

中国活断层研究专辑

# 小江活动断裂带

宋方敏 汪一鹏 俞维贤 著  
曹忠权 申旭辉 沈 军



地震出版社



## 前 言

小江断裂带是一条形成与发育历史久远的断裂带,是构成所谓“康滇古陆”或南北构造带的成分之一。同时,它又是新构造时期以来十分活跃的活动断裂带,无论是断层垂直差异运动,还是沿着断层的走向滑移运动,在西南乃至中国大陆上显得非常突出,造成了青藏高原东南边缘高山深谷的构造地貌,也诱发了十分频繁的地震活动和多种类型的地质灾害。小江活动断裂带曾经记录了 10 多次大于或等于 6 级的破坏性强震,最大的一次是发生于 1833 年的云南嵩明 8 级大震;小江流域又是我国泥石流灾害危害最重的地区之一。另一方面,在中国大陆板内块体活动图像中,青藏高原东南缘由鲜水河至小江活动断裂带与红河活动断裂带所夹持的“川滇菱形块体”向西南东方向的滑移,是一个早已被人们揭示的事实,然而,对这种岩石圈变形定量运动学与演化历史的研究尚欠详尽。

我国活动构造与活动断裂的研究是随着防震减灾工作的发展而深入的。80 年代以来,活动断裂研究走上系统、量化研究的道路,引入了古地震、大地震重复间隔及断裂带破裂分段等一系列先进理论与研究方法,使得活动断裂研究开创出一种新局面。其研究结果在未来强震的预测中将发挥更大的作用,同时亦为我国大陆板内岩石圈变形与动力学研究提供了更为丰富的材料与认识。

对小江断裂带及云南地区的新构造与地震构造的研究开始较早。黄培华(1959)、罗来兴(1963)对新构造与地貌特征作了开拓性的研究,谢毓寿(1958)首次将强地震活动与小江断裂带相联系。其后,对小江活动断裂带的研究不断深入(时振梁,1973;滕德贞,1978;韩源,1980;朱成男,1982,1988;张受生,1988;周瑞琦,1989;陈睿,1988)。由李珏先生主编的《西南地区地震地质及烈度区划:探讨》和《川滇强震区地震地质调查汇编》两书对小江及其邻地区的地震地质特征作了全面的论述,并提出了“川滇菱形块体”的概念(国家地震局西南烈度队,1977,1979);阚荣举等(1977,1983)对西南地区现代地壳应力场作了透彻的分析与论证;周玖(1980)则对青藏高原东南缘在重力作用下的地壳物质流作了探讨,受到广泛关注。

80 年代,国家地震局地质研究所多位研究生在李珏研究员指导下,沿鲜水河、安宁河、则木河和小江断裂带选择典型段落进行了深入细致的断裂活动时代及速率与古地震的研究,并探讨了区域应力场与潜在震源区的划分,此成果已写成专著《鲜水河—小江断裂带》出版(李珏主编,1993)。与此同时,云南省地震局地震地质队对小江断裂带进行了综合性的专题研究,完成了研究报告《小江断裂带第四纪新构造运动与地震》,准备付梓。前人大量的研究工作提供了丰富的材料和许多宝贵的认识,使我们后来的研究能站立于较高的起点之上。

80 年代末至 90 年代初,国际上活动构造研究在思路与方法上有了重大的发展。关于特征地震与强地震复发模型的讨论方兴未艾,断裂分段性研究又掀起高潮,继而,随着大量材料的积累,断裂活动在时间与空间上的非线性特征与地震事件的丛集特点又引起人们的强烈关注。而所有这些前沿性研究,均是以断裂活动习性的量化数据的系统采集为必要支撑的。我国活动构造研究为迎头赶上世界发展动向,适时地在“八五”期间开展了国家地震局活动断裂大比例尺地质填图与综合研究重点项目。同样,小江断裂带的新一轮研究不同于以往的研

究,它强调该断裂带晚第四纪活动习性量化数据的系统采集,并以此为基础开展以断裂破裂分段及未来强震危险性分析为中心的综合研究。1990—1994年,由国家地震局地质研究所和云南省地震局联合组成的课题组每年完成一定段落的地质填图与室内综合研究工作;1995—1996年对“八五”整体研究成果进行全面总结,编写研究总结报告;1997年又对小江断裂带北段与南段进行了补充野外调查。本书是在历年年度报告与总结报告的基础上经提炼和概括撰写完成的,成书的宗旨是汇集主要的基础材料以供后来的研究者使用,同时又力求对小江断裂带的晚第四纪活动特征、破裂分段及未来强震危险性作一较全面的分析与系统的阐述。

本书共分八章。第一章介绍小江断裂带所处的区域地质地貌环境,着重描述第四纪地层的划分及其岩性与成因类型;第二章论述小江活动断裂带的结构与组成,分析断裂活动随时空的演化特点;第三章专门探讨小江断裂带上盆地的发育历史与成因机制;第四章描述小江活动断裂带的运动学特征,尤其在大量实测材料的基础上分析了小江活动断裂带走滑运动速率;第五章总结小江活动断裂带的地震活动特征与四次历史强震的地表破裂带分布特征;第六章探讨小江断裂带多次活动的各种证据,并着重根据探槽开挖结果分析各段落的古地震期次与大震重复间隔;第七章论述小江活动断裂带的分段特点,并使用确定性方法与概率分析方法评估了小江活动断裂带今后的地震危险性;第八章讨论小江活动断裂带及其周邻地区的区域地壳应力场与块体运动学、动力学特征。

