

龙陵大震震型及有关问题讨论

秦保燕 荣代潞 李启成

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文根据 1976 年龙陵大震三次主震由南向北的迁移特征以及 3 次主震及其强余震活动所反映的震源时空分区特征认为, 该次大震属续发性大震型, 即三次主震分别位于不同的震源区, 但首尾相接, 且各自有前震和余震。用立交模式和深部剪切蠕滑断层对龙陵大震发生在完整的花岗岩体内作了解释。用介质相对完整、区域压力大解释了主震发生时形成复式震源, 以及余震相对发育的特征。对于复式震源提出了用各震源断层长度累计总和求震级的方法。

关键词: 底劈立交; 复式源; 相加断层长度与震级

1976 年龙陵大震发生至今已 17 年了。在这期间许多作者对该震都作过有价值的研究, 例如刘正荣、阚荣举、陈立德等。但我们觉得该震还有一些问题值得讨论, 例如龙陵大震为何发生于相对完整的介质之内的问题, 主震的复式破裂问题, 以及这种复式震源破裂长度及其与主震震级的关系等。本文对这些问题作初步讨论。

一、关于龙陵大震发生的介质条件

1956 年周光在其所著的“地震”一书中就曾把构造性地震分为两类, 一类是沿已有的断层再发震, 一类是在完整介质中产生新破裂。龙陵大震就属于这后一类。但为什么它发生在龙陵这个具体地区, 其具体发震的条件是什么呢? 我们拟用 1991 年出版的“地震成因与地震预报”一书中脆性介质底劈和立交模式来解释^[1]。所谓立交模式是指深浅断层之间的相互作用, 造成活动断层致锁和解锁的模式。所谓底劈断层是指在储存巨大能量的孕震体底部存在深部剪切蠕滑断层, 它对临近发震的断层或完整介质中最大剪切面有底劈作用, 最后导致大地震的发生。

龙陵两次 7 级以上大震发生在北东向的瑞丽—龙陵大断层, 东西向的畹町大断层以及近南北向的怒江大断层围限的三角形块体内。此外在三角形块体的北部还发生了 6.6 级大震。龙陵大震系列并没有发生在已有的活动断层上, 而发生在相对完整的断层围限的花岗岩块体内, 图 1 表示了龙陵大震区周围的构造环境。

从龙陵大震的构造环境来看, 印度板块的近南北向的挤压力使畹町断层面上正压力很大, 而剪切应力可忽略, 这种受力状态就好像畹町断层不存在一样。怒江断层近南北向, 只是在其北端拐向北西向, 在南北向的力源作用下, 该断层形成拉张状态, 其断层面的剪应力很小, 因而不可能孕育大震。至于龙陵—瑞丽断层, 这是一个具有孕育剪切应力和发生大震条件的断层。但龙陵大震并未发生在此断层上, 一种原因是, 该断层未被锁住,

龙陵大震后该断层上也未发生较强的余震。这样龙陵大震区的三条围限断层实际上构成了

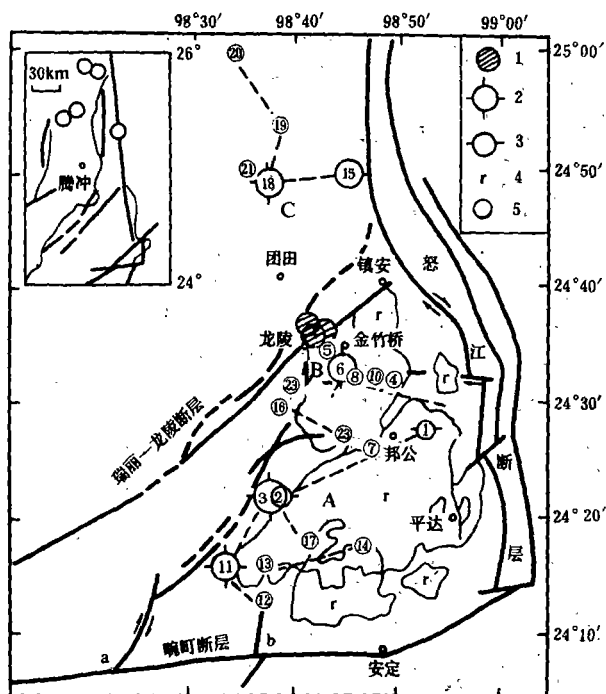


图 1 1976 年龙陵大震区的构造环境和前震、主震、强余震分布图

1. 历史上的中强震区; 2. 主震; 3. 前震; 4. 余震; 5. 花岗岩

Fig. 1 Tectonic environment of Longling large earthquake area of 1976 and distribution of foreshocks, mainshocks and strong aftershocks

