

江南—雪峰地区的层滑作用及 多期复合构造

江南—雪峰科研专题组 编

地质出版社

江南—雪峰地区的层滑作用及 多期复合构造

张渝昌 秦德余 汤福生 等编
丘元禧 孙 岩

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书收集了有关“江南古陆”和“雪峰古陆”的地质论文 8 篇。着重阐述了其层滑作用及多期复合构造,并且应用了多种新的技术和方法,揭示了扬子地区古生代盆地的含油气远景。该书对于我国南方碳酸盐岩地区的油气勘探具有指导意义。

本书可供从事油气普查勘探的地质工作者、高等院校地质系和能源系的师生参考。

江南—雪峰地区的层滑作用及 多期复合构造 江南—雪峰科研专题组 编

责任编辑:韩效亭

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 15.75 插页: 3 页 字数: 374000

1993 年 3 月北京第一版·1993 年 3 月北京第一次印刷

印数: 1—650 册 定价: 10.65 元

ISBN 7-116-01157-9/P·977

前 言

“江南古陆”和“雪峰古陆”的地质是地学界长期瞩目的一个悬案。自从许多学者据沉积学研究提出早古生代时这里并不存在古陆，而越来越倾向于是一个古大陆边缘（王鸿祯等，1986）以来，地质上的争议转向“雪峰飞来乎？”。其中，许靖华（1989）就提出运用壳叠楔（crustal-stacking wedge）这个概念来解释这里大片出露的古老岩系的成因和地质构造。

然而，江南—雪峰山带的地质特征似乎并不象世界上许多著名的山带那样，如阿尔卑斯山和阿巴拉契亚山，冲断叠瓦是陆缘碰撞造山的标志。研究表明，江南—雪峰山带是陆内多期次、多机制变形和叠加的产物，它可能是非均一性的陆壳下面受热体制变化控制的底流在表层块体或层体之间运动的反映。因此，它或许开辟了大陆板块构造变形机理研究的一个新途径。这些理论也将有助于提高对资源勘探和经济评价方面的认识，特别是在寻找逆掩断层下的油气藏方面会提供同世界其它山带类比的基础，明确它们模式之间的同一性和差异性。

本书刊出的文章就是围绕上述缘由汇编的。它们来源于国家科委在“七五”期间针对中国南方碳酸盐岩地区寻找新的油气藏而设的专题研究，目的是认识扬子地区的古生代盆地演化与油气关系。发表论著的作者大多是各高等院校参加该区研究的教授和副教授以及他们培养的研究生。他们分别对江南—雪峰山带各个部位的地质特征阐述了自己的观点，并且运用了多种新的技术和方法，这更有利于认识的提高。江南—雪峰山带的研究程度不一，作者的学术观点也有所异同，文章的内容也各有侧重，但都致力于从实际出发以求在理论上深化。当前国内外地质思潮日新月异，任何历史的归结都有待于新的实践加以检验。因此，我们希望本文集能对区域地质构造的研究起到抛砖引玉的作用，推陈出新，为未来服务。

本文集的出版是在地质矿产部石油地质中心实验室和地质出版社的关心和支持下进行的，在此谨表谢意。

编 者

1990年12月

目 录

上扬子地台峨眉地裂运动对含油气盆地形成的控制意义.....	(1)
华东地区“江南古陆”南缘的构造演化及其与“华夏古陆”的关系.....	(39)
“江南隆起”东段北缘印支期以来构造变形特征及油气远景评价.....	(67)
扬子区东南缘晚志留世古地磁及浙西拗陷构造演化与沉积特征.....	(89)
雪峰隆起的构造性质及其对上扬子东南缘古生代盆地的改造.....	(120)
雪峰古陆(西南段)的构造演化与古生代油气盆地的叠加改造.....	(148)
中扬子区五套层滑倾滑系统和油气地质研究.....	(182)
下扬子拗陷带古生代盆地构造的叠加关系和区域应力场特征.....	(211)

上扬子地台峨眉地裂运动对含 油气盆地形成的控制意义^①

金以钟 赵锡奎 乐光禹 罗志立

(成都地质学院)

摘 要

上扬子地台广泛发育的上古生界海相碳酸盐岩,是西南地区油气勘探的主要目的层系。运用地裂运动观点,通过野外工作,对黔中早二叠世茅口期沉积相等特征进行深入调查研究的基础上,弄清了织金原型拉张盆地的演化过程,建立了沉积序列和盆地模式。并由点到面,综合分析区域性古断裂、玄武岩、深水硅质岩相、碳酸盐重力流、生物礁(滩)、白云岩化作用和古构造应力场等特征,阐明了上扬子地台峨眉地裂运动构造轮廓及其对含油气盆地形成的控制作用。在具体剖析贵州中、西部中生代构造变形特征及其对古生代构造(原型拉张盆地)的继承和改造后,从构造角度为区域性油气评价提供了保存条件的依据。最后,圈定了区内川东-鄂西礁块型气藏等六大含油气勘探远景区。

一、织金原型拉张盆地的演化特征

为了深入研究晚古生代原型拉张盆地的形成和演化特征,我们重点选择黔中地区(东经 $105^{\circ}30'$ — $106^{\circ}25'$, 北纬 $26^{\circ}15'$ — $27^{\circ}05'$ 之间约 3000 km^2 范围)茅口晚期明显的织金拉张盆地进行典型分析。

(一) 沉积相的空间差异性

1. 沉积分异明显与构造控相突出

茅口晚期黔中碳酸盐台地受峨眉地裂运动影响,沿北东向和北西向共轭X断裂发生破裂解体,引起块断差异升降,诱发阶梯状同生断裂发育。在断块升降的高部位发育浅海碳酸盐沉积,底栖生物丰富;而在断块下降的低(凹)部位则发育较深水硅质岩相,生物稀少,含放射虫和海绵骨针。沉积分异空间展布见图1、图2。

2. 变异多姿的沉积相及相标志特征

上扬子地台早二叠世的古构造环境十分复杂,沉积作用多种多样,形成变异多姿的沉积相。鉴于目前沉积相划分尚未统一,我们综合参考了国内外新的碳酸盐台地相模式(关士聪等,1980;王鸿祯,1986;刘宝琛等,1986;J. F. Read, 1985),新创了“破裂台地相带”(II³)一词,代表受峨眉地裂运动影响所形成的破裂台地环境的产物。并按岩石