本书是课题组全体成员多年辛勤劳动的结晶。历年来,参加本课题野外工作与室内研究的有:汪一鹏、宋方敏、俞维贤、曹忠权、申旭辉、沈军、侯学英、李志祥。此外,王洋龙参加了1990年野外踏勘工作。书稿前言、第七章第四节、结论由汪一鹏执笔,第一章第二节由曹忠权执笔,第六章第四节由俞维贤执笔,第七章第三节由沈军执笔,第八章由申旭辉执笔,其他各章均由宋方敏撰写。宋方敏、汪一鹏完成了本书的修改、定稿。此外,本书的英文前言由林传勇翻译,图件由张兰凤清绘,文字录入由那燕、李传友完成。

在本书出版之际,对曾给予宝贵支持与指导的国家地震局原震害防御司及项目专家组、云南省地震局有关领导和韩源研究员表示深深的谢意。

## Preface

Xiaojiang fault zone has a long - standing history of formation and development, which is an important component of the so - called "Kangdian ancient land" and the longitudinal tectonic belt. In addition, it has been very active since neotectonic time. Either the vertical fault block differential movement, or the strike slip movement along the fault zone is most prominent in southwest China, and even in China continent. It not only had given rise to the formation of rugged mountains and deep valley morphology on the southeastern margin of Qinghai - Tibet Plateau, but had induced very frequent seismicity and various geologic hazards. More than 10 destructive earthquakes of magnitude equal to or above 6 had been recorded along the fault zone. Among them, the greatest one was the Songming magnitude 8 earthquake that occurred in 1833. The Xiaojiang river valley is one of the areas in China that have long been suffered from tremendous hazards of debris flow. On the other hand, in the pattern of the intraplate fault block movement of China continent, the south southeast - ward slipping of the "Sichuan - Yunnan (Chuandian) rhombic block" bounded on both sides by the active Xiaojiang and Honghe fault zones on the southeastern margin of the Qinghai - Tibet plateau, is an indisputable fact that has long been recognized. However, the quantitative kinematics and the evolution history of this lithospheric deformation has not been studied in sufficient detail so far.

The research of active tectonics and active faults in China is forging ahead with the development of national project of earthquake prevention and hazard reduction. Since 1980's, with the introduction of a series of advanced theory and methodology such as the recurrence intervals of paleoearthquakes and strong earthquakes, and the segmentation of fault zone, the research of active fault in China has followed the way of systematic and quantitative study. Consequently, a new prospect has been opened, and the results will play more important role in the prediction of future earthquake. Moreover, it will provide abundant data to gain an insight into the research of the deformation and dynamics of intraplate lithosphere in China continent.

The research of Xiaojiang fault zone and the active tectonics in Yunnan region was initiated very early. An initiatory study of the neotectonic and geomorphic features of Xiaojiang fault zone was carried out by Huang Peihua (1959), and Luo Laixing et al. (1963), while the activity of strong earthquake was firstly correlated to the Xiaojiang Fault zone by Xie Yushou (1958). Since then, the research of Xiaojiang fault zone has been developed in depth (Shi Zhenliang, 1973; Teng Dezheng, 1978; Han Yuan, 1980; Zhu Chengnan, 1982, 1988; Zhang Shousheng, 1988; Zhou Ruiqi, 1989; Chen Rui, 1985, 1988). At that time, the books "Seismo - geology and intensity zoning of the southwest China" and "Compilation of the results of seismogeologic investigation of Sichuan - Yunnan strong earthquake areas" edited by Prof. Li Ping described thoroughly the seismogeologic characteristics of Xiaojiang and its adjacent areas, and proposed firstly the concept of Chuandian (Sichuan - Yunnan) rhombic block (c.f. Research team of the intensity zoning of southwest China, SSB, 1977, 1979). Kan Rongju et al. (1977,

1983) made a penetrating analysis and demonstration of the recent crustal stress field of southwest China, while the discussion of the crustal mass flow along the southeastern margin of Qinghai - Tibet plateau made by Zhou Jiu (1980) had attracted common attention.

During the 1980's, many postgraduates from Institute of Geology, State Seismological Bureau, under the guidance of Prof. Li Ping, had successively carried out thoroughgoing and painstaking work on the timing of fault activity, slip rate determination, and paleoearthquake along the selected typical segments of Xianshuihe, Zemuhe, Annighe and Xiaojiang fault zones. They had also inquired into the regional stress field and the division of potential seismic source areas. Their results had been published in the book entitled "The Xianshuihe - Xiaojiang fault zone" (Li Ping ed., 1993). At the same time, a comprehensive monographic studies on Xiaojiang fault zone were carried out by the Seismogeologic Research Team of Yunnan Province. Their results will be published in the book entitled "The Quaternary neotectonic movement and seismicity of the Xiaojiang fault zone". Abundant data and new recognition provided previous work enable us to start our research work from a higher level.

A significant progress has been made in the ideology and methodology of the research of active tectonics in the world since the late 1980's and the early 1990's. The discussion of characteristic earthquake and recurrence model of strong earthquake was just unfolding, while the study of fault segmentation was starting a new upsurge. Afterwards, with the accumulation of abundant data, great attention has been paid to the spatial and temporal nonlinearity of fault activity, as well as the clustering feature of seismic events. All these research priorities have been supported by the systematic sampling of quantitative data on faulting behavior. In order to keep up with the trend of active tectonic research in the world, a major project on the geologic mapping and comprehensive study of active faults have been properly set up by State Seismological Bureau in the early 1990's. Similarly, the present study of the Xiaojiang fault zone has aimed at a new target. In contrast to the previous work, it laid emphasis on the systematic sampling of the quantitative data on the faulting behavior of the fault zone during late Quaternary time, and to carry out a comprehensive study centering on the segmentation of the rupture zone and the assessment of the strong earthquake potentials. From 1990 to 1994, the research group consisting of the researchers from both Institute of Geology, SSB and Seismological Bureau of Yunnan Province completed annually the geologic mapping of a certain segment of the fault zone and in-house comprehensive studies. From 1996 to 1997, the whole results of the studies in the past five years have been comprehensively summarized, and a final report has been compiled. In 1997, a complementary field investigation was carried out on the northern and southern segments of the Xiaojiang fault zone. The present book has been compiled based on the extraction and summary of the annual and final reports of the research project. The main purposes of the book are to provide basic materials that are useful for further studies, and to make an attempt to analyze thoroughly the features of the late Quaternary activity and the segmentation of the Xiaojiang fault zone, as well as to expound systematically the potential risk of future strong earthquakes.

