

云开变质地块的地质特征与演化

中山大学地球科学系

广东省地质矿产局

中国科学院广州地球化学研究所

丘元禧 彭少梅 周永章 等编著
张伯友 邹和平

P562.65
Q1

中山大学学报编辑部
· 广 州 ·

序

粤西桂东南云开大山是华南重要的金属和非金属成矿带。区内发育各地质时代的地层,广泛分布加里东期和前加里东期的区域变质岩、混合岩、海西—印支期的断裂变质岩以及各个时期的岩浆岩,其中尤以各类片麻状花岗质岩最引人注目。云开大山还是华南目前唯一发现出露含麻粒岩包体的深变质基底地区。云开大山的构造样式(伸展构造、逆冲推覆构造、韧性剪切带和重力滑覆构造)也是多种多样,组成一幅多期次多层次的复杂的应变图象。正因为这样,云开大山成为认识华南区域地质的一个重要的窗口,多年来,它吸引着国内许多地质同行接踵而来,在这里开展了多方面的地质研究和矿产开发工作。

这本指南简要地介绍了云开大山的研究沿革、区域地质特征、地质演化历史、最有意义或热点的地质研究课题、考察路线上最主要、最关键的地质露头并介绍有关学者的主要研究成果和论点,有争议的地质问题及近期研究工作进展,最后并附有云开地区研究工作的主要的文献目录。这就使得这本书不仅给来这里从事地质旅行的同行一本指南,而且给来这里从事基础地质研究的同行一本简要的参考书,使研究者在较短的时间里把握住云开大山区域地质的总体面貌以及基础地质研究中存在的有争议的主要地质问题。

由于本书是云开地区第一本地质指南,许多研究工作正在进行,限于篇幅,自然也还存在许多需要进一步完善的地方。但有了最初的一本,以后要有更完善的一本就比较容易了。

莫柱孙

1996年3月

前 言

本指南简要介绍云开大山的的研究沿革、区域地质特征、地质演化历史、最有意义或热点的地质研究课题, T₃₃₁考察路线上最主要、最关键的地质露头并介绍有关学者的主要研究成果和论点, 有争议的地质问题及近期研究工作进展。

本次地质旅行安排八天的野外考察(见图1), 途经粤西和桂东南十几个城市。参加者将有机会看到: 早元古代变质基底残迹; 元古代、古生代和中生代的地层和构造, 特别是飞来峰、构造窗、剥离断层、流褶、韧性断层等; 晚元古代、早古生代海底扩张的证据, 包括寒武纪的热液硅质沉积和一个超大型的由水下喷气沉积变质形成的硫铁矿床; 早、晚加里东期造山幕的地质记录; 前海西期的区域变质和区域混合岩化作用; 海西期、印支期的断裂变质作用, 及前喜山期的岩浆活动。参加者还有机会访问发育于韧性剪切带中的大型蚀变糜棱岩型金矿床(河台)和一个非常著名的风景区——肇庆七星岩, 观光广州、湛江、肇庆等十余座城市的市容。

本区地跨东经110°~113°, 北纬21°20'~23°30', 区内交通方便。除湛江、罗定、广州有民航直飞北京、广州外, 尚有三茂铁路由广州可经肇庆、云浮、茂名、湛江并可转至广西容县, 水路可乘船由梧州顺西江而下经云浮、肇庆、三水而抵广州; 公路四通八达, 除连接粤桂两省的国道干线外, 尚有联结区内各市县的省道, 它们都是柏油马路, 路面宽敞; 各市县内尚有多道可通中小巴士。在自然地理上, 本区属云开山脉及西江水系, 主峰大顶位于中部, 海拔1704m, 山脉走向总体北东, 主要河流西江位于北部, 自西向东流入珠江。全区大部属中低山, 一般海拔不超过1000m; 较大型盆地为罗定盆地, 面积千平方公里, 其南侧为罗定贵子弧形山脉所围绕。

本区气候属亚热带——热带湿润季风气候, 高温多雨。年平均气温15℃以上, 每年七、八月平均气温在28~32℃之间。年均降雨量多在1500mm左右。七、八份为雨季并为台风多发季节, 雨后常出现凉爽天气。

本指南中的岩石鉴定由陆人雄、邓铁殷负责。编写时由编写人员先提供各条路线的初稿或素材, 最后由主编统一编写定稿。

考虑到一些不确定因素如地质旅行时的天气状况、交通条件、采坑人工露头变化与保存等因素以及便于今后来本区考察研究工作方便和有一份比较系统的材料, 指南中还安排了一些机动的观察点的内容。领队可根据当时的具体情况适当取舍。

本指南在编写过程中得到许多熟悉本地区的专家学者及兄弟单位提供资料和编写意见(特别是莫柱孙先生、孙大中院士、伍广宁总工程师、郑亚东教授、周国强、何森祥、符力奋高工等), 广东省地质学会副秘书长柯长青高工为编写本指南争取经费和做了许多组织工作, 对此谨致以深切的谢意。

丘元禧

1996年1月

目 录

第一部分 区域地质特征及主要地质问题	丘元禧、邹和平(1)
一、区域构造位置	(1)
二、区域地球物理场的基本特征	(1)
三、区域地层层序和沉积古地理	(2)
四、变质作用和混合岩化作用	(7)
五、区域岩浆活动和花岗质岩石的成因演化系列	(11)
六、区域构造类型和演化	(16)
(一)深层次伸展性流变剪切	(16)
(二)热(穹隆)构造	(19)
(三)变质核杂岩和剥离断层	(20)
(四)逆掩推覆构造和重力滑覆构造	(24)
(五)处于不同变形域的剪切带和构造岩	(26)
七、云开变质地块及其边界断裂的形成与演化	(29)
八、成矿作用	(32)
第二部分 地质旅行路线观察内容	(34)
第一天 地层层序和区域构造轮廓	邹和平(34)
第二天 边界断裂带和晚元古代—早古生代(前加里东期 —加里东期)变形变质事件	彭少梅(36)
第三天 前加里东期变形变质岩石,加里东期紫苏花岗岩 和海西—印支期韧性剪切带	彭少梅(40)
第四天 罗定贵子弧形构造带	丘元禧(43)
第五天 罗定—广宁断裂带西段构造特征和推覆构造变形 变质岩石系列	张伯友(46)
第六天 逆掩推覆构造带和大降坪硫铁矿床	丘元禧(49)
第七天 韧脆性剪切带和河台蚀变糜棱岩型金矿床	周永章(52)
第八天 云开大山北东段地质构造特征和硅质沉积建造	丘元禧、周永章(55)
参考文献	(59)
附图版 I~IV	(63)

