

廖林、姚琪、刘杰等,2015,2014 年康定 $M_s 6.3$ 、 $M_s 5.8$ 震群型地震发震机理讨论,中国地震,31(4),638~646。

2014 年康定 $M_s 6.3$ 、 $M_s 5.8$ 震群型 地震发震机理讨论

廖林¹⁾ 姚琪²⁾ 刘杰²⁾ 张微³⁾

1) 中国石油大学(北京),北京市昌平区府学路 18 号 102249

2) 中国地震台网中心,北京 100045

3) 中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083

摘要 2014 年 11 月 22 日康定 $M_s 6.3$ 、 $M_s 5.8$ 地震发生在鲜水河断裂带南段的色拉哈段和折多塘段上。主、余震的时空分布,地震蠕变释放曲线以及震后 30 天地震日频度均显示,2014 年康定地震的地震破裂传播和地震能量释放存在鲜明的时空分段性。对比鲜水河断裂带上 1960 年以来中强地震的构造位置、地震蠕变曲线、围岩特征等可知,鲜水河断裂带上大部分中强地震序列类型均为主余型或是孤立型,只有发生在鲜水河断裂带南端贡嘎山岩体(折多山花岗岩)周边的 1972 年康定地震(塔公地震)和 2014 年康定地震为震群型地震。鲜水河断裂带上震群型地震很可能与强硬的新生代贡嘎山岩体有关。由于岩体的阻挡,震级较小的地震能量较小,不足以使地震破裂在岩体内部传播,导致地震能量转而在岩体周围的相对较软弱的岩层内储存、爆发,从而产生震群型地震序列特征。

关键词: 2014 年康定地震 1972 年康定地震 震群型 贡嘎山岩体

[文章编号] 1001-4683(2015)04-0638-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2014 年 11 月 22 日,在川滇菱形块体的东边界——鲜水河断裂带上发生了康定 $M_s 6.3$ 地震,同月 25 日,在该地震震中南侧约 11km 处又发生了 $M_s 5.8$ 地震。据统计,2014 年康定地震共造成 5 人死亡,78 人受伤,直接经济损失达 42.32 亿元。这 2 次地震的震级仅相差 0.5 级,按照地震序列分类的定义,该组地震属于震群型。根据 Jiang 等(2006)对川滇地区 89 个 $M_s \geq 5.0$ 地震序列的统计可知,鲜水河断裂带上绝大部分强震属于主余型,少量属于孤立型,仅有 1972 年 9 月 27 日康定 $M_s 5.6$ 、 $M_s 5.7$ 震群属于多震型。由此可见,此次康定震群对于鲜水河断裂带而言,是少有的强震震群。

根据地震序列类型的统计可知,震群型地震大多发生具有共轭构造或多组不同走向构

[收稿日期] 2015-01-14; [修订日期] 2015-04-02

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目(XH15049Y)、国家自然科学基金(41404043,41004037)共同资助

[作者简介] 廖林,男,1978 年生,主要从事岩石地球物理模拟及模型构建方面研究。E-mail:geolin@zju.edu.cn

姚琪,通讯作者,女,1981 年生,副研究员,主要研究方向为活动构造建模及有限元模拟。

E-mail:yaoqi@seis.ac.cn

造的交汇区,譬如 2012 年 9 月 7 日云南彝良 $M_s5.7$ 、 $M_s5.6$ 震群就发生在 SN 向的马边断裂带与 NE 向的昭通断裂带交汇区。相对来说,主余型地震能够在各类形式的构造中产生,特别是先存断层内部闭锁单元或障碍体的破裂或新生的相互分离的断裂段的破裂等,鲜水河断裂带上大部分强震序列都是主余型,譬如 1967 年 8 月 30 日炉霍 $M_s6.8$ 地震;简单断层端部的进一步扩展大多产生孤立型地震,譬如 1982 年 6 月 16 日甘孜西北 $M_s6.0$ 地震。从发震构造位置上来看,2014 年康定震群震中位于鲜水河断裂带色拉哈段和折多塘段的交汇处,但是该震群的 2 次主震震源机制解近于一致(CMT),震中所在断裂的产状也近于一致,并不存在共轭构造或多组不同走向的构造交汇。因此,2014 年康定震群的发震构造必然具有其独特性。

本文从 2014 年康定地震的震源特性、大地构造背景出发,分析了主、余震的时空分布,并将 2014 年康定震群与鲜水河断裂带上 1960 年以来主要中强震的构造位置、地震蠕变曲线、地震序列类型和围岩特征等进行对比,进一步讨论了 2014 年康定震群的独特性及其震群型地震序列的发震机理。