The book consists of 8 chapters. Chapter 1 describes the regional geologic - geomorphic setting of the Xiaojiang fault zone, with special emphasis on the division of Quaternary stratigraphy and genetic type; Chapter 2 deals mainly with the structures and compositions of the Xiaojiang fault zone, as well as the spatial and temporal evolution of fault activity; Chapter 3 lays special emphasis on the development

history and formation mechanism of basins along the Xiaojiang fault zone; Chapter 4 illustrates the kinematic features of the active Xiaojiang fault zone, with special emphasis on the analysis of the spatial and temporal distribution of the strike-slip movement along the fault zone, while the strike-slip rate along the different segments of the fault zone have been given in this chapter as well; Chapter 5 summarizes the characteristics of seismic activity and the distribution of surface rupture zones produced by 4 historical strong earthquakes along the Xiaojiang fault zone; Chapter 6 inquires into various evidence of the multi-periodicity of the activity of the Xiaojiang fault zone, with special emphasis on the recognition of paleoseismic events and the recurrence interval of strong earthquakes based on trenching; Chapter 7 discusses the segmentation of Xiaojiang fault zone, and provide an assessment of the seismic risk along the fault zone by using seismic-structural comparison technique and probability analysis method; Chapter 8 discusses the regional stress field and the kinetic and dynamic features of fault block movement along the Xiaojiang fault zone and its adjacent areas.

The book is the product of industrious labor of all the members of the research group for many years. The members who were involved in this research project are Wang Yipeng, Song Fangmin, Yu Weixian, Cao Zhongquan, Shen Xuhui, Shen Jun, Hou Xueying, and Li Zhixiang. Besides, Wang Yanglong joined the field reconnaissance in 1990. Except the preface, the section 4 of Chapter 7 and the Conclusion were written by Wang Yipeng, section 2 of chapter 6 by Yu Weixian, section 2 of chapter 1 by Cao Zhongquan, section 3 of chapter 7 by Shen Jun and chapter 8 by Shen Xuhui, the other parts of the book were written by Song Fangmin. The manuscript was revised and finalized by Song Fangmin and Wang Yipeng. The fair drawings in the book were completed by Zhang Lanfeng, the English preface was translated by Lin Chuanyong, and the typing of the manuscript were completed by Na Yan and Li Chuanyou.

On the occasion of the publication of this book, we would like to express our thanks to the former Department of Earthquake Hazard Prevention, SSB, the expert board of the project, the relevant responsible persons from Seismological Bureau of Yunnan Province and Prof. Han Yuan. They have given valuable support and advise to the research work.

# 目 录

前 言	(5)
第一章 区域地质背景	(1)
第一节 区域构造轮廓	(1)
第二节 主要地层单位	(4)
第三节 岩浆岩	(14)
第四节 区域地貌与新构造特征	(16)
第二章 断裂带内部结构、演化历史和活动迁移特征	(22)
第一节 西支断裂的内部细结构	(23)
第二节 东支断裂的内部细结构	(32)
第三节 拉分盆地内部张剪切断层和东、西支断裂之间的北东向断层	(42)
第四节 断裂演化历史及时空迁移特征	(48)
第三章 断裂带上盆地的演化和形成机制	(53)
第一节 盆地的规模和类型	(53)
第二节 盆地的演化及其主要特征	(55)
第三节 盆地发育与地壳运动、气候环境的关系	(73)
第四章 断裂带的运动学特征	(76)
第一节 地质位移及位移量	(76)
第二节 水系、山脊、洪积扇位移及其位移量	(79)
第三节 左旋体滑速率的估算	(100)
第四节 垂直差异运动特征	(106)
第五章 地震活动与历史强震破裂带	(114)
第一节 历史地震与仪器记录地震的活动特征分析	(114)
第二节 历史强震地表破裂带特征	(120)
第三节 强震发生的断裂构造条件	(139)
第四节 破裂带终止条件分析及各破裂段离逝时间	(141)
第六章 断裂活动的多期性及古地震与强震重复间隔	(142)
第一节 断裂活动多期性的地质地貌表现	(142)
第二节 不同级别的水系位移所反映的活动期次	(143)
第三节 用地震位移、滑动速率计算强震的平均重复间隔	(149)
第四节 探槽揭露的古地震事件及其重复间隔	(152)
第五节 古地震事件的对比	(168)
第七章 断裂带的分段特征及地震危险性和地质灾害分析	(170)
第一节 断裂带的分段特征	(170)
第二节 地震危险的定性分析	(180)

第三节	地震危险性定量评估·····	(190)
第四节	地质灾害及地震中的衍生地质灾害·····	(206)
第八章	青藏高原东南缘地壳块体运动基本特征·····	(209)
第一节	区域地壳构造格局与块体划分·····	(210)
第二节	区域地壳应力场特征与块体运动基本趋势·····	(217)
第三节	区域地壳块体运动时空规律分析·····	(220)
第四节	侧向滑动运动的衰减和吸收机制·····	(223)
结    语	·····	(230)
参考文献	·····	(233)



