ⑤Sil+Gt+Bi+Ms+Q+Pl; ⑥Hb+Bi+Kf+Pl+Q; 以上6个变质矿物共生组合代表了云开岩群低角闪岩相矽线石+白云母(蓝晶石)带的主要标志。

(五) 矽线石+钾长石带

该变质带出露总宽度约800m, 以泥质变质岩中出现矽线石+钾长石矿物组合且白云母消失为特征。多分布在混合花岗岩

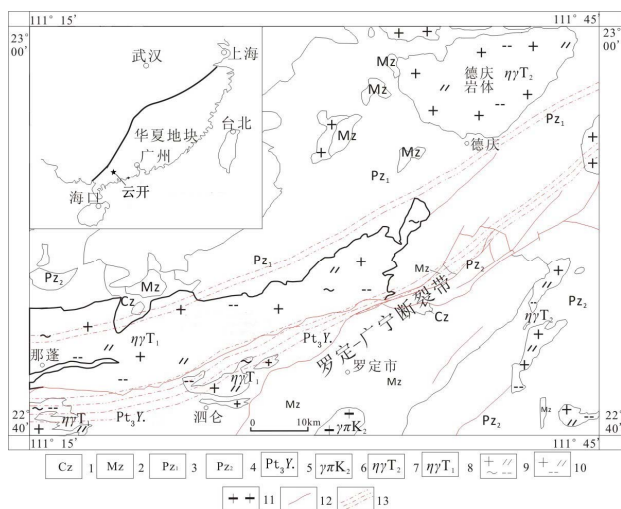


图1 粤西云开岩群区域地质简图(引用1:25万梧州幅及1:5万筋竹圩等四幅资料)

1.新生界; 2.中生界; 3.早古生界; 4.晚古生界; 5.云开岩群; 6.晚白垩世侵入岩; 7.晚三叠世侵入岩; 8.早三叠世侵入岩; 9.中细粒黑云母二长混合花岗岩; 10.中粒黑云母二长花岗岩; 11.花岗岩; 12.断裂; 13.韧性剪切带

岩周边。该带向低温一侧钾长石含量逐渐减少或消失而向矽线石-白云母(~蓝晶石)带过渡。岩性主要为矽线石黑云母石英片岩、混合质黑云母石英片岩、长英质细脉混合质变粒岩、细粒混合花岗岩等。

典型变质矿物共生组合为：①Sil+Kf+Bi+Q+Pl；②Sil+Kf+Bi+Q+Pl+St；③St+Bi+Q+Pl+Kf；以上三个共生矿物组合，代表了云开岩群高角闪岩相矽线石+钾长石带的主要标志。

三、矿物相转变及变质反应性质

根据角闪岩相岩石的岩相学观察及微观结构特征，可将云开岩群的变质作用^{[5][6]}划分为三个变质阶段：早期绿片岩相变质阶段(M₁)；主期递进变质阶段(M₂)；晚期绿片岩相变质阶段(M₃)。早期绿片岩相变质阶段(M₁)的矿物组合往往以包裹体的形式存在于峰期形成的变质矿物内。在泥质变质岩中，斜长石晶体内常含有许多石英、白云母、黑云母等包裹体；较大的十字石晶粒内常含有黑云母、白云母、石英、斜长石等包裹体；普通角闪石晶内有时包嵌有细小的斜长石、黑云母、绿帘石等包裹体。故推测早期绿片岩相变质阶段(M₁)的矿物组合为：Bi+Ms+Q±Chl(泥质变质岩中)和Ep+Pl+Bi+Q(变质基性岩中)。

变质作用进入主期变质阶段(M₂)的标志为：变质岩中普遍出现十字石、蓝晶石、矽线石、钾长石等特征变质矿物，形成一系列递进变质带。从特征变质矿物的矿物相转变及其变质反应性质看，其往往具递进变质特征：

①十字石带中稳定出现十字石，十字石多与石榴石、黑云母、白云母伴生，其可能的反应为Chl+Ms+Gt=St+Bi+Q+H₂O(550℃~600℃, 0.2GPa)。

