

鲜水河—小江断裂带

李 坪 主编

地震出版社

鲜水河—小江断裂带

李 坪 主编

地 震 出 版 社

1993

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

鲜水河-小江断裂带是我国西南地区的一条极为特殊的地震构造带。本书是在前人工作的基础上,结合历年来所承担的重大工程项目和博士、硕士研究生的论文工作,对全带的研究成果进行了系统的总结。全书共分三部分:第一部分包括第一到第三章,主要阐明了本区的区域构造发展史和深部的地球物理背景;第二部分包括第四到第九章,主要介绍活动构造和本区的地震活动,强震与区域性活动断裂带的有关认识,有关活断层的鉴定、活动期次和时限的确定,以及活断层的时、空、强与地震三要素的互相关系的判定等;第三部分包括第十到第十二章,主要内容是对本断裂带的强震进行中、长期预报,为本断裂带上地震的时、空、强三要素判定提供了线索。

本书可供从事构造地质、地震地质、地球物理、工程地震的科技人员及有关院校的师生参考。

鲜水河-小江断裂带

李 坪 主编

责任编辑:朱向军

责任校对:李 昭

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

北京丰华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 17.5印张 4插页 445千字
1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷
印数 001—600

ISBN 7-5028-0987-2/P·607

(1380) 定价: 18.00 元

前 言

鲜水河—小江断裂带是我国西南地区的一条极为特殊的地震构造带。它位于举世瞩目的西藏高原的东北侧，是西藏高原边缘的重要地震构造带之一。该带可分为三个自然段，即北段的北西向鲜水河断裂，中段的近南北向安宁河断裂和南段的北北西—近南北向的则木河和小江断裂。

本带是世界上罕见的多强震的构造带之一，这里强震频率高，震级大。据历史记载，自公元 1500 年以来， $M > 6$ 的强震就有 61 次，其中 $M > 8$ 的地震竟达 4 次（若加上 1733 年东川地震和 1973 年炉霍地震，震级 > 8 的地震在本带上就有 6 次了）， $7 < M < 8$ 的地震 13 次。这类强震现今在本断裂带上仍会发生，所以对本区国民经济建设和人民生命安全仍会造成严重的危害和威胁，故对本带的研究，对抗震防灾有十分重要的意义。

值得指出的是 $M > 6$ 级地震在本带上的分布极不均匀，发震频度最高的是北段的鲜水河断裂，它在 64 次 $M > 6$ 的地震中，占 29 次，平均 60 年左右就发生一次，大大超过中段和南段的频度；另一个特点是，强震在该带上常在某些结点重复发生，如西昌 1850 年发生 8 级地震，更早 1732 年发生 $6\frac{1}{2}$ 级地震，1536 年发生 $> 7\frac{1}{2}$ 级地震，814 年发生 $7\frac{1}{2}$ 级地震；又如炉霍 1973 年发生 7.7 级地震，1923 年发生 $7\frac{1}{2}$ 和 6 级二次地震，1816 年发生 $7\frac{1}{2}$ 级地震，1811 年发生 $6\frac{1}{2}$ 级地震；此外，康定、道孚、乾宁、宜良、东川等地均有类似的情况。再向古老追索，因没有历史记载无法考证，但根据近 10 几年的地震构造考查，已发现多次古地震在上述地点重复发生。由于强震所造成的地表破裂和变形等遗迹规模宏大，加之本区气候干旱，人烟稀少，地震所形成的破裂变形带仍有较好的保存，这对研究本区强震的地质背景，总结强震点的识别标志，考证核实历史强震和古地震震中位置及其震级，确定潜在震源区和强震的复发期，估计未来地震活动趋势等一系列问题，是一个极好的研究现场。尽管不能指望通过本断裂带的这次研究，就能圆满地解释上述一系列问题，但本书将尽量提供有关这些方面的第一手素材和初步的认识，为当前本区的强震中、长期预报提供线索，亦为今后更深入的地震地质研究提供基础和依据。

本带居于我国西部高原和东部丘陵盆地的过渡地带，地势坡降大，水利资源丰富，所以对本断裂带的新活动进行深入的研究，对开发利用这些水利资源和保证重大工程场址的安全将有重要的实用价值。

从板块学说来看，本带是欧亚大陆板块内部的一条大断裂带，但其地震活动性并不亚于现今板块缝合线的地震强度和频度，这不能不使人提出一个问题，为什么是这样？本书注意到板块内部更有“断块”的存在，它们以独特的方式运动着，当现今的印度板块向北推移时，作为欧亚板块的前缘，被深大断裂所分割的许多大大小小的断块，在总体抬升和向北推挤的背景下，还呈现出各自的运动特征，如本带西南侧的川滇菱形断块，在伴随青藏高原北移的同时，更独自向西南东方向楔入，正是菱形断块的这一运动特征，致使本断裂带表现为左旋走滑兼具垂向差异运动。无疑，对本断裂带第四纪以来构造运动的研究，将有利于揭示板内断块运动的有关信息，从而探讨板内地震成因机制，进而为地震预测预报服务。

鲜水河—小江断裂带的地震地质研究, 起始于本世纪 30—40 年代。1930 年美国地质学家赫姆 (A. Heim, 1934) 考查了道孚 1923 年 $7\frac{1}{2}$ 级地震, 对地震断层和地表破裂作了描述和探讨; 其后, 谭锡畴、李春昱等对川西地区进行了路线地质和地貌考察。