# Contents

Preface .....	(5)
Chapter 1 Regional geologic setting .....	(1)
1.1 regional tectonic configuration .....	(1)
1.2 Principal stratigraphic units .....	(4)
1.3 Magmatic rocks .....	(14)
1.4 Regional geomorphic and neotectonic features .....	(16)
Chapter 2 Inner structures, evolution history and migration of activity of the fault zone .....	(22)
2.1 Inner fine structures of the western branch fault .....	(23)
2.2 Inner fine structures of the eastern branch fault .....	(32)
2.3 Tensional shear faults within the basins and the NE - trending faults between eastern and western branch faults .....	(42)
2.4 Evolution history of the fault and spatial and temporal migration of fault activity .....	(48)
Chapter 3 Evolution and formation mechanism of basins along the fault zone .....	(53)
3.1 The scale and type of basins .....	(53)
3.2 Evolution and principal features of the basins .....	(55)
3.3 The relation of basin development to crustal movement and climatic environment .....	(73)
Chapter 4 Kinetic features of the fault zone .....	(76)
4.1 Displacement of geologic bodies .....	(76)
4.2 Offset of drainage systems, ridge and diluvial fan .....	(79)
4.3 Estimation of left - lateral strike slip rate .....	(100)
4.4 Characteristics of vertical differential movement .....	(106)
Chapter 5 Seismic activities and surface rupture zones produced by historical strong earthquakes .....	(114)
5.1 Analysis of the characteristics of historical and instrumental seismic activities .....	(114)
5.2 Characteristics of surface rupture zones produced by historical strong earthquakes .....	(120)
5.3 Conditions of fault structures for the generation of strong earthquakes .....	(139)
5.4 Conditions for rupture termination and the elapses time of individual rupture segments .....	(141)
Chapter 6 Multi - periodicity of fault activity and the recurrence interval of paleoearthquakes and strong earthquakes .....	(142)
6.1 Geologic - geomorphic manifestation of multi - periodicity of fault activity .....	(142)

6.2	Period of activity reflected by the offset drainage systems of different scales .....	(143)
6.3	Average recurrence interval of strong earthquakes determined by seismic displacement and slip rate .....	(149)
6.4	Seismic events revealed by trenching and their recurrence interval .....	(152)
6.5	Comparison of paleo - seismic events .....	(168)
Chapter 7	segmentation of the fault zone and analysis of seismic risk and geologic hazards .....	(170)
7.1	segmentation of the fault zone .....	(170)
7.2	Qualitative analysis of seismic risk .....	(180)
7.3	Quantitative assessment of seismic risk .....	(190)
7.4	Geologic hazards and hazards induced by seismic events .....	(206)
Chapter 8	Principal characteristics of crustal block movement on the southeastern margin of Qinghai - Tibet plateau .....	(209)
8.1	Regional framework of crustal structures and divisions of tectonic blocks .....	(210)
8.2	Characteristics of regional stress field and principal tendency of tectonic block movement .....	(217)
8.3	Analysis of the regularity of regional crustal block movement .....	(220)
8.4	Attenuation of lateral slip movement and absorption mechanism	
	Conclusion .....	(223)
Conclusion	.....	(230)
References	.....	(233)

## 第一章 区域地质背景

### 第一节 区域构造轮廓

#### 一、大地构造单元划分及其所属板块构造

小江断裂带及其周围地区地处云贵高原,是扬子准地台、华南褶皱系和唐古拉—昌都—兰坪—思茅褶皱系三个一级大地构造单元的交汇地区(图1.1)。

本区所属板块构造为欧亚板块,以小江断裂、则木河断裂、红河断裂为界,欧亚板块又可进一步划分为青藏亚板块、东南亚亚板块和南华亚板块(图1.2)。

对比图1.1和图1.2可见,小江断裂、则木河断裂和红河断裂既是大地构造单元划分的重要界线,也是亚板块划分的重要界线,反映它们在长期的地质历史发展中对区域构造起着明显的控制作用。但是图1.1中扬子准地台(I)和华南褶皱系(II)之间的界线在图1.2中已不存在。该界线为北东向的师宗—弥勒断裂带,此断裂带在早期的地质历史中对南北两侧的地质发育起明显的控制作用,但新生代以来它的控制作用已明显减弱。其他三条断裂至今仍起着明显的控制作用。

#### 二、区域地史简述

图1.1中的大部分地区(I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>和I<sub>3</sub>)具基底和盖层双层结构。基底下部为下元古界复理石和钠质火山岩,厚逾万米;基底上部为中元古界类复理石和碳酸盐岩建造。盖层由上元古界中三叠统组成。可大致分三个堆积层,第一层由下震旦统磨拉石建造组成;第二层由上震旦统一志留系的浅海相碳酸盐岩建造组成;第三构造层由泥盆系一下三叠统的河湖相红色建造和浅海相碳酸盐岩建造层组成。中三叠世后,全区由海相堆积变为陆相堆积。燕山运动在该区表现明显,褶皱和断裂活动强烈。新生代以来,则木河—小江断裂带东、西两侧地壳运动有明显差异。西部地区作为青藏亚板块的组成部分受印度板块向北俯冲、碰撞的影响而强烈隆起,同时其内部还有较强的差异运动。东部地区作为南华亚板块的一部分虽然也以隆升为主,但其上升幅度较小。

图1.1东南部分的地壳运动经历了十分复杂的演化过程。震旦纪—中奥陶世阶段沉积了类复理石建造、砂泥质建造和碳酸盐岩建造。晚古生代阶段地壳以升降运动为主,泥盆纪至早二叠世为稳定的浅海环境,广泛堆积了碳酸盐岩建造和部分陆屑建造。晚二叠—晚三叠早、中期沉积了巨厚的复理石建造、基性火山岩建造。晚三叠世末印支运动使全区褶皱抬升。燕山期酸性岩浆活动强烈。新生代该区整体抬升,地壳运动较弱。

