

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

七 普查勘探技术与方法 第4号

攀西地区爆炸地震测深
和深部地壳结构与构造

中国地质科学院五六二综合大队 崔作舟 卢德源 等

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

七 普查勘探技术与方法 第4号

攀西地区爆炸地震测深
和深部地壳结构与构造

中国地质科学院五六二综合大队

崔作舟 卢德源 等

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部 地质专报
七 普查勘探技术与方法 第4号
攀西地区爆炸地震测深和深部地壳结构与构造
中国地质科学院五六二综合大队
崔作舟 卢德源 等

*
责任编辑：吴万新
地质出版社出版
(北京西四)
地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本：787×1092¹/₁₆ 印张：5¹/₈ 插页：10页 字数：111,000

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数 1—1300 册·国内定价 3.70 元

ISBN 7—116—00101—8/P·089

统一书号 13038·新496

科目：161—229

前 言

本文系据中国地质科学院562综合大队提交的《川滇南北构造带北段爆炸地震研究报告》修改补充而成。文中主要阐述了工作地区的地表地质构造特征和区域地质构造背景；介绍了爆炸地震的野外工作方法，资料处理和计算方法；叙述和论证了地球物理及地质解释成果，讨论了攀西地区的深部地壳结构及地质构造特征，并对“攀西裂谷”提出了异议。

本文是由崔作舟和卢德源同志撰写、修改成文。参加攀西地区爆炸地震测深工作的主要人员还有：陈纪平、张之英、王延增、王仲才、黄立言、王文明等。在完成此项任务的过程中，曾得到四川省渡口市地质学会、西昌地质学会、中国科学院计算机研究所、地矿部北京计算中心、重庆地质仪器厂及当地各级政府的大力支援，特此鸣谢。

本文可供地质和地球物理方面的生产、科研及教学人员使用和参考。

《地质专报》包括以下各类

- 1—区域地质；
- 2—地层 古生物；
- 3—岩石 矿物 地球化学；
- 4—矿床与矿产；
- 5—构造地质 地质力学；
- 6—水文地质 工程地质；
- 7—普查勘探技术与方法；
- 8—地质应用计算技术；
- 9—分析测试与综合利用；
- 10—仪器与设备。

SERIES OF GEOLOGICAL MEMOIRS

1. Regional Geology
2. Stratigraphy and Paleontology
3. Petrology Mineralogy and Geochemistry
4. Mineral Deposits and Mineral Resources
5. Structural Geology and Geomechanics
6. Hydrogeology and Engineering Geology
7. Prospecting Techniques and Methods
8. Geomathematics
9. Analysis and Multi-utilization of Minerals
10. Instruments and Equipments

目 录

第一章 概况	(1)
第二章 区域地质构造背景	(4)
第三章 攀西爆炸地震测深野外工作	(16)
一、宽角反射法的特点	(16)
二、测线布置	(16)
三、观测系统	(16)
四、爆炸工作	(18)
五、观测工作	(21)
六、野外工作质量及工作量	(24)
第四章 攀西爆炸地震测深资料处理	(26)
一、高程校正及折合零时计算	(26)
二、数字化与数字处理	(27)
第五章 攀西爆炸地震测深计算方法	(29)
一、反演方法	(29)
二、正演方法	(31)
第六章 攀西爆炸地震测深资料解释	(34)
一、震相分析	(34)
二、建立地壳结构模型	(37)
三、断裂构造分析	(49)
第七章 攀西深部地壳结构及地质构造特征	(54)
一、地壳及上地幔的主要界面	(55)
二、上地壳的特征	(55)
三、下地壳的特征	(56)
四、上地壳低速层的特征	(56)
五、莫霍界面的特征	(57)
六、壳-幔过渡带的特征	(57)
七、主要断裂带的特征	(57)
第八章 讨论	(59)
主要参考文献	(62)
附图1—9	
英文摘要	(63)