1 大地构造背景

2014 年康定 $M_s6.3$ 、 $M_s5.8$ 地震发生在川滇菱形块体的东边界——鲜水河断裂带上(图 1(a))。鲜水河断裂带北起甘孜县东谷,南至石棉附近,全长约 300km。该断裂带自北而南可划分为炉霍段、道孚段、乾宁段、雅拉河段、色拉哈段、折多塘段、雪门坎段和磨西段等 8 段(安艳芬,2011),2014 康定震群分别发生在色拉哈段与折多塘段上(图 1(b))。雅拉河段、色拉哈段、折多塘段等 3 段呈左行雁列排列,晚新生代以来均表现为左旋走滑的特征。

鲜水河断裂北接甘孜-玉树断裂,南接安宁河-则木河-小江断裂系,与这些断裂共同构成了川滇菱形块体的东北边界,并在折多山-贡嘎山一带与龙门山断裂带共同构成了川滇地区的“三岔口”地带,是巴颜喀拉块体、川滇块体和扬子块体等 3 大构造板块交汇地区。据第四纪断错地貌测量、古地震研究和 GPS 监测数据等分析结果,鲜水河断裂带左旋走滑速率约为 12mm/a (Xu et al, 2003);相对而言,安宁河-则木河断裂的滑动速率较小,减少的部分可能分解到大凉山断裂带上(何宏林等,2008),也可能转换为相邻贡嘎山的强烈垂直隆升(徐锡伟等,2003)。贡嘎山岩体及鲜水河断裂与龙门山断裂所夹的三角区域的 AFT 年龄小于 3Ma,其周边地区的 AFT 和磷灰石(U-Th)/He 年龄多大于 10Ma,这表明贡嘎山地区局部受特殊构造条件的影响而存在快速隆升的现象(谭锡斌等,2010)。

1890 年以来发生在鲜水河断裂带上的 7 级地震有 4 次,分别为 1893 年乾宁地震、1923 年炉霍-道孚地震、1955 年康定地震及 1973 年炉霍地震。从历史地震分布来看(图 1、表 1),该断裂带上 $M_s \geq 5.0$ 的中强震主要分布在断裂北侧的甘孜-炉霍附近以及该断裂带南东的乾宁-康定一带。从 1960 年以来鲜水河断裂带上主要地震的震源机制解来看,除了断裂端部的地震具有一定的拉张分量之外,该断裂带上的地震均为走滑型。1972 年康定 $M_s5.6$ 、 $M_s5.7$ 震群(塔公地震)距本次地震仅 12km,是距本次地震震中最近的地震(图 1(b))。