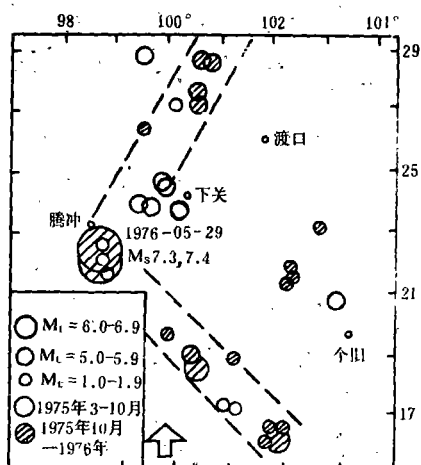


图 2 1976 年 5 月 29 日龙陵大震前的共轭地震条带

Fig. 2 Conjugate seismic belts before the Longling earthquake on May 29, 1976

它通过三角形块体下部, 对已经储存巨大剪切应变能的震源体底部形成底劈条件, 从而使大震易于发生。

根据文献^[1]的研究, 深部剪切蠕滑断层可由区域主压应力方向与其夹 45° 角方向上的地震活动来确定。对于龙陵地震来说, 在南北向的压力作用下, 深部可能会出现北西和北东向的两条剪切蠕滑断层, 当它运动时, 会触发上层的中小地震活动并形成中小地震条带。事实上, 龙陵大震前确实出现了共轭地震活动带, 其交汇区即为龙陵大震区。图 2 表示了龙陵大震前共轭地震条带。

由图 2 可见, 北东向的条带出现在 1975 年 3 月至 1975 年 10 月, 北西向条带出现在 1975 年 10 月直至震前。两条带活动的交替性可用立交模式中深部剪切蠕滑断层相互作用来解释。由于这两条带的方向与由力源推断的剪切带方向相一致, 且延伸长度较长 (不受局部构造影响), 故我们认为它们是深部剪切断层活动所造成的。从而证明了龙陵大震前震源区底部存在底劈断层这一假设。因此尽管龙陵两次主震发生在相对完整的介质区内, 无深浅立交构造相互作用, 但深部断层对龙陵震源区底部的底劈作用对大震发生无疑起了重要作用。

二、龙陵大震的前震活动与两次主震的关系

龙陵第一次强震前有两次中强前震, 一次发生在强震前 25 分 03 秒, 第二次发生在强震前 3 秒, 其迁移方向为北东东。主震就发生在第二次中强前震附近, 如图 2 所示。第一主震发生后和第二主震发生前又发生了两次中强震, 第一次发生在第二次主震前 5 分钟, 第二次发生在主震前 4 秒。这两次中强震可以考虑为第二次主震的前震。因为这二个地震不发生在第一主震中强前震的迁移路线上, 同时又不位于第一主震断层面的共轭方向上, 如图 2 所示。这第二主震前中强前震的震中迁移方向为北西西, 主震发生在第二中强前震附近。

一般来说, 中强前震的判断是比较困难的, 因为它可能是属于后面无强震的中强震活动。对于龙陵大震来说, 第一主震前两次中强前震之间的迁移距离已超过了第一中强前震的震源尺度, 因为一个 5.2 级地震其震源尺度仅 7—8 公里, 而迁移距离已达到 25 公里。由此特点可认为第二个中强前震不是第一个中强前震的余震, 它可能是表示后面有强震活动。第一主震后和第二主震前的中强前震活动与第一主强震前的活动很相似, 即它们跳出了第一主强震的余震活动范围, 因此可以认为它们是第二主震的前震。

