

滇西地震预报实验场 论文集

国家地震局科技监测司
滇西地震预报实验场办公室

编

地震出版社

滇西地震预报实验场论文集

国家地震局科技监测司 编
滇西地震预报实验场办公室

地震出版社

1992

(京)新登字095号

内 容 提 要

本论文集共收集近年来在滇西地震预报实验场开展的研究工作所取得的成果共45篇文章,其中关于区域地震地质特征与地壳构造方面的论文9篇;关于区域构造应力场与地震活动性方面的论文16篇;关于地震预报方法研究方面的论文10篇;关于实验分析研究方面的论文10篇。

本书可供从事地震地质、地震学及地震预报方法等研究、监测人员、地震工作管理人员参考,亦可供有关专业大专院校师生参考。

滇西地震预报实验场论文集

国家地震局科技监测司 编
滇西地震预报实验场办公室
特约责任编辑:姜维岐

地质出版社 出版

北京海淀民族学院南路9号

北京通县永乐印刷厂印刷

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 24.25印张 608千字

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-5028-0742-X/P 483

(1135) 定价: 18 元

前 言

为减轻地震灾害对人类造成的威胁和损失而大力开展的地震预报科学研究与实践,是我国国家科学技术规划的一项重要内容。为进行地震预报的科学实践,国家地震局于1980年在云南省大理地区,南起南涧北至丽江,西起云龙东至永胜约3万平方公里范围内,创建了滇西地震预报实验场。该实验场为国家地震局所属的科技人员长期广泛地深入实践、努力提高地震科学技术水平提供了野外研究基地,也为围绕地震预报科学研究而开展广泛深入地国际科学技术合作的野外实验创造了条件。经过十余年来的建设,实验场已建设发展成为能够反映我国地震科学与地震预报科学实验研究水平的监测、科研、预报紧密结合的工作基地。这些工作是:

1. 在一个相对集中的强震多发地区,建立了强化密集台网和数据分析处理系统,场区共设固定地震台31个,其中14个已采用无线遥测,可以监测 $M_L \geq 2$ 级地震,其中一些重要地区则可监测 $M_L \geq 1$ 级的地震(如红河断裂带附近)。

2. 架设了包含形变、倾斜、伸缩、水化学、水位、地磁、地电、重力、电磁波、地声、水温、应力、应变等60余台套的地震前兆观测仪器,组成了以检测各类地震前兆信息提高监测地震能力和探索实用化预报方法为目标的前兆台网。

3. 布设了由激光测距大、中、小网、一等水准网、跨断层形变观测、GDS网、绝对重力观测组成的整体大地测量网,以研究场区地壳形变和主要活动断裂的活动速率。同时有51个测点、1100公里长环路的流动地磁观测与环路长为2200公里的138个流动重力测段上开展的重力测量,使形变场的资料与重、磁等地球场理场资料结合起来。

以上各种监测手段经几年来的观测,取得了丰富的科学资料,为我们科学地提取和定量研究地震前兆信息、研究地震孕育过程中各种前兆场的时空变化规律、寻找地震孕育过程各个不同阶段的判别指标提供了科学依据。

4. 场区系统地开展了人工地震测深、深部电性特征、地热、遥感信息、活断层、断层年代、断层物质、构造应力场、震级物理实验、地壳运动学、现代地壳形变、地震构造、古地震、地震活动性、地震重复率、潜在震源区划分、地震危险性分析、近场强地面运动等多种学科的基础研究,为认识地震成因和地震过程提供了内容丰富的多学科的成果资料,为建立中国大陆板内地震的理论奠定了良好的基础。

5. 滇西实验场基地中心设立在云南大理下关市团山。基地中心地处洱海之滨,对岸是秀丽的苍山,自然环境优美。建有实验室、观测室以及科研人员住所,为地震科学工作者和国际地震、地球科学家来场区工作提供良好的工作条件和生活条件。世界上10几个国家上百名地质、地球物理、地震工程、地球化学、大地测量、地震科学等学科知名学者先后成功地访问过该实验场。中美、中德、中日等双边科技合作在场区不断发展,这些合作的开展,表明滇西实验场的科学技术研究,已经走进国际先进水平的行列。