2 发震机理

2.1 震源特征

据中国地震台网中心测定,2014 年 11 月 22 日康定 $M_s6.3$ 地震震中为 30.3°N 、 101.7°E ,

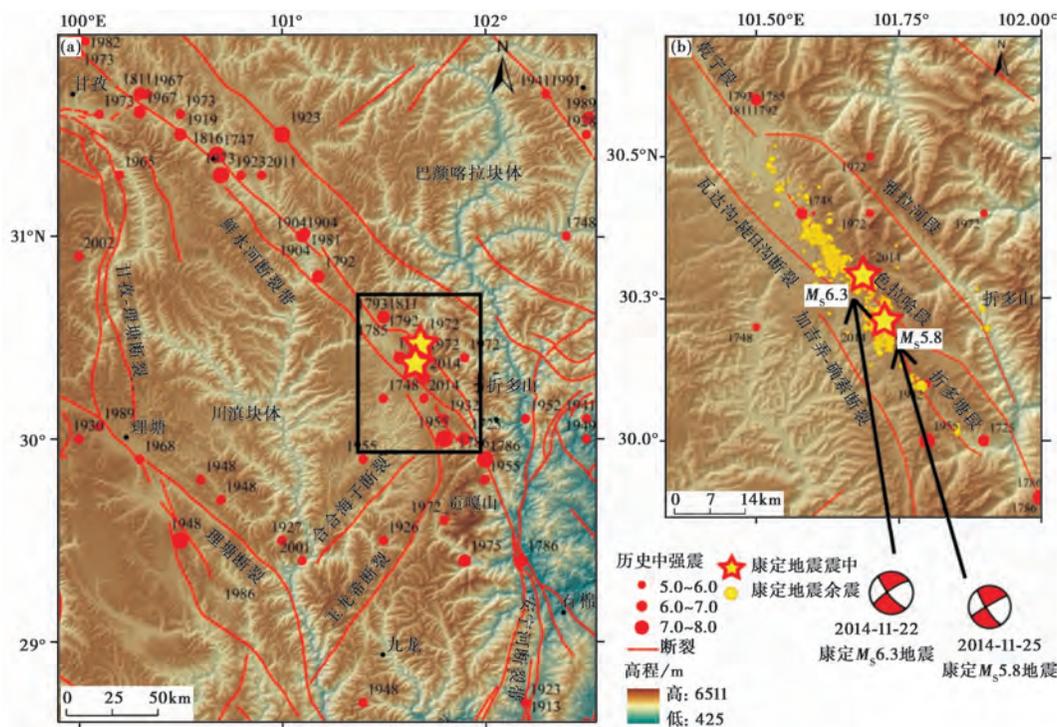


图 1 2014 年康定地震地质构造背景、历史地震分布(a)及中小震精定位、震源机制解结果(b)
精定位结果由房立华博士提供;震源机制解来自美国哈佛大学 (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>);
断层数据来自中国活动断层分布图(邓起东,2007);图(a)中黑色框内为图(b)的研究区域

震源深度 18km,后续发生的 25 日康定 $M_s 5.8$ 地震震中为 30.2°N 、 101.7°E ,震源深度 16km,两者相距约 11km。据中国地震局地球物理所房立华博士对康定地震精定位结果可知,22 日主震震中 30.288°N 、 101.684°E ,震源深度 19.8km;25 日主震震中 30.207°N 、 101.719°E ,震源深度为 16.7km,两者相距约 9.6km。

从主、余震的精定位结果来看,2014 年康定地震的主、余震具有明显的 NW 向条带状密集分布的特征,并且具有明显的空间分段性。从余震的空间分布来看,2014 年康定震群可分为南北 2 个部分:北段长约 16km,宽 2~3km,与鲜水河断裂色拉哈段的地表位置吻合很好;南段长约 7.5km,宽约 2km,地震较北段更为密集,也更为集中,绝大部分位于色拉哈段与折多塘段之间约 13km 的阶地上(图 1(b))。

色拉哈段与折多塘段位于贡嘎山隆起的挤压阶区范围内,段落单元相距宽度为 9~13km,相对于鲜水河断裂带的其他段落,这一区域为鲜水河断裂带永久性段落边界,不存在与鲜水河断裂带炉霍段、道孚段和乾宁段一起发生级联破裂的可能(安艳芬,2011)。易桂喜等(2005)通过对 1978~2003 年中小震 b 值的分析提出,位于贡嘎山隆起区的雅拉河段-色拉哈段已有 255~300a 的无强震期,处于高应力下的相对闭锁状态,具有较低的 b 值和中偏低的释放水平。这一地区也是“M7 专项工作组”(2012)指出的历史地震空段区域,2014 年康定地震就发生在该空段上。