CONTENTS

Chapter 1 General Condition	(1)
Chapter 2 The Back-Ground of Regional Tectonics in Panxi Area	(4)
Chapter 3 The Field Explosive Seismic Sounding in Panxi Area.....	(16)
(1) The Characteristic of Wide Angle Reflection Meathod	(16)
(2) Survey Lines Assign	(16)
(3) The System of Observation	(16)
(4) Explosire	(18)
(5) Observation	(21)
(6) Quality & Quantity	(24)
Chapter 4 The Data Processing of Explosive Seismic Sounding in Panxi Area	(26)
(1) The Heights Correction and Reduced Zero-time Calculation.....	(26)
(2) Digitize and Data Ordering	(27)
Chapter 5 The Calculation Method of Explosive Seismic Sounding in Panxi Area	(29)
(1) Inversed Method	(29)
(2) Direct Method	(31)
Chapter 6 The Data Interprtation of Explosive Seismic Sounding in Panxi Area	(34)
(1) Seismic Phase Analysis	(34)
(2) Settig up the Crust Model	(37)
(3) Deep-Fault Structure Analysis	(39)
Chapter 7 The Structure of Deep-Crust and Features of Tectonic and Structure in Panxi Area.....	(54)
(1) The Main Interfaces of the Crust and Upper Mantle	(55)
(2) The Features of Upper Crust	(55)
(3) The Features of Lower Crust	(56)
(4) The Features of Low-Speed Layer of Upper Crust.....	(56)
(5) The Features of Moho	(57)
(6) The Features of Crust-Mantle Transitional Layer	(57)
(7) The Features of Main Fault Belt	(57)
Chapter 8 Discussion	(59)
References.....	(62)
Fig. 1—9	
Abstract.....	(63)

第一章 概 况

我国四川境内的攀枝花-西昌地区（以下简称攀西地区），大地构造上位于川滇南北构造带。它是我国西南地区的主要成矿带之一，蕴藏着丰富的铁、钛、钒、磷、铬、钴、铜、镍、铂、铌、钽、锆、钽、铍、钇、铀等有用矿产资源。为促进该区矿产资源的开发和综合利用，攀西地区综合开发和规划研究工作被列为第六个五年计划期间的国家重点研究项目。“攀西裂谷带主要地质构造特征及其对矿产的控制”这一课题，则属上述项目中的一个研究课题。在研究项目实施过程中，为加强对该区深部地质及构造的研究，增加了深部地球物理探测手段——爆炸地震测深方法。

实际上，沿川滇南北构造带共布置三条爆炸地震测深剖面。其中布置在云南境内的一条东-西向剖面由中国科学院地球物理研究所承担；主要分布于四川省境内的两条呈“十字”型交叉的剖面由中国地质科学院562综合大队负责完成。

1984年，中国地质科学院562综合大队完成了丽江-新市镇的东-西向纵测线（LX测线），其长度为407km；永仁的拉鲊-长河坝的南-北向纵测线（YC测线），其长度为424km；此外还完成了以鲁吉为炮点的盐塘-新市镇非纵（扇形）测线，长度为207km（图1-1）。其中非纵（扇形）测线资料有待处理，未纳入本文中。

爆炸地震观测投入59套地震仪，共设7个炮位，施放有效炮16次，布台944次。获有效记录813份，记录有效率达86.35%。完成剖面的总长度为1100km。纵向测线的点距一般为1.5—3.0km；非纵（扇形）测线的点距为3.0—6.0km。由于有较密的观测点和较高的记录有效率，为资料的解释打下了良好的基础，为深部地壳结构和地质构造研究提供了可靠的信息。

上述完成的川滇南北构造带北段爆炸地震研究任务，是为了了解该构造带莫霍界面的起伏形态，地幔顶部是否存在速度异常带及地表断裂的深部延伸情况。

在野外施工中，由于对仪器进行了较严格的标定及试验，技术措施正确，取得了优良的野外记录。用法国GPS程序包对资料进行了数字化及数字处理，绘出的地震截面图波形清晰，信噪比高。在波组对比中，运用频谱分析及视速度变化特征进行分辨，取得了良好的结果。采用了国内外通用的正、反演方法对资料进行分析解释，特别是用射线追踪法研究了这一地区速度结构的横向变化特征，分别建立了川滇南北构造带横向及纵向的地壳速度结构模型，为研究本区深部构造提供了重要依据。其主要成果如下：

1. 川滇南北构造带地壳内分层明显，平均速度偏低，较明显和较稳定的界面有五个，主要的分界面是 R_4 （上、下地壳分界面）及莫霍界面。

2. 莫霍界面深度变化不大（50—56km），基本趋势是由东向西变深，由南向北微倾，未发现轴部有上隆现象。莫霍界面速度为7.6—7.7km/s，与中、新生代活动构造区的特征一致。