三. 龙陵地震系列活动特征和震型判断

龙陵地震系列活动是比较复杂的, 它具有其它大震所没有的一些特征。这些特征可以帮助我们作出判别。下面分别进行讨论。

1. 龙陵地震活动的分区特征

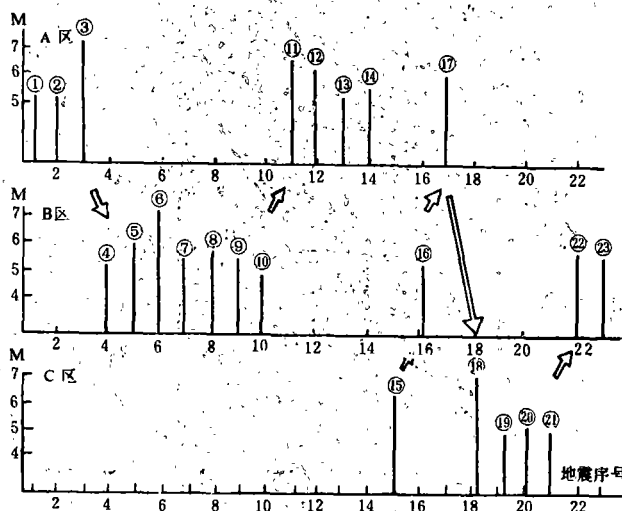


图 3 龙陵地震三个区余震活动时间分段图

Fig.3 Distribution of aftershock activity in three areas during the Longling earthquake

(1) 龙陵的强震和强余震活动可以明确地分为 A、B、C 三个区。A 区发生了第一主震，B 区发生了第二主震，C 区发生了第三主震，它们的震级分别为 7.3 级、7.4 级和 6.6 级。第一次主震与第二次主震相隔时间为 1 小时 37 分，第二次主震与第三次 $M=6.6$ 地震相隔 55 天。这三次主震各有其强余震序列活动区域，因此具有一定的独立性。图 1 表示了前震、主震、强震活动的空间分布图，圆内的数字为地震活动先后序号。图 3 是 A、B、C 三个区余震活动随时间的分布。

由此可见，强震活动的时间分段特征特别明显，强余震活动有明显的交替性，即一个区活动时，其它区不活动，一个区活动结束时，很快转移到另一区，很少出现三个区同时活动的情况。这种情况表明各震源区之间存在着相互作用，且这种相互作用具有负反馈的

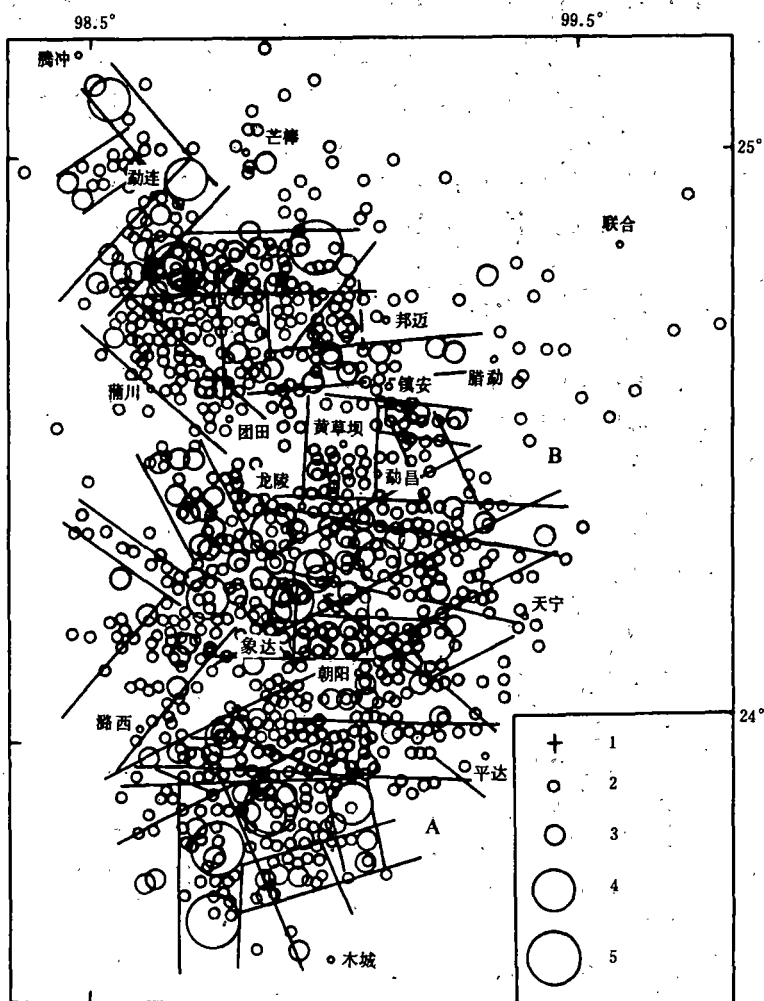


图 4 龙陵地震余震震中 ($M \geq 3.0$) 分布图

(1976 年 5 月 29 日—1976 年 12 月 31 日)

