参 考 文 献

- 1 Bader H. United States Polar ice and snow studies in the International Geophysical Year. *Geophys Monong*, 1958, 2: 177~ 181
- 2 Mulvaney R, Wolff E W. Evidence for winter/ spring denitrification of stratosphere in the nitrate record of Antarctic firn cores. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(D3): 5 213~ 5 220
- 3 Legrand M, Delmas R J. Relative contribution of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow. *Tellus*, 1986, 38B: 236~ 249
- 4 Mayewski P A, Legrand M. Recent increase in nitrate concentration of Antarctic snow. *Nature*, 1990, 346: 258~ 260
- 5 Legrand M, Leopold A, Domine F. Acidic gases (HCl, HF, HNO₃, HCOOH and CH₃COOH): a review of ice core data and some preliminary discussions on their air-snow relationships. In: Wolff E W, Bales R C, eds. *Chemical Exchange between the Atmosphere and Polar Snow NATO ASI Series I*, 1996, 43: 19~ 43
- 6 Wolff E W. Location, movement and reactions of impurities in solid ice. In: Wolff E W, Bales R C, eds. *Chemical Exchange between the Atmosphere and Polar Snow NATO ASI Series I*, 1996, 43: 541~ 560

(1998-11-24 收稿, 1999-03-29 收修改稿)

滇西南龙陵-澜沧断裂带 ——大陆地壳上一条新生的破裂带

虢顺民 向宏发 周瑞琦^④ 徐锡伟 董兴权^④ 张晚霞

(中国地震局地质研究所, 北京 100029; ④云南省地震局, 昆明 650041)

摘要 龙陵-澜沧断裂带是一条新生的破裂带, 由多条斜列式或丛集式次级断层组成, 以活断层、地震断层、地震成带分布为特征. 运动性质为右旋-拉张. 形成时代为早、中更新世, 晚期继续活动. 未来破裂趋势首先将断开那些构造闭锁段、破裂不连续段, 然后使断裂带完全贯通, 同时伴随强震发生.

关键词 滇西南 断裂带 新生破裂带

云南西南部发育的龙陵-澜沧断裂带是一条新生的破裂带. 前人工作主要开始于 1988 年澜沧-耿马地震发生之后^[1~ 3], 重点在于发震构造方面的研究. 本文对“新生破裂带”的提出还属首次. 地壳上许多活动断裂是沿衰老断裂重新活动的, 但有的断裂却是新生的, 文中研究的就是其中最典型的一例. 作者认为, 对新生断裂的研究, 不仅有构造学上的理论意义, 还有减灾防灾方面的实际意义.

1 新生破裂带形成前的老构造格局

滇西南地区从西北尖高山起, 向东南经腾冲、龙陵、耿马、澜沧, 到达勐海以南, 全长 500 余公里的范围内, 北北西向新生破裂带形成前的老构造几乎都是北东向的, 部分是南北向的. 老构造由断裂、褶皱、变质岩、岩浆岩组成. 它们形成于古生代, 强化于中生代, 新生代有的继续活动. 老构造的组成、走向、形成时代与新生断裂带完全不一致, 它们是两套不同时期的构造产物. 可见, 北北西向龙陵-澜沧断裂带早期并不存在, 而是后期切割老构造形成的一条新生破裂带.

2 新生破裂带的产生

新生的龙陵-澜沧断裂带与老构造走向成大角度相交,两者呈切割关系. 新生破裂带的重要标志是: 发育新生断裂、地震断层以及成带分布的地震活动(图1).

图1 龙陵-澜沧断裂带及邻区第四纪断层、地震断层和震中分布图

龙陵-澜沧断裂带, ④大盈江断裂带, ②瑞丽-龙陵断裂带, 南汀河断裂带, 孟连-澜沧断裂带, 木戛断裂带, ⑧打洛-景洪断裂带, ⑦怒江断裂带

2.1 新生断裂带活动性和形成时代

(1) 新生断裂带几何展布

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb1999-44-19-2118>

断裂带由多条不连续次级断层组成,呈斜列或丛集状展布,彼此互相平行,走向十分稳定.总体呈直线形延伸,走向北西 25° .北段由多条规模较小、不连续小断层组成,以丛集式居多;南段则以连续性较好的斜列式次级断层为主,呈右阶羽列式展布,羽列之间形成阶区,有的已发育成拉分盆地,如澜沧盆地.有的伴生横向断层,形成共轭构造,如龙陵地震构造.有的与斜向断裂相交形成盆地,如勐满盆地.

(2) 新生断裂活动性

新生断裂在地貌上形成断裂谷、三角面、陡坎和断错水系.在北部镇安盆地,断裂成为盆地西部边界,一系列近东西向水系被断裂右旋错开,断距 $10\sim 25\text{ m}$.断面上擦痕侧伏向南南东,伏角 32° .向南在永德旧街坝,断裂沿永康河西岸通过,地貌上形成断层陡坎和断塞塘.断层使永康河一系列支流发生右旋错动,位错量 $15\sim 18\text{ m}$.在耿马南汗姆坝,断层控制长条形盆地的形成.断层切过灰岩时形成陡立的基岩陡坎.断面清楚,产状 $335^{\circ}/\text{SW}\angle 75^{\circ}$.汗姆坝北断裂使山脊右旋位移 15 m .在澜沧北部麻卡地,断裂沿南郎河东岸通过,使一系列南郎河支流及其间的山脊发生右旋错动,错动量最大 550 m ,最小 15 m .山脊被断错处形成断层陡坎、断塞塘.澜沧南角河村附近,勐大河3条支流发生同步右旋位错 $400\sim 500\text{ m}$.种种迹象说明,新生断裂带具有右旋-拉张运动性质.