① 本文是“七五”国家重点科技攻关项目(75-54-211-04之八)研究成果,课题负责人罗志立,参加工作的还有张时俊、宋子堂

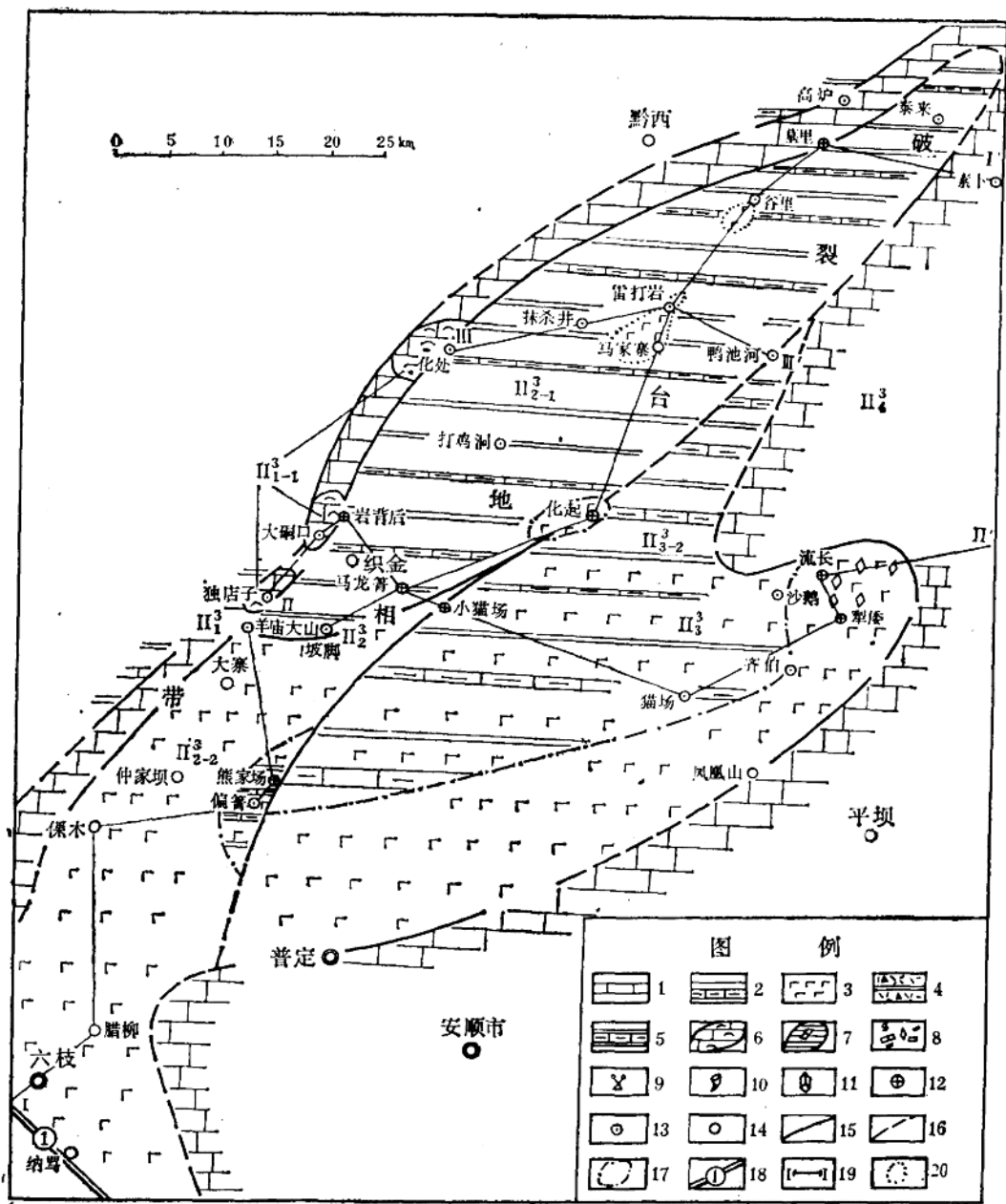


图 1 黔中织金盆地早二叠世茅口组第二段上亚段●沉积相图

- 1—灰岩；2—泥灰岩与硅质岩；3—玄武岩；4—硅（泥）质岩与玄武岩；5—硅质岩与泥灰岩；6—生物滩；7—塌积角砾岩；8—滑积角砾岩；9—海绵；10—珊瑚；11—海百合；12—实测剖面点；13—观测剖面点；14—收集的剖面；15—亚相带界线；16—相界线；17—岩石组合界线；18—断裂及编号；① 堰都—紫云；19—剖面对比线；20—岩性界线