第一部分 区域地质特征及主要地质问题

一、大地构造位置

云开大山北起粤西封开、郁南、德庆一带，南至廉江一线，东以吴川—四会断裂为界，北西侧以岑溪—博白断裂与大容山脉、钦防海西褶皱断带毗邻。云开地块则主要系指岑溪—博白—罗定—广宁断裂带以东，吴川—四会断裂带以西，遂溪断裂带以北的变质地块，它和桂东南一大瑶山地块在晚古生代时期隔着一个钦防海槽（图2角图）。

二、区域地球物理场的基本特征

整个粤（西）桂（东南）后加里东隆起区，在磁场上表现为低缓的正、负弱磁场，强度小（一般在 $25\sim 250\text{nT}$ ），沿北东展布的正负磁场，西部为负磁场（ $-5\sim 25\text{nT}$ ）；莫霍面等深图上，罗定—广宁断裂带的北侧位于东西向佛岗—怀集向北倾的慢坡带，此慢坡带自梧州由东西向转成北东向，东南侧则为信宜慢坡，地壳最大厚度是 35km ，沿慢坡带两侧均为地壳增厚区。整个粤西隆起区在重力异常图上表现为重力低值区（一般为 $0.0\sim 0.30$ 单位），沿罗定—广宁断裂带北南两侧分布着两个次级凸起，北侧广宁—德庆凸起，呈低缓弱磁场（强度在 $-50\sim 50\text{nT}$ 之间），布格异常为负异常（强度在 $-10\sim -30$ 单位之间），南侧为云南凸起、亦为负异常（ $-10\sim -48$ 单位）。

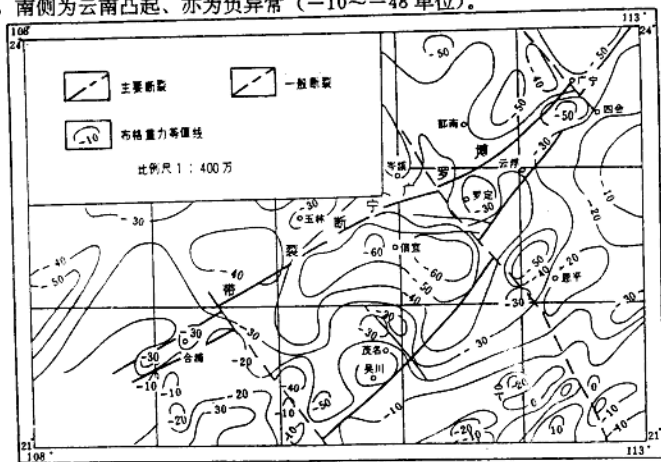


图3 粤西桂东南布格异常分布图(夏亮辉据南海地质调查指挥部资料修编,1992)

区域上几条边界断裂带在深部地球物理场上均有明显显示(图3)。在布格重力异常图上呈现为线性重力梯阶带,在磁场上则表现为两块性质不同的区域磁场分界线^①。

还应该提到的是在袁兆亿(1993)所编的广东及其邻区居里面等深线图上,沿封开—怀集及吴川—曲江出现两条平行的北北东向居里面等深线梯度、地热流比较高、温泉出现较多,恰与二条区域性边界断裂(北流—合浦、吴川—四会)相呼应,说明这两条断裂切割较深,深源磁性体的热量通过大断裂排泄^②。

三、区域地层层序和沉积古地理

(一) 前震旦系

云开大山的古老变质岩系,70年代广东区调队命名为云开群,时代定为震旦纪,被认为是广东最老的地层。但近20年的研究已确认云开大山存在前震旦系,周国强(1995)将其划分为高州群(Pt_{1-2})和云开群(Pt_3)。

(1) 高州群(?)被认为是云开大山最古老的地层单位,其下部为均质细粒混合岩,夹角闪岩、麻粒岩残留体、云母石英片岩及白云质大理岩;中部以混合岩化的石英云母片岩、云母石英片岩为主;上部由变质石英砂岩、粉砂岩夹灰黑色碳质粉砂质页岩、薄层硅质页岩组成。

下列同位素年龄值支持高州群是本区最古老的地层单位:高州长坡花岗片麻岩锆石 $U-Pb$ $t_1=2038\pm196Ma$ (符力奋,1996),银岩(信宜)眼球状片麻岩锆石 $U-Pb$ $t_1=1736-364Ma$ (简平,1991),信宜怀乡斜长角闪岩全岩 $Sm-Nd$ $t_2=2625Ma$ (庄文明等,1994)。

信宜怀乡的斜长角闪岩年代最老,已属太古代,庄文明认为本区存在太古代基底残迹,虽因其年龄数据是由产状不同的斜长角闪岩分析点拟合而成的等时线使其可信性受到怀疑(周汉文,1995);但符力奋等人对信宜几处偏中性花岗岩质岩石所做单颗锆石之年龄也达2300Ma,则可说明本区至少存在早元古代之结晶基底(符力奋,1995);孙大中(1994)认为高州群不是地层单位而是岩群(rock group),本书编者也认为老年龄可能只反映老变质基底残迹的年龄而不是整个高州岩群的年龄。为了进一步解决高州群的年龄和建群问题,广东地矿局已经立项进一步开展研究工作。

前述斜长角闪岩,经恢复原岩为基性火成岩,游振东等(1993)认为它源于过渡型地幔,没有受到陆壳物质的混染,形成于岛弧环境。整个高州群的形成环境可能属于弧间或弧后盆地。

(2) 云开群(Pt_3):由变质片岩类夹变质火山岩、变质铁磷矿层所组成,分4个岩组。
① 罗罉组:以云母石英片岩、石英岩为主夹阳起石、绿帘石岩、斜长角闪岩、变质基性火山岩及磁铁矿矽卡岩;
② 丰垌口组:为炭质浅变质碎屑岩夹多层炭质石英绢云母千枚岩;
③ 蓝坑组:以变质泥质粉砂岩、千枚岩为主,夹长石石英砂岩。多变质成石英云母片岩、云母石英片岩类,以夹含磷灰石片岩、条带状磁铁矿层,含铁石英及白云质大理

① 以上资料引自广东省地球物理大队“粤西地球物理场特征”研究报告(1992.6)。

② 引自何森祥“居里面与深部构造”一文(1994)