图1.1西南部分地壳运动和地层堆积与东南部分有相似之处。早古生代及其以前沉积了类复理石建造、砂泥质建造和碳酸盐岩建造。晚古生代在经历了中泥盆世的短暂稳定之后,于石炭纪、二叠纪期间沿深、大断裂拉开而发展成为古特提斯海盆的重要组成部分。该时期的沉积建造复杂,既有稳定型的磨拉石建造、砂泥质建造和碳酸盐岩建造,又有基性火山岩建造和复理石建造。华力西运动使一度强烈拗陷活动的古特提斯海盆基本闭合,伴随这一运动还有

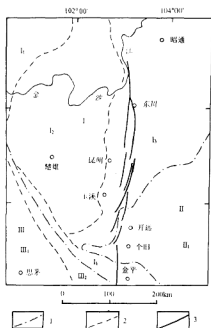


图 1.1 区域大地构造单元划分图  
(据云南省地质矿产局, 1990)

1. 一级大地构造单元界线; 2. 二级大地构造单元界线; 3. 小江断裂; I 扬子准地台; I<sub>1</sub> 丽江台缘褶皱带; I<sub>2</sub> 川滇台背斜; I<sub>1</sub> 滇东台槽带; II 华南褶皱系; II<sub>1</sub> 滇东南褶皱带; III 唐古拉—昌都—兰坪—思茅褶皱系; III<sub>1</sub> 兰坪—思茅坳陷; III<sub>2</sub> 墨江—绿春江褶皱带

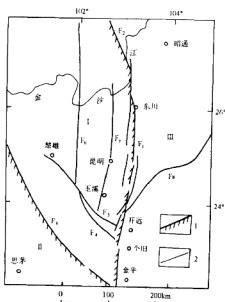


图 1.2 区域板块、亚板块划分图  
(据马杏垣, 1986)

1. 亚板块边界断裂; 2. 其他断裂; I 青藏亚板块(川滇菱形断裂); II 东南亚亚板块(临沧—思茅断裂); III 南华亚板块(华南断裂); F<sub>1</sub> 小江断裂; F<sub>2</sub> 则木河断裂; F<sub>3</sub> 红河断裂; F<sub>4</sub> 石屏—建水断裂; F<sub>5</sub> 楚雄—峨山—曲江断裂; F<sub>6</sub> 元谋断裂; F<sub>7</sub> 普渡河断裂; F<sub>8</sub> 师宗—弥勒断裂

大量中酸性岩体侵入。晚三叠世结束了海相沉积历史。侏罗—白垩纪基本由红色建造组成。新生代喜马拉雅运动强烈, 作为东南亚板块的组成部分, 受印度板块的强烈推挤, 中、新生界强烈褶皱变形, 同时上始新统一渐新统磨拉石建造普遍不整合在下伏不同时代地层之上。

### 三、区域主要活动断裂带

小江断裂带所在区域断裂构造十分发育。由图 1.1 和 1.2 可见, 除控制不同构造单元和亚板块的小江、则木河、红河和师宗—弥勒断裂外, 在小江断裂带西侧还有楚雄—建水断裂、曲江断裂、元谋断裂和普渡河断裂等。这些断裂皆处在川滇块体内部, 是川滇块体更次级断裂的边界断裂。无论是亚板块边界断裂还是川滇块体内部断裂, 它们都经历了较长的地质历史, 具有强烈的新活动, 历史与现今地震活动强烈。

#### 1. 小江断裂带

这是本书将要全面论述的断裂带。它构成青藏亚板块和南华亚板块的部分边界, 是著名川滇菱形块体东南边界断裂。小江断裂带北起巧家以北, 南至建水东南, 全长 400 km 多。总体走向南北。根据其内部结构可划分三段, 北段: 巧家北—蒙姑, 由单条断裂组成; 中段: 分东西两支, 东支北起蒙姑, 南至宜良盆地南端, 西支北起达朵以北, 南至澄江以南; 南段: 北起宜良盆

地南端和徐家渡一带,南至建水东南山花一带。

小江断裂带在长期活动过程中,曾经历压、张、扭不同力学性质的转化,沿带有最宽达500m左右的断层破碎带,沿断面断层泥发育。晚第四纪以来,断裂以强烈左旋走滑为特征。对山脊、水系、地质地貌体等位移明显,其确切的最大的左旋位移可达5~7 km。由于断裂的左旋走滑运动,在次级剪切断层的阶区部位,晚更新世以来形成多个拉分盆地。除左旋位移外,在各次级剪切断层的端部位置,其垂直位移也很明显。

沿小江断裂带历史和现今地震活动频繁,其中最大地震是1833年嵩明8级地震。1966年在东川北连续发生两次6.2和6.5级地震。除地震外,断裂带其他地质灾害也频繁发生,例如东川一带泥石流、滑坡等地质灾害,对当地居民多次造成生命和财产的巨大损失。