1、主震；2、 $M=3.0-3.9$ ；3、 $M=4.0-4.9$ ；4、 $M=5.0-5.9$ ；5、 $M=6.0-6.9$

Fig.4 Distribution of aftershocks ($M \geq 3.0$) during the Longling earthquake

特征, 即当一个震源区活动时, 它对另一个震源区的活动起抑制作用。但其更具体的相互作用机制目前还不清楚, 尚需进一步研究。

(2) A、B、C 三个地震活动区其前震、主震和强余震之间的时间间隔短, 这表明每个孕震区其能量的释放是通过复式震源完成的。

(3) 强余震和余震分布密度和频度相当高但衰减快。这可能是相对完整的介质内缺乏有长时间滞后的松弛介质存在之故。

2. 震型判断

关于龙陵大震以及其地震序列活动, 很多地震学家认为应属震群型。本文作者认为, 震群型给人一种无序的概念; 故对时空强有序的接踵发生的大震建议用续发性大震为妥。下面列举龙陵大震属续发性大震型的证据。

(1) 三次主震位于震源区的不同位置

三次主震分别发生在震源体的不同部位。根据前震、主震和余震分布可以明确分出 AC 区、B 区和 D 区, 它们各自形成地震的序列活动, 余震区首尾相接, 但又有间断, 如图 4 所示。

(2) 主震的迁移活动特征

三次主震由南向北迁移, 最后完成整个震源破裂错动过程。这种迁移性是续发性大震的重要特征。

(3) 主震震级级差小

三次主震震级级差分别为 0.1 和 0.9。震级级差小, 但由于震源区不同, 所以它们不是震群型, 而是具有续发性大震特点。

(4) 三次主震的地震序列活动分别有震群的特点, 它们表现为中强前震、主震、强余震之间震级级差小, 且中强余震间震级级差也偏小。三次主震的各地震序列形成震群型的原因可能是地震时发生共轭破裂引起的, 因为共轭破裂的二支断层一般位于最大剪切应变面上, 由于尺度相近, 地震强度也相近。

四、龙陵几次强震的破裂过程 (复式源) 讨论

1. 龙陵地震的第一主震的破裂过程

根据前震、主震、强余震和余震带的分布以及主震附近的环境构造, 我们认为第一主震的破裂是由几乎同时发生的几次破裂构成的, 一支方向是北东东向, 其破裂长度至少由震中达到邦公附近并引起这里的宏观高烈度异常区。因此邦公是前震区, 又是第一主震的终止破裂点。破裂长度约 25 公里。在第一主震发生后从余震分布带、强余震活动来看, 还有一支向西南方向破裂, 破裂长度约 15 公里。再有一支破裂是由震中向南破裂。此破裂终止于畹町东西向断层派生的南北向断层处, 总长度约 25km 左右。因此第一主震最后发生的破裂长度为 55km, 由下式计算得相应震级为 7.1 级。

$$M = 3.3 + 2.1 \log L(km)^{[5]} \quad (1)$$

上述复式破裂方向和破裂面位置如图 5 所示。尽管此破裂长度仍偏小, 但已接近实际震级了。

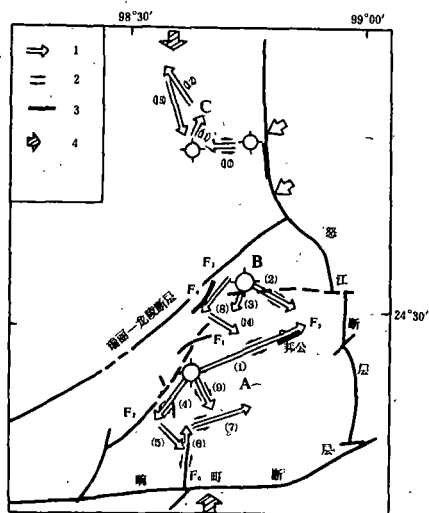


图 5 由主震和强余震序号得到的
破裂方向和破裂路径图
(括号中的数字是推测破裂的先后序号)

1. 破裂方向; 2. 错动方向; 3. 与破裂方向
有关的构造; 4. 区域力源方向

Fig.5 Fracture propagation directions
and paths of the Longling earthquake

的, 如前面的图 4 所示, 其总破裂长度约为 25km。将此值代入 (1) 式可得相应震级为 6.24。第二个地震的二个 P 波节面分别为北东和北西。此震发生后以北东和北西二方向向北北西方向破裂并终止于腾冲高温区 (调整单元)。其转折的总破裂尺度可达 43km。将此值代入 (1) 式, 可得相应的震级为 6.73, 此震级与实际震级相符。从强余震的间距来看, 第三次主震后强余震的间距明显增大。说明该震源端部调整单元的让位条件比第一主震和第二主震要好得多。