3. 上地壳沿横向有明显的速度、厚度变化。上地壳底部存在一层厚4—10km的低速层，它的厚度及埋深沿横向有明显变化，在轴部较东、西两侧有明显抬高。在横向上，

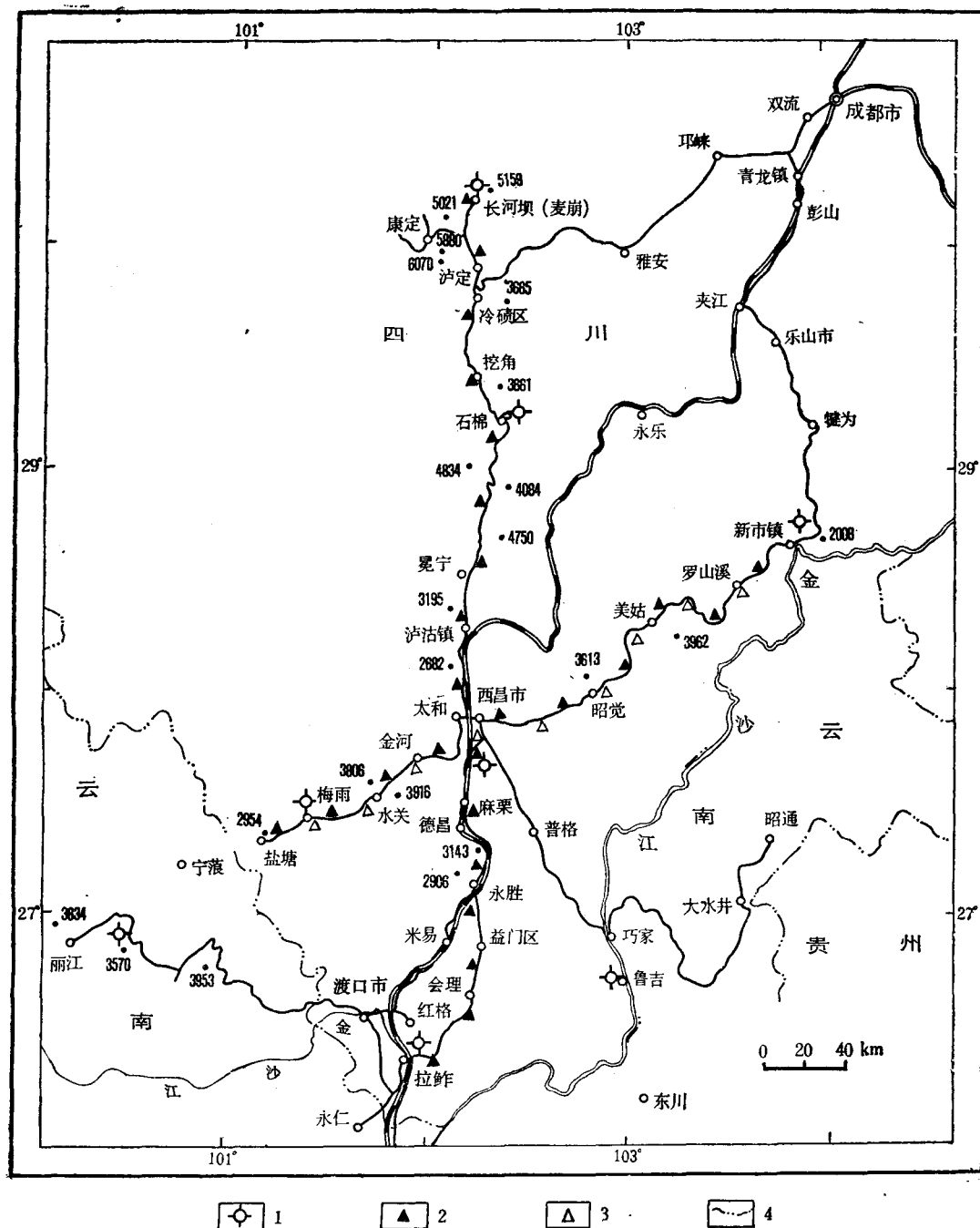


图 1-1 攀西爆炸地震测线分布图

Fig. 1-1 The distribution of experimental seismic surveying lines in Panxi area

1—炮点位置；2—纵剖面测点；3—非纵剖面测点；4—省界

上、下地壳厚度变化明显，但下地壳速度变化不大。

4. 对几条主要断裂通过地段进行波组追踪，发现它们在地壳深部都有错开显示，从而确认它们是超壳型深断裂。其中东侧的小江、四开、安宁河断裂较陡直，西侧金河—程海

断裂为倾斜较缓的低角度逆冲断层，这些与已知的大地构造特征是一致的。

总的来说，本文的基础资料可靠，数据处理及解释方法合理，所建立的地壳模型提供了这一地区丰富的深部地质信息。尽管分析讨论部分尚需深入，个别地壳模型（如上地壳的高速块体、断裂深部延伸情况）有待改进，但是爆炸地震测深方法所取得的成果已基本给出了攀西地区深部地壳结构与构造特征。