10多年来,国家地震局在场区安排了大量的研究课题,云南省地震局和局各直属单位以

及部分省地震局每年都有不少科技工作者到现场工作，为管理实验场区各项工作而专门成立的滇西实验场办公室为这些科学研究活动做了精心细致、周道的安排，有效地保证了各个科研项目的开展，为实验场区取得丰富的地震科学研究成果做出了有益的贡献。

围绕实验场的建设与发展，国家地震局曾先后召开过三次工作会议，1983年10月20日至25日第一次工作会议在云南下关；1986年10月21日至23日第二次工作会议在北京召开；1988年10月21日至23日第三次工作会议在云南下关召开。会议除了讨论有关发展实验场的政策与方针、管理办法、规划之外，一项十分重要的活动就是开展学术交流。本论文集全面汇集了于1988年在下关团山基地召开的第三次滇西地震预报实验场工作会议上交流的科学论文。这些论文比较全面地、系统地展示了80年代我国地震预报实验场所取得的研究成果。当然滇西实验场所取得的研究成果远远超出了本论文集所汇集的范围，据不完全统计多年来已在各种学报、刊物上发表的滇西实验场科学论文已达284篇，科学专著一部，一批研究成果已获国家地震局奖励，更多地成果获得了各单位的奖励，最为有意义的是在场所获得一些成功的预报经验已在国内一些地区实际应用。可见，滇西地震预报实验场的实践表明了发展我国地震科学所采取的边建设、边观测、边研究、边预报的方针是正确的。

八·五期间滇西地震预报实验场转入了以突破短临预报科学难关为主的攻坚阶段，近期工作重点是详细划分和判定近年强震危险地段，围绕这些地段开展旨在定量研究潜在震源区所在地段地下介质力学过程，寻求地震孕育中期和短期阶段地震前兆场的空间分布特征与时间演化规律，力争对场区可能（特别在八·五期间）发生的6级以上地震做出在一定程度上有理论依据的短临预报。达到这样一个目标，困难是不言而喻的。相信本论文集对以后的科学攻关研究会起到有价值的借鉴作用。这也是本论文集正式出版的目的之一。

本论文集的汇编工作由国家地震局科技监测司、滇西实验场办公室共同完成。陈章立、陈颀同志审阅了全部论文。还有许多同志为本文集的出版做了大量的工作，在此一并表示感谢。

吴宁远

目 录

前 言

区域地震地质特征与地壳构造

红河断裂带北段位错与地震重复发生的时间间隔·····	魏顺民 张 靖等 (3)
滇西实验场区断裂作用的地表地质特征与大地震发生的危险性···	冉永康 王景铤等 (11)
滇西实验场构造物理研究·····	马 瑾 (23)
滇西实验场及邻区地壳构造的初步研究·····	阚荣举 (37)
红河断裂分段特征与滑动类型研究·····	韩 健 周硕愚 (47)
大理—宾川地区的弧形构造与现代断块格局·····	王晋南 皇甫岗 (53)
滇西地区地壳结构的爆破地震研究·····	胡鸿翔 (61)
滇西北地区地震构造分区研究·····	韩 源 杨继武等 (62)
滇西地区地壳、上地幔电性结构与地壳构造活动的关系·····	孙 洁 徐常芳等 (78)

区域构造应力场与地震活动性

滇西实验场区现代构造应力场及其时空变化与强震·····	阚荣举 (91)
滇西实验场区地震构造特征的遥感图像处理研究·····	张俊昌 侯学英等 (108)
滇西实验场新构造运动特征与地震活动关系·····	柴天俊 覃玉玺等 (121)
滇西地震实验场的重力变化·····	贾民育 夏 晨等 (131)
红河断裂带的近代形变特征·····	王启梁 曹新菊等 (120)
断层活动特征的三维监测·····	余绍熙 陈谦巽等 (146)
红河断裂带断层气体的成因与断层活动的关系·····	上官志冠 (151)
用断层形变参数探讨滇西实验场区现今构造活动特征·····	张兴华 宋金玲 (157)
用大地形变测量资料研究滇西北地区现今地壳形变特征·····	刘玉权 杨来宝等 (163)
滇西热形变场的初步探讨·····	焦 青 叶小鲁 张书俊 (176)
滇西实验场区主要断裂形成环境与地震的关系·····	林传勇 史兰斌 何永年 (186)
热红外遥感影像显示的滇西地温场与地震构造背景·····	王庆廷 古成志 (191)
滇西及邻区现代构造应力场基本特征·····	李方全 刘光勋等 (196)
滇西数字化地震观测台网·····	金亚夫 李立平 李一正 (209)
滇西实验场地壳形变重力变化特征及近期潜在危险区估计·····	高锡铭 (217)
滇西洱源—漾濞一带微震震源参数·····	金亚夫 李立平 李一正 (226)