新中国成立后, 由于国家建设的需要, 自 50 年代始, 先后对本带作了大量的工作: 四川省地质局张云湘等填绘了安宁河带区域地质图; 1954 年谢毓寿等对小江断裂带的 1833 年地震遗迹, 作了实地调查, 确定了极震区的烈度, 并提出滇东的地震与近南北向和北西向的断裂有关, 这为以后的研究提供了可贵的资料; 1956 年李善邦、徐煜坚等偕同苏联专家果尔什科夫对我国西部地区的新构造和地震 (包括 1833 年嵩明地震和 1955 康定地震) 进行了考察; 1959—1961 年中国科学院综合队南水北调队为开发我国西部地区的矿产和水利, 进行了综合考查, 其中徐煜坚、罗来兴等对本带鲜水河、安宁河、则木河段的地质构造、新构造、地震、地貌作了初步的研究和探讨; 1963 年张受生等研究了小江断裂带地震地质标志, 确定 1833 年地震的震中在嵩明杨林附近, 震级为 8 级, 震中烈度为 XI 度; 1965—1973 年李珏、汪良谋等对锦屏工程地区的地壳活动性和地震基本烈度作出了鉴定, 并对附近的一些大地震 (1515 永胜 8 级地震, 1733 年东川 $7\frac{1}{2}$ 级地震, 1751 年剑川 $6\frac{1}{2}$ 级地震, 1786 年康定 8 级地震, 1793 年乾宁 $6\frac{1}{2}$ 级地震, 1850 年西昌 $7\frac{1}{2}$ 级地震, 1870 年巴塘 $7\frac{1}{2}$ 级地震, 1923 年虾拉沓 7.3 级地震, 1925 年大理 7 级地震, 1933 年迭溪 7.5 级地震, 1936 年马边 6.8 级地震, 1948 年理塘 7.3 级地震, 1952 年石龙 6.8 级地震, 1955 折多塘 7.5 级地震, 1955 年华坪 6 级地震, 鱼蚌拉蚌 7 级地震, 1960 年漳腊 6.8 级地震, 1967 年倭倭 6.8 级地震) 进行了地震构造的实地考察; 1965 年韩源、张受生等作了安宁河、则木河、金沙江和相邻地区的地震地质和地震的考察; 刘正荣、邓瑞生等对 1850 年西昌地震和 1952 年石龙地震进行了研究; 梅世蓉、闵子群等进行了该区地震活动性的分析; 曾融生、阚荣举等的地壳测深, 唐伯雄的重力测量, 均探讨了断裂活动与地震的关系。同时, 唐吉阳、黄圣睦等从地质力学的观点对安宁河断裂构造体系作了调查和讨论。1966 年东川 $6\frac{1}{2}$ 级地震后, 韩源、张受生等进行了现场调查, 绘制了地震等震线图并撰写了地震地质报告。1967 年炉霍倭倭 6.8 级地震后, 国家科委地震办公室组织了考察, 编写了炉霍地震考察报告。60 年代晚期, 地质部有关省局进行了鲜水河地区 1:100 万的区域地质普查, 并出版了 1:20 万的西昌幅、宜良幅等地质图及说明书, 为本区提供了基础地质资料。

从 70 年代到 80 年代对本带的主要研究有: 1971—1975 年国家地震局组织了 7 个单位参加的西南地区烈度会战, 旨在以西昌—渡口地区为试验现场, 探索我国地震烈度区划的基本原则和方法。工作中对鲜水河、安宁河、小江断裂作了地震地质、地球物理、地震活动性、地形变等综合性研究, 80 年代四川省地震局邓天岗、冯元保等对鲜水河、安宁河、则木河带的地震构造、古地震、地震活动、地形变和地球物理等作了研究, 并考察了 1973 年炉霍 7.6 级地震、1981 年道孚 6.9 级地震和 1982 年甘孜的 6 级地震。1980—1984 年中国科学院成都地理所陈富斌、赵永涛对安宁河攀西地区的新构造运动作了专题研究, 1981—1983 年云南省地震局张受生、朱成男等对小江断裂全新世运动速度和地震危险性作了估算和研究, 并对 1833 年嵩明 8 级地震的破裂带进行了考察, 韩源等在小江断裂东支宜良店房作了些古地震剖面的开挖。

我们在前人研究成果的基础上, 结合近年来所承担的重大工程项目 (包括雅砻江锦屏水电工程、二滩水电工程、瀑布沟水电工程、阳宗海电厂等的烈度鉴定和复核) 和博士、硕士

研究生的论文工作,对各强震地点(康定、西昌、巧家、东川、嵩明、建川、红河等处)的地质结构、断层活动速率、强震复发期等进行考察、解析。另外,还对地质构造上具备强震条件而历史上无强震记载的结构点,如巧家、冕宁等地也进行了深入的现场考察,以验证强震地质标志的可靠程度。工作中除利用天然剖面、公路路堑外,还对一些关键地点作了开挖,如对康定、西昌大箐梁子、阳宗海冬瓜营及嵩明水马田等剖面的开挖,以探究古地震的期次和位错量。