● 下二叠统的划分基本上按照贵州省区域地质志（1987），稍作修改，即茅口组第一段（ P_1m^1 ）和第二段（ P_1m^2 ），第二段又细分为上亚段和下亚段

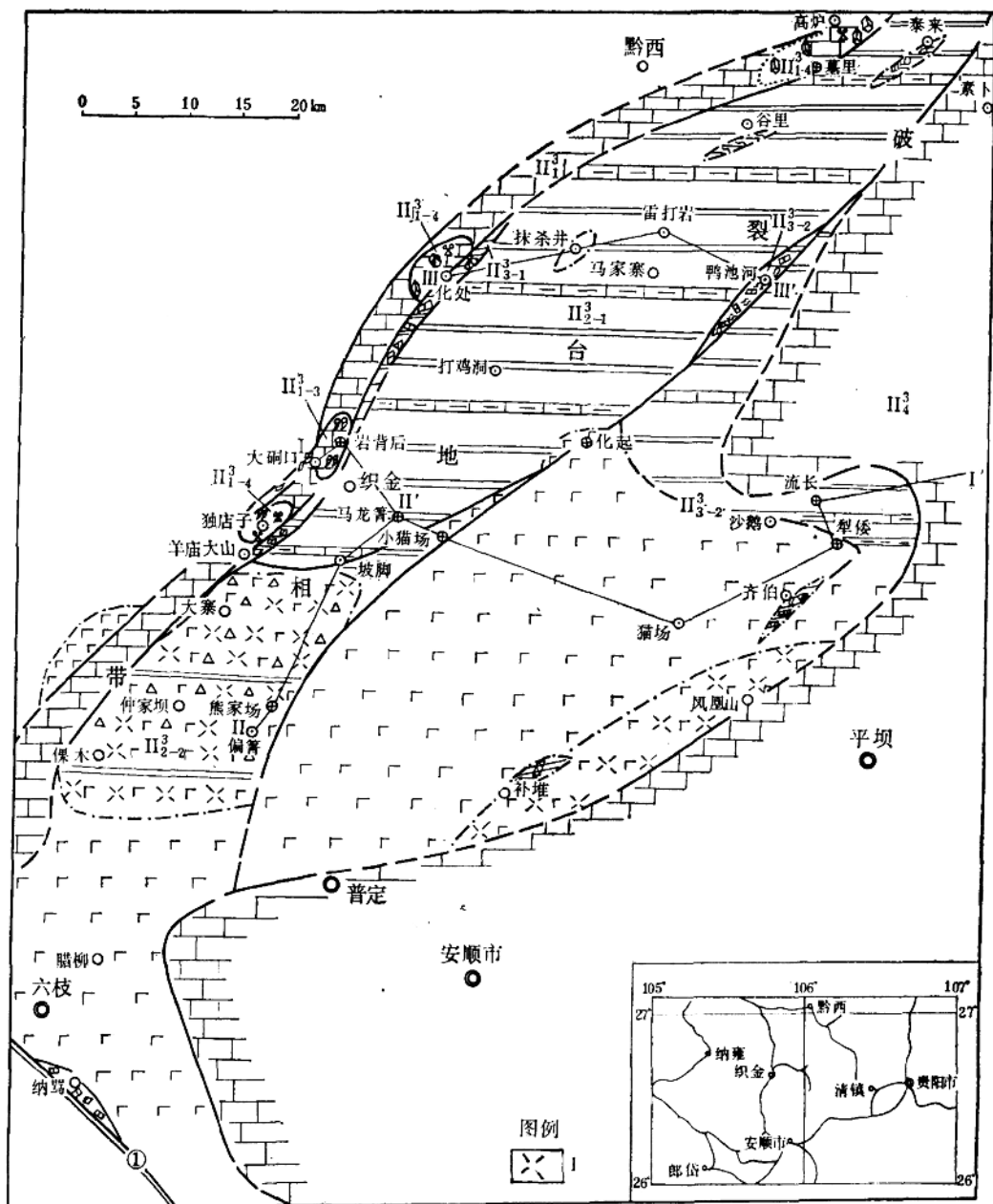


图 2 织金盆地早二叠世茅口组第二段下亚段沉积相图

1—放射虫

(其它图例与图注同图 1)

组合、剖面结构、断裂作用、火山活动和发育演化等特征，进一步划分出沉没-加积型孤立台地亚相带 (II_1^3)、较深水台(断)槽亚相带 (II_2^3)、斜坡亚相带 (II_3^3) 和面积较大相对稳定且浅水沉积发育的残留半局限-开阔海台地亚相带 (II_4^3) 等 4 个亚相带，它们分别由 9 种不同的沉积相所组成。

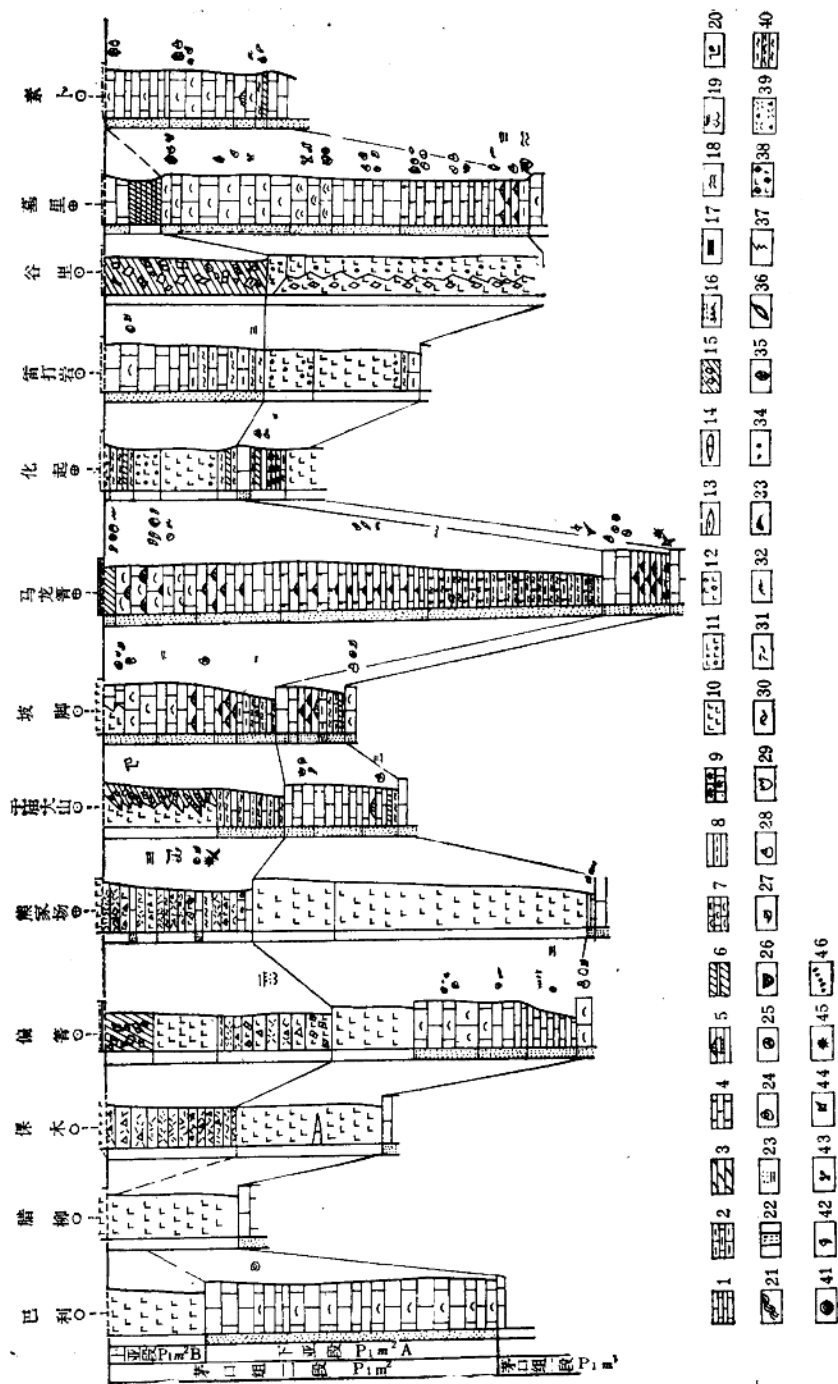


图 3 黔中地区下二叠统茅口组二段 I—I' 岩性柱状剖面结构对比图

1-灰岩, 2-泥灰岩, 3-灰云岩, 4-云灰岩, 5-燧石结核或条带, 6-硅质岩, 7-生屑灰岩, 8-泥岩, 9-礁 (丘), 10-玄武岩, 11-杏仁状玄武岩, 12-碎屑角砾玄武岩, 13-泥质条带, 14-灰岩条带, 15-硅质角砾岩, 16-粒序层, 17-水平层理, 18-游状层理, 19-风幕层序, 20-塌积角砾灰岩, 21-滑积角砾灰岩, 22-亮晶, 23-微晶, 24-有孔虫, 25-绿藻, 26-红藻, 27-腕足, 28-腕足, 29-苔藓, 30-介形虫, 31-介形虫, 32-藻屑, 33-介壳, 34-砂屑, 35-糠皮, 36-双射骨针, 37-指状交互接触, 38-熔结火山集块岩, 39-凝灰质火山碎屑岩, 40-纹层状硅质岩, 41-藻, 42-珊瑚, 43-海绵, 44-多射骨针, 45-放射虫, 46-旋线迹 (剖面位置见图1)