地震预报方法研究

滇西地区应力场变化及介质性变化与地震前兆关系研究·····	秦嘉政 阚荣举等 (235)
-------------------------------	------------------

地热动态观测与地热前兆·····	付子忠 王瑜青 (247)
中强震前地震波的衰减与卓越频率的变化·····	蔡静观 许昭永 (260)
滇西实验场地磁场总强度的变化特征及以磁报震方法探讨·····	石 安 (264)
滇西实验场区震时形变特征·····	吴翼麟 (271)
水化学前兆灵敏组分及灵敏穴位条件的研究·····	李彤起 杨崇义等 (276)
滇西北地震活动特征分析·····	钱兆霞 李晏平等 (284)
澜沧—耿马大震前后弥度多极距电阻率大幅度异常·····	许秀芬 (291)
滇西实验场重力变化与地震关系研究·····	吴国华 罗剑寒等 (300)
龙陵地震震源参数的大地测量资料反演结果·····	高锡铭 钟晚雄等 (311)

实验分析研究

红河断裂带断层泥的矿物成分与结构特征研究·····	冯锦江 张秉良 胡碧茹 (321)
滇西实验场主要断裂带断层岩的显微构造研究·····	林传勇 史兰斌 何永年 (324)
红河断裂带断层泥特征及其意义·····	张秉良 冯锦江等 (327)
滇西地震实验场晚第四纪地层及断层年代学研究·····	严富华 彭 贵等 (331)
蠕滑及粘滑段断层泥粒度组成特征的研究 (以红河断裂为例) ·····	胡碧茹 冯锦江 张秉良 (340)
滇西地区九种岩石的 P 波 Q 值·····	许昭永 段永康 韩 明 (344)
真三轴应力条件下大理岩破裂过程中的 P 波 Q 值变化·····	许昭永 韩 明 包一峰 (350)
滇西实验场区内丽江、团山水库原地 Kalser 应力值测定·····	黄永祥 李正光等 (357)
红河断裂带古构造残余应力场 x 射线测量·····	安 欧 高国宝 李占元 (364)
形变信息的物理特性及与大地测量的差异 ——区域形变场的演变规律·····	赵 城 施顺英 曹新菊 (377)

区域地震地质特征与地壳构造

红河断裂带北段位错与地震 重复发生的时间间隔

號顺民 李祥根 向宏发

(国家地震局地质研究所)

张 靖 陈铁牛 张国伟

(云南省地震局)

摘 要

本文主要通过对红河断裂北段自晚更新世以来的新活动特征研究,定性及半定量地分析了红河断裂北段的位错规律和位错量,并从测定得知的断层位错速率和断层位错总错距等参数两种方法,求出该断裂带上地震的重复发生时间间隔。结果是,晚更新世以来红河断裂北段产生右旋—拉张作用。右旋垂直运动主要分布在断裂盆地。水平运动表现为山脊、水系和标志层的位错,出露最好地段位于下关与弥渡之间。通过野外直接测得一批断错数据,根据 ^{14}C 测年法分析了断错的年代。由断距和年代数据获得了定西岭段断层水平位错速率是8毫米/年,现代冲沟最次断层一次的水平位错量是1.5米,垂直位错是1.4米。分布于大理盆地段的断裂垂直差异运动强烈。根据晚更新世末期以来断裂两侧地层的位错高差和 ^{14}C 定年结果,求得苍山山前断裂的垂直运动速率为9毫米/年。用位错速率和位错总错距求得,大理—弥渡地区6.8级左右地震重复发生平均时间是 178 ± 29 年。它与6—7级历史地震重复时间间隔 150 ± 50 年在时间尺度上相当,可信程度较大。该结果对地震中长期预报有参考价值。