这一综合性研究项目含17个课题,从不同的角度提取资料,进行分析,在这些课题成果报告的基础上,经删节和重新编排,形成本书。本书共三部分,第一部分,包括第一到第三章,主要阐明本区的区域构造发展史和深部的地球物理背景。在以往工作的基础上,并收集了中国科学院昆明地球物理所、云南省地震局、四川省地震局、地矿部地质队、物探队和地震局地质所长年所作的许多基础地质和地震工作资料和成果,加以汇总消化,旨在查明断裂带上强震发生的区域构造、新构造和深部构造的背景条件,及其发展的地质历史过程,为预测本带未来的地震活动性奠定基础。第二部分包括第四到第九章,主要介绍活动构造和本区的地震活动,强震与区域性活动断裂带的有关认识,有关活断层的鉴定,活动期次与时限的确定,和活断层的时、空、强与地震三要素的相互关系的判定等。第三部分包括第十到第十二章,主要内容是对本断裂带的强震进行中、长期预报,为本断裂带上的地震的时、空、强三要素,尽可能地提供线索。我们首先综合以上各章节所提示的强震标志,包括地质的、航卫片的、地形变的、重磁的、应力场的等等。再从断裂带上所发现的许多古地震事件、断层的滑动速率、及地震活动性,通过图像识别方法来预测潜在危险区,以达到中、长期地震预报的目的。显然这些也可作为重大工程选址的参考。

本次工作中参加野外考察的有80届以来的历届研究生:吴迪忠进行了安宁河带的活断层考察;任金卫作了则木河断裂带的活断层及1850年西昌8级地震发震断裂和古地震的考察;窦毅强进行了石屏地震的研究,并对全区进行了模糊数学的图像识别的探索;赵翔进行了康定1786年8级地震和1955年折多塘7 $\frac{1}{2}$ 地震断层的研究;韦伟作了安宁河南段到红格的地震构造特征的考察;赵和平作了巧家活断层及古地震的研究;陈睿对小江断裂西支嵩明8级地震的地震断裂和古地震进行了研究;朱向军作了东川活断层及古地震的考察;何宏林对小江断裂带南端同红河断裂的交接关系进行了地震构造的研究。另外,对东川、甘孜进行考察的还有李志义和赵翔,对西昌、巧家、嵩明、宜良进行考察的有杨美娥、张受生、何宏林、朱玉新;同时还邀请了殷秀华等作重磁场的研究,周玖等作物质流的研究,闻学泽等作断裂构造组合的研究,魏继裕等作地壳形变的研究,张受生等作历史地震的研究,谭爱娜等进行地震活动图像和应力场的分析,叶文华进行震源断裂与震级关系的研究。李坪负责全部工作的设计和安排。

另,曾请刘行松、严正、叶莲芳、程式、罗平、陈立德、任昭明执笔的部分,因种种原因未能纳入本书,特表示歉意。本书统稿和定稿工作由李坪、杨美娥、张受生、任金卫、何宏林、李刚、朱玉新、李愿军等共同完成的。

本书是以上同志多年劳动的结果,亦是多方热情支持的结果,现值此书出版之际,谨向国家地震局有关部门和有关省局给予的大力支持和协作表示深切感谢。

本书初稿承蒙国家地震局评审委员会丁国瑜等专家提供宝贵的修改意见和建议,在此也一并致谢。

目 录

前言	(5)
----------	-----

第一部分 区域构造背景

第一章 区域地质背景	(1)
第一节 断裂带所处的大地构造部位	(1)
第二节 古老弧形岩带和本断裂带的关系	(2)
第三节 断裂带两侧的物质组成和空间展布	(4)
第四节 印度板块的碰撞和断裂带的左旋走滑运动	(5)
第二章 断裂带的深部构造特征	(7)
第一节 断裂带的重磁场基本特征	(7)
第二节 沿断裂带地壳和上地幔特征	(14)
第三节 断裂带的地壳均衡调整状态	(17)
第四节 青藏高原物质流	(18)
第五节 断裂带表层活动与深部构造的关系	(19)

第二部分 活动构造

第三章 第四纪构造运动和活断层	(22)
第一节 第四纪地层	(22)
第二节 地貌概况	(31)
第三节 断裂带中的活断层	(40)
第四章 活动断裂几何、构造组合及其运动学特征	(55)
第一节 一级几何结构及其活动的构造证据	(55)
第二节 二、三级几何结构及其活动构造证据	(63)
第三节 活动构造组合及断裂带的运动学分析	(70)
小结	(78)
第五章 断裂带上的古地震	(80)
第一节 古地震的地质地貌标志	(80)
第二节 鲜水河断裂的古地震	(81)
第三节 则木河断裂(西昌地区)古地震	(85)
第四节 小江断裂的古地震	(92)
第五节 以昔格达层构造变形为例探讨第四纪早期的古地震事件	(114)
第六章 地震活动性分析	(121)
第一节 某些历史地震三要素的修正	(124)
第二节 地震活动性特征	(129)

第三节 地震活动性的统计计算	(135)
小结	(137)
第七章 震源机制和区域应力场	(138)
第一节 由中、新生代构造变形讨论本区早期的应力场	(138)
第二节 由P波初动解讨论本区现代构造应力场	(140)
第三节 震源应力场分析举例	(147)
第八章 断裂带的地壳形变活动	(150)
第一节 形变资料的选取及其精度评定	(150)
第二节 断裂带地壳形变活动的分析	(154)
第三节 断裂带的地壳形变活动特征	(159)
第四节 断裂带的地壳形变活动和地震	(162)
小结	(165)
第九章 强震带极震区结构特征	(166)
第一节 鲜水河断裂极震区地质结构	(166)
第二节 安宁河断裂极震区地质结构	(178)
第三节 小江断裂极震区地质结构	(187)