各沉积相的典型剖面地点、产出层位、构造条件、岩石组合、沉积岩结构与构造、生物组合、水深和水动力条件等主要相标志都列于表 1 中。

3. 典型剖面结构反映的差异特征

通过对织金地区实测和收集的 20 个剖面结构的分析对比 (图 3), 发现都具有两次岩性突变——茅口组第二段上、下两个亚段的底界, 以及两个 (亚段) 向上变浅的沉积旋回。现将 4 个实测的典型剖面结构介绍于后 (图 4)。

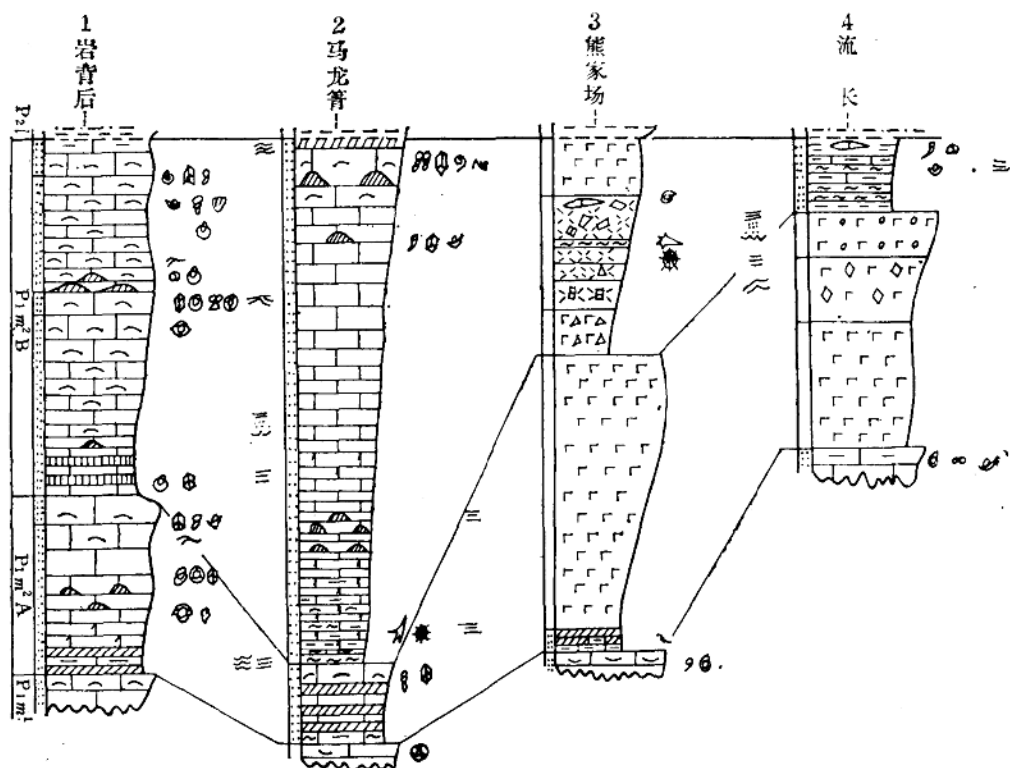


图 4 岩背后—流长茅口组第二段剖面结构对比图
(剖面位置见图 1, 图例、图注同图 3)

(1) 岩背后剖面: 两次岩性突变均表现为浅水微-亮晶生屑灰岩突变为暗色薄层燧石层或微晶泥灰岩夹燧石层, 属较深水低能宁静沉积环境。各旋回向上都呈现颜色变浅、岩层加厚、硅质含量减少和生物数量增多的特点, 至顶部已发育成亮晶生屑滩灰岩。而位于同一亚相带中的独店子、墓里和化处等剖面上, 还发育海百合丘或海绵礁 (图 1 和表 1 中的 II₁₋₂)。这种向上变浅的沉积旋回, 代表了一种沉没孤立台地向上的加积作用。

(2) 马龙箐剖面: 两次岩性突变更加明显, 旋回特征与岩背后相似, 但海水加深使沉积环境变得更稳定, 旋回底部灰黑色薄层泥 (硅) 灰岩中含放射虫和海绵骨针等较深水生物, 厚度亦较大。在雷打岩和坡脚等剖面上, 都可见到类似的特征 (图 3)。代表了较深水平台内部, 一种断陷稍强、向上加积变浅过程较缓慢且横向稳定的沉积环境。

(3) 熊家场剖面: 岩性突变更加急剧显著, 旋回底部除发育深色微晶灰岩和硅质岩

外, 还见有代表外陆棚环境的旋线迹 (*Helicorhaphes*)^①, 向上为厚达 90m 的块状微粒玄武岩充填而变浅。第二次岩性突变和变浅旋回由两个次级旋回的火山集块岩、火山碎屑浊积岩和含放射虫硅质岩夹灰岩透镜体等组成, 双重粒序特征明显。代表一种较深水断槽中断陷和火山活动强烈的环境。

(4) 流长剖面: 下亚段自下而上由块状拉斑玄武岩、淬碎角砾状玄武岩和杏仁状玄武岩等组成, 故称玄武岩段 (相当于 $P_{1m^2}A$)。向西南犁倭、猫场一带, 相变为泥灰岩、燧石层和微晶灰岩。向上由浅色或深灰色微晶灰岩、泥质硅质岩夹透镜状微晶生屑灰岩组成, 亦反映水体由深变浅的特点。

剖面结构特征明显反映出沉积旋回演化中的拉张地裂运动性质。①两次岩性突变是地壳突发性块断升降运动的表现。②古同生断裂的发育造成岩性突变的空间差异, 如马龙箐 (II_{1-1}^1) 与岩背后 (II_1^1) 之间的相变界线, 即发育有水依沟-绮陌断层 (图 5)。③两次岩性突变代表了孤立台地的两次沉没和较深水台 (断) 槽的两次断陷; 而两个向上变浅旋回, 则反映了台地或台槽向上加积生长或充填作用。