关键词: 红河断裂北段 断裂位错速率 断裂位错总错距 地震复发间隔

红河断裂北段(剑川—弥渡)活动断裂广布,历史地震频繁。北段是一复杂的断裂带,它主要包括定西岭断裂、洱源断裂、苍山山前断裂、凤羽—花甸断裂、江尾—福寿场断裂等(图1)。

一、断裂带水平运动及位错速率

断裂带右旋水平运动主要分布于狭谷地段(定西岭、下山口等)。定西岭—三哨水库,断裂使一系列平行的冲沟及其相间的山脊发生位错,展现清晰的右旋运动图案(图2)。用冲沟长度与形成时代正比关系,得大草地—破屋和大哨—大赤佛两组冲沟(图2中5—10和11—14号冲沟)的年龄值分别为14000年和28000年。参考表1,求得平均水平滑动速率是8毫米/年。

2号与3号山脊之间长30米的新冲沟,4个泉眼位置恰好在断层带上,成右旋排列。断层带中 F_3 、 F_5 有明显位错,位错量1.5米(图3)。如按30%比例⁽¹⁾排除可能存在的蠕滑分量,它与地震有关的粘滑分量则为1米左右,这和西南地区几次近代地震地表破裂位错量与震级的对数相关性拟合曲线(图4)比较,大致相当于1次6.8级地震。因而可选用1.5米位错量为1次6.8级左右地震的地质位错量。

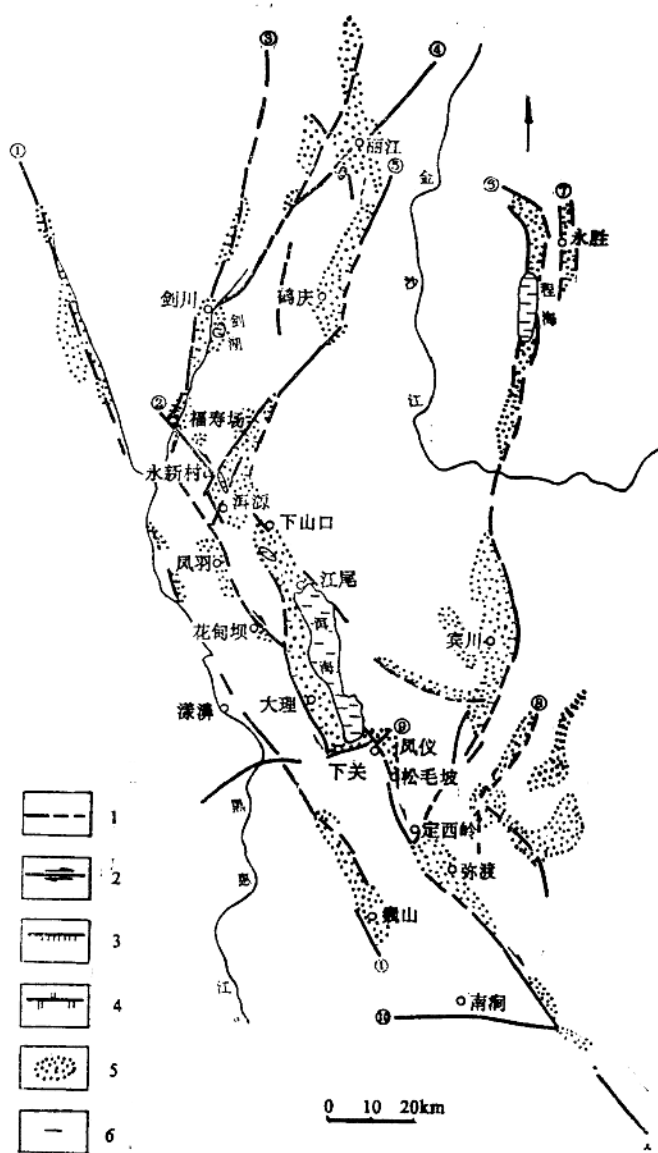


图1 大理地区活动断裂和盆地分布简图

图例1:活动断裂; 2:剪切断裂; 3:拉张断裂; 4:挤压断裂; 5:构造盆地; 6:图中断裂序号: ①漾濞江断裂; ②红河断裂带; ③中甸—剑川断裂; ④丽江—剑川断裂; ⑤鹤庆—洱源断裂; ⑥程海断裂; ⑦永胜断裂; ⑧祥云断裂; ⑨西洱河断裂; ⑩南涧断裂