岩透镜体为特征；④沙湾坪组：原岩为一套砂泥质碎屑岩，变质成石英岩、云母石英片岩、石英云母片岩夹炭质云母片岩，薄层硅质岩及石英斜长角闪岩。

对于上述4个岩组的地层层序存在着不同的认识：一种是按岩层现产状建立地层层序即自①→④由老至新；另一种认为该区位于大型扇形背斜或向形构造的一翼，整个为一倒转层序，因而自①→④是由新至老。

在云开群中获下列微古植物化石30余处，计37属93种，70%以上由球藻群中的 *Lei Laiomin minuscula* 及 *Leioposphosphaera* 的一些种组成，以个体小、纹节简单的单细胞藻类为主，其产出地质时代以晚元古代青白口纪为主。

南颐在信宜分界罗碑剖面的云开群中亚群上部的片理化变英安斑岩中采样对锆石用 U—Pb 法测年获岩石的形成年龄^① $t_i = 911 \times \text{Ma}$ 。王鹤年(1993)在信宜中亚群变质的斜长角闪岩及辉绿岩中获 Sm—Nd 全岩等时线年龄为 $t_R = (803 \pm 56) \text{ Ma}$ ，李献华等(1993)在云开群中亚群基性变质岩中获 Sm—Nd 矿物全岩等时线年龄为 $t_{Rm} = 970 \text{ Ma}$ 。

因此，云开群应属蓟县纪至青白口纪。

云开群与拟议中之高州群两者接触关系尚未查明，在云开腹地两者呈断层接触，高州群向北逆冲于云开群之上。

根据云开群的原岩恢复及其中所含之磷铁矿，沉积古地理应属浅海陆棚沉积环境，所含变基性火山岩经冯国荣(1991)鉴定属于岛弧火山岩，而广东地矿局(1989)在中亚群确定200m 厚以上的双模式火山岩组合，反映出陆内裂谷之环境，说明两者兼而有之，大地构造环境可能介于近陆缘由陆缘裂谷至孤盆体系之过渡地带。

(二) 震旦系(Z)

震旦系为一套原岩为砂页岩夹含硅质岩，凝灰岩经变质成石英云母片岩、石英岩、夹炭质千枚岩并含黄铁矿层，云浮大降坪硫铁矿即赋存于其中。该岩系厚约2000m，底部常以石英岩、含砾石英砂岩平行不整合于沙湾坪组之上。

该套地层因变质又未获化石，与云开群成平行不整合，众说纷云，从主张属前寒武系，前泥盆系、至泥盆系者都有，最近问题才获解决。袁正新(1988)在云浮崩坑及罗定围底圩附近采得微古植物化石组合，经钟围芳鉴定为微面型球形藻和同球藻、单细胞藻类，它们常见于长江三峡震旦系中，故将其时代定为震旦纪。张志兰、袁海华(1992)在广宁古水震旦系中采样获三组同位素年龄数据，采自下震旦统一组，对碎屑锆石作分层蒸镏²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 法测定，获平均年龄 $995 \pm (8 \sim 9) \text{ Ma}$ ，代表其沉积年龄下限；一组采自中段上部的硅质岩和硅质板岩获 Pb—Pb 全岩等时线年龄 $612 \pm 3 \text{ Ma}$ ；另一组采自八村群底部硅质炭质板岩及炭质板岩中，获 Pb—Pb 等时线年龄 $555 \sim 556 \text{ Ma}$ 。后者代表震旦系顶部寒武系底部年龄，其他二组年龄则代表震旦系年龄。

青白口纪晚期伴随晚晋宁运动，本区曾隆起成为剥蚀区，经过长期夷平准平原化作用才有震旦纪初期的含砾石英砂岩的沉积，从当时的沉积（长石英砂岩、砾岩、铁质砂岩等）来看，属浅水环境，从与其连续沉积的寒武系厚度（比周围薄）来看，云开地区当时是一个隆起区不是一凹陷（丘元禧，1993）。根据对震旦系顶部硅质岩建造的研究，

① 南颐，1991，信宜及阳春两县北部变质岩系的时代及其划分，广东省地质科学研究所研究报告。

震旦纪末期存在一个广泛的海洋热水沉积事件(周永章等, 1995)。

(三) 下古生界

寒武系在粤西称八村群, 为一套浅海类复理石泥砂质碎屑岩建造, 总厚约 1600m, 底部含炭质板岩, 分布广泛, 并以富含黄铁矿及磷质、砂质结核为特征。在震旦系分界处的震旦系顶部通常有一层厚层硅质岩, 地层中古生物化石稀少, 仅获微古植物化石 *Leiotrilites*; 邻区封开、怀集采得腕足类化石 *Lingulella lini*, *Obolus shan giensis*, *Acrotheleoff*, *Shan stensts*, *Protospongia* sp 等, 桂东南之寒武系出现少量硅质岩和碳酸盐岩, 含有海锦骨针、漂浮三叶虫(球节子)虫和薄壳腕足类。说明距物源较远, 海盆相对较深, 可能处于水下隆起北西侧斜坡上。

奥陶系为灰白色细粒石英砂岩、灰绿色砂质、页岩间夹灰黑色页岩及灰岩, 含三叶虫腕足类和珊瑚化石 (*Iliaenus* sp, *Othis*. sp, *Nicelella* sp, *Refine sequires* sp 等), 全厚 3000~4000m, 底部常含砾岩, 砾石多为混合花岗岩和石英脉, 砾径向云开古陆明显变粗(罗定新桥一带砾径可达 8cm)。莫柱孙(1980)描述过在博白黄陵附近, 中下奥陶流下部有一套厚达 4000m 的花岗质碎屑岩, 其中长石含量达 30%~50%。在郁南一带下奥陶统的层间砾岩中, 花岗岩的砾石占 10%, 脉石英占 70%, 是寒武纪末期奥陶纪初期郁南运动的证据。

志留系在区内见于高要、郁南、云浮、罗定、博白、玉林、北流及岑溪等地。1931 年张席提首次于郁南连滩发现了早志留世笔石, 随后孙云铸、穆恩之等逐步完善了连滩组的笔石分带工作, 1964 年南颐在云浮岭下创建了岭下群, 代表粤西地区的中上志留统。

志留系主要分布于云开古陆之南北两侧, 形成两个凹陷, 其总厚度可达 4000~5000m, 往西为钦防海槽所连接。云开隆起本部因后期剥蚀全部缺失, 只分布在边界断裂带中北流蟠龙、陆川, 以及博白凤山圩及郁南连滩一带, 所见者多为滨浅海至陆坡峡谷沉积, 由此往钦防海槽则过渡为半深海和深海浊流沉积, 盆地中心在灵山县升平一带, 至钦州又为斜坡沉积, 表明钦防海槽为北东东向展布。