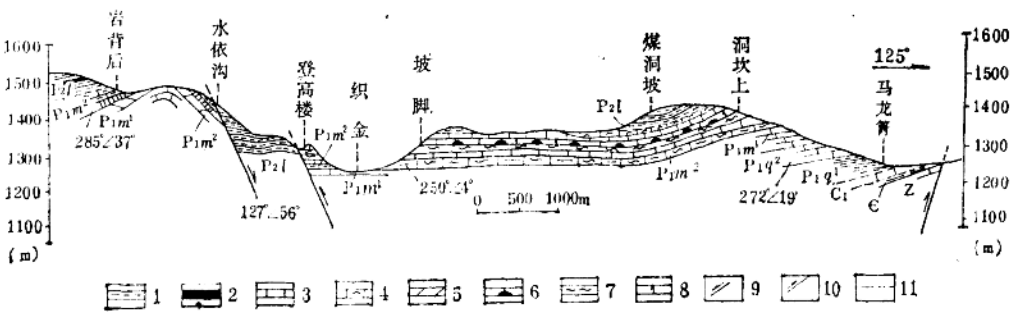


图 5 岩背后至马龙箐地质构造剖面图

1—粘土岩; 2—煤层; 3—灰岩; 4—生物灰岩; 5—白云岩; 6—燧石结核; 7—硅质岩; 8—云灰岩;
9—正断层; 10—逆断层; 11—平行不整合

4. 火山岩的差异特征

(1) 分布各异: 5 种火山岩分布在不同相带中, 火山集块岩和火山碎屑浊积岩主要发育于坡脚—腊柳较深水断槽相 (II_{1-1}^1), 杏仁状玄武岩、淬碎角砾状玄武岩和微粒状玄武岩发育在猫场—流长台前缓斜坡相 (II_{1-1}^1), 而块状玄武岩则全盆地都有分布。

(2) 喷发环境: 据 8 个剖面点 12 块玄武岩样品的岩石化学分析数据, 分别作了邱家骥 (1982) 确定火山岩名称等组合图解、戈蒂尼-里特曼的判别投影 ($lg\tau$ 的值都小于 0.5, 全部样品落在非造山带的 A 稳定区内) 和都城秋穗的 $FeO^{②}/MgO$ 对 SiO_2 、 TiO_2 、 FeO 的玄武岩变异图 (判别投影都落在 TH 范围内, 图 6)。具 SiO_2 弱饱和—不饱和 (43.75—52.5%)、低 MgO (3.02—5.19%) 和高碱质 ($Na_2O + K_2O > 2.84\%$) 等特点, 应属于陆内裂谷拉张构造背景下的产物。

(二) 原型拉张盆地模式的建立及其演化

1. 织金原型拉张盆地的形成和演化

① 由成都地质学院沉积研究所林文球副教授鉴定
② FeO 为全铁的含量, 下同

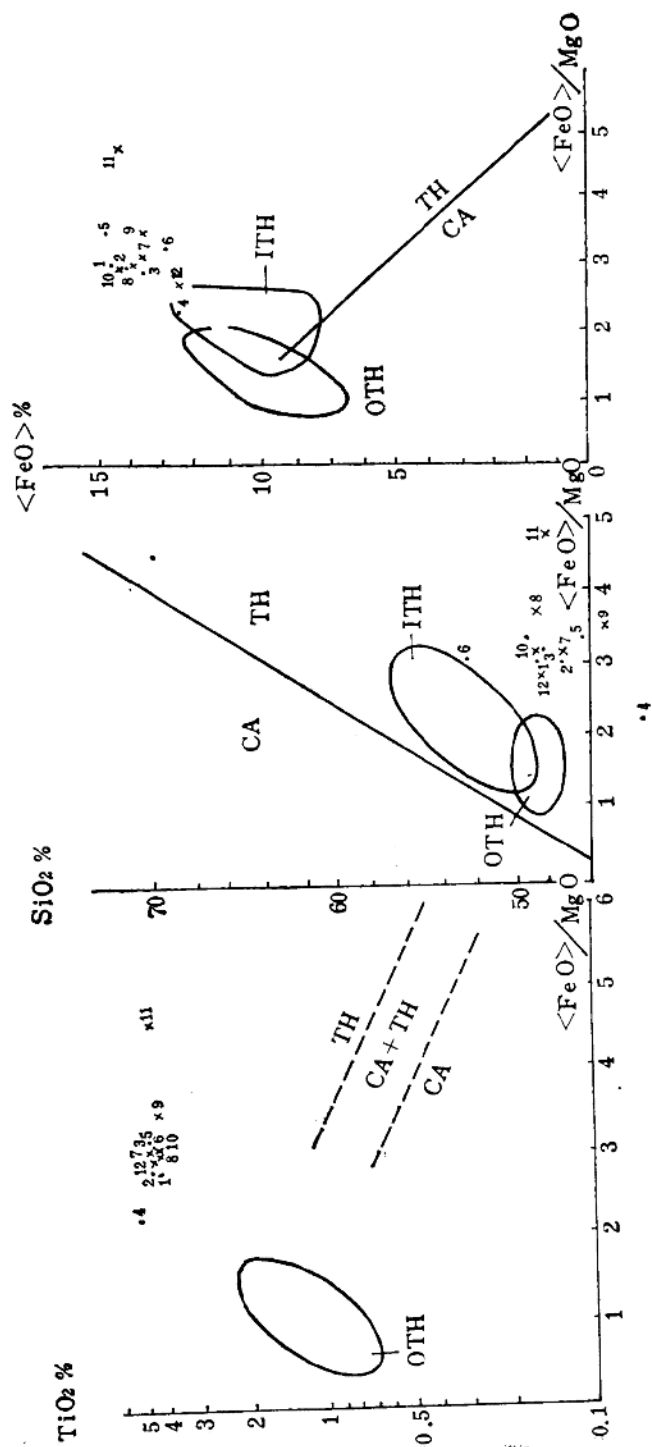


图 6 织金地区玄武岩变异图
(据都城秋穗, 1974)

OTH—大洋拉斑玄武岩; ITH—岛弧拉斑玄武岩; CA—钙碱系列; TH—拉斑玄武岩系列; • 本次新采样品; × 据贵州省区域地质调查队的样品

在综合分析剖面结构、沉积相及其组合、火山岩产状与喷发环境和区域构造等特征后,大致归纳得出织金原型拉张盆地经历了5个不同的发展阶段(图7)。

(1) 台地初始破裂阶段(图7-B):茅口晚期受峨眉地裂运动影响,织金地区早期相对稳定的碳酸盐台地(图7-A)开始破裂,在马龙箐一带出现堑-垒式块断构造格局。由于拉张断陷时仍为整体沉降,盆地始终处于浪基面之下的宁静沉积环境,表现为由浅水向深水的岩性突变,局部断裂加剧可引起水下玄武岩喷发。本阶段台地破裂是一个突发性的短暂过程。