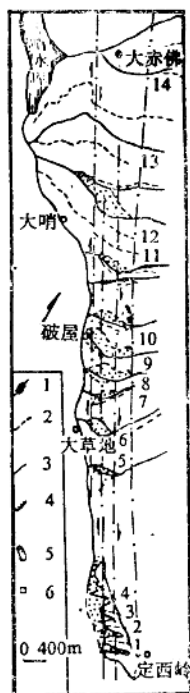


图2 定西岭—三哨水库段红河断裂
右旋水平运动平面图

图例1:断裂及水平位错; 2:主山脊线; 3:冲沟; 4:断层
弱坎; 5:冲沟中第四纪洪坡积物; 6: ^{14}C 取样位置

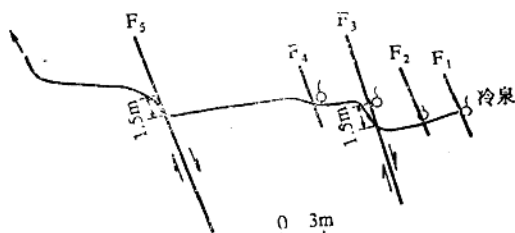


图3 定西岭泉谷近代右旋错动
(F_1 — F_5 为断层)

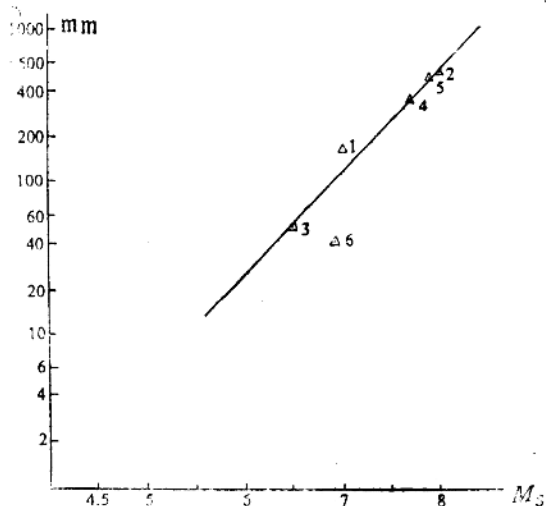


图4 西南部分地区震级 (M_s) 与地表位错 (D) 关系曲线
图中1:1948年理塘7级地震; 2:1951年当雄8级地震⁽¹²⁾; 3:1966年东川6.5级地震;
4:1970年通海7.7级地震; 5:1973年炉霍7.9级地震; 6:1981年道孚6.9级地震