第二章 区域地质构造背景

在我国西南地区,东经 102° — 103° ,北纬 23° — 31° 之间,纵贯川、滇两省的南北构造带,具有与相邻地区不同的地质构造特征。我国不同学派的构造地质学家,曾先后对此构造带赋予过不同的名称和含意。如黄汲清的“康滇地轴”(1954)^[1],张文佑的“康滇台背斜”(1958)^[2],李四光的“川滇经向构造带”(1973)^[3],陈国达的“川滇地洼系”(1965)^[4]等等。自七十年代板块构造学说传入我国地学界以来,先后也曾给予过不同的名称。丛柏林等(1973)^[5]提出该带可能为大陆裂谷带的新见解。后经骆耀南等研究,确认该区为海西期古裂谷带^[6],并命名为“攀西裂谷带”。

我们在开展爆炸地震测深工作同期,还沿测线进行了路线地质调查,又参阅了大量资料 and 前人成果,概括起来,该区有以下几方面的主要特征:

1. 宏观地看,本区实为我国东部与西部两大构造域的过渡带或接合部。具体地说,川滇南北构造带应是西部的松潘—甘孜地槽区与东部的扬子准地台的分野带(图2-1)。东西两大构造区在沉积建造、岩浆活动及形变特征等许多方面均有明显差别。而南北构造带则介于其间,它与前二者既有某种联系又有所不同。同时,这一地带又是现代各种地球物理场的梯度带或变异带。

2. 前震旦纪的结晶杂岩系呈南北方向出露(图2-2)。自震旦纪起,至中生代止,各地质时期的岩相古地理资料表明,该区的古老结晶杂岩系,长期以来一直处于隆起状态。由于出露并不连续,原岩和变质程度各异,又很少作过全面与系统的研究,因此对其层序和时代等认识极不一致,很难对比。近些年来,同位素年代学资料有所增加,认识渐趋接近。袁海华等(1985)^[7]认为康定杂岩是该区最古老的岩系,其中发现麻粒岩,同位素年龄约为2400—2950Ma,可能属太古代的中—高级变质混合杂岩。河口组的年龄约为1600—1900Ma;盐边群约为900—1600Ma,可能分别属于早—中元古代的产物。其出露显然受限于南北隆起带,但在其南部的宁蒗—巧家以及渡口—会理—东川一线结晶杂岩的出露,可能受复合的东西向隆起带的制约。据结晶杂岩系的各种形变现象可知,它们在震旦纪前的不同时期经受过不同方向和方式的构造应力场的作用,而且几经转变。但由于地层学和年代学方面的困难,很难分清它们的形成时期。

3. 岩浆杂岩带的分布(图2-3)。从地质图上不难看出,沿川滇南北构造带确有一南北向分布的深成岩杂岩带。值得注意的是,它们主要分布于安宁河断裂带以西的狭长地带,而其东部的小江断裂带则很少有较大的深成岩体。现有资料说明,这些岩体也并非同期形成(表2-1)。袁海华等(1985)^[7]的有关资料证明,该区的岩浆活动主要有三期:第一期——加里东期,主要有层状基性—超基性岩(如会理的红格岩体,Rb-Sr法年龄为567Ma)和碱性超基性岩;第二期——海西期,主要有层状基性—超基性岩(如红格岩体中的辉长岩,Rb-Sr法年龄为343Ma)、花岗岩(如红格棉花地的钾长花岗岩U-Pb法年龄为274Ma,红格大坪子花岗岩U-Pb法年龄为291Ma、茨达花岗岩Pb-Sr全岩等时年龄为230Ma)、碱性花岗岩(如西昌太和、钻天坡及马家山岩体K-Ar法年龄为236—288Ma)及玄