这种复式震源由于破裂点距离相近、破裂发生时间相近, 因而各破裂点发射的地震波有迭加效应, 当我们用这种迭加后的地震波测定震级时, 此震级实际上反映复式震源的地震总能量。因之由复式震源的分支破裂长度之和求得的震级与观测点由地震波求得的震级应该是相近的。

2. 龙陵第二主震的破裂过程

从前震、强余震发生的先后次序看, 最先的主破裂面为北西西走向, 由震中向东南东破裂, 终止于怒江断层附近, 其破裂尺度约 25km。另有一支为北北东向, 此方向与主震的主破裂方向近似共轭, 其破裂尺度约 15km 左右。再有一支为北北向并终止于瑞丽—龙陵大断层附近, 此破裂亦为 15km 左右。此外, 还有一支是从主震震中向南破裂然后拐向北西并终止于邦公附近, 这支破裂长度约 25km。其总的破裂特点是主震发生后是向多方向破裂扩展来克服其震源端部让位不足的。其总的破裂长度约为 80km, 代入 (1) 式可计算得到相应震级为 7.3 级, 此震级已接近主震震级。第二主震的破裂方位和位置以及由强余震得到的破裂过程如图 5 所示。

(3) 第三主震的破裂过程

第三主震实际上由两次较大地震组成, 但这两地震的震源机制不同, 故不是共轭双震型。第一个 15 号地震的 P 波节面分别为东西、南北走向。从余震分布看, 其破裂面是共

参考文献

- [1] 郭增建、秦保燕, 地震成因与地震预报, 地震出版社, 1991.
- [2] 陈立德、赵维城等, 一九七六年龙陵地震, 地震出版社, 1970.
- [3] 张肇诚等, 中国震例 (1976—1980), 地震出版社, 1990.

[4]秦保燕、谭爱娜, 与中国大陆相邻的板块运动方向的确定, 地震, No.4, 1992.

[5]郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉, 震源孕育模式的初步讨论, 地球物理学报, Vol.17, 1973.

DISCUSSION ON THE SEISMIC TYPE OF THE LONGLING EARTHQUAKE AND SOME PROBLEMS CONCERNED

Qin Baoyan, Rong Dailu, Li Qicheng

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

According to the migration characteristics of three main shocks of the Long ling earthquake from the south to the north and the temporal-spatial zoning characteristics of sources based on the seismic activities of three main shocks and strong after shocks, the authors consider that the seismic type of the Longling earthquake is belong to a type of great ensuing earthquakes, i.e. the three main shocks are located on different sources respectively which link each other from the beginning and the end, and the three source regions have its fore-and after-shocks respectively. The reason why the Longling earthquake occurred in complete granite has been interpreted by stereo model and shear creep fault in deep. It has also been explained forming multiple source when the main shock occurred and developping aftershocks because of the relative complete medium and the strong regional compress stress. A method to estimate magnitude of multiple source summing the length of each source fault has been advanced.

Key Words: Diapiric Stereo Model; Multiple Source; Summing Fault Length and Magnitude

~~~~~

### 兰 州 标 准 水

由于受国际标准水 (SMOW) 储量的限制, 国内外同位素实验室进行同位素测定时, 不得不自行制备自己的实验工作标准。由于制备条件的限制, 在我国也只有北京大学、中国科学技术大学等少数单位有自己的工作标准。但由于量少而不能满足有关实验室的测试需求。而且, 上述单位制备的标准水均位于我国东部地区的低海拔区内,  $\delta_D$  值均较高, 不利于我国西部地区对同位素的测定。为此, 兰州地震研究所水化室于 1985 年和兰州军区总医院协作, 利用兰州地下水经二次蒸馏, 在稳定环境下制得 25 万毫升兰州标准水。每瓶以 6 毫升为基准, 用医用安培瓶快速封装。该水经北京等 6 个单位质谱实验室多次标定确定:  $\delta_D$  值为  $-84.55 \pm 0.37\%$  (SMOW)。近几年经北京、河北、陕西、兰州、青海等有关实验室使用后均认为: 兰州标准水使用方便, 没有分馏现象, 数据稳定可靠、重复性好, 可做为室内工作标准, 符合标准水的要求, 因而受到用户的好评。兰州标准水填补了我国标准水的一项空白。我们欢迎国内外有关实验室采用兰州标准水做室内工作标准。

(国家地震局兰州地震研究所 倪明康)