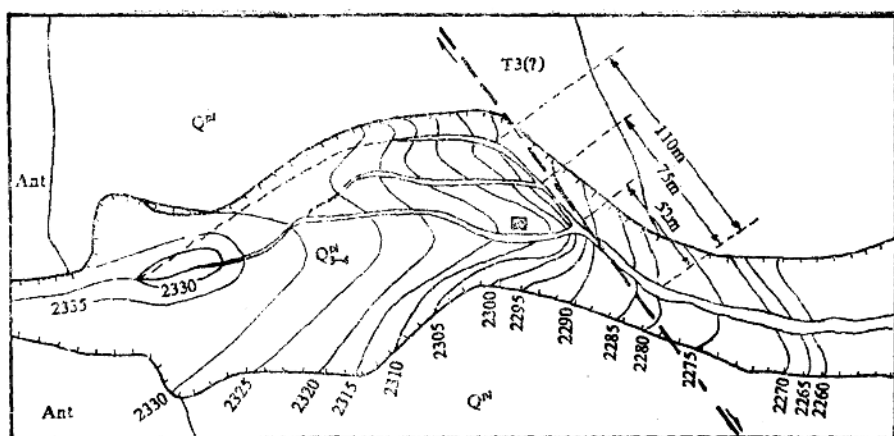
表1

下关定西岭地区山脊、冲沟水平位错表

地 区	编号	位 错 体			位错量 (m)			平均位错量 (m)	平均位错速率 (mm/yr)		
		类型	长度(m)	年龄(yr)	航片分析	地形图分析	测量值		单点值	分区值	全区值
定 西 岭	1	山脊	300	5365±90	40		32	36	6.72		
	2	山脊	300		54		33(40)	42	7.84	6.91	
	3	山脊	200		40		33(30)	34	6.34		
	4	山脊	200		40		37(30)	36	6.72		
大草地—破屋	5	山脊	700	14,000*	100			130	10.8		
		冲沟	700		160						
	6	山脊	700		140	100	(140)	135	9.6		
		冲沟	700		160						
	7	山脊	600		100	150	(100)	118	8.4		
		冲沟	700		120						
	8	山脊	600		120	200		113	8.1	9.4	8.3
		冲沟	600		120						
	9	山脊	700		140	150		163	11.6		
		冲沟	700		200						
大嘴—大赤佛	10	山脊	650	28,000*	140	200		160	11.4		
		冲沟	650		140						
	11	山脊	900		200	250	200	218	7.8		
		冲沟	900		220						
	12	山脊	>1200		220	350	200	253	9.0		
		冲沟	>1200		240					8.5	8.5
	13	山脊	>1200		240	300	200	235	8.4		
		冲沟	>1200		200						
	14	山脊	>1400		240	250	200	243	8.7		
		冲沟	>1400		280						

* 据河流长度与年龄关系推算的年龄值, 括号内的数据为目测数据。

另外, 在下关化工厂苍山山前发育两条新冲沟, 其中之一由图 5 看出, 冲沟于断层通过处右旋拐弯, 冲沟内有 3 条平行支沟, 断距分别为 110 米、75 米、52 米。冲沟沉积物¹⁴C 年龄为 18695±285 年, 求得断层水平运动速率 5 毫米/年。



— 剪切断裂 — 2330 等高线(m) Q_{3-4} 晚更新世末—全新世洪积物
 — 新冲沟(虚线为底) Ant 苍山片麻岩 C_{14} 取样点
 弃的老冲沟 T3 上三迭系砂页岩
 沟谷 Q_4 第四系洪积物

图5 下关化工厂西沟断错水系平面图

二、断裂带垂直运动及位错速率

红河断裂在宽谷段主要为强烈的垂直差异运动。电法资料证实,大理盆地晚更新世末,沉积物最大厚度达500米,平均厚度170米。与西侧同一时代地层断差达170米, ^{14}C 年龄为 18695 ± 285 年,断错速率约为9毫米/年。

沿鹤庆—洱源断裂带,在洱源盆地东坡脚二莲河村洪积台地上,发育9个断层陡坎(图6),陡坎高1.4米。推测是一次古地震的产物。洱源盆地与大理盆地形成机制,历史地震频

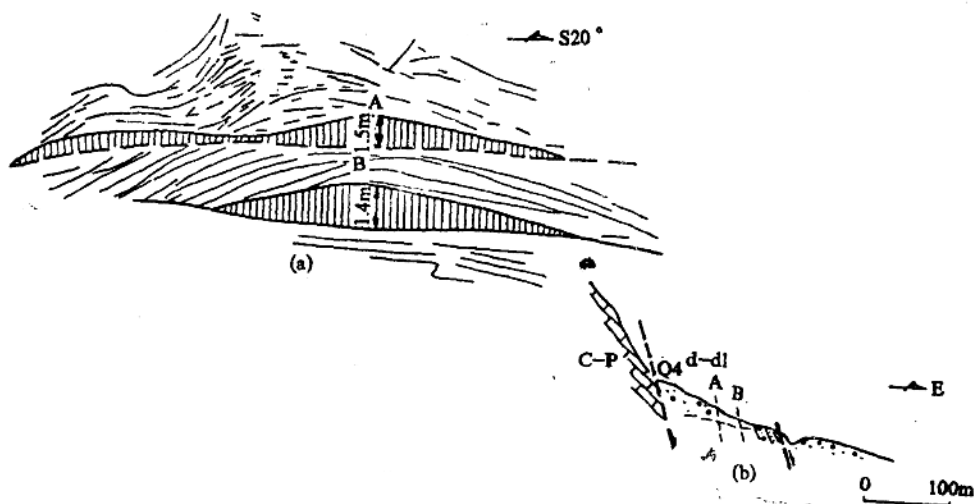


图6 大理盆地晚更新世末以来地层等厚图

(等值线单位:米;资料来源于中国人民解放军九三三部队)