第三部分 未来强震的预测

第十章 强震复发期研究	(201)
第一节 强震的原地重复	(201)
第二节 鲜水河断裂东南段滑动速率和强震复发期	(203)
第三节 则木河断裂滑动速率及强震复发周期	(209)
第四节 由极值理论讨论巧家地区的强震复发期	(213)
第五节 嵩明地区断层滑动速率与强震复发期	(216)
第六节 东川地区强震复发期	(224)
第七节 断裂带强震复发期分布规律	(226)
第十一章 断裂带震源断裂规模与震级的定量关系	(227)
第一节 传统方法存在的问题	(227)
第二节 震级的物理含义与地震断裂规模	(228)
第三节 断裂带上的地震断裂规模	(229)
第四节 震源断裂规模与震级的回归关系	(230)
第五节 震源断裂规模与震级的函数关系	(232)
第六节 关于断裂带地震强度的预测	(234)
第十二章 潜在震源区的识别与划分	(236)
第一节 潜在震源区识别与划分的研究历史和现状	(236)
第二节 模式识别技术估计潜在震源区的原理和算法	(238)
第三节 Hamming 算法的原理及其改进	(239)
第四节 用“Bayes”算法估计6级以上潜在震源区	(243)
第五节 7—8级地震潜在震源区的判定	(246)

第六节 结论与存在问题	(252)
主要论点和认识	(253)
参考文献	(260)
照片集	

第一部分 区域构造背景

第一章 区域地质背景^①

鲜水河-小江断裂带包括鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂、小江断裂。它位于青藏高原的东侧，以其强烈的地震活动引起国内外地质学界和地震学界的关注。它的形成和发展显然与其所处的区域地质构造、基底组成以及新构造活动有着密切关系。

第一节 断裂带所处的大地构造部位

断裂带由北段的北西向鲜水河断裂、中段的近南北向安宁河断裂和北西向的则木河断裂、南段的近南北向的小江断裂所组成，以折线状分布于川西滇东地区（图 1-1），总体上作向北东突出的弧形。鲜水河断裂向北西延展，则与昆仑山南麓的北西向断裂带相接。这一区段属于三叠纪的松潘甘孜地槽，是地中海-喜马拉雅构造带的一部分（李坪、汪良谋，1977），安宁河断裂和小江断裂属前震旦纪的地台构造，为前震旦纪结晶杂岩和变质岩组成的古隆起，位于太平洋构造带与地中海-喜马拉雅构造带的交汇处。

整个断裂带所处的大地构造部位，黄汲清以多旋回造山观点认为，本区横跨两个大地构造单元，鲜水河断裂主要由未变质或轻微变质厚达 1 万余米的三叠纪碎屑岩组成的冒地槽，三叠纪晚期的印支运动形成地槽褶皱，属特提期中生代褶皱带的松潘甘孜印支褶皱系。安宁河和小江断裂则位于晚元古代末的扬子造山运动形成的扬子准地台西侧，是一个以海西期为主的多旋回构造岩浆活动带。基底主要由前震旦纪到古生代早期的结晶杂岩和变质岩组成，位于康滇地轴上，属亚洲大陆陆壳的一部分。由于与其西侧的特提斯海洋壳的相互作用，因而导致了特提斯中生代褶皱带的形成。显然，

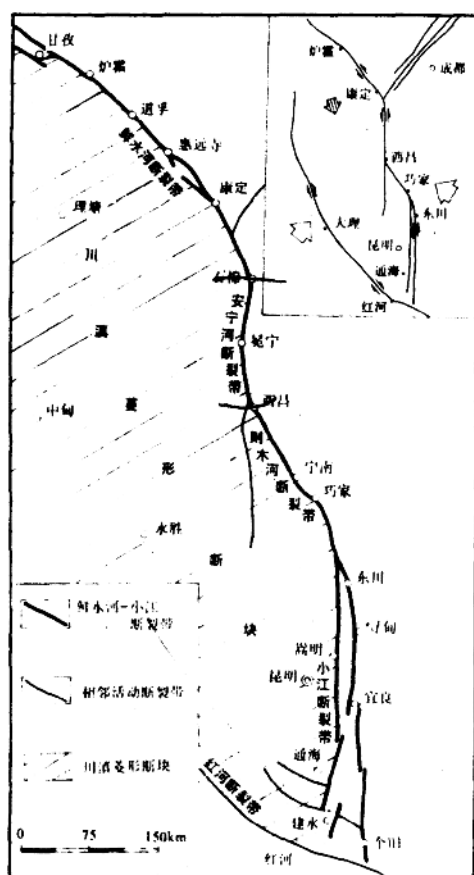


图 1-1 鲜水河-小江断裂带分布图

① 李坪口述，张受生整理。

它是两个大构造单元的分界线(黄汲清、任纪舜等, 1977)。

张文佑等从断块构造的观点认为, 康滇古陆的西缘, 即滇西-后龙门山深断裂带将东部的华夏断块与西部的西藏断块分开。两侧沉积建造的差异, 超基性岩浆、基性岩浆和酸性岩浆的活动, 现代的强烈构造运动以及地球物理特征(诸如重力场、磁力场、地壳厚度等)都有非常明显的差别, 所以它是一条断块缝合线(中国科学院地质研究所大地构造编图组, 1974)。

四川地矿局一〇六地质队根据康滇古陆中段前震旦纪的地层沉积、岩浆活动、变质作用和硫化矿床成矿作用等特征, 认为康滇古陆是大陆古板块边缘与西边海洋古板块接触的俯冲带, 具有现代环太平洋岛弧的特征(四川地质局一〇六地质队, 1975)。