2.2 序列特征

从余震序列的时空展布上看(图 2),2014 年康定震群也具有明显的分段性,且时、空间

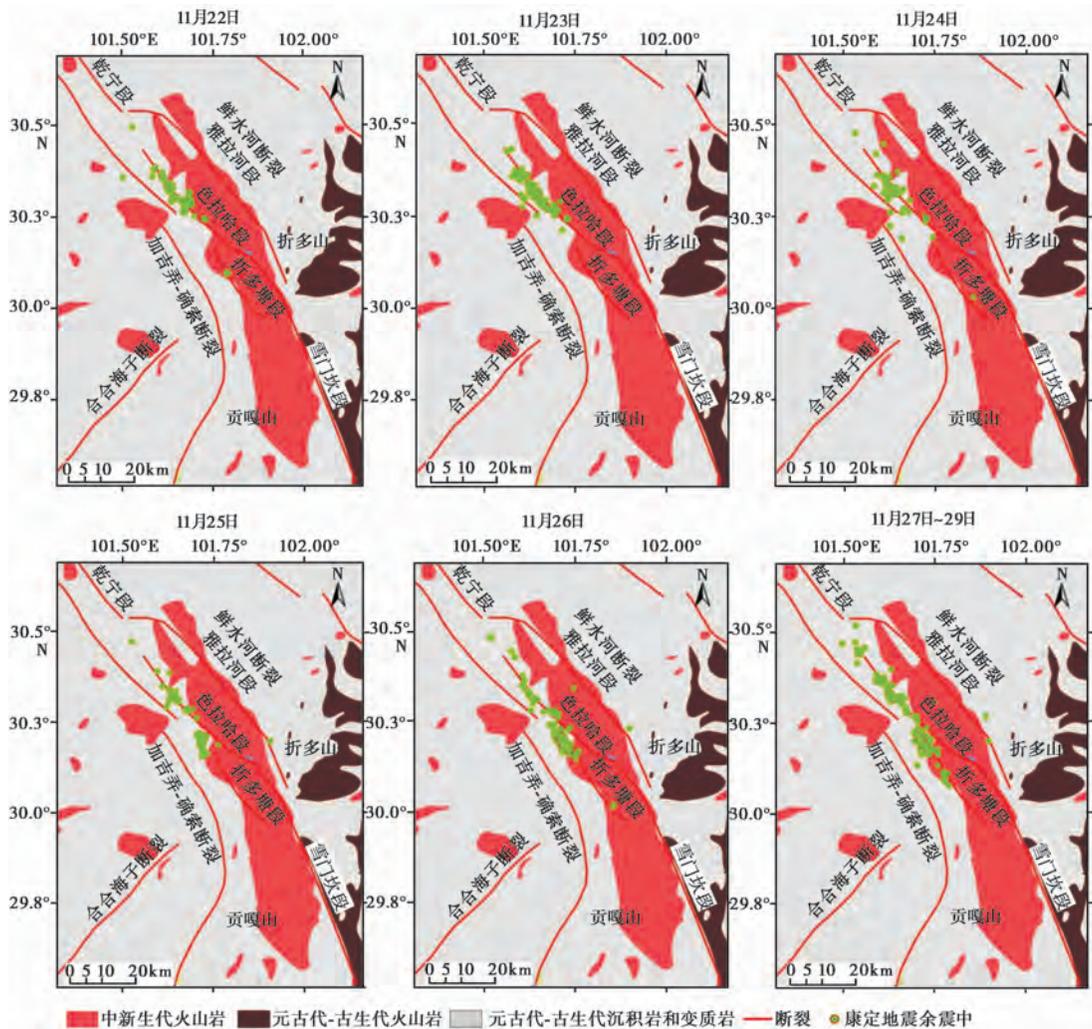


图 2 2014 年康定地震震后 8 天内的地震分布

地层数据根据 1:50 万地质图修改

分段性是紧密联系的:11 月 22~23 日,中小震基本上围绕着色拉哈段分布,且仅止步于色拉哈段与第三纪二长花岗岩交接处,即 $M_s6.3$ 主震向南约 7km,折多塘段上仅 11 月 22 日有一个 $M_L2.6$ 地震;11 月 24 日,小震分布变得稀疏而分散,沿着色拉哈段在主震以北 4km 处集中分布,且向南延伸至 $M_s6.3$ 主震以南近 12km 处,几乎跨过了色拉哈段与折多塘段之间的区段;11 月 25 日在色拉哈段与折多塘段之间的区段上发生了 $M_s5.8$ 主震,同时北侧的色拉哈段上也有余震发生,两者之间尚存 4km 的中小震空区;11 月 26~29 日余震同时发生在色拉哈段与折多塘段上,余震表现出明显的 NW 向密集分布的特征,且开始充填两段之间的地震空区,整个余震条带密集分布区长达 30km,且区段以北、以南均有小震发生,但第三纪花岗岩岩体内部的余震与区段的余震之间尚存近 5km 的空区。余震序列的时空分布表明,11 月 22 日 $M_s6.3$ 地震及其余震局限于色拉哈段在古生代沉积岩的段落,并没有沿着该断裂向

第三纪花岗岩岩体内部延伸,11月25日 M_s 5.8地震虽然震级较小,但是该地震之后色拉哈段与折多塘段之间才贯通并产生级联破裂。

2014年康定震群震后10天内的地震蠕变曲线(图3)和30天内的地震日频度(图4)同样展示了该地震序列随时间的分段性特征。很明显,随着11月22日 M_s 6.3地震和25日 M_s 5.8地震的发生,地震蠕变曲线呈鲜明的二段式阶梯抬升,表现出震群型地震的地震蠕变特征,而地震日频度曲线在2次主震发生后均有2个峰值,之后快速衰减,显示了2014年康定震群的地震序列时间分段性特征。在2次主震发生时都存在地震日频度的高值,但是很明显,地震日频度的峰值出现在第2次主震之后,且几乎是第1次主震之后日频度的3倍,这表明很有可能第1次主震破裂并不完全,至第2次主震之后地震破裂才得到了广泛传播,或是发生了级联破裂。