(四) 上古生界

主要分布于罗定、云浮、阳春及邻区玉林, 北流一带。西南部廉江、合浦一带也有出露。

泥盆系主要发育中上统, 下部属河流相及滨海相, 罗定弧形褶皱带中发现有石英含量达 90% 以上之石英砂岩, 构成有经济价值之玻璃原料, 表明在后加里东期云开古陆曾经长期的准平原化过程; 中上部为碳酸盐及硅锰质沉积并夹含黄铁矿, 反映海浸还原环境, 顶部则为泥砂质海退沉积。

泥盆系与前泥盆系在云开古陆及其邻区普遍呈角度不整合, 唯钦防海槽中泥盆系与志留系呈连续沉积。在云浮志留系岭下群的上层位含竹节石 *Nowakia acwaria*, 属下泥盆统布拉格阶, 因而云浮岭下一带与泥盆系呈连续沉积, 一些学者认为钦防海槽也东延至罗定云浮一带(丘元禧等, 1993), 甚至东北延至广宁一带(张伯友, 1994)。然而周国强近日(1995)则指出云浮岭下泥盆系老虎头组(D₁)与岭下组(D₂)之间存有一风化石, 两者为角度不整合, 认为钦防海槽并未东延至罗定一带。该问题涉及晚古生代古特提斯洋是否东延的国内重大争论课题。从钦防海槽及江西弋阳一带都已发现晚古生代

(主要是石炭二叠纪)之深海放射虫硅质岩沉积,而钦防海槽及罗定—广宁断裂带均存在海西—印支期大型逆掩推覆构造,很有可能后期逆掩推覆使原先之洋盆海槽被掩覆,而使两侧具有造山带角度不整合之地层记录出现于昔日海槽之位置中。显然,这一问题的彻底解决还有待于在大区域上的进一步研究。

石炭系与泥盆系呈连续沉积,除下统上部夹含海陆交互相之煤系地层外,全为海相碳酸盐沉积,厚度可及 4000m,生物化石丰富,下统以珊瑚腕足类及植物化石为主,中下统则以纺锤虫化石为主,反映海浸不断扩大,云开古陆已全部沦为海区。

二叠系在云开古陆早二叠世时已有些泥砂质和砂砾质沉积。因钦防海槽上二叠统底部有一套厚数千米之砂砾岩,晚早二叠世云开大山为一隆起,晚二叠世成为提供砂砾的蚀源区。

总观整个晚古生代,云开古陆岛在早泥盆世和晚二叠世都曾存在过,其他时间则伴随古特提斯海浸而成为北特提斯海域之一部分。

(五) 中生界

本区自晚二叠世早期钦廉运动(莫柱孙,1989)后,已完全处于陆地状态,只在吴川—四会断裂带中的小云雾山一带以及在罗定—广宁断裂带西端的加益断陷盆地中有上三叠统一下侏罗统之陆相山间盆地沉积。中晚侏罗世粤西桂东南有残存之中酸性火山碎屑岩,根据罗定盆地及岑溪筋竹北红色盆地中之大量火山碎屑沉积岩中含有大量的火山岩砾石(直径大者可愈 2m)判断,晚侏罗世至早白垩世本区曾有大量火山喷溢物。晚白垩世时,在华南大陆隆升的背景上,受断陷控制,云开大山的周边及内部有红色盆地沉积,其中最大者为罗定盆地和茂名盆地,其中以湖泊沉积为主。

(六) 新生界

云开古陆及其近邻只有零星的第三系沉积,主要为下第三系,其中深湖相油页岩为人造石油之天然资源。

第四系主要沿西江及其分水岭分布,为冲洪积和残坡积,发育数级阶地,石灰岩区洞穴和地下暗河发育,常成为旅游景点。

表 1 云开大山地区地层层序简表

新生界	<u>第四系</u>: 冲洪积、残坡积、泥炭沉积, 属分水岭及河床河漫滩沉积。 ~~~~~喜马拉雅运动~~~~~ <u>第三系</u>: 砂砾岩、页岩、油页岩、属内陆湖泊沉积。 ~~~~~晚燕山运动, 角度不整合~~~~~
中生界	<u>白垩系</u>: 陆相砂泥岩, 碎屑岩建造, 属内陆湖泊沉积。 ~~~~~早燕山运动, 角度不整合~~~~~ <u>侏罗系</u>: 陆相砂砾岩, 中酸性火山岩, 属山间盆地沉积。 <u>上三叠统</u>: 陆相砂页岩, 含煤建造, 属山间盆地沉积。 <u>下中三叠统</u>: 在云开地块上大部分缺失。 ~~~~~印支运动, 角度不整合~~~~~
古生界	<u>二叠系</u>: 在云开地块上大部分缺失, 其东西两侧有海相二叠系沉积。 <u>石炭系</u>: 以碳酸盐岩为主, 含珊瑚、腕足类及蜓科化石, 下统可含海陆交互相煤系地层。 <u>泥盆系</u>: 底部含砾砂岩, 层间砾岩, 石英砂岩, 中上部为碳酸盐及硅锰沉积, 顶部为砂质沉积。 ~~~~~广西运动, 角度不整合~~~~~ <u>志留系</u>: 砂页岩, 邻区有浊流沉积, 含笔石, 属浅海至半深海、深海沉积。 <u>奥陶系</u>: 底部砾岩及含砾长石砂岩, 向上变为灰绿色、灰白色石英砂岩, 砂质页岩夹含灰岩。 ~~~~~一郁南运动, 不整合~~~~~
元古界	<u>寒武系</u>: 属滨浅海沉积, 底部为碳质板岩, 富含黄铁矿、磷块结核, 向上变为泥砂质碎屑岩类复理石建造, 属浅海陆棚沉积, 较深水还原环境, 海浸沉积。 <u>震旦系</u>: 底部为含砾砂岩, 向上变为石英岩, 石英云母片岩夹碳质千枚岩, 硅质岩(顶部), 凝灰质砂岩及黄铁矿层, 属浅海陆棚沉积及海底喷气沉积变质成矿作用产物。 ~~~~~晋宁运动, 平行不整合~~~~~ <u>云开群</u>: 云母石英片岩, 石英岩、变质火山岩(岛弧型及陆内裂谷型兼而有之)及变质铁矿层和阳起石, 绿帘石岩, 斜长角闪岩夹层, 属浅海陆棚及弧后扩张盆地沉积。 ~~~~~?~~~~~ <u>高州群(?)</u>: 混合岩化云母石英片岩、麻粒岩、混合岩、混合片麻岩夹斜长角闪岩, 原岩为泥砂质沉积夹火山岩, 为岛弧或弧盆沉积。