王凯元等从龙门山深断裂和金沙江-洱海深断裂及邻近地区的航磁、重力异常、岩浆活动、构造演化、构造应力场、地震活动等特征, 指出本构造带是扬子古陆块和其西缘的松潘甘孜、西南三江(怒江、澜沧江、金沙江)两个地槽褶皱带的基本分界线。是古板块的缝合线(王凯元、孙克祥等, 1987)。

李春昱从板块构造的观点, 通过沉积建造、岩浆作用、变质作用、构造特征、地震活动等的分析, 提出“龙门山脉及康滇地轴构造组合”, “川、甘、青三角形构造线”等, 都可能是古板块的俯冲带(李春昱, 1975)。

上述各学派虽然有各自的观点和认识, 但有一点是共同的, 即这条断裂带是一条重要的大地构造单元的分界线, 它是地槽地台的转换带, 是古板块或断块的俯冲带或接触带。

第二节 古老弧形岩带和本断裂带的关系

从岩石学的研究发现, 在我国西南地区有不同时期的弧形岩带存在, 它们包围着青藏高原, 大致作圆弧形分布。

一、不同时期的弧形蛇绿岩套和花岗岩带

阿尔卑斯型蛇绿岩套是板块俯冲带的标志之一。本区各构造时期的蛇绿岩套所组成的弧形岩带引人注目。本区不同时代的阿尔卑斯型蛇绿岩套主要是沿着近南北向和北西向的深断裂带侵入, 如图 1-2 所示, 可概略划分出: ①前寒武-海西期的康定-元谋岩带, ②加里东期的龙门山岩带, ③海西期的南秦岭(勉略地区)岩带, ④海西期的青海布尔汗布达-阿尼马卿山岩带, ⑤印支期的甘孜-木里岩带, ⑥印支-燕山期的藏北-丁青-哀牢山岩带, ⑦喜山期的雅鲁藏布江岩带, ⑧喜山期的三台山岩带, ⑨喜山期的伊洛瓦底江岩带。从图中可以看出这些蛇绿岩套从东北向西南, 时代由老逐渐变新, 相对印度板块形成弧形包围圈。它们大致平行, 岩性相似, 其形成机制也应该是类似的。所以我们认为它是古板块俯冲带逐渐迁移的产物。最后移到雅鲁藏布江和伊洛瓦底江岩带地区, 后者南下到缅甸密支那西北的乌龙江, 再南延到阿尔干山脉。它是印度板块和欧亚板块碰撞构成的现代板块的缝合线。显然, 各个不同时代的岩带也必然是相应时代古板块碰撞所形成的缝合线。

大致以上述阿尔卑斯型蛇绿岩套为界, 各个时代的花岗岩带也相应局限在一定的地区。如龙门山、康定-元谋岩带与甘孜-木里岩带之间是印支期花岗岩带的分布区, 甘孜-木里岩带与藏北-丁青-哀牢山岩带之间是早燕山期的中酸性岩浆岩分布区, 藏北-丁青-哀牢山岩带与雅鲁藏布江岩带、三台山岩带之间为晚燕山期中酸性岩浆岩分布区, 雅鲁藏布江岩带与

三台山岩带的西南为喜马拉雅期花岗岩分布区。这里主要是以出露最早和出露最多的岩体而言。实际上,岩浆的形成和侵入是多期的,这是由于早期的板块缝合线因受到后期活动的影响而发生多次活动的缘故。从酸性岩浆岩的空间分布,也大致反映出在时间上由东北向西南逐渐变新的趋势(李坪,1977),蛇绿岩套是从地壳深处上来的,花岗岩的形成,有的系深处岩浆的上涌,有的则系受强烈挤压变质而成。

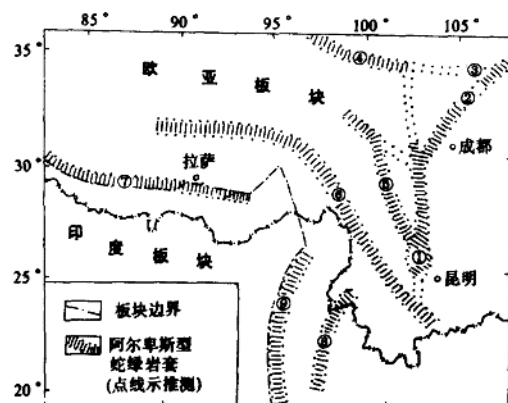


图 1-2 云南川西地区及邻国毗连地区蛇绿岩套分布示意图

岩带编号:①康定-元谋岩带(前寒武-海西期);②龙门山岩带(加里东期);③勉略地区岩带(海西期);④布尔开布达山-阿尼马卿山岩带(海西期);⑤甘孜-木里岩带(印支期);⑥藏北-丁青-哀牢山岩带(印支-燕山期);⑦雅鲁藏布江岩带(喜山期);⑧三台山岩带(喜山期);⑨伊洛瓦底江岩带(喜山期)

二、古老弧形岩带与本断裂带的关系

本区各个时代的基性、超基性岩主要沿着近南北向和北西向的深断裂带侵入,酸性和中酸性的岩浆岩、变质岩也沿着上述断裂带广泛发育,从而组成不同时代不同岩性的弧形岩带,反映出这些深断裂带活动的多期性和曾受到强烈构造运动的影响,同时说明这些断裂深切到岩石圈,还可能影响到软流层。

鲜水河断裂是松潘甘孜褶皱系内的一条北西向断裂,沿断裂断续出露印支-燕山期的花岗岩与花岗闪长岩、基性与超基性岩体。这些岩体多呈线状分布,尤其是后者线性分布尤为明显。表明在三叠纪前断裂即已形成,而且是一条深断裂。