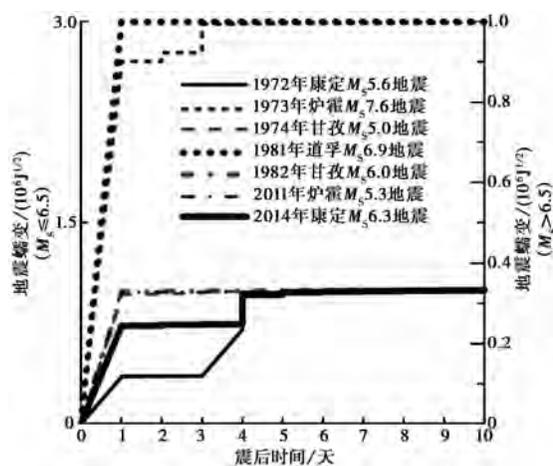


图3 鲜水河断裂带1972年以来主要中强震蠕变曲线

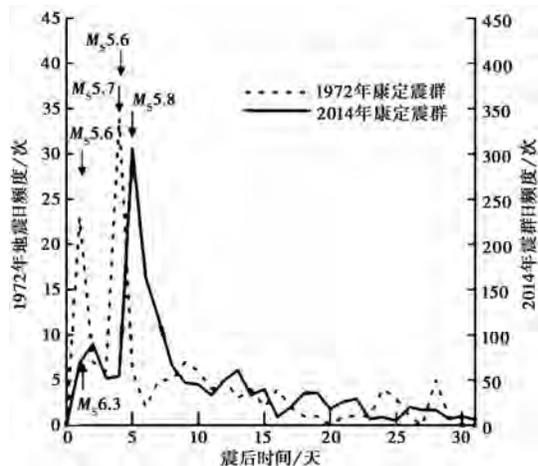


图4 1972、2014年康定震群震后中小震日频度分布

3 震群发生机制

从1972年以来的鲜水河断裂带上主要中强震后10天的地震蠕变曲线来看(图3),仅1972年康定地震与2014年康定地震的蠕变曲线近似,具有阶梯式抬升的特征,第1天的主震分别释放了约40%、70%的能量,后续的第2次地震释放了剩余的能量,表明这2次地震为震群型。除了这2次地震之外,鲜水河断裂带上大部分中强震蠕变曲线均在1天内就释放了90%以上的能量,即主震释放了绝大部分能量,表明这些地震为主余型或孤立型。

根据地震序列与深部构造的统计,主余型地震大多发生在上地壳高速区,或高、低速过渡带内,而多震型则较多地发生在上地壳低速区内(Jiang et al, 2006)。据横跨鲜水河断裂带的大地电磁测深剖面(Bai et al, 2009)显示,2014年康定震群震中附近,鲜水河断裂带西南侧中下地壳(25~75km)为低电阻率的较软弱区,之上则为高电阻率的强硬地层,而鲜水河断裂带北东侧中下地壳强度较高且上地壳存在低速区。由深部结构来看,鲜水河断裂带上的地震应以主余型为主,多震型地震的可能性很小。

从地震发生构造位置的统计来看(表1),鲜水河断裂带1960年以来的地震发生在断裂

表 1 鲜水河断裂带 1960 年以来 $M_s \geq 5.0$ 地震序列特征及地震序列类型

地震	主震震级 M_s	最大余震 震级 M_s	间隔 /天	序列 类型	构造位置	围岩岩性
1967 年炉霍地震	6.8	6.0	0	主余	炉霍段中部	三叠纪砂岩、二叠纪火山熔岩
1972 年康定地震	5.6	5.7	3	震群	雅拉河段中部	三叠纪砂岩、板岩、三叠纪花岗岩
1973 年炉霍地震	7.6	6.0	2	主余	炉霍段中部	三叠纪砂岩、板岩、灰岩
1973 年甘孜地震	5.8	5.0	0	主余	炉霍段北端	三叠纪砂岩、板岩
1974 年甘孜地震	5.0	2.7	0	主余	炉霍段北端	第四系沉积物、三叠纪灰岩、板岩
1981 年道孚地震	6.9	3.8	0	孤立	道孚段、乾宁段 交界处	三叠纪砂岩、二叠纪火山熔岩、 侏罗纪花岗岩、三叠纪闪长岩
1982 年甘孜西北地震	6.0	2.3	0	孤立	炉霍段北端	三叠纪砂岩、板岩
1988 年道孚地震	5.0	3.3	1	主余	乾宁段与雅拉 河段交界处	三叠纪板岩、砂岩
2011 年炉霍地震	5.3	—	—	孤立	炉霍段和道孚段 交界处	三叠纪砂岩、板岩, 二叠纪火山熔岩
2014 年康定地震	6.3	5.7	3	震群	色拉哈段、折多 塘段交界区	三叠纪砂岩、板岩、第三纪花岗岩