度、强度等基本一致,对比分析可认为大理盆地的一次量级与洱源盆地的量级相当,即扣除一定比例的蠕滑量⁽¹¹⁾后,应为1米左右。

定西岭也有垂直断错表现。1—5号山脊及其间的冲沟内均有8—10米高的断层陡坎,其时代为 5365 ± 90 年,垂直运动速率可达1.8毫米/年。在定西岭泉谷 F_1 、 F_3 通过处,垂直位错量达0.4米,其与一次1.5米水平位错相伴而生,是同一次事件的产物。

三、断裂位错与地震重复发生的时间间隔

1. 6—7级历史地震重复发生的时间间隔

从6级以上的15次地震看,它们具有集中成团和发震构造类同的特点,由此可以分成剑川、洱源、大理、弥渡和南涧4个地震活动区(图7)。大理和弥渡构造上虽有一定差异,但两地距离50公里,6—7级地震的震源体彼此连接。因而可作为一个地震区看待。1481—

1951年的470年间,剑川—大理地震带6级以上地震,平均31年1次。6—7级地震除了带内重复外,各地震区均有重复现象,其中大理—弥渡区重复周期为 150 ± 50 年。

2. 断裂位错与地震重复发生的时间间隔

现以定西岭一带断错参数为依据,以大理一带断错参数为参照值,对大理—弥渡地震区地震重复发生时间间隔进行分析。

1) 定西岭一带水平位错速率是8.3毫米/年,垂直位错速率1.8毫米/年,1次6.8级左右地震水平位错1.5米,垂直位错0.4米。可求出6.8级左右地震重复发生时间间隔(表2)。①用位错速率等参数计算,求得定西岭一带地震重发的时间间隔是205年。②用位错总错距等参数计算,即用位错总错距除以一次断错错动量求出断错次数,再用错动年龄值除以断错次数,得出地震重复发生时间间隔是209年。

2) 大理地区苍山山前断裂水平位错速率是5毫米/年,垂直位错速率是9毫米/年。由于大理盆地耕作土层掩盖,未得到一次断错量资料,垂直断错资料借用了洱源盆地东界断裂的结果,即1次地震断错量为1.4米,根据垂直断错速率与水平断错速率之比值是9:5,推算出1次水平断错量是0.77米。根据这些参数和表2中

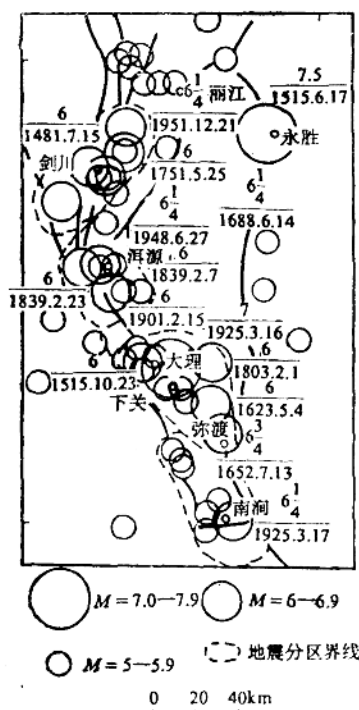


图7 洱源—连河—剑川断层陡坎

6.8级左右地震重复发生的时间间隔,计算出大理地区地震重复发生的时间间隔是155年(位错速率参数计算)和143年(位错总错距参数计算)(表3)。

3) 将定西岭、大理两地分别用断错法求得的地震重发时间间隔与大理—弥渡地震区6—7级历史地震重发时间间隔进行综合对比,发现两者在时间上比较接近(表4)。结果得出大理—弥渡地震重复发生时间间隔是 178 ± 29 年。