四 变质作用和混合岩化作用

曾到云开变质地块开展研究工作的主要有莫柱孙(1960),蔡木潮、符力奋、李强(1980~1985),杨树峰、王德滋(1980~1985)、董申保、陈斌(1988~1992),游振东、钟增球、周汉文(1991~1993)等,本文将引述他们的研究成果和主要论点。只是需要说明的是由于对变质期次年龄认识的不同,同一变质作用在他们那里归属于不同时期,在介绍他们的论点时已经按照本书所采用的年代学划分方案作了相应改动。

(一) 前晋宁期

广东高州龙修紫苏花岗岩中之麻粒岩包体,获得 950Ma 之年龄数据(周汉文, 1994),但该数据应是紫苏花岗岩 434~450Ma(陈斌, 1994)和一大于 950Ma 年龄的混合年龄,故麻粒岩的成岩年龄应大于 950Ma,暗示麻粒岩很可能发生在前晋宁期,构成前晋宁期变质基底的一部分(彭少梅, 1993);而高州群中的斜长角闪岩类多次得到 1700~3200Ma 的年龄数据(庄文明等, 1993),故高州群极可能成为本区深层次的古老变质基底。游振东,周汉文(1994)正确地划分出深层次和浅层次的变质基底,也将信宜一高州杂岩作为深层次的变质基底,但时代却定为晋宁期,同时又将浅层次基底也归于晚元古代,这在时代上是有矛盾的。

深层次变质基底的变质主要是低压麻粒岩相变质作用和低压角闪岩相变质,在上述区域变质的基础上又演化成区域混合岩化作用,分述如下:

(1) 低压麻粒岩相变质作用:广东高州龙修区可看到较为连续的低压麻粒岩相岩石露头,岩石组合以片麻岩为主,夹有薄层石英岩、大理岩和矽线石堇青云母片岩、堇青石石英岩。紫苏花岗岩中有大量麻粒岩包体。详细的岩相学研究发现麻粒岩中普遍出现堇青石和紫苏辉石,而且存在多世代的矿物组合,这种多世代矿物组合的演化有清楚的变质反应证据。岩石中缺乏白云母、绿泥石、矽线石而出现堇青石、钾长石、紫苏辉石、铁铝榴石,岩石中普遍出现 $\text{Hy} + \text{Alm} + \text{Cord} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Bt} + \text{Q}$ 的共生组合,代表峰期变质产物,在堇青石中有细粒尖晶石暗示变质反应 $\text{Alm} \rightarrow \text{Cord} + \text{Sp} + \text{Fa}$ 的发生(周汉文, 1994),岩石中出现 $\text{Sill} + \text{Cord}$ 的共生组合是泥质、半泥质岩区典型低压麻粒岩相变质作用的产物(Tunner, 1981),紫苏辉石中 $\text{Al}^{\text{IV}} > \text{Al}^{\text{VI}}$ 说明是高温低压变质成因的,其他矿物化学成分的特点也指示麻粒岩相的变质成因。峰期变质条件 $P = 0.4 \sim 0.6 \text{ GPa}$, $T = 700 \sim 800^\circ\text{C}$ 退变质条件 $T = 650 \sim 710^\circ\text{C}$, $P = 0.4 \text{ GPa}$, 地热梯度可达 $5.4^\circ\text{C}/\text{km}$ (周汉文, 1994)^①。

(2) 低压角闪岩相变质作用:混合片麻岩的原岩为泥质岩,石英砂岩和杂砂岩,斜长角闪岩的原岩则为基性火山岩,变质岩组合为片岩、片麻岩、变粒岩、在泥质岩石中矽线石普遍存在且与白云母共生,局部出现红柱石。基性变质岩中出现 $\text{Hb} + \text{Pl}$ 典型角闪岩相变质组合,与低压麻粒岩相呈渐变过渡(周汉文, 1994)。

(3) 区域混合岩化作用:在广东高州信宜高州群分布的区域内,从新桐向云炉方向依次可见局部混合岩化带、条带状混合岩带、眼球状混合岩带及片麻状混合岩带呈北西走向

^① 周汉文, 1995, 云开隆起基底岩系的岩石学和地球化学研究(博士论文详细摘要)。

(图4)。陈斌因获得 Rb—Sr 全岩等时线年龄 $482 \pm 10\text{Ma}$ ，将其划入早加里东期，我们近日在高州水库南岸采场混合片麻状花岗岩中采得结晶锆石用 U—Pb 法测年获 $433 \pm 10\text{Ma}$ 年龄值，表明为晚加里东期。但从该区已获得的多个同位素年龄值又是前晋宁期的，故可能是古老变质基底残迹的年龄，它被包含在早加里东期的区域混合岩之中。因此，高州群可能是一个岩群而不是地层单位。

在新桐一带出露的是混合岩化带，外貌仍属区域变质岩，由于受长英质的交代作用而呈现轻微的混合岩化现象，向北西行出现条带状混合岩，基体的脉体相间出现，基体矿物成分主要由 $\text{Bi}(60\%) + \text{Pl}(20\%) + \text{Cd}(5\%) + \text{Gt}(5\%) + \text{Q}(5\% \pm \text{Sil})$ 组成，其中斜长石呈残晶，蚀变强烈， $\text{An} = 30 \sim 35$ ；堇青石变斑晶，与石榴子石平衡共生，包裹针状矽线石和细小残迹状黑云母；脉体呈长条带状，主要由 $\text{Pl}(40\%) + \text{Q}(40\%) + \text{Kf}(15\%) \pm \text{Bi} \pm \text{Gt}$ 组成， $\text{An} = 28 \sim 32$ ，局部或全部呈港湾状外形，核部常有 An 较高之长石残骸，说明岩石经历了熔(溶)蚀过程(陈斌，1994)；

眼球条带状混合岩则见由钾长石、斜长石或长英质矿物集合而成的眼球体；片麻状混合岩则片麻理极发育而且形成强烈而复杂之揉皱。陈斌(1994)认为从新桐向云炉方向，混合岩的分布是由于深熔作用程度不同造成的，随着深熔作用的发展和熔体量的增加，熔体与残留体的作用增强，混合岩由不均匀向均匀化发展。