(2) 整体稳定沉降加积充填阶段(图7-C):盆地经短暂破裂后渐趋稳定,以整体沉降为主,呈现沉积物向上颜色变浅、岩层加厚和生物数量增多的特点。在岩背后孤立台地上发育浅水生屑滩灰岩;流长一犁倭台前缓斜坡相(II₂)则随断裂火山活动增强,有大量玄武岩充填并限制水体中碳酸盐的沉淀作用。本阶段末期以水体变浅为特征。

(3) 台地强烈破裂阶段(图7-D):此时断裂火山活动加剧,堑-垒式构造分异更突出,沉积相变化更明显,在较深水平台上发育含放射虫和海绵骨针的泥硅质岩。由于拉张作用增强,地壳破裂更甚而出现低钾拉斑玄武岩,如犁(倭)-7、偏(箐)-4、坡(脚)-7、化(起)-17-82-D和谷(里)-1等5件玄武岩样品, K_2O 含量低(0.40—0.72%),都属于第二火山喷发旋回的产物。由于经历了早期岩浆演化,地壳强烈拉伸变薄,水体逐渐变深,在化学成分上具低钾特征,多勃列夫大洋系数判别落入大洋区。其实它们并非真正的深海大洋盆地,而是属于陆壳台地上较深水的台(断)槽喷发环境。

(4) 二次稳定沉降加积充填阶段(图7-E):这时古地理面貌差异更甚,浅水台地发育生物灰岩和生物丘(滩或礁),较深水台槽中发育具双重粒序的次级玄武岩喷发-沉积旋回,两者之间为地形高差悬殊的陡(崖)斜坡(相),发育塌积碳酸盐角砾岩重力流沉积。

(5) 整体抬升剥蚀阶段(图7-F):茅口期末,织金盆地同样经历了峨眉地裂运动高潮强烈的构造-热活动,表现为整个盆地抬升遭受剥蚀,同时岩溶作用发育,沿古断裂上升的二氧化硅热液使塌积或滑积角砾灰岩甚至块状灰岩,均遭受强烈硅化作用而形成各种硅质岩。