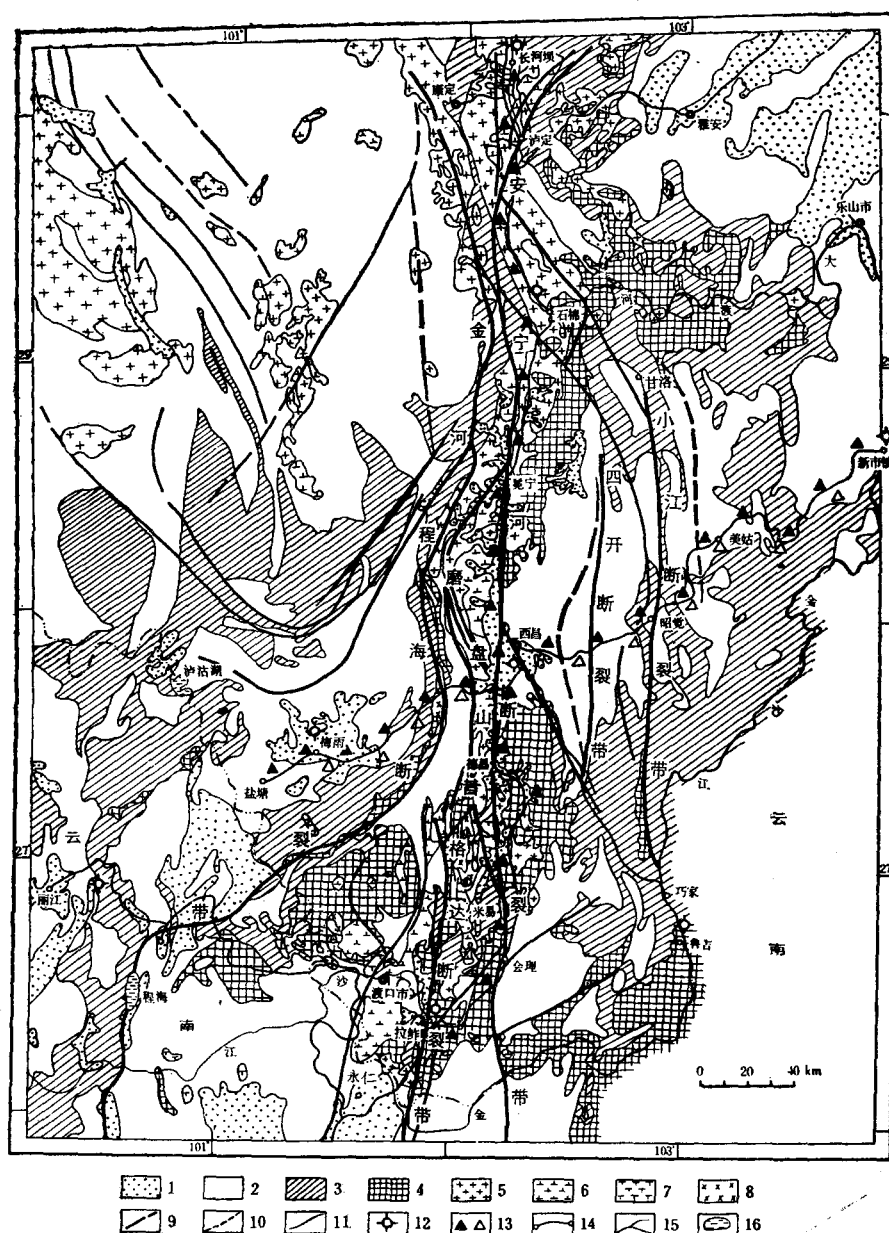


图 2-1 攀西地质构造纲要图

Fig. 2-1 The geological Tectonic sketch in Panxi area

1—新生界, 2—中生界, 3—古生界, 4—前古生界; 5—花岗岩类, 6—闪长岩类, 7—正长岩类, 8—基性岩类, 9—断裂, 10—向斜, 11—背斜, 12—炮点位置, 13—测点 (纵与非纵), 14—公路, 15—河流, 16—湖泊

武岩 (K-Ar法年龄为230—240Ma); 第三期——印支期, 主要有歪碱正长岩 (如渡口市二滩岩体Rb-Sr法年龄为214Ma)、菱斑斑岩 (二滩岩体Rb-Sr法年龄为211Ma) 及霓霞正长岩 (宁南流沙乡岩体, Rb-Sr法年龄为210Ma)。据四川省一比五十万地质图 (1978) 该区尚有燕山期的钾长花岗岩 (138Ma, 113Ma)。此外, 也有资料认为存在前震旦纪的