段中部的有 3 次,其地震序列类型既有主余型也有震群型;发生在断裂段端部的地震有 3 组,其地震序列类型有主余型和孤立型;发生在断裂段之间交界地带的有 4 组,地震序列类型有主余型、孤立型和震群型等。由此可见,地震发生的相对构造位置与地震序列类型无关。

从鲜水河断裂带历史地震和地层的分布来看(图 5),鲜水河断裂带中北部的炉霍段、道孚段、乾宁段主要切割了古生代-元古代沉积岩、变质岩,而中南部的雅拉河段、色拉哈段、折多塘段、雪门坎段和磨西段则围绕着或是切割了其西侧长近 120km、宽达 18km 的第三纪二长花岗岩,即著名的“贡嘎山岩体(折多山花岗岩)”。鲜水河断裂带 1972 年以来主余型和孤立型的中强震主要是发生在贡嘎山岩体以北的段落,即这些主余型和孤立型的地震均发生在古生代-元古代沉积岩、变质岩的环境中。而鲜水河断裂带仅有的 2 次震群型地震,即 1972、2014 年康定震群,则均发生在贡嘎山岩体的周边,围岩物性发生了很大的改变。由此推测,鲜水河断裂带上的震群型地震有可能与此大面积分布的新生代花岗岩有关。

在地震相关研究中,花岗岩岩体一般被认为是破碎的,不容易储存能量,并对周边应力环境敏感,容易发生中小地震。然而贡嘎山岩体是新生代第三纪花岗岩,生成时间短,且 U-Pb、Rb-Sr 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年均表明贡嘎山岩体侵入与断裂带剪切变形事件是同期的(张岳桥等,2004),也就是说,在第三纪,鲜水河断裂带每期剪切花岗岩体之后都会导致地壳的局部重融合花岗岩体的侵入。从这个意义上来说,贡嘎山岩体具有新生性和完整性,可将其视为一整块完整的巨型花岗岩岩体。贡嘎山花岗岩体向下延伸至地壳深部,Bai(2009)的电性剖面结果显示,鲜水河断裂之下的强硬岩体向下延伸至中下地壳,Liu(2014)的流动台阵 S 波反演结果也指出,鲜水河断裂深部的岩体至少延伸至 20km 处。而鲜水河断裂的反复剪切和花岗岩的重熔,证实了深达中下地壳的鲜水河断裂即使在地壳深部也是花岗岩与周边沉积岩的分界。由岩石物性力学参数研究可知,一般情况下,花岗岩的杨氏模量可达 $6.1 \times 10^4 \sim 8.2 \times 10^4 \text{MPa}$,一般均大于 $5.0 \times 10^4 \text{MPa}$,而砂岩和板岩的杨氏模量仅为 $1.2 \times 10^4 \sim 4.1 \times$