(3) 新生断裂形成时代

新生断裂通过处,发育多个断陷盆地,长轴走向北北西.盆地内堆积物为第四系,多为中、上更新统和全新统,说明与盆地相关的断层形成于第四纪早、中期.

被断错的河流长度最大者为澜沧勐大河,长 6 km 左右,多数则为数百米至 $1\sim 2\text{ km}$.根据虢顺民等人^[4]研究,与邻近地区同类水系长度形成时代对比,推断前者形成时代为中更新世,后者为晚更新世至全新世.

沿断裂带在第四系中多处可见断层露头,如镇安盆地西边界断裂切错的地层为晚更新统-全新统;永德东断裂切割的残积红土和砂粘土为中更新统-全新统;澜沧麻卡地断错全新统黑色淤泥;澜沧南角河断错中更新统网纹状红土等.

上述资料说明新生断裂带形成于第四纪早、中期,晚期继续活动.

2.2 地震断层

沿新生断裂带,历史上发生过6次 $M\geq 7$ 级地震.龙陵地震为双主震型地震,2次7级以上地震都产生了两组地震断层(图1),一组为北东东,一组为北北西^[5].其中北北西一组与龙陵-澜沧断裂带走向和性质完全一致,北东东向一组为伴生的共轭构造^[6].1988年澜沧7.6级和耿马7.2级地震产生的地震断层走向、活动性与龙陵-澜沧断裂带完全一致.澜沧地震断层长 40 km ,宽 5 km ,由10条次级裂缝组成,表现为地裂、滑坡、崩塌、喷砂冒水等.地震断层右旋位移量达 1.3 m ,裂缝兼具拉张性质^[2].耿马地震断层长 15 km ,由一系列右阶羽列次级裂缝组成,总体走向北西 30° ,最大右旋量 0.96 m ,倾滑量 0.5 m ^[1,3],可见,这是一条走滑兼倾滑性质的地震断层.地震断层走向均为北北西,破裂性质为右旋-拉张,这与龙陵-澜沧断裂带活动性质一致,这些是断裂带最新破裂的直接证据.

2.3 历史地震的成带性

沿龙陵-澜沧断裂带及其邻近地区,历史上发生的70多次5级以上地震呈北北西向带状分布,且大部分震中在龙陵-澜沧断裂带上(图1),离开断裂带稍远的地区地震即很少发生,显

示地震活动与断裂带活动相关,即地震带的形成是断裂带最新破裂的结果。

3 断裂带新破裂趋势分析

龙陵-澜沧断裂带结构上还没有完全连通,是一条正在发展中的新生破裂带。根据新破裂的活动规律,今后有如下的破裂发展趋势。

(1) 断开构造闭锁段。从断裂和历史地震分布分析,断裂带上有些地段既没有发现新断层,也没有发生过大地震,它们成为断裂带上的闭锁段。如永德地区、南明地区等,这些地区活断层不明显,缺乏历史地震活动,因而是断裂带上的构造闭锁区,是将被首先断开的地段。

(2) 不连续破裂段的被连通。在龙陵地震区出现的多条小型地震破裂,它们在地表上没有完全连通,北北西向的镇安破裂段和平达破裂段之间就有20多公里长的地段是一种典型的不连续破裂段。这种地段在未来断裂活动过程中将以地震的方式发生破裂,从而使不连续破裂段连通。

(3) 断裂带的最终形成。当断裂带上全部闭锁段、破裂不连续段都破裂后,断裂带即完全贯通,形成单一、完整、“成熟”的断裂带。这一过程需要的时间也许是几万年或十几万年,其破裂方式是突发式和蠕滑渐变,前者伴生大地震,后者伴生中、小地震。

4 小结

(1) 北北西向的龙陵-澜沧断裂带是切割早期形成的北东向、南北向的老断裂、褶皱、地质体后产生的新生破裂带。破裂带由多条次级断层组成,呈平行、斜列或丛集式展布。斜列断层多呈右阶羽列展布,重叠部位形成阶区,有的已发育成拉分盆地。

(2) 第四纪断层、地震断层和地震活动成带分布是新生破裂带形成的直接证据。第四纪断层和地震断层具右旋-拉张运动性质。新生破裂带形成于第四纪早、中期,晚期继承性活动。多次历史强震的发生,说明近代活动有增强趋势。

(3) 新生破裂带还未进入“成熟”期,今后的活动将继续断开那些闭锁段、破裂不连续段,实现断裂带的完全贯通,成为典型走滑断裂带。闭锁段和破裂不连续段的连通将伴随大震的发生,从防震减灾出发对它们要加强监测。

致谢 英文稿由韩竹君博士帮助完成,在此表示致谢。本工作为地震联合基金会(编号:196073)和中国地震局“九五”重点资助项目(编号:95-04-10)。

参 考 文 献

- 1 周瑞琦,俞维贤,谷一山,等. 云南耿马7.2级地震地表破裂带研究. 地震地质, 1990, 12(4): 291~ 301
- 2 俞维贤,柴天俊,侯学英. 澜沧7.6级地震形变带. 地震地质, 1991, 13(4): 343~ 352
- 3 姜葵主编. 1988年云南澜沧-耿马地震. 昆明: 云南大学出版社, 1993. 299~ 314
- 4 虢顺民,计凤桔,董兴权,等. 云南红河断裂带大水塘-南沙段第四纪断错水系初步研究. 活动断裂研究(4). 北京: 地震出版社, 1995. 28~ 37
- 5 陈立德,赵维城. 一九七六年龙陵地震. 北京: 地震出版社, 1979
- 6 周瑞琦,虢顺民,何蔚. 龙陵-澜沧断裂带双震型强震活动破裂模型讨论, 地震地质, 1998, 20(3): 261~ 267

(1998_09_15 收稿, 1999_03_28 收修改稿)