安宁河断裂是纵贯康滇古陆的区域性深断裂,从晋宁期基性-酸性岩浆岩沿安宁河断裂的出露来看,断裂在前震旦纪即已存在,沿断裂还有震旦纪中酸性岩浆岩、海西期的超基性-基性岩、印支期和燕山期由酸性到碱性多次岩浆的侵入和喷发,证明安宁河断裂也是多期岩浆活动的通道,是切穿地壳的深断裂。

安宁河断裂在西昌与北西向的则木河断裂相连。沿则木河断裂也有多期岩浆侵入和喷出。有晋宁期的花岗岩、海西期的超基性岩、印支期的偏钙碱性岩、燕山期的火山碎屑岩等等。沿断裂更发育有二叠纪的玄武岩。断裂往南东延伸在巧家与小江深断裂汇合。

沿小江断裂在晋宁期有酸性岩浆和基性岩浆的侵入,加里东期有酸性岩浆侵入,在海西期沿断裂有基性岩浆侵入和大规模的喷发活动,使大量的玄武岩和超基性岩体沿断裂出露,表明小江断裂是康滇古陆东侧的一条很活动的深断裂。

显然,不同弧形岩带的形成是与不同时期的板块运动相呼应的。本断裂带作为众多弧形岩带中的一条,它不同时期的岩浆活动乃反映了各期板块活动对它的影响。有时它作为板块俯冲带或碰撞带本身而活动,有时受其他板块的俯冲或碰撞的影响而复活。所以说它的规模是巨大的,它的活动是多期的,结构是复杂的。

第三节 断裂带两侧的物质组成和空间展布

一、断裂带两侧的物质组成

鲜水河断裂从甘孜到乾宁,主要发育于三叠系砂板岩和二叠系灰岩、玄武岩之中。二叠系灰岩逆冲于三叠系砂板岩之上。断裂破碎带宽达800—1000米,断面倾角 80° 左右。乾宁以南断裂带主要发育在印支期花岗岩、斜长片麻岩和花岗片麻岩组成的混合岩中。混合岩长达百余公里,这一狭长的混合岩带处于鲜水河断裂带和安宁河断裂带的接头部位。

安宁河断裂由4—6条南北向高倾角断层组成,最宽处达10余公里。沿断裂分布的晋宁期酸性岩表明,安宁河断裂在前震旦纪就已存在,以后又经历了长期活动。震旦纪时期的中酸性岩分布在断裂带以东,而震旦纪和下古生代的海浸也局限在东侧,地层发育齐全,各时期地层以超覆式假整合接触,而西侧缺失上述地层。但到晚古生代则相反。到中生代,陆相红色岩系分布于断裂以东,而断裂西侧却是巨厚的三叠纪海相沉积。断裂东侧的印支期和燕山期岩浆活动均早于西侧。由于多期的岩浆活动,在断裂带西侧形成磨盘山杂岩带和二叠纪玄武岩的广泛喷发。基性、超基性岩浆则沿断裂带呈带状分布。据此可以看出,安宁河断裂是一条深切地壳的深断裂带。

与安宁河断裂相接的则木河断裂,切割了古生代、中生代和新生代的地质层。海西期沿断裂带有玄武岩喷发。在印支和燕山运动时,断裂带主要表现为左旋走滑。第四纪早期以垂直差异活动为主,发生强烈的断块隆起和沉陷,形成螺髻山和邛海。第四纪晚期,又以左旋走滑占主导地位,沿断裂强震所引起的位错即表明了这一特点。

小江断裂是康滇古陆东侧的一条深断裂,北端在巧家与则木河断裂相接,到东川北的蒋家沟口,分成东、西两支。

在东川地区,小江断裂以西为南北向延伸的康滇古陆,震旦纪到三叠纪地层缺失,三叠纪之后,在断陷盆地内沉积了厚达3000—4000米的陆相红色建造。而断裂以东则沉积了巨厚的震旦纪到三叠纪地层,一般厚4000—5000米,最厚可达11000米,其中二叠纪玄武岩可厚达1000多米。

在嵩明地区,小江断裂西侧,沉积了巨厚的澄江砂岩,东侧则不太发育。加里东期断裂带西侧上升,东侧下降,沉积了很厚的寒武系、中上志留系和下泥盆系。海西期东侧继续下降,沉积了很厚的石炭系,大量的玄武岩沿断裂喷发。

综上所述,本断裂带最早形成于元古代晚期,其后经历了多期构造运动和岩浆活动。岩浆活动在岩性上从酸性、中性、基性到超基性都有,且沿断裂带呈线性分布或受控于断裂带的一侧。同时断裂带还控制了不同时代的沉积岩的分布和岩相变化。

二、断裂带的空间展布

1. 地质上的反映

本断裂带在平面上最引人注目的是,虽然鲜水河断裂长达350余公里、安宁河断裂长达

350 余公里、则木河断裂长约 140 公里、小江断裂长达 400 余公里，但无论在地质图上或航卫片上都是作长距离直线延伸，而不受地形起伏的影响，反映出这些断裂都是高角度的，是近乎直立地向深处延伸。至于延伸的深度，前已提及，沿断裂带有多期不同岩类的侵入，断裂带作为通道，定会延伸到这些岩类的岩浆所在的深度。

前已提到，断裂带是古老板块的俯冲带或碰撞带，倾角原本较陡，后又遭受多期的挤压，使俯冲带变得近乎直立。另外，在长期的演化过程中，两侧升降运动方向多次更替，大幅度的升降运动，使得作为枢纽部位的断裂带，有利于形成直立，反映了它生成的区域性和深成性。