## 2. 则木河断裂带

则木河断裂带是青藏高原块和南华亚板块的部分边界断裂,是川滇菱形块体东缘中间的边界。西北起自西宁,东南止于巧家以南,与小江断裂相接。走向 $320^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ,倾向东北,倾角较陡,全长140 km。由西宁、西昌、宁南和大同4条次级断裂组成。地球物理资料显示为一条切割地壳的深断裂。断裂对两侧的沉积建造控制明显,如晚三叠系白果湾地层西南侧厚2000 m多,东北侧仅200 m;而白垩系飞天山组在东侧厚近1000 m,西侧只有160 m(四川省地质矿产局,1991)。沿带可见宽10 m多的断层破碎带。晚第四纪以来,其活动性质以强烈地左旋走滑为主,使一系列山脊、冲沟发生左旋位移,其最大位移400~900 m(李珏主编,1993)。该断裂晚第四纪还有明显的垂直差异运动,如在西昌次级断裂大箐梁子晚更新世洪积砾石层中有一长1500 m,高5~10 m的断层陡坎。大箐梁子与跑马坪之间有一走向北西 $50^{\circ}$ 的断层槽地。四坪史布一五道箐晚更新世洪积物中形成断续长2 km,宽5~10 m的断层挤压岗。则木河断裂带历史上曾发生过1850年9月12日的西昌7 $\frac{1}{2}$ 级地震。

## 3. 红河断裂带

红河断裂带是川滇菱形块体的西南边界断裂,也是青藏高原块体和东南亚板块的部分边界断裂。地质历史上曾是扬子稳定块体的西南边界。它西北起自云南普洱湾坡塘,向东南经大理、弥渡、元江、红河、直至中越边境河口,然后继续延伸入越南境内,总长600 km多。总体走向北西,倾向北东或南西,倾角较陡。根据结构和活动强度差异,可将全带划分为三段。

红河断裂带形成于晋宁运动后期,其后经历了加里东、华力西、印支和燕山等多次构造运动,对地层沉积、岩浆活动控制明显。沿线发育有较宽的断层破碎带和断层泥。单条断裂破碎带宽度可达10~200 m,断层泥宽0.1~10 m(国家地震局地质研究所,云南省地震局,1990)。根据沿带发育一系列基性和超基性岩体及重、磁异常的特征,反映它是一条切割岩石圈的深断裂。断裂在地貌上显示清楚,例如苍山东麓断裂分割的苍山、洱海在地貌上对照性极强。第四纪以来,苍山上升了2000多米、洱海下沉了2000多米,其差异运动幅度超过4000 m。洱海东缘断裂在地貌上形成山水相接的基岩陡壁。

红河断裂带是晚第四纪强烈活动的断裂。除控制和切割第四纪沉积和控制了一系列晚第四纪盆地发育外,对横穿它的山脊、水系右旋位错明显。沿带地震活动频繁,特别在其北段,历史上曾发生2次7级地震和多次6~6 $\frac{1}{4}$ 级地震。1927年大理7级地震产生了地表破裂现象。

## 4. 楚雄—峨山—曲江断裂和石屏—建水断裂

这两条断裂可看作是同一条断裂带。它西起南华、经楚雄,过绿汁江后,一支经峨山,止于曲溪东北;另一条经石屏,止于建水东北。整体上呈向西北收敛,向东南散开的帚状。是与红

河断裂大致平行的一条北西向断裂带。

这两条断裂位于川滇菱形块体内部,是新生代以来强烈活动的一条断裂。地貌上表现为清楚的断裂槽地,沿槽地分布的南华、楚雄、通海、曲溪、石屏和建水等盆地皆受断裂控制。历史上和近期,地震活动频繁,有12次大于或等于6级地震发生。其中1970年通海7.7级地震沿地表形成长达90 km多的地震地表破裂带。

晚第四纪以来,这两条断裂的活动性质是以右旋走滑为主,垂直和斜交断裂的水系具同步右旋位移的特征。两条断裂向东南延伸,皆被小江断裂带南段次级剪切断裂所阻挡。

#### 5. 元谋断裂

该断裂是川滇菱形块体内部的一条断裂带,北起四川西昌西南,往南经昔格达、元谋、一平浪,南端被北西向的楚雄—峨山—曲江断裂所截,走向南北,倾向东或西,倾角陡,延伸总长约250 km。断裂最早形成于早元古代末,经历多次强烈活动。沿断裂带发育有100 m以上的断层破裂带。洱源—江川地震测深剖面显示沿断裂有清楚的莫霍界面位错,错距约3 km。地球物理场亦有清楚的显示,有明显的重力梯度带和磁异常分界线。沿带还有基性—超基性岩体成群成带出现。这些皆反映元谋断裂是一条切割地壳的深断裂。

元谋断裂带是一条晚第四纪活动的断裂带。它控制了龙街、羊街和化同晚第四纪盆地的发育。断裂活动性质为左旋走滑为主,但在晚第四纪盆地边缘,其垂直运动也很明显。沿断裂带有中强地震发生。如1955年9月23日在渡口东南曾发生6 $\frac{1}{4}$ 级强震。

#### 6. 普渡河断裂

该断裂北起金沙江以北,向南大致沿着普渡河延伸,之后经昆明、玉溪,止于峨山一带,全长约280 km。走向近南北,是川滇菱形块体内部的一条断裂,与元谋断裂大致平行。

普渡河断裂是长期活动的断裂,沿断裂印支期、燕山期岩浆活动强烈。该断裂新活动表现清楚,断层谷和断层崖地貌多处可见,对滇池—晋宁盆地,玉溪盆地的发育起控制作用。1995年武定6.3级地震则发生在该断裂上。

#### 7. 师宗—弥勒断裂

该断裂是扬子地台与华南褶皱系的分界断裂。北起富源,向西南经师宗、弥勒、至巡检司一带,全长250 km。走向北东,倾向北西,倾角40°~60°。

该断裂对地层界线控制明显,断裂西北为上古生界地层,东南为三叠系。沿线可见上古生界逆冲在三叠系不同层位之上,地层强烈挤压破碎,褶皱异常发育。

该断裂晚第四纪以来的新活动性比起其他断裂要弱的多,历史和现今沿断裂仅有一些小于6级的地震在弥勒一带发生。

## 第二节 主要地层单元

小江断裂带东、西两侧地区(102°~104°E)出露有元古界、古生界、中生界和新生界。其中元古界、古生界和中生界分布广泛,新生界零星分布。古生界和中生界在断裂带西侧和东侧北半部相间出露,多构成不同方向的背斜和向斜,断裂带东南半部,中生界大范围出露,古生界仅占一小部分(图1.3)。