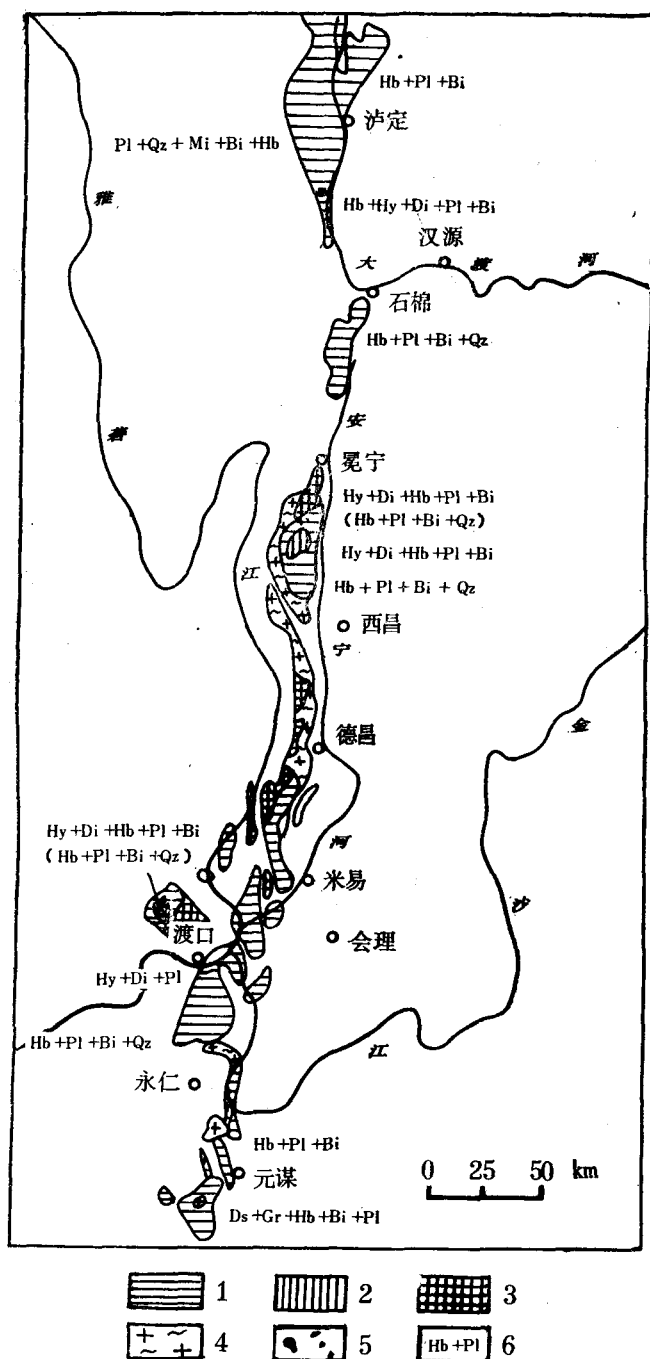


图 2-2 康定杂岩变质图
(据徐先哲等)

Fig. 2-2 The metamorphic graph of Kangding Migmatite

1—角闪岩相, 2—麻粒岩相, 3—角闪岩相和麻粒岩相未分, 4—混合花岗岩, 5—基性-超基性岩体, 6—矿物组合; Hy—紫苏辉石, Di—透辉石, Hb—角闪石, Ds—蓝晶石, Gr—石榴石, Pl—斜长石, Mi—微斜长石, Hi—黑云母, Qz—石英