2. 原型拉张盆地模式

根据茅口晚期织金拉张盆地构造-沉积演化特征,建立了具下列特点的原型拉张盆地模式(图8)。

(1) 整个盆地发育过程,是在地幔上隆、地壳拉伸变薄、台地破裂的区域性拉张构造背景下进行的。

(2) 各个发展阶段都发育由拉张地裂运动形成的堑-垒式块断构造,前者为较深水断槽,后者为浅水孤立沉没台地,沉积分异突出。

(3) 各阶段地裂运动都发育同生活动正断层,构成台块(地)与台(断)槽的边界,明显地控制块断构造格局和火山活动。

(4) 沿活动断裂都发育同期玄武岩,反映地壳拉伸破裂与深部地幔上涌的构造-热事件,两者有密切的成因联系。

(5) 沿断崖陡斜坡带发育塌积或滑积角砾灰岩重力流,是同生断层差异升降活动的标志。

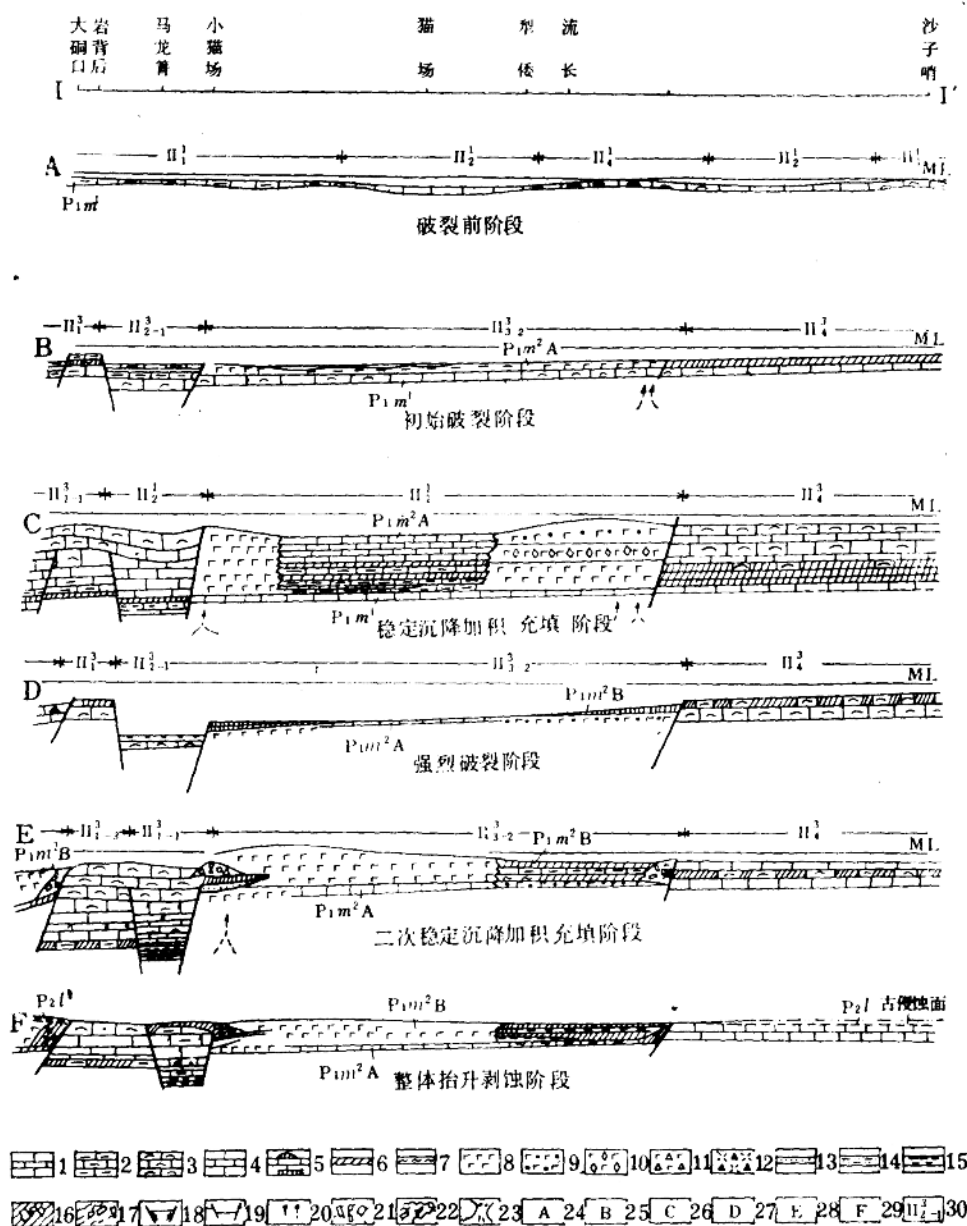


图 7 织金拉张盆地构造-沉积演化图

1—灰岩；2—泥质灰岩；3—生屑灰岩；4—云灰岩；5—燧石结核或条带灰岩；6—硅质岩；7—纹层状硅质岩；8—玄武岩；9—杏仁状玄武岩；10—熔结火山集块岩；11—洋碎角砾玄武岩；12—火山碎屑岩；13—砂岩；14—粉砂岩；15—泥岩；16—硅质角砾岩；17—滑积角砾岩；18—活动断层；19—不活动断层；20—上升流；21—塌积灰岩角砾；22—滑积灰岩角砾；23—火山通道；24—29—发展阶段；30—沉积相代号（见表1）

（6）峨眉地裂运动形成北东向展布和北西向相分异的“台块—斜坡—台槽”构造-沉积格局。

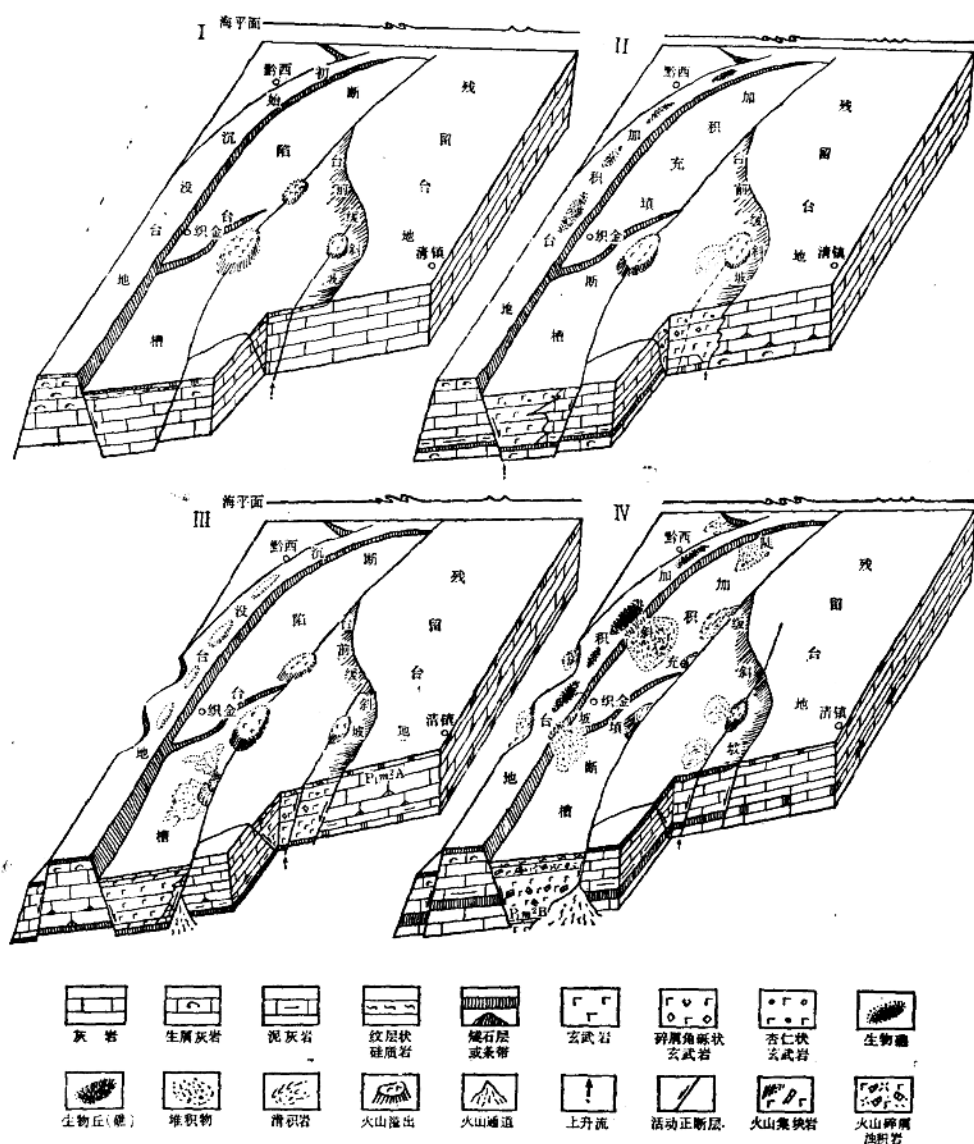


图 8 原型拉张盆地模式方块示意图

(三) 原型拉张盆地与古断裂活动标志

古构造研究难度较大，且不易恢复庐山真面目。现据构造运动在沉积岩中遗留的痕迹，以求获得古断裂的活动信息。

1. 硅质岩标志

茅口晚期织金盆地发育众多块状硅质岩，按产状和特征可分为 3 类。

(1) 块状硅质岩：由隐晶玉髓或微-细晶石英组成，无角砾，为块状灰岩经硅化而成。

(2) 滑积硅质角砾岩：矿物成分同第 1 类，角砾状，具有与上下薄层硅质灰岩相同的原生水平层理，为滑积角砾灰岩经硅化而成。

(3) 塌积硅质角砾岩：矿物成分同上，角砾中残余结构明显，浅水与深水的两种角砾都有，且已硅化，为碳酸盐重力流沉积经硅化而成（图9）。

3类硅质岩分布具有一定规律性。第1、第3两类主要发育在孤立台地与较深水断槽之间的陡（崖）斜坡相中，第3类形成台地周缘的碎屑流裙边。第2类发育在台前缓斜坡相与较深水平台相之间，是由于重力和断裂作用，使弱固结的沉积物沿缓斜坡或断层面面向下滑移而形成的。因此，盆地中发育的硅质岩是古断裂活动的重要标志之一。

2. 玄武岩标志

盆地中玄武岩广泛分布，但多呈孤立断续状出露，在短距离内迅即尖灭。说明均为原地喷溢，流动不远。且呈线状规则展布，明显地受古断裂活动的控制。它亦是重要标志之一。

3. 特殊岩块混生的标志

在盆地中多处见到不同岩性的块体混杂共生现象。如在泰来-坡脚平台相（Ⅱ₂₋₁）和小猫场-腊柳台槽相（Ⅱ₂₋₂）的分界线附近，织金坡脚一带茅口组第二段灰岩与上覆玄武岩之间有近50m的相互嵌入带；羊庙大山一带硅质岩中夹玄武岩，而玄武岩中又有塌积角砾灰岩块；犁倭一带