### 一、元古界

元古界分下、中、上三部分。

### 1. 下元古界

下元古界根据出露地点的不同分别被命名为哀牢山群和瑶山群。

哀牢山群因沿哀牢山分布,故名。在图 1.3 范围内仅出露在小江断裂带南端以南地区,呈北西—南东向的条带状延伸,其岩性为一套变质较深、混合岩化强烈的岩系,如片麻岩、变粒岩、角闪岩、混合岩、二云石英片岩等,其厚度大于 9253 m(云南省地质矿产局,1990)。

瑶山群出露于元江北岸的夏马—河口县城,大致沿瑶山分布。岩性为各类片麻岩、变粒岩夹斜长角闪岩、大理岩等,总厚度大于 3600 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 2. 中元古界

中元古界在图 1.3 范围内称昆阳群,主要出露在小江断裂带以西与元谋断裂带以东地区,小江断裂带以东地区仅有零星出露。其岩性是以陆源碎屑岩为主,夹碳酸盐岩,岩石仅遭受轻微的低温动力变质作用,总厚超过 10000 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 3. 上元古界

上元古界主要出露震旦系,在小江断裂带东、西两侧皆有分布。在图 1.3 范围内大部分为陆相—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩及磷酸盐岩沉积,仅东南一小部分为浅变质的板岩、白云岩,上元古界厚约 2000 m,东南部分厚度大于 5092 m(云南省地质矿产局,1990)。

## 二、古生界

古生界从下到上有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系,其出露广泛。

### 1. 寒武系

可分两个沉积区,其中大部分为昆明—东川沉积区,仅东南一小部分为文山沉积区。

昆明—东川沉积区为滨海—浅海相沉积,下、中部以泥质岩、碎屑岩为主,并有碳酸盐岩;上部几乎全为碳酸盐岩,出露总厚 250—1800 m(云南省地质矿产局,1990)。

文山沉积区下部为滨海—浅海陆棚相砂岩、页岩及白云岩;中、上部为浅海相碳酸盐岩,出露厚度 4000—5000 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 2. 奥陶系

分两个沉积区,大部分为昆明—东川沉积区,东南小部分为文山沉积区。

昆明—东川沉积区为滨海—浅海相沉积,下统以碎屑岩为主,中统以碳酸盐岩为主,上统为页岩、碎屑岩或白云岩,厚 100—1100 m(云南省地质矿产局,1990)。

文山沉积区仅有下、中统出露,为浅海相沉积。下统为碎屑岩与碳酸盐岩互层,中统为碎屑岩及灰岩,厚 700—1800 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 3. 志留系

在图 1.3 范围内志留系仅出露在曲靖—建水一线西北,为滨海—浅海相堆积,岩性为砂岩、泥岩、泥质碳酸盐岩,局部为白云岩,厚 2000—2500 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 4. 泥盆系

泥盆系分布广泛,沉积类型多样。以陆相—滨海相碎屑岩、碳酸盐岩堆积为主,厚 1500—3000 m(云南地质矿产局,1990)。

### 5. 石炭系

在小江断裂带两侧广泛分布,以浅海相碳酸盐岩沉积为主,有少量陆相碎屑岩及煤层,厚 150—1200 m(云南省地质矿产局,1990)。

## 6. 二叠系

分布广泛,分下、上二叠统。下二叠统以浅海相的碳酸盐岩为主,下部有薄层滨海相粘土岩,厚 100 ~ 900 m。上二叠统主要为大面积的玄武岩,仅顶部有很薄的陆相碎屑岩及煤层,玄武岩最厚可达 2700 m,碎屑岩及煤厚 100 ~ 270 m(云南省地质矿产局,1990)。

## 三、中生界

中生界从下往上有三叠系、侏罗系和白垩系。三叠系出露较为广泛,尤其在图 1.3 东南部出露最为连续。

### 1. 三叠系

下部和上部以河流—滨海相堆积为主,主要岩石类型为砂岩、泥岩、泥灰岩。中部为滨海、滨岸泻湖沉积。岩石类型为碳酸盐岩,厚 2000 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 2. 侏罗系

在图 1.3 东南部缺失,其他部分零星出露,主要为浅湖相—滨湖相堆积,岩石类型为泥岩、粉砂岩、细砂岩、夹泥灰岩、灰岩,最厚达 6000 m(云南省地质矿产局,1990)。

### 3. 白垩系

分布零星,为河流相,河流—浅湖相堆积,主要岩石类型为砂岩、砾岩、泥岩,厚度各地差别很大,一般 600 ~ 1000 m(云南省地质矿产局,1990)。

## 四、新生界

新生界包括第三系和第四系。

### 1. 第三系

第三系分布在多个盆地中。从下往上依次划分为始新统、渐新统、中新统、上新统。由于第三纪时云南的地壳运动特征已基本趋于一致,致使各地同时时期的沉积在岩相、沉积建造、生物群、构造变动、古气候等方面都具有可对比性。因此,尽管各地所取地层名称不同,但其岩性及所含化石却基本相同。图 1.3 范围内缺古新统和始新统下段。

始新统上段称路美邑组,渐新统下段分小屯组和蔡家冲组,渐新统上段—中新统下段缺失,中新统中段称小龙潭组,中新统上段—上新统下段又缺失,上新统上段称茨营组(云南省地质矿产局,1990)。