(二) 晋宁期

以云开群为主体，发育以绿片岩相—绿帘角闪岩相岩石组合的变质作用，并在此基础上发展了区域混合岩化作用，构成了云开地区的浅层次变质基底。今将其分述于后：

(1) 据游振东、周汉文(1994)的研究，云开群的绿片岩相—绿帘角闪岩相变质作用具有如下特点：

① 变质程度低，长英质岩中普遍出现 $\text{Ma} + \text{Bt} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Qt} \pm \text{Cil} \pm \text{Grt}$ 的矿物共生组合，基性岩中则以 $\text{Art} + \text{Ab} + \text{Ep}$ 为特点，出现普通角闪石，变余碎屑结构清晰；

② 变质峰期矿物组合明显受到两次强变形间期生长，某些特征变质矿物如十字石、红柱石、石榴子石的生长明显持续到第二期变形之后，说明第二期变形之后还有充足的热供应；

③ 在区域绿片岩—绿帘角闪岩相变质之后，局部叠加有加里东期或燕山期接触变质作用。

矿物温度计表明云开群区域变质温度在 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ，用泥质岩进行 X—射线衍射分析，计算白云母的 b_0 值多数在 $9.000 \sim 9.036$ 之间，属中压型。

(2) 在区域变质的基础上发生了晋宁期的区域混合岩化作用，混合岩的同位素年龄(表2)证明晋宁期区域混合岩化作用的存在。

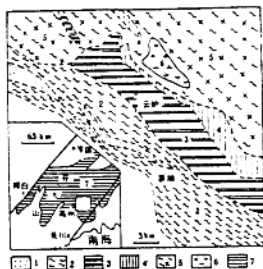


图4 广东高州新桐—云炉区域混合岩分布图(陈斌, 1994)

1 石榴黑云变粒岩；2 部分混合岩化变粒岩；3 条带状混合岩；4 眼球条带状混合岩；5 片麻状混合岩；6 紫苏花岗岩；7 云开大山加里东造山带

表2 云开变质地块晋宁期混合岩同位素年龄数据

采样地点和岩石名称	测试方法及年龄	资料来源
广西博白英桥 眼球状混合岩	锆石 $t_1 = 834 \pm 28$ 代表英桥混合岩的形成年龄	简平, 1988
广东德庆播植 混合斜长花岗岩	锆石 $t_1 = 1003 \pm 108$ 代表锆石原岩年龄	叶伯丹, 1989
广东信宜白石 二长花岗质片麻岩	锆石 Pb—Pb $t_m = 1137 \pm 34$	符力奋, 1995

晋宁期区域混合岩化作用研究得较为详实的要数广东信宜白石的晋宁期混合片麻岩。符力奋(1995)的研究表明该地的英云闪长质—花岗闪长质—二长花岗质片麻岩岩石组合构成一个大型环状构造。该岩石组合无论是从岩石的结构、构造、矿物成分还是岩石的常量或稀有元素, 都有由外向内逐渐向岩浆化方向演化的特点, 即形成一从原地、准原地到异地的深熔花岗岩系列, 空间上表现为由内向外套叠式的岩性组合, 时间上有一系列同位素年龄数据控制。8个单颗粒结晶锆石年龄从外往里, 由 $1231\text{Ma} \rightarrow 811\text{Ma}$ 表明由外而里其形成年龄由老而新, 白石混合岩、花岗岩组合表明晋宁期区域混合岩化作用进一步发展成晋宁期的花岗岩浆活动。

(三) 加里东期

莫柱孙早在 60 年代就开始研究本区的区域变质作用和区域混合岩化作用, 提出了由混合岩、混合花岗岩和区域变质岩组成三位一体的混合杂岩的概念。各种混合岩化程度不同的岩石, 并不是有规律地从浅到深的渐变过渡, 而更常见到的是高级的混合岩和低级的混合岩甚至是区域变质岩呈突变接触, 并在此基础上后来提出了断裂混合岩化作用的概念。1980 年全国 1:400 万变质岩编图时在综合粤西 1:20 万区域地质调查图幅资料的基础上, 将本区划归武夷—云开加里东变质带, 把云开群和鹰扬关群都划归加里东变质岩系, 主要岩石类型为黑云母变粒岩、黑云母斜长片麻岩、云母石英片岩、绢云母石英片岩、绿帘石绢云母片岩、斜长角闪岩、硅质透辉岩、透辉石大理岩、石英岩, 变质轻微时则为千枚岩、变质砂岩和绿片岩。1988 年广东区域地质志将本区早古生代区域变质岩和混合岩化带划为云开—广博—兴梅低压—低中压型变质带, 云开大山的核心部分及其向西南延伸的高州、化州、阳江等地分布着由震旦系、寒武系和部分奥陶系、志留系经加里东期变质作用形成的低压—低中压型绿片岩相—角闪岩相的千枚岩、片岩、斜长角闪岩、片麻岩和各种混合岩。这一变质带的基本特征是:

(1) 不同地段变质矿物带的分布方向与褶皱构造线的方向基本一致, 多数以混合岩为核心开始, 依次由较高级变质逐渐变为低级变质(由中心向边缘依次为紫苏辉石带、矽线石带—钾长石带—石榴子石带—堇青石带—黑云母带和绢云母—白云母带), 变质矿物带的展布随构造的转折而转折;

(2) 云开大山具有热穹隆的地区, 在其核部已普遍发生区域性混合岩化, 向边缘地带热流的影响逐渐缩小, 变质岩和混合岩由大面积连续分布转为局部出露, 温度呈逐渐减低

趋势,呈现一个以云开大山核部为热中心的热穹隆构造格局,其形态与云开大山慢凹区相对应;

(3)整个变质作用具有面型分布的特点,属绿片岩相—角闪岩相—麻粒岩相中低压变质相系,属区域动热变质作用;

对比近年的研究成果,不难看出:

(1)上述加里东变质带实际上包含了晋宁期和前晋宁期的区域变质作用和区域混合岩化作用,近年的研究已经把这一部分从加里东变质带中筛分出来;表明该变质带实际是多期复合变质带;

(2)据游振东等(1994)的研究,认为所谓的递增变质带实际上并不存在,而是由多期变质带复合而成的;