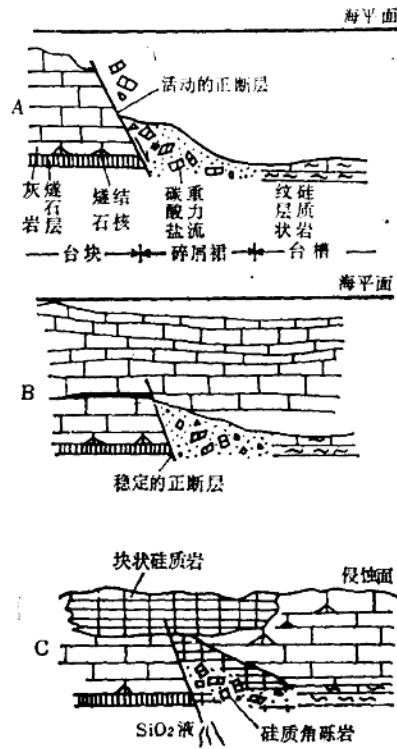


图9 塌积硅质角砾岩成因图

A—塌积角砾灰岩形成期；B—台块—台槽加积期；C—硅化期

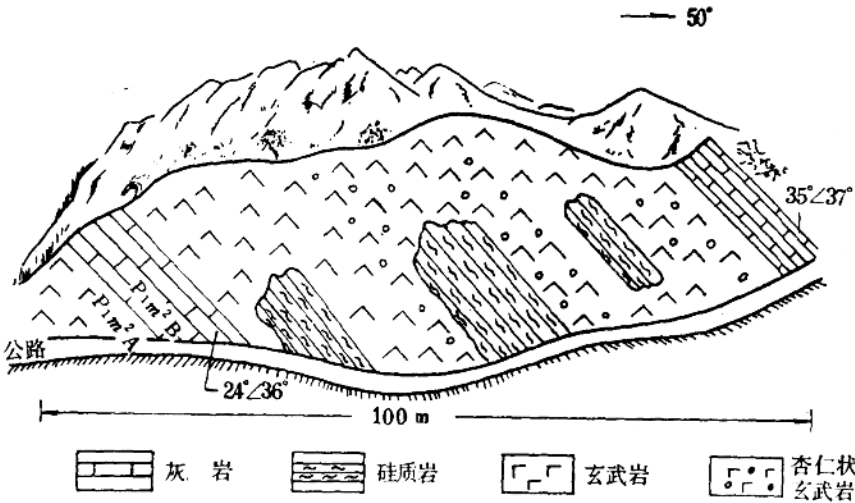


图10 犁倭玄武岩与硅质岩交互混生的露头素描图

则见到玄武岩与硅质岩交互混生现象(图 10)。这些特殊岩块的混杂共生, 且又整合接触, 也是古断裂活动的标志。

二、峨眉地裂期古构造特征

(一) 上扬子地台构造发展阶段

构造应力场随时间而不断地演变, 各地质时期的不同构造格局及其演化序列, 都取决于当时的古应力场状态。上扬子地台具有前震旦纪的结晶基底; 晚震旦世至志留纪是地台沉积盖层稳定发育的时期; 晚古生代至中三叠世地台发生了一次强烈的拉张构造-热事件, 即峨眉地裂运动时期; 中新世的挤压作用形成盖层褶皱-推覆构造(表 2)。

因此, 古构造应力场至少可以分为两大时期: 早期(晚古生代)地壳以受拉张应力为主, 发育各种裂陷槽(台缘)和台槽(台内)等拉张盆地, 沿张性断裂有大规模玄武岩喷溢; 晚期(中新世)地壳以受挤压应力为主, 形成盖层褶皱-推覆构造。据此我们在区内选择了黔中、川南和川北 3 个典型地区, 进行野外共轭剪切节理产状测量和室内 PC-1500 微机程序处理^①, 恢复古应力场状态。并结合区内拉张古断裂构造格局作了综合分析, 初步建立起峨眉地裂期古构造轮廓及其运动学模式。

(二) 典型地区的古应力场

1. 织金盆地古应力场

为了解织金原型拉张盆地运动学机制, 分别在盆地东西缘的清镇流长(观测 38 个点)和织金附近(观测 20 个点), 对共轭剪切节理进行了调查研究。通过对节理的模拟研究, 当水平岩层受水平拉伸应力作用时, 所产生的早期平面 X 共轭剪切节理面近于直立, 这时 σ_1 与 σ_3 近于水平(倾角趋近于 0°), 而中间应力轴 σ_2 则近于直立(倾角趋近于 90°)。因此, 当岩层产状恢复水平后的 X 共轭剪切节理倾角大于 80° (理论上应为 90°)时, 就可以把这类剪切节理看作是岩层未变形前的原始古应力场的产物。

黔中织金拉张盆地早期发育两组陡倾的共轭剪切节理, 拉伸区(σ_3)一般都为北西-南东向(图 11), 主要发育于寒武系、石炭系和下二叠统的灰岩中, 剪裂角都 $<45^\circ$, 显然是脆性变形条件下的产物。而盆地内晚期发育两组缓倾的共轭剪切节理, 其发育于三叠纪及其以前的所有地层中, 并常见它们明显地切错早期陡倾的剪节理。区内盖层构造的褶皱轴呈北东向, 正好与晚期剪节理恢复的北西-南东向压缩区(σ_1 轨迹)相吻合, 它代表了燕山-喜马拉雅期盖层褶皱时的挤压应力状态。因此, 早期剪节理可能代表了峨眉地裂期的古构造应力场状态。这种北西-南东方向的水平拉伸张应力(图 11 中的 σ_3), 正是形成织金原型拉张盆地的区域性构造作用力。在这种区域性拉伸作用下, 碳酸盐台地发生破裂解体, 发育一系列近于平行的北东向同生正断层, 地壳呈现块断差异升降, 从而造成上述织金盆地呈北东向展布的堑-垒构造格局和北西向相带明显分异的特征。与此同时, 沿着这些古活动断裂带, 普遍发育具特征的塌积或滑积硅质碳酸盐角砾岩重力流沉积以及广泛的玄武岩喷溢活动, 它们明显地都与峨眉地裂运动及其控制的古应力场密切相关(图 12)。

2. 川南长宁背斜古应力场

① 微机程序由成都地质学院汤经武和杨学敏两位副教授提供