②矽线石+白云母(~蓝晶石)带中开始出现蓝晶石、矽线石。蓝晶石、矽线石往往与白云母、石榴石相伴出现，局部出现少量十字石。蓝晶石可能是由下列变质反应形成的：St+Ms+Q=Ky+Gt+Bi+H₂O或St+Bi+Q=Ky+Ms+H₂O，后者的实验条件为：675℃, 0.55Gpa(霍斯契克, 1969)。而压力较低时，矽线石则与白云共生，可能是由以下变质反应生成的：St+Q=Gt+Sil+H₂O(675℃~700℃, 0.2~0.3GPa)。

③岩石中可见矽线石与钾长石共生，多分布于混合花岗岩中及附近，其反应一般为Ms+Q=Kf+Sil+H₂O(0.3~0.5GPa, 650~730℃)，这是中级和高级变质的主要临界反应。

变质作用进入晚期绿片岩相退变质阶段(M₃)标志为：以白云母、黑云母取代矽线石、堇青石；黑云母被白云母、绿泥石取代；斜长石被白云母、绿帘石等矿物取代；角闪石退变为绿泥石、绿帘石、黝帘石或纤闪石等。根据以上矿物关系推测，晚期绿片岩相退变质阶段(M₃)的矿物组合为：Bi+Ms+Q±Pl±Chl(泥质变质岩中)和Pl+Q+Ep+Chl±Cz±Hb(基性变质岩中)。

四、变质作用的温度、压力条件

对云开岩群中石榴石、黑云母、角闪石、斜长石等矿物进行电子探针测试，其测试结果见表1。利用石榴石-黑云母地质温压计和角闪石-斜长石地质温压计^[7]，可计算出云开岩群变质作用的温度和压力。

(一) 早期绿片岩相变质阶段(M₁)的温压条件

根据角闪岩相变质岩石的岩相学和微观结构特征研究表明，早期绿片岩相变质阶段(M₁)的矿物组合(石英、黑云母等)通常以包裹体的形式残留于主期变质作用形成的变质矿物内。在泥质变质岩中的矿物组合为Bi+Ms+Q±Gt±Chl，变质基性岩中的矿物组合为Ep+Pl+Bi+Q。根据矿物共生组合，推测其形成的温度为450℃~550℃，压力0.2GPa~0.4GPa之间。在基性变质岩中，角闪石常具有化学成分环带，表现为核部富Mg、Fe，边部富Al，说明变质作用过程中压力表现为增大趋势，为进变质特征。其核部成分可能为绿片岩相变

质阶段(M₁)时形成的。通过角闪石核部成分和斜长石核部成分，利用角闪石-斜长石温压计(Л. Л. П е р Ч у к и н, 1966和L. P. Plyusnina, 1982)，计算变质作用发生时的温度和压力，其结果列于表2中。综上可知，早期绿片岩相变质阶段(M₁)形成的温度范围为：400℃~535℃，压力为0.2GPa~0.41GPa。

(二) 主期递进变质阶段(M₂)的温压条件

变质作用进入主期递进变质阶段(M₂)的标志为：岩石中普遍出现十字石、蓝晶石、石榴石、矽线石、钾长石等特征变质矿物，形成一系列递进变质带。由前文知蓝晶石的可能变质反应为：St+Ms+Q=Ky+Gt+Bi+H₂O或St+Bi+Q=Ky+Ms+H₂O(675℃, 0.55GPa)，矽线石与钾长石共生的反应一般为Ms+Q=Kf+Sil+H₂O(650~730℃, 0.3~0.5GPa)。以角闪石和斜长石边部成分，利用角闪石-斜长石温压计计算所得结果列于表3；采用不同作者的石榴石-黑云母温压计，计算结果列于表4。主期递进变质阶段(M₂)的温度范围为585℃~705℃，压力范围为0.4~0.68GPa。由此表明，主期变质阶段的温压条件属中-高温-中压型，这是经历了漫长的递进变质作用改造的表现。

表1 石榴石、黑云母、角闪石、斜长石化学成分(w_B/%)