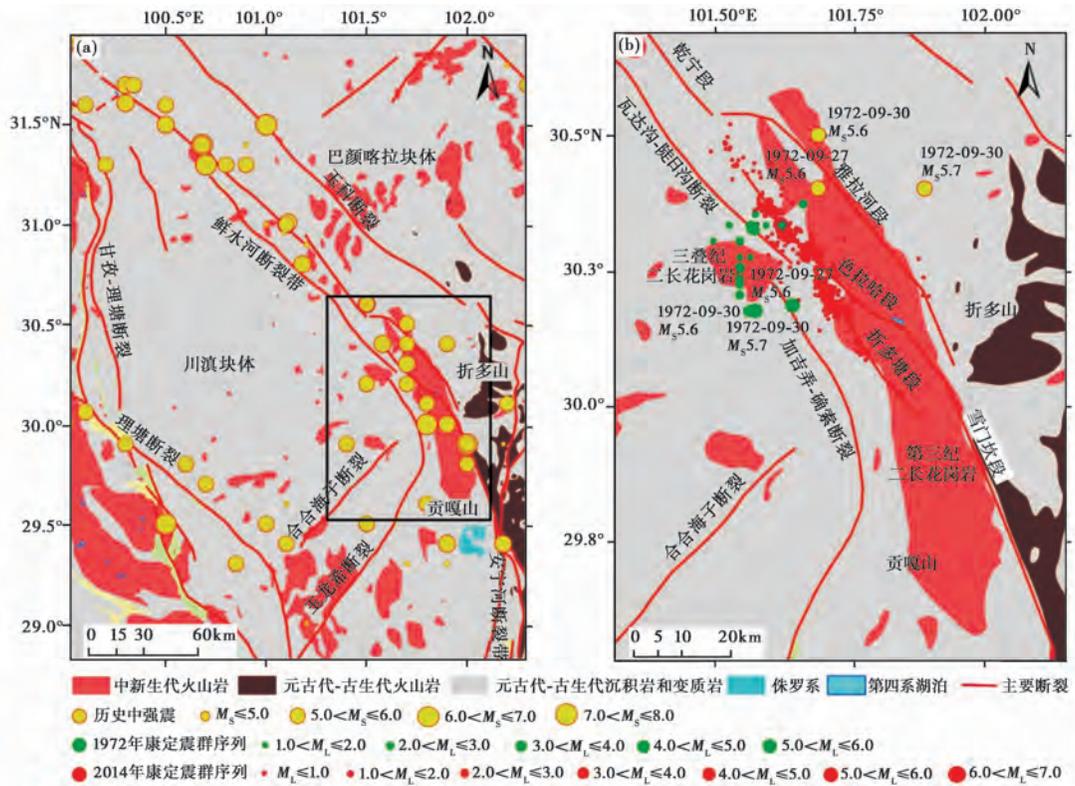


图5 鲜水河断裂带中生代主要地层分布与地震分布
图(a)中黑色框内部分为图(b)的研究区域

10⁴MPa。由此可见,贡嘎山岩体代表了一个极其难以破碎的、极坚固的、能储存更多应力的围岩环境,而在这种围岩环境中地震破裂是极难传播的,只有足够强度的地震能量才能撕裂贯通该岩体,譬如 1955 年 7½ 级康定地震。

由上可以推测出 2014、1972 年康定震群的发震机理。由于发震部位位于贡嘎山岩体与周围三叠纪砂岩、变砂岩、板岩等的交界位置附近,虽然早期断裂切割了花岗岩体,但是 2014、1972 年康定震群的首个地震能量并不足以使得地震破裂沿着原有断层向花岗岩岩体内传播,反而因为受到花岗岩岩体的阻隔,地震破裂止步于花岗岩岩体,使应力应变均积累在岩体周边的沉积岩和变质岩中,并在积累到一定程度后,沉积岩和变质岩中的先存断裂发生了破裂,产生了第 2 次地震。如果在第 2 次地震破裂中仍受到花岗岩岩体的阻隔,破裂得不到足够距离的传播,那么就会产生第 3 次地震。由于地震都是在花岗岩岩体和沉积岩、变质岩交接部位产生的,并且破裂传播范围有限或近似,因而几次地震的震级也是相近的。总之,正是由于贡嘎山岩体与围岩岩性差异的存在以及 2014、1972 年康定地震的震级偏小,导致了 2 次震群的产生。

2014 年康定震群的地震时序分布(图 2)很清楚地显示了地震破裂、破裂被阻碍、能量储存、再次破裂等的过程。1972 年康定震群由于缺乏地震精定位结果,导致在地震目录中该地震序列的位置与历史地震位置有所偏差,地震的时序分布并不清楚,很难判断 1972 年震群

的具体位置位于岩体何处(图 5),但从震后 30 天的日频度曲线(图 4)可以看出,第 1 次主震之后的地震日频度值并不高,峰值出现在第 2 次、第 3 次主震之后,这与 2014 年康定地震后的地震日频度极其类似,表明 1972 年康定震群也是第 1 次主震的破裂传播被阻碍,第 2 次乃至第 3 次较大的主震之后破裂才得以在较大范围传播。

4 结论和讨论

(1)2014 年康定 $M_s6.3$ 、 $M_s5.8$ 地震发生在鲜水河断裂带上,主震与余震间隔 3 天,震级相差 0.5 级,属于震群型地震。震源机制解显示该地震 2 次主震均为陡倾角走滑型,主余震呈现明显的 NW 向密集展布,其方向与震源机制解方向一致,表明该地震发生在鲜水河断裂带中南段的色拉哈段与折多塘段。

(2)主余震的时序分布、地震蠕变释放曲线以及震后 30 天地震日频度均显示,2014 年康定地震的破裂传播和能量释放存在鲜明的时间、空间分段性,并且时空分段性是紧密联系的。时间上以 2 次主震为间隔,第 1 次主震之后余震日频度值较低,第 2 次主震之后余震日频度值陡然升高。空间上以色拉哈段与折多塘段之间的区段为界,第 1 次主震及其余震大多发生在色拉哈段,止步于色拉哈段与第三纪花岗岩体交汇处,第 2 次主震发生在色拉哈段与折多塘段之间的区段上,其余震在色拉哈段与折多塘段以及两者之间的区段上均有分布。

(3)通过对比鲜水河断裂带 1960 年以来大部分中强地震的构造位置、地震蠕变曲线、围岩特征等我们发现,无论震级大小如何,无论发生在何种构造部位,鲜水河断裂带大部分中强地震序列类型均为主余型或孤立型,只有发生在鲜水河断裂带南端贡嘎山岩体周边的 1972 年康定地震(塔公地震)和 2014 年康定地震为震群型地震。