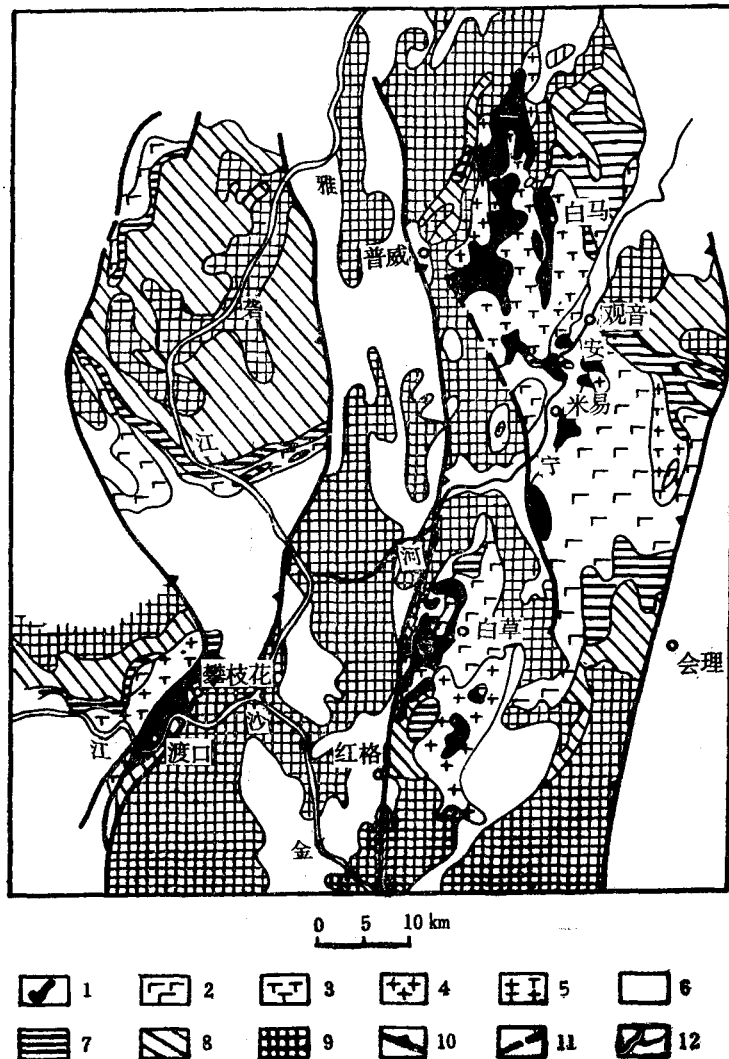


图 2-3 攀西层状侵入体分布图

(据叶晓英、曾宪教修改)

Fig. 2-3 The distribution of Panxi stepped intrusion

1—层状侵入体；2—峨眉山玄武岩；3—正长岩；4—花岗岩；5—碱性花岗岩；6—中-新生界；7—古生界；8—上震旦统；9—古老基底；10—逆掩(冲)断裂；11—断裂；12—河流

岩浆岩体。

上述岩体虽大体受南北构造带的控制，但并非全部如此，有些岩体显然受北东向或北西向两组断裂的控制。就岩浆活动特点而言，南北带的西半部近似于西侧槽区，而东半部更近于东部台区。岩石化学特征表明，基性-超基性岩属幔源物质，玄武岩与基性-超基性岩同源；硅饱和及硅不饱和碱性岩，则是幔源物质与陆壳物质混杂的产物。峨眉山玄武岩也属于幔源铁镁质岩浆系列，但因与陆壳物质混合程度的不同，而形成不同类型的岩石。

4. 很久以前我国地质学家已发现该区具有长期隆起的特点。最近，刘风仁 (1984)^[6] 提出的“康滇地轴”西部、中部及东部地层柱状对比图，大致可以反映南北构造带及其两

表 2-1 攀西裂谷岩浆活动时间序列表

Table 2-1 The chronological sequence of the magmatic actions in Panxi Rift

阶段	岩类	期次	基 性 岩 套			碱 酸 性 岩 套		
			深成岩	浅成岩	喷出岩	深成岩	浅成岩	喷出岩
封 闭	喜 马 拉 雅 期	E ₂		橄榄金云火山岩—白榴金云火山岩31 Ma				
		E ₁					正长斑岩—粗面岩 67—46 Ma	
萎 缩	燕 山 期	K ₁				钾长花岗岩 113、105Ma	霏细斑岩—流纹斑岩 70、66 Ma	
		J						
断 陷	印 支 期	T ₃						
		T ₂					歪碱正长岩 214 Ma	菱长斑岩—碱流岩 210 Ma
隆 升	印 支 期	T ₁				碱性花岗岩 229 Ma	霞石正长岩 210 Ma	
破 裂	海 西 期	P ₂	基性岩墙群	峨嵋山玄武岩 236 Ma			碱性岩脉群 237 Ma	酸性火山灰流 (宜威组)
		P ₁		东川碱玄岩		正长岩 251 Ma		
成 穹	加 里 东 期	C				黑云母花岗岩 291、274Ma		
		D	层状堆晶杂岩 360、343 Ma	霓霞岩—霓霞钠辉岩				
穹	加 里 东 期	S	小型超基性岩 402、418 Ma					
		O						