表2

计算方法	计算参数	断裂位错速率		断裂总错距		断裂一次位错量		错动次数		年龄 (yr)	地震重复发生的时间间隔 (yr)			拟合重 复时间 间隔 (yr)
		水平 (mm/yr)	垂直 (mm/yr)	水平 (m)	垂直 (m)	水平 (m)	垂直 (m)	水平	垂直		由水平位 错计算	由垂直位 错计算	小平均	
用位错速率等参数计算		8	1.8			1.5	0.4			5365	187	222	205	207
用位错总错距等参数计算				40	10	1.5	0.4	26	25		206	211	209	

表3

计算方法	计算参数	断裂位错速率		断裂总错距		断裂一次位错量		错动次数		年龄 (yr)	地震重复发生的时间间隔 (yr)			拟合重 复时间 间隔 (yr)
		水平 (mm/yr)	垂直 (mm/yr)	水平 (m)	垂直 (m)	水平 (m)	垂直 (m)	水平	垂直		由水平位 错计算	由垂直位 错计算	小平均	
用位错速率等参数计算		5	9			0.77	1.4			18895	154	156	155	149
用位错总错距等参数计算				110	170	0.77	1.4	143	121		131	154	143	

表4

地 区	计 算 方 式	重复时间间隔(yr)		地区平均值(yr)		重复时间间隔总平均值(yr)	
定 西 岭	位错速率等参数 位错总错距等参数	205 209			207		178±29
大 理	断错速率等参数 断错总错距等参数	155 143			149		
大理—弥渡区	6—7级左右历史地震活动	150±50		150±50			150±50

四、小 结

1. 晚更新世以来,红河断裂带北段狭谷地段水平运动速率为8毫米/年。垂直断错速率为1.8毫米/年。宽谷(盆地)地段垂直断错速率9毫米/年,水平错动速率5毫米/年。

2. 本区6.8级左右地震重发时间间隔是 178 ± 29 年,它与6—7级历史地震的重发时间间隔相比,时间(150 ± 50 年)尺度上较接近,可信度较大。

3. 6.8级左右地震重发时间间隔(178 ± 29 年)是由大理—弥渡小区的断裂位错资料计算得出的。与剑川小区用6—7级的历史地震重发时间间隔量级相近,因而基本上也适合于整个剑川—大理地震带,区别在于各地震区起算时间不同。

参 考 文 献

- [1] 李坪等, 1977, 云南川西地区地震地质基本特征的探讨, 西南地区地震地质及烈度区划探讨, 地震出版社。
- [2] 徐杰, 1977, 西南地区四川运动以来构造应力场的初步研究, 西南地区地震地质及烈度区划探讨, 地震出版社。
- [3] 李祥根, 1977, 川滇高原新构造特征, 运动类型和强震区地质构造标志的探讨, 西南地区地震地质及烈度区划探讨, 地震出版社。
- [4] 邵宏舜, 1979, 云南大理—下关强震区的地质考察, 川滇强震区地震地质调查汇编, 地震出版社。
- [5] 黄祖智, 1979, 云南剑川强震区的地震地质特征, 川滇强震区地震地质调查汇编, 地震出版社。
- [6] Tapponnier, P. & Molnar, P., 1977, Active faulting and tectonics in China, J. Geophys. Res., Vol. 82, No. 20.
- [7] 阙荣举等, 1977, 我国西南地区现代构造应力场与现代构造运动特征的探讨, 地球物理学报, 20卷, 2期。
- [8] 韩源, 1980, 我国西南地区若干地震地质问题讨论, 地震研究, 3期。
- [9] 丁国瑜, 1982, 活动走滑断裂带的断错水系与地震, 地震, 1期。
- [10] 国家地震局地质研究所, 1979, 中华人民共和国地震构造图, 地图出版社。
- [11] Wallace, R. E., 1970, 在圣安德列斯断层带地震重复发生的时间间隔, Bull. Geol. Sec. Am., Vol. 81, No. 10, 译著载于国外地震, 2期。
- [12] P. Tapponnier et al., 1981, Field evidence for active normal faulting in Tibet, Nature, Vol. 294, No. 5840.