样品 编号	D5409			D5272-2			
	含石榴黑云二长变粒岩			斜长角闪岩			
岩性	石榴石	黑云母	斜长石	角闪石 (核)	角闪石 (边)	斜长石 (核)	斜长石 (边)
单矿物 名称	石榴石	黑云母	斜长石	角闪石 (核)	角闪石 (边)	斜长石 (核)	斜长石 (边)
序号	1	2	3	1	2	3	4
Na ₂ O	0.004	0.000	2.142	1.107	1.304	9.117	7.146
FeO	33.169	21.695	0.433	16.956	16.697	0.000	0.075
K ₂ O	0.030	0.009	7.890	0.708	0.877	0.060	0.182
SiO ₂	38.422	25.122	47.732	46.339	45.339	60.429	58.049
MnO	0.651	0.151	0.021	0.212	0.145	0.000	0.000
CaO	0.998	0.000	0.010	11.819	11.500	6.727	8.923
Al ₂ O ₃	21.329	22.592	37.316	9.387	10.274	24.678	26.012
Cr ₂ O ₃	0.091	0.036	0.000	0.060	0.124	0.009	0.007
MgO	5.917	15.172	0.408	9.897	9.676	0.002	0.002
TiO ₂	0.047	0.000	0.140	0.576	0.571	0.023	0.041
合计	100.658	84.777	96.092	97.061	96.507	101.045	100.437
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Na	0.001	0.000	0.587	0.336	0.398	2.349	1.860
Fe	4.353	3.321	0.051	2.217	2.198	0.000	0.008
K	0.006	0.002	1.423	0.141	0.176	0.010	0.031
Si	6.030	4.598	6.748	7.245	7.135	8.029	7.791
Mn	0.087	0.023	0.003	0.028	0.019	0.000	0.000
Ca	0.168	0.000	0.001	1.980	1.939	0.958	1.283
Al	3.945	4.874	6.218	1.730	1.906	3.865	4.115
Cr	0.011	0.005	0.000	0.007	0.015	0.001	0.001
Mg	1.384	4.140	0.086	2.307	2.270	0.001	0.001
Ti	0.006	0.000	0.015	0.068	0.068	0.002	0.004
X _{Mg}	0.238	0.555	0.627				

注：表中数据由中科院广州地球化学研究所矿物学与成矿学重点实验室测定。X_{Mg}=Mg/(Mg+Fe)。

表2 角闪石—斜长石地质温压计计算结果

样品编号	X_{Ca}^{Pl}	X_{Ca}^{Hb}	ΣAl_{Hb}	$t_1/^\circ C$	$t_2/^\circ C$	p/GPa
D5272-2 (核)	0.289	0.806	1.730	495	535	0.41

注: t_1 : Л. Л. П е р ч у к и в, 1966; t_2 : L. P. Plyusnina, 1982; p : L. P. Plyusnina, 1982; $X_{Ca} = Ca / (Ca + K + Na)$

表3 角闪石—斜长石地质温压计计算结果

样品编号	X_{Ca}^{Pl}	X_{Ca}^{Hb}	ΣAl_{Hb}	$t_1/^\circ C$	$t_2/^\circ C$	p/GPa
D5272-2 (边)	0.404	0.772	1.906	605	585	0.42

注: t_1 : Л. Л. П е р ч у к и в, 1966; t_2 : L. P. Plyusnina, 1982; p : L. P. Plyusnina, 1982; $X_{Ca} = Ca / (Ca + K + Na)$

表4 石榴石—黑云母地质温压计计算结果

样品编号	X_{Mg}^{Gt}	X_{Mg}^{Bi}	$\ln K_D^{Bi-Gt}$	$\ln (X_{Mg}^{Gt} / X_{Mg}^{Bi})$	$t_1/^\circ C$	$t_2/^\circ C$	$t_3/^\circ C$	$t_4/^\circ C$	p/GPa
D5409	0.238	0.555	1.386	-0.847890342	657	647	654	705	0.68

注: t_1 : A. B. Thompson, 1976; t_2 : M. J. Holdaway等, 1977; t_3 : L. L. Perchuk, 1977; t_4 : J. M. Ferry和Spear; p : L. L. Perchuk等