(3)经过近年几个1:5万区域地质图幅的调查,证明60年代至70年代间划分出来的原地型混合花岗岩有许多是侵入就位的半原地型乃至异地岩浆型花岗岩,区域混合岩化作用仍然存在,如阳春三甲等地(图版IV—23),但分布面积已大为缩小。

结合粤西金矿床的研究,周永章研究了诗洞—伍和一石洞—河台混合岩田变质岩的岩石学和地球化学特征(Zhou, 1995)。他的工作支持了在云开地区存在加里东期区域混合岩化的观点。

至于桂东南,据广西壮族自治区区域地质志记载,早古生代区域变质岩主要沿博白—岑溪断裂带西侧呈带状分布,受变质地层主要有奥陶系和志留系,以各类板岩、千枚岩、变粒岩为主。整个变质带具有如下特征:

(1)变质带的分布方向与构造线方向基本一致,但与地层走向斜交,变质带随构造转折而转折,反映出构造变动与供热作用在时空上的密切关系;

(2)变质带中段大致相当于中压环境,其中绢云母—白云母带、黑云母带属绿片岩相,十字石—蓝晶石带和矽线石带属角闪岩相,南北两段则相当于低压环境。对同一地层层位而言,南北段的变质温度要比中段高,反映了地热梯度的高低与岩石原始埋藏深度的关系不大,与构造部位的关系却十分密切;

(3)变质带的分布受博白—岑溪断裂带的控制,构成一个明显的热边界,一些中高级变质带及与变质带方向一致的混合岩都分布在该断裂带的东西侧。

上述变质特征使笔者怀疑桂东南的变质带是否为区域变质的产物还是如莫柱孙所说的是断裂变质作用的产物。断裂变质作用不仅可形成片岩系,还可形成断裂混合岩,它不仅存在于加里东期,而且可能早至前加里东期。前者如阳春永宁罗山经之混合片麻岩,后者如信宜风云坡之混合片麻岩(符力奋, 1995)。不过,有关断裂变质作用的概念和断裂变质带的提法,国内一些变质学者仍持保留态度。另一部分学者则认为深处岩浆沿断裂带的侵入所引起的接触变质作用。

(四)海西—印支期

在粤西、桂东南地区由于钦防海槽在海西—印支期的关闭,使区域地层和岩石沿岑溪—博白和罗定—广宁断裂带及其邻侧发生变质作用。莫柱孙(1964)提出了断裂变质作用的概念,系指受断裂带控制并由断裂作用形成的变质作用和混合化作用,作为其典型实例的罗定—广宁断裂变质带,杨树峰(1984)、王德滋(1985)、王鹤年(1991)、丘元禧(1992)、

俞鸿年、张伯友等(1992)都曾做过研究。断裂变质带尚见吴川—四会断裂带和岑溪—博白断裂带。现以岑溪—博白断裂和罗定—广宁断裂带为例,说明其区域性展布特征。如前节所述,在岑溪—博白断裂带中从黄陵到蟠龙有一条由二云母片岩带、石榴子石片岩带、十字石片岩带和蓝晶石片岩带组成的渐进变质带,总体呈北东向展布、变质带斜切地层走向,变质程度与地层层序无关。北流蟠龙灵山片岩中采白云母获 K—Ar 年龄为 187Ma,考虑到 Ar 丢失,年龄值可能偏小,可能为海西—印支期产物,因而桂东南的变质带很可能在加里东期变质的基础上又叠加了海西—印支期的断裂变质带。该断裂带热变质带向北东方向延伸进入粤西罗定加益—泗纶一带。杨树峰沿那蓬岩体南侧划出铁铝榴石—十字石带和矽线石两个变质矿物岩石带,切割并叠置在加里东期的区域变质带上(图 5);再向东进入肇庆河台地区沿风村—河台—五村—广宁—一线断续分布并严格受断裂带控制(参阅图 2),其变质程度随距断裂带中心的距离的缩小而增强。绿片岩相经角闪岩相至混合岩、混合花岗岩和深熔花岗岩(如那蓬岩体、云楼岗岩体、五和岩体和广宁岩体),同时,沿断裂带后期还叠加了初脆性糜棱岩带、糜棱岩化带和碎裂岩带。

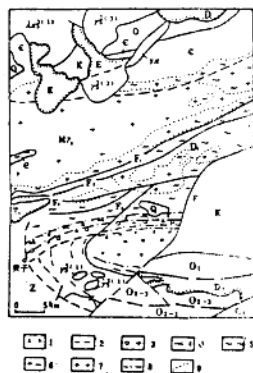


图 5 罗定地区变质岩、混合岩分带图(杨树峰, 1982)

沿吴川—四会断裂带则在大王山—圭岗岩体上叠加了糜棱岩带和糜棱岩化带;在云开变质地块内部也叠加了海西—印支期的糜棱岩带和糜棱岩化带,它们沿地块内部断裂带分布。

(五) 中新世的接触变质和碎裂变质作用

本区的接触变质在前寒武纪和早古生代在岩体边部即有发生,但以中生代燕山期花岗岩的接触变质最为突出,形成各种角岩、矽卡岩和大理岩。碎裂变质则广泛发育于燕山期以来的断裂带中。

五、区域岩浆活动和花岗质岩石的成因演化系列

云开大山及其邻区的岩浆岩依据其化学组成可分为基性、超基性岩类和花岗岩类两大类。前者如代表前晋宁期变质基底残迹之斜长角闪岩、含黑云母透辉角闪岩以及晋宁期云开群中之变玄武岩,震旦系属杨关群中之细碧角斑岩以及二叠纪之岛弧玄武岩(张伯友已有 Ar—Ar 年龄 261Ma 之年龄证据),它们多半形成于海盆扩张之环境。另外,沿吴川—四会断裂带及信宜—廉江断裂带尚有印支期超基性小侵入体(斜长角闪岩和角闪石岩等)则是上地幔物质沿较深的断裂带侵位之产物。对于云开大山来说,花岗质岩石构成主

体。对本区岩浆岩开展过研究工作有莫柱孙、杨超群、陆人雄、刘公民、符力奋、林庆华、王联魁、周汉文、陈斌及张伯友等。本节将着重阐述各期花岗岩浆活动及花岗质岩石的成因演化系列，现按各主要构造将其阐述如下：