(据骆跃南)

侧地区的古地理变迁概况(图2-4)。

在震旦纪,川滇地区大面积沉降,并伴有火山喷发活动。有的资料表明,澄江运动形成了南北向拉张构造,如小江及安宁河断裂带,它们控制了澄江组沉积岩系和苏雄组、开建桥组火山-沉积岩系,使其总体呈南北向展布。安宁河南北向断裂带曾是澄江期火山岩喷溢及次火山岩的主要通道。震旦纪后至晚三叠世前的地层在南北构造带内基本缺失,这表明在此时期内该带处于隆升状态。而其南北构造带的东、西两侧则处于沉降状态,接受了沉积。有隆有拗,隆拗相间,可能是由于东西向挤压的结果。直至晚三叠世,攀西地区才出现普遍接受沉积的局面。如果说玄武岩的大面积喷溢是东西向拉张作用的标志,也只能是应力场发生转变时期的表现。因为,此时南北带大部分地区仍处于隆起状态,只有局部地段接受了二叠系沉积。晚三叠世时期南北构造带的东、西、中三部分均处于沉降状态,东部和中部为陆相沉积,沉积厚度较小;西部为海相沉积,厚度较大。全面沉降可能意味着构造应力场的转变,即由东西向的挤压转变为东西向的拉张。这一转变有可能始于海西运动后期,但主要发生在印支运动期间。至侏罗纪时期南北构造带的中部和东部仍接受陆相沉积,而西部地区开始隆升为陆;至白垩纪其东部也逐渐升起,唯有中部仍接受了陆相沉积。由此可见,燕山后期构造应力场可能又开始转化,由东西向的拉张复转为东西向的挤压,以至该区的中生代地层被卷入南北向褶皱及冲断之中,显然系强烈挤压所致。

5. 有关该区峨眉山玄武岩的论著较多,但以岩石学方面的研究居多。地质构造学家认为峨眉山玄武岩属晚二叠世产物,属大陆裂隙喷溢型玄武岩,标志了西南地区东西向拉张的地壳运动,即作为攀西裂谷存在的主要依据。但是在刘杖的玄武岩等厚图中^①,玄武岩主要分布在南北构造带两侧,而其内部很少保存。一种观点认为轴部的玄武岩,因隆起而被剥蚀掉了;另一种观点认为玄武岩分布较广,不能作为攀西裂谷存在的标志。我们认为轴部玄武岩被剥蚀掉的说法值得探讨。如前所述,该带隆升时期,主要发生在玄武岩喷溢之前,而喷溢以后该区主要处于沉降堆积阶段,燕山后期的隆升首先发生于西侧,而后是东侧,最后才是中部。因此图2-5的等厚线所反映的玄武岩分布不应是剥蚀的结果,可能大致代表了原始堆积状况。

岩石化学方面的研究认为,玄武岩大致可分为两类。南北构造带以东的玄武岩多属陆相喷发,主要由弱碱性富含钛磁铁矿的斜斑玄武岩和高碱拉斑玄武岩组成,其中不含橄榄石。它们虽然也属幔源物质,但混杂了地壳中的成分,形成二次岩浆房,经弱结晶分异后喷溢于地表。而南北构造带以西玄武岩则属另一类型,它们以边缘海相喷发为主,其中含有橄榄石,属硅不饱和玄武岩,为幔源喷溢物。上述差异可能有助于说明南北构造带的轴部不是玄武岩喷溢的中心地带。

6. 南北构造带与其东西两侧的构造特征都有差异。其东侧的广大地区以北东走向的线性褶皱构造为主,而西侧以北西向走滑断层和弧形构造带为主,并常见推覆构造。南北构造带内则以南北向的逆冲断裂和伴生褶皱为主。断裂主要由东断裂带——小江断裂带和西断裂带——安宁河断裂带构成,而金河-程海断裂可能属于西部的弧形构造带。

小江断裂带主要由小江断裂和四开断裂组成,延伸300km以上,断层面陡立,各段倾向有别,形成于晋宁-澄江构造运动,具有多期活动特点。它控制了其东西两盘震旦系一

① 刘杖, 1982, 峨眉山玄武岩的岩石化学特征及其喷溢的大地构造环境(未刊)