(4)2014、1972 年康定地震的震群型序列特征很有可能与附近强硬的、难以破裂的、整体性完好的、新生代发生过多次熔融的贡嘎山岩体(折多山花岗岩)有关。贡嘎山岩体内部发育的断裂,摩擦力更大,需要更大的能量才能发生破裂。2014、1972 年康定地震的震级不高,能量不大,当地震破裂传播至贡嘎山岩体时,地震破裂不足以使得岩体内的断裂发生破裂,相关能量转而在岩体周围的砂岩、变质岩内储存直至相关的次级小断裂发生破裂,从而产生震群型地震序列特征。

致谢:感谢程佳博士、房立华博士在本文完成过程中的大力支持。

参考文献

- 安艳芬,2011,鲜水河断裂带地震破裂段落的边界特征研究,国际地震动态,(6),47~48。
- 邓起东,2007,中国活动构造图,北京:地震出版社。
- 何宏林、池田安隆、何玉林等,2008,新生的大凉山断裂带——鲜水河-小江断裂系中段的裁弯取直,中国科学:D 辑,38(5),564~574。
- M7 专项工作组,2012,中国大陆大地震中-长期危险性研究,220~224,北京:地震出版社。
- 谭锡斌、徐锡伟、李元希等,2010,隆升的磷灰石裂变径迹证据及其隆升机制讨论,地球物理学报,53(8),1859~1867。
- 徐锡伟、于贵华、马文涛等,2003,中国大陆中轴构造带地壳最新构造变动样式及其动力学内涵,地学前缘,10(增刊),160~167。
- 易桂喜、范军、闻学泽,2005,现今地震活动分析鲜水河断裂带中-南段活动习性与强震危险地段,地震,25(1),58~66。
- 张岳桥、陈文、杨农,2004,川西鲜水河断裂带晚新生代剪切变形 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年及其构造意义,中国科学:D 辑,34(7),

613~621。

Bai D H, Unsworth M J, Meju M A, et al, 2010, Crustal deformation of the eastern Tibetan Plateau revealed by magnetotelluric imaging, *Nature Geoscience*, **3**(5), 358~362, Doi: 10.1038/NEGO830.

Jiang H K, Li Y L, Qu Y J, et al, 2006, Spatial distribution features of sequence types of moderate and strong earthquake in Chinese mainland, *Earthquake Science*, **19**(4), 417~427, doi: 10.1007/s11589-004-0417-5.

Liu Q Y, Van der Hilst R D, Li Y, et al, 2014, Eastward expansion of the Tibetan Plateau by crustal flow and strain partitioning across faults, *Nature Geoscience*, **7**(5), 361~365, Doi: 10.1038/ngeo2130.

Xu X W, Wen X Z, Zheng R Z, et al, 2003, Pattern of latest tectonic motion and its dynamics for active blocks in Sichuan-Yunnan region, China, *Science in China, Series D: Earth Sciences*, **46**(2), 210~226, Doi: 10.1360/03dz0017.

Discussion on seismogenic structures of the 2014 Kangding $M_s6.3$, $M_s5.8$ earthquakes with multiple mainshocks

Liao Lin¹⁾ Yao Qi²⁾ Liu Jie²⁾ Zhang Wei³⁾

1) China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

3) China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China

Abstract The Kangding $M_s6.3$, $M_s5.8$ earthquakes with two mainshocks occurred in the southern segments of Selaha and Zheduotang of the Xianshuihe fault. The spatial and temporal distribution of mainshocks and aftershocks, the energy release process, and the daily earthquake frequency in 30 days after the first mainshock showed that they were spatial-time segmentations. The seismogenic structures, energy release and surrounding rocks of moderate-strong earthquakes in the Xianshuihe fault since 1962 reveal that most earthquakes in the Xianshuihe fault are of isolated earthquake types and mainshock-aftershock types. Only the 1972 Kangding (Tagong) earthquake and 2014 Kangding earthquake are of the multiple mainshock type, both occurring around the huge Cenozoic granitic mass, called Gongga mountain mass (also called “Zheduoshan granitic mass”), in the southern of the Xianshuihe fault. The multiple mainshocks of these earthquakes may be caused by the resistance of tough Cenozoic Gongga mass. The moderate earthquakes could not continue propagation in strong mass, and the accumulative energy in sandstone and altered sandstone nearby resulted in the next mainshocks.

Key words: 2014 Kangding earthquake 1972 Kangding earthquake Multiple mainshock type Gongga mountain granitic mass