总体说整条断裂带是直立的，至于断裂带中个别的断层，尤其是第四纪地层中的断层，有的正断，有的逆冲，是浅层变形的产物，不应与整条断裂带的运动性质和产状混为一谈。

2. 地震和地球物理场所反映的断裂带深度

本区的地震资料表明，断裂带与强震震中在平面上的分布很吻合，震中都位于断裂带上。强震所形成的形变带和等震线的长轴都沿着断裂带分布。表明地震沿着断裂带而发生。现已知本断裂带上震源深度多在 10—30 公里，而震中多落在断裂带内，没有发生大的偏离，此乃从另一侧面表明断裂带是近乎直立的，震源体基本上位于断裂带的垂直深延部分。

地壳厚度的资料表明，本断裂带位于地壳厚度最大的青藏高原（50—70 公里）过渡到中国东部地壳厚度较薄（<40 公里）的梯级带上，亦位于航磁异常和重力布格异常的梯级带上，这都表明断裂带延伸到深处。

据重力资料解释，小江断裂带在垂直方向上是以波状向深处延伸的。小江西支断裂在东川浅部的断面倾向西，倾角 30—60°，但延到深部则倾向东，倾角达 79°。嵩明—阳宗海一带的浅部断面倾向东，倾角 60° 以上，而深部断面倾向西，倾角大于 80°。均显示了断裂带总体上向深处延伸。

综上所述，断裂带在平面上作长距离直线延伸，不受地形的影响，控制了断裂带两侧的岩相和沉积地层，沿断裂带有多期岩浆活动，不同性质的岩体呈带状分布，震中与断裂带的高度吻合，均说明断裂带是陡立的，断裂带向深部延伸切穿了岩石圈，甚至延伸到软流圈。

第四节 印度板块的碰撞和断裂带的左旋走滑运动

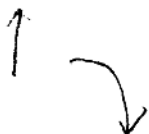
长期以来，由于印度洋不断扩张，原位于南半球的印度板块从冈瓦纳古陆分裂出来，并向北漂移，与欧亚板块接近，终于发生碰撞，至此特提斯海最后封闭，沿雅鲁藏布江出露的蛇绿岩带和混杂沉积即为两大板块最后碰撞的产物。北边的冈底斯山是燕山运动时期藏南板块向北俯冲的结果，唐古拉山是印支运动期藏北板块向北俯冲的结果，昆仑山是海西运动时期羌塘板块向北俯冲的结果，阿尔金山是在加里东时期柴达木板块向北俯冲的结果，其中有的俯冲带向南延伸到鲜水河—小江断裂带。显然，由于印度板块的向北东漂移，使青藏高原的地壳多次发生强烈的碰撞和断裂错动，形成青藏高原上大致相互平行的几条自西向东，由东西转为南北向的弧形断裂带和褶皱山系（常承法、郑锡澜，1973）。

地壳厚度的增大，青藏高原的强烈隆起，使得位于青藏高原边缘的川西西南地区，作为青藏高原向丘陵区的过渡，为适应以青藏高原为中心的强烈隆起，断块的差异活动基本承袭了北西向和近南北向的老断裂而活动，构成大致包围青藏高原的多条折线状弧形断裂。

印度板块除向北的挤压外，更有向东旋扭的分量，这可从印度板块前缘两个引人瞩目的大转折看得出来。这种向北向东的挤压，因受到欧亚板块和太平洋板块的阻挡，使得其前缘的次级断块发生旋扭，即川滇菱形断块向南南东的楔入（李珪，汪良谋，1977，潘秋叶，1977）。鲜水河-小江断裂带即菱形断块的北东边界断裂，不可避免地作左旋走滑运动。是印度板块对欧亚板块、太平洋板块向北挤压向东旋扭的具体体现。

震源机制研究的结果亦表明，青藏高原近期受到的压应力，仍是印度板块向欧亚板块推挤的结果（叶洪，1981）。作为边界断裂，不仅最新构造运动强烈，地震活动亦有相应的体现。历史地震研究表明，小江断裂带与安宁河断裂带的地震活动是互相呼应的（张受生等，1988），如1966年小江东支断裂带的北端东川发生6₂级地震以后，1967—1987年在鲜水河断裂带上也相应发生一系列强震。

因本断裂带东边同时受到太平洋板块侧压的影响，所以我国西南地区的地震活动与东南沿海和华北地区的地震活动亦有一定的呼应，尤其是西南地区及华北地区的地震活动更是密切关联，本世纪60年代到80年代我国的强震活动清楚地显示出这一特征。据此进一步说明鲜水河-小江断裂带的现代活动与印度板块、欧亚板块和太平洋板块的相互作用有关。



第二章 断裂带的深部构造特征¹

为了研究断裂带的深部构造背景及其与地震活动的关系,我们通过对川西地区的布格重力异常、航磁异常进行向上解析延拓和重力反演地壳厚度等方面的计算以及对重力剖面的分析,研究了断裂带的重磁场基本特征、地壳上地幔结构、地壳均衡调整状态和物质流的作用。结果发现,整个断裂带在深浅重磁场上都有着明显的特征,但在不同地段又存在明显的差异,正是这些差异对研究该断裂带地震活动趋势有着重要的意义。同时发现,地壳均衡调整及物质流的作用对本断裂带的构造活动和强震活动有着重要的影响。