(三) 晚期绿片岩相退变质阶段 (M_3) 温压条件

晚期绿片岩相退变质阶段 (M_3), 矽线石、堇青石被白云母、黑云母取代; 黑云母被白云母、绿泥石取代; 斜长石被白云母、绿帘石等矿物取代; 角闪石退变为绿泥石、绿帘石、黝帘石或纤闪石等。矿物组合为: $Bi + Ms + Q \pm Pl \pm Chl$ (泥质变质岩中) 和 $Pl + Q + Ep + Chl \pm Cz \pm Hb$ (基性变质岩中)。由此推断, 其形成的温度范围为 $350^\circ C \sim 450^\circ C$, 压力 $0.2 \sim 0.3 GPa$ 之间。

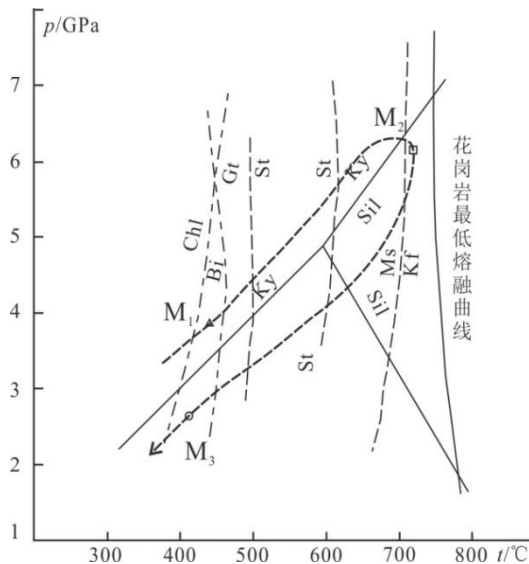


图3 云开岩群角闪岩向变质作用的 $p-T-t$ 轨迹
 Δ 早期绿片岩相变质阶段 M_1 的投影点
 \square 中期递进变质阶段 M_2 的投影点
 \circ 晚期退变质阶段 M_3 的投影点

五、变质作用的 $p-T-t$ 轨迹及其动力过程

通过对云开岩不同变质阶段矿物相转变、温压条件的研究, 可以得出本调查区云开岩群变质作用的 $p-T-t$ 轨迹趋势线 (图3)。从图中可以看出, 变质作用 $p-T-t$ 轨迹趋势线呈顺时针旋转特征, 表明其地质动力学过程属于陆内造山模式。

六、结论

(1) 根据泥质变质岩和变质基性岩中变质矿物的出现、消失、转变等反应关系可将云开岩群递进变质带划分为黑云母带、石榴石带、十字石带、矽线石+白云母 (蓝晶石) 带、矽线石+钾长石带。

(2) 云开岩群的变质作用划分为三个变质阶段, 早期绿片岩相变质阶段 (M_1) 形成的温度范围为: $400^\circ C \sim 535^\circ C$, 压力为 $0.2 GPa \sim 0.41 GPa$; 中期递进变质阶段 (M_2) 的温度范围为 $585^\circ C \sim 705^\circ C$, 压力范围为 $0.4 \sim 0.68 GPa$; 晚期绿片岩相退变质阶段 (M_3) 形成的温度范围为 $350^\circ C \sim 450^\circ C$, 压力 $0.2 \sim 0.3 GPa$ 之间。

(3) 云开岩群变质作用的 $p-T-t$ 轨迹趋势线呈顺时针旋转特征, 表明其地质动力学过程属于陆内造山模式。

参考文献

[1] 邝永光, 黄宇辉, 庄文明, 等. 粤西云开岩群的建立—云开地区前泥盆纪变质地层的再认识[J]. 中国区域地质, 2011, 20 (1), 146-149.
 [2] 莫柱荪, 关于“云开大山变质杂岩”形成时代及成因的一些新认识[J]. 广东地质, 1962, (1): 83-86.
 [3] 吉雄. 云开地体罗定信宜地区多期构造演化史初探[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1993, 32 (4): 87-94.
 [4] 蔡明海, 战明国, 彭松柏, 等. 云开地区中生代成矿地质背景及成矿动力学机制研究[J]. 矿床地质, 2002, 21 (3): 264-269.

中国地质调查局二级项目“特殊地质地貌区填图试点”项目 (编号: DD20160060) 成果。