(一) 前加里东期花岗岩类

尽管在高州群深变质基底中发育有片麻状深熔花岗岩，可能属于前晋宁期的花岗岩类，但尚无确切的同位素年龄数值，花岗岩的阐述暂时从晋宁期开始。有确切同位素年龄依据的晋宁期花岗岩为云开大山腹地的信宜白石一带的英云闪长质(含斜长花岗岩质)一花岗闪长质一二花岗岩质片麻岩组合(图6)。符力奋等(1995)对其做了较为详细的岩石学、岩石化学和同位素年代学研究。特别是后者，共获得单颗粒锆石年龄8个，比较准确地反映出这一岩浆组合如何由原地、半原地到异地高位侵入的演化过程。其中1231Ma的结晶锆石年龄，采自岩石组合边缘

部分的内侧，其中含有较多的围岩捕虏体，表明原岩已经深熔并发生了侵位，该年龄应代表开始侵位的时间；而采自岩性组合中心部位的结晶锆石年龄811Ma则应代表该锆石的大斑状黑云母二长花岗质片麻岩发生侵位后的冷凝时代。众多的围岩捕虏体以及主体与捕虏体之间的穿插关系表明该岩石的原岩是岩浆化程度相学高的岩浆侵入体。至于500Ma的结晶锆石则可能是加里东或其他以后构造热事件叠加改造的结果，代表晚期变形、变质时间(符力奋，1995)。因此，白石花岗岩建造主体形成于晋宁期，早期为英云闪长质一花岗闪长质的侵入，以洪冠岩体为代表，晚期为二长花岗质的侵入，以中心岩体为代表、岩体内部各种结构、构造复杂，各种交代结构也极为发育，具有多世代矿物组合。研究表明具有壳源花岗岩的微量元素特征，其含量介于原地型壳源型花岗岩与侵入型花岗岩之间，Ta含量偏高是一大特征，也是壳源的重要标志。Be的含量则远低于活动带内花岗岩的含量而接近古地盾与地台中花岗岩中Be的含量。稀土元素总量不高，接近南岭花岗岩稀土的平均值(299×10^{-6})，高峰元素为Ce，次高峰为La， δEu 值均接近壳源重熔型花岗岩类的对应值，其球粒陨石标准化分布曲线虽然都向右倾斜，但从黑云斜长花岗岩向黑云母花岗闪长质片麻岩、黑云母二长花岗片麻岩方向，其曲线右倾逐渐趋于平缓，V谷越趋明显，即负斜异常越明显，已进入典型壳源重熔型花岗岩 δEu 范畴。据此可以认为是变质重熔的产物，在La/Yb- $\sum REE$ 图解上投影绝大部分投影点投进沉积岩与玄武岩以及花岗岩的重叠区，表明原岩为一含基性火山岩夹层的沉积岩经深熔作用而形成的花岗质岩石(符力奋，1995)。

最早对该岩体进行研究的莫柱孙(1980)则称之为原地型到半原地型的混合花岗岩；80年代广东省区域地质志在总结1:20万区调资料基础上也将其定为眼球状混合岩与



图6 信宜白石岩性组合及片麻理展布略图
(符力奋, 1995)

1 英云闪长质(斜长花岗岩质)片麻岩; 2 小斑状二长花岗质一花岗闪长质片麻岩; 3 大斑状二长花岗质片麻岩; 4 变质地层; 5 叶理; 6 地层产状; 7 暗色包体; 8 韧性剪切带

混合花岗岩(1988)。王联魁(1991)则将高州—马贵一带的片麻状岩石归入混合岩建造,而把大田顶等地的片麻状花岗岩划归深熔花岗岩。符力奋(1995)在建立本岩石组合时则将其外环划归混合花岗岩,而将内环才确定为岩浆型深熔花岗岩(图版IV—25)。信宜白石花岗岩质岩石组合是迄今为止研究得最为详细的具有由原地型、半原地型到异地侵入的花岗质岩石演化系列。

(二)加里东期花岗岩类

加里东期花岗岩云开大山中最为发育的一期花岗岩,主要分布于云开大山的腹地复式背斜的轴部,岩体展布方向、片麻状构造与区域构造线一致,与围岩呈侵入突变接触,接触变质及岩相分带明显。代表性岩体有大田顶、合水—思贺、大王山、圭岗、石牛头、风村、诗洞等岩体。确定时代的主要依据是这些侵入到早古生代地层并为泥盆系炭系所不整合覆盖。但保存完好者甚少,故主要依据同位素年龄数据(表3)来确定其地质时代。

表3 云开地区加里东期花岗岩质岩体同位素年龄数据表

岩体名称	测年方法及年龄数据(Ma)	资料来源
1. 大王山	全岩等时线 439.14 铀石 U—Pb 法 377	广东省地研所 广东省地研所
2. 圭 岗	铀石 U—Pb 法 487	广东省地研所
3. 诗 洞	Rb—Sr 法 439.10	伍广宇
4. 广 宁	全岩 K—Ar 法 440.±5	伍广宇
5. 黄莲山	>441	伍广宇
6. 风 村	Rb—Sr 法 445.43	伍广宇
7. 石牛头	U—Pb 法 389	伍广宇
石洞一五和	Rb—Sr 法 427.93,	王联魁
合水、思贺、龙修	490±82, 535~445	转引自符力奋、陈斌

* 1~7 转引自王鹤年“粤西金矿床地球化学”,其中来自伍广宇(1986)的资料已由王鹤年重新计算

叶伯丹(1989)在整理云开大山的岩体同位素数据过程中结合区域构造运动,变质事件,将云开大山早古生代划分出早晚二个变质构造岩浆热事件,分别为 $510 \pm 15\text{Ma}$ 和 $445 \pm 20\text{Ma}$ 。前者相当于郁南运动,后者相当于广西运动。莫柱孙(1980)在研究云开大山加里东期花岗岩质岩石时认为早加里东期是原地半原地混合岩花岗岩,发生于寒武纪末,晚加里东期是高位的岩浆型花岗岩。王联魁(1991)则将一部分划入混合花岗岩(如石洞五和高州,马贵 552Ma , 信宜银岩 $425 \pm 26\text{Ma}$),而将另一部分划为深熔花岗岩(如大田顶杨梅 Rb—Sr $512 \pm \text{Ma}$, 北界—黎村 409Ma , 新滩 U—Pb $383 \sim 490\text{Ma}$)。①佛山区队(1980)则认为早古生代区域变质一般只达到绿片岩相,与花岗岩成突变接触,认为围岩中的角闪岩相是由于岩浆型花岗岩侵入其中时接触变质而成,对区域混合岩化作用基本持否定态度。

① 王联魁等 1993, 粤西地区花岗岩、混合岩的特征及其与金矿的关系(研究报告)