第一节 断裂带的重磁场基本特征

断裂带的重磁场特征在布格重力异常图上和航磁异常图上都有明显的显示,而且在各地段上有着不同的特点。

一、鲜水河断裂

以甘孜—炉霍—道孚—康定一线为界。在布格重力异常图上其两侧的异常形态存在明显的差别,北东侧为宽缓异常区,异常走向清晰;而南西侧异常走向零乱。断裂为明显的异常分区界线。大致以道孚为界,断裂的北西段显示为一系列呈雁行排列的北东和北东东向的线性鼻状异常;断裂的南东段显示为重力梯度带。随延拓高度的增加,南东段在上延10—40公里重力异常图(图2-1、2-2、2-3)上均有反映;而西段的异常特征逐渐不明显,在上延40公里重力异常图上(图2-3)其特征基本消失。

鲜水河断裂的磁场特征在航磁图上亦表现为明显的分区界线,它的北东侧为静的磁场,磁异常具有明显的走向;而南西侧为高的正磁场区,异常平缓无明显的走向。在航磁化极上延各异常图(图2-4、2-5、2-6)上,断裂磁场特征仍清晰可见。

二、安宁河断裂

在布格重力异常图上沿石棉—冕宁—西昌—德昌一线为明显的南北走向重力梯度带,沿梯度带还分布着一系列串珠状的线性异常。随延拓高度的增加,大致以西昌为界,断裂南北异常特征发生了分异,西昌以北在上延10—40公里异常图上,南北向重力梯度带仍清楚可见,而西昌以南断裂带的异常特征,只在上延10、20、30公里的异常图上隐约可见,在上延40公里的图上基本消失。

沿安宁河断裂在航磁异常图上分布着一系列南北向串珠状正磁异常。这些磁场特征在航磁化极上延图上都明显存在。

三、则木河断裂和小江断裂

则木河断裂作北北西向,是一条北西端与安宁河断裂在西昌相连,东南端过普格、宁南在巧家与小江断裂北段相连的断裂。它在布格重力异常图上为明显的负异常带,它在走向上与邻区异常走向十分不协调。在西昌—普格段上,断裂带的北东侧,线性负异常走向为近东西向,而西南侧线性负异常走向为北北东向;在普格—巧家段上,断裂的北东侧,线性负异

¹ 重磁部分由殷秀华、王春华、刘占坡执笔,物质流由周玖、黄修武执笔,李刚作了统稿。

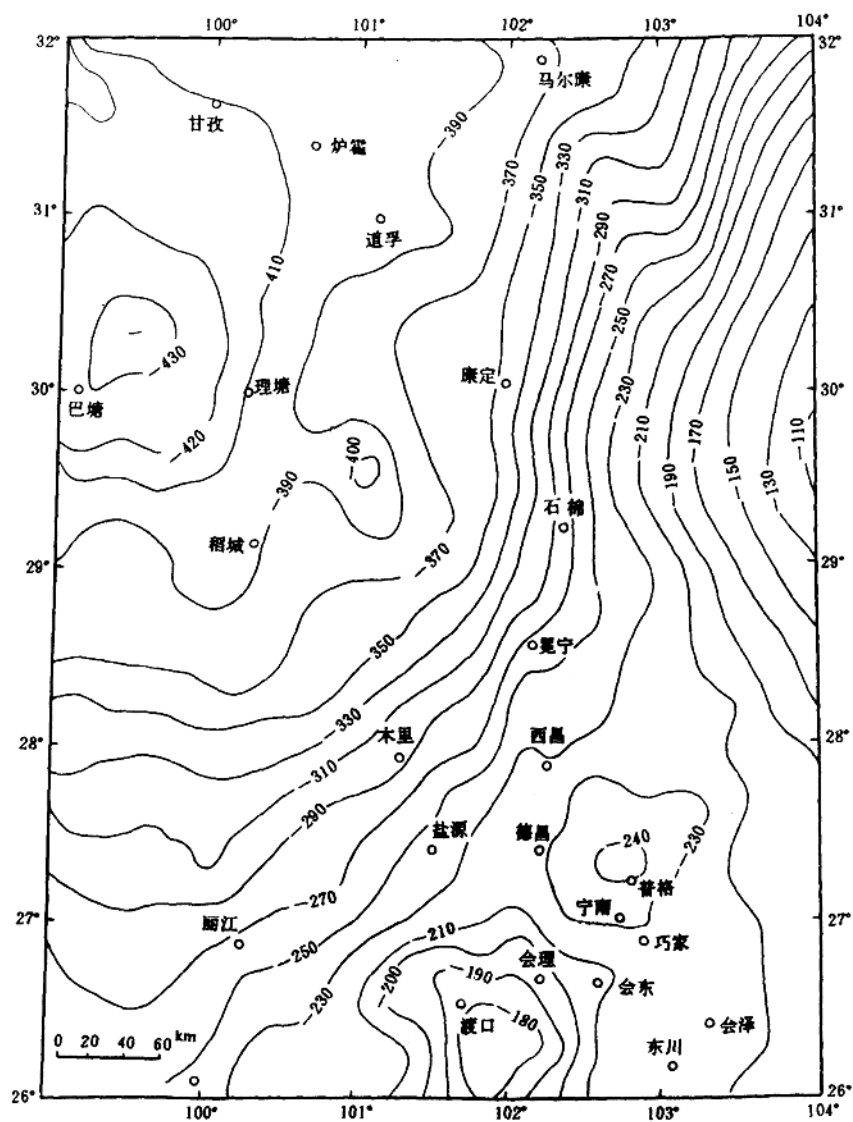


图 2-1 川西地区上延 10 公里重力异常图