路美邑组:主要分布于路南盆地,在师宗、罗平、弥勒、陆良、泸西、建水、嵩明等盆地也有出露。岩性为湖相红色砾岩、砂岩,灰白色、灰红色细砂岩、泥灰岩等,路南县路美邑剖面厚 461.6 m,含哺乳类、爬行类化石<sup>①</sup>。

小屯组:分布于路南、曲靖等盆地,在沾益县十里铺、弥勒县者衣一大可等地也有出露。其岩性为湖相棕红、灰绿、蓝灰色砂质泥岩,泥质砂岩、含砾砂岩、含哺乳类、爬行类化石。路南县大邑多—安仁村剖面厚 66.2 m。

蔡家冲组:为湖相灰绿色泥岩、浅灰色泥灰岩、杂色泥岩、钙质泥岩、粉砂岩、细砾岩等,含哺乳类、爬行类等化石。曲靖县茨营蔡家冲剖面厚 187 m<sup>②</sup>。

小龙潭组:为湖沼相灰色砾岩、砂岩、泥土岩、泥灰岩夹褐煤,是云南省褐煤的重要赋存层位,含哺乳类、植物类化石。开远市小龙潭两个剖面分别厚 298.5 ~ 528.5 m(云南省地质矿产

① 云南省地质局第二区域地质测量大队,宜良幅区域地质调查报告(1:200000),1973。

② 云南省地质局第二区域地质测量大队,曲靖幅区域地质调查报告(1:200000),1973。



局,1990)。

茨营组:该组地层在云南广泛发育,是重要的褐煤赋存层位。其岩性为湖沼、河湖、冰水相灰色粘土岩、褐煤夹砾岩,含哺乳类化石,厚 29 ~ 1331 m(云南省地质矿产局,1990)。小江断裂带诸多盆地中,绝大多数都有茨营组地层出露。从北到南西支断裂上的乌龙、羊街、嵩明、元岗、阳宗海盆地,东支断裂上的东川、功山、寻甸、小新街、马街、宜良、打挂村盆地,两条断裂之间的金所、凤鸣—可保盆地,南段断裂上的华宁、曲溪、建水等盆地皆有堆积。各盆地厚度不一,如凤鸣—可保盆地厚 776 m,马街盆地厚 471 m,杨林盆地 406 m<sup>①</sup>。

据蒋志文(1973)及云南省地质局第二区域地质测量队的资料,杨林盆地的茨营组可划分为四段,自上而下为:

第四段:暗灰、暗紫红色泥岩、砂岩与砾岩,偶夹不稳定之煤层或煤线,含软体动物化石雅致短沟蜆(*Semisulcospira* sp.)、抱粉桤(*Alnus Prenepalensis*),介形类组合美星介(*Cypridopsis*)—玻璃介(*Candonia*),小玻璃介(*candoniella*)。

第三段:灰、灰绿色粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩和炭质泥岩,褐煤。

第二段:灰黄、灰绿色粉砂岩、泥岩夹砂岩及少量褐煤,富含樟(*Cinnamomum* sp.)、栎(*Quercus* sp)抱粉,底部含桤木抱粉(*Alnus* sp.),介形类为小玻璃介—玻璃介—星球介(*Eucyparis*)组合。

第一段:深灰、灰黑、灰褐色粉砂质泥岩、泥岩夹砂岩、炭质泥岩及少量薄层褐煤,底部为砂砾岩。

茨营组地层是一个穿时性地层单位,是晚上新世至早更新世时的湖相地层沉积,其理由是:第四段地层层位里含有雅致短沟蜆(*Semisulcospira* sp.),该化石曾发现于陕西渭南地区三门组地层中,为典型的早更新世特有种。在滇中元谋组中也见该化石(钱方等,1984;张宗祐等,1994)。前人对元谋组地层的古地磁测定结果显示,它是一个穿时性岩石组地层单位,其地质时代约距今(3.4 ~ 0.8)Ma(钱方等,1984),与滇池组、昔格达组相当。

## 2. 第四系

第四系分布广泛,但除各盆地中堆积较厚外,其他地区堆积皆较薄。第四系有多种成因类型,主要有湖沼相、冰水相、河流相、洪积相、残坡积相等,局部地段还有洞穴、重力等堆积。第四系从下往上分下、中、上更新统和全新统。

(1)下更新统:以湖沼相和冰水相堆积为主。湖沼相在元谋盆地称元谋组,昆明盆地称滇池组、杨方凹组,开远盆地称河头组。其岩性为棕红、灰棕色亚粘土、灰绿、黄绿色粘土、粗砂、中砂、细砂层。它们互为层状相间出现,元谋盆地厚 423.8 m,嵩明—杨林盆地厚 116 ~ 632 m,宜良盆地大于 358 m,寻甸盆地厚 135 m,东川盆地大于 100 m。该组含猿人牙齿化石(*Homo erectus yuanmouensis*)和丰富的哺乳动物及少量爬行类、鱼类、腹足类、介形类等化石。同时还含石器、炭屑、烧骨等文化遗物。古地磁测定年龄为(0.73 ~ 2.48)Ma(云南省地质矿产局,1990),故其时代为早更新世。

前已述及,茨营组为穿时性地层单位,它的上段为早更新世堆积。该套地层在小江断裂带的大路边、功山、金所、马街、凤鸣等盆地大范围出露,在杨林、嵩明、寻甸、宜良盆地内部也有堆积,但被后期堆积所覆盖。在宜良县小梅子村和陆良山有零星出露。图 1.4、1.5 分别是宜良

① 云南省地质局第二区域地质测量队,宜良幅地质调查报告(1:200000),1973。